

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

5.1 기초조사

5.1.1 하수찌꺼기 처리현황 및 문제점

가. 하수찌꺼기(슬러지) 처리현황

천안시는 현재 천안 공공하수처리시설(220,000m³/일, 1단계 : 70,000m³/일, 2단계 : 80,000m³/일, 3단계 : 30,000m³/일, 4단계 : 40,000m³/일), 성환 공공하수처리시설(30,000m³/일, 1단계 : 24,000m³/일, 2단계 : 6,000m³/일, 3단계 : 15,000m³/일(공사 중)), 병천 공공하수처리시설(18,000m³/일, 1단계 : 9,500m³/일, 2단계 : 8,500m³/일), 소규모 공공하수처리시설 19개소에서 발생한 하수찌꺼기는 각각 농축 및 탈수시설을 거쳐 병천 공공하수처리시설 내에 위치한 하수찌꺼기 자원화시설(150m³/일)에서 일부 처리(처리 가능량)하고 잔여량은 민간위탁처리(비료화 : 부숙화) 중에 있다.

1) 하수찌꺼기(슬러지) 처리시설현황

가) 하수찌꺼기(슬러지) 처리현황

[표 5.1-1] 천안시 하수찌꺼기(슬러지) 처리현황

구 분		하수찌꺼기 처리방법	최종처분방법
공공 하수 처리 시설	천안	농축 → 탈수 → 하수찌꺼기 자원화시설 이송 처리 또는 민간위탁	소각 및 탄화, 민간위탁(비료화 : 부숙화)
	성환	농축 → 탈수 → 하수찌꺼기 자원화시설 이송 처리 또는 민간위탁	소각 및 탄화, 민간위탁(비료화 : 부숙화)
	병천	농축 → 탈수 → 하수찌꺼기 자원화시설 처리	소각 및 탄화

나) 하수찌꺼기(슬러지)처리시설 현황

[표 5.1-2] 천안시 하수찌꺼기(슬러지) 시설현황

구 분	시설 명		시 설 개 요				비 고
			1단계	2단계	3단계	4단계	
천안 공공 하수 처리 시설	농축조	형식 규격 수량	원형중력 농축 Φ11.5m ×3.0mH 2지	원심분리식 농축 30~50m³/hr ×55kW 2대	—	—	
	찌꺼기 저류조	규격 수량	Φ15.0m ×10.0mH 4지	Φ16.0m ×8.5mH 4지	10m×10m ×4.0mH 1지	—	
	탈수 시설	형식 규격 수량	벨트프레스 탈수 160kgDS/m·hr ×3.0m 3대(1대 예비)	원심기계식 탈수 16~55m³/hr ×11kW 3대	원심기계식 탈수 25m³/hr ×55kW 2대	원심기계식 탈수 40m³/hr ×75kW 2대	
성환 공공 하수 처리 시설	농축기	형식 규격 수량	원심분리형 농축 30~35m³/hr ×45kW 2대	—	—	—	
	찌꺼기 저류조	규격 수량	—	7.6m×6.8m ×5.0mH 2지	—	—	
	탈수 시설	형식 규격 수량	벨트프레스 탈수 150kgDS/m·hr ×2.5m 2대	원심기계식 탈수 10m³/hr ×18.5kW 2대	—	—	
병천 공공 하수 처리 시설	찌꺼기 개량조	규격 수량	5.4m×5.0m ×5.0mH 2지	3.6m×8.3m ×4.0mH 1지	—	—	
	찌꺼기 저류조	규격 수량	—	4.6m×8.3m ×4.0mH 2지	—	—	
	탈수 시설	형식 규격 수량	다중판스크류 프레스 10.5~12kgDS/hr 6본(1대 예비)	원심기계식 탈수 15m³/hr ×30kW 2대	—	—	

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

다) 천안시 하수찌꺼기 자원화시설 현황

- 위치 : 병천 공공하수처리시설 부지 내
- 시설용량 : 150톤/일(1일 24시간 연속운전, 연간 가동일 330일)
- 방식 : 건조 및 탄화
- 가동년월 : 2011년 06월



[그림 5.1-1] 병천 공공하수처리시설 내 하수찌꺼기 자원화시설 설치 현황

2) 하수찌꺼기(슬러지) 발생현황

천안시의 최근 5년간 하수찌꺼기 일평균 발생량은 170ton/일 이고, 하수찌꺼기 평균 발생량 원단위는 0.825kg/m³로 조사되었다.

[표 5.1-3] 하수찌꺼기 발생현황 및 처분현황

구 분		하 수 처리량 (㎥/일)	발생량 및 처분량(ton/일)							비고
			계	재활용		육상매립	소각	해양투기	미처분량	
				연료화 (탄화)	비료화 (부숙화)					
천 안 공공하수 처리시설	2015년	162,370	133	102	30	—	—	—	—	
	2016년	168,889	140	104	36	—	—	—	—	
	2017년	175,027	149	113	37	—	—	—	—	
	2018년	174,724	148	107	40	—	—	—	—	
	2019년	171,760	148	107	41	—	—	—	—	
	평 균	170,554	144	107	37	—	—	—	—	
성 환 공공하수 처리시설	2015년	19,214	13	13	—	—	—	—	—	
	2016년	20,791	13	13	—	—	—	—	—	
	2017년	23,222	17	—	17	—	—	—	—	
	2018년	29,363	20	—	20	—	—	—	—	
	2019년	25,825	23	—	23	—	—	—	—	
	평 균	23,683	17	5	12	—	—	—	—	
병 천 공공하수 처리시설	2015년	12,660	9	9	—	—	—	—	—	
	2016년	10,887	9	9	—	—	—	—	—	
	2017년	11,761	9	9	—	—	—	—	—	
	2018년	12,000	10	10	—	—	—	—	—	
	2019년	11,241	10	10	—	—	—	—	—	
	평 균	11,710	10	10	—	—	—	—	—	
합 계	2015년	194,244	154	124	30	—	—	—	—	
	2016년	200,567	163	127	36	—	—	—	—	
	2017년	210,010	176	122	54	—	—	—	—	
	2018년	216,088	177	117	60	—	—	—	—	
	2019년	208,827	182	117	65	—	—	—	—	
	평 균	205,947	170	121	49	—	—	—	—	

나. 설계 대비 발생량 비율

다음은 기존 공공하수처리시설 설계 시 시설용량 및 슬러지량 대비 운영현황을 비교한 자료로서 처리시설별로 시설용량 대비 유입유량이 60%~80%로 운영 중이며, 슬러지 발생량은 병천 공공하수처리시설은 유입유량과 유사한 비율로 검토되었으나 천안, 성환 공공하수처리시설의 경우 시설용량 대비 유입유량의 비율과 슬러지 발생량 비율의 차이가 다소 큰 것으로 검토되었다.

[표 5.1-4] 설계 대비 발생량 비율

구 분	유입유량(㎥/일) - 일평균			찌꺼기 발생량(톤/일)			비 고
	설 계	운 영	대 비	설 계	운 영	대 비	
천 안	220,000	171,760	78%	90.2	148	164%	
성 환	30,000	25,825	86%	22.7	23	101%	
병 천	18,000	11,241	62%	14.9	10	67%	

자료) 천안시 내부자료(운영자료 2019년 기준)

다. 문제점 및 개선방안

하수찌꺼기 처리계통에 대한 문제점 및 개선방안은 기 실시된 처리시설별 기술진단 결과 및 현장조사 검토를 통하여 문제점 및 개선방안을 검토하였으며 자세한 사항은 하수처리시설 개량방안에 수록하였다.

[표 5.1-5] 하수찌꺼기 처리계통 문제점 및 개선방안

하수처리시설	문제점 및 원인		개선 방안	비 고
천 안	1,2단계 슬러지 이송펌프	소화조(슬러지저류조)에서 펌프 이송이 아닌 자연유하 방식으로 슬러지가 유입됨으로써 슬러지 공급이 원활하지 못함	슬러지 이송펌프 설치	
성 환	슬러지 농축	탈수기에 공급되는 잡용수의 원활한 공급부족으로 별도의 펌프를 추가하여 설치 · 운영 중이므로 동력비용 낭비 및 유지관리에 어려움이 있음	탈수기에 여포세척수가 직접적으로 적절히 공급될 수 있도록 펌프 설치	
병 천	특이사항 없음		-	

라. 하수찌꺼기 감량화 계획

현재 천안시는 천안 하수처리장 시설현대화 민간투자사업 하수찌꺼기 감량화를 계획 중에 있으며 그 내용은 다음과 같다.

