

5. 정수시설

5.1 총설

5.1.1 기본사항

(1) 정수시설의 중요성

정수시설은 수질 기준에 적합하고 안전하며 쾌적하게 이용할 수 있는 수돗물을 생산하기 위한 시설로, 상수도시설 전체 중에서 정수처리기능을 이루는 시설로 특히 중요한 위치를 차지하고 있다.

정수시설관리가 충분하지 않는 경우는 적절한 처리수량과 처리수질을 얻을 수 없으며 그 결과로 인해 수도 전반에 걸쳐 중대한 영향을 미치게 된다.

따라서 정수시설의 유지관리에 있어서는 그 중요성을 인식한 뒤에 최적운영이 되도록 노력해야 한다.

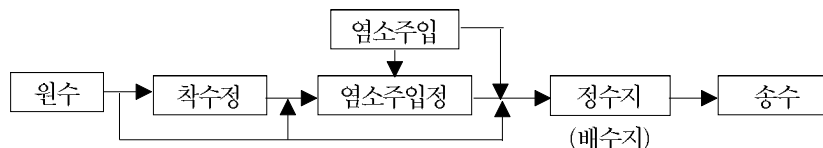
(2) 원수 수질에 적합한 정수시설

정수방법, 정수시설의 내용, 규모 등은 수원의 상황, 원수 수질 및 정수량 등에 의해 정해진다. 정수시설은 원수 수질의 변동에 대해 여유를 가지고 대응할 수 있도록 되어 있으므로 그 설계 의도를 충분히 파악한 뒤에 유지관리를 해 나가도록 해야 할 것이다.

정수방법은 크게 구별하여 소독만 하는 방식, 완속여과방식, 급속여과방식, 막여과방식, 고도정수처리방식 또는 기타처리방식(원수의 수질에 따라 필요) 등이 있다(<표 5.1.1>).

1) 소독만인 방식

수질이 매우 양호한 지하수를 수원으로 하는 경우가 많고 처리 프로세스가 단순하고 배출수처리가 불필요하여 유지관리가 쉽다(<그림 5.1.1>). 원수가 깨끗하더라도 크립토스포리디움에 오염될 우려가 있는 경우에는 이 방식을 채택할 수 없다. 따라서 소독만의 방식을 채택할 수 있는 경우로는 ① 상류유역에 오염발생원이 없고, ② 지표세균이 검출되지 않으며, ③ 탁도관리가 이루어지고 있어야 하며



<그림 5.1.1> 염소소독만의 방식

<표 5.1.1> 원수수질에 적합한 정수방법

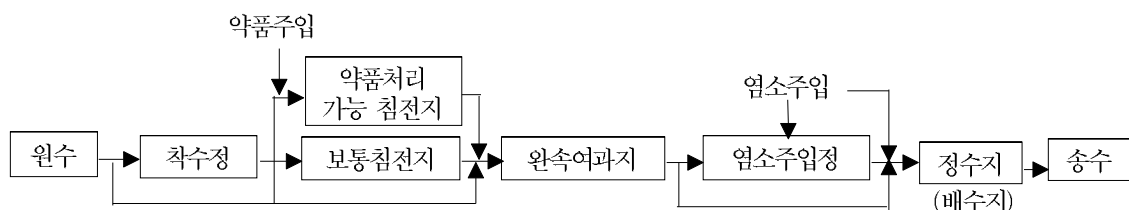
정수방법	제거 대상 물질		제거 처리법	적 요
소독만의 방식	① 대장균군(100mL, MPN) 50 이하 ② 일반세균(1mL) 500 이하 ③ 다른 항목은 수질기준에 항상 적합		소독설비만 가능함	
완속여과 방식	① 대장균군(100mL, MPN) 1,000 이하 ② 생물화학적산소요구량(BOD) 1mg/L 이하 ③ 연평균탁도 10NTU 이하		완속 여과지	침전지 불필요 보통침전지 약품처리 가능한 침전지 연최고탁도 10NTU 이하 연최고탁도 10~30NTU 연최고탁도 30NTU 이하
급속여과 방식	상기 이외		급속 여과지	약품침전지 고속응집침전지 ① 탁도 - 최저 10NTU 전후 - 최고 1,000NTU 이하 - 변동폭이 크지 않을 것 ② 처리수량 변동이 작을 것
막여과방식	위와 같음		침전지 불필요	
고도처리 방식 및 기타	pH값 조정		알칼리처리	
	침식성 유리탄산		에어레이션, 알칼리처리	
	불소		응집침전처리, 활성알루미늄법, 전기분해법	
	색도		응집침전처리, 분말활성탄처리, 오존처리	
	트리할로메탄	THM전구물질 제거	응집침전처리, 살균처리, 오존처리, 분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 이온교환처리, 생물처리 전염소처리부터 중간염소처리, 후염소처리로의 변경 오존처리, 이산화염소처리, 클로라민처리, 이온교환처리 에어레이션, 분말활성탄처리, 입상활성탄처리	
		THM생성량 저감		
		생성된THM 제거		
	트리클로로에틸렌 등		분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 에어레이션, 오존처리	
	음이온계면활성제		분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 생물활성탄처리, 생물처리	
	냄새, 맛		에어레이션, 염소처리, 분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 오존처리, 생물활성탄처리, 생물처리, 수원수질개선, 살조처리	
	암모니아		생물처리, 불연속점염소처리	
	질산성 질소		이온교환처리, 생물처리, 역침투막처리, 전기투석법	
	농약류		분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 염소처리, 오존처리, 에어레이션, 역침투막처리	
	기름류		분말활성탄처리, 오존처리, 오일메트, 펜스	

일반적으로 원수가 분변으로 오염되지 않았다는 조건을 확인해야 한다.

2) 완속여과방식

원수수질이 양호하고 탁도도 낮아 안정되어 있는 경우에 채택된다. 비교적 미립의 모래층을 4~5m/d의 느린 속도로 물을 통과하고 모래층 표면과 모래층에 증식한 미생물군에 의해 수중의 부유물질과 용해물질을 산화 분해시킨다. 원수중의 부유물질, 세균, 암모니아성 질소, 냄새, 철, 망간, 음이온계면활성제, 페놀류 등이 어느 한도 내에 존재한다면 정화하는 능력은 지니고 있다. 그러나 휴민질에 유래하는 색도는 제거하기는 어렵다(<그림 5.1.2>).

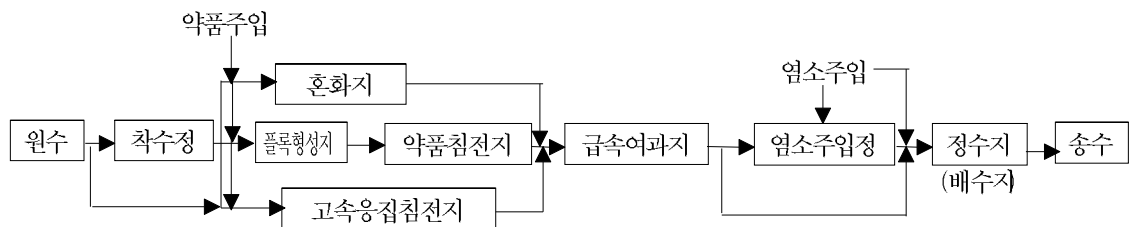
완속여과방식은 유지관리가 간단하고 고도의 기술을 요구하지 않으면서 안정된 양질의 처리수를 얻을 수 있다는 장점이 있으나 여과속도가 느리기 때문에 넓은 면적이 필요하고 또 오사 삭취 작업 등을 위한 많은 인력이 필요하다. 그리고 원수수질에 따라 보통침전지를 설치하는 경우와 생략하는 경우가 있으며 필요에 따라서는 침전지에 약품처리가 가능한 설비를 갖추어야 한다.



<그림 5.1.2> 완속여과방식

3) 급속여과방식

원수수질이 소독만의 방식이나 완속여과방식으로 정화할 수 없는 경우에는 급속여과방식이 적합하다. 이 방식은 약품침전지, 급속여과지, 소독시설로 구성되며 부유물질을 처음부터 약품처리함으로써 응집시켜 플록을 형성하고 침전지에서 효율적으로 침전, 제거하며 다음에 급속여과지에서 나머지를 여과·제거하는 방식이다. 여과지 내에 유입된 미세플록은 여재입자 표면에서 물리·화학적 작용으로 부착되거나 플록상호간의 부착으로 억류되는 방식으로 비교적 대량의 부유물질을 제거할 수 있다. 그러나 용해성물질의 제거능력은 거의 없으므로 문제가 되는 용해성물질의 종류와 농도에 따라서는 고도정수시설을 추가할 필요가 있다(<그림 5.1.3>).



<그림 5.1.3> 급속여과방식

급속여과지는 완속여과지보다도 굵은 여과모래를 사용하고 여과속도는 120~150m/d가 표준이다. 완속여과의 30배 정도 또는 그 이상의 속도로 여과하는 방식으로 좁은 여과면적으로 대량의 물을 처리한다. 급속여과방식에서는 침전처리의 양부가 중요하고 응집제의 최적주입 등 운전과 관리에 고도의 기술이 필요하며 또한 배출수처리가 따른다. 그러나 자동화나 원격제어 등이 가능하며 에너지 절약화를 기하기 쉽다.

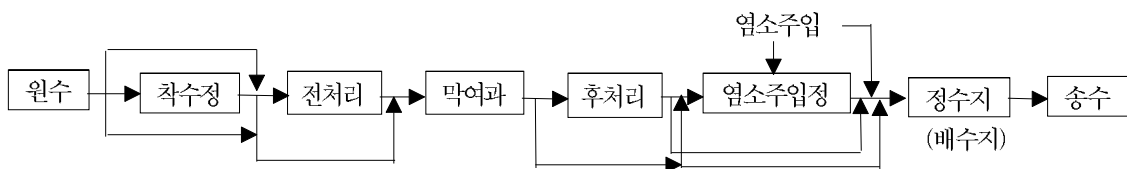
4) 막여과방식

이 방식은 현탁물질이나 콜로이드를 제거하기 위한 경우에 사용된다. 정밀여과막(MF), 한외여과막(UF) 등의 막을 사용하며 막의 공경(pore size)에 상응하는 입경 또는 분자량의 현탁입자를 물리적으로 제거한다.

막여과의 성능을 효율적으로 발휘시키기 위해서는 협잡물 등을 제거하기 위한 전처리가 필요한 경우가 있으며 막여과로는 제거하기 어려운 용해성유기물, 냄새와 맛, 망간을 제거하기 위해서는 후처리를 해야 한다.

이 방식은 수개월 간격으로 막을 약품세척해야 하고 수년 간격으로 막을 교환해야 하지만 기기의 수나 가동부분이 적고 또한 일반적으로 자동화나 원격제어 등이 가능하며 운전관리도 용이하다.

정수장 용지취득의 난이도, 소비자들의 보다 고급의 수질요구, 소규모 수도사업자의 기술자 확보문제 등을 배경으로 콤팩트하고 효율적이며 에너지절약형인 막분리에 의한 정수처리기술의 채택이 늘어나고 있다. 트리할로메탄, 농약, 냄새물질 등 용해성 미량유기물질을 막처리로 제거하기 위하여 나노여과막(nano filter: NF, 1nm 직경의 분자를 제거하는 막여과 공정)의 연구도 진행되고 있다(<그림 5.1.4>).



<그림 5.1.4> 막여과방식

5) 고도처리방식 및 기타처리

앞서 서술한 방식을 포함한 통상의 정수처리 만으로는 수질기준에 적합한 처리수를 얻을 수 없을 경우에는 기타 처리 및 고도 처리를 고려해야 한다. 이 처리로는 맛과 냄새, 색도, 음이온계면 활성제, 미량유기물, 트리할로메탄전구물질, 암모니아성 질소, 기타 제거해야 될 대상 물질에 따라 처리 방법도 달라진다. 철, 망간, 유리탄소 등을 처리하는 경우는 전염소처리, 에어레이션, 알칼리제 처리 등이 있다.

특히, 고도정수 처리로서 생물처리, 오존 처리, 분말 또는 입상활성탄 처리, 생물 활성탄 처리, 스트리핑 처리를 유지관리해 나가는 데에 특히 중요한 점은 원수 수질의 특성을 정확히 파악하여 계절적 변동 등을 예측하는 등 매일의 수질관리를 철저히 하고, 이 결과를 수처리 조작에 반영하여 급격

한 수질 변동에 대응될 수 있도록 한다(상수도시설기준 <표 5.1.3>, <표 5.1.4> 참조).

(3) 최근 수처리 동향(고도정수처리, 막처리 등)

원수 수질의 악화와 함께 냄새·맛 물질, 트리할로메탄 전구물질등 각종 물질이 증가하고 있는데, 통상의 정수처리방법으로는 충분히 제거되지 않으므로 생물처리, 오존처리, 활성탄처리 등을 주체로 한 고도정수처리를 도입하는 예가 증가하고 있다.

정수처리를 해 나감에 있어 오늘날의 과제로는 염소제에 의한 소독부생성물, 농약을 포함한 미량 유기물, 무기물, 중금속 등 새로운 대상 물질의 대응이다.

소독부생물은 정수처리공정에서 빼놓을 수 없는 염소처리를 실시할 때에 생성되는 부산물이며, 휴민질 등의 유기물과 유리염소가 반응하여 생성되는 트리할로메탄을 비롯해 다종의 소독부생성물이 있다. 이 중에는 발암성 등이 지적되는 물질도 있다.

이들 물질에 대한 정수시설의 저감화 대책으로서 응집침전처리와 중간염소처리의 조합, 분말 또는 입상활성탄 처리, 오존과 입상활성탄 또는 오존과 생물활성탄의 조합에 의한 고도처리방식이 있다.

미량유기물로서 문제가 되고 있는 것에는 용제·세정제로서 드라이클리닝과 반도체공장 등에서 사용되고 있는 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등을 비롯해서 농약 등 여러 물질이 있다. 그 대책으로는 스트리핑처리, 생물처리, 분말 또는 입상활성탄처리 등이 있다.

현탁물질과 콜로이드 제거를 주요 목적으로 막여과방식을 도입하는 예가 있다. 이들의 고도정수처리와 막처리 등의 도입에 있어서 원수수질 상황분석과 장래의 수질오염 예측을 정확히 할 필요가 있다. 그러나 대상물질에 따라 처리공정이 달라지므로 다른 실시된 예나 관련 문헌을 참고로 하여 충분히 검토하고 파일럿 플랜트에 의한 실험 결과 등을 참고로 하여 처리방법을 결정한 뒤에 도입하도록 한다.

<참고 5.1.1> 고도정수처리시설도입 및 평가지침(환경부, 상수도시설기준 5.1.4)

1. 고도정수처리시설도입 절차<고도정수처리시설도입 및 평가지침(환경부 '05.7) 참조>

수도사업자가 고도정수처리시설을 도입하고자 하는 경우에는 다음 사항을 수행하여야 한다.

- ① 각종 수질 기초자료 수집
- ② 고도정수처리시설 이외의 각종 대안 검토 및 고도정수처리시설 도입과의 상호 비교·분석
- ③ 고도정수처리시설 도입을 위한 실험실 규모 및 실증 규모의 모형실험 수행
- ④ 고도정수처리시설 도입 기본계획 수립
- ⑤ 고도정수처리시설 설계 및 시공사업 시행

2. 기초자료 수집

수도사업자가 고도정수처리시설을 도입하고자 할 경우에는 취수원 등의 수질자료를 수집·분석하기 위하여 정기적으로 수질검사를 실시하여 고도정수처리시설 도입의 타당성을 종합적으로 검토하여야 한다. 수질검사 항목 및 주기는 다음과 같다(다만, 수도사업자는 다음에 포함되지 않은 인체유해물질이 있을 경우에는 이를 수질검사 항목에 포함하여 수질검사를 수행하여야 한다).

3. 대안검토

수도사업자는 고도정수처리시설의 도입을 결정하기 이전에 다음 각 호의 대안을 비교·검토하여야 한다.

- ① 수질보전대책으로 취수원의 수질개선 가능성
- ② 취수원 변경 가능성
- ③ 광역상수도 수수 또는 인근 정수장간 연계 운영
- ④ 기존의 일반정수처리방법의 개선 또는 부분적인 시설개선

1. 조사지점

- 기존 정수장의 원수 및 처리수(여과수 및 정수장 유출수)

※ 여건에 따라 수질조사지점의 추가(침전수 등)가 바람직함.

2. 조사 수질항목

- 원수: BOD, COD, TOC, UV₂₅₄, 색도, 탁도, 맛·냄새, 병원성 미생물, 소독부산물생성능(THMFP, HAAFP), 합성유기물질

주) 1. BOD는 하천수, COD는 호소수에 대하여 측정

2. 합성유기물질은 먹는물 수질기준에 제시된 항목을 기준으로 하되, 과거 측정결과와 관련자료를 토대로 추가 또는 제외 (과거 1년간 정수처리수에서 검출한계 이하로 나타난 항목은 제외 가능)

3. THMFP, HAAFP는 실험에 의해 측정하고, pH 7, 온도 20℃, 주입염소농도는 3TOC+7.6NH₃-N, 반응시간은 3일을 기준으로 함

4. 맛·냄새는 TON을 기준으로 하되, MIB 및 geosmin 등이 맛·냄새의 주요인자로 판단될 때는 추가

- 처리수: TOC, UV₂₅₄, 색도, 탁도, 맛·냄새, 병원성 미생물, 소독부산물생성능(THMs, HAAs), 합성유기물질

※ THMs, HAAs는 기존 정수장 유출수에서 측정되는 THM과 HAA의 농도임.

3. 조사주기

- 상기 조사 수질항목에 대하여 주1회 이상을 기준으로 1년 이상의 자료

<참고 그림 5.1.1> 수질검사 항목 및 조사주기

1. 모형실험 수행항목

- 실험실규모(bench-scale) 실험
- 파일럿규모(pilot-scale) 실험

2. 규모별 실험기간 및 방법

- 실험실규모(bench-scale) 실험
 - － 실험방법: 파일럿규모 실험 구성을 위한 기초실험
 - － 실험항목: 파일럿규모(pilot-scale)실험을 3개 이상의 단독 또는 조합공정에 의한 실험(전체 계열당 30m³/day 이상)
 - 파일럿규모(pilot-scale) 실험
 - － 실험기간: 최소 1년(사계절)
 - － 실험방법: 실험실규모의 실험에서 채택되어진 2개 이상의 조합공정에 대하여 파일럿규모 실험
- 주) 같은 수역내의 기존자료 활용이 가능할 경우에는 실험실 규모실험을 생략할 수 있다.

<참고 그림 5.1.2> 모형실험 기준

4. 공정결정

수도사업자는 대안검토 결과 고도정수처리시설의 도입이 필요하다고 결정한 경우에는 모형실험을 수행하여야 하며 모형실험의 종류, 주기 등 세부적인 사항은 다음과 같다. 모형실험 결과에 대하여 상수도 분야의 고도정수처리시설 전문가 10인 이상으로 구성된 전문가 자문회의를 통하여 그 적합성을 검증받은 후 고도정수처리시설 도입을 최종적으로 결정하여야 한다.

5. 국고보조지원 신청

수도사업자는 고도정수처리시설 설치를 위하여 환경부장관에게 국고보조지원을 신청할 수 있다. 국고보조지원을 신청할 경우에는 서식에 의하여 이를 신청하여야 하며, 최적 고도정수처리공정 선정 관련 증빙자료를 첨부하여야 한다.

6. 검토지시

환경부장관은 원수의 수질, 유해물질의 유입 가능성 등을 고려하여 고도정수처리시설 도입이 필요하다고 판단하는 경우 수도사업자에게 고도정수처리시설 도입 검토를 요청할 수 있다. 고도정수처리시설 도입 검토를 요청받은 수도사업자는 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.

(4) 예비용량 확보

정수시설은 계획된 정수량을 늘 안정되게 처리할 수 있는 능력을 지니고 있어야 한다. 사고시나 개량시 등에 정수시설을 부분적으로 정지해야 하는 경우는 이를 감당할 수 있는 방법이 없으면 필요수량 확보가 불가능하고 이용자에 막대한 피해를 주게 된다. 따라서 정수시설에는 예비시설을 확보하는 것이 바람직하다.

정수장의 예비시설은 정수장이 여러 계열로 구성되어 있는 경우는 해당정수장의 계획 정수량의 25% 정도로 한다. 예비시설로서 확보한 계열이라도 사고시에 대처될 수 있도록 평상시에 가동해 둔다. 이 경우 전체 수량에 잉여가 발생하지 않도록 계열마다 로테이션을 구성하여 시설에 필요량의 물을 가득 채운 상태로 일정 시간 내에 운전하는 방법을 택하도록 한다.

한편, 정수장 처리 계열이 한 계열 또는 두 계열밖에 없는 경우에는 예비용량 확보가 어려우므로 침전지에는 경사판을 설치하고 여과지는 다층 여과함으로써 능력을 향상시켜 예비용량으로 삼을 수가 있다.

복수 정수장을 지나는 경우에는 원수 및 정수의 상호 연락시설을 설치해 두고 탄력적인 운영을 도모하여 정수지 및 배수지 용량을 수량적으로 여유를 주는 방법이 있다.

(5) 정수시설 운전상의 에너지 절감

정수시설을 운전관리하기 위한 에너지에는 전력, 중유, 경유, 등유, 도시가스 등의 직접 투입 에너지와 응집제, 알칼리제, 염소제, 자재, 재료, 각종 부품 등의 간접투입 에너지가 있다.

1) 직접투입 에너지의 절약

직접 투입 에너지는 절약하여 소비하지 않으면 안 된다.

예를 들어 전력에 관해서는 에너지 절약을 고려한 적절한 송배수펌프압 관리를 하고 각 시설 실정에 맞춘 역효율 개선 대책을 실시하여 불필요한 조명이나 냉난방 사용을 자제하는 등 작은 일상에서

대해서도 소비 전력량 억제계획을 세워 실시하여야 한다. 또한 직접적인 에너지 절약책이라 하기는 어렵지만 다음과 같은 방법으로 계약 전력을 재평가함으로써 경제적인 메리트를 산출할 수 있다.

우선, 여과지 세정, 송배수펌프, 약품 주입, 배출수 처리, 고도 정수처리 등의 설비 기기의 운전 상황을 자세히 조사 분석한 후 배출수 처리의 운전이나 여과지 세정 시간대를 가능한 한 다르게 하여 장내 시설의 운전 시간대를 조정하고 하중의 집중 시간을 피하여 평준화를 도모하여 계약 전력의 저감화에 노력하도록 한다.

다음으로 전력의 자율절전지원제도 중의 집중시간 조정계약이라는 제도를 이용하여 경제적 효과를 올리는 방법이 있다. 이 제도는 계약전력 100kW 이상의 수용가에 대해 공급 규정 이외 여름철 최대 수요전력 발생기간 중의 14시부터 16시 사이에 고객이 자율적으로 일정수준의 전력수요를 줄이는 경우 지원금을 지급해 주는 제도이다. 이 방법을 적용하기 위해서는 정수지나 배수지의 용량이 크고 수운용 기능이 정비되어 있는 곳이 전제가 된다.

2) 간접투입 에너지의 절약

이 절약 에너지화에는 적정한 약품주입을 실시함에 따라 약품의 사용량을 억제하고 시설, 설비의 수리나 약품 교환에는 그 시기나 정도를 적정하게 정하는 등 불필요한 사용이 없도록 한다.

3) 정수시설의 리사이클

정수시설의 리사이클로서는 취수한 원수의 유효 이용이 있다.

하수도에 배출하지 않을 수 없는 정수장내 청소 용수나 생활 배출수 등을 제외한 기기의 냉각수 등의 작업 용수나 배출수 처리시설로부터의 배출수를 공공용수역이나 하수도에 배출하지 않고 재이용하는 방법이 있다. 일반적으로는 착수정에 반송하는 경우가 많다.

다만, 반송수의 수질이 나쁘면 결과적으로 원수 전체의 수질을 악화시키고 수처리상 문제가 되므로 반송수의 수질개선시설을 설치하든지 아니면 반송가능한 조건을 설정하여 한도를 넘을 경우는 반송하지 않는 등의 관리를 해나가야 한다. 배출수처리 과정에서 폴리아크릴아미드계 유기고분자 응집제를 사용하고 있는 경우에는 그 배출수는 재이용할 수 없다.

5.1.2 시설의 과학적 관리

(1) 과학적 관리의 의의

정수시설의 과학적인 관리는 각 시설과 설비, 정수처리 등의 관리를 경험에만 의존하지 않고 통계학적, 수학적인 예측, 분석, 최적화방법 등을 효과적으로 사용하고 합리적, 객관적인 근거를 만들어 그것을 바탕으로 관리 목표값 등을 예측·설정하고 관리 결과를 가지고 재평가하는 것이다.

정수시설관리에는 경험은 중요하지만 그것도 합리적이고 객관적인 근거가 바탕이 되어야 한다.

예측방법의 대표적인 것으로는 회귀분석, 시계열모델 등이 있다. 분석방법에는 정보모델, 행렬모델, 시뮬레이션 모델 등이, 또한 최적화방법으로서는 게임모델, 선형계획법(LP), 비선형 계획 등을 들 수 있는데 이들 각 방법을 폭 넓게 활용함에 따라 다음과 같은 이점이 있다.

① 현재의 상황을 정략적으로 파악할 수 있고 장래의 예측이나 개선책의 입안이 가능하다.

- ② 운전상의 관리 목표값 등을 합리적으로 설정할 수 있다.
- ③ 컴퓨터에 의한 자동 제어가 용이하다.
- ④ 합리적인 운영으로 에너지절약, 자원절약, 일손부담을 덜고 비용절감도 된다.
- ⑤ 어림잡아 행동하지 않으므로 실패를 방지하고 약품관리, 시설관리가 적정화된다.
- ⑥ 결과로서 수량관리, 수질관리, 약품관리, 시설관리가 적정화된다.

(2) 착수정에서 정수지까지의 처리하중 분담

정수시설은 착수정에서 정수지에 이르기까지의 개개의 시설이 충분히 그 기능을 발휘함과 동시에 시설전체를 수처리시스템으로서 적절히 가동시킬 필요가 있다.

수처리시스템으로서의 적절한 가동은 처리하중 분담의 균형이 잘 잡혀있고 각 프로세스가 여유를 지니고 수처리가 가능하며 어느 정도의 수질 변동이나 상황 변화에 대해 원활히 대응 가능한 상태를 말한다.

수처리 프로세스 전체에서 처리하중을 적절히 분담시키기 위해서는 각 프로세스마다 수질관리 목표값을 설정해 두고 그에 적합한 운전관리를 실시하도록 한다.

예를 들면 탁도 처리의 경우, 침전지까지의 처리공정에서 탁도를 어느 정도까지 내려야 하는지, 여과지에 어느 정도의 하중을 걸어야 하는지가 중요하다. 여과지로의 하중이 과대한 경우, 수질 변화에 대응하지 못하고 탁질누출 등의 트러블의 원인이 될 수 있으므로 가능한 한 침전지에 처리하중을 분담시키는 것이 바람직하다. 그러나 처리해야 될 물질에 따라 처리방법이 달라지므로 분담도 달라진다. 특히 고도정수처리 등에서는 이 점이 현저하게 나타난다.

(3) 복수 정수장의 운전상태 - 상호융통기능 -

복수 정수장이 있는 경우 각각의 정수장은 떨어진 장소에 있지만 일반적으로 수원 위치 및 종별, 원수수질, 여과방식, 규모 등 개개의 정수장 입지조건이 상당히 다른 경우가 많다.

이러한 상황 하에서는 각각의 정수장이 지니는 특성을 유효하게 살려 정수장을 필요에 따라 이용하고 원수나 정수의 상호 유대관계를 도모하는 등 종합적이고 탄력적인 운용이 이루어질 수 있도록 대처해야 한다.

정수장의 상호 기능을 효과적으로 실시하기 위한 상황 분석과 패턴 설정 등에도 과학적인 관리가 중요하다. 예를 들어, 갈수시에도 수원이 다르면 갈수의 정도가 달라지는 경우도 있는데, 하천표류수계의 갈수가 심해도 저수지계는 어느 정도 저수량이 있는 경우 등 각각의 수원 상황이나 분담 정수량의 균형을 고려하면서 원수를 상호 융통할 수 있다.

또한 홍수시에 탁도가 높을 때에는 하천표류수계의 정수장 취수량을 감소시키고 그 감량분을 원수 탁도가 낮은 저수지계 정수장의 정수량을 증가시켜 정수를 융통하면 운전에도 무리가 없고 약품 투입량이 감소하여 에너지절약으로도 연결되므로 메리트가 있다. 계절에 따라 수질변동을 어느 정도 파악할 수 있는 정도라면 연간 상호융통계획을 패턴화하여 운전하는 것도 유효하다.

이 외에도 정수장의 정전사고나 설비사고, 혹은 기름이나 독극물에 의한 수원의 수질사고에 의해

정수장을 정지 또는 수량 감소를 해야 하는 경우에 다른 정수장으로부터 정수를 긴급 지원받는 것은 매우 중요한 일이다.

예를 들어 표고가 낮은 자연 유하계의 정수장이 있으면 거기에서 긴급지원을 받게 된다. 원수의 일정 수수 조건이 되어 있는 정수장에서는 수량의 탄력성이 한정되어 있으므로 총수요량에 따라 수량을 변경하는 것은 어렵다. 이러한 경우 집중 사용시 정수지와 배수지의 운용으로도 부족한 분을 정수 능력이 크고 탄력적인 대응이 가능한 다른 정수장으로부터 지원 받을 수 있다면 배수관망 내의 수량 및 수압을 적절히 확보할 수 있다. 정수장의 상호융통기능을 효과적으로 실시하기 위한 상황 분석이나 융통 패턴의 설정 등에 대해서도 과학적인 관리가 중요하다.

5.1.3 정수시설의 운영관리실태 평가와 기술진단

(1) 운영관리실태 평가와 기술진단의 의의

1) 정수장 운영 및 관리실태 평가 의의<환경부 훈령 제611호 2005.5.7 참조>

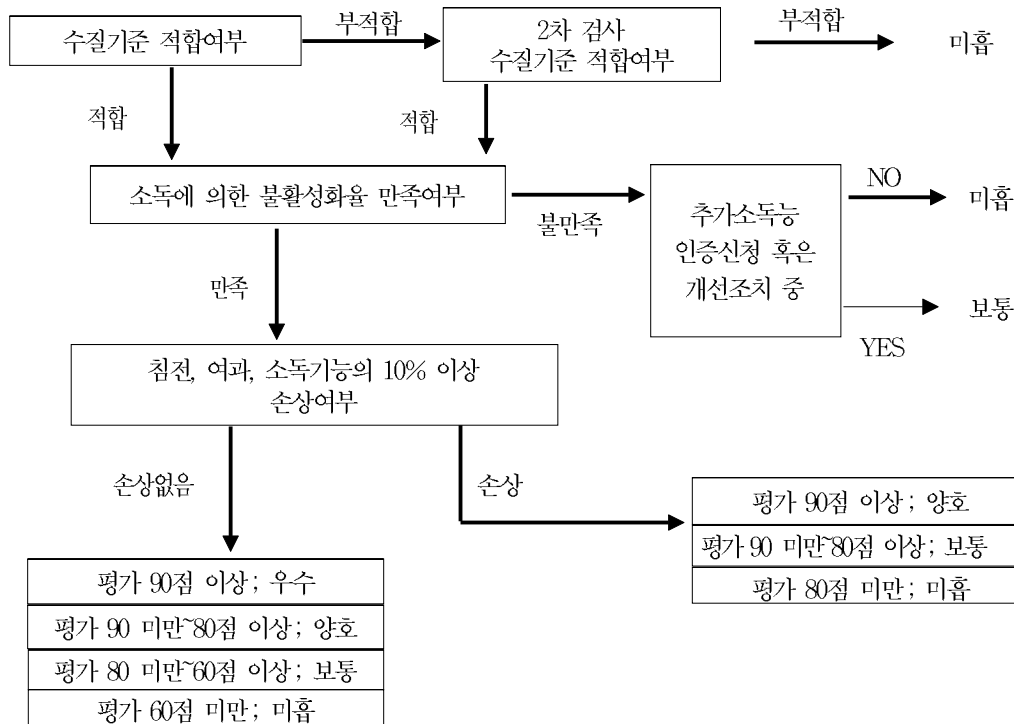
수도법 제58조 및 동법 시행령 제37조 제3항 제4호의 규정에 의하여 유역환경청장 또는 지방환경청장에게 위임한 수도사업자에 대한 지휘·감독권한을 효율적으로 수행하고, 수도사업자간의 선의의 경쟁을 통하여 수도시설의 문제점을 조기에 개선토록 함으로써 국민에게 맑고 깨끗한 수돗물을 안정적으로 공급함을 그 목적으로 한다. 평가대상시설의 범위는 수도법 제3조 제7호의 규정에 의한 광역상수도 및 수도법 제3조 제8호의 규정에 의한 지방상수도이며 평가는 정기평가와 수시평가로 구분하여 실시한다. 정기평가는 정수장별로 3년 주기로 실시하며 다음사항을 확인한다.

- ① 정수장 등 수도시설의 현황
- ② 기술진단 실시 여부, 수도 관련 예산편성 현황, 근무인력 현황 및 기술수준
- ③ 원수 및 정수의 수질관리 실태, 수질검사 능력, 먹는물 수질기준초과여부
- ④ 취·정수 전과정의 공정별 운영·관리 상태
- ⑤ 노후 상수도시설의 개량 및 시설점검·보수 상태
- ⑥ 주민 서비스 개선을 위한 노력 정도
- ⑦ 기타 지방환경관서의 장이 필요하다고 인정하는 사항

수시평가는 지방환경관서의 장이 특별히 필요하다고 인정하는 사항에 대하여 실시한다. 등급결정은 등급결정기준(우수:90점 이상, 양호:89~80점, 보통:79~60점, 미흡:60점 미만)에 따름을 원칙으로 하며 소독에 의한 불활성화율을 만족하지 못하거나 평가단의 먹는물 수질검사결과 기준을 초과하는 항목이 있는 경우, 침전·여과·소독기능에 10% 이상 손상이 있는 경우 등은 “등급결정을 위한 평가 Logic”에 의하여 등급을 결정한다(<그림 5.1.5>).

2) 기술진단의 의의

수도법 제55조의2의 규정에 의하여 수도사업자는 수도시설의 관리상태를 점검하기 위하여 5년마다 환경부령이 정하는 바에 따라 정수장·상수도관망 등 당해 수도시설에 대한 기술진단을 실시하고 그 결과를 반영한 시설개선계획을 수립하여 시행하여야 하며 기술진단에 관한 업무를 환경부령이 정



<해설>

1. 그림과 같이 1차 수질검사 결과 수질기준을 달성하지 못한 정수장은 2차 수질검사(기준초과항목만 실시)의 평균값이 기준을 달성하지 못할 경우 “미흡”으로 판정
2. 정수처리기준(소독에 의한 불활성화율)을 준수하지 못하는 정수장은 추가소독능 인증 신청(한국상하수도협회) 및 개선조치 여부에 따라 “미흡” 또는 “보통”으로 판정
3. 침전·여과·소독기능의 10% 이상 손상이 있는 경우 등급 하향 판정

<그림 5.1.5> 등급결정을 위한 평가 logic

하는 자로 하여금 대행하게 할 수 있다. 또한 기술진단 결과 및 시설개선계획의 수립·시행 결과를 인가관청에 통보하여야 한다.

- ① 수도시설의 규모에 따라 기술진단은 다음과 같이 구분한다.
 - ① 일반기술진단: 시설용량이 1일 5천톤 이하인 수도시설에 대한 기술진단
 - ② 전문기술진단: 시설용량이 1일 5천톤을 초과하는 수도시설에 대한 기술진단
- ② 일반기술진단 및 전문기술진단의 내용은 다음과 같다.
 - ① 일반기술진단의 경우에는 다음 각 목의 내용
 - 시설 및 운영관리의 현황 조사
 - 공정별·시설별 기능진단 및 기능 저하요인 분석
 - 각 공정 상호간의 기능 검토

- 진단결과에 따른 개선방안의 제시
- ② 전문기술진단의 경우에는 다음 각 목의 내용
 - 시설 및 운영관리의 현황 조사 내지 각 공정 상호간의 기능 검토
 - 조직 및 경제성 분석을 통한 수도시설의 효율적인 운영관리방안의 제시
 - 장래 수요를 고려한 수량 및 수질관리의 개선계획 제시
 - 구체적인 시설개선계획의 제시(사업우선순위 및 소요사업비산출을 포함한다)
- ③ 기술진단 대행기관(환경부령이 정하는 자)은 다음과 같다.
 - ㉠ 「엔지니어링기술진흥법」 제4조의 규정에 의하여 신고한 상하수도분야 엔지니어링 활동주체
 - ㉡ 환경관리공단
 - ㉢ 한국수자원공사
 - ㉣ 법 제39조의 규정에 의한 한국상하수도협회
 - ㉤ 「과학기술분야 정부출연기관 등의 설립·운영에 관한 법률」 제8조의 규정에 의하여 설립된 한국건설기술연구원
 - ㉥ 재단법인 한국수도연구소
 - ㉦ 사단법인 대한토목학회
 - ㉧ 사단법인 대한상하수도학회
 - ㉨ 사단법인 한국건설안전기술협회 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제25조의 규정에 의한 한국시설안전기술공단

(2) 정수장 운영 및 관리실태 평가기준 및 작성요령

1) 평가기준

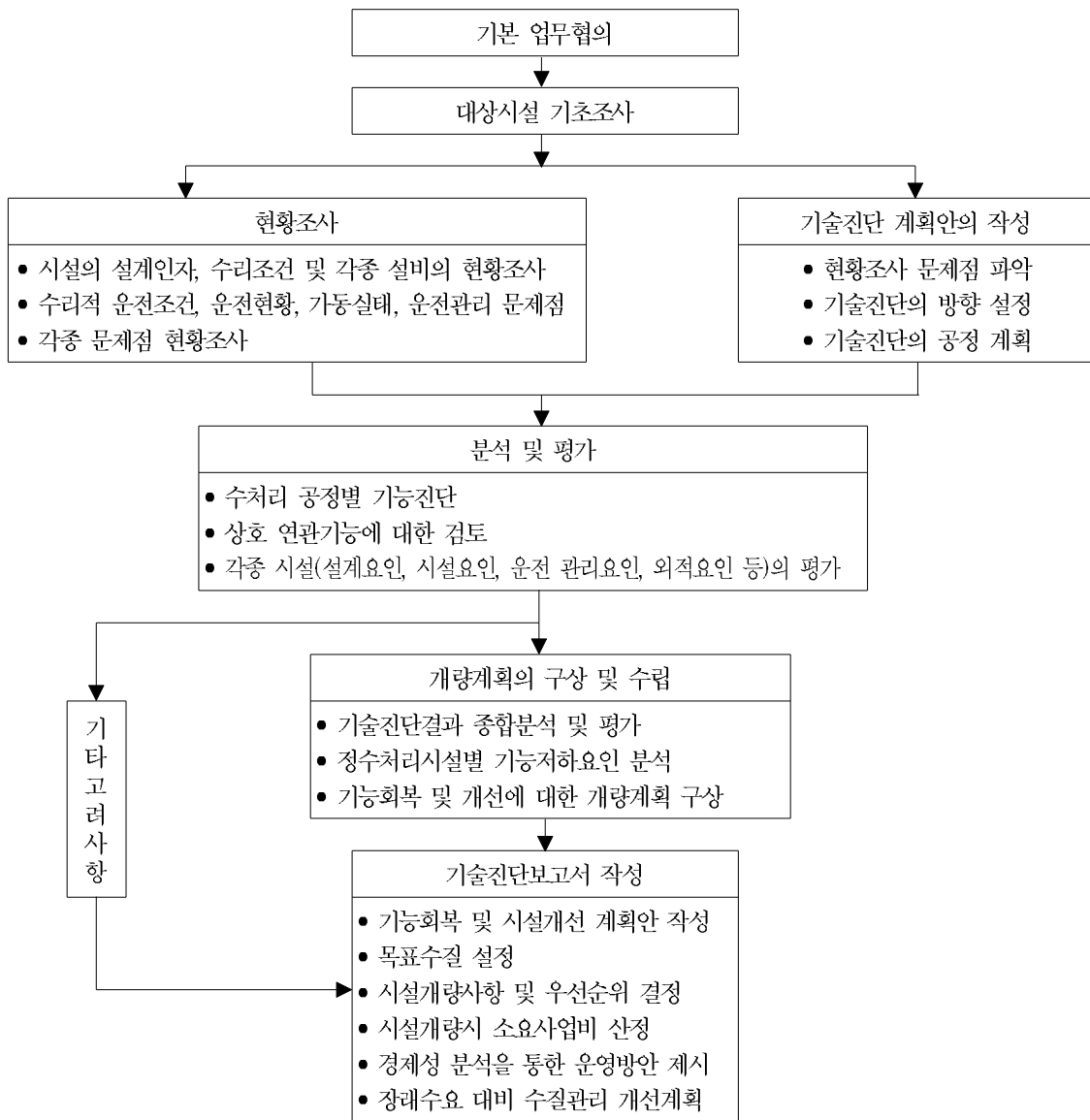
- ① 공정하고 객관적인 평가 실시
 - ㉠ 평가는 평가내용별 세부 평가기준에 따라 객관적이고 합리적으로 실시한다.
 - ㉡ 지방환경관서의 장은 평가방법, 정수장 등급별 비율 등 평가에 관한 의견을 상호 교환함으로써 지방 환경관서별 등급결정의 불균형을 해소하기 위해 노력하여야 한다.
- ② 구체적인 문제점 도출 및 대안의 제시
 - ㉠ 평가결과에 따라 실효성있는 개선효과를 기대하기 위해서는 평가과정에서 수도시설의 설치 및 운영·관리상의 문제점과 이에 대한 대안을 구체적으로 제시하는 것이 필요하다.
- ③ 교육적 효과의 극대화 유도
 - ㉠ 평가는 문제점을 지적하거나 우열을 가리는 기능뿐만 아니라 미숙한 점을 지도·보완해 주는 교육적 기능이 중요하다.
 - ㉡ 따라서 평가과정에서 충분한 교육을 병행하여 피평가자와 평가자간의 공감대 형성에 노력하여야 한다.
- ④ 수도시설 운영·관리자의 의견에 대한 충분한 수렴
 - ㉠ 평가과정에서 수도시설관리자의 고충 등을 충분히 들어주고 향후 수도정책에 검토·반영하

도록 노력하여야 한다.

<작성요령 - 환경부 훈령 제611호(2005. 5. 7) 별표 1 참고>

(3) 기술진단의 업무 범위와 내용

정수장 각 시설에 대한 제원 및 사양, 공정별 작동원리 등을 조사 분석하고 기준은 환경부 상수도 시설기준, 먹는물수질기준 등 관련법(수도법, 먹는물관리법, 수질환경기준법 등) 각종 설계기준 등을 재검토함으로써 합리적인 기술진단이 되도록 한다.



<그림 5.1.6> 기술진단의 업무범위와 내용

1) 기술진단 주요내용

① 현황조사

정수장의 단위공정별 설계인자와 관련 자료를 기초로 하여 다음과 같은 내용을 조사한다.

<표 5.1.2> 기술진단 조사내용

조사항목	조 사 내 용
기초자료	○ 보고서의 자료조사 － 설계서, 각종 보고서, 계산서(수리, 구조), 도면
	○ 운전 및 수질검사 자료의 조사 － 최근 10년간의 운전 및 수질자료 － 원·정수의 유량, 수질자료(월별) 및 일별 약품주입률과 사용량 － 공정별 수질자료(월, 일별) － 슬러지 케이크 발생현황(월, 일별) － 약품사용 현황(월, 일별) － 전력사용 현황(월, 일별) － 행정사항(인원, 유지관리비용, 조직 등)
설계인자	○ 설계인자에 따른 시공여부를 현장조사를 통해 확인
수리조건	○ 수리계산서에 따른 수리계통도 작성 및 현장 확인
공정별 수처리 기능	○ 약품혼화 및 플록형성공정 － 혼화지 및 혼화기 형식, G값 등 － 플록형성지와 정류벽 및 플록큐레이터 형식과 G값 등
	○ 침전공정 － 침전지 구조, 유출트로프, 정류벽의 구조, 슬러지수집기 등의 조사
	○ 여과공정 － 여과방식 및 현황, 여과모래 상태, 역세척방법 및 팽창률 조사 등
공정별 수처리 기능	○ 소독공정 － 정수지와 배수지의 형태, 도류벽 설치유무와 적정성 염소 주입지점과 방식 및 주입률
슬러지 처리기능	○ 슬러지 배출량 및 배출주기, 공정별 슬러지 농도 조사 등
운영·관리 현황	○ 운영자와의 면담을 통해 문제점을 조사 ○ 유지관리 상태 및 현황, 수선기록, 운영비, 시설운영 현황조사
기타 구조물	○ 관리상태, 균열현황, 누수현상 발생 조사
펌프 및 주위배관 보호시설	○ 수충압 대비시설
가압시설	○ 가압펌프모터의 운전상태 ○ 수변전설비 계통 조사
계측제어	○ 시스템 기본 기능, 종합관리 운영 조사 ○ 시설별, 시스템별 문제점의 요인 조사

② 기술진단내용 및 방법

현황조사 자료를 기초로 하여 단위 공정별 기술진단, 기능저하 요인 파악, 상호 연계기능에 대한 종합적인 기술진단을 다음 내용에 따라 검토한다.

<표 5.1.3> 기술진단내용 및 방법

진단항목	진 단 내 용	진 단 방 법
정 수 장		
기초 능력평가	－ 「상수도시설기준」을 근거로 단위공정별 기초 능력평가	• 「상수도시설기준」
처리효율 분석	－ 취수량 및 생산량 변화분석 － 원수 및 정수수질의 변화검토 － 공정수(침전수, 여과수) 수질변화검토	• 통계처리
정수처리 기능진단	－ 취수원 <ul style="list-style-type: none"> • 유입원수(취수)량의 변화 검토 • 상수원 및 원수 수질변화 검토 	• 통계처리
	－ 약품혼화공정 <ul style="list-style-type: none"> • 착수정 및 혼화지의 구조 검토 • 혼화방식 및 효율 진단 • 약품주입시설 및 정량성 평가 • 약품주입지점 평가 	• 「상수도시설기준」 • 잔류알루미늄농도 • 응집제, 알칼리제(소석회) 등
	－ 플록형성공정 <ul style="list-style-type: none"> • 구조 및 수리특성 평가 • 플록큐레이터 응집능력 평가 	• 설계도면 및 현장조사와 추적자 실험에 의한 플록형성지의 체류시간 및 단락류의 유무와 정도 등의 조사
	－ 침전공정 <ul style="list-style-type: none"> • 수리학적 흐름특성 평가 • 트로프의 구조 및 수리특성 평가 • 슬러지 제거를 위한 침전지 구조 	• 설계도면 및 시설현황조사 • 추적자 실험 • 탁도 및 수온의 분석 • 슬러지수집기 운전상태 조사
	－ 여과공정 <ul style="list-style-type: none"> • 여과방식 및 현황 진단 • 여과층 구성과 여재의 상태 진단 • 역세척방법 및 효율진단 	• 여과지 운영현황 조사 • 여재(주상시료)의 층별 입도 및 탁질 역류량 조사 • 역세척방법, 역세척속도, 역세척수 탁도, 모 래층 팽창률 등 조사
	－ 정수지 및 소독공정 <ul style="list-style-type: none"> • 설계현황 평가 • 소독능력 평가 	• 「상수도시설기준」 및 「정수처리에 관한 기 준」에 따라 C·T값 평가
슬러지 처리 기능진단	－ 슬러지 처리 공정 <ul style="list-style-type: none"> • 슬러지 처리시설 현황조사 • 처리시설의 효율적인 운영방안 	• 슬러지 처리시설의 적정 운영방안을 목표로 진단 수행

진단항목	진 단 내 용	진 단 방 법
정 수 장		
기계설비	<ul style="list-style-type: none"> - 약품주입설비 - 염소주입설비 - 혼화기, 플록큐레이터, 역세설비, 송수설비 등 - 가압펌프시설 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리, 시설운영, 수선기록 현황 조사 • 펌프 가동상태의 진동 측정 • 펌프효율 및 측정률상태 측정
전기설비	<ul style="list-style-type: none"> - 취·정수장, 가압시설 수·변전설비 계통 - 전력계통 평가 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 변전소의 설비용량 및 보호설비 현황 조사 • 전력품질 분석 및 전력설비 운전상태 측정 • 에너지의 효율적 이용 조사 • 보호계전기 개별 성능시험
계측제어	<ul style="list-style-type: none"> - 상수도시설 현대화 계획과의 연계성 - 중앙제어설비 	<ul style="list-style-type: none"> • 종합관리시설 현황 조사 • 종합관리시설시스템 구성방법 및 기능에 대한 조사 • 계측제어설비별 구성의 적정성 평가
구조물 정밀점검	<ul style="list-style-type: none"> - 안전점검 	<ul style="list-style-type: none"> • 관련도서 검토 및 현장조사 • 시설물별 조사결과 분석
배수지 및 가압장		
배수지	<ul style="list-style-type: none"> - 설계현황 평가 - 급수여건과의 적합성 여부 	<ul style="list-style-type: none"> • 용량과 체류시간 • 유입, 유출 관로 및 계측시설의 적정성
가압장	<ul style="list-style-type: none"> - 시설물 노후현황 평가 - 급수여건과의 적합성 여부 	<ul style="list-style-type: none"> • 시설 운영의 안정성 • 계측제어시설의 적정성 평가

③ 개량계획

기본기능 및 시스템에 대한 기술적인 검토결과를 정리하여 종합적인 개량계획을 수립하도록 기초자료를 작성하며 기본적으로 과학적이고 경제적이며 미래지향적인 면을 고려하도록 한다.

① 기능저하요인 또는 시설개선에 의한 수준향상 내용을 분석한 결과에 따라 기능회복 또는 수준향상 계획을 작성한다.

② 기능회복 또는 수준향상 계획에 따라 시설개량계획을 수립한다.

③ 기술진단에 따른 수처리시스템의 개량계획을 검토하고 수립한다.

④ 정수장의 유지관리비용을 분석하여 적정 운전조건 및 기기개량 방안을 수립한다.

⑤ 기술진단 결과에 따라 기능저하나 기타 여건으로 부득이 기존시설을 폐지 또는 휴지하거나 용량을 축소해야 할 경우에는 그 사유와 근거를 명확히 제시하고 활용방안 등을 면밀히 검토하며, 이에 대한 계획과 대책을 수립한다.

⑥ 중점 검토사항

- 새로운 정수처리기술의 도입 등 정수처리공정이 개선되도록 한다.
- 부지 여건과 운전상의 편의성을 고려하여 시설물 배치 및 최적화가 되도록 한다.
- 유입수의 수질 및 수량변화에 따라 가변으로 운전되도록 한다.

- 정수처리기기 등 각종 설비의 안전성이 확보되고 성능이 개선되도록 한다.
- 유입수의 수질 및 정수처리의 단계별 수질을 감시하고 제어할 수 있도록 수질측정시스템을 도입토록 한다.
- 원적유량 측정관리시스템과 관압의 과도한 상승, 재해 및 누수사고 등에 대비한 감시제어 시스템을 도입하도록 한다.
- 국내의 특허 및 신기술도입을 적극 검토하여 개량계획에 반영이 되도록 한다.
- 발생슬러지의 감량화 등 배출수처리시설이 개량되도록 한다.
- 수질향상 및 공급의 안정성을 확보하기 위하여 정수처리의 전체 공정에 대한 자동시스템 도입을 검토한다.
- 기타 국내기술이 취약하다고 판단되는 사항은 선진외국기술의 도입을 적극 검토한다.

④ 기술진단 보고서 작성

시설개량사항에 대하여 경제성을 검토하여 상수도시설을 효율적으로 운영하기 위한 사업의 우선순위를 선정하고 수질관리 계획을 포함한 시설개량계획 보고서를 작성하도록 한다.

<표 5.1.4> 기술진단 보고서 작성요령

구 분	기술진단 보고서
기능회복 및 시설개선방안 작성	• 시설별 용량, 수처리 효율 및 연계기능을 종합적으로 검토 하여 기능회복 및 시설 개선방안 작성
종합계획안의 수립	• 시설별 진단에 대한 종합보고서 작성
사업의 우선순위 선정	• 시설 개량시 우선순위와 소요 사업비를 산정
경제성 분석	• 경제성을 분석하여 상수도시설의 효율적 운영방안을 수립
수질관리 개선계획	• 장래 증대되는 수요자의 요구와 수질기준의 강화 및 예산 등을 고려하여 장기적인 관점에서 수질관리 개선계획을 수립

5.1.4 정수시설 운영관리

(1) 운영관리 의의

정수장은 각종 시설 및 설비가 집합되어 하나의 시스템을 구성하고 있다.

운전 제어 대상이 되는 것은 개개의 시설 및 설비인데 정수시스템으로서 얼마큼 효과적이고 경제적으로 운전되는지는 제어 목표 수량, 수질, 약품 등의 관리에 의해 결정된다.

정수시설의 운영은 다음과 같이 크게 3가지로 분류된다.

- 정수처리 개별설비(예, 단위 여과지, 약품 투입기)
- 단위공정 (예, 혼화/응집, 침전, 여과)
- 전체공정 또는 정수장

정수장의 운영은 다음과 같이 대별된다.

- 정수장 가동시작 및 가동중지
- 실공정의 운영

정수장의 빈번한 가동중지는 운영관리에 특별히 주의를 기울여야 한다. 약품 주입시설 등 각 처리공정이 연동이 되도록 구성되어 있다면 연동이 되는 설비 모두가 정상적으로 작동하였는지를 점검해야 하며, 특히 여과지는 여상이 공기에 노출되지 않도록 관리를 해야 한다. 송수시스템에서도 물이 흐르지 않아 생기는 미생물의 재성장 등 2차적인 오염이 없도록 세심하게 수도 전체 공정에 대한 주의가 필요하다.

실공정의 운영은 다음과 같이 4가지의 주요 활동으로 나타낼 수 있다.

- 정수처리공정 및 수질관리
- 약품의 저장관리 및 주입
- 문제해결, 공정개선 및 최적화
- 정수처리설비의 운영

이와 더불어 운영근무자는 단순한 설비의 점검업무까지도 수행해야 한다. 운영근무자가 수행하게 될 위 4가지의 주요활동에 대한 보다 자세한 내용은 다음과 같다. 이는 정수장 운영에 있어서 누구나 알고 있는 사항이나 실제 정수장 운영에서 간과하기 쉽다.

1) 수량관리

정수처리공정의 수량관리는 처리해야 될 목표 수량을 결정한 뒤에 처리 공정의 각 단계에서 수량을 측정하고 목표값과 비교하여 이에 합치시키도록 설비와 장치를 조작하여 수량을 제어하는 것이다.

- ① 원수량, 정수량 등은 급수량을 기초로 결정되는 것인데 이는 수량관리상 특히 중요한 수치이므로 급수량을 충분히 고려하여 결정하도록 한다.
- ② 원수량은 급수량을 기초로 하여 결정되는데 여과지 세정 배수와 배수 처리 후의 물을 반송하여 원수의 일부로 이용하는 경우는 그 수량을 고려해야 한다. 원수량은 취수시설의 관리와 밀접하게 관련되어 있으므로 수량 설정, 갱신 등에 있어서는 해당 부서와 충분한 연락을 취하도록 한다.
- ③ 정수량은 급수량 외에 정수장에서의 작업 용수, 잡용수, 기타 손실수량 등을 고려하여 결정한다.
 - ④ 작업 용수로서는 침전지의 청소용수, 염소주입용 압력수, 기기 냉각수, 기기회전부의 윤활수, 수질측정용수, 시설청소용수 등이 있다.
 - ⑤ 잡용수로서는 정수장내 급수, 청소용수, 분수 등이 있다.
 - ⑥ 정수량은 응집제, 염소제, 산 알칼리제 등의 주입량을 결정하는 기초가 되는 값으로 측정과 제어는 항상 정확히 실시하여야 한다. 특히 정수 처리는 연속된 공정으로 이루어지므로 수량 측정에 차이가 발생한 경우는 수처리 실패로 이어질 가능성이 있으므로 충분히 주의한다.
 - ⑦ 배출수처리에 있어서도 여과지세정배수, 침전지 슬러지, 처리 후의 배출수 및 발생 케이크 등의 량을 측정하여 제어해야 한다.
 - ⑧ 정수처리의 각 단계에서 수량관리를 정확히 실시하는 방법으로는 데이터가 정확히 표시 기록되어 계기에 이상이 발생한 경우에는 알람 등으로 검지 되도록 하여야 한다.
 - ⑨ 수량에 관한 기록은 정리, 보전함과 동시에 수처리량의 추산 등의 기초자료가 될 수 있는

기록은 통계적으로 처리해 두는 것이 바람직하다.

2) 정수처리 공정제어 및 수질의 일상관리

① 처리공정제어 및 일상관리 목적

정수장에서 수질조건과 수량을 연속적으로 만족시키기 위해서 정수처리공정의 제어는 필수적이다. 따라서 원수수질과 수요량의 갑작스런 변동에도 불구하고 정수장에서는 목표수질을 만족하고 수요량을 충족시킬 수 있도록 각 처리공정을 운영하는 것이 공정제어라고 정의할 수 있다.

실제 정수처리공정에서 나타나는 문제는 정전, 기계설비의 결함, 오조작 등으로 이는 즉각적으로 다른 수단을 동원하여 제어하여야 하며 이 때 세심한 주의가 필요하다.

따라서 오조작을 줄이고 일정한 수질의 먹는물을 생산하기 위해서는 정수장의 각 공정별 처리유량은 가능한 한 일정하여야 한다. 반면에 송배수관망을 통해서 공급되는 수량은 수요량에 따라서 크게 변한다. 이때 정수장에 위치한 정수지와 배수지는 정수생산과 공급량의 균형을 맞추기 위해서 완충역할을 하게 된다. 적정용량의 정수지와 관망에 위치한 배수지는 정수생산량의 변동을 최소로 줄이게 될 것이다. 이를 위해서 일간 용수수요예측 및 분석을 통하여 정수 생산자료로 활용하게 된다.

② 관리되어야 할 처리공정 및 수질항목

정수처리공정에서 제어되어야 수리 및 설비의 측정항목은 모든 수조의 수위, 유량(특히 여과지 여과수량) 약품용해 유량, 압력(여과 손실수두, 펌프), 회전수(혼화 및 응집기, 펌프)이며 다음으로 최종처리수(먹는물)의 수질을 관리하기 위한 항목은 먹는물 수질기준항목뿐만 아니라 각 처리공정의 전후 단계의 수질항목도 관리되어야 한다. 완벽한 수질관리 프로그램은 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- 측정되어야 할 수질항목
- 측정이 이루어질 공정 및 위치
- 측정주기
- 측정시간
- 분석방법(결정등급 및 정확도)

수질시험은 가능한 한 현장의 kits 또는 in-line 분석기(연속 모니터링)로 정수장 구내에서 수행하거나 정수장 내 실험실에서 주기적으로 샘플링한 다음 측정이 되어야 한다. 실험은 잘 훈련된 시험사 또는 운영요원이 시행하여야 하며, in-line 분석기는 신속한 상황대처가 가능하므로 고가이긴 하지만 많은 장점을 가지고 있다. 최소한 pH, 탁도 및 잔류염소는 상시 모니터링이 되어야 한다.

③ 수질측정항목

정수시설을 운전하는 데에 필요로 하는 수질 항목은 원수수질의 성상, 정수방법 등에 따라 다르므로 일률적으로 특정 짓기는 어렵다. 예를 들어 통상의 급속여과방식으로는 정수처리공정을 여과지관리와 소독을 중심으로 운영되고 있는 것이 보통이다. 이 경우는 적어도 수온, 탁도, 색도, pH값, 알칼리도, 잔류염소 등을 지표로서 다루고 착수, 혼화, 플록형성, 침

전, 여과 등의 처리 프로세스의 각 단계에서 기준값 또는 관리 목표값과 측정값을 비교하여 적정한 대응을 강구하도록 하여야 한다. 정수 처리의 최종 단계에서는 정수가 냄새, 맛 등의 이상이 없고 수질 기준에 적합한지를, 목표로 하는 잔류염소 농도에 적합한지를 확인하여야 한다. 또한 고도정수처리와 기타 처리를 이행하고 있는 경우에는 각각의 대상 수질 항목에 대해 목표값과 측정값을 검토하여야 한다. 배수 처리에서는 세정 배수, 착수정으로의 반송수, 공공용수역에의 배출수 등의 수질을 측정하여 이들 값과 기준값 또는 목표값을 비교하여 적절한 대처를 한다. <표 5.1.5>에 일반적인 정수처리과정의 수량·수질 측정 예를 나타내 놓았다.

⑥ 수질 측정 간격

수질의 측정 간격은 원수수질의 성상, 정수방법 등을 충분히 고려하여 정해야 한다. 원수수질의 시간 변동이 클 경우에는 약품주입 처리수질의 안정화를 도모하기 위해 가능한 한 짧은 간격으로 수질을 측정하고 상황을 파악하여 처리할 필요가 있다. 가능하다면 수질계기에 의한 연속 측정이 바람직하다(<표 5.1.6>).

<표 5.1.5> 정수처리과정의 수량수질 측정에

측정항목	급속여과방식					완속여과방식				
	착수정	플록형성지	침전지	여과지	정수지	착수정	침전지	여과지	정수지	
수 위	○		○	○	○	○	○	○	○	
원 수 위	○					○				
반 송 수 량	○									
여 과 수 량				○				○		
송 수 량					○					○
손 실 수 두				○				○		
플록형성 상황		○								
수 온	○					○				
탁 도	○		○	○	○	○	○	○	○	
색 도					○					○
냄 새	○				○	○				○
맛					○					○
암모니아성 질소	△		△			△				
총 알 칼 리 도	△		△			△				
잔 류 염 소			○		○					○
염 소 요 구 량	△					△				

○ 일반적인 항목 △ 필요에 따라 측정하는 항목

<표 5.1.6> 정수장 수질자동계측기 자동측정 예

구분	수온	pH	탁도	전기 전도도	알칼 리도	잔류 염소	불소	SCD	입자 계수	TOC	NH ₃ ⁻	조류 측정	COD (UV)	SS	기타
취수정	●	●	●	●	●	○				○					○
혼화지		○			○	○		○							
침전지		○	●			○									
여과지 또는 정수지전단		○	●		○	○	○		○	○					
정수지	●	●	●			●									
가압장						○									
배수지	○	○	○			○									
방류수		●											○	○	

※ 1. 범례: ● 기본설치항목, ○ 추가설치항목

2. 취수장 탁도계는 취수정 도착시간이 1시간 이상인 취수장 또는 광역취수장에 설치하며 취수장과 정수장이 인접한 경우는 설치 불필요.
3. 여과지 “탁도”의 경우 통합여과수 탁도계와 여과지별 탁도계 포함
4. “기타”는 취수원 수질특성상 온라인 감시(망간, 질산성질소 등) 필요시 또는 용수댐의 경우 댐수질관리 목적상 온라인 감시필요시 다항목수질자동측정기 설치운영

㉠ 수질오염물질 유입시 대응

수원수질의 오탁이 진행되고 있는 곳에서는 원수수질은 정수처리과정 뿐만 아니라 급수 수질에도 영향을 미칠 우려가 있으므로 원수수질의 감시는 중요하다. 따라서 수원이 놓여진 환경 조건, 수질 특성을 충분히 고려하여 감시해야 될 수질 항목을 정하고 원수 및 처리 공정의 수질 측정에 만전을 기해야 한다.

또한 수질관리에 대해서는 취·정수장 오염물질 유입시 행동 매뉴얼(환경부 '06)을 참조.

㉡ 정수처리과정 제어항목

수리 및 수질항목을 측정하여 이를 토대로 처리과정에서 일상적으로 제어되어야 할 항목들은 다음과 같다.

- 원수의 선별적인 취수(홍수기 하천수의 탁도 변화 예측 및 취수시점 선별, 저수지의 수심별 수질 모니터링 및 취수지점 선정)
- 약품 주입량
- 기계혼화의 경우 G-value 제어
- 침전슬러지 수집기 속도제어
- 생산량 감소에 따른 펌프제어

- 수리적 부하율 제어
- 여과지 역세척 수량제어

④ 데이터 수집

일상 운영관리를 위한 정보는 여러 가지 방법에 의해서 얻어진다. 공정자동화 및 원격 계측 제어시스템이 도입된 정수장이라면 모든 운영정보가 운영실의 GUI(graphic user interface) 또는 감시제어용 컴퓨터에 표시된다. 그러나 이러한 시스템이 도입되어 있지 않다면, 다음과 같은 관리항목들이 시간별로 기록이 가능한 근무일지를 비치하여야 한다.

- 각 설비나 장치들의 실시간 상태(펌프의 가동상태, 각종 밸브의 개폐여부, 등등)
- 공정상의 실시간 제어값(수위, 압력, 교반기의 회전수, 수온, 유량 등등)
- 최종 처리수 및 각 처리공정 전후의 실시간 수질항목(pH, 탁도, 잔류염소 등)
- 약품저장량 및 약품 용해량 및 농도 등

데이터 수집이 수동으로 이루어진다면 데이터 기록지는 위쪽에 처리공정도(process scheme)를 그려 넣고 하단에 각 공정별 관리항목을 세로방향으로 나열하며, 세로 방향은 시간을 나타내도록 한다. 이러한 sheet에 의한 관리는 시대에 뒤진 것으로 치부할 수도 있으나, 실제 운영 근무자가 공정관리에 보다 더 깊이 관여하게 하며, 일부 전문가에 따르면 이러한 기록활동은 여러 현상에 대한 호기심 유발 등으로 운영관리 업무에 더 큰 매력을 느끼게 한다는 것이다. 제어판에 설치된 기록장치는 연속적인 정보를 제공해주며, 특히 약품이 주입되지 않는 경우에는 보다 더 효과적으로 대응할 수 있는 자료를 제공하게 된다.

데이터의 수집 및 분석은 장기적인 공정제어에 많은 정보를 제공하게 된다. 이는 정수처리공정의 최적화에 매우 중요한 요소이다. 주요 관리항목은 다음과 같다.

- 지하수를 취수하는 경우 취수정 및 관측정의 수위
- 원수사용량 및 정수생산량
- 에너지 소비량(단위 설비 기준, 정수 단위생산량 및 총생산량 기준)
- 약품사용량
- 펌프 및 전기설비의 운전(가동)시간
- 여과시간 및 역세척 횟수
- 역세척 수량
- 수용가의 불만내용 및 민원야기 횟수

⑤ 데이터분석 및 제어

통계적 데이터는 최대, 최소 및 평균값의 테이블 또는 그래프로 나타내어지며, 시계열로 표시되는 과거의 데이터는 새로운 데이터와 비교 검토되어 제어방안을 지원하여 주게 되며, 또한 장래추세를 보여주므로 장기적인 제어계획 수립에 아주 효과적이다.

보다 효과적인 공정제어를 위하여 수집된 정보는 쉽게 가공되고 검색이 가능하여야 한다. 불행하게도 데이터의 가공은 철저히 무시되어 왔다. 그 이유는 많은 시간이 투자되어야 하고 온갖 자료철로부터 조사되어야 하기 때문이다. 따라서 적절한 데이터의 기록유지는 데이터 가공을

위하여 매우 중요하다.

3) 약품의 저장관리 및 투입

운영자는 항상 충분한 양의 약품과 이용 가능한 상태의 약품 용해액을 확보하고 있어야 한다. 약품저장실은 가능한 한 깨끗한 상태를 유지하여야 한다. 비록 먼지를 유발하는 소석회를 취급하는 경우라도 먹는물을 생산하는 정수장의 경우에는 청결이 대단히 중요하며, 이는 수처리 기술자들의 마음가짐과도 직결될 것이다. 큰 덩어리의 약품을 용해하는 것은 분말형태의 약품보다 더 많은 시간을 요구하게 된다. 만약 용해시간이 너무 짧게 적용이 되면 미처 용해되지 않은 약품으로 주입관이 쉽게 막히거나 용해액에 존재하는 부유 입자들에 의해서도 주입관이 막히는 경우가 발생한다. 저장탱크는 저장량을 나타내는 지시계를 부착하여야 한다. 유해한 약품의 월류나 누출이 없도록 주의해야 한다. 공급되는 약품의 질도 점검이 되어야 하며, 이것이 불가하다면 체크를 위한 절차가 개발되어 있어야 한다. 안전수칙은 무조건 따라야 한다. 특히 소독을 위해 쓰이는 염소는 맹독성으로 누출사고는 인체에 치명적이므로 누출사고에 대비하여 중화설비가 필수적이다.

4) 설비의 점검

설비의 자동화 및 원격제어 수준이 낮다면 운영자가 정수장 내 각 공정을 체크하기 위하여 움직이게 되며, 고도의 자동 원격제어시스템을 가지고 있다하더라도 때때로 운영실을 떠나 정수처리설비 점검을 실시하게 된다. 이러한 활동은 주로 근무교대시에 일어나는 일상업무라고 할 수 있다. 이때에 간단한 정비 및 주유 등을 실시하게 된다.

5) 문제점 해결, 공정개선 및 최적화

문제점을 찾아내고, 그 원인을 진단하여서 수리하는 일련의 활동이 정수장 운영 및 유지관리의 매우 중요한 부분이다. 문제점의 탐지는 정수처리공정에서 그 징후를 찾아냄으로써 가능하다. 따라서 문제점의 해결은 다음 두 가지로 분류된다.

- 수질의 문제
- 정수처리설비의 고장

수질문제는 대부분 건설당시 채택된 정수처리방식의 문제로 수질시험실의 도움과 약간의 설비의 수정과 세심한 주의를 기울이게 되면 실제 상당부분 개선이 된다. 따라서 운영관리자들의 정수처리설비의 성능(performance)에 대한 연구가 매우 중요하다.

펌프와 같은 설비들의 진단과 효율성 평가 등은 일상적인 유지관리 업무가 아니며, 점검정비부서의 유지관리 전문가에 의해서 수행된다.

(2) 정수처리공정의 시간지연(time lag)

원수 수질이 변동된 경우 이에 맞추어 약품 주입률을 변경해야 하는데 반응시간이나 체류 시간, 수질계기로의 채수이송시간 등의 관계로 그 효과를 구체적으로 확인할 수 있을 때까지 어느 정도의 시간적 지연이 발생한다. 그러므로 이를 가능한 한 짧게 하여 그 결과를 확인해 나가면서 약품의 적절한 주입관리를 실시하는 것이 중요하다. 시간지연을 짧게 하는 방책으로서는 주입점과 채수장소의 적정배치, 채수이송시간의 단축 등을 생각할 수 있다.

약품 주입의 자동제어방식에는 피드백 제어, 피드포워드 제어 등이 있는데 이들의 자동제어방식을 채용하는 경우도 타임래그의 단축화는 중요하다 할 수 있다. 피드백 제어는 처리 공정에서의 수질측정값과 목표값과의 편차를 검출하고 이들을 일치시키도록 약품 주입률을 자동으로 정하는 제어방식이다.

이에 비해 피드포워드 제어는 원수수질의 측정값을 바탕으로 그 수질 변동의 영향도를 미리 예측하고 목표값과의 편차가 발생하기 전에 약품 주입률을 자동수정 하는 제어방식이라 할 수 있다.

이러한 제어를 위해서는 원수수질 조건에 배수 송수 조건, 기상 조건 기타 조건을 갖춘 기구를 사용해야 할 것이다.

일반적으로는 피드포워드 제어는 단독으로 이용하는 경우는 드물고 피드백 제어와 같이 사용하게 된다.

(3) 저수온, 저탁도시의 운전관리

겨울철에 저수온 현상이 일어날 때, 황산알루미늄의 단독 주입 또는 알칼리제를 사용한 경우에도 플록 형성 상태가 나쁘고 침전수 탁도를 저하시키지 못해 여과수에 탁질이 누출되어 있는 경우가 있다.

이러한 경우에는 소석회, 수산화나트륨 등의 응집 보조제를 사용하여 플록 형성을 촉진시켜 플록을 붕괴되기 어려운 상태로 만들어야 한다. 또한 황산알루미늄 대신에 폴리염화알루미늄을 사용하면 저수온시에도 응집 효과가 뛰어나다. 이 경우에는 일반적으로 응집 보조제는 병행하여 사용하지 않는 경우가 많다.

저탁도 원수를 처리하는 경우에는 직접 여과를 이용하면 효과적이다.

직접 여과는 저탁도 원수에 소량의 응집제를 주입한 후 플록 형성과 침전처리를 거치지 않고 직접 여과하는 방식이다.

혼화지나 플록 형성지, 침전지는 단순히 수로로 이용하고 여과지 바로 앞에서 응집제를 주입·혼화시켜 플록을 성장시키지 않고 미세한 상태 그대로 여과지로 유입시켜 여과지에서 플록화하여 탁질을 제거하도록 한다.

그러나 원수가 저탁도가 아닐 때나 저탁도일 때에도 조류가 많을 경우는 여과 폐색이 현저하게 나타나므로 통상의 처리방식으로 처리해야 한다.

또한 저탁도시에도 응집 작용을 이용해 불순물을 제거해야 하므로 응집제 주입은 불가결하다.

(4) 고탁도시 운전관리

원수가 하천 표류수인 경우 홍수시 등에는 고탁도의 영향을 직접적으로 받으므로 그 대응이 필요하게 된다.

1) 정보수집과 탁도상황 파악

기상정보 수집에 관심을 갖고 원수의 탁도 상황을 항상 파악한다.

원수탁도가 상승할 때와 하강시에는 탁질의 성상이 다르고 처리성에 큰 차이가 나타난다. 따라서

원수의 수질상황을 계속적으로 파악하는 것이 바람직하다. 원수 탁도를 계속적으로 계측, 기록할 수 있는 자동 수질계기를 이용하면 효과적이다.

하천의 원수 취수지점보다 상류의 탁도 상황을 파악하면 유입되는 탁도 변화를 예측할 수 있으므로 다음과 같은 방법으로 처리하고 있는 경우도 있다.

① 직원을 상류에 파견시켜 수질측정을 실시, 무선 또는 전화 등으로 측정 결과를 정수장에 연락한다.

② 상류에 있는 정수장에 수질측정결과를 전화로 문의한다.

③ 상류에 있는 정수장의 원수수질계기의 측정값을, 직접통신회선 가능한 설비로 정비한다.

이 경우 상류의 정수장이 다른 수도사업자의 시설이라면 합의를 얻은 후에 협정하여 실시하게 된다.

홍수시의 고탁도 패턴은 강우 조건 다르므로 특정짓는 것은 어렵고 과거의 홍수시의 변화를 데이터베이스화하여 둔다면 어느 정도 예측은 가능할 것이다.

2) 알칼리제의 주입, 응집제 변경

원수의 수질상황에 따라서는 다음과 같은 알칼리제의 주입이나 응집제의 종류와 주입률 변경 등이 필요하게 된다. 하천 유량이 증가하고 원수 탁도가 상승하고 있는 경우에는 일시적으로 알칼리도가 증가한 후 탁도 상승에 따라 알칼리도가 감소한다. 이 경우 가성소다 등의 알칼리제의 주입이 필요하게 된다.

또한 통상은 황산알루미늄을 사용하고 있고 폴리염화 알루미늄 주입설비를 병설하고 있는 경우에는 응집제를 변경하여 대처하고 있다.

폴리염화 알루미늄은 고탁도, 저알칼리도, 저수온에 유효한데 고탁도시에 알칼리도가 높은 경우에는 황산알루미늄보다도 응집 효과가 떨어지는 경우도 있으므로 주의하여야 한다.

한편, 원수탁도 하강시에는 탁질입자가 매우 작아져서 침강되기 어렵게 되는데 이러한 경우에는 탁도 상승시보다 필요 이상으로 응집제를 주입하게 된다. 따라서 원수탁도 상승시 또는 하강시 등, 그때 그때에 걸맞는 응집제 주입률을 자 테스트로 확인할 필요가 있다.

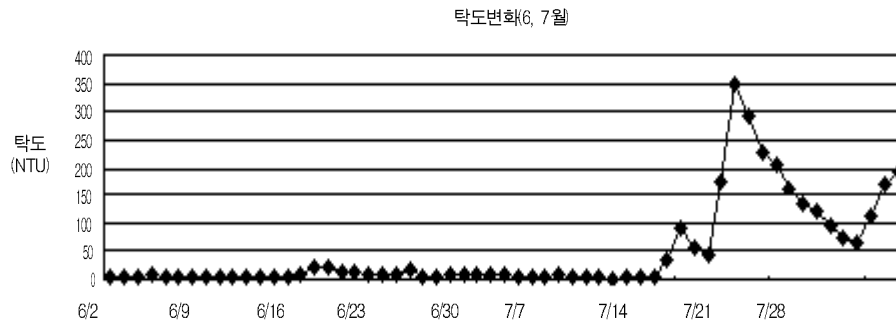
3) Peak cut에 의한 대응

정수장 취수능력과 배수지용량에 여유가 있는 경우는 원수의 고탁도시에 일시적으로 취수를 정지 또는 저감시키고, 탁도가 어느 정도 저하된 후 취수를 평상시로 되돌린다는 피크 컷에 의한 대응이 있다.

이 외에도 정수장에서 정수를 융통시킬 수 있는 경우에는 고탁도 원수 취수를 정지 또는 저감시킬 수 있다. 이 경우에는 원수 및 정수의 상호용통 등의 수운용시스템이 정비되어 있어야 한다.

피크 컷이 가능하다면 정수장 내에 포함된 탁질량을 저감시킬 수 있으므로 응집제 등 약품 주입량을 줄일 수가 있고 배출수처리공정의 부담도 줄일 수가 있다.

원수탁도변화의 상황 예로써 팔당호를 원수로 사용하는 정수장의 실례를 <그림 5.1.7>에 나타내었다.



<그림 5.1.7> 원수탁도 변화 현황

4) 배출수처리시설의 운전강화

원수고탁도시에는 통상의 몇 십 배에 달하는 탁질이 정수시설 내에 유입되게 된다.

때문에 침전지의 슬러지 배출작업과 배출수처리시설의 운전을 원활히 하지 않으면 수처리에 중대한 지장을 주게 된다. 배출수처리시설은 일반적으로 설계상 어느 정도의 여유를 지니는데 고탁도시의 운전강화(연장운전)를 필요로 하는 경우가 많다.

(5) 공정관리를 위한 최적채수위치

정수장의 수질 측정을 목적별로 구분하여 보면 다음의 5가지 항목을 들 수가 있다.

- ① 응집제, 알칼리제, 염소제 등의 약품의 적정 주입량을 판단하는 것
- ② 원수에서 정수까지의 수처리공정의 수질을 감시하는 것
- ③ 수질기준에 적합한지를 확인하는 것
- ④ 배출수처리공정 수질을 감시하는 것
- ⑤ 장외로의 배출수의 수질 감시를 위한 것

수질 측정은 수동적 분석법과 수질계기를 사용하여 연속적으로 실시하는 경우가 있는데, 이들 방법 모두 상기의 목적에 따라 적절한 채수 위치를 선정하는 것이 중요하다.

예를 들어 원수의 수질을 정확히 파악하기 위해서는 분말 활성탄이나 알칼리제가 주입되기 전단계에서 배수 처리시설로부터의 반송수가 유입되기 전에 채수 되어야 한다.

채수위치 선정시의 유의점으로는 다음의 사항이 있다.

1) 통상의 정수처리 공정관리에 필요한 채수위치

- ① 각 공정 도중 경과를 대표할 수 있는 지점으로서 플록 형성지에서는 약품이 충분히 혼화되어 효과가 확인되는 장소, 처리 결과를 확인할 수 있는 위치로서는 침전수거, 여과수거, 정수지출구 등이 있다.
- ② 여과수에 탁질이 누출되는 경우는 어느 여과지로부터 누출되고 있는지를 확인하기 위해 개개의 여과지의 유입점, 유출점에서의 채수가 필요하다. 따라서 각 여과수의 인출관에는 채수전을 설치해 두는 것이 바람직하다.

- ③ 체류등이 없고 침전물 등의 영향이 없는 표준적인 유속을 지닌 장소로 한다.
- ④ 정수처리 공정이 몇몇의 독립된 계통으로 나누어져 있는 경우는 각 계통마다에 채수 장소를 설정하는 것이 바람직하다. 일상적인 정수처리 공정관리를 위해서는 수질 계기에 의한 연속 측정이 바람직하다.

2) 수질계측기의 설치점

수질계측기로 연속 계측하고 그 데이터를 중앙관리실 등에 전송하여 감시나 자동제어시스템에 이용하는 예가 점점 늘어나고 있다.

수질 계측기는 채수지점 가까이 있는 지점에 설치하는 현장 설치방식과 채수 지점에서 떨어진 수질시험실 등으로 송수하고 집중적으로 계측하는 중앙 집중 설치방식이 있다.

현장 설치방식은 계측 데이터의 시간 지연이 적고 약품 주입 제어로는 안정된 제어가 가능하므로 원수 수질의 시간적 변동이 큰 경우에는 바람직한 방식이다. 그러나 측정점이 분산되어 있는 점, 설치 환경이 반드시 양호하지만은 않다는 점 등 보수 점검상에 문제는 있다.

중앙 집중 설치방식은 계기의 설치 환경이 양호하고 집중적으로 유지 점검이 가능하다는 이점이 있다. 그러나 채수관의 관경이 너무 작은 경우나 반대로 너무 큰 경우는 채수관 내로 이송되는 사이의 수질 변화(특히 암모니아성 질소나 탁도 등)와 관 막힘이나 파손, 펌프 고장 등 계측에 지장을 초래하는 경우도 있다.

수질계측기 설치 장소는 진동, 충격, 진개, 습도, 부식가스(염소, 오존)등이 적고 직사 일광이나 비를 피할 수 있는 곳에 둔다. 수질계기는 일반적으로 구조나 원리 등이 복잡하므로 충분한 보수 점검을 실시하도록 해야 한다. 채수관 세정은 관내에서의 수질 변화를 방지하고 스케일 부착에 의한 막힘을 방지한다는 점에서 중요하다. 세정방법은 일반적으로 압력수에 의한 방법, 스펀지 볼로 세정하는 방법 등이 있다.

세정은 오염 상황에 따라 적절히 시행하여야 한다.

(6) 정수장의 운전 정지, 재개

정수장내 공사 기타의 이유로 정수장의 운전은 전체 또는 부분적으로 정지하거나 재개하는 경우가 있는데 정지, 재개시에 주의해야 할 사항은 여러 가지이지만 몇몇 주요 사항을 다음에 나타내 보았다.

- 1) 정지 기간의 길고 짧음에도 의하지만 정지 기간을 이용하여 평상시 운전시에는 실시가 곤란한 시설·설비의, 점검·정비, 청소, 보수 등의 작업 계획을 미리 작성하여 작업한다.
- 2) 장기간 정지하는 경우는 사용 약품이 주입기나 배관 내에 잔류하지 않도록 충분히 물 세척을 실시한 후 잘 건조시켜 두어야 한다.
- 3) 전기설비를 장기간에 걸쳐 정지하는 경우는 절연 저하가 나타날 우려가 있으므로 사전에 방습 조치를 하거나 잘 말려 둔다.
- 4) 침전지 사용을 일정 기간 정지하는 경우는 저수지 내의 물 부식과 조류에 의한 부착된 냄새등에 주의한다.

- 5) 일정기간 정지 후에 플록큐레이터를 기동할 때에는 슬러지량이 많으면 장치가 파손될 우려가 있다.
- 6) 경사판식 침전지의 수위를 급격히 내리면 침강장치에 퇴적된 슬러지의 무게로 장치가 파손될 수도 있으므로 수위를 서서히 저하시켜야 한다.
- 7) 완속여과지를 일정 기간 정지시키는 경우는 배수시켜 사면을 깎아둔다.
- 8) 급속여과지를 2~3주간 정도 정지하는 경우는 여과 모래가 건조되어 망간 등의 박리를 방지하기 위해 여과지의 물은 빼지 않고 모래층 위까지 물을 남겨두는 것이 좋다.
한편, 정지 기간이 장기화될 때에는 여과층 내에 미생물이 발생하고 여과층이 무산소 상태가 되는 등 악영향이 나타나므로 물을 빼두어야 한다. 또한 재개시에는 여과지 세정을 충분히 실시한다.
- 9) 생물처리설비나 생물 활성탄 흡착설비 등은 운전 재개시에 사전 준비기간을 포함해 둔다.
- 10) 재개시에는 각 배관류의 공기 제거 및 충수 상태를 확인한다. 장기간 정지 후에는 기계류의 윤활유나 펌프축대수가 말라 사고가 유발되는 수도 있으므로 운전 재개시에는 사전에 급유나 급수 및 시험운전을 실시해야 한다.

5.1.5 정수시설 시설관리

(1) 공정별 시설 점검기준

정수장은 먹는물을 생산하기위한 각종 수리구조물(토목, 건축)과 기계, 전기, 제어설비 계측기기 등으로 구성되어 유기적으로 운영되는 종합시스템으로 정수장운영 중 발생하는 예기치 못한 사고 예방과 시설가동에 따라 필연적으로 발생하는 설비나 소모성 부품의 적당한 교체시기 선택을 위한 일상, 정기, 특별점검 등을 통하여 정수 공정별 각 시설의 당초 기능 또는 성능을 발휘할 수 있도록 유지관리 하여야 한다.

시설물 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 점검, 정비 등의 방법을 표준화하여 실시토록 하며 현장에서의 운전, 점검, 정비과정에서 얻어진 수많은 경험과 지식을 비교, 검토하여 점검표 작성 등에 반영한다.

1) 점검기준

공정별 시설점검 기준은 각 공정별 당초 시설 또는 설비의 설계 기능 또는 성능을 발휘할 수 있는 지 여부를 기준으로 이상 유무를 점검하는 것으로 주 내용으로는 점검종류, 점검주기, 점검방법, 점검항목 및 기타 필요한 사항으로 한다. 위 점검기준의 세부내용은 정수장별로 대상 시설의 규모, 설비의 종류, 운영방법, 설치 경과기간, 시설의 자동화정도, 운영인원수 등을 고려하여 각 정수장시설 상황에 맞게 기준을 설정하여 점검이 이루어 질 수 있도록 한다. 정수장별로 설치된 시설물이나 설비, 장치들이 같은 목적(기능)이 있더라도 제조사에 따라 상이하므로 정해진(제조사 및 설치자 유지관리지침 등) 점검기준에 따르도록 한다.

－ 점검: 시설, 설비, 장치 등의 기능과 작동상태 등에 대하여 정상여부를 조사 확인하는 행위로 그 결과에 근거하여 정비, 보수 등을 행한다.

- 정비: 시설, 설비, 장치 등의 기능을 유지하기 위하여 분해, 정비, 소모품교환 등을 행한다.
- 수리: 설비나 장치 등의 고장을 복구한다.

2) 점검종류

점검의 종류는 일반적으로 점검주기에 따라 다음과 같이 구분한다.

① 일상점검

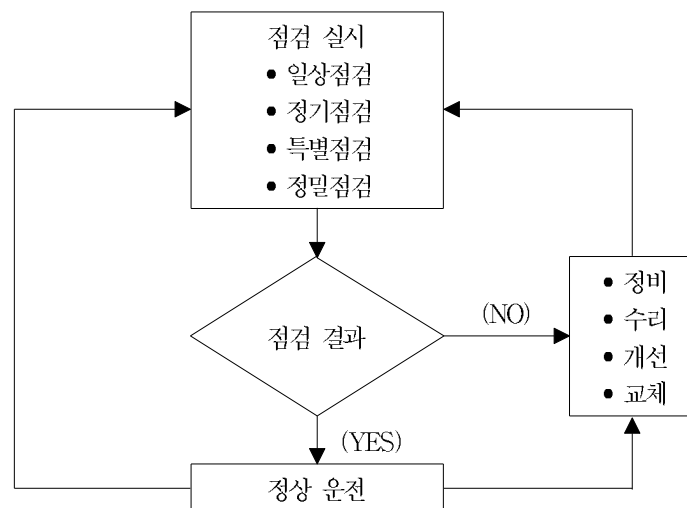
일상점검은 주로 육안검사 및 간단한 계측기를 이용하여 매일 또는 일주일을 주기로 시설·설비를 현장에서 점검(외관, 이상소음, 진동, 취기, 온도, 누수여부, 동작상태 등) 체크리스트방식 등으로 점검하도록 한다. 현대화 자동화된 시설의 경우에는 효과적인 점검을 위하여 중앙(통제)감시실 등에서 감시·제어되는 각종 시설의 작동상태 등을 나타내는 각종 시설가동 일지 등의 데이터를 사전 검토 후 이상 부분에 대하여 현장 점검시 반드시 확인한다.

② 정기점검

정기점검은 월 또는 분기, 반기, 연 주기로 일상 점검시 확인할 수 없는 사항으로(수중에 설치 작동되는 장치 등 쉽게 접근이 아니 되는 부분 등(예; 혼화지, 플록형성지, 침전지 등 주기적인 청소시)과 일상점검에서 반복적으로 이상이 지적되는 부분에 대하여 시설 운영에 지장이 없는 한도 내에서 설비를 일시 정지시키거나 하여 일제정비 계획을 수립하여 점검하도록 한다(분해 정비를 통하여 소모성 부품 등 교체). 각 시설별 세부기준은 제조 및 시공사 등에서 정해진 점검주기 및 방법에 따라 점검·정비한다.

③ 특별점검(긴급)

특별점검은 운영과정에서 예기치 못한 고장 발생으로 갑자기 설비 작동이 중단된 경우 또는 계절별 특성(하절기 우기, 동절기 동결 등)에 따라 발생하는 상황에 대비하여 각 정수장 상황에 맞게 점검을 실시한다.



<그림 5.1.8> 시설물 점검 및 유지관리 흐름도

<표 5.1.7> 정수장시설물의 법적검사 예

시 설 물	관 련 법	대 상	검사주기	비고
전기	전기사업법	수전설비(75kW 이상)	3년	
가스	<ul style="list-style-type: none"> 고압가스안전관리법 도시가스사업법 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 	가스시설(저장, 사용)	1년	
구조물(토목, 건축)	시설물안전관리에 관한 특별법	1, 2종 시설	반기 회	
소방	소방법	동화재탐지기, 옥내소화전설비, 스프링클러 등	1년	
기계·기구설비 등	산업안전보건법	크레인(3톤 이상), 압력용기 등	2년	

※ 대상, 검사주기, 검사방법 등 세부 내용은 관련법 내용 참조

<표 5.1.8> 응집·침전지 설비 점검기준 예

설비명	점검 종류	점검 주기	점 검 항 목	점검방법	비고(손상시)
응집, 침전지	일상	매일 (필요시)	<ul style="list-style-type: none"> 중양제어실 각 기기 정상작동상태 모니터링(경보발생 여부 등) 중양제어실 가동일지 확인 (각종 데이터 이상여부 확인) 	확인	
			<ul style="list-style-type: none"> 응집, 침전지 수질 상태 각종 기기 작동상태 확인 <ul style="list-style-type: none"> 이상 소음, 진동발행 유무 외관 상태(도장, 체결 상태 등) 베어링 온도, 윤활유량 등 연결부위 누수여부 	현장관찰기록 (체크리스트)	면밀히 관찰 후 수리여부등 결정
	정기	반기 (1회)	<ul style="list-style-type: none"> 수중의 설치기기 상태 확인 (플록형성지 패들, 슬러지콜렉터 등) <ul style="list-style-type: none"> 도장부위 및 부식 정도 회전부 마모, 연결부 체결상태 등 감속기등 구동장치 윤활유, 그리스 구조물의 균열여부 점검 	정기적인 침전지 청소시 관찰 확인	부품 교체, 보충, 수선
		매년	<ul style="list-style-type: none"> 감속기 등 구동장치류 등 모터류 절연저항 등 측정 	핵심부품 제외한 분해 정비	부품 교체, 수선
	특별 (긴급, 수시)	필요시	<ul style="list-style-type: none"> 일상, 정기검사 항목과 동일 고장발생시 고장원인 정밀조사 	관찰 또는 측정장비 사용	
	정밀	필요시	<ul style="list-style-type: none"> 동일고장이 반복적으로 발생시 전반적인 설비의 기능, 성능 등이 떨어질 때 	수리공장에서 분해점검 및 실험측정	개선, 개량, 교체 등 대처방안 결정

※ 점검시 발견되는 기기의 손상에 대하여 대체할 예비 장비가 없을 때는 즉시 응급조치를 실시하여 고장의 확대 재생산을 방지하여야 한다.

④ 정밀점검

일상, 정기점검 등에서 반복·계속적으로 지적되는 시설물 등에 대하여 시설물 개선, 개량 또는 교체 등을 위하여 년 또는 수년 단위로 계획을 수립 점검 한다. 정밀점검의 경우 자체 점검이 불가능한 경우로서 수리공장 또는 실험실 등에서의 기기의 분해점검 및 실험측정 등으로 대부분 용역위탁 등으로 고액의 예산이 수반되는 경우가 대부분이다.

⑤ 의무검사(법적 점검)

관련법에 의하여 의무적으로 점검(검사)하여야 한다고 규정되어진 검사로 시설의 규모, 설비종류별, 설치 경과년수 등에 따라 점검주기나 내용이 달라지므로 관련법령의 내용을 충분히 이해하는 것이 중요하다(합격, 불합격 등 점검결과에 따라 시설물 운영이 중단 되는 경우가 있을 수 있으므로 점검 전 사전 준비를 철저히 하여야 한다).

(2) 예방점검과 사후관리

일반적으로 정수시설 운영 중 이루어지는 모든 점검(일상, 정기, 특별점검 등)은 예기치 못한 사고를 미연에 방지할 목적과 작은 결함 등에 의한 고장의 확대 재생산 방지 및 노후시설물의 수명연장 등을 통하여 안정적인 수돗물 생산과 공급을 위한 가장 효율적인 시설물 유지관리방법의 하나라고 할 수 있다.

1) 예방점검

예방점검은 위에서 열거한 점검 외에 시설물 또는 설비가 가지고 있는 각각의 life cycle time에 따른 경과시간 도래 전에 성능 또는 기능발휘상태 등을 신뢰성 이론, 시계열분석, 통계학적 방법 등을 통한 과학적 상태진단·분석으로 잔여수명을 예측하여 정수장 유지관리자로 하여금 시설물, 설비 또는 부품의 보수·교체시기를 결정하기 위한 예방점검을 실시함으로써 다음과 같은 효과를 얻는데 목적이 있다.

① 적정 유지 보수에 의한 시설물 또는 설비의 수명연장

- － 현재 상태 유지를 위한 보수
- － 당초 상태 복구를 위한 보수

② 시설물 또는 설비의 적정한 개선·교체 시기 선택

③ 시설물 및 설비의 상태진단·평가로 운영의 신뢰성 확보

당초 제작사의 설계내용을 현장 운영상태(운영조건, 가동 정도 등)와 면밀히 대조 비교 및 과거 수리 관련기록 등을 파악화하여 장기간 유지관리 보존하여 예방점검의 기초자료로 활용한다.

2) 사후관리

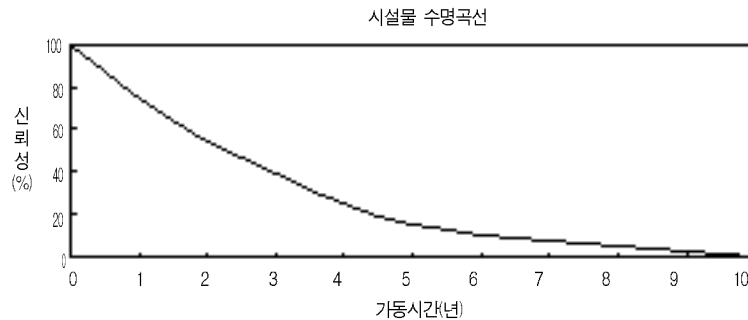
정수시설 운영 중 발생한 고장 또는 점검시 발견된 손상, 이상 증상 등은 정밀조사를 실시하여 그 원인을 규명하고 제거하여 재차 같은 고장이 반복되지 않도록 조치하여야 한다.

사후관리를 위해서는 설비기기뿐 아니라 중요 부품의 내구성 등을 정확히 파악하여(구입에서 운영, 교체시까지) 기존 점검자료와 수리 또는 정비과정에서 축적된 자료를 분석하여 그 결과를 데이터베이스화하는 등 체계적으로 관리하여 예방 점검 및 시설물 운영에 적극 활용될 수 있도록 하여야 한다.

- ① 구입관련 자료(제작사, 시공사, A/S연락처, 가격, 제작, 구입년도 등)
- ② 설계자료(도면, 시험성적서, 유지관리서 등)
- ③ 점검자료(운영 중 각종 점검자료)
- ④ 보수·정비 관련 자료(원인, 시기, 횟수 등)
- ⑤ 교체(총가동시간 등 교체 전까지의 운영자료)

<표 5.1.9> 시설물 정기안전점검 예

분야	점검내용	점검결과		발생(건) 시기	유형	크기	비고 (위치, 상태, 조치내용)
		없다 (양호)	있다 (불량)				
건 축 분 야	☐ 바닥 포장부위 침하 및 균열 현상						
	☐ 건물전체의 부동침하 현상						
	☐ 외부 옹벽(축대)의 균열 현상						
	☐ 하수관로 및 맨홀의 배수, 청소상태						
	☐ 외벽의 전도 위험 부위						
	☐ 옥외 간판의 고정상태						
	☐ 외벽 타일의 탈락 부위						
	☐ 외벽 모르타르 또는 콘크리트의 탈락부위						
	☐ 외벽 창문 유리의 파손						
	☐ 옥상 루프 드레인의 상태						
	☐ 옥상의 하중(물건)의 과적 여부						
	☐ 옥상과 패러펫의 균열						
	☐ 외벽 벽돌 줄눈의 경사 방향의 균열						
	☐ 외벽의 백화 현상						
	☐ 내부 창, 문의 작동 상태						
	☐ 건물 내부의 진동 여부						
	☐ 천장재(텍스류)의 탈락 및 갈라짐 상태						
	☐ 벽지 및 천장지가 찢어진 곳 유무						
	☐ 실내의 하중(물건)의 과적 여부						
	☐ 건물에서 똑똑하는 소리						
	☐ 녹물이 흘러나오는 곳의 유무						
	☐ 코킹이 갑자기 떨어진 곳의 유무						
	☐ 외부 석재에 균열 또는 변형 유무						
	☐ 슬래브, 보, 기둥, 벽체의 들뜬 현상						



<그림 5.1.9> 시설물(제품) 수명곡선 예

(3) 기존시설의 개선, 개량, 증설

일정기간 정수시설을 운영하다 보면 반복적으로 발생하는 문제점, 시설의 노후화, 장래 급수량의 수요증가, 먹는물 수질기준의 강화, 유지관리비용 절감 등의 여러 요인으로 인하여 기존설의 개선, 개량, 증설은 필연적으로 요구되어 지는 추세로 대부분의 경우 막대한 예산을 수반하는 경우로서 면밀한 조사와 검토, 사업계획 수립 등 철저한 준비 후 실시하여야 한다.

1) 개선, 개량, 증설 규모에 따른 주요 검토사항

① 소규모(부분적 설비교체 등)

- ① 가동되고 있는 기존시설의 당초 설계의도를 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 시설 개선, 개량을 시행하도록 한다.
- ② 기존시설의 처리능력과 효과를 저하시키는 요인이 발생되지 않도록 한다.
- ③ 기존시설과의 융통성이 원활하고 운전 및 관리가 용이하도록 한다.
- ④ 유지관리비용이 최소화되도록 한다.

② 대규모(증설 또는 공법변경 등)

① 타당성 조사 실시

- － 기존시설의 문제 원인 조사
- － 개선, 개량, 증설검토(기능별, 대안별, 타정수장의 사례조사)
- － 개략비용 및 기간 조사
- － 경제성 검토(비용 대 효과 분석)
- － 기타(처리공정 변경시에는 예상되는 문제점 도출을 위하여 모형실험 등 실시)

② 사업 계획 수립

- － 목적
- － 범위(장래 수요 고려)
- － 처리공정방법(또는 종류)의 확실성·신뢰성 확보
- － 기존 시설의 처리공정과와의 조화성
- － 사업기간(증설시 관련 법규상의 이행절차 등 고려)

- － 재정 확보 계획
- － 공사시 대체방법 강구
- － 기타

5.1.6 정수시설 안전관리 및 재해대책

(1) 안전관리 및 재해대책 중요성

정수장은 주위 환경의 변화와 관계없이 항상 안전한 물을 충분히 생산 공급하기 위해서는 시설물의 안전관리 및 재해대책은 무엇보다 중요하다.

정수장에 관계되는 주요 위험요소들은 자연재해로서는 태풍·홍수·호우·폭풍·폭설·가뭄·지진·황사·적조 등과 인적재난으로는 화재·붕괴·폭발·화생방사고·수질환경오염사고 등과 국가기반재난으로 에너지·통신 등이 있다(“국가안전관리집행계획(환경부) 참조”).

정수장의 안전관리 및 재해대책은 정수장이 위치한 지역 특성 및 규모, 시설의 노후화 정도, 자동화정도(정보통신 기술의 발달로 원격 무인운전 시설 증가 추세) 등의 각각의 정수장들이 지니고 있는 특성을 고려하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능저하 상태 등에 대한 적절한 안전조치를 취하여 재해 및 재난을 예방하며 시설물의 안전과 효용성을 증진시키기 위하여 체계적인 안전관리 및 재해대책을 관리할 필요가 있다.

(2) 수질사고

정수장 수질사고의 원인별로 보면 다음과 같은 여러 유형이 있는데 예기치 못한 각종 수질오염사고 또는 수질기준 초과 등의 사고발생시 정수장에서의 응급조치 및 행동요령을 체계화하여 효과적으로 수질사고에 대응할 수 있도록 사전에 철저히 대비하여야 한다.

1) 계속적인 가뭄 등으로 인한 원수수질악화

원수수질의 악화에 대해서는 수원지의 수질 동향조사를 기초로 하여 현상을 정확히 파악함과 동시에 향후 어느 정도까지 악화가 진행될 것인지, 특히 문제가 되는 수질항목이 무엇인지 등을 사전에 예측하여(과거 취수원 수질자료 등을 활용) 취수지점 변경 및 취수중단 여부 등 대처 방안을 강구한다.

2) 유해물질의 유입시(재난, 사고 및 테러 등으로 인한 수질악화)

독성물질 등 고농도의 유·무기물질 유입을 감시하기 위해 자동수질측정시스템 등 적용 가능한 각종 경보시스템을 구축·운영한다.

수질정량분석결과 원수 수질기준을 계속 초과하여 정상적인 정수처리가 곤란하다고 판단되는 경우 취수중단 및 비상취수체계 수립 등 대처방안 강구(취수지점 변경, 고도처리방안 강구 등) 계속적으로 정수처리를 하여도 먹는물 수질기준을 현저히 초과 할 것이 판단될 때에는 급수 중단 등의 조치를 취한다.

3) 정수장시설의 파괴·파손시(재난 및 테러 등으로)

정수장시설의 파괴·파손에 의한 수질사고 발생시 사고범위의 신속한 확인 및 시설의 중요도를 고

려하여 복구운선순위를 선정하며 사전 지정된 긴급복구 협력업체, 수리업체를 활용한 신속한 복구를 할 수 있도록 응급복구대책을 사전수립 사고에 대비하도록 한다.

시설물 파괴로 공정별 약품투입이 비정상적으로 투입되었을 경우 등 정상적인 정수처리를 하여도 먹는물 수질기준을 현저히 초과되어 단수조치가 불가피할 경우 복구에 소요되는 예상시간을 추정하여 급수구역 내 홍보하며, 복구 완료 후 수도시설 재가동시 반드시 수질의 안전성 여부를 확인 한 후 재공급하여야 한다.

4) 정수장 시설물 운전 오동작, 조작으로 인한 사고

정수장 현대화로 자동화된 설비의 경우 기기의 오작동 또는 운전자의 조작미숙으로 약품의 과다·과소 투입으로 수질이 악화되는 경우가 있으므로 원격지 무인운전시설의 경우 통신상태 불량 등의 원인으로 자동수질 계측값이 허수 또는 계측센서의 정비 불량 등으로도 발생될 수 있으므로 근무자는 공정별 수질 계측값을 정상값과 비교 대조를 통하여 이상 유무를 확인하여야 한다.

5) 정수장 수질사고시 대처요령

- ① 수질사고 발견(신고접수) 즉시 현장 확인
 - ② 응급조치 실시(사고원인물질의 확산방지 및 차량 사람 접근제한 등)
 - ③ 원인물질 파악을 위한 시료채취 및 분석
 - ④ 사고대책반 구성 관계기관 상황전파 및 공조체제 유지
 - ⑤ 복구 완료시까지 주요상황 기록유지
- ※ 먹는물 수질사고시의 상세 대응방법 및 요령은 『정수장 내 오염물질 유입시 행동요령』[환경부] 『식용수 분야 위기대응 매뉴얼』-[환경부, 건설교통부] 참조할 것.

(3) 고압가스안전관리

정수장에서 고압가스안전관리는 수도물 생산과정에서 병원성 미생물의 증식 억제 및 살균에 널리 사용되고 있는 염소가스(고압가스)에 대하여 현장에서 운영 중 발생될 수 있는 위험을 방지하고 발생된 피해는 최소화하는데 안전관리의 목적이 있다.

※ 고압가스시설물의 설치, 운영, 유지관리(검사)는 『고압가스안전관리법』 규정에 따른다.

1) 안전관리교육 프로그램 운영

염소가스설비는 사고발생시 극히 위험하므로 반드시 제조사의 설비취급지침서나 설계자가 작성한 운전과 유지관리지침서에 따라 행하여야 하며, 정기적으로 고압가스에 대한 안전관리 교육계획을 수립 전 직원이 설비사용법뿐 아니라 안전장비사용법 및 사고대처방법 등에 대해서도 충분히 훈련이 이루어지도록 한다.

2) 고압가스 사용시 주의할 사항

- ① 저장시 주의사항
 - 용기 저장실에는 화기나 발화성 물질을 놓아두지 않는다.
 - 저장실 및 투입기실에는 가스누출 탐지 및 경보장치를 설치되어야 한다.
 - 용기는 반드시 법령에 의한 각종 검사에 합격한 것을 사용하며 1톤 용기는 2단 이하로 적재

- 하고 반드시 용기 고정용 가대 및 정지목으로 고인다.
- 밸브를 확실히 잠그고 밸브 보호용 캡을 씌운다.
 - 용기는 직사광선을 피하고 하절기에는 40℃ 이하로 유지하며 동절기의 혹독한 기상조건에는 가온시설을 설치 공급 장애가 일어나지 않게 한다.
 - 충전 용기는 사용하지 않는 상태로 장기간 방치하지 않으며 빈 용기와 구분하여 저장한다.

<표 5.1.10> 고압가스안전관리 점검 예

구분	점 검 사 항				점검기준	점검	확인	조 치 사 항			
염 소 투 입 실	시량계 작동상태				정상여부						
	압력계 작동상태				정상여부						
	각 집합부 부식상태				정상여부						
	보조밸브 및 연결관 누설 여부				정상여부						
	누설 경보기 작동상태				정상여부						
	긴급 차단밸브 작동상태				정상여부						
	급수펌프 작동상태				정상여부						
	호이스트 작동상태				정상여부						
	계근기 작동상태				정상여부						
	염소용기 및 배관도색 상태				정상여부						
	염소투입량 적정여부				정상여부						
	전염소 작동상태				정상여부						
	후염소 작동상태				정상여부						
중 화 시 설	누설가스 이송 송풍기 작동상태				정상여부						
	가성소다액 교반기 작동상태				정상여부						
	가성소다액 이송펌프 작동상태				정상여부						
	가성소다액 이송상태				정상여부						
	중화장치 연계동작 여부				정상여부						
용 기 출 고	금일 지침	kg	전일 지침	kg	1일 사용량	kg	월누계	kg	재고량	kg	
	공병출고일		200 . .			공병번호					병
	실병입고일					실병번호					병
	미입고용기									병	
특기 사항											

② 사용시 주의사항

- 배관 등 접속부위에 대한 누출을 수시로 점검한다.
- 용기밸브의 개폐는 전용 핸들을 사용하여 서서히 조작한다.
- 1톤 용기를 사용할 때에는 용기를 회전대에 올려 놓고, 2개의 취출밸브가 정확하게 상·하 수직이 되게 놓는다. 염소를 가스상태로 사용할 때에는 위의 밸브에, 액체상태상 취출시에는 아래의 배관에 접속한다.
- 염소 주입설비는 최대 용량에서 최소주입량까지 안전하고 정확하게 주입 가능하여야 한다.
- 주입량 및 잔량을 검사하기 위하여 계량설비 등을 설치 수시점검한다.

③ 누출시 조치사항

- 염소는 극히 독성이 강하므로 누출시에는 즉시 응급조치를 하고, 다량의 염소가 누출된 경우에는 즉시 관계기관에 통보 하고 부근의 주민에게 알려 대피시켜야 한다.
- 방독마스크나 그 외의 보호구를 확실하게 착용하고 숙련된 작업자에 의하여 정확한 복구작업이 이루어져야 한다.
- 염소 누출에 대한 조사나 복구는 반드시 여러 사람이 같이 해야 한다.
- 소량의 염소가스 누출인 경우에는 소다나 석회와 같은 알칼리성 약품을 살포 흡수시켜 중화시킨다.

④ 염소 중독자에 대한 응급조치

- 공기가 신선하고 따뜻한 방으로 옮긴다.
- 머리와 등을 높게 하여 바로 누인다.
- 체온이 내려가는 것을 막기 위해 모포로 덮는다.
- 산소호흡을 시킨다.

(4) 내진(耐震)대책

각각의 정수장마다 건설된 시기가 다르고 최근의 내진 구조를 반영하여 지어진 시설물이라도 지진의 강도에 따라 피해정도는 다르지만 정수장에 설치된 수많은 시설물들이 전혀 지진의 진동에도 손상을 입지 않고 견디는 것은 불가능하므로 피해를 최소화하는 방안에 주안점을 두고 다음과 같은 내진대책을 수립한다.

1) 내진성능 조사(평가) 및 보강실시

내진설계가 제대로 반영이 아니 된 기존의 정수장 구조물 및 시설물에 대하여는 우선 내진성 조사(평가)를 실시하고 그 결과를 토대로 보강이 필요한 시설물은 연차적으로 계획을 수립 보강 또는 개조하도록 한다.

2) 내진설비의 유지관리

지진은 태풍, 호우 등 풍수해와는 달리 사전예측이 불가능하고, 피해가 광범위하게 발생하는 특성이 있으므로 지진피해를 경감하기 위하여 건축물 등 각종 시설물 등에 설치하는 지진격리장치, 제진장치 등 지진재해경감 장치들은 평상시 유지관리지침에 따라 정비·점검을 철저히 한다.

3) 위험시설물 점검·정비

지진 피해를 받기 쉬운 구조물 또는 관의 연결부위 등은 수시로 균열, 누수 여부 등을 점검하며 특히 지진 발생시 1차 피해 속도가 빠른 위험시설물(화학약품, 염소가스 등)에 대해서는 긴급차단밸브, 제해설비뿐 아니라 복구에 필요한 보안장구·장비 등의 작동 상태를 수시로 확인한다.

4) 응급대응체제 구축

지진발생시 표준행동요령 등을 작성 정기적으로 훈련을 실시한다(장비사용법등 숙지).

(5) 정전시 관리대책

정수장에 있어서 정전은 내부 수전설비 고장이나 태풍, 번개, 폭풍, 화재 등 다양한 이유에 의하여 언제든지 일어날 수 있다 정수장 마다 입지조건에 따라 다르지만 자연유하에 의하여 원수의 취수, 정수의 송수, 배수가 가능한 정수장과는 그렇지 못한 정수장은 정전의 영향은 심각한 사고가 될 수 있다. 그러므로 정전에 대한 대책은 정수장의 입지조건과 시설의 규모, 설비중요도 등을 바탕으로 정전시 발생할 수 있는 모든 피해를 상정하고 예비전원 대책을 수립한다.

예비전원설비는 정전시 신속하고 안정적으로 전원을 공급하여야 하므로 부하의 신뢰성이 높은 설비를 선택하며 정기적으로 정비·점검을 철저히 하여 항상 정전에 대비하여야 한다(<표 5.1.11>).

전력사용량이 많은 대규모 정수장의 경우 운영 중 갑자기 정수장 설비의 전체 가동이 정지되는 정전사태가 발생한 경우 전원 재투입시 시설물 보호 및 안전사고 예방을 위하여 각 시설마다 정해진 절차 또는 전기안전관리자의 지시에 따라 전원을 단계별로 투입하여 정상가동여부를 반드시 확인한다.

1) 주요 예비전원 설비방식

① 2회선 수전

지역의 전력회사의 공급시설에 따라 수전불가할 수 있으므로 사전검토 필요하다.

② 비상용 자가 발전설비

비상용 자가 발전기는 정전시 신속하게 전원을 공급해야 하므로 기동이 확실하고, 신뢰도가 높고, 취급 운전조작, 보수가 용이한 것으로 선택한다.

자가발전설비는 전력회사 전원과의 절체장치 및 각종 보호장치와 원동기의 연료탱크 등의 보조설비와 환기, 소음, 방진 등 환경대책 등 부대설비가 많이 소요된다.

③ 무정전 전원장치

— 직류전원설비: 주로 제어회로나 표시등회로 등에 사용

— 교류전원설비: 주로 계측제어설비시스템, 컴퓨터, 통신전원 등에 사용

2) 예비전원설비 선정시 고려할 사항

— 정전빈도

— 정전시간

— 정전시에도 운전이 절대 필요한 설비의 총소비전력

— 다른 변전소등으로 부터의 대체전력 공급 가능성

위와 같은 여러 요소들에 대하여 정수장의 입지조건, 시설의 중요도 등에 따라 각각의 설비에 적

합한 예비전원방식을 선택 결정한다.

<표 5.1.11> 수배전설비 점검 예

구분	점 검 사 항	점검 결과	조치 사항	구분	점 검 사 항	점검 결과	조치 사항
수 변 전 설 비	변압기, 차단기, 릴레이 등에서 이 상 소음과 동작 상태는 정상인가?			배 전 설 비	각종 차단기, 릴레이, 표시등 절 환스위치의 작동은 정상인가?		
	각 패널의 팬은 정상으로 작동하 는가?				패널의 청결상태는 양호한가?		
	파괴기, 서지, 흡수기 외부손상 및 파손상태는 없는가?				각종 접속부 및 단자처리는 양호 한가?		
	모선의 접속부의 과열, 손상, 부 식은 없는가?				각종 퓨즈는 양호한가?		
	표지판 및 보호망은 정상인가?				각종 패널의 외관, 녹슬음, 변형 은 없는가?		
	접지선 및 단자부의 과열, 조임 상태는 정상인가?				패널 내의 습기, 이물질은 없는 가?		
	변압기의 외관, 소동물의 서식 온도 및 이상 진동은 없는가?				전선 피복은 양호한가?		
	콘덴서 외관상태는 정상인가?				각종 부스비의 상태는 양호한가?		
	ALTS의 동작상태는 정상인가?				무정전 전원장치는 양호한가?		
	정류기의 충전 및 비상등의 작동 상태는 정상인가?			기 타	맨홀의 침하, 누수 등이 발생하 였는가?		
	POARD의 동작은 정상인가?				전선관 등의 이탈, 오손은 없는가?		
	애자류 오손 및 파손은 없는가?				가로등은 정상적으로 작동하는가?		
	실내는 청결한가?				구내의 방송설비는 정상인가?		
	각 패널의 시간장치는 정상인가?				구내의 전등설비는 정상 작동 하 는가?		
	소화제 충전상태는 양호한가?			특기사항			
	각종 표시등 및 절전 스위치는 정상인가?						
	케이블 단자처리에는 이상이 없 는가?						
	각종 지시계기는 정상인가?						
	각종 조명설비는 정상인가?						
	접점부의 손상이나 흑화는 없는가?						

<표 5.1.12> 해빙기 정수장 시설물 안전점검 예

점검부위	점 검 항 목	점검결과	현장조치
중앙제어실	<ul style="list-style-type: none"> 배수지, 가압장간의 통신, CCTV 정상여부 통합제어실과 현장간의 유량, 수위 일치여부 		
착수정	<ul style="list-style-type: none"> 건축 구조물의 결함상태(균열, 누수 등) 기계 및 전기시설 이상유무 <ul style="list-style-type: none"> 수위계, 유량계 동작상태 제어패널, 배관누수, 전동밸브 동작상태 등 		
혼화지 응집지	상 동		
침전지	상 동		
여과지	상 동		
정수지	상 동		
변전실	<ul style="list-style-type: none"> 변압기, 차단기의 이상소음, 냄새 여부 정류기의 전압, 전류 정상여부 파워팩트 등 예비팩트 확보여부 		
송수펌프동	<ul style="list-style-type: none"> 펌프, 전동기, 밸브의 기동, 진동, 압력상태 수위계, 유량계 동작상태 배수펌프, 무정전전원장치 동작상태 등 		
약품저장 탱크	<ul style="list-style-type: none"> 탱크의 균열, 배관누수 등 <ul style="list-style-type: none"> 수위계 동작상태 약품저장량 충분여부(PACl, PACS, 염소, 불소) 		
배출수처리 시설	<ul style="list-style-type: none"> 탈수기 및 조작반 동작상태 기계 및 전기시설의 안정성 여부 <ul style="list-style-type: none"> 수위계, 밸브, 펌프상태, 배관누수 여부 등 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> 외곽울타리 펜스, CCTV 작동상태 정수장주변 절개지 침하상태 <ul style="list-style-type: none"> 진입로, 정수장내부청소(배수구 막힘 등) 		

[점검의견 및 기타 위해요인]

점검자: 직	성명	(인)
--------	----	-----

(6) 동절기, 해빙기 안전관리

정수장은 시설물 자체가 물을 취급 이용하는 시설로서 한랭지역에 위치한 정수장은 동절기 외부 기

온강하로 인한 구조물의 균열부위 확대 및 배관 등의 동파로 인한 재해를 대비하여 동절기 도래 전에 취약시설물에 대하여 보수·보온설비 등을 일제히 정비 점검하여야 한다(<표 5.1.12>, <표 5.1.13>).

<표 5.1.13> 해빙기 가압장(배수지) 시설물 안전점검 예

점검부위	점 검 항 목	점검결과	현장조치
진입로 외곽	<ul style="list-style-type: none"> • 진입로 자바라 및 출입문 시건장치, 외곽울타리 펜스 이상 유무 • 진입로, 내부청소 (배수로 토사, 낙엽으로 인한 배수구 막힘) 		
전기시설	<ul style="list-style-type: none"> • 수위계, 유량계 동작상태 • 제어패널, CCTV 작동상태(저수조카메라) • 변압기, 차단기의 이상소음, 냄새 여부 • 정류기의 전압, 전류 정상여부 • 무정전전원장치 동작상태 등 		
기계시설	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유입, 유출밸브의 정상동작여부 • 배관누수, 배수펌프, 전동밸브 동작상태 • 펌프, 전동기, 밸브의 기동, 진동, 압력상태 		
건축, 토목 구조물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배수지, 가압장 주변 斜面 보호 상태 • 구조물의 결함여부 • 구조물의 안정성(법면침하, 빗물유입 등) 		

[점검의견 및 기타 위해요인]

점검자: 직 성명 (인)

또한 동절기 동안 얼어 있던 지반 등이 봄철 해빙기에 녹으면서 지반침하가 발생하여 시설물의 붕괴나 내부의 시설장치 등이 파손되는 현상을 방지하기 위하여 동결의 가능성이 있는 취약지반 등은 배수가 원활이 되도록 사전 조치한다.

1) 동절기, 해빙기 안전관리 대책 수립시 고려할 사항

- － 동절기에 사용하지 않는 시설 또는 관로 등에 있는 액체는 사전 배수한다.
- － 지중에 매설되어 있는 시설은 각 지역의 기온, 적설, 토질 등 자연환경을 고려한 동결심도 이하가 되도록 표층을 유지한다.
- － 펌프설비 등의 급수배관 계통
- － 노출 배관, 밸브 등에는 단열·보온장치를 설치하여 동파 또는 동결을 방지한다.
- － 동절기에 빙판이 발생하는 급경사 도로 및 일상 점검로 등에는 언제든지 사용할 수 있게 제설장

비 등을 설치한다(모래함 또는 염화칼슘함 등).

- 정수장이 위치한 지역 특성에 따라 동절기에 침전지 또는 농축조 등의 수면에 동결이 발생하는 지역에서는 지붕 또는 동결방지시설 설치를 고려한다.
- 약품, 염소투입 및 저장시설 등에는 저온으로 결정이 석출되어 배관이 폐색되지 않도록 보온뿐만 아니라 가온(난방) 설비도 설치하여 약품투입이 중단되는 일이 없도록 일정온도 이상을 유지하도록 한다.
- 겨울철 동안 사용하지 않았던 시설물은 사용 전 반드시 이상 유무를 점검한다.
(표면, 내부의 부식정도, 각 체결부위 상태, 배관 등 내부의 노폐물 청소 등)
- 토목, 건축 구조물의 균열 및 침하여부 등에 대한 정기적인 안전점검 실시
- 위험물, 유류, 약품 저장탱크 등의 기초시설의 균열 발생 및 침하여부 점검 실시

(7) 화재등 안전관리

정수장에서의 화재의 원인은 유류, 전기, 가스, 용접작업, 기계류 과열 등 여러 원인에 의해서 발생할 수가 있으므로 평상시 소방계획서를 수립 화재시 소화기, 소화전, 호스위치 및 장비 사용법과 구성원들에 대한 역할 분담(소화활동, 구조활동 등)을 정하여 실전적인 소방훈련을 통해 화재에 대비하도록 한다(시설 규모에 따라 소방법 관련법에서 정한 규정에 따라 방화관리 실시).

1) 소방계획서 수립시 포함될 사항

① 예방계획

자체점검대상이 될 화기사용기구 및 시설분야, 가연물, 흡연, 전기설비, 위험물 관계의 정리에 까지 점검자를 정하고 연간계획, 월중계획 등을 수립하여 효과적인 시설물의 점검 및 정비를 실시할 수 있도록 하며, 각종 소방시설을 어떠한 방법으로 유지관리할 것인가 등을 정하도록 한다.

② 방어계획

소방기관에 화재발생을 통보하고 소방대가 도착할 때, 즉각 유도하는 일과 건물내부에 옥내 방송망 등을 통하여 화재 사실을 통보하는 방법과 화재시에 있어서 피난자의 유도과 건물내부의 인명 구출 및 구조를 요하는 사람이 있는 경우 등을 가상하여 계획을 수립한다.

옥내소화전이나 소화기 등 소화설비를 이용하여 어떻게 소화할 것인가의 소화에 관한 계획 및 화재발생시 연소우려가 있는 옥내·옥외의 중요물품 등을 비상 반출하거나, 비화 경계, 수손피해 방지, 기타 도난방지 등에 대한 계획을 수립한다.

③ 교육훈련계획

교육은 전직원을 상대로 월, 분기, 년 계획을 규모에 따라 적정하게 수립 실시하도록 하며 훈련은 소방시설, 피난시설 등의 사용방법과 통보연락이나 대피유도 등의 부분훈련 뿐만 아니라, 화재신고에서부터 소화, 대피유도, 응급처치, 복구에 이르기까지 포괄적으로 개인별 임무를 지정, 실제상황을 부여하여 모의훈련을 하도록 한다. 모든 훈련을 실시한 다음에는 사후 평가를 통하여 개선점을 밝혀 차후에 유사한 사례가 발생하지 않도록 미연에 방지한다.

(8) 비상급수 대책

정수장에서 수돗물을 생산할지 못할 경우는 외적인 요인으로 인한 취·송수시설 사고나 원수 수질의 악화 등으로 취·송수를 할 수 없는 경우와 내부적으로 정수시설물의 사고·보수공사 등으로 정수생산을 못하는 경우일 것이다.

원수 관련 사고는 대체 취수원이 있는 경우 또는 광역상수도의 경우 수계별 연계전환을 통하여 공급을 받으며 그렇지 못한 경우에는 상황에 따라 제한급수 및 단수를 피할 수 없으므로 평상시 최악의 상황을 가정한 비상급수대책을 수립하여 운영하도록 한다(『식용수 분야 위기대응매뉴얼』-[환경부, 건설교통부] 참조할 것).

1) 비상급수대책 수립시 고려할 사항

① 급수 중단이 예상될 때

- 인근 정수장 및 먹는샘물 공급업체, 비상급수시설 관리기관 및 유관기관과 비상급수체계 운영 협의
- 비상급수 지원차량 확보(운반급수 차량 부족시 유관기관 등에 요청 소방차량 등)
- 비상 소독 약품 등 확보

② 제한 급수시

- 공급제한 예상시 기존 저류시설을 이용 공동주택 물탱크 등 저수조 및 가정용 욕조 등 가용 저류시설 최대한 활용토록 홍보 실시
- 공공건물, 대형빌딩 및 물 다량 소비업소 등에 절수 및 영업단축 요청
- 기존의 유흥우물 또는 민방위비상급수에 의한 간이 상수도, 전용상수도 등 활용
- 개인 우물 등 공동사용
- 지하수 관리법에 의하여 관리하는 농업, 공업용수 지하수 등 일시 활용
- 긴급 식수원 개발(지하수 개발등)
- 상황에 따라 격일제 급수 등 시행

③ 급수 중단시

- 비상급수 지원차량 확보(운반급수 차량 부족시 유관기관에 지원요청, 소방차량 등)
- 먹는 샘물 공급(물차 및 물병공급)
- 최소한의 식용수 배급제 실시

5.1.7 기타

(1) 정수장 조직관리체제

1) 수도시설의 관리자

수도법 제17조 규정에 의거 일반수도의 수도시설관리권은 일반수도사업자가 이를 가진다(다만, 급수설비의 수도시설관리권은 대통령령이 정하는 자가 이를 가진다). 일반수도사업자는 해당 급수설비의 소유자 또는 관리자의 동의를 얻어 급수설비의 상태와 수돗물의 수질을 검사할 수 있으며 일반수

도사업에 의하여 수돗물을 공급받는 자는 해당 일반수도사업자에게 급수설비의 상태와 공급받는 수돗물의 수질에 대한 검사를 요구할 수 있다.

일반수도사업자는 수질검사 결과 급수설비가 노후되었거나 수돗물이 수질기준에 위반되었을 때에는 환경부령이 정하는 바에 따라 당해 급수설비의 소유자 또는 관리자에게 급수설비의 세척·갱생 또는 교체 등 필요한 조치를 하도록 권고할 수 있다. 이 경우 일반수도사업자는 해당 지방자치단체의 조례가 정하는 바에 따라 세척·갱생 또는 교체에 필요한 비용의 일부를 보조하거나 융자할 수 있다.

일반수도사업자는 수도에 관한 기술적인 관리 등 대통령령이 정하는 업무를 수행하기 위하여 대통령령이 정하는 기준에 적합한 자를 수도시설관리자로 임명하여야 하며 수도시설관리자로 임명될 수 있는 자는 다음과 같다.

- ① 「고등교육법」에 의한 대학 또는 이에 준하는 각종학교의 토목·전기·전자·기계·건축·환경 또는 위생관련 학과를 졸업한 자로서 재학 중에 수도공학 또는 위생공학에 관한 과목을 이수한 자로서 2년(간이상수도 및 시설용량이 1일 2천톤 이하인 전용상수도의 경우에는 1년) 이상 수도에 관한 기술상의 실무에 종사한 자
 - ② 「고등교육법」에 의한 전문대학 또는 이에 준하는 각종학교의 토목·전기·전자·기계·건축·환경 또는 위생 관련학과를 졸업한 자로서 재학 중에 수도공학 또는 위생공학에 관한 과목을 이수하고 졸업 후 5년(간이상수도 및 시설용량이 1일 2천톤 이하인 전용상수도의 경우에는 3년) 이상 수도에 관한 기술상의 실무에 종사한 자
 - ③ 「고등교육법」에 의한 대학 또는 이에 준하는 각종학교에서 공학·의학·농학·의학 또는 약학에 관한 과목을 이수한 자는 4년(간이상수도 및 시설용량이 1일 2천톤 이하인 전용상수도의 경우에는 2년) 이상, 「고등교육법」에 의한 전문대학 또는 이에 준하는 각종학교에서 공학·의학·농학·의학 또는 약학에 관한 과목을 이수한 자는 8년(간이상수도 및 시설용량이 1일 2천톤 이하인 전용상수도의 경우에는 4년) 이상 수도에 관한 기술상의 실무에 종사한 자
 - ④ 10년(간이상수도 및 시설용량이 1일 2천톤 이하인 전용상수도의 경우에는 7년) 이상 수도에 관한 기술상의 실무에 종사한 자
 - ⑤ 위에 해당하는 자와 동등이상의 능력이 있는 자로서 환경부령이 정하는 자
 - － 「국가기술자격법」 제3조에 따라 토목·전기·전자·기계·건축·화공 또는 환경 분야의 기사 1급 이상의 자격을 가진 자로서 1년 이상 그 분야 실무에 종사한 자
 - － 법 제17의4 제1항 및 영 제22조의9에 따른 정수시설운영관리사 1등급 또는 2등급의 자격시험에 합격한 자
- ※ 시설용량이 1일 1천톤 이하인 일반수도나 전용상수도로써 당해 수도가 소독설비외의 정수시설을 필요로 하지 아니하고 급수할 수 있는 경우에는 적용하지 아니한다.

2) 정수시설운영관리사

일반수도사업자는 정수시설의 효율적인 운영·관리를 위하여 정수시설의 규모 등을 고려하여 대통령령이 정하는 기준에 따라 정수시설운영관리사를 정수시설에 배치하여 관리하도록 하여야 한다.

정수시설운영관리사의 담당업무는 다음과 같다.

- ① 수돗물 생산공급계획 수립
- ② 수돗물 생산시설 관리·운영
- ③ 정수공정의 수질관리
- ④ 정수공정 배출수 처리시설 관리·운영
- ⑤ 수처리기기, 전기설비, 자동화 설비 운영
- ⑥ 수돗물 생산·공급 및 수질현황에 대한 기록 및 통계 작성

<표 5.1.14> 정수시설운영관리사 배치기준

시설규모(일)	배치기준	적용시기
50만 ^m 이상	정수시설운영관리사 1등급 2명 이상 정수시설운영관리사 2등급 3명 이상 정수시설운영관리사 3등급 5명 이상	2009년 1월 1일부터
10만 ^m 이상~50만 ^m 미만	정수시설운영관리사 1등급 1명 이상 정수시설운영관리사 2등급 3명 이상 정수시설운영관리사 3등급 4명 이상	
5만 ^m 이상~10만 ^m 미만	정수시설운영관리사 1등급 1명 이상 정수시설운영관리사 2등급 2명 이상 정수시설운영관리사 3등급 3명 이상	
2만 ^m 이상~5천 ^m 미만	정수시설운영관리사 1등급 1명 이상 정수시설운영관리사 2등급 1명 이상 정수시설운영관리사 3등급 2명 이상	2009년 7월 1일부터
5천 ^m 이상~2만 ^m 미만	정수시설운영관리사 2등급 1명 이상 정수시설운영관리사 3등급 1명 이상	
5백 ^m 이상~5천 ^m 미만	정수시설운영관리사 3등급 1명 이상	2010년 1월 1일부터

<표 5.1.15> 정수장 적정 운영·관리인력 기준

시설규모	적정운영 관리인력	비고
2천톤/일 미만	5	1. 취수 및 도·송수시설 운영관리와 먹는물 수질검사를 위한 인력은 포함되지 아니한다. 다만, 정수처리공정별 수질관리를 위한 시험인원은 포함한다. 2. 단일시설 용량에 대한 인력기준이며, 2개 이상 정수장을 통합관리하거나 단계별로 시설을 확장한 경우에는 운영 인력을 다소 가감할 수 있다. 3. 청원경찰 및 일용인력은 포함되지 않는다.
5천톤/일	7	
1만톤/일	8	
2만톤/일	10	
5만톤/일	15	
10만톤/일	20	

시설규모	적정운영 관리인력	비 고
20만톤/일	32	1. 취수 및 도·송수시설 운영관리와 먹는물 수질검사를 위한 인력은 포함되지 아니한다. 다만, 정수처리공정별 수질관리를 위한 시험인원은 포함한다. 2. 단일시설 용량에 대한 인력기준이며, 2이상 정수장을 통합관리하거나 단계별로 시설을 확장한 경우에는 운영 인력을 다소 가감할 수 있다. 3. 청원경찰 및 일용인력은 포함되지 않는다.
30만톤/일	42	
50만톤/일	53	
100만톤/일	67	
150만톤/일	81	

※ 적정 운영·관리 인력 산출 공식

$Y=8.0523 \times (X/10,000)^{0.4592}$ 여기서, Y: 운영·관리 인력(단일시설용량의 경우) X: 시설용량(톤)

<표 5.1.16> 운영관리 인력 세부내역(운전수준, 정수처리유형별)

구분	평균	운전수준 1단계			운전수준 2단계			운전수준 3단계			소규모 정수장 통합운영관리	
		완속	급속	고도 처리	완속	급속	고도 처리	완속	급속	고도 처리		
2천톤/미만	5		5			5			5		운영:3	유지관리팀 별도운영 : 4명/팀(토목, 기계, 전기, 계측제어)
5천톤/일	7	6	9		6	7		6	7		운영:4~7	
1만톤/일	8	7	10		7	7		7	7		운영:4~7	
2만톤/일	10		11			9			9		운영:5~8	
5만톤/일	15		15	16		13	14		13	14	통합 및 개별운영관리	
10만톤/일	20		21	22		19	20		17	18	"	
20만톤/일	32		30	34		28	30		26	28	"	
30만톤/일	42		42	47		40	43		38	41	개별 운영관리	
50만톤/일	53		54	59		52	55		47	50	"	
100만톤/일	67		67	73		65	69		63	67	"	
150만톤/일	81		81	87		83	83		76	81	"	

<표 5.1.17> 운전수준의 단계별 분류

단계별	단위공정 운전수준	내 용
제1단계	현장수동운전	- 운전요원 상시근무 - 근무자의 판단 또는 주제어실 지시에 의해 설비를 운전, 조작하는 수준 - 감시데이터는 주 제어실로 전송
제2단계	원격무인운전	- 취수, 가압장에 근무자 없이 주제어실에서 감시데이터에 의해 설비를 운전, 조작

단계별	단위공정 운전수준	내 용
제2단계	원격무인운전	<ul style="list-style-type: none"> - 정수공정은 3개 공정 이상이 원격제어 가능한 수준 (※ 정수공정: 약품투입, 응집침전, 여과, 소독) - 취수, 가압장은 순회점검만 실시 - 운전조작 빈도가 극히 많음.
제3단계	단위공정 자동운전	<ul style="list-style-type: none"> - 정수공정중 3개 이상이 자동운전 가능한 수준 - 운전조작 빈도 보통
제4단계	공정자동운전	<ul style="list-style-type: none"> - 취수, 정수, 송수의 모든 단위공정 자동운전 수준 - 운전조작빈도 적음 - 감시위주
제5단계	고도자동운전	<ul style="list-style-type: none"> - 전 공정 연계자동운전 수준 - 운전조작 불필요 - 제한적 감시

1) 배출수 처리는 정수공정에서 제외

2) 자동운전의 개념: 설정값에 의한 피드백 제어가 가능한 수준

(2) 정보공개 및 시민참여

1) 수돗물실명제

수돗물 수질정보의 정확한 공개는 수돗물 불신해소 및 국민의 알권리 확보차원에서 매우 중요하나, 시민단체 및 국민들은 지방자치단체가 발표하는 수질정보를 불신하여 정기적인 수질정보제공을 위한 제도 마련으로 수도법 제19조3에 의거 일반수도사업자는 매년 1회 이상 수돗물품질보고서를 발간하여 관할 급수구역 안에서 수돗물을 공급받는 자에게 이를 제공하도록 되어 있다.

