



청주시(통합)하수도정비 기본계획 수립용역

하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분 계획

8.1 기초조사

8.2 계획의 기본방향

8.3 하수찌꺼기 처리 및 처분방법



제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

8.1 기초조사

8.1.1 개요

- 하수도에서의 찌꺼기(슬러지)라 함은 정수, 하수, 산업폐수, 분뇨 등의 처리과정에서 물리·화학적으로 분리시킨 최종부산물로 일반적으로 처리공정에 투입되어 증식된 불용성 고형분인 미생물덩어리로 수분함량이 95%미만이거나 고형물함량이 5%이상인 것으로 한정하고 있다.
- 하수처리과정에서 발생하는 하수찌꺼기(슬러지)는 유기물의 함량이 높아 부패성이 크고 각종 병원균이 존재하기 때문에 악취를 유발시키고 보건 위생상 유해하며 높은 함수율로 인하여 용적이 크다. 따라서 찌꺼기 최종 처분시 취급과 운반을 용이하게 하고 부피를 감소시켜 처분비용을 절감하며 유기물을 분해하여 2차 오염을 방지할 수 있도록 찌꺼기를 안정화 시키고 병원균을 사멸시켜 위생상 안전화 하는데 찌꺼기(슬러지) 처리의 목적이 있다.
- 하수찌꺼기(슬러지) 처리방식은 최종처분의 형태, 지역의 여건 등에 따라 달라지나 일반적으로 농축, 소화, 탈수 및 매립으로 이어지는 단위공정의 합리적인 조합에 의해 결정되어지며, 이때 찌꺼기의 특성 및 처리효율, 시설규모, 최종처분 방안, 입지조건, 건설비 및 유지관리비, 관리의 난이성, 환경오염 대책 등을 종합적으로 검토하고 평가하여 가장 경제적이고 효율적인 처리방식을 선정하여야 한다.
- 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분기술로 현재까지 실용화된 공정만도 수십 종에 달하며, 최근에는 다양한 찌꺼기(슬러지) 재이용 기술 개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 따라서, 본 계획에서는 청주시의 하수처리시설에서 발생하는 찌꺼기(슬러지)처리를 위한 다양한 처리·처분방법을 검토하여 청주시 지역여건에 적합하고 환경오염저감 및 처리비용을 절감시키며 하수찌꺼기의 재활용, 자원화도 실행할 수 있는 합리적인 방안을 제시하고자 한다.

8.1.2 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분현황

- 청주시는 청주, 문의, 미천, 품곡, 내수, 미원, 오창, 강내, 오송, 옥산 공공하수처리시설 총 10개소의 하수처리시설을 운영 중에 있으며, 청주 공공 하수처리시설을 제외한 10개 공공 하수처리시설은 현재 민간 위탁 처리 중에 있다.

※ 남이 공공하수처리시설은 현재 시공 중이며, 남이 공공하수처리시설 포함시, 현재 청주시 공공 하수처리 시설 시설용량은 303,100㎥/일 임.

<표 8.1-1> 청주 공공하수처리시설(Q=280,000㎥/일) 하수찌꺼기 처분현황

구 분	하수처리 용 량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단 위 발생량 (㎥/㎡)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	연료화	기 타
2010년	280,000	55,359	151.67	0.54	55,359	-	-	29,895	25,464	-	-
2011년	280,000	57,175	156.64	0.56	57,175	-	491	30,873	25,811	-	-
2012년	280,000	79,926	218.98	0.78	79,926	15,719	5,126	59,081	-	-	-
2013년	280,000	97,794	267.93	0.96	97,794	-	1,071	56,666	-	-	40,057
2014년	280,000	97,334	266.67	0.95	97,334	44,009	-	53,325	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

2. 2012년 종인처리시설 가동이후, 하수 슬러지 발생량이 증가하였음.

<표 8.1-2> 문의 공공하수처리시설(Q=500㎥/일) 하수찌꺼기 처분현황

구 분	하수처리 용 량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단 위 발생량 (㎥/㎡)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	연료화	기 타
2010년	500	67	0.18	0.37	67	67	-	-	-	-	-
2011년	500	54	0.15	0.30	54	54	-	-	-	-	-
2012년	500	31	0.08	0.17	31	31	-	-	-	-	-
2013년	500	96	0.26	0.53	96	96	-	-	-	-	-
2014년	500	129	0.35	0.71	129	129	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)



<표 8.1-3> 품곡 공공하수처리시설(Q=500m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구 분	하수처리 용 량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단 위 발생량 (㎥/㎡)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기 타
2010년	500	5	0.01	0.02	5	5	-	-	-	-	-
2011년	500	4	0.01	0.02	4	4	-	-	-	-	-
2012년	500	14	0.04	0.08	14	14	-	-	-	-	-
2013년	500	5	0.01	0.03	5	5	-	-	-	-	-
2014년	500	34	0.09	0.19	34	34	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

<표 8.1-4> 내수 공공하수처리시설(Q=8,000m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구 분	하수처리 용 량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단 위 발생량 (㎥/㎡)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기 타
2010년	8,000	1162	3.18	0.40	1162	1162	-	-	-	-	-
2011년	8,000	879	2.41	0.30	879	879	-	-	-	-	-
2012년	8,000	1519	4.16	0.52	1519	1519	-	-	-	-	-
2013년	8,000	859	2.35	0.29	859	859	-	-	-	-	-
2014년	8,000	1177	3.22	0.40	1177	1177	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

<표 8.1-5> 미원 공공하수처리시설(Q=700m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구 분	하수처리 용 량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단 위 발생량 (㎥/㎡)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기 타
2010년	700	98	0.27	0.38	98	98	-	-	-	-	-
2011년	700	91	0.25	0.36	91	91	-	-	-	-	-
2012년	700	85	0.23	0.33	85	85	-	-	-	-	-
2013년	700	125	0.34	0.49	125	125	-	-	-	-	-
2014년	700	88	0.24	0.34	88	88	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

<표 8.1-6> 오창 공공하수처리시설(Q=3,300m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구분	하수처리 용량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단위 발생량 (㎥/㎥)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기타
2010년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012년	3,300	190	0.52	0.16	190	190	-	-	-	-	-
2013년	3,300	616	1.69	0.51	616	616	-	-	-	-	-
2014년	3,300	656	1.80	0.54	656	656	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

<표 8.1-7> 강내 공공하수처리시설(Q=4,000m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구분	하수처리 용량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단위 발생량 (㎥/㎥)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기타
2010년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012년	4,000	17	0.05	0.01	17	17	-	-	-	-	-
2013년	4,000	971	2.66	0.67	971	971	-	-	-	-	-
2014년	4,000	1,173	3.21	0.80	1,173	1,173	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)

<표 8.1-8> 오송 공공하수처리시설(Q=2,000m³/일) 하수찌꺼기 처분현황

구분	하수처리 용량 (㎥/일)	하수찌꺼기 발생량			처분량(톤/년)						
		연평균 (톤/년)	일평균 (톤/일)	단위 발생량 (㎥/㎥)	계	재활용	육상 매립	소각	해양 투기	업트화	기타
2010년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014년	2,000	231	0.63	0.32	231	231	-	-	-	-	-

주) 1. 하수도통계(해당년도, 환경부)



8.1.3 하수찌꺼기의 발생특성 및 성상

(1) 발생특성

- 하수 처리과정에서 발생하는 하수찌꺼기는 유입하수의 특성, 하수처리 방법, 하수 고형물 농도 등에 따라 상이하기 때문에 발생 공정별로 조사·분석하여 찌꺼기 처리·처분에 가장 적합한 방법을 선정하기 위한 기초자료로서 활용하는 것이 중요하다.

1) 하수찌꺼기의 일반적인 성상

- 국내 하수도 시설기준에서는 미국의 사례를 참조하여 하수찌꺼기의 성상별 구성을 아래와 같이 제시하고 있다.

<표 8.1-9> 하수찌꺼기의 성상(미국)

구 분	1차 찌꺼기		2차 찌꺼기		일 어 찌꺼기 별 위
	범위	대표치	범위	대표치	
총 고형물(TS, %)	2.0~7.0	4	6.0~12.0	10.0	0.83~1.16
휘발성 고형물 (VS, TS중 %)	60~80	65	30~60	40.0	65.1~79.3
그리스와 지방질 (에테르에 용해성 TS중 %)	6.0~30.0	—	5.0~20.0	—	—
단백질(TS중 %)	20~30	25	15~20	18	—
질소(N, TS중 %)	1.5~4.0	2.5	1.6~6.0	3.0	2.4~5.0
인(P2O5, TS중 %)	0.8~2.8	1.6	1.5~4.0	2.5	2.8~11.0
칼륨(K2O, TS중 %)	0~1.0	0.4	0.0~3.0	1.0	—
셀룰로스(TS중 %)	8.0~15.0	10.0	8.0~15.0	10.0	—
철 (황화물 제외, TS중 %)	2.0~4.0	2.5	3.0~8.0	4.0	—
규사(SiO2, TS중 %)	15.0~20.0	—	10.0~20.0	—	—
pH	5.0~8.0	6.0	6.5~7.5	7.0	6.5~7.5
알칼리도(mg/L CaCO3)	500~1,500	600	2,500~350	3,000	580~1,100
유기산(mg/L, HAc)	200~2,000	500	100~600	200	1,100~1,700
열량(kcal/kg)	2,800~5,600	4,200	1,500~3,800	2,200	—

주) 1. 하수도시설기준(2011, 환경부)

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

- 다음 표는 우리나라의 생하수찌꺼기와 잉여하수찌꺼기의 성상을 미국의 현황과 비교한 자료로서, 대부분의 항목에서는 큰 차이점이 없으나 VS가 미국에 비해 현저히 낮은 특징이 있다.

<표 8.1-10> 생 하수찌꺼기의 성상

처리시설	pH	습윤 비중	건조 비중	COD/ BOD	BOD/ SS	COD/ SS	TSS (%)	VSS (%TSS)	TS (%)	VS (%TS)
중랑천 (Ⅰ)	5.6	1.01 ~1.02	1.3 ~1.8	3.4 ~3.7	0.27 ~0.36	0.87 ~1.28	4.2 ~6.0	41~49	4.5 ~6.2	40~41
중랑천 (Ⅲ)	6.4	1.006	1.35	4.1	0.3	1.04	2.27	51	2.35	51
탄 천	—	1.01	1.52	3.9	0.18	0.69	2.9	47	—	—
난 지	—	1.013	1.61	2.8	0.29	0.72	3.4	37	—	—
안양천	—	1.025	1.72	2.35	0.27	0.65	5.84	35	—	—
미 국	5~8	1.02	1.4	—	0.5 ~1.1	1.2 ~1.6	—	—	2~7	64~93

주) 1. 하수도시설기준(2011, 환경부)

<표 8.1-11> 잉여하수찌꺼기의 성상

처리시설	pH	습윤 비중	건조 비중	COD/ BOD	BOD/ SS	COD/ SS	TSS (%)	VSS (%TSS)	TS (%)	VS (%TS)
중랑천 (Ⅰ)	6.5	1.002 ~1.003	1.21 ~1.26	3.0~3.3	0.26 ~0.38	0.84 ~1.13	1.0 ~1.4	60~62	1.15 ~1.45	54~59
중랑천 (Ⅲ)	6.9	1.0008	1.09	2.49	0.33	0.83	0.91 ~0.9	60	0.93 ~0.96	60
중랑천 (Ⅲ)	6.3	1.0024	1.21	2.58	0.34	1.14	1.29	56	1.36	56
탄 천	—	1.0015	1.25	2.09	0.58	1.05	0.7 ~0.85	50	—	—
미 국	6.5~8	—	1.08	—	—	2.17	—	—	0.83 ~1.16	61~88

주) 1. 하수도시설기준(2011, 환경부)



- 한편, 하수찌꺼기의 함수율 및 유기물 함량은 하수찌꺼기 처리 및 자원화 공정에 중요한 변수로 작용한다. 예를 들어 소각 처리할 때는 유기물 함량에 따른 발열량이 중요인자로 작용하며, 퇴비화에서는 미생물이 이용 가능한 영양원에 영향을 주기 때문이다.
- 다음 표는 지역별로 하수찌꺼기의 일반적인 성상을 분석한 결과이다.
- 일반적으로 함수율이 높아짐에 따라 유기물의 함량이 증가되며 이에 따라 탈수효율은 저하되는데 아래 표에서처럼 탈수효율은 도시지역 > 공단지역 > 농촌지역의 순으로 나타났으며, 유기물의 함량은 공단 > 농촌 > 도시지역의 순으로 나타났다.
- 따라서 유기물질이 많은 농촌지역 찌꺼기의 경우 퇴비화로 재활용할 수 있는 조건이 되는 반면에, 중금속이나 유해물질이 포함될 소지가 많은 공단, 도시지역 발생찌꺼기는 비료관리법 등에서도 사용을 제한하고 있다.

<표 8.1-12> 지역별 하수찌꺼기의 성상

지 역		수분함량(%)	유기물함량(%)		회분함량(%)
			습분기준	건조기준	
농촌지역	최대	83.1	12.3	73.1	22.3
	최소	65.3	6.0	35.3	5.2
	평균	78.35	10.82	51.95	10.66
도시지역	최대	80.1	14.4	61.8	19.5
	최소	66.3	8.4	31.0	8.9
	평균	73.83	11.68	44.82	14.65
공단지역	최대	81.6	14.1	65.9	14.3
	최소	72.0	9.2	45.0	5.8
	평균	78.0	12.14	45.84	9.6
평균값	최대	83.1	14.4	73.1	14.65
	최소	65.3	6.0	31.0	5.2
	평균	76.52	11.48	50.23	11.96

주) 1. 폐하수슬러지의 처리 및 자원화 현황 및 전망 (1999, 폐기물학회지, 서울산업대 배재근)

2) 국내 하수찌꺼기의 발생특성

- 국내의 2014년도 하수찌꺼기 연간 발생량은 3,654천톤으로 매년 인구의 증가와 하수처리시설이 대체로 증가하고 있는 추세이며 하수도 보급률 및 분류식 관거 도입의 증가와 방류수질의 강화로 향후 단위 하수처리량당 하수찌꺼기 및 전체 발생총량도 증가될 전망이다.
- 2014년 현재 전국에 597개소(500m³/일 이상)의 하수처리시설이 가동되고 있으며, 국내 연도별 하수찌꺼기 발생량은 다음 표와 같다.

<표 8.1-13> 국내 연도별 하수찌꺼기 발생량

구 분	처리시설 개소수	시설용량 (천m ³ /일)	실제처리량 (천m ³ /일)	슬러지 Cake발생량 (톤/년)	단위슬러지 발생량 (kg/m ³)	비 고
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	
2014년	597	24,752	19,522	3,654,237	0.513	

주) 1. 하수도통계(2014, 환경부)

3) 청주시 하수찌꺼기의 발생특성

- 청주시의 2014년도 기준 하수찌꺼기 연간 발생량은 100,788톤/년으로 나타났으며, 하수처리용량 1m³당 하수찌꺼기 발생량은 다음 표와 같다.

<표 8.1-14> 청주시 하수처리시설용량 m³ 용당 하수찌꺼기 발생량

구 분	실제처리량 (m ³ /일)	슬러지 Cake발생량 (톤/일)	단위슬러지 발생량 (kg/m ³)	비 고
2014년	279,912	266.7	0.95	청주 공공하수처리시설
	10,401	9.46	0.91	청주 공공하수처리시설 제외

주) 1. 하수도통계(2014, 환경부)

2. 청주 공공하수처리시설 제외 처리시설 : 강내, 내수, 문의, 미천, 오송, 오창 공공하수처리시설



8.1.4 계획 하수찌꺼기(슬러지)량

- 하수찌꺼기 처리시설 규모의 적정성을 검토하기 위해 하수찌꺼기의 발생량을 다음과 같이 검토하였다.

- 운영실적에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량
- 하수처리장 용량별 하수찌꺼기(슬러지) 발생량
- 산술식에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량

(1) 운영실적에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량

- 청주시 하수처리시설의 기존 운영자료를 조사하여 하수처리량에 대한 하수찌꺼기의 발생량 원단위를 산정한 후 장래 계획하수량에 원단위를 적용하여 하수처리시설별 하수찌꺼기 발생량을 예측하였다.

<표 8.1-15> 하수유입량당 하수찌꺼기 발생 원단위

구분	실제처리량 (㎥/일)	슬러지 Cake발생량 (톤/일)	단위슬러지 발생량 (kg/㎥)	비고
2014년	279,912	266.7	0.95	청주 공공하수처리시설
	2,068	3.21	1.55	강내 공공하수처리시설
	4,562	3.22	0.71	내수 공공하수처리시설
	511	0.35	0.69	문의,미천 공공하수처리시설
	518	0.24	0.47	미원 공공하수처리시설
	861	0.63	0.73	오송 공공하수처리시설
	1,881	1.80	0.96	오창 공공하수처리시설
	319	0.09	0.28	품곡 공공하수처리시설

주) 1. 하수처리량 원단위 : 하수찌꺼기발생량(톤/일) ÷ 하수처리량(㎥/일) x 1,000

2. 하수찌꺼기 발생량은 하수도 통계연보의 연간 발생량을 365일로 나눈 값임

- 장래 목표연도별 계획하수량을 발생 원단위에 적용하여 2020년에서 2035년까지 하수 찌꺼기 발생량을 예측한 결과는 다음과 같이 나타났다.

<표 8.1-16> 운영실적에 의한 하수슬러지 발생량 예측

구분		2020년	2025년	2030년	2035년
청주	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	284,211	297,971	308,185	316,749
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.95			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	270.00	283.07	292.78	300.91
강내	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	4,048	4,136	4,265	4,287
	하수처리량원단위(kg/m^3)	1.55			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	6.27	6.41	6.61	6.64
내수	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	5,970	6,472	6,900	7,414
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.71			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	4.24	4.60	4.90	5.26
문의,미천	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	427	429	425	418
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.69			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	0.29	0.30	0.29	0.29
미원	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	401	406	399	399
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.47			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	0.19	0.19	0.19	0.19
오송	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	1,879	1,950	1,981	2,000
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.73			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	1.37	1.42	1.45	1.46
오창	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	2,855	3,089	3,174	3,249
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.96			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	2.74	2.97	3.05	3.12
품곡	계획하수량($\text{m}^3/\text{일}$)	284	287	283	279
	하수처리량원단위(kg/m^3)	0.28			
	하수찌꺼기발생량(톤/일)	0.08	0.08	0.08	0.08



(2) 하수처리시설 용량당 슬러지 발생 원단위에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량

- 하수처리용량당 슬러지 발생 원단위를 적용하여 슬러지 발생량을 산출 하였으며, 산출 적용된 하수처리용량은 “제4장 처리구역별 하수도계획” 에서 산출된 단계별 시설계획 용량을 기준으로 슬러지 발생량을 목표년도별로 예측하였다.

<표 8.1-17> 하수처리시설 용량당 하수슬러지 발생 원단위

구 분		하수처리량 (㎥/일)	슬러지 발생량 (톤/년)	슬러지 발생량 (톤/일)	단위발생량 (kg/㎥)
시설규모 (㎥/일)	500,000이상	8,427,433	1,144,708	3,136.19	0.372
	500,000미만	7,153,896	1,569,987	4,301.33	0.601
	100,000미만	1,488,435	319,906	876.45	0.589
	50,000미만	2,025,642	419,780	1,150.08	0.568
	10,000미만	391,734	81,717	223.88	0.572
	5,000미만	326,281	88,352	242.06	0.742
계		19,813,421	3,624,451	9,929.99	0.501

주) 1. 하수도통계(2013, 환경부)

<표 8.1-18> 하수처리시설 용량당 슬러지 발생 원단위에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량

구 분		2020년	2025년	2030년	2035년
청주	계획하수량(㎥/일)	284,211	297,971	308,185	316,749
	처리하수 원단위(kg/㎥)	0.601			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	170.81	179.08	185.22	190.37
강내	계획하수량(㎥/일)	4,048	4,136	4,265	4,287
	처리하수 원단위(kg/㎥)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	3.00	3.07	3.16	3.18
내수	계획하수량(㎥/일)	5,970	6,472	6,900	7,414
	처리하수 원단위(kg/㎥)	0.572			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	3.41	3.70	3.95	4.24
문의, 미천	계획하수량(㎥/일)	427	429	425	418
	처리하수 원단위(kg/㎥)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	0.32	0.32	0.32	0.31

<표 8.1-18> 하수처리시설 용량당 슬러지 발생 원단위에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 <표 계속>

구 분		2020년	2025년	2030년	2035년
미원	계획하수량(m³/일)	401	406	399	399
	처리하수 원단위(kg/m³)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	0.30	0.30	0.30	0.30
오송	계획하수량(m³/일)	1,879	1,950	1,981	2,000
	처리하수 원단위(kg/m³)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	1.39	1.45	1.47	1.48
오창	계획하수량(m³/일)	2,855	3,089	3,174	3,249
	처리하수 원단위(kg/m³)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	2.12	2.29	2.36	2.41
품곡	계획하수량(m³/일)	284	287	283	279
	처리하수 원단위(kg/m³)	0.742			
	하수찌꺼기 발생량(톤/일)	0.21	0.21	0.21	0.21

(3) 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 검토결과

- 본 계획에서는 장래 하수찌꺼기 발생량 산정시 청주 및 강내 공공 하수처리시설은 운영실적 원단위를 적용하여 하수 슬러지 발생량을 산정하였으며, 그 외 하수처리시설은 운영실적 원단위와 처리시설 용량별 슬러지 발생원단위에 의한 방법의 평균치를 적용하여 단계별 하수슬러지 발생량을 산정하였으며 그 결과는 다음 표와 같다.