1) 사업개요

[표 5.1-6] 사업개요

구 분	사업내용
사 업 명	• 천안 하수처리장 시설현대화 민간투자사업(하수찌꺼기 감량화)
사업 위치	• 천안시 천안공공하수처리시설 내
사업 기간	• 착공일로부터 61개월 (시운전 포함)
처리장 내 시설 구성	- 하수처리시설 1,2,5단계 : PRO-MBR, Q=173,000m³/일 3,4단계 : HANT, Q=70,000m³/일 - 총인처리시설 1,2,5단계 : PRO-MBR 자체 보증(별도 총인처리시설 미설치) 3,4단계 : Q=67,000m³/일(별도 총인처리시설 설치) - 소화조 : 중온소화, Q=243,000m³/일 - 분뇨처리시설 : 협잡물 처리기(전처리 후 소화조 투입), Q=15.6m³/일 - 슬러지 처리방식 : 농축 → 가용화 → 소화 → 탈수 - 농축 : 원심농축(잉여슬러지) - 탈수 : 고압필터프레스 - 최종처분 : 탄화시설(병천 공공하수처리시설 내) 이송 처분

2) 하수찌꺼기 감량화방안 검토

가) 가용화 공법

하수찌꺼기 생분해 향상을 통한 감량화 방안으로 가용화공법을 검토하였으며 가용화 공법중 초음파, 수리학적 캐비테이션, 열가용화공법에 대해 비교·검토하여 감량화 효율이 우수한 가용화 공법을 선정하였음.

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

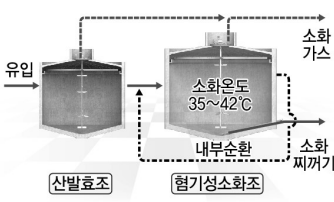
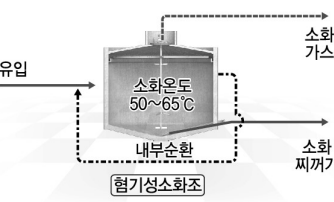
[표 5.1-7] 하수찌꺼기 가용화공법

구 분	초음파	수리학적 캐비테이션	열가용화
개요도	 (예시) 초음파모듈	 (예시) 캐비테이션 발생기	 (예시) 예열기 열가용화반응기 플래쉬탱크
장·단점	•설비단순, 에너지소모 적음 •비접촉식, 반영구적 유닛 •운전제어 간단	•설비단순, 에너지소모 다소 많음 •고압펌프 운영으로 소음·진동 심함 •운전제어 간단	•설비복잡, 높은 에너지 필요 •고농도 T-N, T-P 반류수 발생 •열가용화후 다량의 가수 필요
운영 TS	6%이하	5%이하	16~20%
감량율	30~40%	30%이하	45~55%
선정사유	•설비가 단순하고 에너지 소모가 적으며 반영구적인 초음파식으로 선정		

나) 혐기성 소화방식

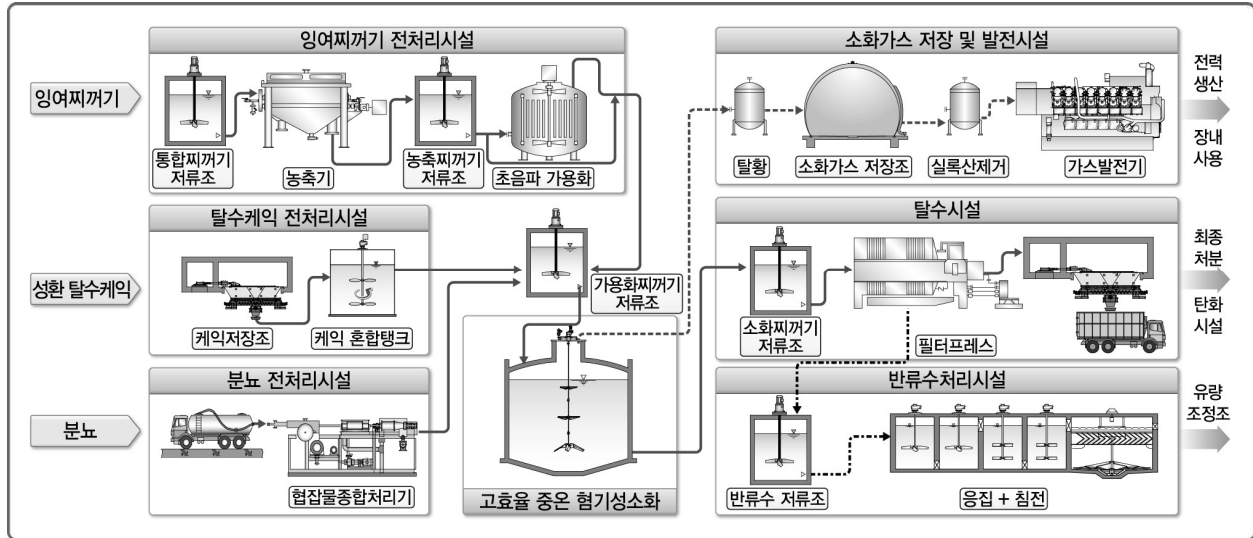
고형물 감량 및 에너지 효율성을 고려하여 혐기성 소화공법을 적용하였으며 국내 적용 사례 및 유지관리를 고려하여 소화방식을 선정하였음.