<참조: 외국사례>

- 미국의 수돗물품질보고서(CCR, Consumer Confidence Report) 공개 제도
 - '96년 개정된 안전음용수법(Safe Drinking Water Act)에 따라 '99.10.1 최초 발행하여 매년 7월 1일 까지 전 수요가에 우편 등으로 배포
- 일본 수도법: 수질검사 결과 및 수도사업에 관한 정보 공개

① 수돗물품질보고서의 포함 내용

- ④ 정수장 등 수질관련부서의 연락처
- ④ 보고서에 사용하는 용어의 정리
- ④ 취수지점부터 수도꼭지까지의 수돗물 생산 및 공급과정
- ④ 원수의 수질정보
- ④ 수질기준과 정수 및 수도꼭지 수질검사결과[평균값 및 최대값]

- ① 수질기준 초과시간, 초과 원인 및 내용, 초과 항목별 인체에 미치는 영향
- ② 수돗물 기준초과에 따른 조치사항 및 그 결과
- ③ 기타 주민 협조사항, 수돗물 수질 이상시의 신고방법, 수돗물의 음용방법 등

② 발간 및 제공방법

- ① 일반수도사업자는 매 회계연도 종료 후 6개월 이내에 수돗물 품질보고서 작성
- ② 관할 급수구역안의 수돗물을 공급받는 자에게 전자매체, 우편 등으로 제공, 다만 필요에 따라 수돗물 품질보고서의 내용을 요약하여 리플렛 등으로 제공할 수 있음.

2) 수돗물 정보공개 제도

수돗물 수질이 기준을 초과할 경우 그 정도에 따라 초과된 오염물질이 건강에 미치는 영향 및 주민들의 행동요령을 언론매체 등을 통하여 공시하여 수돗물에 대한 불신 해소하기 위해 수도법 제18조 제2항의 규정에 따른 수질기준에 위반되는 경우에는 대통령령이 정하는 바에 따라 그 위반내용을 관할구역안의 주민에게 공지하고 수질개선을 위하여 필요한 조치를 취하여야 하며 공지의 방법 및 절차 등에 관하여 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.

<참조: 외국사례>

- 미국의 대중공지 제도(Public Notification Rule)
 - '96년 개정된 안전음용수법에 근거하여 수돗물의 수질기준 초과시 공중매체를 통해 공지

① 지역별 수질기준 및 검사방법

“지역별 수질기준 및 검사방법”을 정한 때 및 변경한 때에는 지체없이 환경부장관에게 보고

② 수질기준 위반내용의 공지기준

- ① 24시간 이내에 즉시 공지해야 하는 경우
 - 각종 경보시스템을 통해 관찰한 결과 독극물 유입이 명확하다고 판단되는 경우
 - 분원성대장균군 검출 및 수돗물로 인하여 수인성 질병이 발생된 것으로 판명된 경우
 - 탁도가 5NTU를 초과하거나, 측정된 탁도가 1NTU를 초과하여 24시간 이상 지속된 경우
 - 잔류염소 농도가 정수지 유출부에서 0.2mg/l[결합잔류염소의 경우에는 1.5mg/l] 미만으로 1시간 이상 지속되거나 4mg/l 이상인 경우
 - 소독에 의해 요구되는 불활성화비 값이 1 미만인 경우로서 48시간 이상 지속되는 경우
 - pH가 5.5 미만이거나 9.0을 1시간 이상 초과하는 경우
 - 질산성질소 농도가 10mg/l를 초과한 경우
 - 기타 수도사업자가 즉시 주민공지가 필요하다고 판단되는 경우
- ② 상기에 해당되지 아니하는 수질기준의 위반사실은 30일 이내에 해당지역 주민에게 공지하여야 함.

③ 주민공지의 내용과 절차

① 주민공지의 내용

- 오염물질의 종류·농도 및 수질기준
- 오염 발생일시, 원인 및 영향을 받는 지역범위
- 오염으로 인한 건강상 위해의 가능성
- 주민들이 취하여야 할 행동요령
- 일반수도사업자의 문제해결을 위한 조치계획
- 예상되는 원상회복 일시
- 담당자의 이름, 전화번호

② 공지방법[각호의 어느 하나를 택하여 신속하게 공지]

- 라디오·TV 등 해당 지역방송 및 지역신문 호외
- 동사무소 등 유관기관 게시판, 마을게시판
- 이동차량등 확성기를 이용하거나 전단지 배포
- 전화나 행정관서의 지역통신망 등

③ 지역주민에게 공지한 경우 공지내용을 24시간 이내에 시·도지사를 경유하여 환경부장관에 게 보고[회복되어 공지를 해지한 경우도 같음]

④ 긴급정지

① 긴급정지

- 시기: 수도물이 건강을 해할 우려가 있는 때
- 조치방법: 시·도지사, 해당지역의 주민 및 관계기관의 장에게 통보. 수질검사, 비상급수 등 필요한 조치 강구

② 수도물의 공급을 정지할 경우 주민에게 공지해야 할 내용

- 급수정지의 일시, 원인 및 영향을 받는 지역의 범위
- 오염으로 인한 건강상 위해 가능성
- 예상되는 급수재개 시간
- 주민들이 취하여야 할 행동강령
- 일반수도사업자의 문제해결을 위한 조치계획
- 담당자의 연락처

3) 수도물 서비스 센터 운영

<수도물 서비스 센터 운영 및 수질검사 결과 공표 규정(환경부훈령 제425호, '99.6.15) 참조>

① 일반수도사업자는 지역주민들의 수도물이용에 대한 편익증진과 불편을 해소하기 위하여 「수도물 서비스 센터」를 설치·운영하도록 한다.

② 담당자를 지정하고 접수된 민원은 가능한 한 현장 방문처리하며

③ 현장방문 결과 수도물에서 맛, 냄새, 색도 등에 이상이 있을 경우 무료 수질확인검사 실시한다.

※ 수도꼭지 수질검사체계를 구축하여 지역주민이 가정 수도물에 대한 수질검사를 요청해 올 경우

무료 수질검사 실시

【예】서울시:아리수품질관리제, 부산시:수돗물 흠닥터제, 인천시:수돗물품질인증제

- ② 「수돗물 서비스 센터」의 전화는 신속하고 편리하게 신고될 수 있도록 가능한 한 24시간 운영체제 유지

전화번호는 국번없이 121번(수돗물이상신고), 120번(민원신고전화), 128번(환경신문고전화)을 설치·운영하고 부득이한 경우 해당부서의 전화번호를 활용하되 주민들이 쉽게 이용할 수 있도록 홍보 강화한다.

4) 주민의식조사 실시

수돗물 이용실태(불신요인) 및 수질검사 결과의 공표 등에 대한 주민의식조사를 1회/2년 이상 실시하고 그 결과를 평가하여 나타난 문제점에 대한 개선 대책을 강구하고 동 내용 등을 홍보하여야 한다.

주민의식조사는 다음 양식을 참고하여 자체 실정에 맞게 설문문항을 수정·보완 실시하여 보고하여야 하며 주민의식조사양식은 통계법 제8조 및 동법시행령 제9조(통계작성의 승인)에 저촉되는지 여부 검토 후 실시한다.

5) 수돗물평가위원회 운영

수도법 제19조 2항에 의거 특별시·광역시·시·군(광역시의 군을 제외한다)에 수돗물평가위원회를 두며 업무내용은 다음과 같으며 조직과 운영 등에 관하여 필요한 사항은 지방자치단체의 조례로 정한다.

- ① 수돗물의 정기적 검사 실시 및 공표

- ② 수도사업자에 대한 수질관리 및 수도시설의 운영에 관한 자문

- ③ 수도법 제19조 1호의 규정에 의한 검사대상과 검사지점의 선정

※ 일반수도사업자는 수돗물평가위원회의 자문을 거쳐 1년 단위의 수질검사계획서를 수립해야 한다.

- ④ 수질검사계획서 내용

－ 수질검사 목적, 배경 등 수질검사의 개요

－ 원수 및 정수의 전년도 검사결과[배수 및 급수계통을 포함]

－ 원수 및 정수의 검사지점·항목·빈도·검사방법[배수 및 급수계통을 포함]

- ⑤ 수질검사결과의 주민공지 방안

－ 수량분석을 위해 수량측정용 유량계를 설치·관리하며, 취수량·급수량·유수수량 및 누수율에 대한 분석을 매 반기 1회 이상 주기적으로 실시

－ 수질 및 수량분석 결과를 5년간 보존

－ 수질 및 수량 검사결과와 생산 및 공급시설현황 등에 대한 통계자료를 환경부장관에게 보고

- (3) 수돗물 홍보기법

산업화에 따른 상수원의 오염, 언론의 보도경향 등으로 인하여 수돗물에 대한 국민불신 지속 및

언론보도에 대한 소극적 대응으로 수돗물 불신이 가중되고 있으므로 수돗물에 대한 소비자의 의식변화를 유도할 수 있는 적극적 홍보전략을 마련·추진하여야 한다.

1) 정수장 운영실태 개방

지역주민 및 학생, 민간사회단체 등을 대상으로 정수장 운영실태 견학 프로그램을 개발·시행하여 수돗물에 대한 궁금증 및 불신감 해소하도록 한다.

2) 주요행사 및 회의시 PET병 수돗물의 사용 활성화

수돗물에 대한 불안감 해소와 수돗물 품질의 올바른 평가를 위하여 공공기관에서 솔선하여 PET병 수돗물을 사용토록 함으로써 국민의 신뢰도 제고 및 수돗물 사용의 활성화를 유도하고 공공기관에서 주재하는 주요행사 및 회의 등에 PET병 수돗물을 사용할 수 있도록 무상공급 추진한다.

(4) 정수시설 도면 및 도서관리

정수장 내의 착수정에서 배출수처리시설에 이르기까지 다양각색의 정수시설을 적정하게 유지관리하고 사고시와 재해시에도 재빠르게 대응하기 위해서는 시설과 설비의 위치, 구조, 기능, 재질, 설치년차, 공사에 의한 개량, 갱신 후의 상황 등을 정확히 파악할 수 있도록 한다. 그러므로 각종 완성도서, 각 설비의 도면 및 취급 설명서 등의 서류를 정수장내의 정해진 도면실 등에 이용하기 쉬운 상태로 정리 보존해 두고, 언제라도 누구라도 활용할 수 있게 한다.

정수장에 정리 보존할 대상 도서관으로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- ① 토지관계도면(地籍도, 실측도, 地積도, 현황도)
- ② 구조물, 관로, 건축물, 기계, 전지, 통신 등의 완성도, 행정당국에 제출한 신청서
- ③ 각종 기기의 시험 성적표, 취급 설명서
- ④ 법령으로 의무화되어 있는 서류
- ⑤ 수도기술관리자가 특히 필요로 하다고 인정한 도면

정수장의 운영상, 특히 중요한 도면의 내용 및 정비상의 유의점을 다음에 서술하였다.

1) 장내 평면도

축척은 1/500 정도의 것이 일반적이고 기재 내용으로서는 각 시설의 평면적 위치, 각 시설과 건물, 인접 도로 상황 등이 주가 되고 주요한 배관을 기재하고 있는 것도 있다. 이 도면은 공사 계획 설명과 장내 설명 등에 이용되는 경우가 많다.

2) 장내 배관도

축척은 1/500 정도의 것이 일반적이고 장내 평면도에 정수 처리에 직접 관계 하는 각 관로나 배관로 등을 기재한 것으로 정수장의 유지관리상 특히 중요한 도면이다.

기재 내용으로서는 배관 루트, 관경, 관종(도장 종별 또는 그 유무), 관 매설깊이, 각종 밸브실, 시설밸브(종류와 형식), 공기밸브(종류와 구경), 소화전, 안전밸브, 긴급 차단밸브, 유량계(종류), 장내 덕트 위치, 수로 등이고 표준 단면도를 기입하는 것도 필요하다. 배수관은 파선으로 나타내는 것이 알기 쉽다.

수돗물에 대한 국민의식 조사 양식(안)

안녕하십니까? 저는 ○○시 ○○군 ○○정수장을 관리하는 ○○○입니다.

이번에 저희 정수장에서는 수돗물에 대한 주민의식에 대해 조사를 하고 있습니다. 제가 드리는 질문에는 맞고 틀리는 대답은 없으므로 귀하의 의견을 솔직하게 제시해 주시면 이를 참고하여 앞으로 보다 깨끗한 수돗물 공급을 위한 자료로 활용할 계획이며, 그 외의 목적으로는 절대로 사용되는 일이 없을 것입니다. 이 조사에 대한 문의는 ○○정수장 여론조사팀(☎○○○~○○○○번)으로 연락해 주시기 바랍니다.

2006년 ○월

○○시(○○군) ○○정수장 관리책임자 ○○○

- 문1) 귀하의 나이는 만으로 몇 세입니까?(만18세 미만~66세 이상 면접중단) 만_____세
- 문2) 성별: 1. 남 2. 여
- 문3) 거주지역: 01. ○○동 02. ○○동 03. ○○동 04. ○○동 05. ○○동 06. ○○동 07. ○○동
- 문4) 귀하는 현재 어떤 식수를 사용하고 계십니까?
- 1) 수돗물을 그대로 마심(냉장고에 보관 또는 얼음을 넣어 차게 하여 마시는 수돗물 포함).
 - 2) 수돗물을 끓여서 마심.
 - 3) 정수기를 이용해서 마심.
 - 4) 먹는샘물(생수)을 사서 마심.
 - 5) 산 등의 약수물을 떠와서 마심.
 - 6) 우물, 샘물 등을 이용함.
 - 7) 기타(적을 것: _____)
- 문5) 귀하는 수돗물이 식수로 적합하다고 생각하십니까?
- 1) 매우 적합하다.
 - 2) 어느 정도 적합한 편이다.
 - 3) 별로 적합하지 않다.
 - 4) 전혀 적합하지 않다.
- 문6) 수돗물을 식수로 사용하지 않는 사유는 무엇입니까?
- 1) 녹물이 나와서
 - 2) 이물질이 보여서
 - 3) 냄새가 나서
 - 4) 물맛이 나빠서
 - 5) 기타 이유(적을 것: _____)
- 문7) 귀하께서는 수돗물에 대한 국민의 신뢰성을 높이기 위해 정부에서 해야 할 가장 중요한 일이 다음 중 무엇이라고 생각하십니까?
- 1) 수돗물 정수과정 및 처리과정의 완전 공개
 - 2) 상수원의 이전 및 오염방지 철저
 - 3) 수질검사항목의 확대와 수질검사기준의 강화
 - 4) 수돗물 처리시설의 고급화 및 선진화
 - 5) 신뢰성 있는 기관 및 국제기구에서의 수돗물의 안전성 공인
 - 6) 기타(적을 것: _____)
- 문8) 귀하께서는 수돗물이 오염되는 가장 큰 원인이 다음 중 무엇이라고 생각하십니까?
- 1) 상수원의 오염심화
 - 2) 상수도 처리시설(정수시설)의 노후화
 - 3) 상수도관이나 물저장탱크에서의 오염
 - 4) 정수시설 운영상의 문제
 - 5) 기타(적을 것: _____)
- 문9) 귀하께서는 정수장에서 수질검사를 하고 있는 사실을 알고 계십니까?
- 1) 알고 있음
 - 2) 모르고 있음
 - 3) 들은 적이 있음
 - 4) 전혀 모르고 있음
 - 5) 관심 없음
- 문10) 귀하께서는 정수장 수질검사 공표결과를 어느 경로를 통하여 알고 계십니까?
- 1) 반상회보
 - 2) 시정신문
 - 3) 일간신문
 - 4) PC통신, 게시판
 - 5) TV, 라디오
 - 6) 수도요금영수증뒷면
 - 7) 기타(적을 것: _____)
- 문11) 수돗물 수질검사결과를 지역주민들에게 알리는 방법 중 가장 효과적이라고 생각하는 방법은 무엇입니까?(문10의 번호기재: _____)
- 문12) 기타 안전한 수돗물 공급에 대한 귀하의 의견을 기재해 주십시오.

<그림 5.1.10> 수돗물 의식도 조사 양식 예

장내 배관도 주에서 특히 밸브류는 각각 개개의 번호를 붙여 도면에 기재하고 현지의 밸브실이나 밸브 본체에도 명시해 두어 밸브 조작시에는 번호를 확인하면서 작업을 실시한다.

밸브실의 위치는 가까운 구조물로부터 2곳 이상의 오프셋을 취해 두고 공사 등으로 잘못 매설되어 있어도 위치를 확인할 수 있도록 해 둔다.

또한 설치년차가 오래된 밸브에는 개·폐 조작의 스프링의 회전방향이 왼쪽으로 돌려 여는 것과 반대인 것이 설치되어 있을 수도 있으므로 개폐 방향을 도면이나 밸브에 명시하여 오조작을 미연에 방지할 수 있도록 해 둔다.

3) 차단밸브 개폐 상황도

정수장 내의 차단밸브는 항상 열려진 상태로 사용하는 것과 수량조정을 위해 중간 개도상태에서 사용하고 있는 것이 있다.

사고시의 대응이나 장내의 계통 교체를 위해 밸브 조작이 필요할 때, 각 밸브가 어떠한 개도 상태에 있는지가 파악되어 있지 않으면 오조작으로 인해 사고 영향이 확대되기도 하고, 조작에 시간이 걸리는 등의 문제가 발생할 우려가 있다. 따라서 수처리에 있어서는 주요한 밸브 개도의 현상을 한 눈에 볼 수 있는 도면을 준비해 두어야 한다. 때문에 장내 배관도 또는 장내의 관이나 밸브 상황을 축척에 관계없이 모식화한 도면에 지도 한 구석에 개도 상황 표시로서 전폐밸브는 ●, 전개는 ○, 1/2은 ◎ 등으로 표시해 두면 쉽게 알아볼 수 있다.

또한 수류 상태가 복잡한 장소에는 표시를 하여 수류 방향을 명시해 둔다.

현지의 각 시설밸브 개도계는 깨끗이 닦아 보기 쉽게 하고 필요에 따라 개도를 표시를 해 둔다.

4) 약품주입 배관도

약품주입 배관도 또한 정수시설 유지관리상 중요한 도면이다.

정수장에서 사용하는 약품은 종류가 다양하므로 약품마다에 실선이나 색구분 등으로 보기 쉽게 표시해 둔다. 도면 축척은 배관 길이 등에 따라 다른데 전반적으로는 1/500 정도로 나타내고 더 큰 것도 있다.

기재내용은 배관 루트(주입기, 주입점 포함), 약품 명칭, 관경, 관종(도장의 종류별 또는 그 유무), 밸브(종류별, 형식), 수류 방향, 장내 덕트 위치 등이 있다.

5) 배선도

수변전, 배전, 각종 신호 케이블류의 포설 상황 등을 표시한 도면은 유지관리상 불가결하다.

주요한 케이블류에 대해서는 축척 1/500 정도의 평면도에 포설 상황을 나타내고 자세한 것은 큰 배선도에 나타낸다. 기재 내용은 케이블 부설 루트, 선 종류, 용도, 보호재의 종류, 매설 깊이, 포설 연도 등이고 주요한 장소에는 케이블류 및 기타 매설물과의 횡단적인 위치관계나 공동구 내의 배선 상태가 파악 가능한 표준 단면을 기입하도록 한다. 또한 축척에 관계없이 케이블의 계통별 결선 상황을 이해하기 쉽게 모식화한 계통도는 계통교체, 조작 등에 매우 중요한 도면이 된다.

장내 공사의 굴착 작업 등으로 잘못하여 케이블을 손상시켜서는 안 되므로 케이블 부설 루트를 판단 할 수 있도록 현장 지표에 표시한다.

이 방법에는 부설 루트에 일정 간격으로 노면 표시 플레이트를 설치하고 노면 이외에서는 표시말

뚝을 설치하든지 간판을 세운다. 이외에도 장내의 덕트 배선도 선종, 용도, 부설년도 등을 적당한 간격으로 표시한다.

이들 표시 상황을 배선도에도 표시해 두면 현장 파악이 용이하고 일상 점검이 쉬워질 뿐 만 아니라 공사 시공업자에게도 정확한 지시를 할 수 있다.

6) 수위고저도

정수처리시설의 수위고저도는 각각의 시설에 필요한 손실수두를 반영하여 연장방향의 축척에는 관계없이 수위나 관 위치 등 주로 표고방향의 관계를 파악하기 쉽게 정리한 도면이다.

기재내용으로서는 H.W.L., L.W.L., 관의 구경, 흡입 및 흡출의 높이, 펌프의 중심 높이 등을 표시한 것이며 송수할 곳의 배수지 또는 펌프장 수위관계도 포함된다.

이 그림은 정수장 운전상, 각지의 수위 체크나 정수조작 등에 빈번히 사용된다.

7) 완성도 및 관련자료

정수처리시설에 관한 구조도로서는 각 구조물 건설시의 완성도가 가장 기본이 되는 것이다.

모든 자료를 보존하는 것은 개조와 갱신공사시에 필요한 것은 물론이고 구조물의 내진성 평가와 진단시에도 중요하다.

기계와 전기, 계측제어 등 각 설비 관계의 완성도나 각 기기의 시험 성적서, 취급 설명서 보존도 중요하다. 이들은 공사 설계, 보수 점검, 기기의 고장 대응, 성능 체크 등을 실시하는 데에 없어서는 안 된다.

8) 도면류의 보정과 보관방법

각 도면의 보정은 공사 완성시에 보정이 필요하다고 판단되는 경우에는 중요하다. 보정 시기가 늦어지면 다른 공사 설계와 시공, 밸브조작 등에 중대한 지장을 미칠 뿐 만 아니라 시간의 경과와 함께 보정을 해야 하는 내용이 정확하지 않다거나 개량해야 될 장소가 올바르게 없는 등의 문제가 발생될 우려가 있다. 도면류의 보관방법으로서는 꺼내기 쉽고 보관이 용이하며 도면이 손상되지 않는 방법을 선택하도록 한다.

사용 빈도가 많은 배관도, 약품주입 배관도, 배선도, 수위고저도 등은 여러 장 준비해 두고, 수위고저도는 시설마다 페이지 분류하여 편집해 두고 포켓사이즈로 접어 제본화하고 현장에서 휴대하기 쉽도록 한다.

자료의 보관은 OA기기 등을 이용한 도면 데이터베이스시스템 도입을 하면 더욱 능률적이다.

또한 공사 설계 등을 위해 완성도나 관련 자료를 장기간 사용하는 경우 반출입 기록부에 소재를 정확히 기재해 두지 않으면 분실될 위험이 있어 후일 공사에 지장을 줄 수도 있으므로 주의해야 한다.

(5) 정수시설 위탁운영

수도법 제17조 3항에 의거 일반수도사업자는 수도사업을 효율적으로 운영·관리하기 위하여 대통령령이 정하는 바에 따라 수도시설의 운영·관리에 관한 업무(이하 “수도관리업무”라 한다)의 전부 또는 일부를 대통령령이 정하는 전문기관 또는 지방자치단체인 수도사업자에게 위탁할 수 있다. 수도

관리업무를 위탁하고자 하는 경우에는 대통령령이 정하는 바에 따라 수도관리업무를 위탁받는 자(이하 “수탁자”라 한다)와 위탁계약을 체결하여야 하며 환경부 장관에게 보고하여야 한다.

5.2 착수정

5.2.1 총칙

착수정은 도수시설에서 유입되는 원수의 수위 변동을 안정시키고 원수량 측정과 조정으로 뒷 공정에서 약품 주입, 침전, 여과 등의 모든 정수 처리가 정확하고 용이하게 실시되도록 하기 위한 시설이다.

또한 착수정은 통상의 정수처리에 이용되는 응집제나 염소제, 원수수질 이상시의 분말 활성탄 및 고탁도시의 알칼리제나 응집 보조제 주입점으로서 이용된다. 이 외에도 복수 계통으로부터의 원수 혼합과 원수처리 계통으로의 배분, 정수배수의 반송수를 받는 역할을 한다.

관리의 요점은, 안정된 수위 유지를 위한 원수량의 정확한 측정과 조정, 원수수질의 정확한 파악, 구조물, 유량계, 조절밸브 등의 기능유지, 체류시간 확보라 할 수 있다.

5.2.2 운전관리

(1) 수량관리

원수량은 응집제나 염소제 등의 주입량 결정 및 정수처리공정 운전에 관여되는 것으로 정수처리공정에서의 수량관리, 약품관리를 올바르게 실시하기 위해서는 중요하므로 정확히 측정해 조절하여야 한다.

여러 계통의 원수를 받을 경우는 계통별로 원수량을 측정하여 그 비율을 파악해 둔다. 이는 계통에 따라 수질이 다른 경우의 수질관리나 약품주입 등의 정확성을 위해 기초 자료가 되는 것으로 여과지 세척수의 반송수를 받는 경우도 마찬가지이다. 수위 측정은 정확히 실시하고 그 상황을 파악함과 동시에 유입과 정수량의 차가 급격히 커지지 않도록 수위를 안정시켜야 한다.

(2) 수질관리

일반적으로 정수장에 있어 착수정은 원수의 최초 도달 지점으로 그 후의 수처리를 정확히 실시하기 위해서는 원수 수질을 확실히 파악하는 것이 필요하다. 또한 원수 수질변화의 사전 대응을 위해서는 취수장과의 연락 체제를 확립하여 취수 지점의 수질 정보를 정수장에 전송하도록 한다.

착수정에서 채수하는 경우는 약품이 혼화되지 않은 장소에서 채수하고, 분말활성탄을 착수정에 주입하는 경우에는 도수관에 전용 채수관을 설치하여 직접 채수 하도록 한다. 돌발적인 원수수질의 이상에 대처하기 위해 착수정에 분말활성탄을 주입하는 경우는 5.13 활성탄 흡착설비를 참조한다.

원수가 산업폐수나 농약 등의 독성 물질로 오염될 우려가 있는 경우에는 어류를 이용하여 수질감시수조 등으로 감시해 나가야 한다. 독성물질 감시는 조기 발견이 중요하므로 취수지점에서 감시하

는 것이 이상적이라 할 수 있다. 한편, 취수지점에서의 도수로가 개수로인 경우는 착수정에서 다시 한 번 감시하여야 한다.

취수시설이 무인감시인 경우는 감시용 텔레비전(CCTV) 등으로 어류의 움직임을 감시하도록 한다. 원수수질 감시는 수질계기에 의한 탁도, 알칼리도, pH 등의 연속측정이 가능하게 되었지만 냄새는 사람의 감각에 의존할 수밖에 없다. 냄새를 감지했을 때는 냄새물질을 분석하고 결과에 따라서 수원을 변경하거나 분말활성탄 처리 등으로 적절한 처치를 강구하여야 한다.

5.2.3 점검사항

수위계, 유량계, 수질계기, 유량조절밸브, 채수펌프 등의 기능을 유지하기 위해 점검과 정비를 실시하여야 한다. 이 외에도 착수정의 체류시간을 확보하기 위해 퇴적된 슬러지량 측정이나 청소를 한다. 특히 계획처리 수량에 대해, 통상의 처리 수량이 아주 적을 때에는 슬러지나 조개껍질 등이 퇴적될 수 있으므로 주의한다.

일상 점검, 정기 점검 및 정밀 점검의 점검 내용 및 주기를 <표 5.2.1>에 나타냈다.

<표 5.2.1> 착수정 설비점검요령

설비	일상점검		정기점검		정밀점검	
	주기	점검내용	주기	점검내용	주기	점검내용(정비)
착수정	필요시마다	원수유량 확인	1년	각종밸브류의 작동상황	5년	착수정 청소
	필요시마다	착수정 수위의 확인	1년	콘크리트균열 열화의 유무		
	필요시마다	원수수질 확인	1년	누수의 유무		
	필요시마다	원수수질 확인 (탁도, pH, 알칼리도 등)	1년	강재부의 도장상태		
			수위계, 유량계, 수질계기 등 유량조절밸브, 샘플링 펌프 등			

5.3 응집용 약품주입설비

5.3.1 총칙

급속여과방식의 정수처리에서는 전처리로서 약품에 의한 응집이 필수적이다. 원수 중에 부유하는 미세입자는 그대로는 쉽게 침전되지 않으며 급속여과에서는 이들 대부분이 여과층에 억류되지 않고 통과해 버리며 특히 원수가 저탁도이더라도 급속여과지에서 여과하는 것만으로는 콜로이드성 현탁물질이 충분히 제거될 것으로 기대할 수 없으며, 더욱이 크립토포리디움 등의 병원성 미생물로 원수가 오염될 우려가 있는 경우에는 이들을 확실하게 제거할 목적도 포함하여 급속여과방식의 정수방법

에서는 전처리로서 미리 응집제를 사용하여 응집시켜서 고액분리가 가능한 상태로 변화시키는 것이 불가결한 요건이다.

완속여과에서는 원수탁도가 30NTU 이상이 되면 보통침전시킨 다음에도 탁도가 높아서 여과층이 빨리 막히므로 응집침전으로 탁도를 낮추어야 한다. 따라서 이와 같은 경우에는 완속여과시설에서도 응집용 약품주입설비가 필요하다.

응집용약품은 응집제, pH 조정제(산제, 알칼리제), 응집보조제로 크게 구분된다.

응집제는 원수 중의 부유물질을 플록형태로 응집시켜 침전되기 쉽고 여과지에서 포착되기 쉽게 하기 위하여 사용하며, pH 조정제로서 원수의 pH가 지나치게 높은 경우에 산제가 또 원수의 알칼리도가 부족할 때에는 알칼리제가 사용되며, 응집보조제는 플록형성과 침전 및 여과효율을 향상시키기 위하여 응집제와 함께 사용한다. 사용하는 약품은 처리효과를 향상시키는 외에도 주입 후의 수질이 외관이나 독성 등의 면에서도 위생적으로 지장이 없어야 하며 취급하기 쉬운 조건 등을 구비해야 한다.

약품주입률은 자-테스트(jar-test)로 결정하는 방식이 일반적이다. 자-테스트의 자동화 또는 원수탁도와 알칼리도 등을 수질계기로 연속측정하고, 그 측정결과에 따라 약품주입률을 자동으로 산출하는 방식도 있다. 약품주입량은 설비용량의 결정에 필요하며 원수수질에 따라 변하므로 충분한 조사가 필요하다.

응집용약품의 저장설비는 사용량을 고려하여 적절한 용량으로 하며 주입설비는 주입량의 최대로부터 최소까지 정밀하게 계량하고 조절하여 주입할 수 있는 용량과 대수가 필요하다. 주입방식은 약품의 성질과 상태 및 처리수량의 다소 등에 따라 습식이나 건식, 정량주입이나 유량비례주입 등 사용조건에 알맞은 방식을 선정한다. 약품은 대개 강한 산성이나 알칼리성을 띄고 있으므로 설비는 내식성의 구조와 재질로 해야 한다.

약품 취급에는 특히 안전 위생상의 주의가 필요하다. 응집용 약품 주입은 원수의 수질과 수량에 대해 적절한 주입률과 주입량을 확보하는 것이 중요하다. 때문에 원수의 수질 및 수량을 정확히 계측할 수 있도록 기기류를 정상적으로 유지관리 하도록 하여야 한다.

응집용 약품 선정에 있어서는 응집 효과에 알칼리도, pH값, 탁도, 수온 등의 원수수질 상황에 크게 영향이 있으므로 항상 원수수질을 감시하여 양호한 응집효과를 얻을 수 있도록 해야 한다.

응집제의 주입점은 혼화지 상류측의 급속 교반 직전의 지점으로 하고 소수량에 대해 균일하게 확산시켜 완전히 혼화 되도록 한다.

알칼리제는 응집제 주입점 상류측에 주입시키고, 혼화방법은 응집제와 마찬가지로이다.

응집제 주입설비 기기는 정기적으로 점검하여 누설이나 불용해 성분에 의한 장애의 조기 발견에 힘쓰고, 그 기록과 운전관리 상황 기록도 보존한다.

특히 누액에 대해서는 장애가 발생하지 않도록 약품 저장량 파악 및 주입기, 배관, 밸브 등의 점검·정비를 실시하여 항상 양호한 상태로 관리하여야 한다.

또한 누액처리는 직접 배수구에 유출되지 않도록 방액댐 또는 폐액막이를 설치하여 회수방법, 재사용방법, 중화처리방법 등의 대책을 세워 둔다.

약품 저장은 약품의 성상, 처리 수량, 수질 상황, 태풍 대책, 재해시의 운송수단 및 운송사정 요건

을 감안하여 필요 저장량을 정하고 적절한 재고관리를 하도록 한다.

특히 한랭지에서는 약품이 저장 중에 액온도의 저하로 인한 결정화로 검출이 용이하도록 약품 농도에는 주의를 기울인다.

5.3.2 응집제

정수용 수처리제는 환경부 고시로 지정된 제품이며, 응집제는 황산알루미늄(alum), 폴리염화알루미늄(poly aluminum chloride, PACl:보통은 PAC라고 하였지만 분말활성탄(PAC)과 구분하기 위하여 PACl로 표시함) 등의 알루미늄염이 주로 사용된다. 그 밖에 황산제1철, 황산제2철, 염화제2철 등의 철염이 사용되며 외국에서는 여러 가지 유기고분자응집제(polymer)를 사용하기도 한다. 다만, 유기고분자응집제는 식품에 첨가할 정도의 안전성이 공인된 것 이외에는 정수처리에 사용하는 것은 바람직하지 않다.

유기고분자응집제 중에서 폴리아크릴산계 아크릴아미드와 아크릴산염의 공중합체 등의 폴리아크릴아미드계는 건강상의 위해성 논란이 있으므로 정수처리에 사용하는 것이 바람직하지 않다. 알루미늄도 건강상의 위해도에 대하여 고려해야 하며 처리수 중의 잔류알루미늄 농도의 허용값이 0.2mg/L로 규제되고 있으므로 응집제 투입량의 최적화가 필요하다.

알루미늄염의 응집작용은 알루미늄염을 물에 가하면 쉽게 가수분해 되어 양(+)전하로 하전(荷電)된 알루미늄수산화중합체(중합체에서 $Al(OH)_3$ 로 된다고 함)가 된다. 수중의 탁질 콜로이드는 그 표면이 음(-)전하로 하전되어 있으므로 콜로이드가 상호 반발하기 때문에 잘 침전되지 않으나, 수산화알루미늄의 양(+)전하로 중화되면 미립자가 상호집합하여 커지면서 물속에 있는 유기물, 세균, 무기물, 생물 등까지 끌어들이어 플록으로 성장한다.

황산알루미늄(alum)은 '황산반토'라고도 하며 고형과 액체가 있으며, 최근에는 취급이 용이하므로 대부분의 경우 액체가 사용된다. 황산반토는 대부분의 탁질에 대하여 유효하다. 고탁도시나 저수온시 등에는 응집보조제를 병용함으로써 처리효과가 상승된다. 액체황산알루미늄은 겨울철에 산화알루미늄 농도가 높으면 결정이 석출되어 송액관을 막히게 하는 예가 있으므로 사용농도에 주의해야 한다.

폴리염화알루미늄(PACl)은 액체로서 그 액체 자체가 가수분해되어 중합체로 되어 있으므로 일반적으로 황산알루미늄보다 응집성이 우수하고 적정주입 pH의 범위가 넓으며 알칼리도의 저하가 적다는 점 등의 특징이 있다. 그러므로 최근에는 처리가 쉬워서 소규모시설과 한랭지의 상수도에서도 상시 사용하는 곳이 많아졌다. 다만 폴리염화알루미늄의 산화알루미늄 농도가 10~18%이고 -20℃ 이하에서는 결정이 석출되므로 한랭지에서는 보온장치를 하는 것이 필요하다.

처리성과 경제적인 면에서 본다면 평상시에는 황산알루미늄을 사용하고 고탁도시나 저수온시에는 폴리염화알루미늄을 사용하는 방법도 바람직하다. 폴리염화알루미늄은 6개월 이상 저장하면 변질될 가능성이 있으므로 주의해야 한다. 또한 폴리염화알루미늄을 황산알루미늄과 혼합 사용하면 침전물이 발생하여 송액관을 막히게 하므로 혼합하여 사용하지 말아야 한다. 알루미늄산나트륨은 알루미늄분을 많이 함유하고 또 알칼리제로서 기능도 있으나 황산알루미늄과 병용해야 하고 수질에 따라서는 효과

적일 때가 있으나 사용하는 예가 적다. 철염계 응집제는 적용 pH의 범위가 넓으며 플록이 침강하기 쉽다는 이점도 있지만, 과잉으로 주입하면 물이 착색되기 때문에 주입량의 제어가 중요하다. 염화제2 철은 해수담수화의 전처리를 위한 응집제로도 사용되고 있다.

(1) 응집제종류 및 성분규격

1) 폴리염화알루미늄(poly aluminum chloride: $[Al_2(OH)_n Cl_{6-n}]m$)

성상: 이 품목은 무색 내지 옅은 황갈색의 투명한 액체이다.

확인시험: 확인시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성분규격	기준
비중(20℃)	1.19 이상
pH	3.5~5.0
산화알루미늄(Al_2O_3)	1종 10.0~12.0%, 2종 12.0~15.0%, 3종 15.0~18.0%, 표시상의 90~110%
염기도	35~60%
황산이온(SO_4^{2-})	3.5% 이하
암모니아성질소(NH_3-N)	0.01% 이하
철(Fe)	0.01% 이하
비소(As)	5ppm 이하
납(Pb)	10ppm 이하
카드뮴(Cd)	2ppm 이하
크롬(Cr)	10ppm 이하
망간(Mn)	25ppm 이하
수은(Hg)	0.2ppm 이하

2) 황산알루미늄(aluminum sulfate: $[Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O]$)

성분규격	고형	액체
성상	이 품목은 광택이 있는 편상 또는 결정성파편으로된 백색의 분말이다.	이 품목은 무색 내지 옅은 황갈색의 투명한 액체이다.
확인시험	확인시험에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.	확인시험에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.
pH	3.0 이상	3.0 이상
물불용물	0.3% 이하	—
산화알루미늄(Al_2O_3)	16.0% 이상	8.0% 이상
암모니아성질소(NH_3-N)	0.03% 이하	0.01% 이하
철(Fe)	1.0% 이하	0.3% 이하
비소(As)	20ppm 이하	10ppm 이하
납(Pb)	20ppm 이하	10ppm 이하
카드뮴(Cd)	4ppm 이하	2ppm 이하
크롬(Cr)	20ppm 이하	10ppm 이하
망간(Mn)	50ppm 이하	25ppm 이하
수은(Hg)	0.4ppm 이하	0.2ppm 이하

3) 알긴산나트륨(sodium alginate)

성상: 이 품목은 백·황색을 띤 백색의 분말이다.

확인시험: 확인시험에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

구 분	제1호	제2호
알긴산나트륨	90% 이상	25% 이상
산불용성회분	2% 이하	5% 이하
건조감량	15% 이하	15% 이하
비소(As)	5ppm 이하	30ppm 이하
납(Pb)	20ppm 이하	20ppm 이하
카드뮴(Cd)	10ppm 이하	10ppm 이하
수은(Hg)	0.2ppm 이하	0.2ppm 이하

4) 폴리황산규산알루미늄

성상: 이 품목은 투명한 액체이다.

확인시험: 확인시험에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
비중(20℃)	1.25 이상	납(Pb)	5ppm 이하
pH	2.0 이상	카드뮴(Cd)	1.0ppm 이하
산화알루미늄(Al_2O_3)	8.0% 이상	크롬(Cr)	10ppm 이하
철(Fe)	0.3% 이하	수은(Hg)	0.2ppm 이하
비소(As)	5ppm 이하		

5) 폴리수산화염화규산알루미늄

성상: 이 품목은 무색 내지 미황색의 점조성 액체이다.

확인시험: 확인시험에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
비중(20℃)	1.30 이상	납(Pb)	10ppm 이하
pH	3.0~5.0	카드뮴(Cd)	2ppm 이하
산화알루미늄(Al_2O_3)	16.0~18.0%	크롬(Cr)	10ppm 이하
이산화규소(SiO_2)	0.2~0.4%	망간(Mn)	25ppm 이하
철(Fe)	0.01% 이하	수은(Hg)	0.2ppm 이하
비소(As)	5ppm 이하		

6) 황산제이철(ferric sulfate: $Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$)

성상: 이 품목은 회색내지 백색의 분말 또는 결정이다.

확인시험: 확인시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
3가철	18% 이상	납(Pb)	50ppm 이하
2가철	3% 이상	카드뮴(Cd)	10ppm 이하
유리산	4.5% 이하	크롬(Cr)	50ppm 이하
물불용성물질	6.5% 이하	수은(Hg)	2ppm 이하
비소(As)	50ppm 이하	세레늄(Se)	10ppm 이하

7) 염화제이철(액체)(liquid ferric chloride : FeCl_3)

성상: 이 품목은 황갈색 내지 오렌지색의 액체이다.

확인시험: 확인시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
총 철	9.6~16.2%	카드뮴(Cd)	20ppm 이하
총 철중 2가철	2.5% 이하	크롬(Cr)	80ppm 이하
유리산	1.0% 이하	수은(Hg)	3ppm 이하
비소(As)	80ppm 이하	세레늄(Se)	20ppm 이하
납(Pb)	80ppm 이하		

8) 폴리아민(에피클로로히드린-디메틸아민 폴리아민, EPI-DMA, polyamines, epichlorohydrin-dimethylamine polyamines)

성상: 이 품목은 무색 내지 옅은 황갈색의 액체이다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
폴리아민 함량	10~65%	비소	5ppm 이하
에피클로로히드린	20ppm 이하	납	10ppm 이하
총클로로프로판올	2,000ppm 이하(개별 클로로프로판올은 각각 1,000ppm 이하)	카드뮴	2ppm 이하
		수은	0.2ppm 이하

9) 폴리수산화염화황산알루미늄(poly aluminum hydroxy chloro sulfate, $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{28}\text{Cl}_9\text{SO}_4$)

성상: 이 품목은 무색 내지는 옅은 황갈색의 투명한 액체이다.

확인시험: 확인 시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.

성 분 규 격	기 준	성 분 규 격	기 준
비중(20℃)	1.20 이상	철(Fe)	0.01% 이하
pH	3.5~5.5	비소(As)	5ppm 이하
산화알루미늄(Al_2O_3)	10.0~13.0%, 표시량의 90~110%	납(Pb)	10ppm 이하
염기도	70% 이상	카드뮴(Cd)	2ppm 이하
황산이온(SO_4^{2-})	1.3~3.0%	크롬(Cr)	10ppm 이하
염화물(Chloride)	9.0~14.0%	망간(Mn)	25ppm 이하
암모니아성 질소($\text{NH}_3\text{-N}$)	0.01% 이하	수은(Hg)	0.2ppm 이하

(2) 응집제의 주입률

응집제 주입률은 약품의 종류, 원수의 수온, 탁도, pH, 알칼리도 등에 따라 달라진다. 또 철, 망간, 맛과 냄새를 처리하기 위하여 전염소나 분말활성탄을 처리할 때에나 응집침전시설의 효율, 침전지와 급속여과지에서 탁질부하 배분, 직접여과법에 의한 처리 등 많은 요소에 따라 달라지나 설비용량을 결정하는 기초가 되는 주입률은 다음과 같이 정한다.

홍수로 원수의 고탁도시, 저탁도시, 저수온시 및 그 하천환경으로부터 예상되는 최고온도 등에 해당하는 인공현탁액(주: 인공현탁액은 그 하천바닥에 침전된 고운 흙이나 점토를 사용)을 만들고 이들 현탁액에 대한 자-테스트(jar-test)를 실시하여 응집제를 선정하고, 알칼리제와 응집보조제의 필요 여부, 사용약품의 종류에 따른 최고, 최저 및 평균주입률 등을 정한다.

응집제의 주입률 결정은 동일수계에서 다른 정수장의 경우 등도 참고로 한다.

원수수질은 하루 중에도 변화가 많을 수 있으므로 응집제 주입률은 원수수질이 변함에 따라 적시에 적절하게 조절할 수 있도록 대비하는 것이 바람직하다. 일부 정수장에서는 제타포텐셜미터(zeta potential meter)나 SCD(stream current detector) 등의 측정기기를 활용하여 응집제 주입률을 자동보정하려는 추세도 있다.

크립토스פור리디움 등 병원성 미생물로 원수가 오염될 우려가 있는 경우에는 원수수온과 수질검사 결과에 알맞은 응집제를 적정한 주입률로 주입하는 것과 함께 pH조정이 중요하며, 각종 수질항목의 값을 인자로 하는 주입률 연산식을 설정하는 것에 관하여 고려해야 한다.

정수장의 운영관리는 수량관리와 수질관리로 대별할 수 있다. 수량관리는 그동안 꾸준히 전자계산기 등의 도입에 의해 자동화운전이 상당히 진전된 상태이다. 반면 수질관리 중에서 큰 비중을 차지하는 응집제투입제어에 있어서는 타분야에 비하여 상당히 자동화가 지연되고 있다. 그 이유로는

첫째, 응집제투입률에 영향을 미치는 수질인자가 많고, 인자간의 상호반응 특성이 명확히 밝혀지지 못한 점.

둘째, 현재 실용화되어 있는 수질계기는 탁도, 알칼리도, 전기전도도, 온도 등 개략적으로 수질인자를 측정하기 때문에 동일한 탁도에서도 응집제 투입률이 변화할 수 있다는 점.

셋째, 투입효과를 정량적으로 파악하는 것이 곤란하다는 점 등이다.

응집제 투입제어의 자동화는 향후 정수장 운영관리 자동화를 진전시키는데 있어서 더욱 중요한 사항이다. 공공 정수장에서의 응집제 투입방식은 자-테스트에 의하여 투입률을 결정하여 유량에 비례하여 투입하고 있다.

1) 투입률 결정방법

응집제는 콜로이드성 부유물질을 침전성이 양호한 플록으로 만들기 위하여 사용하는 것으로 투입률 결정문제가 제기되지만 응집침전 과정은 많은 수질인자의 영향을 받으므로 수질변동에 신속 대응한 최적 응집제 투입량의 결정은 어려움이 많다. 최적투입률 결정방법으로 여러 가지가 연구되어 있는데 투입률 결정방법별로 분류하면 다음과 같다.

- 가장 간단하고 널리 이용되고 있는 Jar-test의 이용방법
- 통계적인 자료를 기초로 한 수학적 모델 이용방법

— 응집현상에 대한 이론적인 접근과 하전된 계면의 성질에 기초를 둔 방법

- zeta 전위에 의한 방법
- SCD(stream current detector)에 의한 방법
- 플록의 성장: 형성속도, 밀도, 입경 등의 관측에 의한 방법

이러한 것 중 Jar-test, zeta 전위 등이 비교적 잘 검토되어 온 방법이다.

현재 공공 정수장에 사용되고 있는 Jar-test는 실제의 장치를 시뮬레이션한 것으로서 응집제 투입량 결정에는 가장 확실시되어 널리 사용되고 있다. 그러나 Jar-test에는 수질의 급격한 변동에 대응할 수 없다는 곤란한 점이 있다.

Zeta 전위는 그 이론 및 수많은 실험결과에 의해 우수한 지표라는 것은 알려져 있으나, 측정에 기술과 시간을 요하므로 현시점까지는 일반적으로 사용되지 않고 있다.

탁도, 알칼리도 등 원수수질 데이터로부터 응집제 투입량을 구하는 방법은 수질변동에 대한 추종성이 좋아서 제어에 적합한 것으로 알려지고 있으며, SCD(stream current detector)에 의한 응집제 투입량 결정방법 또한 최근 여러 문헌을 통하여 그 효과의 우수성이 알려지고 있다.

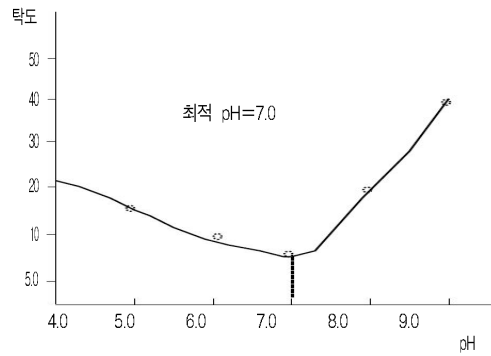
① 자-테스트(jar-test)

자-테스트는 자-테스터(jar-tester)를 사용하여 시험한다. 원수 1L 또는 2L를 각 원형 자(jar) 또는 4각형의 자(jar)에 채우고, 교반날개(임펠러)의 주변속도를 약 40cm/s로 조절한다. 이어서 단계적으로 주입량을 바꿔 자(jar)에 응집제를 재빠르게 첨가하면서 주변속도 40cm/s의 급속교반을 1분간, 그리고 주변속도 약 15cm/s로 10분간 완속교반을 계속한다. 10분간 정지한 다음에 상정수 약 500mL를 사이펀 또는 경사법으로 조용히 채취한다. 그 사이 플록형성과 침전상태를 관찰한다(☞ 자-테스트방법은 각 정수장의 조건에 따라 달라질 수 있다). 채취한 시료에 대하여 탁도, pH, 알칼리도 등을 측정하여 플록형성과 침전상태의 양부를 종합적으로 판단하며 적정주입량을 결정한다. 자-테스트로 좋은 응집효과를 얻지 못하였을 때에는 응집제 주입량을 바꾸거나 그 위에 산제, 알칼리제, 응집보조제를 병용하여 테스트를 되풀이한다. 자-테스트에 사용되는 응집제는 실제로 사용하는 응집제를 사용하여 1w/v% 용액을 만들고 그 1mL을 원수 1L에 주입(또는 2w/v% 용액을 만들고 그 1mL를 원수 2L에 주입)하면 10mg/L의 비율로 되므로 편리하다. 또 폴리염화알루미늄을 희석한 용액은 시간이 경과함에 따라 가수분해되어 백탁으로 된다. 이와 같은 용액을 사용하여 자-테스트를 하면, 올바른 응집효과를 판단할 수 없다.

● 최적 pH 결정

- ① 시료의 탁도, SS, TDS, 색도 등의 성질을 파악한다.
- ② 비커에 원수 200mL를 넣고 교반하면서 응집제를 1mL씩 증가시켜 최초의 플록형성이 보이는 점이 최소약품주입량이 되며 대략적인 약품주입량을 구한다.
- ③ 시료에 ②에서 구한 대략적인 약품주입량을 주입하고 pH를 4~6까지 6단계의 시료를 준비한다.

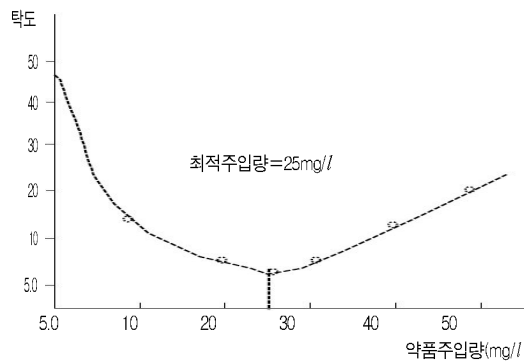
- ④ 2분간 급속교반과 15분간 완속 교반으로 플록을 형성하게 한 후 침전시키고 플록형성시간, 상정수의 pH를 기록한다.
- ⑤ 상정수의 탁도, SS, TDS, 색도 등을 측정하고 <그림 5.3.1>과 같이 Plot하여 최적 pH를 구한다.



<그림 5.3.1> 최적pH

● 최적 약품주입량 산출방법

- ① 6개의 1l-비커에 시료 1/씩을 넣고 앞에서 구한 최소 약품주입량의 25~200% 정도의 약품 주입농도로 변화시켜 시료를 준비한다.
- ② 앞에서 구한 적정 pH가 되도록 적정량의 알칼리제를 넣고 2분간 급속교반과 15분간 완속 교반으로 플록을 형성시킨 후 20분간 침강시켜 상정액의 탁도 등 필요한 항목을 측정한다.
- ③ <그림 5.3.2>과 같이 최적약품주입량, 침전슬러지량, 슬러지농도 등을 산출한다.



<그림 5.3.2> 최적약품주입량

● Jar - Test시 주의사항

중전의 무기응집제는 플록의 크기가 가장 중요한 응집성능의 평가항목이었으나, 유기고분자응집제

는 이온성이 적절하지 않은 응집제를 투입하여도 거대 플록의 형성에는 문제가 없으며 가장 중요한 평가항목은 플록의 강도이다.

【참고: zeta potential 측정법】

① 실험순서

- ① 시료 400ml를 1l-비커에 담는다.
- ② 적량의 응집제를 넣고 1~3분 동안 급속 교반 후 완속 교반한다.
- ③ 시료를 전기영동셀에 주입한다.
- ④ 소정의 전압하에서 입자의 이동속도와 pH를 측정한다. 측정의 정확도를 높이기 위하여 6회 정도 실시하고 약품주입량을 증가시키면서 반복 측정하면서 입자의 이동방향이 역방향이 될 때까지 계속한다.
- ⑤ 콜로이드입자의 이동속도를 계산하고 전기영동도를 다음 식에 따라 계산한다.

$$EM = RMGL / (VT)$$

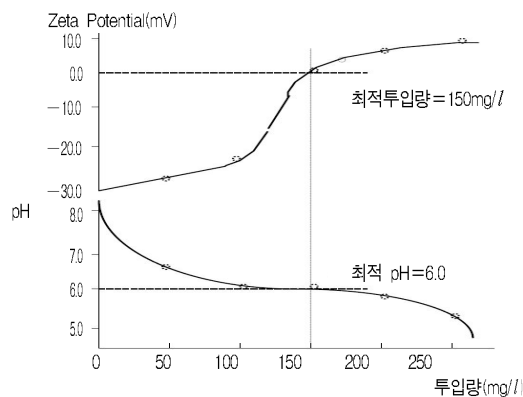
G: 격자간 거리(μm), V: 전압(V), L: 셀 길이(cm), T: 시간(sec)

- ⑥ 약품주입량에 대응하여 다음 식에 의거 산출된 Zeta Potential과 pH를 <그림 5.3.3>와 같이 Graph에 Plot하여 적정pH와 약품주입량을 구한다.

$$\zeta = 4\pi v / (\epsilon X) = 4\pi \eta EM / \epsilon$$

v=입자의 속도, ε=매체의 유전상수(dielectric constant), η=매체의 점도

X=cell의 단위길이에 가한 전위, EM=전기이동도(electrophoretic mobility)



<그림 5.3.3> Zeta Potential, pH약품주입량

2) 응집제 주입량

주입량은 처리수량에 응집제주입률을 곱하여 산정한다. 고형황산알루미늄을 용해하여 사용할 때에는 농도에 따라 주입량이 달라지고, 액체황산알루미늄 원액을 희석하여 사용할 때에는 주입률산정시 희석배수도 계산에 고려해야 한다. 액체인 경우의 주입률은 고형황산알루미늄 환산주입률(mg/L),

용적주입률(mL/m^3), 액체질량주입률(mg/L) 등으로 표시방법이 여러 가지이나 모두 ppm으로 호칭되므로 주의해야 한다.

<참조 예: 주입량 산출식>

① 고휘황산알루미늄의 용적주입률

$$V_v = Q \times R_s \times \frac{100}{C} \times 10^{-3}$$

여기서, V_v : 고휘황산알루미늄을 용해하여 C(%)의 농도인 황산알루미늄용액의 용적주입률(L/h)

Q : 처리수량(m^3/h)

R_s : 고휘황산알루미늄 주입률(mg/L)

C : 고휘황산알루미늄을 용해하였을 때의 용액농도(%)

※ 고휘황산알루미늄의 중량주입률은

$$M = Q \times R_s \times 10^{-3}$$

여기서, M : 고휘황산알루미늄의 중량주입률(kg/h)

② 액체황산알루미늄의 용적주입률(주입률을 고휘황산알루미늄으로부터 산정할 때)

$$V_v = Q \times R_s \times \frac{C_1}{C_2} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

여기서, V_v : 액체황산알루미늄의 용적주입률(L/h)

C_1 : 고휘황산알루미늄의 Al_2O_3 (%)

C_2 : 액체황산알루미늄의 Al_2O_3 (%)

d : 액체황산알루미늄의 밀도(kg/L)

③ 액체황산알루미늄의 용적주입률(주입률을 액체황산알루미늄 주입용량으로부터 산정할 때)

$$V = Q \times R_L$$

여기서, V : 액체황산알루미늄의 용적주입률(L/h)

R_L : 액체황산알루미늄의 주입률(mL/L)

④ 액체황산알루미늄의 용적주입률(주입률을 액체황산알루미늄 주입질량으로부터 산정할 때)

$$V = Q \times R_m \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

여기서, V : 액체황산알루미늄의 용적주입률(L/h)

R_m : 액체황산알루미늄의 주입률(mg/L)

d : 액체황산알루미늄의 밀도(kg/L)

3) 응집에 영향을 미치는 요인

응집작용은 플록 생성 과정의 교반 조건, pH값, 알칼리도, 수온 등의 물리적 및 화학적 모든 요인이 복잡하게 작용하여 이들이 응집제 주입률에 크게 영향을 미친다.

① 교반

교반은 응집제를 확산시키는 것과 콜로이드 입자에 에너지를 전달한다는 두 가지 목적을 지니고 있다.

금속 교반은 응집제를 급속히 확산시켜 응집제가 가수분해, 가교현상 등을 일으키기 전에 콜로이드 입자가 지나는 전하를 중화시키고 콜로이드 입자를 상호 결합, 집결시켜 미세 플록을 형성시키기 위해 실시된다.

금속 교반은 미세 플록을 상호 충돌시키면서 응집시키고 성장시키기 위해 실시되는 것으로 플록을 붕괴하지 않는 정도여야 한다.

또한 금속교반에서는 대류형(對流型) 소용돌이가 혼화지에 존재할 때 교반강도가 충분하지 않을 때 혹은 교반 시간이 짧을 때는 원수와 응집제, 알칼리제가 혼화되지 않은 상태로 되고 다음 단계의 플록 형성지로 이동했을 때에 플록 형성이 불충분하게 된다.

② pH

pH는 응집 작용에 있어 중요한 인자이다.

응집제는 원수 중에서 가수분해하여 금속수산화물을 생성하고 응집의 기인이 되는데, 수산화물의 용해도나 표면 전하는 pH에 따라 변한다. 수산화알루미늄인 경우는 pH가 5.5~8.5의 범위에서는 거의 용해되지 않고 pH가 5 이하 및 9 이상에서 용해된다.

원수인 경우는 현탁 물질, 알칼리도, 유리탄산 등의 함유량에 따라 pH 6~7 사이에서 양호한 플록이 형성된다.

③ 알칼리도

응집제를 원수 중에 첨가하면 가수분해로 인해 pH가 저하하는데 원수 중에 어느 정도의 알칼리도가 존재한다면 그 완충작용으로 pH의 급격한 저하는 일어나지 않는다.

원수의 현탁 물질의 질, 양, pH, 알칼리도가 적당한 상태라면 응집제 주입으로 알칼리가 소비되고 금속수산화물 생성에 적당한 pH가 유지되어 양호한 플록이 생성된다.

알칼리도가 높을 경우는 최적 pH로 내려가기 위해 응집제가 소비되므로 주입량을 증가시키게 된다. 알칼리도가 낮을 경우는 pH의 완충작용이 작아지므로 적절한 알칼리도를 유지시키기 위해 알칼리제를 보충한다.

예를 들어, 원수의 탁도에 따라 적정량의 응집제를 주입한 후 알칼리도가 20mg/L 정도 남은 경우는 응집제만으로도 괜찮지만 강우시의 탁도 상승이나 알칼리도가 저하되었을 경우에는 알칼리제를 주입할 필요가 있다.

④ 수온

수온은 응집반응, 플록 입자의 성장, 침강 분리에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 수온이 높아지면 화학적 활성이 증가하고 플록 성장을 촉진시킬 수 있다.

수온이 저하하는 겨울에 황산알루미늄으로 응집 처리하는 경우에는 10℃ 전후를 경계로 플록 형성이 현저히 나빠지므로 응집 보조제를 병용하던지 또는 폴리염화알루미늄으로 응집처리를 할 필요가 있다.

4) 원수 변동시의 대응

원수는 태풍, 호우, 기온의 영향을 받기 쉽고, 이러한 요인들이 수처리에 막대한 영향을 주므로 기상 조건에 대한 대응 방안을 정립해 둘 필요가 있다.

① 고탁도시의 대응

태풍이나 호우시는 탁도가 급격히 상승하고, 자-테스트에 의한 적정 주입률을 결정하는 방식으로 맞지 않는 경우가 있다. 그러므로 평상시에 원수에 점토를 가해 인공 고탁도수를 이용한 자-테스트에 의한 실험으로 응집제를 선정하고 알칼리제, 응집보조제 병용 유무를 검토하고 미리 약품주입률 범위를 정하고 있는 사례가 있다.

② 저수온이나 기타 처리시의 대응

저수온시에 황산알루미늄으로의 플록형성이 충분하지 않는 경우는 응집보조제의 병용 처리를 실시하든지, 저수온이라도 응집성이 양호한 폴리염화알루미늄으로의 교체를 검토할 필요가 있다. 과망간산알루미늄 처리나 분말활성탄 주입을 실시하고 있는 경우에는 실제 처리에 사용하고 있는 약품을 이용하여 자-테스트를 실시, 응집제 선정을 총합적으로 판단한다.

플랑크톤이 비정상적으로 번식한 원수인 경우에는, 봄철 규조류에 의한 여과폐색 장애나 여름철의 남조류 등에 의한 응집 저해로 여과수에 현탁 물질 누출 현상이 일어날 수 있다.

이 외에도 원수 색도나 과망간산칼륨소비량이 높을 경우는 응집제를 이용하여 약간 산성측으로 처리함으로써 응집 효과가 기대할 수 있다.

※ 분말활성탄은 통상 응집처리전의 원수에 주입하여 물과 혼화, 접촉시켜 수중의 오염물질을 제거하는데 사용된다. 활성탄처리는 통상의 정수처리로 제거되지 않는 맛, 냄새 원인물질(2-MIB, 지오지민 등), 합성세제, 페놀류, 트리할로메탄과 그 전구물질(부식질), 트리클로로에틸렌등의 휘발성유기화합물질, 농약 등의 미량유해물질, 수원상류수계에서의 사고 등에 의하여 유입되는 화학물질, 기타 유기물질을 제거하기 위해 사용된다. 활성탄은 세공구조가 발달한 탄소재료로서 원료, 탄화 및 활성화방법에 따라 물리·화학적 특성이 다르며 흡착능력도 크게 다르다. 또한 공기 중의 산소를 서서히 흡착하기 때문에 저장조등의 밀폐용기 내에서는 산소가 고갈될 우려가 있으므로 보수, 점검할 때 주의가 필요하다.

③ 장내 반송수의 대응

세척배수나 배출수처리시설로부터의 반송수는 응집처리에 영향을 미치므로 응집제 등의 주입을 충분히 검토하여 배출수처리시설을 포함한 합리적인 관리운영을 실시하는 것이 바람직하다.

예를 들어 응집제 주입량이 많으면 발생하는 슬러지량이나 슬러지의 탈수성에 영향을 미치므로 최소 주입량으로 유효한 응집 효과를 얻는 것이 중요하다.

5) 특수한 응집 처리

응집처리에는 앞서 서술한 방식 외에 다음과 같은 처리방법이 있다.

① 적접여과처리(마이크로 플록 처리)

이 처리방법은 저탁도의 원수를 처리하는 경우, 우선 응집제 주입률을 통상 50~60%로 작게 하고 급속교반을 비교적 단시간에 실시함으로써 입경이 수십 μm 이하의 작은 플록을 만들게 하는 것이다. 만들어진 플록을 침전지에서 침전시키지 않고 직접 여과지에 도입시켜 여과 전체를 유효하게 이용하여 여과하는 처리이다.

② 2단응집처리(후응집 처리)

통상의 응집 침전처리한 처리수에 다시 응집제를 주입하는 처리방법이다. 이 방법을 채택하는 경우로서는 플랑크톤의 영향으로 응집이 저해되고 여과수에 조류가 누출되어 탁도가 상승되는 경우에 채택하게 되는데 침전처리수에 응집제를 추가 주입하여 다시 플록을 형성한 다음 여과지에서 제거하는 사례가 있다.

이 외에도 생물활성탄흡착 처리수에 미세 동물이 누출되는 경우에 이들을 재응집시켜 여과지에서 포착하고 있는 예도 있다.

③ 응집제 병용 처리

플랑크톤이 증식할 때는 원수 pH가 고알칼리 영역으로 이동하여 응집을 저해하는 경우가 있는데, 그 대책으로서 응집 영역이 넓고 응집 효과가 우수한 폴리염화알루미늄으로 처리해도 고주입률이 되는 경우가 많다.

그러나 응집 처리용에 황 알루미늄과 폴리염화알루미늄 주입설비를 병설하고 있는 경우는 폴리염화알루미늄의 적정응집 pH영역까지 강하시키기 위해 황산알루미늄을 이용하여 응집제의 부족분을 폴리 염화알루미늄으로 보충하고 병용 처리함에 따라 응집 효과가 발휘되는 경우가 있다.

응집 영역 강화용 황산알루미늄과 응집 보충용 폴리염화알루미늄의 적정한 주입률은 자-테스트로 응집효과를 확인한 후 결정하는 것이 바람직하다.

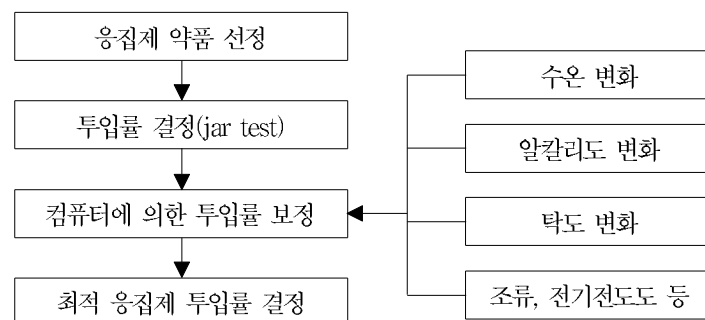
6) 자동주입의 대응

정수장의 운영관리는 수량관리와 수질관리로 대별할 수 있다. 수량관리는 그동안 꾸준히 전자계산기 등의 도입에 의해 자동화운전이 상당히 진전된 상태이다. 반면 수질관리 중에서 큰 비중을 차지하는 응집제투입제어에 있어서는 타분야에 비하여 상당히 자동화가 지연되고 있다. 그 이유로는

첫째, 응집제 투입률에 영향을 미치는 수질인자가 많고, 인자간의 상호반응 특성이 명확히 밝혀지지 못한 점.

둘째, 현재 실용화되어 있는 수질계기는 탁도, 알칼리도, 전기전도도, 온도 등 개략적으로 수질인자를 측정하기 때문에 동일한 탁도에서도 응집제 투입률이 변화할 수 있다는 점. 셋째, 투입효과를 정량적으로 파악하는 것이 곤란하다는 점 등이다.

응집제 투입제어의 자동화는 향후 정수장 운영관리 자동화를 진전시키는데 있어서 더욱 중요한 사



<그림 5.3.4> 최적 응집제 자동투입률 결정

항이다. 공공 정수장에서의 응집제 투입방식은 자-테스트에 의하여 투입량을 결정하여 유량에 비례하여 투입하고 있다. 이와 같은 방법은 수질변화에 따라 적정하게 대처하는 능력이 떨어지는 시스템이다. 따라서 보다 손쉽게 투입량을 결정하고, 응집제를 수질변화에 따라 자동적으로 투입할 수 있는 시스템을 검토하여 정확하고 실시간 제어가 가능토록 해야 한다.

5.3.3 pH조절제(산제·알칼리제)

(1) 산제·알칼리제의 종류

pH조절제로는 원수의 pH를 높이기 위하여 소석회, 소다회 및 액체수산화나트륨 등을 사용할 수 있으며, 부영양화 등의 이유로 높아진 원수의 pH를 낮추기 위하여 황산이나 이산화탄소 등의 산성 약품을 사용할 수도 있다. 다만 정수를 목적으로 사용되는 약품은 환경부에서 고시하는 제품이어야 한다. 정수처리 공정에서 사용하는 산·알칼리제의 종류에는 다음과 같은 것이 있다.

1) 산제(酸劑)의 종류

산의 종류에는 황산, 이산화탄소가 있다.

<표 5.3.1> 산제의 종류

1. 황산(H_2SO_4)		
규격	환경부 고시	KWWA M 109
주성분(H_2SO_4)(%)	1종 93% 이상, 2종 75% 이상	93% 이상
강열잔량 (%)	0.05	500wt ppm 이하
철(Fe) (wt ppm)	0.02	200 이하
비소(As) (wt ppm)	10	10 이하
납(Pb) (wt ppm)	10	10 이하
카드뮴(Cd) (wt ppm)	2	2 이하
크롬(Cr) (wt ppm)	10	10 이하
수은(Hg) (wt ppm)	0.4	0.4 이하
수분 (vol %)		—
냄새		—
셀레늄(Se) (wt ppm)		—
2. 이산화탄소(CO_2)		
성상	무색 무취의 가스	
주성분(CO_2)(%)	99.5%	

2) 알칼리제의 종류

알칼리제에는 수산화칼슘(소석회), 소다회(탄산나트륨), 수산화나트륨(가성소다액)이 있다.

<표 5.3.2> 알칼리제의 종류

알칼리제의 종류	수산화칼슘 (소석회) $\text{Ca}(\text{OH})_2$	수도용 소다회 (수도용 탄산나트륨) Na_2CO_3	수산화나트륨 (수도용 가정소다액) NaOH	
규격	환경부고시 (2004.6.28.)	KWWA M-102	KS M 1420:2002	환경부고시 (2004.6.28.)
외관	백색의 분말	백색의 분말 또는 입상	액체	무색 또는 약간 착색된 투명한 액체
주성분	산화칼슘(CaO) (wt %) 70%	총알칼리(Na_2CO_3 로서) (wt %) 99% 이상	수산화나트륨(NaOH) (wt %) 45% 이상	1종: 5% 이상 2종: 45% 이상
채잔류물 (wt %)	5 이하	—	—	—
가열감량 (wt %)	—	5 이하	—	—
탄산나트륨(Na_2CO_3) (wt %)	—	—	1 이하	—
산화제이철(Fe_2O_3) (wt %)	—	—	0.02 이하	—
염화나트륨(NaCl) (wt %)	—	—	1.3 이하	1.5 이하
비소(As) (wt ppm)	5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
납(Pb) (wt ppm)	20 이하	20 이하	10 이하	10 이하
카드뮴(Cd) (wt ppm)	5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
크롬(Cr) (wt ppm)	50 이하	5 이하	5 이하	5 이하
수은(Hg) (wt ppm)	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하

(2) 산제 · 알칼리제의 주입률

양호한 응집 · 침전처리 결과를 얻기 위해서는 산 · 알칼리제의 주입률이 중요한 요인이 된다. 또한 응집제를 주입함에 따라서 처리수가 어떻게 변화하는지를 충분히 파악해 두어야 한다.

1) 산제 주입률

산이 pH를 0.1 내리기 위해 필요한 주입량은 어느 정도인지를 미리 대상이 되는 원수에 대해 실험적으로 구해 두는 것이 바람직하다. 산 1mg/L 주입했을 때의 알칼리도의 감소를 <표 5.3.3>에 나타냈다.

<표 5.3.3> 산 1mg/L주입에 의한 알칼리도 감소

종 류	알칼리도 감소(mg/L)
황산 (H_2SO_4 0.1%)	1.0
염산 (HCl 0.1%)	0.58
탄산가스 (CO_2 99.5%)	없음

2) 알칼리제 주입률

응집제는 그 종류에 따라 <표 5.3.2>와 같은 비율로 알칼리도를 감소시킨다.

<표 5.3.4> 정수약품 1mg/L 주입시의 알칼리도 변화

약 품 명		알칼리도	
		증가	감소
소석회 CaO	(72%)	1.29	
소다회 Na ₂ CO ₃	(99%)	0.93	
수산화나트륨 NaOH	(45%)	0.56	
	(20%)	0.25	
황산알루미늄 Al ₂ O ₃	액체 (7%)		0.21
	액체 (8%)		0.24
	고형 (15%)		0.45
폴리염화알루미늄 Al ₂ O ₃ (10%) 염기도(50%)			0.15
염소 Cl ₂			1.41

알칼리제 주입률은 <표 5.3.4>의 수치를 사용하여 다음 식으로 산출한다.

$$W = [(A_2 + K \times R) - A_1] \div F$$

여기서, W : 알칼리제 주입률(mg/L)

A₁ : 원수 중의 알칼리도(mg/L)

A₂ : 처리 후에 남아 있어야 할 알칼리도(mg/L)

K : <표 5.3.2>에서 제시한 사용응집제 수치

R : 응집제 주입률(mg/L)

F : <표 5.3.2>에서 제시한 사용 알칼리제의 수치

5.3.4 응집보조제

강우로 인하여 원수 탁도가 높아졌을 경우나 겨울철에 저수온일 때 또는 처리수량을 증가시키고자 할 경우에는 응집제만을 사용하거나 또는 pH조절제(산제나 알칼리제)와 병용하는 일반적인 방법으로는 플록이 잘 형성되지 않고 침전수 탁도가 상승함으로써 여과수탁도가 높아지는 경우가 있다. 이와 같은 경우에 크고 무거운 플록을 형성시켜서 잘 침전 분리되도록 하고 플록을 단단하게 만들어서 급속여과지에서 쉽게 제거되도록 해야 한다. 또한 철, 망간, 생물 등을 제거하는 경우와 분말활성탄을 주입할 때에도 침전과 여과효과를 더욱 높이는 것이 필요하며, 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 응집보조제를 사용한다. 일반적으로 응집제로서 황산알루미늄을 사용할 때에는 응집보조제가 필요하고, 폴리염화알루미늄을 사용할 때에는 필요로 하지 않는 경우가 많다.

(1) 응집보조제의 종류

응집보조제로서는 규산나트륨과 알긴산나트륨이 사용되고 있으며 외국에서는 그 밖에 여러 가지 합성유기고분자 응집제가 활용되기도 한다. 저수온이나 저농도로 응집하기 어려운 경우에는 10mg/L 정도의 카오린이나 분말활성탄을 주입하는 방법도 있다. 설비가 간단하고 효과가 높기 때문에 소규모 정수장에서 채택하는 경우가 많다. 이들 응집보조제를 주입할 때에는 미리 자-테스트로 효과를 확인해야 한다. 합성유기고분자 응집제는 다양한 기본물질들이 개발되고 있지만, 식품에 첨가할 정도의 안전성이 공인된 것이어야 하며 건강상 위해성의 논란이 되는 물질을 정수처리과정에서 사용해서는 안 된다.

활성규산은 규산나트륨을 산(황산, 이산화탄소 등)으로 어느 정도 중화시켜서 숙성한 다음 규산을 중합시켜 고분자콜로이드로 만든 것으로, 규산콜로이드와 응집제에서 생성된 수산화알루미늄과의 하전중화에 의하여 응집보조제로서 기능은 우수하지만, 여과지에서 손실수두가 빠르게 상승하며 활성화 조작에 어려움이 있다. 응집보조제의 규격은 <표 5.3.5>와 같다.

알긴산나트륨은 미역과 같은 해초로 만들어지는 천연고분자제의 약품으로서, 그 작용은 가교흡착과 이온교환작용이라고 하며 분말을 그대로 용해하여 사용하므로 편리하나 순도가 높으면 점성이 커서 용해시키는데 시간이 걸린다. 그 밖의 고분자응집제도 외국에서는 여러 가지가 사용되고 있지만, 정수 중에 잔류하는 아크릴아미드모노머의 농도가 기준값을 넘지 않도록 운전관리해야 한다.

<표 5.3.5> 응집보조제의 규격

응집보조제의 종류	수도용 규산나트륨용액 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	알긴산나트륨 $(\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6)_n$		
		환경부 고시		KWWA M-100
		제1호	제2호	
규 격	KWWA M-107			
비중(20℃)	1.38 이상	—	—	—
이산화규소(SiO_2) (%)	28~30	—	—	—
산화나트륨(Na_2O) (%)	9~10	—	—	—
불용해분 (%)	0.2 이하	—	—	—
철분(Fe) (%)	0.02 이하	—	—	—
알긴산나트륨 (%)	—	90 이상	25 이상	90 이상
산불용성회분 (%)	—	2 이하	5 이하	2 이하
건조감량 (%)	—	15 이하	15 이하	15 이하
비소(As) (ppm)	5 이하	5 이하	30 이하	4 이하
납(Pb) (ppm)	10 이하	20 이하	20 이하	20 이하
카드뮴(Cd) (ppm)	2 이하	10 이하	10 이하	5 이하
수은(Hg) (ppm)	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하

(2) 응집보조제의 주입률

응집제의 주입률을 결정할 때에는 자-테스트 결과 등으로 응집보조제의 필요 여부를 판단하고, 필요한 경우에는 최고, 최저 및 평균주입률 등 응집보조제 주입률 범위를 정해야 한다. 통상 활성규산은 SiO_2 로서 1~5mg/L, 알긴산나트륨은 0.2~2mg/L의 범위로 주입된다.

활성규산은 활성화가 과대하면 응고되어 주입장치가 막히게 되므로 SiO_2 기준으로 0.5% 정도 희석한 용액으로 사용해야 한다. 알긴산나트륨은 1% 이하로 희석하여 사용해야 한다.

주입지점을 응집제를 주입하기 전, 후 또는 동시 중에서 어느 지점에서 주입하는가를 자-테스트를 통하여 효과를 비교하고 결정한다.

5.3.5 검수설비와 저장설비관리

검수설비는 정수 약품의 품질관리와 재고관리를 목적으로 하는 것이므로 적절한 품질관리와 정확한 계량을 실시하도록 한다. 약품 사용량은 원수의 수질과 처리 수량에 따라 정해지므로 미리 사용량 계획을 세워 수량 확보와 저장 등 정확한 재고관리를 하도록 한다.

특히 태풍기 및 강설기에는 약품 운송에 영향이 주는 경우도 있으므로 공급자측의 체제도 조사해 두어 고려하도록 한다.

(1) 약품반입 검사

- 1) 정수약품의 반입에 있어 수량 및 품질이 계약에 적합한지를 확인하고 반입일시, 약품명, 반입량 및 품질을 기록하고 필요한 기간 보존한다.
- 2) 약품의 품질은 반입할 때마다 납입업자에게 품질분석표를 받아 확인한다.
- 3) 액체약품(황산알루미늄, 폴리염화알루미늄, 수산화나트륨)은 반입시마다의 비중, 온도 등을 측정하는 것이 바람직하고 농도의 적합성이나 불순물의 유무도 확인한다.
- 4) 봉지, 상자, 캔 상태로 납입되는 약품은 그 수량으로 확인하고 탱크트럭이나 트럭으로 운송되는 액체 및 분말약품은 계측제어장치(트럭 스케일 등) 또는 공인 계량소에서 발행하는 계량 증명서로 확인한다.

(2) 저장설비

저장설비는 저장조, 부속 배관, 계량장치 및 누설처리설비로 구성되어 있다. 저장조의 재질에는 콘크리트제, 강판제, FRP제, PE제가 있는데 저장 약품의 성상(산성 및 알칼리성 용액)에 따른 내식성 재료(고무, 에폭시 수지, 염화비닐수지 등)로 라이닝이나 코팅 처리하고, 정기적으로 라이닝 접착 부분은 박리나 침식에 의한 누액이 없는지 점검 확인하지 않으면 안 된다.

1) 액체약품 저장관리

저장조를 복수 설치하고 있는 경우는 상호 교환 사용함으로써 누액 유무나 저장조 내의 점검이 용이하게 된다.

- ① 저장조에 액체약품을 넣을 때는 반드시 탱크트럭의 차륜방지설치를 확인하고 접속관이나 호스

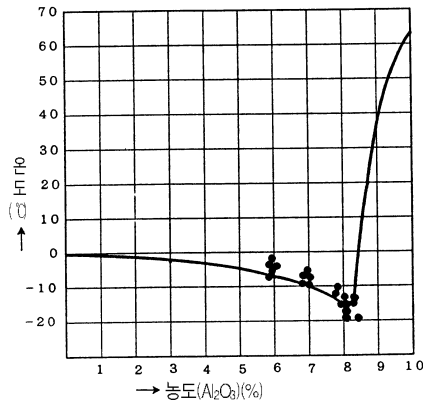
가 빠졌을 때의 누액에 주의한다. 또한 누액된 경우는 방액제 내에 일시 저류하고 적정한 중화 처리를 하도록 한다.

- ② 저장조의 수위계는 운전 및 재고관리에 중요하므로 항상 정확히 작동하고 있는지 확인한다.
- ③ 액체황산알루미늄은 산화알루미늄으로서의 농도가 9% 정도 이상이 되면 상온에서도 결정이 검출되므로 농도에 주의를 한다. 농도가 9% 이하라도 한랭지에서는 동결 방지를 위해 저장실 난방 또는 저장조를 보온한다.
- ④ 폴리염화알루미늄은 농도가 10~11% 상태가 저장·주입에 가장 적당하다. 다른 약품과 혼합하면 백색의 침전물이 생성되고 응집 성능 저하나 배관폐색을 일으키게 된다. 황산알루미늄과 공용하는 경우에는 교체하거나 사용 전에 설비를 충분히 세척한다.
- ⑤ 수산화나트륨은 45% 이상의 농도인 상태로 구입하는 경우가 많고 액온이 10℃ 이하가 되면 결정이 검출되므로 농도를 20% 정도로 희석하여 저장할 필요가 있다.
수산화나트륨은 물과 혼합하면 급격히 발열하므로 희석시에는 희석조 내에 반드시 물을 먼저 넣은 후에 천천히 수산화나트륨을 주입시켜야 한다. 수산화나트륨을 연속 희석하는 경우는 희석 농도에 따라 수량을 확인하고 냉각기로 희석 용액의 온도관리도 필요하다. 희석 후에는 액온을 저하, 냉각 후 이송시켜야 한다.
또한 장기간 저장하면 공기 중의 이산화탄소를 흡수하여 열화의 원인이 되므로 가능한 한 밀폐 상태로 저장해 둔다. 수산화나트륨은 독극물이고 부식성이 강하므로 취급시에는 보호안경, 고무장갑을 착용하도록 한다.
- ⑥ 황산을 저장하는 경우는 98% 용액에서는 액온이 3℃ 이하가 되면 결정이 검출되므로 95% 용액(-15℃에서 검출)을 구입하는 것이 바람직하다. 황산은 공기 중의 수분을 흡수하여 강재 등의 부식을 촉진시키므로 저장탱크는 밀폐시켜 통기관을 설치, 공기 통기구에 건조제를 넣고 그 효과를 정기적으로 확인한다.
- ⑦ 방액제는 기능을 충분히 발휘될 수 있도록 유지하기 위해서 정기적으로 점검·정비함과 동시에 누수 유무를 확인한다.
- ⑧ 응집용 약품주입설비는 저장 중에 고형 생성물 등에 의해 조절밸브 등이 폐색되어 기능이 저해될 수 있으므로 저장조를 정기적으로 점검, 청소한다.
- ⑨ 액체황산알루미늄 및 액체수산화나트륨 결정석출곡선은 <그림 5.3.5>와 <그림 5.3.6>에 나타냈다.

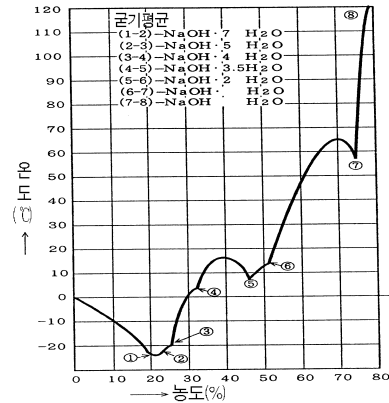
2) 분말약품 저장관리

분말은 같은 약품이라도 함유율, 온도 등에 따라 비중, 마찰각, 유동성이 다르고 약품에 따라서는 저장 중에 변질될 수 있으므로 주의한다.

- ① 분말을 운송할 때의 이송은 탱크트럭에 의한 공기 압송식으로 운반되는 경우가 많다. 이 경우, 공기원의 압력을 적정값으로 유지하고 분체 운송시에는 사전에 집진장치를 작동시키고 안전밸브 작동, 분말분출 유무 등을 확인한다.
- ② 사이로 주변 기기의 회전축 그랜드패킹부에서 분말이 산출되기도 하므로 정기적으로 점검하여



<그림 5.3.5> 액체황산알루미늄 결정석출곡선



<그림 5.3.6> 액체수산화나트륨 결정석출곡선

교체하도록 한다. 분체를 반입할 때는 사전에 집진장치인 마노미터의 차압, 안전밸브의 작동, 중량, 분체 산출의 유무, 브리지 발생 유무 등을 확인하고 반입 중에도 집진장치의 차압이나 안전밸브의 작동 등을 확인한다.

- ③ 소석회는 습기가 많으면 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 로 반응하여 탄산칼슘으로 변하고 소석회의 유효함유량이 감소한다. 소석회를 저장하는 경우는 저장조나 주입기에 잔여물 부착, 약품 브리지(가교), 플래시(분출)에 의한 폐쇄 상태 등을 확인할 필요가 있다. 팩에 넣어 둔 것은 장기 저장하는 동안에 수분을 흡수하여 변질되기 때문에 저장실은 제습 조정하고 필요 이상의 저장은 피하도록 한다.
- ④ 소다회는 습기가 들어가면 결정수를 갖는 탄산나트륨으로 변하여 분말이 서로 밀착되고 고결되어 물에 녹지 않게 되어 사용할 수 없게 되므로 저장실은 완전한 방습구조로 해야 한다.

(3) 재고관리

약품저장량이 너무 과대하면 설치비가 많이 들고 너무 과소하면 정수처리에 지장을 주므로 필요한 최소한의 용량을 유지해야 한다. 약품구입은 조달청과 계약한 회사나 조합으로부터 적당한 시간 간격으로 필요에 따라 발주하면 특별한 약품이 아닌 한은 쉽게 납품받을 수 있기 때문에, 평상시에는 그다지 큰 저장설비를 필요로 하지 않는다. 그러나 태풍이나 지진 등의 자연재해시에는 수송수단이 두절되거나 약품을 납품받는데 상당한 시일이 소요될 수 있을 것으로 예상된다. 특히 태풍시에는 수일에 걸쳐 원수 탁도가 수백NTU로 지속되는 경우도 있으므로 약품주입량도 늘어나며 약품의 구입난과 겹치는 경우에는 상당한 약품저장량을 확보하지 않으면 정수처리에 지장을 주게 된다. 이러한 것을 고려하여 각 약품의 저장량을 정해야 한다. 계절적으로 수송이 어려운 지역에는 그 사이에 필요한 약품량을 저장하는 설비를 고려해야 한다.

- 1) 응집제는 30일분 이상으로 한다.
- 2) 알칼리제는 연속 주입할 경우 30일분 이상, 간헐 주입할 경우에는 10일분 이상으로 한다.
- 3) 응집보조제는 10일분 이상으로 한다.

5.3.6 주입설비

주입설비는 펌프공급장치, 계량장치, 용해혼합장치, 주입펌프장치, 제어장치, 조정 및 주입용 배관 등의 각 장치로 구성된다.

(1) 주입방법

주입방법에는 건식과 습식이 있는데, 건식은 분말이나 입상 약품을 그대로 주입하는 방식이다. 분체는 유동성이 나빠므로 저장조나 주입기의 호퍼부에는 브리지나 플래시 방지책을 충분히 배려해 둔다.

습식은 약품을 용액이나 슬러리상으로 만들어 주입하는 자연유하방식, 펌프주입방식 및 인젝터방식이 있다. 주입설비 주입방식의 예(<표 5.3.6>)는 상수도시설기준 5.3.6 주입설비를 참조.

(2) 기기 및 배관 재료

주입설비는 부식성이 강한 약품에 노출되어 있으므로 기기, 배관류의 재질은 내식성이 강한 것을 선택하도록 해야 한다. 주입펌프류 접액부의 재질은 SUS 316 이상 또는 세라믹으로 된 것을, 밸브류는 스테인리스 또는 내식성 있는 다이어프램 밸브를 사용한다. 배관 재료는 사용하는 약품에 대해 충분히 내식성 있는 것을 사용한다. 필요에 따라 보습 대책이나 수지계 재료에는 적외선 대책과 내진성을 증대시키기 위해 여러 개의 연결을 배치하도록 한다.

<표 5.3.6> 약품주입방식

구 분	약품의 종류	주입방식	적 요
응집제	액체황산알루미늄	습식	산화알루미늄(Al_2O_3) 농도 6~8% 사용
	PACI	습식	산화알루미늄(Al_2O_3) 농도 10~18% 사용
	고형황산알루미늄	습식	고형황산알루미늄은 수용액으로 주입한다.
산제	황산	습식	황산(H_2SO_4) 농도 98%를 100~80배로 희석한 것을 사용한다.
	이산화탄소	습식	액화가스를 기화기를 사용하여 주입한다.
알칼리제	수산화나트륨	습식	일반적으로 20~25%로 희석하여 사용한다.
	소석회	건식 또는 습식	소석회는 건식주입기를 사용하거나 일정 농도의 석화유로 하여 용량계량펌프로 주입한다.
	소다회	건식 또는 습식	소다회는 세립상의 것을 건식으로 주입할 때와 배치식으로 일정 농도의 수용액으로 하여 주입하는 경우가 있다.
응집 보조제	활성 규산	습식	규산소다용액(SiO_2 1.5%)을 활성화한 후 SiO_2 0.5% 정도의 용액으로 희석 사용한다.
	알긴산나트륨	습식	

(3) 주입 조작시의 유의점

- 1) 응집 처리에 폴리염화알루미늄과 황산알루미늄을 구분지어 사용하기 위해 어쩔 수 없이 주입설비를 공용하는 경우는 응집제 교환에 앞서 펌프, 주입기, 이송용 배관을 충분히 세척한 후 사용한다.

<표 5.3.7> 응집제 주입설비 등 주요공정점검 예

구분	점 검 사 항	점검 결과	조치 사항	구분	점 검 사 항	점검 결과	조치 사항
응 집 · 침 전 · 설 비	플록형성지 유입밸브 작동상태			여 과 · 과 · 설 비	여과지 유입밸브 작동상태		
	플록큐레이터 작동상태				역세밸브 작동상태		
	부유물제거기 작동상태				역세척펌프 작동상태		
	슬러지 배출펌프 작동상태				정수밸브 작동상태		
	슬러지 배출 전동밸브 작동상태				역세공기밸브(배수밸브(φ800) 작동상태		
	배관실 바닥 배수펌프				역세공기밸브(φ300) 작동상태 배수밸브		
	지 배수펌프 작동상태				여과지 드레인밸브(φ200) 작동상태		
	슬러지 조절밸브(φ500)작동상태				역세조절밸브(φ600) 작동상태		
	각종 기기 및 기자재 소음, 진동, 윤활상태				호이스트 작동상태		
	배관 및 기기류 청소상태				바닥 배수펌프 작동상태		
PACl (ALUM) 및 NaOH 주입기	AC Servo motor 작동상태			비	변압기 (TR F1/F2 3.3KV/380-220V 3φ 500KVA)	전압(380V)적정 (허용 361 ~410V)	
	Reducer 작동상태					온도 적정(계기판)	
	플로트밸브 작동상태					소음 및 진동상태	
	디퍼 휠 구동상태				무정전전원장치(UPS 220, 110V) 작동상태		
	배관 및 각종 밸브 누수여부			NaOH 탱크 설비	수위계, 플로트밸브, S/V, 수위밸브, 교반기 자동제어펌프 작동상태		
	각종 제어시스템 이상유무				각종 밸브, 배관라인펌프 작동상태		
PACl 조절탱크	플로트밸브 작동 이상유무			활성탄 투입기	구동장치, hopper feeder, 용해탱크, agitator 작동상태		
ALUM 조절탱크	수위계 이상유무 각종밸브 및 배관			ALUM 옥외탱크	각종 밸브, 배관 및 수위계 작동상태		
NaOH 조절탱크	라인 작동상태			PACl(A/B/C) 옥외탱크			
				NaOH(20, 45%) 옥외탱크			

특기사항

- 2) 주입펌프의 그랜드부는 누액에 주의하고 누액 처리수나 주입설비의 물청소 후의 배수는 적절히 중화 처리하도록 한다.
- 3) 황산 및 수산화나트륨은 5.3.5 (2)저장설비를 참조할 것.
- 4) 소석회의 슬러리는 농도를 10~15% 정도로 하여 안정 주입을 도모한다.
- 5) 소석회 슬러리의 주입설비를 장기간 정지하는 경우는 기기나 이송 배관 세척을 충분히 실시한다.
- 6) 소석회를 포화용액(농도 0.17% 이하)으로 주입하는 경우는 용해조에 소정량 이상의 소석회를 투입하면 교반기의 부담이 커져 고장의 원인이 될 수 있다. 또한 용해조로의 급수량이 소정량 이상이 되면 용해조 상부에서 미용해 소석회가 유출되므로 주의하도록 한다.
- 7) 소석회의 슬러리는 저농도에서는 품질의 열화가 빠르므로 고농도에서의 난용해성을 고려하여 농도를 10~15% 정도에서 용해시킴으로써 안정 주입 조작을 확보한다.

(4) 점검사항

주입설비(제어기기를 포함)는 정수약품의 적절한 주입제어가 가능하도록 일상 점검에 노력을 기울인다.

<표 5.3.7>, <표 5.3.8> 주입 배관은 적절한 조작을 위해약품마다 색으로 구분하여약품명을 기입하고 파손사고 등에 대비해 예비관 및 배관 재료를 상비해 둔다.

<표 5.3.8> 응집용약품주입설비 점검 등 요령 예

설 비	주 기	점 검 내 용
저장설비	1회/일	1. 재고량 확인
	1회/일	2. 배관밸브류의 개폐상황, 누액의 유무
	1회/일	3. 액위 변동상황
	1회/일	4. 배압밸브의 작동유무
주입설비 (이송, 분체 등)	1회/일	1. 배관밸브류의 개폐상황, 누액의 유무
	1회/일	2. 액위 변동상황
	1회/일	3. 토출압, 전류값 상태
	1회/일	4. 이상음 및 압력 확인
	1회/일	5. 유량계 및 분면위 확인
	1회/일	6. 중량계 및 압력 확인
	1회/일	7. 각종 컨베이어, 로터리밸브 용해조교반기의 전류값, 윤활유 확인
	1회/일	8. 브리지, 플래시의 유무
	1회/일	9. 각종 컨베이어, 로터리밸브 용해조교반기의 이상음 유무

5.3.7 기타 약품에 관한 안전관리

정수장에서는 정수과정에 여러 종의 약품이 사용되게 된다. 이 중에는 강산성 또는 강알칼리성을

나타내는 것이나 분진을 발생시키는 것이 있으므로 약품류 취급 및 반입, 저장, 용해, 주입 등의 작업 및 각 설비의 점검·정비에는 그 성상에 맞는 주의가 필요하다(<표 5.3.10>).

특히 황산의 취급과 관련하여 매우 위험하므로 다음과 같은 요령으로 취급한다.

(1) 황산(Sulfuric Acid)의 취급방법

1) 일반사항

황산을 취급하는 자는 황산 취급시 주의사항 및 사고시 응급조치방법을 숙지하여야 한다. 또한 취급자는 보유하고 있는 기구·장비·이송배관·밸브 및 누출방지시설 등 관련설비가 본래의 성능을 발휘할 수 있도록 적정하게 유지·관리하여야 한다.

2) 운반·저장·보관방법

황산을 운반하는 장비는 부식·손상·노후 되지 않도록 유지관리하여야 하며, 이를 위하여 수시로 점검하여야 한다. 황산을 1회 5,000kg 이상 운반할 때에는 다음의 내용이 포함된 운반계획을 미리 작성하여 운반자 및 호송자가 이를 숙지하고 휴대하여야 한다.

① 운송도로(예비도로 1개를 포함)의 사전선정

운송도중 전복사고 등에 의해 강, 하천의 수질오염을 유발하지 아니할 수 있는 도로를 선정한다.

② 선정된 도로에서 가까운 행정기관 파악

유독물 사고발생시 신고하여야 할 행정기관의 명칭, 전화번호, 주소, 위치도 등을 작성하여 사고시 신고이행에 대비한다(상수원수 취수장 인접하천 통과시에는 취수장을 포함한다).

③ 휴대용 전화기 휴대

운전자는 운반차량의 사고 등에 대비하여 인근 행정기관 및 취수장 등에 신속하게 신고하기 위하여 휴대용 전화기를 휴대하여야 한다.

④ 황산의 저장용기는 물리적인 손상에 견딜 수 있는 주철 또는 스테인리스 스틸제 탱크로리, 트레일러를 이용한다.

⑤ 황산은 서늘하고 통풍이 잘되며 물과 격리된 장소에 밀봉하여 보관하며 화재, 폭발위험을 방지하기 위해 금속분말, 유기물, 환원제와 분리하여 저장하여야 한다.

3) 취급시 주의사항(사고예방)

황산에 물을 가할 경우 격렬한 발열반응으로 인해 사고 위험이 높으므로 절대로 황산에 물을 직접 가하지 말고 황산을 물에 가해야 하며, 취급 또는 작업시는 통풍이 잘되는 곳에서 행하고 내산성 보호의, 고무장갑, 고무앞치마, 산성가스 카트리지가 장착된 전면 호흡용 보호구를 착용하여 단기적인 접촉 및 반복적이고 장기적인 노출을 피해야 한다. 노출기준 이상에서는 호흡용 보호구를 착용해야 한다.

4) 취급자에 대한 응급조치방법

① 황산이 눈에 들어갔을 때는 눈꺼풀을 가끔씩 깜박이면서 다량의 미지근한 물로 씻으며 의사의 검진을 받는다. 흡입했을 때는 즉시 환자를 신선한 공기가 있는 장소로 옮기고 의사의 검진을 받는다.

② 환자의 호흡이 멈추었으면 호흡용 기구를 이용하여 호흡을 유도하고 환자가 황산을 섭취 또는

흡입하였을 경우 구강—구강을 이용한 구조 호흡은 사용하지 말아야 한다.

- ③ 피부에 접촉했을 때는 즉시 오염된 의복을 벗기고 오염물이 피부에서 확산되지 않게 하며 다량의 흐르는 물로 20분 이상 씻어내고 자극이 지속되면 의사의 검진을 받는다.
- ④ 삼켰을 때는 즉시 의사의 검진을 받아야 하며 구토를 시키지 말아야 한다.
- ⑤ 샤워시설이 없는 정수장은 황산 취급자가 불의의 피부 접촉사고 등에 대비하여 응급조치가 가능하도록 샤워시설 등을 우선적으로 설치하여 만약의 사고에 만전을 기하도록 하여야 한다.

5) 황산의 폐기방법

황산의 폐기는 소다회(soda ash), 소석회(slaked lime) 용액을 교반하면서 서서히 가하여 중화 처리하며, 중화 전에 산을 다량의 물에 가하여 희석시켜야 한다. 희석 또는 중화시에 다량의 열이 발생하므로 주의하여야 하며 매립하지 말아야 한다.

6) 황산 보관시설의 기구 및 장비 기준

황산 보관시설의 기구 및 장비 기준은 <표 5.3.9>와 같다.

<표 5.3.9> 황산 보관시설의 기구 및 장비기준

시 설	기 준
공동사항	(1) 바닥은 방수시멘트 콘크리트 등 황산에 견딜 수 있는 자재로 되어 있어야 한다. (2) 폭발·화재 등 사고를 예방할 수 있는 필요한 안전장치를 갖추어야 한다. (3) 황산을 취급하는 과정에서 황산이 외부로 유출되거나 지하로 스며들거나 흩날리는 것을 예방할 수 있는 방지시설을 설치하여야 한다.
옥내보관 시설	(1) 기구 및 장비 (가) 소화기·방독면·보호장갑·보호신발·보호의 및 보호안경을 비치하여야 한다. (나) 황산을 중화·흡착·희석하거나 회수할 수 있는 방제약품이나 자재를 비치하여야 한다. (2) 기타 (가) 환기시설이 있어야 한다. (나) 황산을 품목별로 구분하여 보관할 수 있어야 한다. (다) 창문에 보호철망이 있어야 하고, 출입문에는 잠금장치가 있어야 한다. (라) 보관시설의 입구에는 관련규정에 의한 표시를 하여야 한다.
옥외보관 시설	(1) 기구 및 장비: 옥내보관시설의 기준과 같다. (2) 기타 (가) 바닥은 방수시멘트 콘크리트 등 황산에 견딜 수 있는 자재로 되어 있어야 한다. (나) 잠금장치·보호철망 등 안전설비를 갖추어야 한다. (다) 황산을 품목별로 구분하여 보관할 수 있어야 한다. (라) 보관시설 안에 선반등 구조물을 설치하는 경우 하중·풍력 등에 대하여 안전하도록 지반에 견고하게 고정하여야 한다. (마) 보관시설의 입구에는 관련규정에 의한 표시를 하여야 한다.

7) 화재시 대처방법

- ① 소화방법 및 소화시 유의사항

- 황산은 가연성이 아니나 가열되면 부식성 독성가스를 방출하면서 분해될 수 있다. 물과 격렬히 반응하여 부식성 독성가스를 방출하면서 다량의 열을 발생하며 금속과 접촉하면 인화성인 수소가스를 발생하므로 소화시 주의하여야 한다.
- 용기가 가열되거나 또는 물로 오염되면 폭발할 수 있다. 위험하지 않으면 화재지역에서 용기를 옮기며 용기내로 물이 들어가지 않도록 주의하여야 한다.

② 소화제 및 소화장비

- 화재의 규모가 작을 때는 건사(乾餉), 분말소화제, 이산화탄소, 내 알코올성 포말을 사용하며, 화재의 규모가 큰 경우에는 물 스프레이, 물안개, 내 알코올성 포말을 사용하여야 한다.
- 직수(直守)는 사용하지 말고, 탱크·화차·탱크트럭의 화재시는 최대한 먼 거리에서 진화하고 무인 호스 등을 사용하여야 한다.

8) 유출시 방제요령

① 주의사항

- 유출지역은 관계자의 출입을 통제하고 유출지역은 적어도 반경 50~100미터 격리하며, 적절한 보호의를 착용하지 않고는 파손된 용기나 유출액을 만지지 말아야 한다.
- 또한 절대로 용기내로 물이 들어가지 않도록 하여야 하며 유출지역의 증기를 줄이기 위하여 물 스프레이를 사용할 수 있으나 유출액에 직접적으로 물이 닿지 않도록 한다.
- 유출액과 가연성물질(나무, 종이, 기름 등)이 접촉하지 않도록 하며 수로나 하수구로 유입되지 않도록 한다.

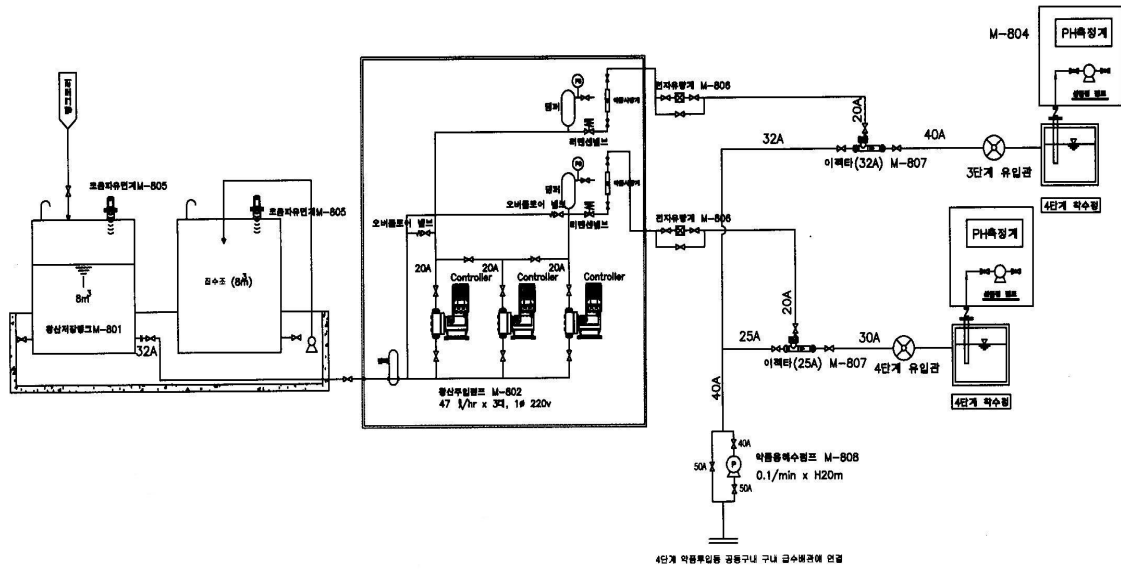
② 방제약품 및 방제방법

- 토양에 소량 유출시는 오염된 지역을 중탄산나트륨(sodium bicarbonate)이나 소다회(soda ash)/소석회(slaked lime)로 덮고, 중화제를 이용할 수 없으면 유출액을 건토(乾土), 건사(乾餉) 또는 비가연성물질로 덮어 흡수시킨다. 유출액의 확산방지 및 우천시 빗물이 닿지 않도록 플라스틱 시트를 사용할 수 있다. 또한 토양에 대량 유출시는 구덩이나 연못을 만들어 한 곳에 모아 유출액의 확산을 방지하거나 흙, 모래주머니, 콘크리트 등으로 제방을 쌓아 확산을 방지하여야 한다.
중화는 중탄산나트륨이나 소다회/소석회를 이용한다.
- 하천에 소량 유출시는 약품의 과잉사용을 방지하기 위하여 누출지역에 한하여 중탄산나트륨을 사용하며, 과다하게 사용하면 유출지역의 pH가 높아질 수 있다. 산화칼슘, 수산화칼슘, 탄산나트륨을 중화제로서 사용할 수 있으며 대량 유출시에도 동일하게 이용 가능하다. 중화된 잔류물은 추후 처분을 위하여 별도 용기에 담아둔다.

(2) 황산설비의 운영방법

1) 황산설비의 구성

황산설비는 저장탱크, 주입펌프, 유량계 및 감시제어설비로 구성된다.



<그림 53.7> 황산투입설비 공정구성도

① 저장탱크

구분	형식 및 규격	사 진
형 식	원통형	
용 량	평상시 사용량의 10일분 이상	
재 질	FRP, 주철, STS(내산성 재질)	
수 량	2대 이상(1대 예비용)	
구성품	보강재 및 사다리, 흡입, 토출, 드레인, 수위계, 유출방지턱, 비상용펌프 등	

② 주입펌프

구분	형식 및 규격	사 진
형 식	정량 다이어프램펌프	
제어방식	자동비례주입 및 스트로크 수동제어	
정 밀 도	±1.5%(최대용량 대비)	
재 질	내산성 재질	
구 성 품	압력유지밸브, 안전밸브, 흡입 및 토출측 맥동방재장치, 입력신호 자동비례제어 주입기(펌프장착형), 다이어프램 파손 감지센서, 토출유량감지센서, 스킴드 마운팅, 면적식유량계	

③ 정수장에서의 황산시설 구성 예

정수장	시설용량	투 입 시 설	황산 예정 사용량
S 정수장	786,000m ³ /일	<ul style="list-style-type: none"> - 황산저장탱크(8m³, PE원통형): 1대 - 황산 주입정량펌프(47l/hr): 3대 - 각종 측정계기류: 1식 <ul style="list-style-type: none"> • pH 측정기 • 초음파 유량계 및 전자식 유량계 - 황산투입설비 제어반(자동, 수동): 1면 - 각종배관(회석수, 샘플링수, 황산용해수) 및 부대설비: 1식 	130m ³ /년

2) 황산설비 운영방법

① 현장 운영방법

- 현장운영 조건에서는 다음 그림과 같이 현장조작반의 전원을 ON시키고 각종 설비(정량펌프, 회석수펌프, 유량계 및 pH계 등)의 전원이 투입되었는지를 확인한다.



<그림 5.38> 황산주입설비 현장 조작반

- 다음 그림과 같이 정량펌프 및 밸브 상태를 투입조건으로 유지한다.



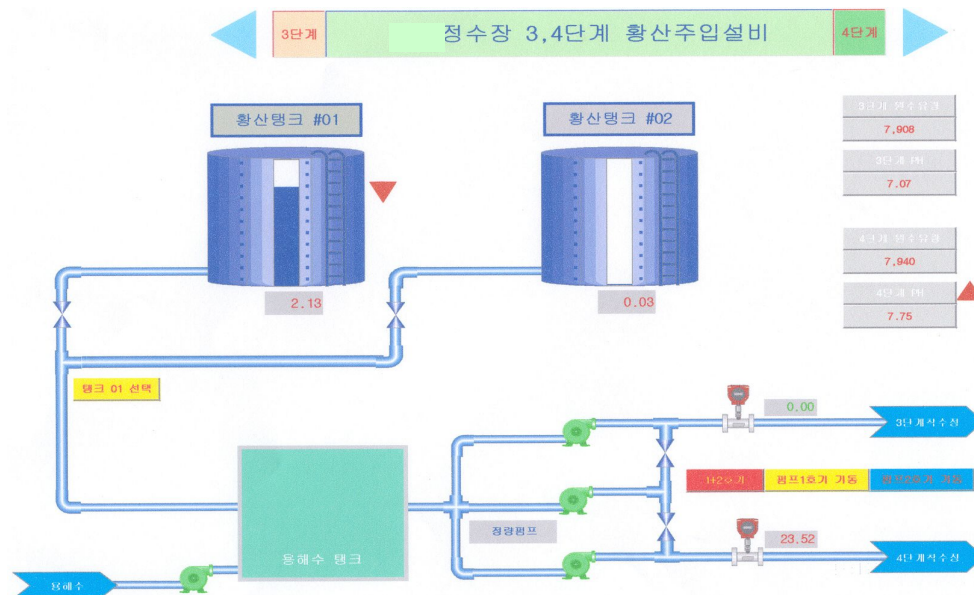
<그림 5.39> 황산주입설비 정량펌프

- 다음 그림과 같이 이젝터, 희석수 펌프 및 유량계를 투입조건으로 유지한다.



<그림 5.3.10> 황산주입설비 이젝터 및 희석수펌프

- 현장조작반의 투입률 컨트롤러를 조절하여 투입하고자 하는 투입률을 세팅한다.
- ② 원격 운영방법
- 현장에서 투입 가능한 조건을 확인한다.
 - “1+2”호기 한 단계로 투입할 경우 “1호기” 또는 “2호기” 버튼을 클릭한 후 자동, 수동모드를 선택한다.
 - 정량펌프의 투입량을 원하는 수치로 설정한다.
 - 황산주입 후 원수 pH의 변화 여부를 디스플레이로 감시하며 투입량을 조절한다.



<그림 5.3.11> 중앙조정실 황산주입설비 제어감시화면

<표 5.3.10> 기타 약품관리요령

약품명	특성 및 유해성	취급상의 주의
황산알루미늄 ($\text{Al}_2\text{SO}_4\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	<ul style="list-style-type: none"> - 불연성으로 위험성 및 유해성의 분류에 해당하지 않는다. - 무색 또는 담황갈색 투명한 액체로 pH 3 정도의 산성을 나타낸다. - 피부 및 눈에 대해 약간의 자극성이 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> - 직접 손에 닿거나 신체나 의복에 부착되지 않도록 보호구 착용에 유의한다. - 취급 장소로 적당한 곳에는 수도설비, 세안기를 준비한다. - 누설시에는 소석회, 탄산칼슘, 소다석회 등을 가해 적절한 중화처리를 한다.
폴리염화알루미늄 (PACl)	<ul style="list-style-type: none"> - 불연성으로 위험성 및 유해성의 분류에 해당하지 않는다. - 무색 또는 황갈색의 투명 액체로 pH 3~5 정도의 산성을 나타낸다. - 차이염소산나트륨과 혼합되면 염소가스를 발생한다. - 피부 및 눈에 대해서는 약간의 자극성이 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 직접 손에 닿거나 신체나 의복에 부착되지 않도록 보호구 착용에 유의한다. - 취급 장소의 적당한 곳에는 샤워설비, 세안기를 준비한다. - 누설시에는 소석회, 탄산칼슘, 소다석회 등을 가해 적절한 중화처리를 하도록 한다.
규산나트륨 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)	<ul style="list-style-type: none"> - 불연성이고 연소나 폭발의 위험성은 없다. - 접촉 또는 흡입에 의해 피부, 눈 또는 상부 호흡기를 자극한다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 직접 손을 신체나 의복에 부착하지 않도록 반드시 보호구(고무의, 고무걸이, 고무장갑 보안모자)를 착용한다. - 취급 종료 후는 목을 행구고 눈을 세척하여 비누로 잘 씻어낸다. - 취급 장소부근에 세면장, 세안기 등을 필요에 따라 설치하도록 한다.
알긴산나트륨 ($\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6 \cdot \text{Na}$) _n	<ul style="list-style-type: none"> - 백 또는 황색의 불연성 분말로 물에 녹으면 알칼리성을 나타낸다. - 위험성이나 유해성은 지적 되어 있지 않다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분말이 가능한 날리지 않도록 하고 흡입하지 않도록 적절한 보호구(고무의, 고무장갑, 고무장갑, 보호안경, 보안모자)를 착용한다. - 집진기나 청소기 등에 의해 분말이 날리지 않도록 주의한다. - 바닥에 떨어져 흡수되면 팽창하여 집활성을 띠게 되므로 다량의 물로 씻어낸다.
수산화나트륨 (NaOH)	<ul style="list-style-type: none"> - 수산화나트륨 자체는 폭발이나 발화의 위험이 없지만 물 또는 산에 접촉하게 되면 발열한다. - 작업실내의 허용농도는 $2\text{mg}/\text{m}^3$(상한값)로 되어 있다. - 피부에 닿으면 피부표면으로 침투해 피부염을 일으킨다. - 분진이나 미스트를 흡입하게 되면 기도점막이 손상을 입게 된다. - 잘못하여 마시게 되면 구강, 식도, 위 등에 염증이 유발된다. - 눈에 들어가면 각막을 손상시키고 시력 저하나 실명될 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 용기는 수분을 흡수하지 않도록 밀봉하여 보관한다. - 물로 용해시키는 경우는 발열하여 액이 발산할 수 있으므로 반드시 물속에서 수산화나트륨을 조금씩 더한다. - 취급시에는 소정의 보호구를 반드시 사용한다. - 취급 장소에 샤워설비, 세안기를 설치한다.

약품명	특성 및 유해성	취급상의 주의
수산화칼슘 (소석회) $\text{Ca}(\text{OH})_2$	<ul style="list-style-type: none"> - 소석회 자체에는 인화성 및 폭발의 위험성은 없다. - 소석회는 물에는 비교적 잘 녹으므로 물속에 넣으면 현탁액(석화유)이 되는데 물속의 탄산가스(이산화탄소)를 흡입하여 탄산칼슘을 만들어낸다. - 주변에서 화재가 발생한 경우, 이동가능 할 때 재빨리 안전한 곳으로 이동한다. 소화에 의해 슬러리상으로 된 소석탄은 강알칼리성을 나타내므로 중화처리가 필요하다. - 피부에 대해 발적, 미열감이 나타나고 눈에 는 발적, 통증이 나타난다. - 반복 또는 장기간 피부와 접촉하게 되면 피부염을 일으킬 수가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세한 분말로 이루어져 있으므로 작업시에는 보호안경, 마스크 등 보호구를 착용하도록 한다. - 비산된 미분말이 눈이나 입으로 들어가지 않도록 가능한 한 바람이 없는 곳에서 작업한다. - 환기가 좋은 장소에서 다루도록 한다. - 슬러리상으로는 강한 알칼리성을 나타내므로 작업에는 충분히 주의하고 부착된 경우는 물로 씻어낸다.
탄산나트륨 (소다석회) Na_2CO_3	<ul style="list-style-type: none"> - 백색의 분말로 수분을 흡수하면 굳어지므로 밀폐용기에 보고나하도록 한다. - 눈이나 호흡기를 자극하고 피부에 장시간 부착되면 염증을 유발할 수 있다. 마셔버린 경우에는 구토, 복통, 설사 등을 일으킬 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 직접 손에 닿거나 신체나 의복에 묻지 않도록 반드시 보호구(고무의, 고무장화, 고무장갑, 보호안경, 보안모자)를 착용한다. - 작업현장으로 적당한 곳에는 수도설비, 세안기를 준비한다. - 취급 장소에는 부분적 또는 전체 배기장치가 바람직하다.
황산 (H_2SO_4)	<ul style="list-style-type: none"> - 물과 접촉하여 격렬히 발열함 - 금속 등과의 접촉으로 수소를 발생하기 때문에 폭발성에 주의한다. 짙은 황산은 짙이나 톱밥 등의 유기물과 접촉하여 폭발할 수 있다. - 인체에 영향을 주는 허용농도는 $1\text{mg}/\text{m}^3$이다 - 피부 등에 접촉하면 탈수작용을 일으키고 다량의 열이 발생되므로 화상에 주의한다. - 눈에 들어가면 시력을 저하시켜 실명될 수도 있다. - 증기를 장시간 주입시키면 치아산식을 일으키고 호흡기에 손상을 주어 폐렴, 폐수종을 일으키는 경우도 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 저장장소를 정하고 다른 물질과 격리시켜 밀봉 보관한다. - 직접 손에 닿거나 신체나 의복에 닿지 않도록 반드시 보호구를 착용하도록 한다. - 취급에는 환기가 좋은 장소에서 실시하는 것이 바람직하다. - 취급장소로 적당한 곳에 수도설비, 세안기 등을 설치한다. - 황산을 물로 희석하는 경우는 발열하여 액온이 상승하게 되므로 물을 교반시키면서 짙은 황산을 조금씩 더한다. - 누액된 경우, 중조, 소다석회, 소석회 등을 이용하여 중화 처리한다.
염산 (HCl)	<ul style="list-style-type: none"> - 불연성의 무색투명(도는 담황색)의 액체로 25% 이상의 농도의 것은 발연성(염화수소 가스, 염산가스)이 있고 강한 산성을 나타낸다. - 염산 자체에는 폭발성이나 인화성은 없지만 대부분의 금속에 침투하여 수소를 발생시키고 이것이 공기와 혼합되어 폭발을 일으키는 경우가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 직접 손에 닿거나 신체나 의복에 닿지 않도록 반드시 보호구 착용을 한다. - 미스트가 발생하는 장소에서 작업하는 경우는 배기장치에 의해 오염공기를 밖으로 배출시킨다. - 쏘은 장소에서는 즉시 물로 씻어낸다. - 작업현장으로 적당한 곳에는 수도설비, 세안기를 준비한다.

약품명	특성 및 유해성	취급상의 주의
염산 (HCl)	<ul style="list-style-type: none"> - 염소가스는 강한 자극적인 냄새가 나고 0.13~0.26ppm에서 그 존재를 알 수 있다. - 피부 또는 점막에 닿으면 염증을 유발한다. - 눈에 들어가면 눈 조직으로 급속히 침투하여 시력저하나 실명을 초래할 수도 있다. - 잘못으로 마시게 되면 호흡기, 위, 등에 장애가 있다. - 농후한 탄산가스나 미스트를 흡입하게 되면 후두를 자극하여 기침이 나오고 눈이나 코를 자극하게 된다. 다량으로 흡입하게 되면 중독사한다. 	
차아염소산칼슘 (Ca(ClO) ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - 불안정한 물질로 상온에서도 분해하고 발열하여 산소를 방출시킨다. - 물과 반응하여 염화수소가스를 발생하고 화재 발생시 등 고열에 의한 분해가 급격히 진행되어 염소가스를 발생하게 된다. - 강한 산화력을 지니고 있고 가연물·환원제, 특히 암모니아 및 그 염류와의 혼합·접촉은 폭발의 위험성이 있다. - 피부를 자극하여 피부염을 일으킬 수가 있다. - 눈에 들어간 경우는 상당한 통증을 느끼고 각막이 손상된다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 밀봉된 용기에 넣어 물이나 가연물, 폭발성 물질과 접촉을 피하고 그늘지고 서늘한 곳에 보관한다. - 화기에 가까이 하지 않는다. - 기름, 카본, 유황 등의 유기물이나 환원제와 접촉시키지 않는다. - 포장용기가 파손되어 쏟아진 경우는 소량이 라면 10배 이상의 물로 씻어낸다.
아크릴아미드 CH ₂ =CHCONH ₂	<ul style="list-style-type: none"> - 인화성 및 폭발성은 없다. - 인체에 영향을 주는 허용농도는 0.3mg/m³이다. - 경피흡수가 있고 중독증상은 주로 만성장애로 손가락, 발에 껍질이 벗겨지는 것이 특징적인데, 온도를 민감하게 느끼고 신경증상과 간장해를 일으킨다. 그러나 생체 내에 흡수된 경우는 분해되기 쉬워 축적성은 적으므로 중독인 경우의 회복은 비교적 빠르다. - 분진은 기도관에 의한 흡입 외에 피부로 부터도 흡수된다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 용기는 20~30℃의 냉암소에 보관한다. - 분진 등의 발산원에는 밀폐식 설비 또는 국소배기장치를 설치한다.

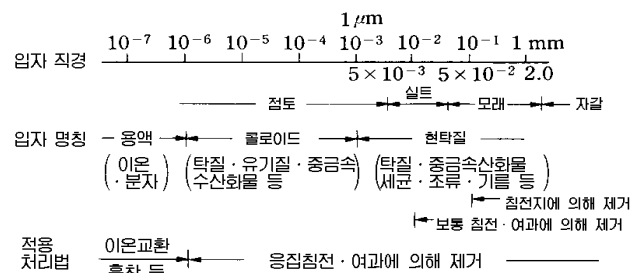
5.4 응집지

5.4.1 총칙

플록형성지는 급속여과방식의 하나의 중요한 공정으로 자리하고 있으며, 원수 중의 처리 대상인 현탁물질을 황산알루미늄 등의 응집제를 이용하여 플록을 형성시키고 침강성을 증가시켜 침전 제거한다.

플록형성지에는 침전지에 도달하기까지 응집제를 원수에 주입하고 확산시켜 현탁물질과 접촉시키고 미세 플록을 형성시키는 급속교반과 미세 플록을 응집 성장시켜 큰 플록으로 만드는 완속교반 등의 두 개의 공정이 있다. 시설로서는 급속교반을 하는 혼화지와 완속교반을 하는 플록형성지로 구성되는데, 이들을 플록형성지라고 총칭한다. 또한 이들의 기능을 하나의 장치 내에 둔 고속응집침전지도 있다.

원수의 탁도가 낮은 경우에는 급속교반만으로 완속교반 이후를 생략하고 급속여과로 연결시키는 직접여과 방법도 있다. 응집과정의 실패는 급속여과 방법으로서의 기능을 상실하게 되므로 응집작용 메커니즘을 잘 이해한 후에 관리에 들어가는 것이 중요하다.



<그림 5.4.1> 수중에 존재하는 물질과 적용처리법

5.4.2 급속혼화시설(혼화지 포함)

(1) 혼화공정

정수장에서 혼화공정은 정수처리의 기본이 되는 중요한 공정중의 하나로 원수의 오염물질과 응집제를 서로 반응시켜 침전성이 양호한 플록을 생성하는 것을 목적으로 운영하는 공정이다. 혼화공정은 정수처리 효율을 결정하는 중요한 과정이며 주된 인자는 교반강도, 약품투입률, 온도, pH, 체류시간 등이다. 이와 같이 각각의 인자들의 특성에 대해서는 국내에서 연구된 바가 많으나 종합적으로 이러한 이론들을 현장에 운영하여 적용하는 예는 많지 않다. 선진국에서는 정수장의 원수특성 및 지리적 특성을 고려하여 여러 형태의 혼화시스템을 개발하여 사용하고 있으며 국내에서도 점차 시스템의 개발 및 적용에 관심을 두어 수질의 개선은 물론 유지관리에 효율성을 증가시키고 있다.

혼화공정에서 사용되는 혼화방식으로는 10^{-4} ~1초 내외의 짧은 순간에 강한 교반을 해주는 순간혼화방식, 공공정수장 및 국내 기존 정수장에 널리 사용되는 1~3분간 비교적 약하게 교반시켜 주는 sweep방식, 경제성 및 혼화의 효율성을 고려하여 앞의 두 방법을 적절히 조합한 2단 혼화방식으로 구분할 수 있다.

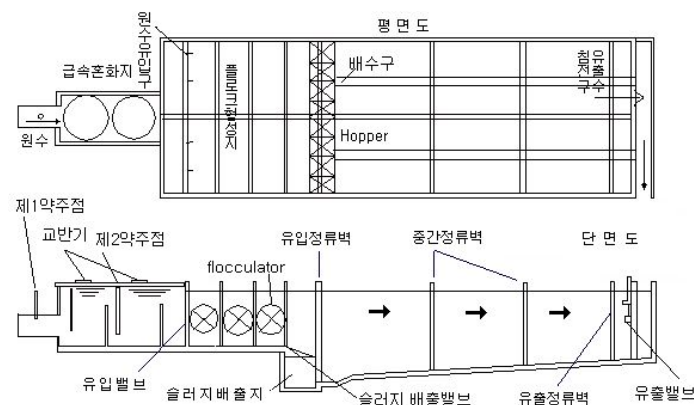
혼화공정은 그 방식에 관계없이 응집제의 빠른 확산이 중요하다. 순간혼화방식이라도 확산이 모두 빠른 것은 아니며, 기계식 혼화방식이라 해서 응집제 확산시간이 느린 것은 아니다. 그 방식에 맞게 응집제를 확산시키고 적절하게 혼합시켜 주어야 한다.

순간혼화방식의 단점은 교반시간이 짧기 때문에 교반지점에서 충분한 혼합이 이루어지지 않으면 교반지점 이후에는 혼합이 잘 이루어지지 않는 단점을 갖고 있다. 또한 혼화공정에서는 응집제 하나만 주입하는 것이 아니라 알칼리제, 염소, 분말활성탄, 고분자응집제 등 다양한 수처리제들이 주입되게 된다. 이들 수처리제는 서로간에 간섭작용을 하여 수처리효율을 저하시키게 된다. 특히, 앞으로 우리나라의 경우에도 유기고분자응집제를 사용할 가능성이 높는데, 유기고분자응집제는 먼저 주응집제에 의해 마이크로 플록이 형성된 후 주입하는 것이 유리하나 순간혼화방식은 응집제 주입 후 일정 시간 경과 후에 유기고분자응집제를 주입하였을 경우 충분한 혼합이 어려운 구조적인 한계를 갖고 있다. 또한 순간혼화방식은 혼화 후 마이크로 플록이 형성된 후 플록형성지로 유입되게 된다. 만약 혼화지와 플록형성지 사이가 멀게 되면 플록간의 결합에 의해 성장하는 것이 아니라 마이크로 플록 자체가 팽윤되므로 침전성이 불량하게 된다.

반면에 Sweep방식은 혼화지에서 1분 이상 체류함으로써 플록이 어느 정도 성장한 상태가 된다. 따라서 일부 팽윤현상이 나타나도 수처리 공정에서 요구되는 침전성은 일정부분 보장된다. 그러나 Sweep방식은 순간혼화방식에 비해 효율면이나 경제성이 낮은 단점을 갖는다.

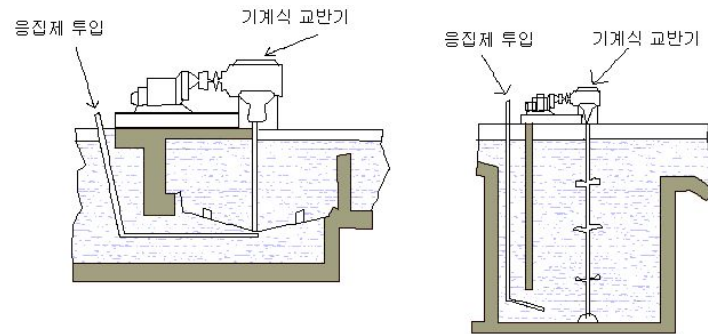
(2) 운전관리

- 1) 혼화지는 특성상 플록형성지, 침전지와 거의 동일한 구조물 상에 놓이게 되는데 혼화지와 플록형성지, 중간정류벽식 침전지의 정수장 내에서의 대표적인 배치가 <그림 5.4.2>에 나타나 있다.



<그림 5.4.2> 혼화지, 플록형성지, 중간정류벽식 침전지의 예

- 2) 혼화지에 있어서의약품혼화는 기계적 급속교반, 수류를 이용한 급속교반 또는 관내에서의 in-line mixer를 이용한 교반도 시도되고 있다. 약품의 혼화는 신속하고도 완전히 혼화되도록 하여야 한다.
- 3) 기계식 교반은 혼화기를 설치하여 모터에 의해 원수와 응집제를 강제 교반하는 형식으로 혼화기의 형태는 패들형, 프로펠러형, 터빈형이 있다.
- 4) 기계적 교반을 하는 경우에는 교반강도를 임의로 조정할 수 있는 장점이 있는데 충분한 혼합효과를 얻기 위해서는 flash mixer의 회전날개 주변속도가 1.5m/s 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- 5) 응집약품의 화학적 반응은 수중에 투입되는 시점에서 순식간에 일어나므로 기계식 혼합인 경우에 응집제의 효과를 충분히 얻기 위해서는 응집제가 수중에 투입되는 순간에 강력한 힘으로 교반이 되어져야 한다. 따라서 강력한 교반력을 갖춘 교반기도 중요하지만 더 중요한 것은 응집약품을 혼화지의 한쪽 구석에 흘러 넣어서는 안 되며 <그림 5.43>과 같이 반드시 교반기의 회전날개에 가능한 가까운 지점에 약품을 투입하도록 한다. 또한 교반기의 고장시 대비책을 수립하여 두어야 한다.



<그림 5.43> 기계식 교반에서 양호한 응집제 투입위치

- 6) 기계식 교반방식에서는 처리수량, 응집제의 종류, 투입량에 따라 교반강도를 조정할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 교반조건은 항상 플록의 형성상태, 침전지 유출수의 탁도, 여과지 유출수의 탁도를 검사하여 최적의 상태로 조정하도록 하여야 한다.
- 7) 교반기(flash mixer)를 장기간 운전하면 심부에 진동이 생기고 윤활유가 누출이 되어 기름이 수로에 떨어져 들어가므로 누출에 대하여 항상 주의하도록 하여야 한다. 또한 교반기의 감속기에서 소음발생의 유무도 항상 주의 깊게 관찰하여 시기가 늦지 않게 보수를 하도록 하여야 한다. 윤활유의 누출우려가 있는 경우에는 유흡착포 등 유류를 흡착할 수 있는 것을 축에 두껍게 감아놓는 것도 좋은 방법이다.
- 8) 혼화지 내의 교반강도에 대한 기준으로 속도구배(G값)를 일반적으로 받아들이고 있다. 속도구배는 교반을 위하여 투입하는 에너지와 혼화지 내 유체의 점도와 혼화지 부피간의 상호관계를 나타낸 값으로 에너지가 클수록 유체의 점도와 혼화지 부피가 작을수록 G값이 커진다. G값이 클수록 교반이 강하게 일어난 것을 의미한다. 혼화지 내에서의 G값의 적정범위는 700/s~1,000/s가 일

반적으로 받아들여지고 있다. G값의 정의는 다음과 같다.

$$G=(P/\mu V)^{1/2}$$

단, P: 수중에 전달된 교반력(W)

μ : 물의 점성력(cp)

V: 혼화지의 부피(m³)

상기 G값을 산정하는 식에서 보듯이 혼화지의 부피는 작을수록 유리하다. 교반기가 동일한 교반에너지를 투입한 경우에 혼화지의 부피가 작을수록 교반효과가 크게 나타나기 때문이다. 더욱이 혼화지의 부피가 작다고 하더라도 응집제의 화학반응은 최대한 수 초 내에 반응이 종결되기 때문에 화학적 측면에서도 부족함이 없다. 따라서 혼화지의 부피는 완전혼화가 되는 한 체류시간이 최대한 작게 하는 것이 좋다. 약품투입시 압력을 가하여 노즐로 폭넓게 분사시키는 것이 완전혼화를 이루는데 도움을 주므로 혼화지의 체적을 줄이는데도 도움이 된다.

혼화의 G값은 산정하기가 어렵다. 그 이유는 기계식 교반인 경우에는 모터에서 전해주는 동력이 수중으로 전달되는 효율은 실제로 교반기의 형상뿐만 아니라 혼화조의 형태, 교반기의 설치위치 등에 따라 차이가 나며 이러한 여러 조건의 영향을 고려하는 방법이 정립되어 있지 않기 때문이다. 또한 여타의 방법에서는 혼합부피를 정확하게 알기 어렵기 때문이다. 따라서 비교적 합리적인 G값의 결정방법은 기계식인 경우에는 동력의 전달효율을 가정하는 것이고 여타의 방법에서는 혼합의 부피를 가정하는 것이다. 모터의 사용동력은 배전반의 전압과 전류의 세기를 확인하여 계산하는 것이 원칙이다.

(3) 점검사항

주기적인 점검 및 정비는 다음과 같다.

<표 5.4.1> 혼화지의 점검사항

일상 점검		정기 점검		정기 정비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
필요시	원수유량 확인	2~3년	콘크리트의 균열, 약화, 누수 등 확인	2~3년	혼화지 청소
필요시	원수수질 확인(탁도, pH, 알칼리도 등)				
필요시	약품투입량의 확인	1년	각종 밸브류의 작동상태		
필요시	약품투입점, 혼합상태 확인				
1회 이상/일	교반믹서의 전류값, 회전상태 확인				
1회 이상/일	교반믹서의 이상음, 진동, 윤활유 누출 등 확인				

<표 5.4.2> 약품교반용 모터의 점검사항

일상 점검		정기 점검		정기 정비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
1회/일	구동부 - 정격전류 이내 여부	1개월	구동부 - 윤활유의 누출여부 조사 후 연결부품 교환	3~5년	구동부 분해청소
1회/일	- 진동, 이상음의 여부	1년	- 윤활유의 오염 조사 후 교환	1~2년	수중축마모도 조사 후 교환
1회/일	- 이상한 냄새의 유무	1년	교반날개 - 수중부의 마모 및 변형 조사	3~5년	도장
1회/일	- 윤활유의 누출여부	1년	후 수리		
1회/일	교반날개 - 회전상태의 점검	1년	도장상태 불량시 도장		
1회/주	축부 - 축부 온도의 정상 여부				

5.4.3 플록형성지

(1) 플록형성

플록형성지는 응집된 미세 플록을 적정한 교반을 이용하여 침강되기 쉬운 대형 플록으로 성장시키기 위한 설비이다. 양호한 플록 형성은 침전지, 여과지에서의 고액 분리를 용이하게 하는데 플록 성장이 충분하지 않으면, 침전처리수의 탁도가 높아지고 여과지속시간이 짧아지거나 미응집 현탁 물질이 여과수 중에 유출되는 경우가 있다.