<표 8.1-19> 하수찌꺼기 발생량 예측(총괄)

(단위 : 톤/일)

구 분		2020년	2025년	2030년	2035년
청주	운영실적	270.00	283.07	292.78	300.91
	하수 처리시설 용량별	196.03	194.75	200.06	204.59
	적 용	270.00	283.07	292.78	300.91
강내	운영실적	6.27	6.41	6.61	6.64
	하수 처리시설 용량별	2.48	2.51	2.54	2.55
	적 용	6.27	6.41	6.61	6.64
내수	운영실적	4.24	4.60	4.90	5.26
	하수 처리시설 용량별	3.11	3.32	3.55	3.84
	적 용	3.67	3.96	4.22	4.55



<표 8.1-19> 하수찌꺼기 발생량 예측(총괄) <표 계속>

(단위 : 톤/일)

구 분		2020년	2025년	2030년	2035년
문의, 미천	운영실적	0.29	0.30	0.29	0.29
	하수 처리시설 용량별	0.31	0.3	0.3	0.29
	적 용	0.30	0.30	0.30	0.29
미원	운영실적	0.19	0.19	0.19	0.19
	하수 처리시설 용량별	0.3	0.3	0.29	0.29
	적 용	0.24	0.25	0.24	0.24
오송	운영실적	1.37	1.42	1.45	1.46
	하수 처리시설 용량별	1.38	1.41	1.43	1.44
	적 용	1.38	1.42	1.44	1.45
오창	운영실적	2.74	2.97	3.05	3.12
	하수 처리시설 용량별	2.01	2.07	2.13	2.19
	적 용	2.38	2.52	2.59	2.65
품곡	운영실적	0.08	0.08	0.08	0.08
	하수 처리시설 용량별	0.21	0.2	0.2	0.2
	적 용	0.14	0.14	0.14	0.14

8.1.5 하수찌꺼기(슬러지) 처리 및 처분계획

- 하수찌꺼기의 처리·처분방안에는 여러 가지가 있으나 직매립 금지 및 해양투기에 대한 규제 강화로 인해 지금까지의 하수찌꺼기 처리방식에 대한 중장기 정책방안을 수립해야 할 상황에 직면함에 따라 하수 찌꺼기의 발생원으로부터 최종처분에 이르기까지 외국사례 등을 충분히 검토하여 다각적인 방안을 수립해야 한다.
- 현재 환경부에서는 하수찌꺼기를 포함한 폐기물의 해양 배출규제를 단계적으로 강화하면서 2011년 이후 해양배출 전면중단하고 있지만 기존 법규 및 제도, 육상처리시설 확충사업 지연 등 여러 문제점을 안고 있는 실정이다.
- 하지만 선진국과 같은 하수찌꺼기 최종처분에 따른 인간 및 환경피해를 최소화하기 위한 규제 및 찌꺼기 재활용을 촉진하는 2차적인 자원화 관점에서 기존 법규 및 규제에 대해 지속 검토하여 바람직한 하수찌꺼기 정책방향이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 청주시의 하수찌꺼기 처리계획 수립에 앞서 국내 하수찌꺼기(슬러지)처분현황, 하수찌꺼기 처리 지침 및 관련 규정, 국외 하수찌꺼기 재활용 사례 등을 아래와 같이 요약 정리하였다.

(1) 국내 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분현황

- 최근 5년간 전국 하수찌꺼기 처리는 재활용 비율이 증가하고 있으며 해양투기의 비율은 감소하다가 현재 없는 것으로 나타난다. 다음과 같이 2014년 하수찌꺼기 처분방법별 현황은 재활용 31.3%, 육상매립 19.0%, 소각 22.3%, 연료화 24.4%로 나타났다.

<표 8.1-20> 최근 5년간 하수찌꺼기 발생 및 처리현황

(단위 : 톤/일)

구 분	처리시설 (개소)	발생량	하수찌꺼기 처리·처분량						
			처리량 (톤)	재활용	육상매립	소각	해양투기	연료화	기 타
2009년	433	8,293	8,284	2,026	1,207	1,140	3,911	-	-
			100%	24.5%	14.6%	13.8%	47.1%	-	-
2010년	470	8,435	8,435	1,740	925	1,492	3,600	653	25
			100%	20.6%	11.0%	17.7%	42.7%	7.7%	0.3%
2011년	505	8,479	8,478	2,198	715	1,884	2,768	611	302
			100%	26.0%	8.4%	22.2%	32.6%	7.2%	3.6%
2012년	546	9,927	9,882	3,379	1,455	3,496	-	883	669
			100%	34.2%	14.7%	35.4%	-	8.9%	6.8%
2013년	569	9,672	9,669	4,025	1,113	2,318	-	958	1,255
			100%	41.6%	11.5%	24.0%	-	9.9%	13.0%
2014년	597	10,003	10,003	3,134	1,897	2,234	-	2,441	297
			100.0%	31.3%	19.0%	22.3%	-	24.4%	3.0%

주) 1. 하수도통계(2013, 환경부)



- 한편, 전국 하수슬러지 처리시설 현황(2013.3, 환경부) 자료에 의하면 전국 96개, 총 9,517톤/일 용량의 하수찌꺼기 처리시설이 가동 중인 것으로 나타났으며 처분현황은 건조, 고화처리를 통해 하수찌꺼기를 감량화 하는 경우가 가장 많고(36개소, 3,616톤/일), 소각(17개소, 2,237톤/일), 탄화(16개소, 675톤/일), 부숙화(14개소, 281톤/일), 고화(13개소, 2,708톤/일)이었다.

<표 8.1-21> 국내 가동중인 하수찌꺼기 처분시설 현황

구분	시도	시군	처리장	구분	사업기간		용량 (㎥/일)	처리공법	사업비 (백만원)
					착수	준공			
	98개		114개 처리시설				12,613		1,480,396
1	수도권매립지		기존고화	운영중	1998	1998	1,050	고화	3,700
			1단계	운영중	2007	2008	1,000	고화	39,800
			2단계	운영중	2008	2011	1,000	건조연료화	80,698
			3단계	설계중	2008	2015	1,000	건조연료화	170,000
2	서울		종량	운영중	2000	2002	200	건조연료화	8,635
			난지	운영중	2000	2002	150	소각	11,294
			서남	운영중	2000	2002	150	소각	12,375
			탄천	운영중	2000	2002	200	건조연료화	9,008
3	부산		강변	운영중	2008	2008	200	고화	1,489
			해운대	운영중	2005	2005	48	건조혼소	421
			부산	건설중	2007	2013	550	건조연료화	75,000
4	대구		대구	운영중	2007	2011	270	고화	63,599
5	광주		광주	운영중	2007	2011	330	건조연료화	39,496
6	대전		대전	설계중	2009	2014	100	건조연료화	49,600
7	울산		울산	운영중	2006	2011	300	소각	33,652
8	강원	태백	태백	운영중	2009	2011	15	건조혼소	2,440
9		홍천	홍천	운영중	2009	2010	10	건조혼소	2,200
10		원주	원주	운영중	2010	2013	100	건조연료화	22,050
11		속초	속초	운영중	2007	2010	20	건조혼소	3,000
12		춘천	춘천1	운영중	2008	2011	90	건조혼소	11,542
			춘천2	설계중	2013	2014	600	건조혼소	2,993
13			인제	인제	설계중	2012	2013	10	건조화

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

<표 8.1-21> 국내 가동중인 하수찌꺼기 처분시설 현황 <표 계속>

구 분	시도	시군	처리장	구분	사업기간		용량 (t/일)	처리공법	사업비 (백만원)
					착수	준공			
14	경기	양평	양평	운영중	2001	2003	40	소각	3,970
15		구리	구리	운영중	1998	1999	70	소각	3,456
16		성남	성남	운영중	1999	2001	180	소각	7,615
17		용인	용인	운영중	2006	2011	180	소각	45,009
18		의왕	의왕	운영중	2008	2010	10	건조	1,047
19		수원	수원	운영중	2003	2010	450	건조연료화	29,338
20		연천	연천	운영중	2011	2011	14	건조훈소	1,602
21		부천	부천	운영중	2005	2007	300	소각	33,623
22		포천	포천	운영중	2005	2006	40	소각	8,300
23		안성	안성	운영중	2007	2008	30	탄화	3,739
24		시흥	시흥	운영중	2007	2009	200	건조훈소	14,600
25		안산	안산1	운영중	1998	1999	150	소각	7,720
			안산2	운영중	2003	2007	100	소각	10,000
26	충북	청주	청주	운영중	1997	2000	90	소각	12,772
27		제천	제천	운영중	2000	2000	20	건분화	386
28		청주	청주	운영중	2008	2012	90×2	소각	19,925
29		충주	충주	운영중	2010	2012	60	건조연료화	11,970
30		음성	음성	건설중	2010	2013	20	건조연료화	5,859
31		진천	진천	설계중	2012	2014	20	건조자원화	4,000
32	충남	공주	공주	운영중	2008	2011	40	부숙화	9,622
33		논산	논산	운영중	2008	2011	30	탄화	7,500
34		당진	당진	운영중	2007	2009	30	고화	4,109
35		보령	보령	운영중	2007	2009	20	탄화	5,798
36		서산	서산	운영중	2009	2012	30	건조연료화	11,000
37		서천	서천	운영중	2008	2010	8	부숙화	4,239
38		아산	아산	운영중	2007	2011	60	건조훈소	7,782
39		천안	천안	운영중	2007	2011	150	탄화	27,902
40		태안	태안	운영중	2009	2011	10	탄화	4,000
41		계룡	계룡	건설중	2010	2013	20	건조연료화	5,000
42	전북	군산	군산	건설중	2009	2014	150	건조연료화	35,300
43		김제	김제	운영중	2009	2012.2	30	탄화	5,609
44		남원	남원	운영중	2008	2011	30	탄화	5,937



<표 8.1-21> 국내 가동중인 하수처리 시설 현황 <표 계속>

구 분	시도	시군	처리장	구분	사업기간		용량 (㎥3/일)	처리공법	사업비 (백만원)
					착수	준공			
45	전북	부안	부안	운영중	2009	2011	20	탄화	6,600
46		완주	완주	운영중	2008	2012	35	탄화	8,114
47		익산	익산	건설중	2006	2014	120	건조연료화	19,800
48		전주	전주	건설중	2007	2015	150	소각	40,000
49		정읍	정읍	운영중	2009	2012.6	40	고화	9,600
50		고창	고창	운영중	2007	2009	10	부숙화	4,351
51	전남	강진	강진	운영중	2008	2011	10	부숙화	2,695
52		광양	광양	운영중	2007	2010	25	건조매립	2,373
53		목포	목포	운영중	2006	2011	80	건조연료화	10,919
54		무안	무안	운영중	2008	2010	10	탄화	4,666
55		순천	순천	운영중	2006	2011	60	탄화	10,495
56		완도	완도	운영중	2008	2011	5	건조훈소	1,500
57		진도	진도	운영중	2009	2011	4	건조훈소	1,953
58		해남	해남	운영중	2008	2013	10	고화	3,561
59		화순	화순	운영중	2008	2010	10	고화	3,561
60		장성	장성	운영중	2006	2007	5	건조훈소	708
			삼계	설계중	2011	2014	5	건조훈소	1,250
61		구례	구례	운영중	2007	2009	5	고화	2,000
62		나주	나주	운영중	2007	2009	8	고화	3,539
63		담양	담양	운영중	2007	2009	7	소각	2,341
64		보성	보성	운영중	2006	2009	8	부숙화	3,208
65		영암	영암	운영중	2004	2005	30	소각	4,500
66		여수	여수	운영중	2004	2006	110	건조연료화	15,020
67		고흥	고흥	운영중	2007	2008	15	건조훈소	2,184
68	구미	구미1	운영중	2001	2005	160	소각	7,572	
		구미2	설계중	2012	2014	250	소각	43,750	
69	경북	김천	김천	운영중	2005	2007	20	건조훈소	4,280
70		상주	상주1	운영중	1999	2002	24	건조훈소	2,917
			상주2	운영중	2008	2011	25	탄화	7,952
71		경주	경주	운영중	2006	2011	90	건조연료화	16,500
72		안동	안동	운영중	2008	2011	50	부숙화	11,332
73		울진	울진	운영중	2006	2010	5	고화	1,639
74		의성	의성	건설중	2009	2013	15	건조연료화	5,878
75		포항	포항	운영중	2008	2012	130	건조연료화	22,162
76		김천	김천	운영중	2010	2011	50	건조연료화	10,900
77		경산	경산	건설중	2011	2014	14	건조훈소	2,775

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

<표 8.1-21> 국내 가동중인 하수찌꺼기 처분시설 현황 <표 계속>

구 분	시도	시군	처리장	구분	사업기간		용량 (㎥3/일)	처리공법	사업비 (백만원)
					착수	준공			
78	경북	고령	고령	운영중	2007	2009	10	부속화	3,999
79		칠곡	칠곡	운영중	2007	2009	50	부속화	10,120
80		문경	문경	운영중	2005	2006	30	부속화	4,500
81		영덕	영덕	운영중	2007	2008	7	건조혼소	700
82	경남	고성	고성1	운영중	2007	2010	10	부속화	3,123
			고성2	운영중	2003	2003	5	부속화	1,140
83		사천	사천	운영중	2006	2011	24	건조혼소	4,324
84		의령	의령	운영중	2006	2010	15	탄화	5,547
85		진주	진주	운영중	2006	2010	100	탄화	19,172
86		창원	진해	건설중	2008	2013	50	건조	13,600
			마산	운영중	2006	2008	200	소각	23,813
			창원	운영중	2006	2007	20	건조혼소	1,590
87		창녕	창녕	운영중	2007	2010	10	부속화	4,411
88		하동	하동	운영중	2009	2011	10	고화	2,964
89		함안	함안	운영중	2007	2010	15	건조혼소	4,858
90		함양	함양	건설중	2011	2013	10	건조혼소	2,500
91		거제	거제	운영중	2007	2009	30	부속화	9,545
92		김해	김해	운영중	2006	2008	100	탄화	17,348
93		남해	남해	운영중	2007	2009	10	탄화	3,362
94		밀양	밀양	운영중	2007	2009	10	부속화	2,994
95		양산	양산	운영중	2006	2009	120	건조혼소	16,973
96		통영	통영	운영중	2006	2007	15	건조혼소	300
97		거창	거창	설계중	2012	2014	12	건조연료화	3,600
98	제주	제주	제주	운영중	2006	2011	70	고화	11,700

주) 1. 전국 하수슬러지관리 처리시설 현황(2013.3, 환경부)



(2) 국내 주요도시의 하수찌꺼기(슬러지) 처리 및 처분계획 검토

1) 서울특별시 하수도정비 기본계획변경 보고서(2009.6)

- 계획슬러지 발생량 기준 각 4개소 물재생시설의 기존 슬러지처리시설(건조, 소각, 지령이 퇴비화시설)과 기 확보된 수도권매립지관리공사의 고�형화 시설용량(1,000톤/일)을 고려하여 감량화 시설계획과 광역슬러지 3단계 처리시설용량에 지분(650톤/일) 확보계획 수립
- 감량화 시범시설의 설치 운영결과 및 슬러지발생량 추이를 고려하여 단계별 시설계획

<표 8.1-22> 서울특별시 하수슬러지 단계별 시설계획

(단위 : 톤/일)

구분		계	충청	남지	한천	서남	비고
계	광역시설	650	145	135	170	200	고화
	감량시설	2,393	707	443	486	757	
1단계	광역시설	650	145	135	170	200	('09- '11)
	감량시설	270	110 ('09- '13)	-	-	160 ('09- '15)	시범사업
2단계	감량시설	2,123	597 ('14- '20)	443 ('16- '20)	486 ('16- '20)	597 ('16- '21)	

<표 8.1-23> 2020년 시설용량 검토(감량화 확장시설 미가동시)

(단위 : 톤/일)

구분		계	충청	남지	한천	서남
계획슬러지량(감량전)		2,393	707	443	486	757
감량화시설 계획 (감량율 15% 적용)	계	270	110	-	-	160
	시범설치용량	270(40)	110(16)	-	-	160(24)
	확대설치용량	-	-	-	-	-
감량후 계획슬러지량		2,353	691	443	486	733
기존 및 기확보된 시설용량	소계	1,710	547	309	318	536
	건조	400	200	-	200	-
	소각	300	-	150	-	150
	지령이퇴비화	10	-	10	-	-
	고화	1,000	347	149	118	386
추가 처리시설용량		643	144	134	168	197

주) 1. 감액량

<표 8.1-24> 2020년 시설용량 검토(감량화 확장시설 가동시)

(단위 : 톤/일)

구 분		계	동방	남지	만원	서남
계획슬러지량(감량전)		2,393	707	443	486	757
감량화시설 계획 (감량율 15% 적용)	계	2,393(359)	707(106)	443(66)	486(73)	757(114)
	시범설치용량	270(40)	110(16)	-	-	160(24)
	확대설치용량	2,123(319)	597(90)	443(66)	486(73)	597(90)
감량후 계획슬러지량		2,034	601	377	413	643
기존 및 기확보된 시설용량	소계	1,710	547	309	318	536
	건조	400	200	-	200	-
	소각	300	-	150	-	150
	지렁이퇴비화	10	-	10	-	-
	고화	1,000	347	149	118	386
추가 처리시설용량		324	54	68	95	107

주) 1. 감액량

<표 8.1-25> 광역슬러지 처리시설 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	계	2009년	2010년	2011년	비고
계	92,250	29,063	35,888	27,299	
2단계	24,000	12,000	12,000	-	
3단계	68,250	17,063	23,888	27,299	

<표 8.1-26> 감량화 시설 사업비(시범사업제외)

(단위 : 백만원)

구 분	계	동방	남지	만원	서남
계	38,178	10,769	7,901	8,736	10,772
2014년	398	398	-	-	-
2015년	1,728	1,728	-	-	-
2016년	2,741	1,728	292	323	398
2017년	8,325	1,729	1,902	2,103	2,592
2018년	8,328	1,729	1,902	2,103	2,594
2019년	8,328	1,729	1,902	2,103	2,594
2020년	8,330	1,729	1,902	2,104	2,594



2) 부산광역시 하수도정비기본계획변경 보고서(2005.12)

- 기존 탈수방식(Belt Press→원심탈수기) 개선 및 추가탈수(전기탈수) 도입계획
- 슬러지처리의 광역화처리 개념도입

<표 8.1-27> 2020년도 부산광역시 하수슬러지 처분계획

(단위 : 톤/일)

구 분	탈수계획		처분계획		소요예산 (억원)	광역처리
	발생량(톤/일)	탈수방식	통간처리	최종처분		
수영	97	추가탈수	건조+소각	소각재매립 건설자재화	213.5	수영
장림	112	추가탈수	건조+소각	소각재매립	80.2	장림(위탁)
남부	100	추가탈수	건조+소각	소각재매립 건설자재화	213.3	남부
녹산	65	방식개선	건조+소각	소각재매립	14.8	장림
신호	5	기존	건조+소각	소각재매립	-	장림
강동	10	기존	건조+소각	소각재매립	-	장림
해운대	41	기존	건조+소각	소각재매립	-	해운대
동부	55	기존	건조+소각	소각재매립 건설자재화	-	수영
영도	20	기존	건조+소각	소각재매립 건설자재화	-	남부
중앙	63	기존	건조+소각	소각재매립 건설자재화	-	남부
정관	22	기존	건조+소각	소각재매립	200.0	정관
기장	15	기존	건조+소각	소각재매립	-	정관
문오성	1	기존	건조+소각	소각재매립	-	정관
횡계	3	기존	건조+소각	소각재매립	-	정관
계	609				721.8	

3) 울산광역시 하수도정비기본계획변경 보고서(2008.9)

- 울산광역시의 하수찌꺼기 관리계획은 소각처리로 6개 공공하수처리시설 전체 발생 하수찌꺼기를 소각할 수 있음
- 울산광역시 하수찌꺼기 소각시설 설치(300톤/일)를 통하여 하수찌꺼기 처분계획을 수립
- 초과분에 대한 소각시설의 증설 유무는 단계별 하수찌꺼기 발생현황을 비교·분석하여 합리적인 방안을 수립토록 계획

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

<표 8.1-28> 울산광역시 하수찌꺼기 발생량 예측

(단위 : 톤/일)

구 분		1단계 (2010년)	2단계 (2015년)	3단계 (2020년)	4단계 (2025년)	비 고
하수찌꺼기	용 연	67	46	48	52	
	온 산	40	60	69	78(63)	
	회 야	15	17	18	20	
	언 양	9	16	29	32	
	방 어 진	45	52	59	64	
	호 계	2	1	1	1	
	굴 화	-	28	31	26	
	강 동	-	4	4	5	
	농 소	-	60	69	75(60)	
	계	177	283	328	353(323)	
위생처리장		10.40	-	-	-	
합 계		187.4	283	328	353(323)	

주) 1. 위생처리장은 2010년 이후 온산하수처리시설과 연계처리 계획

2. ()는 2025년 온산, 농소하수처리시설에 15톤 하수찌꺼기 감량화 시설 도입시 발생 찌꺼기량

4) 대전광역시 하수도정비기본계획(2005) 보고서(2005)

- 슬러지 최종처분 방안은 잠정 처리방안으로 금고동 위생매립장에 육상매립(고화병행)하는 것으로 계획하였으며, 항구 처리방안으로 슬러지 소각 또는 탄화공법 등으로 처분계획

<표 8.1-29> 대전광역시 하수슬러지 발생량 산정

(단위 : 톤/일)