[표 5.1-8] 혐기성 소화방식

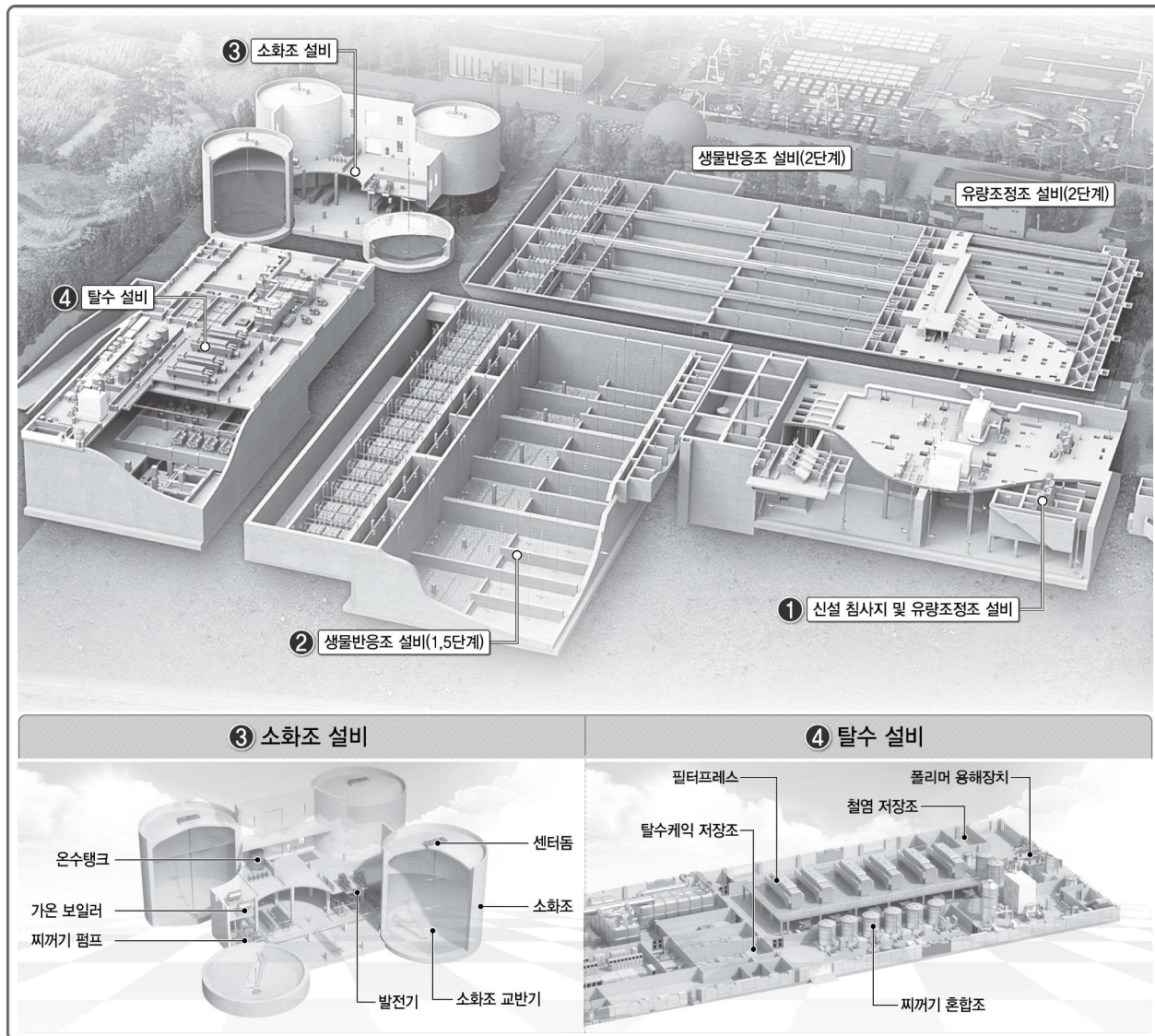
구 분	고효율 중온 단상소화	중온 이상소화	고온 단상소화
개요도	 유입, 소화온도 35~42°C, 내부순환, 소화가스, 소화찌꺼기, 혐기성소화조	 유입, 소화온도 35~42°C, 내부순환, 소화가스, 소화찌꺼기, 산발효조, 혐기성소화조	 유입, 소화온도 50~65°C, 내부순환, 소화가스, 소화찌꺼기, 혐기성소화조
장·단점	•단일종류 찌꺼기 소화시 유리 •설비 간단, 유지관리 용이 •중온균의 자유암모니아 내성 우수	•복합 유입원(음식물) 소화시 유리 •산발효조 체류시간 관리 필요 •전처리 도입시 산발효 불필요	•가수분해 및 유기물 분해 우수 •고온균의 주기적 상태관리 필요 •고온균의 자유암모니아 내성 낮음
소화온도	•35~42°C→가온 에너지 적음	•35~42°C→가온 에너지 적음	•50~65°C→가온 에너지 큼
선정사유	•설비가 단순하고 유지관리가 용이하며 가온 에너지 소모가 적은 고효율 중온 단상소화 선정		

다) 하수찌꺼기 감량화 시설계획

천안하수처리장 발생찌꺼기 및 성환하수처리장 반입 찌꺼기의 안정적 처리가 가능한 찌꺼기 처리공정 구성하였음. 또한 시설의 지하화를 통하여 주변 악취 확산을 방지하였음.



[그림 5.1-2] 하수찌꺼기 감량화 처리계통도



[그림 5.1-3] 하수찌꺼기 감량화 시설배치계획

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

3) 주요 사업내용

[표 5.1-9] 주요 사업내용

구 분	세부 사업내용
총사업비(백만원)	• 28,613(국고지원 비대상 사업 포함 : 58,073)
사업기간	• 2016년 ~ 2025년
하수찌꺼기 농축시설	• 기계식 : 원심 농축
소화조 준설 여부	• 신설(향후 운영 중 준설)
소화조 교반시설	• 기계식
소화조 가온방식	• 간접 가온
하수찌꺼기 가용화 설비	• 초음파 가용화
소화가스 전처리시설	• 수분제거 설비, 탈황설비 및 실록산 제거 설비 등
소화가스 활용	• 소화조 가온, 발전 등
소화조 타입	• 중온소화
기타 개선내용	• 성환 하수처리장 탈수케익 반입 후 소화조 투입 (반입량 : 32톤/일, 하수도정비기본계획(2015년) 상 기준)

3) 사업의 필요성

- 기존 소화조시설 시설노후화로 미 가동 상태
 - ⇒ 찌꺼기 저류조 및 분뇨처리시설(RBS공법)로 개량 사용 중
- 찌꺼기 처리효율 감소 및 찌꺼기 발생 과다
 - ⇒ 유사용량 처리장 대비 찌꺼기 발생량 180% ~ 300% 초과 발생
- 현 가동 중인 하수찌꺼기 처분시설(병천 하수처리장 내) 용량부족으로 장래 증설 필요
 - ⇒ 장래 찌꺼기 처분시설 35톤/일 증설계획 수립
 - ※ 천안시 하수도정비 기본계획(2015.09) 상 처분시설 계획
- 천안시 하수도정비기본계획 부분변경(2018.12) 상 에너지 자립화 반영

4) 개선효과

[표 5.1-10] 하수찌꺼기 감량화 사업에 따른 개선효과

구 분		개선 전	개선 후
하수 찌꺼기 농축시설	시설 방식	중력식(생), 기계식(잉여)	기계식
	생슬러지 농축량(톤/일)	—	—
	생슬러지 농축효율(%)	—	—
	잉여슬러지 농축량(톤/일)	—	587톤/일
	잉여슬러지 농축효율(%)	—	94.0%
소화조 교반방식		가스교반방식(미운전)	기계식
소화조 가온방식		간접가온(미운전)	간접가온
소화조 유효용량(m³)		13,900m³(미사용) ¹⁾	17,607m³
생슬러지 및 잉여슬러지의 VS 함량(%)		—	67.0%
소화가스	발생량(m³/일)	미운영	9,175m³/일
	소화조 내 이용량(m³/일)	미운영	—
	발생률(m³/kgVS)	미운영	0.925m³/kgVS
	메탄함량(%)	미운영	60%
소화효율(%)		미운영	33%
탈수케익발생량(톤/일)		198톤/일 ²⁾	84.8톤/일
슬러지 감량(톤/일)		—	113톤/일
슬러지 감량률(%)		—	57.1%
전력사용량(kWh/년)		5,572,446kWh/년	5,260,672kWh/년
발전량(kWh/년)		—	3,756,274kWh/년
보조연료량(ℓ /년 또는 m³/년)		—	—
에너지 자립률(%)		0%	8.3%

주1) 1단계 : 분뇨처리시설로 사용, 2단계 : 농축저류조로 사용

주2) 하수도정비 기본계획 : 2030년 기준, 천안+성환 발생량

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

4) 투자비 회수기간

회수기간에 따라 하수찌꺼기 감량화 사업 선정을 위한 우선순위 부여 예정

[표 5.1-11] 시설 개요

구 분	개선 전	개선 후	절감액
하수처리장 시설용량(천톤/일)	220천톤/일	243천톤/일 (증설 23천톤/일)	-
소화조 시설용량(m³)	미운영	17,607m³	-

[표 5.1-12] 슬러지 처리비 등 비용절감 효과

구 분		개선 전	개선 후	비 고(증·감)
연 간 절감액 (천 원)	슬러지 케이크 발생량	72,270 ¹⁾	30,952	- 41,318
	슬러지 처리비용 ²⁾	7,969,936	3,413,386	- 4,556,550
	탈수약품 사용비용	854,505	1,226,115	371,610
	소화가스 가온비용	-	-	폐열활용
	소화조 연료비용	-	-	폐열활용
	잉여가스 발전비용	-	- 319,283	- 319,283
	잉여가스 대체활용 (LNG, LPG 대체 등)	-	-	-
	총 전력비용	473,658	447,157	- 26,501
	기타 탄화시설 건설비 ³⁾	9,860,000	-	- 9,860,000
이산화탄소 배출 저감량(TOE)				

주1) 하수도정비 기본계획 2030년 기준 천안 및 성환 발생량 기준 : 198톤 × 365일

주2) 최근 2개년 천안시 탄화시설 톤당 평균처리단가 적용 : 110,280원

주3) 하수도정비 기본계획 상의 건설비 적용

주4) 발전비용 및 전력비용 적용 단가 : 85원/kW

[표 5.1-13] 투자비 회수 예정기간

(단위 : 백만원)

총사업비			년간 절감비용						비고 (회수기간) ①/②
소계①	국고	지방비	소계②	슬러지 처리비	탈수 약품비	전력비	소화가스 활용	기타	
28,240	19,768	4,236	14,391	4,557	-372	27	319	9,860	1.96 (6.23)

주1) 하수찌꺼기 감량화시설 전체 사업비 중 국고지원 대상시설에 대한 사업비만 고려

(전체 사업비 : 57,577백만원, 국고지원 대상시설 사업비 : 28,240백만원)

주2) 회수기간 6.23년 : 기타 절감비용을 제외하였을 경우임.