플록형성지의 역할은 급속교반에 의해 응집제를 골고루 섞어 입자를 불안정화한 후(화학적 프로세스) 플록형성지에서는 불안정화된 입자를 완속으로 교반하여 입자끼리의 접촉기회를 크게 하여 충돌을 유발(물리학적 프로세스), 플록을 커지게 하는 역할을 하고 있다. 후속되는 공정의 종류에 따라 플록형성지에서 생성해야 하는 플록의 크기와 형상이 달라진다. 즉, 일반적인 급속여과방식에서는 침전지에서 침전이 잘되도록 침강성이 좋은 플록을 생성해야 하는 반면, 직접여과법에서는 여과가 잘되도록 하기 위하여 플록의 크기는 작지만 밀도가 높은 플록을 생성하여야 한다.

플록형성지는 약품혼화지의 후속공정으로서 응집약품의 신속한 혼합에 의하여 불안정화된 콜로이드상 입자들이 서로 접촉하여 성장하도록 완속으로 교반을 해 주는 장소이다. 플록형성지에서 형성된 콜로이드상 입자들의 결합체를 플록이라고 하는데 플록형성지 이후에 설치된 침전지와 여과지에서 잘 분리되는 플록을 형성하는 것이 플록형성지의 운전목표이다.

약품혼화지에서 응집제의 투입과 확산에 의하여 형성된 미세 플록(플록)입자는 콜로이드 입자보다 크지만 약하게 결합되어 있는 상태로 개개의 미세플록은 육안으로 볼 수 없으며, 아직은 침전이 불가능하다. 응집과정 즉, 완속교반에 의해 더 크고 무거운 플록으로 발전되어 쉽게 침강 또는 여과된다. 충분히 숙성한 플록들은 보통 눈으로 볼 수 있으며, 젤리상으로 작은 목화솜 같이 보인다.

플록형성지에서의 체류시간은 최소 20~40분이 필요한 것으로 인식되어 왔으며 플록형성지는 단일수조의 형태 보다는 2~3실로 구분되어 있는 것이 효율적이라고 인정되어 왔다.

정류벽을 설치하여 유입구 유속을 감소시키는 경우에 정류벽에 설치된 정류공은 유수 단면적의 6% 정도가 적당하다고 일반적으로 인정되고 있다.

(2) 운전관리

- 1) 플록형성지에서 교반속도는 너무 느리거나 너무 빠르면 안 된다. 교반속도가 너무 느리면 콜로이드상 입자들이 서로 접촉할 기회가 줄어들어 추후 연결되는 고액분리과정(침전과 여과공정)에서 제거될 수 있는 플록을 형성하기 어렵고, 교반속도가 너무 빠르면 플록이 형성되기 전에 서로 수류의 전단력에 의하여 흩어져 미소플록이 되므로 침전가능한 플록을 형성할 수 없다. 따라서 지금까지 일반적으로 인정되고 있는 교반강도는 G값으로 10~100/s 사이이나 현실적으로는 20~80/s 사이로 조정하는 경우가 많다.
- 2) 응집기의 가동 전에는 수중측 급수밸브가 열려 있는가의 여부를 확인하여야 한다. 또한 가변속 전동기를 사용하는 경우에는 시동시에는 최소속도로 설정해 두어야 한다.
- 3) 플록형성지의 운전은 원수의 수질, 플록형성의 상태, 침전지 유출수질, 여과지 유출수질을 함께 관찰하며 약품투입량, 교반강도 등을 조절하여 최적의 상태로 유지하도록 한다. 특히 처리수량의 변화는 약품의 투입량을 변화시키므로 약품투입의 조정 후 플록의 형성상태를 반드시 확인하여야 한다.
- 4) 플록형성지에서의 교반강도는 단계적으로 저하시키는 것이 효과적이다. 기계식교반의 경우에는 하류쪽으로 갈수록 회전수를 줄이며 물 흐름 자체의 에너지를 활용하는 저지판(baffle)형에서는 저지판의 간격을 넓게 하여 유속을 저하시키는 것이 일반적이다.
- 5) 플록형성지 내의 플록이 항상 서로 다른 플록들과 접촉을 할 수 있도록 부유상태에 있도록 하는 것이 플록형성지의 효율을 결정하는 주요 요인 중의 하나이다. 따라서 플록형성지 내에서의 플록의 침전현상이 발생하지 아니하도록 플록형성지의 형상 및 교반수단, 교반강도를 설정하는 것이 중요하다.
- 6) 플록의 크기가 매우 작거나(pin-point 플록) 플록은 크지만 강도가 적고 비중이 가벼운 경우는 부적절한 약품혼합 및 응집공정의 결과로 볼 수 있다. 이와 같은 상태가 발견되면 응집제 및 응집보조제 투입량의 적정성 여부, 급속교반의 적정 여부, 완속교반의 적정 여부, 플록형성지 체류시간의 적정 여부에 대한 조사를 실시하여야 한다. 침강성이 좋은 플록을 형성하기 위해서는 pH, 알칼리도, 응집제 투입량이 알맞은 범위에 있어야 할 뿐 아니라 짧은 순간에 강력한 응집제 혼화와 충분한 완속교반이 필요하다. 교반에너지는 응집된 입자가 계속하여 서로 접촉될 수 있는 정도가 되어야 하나 너무 큰 에너지로 교반할 경우 생성된 플록이 깨지는 결과를 초래한다. 이런 이유로 응집기는 처음에 높은 에너지로 교반하고 수류방향에 따라 교반 에너지를 줄여준다. 플록형성지 유출부에서 물이 안개나 구름이 낀 것 같이 흐리게 보여서는 안 되며, 혼화 응집이 잘 된 플록은 청정한 물속에서 작은 눈송이나 솜처럼 보인다. 응집이 불량한 경우에 점검하여야 할 사항은 다음과 같다.
 - ① pH, 알칼리도를 측정하여 부족하면 소석회 등의 투입량을 증가시킨다. 황산알루미늄 또는 철염은 초기 단계에서 알칼리도와 반응하여 알루미늄이나 철의 수산화물을 만드는데 알칼리도가 낮

으면 수산화물의 생성속도가 늦어지며, 결국 응집이 제대로 이루어지지 않아 플록의 생성이 늦어진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 소석회나 소다회를 투입해 알칼리도를 증가시키기도 한다. pH는 6.5~7.5 사이가 비교적 적합하고 알칼리도는 20mg/L 이상 잔류하는 것이 바람직하다.

- ② 응집제의 투입량을 조정하여 본다.
- ③ 약품혼화지의 약품투입 지점이 적절한가를 살펴본다. 약품투입지점은 혼화기에 가능한 한 근접하여 있어야 하며 약품혼화기의 교반강도는 700/s 이상이 바람직하다.
- ④ 응집약품의 희석배율이 적절한가를 살펴본다. PAC(poly aluminum chloride)는 희석을 하지 말고 사용하여야 하고 황산알루미늄의 희석은 최대한 억제하여야 한다. 응집제의 주입을 위한 유동성 확보를 위하여 희석하는 경우에도 최소한으로 하고 희석한 용액은 곧바로 주입하여야 한다.
- ⑤ 응집기의 교반강도가 너무 높거나 낮지 아니한가를 살펴본다. 반드시 적용되는 것은 아니지만 응집기의 교반강도는 플록형성지 유입부에서는 70~80/s, 중간부에서는 40~60/s, 유출부에서는 20~40/s가 비교적 적절한 것으로 평가할 수 있다.
- ⑥ 플록형성지 내부에서 플록이 가라앉지 아니하고 부유상태에 있는가를 확인한다.
- 7) 플록형성지에서 야간에 플록을 관찰하기 위하여 플록형성지의 주변에 보안등을 설치하거나 플록형성지의 수면 10~20cm 정도에 조명시설을 설치하여 관리하는 방법도 있다.
- 8) 플록 형성지에는 고탁도시에 다량의 슬러지가 퇴적되고 유효체류 시간이 낮은 경우가 있다. 때문에 적시 적절하게 청소하여 플록이 장기간에 걸쳐 퇴적되는 경우가 없어야 할 것이다.
- 9) 도류벽에 설치된 청소용 개구부는 운전 중에는 단락류가 발생하지 않도록 방지해야 한다.

(3) 점검사항

플록형성지의 응집기는 축이 수중에 잠겨있으므로 축부의 마모가 심하다. 따라서 축부의 유지관리를 얼마나 잘 하는가에 응집기의 효율 및 수명에 큰 영향을 미치게 된다. 응집기의 점검, 정비는 반드시 다음의 표를 따라야 하는 것은 아니나 다음의 <표 5.4.3>을 참고할 수 있다.

- 1) 감속기에 부착된 유면계로 윤활유량 및 누유부분을 확인한다.
- 2) 벨트 및 체인 구동식인 경우 벨트상태, 체인상태를 확인한다.
- 3) 전기 패널의 전압, 각종 스위치상태를 확인한다.
- 4) 조작 전원을 작동하여 기기 작동 및 전압, 전류를 확인한다.
- 5) 소음, 회전상태, 발열상태, 누유 등 기기 운전상태 확인한다.
- 6) 주기적(1시간 간격등)으로 기기 작동상태 확인한다.
- 7) 정지시 기기 정지 확인 및 윤활유량, 누유부분 등 이상유무 확인한다.
- 8) 운전 중 수질상태에 따라 적절한 응집이 되도록 주변속도를 조정한다.
- 9) 구동부와 패들이 체인에 의한 동력 전달방식인 경우에는 체인의 마모, 부식상태를 점검하고 체인과 체인기어의 간격을 적절히 조정한다.

- 10) 운전 중 무단변속기의 변속 조작은 하지 않는다.
 11) 수중에 있는 설비는 수도용 에폭시 도로로 도장하여야 한다.

<표 5.4.3> 플록형성지의 점검사항

일상 점검		정기 점검		정기 정비	
주 기	내 용	주 기	내 용	주 기	내 용
1회/일	정격값 전류 이내 여부	1~2월	구동부에서의 누수여부	3~5년	감속기, 변속기 분해정비
1회/일	진동, 이상음의 여부	1년	윤활유의 건조 및 부족시 보충 및 교환	2년	구동부 연결부위 부품 교환
1회/일	이상한 냄새의 유무	1년	V벨트의 늘어남.	3~5년	수중축부 슬리브의 교체
1회/일	기름의 누출여부	1년	패들(날개) 체결용 볼트 이완 및 패들 뒤틀림 여부	3~5년	교반날개의 조정
1회/일	축부 온도의 정상 여부	1~2년	수중축부의 베어링 부분 마모조사		도장부분의 불량시 도장
1회/일		1~2년	부식발생		
		1~2년	교반날개의 변형여부		

(4) 이상시의 대응

호우, 홍수 등 고탁도시나 기기 고장시 등의 이상시에는 기기 상태를 비롯해 플록 형성상태 등을 세심하게 주의하여 점검하고 이상이 발견될 경우는 신속하게 대응해야 할 것이다.

- 1) 홍수시 등에는 급격하게 탁도가 상승하고 단시간에 걸쳐 수질 변화가 일어나므로 플록 형성 상태를 충분히 감시하도록 한다.
- 2) 고장 등으로 장기간 정지되고 오니가 퇴적되면 패들을 파괴할 우려가 있으므로 오니의 퇴적 상태를 확인하고, 상황에 따라서는 청소가 필요한 경우도 있다.
- 3) 정전, 고장 등으로 인한 정지에 대비해 플록큐레이터가 정지했을 때의 플록 형성 상태를 미리 파악하여 대책을 강구해 두어야 한다.

5.5 침전지

5.5.1 총칙

침전지는 현탁물질이나 플록의 대부분을 중력침강작용으로 제거함으로써 후속되는 여과지의 부담을 경감시키기 위하여 설치한다. 침전지에는 침전, 완충 및 슬러지배출 등의 3가지 기능을 갖는 것으로, 이 기능들은 정수처리공정 전체의 흐름에서 검토되어야 한다.

침전지를 생략하고 혼화지에서 직접 여과지를 통하여 정수되는 직접여과법도 있으나 이와 같이 처

리하기 위해서는 원수탁도가 안정되어 있고 혼화효과를 확실하게 감시할 수 있으며 그 결과를 즉시 약품주입에 반영시킬 수 있는 설비를 구비해야 하고 탁질 억류기능이 큰 여과층을 채택하는 등 여러 여건을 충분히 검토한 다음 결정해야 한다.

침전지의 주요형식을 분류하면 횡류식 장방형침전지, 상향류식 침전지 및 상향류 접촉반응형 침전지 등이 있다(<표 5.5.1> 참조). 이 중 횡류식 장방형침전지는(설계만 적절하게 되어 있다면) 수리적으로 안정되어 있고 또한 수리적인 충격부하에 대해서도 어느 정도 감당할 수 있으므로 침전지의 형상으로서 일반적으로 권장되는 형식이다. 이 형식의 침전지는 일반적으로 설계유량의 2배의 부하에서도 침전수의 수질을 심하게 저하시키지 않으면서 안정된 운전성능을 발휘할 수 있다. 또한 이 형식은 조작이 간단할 뿐만 아니라 고속침강장치를 쉽게 추가할 수 있다.

또한 전처리공정에서 응집약품을 사용하는지의 여부에 따라 응집처리를 수반하는 약품침전지와 원수를 자연침강으로 현탁물질을 분리시키는 보통침전지가 있다. 보통침전지는 완속여과지의 부담을 경감시키기 위하여 설치하지만, 침전효율을 좋게 하기 위하여 침전지의 형상이나 유입부와 유출부, 정류설비 등을 충분히 고려하여 설계해야 한다.

원수의 연간 최고탁도가 30NTU 이상인 경우에는 응집처리할 수 있는 시설을 설치해 두어야 한다. 또 저수지의 물이나 지하수를 상수원으로 하는 경우 등 원수탁도가 대체로 10NTU 이하인 경우에는 보통침전지를 생략할 수 있다.

원수 중에 다량의 플랑크톤 조류가 포함되어 있으면 일반적으로 플랑크톤 조류의 번식으로 pH가 올라가고, 저수지 물이 초록~암적색으로 착색되며 냄새가 나는 경우도 있다. 이러한 경우에는 염소처리가 가능한 설비를 고려해 두어야 한다. 다만, 이것은 후속되는 완속여과지의 여과막 생물에 미치는 영향을 고려하여 신중하게 해야 한다.

<표 5.5.1> 침전지의 분류

횡류식 침전지	단층식	
	다층식	2층식
		3층식
	경사판식 등	수평류식 상향류식
고속응집침전지	슬러지순환형	
	슬러지블랭킷형	
	복합형	

주) 고속응집침전지에 경사판 등의 침강장치를 설치하는 경우도 있다.

5.5.2 횡류식 침전지

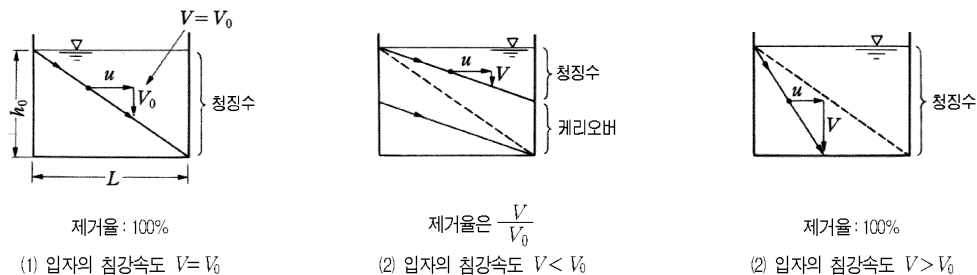
(1) 침강효율

침전기능이란 유입된 탁질을 가장 효과적으로 침전시켜 제거하는 기능으로, 침전지에서 침전효율을 나타내는 가장 기본적인 지표가 표면부하율(surface loading)이다. <그림 5.5.1>과 같이 침전지에 유입되는 유량을 Q 침전지 표면적을 A 라 하면 표면부하율 V_0 는,

$$V_0 = \frac{Q}{A}$$

로 나타내며 일반적으로 mm/min과 같이 속도의 차원을 갖는다.

표면부하율은 <그림 5.5.1(1)>에 나타낸 바와 같이 이상적인 침전지에서 유입구의 최상단으로부터 유입되어 유출구 쪽에서 침전지 바닥에 침강되는 플록의 침강속도를 뜻한다. 따라서 <그림 5.5.1(2)>와 같이 침강속도 V 가 표면부하율 V_0 보다 적은 플록은 V/V_0 의 부분제거율을 나타내게 되며, 단락류나 밀도류가 없는 이상적인 침전지에 유입되는 플록 중에서 <그림 5.5.1(3)>과 같이 침강속도가 표면부하율보다 큰 플록은 100% 제거된다.



유량 Q 유속 u 수심 h_0 , 침강면적 A , 지의 폭 B 지의 길이 L 라고 한다. (V_0 : 표면부하율)

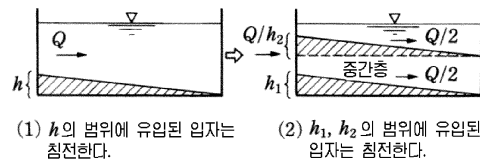
$$V_0 = \frac{h_0}{L}, \quad Q = B \cdot h_0 \cdot u, \quad A = B \cdot L \text{에서 } V_0 = \frac{Q}{A} \text{로 된다.}$$

<그림 5.5.1> 횡류식 침전지(이상적인 흐름상태)

따라서 제거율을 향상시키기 위해서는 다음 세 가지를 고려할 수 있다.

- ① 침전지의 침강면적 A 를 크게 하고
- ② 플록의 침강속도 V 를 크게 하며
- ③ 유량 Q 를 적게 하는,

침전지의 침강면적 A 를 크게 하기 위해서는 <그림 5.5.2>에 표시된 바와 같이 침전지 중간에 판을 설치하는 것을 고려할 수 있다. 이 판 1장으로 제거율은 2배가 되고 이 같은 판을 2장 삽입하면 제거율은 3배가 된다는 것을 쉽게 이해할 수 있다.



<그림 5.5.2> 2층식 침전지의 효과

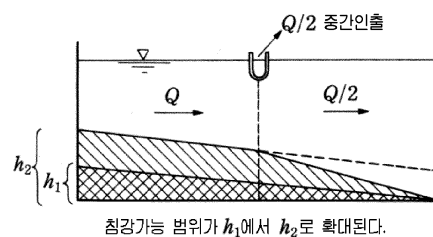
이와 같은 생각으로 만들어진 침전지가 다층침전지이다. 다층침전지는 용지점용면적의 비율보다도 큰 용량의 침전지를 만들 수가 있고 용량효율도 좋다. 그 반면에 구조가 복잡하고 관리가 어려우므로 충분히 검토한 다음에 계획해야 한다.

층수를 증가시키면 제거율이 그만큼 증가되므로 궁극적으로 경사판식 침전지나 경사판식 침전지(이하 경사판(관)식 침전지라 한다)를 고안하게 되었던 것이다. 침전지에 삽입된 경사판은 원활하게 슬러지를 제거시키기 위하여 경사지게 장착된 것이다.

플록의 침강속도 V 를 크게 하고 침전효율을 보다 좋게 하고자 하는 시도로서 여러 가지 방식이 개발되었으며, 가능한 한 크고 무거운 플록을 만들고자 하는 응집제나 응집보조제의 연구, 응집조작의 원리 구명 등에 많은 노력을 경주하여 왔다.

이와 같은 기본적인 연구를 바탕으로 제약된 용지범위 내에서 높은 제거율을 얻기 위하여 활성이 있는 미세플록을 기성 플록과 적극적으로 접촉시켜 큰 플록으로 만듦으로써 효과적으로 분리 제거시키는 방법이 일반화되었으며, 이러한 방법이 고속응집침전지이다. 최근에는 응집단계에서 미세한 모래입자를 첨가하여 이 모래를 플록의 핵으로 하여 무거운 플록을 형성시켜 침전을 촉진시키는 장치도 나타나고 있다.

다음 유량 Q 를 작게 함으로써 침전효율을 높일 수 있다. <그림 5.5.3>에 표시된 바와 같이 침전지 중간에서 상징수를 유출시키면 효율이 상승된다. 중간에서 유출시켜 침전효율을 개선한 양만큼 침전지 수심을 얇게 하거나 이후의 체류시간을 연장하여 수질을 좋게 할 수 있다.



<그림 5.5.3> 중간 인출식 침전지의 효과

침전공정의 효율은 응집을 포함한 침전공정 이전 단계에서 원수를 어떻게 적절히 조정하였는지의 정도와 타당성에 크게 영향을 받는다. 원수 중에 있는 부유물질을 응집하고 효율적으로 플록을 형성하는 것이 응집침전에서 가장 핵심적인 사항이다.

그 밖에도 외부적인 요인으로 침전지 내의 수류가 흔들리는 등 침전효율에 크게 영향을 미치는 요소가 많으므로 종합적으로 검토하여 최선의 계획을 세워야 한다.

침전지로 유입된 원수의 수량과 수질은 연간을 통하여 크게 변동한다. 침전지는 이와 같은 탁질량의 변동을 흡수하여 여과지 부담을 가능한 한 일정하게 유지되도록 하는 기능을 가지고 있다. 이와 같은 완충기능은 침전지가 가지고 있는 중요한 기능이다.

침전의 효율화를 도모하고 체류시간을 단축시키는 것은 완충기능을 저하시키는 요인이 될 때가 많다. 이것을 보충하기 위해서는 플록의 침강상황이나 슬러지의 재부상 유무 등을 감시하며 적절하게 약품을 주입할 필요가 있다. 크립토스포리디움 등의 병원성 미생물로 상수원이 오염될 우려가 있는 경우에는 침전지의 체류시간, 침전지 내의 유속에 특히 유의하여 충분히 침전 처리하는 것이 필요하며 침전효과를 높일 필요가 있을 경우에는 경사판 등을 설치하는 것도 고려한다. 상향류식 침전지는 특히 밀도류의 영향을 방지하기 위하여 침전조작을 확실하게 할 필요가 있다.

침전기능을 언제나 충분히 확보하기 위하여 침전지에는 그 구조에 알맞은 슬러지 배출설비를 설치해야 한다. 원활한 슬러지배출이 이루어지지 않을 경우에는 침전지 사용을 정지시켜야 할 수도 있으므로 슬러지 배출기구는 고장이 적고 퇴적된 슬러지를 충분히 배출시킬 수 있어야 한다. 또 다음에 이루어 질 슬러지 처리시설과의 관련도 고려하여 운영해야 한다.

(2) 운전관리

횡류식 침전지 운전에서는 침전지 내 물 흐름의 균일성이 중력 침강 효과 발전을 위해서 필요하게 되는데 단순한 장방형의 침전지에서는 단락류나 밀도류가 발생하여 좋은 효율성을 보지 못하는 경우가 종종 있다.

이러한 단락류나 밀도류를 억제하기 위해서는 유입부에 정류벽을 설치하거나 중간에도 정류벽을 설치하는 등 침강효과를 한 층 더 높이려는 연구가 진행 중이다.

횡류식 침전지는 일반적으로 체류시간이 길고 부하변동에 대한 완충기능이 높으며 구조, 기구도 비교적 단순하고 기계적인 부분이 많지 않으므로 관리의 용이하다.

- 1) 침전지 운전에서 있어서는 플록 침강상황, 침전 슬러지의 재부상 유무 등을 감시하고 그 결과를 응집이나 약품주입에 반영하여 양호한 침전수를 얻을 수 있도록 한다.
- 2) 침전지 내의 유속은 설계 최대 유속을 넘지 않도록 유의하고 침전 효과를 올리도록 한다.
- 3) 일반 횡류식 침전지에서는 플록 침강 상황은 직접적으로 관찰이 가능하지만 다계층식 침전지에서는 관찰 가능한 것은 상단뿐이고 하단의 상태는 확인할 수 없다. 따라서 침전 처리수 수질에는 특히 감시가 중요하다.
- 4) 침전지에 조류가 발생하고 후단의 처리 공정에 악영향을 미칠 우려가 있을 경우에는 이를 제거하도록 하여야 한다. 제거에는 약품(염소제 등)에 의한 방법도 있지만 다량으로 발생한 경우는 침전지를 비우고 청소하는 것이 바람직하다.
- 5) 침전지 운전을 장기간 정지한 경우는 침전지를 비우고 청소한 후 사용하는 것을 원칙으로 한다.
- 6) 다계통 원수인 경우 수온이나 탁도 차에 의해 밀도류가 발생할 우려가 있으므로 취수 계통 교체

시에는 주의가 필요하다.

침전지를 관리하는 경우에는 원수의 수질변동, 응집제 투입률, 기기의 운전상황 등에 주의하고 침전처리 후의 수질에는 특히 주의하여 침전처리 목표값을 설정하고 이상값이 검출되었을 때는 원인을 규명하여 적절한 처리를 하도록 한다.

침전관리에 있어서는 일지를 작성하여 원수수질, 처리수량, 자 테스트 실적, 약품 투입 상황, 침전수 수질 등의 기록을 남겨두어야 한다.

<침전지 충수방법>

황류식 침전지에서 슬러지를 청소하거나 침전지 내부시설을 보수하기 위하여 침전지를 비웠다가 다시 충수하여 운전하고자 할 때는 일반적으로 지금까지는 플록형성지로 부터 원수를 유입시키는 방법을 채택하고 있었다. 그러나 비어 있던 침전지에 이와 같이 유입밸브를 이용하여 충수하는 방법으로 채워진 물은 플록큐레이터 기능이 작동하지 않은 물, 즉 플록이 형성되지 않은 물이다. 이와 같이 플록이 형성되지 않은 물이 침전지를 통과하여 여과지로 보내져서 여과되는 경우에는 여과수의 수질이 좋지 않게 된다.

정수장 침전지에는 각 플록형성지 유입부에 유입밸브가 설치되어 있으며 또한 일부 정수장에서는 유출부에도 충수밸브가 설치되어 있는 경우가 있다. 그러나 지금까지는 통상적으로 유입밸브를 이용하여 침전지를 충수하고 있다. 그러나 비워 있던 침전지에 충수할 때는 유입밸브를 이용하여 충수하는 방식으로는 여과수질이 좋지 않게 되므로 가급적 플록이 형성된 물을 우선 침전지에 충수하여야 한다.

따라서 비워져 있던 침전지에 플록이 형성된 물을 충수하는 방법으로는 인접 침전지의 침전수를 이용하여 충수하는 방법이다. 다행히 일부 정수장에서는 이웃 침전지의 침전수를 활용하여 충수할 수 있도록 충수밸브가 설치되어 있는 경우가 있다. 충수밸브로 비워져 있던 침전지를 충수한 다음 플록큐레이터가 정상적으로 기능을 할 수 있을 정도의 수위로 채워진 다음 플록큐레이터를 작동시키면서 플록형성지 유입부의 유입밸브를 열어서 정상적으로 정수처리하도록 해야 한다. 이와 같이 충수시설이 설치되지 않은 경우에는 충수시설을 추가로 설치하거나 별도의 이동형 충수시설을 구비하는 방안을 검토해야 한다.

(3) 점검사항

침전지의 유입, 유출, 배수, 원류 등의 각 설비는 항상 점검하고 조작이 정확히 실시될 수 있도록 정비해 두어야 한다(<표 5.5.2> 참조).

1) 침전지는 매년 1회 정도는 침전지를 비워 두고 평상시에는 청소하기 어려운 내면 청소, 부속설비 보수, 정비를 실시하는 것이 바람직하다.

특히 링크벨트식 등의 슬러지 수집부는 모두 수중에 있기 때문에 감시나 점검 등 일상적인 유지관리가 어렵고 고장 발견이 늦어질 수도 있으므로 신중히 점검 정비하도록 한다.

2) 침전지의 누수를 발견했을 때는 신속하게 수리해야 한다. 때문에 적어도 매년 1회는 정기적으로

누수 조사를 하는 것이 바람직하다. 누수 조사는 유입, 유출, 배수, 월류 등 침전지에 접속된 모든 밸브를 닫고 수면 지하 상황을 측정하여 누수량을 파악한다.

- 3) 슬러지밸브 및 슬러지 수집기의 점검과 정비는 정기적으로 실시하고 항상 그 기능을 발휘될 수 있도록 해야 한다. 만일, 고장이 발생한 경우는 바로 고장 원인 조사 및 복구하도록 한다.
- 4) 침전지의 침전 효과가 불량한 경우는 그 원인을 규명하고 단락류 등 흐름 상태가 원인일 때는 정류벽을 설치하거나 유입, 유출부의 구조를 개량할 필요가 있다.

<표 5.5.2> 횡류식 침전지 점검요령 예

설비	일상점검		정기점검		정밀점검(정비)	
	주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
횡류식 침전지	필요시마다 필요시마다 필요시마다 필요시마다 필요시마다	평균유속 流況, 플록침강 상황감시 침전수수질 확인 (탁도, pH, 알칼리도) 침전슬러지 재부상의 유무 쓰레기등의 유무	1~3개월 1년 1년	슬러지 퇴적상태 벽면부착 상태 콘크리트균열, 열화, 누수 의 유무	3개월 ~1년	침전지 청소
	1일	침강장치의 조류 부착상황 (경사판식등의 침전지) 슬러지량 파악	6개월 ~1년	침강장치 파손, 만곡, 타 락 유무 집수조(강제)의 도장상태 각종 밸브류의 작동상태	6개월 ~1년 2개월 3~5년	침강장치청소 집수조 청소 집수조(강제)의 도장

(4) 이상시의 대응

원수의 고탁도시나 수질 이상시에는 약품 주입률 변경도 많아지므로 혼화지에서 침전지까지 계통적으로 순시하여 플록의 형성 상황, 플록의 침강 상태, 침전수 수질 등을 감시하고 원수 수질에 따라 적절히 처리하도록 한다.

처리 목표값을 만족하지 않는 경우는 처리 수량, 약품 주입설비, 플록형성지의 운전방법을 검토하여 적절한 조치를 강구한다.

5.5.3 경사판(관) 침전지

(1) 침강장치

침전지 내에 경사판이나 경사관을 삽입하여 일종의 다층침전지를 구성함으로써 침전효율을 높이고자 하는 것으로 침강장치로는 각종 형상의 것들이 사용된다.

침강장치의 형상에 따라 주로 횡류(수평류)에서 사용되는 것, 상향류에서 사용되는 것, 어느 방향의 수류에서나 사용할 수 있는 것 등이 있다. 원리적으로는 동일하나 그 성질에 각각 약간의 차이가

있으므로 이러한 장치를 설치하는 침전지에는 횡류식 침전지와 고속응집침전지에서는 플록의 성장이나 완충기능 및 슬러지 배출방법이 다르기 때문에 이들을 고려하여 침강장치의 형상과 배치를 결정해야 한다. 침전지 내에 경사판 등 침강장치를 설치하여 침전효율을 개선하고자 하였을 경우에는 그 효과에 따라 체류시간을 감소시키고 침전지의 처리능력을 향상시킬 수 있다. 그 형상에 다소 차이는 있지만 주요 부분은 염화 비닐로 되어 있어 경사판 단체로서의 강도는 작으므로 유지관리에 있어서는 이 점에 주의할 필요가 있다. 침강장치는 수평류식 및 상향류식 모두 침전지에도 사용되고 있지만, 수평류식에서의 경사판 단수는 여러 단으로 상향류식은 한 단으로 사용되고 있다. 경사판식 침전지는 침전 효율이 높은 대신 완충 능력이 적고 단락류나 밀도류가 발생하면 수질에 대한 영향이 커지게 된다.

(2) 운전관리

경사판(관) 침전지 운전에 있어서는 다음 사항에 유의하도록 한다.

- 1) 침전지 내 평균 속도가 과대해지면 침강장치 내를 미끄러지는 슬러지가 부상하고 침전효과가 저하되므로 설계 최대 처리 수량 이하로 운전하도록 한다.
- 2) 침강장치에 조류가 부착되면 침전 효과를 저해하므로 간결한 염소주입을 실시하도록 한다.
- 3) 상향류식 침전지에서는 그 구조, 형상 및 크기에 따라 침강장치를 전단부에 설치할 수 없는 상황이 있기 때문에 상향류수의 일부가 침강장치를 통과하지 않고 상승하고 침전 능력 저하를 초래하므로 필요에 따라 간격을 폐색하는 등의 대책을 강구하여야 한다.
- 4) 슬러지가 파잉으로 퇴적되어 침강장치 하단을 덮어 버리면 침전 효과를 저해할 뿐만 아니라 침강장치 자체를 파괴하게 되므로 특히 고탁도시에는 배출수 관리를 철저히 하여야 한다.

(3) 점검사항

침전지의 유입·유출·배수·월류 등의 각 설비 및 배수밸브, 슬러지 수집기 등의 일상점검은 <표 5.5.2> 횡류식 침전지에 준하여 실시하여야 한다.

침강장치로의 조류 부착, 침전물 퇴적 상황, 쓰레기, 낙엽 등의 부착에 대해서는 바로바로 점검하도록 한다.

침강장치의 재질은 강도적으로 반드시 강하지는 않으므로 관리는 신중히 실시하도록 한다.

- 1) 침강장치에 침전물 또는 비닐 등의 부유물이 부착되면 플록 침강을 방해하므로 침강장치 내부 상황 점검은 어렵게 되므로 침전지전의 착수정에서 부유물 감시 등으로 부착물을 제거하도록 한다.
- 2) 침전지 청소나 점검 정비를 위해 침전지 내 배수를 급격히 실시하면 침강장치에 퇴적된 슬러지 중량으로 장치가 파손될 수가 있다. 때문에 경사판(관)내의 슬러지를 제거하면서 침전지 내 수위를 내리든지 침강장치 상태를 감시하면서 천천히 실시하도록 한다. 노즐수 분사를 이용하여 세정하는 경우는 샤워용 노즐을 사용하여 파손되지 않도록 한다. 이러한 목적으로 침강장치상에 살수 설비를 설치하여 처리하고 있는 예도 있다.
- 3) 동결기의 결빙될 우려가 있는 경우에는 뚜껑을 설치하여 보습하는 등의 조치가 필요하고 태양광

에 의한 열화에 대해서는 침강장치를 수몰(100~150mm)시킴으로써 효과가 나타나고 쓰레기, 낙엽 대책으로서도 유효하다.

(4) 이상시의 대응

원수수질이 안정되어 있는 경우에도 불구하고 처리수 탁도가 상승된 경우는 경사판·경사관·저류판·받침틀의 파손에 의한 단락류 발생을 조사한다.

침강장치 지지재가 부식 등으로 파손된 경우는 신속하게 보수하여 불측의 사태에 대비하여야 한다. 지진으로 침강장치가 낙하되고 파손되어 정수처리에 지장을 주는 경우도 있다.

5.5.4 고속응집 침전지

(1) 고속응집침전

고속응집침전지는 기성 플록이 존재하는 중에 새로운 플록을 형성시키는 방식의 침전지로 응집침전의 효율을 향상시키는 것을 목적으로 하는 방식이다.

고속응집침전지는 원리상 또는 기구상으로 슬러리 순환형, 슬러지 블랭킷형 및 양자의 복합형으로 크게 나눌 수 있으며 각각 다수의 기종이 있고 원수조건과 사용조건에 대한 적용범위를 가지고 있으므로 계획하는 정수장의 조건과 각종 고속응집침전지의 특징을 충분히 검토하고 기종을 선정해야 한다. 재질이 강판인 경우에는 유지관리할 때에 부식을 방지하기 위한 도장에 대하여 주의를 기울여야 한다.

(2) 운전관리

고속응집 침전지는 장치 내에 다량의 플록이 존재하므로 원수 수질, 유량 급변에 따라 플록 유출이나 미세 플록을 접촉 포착하는 기능이 저하되고 침전수 수질이 악화되는 등 운전관리상으로 주의해야 할 점이 많다.

그러므로 기구를 충분히 이해한 뒤에 운전 및 유지관리해 나가야 할 것이다. 표면부하율은 40~60mm/min을 표준으로 운전하는 것이 바람직하다.

- 1) 고속 응집 침전지가 처리기능을 발휘하는 데는 미세 플록과 이미 형성된 플록이 접촉되어야 하고 슬러리 존재가 필요조건이 된다. 슬러리를 상시 적절한 상태로 유지시키기 위해서는 견딜 수 있는 정도의 플록 유입과 배출에 의한 슬러리의 신진대사가 필요하다. 신진대사가 없다면 플록 흡착, 응집 능력 열화나 슬러리 중의 유기물 부패로 인해 새로운 원수에 대해 제탁 능력을 발휘할 수 없게 된다.
- 2) 슬러지 블랭킷형 고속응집 침전지의 소류량에서의 운전은 플록이 침강되어 블랭킷존을 유지할 수 없게 되므로, 적정 유량으로 운전 계획을 세울 필요가 있다. 그러기 위해서는 처리수량 변동을 막음으로써 좋은 결과를 얻을 수 있고 횡류식 침전지를 병설하여 이에 부하 변동을 지니게 한다면 고속응집 침전지는 일정량으로 운전하게 되는 방법이다.

3) 고탁도시, 탁도 급변시, 저탁도시 및 저수온시 상황에 대응하는 약품의 종류, 주입률, 운전지침 등을 미리 정해두면 도움이 된다.

4) 슬러리관리

① 슬러리 순환형의 고속응집침전지에서는 항상 적정한 한도 내의 슬러리농도를 지니게 하여야 한다. 채취 후 5분간 놓아둔 슬러지존의 부피가 10% 정도가 되도록 관리하는 것이 바람직하므로 이 농도를 유지시키기 위해서 배출량 및 배출 간격을 조정하도록 한다.

② 슬러지 블랭킷형 고속응집 침전지에서는 항상 적정한 범위 내에 슬러지존 위치를 유지하여야 한다. 일반적으로 설계 최대류량에 있어서 슬러리존의 위치는 대략 수심의 1/2정도가 바람직하고 그보다 저류량에서 사용하고 있을 경우는 슬러리 존이 낮은 위치에서 운전하게 된다. 또한 경험적으로 낮은 위치(수심의 1/3 정도)에서 운전하고 있는 곳도 있다. 15분간 놓아둔 슬러지존의 부피가 20~30% 정도가 되도록 관리하는 것이 바람직하다 할 수 있다.

③ 복합형 고속응집 침전지의 슬러리 농도는 슬러리 순환형 고속응집 침전지에 준하고 슬러리존 유지에 대해서는 슬러지 블랭킷형 고속응집 침전지에 준하는데, 슬러리존은 약간 높게(수심의 1/2정도)하는 것이 좋다.

5) 운전을 개시하는 경우에는 다음 사항에 유의한다.

① 새로운 슬러리를 생성하기 위한 약품주입 조작으로서는 일반적으로는 자테스트에 의한 적정 주입률에 따라 주입하는 방법이 이용된다. 슬러리 생성 시간은 원수탁도, 수온 등의 영향을 받는데 통상은 2~3일을 요한다. 빠른 시일 내에 슬러리를 생성하고자 하는 경우에는 응집제를 고탁도로 주입하는 방법이 이용되기도 한다. 이 방법에 의하면 하루만에 생성이 가능하다. 또한 원수탁도가 낮을 경우는 벤토나이트 등을 첨가하고 운전 중에 다른 곳의 침전지로부터 슬러리를 도입하는 방법도 있다.

② 처리수량은 표준처리수량의 1/3 이하에서 운전을 개시하고 슬러리 생성상황을 보면서 목표수량을 향해 증가시켜 가는데, 슬러리가 불안정하기 때문에 처리 결과를 반드시 확인하여야 한다.

③ 교반조건은 회전날개에 의한 경우는 침전지 수위가 회전날개에 도달한 시점에서 회전시키고 평상시보다 높은 회전수로 운전하도록 하며, 맥동에 의한 경우는 맥동을 크게 하여야 한다.

④ 처리 상황에 대해서는 적절하게 침전수 수질을 측정하고 슬러리 메스실린더에 넣어 플록 침전 상황 및 윗물 수질을 관찰하여 판단한다.

6) 장치 운전을 정지한 후 재개했을 때는 침전된 슬러리를 말아 올려 일시적으로 회전날개 가까이 올린다. 그 후에 슬러리존이 상승하기 시작하면 회전수를 평상시 레벨로 되돌린다.

7) 남은 슬러리 배출은 평상시에는 사용하는 컨센트레이터 수 또는 타이머로 조절한다. 원수가 고탁도로 컨센트레이터로부터의 슬러지만으로는 부족하여 캐리오버가 발생할 때는 저부 드레인밸브로부터도 배출된 슬러지 농도 및 슬러리존 위치를 적정히 유지하여야 한다.

또한 저부 슬러지를 평상시에 운전조작에 결합시켜 컨센트레이터와 병용하여 배출하고 있는 곳도 있다. 슬러지조에 미치는 영향을 가능한 줄이기 위해 슬러지 배출밸브는 짧은 시간마다 자주 여는 것이 바람직하다.

- 8) 고속응집 침전지에서는 수중부 구조가 복잡하기 때문에 원수 중에 있는 목편, 쓰레기 등이 지내에 유입되지 않도록 유입 경로에 스크린을 설치하도록 한다.
- 9) 운전을 장기간 정지하였다가 재개시하는 경우는 저수지를 비우고 청소한 다음에 사용하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 점검사항

고속응집 침전지가 항상 적정히 그 기능을 발휘하기 위해서는 일상 점검 및 정비가 필요하다(<표 5.5.3>).

- 1) 동력장치, 감속균차기구는 일반적으로 침전지 수면 상부에 설치되므로 윤활유를 취급하는 경우는 충분히 주의함과 동시에 기름 누출이 일어난 경우는 오일매트 등을 사용하여 제거한다.
- 2) 1년에 1회 정도는 저수지를 비워 청소하고 누수조사, 장치점검을 실시할 필요가 있다.
 - ① 침전지를 비운 경우 회전날개를 사용하고 있는 형식은 드래프트 튜브, 임펠러, 푸드 플레이트, 밸브 플레이트, 디스트리뷰터 등의 손상 유무 및 컨센트레이터 게이트 등의 작동 상태를 중심으로 점검할 필요가 있다.
 - ② 복합형 및 맥동형 침전지는 분배관 중에 목편, 기타 쓰레기가 모여 있을 수 있으므로 청소시에 제거한다.
 - ③ 집수조 올림피스에도 쓰레기 등이 막힐 수가 있으므로 적절히 점검하여 제거한다.
- 3) 슬러리 순환형 및 복합형 고속응집 침전지의 부대설비는 강재부가 많으므로 도장 등의 유지관리에 있어서는 부식 진행 상황에 주의하여야 한다.

(4) 이상시의 대응

침전 처리수 수질이 처리 목표값에 적합하지 않는 경우는 약품주입률, 응집보조제 사용, 교반강도, 처리수량, 슬러지 농도 등에 대해서는 적절한 처리를 강구하도록 한다.

여름에는 수온이 거의 변하지 않으므로 수온 역전층이 발생하고 특히 슬러지 블랭킷형 고속 응집 침전지에서는 슬러리가 상승하여 캐리오버되는 경우가 있다.

이 경우는 블랭킷존을 약간 낮게 유지시키고 농도도 약간 묽게 한다.

5.5.5 보통 침전지

(1) 보통 침전지

보통 침전지는 완속여과방식 전처리시설로서 응집처리를 하지 않은 원수를 자연 침강 작용으로 원수 중의 현탁 물질을 제거하고 완속 여과지에 주는 부담을 경감시키기 위해 설치된 시설이다. 완속 여과방식에 의한 정수처리시설은 원수 수질이 양호하고 연 평균 탁도가 10NTU 이하로 안정되어 있는 경우에 채택되는 경우가 많다. 그러나 홍수 등에 의한 원수 탁도가 30NTU를 넘는 경우에는 약품처리를 하는 것이 바람직하다.

완속 여과지가 정상적으로 기능을 발휘하기 위해서는 침전수의 탁도를 대략 10NTU 이하로 둔다는 것을 목표로 삼고 있다.

침전지 상태를 적정히 유지하기 위해서는 정기적으로 슬러지 퇴적 상황을 조사하고 상황에 따라서는 슬러지 청소를 실시하는 등 원수 수질에 따라 적절히 운전조작을 하여야 한다.

보통 침전지는 침전 시간이 길기 때문에 원수 수질에 따라서는 조류가 다량 번식하여 여과 폐색의 원인이 될 수 있으므로 특히 주의하고, 정기적으로 조류 등의 생물 조사를 실시하는 것이 바람직하다. 침전지의 표면 부하율은 5~10mm/min, 침전지내 평균 유속은 30cm/min 이하를 표준으로 한다.

<표 5.5.3> 고속응집침전지 점검요령 예

설비	일상점검		정기점검		정밀점검(정비)	
	주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
고 속 응 집 침 전 지	필요시마다	원수유량 확인 원수수질확인(탁도, pH, 알칼리도) 약품주입량 확인(자테스트) 약품주입상황 확인 상승유속 확인 교반기 스크러머 등의 회전상황 확인 맥동상태 확인 진공과괴밸브 작동상태 필요시마다 플록성장상태 및 침강상황 감시	1년	유량계, 수질계기 등에 대해서는 9.4 계측제어용 기기의 보수를 참조	5~6년	강제부분도장
	1일	교반기 스크러머 등의 회전상황 확인	1년	강제부분의 도장 상태	8~10년	스크러머용 레일차륜 정비
	1일	맥동상태 확인	1년	트랜지스터 파괴상태	2개월	집수조 청소
	1일	진공과괴밸브 작동상태	6개월	슬러지퇴적상태	1년	침전지 청소
	필요시마다	플록성장상태 및 침강상황 감시	1년	벽면부착물 상태	3~5년	강제부분(수면부분, 수중부분도장)
	필요시마다	슬러리농도 확인	1년	콘크리트균열 열화, 누수 유무	5~8년	슬러지밸브의 분해정비
	1일	슬러리존 위치 확인	1년	강제부분(수면부분, 수중부분)의 도장상태		
	필요시마다	집수조의 쓰레기 유무	1개월	슬러지밸브 작동상태		
	필요시마다	침전수 수질확인(탁도, pH치, 알칼리도 등)				
	1일	슬러지 배출간격 확인				
	1일	슬러리농도 확인				
	1일	슬러지량 파악				

(2) 운전관리

- 1) 침전수 탁도는 10NTU 이하가 되도록 항상 원수 및 침전수를 감시한다. 침전수 수질은 원수 수질에 의해 좌우되므로 필요에 따라 유입량조정, 약품주입 등 적절한 처치를 강구하도록 하여야 한다.
- 2) 원수 탁도가 30NTU 이상일 때는 전 처리로서 침전지로의 유입 전에 응집제를 주입하고 응집침전을 실시하여 양호한 침전수를 얻을 수 있도록 한다. 이 경우 플록에 의한 여과지 폐색이 빨리

진전되지 않도록 윗물을 취수하는 등의 주의를 기울이도록 한다.

<참고:약품주입 예>

원수탁도가 상승할 때, 응집제를 주입시켜 침전지에서 탁질을 제거하는 예로써 탁도가 35NTU를 넘으면 주입 개시하고, 25NTU를 밑돌면 주입을 정지하는 방법인데, 원수가 고탁도일 때 대처하고 있는 곳도 있다.

- 3) 강풍 등으로 침전 작용이 저해될 우려가 있는 곳에서는 파랑 방지를 위해 장치를 설치하고 침전 슬러지의 재부상 발생을 방지함과 동시에 충분히 감시하여야 한다.
- 4) 침전 슬러지 퇴적 상황에 주의하고 적정히 배출시켜야 한다. 슬러지 배출방법은 원수의 유입을 정지시킨 후 배출하고 어느 정도 슬러지가 탈수 될 때까지 자연 건조시킨 후 인력 또는 소형 불도저 등으로 모아 벨트컨베이어 등으로 반출시키거나 압력수를 분사하여 배수시킨다. 슬러지 배출작업은 원수 수질에 따라 다르지만 적어도 2년에 한번 정도 실시하지 않으면 안 된다.
- 5) 침전지 내에서 플랑크톤 조류가 번식하면 일반적으로 pH값이 상승하고 침전지 내의 물이 녹색에서 암적색으로 착색될 수 있다. 침전지벽은 조류 외에 담수해선이나 이끼 등이 착생하여 생물막을 형성하는 경우가 있다. 이러할 때에는 염소처리 등을 하게 되면 제거는 가능하지만, 다음에 이어지는 완속여과지 여과막 생물에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 여과지 유입시에는 유리잔류염소가 전부 소비되도록 신중히 실시할 필요가 있다.
- 6) 침전지 용량이 크고 구조적으로 임의의 수위에서 유출시킬 수 있는지, 혹은 부분적으로 개조가 가능하다면 원수 조정지로서의 기능을 지니게 함으로써 이상시에 원수를 유효하게 이용할 수 있다.
- 7) 한랭지에서 침전지의 수면이 동결될 우려가 있는 경우는 침전지 작용을 저해하지 않는 정도로 수면을 일으켜 이를 방지하는 방법도 있다. 수면이 동결된 경우는 신속히 주위의 얼음을 제거하고 얼음 두께가 더 이상 두터워지지 않도록 한다.

<표 55.4> 보통 침전지 점검요령 예

일 상 점 검		정 기 점 검		정밀점검(정비)	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
필요시마다	평균유속	1년	슬러지 퇴적상태	2년	침전지 청소
필요시마다	침전지 수위 확인	1년	콘크리트 균열, 열화유무, 누수의 유무	6개월	개폐대, 기타 기기류 청소와 주유
필요시마다	부유물, 슬러지의 재부상 유무	1년	각종 벨트류의 작동상태	3~5년	강제부 도장
필요시마다	침전수질확인(탁도, pH, 알칼리도 등)	1년	강제부 도장상태		
	조류발생 상황				
필요시마다	플록 침강상황 감시(약품 주입시)				
1일	수면동결 상황				
필요시마다	벽면조류 및 곤충류 등의 착생상황				

(3) 점검사항

- 1) 침전지 유입, 유출, 배수, 월류 등의 각 설비는 항상 점검하여 확실히 조작될 수 있도록 정비해 두어야 한다. 또한 슬러지를 배출할 때에는 평상시 실시하기 어려운 벽면의 청소, 부속설비 점검과 정지를 실시하는 것이 바람직하다.
- 2) 침전지 누수를 발견했을 때는 신속하게 보수하여야 한다.

5.5.6 슬러지 배출설비

(1) 슬러지 배출설비

침전지에서 슬러지 배출이 원활하게 이루어지지 않으면 침전지 기능을 정지시켜야 한다. 슬러지 배출기능은 침전지 기능 중에서 중요한 기능 중의 하나이다.

침전지로부터 배출되는 슬러지는 고농도로 소량을 배출시키는 것이 다음 처리를 위하여 유리하다. 이러한 관점에서 슬러지 배출효과의 크기나 형태 및 슬러지 배출방법 등이 검토되어야 한다. 경사판(관)식 침전지는 단위침전면적당의 슬러지 발생량이 많다.

(2) 운전관리

- 1) 시동 전에는 감속기, 유체이음, 기타의 필요 개소에 윤활유가 적당량 들어가 있는지 확인하고 또 수중축 받이에 외부로부터 급수하고 있는 것에 대하여는 시동 전에 급수밸브를 열어야 한다.
- 2) 가능한 2대 이상의 동시 시동을 피하고 1대씩 순차 시동하여 시동전류가 과대하여지지 않도록 할 것이며 또 전류값이 안전하고 정규의 운전상태가 될 때까지 감시를 계속하여 기계적인 안전장치가 시동시에 작동하지 않도록 주의하여야 하여 혹시 작동한 경우에는 장치를 잘 점검하여 고장의 원인을 제거한 후에 재시동토록 하여야 한다.
- 3) 샤프을 교환할 경우에는 반드시 지정된 것을 사용하고 또 삽입할 때에 방향이 틀리지 않도록 충분히 주의하여야 한다.
- 4) 과전류 이음을 사용한 가변속전동기를 시동할 경우에는 먼저 무부하의 상태에서 전동기를 시동하고 이상이 없는 것을 확인한 후에 서서히 부하를 걸어야 한다.
- 5) 무단변속식을 사용하고 있을 경우에는 변속식 운전 중에만 변속용 핸들을 조작할 것이며 또 일정 속도로 장기간 사용하지 말고 때때로 속도를 변화하여 운전하는 것이 바람직하다.
- 6) 운전 중 감속기구 등에 있어서의 윤활유의 유량, 각부의 온도, 진동, 음향 및 전류값 등에 주의함과 동시에 때때로 교반날개의 회전상태를 수면상에서 감시하고 이상의 유무를 확인하여야 한다.
- 7) 회전축이 지벽을 관통한 경우에는 연결박스부터의 누수에 주의하고 만약 누수량이 많을 때에는 필요부위의 조임 기타 적당한 조치를 취한다.
- 8) 주행식 스크레이퍼의 경우에는 전원케이블이 감기는 상태 또는 트롤리선의 접촉상태를 주의하여야 한다.
- 9) 체인 및 와이어의 신축이나 마모에 관해서도 항상 감시를 게을리 하지 말아야 한다.

10) 운전정지 후는 모든 것을 시동 전의 상태로 돌려놓아야 한다.

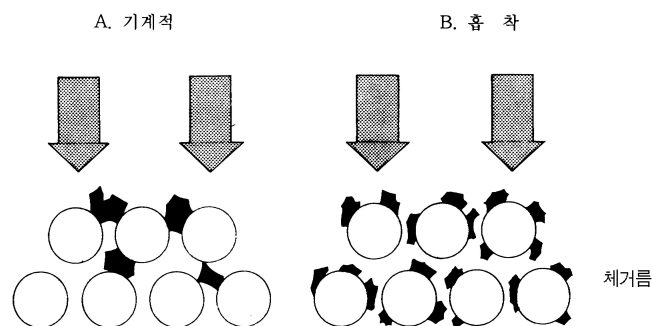
(3) 점검사항

- 1) 감속기용 윤활유의 주입 및 분해정비
- 2) 수중부분 재료의 부식, 마모 상태 및 수중축의 축심조정, 수중축받이의 점검정비
- 3) 벽 관통부에 있어서의 연결박스 및 패킹 교환
- 4) 주행식 스크레이퍼의 궤도간격 및 고저차의 수정
- 5) 체인, 와이어의 신축 및 손상도의 점검 및 정비
- 6) 운전 중 소음·진동
- 7) 레일 및 스톱퍼의 고정 상태
- 8) 리밋 스위치의 정상적 동작여부의 확인
- 7) 감속기의 누유 여부

5.6 급속여과지

5.6.1 총칙

급속여과지는 원수 중의 현탁물질을 약품으로 응집시킨 후 여과층에 빠른 속도로 물을 통과시켜(운반 작용) 여재로의 부착작용에 탁질을 제거하는 고액분리공정으로, 자연에서의 여과현상은 물이 흙의 다공성층을 통과하면서 발생한다. 이러한 자연현상을 “percolation”이라 하며 지하수에 있는 대부분의 부유물질들을 제거한다. 급속여과의 제거공정을 간략히 요약하면 <그림 5.6.1>에서 보는 바와 같이 비교적 대형이고 균일한 입상여과재의 내부 간극표면에 미세한 플록이 부착해 응집하는 현상이라고 할 수 있다. 부유물 억류는 완속여과법과 달라 생물학적 흡착력이나 젤라틴막 등의 여과막은 생기지 않고 미세한 플록의 응집현상과 약품에 의한 강한 흡착력으로 이루어지고 그 억류는 여과층 내부에서도 일어난다.



<그림 5.6.1> 여과 체거름 현상과 부착공정 현상

제거대상 현탁물질은 미리 응집작용으로 부착되거나 분리되기 쉬운 상태의 플록(floc)이 되도록 해 둘 필요가 있고 응집처리 되지 않은 물은 급속여과지에서 처리한다 하더라도 제거효과는 거의 기대할 수 없다.

예를 들어 탁도가 수질기준 0.5NTU 이하의 표류수를 응집처리하지 않고 직접 급속여과 처리하게 되면 염소소독에 내성이 강한 병원충(크립토포리디움, 람블리아 편모충, 조충 등)이 존재하는 경우가 있어서 매우 위험할 수 있으므로 급속여과처리 하는 물은 반드시 응집처리된 것이어야 한다.

급속여과법에서는 수중의 불순물 중모래, 실트, 조류, 금속산화물 등의 현탁물 외에 점토, 세균, 바이러스, 색도성분 등의 콜로이드성분이 제거가능하나 용해성분인 암모니아성질소, 음이온계면활성제(ABS, LAS 등), 망간이온, 페놀류, 냄새성분 등에 대하여는 제거효율이 낮다. 그러나 pH를 조정하면서(enhanced coagulation) 응집처리 함에 따라 TOC 등의 용해성물질 일부를 제거하는 것은 가능하다(flash mixing).

또한 잔류염소를 포함하지 않는 물을 여과하는 경우, 수온이 높은 시기에는 여재 표면에 증식한 미생물의 활동에 의하여 암모니아성질소 등의 용해성분 일부가 제거되는 경우도 있으며, 유리잔류염소의 존재 하에 망간모래를 사용하여 망간이온을 제거하는 것은 여러 곳에서 시행되고 있다(상수도 시설기준 “5.18 철·망간 제거설비” 참조). 급속여과지에는 규모나 용도에 따라 많은 형식이 개발되고 있는데 다음과 같이 구분한다.

- ① 여과층의 구성에 따라 단층 또는 다층여과지
- ② 사용 여과재에 따라 모래 단독 또는 이중여재 여과지
- ③ 여과방향에 따라 상향류 혹은 하향류식 여과
- ④ 여과속도에 따라 120~150m/d의 표준여과 및 200~300m/d 이상의 고속여과
- ⑤ 수리적으로 압력식 및 중력식 여과
- ⑥ 형태적으로 개방형 및 폐쇄형
- ⑦ 여과수량의 시간적 변화 유무에 따라 정속여과 또는 감속여과
- ⑧ 여과수량의 조절방식에 따라 유입측 제어형과 유출측 제어형, 또는 유출제어형, 수위제어형 및 자연평형형

이를 형태에 따라 다시 크게 구분하면 일반적으로 가장 광범위하게 사용되고 있는 표준형 중력식 개방형 여과지, 여과효율을 높이기 위해 여과층 입도를 상부에서 하부를 향한 역입도(逆粒度) 구성인 다층여과지, 소규모 시설에 적합한 압력식 여과지, 밸브 등의 설비류가 적어 운전관리가 용이한 자연평형형 여과지가 있다.

최근에 설치가 증가하고 있는 심층 단일여과상(mono deep bed)은 여재의 유효경 0.9~1.0mm, 균등계수 1.4 이하, 모래층깊이 1m 정도로 이 여과지는 원수의 수질에 따라 다르나 외국에서는 240~300m/d 정도의 고속으로도 여과가 가능하고 수질도 양호한 것으로 인정받고 있다. 심층 단일여과상의 역세척은 공기와 물의 병용방법으로 이루어지며 여과재의 무게로 인하여 여과상의 팽창은 없거나 10% 이내인 경우가 많다. 공기와 물의 역세척으로 인하여 여과지 상부로 배출된 플록은 유입위에서 흘러보내는 수평류에 의하여 배출수로로 이송된다. 운전시의 주안점은 여과수질의 유지와 여

<표 5.6.1> 급속여과지 점검요령(예)

설비	일 상 점 검		정 기 점 검		정밀 점검 및 정비	
	주기	점 검 내 용	주기	점 검 내 용	주기	점 검 내 용
중 력 식 개 방 형 여 과 지 「모 래 단 층 및 다 층 여 과 지」	필요시마다 매일	1. 여과지 수위 확인 2. 여과수량, 여과속도, 여과손실수두, 여과 지속 시간 확인	2~6개월	1. 주벽, 트로프, 세척수조 등의 부착물점검, 청소	모래층 두께 10% 감소	1. 여과모래 보충 (모래 단층여과 경우)
	매일	3. 여과수 수질확인 (탁도, pH값, 알칼리도, 잔류염소 등) 4. 공기송풍설비점검 (공기역세척용)	2~3년 1~3년 1~3년 1년 8~15년	2. 콘크리트 방수층 균열, 열화, 누수 유무 3. 여과층 조사(여재 오염 여부발생, 유효경 및 균등계수, 여과층두께 등) 4. 자갈층 이동유무 5. 여과수량 조절장치, 여과 손실수두계 등의 작동상태 6. 하부집수장치 상황 7. 수위계, 유량계에 대한 점검 8. 공기송풍설비 점검	여과층두께 20~50% 감소 8~15년 1년	2. 안트라사이트 보충 (다층여과지 경우) 3. 여재 교체 4. 제어기기, 배관류의 보온설비의 정비 5. 공기송풍설비점검
	필요시마다 3~4일	5. 세척수량, 세척시간 확인 6. 세척상황 감시(여과층 팽창률, 여재 유출 공기장에 유무, 세척장치 고장, 세척 후 여과층 함몰 유무)	2~6개월 2~3년	9. 표면세척장치 손상 유무(특히 회전식 표면세척관 회전수확인) 10. 고가수조 내의 도장 상태	3~5년 5~8년	6. 표면세척장치 도장 7. 고가수조내외면 도장 8. 회전식 표면세척장치 점검
	필요시마다	7. 세척 배출수탁도 확인 8. 진공펌프설비점검	세척펌프, 진공펌프에 대해서는 상수도시설기준 8.2 펌프설비 및 8.4 전동기 관리를 참조			
	운전시	9. 전동밸브류의 전류값, 유량확인 및 진동, 누수, 기름누출 유무		전동밸브에 대해서는 상수도시설기준 8.4 전동기 및 8.5 밸브 관리를 참조		
압 력 식 여 과 지	매일	1. 가압펌프 밸브개도, 압력, 전압, 전류, 운전소음과 진동, 누수	1개월	1. 가압펌프 밸브개도, 압력, 전압, 소음과 진동 그랜드패킹누수	3년	1. 압력식 여과기 도장 교체
	필요시마다	2. 압력식 여과기의 외관, 누수 3. 세척 배출수탁도	1년 6개월	2. 모터 온도 3. 압력식 여과기 도장상태 확인, 여과유량과 세척 유량 조정	필요시마다	2. 여과모래보충, 교환 3. 펌프부품 교환
				기계, 전기, 계측제어설비 점검은 상수도시설기준 8. 기계·전기·계측제어설비를 참조		
기타 내용은 중력식 개방형 여과지에 준함						

과지속시간의 연장 및 여과속도 증대를 위하여 약품주입량과 혼화·응집·침전 등 전처리 공정의 최적화에 있으며 각 단위공정의 유지관리는 기존의 여과지와 근본적으로는 유사하다.

또한 여과방식별로는 응집·침전처리한 물을 여과하는 일반 여과방식과 응집만을 한 물을 처리하는 직접여과방식이 있으며, 운전 중의 급속여과지를 평가하는 데는 다음과 같은 관점에서 종합적으로 판단하여 평가하고 필요에 따라 운전방법 개선, 향후 시설정비계획을 책정·개정하여야 한다.

<기능면>

- ① 목표수질을 만족하면서 설계유량이 확보 가능한지?
- ② 운전비용(주로 세척빈도에 의한다)이 지나치게 높지 않은지?

<설비면>

- ① 여과층 상태는 어떠한지, 여과층 정비의 연간 평균비용은 어느 정도인지?
- ② 여과 구조물(軀體) 상태는 어떠한지(누수, 부등침하 등)?
- ③ 부속기기류(전기·기계·계측제어)상태는 어떠한지?

여과지는 정수처리과정에서 탁질을 제거하는 최종단계로 사용하는 경우가 대부분으로 “먹는물 수질 기준” 및 “정수처리기준 등에 관한 규정”을 만족시킬 수 있는 여과수의 확보가 관건으로 최근, 일본에서는 1960년대 이래 망간처리를 위해 전염소처리가 널리 채택되었고, 1980년대부터는 소독부산물을 저감시키기 위해 중간염소처리가 채택되는 경향이 있는데 중간염소처리는 여과지로의 부하가 증가됨과 동시에 염소와의 접촉시간이 단축되므로 처리수질과 안정성 등을 고려하면서 급속여과지 운전 및 유지관리방법을 종합적으로 검토할 필요가 있다.

급속여과지의 운전은 원격제어로 이루어지는 경우가 많고, 운전이 실제로 정상적으로 이루어지고 있는지 여과층 상태에 이상은 없는지를 정기적으로 현장을 순시하면서 확인하는 것이 중요하다.

5.6.2 중력식 개방형 여과지

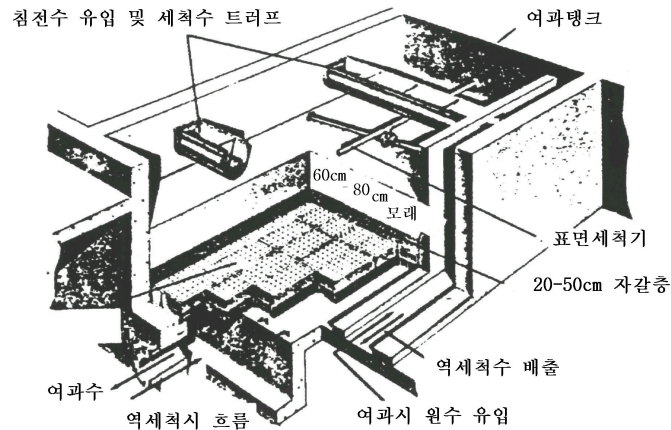
중력식 개방형 여과지는 여과지내에 자유수면을 갖고 중력에 의한 자연유하로 여과하는 형식의 여과지를 말하며 여과수량조절장치, 역세척장치, 표면세척장비, 역세척용 펌프, 각종 부속배관 및 밸브로 구성되어 있고 일반적인 여과지의 구조(예)가 <그림 5.6.2>에 있다.

(1) 운전(여과)

1) 급속여과의 메커니즘

급속여과지에 유입되는 미여과수(침전수 상등수)는 반드시 응집처리된 물이 아니면 안 된다. 즉, 현탁물질은 여과층에서 효과적으로 역류제거 시키기 위해 플록(floc)형으로 해야 하며 직접 여과법의 경우에도 탁질은 미세플록 상태여야 한다.

미여과수 중에는 여과층 공극에 비해 훨씬 작은 플록을 많이 포함되어 이처럼 작은 플록이 여과층에서 포착, 역류되는 것은 다음과 같은 작용에 의한다고 생각할 수 있다. 수중의 미세플록은 여재와 여재 간격 내를 통과할 때 여재표면에 접촉 부착되고 여재의 표면에 부착된 플록으로 덮이게 되며 후



<그림 5.62> 일반적인 여과지의 구조(예)

속되는 미세플록은 먼저 부착된 플록 위에 다시 부착 응집되어 여과층 중의 역류량을 증가시킨다. 여재표면의 역류플록 두께가 증가되면 점점 간격이 작아지고 간격 유속이 증대되어 마침내 부착된 플록이 박리(breakthrough)되는 한계 역류량에 도달하게 되는 것으로 이전에 역류된 플록을 깨끗이 역세척할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

일반적으로 극히 저탁도 원수의 플록이나 유기성분이나 색도를 나타내는 플록과 같이 단위 탁질량에 해당하는 응집제량(알루미늄/탁도 비)이 높은 플록은 크기는 크지만 강도가 약하고 역류가 많이 진행되지 않았을 때 파괴되어 유출되기 쉽다. 급속여과지법의 메커니즘은 이러하므로 응집작용을 받지 않은(플록이 없는) 물을 급속여과 하여도 제거효과는 거의 기대할 수 없다.

급속여과 효율에 가장 큰 영향을 주는 것은 적절한 응집·침전의 여부이다. 침전수의 탁도가 변화하면 여과수의 탁도가 여기에 대응하여 변화하는 경향이 발견되기도 한다. 따라서 침전수의 탁도가 낮으면 낮을수록 또는 플록의 양이 적으면 적을수록 여과지속시간이 길어지고 여과수탁도도 낮다. 따라서 급속여과관리에 있어서는 침전지 유출수 탁도나 플록의 다소와 크기 등을 계속 측정·관찰하여 그 결과를 약품주입, 응집·침전작업에 반영하고 전처리 효과를 높이도록 노력하여야 한다.

여과효율에 영향을 미치는 또 다른 요인은 수온, 여과재의 유효경 및 균등계수, 여과층의 충전두께이다. 온도가 저하되는 동절기에는 작고, 침강성이 불량한 플록이 형성되고 여과지 내에서도 역류가 잘 되지 않으므로 여과수 내에 플록이 누출되는 일이 자주 발생할 수 있다. 따라서 약품의 투입량과 여과지의 역세척 주기에 각별한 주의를 기울여야 한다.

급속여과에서 여과수의 탁질 증가에 크게 영향을 주는 또 하나의 요인은 수온이다. 저수온이 될수록 여과수탁도가 증가하는 경향이 있다. 따라서 한랭지일수록 누출에 대한 주의가 필요하고 그 방지책이 중요하게 된다. 탁질이 여과수에 누출되는 것은 이상의 원인 외에 여과속도, 여과모래의 입도 및 여과층의 두께 등에 의해서도 영향을 받는다. 즉 여과속도가 커질수록 여과모래의 입도가 클수록 두께가 줄어들수록 탁도의 누출이 일어나기 쉽다. 또 여과속도를 급변시키는 것도 여과수의 탁질을 누출시키는 요인이 된다. 탁질의 누출을 방지하기 위해서는 응집제, 여과층, 여과속도 및 여과지속시

간의 네 가지 면에서 검토하여 개선하여야 한다.

2) 여과유량 조절

여과유량 조절방식은 정속여과와 정압여과가 있고 정압여과의 전형으로서 감쇄여과가 있다(상수도 시설기준 5.6.4 여과유량조절 참조). 또한, 일반적인 정속여과 제어에는 유량제어형, 수위제어형 및 자연평형형이 있는데(<그림 5.6.3>) 먼저 유량제어방식은 여과수 출구측에 유량계와 유량조절장치를 설치하며 여과초기에는 조절장치에서 큰 손실수두를 발생시켜 여과유량을 제어한다. 여과가 진행됨에 따라 여과층의 폐쇄가 진행되어 여과유량이 감소하게 되면 여과층 내 손실수두가 증가한 만큼 조절 장치에서의 손실수두를 감소시킴으로서 여과유량을 일정하게 유지하는데 이 방법은 여과 모래면에서 유입수로 수위까지의 고저차를 비교적 작게 하는 것이 가능하다는 장점을 갖는 반면, 장치가 비교적 복잡하고 높은 손실수두시에 부압발생에 의한 수질악화를 초래할 가능성이 있는 등의 단점이 있다.

수위제어방식은 여과초기에는 유량조절장치를 조절하여 여과유량을 유지하나 여과가 계속되면서 여과상내에 플록이 축적되어 수위가 상승하게 되면 여과지의 수위를 감지하고 그 신호를 유량조절장치에 전달하여 밸브 개도(開度)를 조정하여 정속여과를 유지하는 것으로서, 비교적 얇은 사면 위의 수심으로 하는 것은 가능하나 기구가 많이 복잡해진다.

자연평형형방식은 유출측에 사면보다 높은 위치에 위어를 설치하여 여과초기에 부압이 발생하지 않을 초기수심을 확보한다. 여과가 계속됨에 따라 여과층에 플록이 축적되어 손실수두가 증가하면 이에 상응하여 여과지 자체의 사면상의 수심이 서서히 높아져서 일정한 여과유량을 얻는 방법이다. 사면상의 수심이 설정값에 도달하면 여과를 정지하고 세척을 하므로 사면상의 수심을 크게 하면 여과지속시간이 길어진다. 이 방식은 유출측의 여과속도 조절없이 정속여과가 가능하며, 유량조절장치 조정시의 압력변화로 인한 탁질누출 위험성이 없다는 점 및 여과층 내에 부압발생의 위험이 작아진다는 등의 장점을 갖고 있으나 여과지가 깊어진다.

감쇄여과에서는 정압으로 여과하기 때문에 여과층 저항 증대에 따라 여과속도가 점점 감소하기 때문에 여과지 수가 적은 곳에서는 여과수량 변화에 주의하고 여과지 세척 배분을 평균화하는 등 여과수량 확보에 노력할 필요가 있다.

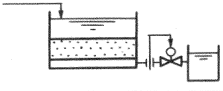
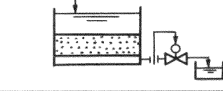
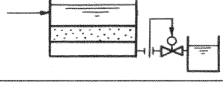
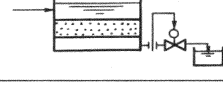
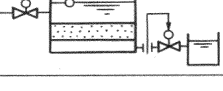
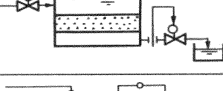
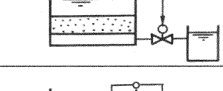
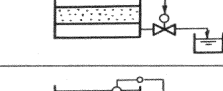
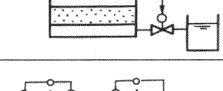
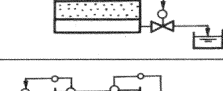
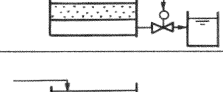
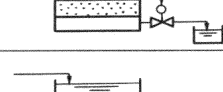
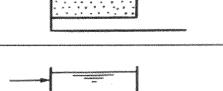
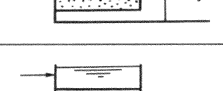
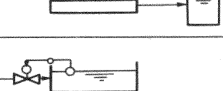
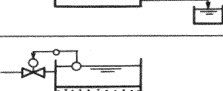
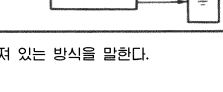
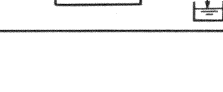
정속여과로 여과층이 모래 단층인 경우에는 여과속도는 120~150m/d를 표준으로 하는데 응집·침전처리가 특히 양호한 경우는 이것 이상의 여과속도도 가능하지만 처리수질의 감시 및 여과층관리를 엄밀히 할 필요가 있고 단순적용은 곤란하다.

3) 손실수두

여과지의 유출측 수면이 여과층 표면보다 낮은 위치에 있는 구조의 여과지로 여과를 계속해 가면 여과층 내의 손실수두가 늘어나고 국소적으로 수압이 대기압보다 낮은 부분이 나타날 수도 있는데 이를 부(負)수두라 한다. 부수두 상태에서 여과를 계속해 나가면 수중에 용존되어(녹아 있는) 있는 공기가 여과층 중에서 기포상태로 분리되려고 하기 때문에 여재입자 사이에 수류와 공기류가 공존하는 상태(airbinding, 空氣連行)가 되고 통수면적이 감소하여 손실수두가 증가되거나 여과수 중에 탁질이 누출되는 경우가 있다.

이러한 부수두에 의한 여과장애를 방지하기 위해 여과지 수심은 여과층 표면상 1~1.5m로 하고

있는 경우가 많다(상수도시설기준 5.6.9 수심과 여유고 참조). 또한 초기 손실수두가 과대 또는 과소할 때는 여과상의 이상유무 또는 역세척방법을 검토하여야 한다.

조 절 방 식		유 입 법	유 출 법	
			비 캐스케이드(non-cascade)	캐스케이드(cascade)
정 속 여 과 법	유량제어형	캐스케이드		
		비 캐스케이드		
		수 위 제 어		
	수위제어형	캐스케이드		
		비 캐스케이드		
		수 위 제 어		
	자연평형형	캐스케이드		
감 쇠 여 과 법		비 캐스케이드		
		수 위 제 어		

주) 캐스케이드 방식이라는 것은 낙하방식으로, 유입 또는 유출측이 수면과 떨어져 있는 방식을 말한다.

<그림 5.6.3> 여과 유량조절방식과 유출입방식

4) 여과속도

여과속도는 여과유출량을 여과면적으로 나눠서 구하는데, 효율적으로 여과하기 위한 여과속도는 유입수의 수질, 여과층의 구성, 미여과수의 응집상태 및 여과지속시간 등을 고려하여 결정하는 것이 바람직하다. 여과 진행 도중에 여과속도를 급변시키면 여과층 중에 포착되었던 플록을 분리 유출시켜 여과수질을 악화시킬 우려가 있으므로 조심해야 한다. 또한 여과개시 때에는 slow start를 사용하는 것이 바람직하고 여과속도 급변에 의한 여과수질의 악영향을 최소화하기 위한 여과속도 변경기준은

각 정수장에서 정수시설을 실측한 뒤에 충분한 안전율을 확보하고 결정하는 것이 바람직하다. 여과 속도 변경기준으로서는 다음 <참고 5.6.1>과 같은 예가 있다.

<참고 5.6.1> 여과속도변경 기준 및 slow start를 설정하는 속도결정(예)

(1) 여과속도 변경기준

- ① 여과속도의 변경 폭 10%/10min 이하(Cleasby*)
- ② 여과속도의 1회 변경 폭 10m/d 이하로 다음 변경까지의 간격은 1시간 이상(○시의 예)

(2) Slow start를 설정하는 속도결정 예

- ① 여과속도 매분 1.8m/d 이하(Cleasby* 등)

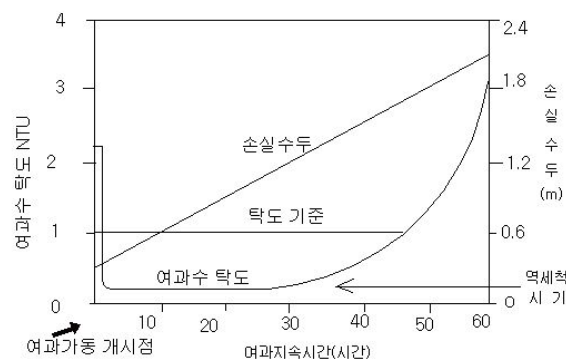
*J. L. Cleasby, M. M. Williamson, E. R. Baumann, "Effect of Filtration Rate Changes on Quality", Jour. AWWA, Vol. 55, No. 7, July 1963, pp. 869~880

5) 운전 기록

여과운전 자료는 운전일지를 작성하여 여과수량, 손실수두, 여과속도, 여과지속시간, 역세척상태 등을 기록해 두어야 하며 <표 5.6.2>에 따라 운전일보를 작성하고, 또한 여과효율 종합판단 자료로 써 원수수질, 자테스트시험, 약품주입상황, 침전지 운전상황 여과수 수질조사 등의 각 자료를 준비하여야 한다.

(2) 운전(역세척)

여과가 계속되면서 여과지의 공극에 플록이 축적됨에 따라 여과상의 플록 축적 용량을 벗어나게 되면 <그림 5.6.4>와 같이 여과수의 탁도가 증가되거나 정해진 기준에 가까워지면 여과를 멈추고 정수지 또는 역세척을 위하여 물을 저장하여 놓은 역세척 수조로부터 물을 인입하여 여과지의 하부로 유입시켜 여과방향과 반대로 흐르게 한다. 이 과정에서 여과재는 상향류로 흐르는 역세척수에 의하여 세척되고, 공극 내에 축적되어 있던 플록은 씻겨 나와 역세척수와 함께 유출되고 여과상은 다시 깨끗해져서 여과를 시작할 수 있게 된다.



<그림 5.6.4> 여과진행에 따른 손실수두 증가와 여과수질의 탁도변화(예)

<표 5.6.2> 급속여과지 운전일보(예, 작업일지)

○○년 ○월 ○일				요일 날씨		담당		팀장		과장									
지별	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		여과수량계	정수수량	최고		최저		
	여과량	손실수두	여과량	손실수두	여과량	손실수두	여과량	손실수두	여과량	손실수두	여과량	손실수두			기온	24℃	15℃		
															수온	20℃	19℃		
시각	m³/h	cm	m³/h	cm	m³/h	cm	m³/h	cm	m³/h	cm	m³/h	cm	m³/h	m³	여과지 통합수 수질				
1	400	85	400	60	400	55	400	25	400	30	휴지		2,000			9시	15시		
2	"		"		"		"		"							탁도	0.0	0.0	
3	"		"		"		"		"							잔류염소	0.8	0.8	
4	"		"		"		"		"							총	사용지수	6池	
5	"	100	"	70	"	65	"	30	"	35	400	20	2,400				연 사용시간	13400	
6	"		"		"		"		"		"						평균여과속도	83m/d	
7	"		"		"		"		"		"						여과수량	53,600m³/d	
8	"	110	"		"		"		"		"					합	세척횟수	3회	
9	세척		"	80	"	75	"	35	"	45	"	25	2,000				세척수량	2,130m³/d	
10	400	20	"		"		"		"		"		2,400				세척수량비	3.97%	
11	"		"		"		"		"		"					세척펌프	1호	2호	
12	"		"		"		"		"		"					자동	0	0	
13	"	25	"	95	"	85	"	40	"	55	"	35				수동	0	0	
14	"		세척		"		"		"		"		2,000	710		배수펌프	1호	2호	
15	"		400	20	"		"		"		"		2,400			자동	0	0	
16	"		"		"		"		"		"					수동	0	0	
17	"	30	"	25	"	95	"	50	"	65	"	45				세척배출수 수위계	제1	0	
18	"		"		"		"		"		"						제2		
19	"		"		"		"		"		"						No1	0	
20	"		"		"	110	"		"		"						No2		
21	"	35	"	30	세척		"	65	"	75	"	55	2,000	710	세척설정 조건				
22	"		"		휴지		"		"		"				역세척	속도	0.80m/min		
23	"		"				"		"		"					시간	7.0분/회		
24	"	40	"	35			"	75	"	90	"	65				수량	650m³/회		
여과수량합계	9,200m³/d		9,200m³/d		8,000m³/d		9,600m³/d		9,600m³/d		8,000m³/d		53,600m³/d	2,130m³/d	비고	표면수량	0.080m³/m²/min		
여과속도	83m³/d		83m³/d		83m³/d		83m³/d		83m³/d		83m³/d		* 1지당 여과면적은 116m²			시간	6.0분/회		
당일연장시간	23:00		23:00		20:00		24:00		24:00		20:00					수량	60m³/회		
개시	28일 9:00		28일 14:00		28일 21:00		일 :		일 :		일 :		근무자						
정지	8:00		13:00		20:00		:		:		:								
지속시간	47:00		47:00		47:00		:		:		:								

역세척 시점은 세립 모래여과지의 경우에는 손실수두가 1~1.5m일 때 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 역세척은 여과수탁도가 먹는물 수질기준이나 정수장에서 자체 설정한 계절별 목표 탁도값을 초과할 때 시작하는 것이 바람직하며 이중여재 여과지나 단일 심층여과지의 역세척 시점도 여과수 탁도에 따라 정하는 것이 바람직하고 세척 종말탁도는 보통 경험에 의해 정하는데 역세척수의 탁도가 10NTU(계절별 자체 목표탁도 설정) 내외가 될 때까지로 하는 것이 보편적이며 역세척 시간은 5~10분 정도가 적당하나 역세척방법에 따라 조금씩 다를 수 있다.

역세척이 적절하지 못한 경우에는 여과지속시간의 감소, 여과수질의 악화 등 장애가 발생하므로 모래입자와 모래입자를 서로 잘 충돌·마찰시켜 청정한 모래가 되도록 하여야 한다. 일반적으로 여과지 표층에는 압밀된 플록층이 형성되어 있어 물만으로 역세척을 하는 경우에는 표층의 플록들이 역세척시 충분히 제거되지 못하고 잔류·성장하여 머드볼(mudball)이 형성되게 된다.

물의 유동화에 의한 역세척이 1929년 Hulbert와 Herring's에 의해 연구되었는데 이 보고서에 의하면 여과공정상 역류되었던 floc들이 Subfluidization에 의해 완전히 제거되는 것으로 믿었으나 뒤이은 조사에 의하면 50% 팽창에도 일부 머드볼이 제거되지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 물에 의한 역세척을 보완하기 위해 표면세척과 공기를 사용하는 역세척방법 등이 다양하게 연구되었다.

머드볼은 역세척효과가 불충분할 때 모래입자를 중심으로 하여 생긴 슬러지덩어리가 서로 부착되어 생긴 것이며 그 크기는 쿵의 크기로부터 직경 20~50mm 정도로 성장한다. 처음에 비중이 가벼울 때는 모래층의 상부에 집중하나 비중이 모래와 가까워지거나 그 이상이 되면 모래층 중에 침강하여 자갈층까지 이르고 경우에 따라서는 큰 덩어리가 되는 수가 있다. 머드볼의 특징은 세척수의 흐름이 약한 부분에 집합함으로 점점 더 물의 흐름이 불균일하게 되고 세척이 불완전하게 된다. 머드볼이 형성되면 여과유효면적의 감소로 인한 여과저항의 증대, 주변 여과속도의 증대 및 여과지 벽체와 여과재 사이에 간격의 형성으로 인한 플록유출 등 여과효율 저하의 직접적인 원인이 되므로 머드볼의 형성을 최대한 피하여야 한다.

역세척수의 불균등한 분포는 부분적으로 불충분한 역세척을 야기시키는 단락류를 일으키며 여과지 내에 수로를 형성하여 역세척수가 이미 형성된 여과지내 수로를 따라 흐르므로 역세척이 되는 부분은 설계 역세척속도보다 높은 속도로 역세척이 되며 다른 부분은 역세척이 거의 되지 않는 현상을 일으킨다. 이러한 현상은 머드볼의 형성을 촉진시키는 계기가 되므로 그 원인을 찾아 적절히 개선함이 필요하다. 역세척효과가 불충분할 때는 머드볼 생성 외에 여과층 균열을 발생시키거나 여과층 표면이 고르지 못하게 되며 측벽과 모래층 사이에 간격이 생기는 등 여과장애의 원인이 된다. 머드볼, 여과층 표면의 균열, 여과모래 입도증대 등 여과층의 바람직하지 않는 상태는 표면세척 및 물과 공기의 병용방식 등을 적절히 채용하고 운영함으로서 크게 감소시킬 수 있다.

역세척효과는 유효한 역세척이 행해지면 좋으나 역세척 배출수가 청정하게 된 것만으로 세척효과가 좋은 것이라고 판단할 수 없고 역세척 전후의 모래층의 청정도를 비교하여 그 청정정도로써 판정하여야 한다. 다만 항상 이와 같은 방법에 의하는 것이 곤란하므로 역세척 배출수의 탁도로서 판정하는 것이다. 일반적으로 역세척 배출수의 탁도는 10NTU(계절별 자체 목표탁도 설정) 내외가 될 때까지 역세척하는 것이 바람직하다. 그러나 이 기준을 지키기 위해서는 정수장에서 과도한 역세척

수량을 소모하는 경우도 있을 수 있다. 그러므로 정수장별로 용수량 절약의 필요성 등 현실상황에 따라 10NTU 이상에서도 역세척을 중지할 수 있다. 다만 역세척이 충분하지 못한 경우에는 여과수 질이 악화되고 역세척주기가 빈번하여 지므로 정수장별로 최적의 조건을 설정하는 것이 필요하다.

역세척수를 정수지가 아니고 역세척 탱크로부터 공급받도록 하는 경우에는 역세척탱크의 용량은 적어도 1지를 충분히 역세척할 수 있는 크기로 하고 탱크수심은 될 수 있는 대로 얇게 하여 역세수압의 변화를 적게 하도록 하여야 한다.

역세척펌프의 용량은 필요한 역세수량을 충분히 송수할 수 있는 것이어야 하며 펌프의 양정은 역세척 배관, 밸브류, 유량측정장치, 하부집수장치, 자갈층 및 여과모래층의 손실수두와 역세척조 수위에서 트로프 상단과의 고저차를 가산한 것에 다소간 여유를 두고 결정하여야 한다.

역세척시 여과층의 팽창률은 여과재의 구성과 충전깊이에 따라 서로 상이할 수 있으나 일반적으로 유효경 0.45~0.55mm의 여과모래가 60cm로 충전된 여과상은 20~30% 사이가 적합한 것으로 인정되고 있다. 그러나 유효경 1.0mm, 균등계수 1.3 이내, 충전깊이 1.0m로 구성되는 단일심층여과지의 경우에는 역세척시 20~30%의 팽창을 유도할 만큼의 역세척 속도에서는 하부지지 자갈이나 하부집수장치에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으므로 최소 유동화 상태로 팽창시켜 역세척을 하는 것이 일반적이다. 단, 역세척 효율을 높이기 위하여 물과 공기의 병용역세척을 주로 활용한다. 팽창률과 역세척 효율은 여재의 입경, 균등계수, 수온 등에 따라 차이가 나므로 정수장별로 적절한 역세수압과 수량을 정하여야 한다. 또한 하계의 고수온시와 동계의 저수온시를 동일한 역세속도로 세척을 하면 물의 동점성계수의 차이에 의하여 여과층이 고르지 못하고 교란 또는 여과모래의 유출을 발생하는 일이 있다. 따라서 각 정수장은 여과상의 팽창이나 여과수질과 여과지속시간을 기준으로 계절별로 적절한 역세척 속도기준을 세워두어야 한다.

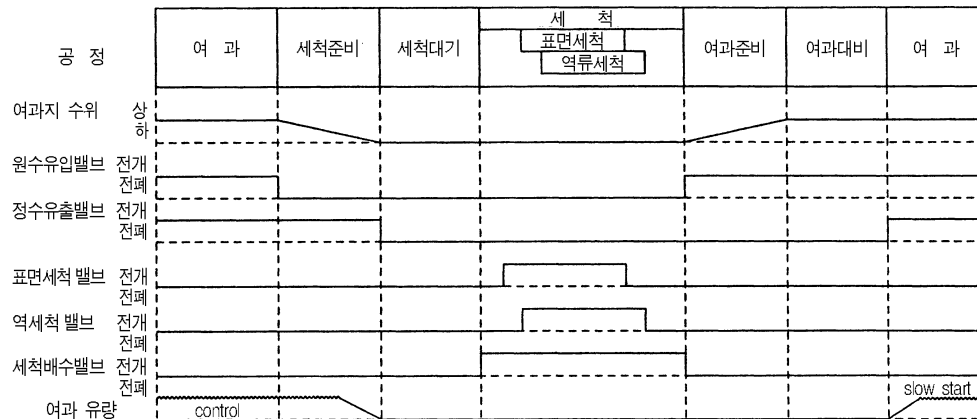
역세척수 중에 잔류염소가 없으면 여과층 내에 조류나 원생동물 등이 서식하여 수질오염이나 여과장애를 일으키는 원인이 될 수 있다. 따라서 지금까지는 잔류염소가 함유된 정수지 내의 물로 역세척을 함으로써 여과층 내의 청결을 유지하는 것을 일반적인 운영으로 삼아왔다. 그러나 정수장에 따라서는 구조상 염소가 존재하는 물로 역세척하기가 곤란한 정수장도 있으며 최근에는 bio-filter라는 개념이 새로 도입되기 시작하여 여과지 내에서 미생물의 작용으로 인한 유기물질의 저감을 피하기도 하였다. 그러므로 역세척수 내의 잔류염소를 어느 농도 및 빈도로 유지할 것인가는 정수장 별로 결정하도록 하는 것이 좋다. 다만 정수장은 어떠한 경우이던 간에 여과수의 수질을 기준에 맞도록 유지하여야 한다. 또한 bio-filter의 개념을 도입하기 위해서는 여과지 다음에 신뢰할 만한 살균 시설이 먼저 설치되어야 할 것이다.

역세척수를 공급할 때 역세척수 공급밸브를 10초 이내에 전개(全開)하게 되면 하부집수장치를 손상하거나 여재의 유출손실이 일어날 가능성이 농후해지므로 밸브의 개폐에는 30초 정도 시간이 걸리도록 하는 것이 바람직하다. 밸브도 단번에 전개 또는 전폐하기 보다는 2~3단계(step-backwashing)를 거쳐 개폐함이 하부집수장치의 수명연장 및 역세척 효과 증진을 위하여도 바람직하다. 역세척이 완료된 후 여과지 유입수밸브를 열 때에도 여과재의 표면이 교란되지 아니하도록 서서히 열어주어야 한다. 특히 이중여재를 사용한 경우에는 역세척밸브를 일시에 전개하면 거의 틀림없이 여과재의 유

실이 발생하므로 반드시 단계적으로 서서히 열어주어 여과재의 유실이 일어나지 않도록 주의하여야 한다.

1) 역세척 공정

여과지의 역세척 공정은 다음 <그림 5.6.5>와 같으며 역세척은 다음의 상태에 도달했을 때 실시한다.



<그림 5.6.5> 여과지의 역세척 공정

① 여과수에 목표값을 초과하는 탁질이 누출된 경우

② 손실수두가 설정값에 도달했을 때

손실수두가 과대하게 될 때까지 여과를 계속하면 여과층 내 부수두에 의해 기포가 발생하고 여과층 표면의 수축, 균열 발생, 여과수질의 악화 등이 일어난다. 때문에 여과수질의 목표값이 유지될 수 있는 일정한 손실수두를 설정하고(통상 1~2m 정도) 이에 도달했을 때 역세척한다.

③ 여과 지속시간이 설정값에 도달한 경우

경험적인 여과수 수질 목표값을 여유를 지닐 수 있는 여과지속시간으로 한다. 통상 24~72시간 정도인 경우가 많다.

④ 장시간 여과지 운전을 정지한 후 운전을 재개할 경우

통상적으로는 설정된 여과지속시간으로 역세척을 하지만, 특히 여과수 탁도가 목표값을 넘을 경우, 또는 여과지속시간이 설정값에 도달하지 않아도 손실수두가 설정된 값에 달했을 때는 추가적으로 역세척할 필요가 있으며 장시간 여과지 운전을 정지한 경우, 운전을 재개할 때에는 운전정지 중에 수중의 잔류염소가 소멸하고 여과층 중에 미생물이 발생될 수도 있으므로 충분히 역세척할 필요가 있다.

역세척 조작은 여과지속시간, 여과수탁도 또는 여과손실수두가 그 여과지의 설정값에 도달하였을 때에 위와 같은 순서에 의하여 행할 수 있는데, 그 순서 및 시간은 정수장의 상황에 따라 조정될 수 있으며 중요한 점은 역세척 수량의 단계적인 증가(step-backwashing)를 통하여 여과재의 유실을 방지하고 효과적인 역세척을 하는 것이다.

2) 역세척방법

역세척은 역류세척에 표면세척 또는 공기역세척을 합하여 실시하는데, 역류세척 만으로는 세척이 불충분하고 머드볼(mud ball)이 발생하기 쉽다. 머드볼은 세척효과가 불충분할 때 모래입자를 중심으로 발생된 슬러지(진흙덩어리) 입자가 서로 달라 붙어 생긴 구상(球狀)형태로 그 크기는 매우 작은 것에서부터 직경 50mm 정도까지 성장하는 것도 있다. 통상적으로 표면세척이 불충분하기 쉬운 여과지 코너부분이나 다층 여과지의 여과층 경계면 등에서 발생되기 쉽다.

<사례 56.1> 표면세척(기본)+물로 역세척하는 경우

- (1) 유입밸브를 막고 여과지의 수위가 여과모래 사면상 80~90cm에 이를 때까지 여과를 계속한다. 그러나 이 이상의 여과는 탁도의 대량유출로(큰 입자 누출, breakthrough) 수질에 매우 나쁜 영향을 미칠 수 있고, 최근에는 회수조 등의 집수설비가 있으므로 사면상 10~30cm까지 물을 배수시키는 경우가 일반적이다. 이때 배수된 물은 착수정으로 다시 반송할 수 있는 설비가 필요하다.
- (2) 유출밸브를 닫는다.
- (3) 역세척배출수밸브를 열고 표면세척밸브를 열어 표면세척을 행한다. 일반적으로 표면세척시 수위는 역세척 방식에 따라 다르나, 여과형태별 사팽창률보다 약간 높은 위치에서 실시하는 것이 유동화(subfluidization)에 유리하다. 최근 국내 연구결과에 의하면 트로프에 사이펀을 설치하여 수위를 트로프 위어보다 낮추어 사면을 표면세척한 후 역류세척하면 여과모래 유실을 방지할 수 있고 역세척 효율도 높게 나타나고 있어 참고할 만하다.
- (4) 표면세척이 먼저 1~3분간 행해진 후 물에 의한 역세척이 실시된다. 역세척수 공급밸브는 한 번에 완전 개방하여서는 안 되며 서서히 수량을 증가(step-backwashing)시켜 가야 한다. 만약에 역세척수를 유입할 때 일시에 밸브를 전개하게 되면 여과재가 유실되는 경우가 많고, 특히 이중여재를 사용하는 경우에는 거의 예외없이 여과재가 유실된다. 또한 역세척수가 유입이 될 때 표면세척이 계속 행해지면 여과재가 유출되는 경향이 있다.
따라서 유럽에서는 역세척수가 유입되기 전에 잠시 표면세척을 정지하여 여재를 가라앉힌 후에 역세척수를 유입하고 연후에 다시 표면세척을 행하는 정수장이 다수 있다. 역세척수가 유입되어 수위가 트로프의 아래 약 10~20cm에 달하였을 때에는 표면세척기와 역세척수의 유입을 정지시키거나 감소시켜 여과재 상부의 팽창을 안정시킨 후에 다시 수량을 증가시켜야 한다. 이중여재를 사용하는 정수장에서 트로프의 높이를 상향 조정하여 여과재의 유실을 방지하는 경우가 있으나 이것보다는 이중여재의 입경분포를 조정하여 미립자를 없애고 여과지 유입부의 낙차를 없애하여 여재내부에 공기의 축적을 방지하며, 역세척방법의 조정으로 유실을 방지하는 것이 역세척 효과를 극대화할 수 있다.
- (5) 약 10분 내외의 역세척을 행하는데 표면세척은 여재의 유실을 방지하기 위하여 역세척 수위가 트로프 아래 10~20cm에 이를 때 먼저 정지한다. 약 10분의 역세척으로 역세척 배출수의 탁도가 적정한 정도에 이르면 역세척수 공급밸브를 닫으며 역세척을 중단한다. 역세척 배출수밸브는 역세척수가 빠질 때까지 열어두었다가 닫는다.
- (6) 유입밸브를 여과지 내에 원수를 유입시켜 계획수위까지 상승시킨다. 그러나 역세척 직후 10~30분 내의 초기 여과수에는 역세척시 미처 유출되지 못한 플록들이 쉽게 여과수 내에 유출되므로 수질이 매우 나쁜 것이 대부분의 경우이다. 따라서 유럽이나 미국에서는 여과개시 직후의 10~30분간의 여과수는 압력실의 배수밸브를 개방하여 여과수가 양호한 수질이 될 때까지 시동방수로 버리거나 약품혼화지 또는 침전지로 반송하는 것이 새로운 운전경향이다[시동방수(filter to waste)].
- (7) 유출밸브를 개방하고 동시에 압력실의 배수밸브를 닫고 정수를 개시한다.

<사례 5.6.2> 공기+물로 역세척하는 경우

- (1) 역세척은 유입밸브를 닫고 배수밸브를 열어 수위를 모래윗면 10~30cm로 설정한 다음 배수밸브를 닫는다.
- (2) 공기송풍기를 통하여 공기를 압송한다. 이때 가장 중요한 것은 공기가 여과지의 전 면적에 골고루 분포되어 상승하는 것이 매우 중요하고 공기에 의하여 여과층 내부의 플록이 교란되면 1~3분 후에 역세척수 공급밸브를 서서히 열어 역세척수를 공급한다. 이때 역세척수의 공급량은 최소 유동화상태를 유지하여 플록의 배출을 원활히 하여야 한다. 이 경우 최소유동화 상태에서의 플록 배출효율보다는 약간 팽창한 것이 플록 배출효율이 높았음을 각종 실험보고서에 발표되고 있는데, 여과층 팽창의 결정은 역세척 후 여과수의 수질, 여과지속시간, 역세척수의 회수설비 및 여과지 운전효율을 판단하고, 다음 표를 참고하여 결정할 수 있다.

<사례표 5.6.1> 공기세척을 이용한 전형적인 역세척 속도

여재 구성	역세척 순서	공기 속도(m/min)	물 속도(m/min)	비 고
가는 모래 0.5mm	공기, 물	0.62~0.92	0.62	팽창방식
가는 안트라사이트 1.0mm 포함한 이중여재	공기, 물	0.92~1.22	0.62~0.82	팽창방식
굵은 안트라사이트 1.5mm 포함한 이중여재	공기, 공기+물, 물	1.22~1.52 1.22~1.52	0.40 1.02	팽창방식
굵은 모래 1.0mm (조립 침층)	공기+물, 물	0.92~1.22	0.25~0.28 동일속도 혹은 2배	비팽창방식
굵은 모래 2.0mm (조립 침층)	공기+물, 물	1.83~2.43	0.40~0.48 동일속도 혹은 2배	비팽창방식
굵은 안트라사이트 1.5mm (조립 침층)	공기+물, 물	0.92~1.52	0.33~0.40 동일속도 혹은 2배	비팽창방식

주) Cleasby, J.L. and G.S.Logsdon. 1999. Granular Bed and Precoat Filtration, in Water Quality and Treatment, 5th Ed.

- (3) 공기를 송풍하면서 역세척수를 공급할 때에 역세척수 공급밸브가 한꺼번에 전개되어 역세척수의 공급이 과다하면 여재의 유실이 발생되므로 반드시 역세척수의 공급은 서서히 증가시켜야 하며 역세척수의 수위가 트로프의 하부 10~20cm에 달하면 공기공급을 중단하여야 한다. 특히 이중여재 여과지의 경우에는 일순간 역세척밸브가 전개되어서는 여과재 유실이 발생하기 쉽다. 공기공급을 중단하면 팽창된 여과재의 상부면이 안정되게 되며 이 때 여과모래 상층부가 계속 교란상태에 있으면 역세척수량을 감소 또는 중지시켜 안정을 기하여야 한다. 이후 지속적인 역세척수의 공급으로 탁질을 배출하도록 한다. 공기공급이 정지된 상태에서 물만의 역류는 공기주입으로 인하여 여과층 내에 남아있을 공기방울을 제거하기 위하여 필요하다. 역세척배출수의 탁도가 미리 결정해놓은 한도가 되면 역세척수 공급밸브를 닫고 배수가 완료되기를 기다려 역세척 배출수밸브도 닫는다.
- (4) 일반적으로 여과지 유입밸브를 열고 여과 시작시 초기 10~30분간의 여과수수질이 열악한 경우 즉, 초기 여과수는 플록형성지 또는 침전지로 반송하는 것이 바람직하고, 머드볼(mud ball)의 밀도가 여재의 밀도보다 크면 역세척시 여과층이 팽창함과 동시에 머드볼이 여과층 하부에 가라앉아 자갈층과의 경계면 부근에서 평판상의 덩어리가 되어 여과면적을 감소시킨다. 공기세척에서는 공기를 여과면 전면에 균등히 분산

시키는 것이 중요하며 공기세척과 역류세척을 동시에 실시하는 경우 여재를 유출시킬 위험이 있으므로 세척시에 세심한 주의를 요하고, 특히 공기와 물에 의한 세척은 air scouring과 subfluidization으로 collapse-pulsing현상을 일으켜 역세효율이 향상된다.

일반적인 급속여과지의 역세척기준은

- ① 역세척수량 및 시간은 역세척, 표면세척의 목적을 달성하기 위하여 <표 5.6.3>에 표시한 바를 지침으로 하고 있는데, 공기와 물을 공급하는 경우의 적정한 공기 및 물의 공급속도는 일반적으로 규정된 것이 아직 미비하다.
다만 이 경우는 여과지의 팽창이 없으며 여과자간의 구성도 우리나라 기준과는 상이한 경우가 있다. 상기의 역세척속도에서는 여과자갈 중 입경이 적은 것들이 부상될 우려가 있으므로 이에 대한 관찰과 대응이 필요할 수 있다. 특히 이중여재인 경우에는 공기공급을 낮추고 서서히 증가시키면서 여과층의 팽창 정도와 역세척의 효율을 함께 고려하여 최적속도를 정하는 것이 중요하다. 또한 상기의 기준은 겨울철 수온이 저하되면 물의 동점성계수가 약 40% 높아지므로 역세수량을 감소시켜 여름철과 동일한 팽창을 유발하는 적정 역세척속도를 정수장 별로 결정하여야 한다.
- ② 역세척밸브는 여과재의 유실과 집수장치의 손상을 방지하기 위하여 유입밸브를 단계적으로 서서히 개방하여야만 한다.
- ③ 역세척 배출수 탁도는 일반적으로 10NTU 내외가 되도록 하는 것이 바람직하나 정수장의 특성에 따라 계절별 목표 탁도를 설정하여 여과수 수질과 경제성을 고려하여 판단한다.
- ④ 여과지를 청정하게 유지하기 위해 정기적으로 여과지 주벽, 트로프, 배수구, 표면세척관 등을 청소하여야 한다.
- ⑤ 표면세척은 표면의 슬러지층을 파쇄하기 위하여 역세척 개시에 앞서 분사 노즐로부터 분출수가 모래층의 전표면에 고루 분사되도록 하여야 하며 분사노즐은 팽창한 모래층 중에서 가동되어야 한다. 또한 여과지의 네 모서리는 표면세척의 효과가 미치기 어려운 장소로 탁질이 누적되어 머드볼의 발생장소가 되기도 하므로 이에 대한 보완장치를 고려하는 것이 바람직하다.

역세척시 여과모래의 유출이 과다한 경우에는 역세척 속도의 감소와 단계적인 속도조절, 역세척밸브의 완만한 개방 등으로 여과재의 손실을 피하여야 한다. 다만 여과재의 유실이 여과재의 입경이 기준에 적합하지 못하여 발생하는 경우는 여과재의 입경 재구성을 검토하도록 한다. 역세척시 여과재의 유실이 많다고 하여 역세척 트로프의 높이를 상승시키는 것은 탁질의 배출을 어렵게 할 가능성이 있으므로 여과재의 유실과 역세척효과를 함께 검토하여 적절한 높이로 하여야 한다. 표면세척펌프의 양정은 역세척 배관, 밸브류, 분사노즐 등의 손실수두에 펌프장 수위와 트로프 상단과의 고저차를 참고로 하여 필요한 수압을 가산하여 정한다.

하부집수장치는 점검하기에 난점이 많으므로 여과모래를 교체할 시기에 집중적으로 점검, 보수하여야 한다. 또한 하부집수장치의 파손 등의 이유로 여과모래가 집수정으로 누출되었을 때는 발견 즉시 보수하는 것이 바람직하다. 하부집수장치가 파손되어 전 여과지에서 균등한 역세척이 시행되지 못할

경우에는 머드볼의 발생, 여과면적의 편중 등으로 인하여 정수수질에 큰 지장을 초래할 수 있다.

<표 5.6.3> 역세척 수량, 수압 및 지속시간의 표준

항 목	세척방식	표면세척과 병용		역세척만의 경우
		고정식	회전식	
표면분사 수압 (m)		15~20	30~40	
표면분사 수량 [$\text{m}^3/(\text{min}, \text{m}^2)$]		0.15~0.20	0.05~0.10	
표면분사 시간 (min)		4~6	4~6	
역세척 수압 (m)		1.6~3.0	1.6~3.0	1.6~3.0
역세척 수량 [$\text{m}^3/(\text{min}, \text{m}^2)$]		0.6~0.9	0.6~0.9	0.6~0.9
역세척 시간 (min)		4~6	4~6	4~6

주) 1. 표면분사 수압은 분출부의 동수두

2. 역세척수압은 하부집수장치의 분출부의 동수두. 이것은 여과층과 자갈층의 손실수두 0.4~0.8m와 하부 집수장치 천단에서부터 세척트로프 윗류 수면까지의 표준수심 1.2m~1.6m를 감안한 수두

3) 역세척수

여과층에 조류나 원생동물이 번식하여 오염이나 여과장애를 일으키지 않도록, 역세척수는 원칙적으로 잔류염소가 존재하는 정수를 이용하여야 하며, 역세척 수량과 수압 및 시간은 충분한 세척효과가 얻어질 수 있게 설정하여야 한다(<표 5.6.3> 참조).

이들은 어느 한쪽이 너무 작으면 역세척효과가 불충분하고 너무 크게 되면 경제적인 면에서 좋지 않게 된다. 미여과수(침전수)의 수질, 수온, 여재입도 및 두께 여과지속시간 등에 의해 역세척효과가 변화되므로 정기적으로 역세척효과를 검사할 필요가 있다.

역세척시 여과층 팽창은 최소유동화 이상이 적당하나 특히 수온에 의해 크게 변화되므로 연간 수온차가 큰 지역에서는 적어도 수차례(계절별) 정도는 역세척속도를 변화시킬 필요가 있으며, 같은 팽창을 얻기 위한 최적 역세척유속의 수온에 의한 보정계수는 상수도시설기준 5.6.11 세척수량 등 <그림 5.6.19>를 참조한다.

<참고 5.6.2> 팽창을 일정하게 유지하는 방법

역세척시 여과층 팽창은 여재의 성상(형상, 밀도 등), 세척수의 동점성계수 및 역세척수량(역세척속도)에 따라 결정되며 물의 동점성계수는 수온에 의해 변화한다. 여재의 성상이 모든 지가 거의 동일하기 때문에 수온변화에 따라 역세척수량을 제어하도록 계측제어설비를 개량하고 연간을 통해 항상 일정 팽창률을 유지하도록 하고 있는 정수장이 있다.

4) 역세척 효과

역세척효과 판정은 역세척 배출수가 깨끗하다고 만해서 충분하다고는 할 수 없다. 정확히 역세척 직전과 직후의 여과층에서 채취한 여재의 탁질 양을 측정하고 그 탁질(오염) 정도를 비교하여 역세척 효과를 판정하지 않으면 안 된다. 다만 평상시는 이 방법을 사용하기가 어려우므로 통상 역세척 배출수의 수질을 가지고 좋고 나쁨을 판단하고 있으며 역세척시 최종 종말탁도를 육안으로 확인하여 판단하기도 한다.

5) 시동방수

수질이 불량한 여과수를 배출수관으로 방수하여 버리는 것으로 불량한 여과수는 정상적인 여과지나 비정상적인 여과지에서도 발생할 수 있다. 역세척 후 여과 재개할 때에는 여재표면이나 여재사이의 수중에 잔류되어 있던 탁질이 여과수 중에 누출되게 되는데, 정상적인 여과지에서는 전처리를 잘못했거나 숙성되지 않은 상태에서 여과지를 운전하는 경우이며 비정상적인 조건으로서는 ① 새로 투입한 여재가 숙성되지 않았을 때 ② 보수(개량)에 의한 여과층 교란 ③ 여과 중에 표면세척기나 공기 교반시설의 우발적인 작동으로 여과층 교란 ④ 강한 지진으로 인한 여과층의 액상화 ⑤ 부정확한 응집제의 주입관리 등이다. 최근 크립토포리디움과 같은 원생동물의 포낭(cysts)이나 난포낭(oocysts)의 수질감시를 위해 여과수 수질목표를 0.1NTU 이하로 설정하고 있으며, 일부 도시에서는 탁도 0.25 NTU 이상의 여과수를 버리도록 엄격히 규제·관리하는 곳도 있다, 초기탁도누출을 예방하기 위하여

- ① 일정시간 안정화 후 여과시작(waiting test)
- ② 점진적 여과지 정수밸브 개방(step valve control, ramping-test)
- ③ 여과지 유입수에 여과보조제 투입
- ④ 기타 역세척방식 조절 등이 있다

6) 여과 장애

역세척이 적절하지 않으면 다음과 같은 장애가 발생하고 여과수질이 악화되거나 손실수두가 증대될 수 있다.

- ① 머드볼(mudball)의 발생
- ② 여과층 표면에 균열 발생
- ③ 여과층과 여과지 측벽 사이에 간격 발생(균열의 한 종류)
- ④ 여재의 유효경이 커짐
- ⑤ 여과층두께 감소
- ⑥ 자갈층과 여과층 경계면 요철(波狀이 되는 것)이 발생

이 중에서 ①~③은 역세척 효과가 충분하지 않으므로 일어나며 ④와 ⑤는 역세척할 때 입경이 작은 여재가 유출됨에 따라 발생한다. ⑥은 여과층이 오염된 상태일 때 역세척 개시 초기에 여과층 내에서 상하 방향으로 선회류(旋回流)가 발생하여 자갈층 표면의 수평류에 의해 자갈층이 이동되어 요철이 발생하는 경우가 있다. 또한 역세척 속도분포가 균등하지 않은 경우나 역세척수 중에 공기가 혼입된 경우에도 자갈층의 요철이 발생하는 경우가 있다.

7) 여재유출

여재 유출 원인에는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 역세척 속도의 과대
 - ② 표면세척관 분사노즐의 각도가 부적절함에 기인하는 분사수에 의한 여재의 트로프 내로의 비산
 - ③ 역세척수 중에 공기가 혼입된 경우, 공기 상승에 의해 분사수 일부에 과대한 유속이 발생되어 여재가 트로프(trough) 위로 월류
 - ④ 하부 집수장치의 고장으로 여재가 하부 집수실 내로 누출
- 여재유출 대책으로서는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 역세척시에 적절한 팽창 유지
- ② 표면세척관 분사노즐 각도를 적절하게 조정한다.
- ③ 표면세척관 노즐을 팽창 여과층 내에 잠기도록 한다.
- ④ 역세척수 중에 공기가 혼입되지 않도록 한다.
- ⑤ 하부 집수장치관리를 적절히 한다.

(3) 여재 및 여과층(자갈층)관리

여재와 여과층관리는 다음 사항에 유의하고 여과모래의 검사는 최소한 년 1회 이상의 빈도로 시행 하되 여상내부를 때때로 조정함과 동시에 세척시에도 연속감시하여 이상이 인정될 때에는 신속하게 수리하고 모래의 교환, 세척방법, 세척시간 등에 대한 검토 등의 조치를 강구하여야 한다.

- ① 여과모래의 오염
- ② 머드볼의 생성, 여과층의 균열
- ③ 여과상 표면 함몰 여부
- ④ 여과모래의 유효경의 증대
- ⑤ 여과모래의 파쇄 손모, 유출
- ⑥ 여과지의 과부하에 의한 공기장애
- ⑦ 역세척장치의 고장
- ⑧ 여과지 주벽의 파손
- ⑨ 모래, 자갈의 이동
- ⑩ 기타(하부집수장치 등)

일반적으로 여과모래는 자연모래가 사용되고 한국상하수도협회 규격으로 정해져 있는데 여과모래는 KWWA F-100, 여과자갈은 KWWA F-102, 안트라사이트는 KWWA F-101 규격에 따라 품질검사를 하고, 각 항목별 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 여과모래 외관은 먼지나 점토질 등 불순물이 많이 혼입되지 않아야 하며, 석영질이 많고 견고하며 균일한 자연모래가 좋다.
- ② 급속여과모래의 유효경은 0.45~1.0mm 중에서 적절한 입경을 선정, 사용하는데 상수도에 관용적으로 사용하는 유효경(모래의 입도가적곡선 상에서 10% 통과입경)으로 표시한다. 세립 여과모래를 사용할수록 플록 저지율은 높지만, 표면여과의 경향이 강해진다. 또한 역류 탁질량이 적고 머드볼(mud ball)이 생성되기 쉬우며 손실수두가 빨리 증가하는 등의 단점이 있으나 역

세척 유속이 적어도 되고 여과모래층의 두께를 줄일 수 있는 등의 이점도 있다.

반대로 큰 입경의 여과 모래를 사용하는 경우에는 내부 여과의 경향이 강하기 때문에 여과모래층을 두껍게 하고 모래의 균등계수를 작게 한다면 손실수두를 너무 높이지 않고서도 여과지속시간을 길게 유지할 수 있으며, 여과속도를 높일 수도 있다. 이러한 경우에 역세척속도를 높이거나 공기세척을 병용하는 등으로 세척효과를 높일 필요가 있다. 여과층의 두께가 60~70cm인 보통 급속여과지에서는 저지율, 여과지속시간, 역세척속도 및 광범위한 원수수질의 변화 등에 대처하는 관점에서 유효경은 0.45~0.7mm(여과층 두께의 약 1/1,000 이하 입경) 내외의 모래가 널리 사용된다. 또한 여과층의 두께를 120cm까지 두껍게 하고 유효경 1.0mm 정도의 조립자를 사용하는 경우도 있다.

③ 균등계수는 1.70 이하

모래의 입도가적곡선에서 60% 통과경과 10% 통과경의 비를 균등계수라고 하며 입경분포의 균일한 정도를 나타내는 지표이다. 자연에 존재하는 모래의 균등계수는 대체로 1.5~3.0의 범위에 있다. 이러한 모래를 그대로 사용하면 역세척 중에 상층의 모래와 하층의 모래는 뒤섞여서 세척되지만, 세척을 정지할 때에 조립자의 모래일수록 침강속도가 빠르기 때문에 하층에 모이며 세립자의 모래는 상층에 모인다. 이 때문에 여과에서 탁질 억지율은 지극히 높은 반면, 폐색되기 쉬우므로 손실수두가 지나치게 커져서 충분한 여과지속시간을 유지할 수 없다.

균등계수가 큰 모래로서는 표층의 고운 모래와 하층의 굵은 모래의 입도경사가 커짐에 따라 밀집된 층전의 경향을 보인다. 따라서 모래층 표면에서의 탁질 저지율이 높게 나타나는 것을 완화하고 모래층 내부에 높은 탁질 억류능력을 갖게 하기 위해서는 여과모래에 대한 입경의 균일도를 높일 필요가 있다. 그래서 균등계수의 상한을 1.7로 정하였다. 균등계수는 1에 가까울수록 입경이 균일해지므로 모래층의 공극률이 커지고 탁질 억류 가능량은 증가한다. 그러나 균등계수를 작게 할수록 원사(原沙)로부터 얻는 여과모래의 양이 적어지며 균등계수 1.3 부근에서 체가름량이 급격하게 줄어든다. 그러므로 유효경이 0.6~0.7mm인 모래의 경우 실제로는 1.3~1.6 정도의 균등계수를 채택하고 있다.

④ 세척탁도는 30NTU 이하

신규 여과모래의 깨끗한 정도(오염의 한도)를 세척탁도로 30NTU 이하로 정한다. 다만, 가공한 망간모래인 경우에는 이 항을 적용하지 않는다.

⑤ 강열감량은 0.75% 이하

유기성 불순물이나 석탄입자, 석회석, 조개껍질 등 협잡물의 혼입에 대하여 비교적 간단하게 시험할 수 있는 방법으로 그 상한을 강열감량 0.75% 이하로 정하였다.

⑥ 염산가용물은 3.5% 이하

전향과 같이 협잡물의 혼입한도를 염산가용물 3.5% 이하로 정한 것이다.

⑦ 비중(밀도)은 2.55~2.65의 범위

자연모래의 비중은 2.6 전후이지만, 비중이 2.55 이하인 모래는 유기성 물질이나 다공성 모래가 혼입되어 있는 경우가 있고, 비중이 2.65 이상인 모래에는 석회석이나 중금속류의 광석이 혼입

되어 있는 경우가 있으므로 여과모래로서는 바람직하지 못하다.

⑧ 마모율은 3% 이하

세척을 반복함에 따라 여과모래가 파쇄·마모되어 세척배출수 중에 유출되고 여과층의 입도구성이나 여과층 두께가 설계상태와 달라지는 것을 방지하기 위하여 여과모래의 마모율을 3% 이하로 정한 것이다.

⑨ 여과모래의 최대경은 2.0mm를 넘지 않아야 하고 최소경은 0.3mm를 내려가지 않아야 하며 부득이한 경우라도 최대경을 넘는 것 또는 최소경을 밑도는 것이 1% 이하일 것.

여과모래의 유효경과 균등계수만으로는 입도분포 중 10% 입경 이하와 60% 입경 이상의 분포에 관한 한계가 없으므로 분급의 경향이 극단적으로 커지는 것을 피하기 위해 입경의 상·하한을 0.3~2.0mm로 정하였다.

보사작업이나 여재를 초기 투입할 때에는 먼저 여재를 투입한 다음 역세척을 2~3회 반복하여 표층에 모이는 극히 작고 가벼운 성분이나 점토 등을 삭취해야 하므로, 여과모래는 표층의 오사 삭취를 고려하여 설계 두께보다 몇 cm 많이 깔아 넣는 것이 반드시 필요하다.

역세척을 반복함에 따라 표층에는 작은 입자의 모래가 많아지고 하층에는 굵은 입자의 모래가 많아진다. 장기간 사용한 여과모래는 검사 후 여재의 오염정도, 손실수두 상승, 여과지속시간의 감소 등을 종합적으로 고려하여 판단하되 여과모래를 교체한 후에는 역세척을 실시하여 역세척배출수 탁도가 10NTU(자체 목표탁도 설정 운영) 내외가 되도록 한다.

탁질이 역류되는 정도는 플록의 성질이나 수온의 영향이 크기 때문에 여과층의 엄밀한 필요두께는 실제 사용할 원수를 사용하여 계획된 전처리조건에 따라 실험으로 두께를 구하는 방법이 바람직하나 표준적인 정수방법의 여과지에서는 여과지속시간과 여과효과를 고려한 경제적인 면과 여과모래층으로 탁질 침입의 정도로 보아 경험상 대개 60~70cm의 여과모래층 두께가 바람직하다.

최근에는 유효경이 큰 여과모래를 사용하거나 여과속도를 올려 여과모래층의 심층부까지 탁질억류를 기대하는 경우, 여과지속시간(세척간격)을 길게 하고 싶은 경우, 안전에 여유를 크게 갖고자 하는 경우 등 특별한 목적이 있는 경우에는 모래층을 두껍게 설계하고, 반대로 표층에서의 탁질 저지율을 높게 하고자 여과속도를 줄이고 세립자의 여재를 사용하는 대신에 세척횟수를 늘리는 방식을 채택할 경우에는 여과지 유입수의 수질이 항상 양호해야 하며 여과모래층의 두께를 표준보다 얇게 할 수 있다.

또한 미여과수(침전수) 중에 용해성 망간을 여과지의 망간모래를 이용하여 제거하는 경우에는 여과층 개량 때에 새로운 모래에 망간모래를 10% 정도 혼합함에 따라 통수 초기에 용해성 망간 누출을 방지할 수 있다.

<참고 56.3> 여과모래의 유효경과 균등계수에 대한 이해와 구매시방서 작성 요령

「상수도시설기준」이나 각종 교과서에 여과모래의 유효경과 균등계수에 대하여 유효경은 0.45~0.7mm 또는 0.45~1.0mm라고 되어 있고, 또 균등계수는 1.7 이하라고 간단히 설명하고 있다. 그렇다고 여과모래의 구매시방서를 작성할 때에 앞서 언급된 내용들대로 원하는 여과모래를 구매할 수 없는 경우가 많은데 이 수치는 여

과모래의 유효경과 균등계수를 선정하는 범위일 뿐이고 해당 여과지의 유효경과 균등계수는 아니다. 따라서 여과모래 구매시방서를 작성할 때에는 먼저 설계상의 여과모래층 두께를 찾고 다음에 여과모래의 유효경과 균등계수를 정하는데, 설계상의 여과모래층 두께가 70cm로 설계되어 있으며 모래 단독인 경우이면, 유효경은 0.45~0.7mm 중에서 선정하는 것이 일반적이다. 그 중에서 중간값에 가까운 0.55mm를 유효경으로 선정하면 이 값은 다음 <참고표 5.6.1> 여과층 두께와 유효경에서 유효경이 모래층 두께의 1/1,000 이하이므로 바람직하다. 그러나 유효경을 0.55mm로만 시방서에 표시할 경우에는 이 시방에 적합하도록 모래 생산업자가 여과모래를 생산하는 것은 대단히 어렵다. 따라서 유효경에 어느 정도의 범위를 두어야 하며, 즉 유효경은 $0.55 \pm 0.02\text{mm}$ 로 표시하거나 또는 $\pm 5\%$ 로 범위를 설정하면 거의 원하는 입경의 모래를 구매할 수 있다. 또한 균등계수는 1.7 이하라고 설명되어 있지만, 균등계수의 최대가 1.7이며 여과모래의 균등계수는 가능한 한 낮을수록 좋다. 그러나 너무 낮으면 생산원가가 올라가고 여과모래를 공급할 수 없을 수도 있다. 한편 여과모래 공급자는 누구든지 균등계수 1.4 정도의 모래를 가격의 인상없이 공급할 수 있어야 하고, 선진국에서는 균등계수를 1.4 또는 1.5 이하를 많이 채택하고 있다.

<참고표 5.6.1> 여과층 두께와 유효경

$l/d_e \geq$	1,000 …………… 보통 모래단독이나 2층 여과인 경우
	1,250 …………… 3층(안트라사이트, 모래, 가넷)
	1,250~1,500 … 심층 조립 단일여재인 경우($1.2 \leq d_e \leq 1.4$)
	1,500~2,000 … 입경이 매우 큰 심층조립 단일여재인 경우($1.5 \leq d_e \leq 2.0$)

※ l 은 여과층 두께(mm), d_e 는 여재 유효경(mm)

- 주: 1. 여재입경이 1.5mm 이상이면 보통 여과층의 공극에 비하여 여재 입자간의 공극은 훨씬 커진다. 여재입경이 2배가 되면 공극은 3배가 된다. 그러므로 l/d_e 비는 여재의 입경이 1.5mm 이상일 때 추정값으로만 사용할 수 있으며 실제값은 모형실험을 통하여 얻어야 한다. 또한 파괴현상으로 인하여 원생동물의 난포낭과 같은 작은 입자가 유출되는 것을 방지하기 위한 방호벽으로써 심층조립 단일여재의 여과층 바닥에 0.3m 정도의 모래층을 두면 좋다.
2. 여과보조제로 폴리머를 사용하지 않고 여과수 탁도가 0.1NTU 이하를 맞추어야 하는 경우 l/d_e 비가 15% 정도 증가된 값이 좋다.

여과모래의 교환은 반드시 필요한 것은 아니나 오랜 사용과 역세적으로 마모되어 형상과 입경분포가 변하여 기준범위에 들지 아니하고 정수의 수질을 보장할 수 없는 단계가 되면 교체를 하도록 한다. 단, 여과모래의 입경분포는 기준에 적합하나 오랫동안 사용으로 오염이 된 경우에는 가성소다 또는 여타의 적합한 용액으로 세척하여 재사용할 수 있으며, 교체와 재사용은 여과수질에 따라 판단되는 것이 합리적이다.

여과모래의 세척은 여과지에서 직접 시행하거나 또는 별도의 장소에서 행할 수 있으며 다음의 순서를 참고로 할 수 있다.

- ① 여과모래를 여과지에서 세척장소로 이송하거나 또는 여과지의 물을 여과모래의 상부까지 배수시킨다.
- ② 가성소다를 약 2% 내외의 농도가 되도록 가한다. 이때 가성소다의 투입량은 여과모래 공극내

의 수량을 감안하도록 한다.

- ③ 2%의 가성소다 용액이 여과모래를 충분히 접촉하도록 약 2시간 이상 그대로 놓아둔다. 이때 공기를 주입할 수 있으면 역세척에 도움이 된다. 접촉시간은 여과모래의 오염 정도에 따라 가감될 수 있다.
- ④ 정상적인 역세척을 행하고 여과모래를 검사한다. 이때 역세척이 부족한 것으로 나타나면 약 1%의 가성소다 용액으로 재차 역세척할 수 있다.
- ⑤ 최종적으로 역세척을 시행하되 역세척수의 pH, 탁도 등을 검사하며 세척공정의 잔류물이 모두 제거되는 것을 확인하도록 하고, 경우에 따라서는 여과지가 다시 여과를 수행하기 전에 역세척을 여러 번 행할 수 있다.

여과모래의 세척공정 중에 주의하여야 할 점은 다음과 같다.

- ① 유기물질로 오염된 여과모래를 가성소다로 세척할 경우에는 상당한 양의 거품을 발생시킬 수 있으므로 유의하여야 한다. 특히 세척 중 공기를 주입하는 경우에는 심하게 거품이 발생할 확률이 높다.
- ② 진한 가성소다 용액이 사용되므로 이를 취급할 때 필요한 안전조치를 취해야 하며, 세척작업 인원의 안전 장구 및 안전교육이 필요하다.
- ③ 세척공정에 대한 역세척수는 배수 전에 중화 및 기타 필요한 조치가 되어야 한다.
- ④ 가성소다 등 세척제를 투입한 후의 물은 매우 부식성이 강하여 여과시설에 손상을 끼칠 수 있으므로 전문가에게 상의할 필요가 있다.
- ⑤ 물에 가성소다를 투입하면 열이 발생한다. 그러나 1~2%의 농도에서는 별다른 문제를 발생시키지 아니하는 것으로 알려져 있다.
- ⑥ 가성소다는 고체 또는 액체상태(약 50%)로 투입될 수 있는데 액체상태는 여과모래 사이로 확산되기 쉬운 반면 액체가 미끄럽고 피부와 접촉하면 화상을 입는 위험성이 있어 취급에 각별한 주의가 필요하다. 고체의 경우에는 취급은 액상에 비하여 비교적 편리하나 수중에서 용해하는데 수분이상이 소요된다.

자갈층은 여과하는 과정에 여과모래가 하부집수장치를 통하여 유출수로 등으로 누출되지 않도록 지지하기 위하여 설치하는 것이며, 또한 역세척할 때에는 하부집수장치로부터 분출되는 세척수를 균등하게 분산시키는 역할을 하는 것으로 자갈층의 표준적인 구성은 다음 <표 5.6.4>와 같다.

자갈층은 모래층을 지지하는 것이 목적이며 자갈층 중에 여과모래가 침입하지 않도록 상부에 세립자갈을 깔고 하층으로 갈수록 조립자갈로 갈아서 성층시키는 것을 표준으로 한다.

- ① 외관은 먼지나 점토질 등의 불순물 또는 편평하거나 취약한 입자를 많이 포함하지 않아야 하며, 단단하고 둥그스름한 것이 바람직하다.
- ② 세척탁도는 30NTU 이하
- ③ 자갈의 형상은 최장축이 최단축의 5배 이상인 것이 중량비로 2% 이하
- ④ 비중은 표면건조상태로 2.5 이상
- ⑤ 염산가용률은 3.5% 이하

<표 5.6.4> 하부집수장치에 따른 자갈층의 표준적 구성

하부집수장치	최소경(mm)	최대경(mm)	층수	전층두께(mm)	층 구성의 예
스트레이너형 및 필러블록형	2	50	4층 이상	300~500	(4층인 경우) 1층 입경 2~5mm 두께 100mm 2층 입경 5~10mm 두께 100mm 3층 입경 10~15mm 두께 100mm 4층 입경 15~30mm 두께 150mm
유공관형	2	25	4층 이상	500	(4층인 경우) 1층 입경 2~5mm 두께 100mm 2층 입경 5~9mm 두께 100mm 3층 입경 9~16mm 두께 150mm 4층 입경 16~25mm 두께 150mm
유공 블록형	2	20	4층	200	(4층인 경우) 1층 입경 2~3.5mm 두께 50mm 2층 입경 3.5~7mm 두께 50mm 3층 입경 7~13mm 두께 50mm 4층 입경 13~20mm 두께 50mm

⑥ 여과자갈의 입경은 각 층마다 설계 최소경 이하의 입경과 설계 최대경 이상의 입경에 대한 중량비를 합한 것이 합계로 15% 이하

자갈층과 하부집수장치도 여과와 세척기능에 중요한 역할을 가지고 있으므로 항상 이들의 역할을 충분히 달성하고 있는지에 유의하여야 한다. 여과자갈의 입경과 자갈층의 두께는 하부집수장치에 적합하도록 결정하여야 하고 하부집수장치에 따른 자갈층의 표준적인 구성은 <표 5.6.4>와 같으며, 여과자갈의 이상유무도 년 1회 이상 주기적으로 검사하여야 한다. 계획된 깊이에 여과자갈이 위치하지 않으면 과도한 역세척유속, 공기부착 및 여과모래 비균등부상(sand boiling)등이 예상되므로 역세척을 하는 동안 여과지의 표면을 세밀히 관찰하여 급격한 여과모래 비균등 부상이 일어날 경우 여과자갈의 재포설 여부를 결정하여야 한다.

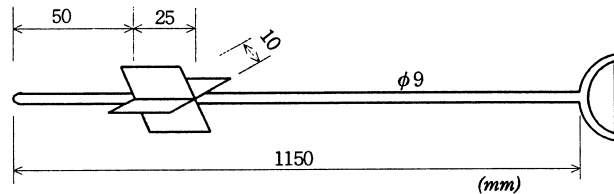
1) 여과층 및 자갈층 조사

여과층 입도분포와 여재 및 여과자갈의 오염상황, 자갈층의 요철상태 등의 조사는 원칙적으로 모든 지(池)를 대상으로 매년 1회 이상 조사하는 것이 바람직하며, 가급적 계절별로 물의 밀도변화에 따라 오염도 측정결과 등을 감안하여 역세척조건(sequence time 등)을 달리하여 운영하는 것이 적관리가 될 수 있다. 여과지 수가 많은 경우는 여과층 이력이 비슷한 지마다 대표되는 지를 선정하여 여과층 상황의 경년변화를 주기적으로 조사하고 다른 지와 대표 지와의 관계에 대해서는 적절한 조사항목과 조사빈도를 파악해 두는 방법도 있다.

또한 자갈층의 요철(不陸) 조사방법 예를 <참고 5.6.4>에 나타냈다.

<참고 5.6.4> 자갈층 요철(不陸)조사방법 예

요철(여과층 표면이 평탄하지 않고 울퉁불퉁한 것) 조사봉(직경 9mm, 길이 115cm 정도의 철봉)을 여과층 위에서 자갈층과의 경계면까지 통과시켜 여과층두께를 측정하고 계산에 의해 자갈층 두께를 구한다. 여과지 한 지당 70 ~100곳을 측정하고 자갈층 표면의 요철정도를 조사한다.



<참고 그림 5.6.1> 요철 조사장치

2) 여과층정비(자갈층·하부집수장치 포함)

여과층정비방법에는 다음과 같은 것이 있다

- ① 여과층 개량(여재를 전면적으로 교체함)
- ② 여재를 여과지로부터 꺼내 세척하여 되돌림.
- ③ 모래 보충(여과층 두께가 감소한 분만큼 보충한다. 즉, 보사). 보충하는 여재의 입도구성에 대해서는 여과층 전체의 입도구성이 설계시의 상태가 되도록 계산하여야 한다.
- ④ ②와 ③을 조합시킨 것, 자갈층은 ① 또는 ②를 실시할 때 꺼내어 세척하고 필요에 따라 보충해 두면 좋은데 이때에 자갈층의 요철을 방지하기 위해 자갈층 입도구성을 굵게~가늘게~굵게(보통은 가늘게~굵게) 샌드위치 형태의 방법과 자갈층 표면에 스테인리스로 요철방지 그물(net)을 치는 방법 등이 채택되는 경우도 있다. 하부집수장치에 대해서도 자갈층을 꺼냈을 때에 신중히 점검하고 상황에 따라 정비하여야 한다.

또한 여과층의 정비기준은 설계시점의 의도, 현재 및 장래의 원수수질의 전망, 정수시스템 전체 상황을 고려하여 각 수도사업자가 결정하여야 할 것으로 다음 <참고 5.6.5>에 그 예를 나타냈다.

