

제8장 하수찌꺼기 처리·처분 계획

8.1 기초조사

8.2 계획의 기본방향

8.3 하수찌꺼기 처리·처분 방법

제 8 장 하수찌꺼기 처리·처분계획

8.1 기초조사

8.1.1 총 설

경제발전 및 생활수준의 향상은 생활하수의 증가를 가져왔고, 이에 따라 하천 및 강의 오염을 방지하기 위한 하수처리시설 증설은 하수찌꺼기 발생량 증가의 원인이 되고 있으며, 하수처리 시설에서 발생한 하수찌꺼기의 처리는 현재 큰 환경문제를 일으키고 있다.

2013년 말 기준 국내 569개 하수처리시설에서 발생하는 하수찌꺼기는 9,671톤/일로서 재활용(41.6%), 육상매립(11.5%), 소각(24.0%), 연료화(9.9%), 기타(13.0%)등에 의해 최종 처분되고 있으며, 공공하수처리시설의 용량 확충 및 관거정비 계획, 분류식화에 따른 유입수질농도 증가로 하수찌꺼기 발생량은 점차적으로 증가될 것으로 예측된다.

하수찌꺼기의 매립은 인천 시 매립장 반입중지 및 매립 후에도 하수찌꺼기에 의한 침출수 양의 증가, 지하수의 오염 등 2차 환경오염을 초래하고 있어, 2000년에 개정된 폐기물관리법에 의거 2003년 7월부터 하수찌꺼기의 직접 매립을 금지하고 있다.

이러한 법적 규제에 따라 정부 및 지자체는 2000년도부터 하수찌꺼기 매립량을 점차로 줄이고 하수찌꺼기의 해양배출을 증가시켜 처분하고 있으나, 해양배출의 경우 투기지에서 저서생태계의 파괴가 나타나는 등 해양환경오염 문제가 발생되어 런던협약에 의해 국제적으로 하수찌꺼기의 해양투기가 금지될 전망이며, 우리나라는 해양환경관리법 시행규칙을 개정하여 하수슬러지를 포함한 폐기물의 해양배출기준을 대폭 강화하여 실질적으로 해양배출을 금지하고 있다.

선진외국의 경우 하수찌꺼기 매립 및 해양투기의 규제로 인하여, 하수찌꺼기의 토양화, 건설자재화, 퇴비화, 시멘트자원화 등 자원으로서의 재활용이 가능하고 경제적인 처리기술이 개발되어 왔고, 이미 실용화 단계를 넘어 안정적인 처리가 이루어지고 있다. 국내에서도 하수찌꺼기의 재활용 활성화를 위한 관련제도 정비를 통하여 재활용 산업 육성과 신기술 보급을 추진 중이다.

본 계획에서는 하수찌꺼기 처리·처분의 핵심 단위공정인 농축, 혐기성 소화, 탈수, 최종처분 공정 등을 대상으로 각각의 특성, 장단점, 경제성 등을 검토한 후 김천시의 지역특성 및 주변여건을 감안하여 장래 최적의 하수찌꺼기 처리·처분 공정을 선정토록 하였다.

8.1.2 하수찌꺼기 처리현황 및 문제점

가. 국내 하수찌꺼기 처리현황

1) 국내 하수찌꺼기 처리현황

과거 5년간 국내 하수찌꺼기 처리는 2012년부터 해양투기 금지에 따라 재활용, 소각, 연료화 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 2013년 하수찌꺼기 처분방법별 현황은 재활용 41.6%, 육상매립 11.5%, 소각 24.0%, 연료화 9.9%, 기타 13.0%로 나타났다.

국내 하수찌꺼기 처리현황

〈표 8-1-1〉

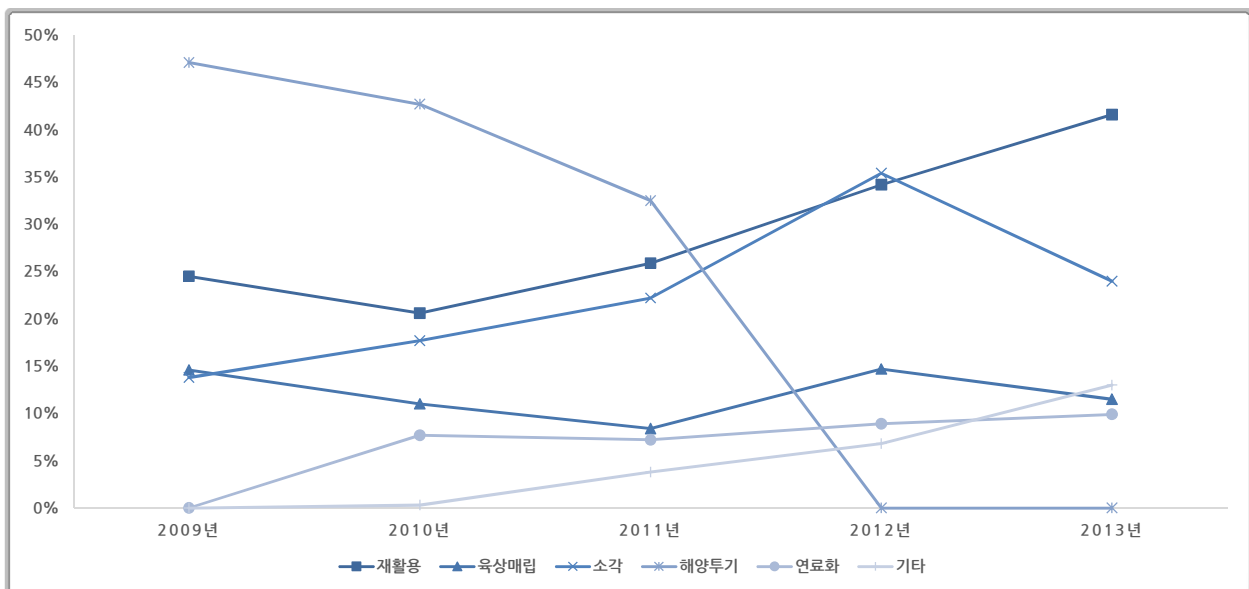
(단위 : 톤/일)

구 분	처리시설 (개소)	하수찌꺼기 처리·처분량						
		처리량(계)	재활용	육상매립	소각	해양투기	연료화	기 타
2009년	433	8,286	2,027	1,208	1,140	3,911	-	-
		100.0%	24.5%	14.6%	13.8%	47.1%	-	-
2010년	470	8,439	1,741	926	1,492	3,600	654	26
		100.0%	20.6%	11.0%	17.7%	42.7%	7.7%	0.3%
2011년	505	8,482	2,198	716	1,885	2,768	612	303
		100.0%	25.9%	8.4%	22.2%	32.5%	7.2%	3.8%
2012년	546	9,884	3,380	1,455	3,496	-	883	670
		100.0%	34.2%	14.7%	35.4%	-	8.9%	6.8%
2013년	569	9,671	4,026	1,114	2,318	-	958	1,255
		100.0%	41.6%	11.5%	24.0%	-	9.9%	13.0%

자료) 하수도통계(2011~2015, 환경부)

국내 하수찌꺼기 처리·처분 현황

〈그림 8-1-1〉



2) 국내 하수찌꺼기 발생량

과거 5년간 국내 하수찌꺼기 연간 발생량은 매년 처리인구와 하수도보급률 증가에 따른 하수처리시설 용량 확대, 종인처리시설 및 분류식 하수관로 시스템 도입으로 증가하는 것으로 나타났으며, 하수찌꺼기 발생량 원단위도 증가하는 것으로 나타났다.

국내 하수찌꺼기 발생량

〈표 8-1-2〉

구 분	처리시설 (개소)	시설용량 (천 m^3 /일)	하수처리량 (천 m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/년)	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m^3)	비 고
2009년	433	24,754	18,469	3,027,829	0.449	
2010년	470	24,935	18,603	3,080,043	0.454	
2011년	505	25,018	19,369	3,095,948	0.438	
2012년	546	25,066	19,730	3,624,451	0.503	
2013년	569	25,086	19,697	3,531,250	0.491	

자료) 하수도통계(2011~2015, 환경부)

2013년 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(2014.09, 환경부)를 이용해 공공하수처리시설 시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위를 산정하였다. 2013 하수도통계 기준 569개소 중 운영관리현황이 가능한 566개소 공공하수처리시설에 대하여 산정하였다.

2013년 기준 566개소 공공하수처리시설의 하수처리량은 19,907천 m^3 /일, 하수찌꺼기 발생량은 3,579,163톤/년이며, 하수 1 m^3 당 하수찌꺼기 발생량은 0.493 kg 로 나타났다.

시설용량에 따른 하수찌꺼기 발생량 원단위 산정 결과, 시설용량이 감소할수록 하수찌꺼기 발생량 원단위가 증가하고, 시설용량이 증가할수록 하수찌꺼기 발생량 원단위가 감소하는 것으로 나타났다.

국내 하수처리시설 시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위 산정

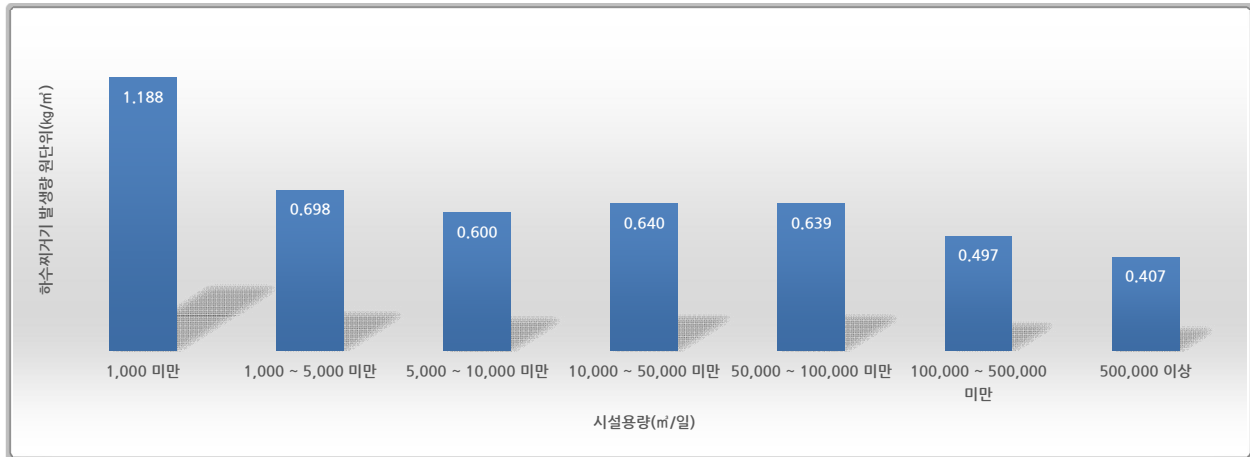
〈표 8-1-3〉

공공하수처리시설 시설용량 (m^3 /일)	처리시설 (개소)	시설용량 (천 m^3 /일)	하수처리량 (천 m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/년)	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m^3)	비 고
합계	566	25,398	19,907	3,579,163	0.493	
1,000 미만	119	79	57	24,772	1.188	
1,000 ~ 5,000 미만	171	409	293	74,563	0.698	
5,000 ~ 10,000 미만	78	534	402	88,100	0.600	
10,000 ~ 50,000 미만	114	2,593	2,109	492,524	0.640	
50,000 ~ 100,000 미만	31	2,067	1,523	355,170	0.639	
100,000 ~ 500,000 미만	41	8,752	7,211	1,308,110	0.497	
500,000 이상	12	10,964	8,312	1,235,922	0.407	

자료) 2013년 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(2014.09, 환경부)

국내 공공하수처리시설 시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위

〈그림 8-1-2〉



나. 국내 하수찌꺼기 처리시설 문제점

하수슬러지 처리시설 실태점검 결과(2010.06, 환경부) 및 소화조 운영실태 종합진단 결과(2009.06, 환경부) 분석을 통해 국내 하수찌꺼기 처리시설 문제점을 파악하였다.

1) 하수슬러지 처리시설 실태점검 결과(2010.06, 환경부)

가) 개 요

(1) 목 적

- 하수슬러지 처리시설 설치사업 실태 점검을 통해 설치에서 운영 및 유지관리, 부산물의 최종처분에 이르는 통합적 평가 및 관리방안 마련
- 아울러 전문가 합동으로 건설 중이거나 계획하고 시설에 대한 개선방안 제시 등 기술 지원 실시

(2) 조사대상

- 2010년 현재 운영 중이거나 계획·설치중인 104개 하수슬러지 처리시설

(3) 조사내용

(가) 운영 중인 시설

- 처리공법, 시설규모, 유지관리 및 운전실적 확인
- 처리용량 및 운전인자, 물질수지 및 성상비교 등 설계자료 수집
- 운영상의 문제점 및 개선대책, 지자체의 의견수렴 등

(나) 건설 중인 시설

- 설치사업 공정율 및 준공 예정시기, 사업부진시 부진사유 및 대책
- 처리용량, 물질수지, 처리공법, 시운전 기간 등의 적정성·타당성
- 재활용시 재활용 기준 준수 및 수요처 확보 여부

- 사업추진 과정에서 대두되고 있는 문제점 및 특이사항

나) 실태조사·분석

(1) 일반현황

- 운영 중인 시설은 47개소로 조사되었으며 기존 시설 중 2개소가 신규 대체건설로 인해 폐쇄조치
- 건설 중인 55개 시설 중 설계등 착공전인 사업은 21개소이며 공사 중인 시설은 34개소로 조사됨
- 폐쇄시설을 제외한 102개소의 총 시설용량은 10,794톤/일임
- 처리기술은 전용소각 및 혼합소각이 36개소(35.28%)로 가장 많이 채택되어 있음
- 건조 후 화력발전소연료/시멘트원료/LFG자원화로 처리하는 기술이 18개소로 조사됨
- 소각위주에서 연료화 및 자원화 정책유도에 따른 건조 및 탄화기술로 신규 증가하고 있으며 전체적인 분포에서 각 기술별로 균등히 점유하고 있음

하수찌꺼기 처리기술 현황

〈표 8-1-4〉

구 분	계	미정	전용소각	건조 (혼합소각)	건조 (자원화)	탄화	고화	부숙화
전체(%)	102 (100%)	4 (3.92%)	18 (17.64%)	18 (17.64%)	18 (17.64%)	16 (15.68%)	14 (13.72%)	14 (13.72%)
운영 중	47	-	14	10	4	3	7	9
건설 중	55	4	4	8	14	13	7	5

(2) 운영 중인 시설

(가) 운영 실적

- 금번 실태조사 대상인 47개소의 시설용량은 5,725톤/일, 처리량은 4,427톤/일로 평균 가동률은 77.3%임
- 서울, 인천(광역), 경기, 충북등은 가동율이 75% 이상으로 조사됨

2010년 실태조사 대상 하수슬러지 처리시설 가동율 현황

〈표 8-1-5〉

시 도	계	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주
처리장수	47	3	1	-	2	-	-	-	10	-	3	1	1	8	7	11	-
시설용량	5,725	500	48	-	2,050	-	-	-	1,777	-	250	30	10	188	327	545	-
처리용량	4,427	447	34		1,757				1,351		220	18	5	92	205	298	
가동율 (%)	77.3	89.4	70.8		85.7				76.0		88.0	60.0	50.0	48.9	62.7	54.7	

처리방법별 하수슬러지 일일처리량

〈표 8-1-6〉

구 분	합계	전용소각	혼소소각 (건조)	건조	탄화	고화	부숙화
처리량 (톤/일)	4,427	1,617	211	610	77	1824	88
비율(%)	100	36.5	4.8	13.8	1.7	41.2	2.0

(나) 운영주체

- 47개 시설 중 38개소(80.9%)가 전문기술이 필요하고 성능보증 책임을 확보하기 위하여 민간에 위탁하고 있는 실정임

운영방식

〈표 8-1-7〉

구 분	계	민간운영		직영
		민간위탁	민간투자	
처리장(개소)	47	35	3	9
비율(%)	100	74.5	6.4	19.1

(다) 운영·관리비

- 소각의 경우 혼합소각(스토카 방식)이 전용소각(유동상 방식)에 비하여 처리단가가 톤당 16,197천원 정도 높은 것으로 나타남
 - 생활쓰레기 혼소로 인하여 연소가스 처리에 필요한약품등 운영비용이 증가한 것으로 추정
- 건조하여 연료화/시멘트원료/LFG자원화로 처리하는 경우에서 운영비가 가장 적게 소요되는 것으로 조사됨
- 탄화시설에 있어서 탈수슬러지의 함수율이 높거나 처리량이 설치용량에 미치지 못하는 경우 열효율이 급격히 나빠져 연료량이 많이 소모되는 것으로 조사됨
- 부숙화 시설의 경우에도 소규모 처리량에 따라 열효율이 좋지 못해 연료비가 많이 소요되는 것으로 조사됨

처리방법별 톤당 운영단가

〈표 8-1-8〉

구 분	전용소각	혼소소각 (건조)	건조	탄화	고화	부숙화
운영단가 (원/톤)	62,763	78,960	56,894	257,000	63,409	109,471

(라) 최종 부산물 처리

- 처리과정을 거친 최종산물은 감량율 55.6%로 2,463톤/일에 이르고 소각재 매립, 시멘트 원료화, 퇴비, 복토재의 순으로 처리되고 있는 것으로 나타남
 - 일일 부산물 발생량의 대부분은 고화에서 발생하는 것으로 2,140톤/일 차지(감량율 저하)
 - 건조슬러지에 대한 운송비용 부담 및 판매수익이 불투명한 상태이며 화력발전소에서 슬러지 혼소장치를 설치중으로 현재 연료로 사용하는 사례는 없음
 - 탄화물도 철강보온재 외에 시멘트원료로 공급하는 것으로 조사됨
- 슬러지를 건조 및 고화 후 매립가스(LFG) 발전시설이 설치되어있는 매립장에 매립 처분하여 메탄가스로 에너지를 회수하고 있음(수도권 광역, 여수)

부산물 최종처리 현황

〈표 8-1-9〉

처리방법 (처리용량)	감량율 (%)	부산물 처리현황							
		계	소각재 매립	LFG 매립	시멘트 원료 (연료)	원예시비 토지개량 퇴비원료	철강 보온재	복토재, 녹생토 등	건축자재 (용융물 재활용)
계 (4,427/2,463)	55.6%	47 (*2,463)	17 (76.3)	2 (1,743.5)	9 (189.4)	9 (26.86)	1 (4.5)	5 (372.1)	4 (51.2)
소각(혼소) (1,828톤/일)	9.1%	24 (167.3)	17 (76.3)	-	3 (39.8)	-	-	-	4 (51.2)
건 조 (610톤/일)	20.2%	4 (123.3)	-	1 (5.5)	3 (117.8)	-	-	-	-
탄 화 (77톤/일)	8.1%	3 (6.3)	-	-	2 (1.8)	-	1 (4.5)	-	-
고 화 (1,824톤/일)	117.3%	7 (2,140)	-	1 (1,738)	1 (30)	-	-	5 (372.1)	-
부숙화 (88톤/일)	30.4%	9 (26.86)	-	-	-	9 (26.86)	-	-	-

주) (*): 일일 부산물 발생량

(3) 건설 중인 시설

(가) 사업비 현황

- 건설 중인 처리시설은 55개소, 5,069톤/일 규모로 전체 사업비는 약 7,347억원(2개소 제외)으로 시설규모가 작을수록 톤당 사업비 증가추세
 - 전체 평균 톤당 사업비(249백만원)와 비슷한 20톤/일~50톤/일 이하에서 소형규모로 갈수록 시설비가 증가하고 20톤/일~50톤/일 이상에서도 증가하다가 300톤/일 이상에서 규모의 경제성이 나타나는 것으로 분석됨

부산물 최종처리 현황 시설규모별 평균 톤당 사업비 현황

〈표 8-1-10〉

구 분	시설규모(톤/일)							
	평균	10 이하	10 초과 20 이하	20 초과~ 50 이하	50 초과~ 100 이하	100 초과~ 200 이하	200 초과~ 300 이하	300 초과
처리장 수	55	3	12	17	10	6(1*)	2	5(1*)
톤당사업비 (백만원)	249	443	348	251	169	183	211	104
상대비	1(기준)	1.77	1.39	1.00	0.67	0.73	0.84	0.41