5.1.2 하수찌꺼기(슬러지)의 발생특성 및 성상

가. 개요

하수처리과정에서 발생하는 슬러지를 발생공정별로 조사·분석하여 하수슬러지의 처리 및 처분에 가장 적합한 방법을 선정하기 위함으로 수처리 공정에서 발생하는 슬러지와 1차 및 2차 슬러지의 성상에 대한 국내·외 자료를 분석한 결과는 다음과 같다.

[표 5.1-14] 수처리 공정에서의 슬러지 발생원

구 분	슬러지 형태	비 고
스 크 린	협잡물	협잡물은 바스크린의 기계적 혹은 인위적인 청소로 제거된다. 소형 플랜트에서는 스크린 찌꺼기를 흔히 분쇄하여 폐수와 함께 처리한다.
그리트제거	그리트와 스크	스크 제거시설은 그리트 제거시설에서 생략되기도 한다.
1차 침전	1차 슬러지와 스크	슬러지와 스크의 양은 하수관거의 특성과 집수계통 내로 유입되는 하수의 성상에 따라 다르다.
생물학적 처리	부유 고형물질	부유물질(SS)은 BOD가 생물학적으로 전환됨으로서 생성된다. 생물학적 처리로부터 폐기되는 슬러지의 농도를 높이는 여러 가지 농축방법이 요구된다.
2차 침전	2차 슬러지	미국 환경청(EPA)에서는 2차 침전조에 스크제거설비를 요구하고 있다.
슬 러 지 가공시설	슬러지 퇴비화 및 재활용	최종 생성물의 특성은 처리된 슬러지의 특성과 슬러지 처리방법 및 운전의 형태에 따라 다르다. 최종 부산물의 처분에 대한 규정이 시급히 요구되고 있다.

자료) Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse, George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, Metcalf & Eddy inc.1993.

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.1-15] 1차 및 2차 슬러지의 성상

구 분	범 위		비 고
	1차 슬러지	2차 슬러지	
pH	5.0~8.0 (6)	6.5~8.0	2차 슬러지는 pH가 변화할 수 있음.
열량, Btu/lb	6,800~10,000	6,540	VS 함량이 증가하면 증대됨
건조슬러지 비중	1.3~1.8 (1.4)	1.09~1.26 (1.08)	Silt나 모래가 함유되면 증가함
젖은슬러지 비중	1.01~1.03 (1.02)	$1.0+7 \times 10^{-8} \times C$	$C = \text{SS 농도, mg/L}$
TS, %	1.5~5.6	0.83~1.16	하수만 처리시
BOD / SS	0.5~1.1	—	
COD / SS	1.2~1.6	1.4~1.9(VSS base)	1차 슬러지 국내값 : 0.7~1.3
유기 N / VSS	0.05~0.06	—	
VS 함량, %	64~93 (77) 60~80 (65)	—	슬러지 반송이 없는 경우의 값 모래 등을 제거시키지 않은 경우의 값
N (% TS)	1.5~4.0 (2.5)	2.4~6.7 (3.4)	1차 슬러지 국내 평균 : 1.6
P (% TS)	0.4~1.2 (0.7)	1.2~4.9 (0.8)	1차 슬러지 국내 평균 : 0.9
K (K_2O_5 % TS)	0~1 (0.4)	0.5~0.7	

자료) 폐기물 처리와 자원화, 최의소, 청문각, 1985

주) 괄호안은 대표치임.

나. 처리하수(m^3) 당 하수찌꺼기 발생량 분석

처리하수(m^3) 당 하수찌꺼기 발생량을 분석한 결과는 다음 표와 같다.

[표 5.1-16] 처리하수(m^3) 당 하수찌꺼기 발생량

구 분			평균값	2015년	2016년	2017년	2018년	비고
천안	유입하수량($\text{m}^3/\text{일}$)		170,242	162,370	168,865	175,023	174,710	
	탈수케익 발생량	년간(톤/년)	51,970	48,393	51,147	54,492	53,850	
		일간(톤/일)	143	133	140	149	148	
	하수 1m^3 당 하수찌꺼기 발생량(kg/m^3)		0.837	0.819	0.829	0.851	0.847	
성환	유입하수량($\text{m}^3/\text{일}$)		23,149	19,214	20,787	23,222	29,374	
	탈수케익 발생량	년간(톤/년)	5,736	4,693	4,904	6,203	7,145	
		일간(톤/일)	16	13	13	17	20	
	하수 1m^3 당 하수찌꺼기 발생량(kg/m^3)		0.679	0.677	0.625	0.732	0.681	
병천	유입하수량($\text{m}^3/\text{일}$)		11,552	11,560	10,887	11,761	11,998	
	탈수케익 발생량	년간(톤/년)	3,429	3,301	3,291	3,452	3,673	
		일간(톤/일)	9	9	9	9	10	
	하수 1m^3 당 하수찌꺼기 발생량(kg/m^3)		0.801	0.779	0.827	0.765	0.833	
합계	유입하수량($\text{m}^3/\text{일}$)		204,943	193,144	200,539	210,006	216,082	
	탈수케익 발생량	년간(톤/년)	61,136	56,386	59,342	64,147	64,668	
		일간(톤/일)	168	155	162	175	178	
	하수 1m^3 당 하수찌꺼기 발생량(kg/m^3)		0.817	0.803	0.808	0.833	0.824	

자료) 천안시 내부자료(하수처리량 및 찌꺼기 발생량 : 2015년 ~ 2018년)

5.1.3 계획 하수찌꺼기(슬러지)량

본 계획의 각 하수처리시설 별 계획 하수찌꺼기(슬러지)량은 계획 1일 최대하수량을 기준으로 하수중의 SS 및 BOD농도, 제거율 및 슬러지 함수율을 고려하여 산정한 결과와 실제 운영 중인 하수 1m³ 처리 시 슬러지 발생량의 전환율로 산정한 결과를 비교하여 적정 계획 하수찌꺼기(슬러지)량을 산정하였다.

가. 공공하수처리시설 운영현황에 의한 발생량 산정

1) 처리시설별 발생원단위 산정

각 하수처리시설의 운영현황 기준으로 유입하수량 대비 슬러지 발생량을 조사하여 하수 처리량 기준 발생원단위를 산정한 결과, 천안 공공하수처리시설 0.837kg/m³, 성환 공공하수처리시설은 0.679kg/m³, 병천 공공하수처리시설은 0.801kg/m³로 나타났다.

[표 5.1-17] 처리시설별 하수처리량 기준 발생원단위 산정

구 분	시설용량 (m³/일)	하수처리량 (m³/일)	찌꺼기 발생량		발생량 원단위 (kg/m³)	비 고
			(톤/년)	(톤/일)		
천 안	220,000	170,242	51,970	143	0.837	
성 환	30,000	23,149	5,736	16	0.679	
병 천	18,000	11,552	3,429	9	0.801	
합 계	268,000	204,943	61,163	168	0.817	

자료) 천안시 내부자료(하수처리량 및 찌꺼기 발생량 : 2015년 ~ 2018년 평균값 적용)

2) 운영현황에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 추정

운영자료를 이용하여 하수처리량 기준 발생원단위 및 처리장별 단계별 증설계획을 고려하여 단계별 하수슬러지 발생량을 예측한 결과는 다음과 같다.