<참고 5.6.5> 여과층 및 자갈층 정비(예)

A시의 정비기준 예

- (1) 여과층 정비기준은 원칙으로 15년 사용 후에 여과층 전체를 개량한다. 다만 여과층 전체개량에 사용하는 여재는 유효경 0.55mm, 균등계수 1.4 이하로 하고, 다음 조건에 해당하는 경우는 신속히 정비하도록 한다(보사, 전층개량 등).

- ① 모래의 유효경이 0.70mm 이상이 된 경우
- ② 여과층 두께가 10cm 이상 감소한 경우
- ③ 여과층 표면에 함몰, 균열 등 이상이 발생한 경우
- ④ 여과층 두께(L)와 여사 입경(조화평균경 D_h)의 비(L/D_h)가 600 이하일 경우

※ 조화평균경 구하는 방법

$$D_h = \left\{ \left(\sum \frac{a_i}{D_i} \right) \right\}^{-1}$$

D_h : 조화평균경(mm), a_i : 평균입경 D_i 의 주량분율, D_i : 두 개의 진동눈(目)

d_i, d_{i+1} 의 사이 평균입경(mm) $D_i = \sqrt{(d_i) \cdot (d_{i+1})}$ d_i, d_{i+1} : 진동눈의 크기(mm)

(2) 자갈층 정비기준은 원칙으로 상부 여과층의 개량시기에 맞추어 15년마다 정비한다. 다만, 다음 조건에 해당하는 경우는 신속히 정비하도록 한다.

- ① 여과모래가 하부의 압력수실에 유출되어 여과층이 함몰한 경우
- ② 자갈 표면의 부착물량이 목표값을 넘었을 경우
- ③ 자갈층 두께가 30cm일 때 자갈층 표면에 10cm(여과층과의 설계 경계면에서 상하 각 10cm) 이상의 요철(不陸)이 발생한 경우, 자갈층 두께가 20cm인 경우는 6~7cm 이상의 요철(不陸)이 발생한 경우

기타 여과층정비의 기준 예를 들면 다음과 같다.

- A시 10년에 1회 여과층개량
- B시 8년에 1회 여과층개량
- C시 8년에 1회 여과층개량

여과층조사 결과 여과층정비 기준에 따라 어떤 시점에서 어떤 정비를 할까하는 장기적인 여과층정비계획을 수립하고 그것에 근거하여 여과층정비를 실시한다. 또한 설계당시의 기준과 경년변화에 따른 기준값을 비교하고 지별 여과수탁도 변화를 참조하여 자체적인 여과층정비계획을 보완하여 수정하면서 여과층을 정비한다.

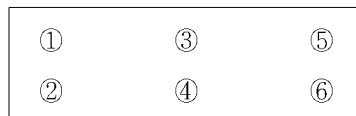
<사례 5.6.3> 여과지 오염도조사 및 경년변화 조사(S시 예)

1) 오염도 조사

여과지 오염도 측정방법으로는 여과모래 세척탁도, 머드볼 생성유무 및 여과층 내 슬러지 퇴적 여부 측정 및 슬러지 용적량을 측정하여 조사하고 기타, KMnO₄소비량, 여과모래팽창의 측정 및 여과지 운영상태(여과층 균열, 공기압 분포도 세척상태 등) 등 역세척시 여과지 이상 유무를 육안 검사하여 종합적으로 판단하여야 한다.

① 시료채취 지점선정

시료채취 지점은 다음 그림에서 1회에 ①④⑤를 선정하고 2회에 ②③⑥에서 샘플링하여 4분법으로 분취하고 여과모래 오염이 의심되는 부분들은 추가로 조사한다. 시료채취시 주의할 점은 여과지의 물을 배수한 후 벽면으로부터 20cm 이상 이격시켜 최대한 직각으로 시료채취용 코어 관을 밀어 넣어 샘플링 해야 한다.



② 여과모래 채취방법

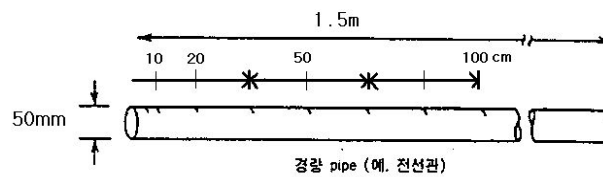
시료를 채취하기 전에 먼저 샘플링용 비닐팩과 채취용 관(내경 약 50mm, 두께 1mm, 길이1.5m)이 필요하며 상세도는 다음 <사례 그림 5.6.1>과 <사례 그림 5.6.2>와 같고, 재료는 얇은 두께의 내면이 비교적 거친 스테인리스관이 적당하다. 그리고 시험할 여과지의 수위가 모래층 이하로 되어 있는가를 반드시 확인한 후 시료를 채취하여야 한다.

시료채취방법은 먼저 여과지의 상층부인 모래층 높이를 확인한 다음(모래층 45cm, 60, 100 등) 준비된 시료 채취관을 천천히 회전시키면서 0~5cm, 0~10cm, 0~15cm, 10~20cm, 20~30cm, 30~40cm, 40~50cm 등으로 자갈층에 닿을 때까지 삽입하면서 각각 10cm 간격으로 채취관의 손잡이를 빙빙 돌려 관에

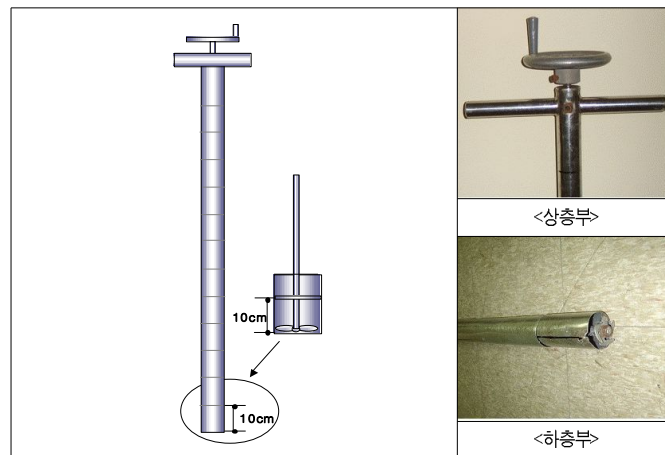
들어 있는 모래를 빼내어 시료를 분석한다. 특히 하층 채취시에는 관이 자갈층에 다다르면 손의 촉감으로 알 수 있는 깊이까지 관을 밀어 넣어 확인하여야 하고, 이때 여과층의 깊이를 관의 측면의 표시로부터 측정하여 기록하여 두어야 자갈층의 이동이나 여재의 유출 정도를 파악하는데 도움이 된다.

시료량은 적어도 200mg 이상 필요하므로 시료는 채취점 부근 3~4개소로부터 반복하여 샘플링할 필요가 있다.

더불어 모래층에 요철부분이 있을 경우에는 여과층 상단부위의 불룩한 부분과 오목한 부분에 대한 오염도를 재 측정하여 유지관리하여야 한다.



<사례 그림 5.6.1> 여과모래 시료채취용 관(예 1)



<사례 그림 5.6.2> 여과모래 채취용 관(예 2)

③ 여과모래 세척탁도 및 슬러지용적 실험

세척탁도는 시료를 50mL의 메스실린더에 50mL의 표시선이 될 때까지 넣고 메스실린더의 측면을 가볍게 두드리면서 50mL의 표시선에 시료가 올 때까지 시료를 계속 채워 넣는다. 시료를 500mL 플라스크에 옮겨 넣은 후 500mL의 증류수를 준비하여 1회에 100mL씩 플라스크에 주입하여 30초 간격으로 흔들어서 혼탁한 물을 500mL의 비커에 취한다. 이러한 조작을 5회 반복하여 곧 바로 탁도를 탁도계로 측정한다.

④ 머드볼 생성유무 및 용적비 시험

- 여과모래 상층 20cm 지점에서 코어 관으로 여과모래를 적어도 3군데 이상에서 300g의 시료를 채취하여 500mL 메스실린더에 물 200mL를 취하고 여기에 300g의 채취시료를 서서히 조금씩 넣고 물 용적의 증가량(a mL)을 측정해 놓는다.
- 이 시료를 10번체(2.0mm)에 부어 물이 들어있는 용기내로 체가 대부분 잠길 때까지 담가놓고 머드볼이 파괴되지 않도록 천천히 상·하로 반복하여 흔들어서 모래를 떨어뜨리고, 체를 기울여 모래와 머드볼을

분리한다.

<사례표 5.6.2> 여과모래 오염도 자체기준표(예)

항목	기준	결과의 조치	비고
세척탁도 (NTU)	30~120NTU	정상(깨끗한 여과모래)	
	120~300NTU	재역세척 후 검사(오염진행 상태)	
	300NTU	정밀조사 후 여과모래 교체(여과모래 오염도 심각함)	
머드볼 (부피 %)	0.5% 이하	양호	자체기준
	0.5~1.0%	비교적 양호	
	1.0~5.0%	불량	
	5.0% 이상	매우불량(여과모래 교체)	
슬러지용적 (mL/g)	0.000~ 0.004 미만	여과모래 양호 기존 운영상태 유지	자체기준 (이토침전관 이용 시험)
	0.004 이상~ 0.010 미만	여과모래 오염 대체로 양호(초기) 양호상태에 준하여 여과모래관리	
	0.010 이상~ 0.050 미만	여과모래 오염이 조금씩 진행된 상태(중기) 여과수 탁도, 여과지속시간, 역세척시간 등을 주기적으로 관 찰하여 운영 이 시기 중 여과모래 오염도가 심한 경우에는 가성소다 용액 (2% 내외)으로 세척	
	0.050 이상	여과모래 오염이 진행된 상태(말기) 정수생산 및 수질관리에 지장 초래 오염된 여과모래를 즉시 가성소다용액(2%)으로 세척 실시	
검사주기	연 1회 이상(가능하면 년 4회 계절별 실시)		

- 여과제는 물통으로 빠져나가고 머드볼은 체에 남게 되는데, 분리된 머드볼은 물을 빼고, 200mL 메스실린더에 물 100mL를 취한 후 여기에 분리된 머드볼을 넣고 물 용적의 증가량(b mL)를 다음 식으로 머드볼의 용적비(%)를 계산한다.

$$\therefore \text{머드볼 용적비}(\%) = b/a \times 100$$

⑤ 기타 여과지상태(균열, 머드볼 생성유무, 여과층 변화 등) 조사: 현장 시료채취시 육안검사

⑥ 조사결과 활용

조사결과 자체기준표에 의거 여과지 운영조건의 역세척시간(공기+물, 물) sequence time을 약 1분에서 2분가량을 오염도정도에 비례하여 강화운전토록 하고, 계절별 수온변화나 조류증가시 역세척시간의 탄력적 운전, 여제숙성을 위한 역세척 종료 후 여과개시 때까지의 휴지시간을 연장하여 안정화 과정을 두어 병행 운전한다.

2) 여과모래 경년변화에 따른 품질검사

여과층깊이를 다음과 같이 3등분(상, 중, 하)한 지점의 여과모래를 채취하여 수도용 여과모래 시험방법에 의거 유효경 및 균등계수를 조사하고, 사용 중인 여과모래의 유효경 및 균등계수 경년변화가 설계당시의 기준값과 비교하여 교체여부 등을 판단한다. 여과모래 경년변화는 단기간에 진행되어지는 것이 아니라 역세척 압력, 세척 수량, 여과모래 팽창력 등의 불합리한 운영과 그외 복합적인 인자들에 의해 발생되고 서서히 진행되므로 년 1 회 이상 정기적으로 검사를 실시하여야 한다.

<사례표 5.6.3> 여과층깊이의 3등분

여과모래층 깊이	상 층	중 층	하 층
60cm	0~20cm	20~40cm	40~60cm
100cm	0~30cm	30~60cm	60~90cm

3) 여과모래 팽창률 측정

<사례 그림 5.3.3>과 같은 여과모래 팽창 측정기를 여상 위에 가설치하여 깊이를 사전에 조정, 확인한 후 여과 모래팽창 측정기를 끌어낸 다음 표면세척이나 공기 교반이 끝난 다음에 여과모래 팽창측정기를 조정된 깊이에 투입설치하여 역세척을 실시한 후 주격에 담긴 여과모래를 확인하여 가장 높은 지점의 높이를 팽창률로 결정한다. 여과층 상태가 부적절한 채로 방치되면 여과수질에 영향을 주거나 여과층 오염을 촉진시키고 단기간에 여재의 전면적인 교체(여과층개량)가 필요하게 된다. 이 때문에 여과층조사를 정기적으로 실시하여 이상이 발견되면 역세척방법의 개선이나 모래를 보충하는 등 적절한 조치를 바로 실시하여야 하고, 또한 조사결과에 따라 장기 적인 여과층 상태의 추이를 판단하여 이를 바탕으로 10년 이상에 이르는 여과층 정비계획을 수립하고 정기적으로 여과층정비를 실시하여야 한다.



팽창측정기(5cm간격 높이)



국자 모양

<사례 그림 5.6.3> 여과모래 팽창측정기

4) 여과지 성능평가

여과지 성능을 나타내는 평가지표는 여과지속시간 내에 처리된 여과지의 단위면적당의 여과수량(unit filter run volumn UFRV)이다. UFRV는 여과속도(m/분)와 여과지속시간(분)의 곱으로서 여과지면적(m^2)당 여과 수량(m^3)으로 표시된다. 일반적으로 UFRV값이 $200m^3/m^2$ 이하에서는 여과지속시간이 너무 짧아 검토가 요구 되고, UFRV 값이 $410m^3/m^2$ 을 초과하면 여과지성능이 양호함을 나타내며, UFRV값이 $610m^3/m^2$ 이상이면 재래식 정수공정에서는 여과성능이 좋다고 본다.

(4) 일상점검 등

급속여과지의 일상점검은 <표 5.6.1> 급속여과지 점검사항 예를 참조하고, 여과지에 누수 등이 있으면 외부의 지하수가 침입되어 오염될 위험이 있으므로 여과층 갱신 때에는 누수의 유무, 여과지 구조물이나 방수, 도장 등의 상태를 특히 유념하여 점검하여야 한다.

급속여과지는 정수처리공정에서 탁질을 제거하는 최종단계로 「먹는물 수질기준」 및 「정수처리에 관한 기준」을 만족시킬 수 있는 여과수를 얻어야 하므로 탁질의 양적인 역류기능, 수질과 수량의 변동에 대한 완충기능과 충분한 세척기능이 발휘되도록 다음 표와 같이 각종 설비와 운영을 종합평가하여 점검·정비를 실시하여야 한다.

급속여과지에는 밸브, 유량계 기타 대부분의 기전 및 계측제어설비가 많이 설치되어 있어 이들의 일상 및 정기점검에 대해서는 상수도시설기준 8. 기계 및 전기·계측제어 설비를 참조하고, 특히 한랭지에 있어 주의해야 할 사항은 상수도시설기준 9.7 한랭지 대책을 참조하여 자동화운전에 차질이 없도록 유지관리를 철저히 하여야 한다.

<표 5.6.5> 급속여과지의 각종 설비와 운영의 종합평가방법

점검 대상	평가 항목	평가 내용	평가방법	참고사항
유량계, 유량조절밸브	지시정확도	지시오차정도 고장발생빈도	점검에 의해 양, 부 확인	외국산 수입부품 확보문제
하부집수장치	기능악화 정도	기능악화, 파손, 폐색 상황	점검에 의해 양호한가를 확인	
여과층	장해발생 상황	모래층두께 감소 머드볼 유무 여과폐색 유무	모래층두께 측정 점검에 따라 양호한가를 확인	여과모래 경년변화는 유효 경이 커지고 균등계수가 작 아지며 탁질누출초래 우려
유량 조절방식	제어특성 운전상황	정속여과 또는 감쇄여과의 특성 지수제어와 속도제어	제어에 따른 특성조사 손실수두 특성, 분석, 여과 속도 측정, 확인	손실수두 점검, 여속변경 서서히 여과속도 재검토
역세척	운전상황	역세속도, 수압, 팽창 률, 수량, 세척시간과 세척효과	세척속도, 팽창률의 측정확 인, 수량, 수압, 세척시간 확인	팽창률(20~30%) 역세속 도, 여재입경, 수온에 따라 수량, 수온, 입경비교
유입 플록 성장	전처리정도	플록의 양부 조류발생유무	전처리 기능체크 원수수질특성 확인	

(5) 이상시 대응

여과지를 운전할 때 발생하는 이상 현상과 그 원인 및 대응책을 <표 5.6.6>에 나타냈다.

<표 5.66> 급속여과지 이상시 대응

이 상 현 상			원 인	대 응 책		
미여과수 수질이상	미여과수 백탁현상	미여과수 응집불량 (응집제 과잉)	① 여과속도를 낮추고 여과수 수질에 이상이 없는지 감시한다. 그래도 대응할 수 없는 경우는 여과를 정지한다. ② 응집제·알칼리제 적정주입			
		응집 pH값 부적절 (고pH값, 저pH값)				
여과수 수질이상	탁도성분 누출	응집제 불량	응집제 추가주입			
		역세척 불량	역세척방법 개선 (5.6.2 (2) 운전(역세척) 참조)			
		부수두 여과	역세척 간격 단축 (5.6.2 (3) 여재 및 여과층관리 참조)			
		여과지의 이상 (여과층 이상, 하부집수장치 이상)	여과층정비, 집수장치 보수 (5.6.2 (3) 여재 및 여과층관리 참조)			
	색도 성분 누설	갈색	여과수 중에 용해성 망간이 존재하고 소독용 염소와 반응하여 망간이 산화되고 발색된다.	① 유리염소의 존재 하에 망간모래로 제거한다. ② 전염소처리하고 침전지에서 대부분 제거한다.	(5.16.3 제망간설비 참조)	
			중간염소 처리시 등에 용해성 망간이 이산화망간으로 산화되어 여과지에서 완전히 제거되지 않고 누설된다.	이단응집(5.17.3 생성제거설비 (2) 이단 응집설비 참조)		
		적색	여과수 중에 철이 많이 존재하고 있다.	에어레이션, 전염소처리	(5.16.2 제철설비 참조)	
		흑색	분말활성탄 누출(활성탄 주입률 과대, 여재입경 커짐)	① 분말활성탄 주입 저감 ② 여과층정비		
		녹색	마이크로시스티스 등의 누출	이단응집		
	소형생물 누출 (날벌레 등)	침전지에 날벌레 등이 발생	여과지 세척간격 단축, 염소처리 강화 (침전지)			
	알루미늄성분 과잉	pH값 부적절	pH값을 적절한 범위로 조정한다.			
		역세척 불량	세척방법 개선			
		부수두 여과	세척간격 단축			
		여과지 이상 (여과층 이상, 하부집수장치 이상)	여과층정비, 하부집수장치 보수 (5.6.2 (3) 여재 및 여과층관리 참조)			
		알루미늄계 응집제 과잉주입	① 응집제 적정주입 ② 응집제를 감소시켜 직접여과(5.6.6 직접여과법(마이크로 플록법) 참조)			
		알루미늄계 응집제 과소주입에 의한 응집 불량	응집제의 적정주입			

이 상 현 상		원 인	대 응 책
수량	손실수두 증가속도가 과대	미여과수 중에 특정 종의 플랑크톤이 과잉으로 여과폐색	① 수원에서의 약품살포 등 ② 여과지 역세척 간격 단축 ③ 침전지 청소, 염소처리 강화
		부수두에 의해 여과층 중에 기포발생	(5.6.2 (1) 운전(여과) 참조)
		여과층 갱신 후 표층을 삭취하지 않았으므로 여과층 표면에 세입자(가느입자 외) 여재가 여과폐색을 일으키고 있다.	여과층 입도분포를 조사한 후 표층 수cm 정도 오사 삭취한다. 안트라사이트인 경우는 여러 번의 역세척으로 제거한다.
		여재 입도가 전체적으로 너무 작다.	① 잠시 동안 상황 관찰(역세척이 반복되는 동안 작은모래 유출) ② 일정량 여재를 교체하여 적정한 여과층 구성을 이루게 한다.
		미여과수 중에 용존공기가 다량 포함되어 여과층 중에서 기포화된다(airbinding).	① 취수펌프의 실링수 조정 ② 배관계통(공기밸브) 조정
	손실수두 증가속도가 과소	여재 입도가 전체적으로 너무 굵다.	① 여과층 입도분포를 조사한 후 전체에 적절한 입도가 되도록 모래를 보충한다. ② 여과층 갱신을 함.
	초기 손실수두가 과대	여과층 갱신 후 표층을 삭취하지 않았으므로 여과층 표면에 미세한 여재가 모여 여과폐색을 일으키고 있다.	표층을 삭취(모래층일 경우) (5.6.2 (3) 여재 및 여과층관리 참조), 안트라사이트인 경우는 수회의 역세척으로 제거(5.6.3 다층여과지 (3) 일상점검 참조)
		역세척 효과가 불충분하고 여과층 내에 탁질이 잔류하고 있음	역세척방법을 개선함(5.6.2 (2) 운전(역세척) 참조)
		자갈층과 여과층과의 경계에 비닐조각 등의 이물이 집적되어 있음	① 취수시설에 제진기를 설치함 ② 침전지, 여과지에 부유하는 쓰레기를 제거함
	초기 손실수두가 과소	여재 입도가 전체적으로 너무 굵다.	① 여과층 입도분포를 조사한 후 전체에 적절한 입도가 되도록 모래를 보충한다. ② 여과층 갱신을 함
	손실수두가 일시적으로 급격히 저하	미여과수 pH값이 급격한 변동에 의해 여과층에 억류되어 있던 플록 일부가 재용해되어 누설	알칼리제 주입제어를 안정하게 투입하고 미여과수 pH값의 급격한 변동을 피한다.
	여과유량의 이상	유량조절기구의 고장	유량계, 조절계, 자동유량 제어장치 점검
		가압펌프계의 고장(압력여과인 경우)	펌프성능, 각종 밸브개도 점검
기포	여과속도변경 (감소)시에 기포 발생	부수두시(급격히)에 여과속도를 감소시키면 기포가 분리	① 부수두가 되지 않도록 역세척 조건을 재검토 ② 여과속도의 급변을 피한다.

이 상 현 상		원 인	대 응 책
역세척시	역세척시 기포발생	역세척 배관내에 모여진 공기가 여과층에 방출되어 있음	① 역세척 배관계통에 공기 혼입방지 ② 역세척수조의 과발생에 의한 공기 혼입방지(수조내 간벽증설 등)
	역세척시 여과 모래나 안트라 사이트 유출	자갈층이 크게 요철되어 여과층 표면까지 상승하고 역세척시 정수가 이 부분에 집중한다.	여과층의 요철조사 실시, 여과층 개량함
여과층	여과모래나 안트라 사이트 유출	역세척유속 과대, 표면세척 노즐 각도불량 등(여과층두께가 감소)	① 여과층정비 ② 여재유출원인 규명(5.6.2 (2) 운전(역세척) 참조)
		역세척수에 공기혼입 (공기세척이 없는 경우)	① 역세척펌프 그랜드패킹조정 ② 배관계통(공기밸브)검토
		역세척 공기량 과대(공기세척이 있는 경우)	역세척 공기조절밸브 체크
	여과층 표면 함몰	하부집수장치의 이상으로 여재가 집수실 내로 누출	집수실 내를 점검하고 하부집수장치에 이상이 있으면 보수한다.
	여과층 중에 머드볼 발생, 여과층 표면에 균열발생, 여과층과 벽면과의 사이에 간격 발생	역세척 효과가 불충분	① 역세척조건 재검토(표면세척과 공기세척이나 팽창률 적정화, 역세척간격 단축) ② 여과층정비를 실시함
	자갈층과 여과층과의 경계의 요철	(5.6.2 (2) 운전(역세척) 참조)	① 여과층정비를 실시함 ② 역세척 조건 재검토 ③ 역세척수 중에 공기 혼입을 방지함
기타	전면 정전 중앙 원격조작 불능		① 비상시 대응 매뉴얼을 작성하여 이에 따라 신속하게 대응함 ② 정기적으로 비상시 대응 훈련을 실시함
	트로프에 균일하게 물이 유입되지 않음	여과지 구조물의 부등 침하, 트로프 휘어짐	트로프를 수평하게 설치한다.
	여과지 벽체나 구조물로부터의 누수	방수층 열화, 시공불량, 부등침하 등의 원인에 의한 구조물의 균열	① 여과수가 오염될 우려가 있으므로 물을 빼고 조사한다. ② 필요하다면 여재를 빼내어 조사한다.
	트로프, 벽면에 식물발생	잔류염소를 거의 포함하지 않는 물을 여과	청소한다/차광한다.

5.6.3 다층 여과지

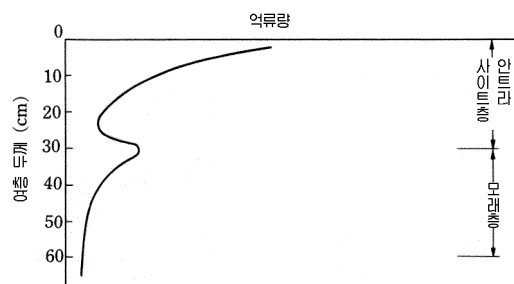
일반적으로 급속여과지의 여재는 굵고 가는 입자가 분포되어 있으므로 역세척에 의한 입도가 작은 여재가 표층에 모여지는 “층분리” 경향이 있기 때문에 수중의 플록 대부분은 표층 가까이에서 억류되고 손실수두는 표면에 집중되어 여과층 내부의 여과기능이 충분히 발휘되지 않는다.

여기서 여과층은 여과층 전체를 보다 유효하게 사용하기 위해 상층부에 입경이 굵은 여재를 사용하여 여과하고 탁질을 여과층 심부까지 유입시켜 플록의 억류량을 증대시키며 또한 하층부에 입경이 작은 여재를 사용하여 탁질 유출을 방지함으로써 충분한 여과기능을 발휘할 수 있게 되는 것이다. 이러한 점을 이용하여 다층여과지는 밀도와 입경이 다른 여러 종류의 여재를 사용하여 수류 방향에서 큰 입경으로부터 작은 입경으로 구성된 역 입도의 여과층을 구성하고 모래 단층여과지에 비하여 여과기능을 보다 합리적이고 효율적으로 발휘하기 위한 것을 목적으로 하는 여과지이다.

두 종류의 여재를 사용하는 경우에는 2층여과지, 세 종류의 여재를 사용하는 경우에는 3층여과지라 하지만, 2개 이상의 여재를 사용하는 여과지를 총칭하여 다층여과지라고 한다. 다층여과지는 모래단층여과지와 비교하여 다음과 같은 특징이 있다.

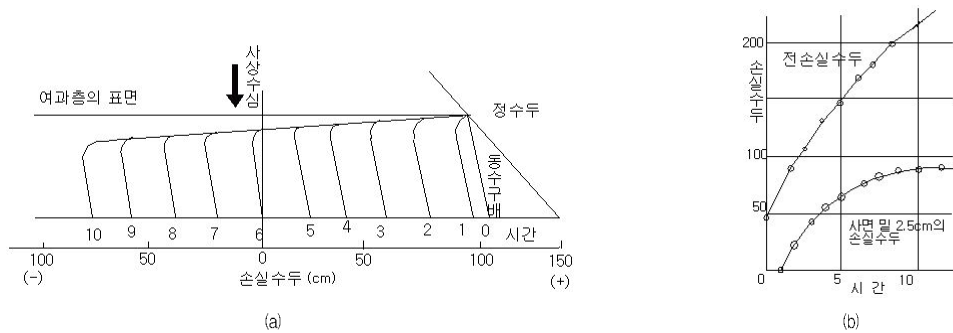
- ① 내부여과 경향이 강하므로 여과층 단위체적당 탁질억류량이 크고 여과효율이 높다.
- ② 탁질억류량에 대한 손실수두가 적어 여과지속시간이 길어진다.
- ③ 여과속도를 크게 할 수 있다.
- ④ 여과수량에 대한 역세척수량 비율이 작다.
- ⑤ 고속여과로 여과면적을 작게 할 수 있다.
- ⑥ 조류, 특히 *Synedra*, *Melosira*, *Microcystis* 등 응집·침전으로 제거하기 어려운 것들에 대해서도 여과폐색을 일으키지 않는다.

여과층의 구성은 여과속도, 지속시간, 손실수두, 유입수의 수질, 세척방식 등에 관하여 검토한 다음 결정해야 하는데 다층여과지에서 상층여재와 하층여재의 경계부에서 여재가 혼합되면 여과층의 다른 부분과 비교하여 경계부의 공극률이 작게 되고 이 부분에서 폐색현상이 생긴다. <그림 5.6.6>에 2층여과지의 탁질억류분포 상황을 모식도로 나타내었다. 따라서 여재는 혼합되지 않으며 전도층(layer inversion)이 생기지 않도록 하기 위하여 입자의 침강속도를 고려하고 조합하여 채택해야 한다.

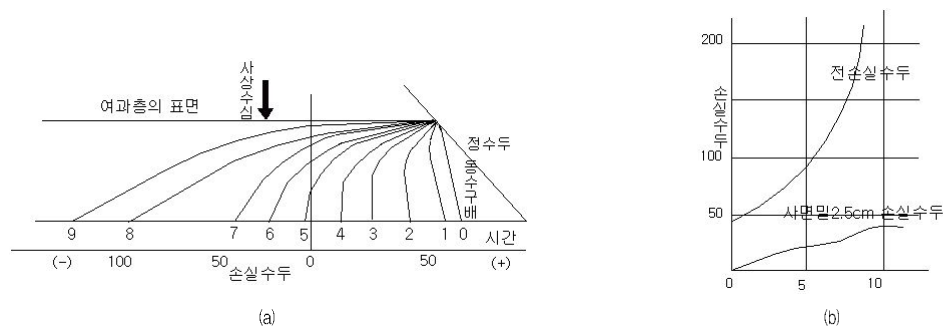


<그림 5.6.6> 2층여과지의 탁질억류 분포

현재의 여과상태가 내부여과인지 표면여과인지를 구별하기 위하여서는 <그림 5.6.7>과 <그림 5.6.8>에서와 같이 여과시간에 따른 손실수두를 측정하여 보면 알 수 있는데 여과시간 증가에 따라 손실수두가 직선적으로 증가하는 것은 표면여과이고 손실수두가 2차함수의 곡선과 같이 나타나는 것은 내부여과의 결과이다.



<그림 5.6.7> 표면여과에서 여과상 깊이와 여과시간에 따른 손실수두 양상(예)



<그림 5.6.8> 내부여과에서 여과상 깊이와 여과시간에 따른 손실수두 양상(예)

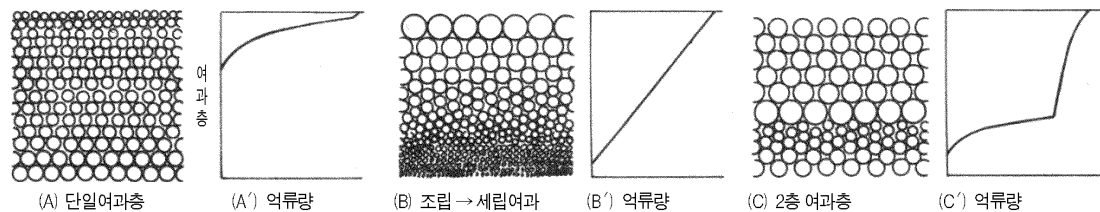
충분리 현상을 최대한 억제하기 위하여 여과모래의 입경분포에 제한을 가하는 것이 균등계수인데, 통과백분율 60%의 입경을 통과백분율 10%의 입경(유효경)으로 나눈 값으로서 균등계수가 작을수록 입경의 분포가 작은 것을 의미한다. 우리나라의 여과모래 기준은 균등계수를 1.7 이하로 규정하고 있으며 실제 정수장에서 사용되고 있는 여과모래의 균등계수는 1.4 내외로 보고되고 있다.

그림에도 불구하고 충분리현상으로 인한 표면여과 현상은 다소간 발생하고 있다. 이중여재는 석탄의 일종인 안트라사이트(anthracite)를 여과모래 상부에 위치시키는 것 여과모래의 비중이 2.6 가량인 것에 비하여 안트라사이트는 비중이 1.4~1.7 가량이어서 모래보다 입경이 큰 입자도 무게는 가벼운 범위가 있다. 입경은 크되 입자의 무게는 가벼운 범위의 안트라사이트를 선별하여 여과모래 상부에 위치시키면 <그림 5.6.9, (C)>에서 보는 바와 같이 여과층 상부의 공극의 크기가 커져서 표면여과의 폐해를 없애고 여과층이 효율적으로 사용될 수 있고, 여과속도도 증대시킬 수 있다. 이중여재를 활용하고 있는 대부분의 미국 내 정수장은 약 250~300m/d 이상의 여과속도로 운전하고 있

다. 이중여재와 이중여재에 석류석을 추가 활용하여 구성된 다층여과지의 여재구성 개요가 <그림 5.6.9>에 요약되어 있다.

우리나라에서도 이중여재를 설치하였으나 여재의 유실과 모래와 안트라사이트의 혼합 등의 문제점 때문에 계속적인 적용이 유보되고 있는데 이러한 문제점은 안트라사이트의 입경선택이 적합하지 못했기 때문에 일어나는 경우가 대부분이다.

특히 이중여재에 있어서는 여과속도가 급격히 변화하면 여과층 내에 역류되었던 플록이 탈착되어 유출될 위험이 비교적 크므로 단일여재 보다 더 여과속도가 일정하도록 하여야 하며 이중여재는 공극이 비교적 크고 여과속도도 빠르므로 플록이 여과층 내부로 침입하기 용이하여 플록의 누출이 비교적 쉽게 일어나는 경향이 있다. 그러므로 원수의 탁도가 높아지면 여과속도를 낮추고 역세척을 조기에 행하는 것이 바람직하다.



<그림 5.6.9> 여과층의 입도분포와 탁질역류량 분포(단일 및 이중여재)

일반적으로는 상층부에는 안트라사이트((anthracite 무연탄, 비중 1.4~1.7), 하층부에는 규사(비중 2.57~2.65)을 이용한 2층 여과지, 이들 여재에 하층부에 가넷(비중 1.75~4.3)을 이용한 3층 여과지가 사용된다. 기타 여제로선 인공경량사(비중 1.75~1.82), 일루메나이트(titanium철광, 비중 4.5~5) 등, 밀도가 다른 재료가 사용된다. 때문에 다층 여과지는 여과 폐색을 방지하기 위한 목적으로 사용되는 경우나 고속여과가 가능하고 여과지속시간이 길다는 특성을 이용하여, 정수시설의 단순화를 도모하는 수단으로 이용되는 경우도 있다.

이중여재의 안트라사이트가 유출되기 쉬우므로 역세척유속, 표면세척과 역세척이 겹쳐지는 시간, 여재의 입경, 균등계수, 여과층 표면에서 배수트로프 상단까지의 높이 등은 다른 수도사업에서의 실적 등을 참고로 결정하면 좋다. 실례로서 역세척 개시 전에 여과지 수위를 여과층면보다 5cm 정도 까지 내리고 표면세척배출수를 배출수트로프에서 월류시키지 않고, 혹은 표면세척과 역세척 시간이 겹치지 않도록 하는 등의 대책을 강구하는 경우도 있다.

안트라사이트를 이용한 다층 여과지의 정수장별 실례를 <표 5.6.7>에 나타내었다.

(1) 운전(여과)

다층 여과지의 운전관리나 유지관리에 관한 기본사항은 5.6.2 중력식 개방형 여과지에 준하고 특기할 만한 사항은 다음과 같다.

1) 다층여과지 운전속도는 응집처리상황, 여과층 구성 등에 의해 다르지만 240m/d 이하를 표준으

로 하고 설계속도 이하로 유지시켜야 한다.

- 2) 공극이 큰 여과층에서는 고속여과 실시로 인해 플록이 여과층 내부로 침투가 진행되고 탁질이 누출되기 쉽다. 따라서 다층여과지에서는 누출이 시작되기 전에 여과를 정지시킬 수 있도록 여과수 탁도를 연속감시 하지 않으면 안 된다.
- 3) 미여과수 수질이 악화된 경우에는 여과속도를 느리게 하든지, 세척을 조기에 실시하는 등의 조치가 필요하다.
- 4) 여과속도를 급격히 변동시키면 여과층 내의 역류물들이 탈락되어 여과수중에 유출될 위험이 있으므로 안정된 여과속도에서 반드시 운전하도록 한다.

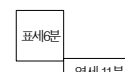
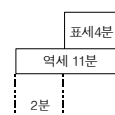
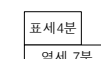
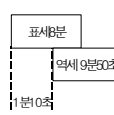
(2) 운전(역세척)

- 1) 안트라사이트(Anthracite)는 비중이 작아 모래에 비해 세척시에 유출량이 많아질 수 있으므로 역류세척 탁도가 과대되지 않도록 주의하여야 한다. 특히 여름철 고수온시와 같은 세척속도로 겨울의 낮은 온도에서 실시하게 되면 안트라사이트의 유출량이 증대하기 쉬우므로 주의해야 한다.
- 2) 공기 세척을 실시하면 안트라사이트에 기포가 부착되어 배수 트로프로 유출되기 쉬우므로 주의가 필요하고, 또한 여과층 내부에 공기가 남을 수 있으므로 이를 제거하기 위해서는 최후에 물세척을 실시한다.
- 3) 공기세척방식을 채택하고 있는 경우는 기포가 여과층 전면에서 균등하게 분포되어 나와야 하고 세척시에는 수면 기포상태를 확인하도록 한다.

(3) 일상점검

- 1) 세척수량을 적정히 관리한다 하더라도 어느 정도의 안트라사이트 유출은 막을 수 없으므로 연 1회는 여과층두께 측정을 실시하는 것이 바람직하고 경우에 따라서는 보충하도록 한다. 보충기준은 수도사업에 따라 다양각색이지만 설계시의 여과층두께는 대략 20~50% 정도 감소된 경우에 보충하고 있다. 실제로는 각 수도사업 특성을 고려하여 독자적으로 결정하지 않으면 안 된다.
- 2) 여과층 구성에 여재의 혼합이나 전층(轉層)의 발생이 없는지 연 1회는 여과층의 요철(패이거나 볼록 솟은 부분)조사를 실시하는 것이 바람직하다. 만약, 요철이 생기고 있는 경우는 즉시 복구하고 세척방법의 검토나 하부집수장치 점검을 실시하는 등 원인을 조사하여 대책을 강구해야 한다.
- 3) 여과층 표면 이하까지 수위를 저하시켜 여과지를 정지시키고, 필요한 작업 실시 후의 사용 재개 시 세척은 안트라사이트 유출방지를 위해 물에 충분히 적시거나, 표면세척관의 공기를 완전히 빼는 것이 중요하며, 조작에 있어서는 현장에서 상황을 확인하면서 신중히 실시하여야 한다.
- 4) 안트라사이트의 보충 또는 교체를 한 후에는 물에 충분히 적신 후 안트라사이트의 미세한 입자를 여러 차례에 걸쳐 세척하여 충분히 제거하고 나서 여과를 개시하여야 한다.
- 5) 회전식 표면세척장치는 정기적으로 회전수 확인이나 노즐을 점검하고 기능 유지에 힘쓰도록 한다.
- 6) 안트라사이트는 유출되기 쉬우므로 자동역세척공정, 세척유량 등을 정기적으로 확인하고 세척상황의 현지 확인을 한다.

<표 5.6.7> 다층여과지의 실시 예

정수장명 항목	M 정수장		N 정수장		NS 정수장		OK 정수장		EN 정수장	
수원종별	표류수		표류수		표류수		표류수, 지하수		표류수	
정수능력 (다층지수)	1,100,000m ³ /d 156m ² /지×48지		200,000m ³ /d 111m ² /지×20지		961,200m ³ /d 151m ² /지×36지		80,000m ³ /d 120m ² /지×4지		30,000m ³ /d 100m ² /지×18지	
여과속도 (m/d)	설계량 大 230m/d 표준 180m/d		설계량 大 180m/d 설계표준 120m/d		설계량 大 177m/d 통상운용 60m/d		설계량 大 180m/d 설계표준 120m/d		설계량 大 180m/d 통상운용 140m/d	
여과층구성 (mm) 배수트로프	A	900	600	850	1,000	600				
	B	안트라사이트 300 (유효경 1.2mm 균등계수 1.3)	안트라사이트 200 (유효경 1.4mm 균등계수 1.3)	안트라사이트 200 (유효경 1.1mm 균등계수 1.3)	안트라사이트 300 (유효경 1.12mm 균등계수 1.27)	안트라사이트 450 (유효경 0.9mm 균등계수 1.38)				
	C	모래층 450 (유효경 0.6mm 균등계수 1.3)	모래층 450 (유효경 0.65mm 균등계수 1.3)	모래층 400 (유효경 0.6mm 균등계수 1.3)	모래층 500 (유효경 0.57mm 균등계수 1.52)	모래층 300 (유효경 0.45mm 균등계수 1.29)				
	D	자갈층 200 (경 2.0~20)	자갈층 200 (경 2.0~45)	자갈층 200 (경 2.0~19)	자갈층 500 (경 2.0~20)	자갈층 450 (경 2.0~30)				
	표면세척	0.08m/min 회전 2단방식	0.05m/min 회전 1단방식	0.063m/min 회전 2단방식	0.13m/min 하단고정 상단회전+고정	0.05m/min 회전 1단방식				
	역세척	0.80m/min 공기세정 없음	0.60m/min 공기세정 없음	0.60m/min 공기세정 없음	0.60m/min 공기세정 없음	0.60m/min 공기세정 없음				
세척공정(분) 표면세척과 역세척의 개시 시간차										
다층여과의 채용이유 (처리목적 등)	1. 효율성, 탄력성을 확보하기 위해 1지당 여과 능력을 향상		1. 호수에서 발생하는 조류에 의한 여과장애 대책		1. 자연평형형을 채용하여 시설 콤팩트화에 의한 고도 토지이용(1지당의 여과능력 향상) 2. 조류제거 대책		1. 1지당의 여과능력 향상 2. 조류제거 대책		1. 부지면적이 적고 1지당의 여과능력 향상 2. 조류제거 대책	
비고	1. 자연평형형 2. 하단 회전 표면세척기의 초기 동작을 보조하는 목적으로 역세척을 먼저 시작		1. 안트라사이트의 유출을 방지하기 위해 표면세척과 역세척을 교차시키지 않는다. 2. 표면세척배수의 트로프로 부터의 유출방지 대책으로서 세정 개시 전에 미리 수위를 내린다.		하단 회전 표면세척기의 초기동작을 보조하는 목적으로 역세척을 먼저 시작					

※ 2층여과제에서 안트라사이트는 유효경과 균등계수도 중요하지만 비중이 매우 중요함(비중 1.5±0.05).

7) 다층 여과지 점점 요령은 <표 5.6.1> 급속 여과지 점점 요령 예를 참조한다.

(4) 이상시 대응

이상시의 대응에 대해서는 <표 5.6.6> 급속 여과지의 이상시 대응을 참조한다.

5.6.4 압력식 여과지

일반적으로 압력식 여과지 구조는 강판제의 밀폐탱크인 경우가 많고 토목구조물이 아니므로 현장에서의 공사기간을 단축할 수 있다는 점, 펌프압력을 이용하게 되므로 장내의 수리적 제약을 받지 않는 등 운전조작이 간단하므로 비교적 소규모의 정수장이나 약품침전지의 생략이 가능한 원수를 대상으로 하는 곳에서 널리 사용되고 있다.

압력식 여과지는 강판제 밀폐조 내의 압력(0.1~0.6MPa 정도)하에서 여과하기 때문에 크게 구별하면 중형(세로형)과 횡형(가로형) 두 종류로 나눌 수 있는데 전자는 소량을 처리하는데 이용되는 반면, 후자는 비교적 대량의 물을 처리하는데 이용된다.

압력식 여과지의 특징은

- ① 비교적 높은 손실수두로 부압 발생을 일으키지 않고 여과를 계속 할 수 있다.
- ② 여과지에 광선(햇빛)이 들어가지 않으므로 조류 발생이 적다.
- ③ 취수·도수계통에서 배수지에 이르는 압력관의 중간에 설치하면 펌프가압을 한 번에 끝낼 수 있으므로 경제적이다.

등의 이점이 있다.

그러나 내부를 감시하기 어렵고 유량조절기를 설치하지 않는 경우에는 정압여과가 되어 여과속도 변화 폭이 커지는 결점도 있어 엄격한 유지관리가 요구된다.

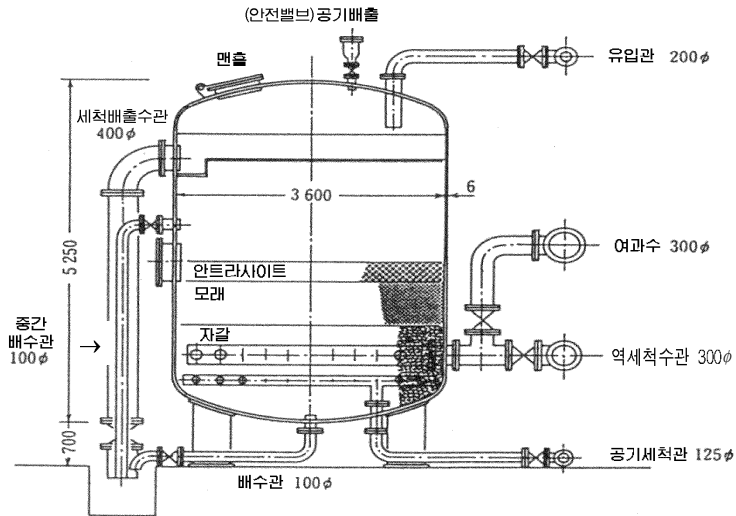
압력식 여과지의 구조는 최하부에 집수관과 이에 접속되는 집수 스트레이너가 배치되어 하부집수 장치를 형성하고 그 위에 여과층이 있는 구조이다.

여과층 구성은 지지층으로서 사리(자갈)가 이용되고, 단층구성의 여재로서는 모래, 망간모래, 규조토를 특수가공한 특수여재가, 다층구성의 여재로서는 모래와 안트라사이트가 이용된다.

세척방식은 표면세척과 역세척의 병용이 일반적이지만 특수한 예로써 기계적으로 레이커를 회전시켜 여과층 표면을 활궤는 방식이나 공기세척을 병용하여 표면세척을 생략하는 방식도 있다. 이 외에 특수여재를 이용하여 역세척만으로 세척하는 방법도 있다.

세척수로서는 여과수를 사용하는 것이 일반적이지만, 원수 수질이 양호한 경우는 염소주입 후의 원수로 세척하는 경우도 있는데 이러한 경우 모두 유리잔류염소가 필요하게 된다.

압력식 여과지는 탁질제거와 철이나 망간을 접촉여과로 제거하는 목적에도 사용되지만, 이 경우에 미여과수에는 유리잔류염소가 항상 존재해야 한다. 상수도시설기준 5.18 철·망간 제거설비 운전관리나 유지관리에 관한 기본사항은 5.6.2 중력식 개방형 여과지에 준한다.



<그림 5.6.10> 압력식 여과장치의 예(단위: mm)

(1) 운전

압력식 여과지는 통상 압력식 여과장치로서 수처리기기 메이커로부터 구입하는 경우가 많아 기종에 따라 성능이나 특징이 달라 운전 및 유지관리의 세부사항에 대해서는 각각의 취급 설명서를 충분히 참조하여야 하는데, 일반적으로는 다음과 같다.

- ① 여과속도는 설계속도 이하로 유지하여야 한다.
- ② 각종 밸브조작은 서서히 열고 닫으며 잘못 조작되는 일이 없도록 한다.
- ③ 여과 개시에 있어 공기유출밸브로 탱크 내의 공기를 빼면서 여과지 내의 유입수가 여과층 표면을 교란시키지 않도록 서서히 원수밸브를 조작하고, 만수위에 도달하면 공기 유출밸브를 닫는다. 그 후 여과 배수밸브를 천천히 열고 여과수가 규정탁도 이하로 된 후에 여과를 개시한다.
- ④ 여과 중에는 여과속도를 일정하게 유지하는 것이 바람직하다. 여과속도를 바꾸지 않으면 안 되는 경우라도 급격한 변동은 피하는 것이 좋다.
- ⑤ 철·망간제거를 목적으로 하는 경우는 망간모래 유지를 위해 반드시 염소제를 주입하여야 한다.
- ⑥ 여재의 막힘 상황을 나타내는 여과압(손실수두)상황을 수시로 감시해야 한다.
- ⑦ 여과지의 세척은 규정유량 이하에서 실시하여야 한다. 특히 각 밸브가 수동조작인 경우는 잘못하여 과대 유량이 흘러 여과층의 반전이나 여재의 유출을 초래할 우려가 있으므로 미리 유량 계측을 실시하여 밸브개도 제한을 해두면 좋다.
- ⑧ 세척은 손실수두를 목표로 실시하는데, 여과시간이 길어지면 여과수 중에 탁질이 누출될 뿐만 아니라 여과층의 압축에 동반되는 여과막 파열이나 여과층 불균일이 발생될 수 있으므로 손실수두가 비교적 낮은 경우에도 정기적으로 세척하는 것이 바람직하다.
- ⑨ 세척 후는 시동방수를 실시하게 되는데 세척배출수의 수질이 양호한 경우는 생략해도 무방하다.
- ⑩ 세척 배출수의 수질 체크나 세척상태의 관찰·육안점검을 적절히 실시하여야 한다.

(2) 일상 점검

압력식 여과지 일상점검의 주요한 사항은 다음과 같다.

- ① 여과기 외관, 누수의 유무, 도장상태는 하루에 한번 점검하는 것이 바람직하다.
- ② 압력식 여과기는 강제인 관계로 녹이 발생되기 쉽고 특히 수온과 외기 사이의 온도차에 의한 습기(결로)로 인해 도장면에 열화가 심화될 수 있으므로 6개월에 한 번 정도로 점검하는 것이 바람직하다.
- ③ 도장면의 열화 상황에 따라서 재도장을 실시하게 되는데, 이때에 여과기 내면에 “타르에폭시수 지도료”를 사용해서는 안 된다.
- ④ 원수에 철이나 망간이 포함되어 있는 경우는 점검창이 오염되기 쉬우므로 적당한 시기마다 청소하도록 한다.
- ⑤ 횡형(가로)의 용량이 큰 여과기로는 측벽부분은 세척이 어려우므로 이 부분에 머드볼이 발생되기 쉽고, 때문에 정기적으로 여과층점검을 실시하여 머드볼 발생이 확인되는 경우에는 제거하거나 세척을 강화하도록 한다.
- ⑥ 각종 유량을 상시 계측하지 않는 경우는 여과수량 및 세척수량의 계량으로 밸브개도 조정 등을 6개월에 한번 정도 실시하도록 한다.
- ⑦ 가압펌프의 대수 제어나 회전수 제어, 자동세척 등을 실시하고 있는 경우는 작동 확인 및 수동 조작에 의한 운전을 6개월에 한번 정도 실시한다.
- ⑧ 철, 망간 제거를 목적으로 하는 경우는 여재의 기능 확인으로서 원수, 처리수, 세척배수에 포함되는 철, 망간에 관한 수질시험을 매월 1회 실시한다.
- ⑨ 여과기능의 열화를 파악하기 위해 1년에 한 번은 동일조건(수량, 수압, 수질)에서 원수와 처리수의 수질시험을 실시한다. 수질시험 결과 여재의 기능열화가 확인되는 경우는 여과층 두께측정이나 여재의 오염조사를 실시하여 여재를 보충 또는 교환하도록 한다.
- ⑩ 장기간 운전을 정지하는 경우는 세균, 미생물 등의 발생 방지를 위해 세척을 충분히 한 후 여과층 내 및 배관속의 물을 빼 두어야 한다.
- ⑪ 압력식 여과지점검 등 요령 예는 <표 5.6.1> 급속여과지 점검요령 예를 참조한다.

(3) 이상시 대응

압력식 여과지의 이상시 대응조치방안은 <표 5.6.6> 급속여과지 이상시 대응을 참조한다.

5.6.5 자연평형형 여과지

자연평형형 여과지는 자동여과지라고도 불리며 여과지 제어의 자동화에 따라 최근 많이 채택되고 있고, 유입수량과 유출수량 및 수위가 문자 그대로 자연스럽게 평형되는 방법이다.

자연평형형 여과지는 세척방식에 따라 자기역류세척형, 역류세척 탱크보유형, 역류세척장치 이동형으로 크게 구별할 수 있다. 자연평형형 여과지의 각 형식에 공통되는 특징은 유출측에 밸브 등의 유

량조절기구를 설치하지 않고 지(池)에 유입된 물을 그대로 유출시키기 때문에 유출측의 배관은 간단하게 되며, 유입측에는 사이펀 또는 밸브를 설치하여 미여과수 차단과 유입을 확실하게 제어할 수 있게끔 해야 한다.

자연평형 여과지의 각 형식 기구 및 장·단점에 대해서는 상수도시설기준 5.6.17 자연평형형 여과지를 참조한다.

(1) 자기 역류 역세척형

1) 여과

이 형식의 여과지는 적어도 6~8지를 하나로 묶어 구성된다.

미여과수는 유입통로에서 여과지로 유입 사이펀 및 유입위어를 통과해 균등하게 분배되고 여과에 필요한 압력은 여과지 수위와 여과수 유출 통합수 수위의 수두차에 의해 생겨난다.

탁질의 역류가 진행되어 여과기능을 지속할 수 없게 되는 시점, 혹은 여과수 탁도가 관리 목표값을 넘기 전에 유입을 정지시키고 여과층을 역세척하도록 한다.

2) 세척

세척공정 개시는 유입 사이펀을 해제하고 여과지로의 물 유입을 정지한다. 그 시점에서는 여과지 수위는 높고 그 수위를 여과수 통합수로 수위근처까지 내려 여과수로서 이용한다.

수위 강하 속도는 여과저항(여과층 오염상태)에 따라 다르다. 여과지내의 물을 가능한 한 여과수로서 이용하기 위해서는 수위를 충분히 내려야 하지만, 수위 강하에 너무 시간을 빼앗기게 되면 세척시간이 길어져 시설가동 시간이 감소하게 된다. 따라서 수위 강하시간은 이것을 염두에 두고 실운 전에 기초하여 설정한다. 수위 강하가 끝나면, 배수 사이펀이 작동하여 여과지의 배수가 시작된다. 배수가 시작되어, 여과지의 수위가 여과수 통합수로의 수위보다 낮게 되면, 그 수위차로 여과수 연결거로부터 세척하는 여과지에 같은 군(群)내의 여과수의 역류가 시작된다. 이 역류 여과수로 역류세척을 하며, 표면세척은 펌프가압수로 한다. 이 경우 세척은 여과지 수위가 여과수 통합수로 수위보다도 완전히 낮아진 시점에서 실시하여야 한다.

만약, 여과지 수위가 여과수 통합수로 수위보다도 높을 경우는 여과와 표면세척이 동시에 실시되게 되고 표면세척에 따르는 탁질이 여과수에 나타날 우려가 있어 표면세척의 개시는 수위 강하속도나 역류세척 개시를 충분히 고려하여 설정하도록 한다.

여과량이 극단적으로 적은 경우에 역류세척을 실시하게 되면 필요한 여과수량을 얻을 수 없고, 후염소 등 여과 후의 약품주입 제어가 어려워지므로 주의하지 않으면 안 된다.

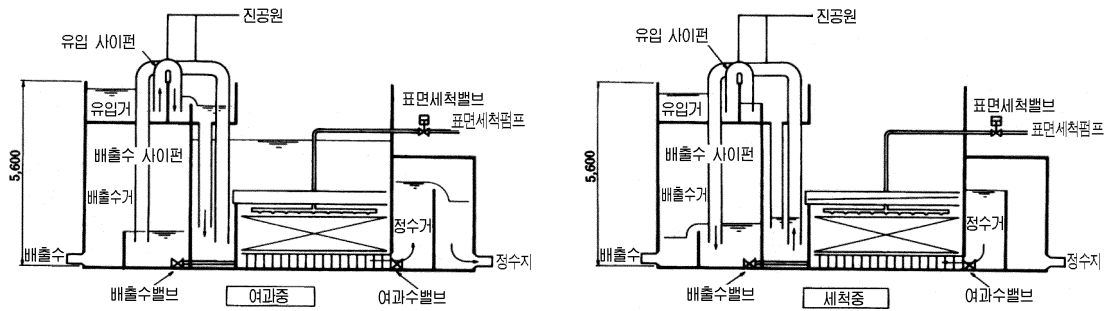
3) 여과 개시

여과지 배수가 끝나고 세척이 종료되면 유입 사이펀이 작동하여 미여과수 유입이 시작되는데 유입 개시 시점에서 여과지 수위는 여과 통합수로 수위보다도 낮고, 여과지에는 미여과수 이외에 여과수 통합수로부터의 역류수가 흘러 들어오게 된다. 또한 미여과수가 유입되어 여과지 수위가 상승하게 되면 여과지로부터 여과수 통합수로로 물 흐름이 바뀌어 여과가 시작된다.

4) 각종 설정 시간

여과지 운전에서는 여과지속 시간, 수위강하 시간, 역류세척시간, 표면세척시간 등의 설정이 중요하다.

이들 설정 시간은 미여과수의 수질, 여과속도, 여과수 통합수로의 수위 등에 따라 크게 좌우되기 때문에 항상 상황을 체크하여 적절히 설정하여야 한다.

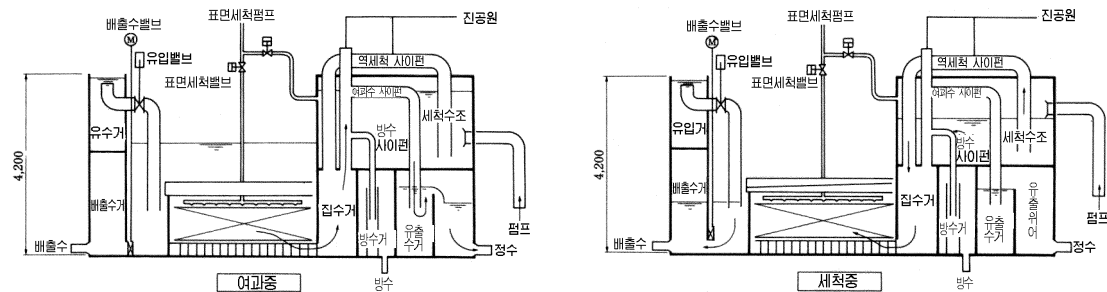


<그림 5.6.11> 자기 역류 역세척형(단위:mm)

(2) 역세척 탱크 보유형

1) 여과

유입수는 유입수로 내에 설치된 위어를 월류하고 유입관을 통과하여 각 여과지로 흘러 들어간다. 여과된 물은 여과수 사이펀을 통과해 정수통합수로로 흘러가 유출위어(bell-mouth)에서 유출된다. 이 위어 높이는 여과층 표면보다 높고 배수 트로프 윗 가장자리보다 낮게 설정된다.



<그림 5.6.12> 역세척 탱크 보유형의 예(단위:mm)

2) 세척

여과개시시의 지내의 수위가 배수 트로프 윗 가장자리의 높이와 같고 여과가 계속됨에 따라 수위가 상승되어 일정한 높이에 달한 시점에서 세척하는데, 세척은 먼저 유입밸브를 닫고 유입을 정지시킨 후 여과를 지속시키면서 지내 수위를 배수 트로프 윗 가장자리 가까이 까지 저하시킨다. 이어서 표면세척을 개시하고 낮은 위치의 역류세척 탱크에 접해 있는 사이펀을 움직여 역세척을 시작한다. 세척탱크 용량은 고가형인 경우와 마찬가지로 1지를 세척하는데 필요한 수량보다 많게 하고 유효수

위는 1m 정도로 한다.

(3) 역세척장치 이동형

이 형의 여과지는 여과층이 폭 200~300mm로 작게 구분되어 있고, 세척은 여과층의 위를 이동하는 저속의 주행대차(bogie車)에 짜 넣어진 세척장치에 의해서 소구간별로 이루어지게 되며 세척장치에는 역류 세척펌프, 표면세척펌프, 배수펌프 및 주행대차로 구성되어 있다. 세척수는 여과 중의 다른 구간의 처리수를 사용한다.

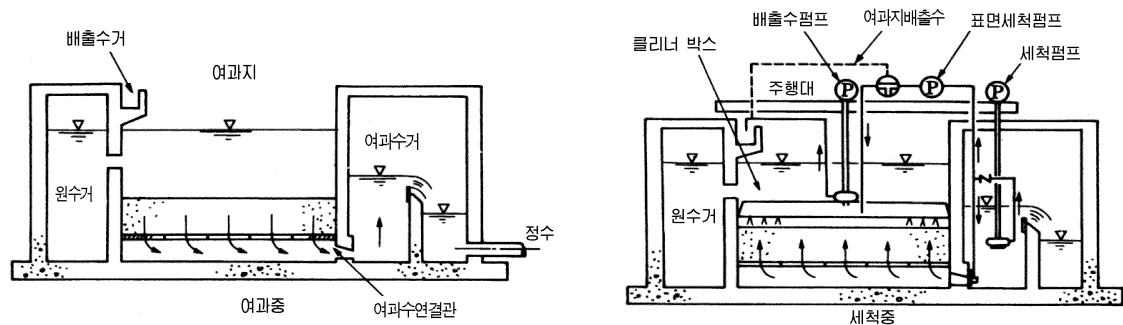
1) 여과

여과된 물은 정수 집수관을 통과해 정수 통합수로에 들어가고 여과층 표면보다 높은 위치에 설치된 유출위에서 유출되게 된다. 여과층은 여과모래와 다공관 하부집수장치로 구성되고 사리는 사용하지 않는다. 여과층이 얇은 경우에는 수질변동에 대한 제어가 어려우므로 미여과수 수질을 항상 양호한 상태로 유지하는 것이 중요하다.

2) 세척

세척방법은 세척장치가 세척되는 곳 맨 위에서 정지되어 세척펌프가 가동하여 토출되는 물 일부가 표면 세척펌프로 가압되어 표면세척수로 되고, 나머지는 여과수(정수) 집수관을 통과하여 정수실로 들어가 여과층을 역류 세척시킨다. 세척 후의 배수는 착수정으로 반송된다.

세척펌프의 수압이 너무 높을 때에는 모래 유출 원인이 되므로 주의하여야 한다.



<그림 5.6.13> 역세척장치 이동형 예(단위:mm)

(4) 일상 점검

여과지나 부속설비 상황을 적시에 점검하고 이상이 발견되었을 때는 신속히 원인을 조사하여 보수하도록 하며 주요한 점검 항목은 다음과 같다.

1) 여과지

- ① 여과층 두께감소 및 사면 요철(특히 자기 역류 세척형 및 역류세척탱크 보유형은 여과지가 깊으므로 일상 육안점검으로는 요철상황을 파악하는 것이 곤란하므로 정기적으로 측정하여 모래층상황을 확인할 필요가 있다.)

- ② 압력실로의 모래유실
 - ③ 스트레이너, 하부집수장치 등의 파손
 - ④ 표면세척 상황
 - ⑤ 역류세척 상황
 - ⑥ 세척배출수 탁도 상황
- 2) 진공장치류(자기 역류 세척형 및 역류세척 탱크 보유형)
- ① 진공펌프: 전류, 봉수(封水), 윤활유, 진동, 소음 등
 - ② 진공탱크: 진공의 오염, 진공계 지시 등
 - ③ 공기압력기: 압력, 윤활유, 진동, 소음 등
 - ④ 전동밸브류: 전동밸브, 각 스위치, 이상음 등
 - ⑤ 진공·공기·급수 등의 배관: 누설 및 동결
- 3) 세척펌프류(역류세척 탱크보유형 및 역류세척장치 이동형)
- ① 표면역세척 펌프: 봉수, 윤활유, 진동·소음 등
 - ② 표면역세척 등 배관: 누설 및 동결 또한 역류세척장치 이동형
 - ③ 배수펌프: 봉수, 윤활유, 진동·소음 등
 - ④ 주행대차(bogie車): 진동·소음, 차량의 마모상황
 - ⑤ 클리너 박스(cleaner box): 변형 및 세척구면의 커버 상황

5.6.6 직접여과법(마이크로 플록법)

직접여과법은 원수에 응집제를 주입한 후 플록형성 및 응집·침전공정을 생략하여 직접여과하는 방법이다. 원칙으로서 이 방식이 채택되려면 원수 탁도가 1년 동안(장기적으로) 계속 낮을 경우로써 이 경우 여과층을 2층 또는 다층으로 하는 것이 바람직하고 또한 통상의 급속여과법인 경우에도 일정한 기간 동안 원수탁도가 낮을 경우는 플록형성 및 침전공정을 생략하고 이 방식을 채택할 수 있다. 단 원수수질이 악화되는 경우에는 일반적인 응집·침전과 급속여과방식으로 대처할 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 일반적으로 저수온, 저탁도인 경우에는 통상의 응집플록 형성처리를 하는 것보다도 응집제를 감소시키고 직접 여과하는 쪽이 좋은 결과를 얻을 수 있는 경우가 있다.

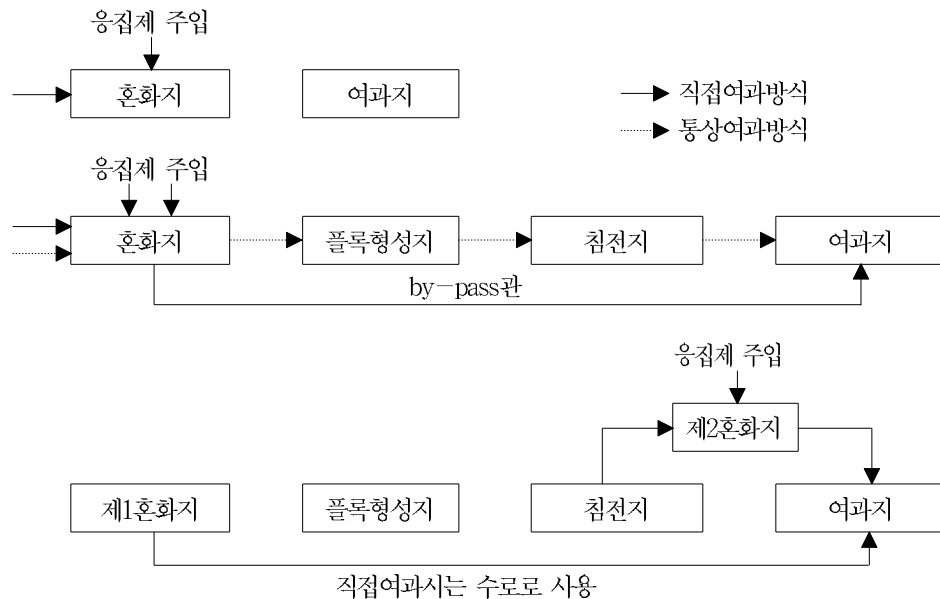
직접여과의 처리공정으로는

- ① 응집제를 혼화 후 바로 여과하는 방법
- ② 급속여과방식인 응집제 혼화지로부터 여과지 사이에 바이패스관을 설치하여 여과하는 방법
- ③ 침전지와 여과지 사이에 제2혼화지를 설치하여 플록형성지, 침전지를 수로로서만 이용하고 제2혼화지

에서 응집제를 주입시킨 후 바로 여과하는 방법이 있다. 다음 직접여과법 공정을 <그림 5.6.14>에 나타냈다.

직접여과법에서는 응집제 주입량을 통상의 약 1/2 정도로 하여 플록을 형성시키고 이때에 생성하

는 플록은 그 크기 및 침강속도는 작지만 밀도와 강도가 큰 마이크로 플록이 되므로 이를 직접여과 시킴에 따라 안정된 처리가 가능하고 약품 사용량이 절약되어 발생하는 슬러지량도 적게 된다. 그러나 원수탁도가 상승하는 등의 변화가 있는 경우는 직접여과처리는 어렵고 통상의 처리로 교체해야 한다.



<그림 5.6.14> 직접여과방식의 흐름도

저탁도라 할지라도 조류가 많은 경우는 여과폐색이 나타나므로 통상의 처리로 되돌려야 하며, 이를 위해 원수와 처리수 탁도를 자동 측정함과 동시에 통상의 처리방법으로 신속히 교체 가능한 구조로 해 둘 필요가 있다. 또한 humic substance 등에 의한 색도성분을 다량 함유한 원수는 응집제의 과잉주입에 의한 약산성 구역에서 응집을 실시하도록 해야 하므로 직접 여과법에 의한 처리는 적합하지 않다.

또한 직접 여과법에서 통상 처리법으로 전환할 때에는 체류시간 등을 고려하여 무약주입 혹은 과잉주입이 되지 않도록 하고 전환이 순조롭게 이루어지도록 관·밸브류는 정기적으로 점검·정비하여 두어야 한다(5.6.2 중력식 개방형 여과지와 5.6.4 다층 여과지를 참조).

<참고 5.6.6> 직접여과법 실험(예)

J시의 직접여과법 실험결과를 보면 탁도제거율, 탁도억류량, 전여과수량과 모든 면에서 여과층 구성이 단층여과보다도 2층여과(상층은 안트라사이트, 하층은 규사, 여과층두께비는 상층:하층=6:41:1, 전층두께는 600~800mm)쪽이 우수했다. 또한 응집제 주입 후부터 여과하기까지의 체류시간의 영향을 명확하지 않았지만 짧은 쪽이 좀더 유리하였고 수온은 10℃ 이하 저수온 원수에 적합하고, 여과속도는 250m/d로 빠른 속도에

서 처리가 가능했다. 또한 PAC(Al_2O_3 , 10%) 주입률 5~7mg/L로 평균 처리탁도 0.05NTU 이하로 유지하기 위해서는 원수탁도가 1.5NTU 이하가 필요했고, 2층여과의 세척방식은 통상의 역세척만으로는 머드볼이 발생하기 쉽고 「물+공기역세척 병용방식」이 더 유리함을 알 수 있었다.

5.6.7 여과지별 탁도관리

여과지별 탁도측정은 병원성미생물에 대한 수질관리를 강화하기 위하여 정수처리기준 등에 관한 규칙(제5조 제2항)에 따라 여과지 공동수로 및 각각 여과지에 설치하여 감시·관리하도록 되어 있으며, 평상시나 탁도기준 위반시 신속하게 원인을 조사하고 대책을 강구하여 보다 안전한 수질관리가 되도록 유지관리하여야 한다.

더불어 최근 미국(필라델피아), 스위스, 일본 등 선진국에서는 여과지유출부에 입자계수기를 설치하여 입자의 크기나 개수를 실시간으로 파악하여 원생동물의 누출여부를 확인·감시하고 있다.

(1) 지별 탁도관리 목표

1) 공동수로 여과수 탁도(급속·직접 여과시설)

- ① 시료채취지점: 단위 공장 여과지의 모든 여과수가 혼합된 지점
- ② 탁도측정 및 기록: 탁도 자동측정기에 의거 실시간측정·감시운영하고 1시간 이내 간격으로 기록 유지한다(또는 4시간 간격으로 1일 6회 이상).
- ③ 탁도관리 목표: 매월 측정된 시료수의 95% 이상이 0.3NTU를 초과하지 아니하고 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0NTU를 초과하지 아니할 것. 단, 공동수로 여과수의 탁도관리 목표 초과 원인이 탁도계 또는 계측제어설비 등에 의한 초과의 경우에는 위 탁도기준을 적용하지 아니한다.
- ④ 공동수로 여과수 탁도관리 목표 위반시 조치사항

<표 56.8> 공동수로 여과수 탁도관리 목표 위반시 조치사항

관리목표 위반사항	조치사항	비고
<ul style="list-style-type: none"> 매월 측정된 시료수의 95% 이상이 0.3NTU를 초과하지 아니하고 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0 NTU를 초과하지 아니 할 것 	<ul style="list-style-type: none"> 자체 시설점검을 통한 원인분석 및 개선 조치 	
<ul style="list-style-type: none"> 각 시료의 탁도가 1NTU를 초과 하는 경우가 24시간 지속되는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지하고 자체 시설점검 등을 통한 원인분석 및 개선 조치 	정수처리 기준 등에 관한 규칙
<ul style="list-style-type: none"> 각 시료의 탁도가 1NTU를 초과 하는 경우가 48시간 이상 지속되는 경우와 	<ul style="list-style-type: none"> 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지하고 자체 진단팀이나 전문기관에 의한 기술진단 및 개선 조치 1월 이내에 기술진단 실시, 진단 종료 후 10일 이내에 환경부장관에게 진단결과 및 조치계획 수립보고 조치결과 매월 보고 	"

2) 지별 여과수 탁도(급속·직접 여과시설)

- ① 시료채취지점: 타여과지 여과수가 혼합되기 전 지별 여과수의 대표지점
- ② 탁도측정 및 기록: 탁도 자동측정기에 의거 실시간 측정하여 매15분 간격으로 기록유지
- ③ 지별탁도 관리목표
 - 매월 측정된 시료수의 95% 이상이 0.15NTU를 초과하지 아니하여야 한다.
 - 여과개시 후 안정화될 때까지 0.5NTU보다 커서는 안 된다.
 - 여과개시 4시간 후에는 0.3NTU보다 커서는 안 된다.
 - 매월 1NTU보다 높은 탁도가 30분 이상 연속하여 월1회 이상 발생하고 이와 같은 현상이 3개월 연속 나타나서는 아니 된다.
 - 매월 2NTU보다 높은 탁도가 30분 이상 연속하여 월1회 이상 발생하고 이와 같은 현상이 2개월 연속 나타나서는 아니 된다.
- ※ 지별 여과수탁도관리 목표를 세분한 것은 원생동물로부터 안전성을 확보하고 초과농도에 따라 진단 주체를 구분하여 구체적으로 관리하기 위함.
- ※ 지별 여과수의 탁도관리 목표 초과원인이 탁도계 또는 계측제어설비 등에 의한 초과의 경우에는 위탁도기준을 적용하지 아니 한다.
- ④ 지별 여과수 탁도관리 목표 위반시 조치사항

<표 5.6.9> 지별 여과수 탁도관리 목표 위반시 조치사항

관리 목표 위반사항	조치사항	비고
<ul style="list-style-type: none"> ● 시료채취 주기에 따라 측정한 평균탁도값이 0.5NTU를 초과하거나 어느 한 시료의 탁도값이 1NTU를 초과하는 경우 ● 지별 탁도계값이 1NTU를 초과하거나 매월 측정된 시료의 5% 이상이 0.3NTU를 초과하는 경우 ● 여과개시 후 안정화될 때 까지 0.5NTU 보다 커서는 아니 된다. ● 여과개시 4시간 후에는 0.3NTU보다 커서는 아니 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 탁도초과 원인을 모를 경우 여과지속시간에 따라 탁도변화를 7일 이내 작성하여 원인을 규명하도록 특별관리 한다. ※ 초과원인을 알 경우에는 즉시 개선 조치하여야 한다. 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 매월 1NTU보다 높은 탁도가 30분 이상 연속하여 월1회 이상 발생하고 이와 같은 현상이 3개월 연속 나타나서는 아니 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 매월 1NTU보다 큰 값이 3개월 연속하여 나타나는 경우에는 14일 이내에 자가진단을 실시하여야 한다. ※ 정수 생산에 지장이 없으면 여과지 운영을 중단하고 자가진단 실시 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 매월 2NTU보다 높은 탁도가 30분 이상 연속하여 월1회 이상 발생하고 이와 같은 현상이 2개월 연속 나타나서는 아니 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 매월 2NTU보다 큰 값이 2개월 연속하여 나타나는 경우에는 30일 이내에 자체 기술진단팀이나 외부 전문기관의 진단을 받고 90일 이내에 조치결과 등을 보고하여야 한다. ※ 정수 생산에 지장이 없으면 여과지운영을 중단하고 전문기관의 진단실시 	

(2) 지별 탁도계(on-line) 설치 및 유지관리

탁도계는 측정방법, 제조회사 등에 따라 설치 및 유지관리 등이 상이할 수 있으나 일반적으로 고려할 사항은 다음과 같다.

- 1) 측정된 데이터의 정확성과 신뢰성이 확보되어야 한다.
- 2) 주기적인 청소와 소모품의 확인·교환을 하여야 한다.
- 3) 측정값의 유효성 확인을 위한 수분석값과 비교 검토·교정을 하여야 한다.
- 4) 설치시 고려사항
 - ① 제조사의 지침서에 따른다.
 - ② 시료는 배관의 측면 시료를 채취하도록 한다(상단부는 공기, 하부는 슬러지의 영향을 받기 쉬움)
 - ③ 탁도계는 가급적 시료채취 지점에 가까이 위치하여야 한다.
 - ④ 시료배관의 구경은 충분한 양의 시료를 공급 할 수 있어야 한다.
 - ⑤ 일상적인 점검과 교정을 위해 접근이 용이한 위치에 설치한다.
 - ⑥ 시료는 자연유하로 탁도계에 유입되도록 설치하는 것이 좋다.
 - ⑦ 시료의 기포가 충분히 배기되는 구조로 설치한다.
 - ⑧ 진동의 영향을 받지 않는 장소에 설치한다.
 - ⑨ 탁도계 드레인배관은 시료 흐름을 확인할 수 있도록 한다.
 - ⑩ 검출부는 물과 외부오염에 취약하므로 이에 대한 배려를 하여야 한다.

5) 운전과 유지관리

- ① 탁도계에 유입되는 유량은 제조사의 규격에 따른다.
- ② 예방 및 일상정비는 제조사의 지침서에 따른다.
- ③ 1주일에 1회 이상 점검한다.
- ④ 램프, 렌즈 등 중요한 부분의 점검·정비시 등에는 반드시 재 교정한다.
- ⑤ 램프, 전자회로 등 기기의 여러 부품도 수명이 있으므로 주기적으로 교체하여야 한다.
- ⑥ 렌즈, 광원, 기타 시료 통 등은 주기적으로 세정한다.
- ⑦ 기기의 부품을 충분히 확보하고 이에 대한 예산을 확보하여야 한다.

6) 보정 및 교정

- ① 공동수로 여과수 탁도계는 1주일에 1회 정도, 지별 여과수 탁도계는 2개월에 1회 정도 보정하여야 한다(탁도계의 상태에 따라 보정주기는 단축 또는 연장할 수 있다).
- ② 교정시에는 표준물질을 사용하는데 1차 표준물질과 2차 표준물질이 있다.
 - 1차 표준물질: 포마진, AMCO-AEPA-1[®], microspheres, stablecal
 - 2차 표준물질: GELEX[®], glass/ceramic cubes
- ③ 1차 표준은 사용자가 1차 표준물질을 가지고 일정조건에서 정확한 방법으로 교정한 표준을 말한다.
- ④ 2차 표준은 제조사가 1차 표준과 동일한 결과가 나온다고 인증한 표준을 말한다.
- ⑤ 1년에 2회는 탁도계를 철저히 세정하여 1차 표준물질로 교정하여야 한다.

- ⑥ 탁상용 탁도계로 on-line 탁도계를 교정하는 것은 좋지 않다.
- ⑦ 교정 후에는 2차표준물질로 올바르게 교정되었는지를 확인한다.
 - 2차 표준물질로 교정하여 10% 허용값 이내으로 교정되었는지를 확인한다.
- ⑧ 기기 교정은 제조사의 매뉴얼에 따라 실시한다.
- ⑨ 교정방법은 항상 동일한 방법으로 실시한다.
- ⑩ 표준 절차서를 마련하여 담당자가 숙련되도록 하고 교정절차서는 비치하여 누구든지 표준방법으로 교정하도록 하여야 하며 교정 점검표를 작성하여 교정시마다 기록하여야 한다.

7) 품질보증 및 관리(QA/QC)

- ① 담당자는 분석원리 및 기기구조 등을 이해하고 수질이상시 원인을 파악하고 대책을 강구하여야 하며 분석기술 유지를 위한 훈련, 노후된 기기장치 정비, 변질된 표준물질 사용금지 등을 통하여 부정확한 측정이 방지되도록 하여야 한다.
- ② 탁도계 세정 및 교정, 표준용액 조제 등을 위한 표준절차를 만들어 담당자들이 일관성 있는 방법으로 관리하고 결과를 보증 할 수 있도록 하여야 한다.
- ③ 시료채수절차에는 채수위치, 채수횟수, 시료취급방법, 운반상 고려사항, 안전상 주의사항 등을 분명하고 간결하게 명시하여야 한다.
- ④ 탁도를 정확하게 측정하기 위하여 제조사들은 각 모델에 대한 특정 규정을 가지고 있으므로 이에 따라 실시한다.
- ⑤ 실험실 탁상용 탁도계에 대한 일반사항은 다음과 같다(on-line 탁도계에 참고가 될 수 있음).
 - 시료관은 흠집과 오염 또는 손상을 피하기 위하여 조심스럽게 다루어야 한다.
 - 시료 셀 또는 셀이 들어가는 상자 내부의 흠집, 지문, 물방울은 측정결과에 영향을 준다.
 - 셀은 주기적으로 산 세정하고 흠집을 보완하기 위하여 실리콘 오일을 도포할 수 있다(셀에 오일을 도포한 후 2차 오염이 되지 않도록 깨끗한 천으로 제거하여야 한다).
 - 지문, 얼룩을 피하기 위하여 셀 상단부 또는 마개를 잡고 사용하여야 한다.
 - 셀에 시료를 채운 후 외면은 깨끗하고 부드러운 천으로 닦은 후 실험한다.
 - 셀의 균일하지 못함으로 인한 영향을 줄이기 위하여 사용할 때마다 셀 상단에 표시된 동일 방향으로 탁도계에 넣어 실험한다.
 - 시료는 상당량의 가스를 포함하고 있어 탁도 측정에 영향을 준다(기포 제거를 위해 계면활성제, 부분진공 또는 초음파를 이용하는 방법이 있다).
 - 수온과 침강 등이 탁도에 영향을 미치므로 즉시 측정하여야 한다(수온은 입자의 행동변화를 주거나 응결에 영향을 줄 수 있으므로 예열시간 또는 준비단계가 완료된 후 분석하여야 한다).
 - 시료의 온도는 공정수의 온도와 같아야 한다.

8) 공인기관의 탁도계(on-line) 정밀도관리

- ① 근거: 환경기술개발 및 지원에 관한 법률 시행규칙 제19조 및 국립환경과학원고시 제2005-1호
- ② 정밀도검사 주기: 최초 정밀도검사는 취득일로부터 2년 후(정밀도검사 주기는 1년)

③ 정밀도검사 대상: 탁도 연속측정기 및 그 부속기기

※ 수질 자동 측정장비의 정밀도(AQC)관리

- ① 정밀도(precision): 동일한 시료를 반복해서 측정할 경우 그 측정값의 흩어짐 정도로서 재현성(repeatability)을 말하며 평균값(mean)에 대한 표준편차(standard deviation)의 백분율로 표시하고 분기별 1회씩 각 측정기기별로 평상시 측정결과 범위의 농도에서 하나의 농도를 선정하여 3회 반복 측정하여 정밀도 검사를 수행한다.

• 재현성(%) = $\text{표준편차} / \text{측정값의 평균} \times 100$

• 목표: 5%

- ② 편의(bias): 측정값(measured value)과 참값(true value)의 오차정도로 측정자료의 신뢰성(reliability)을 나타내며 각 측정기기별 1년에 1회 이상 평상시 측정 농도범위 중에서 선택하여 표준 농도의 시료(known sample)를 제조하여 3회 반복 측정하여 측정값과 비교 평가함

• 신뢰성(%) = $\text{평균오차} / \text{참값} \times 100$ [오차 = |측정값 - 참값|, 참값 = 조제한 농도]

• 목표값: 10%(AQC의 “우수”에 해당)

(3) 여과시설의 운영관리

여과시설의 운영관리는 환경부 상수도시설기준에 의하여 관리하되 기준에서 정하지 않은 유지관리 사항은 다음과 같다.

1) 일반사항

- ① 여과 원리, 구조 등을 이해하고 수질이상시 즉시 대처 할 수 있는 능력을 보유하여야 한다.
- ② 주기적으로 역세척시 현장을 확인하여 역세척시간 적정성, 하부집수장치의 이상여부, 역세척 효율 등을 현장 점검하고 필요시 개선하여야 한다.
- ③ 운영자는 시간대별 탁도 또는 입자수를 트렌드 등을 이용하여 분석하고 불규칙하게 발생하는 피크에 대한 해석능력을 개발하여 전문화하여야 한다(트렌드상 피크 발생 사례: 응집제 과대 및 과소투입, 과부하운전, 순간정전, 여과지 전단 단위공정 작업, 여과속도 변경 등).
- ④ 지별 여과수 탁도관리 목표 위반시 위반된 여과지 번호, 위반일자, 탁도 등을 기록하여야 한다.
- ⑤ 여과개시 초기탁도가 단위공정 여과지 전체에서 발생하는 것인지 1개 여과지에서 발생하는 것인지 원인을 분석하고 단위공정 여과지 전체에서 발생하는 경우는 시동방수, 운영방법 등 근본적인 개선방안을 강구하여야 한다.
- ⑥ 여과지별 모래층 두께 월1회, 여과모래 오염도는 반기 1회 이상, 여과모래 재질 적정여부 등은 계열별 대표지점에 대해 년1회 이상 주기적으로 확인하고, 지별 여과지 이상 발생시는 수시로 확인하여 정비하여야 한다.
- ⑦ 여과모래 오염은 역세척 시간, 역세 효율 및 여과수 수질에 영향을 주며, 공기 역세척시 역세척이 잘 되어 오염이 적을 것으로 생각하기 쉬우나 여과층 내부에서는 오염이 진행될 수 있으므로 오염도조사를 층별로 실시하고 오염여부를 확인하여야 한다(여과모래층 하부가 오염되어 있

으면 평상시 여과지 오염도 조사를 소홀히 하였거나 관리를 하지 않았다는 증거임).

- ⑧ 동절기 저수온시 사이클로텔라 유출에 따라 탁도가 발생할 수 있으므로 여과보조제를 사용하여 탁도 누출을 억제하여야 한다.
- ⑨ 여과모래 오염의 우려가 있을 때에는 물 역세척시 펌프 가동대수를 늘려 모래층 내 오염된 물질을 배출시킬 필요가 있다.
- ⑩ 지별로 여과지 관리카드를 만들어 제반제원을 기록하고 사후관리 내용을 기록하여야 한다.
- ⑪ 지별 여과지에 수층적으로 탁도 변화가 가급적 생기지 않도록 운영한다.
- ⑫ 여과모래 유효경은 설계에 반영된 규격을 사용되 가급적 균등계수가 적은 것이 좋다(L/D비 유지).
- ⑬ 여과모래 마모에 따라 여과지 표면에 세사층이 형성되어 표면여과방식으로 운영되거나 여과폐쇄성 조류가 다량 발생하여 여과장애를 일으키므로 주기적으로 삭취하여야 한다.
- ⑭ 역세척 시간대별 발생 탁도 변화, 여과 지속시간 적정 여부, 역세척 효율을 평가하고 여과지속 시간에 여과수량 대 역세척수량의 비로 여과효율 등을 주기적으로 평가하여야 한다.

2) 여과시설 운영관리

<표 5.6.10> 여과시설 종류별 탁도 기준(정수처리기준 제5조 제2항과 관련)

탁도 기준	적용대상시설	정수장시설용량	적용시기
<ul style="list-style-type: none"> 시료채취지점 : 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합된 지점 시료채취주기 : 4시간 간격으로 1일 6회 이상 기준 : 연속측정된 6개 시료의 평균값이 0.5NTU를 초과하지 아니하고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0NTU를 초과하지 아니할 것. 	급속·직접·완속여과시설	5,000m ³ /일 이상	2002.8.1부터
		5,000m ³ /일 미만	
<ul style="list-style-type: none"> 시료채취지점 : 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합된 지점 시료채취주기 : 12시간 간격으로 1일 2회 이상 기준 : 연속측정된 2개 시료의 평균값이 0.5NTU를 초과하지 아니하고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0NTU를 초과하지 아니할 것. 	급속·직접여과시설	100,000m ³ /일 이상	2004.7.1부터
		50,000m ³ /일 이상 100,000m ³ /일 미만	2005.7.1부터
		5,000m ³ /일 이상 50,000m ³ /일 미만	2007.1.1부터
		5,000m ³ /일 미만	2010.7.1부터
<ul style="list-style-type: none"> 시료채취지점 : 여과지와 정수지 사이에 모든 여과지의 유출수가 혼합된 지점 시료채취주기 : 4시간 간격으로 1일 6회 이상 기준 : 매일 측정된 시료수의 95% 이상이 0.5NTU를 초과하지 아니하고, 각각의 시료에 대한 측정값이 1.0NTU를 초과하지 아니할 것. 다만, 감시는 연속측정장치를 사용하여 매 15분 간격으로 개별여과지에 대하여 실시되 측정값이 1.0NTU를 초과하지 아니할 것. 	완속여과시설	100,000m ³ /일 이상	2004.7.1부터
		50,000m ³ /일 이상 100,000m ³ /일 미만	2005.7.1부터
		5,000m ³ /일 이상 50,000m ³ /일 미만	2007.1.1부터
		5,000m ³ /일 미만	2010.7.1부터

- ① 수도사업자는 정수처리기준 제4조 제1항에 따라 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 여과시설을 갖추어야 한다.
- 제2조 제6호에 따른 급속여과를 위한 시설
 - 제2조 제7호에 따른 직접여과를 위한 시설
 - 제2조 제8호에 따른 완속여과를 위한 시설
 - 제2조 제9호에 따른 막여과를 위한 시설
 - 제2조 제10호에 따른 기타 여과를 위한 시설
- ② 수도사업자는 제1항 제1호 내지 제3호의 시설이 여과시설의 종류 및 규모 등에 따라 별표 1에서 정한 탁도 기준을 준수하도록 운영·관리 및 수질검사를 하여야 한다.
- ③ 여과수에서 탁도를 측정된 결과 별표 1에서 정한 탁도기준을 준수한 경우와 수도법 제39조에 따른 한국 상하수도협회장의 막여과시설 인증을 받은 경우에는 바이러스 및 지아디아 포낭이 별표 2의 제거율을 충족한 것으로 본다.

<표 5.6.11> 여과에 의한 바이러스, 지아디아 포낭의 제거율(제5조 제3항 관련)

여과방식	제 거 율	
	바이러스	지아디아 포낭
급속 여과	99%(2log)	99.68%(2.5log)
직접 여과	90%(1log)	99%(2log)
완속 여과	99%(2log)	99%(2log)

비고: Log 불활성화율과 % 제거율은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\% \text{ 제거율} = 100 - (100/10^{\log \text{ 제거율}})$$

- ④ 수도사업자가 제1항 제4호 또는 제5호의 시설을 사용하려는 때에는 사용하고자 하는 여과 및 소독공정으로 제4조의 규정을 준수할 수 있음을 입증하여 수도법 제39조에 따른 한국상하수도협회장의 인증을 받아야 한다.
- ⑤ 제4항에 따른 구체적인 인증절차는 한국상하수도협회장이 환경부장관의 승인을 거쳐 정한다.

(4) 보고 및 기록유지

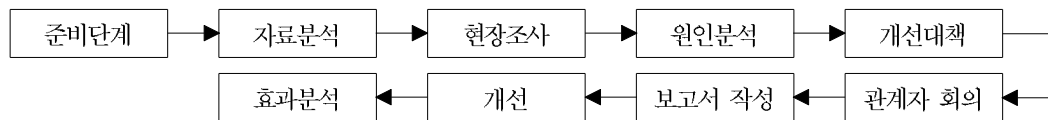
- 1) 수도사업자는 정수처리기준 제5조·제6조 및 제8조에 따라 실시한 수질검사결과와 제8에 따른 조치결과를 기록하여 3년간 보존·관리하여야 한다. 다만, 지별 탁도계 측정자료는 전산디스켓에 입력하여 3년간 보존·관리하여야 한다.
- 2) 수도사업자는 제5조 내지 제7조에 따라 실시한 수질검사 및 조치결과를 매월 말 별지 제1호 서식에 따라 작성해 다음달 10일까지 시·도지사에게 보고하여야 하며, 시·도지사는 이를 취합하여 다음달 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다. 다만, 별지 제2호 서식에 의한 정수처리기준에 따른 지별탁도계 운영결과 보고는 다음 연도 1월 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.

3) 수도사업자는 제7조에 따라 주민공지를 한 때에는 지역주민에게 공고한 공고문을 24시간 이내에 시·도지사를 거쳐 환경부장관에게 보고하여야 하며, 시설개선 등 필요한 조치를 완료하고 이를 해제한 경우에도 또한 같다.

(5) 여과지 자가진단방법

1) 진단대상: 여과개시 후 초기 0.5NTU를 초과하거나 여과개시 4시간 경과 후 0.3NTU를 초과, 매월 1NTU 초과한 사례가 3개월 연속 발생시에는 각 분야 실무담당자로 진단팀을 구성하여 실시

2) 자가진단 절차:



3) 진단 단계별 개요: 미국 환경청의 CCP프로그램 등을 활용하여 실시할 수 있으나 그 주된 내용은 다음 단계별 실시내용을 참고하여 실시한다.

<표 5.6.12> 진단단계별 실시 내용

구 분	실 시 내 용	비고
준비단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여과지 제원 확보 <ul style="list-style-type: none"> － 여과지 각종도면, 여과모래 재질, 하부구조, 여과방식, 탁도계 설치 등 ○ 여과지 운영자료 확보 <ul style="list-style-type: none"> － 여과지속시간, 시간대별 여과수량, 탁도 측정자료, 역세척자료, 표면세척자료 ○ 여과모래 오염도 조사, 여과 성능 평가 자료 등 ○ 수질조사팀 구성 	
자료분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여과속도 적정여부(최대부하시) ○ 여과모래 오염도 조사결과 평가 ○ 여과모래 적정여부 등(모래층두께, 유효경, 균등계수, L/D비) ○ 역세척 평가(시간대별 탁도, 역세 지속시간, 중기탁도, 사팽창률) ○ 역세척 시기 결정 적정여부(손실수두, 지속시간, 탁도) ○ 탁도발생 빈도, 탁도 발생주기 등 트렌드화면 분석 ○ 역세척 후 휴지시간 등 ○ 단위면적당 여과수량 적정여부, 여과성능(역세수량/여과수량) 평가 등 	
현장조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 역세척 상황분석(탁도, Boiling, 지속시간 등) ○ 여과모래 표면균열, 머드볼 존재 여부 등 관찰 ○ 여과지별 유량 균등배분 여부 등 ○ 여과모래층 팽창률 조사 ○ 탁도계 조사(시료라인, 탁도계, 전송설비 등) ○ 여과보조제(폴리아민 등) 투입여부 ○ 침전 상등수 탁도 및 응집제 적정투입 ○ 여과지 운영 및 조작방법 적정여부 ○ 에어바인딩 발생여부 	
초과원인	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조사자료, 현장 확인자료 종합분석 ○ 문헌 및 사례조사 ○ 초과원인 진단(시설측면, 운영측면 등) 	

구 분	실 시 내 용	비고
개선대책	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설측면, 운영측면 종합 개선대책 마련 ○ 실현 가능성 구체적 검토(예산, 기술) ○ 장·단기적 대책, 직원 훈련 및 교육 ○ 자동화 운영프로그램 개선 등 	
관계자 회의	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소장, 각 과장, 운영실무관계자, head operator 등 ○ 초과원인, 개선방안 실현가능성 등 검토 ○ 예산확보 등 경제성 검토 ○ 개선안 확정 	
보고서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 6하 원칙에 의거 보고서 작성 <ul style="list-style-type: none"> － 개요 － 조사결과 － 원인 및 문제점 － 개선대책 － 시설 및 운영방법 개선 － 건의사항 	
시설개선 등	○ 해당 팀장이나 과장	
효과분석	○ 시설개선에 대한 효과분석	

4) 기록유지 및 보고

- ① 팀장은 매일 측정결과를 일일 결산하고 매일 소장에게 보고하여야 한다.
- ② 소장은 매분기 운영 및 분석 결과를 지자체 단체장에 보고하여야 한다.
- ③ 탁도 이상으로 정수수질에 영향을 주어 탁도관리 목표를 초과하거나 시민에게 공지사유 등 특별한 경우에는 즉시 보고하여야 한다.
- ④ 모든 측정결과 자료는 3년간 보관하여야 한다.
 - － 여과 탁도기준 위반시 조치사항

<표 5.6.13> 정수처리에 관한 기준 제7조 관련(별표 5)

위반 사항	주요 조치 사항	비 고
<ul style="list-style-type: none"> • 시료채취 주기에 따라 측정한 평균 탁도값이 0.5NTU를 초과하거나 어느 한 시료의 탁도값이 1NTU를 초과하는 경우 • 지별 탁도계값이 1NTU를 초과하거나 매월 측정된 시료의 5% 이상이 0.3NTU를 초과하는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 자체시설점검 등을 통한 원인분석 및 개선조치 	
<ul style="list-style-type: none"> • 각 시료의 탁도가 1NTU를 초과하는 경우가 24시간 이상 지속되는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지 • 자체시설점검 등을 통한 원인분석 및 개선조치 	
<ul style="list-style-type: none"> • 각 시료의 탁도가 1NTU를 초과하는 경우가 48시간 이상 지속되는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> • 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지 • 전문기관에 의한 기술진단 및 개선조치 • 1월 이내에 기술진단 실시 • 진단종료 후 10일 이내에 환경부장관에게 진단결과 및 조치계획 수립보고 • 조치결과 매월 보고 	위반사항 두 번째의 경우는 별표 1의 규정에 의해 탁도 연속측정장치가 도입되는 시점 이후에 적용

⑤ 지별 여과지 관리카드

<표 5.6.14> 지별 여과지 관리카드

일반사항	여과지 규격	여과형식	모래층두께	유효경 및 균등계수
	하부집수장치	역세척 형식	역세척 시간	사 팽창 및 여재 유실
수질·시설 및 여과모래 이상시 조치사항				
일 시	조사내용	조치사항	점검자	비 고

5.7 완속여과지

5.7.1 총칙

완속여과법은 모래층을 1일 4~5m의 느린 속도로 물을 통과시키는 여과법으로, 원칙적으로 약품을 사용하지 않고 자연의 정화능력을 이용하는 방법이다. 여과는 여과층 표면 5mm 정도의 부분에 발생한 호기성의 생물에 의해 만들어진 점질막(粘質膜)과 내부 모래입자 표면에 생기는 생물피막에 의해 여과되는데 물리적, 화학적, 생물학적으로 탁질, 세균 등의 부유물이나 암모니아성 질소, 철, 망간, 냄새물질 등의 용해성 물질이 제거된다.

완속여과지에서는 모래층 표면에 형성되는 생물막에 의해 부유물이 억류되므로 탁도가 높은 물이나 조류가 비정상적으로 많은 원수는 단시간에 표층의 손실수두를 높여 여과지속 일수를 단축시키므로 적합하지 않다.

이 외에 후민질(humic substance) 등의 색도성분 제거에는 유효하지 않고, 정상적인 생물기능이 저해될 만큼 오염된 물은 생물 여과막에 나쁜 영향을 줄 수 있으므로 주의가 필요하다.

이처럼 완속여과법은 양호한 수질과 맛있는 물을 안정되게 얻을 수 있는 반면, 원수수질에 제약을

받고 여과속도가 느리다는 점과 넓은 용지와 모래층관리(오사 삭취, 보사, 세사 등)에 사람 손이 많이 간다는 단점이 있다.

한편, 완속여과지에서는 제거한 오염(오사 삭취)된 모래로 인한 악취나 보사용 모래의 일시 보관 시 일어날 수 있는 모래의 비산, 혹은 여과지내에서 번식하는 곤충(날벌레 등)에 의한 인근 주민에게 피해를 줄 수 있으므로 이들 상황에 항상 유의하여 적절한 대책을 강구하도록 하여야 한다.

완속여과지의 점검 요령 예를 <표 5.7.1>에 나타냈다.

<표 5.7.1> 완속여과지 점검요령(예)

일 상 점 검		정 기 점 검		정 밀 점 검(정비)	
주 기	점 검 내 용	주 기	정 기 점 검	주 기	점검(정비)내용
필요시마다	1. 여과지수위 확인	1회/1~	1. 여과수량 조절장치 작동 상황	오사 삭취시 1회/0.5~2개월	1. 침전지 청소
필요시마다	2. 여과수량, 여과속도 여과손실수두, 여과 지속시간 확인	2개월 1년	2. 여과수량계, 여과손실수두계	규정두께 이하인 경우 10년	2. 오사 삭취
필요시마다	3. 여과수 수질확인 탁도, pH, 알칼리도 등)	1년	3. 여과층 상황 (여사오염 유효경, 균등계수 및 여과층두께 등)	6개월	3. 여과모래의 보충
필요시마다	4. 수생생물·조류발생 상황	삭취시	4. 사면함몰 유무, 조류, 곤충류 등의 생식상황	1회/3~5년	4. 모래층, 하부집수장치 정비
1일	5. 여과수면 결빙 상황	1년	5. 콘크리트균열, 열화유무 누수유무		5. 개폐대, 기타 기구류청소, 주유
		1년	6. 각종 밸브류의 작동상태		6. 철제부 도장
		1년	7. 철제부의 도장 상태		
수위계, 유량계, 수질계기에 대해서는 8.5 계측제어설비의 보수 참조					

5.7.2 여과지

(1) 운전

- 1) 여과지의 수심은 사면상 90~120cm를 유지하여야 한다.
- 2) 여과속도는 일 5m 내외를 표준으로 하고, 원수 수질이 양호한 경우라도 속도가 너무 빠르면 여과지속일수가 짧아지므로 최대 8m/d 이내에서 조작해야 한다.
또한 선진국에서는 원생동물(크립토프리디움) 누출을 예방하기 위해서 여과속도를 대략 5m/d 이내에 운전하도록 권장하고 있다. 여과속도 상승폭은 1일당 표준처리 유량으로서 10~20%로 하고 그 이상의 여과속도 상승은 여과기능을 저해할 수도 있으므로 피해야 한다.
- 3) 여과지의 유출수위는 여과층 내에 부수두가 발생되어 여과기능에 장애를 일으키는 것을 막기 위해서 모래층 표면보다 저하시켜서는 안 된다.

- 4) 여과 손실수두는 여과지의 운전상황을 나타내는 매우 중요한 지표이므로 감시를 게을리 해서는 안 된다. 손실 수두가 급격히 상승 또는 하강할 때에는 여과막, 여과층 혹은 계기류에 이상이 있는 징후이므로 즉시 상황을 조사하여 적절한 대책을 세워야 한다.
- 5) 여과수 유출수위가 모래층 표면까지 저하했을 때는 사면을 삭취하지 않으면 안 된다. 그러나 허용수두까지 빠듯하게 사용하고 있으면 원수탁도나 플랑크톤의 급증가로 인해서 손실수두가 증대되고 삭취를 필요로 하는 지(池)가 속출되어 작업시기를 놓치게 되어 여과수량 부족을 초래할 우려가 있으므로 손실수두에 여유를 남기고 오사를 삭취하는 것이 바람직하다.
- 6) 오사 삭취 후 여과지에 물을 받는 방법에는 조절정을 거쳐 여과수를 역송하는 경우와 인접한 여과지의 물을 이용하는 경우가 있다. 인접 여과지의 여과수를 이용할 때는 이 지(池)의 여과속도가 급격히 증대할 위험이 있으므로 실시하는 경우는 충분히 주의를 기울여야 한다.
- 7) 조절정(調節井)의 배수밸브 조작에서 사면 배수밸브 조작이나 다른 지(池)의 배수작업과 겹친 경우에 배수본관을 통해서 배수가 역류하여 조절정을 오염시킬 우려가 있으므로 배수가 역류하지 않는지를 수시로 확인한다.
- 8) 여과지 손실수두, 여과수량, 배수지 수위 등을 정기적으로 관측, 기록하고 수량 조절을 하여야 한다.
- 9) 한랭지에서 여과지에 뚜껑을 설치하지 않는 경우는 수면이 동결하여 수압에 의해 주벽이 파손되거나 오사 삭취 작업에 상당한 노력이 필요하게 된다. 그러므로 미리 얼음을 쪼개든지 모래층 표면에 영향을 주지 않도록 에어레이션(폭기), 전동식 날개, 살수설비 등으로 물결치게 하는 등으로 얼음 두께의 증대를 방지하도록 운영하여야 한다.
- 10) 모래층 중의 용존산소가 6~7mg/L 정도면 충분히 호기성을 유지할 수 있지만 여과를 중단하게 되면 모래층 중의 용존산소가 결핍되어 모래층 중에 축적되어 있던 철, 망간 등의 금속이 환원되어 용출되거나 이취미를 발생시킬 우려가 있다. 이와 같은 현상은 수온의 영향을 강하게 받는데 여름철(18~20℃) 2일째, 겨울철(7~10℃) 7일째 정도에서 발생하기 시작한다. 따라서 여과 기능을 유지하기 위해서는 여과를 실시하지 않는 경우라도 최저 0.5~1.0m/d 정도의 여과속도로 물을 통과시키는 것이 바람직하다. 그러나 너무 낮은 여과 속도는 플랑크톤의 번식을 재촉하게 되므로 주의를 요한다.
- 11) 여과지를 장기간 정지시키는 방법으로서 여과배수하면서 정지하는 경우와 여상의 물을 빼고 정지하는 경우가 있다. 전자는 운전을 개시할 때 단기간 사용이 가능하지만 오사 삭취 작업을 생략할 수 없다. 반면, 후자는 오사 삭취를 실시한 후에 물을 빼고 방치하게 되는데 운전을 재개할 때에는 먼지 등으로 사면 표면이 막히지는 않았는지 확인하고 필요에 따라 다시 오사 삭취하여 통상 방법대로 운전해 들어간다.
- 12) 느린 여과속도로 운전을 계속하게 되면 플랑크톤의 이상번식에 의한 착색 현상이 일어나는 경우가 있다. 이러한 여과지에서는 물을 뺄 때 농축되어 모래층 내에 남아 있던 플랑크톤이 오사 삭취 후의 여과수에 대량으로 나타나는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

(2) 여과층관리

- 1) 여과층 표면을 갈퀴, 막대 등의 교반에 의해 여과막이 손상되거나 여과막이 조류발생에 의해 부상하거나 혹은 어류, 패류, 지렁이 등에 의해 손상되면 부분여과(국부여과)될 우려가 있으므로 주의하여야 한다. 여과막이 손상될 우려가 있는 경우는 조금 일찍 두겹게 삭취작업을 해두어야 한다. 또한 여과층 내에 생식하는 날벌레의 부화로 인근 주민에게 피해를 줄 수도 있다.

<참고 5.7.1> 날벌레에 관해서

날벌레는 몸길이 2~10mm로 모기와 닮았지만 피는 흡입하지 않고 저녁 무렵에 집단적으로 날아다닌다. 야간 등화가 있는 곳에 잘 모이기도 하지만 날아오르는 힘은 약하고, 300m 이상은 날지 못하며 바람에 실려 오는 경우도 있으며 수중 생활을 한다.

완속여과지에서 발생되면 유충은 모래층 표면에서 생활하게 되므로 여과 중에 제거는 불가능하게 된다.

방제방법을 나타내면 다음과 같다.

① 알 덩어리(卵塊)의 제거

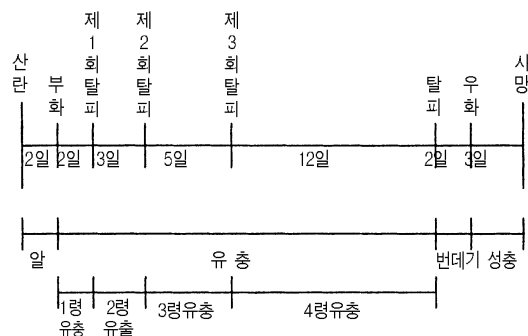
여과지 및 개거(수로)의 수위를 내려 알 덩어리를 건조시켜 사멸시킨다.

② 유충 제거

모래 속에서 생활하고 있으므로 간단히 제거할 수 없다. 날벌레의 라이프사이클을 이용하여 적당한 간격으로 오사 삭취 작업을 한다.

③ 성충 제거

포충기(捕蟲機)를 이용한다.



<참조 그림 5.7.1> 날벌레의 수명주기(life cycle)(예)

- 2) 모래층의 상태에 항상 유의하고 오사 삭취 또는 보사작업을 위해 여과지를 건조시킬 때를 이용하여 함몰, 내부 슬러지 축적, 미생물 번식 등의 상태를 조사한다. 이상이 확인될 때에는 신속히 보수 혹은 모래를 교체하거나 오사 삭취 두께를 가감하거나 오사 삭취 작업을 일찌감치 실시하는 등의 조치를 강구하도록 한다.

또한 오랫동안 자갈층과 모래층 경계면에 슬러지가 축적되어 여과층 내가 폐색되는 경우가 있으므로 10년에 1회 정도는 자갈층까지 점검 조사하는 것이 바람직하다.

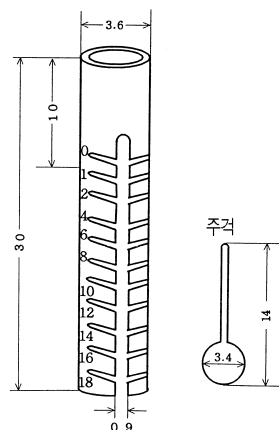
<표 5.7.2> 여과층조사 예(완속 여과모래의 부착물질)

조 사 지	○호지			
조 사 연 월 일	○○○○년 ○월 ○○일			
전회보사 월일	○○○○년 ○월 ○○일			
보사 후 사용 연월	○년 ○○개월			
잔존 모래층두께	약 75cm			
외관	깊이 0~30cm: 엷은 갈색, 부착물이 많음 30~75cm: 회색			
모래층 깊이(cm)	세척탁도(NTU)	과망간산칼륨소비량(mg/g)	철(mg/g)	망간(mg/g)
0~1	290	4.4	0.75	0.062
1~5	87	1.3	0.28	0.014
5~10	60	0.6	0.16	0.007
10~15	63	0.6	0.17	0.008
15~20	50	0.4	0.14	0.006
20~30	65	0.6	0.16	0.008
30~40	25	0.0	0.01	0.000
40~50	25	0.0	0.01	0.000
50~60	26	0.0	0.01	0.000
60~70	25	0.0	0.01	0.000

여과층 조사는 각 층의 슬러지량 등을 조사해 모래층 내부 상황을 분석하고 이전의 값과 비교하여 오염진행 상황을 판정한다. 여과층 조사의 예로써 모래의 부착물질량 조사결과를 <표 5.7.2>에 나타냈다.

<참고 5.7.2> 체사기(採砂器)

통 내경은 모래의 낙하나 여과층을 손상시키는 영향을 줄이기 위해 면적이 10cm²가 되는 크기로 하고 분할주걱을 사용하여 2cm마다 시료를 채취할 수 있다.



<참고 그림 5.7.2> 체사기 예(단위:cm)

- 3) 오사 삭취에 있어서 작업마다 잔존 모래층 두께를 측정해 두고, 보사작업 자료로 한다. 또한 보사를 필요로 하는 한계의 여과층두께는 약 40cm이다.
- 4) 오사 삭취 작업을 위해 여과지를 건조시킨 후에 여과층에 많은 비를 맞게 한다거나 동결시키거나 또는 필요 이상의 긴 시간 동안 햇빛에 건조시키는 것은 여과기능을 저해시키는 원인이 되므로 주의하도록 한다.
- 5) 오사 삭취작업 또는 보사작업에서 반출된 오탁모래, 혹은 구입시의 모래라도 세사가 불충분한 채로 보사에 사용하게 되면 여과배수 기간이 길어지므로 세사 작업은 신중해야 한다.
- 6) 세사기(洗砂機)는 크게 구분하여 수류식과 회전식의 두 종류가 있다.

전자는 여러 개로 구분된 수로 안을 인젝터에 의해 모래를 이송하면서 물과 모래의 상호마찰을 이용하는 세척방식이고 후자는 회전에 의한 마찰과 샤워를 이용하여 세척함과 동시에 입경이 큰 굵은 모래를 체로 거르는 방식이다. 또한 일본의 크립토스포리디움 잠정대책 지침에서는 “오사 삭취한 여과모래를 재이용하는 경우에는 세척수의 탁도가 1NTU 이하가 될 때까지 세척하고 세척수는 상수도 원수로서 이용하지 않을 것”이라 명시되어 있다.

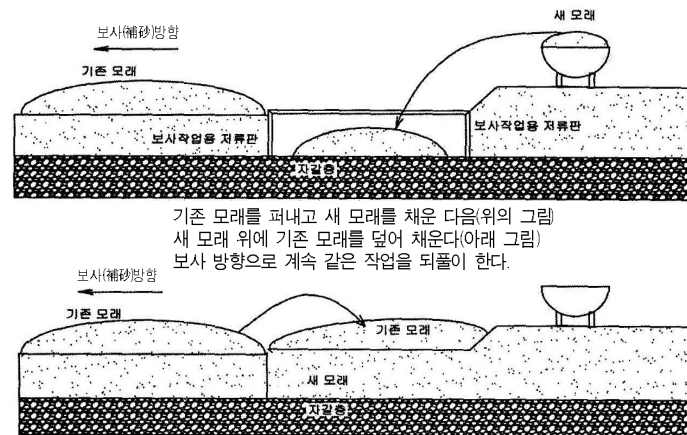
세사 작업에 있어서는 다음 사항에 유의한다.

- ① 세사기에 사용하는 수량 및 수압이 부족하면 세척능률 및 세척효과가 낮아지고 과대하면 모래 유출을 초래하게 되므로 항상 적절한 수량 및 수압을 유지하도록 조절하여야 한다. 적절한 수량 및 수압은 세사기의 종류나 용량에 따라 다르지만 보통은 수압 0.2MPa(2kgf/cm²)이고 수량은 오탁모래량의 15~20배 정도이다. 오탁모래에는 10% 정도의 슬러지를 포함하는 외에 약간의 가는 모래 유출이 있을 수 있으므로 정사(淨砂)가 들어오고 나가는 높이는 70~80% 정도이다. 또한 오탁 모래는 건조되기 전에 세척하는 것이 바람직하다.
- ② 기기류는 항상 점검과 정비에 노력하고 구동부의 윤활유와 그리스는 기기에 적합한 것을 사용하되 취급 설명서에 따라 일정한 운전 시간마다 교체하도록 한다. 장기간 방치된 후 운전을 개시할 때에는 점검·정비를 한 후에 가동하도록 한다.
- ③ 철망의 구멍이 막혔을 때는 두드리지 말고 와이어 브러시 등을 사용하여 제거하고 장기간 기계를 사용하지 않을 때는 물로 씻어 적절하게 관리하도록 한다.
- ④ 철망, 노즐, 제트 파이프 등은 마모나 손상되기 쉬우므로 항상 예비품을 준비해 둔다.
- ⑤ 세사 슬러지의 침전부 및 배수관로는 정기적으로 준설과 세척을 하여야 하고 세척배출수 조치에 대해서는 상수도시설기준 5.22 배출수 및 슬러지처리시설을 참조한다.
- ⑥ 세척된 정사는 KWWA 수도용 여재시험방법에 준한 여과모래에 적합한 것이어야 한다. 또한 정사는 오염되거나 비산되는 것을 방지하기 위해 정사틀에 넣어 둔다. 정사틀은 반출입에 편리한 곳에 설치하고 밑 바닥부의 배수는 완전하게 해두어야 한다.

(3) 오사 삭취(削取) 및 보사

- 1) 모래면의 삭취 작업의 목적은 부유물의 축적과 미생물의 번식에 의해 두터워진 여과막을 삭취하고 여과능력을 회복시키는데 있는데, 작업에 있어서는 다음의 점에 유의하도록 한다.

- ① 사면 위 배수를 실시할 때는 여과지 주변에 주의하고 슬러지나 생물이 부착되어 있는 경우는 긴 손잡이가 달린 브리시 등으로 씻어 내린다.
- ② 배수할 때에는 특히 사면하의 배수가 급격히 실시되면 여과층이 파괴될 우려가 있으므로 주의한다. 또한 배수는 물을 받는 시간과 수량의 낭비를 생략하여 작업 중 발이 모래 속으로 빠지지 않을 정도로 사면 밑 약 20cm에서 멈추게 한다.
- ③ 오사 삭취는 삭취용 삽(날이 있고 끌어당길 수 있는 ㄷ모양)으로 모래층 표면 약 1cm 정도를 균등하게 걷어내고 막대로 평평하게 한다.
- ④ 모래면을 평평하게 고르는 작업원의 보행 부분이나 일륜차 등의 통행위치에는 반드시 판자로 된 깔판을 깔아 사면을 직접 밟지 않도록 보호해야 한다.
- ⑤ 오사 삭취 후의 원수 유입에 앞서 모래층 내의 공기배제와 모래층보호를 위해 유출측으로부터 2m/d 이하의 속도로 서서히 역송시키고, 사면위 10~20cm까지 물을 받아야 한다.
- ⑥ 원수 유입은 역송이 끝난 후 모래층이 흔들리지 않도록 서서히 하고 규정의 수위로 해야 한다. 모래층 표면이 쏠려 나가거나 세굴을 방지하기 위해서 원수 유입장소에 콘크리트 평판 등을 깔아 한 줄로 세워두면 좋다.
- ⑦ 오사 삭취 후 여과기능이 회복되기까지는 느린 속도(3m/d 이하)로 여과배수(시동방수)하고 서서히 속도를 높여 간다. 여과기능 회복에는 여름철 1일~겨울철 7일 정도가 필요하다.
- ⑧ 사용 개시에 있어서는 반드시 여과수 수질검사를 실시하여 안전을 확인하여야 하고, 수질검사 항목은 적어도 탁도, 색도, 일반세균, 대장균군에 대해서는 실시하여야만 한다(<그림 5.7.1>).



<그림 5.7.1> 완속여과지 여과모래 보사작업 순서(예)

<참고 56.9> 오사 삭취 작업의 기계화

오사 삭취 작업은 많은 사람의 일손을 필요하기 때문에 기계를 이용한 사용법이 지금까지 여러 가지로 검토되어 왔다. 그 방식으로 물이 채워진 상태의 여과지 여과층 위를 자동으로 움직여 모래를 삭취하는 “오사 삭취 로

봇”과 물 빼낸 여과지의 모래면을 대들보에 단 주행레일에 매다는 형식으로 설치한 장치로 깎아내는 “샌드 스크 레이퍼방식”이 있다(상수도시설기준 5.7.14 세시설비 등을 참조).

영국의 오사 삭취 작업의 기계화 사례로써, 여과지 수면에 띄운 대선에 매단 수평 오거(auger)를 이용해 사면을 삭취하고 파이프를 통해 지(池) 밖으로 펌프 압송하는 방식(습식)과 물을 빼 여과지 내에 트럭형 차량(선단 부에 수평 오거와 벨트컨베이어를 장비한 것) 및 모래 운반차로 인한 삭취작업을 실시하는 방식(건식)이 보고된 바 있다. 이 중 습식방식은 삭취두께 설정을 위해 레이저 광선으로 여상 두께제어장치를 채택하고 있다.

오사 삭취 작업의 기계화에 있어, 사용하는 기계의 종류에 따라 각각의 특성이 다르기 때문에 특성상의 주의점 등을 숙지한 후에 작업을 하는 것이 바람직하다. 즉, 사면에서 길게 늘어뜨려진 조류나 부상하고 있는 조류 처리가 필요가 경우에도, 그 대책으로서 3회에 1회 정도 배수한 뒤 오사 삭취를 검토한다.

물빼기 작업방식 중 차량을 여과지 내로 집어넣는 방식에는 접지압이 작은 것, 사면에 요철을 만들지 않는 것을 고르는 것이 필요하다. 영국의 예로서는 집수장치, 여과층 등에 중기가 들어갈 수 있는 구조로 되어있다. 즉, 기중에 따라서는 연료, 오일 등 유지류를 사용하기 때문에 그 누설에 의한 여과모래 오염에 충분히 주의하여야 한다.

2) 보사 작업에 있어서는 다음의 사항에 유의할 필요가 있다.

- ① 배수 및 여과지 주벽의 세척은 삭취작업에 준하여 실시한다.
 - ② 배수는 집수로 바닥부까지 완전히 배수시키도록 한다.
 - ③ 보사작업에서는 새로운 모래와 기존 모래와의 상하 교체조작(전환)을 하게 되는데, 교체가 충분하지 않으면 모래층 상층부에서 오염이 진행되어 수질악화를 초래하게 되는 경우가 있어 오래된 모래의 밑으로 새로운 모래를 넣는 것이 중요하다. 새로운 모래에는 질산화세균(硝化)이 존재하지 않으므로 제거기능의 회복을 빠르게 하는 방법으로서 기존의 모래를 상층에 두는 것이 바람직하다 할 수 있다.
 - ④ 보사가 끝난 부분은 모래층 밀도를 균일하게 하기 위해서 사면다짐을 하여 평탄하게 고른다. 또한 보사는 물받기에 의한 침하를 생각하여 5~10cm 여유를 두면 좋다.
 - ⑤ 여과지의 물받기, 원수의 유입, 여과배수 및 사용 개시는 오사 삭취 작업에 준하여 실시한다. 초기 여과수 중에는 탁질분이나 세균류가 포함되어 있는 경우가 많고 모래층 내부에 침투되지 않도록 처음에는 1m/d 정도로 여과를 개시하고 서서히 속도를 높여 1개월 후를 목표로 규정 속도를 맞추어 나간다. 그 사이 생물막에 의한 여과기능 확인을 위해 수질시험을 매일 계속해서 실시하여 탁도, 색도, 과망간산칼륨소비량 등을 측정한다. 가능하면 1주일에 1회는 세균시험을 실시하여 제거율을 확인하면 좋다. 사용개시에 있어서는 수질검사는 오사 삭취 작업의 경우에 준하여 실시하도록 한다.
 - ⑥ 보사는 각 여과지의 잔존 모래층 두께에 의해 연간 보사 예정지수를 정하고 가능한 급수량이 적은 시기에 순차적으로 실시하는 것이 좋다
- 3) 한랭지에서는 사면의 오사 삭취 및 보사작업은 가능한 한 한랭기에 들어가기 전에 실시한다. 어쩔 수 없이 한랭기에 실시할 때는 모래층이 얼지 않도록 하기 위해서 맑은 날을 골라 이른 아침 얼음을 제거하면서 물을 말려 오사 삭취가 일찍 끝나도록 해야 한다.

(4) 일상점검

여과 조절장치 및 손실수두계가 정상적인 기능을 발휘하기 위해서는 오사 삭취 및 보사작업의 기간을 이용하여 점검, 수리, 조정을 반드시 해둘 필요가 있다. 그때에 밸브류, 기타 설비의 점검, 수리, 도장 등도 겸하는 것이 바람직하다. 계기류의 점검·정비에 관해서는 상수도시설기준 8.12 계측 제어용 기기, 8.14 각종 시설의 계측제어를 참조한다. 여과지의 누수조사나 여과수로 등의 누수에도 특히 주의해야 한다.

5.8 정수지

5.8.1 총칙

정수지는 정수처리로 인해 발생하는 여과수량과 송수량과의 사이에 불균형을 조정함과 동시에 사고시의 대응 등에 대비해 정수를 저류하는 시설이다. 때문에 콘크리트 균열과 기타 사항에 의해 정수가 외부로부터의 오염이 발생하지 않도록 정기적으로 내부 점검을 실시하는 등, 위생면에서 관리를 특히 엄중히 하여야 하고 침투시간대 수요공급량의 대처와 적절한 소독능($C \cdot T$) 등을 확보해야 한다.

5.8.2 정수지

(1) 운전

- 1) 정수량과 송수량은 항상 거의 동일하고 일정하며 수요량의 시간적 변동에 대해서는 배수지에서 대처하는 것이 원칙으로 물의 공급을 원활하게 하고 정수장의 운전을 안정되게 하는 역할을 한다.
- 2) 정수지에서는 정수가 수질기준에 적합한지를 확인하여야 하고, 특히 잔류염소 농도가 목표값에 적합한지 어떤지를 정수지 출구에서 항상 감시하여야 한다.
- 3) 정수지는 긴급시에 대비해 정수를 저류하고 있기 때문에 정수지 수위는 항상 측정하여 파악해 두어야 한다.

(2) 일상점검 등

- 1) 정수지의 맨홀, 감시통로 출입구, 점검실, 시료검수구 등에는 반드시 자물쇠를 설치하여야 한다. 이외에도 외부로부터의 빗물, 쓰레기, 곤충 및 소동물 등이 들어가지 않도록 환기설비, 깔러리 및 방충망을 항상 점검·정비하여 오염 방지에 세심한 노력을 기울여야 한다.
- 2) 정수지 내부에는 물때가 부착되거나 침전물이 퇴적되는 경우가 있으므로 내부 점검을 겸해 1년에 1회 정도 정수지를 비우고 청소하는 것이 바람직하다. 청소 후에는 사용 재개시까지 인수배수(引水排水: 정수지내에 통상의 정수를 수심 1m 이상까지 채운다. 다음에 유입유량 및 유출유량을 같

이하에 수위를 일정하게 유지하면서 정수 체류시간이 정수지 설계 체류시간(통상 2시간 정도) 이상이 되도록 통상의 정수를 유입시키면서 배수(排水)한다. 이러한 배수작업을 정수지 내의 물이 계산상 2회 이상 교체될 때까지 계속되는 조작을 말함)를 한다. 인수배수 종료시점에서 유출수의 수질검사를 실시하여 수질기준에 적합하다고 확인한 후 정수지 사용을 개시하며 배수가 공공용수 역으로 배출되는 경우는 필요에 따라 탈염소처리를 한다.

- 3) 정수지 청소시와 같이 대부분 밀폐된 공간 내에서 염소를 포함하는 물을 사용하여 세척하면 발생되는 염소가스가 코와 눈을 자극하여 가벼운 중독증상을 유발시킬 가능성이 있다. 그러므로 상황에 따라 환기나 보호구의 착용 등 방호조치를 취해야 한다. 또한 일상점검을 위해 정수지 내부에 들어가는 경우에도 마찬가지로 주의한다.
- 4) 누수는 외부로부터의 오염의 원인도 되므로 지 청소시에 내부에서 콘크리트 균열의 유무, 신축이음이나 내부 방수층의 열화 상태를 점검하여야 하고, 천정부에서의 누수의 유무를 조사하기 위해서는 정수지 상부에 장시간 물을 뿌린 후에 내부에서 관찰하는 방법을 택한다. 또한 정수지 측벽에서의 누수는 지하수 이외의 인접하는 지로부터의 정수일 가능성도 있다.
- 5) 정수지에서는 염소에 의한 부식이 심하므로 부속설비의 정기적인 점검을 충분히 실시하고 특히, 출입구의 자물쇠가 부식으로 인해 고장이 나는 경우가 있으므로 주의한다.
- 6) 수위계, 유량계, 경보장치 등은 정기적으로 조사하고, 정밀도를 점검하여 항상 정확히 작동될 수 있도록 조정하여야 한다.
- 7) 한랭지의 적설량이 많은 곳에서는 정수지 환기통이 적설시에도 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 제설작업을 하여야 하며 특히, 수위계는 결빙 등으로 그 작동에 방해되지 않도록 주의해야 한다.
- 8) 일반적으로 정수량과 송수량은 항상 거의 동일하고 일정하며 수요량의 시간적 변동에 대해서는 배수지에서 대처하는 것이 원칙이지만 정전 등으로 요구량이 급변하였을 때에는 정수량을 증감시키기 위하여 수량을 조절하는데 상당한 시간이 필요하므로 정수지와 배수지가 필요하다. 또한 정수지에 알맞은 양의 물을 저장해 두면 첨두수요에 맞추기 위하여 여과지의 여과속도를 자주 변경시키지 않아도 되므로 여과수질과 여과운전 조건을 개선할 수 있다.
- 9) 정수지의 유효용량은 최소한 첨두수요 대처용량과 소독접촉시간($C \cdot T$)용량을 감안하여야 하는데

<표 5.8.1> 정수지 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
상시	정수지 수위확인	상시	수위계, 유량계, 경보장치 확인	6개월	부속시설 및 설비의 청소, 윤활
1회/일	수질확인(탁도, pH, 알칼리도, 잔류염소)	1개월	염소주입 부속설비의 부식상태	3~5년	철재부의 도장
1회/일	외부오염 방지(환기장치 출입구 점검회랑, 시료검수구)	1년	콘크리트의 노화, 균열, 누수 유무	1년	정수지 내부청소
상시	송수량 확인	1년	각종 밸브의 작동상태		
		1년	철재부의 도장상태		

과거 정수지를 설계할 때에는 정수지 내에서의 흐름특성을 무시하였기 때문에 단락류 뿐만 아니라 정체부를 가지고 있는 경우가 많았다. 따라서 이런 정체부(사수구간)를 최소화하기 위하여 정수지 내에 도류벽(baffle)을 설치하고 소독능에 따른 접촉시간의 확보와 미생물에 대한 충분한 불활성화를 달성시키도록 운전하여야 한다.

10) 정수지관리는 다음의 <표 5.8.1>을 참고할 수 있다.

5.8.3 정수지의 청소 및 소독

(1) 청소

- 1) 정수지 내부에는 수중에 포함되어 유입된 침전물이 퇴적될 수 있으므로 최소한 연 1회 이상은 정수지를 비우고 청소 및 소독을 실시하여야 한다.
- 2) 일반수도사업자는 앞 항에 규정한 청소를 효율적으로 시행하기 위하여 청소장비(진공청소기, 고압세척기, 배수펌프 등)를 갖추어 직접 시행하거나 청소업자에게 대행시킬 수 있다.
- 3) 정수지 청소 작업시의 배수는 고농도의 잔류염소를 포함하고 알칼리분의 용출로 pH값이 높아질 우려가 있으므로 그대로 공공용수역으로 배출시키면 배수기준위반이 되거나 하천 등에서 물고기에 영향을 주게 되는 경우가 있다. 이러한 경우 배수의 탈염소처리나 알칼리분을 중화 후 방류시키는 등 충분히 주의하여야 한다. 이 외에도 배수량이 대량이기 때문에 배수작업이 계획된 시점에서 방류할 곳의 하천관리자나 환경보전 담당부와 충분히 협의하여 처리하여야 한다.

(2) 소독

- 1) 정수지의 신설 또는 전면 보수할 경우에는 우선 내면을 고압 제트수 등으로 청소하고 다음에 정수로 잘 세척한 다음 유리잔류염소 약 10mg/L 함유의 정수를 계획 고수위까지 채운다. 24시간 정치 후의 유리잔류염소가 5mg/L 이상이면 그대로 수일간 정치하여 알칼리분을 용출시킨다. 그간에 냄새의 유무도 검사한다. 다만, 잔류염소가 5mg/L 이하인 경우에는 세척과 소독을 반복한다. 이와 같이 하여 이것을 배수하고 정수를 만수시킨다. 24시간 정치 후 잔류염소의 감소가 적고 이상한 냄새가 없으면 이때부터 배수하여도 된다. 잔류염소가 현저하게 감소하거나 pH값의 변화 및 냄새가 인정될 때는 이를 반복한다. 정수지의 사용을 재개하는 경우에는 정수지를 경유한 급수전의 물을 취수하여 전항목에 대한 수질검사를 실시하여야 한다.

<참고 5.8.1> 유리잔류염소 10mg/L인 물의 조제에 필요한약품량

10,000m³의 물을 잔류염소 10mg/L로 조정하기 위해서는 유효염소 12%의 차아염소산나트륨 0.83t이 필요하다. 실제로는 저장 중인 유효염소의 저하를 위해 약간의 여유를 갖는 것이 필요하다.

2) 염소가스의 공기 중 허용농도는 1mg/L 이하인데 공기 중의 염소가스의 농도와 중독현상은 <표

5.8.2>에 정리되어 있다. 또한 염소를 함유한 세척수를 별다른 조치없이 하천으로 방류할 경우 어류나 수생생물에 피해를 끼치는 수가 있으므로 염소수를 방류할 경우에는 필요에 따라 탈염소처리를 하여야 한다.

- 3) 시설, 증설 및 개량공사 실시 후의 정수지를 사용 개시함에 있어서 정수지를 경유해 온 물에 대해서 수질기준의 전항목을 검사하고 수질기준에 적합한지를 확인할 필요가 있다.

<표 5.8.2> 공기 중의 염소가스 농도와 중독증상

중독 정도	증 상	공기 중의 농도 ppm(mL/nm ³)	작업가능시간
경할 때	눈물이 흐르고 기침이 나며 재채기와 콧물이 나온다.	2~5	15분 작업, 15분 휴식으로 실가동 2~3시간
중 간	호흡이 어렵고 눈을 뜰 수 없으며 가슴이 아프다.	5~30	작업이 거의 불가능
중할 때	호흡할 수 없고 의식을 상실하며 30분 ~1시간으로 생명이 위험	30~60	작업불능
	치사량	1,000	

5.9 소독설비

5.9.1 총칙

수돗물의 소독은 수중의 병원미생물에 의한 감염을 방지하고 배·급수계통의 예상 못한 오염으로부터 예방하는 것을 목적으로 하는 것으로서 상시 확실하게 소독되어져야 한다. 지진 등에 의해 소독설비가 손상되어 소독이 이루어지지 않을 경우는 바로 정수조작을 정지시키고 소독설비 기능을 회복시켜 정수조작을 재개해야 한다.

염소소독방법으로서는 액화염소, 차아염소산나트륨, 차아염소산칼슘(고도표백분을 포함한다) 등이 일반적으로 많이 사용되는데 「수도법 제21조(위생상의 조치) 및 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 제2조(위생상의 조치)」에 수돗물이 유지해야할 잔류염소 농도를 규정하고 있다.

염소제에 의한 소독은 효과가 확실하고 대량의 물을 용이하게 소독할 수 있으며 그 효과가 확실하다는 이점이 있다. 그러나 트리할로메탄 등의 유기염소화합물이 생겨 특정한 물질과 반응하여 취기를 강화하거나, 암모니아성 질소와 반응하여 소독효과를 저해하는 등의 문제가 나타나고 있다.

특히 탁질이 있으면 탁질이 병원생물 보호체가 되어 소독효과를 저감시키게 되므로 정수처리의 침전, 여과 단계에서 탁질을 적정히 제거해 두지 않으면 안 된다.

염소설비는 대별하여 저장설비와 주입설비 외에 액화염소를 사용하는 경우는 염소가스 누설에 대비해 설비규모에 따른 누설감지설비나 제해설비 등의 부대설비가 설치되게 된다.

저장설비는 염소제를 필요한 양을 저장해 두는 설비로서 액화염소 또는 차아염소산나트륨인 경우 용기에 충전(充眞)한 것을 그대로 저장한 것과 탱크로리로 운반하여 저장조로 이송하여 저장하는 것이 있다. 차아염소산칼슘에는 분말, 과립 및 정제가 있는데 이 모두 통상 자루에 밀폐하여 저장한다.

염소제 주입설비는 염소제를 수중에 주입시키기 위한 설비로서 액화염소인 경우에는 건식과 습식이 있고 습식에는 압력식과 진공식이 있다.

차아염소산나트륨의 주입설비는 인젝터식, 펌프가압식 및 자연 유하식이 있는데, 정수장 등에서 염수를 전기 분해하여 차아염소산나트륨을 생성시켜 펌프로 주입하는 방식도 있다. 차아염소산칼슘은 미리 용해시켜 차아염소산 나트륨과 같은 설비로 주입시킨다.