주)괄호(*)는 사업비 미정인 개소로 제외

■ 평균 톤당 설치비용은 2.49억원으로 나타남

- 처리 방법별로는 부숙화가 3.4억원으로 가장 높고 전용소각이 1.4억원으로 가장 낮은 것으로 나타남

■ 탄화기술이 설치비용은 약간 높고 운영비가 많이 소요되며 건조, 고화에서는 상대적으로 설치비 대비 운영비용이 저렴한 것으로 조사됨

처리방법별 평균 톤당 사업비 현황

〈표 8-1-11〉

구 분	전용소각	혼소소각 (건조)	건조	탄화	고화	부숙화
설치단가 (백만원/톤)	145	192	201	290	278	345

다) 종합평가 및 조치계획

(1) 총 평

- 조속한 국고지원으로 사업지연 방지
- 하수슬러지 관련법규의 기준 재정립 필요
- 최종산물의 재활용에 따른 수요처 발굴 노력

(2) 미흡한 점

(가) 시설의 설치에 관한 사항

- 국고지원 지연으로 공사중단 우려
 - 국고지원 지연으로 공사중지 및 지연 우려 의견 표출
- 공법결정 등으로 인한 기본계획 수립 지연
 - 건조연료화 유도에 따른 지자체의 공법결정 혼선초래
- 건조연료화 기준등에 대한 재정립 필요
 - 함수율 기준등 에너지 비효율 측면 발생

- 음식물, 축분, 가축분뇨, 슬러지의 혐기소화 및 탈수 병합처리에 따라 공공하수처리시설의 국한된 기준 완화 필요
- 다른 물질과 혼입금지 조항에 따라 슬러지 건조방식등 일부 국외기술 적용 제한

(나) 운영·관리에 관한 사항

- 슬러지의 저장·이송·건조과정 등에서 악취발생
 - 탈취시설 용량부족 등으로 악취발생
- 장기간 시설운전으로 인한 노후화 대책 마련 필요
 - 지자체의 개보수 비용 확보가 곤란
- 부산물처리에 대한 수요처의 확보가 미흡
 - 준공시점에서도 안정적 부산물 수요처 확보가 우려

(3) 개선·발전방안

- 조속한 국고지원으로 사업지연 방지
 - 조속한 국고지원으로 2011년 2월 해양투기 금지시한에 대비한 사업지연 방지
- 지역적, 지리적 특성에 맞는 공법선정 유도
 - 건조연료화를 포함하여 지역적 특성에 맞는 공법선정을 유도
- 폐기물관리법 일부조항 변경검토
 - 유기성폐기물의 병합처리에 따른 기준 재정립
 - 건조연료화시 슬러지외 다른 물질 혼입 제한등 기준완화 검토
- 하수슬러지 처리시설 운영체계 선진화
 - 운영 중인 시설에 대한 상시 기술진단 실시, 슬러지 처리량, 에너지 효율, 처리비용 등을 상시 자료수집 방안 마련
 - 운영자료에 대한 투명성 확보 및 작성지침 마련
 - 운영실적 등 최적기술 평가를 바탕으로 건설사업 검증시스템 도입
- 적극적인 시설 개보수 방안 마련
 - 시설수명 연장 및 효율적 운영을 위한 개보수비의 국비지원방안 강구
- 최종 부산물의 재활용 수요처 확보
 - 지자체의 최종부산물 수요처 발굴노력 및 공급조건 재확인

(4) 향후 조치계획

- 하수슬러지처리 최적기술평가 연구결과를 포함하여 하수슬러지 설치 및 운영지침서 작성
- 하수슬러지처리시설 설치·운영 실태 점검결과를 관할 지자체와 유역(지방)환경청에 통보하여 미비사항 조속 보완토록 조치

2) 소화조 운영실태 종합진단 결과(2009.10, 환경부)

가) 개 요

(1) 추진 배경

- 소화조는 슬러지 감량 및 안정화 등을 통해 최종처리를 용이하게 하는 공정이나 국내 소화조의 운영효율은 30%정도로 비교적 저조
- 가동 중인 국내 소화조의 운영실태에 대한 종합진단을 통해 소화조 운영 개선방안 도출 및 소화조별 최적 운영 효율화 방안 제시

(2) 진단대상

- 2008년말 기준 가동 중인 소화조 57개소

(3) 주요 진단 항목

- 소화조 설비의 용량, 가온·농축 방법, 유입수질 등 일반현황
- 슬러지 종류별 농도 및 감량율
- 농축 및 슬러지 최종 처분방법
- 소화가스 발생 및 활용방안
- 소화조 효율 영향인자 분석 및 운영조건
- 소화조별 문제점 및 개선방안

나) 일반 현황

(1) 시설 현황

- 전국 403개 공공하수처리시설 중 소화조가 설치된 처리시설은 65개소이며, 이 중 57개소에서 총 64개 소화조 운영 중, 7개 처리시설에서는 2종류의 소화조 운영

소화조가 설치된 하수처리시설 용량

〈표 8-1-12〉

처리시설용량 (천㎥/일)	계	500이상	500미만 ~250이상	250미만 ~100이상	100미만 ~50이상	50미만 ~10이상
개소	57	14	9	12	10	12

- 가동 중인 소화조의 총 용량은 1,824천톤이며, 대부분 용량 1만톤~5만톤의 소화조 운영중

소화조 용량

〈표 8-1-13〉

소화조 용량 (천㎥)	계	50이상	50미만 ~20이상	20미만 ~10이상	10미만 ~5이상	5미만
개소	57(100%)	7(12%)	13(23%)	12(21%)	7(12%)	18(32%)

(2) 소화 방식

- 56개(88%) 소화조가 슬러지 가열·혼합과 저류를 분리하는 2단 소화방식으로 운영, 8개는 1단 소화방식으로 운영

(3) 슬러지 최종처분 방법

- 해양배출 46개소(48%), 자원화 20개소(26%), 소각 14개소(14%), 매립 12개소(12%) 등

다) 진단결과**(1) 슬러지 농도**

- 1차 침전지에서 발생한 생슬러지의 평균 총고형물(TS) 함량은 2.33%이며, 이 중 휘발성고형물(VS) 함량은 평균 65.38%
- 2차 침전지에서 발생한 잉여슬러지의 평균 TS 함량은 0.79%, VS 함량은 70.86%
- 소화조로 유입되기 전 농축된 슬러지의 평균 TS는 2.45%, 소화 후 슬러지의 평균 TS는 2.28%(소화 후 상등액을 반송하지 않고 슬러지를 바로 탈수하거나, 연계처리수(분뇨, 음식물탈리액)를 직투입하는 경우가 일부 있어, 소화 후 평균 TS 저하)
- 소화 전 농축슬러지의 평균 VS 함량은 69.07%에서 소화 후 60.56%로 감소

슬러지 농도

〈표 8-1-14〉

구 분		생슬러지	잉여슬러지	농축슬러지	소화후 슬러지
TS (%)	평균	2.33	0.79	2.45	2.28
	최대	3.9	2.5	4.1	4.32
	최소	1.0	0.3	0.86	1.04
VS (TS에 대한%)	평균	65.38	70.86	69.07	60.56
	최대	79.50	94.00	93.75	76.83
	최소	35.80	34.30	48.80	37.01

(2) 슬러지 감량율**(가) 농축슬러지**

- 생슬러지를 농축조에서 농축할 경우 평균 슬러지 감량율은 43%이며, 잉여슬러지를 농축할 경우 평균 감량율은 87.4%
- 생슬러지와 잉여슬러지를 혼합하여 농축할 경우 평균 감량율은 71.2%로, 잉여슬러지만 농축하는 경우보다는 감량율이 낮음

(나) 소화슬러지

- 소화과정을 거치는 경우 평균 감량율은 31.1%로 슬러지 부피 감소가 큼

슬러지 감량을

〈표 8-1-15〉

구 분		생슬러지 농축	잉여슬러지 농축	생+잉여슬러지 농축	소화슬러지
부피 감량을 (%)	평균	43.0	87.4	71.2	31.1
	최대	79.4	93.8	94.8	74.8
	최소	6.8	72.9	20.2	0.8

(3) 농축 방법

- 생슬러지와 잉여슬러지의 혼합 농축 시설이 35개소(55%)이며, 분리 농축 시설은 29개소(45%)
- 분리 농축의 경우 생슬러지는 중력농축 후 소화조로 유입하고, 잉여슬러지는 중력농축 또는 기계농축 후 유입
- 생슬러지와 잉여슬러지를 분리 농축하는 처리시설의 소화효율이 35.8%로, 혼합하여 처리하는 처리시설(34.7%)보다 높음

(4) 소화조 운영조건

(가) 유입수질

- 유입수질은 대부분 BOD 100~200mg/L이며, 100mg/L이하의 저농도로 유입되는 처리 시설은 6개소

유입수질

〈표 8-1-16〉

유입수질 (BOD, mg/L)	계	200 이상	200 미만 ~150 이상	150 미만 ~100 이상	100 미만 ~50 이상	50 미만
개소	57	2	16	33	4	2

- 유입수질이 150~200mg/L일 경우 소화효율이 39.3%로 가장 높았으며, 100mg/L이하일 경우 23.3%로 낮음
- 특히, 소화조에 연계처리수(음식물탈리액, 분뇨 등)를 투입하는 경우 높은 VS로 인해 소화효율이 높게 나타남
- 고도처리공법이 도입된 시설의 소화효율은 33%로, 미설치된 처리시설(38.2%)보다 낮음, 소화조를 운영하는 57개시설 중 고도처리공법이 적용된 시설은 33개소(57.8%)

(나) 온도

- 64개의 소화조 중 35개소(54%)가 적정범위인 33~37℃로 운전, 10개소(16%)에서는 30℃미만으로 운전
 - 37개소(57%)에서 소화조내 상·하부 온도차를 2℃이내로 운영
 - 17개소는 하부온도계의 고장 등으로 인해 계측이 어려운 상태

처리시설별 소화조 운전 온도 현황

〈표 8-1-17〉

소화조 온도	37℃ 이상	33℃ 이상~ 37℃ 미만	30℃ 이상~ 33℃ 미만	30℃ 미만
개소	11	35	8	10

- 적정 운전범위($35\pm 2^{\circ}\text{C}$) 유지 시설의 평균 소화효율은 37.3%이며, 37℃ 이상인 시설의 경우 42.6%로 가장 높음
- 소화조내 상·하부 온도차가 2℃이내인 경우의 소화효율은 38.4%

(다) 체류일수

- 22개소(34%)는 적정 체류일인 20~30일 범위 내에서 운영, 15개소(26%)에서는 20일 이하로 운영

처리시설별 소화조 체류일수 현황

〈표 8-1-18〉

구 분	50일 이상	40일 이상~ 50일 미만	30일 이상~ 40일 미만	20일 이상~ 30일 미만	20일 미만
체류일수	4	3	22	20	15

(라) 가온 및 교반 방식

- 35개(55%)가 직접가온 방식(증기주입식)이고, 나머지 29개(45%)가 간접가온 방식(열교환방식)으로 운영
- 직접가온방식의 소화효율은 32.2%, 간접가온방식은 38.7%
- 가스교반 54개(83%), 기계교반 8개(11%), 가스·기계 병행 교반 2개(6%)

(마) pH

- 44개소(69%)가 pH 7~7.5 범위내 운영, 4개소(6%)가 pH 7.5 이상, 16개소(24%)가 pH 7.0 이하로 운영
- 소화조내 pH의 적정범위인 7.0~7.5를 유지하는 처리시설의 소화효율이 40.9%로 가장 높음

(바) 유기산(VA)과 알칼리도(ALK)

- 대부분의 시설(38개소, 60%)에서 VA 농도가 300mg/L 이하로 운전
- VA/Alk비는 대부분의 처리시설(49개소, 76%)에서 0.3 이하 유지

(5) 소화가스

(가) 가스 발생량

- 농축슬러지 VS 1kg당 가스발생량 분석 결과, 대부분의 시설에서 400L이상의 가스 발생

가스발생량

〈표 8-1-19〉

(단위 : L/VS·kg)

구 분	700 이상	400 이상~700 미만	400 이하
농축슬러지 VS 1kg당 가스발생량	5	10	49

- 설계대비 실제 소화가스 발생량의 비율은 평균 84.5%로서 양호한 편임

(나) 소화조 가온연료

- 소화조 가온연료로 소화시 발생하는 메탄가스를 주로 사용하나, 가스발생량이 부족할 경우 경유 등 추가연료 사용
- 25개소(38%)에서 경유, 등유, LNG 등의 추가연료 사용

소화조 가온연료

〈표 8-1-20〉

구 분	추가연료 미사용	추가연료 사용		
		경유	등유	LNG
개소(%)	39개소(62%)	13개소(21%)	7개소(11%)	5개소(6%)
이용량(L/년)	—	331,124	262,770	166,450

(다) 소화가스 이용 및 계획

- 총 소화가스 발생량은 38,483㎥/일로 대부분 소화조가온에 사용되며, 일부는 처리시설 냉난방 등에 이용, 나머지는 잉여가스로 연소

소화가스 이용현황

〈표 8-1-21〉

구 분	총 발생량	소화조 가온	소화조 가온외 방법			연소
			냉난방	발전	외부공급	
발생량(천㎥/일)	38,483	26,696	6	421	9,957	1,403
비율(%)	100	69.4	0.01	1.1	25.9	3.6

- 향후 시설 및 운영방법 개선으로 인한 가스발생량 증가의 경우, 소화가스 발전·건조 시 열원공급 등 활용 계획

소화가스 활용 계획

〈표 8-1-22〉

구 분	발전	슬러지건조	차량연료	소각시설연료	음식물건조	기타(판매)
개소	43	5	3	3	2	8

라) 주요 운영 문제점 및 개선방안

(1) 소화일수 부족으로 인한 전반적 소화효율 저하

■ 투입량 과다로 인한 소화일수 부족

→ 설계투입량 준수를 위한 투입슬러지 TS 농도 증대, 연계처리수량 저감(수처리 공정으로 부분 연계), 잉여슬러지 분리처리 등 필요

■ 고율 2단소화조 용적 설계 및 운영 부적절

→ 투입량 및 인발량 조절을 통한 적정 소화일수 운전개선

(2) 교반시설의 문제로 인한 소화효율 저하

■ 가스압축기의 압력이 소화조 유효수위보다 낮아 교반력 미약

→ 가스압축기를 고압형으로 개선 필요

■ 고율 2단 소화조에서 1단계 소화조의 가스교반 및 스크브레이커의 동시 운전 및 수동 개폐로 인한 효율저하 발생

→ 분기관 전동밸브 설치 및 스크브레이커의 운전 주기 개선 필요

(3) 적정 소화온도 범위($35\pm 2^{\circ}\text{C}$) 외 운전으로 인한 소화효율 저하

■ 적정온도보다 높게 운전하는 경우, 가스 소모량 증가

→ 투입량 조절을 통한 적정 소화온도 유지가 필요

■ 적정온도보다 낮은 경우, 투입량 과다로 인한 소화일수 부족, 소화 효율저하 발생

→ 원인파악을 통한 적정 소화온도 유지 등의 개선방안 강구

(4) 소화조 상·하부 온도차 2°C 이상으로 인한 소화효율 저하

→ 교반상태(가스압축기 토출압력, 주기, 재순환 등) 개선, 소화조 준설, 계측기기 오차 및 고장 확인 등 필요

(5) 소화혼합액 분석 및 데이터 관리 미흡

→ 정상운영여부를 판단할 수 있는 소화혼합액의 기초적인 운영인자(유기산농도, 알칼리도, pH, 소화가스 메탄가스 함량 등)에 대한 주기적 분석 및 데이터 관리를 통한 최적 운전 도모 필요

(6) 탈황시설 운영미흡으로 인한 소화조 시설 부식 심화

→ 주기적 황화수소 농도 체크 및 관리대장 작성 필요

→ 건식탈황시설의 경우 워터트랩 수분제거가 매우 중요하며, 설치위치 조정·추가 설치 등을 통해 탈황제 효율저하 개선 필요



(7) 주요 계측기기 고장, 노후화, 미설치

→ 주요 계측기기 유지관리 미흡(온도계, 수위계 미보정 및 고장, 유량계 미설치, 상부 압력계고장, 안전밸브 잠금 상태로 관리 등)으로 인해 적정운영상태 판단이 곤란하므로, 주요 계측기기에 대한 주기적 보정 및 유지관리 필요

(8) 소화조 구조물 열화, 부식 등으로 인한 안전사고 위험 상존

- 연계처리수 처리시, 소화조 내부 상부 콘크리트 및 철근의 부식·파괴 사례 다수 발견
 - 소화조에 대한 연계처리수 처리시의 영향분석을 통한 구조물 시설기준(콘크리트 재질, 방식재 도포기준 등) 마련 필요
- 황화수소 및 시설물 노후화 등으로 인한 구조물 파손 및 가스누기에 따른 배관·밸브 등의 부식 사례 다수 발견
 - 부식 배관·밸브 교체 등 조속한 개선공사 필요

마) 향후 조치 계획

- 처리시설별 소화조 운영실태 보고서 지자체 통보
 - 소화조 운전의 최적화 조건 도출을 위한 참고자료 활용
- 소화조 운전관리 실무지침서 배포
 - 진단결과를 종합하여 소화조 운전의 실무요령을 집대성한 지침서 마련 배포
- 소화조 효율개선사업 예산 편성 기초자료 활용

다. 김천시 하수찌꺼기 처리현황 및 문제점

1) 하수찌꺼기 처리시설 현황

가) 김천 공공하수처리시설

김천 공공하수처리시설에서 운영하고 있는 하수찌꺼기 처리방식은 생슬러지는 중력농축 → 혐기성소화 → 탈수방식이며, 잉여슬러지는 탈수방식으로 처리하고 있다. 생슬러지 탈수방식으로는 벨트 프레스 필터가 당초 사용되었으나, 탈수 효율이 낮아 현재는 원심농축 탈수를 사용하고 있다. 하수찌꺼기 최종처분방식은 육상매립, 소각, 연료화 방식으로 처분하고 있으며, 구체적인 처분방식은 다음과 같다.