[표 5.1-18] 운영자료에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 예측

구 분		단 위	1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)
천 안	일평균 하수량	m³/일	215,280	219,154	233,021	240,736
	발생원단위	kg/하수m³	0.837	0.837	0.837	0.837
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	180	183	195	201
성 환	일평균 하수량	m³/일	41,873	53,931	62,299	62,844
	발생원단위	kg/하수m³	0.679	0.679	0.679	0.679
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	28	37	42	43
병 천	일평균 하수량	m³/일	19,954	20,281	20,105	19,947
	발생원단위	kg/하수m³	0.801	0.801	0.801	0.801
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	16	16	16	16
합 계 (발생량)		톤/일	224	236	253	260

나. 산술식에 의한 산정

1) 산정기준

산술식에 의한 계획 슬러지량 산정은 「하수도 시설기준(환경부, 2011년)」 상의 산술식을 적용하였으며 다음식과 같다.

- 계획하수찌꺼기량(톤/일) = 계획1일 최대오수량($\text{m}^3/\text{일}$) $\times$ 계획유입 SS농도(mg/L)
 $\times 1/10-8 \times$ 수처리시설에서의 종합 SS제거율(%)
 $\times m$ (제거 SS량당 슬러지발생률) $\times (100 \div (100 - \text{함수율}(\%)))$
- 수처리시설에서의 종합 SS제거율(%) = (계획유입SS-방류SS) $\div$ 계획유입SS 수처리방식 별 제거 SS량 당 슬러지 발생율은 다음 표와 같다.

[표 5.1-19] 수처리방식 별 제거 SS량 당 슬러지 발생율과 슬러지 농도 (단위 : %)

수처리방식	발생율	제거SS량 당 슬러지 발생율	슬러지 농도		
			일차침전지	잉여슬러지	혼합슬러지
표준활성슬러지법		100	2 ~ 4	0.5 ~ 1.0	1.0
회분식활성슬러지법(고부하)		100	—	1.0	—
회분식활성슬러지법(저부하)		75	—	0.5 ~ 1.0	—
산화구법		75	—	0.5 ~ 1.0	—
장기포기법		75	—	0.5 ~ 1.0	—
호기성여상법		100	—	—	1.0
접촉산화법		93	2	0.8	1.0
회전생물접촉법		93	2	0.8	1.0

자료) 하수도시설기준(2011년, 환경부)

일반적으로 슬러지 처리시설의 설계 시에는 계획발생 슬러지량에서 순환 슬러지량을 더한 계획시설 슬러지량을 설정하며, 계획시설 슬러지량을 산정하기 위한 고�형물 회수율과 기계탈수를 통한 탈수슬러지의 함수율은 다음을 참고한다.

[표 5.1-20] 각 슬러지 처리시설의 고�형물 회수율 (단위 : %)

구 분	회수율	비 고
중력농축시설	80~90	
기계농축시설	85~95	
슬러지 탈수시설	90 전후	

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.1-21] 탈수슬러지 함유율

(단위 : %)

구 분	중력식농축혼합슬러지	기계식농축혼합슬러지	협기성소화슬러지
원심탈수기	80 ~ 83	80 ~ 83	82 ~ 84
벨트프레스 탈수기	80 ~ 83	79 ~ 82	81 ~ 83

다음에 각 처리시설별 산술식 계산 시 적용인자 및 산술식에 따른 단계별 계획슬러지량을 나타내었다.

- 계획유입 SS농도 : 계획유입 SS수질 적용
- 방류수질 SS농도 : 법정방류수질 기준

[표 5.1-22] 산술식 계산 시 적용인자

구 분	제거SS량 당 슬러지 발생율		계획유입 SS농도(mg/L)	목표 SS 방류농도	탈수슬러지 함 수 율
	산화구	기타			
공공하수처리시설	75%	100%	처리시설별 계획 SS수질	10mg/L	80%

2) 산술식에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 예측 결과

[표 5.1-23] 산술식에 의한 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 예측 결과

(단위 : 톤/일)

구 분	2020년 (1단계)	2025년 (2단계)	2030년 (3단계)	2035년 (4단계)	비 고
천 안	219	230	247	255	
성 환	60	76	89	90	
병 천	19	20	20	20	
계	297	326	356	364	

다. 공법별 하수찌꺼기(슬러지) 발생율에 의한 산정

「2014년 공공하수도운영결과 조사표(환경부)」 상에서 하수처리공법별로 일평균 하수처리량과 슬러지발생량으로 집계한 하수찌꺼기(슬러지)발생량 비율은 다음과 같다.

[표 5.1-24] 하수처리 공법별 하수찌꺼기(슬러지) 발생율

(단위 : %)

공법별	평균	표준활성	장기폭기	회전원판	산화구	생물막	고도처리공법			
							A2O	SBR	막	기타
발생율	0.0573	0.0409	0.0838	0.0320	0.0628	0.0636	0.0526	0.0681	0.0833	0.0772

자료) 2014년 공공하수도운영결과 조사표 (2015. 10, 환경부)

앞서 산정한 공법별 하수찌꺼기(슬러지)발생량 비율을 적용하여 슬러지발생량을 추정한 결과는 다음과 같다.

[표 5.1-25] 공법별 하수찌꺼기(슬러지) 발생율에 의한 추정

구 분		단 위	1단계 (2020년)	2단계 (2025년)	3단계 (2030년)	4단계 (2035년)
천 안	시설용량	m³/일	220,000	243,000	243,000	243,000
	일최대 하수량	m³/일	215,280	219,154	233,021	240,736
	하수찌꺼기 발생률	%	0.053	0.053	0.053	0.053
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	114	116	124	128
성 환	시설용량	m³/일	45,000	63,000	63,000	63,000
	일최대 하수량	m³/일	41,873	53,931	62,299	62,844
	하수찌꺼기 발생률	%	0.053	0.053	0.053	0.053
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	22	29	33	33
병 천	시설용량	m³/일	18,000	21,000	21,000	21,000
	일최대 하수량	m³/일	19,954	20,281	20,105	19,947
	하수찌꺼기 발생률	%	0.053	0.053	0.053	0.053
	하수찌꺼기 발생량	톤/일	11	11	11	11
합 계 (발생량)		톤/일	147	156	167	172

제5장 하수처리(슬러지) 처리 · 처분계획

라. 계획 하수처리(슬러지) 발생량

각 방법별로 추정한 계획 하수처리(슬러지) 발생량은 처리시설별 계획 1일 최대오수량 기준으로 산정하였으며, 상기 3개안을 비교·검토하여 금회 계획에서는 각 방법별 결과의 평균치를 적용하여 하수처리(슬러지) 발생량을 적용하였다.

[표 5.1-26] 천안시의 단계별 계획슬러지 발생량

(단위 : 톤/일)

구 분		2020년 (1단계)	2025년 (2단계)	2030년 (3단계)	2035년 (4단계)	비 고
천안시 공공하수처리시설 운영현황에 의한 발생량 산정 (제1안)	천 안	180	183	195	201	
	성 환	28	37	42	43	
	병 천	16	16	16	16	
	소 계	224	236	253	260	
산술식에 의한 추정 (제2안)	천 안	219	230	247	255	
	성 환	60	76	89	90	
	병 천	19	20	20	20	
	소 계	297	326	356	364	
공법별 하수처리 발생율에 의한 추정 (제3안)	천 안	114	116	124	128	
	성 환	22	29	33	33	
	병 천	11	11	11	11	
	소 계	147	156	167	172	
적용 (1~3안 평균)	천 안	171	177	188	194	
	성 환	37	47	55	55	
	병 천	15	16	16	15	
	소 계	223	239	259	265	
슬러지 발생량		223	239	259	265	

제 1 장

제 2 장

제 3 장

제 4 장

제 5 장

제 6 장

제 7 장

제 8 장

제 9 장

제 10 장

5.1.4 국내·외 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분 현황

가. 국내 하수찌꺼기(슬러지) 발생 및 처리·처분 현황

2018년 말 현재 전국에서 운영 중인 하수처리시설 운영실태 중 슬러지의 발생 및 처분현황을 살펴보면 다음과 같다.