액화염소는 염소가스를 압축 냉각시켜 액화시킨 것으로 기화된 가스는 공기보다 무겁고 독성이 매우 강하다. 그 때문에 고압가스안전관리법, 노동안전위생법 등의 법령이나 기준의 적용을 받기 때문에 항상 그것들에 적합하도록 설비관리에 힘써야 할 것이다.

소독은 음용수의 안전 확보상 빠져서는 안 되는 존재이므로 설비점검, 조정은 신중히 실시하고, 항상 주입량의 최대로부터 최소에 이르기까지 정확히 주입할 수 있도록 정비해 두어야 함은 물론 내진, 내화 등의 대책에도 충분한 배려가 필요하다.

<표 5.9.1> 차아염소산나트륨 소독설비의 점검항목 및 내용

점검 항목		일 상 점 검	
		점검주기	점 검 내 용
저장조		1일	외부손상, 변형, 균열, 누설의 유무
		공업용 계기는 8.5 계측제어설비의 보수 참조	
반출조(조금씩)		저장조와 같음	
구조물		1일	방액제의 균열, 박리유무
밸브 및 배관류		1일	1. 관로변형의 유무
		1일	2. 누설유무
		1일	3. 탈포(脫泡)장치의 작동상태
주입설비	정량펌프	1일	1. 누설, 이상음, 진동, 발열의 유무
		1일	2. 기포의 정체상태와 가스제거
	인젝터	1일	1. 희석수량 상태
		1일	2. 흡입압력이상의 유무
		1일	3. 배관 접속부의 누설유무
	기타	1일	액량계의 이물, 기포혼입 유무 및 가스제거
공업용 계기는 8.5 계측제어설비의 보수 참조			

주) ① 정기점검, 정밀점검에 대해서는 7. 기계·전기시설의 관리를 참조

② 구조물의 정기점검에 대해서는 3개월마다 다음의 항목을 실시할 것.

- 방액제의 드레인밸브 작동여부

염소제는 항상 적절한 양을 확보해 두어야 하는데 그 저장에 있어서는 염소제의 종류에 따른 환경에 맞게 저장하여 변질이나 사고가 없도록 주의하여야 하며, 염소제 주입률은 급수전수의 잔류염소 농도가 항상 규정량을 유지할 수 있도록 수질, 시설의 재질, 체류시간 등을 고려하여 설정하지 않으면 안 되지만, 환경부의 “맛있는 물” 항목(유리 잔류염소 0.2~0.4mg/L 정도)에 정해져 있듯이 과대하게 되지 않도록 충분히 배려할 필요가 있다. 차아염소산 나트륨은 유효염소 농도가 높아질수록 불안정하여질 뿐만 아니라 저장 중에 유효염소량이 감소하므로 주의가 필요하다. 또한 주입시에는 기포발생 및 스케일 부착에 의한 주입불량사고를 방지하도록 유의하여야 한다.

액화염소를 사용하는 사업자는 직원의 보안교육 및 훈련을 실시하여야 하고, 보안교육은 연간 실시계획을 세워 보안의식 고양, 염소의 기초적 성질, 설비의 보안기술 및 유지관리, 고압가스 용기의 취급, 사고시의 응급조치, 관련법규 등에 대해서 다루어져야 한다. 다만, 신규 직원 채용, 직원의 이동, 설비 또는 운전방법 변경, 재해·사고 등이 있었을 때는 수시로 실시하도록 한다. 사고를 예상한 훈련은 사고발견 및 통보, 직원의 소집, 피난, 응급조치 등을 연 1회 이상 실시하여야 한다. 소독설비의 점검 요령 예를 <표 5.9.2>에 나타냈다.

수돗물의 소독은 수중 병원균 및 병원생물을 완전히 제거하여 음용수의 안전을 확보하고 또한 예측하지 못하였던 배수계통에서의 오염으로부터 음용수를 보호하기 위하여 시행하며, 소독효율은 소독제의 화학적 성질, 미생물의 특성 및 소독제가 작용하는 환경에 따라 결정되어 진다. 소독에 영향을 미치는 중요한 인자는 ① 소독제의 종류와 농도, ② 미생물의 종류, ③ 소독제와 미생물의 접촉시간, ④ 물의 pH, ⑤ 수온 등으로 이들 인자 중에서 물의 pH는 pH 6.3인 경우가 pH 8.3보다 소독력이 강하며 수온은 높을수록 소독효율이 향상된다.

염소제는 영국을 비롯하여 미국 전역에서 보편적인 소독제로 활용되어 왔으나 염소에 의한 트리할로메탄(THMs) 및 HAAs(haloacetic acids) 등의 염화 화합물의 발생은 염소의 사용을 신중히 하도록 하고 있다. 그러나 현재도 염소가 음용수의 소독에 가장 널리 쓰이고 있다. 염소의 장점은 저렴하고 대규모의 정수에서 소독효과가 강력하며 배수계통에서의 오염으로부터 음용수를 보호하는 잔류효과가 있다는 것이다. 이러한 장점 때문에 염소소독을 포기하기보다는 공정변경을 통하여 문제를 해결하고자 노력하고 있다. 한 방법으로 미국에서는 염소투입으로 인한 트리할로메탄의 발생위험이 높은 정수장에서 염소투입 30~60분 후에 암모니아를 투입하여 염소와 암모니아가 반응하여 클로라민을 형성하도록 하고 있다. 이와 같은 공정변경은 트리할로메탄의 생성에는 훨씬 많은 시간이 필요한 것을 이용하여 관망 내에서 지속적인 살균효과는 유지하면서도 트리할로메탄의 발생을 최소한으로 줄이기 위한 것이다.

그러나 최근에는 *cryptosporidium*이나 *giardia*와 같이 염소에 저항력이 강한 원생동물에 의한 감염사고가 발생함에 따라 병원성 미생물에 의한 위험과 소독부산물에 의한 위험을 합한 것이 최소가 되도록 소독공정을 운영해야 한다는 것으로 의견수렴이 이루어지고 있다.

프랑스에서는 1900년대 초에 오존에 의한 살균을 시행하여 왔다. 잔류효과를 위하여 오존에 의한 살균 후에 염소를 투입하나 매우 적은 양을 사용한다. 오존에 의한 살균의 장점은 트리할로메탄을 발생시키지 않으며 소독효과가 확실한 것으로 염소소독으로는 제거하기 곤란한 바이러스나 포낭을

<표 5.9.2> 소독설비의 점검요령 예(액화염소에 의한 소독설비)

항목	일 상 점 검	
	주기	내 용
저장조	3회/일 3회/일 3회/일	1. 기기주변부에서의 누설 유무 2. 압력 및 액위의 변동(재고량 확인) 3. 실내온도, 습도 상태
	공업용 계기는 8.5 계측제어설비의 보수 참조	
용 기	3회/일 3회/일 3회/일 3회/일 1일 3회/일	1. 용기 두는 곳의 누설 유무 2. 사용 중 용기의 외관 3. 압력이상 유무 4. 실내온도, 습도상태 5. 용기이동방지구의 세트 상태 6. 충전용기와 사용이 끝난 용기의 구분상태(재고량 확인)
	공업용 계기는 8.5 계측제어설비의 보수 참조	
가스정체	3회/일 3회/일 3회/일	1. 재액화 유무 2. 기기주변부의 누설 유무 3. 압력이상 유무
기화기	3회/일 3회/일 3회/일 3회/일 3회/일	1. 압력이상 유무 2. 온수온도 이상 유무 3. 온수조 수위이상 유무 4. 히터단선의 유무 5. 순환펌프 토출압, 축수온도, 유회유량, 이상음, 그랜드부의 누설 유무
주입기	3회/일 3회/일 3회/일 3회/일 3회/일 3회/일	1. 정압 각부의 누설 유무 2. 직독식 유량계와 공업용계기와의 편차 3. 주입기의 정압, 부압이상 유무 4. 감압밸브 히터온도 이상 유무 5. 급수압력 이상 유무 6. 주입량 확인
밸브관류	2~6시간 3회/일 3회/일 1일	1. 기화기 입구 자동밸브의 작동상태 및 외관상태 2. 밸브그랜드패킹부 및 입구의 누설유무 3. 관접속부의 누설 유무 4. 각종 안전밸브 작동표시 및 안전밸브 개도 상태
제해설비	운전시 운전시 운전시 3회/일	1. 중화탑 창, 플랜지부의 누설 유무 2. 가성소다 유해상황 3. 제해 덕트 및 가성소다의 배관 파손, 진동에 의한 누설 유무 4. 배풍기 및 가성소다 펌프의 소리, 진동, 전류값, 축수온도, 유회유량, 토출압의 이상 및 그랜드부의 누설 유무 5. 가성소다조의 액위

항목	일 상 점 검	
	주기	내 용
보안장치	3회/일	누설검지기의 시약 유무 및 적하상태, 체크버튼 작동상태
공기원 설비	운전시 운전시 운전시 운전시 운전시 운전시 3개월	1. 공기압축기의 이상음, 맛과 냄새, 진동, 벨트의 늘어남 유무 2. 윤활유량, 냉각수량, 토출압력, 전류값 이상 유무 3. 제습기의 재생온도, 히터의 단선, 블로어의 이상음, 밸브의 누설 유무 4. 공기조의 압력이상 유무 5. 애프터 쿨러(after-cooler) 냉각수량 상태 6. 기름분리기의 퇴수상태 7. 제습기 노점 측정
전기기계	7. 기계·전기시설의 관리 참조	

주) ① 정기점검, 정밀점검에 대해서는 7. 기계·전기시설의 관리 참조

② 구조물의 정기점검에 대해서는 6개월마다 다음 항목을 실시할 것

- 표식, 표시의 위치, 내용, 수량의 확인
- 방액제, 문 등의 파손 유무

이루는 기생충도 쉽사리 무력화시킬 수 있다는 장점이 있다.

프랑스의 경험으로는 잔류오존 0.4mg/L의 농도에서 4분간의 접촉으로 완벽한 살균이 가능하다고 하고 있다. 다만 단점으로는 고가이고 잔류효과가 없으며, 잔류효과를 얻기 위하여 염소를 투입함에 따라 적은 양이나마 트리할로메탄이나 HAAs(Haloacetic Acids)와 같은 소독부산물을 생성할 가능성이 여전히 남아 있다는 점이다. 또한 원수 중에 브롬이 존재할 경우에 트리할로메탄의 발생량이 증가하거나 브로메이트(BrO_3^- , 기준 10 $\mu\text{g/L}$ 이하)와 같은 소독부산물을 발생시킬 가능성이 있어 주의하여야 한다.

최근 미국의 강화지표수처리법(LT2ESWTR)에 의하면 UV광이 *Cryptosporidium*을 높은 레벨로 불활성화시키는데 효과적임을 제시하고 있다(예로서 *Cryptosporidium* 2 log제거를 위해 UV조사량이 5.8mJ/cm²이 필요하고 *Cryptosporidium* 4 log제거를 위해 UV조사량이 22mJ/cm²이 필요하다).

이산화염소는 독일 등지에서 소독제로 최근까지 사용되어 왔으나 점점 사용이 줄어들고 있는 추세이다. 소독력은 염소와 유사하나 페놀과 같은 방향족 유기물의 분해에 탁월한 효과가 있다. 이산화염소를 주소독제로 활용하고자 하는 경우에는 발생기를 설치하여 현장발생 후 투입하는 것이 경제적인 것 뿐 아니라 효과적이다. 액화 이산화염소는 보관기간이 길어짐에 따라 유효성분인 ClO_2 가 ClO_2^- 와 ClO_3^- 이온으로 변하다. 이들 ClO_2^- 와 ClO_3^- 이온들은 소독력이 거의 없을 뿐 아니라 헤모글로빈의 활동에 악영향을 미치는 물질로 보고되고 있다.

이산화염소의 장점은 오존보다 저렴하며 염소와 유사한 소독력을 가지면서도 THMs이나 클로로페놀과 같은 부산물을 만들지 아니한다는 것이다. 단점으로는 현장에서 발생시켜 사용하여야 하며 액

화이산화염소는 저장기간이 오래될수록 효력이 없어지고 ClO_2^- 와 ClO_3^- 이온들과 같은 건강위해성 부산물이 생성된다는 것이다. ClO_2^- 와 ClO_3^- 이온에 대한 규제는 유럽을 비롯하여 선진국에서 계속 강화되고 있으며 USEPA는 ClO_2 의 경우 0.8mg/L, ClO_2^- 는 1mg/L를 초과하지 못하도록 규정하고 있고, ClO_3^- 에 대한 기준은 곧 공포할 예정이다. 이산화염소는 암모니아와 반응하지 아니하므로 수중에 대량투입의 필요가 없다. 따라서 살균목적을 위하여서는 가능한 한 적은 양을 투입하여야 한다. 또한 염소용기를 저울위에 올려놓고 사용하면 저울에 나타난 중량으로부터 빈 염소용기의 중량을 감하면 염소용기 내의 염소 잔류량을 확인할 수 있다. 또한 저울의 눈금 변화로부터 염소소모율을 확인하여 정수유량으로 나누면 주입농도가 계산되므로 적절한 농도의 주입이 이루어지고 있는지를 확인할 수 있다. 액화염소를 저장 또는 소비할 때에는 고압가스안전관리법과 소방법의 규제를 받으며 저장량과 소비량의 다소를 불문하고 이들 법규를 준수하여야 한다.

5.9.2 관련법규

(1) 고압가스안전관리법(시행령, 시행규칙)

액화염소를 저장 또는 소비하는 경우는 “고압가스안전관리법”, “소방법”, “산업안전보건법”, “유해화학물질관리법” 및 각 지역에서 정하는 기준 등에 의한 규제나 의무가 있으므로 염소 취급에 있어서는 이들 법규는 물론 관련규칙과 기준을 충분히 이해하고 준수하여야 한다.

염소에 관련된 주요한 법규 개요를 <표 5.9.3>~<표 5.9.6>에 나타냈다. 또한 관련법규명은 다음과 같이 생략하여 기술하였다.

법규명	생략 명칭
고압가스안전관리법	고법
고압가스안전관리법 시행령	고법령
고압가스안전관리법 시행규칙	고법규칙

<표 5.9.3> 고압가스 저장소 관련법규

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
저장 허가 시설 변경	액화염소 1,000kg 이상을 저장하는 저장소를 설치하고자 하는 자는 관할 관청의 허가(변경)를 받음	고법 제4조 고법규칙 제2조 2항, 규칙 4조
중간 검사	저장소를 저장탱크 지하에 매설하기 직전에 중간검사를 받아야 함	고법 제16조 1항 고법규칙 제28조 제2항 2목
완성검사	저장소 저장탱크를 완료할 때(시설공사는 한국가스안전공사 기술검토 후 완성검사를 받아야 함)	고법 제16조 3항 고법규칙 제28조 3항 4항, 규칙 별표 8
저장소에 대한 기술기준	진동 최소화, 기밀시험 실시, 인화성, 스톱밸브관리 기준	법 제4조 4항 고법규칙 제8조 제1항 제5호 별표 8 및 별표 5 제2호

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
용기에 의한 저장기준	인화성 물질, 발화성 물질을 두지 않고 40℃ 이하 유지, 직사광선 차폐, 충격방지	법 제4조 4항 고법규칙 제8조 1항 제5호 별표 8 및 별표 5 제2호 저목
저장조 시설기준	안전거리, 방호벽 화기와의 거리는 2m 이상 우회거리 경계표지 및 위험표지 5톤 이상 액화독성가스는 방류독 설치 방폭구조, 불연재 사용, 압력계 설치방법 액면계 파괴방지조치, 온도상승방지조치, 저장능력, 과충진 방지장치, 부식방지도장, 저장탱크 표시 중화설비 이송설비, 경계표지, 가스누출감지경보기, 보호구비 치 및 통신시설설치, 충전용기 보관(40℃ 이하 유지) 가스설비 재료 및 구조	고법, 규칙 제8조 제1항 제5호 별표 8 제1항 가, 나목 고법, 규칙 제8조 제2항 제5호 별표 5 제1항 가목3호 고법, 규칙 제8조 제2항 제5호 별표 5 제1항 나목 고법, 규칙 제8조 제2항, 별표 5 고법, 규칙 제8조 제2항 제5호 별표 5 제1항 다목 노동부 고시 제93-18호 고법규칙 제8조 제1항 제5호 별표 5 제1항 다목 고법규칙 제8조 제1항 제5호 별표 5 제1항 마목
용기에 의한 저장소 설치기준	경계표지, 불연재 사용, 통풍구, 확산방지구조, 가스 누출감지경보장치설치, 흡입장치 및 중화장치	고법규칙 제8조 제1항 제5호 별표 5 제1항 카목
안전관리 규정	안전관리계획을 수립하여 허가관청에 제출 - 안전관리자 선임, 직무, 조직 및 책임에 관한 사항 - 종업원 훈련에 관한 사항 - 위해발생시 소집방법 조치 훈련에 관한 사항 - 안전조치에 관한 사항 - 비상연락에 관한 사항	고법 제11조 1항 고법규칙 제17조 별표 15 고법 제15조 규칙 별표 3
정기검사 (자율검사)	독성가스 저장소는 1년에 1회 정기검사 및 자율검사 실시	고법 16조 제2호 고법규칙 30조 안전관리규정
염소용기 및 특정설비재검사	염소용기 및 기화기, 압력용기 등 재검사	고법 제39조, 고법규칙 별표 22
안전교육	자체안전교육 월 1회	고법 23조 2호, 안전관리규정
보험가입	인적 물적 피해보상을 위한 보험가입	고법 25조, 고법규칙 53조

(2) 특정고압가스 제조(사용)시설 관련법규

<표 5.9.4> 특정고압가스 제조시설 관련법규

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
허가, 시설 변경	고압가스를 제조하고자 하는 자(시설변경)는 시장 구청장에게 허가를 받아야 함.	고법 제4조 제1항 고법령 제4조 1항
중간 및 완성	공정별로 허가관청의 중간검사를 받아야 하며, 완공 시 허가관청의 완성검사를 받고 사용해야 한다.	고법 제16조 1항, 3항 고법규칙 제28조 1항, 2항, 3항
사용개시	허가 또는 신고관청의 완성검사시 합격한 후 사용해야 한다.	고법 제16조 1항 및 3항
저장조 시설기준	안전거리, 설비상의 거리 제조시설의 구조 및 설비 (내부반응 감시장치, 위험상태 발생방지장치, 인터록 기구, 가스누출 감지경보장치, 긴급차단장치, 긴급이송설비, 벤트스택, 플레어스택, 저장탱크, 계기실 안전용 불활성가스, 가스설비의 내진구조 등) 배관 (재료, 구조 및 배관의 표시, 신축흡수조치와 용접 배관의 설치, 철도부지 밑 매설, 연약구역안의 매설, 지상설치, 도로횡단설치, 철도부지 횡단매설, 하천 등 횡단매설, 하천 등 병행매설, 해저설치, 해상설치, 누출확산방지조치, 운영상태의 감시장치, 안전제어장치, 가스누출감지경보장치, 긴급차단장치, 내용물제거장치, 안전용 접지, 피뢰설비, 비상전력, 순회 감시차, 기말시험 및 내압시험)	고법규칙 제8조 제1항 제1호 별표 4 제1항 가, 나목 고법규칙 제8조 제1항 제1호 별표 4 제2항 고법규칙 제8조 제1항 제1호 별표 4 제3항
정기검사	연1회 정기적으로 검사 실시	고법 제16조의2 1항 고법규칙 제30조 제2항 별표 19
안전관리 규정	안전관리계획을 수립하여 허가관청에 제출 - 안전관리자의 직무, 조직 및 책임에 관한 사항 - 종업원 훈련에 관한 사항 - 위해발생시 소집방법 조치훈련에 관한 사항 - 자율검사에 관한 사항 - 안전조치에 관한 사항 - 비상연락에 관한 사항	고법 제11조 1항 고법규칙 제17조 별표 15

<표 5.95> 특정 고압가스사용설비 관련법규

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
사용신고	250kg 이상의 저장시설을 갖추고 특정고압가스를 사용하는 자는 시장, 구청장에게 신고하여야 함.	고법 제20조 고법령 제46조
사용시설 시설기준	안전거리, 경계표시, 방호벽, 용기보관장소, 안전밸브, 화기와의 거리, 통풍구조, 고압가스설비의 성능 및 구조, 부식방지, 경보설비등, 조정기, 역류방지장치 배관, 역화방지장치, 정전기제거, 이물질제거, 시설점검, 수리청소, 이동용기의 취급, 용기관리 등	고법 제20조 3항 고법규칙 제47조 별표 29 제 1항 제 22항
안전관리 규정	안전관리계획을 수립하여 허가관청에 제출 - 안전관리자의 직무, 조직 및 책임에 관한 사항 - 종업원 훈련에 관한 사항 - 위해발생시 소집방법 조치훈련에 관한 사항 - 자율검사에 관한 사항 - 안전조치에 관한 사항 - 비상연락에 관한 사항	고법 제11조 1항 고법규칙 제17조 별표 15

(3) 산업안전 관련 법규

법규명	생략 명칭
산업안전보건법	산안법
산업안전보건법시행령	산안령
산업안전보건법규칙	산안규칙
산업보건기준에 관한 규칙	산보규칙
유해화학물질관리법	유해법
유해화학물질관리법 시행령	유해령
유해화학물질 관리법 시행규칙	유해규칙

<표 5.96> 산업안전 관련법규

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
공정안전 보고서 제출	20톤(저장량 포함) 이상의 염소가스를 취급하는 자는 공정 안전자료, 공정위험성평가서, 안전운전계획, 비상조치계획 등이 포함된 공정안전보고서를 노동부장관에게 제출	산안법 제49조2 산안령 제33조5 및 별표 10 산안령 제33조의6
자체방재계획 수립	10톤 이상(최대)을 저장하거나 연간 450톤 이상의 염소가스를 취급하는 자는 유해성에 관한 자료, 방제시설 및 보유 현황, 화학물질안전관리, 조직인력구성도, 응급조치계획이 포함된 사항을 수립하여 시도지사에게 보고 (고법에 의해 안전 관리규정을 제출한자 제외)	유해법 제39조 유해령 제33조5 및 별표 10 유해규칙 제33조의6

적용 사항	기 준 개 요	관 련 법 규
국소배기장치 설치 및 성능	배기장치성능, 작업상 바닥, 설비의 방지조치 누출방지조치 경보설비, 긴급차단장치	산보규칙 제175조~181조
작업방법	작업수칙, 탱크 내 작업, 사고시 대피 등	산보규칙 182조~184조
작업환경측정	20톤(저장량 포함) 이상의 염소가스를 취급하는 자는 6개월 에 1회 이상 작업환경을 측정기록 보존하고, 노동관서에 보 고, 노동부장관에게 공정안전보고서 제출	산안법 제42조 산안규칙 93조
건강진단	건강진단실시, 결과기록보고 특수건강진단실시	산안법 제43조 산안규칙 100조

(4) 정수처리기준 등에 관한 규칙

1) 목적 및 정의

이 고시는 수도법 제18조의3, 제19조, 제21조 및 수도법 시행령 제22조의16에 따라 바이러스나 지아디아 포낭의 제거, 불활성화비의 계산 및 확인방법 등 정수처리기준 등에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다(환경부고시 2006-145호, 2006. 9. 15).

- ① “정수처리기준”이라 함은 경제적·기술적으로 농도기준을 정하고 정기적으로 수질검사를 실시하는 것이 어려운 바이러스·지아디아 등 병원미생물이 수돗물 중에 함유되지 않도록 하기 위하여 필요한 정수장의 운영·관리 등에 관한 기준을 말한다.
- ② “바이러스”라 함은 수인성 전염을 통해 질병을 야기할 수 있는 분원성 바이러스를 말한다.
- ③ “지아디아 포낭”이라 함은 수인성 전염을 통해 질병을 야기할 수 있는 지아디아 램블리아(*Giardia lamblia*) 등 지아디아 속의 포낭을 말한다.
- ④ “크립토스포리디움 난포낭”이라 함은 수인성 전염을 통해 질병을 야기할 수 있는 크립토스포리디움 파뮴(*Cryptosporidium parvum*) 등 크립토스포리디움 속의 난포낭을 말한다.
- ⑤ “소독”이라 함은 화학적 산화제 또는 이와 동등한 효능을 지닌 물질을 사용하여 물에서의 병원 미생물을 일정농도 이하로 불활성화시키는 처리공정을 말한다.
- ⑥ “불활성화비”라 함은 병원미생물이 소독에 의하여 사멸되는 비율을 나타내는 값으로서 정수시설의 일정지점에서 소독제 농도 및 소독제와 물과의 접촉시간 등을 측정·평가하여 계산된 소독능값($C \cdot T$)과 대상 미생물을 불활성화하기 위해 이론적으로 요구되는 소독능값과의 비를 말한다.

2) 적용대상 시설준수와 불활성화

정수처리기준을 준수하여야 하는 시설 및 수도사업자의 범위는 다음 각 호의 어느 하나와 같다.

- ① 수도법 제3조 제7호에 따른 광역상수도 및 그 사업자
- ② 수도법 제3조 제8호에 따른 지방상수도 및 그 사업자

수도법 제18조3 및 시행령 제22에 의한 “대통령령이 정하는 정수처리기준”이라 함은 다음 각 호를 말한다.

- ① 취수지점부터 정수장의 정수지 유출지점사이에서 바이러스를 1만분의 9,999 이상 제거하거나 불활성화
- ② 취수지점부터 정수장의 정수지 유출지점사이에서 지아디아 포낭을 1천분의 999% 이상 제거하거나 불활성화 할 것

수도사업자는 상기 규정에 의한 정수처리기준을 준수하기 위하여 이 고시에서 정한 탁도기준과 불활성화비에 적합하도록 여과시설과 소독시설 등을 설치·운영하여야 한다. 다만, 지하수를 정수장의 수원으로 사용하는 수도사업자가 사용 중인 지하수가 병원성미생물로부터 영향을 받는지 여부를 감시한 후 수질의 안전성을 입증하는 증빙서류를 갖추어 한국상하수도협회장의 인증을 받은 경우에는 정수처리에 관한 기준의 적용을 받지 아니 한다. 이 경우에도 매년 1회 이상 감시를 실시하여야 한다.

위 항 단서에 따른 감시주기 등 구체적인 인증절차는 한국상하수도협회가 환경부장관의 승인을 거쳐 정한다.

3) 소독시설 운영 및 조치사항

수도사업자는 정수처리기준 고시 제4조 제1항에 따라 반드시 적절한 소독시설을 갖추고 소독을 실시하여야 하며, 소독시설에서의 불활성화비 계산을 위하여 잔류소독제 농도와 수온 및 수소이온농도 등에 대한 수질검사 및 수량분석 등을 실시하고 계산된 불활성화비가 항상 1 이상이 유지되도록 정수시설을 운영·관리하여야 한다. 제2항의 규정에 의한 수질검사 항목 및 측정주기 등은 다음과 같고, 불활성화비의 계산방법은 별표 4와 같다.

<표 5.9.7> 불활성화비 계산을 위한 수질검사(고시 제6조 제3항 관련)

항목	시료채취지점	측정 주기	시설규모별 적용시기	
			정수장시설 용량	적용시기
잔류소독제 농도	정수지 유출부	4시간 간격 1일 6회 이상	5,000m ³ /일 이상	2002.8.1.부터
		12시간 간격 1일 2회 이상	5,000m ³ /일 미만	2002.8.1.부터
		연속측정장치에 의한 측정	100,000m ³ /일 이상	2004.7.1.부터
			50,000m ³ /일 이상 100,000m ³ /일 미만	2005.7.1.부터
			5,000m ³ /일 이상 50,000m ³ /일 미만	2007.1.1.부터
수소이온농도 (pH)	잔류소독제 농도측정지점	1일 1회 이상	대상시설 전체	2002.8.1.부터
수온	잔류소독제 농도 측정지점	1일 1회 이상	대상시설 전체	2002.8.1.부터

수도사업자는 정수처리된 물의 잔류염소가 급·배수시설 등에서 지속적으로 유지되도록 하기 위하여 「수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙」 제2조 제3호에서 정하는 기준을 준수하도록 급·배수시설 등의 관리를 하여야 하며 제4조 내지 제6조의 규정을 준수하지 못하는 경우에는 별표 5에서 정하는 바에 따라 기준초과 원인을 분석하고 이에 따른 시설개선을 실시하는 한편 주민공지 등 적절한 조치를 취하여야 한다.

<표 5.9.8> 정수처리기준 위반시 조치사항(고시 제7조 관련)

구 분	위반사항	주요 조치사항	비고
불활성화비	불활성화비가 1 미만인 경우	<ul style="list-style-type: none"> - 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지 - 자체시설점검 등을 통한 원인분석 및 개선조치 - 불활성화비 재계산 	
	불활성화비가 1 미만인 경우가 48시간 이상 지속	<ul style="list-style-type: none"> - 24시간 이내에 해당지역 주민에게 공지 - 전문기관에 의한 기술진단 및 개선조치 <ul style="list-style-type: none"> • 1월 이내에 기술진단 실시 • 진단종료 후 10일 이내에 환경부장관에게 진단결과 및 조치계획 수립보고 • 조치결과 매월 보고 	
잔류 소독제 농도 측정결과	소독제 투입설비의 고장 등으로 인해 정수지 유출부에서 유리잔류염소가 「수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙」 제2조 제호 본문의 농도미만인 경우	<ul style="list-style-type: none"> - 30분 이하의 간격으로 재측정 결과 1시간 이상 지속될 경우 24시간 이내에 해당지역 주민 공지 및 원인분석·개선조치 - 24시간 이상 지속되는 경우 해당지역 주민공지 및 전문기관에 의한 기술진단 실시 	

4) 병원미생물의 분포실태조사

수도사업자는 정수처리기준의 효율성을 평가하고 시설개선을 위한 기초조사를 위해 바이러스 등 병원미생물에 대한 분포실태 조사를 실시하여야 하며 제1항의 규정에 의한 분포실태 조사를 위한 대상시설·조사항목 및 방법 등은 다음과 같다.

분포실태조사 대상시설·조사항목 및 방법(고시 제8조와 관련)

① 대상시설: 시설용량이 일일 50,000m³ 이상인 정수장

② 조사항목 및 방법

- 원수의 수질조사

구 분	적 용 사 항
조사 항목	<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토스포리디움 난포낭 ○ 총대장균군, 분원성 대장균군, 탁도, 수온, pH, 기타 원수의 수질특성을 파악하기 위하여 필요하다고 인정되는 물질

구 분	적 용 사 항
시료채취 위치	○ 반드시 소독제가 투입되기 이전의 지점에서 시료를 채취하여야 하며, 취수구에 유입되기 직전의 지점에서 채취하는 것을 원칙으로 한다.
조사기간 및 주기	○ 2년간 매분기 1회 이상

－ 정수의 수질조사: 원수의 수질조사 결과 원수 중에서 바이러스 100개체/100L, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭 100개체/10L 이상 검출이 확인되는 경우에 한하여 실시한다.

구 분	적 용 사 항
조사 항목	○ 바이러스, 지아디아 포낭, 크립토스포리디움 난포낭 ○ 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 별표1의 규정에 의한 전항목
시료채취 위치	○ 정수장 유출수 또는 불활성화비를 인정받는 지점
조사기간 및 주기	○ 정수의 수질검사가 필요한 수준이상으로 검출이 확인된 분기의 다음 분기부터 1년간 매분기 1회 이상

③ 조사완료시기 및 결과의 보고

- － 바이러스에 대한 실태조사는 종전의 고시에 따라 국립환경연구원이 검사기관의 지정·평가·관리 및 그 취소 등에 관한 세부사항을 고시한 날로부터 3년 6월 이내에 완료하여야 하며, 지아디아 포낭 및 크립토스포리디움 난포낭에 대한 분포실태조사는 시험방법과 검사기관지정에 관한 사항을 고시한 날로부터 3년 6개월 이내에 완료하여야 한다. 다만, 정수에 대한 수질조사의 필요성 등으로 인해 조사기간의 연장이 불가피한 경우에는 환경부장관의 협의를 거쳐 완료시기를 조정할 수 있으며 분포실태조사가 1차적으로 완료된 이후에는 환경부장관의 지시가 있을 때까지 조사주기 조정 등 지역실정에 맞는 계획을 수립하여 지속적으로 모니터링을 실시하여야 한다.
- － 제2호에 따라 매분기 실시한 수질검사 결과는 지방정수장의 수도사업자는 그 분기가 끝나는 달의 다음달 15일까지 시·도지사에게 보고하여야 하며, 광역정수장의 수도사업자는 당해연도의 수질검사 결과를 다음년도 1월말까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.
- － 시·도지사는 위항의 규정에 의하여 제출 받은 수질검사결과와 직접 관리하는 정수장에 대한 수질검사 결과를 취합하여 다음년도 1월말까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.
- － 수도사업자가 제2호에 따른 실태조사를 완료한 때에는 검사결과에 대한 종합의견, 조사결과에 따른 시설 개선 등 조치계획 등을 포함하는 최종보고서를 검사완료 후 3월 이내에 작성하여 환경부장관에게 제출하여야 한다.

제1항 및 제2항에 따른 분포실태조사를 실시하는 경우에는 먹는물관리법 시행규칙 별표 제6의4 비고 3에 따라 국립환경과학원장이 고시한 표준시험방법에 따라 동법 시행규칙 제31조에 따른 검사기관으로 지정받은 기관에 의해 시험을 실시하여야 한다.

5) 보고 및 기록유지

수도사업자는 고시 제5조·제6조 및 제8조에 따라 실시한 수질검사결과와 제8조에 따른 조치결과를 기록하여 3년간 보존·관리하여야 한다. 다만, 지별 탁도계 측정자료는 전산디스켓에 입력하여 3년간 보존·관리하여야 한다.

수도사업자는 고시 제5조 내지 제7조 규정에 의하여 실시한 수질검사 및 조치결과를 매월 말 별지 제1호 서식에 따라 작성하여 다음달 10일까지 시·도지사에게 보고하여야 하며, 시·도지사는 이를 취합하여 다음달 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다. 다만, 정수처리기준에 따른 지별 탁도계 운영결과 보고는 별지 제2호 서식에 따라 다음 연도 1월 15일까지 환경부장관에게 보고하여야 한다.

수도사업자는 고시 제7조에 따라 주민공지를 한 때에는 지역주민에게 공고한 공고문을 24시간 이내에 시·도지사를 거쳐 환경부장관에게 보고하여야 하며, 시설개선 등 필요한 조치를 완료하고 이를 해제한 경우에도 또한 같다.

<참고 5.9.1> 불활성화비의 계산방법(고시 제6조 제2항 및 제3항 관련)

1. 소독에 의해 요구되는 바이러스 및 지아디아 포낭의 불활성화율의 결정

여과방식	최소 제거 및 불활성화 기준		여과공정에 의한 제거율		소독공정에서 요구되는 불활성화율	
	바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭
급속여과 방식	99.99 % (4 log)	99.9 % (3 log)	99% (2 log)	99.68% (2.5 log)	99% (2 log)	68.38% (0.5 log)
직접여과 방식	99.99 % (4 log)	99.9 % (3 log)	90 % (1 log)	99% (2 log)	99.9% (3 log)	90% (1 log)
완속여과 방식	99.99 % (4 log)	99.9 % (3 log)	99% (2 log)	99% (2 log)	99% (2 log)	90% (1 log)

2. 소독에 의한 불활성화율의 계산방법

1) 실제(현장) 소독농도($C \cdot T_{\text{계산값}}$)의 산정

$$C \cdot T_{\text{계산값}} = \text{잔류소독제 농도(mg/L)} \times \text{소독제 접촉시간(분)}$$

- ① 잔류소독제 농도는 일정주기(2회~6회) 또는 연속 측정한 잔류소독제 농도값 중 최소값을 택한다.
- ② 소독제와 물의 접촉시간은 1일 사용유량이 최대인 시간에 최초소독제 투입지점부터 정수지 유출지점 또는 불활성화비의 값을 인정받은 지점까지 측정하여야 한다.
 - － 추적자시험을 통해 실제로 소독제의 접촉시간을 측정하는 때에는 접촉시간을 측정하기 위해 최초 소독제 투입지점에 투입된 추적자의 10%가 정수지 유출지점 또는 불활성화비의 값을 인정받은 지점으로 빠져 나올 때까지의 시간을 접촉시간으로 한다.
 - － 이론적 접촉시간을 이용할 경우는 정수지 구조에 따른 수리학적 체류시간 $\left(\frac{\text{정수지 사용 용량}}{\text{시간당 최대 통과유량}} \right)$ 에 장폭비에 따른 환산계수(T_{10}/T)를 곱하여 소독제의 접촉시간으로 한다.

2) 불활성화비의 계산

$$\text{불활성화비} = \left(\frac{C \cdot T_{\text{계산값}}}{C \cdot T_{\text{요구값}}} \right)$$

- ① 정수시설의 한 지점에서만 소독하는 경우 잔류 소독제 농도 측정지점에서 불활성화비 $\left(\frac{C \cdot T_{\text{계산값}}}{C \cdot T_{\text{요구값}}} \right)$ 를 결정하고 소독에 의한 처리기준 준수여부를 판정한다.

- ② 정수처리과정 또는 급수과정에서 1회 이상의 소독을 할 경우에는 각 소독 단계에서 소독농도를 계산하고 각 단계별 불활성화비를 합한 값으로 소독에 의한 처리기준을 준수하는지 여부를 판정한다. 다만, 취수지점에서 정수장 정수지 유출지점 이외의 지점에 대한 불활성화비의 합산은 제7조 제4항의 규정에 의해 인증 받은 경우에 한한다.
- ③ 불활성화비 계산을 위한 소독농도요구값($C \cdot T_{\text{요구값}}$)은 <표 5.9.9>~<표 5.9.12>와 같고 다음과 같이 계산한다.
- 표에서 측정된 pH와 온도범위에 해당하는 상하값을 찾은 후 그 두 값을 직선화하여 측정된 pH와 온도에서의 소독농도 요구값을 정한다.
 - 일상적인 계산에 있어서는 소독농도 산정의 편리 등을 위하여 측정된 pH와 온도보다 낮은 온도 및 높은 pH를 찾은 후 그 값을 적용할 수 있다.
- 3) 정수처리기준의 준수여부 판단
- 계산된 불활성화비 값이 1.0 이상이면 99.99%의 바이러스 및 99.9%의 지아디아 포낭의 불활성화가 이루어진 것으로 한다.
- 4) CT값이 부족되거나 불활성화비가 만족하지 않을 경우 시설개선대책 및 운영방법
- ① 여과·소독과정 이전에 탁질, 입자성 물질 등의 최적제어
 - ② 소독접촉조 및 정수지내 도류벽을 설치하여 단락류나 사수구역 예방
 - ③ 접촉시간 확보를 위한 정수지 및 배수지 확충
 - ④ 침투시간 대치를 위한 균등 생산조절과 정수지 시설용량의 최대 활용
 - ⑤ 기타, 송수관로 및 배수지까지 추가소독농도 인증 등

5.9.3 C·T 개념 및 계산

살균공정의 운영에 있어서 보다 보편적으로 필요한 자료는 미생물의 감소속도보다 수중 미생물의 99.9% 또는 99.99%를 사멸시키는데 필요한 소독제의 농도와 접촉시간의 관계이다. 이 관계를 일목요연하게 나타내 주는 것이 C·T 개념이다. 이것은 소독제와 미생물의 종류에 따라 미생물을 목표만큼 사멸시키는데 필요한 접촉시간과 농도의 곱은 일정하다는 것이다. ($C \cdot T_{99} = \text{const.}$) 대표적인 C·T값이 다음 <표 5.9.9>에서 <표 5.9.14>까지에 정리되어 있다. 이때 C의 단위는 “mg/L”이고 T의 단위는 “분(分)”이다.

<표 5.9.9> 5℃에서 각종 미생물의 99%를 사멸시키는 C·T값의 범위

미생물 종류	소 독 제			
	오 존 pH 6~7	유리염소 pH 6~7	이산화염소 pH 6~7	클로라민 pH 8~9
<i>E. coli</i>	0.02	0.034~0.05	0.4~0.75	95~180
<i>Polio virus</i>	0.1~0.2	1.1~2.5	0.2~6.7	768~3740
<i>Rotavirus</i>	0.006~0.06	0.01~0.05	0.2~2.1	3,806~6,476
<i>Phage F2</i>	—	0.08~0.18	—	—

미생물 종류	소 독 제			
	오 존 pH 6~7	유리염소 pH 6~7	이산화염소 pH 6~7	클로라민 pH 8~9
<i>G. lamblia</i>	0.5~0.6	47~150	—	—
<i>G. muris</i>	1.8~2.0	30~630	7.2~18.5	—

<표 5.9.10> *Giardia lamblia*를 99.9% 사멸시키는 C·T값

소독제 종류	pH	온 도			
		0.5℃	5℃	10℃	15℃
유리염소	6	170	120	90	60
	7	260	190	130	100
	8	380	270	190	140
이산화염소	6~9	81	54	40	27
클로라민	6~9	3,800	2,200	1,850	1,500
오존	6~9	4.5	3	2.3	1.5

<표 5.9.11> 유리염소에 의한 바이러스 불활성화에 필요한 C·T값

수온(℃)	제거율 99%		제거율 99.9%		제거율 99.99%	
	pH 6~9	pH 10	pH 6~9	pH 10	pH 6~9	pH 10
0.5	6	45	9	66	12	90
5	4	30	6	44	8	60
10	3	22	4	33	6	45
15	2	15	3	22	4	30
20	1	11	2	16	3	22
25	1	7	1	11	2	15

<표 5.9.12> pH 6~9에서 이산화염소에 의한 바이러스 불활성화에 필요한 C·T값

수온(℃)	제거율 99%	제거율 99.9%	제거율 99.99%
1 이하	8.4	25.6	50.1
5	5.6	17.1	33.4
10	4.2	12.8	25.1
15	2.8	8.6	16.7
20	2.1	6.4	12.5
2	1.4	4.3	8.4

<표 5.9.13> 오존에 의한 *giardia* 제거에 필요한 C·T값

수온(℃)	제거율 64.8%	제거율 90%	제거율 96.8%	제거율 99%	제거율 99.7%	제거율 99.9%
1 이하	0.48	0.97	1.5	1.9	2.4	2.9
5	0.32	0.63	0.95	1.3	1.6	1.9
10	0.23	0.48	0.72	0.95	1.2	1.43
15	0.16	0.32	0.48	0.63	0.79	0.95
20	0.1	0.2	0.36	0.48	0.60	0.72
25	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48

<표 5.9.14> pH 6~9에서 클로라민에 의한 *giardia* 제거에 필요한 C·T값

수온(℃)	제거율 64.8%	제거율 90%	제거율 96.8%	제거율 99%	제거율 99.7%	제거율 99.9%
1 이하	635	1,270	1,900	2,535	3,170	3,800
5	365	735	1,100	1,470	1,830	2,200
10	310	615	930	1,230	1,540	1,850
15	250	500	750	1,000	1,250	1,500
20	185	370	550	735	915	1,100
25	125	250	375	500	625	750

<표 5.9.15> 여과에 의한 *giardia* 포낭과 *virus*의 제거율

여과방식	<i>giardia</i> 포낭 제거율	<i>virus</i> 제거율
급속여과	99.68%(2.5 log)	99%(2 log)
직접여과	99%(2 log)	90%(1 log)
완속여과	99%(2 log)	99%(2 log)

미국의 경우에 정수과정을 통하여 지아디아(*giardia*)와 바이러스(*virus*)는 각각 3log(99.9%)와 4log(99.99%)의 제거를 목표로 하고 있으며 이 제거율은 침전·여과공정과 소독공정이 나누어서 달성하도록 되어 있다. 침전·여과공정이 적절하게 달성되었을 때 미국에서 인정하고 있는 제거율은 <표 5.9.15>와 같다. 따라서 예를 들면, 표준 급속여과가 잘 되는 경우에는 소독공정에서 제거하여야 할 지아디아는 0.5log, 바이러스는 2log이다. 또한 log제거율과 %제거율 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\% \text{ 제거율} = 100 - 100/10^{\log \text{제거율}}$$

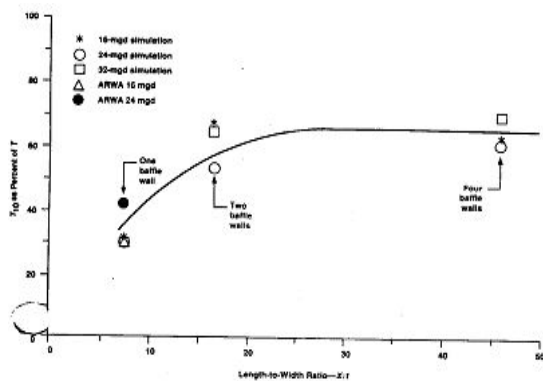
따라서 2log의 제거율은 $100 - 100/10^2 = 99\%$ 제거와 같으며 2.5log의 제거율은 $100 - 100/10^{2.5}$

=99.68%의 제거율과 같다.

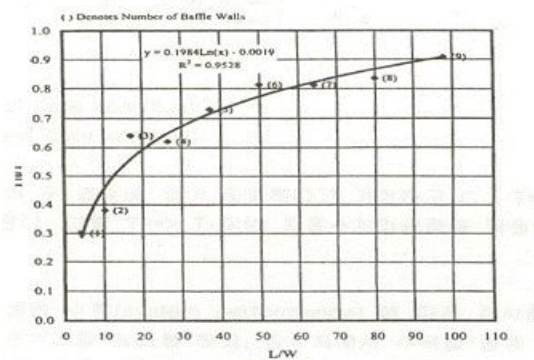
소독공정의 $C \cdot T$ 값을 산정할 때 C 값은 유출부에서 소독제의 잔류농도(mg/L)로 정한다. T 값(분)은 접촉시간을 나타내는 것으로 배관계통에서는 파이프의 내부부피를 파이프의 시간당 최대유량(실시간 유량)으로 나누어 산출한다. 그러나 정수지에서는 유입유량에 따라서 체류시간이 크게 다를 뿐 아니라 단락류, 사수지역, 밀도류 등에 의하여 체류시간이 많은 영향을 받으므로 정수지의 형태와 내부 도류벽구조 등에 따라 체류시간에 차이가 크게 되며 이러한 이유로 정수지나 배수지에서 도류벽의 설치가 중요한 인자가 되고 있다. 정수지의 T 값은 정수지를 통하는 물의 90%가 체류하는 시간으로 설정하고 있다.

따라서 정수지의 물이 10%가 유출되는 시간인 T_{10} 으로 설정하면 정수지 물의 90%는 T_{10} 이상으로 접촉시간을 가지게 되므로 보수적인 설정이 된다. T_{10} 은 추적자 시험을 하여 주입된 추적자의 10%가 유출되어 나오는 시간으로 정하나 추적자 시험이 행해지지 않은 경우에는 이론적 체류시간에 구조별 인수를 곱하여 유효한 접촉시간(T)을 산출하고 구조별 인수는 <그림 5.9.2>를 이용하여 구한다(추적자시험, 전산유체를 이용한 pilot실험 등). 예를 들어 격벽이 없는 정수지의 수리적 체류시간이 100분이라면 저류벽이 없을 경우의 인수 0.1을 곱한 10분이 유효한 소독제 접촉시간(T)으로 인정된다. 각 구조에 따른 인수는 다음 <표 5.9.16>과 같다.

정수지나 배수지에서 단락류와 사수지역을 방지하고 소독효과를 향상시키기 위하여 설치하는 도류벽은 수로의 폭과 수로 총길이의 비가 1:20이 되도록 설치될 때까지는 효과가 상승하지만 1:20의 비에서 가장 효과적인 $T_{10}/T=0.61$ 을 나타내고, 그 이상에서는 더 이상 효율의 향상이 없었다고 보고되고 있다.



Mark M. Bishop의 T_{10}/T 값과 장폭비 관계. 1993년



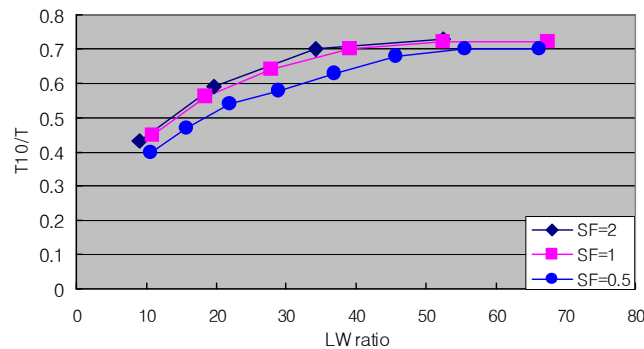
Mark M. Clark의 pilot test 결과, 1999

<그림 5.9.1> 장폭비와 T_{10}/T 의 관계

과거 정수지 도류벽 설계에서 Mark M. Clock(1999)의 연구결과를 β 값 산정시 기준으로 사용하고 있는데 이 경우 장폭비가 4.75부터 97.75까지 9개의 pilot test를 수행하였다(전구간이 일정한 폭에 도류벽). 그 결과 Bishop과는 달리 장폭비가 20 이후에도 T_{10}/T 값의 계속적인 증가가 있

있으며 장폭비가 50이 넘어간 경우 증가가 둔화되는 경향을 보였고 T_{10}/T 값은 최대 0.91까지 증가함을 보였다.

그러나 이와 다르게 국내 박희경(2005, “전산유체를 이용한 정수지 및 배수지 최적화 방안 연구”)의 pilot test 전산유체(CFD) simulation 결과 도류벽 간격이 균등할 때 T_{10}/T 값은 <그림 5.9.2>에서와 같이 장폭비가 50 이상 증가하면 일정한 값으로 수렴하는 것으로 나타나 도류벽설치를 통한 유효접촉시간에 따른 환산계수의 수리적인 효율개선에는 한계가 있다고 보고되었다.



비고 1. 형상 영향인자(shape factor)=B(세로)/A(가로)

<그림 5.9.2> 도류벽의 장폭비와 T_{10}/T 의 관계(박희경, 2005)

$C \cdot T$ 값의 계산은 다음과 같이 할 수 있다. 다만, 전염소처리는 살균이 주목적은 아니지만 파괴점 염소소독 이후에 응집지 및 침전지에서 남아 있는 염소에 의하여 살균작용이 발휘될 수 있으므로 이에 대한 $C \cdot T$ 값을 계산하는 예로서 나타내었다.

1) 전염소를 투입할 때 플록형성지의 $C \cdot T$ 값 계산

- ① 플록형성지 체적을 정수장의 시간 최대유량으로 나눈 후 이 값을 분(分)단위로 환산하여 T 값으로 한다.
- ② 플록형성지의 구조를 고려하여 <표 5.9.16>에서 유효접촉시간 산정인자 β 를 구한다.
- ③ 플록형성지 출구에서 유리잔류염소의 농도를 구하여 C 값으로 한다.
- ④ 다음의 계산식에 의하여 플록형성지의 $C \cdot T$ 값을 계산한다.

$$C \cdot T_{\text{계산값}} = C \beta T$$

- ⑤ 플록형성지 출구에서 pH 및 수온을 측정하여 미생물을 제거하기에 필요한 정도의 소요 $C \cdot T$ 값을 표로부터 구하여 $(C \cdot T_{\text{계산값}} / \text{소요 } C \cdot T \text{ 값})$ 을 구한다.

2) 전염소를 투입할 때 침전지의 $C \cdot T$ 값 계산

- ① 침전지 체적을 정수장 시간 최대유량으로 나눈 후 이 값을 분(分)단위로 환산하여 T 값으로 한다.
- ② 침전지의 구조를 고려하여 <표 5.9.16>에서 유효접촉시간 산정인자 β 를 구한다.

<표 5.9.16> 반응조의 구조에 따른 유효접촉시간 환산계수와 장폭비(L/W)

환산계수	장폭비(L/W)	격벽상태	비 고
0.1	2 미만	없음	저류벽이 없고 교반이 되는 완전혼화조로서 유입 유출속도가 빠르고 수위변동이 있음
0.2	2 이상 5 미만	불량	접촉조가 있고 내부의 저류벽은 없고 교반도 없는 단일 또는 여러 개의 유입, 유출구를 가진 도류벽이 설치된 접촉조
0.3	5 이상 10 미만	불량	
0.4	10 이상 15 미만	보통	접촉조가 있고 유입, 유출구에 저류벽이 있으며 내부에도 수개의 균등한 폭에 도류벽이 설치된 접촉조
0.5	15 이상 20 미만	보통	
0.6	20 이상 30 미만	양호	접촉조가 있고 유입에 정류벽이 있고 내부에도 정류벽이나 저류벽이 있으며 유출위어 또는 오리피스형 유출위어를 충분히 확보한 접촉조
0.65	30 이상 40 미만	양호	
0.70	40 이상 50 미만	양호	
0.71 이상	50 이상에는 추적자 실험에 의한다.	우수	접촉조가 있고 내부에 충분한 plug flow형 도류벽이 균등한 폭으로 여러 개 설치됨 추적자시험 등 동등이상의 시물레이션시험을 반드시 실시하여 현장 적용
1.0	—	송수관로	관 내부의 흐름

비고 1. 장폭비: 정수지 내 일정간격으로 설치된 도류벽에 의해 산출된 실제 물흐름 길이(L)와 물흐름 폭(W)의 비

2. 관흐름(pipeline flow)인 경우의 환산계수는 1.0으로 간주한다.

3. 일정간격으로 도류벽이 설치되지 않은 경우에는 추적자 실험결과에 따라 산출된 환산계수를 적용한다.

③ 침전지 출구에서 유리잔류염소의 농도를 구하여 C값으로 한다. 또는 플록형성지 유출수의 유리잔류염소 농도에 비하여 약 50~70%의 값을 산정하여 줄 수 있으나 정수장 별로 비율이 상이하므로 계획상 사용한 경우에는 추후 확인할 필요가 있다.

④ 다음의 계산식에 의하여 침전지의 $C \cdot T$ 값을 계산한다. $C \cdot T_{\text{계산값}} = C \beta T$

⑤ 침전지 출구에서 pH 및 수온을 측정하여 미생물을 제거하기에 필요한 정도의 소요 $C \cdot T$ 값을 표로부터 구하여 ($C \cdot T_{\text{계산값}} / \text{소요 } C \cdot T$ 값)을 구한다.

3) 정수지의 $C \cdot T$ 값 계산

① 정수지 체적을 정수장 시간최대유량으로 나눈 후 이 값을 분(分)단위로 환산하여 T값으로 한다.

② 정수지의 최저수위를 최고수위로 나누어 이 값을 수위비 γ 라고 한다.

③ 정수지의 구조를 고려하여 <표 5.9.16>에서 유효접촉시간 산정인자 β 를 구한다.

④ 정수지 출구에서 유리잔류염소의 농도를 구하여 C값으로 한다.

⑤ 다음의 계산식에 의하여 정수지의 $C \cdot T$ 값을 계산한다.

$$C \cdot T_{\text{계산값}} = C \gamma \beta T$$

- ⑥ 정수지 출구에서 pH 및 수온을 측정하여 미생물을 제거하기에 필요한 정도의 소요 $C \cdot T$ 값을 표로부터 구하여 ($C \cdot T_{\text{계산값}}/\text{소요 } C \cdot T_{\text{값}}$)을 구한다.

4) 배관계통에서의 $C \cdot T$ 값 계산

- ① 배관 내부부피를 정수장의 시간 최대유량으로 나눈 후 이 값을 분(分)단위로 환산하여 T 값으로 한다.
- ② 배관 출구에서 유리잔류염소의 농도를 구하여 C 값으로 한다.
- ③ 다음의 계산식에 의하여 정수지의 $C \cdot T$ 값을 계산한다. $C \cdot T_{\text{계산값}} = C \cdot T$
- ④ 배관 출구에서 pH 및 수온을 측정하여 미생물을 제거하기에 필요한 정도의 소요 $C \cdot T$ 값을 표로부터 구하여 ($C \cdot T_{\text{계산값}}/\text{소요 } C \cdot T_{\text{값}}$)을 구한다.

집수정과 정수장 외의 배수지에서의 $C \cdot T$ 값도 정수지에서의 $C \cdot T$ 값 계산과 같은 방법으로 산정될 수 있으며 송수관에서의 $C \cdot T$ 값은 배관계통에서의 $C \cdot T$ 값 계산과 동일한 방법으로 산정할 수 있다. 정수장의 현황을 반영하여 위의 각 단계별로 계산한 ($C \cdot T_{\text{계산값}}/\text{소요 } C \cdot T_{\text{값}}$)을 합산하여 총 불활성비를 구하는데 이 값이 1을 초과하지 못하면 소독효율이 부족한 것으로 인정된다. $C \cdot T$ 의 측정에는 다음의 조건을 따르는 것이 일반적이다.

- 1) 살균된 물의 온도는 각각 잔류소독제 농도측정 지점에서 최소한 매일 1회 이상 측정한다.
- 2) 급수시설에서 소독제를 사용하면 소독수의 pH는 잔류소독제 농도측정 지점에서 최소한 매일 1회 이상 측정한다.
- 3) 체류시간(T)은 시간최대유량에 대하여 산정한다.
- 4) 소비자에게 처음 공급되거나 그 직전 잔류소독제 농도는 가장 많이 사용되는 시간에서 매일 측정한다.

$C \cdot T$ 값 계산의 실제 계산 예를 들면 다음과 같다.

1) 시설현황(시설용량 200,000m³/d)

시설용량이 시간최대유량이라고 가정한다. 따라서 시간최대유량은 138.89m³/m

구 분	플록형성지	침 전 지	정 수 지
규격(m)	18.0×13.0×4.0	18.0×73.0×3.5	25.0×37.6×3.6
지수	6	6	2
용-량(m ³)	5,616	27,594	6,768
도류벽 수	—	—	—
유효접촉시간 산정인수(β)	0.2	0.7	0.3
수위비(γ = 저수위/고수위)	—	—	0.55
잔류염소 농도(mg/L)	—	—	0.8
pH	7.0	7.0	6.8

2) $C \cdot T$ 값 계산 및 활용의 예

우선 정수지에서의 $C \cdot T$ 값을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{정수지 } C \cdot T_{\text{계산값}} = C \gamma \beta T = 0.8 \times 0.55 \times 0.3 \times (6768/138.89) = 6.43$$

만약 2지의 정수지 중에 1지를 정수 중이라면 정수지의 체적은 $6,768\text{m}^3$ 대신 $3,384\text{m}^3$ 로 계산하여야 한다. 현재의 $C \cdot T_{\text{계산값}}$ 을 <표 5.9.9>와 비교하여 보면 E. coli나 virus(poliiovirus, rotavirus)는 수온 5°C 에서 99%(=2log) 사멸시킬 수 있으나 지아디아(giardia)를 사멸시키기에는 부족한 실태임을 알 수 있다.

현재의 목표를 정수장에서 수온 0.5°C 일 때 지아디아(giardia)를 99.9%(3log) 제거하는 것으로 한다면 표준 급속여과가 올바르게 수행된다는 가정하에서 여과공정에서 2.5log가 제거된다고 할 수 있으므로 소독공정에서는 0.5log만 제거하여 주면 된다. 지아디아를 0.5°C , 유리잔류염소 0.8mg/L , pH 7에서 0.5log 제거하기 위한 $C \cdot T$ 값은 34이다. 따라서 현재의 정수지로서는 소독기능이 부족하므로 정수지에 도류벽을 설치하여 유효접촉시간 산정인수를 0.7까지 올리기로 한다면 이때의 정수지 $C \cdot T_{\text{계산값}}$ 은 다음과 같다.

$$\text{정수지 } C \cdot T_{\text{계산값}} = C \gamma \beta T = 0.8 \times 0.55 \times 0.7 \times (6768/138.89) = 15.0$$

그러나 이것도 아직 부족하므로 유리잔류염소의 농도를 올리는 것이 대안으로 검토될 수 있다. 그러나 수도꼭지에서의 염소냄새로 인하여 유리잔류염소의 허용 최대농도가 1.2mg/L 까지라고 가정하면 도류벽을 설치하고 염소농도를 증가시킨 정수지의 $C \cdot T_{\text{계산값}}$ 은 다음과 같다.

$$\text{정수지 } C \cdot T_{\text{계산값}} = C \gamma \beta T = 1.2 \times 0.55 \times 0.7 \times (6768/138.89) = 22.51$$

아직도 $C \cdot T$ 목표값인 34에는 부족하다. 전염소처리에 의한 소독기능을 대안으로 추가한다면 플록형성지 유출수의 유리잔류염소농도를 얼마로 유지하여야 할 것인가를 알아야 한다. 따라서 총소요 $C \cdot T$ 값 34에서 정수지에 도류벽을 설치하고 잔류염소농도를 증가하여 얻어질 수 있는 22.51을 제거하면 나머지 11.49의 $C \cdot T$ 값을 플록형성지와 침전지에서 구현하면 된다. 침전지 유출수의 유리잔류염소 농도를 플록형성지 유리잔류염소 농도의 60%라고 가정하면 플록형성지 유출부의 유리잔류염소 농도는 다음과 같이 계산된다.

$$C_{\text{응집지}} = \text{추가소요 } C \cdot T / (\text{플록형성지 체류시간} \times \text{유효산정인수} + \text{잔류율} \times \text{침전지 체류시간} \times \text{유효산정인수}) \\ = 11.49 / [(5616/138.89) \times 0.2 + 0.6 \times (27594/138.89) \times 0.7] = 0.125\text{mg/L}$$

따라서 플록형성지 유출부의 유리잔류염소 농도를 약 0.13mg/L 으로 유지한다면 총소요 $C \cdot T$ 값을 만족시킬 수 있다고 할 수 있다.

<사례 5.9.1> 정수지 추적자 시험(tracer test)(예)

정수처리의 가장 중요한 목적은 수요자에게 병원성 미생물에 오염되지 않고 위생적으로 안전한 수돗물을 공급하는 것으로 정수지에서 염소에 대해 내성을 지닌 미생물(giardia 및 cryptosporidium) 등이 활성화된 상태로 존재하게 될 경우 수인성질환의 위험성이 있다. 이를 예방하기 위해서는 병원성 미생물의 위험을 제거하는 정도까지의 소독이 필요하게 되는데 이를 필요 소독능이라 한다. 소독능($C \cdot T$ 값) 개념은 1989년에 USEPA의 SWTR(surface water treatment rule)에서 언급한 것으로 잔류소독제의 농도(C , mg/L)×소독제 접촉시간

(T, min)의 약자로서 병원성 미생물을 안전한 정도까지 제거하기 위해 만족시켜야 하는 값이다.

잔류소독제 농도는 일일 측정 잔류소독제 농도값 중 최소값을 택하며, 소독제와 물의 접촉시간은 1일 사용유량이 최대인 시간대에 최소소독제 주입지점부터 정수지 유출지점 또는 불활성비($C \cdot T_{\text{계산값}} / C \cdot T_{\text{요구값}}$)의 값을 인정받은 지점까지 측정하고, 접촉시간의 산정은 추적자 시험을 통해 결정하는 방법과 정수지 내 구조에 따라 이론적 체류시간에 환산계수를 곱하여 실제 소독제 접촉시간으로 결정하는 이론적방법이 있으며 이 때 적용하는 환산계수는 정수지내 구조에 따라 T_{10}/T 의 값을 산정한다.

하지만 소독능값에 있어 정확한 접촉시간의 산정은 현장에서 추적자 시험을 실시하여 T_{10} 을 평가하는 것이 가장 믿을 수 있는 방법으로 이에 실질적인 접촉시간(T_{10})을 구하여 소독능값 평가에 적용함으로써 소독능값에 대한 신뢰도를 제고함과 더불어 현재 사용 중인 도류벽 환산계수에 대한 비교·검증을 위해 추적자시험을 실시한다.

1) 정수시설 운영검토 및 시험방법

① 정수시설 및 운영사항 검토

G정수장의 정수지는 4계열별로 설치되어 정수지 유입부에 접촉조를 두어 산기관에 의해 분사하고 4지의 정수지에 각 지별로 3개 또는 4개의 baffle(균등한 폭)을 설치하여 운영 중이며 소독능 평가에는 baffle 환산계수(β) 0.5와 0.6 중 약조건인 0.5를 이론적인 소독능 평가에 적용하고 있다. 다음의 표는 정수지 및 흡수정 규격과 실험당시 운영조건을 검토한 내용이다.

<사례표 5.9.1> G정수장 정수지 규격 및 운영검토

구분 \ 시설	정 수 지	흡 수 정
규격	W54.5m×L79.5m×H5.2m	W20.0m×L70.0m×H8.0m
지수	각 4	1
운영수위(m)	4.2	6.6
용량(m^3)	72,790	9,240
정수지유출(m^3/hr)	28,000	
이론체류시간(평균)	176분(2.93hr)	
Baffle 수		—
$\beta(T_{10}/T)$	0.5	—
비고	용량: 정수지와 흡수정 운영수위 $4.1 \pm 0.1m$ 기준 체류시간: (정수지+흡수정)/정수지유출 β : G정수장에서 현재 적용하고 있는 계수	

② 추적자 주입방법 및 주입량 결정

추적자 선정에 있어 가장 중요한 것은 수처리 과정에서 사용되는 다른 약품과 어떻게 반응할 것인지를 먼저 고려해야 하며, 측정해야 할 추적자 농도변화는 다른 화학물질과 반응하여 일어나는 것이 아니라 정수지를 통과할 때 일어나는 수리학적 변화로, 추적자약품 선정은 독성이 없어야 하고, 음용수에 사용 가능한 것이어야 하며, 수질기준에 만족하는 범위 내에서 반드시 사용하여야 한다. 일반적으로 추적자 시험에 사용되는 tracer는 불소, 리튬, 나트륨 등의 여러 가지 물질이 있으나 현장에서 분석이 간단한

불소를 신장하여 불화규산 25.5%(W/V) 용액을 tracer로 결정하였다.

추적자 시험방법으로는 step input test와 pulse input test가 있으며 G정수장 정수지 시험에는 충분한 혼합이 이루어지는 곳에 충분히 많은 양을 순간적으로 주입한 후 출구에서 일정한 시간간격으로 샘플을 채취하여 농도를 측정하는 pulse input test를 이용하였다. 추적자 실험 방법별 장단점은 <사례표 5.9.2>와 같다.

<사례표 5.9.2> 추적자 실험방법에 따른 장단점 비교

구분	step input	pulse input
장점	<ul style="list-style-type: none"> - T_{10}을 F-curve에서 바로 구함 - 증가 및 감소모드에서 연속실험가능 (즉시 재검 가능) 	<ul style="list-style-type: none"> - 추적자 주입방법 간단 - 평균체류시간, 회수율, 분산 등의 인자계산이 용이 - 소요 약품량이 적음
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 자동 약품 주입장치 필요 - 소요 약품량이 많음 - 추적자 주입량이 일정하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> - 추적자 최고 peak 측정에 실패할 위험이 있음 - T_{10}을 수학적으로 계산하여 결정 - 재검에 시간이 요구됨 - 사용될 추적자 양 결정에 어려움

추적자 시험결과 다른 형태의 정수지에서 유사한 최고농도의 그래프를 만들기 위해 요구되는 추적자 양은 각기 다르며 수리학적 효율이 낮은 정수지는 수리학적 효율이 높은 정수지보다 peak 농도가 낮기 때문에 많은 양의 추적자가 요구된다. 따라서 추적자 시험시 주입하는 추적자 양은 baffle의 설치유무와 정도에 따라 예상되는 T_{10}/T 값을 기준으로 결정하는데 baffle이 양호하게 설치되어 있는 G정수장의 경우 예상 T_{10}/T 값이 0.5 이상으로 기대됨으로 dosing factor를 <사례표 5.9.3>에 따라 0.6으로 하여 불화규산 246L를 정수지 유입전의 통합 여과수거 4개소에서 동시에 주입하였다.

<사례표 5.9.3> 추적자 주입량 결정을 위한 계수(dosing factor)

baffle 설치 조건	예상 T_{10}/T 값	dosing factor
불 량	0.3 이하	1
양 호	0.5	0.6
우 수	0.7	0.2

③ 시료채수 주기 및 분석실시

시료의 채취는 원수에 대하여 바탕시험을 실시하고, 추적자 주입 후 계산된 평균체류시간의 5%에서 시작하여 시료수의 추적자 농도가 바탕시험 농도로 떨어질 때까지 계속해야 한다. 그러나 설비운영 관계상 추적자 주입 후 9시간 경과까지 채취하여 불소의 농도를 분석하였다.

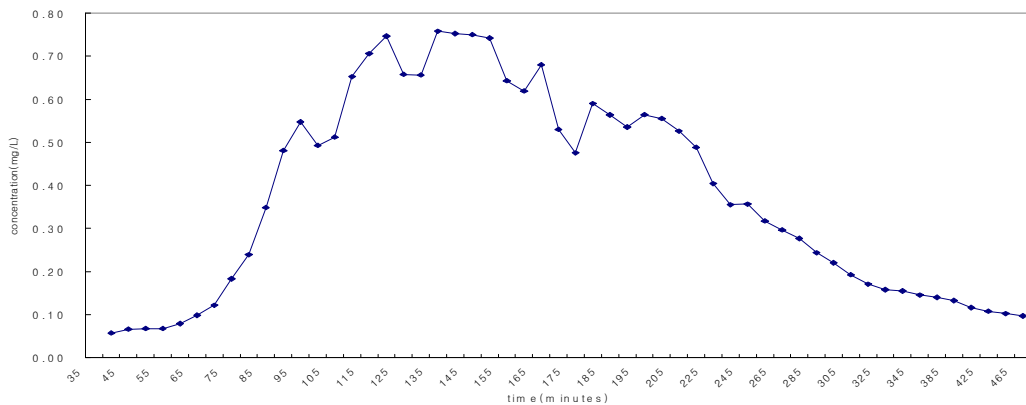
채수주기는 주입 후 20분부터 3.5시간까지는 5분 간격으로, 3.5시간에서 5.75시간까지는 10분 간격으로, 그 이후는 20분 간격으로 하였다. 시료 채취는 운영 중인 현장 여건을 감안하여 송수펌프실내 자동 계측기 1곳에 채취하였고 실험현장에서 채취한 시료 중 일부는 추적자의 유출농도 감지와 시료채취 기간 결정을 위하여 HACH사의 DR-850을 이용하여 불소(Fluoride)를 분석하였으며, 정수지 접촉시간 (T_{10}) 결정을 위한 불소농도의 분석은 음이온 전용 분석기기인 이온크로마토그래피(IC)로 분석한다.

2) 시험결과 분석

① 시간경과에 따른 불소 농도변화 측정

추적자를 정수지 유입 전 여과수 통합수로에 주입 후 5~10분 간격으로 채취한 시료의 불소농도를 측정
한 결과, 초기유출은 trace주입 후 35분경부터 시작되었고, 초기유출 후 경과시간 60분까지는 추적자
농도증가는 미미하거나 완만하였으나 60분경과 후 급격히 증가하여 경과시간 135분에서 peak값을 보였
다.

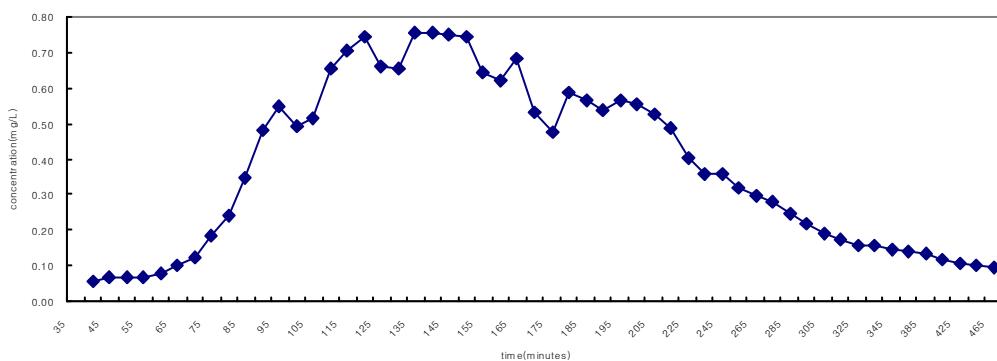
G정수장 정수지의 경우 peak값 전후 20분(경과시간 120~150분)에서의 추적자농도가 거의 비슷하게
나타났는데 이는 두 계열로 구성되어 있는 정수지에서 흡수정으로 연결된 관로의 길이가 각각 다른 관계
로(42~195m) 흡수정에 유입되는 추적자의 도달시간에 영향을 끼친 것으로 측정되었다. <사례 그림
5.9.1>은 추적자 주입 후 경과시간에 따른 불소농도 변화를 나타낸 것이다.



<사례 그림 5.9.1> 경과시간에 따른 추적자 농도 변화

② 정수지 접촉시간 및 수류 특성조사

정수지 접촉시간을 구하기 위한 경과시간에 따른 추적자 유출 누적곡선을 <사례 그림 5.9.2>와 같이 나
타냈는데 결정된 접촉시간(T_{10}) 97분의 T_{10}/T 값은 0.55로 실제 G정수장에서 소독능 평가에 적용하고
있는 0.5보다 다소 높은 것으로 조사되었으며, 추적자 실험 회수율은 98%였다.



<사례 그림 5.9.2> 시간변화에 따른 추적자 유출 누적곡선

3) 최종 판정 및 활용

소독능값 평가를 위하여 적용하고 있는 환산계수의 이론적방법에 대한 검증과 운영조건에서 실제 접촉시간 (T_{10})을 구하기 위하여 G정수장 정수지를 대상으로 실시한 추적자시험 결과는 다음과 같다.

- ① 필요 소독능 평가를 위한 접촉시간(T_{10})은 97분($T_{10}/T: 0.55$)으로 G정수장에서 소독능 평가에 적용하고 있는 엄격한 조건 T_{10}/T 값 0.5보다 약간 높다.
- ② 평상시 운영조건에서 행하여진 추적자 시험에서 얻어진 $T_{10}/T=0.55$ 는 정수지에 설치된 baffle 환산계수 평균값과 일치
- ③ 유출 추적자 peak는 135분으로 나타났으나 형성된 peak가 완만함을 보였는데 이는 정수지 4지를 통합하여 실험한 결과에 따른 것으로 판단

다음의 <사례표 5.9.4>는 추적자시험을 통한 반응조 수류흐름평가 방법 중 <사례 그림 5.9.2>의 결과를 토대로 Index법에 의한 정수지(흡수정 포함)의 plug flow 및 단락류 정도를 나타낸 것으로, 정수지내 혼합정도를 나타내는 Morill Index는 3.6, 단락류 Index는 0.25 정도로 나타났다. 그리고 유출추적자 농도가 최대일 때의 시간과 이론적 체류시간의 비로 1에 가까울수록 plug flow를 나타내는 Modal Index는 0.77로 조사되었다.

<사례표 5.9.4> Index법에 의한 정수지 특성분석 결과

평가항목	결과	비 고
Morill Index	3.60	T_{90}/T_{10} , 지내 mixing 정도 표시, plug flow=1, CSTR $\gg 1$
Modal Index	0.77	$T_{p(50)}/T$, 지내 plug flow 정도 표시, plug flow=1
단락류 Index	0.25	$(t_g - t_p/t_g)$, 지내 흐름의 단락류 상수

5.9.4 염소제

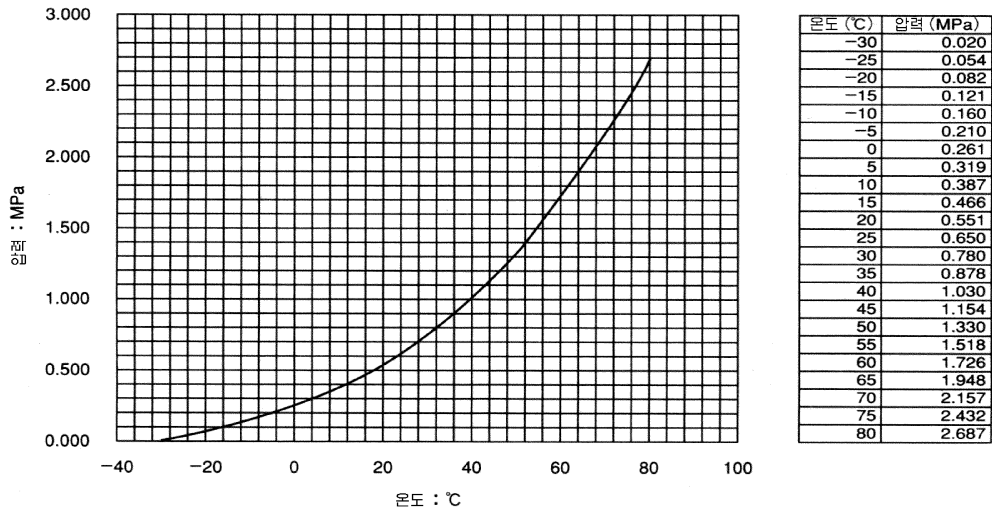
염소제는 일반적으로 수중에서 용이하게 차아염소산 및 차아염소산이온을 생성하고 소독효과를 확실히 발휘할 수 있는 약제를 말하는데, 염소, 차아염소산나트륨(NaOCl), 차아염소산칼슘[고도표백분, $(\text{Ca}(\text{OCl})_2)$] 등이 이에 포함된다. 가장 다량으로 사용되고 있는 액화염소는 제조, 운반, 저장의 편의상 염소가스를 액화하여 고압으로 용기 또는 저장탱크에 충전한 것으로서 품질은 KS M 1103에 의한다. 염소가스는 공기보다 무겁고 특징이 있는 냄새를 가진 유해가스로서 그 취급방법에 잘못이 있으면 중대한 사고를 발생하게 되므로 먼저 염소의 성질을 아는 것이 필요하다. 염소제의 품질규격 및 주입설비는 상수도시설기준 5.10.2 염소제의 종류, 주입량 및 주입장소를 참조한다.

(1) 염소제 성질

1) 염소

염소는 미량으로써 신속한 살균효과를 나타내는 것으로 수돗물의 안전성을 확보하는 중요한 요소이며, 공업적으로는 식염수의 전기분해에 의해 얻어지고 반응력이 매우 강한 원소이다. 상온에서는 황록색의 강열한 질식성의 자극성 있는 기체로 공기무게의 약 2.5배이며, 독성이 매우 강하므로 그 성질을 잘 파악하여 취급시에는 세심한 주의를 하여야 한다.

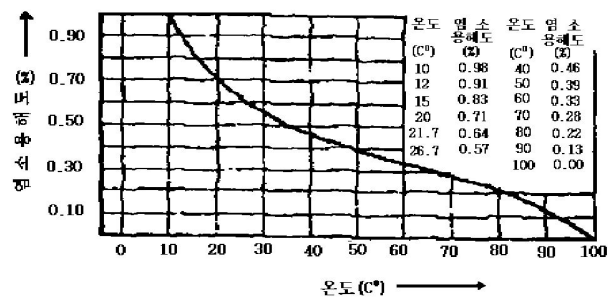
염소가스를 냉각시키면서 압축하면 20℃에서는 6.6기압, 0℃에서는 3.7기압으로 액화된다. 액화된 염소는 비중 약 1.56의 오렌지색의 액체로 용기에 채워 출하된다. 기체와 액체와의 임계점을 <그림 5.9.3>에 표시하였다. 용기에는 통상 상온으로 90%의 액화염소와 약 10%의 고압염소가 충전되어 있다. 액화염소가 가스로 기화되면 약 460배(0℃, 1기압)의 용적의 가스로 팽창되고 염소가스와 액화염소의 성상은 <표 5.9.17>에 표시된 것과 같다.



<그림 5.9.3> 온도와 염소가스압력과의 관계

<표 5.9.17> 염소가스와 액화염소의 성상

항 목	염소가스	액화염소
상태	기체	액체
색	황록색	황색
냄새	질식성의 자극취	질식성의 자극취
비중	0℃에서 2.49(공기:1)	10℃에서 1.44(물:1)



<그림 5.9.4> 온도와 염소 용해도의 관계

염소의 포화용액이 9℃ 이하가 되면 염소빙(chlorine ice)이라고 불리는 담황색의 합수염소의 결정이 생기며 상압에서의 염소의 물에 대한 용해도와 온도와의 관계를 <그림 5.9.4>에 표시하였다. 또한 온도와 염소가스 압력관계 및 상압(常壓)에 있어서의 염소의 물에 대한 용해도와 온도와의 관계는 <그림 5.9.4>를 참조하고 상수도시설기준 5.10.3 저장설비와 5.10.4 주입설비를 참조한다.

수중에 암모니아, 아민류, 아민산류의 화합물이 존재하면 유리염소는 이들과 반응하여 클로라민(chloramin)이라는 결합염소를 생성한다. 암모니아가 존재하는 경우에는 다음의 3종류의 클로라민이 생성된다.

- ① $\text{HOCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl}(\text{monochloramine}) + \text{H}_2\text{O}$
- ② $\text{HOCl} + \text{NH}_2\text{Cl} \rightarrow \text{NHCl}_2(\text{dichloramine}) + \text{H}_2\text{O}$
- ③ $\text{HOCl} + \text{NHCl}_2 \rightarrow \text{NCl}_3(\text{trichloramine}) + \text{H}_2\text{O}$

$\text{NH}_2\text{Cl}(\text{monochloramine})$ 은 염소투입량이 수중 암모니아량의 5배까지일 때 주로 생성되는 물질이고 염소투입량이 5~9배일 때에는 $\text{NHCl}_2(\text{dichloramine})$ 이 생성된다. 클로라민의 생성은 pH와도 밀접한 관계가 있다. pH 8.5 이상에서는 NH_2Cl 이 주로 생성되고 pH가 산성으로 내려갈수록 NHCl_2 의 생성이 직선적으로 증가하여 pH 6.5 부근에서 많이 생성된다. pH 4.4 이하에서는 NCl_3 가 존재한다. $\text{NH}_2\text{Cl}(\text{monochloramine})$ 과 $\text{NHCl}_2(\text{dichloramine})$ 은 약한 소독력이 있는 매우 안정된 물질로서 관망의 소독에 유효하다고 보고되고 있다. 그러나 $\text{NCl}_3(\text{trichloramine})$ 은 수중에서 전해되지 않으므로 소독력이 없다. 결합염소의 소독력은 유리염소의 소독력에 비하여 대단히 낮다. 동등한 농도의 결합염소가 유리염소와 동일한 소독효과를 달성하기 위해서는 약 100배 이상의 접촉시간이 필요하다.

또한, 염소는 발생기산소에 의하여 세균의 조직을 산화시키거나 세포막과 세포조직의 화학적 성질을 변화시키거나 포도당의 산화에 필요한 효소를 파괴함으로써 미생물을 사멸시킨다고 알려져 있다. 염소의 살균력에 영향을 미치는 인자로는 pH, 온도, 접촉시간, 염소의 주입농도, 원수의 염소요구량이 있다.

2) 차아염소산나트륨

차아염소산나트륨은 일반적으로 가성소다용액에 염소가스를 흡수시켜 제조한다. 유효염소농도 5~12% 정도의 담황색 액체이다. 차아염소산나트륨에는 소량의 염화나트륨 및 가성소다가 포함되어 있는데, 배관 등의 부식에 대한 대책으로 저염화나트륨의 차아염소산나트륨도 제조되고 있다.

강한 알칼리성을 나타내고 부식성을 지니고 있으므로 저장조, 배관 등에는 내부식성 재료를 사용하고 취급시에는 피부, 점막에 닿지 않도록 주의해야 한다.

차아염소산나트륨은 불안정하고 상온에서도 보존 중에 산소를 방출하고 분해하여 이 분해 반응은 일광, 자외선, 중금속, 온도 상승 및 pH값 저하 등에 의해 촉진되게 된다.

또한 산에 의해 급격히 분해되고 염소가스의 방출로 인해 위험성이 따르게 되므로 산류, 황산알루미늄 등의 산성용액과 혼합되지 않도록 주의하도록 한다. 차아염소산나트륨 결정 석출 온도측정 예를 <표 5.9.18>에 비중과 유효염소농도 관계를 <표 5.9.19>에 나타냈다.

3) 차아염소산칼슘

차아염소산칼슘(고도표백분)은 백색 또는 백색에 가까운 분말, 과립 또는 정제이며 통상, 유효염소

60~70%를 포함하여 약간의 염소냄새를 지니고 물에는 비교적 잘 녹는다.

차아염소산칼슘은 안정성이 좋고 장기간 보존이 가능하므로 재해시 등의 비상용 소독제로서 적합하다. 물에 용해하여 사용하게 되는데, 농도가 짙은 용액을 주입하는 경우는 주입관 스케일 발생 및 유효염소 저하에 주의한다. 차아염소산칼슘은 노동 안전 위생법의 위험물에 해당하므로 밀봉하여 건조하고 서늘한 냉암소에, 물이나 가연물, 폭발성 물질과의 접촉을 피하여 저장한다. 포장 용기가 파손되어 엇질러진 경우, 그 양이 소량이라면 약 10배 이상의 물로 씻어 내리면 된다. 또한 화재시에는 분해되어 염소가스가 발생되므로 주의가 필요하다.

<표 5.9.18> 차아염소산나트륨 용액의 결정 석출점(예)

유효염소(%)	염화나트륨(%)	결정 석출점(℃)
12.3	10.6	-17~-21
12.3	3.3	-9~-13
12.3	0.8	-8~-12

<표 5.9.19> 차아염소산나트륨 용액 비중과 유효염소 농도 관계

비중 (20℃)	유효 염소농도		차아염소산나트륨
	(g/L)	(wt.%)	(wt.%)
1.05	30.0	2.86	3.00
1.07	40.0	3.74	3.91
1.08	50.0	4.63	4.87
1.09	60.0	5.50	5.76
1.11	70.0	6.31	6.64
1.12	80.0	7.14	7.50
1.13	90.0	7.96	8.31
1.15	100.0	8.70	9.16
1.16	110.0	9.48	10.05
1.17	120.0	10.3	10.76
1.18	130.0	11.0	11.53
1.20	140.0	11.7	12.28
1.21	150.0	12.4	13.03
1.22	160.0	13.1	13.75
1.24	170.0	13.7	14.45
1.24	178.0	14.4	15.00

주) 시판하는 차아염소산나트륨 용액 비중은 약 1.2로 염화나트륨농도는 10~15%이다.

(2) 염소에서 차아염소산나트륨으로의 전환

액화염소는 안전성의 문제에서 저장이나 주입시의 취급이 어렵기 때문에 보다 안전하고 취급하기

쉬우며 제해설비가 필요 없는 차아염소산나트륨으로의 전환이 이루어지고 있다.

다음과 같은 경우는 전환을 고려해야 한다.

- ① 대지진 발생 가능성이 높은 지역일 경우
- ② 정수장 주변의 인구밀도가 비교적 높고 염소가스가 누설되었을 때에 피해가 예상되는 경우
- ③ 액화염소 사용에 동반되는 보안관리를 충분히 실시할 수 없는 상황에 있는 경우

차아염소산나트륨으로 전환하여 얻을 수 있는 최대의 효과는 안전성 향상이다. 그러므로 전환 가능 여부는 경제성의 여부 보다는 오히려 기존의 액화염소설비를 유지관리 함에 있어 예상되는 위험도 및 이에 대해 어느 정도 대응할 수 있는지를 가지고 판단해야 할 것이다.

5.9.5 수돗물의 염소소독

(1) 염소소독의 기본적 사항

염소소독을 항상 정확히 실시하기 위해 기본적인 사항은 다음과 같다.

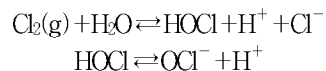
- ① 소독설비는 소독이 중단되지 않도록 항상 정비하고 사고에 대비하여 예비기를 설치한다.
- ② 염소주입 장소는 염소가 물과 충분히 균등히 혼합될 수 있는 곳을 선정하여야 한다.

염소주입은 통상 취수장이나 착수정에서 투입하는 전염소처리와 여과지 입구에서 중간염소처리 및 정수지 입구에서 투입하는 후염소처리가 있는데 가장 기본적인 처리는 후염소처리이다. 또한 정수장 밖에서 배수지나 관로시설 등에 추가하여 투입하는 경우가 있는데 이를 재염소처리라 한다(5.10 전 염소, 중간염소 및 재염소처리 참조).

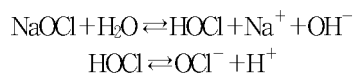
<참고 5.9.2> 소독효과

염소나 차아염소산나트륨이 수중에 주입된 후에는 차아염소산과 차아염소산이온이 생성된다.

염소인 경우



차아염소산나트륨인 경우



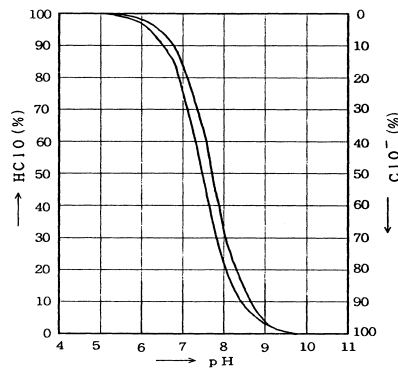
차아염소산과 차아염소산이온은 같은 유효염소지만, 살균력에 차이가 있으며 차아염소산(HOCl)이 살균작용이 강하다. 차아염소산과 차아염소산이온의 존재비는 pH가 낮아질수록 차아염소산의 존재비율이 높아지므로 소독 효과는 커진다.

(2) 유리 염소와 결합 염소

염소가 수중에 용해되면 차아염소산(HOCl)과 차아염소산이온(OCl⁻)의 형태로 존재하는데 이를

유리염소 또는 유리잔류염소라 부른다. 유리염소와 결합염소에 대해서는 상수도시설기준 5.10.2 염소제의 종류, 주입량 및 주입 장소를 참조하고, 물의 pH나 수온에 의한 차아염소산과 차아염소산이온의 존재비의 변화를 <그림 5.9.5>에 나타냈다. 또한 유리염소에 의한 소독 및 결합염소에 의한 소독에 관해서는 다음 <참고 5.9.2~5.9.7>을 참조한다.

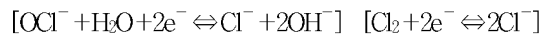
일반적으로 수돗물 소독제로서는 할로겐이나 그 화합물이 유효하며 염소, 불소, 요오드 등이 이용되고 있으며, 이외에도 오존, 이산화염소, 자외선 등도 물에 대한 소독제이다. 이들 소독제의 소독효과는 pH값이나 온도 등에 따라 다르지만 소독효과의 비교방법 중의 하나로써 C·T값을 지표로 하는 방법이 있다.



<그림 5.9.5> 온도와 pH값에 따른 HOCl와 OCl⁻량의 관계

<참고 5.9.3> 유효염소

차아염소산나트륨의 유효염소는 차아염소산이온 중의 염소가 갖는 산화력을 당량의 염소농도로 환산하여 2당량의 산화력을 갖는다.



차아염소산나트륨의 유효염소는 차아염소산이온 중 유효염소의 2배로 된다. 즉, Cl₂(g)는 전자 1mole을 받아들이기 위하여 35.5g이 필요한 반면, 차아염소산나트륨은 37.27g이 필요하므로 같은 무게일 경우 순수 차아염소산나트륨은 순수 Cl₂에 비하여 95%의 유효염소를 갖고 있는 것으로 계산된다.

<참고 5.9.4> 유리잔류염소와 결합잔류염소

염소는 물에 용해되면 물과 반응하여 차아염소산(HOCl)과 염산으로 되며 차아염소산은 그 일부가 차아염소산이온(OCl⁻)과 수소이온으로 해리된다. 이 반응은 가역적이며 물의 pH나 수온에 따라 변한다. 한편 염소는 수중의 암모니아화합물과 반응하여 클로라민을 생성한다. 클로라민은 반응진행정도 및 pH에 따라 모노클로라민(NH₂Cl), 디클로라민(NHCl₂) 및 트리클로라민(NCl₃)으로 존재한다. 모노클로라민과 디클로라민을 결합염소 또는 결합잔류염소라 한다.

유리잔류염소와 결합잔류염소와의 살균력에는 차이가 있으며 가장 좋은 조건하에서 동일한 접촉시간으로 동등한 소독효과를 달성하기 위해서는 결합잔류염소는 유리잔류염소에 비하여 25배의 양을 필요로 하고 동일한 양을 사용하여 동등한 효과를 올리기 위해서는 약 100배의 접촉시간이 필요하다.

<참고 5.9.5> 염소요구량과 염소소비량

유리잔류염소에 의한 소독방법에서는 염소요구량을, 또 결합잔류염소에 의한 소독방법에서는 염소소비량을 각각 기준으로 주입량을 결정할 필요가 있다. 일반적으로 양질의 물에서는 염소요구량과 염소소비량은 동일하지만, 암모니아성질소 등의 농도가 높은 물에서는 그 차이가 크다.

<참고 5.9.6> 결합염소에 의한 소독

특정 지하수에서 볼 수 있는 바와 같이 세균이 적고 암모니아성질소가 일정수준 존재할 경우에는 결합염소(클로라민)로 소독할 수도 있다. 그러나 결합잔류염소는 소독효과가 낮으므로 세균오염도가 높은 경우에는 파괴적 염소처리를 고려하는 것이 바람직하나 THMs 등 소독부산물 생성에 유의해야 한다.

잔류염소를 오래 지속시킬 필요가 있는 경우나 색도의 상승, 맛·냄새의 발생방지 등의 이유로 결합염소로 소독할 경우에는 염소를 미리 주입함으로써 암모니아성질소 및 생성된 클로라민을 분해한 다음 암모니아의 첨가에 의하여 결합염소를 생성하여 소독하도록 한다.

암모니아는 액체암모니아를 사용하면 염소주입기와 같은 장치로 주입할 수 있다. 결합염소로 소독할 경우에는 주입 후 사용될 때까지 충분한 접촉시간을 갖도록 한다. 또한 원수가 각각 다른 처리수를 배수지에서 혼합시키는 경우에 처리수의 소독방법이 유리형과 결합형으로 각각 다르게 되어 있으면, 잔류염소가 소멸될 우려가 있으므로 이러한 처리수를 혼합시키는 것은 피해야 한다.

<참고 5.9.7> C·T값

소독효과 비교에 pH값이나 온도 등을 동일 조건으로서 특정 미생물에 대한 불활성화율(예를 들어 99%)을 달성하기 위해 필요한 소독제의 농도(C)와 접촉시간(T)의 곱에 의해 하는 방법이 있다. 당연히 C·T값이 낮은 쪽이 소독효과는 크다고 할 수 있다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C \cdot T \text{ 값} = \text{소독제의 농도(mg/L)} \times \text{접촉시간(분)}$$

각 소독제에 의한 대장균을 99% 불활성화시키는 데에 필요한 C·T값은 <참고표 5.9.1>과 같다.

<참고표 5.9.1> 5℃일 때의 대장균 99% 불활성화에 대한 C·T값

소독제	유리잔류염소	클로라민	이산화염소	오존
pH값	6~7	8~9	6~7	6~7
C·T값	0.034~0.05	95~180	0.4~0.75	0.02

<참고표 5.9.1>로부터 소독효과의 강도는,

오존>유리잔류염소>이산화염소>클로라민의 순임을 알 수 있다. 그러나 오존에는 소독의 잔류효과가 없는 결점이 있고 수도에서는 단독으로 이용할 수 없다.

우리나라에서 소독은 염소로 실시하도록 의무화되어 있어 급수전 수중의 유리잔류염소 농도는 0.1mg/L 이상 또는 결합잔류염소 0.4mg/L 이상이 되지 않으면 안 된다.

결합잔류염소의 C·T값은 유리잔류염소와 비교하여 크기 때문에 결합잔류염소로 소독할 때에는 충분한 접촉시간을 확보하여야 한다.

일반적으로 염소제에 의한 소독은 수온이 높고 pH값이 낮은 쪽이 소독효과는 크다.

(3) 염소주입 및 주입개소

유리염소에 의한 소독법에 있어 염소주입은 급수전수에서 유지해야 될 잔류염소농도, 물과 접촉하는 수도시설에 의해 소독되는 염소량 및 물의 염소요구량을 참고로 설정하는데, 염소주입에 의하여 확인된 잔류염소는 물의 안전도를 확보하고, 배수계통에 있어서는 불의의 오염에 의한 사고를 방지할 수 있다. 그러므로 배수계통에서 잔류염소가 검출되지 않거나 검출량에 이상한 변동에 발생할 경우에는 교차연결 등의 오염으로 보아서 즉시 그에 대한 조치를 취하지 않으면 안 된다. 결합염소에 의한 소독법은 염소요구량 대신에 염소소비량을 이용한다. 또한 경우에 따라서는 실제 주입과 말단 급수전의 잔류염소 농도를 측정하고 경험적으로 주입의 증감을 하는 것도 가능하다.

또 염소주입에 관한 중요한 사항은 다음과 같다.

- 1) 소독설비는 소독이 중단되지 않도록 항상 정비하고 사고에 대비하여 예비설비를 한다.
- 2) 염소주입장소로 착수정, 정수지, 배수지의 입구 등에서 염소가 물과 충분히 혼합할 수 있도록 하고, 배수지나 정수지와 같은 저류지는 도류벽을 설치하여 흐름이 plug flow 형태를 이루도록 하는 것이 바람직하다. 정수지나 배수지의 유출부, 기타 적당한 장소에서 정기적으로 잔류염소를 측정하고 소정의 주입량이 균등하게 유지되고 있는가를 검사하는 것이 바람직하다.
- 3) 평상시에 있어서의 염소주입량은 관말에 있어서 유리잔류염소가 0.1mg/L 이상(결합잔류염소의 경우에는 0.4mg/L 이상) 유지되도록 할 것. 단, 다음과 같은 경우에는 유리잔류염소로 0.4mg/L (결합잔류염소로는 1.8mg/L) 이상으로 하여야 한다.
 - ① 수원부근 및 급수구역, 그 부근에 있어 소화기계 전염병이 유행하고 있을 때
 - ② 전 구역에 걸치는 광범위한 단수 후 급수를 개시할 때
 - ③ 홍수, 또는 갈수 등으로 수질이 나빠졌을 때
 - ④ 정수 과정에 이상이 있을 때
 - ⑤ 배수관의 대규모의 공사나 수도시설이 현저히 오염될 것으로 예상될 경우
 - ⑥ 기타 특히 필요하다고 생각될 때

염소 주입지점은 전염소처리와 후염소처리로 나눌 수 있고 전염소처리의 목적은 원수 중의 조류의 사멸, 암모니아성 질소의 제거, 철·망간의 산화제거, 맛·냄새물질의 산화 등으로서 응집·침전공정 전에 주입한다. 후염소처리는 수인성 미생물의 살균을 목적으로 하며 여과의 최종단계에서 주입하는데 조류를 사멸시키기 위하여 전염소처리를 할 때에는 착수정에서 응집·침전지까지 소량이나마 지속적인 투입으로 염소농도를 유지시켜 주는 것이 효과적인 경우가 있다. 그러나 전염소처리를 시행한 경우에는 염소가 수중의 유기물질과 접촉하는 시간이 연장되므로 트리할로메탄과 같은 할로겐화 유기물질의 생성에 주의하여야 한다.

염소 소독주입량을 미리 추정하기 위해서는 다음 세 가지 조건을 고려할 필요가 있다.

1) 급수전수에서 유지해야 할 잔류염소농도

급수전수에서 유지해야 할 잔류염소농도는 평상시에는 유리잔류염소로 0.2mg/L 이상으로 하여야 한다.

2) 물과 접촉하는 수도시설에 의해 소비되는 염소량

소독된 물이 정수지, 송수관, 배수관, 급수관, 펌프, 계량기 등의 수도시설에 접촉되는 사이에 소비되는 염소량

3) 물의 염소요구량과 염소소비량

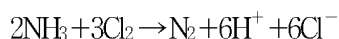
물의 염소요구량과 염소소비량에 대해서는 상수도시설기준 5.10.2 염소제의 종류, 주입량 및 주입장소를 참조한다. 물과 접촉하는 수도시설에 의하여 소비되는 염소량은 시설이 정상이면 그 소비량은 그 시설에 있어서 대개 일정하고, 물의 염소요구량은 수질에 따라서 다르나 어느 경우의 물도 기본적으로는 다음의 세 가지형의 어느 것에 속하는지 고려하면 된다.

<그림 5.9.6>은 염소주입과 잔류염소농도와의 관계를 나타낸 것인데, 수질에 따라 I, II, III형으로 구분된다. I형은 유기물이나 피산화물을 전혀 함유하지 않은 물로서 실제로는 존재하지 않으며, 염소요구량이 영이고 염소주입량에 비례하여 잔류염소가 검출된다. II형은 일정한 염소요구량을 가지고 있는 물로 염소주입량의 증가에 비례하여 유리잔류염소가 검출되는 경우이다. III형은 수중에 암모니아화합물이나 유기성질소화합물(알부미노이드, 아미노산, 아민 등)을 함유한 경우로 이와 같은 물에 염소를 주입하면 결합잔류염소를 생성하며 주입된 염소량에 따라서 점차 증가한다.

그러나 어느 한도에 도달하면 염소주입이 증가함에도 불구하고 잔류염소는 감소하며 영(零) 또는 그에 가깝게 된다. 이는 과잉염소에 의하여 클로라민이 분해되기 때문이다. 더욱 염소주입을 증가시키면 주입된 염소량에 비례하여 유리잔류염소가 증가한다. II형에서는 a점까지의 염소주입이 염소요구량이며 염소소비량이기도 하다. III형에서는 b점까지의 염소주입이 염소소비량, c점까지의 염소주입이 염소요구량이다.

수중에 포함되어 있는 질소화합물의 양에 따라 최대점이 지나게 되면 염소주입량이 증가됨에 따라 잔류염소량이 감소되어 영에 가까워지고, 염소주입량을 계속 증가시키면 이후에는 그 증가량에 비례해 유리잔류염소가 점차 증가되며 잔류염소가 질소로 환원되는 반응은 다음의 것들을 참고로 할 수 있다.

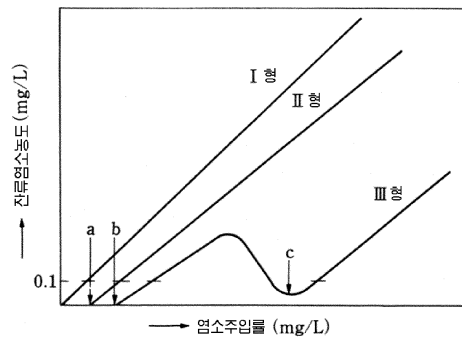
- ① $2\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + 3\text{HCl}$
- ② $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{NHCl}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{HCl}$
- ③ $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 4\text{HCl}$
- ④ $4\text{NH}_2\text{Cl} + 3\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O} + 10\text{HCl}$



일반적으로 수도원수는 II형, III형이다. <그림 5.9.6>은 상기의 형태를 도시한 것으로서 그림 중의 a, b점은 염소가 잔류하기 시작하는 점으로 잔류염소곡선에 있어서 임계점이라 하고 이 점까지의 염소주입량을 물의 염소소비량이라고 한다. 또 유리잔류염소를 검출하기 시작하는 II형의 a점, III형의 c점까지의 염소주입량을 염소요구량이라 한다.

III형의 c점을 특히 불연속점(breakpoint)이라 하며 이 점을 넘어서 유리잔류염소를 검출하도록 염소를 주입하는 방법을 불연속점 염소처리(파괴점 염소처리)라 한다. 불연속점에 이르는 염소의 투입량은 수중에 철, 망간, 박테리아 등의 염소소비물질이 전무할 경우 $\text{NH}_3\text{-N}$ 1mg당 7.6mg의 염소(Cl_2)가 소요되나 현실적으로 $\text{NH}_3\text{-N}$ 1mg당 약 10mg 내외의 염소가 소요된다. 이론적인 염소

주입량은 상기의 ②~④항의 합으로 결정된다. 그러나 결합염소의 형태로 염소소독을 할 경우에는 물의 염소요구량 대신에 염소소비량<그림 5.9.6> III형의 b점을 사용한다. 파괴점 염소소독을 할 경우 수중의 유기물질과 반응하여 염소계 유기화합물을 생성하는 경우가 있으므로 이에 대하여 고려하는 것도 필요하다.



<그림 5.9.6> 염소주입율과 잔류염소농도와의 관계

또 수도에 있어서는 그 규모나 수질에 따라서 반드시 이론적으로는 주입량을 구하는 것이 실제적이 아닌 경우도 발생한다. 이와 같은 때에는 실제의 정수장에서의 주입량과 관말에 있어서의 잔류염소량을 측정하여 주입량의 증감을 경험적으로 결정하여야 한다.

(4) 잔류염소 확인

정수지, 배수지에서는 일정시간 및 필요시마다 잔류염소를 측정하고 염소주입량이 적당한지를 확인하여야 한다. 배수지 용량의 관계나 정수장으로부터의 송·배수관이 길고, 잔류염소의 감소가 현저할 경우는 도중에 소독설비를 설치하여 추가 주입을 하는 등 필요한 조치를 검토해 보아야 한다.

또한 정기 및 임시로 실시되는 급수전수의 수질검사에 잔류염소가 검출되지 않거나 검출농도가 급격히 저하된 경우는 교차연결(크로스커넥션) 등에 의한 오염으로 보고 즉시 적절한 조치를 강구하도록 한다.

또한 잔류염소의 검사방법은 DPD법에 의해 실시하도록 되어 있다.

(5) 염소의 독성

염소가스는 공기보다 무겁고 특징이 있는 취기를 가진 유해가스이며 극소량에서도 눈, 코, 인후의 점막을 자극하고 다량 흡입하면 질식하여 호흡곤란을 일으켜 위험하다. 염소의 독성의 구체적인 예는 다음과 같다.

- ① 냄새를 느끼는 최저농도 3.5ppm(0.011mg/L)
- ② 인후를 자극하는 최저농도 15.1ppm(0.048mg/L)
- ③ 기침을 하는 최저농도 30.2ppm(0.096mg/L)

④ 30분에 위험을 일으키는 농도 40~60ppm(0.127~0.190mg/L)

⑤ 순간적으로 치사하는 농도 1,000ppm(3.16mg/L)

그러나 염소가 물에 용해한 경우에는 위와 같이 심한 것은 아니고 동물실험에 의하면 생쥐에 염소 100mg/L을 포함한 물을 50일간 마시게 하였으나 체중의 증감이나 내장에 아무런 이상도 인정할 수 없었다. 또 미국군대가 해외에서 200인에게 잔류염소 32mg/L을 포함한 물을 수개월간 연속 사용하였으나 아무런 나쁜 결과도 나타나지 않았다고 보고되고 있다.

5.9.6 저장설비

(1) 법규상 수속

액화염소를 사용하는 경우는 시설의 규모, 내용에 따라 감독관청에 신고 및 허가가 필요하게 되므로 정해진 기간 내에 소정의 절차를 밟아야 한다.

(2) 저장방법과 저장량

액화염소는 공장에서 충전된 용기(50kg 용기 또는 1t 용기) 그대로 저장하는 경우와 정수장 등의 저장조에 저장할 경우가 있다. 또한 차아염소산나트륨은 20kg 용기에 의한 저장과 탱크로리 등에 의해 반입되어 저장조에 저장하는 경우가 있다. 이들 염소제는 항상 사용량 10일분 이상에 해당되는 양을 확보해 두어야 한다. 액화염소에 의하여 염소소독(처리)을 하는 경우 액화염소는 고압가스안전관리법의 적용을 받고 특히 액화염소를 1톤 이상 저장하고 소비하는 경우 특정고압 가스소비자로서 안전관리 총괄자 1인과 각 사업소마다 안전관리책임자 1인과 안전관리원 1인 이상을 두고 필요한 서류를 첨부하여 시, 도지사에게 제출하는 등 법에 규정된 조치를 취해야 한다. 따라서 액화염소를 저장, 소비할 때는 고압가스안전관리법과 기타 관련기준 등을 준수하여 취급하여야 한다.

(3) 저장설비와 관리

각 소독제의 저장 및 관리에 있어 유의 사항은 다음과 같다.

1) 액화염소 저장

① 저장장소

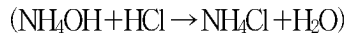
염소가스가 충전된 용기는 반드시 정해진 장소에 가지런히 두어야 한다. 용기내의 염소는 고압이고 유독하기 때문에 신중하게 다루어야 하며, 소량을 운반할 때에도 사람이 많은 장소, 건물의 출입구 부근 또는 차량이 통과하거나 접근할 위험이 있는 곳에는 두지 않도록 한다. 또한 저장조는 상면(床面)에 고정된 저장설비를 말하는데 일반 용기에 비해 용량이 크므로 특히 주의가 필요하다.

② 용기로 반입할 때의 취급법

① 충전용기와 사용이 끝난 용기는 표시를 해 두어 명확하게 구분해 두어야 하며 100kg 용기는 뒤편 세워서 저장하고 1톤 용기는 눕혀서 1병마다 고정시키고 넘어지거나 구르지 않도록

록 하여야 한다.

- ⑥ 염소용기 입하시에는 각종 안전검사 유무를 확인한다. 염소가스가 셀 우려가 있는 경우는 암모니아수를 용기입구의 염소주입구 근처에 도포하여 누출유무 등을 검사하고 주밸브, 용기 등의 불완전한 것은 즉시 반송하지 않으면 안 된다. 암모니아수는 염소가스와 반응하면 염화암모늄 가스로 화하여 흰색 연기가 나타난다.



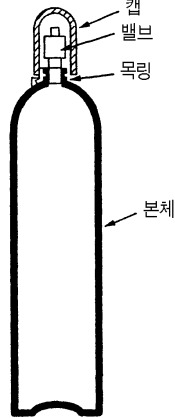
- ⑦ 용기의 사용에 있어서는 주밸브 스피들의 패킹을 고정하는 너트가 잘 조여져 있는가를 확인한 다음에 사용한다. 이때에 그 틈 사이에서 염소가 누출할 경우에는 즉시 너트를 조인다. 너트를 조여도 누출할 때는 스피들을 폐쇄하고 너트를 끌어내고 패킹을 보충하여 다시 조여야 한다. 또 스피들을 조였을 때는 패킹을 누르고 너트를 더 조여서 가스의 누출이 없는가를 확인하여야 한다. 또한 사용 도중 가스출입밸브가 작동불량인 용기는 무리한 힘을 가해 교정하려 하지 말고 반환하여야 한다(<그림 5.9.7> 참조).
- ⑧ 염소용기를 운반할 때에는 캡 또는 커버를 씌워 밸브를 보호하고 충격을 주지 않도록 한다. 또 하적, 기타 취급에 있어서는 로프를 걸거나 확실하게 고정시켜야 하고 또 35℃ 이하로 유지할 수 있도록 차광하거나 매트, 가마니, 중고 타이어 등을 이용하여 신중히 취급하고 절대로 충격을 주지 않아야 한다.
- ⑨ 원밸브의 고장이 가장 많이 발생하므로 개폐시에는 너무 강하게 다루지 않도록 하고, 전용의 핸들을 사용하거나 또는 150mm 이하의 렌치스패너를 사용하여야 한다.
- ⑩ 보조밸브 설치 및 배관, 교체 등을 실시할 때는 접속부의 패킹에 이물질이 들어가지 않았는지 확인한 후 반드시 패킹을 넣어 접속하여야 한다.
- ⑪ 사용이 끝난 용기는 바로 밸브를 닫고 뚜껑을 닫아 내부에 습기, 먼지가 들어가지 않도록 한다.
- ⑫ 동결된 염소용기의 앞부분을 온수로 용해시킬 때 안전마개의 퓨즈(fuse)가 녹을 우려가 있으므로 뜨거운 물(열탕)을 사용하는 것은 피해야 한다.
- ⑬ 용기를 세워 저장하는 경우는 가대에 고정시키고 눕혀서 저장하는 경우는 굴러가지 않도록 단단히 고정시킨다. 저장소 내에는 지진시에 용기 위로 낙하되거나 넘어질 수 있는 것은 놓아선 안 된다.

⑭ 액화염소 용기

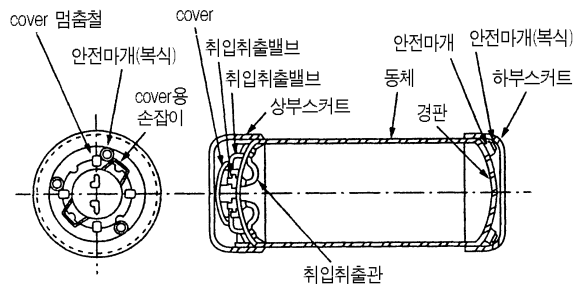
100kg 용기와 1톤 용기: 종래 용기는 보통 100kg 용기가 사용되었으나 연속조작이나 최대사용의 경우에는 1톤 용기를 사용하면 작업능률이 향상되고 구입단가도 염가가 된다. 그러나 1톤 용기를 사용하는 경우에는 저장실로의 반입방법, 보안설비 등에 있어서 특별한 배려를 필요로 한다.

1톤짜리 염소용기는 1,000kg의 염소를 충전할 수 있으며 완전히 충전된 용기의 무게는 약 1700kg 정도이다. 용기는 다음 <그림 5.9.7>과 같이 염소를 액체나 기체상태로 이용할 수 있도록 두 개의 밸브가 부착되어 있다. 용기는 호이스트로 수평상태로 저장하거나 운반하도록 되어 있다.

(A) 용기구조도(50kg 용기)



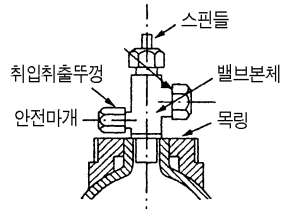
(B) 용기, 용기밸브의 구조도(1t 용량)



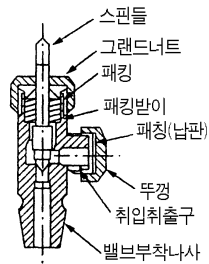
용기의 구조

용기의 종류	외경 (mm)	길이 (mm)	무게 (mm)	중량 (kg)	내용량 (l)
50kg 용기	210~230	약 1,500	5.5~6.5	45~60	40~42
1t 용기	790~800	약 2,100	12	680~710	800~820

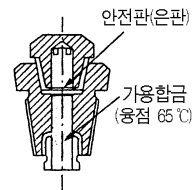
50kg 용기용 밸브 외관도



1t 용기용 밸브 외관도



동가용(同可溶) 안전마개의 일례



<그림 5.9.7> 염소용기와 밸브의 구조도

고압가스안전관리법 제19조 및 시행규칙 제21조에 의한 용기의 재검사기간은 다음 <표 5.9.20>에 보이는 바와 같고, 염소용기에 대한 관리 및 점검은 다음 <표 5.9.21>을 참조한다.

<표 5.9.20> 염소가스 용기의 재검사 기간

용량 \ 제작기간	15년 미만	15년~20년	20년 이상
1ton 용기	5년	2년	1년
100kg 용기	3년	2년	1년

<표 5.9.21> 염소용기의 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
3회/일	용기를 세워둔 장소에서 액체 누출 흔적 등	1년	저장장소 주변의 부식, 손상, 더러움 등 보수	6개월	청소
3회/일	사용 중인 용기의 외관	별도 규정	호이스트의 점검		
3회/일	압력의 이상 유무		용기 재검사		
3회/일	저장실의 온도 및 습도				
1회/일	용기 고정장치의 상태				
1회/일	충전된 용기와 사용한 용기의 구분저장 상태				

③ 저장조에 의한 반입과 감시

- ① 염소 반입시에는 액위계 및 압력계의 작동체크, 계측제어설비의 전원·압축공기원 및 염소 반입 공기원 등의 공급상황, 제해설비의 확인을 한 후 반입경로(압축경로도 포함)의 밸브류, 탱크로리와 접속상태 등을 확인한다. 또한 반입용 공기는 탈습장치에서 충분히 건조된 압축 공기(이슬점 $-40^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 이하 대기압하)를 사용한다.
- ② 반입조작은 정해진 순서로 정확히 실시하고 수동밸브의 개폐는 서서히 하여야 한다. 반입 중에는 저장조 내의 액위 및 압력을 상시 감시하고 동시에 접속배관 및 밸브로부터의 염소 누설 유무를 암모니아수로 검사한다.
- ③ 반입량은 저장조에 정해져 있는 최대량을 넘지 않도록 한다. 반입 후 탱크로리와 연결부를 꿰고 플랜지 뚜껑을 설치한다.
- ④ 저장 중에는 저장조 내의 액위, 압력 및 저장실 내의 온도를 정기적으로 감시하고 염소가 누설되는 부분이 없도록 정기적으로 검사한다.
- ⑤ 액위계, 압력계, 온도계, 염소누설검지기 등의 감시용 계기류 및 경보장치의 작동시험을 정기적으로 실시하여 항상 정상적으로 가동되도록 정비하고 6개월에 1회 작업환경 측정을 실시하여야 한다.
- ⑥ 저장조는 “소비중의 저장조”, “예비로서의 저장조”, “반입중의 저장조”, “보안점검중의 저장조”를 표시하고 명확히 구분하여 관련된 밸브류 및 조작 스위치는 “조작금지” 표시를 하거나 열쇠를 달아 잘못조작 등에 의한 사고가 발생하지 않도록 한다.

④ 저장관리

- ① 저장장소는 적절히 환기시켜야 한다. 소량의 누설이 있다고 하여도 장시간에 걸쳐 염소가스가 가득 차게 된다. 이는 기체를 부식시킬 뿐만 아니라 조작원이 중독될 위험이 있다.
- ② 다량이 누설된 경우는 실내를 밀폐시켜 염소가스 확산을 방지하고 제해설비를 가동시켜야 한다.
- ③ 저장장소에서는 창문, 출입구 등으로부터의 직사광선이 용기에 직접 닿지 않도록 주의한다.

- ④ 용기 운반시에 직사광선이 의해 용기 온도가 상승될 우려가 있을 시에는 차양을 하는 등 필요한 조치를 취하고, 항상 용기온도를 40℃ 이하로 유지하도록 하여야 한다.
- ⑤ 저장장소에 습기가 많을 경우는 이를 배제하여야 한다.
- ⑥ 저장장소에서는 정해진 보온장치 이외의 화기, 기타 열원을 사용하여서는 안 된다.

2) 차아염소산나트륨의 저장

① 저장장소

- ① 용기, 저장조는 직사광선을 피하고 가능한 한 냉암소의 통풍이 잘되는 곳에 설치하도록 한다.
- ② 용기는 가대를 설치하여 넘어지지 않도록 한다.
- ③ 저장조 또는 용기 두는 곳 및 방액제 가까이에는 세척용 급수설비를 마련한다.
- ④ 저장실에는 필요에 따라 환기설비 또는 냉방장치를 설치한다.

② 반입

- ① 20kg 용기는 압축 방지용 작은 구멍이 있는 마개를 위로하여 반입하고 겹치지 않도록 저장한다. 이외에 빈용기와의 구별을 명확히 한다.
- ② 20kg 용기는 충격에 약하므로 문, 콘크리트의 모서리 등의 돌기에 조심한다.
- ③ 탱크로리로 저장조에 반입시는 작업자는 상호 긴밀한 연락으로 밸브 개폐에 이상이 없는지를 확인한 뒤 조작하도록 한다.
- ④ 반입조의 액위계 작동상황과 차아염소산나트륨 잔량을 확인하고 배액밸브, 스트레이너의 막힘 상황, 역류, 역류방지밸브의 작동상황 및 관로나 밸브류의 누액 유무를 확인한다.
- ⑤ 반입구가 해당 약품용임을 확인하고 나서 탱크로리와 정확히 연결하고 반입 후에는 정해진 순서대로 밸브조작을 실시한다.

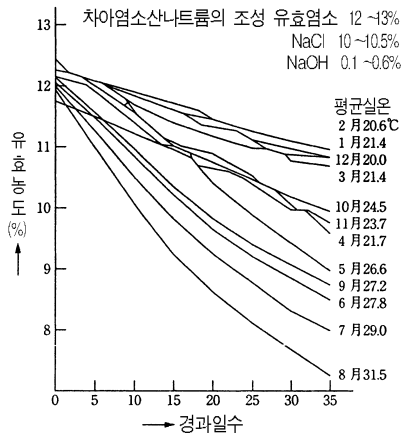
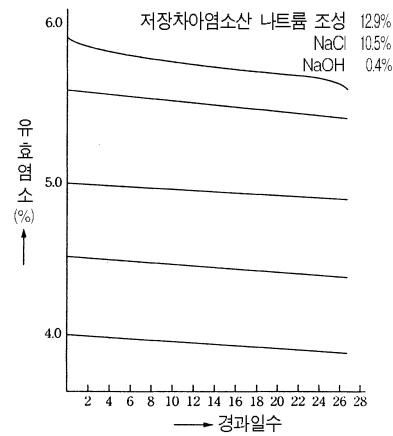
③ 검수

- ① 납입시에는 계량과 함께 품질검사를 실시한다.
- ② 구입규격, 구입시방서를 바탕으로 유효염소농도, 비중 및 액온의 측정 및 외관검사를 실시한다.
- ③ 차아염소산나트륨의 유효염소농도는 계절이나 운반상황에 따라 반드시 일정하지는 않으므로 주의를 요한다.
- ④ 납입량 확인시 탱크로리에 의한 것은 트럭 스케일로 실시한다. 계량설비가 없는 곳에서는 계량증명 사업자가 발행하는 공인계량증명서를 제출하게 하여 액면계로 용량을 구해 확인한다.

④ 저장관리

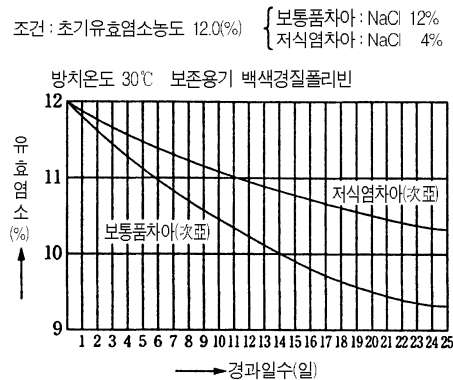
- ① 차아염소산나트륨은 상온에서도 불안정한 물질이기 때문에 가능한 한 유효염소 저하를 방지하고 동시에 농도변화 상황을 파악한다.
- ② 유효염소농도는 저장 중에 저하하기 때문에 저장이 장기화 될 때에는 그 설비 고유의 농도변화를 측정하고 월별 계절별로 변화곡선을 작성하여 관리한다.
- ③ 분해율은 농도에 따라서 달라지므로 저장조에 여유가 있는 경우나 장기간 보유하는 경우에는 분해가 느린 유효염소 5% 전후의 것을 이용하는 것도 하나의 방법이다. 차아염소산나트륨

류의 유효염소농도의 경과변화 및 안정성의 한 예를 <그림 5.9.8> 및 <그림 5.9.9>에 나타냈다.



<그림 5.9.8> 차아염소산나트륨 유효염소의 경과일수

<그림 5.9.9> 저농도 차아염소산나트륨의 안정성(25℃)



<그림 5.9.10> 차아염소산나트륨 유효염소저해(예)

- ④ 분해가 진행된 용액은 염화나트륨 등의 함유량이 많아 사용할 수 없으므로 주의를 요한다 (<그림 5. 9.10>).
- ⑤ 저장조, 저장실의 주위온도를 파악하고 환기설비, 냉방장치 등에 의해 온도상승 방지에 힘쓴다.
- ⑥ 이물질의 혼입, 특히 중금속류가 존재하게 되면 촉매작용으로 분해를 촉진하고 농도저하를 초래하게 되므로 충분히 주의한다.
- ⑦ 차아염소산나트륨이 누설된 경우는 확산을 방지하고 다른 약품과 혼동되지 않도록 구분하고, 정수장 밖에 누액을 배출하는 경우는 중화처리를 한다.
- ⑤ 저장조
 - ① 저장조는 철판으로 된 탱크 내면에 FRP 등의 내식성 재료를 라이닝 또는 코팅한 것, 혹은

내식성 재료로 제작한 것을 사용한다.

- ⑤ 저장조에는 액면계, 점검용 맨홀, 배액, 넘친 액(溢液), 세척 등의 배관 접속구, 사다리 등을 설치한다.

⑥ 소출조

- ① 소출조는 주입에 필요한 위치수두가 부족한 경우나 계량장치에서 압력변동을 작게 하지 않으면 안 되는 경우 저장조와 주입기 사이에 설치한다.
- ② 용량은 주입량 변동에 대응할 수 있는 크기로 한다. 양액 펌프와 같이 사용하는 경우는 펌프 토출량 및 기동빈도를 고려하여 결정한다.
- ③ 소출조에는 배관접속구, 불답 등의 액면 제어장치를 설치하는 것 이외에는 저장조 구조에 준한다.
- ④ 소출조에 양액하는 경우는 양액용 펌프를 설치한다. 용량은 소출조의 용량, 주입량을 고려하여 결정하고 기포발생에 대해서는 다음 주입설비를 참조할 것.

5.9.7 주입설비

(1) 염소 주입설비

1) 염소가스 기화량과 온도

액화염소가 기화되기 위해서는 20℃에서 약 61kcal/kg(0℃에서는 약 64kcal/kg, 40℃에서는 약 57kcal/kg)의 증발잠열(蒸發潛熱)을 필요로 한다. 따라서 기화기를 사용하지 아니하고 염소용기로부터 염소를 직접 취하는 경우에는 기화열은 공기로부터 용기의 본체 표면을 통하여 공급되어야 한다. 그러므로 실온이 15~20℃일 때 100kg짜리 용기 1개로부터는 시간당 약 0.8~1.0kg, 1톤 용기로부터는 시간당 약 6~8kg 가량의 염소를 취하도록 함이 적당하다. 염소의 사용량이 많아서 이 이상의 투입이 필요한 대규모 정수장에서는 기화기를 사용하거나 염소용기를 다기관에 병렬로 연결하도록 한다. 그러므로 염소설비 전체로서의 실내온도를 염소 저장실, 염소가스 배관, 염소 주입기 순으로 가스의 흐름에 따라 점차 높여 나가도록 한다.

2) 염소 기화기(氣化器)

염소사용량이 많은 경우는 염소 기화기를 사용하는데 그 목표는 일반적으로 15~20kg/h 정도이다.

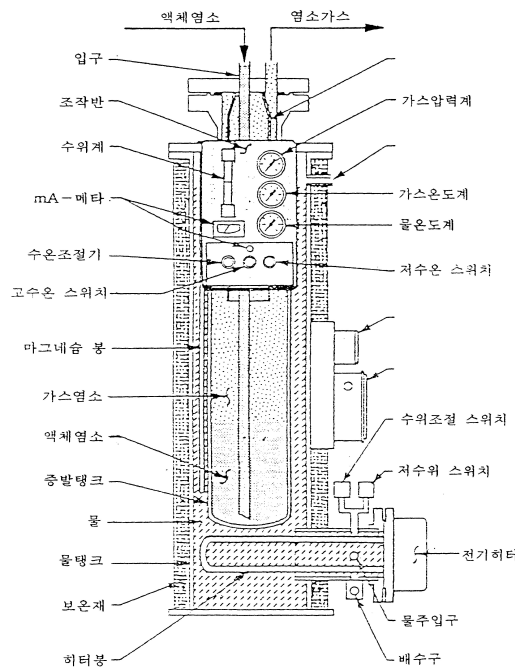
염소기화기의 일반적 구조는 <그림 5.9.11>의 예에도 나타나 있듯이 수조하부에 전열기(수증기인 경우도 있음)를 설치하여 물을 가열시키고 온수조 내에 장치된 코일로 감은 강관 안을 통과하는 액화염소에 열을 가해 중앙부의 기화통 내부에서 비등 기화시켜 염소가스를 발생토록 되어 있다.

염소기화기의 운전 조작은 <표 5.9.23>과 같다.

염소용기를 기화기 등의 배관에 연결할 때에는 연결나사나 누출방지용 고무링 등에 이물질의 혼입 여부를 확인한 후 접속을 완료하여야 하고, 기화기 수조에는 월류관을 설치하여 수위가 넘치지 않고 정수위를 유지하도록 하여야 한다. 또한 물이 증발하여 수위가 낮아지는 경우가 없도록 하고, 수조내의 물은 오래두면 침전물이 생기는 경우가 많으므로 3개월에 한 번씩은 갈아주도록 한다. 온수조 내

의 수온이 40℃를 유지하도록 하고 서모스타트(thermostat)를 장치하여 42℃에서는 전원이 끊어지도록 설치하여 놓아야 한다.

액화염소가 기화하는 기화통 내부에는 가스압력계를 설치하고 가스의 누출여부를 주의하여 관찰하여야 하며 염소의 기화를 단기간 정지할 때에는 액화염소의 유입구를 봉쇄할 필요는 없으며 기화기의 가스출구만 봉쇄도 된다. 그러나 장기간 정지시에는 액화염소의 유입밸브를 폐쇄하고 내부의 잔존 가스를 배출시킨다. 잔존 가스의 압력이 0.5kgf/cm²된 후에 안전밸브를 폐쇄하고 0kgf/cm²로 된 후에 출구밸브 및 압력계 밸브를 봉쇄한다. 또한 기화기에 대한 관리 및 점검은 반드시 다음의 표를 따라야 하는 것은 아니나 다음의 <표 5.9.22>를 참고로 한다.



<그림 5.9.11> 염소기화기의 구조

<표 5.9.22> 기화기의 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
3회/일	압력이상 유무	6개월	온도조절, 압력경보의 작동시험	6개월	필터 청소
3회/일	온수온도 이상 유무			1년	물의 교환
3회/일	온수조 수위이상 유무	6개월	기화기의 연결나선관, 가스통의 기밀시험	2~4년	기화기의 분해청소
3회/일	히터의 이상 유무			3~5년	도장
3회/일	순환펌프의 토출압력, 축부위의 온도, 유회유량, 이상음 및 누유부위 유무				

<표 5.9.23> 염소기화기 조작

구분	조 작	기화기의 움직임	주의해야할 점
시동	① 수조 내에 주수함	① 월류관에서 저수위로 유지함 ② 수위계에서 지표가 붉은선 이 상이 될 것	① 물 부족에 주의 ② 오래되면 물때가 침전되므로 3개월 정도에서 교체함
	② 전원을 살려 물을 데움	① 42℃가 되면 서모스타트(ther- mostart)에 의해 전원이 끊어짐	① 서모스타트의 세트 —40℃ ② 온도계 세트 —하한 33℃ —상한 50℃
	③ 액염 입구 밸브를 열고 액 염을 끌어 들인다.	① 액염이 사관(蛇管)을 통과해 기화기 통내로 들어감 ② 압력계가 가스압력을 지시함	① 가스누설에 주의
	④ 40℃가 되면 가스출구밸 브를 열어 가스를 공급함	① 온도는 자동제어 됨	① 염소가스 누설에 주의 ② 출구밸브는 서서히 연다.
정지	① 가스출구밸브를 닫으면 가 스는 차단됨		① 비교적 단시간 정지할 때 ② 액염 입구 밸브는 단지 말 것
	① 전원을 차단해 둠		① 장기간 정지하는 경우는 입구 밸브 를 전부 닫고 내부가스를 제거하던 지 잔류가스 압력 0.05MPa가 되 면 안전밸브의 원밸브를 닫는다. ② 잔류가스 압력이 0이 되면 출구 밸브와 압력계 원밸브를 전부 닫는 다.

3) 주입량

주입량은 처리수량에 염소제 주입률을 곱하여 다음과 같은 식을 이용해 산출된다.

① 액화염소의 질량주입량

$$V = Q \times R \times 10^{-3}$$

V: 질량 주입량(kg/h)

R: 염소 주입률(mg/L)

Q: 처리수량(m³/h)

② 차아염소산나트륨의 용적주입량

$$V_V = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

V_V: 용적주입량(L/h)

C: 유효염소농도(%)

d: C%일 때의 밀도(kg/L)

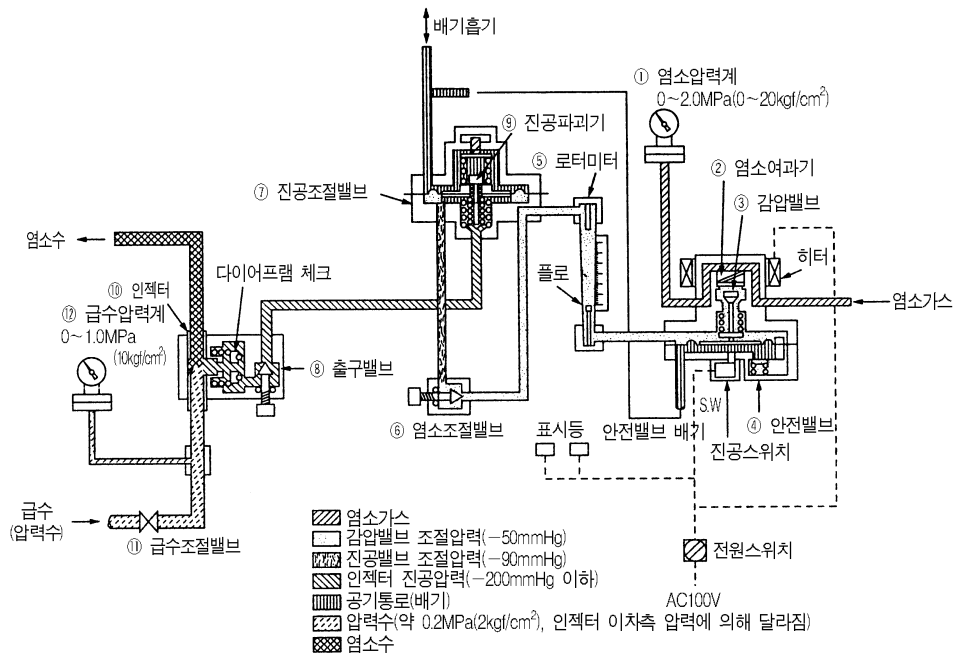
4) 염소주입기

염소주입기에는 건식과 습식이 있다. 건식 주입기는 기화된 염소가스를 직접 수중에 주입하는 방법인데 주입물이 불균등하게 되기 쉬운 결점이 있고, 습식 주입기는 계량한 염소가스를 물에 용해시켜 짙은 농도의 염소수로서 액송 주입시키는 것으로 압력식과 진공식이 있고, 압력식은 소규모 정수장에서 주로 사용하며 대규모 수처리시설에는 진공식을 사용한다.

상수도용으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 것은 인젝터에 의해 염소와 압력수를 혼합하는 습식 진공식 주입기인데 이하에서는 진공식 주입기 관리에 대해 서술하도록 하겠다.

습식·진공식 주입기는 압력수를 분사기(ejector)에 통과시켜 진공을 유발하고 이 진공에 의하여 염소가스를 흡입하여 압력수와 혼합하여 고농도 염소수를 만들어 투입한다. 진공식의 특징은 투입기의 내부에 진공이 되므로 염소누출의 가능성이 희박하고 사용 후 염소용기 내의 잔량이 적은 장점이 있어 소독시설로 가장 일반화되어 있다. 단, 습식·압력식(1.7kgf/cm²)에 비해 고압(2~3kgf/cm²)의 물을 분사기에 통과시켜야 하며 그 형상은 실린더 직결형(2,000g/hr까지)과 진공자립형(캐비닛형, 20,000g/hr까지)이 있다.

염소혼합용수의 소요압력과 수량은 염소투입기의 종류 및 용량에 따라 다르나 염소투입기는 용량의 60~80% 범위 내에서 운전하는 것이 바람직하다. 염소투입기를 지난 염소수를 압력관내에 투입하는 경우에는 염소수의 압력은 관내압력의 2배 이상이 되어야 한다.