김천시 하수찌꺼기 최종처분 현황

〈표 8-1-23〉

구 분	최종처분 현황	비 고
육상매립	·경북 구미소재 (주)티와이이엔이에 위탁처리	
소각	·김천하수처리장내 소각시설에서 생활쓰레기와 혼합소각	
연료화	·김천하수처리장내 건조시설에서 건조 후 시멘트 원료화하여 강원 영월소재 현대 시멘트에 위탁처리	

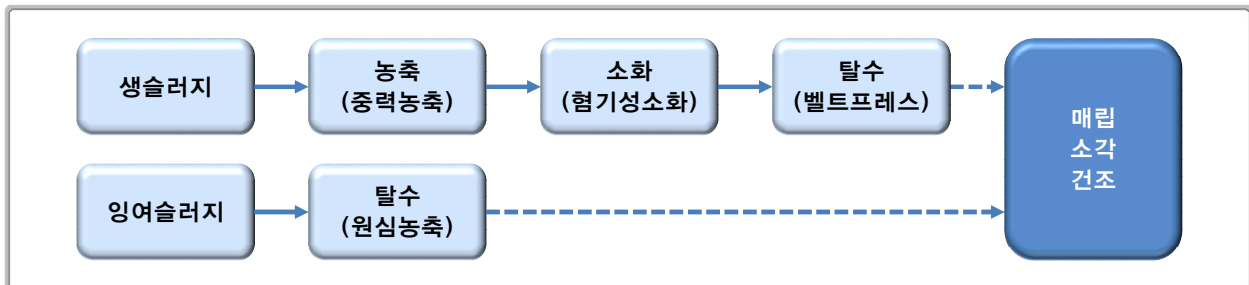
김천 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리공정 시설현황

〈표 8-1-24〉

시 설			항 목	시설개요		비 고
				하수계열	공단하수계열	
하수 찌꺼기 처리 공정	중력식 농축조		형식	중력식 원형	중력식 원형	
			제원	D11.0m×H3.0m×2조	D9.0m×H3.0m×2조	
	혐기성 소화조		형식	수직 실린더형		
			제원	D18.5m×H10.5m×1조		
	소화슬러지 농축조		형식	중력식 원형		
			제원	D9.0m×H3.0m×2조		
	산발효조		형식	수직 실린더형		
			제원	D18.5m×H10.5m×1조		
	탈수 시설	생슬러지	형식	벨트 프레스 필터		
			제원	200kg·DS/m·hr×W2.5m×2대		
잉여슬러지		형식	기계식 원심농축 탈수			
		제원	32m³/hr×2대(55kW+7.5kW)			

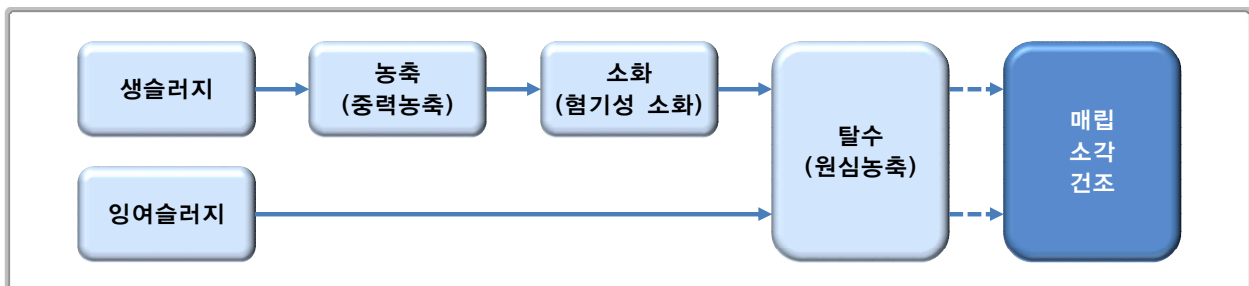
김천 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리공정도(계획)

〈그림 8-1-3〉



김천 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리공정도(운영)

〈그림 8-1-4〉



나) 아포 공공하수처리시설

아포 공공하수처리시설에서 운영하고 있는 하수찌꺼기 처리방식은 기계식 농축탈수 후 김천 공공하수처리시설로 이송 후 육상매립, 소각, 연료화 방식으로 최종처분하고 있다.

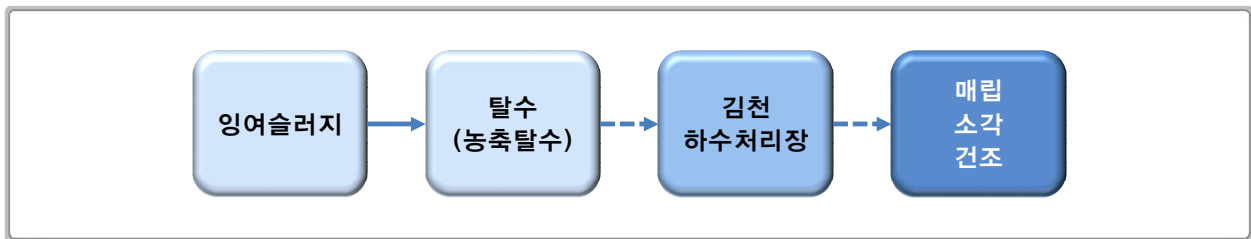
아포 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리공정 시설현황

〈표 8-1-25〉

시 설 명	항목	시 설 개 요	비고
농축/탈수설비	형식	유동판식 탈수기	
	제원	12kg·Ds/hr·본×5(1)본	

아포 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리공정도

〈그림 8-1-5〉



2) 하수찌꺼기 처리현황

김천시는 2010년까지 소각과 해양투기로 하수찌꺼기를 최종처분해왔으나, 2011년 7월 하수찌꺼기 건조시설 준공에 따라 건조 후 시멘트 연료화의 비중이 증가하는 것으로 나타났다. 2013년 하수찌꺼기 처분방법별 현황은 육상매립 8.2%, 소각 26.0%, 연료화 65.8%로 나타났다.

김천시 하수찌꺼기 처리현황

〈표 8-1-26〉

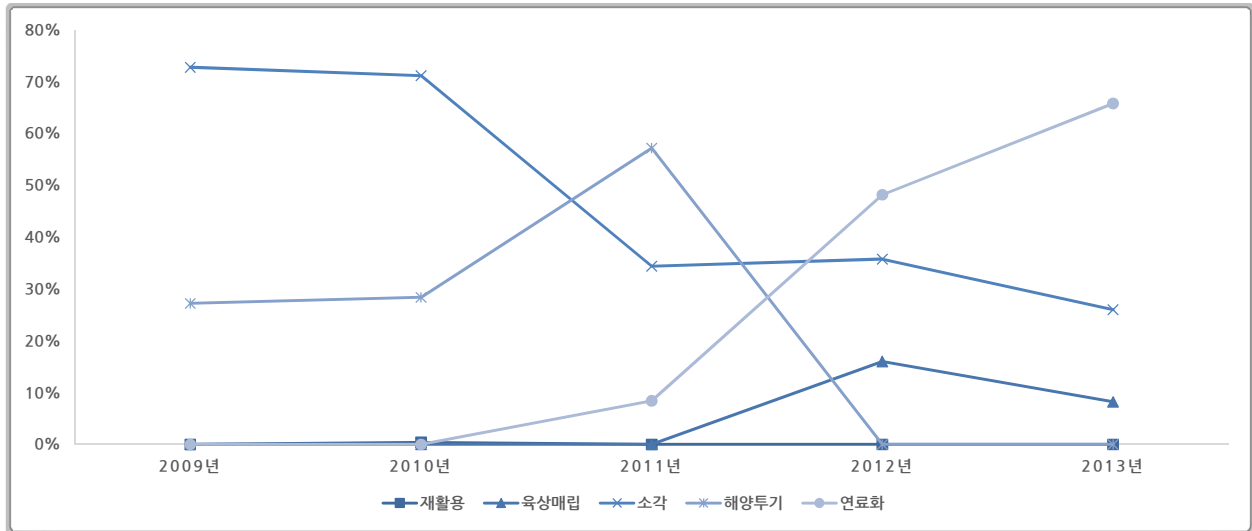
(단위 : 톤/일)

구 분	하수찌꺼기 처리·처분량						
	처리량(계)	재활용	육상매립	소각	해양투기	연료화	기 타
2009년	25.0	—	—	18.2	6.8	—	—
	100.0%	—	—	72.8%	27.2%	—	—
2010년	25.7	0.1	—	18.3	7.3	—	—
	100.0%	0.4%	—	71.2%	28.4%	—	—
2011년	29.7	—	—	10.2	17.0	2.5	—
	100.0%	—	—	34.4%	57.2%	8.4%	—
2012년	28.2	—	4.5	10.1	—	13.6	—
	100.0%	—	16.0%	35.8%	—	48.2%	—
2013년	30.4	—	2.5	7.9	—	20.0	—
	100.0%	—	8.2%	26.0%	—	65.8%	—

자료) 하수도통계(2011~2015, 환경부)

김천시 하수찌꺼기 처리·처분 현황

〈그림 8-1-6〉



3) 김천시 하수찌꺼기 발생량

과거 5년간 김천시 하수찌꺼기 연간 발생량 및 하수찌꺼기 발생량 원단위는 총인처리시설 및 분류식 하수관거 시스템 도입으로 하수처리량이 감소함에도 불구하고 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다.

김천시 하수찌꺼기 발생량

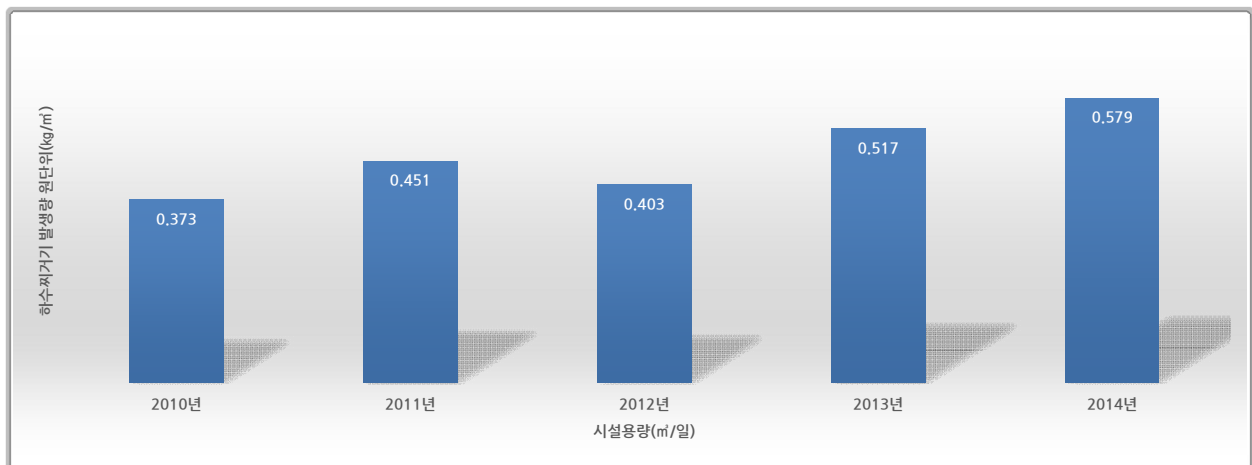
〈표 8-1-27〉

구 분	하수처리시설	시설용량 (천㎡/일)	하수처리량 (㎡/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/년)	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/㎡)	비 고
2010년	김천	80,000	68,705	9,344	0.373	
2011년	김천	80,000	65,767	10,829	0.451	
2012년	김천	80,000	70,128	10,316	0.403	
2013년	김천	80,000	58,865	11,109	0.517	
2014년	김천, 아포	82,150	58,202	12,293	0.579	

자료) 김천 및 아포 공공하수처리시설 운영자료

김천시 연도별 하수찌꺼기 발생량 원단위 변화 추이

〈그림 8-1-7〉



4) 김천시 하수찌꺼기 처리시설 문제점

김천 공공하수처리시설은 2012년 12월 기술진단을 시행하였으며, 기술진단 결과 하수찌꺼기 처리시설에 대하여 기계 및 배관설비 분야에서 3건의 문제점이 지적되어, 2건에 대해서는 시행완료 하였으며, 1건에 대해서는 2017년 6월까지 시행완료 예정이다. 세부 지적사항 및 조치내용은 다음과 같다.

김천시 하수찌꺼기 처리시설 문제점 및 개선방안

〈표 8-1-28〉

구분	현황 및 문제점	개선방안	시행여부
중력 농축조 시설	·생슬러지 협잡물 유입 과다 - 1차 침전지에서 발생된 생슬러지는 농축조 또는 소화조로 이송되며, 전처리 시설이 없어 생슬러지에 포함된 머리카락, 씨앗류 등이 중력농축조 및 소화조에 스크류 등으로 적체	·협잡물 처리를 위한 협잡물처리기 설치 - 농축조 분배조 전단에 생슬러지 협잡물을 제거할 수 있는 협잡물처리기를 설치하여 후단 공정인 농축조 및 소화조 투입	시행예정 (2017.06)
소화조 시설	·소화조 가온용 스팀배관 부식 - 소화조는 발생된 가스의 보일러 가동으로 생산된 증기를 분사시켜 소화조를 가온하도록 구성되어 있음 - 소화조 상부 증기 이송배관의 노후 부식에 따른 핀홀 발생으로 일부 구간에 증기 누출이 되고 있음	·증기주입 배관 교체 및 용접 - 부식 상태가 경미한 곳은 용접하여 핀홀을 처리하고 부식상태가 심한 증기주입배관은 전체를 교체	시행완료 (2013.06)
소화조 시설	·소화조 압력관리 등 - 가온식 혐기성 1단 소화조로 구성되어 소화 온도 30~35℃의 중온소화방식으로 운영 중임 - 소화조 상하부의 온도차는 통상 1℃ 미만으로 적정 교반이 이루어지고 있으나, 동절기에는 20℃ 미만으로 운전되는 등 외부 온도에 따른 소화조 온도의 계절적 변화가 큰 것으로 나타남	·탈황장치 여재 교체로 적정압력 관리 - 탈황장치 여재 교체로 소화조 압력이 감소되었으며, Breather Valve 분해점검 및 압력계 교체	시행완료 (2012.12)

8.1.3 하수찌꺼기 발생특성 및 성상

하수처리공법에서 가장 널리 활용되고 있는 활성슬러지법의 하수 처리공정은 침사 → 일차침전 → 생물학적 처리 → 이차침전지 등의 단위 공정으로 구성되어 있으며, 하수처리공정에서 발생되는 하수찌꺼기는 농축 → 소화 → 탈수의 하수찌꺼기 처리공정을 거쳐 최종 처분된다. 일반적인 하수찌꺼기의 형태별 특성은 다음과 같다.

하수찌꺼기 형태별 특성

〈표 8-1-29〉

공정	하수찌꺼기 형태	특성	고형물 농도(%)
일차침전	생슬러지	·회색, 점착성, 악취가 심함	4.0~10.0
이차침전	잉여슬러지	·갈색, 흙냄새가 나며, 단독 또는 생슬러지와 혼합하여 소화가 가능	0.8~2.5
농축	농축슬러지	·생슬러지 및 잉여슬러지를 소화시키기 전 감량시킨 하수찌꺼기	2.0~8.0
소화	소화슬러지	·혐기성 또는 호기성 소화 처리해서 농축·분해된 하수찌꺼기 ·암갈색내지 흑갈색으로 다량의 가스 포함 ·소화 후 악취감고, 하수찌꺼기 건조 시 가스산화 및 양토화	2.5~7.0
탈수	탈수케이크	·하수찌꺼기 수분감소, 운반과 소각, 최종처분을 용이하게 하기 위함	20~40

일반적으로 하수찌꺼기의 성상은 도시의 구조, 하수배제방식, 생활양식, 하수처리방식 등에 영향을 받으며, 또한 이러한 하수찌꺼기 중에는 중금속을 비롯한 다양한 종류의 유해물질이 함유되어 있다.

하수에 대한 유해물질의 유입원으로 페인트, 농약 등이 하수관거로 유입되는 경우와 각 가정에서 사용되고 있는 수도관의 부식에 의한 Zn, Cd, Cu 및 Pb 등의 누출, 강우시 지표에 침전된 자동차 배기가스 중 Pb의 하천 유입 및 하·폐수처리시설에서 사용되고 있는 여러 가지 약제에 포함된 미량 중금속류가 하수찌꺼기 내로 유입되는 것 등으로 추정되고 있으며 선진국에서 유해물질의 유입을 방지하기 위하여 유해물질 배출원에 대해 관리 감독을 철저히 하고 있다.

『하수슬러지 처리 및 자원화 방안(2005, 환경관리공단)』에 의하면 국내 하수찌꺼기 성상은 연평균 함수율 78% 전후, 유기물 함량은 47% 전후를 보여 선진외국에 비교하여 함수율이 높고, 유기물 함량이 낮은 특성을 나타내고 있다. 중금속의 경우에는 국외에서 측정된 결과와 큰 편차가 없고, 폐기물관리법상의 용출시험방법에 의해 사업장 일반폐기물로 구분되고 있으며, 함량실험결과 대상시료의 1/3이 농림수산부(現 농림수산식품부) 비료공정규격보다 높게 나타났고, 환경부 "부속토 기준"에 비해 일부 도시지역 및 공단이 입지되어 있는 곳에서 중금속이 높게 관찰되었다.

국내 하수처리시설별 성상분석결과(일반항목)

〈표 8-1-30〉

항 목	농 촌 형			도 시 형				공 단 형			비 고
	충주	양평	용인	중랑2	중랑3	과천	대전	시화	인천	부산	
pH	7.3	6.3	8.7	7.1	8.0	8.3	6.9	8.1	6.1	7.6	
TS(%)	16.9	14.3	18.6	22.2	22.3	14.8	16.0	21.9	19.0	22.1	
VS(%)	63.9	72.7	58.1	73.4	49.8	70.3	60.6	41.6	57.9	44.3	
함수율(%)	83.1	85.7	81.4	77.8	77.7	85.2	84.0	78.1	81.0	77.9	
C/N비	6.13	6.28	6.21	8.20	5.53	5.65	3.92	6.04	6.76	6.65	
T-C(%)	31.9	36.4	29.2	41.0	26.0	35.6	30.2	27.2	31.1	32.6	
T-N(%)	5.2	5.8	4.7	5.0	4.7	6.3	7.7	4.5	4.6	4.9	
Kcal	3,684	3,964	3,034	4,290	2,790	3,786	3,298	3,154	3,096	3,352	

자료) 하수슬러지 처리 및 자원화 방안(2005, 환경관리공단)

국내 하수처리시설별 성상분석결과(중금속)

〈표 8-1-31〉

(단위 : mg/kg·wet solid)

항 목	농 촌 형			도 시 형				공 단 형			비료공정 규격기준
	충주	양평	용인	중랑2	중랑3	과천	대전	시화	인천	부산	
Cd	1.3	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	5.3	11.4	5.3	5
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	50
Cr	8.40	11.0	30.3	12.4	104	7.8	50.5	925	1,114	1,245	300
Cu	80.9	115	343	158	326	56.0	201	1,625	2,700	507	500
Fe	5,700	5,300	9,900	3,900	7,700	4,500	7,100	59,600	24,000	49,100	—
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2
Pb	36.1	29.7	42.6	44.3	59.9	42.2	59.4	480	190	267	150
Zn	1,000	1,000	3,400	1,300	1,600	1,600	1,500	6,700	3,700	10,800	—
CN	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	—

자료 : 하수슬러지 처리 및 자원화 방안(2005, 환경관리공단)

또한, 『하수슬러지 처리문제와 개선(2003.9)』에서 전국의 하수처리시설 201개를 도시 내의 주거지역 및 공단의 입지형태에 따라, 농촌형, 도시형, 공단형 및 혼합형(도시+농촌, 도시+공단 등)으로 분류하여 일본의 함유량시험방법으로 성분분석한 결과,

- 해양투기 기준(일본기준)을 적용하여 보면 해양투기는 불가능함
- 농촌형, 도시형 및 혼합지역의 경우에는 부산물 퇴비의 기준을 충족함
- 공단형에서는 8개의 하수처리시설중 3개시설에서 기준이 초과하는 것으로 나타났으며, 초과항목으로는 카드뮴, 납 및 크롬으로 나타남.

공공하수처리시설에서 발생하는 잉여찌꺼기는 유기물을 이용하여 성장한 미생물의 세포로 구성되어 있으며, 세포의 특성상 쉽게 분해되지 않고 소화조에서의 감량화율도 낮아 처리에 많은 문제점을 가지고 있다.

또한 소화효율 저하시 세포액으로 구성된 내부수로 인하여 탈수효율 저하를 일으키고 탈수에 소요되는약품량의 증가를 초래하는 원인이 되기도 한다. 국내 하수찌꺼기 처리시 일반적으로 나타나고 있는 문제점을 요약하면 다음과 같다.

국내 하수찌꺼기 처리시 문제점

〈표 8-1-32〉

구 분	내 용
농축조 효율 저하	설계시 5%로 설계되나, 운영시 2~3%로 나타남
소화효율 저하	설계시 30~50%정도로 설계되나, 운영시 20~30%로 나타남
하수찌꺼기 개량시 고분자 응집제에 의존	다양한 응집제의 혼용, 특히 무기응집제의 혼용이 필요 하나 검토가 이루어지지 않음
탈수기 형식에 따른 효율 저하	대규모 하수처리시설에서 처리량이 많아 벨트 프레스 필터로 운영 중이나, 상대적으로 탈수 효율이 낮음

8.1.4 계획하수찌꺼기량

본 계획에서는 국내 하수처리시설 운영실적, 김천 및 아포 공공하수처리시설 운영실적, 하수도 시설기준의 산술식에 의한 방법 등을 고려하여 계획하수찌꺼기량을 산정하였다.

가. 국내 하수처리시설 운영실적에 의한 계획하수찌꺼기량 산정

2013년 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(2014.09, 환경부)를 이용해 공공하수처리시설 시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위를 다음과 같이 산정하였다.