[표 5.1-27] 국내 하수처리시설 슬러지 발생 및 처리현황

(단위 : 톤/일)

지 역 (시·군·구)	처 분 량								외부 위탁 처리	수도권 광역 처리
	계	재활용			소각	고화	탄화	기타		
		연료화	비료화	기타						
전국('18)	2,039,286.5	618,723.3	62,471.8	216,913.1	660,311.0	1,266.9	283,339.5	196,260.9	1,502,308.3	553,256.2
서울특별시	310,692.6	108,798.5	204.0	－	96,796.1	－	104,894.0	－	46,453.0	344,872.5
부산광역시	152,182.5	130,179.5	421.8	14,236.7	7,344.5	－	－	－	62,146.7	－
대구광역시	－	－	－	－	－	－	－	－	115,057.1	－
인천광역시	－	－	－	－	－	－	－	－	70,775.9	74,700.1
광주광역시	85,280.8	60,634.8	－	24,646.0	－	－	－	－	27,215.0	－
대전광역시	－	－	－	－	－	－	－	－	99,660.4	－
울산광역시	102,081.5	－	－	－	102,081.5	－	－	－	27,443.8	－
세종특별자치시	－	－	－	－	－	－	－	－	21,792.7	－
경기도	599,688.2	143,478.0	10,425.7	92,958.5	277,520.8	－	584.0	74,721.2	483,041.5	133,683.6
강원도	57,431.6	46,356.8	4,752.0	11.5	6,311.3	－	－	－	78,515.0	－
충청북도	135,296.5	21,357.2	－	4,801.5	36,358.0	－	－	72,779.8	53,789.8	－
충청남도	75,276.7	15,823.8	4,779.7	352.7	1,729.5	－	51,610.1	980.9	88,615.7	－
전라북도	99,246.4	25,350.4	5,523.2	10,215.1	38,391.9	－	19,765.8	－	44,827.9	－
전라남도	59,536.6	1,836.2	2,744.2	3,804.3	9,375.2	835.8	16,003.2	24,937.7	58,428.0	－
경상북도	171,859.7	46,912.5	14,190.7	10,882.8	15,442.8	431.1	62,950.4	21,049.4	99,174.8	－
경상남도	164,936.2	17,995.6	19,430.5	29,226.8	68,959.4	－	27,532.0	1,791.9	114,981.7	－
제주특별자치도	25,777.2	－	－	25,777.2	－	－	－	－	10,389.3	－

자료) 2019 하수도통계(환경부)

나. 국외 하수찌꺼기(슬러지) 처리 및 처분현황

1972년 채택된 폐기물 및 기타물질의 배출에 의한 해양오염방지에 관한 협약으로 통상 런던협약(London Convention)이 있으며, 이 협약에서 하수찌꺼기(슬러지)는 해양배출처리가 불가능한 규제대상으로 포함되어 있지 않았으나, 1996년 개정 의정서가 발표되면서 종합적인 평가에 의하여 배출의 타당성을 평가하여 처리해야하는 품목으로 지정되어 해양배출이 원천적으로 어렵게 되었다.

이에 따라 선진국에서는 발 빠르게 대처하여 하수찌꺼기(슬러지)의 육상처리 및 자원화계획을 수립하여 착실히 수행함으로써 현재는 거의 모든 국가가 해양배출을 지양하고 있는 실정이며, 일본의 경우 유기성 폐기물에 대하여 함량실험을 실시하여 기준 이하의 하수찌꺼기(슬러지)만을 해양 배출할 수 있도록 규제하고 있다. 이는 해양배출 허용규제기준을 강화하여 자연적으로 해양배출을 감소시키기 위한 목적으로 파악된다.

1) 일본

일본의 하수찌꺼기(슬러지) 처리형태는 다음과 같이 육상매립 및 해면매립은 1998년에 58%에서 2001년에는 42%로 점차 감소하고, 토양환원 및 건축자재로의 이용 등 하수찌꺼기(슬러지)를 유효 이용하는 경우는 30%(1998년)에서 56%(2001년)로 증가하고 있음을 알 수 있으며, 하수찌꺼기(슬러지)를 비료화 및 농경지 환원 시 각각의 처리기준을 설정하고 이 기준에 적합하면 처리 가능한 체계를 유지하도록 하고 있다.

하수찌꺼기(슬러지) 처리현황 중에서 자원화 측면에서의 하수찌꺼기(슬러지) 유효 이용하는 사례를 살펴보면 녹농지에 이용되는 양이 25%를 차지하였으며, 건설자재로는 75%가 이용되고 있는 것으로 나타났다. 또한, 하수찌꺼기(슬러지) 성상 면에서 보면 소각재 상태로 건설자재로 이용되는 양이 약 98%로 가장 많았으며, 그 이유는 소각 시 발생하는 소각재의 성분이 균일하고 입상의 상태가 양호하여 건설자재로서 이용가치가 높은 것으로 알려지고있기 때문이다.

한편, 일본의 해면매립은 폐기물로 매립되는 해면 · 해안매립지를 조성하고, 매립이 완료되면 공원이나 공업단지 등의 조성으로 토지를 이용하는 시설로서 해양매립지는 해면과 직접 접하도록 설치되어 있으며, 폐기물 침출수로 인한 해양오염을 막기 위하여 발생하는 침출수는 전량 현장에 설치된 처리장에서 직접 처리하거나 탱크로리 및 관로 등을 이용하여 처리장으로 이송한 후 처리하고 차수층을 설치하여 용출허용 기준 등을 엄격히 관리하고 있다. 매립지의 유해물질 용출허용기준은 다음과 같다.

제 1 장

제 2 장

제 3 장

제 4 장

제 5 장

제 6 장

제 7 장

제 8 장

제 9 장

제 10 장

[표 5.1-28] 일본의 하수찌꺼기(슬러지) 처리현황

년 도	처리형태 처리성상	매립(dry천톤/년)		유효이용(dry천톤/년)		기타 (dry천톤/년)	계	
		육상	해면	녹농지	건설자재			
1999	탈수슬러지	120		28	25	5	178	(9.5)
	소각재	601		8	731	2	1,342	(71.5)
	용융슬래그	1		-	62	28	90	(4.8)
	퇴비화	0		211	-	-	211	(11.2)
	건조슬러지	17		22	-	15	54	(2.9)
	탄화슬러지	-		1	1	-	2	(0.1)
	소화 · 농축슬러지	-		-	-	-	-	(-)
	계(%)	739(39.4)		270(14.4)	819(43.6)	49(2.6)	1,877	(100)
2000	탈수슬러지	103		43		5	151	(8)
	소각재	624		900		41	1,565	(79)
	건조슬러지	11		248		1	260	(13)
	소화 · 농축슬러지	-		-		-	-	(-)
	계(%)	738(37.3)		1,191(60.3)		47(2.4)	1,976	(100)
2001	탈수슬러지	89		32		2	123	(6)
	소각재	767		845		38	1,650	(81)
	건조슬러지	12		259		3	274	(13)
	소화 · 농축슬러지	-		-		-	-	(-)
	계(%)	868(42.4)		1,136(55.5)		43(2.1)	2,047	(100)

자료 1) 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2002, 재생과 이용 Vol. 25

2) 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2003, 재생과 이용 Vol. 26

3) 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2004, 재생과 이용 Vol. 27(103호)

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.1-29] 일본의 하수찌꺼기(슬러지) 유효이용 사례

(단위 : dry천톤/년)

구 분		처리성상	계	탈수 슬러지	퇴비	건조 오니	탄화 오니	소각재	용융 슬래그
합 계			1,138	33	218	33	8	744	102
녹 농 지	지자체에서 실시		65	10	36	11	0	8	0
	민간에게 인도		214	11	176	13	5	9	0
	소 계		279	21	212	24	5	17	0
건설 자재 이용	지자체에서 실시		265	0	0	0	0	187	78
	민간에게 인도		594	12	6	9	3	540	24
	소 계		859	12	6	9	3	727	102