구 분	처리시설명	단위	2005년	2010년	2015년	2020년	2025년
하수슬러지 발생량	대전	톤/일	181.1	314.2	357.2	390.3	390.3
	흑석	톤/일	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5
	3,4공단	톤/일	23.4	32.6	35.7	38.5	38.5
	계	톤/일	204.8	347.2	393.4	429.3	429.3
가동부하율	대전	%	100.0	90.0	90.0	90.0	90.0
	흑석	%	60.0	70.0	85.0	100.0	100.0
	3,4공단	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
하수슬러지 산정결과	대전	톤/일	181.1	282.8	321.5	351.3	351.3
	흑석	톤/일	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5
	3,4공단	톤/일	23.4	32.6	35.7	38.5	38.5
	계	톤/일	204.6	315.6	357.6	390.3	390.3



<표 8.1-30> 소각 및 고화시설 공사비 및 유지관리비(2020년 기준)

구 분	처리량 (㎥/일)	공사비 (억원)	년간 유지관리비 (백만원)	비 고
소각시설	360	540	5,782 (44,000원/톤)	
탄화시설	360	540	9,855 (75,000원/톤)	

5) 인천광역시 하수도정비기본계획변경 보고서(2007.11)

- 2011년까지 건설되는 슬러지는 수도권 매립지에 350톤/일 지분 유지하고 초과되는 슬러지량은 2012년 까지는 해양투기와 병행하여 처리토록 계획
- 350톤/일을 초과하는 슬러지는 수도권 매립지내에 하수슬러지 처리에 대한 추가적인 협의 결과를 통해 처리시설 및 처리방식을 결정

<표 8.1-31> 하수슬러지 자원화시설의 단계별 설치계획

구 분	1단계	2단계	3단계	계
가동예정년도	2008	2011.2	2011.2	
시설명	고화시설	고화시설	퇴비화, 탄화, 건조	-
슬러지처리 (톤/일)	수도권전체 1,000	1,000	1,100	3,100
	인천시분 100		250	350

- 수도권 광역자원화시설 미반영분에 대한 처리계획

<표 8.1-32> 계획대상량 산정

(단위 : ㎥/일)

구 분	2010년	2015년	2020년	2025년	비 고
슬러지발생 예측량	364.4	546.9	598.1	621.3	
수도권 광역 자원화시설 처리량	100	350	350	350	
계획 대상량	264.4	196.9	248.1	271.3	

<표 8.1-33> 슬러지 최종처분 시설계획

(단위 : ㎥/일)

구 분	2010년	2015년	2020년	2025년	비고
슬러지발생량	364	547	598	621	
광역처리 시설용량	100	350	350	350	-
광역처리외	슬러지량	264	197	271	3,100
	시설용량	-	200	275	350

6) 대구광역시 하수도정비기본계획변경 보고서(2009.6)

- 대구광역시 서부 하수처리시설 내에 슬러지 건조고화시설(Q=300톤/일)을 설치하는 것으로 계획
- 각 하수처리시설 발생슬러지를 서부 하수처리시설로 차량 이송 후 최종 고화 처리된 슬러지는 매립시설 복토재로 재활용

<표 8.1-34> 대구광역시 처리시설별 탈수슬러지 발생량

(단위 : m³/일)

구 분	감량화전			감량화후
	2010년	2015년	2020년	
달서천	75.0	75.0	73.0	39.1
북 부	34.0	38.0	43.0	20.0
서 부	130.0	137.0	138.0	68.7
신 천	185.0	199.0	202.0	91.6
현 풍	-	7.5	19.0	19.0
계	424.0	456.5	475.0	238.4

(3) 하수찌꺼기(슬러지) 처리 관련 지침 및 법규

- 하수찌꺼기(슬러지)의 처리에 대한 상위 계획 및 관련 법규, 지침 내용을 살펴보면 다음과 같다.

1) 하수슬러지관리 종합대책(수정)(2008.5, 환경부)

(가) 추진배경

- 런던협약 '96의정서 발효와 함께 하수슬러지를 포함한 폐기물의 해양배출기준을 대폭 강화(해양환경관리법 시행규칙 개정 2006.2.21.)
 - 제1기준은 2008년 8월, 제2기준은 2011년 2월부터 해양배출 금지
- 2007년 5월 수립한 「하수슬러지관리 종합대책」을 기본으로 그간 지자체별 사업 계획 변경 등을 감안하여 종합대책 수립

(나) 관리목표

- 2011년 말 까지 하수찌꺼기(슬러지)처리시설 완비



	<2007년>		<2011년 말>
해양배출 :	68.5%	→	-
재 활용 :	18.5%	→	69.5%
소 각 :	11%	→	29%
매 립 :	2%	→	1.5%

● 재활용 활성화를 위한 관련제도 정비

(다) 추진방향

● 처리방법의 다변화 추진

- 지역특성에 적합한 재활용 방법 채택
- 매립지 인근지역은 고화 처리하여 복토재 활용
- 소량발생 및 농촌지역은 퇴비화
- 생활폐기물 소각장에 여유가 있는 지자체는 혼합소각 (전용 소각시설의 설치는 가급적 자양)
- 시멘트회사 인근지역은 시멘트 원료화

● 하수슬러지 관련 규정 제·개정 추진

- 하수슬러지 연료화 규정 제정('08년말)
- 하수슬러지 에너지제품의 기준설정 등

● 재활용산업 육성 및 신기술 보급 추진

- 재활용 제품 전시회 및 재활용 기술 보유업체 Workshop 등을 통한 기술 보급 지속 추진

(라) 하수찌꺼기(슬러지)처리시설 단계별 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

<표 8.1-35> 처리시설 확충계획

구 분	처리시설별	개소수	용량 (톤/일)	총사업비(억원)		
				계	국고	지방비
계	-	68	7,307	5,883	3,074	2,809
소 계	소 각	16	1,310	1,621	785	836
	재활용	52	5,997	4,262	2,289	1,973
수도권광역 1단계	재활용	1	2,000	370	115	255
1기준초과	소 각	1	7	7	5	2
또는 우려	재활용	6	1,450	1,407	475	932
2기준초과	소 각	15	1,303	1,614	780	834
및 기타	재활용	45	2,547	2,485	1,699	786

● 수도권 광역자원화시설 설치

- 서울, 인천 및 경기도의 의정부 등 14개 시·군
- 고화처리하여 수도권 매립지 일일복토재로 활용
- 1단계(1천톤/일) : 착공('07.5), 준공예정(' 08.11)
- 2단계(1천톤/일) : 실시설계(' 08.5 ~ ' 08.12), 착공(' 09.5), 준공예정(' 11.1)
- 해양배출 제1기준초과 지역인 안양, 동두천, 여주는 '08.8월이후 준공시까지 기존 수도권매립지 고화처리시설(600톤/일)에서 처리량 조정처리

<표 8.1-36> 하수슬러지 처리시설 확충계획

구 분	개소수	해당 시·군	용량 (톤/일)	총사업비(억원)		
				계	국고	지방비
계	1		2,000	370	115	255
수도권 광역 (고화)	1	서울	1,000	185	0	185
		인천	200	37	11	26
		의정부, 성남, 안양, 화성, 이천, 김포, 여주, 남양주, 과천, 파주, 양주, 동두천	800	148	104	44

● 광역 하수슬러지 처리시설(3단계)

- 사 업 명 : 유기성폐기물 에너지화시설 설치사업
- 사 업 량 : 1,500톤/일 (경기도 지분 880톤/일-12개 시·군)
- 사 업 비 : 1,500억원(1억원/톤)
- 당초 계획시 청주시는 3단계사업 완료시 처리물량(58톤/일)을 확보한 상태였으나 『수도권매립지 하수슬러지 기존고화처리시설 대체시설(수도권3단계) 협약서(2013.1)』에 의하면 청주시는 3단계 처리대상 지역에서 제외된 상태임(현재 배분량 34톤/일)

(마) 하수찌꺼기(슬러지) 재활용계획

- 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 직매립89톤/일임



－ 소각처리(2,974톤/일)는 생활쓰레기 소각시설 연계처리 685톤/일 슬러지 전용소각시설 2,289톤/일임

<표 8.1-37> 2011년도 하수찌꺼기(슬러지) 처리계획

구분	계	핵심 배출	매립			소각			재활용
			소계	직매립	가스화	소계	생활연계	전용	
발생량 (톤/일)	10,259	－	149	89	60	2,974	685	2,289	7,136
구성비 (%)	100	－	1.5	0.9	0.6	29.0	6.7	22.3	69.5

● 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%)등

<표 8.1-38> 2011년 하수찌꺼기(슬러지) 재활용계획

(단위 : 톤/일, %)

구분	합계	복토재	탄화	시멘트 원료	녹생토	퇴비화	연료화	지형이 복원토
합계	7,136 (100)	3,808 (53.4)	1,301 (18.2)	912 (12.8)	373 (5.2)	368 (5.2)	308 (4.3)	66 (0.9)
서울	1,611	1,133	100	200	165	－	－	13
경기도	1,966	1,338	9	473	120	－	17	9
부산	529	529	－	－	－	－	－	－
대구	219	219	－	－	－	－	－	－
인천	372	372	－	－	－	－	－	－
광주	287	－	－	－	－	－	287	－
대전	323	－	323	－	－	－	－	－
기타 지자체	1,829	217	869	239	88	368	4	44

(사) 하수찌꺼기(슬러지) 에너지화 계획

● 에너지화 가능 하수처리시설은 23개소로 약 1,600톤/일의 하수슬러지를 건조·탄화 등의 과정을 통해 354톤/일 고형연료 생산

• 석탄 화력발전소, 시멘트 소성로 등에서 연료로 우선 이용

－ 전국의 석탄 화력발전소 9개소에서 54,244천톤/년의 석탄을 사용 중이며, 일정비율의 고형연료(건조슬러지 등) 혼소 가능

－ 고형연료를 전량 발전용 연료로 사용시 하루 153톤의 역청탄을 대체하여 연간 약 33억원 절감 및 26억원 상당의 온실가스 배출권 발생

－ 건조슬러지 등의 고형연료를 석탄 화력발전소 등에 사용할 수 있도록 “고

형연료의 제품기준” 설정 등 관련 규정 제정(※화력발전소의 주연료인 석탄과의 혼소시험결과 대기배출기준 준수 가능 → 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 연료 대체 효과 및 36억원 상당의 온실가스 배출권 발생

<표 8.1-39> 에너지화 및 소화조 효율개선사업 대상 하수처리시설 현황

시도별	에너지화 가능 하수처리시설		소화조 효율개선사업 대상 하수처리시설	
	처리시설명	처리계획량(톤/일)	처리시설명	가스발생량(m³/일)
계	23개소	1,609	33개소	325,100
서울	난지	100	중랑, 탄천, 난지, 서남	165,490
부산	-	-	수영, 강변, 남부	32,810
대구	-	-	달서천, 신천, 서부, 북부	25,880
인천	-	-	가좌, 승기	6,520
광주	광주 제1, 2	287	광주 제1, 2	18,650
대전	대전, 흑석	323	대전	8,395
울산			용연	8,415
경기	부천, 의왕, 안성	26	수원, 성남 등	33,154
강원	-	-	춘천, 원주	6,020
충남	천안, 보령, 논산	163	-	-
전북	군산, 익산, 완주	288	군산	6,932
전남	순천, 무안	65	목포	667
경북	포항, 경산	167	포항, 김천, 구미	5,759
경남	진주, 김해, 의령, 남해, 합천	190	마산, 진주	6,408



2) 하수찌꺼기(슬러지) 처리 관련 법규현황

(가) 폐기물관리법

[별표 5의2] <개정 2014.1.17>

폐기물의 재활용 기준 및 구체적인 재활용 방법(제14조의3제2항 관련)

5. 동식물성 잔재물, 음식물류 폐기물, 유기성 오니, 폐식용유 및 음식료품의 제조·유통 및 사용과정에서 발생하는 잔재물을 자신의 농경지의 퇴비나 자신의 가축의 먹이로 재활용하는 경우
 - 가. 농경지의 퇴비로 사용하고자 하는 퇴비는 「비료관리법」 제4조에 따른 공정규격에 맞아야 한다.
 - 나. 가축의 먹이로 사용하고자 하는 경우 먹이는 「사료관리법 시행규칙」 제30조에 따른 검정방법에 따라 검정을 한 결과가 「사료관리법」 제11조제1항에 따른 사료공정 및 같은 법 제14조제3항에 따른 유해물질의 범위 및 허용기준에 맞아야 한다.
13. 유기성 오니나 음식물류 폐기물을 이용하여 부숙토나 지렁이 분변토를 만들어 매립시설 복토용 또는 토지개량제 등으로 사용하는 경우
 - 가. 제조된 부숙토나 지렁이 분변토를 매립시설 복토용 또는 토지개량제 등으로 사용하는 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 용도 및 방법에 적합하게 재활용하여야 한다.
 - 나. 음식물류 폐기물을 토지개량제로 사용하는 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 바에 따라 그 제품명·원료 등을 표시하고, 제품의 제조에 관한 기록을 보존하여야 한다.
14. 폐산·폐알카리를 수처리제로 사용하는 경우
 - 가. 수처리제의 수요자와 계약이 된 경우에 한하여 사용할 수 있다.
 - 나. 수처리제로 사용하는 폐산·폐알카리는 수소이온농도 외의 오염물질이 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표13에 따른 청정지역의 오염물질 배출허용기준 이내인 것에 한한다.
 - 다. 폐산·폐알카리를 수처리제로 사용할 수 있는 처리시설은 다음과 같다.
 - 1) 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설
 - 2) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조제12호에 따른 수질오염방지시설
 - 3) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제48조에 따른 폐수종말처리시설
 - 4) 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 제2조제8호에 따른 처리시설
22. 지정폐기물이 아닌 동·식물성 잔재물, 음식물류 폐기물(음식물류 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 액상의 물질을 포함하며, 이하 이 호에서 같다), 유기성 오니 또는 왕겨를 다음 각 목의 어느 하나에 따라 재활용하는 경우
 - 가. 유기성 오니를 고형화하거나 고화 처리하여 「산업표준화법」 제15조에 따른 규격표시인증을 받은 보도블록 등 경량골재를 제조하거나 탄화시켜 재활용제품의 원료로 사용하는 경우
 - 나. 동·식물성 잔재물, 음식물류 폐기물, 유기성 오니 또는 왕겨를 생물학적 처리방법으로 처리하여 비료를 제조하는 경우

비료의 원료로 사용하는 동·식물성 잔재물, 음식물류 폐기물, 유기성 오니 또는 왕겨와 이들을 원료로 하여 생산된 비료는 「비료관리법」 제4조에 따라 설정 또는 지정된 보통비료의 공정규격 또는 부산물비료의 규격에 맞아야 한다.
 - 다. 유기성 오니를 고화하여 생산한 고화처리물을 별표 11 제2호나목2)차)의 규정에 적합하게 매립시설의 복토재로 이용하는 경우

- 1) 생산된 고화처리물은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 환경부장관이 지정·고시한 폐기물에 관한 공정시험기준이나 토양오염물질에 관한 공정시험기준 또는 한국산업규격(KS F 2322, KS F 2314)에 따라 시험한 결과 다음의 기준에 맞아야 한다.
 - 가) 수소이온농도(pH): 12.4이하
 - 나) 수분함량: 50퍼센트 이하
 - 다) 투수계수: $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이상 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 이하
 - 라) 일축압축강도: 0.10MPa 이상
 - 마) 유해물질 함량: 「토양환경보전법 시행규칙」 제1조의5에 따른 토양오염우려기준 중 2지역 기준 이내
- 라. 하수처리오니를 가공하여 비탈면녹화토의 원료로 사용하는 경우
 - 1) 하수처리오니를 가공하는 경우 제13호에 따라 환경부장관이 정하여 고시한 용도 및 방법에 따른 부속 공정을 거쳐야 한다.
 - 2) 가공된 비탈면녹화토는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 환경부장관이 지정·고시한 토양오염물질에 관한 공정시험기준이나 공정시험기준이 없는 경우에는 국제적으로 통용되는 시험방법에 따라 시험한 결과가 다음의 기준에 맞아야 한다.
 - 가) 수소이온농도(pH): 5.5 이상 8.0 이하
 - 나) 비소, 카드뮴, 구리, 납, 니켈, 불소, 6가크롬, 시안, 페놀, 수은, 아연 및 석유계총탄화수소: 「토양환경보전법 시행규칙」 제1조의5에 따른 토양오염우려기준 이내
- 비고: "비탈면녹화토"란 절·성토 공사 등으로 발생한 비탈면의 낙석방지, 생태복원 또는 녹화에 사용하는 인공토양을 말한다.
31. 법 제13조의2제1항제5호에 따라 가연성 고형폐기물 또는 유기성 폐기물을 법 제2조제7호나목에 따라 재활용하는 경우
 - 3) 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설에서 발생하는 유기성 오니(지정폐기물은 제외한다)를 가공하여 연료를 제조하는 경우로서 다음의 기준에 모두 적합한 경우
 - 가) 제조된 연료는 다음의 구분에 따라 사용할 것
 - (1) 공공하수처리시설이나 분뇨처리시설에서 발생한 유기성 오니를 가공하여 제조한 연료: 화력발전소 또는 열병합발전소에서 사용하되, 총 연료사용량의 5퍼센트 이내로 사용하여야 한다.
 - (2) 수질오염방지시설에서 발생한 유기성 오니를 가공하여 제조한 연료: 화력발전소에서 사용하되, 총 연료사용량의 0.5퍼센트 이내로 사용하여야 한다.
 - 나) 다른 물질과 혼합하지 아니하고, 유기성 오니 연료의 저위발열량이 킬로그램당 3천킬로칼로리 이상일 것. 다만, 해당 유기성 오니에서 일부 에너지를 회수한 후 가공하는 경우에는 저위발열량이 킬로그램당 2천킬로칼로리 이상이어야 한다.
 - 다) 가공된 연료는 수분 함유량 10퍼센트 이하, 회분 함유량(건조된 상태 기준) 35퍼센트 이하, 황분 함유량(건조된 상태 기준) 2퍼센트 이하, 길이(원형인 경우에는 지름) 40밀리미터 이하여야 한다. 다만, 회분 함유량이 35퍼센트를 초과하더라도 이를 화력발전소에서 연료로 사용할 수 있는 경우에는 35퍼센트를 초과할 수 있다.
 - 라) 연료로 재활용하는 유기성 오니는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의5제3항에 따라 환경부장관이 고시한 고형연료제품의 품질 시험·분석방법에 따른 시험결과(건조된 상태를 기준으로 한다)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.



- (1) 수은: 킬로그램 당 1.20밀리그램 이하
 (2) 카드뮴: 킬로그램 당 9.0밀리그램 이하
 (3) 납: 킬로그램 당 200.0밀리그램 이하
 (4) 비소: 킬로그램 당 13.0밀리그램 이하
- 7) 음식물류 폐기물(음식물류 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 액상의 물질을 포함한다), 유기성 오니, 동·식물성 잔재물 및 동물의 사체를 혐기성 소화 등의 방법으로 「신에너지 및 재생에너지 개발·보급·이용 촉진법」 제2조제2호에 따른 재생에너지를 생산하는 경우
- 다. 제3조제1항제3호 각 목의 폐기물을 시멘트 소성로에서 보조연료로 재활용하는 경우
- 1) 지정폐기물을 재활용하여서는 아니 되며, 2) 및 3)에 따른 기준에 적합한 폐기물만을 재활용하여 시멘트 품질을 안정적으로 유지하여야 한다.
- 2) 시멘트 소성로에서 보조연료로 재활용하는 폐기물은 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의5제3항에 따라 환경부장관이 고시한 "고형연료제품의 품질 시험·분석방법"에 따른 시험결과(저위발열량 외의 항목은 건조된 상태를 기준으로 한다)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.
- 가) 납: 킬로그램 당 200밀리그램 미만
 나) 구리: 킬로그램 당 800밀리그램 미만
 다) 카드뮴: 킬로그램 당 9밀리그램 미만
 라) 비소: 킬로그램 당 13밀리그램 미만
 마) 수은: 킬로그램 당 1.2밀리그램 미만
 바) 염소농도: 무게의 2퍼센트 미만
 사) 저위발열량: 킬로그램 당 4,500킬로칼로리 이상
- 3) 2)에도 불구하고 폐목재에 대하여는 다음의 기준을 적용한다.
- 가) 납: 킬로그램 당 30 밀리그램 이하
 나) 구리: 킬로그램 당 800 밀리그램 미만
 다) 카드뮴: 킬로그램 당 2.0 밀리그램 이하
 라) 비소: 킬로그램 당 2.0 밀리그램 이하
 마) 수은: 킬로그램 당 1.0밀리그램 이하
 바) 염소농도: 무게의 2 퍼센트 이하
 사) 저위발열량: 킬로그램 당 3,500킬로칼로리 이상
46. 그 밖에 환경부장관이 구체적 기준 및 방법을 정하여 고시하는 경우

(나) 해양환경관리법

- 폐기물관리법에 의한 육상 직매립이 금지된 상태이후로 2008년 말 기준 하수찌꺼기 최종처분은 해양투기가 약 60%를 차지하는 것으로 나타났다.
- 그러나 하수찌꺼기 해양배출규제와 관련된 국제 협약인 「폐기물 및 기타물질의 투기에 대한 해양오염방지에 관한 협약(Convention of the Prevention of

Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matters)」으로 런던협약 (1972년)과 1994년 당사국 지위획득, 그리고 1996년 개정의정서의 발효와 함께 하수찌꺼기를 포함한 폐기물의 해양배출기준이 대폭 강화함에 따라 국토해양부에서는 해양환경관리법(2008.1.20부로 해양오염방지법 폐지)으로 해양배출이 금지 (2014.1.1.부)되었다.