국내 하수처리시설 시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위 산정

〈표 8-1-33〉

하수처리시설 시설용량 (m³/일)	처리시설 (개소)	시설용량 합계 (천m³/일)	하수처리량 합계 (천m³/일)	하수찌꺼기 발생량 합계 (톤/년)	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m³)	비 고
합계	566	25,398	19,907	3,579,163	0.493	
1,000 미만	119	79	57	24,772	1.188	
1,000 ~ 5,000 미만	171	409	293	74,563	0.698	아포하수 처리시설
5,000 ~ 10,000 미만	78	534	402	88,100	0.600	
10,000 ~ 50,000 미만	114	2,593	2,109	492,524	0.640	
50,000 ~ 100,000 미만	31	2,067	1,523	355,170	0.639	김천하수 처리시설
100,000 ~ 500,000 미만	41	8,752	7,211	1,308,110	0.497	
500,000 이상	12	10,964	8,312	1,235,922	0.407	

자료) 2013년 공공하수처리시설 운영관리실태 분석결과(2014.09, 환경부)

시설용량별 하수찌꺼기 발생량 원단위 산정 결과, 김천 공공하수처리시설은 0.639kg/m³, 아포 공공하수처리시설은 0.698kg/m³로 나타났다. 일최대 계획하수량에 대하여 김천, 아포 공공하수처리시설에 대하여 다음과 같이 단계별 계획하수찌꺼기량을 산정하였다.

국내 하수처리시설 운영실적에 의한 계획하수찌꺼기량 산정

〈표 8-1-34〉

하수 처리시설	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m³)	2013년		2015년		2020년	
		일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
계		52,216	33.5	51,040	32.7	60,609	38.9
김천	0.639	49,973	31.9	48,861	31.2	58,455	37.4
아포	0.698	2,243	1.6	2,179	1.5	2,154	1.5

하수 처리시설	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m³)	2025년		2030년		2035년	
		일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m³/일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
계		63,129	40.6	62,753	40.4	62,175	40.0
김천	0.639	58,119	37.1	57,772	36.9	57,234	36.6
아포	0.698	5,010	3.5	4,981	3.5	4,941	3.4

나. 김천시 하수처리시설 운영실적에 의한 계획하수찌꺼기량 산정

김천 공공하수처리시설 및 아포 공공하수처리시설의 운영실적 분석을 통해 하수찌꺼기 발생량 원단위를 다음과 같이 산정하였다.

김천시 하수찌꺼기 발생량

〈표 8-1-35〉

구 분	하수처리시설	시설용량 (천 m^3 /일)	하수처리량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/년)	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m^3)	비 고
2010년	김천	80,000	68,705	9,344	0.373	
2011년	김천	80,000	65,767	10,829	0.451	
2012년	김천	80,000	70,128	10,316	0.403	
2013년	김천	80,000	58,865	11,109	0.517	
2014년	김천, 아포	82,150	58,202	12,293	0.579	

자료) 김천 공공하수처리시설 및 아포 공공하수처리시설 운영자료

총인처리시설 도입 및 분류식 하수관로 시스템 도입으로 하수찌꺼기 발생량이 증가하는 것을 감안하여, 2014년의 하수찌꺼기 발생량 원단위 $0.579\text{kg}/\text{m}^3$ 을 적용하여 운영실적에 의한 계획 하수찌꺼기량을 산정하였다.

김천시 하수처리시설 운영실적에 의한 계획하수찌꺼기량 산정

〈표 8-1-36〉

하수 처리시설	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m^3)	2013년		2015년		2020년	
		일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
계		52,216	30.2	51,040	29.6	60,609	35.0
김천	0.579	49,973	28.9	48,861	28.3	58,455	33.8
아포	0.579	2,243	1.3	2,179	1.3	2,154	1.2

하수 처리시설	하수찌꺼기 발생량 원단위 (kg/m^3)	2025년		2030년		2035년	
		일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)	일최대 계획하수량 (m^3 /일)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
계		63,129	36.6	62,753	36.3	62,175	36.0
김천	0.579	58,119	33.7	57,772	33.4	57,234	33.1
아포	0.579	5,010	2.9	4,981	2.9	4,941	2.9

다. 산술식에 의한 계획하수찌꺼기량 산정

산술식에 의한 계획하수찌꺼기량 산정은 "하수도시설기준(2011, 환경부)"에서 제시한 산술식을 적용하였으며, 다음과 같다.

$$\text{계획찌꺼기량(톤/일)} = \text{계획1일최대오수량(㎥/일)} \times \text{계획유입SS농도(mg/L)} \times \text{SS제거율(\%)} \times (100/\text{고형물 농도(\%)}) \times 10^{-8}$$

산술식에 의한 계획하수찌꺼기량 산정(김천 공공하수처리시설)

〈표 8-1-37〉

구 분	계획하수량 (㎥/일)	유입수 SS (mg/L)	유출수 SS (mg/L)	고형물 농도 (%)	SS제거율 (%)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
2013년	49,973	173.40	10.0	25.0	94.2	32.7
2015년	48,861	161.45	10.0	25.0	93.8	29.6
2020년	58,455	166.02	10.0	25.0	94.0	36.5
2025년	58,119	171.16	10.0	25.0	94.2	37.5
2030년	57,772	172.69	10.0	25.0	94.2	37.6
2035년	57,234	172.65	10.0	25.0	94.2	37.2

산술식에 의한 계획하수찌꺼기량 산정(아포 공공하수처리시설)

〈표 8-1-38〉

구 분	계획하수량 (㎥/일)	유입수 SS (mg/L)	유출수 SS (mg/L)	고형물 농도 (%)	SS제거율 (%)	하수찌꺼기 발생량 (톤/일)
2013년	2,243	177.08	10.0	25.0	94.4	1.5
2015년	2,179	164.44	10.0	25.0	93.9	1.3
2020년	2,154	169.80	10.0	16.6	94.1	2.1
2025년	5,010	175.06	10.0	16.6	94.3	5.0
2030년	4,981	176.72	10.0	16.6	94.3	5.0
2035년	4,941	176.63	10.0	16.6	94.3	5.0

산술식에 의한 계획하수찌꺼기량 산정(김천시)

〈표 8-1-39〉

(단위 : 톤/일)

하수처리시설	기준년도 (2013년)	2015년	1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)	비 고
합 계	34.2	30.9	38.6	42.5	42.6	42.2	
김 천	32.7	29.6	36.5	37.5	37.6	37.2	
아 포	1.5	1.3	2.1	5.0	5.0	5.0	

라. 계획하수찌꺼기량 산정

계획하수찌꺼기 발생량을 산정한 결과, 하수찌꺼기 발생량이 최대치인 2단계(2025년) 기준으로 국내 하수처리시설 운영실적에 의한 산정은 40.6톤/일, 김천시 하수처리시설 운영실적에 의한 산정은 36.6톤/일, 산술식에 의한 산정은 42.5톤/일로 나타났다.

본 계획에서는 국내 하수처리시설 운영실적 및 김천시 하수처리시설 운영실적에 의한 산정값을 고려하여 40.0톤/일을 계획하수찌꺼기량으로 적용하였다.

계획하수찌꺼기량 산정

〈표 8-1-40〉

(단위 : 톤/일)

구 분	기준년도 (2013년)	2015년	1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)	비 고
국내 하수처리시설 운영실적에 의한 산정	33.5	32.7	38.9	40.6	40.4	40.0	
김천시 하수처리시설 운영실적에 의한 산정	30.2	29.6	35.0	36.6	36.3	36.0	
산술식에 의한 산정	34.2	30.9	38.6	42.5	42.6	42.2	
금회 적용	30.2	29.6	40.0	40.0	40.0	40.0	



8.2 계획의 기본방향

8.2.1 계획의 기본방향

하수처리과정에서 발생하는 하수찌꺼기의 처리·처분시에는 경제성, 환경성 및 관련법규 등을 종합적으로 고려하여 합리적인 방안으로 계획되어야 하며, 기본적인 고려사항으로는 다음에 제시한 내용과 같다.

하수찌꺼기의 처리·처분 계획시 고려사항

〈표 8-2-1〉

구 분	내 용
환경친화성	·하수찌꺼기에는 중금속 및 병원균 등이 다량으로 함유되어 있어 토양 및 지하수 등의 주위환경에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 환경영향을 최소화할 수 있고 안정적인 처리방안을 검토하여야 함.
경 제 성	·중간처리 및 최종처리방안이 효율적이고 안정적이라 할지라도 유지관리비 및 초기투자비가 과다할 경우 재원조달 및 유지관리의 문제가 발생할 수 있으므로 경제적인 최종처리방안을 강구하여야 함.
발생지역내 처리가능 여부	·하수찌꺼기는 수처리시설을 관리하는 지방자치단체에서 처리·처분하는 것이 원칙이므로 지역내에서 발생하는 하수찌꺼기는 가능한 한 그 지역내에서 처분하는 것이 바람직하나 지역내 처분에 한계가 있고 부득이 타지역 처분을 해야 할 경우에는 해당 시와의 협의가 요구되며 퇴비화등 하수찌꺼기의 재이용을 할 경우에는 지역 내외의 유통기구 및 소비가능량 등을 검토하여야 한다.
상황변화에 대응가능 여부	·장래 신기술의 개발에 따른 처분방식의 개선이 필요한 경우에 융통성 있게 대응할 수 있어야 한다.

하수찌꺼기의 처리·처분방식 선정기준

〈표 8-2-2〉

항 목	세 부 항 목	평 가 인 자
처리효과	안정성	·항상 안정된 고효율이 얻어지는가 ·기후, 기온 등에 좌우되지 않는가
	유연성	·유입부하변동에 적응성이 높은가 ·장래의 조건변화에 대응이 가능한가
관리성	기술상의 관리성	·고도의 운전기술을 필요로 하지 않는가 ·기기의 보급실적이 높은가 ·정기점검, 보수의 개소가 적은가 ·특정의 유자격자를 필요로 하지 않는가 ·운전지표가 확립되어 있는가 ·수처리시설로의 반송수 부하가 적은가
	작업상의 관리성	·기기 운전조작이 용이한가 ·작업인원이 적게 소요되는가 ·약품 등의 입수, 확보가 용이한가 ·작업상의 위험성이 없는가
경제성	초기 투자비	·건설비가 저렴한가 ·처리시설 부지면적이 적게 소요되는가 ·건물 내에 설치해야 하는가
	유지 관리비	·유지관리비는 저렴한가 ·유틸리티의 사용량은 적은가 ·소자원, 소에너지에 부합하는가 ·기기의 내구성이 높은가
환경영향	주변환경	·주변환경에의 악영향은 없는가
	작업환경	·작업환경은 양호한가

8.2.2 관련계획 및 지침 검토

가. 하수찌꺼기(슬러지) 관리계획 수립지침(2006.3, 환경부)

1) 배경 및 목적

- 런던협약 1996 의정서 발효에 의해 하수슬러지 등 폐기물의 해양배출규제가 대폭 강화됨에 따라 육상처리대책 마련이 시급
 - 제1기준은 2008년 8월, 제2기준은 2011년 2월부터 적용
 - 또한 2012년부터는 하수슬러지 및 축산폐수의 해양배출을 금지하는 것으로 국무회의에 보고됨에 따라 해양오염방지법 시행규칙 개정 예정
- 그간 해양에 배출해오던 하수슬러지(발생량의 77%)를 재활용, 소각 등의 방법으로 처리해야 하므로 이에 대한 체계적 계획 마련 필요
 - 각 자치단체별 하수슬러지 관리계획을 수립하고, 이를 토대로 국가재정운용계획 수립
- 이 지침은 하수슬러지 관리계획을 수립함에 있어서 그 기본방향을 정하기 위한 것으로 자치단체는 이 지침을 기초로 지역적 특성 등을 감안하여 계획을 수립
 - 2차 오염 등 환경적 고려, 건설비 및 운영비 등 경제적 고려, 주민반대 등 사회적 고려를 종합적으로 감안하여 계획

2) 기초조사

가) 하수슬러지 성분조사

- 하수찌꺼기(슬러지)의 성분조사는 해양오염방지법 시행규칙에서 정한 기준항목을 대상으로 해양오염공정시험방법으로 실시
- 기타 재활용, 처리목적 등에 따라 필요한 경우 필요항목 및 관련 공정시험방법으로 실시

나) 하수찌꺼기(슬러지) 발생 및 처리현황 조사

- 관할 지역 내 운영 중인 모든 하수처리장별 하수슬러지 발생량을 조사하고, 건설 중인 하수처리장별 발생 예상량을 조사
- 각 하수처리장에 적용되고 있는 하수찌꺼기(슬러지) 감량화 시설 현황 및 감량현황을 조사
- 현재 운영 중이거나 건설 중인 하수찌꺼기(슬러지) 처리시설 현황(처리량, 처리방법)을 조사
- 관할 지역 내 하수찌꺼기(슬러지) 처리방법별 처리량 조사

다) 폐기물처리시설 현황 조사

- 매립시설의 면적, 용량, 잔여매립가능량, 사용가능연한, 매립가스 재이용시설 등을 조사



- 소각시설의 용량, 소각방식, 가동율 등을 조사
- 폐기물처리업체가 보유한 매립시설, 소각시설 등의 처리능력 및 활용가능성을 조사

3) 관리계획 수립

가) 계획의 목표

- 하수찌꺼기(슬러지)로 인한 2차 환경오염을 방지하는 한편 유용한 자원으로 활용
 - 제1기준 초과처리장 : 2008년 7월말까지 처리시설 완비
 - 제2기준 초과처리장 : 2011년 1월말까지 처리시설 완비
 - 기타 처리장은 2011년말까지 처리시설 완비

나) 계획수립시 고려사항

- 슬러지 처리과정, 처리 후 2차 환경오염(악취, 유해물질의 먹이사슬 유입 등)을 최소화 할 수 있는 방안으로 계획
- 규모, 처리방식은 건설비 및 운영비 등을 고려하여 가장 경제적인 방안으로 계획
- 민원발생 등으로 인한 사회적 비용을 최소화할 수 있도록 규모, 처리방식 등을 계획
- 유용한 신기술이 있는 경우에는 성공불제 등을 활용하여 신기술 적극 적용
- 지역적 특성(시멘트 공장, 화력발전소, 농촌 등)을 최대한 고려하여 계획

다) 계획의 단위

- 계획의 지역적 범위는 시·군단위로 하되, 2곳 이상의 시·군 또는 시·도가 협력하여 광역화할 수 있는 경우는 이를 권장
- 처리장별 슬러지 발생규모에 따른 시설계획
 - 슬러지가 대규모로 발생(1일 50톤이상)되는 처리장의 경우는 처리장단위로 하되 광역화할 수 있는 경우는 이를 권장
 - 하수찌꺼기(슬러지)가 중규모로 발생(1일 20톤이상)되는 경우는 자치단체 단위로 광역화방안을 추진하되, 불가피 한 경우에는 처리장 단위로 계획
 - 하수찌꺼기(슬러지)가 소규모로 산재되어 발생(1일 20톤 미만)되는 경우는 광역화 또는 집중화방안으로 계획

4) 관리방법 계획

가) 감량화

- 소화조가 있는 처리장에서는 소화효율 개선사업 시행 권장
- 소화조가 없는 처리장에서는 감량화기술을 적용하여 슬러지 발생을 줄이는 방안 적극 검토, 추진

나) 재활용**(1) 퇴비화**

- 식용작물외의 용도로 퇴비를 활용할 수 있는 경우 퇴비화 방안 권장
- 특히 군지역의 슬러지는 퇴비화방안 적극 권장
- 도시하수슬러지의 퇴비화를 금지한 비료공정규격 개정을 검토할 예정인 바, 퇴비수요가 많은 자치단체는 퇴비화 확대방안 적극 검토

(2) 복토재

- 자체 매립장을 보유하고 있는 자치단체는 부숙 또는 고화처리하여 복토재로 재활용하는 방안 적극 추진
- 수도권외의 경우 건설예정인 수도권광역자원화시설 활용(추가 신청할 지자체가 있는 경우 도를 통해 신청)

(3) 시멘트 원료

- 시멘트 공장과의 수송거리가 멀지 않은 자치단체는 시멘트 원료로 활용하는 방안 강구

(4) 경량골재

- 블록, 타일 등 건축자재 수요가 많은 지역은 골재로 활용하는 방안 강구

(5) 녹생토

- 법면녹화기반재 등 녹생토의 공급선을 안정적으로 확보할 수 있는 지역은 녹생토로 활용하는 방안 강구

(6) 연료화

- 화력발전소, 기타 고체연료 사용시설이 있는 지역은 연료화방안 추진 권장

(7) 기 타

- 위에 유용한 재활용기술이 있는 경우 적용
- 민간의 재활용시설을 활용할 수 있는 경우 활용 추진

다) 매립

- 매립가스 재이용시설이 있거나 계획이 있는 경우는 매립 하여 에너지회수 재활용으로 계획(잠정)
- 1만톤/일 미만처리장의 슬러지로서 지역특성상 재활용이 곤란한 경우로써 매립장 여유 용량이 있는 경우 매립으로 계획
- 폐기물처리업체의 매립시설을 이용할 수 있는 경우에는 이용방안 검토



라) 소각

- 생활쓰레기 소각시설이 있거나 건설 중인 경우 일정량(전체 소각물량의 15~30%에 해당하는 슬러지)을 혼합 소각하는 것으로 계획(잠정)
- 폐기물처리업체가 보유한 소각시설을 이용할 수 있는 경우에는 이용방안 추진
- 매립, 재활용이 곤란한 경우는 별도 소각시설을 건설하는 것으로 계획

나. 하수슬러지관리 종합대책(수정)(2008.05, 환경부)

1) 추진배경

- 런던협약 1996 의정서 발효에 따라 하수슬러지를 포함한 폐기물의 해양배출기준을 대폭 강화(해양환경관리법 시행규칙 개정 2006.2)
 - 제1기준 초과 하수슬러지는 2008년 8월부터, 제2기준 초과 하수슬러지는 2011년 2월부터 해양배출 금지
- 2007년 5월 수립한 『하수슬러지관리 종합대책』을 기본으로 그간 지자체별 사업계획 변경 등을 감안하여 수정대책 수립

2) 추진성과

- 하수슬러지관리 기본계획 및 종합대책 수립 : 하수슬러지 해양배출 규제강화에 대비하여 2011년 목표의 하수슬러지 관리기본계획('06.7) 및 종합대책('07.5) 수립
 - 2011년말까지 하수슬러지 육상처리시설 완비
 - 2007년말 해양배출 68.5%에서 2011년말 0%추진
- 현재 28개소의 하수슬러지 처리시설 운영 중, 20개소는 건설 중
 - 자치단체가 지방비(1,347억)를 투입하여 17개소(2,334톤/일)를 건설·운영 중(대부분 소각 또는 건조시설)
 - 2003년부터 국고를 지원하여 '07년까지 11개소를 완공(671톤/일)·운영중이며, 20개소는 건설중(3,935톤/일)
- 수도권 광역 자원화시설(고화) 설치 추진
 - 1단계(1천톤/일) : 착공(2007.5), 준공 예정(2008.11)
 - 2단계(1천톤/일) : 기본 및 실시설계(2008.4~2008.12), 착공(2009.5), 준공예정(2011.1)
- 시설용량 1만톤 이상 하수처리장(149개소) 슬러지 성분조사 실시
 - 해양환경관리법상의 강화된 해양배출기준에 의하여 성분분석한 결과 제1기준초과 처리장 32개소(1,475톤/일), 제2기준 초과 62개소(4,085톤/일), 기준이내 29개소(1,182톤/일) [2006.3~4]
 - 미분석처리장 26개소 : 설치중 5개소, 재활용 16개소, 설계중 2개소, 수도권매립지 반입1개소, 계획미수립 2개소

■ 하수슬러지 관리기술 보급

- 자치단체 공무원들이 다양한 슬러지관리기술을 활용할 수 있도록 기술설명회 개최

■ 하수슬러지 관련 규정 제·개정 추진

- 직매립 금지(2003.7)제도 보완 : 매립가스자원화시설이 설치된 매립장 직매립 일부 허용(2007.2.14 폐기물관리법 시행규칙 개정), 수분함량 75%이하, 1일 500톤 이하만 매립가능
- 생활폐기물 소각시설 연계처리를 위한 지침 제정(2007.4) : 탈수케익 수분함량에 따라 생활폐기물의 20% 내외 기준으로 혼합소각
- 부숙토 생산시 부숙기간 조정 등 재활용 관련규정 개정(2007.7) : 1차 발효공정 15일 → 3일 이상, 후부숙공정 16일 → 충분한 기간