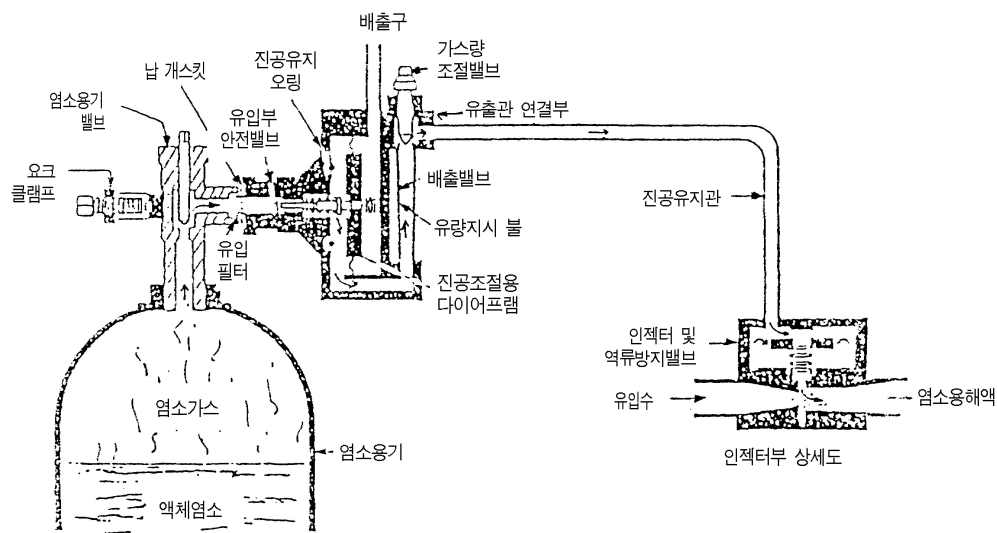
<그림 5.9.12> 진공자립식 염소투입기의 구조

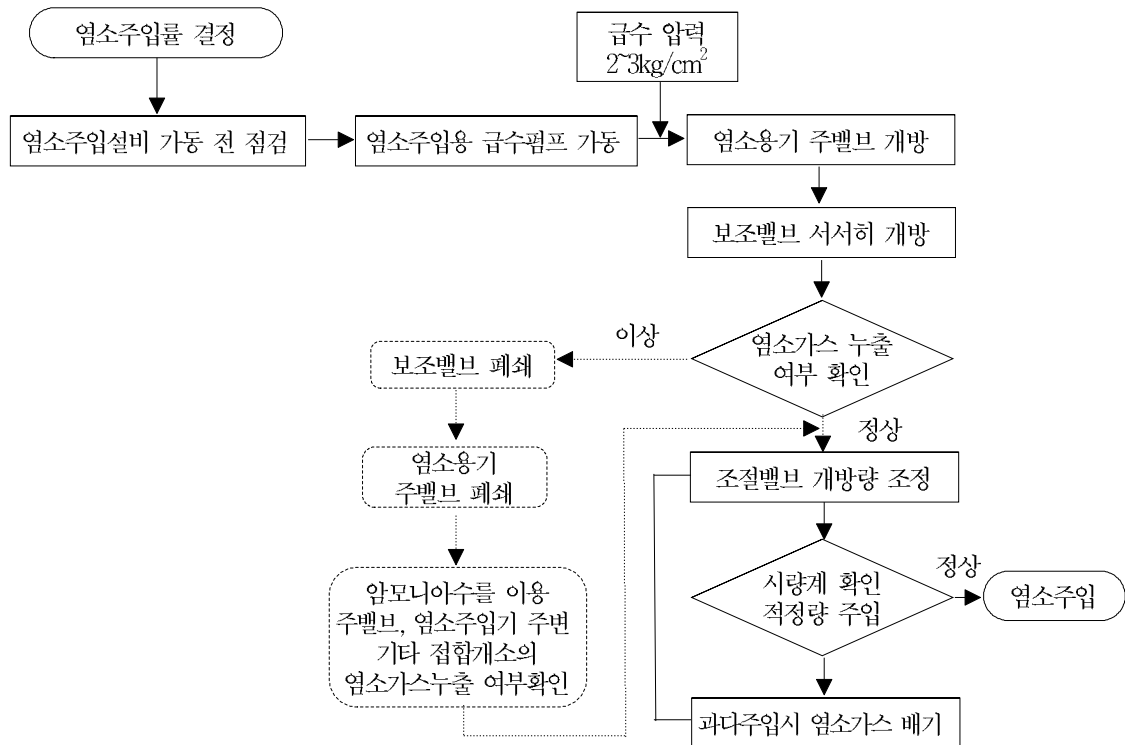
진공자립식 염소투입기는 대규모 정수장에 적합하며 개요는 <그림 5.9.12>와 같으며 다음의 원리에 의하여 작동된다. 염소투입기의 말단에 있는 인젝터(injector)는 벤투리 노즐(venturi nozzle)에 의해 진공을 형성하도록 만들어 진 것으로 펌프에 의해 압력수가 노즐로 공급되면 차압이 생겨 노즐부위에 진공이 발생하여 이 진공상태를 조절하는 진공조절밸브와 염소용기의 압력을 조절하는 감압밸브의 작용을 통하여 조절밸브로 원하는 양 만큼의 염소를 투입할 수 있다.

<표 5.9.24> 각 부품 기능

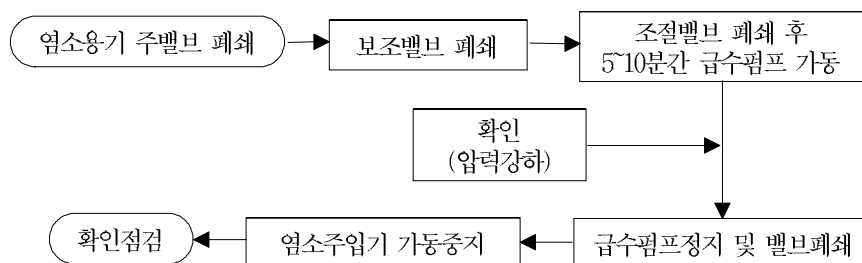
번호	부 품 명	기 능
1	염소압력계	공급된 염소가스의 압력을 직접 지시하는 지시압력 0~1.2MPa(0~12kgf/cm ²)
2	염소여과기	염소가스의 불순물을 여과제로 제거하고 감압밸브에 이송한다.
3	감압밸브	염소여과기로 공급되는 염소가스를 미리 설정되어 있는 일정한 진공압력으로 감압하고 로터미터로 유도한다. 이는 인젝터로 만들어진 진공압력이 밸브 내의 다이어프램에 작용하고 이에 연결되는 니들과 스프링에 의해 일정한 조정압력(-50mm/Hg)으로 유지된다. 만일, 진공압력이 작용하지 않을 때는 감압작용은 정지된다.
4	안전 배기밸브	무엇인가의 원인에 의해 감압밸브가 올바르게 작동하지 않고 정압력의 염소가스를 발생했을 때는 염소주입기의 안전 확보를 위해 본 밸브로부터 염소가스를 기계 밖으로 방출한다.
5	로터미터 (면적식 유량계 시량계)	일정 진공압력의 염소가스가 그 내부를 통과할 때, 직접 그 유량을 지시한다. 내부 플로트의 중심과 글라스관 속에 설치된 지시계에 지시한다. 단위는 g/hr가 일반적이다.
6	염소조절밸브	염소가스를 통과할 때, 그 양을 회망하는 값으로 조절하는 니들형의 조절밸브로 박스 전면의 조절 핸들로 조작한다.
7	진공조절밸브	인젝터에 의해 발생된 진공압력은 수압이나 염소가스 처리량에 따라 종종변화하고 정확한 계량이 불가능하므로 이를 방지하기 위해 밸브하부에서 흡입된 염소가스는 밸브 내의 다이어프램과 스프링에 의해 진공압력을 기계적으로 일정(-90mm/Hg)으로 유지하고 밸브중심부의 출구에서 인젝터측으로 흡인되어 간다. 때문에 감압밸브의 압력조정은 올바르게 되어 정확한 계량이 가능하다.
8	출구밸브	주입기의 운전 휴지시에 밸브를 닫고 인젝터로 부터의 습기가 기내에 작용하여 악영향을 주지 않도록 하기 위한 스톱밸브
9	진공과과기	주입기 정지시, 기내가 과진공상태가 되지 않도록 기내압력이 -200mm/Hg 정도 되도록 공기를 흡입한다.
10	인젝터	염소주입기에 필요한 진공압력(-200mm/Hg 이상)을 발생하고 동시에 그 내부에서 염소가스와 물을 혼합해 염소용액을 만드는 두 가지의 중요한 역할을 이루고 있다.
11	급수조정밸브	인젝터에 공급하는 압력수의 압력을 조절한다.
12	급수압력계	인젝터 급수압력을 지시하는 둥근형의 부르동식 압력계로 사용-급수압력은 0.25~0.3MPa(2.6~3.1kgf/cm ²)

실린더 직결형 염소투입기는 소규모 정수장에 적합한 것으로 그 구조는 다음 <그림 5.9.13>과 같으며 염소용기 내의 가스압력과 인젝터의 진공도를 이용하여 염소가스를 투입구까지 이송한다. 염소용기에 실린더형 염소투입기를 장착하는 방법은 투입기의 유입밸브를 요크 클램프(yoke clamp)로 염소용기에 부착하여 직결이 가능하고 요크 클램프와 염소투입기의 연결부를 밀봉하는 납으로 제조된 개스킷(gasket)은 새로이 장착할 때마다 교체한다. 연결 후 개스킷 주위에 암모니아수를 도포하여 염소가스의 누출여부를 확인하여야 한다.





<그림 5.9.14> 염소가스투입기 시동과정



<그림 5.9.15> 염소투입기 정지과정

5) 주입기 조작

- ① 주입기의 시동과 정지조작은 <표 5.9.25>와 같다. 염소 주입기는 고장이 발생하기 쉬우므로 반드시 예비기를 준비해 두고 정비를 게을리 해서는 안 되며 또한 염소주입을 중단해서는 안 된다.
- ② 취급자는 주입기 기능 및 염소가스의 특성을 잘 알고 있는 사람이어야 한다.
- ③ 처리수량이나 최소 및 최대주입율의 폭에 따라 다르지만 주입기 용량에 대해 주입량이 적으면 조정이 정확하지 않을 수도 있으므로 적절한 정도의 범위 내에서(상시 주입기용량의 60~80%) 사용하도록 한다.

<표 5.9.25> 주입기 시동(정지) 조작

구분	조 작	주입기의 움직임	주의해야 할 점
시 동	1. 급수조절밸브 열기	인젝터에 압력수가 공급되어 진공이 발생	급수압력계가 필요한 압력을 지시하도록 조절
	2. 출구밸브 열기	진공조정밸브에 진공압력 작용	
	3. 전원 스위치 넣음	감압밸브 히터 통전	
	4. 염소조절밸브 열기	감압밸브 내에 진공압력작용	
	5. 펌프 원밸브 및 보조밸브 열기	염소가스 압력이 염소 압력계에 지시	암모니아에 의한 염소누설을 확인함
	6. 염소조절밸브 개도 조정	주입량이 플로미터에 지시	보온히터가 감압밸브를 데우고 있음을 확인
	7. 염소가스압력점검		
정 지	1. 보조밸브(장기 정지시 펌프 원밸브) 닫기	염소가스압력이 0이 됨을 확인	
	2. 염소조절밸브 닫기	플로미터 지시값이 0이 됨	다음 운전에 대비해 열어둠
	3. 전원 스위치 차단	감압밸브 히터 정지	
	4. 출구밸브 닫기		
	5. 급수조절밸브 닫기		

<표 5.9.26> 염소혼합용수의 소요수압 및 수량

종 별 기계용량(kg/H)	수압	습식 압력식 주입기	진공식 주입기
		0.05MPa (0.5kgf/cm ²)	0.25~0.3MPa (2.6~3.1kgf/cm ²)
0.5까지		10L/min	15L/min
1.0		10	15
1.5		10	20
2.0		13	25
2.5		17	30
3.0		20	35
4.0		27	40
5.0		33	45
6.0		40	50
10.0		—	60
50.0		—	300
100.0		—	600
200.0		—	1,200

- ④ 용기로부터 빠져 나온 가스는 주입기의 감압밸브로 적절한 압력으로 조정되어 사용되게 된다. 그러나 일시적으로 다량의 가스를 사용하게 되면 기화열로 인해 용기 표면이 동결되어 가스 발생량이 감소하고 필요량의 염소가 주입되지 않을 수도 있다. 그러므로 실온 15~20℃에서는 50kg 용기에서 1kg/h, 1ton용기에서 7kg/h를 목표로 동시 사용의 개수를 정한다.
- ⑤ 염소혼합 용수의 소요압력 및 수량은 주입기의 종류와 용량에 따라 다른데 그 한 예를 <표 5.9.26>에 나타냈다. 압력관 내에 주입하는 경우는 그 관내 압력의 2배 이상 압력을 지니는 물을 공급하도록 한다.
- ⑥ 주입기 내의 온도는 가스 기화가 용이하도록 한랭지에서도 15~20℃로 유지될 수 있도록 한다.
- ⑦ 주입기를 직접 가열하는 것은 피하고 간접 보온을 하도록 한다. 어쩔 수 없는 경우에는 주입기의 감압밸브 부근에서 백열전구 또는 적외선전구를 점등하여 보온하는 방법이 있다. 한랭지에서는 주입기실 전체를 난방하는 것이 바람직하다.
- ⑧ 대칭저울을 설치하여 염소주입량을 정확하게 검사하는 동시에 용기내의 잔존량 및 소비량을 점검하고, 용기교환의 시기를 예측하여 염소주입이 중단되지 않도록 보충 또는 발주하지 않으면 안 된다. 대칭저울은 연 2회 이상 손질하여 정확하게 계량할 수 있도록 하여야 한다. 염소투입기에서 투입량을 표시해 주는 시량계의 내부에 습기가 보이면 역류방지밸브의 고장으로 볼 수 있다. 고장의 원인은 여러 가지가 있으나 대부분 역류방지밸브에 이물질이 축적되어 발생한다. 또한 염소투입을 간헐적으로 할 때 역류방지밸브가 자주 작동하여 손상되는 경우도 있다. 역류방지밸브의 고장은 방지하면 습기 및 물의 침투로 인하여 결국 염소투입기가 고장이 나므로 즉각 수리하도록 하여야 한다.
- ⑨ 수동 운전인 경우는 조작 순서를 조금만 틀리게 되어도 고장의 원인이 되므로 주의하여야 한다.
- ⑩ 염소투입기는 인젝터로부터 진공조절밸브까지 진공상태가 유지되어야 염소투입이 정상적으로 이루어진다. 진공상태가 유지되지 아니하는 것은 다음의 요인 중의 하나인 경우가 대부분이므로 증상에 따라 수리하도록 하여야 한다. 인젝터의 유입부에 적정수압의 유지되어야 적정한 진공이 형성되므로 배급수의 수압을 확인하여야 한다. 또한 동절기에 수온이 10℃ 이하가 되면 $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (chlorine ice)가 형성되어 인젝터가 폐쇄될 가능성이 상존하므로 염소투입실에 보온시설이 필요하다.
- ⑪ a) 시량계의 유량지시 볼이 움직이지 않을 때: 시량계 상부나 후단으로부터 인젝터 사이에 진공이 누설되는 것이 원인으로 주로 투입량 조절밸브의 O-ring 부분, 시량계의 개스킷 부분, 그 외관 연결부위의 불량에 원인이 된다. 습기에 의하여 유량지시 볼이 유리관에 붙어서 작동하지 아니하는 경우는 역류방지밸브의 고장인 경우가 대부분이므로 조사하여 수리하도록 한다.
- ⑪ b) 시량계의 유량지시 볼은 움직이나 염소투입이 되지 않는 경우: 시량계의 아래쪽 개스킷 부위에서 진공 누설이 있는 경우로서 이때는 염소가스가 투입되는 것과 같이 보이거나 사실은 염소 대신 공기가 투입된다.
- ⑪ 기계 성질상, 시동·정지시에 가장 고장이 발생하기 쉬우므로 단시간의 간헐운전은 바람직하지 않고 가능한 장시간 연속 운전하는 것이 안전하다. 계량장치의 유리관이나 유리판이 흐려져 있

을 때는 정확한 주입량의 식별이 곤란하므로 사염화탄소를 사용하여 때때로 소제하여야 한다. 염소여과기의 내부에 여과기로서 충전된 유리면(綿), 광재면(鑛材綿) 등은 연 1회 정도 교환하여야 한다. 단, 유도밸브, 조절밸브 등의 주입기 내부의 밸브는 함부로 손대서는 안 된다.

- ⑫ 염소를 주입할 때에는 주입이 정확히 이루어지고 있는지를 검사하고 용기 내의 잔재량 및 소비량을 점검하여 용기교환 시기를 예측하고 염소 주입이 중단되지 않도록 보충하여야 한다.
- ⑬ 염소가스가 누출되고 있을 경우에는 암모니아수를 가까이 하면 흰 연기를 내므로 항상 암모니아수를 준비하여 누출의 유무에 주의하고 누출개소가 있을 경우에는 즉시 주입을 중지하고 패킹을 교환하거나 나사를 조이는 등의 조치를 하여야 한다. 염소투입실에는 예비품으로 패킹류, 보조밸브, 연결관 등을 준비하여 두어야 한다. 주입기의 점검사항은 <표 5.9.27>을 참조한다.

<표 5.9.27> 주입기의 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
3회/일	압력부위의 누출유무	6개월	유량계, 조절계 및 경보장치 의 작동시험	1년	filter의 여과재 교체
3회/일	주입량 측정계의 이상 유무, 주입량 확인			3~4년	유량계, 조절계통의 분해청소
3회/일	주입기 압력부와 진공부의 이상 유무			3~4년	도장불량 부위 재도장
3회/일	감압부 히터 온도 이상유무				
3회/일	급수압력 이상 유무				

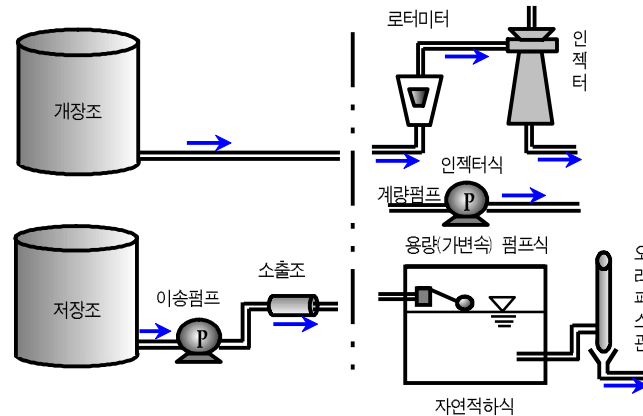
(2) 차아염소산나트륨의 주입설비

1) 설치장소

- ① 설치장소는 기포장해, 주입시간 지연, 스케일 장해 등을 피해 가능한 주입점에 가까운 곳으로 하여야 한다.
- ② 주입점은 충분한 혼화와 접촉시간 확보가 가능한 장소로 한다.

2) 주입방식

- ① 주입방식은 차아염소산나트륨의 성상, 입지조건에 따라 적절한 주입이 가능한 것을 선정하도록 한다.
- ② 주입방식은 인젝터식, 펌프식 및 자연유하식이 있다. <그림 5.9.16>에 주입방식의 일예를 나타냈다.
 - ⓐ 인젝터식은 압력수를 인젝터에 공급하고 차아염소산나트륨과 혼합시킨 후 주입점으로 송액(送液)시키는 방법이다. 주입량이 비교적 많고 주입점이 먼 경우에도 주입이 용이하다는 장점을 지니고 있는 반면, 압력수가 필요하며 주입관 관경이 커지는 단점이 있다.
 - ⓑ 펌프식은 원심력 펌프, 용적펌프(피스톤식, 플랜저식, 로터식 등), 다이어프램 펌프 등에 의해 주입점에 송액하는 방식으로 주입점이 높은 곳이라도 주입이 가능하고 주입량 제어 범위가 넓다.



<그림 5.9.16> 주입방식(예)

㉔ 자연 유하식은 저장조 등의 위치 수두에 의해 조절기를 대비한 적하식, 또는 오리피스관 등을 거쳐 주입하는 방식으로 구조와 설비가 간단해 주입량 변동이 적은 소규모의 시설에 적합하다.

㉕ 인젝터수 및 회석수는 스케일 장애를 피하기 위해서는 가능한 한 경도가 낮은 물을 사용한다.

3) 주입량

주입량은 처리수량에 주입물을 곱하여 다음 식에 의해 산출된다.

$$V = Q \times R \times \frac{100}{C} \times \frac{1}{d} \times 10^{-3}$$

V : 주입량(l/h)

R : 염소주입률(mg/L)

Q : 처리수량(m³/h)

C : 유효염소농도(%)

d : 차아염소산나트륨의 비중

4) 주입기의 조작

주입기는 반드시 예비기를 갖추어야 하며 항상 정비에 노력하고, 염소주입을 도중에 중단을 해서는 안 된다. 주입기의 공정흐름도를 <그림 5.9.17>에 나타냈다.

① 주입량 확인

차아염소산나트륨은 기포발생, 스케일 부착에 의해 주입 오차나 무주입사고를 일으키는 경우가 있다.

처리수의 잔류염소, 주입기의 작동상황, 주입량의 실측값 및 소출조, 저장조의 액위차에 의해 정확히 주입되어 있는지 확인한다.

② 운전상의 유의사항

주입설비의 운전관리는 특히 다음 사항에 유의하여 실시하여야 한다.

로 물로 씻어 일정 기간 통수되면 스케일 제거에 효과적이다. 물로 씻어도 제거되지 않는 경우는 분해하여 회석 염산으로 용해 제거한 후 충분히 물세척을 한다.

- ㉔ 전자 유량계를 이용하여 주입기를 정지시키는 경우는 전자 유량계의 유액부가 좁아져 있는 상태이므로 장기간 차아염소산나트륨을 봉입(封入)한 상태로 방치해 두면 기포나 부착물이 발생되고 전극에 영향을 주게 되어 오차의 원인이 될 수 있다. 때문에 정지 후에는 반드시 물을 통수시켜 세척하고 전원을 꺼 두어야 한다. 또한 차아염소산나트륨 주입설비의 점검과 정비는 5.9.7 (2) 차아염소산나트륨 주입설비를 참조할 것.

5.9.8 배관 및 기타

염소용 배관 및 차아염소산나트륨용 배관은 어느 것이나 누설이 없도록 충분히 유지관리를 하여야 하며, 주입기 배관 및 밸브류의 내부에 습기가 침입하면 부식되어 고장의 원인이 되므로 사용을 중지하였을 때는 물론 용기교환, 부품교환 등의 일반적인 경우라도 내부의 염소가스를 완전히 배제하고 밸브를 폐쇄하며 또는 고무전 등으로 뚜껑을 하고 습기가 들어가지 않도록 하지 않으면 안 된다.

각종 밸브 및 배관은 내식성이 요구되므로 황동, 스테인리스강 및 주강으로 된 밸브가 사용되며 염소용해수가 통과하는 부분은 PVC재질의 밸브와 관을 사용한다. 또한 진공자립형의 염소투입기와 염소용기를 연결하는 관은 구경 10mm, 내압 3,500kPa 가량의 동관 또는 티타늄 합금관이 사용된다.

염소용 배관을 신설하거나 또는 교체할 때는 반드시 내압시험 및 기밀시험을 행하여야 한다. 기밀 시험에는 염소가스 대신 질소가스나 건조공기로 대신한다. 내압시험을 실시하기에 앞서 우선 방사성 검사나 염색침투 탐상시험 등을 하여 표면에 유해한 결함이 없는가를 검사하여야 한다. 내압시험의 압력은 상용압력(사용상태에서 해당설비에 작용하는 최대사용압력)의 1.5배 이상으로 하여 규정압력 유지시간이 5~20분간인 것을 표준으로 한다. 기밀시험은 시험압력을 상용압력 이상으로 하여 규정압력을 10분 이상 유지한 후에 압력의 변화가 있는지를 확인한다. 또한 각종 밸브 및 연결관에 대한 점검은 반드시 다음의 표를 따라야 하는 것은 아니나 다음 <표 5.9.28>을 참조로 한다.

<표 5.9.28> 밸브 및 연결관의 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
3회/일	기화기 입구 자동밸브의 작동 상태 및 외관	6개월	간급차단밸브, 각종 밸브 및 배관의 작동 및 기밀 상태 확인	0.5~1년	각종 관의 부식상태 점검 및 교체
3회/일	밸브 주위의 누출 유무			1년	안전밸브의 은판교체
3회/일	관 접속부의 누출 유무	1년	안전밸브의 작동시험	3~5년	도장 불량부위 재도장
1회/일	각종 안전밸브의 이상 유무				

5.9.9 주입제어

(1) 염소제의 주입과 관리

염소제 주입 제어에는 여러 방법이 있지만 주입제어가 정확히 실시되지 않으면 필요한 주입량이 확보되지 않게 되므로 각각의 방법에 대한 특성을 이해하고 항상 정확한 주입이 될 수 있도록 하여야 한다.

주입제어방법은 액체염소, 차아염소산나트륨도 거의 같고 수동식, 비율식, 캐스케이드식 등이 있으며 유량계, 압력계, 조절계, 잔류염소계 등의 계기류가 조합되어 사용된다. 이들 계기의 점검, 정비 를 해두는 것은 물론, 1일 1회 이상은 염소주입 후의 잔류염소를 실측하고 염소주입이 정확히 이루어지고 있는지 확인하여야 한다.

(2) 주입제어방법

1) 수동제어

수동제어는 현지에서 직접 손으로 실시하는 것과 중앙관리실 등에서 원격 조작하는 것이 있다.

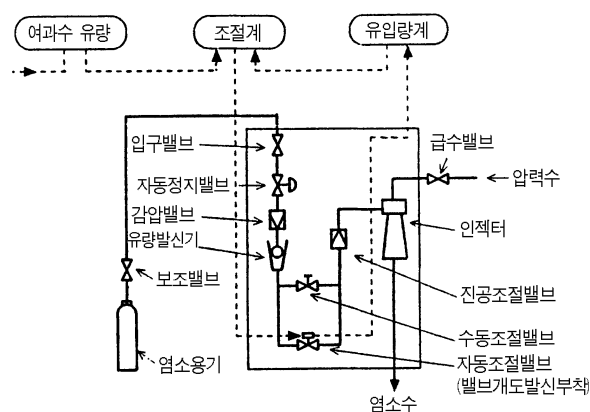
이 방법은 처리 수량과 염소 요구량이 거의 일정하고 연속적으로 염소를 주입하는 경우에 적합하다.

2) 비율제어

① 밸브 개도에 의한 유량비례제어

이 방법은 밸브개도에 대응하는 염소 유량이 항상 불변하다는 것을 전제로 하고 있으므로 주입기를 조정할 때의 조건이 전혀 변화하지 않고 일정하게 유지되어야 한다.

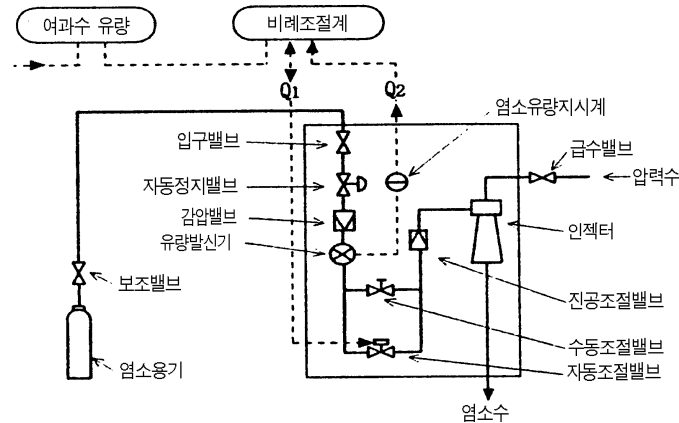
그러나 실제 장치에서는 상당한 어려움이 있으며, 온도나 압력 변화 외에도 염소 불순물이 부착되거나 기계 내의 각 밸브의 구경축소도 어느 정도 불가피하다. 특히 조절밸브의 구경축소는 유량눈금에 비해 실제로 염소 유량이 소량이 되기 때문에 주의가 필요하다(<그림 5.9.18>).



<그림 5.9.18> 염소밸브 개도에 의한 유량비례제어 흐름도

② 실유량측정에 의한 유량비례제어

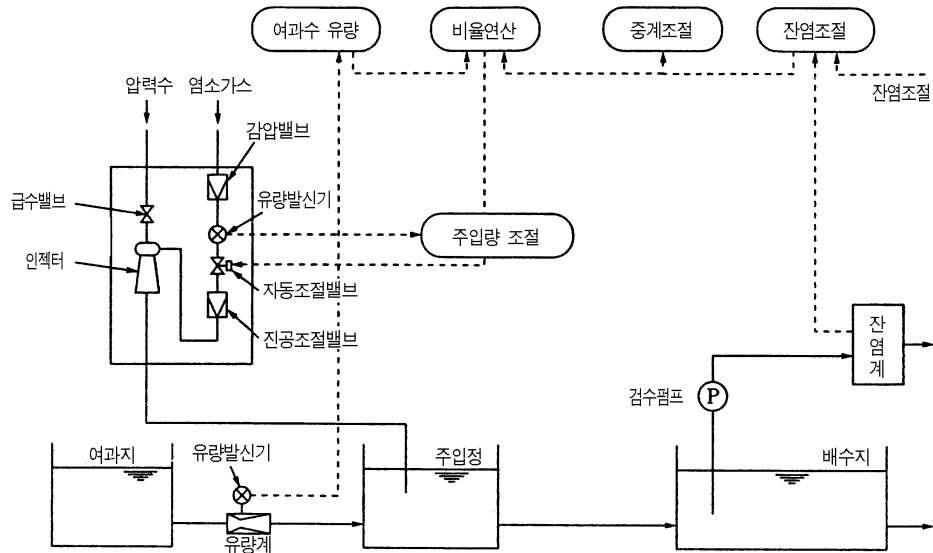
이것은 처리수량에 비례한 염소 유량을 실 유량으로 검출하고 항상 설정값과 염소실 유량이 같도록 제어하는 것이다. 유량 발신기에 고장이 없는 한 상시 염소 유량의 순시값(瞬時值)이 발신되므로 감시계기를 이용해 염소 주입량의 이상을 조기에 발견할 수가 있다(<그림 5.9.19>).



<그림 5.9.19> 염소의 실유량측정에 의한 유량비례제어 흐름도

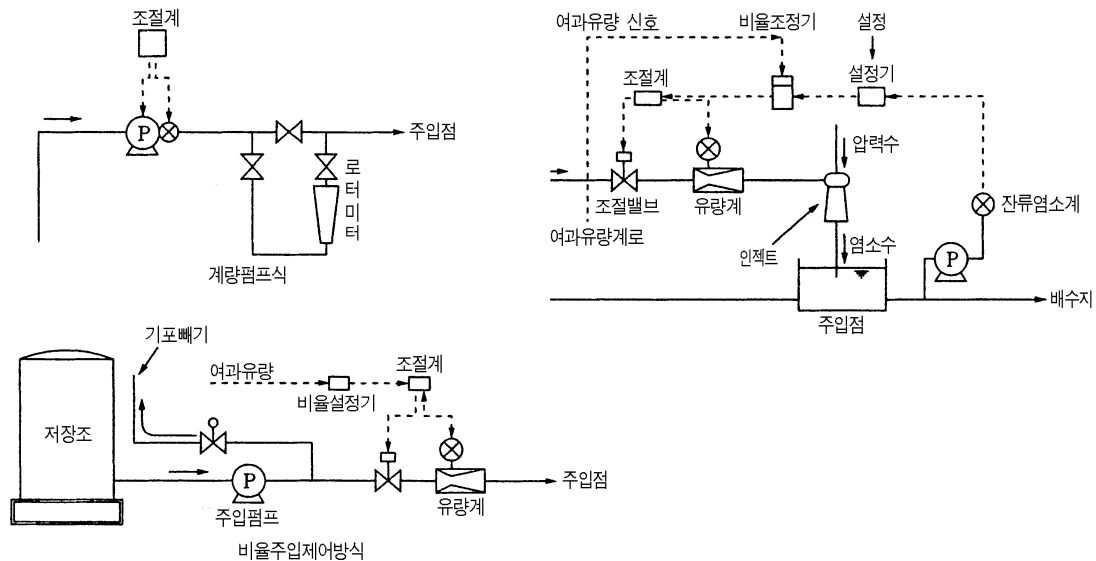
③ 캐스케이드 제어(피드백방식)

이 방식은 염소 주입 후 처리수의 잔류 염소를 상시 측정하여 그 신호에 따라 조절 기구를 이용해 염소주입 자동조절밸브를 제어하고 규정의 잔류염소를 유지하도록 하는 것이다.



<그림 5.9.20> 염소 feed-back방식에 의한 PID제어(Proportional Integral differential) 흐름도

그러나 처리 수량과 수질 변화에 따라 염소 요구량에 변화가 발생하는 경우에는 잔류염소 신호만에 따른 제어로는 안정된 조작은 어렵다. 그러므로 유량비례 제어와의 종합적인 조절기구가 필요하게 되는데 주입점에서 잔류염소 검출점까지의 시간적 지연을 충분히 고려한 것이어야 한다(<그림 5.9.20> 참조). <그림 5.9.21>에 차아염소산나트륨의 주입제어방식의 한 예를 나타냈다.



<그림 5.9.21> 차아염소산나트륨의 주입제어방식(예)

(3) 추가 주입방식

상수도의 광역화, 트리할로메탄 대책 및 맛있는 물을 위한 대책 등을 위해 송배수 계통의 지역배수지 등에서 염소를 추가 주입하여 급수를 하는 경우가 있다.

이 경우 유입되는 정수는 이미 염소 처리가 되어 있고, 추가 주입점에 있어서도 잔류염소가 존재하기 때문에 추가 주입을 실시한 염소는 대부분이 그대로 잔류염소가 되게 된다. 따라서 유입되는 정수의 잔류염소를 측정하고 배수지 또는 배수관 끝 부근에서 필요로 하는 잔류염소와의 차이에 해당하는 염소주입과 유입수량에 의해 자동적으로 염소 유량을 조절하는 방식이 일반적이다

5.9.10 보안기기

(1) 염소용 보안기기

액화염소를 취급하는 시설은 법규 및 관련 규칙과 기준 등에 따라 보안용구, 감진기, 긴급 차단밸브 및 염소 누출검지기 등의 보안기기를 구비하여야 한다. 보안용구의 보관장소는 염소가스가 누출될 우려가 있는 장소 가까이 관리가 용이하고 긴급시에 염소가스에 노출되지 않고도 쉽게 꺼낼 수

있는 곳으로 한다.

보안용구는 항상 청결하고 양호한 상태로 유지하며, 흡수 캔 등의 소모품은 정기적으로 또는 사용 후에 점검하고 갱신, 보충함과 동시에 직원에 대해 3개월에 1회 이상은 장착 훈련을 실시하고 사용 방법을 숙지하도록 해야 한다. 또한 보호구 점검, 갱신, 보충 및 보호구 장착훈련 실적은 기록하여 보관해 두어야 한다.

보안용구의 종류, 사용상 유의사항 및 개수는 특정 화학물질 장해 예방규칙 43~45에 따르면 다음과 같다.

1) 종류

① 보호구

- ㉠ 직결식 소형 방독 마스크
- ㉡ 격리식 방독 마스크(3개 이상)
- ㉢ 공기 호흡기 또는 송기식 마스크(3개 이상)
- ㉣ 공기 또는 산소 예비 용기 3통 이상 또는 공기충전기
- ㉤ 보호의(保護衣)-(고무제품)
- ㉥ 보호장갑 및 보호장화(고무제품)
- ㉦ 보호안경
- ㉧ 안전모자

② 비상용 공구

- ㉠ 누설방지용 안전캡
- ㉡ 너트와 패킹류
- ㉢ 납패킹(鉛栓) 또는 나무마개(木栓)
- ㉣ 플랜지 뚜껑(관)
- ㉤ 철선 및 테이프류
- ㉥ 응급 수리용 공구

③ 기타

- ㉠ 누설검지용 암모니아수(농도 28% 이상)
- ㉡ 목 행굼용 약(가그린)
- ㉢ 내산성 도료

2) 보호구 사용상의 유의사항

- ① 방독마스크를 사용하는 경우는 다음 사항에 유의하도록 한다.
 - ㉠ 검사에 합격한 것을 사용한다.
 - ㉡ 염소가스에 맞는 흡입통(흡수캔)을 사용한다.
 - ㉢ 가스 농도에 적합한 마스크를 사용하고 마스크면이 안면에 밀착하여 마스크와 안면 사이에 공기가 누설되지 않도록 한다.
 - ㉣ 산소가 18% 이하인 곳에서는 사용하지 않도록 한다.

- ⑤ 사용 중에 조금이라도 가스냄새가 나거나 호흡이 곤란할 경우는 즉시 새로운 흡수캔으로 교체한다.
- ⑥ 흡수통의 파과시간을 넘어 사용하지 않는다.
- ⑦ 흡수제는 흡습에 의해 기능이 저하되므로 청결하게 관리하고 건조한 곳에 두도록 한다.
- ⑧ 사전에 사용자에게 교육훈련을 시키도록 한다.
- ⑨ 방독마스크의 보안관리 책임자를 정하고 적절한 사용과 유지관리에 임하도록 한다.
- ⑩ 염소가스의 누설이 적을 때에 사용하고 농도가 짙을 때는 사용하지 않는다.
- ⑪ 송기마스크는 염소가스 누설과 동시에 산소결핍인 장소에서 유효한데, 행동범위에 제약이 있다.
- ⑫ 자급식 호흡기는 행동범위가 넓으므로 재해 발생시의 구출작업 등에 사용하는데 사용시간이 한정된다.

3) 용구의 개수

① 공기호흡기 또는 송기식 마스크 및 보호의(保護衣)

긴급 작업에 종사하고 있는 직원 수에 적절한 예비 수를 더한 개수, 또는 평상시 작업에 종사하는 직원 10명당 3개의 비율로 계산한 개수 중 어느 쪽이든 많은 쪽의 개수 그 이상

② 기타 보호구

염소 취급에 종사하고 있는 직원수에 적절한 예비수를 더한 개수, 또는 평상시 작업에 종사하는 직원 10명 당 3개의 더한 비율로 계산한 개수 중 어느 쪽 이든 많은 쪽의 개수 그 이상

③ 비상용 공구

각 한 세트 이상으로 한다.

방독면은 티오황산나트륨 또는 활성탄을 이용하는 것이 유효하나 염소가 농후한 경우에는 질소가 부족하여 호흡곤란이 되므로 산소용기를 갖춘 방독면이 필요하다. 또 때때로 방독면의 기능을 점검하고 그 사용법을 평상시부터 잘 훈련하여 두어야 한다.

염소흡수제로서 소석회를 상비하여 두어야 하고, 누출염소 흡수제인 소석회는 포대에 든 상태로 보관할 경우에는 습기로 인하여 분말의 응고, 탄산가스의 흡수로 유효성분의 저하가 일어날 수 있으므로 건조한 장소에 보관하여야 한다.

염소가스를 포함한 공기는 검지기의 공기펌프에 의하여 취입구로부터 흡입되고, 검출실(cell)에 유입될 때 노즐에 의하여 전극간에 가득한 전해액을 표면에 접촉하게 되고, 검출실에서 공기중의 염소가스가 검출된다. 염소가스의 검지는 전극간의 전해액 중에서 일어나는 화학반응에 의하여 시작되고 염소가스가 공기 중에 존재하면 그 순간에 복극(復極)전류가 도전성(導電性) 전류에 가산되어 검출실을 통해 흐르기 시작하여 지침이 상승한다. 염소가스농도가 높을수록 전류가 많이 흐르고 지침이 높아진다. 농도가 더 높아져서 지침이 상한(上限)경보접점을 횡단하면 염소의 경보회로가 작동한다. 가스경보램프가 점등되고 외부로의 경보접점이 작동하여 관리실 또는 감시조작실로 가스 경보를 하고 릴레이를 작동시켜서 중화장치의 자동시동을 행한다. 이들 일련의 계기 및 장비에 관해서는 평상시 정기적으로 시동시험을 행하고 만일의 경우에 정확하게 기능이 발휘되도록 점검해 두어야 한다.

가스누출경보장치의 작동 설정값은 1mg/L 이하로 하되 경보오차는 설정값의 30% 이내에 있어야 한다. 또한 감지 경보장치는 누출된 가스가 탐지기의 끝단에 도달한 후 30초 이내에 작동하여야만 한다. 반응액을 사용하는 누출탐지기는 반응액의 소모량과 유효기간(일반적으로 반응액 제조 후 6개월)을 정기적으로 확인하여 필요한 만큼 보충하거나 교체하여야만 한다.

전극을 사용하는 탐지기는 전극이 오염되어 작동불량 상태가 되지 않도록 정기적으로 증류수로 세척해 주어야 한다. 가스누출 감지기가 격막 galvanic 전지방식인 경우에는 경보센서 내부의 충전용액을 연 1회 이상 보충한다. 보안설비의 점검은 반드시 다음의 표를 따라야 하는 것은 아니나 다음 <표 5.9.29>를 참조로 한다.

<표 5.9.29> 보안설비의 점검사항

일 상 점 검		정 기 점 검		정 기 정 비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
3회/일	누출 감지기 시약의 유무 및 작동상태, 검사스위치의 작동 상태	1개월 1년	누출감지기 및 경보의 작동시험 보호장구의 수량, 보관장소, 가스 마스크의 압력 등 감지기의 성능 작동시험	사용한 경우 시설규칙 기간 내	공기 및 산소탱크의 충전 상태 공기 및 산소탱크의 정기검사

(2) 차아염소산나트륨 보안기기

차아염소산나트륨은 강알칼리성으로 산화작용이 있기 때문에 다음과 같은 조치가 필요하게 된다.

- 1) 취급 작업시에는 충분히 환기시키고 필요에 따라 각각 적당한 보호구(보호안경, 고무장갑, 마스크, 고무장화, 고무옷 등)를 사용한다.
- 2) 직원에게는 보호구의 사용방법, 수전의 위치를 숙지시키도록 한다.

5.9.11 제해 및 배액처리

(1) 염소의 제해설비

1) 제해제(除害劑)

- ① 염소가스 누설시의 중화 제해제로서는 가성소다 용액, 소다회 용액, 석회유(石灰乳). 소석회가 있는데 제해장치의 제해제로서는 가성소다용액이 적합하다.
- ② 가성소다 용액의 보유량은 일반 고압가스 보안규칙 관계기준 또는 시·도지사가 각 지역에서 정하는 기준량 이상으로 하고 중화하려는 염소량과 사용하는 용액 농도에 따라 정하도록 한다. 일반적으로 가성소다 용액을 구입한 경우에 농도는 45% 이상인데, 이를 그대로 중화에 사용하게 되면 식염의 석출, 동결 등의 지장이 있으므로 15~20%로 희석하여 사용하도록 한다. 가성소다 용액의 희석에 대해서는 5.9.6 저장설비를 참조할 것.
- ③ 가성소다 용액의 중화능력은 염소와 반응하여 점차로 감소하므로 항상 용액농도를 확인하고 낮

아졌을 때는 신속히 교체하도록 한다. 중화처리 후의 배액처리는 다량의 회석수를 이용하는 등, 충분히 주의를 기울여야 하고, 배액 양이 많을 경우는 전문 업자에게 위탁하는 편이 안전하다.

- ④ 액화염소 저장량 1,000kg 미만의 소규모 소비에서는 제해제로서 소석회를 사용하는 경우가 많은데, 소석회는 사용시에 흩날리기 쉬우므로 작업시에는 방진안경, 마스크 등을 착용하여야 한다. 소석회를 포대상태에 넣어 보관하는 경우는 가능한 한 건조한 곳에서 보존하여야 하며 소석회에 의해 제해조작을 할 때는 가능한 단시간에 소정량이 균일하게 살포될 수 있도록 수동식, 가압식 또는 동력식 살포기를 사용하는 것이 좋다.

2) 제해장치

제해장치는 누설 염소가스 및 저장조의 배기 등을 충분히 중화하고 무해한 상태로 대기에 방출하는 장치로 그 한 예를 <그림 5.9.22>에 나타냈다. 염소가스 중화장치는 염소가스가 누출한 경우에는 이들을 흡수하여 중화처리하는 장치로서 염소주입기실, 염소용기실에 배가스 덕트가 부설되어 있어 이것과 중화실의 배풍기, 중화탑과 연결되어 있다.

또 중화용 가성소다탱크, 순환펌프 및 감시조작실이 이 염소가스 중화장치의 일련의 설비이다. 만일 염소가스가 누출하여 일정량에 도달하면 누출검지기가 감지하여 관리실에 경보함과 동시에 이들 중화장치가 자동적으로 시동한다. 염소가스는 공기보다 무겁고 바닥면에 깔리므로 배가스 덕트로부터 배풍기로 흡입되어 중화탑에 보내진다. 중화탑에서는 중화용 가성소다탱크로부터 순환펌프로 흡양된 15% 가성소다 용액과 접촉하여 중화처리되어 대기 중에 방산된다. 가성소다용액은 다시 중화용 가성소다탱크에 운송되고 반복하여 펌프로 순환된다. 이 가성소다는 염소와 접촉하여 중화시켜 점차 효력을 상실하게 되므로 적절한 시기에는 교환하여야 한다. 염소중화탑은 충전탑방식, 회전흡수방식, 경사판방식 등이 있으나 보편적으로 사용되고 있는 것은 충전탑방식이다.

- ① 충전탑방식은 중화탑 하부로 부터 염소가스를 보내고 탑 상부에서 가성소다 용액을 흘려보내 탑 내부의 충전재 표면을 스쳐 지나는 사이에 서로 반응하여 중화되는 방식이다. 탑의 내부는 청소가 용이한 구조로 하여 사용 후 물로 세척하기에 가능한 구조가 좋다.
- ② 회전흡수방식은 중화탑 입구에서 염소가스를 흡인하고 중화탑 주축의 회전에 의해 회전날개에 발생하는 가성소다용액의 피막과 회전날개 끝에서 산포되는 가성소다액체가 염소가스와 접촉하여 중화된다.
- ③ 경사판방식은 중화탑 하부로부터 염소가스를 보내고 탑 상부에서 반응액을 보내는 것은 중화탑 방식과 유사하나 탑 내에 충전재 대신 경사판을 설치하여 경사판의 표면에 생기는 가성소다 용액의 피막과 경사판에 있는 작은 구멍으로부터 산포되는 가성소다 용액이 염소가스와 반응하여 중화되는 방식이다.

가성소다 용액과 염소가스를 반응시키면 소금, 차아염소산나트륨과 물을 생성한다. 화학반응식은 다음과 같다. 만약 가성소다 용액과 염소의 반응률이 70%이고 가성소다의 회석률이 무게비로 20% (물 80%, 가성소다 20%)라면 염소 1kg을 중화시키기 위하여 필요한 가성소다 용액의 무게는 다음 계산과 같이 약 8.05kg이다.



$$\chi = 1 \times 2 (\text{NaOH의 분자량}) / (\text{의 분자량}) \times 1 / \eta \times 1 / e = 1 \times (2 \times 40) / 71 \times 1 / 0.7 \times 1 / 0.2 = 8.05 \text{kg}$$

χ : 염소 1kg을 중화시키기 위하여 필요한 20% 가성소다 용액 무게

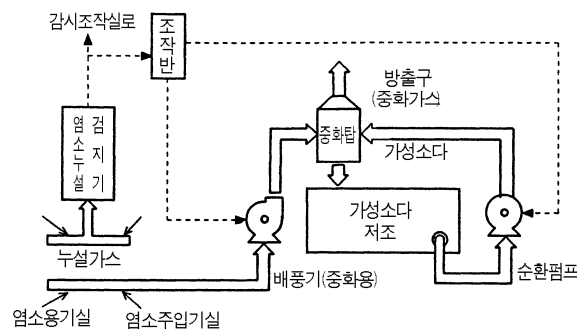
η : 반응효율(일반적으로 0.6~0.8)

중화설비 내 가성소다 저장탱크에서 수분이 증발하고 가성소다용액이 석출되어 배관 및 펌프의 회전을 폐쇄하는 경우가 있으므로 정기검사를 하여 확인하고 물을 보충하여 주어야 한다. 특히 동절기 저온에서는 가성소다가 결정으로 석출되어 가동되지 못하는 경우가 많으므로 옥외에 설치되어 있는 가성소다 저장탱크와 배관, 밸브, 펌프 등에는 히팅코일을 설치하여 결정 석출을 방지하여야 하며 실내에 설치된 중화설비에는 적절한 실내온도를 유지하도록 하여야 한다.

경보센서는 염소투입실과 염소저장실의 바닥면 둘레 10m당 1개 이상의 비율로 설치하는 것이 바람직하다. 중화설비의 관리는 반드시 다음의 표를 따라야 하는 것은 아니나 다음 <표 5.9.30>을 참고할 수 있다.

<표 5.9.30> 염소 중화설비의 점검사항

일상 점검		정기 점검		정기 정비	
주기	내 용	주기	내 용	주기	내 용
운전시	중화탑 창 및 플랜지 부위 누출 여부	수시	중화탑의 외부청소	1년	중화탑 내부청소
운전시	가성소다의 유하상태	수시	가성소다 용액의 농도 및 온도	2년	환풍기 분해청소
운전시	제해덕트 및 가성소다 배관의 파손, 진동 및 누출여부	6개월	중화탑 주변, 가성소다의 배관 덕트류, 지지대의 외관 부식	3~5년	가성소다 탱크 및 배관의 도장
운전시	흡입펌프 및 가성소다 순환펌프의 작동음, 진동, 전류값, 축부위 온도, 윤활유량, 토출측 압력의 이상 및 연결부위의 누출 유무	6개월	손상 유무		
3회/일	가성소다 저장탱크의 수위	6개월	펌프, 환풍기의 외관, 성능		
		6개월	종합 시운전		



<그림 5.9.22> 제해장치(예)

(2) 차아염소산나트륨의 배액처리

차아염소산나트륨은 취급이 용이하지만, 그 배액은 pH값이 높고(12 이상) 염소농도도 높기 때문에 안일하게 처리하면 안 된다. 배액처리는 전문업자에게 위탁하는 것이 가장 적절한 방법이며, 어쩔 수 없이 장외로 배출하는 경우는 pH값이 5.8 이상 8.5 이하가 되도록 조정하고 잔류염소가 검출되지 않는 것을 확인한다. 토양에 스며들어간 것의 표면을 물로 씻어 말려도 차아염소산 냄새가 남는다면 아황산나트륨 용액을 살포해 두면 제거할 수 있다. 중화작업은 다음 사항에 주의하여 실시한다.

- 1) 처리액을 가능한 적게 한다.
- 2) 작업에는 충분한 장비와 세심한 주의를 기울인다.
- 3) 약품에 의한 중화는 한 번에 대량을 주입시키거나 너무 많이 주입시키지 않도록 하고 중화처리 결과를 지시약으로 확인한다. 또한 주입 순서를 절대로 틀려서는 안 된다.
- 4) 구체적인 순서는 탱크 내의 액을 가능한 한 감소시켜 처리하는 액의 유효염소농도를 조사한 후, 유효 염소량의 약 1.8배의 아황산나트륨을 준비한다. 이것을 가능한 5% 수용액으로 만들어 차아염소산나트륨과 잘 혼합하여 반응시켜(반응열은 30~40℃가 됨) 물로 희석하여 염산으로 중화 처리한다. 이러한 처리로 중화 반응을 확인하고 잔염과 pH값을 측정한 후에 다시 물로 희석시켜 방류시킨다. 또한 아황산나트륨, 염산 사용시에는 충분히 주의한다.

5.9.12 이상시 대응

(1) 염소 누출시의 반응

- 1) 주밸브의 손상이나 용기 자체의 부식에 의해 가스가 누출되었을 때는 방독마스크를 착용하여 신속히 조사, 처리를 하여야 한다. 이 경우 작업자는 가능한 바람이 불어오는 쪽에 위치하고 다른 직원도 바람이 불어오는 쪽으로 피난시킨다. 가스누출이 심해 그 위험성이 판단되면 신속히 경찰서, 소방서 등에 통보하여 그에 의한 가스의 확산상태, 풍향을 확인하여 부근 주민을 안전한 장소로 피난시킨다. 방독마스크가 없는 경우는 거즈류에 티오황산나트륨 용액(약 50%)을 적신 것으로 코와 입을 막고 보호 안경을 착용하여 눈을 보호하는 것이 좋다.
- 2) 염소용기에서 액체가 흘러나올 때는 새고 있는 장소가 위를 향하도록 용기를 회전시켜 가스체가 나오도록 하여야 한다. 염소가스는 액화 염소의 약 460배(0℃, 1기압)의 용적이 되므로 같은 구멍에서 누출되는 염소량은 액화염소의 경우에 비해 훨씬 작아진다(약 1/15 정도).
- 3) 새고 있는 염소용기의 구멍이 작으면 뽕쪽하고 딱딱한 나무못이나 나무마개, 납마개를 박아 응급 조치하여 멈추게 하고 될 수록 빨리 용기내의 염소를 뽑아서 용기 내를 비워 두어야 한다. 나무막대 등을 끼울 때는 주위 벽면이 얇아 손상을 입힐 수도 있으므로 주의하여야 한다.
- 4) 소량의 염소를 사용하는 시설에서 중화설비가 없는 곳은 염소저장실 또는 염소투입실 근처의 편리한 장소에 소석회를 비치함과 동시에 100kg짜리 용기가 쉽게 들어갈 수 있는 정도의 깊이 약 1m의 구덩이를 파고 복토할 수 있는 토사와 삽 등을 준비하여 두어야 한다. 100kg 용기로부터 염소가스가 누출되어 응급조치로서도 막을 수 없을 때는 미리 굴착하여 둔 도랑에 용기를 묻고 그 위를 가마니로 덮고 다시 다량의 소석회와 흙을 덮은 다음 물로 습하게 하여 염소가스가 외부로

누출되지 않게 하여야 한다. 또 토사 중에 묻은 용기중의 염소는 쉽게 방출되지 않으므로 이의 취급은 될 수 있는 대로 염소제조업자로 하여금 처리시키는 것이 좋다.

- 5) 1t 용기, 저장조, 소비설비 등에서 누출된 경우는 제해장치가 정상적으로 가동되고 있는지 어떤지를 확인한다. 통상 제해장치는 누설 검지기의 정보설정값에 의해 자동적으로 시동되도록 되어 있다. 만일, 자동시동이 안 되는 경우는 바로 현장 조작으로 가동시키고 누출가스의 중화와 누설개소의 조사 및 응급처리를 해야 한다.
- 6) 가스중독 증상을 보인 경우의 처치에 대해서는 위험물과 유해물에 대한 구급처치를 참조한다.
- 7) 액체염소 저장실 지붕에는 풍향계를 설치하여 가스누출시 가스의 확산방향을 파악하는 것이 바람직하다.

(2) 차아염소산나트륨 누출시 대응

저장조, 배관 등의 파손에 의해 다량으로 누설된 경우는 다음의 조치를 고려하도록 하여야 한다.

- 1) 누출된 차아염소산나트륨을 처리하는 경우, 아황산나트륨으로 중화시키거나 대량의 물로 희석한 후에 배출한다. 이 경우는 배출수의 pH값이 5.8 이상 8.5 이하가 되도록 조정하고, 잔류염소가 검출되지 않은 것을 확인하여 배출하여야 한다(5.10.10 (2) 차아염소산나트륨의 배액 처리 참조).
- 2) 피부나 의류에 묻은 경우는 재빨리 물로 충분히 씻어 제거한다. 잘못해서 눈에 들어간 경우는 바로 다량의 물로 씻고 의사의 처방을 받는다.
- 3) 마신 경우는 탄산수소나트륨 30~50g/L 수용액으로 위세척, 구토하도록 한다. 또한 250mL의 물에 황산마그네슘 30g과 탄산수소나트륨 10g을 용해한 수용액을 복용시키면 되지만 이는 의사의 지시에 따르도록 한다.

(3) 화재 발생의 대응

액화염소 및 차아염소산나트륨의 저장소 내, 주입기 실내, 또는 가까운 곳(화재에 의한 열의 영향을 받는 구역)에서 화재가 발생한 경우는 즉시 주입을 중지시키고 소화에 노력함은 물론 다음에 제시된 조치를 취하도록 한다.

- 1) 소형 용기인 경우 50kg 용기는 신속히 화재의 영향이 없는 안전한 것으로 이동한다. 화염이 1톤 용기나 저장탱크 또는 주입장치 가까이 이르렀을 때는 장치 내의 가스압력이 이상 상승하는 것을 방지하기 위하여 장치 내의 가스를 안전한 장소로 방출하거나 제해장치로 중화시킴과 동시에 외부에서 대량의 물을 살포하여 냉각시키도록 한다.
- 2) 차아염소산나트륨의 경우는 저장조, 배관재 등의 가연물이 타게 되면 염소가스, 일산화탄소, 할로젠화가스 등의 유해 가스를 발생시켜 위험하므로 적절한 보호구를 장착하여 소화에 대처하는 것이 필요하다.
- 3) 화기에 강하고 염소가스가 누설되어 위험한 상황이라 판단되면 앞에서 기술한 (1) 염소가 누설했을 때의 대응에 따르도록 하고 관할 경찰서와 소방서의 지원을 받도록 한다.
- 4) 염소주입설비가 사용할 수 없게 되었을 때에도 소독을 실시할 수 있도록 평소에 상당량의 차아염

소산나트륨과 간이 주입장치를 준비해 두는 것이 바람직하다.

(4) 지진시의 대응

- 1) 지진시의 경우에는 기기 등의 이상·파손개소 등을 조사하고 설비를 점검하여 안전을 확인한 후 주입하여야 한다.
- 2) 강한 지진을 감지하여 재해가 우려될 때에는 용기 또는 저장조의 원밸브를 폐지시킨다. 염소의 긴급 차단밸브, 혹은 차아염소산나트륨 저장조의 긴급 차단밸브 등이 조작 가능한 것이라면 이를 바로 폐지한다. 감진기와 연동시켜 폐지하는 것은 폐지를 반드시 확인하도록 한다. 염소인 경우 진동이 잠잠해진 후 바로 제해설비를 가동시키고 보안용구 등을 장착하여 안전을 확보한 후 설비 점검을 실시한다. 차아염소산나트륨인 경우는 저장조·소출조의 액위, 수조 내부나 배관의 손상, 누액의 유무를 조사한다. 기기 등에 파손된 곳이 있는 경우에는 신속히 응급 복구하도록 조치한다. 설비의 안전이 확인되면 폐지한 밸브를 복귀시키고 주입을 재개한다.
- 3) 설비의 파손이 심하고 염소주입이 불가능해 졌을 때를 위해 차아염소산나트륨과 간이 주입장치를 준비해 둔다.

(5) 정전시의 대응

주입설비 가동 중에 정전이 발생되면 동력 및 계측·제어계의 공급 전원이 끊어지고 염소제 주입이 중단된다. 이 때문에 염소주입방식의 경우는 염소가스의 누설방지 등을 위해 다음의 조치를 취해야 한다. 진공식 주입기의 경우는 주입기 내가 정압이 되어 안전밸브가 작동되고 염소가스를 기기 외로 방출시킨다.

이때에 염소누설 검지기 및 제해설비의 사용이 불가능하므로 보안용구를 장착하여 주입설비를 정지한다. 또한 장시간 정전 때는 기화기가 도움이 되지 않고 액화염소가 유출될 위험이 있으므로 기화기의 입구밸브, 가스통 출구밸브를 폐지해야 한다. 인젝터의 급수가 펌프계이면 압력수가 확보되지 않으므로 주입기 내에서 염소누출이 일어나지 않도록 조치해야 한다. 또한 전기가 복원되어 수동운전을 실시하는 경우는 조작 순서에 착오가 있어서는 안 된다.

5.9.13 차아염소산나트륨 생성장치

(1) 총칙

차아염소산나트륨 생성장치는 전해조 내에서 염소수를 전기분해하여 차아염소산나트륨액을 생성시키는 장치로, 이 장치는 정수장 내에 설치하고 원료염, 물과 전력 공급을 확보함으로써 필요량의 차아염소산나트륨을 계획생산 할 수 있다.

차아염소산나트륨은 일반적으로 가성소다에 염소가스를 흡수시켜 제조하는 데 유효성분인 차아염소산나트륨(NaOCl) 이외에 소량의 염화나트륨(NaCl)과 가성소다(NaOH)가 함유되어 있다. 강한 알칼리성이며 부식성이 있으므로 저장, 배관에 내식성의 자재를 사용하여야 하며 취급시에 피부, 점

막에 묻지 않도록 주의하여야 한다. 차아염소산나트륨은 불안정하여 상온에서도 염소를 방출하며 분해되는데 이 분해반응은 햇빛, 자외선, 중금속, 온도의 상승 및 pH값의 저하에 의하여 촉진되고 또한 산에 의하여 급격히 분해되며 염소를 방출하여 위험하므로 산 종류 또는 황산알루미늄과 같은 산 성용액과 혼합하지 않도록 주의하여야 한다.

차아염소산나트륨을 주입함에 있어서 저장 중에 유효염소농도의 저하, 계량기 및 배관 내에서 기포를 발생 또는 스케일 생성에 의한 주입관 폐쇄와 같은 문제가 있을 수 있으므로 주의하여야 한다.

차아염소산나트륨의 저장은 다음의 사항을 주의하도록 한다.

- 1) 차아염소산나트륨의 유효염소농도는 계절이나 운반상황에 따라 일정하지 않으므로 수납시 계량은 물론 유효염소농도의 측정 등 품질시험을 행하여야 하며 저장 중에 농도가 저하되는 경우가 있으므로 특히 주의하여야 한다.
- 2) 저장량은 원칙적으로 평균사용량의 10일분 이상이 되도록 하고 있으나 장기 저장에 따른 유효염소농도의 저하를 고려하여 저장량이 과대하지 않도록 조정하여야 하고, 오랜 기간 동안 저장하는 경우에는 유효염소농도를 정기적으로 측정하여 농도변화를 파악하고 있어야 한다.
- 3) 저류조, 저장실의 주변온도를 측정하여 필요한 경우에는 환기설비, 냉방장치 등으로 온도의 상승을 방지하도록 하여야 한다.
- 4) 차아염소산나트륨은 배관 내에서 미세한 산소의 기포를 발생시키는데 발생상태는 품질, 온도, 주입량의 증감에 따라 변화한다. 발생된 기포는 펌프의 흡입측 배관이나 주입기 내부에 잔류하여 흐름에 장애가 되거나 불안정한 주입의 원인이 되므로 주입 중에는 기포의 발생상태에 주의하여 필요하면 가스를 인출하는 조작을 하여야 한다.
- 5) 경도가 높은 물을 주입하면 차아염소산나트륨 중의 유리 알칼리도에 의하여 경도성분이 석출되어 주로 탄산칼슘 성분의 스케일이 주입관의 관벽에 부착되어 폐색되는 사고의 원인이 된다. 이 스케일은 주입점에서 물과 접촉하는 부근, 주입관의 바닥이나 관의 곡부, 밸브 등에 많이 부착된다. 인젝터방식으로 주입하는 경우에는 인젝터의 출구에 스케일이 많이 생성된다. 이러한 스케일 생성에 따른 주입관의 폐색을 방지하기 위해서는 정기적으로 스케일의 부착상태를 점검하고 다음의 사항들을 주의할 필요가 있다.
 - ① 주입기 운전에는 진공(주입)변화에 주의하여 압력에 이상한 경향이 나타나면 즉시 스케일의 부착상태를 점검하고 스케일이 많이 부착되는 부분은 탈착이 가능한 구조로 하여 정기적으로 탈착하여 묽은 염산으로 세척하여 부착된 스케일을 제거하도록 한다.
 - ② 주입기와 주입배관은 예비설치를 설치하여 정기적으로 서로 바뀌가며 사용하고, 정지중인 주입기와 배관은 즉시 세척하여 부착 스케일을 제거하여야 하며 차아염소산나트륨을 회석하는 경우에는 경도가 낮은 물을 사용하여야 한다.

배관 등의 파손으로 다량의 차아염소산나트륨이 누출되면 아황산나트륨을 사용하여 분해한 후 다량의 물로 회석하여 배출하여야 하며 이때 산으로 중화를 시키면 염소가스가 발생하여 위험하다.

유효염소농도 12%의 차아염소산나트륨 1kg을 중화시키는데 필요한 무수 아황산나트륨(Na_2SO_4)의 양은 0.22kg, 결정 아황산나트륨($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)의 양은 0.43kg이다. 처리한 후 물로 회석하

여 배출하는 경우에는 배출수의 pH가 5.8 이상 8.6 이하가 되도록 조정하여 잔류염소가 검출되지 않는 것을 확인하고 배출하여야 한다.

차아염소산나트륨은 강알칼리성 염소제로 작업시에는 필요에 따라 적절한 보호장구(보안경, 고무장갑, 방진마스크, 고무장화, 고무 옷 등)를 사용하여야 하며, 피부나 의류에 묻게 되면 신속하게 물로 충분히 세척하고 잘못하여 눈에 들어가는 경우는 즉시 충분한 물로 세안한 후 의사에게 진료를 받도록 한다.

자체적인 차아염소산나트륨(NaOCl)의 생성방법에는 염화나트륨(소금)을 전기분해하여 가성소다와 염소가스를 생성시켜 이들을 반응시키는 방법(전해법)을 이용한다.

전해법에는 무격막법(無隔膜法)과 격막법(隔膜法)이 있는데 다음에서는 상수도의 자체적인 생성·사용장치로서 일반적으로 이용되고 있는 무격막법에 대해서 서술하도록 하겠다.

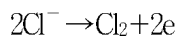
또한 격막법에 대해서는 상수도시설기준 5.10.4 주입설비의 해설을 참조할 것.

(2) 원리

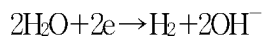
1) 생성의 원리

무격막법에서는 전해조에 양극판과 음극판이 설치되어 있어 양극간을 구분하는 격막은 없다.

공급된 염소수는 전해되어 양극에서 염소(Cl_2)를 발생시킨다.



음극에서는 수소(H_2)가 발생하고 수산이온(OH^-)이 생성되어 이 수산이온과 나트륨이온(Na^+)으로 가성소다(NaOH)를 생성한다.

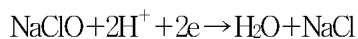


액 중에 격막이 없으므로 양극에서 발생한 염소와 음극에서 발생한 가성소다가 반응하여 차아염소산나트륨(NaClO)을 생성한다.

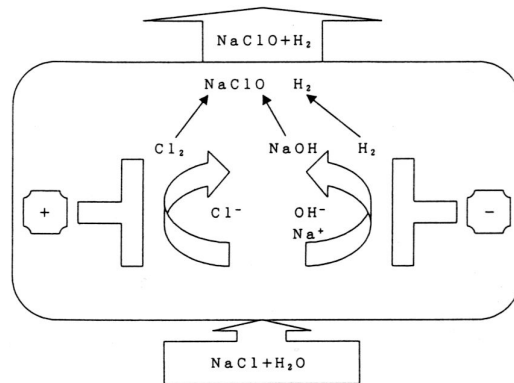


또한 격막이 없는 관계로 수조 내에서의 이온의 이동은 자유롭고 불필요한 부반응이 일어나기 쉽다.

부반응



무격막법의 원리도는 다음과 같다.



<그림 5.9.23> 무격막방식의 원리

2) 생성 차아염소산나트륨의 성상

무격막방식에서는 차아염소산나트륨의 생성은 격막이 없는 전해조 내에서 이루어지는데 염의 이용률[전기분해에 의한 방식으로는 이론상, 염소 1kg을 생성시키기 위해서는 염화나트륨 1.6kg을 필요로 한다. 이 이론값과 실제 사용량의 비율(%)를 이용률이라 한다]이 낮다. 생성된 차아염소산나트륨액의 유효염소농도는 1% 전후로 시판제품의 5~12% 정도와 비교해 비교적 낮다. 또한 미반응 염이 포함되어 있으므로 염화나트륨의량은 유효염소량에 비하여 약간 많고 유리 알칼리는 시판제품에 비해 적다.

유효염소농도의 보존성을 확보하기 위해 시판품은 pH값을 약 13으로 하는데 비해 생성액은 8~9 정도로 낮고 시판제품에서 문제가 되는 기포의 발생도 작다.

(3) 설비의 개요

1) 흐름도

무격막법의 흐름도(flow-chart)는 상수도시설기준 5.10.4 주입설비의 <그림 5.10.7> 제조설비 공정도 참조한다.

2) 생성장치 배치도

생성장치는 실내 장치인데 염용해조 및 차아염소산나트륨 저장조는 실외에 설치되는 경우가 있다.

3) 주요 구성기기

무격막법의 주요 구성기기는 다음과 같다.

① 연수(軟水) 장치

양이온 교환수지를 충전한 것으로 전해에 사용시에 포함되는 경도성분을 제거한다. 물에 포함되는 경도성분의 양이 매우 작을 경우에는 이 장치를 생략할 수 있다.

② 염용해조

전해에 사용하는 염을 용해시키고 포화염수를 만든다.

③ 회석수조

포함 염수를 약 3%로 희석하기 위한 물을 저장한다. 평소에는 염수를 저장한다.

④ 전해조

약 3%의 염수를 전해시켜 차아염소산나트륨을 생성한다.

⑤ 정류기(整流機)

전해조에 전해용의 직류전류를 공급한다.

⑥ 차아염소산나트륨 저장조

생성된 차아염소산나트륨을 저장한다.

⑦ 부대기기

수소가스 희석 팬, 각종 펌프류 등이 있다.

4) 설비의 규모

① 생성장치

생성장치의 용량은 일평균 주입량을 기준으로 하여 일최대 주입량 및 일최소 주입량을 고려하여 여유를 주어 결정한다. 설비대수는 연간 가동률 및 생성 차아염소산나트륨의 유효염소농도를 고려하여 예비기를 포함하여 2대 이상 하는 것이 바람직하다.

② 저장설비

① 원료염

원료염의 저장용량은 용해염수 및 생성 차아염소산나트륨을 포함하여 항상 사용량의 10일분 이상(염소 환산)이 저장될 수 있는 규모로 한다.

② 생성 차아염소산나트륨

생성 차아염소산나트륨의 저장조 용량은 항상 사용량의 1일분 이상을 저장할 수 있는 규모로 하고 또한 항상 어느 정도의 여유량이 확보될 수 있도록 한다. 여유량은 전극의 교환, 청소 등을 고려하여 그 사이의 소요량을 산출하여 정한다. 저장조는 2기 이상 설치하여 그 중 1기는 예비로 한다. 저장조 구조는 예측하지 못한 사고에 의해 생성장치가 정지하는 것을 고려하여 반드시 다른 시설의 생성 차아염소산나트륨 혹은 시판하는 차아염소산나트륨을 받아들여 사용할 수 있도록 해 둔다.

③ 주입설비

주입기는 생성 차아염소산나트륨의 유효염소농도의 변동에 대해 항상 대처할 수 있도록 용량 및 설비대수를 정하고 반드시 예비기를 설치한다. 주입설비는 사고에 대비해 시판하는 차아염소산나트륨을 구입사용 할 수 있는 구조로 한다.

(4) 법규상의 수속

차아염소산나트륨 생성장치의 설비관리와 발생 수소량이 일정량을 넘으면 산업안전보건법의 규제를 받는다. 법령의 운용해석 등에 대한 자세한 사항은 관할관청과 협의한 후 확인해 둘 필요가 있다.

(5) 유지관리

무격막법 생성장치의 유지관리는 다음과 같이 한다.

1) 염소수 조정

염용해조에서 포화염수를 만들어 이것을 희석시켜 3% 정도의 염소수로 조정한다. 염수전해 중에 염소수 중의 경도성분이 전극에 부착되기 때문에 스케일을 제거하지 않으면 안 되는데, 그 빈도는 사용하는 원료염의 품질 및 용해되는 물의 수질에 따라 다르고 장치의 운전관리에 큰 영향을 주게 된다.

① 원료염

원료염에는 염전매법 시행규칙의 구분에 따른 병염(並鹽, 습기를 포함하고 있는 염), 식염 또는 정제염이 사용된다. 전극의 스케일 부착을 생각하면 경도성분 함유량이 적은 염의 사용이 바람직하다. 경도성분 함유량은 병염이 가장 많고 식염, 정제염 순으로 적어지지만 그 반면 가격은 비싸게 된다. 사용하는 염은 염의 가격, 취급의 난이도, 스케일 제거비용 등을 고려하여 선택한다. 다만, 해수를 원료로 하면 유효염소 농도가 낮고 해수를 많이 포함한 것이 생성되기 때문에 수도로는 사용할 수 없다.

② 염의 용해수 및 희석수의 수질

① 경도

칼슘 및 마그네슘은 스케일 부착의 원인물질이다. 사용하는 물의 경도는 낮은 쪽이 바람직하다. 경도가 낮은 물이 얻어질 경우는 연수장치로 경도 성분을 제거한 후 사용한다.

② 규산

규산은 경도성분과 같이 전극에 부착된다. 전극의 산세척을 실시해도 경도성분만이 용해제거되어 규산은 전극상에 잔류하여 전극을 사용할 수 없게 만든다. 규산이 30mg/L 이상 포함하는 경우는 함유량이 적은 곳의 수원을 찾든지, 규산의 스케일 제거를 해야만 한다.

③ 망간

희석수 중에 망간이 0.05mg/L 이상 포함되면 전극에 부착되어 전해능력을 저하시키기 때문에 이러한 경우는 제거할 필요가 있다.

④ 수온

전해조에 공급하는 염소수의 온도는 15~20℃가 이상적이다. 수온이 너무 높으면 전해조 내에서 전해에 의한 발열되기 때문에 생성되는 차아염소산나트륨의 액온은 더욱 높아지고 분해 속도가 빨라질 뿐만 아니라 염화 비닐제의 기기 및 배관 등을 손상시킨다. 한편, 수온이 너무 낮으면 전력 소비량이 증가되어 양극 재질의 종류에 따라서는 수명이 짧아지는 경우가 있다. 일반적으로 사용하는 물의 온도는 5~25℃ 범위로 하고 이 범위를 벗어난 경우는 냉각 혹은 가열하는 것이 바람직하다.

2) 전극의 청소 및 교환

전해를 계속하는 가운데 경도성분 등이 전극에 부착되게 된다. 비정상적으로 부착되면 전극성능을 저해하고 생성 차아염소산나트륨 농도가 저하되어 전극 수명도 짧아지므로 정기적으로 전극 청소 또는 교환하도록 한다. 전극 청소, 교환 등에 대해서는 차아염소산나트륨 생성장치를 참조할 것.

3) 운전상의 주의점

장치는 취급 설명서에 따라 확실하고 효율적인 운전이 되도록 하여야 한다. 통상, 여러 가지 정보 및 안전장치를 설치하여 자동운전 되지만 다음 점에 주의하도록 한다.

- ① 염용해조는 미용해 된 염이 항상 다량으로 존재하고 있는 상태로 유지
- ② 전해조에 공급하는 염소수의 농도는 3% 정도로 한다. 염소수 농도가 높으면 염 이용률이 저하되고, 저농도에서 물의 전기분해가 일어나 전류효율이 저하되게 된다.
- ③ 생성 차아염소산나트륨의 농도가 낮으면 염의 이용률이 저하되고 고농도에서는 부반응이 일어나 전류효율이 저하되므로 유효염소 농도 1% 전후에서 운전하는 것이 바람직하다.
- ④ 전극 청소는 정기적으로 실시하여 양호한 상태로 운전한다.
- ⑤ 전해 초기 및 전극 청소 직후에는 유효염소농도가 저하되므로 주입시에 주의하도록 한다.

4) 점검

장치의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 일상 적절한 점검을 한다. 일상점검은 점검요령을 작성하여 계획적으로 실시한다. <표 5.9.31>에 일상 점검 요령의 한 예를 나타냈다.

<표 5.9.31> 차아염소산나트륨 생성장치의 일상점검(예)

항 목			일 상 점 검	
			주기	내 용
무 격 막 법	염용해설비	염용해조	1일	외부 손상, 변형, 균열, 누설의 유무
		수위 조절기	1일	규정 수위의 확인
		혼합기	1일	규정 유량의 확인 및 조정
		농도 측정기	1일	지시값의 확인
	전해설비	전해조	1알	1. 누설, 변형, 균열 유무
			1일	2. 전극 스케일 부착상태
			1일	3. 수조의 온도 확인
		정류기	1일	1. 이상한 소리, 발진, 발열 유무
			1일	2. 규정 전류 및 전압값 확인 및 조정
	기타	펌프류	1일	1. 누설, 이상음, 진동, 발열 확인
			1일	2. 기포정체 상태와 가스 빠짐
		밸브 및 관류	1일	1. 관로의 변형
			1일	2. 누설
		계측 및 제어기기 (염소농도, 유량계, 온도계 등 셋 모두 정보계 달람)	1일	1. 계기 지시값 확인
			1일	2. 배관 접속부 누설

5) 위험방지대책

차아염소산나트륨 생성장치에서 위험방지대책을 필요로 하는 것은 방식에 따라 다르지만 수소, 염소 및 차아염소산나트륨에 관련되는 부분이다. 그러나 액화 염소에 비해 위험성은 작다.

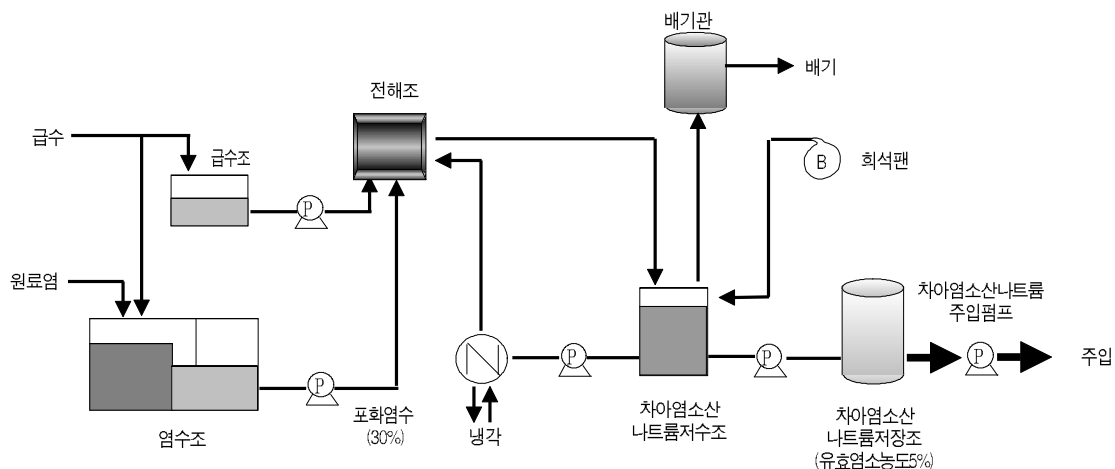
① 수소

전해조에서 발생하는 수소는 가연성 가스이며 폭발범위는 하한 4.0%~상한 75%(상온, 상압의 공기 중에 놓을 수 있는 체적)로 넓으므로 다음과 같은 안전 대책을 실시한다.

- ① 발생된 수소가스는 송풍기로 농도를 1% 이하로 하여 대기 중에 방출시킨다.
- ② 수소가스 혼합기체의 대기 방출은 옥외의 확산이 좋은 장소, 낙뢰의 위험이 없는 곳으로 한다.
- ③ 수소가스의 방출계통에는 적절한 장소에 역화방지기를 설치하고 정전기 발생 방지를 고려한다.
- ④ 전해 정지시에는 일정시간 경과할 때까지 송풍기의 운전을 계속하든지, 또는 질소가스 등의 불활성가스로 장치 내의 수소가스를 치환할 수 있는 구조로 한다.
- ⑤ 방출구 부근에는 “화기엄금” 표시를 한다.
- ⑥ 방출계통 이외의 누출을 검출하기 위한 검지기를 설치하여 누출시에는 생성장치를 정지시킨다.

② 차아염소산나트륨

차아염소산나트륨 생성장치(<그림 5.9.24>)에서 제조되는 차아염소산나트륨은 시판품에 비해 유리 알칼리분도 적고, 염소농도도 1% 전후로 부식성도 낮으며, 저장량도 많이 필요없어 시판하는 차아염소산나트륨보다 안전하지만 안전대책은 동등하게 하는 것이 바람직하다.



<그림 5.9.24> 차아염소산나트륨생성 공정도

5.9.14 차아염소산칼슘 소독

차아염소산칼슘은 백색의 분말, 과립, 또는 정제가 있으며 보통 유효염소를 60~70% 함유하고 있다. 차아염소산칼슘은 안정성이 양호하여 장기보관에 견디므로 화재시나 비상용의 소독제로 적합하다.

다. 차아염소산칼슘은 밀봉하여 건·냉암소에 물이나 가연성 물질, 폭발성 물질과의 접촉을 피하여 저장하여야 하며, 이들 약품의 사용량은 유효염소량에 의하여 산출하여야 한다.

차아염소산칼슘을 물에 용해할 때는 별도용기에 소량의 물을 부어 잘 혼합한 후 서서히 물로 희석 시켜서 불용해물이 남지 않도록 하고 소요수량 전부를 가한 다음 그 상징액을 사용하여야 한다. 차아염소산칼슘 보관 중에 유효염소량의 일부가 소실되는 일이 있으며 불용해분이 생길 수 있고 또 용해전부를 사용하지 못할 때도 있으므로 계산상의 소요량보다 다소 많이 용해하여 용해 후의 농도를 검정하는 것이 바람직하다.

적정식 투입기를 사용할 때에는 반드시 투입조절기를 비치하고 용해조의 수위변동에 의하여 주입량이 변화하지 않도록 하여야 하고 압력관내에 주입할 경우에는 압력주입펌프에 의하여야 한다. 또한 표백용액이 용해조나 투입기를 막히게 하는 일이 있으므로 때때로 소제하여 사용하여야 하며 화재가 발생하면 분해되어 염소가스를 발생시키므로 주의하여야 한다.

5.10 전염소, 중간염소 및 재염소처리

5.10.1 총칙

염소제는 통상 소독을 목적으로 여과 후에 주입하는데, 살균(殺菌)·살조(殺藻)작용과 함께 그 강력한 산화력을 이용하여 여과공정 이전에 주입하는 경우가 있다. 이렇게 응집·침전 이전에 주입하는 경우를 전염소처리, 침전지 후단 및 여과지 유입에 주입하는 경우를 중간염소처리라 하며, 이들은 다음과 같은 목적으로 실시되고 소독을 위한 염소처리(후염소처리)효과를 확실히 하고자 하는 것이다.

- 1) 세균 처리
- 2) 생물 처리
- 3) 철, 망간 처리
- 4) 암모니아성 질소, 유기물 등의 처리
- 5) 냄새 처리

앞에서 기술한 각 항의 내용에 대해서는 상수도시설기준 5.11 및 5.16과 5.19를 참조할 것.

전염소·중간염소처리는 앞에서 기술한 것과 같은 목적으로 실시되는데 원수수질 성상에 따라서 충분한 효과가 얻어지지 않는 경우가 있다. 또한 수중의 용존물질과 염소와의 반응에 의한 부산물이 수질적으로 무시할 수 없는 경우도 있으므로 전염소처리와 중간염소처리 중 어느 쪽을 선택할 것인가 또는 병용할 것인가의 선택 및 운전관리에는 원수 수질에 따른 효과와 특성을 충분히 확인할 필요가 있다. 예를 들어, 원수 중에 humic substance질 등의 유기물이 존재하면 유리염소와의 반응으로 트리할로메탄이 생성되므로 이를 감소시키기 위해서는 전염소 처리를 최소화하고 중간염소처리로 대체하는 편이 좋다. 또한 맛·냄새의 원인이 되는 조류의 발생시기에는 전염소처리를 가능한 한 억제하고 중간염소처리를 주로 함과 동시에 응집·침전처리 강화 등을 병용함에 따라 냄새를 효과적

으로 저감시킬 수 있다. 완속 여과방식인 경우는 정화기능을 갖는 여과막 생물이나 여과층 내부의 박테리아 등에 장애를 주기 때문에 원칙적으로 전염소처리, 중간염소처리는 실시하지 않는다.

5.10.2 전염소처리

전염소처리는 염소제를 취수장, 착수정 및 침전지 전에서 주입하는 방법인데 냄새의 원인이 되는 조류 번식이나 트리할로메탄 전구물질이 많은 원수에 대해서는 전염소처리를 가능한 억제하고 중간염소처리를 채택하도록 한다.

(1) 염소제의 주입장소 및 방법

염소제의 주입장소는 처리목적에 따라 취수장, 도수관, 착수정, 혼화지 등 잘 혼화되는 장소를 선정하고, 주입방식에 대해서는 5.10 소독설비에 준하며, 전염소 주입제어시스템에 대해서는 다음의 <참고 5.10.1>을 참조할 것.

(2) 염소제 주입

염소제의 주입은 원수 수질, 처리 목적 등에 따라 다른데 다음 사항을 참조하여 결정한다. 또한 과잉주입이 되지 않도록 주의하여야 한다.

- 1) 세균을 대상으로 하는 경우는 처리 후의 유리잔류염소가 0.1~0.2mg/L 정도 필요하다.
- 2) 생물의 사멸이나 번식방지를 위해서는 유리잔류염소 0.5mg/L 정도가 필요하다.
- 3) 망간을 대상으로 하는 경우는 여과수의 유리잔류염소가 0.5~1.0mg/L 정도가 되도록 주입한다.
- 4) 전염소처리는 통상, 암모니아성 질소를 포함하고 오탁이 진행된 원수를 대상으로 하는 경우가 많고 불연속점(BP) 염소처리를 실시하면 좋다. 따라서 원수수질 변동기를 포함하여 적시에 원수의 염소요구량을 측정하여 주입량을 조정하도록 한다. 상수도시설기준 5.11 전·중간염소처리를 참조. 일반적으로 원수 중의 암모니아성 질소의 약 10배(이론값은 7.6배) 주입시키고, 여과수의 유리잔류 염소를 0.5mg/L 정도로 유지하는 것이 적절하다. 원수의 수질 변동, 특히 암모니아성 질소의 시간변동이 클 경우, 전 염소주입 후의 잔류염소를 자동 잔류염 소계로 측정하여 잔류염소를 일정하게 하는 제어를 하는 방법도 있다.
- 5) 염소는 플록형성지나 침전지에서 소비되는 양을 고려한다. 수중의 염소는 직사일광을 받게 되면 분해가 진행되므로 계절, 기후, 낮과 밤에 따라 소비량은 다르게 된다.
- 6) 분말활성탄처리를 동시에 실시하는 경우는 활성탄에 염소가 흡착 소비되므로 통상, 분말활성탄 1mg/L은 염소 0.2~0.25mg/L 정도를 흡착한다.
- 7) 여과지 세척배출수나 배출수처리설비로부터의 배출수를 착수정으로 반송시켜 사용하는 경우는 일시적으로 염소소비량이 증가하는 경우도 있으므로 주입량 조정을 필요로 한다.

<참고 5.10.1> 전염소 주입의 적정 제어에 관해서

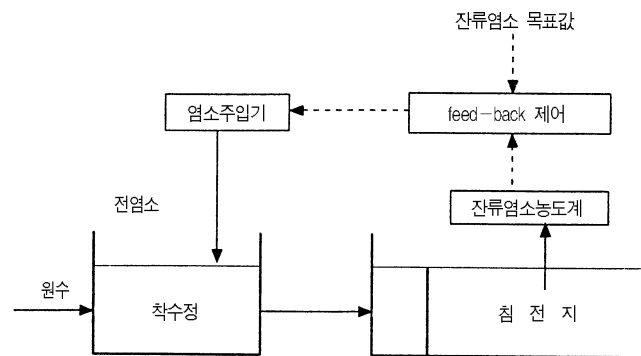
전염소처리 조작을 항상 정확히 실시하는 것은 실제로 쉽지 않은데, 적절한 주입을 어렵게 만드는 주요한 원인으로서는 다음과 같은 점을 들 수 있다.

- ① 원수 중의 암모니아성질소 농도가 시시각각 변화하는 점(여과지 세척배출수 등의 반송수가 가해지는 경우나 초기 강우시 등 상류지역 폐수배출 방류에 의해 급변하는 경우가 있다)
- ② 암모니아와 염소와의 화학반응은 여러 단계의 과정을 거치는 복잡한 반응으로 저수온이나 저 pH값에서는 반응이 완결될 때까지는 상당한 시간을 요한다.
- ③ 염소요구량은 암모니아성질소 농도만으로는 결정되지 않고 염소요구량 자체도 신속하고 정확한 측정이 어려운 점
- ④ 염소주입기에 정도(精度)상의 한계가 있는 점
- ⑤ 염소자체가 수중에서 불안정하고 햇빛이나 풍속, 바람 등의 기상조건에 따라 농도가 변화하는 점

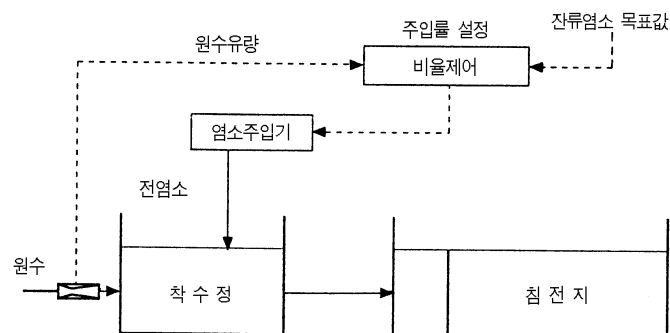
전염소 주입을 가능한 한 적정하게 실시하기 위해 대표적인 제어시스템을 다음에 나타냈다.

1) 잔류염소농도에 의한 피드백(feed back)제어방식(<참고 그림 5.10.1>). 잔류염소 목표값을 설정하는 데는 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 오퍼레이터를 계절, 기후, 원수수질, 취수량 등의 조건으로 판단하여 목표값을 상황에 따라 설정한다.
- ② 하루 목표값 설정 패턴을 과거의 실적을 바탕으로 몇 개의 모델패턴화(Logic화)하여 프로그램 조정에 의해 설정값을 정한다.



<참고 그림 5.10.1> 잔류염소농도에 의한 feed-back 제어방식



<참고 그림 5.10.2> 비율제어방식(1)

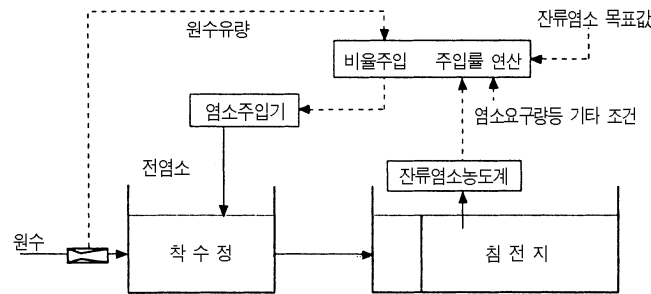
2) 비율제어(제1)방식(<참고 그림 5.10.2>).

주입률 설정은 오퍼레이터가 잔류염소농도, 기후, 수질, 등의 조건으로 판단하여 목표값을 조건에 맞추어 설정한다.

3) 비율제어방식(제2)(<참고 그림 5.10.3>).

오퍼레이터가 설정된 잔류염소농도 목표값이 되도록 주입률을 연산하여 제어한다.

주입률은 잔류염소계의 피드백값, 염소 요구량계의 데이터 등의 조건을 바탕으로 미리 정해 놓은 연산식에 따라 구할 수 있다.



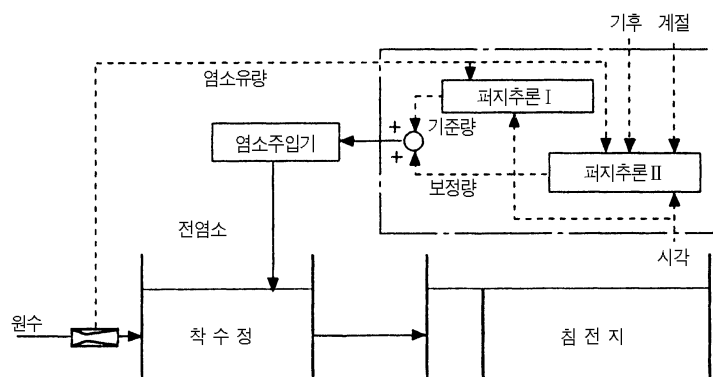
<참고 그림 5.10.3> 비율제어방식(2)

4) 퍼지 제어방식(<참고 그림 5.10.4>).

원수 유량, 기후, 계절 등의 조건에서 퍼지추론으로 주입률을 구한다. 퍼지추론은 기본적인 요인인 원수 유량, 시각으로 기준 주입률을 구하는 퍼지추론 I과 이에 대해 기후, 계절 등의 요인으로 보정량을 구하는 퍼지추론 II 이 두 가지 그룹으로 나뉘어져 있다.

최근에는 대부분의 정수장에서 자동제어에 의한 염소주입이 실시되고 있는데, 강우에 의한 암모니아성 질소 농도의 급변시에는 자동제어 시스템으로는 대처할 수 없는 경우가 있다.

이러한 경우는 침전지에서 잔류염소 농도를 관찰하면서 수동제어하기도 한다. 따라서 강우시에는 상류구역의 빗물 배수설비장소 등의 운전개시정보를 신속히 입수해야 할 필요가 있다. 또한 이들 정보를 텔레미터화(TM)하여 대응하고 있는 곳도 볼 수 있다.



<참고 그림 5.10.4> 퍼지 제어방식

(3) 시설·설비관리상의 유의사항

염소제의 저장, 주입설비 및 제해설비관리는 5.9 소독설비에 준하며 특히 다음 사항에 유의하여야 한다.

- 1) 주입장소에서는 잘 혼화될 수 있도록 충분한 접촉시간을 갖도록 한다.
- 2) 주입 부근은 염소가스에 노출되므로 설비에 방식처리하고 정기적으로 점검한다.
- 3) 주입점 상부에 가건물이 설치되어 있는 경우는 환기를 충분히 시킨다.
- 4) 취수장, 도수관, 착수정, 혼화지 등의 콘크리트 구조물이나 배관류는 염소에 의해 부식되므로 충분한 방식 처리를 하여 정기적으로 점검한다.

5.10.3 중간염소처리

(1) 중간염소처리에 의한 수질개선 효과

1) 염소처리에 의한 부산물의 저감

중간염소처리는 침전지 말단 및 여과지 사이에 염소제를 주입하는 방법으로 전염소처리를 중간염소처리로 전환하는 이유는 트리할로메탄 전구물질이 원수 중의 유기물에 기인하기 때문에 응집·침전을 이용하여 가능한 한 전구물질을 제거하려는 것으로 전염소처리에서 중간염소처리로의 전환에 의한 트리할로메탄 저감률은 수온이나 원수수질에 따라 다른데 대략 20~40%로 보고된 바 있다. 또한 소독부산물 지표인 전 유기할로겐화합물(TOX)도 같은 정도의 비율(20~40%)로 저감이 가능하다.

2) 염소주입물의 저감

전염소처리에서 중간염소처리로 전환하여 정수의 잔류염소농도 제어를 포함한 정수처리 전체의 염소사용량은 전염소처리에 비해 약 20~40% 저감된 예가 있다.

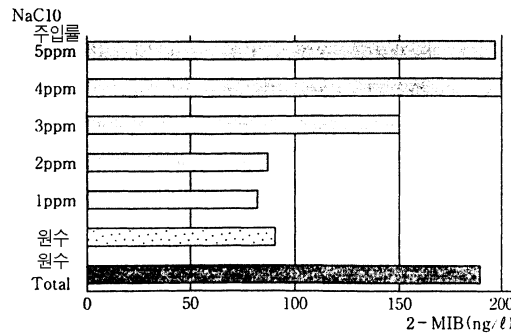
3) 곰팡이 냄새를 유발하는 물질 저감

곰팡이 냄새를 유발하는 물질로서는 *phormidium*이나 *Oscillatoria* 등의 남조류가 발생하는 2-MIB(메틸이소보르네올), *Anabaena* 등의 남조류가 발생하는 *Geosmin*이 있다. 곰팡이 냄새 유발물질은 조류체내에 있는 것과 조류체내로부터 수중으로 용출된 것이 있다.

곰팡이 냄새 유발물질은 염소로는 완전히 분해되지 않고 오히려 전염소처리를 실시한 경우에는 조류체가 파괴되어 곰팡이 냄새 유발물질이 용출되어 냄새농도를 증가시키는 경우도 있다(<참고 그림 5.10.5>).

<참고 5.10.2> 맛·냄새 원인조류(*Oscillatoria tenuis*)를 포함하는 원수에 차아염소산나트륨(NaClO : 유효염소: 10.7%)을 주입했을 때의 2-MIB 용출특성

응집·침전처리에서 조류체내에 곰팡이 냄새 유발물질을 갖는 조류를 제거한 후 중간염소처리로 전환시킴에 따라 25~90%의 곰팡이 냄새가 제거된 예가 있다.



<참고 그림 5.10.5> 염소주입과 냄새 원인물질(2-MIB)의 용출특성

(2) 중간염소처리 도입시 유의점

중간염소처리를 실시하는 경우 기존 정수처리시설은 중간염소처리를 전제로 설계되어 있지 않으므로 전환하는 데는 여러 가지 문제가 있다.

중간염소처리에서는 염소접촉시간이 단축되므로 소독과 산화처리를 정확히 실시하기 위해서는 염소주입점에 혼화지(순간 zet류)를 설치하든지 염소가 잘 혼화되는 장소를 주입점에 설정할 필요가 있다.

또한 전염소처리를 중지함에 따라 침전지 주벽이나 경사판, 집수장치 등에 조류가 번식하거나 응집성이 저하될 수도 있다.

조류의 종류는 남조류, 규조류, 녹조류 등이 있고 종류에 따라서는 침전지에서 곰팡이 냄새 유발물질의 증가나 여과지의 폐색, 머드볼형성, 여과수의 생물의 누출에 의한 탁도, 색도의 상승 등을 일으키는데, 이러한 문제해결을 위해 간헐적인 전염소처리로 효과를 얻었다는 경우가 보고된 바 있다.

조류는 증식 시기가 다르거나 전염소처리의 유무에 따라 응집성이 달라진다. 중간염소 처리의 경우는 응집제를 다량으로 주입해도 전염소처리만큼 처리효과를 얻지 못하는 시기도 있으므로 원수나 침전지 등에서의 생물조사를 적절히 실시하여 적합한 처리방식을 선택하도록 한다.

오염이 진행된 원수에서 전염소처리를 중간염소처리로 전환하는 경우, 원수 중에 용해성 망간과 암모니아성 질소 및 유기물이 고농도로 공존하게 되면 망간의 색 콜로이드가 형성될 수 있다. 이 색 콜로이드는 망간모래에 의한 처리가 어렵고 처리수에 색도장해를 일으킬 수가 있다. 따라서 이 경우 과망간산칼륨이나 오존주입을 실시한 후에 응집·침전처리하거나 망간의 색콜로이드가 형성되지 않도록 여과까지의 염소와의 반응시간을 단축하는 등의 조치를 취하여야 한다. 또한 용존 철의 제거는 실험으로는 중간염소 처리로의 전환에 의한 영향은 없는 것으로 보고되고 있다.

5.10.4 재염소처리

송·배수관로의 연장이 길거나 배수지용량의 과대 및 관말 수도꼭지 잔류염소 유지가 곤란할 경우

즉, 정수장 밖에서 염소를 추가 주입해야 할 필요성이 있는 경우에는 배수지나 관로시설 등에 추가하여 주입설비를 설치하는데 이를 재염소처리라 한다.

(1) 재염소처리에 의한 수질개선

정수장으로부터 송·배수관로 연장이 길거나 배수지용량 등의 관계로 잔류염소농도가 현저하게 줄거나 특정지역의 급수전까지 거리가 너무 길어 정수장에서 염소제의 과잉주입 우려가 있는 경우에는 가능한 급수전에서 잔류염소를 균일하게 하고 필요한 잔류염소를 유지하기 위하여 배수지나 송·배수관 도중에 재염소 주입설비를 설치하여 염소제를 추가 주입하는 경우가 최근에 많이 늘어나고 있는데, 이는 총 염소사용량 저감으로 소독부산물 발생 최소화 및 염소냄새로 인한 민원 감소와 관말 지역에 적정 잔류염소를 유지시킬 수 있는 방법이다.

5.10.5 탈염소처리

과잉 염소주입으로 잔류염소가 고농도로 검출되는 경우는 탈염소처리가 필요하게 되고, 이 외에도 정수지 등의 증축 및 개량과 함께 염소소독을 실시한 후 고농도의 잔류염소를 포함하는 물을 하천 등에 방류하는 경우는 어류에 미치는 영향을 고려해야하기 때문에 이도 역시 탈염소처리가 반드시 필요하게 된다.

탈염소처리에는 탈염소제를 정수지 등에 소정량 주입하여 대형 수중펌프 등으로 교반시켜 탈염소 처리 후 한꺼번에 방출하는 방법과 임시 설치한 반응조를 이용하여 탈염소제를 주입키면서 연속적으로 방출하는 방법이 있다. 이 모든 경우 방류수 잔류염소를 적절히 측정하여 탈염소가 행하여지고 있는지, 방류전의 물고기의 부상이 보이지 않는지를 확인하면서 실시해야 한다.

또한 어패류에 대한 독성은 실험자에 따라서 많은 차이가 있으며 염소의 담수어에 대한 독성은 <표 5.10.1>과 같고 방류시의 잔류염소농도로서는 0.1mg/L 이하가 바람직하다. 소라는 수온 24~25℃에서 1,277mg/L에서 30분 후에 80~319mg/L에서는 뚜껑을 닫고 2시간 후에 사망한다. 그러나 20mg/L에서는 모래 속으로 숨어서 수 시간 지탱하고 10mg/L에서는 반응이 약하여 거의 반응이 없는 듯 하였다고 한다.

<표 5.10.1> 염소에 의한 물고기 치사량(mg/L)

물고기 종류	염소농도	물고기 종류	염소농도
송어	0.14~2.5	붕어	0.50
잉어	0.33~2.0	블랙배스(Black bass)	2.0
민물장어(뱀장어)	0.50	금붕어	0.15~0.3

또한 탈염소제와의 반응으로 인해 염산이 생성되고 방류수 pH값이 저하되는 경우가 있으므로 방류시에는 pH값을 병행하여 측정하고 방류 수질기준을 만족하고 있는지 확인하여야 하며 경우에 따

라서는 알칼리제로 pH값을 조정한다. 더불어 소독용 염소제로서 차아염소산나트륨이나 표백분을 사용한 경우, 또는 정수지 등의 소독시에 콘크리트로부터 알칼리분이 용출된 경우에는 pH값이 높아지는 경우도 있으므로 방류시에 주의하도록 한다.

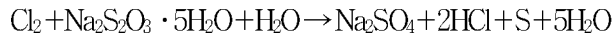
탈염소제로서는 활성탄, 티오황산나트륨, 아황산나트륨 수용액 또는 아황산가스가 있다.

(1) 활성탄에 의한 방법

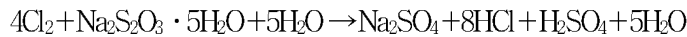
활성탄에 의한 방법은 보통은 입상활성탄층을 통과하는 방법으로 활성탄의 층 높리와 물의 유속에 관계된다. 전염소처리를 한 경우에는 분말활성탄을 사용하여 염소를 제거할 수 있다.

(2) 티오황산나트륨에 의한 방법

티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 통칭 하이포)은 염소와 다음과 같이 반응하고 염소 1mg/L에 대해 3.5mg/L가 필요하다.



단지, 세척수의 pH값이 높을 때는 다음의 반응도 생각할 수 있으며 염소 1mg/L에 대해 0.9mg/L의 하이포도 괜찮다.



실제로는 위와 같은 반응이 복합되어 발생한다고 생각하여 염소 1mg/L에 대해 2.5mg/L 정도의 하이포 주입으로 반응이 완료되었다는 보고가 있다. 통상, 하이포는 5~10%의 수용액으로 사용된다. 이 수용액은 장기간 저장하게 되면 효과가 감소하므로 주의를 요한다(<표 5.10.2>).

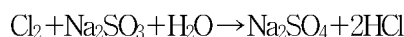
<표 5.10.2> 염소수 1ton에 대한 티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 하이포)의 사용량

(mL/ton)

잔류 농도 (mg/L)	티오황산나트륨(5%)액		티오황산나트륨 포화액	
	이론값	실제에 가까운 값	이론값	실제에 가까운 값
1.0	70	46	47	3.1
2.0	140	92	94	6.2
5.0	350	230	23.5	15.5
10.0	700	460	47	31

(3) 아황산나트륨에 의한 방법

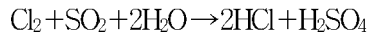
아황산나트륨은 염소와 다음과 같이 반응하고 잔류염소 1mg/L에 대해 아황산나트륨 1.8mg/L가 필요하다.



통상, 아황산나트륨(Na_2SO_3)은 5% 정도 수용액으로 사용되는데 이 수용액은 장기간 저장하면 효과가 감소하므로 주의하여야 하고, 또한 과잉주입이 되지 않도록 유의한다.

(4) 아황산가스에 의한 방법

아황산가스는 염소와 다음과 같이 반응하고 잔류염소 1mg/L에 대해 아황산가스 0.9mg/L가 필요하다.



아황산가스는 고압가스로서 가스통(보배용기)에 봉입되어 시판되고 있고 전용 주입기기로 주입한다. 주입시에는 아황산가스를 흡입하지 않도록 취급에 충분한 주의를 요하고 과잉주입 되지 않도록 유의한다.

5.11 막여과

5.11.1 총칙

막여과란 물리적으로 고액을 분리하는 기술로써 압력차를 이용하고 막을 여재로 하여 물을 통과시켜서 원수 중의 불순물질을 분리제거하고 깨끗한 여과수를 얻는 정수방법을 말한다. 막분리공정의 특성은 분리에 따른 상 변화를 수반하지 않고 압력차를 구동력으로 하여 분리특성을 높일 수 있다는 것을 들 수 있다. 먹는물 처리에 적용되고 있는 막여과공정은 막표면의 공경의 크기에 따라 역삼투, 나노(nano)여과, 전기투석, 한외여과, 정밀여과로 나눌 수 있으며 담수를 원수로 하는 막여과처리에는 주로 정밀여과, 한외여과 및 나노여과가 적용되고 있다. 막여과에 의한 제거대상물질은 불용성물질인 부유물질이다.

또한 나노여과는 분자량이 큰 용해성물질을 제거대상물질로 하며 단독으로 적용되거나 고도정수처리와 조합공정 등으로 검토되고 있다.

5.11.2 막여과이론

막여과공정은 기존의 상수처리공정과 비교하여 다음과 같은 특징을 갖는다.

- ① 기존제거공정으로 분리가 불가능했던 저분자량의 물질을 제거할 수 있다.
 - ② 슬러지의 발생이나 소독제 등의약품필요량을 최소화 할 수 있다.
 - ③ 사용하는 막의 종류에 따라 제거할 수 있는 물질의 크기나 성상의 한계가 명확하여 처리수의 목표수질에 적합한 수준의 막분리장치를 설치할 수 있다.
- 따라서 처리의 안정성이 우수하여 처리수질의 변화가 적고 설치면적이 작으며 원수 수질조건에 영

향을 상대적으로 적게 받는다. 막의 공경보다 큰 물질의 제거가 확실하며 미량오염물질의 수질기준 강화에 대처하기 용이한 장점이 있다.

막여과공정의 경제성은 주로 막의 수명에 관련되어 있으며 막의 투과플럭스 뿐 아니라 막의 수명에 절대적인 영향을 주는 것은 막의 오염(fouling)이므로 막의 오염을 최소화하는 방식으로 공정을 운전해야 한다.

1) 막여과유속과 막저지율

막의 성능은 어떤 특정한 크기의 입자(또는 분자)를 저지하기 위한 능력의 향으로 정의될 수 있다. 일반적으로 막의 특성은 막여과유속과 용질의 저지율로 나타낸다.

$$\text{막여과유속} = \frac{\text{물의 여과량, m}^3}{(\text{시간, hr})(\text{막면적, m}^2)}$$

$$\text{막저지율} = \left(\frac{\text{여과농도, mg/L}}{\text{유입농도, mg/L}} \right)$$

유입수의 농도가 시간에 따라 변화하고, 유출수의 농도는 유입수 농도, 물질전달률, 막상태 및 기타 다른 요인에 의해 변할 수 있으므로 막저지율은 시간이 경과함에 따라 변한다.

그러나 물질의 농도는 막 표면근처에 접근할수록 축적되는 경향이 있으므로 막표면에서 훨씬 높은 농도를 보이는 농도분극현상을 나타내므로 막저지율은 유입수의 평균농도를 이용하여 계산했을 때와 아주 다른 값을 보일 수 있다.

2) 막분리 기본모델

막시스템의 성능을 나타내기 위한 기본모델은 균질용액확산모델이며, 이 이론은 폴리머막을 통한 물질전달을 정확하게 설명할 수 있는 것으로 알려져 있다.

다음 식은 Taylor에 의해 제안된 식이다.

$$C_p = \frac{K_s C_f}{K_w (\Delta P - \Delta \pi) \left[\frac{(2 - 2R)}{(2 - R)} \right] + K_s}$$

여기서, C_p = 여과수 농도

$$K_s = \text{총용질질량전달계수} \left(= \frac{D_s K_d}{\delta_m} \right)$$

C_f = 유입수 농도

$$K_w = \text{총처리수질량전달계수} \left(= \frac{D_w C_w V_w}{RT \delta_m} \right)$$

ΔP = 막간차압

$\Delta \pi$ = 삼투압차

$$R = \text{물의 회수율} \left(= \frac{Q_p}{Q_c} \right)$$

D_w = 물의 막간 확산계수

C_w = 물의 농도

V_w = 물의 몰농도

D_s = 용질의 막간 확산계수

K_d = 분배계수

δ_m = 막두께

Q_p = 여과수유량

Q_c = 농축수유량

막 표면이나 막 공경 내에 물질의 축적없이 깨끗한 물이 막을 통과하는 물질의 플럭스는 Darcy의 법칙으로 나타낼 수 있으며 마찬가지로 체분리 기작이 두드러질 때 배제된 입자의 케이크의 저항을 더하여 다음과 같이 Darcy의 법칙으로 나타낼 수 있다.

$$J = \frac{\Delta P}{\mu(R_m + R_f)}$$

여기서, J = 막을 통한 플럭스

R_m = 청수의 수리학적 저항, 즉 막 자체에 의한 저항

R_f = 대상수 여과에 의해 발생하는 저항($R_f = R_c + R_a + R_b + R_{cp}$: R_c = 케이크에 의한 저항,

R_a = 흡착에 의한 저항, R_b = 세공폐색에 의한 저항, R_{cp} = 농도분극에 의한 저항)

μ = 막을 투과하는 유체의 점성계수

수식에서 보는 바와 같이 막간차압이 클수록 막을 통한 플럭스는 커지게 된다.

물에 용존 및 부유상태로 존재하는 물질이 존재하며 이들 물질이 축적되어 투과플럭스의 선형적인 거동에 편차가 생기게 된다.

막의 저항은 막 두께, 공경크기 및 굴절도, 공경크기의 분포와 같은 여러 가지 형태적인 요인에 따라 달라진다. 또한 물질이 막의 표면 및 공경벽면에 흡착, 축적되면서 막의 유효공경은 시간에 따라 변할 수 있으며 또한 입자들은 공경의 입구를 폐쇄할 수도 있다.

막플럭스는 여과수의 점도가 감소함에 따라 증가하는데 따라서 높은 온도에서 높은 플럭스를 얻을 수 있다. 플럭스에 대한 온도보정은 20℃에서의 투과속도를 기준으로 Arrhenius 방정식의 형태인 다음의 식으로 보정할 수 있다.

$$J_T = J_{20} \exp\left(\frac{s}{T}\right)$$

여기서, J_T = 온도 T에서의 투과플럭스

J_{20} = 비교온도 20℃에서의 투과플럭스

s = 막에 따른 실험상수

5.11.3 막의 종류 및 그 특성

막은 특성(천연, 합성), 형질(결정성, 비결정성), 구조(다공질, 조밀, 극형, 합성이중), 적용성(기체-기체분리, 액체-액체분리, 고체-고체분리, 기체-액체분리, 기체-고체분리, 액체-고체분리), 막

분리 기작(흡착, 확산, 이온교환, 삼투성, 선택성) 및 구성 재료(셀룰로오스계, 비셀룰로오스계) 등에 따라 분류할 수 있다. 각각의 막들은 물리화학적 특성이 다르며 따라서 물질에 따른 막분리 특성도 다르다.

일반적으로 막의 재료는 물질의 분리를 효과적으로 하기 위해 이상적으로 화학적 내구성, 기계적 안정성, 열적 안정성, 높은 투과성, 높은 선택성 및 저저력, 안정한 운전 및 낮은 비용 등의 특성을 갖추어야 한다. 일반적으로 유기막은 그 소재에 따라 친수성과 소수성으로 구별되며 내열성이나 내약품성도 다르므로 이에 대한 검토가 먼저 이루어져야 한다.

또한 무기막은 유기막에 비하여 내열성이나 내약품성이 좋고 물리적 강도도 있지만 충격에 약하다. 셀룰로오스계 재질의 막은 미생물 침적으로 열화될 우려가 있으므로 염소를 주입하여 미생물을 억제하는 것이 필요하다.

막은 공경의 크기에 따라 정밀여과막, 한외여과막, 나노여과막으로 구분할 수 있으며 이들 막을 이용한 여과법은 다음과 같다.

1) 정밀여과법(micro filtration: MF)

입경 $0.1\mu\text{m}$ 이상의 영역을 분리대상으로 체거름 원리에 따라 입자를 분리하는 정밀여과막을 이용하며 분리성능은 공칭분획경으로 나타낸다.

공경보다 큰 부유물질, 콜로이드, 세균 등의 분리가 가능하며 물리적인 체분리에 의해 고형물을 분리하는데 막 표면과 용액의 상호작용에 의해 영향을 받는다. 막의 세공밀도가 크면 일반적으로 유체 역학적 저항이 적으므로 높은 플럭스를 유지할 수 있다.

운전이 지속되면 막이 표면 혹은 세공 내부에 물질이 축적되어 세공이 폐쇄되는데 완전폐쇄, 중간폐쇄 및 표준폐쇄, 케이크여과로 이론을 제시하고 있다.

2) 한외여과법(ultra-filtration membrane: UF)

한외여과막(UF막이라고도 한다)을 사용하여 체거름 원리로 분리하는 여과법을 말한다.

분리성능은 분획분자량으로 나타낸다. 수처리에서는 초순수의 전처리, 폐액·폐수처리, 배출수의 재이용 등에 사용하고 있다. 일반적으로 막을 지지하기 위한 층을 제공하여 비대칭막이 사용된다. 분리를 위한 일차적인 기준은 입자의 크기이며 이차적으로는 분자형태 및 전하가 중요한 역할을 한다. 정밀여과에 비해 작은 입자의 확산이 중요한 역할을 한다.

막표면의 농도분극에 의해 막의 저항이 커지고 농도분극현상에 의해 계면적막에서의 물질전달이 지배를 받는다.

3) 나노여과법(nano filtration membrane: NF)

1nm 전후 크기의 분자를 제거하는 막여과법(나노여과 또는 저압역삼투법이라고도 한다)이다. 한외여과법과 역삼투법의 중간에 위치하며 사용하는 막은 나노여과막이다.

따라서 나노여과막의 여과특성도 한외여과막과 역삼투여과막의 특성을 같이 가지며, 정밀여과막이나 한외여과막과 비교하여 농도분극에 의한 막여과저항 및 막저지율의 영향이 상대적으로 크게 관찰된다.

이들 막을 사용한 분리법에 대해서는 상수도시설기준 <표-5.8.1>을 참조한다.

5.11.4 막여과 정수시설

막분리공정은 반투과성 막을 이용하는 것으로 재래식의 분리공정보다도 분리속도가 빠르고 효율적이며 경제적이다. 적절한 분리공정의 선택은 혼합물 구성 성분의 성질, 분리해야 할 물의 양, 분리의 정도 및 비용 등의 여러 인자에 달려 있다. 막분리 공정에 있어 가장 중요한 부분은 막이며, 막의 여과기작은 막재료의 분자구조, 막 제조조건, 공경의 크기, 다공성 및 분리 유체의 화학적 성질 등에 의해 결정된다.

막을 선정할 때는 제거대상물질이 무엇인가를 분석해야 하고, 처리된 물을 생산하기 위해 어떤 막공정이 가장 효과적으로 사용될 수 있는지를 파악하고, 2차 오염물질, 제거효율의 증대를 위한 전처리방법 등을 고려하여 선정하여야 한다.

공정선택의 실패를 최소화하기 위해 장기간에 걸친 수질실험 및 운전자료가 필요하다.

(1) 막여과시설

막여과시설은 막여과설비와 소독설비를 갖추는 것을 기본으로 하여(상수도시설기준 <그림-5.8.1> 참조) 필요에 따라 전처리, 후처리 및 배출수처리를 위한 설비를 부가한다.

실제 설비에 대한 처리공정도의 예는 상수도시설기준 <그림-5.8.2>를 참조한다.

정밀여과막과 한외여과막으로 제거할 수 있는 것은 주로 점토입자나 식물성 플랑크톤 등의 부유물질, 콜로이드, 세균류, 크립토포리디움 등 크기가 막의 공칭분획경보다 큰 경우에는 거의 100% 제거할 수 있으며 오염의 가능성을 제거하기 위해 소독이 반드시 필요하다.

또 막의 공경보다 작은 용해성 물질은 일반적인 막여과에서는 제거할 수 없으므로 적절한 전처리 또는 후처리와 조합시키는 방법으로 제거한다.

1) 전처리설비

협잡물을 제거하기 위한 스크린이나 스트레이너 등의 설비, 여과성능의 향상 및 막오염 최소화를 위한 응집제주입설비, 또는 살조, 막에 유기물의 부착방지를 위한 처리, 철·망간 등의 산화를 위한 염소제나 오존주입설비 등이 있다.

용존물질 및 기타 막여과로 처리가 용이하지 않은 물질의 제거를 위해 분말활성탄의 주입도 전처리로써 분류될 수 있다. 일반적으로 막여과공정 이전에 원수에 대해 이루어지는 모든 공정을 전처리로써 구분할 수 있으며 따라서 일반 수처리공정 후에 막여과를 할 경우 침사, 응집응결, 침전, 여과 등을 전처리로써 구분할 수 있다.

2) 막여과설비

일반적으로 원수조, 펌프, 막모듈, 세척설비 등으로 구성된다. 원수수질에 따라 적절한 막의 종류, 막면적, 투과유속 등을 선정한다.

3) 후처리설비

용존유기물, 곰팡이 냄새, 망간제거 등의 목적으로 막여과수를 다시 처리해야 하는 경우에는 후처리설비를 설치한다.

4) 소독설비

소독(살균)설비에 준하여 설치한다.

5) 배출수 처리설비

세척배출수는 환경에 대한 지장이 없는 경우에는 그대로 방류할 수 있다.

또 회수율을 향상시키기 위하여 세척배출수에 대하여 다시 막여과를 하거나 또는 농축조를 설치하여 중력침강하고 상정수를 원수에 반송할 수도 있다.

정수장 내에서 약품세척하는 경우에는 그 폐액처리설비를 설치한다.

(2) 막여과계열의 수

약품세척, 막모듈의 교환, 펌프·컴프레서 및 자동밸브 등 부속기기의 보수나 사고 등으로 인한 설비의 정지를 대비하여 막여과장치의 유닛은 적어도 2계열 이상을 설치한다.

2계열 이상을 설치하기가 곤란한 경우에도 기기 고장이나 사고로 급수에 지장이 생기지 않도록 미리 펌프류 등의 예비기기나 예비모듈을 확보하는 등의 조치를 강구해야 한다.

(3) 막여과 시설용량

막여과 정수시설의 시설용량은 계획정수량을 안정되게 처리할 수 있는 것으로 하고, 시설 전체로서 손실되는 작업용수량은 막여과설비에서 회수율 등을 감안하여 계획1일 최대급수량의 10% 정도로 감안한다. 막여과 정수시설에서 손실수량은 막모듈 등의 세척에 사용하는 물이 가장 많으며, 그 외에 각 설비의 청소용수, 기기냉각수, 장내급수 등이 있다.

세척수량은 세척빈도에 크게 영향을 받으며 빈도는 원수수질 외에 막여과유속(flux)에도 영향을 받는다.

(4) 수위차를 이용한 막여과

수위차를 이용하여서 막여과하는 경우에는 원수조로부터 막여과설비 또는 막여과설비로부터 처리수조(정수지)까지의 수위차가 막여과에 필요한 막간차압을 얻을 수 있도록 설비를 배치하여야 한다.

막모듈 등은 입체적인 구성으로 되는 것이 많으므로 유지관리에 지장이 없도록 배치한다.

(5) 안전대책

막여과 정수시설은 자연재해로부터 보호와 충분한 안전을 위한 대책을 강구한다.

특히 막과 밀봉(seal)부 등의 파손은 정수수질에 영향을 미치기 때문에 필요에 따라 파손방지대책을 강구한다.

또한 개개 부품의 신뢰성뿐만 아니라 시스템으로서 높은 신뢰성을 확보하도록 고려한다.

5.11.5 전처리설비

원수 중의 협잡물이나 이물질로 인한 막의 손상, 막모듈 입구의 폐색, 내압식 중공사인 경우에 중공사 내의 유로폐색 등의 사고를 방지하고, 막오염을 최소화하여 처리 수량과 수질의 양면에서 막의 성능을 가장 효율적으로 발휘하도록 필요에 따라 적절한 전처리 공정을 선택하여야 한다.

(1) 협잡물의 혼입방지

원수 중에 협잡물(조류, 쓰레기, 토사)의 혼입이 예상되는 경우에는 이를 방지하기 위해 스크린, 필터, 스트레이너 등을 설치해야 한다. 스크린 등의 눈의 크기는 $200\mu\text{m}$ 이하가 일반적이지만, 너무 작으면 막히기 쉬우므로 적절하게 선택하여야 한다.

(2) 응집제 주입

응집제(황산알루미늄 또는 폴리염화알루미늄 등)의 주입은 막여과유속이나 막간차압의 개선 및 처리수질 향상으로 처리능력과 안정성을 향상시킬 수 있다.

응집제를 첨가함으로써 색도나 과망간산칼륨소비량 등의 제거율을 높일 수 있다.

저분자색도나 콜로이드, 용존물질 등의 제거를 위해서 분말활성탄설비를 처리공정에 조합할 수 있다.

원수수질에 따라 최적주입률의 범위가 다르기 때문에 주입량 제어 등에 대해서는 충분히 검토할 필요가 있다.

특히 최적주입률의 선정은 처리수질에 맞출 것인지 혹은 막오염에 의한 투과유속의 저하에 둘 것 인지를 결정하여 선정하여야 한다.

고탁도시에는 막여과시설에 과대한 탁질부하를 피하는 것이 바람직하다.

(3) 차아염소산나트륨 주입설비 등

원수수질에 따라서는 철·망간의 산화, 조류 등의 발생억제, 막의 오염(fouling)방지 등을 위하여 차아염소산나트륨 등의 산화제 주입을 적용할 수 있지만 이를 위해 막재질이 산화제에 대한 내성이 있는 것을 사용해야 한다.

산화된 후 막여과를 통해 막에 부착된 철과 망간산화물이 막간차압에 영향을 미치므로 막의 종류, 운전방식, 응집제의 병용 등도 아울러 검토한다.

막여과설비를 설치할 때에 전처리설비의 유무에 따른 원수수질의 적용범위는 상수도시설기준 <표-5.8.2>를 참조한다.

5.11.6 막모듈의 점검

(1) 막과 막모듈의 선정

1) 막과 막모듈을 선정함에 있어 물리적 내구성 및 내약품성 그리고 막오염에 대한 저항성 등을 고

려하여야 한다.

막과 막모듈의 강도는 여과압력, 부압, 포기에 의한 세척시의 반복응력 등의 기계적 변화 및 장기 사용으로 열변형이나 약품세척에 의한 화학적 변화에 대해서도 충분히 대처할 수 있어야 하며, 막과 막모듈이 수격(water hammer)으로 인한 충격을 절대로 받지 않도록 하여야 한다. 막과 막모듈은 보존과 보관이나 설치에 동결되지 않도록 만전의 예방조치를 강구해야 한다.

막의 약품세척에는 알칼리 또는 산, 산화제, 유기산, 세제 등의 여러 가지 약품이 사용되기 때문에 막의 내약품성에 대하여 충분히 조사하여야한다.

2) 막의 열화와 파울링(fouling)

운전이 지속됨에 따라 막은 비가역적인 변질인 물리적, 화학적, 생물학적 열화를 겪으며 막의 오염(파울링)이 증가한다.

막모듈의 열화와 파울링의 분류, 정의 및 내용에 대해서는 상수도시설기준 <표-5.8.3>을 참조한다.

3) 막의 보관

사용하지 않은 유기막 모듈 또는 엘리먼트(element)를 개별 보관하거나 막여과설비에 장착한채 오랜 기간 운전을 중지하는 경우에는 미생물의 번식을 방지하기 위해 지정된 보존액이나 소독제(차아염소산나트륨 용액)를 사용하여 보관한다.

무기막 엘리먼트는 물리적, 화학적 및 생물학적 열화보다는 기계적인 충격에 유의해야 하며 무기막 모듈을 막여과설비에 장착한 채로 장기간 운전을 중지하는 경우에는 미생물의 번식을 방지하기 위하여 건조상태, 또는 산, 알칼리용액 등을 사용하여 보관한다.

(2) 통수방식에 따른 막모듈의 선정

막모듈의 통수방식에는 처리대상수를 막의 외측에서 공급하는 외압식과 막의 내측에서 공급하는 내압식이 있다.

처리대상수의 특성이나 세척방식 및 막의 특성 및 막모듈의 종류 등을 고려하여 막과 막모듈의 구조에 적합한 것으로 통수방식을 선정한다.

일반적으로 막을 통과하는 유속이 크지 않으므로 장치의 단위부피당 처리수량을 증대시키기 위해서는 막은 공간에 막을 많이 채워 막의 표면적을 최대화 하여야 한다.

또한 얇은 막에 막간차압이 매우 큰 고압이 걸리므로 기계적 내구성이 있는 막으로 모듈을 구성하여야 한다.

통상적으로 구조에 따른 막모듈의 종류에는 평판형, 나권형, 관형 및 중공사형 모듈이 있다.

1) 중공사형 모듈(hollow fiber(type) membrane module)

외경 수mm 정도(order)의 중공사형 막을 사용하는 모듈로 원통형의 압력용기 내부에 수천~수만 개의 중공사를 배열시킨 형태의 모듈이다.

막의 지지체가 필요하지 않고 중공사의 관경을 작게 하여 압력용기에 충전하면 막충전밀도를 높일 수 있다.

한외여과막모듈에서는 외압식과 내압식 모두 가능하다.

중공사막의 양단을 모듈 내에서 고정시킨 것과 일단을 고정시키고 반대편 단은 밀봉(seal)하여 모듈 내에 충전한 것이 있다(상수도시설기준 <그림-5.8.6> 참조).

일반적으로 중공사형은 단위막면적당 여과수량은 평판형에 비해 적으나 막충전밀도를 크게 할 수 있으므로 다른 모듈과 비교하여 모듈점유용적에 비해 여과수량이 크다.

2) 평판형 모듈(flat sheet(type) module)

평막 두 장의 비활성층 부분을 사이에 두고 여과실을 서로 마주보게 하고 양 끝단을 접착하여 만들어진 원형 또는 일정한 형태의 막을 기계적 지지체 역할을 하는 판 아래에 놓고 여러 층으로 쌓은 후에 틀에 장착시킨 형태이다(상수도시설기준 <그림-5.8.7> 참조).

막을 수직으로 다수 배치한 플랫 앤드 프레임(flat and frame)형이나 막을 수평방향으로 배치한 스택(stack)형이 있다. 교차흐름여과방식으로 운전하는 것이 일반적이다.

3) 나선형 모듈(spiral wound (type) module)

사각형 평막을 자루모양으로 형성한 것을 지지체와 여과실 역할을 하는 스페이서(space)와 함께 김밥모양으로 말아서 성형한 막모듈에 엘리먼트(element)와 엘리먼트를 삽입한 내압용기로 구성된다.

보통 2개에서 6개까지의 모듈을 한 개의 압력용기 내에 직렬로 연결하여 사용한다.

이 형식은 상수도시설기준 <그림-5.8.8>과 같으며 막의 충전밀도가 높고 압력손실이 작으며 막교체 비용이 적은 특성이 있다.

4) 관형 모듈(tubular(type) module)

원통형으로 성형된 관상형 막들을 압력관내에 장착하여 연결된 모듈로써 다공관의 내측 또는 외측에 막을 장착한 막모듈(원형모양으로 형성된 막에서 내경이 3~5mm 이상인 것을 말한다)이고 외압식 여과법과 내압식 여과법이 있다(상수도시설기준 <그림-5.8.9> 참조).

단순한 전처리로도 운전이 가능하고 유속이 크므로 막표면에 스케일 형성이 적으나 막면적에 비교하여 많은 공간이 필요하고 에너지 소모가 많은 단점이 있다.

내압식 모듈은 막의 충전밀도는 작지만, 스펀지폴(sponge pole) 등으로 막면세척이 가능하고 외압식 모듈도 압력손실이 작고 세척이 용이하다.

5) 단일체형 모듈(monolith (type) module)(상수도시설기준 <그림-5.8.10> 참조)

멀티루멘(multi-lumen)막 또는 멀티채널(multi-channel)막이라고도 하며 주상(柱狀)으로 성형된 지지체에 여러 개의 유로를 설치하고, 그 내벽면에 치밀층을 형성한 막으로 형상이 1개의 석주(monolith)와 닮았다고 하여 이렇게 불린다.

일반적으로 단일체 막재질은 세라믹계이며 내압식으로 통수된다.

(3) 막모듈의 점검과 교환

막모듈은 장기간 사용으로 인한 열화 등으로 교환해야 하므로 점검과 교환이 용이한 구조로 한다.

막의 수명은 사용조건에 따라 다르지만 유기막은 3년 이상, 세라믹막은 7년 이상을 기준으로 한다.

케이싱(casing)수납방식은 카트리지(cartridge)별로 막의 운전을 정지하고 교환할 수 있다. 조침

수방식인 경우에는 다음과 같은 점을 배려한다.

- ① 막모듈과 처리수계통의 배관과의 접합부는 유연하고 또한 내압성이 있는 소재로 하여 막모듈의 분리가 용이하도록 한다.
막모듈을 분리하는 경우에는 침수조 내에 작업원이 들어갈 수 있는 공간을 확보한다.
- ② 조침수방식인 경우에 막모듈을 교환할 때에 막이 건조되는 것을 피할 수 없는 경우가 많으므로 친수성막 또는 친수화처리된 막을 선정하거나 막이 건조되지 않도록 조속히 교환할 수 있는 조와 모듈을 설계한다.

5.11.7 막여과설비

(1) 회수율의 설정

막여과의 수량회수율은 막여과설비의 회수율과 막여과 정수시설 전체의 회수율로 크게 나눈다.

막여과설비에서 회수율은 물리적 세척빈도에 크게 영향을 받으며 또한 그 빈도는 공급수질이나 막여과 유속(flux)의 영향을 받는다.

일반적으로 물리적 세척빈도가 높게 되면 회수율이 떨어진다.

회수율을 높이는 것은 기술적으로는 여러 가지 방법을 통해 가능하지만, 운전관리가 복잡하고 비용이 높아지는 요인이 되므로 막공급수질이나 수리권 등의 취수조건과 배출수의 방류조건 등 여러 가지 조건을 고려하여 시설전체로서 효율적이고 경제적으로 되도록 회수율을 설정하는 것이 필요하다.

(2) 막여과유속

막여과의 유속은 막의 종류, 막에 공급되는 물의 수질과 최저수온, 전처리설비의 유무와 방법 및 입지조건과 설치공간, 그리고 경제성 및 보수성을 종합적으로 고려하여 적절한 값을 설정한다.

막여과 유속(flux)은 단위시간당 단위막면적당 통과하는 수량으로써 장기간 운전에 대한 평균값으로서 단위막차압(100kPa:약 1kgf/cm²)당 약 0.5~1.0m³/m²·d 정도를 목표로 한다. 막의 종류, 재질, 공경 또는 분획분자량 등 막의 조건 외에 수온, 막공급수질, 전처리의 유무와 방법 등의 조건에 따라 동일한 막차압에서의 막여과 유속은 달라진다.

물의 점성에 크게 영향을 받으므로 점성이 가장 큰 최저수온을 기준으로 일평균유량과 일운전시간을 결정한다.

교차흐름(cross flow)여과방식인 경우에는 경제성 및 여과수량을 고려하여 막면의 유속을 통상 수십cm/s~1m/s 전후의 범위로 한다.

막간차압은 펌프가압방식인 경우에는 통상의 막간차압으로 운전되고, MF막에서는 최대 200kPa(약 2kgf/cm²), UF막에서는 최대 300kPa(약 3kgf/cm²) 정도이고 그 이하로 운전되는 것이 일반적이다.

또한 흡인여과방식인 경우에는 흡인압의 절대값이 크면 막여과수 중의 용존가스가 기포를 형성하여 막여과를 막는 현상을 일으킬 우려가 있으므로 통상 -80kPa(절대값으로 80kPa 이하)보다 작

지 않게 운전한다.

막여과 유속, 막면적, 설치공간 등은 막간차압 및 약품에 의한 세척빈도와 밀접하게 관련되어 있으므로 막여과 유속을 설정할 때에는 경제성과 보수용이성 등도 포함하여 종합적으로 검토하여야 한다.

(3) 막면적

막면적은 여과수량과 막여과유속으로부터 다음 식으로 산출한다.

$$\text{막면적(m}^2\text{)} = \frac{\text{여과수량 (m}^3\text{/d)}}{\text{막여과유속 [m}^3\text{/(m}^2 \cdot \text{d)]}}$$

(4) 막여과방식과 운전제어

1) 막여과방식은 케이싱(casing) 수납방식과 조침수방식이 있으며, 각각에 대하여 전량여과방식과 교차흐름여과방식의 두 가지가 있다.

여과방식을 선정할 때에는 두 방식의 특징을 충분히 고려하고 막공급수질이나 막의 종별 및 구동압의 확보조건을 기본으로 경제성이나 유지관리 등을 종합적으로 감안하여 선정한다.

① 케이싱수납방식

막엘리먼트를 케이싱에 수납한 막모듈에서 여과하는 방식이고 내압식과 외압식이 있다.

①a 전량여과방식

막공급수를 전량여과하는 방식이다. 에너지효율이 좋은 반면, 막 공급수질에 따라 막의 막힘이 빠르며 또한 일반 세척으로는 회복되지 않는 막오염이 발생하기 쉬운 경향이 있다(상수도시설기준 <그림-5.8.11> 참조).