[별표 6] <개정 2013.12.30>

육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물(제12조제1항 관련)

1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물. 다만, 나뭇잎 및 나뭇가지의 폐기물은 2013년 12월 31일까지만 해당한다.

나. 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조제4호에 따른 폐수 중 다음의 것

- 1) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호4)부터 15)까지 및 73)의 배출 시설에서 배출된 폐수 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 액상의 것(음식물류 폐기물을 원료로 사료화하는 과정에서 발생하는 것은 제외한다)
- 2) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설에서 발생한 액상의 것(음식물류 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 것은 제외한다)

다. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물 중 오니(수분의 함량이 95% 미만이거나 고형물의 함량이 5% 이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것

- 1) 나목1)의 배출시설에서 발생한 공정오니 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 것
- 2) 나목2)의 처리시설에서 발생한 것

(다) 비료관리법

- 농림수산식품부의 비료관리법에서는 비료공정규격 (농촌진흥청 고시 제2013-36호)으로 비료에 대하여 그 주성분의 최소량 또는 함유할 수 있는 유해성분의 최대량 기타 주성분의 효능유지에 필요한 부가성분의 함유량 등 비료의 품질유지를 위하여 규제하고 있다. 비료공정규격을 살펴보면 읍·면 단위 농어촌지역 생활하수찌꺼기는 사전 분석 검토 후 사용가능한 원료로 지정되어 있고 도시 및 공단지역 폐수처리찌꺼기는 사용 가능한 원료에 분류되어있지 않아 원칙적으로 비료화는 어려운 현실이다.



(라) 유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 규정
[환경부 고시 제2012-256호, 2012.6.7.]

제15조(고화처리물 사용의 기록보존) 유기성오니를 이용하여 고화처리물을 생산하는 자는 다음 각 호에 관한 사항을 기록·관리하고 3년간 보존하여야 한다.

1. 제14조제1항제2호에 따른 측정결과
2. 제14조제1항에 따라 고화처리물을 토지개량제로 사용한 경우 사용장소, 장소별 사용량 등에 대해 기록한 증명 서류

제16조(재검토기한) 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령훈령 제248호)에 따라 이 고시 발령후의 법령이나 현실여건의 변화 등을 검토하여 이 고시의 폐지, 개정 등의 조치를 하여야 하는 기한은 2015년 6월 5일까지로 한다.

3) 국내의 하수찌꺼기 재활용 사례

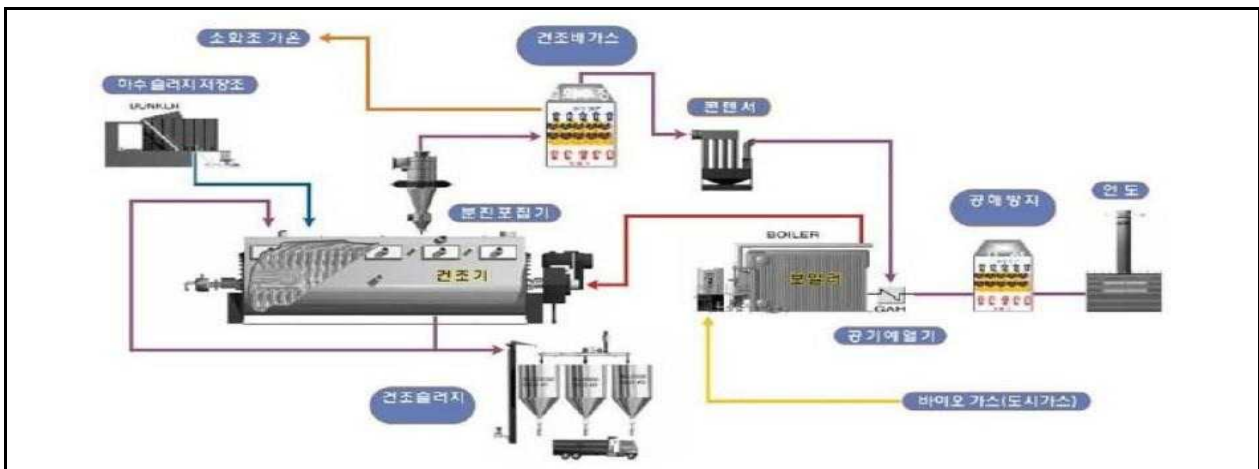
(가) 시멘트 원료, 녹생토로 활용과 에너지 회수[중랑 물재생센터]

- 서울시 중랑 물재생센터는 24만평의 방대한 규모로 10개 자치구의 생활하수 하루 171만 톤과 11개 자치구의 정화조 오니 4천kL를 처리하고 있으며, 하수찌꺼기 케익을 친환경적으로 재활용 할 수 있도록 건조(함수율 10%)해 시멘트 원료와 녹생토로 활용하는 하수찌꺼기 건조시설을 보유하고 있다.
- 하수찌꺼기 건조시설은 하루 200톤의 규모로 지난 2002년 7월에 완공됐으며 간접가열식, 원형디스크형의 건조 방식으로 분집포집기, 콘덴서, 악취제거설비 등의 방지시설을 가지고 있다.
- 중랑 물재생센터는 폐열회수 재활용으로 화석연료 제로화 시스템을 구축하고 있다. 버려지는 건조배가스 등 폐열을 회수하여 소화조 가온에 재활용하고 소화조 가온에 사용하던 소화가스를 하수찌꺼기 건조시설에 확대 공급하는 에너지 순환시스템을 구축하여 도시가스 사용량이 발생하지 않았다. 또한 보일러 설비 대기오염 배출저감시설 겸 유동층 폐열회수기를 설치했으며, 하수찌꺼기 건조배가스(수증기) 세정을 겸한 폐열회수설비를 설치했다.
- 이렇게 회수에너지자원 재활용을 통해 23억원의 예산을 저감했으며, 하수찌꺼기 건조시설 운영비를 획기적으로 절감했다. 또, 하수찌꺼기 건조처리량 증대로 해양

및 토양오염을 방지하는 한편, 건조 하수찌꺼기 에너지화 추진으로 경쟁력을 강화했다. 에너지 회수 재활용으로 CO₂ 배출량 감축 및 대기배출시설 유지관리는 한층 수월해졌다.

<표 8.1-40> 건조시설 에너지 절감실적

업 료 명		2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
건설시설사용연료		도시가스 전용	도시가스 + 바이오가스	도시가스 + 바이오가스	도시가스 + 바이오가스	도시가스 + 바이오가스	도시가스 + 바이오가스
도시가스 (L.N.G)	사용량(천㎡)	3,707	3,398	1,602	2,165	1,061	477
	지출액(백만원)	1,521	1,484	792	1,254	702	317
소화가스 (바이오 가스)	공급량(천㎡)	-	502	4,308	3,021	5,277	9,024
	지출액(백만원)	-	100	833	785	1,613	2,163



<그림 8.1-1> 건조시설 처리과정

(나) 하수찌꺼기 자원화(탄화) 시설[김해시 하수찌꺼기 자원화 처리시설]

- 김해시 하수찌꺼기 자원화 처리시설은 하루 100톤의 하수찌꺼기를 처리할 수 있는 용량으로 하수찌꺼기 탄화설비, 하수찌꺼기 처리동으로 구성되어 있다. 총 사업비 174억 원이 들었으며 지난 2006년 6월 공사를 시작해 2008년에 완공됐다.
- 김해시는 하수찌꺼기를 자원으로 재활용할 수 있는 처리시설을 바탕으로 하수찌꺼기의 적정처리로 토양 및 해양오염을 예방하고 영구적 하수찌꺼기 처리 시스템 구축으로 자연환경의 보존에 기여하고 있다.
- 이 처리시설은 기존의 부숙화, 고화, 소각 등의 방법이 아닌 탄화처리 방법으로 부산물

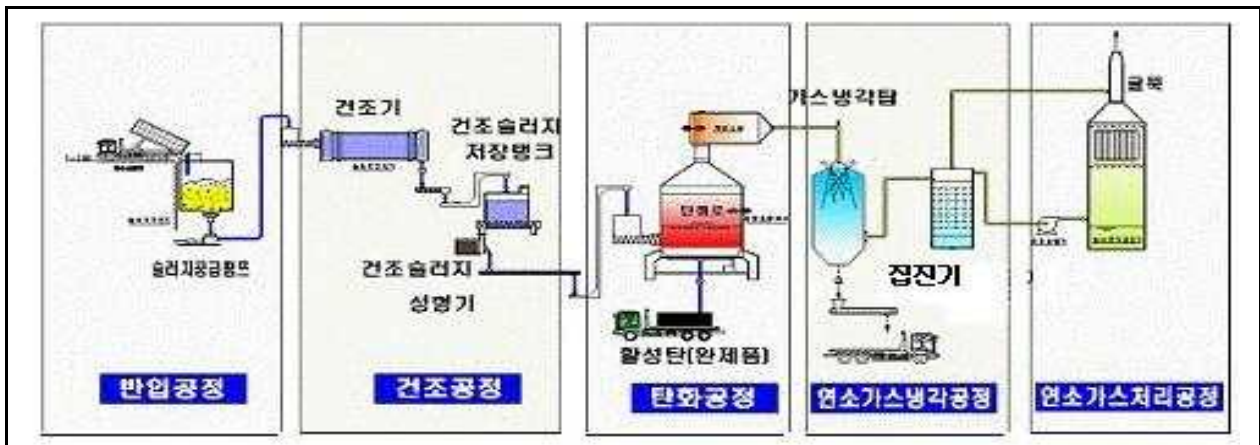


의 재활용이 가능하고, 감량효과가 우수하며 폐열 활용이 가능한 등 장점이 많은 것으로 알려져 있다.

- 하수찌꺼기 탄화는 무산소 또는 저산소 상태에서 하수찌꺼기에 열을 가하여 가스, 액체, 고체로 분해되는 열분해 기술이다. 탄화처리 방법은 감량률이 우수하고 탄화물 장기보관이 가능한, 발생가스를 재이용하는 에너지 절약 시스템이다.
- 하수찌꺼기 탄화처리는 대기오염 물질 및 악취 등 2차 환경 오염유발이 적으며, 탄화물의 유상판매 가능성으로 경제성 확보가 기대된다. 또, 발생가스가 비교적 무해하며 배출량도 적고, 단시간 처리 및 대량처리가 가능하다.

● 하수찌꺼기 탄화물의 재활용 범위

- 흡착, 탈취제, 흡음, 방음제 → 오염하천 정화, 하수고도화
- 적조제물질, 해저저질개선제, 인공어초 → 해양 환경개선
- 축산폐수 혼합제 → 퇴비화, 제습, 제설제 → 활성탄 대용
- 토양개량제, 원예용 퇴비부자재, 복토제 → 산성토양 개량
- 철강 가탄제 → 코크스 혼합
- 보조연료 → 화훼단지, 농가 및 발전소 보조연료
- 탄화물 처분은 수요처 확보 및 경제성 측면에서 철강보온재로 활용된다. 철강보온재 공급량은 조강생산량의 약 0.05%로 수요처 확보가 우수하고, 탄화물은 보온재 원료와 성상이 유사하여 대체 가능성이 뛰어나기 때문이다.
- 김해시 하수찌꺼기 자원화처리시설은 운영관리비 절감과 전문기술자 확보를 위해 민간 위탁 운영(톤당 7~8만원)되고 있으며, 하수찌꺼기의 재활용과 적정처리로, 토양, 해양오염 예방 및 자연환경보존에 기여하고 있다. 또, 버려지는 소화가스 및 폐열을 재이용함으로써 고유가 시대에 에너지 절약 정책은 물론 이미지 개선에도 적극 노력하고 있으며, 신재생에너지 재이용으로 온실가스 저장 등 환경오염 예방에 만전을 기하고 있다. 하수찌꺼기를 이용한 탄화물을 생산, 1일10t(t당 1만원)생산, 연간 2800여만원을 수익을 창출시킬 수 있을 것으로 예상되고 있다.



<그림 8.1-2> 탄화처리 과정

(다) 하수찌꺼기 부숙화(퇴비화)시설[고성 하수찌꺼기 부숙화시설]

- 경남 고성군이 운영하고 있는 하수찌꺼기 부숙화(퇴비화)시설은 전국 지자체를 대표하는 우수사례로서 발생 하수찌꺼기를 100% 재활용하기 위해 전국 최초로 하수찌꺼기 부숙화(퇴비화)시설을 설치하여 운영 중에 있으며, 이를 통해 생산된 퇴비는 공원 조경수, 도로변 가로수 및 임야 수목에 시비하여 버려지는 폐기물을 자원으로 재활용하여 환경오염 예방은 물론 최근 이슈화 되고 있는 저탄소 녹색성장의 실천이라는 점에서도 앞으로 전국적으로 확대 보급 될 것으로 전망되고 있다.

● 하수찌꺼기 부숙화시설 공정의 특징

- 입형 다단 원통형 장치 : 3단으로 이루어진 발효단이 입형으로 디자인되어 소요부지 최소
- 야적식에 비하여 빠른 반응시간 : 3~4주간 소요되는 야적식에 비하여 1~2주 이내에 퇴비의 안정화 가능
- 각 단계별 분해과정 조절가능 : 3단계로 발효퇴비화 과정이 구분되어 있어 각 단계의 제어와 일정한 품질의 퇴비생산 가능
- 병원균 및 잡초종자 사멸 : 55℃이상 3일 이상 유지로 병원균 및 유해 종자 사멸
- 밀폐형 발효조 : 전과정이 밀폐되어 발생악취의 제어가 용이



<표 8.1-41> 국외 하수찌꺼기 재활용 사례

재활용 분야	사 례
1. 퇴비화를 통한 재활용 · 하수찌꺼기를 톱밥, 덩불조각 등과 혼합하여 퇴비화 후 적정 처리공정을 거쳐 상품화	· 미국 King County : 하수찌꺼기를 퇴비 상품화하여 판매 · 미국 매사추세츠주 스프링필드시 등에서 다수의 하수찌꺼기 퇴비화시설을 가동중 및 확대
2. 산림지에서의 이용 · 산림지 토양의 지력, 산림 생장의 증가로 산림생태계 및 야생동물의 서식에 도움	· 미국 Sevilleta 국립 야생보호지역 적용 - 식물체들의 성장이 증대되어 토양표면의 물리적 성질을 향상 (하수찌꺼기 처리효과로 강우시 유수의 발생량이 감소)
3. 토양개량제로 이용 · 경작지, 목초지, 과수원 등이 지력 증가와 식물체 생장을 위한 유기질 비료로 이용	· 스위스 Zurich시 하수찌꺼기 건조후 조경 및 녹농지 이용 · 일본 삿보르시 : 하수찌꺼기를 유기질 토지개량제로 이용 · 미국 Rio Puerco Watershed 유역: 건조처리된 하수찌꺼기를 Rio Puerco 인근 목초지대 토양 표면 살포로 목초생산력 향상 · 미국 콜로라도주 Gunnison : 목장지대 살포후 방목횟수 증가 · 미국 공군사관학교 : 사관학교 소유의 자연 수풀지역에 살포 (식생 증가, 토양침식 방지, 야생동물 서식처의 향상)
4. 폐광지대 및 토양오염지 복원에의 이용 · 폐광지대에 탈수 처리된 하수찌꺼기를 이용하여 표토를 복원	· 호주 Hunter Valley지역 - 폐광지역에 탈수처리된 하수찌꺼기를 이용, 농경지로 이용 · 미국 콜로라도주 : Granada 인근지역의 모래사막화지역의 식생복원을 위하여 하수찌꺼기 이용 · Pennsylvania주 Dauphin county 사례 - 건조처리하여 기계적으로 잘게 부수어 고운 가루화한 하수찌꺼기를 폐탄광지역에 살포하여 야생 동식물의 서식처로 복원
5. 매립지 복토재로의 이용 · 탈수 등의 후처리 공정을 거친 후 다른 물질과 혼합하여 매립지 복토재 이용	· 벨기에 Flanders 지방 : 모래와 혼합후 복토재 이용 · 미국 뉴저지주 Middlesex County지역 : 생석회 및 시멘트제 조과정에서 발생한 재와 혼합하여 고화처리후 복토재 이용
6. 인공토, 석재로 활용 · 후처리 공정을 거친후 다른 물질과 혼합하여 재활용	· 미국 매사추세츠주 Salem지역 : 인공토로 제조하여 상품화 · 일본 S사 : 하수찌꺼기 소각재와 알루미늄, 석재를 혼합하여 용융·탈기후 하천호안용 석재로 개발
7. 건축재료로의 재활용 · 탈수 등의 후처리 공정을 거친 후 다른 물질과 혼합하여 건축 재료로 재활용	· 싱가포르에서는 탈수 등의 처리 공정을 거친 하수찌꺼기를 분쇄 후 적색 진흙과 섞은 다음 고온으로 가열하여 경벽돌을 생산 · 일본의 東京都에는 벽돌공장 운영 : 소각재를 이용한 벽돌을 재조(벽돌보다 견고하고 내구성 강, 제조비용 고가, 친환경적 제품)
8. 찌꺼기를 발전용 연료로 이용 · 하수찌꺼기는 일정 처리과정을 거친 후 근처의 화력발전소로 운반, 발전 연료로 이용	· 영국의 Glasgow시 - 건조된 하수찌꺼기는 Longannet 화력발전소에서 분말상태의 석탄과 혼합되어 발전용 연료로 전량 이용(매년 약 107천만톤(수분함량포함)의 하수찌꺼기 처리)

8.2 계획의 기본방향

8.2.1 슬러지 처리 및 처분방식 선정 기준

- 슬러지 처리·처분 계획을 설정하기 위해서는 처리효율, 관리의 용이성, 경제성 및 환경영향 등의 항목에 대하여 검토할 필요성이 있는데, 각 항목별 세부검토 사항은 다음과 같다.

<표 8.2-1> 슬러지 처리·처분방식 선정기준

항 목		평가요자
처리효과	처 리 의 안 정 성	• 항상 안정된 고효율이 얻어지는가 • 기후, 기온 등에 좌우되지 않는가
	처 리 의 유 연 성	• 유입부하변동에 적응성이 높은가 • 장래에 조건변화에 대응이 가능한가
관 리 성	기 술 상 의 관 리 성	• 고도의 운전기술을 필요로 하지 않는가 • 기기의 보급실적이 높은가 • 정기점검, 보수의 개소가 적은가 • 특정의 유자격자를 필요로 하지 않는가 • 운전지표가 확립되어 있는가 • 수처리 시설로의 반송수 부하가 적은가
	작 업 상 의 관 리 성	• 기기 운전조작이 용이한가 • 작업인원이 적게 소요되는가 • 약품 등의 입수, 확보가 용이한가 • 작업상의 위험성이 없는가
경 제 성	초 기 투 자 비	• 건설비가 저렴한가 • 처리장의 부지면적이 적게 소요되는가 • 건물 내에 설치해야 하는가
	유 지 관 리 비	• 유지관리비는 저렴한가 • 유틸리티의 사용량은 적은가 • 소자원, 소에너지에 부합하는가 • 기기의 내구성이 높은가
환경영향	주 변 환 경	• 주변환경에의 악영향은 없는가
	작 업 환 경	• 작업환경은 양호한가

8.2.2 하수찌꺼기 처리시설 계획

- 기존 하수찌꺼기 발생량 및 처리·처분 현황의 조사, 분석
- 향후 처리시설 수질강화 및 신·증설에 따른 추가 찌꺼기 발생량 검토
- 발생량 변화에 따른 처리시설의 증설, 신설 계획 수립



- 기존 처리시설의 문제점 분석 및 장·단기적인 대책방안 마련
- 국내의 하수슬러지 처리·처분과 관련된 기술을 분석 및 평가
- 향후 정책방향을 고려하고, 국외 동향 참고
- 기존 하수찌꺼기의 재활용 방안을 조사하고 향후 증가물량에 대한 재활용방안 검토

8.2.3 처리시설 운영관리계획

- 하수찌꺼기 처리시설은 폐기물관리법상 사업장 폐기물이므로 관련법의 규정에 의거 적법하게 처리
- 하수도법 등에 의해 직매립이 금지된 유기성 오니에 대한 처리대책 강구
- 하수슬러지의 재활용 방안 및 근거마련을 위한 성분분석 실시계획 수립



8.3 하수찌꺼기 처리 및 처분방법

8.3.1 슬러지 처리방법

(1) 개요

- 슬러지의 일반적인 처리방식은 농축, 소화 탈수 등이 있으며, 최근 하수처리방식이 고도처리 공법 도입 등으로 이에 함께 시설개선 및 변경이 따르고 있다.

(2) 슬러지 처리방식

1) 슬러지 농축

- 슬러지 농축은 슬러지의 함수율을 낮추어 부피를 감소시킴으로써 후속공정의 용량을 줄이고, 운전비를 절감하며, 처리효율을 향상시키는 목적을 갖는다.
- 현재까지 국내 공공하수처리시설에서 적용한 농축방식으로는 대부분 혼합슬러지 중력 농축으로서, 유지관리가 용이하고 시설비 및 소요동력이 작은 장점이 있기 때문이다.
- 그러나 최근에는 수처리공정의 고도처리화로 섭취된 인의 방출방지를 위해 슬러지의 농축처리 시간단축이 필요하며, 부지점용면적이 작고 농축효율이 뛰어난 기계식 농축방식을 시행하는 추세이다.