3) 기본목표

- 2011년말까지 하수슬러지처리시설 완비
- 재활용 활성화를 위한 관련제도 정비

기본목표

〈표 8-2-3〉

구 분	2007년	2011년	비 고
해양배출	68.5%	-	
재활용	18.5%	69.5%	
소각	11.0%	29.0%	
매립	2.0%	1.5%	

4) 추진방향

- 처리방법의 다변화 추진(지역특성에 적합한 재활용 방법 채택)
 - 매립지 인근지역은 고화처리 후 복토재 활용
 - 소량발생 및 농촌지역은 퇴비화
 - 생활폐기물소각장에 여유가 있는 지자체는 혼합소각
 - 시멘트회사 인근지역은 시멘트 원료화
- 하수슬러지 관련 규정 제·개정 추진(하수슬러지 연료화 규정 제정(2008년말))
 - 하수슬러지 에너지제품의 기준설정 등
- 재활용산업 육성 및 신기술 보급 추진(재활용 제품 전시회 및 재활용 기술 보유업체 Workshop 등을 통한 기술 보급 지속 추진)



5) 하수슬러지 처리시설 확충계획

- 2008~2011년까지 총 5,883억원을 투자하여 수도권 광역 자원화시설 1개소를 포함하여 소각시설 16개소, 재활용 시설 52개소 등 총 68개소 처리시설 확충, 국고 3,074억원, 지방비 2,809억원

가) 수도권 광역자원화시설 설치

- 서울, 인천 및 경기도의 의정부 등 14개 시·군
- 고화처리하여 수도권 매립지 일일복토재로 활용
- 1단계(1천톤/일) : 착공(2007.5), 준공예정(2008.11)
- 2단계(1천톤/일) : 실시설계(2008.5~2008.12), 착공(2009.5), 준공예정(2011.1)
- 해양배출 제1기준초과 지역인 안양, 동두천, 여주는 2008.8월 이후 준공시까지 기존 수도권매립지 고화처리시설(600톤/일)에서 처리량 조정처리

나) 제1기준 초과 및 초과우려 시설 지자체

- 지자체수: 부산광역시 등 7개 시·군
 - 소각시설 1개소(7톤/일), 재활용시설 6개소(1,450톤/일) 설치계획
- 2008.8월 이전 준공예정(3개소) 시·군
 - 김해(2008.6), 당진(2008.7), 영덕(2008.7)
- 08.8월 이후 준공예정(4개소)인 시·군은 준공시까지 별도 육상처리 대책 수립·추진
 - 부산 : 2011.2 준공(민간업체 위탁소각)
 - 대구 : 2010.12 준공(민간업체 위탁처리)
 - 시흥 : 2009.3 준공(수도권 고화시설에서 처리)
 - 속초 : 2009.12 준공(시멘트공장 위탁처리)

다) 제2기준 초과 등 시설 지자체

- 소각시설 15개소(1,303톤/일), 재활용시설 45개소(2,547톤/일) 설치계획
 - 2008년 준공예정 : 담양, 고창, 보성, 고령, 칠곡, 마산
 - 2009년 준공예정 : 의왕, 수원, 용인, 서천, 남원, 광양, 구례, 나주, 해남, 화순, 강진, 무안, 울진, 상주, 안동, 사천, 진주, 의령, 창녕, 제주, 보령, 양산, 거제, 밀양고성(증설), 남해, 함안
 - 2010년 준공예정 : 광주, 천안, 공주, 논산, 익산, 목포, 순천, 완도, 경주, 울산, 춘천, 청주, 아산, 완주, 포항, 진해
 - 2011년 준공예정 : 전주

6) 하수슬러지 재활용 계획

- 2011년에는 하수슬러지가 10,259톤/일 발생이 예상되며, 시·도별로 처리시설을 설치하여 재활용 7,136톤/일(69.5%), 소각 2,974톤/일(29%), 매립 149톤/일(1.5%) 처리
- 매립처리(149톤/일)는 매립가스 회수시설이 있는 매립장 60톤/일, 단순 직매립 89톤/일임
- 소각처리(2,974톤/일)는 생활쓰레기 소각시설 연계처리 685톤/일, 슬러지 전용소각시설 2,289톤/일임
- 재활용량 7,136톤/일은 복토재 3,808톤/일(53.4%), 탄화 1,301톤/일(18.2%), 시멘트원료 912톤/일(12.8%), 녹생토 373톤/일(5.2%), 퇴비화 368톤/일(5.2%), 연료화 308톤/일(4.3%)등임

7) 하수슬러지 에너지화 계획

- 에너지화 가능 하수처리시설은 23개소로 약 1,600톤/일의 하수슬러지를 건조·탄화 등의 과정을 통해 354톤/일 고형연료 생산
- 석탄화력발전소, 시멘트 소성로 등에서 연료로 우선 이용
- 슬러지 전용소각시설을 계획하고 있는 지자체도 에너지화 방법으로 시설설치계획 변경 유도
- 소화조가 설치되어 있는 하수처리시설을 대상으로 소화조 효율개선 사업을 시행하여 슬러지 발생량의 감축 및 에너지화 도모
- 소화조 용량 4,500m³ 이상의 33개 공공하수처리시설을 대상으로 소화조 효율개선 사업 및 가스이용 사업 시행
- 소화가스를 발전용 연료 등으로 사용시 연간 232억원의 연료대체효과 및 36억원 상당의 온실가스 배출권 발생

다. 2030 하수슬러지 감량 및 바이오가스 생산 활용 계획(2012.10, 환경부)

1) 추진배경

가) 슬러지 처리비용 상승

- 하수슬러지 발생량의 30~40%를 해양에 투기해 왔으나, 2012년부터 해양투기가 금지됨에 따라 하수슬러지 처리비용 상승
- 2012.6월기준 1일 발생량 1만톤 중 7천톤은 공공처리시설에서, 3천톤은 민간시설에 위탁 처리
 - 육상 공공처리시설의 처리비용이 톤당 10만원 수준으로, 해양투기에 따른 처리비용 5만원 수준의 2배 수준으로 상승
 - 슬러지 처리비용 절감을 위해서는 발생원의 원천적 감량이 필요

나) 감량화 사업의 체계적 추진

- 시·군별, 시설별 하수슬러지 감량 가능량 및 바이오가스 발생량 등을 합리적으로 추정하여 우선순위에 따라 체계적 추진 필요
- 슬러지 처리시설과 감량 및 바이오가스 생산 시설은 병행 추진하는 것이 효율성 측면에서 바람직
 - 그간 해양투기 금지에 맞춰 슬러지 처리시설 확충에 치중하고 감량 및 바이오가스 생산 활용 시설 설치의 소홀
 - 슬러지 감량 및 바이오가스 생산 활용에 따른 경제성 분석을 통한 사업 우선순위 등을 도출하여 체계적·효율적 추진을 위해 중장기 계획 수립 필요

2) 하수슬러지 발생 및 처리현황

- 하수시설 확충, 종인처리시설 설치 등에 따라 하수슬러지 발생량 지속 증가 추세이며, 연평균 5.9% 증가
- 2012년 4월 기준 전국 하수슬러지 발생량 9,799톤/일 중 1,750톤/일은 육상매립(17.9%), 2,996톤/일은 소각(30.6%), 5,053톤/일은 재활용 처리(51.6%)
- 2012년 4월 기준 발생량 9,799m³/일 중 30.5%인 2,987m³/일은 민간위탁 처리
- 슬러지 처리비용이 '06년 877억원 → '11년 1,645억원으로 연평균 13.6% 증가
- 2012년 5월말, 89개 시설(9,157톤/일)이 운영 중이며, 22개 시설(3,056톤/일)이 건설(설계) 중

3) 감량화 현황 및 문제점

가) 소화조 현황 및 운영실태

- 470개 공공하수처리시설 중 소화조가 설치된 처리시설이 65개소이며, 미가동 8개소를 제외한 57개소가 운영 중
- 가동 중인 소화조의 총 용량은 1,824천톤이며, 대부분 용량 1만톤~5만톤의 소화조 운영 중
- 총 소화가스 발생량은 429,483m³/일로 대부분 소화조 가온에 사용되며, 일부는 처리시설 냉난방 등에 이용, 나머지는 잉여가스로 연소

나) 소화조 운영 문제점

(1) 정책 상충

- 질소, 인 제거를 위한 고도처리 시설 설치 후 잉여슬러지를 소화조에 유입하여 소화조 운영 시 고동도 총인이 포함된 반류수가 처리장으로 재유입
 - 이에 따라 소화조 운영을 등한시 하거나 방치 또는 단순 슬러지 저장조 등 타 용도로 활용

(2) 효율 미흡

- 하수슬러지의 농축률이 설계치(약 4%)보다 현저히 적어(0.8~2%) 소화조의 체류시간(25일 내외)을 만족하지 못함
 - 소화조의 소화효율이 평균 35.2%로 가능한 효율인 50%에 미치지 못함(소화효율 0.5%의 경우도 나타남)

(3) 운영기술 부족

- 국내 소화조 운영에 대한 기술력이 낮음
 - 소화조 기술 자체가 효율성이 낮은 것으로 오해하여 소화조의 운영기술 습득에 대한 중요성을 인식하지 못함

4) 정책목표 및 추진전략**가) 정책목표**

- 슬러지 감량화를 통해 전체 슬러지 발생량을 2008년 수준 유지
 - 2025년 슬러지 발생 예상량(14,692톤/일) → 감량화로 7,720톤/일 수준 유지
- 하수슬러지에서 바이오가스 655천톤/일(2025)로 생산·활용
 - 2011년 수준(429천톤/일)의 1.5배 수준, 승용차 22천대 주유 가능(1대당 20L 주유시)

나) 추진전략

- 2025년까지 약 1조 4,617억원 투자
- 2012년까지 919억원을 투자하여 1,2단계 시범사업을 완료하고 이후 2013년부터 매년 1,500억원 수준 투자

5) 추진계획**가) 시범사업 추진**

- 하수슬러지 감량화 및 바이오가스 생산·이용 시범사업 추진(2010~2012)
- 8개소에서 919억원을 투자하여 바이오가스 98,137㎥/일 생산하여 소화조 가온, 도시가스 대체, 발전, 차량연료 등으로 활용
- 8개 처리장 에너지 자립률을 평균 11% → 21%로 제고

나) 소화조 개량 및 신설사업 추진

- 2025년까지 소화조 개량 및 소화조 신설 82개소 1조 4,617억원 투자
- 2025년까지 소화조 개량 49개소 9,022억원 투자
 - 1단계 : 2020년까지 소화조 개량 39개소 7,062억원 투자
 - 2단계 : 2021년부터 2025년까지 소화조 개량 10개소 1,960억원 투자
- 소화조 신설 33개소 5,595억원 투자
 - 1단계 : 2020년까지 소화조 시설 9개소 3,059억원 투자
 - 2단계 : 2021년부터 2025년까지 소화조 개량 24개소 2,536억원 투자



라. 하수슬러지 처리시설 설치·운영 지침(2012.05, 환경부)

1) 하수슬러지 처리방식의 선정

하수슬러지 처리방식은 경제성 평가를 통해 설치비, 유지관리비가 저렴한 공법을 선정하며, 처리방식은 다음과 같다.

- 소각 : 사업부지 확보가 가능한 곳으로, 민원 소지가 상대적으로 적은 지자체
- 탄화 : 부산물의 저위발열량에 따른 수요처까지의 운반비 등의 경제성을 검토하고 하수 슬러지 반입규모가 70톤 이상인 지자체
- 건조 : 부산물의 저위발열량에 따른 수요처까지의 운반비 등의 경제성을 검토하고 하수 슬러지 반입규모가 70톤 이상인 지자체(단 생활폐기물 소각시설과 연계하여 처리하는 경우 반입규모 제한 없음)
- 고화 : 매립장 복토재 사용, 토지개량제 활용이 가능한 지자체
- 부숙화 : 농촌지역의 퇴비활용이 가능한 지자체
- 기존처리방식이 아닌 신규기술을 적용하는 경우와 처리방식 선정에 대한 기준에 벗어나는 불가피한 사정이 있을 경우 사전에 전문기관의 검토를 받아 객관성을 확보할 것

2) 하수슬러지 처리시설 설치 가이드라인

- 슬러지 처리시설 용량은 하수처리시설 에너지자립화와 연계하여 감량화 방안을 우선적으로 검토하여 감량화 후 발생하는 하수슬러지량으로 시설용량을 결정 할 것
 - 감량화를 거친 후의 슬러지 처리비용과 감량화를 거치지 않은 경우 슬러지 처리비용을 검토하여 경제성이 높은 방식으로 슬러지 처리방식을 결정하고 시설규모는 시설 완공 연도의 슬러지 발생량을 기준으로 할 것(다만, 설치 중인 하수처리시설이 있는 경우에는 슬러지발생량 별도 고려)
- 슬러지 처리공법은 선정시는 처리시설 설치비 및 운영비에 대한 경제성 검토를 실시하여 효율이 제일 우수한 공법을 선정할 것
- 최종부산물에 대한 처리비용을 운영비에 포함하여 검토할 것
 - 운영비가 낮더라도 부산물 처리비용이 높은 경우 경제성을 재검토할 것
- 슬러지 처리시설 설치 및 운영비 절감을 위해 인근 지방자치단체와 공동으로 하수슬러지 처리시설을 설치하는 방안을 검토할 것
- 저탄소 녹색성장의 지속추진 및 기후변화 대응을 위하여 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 방안을 강구할 것

3) 하수슬러지 처리시설 운영비 보전대책 강구

- 하수슬러지 처리시설 공법선정 평가시 처리공법의 경제성은 설치비와 운영비로 평가하는데 운영비의 경우 실제 운영하기 전까지 정확한 운영비 검정이 어려워 공법을 제안업체가 공법 채택을 목적으로 운영비를 임의로 적게 산정하여 기술제안을 할 우려가 있음
- 시설 준공후 소요되는 실제 운영비가 공법제안 업체가 제안할 때 제출한 운영비보다 많이 드는 경우에는 공법제안 업체로부터 운영비를 보전받는 방안을 강구하고 공법제안 업체를 제재할 수 있도록 환경부에 통보할 것
 - 슬러지 처리시설 설치공사 계약시 공법제안 업체가 제시한 운영비 차이가 발생할 경우 보전받을 수 있는 약정을 체결하고 계약을 체결 할 것
- 약정 계약 체결시는 톤당 슬러지 처리비용(전력비, 약품비, 에너지 사용비용)을 구체적으로 명시하고, 차이가 발생할 경우 내구연수(10년 또는 15년 등) 기간동안 지자체가 처리할 슬러지량의 운영비 차액분을 보전받을 수 있도록 약정조건을 구체화할 것(감사결과 처분요구 사항 참조)

4) 하수슬러지 감량화시설 설치시 고려사항

- 하수슬러지 처리비용의 근원적인 절감을 위해 슬러지 감량화 등 발생량 저감방안을 강구할 것
- 슬러지 감량화시설 공법 선정시는 경제성 평가를 실시하여 투자비용의 회수기간이 짧은 공법을 선정하되, 내구연수 도래전에 투자비용의 회수가 곤란한 공법은 설치를 지양하고, 투자비 회수기간이 10년을 초과하는 경우에는 공법을 재검토하거나 감량화 사업을 재고할 것.
 - 연간 회수비용 : 감량에 따른 처리비 절감액(감량분에 대해 제안당시 해당 시군의 슬러지 처리비용으로 산정)+소화가스 증가량으로 생산한 에너지비용(소화가스 활용한 에너지 생산비용) - 감량화시설 운영비용
- 감량화 시설 설치에 따라 슬러지 처리시설의 여유용량이 발생하는 경우, 인접 지자체 슬러지 연계처리 등을 통해 가동율 제고방안을 병행하여 추진 할 것(감량화 시설 설치 후 슬러지 처리시설 가동율 80% 이상 유지하여야 함)

5) 처리방식 선정의 세부사항

- 처리방식의 결정은 슬러지 성상조사에 따른 적합성, 처리기술의 안정성, 에너지 이용의 효율성, 부산물 활용의 경제성, 그간의 국내·외에서의 설치 및 운영실적, 시설설치비 및 운영비 등의 경제성, 오염물질 배출량 저감 등의 환경성 등을 종합적으로 비교·평가하여 결정하여야 함



- 처리방식의 선정시 공정성이 확보되며 합리적인 기종이 선정될 수 있도록 구체적인 평가기준을 마련하여야 하며, 국고지원신청시 기종선정에 대한 평가기준 및 결과를 제출하여야 함
- 시설설치비는 처리공정별, 공종별(토목/건축/기타)로 구분하여 산출하고 산출근거를 국고지원신청시 제출하여야 하며, 운영비에 대한 세부적인 산출을 하여야 함
- 처리방식의 결정에 대하여 전문기관의 검토가 필요한 경우에는 타당성조사 및 기본계획이 완료되기 이전에 사전에 검토 받아야 함
- 처리방식의 결정과 기타공사로 추진하는 경우의 세부공법 결정은 분리하여 시행하여야 함

8.3 하수찌꺼기 처리·처분방법

8.3.1 하수찌꺼기 처리방법

가. 처리방법의 종류 및 개요

하수처리공정의 운전에서 생성되는 하수찌꺼기는 하수처리과정 및 운전방법에 따라 다소 다르나 액체 혹은 반원형 상태의 액체로서 유기물의 함량이 높아 각종 악취 및 불쾌감을 일으키며 부패성이 커서 보건위생상 안전화 하는데 하수찌꺼기 처리의 궁극적인 목적이 있다고 할 수 있다. 하수찌꺼기 처리방식은 하수찌꺼기의 최종처리 및 처분의 형태와 처리지역의 여건 및 상황에 따라 달라지나, 일반적으로는 단위공정 및 단위조작의 합리적인 방법에 의해 농축, 소화, 탈수, 소각 또는 매립처분으로 이루어지며, 이와 더불어 하수찌꺼기의 특성 및 처리효율, 시설의 규모, 최종처분방법, 입지여건, 건설비 및 유지관리비, 관리의 난이도, 환경오염의 대책 등을 합리적으로 비교·검토·평가하여 가장 합리적이고 경제적이며 효율적인 처리방식을 선정하여야 한다. 하수찌꺼기 최종처리방식의 선정은 다음의 흐름도에 의해 기본적인 조건을 충족하며 또한 유지관리 및 경제성 등의 비교를 통하여 최적의 방식을 선정한다.