①b 교차흐름(cross flow) 여과방식

막공급수를 막면에 따라 수평방향으로 흘리는 여과방식으로 공급수보다 부유물질 농도가 높게 된 농축수를 순환시키는 '순환식'과 막여과시스템 외로 제외하는 '일과식(batch type)'이 있으며, 회수율이 높은 순환식이 일반적이다(상수도시설기준 <그림-5.8.12> 참조).

이 방식은 막공급수에 의한 수류전단력으로 인해 부유물질이나 콜로이드가 막면에 퇴적되는 것을 억제하고 막표면에 생기는 케이크의 저항을 줄일 수 있으며 막의 비가역적 막힘을 최소화할 수 있다는 장점이 있지만 순환에 의한 에너지효율이 낮고 별도의 순환펌프 등의 유지관리가 필요하다.

② 조침수방식

조침수방식이란 막모듈을 수조에 침수하여 여과하는 방식으로 기본적으로는 외압식이지만, 내압식으로 하는 방식도 가능하다.

장치가 간단하고 막모듈의 교환도 용이하다는 이점이 있다.

반면 고압조건 하에서 운전할 수 없으므로 고유속(high flux)의 운전에는 한계가 있다.

2) 구동압방식과 운전제어

① 구동압방식: 구동압방식이란 막여과를 하기 위해 필요한 막의 1차측과 2차측의 압력차(막간차

압)를 주는 방법을 말한다.

구동압방식은 펌프가압방식, 수위차방식, 흡인방식으로 크게 나눌 수 있으며 각 방식을 조합하여 이용하는 경우도 있다.

구동압의 확보조건과 막의 종별 등을 기본으로 경제성이나 유지관리 등을 종합적으로 감안하여 적절한 방식을 선정한다. 구동압방식의 개요는 상수도시설기준 <그림-5.8.13>을 참조한다.

㉠ 펌프가압방식

원수펌프와 순환펌프를 사용하여 막의 1차측에 압력을 가하는 방식으로 비교적 제약없이 도입할 수 있다.

㉡ 수위차방식

원수조로부터 막여과장치 또는 막여과장치로부터 처리수조(정수지)까지의 수위차를 막간차압으로 이용하는 방식으로 전자는 가압방식, 후자는 흡인방식으로 된다.

수위차방식은 펌프가압 또는 흡인방식에 비하여 에너지절약이나 운전비용 면에서 유리하다.

㉢ 펌프흡인방식

흡인펌프를 이용하여 막의 2차측에서 흡인하는 방식으로 조침수방식인 경우에 사용되는 것이 일반적이다.

흡인식이기 때문에 최대막간차압이 낮기 때문에 펌프가압식에 비하여 필요로 하는 막여과면적이 일반적으로 커진다.

② 운전제어방식: 운전제어(여과제어)에는 정유량제어와 정압제어의 두 가지가 있다. 구동압방식 및 배수지의 용량과 수요변동을 기본으로 경제성이나 유지관리 등을 종합적으로 감안하여 최적의 방식을 선정한다.

㉠ 정유량제어

막여과수량을 항상 일정하게 유지하도록 막간차압(막의 1차측 또는 2차측 압력)을 자동제어하는 방식으로 원수의 수온이나 막의 여과저항에 좌우되지 않고 여과유량을 일정량으로 제어할 수 있다. 정유량밸브나 유량계측과 유량조절밸브의 조합에 의한 밸브방식과 용적펌프나 유량계측과 펌프회전속도제어의 조합 등 펌프방식이 있다.

㉡ 정압제어

막간차압을 일정하게 유지하도록 하는 방법으로 시간이 경과함에 따라 유량이 감소한다. 정압제어는 원수수온이나 막공급 수질에 따라 여과수량이 변동하기 때문에 원수수질이 항상 안정된 시설을 제외하고는 취수나 배수지 운용 등을 포함하여 검토해야 한다.

3) 막여과설비의 운전

막여과설비는 원칙적으로 자동 운전하도록 한다.

5.11.8 막여과설비의 대표적인 운전인자 및 운전 범위

<표 5.11.1> 막여과설비의 대표적인 운전인자

운전인자		단위	대표값 범위
투과플럭스	가압형 시스템	$L/m^2 \cdot h$	30~170
	침지형 시스템	$L/m^2 \cdot h$	18~100
정상운전막간차압	가압형 시스템	bar	0.4~1
	침지형 시스템	bar	0.2~0.4
최대막간차압	가압형 시스템	bar	2
	침지형 시스템	bar	0.5
기타	회수율	%	>95
	여과운전시간	min	30~90
	역세지속시간	min	1~5
	화학세정주기	day/회	5~180
	화학세정지속시간	h	1~6
	막수명	yr	5~10

5.11.9 막세척과 배출수처리

(1) 세척

막의 성능회복을 위한 물리적 세척과 약품세척은 적절한 빈도로 하며 막의 여과성능을 확보하고 필요이상의 세척빈도를 높이고 회수율을 떨어뜨리거나 또는 약품세척의 처리빈도를 증가시키지 않도록 유의한다.

1) 물리적 세척: 물리적 세척은 막재질이나 구조, 막모듈, 여과방식, 운전제어방식 등을 고려하여 적절한 세척방법을 선정한다.

- ① 막여과수를 세척펌프 또는 컴프레서(compressor)에 의한 공기압으로 역세척시키는 역압수세척방식
- ② 막모듈의 하부로부터 공기를 불어넣고 막의 1차측에서 기액혼합류로 세척하는 물-공기혼합세척방식
- ③ 막의 2차측에서 가압공기를 통과시키는 역압공기세척방식
- ④ 원수로 막의 1차측을 플러싱하는 원수세척방식
- ⑤ 침수조 내에서 막을 기계적으로 진동시키는 기계진동방식
- ⑥ 상기 방식들을 병용하는 병용세척방식

세척빈도는 막공급수나 막모듈의 형상 등에 따라 다르며 일반적으로 10~120분에 1회 정도이며,

막여과 유속이 작은 경우에는 세척간격을 길게 할 수 있다. 세척 시기(timing)는 막차압의 상승을 검지하여 세척하거나 정기적으로 자동세척하는 것이 일반적이다. 세척에 사용하는 공기나 물이 세균이나 미생물을 포함하지 않도록 적절히 강구해야 한다.

2) 약품세척: 약품세척은 오염물질의 종류와 오염 정도, 막모듈의 형태 및 막모듈을 구성하는 막이나 기타 부재의 내성을 고려하여 유효한 세척약품을 선택하되 위생적으로 지장이 없는 약품을 사용해야 한다. 특히 파울링물질을 확인하는 것이 중요하고 오염물질을 확인하지 않고 부적절한 세척제로 세척하면, 막성능이 저하되거나 파울링물질과 세척제 간의 화학반응으로 막을 열화시키는 경우가 있다(상수도시설기준 <표-5.8.4> 참조).

약품세척방식에는 막모듈을 떼어내지 않고 밸브를 절체함으로써 막모듈 내에 약품용액을 순환시키거나 약품용액에 침수시키는 온라인(on-line)방식과 막모듈을 떼어내어 세척하는 오프라인(off-line)방식이 있다. 약품세척에 사용하는 약품 중 수산화나트륨, 황산, 차아염소산나트륨은 환경부에서 정수약품으로 고시된 규격의 제품을 사용해야 하며, 그 외에 염산, 옥살산, 구연산 등은 식품첨가물 규격으로 공인된 것을 사용하여 온라인으로 세척한다.

(2) 세척배출수와 약품세척폐액의 처리

막여과 정수시설에서 배출되는 배출수에는 막모듈의 물리적 세척배출수, 막여과설비로부터 미처리로 배출되는 농축수(공정수), 전처리설비부터의 배출수, 막모듈의 약품세척폐액이 있다.

약품세척폐액과 세척배출수 등은 명확히 구별하여 각각 적절하게 처리해야 한다.

약품세척폐액에는 폐액의 성상 등에 관하여 충분히 고려하여 처리방법을 선정한다.

약품세척폐액의 처리방법에는 다음 방법이 고려된다.

- ① 산과 알칼리폐액 및 차아염소산나트륨폐액에 대해서는 중화처리설비를 설치하여 배출수기준에 적합하도록 처리한 다음 방류한다.
- ② 그 밖의 약품에 의한 폐액에 대해서는 전용의 처리설비를 설치하고 배출수기준에 적합하도록 처리한 다음 방류하거나 또는 산업폐기물로서 전문업자에게 처리·처분을 위탁한다.

5.11.10 기계, 전기 및 자동제어설비

막여과시설의 기계 및 전기설비에 대해서는 기계 및 전기·계측제어설비에 따르며, 그 외의 다른 설비는 별도의 사항을 준비한다. 막여과시설은 자동화하는 것이 바람직하다.

(1) 펌프설비

막여과설비에 사용되는 펌프설비는 여과방식 등에 따라 설치하는 종류나 수단 등이 다르기 때문에 여과방식, 구동압 및 제어방법 등의 조건을 고려하여 선정한다.

펌프류는 고장시의 조치나 비용측면 등을 고려하여 범용제품 중에서 적합한 것을 선정한다.

펌프류는 각 계통의 처리능력 등을 고려하여 필요성을 검토하여 원칙적으로 예비기를 준비한다.

막여과수 공급펌프(원수 또는 순환펌프)의 양정은 막과 막모듈의 내압을 충분히 고려하여 선정한다.

(2) 세척용 공기공급설비

공기압축기는 조작방식과 세척방식 등을 고려하여 적절한 기종, 용량 및 대수를 선정하되 원칙적으로 예비기를 둔다.

(3) 전기설비

제어전원에 대해서는 공통화하면 고장에 따라 설비전체가 정지될 우려가 있으므로 시스템구성을 충분히 고려하여 계통화하고 분할화할 필요가 있다.

(4) 부속설비

적절한 용량 및 개수의 공급수를 위한 원수조, 세척용수와 장내수를 위한 세척수조, 약품조를 설치하여야하고, 배관 및 밸브는 내구성, 자동제어시 신뢰성 및 보수용이성, 유지관리의 용이성 등을 고려하여 선정하고 적절한 동결방지 방안을 마련해야 한다.

5.11.11 이상시 대응

막여과설비의 운전관리에는 유량, 수위, 압력 등을 상시 감시하고 특히 무인시설의 경우에는 원격계측(telemeter) 등을 이용하여 원격감시할 수 있도록 한다.

또한 이상시를 대비하여 경보시스템 등을 설치하고 막파손이나 여과수탁도의 이상 등 중요한 고장인 경우에는 해당 계통을 자동적으로 긴급 정지시키는 등의 기능을 마련하여 신속하게 대처할 수 있도록 한다. 막여과설비 뿐만 아니라 전처리설비나 약품주입설비 등도 포함하여 자동화하는 것이 바람직하다.

5.12 활성탄처리

5.12.1 총칙

활성탄처리는 활성탄 표면에 형성되어 있는 미세공을 통하여 이루어지는 흡착현상을 이용하여 유기물 및 무기물을 제거하는 단위공정이다.

활성탄은 입자의 크기에 따라 분말활성탄과 입상활성탄으로 나뉘어진다.

분말활성탄과 입상활성탄의 사용은 적용하는 처리공정에 따라 구별된다.

활성탄으로서 물성과 오염물질 흡착기작 등은 분말활성탄 및 입상활성탄에 대해 동일하다.

활성탄의 화학적 구조는 흑연의 구조결정과 유사하며 육방정계의 결정으로 혼성궤도를 갖는 이방성 구조로 되어있다. 활성탄의 표면작용기에는 페놀성 수산기, 카르복실기, 락톤기, 카보닐기 등으로 복잡하게 이루어져 있어 매우 큰 비표면적과 함께 다양한 오염물질을 물리적 및 화학적으로 흡착하는 특성을 제공한다.

(1) 처리대상물질

웅집, 침전, 모래여과 등 통상적인 정수처리공정을 통해 효과적으로 제거되지 않는 2-MIB, geosmin 등 맛·냄새의 원인물질, 합성세제, 페놀류, 트리할로메탄 및 할로아세트산 등의 소독부산물과 그 전구물질(소독부산물생성물질, 부식질 등), 트리클로로에틸렌 등의 휘발성 유기화합물질, 농약 등 미량 유해물질, 상수원수계에서 사고 등에 의하여 일시적으로 유입되는 화학물질, 그 밖의 유기물 및 무기물 등을 제거하기 위하여 활성탄처리공정을 적용한다. 활성탄에 흡착되는 피흡착질로서의 오염물질은 물에 대한 용해도가 작을수록, 소수성이 클수록 활성탄 표면에 잘 흡착되는 성질을 갖는다.

(2) 활성탄의 물리화학적 특성

활성탄은 사용되는 원료물질 및 활성화방법에 따라 표면에 발달된 세공의 분포 및 화학적 표면 작용기 등의 물리화학적 특성이 다르고 따라서 흡착 특성 및 흡착능도 크게 달라진다. 목재, 톱밥, 야자껍질 등을 원료로 하는 목재계와 이탄, 갈탄 등을 원료로 하는 석탄계 활성탄으로 대별할 수 있으며 원료에 따라 발달된 세공의 규칙성 및 세공크기에 따른 분포가 다르다. 탄화된 원료를 활성화시킬 때 화학 약품을 사용하는 방법 및 기체를 이용하는 방법, 두 가지를 병용하는 방법으로 나눌 수 있다(상수도시설기준 <표-5.13.1> 참조).

탄화를 거친 물질의 활성화는 원료를 900℃ 전후의 고온에서 수증기로 처리하는 수증기활성화법과 목질재료를 염화아연, 황산 등의 약품에 담근 후 탄화시키는 약품활성화법이 있으나, 정수처리용 활성탄은 수증기에 의한 제조법이 주류를 이루고 있다.

활성탄 내부는 $10^{-5}\sim 10^{-7}\text{m}(10\mu\text{m}\sim 100\text{nm})$ 정도의 직경을 가진 대세공(macropore)이 입체적으로 분포되어 있고, 대세공 벽면에는 $10\sim 0.1\text{nm}$ 정도의 미세공(micropore)들이 발달되어 있다. 활성탄 표면에 발달된 이들 세공의 비표면적은 $700\sim 1,400\text{m}^2/\text{g}$ 으로 매우 크며, 표면에 포함되어 있는 매우 다양한 표면작용기와 더불어 활성탄의 흡착성능을 크게 하는 특성이 된다. 활성탄의 물리적 특성은 공극률, 비표면적, 세공용적, 세공크기의 분포 등으로 나타낸다(<표 5.12.1> 참조).

또 활성탄은 공기 중의 산소를 지속적으로 흡착하기 때문에 저장조 등의 밀폐용기 내에서는 산소가 고갈될 우려가 있으므로 보수하거나 점검할 때에는 주의가 필요하며, 물과 접촉할 경우 빠르게 산소를 흡수하므로 이에 대한 주의가 각별히 필요하다.

(3) 활성탄처리의 특징

활성탄처리의 특징은 수중에 용해되어 있는 유기물의 제거능력이 크며, 특히 미량으로 존재하는 오염물질에 대해서는 제거효과가 탁월하다. 또한 약품으로 처리하는 경우와는 달리 처리수 중에 반응

<표 5.121> 활성탄의 물리화학적 특성

입자비중	g/mL	1.9~2.2
입자겉보기비중	g/mL	0.6~0.9
공극률	%	33~43(입상활성탄), 45~75(분말활성탄)
세공용적	mL/g	0.6~1.1
비표면적	m ² /g	800~1,800
평균세공직경	Å	12~25(micropore)
열전도율	kcal/m · h · °C	0.15~0.24
비열	cal/g · °C	0.16~0.20

생성물을 남기지 않는다는 특징이 있다. 그러나 흡착대상물질의 특성에 따라 흡착 후 생물학적 및 비생물학적 변형이 발생할 수 있으므로 이에 대한 지속적인 관찰이 필요하다.

활성탄 흡착시설을 설계할 때에는 사전에 원수의 물리화학적 특성, 제거대상물질의 특성, 오염실태, 처리효과 등에 대하여 충분한 조사 및 철저한 사전실험이 필요하다.

조사를 통하여 현재의 오염실태는 물론 제거대상물질의 장래 변화추이 등도 고려하여 공정배열, 처리설비의 규모 및 방식을 결정한다.

(4) 활성탄의 제조

활성탄 제조공정은 크게 수분제거(dehydration), 탄화(carbonization), 활성화(activation)의 3단계로 분류된다.

1) 탄화(carbonization)공정

활성탄제조공정의 첫 번째 공정으로 원료 중에 포함되어 있는 탄화수소, 휘발분 등을 없애기 위해 원료를 약 500°C 정도에서 가열하는 공정으로 원료를 빨강계 가열하되 연소가 일어나기에는 불충분한 정도의 공기를 공급하면서 가열한다.

즉, 탄소질 원료를 약 500°C 정도로 가열하면 탈수, 탈산 등의 분해가 일어나서 산소결합이 끊어지며 산소가 물, 일산화탄소, 이산화탄소 등의 형태로 방출되고 휘발분은 거의 제거되는 공정으로 고정탄소가 많이 남게 된다.

2) 활성화(activation)공정

일반적으로 탄화공정보다 높은 온도에서 운전되며, 약품, 수증기, 가스 등을 주로 사용하여 원료의 표면에 세공이 발달하도록 다공질의 구조를 만들어 주는 공정이다.

즉, 활성화공정은 800~1,000°C의 온도범위에서 일어나는 탄소의 산화반응으로 탄화물의 표면을 침식시켜 탄화물의 미세세공 구조를 발달시킬 수 있다.

3) 활성화방법에 의한 활성탄 제조방법의 분류

① 가스활성화법: 각종 산화성가스(수증기, 이산화탄소, 공기 등)에 의해 800~1,100°C 정도의

고온가스에 의한 활성화 반응으로 활성화된다. 활성탄의 흡착성능은 산화성 가스의 화학적 성질과 농도, 반응온도, 활성화 시간, 원료에 포함되어 있는 물질의 종류와 양 등에 의해서 결정되며 크게 회전로와 다단로를 이용하여 제조한다.

- ② 약품활성화법: 탈수성의 염류 및 염화칼슘, 염화마그네슘, 염화아연, 인산, 황산 등의 산을 사용하여 약품처리 하는 활성화방법으로 제조공정의 복잡성, 장치부식, 2차오염 및 경제성 등으로 주로 가스활성화법인 수증기 활성화방법이 널리 이용되고 있다.

(5) 활성탄의 재생

활성탄의 재생은 흡착능력을 소진하여 사용이 끝난 활성탄의 흡착특성을 회복시켜 다시 흡착공정에 사용될 수 있도록 하는 조작을 의미한다.

활성탄은 상대적으로 고가이므로 경제성을 고려하여 효과적인 재생수단을 마련해야 한다.

흡착질을 활성탄으로부터 탈착시키는 방법에는 피흡착질의 제거 또는 증발을 위해 낮은 압력의 증기에 노출시키는 감압재생, 외부에서 열을 가하여 피흡착질과의 흡착평형을 변화시키는 가열탈착, 피흡착질의 화학적 성질을 바꾸어 탈착시키는 화학재생, 피흡착질에 대한 친화력이 큰 용매로 추출하는 용매추출법, 미생물에 의하여 산화분해를 유도하는 생물재생법 등이 있으며 크게 가열재생법과 약품재생법이 중요한 재생방법이다(<표 5.12.2> 참조).

<표 5.12.2> 활성탄의 재생방법

재생방법		처리온도	재생제	적용대상	비 고
가열 재생법	저온재생	150℃ 이하	수증기 활성가스	기상, 액상의 저비점물질	유기용제 사업체 흡·탈착 정수처리등 mild한 흡·탈착
	열분해	700~900℃	수증기	기상, 액상의 고비점물질	기상에서 열화된 폐활성탄 폐수등 다성분제 폐활성탄
약품 재생법	산화성약품	상온	NaOH, HCl 황산	회수필요 유기물	특수성분 및 폐기불가 물질회수
	용매추출	상온	유기용제	방사성물질	
미생물분해법		상온	호기성BAC	액상	정수처리 공정의 일부

5.12.2 흡착이론

유기물 및 무기물이 활성탄 표면에 흡착되는 것은 화학반응으로써 표현할 수 있으며, 피흡착질은 흡착제와 수소결합, 쌍극자 상호작용, 반 데르 발스 힘 등의 다양한 화학적 힘에 의해 표면에 흡착되어진다.

흡착 반응이 가역적일 경우 피흡착질분자는 탈착속도가 흡착속도보다 커질 때까지 흡착제 표면에 축적된다.

즉, 탈착속도와 흡착속도가 같아지는 흡착평형이 존재하고 흡착평형에 도달하게 되면 조건이 변하지 않는 한 흡착제 표면에 더 이상의 물질축적은 일어나지 않는다.

활성탄과 같은 다공질흡착제에 있어 내부 표면적은 매우 크며 그 표면에서의 농도를 이용하는 대신 활성탄의 단위중량당 흡착량과 물중의 평형농도 사이의 관계를 이용하여 흡착평형관계를 표현한다.

이러한 관계식은 온도에 따라 달라지므로 온도가 일정한 조건에서의 흡착관계식을 등온흡착식이라 한다. 용질이 단일성분으로 이루어진 수용액과 다성분으로 이루어진 수용액에서의 흡착능 및 흡착특성이 다르며, 따라서 원수 중에 편재하는 천연유기물질에 의해 일반적으로 흡착능이 저하된다.

일반적으로 유기성 물질의 경우 소수성이 크고 분자량이 큰 물질일수록 활성탄에 흡착되기 쉬우며, 반대로 물에 용해되기 쉽고 친수성이 크며 분자량이 작은 물질은 활성탄에 흡착되기 어려운 경향을 보인다.

물에 잘 녹지 않는 농약은 활성탄에 흡착되기 쉬우나 휴믹 물질(humic substance)과 같이 분자량 분포가 광범위하고 여러 작용기를 가지는 물질은 활성탄에 대한 흡착특성을 예측하기 매우 어렵다.

유기물질의 물에 대한 용해도 뿐 아니라 유기물질의 화학적 특성도 제거효율에 영향을 미치며, 이온화하는 물질의 경우 흡착처리가 매우 어렵다.

또한 유기물질이 산-염기반응을 하는 물질일 경우에는 pH에 따라서 물중에 존재하는 형태가 달라지므로 pH에 따른 활성탄에 의한 흡착특성의 변화가 매우 크다.

활성탄의 세공크기 분포 등도 제거효율에 영향을 미친다.

활성탄 표면의 흡착가능지점은 한정적이며 따라서 휴믹 물질 등 자연수 중에 존재하는 유기물질이 처리대상물질보다 먼저 흡착가능지점을 선점하고 있을 경우에는 처리대상물질에 대한 흡착능이 감소하는 영향을 나타낸다.

비표면적은 다공질 흡착제인 활성탄의 중요한 인자로 채택될 수 있는데 피흡착질 및 용매와의 상호작용이 가능한 표면의 지표 및 표면현상을 결정하는 지표로서 중요하기 때문이다.

비표면적의 측정법으로는 흡착법, 침적열법, 투과법, 전자현미경법, 반응속도법 등이 있다.

5.12.3 활성탄의 성질 및 종류

활성탄의 비표면적은 주로 미세공에 의한 수치이므로 활성탄의 입자크기 자체가 전체 비표면적을 크게 변하게 하지는 않는 것으로 알려져 있다.

즉, 동일한 제품을 분쇄하여 분말로 제작할 경우 비표면적의 증가는 무시할 만하다.

또한 세공지름에 따른 부피분포도 흡착특성 및 흡착능에 영향을 미친다.

입상활성탄 중 야자껍질을 원료로 하여 생산된 입상활성탄은 직경 3nm 이하의 세공이 많고 30nm 이상의 세공은 적다.

또한 석유계 활성탄과 비교하여 세공의 발달이 매우 규칙적이다.

목재계 활성탄은 내부표면적이 크고 세공용적은 작기 때문에 저분자량의 물질 제거에 적합하며 기체상 오염물질의 제거 용도로 많이 사용된다.

석탄계 활성탄은 3nm의 미세공으로부터 대세공까지 폭 넓게 존재하므로 목재계 활성탄과 비교하여 세공 내 표면적이 다소 작지만 세공의 크기가 크고 중간크기 이상의 세공부피가 크기 때문에 비교적 큰 분자량의 오염물질에 적용하기 용이하며 따라서 수처리용으로 많이 사용되고 있다.

입상활성탄에는 0.1~수 μm 크기의 대세공(macropore)이 존재하고 대세공 내에 다시 중간 크기의 세공(mesopore)과 미세공(micropore)이 발달되어 있어 대세공이 피흡착물질의 입자 내로의 확산통로가 된다.

활성탄의 중요 특성은 다음의 용어로 표현한다.

① 총수분(total moisture)

활성탄에 함유된 수분량을 백분율로 나타낸 것으로 건조감량이라 한다.

시험방법은 $115\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 3시간 건조시켜 그 감량을 구한다.

② 휘발성분(volatil matter)

건조된 활성탄에 함유된 휘발성분을 백분율로 나타낸 것으로 $625\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 7분간 휘발된 양을 구한다.

③ 회분

건조된 시료를 완전연소 후 남는 잔분을 백분율로 나타낸 것으로 강열감량이라고도 한다.

④ 충전밀도(bulk density)

단위부피 내의 충전된 활성탄의량을 무게로 나타낸 것이다.

⑤ 경도(hardness)

입자상의 활성탄의 물리적 강도를 나타낸 것으로 ball pan hardness를 말하며 시험방법은 일정 크기의 활성탄 100cc와 직경이 1/2, 3/8inch인 steel ball(강구) 각각 15개씩을 황동 pan에 넣고 30분간 rotation tap(체 진탕기)에서 진탕 후 입도표시 하한에 대응하는 체 눈금 2단 아래의 체로 분리하여 체 위에 남는량의 백분율을 구한다.

⑥ 요오드가(iodine number)

활성탄 단위질량(g)당 요오드의 흡착량(mg)을 나타낸 것으로써 0.1N 요오드액 50mL와 분말화한 활성탄 0.5g을 삼각플라스크에 넣고 교반기 내에서 15분간 교반시킨 후 50mL 침전관에 옮겨 원심분리기로 고액분리 후 분리된 액속의 잔류농도를 0.1N티오황산나트륨 용액으로 적정하여 구하여 흡착된 요오드량을 계산하여 구한다.

⑦ 메틸렌블루가(methylene blue number)

활성탄 단위질량(g)당 methylene blue 청색인크를 탈색시키는 시험으로 탈색가능량을 mL로 나타낸 것이다.

⑧ 벤젠가(benzene number)

활성탄을 U자관에 5-10g 내로 충전시킨 후 벤젠증가와 접촉시켜 활성탄 단위 g당 흡착된 벤젠증기량을 무게 %로 나타낸 것이다.

⑨ 페놀가(phenol number)

100 $\mu\text{g/L}$ (0.1mg/L) 페놀용액의 페놀을 90% 제거하여 10 $\mu\text{g/L}$ 로 하는데 필요한 활성탄의량

을 ppm으로 표시한 것이다.

⑩ ABS가(alkylbenzene sulfonate number)

ABS 5.0mg/L용액에 활성탄을 첨가하여 1시간 후 잔존 ABS량을 0.5mg/L로 하는데 필요한 시료의량을 mg/L로 표시한 것이다.

⑪ 입도(size)

활성탄의 입자상의 크기를 mesh수 또는 mm의 크기로 나타낸 것이다.

분말활성탄을 사용한 처리는 비상시 또는 단기간에 걸친 경우에 적용하고 입상활성탄을 이용한 처리는 연속 또는 비교적 장기간 사용할 경우에 적용하는 것이 운용상 유리하고 경제성이 좋은 것으로 알려져 있다.

활성탄의 흡착특성은 종류에 따라 다르기 때문에 사용목적에 적합한 품질의 제품을 선정해야 한다.

분말활성탄과 입상활성탄은 사용목적이나 처리기간에 따라 유지관리나 경제성이 다르며, 그 장단점을 비교하면 상수도시설기준 <표-5.13.2>와 같다.

5.12.4 활성탄의 흡착력

활성탄의 흡착력은 단일물질이 존재할 경우와 다물질이 공존하는 경우가 다르게 나타난다. 다물질이 존재할 경우 물질간의 경쟁적 흡착 때문에 흡착능이 감소하는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 단일성분의 흡착능력은 회분식 실험을 통해 얻을 수 있는 흡착용량(평형흡착량)과 연속식 컬럼 실험을 통해 얻을 수 있는 흡착속도로 평가된다.

활성탄의 흡착능력은 활성탄의 종류와 피흡착물질, 수온, pH 및 공존물질에 따라 다르다. 이와 더불어 피흡착물질의 초기농도 및 물의 이온강도 및 공존이온의 종류 등에 의해서도 영향을 받으며 따라서 실공정에 활성탄 흡착을 적용하기 위해서는 반드시 실험단계를 거쳐서 흡착능을 확인하여야 한다.

(1) 등온흡착평형(isotherm)

피흡착물질을 함유하는 물에 다양한 농도의 활성탄을 주입하고 일정온도에서 일정시간 접촉시켜 평형상태에 도달하였을 때의 액상농도와 그 농도에서 활성탄흡착량(고상농도)과의 관계를 나타낸 것을 등온흡착선이라 한다(상수도시설기준 <그림-5.14.1> 참조).

반대로 일정농도의 활성탄을 주입하고 다른 농도의 피흡착물질을 함유하는 물을 주입하여 평형에서의 액상농도 및 고상농도를 구하기도 한다.

등온흡착식을 구하는 방법은 다음과 같다.

- 입상활성탄을 분쇄하여 사용하거나 분말활성탄을 사용하기 위해 시료를 150℃에서 3시간 정도 건조한다.
- 시험용 원수의 대표시료를 취한다. 이때 시료 중 부유물질은 활성탄의 세공을 폐색하여 흡착에 영향을 주므로 반드시 여과하여 부유물질을 제거하고 사용한다.

- 건조시킨 활성탄을 최소한 4개의 다른 무게로 칭량하여 시험용 용기로 옮겨 담는다.
- 각 용기에 용액을 붓고 용기를 닫은 후 온도를 일정하게 조절, 유지할 수 있는 교반기에서 교반한다. 공실험도 동시에 행한다.
- 일정시간 경과 후 용기 중의 활성탄과 물을 분리하기 위해(고액분리) 여과를 한다(공실험 포함).
- 여과액 중의 유기물 농도를 측정한다.
- 측정한 자료를 이용하여 액상평형농도(C)와 고상평형농도(활성탄에 흡착된 양, x/M)를 표를 작성하여 계산하고 이를 이용하여 양대수그래프에 그린다.

등온흡착선을 수식화한 것을 등온흡착모델(isotherm model)이라 하며 Freundlich모델, Langmuir 모델 및 B.E.T.(Brunauer, Emmet, and Teller)모델이 많이 사용된다.

① Freundlich모델

$$q = KC^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

$$\log q = (1/n) \log C + \log K \quad (2)$$

q : 활성탄의 단위 무게당 피흡착물질의 흡착량(mg/g-활성탄)

C : 활성탄흡착 후 피흡착물의 액상평형농도(mg/L)

K, n : 상수

식 (1)의 양변에 log를 취하면 식 (2)가 되며 x 축을 C 로 두고 y 축을 q 로 하여 양대수그래프 용지에 그림으로 나타내면 직선을 얻을 수 있다.

직선의 기울기로부터 $1/n$ 값을 구하고 $C=1$ 일 때의 절편으로부터 K 값을 얻는다.

Freundlich모델에서 $1/n$ 의 값이 0.1~0.5인 경우에는 저농도의 액상에서 많이 흡착되어 효과적이나 $1/n > 2$ 인 경우에는 피흡착물질의 농도가 저하됨에 따라 흡착량이 크게 저하되기 때문에 일정농도 이하의 액상평형농도를 얻기 위해 활성탄을 상대적으로 매우 큰 양을 사용해야 하므로 비효율적이다.

<표 5.12.3> 등온흡착식을 구하기 위한 표의 작성예

활성탄의 질량[mg] M	시험수의 부피[mL] V	시험수중 대상물질의 초기농도 [mg/L] C_0	시험수중 대상물질의 평형농도 [mg/L] C_e	시험수중 대상물질이 흡착된 양 [mg] x	활성탄 단위질량당 흡착된 대상물질의 양[mg/g] x/M
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.

Freundlich모델을 사용하여 표현한 등온흡착선은 양대수그래프상에서 거의 직선을 나타내지만 휴믹 물질과 같이 다성분으로 이루어지거나 여러 작용기를 포함하는 경우에는 평형농도구간에 따라 곡선과 직선이 혼재하기도 한다.

② Langmuir 모델

Langmuir모델은 피흡착질이 흡착제의 표면에 흡착되는 것은 두 사이에 작용하는 결합력이 약한 화학흡착에 의하고 흡착제 표면에 흡착가능한 장소가 한정적으로 존재하며, 흡착의 결합력이 단분자층 두께에 제한되어 단분자층으로 한정적 지점에 흡착되는 것으로 가정하여 피흡착물질의 양과 가스압력 간의 관계를 이론적으로 유도한 모델이다.

액상의 농도 C 와 흡착량 q 의 관계를 Langmuir 등온흡착식으로 쓰면 다음 식 (3)과 같다.

$$q = \frac{abC}{1 + bC} \quad (3)$$

C : 액상의 농도

q : 흡착량

a : 최대흡착량에 관한 상수

b : 흡착에너지에 관한 상수

식 (3)을 역수를 취하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{ab} \cdot \frac{1}{C} + \frac{1}{a} \quad (4)$$

피흡착질과 흡착제의 흡착 사이에 Langmuir형 흡착평형이 성립할 경우 $1/q$ 와 $1/C$ 를 각각 x 축과 y 축으로 하여 그래프에 그려보면 직선을 얻을 수 있다. 이 직선의 가상 y 축으로부터 $1/a$ 를 구하고 기울기로부터 $1/ab$ 를 구할 수 있다.

③ B.E.T.(Brunauer, Emmett & Teller) 모델

Langmuir모델에 대하여 Brunauer, Emmett 및 Teller 등은 흡착제의 표면에 분자가 여러 층으로 흡착될 수 있다는 다분자층흡착 모델을 이용하여 다음과 같은 등온흡착식을 유도하였다.

$$q = \frac{V_m A_m C}{(C_s - C)[1 + (A_m - 1)C/C_s]} \quad (5)$$

C : 포화농도

V_m, A_m : 단분자층흡착시 최대흡착량과 흡착에너지 상수

식 (5)를 변형하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{C}{q(C_s - C)} = \left(\frac{1}{A_m V_m} \right) + \left(\frac{A_m - 1}{A_m V_m} \right) \frac{C}{C_s} \quad (6)$$

로 표현되며 y 축에 $\{C/q(C_s - C)\}$ 를, x 축에 (C/C_s) 를 그려보면 직선이 얻어지고 이직선의 기울기 및 y 절편으로부터 상수를 얻을 수 있다.

(2) 고정층 흡착탑에서의 파과곡선(breakthrough curve)

고정층 흡착탑에 처리대상물질이 포함된 물을 통과시키면 제거하고자 하는 피흡착물질은 고정층의 최초유입부에서 흡착되기 시작하여 일정부분까지 거의 대부분 흡착된다.

흡착이 시작되는 부분부터 모두가 흡착된 부분까지의 구역을 흡착대(adsorption zone)라 한다.

흡착탑의 운전이 계속되면 흡착대의 유입부측에서부터 점차로 포화가 진행되어 흡착대는 고정층의 아래쪽으로 이동한다.

흡착대의 끝이 고정층의 출구 부근에 도달하면 유출수 중의 피흡착물질 농도는 증가하기 시작하고 흡착대가 흡착탑을 벗어나면서 유출수중 처리대상물질의 농도는 급격하게 증가되어 궁극적으로는 유입수 중의 농도에 근접한다.

처리수량 또는 처리시간을 x 축으로 하고 유출농도를 y 축으로 한 농도변화도를 파과곡선(breakthrough curve)이라 한다(상수도시설기준 <그림-5.14.2> 참조).

파과곡선의 모양은 피흡착물질별 활성탄의 흡착능, 충전된 활성탄입자의 크기, 입자의 외부와 내부의 확산속도, 유입유량 등의 운전조건 등에 따라 다르다.

파과곡선의 형태는 흡착평형에서 결정되어지는 흡착용량과 흡착속도에 의해 결정된다.

폐놀과 같이 흡착속도가 빠른 물질인 경우는 흡착대의 길이가 상대적으로 짧아서 전형적인 S자형 곡선을 관찰할 수 있지만 부식질이나 계면활성제와 같이 분자량이 크고 흡착속도가 느린 물질은 흡착탑의 길이와 비교하여 흡착대의 길이가 매우 길어서 전형적인 S자형 파과곡선을 관찰할 수 없는 경우가 많다.

일반적으로 유출수중 농도가 파과점을 통과한 경우 농도가 급격하게 증가하기 시작하므로 파과점을 통과하는 시점에서 활성탄을 교체하고, 교체된 활성탄은 재생을 위해 다루어진다.

5.12.5 분말활성탄

분말활성탄 흡착처리는 통상적인 수처리공정 중 응집 이전의 원수에 주입하여 급속혼합시킴에 따라 이후 공정을 거쳐 응집, 침전, 여과를 통해 물로부터 분리될 때까지 물속의 오염물질을 흡착, 제거하게 된다.

분말활성탄은 입자의 크기 및 원료물질, 활성화방법에 따른 차이를 제외하면 물리화학적 특성, 흡착기작 등은 입상활성탄과 같은데 일반적으로 원수수질의 이상변동 등의 응급시 또는 계절별 단기간 사용하는 경우에 적용된다.

분말활성탄에 의한 흡착 효과는 주입농도, 접촉시간, 접촉방식, 분말활성탄의 종류와 품질, 원수 중의 포함된 처리대상물질의 종류 및 농도, 화학적 특성에 따라 좌우되기 때문에 이들 사항을 충분히 고려하여야 한다.

(1) 분말활성탄의 선정 및 품질

분말활성탄은 종류에 따라 그 흡착성능 및 흡착특성이 다르고 처리대상물질의 특성, 원수의 수질

및 이온구성 등에 의해 다른 제거효율을 보이므로 각각의 원수수질의 성상이나 수처리 공정의 특징을 충분히 고려하여 다른 실시 사례뿐만 아니라 실험결과를 바탕으로 제거대상물질에 맞는 가장 효과가 좋은 활성탄을 선정하여야 한다.

또한 위생적 측면에서 처리된 물의 수질에 나쁜 영향을 미치는 용해성 성분을 기준값 이하로 함유하고 있어야 한다.

통상 상수도용 분말활성탄은 수증기 활성화법으로 제조되며 입도는 $75\mu\text{m}$ (200mesh) 간격의 체로 칠 때 통과하지 않는 양이 질량기준으로 10% 이하인 것이 좋다(상수도시설기준 <표-5.13.3> 참조).

분진발생을 적게 하기 위하여 수분 50% 정도의 분말활성탄이 사용되기도 하나 수분 5~10% 정도의 활성탄(건조활성탄)은 밀폐상태에서 사용하여 분진발생을 억제할 수 있다.

(2) 정수처리공정에서의 조합

분말활성탄은 200mesh 이하의 미세한 분말이므로 급속여과의 역세척 주기에 따라 여과지를 통해 활성탄이 누출될 수 있다. 특히 겨울철의 저수온시에는 응집효과가 떨어지므로 폴리염화알루미늄이나 응집보조제를 사용하거나 여과지 전에서의 2단 응집 등으로 응집효과를 높여야 할 필요가 있다. 여과한 다음 활성탄의 누출 유무는 일상적인 여과지 운전점검으로 충분히 확인할 수 있으므로 수시로 점검하고 누출방지에 노력해야 한다.

전염소처리가 염소접촉시간 확보를 위해 적용되어 있을 경우에는 활성탄에 의해 염소가 소비되므로(활성탄 1mg은 염소 0.2~0.25mg 정도의 염소를 소비), 목표로 하는 잔류염소농도가 확보될 수 있도록 염소주입량 또는 분말활성탄 주입량을 조절해야 한다.

분말활성탄을 사용하면 일반적으로 정수처리과정에서 발생하는 슬러지의 탈수성이 좋아지고 냄새를 방지할 수 있지만, 탈수케이크가 검게 되며 케이크량이 증가한다.

(3) 분말활성탄의 검수설비와 저장설비

일반적으로 분말활성탄은 소포장(봉지나 포대 10~20kg/개 정도) 또는 컨테이너백(100~500kg/개 정도)방식으로 운반되며, 일부 건조분말활성탄은 차량장착형 밀폐용기로 직접 운반되기도 한다. 분말활성탄의 양을 검수하기 위하여 습기 정도(습윤활성탄과 건조활성탄), 운반방식 및 수량에 적합한 계량설비를 구비하여야 한다. 비교적 소량을 취급할 때에는 저울을 사용할 수 있으며, 대량인 경우 트럭스케일을 설치하는 것이 적당하다.

검수가 완료된 활성탄은 포대 또는 컨테이너백 그대로 저장설비에 저장되며, 또 일부 건조활성탄은 차량장착형 용기로부터 직접 저장사일로에 충전되어 저장되기 때문에 운반방식에 따라 저장설비로 이송하기 위하여 적절한 설비가 필요하다.

특히 대규모의 시설에서는 공기이송방식이 사용되는 경우도 있으나 통상적으로 호이스트, 컨베이어, 운반차 등을 설치하면 충분하다.

저장설비의 용량은 연속주입하는 경우에는 20일분 이상, 간헐주입하는 경우에는 10일분 이상을 표

준으로 하여 사용량과 사용기간 및 제조회사의 공급능력 등을 고려하여 정한다. 특히 분말활성탄의 제조는 비교적 중소규모로 이루어지고 있어서 제조량에 지역성이 있는 것으로 공급능력에 관해서도 충분히 배려해야 한다.

일반적으로 컨테이너백(500kg 정도)방식에서는 2단쌓기 정도로 건물 내에 수용하고 밀폐용기에 의한 방식에서는 2조 이상의 저장조를 설치한다.

분말활성탄은 가연성이기 때문에 분말활성탄을 저장하는 건물과 저장조는 열이나 산화제 등에서 적절하게 분리되어 있어야 하고 특히 건조활성탄 저장시설은 완전밀폐구조로 설치 및 운영하여야 한다. 또 전기설비는 분진에 의한 합선사고와 스파크에 의한 화재를 방지하도록 한다. 또 이송하거나 저장하는 등의 작업내용에 따라 집진장치, 바닥 등의 세척용 살수장치, 방진장비, 샤워시설 등이 필요하다.

활성탄이 저장조 벽면이나 출구 등에 달라붙어 뭉쳐지는 현상을 방지하기 위해 저장조의 출구크기를 크게 하고 저장조의 내면에 평평한 활성탄 부착방지용 라이닝을 부설하며, 진동장치나 통기장치를 측벽의 적당한 장소에 설치하면 효과가 있다.

작업시에는 활성탄 비산 분말로부터 보호하기 위해 집진장치나 방진구를 준비하여 환경 및 위생관리에 유의하여야 한다.

(4) 분말활성탄 주입설비

1) 분말활성탄의 주입지점은 급속혼합과 물과의 접촉이 충분히 이루어지고, 또 전염소처리의 효과에 영향을 주지 않도록 선정하여야 하며 필요한 경우 활성탄-물 접촉지를 별도로 설치, 운영한다.

응집제를 주입하고 난 뒤 분말활성탄을 주입할 경우 활성탄 자체의 흡착능이 감소하고 또한 활성탄을 제거하기 위해 별도의 응집조작이 필요하므로 응집침전을 하기 전에 주입하여야 한다.

분말활성탄은 충분한 급속혼합이 필요하다. 필요로 하는 접촉시간은 원수수질과 제거대상물질 등에 따라 다르기 때문에 실험으로 결정하는 것이 바람직하다.

일반적으로 접촉시간은 적어도 20분 이상으로 하며 처리효과를 충분히 얻기 위해서는 1시간 정도가 바람직하다. 분말활성탄 접촉지를 신설할 경우에는 철근콘크리트 또는 강재 등의 재질로 하고 원칙으로 2지 이상으로 하고 수류에너지를 효과적으로 이용하여 충분히 급속혼합되고 접촉되도록 수로형상과 유속 등을 정하여 계획하고 필요에 따라 교반기 등을 설치한다. 또한 청소, 수리 등의 일상적인 운영을 위해 세척과 배수(排水)에 필요한 설비를 설치한다.

접촉지가 없는 기존 정수시설에서 비상시 분말활성탄처리가 필요할 경우에는 착수정이나 혼화지 등 되도록 장시간 접촉할 수 있는 장소에서 주입한다.

또한 장소에 따라서는 취수 직후에 주입하여 도수시설을 통과하는 사이에 접촉시키는 방식도 가능하지만 전염소처리를 할 경우 동시에 주입하는 것보다 활성탄 주입 전에 충분한 염소접촉시간을 갖도록 하는 지점을 선정하여야 한다.

2) 분말활성탄 주입농도는 기본적으로 처리하고자 하는 물과 제거대상물질에 대한 실험에 근거하여 정한다. 실험은 회분식 제거실험을 통하여 제거효과를 조사한 다음 결정한다.

이 경우 예상되는 제거대상물질의 농도와 장래의 동향 등을 예측하여 적절하게 설정한 후 실험해야 하며 실제 접촉시간 뿐 아니라 실 공정에서의 주입순서 및 공정을 모사하는 것이 바람직하다. 통상 사용되는 주입농도는 수질, 제거대상물질의 종류, 농도 등에 따라 달라지며, 주입량이 과다한 경우에는 제거되지 않은 분말활성탄이 여과지유출수에 유출될 수 있으므로 유의하여야 한다. 주입량은 주입농도와 처리수량으로 결정한다.

3) 주입방식으로는 활성탄의 성상에 따라 습식과 건식이 있으며 제어성과 작업성 등을 고려하여 선정한다. 건식 주입방식은 저장조(호퍼)에서 계량기에 활성탄을 떨어트려 계량하면서 용해조에서 물과 급속혼합하여 바로 주입기나 펌프로 주입한다. 습식은 일단 분말활성탄을 용해조로 이송(투입)시켜 일정농도의 슬러리액으로 제조한 후 주입기나 펌프 등으로 주입한다. 습식 주입방식의 경우 슬러리농도는 2.5~5%(건조중량으로 환산한 값)를 표준으로 한다. 슬러리조는 충분히 교반될 수 있는 구조로 적절한 용량이어야 한다. 슬러리조는 내식성 라이닝강판제나 합성수지제 등을 사용하고 원칙적으로 2조 이상으로 분리·설치한다. 용량은 슬러리액의 농도와 주입량에 따라 적절한 값으로 해야 한다. 또 슬러리조에는 슬러리의 농도를 균일하게 유지해야 하기 위해 교반기와 순환펌프 등을 설치하여야 하는데 성능을 유지하기 위하여 내식성과 내마모성이 있는 교반기와 순환펌프를 사용하여야 한다(상수도시설기준 <그림 5.13.1> 참조).

4) 주입장치의 총용량과 대수 및 주입계통의 구성은 최소주입량에서 최대주입량까지 적절하게 주입할 수 있도록 하여야 하며 주입방식에 따라 적절한 주입 관련 설비를 갖추어야 한다.

처리수량과 주입률의 변화에 따라 주입량이 광범위하게 증감하므로 조건변화에 따라 정확하게 주입할 수 있도록 각 주입장치의 용량과 대수 및 주입계통 등을 결정한다. 특히 용량과 대수 결정에는 주입량의 제어방법을 고려하는 것이 중요하다.

5) 주입배관은 적절한 구경과 재질 등으로 시공한다. 분말활성탄 슬러리액을 이송하는 주입배관은 관내유속이 너무 느리면 활성탄이 퇴적되고 너무 빠르면 관이 마모되기 때문에 1~2m/s의 범위가 바람직하며 통상 경질염화비닐관이 사용된다.

사용한 다음에는 배관을 세척할 수 있어야하며 세척해야 한다.

또한 분말활성탄이 접촉하는 부분의 재질은 활성탄에 대하여 충분한 내식성과 내마모성이 있는 것으로 한다. 분말 활성탄과 접촉하는 재료 특히 금속은 활성탄에 의한 마모나 전식으로 인한 부식이 일어나기 쉬우므로 재료의 선정에 유의하여야 한다.

건조상태의 활성탄에 대해서는 강철이나 주철 등이 좋으며, 또 습윤상태에서는 스테인리스강과 경질고무라이닝강철이 좋다.

6) 슬러리의 이송거리가 길거나 곡관 등이 많게 되면 막히기 쉽고 또 누설될 우려가 있으므로 주입 설비는 주입장소 가까이에 설치하여야 한다. 조작과 점검 보수가 용이하도록 적절하게 배치하여야 하며 충분한 면적을 확보하여야 한다.

(5) 분말활성탄 점검사항 및 주기

<표 5.124> 습식방식(분말활성탄)

항 목	일 상 점 검	
	주기	점 검 내 용
컨테이너박스 저장차	1회/일 "	1. 재고차 확인 2. 호이스트 크레인의 작동상태
용액조	2~3회/일 " " " "	1. 액위 확인 2. 교반기의 이상음 유무 3. 교반기의 전류값 상태 4. 배관, 밸브류의 누액 유무 5. 밸브류의 개폐상태
순환(주입)펌프	2~3회/일 " " " "	1. 배관, 밸브류의 누설 유무 2. 배관, 밸브류의 개폐상태 3. 토출압, 전류값 확인 4. 이상음, 그랜드누액 유무 5. 기타에 대해서는 각종 펌프점검·정비를 참조
주입설비	2~3회/일 " " " "	1. 유량 및 압력 확인 2. 배관, 밸브류의 개폐상태 3. 유량계, 압력계 등에 대해서는 계측제어용 기기의 보수를 참조 4. 인젝터 작동압력 확인 5. 주입점 유입확인
집진장치	2~3회/일 " "	1. 블로어 전류치의 확인 2. 블로어 진동, 이상음 유무 3. 블로어의 누유 유무

<표 5.125> 건식방식(분말활성탄)

항 목	일 상 점 검	
	주기	점 검 내 용
저장조	1회/일 " "	1. 재고량 확인 2. 배관, 밸브류 누액유무 3. 브리지 파괴장치의 작동상황
활성탄 이송설비	2회/일 "	1. 중량계, 粉面位확인 2. 각종 컨베이어, 모터리벨브의 전류값 확인, 이상음 유무
분체 공급기	2회/일 " "	1. 공급기의 전류값, 이상음 유무 2. 공급기의 브리지, 플레싱 유무 3. 공기압축기의 전류, 이상음 유무
주입설비	2회/일	(습식방식에 준함)
용액조	2회/일	(습식방식에 준함)

5.12.6 입상활성탄

입상활성탄 흡착설비는 흡착탑 또는 흡착지에 입상활성탄을 고정층 또는 유동층으로 충전하고 여기에 처리할 물을 통과시켜 처리대상물질인 오염물질을 흡착하여 제거하는데 이용된다.

입상활성탄 처리방법에는 흡착탑 내부의 미생물의 활동여부를 기준으로 입상활성탄방식과 생물활성탄흡착방식으로 나눌 수 있다.

입상활성탄 처리방법은 활성탄에 잘 발달되어 있는 활성탄 내부세공(pore) 표면에 액상(liquid phase)에 용존되어 있는 상태에서 고체상(solid phase)의 표면에 오염물질이 이동하여 흡착, 축적됨으로써 오염물질을 제거하는 공정이다.

입상활성탄처리의 전단에 염소처리를 하지 않는 경우에는 흡착뿐만 아니라 입상활성탄층 내에 미생물이 번식하여 생물화학적 작용으로 생물분해성 유기물이 부분적으로 분해되고 이산화탄소로까지 분해되는 경우가 있다.

이 생물화학적 작용에는 활성탄층 내에 용존산소가 충분히 존재하고 미생물 번식에 필요한 유기물의 공급이 필요하다. 또한 그 처리는 수온에 의하여 영향을 받는다.

생물활성탄흡착방식에서는 활성탄의 흡착작용과 함께 활성탄층 내의 미생물에 의한 유기물 분해작용을 이용함으로써 활성탄의 흡착기능을 보다 오래 지속시키는 방식이다.

염소처리를 하지 않는 경우와는 다르게 생물활성탄처리의 전단에 오존처리를 하면 난분해성 유기물이 분해성 유기물로 전환되고 용존산소가 높은 상태가 되므로 입상활성탄층 내에서 생물화학적작용을 촉진할 수 있어 입상활성탄의 흡착능을 장기간 유지할 수 있다.

원수 중에는 일반적으로 휴믹 물질과 같은 천연유기물질(natural organic matter, NOM)과 각종 미량유기물질이 다양하게 포함되어 있으며, 제거대상물질의 분자량이나 소수성, 또한 활성탄의 세공분포에 따라 흡착능이나 수명이 달라진다.

활성탄의 오염물질 제거능은 오염물질의 종류에 따라 큰 차이가 있다.

흡착탑의 운전시간이 경과함에 따라 흡착능은 점차 감소하여 최종적으로 흡착능이 소진된다. 목표수질에 부합하지 못하는 시점에서 교체 후 재생한다.

(1) 처리공정의 선정

입상활성탄 흡착설비의 처리공정 배열은 원수수질, 처리목표수질 및 농도, 경제성 등 다양한 현장 조건에 따라 다를 수 있으므로 적절한 처리공정의 배열을 선정하거나 수정하여 적용할 수 있다.

또한 입상활성탄 흡착설비를 도입할 경우에는 제거대상물질에 따라 설비 내용과 구성이 다르기 때문에 원수의 오염상태, 장래의 수질변화 및 수질기준의 강화추세, 처리목 염소주입점, 활성탄처리의 조합 및 배치에 따라 적용할 수 있는 원수수질, 처리대상물질 및 제거효과가 다르므로 실제 원수를 시료로 사용하여 실험하고 효과를 충분히 확인한 다음에 결정하는 것이 바람직하다.

처리대상물질의 식별 및 처리목표농도 등을 충분히 조사하여 제거대상물질을 분명하게 선정한다.

처리공정의 배열은 상수도시설기준 5.14.2 처리공정의 선정을 참고하여 그 중의 하나를 따르거나

적절하게 수정하여 적용할 수 있다(오존처리에 관련된 내용은 5.13 오존처리를 참조).

(2) 흡착설비의 계획

입상활성탄 흡착설비는 고정상식과 유동상식이 있다. 흡착설비를 설계할 때에는 활성탄의 흡착능이 최대가 되도록 공상접촉시간(EBCT), 선속도(LV), 공간속도(SV), 활성탄층의 두께, 입경 등의 여러 요소를 결정하여야 한다.

또한 활성탄층의 역세척방법, 집수장치, 활성탄의 재생을 용이하고 원만하게 할 수 있는 반출입장치와 이송설비 등을 고려한 구조로 한다.

처리수의 공간속도(SV), 활성탄층의 두께, 공상접촉시간(EBCT)은 활성탄의 흡착능력, 처리대상 물질 및 그 농도 등에 따라 다르므로 비교실험 등에 의한 평가가 필요하다.

1) 입상활성탄은 종류와 제거목표물질에 따라 흡착능력이 다르므로 문헌 등을 참조하고 실험으로 적절한 것을 선정한다.

입도분포는 입자가 작을수록 단위용량당의 흡착효율이 커지지만 탄층에서 손실수두(통수저항)도 충분히 고려하여 결정해야 한다.

입상활성탄의 규격은 <표 5.12.4>의 분말활성탄 선정표준에 더하여 상수도시설기준 <표-5.14.3>을 참조하여 선정한다.

유동상을 채택하는 경우에는 입상활성탄 입도의 균일성, 밀도 등에 특히 유의한다.

pH가 높은 활성탄이나 제조시에 발생하는 미분탄은 흡착조에 반입한 후에는 역세척 등으로 씻어내기 어려우므로 제조시에 적절히 처리한 다음 납품되도록 구매시방서 등에서 정해두는 것이 바람직하다.

활성탄은 수명이 한정적이기 때문에 주기적으로 반드시 교체하거나 재생해야 한다.

경제적인 측면에서 재생이 중요하며 활성탄의 종류에 따라 재생효율에 차이가 있다.

일반적으로 활성탄재생에는 석탄계 활성탄이 다른 종류의 활성탄에 비하여 재생효율과 성능의 안정성이 뛰어난 것으로 보고되고 있다.

2) 흡착방식은 고정상식과 유동상식이 있으며, 일반적으로 고정상식이 많이 사용된다.

고정상식 흡착방법에는 하향류로 중력식 개방형(상수도시설기준 <그림-5.14.13> 참조)과 가압식(상수도시설기준 <그림-5.14.14> 참조)이 있다.

중력식은 대규모의 설비에 적합하고 가압식은 소규모의 설비에 적합하다.

구조는 일반적인 급속모래여과지와 유사하며, 입상활성탄은 입경 0.4~2.4mm, 균등계수 1.3~2.1 정도의 것이 많이 사용된다.

입상활성탄의 전단에 모래여과지가 없는 경우에는 입경이 비교적 크고 균등계수가 작은 활성탄이 사용된다.

또한 전단에 모래여과지가 있는 경우에는 입경이 비교적 작고 균등계수가 큰 활성탄이 사용된다.

고정상식의 장점은 조작이 간단하고 입상활성탄입자의 누출이 적다는 점이다.

단점은 층의 공극 내에 부유현탁물의 퇴적으로 인한 손실수두를 낮추기 위하여 정기적으로 역세척

할 필요가 있고 역세척시 입상활성탄이 유출될 가능성이 있다.

유동상식 흡착방법은 상향류로서 가압식과 개방형(상수도시설기준 <그림-5.14.15> 참조)이 있으며, 두 가지 방식 모두 입상활성탄층이 팽창하여 입상활성탄입자가 유동화되는 유속으로 통수한다.

이 방식은 입상활성탄을 균등하게 유동시킬 필요가 있기 때문에 입상활성탄은 입경 0.3~0.9mm, 균등계수 1.5~2.1 정도의 구형(球形)에 가깝고 가능한 한 단단한 것을 사용한다.

유동상식의 장점은 손실수두가 작고 세척을 필요로 하지 않는다는 점과 고정상식에 비하여 입경이 작은 입상활성탄을 사용하기 때문에 접촉시간을 짧게 할 수 있다는 점이다.

단점은 이용가능한 유동폭이 좁다는 점과 입경의 균일성과 입도 등에 유의해야 한다는 점이다.

또 처리수 중에 입상활성탄이 유출(carry-over)되는 경우가 있으므로 유량의 급격한 변동에 주의해야 한다.

고정상식에 의한 흡착시스템으로는 직렬, 병렬 또는 이들을 조합한 것이 있다. 병렬식은 1조(지)마다 단독으로 사용하는 경우인데 유지관리가 용이하기 때문에 많은 정수장에서 사용하고 있다.

직렬식은 2조(지) 이상의 고정층을 직렬로 배열하고 일반적으로 하향식으로 처리하는 방식이다.

3) 입상활성탄의 처리효율에 대한 설계값은 접촉시간 또는 공간속도, 선속도, 탄층 두께, 입경 등 상호관계로부터 결정되며, 공간속도를 우선 정한 뒤 그에 따른 각 정수장의 조건에 적합한 활성탄층 깊이를 결정한다(상수도시설기준 <표-5.14.4> 참조).

① 공상접촉시간(empty bed contact time, EBCT)

공상접촉시간(T)은 입상활성탄의 충전량(m^3)을 처리수량(m^3/h)으로 나눈 값이다.

또 공상접촉시간이 결정되면 탄층의 두께와 선속도의 관계가 결정되며 선속도를 크게 하려면 입상활성탄의 충고를 두껍게 해야 한다.

공상접촉시간은 고정상인 경우 5~15분, 유동상인 경우 5~10분이 일반적이다.

일반적으로 공상접촉시간이 길수록 처리효과는 증가한다.

② 공간속도(space velocity)

공간속도(SV)는 입상활성탄층을 통과하는 1시간당 처리수량을 입상활성탄의 용적으로 나눈 값으로 표시되며, 공상접촉시간의 역수이다.

즉 1시간에 통과하는 수량이 입상활성탄 용적(m^3)의 몇 배가 되느냐를 나타낸 통과수량($m^3/m^3 \cdot h$)이다. $5 \sim 10h^{-1}$ 가 일반적인 표준이다.

③ 선속도(linear velocity)

선속도(LV)는 처리수량을 흡착지의 면적으로 나눈 값으로서, 여과속도에 해당된다.

중력식의 고정상인 경우에는 10~15m/h, 가압식인 경우는 15~20m/h가 일반적이다.

유동상인 경우는 10~15m/h 정도이다.

④ 탄층의 깊이(H)

탄층이 두꺼운 경우 탄층의 손실수두가 커지므로 운전수위가 높아지며 흡착지의 높이가 커진다.

또, 탄층두께를 얇게 하고 일정한 접촉시간을 유지하려면 지의 면적이 커진다.

탄층의 두께(H)는 접촉시간(T)과 선속도(LV)로 계산할 수 있다(즉, $H=LV \times T$).

고정상인 경우 일반적으로 1.5~3.0m의 탄층두께가 많이 사용되고 있으며, 유동상인 경우에는 정지시의 두께로서 1.0~2.0m 정도가 많이 사용되고 있다. 탄층 두께가 커질수록 오염물질의 제거율은 높아지므로 처리목표의 달성 여부와 재생주기 등을 고려하여 결정한다.

⑤ 입경

입상활성탄의 입경이 작을수록 단위용적당 표면적은 커지고 따라서 흡착대가 짧아진다.

유출농도가 낮을 경우에는 입경이 작을수록 처리수량이 많아지나 전반적으로 볼 때 조작방식의 차이나 처리대상수의 수질에 따라 적합한 범위는 달라진다.

고정상의 하향류에서는 초기 손실수두와 운전에 따른 손실수두의 증가를 고려하여 입경 0.4~2.4 mm 정도의 활성탄이 많이 사용된다.

유동상식에서는 일정한 유동상태를 얻기 위하여 입경 0.3~0.9mm 정도의 활성탄이 많이 사용된다.

(3) 흡착설비

고정상 흡착지는 설비규모와 수위, 유지관리와 경제성 등을 고려하여 결정한다. 중력식은 비교적 대규모 시설에 적합하며 점검이 용이하고 철근콘크리트지인 경우에는 내구성이 있다. 압력식은 중소 규모 설비에 적합하며 강관제로도 할 수 있으며, 선속도(LV)를 크게 할 수 있다는 장점이 있다.

1) 흡착지의 면적은 계획정수량을 선속도로 나누어 구한다. 흡착지 1지의 면적이 너무 크면 평면적으로 균일한 흡착과 역세척이 어렵고 역세척시설의 규모가 커지는 점 등을 고려하여 정수장 규모에 따라 적절한 크기로 결정해야 한다. 활성탄을 교체하여야 하는 경우를 고려하면 흡착지는 최소한 예비지를 포함하여 2지 이상으로 하고 10지를 넘는 경우에는 10% 정도의 예비지를 확보할 필요가 있다.

2) 흡착지는 일반 급속여과지와 유사한 구조를 가지며 입상활성탄의 교체가 용이하도록 해야 한다. 또 흡착지는 정수처리의 최종공정인 경우가 많으므로 외부로부터 오염을 충분히 방지할 수 있는 구조로 한다.

3) 충전, 통수, 역세척, 사용 종료된 활성탄의 인출공정과 관련하여 집수장치의 역할은 중요하며 구조 형식은 다음 사항에 적합하도록 한다.

① 흡착지의 탄층에서 편류가 없는 균일한 수류가 확보되도록 한다.

② 역세척 용수와 공기를 균일하게 분산시키며 입상활성탄 유출을 방지할 대책을 강구한다.

③ 사용종료된 입상활성탄을 원활하게 인출하도록 한다.

(4) 세척설비

1) 세척은 탄층에 축적된 부유물질을 제거하여 통수능력을 회복시키는 것이 그 목적이다. 세척빈도는 처리수량, 처리수 중의 부유물질의 성질과 농도, 입상활성탄 입자의 크기, 흡착방식(고정상, 유동상) 등에 따라 다르다. 일반적으로 물세척과 공기세척 또는 표면세척과의 조합이 바람직하다. 표면세척방식에는 회전식과 고정식이 있다.

2) 고정상식에서 물 역세척속도는 사용하는 입상활성탄의 종류에 따라 다르며 동일 역세척속도에서 탄층팽창률은 수온의 영향을 받는다.

일반적으로 탄층팽창률이 30~40% 정도가 되도록 역세척한다.

상수도시설기준 <그림-5.14.17>, <그림-5.14.18>에 예로 나타낸 바와 같이 야자계 활성탄에서는 수온 20℃, 팽창률 40%일 때의 역세척유속은 약 $0.48\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{분}$ 으로 되며, 일반적으로 입경이 동일한 경우에 모래여과지보다 느리다.

물에 의한 역세척을 보조하는 공기세척은 입상활성탄입자의 유실과 마모 및 잔류기포에 의한 편류와 같은 문제가 있지만, 입상활성탄입자 상호간의 전단력이 크기 때문에 물에 의한 역세척만으로는 세척이 불충분한 경우에 공기세척을 병용하는 방식이 효과적이며 세척효과도 크다. 상수도시설기준 <표-5.14.7>에는 세척조건을 예시하였다.

유동상식에서는 활성탄의 충전이 완료된 다음 미분탄을 씻어내기 위하여 물로 역세척을 실시한다.

또 흡착능이 소진한 사용활성탄을 인출한 다음 지지구조물을 세척한다.

또 흡착기간 중에 때때로 실시하는 역세척은 입상활성탄의 부착물 제거에 유효하다.

세척배출수는 배출수지에 일시 저류하여 침전시킨 다음 질적으로나 양적으로 평균화하여 착수정으로 반송시키는 것이 바람직하다.

3) 세척설비의 용량과 구성 등은 1) 및 2)에 의한 결정사항을 기초로 급속여과지의 세척탱크와 세척펌프 등에 준하여 적절히 정한다. 또 기존 급속여과지의 세척설비를 이용하는 것도 가능하다.

(5) 저장설비, 계량설비 및 이송설비

1) 입상활성탄 저장조의 용량은 재생빈도를 고려하여 정하되, 적어도 흡착조 1지(조)분 이상이 필요하다.

또 재생주기가 변동하는 경우가 있으므로 흡착지의 수가 많은 경우에는 충분히 대처할 수 있는 용량을 확보한다.

이송설비를 시설하지 않는 경우에는 재생하는 동안에 사용활성탄을 저장할 수 있는 장소도 확보한다.

저장조의 바닥이 평평할 경우에는 넓은 밑바닥의 모든 부분에서 균일하게 배출되기는 어려우므로 적절한 경사를 가져야 한다.

원추 또는 각추형의 바닥을 갖는 저장조는 받침기둥과 받침대를 크고 견고하게 해야 한다.

저장조의 높이가 어느 정도 높은 편이 부지가 적게 소요되고 입상활성탄 인출이 용이하나 기초에서의 지내력과 풍압 등을 고려하여 결정한다.

입상활성탄의 형상과 저장조의 사용조건에 따라 적절한 반출입장치를 설비하고 내압에 충분히 견딜 수 있어야 한다.

부속기구는 필요에 따라 저장조용 받침대(架台), 점검구, 집진장치 등을 갖추어서 보수점검이 용이하도록 한다.

저장조의 재질은 일반적으로 고무라이닝이나 플라스틱코팅을 한 강제(鋼製) 원통용기나 스테인리스강제(STS 304, STS 316) 원통용기를 사용한다.

고무라이닝을 시공한 경우에는 반드시 핀홀 테스트를 해야 한다. 또 부식을 방지하기 위하여 부속 기기에는 스테인리스강(STS 304, STS 316)을 사용하는 것이 바람직하다.

입상활성탄 관련설비의 설계에는 다음 사항에 주의한다.

- ① 밀폐저장조 내에서는 산소가 낮은 상태이므로 환기를 포함하며 안전에 관한 조치를 취해야 한다.
- ② 대형 저장조인 경우에는 산소(공기)호흡기를 착용하고 저장조에 들어갈 수 있도록 작업용 점검구를 크게 설치한다.
- ③ 입상활성탄을 취급하는 시스템에서는 고전압의 정전기가 축적되어 전기충격이나 스파크를 일으키는 경우가 있으므로 입상활성탄 설비는 모두 적절하게 접지(earth)해야 한다.
- ④ 입상활성탄은 분말활성탄과는 달리 분진의 비산이 비교적 적으나 분진이 발생할 경우에는 작업내용에 따라 집진, 세척, 샤워설비, 방진장구 등을 구비하고 환경보전과 공해방지와 관련된 각종 법적인 규제를 준수해야 한다.

2) 컨테이너백(500kg/개 정도)은 트럭스케일로, 소포장(10~20kg/개 정도)은 저울 등으로 계량한다.

계량설비가 없는 곳에서는 계량증명사업자가 발행한 중량증명서로 확인한다.

컨테이너백은 재사용되므로 형상, 용량, 재질 등을 규격화해 두면 운반과 계량을 포함한 취급이 용이하다.

재생설비를 설치하고 정수장 내에서 사용종료탄을 재생하는 경우에는 주로 레벨계 등을 사용한 용적법으로 계량한다.

초음파방식은 액체나 분체 등에 접촉하지 않고 측정되기 때문에 수명, 유지관리, 설치 등의 점에서 우수하지만, 발진기에 분진이 부착되면 오작동하는 단점이 있다.

3) 이송방식은 직접이송, 수력이송, 공기이송 등의 방식이 있으며 주로 직접이송과 수력이송방식을 사용한다.

직접이송방식에는 호이스트나 컨베이어 등을 사용하여 인력으로 이송하는 방식과 흡인차로 이송하는 방식이 있다.

인력에 의한 방식은 설비구성이 단순하지만, 인력에 의존하기 때문에 소규모시설에 적합하다.

이 방식은 이송작업시 건조된 활성탄의 분진이 비산되기 때문에 집진대책 등이 필요하다. 흡인차에 의한 방식은 흡인송풍기(blower)와 집진장치 등이 흡인차에 장착되어 흡인송풍기에 의하여 흡인 호스로 활성탄을 공기와 함께 흡인차의 탱크로 이송하는 방식이다.

이 방식은 고정설비를 필요로 하지 않고 호스로 간단히 활성탄을 전량 이송할 수 있는 특징을 가지고 있어서 중대규모의 시설에 사용할 수 있다.

흡인차가 출입할 수 있는 공간과 작업공간 및 흡착지의 상부에 호스용 뚜껑을 확보하는 것이 필요하다.

수력이송방식은 입상활성탄을 슬러리상태로 이송하는 방식이다.

오염이 적고 조작이 간단하며 단기간에 이송이 이루어진다.

이송량은 입상활성탄의 물성에 따라 다르며 슬러리농도와 슬러리유속 및 이송관경의 영향을 받는다(상수도시설기준 <표-5.14.4> 참조).

수력이송방식의 예, 외부에서 재생하는 경우에는 반출하기 전에 물기를 제거해야 하며, 정수장내에서 자체 내 재생할 경우에는 재생하기 전에 탈수해야 하고 최종적으로는 50% 정도의 함수율로 하는 것이 바람직하다.

입상활성탄 슬러리의 이송배관은 다음의 조건으로 설계한다.

- ① 배관은 가능한 한 스테인리스강을 사용한다.
 - ② 저유속(1~2m/s)을 표준으로 한다.
 - ③ 슬러리의 농도는 200kg/m³를 표준으로 한다.
 - ④ 체류부가 없고 용이하게 세척할 수 있도록 한다.
 - ⑤ 배관은 폐색시의 청소와 마모시의 교체를 고려하여 주요 부분의 분해와 교체를 쉽도록 한다.
 - ⑥ 슬러리 이송용 배관은 “완전열림” 상태 또는 “완전닫힘” 상태로 사용하기 때문에 유량은 펌프 회석수나 인젝터 압력수의 유량을 조절함으로써 조절되도록 한다.
- 4) 재생빈도가 적은 경우나 소규모의 정수시설에서는 급속모래여과지에서의 여과모래 교체와 마찬가지로 인력으로 입상활성탄을 충전하고 인출할 수 있다.

또 인출은 진공차량에 의한 방법도 사용되고 있다. 그러나 재생빈도가 높거나 대규모 정수시설에서는 입상활성탄 이송설비를 설치하는 것이 바람직하다.

상수도시설기준 <그림-5.14.19>에 이송설비에 의한 충전방법과 인출방법을 비교하였다.

입상활성탄을 이송설비에 의하여 슬러리상태로 충전하면 유동성이 좋기 때문에 특별히 충전관을 이동할 필요없이 거의 균일하게 충전할 수 있고 물로 역세척하면 균일하게 충전된다. 다만, 입상활성탄은 외관밀도가 변동되기 때문에 입상활성탄층의 두께를 설정할 때에는 팽창률을 고려해야 한다.

(6) 재생설비

- 1) 흡착능이 소진한 사용활성탄의 재생방법으로는 수도사업자가 설비를 설치하여 실시하는 자가재생방법과 전문업자에게 의뢰하는 위탁재생방법이 있으며 재생방법의 선택은 재생탄의 품질과 경제성에 대하여 비교검토한 다음 선택한다.

재생량과 반출입의 방법 및 재생 주기를 고려하여 사용활성탄과 재생탄의 일시저장 장소를 확보한다.

- 2) 재생설비로는 재생로 본체, 저장설비, 계량설비, 제해설비, 연료공급설비 등으로 구성된다.

이들 설비를 계획할 때에는 설비규모, 운전방법, 입지조건 등을 충분히 고려하고 재생빈도에 대하여 여유가 있는 규모로 한다. 재생설비의 소요면적은 재생능력 뿐만 아니라 활성탄저장조의 유무, 배기가스, 배출수처리설비의 내용에 따라 달라진다.

재생로에 의한 재생시의 활성화(activation)방식에는 건식재생방식과 습식재생방식이 있다.

(7) 입상활성탄 점검사항 및 점검주기

<표 5.126> 고정상식(입상활성탄)

항목	일 상 점 검		정 기 점 검		정 밀 점 검	
	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
흡착탑	1회/일	<ul style="list-style-type: none"> • 수위확인 • 처리유속 및 손실 수두 확인 • 처리수질확인 (pH, 미생물, 탁도 등) 	1개월	<ul style="list-style-type: none"> • 흡착탑 커버 파손 여부 • 흡착능 등의 열화 상황 • 벽면, 트로프 등의 부착물 • 콘크리트 등의 누수 여부 	3개월~	<ul style="list-style-type: none"> • 활성탄 재생 및 보충 • 흡착탑 내부청소 • 강제 탱크 내부 도장
	1회/일		1~3개월		1년	
	1회/일		6개월		1년	
	1회/일		1년		3~5년	

<표 5.127> 유동상식(입상활성탄)

항목	일 상 점 검		정 기 점 검		정 밀 점 검	
	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
흡착탑	1회/일	<ul style="list-style-type: none"> • 수질(수온, 잔류염소, pH, 탁도 등) 	1개월	<ul style="list-style-type: none"> • 밸브류의 유량 	1년	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트벽의 누수여부 • 전기설비 및 CPU • 조작밸브의 절연저항 • 공기조작밸브의 구동부 상태
	1회/일		1개월		1년	
	1회/일	<ul style="list-style-type: none"> • 유출부 수위 상황 • 각종 밸브류의 여상여부 • 유속계 	1개월	<ul style="list-style-type: none"> • 제어반 및 전기반 • 스크린 세척장치 	1년	
	1회/일				5년	
	1회/일				5년	

5.12.7 기타 중요설비

수질, 수위 및 유량을 감시 측정하는 수질관련계기, 수위계, 유량계 및 이에 대한 이상 징후 발견에 대한 경보장치 등이 있다.

시설에 따라서는 활성탄 누출을 감시할 수 있는 탁도계 및 입자계수기, 역세용 펌프, 공기세척 블로어, 오존농도 측정장치, 배오존장치, 염소농도 측정장치, 염소 혼화지 등의 관리가 필요하게 된다.

또한 미사용 활성탄 저장고 및 사용활성탄 저장고등에서 인력이 내부에 들어가서 작업할 경우에는 산소농도와 관련된 기기를 갖추어야 한다.

각각의 설비에 대하여 별도의 점검기준을 설정하여 정기점검, 조정, 보수 등을 실시한다.

특히 계측 및 측정장비의 경우 주기적인 정도관리를 실시하여야 한다.

5.12.8 이상시 대응

분말활성탄을 사용하는 공정에서 유출수 중에 처리대상물질의 농도가 목표수질을 초과하는 농도를 보일 경우 분말활성탄 주입농도(처리대상물질의 농도, 원수유량 및 활성탄주입량), 접촉시간(일반적으로 응집응결 전까지의 시간), 분말활성탄의 적절한 혼합, 원수의 물리화학적 특성의 변화(수온, 이온강도, 처리대상물질 외 공존물질의 종류 및 농도 등)를 파악하여 적절하게 대처해야 한다.

이를 위하여 별도의 실험을 통하여 각각의 인자에 의한 영향을 미리 파악하여 두는 것이 좋다.

입상활성탄을 사용하는 경우 처리대상물질의 농도가 파과가 시작하여 초기농도에 가까운 농도를 보일 때에는 활성탄접촉조의 운전을 멈추고 곧바로 활성탄의 교체를 수행하여야 한다.

이는 오염물질의 종류에 따라 크로마토그래프 효과(접촉조 유출수 중 농도가 계면에서의 역류 및 축적효과에 의해 유입되는 초기농도보다 높게 나타나는 현상)가 나타날 수 있기 때문이다. 실제 운전상에서의 흡착탑은 주기적인 역세척에 의해 활성탄이 상하방향으로 혼합되기 때문에 흡착대가 보전되지 않으므로 입상활성탄 흡착탑에서의 파과는 일정길이의 흡착대를 갖는 이론적인 그래프의 형상을 보이지 않는다. 따라서 유출수 중의 오염물질 농도를 가지고 이론적으로 파과를 설명하지 못하므로 유의해야 한다.

재생탄을 사용하는 경우 원활성탄의 흡착능과 비교하여 사용에 유의하여야 하며 적절한 흡착능 및 흡착특성, 그리고 입도분포 등을 지속적으로 실험, 관찰하여야 한다.

5.13 오존처리

5.13.1 총칙

오존처리는 THMs와 HAAs의 전구물질을 저감시키는 전처리산화제, 염소에 대한 대체소독제로서 소독과 함께 맛·냄새물질 및 색도의 제거, 소독부산물의 저감하기 위해 적용할 수 있다.

오존은 유기물과 반응하여 반응 부산물을 생성하고 오존처리 부산물로서 발생된 물질은 후속의 활성탄처리에 의한 제거 특성이 달라지므로 오존처리를 실제 원수에 적용하기 위해서는 반드시 실험을 통해 검토되어야 한다.

오존처리공정의 설계와 운전요소로서 처리목적에 따라 주입점, 주입률 등을 고려하고 파일럿플랜트 등 실험결과에 근거하여 결정하는 것이 바람직하다.

오존처리의 장점은 맛, 냄새 및 색도제거, 철 망간의 제거, 병원균 및 바이러스, 원생동물에 대한 불활성화 및 살균, 유해 미량유기화합물의 분해에 효과가 크고, THMs 등의 소독부산물을 생성을 저감할 수 있고, 슬러지발생이 없고, 염소요구량을 감소시키는 것을 들 수 있다.

반대로 오존의 단점은 설치비용이 고가이고, 잔류효과가 없어 후염소처리가 필요하며 처리수 중에 생분해가능유기탄소(AOC)를 증가시켜 배수관망 내에서 미생물이 증식할 우려가 있다는 점을 들 수 있다.

또한 HAAs(haloacetic acids) 등 유해한 소독부산물을 생성할 수 있으며, 수중에 브롬이 존재하는 경우 발암성 물질로 의심되는 브로메이트(BrO_3^-)이온을 형성하게 되므로 오존처리를 하는 정수장에서는 특히 원수중의 브롬농도를 주의하여 감시하여야 한다.

오존처리에 수반되는 문제점에는 용존잔류오존의 처리와 배오존의 처리가 있다.

오존처리 후 과도한 잔류오존농도는 후단의 활성탄흡착능을 감소시킬 수 있으며 공기와 접촉하는

부분에서 공기 중 높은 오존농도를 나타낼 위험성이 있다.

배오존은 대기 중에 방출되는 경우에는 노동안전위생 또는 환경상의 문제를 일으킬 우려가 있으므로 충분히 저농도가 되도록 처리하여 배출하여야 한다.

오존은 현장에서 발생시켜 적용하여야 하며 일반적으로 얻을 수 있는 최고오존농도는 공기원료 3~4wt%, 산소원료 12~15wt%인데, 발생오존농도를 높이려면 오존발생에 필요한 소비전력이 급격히 상승하므로 경제적인 오존농도는 공기원료는 1.5wt%, 산소원료로는 4~8wt% 정도이다.

소비전력은 공기원료를 사용할 경우 13~14kWh/kg-O₃, 산소원료를 사용할 경우 7~9kWh/kg-O₃이다.

5.13.2 오존산화 이론

오존은 강한 산화력을 가진 불소와 OH라디칼 다음으로 높은 전위차(2.07volt)를 가지고 있다.

이론적으로 오존은 모든 유기물을 CO₂와 H₂O로 완전 분해시킬 수 있는 것으로 보이지만, 실제로는 물질과 선택적으로 반응하는 것으로 알려져 있어 유기물질(예를 들면 맛·냄새 유발물질인 geosmin, MIB와 THMs 등)과 반응이 느리거나 또는 전혀 반응하지 않기도 한다.

(1) 오존의 물리적 특성

오존은 산소원자가 3개 결합하여 생긴 분자로써 오존의 중요한 물리적 및 화학적 성질은 오존의 높은 생성에너지에서 기인한다.

기체상태의 오존은 옅은 청색, 액체는 짙은 청색, 고체는 검은 빛을 띠며 특이하게 자극적인 냄새를 가지고 있어 대기 중에 매우 낮은 농도(0.01ppm)에서도 감지할 수 있다.

오존은 기체상태에서 광흡수와 관련되어 독특한 특성을 가지고 있어 광범위한 영역의 빛을 흡수하는 것으로 알려져 있다.

오존은 근자외선 영역(330~374nm)에서는 약한 흡수, 자외선 영역(220~300nm)에서는 강한 흡수 특성을 보인다.

오존은 광분해에 의해 기체의 경우 발생기산소로, 액체상태에서는 하이드록실 라디칼 등 활성화학종을 생성하여 오존의 반응성을 높게 할 수 있다.

순수기체 상태의 오존은 폭발성을 보이는 것으로 알려져 있고, 높은 산화력으로 인해 고농도의 오존은 취급에 주의를 요한다.

오존의 분해에 활성탄을 사용할 때에는 활성탄 표면에 농축된 오존에 의한 화재의 위험이 있으므로 이에 대한 예방책이 필요하다. 오존은 다른 기체와 마찬가지로 분압이 증가하고 온도가 저하하면 용해도가 증가한다.

(2) 오존의 화학적 성질

수용액 중의 용존 오존은 불안정하고 온도상승 및 pH 상승에 따라 산소로 분해되는 속도가 가속

된다. 상온, 중성영역에서 오존의 반감기는 약 10분 정도이다.

오존과 유기물의 반응에서 가장 잘 알려져 이용되는 반응은 불포화 2중결합이나 방향족화합물을 개환하는 반응이다.

오존의 반응성은 선택적이므로 오존과 반응성이 낮은 유기물을 처리하기 위해서는 자외선 조사, 과산화수소의 첨가, 촉매첨가 등의 보조수단을 병행하여 OH라디칼의 생성을 촉진하여 적용한다.

OH라디칼의 생성을 가속화하여 유기물질들을 처리하는 방법을 고도산화공정(advanced oxidation processes, AOPs)이라 하며, 정수처리에 응용될 수 있는 AOPs는 ozone/high pH, O_3/H_2O_2 , O_3/UV , 오존-촉매조합공정으로써 O_3 /electron beam, O_3 /metallic oxides 등의 방법이 있다.

공기 중의 오존은 열에너지를 받아 여기상태의 중간체로 되고, 이 중간체는 산소원자와 산소분자로 해리되며, 이 산소원자가 다른 산소원자와 반응하여 산소를 생성한다.

오존의 열분해는 배오존의 처리방법으로 사용될 수 있다.

(3) 오존의 독성

공기 중의 오존은 산화제로써 피부 및 점막에 대해 자극제로써 독성을 나타낸다.

또한 일정 농도이상의 장시간 노출에서 기도 등의 자극과 두통, 흉부통 등을 느끼며 맥박 증가, 마취증상을 나타내며 심한 경우 폐수종에 이르게 한다.

수중에 일정농도의 잔류농도에서 어류에 대한 독성을 보이며 오존과의 반응으로 생성된 브로메이트가 독성을 나타낼 가능성이 크다.

또한 오존의 분해에 의해 생성되는 활성화종인 하이드록실라디칼과 하이드로퍼록실라디칼이 변이원성 물질로 알려져 있다.

(4) 오존 요구량

오존주입량에 대하여 정상적인 상태의 오존잔류량과 전달된 오존량을 도식하면 주어진 조건에서 오존주입량과 접촉시간에서의 오존요구량을 구할 수 있다.

오존요구량은 물속에 존재하는 피산화물질의 양과 수중에 잔류하여야 하는 농도의 합으로 구할 수 있으며, 이를 시험하기 위해서는 간단한 실험도구가 필요하다.

5.13.3 오존처리공정의 배열과 주입률

오존은 처리목적에 따라 원수(전오존), 침전수(중오존), 여과수(후오존)에 주입할 수 있으며 색도 성분이 많은 경우 원수에 주입할 수 있으나 부유물질에 의한 오존소비량이 많고 대기 중으로 오존이 전에 따른 방지가 어려워 일반적으로는 침전수 또는 여과수에 오존을 주입하는 경우가 많다.

(1) 오존주입지점

오존주입지점은 처리대상물질과 처리목적 등을 고려하여 선정한다.

오존처리의 대표적인 처리목적으로는 냄새와 색도제거, 응집효과의 개선 및 염소소독부산물의 생성 저감 등을 들 수 있다.

(2) 오존주입률 및 오존주입량

오존주입률은 물의 수질 및 제거대상물질의 종류와 농도 등에 따라 다르며 처리효과에도 큰 영향을 미친다. 따라서 문헌을 참고로 하고 필요한 경우 예상되는 제거대상물질의 농도범위에 대한 실험을 실시하여 여러 조건변화에 대한 적정주입률을 결정한다.

맛·냄새물질의 제거를 위해 0.5~2mg/L의 주입률로 10~20분 내외의 오존접촉시간으로 운전한다.

THMs 전구물질은 오존처리로 감소시킬 수 있으나 이미 생성된 THMs는 저감되지 않는다.

망간을 효과적으로 제거하기 위해서는 침전수에 오존을 주입(여과공정의 앞)하고 급속모래여과지의 유입수에 오존이 잔류하지 않을 정도로 주입률(0.5~1.0mg/L)을 설정한다.

(3) 오존주입률의 결정

주입된 오존 전부가 용존되는 것은 아니므로 실험장치를 이용하여 처리대상수에 대하여 주입점의 수와 주입위치 등을 정한다.

오존의 유효주입률은 직접 측정하기 어려우므로 주입오존농도와 배오존농도를 측정하여 수중에서 이용된 양을 산출한다.

$$\text{이용률(또는 흡수율)}(\%) = \frac{(\text{주입오존량}) - (\text{잔류오존량}) - (\text{배출오존량})}{(\text{주입오존량})} \times 100$$

$$\text{전달효율}(\%) = \frac{(\text{주입오존량}) - (\text{배출오존량})}{(\text{주입오존량})} \times 100$$

5.13.4 오존발생장치(냉각, 가스냉각, 제습, 공기여과, 전원)

오존발생기는 오존발생용 원료가스 종류에 따라 달라질 수 있는데 순수산소를 사용하는 경우와 공기 중 산소를 사용하는 경우로 나눌 수 있으며 이에 따라 공기법, 구입순산소법, 발생순산소법 및 고농도산소공기법등이 적용될 수 있다(상수도시설기준 <그림-5.15.2> 참조).

송풍기로 공기를 압축하고 공기냉각기(1차, 2차)로 온도를 낮추어 제습장치에서 노점 -50℃ 이하로 건조된 공기를 오존발생기에 공급하여 전원장치로부터 공급되는 고압방전으로 오존을 발생하여 오존접촉지에 공급한다.

오존발생량은 전원장치를 이용하여 조절한다. 오존발생관의 직접냉각수는 순수 또는 무염소인 정수를 사용하며 소형일 경우에는 공냉식을 사용할 수 있다.

5.13.5 오존주입 및 접촉설비

오존주입 및 접촉설비용량은 처리수량과 주입률로 산출된 주입량을 기본으로 하여 결정한다.

(1) 설비의 구성

설비는 원료가스공급장치, 오존발생기, 접촉지, 배오존처리설비, 오존재이용설비 등으로 구성되며, 주요 기기류는 2계통 이상으로 분할하고, 예비계통을 설치하며 유지관리가 용이하도록 하여야 한다.

(2) 제어방식의 선정

적절한 제어방식을 선정하여 오존처리가 효율적으로 이루어지도록하고 비상시에는 필요한 조치가 용이하게 이루어질 수 있도록 한다. 오존주입량을 제어하기 위하여 필요한 계측항목은 처리수량, 오존주입량(오존화공기의 풍량과 오존농도), 잔류오존농도, 배오존농도, 오존소비특성 등이며 제어방식은 다양한 방식 중에 적절한 방식을 선정한다.

(3) 설비의 재질

오존은 산화력이 강한 산화제이므로 오존과 접촉하거나 또는 접촉가능성이 있는 부분의 재질은 오존에 대하여 충분한 내식성과 강도가 있고 또 위생상 안전한 스테인리스강(STS 304, 316), 테프론 튜브, FRP, 압축콘크리트, 경질염화비닐 등을 적절히 사용한다.

(4) 발생기로부터 접촉지까지의 배관

오존발생기와 주입지점까지의 거리는 최소화하여야 한다. 또한 오존발생기에서 주입장소에 이르는 배관은 적절한 유속을 가질 수 있도록 적절한 내경이어야 하며 내구성과 강도를 위해 적절한 재질을 가지며 유량계 및 압력계 등을 구비하고 배관의 유지관리를 용이하게 하기 위하여 지중부분은 콘크리트 덕트 내에 설치하는 것으로 한다.

(5) 오존접촉지

오존접촉지에서 오존이용률에 영향을 미치는 요소로서 기액의 접촉방향(기액대향류), 가스농도, 가스공탐유속(5m/h), 오존가스의 기포크기, 접촉수심(4~6m), 기액비[G/L(Nm³/m³)](0.1~0.2), 가스의 균등접촉 등이 있다. 오존접촉지에서의 오존가스 주입방식으로는 디퓨저식(diffuser), 인젝터(injector)식, 기계교반식이 있다. 접촉지 바닥에는 배수(排水)와 슬러지배출을 위하여 배수관을 설치한다. 망간제거를 목적으로 할 경우에는 단시간 접촉(1~3분)으로 산화효과가 있지만, 유기물 등을 분해하기 위한 접촉시간은 10~20분 정도의 접촉시간이 필요하다. 또한 오존의 누출을 최소화하기 위하여 접촉지에서 부압이 유지되도록 운전한다. 접촉지의 보수, 점검, 수리 등을 위하여 우회통수관을 설치한다.

발생오존의 효율적인 이용과 소비전력을 절약하며 배오존처리설비의 부하경감 등을 위하여 오존재이용설비를 설치할 수 있다.

(6) 소요전력

오존처리설비에서의 소요전력량은 원료가스공급장치, 오존발생기, 기타 부속설비를 포함하여 발생 오존 1kg당 20~30kWh가 필요하므로 충분한 용량으로 해야 한다.

(7) 부지의 확보

오존발생기를 조작하거나 점검 및 정비하기 편리하도록 설비를 배치하여야 하며 이를 위한 부지면적이 필요하다.

5.13.6 배오존처리시설

오존은 강한 광화학산화제중의 하나이므로 점막을 매우 강하게 자극하는 작용을 한다.

배오존은 오존접촉지, 모래여과지, 활성탄흡착지에서 발생한다.

특히 오존접촉지에서는 일시적으로 상당히 높은 농도의 오존이 배출되는 경우가 있다.

배오존처리방법에는 활성탄흡착분해법, 열분해법, 약액세정법, 촉매분해법, 토양분해법 등이 있으며 처리효과, 유지관리, 경제성, 안전성을 고려하여 결정한다.

(1) 활성탄흡착분해법

유지관리가 간편하나 고농도의 배오존이 유입될 경우 활성탄층이 발화하거나 폭발할 가능성이 있기 때문에 유의하여야 한다.

배오존분해탑에는 온도계를 설치하여 경보장치와 연계되도록 설계한다.

(2) 가열분해법

실용적으로 350℃에서 1초 정도 체류시킴으로써 배오존을 충분히 파괴시킬 수 있다.

(3) 촉매분해법

촉매표면에서 오존이 분해되는 것을 이용한 것으로, 오존의 열분해보다 저온에서 일어나므로 비용면에서 유리하여 널리 이용된다. 촉매로는 MnO_2 , Fe_2O_3 , NiO 가 이용되며 50℃ 정도로 접촉시간 0.5~5초 정도에서 반응이 이루어진다.

5.13.7 감시제어설비

오존은 산화성, 가연성이 있으며 발생장치에는 고전압을 사용하므로 화재, 전기사고 등에 대하여 안전대책을 수립하여 두어야 한다.

오존처리설비의 설치장소와 그 주변에 오존누출감지기 및 자동화된 오존농도계(발생오존, 배오존, 대기환경오존)로 적절하게 위치에 설치하여 누출을 조기에 발견하도록 하여야 하며 자동적으로 오존

발생기의 운전을 정지하고 환기하는 등의 조치를 취하게 하는 것이 필요하다.

이와 같이 안전을 충분히 고려하여 운전, 감시, 제어를 하여야 한다.

특히 환경오존농도계를 필요한 장소와 위치마다 설치하여 오존누출을 검지할 수 있도록 한다.

5.13.8 오존처리설비의 점검

<표 5.13.1> 오존처리설비 점검 항목 및 점검주기

항목	일 상 점 검	
	점검주기	점 검 내 용
공기원장치	1회/1일	<ul style="list-style-type: none"> • 정격전류값 확인 • 이상음, 진동, 이상발열, 누유 등의 점검 • 흡입 및 토출압력, 토출기체량 확인 • 냉각수량 확인
공기냉각장치		<ul style="list-style-type: none"> • 1차 및 2차 공기압력 및 공기 냉각온도 확인 • 압축기 이상유무 • 냉매 누출여부, 냉매 압력상승, 배출트로프에서의 배출 유무 • 정류값 확인 및 진동, 이상음 발생 여부
공기제습장치		<ul style="list-style-type: none"> • 공기노점확인, 제습공기 압력 및 온도 확인 • 원료공기량, 냉각수량, 냉각온도 확인 • 오존화 공기 압력 확인
오존발생기		<ul style="list-style-type: none"> • 발생기 내부온도 확인 • 발생오존농도 확인 • 소포탑의 소포상태 및 소포수량 확인 • 액적분리기의 이상 여부 • 가온기 규정 전류값 확인 • 배풍기의 윤활유량 확인 • 이상음, 진동 등의 여부 확인
배오존 처리장치		<ul style="list-style-type: none"> • 오존농도계 지시값 및 실측값 비교 확인 • 측정 유량 확인
오존 접촉지		<ul style="list-style-type: none"> • 오존농도 확인(수중 및 배가스 중) • 오존접촉지 내압 및 오존 누출여부 확인
기기설비		<ul style="list-style-type: none"> • 해당 설비에 적합한 내용 점검

5.13.9 이상시 대응

다음의 사항에 저촉되는 경우에는 오존발생기의 운전을 정지하도록 한다.

- ① 오존의 누출이 감지되었을 때
- ② 공기의 유입이 정지되거나 오존발생기의 냉각수가 단수되었을 때
- ③ 원료공기량 및 압력에 이상이 생겼을 때
- ④ 원료공기의 제습 후 이슬점온도가 기준보다 높을 때
- ⑤ 잔류오존농도 및 배오존의 농도에 이상이 생겼을 때
- ⑥ 오존발생기에 과전류가 흐를 때

5.14 용존공기 부상(desolved air floatation; DAF)

5.14.1 총칙

부상분리는 물중에 부유하는 물질을 제거하기 위하여 응집제 주입 및 응집응결과 같은 전처리 공정에 의해 형성된 플록에 미세한 기포를 부착시켜 물-공기 계면으로 부상시킴으로써 고액분리를 유도하는 공정이다.

부유물질, 유분 등을 물로부터 분리하여 물을 정화하고 슬러지를 분리, 농축하는데 사용되는 공정으로써 물보다 비중이 큰 플록도 기포의 부착으로 인해 부상분리 할 수 있으며 약품처리 후 침전공정에 대한 효과적인 대안공정으로 적용할 수 있다.

용존공기 부상은 높은 압력하에서 공기를 과용해시킨 물을 처리하고자하는 물과 혼합하고, 대기압으로 감압되면 과포화된 공기가 미세기포를 형성하면서 전처리를 통해 형성된 플록에 부착된다. 형성된 기포-플록 결합체는 빠르게 수면 위로 부상되며 고형물이 분리된 맑은 물은 부상지 하부를 통해 흐르게 된다. 일반적으로 저탁도, 휴믹 물질 또는 자연적인 색도나 비중이 낮은 조류 등을 함유하는 원수의 처리에 특히 유용하게 적용될 수 있는 공정이다.

용존공기 부상공정은 응집제 주입과 플록이 형성되는 전처리공정, 플록이 가압수로부터 용출된 미세기포와 접촉하는 반응구역, 기포-플록 결합체가 수면으로 부상하는 부상구역, 그리고 정수처리된 물의 일부를 재순환시켜 공기와 함께 가압시키는 가압탱크의 공기주입구역으로 크게 나눌 수 있다. DAF방식의 일반적인 모식도는 상수도시설기준 <그림-5.17.1>을 참조한다.

5.14.2 용존공기 부상 이론

용존공기 부상은 공기로 포화시키고 이어 압력을 감소시켜 공기가 과포화상태가 되도록 하여 기포를 발생시키고 이를 부유물질이나 플록에 부착시켜 부상 후 분리하는 공정이다.

기포를 발생시키는 방법에 따라 진공부상, 미세부상, 가압부상 등이 있으며, 상수처리공정에는 가압부상이 가장 널리 적용된다.

질소와 산소를 주로 포함하는 공기의 용해도는 용존공기 부상공정에서 적용되는 온도와 압력범위

에서 Henry의 법칙을 따른다. 즉 높은 압력에서는 압력에 비례하여 많은 공기가 용해되고, 압력이 낮아지게 되면 물중에 녹을 수 있는 용해도가 작아진다.

따라서 과포화된 농도만큼의 공기가 기포를 형성하면서 물로부터 분리된다.

부상조에서의 기포의 크기는 공기포화장치의 압력에 의해 영향을 받으며, 발생하는 동일한 공기의 부피에 대해 기포가 작을수록 기포와 플록간의 충돌기회가 많아지므로 결국 전체효율에 영향을 주게 된다.

플록과 기포의 충돌기회는 동일한 이액비에 대해 기포수와 플록수의 함수이며, 또한 혼합의 함수이다. 즉, 플록형성을 위한 응집제 주입 및 응집 응결과 마찬가지로 과포화된 물과 처리수의 혼합도에 따라 부상효율이 크게 달라질 수 있다.

가압수로부터 공급되어 부상지의 접촉지역에서 생성되는 기포의 총부피는 공기포화장치의 압력, 반송비, 온도 및 공기의 용해도에 좌우된다.

발생되는 기포의 총부피가 커지면 충돌기회가 커지고 기포-플록 결합체의 밀도가 작아지므로 보다 좋은 부상 효율을 얻을 수 있다.

그러나 기포-플록 결합체의 부상속도가 지나치게 크면 난류가 발생하여 플록 해체되어 플록의 크기가 작아지고 부상분리효율이 떨어질 수 있으므로 적절한 부상속도를 유지하기 위해 기포발생량이 적절하게 유지되어야 한다.

총류 부상속도를 갖는 최대 기포의 크기는 $130\mu\text{m}$ 로 알려져 있다.

플록에 결합하는 기포의 상대적인 부피와 기포결합에 따른 부력의 변화와 플록밀도의 변화를 고려하여 stokes 방정식을 적용하면 플록의 부상속도를 계산할 수 있다.

전처리에 의해 형성된 플록의 강도는 원수의 수질 뿐 아니라 온도, 운전요인 및 응집제 및 응집보조제 등에 따라 달라지므로 최적의 운전인자를 파악하기 위해서는 실험을 통한 조사가 필요하다.

5.14.3 부상분리의 특성

용존공기 부상공정은 침전공정과 비교하여 여러 가지 장점 및 단점을 갖는다.

(1) 용존공기 부상분리공정의 장점

- 1) 적절한 플록크기를 위해 응집시간이 짧게 소요되므로 응집시설의 면적을 줄일 수 있다.
- 2) 응집보조제가 불필요하다.
- 3) 부상지에서의 수면적 부하를 매우 높게 운전할 수 있으므로 처리시간이 매우 짧고 따라서 처리장의 설치면적을 감소시킬 수 있다.
- 4) 여과지속시간을 단축시키는 저비중입자와 조류의 제거에 효과적이다.
- 5) 갈수기 등 수질이 악화되는 기간 중에도 안정한 처리효율을 유지할 수 있어 양호한 처리수를 얻을 수 있다.
- 6) 조류와 박테리아를 부분적으로 제거할 수 있어 부수적으로 소독부산물 생성능을 감소시킬 수 있다.

다.

- 7) 슬러지 중에 포함된 고형물의 농도가 침전 슬러지보다 높으며 탈수성이 좋아 처리, 처분이 용이하다.

(2) 용존공기 부상분리공정의 단점

- 1) 계절 및 기후, 바람의 영향을 받기 쉬우므로 실내에 설치하여야 한다.
- 2) 침전공정과 비교하여 운영비가 고가이다(그러나 약품주입과 여과지까지를 고려하면 수처리설비 전체의 운영비는 감소하는 것으로 알려져 있음).
- 3) 원수의 탁도가 100NTU 이상의 고탁도일 경우에는 부상처리에 어려움이 발생한다.

5.14.4 공기가압시설

부상지에 공급되는 공기의 양은 가압조의 압력과 반송비에 따라 달라지므로 처리수량에 대해 부상지에서 필요로 하는 공기의 양을 결정한 후에 가압수량 및 압력을 결정할 수 있다. 가압탱크는 용존공기 부상공정의 설계시에는 공사비의 약 12%를 차지하나 운전경비는 50%를 차지할 정도로 에너지가 많이 필요한 설비이다. 압력이 가해진 상태에서 반송수에 공기를 용해시키는 방법에는 압력용기나 가압탱크의 물속에 공기를 분사시키는 방법, 충전층에 물을 분사하는 방법, 충전이 되어있지 않은 가압탱크에 물을 분사하는 방법, 노즐로 공기를 미세하게 분사하는 방법, 순환펌프에 공기를 주입시키는 방법 등이 있다.

일반적으로 충전층의 가압탱크가 효율이 높은 것으로 알려져 있다.

압력에 의해 공기가 포화된 물은 부식성이 있으므로 적절하게 부식방지처리가 되어 있는 재질을 사용하여야 하고 특히 부상지와 가압조의 연결부위는 플라스틱 배관을 사용하는 것이 바람직하다.

5.14.5 플록형성지

플록을 형성시키기 위해 약품을 주입한 후 급속혼합을 유도하여야한다. 특히 alum을 응집제로 사용하는 경우 수화반응은 매우 순간적이며, 양호한 플록의 형성은 pH와 응집제의 농도에 상당한 영향을 받으므로 강력한 급속혼합이 매우 중요하다. 부적절한 급속혼합은 국부적으로 응집제의 농도가 너무 낮거나 높은 상태가 되며, 그 결과 국부적으로 최적의 pH가 유지되지 못하게 된다. 유기폴리머를 사용하는 경우에는 플록형성에 필요한 반응이 순간적이지 않으므로 강력한 혼합은 요구되지 않지만 균일한 확산은 역시 중요하다. 급속혼합장치에 대한 선정은 약품주입 후 침전공정을 적용하는 처리시스템과 동일하게 고려되어야 한다.

플록형성지는 많은 수의 공기방울들이 플록에 부착되어 수면으로 부상되도록 작고 가벼운 플록들을 만들도록 적절한 구조와 시설로 설계해야 한다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 침전지 전단의 플록형성지와 비교하여 상대적으로 높은 교반강도,

짧은 교반시간 및 기포-플록결합체가 부상지 수면쪽으로 향하도록 부상지 유입구에 경사진 저류벽 설치 등의 기준에 합당해야 한다.

플록형성지는 2지 이상으로 구분하고 수심은 3.6~4.5m, 폭은 부상지의 폭과 같도록 하며 10m 정도로 한다.

G값이 $30 \sim 120 \text{s}^{-1}$ 정도가 되도록 교반에너지를 사용할 수 있게 플록형성공정을 설계한다.

교반시간 즉 체류시간은 일반적으로 15~20분 정도이며, 플록형성지의 각 단을 구획시키는 적절한 격벽이 있어야 한다. 일반적으로 플록형성지는 2단으로 이루어진다. 또한 플록형성지 유출부에 수평면에 대하여 $60 \sim 70^\circ$ 인 경사저류벽을 반드시 설치해야 한다.

5.14.6 용존공기 부상지

용존공기 부상지의 주요 목적은 부상지를 벗어나는 처리수를 최저탁도로 유지시켜 후속 여과지의 운전지속시간을 최대로 유지시키는데 있다. 또한 최저탁도를 유지하는 상태에서 처리수 수질을 악화시키지 않고 재순환율과 포화압(공기압력)을 최소로 감소시켜 필요한 에너지를 최소화하는데 있다. 일정 재순환율(6~10%)을 정해서 운전할 수 있으나 기포-플록 부피비와 부상속도에 따라서 처리수 탁도가 최소가 되는 최적 재순환율을 실험 및 운전을 통하여 결정하여야 한다. 부상분리에 적용하는 경우 유의해야하는 사항은 응집단계에서 표준 중력식 침전법보다 작고 강한 플록을 형성시켜야 한다는 점이다.

그 이유는 순환수가 유입되는 지역에 와류대가 발생하여 와류가 크고 약한 플록을 파괴할 수 있기 때문이며 따라서 각 부상지의 부하율은 377m/일을 초과하지 않도록 설계해야 한다.

부상지의 유지관리 및 주기적인 점검을 위하여 부상지의 운전을 중지해야하는 경우를 위하여 응집지, 가압장치 등의 관련설비의 운전정지에 대한 사항을 마련해야 한다.

(1) 부상지의 규모

부상지는 최소 2지 이상을 갖추어야하며 부상지의 길이는 미세기포가 모두 부상하는데 걸리는 시간을 고려하여 결정하여야하며 최대 12m로 한다.

부상지의 폭은 부상슬러지 수집장치에 의해 제한되며 최대 10m이다. 체류시간은 표면부하율 10~15m/h에서 10~15분이 되도록 한다.

일반적으로 적용되는 부상지의 수심은 1.0~3.2m 정도를 적용하며 수심이 너무 얇을 경우 미세기포가 유출수에 혼합되어 배출될 수 있으며, 너무 깊은 경우에는 부가적인 효과가 없다.

(2) 부상지의 구조 및 순환수의 주입

부상지는 반응구역과 처리구역으로 나눌 수 있다.

- 1) 플록이 형성된 물은 경사저류벽인 유입부의 순환분산구역으로 부상지의 전폭에 걸쳐서 균일하게 유입되어야 한다. 저류벽의 상단은 수리적인 면을 고려하여 일반적으로 수면에서 약 0.3m보다 아

래에 둔다.

- 2) 효과적으로 기포가 발생되게 하기 위해서는 압력이 감압된 물이 적절하게 유입되고 형성된 플록이 깨지지 않도록 노즐, 니들밸브, 게이트밸브 등 적절한 장치를 사용해야 한다. 순환수 분배관(recycle header)은 단일관 또는 이중관으로 구성되며 각 분배관의 끝에는 노즐이 배치된다. 415~620kPa의 순환수압력을 갑자기 대기압에 가깝도록 낮추면 순환수에 포함된 포화공기는 평균 40~50 μ m 크기의 미세기포로 방출된다.

응집수가 부상지에 유입하면 순환수는 공기로 포화되어 부상지 입구에 있는 경사벽 바닥에 위치한 특수설계 노즐을 통해 주입된다. 노즐설계와 경사벽으로 인한 접촉영역을 작은 구역으로 제한함으로써 미세기포를 접촉 및 상승시켜 고형물을 표면으로 부상시킨다. 순환수 주입노즐은 다기관을 이용하여 순환수를 단계적으로 변화시킬 수 있다.

부상된 플록들은 비나 바람에 의하여 깨지기 때문에 부상지는 반드시 옥내에 설치해야 한다. 또한 부상지는 농축된 슬러지와 함께 물을 배출시키기 위한 배수밸브(drain valve)를 구비해야 한다.

- 3) 반응지역에서 미세기포와 충돌, 기포가 부착된 플록은 수면으로 상승하면서 표면에 얇은 부상슬러지층을 형성한다.

부상슬러지는 수집기에 의하여 플로트 비치(float beach)로 모아져서 플로트 트로프(float trough)로 배출되며 트로프를 통해 플로트 배출구(float sump)로 수집된다.

부상슬러지 수집에는 다음의 방법들이 사용된다.

① 수류에 의한 제거(flooding/weir)

수면에 형성된 얇은 부상슬러지 층이 물과 함께 부상분리지의 말단에 위치한 위어를 월류하여 슬러지 트로프에 수집되는 방식이다. 위어 상단(crest)의 수류 높이는 슬러지를 통과시키기에 충분한 높이여야 한다. 슬러지 고형물의 농도를 높이기 위해 높은 건조고형물 함량을 가진 상층부의 슬러지층만을 긁어내어 수집하기도 한다.

낮은 시설비용, 쉬운 운전 등의 장점이 있으나 물의 손실이 크며(생산량의 약 1~2.5%) 슬러지의 고형물 함량이 낮은(0.1~1.0% DS) 단점이 있다.

② 수집기(scraper)를 이용한 제거

부상슬러지를 수집기를 이용하여 슬러지 트로프로 배출한다. 수집기에 의한 부상슬러지 수집은 슬러지 수집과정 중 그리고 수집완료 후 잠시 동안 처리수 수질이 악화될 수 있다. 가장 중요한 것은 수집기의 수평유지와 부상지의 적절한 수위조절이다. 슬러지 수집빈도, 수집기 속도, 부상지의 수위는 부상지별로 최적화되어야 한다.

기계적 슬러지 수집장치에는 전폭수집기와 회전식 수집기가 있다.

③ 흡입제거(sucking) 등을 이용하는 방법

기타 기계적 수집기기술로는 부상슬러지를 흡입하거나 수면에 롤러를 설치하여 퍼내는 방법 등이 있다.

부상지에 사용되는 스키머의 주행 범위를 확인할 수 있어야 하고 스키머의 주행속도가 방해받지 않도록 수조의 가장자리를 청결히 하고 각 블레이드를 주기적으로 점검되어야 한다.

슬러지 비치 플레이트의 레벨을 점검하고 수조 벽의 방수 여부를 점검한다.

- 4) 탁질이 제거된 처리수는 부상지의 바닥쪽에 설치된 격벽이나 또는 유공관을 통하여 균일하게 수집되며, 유출관의 오리피스에 가능한 한 균등한 흐름을 유지하기 위하여 유공관의 유입부와 유출부의 유량비(최소/최대)가 80~85%가 되도록 구경과 개수를 결정한다. 유출수의 집수위치는 부상지 바닥보다 30cm 이상 높게 해야 한다.

(3) 반송수량

순환비(recycle ratio)는 공정수의 6~10%로 하며 최대공기부하량은 $10\text{g}/\text{m}^3$, 포화부하량은 $62.5\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, 운전압력은 415~620kPa로 한다.

5.14.7 예비침전지

용존공기부상지는 일반적으로 저탁도의 원수수질에 효과적으로 운전되며 원수의 탁도가 높아지는 경우를 고려하여 전처리설비로 예비침전지를 두어야 한다. 일반적으로 100NTU가 부상공정과 침전공정의 효율적인 선택을 구분짓는 경계로 알려져 있으며, 100NTU 이상의 탁도에서는 침전공정이 더 효과적인 것으로 알려져 있다. 전처리로서 예비침전지를 적용하므로 일반침전공정에 대한 부하율보다 상대적으로 높은 표면부하율로 설계한다.

5.14.8 다른 공정과의 결합형 공정

(1) 용존공기 부상지-여과지 결합방식

용존공기 부상공정의 특별한 방식 중의 하나로서 부상지의 하부에 여과지를 함께 설치하여 부상과 여과공정을 일체로 운전하는 방식으로, 설치용적이 적은 디자인에 소요부지를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 즉 플록은 수면 위로 부상시키고 처리된 유출수는 부상지 하부의 여과지를 통해 유출하도록 하는 방식이다. 이러한 조합형 공정을 설계할 때에는 수위균등형여과지로 해야 하며, 여과속도는 용존공기 부상공정의 표면부하율을 고려하여 설계해야 한다.

(2) 오존-용존공기 부상지 결합방식

공기를 압축하여 주입하는 대신에 오존을 가압, 용해시켜 주입함으로써 수중의 유기물제거와 부상을 동시에 가능하게 하는 공정이다. 장점으로는 홍수시에 예상되는 고탁도의 원수가 유입될 때 유기물 부하량을 저하시키거나 미생물의 살균, 색도제거 및 천연유기물저감 등의 효과를 들 수 있다. 그러나 오존발생으로 인한 공기압축기나 압력탱크의 내부부식 및 배오존시설에 대한 추가비용부담을 고려해야 하는 단점이 있다.

5.14.9 용존공기 부상지의 점검

<표 5.14.1> 용존공기 부상지 점검사항 및 점검주기

설 비 명		점검사항	점검주기
포화수 생성 및 주입장치 관련	포화기	수위 유지 여부	1~2회/일
		유출밸브 동작상태	
		누기여부	
		압력게이지 동작상태	
	공기압축기	포화수 유량	
		이음 및 진동상태	
		에어드라이어 동작상태	
		압력제어스위치 동작상태	
		배관누기 여부	
		라인필터 상태	
	순환수 주입장치	순환수밸브 동작상태	
		누수여부	
		순환수노즐 동작상태	
		기포상태	
	DAF 순환펌프	순환펌프 동작상태	
		역류방지밸브 동작상태	
		이음 및 진동 상태	
플로트 제거장치 관련	플로트 스크레이퍼	자동운전여부	
		이음여부	
		스크루 컨베이어 운전상태	
		구동 와이어 상태	
	세척수 분사장치	정상분사여부	
		자동운전여부	
		자동운전여부	
	플로트 펌프	이음 및 진동상태	
		sump 수위상태	

5.14.10 이상시 대응

<표 5.14.2> 용존공기 부상지 고장원인

증상	원인	조치사항
공기 포화기로의 흐름 단절 또는 불규칙성	1. 펌프 회전의 부적절 2. 펌프의 공기 잠금 3. 순환수 라인의 밸브 잠금 상태	1. 적절한 회전을 위한 모터의 재배선 2. 펌프로부터 공기 배출 후 초기화 3. 펌프의 분리 밸브 open
포화기 내의 수위의 불안정 또는 불규칙성	1. 수위조절장치의 오작동 2. 솔레노이드 밸브의 고장 3. 순환수 펌프의 공기 포집 4. 공기 스톱 밸브의 압입	1. 수위조절장치의 루프 확인 2. 밸브확인 3. 공기배출 4. 만약 포화기의 수위가 연속적으로 낮다면 밸브가 너무 오랫동안 열려져 있는 것인지 확인
과운전, 공기 포화기의 운전 압력의 증가와 밸브의 흐름 조절의 무변화	1. 노즐의 막힘	1. 부상지를 비우고 노즐을 제거한 후 초기 시운전 시와 유사한 상태로 파이프를 세척
포화기내의 수위가 드러나고, 순환시스템이 반응지역 내에서 끊는 현상	1. 순환펌프의 미 작동 2. 압축 공기 조절기	1. 펌프의 전원 확인. 만약 전원이 들어왔다면 모터에 문제 발생 2. 운전자가 공기 압축 조절밸브를 과도한 고압으로 설정. 운전자는 순환시스템을 재가동
공기 포화기의 수위가 제한선에 도달했던 경우와 부상지 윗부분에 슬러지가 없는 경우	1. 공기 압축기 2. 분리밸브 3. 압력 조절기 4. 순환 주입장치 헤더 분리 밸브 5. 포화기 유출밸브	1. 공기 압축기의 작동여부 확인 2. 공기 포화기의 공기 분리밸브의 open 확인 3. 압력 조절기의 막힘 확인과 시스템 운전 압력의 확인 4. 순환 주입장치의 헤더밸브의 open 확인 5. 포화기의 유출밸브의 open 확인
DAF 셀 내에 분사된 공기가 한쪽 끝이나 다른 쪽으로 분출	1. 순환수 펌프	1. 순환수 펌프가 안정적으로 작동하는지 확인.
순환펌프의 케이싱 내에서 둔탁한 소음의 발생	1. 공동화 현상	1. 펌프를 끄고 프라임िंग 플러그를 열어서 공기를 배출. 그래도 같은 현상이 발생하면 흡입측 배관에 누수가 발생하여 공기가 시스템 안으로 유입되는지 확인
공기 덩어리의 부족, 기포 덩어리가 감소되고 처리능력의 저하	1. 포화기 수위 레벨 2. 분사 노즐의 막힘 3. 분사 노즐 사이즈	1. 포화기의 수위가 시방서와 같은지 확인 (비주얼 레벨 지시계에서 알 수 있다) 2. 시스템을 끄고 분사 노즐을 세척한다. 3. 반송비가 8~10%가 되도록 조절. 비율이 8% 이하이면, 운전자는 고정된 오리피스 분사 플레이트를 더 큰 것으로 교환

가압탱크의 경우 지속적인 관리가 되어 압력에 의한 파손이 사전에 예방되어야 한다. 최대 허용 압력을 설정하여 자동제어장비 등이 작동하지 않을 경우에도 허용압력 이상을 넘지 않도록 자동감압밸브 등을 구비해야 한다.

부상지에 순환수를 유입시키는 노즐 등의 장치는 정기적인 점검을 통해 원수에 대해 균일한 유량 분배가 이루어지도록 해야 한다.

부상지에서 수위의 유지는 매우 중요한 운전인자이며 특히 수집기를 이용하여 부상슬러지를 수집하는 경우에는 수집기의 수평상태의 유지에 만전을 기해야 한다.

가압탱크의 경우 지속적인 관리가 되어 압력에 의한 파손이 사전에 예방되어야 한다. 최대 허용 압력을 설정하여 자동제어장비 등이 작동하지 않을 경우에도 허용압력 이상을 넘지 않도록 자동감압밸브 등을 구비해야 한다.

부상지에 순환수를 유입시키는 노즐 등의 장치는 정기적인 점검을 통해 원수에 대해 균일한 유량 분배가 이루어지도록 해야 한다.

부상지에서 수위의 유지는 매우 중요한 운전인자이며 특히 수집기를 이용하여 부상슬러지를 수집하는 경우에는 수집기의 수평상태의 유지에 만전을 기해야 한다.

5.15 해수담수화

5.15.1 총칙

해수담수화란 바닷물에서 염분을 제거하여 먹는물로 만들어내는 것으로서 염분을 제거하는 일련의 공정을 이른다. 담수 수자원이 부족한 일부 해안지역과 도서지역 등 상수원 개발이 곤란한 지역에서 안정된 수원으로 해수를 이용하는 해수담수화시설을 도입함으로써 기후와 무관하게 상수를 안정하게 공급할 수 있다.

해수담수화시설의 특징으로는 기후에 좌우되지 않고 안정된 수량을 확보할 수 있고 댐의 개발에 비하여 비교적 단기간에 완성할 수 있으며 대규모 하천취수로 인해 발생할 수 있는 이해당사자와의 복잡한 조정이 적고, 수도사업자가 독자적으로 도입할 수 있다는 특징이 있다.

댐 개발에 의한 수원확보에서 얻어지는 수돗물의 생산에 비하여 전기요금이나 막교환비 등의 운전 관리비가 상대적으로 고가이며, 이 시설을 도입하기 전에 에너지 절약 대책이나 농축해수의 방류로 인한 생태계의 영향에 관한 대책 등의 환경측면에서의 대책을 고려해야 한다.

해수담수화시설은 해당 수도사업이 관할하는 지역의 물 수급계획을 합리적이고 경제적으로 만족시키는 수도사업계획 중에서 수립되어야 한다.

또한 장래의 수요예측에 대하여 확실한 수원확보대책으로 육수계 수원과 해수담수화 양쪽을 어떠한 방법으로 개발할 것인가를 선택하여야 한다.

해수담수화시설 도입과 시설규모 결정하기 위해 육수계 수원개발의 가능성 및 안정성과 그 전망

(갈수기의 대처방법 포함), 육수계 수원개발과 해수담수화로 생산된 물의 가격 비교 및 입지조건 상 호비교, 육수계 수원과 해수담수화시설의 종합적 운용방법 등에 관하여 종합적인 검토한다.

5.15.2 해수담수화방식의 선정

해수담수화방식은 원해수의 수질, 정수생산량, 정수수질의 관리목표값, 시설의 운전제어나 유지관리, 초기건설비 및 유지관리운전비 등을 고려하여 적절한 방식을 선정해야 한다.

해수담수화의 방식은 상의 변화 여부에 따라 나눌 수 있고 이를 다시 각각 세분화할 수 있으며 가장 널리 적용되는 방식은 증발법, 전기투석법, 역삼투법이다.

기술적으로는 증발법이 가장 일찍부터 실용화되었고 따라서 대규모의 해수담수화설비가 다수 건설되어 운영되고 있으며, 최근에는 에너지소비량이 적고 운전과 유지관리가 용이한 역삼투법이 이용되고 있다.

(1) 증발법

증발법은 해수를 가열하여 증기를 발생시켜서 그 증기를 응축하여 담수를 얻는 방법이다. 현재 실용화되어 있는 증발법은 다단플래시법, 다중효용법, 증기압축법의 3가지 방식이 있다.

에너지 소비량 및 증발효율의 증대를 위해 가열 및 감압 형식을 적용하고, 1차 사용된 열에너지가 수회에서 수십 회 재사용하도록 설계하여 효율을 극대화 한다.

증발법에서 각 방식의 장단점은 다음과 같다.

1) 다단플래시법

순차적으로 감압상태에 있는 관내에 과열 해수를 주입하여 자기증발된 수증기를 해수와 접촉하여 응축시키고 해수는 수증기에 의해 가열되는 원리이다.

장점: 대규모장치에 실적이 많다. 생산수의 수질이 탁월하다.

단점: 에너지 소비량이 많다. 부식의 방지가 필요하다. 처리수량의 조절이 용이하지 않다.

2) 다중효용법

증발장치가 연결되어 있어 발생된 해수의 수증기를 다음 증발장치의 해수를 가열하게 하고 수증기는 열을 빼앗겨 응축하는 원리를 이용한 방식이다.

장점: 중규모 장치에 실적이 많다. 생산수의 수질이 좋다. 폐열이용의 경우 유리하다.

단점: 에너지 소비량이 많다. 부식 방지가 필요하다. 최대 12중 효용장치가 한계이다.

3) 증기압축법

증발장치에서 발생시킨 해수 수증기를 압축에 의해 온도를 높인 후 같은 장치 내 해수의 가열 증발에 사용하고 수증기는 응축시키는 방식을 사용한다.

장점: 소규모 장치에 많은 실적이 있다. 장치의 이동설계가 용이하다.

단점: 에너지소비량이 높다. 대형 장치에 불리하다.

(2) 전기투석법

전기투석법은 이온에 대하여 선택투과성을 갖는 양이온교환막과 음이온교환막을 교차로 다수 배열하고 직류전류를 통과시킴으로써 투석막과 투석막 사이 공간에 농축수와 희석수를 교차로 분리시키는 것을 이용한 방법이다. 주로 기수의 담수화에 이용된다.

장점: 내압용기, 내압배관이 필요하지 않다. 온도변화에 대한 대응이 용이하다.

단점: 에너지 소비량이 많다. 대규모 장치가 불리하다. 해수담수화에 대한 실적이 적다.

(3) 역삼투법

역삼투법은 물은 통과시키지만 염분은 통과시키기 어려운 성질을 갖는 반투막을 사용하여 담수를 얻는 방법이다.

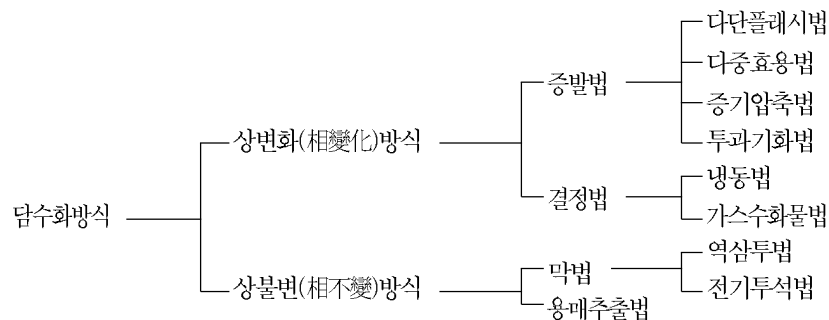
해수의 삼투압은 일반 해수에서는 약 2.4MPa(약 24.5kgf/cm²)이다.

이 삼투압 이상의 압력을 해수에 가하면, 반대로 해수 중의 물이 반투막을 통하여 순수쪽으로 밀려나오는 원리를 응용하여 해수로부터 담수를 얻는다.

장점: 근래 실적이 증가하고 있어 기술신뢰도가 높다.

에너지 소비량이 적다. 조작이 용이하다.

단점: 막의 내구성에 의한 문제가 발생할 수 있다. 압력용기, 내압배관이 필요하다. 해수의 전처리가 필요하다.



<그림 5.15.1> 담수화방식의 분류

<표 5.15.1> 공법별 적정 원수 농도 및 운전온도

담수화 공법	적용원수 농도(TDS mg/L)	운전 온도(℃)
증 발 법	30,000~500,000	35~120
역삼투법	500~50,000	동결온도 이상~40
전기투석법	500~3,000	동결온도 이상~65

5.15.3 역삼투 해수담수화시설

역삼투를 이용한 해수담수화시스템에서 가장 중요하게 고려해야하고 가장 빈번하게 문제가 제기되는 부분은 염저지율의 저하와 생산수 투과플럭스의 저하이다. 만일 염저지율의 감소, 즉 생산수중의 염분농도의 증가나 생산수 투과플럭스의 감소가 서서히 완만하게 진행되는 경우에는 보통의 막오염 또는 스케일링이 진행되고 있다고 고려하여 적절한 일반세정(CIP)으로 염저지율이나 투과플럭스를 회복시켜 유지할 수 있다. 일상적인 상태보다 빠르게 감소하는 경우이거나 급격한 감소를 보이는 현상이 일어나는 경우에는 설비운전상의 오류가 발생하였거나 설비의 결함이 있음을 암시한다. 운전상의 오류나 설비의 결함 중 어떠한 경우라도 가능한 빠르게 적절한 조치를 취하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 투과플럭스가 급격히 저하된 경우나 염저지율이 심하게 저하된 경우 그에 상응하는 조치가 지연됨에 따라 시스템의 성능을 회복시킬 수 있는 기회가 줄어들 뿐만 아니라 회복률이 필연적으로 감소하기 때문이다. 따라서 잠재되어 있는 문제점을 조속히 파악하기 위해서는 운전일지의 철저한 관리 및 기재가 필요하다. 또한 설비에 적용되는 모든 계측기는 적절하게 주기적으로 보정되어야 하며, 적정하게 동작할 수 있도록 설치조건을 충분히 검토하여 설치하여야 한다. 이는 막성능에 영향을 주는 다른 요인들(원수 수질, 막차압, 온도) 간에 복합적으로 상호영향을 주므로 겉보기상의 단일 계측값만으로는 막성능의 상태를 감지하기가 곤란하므로 원시데이터를 보정하여 저장한 후 저장값을 기준으로 막의 초기값과 대비하여 막의 성능을 평가하여야 한다. 해수담수화설비에서 원수의 특성이 부식성이 높은 해수 또는 기수이므로 계측기기의 센서의 장기간 안정적인 동작을 보장할 재질 선정에 특히 주의하여야 한다.

역삼투 해수담수화 시설용량은 계획1일 최대급수량을 기준으로 하고 도서지역 상주인구 및 관광객 등의 유입, 장래의 인구추이를 감안하여 결정한다.

상주인구의 1일 1인 평균 급수량과 관광객의 급수량 계산은 주변 환경 및 지리적인 여건 등을 종합적으로 조사하고 수요자의 요구를 충분히 조사하여 산정하여야 한다.

시설개량 또는 사고 등을 감안하여 예비능력을 갖도록 고려하여야 한다.

역삼투법에 의한 해수담수화시설은 원수설비, 조정설비, 역삼투설비, 방류설비로 구성된다. 이들 처리공정을 제대로 가동시키기 위한 약품주입설비, 기계·전기설비, 계측제어설비가 있다. 역삼투막법에 의한 해수담수화시설 구성도의 예를 상수도시설기준 <그림-5.20.3>을 참조한다.

또한 역삼투법 해수담수화시설의 일반적인 플랜트 구성도를 상수도시설기준 <그림-5.20.4>를 참조한다.

(1) 설비의 구성

역삼투막 담수화설비에는 해수의 취수 및 도수를 위한 원수설비, 허용탁도 이하의 해수를 공급하기 위한 전처리설비, 보안필터, 고압펌프, 역삼투막설비, 역삼투막세척설비 및 수조, 담수수조, 동력회수터빈 등으로 이루어진 역삼투설비, 막투과수의 pH조정이나 필요에 따라 경도를 조정하기 위한 수질조정설비, 담수를 혼합하는 설비, 조정설비에서의 세척배출수, 역삼투설비에서의 방류해수, 막세

척 및 보관액 배출수 등을 수집하여 처리를 한 다음 해역으로 방류하는 방류설비로 구성한다.

(2) 처리수질

생산된 물의 수질에 대해서는 보론과 트리할로메탄이 「먹는물 수질기준」에 적합하도록 유의한다. 해수에는 3~5mg/L 정도의 보론이 함유되어 있으며 역삼투막에 의하여 완전 제거되지 않고 1mg/L 정도가 생산수에 존재하게 되므로 별도의 보론처리장치가 필요하다.

해수담수화에 의한 생산수 중의 보론 농도를 저감시키는 방법으로는 수지흡착처리 또는 2단탈염법이 있다. 역삼투 생산수를 염소처리하면 브롬이온이 브롬산이온으로 산화되며, 트리할로메탄의 전구 물질과 반응하여 브롬계 트리할로메탄이 증가하기 때문에 총트리할로메탄 생성량이 증가한다. 따라서 혼합된 담수의 트리할로메탄 생성능이 높은 경우에는 이에 대한 대책을 강구해야 한다.

(3) 역삼투설비의 계열수

역삼투설비는 운전의 안정성, 유지관리의 용이성, 고장시의 대처 등을 종합적으로 고려하여 막의 교환이나 펌프 등의 시설보수 또는 점검정비 및 사고 등으로 인한 전면적인 운전중단을 방지하기 위하여 원칙적으로 2계열 이상으로 하고 일정한 예비용량을 확보하는 것이 바람직하다. 단, 시설용량 50m³/일 이하의 시설에서는 1계열로 구성하되 고압펌프 등 상시 가동되어야 하는 설비에 대해서는 필히 예비기를 확보하여 유지보수나 고장시에 대처토록 한다.

(4) 해수담수화시설의 설치장소

가능한 한 청정한 지하해수(지하관정수)나 청정한 원해수를 연속적으로 취수할 수 있고, 농축해수를 방류하는데 따른 환경영향이 최소화되는 지점을 선정한다.

(5) 에너지

일반적으로 담수를 사용하여 처리수를 얻는 경우보다 훨씬 비용이 고가이므로 에너지절약대책이 충분하게 마련되어야하고 또한 회수율이 최대가 되도록 하여야 한다.

(6) 부식방지, 안전대책 등

원해수나 생산수는 부식성이 높으므로 pH, 경도 조정설비, FRP관이나 염화비닐관 또는 폴리에틸렌라이팅관, 농축해수의 염분농도에 대처할 수 있는 각종 스테인리스강관 등의 내식성 재료를 사용해야 한다.

해수담수화시설은 주로 기계계와 전기계의 부품으로 구성되어 있으므로 각각의 부품에 대한 신뢰성뿐만 아니라 시스템으로서 높은 신뢰성을 확보하도록 고려해야 한다.

운전압력이나 막모듈의 차압, 막공급수의 수량, 수질(수온, TDS 등) 등을 감시해야 하며 이상시에는 경보표시와 함께 자동으로 정지될 수 있도록 해야 한다. 또 시설의 블록화로 고장난 부분을 교환하기 쉽도록 계획해야 한다.

5.15.4 원수설비

원수설비는 해수를 원수로서 취수하는 취수설비와 처리시설까지 원수를 이송하는 도수설비로 구성된다. 해수의 취수설비는 후속 플랜트 전체의 기능에 크게 영향을 미치기 때문에 취수방식과 위치 선정이 중요하다.

(1) 계획취수량

계획취수량은 필요한 생산수량에 역삼투설비의 회수율을 고려하고, 작업용수량과 그 외의 손실수량을 감안하여 결정한다.

$$\text{계획취수량} = (\text{필요생산수량} \div \text{회수율}) + (\text{작업용수량}) + (\text{그 외의 수량})$$

(2) 취수방식과 취수지점

1) 취수방식

취수방식은 계획취수량, 입지조건과 플랜트의 규모를 고려하여 결정해야 한다. 일반적으로 대규모 취수방식으로는 깨끗한 해수를 취수할 수 있는 심층취수방식을 사용하고, 중소규모의 취수에는 해안 구조물이나 해안에 지하관정을 이용한 취수방식을 사용한다. 해수를 직접 취수하는 대규모 시설에서는 부유물 및 부착물들의 유입을 방지하기 위하여 해저의 취수구를 상향으로 하거나 염소를 주입하기도 한다. 일반적으로 깨끗한 해수를 취수할 경우에는 관내에 생물부착의 영향을 고려하여 환경이 큰 취수배관을 사용하고 있다. 중소규모시설에서 지하 관정방식을 적용할 경우 해수보다 부유물질의 농도가 낮고, 염분농도가 다소 낮은 원수를 취수할 수 있으므로 전처리시설의 부하를 줄일 수 있고 고압펌프의 동력비를 줄일 수 있는 등의 이점이 있다. 취수방법의 예를 상수도시설기준 <그림-5.20.7>에 나타난 예를 참조한다.

2) 취수위치

취수구는 연중 깨끗한 해수를 취수할 수 있는 지점을 선정한다. 적절한 취수지점을 선정하기 위해서는 해저부의 지형 및 지질, 기상, 수질 및 해저생물, 생물군, 지반, 사회환경 등을 고려하여야 한다.