<표 8.3-1> 슬러지 농축방식 비교

항 목		중력식농축	부상식농축	원심분리식농축
원 리		중력에 의한 슬러지의 자연 침전	압축공기의 팽창시 발생된 기포에 의해 부상분리	중력에 의해 침강하기 어려운 슬러지를 기계적인 원심력을 이용하여 분리
특 성 및 장 단 점	슬 러 지 저장용량 부지점용면적	가장 크다 (저류조 역할) 대	저장능력 없음 (별도 저류조 설치) 중	저장능력 없음 (별도 저류조 설치) 소
	유지관리	•운전이 가장 용이 •유지관리비 최소	•고도의 운전기술 요망 •중력농축에 비해 유지 관리비가 과다 •분리효과 양호	•고도의 운전기술 요망 •유지관리비가 가장 큼 •연속 운전을 해야함.
	처리효과	•고액 분리 불규칙 •유지분 제거 용이 •생슬러지에 효과적	•고형물 회수율이 비교적 높음 •잉여슬러지에 효과적	•분리효과 최대 •정밀한 전처리 필요 •잉여슬러지에 효과적 •고농도 농축 가능
	고형물 부하	25 ~ 70kg/m ² ·d	80 ~ 150kg/m ² ·d	20 ~ 40kg/m ² ·d
	체류시간	18시간 이하	2시간 이상	극히 짧음
	악 취	악취문제 발생	악취문제 발생	악취문제 적음
	공 사 비	중	소	대



2) 슬러지 안정화

- 슬러지 농축에서 농축된 슬러지를 1차적으로 안정화하는 방법에는 염소산화, 석회안정, 혐기성소화, 호기성소화 등이 있다. 본 계획에서는 현재 일반적으로 사용되고 있는 생물학적 안정화에 대해서 간략히 서술하였다.

(가) 염소산화(Chlorine Oxidation)

- 본 방식은 염소 Gas를 슬러지에 주입하여 밀폐된 반응조 내에서 단시간에 화학적으로 산화하여 본 방식에 연이어 탈수공정에서 탈수·건조하여 처분한다.
- 본 방식은 소규모의 처리장(일반적으로 1,700m³/일 이하)에만 적용되고 있다. 염소 Gas와 슬러지의 접촉에 의해 염산이 생성되고 중금속이 용해되어 상징수로 용출된다.

(나) 석회안정(Lime Stabilization)

- Lime을 생슬러지에 pH가 12이상으로 되도록 가한다. 본 방식은 슬러지 탈수 전에 행하며 pH를 12이상으로 하면 미생물의 성장이 불가능하게 되어 유기물의 생물학적 분해가 정지되어 슬러지를 화학적으로 안정화시키지는 못한다.
- pH가 11이하로 되면 다시 미생물의 활동이 시작되어 슬러지조 내의 슬러지를 저장할 경우에 사용될 뿐, 주처리공정으로 적용할 수 없다.

(다) 혐기성소화

- 혐기성세균에 의한 유기물의 분해작용으로 위생상 인체에 위해한 병원균류, 바이러스, 기생충란 등이 격감되며(안정화), 유용한 열원으로 메탄가스가 발생한다. 본 방식은 숙련된 기술이 요구되며, 소화슬러지의 탈수성은 양호하고 초기공사비가 높은 반면에 메탄가스의 이용으로 유지관리비는 저렴하게 된다.

(라) 호기성소화

- 호기성 미생물에 의한 유기물의 분해작용으로 병원균의 100% 멸균이 가능하다.
- 본 방식은 운전이 용이한 반면에 소화슬러지의 발생량이 과다하고, 소화 슬러지의 탈수가 어려우며, 소요동력이 크므로 동력비가 많이 든다. 또한 슬러지 발생량이 크므로 감량화 문제로 최종처분의 경비가 많이 소요된다.

3) 슬러지 개량

- 슬러지 개량은 농축 슬러지의 탈수효과(탈수량 및 탈수율)를 증대시키기 위한 공정으로서, 개량방법으로는 약품처리(Chemical Conditioning), 세정(Elutriation), 열처리(Heat Treatment) 등이 있다. 슬러지 개량방법에 대한 일반적인 원리, 기능 및 특징을 비교하여 <표 8.3-2>에 나타내었으며 본 계획에서는 일반적으로 국내 공공 하수처리시설에서 가장 많이 채택하여 사용하고 있는 약품처리에 의한 개량방법을 채택한다.

<표 8.3-2> 슬러지 개량방법 비교

구 분	약 품 처 리	세 정	열 처 리
원 리	고분자응집제나 무기성 이온 등의 약품을 이용하여 결합수의 분리, 표면하의 제거 등의 역할과 부유물에 대한 중화작용과 흡착성을 촉진시켜 기계 탈수효과를 증대시키는 원리	슬러지량의 2~4배의 물을 첨가하여 희석시키고, 일정시간 침전 농축시킴으로써 알칼리도를 감소시키는 원리	슬러지는 원래 생물세포이므로 열처리는 이 세포를 파괴해 주로 단백질을 분해하고 유기물의 구조변화를 일으키는 원리
특 징	•슬러지의 응결촉진 •슬러지의 탈수성, 농축성 개선 •슬러지의 pH를 변화시켜 무기질 비율을 증가시키고 안정화 도모	•혐기성 소화 슬러지의 알칼리도를 감소시켜 약품 주입량을 감소시킴	•슬러지 성분의 일부를 용해시켜 탈수개선을 도모
기 능	•고형물 부하 개선 •농도 및 고형물 회수율 개선 •슬러지 발생량 개선	•약품사용량 감소 •탈수율 증대	•약품사용량 감소 또는 불필요 •슬러지 발생량, 케이크 고형물 비율 및 안정화 개선

4) 슬러지 탈수

- 소화된 슬러지의 탈수목적은 처분대상 슬러지의 용량을 감소시켜 다음 처리 과정에서 효과를 얻기 위한 것으로 수송비 절감 및 취급용이, 소각시 경제적이고, 위생적 매립이 가능하다.
- 슬러지를 탈수시키기 위한 방법은 자연건조방식과 기계탈수방식이 있으며 <표 8.3-3>에 비교 결과를 나타내었다.



<표 8.3-3> 탈수방법 비교

구 분	기 계 탈 수	현 열 건 조 상
기후 및 기상	•기후 및 계절에 관계 없다.	•우천시 사용불능, 계절에 민감하다.
처리소요 기간	•기계로 탈수하므로 슬러지 처리기간이 짧다.	•태양열이나 바람 등의 자연에 의해 처리되므로 많은 기간이 소요된다.
처 리 효 율	•탈수기機種별로 약간 차이가 있으나 대체로 탈수효율이 좋다.	•탈수효율이 기계탈수에 비해 많이 떨어진다.
2차 공해문제	•슬러지를 기계로 처리하므로 2차 공해가 없는 편이다.	•실외 노출 처리되므로 2차 공해가 대두된다.
유 지 관 리	•기계로 처리되므로 전기료 및 응집제 소요가 많으나 인력이 경감된다. •기계에 따라 약간 차이가 있으나 운전조작은 대체로 간편하며, 보조기류가 많다.	•기계처리방법에 비하여 전기료나 응집제가 들지 않으나 인력이 많이 소요되며, 원시적인 방법이다.
시 설 비 및 소 요 부 지	•건조상에 비해 시설비는 비싼편이나, 소요부지가 작다.	•시설비는 적게 드나 소요부지는 크다.

- 기계탈수 방법에 사용되는 탈수기는 진공탈수기, 가압탈수기, 원심탈수기, 벨트프레스 등이 있으며, 각각 탈수대상에 따른 적용특성을 갖고 있다.
- 슬러지 탈수기를 선정할 때에는 응집제와 같은 약품은 물론 전기 및 열에너지의 소비성능 뿐만 아니라 경제성, 유지관리의 난이도 등을 감안하고 최종적인 슬러지 처리·처분장의 입지조건, 사회적 제약조건 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- 다음 <표 8.3-4>에 탈수기의 성능을 비교하여 나타내었다.

<표 8.3-4> 슬러지 탈수기 성능비교

구 분		가압탈수기	원심탈수기	필트프레스
개 요		•슬러지를 여포에 감싼 후 가압 탈수하는 방식	•원심력에 의해 농축 분리	•여포사이에 공급된 슬러지를 압축 탈수하는 방식
슬러지 조정		•농축이 필요하고, 소화 슬러지의 경우 세척이 다소 필요	•불필요	•가압탈수기와 비슷
약품주입		•소석회 30 ~ 40% •염화제2철 5 ~ 10%	•고분자 응집제 0.5 ~ 1.0% (per 1kg/DS)	•고분자 응집제 0.5 ~ 1.0% (per 1kg/DS)
운 전 성		용 이	완전자동 가능	완전자동 가능
작업환경		개방형으로 냄새와 습기가 많아 환풍 탈취 필요	폐쇄형으로 냄새가 적으나 환풍 고려	가압탈수기와 비슷
슬러지 처분	소 각	염화제2철 배출가스의 대비 필요	필요없음	좌 동
	재이용			
소 음		컴프레서 소음 (70 ~ 80 phone)	70 phone	적음
보 수		•여포교환(1 ~ 2회)/년 •로라 및 Seal set 2년 주기로 교환	•6000시간 주기로 Screw교환 •로라 및 Seal set 2년 주기로 교환	•여포교환(1 ~ 2회)/년
함 수 율		60 ~ 65%	72 ~ 80%	75 ~ 80%
적용실적		보 통	보 통	많 음

- 슬러지 처리시설에서 하수처리시설로 반송되는 상징수, 탈리액에 의한 SS부하는 슬러지 처리방식이나 운전상황에 따라 다르다.
- 따라서 각 슬러지 처리시설의 용량 산정시에는 각 시설에서의 반송부하나 가스화 등에 의한 감소, 약품첨가 등에 의한 증가를 고려한 슬러지 처리시설 전체의 고�형물 물질수지를 기초로 슬러지의 함수율, 체류시간, 운전시간 등을 고려해야 하며, 반송되는 고�형물량은 최소한의 양을 계획 슬러지양에 고려하도록 한다. 특히 슬러



지 탈수설비는 처리장에 반송되는 슬러지의 양이 증가되지 않도록 하기 위한 중요한 시설이므로, 탈수성능 설정시에는 슬러지의 함수율이나 질의 변동을 고려하여 결정해야 한다.

- 슬러지 처리시설의 고형물 물질수지를 구하기 위해서는 각 처리과정의 고형물 회수율을 알아야 하는데, 이것은 전후의 처리과정이나 슬러지 성상에 따라 변동되며 다음은 처리가 양호한 경우의 처리공정별 고형물 회수율의 예를 나타내고 있다.

<표 8.3-5> 각 처리공정의 고형물 회수율의 예

처리공정	처리방법	고형물 회수율
슬러지 농축	•중력식 및 원심농축 •부상식	80 ~ 90% 90% 전후
슬러지 소화	•가스화 등에 의한 고형물 감소율 •소화후의 고형물 회수율	25 ~ 35% 75 ~ 85%
슬러지 개량	•세정 •열처리 후의 고형물 회수율	80 ~ 90% 90% 전후
슬러지 탈수	•진공, 가압, 벨트프레스, 원심탈수기	95 ~ 98%

주) 1. 소화조에서 가스화 등에 의한 고형물감소율은 슬러지 소화조에 주입되는 고형물의 성상에 따라 다르며, 통상 1차슬러지가 2차슬러지보다 감소율이 높다.

(3) 슬러지 처리방식 결정

- 공공하수처리시설내의 수처리공정과 연계된 슬러지 처리공정은 전항에서 검토한 바와 같이 농축, 소화, 개량, 탈수의 공정을 거치게 되며, 국내 적용실적을 참고할 경우 과거에는 중력농축→혐기성소화→기계탈수 공정이 가장 보편적으로 사용되어 왔다.
- 그러나 최근 「공공하수도시설 설치사업 업무지침(2010, 환경부)」에서 제시한 바와 같이 기존 중력식 농축조 설비의 침강성 및 농축성 효율 문제, 농축조 체류시간의 장기화에 따른 혐기화로 질소, 인성분이 재방출되는 문제와 그에 따른 고도처리공정의 영향 등을 이유로 가급적 중력식 농축조의 도입을 제한하고 있는 실정이다.
- 따라서, 신설 또는 증설 계획하는 공공하수처리시설의 경우 농축시설이 필요할시 중력식 농축방법에 비하여 경제성 및 유지관리측면에서는 다소 불리하지만 처리장 부지의 효율적 이용과 농축효율이 최대인 점을 고려하여 기계식 농축 적용을 우선하며, 특히 잉여슬러지 합병처리시 문제시 되는 슬러지 혐기화로 인한 슬러지의 인 재용출을 방지하기 위해 생·잉여 분리농축토록 하여야 한다.

- 또한 슬러지소화조는 설치시 병원균 살균 및 악취감소와 함께 후속공정인 탈수 및 소각 시설의 유입고형물량을 감소시켜 그 규모를 최소화할 수 있는 장점이 있으나, 소화조 운영으로 인한 열량 함유율이 감소하여 후속 공정인 소각인 경우에는 효율이 떨어지는 단점이 있으며, 공공하수처리시설 부지 확보가 현실적으로 어려움을 고려할 때 신설 또는 증설 공공하수처리시설 건설시 소화조를 제외한 공정도입이 바람직하므로 기계식 농축후 바로 기계 탈수하도록 계획함이 타당할 것으로 사료된다.

8.3.2 하수슬러지 처분방법

- 슬러지 최종처분방법으로는 매립, 해양투기, 퇴비화, 소각, 고화, 용융, 건조 등이 있으며, 국내 가동중인 공공하수처리시설의 경우는 대부분 해양투기에 의존하고 있으며, 재활용의 비율이 증가하고 있고 육상매립은 감소하는 추세에 있다.

(1) 육상매립

1) 하수슬러지 육상매립 동향

- 하수슬러지의 매립은 전통적인 처분 방법의 하나로서 대다수 지역에서 적용하여 왔으나, 매립으로 인한 침출수 및 악취, 작업상의 문제 등으로 인해 1997년도 초에 2001년 1월 1일까지 직매립을 금지하기에 이르렀다.
- 그러나 전국 공공하수처리시설 대부분이 2001년도부터 직매립 규정을 지키는 것이 불가능해지자 2000년 7월에는 직매립 금지 조치를 잠정적으로 연기, 2003년 7월까지 연장함과 동시에 2003년 7월까지 매립할 시에는 슬러지 함수율을 75% 이하로 함과 동시에, 2003년 7월까지 당해지역에서 발생하는 슬러지를 처리할 수 있는 시설에 대해 점진적으로 검토하도록 하였다.
- 따라서 현재는 처리시설용량 1만 m^3 /일이상인 공공하수처리시설에서 발생하는 슬러지는 폐기물관리법에 의해 직매립이 금지되어 대부분 해양배출 또는 소각등의 방법으로 전환하여 시행하여 왔으나, 국제적인 해양오염방지대책인 런던협약이 발효되고 우리나라도 그에 맞춰 해양오염방지법을 개정하여 2011년 2월부터는 전면적으로 해양배출이 금지됨에 따라 슬러지 최종처리는 새로운 검토가 필요하게 되었다.
- 환경부는 2006년 3월과 4월에 하수슬러지 관리계획수립지침 및 유기성오니 처리



종합대책을 수립하여 하수슬러지는 2011년부터 전량 육상처리토록하며 재활용을 위한 제도정비는 우선권을 부여토록 하였다.

- 그 추진방법으로 지역별 특성에 맞는 처리방법을 시도별로 강구토록 유도하면서 LFG 자원화 시설이 설치된 매립장이 있는 경우는 직매립을 허용하도록 관련법을 개정하고, 폐기물관리법의 관계 규정을 추진하였다
- 이는 하수슬러지가 쓰레기와 혼합 매립될 경우 일반 쓰레기의 분해율을 촉진시켜 매립장의 조기안정화 효과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 슬러지가 포함하고 있는 다량의 미생물과 적절한 수분을 제공하여 매립가스 발생량의 증가를 가져와 매립가스 발생량 증가에 따른 자원의 재활용 측면과 온실가스감축효과의 복합적인 효과를 기대할 수 있게 되었다.

2) 국내 매립가스 자원화

- 국내에는 3,000여개의 매립지가 있으며, 그 중 대형 매립지에 속하는 수도권, 남지도 매립지등은 2001년 이후 자원화사업을 실시하는 중이다
- 매립가스의 자원화는 매립지의 규모, 특성, 용도에 따라 발전, 중질가스, 난방 등 여러 가지 자원화방법을 적용하고 있다.

<표 8.3-6> 매립가스 자원화사업 국내사례

항 목	수도권 매립지	남지도 매립지	부산광역시 매립지	울산·경남 매립지	대전·충청 매립지
매립량 (ton)	6,400만	12,000만	420만	380만	541만
매립깊이(m)	40	100	30	40	16
매 립 상 태	위생매립	비위생매립	위생매립	위생매립	위생매립
활용가스량 (m ³ /min)	70	115	30	30	30
자원화 방법	발전 6.5MW (가스엔진)	직접이용 (열수보일러 연료)	발전 2.6MW (가스엔진)	중질가스판매 (산업체) 직접이용 (소각장연료)	발전 3.2MW (가스엔진)
활 용 기 간 (year)	10	10	20	20	10
사 업 방 식	Lease방식	서울시	BOO	BTO	BTO
사 업 자	수도권매립지 관리공사	한국지역 난방공사	서희EnC +호주EDL사	SK+한라	효성+토탈 ENS
가 동 여 부	2001. 11. ~	2001. 11. ~	2001. 06. ~	2002. 10. ~	2003. 06. ~

(2) 해양배출

1) 계 요

- 해양배출은 육상에서 처분이 곤란한 일반 고체폐기물, 특정 산업폐기물, 그리고 방사성 폐기물 등을 선박 또는 항공기에 적재하여 해양에 인위적으로 배출하는 행위를 말하는 것으로 1998년부터 해양오염방지법 기준 무독성의 유기성 폐기물을 주 대상으로 지정된 해역에 폐기물을 배출토록 허용하였다.
- 1988년 폐기물의 해양배출이 시작된 이래 해양배출은 특별한 시설의 설치가 필요 없고 처리비용이 저렴한 이유로 인해 꾸준히 증가하던 중 폐기물관리법의 개정으로 2003년 7월부터 유기성 오니의 육상 직매립이 금지되면서부터 해양배출량은 급증하여 2006년말 기준 72%를 차지하고 있다.

2) 해양배출의 금지

- 방사성폐기물의 해양배출에 의한 오염원의 확산으로부터 비롯된 해양오염사례는 관련국들의 국제적인 협의 기구의 필요성을 느끼게 되어 1972년에 「폐기물 및 기타 물질의 배출에 의한 해양오염방지에 관한 협약 1972」 일명 72 런던협약 또는 런던협약이라 부르는 협약을 맺기에 이르렀다. 그러나 이 런던협약은 협약 이행규정의 미비로 인한 관련 당사국들의 적극적인 동참이 없어 협약이 유명무실해지며 효용성이 의심 받기에 이르렀다.
- 이에 협약의 문제점을 보완하고 날로 증대되는 해양오염원의 방지를 위해 런던협약의 부속서를 개정하던 중 1996년에 한층 강화된 의정서를 채택하였다.
- 우리나라는 1993년에 런던협약에 가입하였고 런던협약의 '96의정서가 2006. 3. 24일 발효되게 됨에 따라 해양배출제도의 전면 수정을 가하게되어 해양오염방지법을 2006. 2. 21 개정하게 되었다.
- 개정된 해양오염방지법은 해양배출 폐기물의 검사방법이 용출법에서 함량법으로 강화되었고, 규제항목도 종전 14개 항목에서 25개 항목으로 확대 강화되었으며, 배출기준도 2단계로 나누어 적용하며 2011년 2월부터는 해양배출을 전면금지토록 규정하였다.
- 이를 위해 환경부는 2006년 3~4월에 전국 1만톤/일 이상의 공공하수처리시설 149개소를 대상으로 하수슬러지 성분 분석을 시행하였으며, 그 조사 결과를 토대로 해양배



출기준의 1기준을 초과한 32개 공공하수처리시설에 대해 2008년 1월까지 유예기간을 주었고, 2기준을 초과한 62개 처리장에 대해 2011년 1월까지 유예기간을 주어 육상처리로 전환토록 법제화하였다.

3) 해양배출제도에 대한 국제 동향

(가) 런던협약

- 런던협약의 목적은 모든 해양 오염원을 효율적으로 제어하고, 폐기물 및 기타 물질의 처분으로 인한 해양오염을 예방하기 위한 모든 실현 가능한 조치를 취하기 위하여 세계 각국이 협약을 맺게 된 것이다.