처리방식 선정을 위한 흐름도

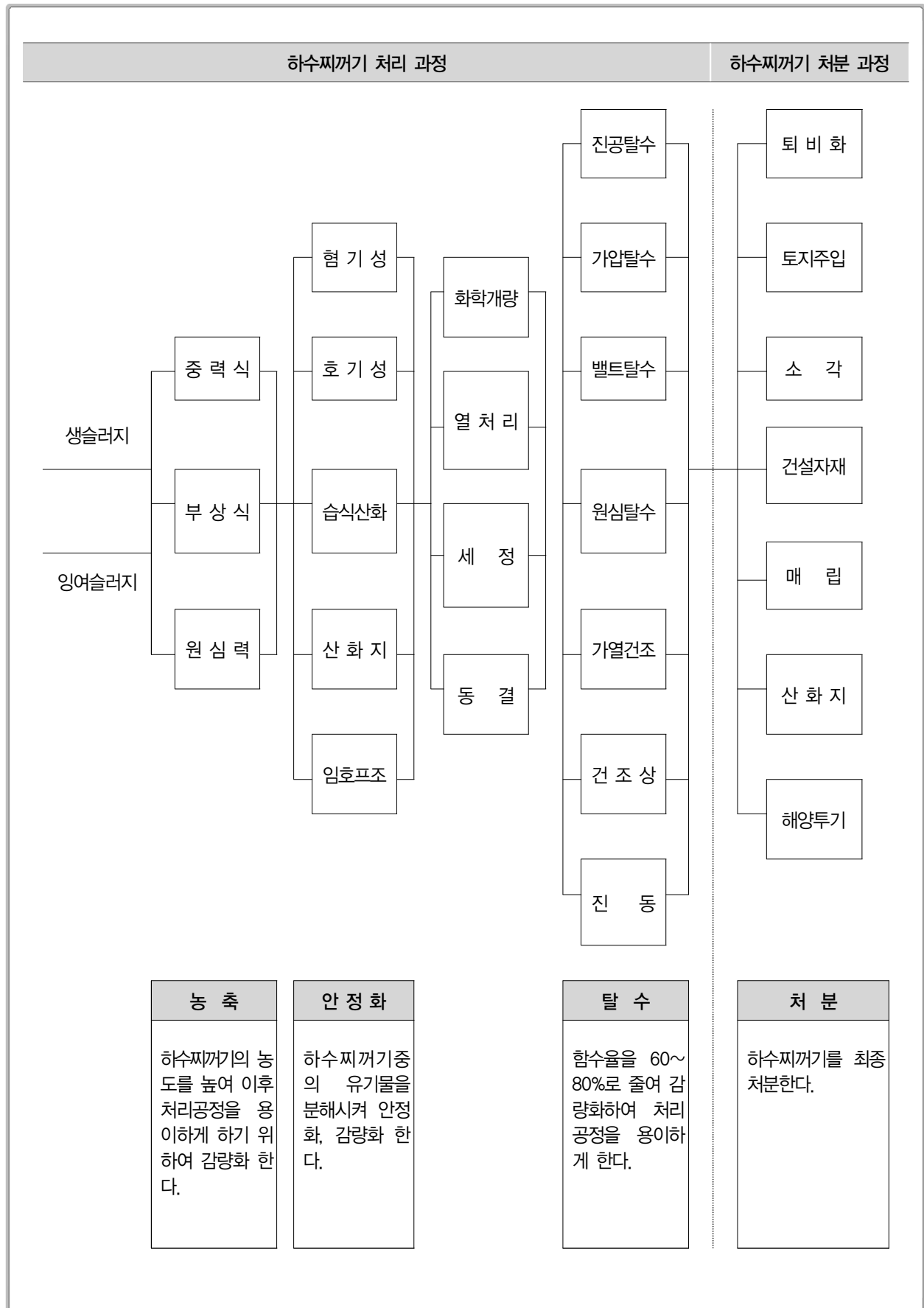
〈그림 8-3-1〉





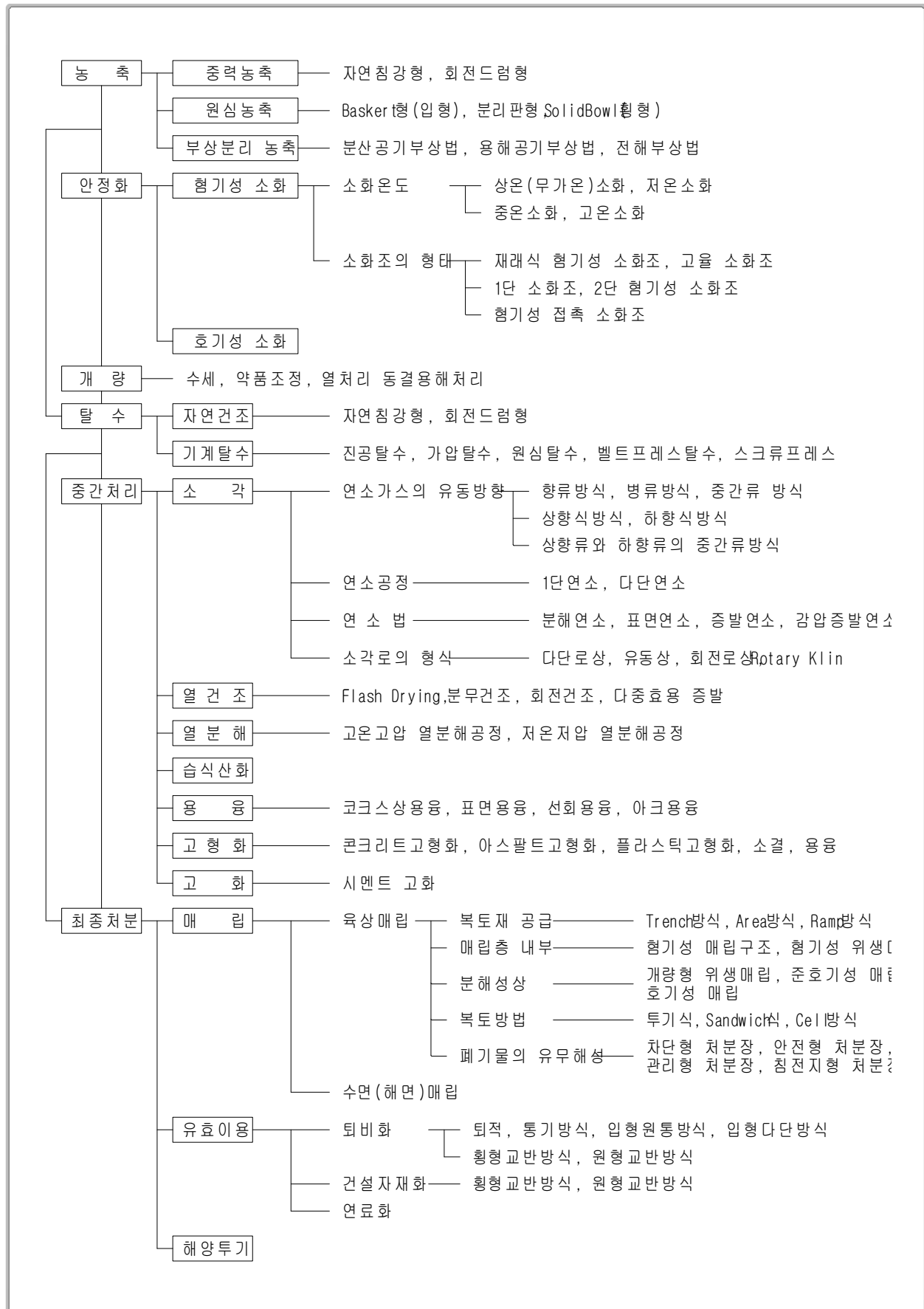
하수찌꺼기 처리·처분 과정

〈그림 8-3-2〉



하수찌꺼기 처리·처분방법의 분류

〈그림 8-3-3〉





나. 처리방법별 비교검토

1) 하수찌꺼기 농축

일반적으로 하수찌꺼기 농축의 목적은 처리할 하수찌꺼기의 부피를 감소시켜서 다음의 하수 찌꺼기 처리시설(소화조, 탈수시설)의 용량감소 및 처리효율을 증가시켜 하수찌꺼기 최종 처분을 용이하게 하는데 목적이 있다. 농축 하수찌꺼기양은 농축방식에 따라 변화되고 이에 따라 하수찌꺼기 소화조 및 가온설비 등 하수찌꺼기 처리시설 용량, 건설비 및 유지관리비가 달라지며, 하수찌꺼기 농축방식은 유입원수에 따라 일차 침전지의 생하수찌꺼기와 이차 침전지의 잉여 하수찌꺼기를 혼합하여 농축하는 혼합농축방식과, 분리시켜 농축하는 분리농축방식으로 구분 할 수 있다. 혼합농축방식은 생하수찌꺼기와 잉여슬러지를 함께 혼합하여 중력농축조 등의 시설에서 함께 농축하는 방식이며, 분리 농축방식은 최초침전지의 생하수 찌꺼기를 중력 농축시키고 최종 침전지의 잉여 하수찌꺼기는 기계 농축하는 방법이다. 농축 원리에 따라 중력농축, 가압부상농축, 원심농축으로 구분한다.

하수찌꺼기 농축방법의 비교

〈표 8-3-1〉

구 분	중력농축	가압부상농축	원심농축
개 요	·하수찌꺼기 비중에 의한 중력침전으로 압밀침전 원리를 이용 압밀된 하수찌꺼기를 하수찌꺼기 제거기(Scraper)로 회수하는 방식	·고압상태의 용존공기가 저압상태 에서 미세기포와 접촉하면서 하수찌꺼기를 포집·부상시켜 고액분리 후 분리된 하수찌꺼기는 저류농축조에서 탈기하는 방식	·기계적인 회전에 의한 원심력을 이용하여 하수찌꺼기를 분리, 분리관을 통해 원심 작용으로 회수하는 방식
형 식	·자연침강형 ·회전드럼형	·Basket형(입형) ·분리관형 ·Solid Bowl(횡형)	·분산공기 부상법 ·용해공기 부상법 ·전해 부상법
대상 하수찌꺼기	·생슬러지+잉여슬러지 ·생슬러지	·잉여슬러지	·잉여슬러지
설계기준	·25~70kg/m ² /일 : 혼합농축시 ·90~120kg/m ² /일 : 생슬러지 ·20~40kg/m ² /일 : 잉여슬러지	·100~200kg/m ² /일	·6~25L/s
농축효과	·하수찌꺼기 성상에 따라 SS 회수율 및 농축오니 농도가 일정치 않음	·회수율이 높고, 중력법에 비해 농축하수 찌꺼기 농도가 높으며, 특히 잉여슬러지와 같이 침강성이 나쁜 하수찌꺼기에 대해 효과가 좋음	·운전조건을 조절할 수가 있고 고농도의 하수찌꺼기를 얻을 수 있으나 부상법보다 SS회수율이 낮음 ·정밀한 전처리 필요
장점	·운전조작 및 유지관리 용이 ·시설비 최소 ·약품사용이 없음 ·저장과 농축이 동시에 가능 ·상징수의 수질이 양호 ·국내외 적용실적이 많고 운전기술 확립	·부지면적이 작음 ·시설비 중위 ·고형물 회수율이 비교적 높음 ·약품주입 없이도 운전 가능	·취기가 적거나 거의 없음 ·부지면적이 작음
단점	·인발 하수찌꺼기를 정확하게 제어하지 않으면 부패된 하수 찌꺼기 및 저농도 하수찌꺼기 인발 위험 ·악취 발생과 부상현상에 의해 수질이 악화될 수 있음 ·잉여슬러지의 경우 소요면적이 큼	·기기가 많이 필요하며 소음 및 진동이 발생 ·감시조작 인자가 많아 운전조작이 복잡 ·하수찌꺼기가 수면에 부상하여 외관이 나쁘다. ·동력비가 많이 소요 ·다른 방법보다 소요면적이 큼	·고속회전에 의한 소음 및 진동이 발생 ·조작상 공급펌프의 정지나 하수찌꺼기 인발시간의 조절이 어려우며 숙련도를 요함 ·시설비, 유지관리비가 고가 ·유지관리가 어려움

2) 하수찌꺼기 안정화

하수찌꺼기의 안정화는 최종처분 또는 재이용을 용이하게 하기 위하여 하수찌꺼기내의 유기물을 분해하여 병원균을 감소시키고 악취를 제거하며 부패성을 감소시키는데 있다. 하수찌꺼기 안정화 방법으로는 생물학적으로 유기물을 분해시키기 위한 혐기성소화 및 호기성소화가 있고 화학적 안정화방법으로 석회안정화와 염소산화 등이 있다. 본 계획에서는 석회안정화, 열처리, 혐기성소화, 퇴비화 등에 대하여 조사하였으며, 이 중 퇴비화의 경우에는 하수찌꺼기의 최종처분에 해당하는 사항이므로 최종처분방안별 검토에 제시하였다.

가) 석회안정화(Lime Stabilization)

석회안정화 공법은 미처리된 하수찌꺼기의 pH를 12 이상으로 상승시킬 수 있는 양의 석회를 첨가하여 하수찌꺼기중의 미생물 성장을 억제시켜 부패, 악취발생 및 기타 보건상의 문제발생을 감소시키는 공법이다. 석회안정화 공법은 탈수를 하기 전에 석회를 첨가하느냐 또는 탈수 후에 석회를 첨가하느냐에 따라 크게 전석회처리와 후석회처리로 구분한다. 일반적으로 후석회처리 안정화가 전석회처리 안정화에 비하여 건조석회의 사용이 가능하므로 탈수하수찌꺼기에 물의 첨가가 필요 없으며, 탈수장치가 필요 없고, 석회 하수찌꺼기 탈수 장치의 스케일링(Scaling) 문제와 유지관리문제가 용이하다는 면에서 유리하다. 이러한 석회안정화 공법은 미국의 경우 N-Viro Soil 등과 같은 상업화된 제품으로 개발되어 토지개량제 또는 비료의 목적으로 널리 사용되고 있다.

나) 열처리

열처리는 연속적인 방법으로서 압력용기에 하수찌꺼기를 계기압 $2,760\text{kN/m}^2$ 과 온도 260°C 에서 약 30분 정도의 단시간에 가열처리한다. 열처리는 안정화와 개량을 겸한 것으로 대부분의 경우 개량공법으로 분류된다. 열처리된 하수찌꺼기는 화학약품의 사용없이 쉽게 탈수할 수 있다. 하수찌꺼기를 고온, 고압으로 처리하면 열의 작용으로 결합수가 방출되며 고형물질이 응집된다. 또한, 단백질 성분의 가수분해가 일어나 세포가 파괴되어 용해성 유기화합물과 암모니아성 질소가 방출된다. 그러나 열처리는 유지관리비가 많이 소요되는 단점이 있다.

다) 혐기성소화

혐기성소화는 생물학적 폐수처리시설의 가장 오래된 형태로서 반응조내 분자상태의 산소가 존재하지 않는 상태에서 유기물 및 무기물의 분해가 이루어진다. 현재까지 주된 용도는 하수처리, 폐수처리 및 일부 공장폐수처리에 주로 이용되고 있다.

혐기성소화는 일차침전지와 생물학적 하수찌꺼기의 혼합액이 유기물이 혐기성 상태에서 생물학적으로 메탄(CH_4) 및 탄산가스(CO_2)를 포함하는 다양한 최종생성물로 변환되며,

이 과정은 기밀성(氣密性) 반응조내에서 일어난다. 연속적 또는 간헐적으로 주입된 하수 찌꺼기는 반응조내에 장기간 남아 있게 된다. 안정화된 하수찌꺼기는 반응조로부터 연속적 또는 간헐적으로 제거되며, 이 하수찌꺼기는 유기물 및 병원균의 함량이 낮고 부패되지 않는다. 흔히 사용되는 혐기성 소화조는 저울 및 고율소화조로서, 저율소화과정에서는 소화조내의 하수찌꺼기를 흔히 가열하지 않고 혼합하지도 않는다. 저율공정의 고형물 체류시간은 30~60일 정도이다. 반면 고율소화공정은 소화조내의 하수찌꺼기를 가열하고 완전히 혼합한다. 고율소화조의 고형물 체류시간은 흔히 15일 또는 그 이하로 운전한다. 이러한 두 가지 기본공정의 혼합형이 2단 공정(Two-Stage Process)으로서 두번째 단계의 일차적인 기능은 상징액을 소화된 고형물로부터 분리하는 것이지만 여분의 소화 및 가스생산이 일어나기도 한다.

라) 염소산화(Chlorine Oxidation)

본 방식은 염소가스를 하수찌꺼기에 주입하여 밀폐된 반응조 내에서 단시간에 화학적으로 산화하여 탈수공정에서 탈수·건조하여 처분한다. 본 방식은 소규모의 처리장에만 주로 적용되고 있으며 염소가스와 하수찌꺼기의 접촉에 의해 염산이 생성되어 중금속이 용해되어 상징수로 용출되는 문제점이 있다.

마) 호기성 소화

호기성 미생물에 의한 유기물의 분해작용으로 병원균의 100% 멸균이 가능하다. 그러나 호기성 소화법은 소요부지면적이 넓고 동력비가 많이 소요되는 단점이 있다. 운전이 용이한 반면에 소화 하수찌꺼기의 발생량이 과다하고, 소화 하수찌꺼기의 탈수가 어려우며, 소요동력이 크므로 동력비가 많이 든다. 또한 하수찌꺼기 발생량이 크므로 감량화 문제로 최종처분의 경비가 많이 소요된다.

3) 하수찌꺼기 개량

가) 화학적 개량

하수찌꺼기 입자의 성질을 물리화학적으로 변화시킴으로써 물과의 친화력을 감소시키고 응집력을 증대시키며 입자를 크게 하여 탈수효율을 증대시킨다. 응집제로는 무기성과 유기성 응집제가 있으며 일반적으로 진공탈수기와 가압탈수기에는 무기성을, 원심탈수와 벨트프레스탈수기에는 유기성 응집제를 사용한다. 무기성 응집제에는 Ferric Chloride (염화 제2철)과 소석회를 병용하기도 한다. 약품주입은 분말을 약액 탱크에서 용액 상태로 만들어 주입시키며, 약액 탱크의 용량은 1일 소요량 이상을 준비할 수 있는 크기이어야 하고, 약품과 하수찌꺼기의 혼합은 Floc이 파괴되지 않는 속도인 약 40~100rpm이 적합하며, 주입약품량은 실험실에서 Jar Test 및 모세관 흡입시험(C.S.T) 등에 의해 결정된다.

나) 세정

세정은 소화된 하수찌꺼기에 세정수를 첨가하여 알칼리도를 희석시키고 고형물을 분리, 농축시키는 단위 공정이다. 응집제사용량 감소로 인한 비용절감효과가 세정조 운전비에 비해 크므로 과거에는 많은 공공하수처리시설에 적용되어 왔으나 세정조 상징수에 포함되어 있는 다량의 용해성 유기물과 암모니아, 인 등의 영양염류, 그리고 혐기성 소화를 거치면서 생성된 난분해성 미세립자들이 하수처리계통에 다시 반송되었을 때 완전히 처리되지 않고 방류되어 처리효율을 격감시키는 원인이 되므로 최근에는 적용하는 사례가 줄어들고 있다.

다) 열처리

열처리는 일반적으로 안정과 개량이 동시에 행해지는 공정으로 슬러지를 130~210℃에서 30~60분간 가온해 슬러지중의 콜로이드 또는 겔 상태의 물질을 변화시켜 농축성을 높이면서 탈수성 좋은 슬러지로 만드는 방법으로, 약품을 첨가하지 않고 함수율이 낮은 탈수 케이크를 얻을 수 있다.

라) 소독

소독의 목적은 최종처분시 유해한 병원성 미생물을 전멸시키기 위한 것으로 소화처리된 하수찌꺼기는 특별한 경우는 제외하고는 소독하지 않아도 될 정도로 안전하다.

- 저온소독 : 70℃에서 30분 접촉
- 고농도의 pH처리 : Lime 주입 후 pH 12 이상에서 3시간 접촉
- 장기간 소화 : 20℃에서 60일, 4℃에서 120일
- 퇴비화 : 55℃에서 30일 이상 저장
- 염소 주입
- 기타 약품이나 고에너지 복사선에 의한 소독

4) 탈수

하수찌꺼기를 탈수시키는 목적은 하수찌꺼기 내의 수분을 제거하여 처분해야 할 하수찌꺼기의 양을 감소시켜 취급과 운반의 용이성은 물론 위생매립 또는 소각시 감량화 및 안정화의 요건을 충족시키기 위함이다. 소화된 하수찌꺼기의 탈수 목적은 처분대상 하수찌꺼기의 용량을 감소시켜 다음 처리과정에서 효과를 얻기 위한 것으로 수송비 절감 및 취급 용이, 소각시 경제적 이고, 위생적 매립이 가능하다. 하수찌꺼기를 탈수시키기 위한 방법은 자연건조방식(건조여상식)과 기계탈수방식이 있으며 비교 결과는 다음과 같다

탈수방법 비교

〈표 8-3-2〉

구 분	기계식 탈수	자연건조방식(건조여상식)
기상조건	·관계 없음	·우천시 사용불능, 계절에 민감
처리소요시간	·기계로 탈수하므로 처리시간이 짧음	·태양열이나 바람 등의 자연에 의해 처리되므로 많은 시간이 소요
처리효율	·탈수기機種별로 약간 차이가 있으나 대체로 탈수효율이 좋음	·탈수효율이 기계탈수에 비해 많이 떨어짐
2차 공해문제	·하수찌꺼기를 기계로 처리하므로 2차 공해 적음	·실외 노출 처리되므로 2차 공해 유발
유지관리	·기계로 처리되므로 전력비 및 응집제 소요가 많으나 인력 경감 ·기계에 따라 약간의 차이가 있으나 운전조작은 대체로 간편하며, 보조기류가 많음	·기계 처리방법에 비하여 전기료나 응집제가 들지 않으나 인력이 많이 소요되며, 원시적인 방법
시설비및 소요부지	·건조상에 비해 시설비는 비싼 편이나 소요부지가 작음	·시설비는 적게 드나 소요부지가 큼

기계탈수 방법에 사용되는 탈수기는 진공탈수기, 가압탈수기, 원심탈수기, 벨트프레스 등이 있으며 각각 탈수대상에 따른 적용특성을 갖고 있다. 하수찌꺼기 탈수기를 선정할 때에는 응집제와 같은 약품은 물론 전기 및 열에너지의 소비성능 뿐만 아니라 경제성, 유지관리의 난이도 등을 감안하고 최종적인 하수찌꺼기 처리·처분장의 입지조건, 사회적 제약조건 등을 고려하여 선정하여야 한다.