자료) 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2004, 재생과 이용 Vol. 27(103호), (2001~2002년 현황)

[표 5.1-30] 매립지 유해물질 용출허용기준(일본)

항 목	기 준(mg/L)	항 목	기 준(mg/L)
알킬수은화합물	불검출	테트라클로로에틸렌	0.1
수 은	0.005	디클로로메탄	0.2
카드뮴화합물	0.1	1,2 디클로로에탄	0.04
납화합물	0.1	1,1 디클로로에틸렌	0.2
유기인	1	cis-1,2 디클로로에틸렌	0.4
방향족화합물	0.1	1,1,1 트리클로로에탄	3
시 안	1	1,1,2 트리클로로에탄	0.06
PCB	0.003	1,3 디클로로프로판	0.02
트리클로로에틸렌	0.3	벤 젠	0.1

2) 미국

최근 미국에서는 각 주의 여건에 따라 Indiana주를 비롯한 8개 주에서는 하수찌꺼기(슬러지)의 재활용률이 90%를 상회하고 있으며, 그 외에 매립, 소각 및 소석회로 안정화하여 복토재로 이용하는 등 다양한 형태의 하수찌꺼기(슬러지) 처분 및 재활용 대책을 가지고 있다.

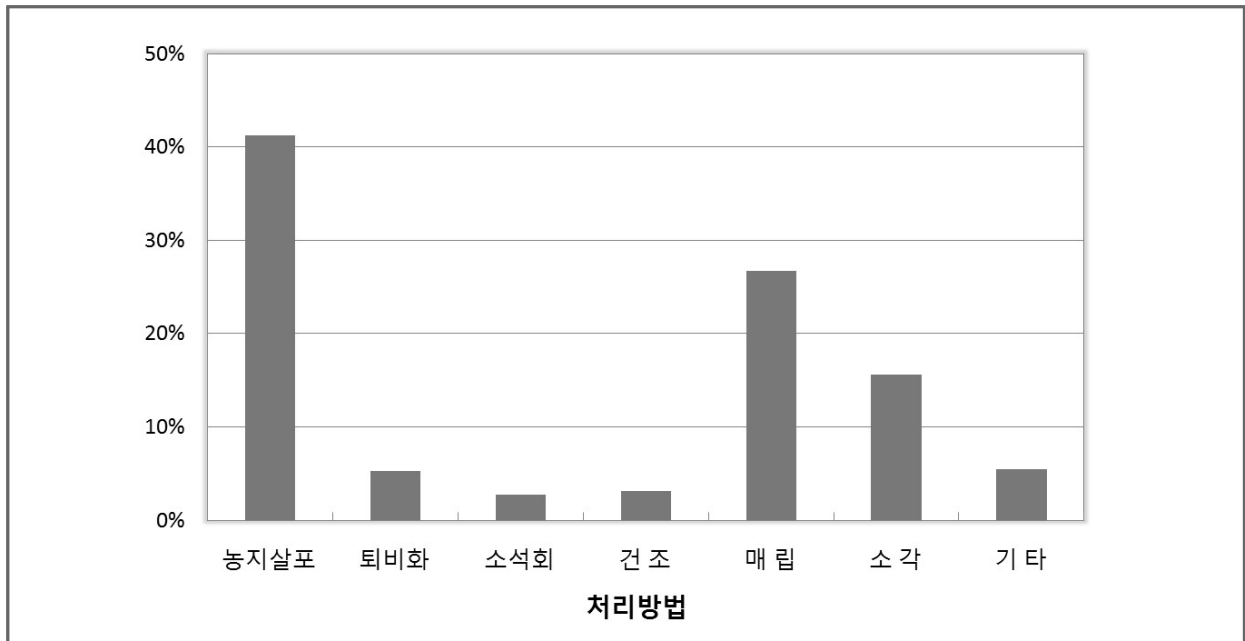
미국의 경우 1998년 기준으로 4,975천톤(건조중량)의 하수찌꺼기(슬러지)가 발생하고 있으며, 여건에 따라 다양한 처리유형을 보이고 있으나 전국적으로는 농지 주입 및 육상매립처리가 많은 비율을 차지하고 있다. 또한, 점차 매립, 소각은 감소하고 농지주입 및 퇴비화가 크게 증가한 것으로 조사되었으며 미국의 하수찌꺼기(슬러지) 처리실태는 다음과 같다.

[표 5.1-31] 미국의 하수찌꺼기(슬러지) 처리실태(1998년)

(단위 : 건조량 천톤/년)

발생량	농지살포	퇴비화	소석회	건 조	매 립	소 각	기 타
4,975,179 (100%)	2,048,535 (41.2%)	254,773 (5.3%)	134,198 (2.7%)	151,950 (3.1%)	1,326,677 (26.7%)	777,045 (15.6%)	272,020 (5.5%)

자료) 하수찌꺼기(슬러지)관리와 재활용 방안, '99한국폐기물학회 대구·경북지역 추계산학협동 학술심포지엄



[그림 5.1-4] 미국의 하수찌꺼기(슬러지) 처리현황(1998년 기준)

미국은 사막이나 불모지가 많고 하수찌꺼기(슬러지)에 대한 중금속 규제가 완화되어 있으므로 사막 등에도 탈수슬러지를 살포하는 방법으로 처리하는 토양살포나 매립처리가 대부분이다. 그러나 중부 및 동부의 대도시에서는 일본의 경우와 마찬가지로 소각을 많이 시행하고 있다.

미국의 주요도시의 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분현황은 다음과 같다.

[표 5.1-32] 미국의 주요 도시의 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분 현황

(단위 : %)

주요도시	소 각	퇴비화	토지주입	매 립	해양투기	단독매립	라군/저장	기 타
뉴욕	27	4	1	26	40	—	1	1
알라스카	2	—	64	20	—	4	10	—
콜로라도	1	2	96	1	—	—	—	—
코네티컷	68	3	4	25	—	—	—	—
플로리다	8.4	0.4	73.8	17.4	—	—	—	—
인디애나	17	1	40	20	—	2	20	—
메인	—	15.8	29.5	3.8	—	43	—	7.9

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 계속] 미국의 주요 도시의 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분 현황

주요도시	소각	퇴비화	토지주입	매립	해양투기	단독매립	라군/저장	기타
미시시피	-	-	2	8	-	-	90	-
미주리	53	-	37	6	-	-	4	-
네브라스카	1	1	35	24	-	-	39	-
뉴저지	22	-	10	-	58	-	2	8
N.캐롤라이나	2	5	40	40	-	3	1	9
오하이오	43.2	6	45.7	3.9	-	-	2	-
오레곤	5	4.5	90	5	-	-	-	-
로드아일랜드	58	9	-	16	-	17	-	-
테네시	5	5	45	30	-	5	10	-
유타	-	-	5	30	-	5	60	-
버지니아	33	14	35	16	-	-	2	-
워싱턴	13.2	4.5	72.2	5.5	-	-	-	4.6
와이오밍	-	-	30	13	-	-	57	-

자료) Sludge Management Practice in the US, Biocycle, pp. 46~47, March, 1991.

3) 영국

영국의 경우 해양투기와 재활용률이 높고 소각방식은 증가추세로 '95년 10%에서 2005년 28%로 계획 중에 있으며 해양투기는 2005년에 전면 중지할 계획에 있다.

또한 런던시의 경우 소각로가 준공되는 1998년 이후부터는 전량 소각에 의해 하수슬러지를 최종 처분하고 있다.

[표 5.1-33] 영국의 하수슬러지 처리현황 및 계획

(단위 : %)					
구 분	해양투기	매 립	재활용	소 각	비 고
1995년	30	10	50	10	
2005년	0	6	66	28	

자료) 서울시 하수처리장 슬러지감량, 재이용 방안연구(1997, 서울시정개발연구원)

4) 유럽기타국가

유럽 17개국을 대상으로 하수슬러지 발생량 및 처리현황을 보면 전체적으로 약 36.4%가 농업에 재이용되고 있으며 41.6%가 육상매립, 소각은 10.9%이며 해양투기는 5.2%를 나타내고 있다.