- 채택 및 발효 : 1972. 12 채택 / 1975. 8 발효
- 가입 및 비준국 : 81개국(2006. 3 기준)
- 우리나라 : 1993. 12. 21 가입 / 1994. 1. 20 발효

(나) 런던협약의 동향

① 1996년 : 의정서 채택

● 취 지

- 1972 협약 이후 해양배출 오염원의 증대 및 협약 이행규정 미비 등으로 런던협약의 효율성 문제 제기
- 1996. 11 : 외교회의(Diplomatic conference, 런던)에서 의정서 채택

● 발 효

- 당사국 중 26개국 가입시 30일 이후에 발효
- 2006년 3월 24일 : 발효

● 가입국 : 26개국(2006. 3월 기준)

● 주요내용

- 폐기물 해양배출 금지원칙 : 7개 허용품목에 한해서만 예외적 허용
- 예방원칙 : 해양배출이 허용되더라도 대체방안을 마련해야하고, 불가피한 경우에만 해양환경에 최소한의 피해를 줄 수 있는 기준내에서 허용
- 오염자 부담원칙 : 해양배출을 허가받은 자는 배출로 인해 초래된 오염을 방지하고, 이에 관한 규제조치 시행시 발생하는 모든 비용을 부담

- 보고의무 : 체약 당사국들이 해양배출하는 폐기물에 대한 모든 사항을 매년(폐기물 해양배출 허가현황, 폐기물 배출해역 환경상태 보고) 및 주기적(법/제도적인 조치)으로 보고

(다) 72런던 협약과 96의정서의 비교

<표 8.3-7> 1972 런던협약과 1996의정서 차이 비교

구 분	1972 런던협약	1996 의정서
규 제 방 식	해양배출을 허용하되 특정물질만 금지	해양배출을 금지하되 특정품목(7개) 허용
일 반 원 칙	—	사전방지, 오염자 부담
적 용 범 위	내수면 적용 배제	내수면에도 적용
목 적	해양배출 통제	모든 오염원으로부터 해양환경보호, 해상소각 금지
의 무 사 항 (정기적 보고)	배출허가 발급현황 배출해역 환경상태	배출허가발급현황(매년) 배출해역 환경상태(매년) 이행위한 행정, 입법 조치 배출시 평가제체 준수

(라) 96의정서에 따른 해양배출 허용품목

<표 8.3-8> 해양배출 허용 품목

구 분	내 용
1. 준설물질	수로유지 및 정화를 위해 준설된 퇴적물
2. 하수오니	1차 처리이상의 과정을 거친 하수오니
3. 생선폐기물	생선폐기물 및 수산물 가공과정에서 발생한 폐기물
4. 천연기원유기물질	선박 운송중 훼손 부패된 농작물 및 가축고기
5. 불활성무기질물질	무기질물질로서 화학성분이 해양환경으로 누출될 가능성이 없는 물질
6. 선박, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물	선박, 플랫폼, 해상 인공구조물
7. 강, 철, 콘크리트재료의 벌크 형태 물질	해양처분 이외의 방안이 없는 고립도서에서 철, 강철, 콘크리트 및 유사 무해물질로 이루어진 대형물체



(3) 퇴비화

- 하수슬러지는 질소와 같은 비료성분을 함유하고 있으며, 통기성 확보 등과 같은 물리적 특성으로 인하여 토양을 개량할 수 있는 특성이 있다. 따라서 최근에는 슬러지를 발효처리하여 유해물질들을 안정화시켜 녹농지로 환원하는 처분방법이 중소도시를 위주로 실용화되고 있다.
- 하수슬러지의 녹농지 이용은 최종이용방안에 따라 비료나 토지개량재, 복토재 등으로 구분할 수 있으며 최종처분을 위한 처리공정에 따른 방법으로 탈수슬러지와 건조슬러지를 이용하는 방법, 발효나 지렁이 사육을 통한 퇴비화, 소각화를 이용한 방법 등으로 구분할 수 있다.
- 하지만 국내의 경우 탈수슬러지나 건조슬러지를 후속공정없이 직접 이용하는 방안은 병원성세균, 바이러스, 중금속 등의 유해물질과 악취발생의 우려가 있어 적절한 처리 없이 사용될 수 없도록 규정하고 있다.

<표 8.3-9> 슬러지 퇴비화처리방안 장·단점

장 점	단 점
• 호기성 분해로 인해 악취 발생이 적음 • 감량효과 양호 • 처리부산물의 다각적 재이용 가능 • 유해가스 발생이 없어 환경영향 적음 • 국내외 기술 수준 양호 • 처리부산물 재이용시 슬러지 처분비 저렴 • 발효열에 의한 많은 유해 세균 살균 • 탈수케익에 비해 취급이 용이 • 토양 개량제등 유효 자원으로 재활용 가능	• 슬러지의 위생처리로 인한 운전비용 증가 • 후부숙기간으로 인해 처리주기 장기간 • 사용자의 인식미흡과 법적규제로 인해 수요처 확보 곤란 • 유기성 슬러지에만 처리가 국한됨 • 처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요 • 국내 설치사례가 적고 소규모 시설에 적용 • 국내 기술업체 극소수 • 하수슬러지 퇴비화는 실제 적용 법적 불가 • 슬러지내 중금속등의 영향으로 토양오염 유발초래 • 비교적 소요면적 큼 • 제품화된 퇴비에 대한 정기적인 검사 필요 • 수요의 불규칙함으로 넓은 보관장소 필요 • 악취등에 따른 환경오염 방지시설 필요

- 하수슬러지의 퇴비화는 하수슬러지 중 분해가 쉬운 유기물을 호기성 조건하에서 미생물에 의해 분해시켜 녹농지로 이용가능한 형태로 안정화시키는 과정을 말한다.

- 최근의 국제적인 움직임은 자원에 대한 의식이 점점 고조되고 있으며, 범지구적인 차원에서 온실효과를 억제하기 위한 대체기술 개발이 요구되고 있으므로 하수슬러지에 대한 적당한 퇴비화 기술은 새롭게 부각되는 처리방법이다.
- 이에 따라 국내에서도 유해물질에 대한 문제점이 적은 지역의 경우, 생활하수만 유입되는 지역에서는 토양환원을 목적으로 퇴비화를 고려할 만하며, 중금속이 문제시 되는 일부 공공하수처리시설에서는 농업용 이용보다는 임업용 이용에 초점을 두고 시비하는 방안도 검토되고 있다.

(4) 고형화 및 고화

1) 개 요

- 고화(고형화)는 원래 방사성 폐기물을 처리하는데 사용되어 왔으며, 주요한 목적은 쉽게 운반할 수 있고, 오랫동안 저장하기 위한 적당한 고형물을 만드는데 있다. 이러한 물질은 오염물 노출의 가능성을 감소시키고, 분해되지 말아야하고 또한 값이 싸고 쉽게 생산되어야 한다.
- 슬러지의 고형화(또는 고화)란 탈수케익 혹은 슬러지에 고형화제(or 고화제)를 첨가하여 슬러지의 물리·화학적 성상을 개선하고 최종처분시 작업능률의 촉진, 중금속류 등 유해물질의 무해화, 안정화를 도모하는 방법이다. 일반적으로 고형화 및 고화는 같은 의미로 사용되기도 하지만 슬러지의 최종이용, 및 처리목적 및 방법에 따라 <표 8.3-10>과 같이 비교할 수 있다.

<표 8.3-10> 고형화 및 고화의 비교

구 분	고 형 화	고 화
개 요	경화제 및 안정화제에 의하여 물리·화학적 으로 안정화시켜 유해물질의 유출을 최소화하는 방법	슬러지 탈수케익의 물리적성상을 변화시키는 방법으로 고화제를 주입하여 슬러지를 일반토양과 유사하게 변화시키는 방법
목 적	•슬러지의 처리를 용이 •슬러지 표면적의 감소에 따른 폐기물성분의 유출 감소 •슬러지내 오염물질의 용해도 감소 •유해슬러지의 독성 감소	•토질역학적 강도의 증가 •침적에 의한 고체붕괴 방지 •유해물질 용출방지 •악취발생 방지



<표 8.3-10> 고행화 및 고화의 비교 <표 계속>

구분	고행화	고화
장점	• 2차 환경오염 감소 효과 • 슬러지의 유효이용 (시멘트자원화, 건설자재화 등)	• 비교적 처리비용이 저렴 • 중금속 등의 용출방지 효과 • 슬러지 재이용 효과 (지반강화제, 토양매립제 등) • 기술적 용이성
단점	• 대체로 처리비용이 많이 소요 (약품처리비, 에너지 동력비 등) • 재활용이 안될 경우 부피증가로 매립 곤란 • 부피증가로 인한 운반비 증가	• 고화제의 종류에 따라 효율 및 처리비용이 가변적 • 안정적 공급의 어려움 • 슬러지 성상에 따른 효율저하 우려 • 실험 및 실적의 부족으로 인한 장기적 효과에 대한 확신 부족
특성	무기성 폐기물의 처리에 적합	매립조건의 개선 및 유효이용방안
고형화제 (또는 고화제)	시멘트(보통, 포틀랜드, 조강, 고노등), 아스팔트, 플라스틱, 생석회, 고분자화합물 등	주로 시멘트를 이용 (포틀랜드, 특수고화시멘트 등)

- 고행화처리는 적용폭이 넓지만 처리방법 선택시 공정의 비용, 부피의 증가, 전처리 방법 및 처분방법 등을 고려하여 신중히 선택해야 한다.
- 슬러지 고화처리방안을 타 처리방안과 비교시 <표 8.3-11>과 같은 장단점이 있다.

<표 8.3-11> 슬러지 고화 장단점

장점	단점
• 하수 및 정수슬러지 성상변화 적용성 우수 • 폐기물의 물리적 성질을 변화시켜 취급하기 용이한 물질을 만듦 • 화학적으로 결합시켜 환경으로 이동(유평해)을 저지가능.(폐기물내 오염물질의 용존성 및 유평해도 감소) • 오염물질의 손실과 전달이 발생할 수 있는 표면적을 감소 • 소각재 등과 같은 폐기물과 혼합처리가능 • 건설자재, 매립지복토재 등 재이용가능성 높음 • 국내·외 기술 수준 양호 • 환경영향 적음 • 건설비 저렴	• 고화물에 대한 시장 안정성 낮음 • 슬러지 고화에 대한 체계적인 시험/운영자료등이 부족 • 공공하수처리시설내에 고화시설 공공하수하수처리 시설 근무환경이 악화될 수 있고 민원발생 우려 • 매립지 복토재 사용을 위한 법적규제로 수요처확보 곤란 • 발효 및 양생과정으로 인해 처리주기 장기간 • 고화제등 부자재 투입으로 감량효과 적음 • 처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요 • 국내 설치사례 적음 • 안정적 고화를 위해서는 약품, 부자재 비용과다 소요됨으로 비교적 운영비 많이 소요 • 고화체와 슬러지와의 혼합과 양생과정에서 발열반응이 일어나 타 방안에 비해 악취 심함 • 넓은 부지면적 필요

2) 고형화방법

- 유해폐기물의 최종처분, 안전의 목적을 갖는 많은 고형화/안정화 방법이 현재 사용되고 있거나 개발 중에 있고, 중금속 함유 슬러지인 경우, 주로 무기적 방법(Inorganic Processes)인 시멘트 기초법(Cement Based Processes)과 석회기초법(Lime Based Processes)이 많이 사용되고 있으며, 우리나라 유해폐기물의 처리 및 처분을 담당하고 있는 화성 유해폐기물 처리사업소의 경우에도 시멘트 기초법(Cement Based Processes)에 의해 중금속 폐기물 및 소각로재를 고형화하여 안전 매립하고 있다.
- 일반적으로, 최종처분을 위한 유해슬러지 고형화/안정화의 목적은 다음과 같다.
 - 폐기물을 다루기 용이하게 함
 - 오염물질의 손실과 전달이 발생할 수 있는 표면적의 감소
 - 폐기물내 어떠한 오염물질의 용존성(용해도) 감소
 - 폐기물 독성 감소
- 또한 고형화/안정화의 방법의 종류는 다음과 같다.
 - 시멘트 기초법(Cement Based Processes)
 - 석회 기초법(Lime Based Processes)
 - 열가소성 플라스틱법(Thermoplastic Techniques—Bitumen, Paraffin and Polythylene)
 - 피막형성법(Surface Encapsulation Techniques)
 - 자가-시멘트화법(Self-Cementing Techniques)
 - 유리화법(Glassification) 등
- 이러한 폐기물의 고형화/안정화 기술은 특정 폐기물의 형태에 따라 적용도가 넓고, 다양하지만 대부분이 1차적으로 무기 폐기물에 가장 적당하다. 또한, 처리비용과 전처리가 요구되기 때문에 경제적으로 제약을 받기도 한다. 폐기물 고화처리를 위한 방법 선택시 유의해야할 사항은 공정의 비용, 그리고 물질 부피의 증가, 처리특성의 변화가 내포되어야 한다. 각 방법에 대한 개략적 설명은 다음과 같다.



<그림 8.3-1> 하수슬러지 고형화처리 공정도

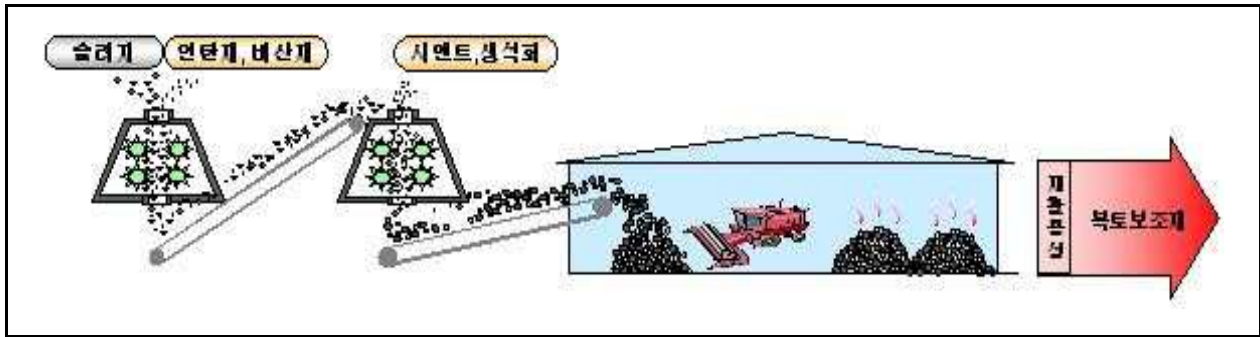
3) 국내의 사례

(가) 수도권매립지 고화시설 현황

<표 8.3-12> 수도권매립지 고화시설 현황

항 목	내 용	비 고
시설규모	600톤/일(가동시간 8시간 기준)	400톤/일(2003년)
처리대상 슬러지	하수슬러지(함수율 80%, 수도권지역 공공하수처리 시설)	
처리방식	시멘트 고화	
고화제	연탄재, 시멘트, 비산재(Fly-Ash, 석탄회)	
함수율	72시간 이내 건조시 50±5% 미만	
고화물 활용	매립지내 수시 복토보조제	
부지면적	5,000평	
주요설비	• 슬러지 저장 및 공급설비 • 혼합설비 및 고화설비 - 혼합기 : 120톤/시×1기(햄머식 혼합파쇄기) • 고화제 저장, 공급 및 분배 설치 • 집진 및 기타부대설비 등 - 집진기 : 750m³/min × 1기 - 공기압축기 2대 - 고압분무 시스템 2식	
설치비	37억원	
건설자	포스코건설	
운영기관	수도권매립지관리공사(6인)	
처리비용	23,400원/톤(운반비 및 매립비 제외)	2003년 기준
가동기간	1999년 ~ 현재	

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획



(나) 광양제철소 주택단지 슬러지 자원화 설비

<표 8.3-13> 광양제철소 주택단지 슬러지 자원화 시설 현황

항 목	내 용	비 고
시설규모	120kg/시	
처리대상 슬러지	하수 및 폐수슬러지(함수율 80%)	
처리방식	건조(직접건조, 회전건조기) + 제강슬래그 고화	
고 화 제	생석회, 슬래그	
함 수 율	80% - (건조) → 45% - (고화+건조) → 10%	
부지면적	90㎡	
시설전경		

(5) 건 조

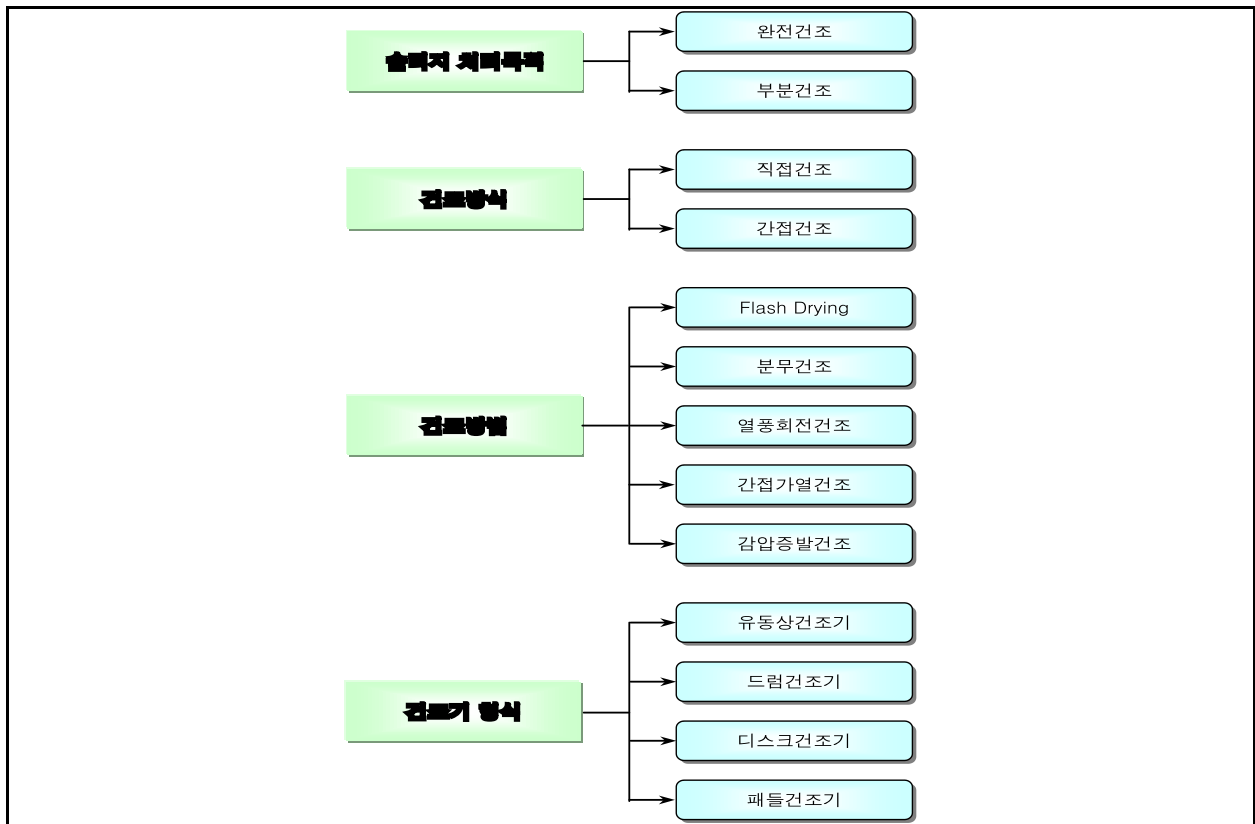
1) 개 요

- 건조는 슬러지의 재활용(토양화, 시멘트 자원화 등)이나 소각, 용융, 도시쓰레기 혼소 등에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

밀동 경제 으뜸 청주



- 건조의 최대특징은 공정에 필요한 슬러지의 수분을 조절할 수 있어서 효율적인 건조가 가능하다는 점이다. 따라서 건조공정은 슬러지의 처리목적에 따라 완전건조와 부분건조로 나누어질 수 있다. 또한 건조방법에 따라 직접건조 및 간접건조로 나뉘어진다.
- 완전건조란 슬러지의 수분함량이 약 10%이하인 상태를 말하며 주로 슬러지의 재활용을 위해 사용된다. 재활용시 펠릿(Pellets)으로 만들어 사용한다. 재활용을 위한 슬러지 건조는 슬러지의 부피를 감소시킬 뿐만 아니라 고형물질(DS)농도를 높이고 부패, 변질을 방지하고 병원균을 사멸시키는 역할을 하므로 취급이 용이하여 위험성이 없다.
- 건조로의 열원은 일반적으로 소화가스나 벙커 C유, 중유 등이 이용될 수 있으나, 유동상소각로와 같이 배가스의 온도가 800℃ 이상 고온인 경우에는 폐열보일러를 설치하여 폐열을 슬러지의 건조에 이용할 수 있다.
- 국내에서 슬러지 건조시스템을 설계하여 제작하는 업체가 최근에 증가하고 있는 추세에 있으나, 대부분 외국에서 기술을 도입하거나, 혹은 복사하는 수준에 머물고 있는 실정이다. 외국에서는 80년대 중반부터 지속적으로 슬러지 처리에 대한 제도적 기반을 정비하면서, 건조시스템의 운영 및 소각을 추진해오고 있으므로, 많은 량의 설계 및 제작능력을 보유하고 있으며, 현재 안정기에 들어가고 있는 선진국의 각종 이론 및 기술을 최대한 참조로 하여 실제 현장에서 빠른 시일내에 응용이 가능한 장치의 개발이 필요하다.
- 또한 국내의 관계법이 2001년도부터는 소각 또는 퇴비화에 의하여 재활용하거나, 잔재물만을 처리하도록 되어 있다는 현실에서 건조시스템에 의한 안정화 및 감량화를 하고, 소각을 연계하여 통합된 처리기술의 확보가 시급하다 할 수 있겠다. 슬러지의 건조는 현재 각 공공하수처리시설 및 산업폐수슬러지 배출업소에서 소각의 전 단계로서 고려되어지고 있다.
- 건조는 슬러지의 처리목적, 건조방식, 건조방법 및 건조기의 형식에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.



<그림 8.3-2> 건조방식의 분류

- 슬러지 건조 처리방안을 타 처리방안과 비교시 다음과 같은 장·단점이 있다.