해역에서 직접 취수하는 경우에는, 수온과 수질이 안정된 중층에서 취수하는 것이 바람직하다.

복류수 취수나 지하관정취수인 경우에는 토양의 자연여과작용으로 부유물질이나 콜로이드가 적으므로 상대적으로 청정하나 토양 중에 포함된 성분이 수중에 용출되거나 오염폐수가 침입할 가능성이 있으므로 주의를 요하며 특히 수량의 안정된 확보여부를 면밀하게 사전에 조사하여야 한다.

(3) 취수설비의 보호 및 대책

해수와 접촉하는 취수구, 취수로, 취수조, 취수펌프 등은 해서생물의 부착, 모래나 슬러지의 부유 및 침강에 따른 장애, 파랑에 의한 설비손상 등을 방지하기 위해 설계에 유의해야 한다.

부착생물에 대한 대책으로 약품을 적용할 수 있다. 특히 염소계 약품을 사용할 경우 이들 산화제에 의한 역삼투막의 열화가 일어나지 않도록 주의하여야 한다.

취수구에는 부유물과 협잡물 등이 유입되지 않도록 방호울타리나 유입방지스크린을 설치하고 취수조에 유입된 협잡물을 제거할 수 있도록 협잡물제거기를 설치하며 취수구로부터 모래 유입이나 저질 부상에 의한 유입이 예상되는 경우에는 침사지를 설치하는 등의 대책을 강구하여야 한다.

(4) 도수설비

도수설비는 침사지와 전처리설비 사이에 물을 이송하는 설비이다. 해수에 대한 내식성 재료를 선택하고 부착생물이나 퇴적된 모래가 용이하게 제거되도록 해야 한다.

5.15.5 전처리설비

(1) 전처리설비의 기준

탁질 등 불순물을 제거시킨 해수를 막에 공급할 수 있도록 전처리설비에서 처리하는데, 막에 요구되는 공급수의 청정도를 나타내는 SDI(silt density index) 또는 FI(fouling index)가 막의 종류에 관계없이 4.0 이하가 되도록 안정적으로 처리할 수 있는 설비로 한다(SDI 또는 FI는 시설기준 참조).

(2) 전처리방식

전처리방식은 원해수 중의 탁도에 따라 적절한 방식을 선정한다.

응집침전여과방식, 직접응집여과방식, 무약품주입 여과방식, 해안우물방식 등이 적용될 수 있다. 응집제를 사용하는 경우에는 염화 제2철을 사용하는 것이 바람직하다.

해수의 pH는 7.7~8.2로 높고 탁도가 낮아서 쉽게 응집되지 않으므로 넓은 응집역을 가지며 단단하고 침강성이 좋은 플록을 생성하는 염화 제2철을 표준으로 한다.

여과의 경우 일반적으로 처리수 수질의 안정성과 유지관리의 용이성의 이유로 1차 및 2차여과의 2단여과가 많이 사용되고 있다.

최고탁도의 원해수의 경우에도 처리할 수 있도록 계획한다.

여과층 구성은 2층여과가 많이 사용하며, 여과방식은 중력식과 압력식을 적용할 수 있다.

1차여과에서 여과속도는 중력식 120~240m/일, 압력식 240~480m/일로 운전하는 것이 일반적이다.

중력식은 여과속도가 작으므로 설치면적이 커지지만 유지관리가 용이하고 여과펌프의 동력이 적으며 처리수의 수질이 압력식에 비하여 약간 양질인 것이 특징이다.

2차여과기는 역할은 1차여과기의 세척 직후에 일시적인 탁도상승의 억제, 응집제 과잉주입에 의한 탁도 상승의 억제 및 1차여과기에서 누출되는 응집제나 탁질의 포착을 위한 설비이다.

따라서 2차여과기는 1차여과기보다 입경이 작은 여재를 사용한다. 여과속도는 중력식 180~300m/d, 압력식 360~600m/d로 한다.

(3) 여과수조

여과수조는 전처리 여과설비를 세척 중에도 막모듈에 안정적으로 해수를 공급할 수 있도록 충분한 용량을 가져야 하며 외부로부터 오염되지 않는 구조이어야 한다.

여과수조는 후단의 역삼투설비 공급수 외에 막모듈의 물세척용수 및 전처리의 1차여과기와 2차여과기의 세척용수 공급조로서 역할을 한다.

여과수조는 여과기를 세척하는 중에도 막모듈에 안정적으로 원해수를 공급할 수 있는 충분한 용량을 갖게 하며, 생물오염(bio-fouling)을 방지하기 위하여 밀폐구조로 하고 환기구 등은 외부로부터 오염을 방지할 수 있는 구조로 한다.

5.15.6 역삼투막 및 막모듈

역삼투막 및 막모듈의 종류는 처리성, 내구성, 내약품성 등을 고려하여 선정하며 막의 종류에 따라 특성이 다르므로 미생물의 영향이나 스케일생성을 방지하기 위한 적절한 대책을 강구해야 한다.

(1) 역삼투막

역삼투막의 재질은 천연펄프를 원료로 한 셀룰로오스아세테이트계(CA계)와 합성물질의 2종 이상의 재료를 합성가공한 폴리아미드계(PA계)의 두 종류로 크게 나눈다.

재질에 따른 특성은 다음과 같다.

1) 염분제거율

PA계막과 CA계막에 의한 탈염성능의 차이가 적다.

2) 온도의존성

온도가 높을수록 물의 투과율과 염분투과율 모두 커지는 경향이 있다. 일반적으로 이러한 경향은 PA계막이 CA계막에 비하여 크다.

3) 내염소성

PA계막은 염소 등의 산화제에 대한 내성이 거의 없으므로 막공급수의 잔류염소가 존재하면 막이 산화되어 열화하기 때문에 환원제를 주입하여 잔류염소를 제거해야 한다.

환원제로는 중아황산나트륨(SBS로 3~10mg/L)이 필요하며, 탈염소처리를 확실하게 하기 위하여 이종의 주입설비를 설치하는 것이 바람직하다.

CA계막도 염소농도가 높으면 막의 산화로 인하여 열화되기 때문에 잔류염소는 가능한 한 낮을수록 좋으며 잔류염소를 감시할 필요가 있다.

4) 막의 미생물에 의한 오염 방지

CA계막과 PA계막은 생물학적 오염과 스케일부착 특성이 다르며 또한 오염을 방지하기 위한 약품에 대한 특성도 다르므로 오염방지를 위해서는 막의 물리화학적 특성을 면밀하게 살펴야 한다.

PA계 막은 재질적으로 미생물에 의한 침식을 받지 않지만, 산화제에 의한 내구성이 약하기 때문에 막공급수 중의 잔류염소를 완전히 제거하지 않으면 안 된다.

그러나 막모듈에 잔류염소가 없으면 미생물 등에 의한 유기성 오염물질이나, 흡착물질에 의한 오염이 발생하기 때문에 환원제 등을 이용하여 살균과 화학세척을 정기적으로 실시하여야 한다.

CA계 막은 막 재질 그 자체가 박테리아 등의 미생물에 의해 침식되기 쉽기 때문에 염소 등의 살균으로 미생물의 번식 등을 방지해야 하지만, 소독부산물인 생성될 수 있으므로 수도로서는 클로라민 등의 살균제로 대체 사용할 필요가 있다.

일반적으로 CA계막의 공급수는 잔류염소를 0.1~0.4mg/L로 유지함으로써 미생물 번식을 방지할 수 있다.

PA계막은 염소계살균제(산화제)를 사용할 수 없으므로 염소에 비하여 약간 살균효과가 낮은 중아황산나트륨(SBS)이나 황산 등의 살균제를 간헐적으로 사용한다.

해수에서 스케일성분 중 문제가 되는 물질은 농축과 pH의 변화로 막면에 석출되어 막기능을 손상시키는 탄산칼슘과 황산칼슘, 철과 망간 등의 물질이다.

탄산칼슘(CaCO_3)의 경우 PA계막에 대해서는 pH 7.0 이하로 제어함으로써 스케일부착을 방지할 수 있다.

CA계막에 대해서는 스케일방지와 가수분해에 의한 열화 방지를 위해 pH 6.5 이하로 조정할 필요가 있다.

막의 허용 pH는 PA계막 2~10 정도이고 CA계막 3~8 정도이며 지나치게 낮은 pH는 장치의 부식을 일으킬 수 있다.

CaCO_3 · 스케일이 발생하였는지의 판정은 농축수측의 랑겔리아지수(LSI)를 계산하여 판정하고, LSI가 음의 값이 되도록 조정한다.

통상 운전시의 pH는 PA계막에서 6.0~7.0 정도, CA계막으로서는 5.5~6.5 정도로 조정하는 것이 일반적이다.

황산칼슘(CaSO_4)에 의한 스케일방지를 위해 회수율을 적절히 유지하고 스케일이 생기지 않는 농축범위로 운전하는 것이 일반적이다.

철 및 망간의 농도가 높은 경우에는 염소 등으로 산화시킨 다음 침전과 여과로 제거한다.

5) 트리할로메탄 제거능력

PA계막의 트리할로메탄 제거율은 90% 이상이나 CA계막에서는 제거가 거의 되지 않는다.

6) 유기물 제거성

CA계막은 유기물 제거성이 낮고 PA계막은 유기물 제거성이 높다.

7) 압밀화

PA계막은 비교적 단단한 지지층을 가져서 압밀화되기 어렵다. CA계막은 PA계막에 비하여 압밀화가 약간 크며 특히 운전초기 수백시간 이내에 빠르게 압밀화가 진행된다.

막이 공급수의 압력으로 압밀화되면 막면에 오염물질이 부착되면서 투과수량이 감소된다.

(2) 막모듈

역삼투막과 그 지지체, 생산수나 농축해수를 통과시키는 유로재를 일체화하여 압력용기에 장착되도

록 성형가공한 것을 막엘리먼트라고 하며, 압력용기와 접속부품을 포함한 전체를 역삼투막모듈이라고 한다.

막모듈에는 막엘리먼트의 구조에 따라 중공사형과 나권형의 두 가지가 있고 통수방식은 역삼투막인 경우 외압식으로 되어 있다.

막투과 수량과 수질은 수온, 운전압력, 회수율, 공급해수의 염분농도, 그리고 막모듈의 경년열화나 외부원인에 따라 다르다.

막투과수질에 관한 막모듈의 성능은 염분배제율(R) 또는 염분투과율($1-R$)로 나타낸다.

1) 해수온도

해수온도가 높게 되면 염분투과율이 증가하여 투과수의 염분농도가 상승한다. 온도변동 1℃에 대하여 2.5~3.0% 정도의 막투과수량 증감이 있다.

2) 운전압력

막공급수의 수온, 수질 및 회수율을 일정하게 운전하면 막투과수량은 운전압력에 거의 비례하여 증감한다.

3) 회수율

회수율을 높이면 일정량의 막투과수량에 대해 막공급수량이 감소한다.

농축으로 인한 막면 스케일생성과 막엘리먼트의 종류에 따른 운전압력 및 막면유속, 막투과수의 수질목표값 등의 제한조건에 의해 회수율의 최대값이 결정된다.

4) 염분농도

운전압력과 회수율 및 수온 등의 운전조건을 일정하게 하는 경우 막투과수량과 수질은 막공급수의 염분농도에 따라 변한다.

막공급수의 염분농도가 높게 되면 회수율을 높게 하는 경우와 같은 이유로 막투과수의 염분농도가 높게 된다.

5) 경년열화

일반적으로 막투과수량의 감소와 염분제거율의 저하로 나타나는 막모듈의 성능저하는 막의 압밀화, 화학물질, 미생물번식 등에 의한 열화 및 온도나 압력 등에 의한 변형이나 폐색과 같은 기계적·물리적인 외부요인에 의한 열화의 결과이다.

막의 열화는 취수수질, 전처리공정, 약품주입 및 운전방법 등에 따라 다르며 일시적 운전정지상태에서 열화가 가속될 수 있다.

5.15.7 역삼투설비

역삼투설비는 보안필터, 고압펌프, 동력회수터빈, 역삼투막설비, 담수수조 등으로 구성된다.

장치는 유지관리 및 고장수리 등이 원활하고 용이하도록 제품이 선정되어야 하고 적절한 위치 및 여유공간이 확보되어야 한다.

(1) 보안필터

보안필터는 고압펌프와 역삼투막모듈에 이물질이 침입하지 않도록 조정하는 설비로서 전처리한 청정한 해수에 혼입된 미세한 이물질을 저지하기 위해 고압펌프의 흡입측 공급수 배관계통에 설치하는 장치이며 경제성과 안전성을 고려하여 선정한다.

재질로는 폴리에틸렌, 나일론 등의 합성수지가 사용되고, 10~20 μ m 이하의 필터 눈 크기를 적용한다.

여과저항은 되도록 작게 운전하여야 하는데 보통은 초기차압 15~30kPa(0.15~0.3kgf/cm²), 운전한 다음 최대차압은 100kPa(1kgf/cm²) 정도이다.

(2) 고압펌프

역삼투막모듈의 공급수측에 고압펌프에 의해서 삼투압이상의 운동압력(4.9~6.9MPa(50~70kgf/cm²))를 가함으로써 해수에서 염분을 제거한다.

고압펌프는 장기간 정부하로 연속 운전되기 때문에 높은 신뢰성과 내구성이 요구된다.

비교적 낮은 pH값에 조정된 부식성의 해수를 취급하기 때문에 내식성이 뛰어난 재료로 제조하는 것이 바람직하다.

효율과 내식성이 좋은 기종으로 하며 시설규모 등에 따라 형식을 선정한다.

소형의 펌프는 왕복펌프나 회전펌프 등의 정량펌프와 고속원심펌프가 사용되고 대형의 경우에는 벨류트펌프가 사용된다(상수도시설기준 <표-5.20.5> 참조).

운전압력은 회수율 30~40%, 수온 30℃ 이하에서는 5~6.5MPa(50.3~65.4kgf/cm²)가 일반적이다.

수온이 낮은 경우에는 운전압력을 높게 하여 투과수량을 확보하며, 20℃ 이하의 수온에서는 6~7MPa(60.4~70.4kgf/cm²)의 운전압력이 적용된다.

일반적으로 생산수량의 조정은 계획생산수량의 수%~10% 범위 내에서는 운전압력 조정으로 대처하며, 그 이상인 경우에는 막모듈의 수를 조정하여 생산수량을 조정한다.

급격한 수요량 변동에 따른 생산수량의 조정은 시설운전 유닛의 수로 대처한다.

고압펌프의 소요동력 P_d 는 다음 식에 의해서 산출된다.

$$P_d = \frac{0.613 \cdot p_f \cdot H_f \cdot Q_b}{n_p \cdot n_m \cdot Y} \text{ (kW)}$$

H_f : 고압펌프토출압력(운전압력) (m)

Q_b : 투과수량(m³/min)

p_f : 공급수의 단위체적질량(해수의 경우 1.03kg/l)

n_p : 펌프효율

n_m : 펌프구동용의 전동기, 계수 등의 기계효율(통상의 경우 1.0)

Y : 회수율

(3) 동력회수터빈

역삼투막모듈에 공급되는 수량의 30~40% 정도가 생산수인 담수로 생산되고, 나머지의 60~70%가 농축해수로서 배출된다. 이때 급수측 압력은 통상 5.4~6.4MPa(55~65kgf/cm²)이고, 농축수측 출구에서도 아직 4.9~5.9MPa(50~60kgf/cm²) 이상의 압력이 존재한다.

동력회수터빈은 이 농축수의 압력에너지를 수거해 회전력과 같은 형태의 기계에너지로 변환하여 회수하는 장치이다. 이와 같이 회수된 에너지는 고압펌프를 가동하는 전동기의 보조동력으로 이용한다. 동력회수터빈은 농축수의 압력에너지를 수차에 의한 기계에너지로 변환하여 회수하는 장치이며 회수된 에너지는 고압펌프를 구동하는 전동기 보조동력으로 이용된다. 보통 용량이 커질수록 회수효율이 커지며 소형의 설비에서는 경제성이 낮아 적용하지 않는다.

동력회수터빈에는 펄슨형, 역전펌프형(프란시스형), 터보차아저형 등이 사용된다.

형식을 선정할 때에는 효율 및 특성, 운전조작성, 유지관리의 용이성, 경제성 등을 고려하고 신뢰성과 내구성도 고려해야 한다.

에너지회수에 의해서 얻어지는 동력 P_r 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_r = 0.163 \cdot \rho_b (H_b - H_o) Q_b (1/Y - 1) \cdot \eta_t (\text{kW})$$

H_b : 농축수의 압력(동력회수터빈입구압력)(mAq)

H_o : 동력회수터빈 출구압력(mAq)

ρ_b : 농축수의 단위부피당 질량(해수담수화로서는 1.04~1.05kg/l)

η_t : 에너지회수 장치의 효율

Q_b : 투과수량(m³/min)

Y : 회수율

일반적으로 H_b 및 $(H_b - H_o)$ 는 다음 값이 된다.

$$H_b = H_f - (15 \sim 50)$$

$$H_b - H_o = H_b - (15 \sim 40)$$

(단, 펄슨형 동력회수터빈을 사용하는 경우에는 $H_o = 0$ mAq가 된다)

H_f : 고압펌프토출압력

(4) 드로백 수조

고압펌프가 정지하면 투과수가 역류하는 현상이 발생하고 투과수량이 부족할 경우 공기가 혼입하므로 이것을 방지하기 위해 드로백 수조를 설치한다. 드로백 수조의 용량은 드로백 양과 운전정지하였을 때의 막모듈 내의 치환수량을 공급할 수 있는 양 정도로 한다.

(5) 막모듈의 세척 및 보존

운전이 진행되면서 막오염에 의해 막 투과량의 감소 또는 운전압력의 상승(막차압의 상승)을 초래하므로 막 오염의 정도와 오염상황에 따라 고속류의 저압플러싱(flushing), 산 또는 알칼리제를 사

용하여 막을 세척한다.

1) 플러싱은 투과수를 $0.2 \sim 2\text{MPa}$ (약 $2.02 \sim 20.2\text{kgf/cm}^2$)의 비교적 저압력으로 공급하여 오염물질을 씻기게 하는데 보통 5~10분간 정기적으로 플러싱한다.

2) 약품세척

급격하게 막의 투과수량이나 수질이 저하되고, 막모듈의 압력손실이 증가하는 경우 산으로 세척한다. 세척액은 일반적으로 1~2% 정도의 구연산이 사용되며, 암모니아수로 pH 2~4 정도로 조정한다.

유기물로 오염된 경우에는 수산화나트륨 등의 알칼리제를 사용한다.

약품세척 전후에는 반드시 투과수로 플러싱을 해야 하며, 세척액은 계의 밖으로 배출시킨다.

약품에 의한 막세척은 막간차압이 200kPa (약 2kgf/cm^2) 이상, 또는 초기(세척시) 차압의 1.5배 정도가 되면 실시한다(상수도시설기준 <표-5.20.7> 참조).

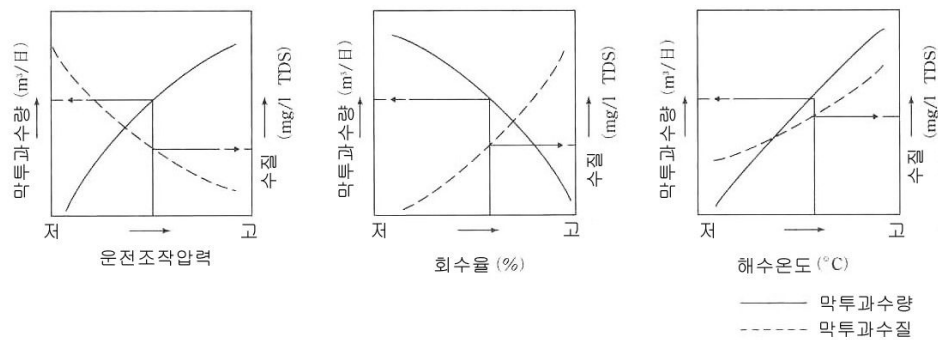
3) 장기보존

장기간의 운전정지시 미생물의 번식을 방지하고 막의 건조를 막기 위해 역삼투설비의 내부를 막투과수로 씻어 흘려보내고 중아황산나트륨용액 등의 보존액을 막모듈에 봉입하여 보관한다.

(6) 운전조건의 조정

공급수의 공급조건이나 역삼투설비의 운전조건의 변화에 의해 막모듈개수가 일정한 때의 막투과수의 수량 및 수질은 <그림 5.15.2>와 같이 변화한다.

일반적으로는 설계조건의 압력으로 운전하면 좋지만, 원수의 상황이나 생산수량의 증감 등에 의해서 운전조건을 조정하여 제어해야 한다.



<그림 5.15.2> 운전조건과 막투과수량·수질과의 관계를 나타낸 모식도

① 운전압력의 상승

운전압력을 상승시키면 투과수량이 늘어나 염분배제율도 상승하지만 막의 압밀화가 진행된다.

② 회수율의 증가

회수율을 높이려고 하는 경우에는 농축수축의 유량을 조정하여 제어해야 하지만 회수율을 너무 올리면 스케일의 발생이나 막투과수의 수질 저하가 일어난다.

③ 공급수의 온도상승

온도가 상승하면 막투과수의 수량은 늘어나지만 수질은 악화되기 때문에 운전압력을 조정하여 제어하는 경우가 많다.

투과 수량과 수질은 막의 특성, 해수온도, 염분농도, 막의 열화에 의한 성능변화 등의 요인에 의해 변화한다.

이러한 요인을 고려하여 압력 및 유량의 운전조건을 조정하여 제어하기 위한 목적으로 하는 생산수가 얻어진다.

(7) 생산수량의 조정

막투과수량 및 수질은 역삼투설비의 운전압력, 공급수량 및 회수율의 조절에 따라 한정된 범위가기는 하지만 변경할 수 있다.

이 외에 막모듈 자체가 해수의 온도 및 농도의 영향을 받아 막투과수량 및 수질이 변한다.

그러나 운전압력과 회수율을 바꾸는 것에 의해 생산수량을 조절하는 것은 고압펌프의 효율저하를 초래하기 때문에 대폭적인 변동은 전체로서 효율적이지 못하다.

일반적으로 계획생산수량의 수%~10% 정도의 증감에 대하여는 운전압력의 조정으로 가능하며, 이상의 경우에는 막모듈수를 조정하여 생산수량을 조정한다.

또한 급격한 수요량의 변화에 따른 생산수량의 증감에 대하여는 시설의 운전 유닛(unit)수를 조정하여 대처한다.

따라서 계획당시의 수온 변동, 수요량 변동 등을 파악하여 높은 효율로 시설이 가동될 수 있도록 운전방법을 검토하는 것이 중요하다.

(8) 운전 중의 유지관리

막모듈은 역삼투법의 심장부에 해당하는 부분으로 일상적인 운전관리를 정확하게 하는 것이 무엇보다 중요하다.

막모듈의 관리에는 수량, 수질, 수온, 운전압력, 압력손실의 점검 외에 전체의 성능을 파악하기 위한 수량·수질과 함께 회수율과 염저지율을 산출해야 한다.

운전 중에 특히 주의해야 할 사항으로서는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 막모듈공급수의 pH값, 잔류염소농도, SDI값의 확인
- ② 슬라임이나 스케일의 부착에 의한 압력손실의 상승
- ③ O-ring, 농축 seal 손상에 의한 막투과수질의 이상
- ④ 막의 열화에 의한 막투과수질의 이상
- ⑤ 공급수의 온도에 의한 막투과수량·수질의 변동

막모듈에서의 막투과수의 수량·수질, 압력손실은 운전시간과 같이 서서히 변화한다.

그러나, 급격한 변화가 있는 경우에는 개개의 막모듈의 수질을 측정하여 이상이 있는 막모듈 및 막 엘리먼트를 확인한다. 막공급수의 부적합에 의해서 생기는 막오염과 같은 경미한 사항은 막모듈

의 세척을 통해 성능이 회복되기도 한다. 개개의 막모듈의 갑작스런 성능저하는 막 엘리먼트의 접속 부에서 농축수의 누출에 의한 것이 많다.

장기간의 운전에 의한 막면의 오염물질의 축적이나 조정설비의 처리 불량에 의해 생기는 막의 오염을 제거하는 경우, 혹은 장기간 정지·보관할 때에 막모듈의 세척을 실시한다.

막모듈의 현저한 열화나 성능저하가 있는 경우에는 막모듈의 교환이 필요하다. 막모듈의 유지관리의 확실성이나 안정성 확보를 위해서 다음 경보지시, 자동정지의 시퀀스회로를 설치하는 것이 바람직하다.

- ① 운전압력의 이상
- ② 막공급수질의 이상(막모듈의 종류에 의해서 특유의 관리항목이 있다)
- ③ 계측제어공기압력의 이상
- ④ 고압펌프, 전동기, 동력회수터빈의 이상
- ⑤ 막투과수량의 이상
- ⑥ 막투과수질의 이상
- ⑦ 농축해수량의 이상
- ⑧ 막모듈차압의 상승
- ⑨ 약품주입설비의 이상

(9) 막 투과수의 수질 조정

막투과수는 pH 및 경도가 낮기 때문에 필요에 따라 포기를 이용하여 유리탄산을 제거하거나 석회 등의 칼슘이나 수산화나트륨을 첨가 또는 석회석을 접촉하여 랑겔리아지수를 조절한다. 적당한 혼합수를 얻을 수 있는 경우에 가장 간단한 방법으로써 다른 육수와 혼합하여 수질을 조정하기도 한다. 브롬이온의 농도가 높을 경우 염소소독부산물로써 브롬산이온이 발생할 수 있으므로 유의해야 한다.

5.15.8 방류설비

방류설비는 배출수처리설비와 농축해수 등의 방류설비로 구성된다.

배출수는 운전 중 역삼투설비로부터의 농축해수가 대략 90%를 차지하고 그 밖에 조정설비의 여과기 세척배출수, 초기 기동시 배출되는 막보관액, 막모듈세척액의 배출수, 기타 설비에서의 배출수 등이 있다. 배출수는 방류해역의 해수에 비하여 염분농도가 높으므로 해생생물에 대한 영향이 적도록 위치 및 방식을 선정해야 한다.

(1) 배출수처리설비

배출수는 배출수기준 이하가 되도록 pH조정, 포기처리, 중화 등의 처리를 하여야 하며 농축해수와 혼합하여 방류하는 것이 바람직하다. 배출수처리의 대상으로 되는 것은 여과기의 역세척배출수와 역삼투설비로부터 배출되는 막보관폐액의 배출수, 쇼크트리트먼트할 때에 농축해수의 배출수와 막모듈

의 세척배출수이다. 각 공정에서 배출되는 배출수의 수질은 공정별로 적지 않은 차이를 보이므로 그에 적합한 처리방법을 선택하여 처리하여야한다. 이들 배출수처리공정의 예는 상수도시설기준 <그림 5.20.9>를 참조한다.

1) 여과기의 역세척배출수처리

여과기의 역세척에 의한 배출수는 응집, 침전, 농축, 탈수의 공정을 거쳐서 처리한다.

상징수는 농축해수 등의 배출수와 함께 방류한다. 농축슬러지는 탈수처리하여 처분하지만, 슬러지에 염분이 포함되어 있으므로 처분장의 선정시 고려해야 한다.

2) 역삼투설비에서의 배출수처리

역삼투설비에서의 배출수는 pH, COD, SS 등이 방류기준을 벗어나고 유기물이 많은 배출수이므로 방류기준이해가 되도록 적절하게 처리한다. 처리방법은 세척폐액의 저류조와 처리조에서 pH조정, 포기처리, 중화제 등으로 처리하고 농축해수와 혼합하여 방류하는 것이 바람직하다.

3) 농축해수

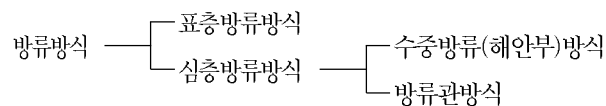
농축해수에 대해서도 잔류염소, COD, pH 등 필요에 따라 수질을 조정한다.

(2) 방류방식 및 방류위치

방류해수는 자연해수에 비하여 고농도로 염분이 농축되어 있으므로 방류방식이나 방류위치는 방류량이나 해역의 상황 등을 고려하고 방류해수가 방류해역의 생태계에 미치는 영향이 작은 방식과 위치를 선정한다.

방류가 이루어지는 지점의 환경을 조사하고 해당 생태계에 미치는 영향에 관하여 예측할 필요가 있으며, 필요에 따라 사전과 사후의 일정한 기간동안 조사를 계속해야 한다. 해역에 방류되는 배출수는 주위의 해수보다 염분의 농도가 높아 밀도가 크기 때문에 방류 후에 해수 중 거동이 다르므로 방류 직후에 빠르게 주변 해수와 혼합·희석되도록 해야 한다. 수리모형실험 등으로 방류해수의 확산을 예측하고 방류속도와 방류각도 등에 대하여 실증하여 방류설비를 설계하는 것이 바람직하다.

1) 방류방식: 방류방식은 다음과 같이 분류된다.



<그림 5.15.3> 배출수 방류방식

① 표층방류방식

해안에 방류구를 설치하고 해역의 표층에 방류하는 방식이다.

방류초기의 혼합영역에서는 방류구보다 하층의 해수가 혼입되어 희석되고 해수면부근으로 수평 확산되면서 서서히 침강하여 해저에 도달한다.

약간의 해수 혼입으로 희석되지만, 그다지 큰 희석효과는 얻지 못한다.

② 심층방류방식

해저 가까이에 방류관을 설치하고 상향류로 방류하거나 또는 호안의 하층에서 수중에 방류하는 방식이다.

배출수가 밀도차에 의한 부(-)의 부력으로 저층까지 도달하는 사이에 주위해수가 혼입되어 희석된다.

방류설비는, 염해를 받기 쉽기 때문에, 보수점검도 이 점에 충분히 주의하여 실시한다.

특히, 해저에 설치한 방류구, 방류관 등은, 바다생물의 부착, 사니의 침강에 따르는 장애, 파랑에 의한 설비의 손상 등을 받는 것이 많아서, 그 대책을 생각해 놓아야 한다.

해저에 설치된 방류구나 방류관은, 1년에 1회 정도 잠수작업으로, 설치 지점의 해저 상황, 설비의 부설 상황, 생물의 부착 상황, 방류수의 분출 상황 등에 관해서 충분한 점검 및 정비를 하는 것이 절대 필요하다.

5.15.9 염삼투 해수담수화설비의 점검사항 및 조치

<표 5.152> 염삼투 담수화설비의 점검사항 및 조치

항목	점검주기	원 인	대 책
투과수량 저하	수시/일	운전조건이 부적절 1) 압력이 낮을 경우 2) 유량설정이 불충분할 경우	1) 전처리필터 교환 2) 압력 조정 3) 유량 조정
		역삼투막이 오염되었을 경우	1) 역삼투막모듈 세정 (플러싱 또는 약품세정) 2) 전처리장치 조정
저지울 저하	1회/일	O링, U파킹이 파손되어 누수되었을 경우	O링, U파킹 교환
		부적절한 운전조건 1) 압력이 낮을 경우 2) 유량설정이 불충분할 경우	1) 전처리필터 교환 2) 압력 조정 3) 유량 조정
		역삼투막이 오염되었을 경우	1) 역삼투막모듈 세정 2) 전처리장치 조정
		막이 노화되었을 경우	1) 역삼투막모듈 교환 2) 전처리장치 조정
압력손실 증대	수시/일	1) 역삼투막모듈이 오염되었을 경우 2) 유량이 너무 클 경우 3) 투과수량이 저하되었을 경우	1) 전처리장치 조정, 역삼투막모듈 약 품세정 2) 유량 조정
기타 역삼투막모듈 파손	2회 이상/일	1) 조작실수에 의해 압력이 증대 되었을 경우(공급수측, 생산수측) 2) 압력손실이 클 경우	역삼투막모듈 교환

5.15.10 기계·전기·계측제어설비

역삼투설비에 사용되는 기계설비로는 주로 펌프류(동력회수터빈을 포함)와 배관류 및 부속설비가 포함된다. 이들 설비에 사용되는 재료는 내식성 및 경제성을 고려하여 선정해야한다. 중요한 문제이지만 내식성을 중시하여 너무 고급의 재료를 사용하면 가격이 비싸게 된다. 각 공정마다 그 사용환경을 검토하고 적절한 재료 또는 라이닝(lining)법을 선택한다.

(1) 부식 및 염해 방지대책

펌프설비의 고장은 시설 전체의 운전에 영향을 미치므로 안정적으로 운전할 수 있도록 재료선정에 서부터 각 설비의 운전과 점검방법에 이르기까지 면밀한 검토가 필요하다. 펌프는 내식성이 있는 스테인리스강(SCS 14), 스테인리스강(STS 316, 316L)이나 2상(二相)스테인리스강 등으로 제작되는 경우가 많다. 약품주입펌프는 정량식 펌프인 다이어프램 펌프가 많이 사용된다.

장기간 정지시키는 경우에는 스테인리스강에 대한 부식성이 강하기 때문에 펌프 선정시 유의해야 한다.

저압관로에는 내식성이 뛰어나고 염가인 고분자재료나 탄소강관(SCP)에 고무 또는 염화비닐 등의 라이닝을 입힌 것이 대부분 사용된다.

고압관로에는 스테인리스강(STS 316계)이 사용된다. 밸브류(특히 고압관로)는 라이닝하기 어려우므로 내식성이 있는 재료로 제작된 제품을 사용하며, 사용상태(온도, 유량, 압력, 사용목적, 부식환경, 유체의 종류)를 조사하여 적절한 것을 선정한다.

(2) 진동에 대한 대책

고압펌프의 기동·정지시에 발생하는 수격현상은 막에 나쁜 영향을 미치므로 수격현상의 발생방지를 강구해야 한다. 고압펌프와 제어밸브 등으로부터 발생하는 진동을 억제하기 위하여 다음 사항에 유의한다. 또한 진동에 의해 압력계 및 유량계 등의 계측장비의 작동이 제한을 받을 수 있으므로 이에 대한 적절한 방지대책이 필요하다.

- 1) 제어밸브의 형식은 밸브 본체의 진동이 극히 작고 마모의 우려가 없는 제품을 선정한다.
- 2) 제어밸브의 개방도가 작은 곳에서 상시 운전하는 경우가 없도록 막의 특성(온도조건 등)을 충분히 고려한 고압펌프를 선정하여 배관을 계획한다.
- 3) 고압펌프와 역삼투장치의 운전대수는 항상 1대 1로 하는 것이 바람직하다. 밸브의 개폐를 통해 유량제어하는 것은 최소한으로 억제한다.
- 4) 배관지지구는 충분히 강도가 있고 진동을 흡수할 수 있어야 한다. 부착위치는 배관굴곡(bend) 부나 밸브 주변 등 진동이 발생하기 쉬운 지점 부근이 바람직하다. 고압가변성 조인트 등에 의한 진동의 흡수도 유효하다.

(3) 설비로부터의 비상시 배수

가동률이 저하되거나 점검보수 등으로 인하여 물이 장기간 체류되거나 수질악화가 예상되는 경우에는 배수하는 등의 필요조치를 강구할 수 있는 구조로 한다.

대규모 시설에서 저가동률로 운전하는 경우 헤더(header)배관 등에서의 물의 체류시간이 길어지게 되며, 특히 단말부에서의 수질악화가 우려되므로 물빼기 또는 순환배관을 설치하는 것이 바람직하며, 여과기는 전부를 통수하여 운전하도록 한다. 펌프류는 주기적으로 교대로 운전한다.

장기간 운전을 정지하는 경우 수질이 악화된 체류수 등을 배관이나 기기류로부터 배출시키기 위하여 배수관 등을 설치하며 특히 물빼기가 어려운 취수관, 침사지, 조정수조 등의 체류수는 직접 방류할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

5.15.11 이상시 대응

막의 파손이나 막간차압의 급격한 증가 및 감소가 관찰되면 운전을 중지하여야 한다. 원해수의 수질변동의 감시가 연속적으로 이루어져야 하며 이상 수질발생시 그에 대한 대응책을 마련하도록 해야 한다. 인근해역에서 적조 발생, 기름 누출사고, 선박좌초 등의 사고가 발생하면 원수수질의 감시를 더욱 강화하여 감시빈도 및 감시 범위를 확대하여야 하고, 이상징후가 발견되면 즉시 취수를 금지하고 담수화설비의 운전을 중지해야 한다.

설비의 운전을 전면 중지하는 경우 운전중지에 의한 압력의 과대화 및 과소화에 의한 설비의 파손을 막고, 운전중지 중의 성능의 저하 등을 방지하기 위한 최적의 운전시설의 중지방법을 마련해야 한다.

압력계와 유량계는 막분리와 관련하여 가장 중요한 막오염, 스케일링 형성 등을 알아낼 수 있는 지표를 제공하므로 계측방식을 선정하는 것은 물론, 주기적인 보정을 통하여 오차가 최소가 되도록 하여야 한다.

5.16 기타 중요 처리 공정

5.16.1 총칙

통상적인 정수처리를 통해서도 처리대상오염물질 등의 제거가 불충분하여 수질관리목표에 적합한 처리수를 얻을 수 없을 경우 별도의 정수시설을 조합하여 정수처리 하는 것이 필요하다. 그 대상이 되는 주된 수질항목은 pH, 침식성 유리탄산, 불소, 색도, 트리할로메탄(THM), 트리클로로에틸렌(trichloroethylene), 음이온계면활성제, 맛과 냄새 유발물질, 암모니아성질소, 질산성질소, 경도, 랑겔리아지수 등이 있다.

해당 원수 및 처리수에 대해 면밀히 조사하여 각 수질항목에 대한 처리방식을 선택하고 설계하여야 하며 기존시설의 운전실적과 원수수질의 동향을 고려하여야 한다.

5.16.2 유리탄산의 제거

유리탄산이란 물에 용존되어 있는 이산화탄소(CO_2)로서, 종속성 유리탄산과 침식성 유리탄산으로 나눌 수 있다.

유리탄산은 알칼리도의 주체를 이루는 수중의 중탄산염을 석출시키지 않도록 하는 역할을 하며 그 유리탄산을 종속성 유리탄산이라 하고, 이 양 이상으로 존재하는 유리탄산은 부식작용을 가지며 그것을 침식성 유리탄산이라 한다.

유리탄산을 많이 포함한 물은 pH가 낮은 물과 마찬가지로 접촉하는 재질에 대해 침식성을 갖는다. 유리탄산은 지하수에 많이 포함되어 있고 호소가 정체되어있는 하절기와 동절기에는 저층수에 높은 농도로 포함되어 있다. 또한 전염소와 응집제를 다량으로 사용한 경우에 정수에서도 침식성 유리탄산이 높은 농도로 포함된다. 유리탄산이 약 20mg/L를 초과하는 경우에는 침식성 유리탄산도 많을 가능성이 있으므로, 수질장애 정도를 감안하여 원수 또는 정수를 포기하거나 알칼리제로 처리하여 유리탄산을 제거하고 중화시켜야 한다. 침식성 유리탄산은 효과를 기대할 수 있는 제거목표값을 정하여 처리한다. 포기에 의한 경우에는 원수수질과 목표제거율을 감안하여 실험을 통하여 기액비의 설계제원을 정하는 것이 바람직하다. 알칼리처리에 의한 경우 알칼리제 투입률은 <표 5.16.1>에 주어진 수치를 이용하여 산출, 결정한다.

<표 5.16.1> 유리탄산 1mg/L을 제거하는데 필요한 알칼리제(mg/L)

소석회(CaO 72%)	소다회(Na_2CO_3 99%)	수산화나트륨(NaOH)	
		45%	20%
0.88	2.43	2.02	4.55

5.16.3 pH의 조정

정수처리공정에서는 응집제나 염소제를 많이 사용하므로 정수의 pH가 낮아지면서 부식성이 강한 물의 특성을 보인다.

pH가 낮아 부식성이 강한 물은 콘크리트구조물이나 모르타르라이닝관을 열화시키며 아연도금강관, 동관, 납관에서는 아연, 동, 납을 용출시키고 철관에서는 철을 용출하여 적수의 원인으로 되는 등 수도시설에 대하여 여러 장애를 일으킨다. 먹는물 수질기준에는 pH가 5.8~8.5로 정해져 있고, 물의 부식성을 개선할 목적으로 pH를 조정하기도 한다.

pH조정에는 산·알칼리제를 투입하지만, 일반적으로 pH를 올리기 위하여 알칼리제를 투입한다.

알칼리제 중에서 소석회 사용은 칼슘경도를 증가시키고 투입량을 증가시키면 금속표면에 탄산칼슘이 침착하여 보호피막을 형성한다.

그러나 소다회나 수산화나트륨에서는 보호피막을 형성하지 않으므로 부식방지에는 소석회가 가장

효과적이지만, 분말이기 때문에 취급하기 어렵고 물의 용도에 따라 보호피막을 형성하는 특성이 해당용도에 대해 장애요인인 경우도 있다.

작업성을 개선한 소석회 자동용해주입설비의 실시 예는 상수도시설기준 <그림-5.21.1>을 참조한다.

부식방지를 위하여 pH를 조정할 경우 약품을 이용한 급속여과공정에서는 응집효과에 pH가 영향을 미치므로 주입지점은 플록형성지의 출구 이후로 하며, 통상적으로 침전지 출구에서 pH를 조정한다. 여과 후에 주입하는 경우는 염소주입 후가 바람직하다.

5.16.4 맛과 냄새의 제거

정수 중에 맛과 냄새가 있을 경우에는 이를 제거하기 위한 처리공정을 필요로 한다.

물에 맛과 냄새의 원인이 자연적일 경우에는 완속여과법으로 제거할 수 있지만, 일반적으로 정수 처리공정 중 완속여과공정을 채택하기 어렵고, 급속여과법으로는 거의 제거하지 않으므로 적절한 처리법을 채택하는 것이 필요하다. 자연적인 맛과 냄새의 원인으로는 조류(규조류, 녹조류, 와편모조류, 남조류 등)의 과다증식 이외에 방선균으로 인한 것, 수심이 깊은 인공호수 및 저수지에서 추계 및 춘계 수온성층 파괴로 인한 저층수의 전도 등을 들 수 있으며, 인공적인 원인으로는 유기용제, 페놀류, 아민류 등이 산업체로부터 불완전처리 후 배출, 그 밖에 불법투기 등을 들 수 있다. 맛과 냄새의 제거 방법으로는 포기, 염소처리, 분말활성탄처리, 오존처리, 생물처리 등이 있다.

포기방법은 황화수소 냄새의 탈취에 효과가 있고, 철에 기인한 냄새 제거도 가능하나 다른 물질에 의한 냄새는 거의 제거되지 않는다.

염소처리법은 방향냄새, 식물성냄새(조류냄새, 풀냄새), 생선비린내, 황화수소냄새, 부패한 냄새의 제거에 효과가 있지만, 곰팡이냄새 제거에는 효과가 적은 것으로 알려져 있다. 특히 페놀류는 염소로 분해할 수 있지만 산화가 완전하지 않은 경우 냄새가 훨씬 강한 클로로페놀화합물을 형성하므로 유의해야 한다. 결합염소는 유기물질에 대한 산화력이 약하기 때문에 보통은 유리염소로 처리해야 한다. 따라서 염소를 사용한 맛과 냄새 제거방법에는 불연속점염소주입방법을 적용하여 처리한다.

분말활성탄을 사용하면 다양한 종류의 냄새유발물질에 대하여 효과적으로 제거할 수 있다. 방향냄새, 식물성냄새(조류냄새, 풀냄새), 비린내, 곰팡이냄새, 흙냄새, 약품냄새(페놀류, 아민류) 등을 분말활성탄의 흡착작용으로 제거할 수 있다. 분말활성탄은 적절한 위치에서 원수에 직접 주입하고 30~60분간 정도 접촉한 다음 응집과 급속여과를 분말활성탄을 물과 분리한다. 냄새를 제거하기 위해 주입되는 활성탄은 일반적으로 20mg/L(건조질량기준) 이상을 주입하지만 실제로 맛·냄새의 원인 물질 이외의 것도 흡착되므로 실제 냄새제거를 위해 작용하는 활성탄의 주입률은 자테스트를 통하여 결정한다.

염소처리는 활성탄의 흡착능력을 저해하므로 염소와 동시에 주입하는 것은 피하도록 한다.

곰팡이냄새 유발물질은 물에 녹아 있는 경우와 조류 체내에 들어 있는 경우가 있으며 보통 곰팡이냄새가 심할 경우는 물속에 녹아 있는 경우이다.

조류의 체내에 포함되어 있는 냄새유발물질은 응집침전을 통해 조류의 제거와 동시에 제거할 수 있으나, 냄새물질이 조류의 체내에 있을 경우 전염소처리에 의해 세포가 파괴되어 냄새유발물질이 물속으로 용출되어 나올 수 있어 물중에 냄새가 더욱 심해질 수 있다.

이러한 경우 용해성 냄새유발물질은 분말활성탄으로 먼저 제거하고, 조류를 응집침전으로 제거한 다음 염소처리하는 것이 바람직하다.

입상활성탄여과법에서 활성탄층의 두께는 일반적으로는 고정층에서 1.5~3.0m, 유동층에서 1.0~1.5m 정도이며 경제성을 고려하여 두께를 결정해야 한다.

여과속도는 활성탄의 흡착능력, 활성탄층 두께, 냄새유발물질의 종류와 농도에 따라 다르므로 실험을 통하여 결정하여야 한다. 일반적으로 냄새제거를 목적으로 할 경우에는 고정상에서 SV 5~10, 유동상에서 SV 10~15에서 사용한다.

오존처리법은 식물성냄새(조류냄새, 풀냄새), 생선비린 냄새, 곰팡이냄새, 흙냄새, 페놀류 등의 냄새에 효과가 있다. 반대로 오존처리에 의해 냄새유발물질을 생성할 수도 있다.

오존은 처리 대상수의 수질, 맛·냄새 물질의 종류와 농도에 따라 다르기 때문에 실험을 통하여 최적주입률을 결정한다. 통상의 경우 주입률은 0.5~1.0mg/L, 접촉시간은 10분 정도, 접촉조의 수심은 4m 이상으로 하는 것이 바람직하다.

오존처리를 병용한 활성탄처리는 곰팡이냄새가 장기간에 걸쳐 심하게 발생할 때 좋은 탈취효과를 나타내며 그 밖에 많은 맛과 냄새의 제거에도 효과가 있다.

활성탄처리를 병용하면 오존처리로 생성된 과일냄새의 맛과 냄새 물질도 제거할 수 있다.

생물처리방법은 생물분해작용을 이용한 방법으로, 곰팡이냄새의 제거효과를 기대할 수 있다. 그 제거효과는 처리방식과 수온, 원인물질의 농도, 접촉면적부하, 접촉시간 등의 처리조건에 따라 다르지만, 30~80% 정도 제거할 수 있는 것으로 보고되었다.

5.16.5 색도 제거

주로 자연적 원인으로 인하여 발색되는 색도로써 자연수 중 어느 물에서나 존재하는 휴믹 물질로 인한 것을 말한다. 휴믹 물질의 농도가 높으면 자연 중 이탄지를 흐르는 표류수와 유기물분율이 높은 토양지역의 지하수 중에서 볼 수 있는 유허색이나 황갈색의 착색을 나타낸다. 휴믹 물질은 분자량이 비교적 큰 휴믹산(humic acid)과 분자량이 휴믹산보다 작은 펄빅산(fulvic acid)으로 구성된다. 휴믹산과 펄빅산은 분자량의 크기뿐 아니라 다양한 물리화학적 특성이 다른 것으로 보고되고 있다.

색도물질을 제거하는 데는 응집침전처리, 활성탄처리 또는 오존처리가 유효하다.

응집침전처리에는 응집제 주입량을 증가시키면서 응집처리되는 동안에 처리수의 pH를 6 전후로 조정함으로써 휴믹산을 상당부분 제거할 수 있다.

활성탄처리에는 휴믹산이나 펄빅산의 양쪽을 모두 제거할 수 있고, 물질의 소수성이 큰 휴믹산에 대한 제거능이 펄빅산에 대한 제거능보다 크다. 따라서 휴믹 물질로 인한 고색도 원수처리에 대해서 낮은 pH에서의 응집침전처리와 활성탄처리를 조합시키는 방법이 적절하다. 철, 망간에 의해 색도가

유발되었을 경우에는 응집침전으로 제거할 수 있다.

오존처리는 휴믹산과 펙빅산으로 인한 색도제거에 유효하나 원수 중에 철과 망간의 용존이온이 존재할 경우에는 오존처리에 의해 이들 이온이 산화되어 불용성 염을 형성하는 과정에서 망간이나 철로 인한 착색이 문제가 될 수 있다.

5.16.6 트리할로메탄 대책

트리할로메탄(trihalomethanes)은 정수처리공정의 염소처리에 의해 휴믹 물질 등의 유기물과 유리염소가 반응하여 생성되는 소독부산물이다. 수중에 존재하는 휴믹 물질 등의 천연유기물질은 트리할로메탄뿐 아니라 그밖에 할로아세트산, 클로랄하이드레이트 등의 소독부산물을 생성한다. 소독부산물의 생성은 천연유기물질의 형태와 농도, 염소의 형태와 농도, 접촉시간, 물중 브롬이온의 농도, 질소유기화합물의 존재유무, 온도 등의 영향을 받는다.

그중에서도 전구물질의 제어는 트리할로메탄뿐 아니라 다른 소독부산물의 생성도 제어할 수 있으므로 가장 바람직하다.

트리할로메탄의 전구물질은 전구물질이 부유성인지 또는 용해성인지에 따라 적절한 방법을 선정하여 제거할 수 있다. 부유성 전구물질은 응집침전에 의해 제거하고, 용해성 전구물질은 분말활성탄이나 입상활성탄을 이용하여 처리한다.

부유성 전구물질이 높은 농도로 존재하는 경우 전염소처리에 의해 용해성 전구물질로 변환될 수 있으므로 전염소처리 및 기타 산화제의 적용에 유의해야 한다. 응집침전설비와 중간염소처리를 조합하면 비교적 분자량이 큰 전구물질을 제거할 수 있고 이에 따라 트리할로메탄의 생성량을 20~40% 정도 감소시킬 수 있다. 이 경우 자테스트를 통하여 응집제 투입량을 결정하며 최적의 응집제 투입량은 탁도가 아닌 TOC 농도로 결정한다.

분말활성탄의 경우 일반적으로는 분말활성탄 1mg/L당 0.5~3μg/L의 트리할로메탄 전구물질의 제거효과가 있다고 한다.

입상활성탄처리를 트리할로메탄 또는 그 전구물질 제거에 사용할 경우에는 전염소처리 또는 중간염소처리 여부 및 오존처리 병용여부와 구별된다. 일반적으로 이미 생성된 트리할로메탄의 제거에는 활성탄 흡착이 별다른 효과가 없는 것으로 알려져 있다.

전염소처리 후 생성된 트리할로메탄을 입상활성탄으로 제거하는 경우에는 유효흡착기간은 활성탄의 종류에 따라라도 다르지만 대략 1~2개월 정도로 짧다. 중간염소처리를 하고 트리할로메탄 생성량이 증가하지 않는 단계에서 트리할로메탄과 그 전구물질을 입상활성탄으로 제거하는 경우에는 트리할로메탄 생성능의 제거율을 50% 이상을 유지할 수 있다.

전염소처리나 중간염소처리를 하지 않고 이른바 생물활성탄처리로 트리할로메탄 전구물질을 제거하는 경우에는 SV 5~6 정도에서 100~160일간 50~70% 이상의 제거율을 갖고 그 후도 저수온시를 제외하면 30% 정도의 제거율이 장기간 가능하다.

이 경우 오존처리를 병용하면 용해성의 트리할로메탄 전구물질 농도가 비교적 높은 경우에도 장기

간 좋은 제거효과를 나타낸다. 다만, 오존주입률이 낮으면 트리할로메탄 전구물질이 증가하므로 용존 유기탄소(DOC) 1mg/L당 오존주입률이 1mg/L 정도 필요하다.

트리할로메탄 대책으로서 전구물질의 제거와는 별도로 자유염소를 이용하는 처리 대신에 결합염소를 이용한 처리가 있다. 결합염소의 경우 산화력이 자유염소에 비해 매우 낮으므로 트리할로메탄 및 기타 소독부산물을 생성하지 않는 것으로 보고되어 있다. 지하수 등 세균이 적고 암모니아성 질소를 포함한 경우에는 결합염소소독을 할 수 있다. 또 트리할로메탄 전구물질을 다량 포함하고 있으며 입상활성탄 처리를 하더라도 트리할로메탄의 생성능이 높은 경우에는 결합염소로 소독하여 트리할로메탄의 생성을 억제할 수 있다. 이 경우 암모니아성 질소가 잔존하는 경우 그 양 1몰에 대해 에 대하여 염소 5몰 이하의 비율로 주입하여 결합염소를 생성시키는 방법과 유리염소로 소독한 후 암모니아를 주입하여 결합염소를 생성시키는 방법이 있다. 적절히 설계된 실험을 통하여 적절한 처리조건을 확인하는 것이 필요하다.

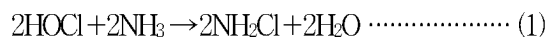
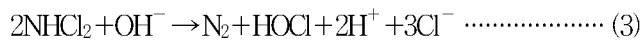
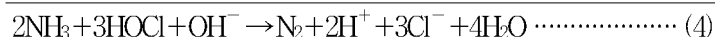
5.16.7 암모니아성 질소 제거

암모니아성 질소는 공장폐수, 하수, 분뇨 등의 혼입에 따라 증가한다. 지표수 중의 암모니아성 질소는 시간의 경과에 따라 질산화작용으로 감소될 수 있으나 수온이 낮아지면 질산화작용이 매우 둔화된다. 지하수에서는 질산성 질소의 환원으로 암모니아성 질소가 생길 수도 있다. 암모니아성 질소는 자연환경 중 생물체에 대한 독성을 보일 뿐 아니라 정수공정 중 소독용 염소와 반응하여 결합염소를 생성하는데 결합염소의 소독력이 유리염소의 소독력보다 훨씬 약하므로 유리염소를 사용하여 소독할 때에는 소독력의 손실을 방지하기 위해 암모니아성 질소를 제거하여야 한다.

암모니아성 질소의 산화 또는 제거에는 생물학적 산화처리와 불연속점 염소처리가 있다.

생물학적 산화처리는 질산화세균을 이용하여 암모니아성 질소를 질산성 질소로 질산화시키는 방법이다. 이론적으로 암모니아성 질소 1mg을 질산화하는데 4.6mg의 용존산소가 필요하기 때문에 2mg/L 이상의 암모니아성 질소를 산화하는 경우에는 처리과정 중 포기를 통하여 용존산소를 보급해야 한다. 수온이 낮아지면 처리효율이 급격히 낮아지므로 일정온도 이상(10℃)을 유지하는 것이 바람직하다. 원수수질, 경제성, 기존 정수시설에의 적합성 등을 고려하여 가장 바람직한 처리방식을 결정한다.

불연속점 염소처리는 자유염소를 가지고 암모니아성 질소를 질소기체로 산화시켜 제거하는 방법으로 그 반응식은 다음과 같다.



정수처리 중의 pH범위에서는 반응 (3)의 속도가 반응 (1)과 (2)에 비하여 느리고, 또한 그 반응속도는 pH가 낮을수록, 수온이 낮을수록 느려진다. 따라서 암모니아성 질소 농도가 높고 수온이 낮으면

서 정수처리공정의 pH가 낮을 경우에 염소는 주입 직후에 암모니아성 질소와 반응하여 결합염소(모노클로라민과 디클로라민)가 생성되고, 시간이 경과하면 반응 (3)으로 디클로라민을 분해하여 유리염소가 생성된다. 또한 반응 (3)에 보인 디클로라민의 분해는 모노클로라민이 공존하는 조건에서는 매우 느린 반응으로 알려져 있다. 따라서 불연속점을 나타낼 수 있는 암모니아성 질소에 대하여 7.6배 이상의 염소를 주입하더라도 디클로라민의 분해가 느리고 유리염소가 생성되지 않는 경우도 있다.

원수 중에 암모니아성 질소의 농도가 높을 경우에는 염소주입으로 pH가 떨어지기 때문에 알칼리제를 주입하여 결합염소의 분해를 촉진할 필요가 있다.

5.16.8 질산성 질소 제거

질산성 질소는 비료의 살포, 분뇨, 축산폐수 등의 혼입에 따른 인위적인 오염에 기인하여 증가하며 먹는물 중에 다량 존재하게 되면 유아청백증을 일으킨다.

원수 중의 질산성 질소 농도가 높은 경우 수원의 전환이 가장 바람직하나 적당한 수원이 없는 경우에는 질산성 질소 제거설비를 설치해야 한다. 질산성 질소를 제거하는 방법에는 이온교환법, 생물처리법, 역삼투막법, 전기투석법 등이 있다.

이온교환법은 이온교환수지의 이온과 수중의 이온을 교환하여 수중 이온을 제거하는 방법이다.

이온교환에 사용되는 합성이온교환수지는 표면에 존재하는 작용기에 따라 양이온교환수지와 음이온교환수지로 크게 나눈다.

질산성 질소 제거에는 R-Cl형의 강염기성 음이온교환수지가 사용되며 수지표면의 염소이온과 수중의 질산이온이 이온교환 된다. 음이온에 대한 이온교환수지의 선택성은 이온가가 높은 이온일수록 선택성이 증가하며, 동일한 이온가의 이온은 원자번호가 클수록 수화반경이 작을수록 선택성이 증대된다. 음이온의 선택성은 다음과 같다.



그러나 질산성 질소보다 선택성이 높은 황산이온 등은 이온교환수지에 포착되기 때문에 질산성 질소의 제거능을 저하시키는 것으로 된다.

R-Cl형의 이온교환수지는 그 종류에 따라 염소이온과 탄산수소이온에 대하여 각각 거의 동일한 선택성을 보이고 있다.

그러므로 통수를 개시할 때에 탄산수소이온을 포착하고 교환반응이 진행됨에 따라 포착된 탄산수소이온과 수중의 질산성 질소를 교환하게 된다.

탄산수소이온이 포착되는 경우에는 처리수의 pH는 떨어지게 되며 처리를 계속하여 포착된 탄산수소이온이 제거되면 처리수의 pH는 높아지기 때문에 pH조정에 주의가 필요하다.

이온교환처리를 위해 부유물질을 미리 제거해야 한다. 이온교환 이전에 염소처리를 하면 이온교환에 악영향을 미친다.

이온교환탑은 2개 이상 설치하거나 또는 재생시간에 상당하는 용량분 이상의 정수지 용량을 설치

하여 재생시에도 급수에 지장이 없도록 한다. R-C1형의 이온교환수지 재생에는 식염을 사용한다. 재생설비로서는 식염저장고, 식염용해조, 식염수저류조, 식염수 송액펌프, 재생배출액조 등이 필요하다. 재생초기에는 고농도(20%~포화)의 식염수를 사용하며, 재생 후반에는 저농도의 식염수를 사용한다. 따라서 식염수를 회석시키기 위한 설비와 재생한 다음에 이온교환수지를 세척하는 설비가 필요하다.

이온교환처리설비의 통수방식으로는 통수와 재생을 역방향으로 하는 대향류식과 통수와 재생을 동일한 방향으로 하는 병류식이 있다. 대향류식은 장치의 설치와 그의 보수가 병류식에 비하여 복잡하지만 처리수의 수질이 좋고 재생제 사용량도 적다. 대향류식에서는 통수를 하향류로 하고 재생을 상향류로 하는 방법과 통수를 상향류로 하고 재생을 하향류로 하는 방법이 있으며 어느 것이나 상향류시 수지가 유동하지 않도록 해야 한다(상수도시설기준 <참고도-5.21.1> 참조).

생물처리는 탈질균을 이용하여 질산성질소를 질소기체로 환원하는 방법이며 보통은 탈질균의 유기탄소원으로 알코올류를 첨가한다. 처리장치로서는 하향류의 고정상식, 상향류의 고정상식 또는 유동상식이 있다. 실제로 질산성 질소의 농도는 상대적으로 매우 낮으므로 널리 적용되지 않는 방법이다. 생물처리의 효율은 수온에 따라 영향을 받기 때문에 가장 효율이 떨어지는 저수온기에 목적으로 하는 양의 질산성 질소를 제거할 수 있도록 접촉시간을 고려해야만 한다. 유기탄소의 첨가량은 처리하고자 하는 물의 용존산소농도와 목적으로 하는 질산성질소의 제거량에 따라 결정한다.

역삼투막법은 반투막의 한쪽 측면에서 흐르는 처리대상수에 기계적 압력을 가함으로써 불순물을 포함하지 않은 물이 반투막의 반대쪽에서 얻어지도록 하는 방법이다. 역삼투막법은 질산성 질소뿐만 아니라 다른 무기이온이나 유기물도 제거할 수 있다.

전기투석법은 음이온선택투과막과 양이온선택투과막을 조합시켜 전기적 에너지로 무기이온을 제거하는 방법이나 질산성 질소만을 제거하기 위해 사용된 예는 거의 없다.

5.16.9 음이온 계면활성제의 제거

계면활성제는 수중에 존재하면 거품이 생기는 원인이 되는 물질로써 공장폐수, 가정하수의 혼입 등으로 인해 자연수 중에 농도가 증가한다. 계면활성제를 제거하는 방법으로는 분말활성탄처리, 입상활성탄처리, 생물처리 등이 있다.

분말활성탄처리를 할 경우 최소 30분의 접촉시간이 필요하다. 분말활성탄이 갖는 흡착능을 최대한 이용하기 위해서는 되도록 긴 시간을 접촉시켜 평형에 도달하게 하여야한다. 계면활성제를 0.5mg/L 이하로 제거하는 데에 필요한 주입률은 원수 중 농도, 원수의 pH, 기타 원수 중 다른 유기물질의 농도 등에 다르며 처리연구에 따르면 계면활성제 농도의 약 20배의 주입률이 필요하다고 한다. 입상활성탄처리는 흡착탑식으로 적용되며 원수 중 농도와 다른 유기물질의 농도에 따라 흡착가능량이 달라지므로 실험에 의해 결정해야 한다. 계면활성제는 생화학적으로 비교적 분해성이 좋기 때문에 생물활성탄처리가 가장 처리효율이 좋으며 흡착가능시간도 매우 길게 운전할 수 있다. 일반적으로 계면활성제를 연간 수개월 이상 제거해야 하는 경우에는 입상활성탄처리, 생물활성탄처리를 적용하고, 단

기에 해당하는 경우에는 분말활성탄처리를 사용한다.

생물처리를 이용하여 계면활성제를 제거할 수 있으나 상수원수 중 그 농도는 매우 낮으므로 실제로 적용하기는 효율적으로나 경제적으로나 적용하기 쉽지 않다.

5.16.10 불소 제거

원수 중에 불소가 높은 농도로 존재하면 반상치 등을 일으키며 건강상 위해를 주므로 이를 제거해야 한다. 자연수 중의 불소는 주로 토양으로부터 유래하며 지질에 크게 좌우된다. 화강암지대의 지하수와 용천수 중에 높은 농도로 존재하고 온천, 광산폐수, 공장폐수 등으로부터 혼입되는 경우도 있다. 불소처리는 응집침전법, 활성알루미나법, 골탄여과법, 전해법 등이 있으나 전반적인 처리효율이 낮으므로 수질이 좋은 다른 수원의 물과 혼합하여 희석하거나 수원을 전환하는 것이 바람직하다.

응집침전법으로 불소를 제거하는 경우는 통상의 응집침전에서의 주입률보다 다량의 황산알루미늄을 주입해야 한다.

응집침전으로 불소를 제거하는 방식은 pH의 영향을 받으며, 최적의 범위는 pH 6.3~6.7이고 침전시간을 충분히 확보하는 것이 필요하다.

또 최적 pH를 유지하기 위하여 다량의 알칼리제가 필요하다.

활성알루미나법은 저부에 집수장치를 설치한 조에 여재로서 활성알루미나를 넣고 이것에 여과수 또는 탁질을 함유하지 않은 원수를 통과시켜 불소를 제거하는 처리법이다.

활성알루미나는 활성알루미나겔($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)을 황산 또는 황산알루미늄 용액에 집어넣어 얻은 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 또는 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 와 같은 것이고, 불소를 함유한 물을 통과시키면 불소이온이 황산이온과 치환하여 활성알루미나에 흡착된다.

골탄여과법은 골탄을 여재로서 여과층에 여과수 또는 탁질을 함유하지 않은 원수를 통과시켜 불소를 제거하는 처리법으로, 골탄 중에 포함된 인화석이 불소이온에 대하여 친화력이 있고 골탄이 활성탄과 같이 큰 표면적을 가지므로 이온교환이나 흡착으로 불소를 제거하는 효과가 있다.

불소이온은 불소인화석($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$)의 형태로 제거된다.

전해법은 원수에 탄산칼슘을 첨가한 후 전해하여 불화칼슘 콜로이드를 생성시키고, 이것을 규조토의 플록에 흡착시켜 제거하는 방법으로 전해처리 후에 여과한다.

처리방법에 따른 실험을 통하여 처리조건, 시설 용량, 구조 등을 정해야 한다.

5.16.11 유무기성 미량오염물질 제거

(1) 비소 제거

수중의 비소는 주로 토양으로부터 유래하며 지질에 따라 지하수나 용천수 중에 고농도로 존재할 가능성이 크며 온천이나 광산폐수 등으로부터 지표수에 혼입되는 경우도 있다. 비소는 환원조건의 지하수 중에서는 3가의 아비산 형태로 존재하고 호기상태의 지표수 중에서는 5가의 비산 형태로 주

로 존재한다. 비소는 미량에서도 장기 섭취에 의해 건강상의 위해도가 큰 물질이다. 원수 중에 비소의 농도가 높은 경우에는 다른 수원으로 전환하는 것이 바람직하나 적당한 수원이 없으면 비소를 제거해야 한다.

비소를 처리하기 위해서 응집처리 또는 활성알루미나, 수산화세륨, 2산화망간을 사용하여 흡착처리할 수 있으며 처리법에 따라 제거할 수 있는 비소의 형태가 다르다. 응집처리에는 응집침전에 의한 제거방법과 응집여과에 의한 제거방법이 있고, 5가비소를 효과적으로 제거할 수 있다. 3가비소가 포함된 경우 전염소처리에 의하여 3가비소를 5가로 산화시킨 후 제거한다. 응집여과에서는 응집제를 첨가한 다음 침전공정이 없이 전처리로서 상향류 연속이동상여과지를 통과시키고 다시 급속모래여과를 한다. 처리공정의 일례는 상수도시설기준 <그림-5.21.2>를 참조한다.

상향류 연속이동상여과지나 급속모래여과지의 세척배출수 중에는 비소가 포함되어 있으므로 비소 처리를 위한 설비 계획시 세척배출수 처리를 미리 검토해야 한다. 응집침전법으로 비소를 제거하는 경우에는 발생하는 슬러지 중에 비소가 포함되기 때문에 슬러지의 처분에 관하여 미리 검토해야 한다. 활성알루미나 또는 2산화망간을 사용하는 흡착처리에서는 5가비소를 제거할 수 있으므로, 처리수에 3가비소가 포함된 경우에는 전염소처리에 의하여 3가비소를 5가비소로 산화시킨다. 흡착시의 pH는 활성알루미나에서는 4~6, 2산화망간에서는 5~7이 효과적인 범위이다. 활성알루미나를 사용한 비소흡착처리공정의 구성도는 상수도시설기준 <그림-5.21.3>을 참조한다. 수산화세륨을 흡착제로 사용한 경우에는 3가 및 5가비소를 흡착할 수 있으며 pH 5~8로 운전할 수 있으므로 pH조정 및 전염소처리가 필요하지 않다.

흡착탑에서의 공간속도(SV)는 5~10/h 정도이고 원수 중에 부유물질이 포함된 경우에는 흡착처리 전에 부유물질을 제거해야 한다. 활성알루미나, 2산화망간, 수산화세륨 등의 비소제거능력이 저하되었을 경우에는 흡착제를 교환해야 하고 사용한 흡착제는 산업폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률에 근거하여 적절하게 처분해야 한다.

(2) 트리클로로에틸렌 등의 대책

트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1,1-트리클로로에탄 등은 사람의 건강에 대한 만성독성이 우려되는 물질이다. 이들 물질은 휘발성이 높은 합성유기화합물이기 때문에 지표수 중에는 극히 미량으로 존재한다. 이들 미량 유기물질로 오염된 지하수를 수원으로 하고 있는 곳에서는 수원을 변경하는 것이 바람직하며 곤란한 경우에는 이들 물질을 제거하기 위하여 탈기처리 또는 입상활성탄 흡착을 이용한다. 탈기에 의한 방법은 이들 물질이 물에 대하여 용해도가 낮고 휘발성 물질이라는 특성을 이용하여 수중에서 대기로 탈기시키는 것이다. 탈기는 효율과 경제성을 고려하여 공기주입방식과 충전탑방식을 사용한다. 공기주입방식은 수조 바닥에 설치된 산기판과 산기관에서 공기를 불어넣는 방식이며, 설치장소는 수질관리면과 장치의 부식방지 면에서 염소주입점 이전으로 하는 것이 바람직하며 송기량은 실험을 통해 결정한다. 통상 기액비를 4~10배 정도로 하는 경우가 많다. 충전탑방식인 경우에는 충전탑으로의 물부하량이 $4\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 이상 필요하다. 충전탑층의 높이는 접촉탈기시간을 최저 2분 이상, 통상은 3~10분을 확보할 수 있도록 결정한다. 충전탑의 기액비는 실험으로

정하는 것을 원칙으로 한다. 트리클로로에틸렌의 탈기설비공정도는 상수도시설기준 <그림-5.21.4>를 참조하고, 기액비와 트리클로로에틸렌 제거율의 관계는 상수도시설기준 <그림-5.21.5>를 참조한다.

입상활성탄에 의한 경우 접촉시간은 대략 15분 정도로 탄층두께와 여과속도를 정하면 된다. 그러나 활성탄 흡착능은 공존하는 유기물의 종류와 농도에 따라 달라지므로 반드시 처리대상 원수에 대한 실험을 통해 각종 설계제원을 결정하여야 한다.

오존/과산화수소 등을 이용한 고도산화공정(AOPs)을 이용하여 이들 휘발성 유기물질을 제거할 수도 있으며, 이를 실공정에 적용하기 위해서는 원수 및 처리수 특성에 적절한 최적 운전조건을 실험을 통하여 결정한 후 적용하여야 한다.

5.16.12 연수화(경도 저감)

수중의 경도를 구성하는 성분은 2가 이상의 다가금속이온이며 일반적으로는 수중의 가장 높은 농도로 존재하는 칼슘과 마그네슘이온의 총농도를 그에 상응하는 탄산칼슘으로 환산하여 나타낸다. 경도는 토양으로부터 유래하며 연유되며 석회암지대의 지하수나 용천수가 높은 경도를 나타낸다. 경도가 높은 물은 설사의 원인이 되거나 비누의 작용을 방해하고 보일러 등의 수온이 상승하는 설비에서 스케일을 형성한다. 경도성분을 제거하는 처리방법은 원수수질과 처리수의 목표수질 등을 고려하여 결정한다. 정석연수화법의 처리공정도 예는 상수도시설기준 <그림-5.21.10>을 참고하며, 수산화나트륨을 주입하여 pH 10 정도로 조절한 원수를 반응조에서 탄산칼슘으로 피복한 유동매체와 접촉시켜 수중의 칼슘을 탄산칼슘으로 유동매체상에 결정화시켜 침적시키는 방법으로 그 반응식은 다음과 같다.



정석연수화법은 시설을 위한 공간이 작고 슬러지처리를 필요로 하지 않는 이점이 있지만, 제거할 수 있는 경도는 칼슘경도이고 마그네슘경도는 제거할 수 없다. 또한 제거되는 칼슘이온과 동일 당량의 알칼리도가 소비된다. 유동매체상에서 탄산칼슘의 결정화는 pH, 칼슘이온농도, 탄산이온농도, 반응조의 체류시간, 통수속도 등의 영향을 받으므로 설계할 때에는 실험을 통하여 결정하는 것이 바람직하다. 정석연수화법은 반응조 유출수의 pH가 상승하므로 pH조정을 위한 설비가 필요하다. 또한 반응조 중의 유동매체는 탄산칼슘의 결정화 침적으로 크기가 변화하며, 제거효율이 떨어지기 때문에 유동매체를 정기적으로 배출하고 보충하는 것이 필요하다.

라임소다연수화법은 원수에 소석회, 소다회를 가하여 칼슘이온과 마그네슘이온을 탄산칼슘과 수산화마그네슘으로 침전, 제거하는 방법이다. 마그네슘이온을 제거하기 위해서는 pH를 11 정도로까지 증가시켜야 하고 슬러지의 처리가 필요하다.

5.16.13 랑겔리아지수의 개선

랑겔리아지수(또는 랑겔리아포화지수)란 물의 실제 pH와 이론적 pH와의 차이를 지수로 표현한 것을 말하며, 탄산칼슘의 피막형성에 대한 지표로 사용한다. 랑겔리아지수가 양의 값으로 절대값이 클수록 탄산칼슘의 석출이 일어나기 쉽고, 0이면 평형관계이며, 음의 값은 탄산칼슘피막이 형성되지 않고 그 절대값이 커질수록 물의 부식성이 강하다는 것을 말한다.

랑겔리아지수가 음인 물은 콘크리트구조물, 모르타르라이닝관, 석면시멘트관 등을 침식을 일으키며 금속관에 대해 금속을 용출한다. 랑겔리아지수는 물의 pH, 칼슘이온량, 총알칼리도 및 용해성물질량으로부터 다음 식으로 구한다.

랑겔리아지수 = 물의 pH - pHs

$$\text{pHs} = 8.313 - \log[\text{Ca}^{2+}] - \log[\text{A}] + \text{S}$$

여기서, 8.313: 정수

[Ca²⁺]: 칼슘이온량, me/L, Ca²⁺ mg/L ÷ (40.1 ÷ 2)로 구할 수 있다.

[A]: 총알칼리도, me/L, 총알칼리도 mg/L ÷ (100 ÷ 2)로 구한다.

S: 보정값으로서 다음 식으로 구한다.

$$S = \frac{2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \mu = 2.5 \times 10^{-5} S_d$$

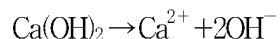
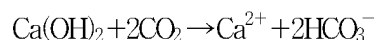
S_d: 용해성물질농도(mg/L)

또 랑겔리아지수는 온도에 따라 다르며, 상기 식은 25℃인 경우이며 온도 1℃ 상승에 대하여 약 1.5 × 10⁻² 증가한다. 또한 pHs를 구하는 방법으로 상수도시설기준 <참고표-5.21.1>로부터 얻은 수치를 다음 식에 대입하여 산출하는 방법도 있다.

$$\text{pHs} = (9.3 + \text{A} + \text{B}) - (\text{C} + \text{D})$$

pHs를 실험적으로 구하기 위해서는 과잉탄산칼슘과 물을 하루 동안 접촉시킨 다음 그 물의 pH를 측정해도 된다. 랑겔리아지수는 pH, 칼슘경도, 알칼리도를 증가시킴으로써 개선할 수 있으며 소석회·이산화탄소병용법과 알칼리제(수산화나트륨, 소다회, 소석회)를 단독으로 주입하는 방법이 있다. 랑겔리아지수의 개선방법은 원수수질과 목표로 하는 랑겔리아지수 수치 등을 고려하여 선택한다.

소석회·이산화탄소 병용법은 처리수에 소석회와 이산화탄소를 주입하여 pH, 칼슘경도, 알칼리도를 동시에 증가시키는 방법으로 그 반응식은 다음과 같다.



소석회·이산화탄소 병용법은 칼슘경도, 유리탄산, 알칼리도가 낮은 원수의 랑겔리아지수 개선에 알맞은 방법이고, 랑겔리아지수를 거의 0에 가깝게 하고 싶은 경우에 효과적이다.

5.17 배출수처리 및 슬러지처리

5.17.1 총칙

수도시설은 수질환경보전법에 의하면 폐수배출시설이므로 발생하는 배수는 적절한 오염방지시설을 설치하여 배출허용기준값 이하로 오염도를 저감하여 방류하거나 재활용해야 한다.

또한 이 시설로부터의 슬러지를 처리하여 발생하는 케이크는 사업장 폐기물이다.

따라서 폐기물관리법에 따라 적정하게 수집, 운반 및 처분되어야 하므로 슬러지처리시설은 정수처리시설과 통합적으로 계획 및 설계되어야 한다.

5.17.2 배출수처리 및 슬러지처리 이론

(1) 처리방식 및 시설의 입지

배출수 및 슬러지 처리방식은 정수처리공정, 원수수질, 배출수의 양과 질, 슬러지의 성상, 발생케이크의 처분방법, 유지관리의 편의성, 소요부지면적, 건설비 및 지역의 환경여건을 고려해야 하며 기본적인 처리는 자연건조(천일건조상, 라군), 기계탈수, 탈수·열건조, 위탁 또는 하수처리장 이송처리 순으로 구성된다.

배출수처리시설을 계획하고 설계할 때는 다음 사항을 고려해야 한다.

- 1) 발생한 케이크는 처분 또는 재활용이 가능하도록 한다.
- 2) 원수의 탁도 변화가 큰 시설에서는 고탁도시에 발생한 고형물을 일시 저류시켜 평상시에 처리할 수 있도록 고려해야 한다.
- 3) 처리시설과 처분시설의 입지는 지역의 자연환경과 사회환경 등을 고려하고 장기적인 관점에서 유리한 지역을 선정한다.

(2) 발생 슬러지량

슬러지의 발생량, 고형물 농도, 밀도, 농축특성 및 탈수성 등 전반적인 특성은 원수 특성에 따라 크게 변화하며 계절적인 요인도 크게 작용한다.

일반적으로 우리나라 특성상 고탁도일 때에 발생하는 슬러지는 농축성과 탈수성이 좋은 반면에 저탁도 또는 조류가 번성할 때 발생하는 슬러지는 침강·농축성 및 탈수성이 나쁘다.

정수장의 슬러지 성분은 대부분 무기질로 구성되어 있으나, 오염된 하천수나 부영양화된 호소수는 유기물질이 많이 포함되어 있다.

유기물질의 함량은 탈수기의 성능에 영향을 크게 미치므로 장래 수질을 예측하여야 한다.

슬러지 발생량은 원수수질 특성과 함께 다음과 같은 시설의 특성을 고려하여 예측한다.

1) 정수장 기본계획과 시설현황

계획정수량: 정수장 운영현황, 평균 정수생산량

침 전 지: 약품침전지, 고속응집침전지, 경사판침전지 등

여 과 지: 급속여과지, 철·망간을 제거하기 위한 여과지, 활성탄접촉조, 막여과설비

기 타: 세사기, 마이크로스트레이너 등

2) 약품의 종류와 주입상황

응 집 제: 황산알루미늄, PACl, PAHCS, PASS, PSO-M, PACS 등

응집보조제: 알긴산나트륨, 폴리머

알 칼 리 제: 소석회, 수산화나트륨

기 타: 분말활성탄

슬러지 처리설비를 계획할 때에는 역세척배출수와 침전슬러지의 특성을 파악하는 것이 필요하다. 알룸(alum) 슬러지는 0.1~1% 정도의 고형물 농도를 나타내며, 침전지에서 1개월 이상 축적되면 4~6%로 농축되기도 하므로 관리에 유의해야 한다.

역세척 과정에서 발생하는 역세척배출수의 발생량은 정수생산량의 1~5%(평균 2%) 정도이며, 고형물량으로는 정수공정에서 제거되는 전체 고형물의 1.0~1.5%를 차지한다.

(3) 슬러지의 침강, 농축 및 탈수성 조사

정수장으로부터 배출된 슬러지는 슬러지 처리설비의 설계를 위해 실험을 통하여 슬러지의 침강·농축 특성과 탈수성 등을 조사해야 한다.

슬러지의 침강·농축 특성은 10cm(D)×100cm(H) 원통을 사용하는 실린더-테스트를 실시하는데 슬러지의 침강계면을 외부에서 관찰하는 방법을 사용하여 조사한다.

실험실에서의 슬러지 탈수성은 리프테스트(leaf test)를 실시하여 슬러지의 여과성을 나타내는 비저항값을 구하는 방법을 사용하여 조사한다. 비저항값이 크면 클수록 수분이 슬러지를 통과하기 어려워 탈수성이 나쁘다는 것을 의미한다. 슬러지 탈수성에 대한 영향인자로는 응집제주입량과 탁도의 비인 Al/T비이다. Al/T비가 낮을수록 탁도에 대한 응집제주입량이 적다는 것을 의미하며, 이는 비저항이 적어서 탈수성이 양호하다는 것을 의미한다. 탈수성은 계절적 영향을 받으므로 4계절에 걸쳐 조사하는 것이 바람직하며 고탁도시와 평상시에 대해서도 반복 실험하는 것이 좋다. 상수원의 부영양화로 유기물이 증가하면 비저항값이 커져서 탈수성이 나빠진다.

(4) 배출수처리시설의 구성과 기능

세척배출수는 침전지로부터 배출되는 침전슬러지와 함께 혼합하여 처리하는 방법을 주로 적용하여 왔으나 이미 농축된 슬러지를 세척배출수로 재회석하기 때문에 바람직하지 못하다. 침전슬러지와 세척배출수의 고형물 농도와 구성성분은 각각 다르며 따라서 혼합하지 말고 슬러지처리시설로 배출시켜야 한다.

배출수처리시설의 구성도는 상수도시설기준 <그림-5.22.2>를 참조한다.

1) 여과지 역세척배출수의 처리

세척배출수 처리시설을 설계할 때에는 반송수의 수질문제로 정수처리에 장애를 초래하지 않도록 고려해야 한다.

특히 여과지 폐색을 일으키는 규조류 발생시에는 반송으로 인해 조류가 농축되어 문제가 악화될 수 있으므로 배슬러지지 또는 농축조로 배출할 수 있어야 한다.

2) 정수장에서 발생하는 슬러지의 처리와 처분

정수장에서 발생하는 슬러지는 원수 중의 탁도물질과 응집약품에 의한 약품슬러지로 분류되며 주로 불활성물질로 구성되어 있다.

알룸 슬러지는 탈수가 어렵고 건조된 슬러지는 물에 쉽게 부유하는 특성을 갖는다. 비용대비 효과가 최상이며 실행가능한 슬러지처리(조정, 농축, 탈수), 처분방법을 채택하여야 한다.

3) 조정시설

조정시설은 배출량을 조정하는 과정이며 배출수지와 배슬러지지로 구성된다. 통상 급속여과지로부터 역세척배출수를 받아들이는 시설을 배출수지, 약품침전지나 고속응집침전지 또는 역세척배출수침전시설로부터 슬러지를 받아들이는 시설을 배슬러지지라고 한다.

배출수지와 배슬러지지는 시간에 따른 배출량 변화를 조정하는 시설이다.

침전슬러지가 단시간에 유입되는 배슬러지지에서는 고액분리가 어려울 뿐 아니라 슬러지의 부패로 인한 맛·냄새문제의 발생, 크립토스포리디움 등 원생동물의 오염이 우려되므로 배슬러지지의 상정수를 정수공정으로는 절대로 반송하지 않는다.

4) 농축시설

① 여과지 역세척배출수

기본적으로 통상의 응집 침전공정과 소독공정으로 구성된다. 내부순환류를 갖는 고속응집침전지는 공정효율이 좋고 충격부하에도 내성이 있다. 또한 슬러지의 농축성이 높고 슬러지 제거가 쉬우며 필요로 하는 부지면적이 작다. 일반 횡류식장방형 침전지는 수리적 허용부하량이 낮아서 고속응집침전지보다 큰 부지면적이 필요하다.

② 슬러지농축시설

슬러지의 농축처리와 재응집처리는 농축조(thickener)에서 이루어진다. 일반적으로 슬러지는 배슬러지지로부터 농축조의 중앙에 위치한 유입부로 이송되고 농축된 슬러지는 중앙 저부로 배출되며 상정수는 농축조의 상부로 유출된다. 농축슬러지의 농도가 높으면 탈수효율이 향상되어 케이크의 함수율을 저감시킬 수 있다. 자연건조인 경우에는 건조상 면적이 적어지고 기계탈수에서는 탈수기의 여과포 면적을 줄일 수 있다. 농축조를 설계할 때 인발되는 슬러지의 농도와 농축성을 가장 우선적으로 고려해야 한다. 농축성이 특히 나쁜 경우에는 고분자응집제를 사용한 응집처리로 농축전처리하거나 고형물 부하를 줄여 운전하는 방법도 있다. 농축조는 일반적으로 침강농축방식이며, 슬러지의 자연농축특성을 평가하여 용량을 결정한다. 또한 원심분리기의 원리를 이용하여 기계적으로 농축하는 방식도 있다.

5) 농축슬러지 저류조

저류조는 배출슬러지의 농도를 균등하게 유지시켜 후속 공정인 탈수시설과 건조시설의 처리효율을

향상시키고 운영의 편의성을 도모하기 위한 시설이다. 저류조는 슬러지가 균일하게 혼합될 수 있도록 공기 또는 기계식 교반기를 설치해야 한다.

6) 탈수시설

탈수시설은 농축슬러지의 수분을 더욱 감소시켜 케이크로서 최종 처분방법에 적합한 성상이 되도록 하거나, 용적과 수분을 감소시켜 운반 등 취급이 편리하도록 하는 시설이다. 탈수시설이라 함은 탈수처리뿐만 아니라 건조처리과정과 탈수에 필요한 전처리과정까지 포함된다. 탈수시설은 정수장의 규모, 슬러지 성상, 처분 조건 등을 우선 고려하고 수반되는 전처리방법을 고려하여 최적의 탈수방법을 선택해야 한다.

기계식 탈수방법에는 가압여과(벨트프레스, 필터프레스), 진공여과, 원심분리, 조립탈수 등이 있다. 탈수효율은 슬러지의 탈수성에 의해 좌우되기 때문에 계절별 탈수성 실험결과를 토대로 결정한다.

건조공정에는 자연건조방식과 열건조방식이 있다. 자연건조방식은 건조상에서 슬러지를 탈수·건조시키는 방식으로 소요부지면적이 크고 기상조건에 영향을 많이 받는다. 열건조방식은 탈수공정에서 충분하게 탈수할 수 없는 경우나 재활용을 위하여 함수율을 낮추어야 할 필요가 있는 경우에 적용되는 방식으로 기계설비가 많고 복잡하며 에너지소비가 크다.

7) 처분시설

처분시설은 발생한 케이크 등을 적절히 수집·운반하여 최종처분하거나 유효하게 재활용하는 데 사용하는 시설이다. 케이크의 처분방법에 따라 배출수처리방법, 케이크의 함수율, 처분계획 등이 결정되므로 계획단계에서 처분방법을 충분히 검토한다.

최근 여러 가지 제약으로 인해 슬러지의 재활용방안을 적극 강구해야 한다.

재활용방안으로는 시멘트의 원료, 재생벽돌, 녹생토, 상토재, 성토재 및 매립제 등으로 이용이 가능하다.

처분시설은 수도사업체의 규모, 배출수처리시설의 유지관리능력, 정수장 입지조건, 정수처리량과 슬러지의 성상 등을 고려하여 결정한다.

5.17.3 관련 법규

(1) 배출수처리시설의 설치

수질환경보전법 시행규칙 제5조에 따라 $1,000\text{m}^3/\text{일}$ 이상의 수도사업시설(역세는 하지 않고 물리적으로만 처리하는 시설은 제외)은 폐수배출시설로 분류되며, 이들 시설에서 발생하는 폐수는 「동법 시행규칙」 제8조(배출허용기준)에 의한 배출허용기준을 적용받게 되며 통상의 경우 정수장 배출수는 부유물질 기준값에 적합하도록 처리시설을 설치하는 것이 필요하다.

(2) 배출수처리시설의 운영

수질환경보전법 제15조(배출시설 및 방지시설의 운영)에 의한 금지행위를 준수해야 한다(참조).

(3) 탈수케이크의 처분

배출수처리시설은 사업장 폐기물의 배출대상으로 폐기물관리법 제25조에 의거 발생하는 폐기물을 스스로 처리하거나 위탁하여 처리해야 한다.

정수장 슬러지는 무기성(유기물 함량 40% 이하) 슬러지에 해당되어 수분함량 85% 이하로 탈수한 다음 매립할 수 있으며, 해양배출은 해양오염방지법 제16조 4항 및 제35조에 의거 해양배출이 가능하다. 재활용은 폐기물관리법 제44조 2항에 의하여 폐기물재활용신고 등의 절차가 필요하다. 처분방법별 관련법규는 <표 5.17.1>과 같다.

<표 5.17.1> 최종처분방법별 관련법규

항 목	관 련 법 규	비 고
성토재, 매립시설 복토재	폐기물관리법 44조의2 1항 6호(시행규칙 46조 별표 11의2)	• 함수율 70% 이하
녹생토	폐기물관리법 44조의2 1항 4호(자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 제2조 6호)	
시멘트 원료, 재생벽돌	폐기물관리법 44조의2 1항 1호(산업표준화법 제 11조)	
매립	폐기물관리법 제6조 1항 및 시행규칙 별표 4	• 함수율 85% 이하

5.17.4 계획배출수처리량

계획처리고형물량은 계획정수량, 계획원수탁도 및 응집제 주입률 등을 기초로 하여 선정한다. 계획원수탁도를 결정할 때에는 원수탁도의 분포현황 및 정수처리시설과 배출수처리시설에서의 저류능력 등을 고려하여 결정한다.

(1) 계획처리고형물량

배출수처리시설은 계획처리고형물량을 기초로 설계한다.

$$S = Q(T \cdot E_1 + C \cdot E_2) \times 10^{-6}$$

여기서, S: 계획처리고형물량(t/d의 건조중량)

Q: 계획정수량(m³/d)

T: 계획원수탁도(NTU)

E₁: 탁도와 부유물질(SS)의 환산율

C: 응집제주입률(산화알루미늄으로서의 주입률)(mg/L)

E₂: 수산화알루미늄과 산화알루미늄의 비 1.53

(2) 계획원수탁도의 결정

발생한 배출수는 전량 처리하되 시설가동률 등을 고려하면 일정 처리가능량을 장기적으로 균등하게 나누어 처리하는 것이 경제적이다. 계획탁도는 연간탁도분포에서 연간탁도와 고탁도의 발생빈도를 조사하고, 다음 사항을 고려하여 결정한다.

- ① 원수조정지에 의한 고탁도시의 취수 회피나 탁도의 저감화 가능성
- ② 정수시설의 여유, 침전지에 의한 슬러지의 저류가능량
- ③ 2개 이상의 수원이나 정수장이 있는 경우, 도·송·배수시설의 상호연결관에 의한 상호용통의 가능성
- ④ 배출수처리시설에서 슬러지의 저류가능량

경험적으로 연간평균값의 4배의 탁도를 계획탁도라고 하면 연간일수의 95% 이상을 감당할 수 있다.

5.17.5 배출수지

(1) 배출수지 용량 및 지수

배출수지에 유입되는 배출수는 여과지 세척배출수이므로 1지마다의 교대세척을 고려하여 배출수지 1지의 용량은 적어도 여과지 1지 1회분의 세척배출수를 받아들일 수 있어야 한다.

여과지세척에 따르는 1지당의 세척배출수량은 다음 식으로 산출할 수 있다.

$$Q_f = A(v_1 T_1 + v_2 T_2) + a$$

여기서, Q_f : 배출수량($m^3/회 \cdot 지$)

A : 여과표면적($m^2/지$)

v_1 : 표면세척속도(m/min)(단위시간, 단위면적당 표면세척수량 = $m^3/m^2/min$)

v_2 : 역세척속도(m/min)

T_1 : 표면세척시간($min/회$)

T_2 : 역세척시간($min/회$)

a : 여과지 역세척 전후의 잔류수량의 차(세척배출수거의 수량)

배출수지는 침강분리하지 않는 경우, 침강분리를 회분식으로 하는 경우, 침강분리를 연속식으로 하는 경우로 나누어 용량을 결정한다.

배출수지를 청소하거나 보수하기 위하여 배출수지를 2지 이상으로 하는 것이 바람직하나 소규모 정수장에서는 1지 2구획 또는 1지로 할 수도 있다.

(2) 배출수지의 형상

배출수지의 유효수심은 유입되는 세척배출수를 균질하게 하기 위한 교반 또는 침강분리된 상징수를 집수하기 위한 침강분리역으로서의 수심이 필요하며, 지금까지 경험으로 2~4m으로 한다.

또한 여유고는 단시간에 대량의 세척배출수가 유입됨으로써 급격히 수위가 상승하기 때문에 안전을 고려하여 60cm 이상으로 한다.

배출수지에는 배출수침전지(또는 착수정)로 반송하거나 하천방류 등을 위한 반송수관, 슬러지배출 및 청소 등 유지관리작업을 위한 배슬러지관, 배출수지나 부속설비의 수리 등을 고려한 우회관을 각각 설치할 필요가 있다.

(3) 배출수지의 부속설비

상징수를 배출수침전지(또는 착수정)에 반송하는 경우에는 반송펌프를 설치한다.

펌프는 고장이나 보수를 감안하여 예비기를 설치한다.

여기서 배출수 펌프의 용량은 원칙적으로 1회에 발생하는 세척배출수를 다음 여과지를 세척할 때까지의 시간간격 이내에 배출을 끝낼 수 있는 것이라야 한다.

하천으로 방류하는 경우에는 하천수가 역류하지 않을 위치에 방류구를 설치한다. 슬러지 펌프인 경우에는 배슬러지지의 수위관계를 고려하여 설치한다.

교반장치를 설치하여 배출수지에서 슬러지의 침강이 생기지 않게 하여야 한다.

또는 유입위치에 따른 유입수류를 이용하여 슬러지의 침전을 방지하는 방법을 사용하기도 한다.

가변집수장치나 고정월류위어는 배출수지에서 침강분리가 발생하는 경우 상징수를 집수하기 위하여 설치하는 시설이다.

단위시간당 집수량은 정치시간이나 유입량을 고려하여 결정한다.

이 밖에 침강슬러지를 배출하기 위하여 그 형식에 따라 바닥경사를 두거나 슬러지 수집기를 설치한다.

5.17.6 역세척배출수 침전시설

여과지 역세척배출수를 침전처리하는 경우에는 플록형성과 침전시설 및 소독시설을 구비하는 것이 바람직하고 그 상징수는 재이용하거나 하천에 방류한다.

플록형성·침전공정의 설계기준은 응집지와 침전지의 기준과 동일하다.

일반적으로 응집제와 양이온폴리머를 수질에 따라 적절히 투입한다.

플록형성 20분, 표면부하율 2~6m/시간의 침전지에서 0.5~2시간으로 운전한다.

또한 소독설비도 설계에 포함되는 것이 바람직하다.

이상적으로는 세척배출수 침전시설을 정수장보다 높은 위치에 설치하여 처리된 세척배출수가 자연 유하로 정수장의 착수정에 반송되어 유입되도록 하고 여의치 않으면 반송펌프를 설치해야 한다.

용존공기 부상조를 채택하고 있는 정수시설에서는 부상예비침전지를 배출수침전지로 활용할 수 있다.

5.17.7 배슬러지지

(1) 배슬러지지의 용량

배슬러지지의 기능은 간헐적으로 배출되는 침전지의 침전슬러지와 배출수침전지 및 배출수지의 침

강슬러지의 유량과 부하량을 조정하는 시설이다.

그러므로 배슬러지지의 용량은 슬러지의 배출빈도가 1일 1회 이상인 경우에는 24시간 평균 슬러지배출량 이상으로 하고 또 슬러지의 배출빈도가 1일 1회 미만인 경우에는 1회 슬러지배출량 이상으로 한다.

(2) 배슬러지지의 지수 및 형상

배슬러지지를 청소하거나 보수하기 위하여 2지 이상으로 하는 것이 바람직하지만, 침전지에 충분한 슬러지체류능력이 있는 경우에는 1지로도 가능하다.

유효수심과 여유고는 배출수지와 동일하게 적용한다.

(3) 배슬러지지의 부속설비

배슬러지지에는 슬러지의 배출작업과 청소작업 등 유지관리작업을 위하여 농축조에 슬러지를 보내는 슬러지배출관(구경은 150mm 이상이 바람직하다)이 필요하다.

5.17.8 농축조

(1) 농축조의 용량 및 지수

농축조의 소요면적은 청정조건을 만족하는 면적과 농축조건을 만족하는 면적을 처리대상 슬러지에 대하여 침강농축시험을 하여 구하고, 이들 중 큰 쪽의 값을 채택한다.

고탁도시 대책으로서 농축슬러지를 일시 저류하는 것을 겸하는 경우에는 그 용량을 고려하여 농축조의 크기를 결정한다.

청정조건을 만족하는 면적은 농축조 내의 슬러지가 침강되는데 필요한 수평단면적을 말한다.

또 농축조건을 만족하는 면적은 농축슬러지의 침강속도가 느린 슬러지를 바닥에 빨리 침강시키기 위하여 필요한 수평단면적을 말한다.

농축조에서 청정조건을 만족하는 면적은 식 (1)로부터 구한다.

$$A_1 = \frac{Q}{v_1} = \frac{(Q_f - Q_u)}{v_1} \approx \frac{Q_f}{v_1} \quad (1)$$

$$Q_f \gg Q_u$$

여기서, A_1 : 청정조건을 만족하는 면적(m^2)

Q_f : 유입슬러지량(m^3/d)

Q_u : 농축슬러지량(m^3/d)

v_1 : 침강농축시험에서 구한 등속침강구간에서의 계면침강속도(m/d)

또한 농축조건을 만족하는 면적은 식 (2)로부터 구한다.

$$A_i = \frac{Q_f C_f}{v_i} \left(\frac{1}{C_i} - \frac{1}{C_u} \right) \quad (2)$$

여기서, A_i : 농도 C_i 의 슬러지에 관해 농축조건을 만족하는 면적(m^3)

C_f : 유입슬러지농도(kg/m^3)

v_i : 농도 C_i 슬러지의 침강속도(m/d)

C_u : 배슬러지농도(kg/m^3)

농축조의 면적은 식 (1)의 A_i 와 식 (2)의 농도 C_i 를 변화시켜 얻어지는 A_i 중에서 최대의 A 값을 채택한다. 안전율을 1.2~1.5로 고려한다.

농축조에서 처리되는 슬러지의 양은 통상의 세척배출수나 침전슬러지 외에 침전지나 배출수지, 배출수침전지, 배슬러지지의 청소작업시 배출수도 포함시켜야 하며, 농축조의 보수 및 청소 등을 고려하여 2조 이상으로 하는 것이 바람직하다.

(2) 농축조의 구조와 형상

농축조는 슬러지를 중앙에서 유입시키는 원형구조의 방사류식이 바람직하다. 또한 유효수심은 청정 구역과 침강농축구역의 수심을 고려하여 3.5~4m로 한다.

여유고는 바람 등을 고려하여 30cm 이상으로 한다. 바닥경사는 슬러지수집기에 걸리는 부하가 너무 크지 않고 농축슬러지가 원활하게 배슬러지 피트 내로 유입되도록 1/10 이상으로 한다.

또한 배슬러지 피트는 인발관이나 슬러지수집방법 등을 고려하여 슬러지를 원활하게 인발할 수 있는 구조로 한다.

농축방식에는 회분식(batch)과 연속식의 두 가지가 있다.

배슬러지지 등으로부터 슬러지가 간헐적으로 배출되는 경우나 처리해야 할 슬러지가 소량인 경우에 회분식 농축방식을 채택한다.

중앙 또는 한편에서 슬러지를 조의 내부에 채운 다음 일정한 시간동안 정치하여 고액분리하여 상징수를 인발하기 때문에 수위변동이 크고 가동식의 상징수인발장치가 필요하지만 일반적으로 운전관리가 간단하고 용이하다.

연속식 농축방식은 배슬러지지 등으로부터 슬러지가 연속적으로 배출되는 경우나 처리해야 할 슬러지가 대량인 경우에 채택하는 방식이다.

조의 중앙으로 연속적으로 슬러지를 공급하고 하부바닥으로부터 간헐적으로 농축된 슬러지를 인발한다.

상징수는 수위가 거의 일정하므로 월류위어 등의 고정식 상징수 유출장치를 채택한다.

(3) 농축조 부속장치

슬러지 인출관은 탈수시설로 슬러지를 이송하는데 사용되므로 청소작업이 용이한 구경과 경사를 갖는 배관으로 설계해야 한다.

또 상징수량과 인발슬러지량은 유입슬러지의 양 및 농도와 인발슬러지의 농도를 이용하여 구한다.

상징수 유출장치는 연속식인 경우에는 고정식 월류위어, 회분식인 경우에는 부표식 가동집수장치(위어, 트로프 또는 수문) 등을 채택하고 상징수관을 접속시킨다.

농축조에서는 월류면과 슬러지계면의 거리가 짧기 때문에 월류할 때의 유속에 의하여 침강슬러지가 유출되지 않도록 위어부하를 작게 설계해야 한다.

고정위어인 경우에는 위어부하율은 $150\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 이하로 한다.

슬러지수집기는 침강분리된 슬러지의 농도와 점성 등을 고려하여 원활한 슬러지배출기능을 갖는 것으로 한다.

슬러지의 재부상을 피하기 위하여 일반적으로 슬러지수집기의 주변속도는 $0.6\text{m}/\text{min}$ 이하로 하는 것이 바람직하다.

농축조가 충분히 크지 않은 경우나 농축특성이 좋지 않은 슬러지가 유입될 경우에 고분자응집보조제를 주입할 수 있으므로 고분자응집보조제를 주입할 수 있는 시설이 설치되어야 한다.

(4) 저류조

농축된 슬러지를 탈수시설로 이송시키기 전에 저류조에서 일정한 시간 저류하게 되면 균일한 농도로 만들어져서 탈수기의 운영이 쉽고 탈수효율을 증대시킬 수 있다.

농축슬러지의 저류조 용량은 긴 체류시간으로 인한 슬러지의 부패현상이 없어야 하고 교반장치가 과대하지 않아야 하며 유지, 보수를 위하여 2지 이상으로 한다.

저류조 내에서 슬러지가 균일하게 혼합되고 슬러지의 침강에 의하여 굳어지지 않도록 교반장치를 설치한다.

5.17.9 천일건조상

천일건조상은 상징수를 배제하고 여과하여 함수율을 낮춘 다음 증발로 건조하는 시설로, 통상은 배슬러지 또는 농축조에 의하여 슬러지를 농축시킨 다음 천일건조상에 슬러지를 투입한다.

처분하는 케이크의 운반과 처분지의 매립작업을 위하여 케이크의 함수율을 85% 이하로 탈수하는 것이 필요하다.

이 처분방식은 중·소규모의 정수장에서 슬러지의 배출빈도가 적고 입지와 기상조건이 양호하며 용지확보가 용이한 경우 유지관리면과 경제적인 면에서 대단히 유리한 방식이다. 천일건조상의 구조도는 상수도시설기준 <그림-5.22.7>을 참조한다.

(1) 천일건조상의 면적 및 지수

슬러지부하량, 목표로 하는 함수율, 슬러지의 성상, 날씨, 기온 등의 기상조건, 입지조건, 건조상의 구조 등에 차이가 있으므로 실험이나 다른 도시에서의 실적 등을 충분히 조사하여 결정한다.

건조상에 대해서는 자연탈수효율은 유입되는 슬러지의 깊이와 슬러지의 농도에 좌우된다. 일반적으로는 슬러지 부하가 동일하더라도 주입할 때에 슬러지 농도를 높게 하고 슬러지 깊이를 얇게 하는

편이 탈수효율이 좋다.

$$\text{슬러지 부하}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{주입 깊이}(\text{m}) \times \text{슬러지 농도}(\text{kg}/\text{m}^3)$$

슬러지의 농도는 주입슬러지 중의 고형분 중량으로 표시하며 슬러지의 함수율로부터 구할 때에는 비중을 고려해야 한다.

건조상의 면적은 다음 식으로 구한다.

$$A = \frac{D_s \times T}{S}$$

여기서, A : 건조상 면적(m^2)

D_s : 1일 발생 고형물량(kg/d)

T : 건조일수(d), 실험으로 구해야 하는 변수

S : 슬러지 부하(kg/m^2)

케이크를 반출하거나 또는 보수하기 위하여 2지 이상이 바람직하다.

지수 결정에 대해서는 슬러지의 배출빈도, 소요일수 및 유입슬러지량의 변동 등을 고려하여 여유가 있는 지수로 한다.

(2) 천일건조상의 형상 및 구조

건조상의 형상은 주입슬러지의 균등한 분포, 상징수의 확실한 배제, 케이크반출의 작업성 등을 고려하여 직사각형이 바람직하다.

유효수심은 1m 이상으로 하면 효율이 떨어지기 때문에 1m 이하로 한다. 또한 여유고는 작업성을 감안하여 50cm를 표준으로 한다.

천일건조상에서 침투수가 지하수를 오염시키지 않도록 천일건조상의 측면과 바닥면을 불투수성의 재료를 사용하고 지표수가 천일건조상으로 유입되는 것을 방지하기 위하여 필요한 개거나 그 밖의 설비를 설치한다.

일반적으로 바닥을 콘크리트로 한다.

(3) 천일건조상의 부대설비

부대설비로서 슬러지의 건조를 촉진하기 위한 상징수 유출장치, 하부집수장치, 탈수촉진장치 등의 장치와 집수된 처리수의 방류를 위한 배출수설비 및 중기와 트럭의 출입구로서의 작업용 출입문(gate) 등을 설치한다.

5.17.10 탈수기

탈수기를 선정할 때에는 탈수 성능뿐만 아니라 유지관리의 난이도, 비용, 케이크의 재활용, 매립지 등을 고려하여 결정한다. 정수장에서 발생하는 슬러지를 처리하는 탈수기의 종류로는 그 기구 또는

원리상으로 가압형 탈수기, 진공탈수기, 원심분리기 및 조립탈수기 등으로 분류할 수 있다. 탈수기의 종류별 주요 특성은 상수도시설기준 <표-5.17.2>를 참조한다.

(1) 가압탈수기

가압탈수기는 슬러지에 기계적 압력을 가하여 압착함으로써 탈수하는 장치이다.

가압탈수의 전처리로 소석회를 주입하는 방법은 탈수효율이 좋지만 발생케이크의 pH가 높고 매립 처분하는 경우에 환경상의 문제가 유발되지 않도록 처분해야 한다. 정수처리에 사용되는 가압탈수기는 필터프레스식이 많다.

1) 여과(탈수)주기(cycle time): ① 슬러지의 압입, ② 압착(압착기구를 부착한 경우), ③ 공기주입(건조), ④ 여과판 열림, ⑤ 배출 및 여과판 닫힘의 각 공정으로 한 사이클이 되기 때문에 이 모든 공정들을 종합한 시간으로 산출된다.

2) 가압탈수기의 용량(여과면적)

$$A = \frac{S}{V \cdot t}$$

여기서, A : 여과면적(m^2)

S : 슬러지량($kg-D.S./d$)

V : 여과농도($kg-D.S./m^2/h$)

t : 실가동시간(h/d)

$$N = \frac{A}{a}$$

여기서, N : 소요대수(대)

a : 탈수기의 여과면적($m^2/대$)

3) 가압탈수기의 여과포 선정 조건

- ① 내산성, 내알칼리성일 것
- ② 강도, 내구성이 클 것
- ③ 안정된 여과속도가 가능할 것
- ④ 사용 중에 팽창과 수축이 적을 것
- ⑤ 여과포의 폐색이 적고 케이크의 탈착이 좋을 것
- ⑥ 탈수여액에 청정도가 높을 것
- ⑦ 재생이 가능할 것

4) 여과포 세척장치

필요에 따라 여과포의 세척장치를 설치한다.

이때 여과포의 세척장치 용량은 여과포 내에 묻어 있는 탁질들이 탈착될 수 있는 충분한 수압과 수량이 확보되어야 한다.

산 세척장치를 사용하는 경우에는 여과포의 내구성과 탈수기 각 부분의 내산성에 대하여 검토한다.

가압형 필터프레스는 탈수기의 여실 내에 슬러지 원액을 케이크 두께(20~30mm) 정도가 되도록 주입하여 여과포에 의한 고액분리, 슬러지층의 필터작용으로 탈수하며 최종압력은 1.0~2.0MPa(10~20kgf/cm²) 정도로 가압한다.

가압압착형 필터프레스에는 종형과 횡형이 있으며 가압형 필터프레스에 비하여 다이어프램과 압력수 펌프가 부가되기 때문에 구조가 복잡하다.

가압압착형 필터프레스의 운전방법은 여실 내에 슬러지를 3~10분간, 케이크의 두께를 3~5mm 정도가 되도록 주입하고, 그 다음 가압수를 다이어프램에 공급하여 여실 내의 슬러지를 압착한다.

슬러지의 압입압력은 최초 0.3~0.5MPa(약 3~5kgf/cm²), 다이어프램에 의한 압착압력은 1.2~1.5MPa(약 12~15kgf/cm²)이다. 탈수공정은 여과, 압착, 배출이 1사이클이며 탈수소요시간은 약 품처리가 없는 경우에는 단시간형으로 약 1시간, 장시간형인 경우에는 수십 시간이 소요되고 소석회 등을 사용하는 경우에는 20~30분간이 일반적이다.

벨트프레스식탈수기에서 벨트의 속도가 빨라지면 탈수시간이 짧아져서 수분이 많은 케이크가 생성되며 벨트의 인장력이 증가되면 더욱 건조된 케이크가 생성되나 벨트의 마모가 심해진다. 또한 폴리머의 사용량을 증대시키면 더욱 건조된 케이크가 생산된다.

(2) 진공탈수기

진공탈수기는 드럼과 진공장치 및 여과포로 구성되며, 드럼의 표면에 있는 슬러지를 여과포를 통하여 진공을 걸어 탈수하는 방식이다.

진공탈수기는 소석회 등의 약품을 사용하거나 동결융해법 등의 탈수전처리가 필요하다. 또 케이크의 함수율은 슬러지의 성상과 탈수전처리에 의한 영향이 크며 60~80% 정도이다.

진공탈수기를 위한 교환장치는 조 내에 슬러지가 침전되지 않을 정도로 천천히 교환되도록 한다.

진공펌프는 여과기의 운전에 필요한 용량으로 한다.

부속기구로는 액위계, 진공계 등의 계기를 설치하고 운전이 원활하게 이뤄지도록 한다.

진공펌프는 소음과 진동이 발생한다.

소음이 옥외로 새어나가지 않도록 건물 내를 방음구조로 하고 기초는 진동을 흡수하는 구조로 한다.

(3) 원심탈수기와 조립탈수기

원심분리기와 조립탈수기는 고분자응집보조제를 사용하기 때문에 용해장치와 주입장치를 설치한다.

(4) 탈수기의 부대설비

탈수기의 부속기기와 그 밖의 설비는 예비기를 설치하며, 확실히 가동되도록 하고 그 외 부대설비는 다음 각 항에 의한다.

- 1) 관 등은 슬러지나 협잡물로 폐색되지 않도록 한다.
- 2) 케이크 반출설비를 설치한다.
- 3) 점검, 정비, 수리용으로 크레인, 호이스트를 설치한다.

4) 여액의 처리설비 또는 반송설비를 설치한다.

(5) 탈수케이크의 유용한 이용을 위한 설비

탈수케이크를 유용하게 이용하기 위해 파쇄 및 조립설비, 건조 및 소성설비를 필요에 따라 설치할 수 있다.

5.17.11 슬러지의 유효이용과 처분

(1) 슬러지의 유효이용

슬러지케이크는 재활용을 고려하는 것이 바람직하다. 재활용방법으로는 농업에 객토제, 토양개량제, 육묘토양, 화분 및 과일재배용 토양 등의 농업에 이용하는 방법, 토지조성자재로의 이용, 시멘트 원료로서 이용하는 방법, 수도관을 매설할 때 되메움제로 이용하는 방법 등이 있다. 슬러지케이크를 유용하게 이용하기 위한 계획을 수립할 때에는 슬러지의 양과 질, 용도, 이용하는 곳과 양, 제조방법, 유통방법, 경제성이 문제로 되며 사전에 충분히 검토하여야 한다.

1) 배출수처리의 실태파악

장래 슬러지발생량을 예측하고 배출수처리에 대한 과제, 현상의 처분방법으로 필요한 대책, 문제점을 밝힘과 동시에 배출수처리비용과 슬러지처분비용을 추계한다.

2) 슬러지 성상조사

슬러지 시료를 채취하여 조성성분에 관한 함유시험, 금속 등을 포함하는 산업폐기물에 관한 판정 기준으로 용출시험, 또한 필요에 따라 토질공학적 시험, 농작물 생육에 관한 시험 등을 한다. 이 시험은 슬러지에 대하여 기존의 시험결과나 원수수질의 조건, 정수와 배출수처리의 관리작업상황을 고려하고 슬러지의 성상변동을 파악할 수 있도록 1년에 3회 이상 실시하는 것이 바람직하다.

3) 시장조사

문헌자료 등을 참고로 하여 자원화의 가능성이 있는 업종을 선정하고 정수장의 비교적 근교에 위치한 농업협동조합 등의 관련기관이나 업자를 대상으로 한 앙케이트나 공청회 등으로 유효이용의 조건과 적응성 등을 검토하며 동등한 일반 시장상품의 동향을 조사하고 자원화의 가능성을 개략적으로 검토한다.

4) 용도선정

슬러지의 성상조사와 시장조사의 결과에 따라 품질의 적성, 수요의 확실성, 업자와의 거래조건, 제품제공인 경우에는 자원화의 운전관리성과 경제성 등을 검토하여 확실성이 높은 유효이용의 용도를 선정한다.

5) 품질의 실증실험

농업이용에는 식해(植害)시험이나 토양개선율시험, 비료효과시험 등에 따라 품질의 적합성을 판정한다. 건설자재로 이용하기 위해서는 용도에 따라서 각종 표준시방서나 KS규격, 협회규격 등에 표시되는 성상을 시험하고 적합성을 대조한다. 노반재료 등의 유효이용에 따라서는 사용허가를 얻기 위

하여 현장에서 경년적인 시험을 한다.

6) 제품화시험

수도사업자가 스스로 제품화 또는 거래처가 요구하는 품질까지 일정한 가공을 하는 경우에는 제품화를 위한 플랜트에서 실제로 제품을 만들어서 제조방법, 품질평가, 생산성 등을 확인한다.

7) 제품화를 위한 장치

제품화의 실험성과를 이용하여 효율적으로 운전관리할 수 있는 제품제조공장을 건축과 기계 및 전설비의 설치에 대한 기본계획을 입안한다. 또한 제조에 필요한 초기비용과 운전자금을 적산한다.

8) 유통방법

시장조사를 할 때에 선정하였던 용도의 제품을 취급하는 관련기관이나 업자와 협의하여 슬러지제품의 판매를 계획하고 거래조건과 유통방법을 교섭한다. 제품을 자가 소비하는 경우라도 연간의 수급계획과 수송방법 등을 검토한다.

9) 경제성 검토

제조비용과 유통비용을 검토하여 제품가격을 산정하고 동등한 일반 시장제품과 비교하며 현상태에서 처분방법으로 장래경비를 산출하여 유효이용의 유익성을 검토한다.

10) 자원화의 적합성 평가

관련기관이나 업자 등의 거래처 및 수요확보의 확실성, 거래가격의 타당성, 유지관리방법, 현상태에서 처분방법으로 문제점, 자원화의 계속성, 경합되는 사업자의 상황 등을 종합적으로 감안하여 선정된 용도에서 유효이용의 가능성을 판단한다.

11) 관련 행정기관, 거래처와의 조정 등 유효이용의 실현성이 있으면 유효이용을 계획하는 것에 대하여 자치단체의 환경부서와 협의하며 거래처와의 거래조건을 교섭하여 계약·협정을 체결하도록 준비한다. 또한 유효이용의 용도나 사용목적, 장소에 따라 예컨대, 도로관리자의 허가를 받거나 일반 시장제품과 동등하다는 인증을 취득하는 등의 행위가 필요하다.

(2) 슬러지의 처분

정수장에서 발생하는 케이크를 매립처분하는 경우 최종처분장은 관리형이어야 한다. 따라서 반입도로, 옹벽, 차수공, 집수관과 배수관, 침출수처리설비 및 주변의 지하수 수질을 검사하기 위한 관측정 등의 공사가 필요하기 때문에 기초 데이터로서 지층의 구조, 지내력 및 지반의 침투성 유무 등에 대하여 검토하는 것이 필요하다. 처분지를 선정할 때에는 매립용량이 크고 계속적으로 매립이 가능한 것이 바람직하지만, 발생케이크의 양, 배출수처리시설에서의 거리 등에 의한 운반효율, 주변의 조건, 재해에 대한 안전성, 매립방법 및 처분장의 정비방법을 검토한다.

또한 발생케이크의 처분지에 대하여 장래 이용할 계획이 있는 경우를 고려하여 그 목적에 적합하게 처리하고 처분한다. 구조물을 건설할 계획이 있는 경우에는 케이크의 성상을 검토한 다음 이용 목적을 고려하여 필요에 따라 케이크처분지의 지내력을 높이기 위하여 배수(drain) 등의 지반개량공법을 처분 전에 시공해 두는 것이 바람직하다. 구조물을 만들지 않고 공원이나 녹지 등으로 이용을 고려하는 경우에는 지내력은 그렇게 중요하지 않지만, 식물의 성장을 저해하는 성상의 케이크를 메울

때에는 복토를 두껍게 하는 등의 조치를 강구한다.

5.17.12 배출수 및 슬러지처리설비의 점검

<표 5.17.2> 배출수 및 슬러지처리설비의 점검항목 및 점검주기

항 목		일상점검		정기점검		정밀점검	
		점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
조 정 조	조 정 조	3회/일	<ul style="list-style-type: none"> 슬러지 펌프의 토출압, 전류값, 이상음, 그랜드부 누액, 축수온도 교반기의 이상음, 진동 전류값, 윤활유, 교반 수류 확인 제진기 효율 	3~6 개월	<ul style="list-style-type: none"> 배출수지 오사, 슬러지 퇴적 상황 확인 배출수지의 슬러지 퇴적상황 확인 	1~2주 1년 1~2년	<ul style="list-style-type: none"> 집적제진 청소 및 정리 배출수지 청소 배출수지 청소
	농 축 조	필요시 3회/일	<ul style="list-style-type: none"> 슬러지 제거기의 토크 정류, 이상음 확인 흐름상태 확인 슬러지 펌프토출압, 이상음, 그랜드부 누액 전류값 확인 제진기의 제진효율 배관, 밸브류의 누수 여부 	2회/일 3회/일	<ul style="list-style-type: none"> 슬러지 농도 및 계면 위 측정 유입, 유출량 측정 상징수의 수질측정 (탁도, pH, 부유물질 등) 	1개월 3개월 3~6 개월	<ul style="list-style-type: none"> 유입구, 월류부 부근 청소 배관, 밸브류 청소 집적제진 청소 및 정리
	환 산 주 입 설 비	필요시 3회/일	<ul style="list-style-type: none"> 환산주입상황 pH측정기의 작동상황 농축조 수면의 거품발생 재생조 운전상황 	1일	<ul style="list-style-type: none"> 재생벤드, 알루미늄 성분의 농도측정 	필요시 3~6 개월 6~12 개월	<ul style="list-style-type: none"> 농축조 수면 거품제거 및 청소 환산저장수조의 건조제 교체 저관, 측벽, 각각 등의 보수
자 연 건 조 상	태 양 열 건 조 상	필요시 2회/일 1주	<ul style="list-style-type: none"> 각락상태 슬러지유입상태 상징수 및 여과수의 유출상태 건조상태 건조상 누수여부 	3개월	<ul style="list-style-type: none"> 측벽상태 각종 밸브류의 작동상태 각종 배관의 폐색 등 	반출시 3개월	<ul style="list-style-type: none"> 저관, 측벽, 각각 등의 보수 배수구 청소 각종 배관 청소
	고속 태양열 건조상	필요시 1회/일 2회/일	<ul style="list-style-type: none"> 격막상태 비산물질유입여부 슬러지유입, 상징수 및 여과수 유출상황 	필요시 1일	<ul style="list-style-type: none"> 건조케이크의 함수율 측정 장치구동부의 상태 장치의 볼트부 점검 	반출시 1개월 3개월	<ul style="list-style-type: none"> 저관, 측벽, 격막 등의 보수 장치전체 청소 배수구 청소

항 목		일상점검		정기점검		정밀점검	
		점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
자 연 건 조 상	고 속 태 양 열 건 조 상	2회/일 1주	<ul style="list-style-type: none"> - 장치의 운전상황 - 건조상태 - 건조상 누수여부 	1개월 3개월	<ul style="list-style-type: none"> - 여과모래의 감소량 실 측 - 측벽상태 - 각종 밸브류의 작동상태 - 각종 배관의 폐색여부 	3개월 1년 1~2년	<ul style="list-style-type: none"> - 각종 배관 청소 - 장치 각부의 윤활유 주 입 - 장치 전체 및 부속물 점검 - 여과모래 보사 및 여 상 정비 - 장치 전체 재도장
탈 수 설 비	동 결 융 해 설 비	필요시 1일 1일 4회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 브라인펌프의 운전상 황 및 외관상태 - 동결융해조의 운전상 황 및 외관상태 - 동결융해온도 및 슬러 지 상태 - 브라인펌프의 토출 및 흡입압력, 전류상태 - 각종기기의 볼트의 조임 상태, 환기팬 운전상태 - 전자밸브의 이상음 여부 - 냉동기 운전상태 - 냉동기 브라인 출구온 도, 냉매 입구 및 출구 압력 - 냉동기 액면, 압력, 유 압 및 온도, 부하 및 전류 등의 상태 	1개월 1개월 1년	<ul style="list-style-type: none"> - 조 내부의 침적물, 이 물질 유무 - 게이트의 개폐작동상 황 - 슬러지의 pH, 농도 측정 - 브라인펌프 탱크 저 부의 블로 상태 	—	—
	가 압 탈 수 기	상시	<ul style="list-style-type: none"> - 탈수기 진동, 이상음, 전류값, 압력계, 여포 세척 상태 - 여과포 상태, 케이크 탈수상태, 여과포 박리 상태, 벨트컨베이어로 의 케이크이송상황 - 압력수펌프, 유압펌프 등의 진동, 이상음, 전 류값 등의 운전상황 	상시 2~4회 /일 운전중 료시	<ul style="list-style-type: none"> - 여과포 및 여판 청소 - 농축슬러지 농도, 배출 케이크의 함수율 측 정 - 탈수기 본체 및 기타 슬러지 부착부위의 물 세척 - 실내 주요부 물세척 	2개월	슬러지 배송관 및 벨 브류 청소
	진공 탈수기	필요시	<ul style="list-style-type: none"> - 여과포의 평형 확인 - 여액조의 수위, 배수 	2~4회 /일	<ul style="list-style-type: none"> - 농축슬러지 농도, 배출 케이크의 함수율 측정 	반출시	저판, 측벽, 각락 등 의 보수

항 목		일상점검		정기점검		정밀점검	
		점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
탈수설비	진공탈수기	필요시 3회/일	상태 - 슬러지 공급용 배분조의 액위 및 공급상황 - 탈수기의 진동, 이상음 등의 발생여부 및 전류상태 - 케이크탈수 및 여과포 박리상태, 벨트컨베이어로의 슬러지 공급상태 - 진공펌프의 진공압력, 이상음 발생여부 및 전류상태	운전 종료시	- 탈수기 본체 및 기타 슬러지 부착부의 물 세척 - 여과포의 물세척상태 - 탈수기용슬러지저류조의 슬러지 배출 및 청소 - 슬러지 공급용분배조 및 슬러지공급관의 물 세척 - 실내 주요부의 물세척	1개월 3개월 2개월	- 장치 전체 청소 - 배수구 청소 - 각종 배관 청소 - 장치 각부의 윤활유 주입 - 슬러지 이송관 및 벨트류 청소
	원심분리기	운전 전	- 브레이크의 공기압설 장치 - 내외동의 진흙에 의한 막힘 - 안전핀의 절손 및 정위치 상태 - 케이싱 커버의 이완여부 - 이상회전 유무 및 겹출기 작동 상황 - 전류값 기록 - 슬러지 공급량, 슬러지 농도, 처리수 중 농도 - 농축슬러지의 회수율 - 케이싱으로부터의 흙탕물 침입	1일	- 진동, 베어링 온도, 베어링 박스 유량 점검 - 윤활장치의 계기류 점검, 기록 - 브레이크 상태 - 시동 및 제동 시간측정 - 이상회전 여부 및 겹출장치 작동 확인 - 기어박스유량 및 변속시 유량	-	-
	조립탈수기	필요시 2회/일	- 탈수기의 진동, 이상음 전류값, 드럼회전, 이상 유무 - 슬러지의 응집, 분리 상태 - 고분자응집제, 규산나트륨의 주입 및 교반 상태 - 분리수 피트펌프의 운전 및 배수상황	필요시 3회/일 4회/일	- 슬러지 공급조 부근 청소 - 회전부 마모상태 확인 - 농축슬러지의 농도, 고분자 응집제, 규산나트륨 등의 주입률 및 주입량 측정 - 탈수케이크 함수율 측정 - 고분자 응집제 적정 주입여부 확인	1년	- 약품저장조, 혼합조 분리수 피트 등의 청소

항 목		일상점검		정기점검		정밀점검	
		점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
탈수설비	조립탈수기	3회/일 4회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 배수용 슬릿의 작동상황 - 약품주입장치, 펌프의 운전상태 	운전 종료 후	<ul style="list-style-type: none"> - 탈수기 본체 및 기타 슬러지 부착부위 물 세척 		
건조설비	건조장치	필요시	<ul style="list-style-type: none"> - 탈수케이크의 투입량 결정 - 건조기의 진동, 이상음 발생여부, 전류값 - 건조케이크상태, 축수부 온도 - 농축슬러지 분무 및 장치 벽면의 박리상태 - 연소상태(온도온도, 배기온도, 증기압력, 풍량, 풍압) 확인 	2~4회/일 2회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 건조케이크의 함수율 측정 - 농축슬러지의 농도 	6개월	- 본체의 각 부분 청소
	부속설비	필요시	<ul style="list-style-type: none"> - 급유펌프의 진동, 이상음 발생 여부, 전류값, 기름누출, 압력 등의 운전상황 - 버너의 연소상태, 연료의 압력 및 소비량 - 보일러의 증기압력, 액위, 연소상태 - 컨베이어 전류값, 회전부 이상유무 - 밸브의 개폐상태 및 배관 등의 누액 유무 - 열풍건조케이크 저류조의 이상 유무 	필요시 1일	<ul style="list-style-type: none"> - 연료저장 탱크의 유면 확인 및 배수 - 배관 라인에서의 가스 누설 유무 - 연료누출 여부 - 각종 배관의 부식상태 	-	-
집진설비	집진장치	3회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 압력손실 변화 - 고정부의 누수 유무 	-	-	-	-
	세척집진장치	필요시 2회/일 3회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 월류수, 배수조정 - 각종 밸브의 개폐상태 및 배관 중의 누수 유무 - 수막, 분사수 상태 - 내벽의 먼지부착 및 퇴적상태 	2회/일	<ul style="list-style-type: none"> - 세척수의 수량 및 수질 측정 	-	-

항 목		일 상 점 검		정기점검		정밀점검	
		점검주기	점검내용	점검주기	점검내용	점검주기	점검내용
집진설비	여과 집진 장치	3회/일	- 압력손실의 변화, 진동 및 이상음 발생여부	-	-	-	-
	전기 집진 장치	필요시 2회/일 3회/일	- 전압, 전류값 확인 - 실리콘정류기의 유면 상태 및 기름누출 여부 확인 - 습식의 경우 세척수량, 압력밸브 및 배관의 누수	-	-	-	-
	부속 설비	필요시 2회/일 3회/일	- 댐퍼 개폐 및 조절 - 밸브개폐, 배관누수 - 후드 과장 여부 - 배풍기의 진동, 이상음 발생여부, 전류, 압력, 축수온도 등의 운전 상태 - 덕트의 풍압 저하 - 세척펌프의 진동, 이상음 발생여부, 전류, 압력 등의 운전상태	-	-	-	-
탈취설비		필요시 2~4회/일	- 2차배기팬, 감습탑, 탈취로, 소각팬 등의 운전 상태, 이상음, 진동 발생여부, 전류 및 가스누설 등의 확인 - 배기탑의 배기온도, 백색연기의 상황 등	필요시 1일 1개월 3개월	- 배관라인의 가스 누출여부 - 소각로 내부 상태 점검 - 볼트 조임 상태 - 각 기기의 마모상태, 벨트의 늘어남 조정 - 각종배관의 부식상태	1~6개월 1년 1~3년 3년	- 각 기기의 구동장치 의 윤활유 주입 - 탈취로 내부 청소 - 각 기기의 점검 및 수리 등 - 배기탑 내부의 청소

5.18 정수장 내 연결관로 및 수로

5.18.1 총칙

정수장 구내 연결관로와 수로는 정수공정간을 연결하는 관로와 수로이며, 크게 다음 용도로 나눌 수 있다.

- ① 원수를 착수정에 도수한 다음 플록형성지, 침전지, 여과지, 정수지 및 배수지로 순차적으로 정수공정에 따라 연락하는 관로와 수로
 - ② 정수공정에서 배출된 배출수, 즉 침전지 배슬러지와 여과지 세척배출수를 배출수처리시설에 유도하는 관로
 - ③ 배출수처리시설에서 배출수침전지 또는 착수정으로 반송하는 관로
- 정수장 내 연결관로와 연결수로를 설치하는 경우에 유의해야 할 사항은 다음과 같다.
- ① 외부로부터 오염방지나 우회(by-pass)관의 체류수대책 등 수질관리면의 고려
 - ② 긴급시에 대처하기 위한 복수화나 블록화 및 긴급차단밸브의 설치
 - ③ 침전지와 여과지 등에 유입량의 계통별 균등화
 - ④ 적정한 유속 설정
 - ⑤ 장래 개량이나 갱신에 대한 배려
 - ⑥ 부등침하 등의 변위를 일으킬 가능성이 있는 장소에서의 보호대책

5.18.2 연결관로 및 수로의 점검, 정비 및 관리

(1) 연결관과 연결수로의 설치

침전지, 여과지, 정수지 등의 주요시설은 일반적으로 2지 이상으로 하나 이들 연결관과 연결수로가 단일로 이루어져 있으면 사고시에 전체 기능이 일시에 정지될 우려가 있다. 장시간에 걸쳐서 정지되지 않도록 하기 위하여 주요시설 간에 연결은 가능한 한 복수로 하고 긴급시에는 계통이나 블록 간을 별도로 운전할 수 있도록 하는 등의 대책으로 위험을 분산시키는 것이 바람직하다. 이들 연결관과 연결수로는 손실수두를 적게 하고 각 주요시설 간의 수위차를 적게 하며 또한 손실수두를 가능한 한 균등하게 하여 각각의 지에는 물이 균등하게 들어가도록 계획하여야 한다. 또 사고 등을 최소한도로 줄이기 위하여 가능한 한 짧은 구간으로 나누어야 한다.

(2) 연결관 내의 평균유속

플록형성지, 약품침전지, 급속여과지의 연결관 내의 평균유속은 15~80cm/s를 기준으로 하고, 그 외의 연결관과 연결수로의 평균유속은 50~150cm/s를 기준으로 한다.

정수장 내의 연결관로와 연결수로 내의 평균유속은 플록형성지, 약품침전지, 급속여과지를 연결하는 것으로 플록큐레이터의 주변속도와 같은 15~80cm/s로 하고, 그 외에는 장 내의 각 시설간의 수위관계를 고려하여 경험상 50~150cm/s로 한다. 관 내의 유속을 크게 하면 수위차가 커지고 평탄지에서는 수위차가 부족한 경우가 많다. 또 유속이 지나치게 빨라서 마모되거나 너무 늦어서 슬러지 등이 정체될 우려가 없도록 한다.

또 정수장의 주요시설 간의 연결관에서 손실수두 계산에 관해서는 마찰손실수두 이외의 유입, 단면변화, 곡선각도, 굴절, 분류, 밸브류 및 유출 등 모든 손실수두를 고려해야 한다.

(3) 미여과수와 정수와의 연결 금지

미여과수와 여과수 또는 정수가 관로상으로 연결되어 있는 경우 제수밸브의 조작착오나 제수밸브의 누수 등으로 인하여 위생상 문제가 있는 물이 정수에 혼입되어 이를 급수할 우려가 있으므로 미여과수와 여과수 또는 정수관로의 연결은 반드시 없어야 한다.

(4) 수로의 복개 및 배수관

개수로는 외부로부터 오염될 우려가 있으므로 필요한 개소에는 복개를 하는 등 밀폐구조로 한다. 특히 여과지가 처리공정의 최종공정인 경우에는 여과지 이후의 관로나 수로는 외부로부터 오염을 받지 않는 구조로 한다. 또 각 시설의 우회관은 장시간 사용하지 않는 일이 많으므로 그대로 통수하는 것은 바람직하지 않다. 이 때문에 필요한 개소에는 정체수를 배제하는 배수관(drain pipe)을 설치한다.

5.18.3 이상시 대응

지진시에는 관로나 수로가 피해를 받을 가능성이 크므로 정수의 유출, 오수의 역류를 방지하기 위해 필요한 곳에는 긴급차단밸브(수문)를 설치한다. 긴급차단밸브(수문)는 오동작이 일어나지 않고 신뢰성이 있는 것으로 필요한 때에 확실하게 작동하는 것이 중요하다. 따라서 밸브(수문)실은 항상 점검할 수 있는 구조로 한다. 관로나 수로 등에서 긴급차단밸브(수문)가 필요한 곳은 자연유하로 유출되는 정수지 또는 배수지의 유출측이며, 자연유하로 유입되는 정수지나 배수지의 유입측에 대해서도 고려해야 한다. 긴급차단밸브(수문)를 설치하였을 때, 그 단힘으로 인하여 자연유하로 유출되는 정수지나 배수지의 차단밸브 하류(유출)측 관로에서 부압이 발생할 수 있으므로 흡기관과 공기밸브를 설치한다.

관로나 수로는 지진시에 부등침하가 일어나지 않도록 필요한 대책을 세우는 것이 중요하다.

- ① 액상화되기 쉬운 지질상황에 있는 장소는 지반을 개량한다.
- ② 조인트(joint)로 변위를 흡수한다.
- ③ 관로 또는 수로의 밑에 포(布)기초를 시공하여 부등침하를 방지한다.

착수정과 침전지로의 연결수로와 정수거 등에서 콘크리트 구조의 수로에는 특히 이음부의 변위를 흡수하도록 한다.

관로의 내진방법으로는 관로변형의 대부분을 조인트가 감당할 수 있는 방법과 변형의 대부분을 관체가 감당할 수 있는 방법이 있다.

구조물을 관통하는 부분의 배관은 구조물과의 접속부분에 대하여 부등침하나 지진시의 상대변위를 흡수시키기 위하여 가능한 한 구조물에 근접하여 필요한 성능을 갖는 스톱퍼(stopper)가 부착된 가변성의 관 또는 이탈방지압륜을 설치하는 것을 원칙으로 한다.