탈수시설의 비교

〈표 8-3-3〉

구 분	가압탈수기	원심탈수기	벨트프레스
개 요	·하수찌꺼기를 여포에 감싼 후 가압 탈수하는 방식	·원심력에 의해 농축분리	·여포사이에 공급된 하수찌꺼기를 압축 탈수하는 방식
하수찌꺼기 조정	·농축이 필요 ·소화슬러지 경우 세척이 다소 필요	·불 필 요	·가압 탈수기와 비슷
케익 함수율	55~65%	75~80%	72~80%
약품투입	·소석회 30~40% ·염화 제2철 5~10%	·고분자 응집제 ·0.5~1.0%(per1kg/DS)	·고분자 응집제 ·0.5~1.0%(per1kg/DS)
운전성	·용 이	·완전자동 가능	·완전자동 가능
작업환경	·개방형으로 냄새와 습기가 많아 환풍 탈취 필요	·폐쇄형으로 냄새가 적으나 환풍 고려	·가압 탈수기와 비슷
하수찌꺼기 처분	소 각	·필요 없음	·필요 없음
	재이용	·응집제에 따라 재이용 가능	·응집제에 따라 재이용 가능
소음	·컴프레서 소음 (70~80 phone)	·70 phone	·적 음
유지관리	·여포교환(1·2회)/년 ·로울러 및 Seal set 2년 주기로 교환	·6,000시간 주기로 Screw 교환 ·로울러 및 Seal set 2년 주기로 교환	·여포교환(1·2회)/년
케익반출	·사이클마다 여포실 개방과 여포이동에 따라 반출	·여포의 이동에 의한 연속반출	·스크류에 의한 연속반출
소요면적	대	소	소
보조기기류	많음	적 음	적음
소요동력	중	대	소

다. 최종처리방법 결정

현재 국내에서 채택하고 있는 하수찌꺼기 처리방식은 농축 → 혐기성소화 → 기계탈수방식이 대부분인데, 이는 거의 모든 중규모 이상의 공공하수처리시설에서 수처리방식으로 채택하고 있는 표준활성하수찌꺼기법에서 발생하는 하수찌꺼기 처리에 적합한 처리공정이기 때문이다.

공공하수처리시설의 방류수 수질기준(특히 질소 및 인)이 강화됨에 따라 장래 계획되는 공공하수처리시설의 처리방식은 대부분 생물학적 영양염류 제거공법(BNR System)이 적용될 것으로 예상되므로 생물학적 영양염류 제거공법에 의하여 발생된 하수찌꺼기는 다량의 유기물질과 영양염류(질소 및 인)를 함유하고 있는 점을 고려하여 하수찌꺼기 처리시설 계획시 처리대상 하수찌꺼기의 성상에 적합한 방법을 선정하여야 한다.

따라서, 생물학적 질소, 인 제거공법에서 발생하는 하수찌꺼기를 처리하기 위한 공정은 다음의 사항을 고려하여 계획하도록 한다.

- 생슬러지와 잉여슬러지는 혼합시 농축특성이 불량하므로 이를 고려하여 계획하도록 한다.
- 생물학적 질소·인 제거공법의 경우에는 잉여슬러지 중에 질소와 인을 다량 함유하고 있으므로, 특히 인의 경우 혐기성(Anaerobic) 상태가 되면 용해성(Soluble) 상태로 방출되는 특성이 있다.
- 최근 매립지의 확보가 어려워지고 있는 점을 감안하면 하수찌꺼기 발생량을 최소화할 수 있는 방법을 선정하도록 한다.
- 악취 등과 같은 불쾌감을 조성하는 환경영향을 최소화할 수 있는 방법을 선정한다.
- 유지관리가 용이하고 운전비용이 저렴하여 경제적이며, 자동운전이 가능한 처리방법을 선정한다.

적용 가능한 하수찌꺼기 처리방식으로는 농축성이 비교적 양호한 생슬러지는 중력농축 또는 기계농축을 하여 처리하며, 잉여슬러지는 혐기성 조건에서의 인방출을 억제하고 농축효율을 향상시키기 위하여 기계식 농축을 하는 것이 효과적이다. 또한 혐기성 소화조는 하수찌꺼기 안정화 및 탈수케이크 발생량을 줄이기 위하여 설치하나 혐기성 소화조에서 인의 재용출로 인한 방류수의 수질증가가 우려되므로 혐기성 소화조를 설치할 경우에는 생슬러지만을 혐기성 소화하거나 호기성 조건을 유지시킬 수 있는 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

8.3.2 하수찌꺼기 최종처분 방법

하수찌꺼기 최종처분방법으로는 육상매립, 퇴비화, 소각, 고화, 고�형화, 하수찌꺼기의 연료화, 탄화방법 등이 있다. 육상매립의 경우 매립지 확보의 어려움과 직매립 금지, 침출수 오염과 같은 2차 오염문제가 점점 심화되고 있어, 슬러지자원화 설비를 광역 및 지자체별로 점진적으로 설치 중에 있으나 재원조달, 민원발생, 공공하수처리시설 신·증설 계획으로 인한 하수찌꺼기량 증가 등 사업추진에 차질을 보이고 있어 하수찌꺼기 처리 시스템에 대해서도 추가적인 시설확충이 불가피한 실정이다.

가. 건조

1) 개 요

건조는 하수찌꺼기에 포함되어 있는 수분을 직접 및 간접적인 열을 통해 수분을 제거하는 방법으로 소각보다는 처리의 안전성이 떨어지며, 유기물이 제거되지 않아 장기간 보관시 위생적인 관리에 어려움이 있다. 그러나, 건조는 소각, 탄화, 용융, 연료화, 매립 등의 전처리 공정의 필수 과정으로써 설치 및 운영 실적이 많아 매우 안정적인 기술로 평가되고 있다. 환경적으로는 소각보다 대기오염물질의 발생이 적으나, 악취 발생 요인이 커 이에 대한 방지시설 및 대책이 반드시 필요하다. 건조 후 발생하는 건조물은 유기물 함량이 높으므로 재이용시 이러한 부분을 고려하여 처리방안을 선정하여야 한다. 시설비 및 소요부지, 공사기간 등은 타 처리방안에 비교하여 경제적이다.

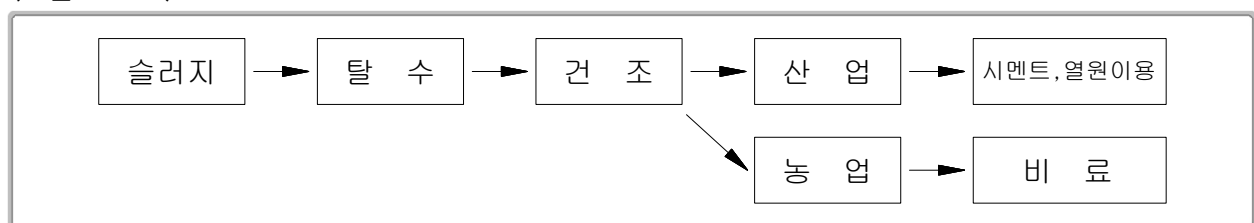
2) 건조방법

가) 완전건조

완전건조란 하수찌꺼기의 수분함량이 약 5~30%이하인 상태를 말하며 주로 하수찌꺼기의 재활용을 위해 사용된다. 재활용을 위한 하수찌꺼기의 건조는 하수찌꺼기의 부피와 무게를 감소시킬 뿐 만 아니라 부패, 변질을 방지하고 병원균을 사멸시키는 역할을 한다.

완전 건조 계통도

〈그림 8-3-4〉

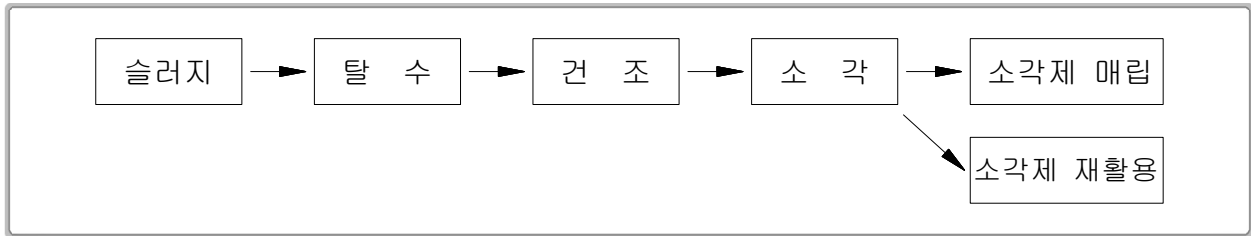


나) 부분건조

수분의 40%이하 부분건조는 소각의 전처리형태로 이용되는데 함수율이 50%이상으로 소각시 자체열량이 높여주기 위한 것과 보조연료 사용량을 감소하는데 그 목적이 있다.

부분 건조 계통도

〈그림 8-3-5〉



건조기 형식별 완전건조 및 부분건조

〈표 8-3-4〉

형 식	건조방식	부분건조	완전건조	비 고
유동층 건조기	직 접	×	○	
드럼 건조기	직 접	×	○	
진공필터프레스 건조기	간 접	○	○	
디스크 건조기	간 접	○	○	
패들 건조기	간 접	○	○	
싹필름 건조기	간 접	○	△	

주) ○ : 가능, × : 불가능, △ : 조건에 따라 가능

건조기의 선정시는 각각의 공정에서 가장 적당하고 효율이 높은 기기를 선정하는 것이 필요하며 선정시 고려할 사항은 하수찌꺼기의 발생량, 하수찌꺼기의 성상, 환경적 측면(분진, 악취 등), 기술신뢰도, 유지보수, 운영용이성, 경제성 등이다.

건조방식의 비교

〈표 8-3-5〉

구 분		기계식 탈수	자연건조방식(건조여상식)
건조기 형식		·드럼 건조기, 유동층 건조기 등	·패들건조기, 디스크 건조기, 진공필터 프레스건조기, 싹 필름건조기 등
건조방식 및 원리		·열풍 발생로에서 열풍을 발생시켜 열풍과 습윤 재료를 직접 접촉시켜 주로 대류 전열에 의해 수분을 제거하는 방식	·장치내의 벽체를 통해서 전도 전열에 의해 가열한 재료의 수분을 제거하는 방식
배기 가스	가스량	많 다	적 다
	입자상물질	많다(1~10g/Nm³)	적다(0.1~2g/Nm³)
	온도	낮 다	높 다
	가스처리장치	크 다	작 다
열효율(%)		75~80	50~70
장점		·건조속도가 빠름 ·점착성이 큰 하수찌꺼기에 유리 ·자동운전이 가능 ·설비가 간단하며 소요부지가 적게 소요 ·단속운전시 연료손실이 적음 ·건조 효율이 비교적 높음	·건조 하수찌꺼기의 성분변화가 적음 ·대기오염이 비교적 적음 ·건조시간이 길어 건조 효율이 높음 ·폭발 위험성이 적음 ·악취발생이 적음
단점		·대기 오염 우려 ·건조 하수찌꺼기의 성분변화가 큼 ·폭발위험성이 산재 ·고온으로 부식, 산화 ·악취발생 큼	·건조속도가 느림 ·자동운전이 비교적 어려움 ·설비가 복잡하고 소요부지가 많이 소요 ·단속운전시 연료손실이 큼 ·별도의 보일러설비가 필요

나. 소각

소각은 공기 중의 산소를 이용하여 단시간 내에 가연성 물질을 연소시키는 방법으로 처리의 안전성이 확보되며, 위생적인 처리가 가능하다. 또한, 많은 설치 및 운영실적으로 인해 매우 안정적인 기술로 평가되고 있으며, 감량율이 높고 함수율이 낮아 최종 부산물의 처리 및 보관이 용이한 장점 등이 있다. 반면, 소각으로 인해 대기오염물질이 다량 발생하고, 소각재내의 중금속 등의 함량이 높아 재이용시 중금속에 대한 영향을 반드시 평가할 필요성등이 있어 환경적 영향이 타 처리방안보다 높으며, 집약적 처리기술로써 전문 운영요원을 통해 운영이 되어야 하므로 운영관리 어려운 단점 등이 있다.

시설비 및 운영비는 다소 고가인 반면, 폐열의 재이용이 가능함으로 다른 열적처리방식 보다는 운영비가 적게 소요된다.

소각방식의 비교

〈표 8-3-6〉

항 목	스토카식 소각로	유동상식 소각로	로터리킬른 소각로
구조적 특성	·로내의 화격자를 설치해서 그 위에 폐기물을 투입하여 소각하는 방식으로 비교적 발열량이 낮은 생활폐기물의 경우에는 연소용 공기를 화격자 하부로부터 공급하는 상향연소 방식을 택함	·로내의 유동매체(모래 또는 석회석 등)가 적절한 높이까지 채워져 있고 연소용 공기는 유동매체의 하부에 있는 공기분산판을 통해 주입하는 방식으로 유동매체는 하부로부터 유입되는 가스에 의하여 격렬한 운동을 하여 혼합을 증진시키고 열전도도 용이하게 됨	·원통형의 소각로로 0.5~8도의 각도로 기울어져 있으며 폐기물의 혼합을 높이기 위해 소각로가 지속적으로 회전하며 회전속도는 0.5~5rpm임. 상부에서 투입된 폐기물이 소각로를 따라 연소되면서 출구에 서는 재만 남게 되는 방식임
소각대상 폐 기 물	혼합하수찌꺼기 (가연성분+불연성분)	가연성분 하수찌꺼기	혼합하수찌꺼기 (가연성분+불연성분)
전처리 과정	불필요	·가연성분만을 소각해야하기 때문에 가연성분의 철저한 분리와 파쇄 등의 전처리가 필요	불필요
소각처리 규모	·대용량이 가능하며 기당 일처리 규모 1,000톤 이상이 설치된 예도 있음	·기당 일처리 규모 200톤 이상은 기술적인 문제로 비효율적	·대용량이 가능
과잉공기비	1.5~2.5	1.15~1.3	2~3
소각효율	·화격자의 설계 여부에 따라 소각효율이 좌우되며 일반적으로 소각효율이 떨어지고 수분 함량이 많은 쓰레기의 경우는 보조연료 등의 사용이 불가피.	·하수찌꺼기가 연소 공기와 격렬하게 혼합되기 때문에 열전도 효과가 크고 소각상태를 균일하게 유지할 수 있어 소각효율이 아주 우수한 것으로 평가.	·하수찌꺼기와 연소용 공기와의 접촉 효과가 떨어져 완전연소를 위해 일반적으로 2차 연소실이 구비되어 있음. 일반적으로 소각효율이 좋지 못한 것으로 평가.
보조연료량	보 통	적 다	크 다
에너지이용률	높 음	낮 음	낮 음
유지관리	·소각로 내의 기계적인 구동부분이 많아 고장 가능성이 높음	·구조가 단순하고 기계적 구동 부분이 적어 유지관리가 용이	·구조가 단순하고 기계적 구동 부분이 적어 유지관리가 용이
건설비용	1.5	1.0	1.4
운영비용	1.5	1.0	1.3
소요면적	중	소	대

다. 탄화

탄화는 무산소 상태에서 유기성폐기물을 가열하면 수분과 가스가 발생하며 발생한 가스는 열분해 열원으로 재이용이 가능한 방법으로 처리의 안전성이 확보되며, 위생적인 처리가 가능하다. 탄화는 소각과는 달리 최근 타 지자체등에 적용이 되기 시작하여 설치 및 운영실적이 적어 기술적 신뢰성은 낮은 것으로 평가되었다.

탄화물은 탄소성분이 주를 이루므로 수요처가 다양하나, 도시형 슬러지의 특성상 중금속 함량이 높아 현재까지는 수요처 확보에 많은 어려움이 있는 것으로 조사되었다.

환경적으로는 소각보다 대기오염물질 발생율이 낮고, 탄화물의 함수율이 낮아 최종 부산물의 처리 및 보관이 용이한 장점등이 있다. 반면, 고도의 설치 및 운영기술이 필요하여 관리가 용이치 않은 것으로 검토되었다.

시설비 및 운영비는 다소 고가인 반면, 열분해 가스의 재이용이 가능함으로 다른 열적처리방식보다는 운영비가 적게 소요되나, 소각보다는 많이 소요되는 것으로 검토되었다.

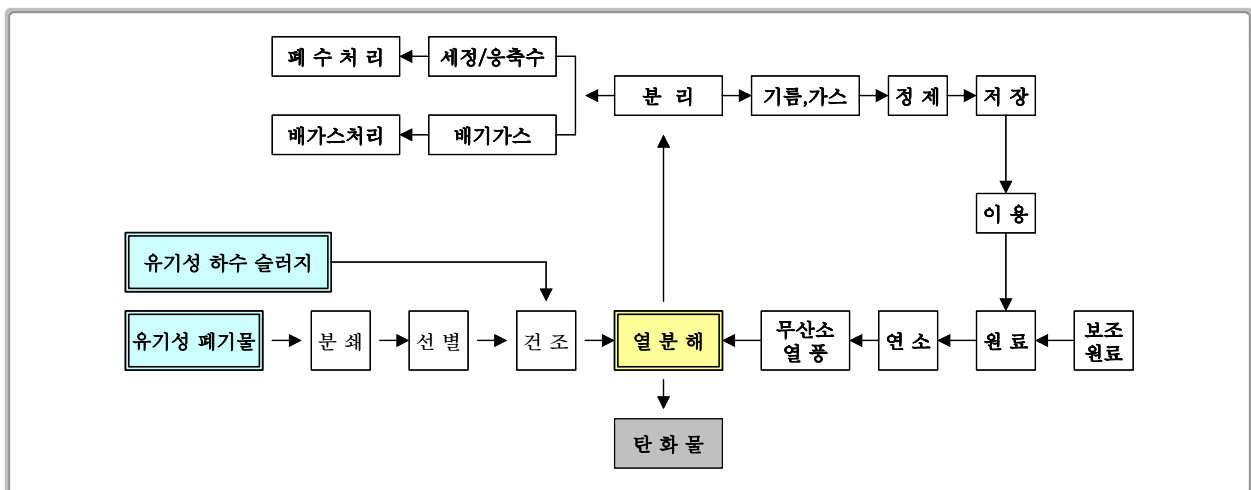
탄화(열분해)와 소각 비교

〈표 8-3-7〉

항 목	탄화(열분해)	소각
열이동	흡열반응	발열반응
물리·화학적 반응 형태	분해 (저산소)	연소 (산소공급)
송풍량 및 배기가스	·무산소 및 저산소이므로 공기송풍이 최소화되며, 공기순환 및 연료이송들을 위한 최소공기량 필요, 배기량이 적음	·완전연소를 위한 이론공기량 이상의 공기공급이 필요하므로 송풍량에 비례하여 배기가스량이 많음
장치의 형태	밀 폐 형	개 방 형
에너지 회수방법	·기름 및 가스상의 연료	·폐열회수에 의한 지역난방 및 발전
2차오염	·배기가스의 오염농도가 낮음	·다이옥신, 중금속등의 2차 오염물질에 대한 우려
에너지 공급방법	·폐기물 분해에 의해 발생하는 유류 및 가스와 보조연료	·폐기물의 연소에 의한 자체 발생열 및 보조연료
유지관리	·무산소 및 저산소 분위기 유지를 위한 기술필요	·현재 이용되는 소각시설에 대한 기술축적

탄화(열분해) 공정도

〈그림 8-3-6〉



라. 용융

용융은 화석연료 또는 전기를 열원으로 이용하여 폐기물을 고온에서 액체 상태로 만드는 공정으로 용융슬래그와 용융비산재를 포함하는 배가스를 생성하는 방법으로써 처리방안 중 최종부산물의 안전성이 가장 높다. 용융은 현재 국내에서는 상용시설로써 하수찌꺼기에 단독으로 적용된 바가 없으며, 3톤/일 규모의 파일롯 플랜트가 대전에 설치되어 있는 것으로 조사되었고, 일본에도 소규모 시설만 운영되고 있는 것으로 조사되어 고도의 기술을 요하는 운영인력 확보 및 기술의 노하우 축적이 더욱 필요할 것으로 조사되었다. 따라서, 안양시와 같이 대량의 하수찌꺼기를 처리할 수 있는 대규모 시설에 적용하기에는 신뢰성이 매우 낮은 것으로 평가되었다. 용융기술은 근본적으로 고온에서 폐기물을 용융시킴으로써 다이옥신 등은 열에 의해 파괴되고 중금속은 일부는 비산되며, 용융슬래그 내에 안정화되어 용출의 위험성도 낮은 것으로 평가되어 최종부산물인 용융슬래그를 토목 골재 등으로 재이용시 가장 환경친화적 처리가 될 것으로 검토되어 환경적인 영향은 타 처리방안과 비교하여 가장 우수한 것으로 평가되었다.