<표 8.3-14> 슬러지 건조처리방안 장·단점

장 점	단 점
•처리주기 단기간 •감량효과 양호 •비교적 운영관리 용이 •기술적 신뢰성 안정성 우수 •처리공정 단순하여 운영관리 용이 •국내·외 기술 수준 우수 •건설비 저렴 •소요면적 비교적 작음.	•건조슬러지의 악취발생으로 민원발생 야기 •건조슬러지 시멘트원료화 경우 민원발생으로 재이용 어려움. •처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요 •건조를 위한 연료소요량이 많아 유지관리 고가 •건조슬러지 흡수성으로 장기보관에 어려움

2) 국내 슬러지 건조기 설치현황

- 국내에 설치되어 있는 슬러지 건조기는 대부분이 소각폐열을 활용한 간접건조방식



의 디스크 또는 패들 건조기가 설치 운영중에 있는 것으로 조사되었으며, 직접건조 방식의 다단로식 또는 회전식 건조기는 일부지역에 한정적으로 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

<표 8.3-15> 국내 슬러지 건조기 운영사례

위 치	건조대상	용량 (톤/일×기)	건조 방식	건조 형식	건 조 함수율(%)	운영현황 (가동년도)	비 고
서울 서남 STP	하수슬러지	75×2	간접	디스크	55	가동중(2002)	건조+소각
서울 난지 STP	하수슬러지	75×2	간접	디스크	55	가동중(2002)	건조+소각
서울 중랑 STP	하수슬러지	100×2	간접	디스크	10	가동중(2002)	건 조
서울 탄천 STP	하수슬러지	50×4	직접	다단로	10	가동중지	건 조
경기 구리 STP	하수+폐수슬러지	70×1	간접	패 들	55	가동중(2000)	건조+소각
경기 안산 STP	하수+폐수슬러지	80×2	간접	디스크	60	가동중(2001)	건조+소각
경기 광주 STP	하수슬러지	120×1	직접	회 전	8~25	가동중(1998)	건조+소각
경기 성남 슬러지소각장	하수슬러지	48×2	간접	패 들	-	가동중	건조+소각
경기 양평 STP	하수슬러지	40×1	간접	디스크	40	가동중(2003)	건조+소각
충북 청주 STP	하수슬러지	126×1	간접	패 들	65	가동중(2000)	건조+소각
충북 충주 STP	하수+폐수슬러지	100×1	직접	회 전	20	가동중(2001)	건 조
부산 해운대 소각장	하수슬러지	50×1	간접	패 들	-	가동중	건조+훈소
경기 과천 소각장	하수슬러지	45×1	간접	디스크	-	가동중	건조+훈소
김해 장유 소각장	하수슬러지	100 x 1	간접	디스크	-	시공중	건조+탄화
경남 통영 소각장	하수슬러지	8.5×1	간접	디스크	-	가동중	건조+훈소
경북 상주 소각장	하수슬러지	20×1	간접	패 들	35~45	가동중(2002)	건조+훈소

(6) 소 각

1) 계 요

- 소각은 공기중의 산소를 이용하여 가연성 물질을 연소시키는 방법으로 최근의 매립지난 해소를 위한 폐기물의 감량화, 전염병 예방을 위한 화학적·물리적인 안정화, 부패성 물질처리를 위한 무해화 폐기물의 처리공법으로 많이 이용되고 있다.
- 소각은 연소시 발생하는 잉여열을 이용하여 발전이나 난방 등으로 재이용할 수 있어 비교적 발열량이 높은 도시폐기물의 처리에 오래전부터 활용되어 왔으며, 탈수 Cake에 비해 혐오감이 적고, 다른 처리시설에 비해 필요 부지면적이 매우 적은 장점 등으로 인하여 현재 많은 선진 외국의 경우 기존의 매립방법에서 소각으로 전환

하는 추세이며, 일부 대도시는 거의 전량을 소각에 의존하고 있다. 하지만 소각은 고열을 취급하는 방법이므로 기본적으로 요구하는 효율성이나 안전성 등이 소각 대상물질에 따라 변하고 대기오염방지를 위한 대책이 필요하다는 점과 슬러지 매립방법에 비하여 처리비가 고가이며, 유지관리가 용이하지 않다는 단점이 있다.

- 최근 슬러지 소각건설 추세는 건조와 병행하여 소각하는 기술로써, 예전에 직접소각시 보조연료사용에 따른 운영비 상승 부분을 소각폐열을 활용한 슬러지 건조기술을 혼합함으로써 경제성을 회복한 상태이다. 또한 소각시 발생하는 소각재는 생활폐기물 소각재와 달리 입도가 작고 고르며, 중금속 함유량도 적다.
- 따라서, 이러한 이유로 처리부산물인 슬러지 소각재는 시멘트 원료로 재이용되고 있는 추세이다.
- 최근 국내 슬러지 소각기술의 경우, 자체 기술로써 제작 설치도 가능할 만큼 기술수준이 상용화단계에 도달한 국내 기술업체도 있고 국내에 현재 약 10여개소의 슬러지 소각시설 건설 가동중에 있다. 또한, 국내 슬러지 소각기술을 소각기술이 낙후된 동남아시아로 수출하는 등 기술발전이 되어 있는 상태이다.
- 그러나 대부분의 슬러지 소각기술을 보유한 업체들이 외국의 핵심 소각로를 기술제휴로 건설하는 수준에 지나지 않아, 슬러지 소각의 활성화로 인하여 국내 실정에 적합한 슬러지 소각기술개발에 더욱 더 박차를 가해야 할 것이다. 슬러지 소각처리방안에 대한 타 처리방안과 비교시 다음과 같은 장단점이 있다.

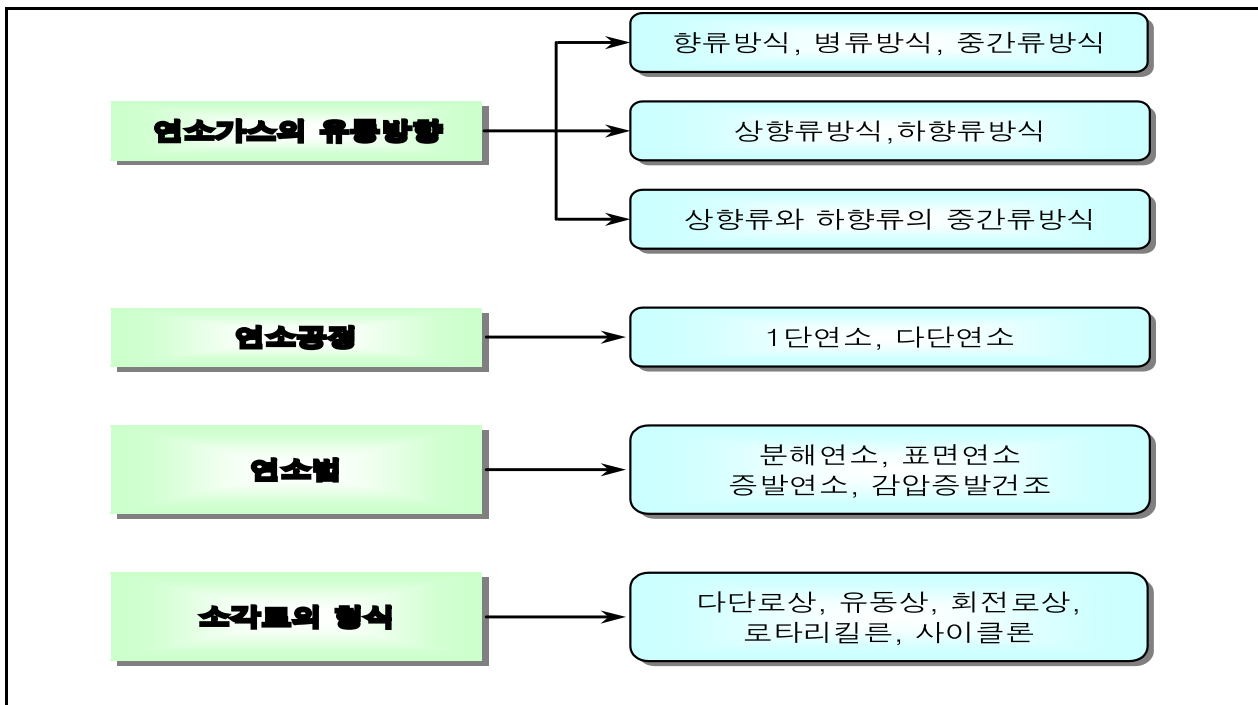
<표 8.3-16> 슬러지 소각 처리방안 장단점

장 점	단 점
•처리주기 단기간 •처리부산물 시멘트원료화 용이하여 수요처 확보 가능 •하수 및 정수, 폐수슬러지 등 적용범위 큼 •감량효과 우수 •혼합소각 가능 •국내 설치사례 다수 •기술적 신뢰성 안정성 우수 •국내외 기술 수준 우수 •안정적이고 위생적 처리 •폐열활용 가능	•고급 운영기술 필요로 운영관리 난이 •대기 및 수질, 소음진동 등 환경영향 큼 •소각재 중금속 용출 영향 큼 •대규모 환경오염방지시설 필요 •환경영향으로 민원야기 •민원발생으로 소요사업기간 장기간 필요 •비교적 건설비 및 처분비 고가



2) 소각방식

• 하수슬러지 소각에 사용되고 있는 소각방식은 국가별·지역별 특성에 따라 다르나 일반적으로 연소가스의 유동방향에 의한 분류와 연소공정에 의한 분류 및 고체연소방법에 의한 분류, 소각로의 형식과 구조에 의한 분류 등으로 다음과 같이 구분할 수 있다.



<그림 8.3-3> 소각방식의 분류

3) 국내 하수슬러지 소각로 설치현황

<표 8.3-17> 국내 하수슬러지 소각로 설치현황

위 치	용량 (톤/일×기)	처리대상 폐 기 물	소각형식 (가동년도)	공법	발 주 자 (추진방식)	시 공 사	운영기관
구미시 하수종말 처리시설	100×2	하수슬러지	유동상 (1998)	건조 + 소각	구미시 (재정-턴키)	현대모비스 (일본 TSK)	구미시 시설관리공단
청주 하수종말 처리시설	126×1	하수슬러지	유동상 (2000)	건조 + 소각	환경관리공단 (재정사업)	코오롱 (일본산끼)	청주시 환경사업소
구리시 하수종말 처리시설	70×1	하수슬러지	유동상 (1999)	건조 + 소각	구리시 (민자유치)	한솔EME (국내자체)	한솔EME
안산시 하수종말 처리시설	150×1	하수슬러지	유동상 (2000)	건조 + 소각	안산시 (민자유치)	한솔EME (국내자체)	한솔EME
성남시 하수종말 처리시설	100×2	하수슬러지 +폐목재	유동상 (2001)	건조 + 소각	성남시 (재정-턴키)	삼성ENG (국내자체)	한솔EME
서울서남 하수종말 처리시설	150×1	하수슬러지	유동상 (2002)	건조 + 소각	서울시 (재정-턴키)	삼성ENG (한솔EME)	삼성ENG 한솔EME
서울난지 하수종말 처리시설	150×1	하수슬러지	유동상 (2002)	건조 + 소각	서울시 (재정-턴키)	삼성ENG (한솔EME)	삼성ENG 한솔EME
양평 하수종말 처리시설	40×1	하수슬러지	유동상 (2003)	건조 + 소각	양평군 (민자유치)	한화건설 (일본중외로)	양평군 (보람플랜트)
광주시 하수종말 처리시설	120×1	하수슬러지	Vortex (1998)	건조 + 소각	경기광주 (재정사업)	두산건설 (일본오가와라)	광주시 지방공사

(7) 탄 화

1) 계 요

- 탄화란 예로부터 널리 사용하던 탄화로의 원리에 기초하여 슬러지등 유기성폐기물을 무산소 상태에서 가열하면 로내에서 수분 및 가스가 발생하고 열분해가 시작되며, 잔존물에는 탄소를 주체로 하는 무기물이 남는 것을 말한다. 기존의 슬러지 소



각로는 고수분의 슬러지를 효율적으로 소각하기 위하여 건조공정, 소각공정을 모두 갖춘 병행 시스템이었으며, 최근에 탄화원리에 기초하여 공기를 차단하는 등의 기술개발에 의하여 소각공정을 탄화공정으로 대체할 수 있게 되었다.

- 슬러지 탄화처리방안을 타 처리방안과 비교시 다음과 같은 장단점이 있다.

<표 8.3-18> 슬러지 탄화 처리방안 장·단점

장 점	단 점
• 처리부산물(폐기물)을 거의 발생하지 않는 환경 친화적 처리 • 발생가스(열분해가스)를 재이용하는 에너지 절약 시스템 • 단시간 처리 • 대량처리 가능 • 감량화율이 높다. • 대기오염 물질 및 악취 등 2차 환경오염유발 적음 • 설치면적 적음 • 탄화물의 활용방안 다수 • 탄화물의 유상판매 가능성으로 경제성 확보 기대 • 탄화물의 장기 보관 가능 • 발생가스가 비교적 무해하며 배출량도 적다. • 소각과 비교하여 환경영향 및 건설비, 소요면적 적음 • 폐열활용 가능	• 기술개발 단계이므로 지속적 연구 필요 • 탄화제품 특성이 안정적이지 못하고 인식부족으로 수요처 확보에 어려움. • 관련기준 및 규제 미흡 • 탄화물의 사용자 환경인식 저조 • 처리부산물 재이용 불가시 추가처분비 소요 • 유기성 슬러지에만 처리가 국한됨. • 고도의 숙련 운영관리 기술 필요로 운영관리 고난이 • 국내 설치 사례 적음 • 기술적 신뢰성 안정성 미흡 • 국내외 기술 수준 낮음 • 비교적 처분비 고가

2) 탄화물의 활용

- 유기성 폐기물의 탄화처리 부산물인 탄화물(숯)은 고온에서 탄화된 탄소알갱이의 미립자로서 무취한 제품으로 흡취, 흡착성이 좋고, 약 3,000kcal/kg 이상 발열량을 가지고 있으며, 강알카리성이고 비표면적이 비교적 커서 다방면의 용도로 사용가능하다.
- 따라서 소금이 많이 함유되지 않은 하수슬러지 탄화물은 흡취, 흡착성이 좋으므로 하수종말처리장의 고도화 처리제 또는 오염하천의 정화제인 흡착, 탈취제는 물론 일본에서 사용중에 있는 화장실벽의 흡취제 및 노래방의 방음제등으로 사용이 가능하며 음식물쓰레기 및 분뇨 소멸기의 흡착칩 대용으로 사용가능하다. 한편 소금이 함유되어 있는 음식물쓰레기의 탄화물은 해양오염을 제거할 수 있는 적조구제용이나 해저저질개선제 및 인공어초로 성형하여 사용이 가능하다. 그리고 염분이 많이

함유되지 않은 하수슬러지의 탄화물은 코우크스와 혼합하여 사용하는 철강가탄제는 물론 석탄등과 혼합하여 비닐하우스의 보조연료 또는 이동식 간이연료로 성형하여 사용이 가능하고, 알칼리성분을 가지고 있으므로 소금과 중금속이 많이 함유되지 않은 탄화물은 산성토양의 개토제는 물론 골프장이나 운동장의 잔디 흡충제용으로 사용이 가능하다.

(8) 열분해·용융

1) 계 요

- 하수슬러지의 용융은 열조작을 중심으로 구성되는 시스템으로서 소각과 유사하지만 처리온도가 소각에 비해 훨씬 높고($1,100 \sim 1,600^{\circ}\text{C}$) 소각재의 재활용면에서 구성시스템이 다른 경우도 있다. 하수슬러지를 소각후 소각재를 용융하거나, 하수슬러지 자체를 용융하는 시스템 두 종류가 있다.
- 용융(Melting)이란 중유, 석탄등의 연료 또는 전기를 열원으로 사용하여 폐기물등을 약 $1,300^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온에서 액체 상태로 만드는 공정으로서, 용융 슬래그와 용융 비산재를 포함하는 배가스를 생성하는 단위공정을 말한다. 폐기물 처리에 있어서는 주로 열분해 잔재물이나 소각재, 하수슬러지를 $1,100 \sim 1,600^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 용융하게 되는데 함유되어 있던 다이옥신류는 열에 의해 파괴되며 중금속류는 일부 비산하고 나머지는 슬래그의 망상구조 내에 안정화되어 용출의 우려가 없게 된다. 하수슬러지를 소각처리하고 소각재를 매립 처분하는 것보다 용융슬래그화하여 도로용자재나 건축용자재로 재이용하고자 하는 발상은 오래 전부터 있어왔지만, 하수슬러지를 용융 Process에 본격적으로 도입하기 시작한 것은 1978년 제2차 석유파동 이후 일본 오사카부에서 이루어졌으며, 최근에는 4~5종의 방식이 소규모로 활용되고 있다.
- 용융방식의 장단점을 살펴보면, 소각재의 경우 $1/2 \sim 1/3$ 의 감용화가 가능하고, 용융 슬래그가 로반재등의 토목 골재로서 재이용 가능하며, 매립하는 경우에도 중금속등의 용출 가능성이 적다는 장점이 있는 반면에, 폐기물이나 소각재에 대한 용융기술의 완성도가 낮으며, 용융설비의 건설비가 운영비등에 경제성면이 다소 부족한 단점도 있다.
- 최근에는 소각재를 용융처리하는 것 이외에 슬러지를 직접 용융에 의한 처리를 하는



방법도 시도되어지고 있는데, 이러한 용융처리에 의하여 얻어지는 고화 Slag는 CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃등을 주성분으로 하고 그 처리방법에 따라 여러 가지 유효이용이 가능하며 수 파쇄에 의하여 급냉 하는 경우 입상 유리질의 세사상 슬래그가 얻어져 하천의 모래 대체용으로 사용이 가능하고 서서히 냉각 후 파쇄해, 쇄석상의 경질로서 치밀한 결정의 슬래그 획득이 가능하다.

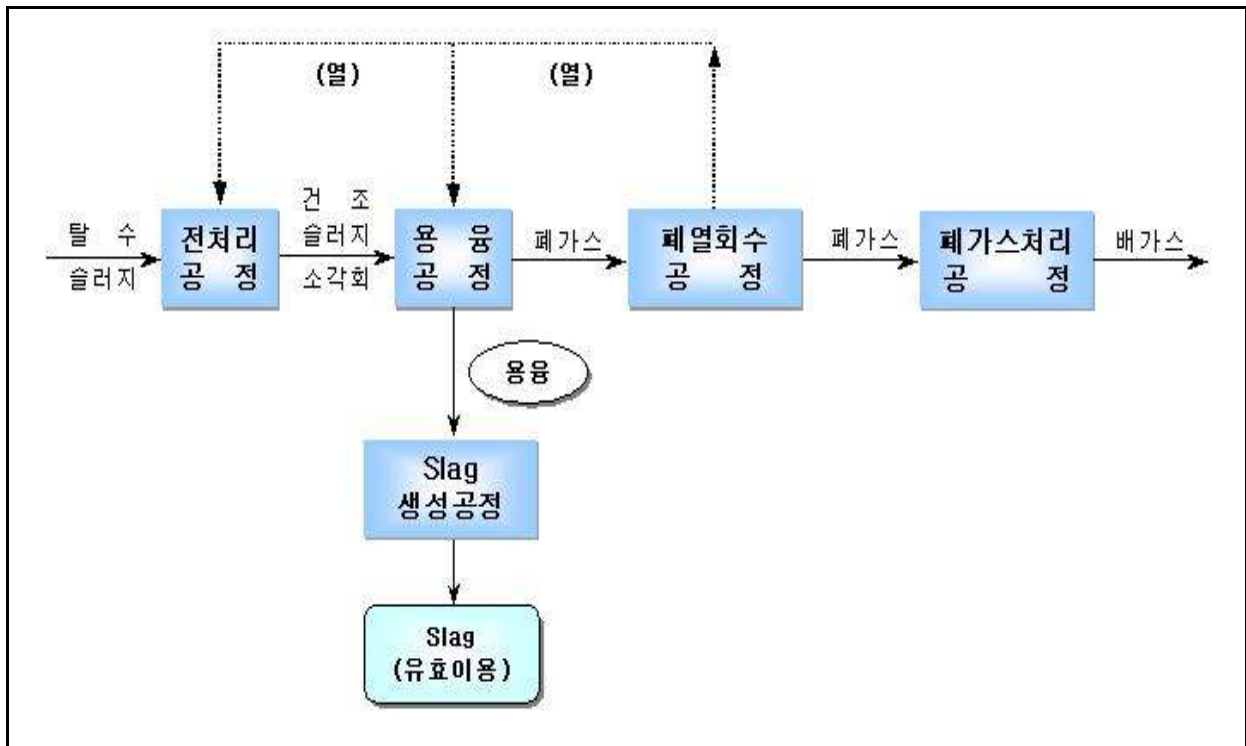
- 하수슬러지 중에는 유해 중금속류를 포함하기 때문에 가연분을 연소하여 회분을 용융하여 슬래그로 하는 방법에 의해 SiO₂ 등이 유리질 중으로 봉입되는 것이 많다. 또는 확연히 감량하는 것이 가능하고 균질물질로 변하기 때문에 유효하게 된다.
- 슬러지 용융처리방안의 장단점은 다음과 같다.

<표 8.3-19> 슬러지 용융처리방안의 장·단점

장 점	단 점
•처리주기 단기간 •소각재, 생활폐기물, 산업폐기물, 유해폐기물 등과 여러 폐기물과 혼합처리가능 •감량효과 가장 우수 •처리부산물의 무해화 •재활용가능성이 높음 •처리부산물 장기보관성 용이 •폐열활용 가능	•처리 부산물 재이용 사례 부족으로 수요처 확보 어려움 •고도의 숙련 운영관리 기술 필요로 운영관리 고난이 •국내 설치 사례 없음 •기술적 신뢰성 안정성 미흡 •국내외 기술 수준 낮음 •건설비, 처분비 가장 고가

2) 용융공정 주요구성

- 용융시스템은 아래 그림에 나타난 바와 같이 건조, 입도조정공정 등을 포함한 전처리공정, 용융공정, 슬래그 생성공정과 폐열회수공정 및 폐가스 처리공정으로 구성된다.



<그림 8.3-4> 용융공정 구성

(9) 슬러지 유효이용

1) 개요

- 슬러지의 유효이용이란 슬러지 자체의 물리·화학적 특성을 이용하여 건설자재화, 에너지 회수, 녹농지 등에 이용하기 위해 슬러지를 재사용하는 방안이다.
- 기존까지 주로 사용되었던 매립이나 해양배출 등과 같은 슬러지 처분방법은 2차환경 오염 및 민원발생, 부지확보 등의 어려움으로 인하여 현재 지양되고 있는 실정이며 국내의 경우도 이에 대한 법규제를 강화하여 앞으로는 대부분의 슬러지를 유효이용해야 하는 실정에 이르렀다.
- 이러한 추세에 맞춰 이미 선진외국의 대도시들은 슬러지를 적절하게 처리한 후 유효한 자원으로 재이용하려는 연구가 활발히 진행중에 있으나 국내의 경우 퇴비화 이외에는 아직 실용화된 슬러지 유효이용 방법이 거의 없으므로 하수슬러지 현황을 검토하여 환경오염을 방지하며 자원으로 재이용할 수 있는 경제적이고 합리적이며 친환경적인 하수슬러지 처리·처분방안에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.
- 하수슬러지의 유효이용에는 슬러지 자체를 유효이용하는 방식과 슬러지를 처리하는



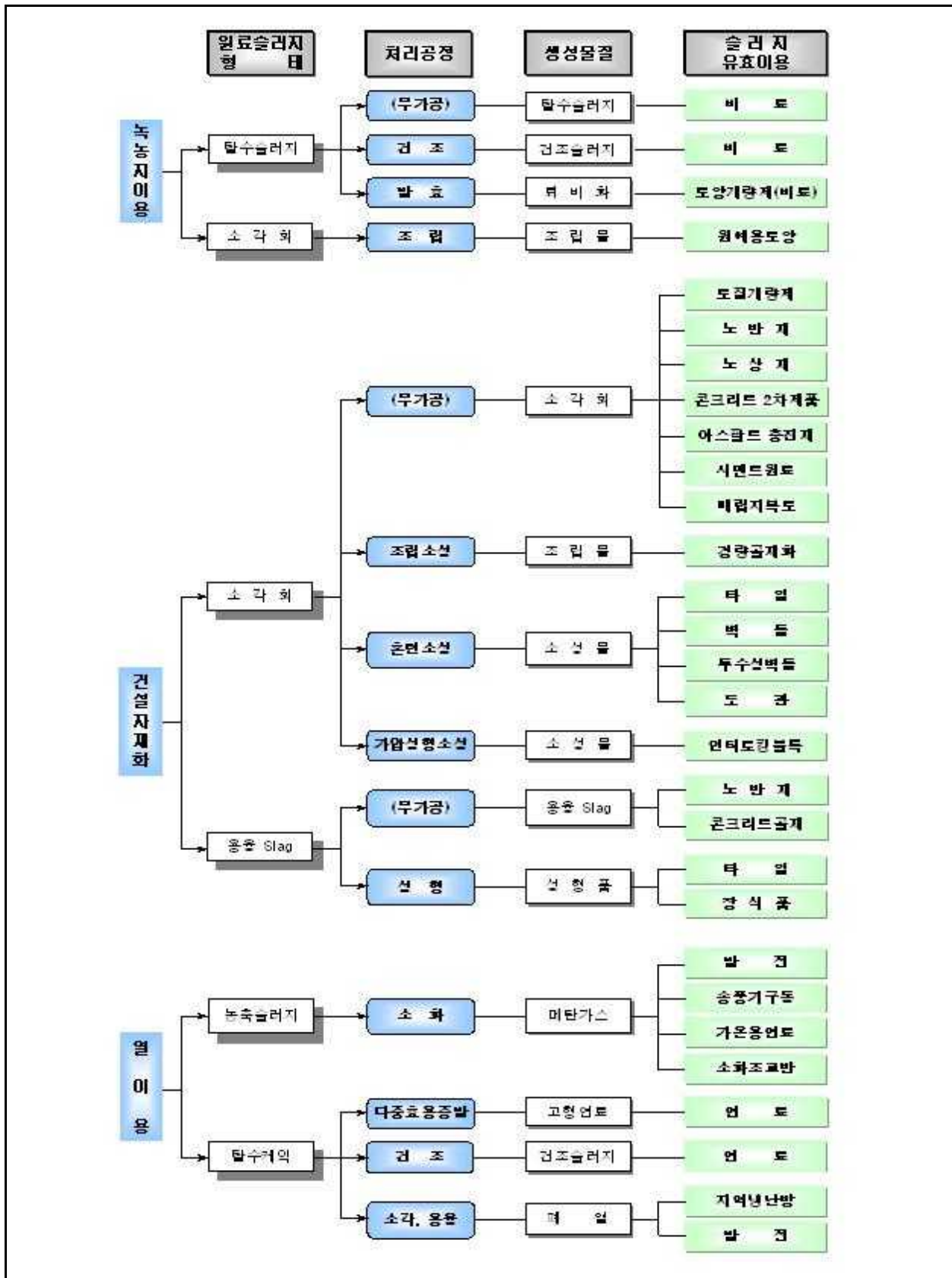
과정에서 발생하는 메탄가스 등의 에너지를 이용하는 방식 및 소각, 용융 등의 산물을 이용하는 방식으로 구별할 수 있는데, 이들 유효이용을 그 형태별로 상세히 분류하면 다음과 같다.

2) 슬러지의 녹농지 이용

- 슬러지를 녹농지에 재이용하는 방안으로는 식물에 영양분의 공급을 목적으로 하는 비료로서의 이용방안과 슬러지에 내재한 성분을 가공하여 흙으로 만드는 토양화 방안이 있다.
- 토양화의 경우도 슬러지를 발효처리 한다는 점에서 넓은 의미의 퇴비화라고 볼 수 있지만 식물에 영양을 제공하는 목적으로 만들어지는 퇴비화(좁은의미, 비료)와는 달리 토지개량제, 인공토양, 복토재 등과 같이 이용범위가 넓은 슬러지 재이용 방안이다.

(가) 비료화

- 대부분 매립에 의존하고 있는 하수슬러지는 2001년부터 직매립이 금지되었으므로 이에 대한 대안의 하나로 퇴비화 처리방법이 대두되고 있다. 현재 하수슬러지를 퇴비화하는 방안에 대한 검토를 하고 있는 단계이며, 농어촌 공공하수처리시설 슬러지의 비료화가 가능해짐으로써(농림부고시, 1998년 7월 개정) 퇴비화에 의한 처리방안이 활발히 이루어질 것으로 예상된다.



<그림 8.3-5> 하수슬러지 유효이용



(나) 토양화

- 토양화란오니류 및 광물질 등에 내재한 성분을 가공하여 흙으로 만드는 방법의 총칭으로 식물에 영양을 제공하는 목적으로 만들어지는 퇴비화와는 구분되며 토지개량제, 발효배양토, 인공토양, 상토 등이 있다.
- 토양화의 경우 하수슬러지를 농업용 퇴비로 사용하는 경우와 달리 사회적인 거부감 및 2차오염발생의 문제가 없기에 일반상품화 되어 시장에서 판매되고 있으며 점점 그 제품이 다양화되고 있는 현실이다.
- 특히, 비료는 농림부가 고시한 공정규격에 적합해야 하는 반면 발효배양토는 건설교통부에서 신기술로 지정되어 비료관리법의 규제를 받지 않으므로 적용범위가 넓은 편이다.

가) 토양화 제품

● 토지개량제

직접 식물에 영양을 제공하는 것이 아니고 산성토양개량 또는 중화효과에 의한 간접적인 비료효과를 나타내는 것으로 현행 비료공정규격에는 생석회 등 석회질비료 7종, 규회석 등 규산질비료 7종으로 구성되어 있다.

● 인공토양

건물옥상의 조경 등에 사용되는 비중이 가벼운 흙, 화분에 사용되는 흙 등 특수목적에 맞게 개발 제조된 흙으로 유기성 폐기물 및 기타광물질, 공공하수처리시설의 발생슬러지 등을 원료로 하여 생산된다.

● 발효배양토

발효배양토는 법적으로 퇴비와 구분되는 물질로서 식생기반을 조성할 수 있도록 도시공공하수처리시설 발생슬러지, 톱밥 등의 원료를 일정비율로 혼합하여 제조된 활성화된 흙을 말하며, 상토와 구분된다. 특히 하수슬러지를 발효처리하여 만들어진 발효배양토로 식물생육실험을 한 결과 유기물 및 질소, 인산, 칼륨 등의 식물 영양학적 가치가 높아 초본식물 뿐 아니라 관목류의 생육에 탁월한 효과가 있는 것으로 알려졌다.

이러한 결과를 볼 때 발효배양토의 농업적 이용가능성은 열려 있으며 이에

관한 다양하고 활발한 연구가 진행중이다.

나) 토양화를 통한 재활용

하수슬러지는 자체가 가진 취약점인 병원성세균, 중금속 등으로 인하여 현행 비료관리법에 저촉되기에 농업용 퇴비로 이용될 수 없으나, 비료관리법의 비 적용 대상인 발효배양토를 이용하면 비료로서의 가치는 다소 떨어지나 식생기반 조성재료의 사용이 가능하다고 판단되는 용도로서 산림용, 조림(조경)용, 도로공사용, 매립지 복토재, 간척지 표토, 폐광복구용 및 원예용 등으로 다양하게 이용될 수 있다.

(다) 건설자재화

하수슬러지를 소각 및 용융 등에 의하여 처리시 건조상태의 분말이나 입자가 무기물 상태로 존재하여 안정성을 확보함은 물론 석회분을 다량 함유함으로써 경화작용을 촉진시키기도 한다. 따라서 소각재나 용융 Slag를 매립장에 매립하는 것보다는 건설자재로 활용하는 면이 슬러지의 재이용 측면에서 유리하나, 지금까지는 가공처리비용의 증가로 경제성 면에서 불리한 것으로 나타나고 있으며 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행중에 있다.

가) 소각재의 이용

- 슬러지 소각시에 생기는 소각재는 소각재의 특성 및 소요목적, 가공방법에 따라 다양하게 이용될 수 있다.
- 소각재는 탈수 등 하수처리과정에 사용된 응집제의 종류에 따라 석회계 소각재와 고분자계 소각재로 대별할 수 있는데, 석회계 소각재는 토질개량제와 노반재료에 고분자계 소각재는 콘크리트 2차제품과 소성 2차제품에 적합한 것으로 알려져 있다.

나) 용융슬래그의 이용

- 하수슬러지의 용융슬래그는 하수슬러지를 1,200 ~ 1,500℃ 정도로 태우면 유기성분은 분해되고 남은 무기물이 액상의 용액상태로 되며, 냉각시 유리화 같은 결정체로 남는 것을 말한다.
- 용융슬래그의 특징은 안정화되어 있어 악취, 비산, 유해물질 용출 등의 문제



가 없으므로 주로 건설자재로 이용되는데, 용융슬래그를 사용하는 경우에는 비중, 조도분포 등의 물리적 성질과 칼슘, 철, 알루미늄 등의 화학성분을 고려하여 활용하는 것이 바람직하다.

다) 하수슬러지 및 분진등 폐기물의 이용

- 하수슬러지를 통상 사용하는 건조, 소각등의 과정을 거치지 않고 제강분진 또는 점토와 배합 및 혼련과정을 거쳐 안정화시킨 후 성형, 건조, 소성공정을 통해 경량골재 및 벽돌, 보도블럭 등 건설자재화하는 방법이다.

(라) 시멘트 자원화

- 시멘트 자원화란 건조(또는 탈수) 슬러지를 시멘트 제조와 품질에 영향을 주지 않는 범위내에서 제조 공정에 투입하여 슬러지의 유·무기물의 각각 시멘트 연료와 원료로 사용되어, 2차적인 환경문제 없이 시멘트 제품화가 가능한 것을 말한다.
- 하수 슬러지의 특성상 수분함량이 많고, 유기물도 약 60%이상으로 다량 함유되어 있으며, 하수처리 특성상 공장 폐수의 합류로 인하여 중금속 등의 유해물질들을 다량 함유할 가능성이 있다. 하수슬러지의 이러한 특성 때문에 재활용을 위해서는 슬러지의 감량화와 아울러 유기물의 부패와 냄새제거에 대한 대책과 환경적으로 안정적인 재활용 기술이 요구된다 할 수 있겠다.
- 시멘트 제조과정 및 재료학적인 관점에서 볼 때, 1,450℃이상의 높은 온도와 긴 체류시간 및 유해물질의 분해 & 고정화 등으로 인해 하수오니와 같은 폐기물을 안정적으로 처리하고 재활용 하는데 유리한 특징이 있다.

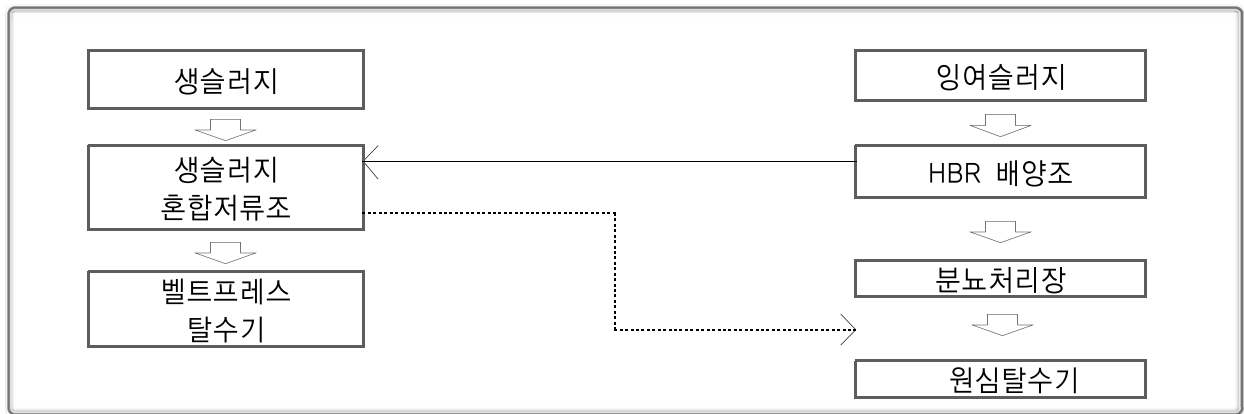
8.3.3 슬러지 최종처분방법 선정

- 청주시의 경우 청주 공공 하수처리시설(직영)을 제외한 나머지 공공 하수처리시설(위탁)은 기계적 탈수 처리후, 전량 슬러지를 민간 위탁 처리하고 있음.
- 청주 공공하수처리시설의 경우, 기존 4개의 소화조 중, 2개는 탈취설비 배양조 및 연계 처리수 저류조로 활용하고 있으며, 나머지 2개를 신재생 에너지화 및 하수 슬러지 감량화 사업에 활용하여, 감량화 시설(시설 용량이 240m³/일)을 설치하였음.

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획

- ※ 처리대상 : 탈수슬러지(생 슬러지+잉여 슬러지+분뇨 슬러지)
- ※ 감량화에 따른 부산물 사용처 : (고온)소화조 가온 및 충청에너지 서비스에 CH₄ 판매
- ※ 처리위치 : 탈수 → 감량화 시설 → 소각

- 청주 공공하수처리시설의 하수찌꺼기 처리시설은 생 슬러지는 중력농축을 통해 벨트프레스 탈수를 하고 있고, 잉여슬러지는 호기성 저류 후 원심탈수기를 통해 부피를 감소시켜 탈수Cake를 반출시키고 있다.



<그림 8.3-6> 슬러지 처리 계통도

<표 8.3-20> 청주 공공하수처리시설 하수찌꺼기 처리시설 현황

구 분	시설물 제원(가온)		비고
	1단계(150,000㎡/일)	2단계(130,000㎡/일)	
슬러지 혼합조	원 형 Ø17.0m×H3.0m×2조	원 형 Ø16.0m×H3.0m×2조	
탈취설비 배양조	Ø20.5m×H5.0m×2조		소화조 개조 활용
연계처리수 저류조	Ø20.5m×H5.0m×2조		
탈수기	생 슬러지(2차 탈수) : Belt Filter Press 3.0m×6대(1대 예비) 잉여 슬러지(1차 탈수) : 원심탈수기 50m³/hr×6대		
소각	제1기 90톤/일(유동상식), 제2기 90톤/일(유동상식)		
건조	제1기 126톤/일(패들식), 제2기 135톤/일(패들식)		



<표 8.3-21> 슬러지 처리·처분 계획

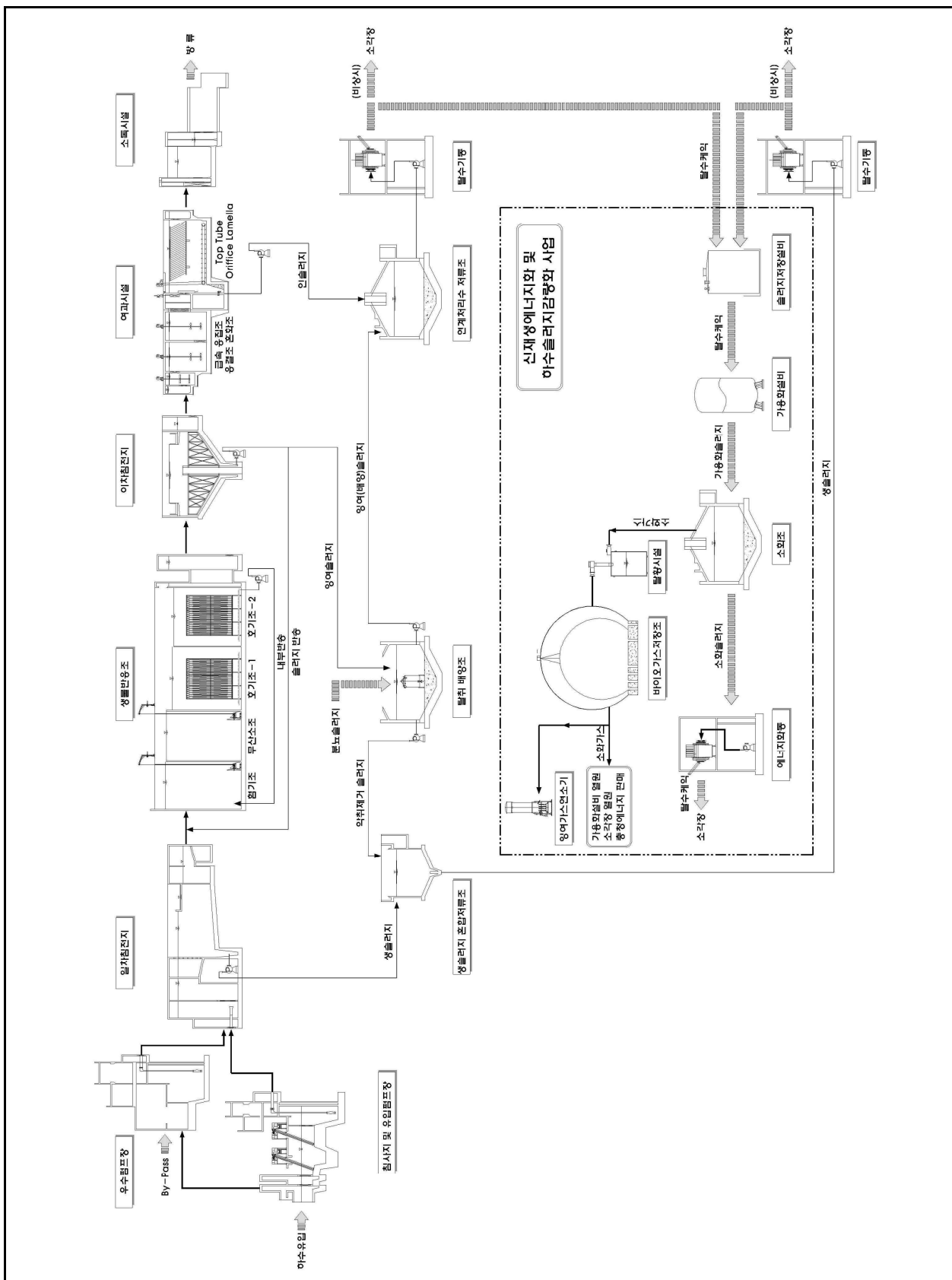
구 분	단계별 슬러지 발생량(톤/일)					처리방안	
	2014년	2020년	2025년	2030년	2035년	기존	계획
계	276.21	285.19	299.03	309.34	317.95		
청주	266.67	270.00	283.07	292.78	300.91	재활용(민간위탁) +소각	재활용(민간위탁) 소각+감량화
강내	3.21	6.27	6.41	6.61	6.64	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
내수	3.22	4.24	4.60	4.90	5.26	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
문의,미천	0.35	0.29	0.30	0.29	0.29	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
미원	0.24	0.19	0.19	0.19	0.19	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
오송	0.63	1.37	1.42	1.45	1.46	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
오창	1.8	2.74	2.97	3.05	3.12	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)
품곡	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	재활용(민간위탁)	재활용(민간위탁)

<표 8.3-22> 청주 공공 하수처리시설(감량화 사업에 따른) 슬러지 처리·처분 계획

구 분	2014년	2020년	2025년	2030년	2035년	비고
유입하수량(㎥/일)	272,784	284,211	297,971	308,185	316,749	
하수슬러지 발생량 (톤/일)	266.67	270.00	283.07	292.78	300.91	
감량화 시설(㎥/일)	-	240	240	240	240	감량화율 66.4%
하수 슬러지 처분량 (톤/일)	-	110.64	123.71	133.42	141.55	

주) 1. 총인 처리시설에서 발생한 슬러지는 1차 침전지에 반송하여 1차 탈수로 보내서 처리함.

제8장 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분계획



<그림 8.3-7> 슬러지 감량화 처리 계통도