시설비는 처리방안 중 경제성이 가장 낮은 것으로 검토되어 예산 확보에 많은 어려움이 있을 것으로 예측되었다.

마. 고화

고화는 하수찌꺼기에 고화제를 첨가하여 물리·화학적 반응을 유도함으로써 물리·화학적 성상을 개선하고 하수찌꺼기가 포함한 중금속을 고정시켜 유출을 최소화하며 자체 발열에 의한 하수찌꺼기 내 수분을 증발시켜 이용의 용이성을 확보하는 방법이다. 따라서, 비교적 위생적이며 안전한 하수찌꺼기 처리가 가능하며, 기술적 난이도가 높지 않아 건설 및 운영이 용이한 것으로 검토되었다.

하수찌꺼기와 고화제를 혼합하여 양생하는 동안에는 악취가 다량 발생하므로 이에 대한 적절한 방지설비 및 대책이 필요하며, 타 처리방안에 비교하여 장시간의 처리시간이 필요로 함으로 부지면적 및 시설공사비가 건조 및 연료화시설에 비교하여 고가인 것으로 검토되었다. 또한, 운영비는 건조열원과 고화제 구입비용이 큰 부분을 차지할 것으로 판단되고, 고화제의 경우 그 기준이 모호하여 고화시설에 따라 특정 고화제를 사용하게 될 경우 고화제 제작업체의 독점사용권으로 인해 고화제 구입비용이 크게 상승할 경우 이에 대한 대책이 없어 운영비 상승 요인으로 작용하는 단점이 있다.

고화물의 생산 목적은 하수찌꺼기 내 중금속의 용출을 최소화함으로써 재이용시 환경적 영향을 최소화하고, 최급을 용이하게 하는 것으로써 매립장 복토재로의 이용이다.

바. 시멘트 자원화

시멘트는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 의 성분을 함유하는 원료를 시멘트 원료로 사용한다. 하수찌꺼기의 경우에는 연소 후에 남는 고형분의 성분이 점토원료(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)와 유사하기 때문에 시멘트 원료로의 이용이 가능하다고 할 수 있다.

하수찌꺼기의 자원화는 단순히 시멘트 원료나 연료대체 차원뿐만 아니라, 사회에서 문제가 되고 있는 환경적 문제를 시멘트 업계가 적극적으로 수용하는 방향으로 진행되고 있다. 즉 경제 발전에 따른 하수찌꺼기의 발생량 증가, 매립지 부족, 민원발생등의 문제를 근본적으로 처리하는 방안으로 시멘트 자원화가 추진되고 있다. 시멘트를 원료화하고 있는 대표적인 하수오니의 성분은 다음과 같으며, 하수찌꺼기 중의 유기물 성분은 시멘트 소성공정에서 연소되므로 열량으로서 유효하게 활용하는 것이 가능하다.

시멘트 원료화 하수찌꺼기의 성분

〈표 8-3-8〉

구분		수분 (%)	화학적성분(%)									
			LOI	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Cl
하수찌꺼기	소각재	30.0	1.0	32.4	15.6	13.4	8.5	3.0	2.1	1.6	15.7	0.04
	탈수케익	80.0	79.8	6.8	2.5	3.1	1.2	0.4	0.5	0.3	3.1	0.03
점토원료		20.0	7.0	63.3	18.5	6.0	0.4	1.8	1.0	2.0	—	—

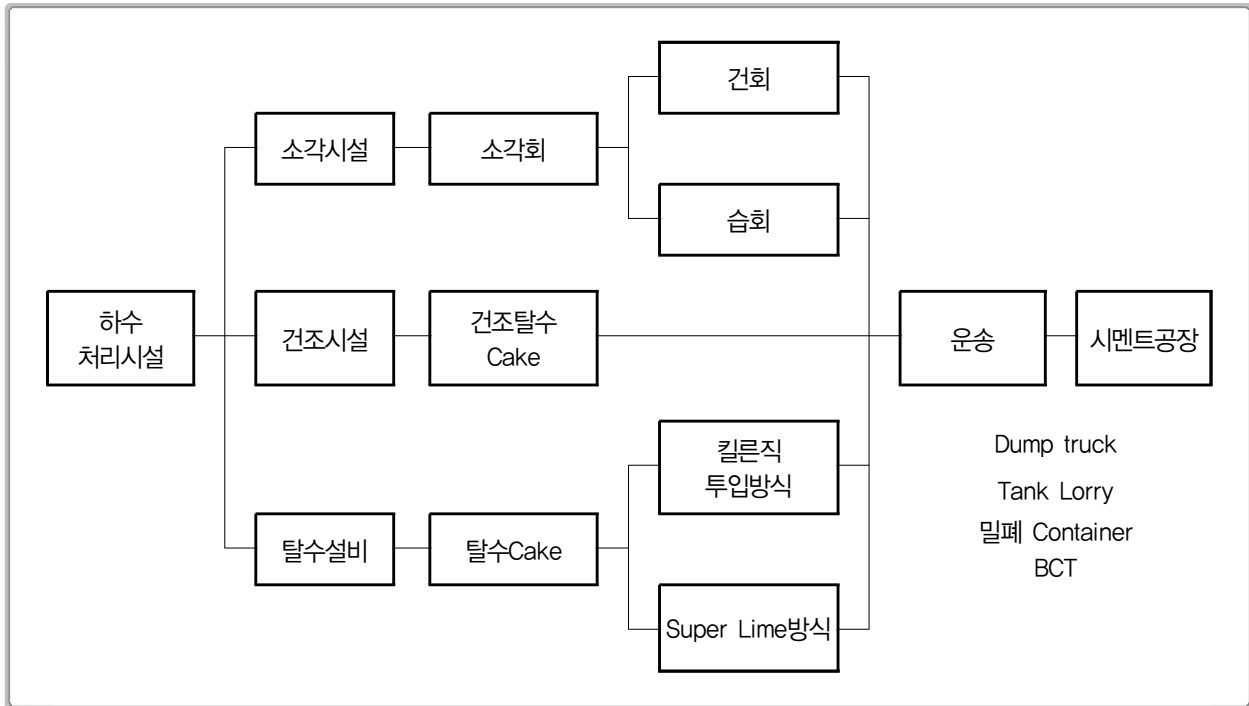
자료) 시멘트산업에서의 폐기물 처리현황 및 하수슬러지 처리방안(유기물자원화, 제14권, 제1호, 2006)

시멘트를 자원화 하는 방법은 크게 3가지 형태로 구분하여 볼 수 있다. 이는 처리시설 및 시멘트공장의 규모 그리고 지자체의 재정능력에 따라 여러 형태로 조합이 가능하다는 것을 의미하는 것이다. 예를 들어 하수처리시설의 규모가 크고 재정자립도가 높은 곳에서는 하수찌꺼기에 포함된 다량의 수분을 제거하여 최종처리자까지 공급되는 운송비를 경감할 수 있는 소각회 및 건분의 시멘트자원화 방식이 유리하며, 하수처리시설 규모가 작고 재정자립도가 낮은 지자체에서는 수분 70~80%의 하수찌꺼기 케이크 상태 그대로 시멘트 킬른에 직투입하는 방식이 유리하다고 할 수 있을 것이다.

이러한 시멘트 자원화 방법은 하수찌꺼기 처리과정에서 환경문제 없이 100% 처리가 가능한 장점은 있지만, 하수찌꺼기 중에 함유된 P_2O_5 성분과 Cl 등은 시멘트 공정 및 품질에 악영향을 미치기 때문에 이를 최소화하여 적용하여야 한다. 또한 처리방법에 따라서는 하수찌꺼기를 이송 및 저장과정에서의 악취문제 해결이 선행되어야 하고, 이를 위한 별도의 설비와 전처리 방법 등이 필요하게 된다.

시멘트 자원화 방법

〈그림 8-3-7〉



자료) 시멘트산업에서의 폐기물 처리현황 및 하수슬러지 처리방안(유기물자원화, 제14권, 제1호, 2006)

1) 소각회 및 건조분의 원료화 방법

소각로 또는 건조로를 갖춘 하수처리시설에서 발생하는 소각회 및 건조회를 시멘트공장에서 원료화 하는 방법으로서 시멘트공장에서는 기존공정을 대부분 그대로 활용이 가능한 물론 필요시 간단한 투입설비만으로도 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있으나 하수처리시설에서는 초기 설비 투자비가 과다하게 투입되어야 하는 단점을 가지고 있다. 하지만 소각회나 건조회는 충분히 감량된 상태로 이송됨에 따라 수송비가 절감되고 이송 및 사용과정에서 일어날 수 있는 2차 환경오염에 대한 문제도 감소될 수 있다는 장점이 있다.

2) 킬른 직투입방식

하수처리시설에서 발생한 하수찌꺼기 탈수케이크를 전용 특수차량(밀폐 컨테이너 장착)을 사용하여 밀폐라인에서 시멘트 킬른에 직접 투입하는 방법이다. 이 방법은 건조 하수찌꺼기나, 소각회를 사용하는 방법보다 수분을 다량 함유하고 있어, 운송비가 많이 소요되나, 하수처리시설에서는 초기 투자비가 거의 들지 않는다는 장점이 있다. 반면 시멘트 공장에서는 투입설비 설치에 따른 투자가 수반되지만 하수찌꺼기에 포함되어 있는 암모니아가 킬른내의 NOX와 반응하여 질소산화물 배출량을 감소시켜 준다는 장점도 있다. 그러나 수분이 다량 함유된 하수찌꺼기를 공정에 직접 투입하게 됨으로서 배기가스량이 증가하여 시멘트 크링커의 생산량이 감소되고 수분증발에 필요한 열량이 증가한다는 문제를 내포하고 있다.

3) Super Lime방식

일본의 태평양시멘트에서 개발하여 적용한 기술로서 함수율이 80% 정도인 탈수하수찌꺼기를 생석회를 주성분으로 한 첨가제를 혼합, 숙성처리하는 별도의 시멘트 자원화 플랜트를 설치하여 함수율이 낮은 분말상의 시멘트 원료를 제조하는 방식이다. 생석회계 첨가제는 하수찌꺼기의 건조, 부패방지 및 취급이 용이하도록 하기 위한 것으로 하수찌꺼기의 수분량에 따라 그 사용량을 조정한다. 이 건분 중의 하수찌꺼기 유기물은 1450℃의 시멘트 제조공정에서 연소되고, 연소후의 무기물은 일반 시멘트 크링커의 점토를 대체하는 원료가 된다. 본 기술은 초기 투자비용은 작게 드는 장점은 있지만 운영비가 많이 드는 단점이 있어 국내에서의 적용은 어려울 것으로 판단된다.

시멘트 연료화시 장·단점

〈표 8-3-9〉

장점	단점
·시멘트 소성으로부터 배출되는 NOX 저감	·수분함량 및 악취 발생
·하수찌꺼기 대량처리 가능	·Cl 및 P2O5 함유량에 따른 시멘트 공정 및 품질의 영향
·처리비용 절감 및 환경오염 최소화 가능	·환경규제 및 지역주민의 이해의 필요

자료) 시멘트산업에서의 폐기물 처리현황 및 하수슬러지 처리방안(유기물자원화, 제14권, 제1호, 2006)

사. 연료화

하수찌꺼기의 연료화 방안은 하수찌꺼기의 최종처분을 용이하게 하고, 고가의 에너지를 얻을 수 있는 점에서 대단히 유망한 자원화 방안으로 주목되고 있으며, 최근에 하수찌꺼기에 포함되어 있는 가열성물질인 유기물의 내재에너지를 에너지자원으로 이용하려는 연구들이 이루어지고 있다.

하수찌꺼기의 연료화에서 가장 중요한 문제는 하수찌꺼기의 함수율이 매우 높아서 상대적으로 유기물분의 농도가 낮아지게 되어 그 열적 가치를 현재화하기 어려운 점이다. 하수찌꺼기의 연소열을 이용하기 위해서는 자연연료가 가능한 열량 이상의 발열량을 가져야만 한다. 따라서 하수찌꺼기의 함수율을 효율적으로 낮추는 방안이 무엇보다 중요하게 된다.

하수찌꺼기를 소각하는 경우, 연료가 안전하게 계속되게 하려면 1,200Kcal/kg 정도의 열량이 필요하며, 하수찌꺼기만을 소각하기 위해 설계된 다단로나 유동상로에서도 800Kcal/kg 정도가 필요하다.

하수찌꺼기의 유기물 함량이 60% 일 때 800℃이상의 발열량을 갖기 위해서는 하수찌꺼기의 함수율은 60%이하 이어야 한다. 현재 사용하고 있는 탈수법으로는 60~70%의 함수율을 가진 하수찌꺼기 탈수케익이 얻어지게 되며, 따라서 이것은 열적 가치를 갖지 못한다.

그러므로 하수찌꺼기의 연료화를 위해서는 추가 처리가 도입되어야 하며 하수찌꺼기를 연료화 하는 방법은 다음과 같다.



- 탈수하수찌꺼기를 더욱 건조하여 하수찌꺼기에 포함된 가열물을 연료로 사용하는 방법
- 하수찌꺼기에 미분탄 같은 가열물을 첨가, 탈수 또는 건조하여 연료로 사용하는 방법
- 하수찌꺼기에 포함되어 있는 유기물을 열분해하여 가열성 유분과 숯(Char) 및 가스화 하는 방법

하수찌꺼기 탄화설비의 경우, 탄화로에서 발생된 합성 건류가스가 Syngas 연소로에서 완전 연소하여 건조로 및 탄화로의 열원으로 재활용되어지므로 추가설비가 필요 없고 활용가치도 높은 것을 알 수 있다.

8.3.3 하수찌꺼기 최종처분 계획

가. 하수찌꺼기 최종 처분방법 비교·검토

현재 국내에서는 하수찌꺼기를 처분하기 위하여 퇴비화, 고화, 연료화, 건조, 소각, 탄화, 용융 등 외에도 여러 가지 방법들이 적용되고 있으나 각각의 지역마다 직면해 있는 현실 및 지역 특성, 사회·경제적인 측면 그리고 환경보호 측면을 고려하여 상기한 방법들 중 처리방안을 선정하여 적용하고 있다. 이러한 실정을 반영하여 김천시의 하수찌꺼기 최종 처분방법을 선정함에 있어 다각적 측면을 종합적으로 검토하여 가장 합리적인 방안을 도출하여야 할 것이다.

하수찌꺼기 최종처분방법 비교·검토

〈표 8-3-10〉

구 분		적 용 방 향
감량화		· 소화조가 있는 처리장 : 소화효율 개선사업 시행 권장 · 소화조가 없는 처리장 : 감량화기술을 적용하여 찌꺼기 발생량을 줄이는 방안검토
재활용	퇴비화	· 식용작물외의 용도로 퇴비를 활용할 수 있는 경우 권장 · 특히 군지역의 찌꺼기는 퇴비화방안 적극 권장 · 퇴비수요가 많은 자치단체는 퇴비화 확대방안 적극 추진
	복토재	· 자체 매립장을 보유하고 있는 자치단체는 부속 또는 고화 처리하여 복토재로 재활용하는 방안 적극 추진
	시멘트 원료	· 시멘트 공장과의 수송거리가 멀지 않은 자치단체는 시멘트 원료로 활용하는 방안 강구
	경량골재	· 건축자재(블록, 타일 등) 수요가 많은 지역은 골재로 활용하는 방안 강구
	녹생토	· 녹생토(법면녹화기반재 등)의 공급선을 안정적으로 확보할 수 있는 지역은 녹생토로 활용하는 방안 강구
	연료화	· 화력발전소, 기타 고체연료(조개탄 등) 사용시설이 있는 지역은 연료화 방안 추진 권장
기 타		· 기타 유용한 재활용기술이 있는 경우 적용 · 민간의 재활용시설을 활용할 수 있는 경우 활용 추진
매 립		· 매립가스 재이용시설이 있거나 계획이 있는 경우 매립하여 에너지 회수재활용으로 계획(잠정-추후 최종방침에 따라 수정) · 1만톤/일 미만 처리시설의 찌꺼기로서 지역특성상 재활용이 곤란한 경우로써 매립장 여유용량이 있는 경우 계획 · 폐기물처리업체의 매립시설을 이용할 수 있는 경우에는 이용방안 검토
소 각		· 생활쓰레기 소각시설이 있거나 건설중인 경우 일정량(전체 소각물량의 15~30%)을 혼합 소각하는 것으로 계획(잠정-추후 최종방침에 따라 수정) · 폐기물처리업체가 보유한 소각시설을 이용할 수 있는 경우에는 이용방안 추진 · 매립, 재활용이 곤란한 경우는 별도 소각시설을 건설하는 것으로 계획

나. 하수찌꺼기 최종처분 계획

김천시는 2010년까지 소각과 해양투기로 하수찌꺼기를 최종처분해왔으나, 2011년 7월 하수찌꺼기 건조시설 준공 및 2012년 해양투기 금지됨에 따라, 현재 김천시의 하수찌꺼기 최종처분방식은 육상매립, 소각, 연료화 방식으로 처분하고 있으며, 구체적인 처분방식은 다음과 같다.

- 육상매립 : 경북 구미소재 (주)티와이이엔이에 위탁처리
- 소각 : 김천하수처리장내 소각시설에서 생활쓰레기와 혼합소각
- 연료화 : 김천하수처리장내 건조시설에서 건조 후 시멘트 원료화하여 강원 영월소재 현대 시멘트에 위탁처리

김천시 계획하수찌꺼기량은 40톤/일이나, 김천시 하수찌꺼기 최종처분시설의 시설용량은 건조시설 50톤/일, 소각시설 13톤/일을 포함하여 63톤/일로, 육상매립량을 제외하고도 장래 시설용량에 23톤/일의 여유가 있는 것으로 검토되어, 기존 하수찌꺼기 최종처분시설로도 충분히 처리가 가능한 것으로 나타났다.

하수찌꺼기 최종처분시설 여유용량 검토

〈표 8-3-11〉

구 분		기준년도 (2013년)	2015년	1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)	비 고
계획하수량 (㎥/일)		52,216	51,040	60,609	63,129	62,753	62,175	
계획하수찌꺼기량 (톤/일)		30.2	29.6	40.0	40.0	40.0	40.0	
하수찌꺼기 최종처분시설 시설용량 (톤/일)	합 계	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	
	건조시설	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	
	소각시설	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	
여유량	여유용량(톤/일)	32.8	33.4	23.0	23.0	23.0	23.0	
	여유율(%)	52.1	53.0	36.5	36.5	36.5	36.5	