슬러지 재이용률이 평균값인 36.4%보다 높은 국가들로는 덴마크, 프랑스, 영국, 노르웨이, 스페인, 스웨덴, 스위스 등이었으며 점차 재이용률이 증가하고 있는데 그 이유 중의 하나는 육상매립을 위한 기준이 많은 유럽국가에서 2000년 이후부터 강화될 예정이어서 매립비율이 점차 감소하고 있다.

[표 5.1-34] 유럽 각국의 하수슬러지 처분현황

(단위 : 천톤/년)

국가명	슬러지 발생량	농 토 재이용	육상매립	소 각	해양투기	산지 및 재경작지
오스트리아	170	30.6(18)	59.5(35)	57.8(34)	—	221(13)
벨기에	59.2	17.2	32.5	8.9	—	0.6
덴마크	170.3	92(54)	43(20)	40.9(24)	—	3.4(2)
핀란드	150	37.5	112.5	—	—	—
프랑스	865.4	502(58)	233.5(27)	130(15)	—	—
독 일	2,681.2	724(27)	1,448(54)	375.2(14)	—	134(5)
영 국	1,107	488(44)	88.6(8)	77.4(7)	322(30)	121(11)
그리스	48.21	4.8	43.4	—	—	—
아일랜드	36.7	4.4	16.6	—	12.8	2.9
이탈리아	816	269.2	449	16.2	—	81.6
룩셈부르크	8	1	7	—	—	—
네덜란드	335	87	171	10	—	67
노르웨이	95	53.2	41.8	—	—	—
포르투갈	25	2.7	7.3	—	0.5	14.5
스페인	350	175	122.5	17.5	35	—
스웨덴	200	80	120	—	—	—
스위스	270	121.5(45)	81(30)	67.5(25)	—	—
계	7,387	2,690.1	3,066.2	801.4	380.3	447.1
%	100	36.4	41.6	10.9	5.19	6

자료) IAWQ('96) A장 global atlas of wastewater sludge & biosolids use & disposal

5.2 계획의 기본방향

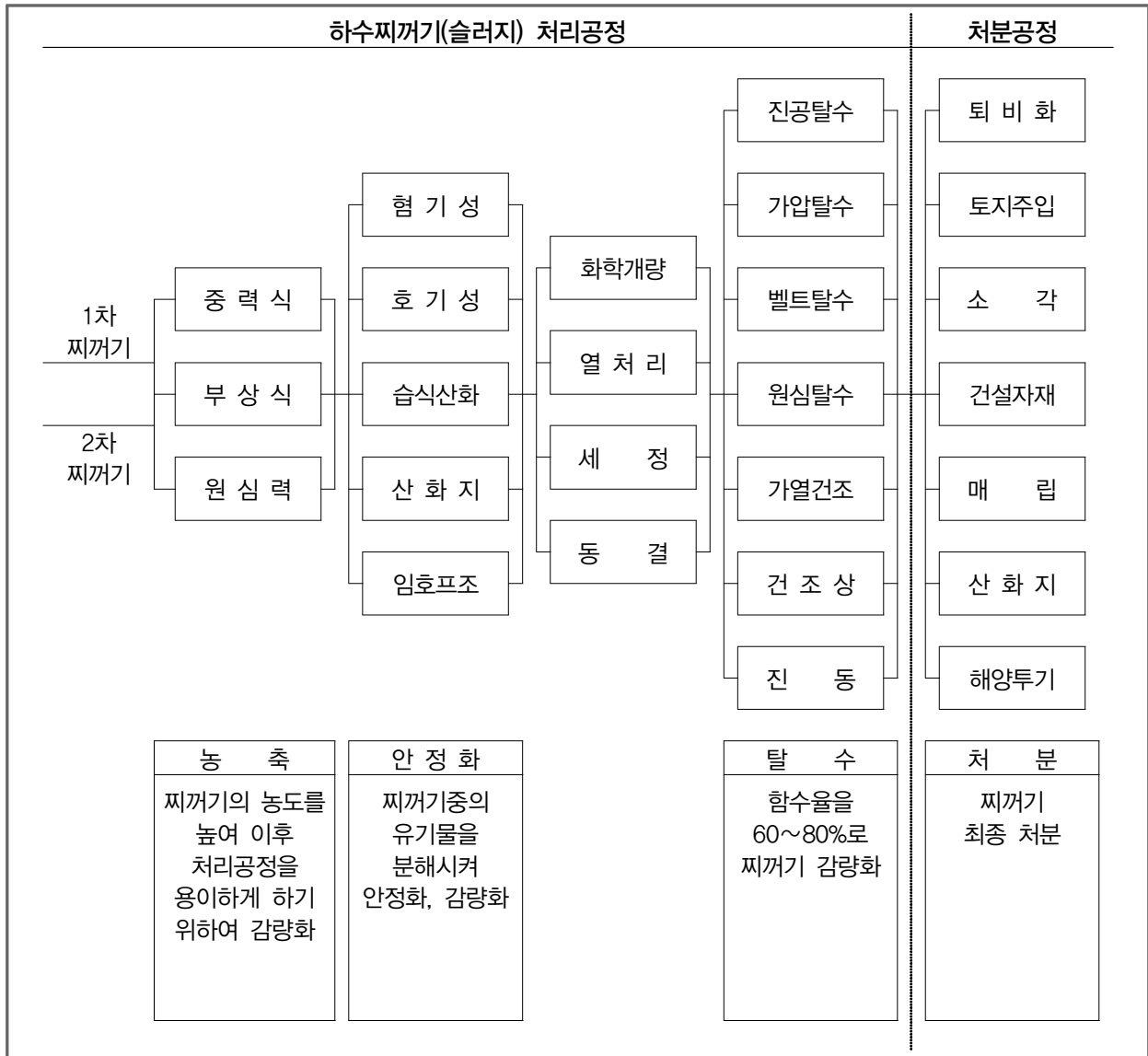
5.2.1 개요

계획수립 시 고려사항 및 각 항목별 세부 검토사항을 요약하면 다음과 같다.

- 하수찌꺼기(슬러지) 처리과정, 처리 후 2차 환경오염(악취, 유해물질의 먹이사슬 유입 등)을 최소화할 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
- 「공공하수도시설 설치사업 업무지침(2021.02)」에 따른 하수찌꺼기(슬러지) 최종처리계획을 수립

[표 5.2-1] 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분방식 선정기준

구 분	세부항목	검 토 사 항
처리효과	처리의 안정성	○ 항상 안정된 고효율 유지여부 ○ 기후, 기온 등에 좌우여부
	처리의 유연성	○ 유입부하변동에 대한 적응성 ○ 장래의 조건변화에 대응이 가능여부
관리성	기술상의 관리성	○ 고도의 운전기술을 필요성 ○ 기기의 적용실적 다양성 ○ 정기점검, 보수의 개소수 ○ 특정의 유자격자를 필요성 ○ 운전지표가 확립 여부
	작업상의 관리성	○ 기기 운전조작이 용이성 ○ 소요 작업인원 ○ 약품 등의 구입, 확보가 용이성 ○ 작업상의 위험성
경제성	초기투자비	○ 건설비 경제성 ○ 하수처리시설의 부지면적 ○ 건물내에 설치여부
	유지관리비	○ 유지관리비는 경제성 ○ 유틸리티의 사용량 ○ 소자원, 소에너지의 부합성 ○ 기기의 내구성
환경영향	주변환경	○ 주변환경 영향성
	작업환경	○ 작업환경 양호성



[그림 5.2-1] 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분 과정

5.2.2 하수찌꺼기(슬러지) 처리·처분의 정책 방향

환경부는 강화되는 해양배출기준과 관계없이 2011년 2월부터는 하수찌꺼기(슬러지)의 해양 배출을 전면 금지키로 해양수산부와 합의하고 이에 따라 하수(찌꺼기)슬러지의 육상처리에 대한 방안을 마련키 위해 단계별 조사를 거친 「하수슬러지 관리계획 수립 지침(2006. 3)」을 수립하고 그 결과를 토대로 「유기성오니 처리종합대책(2006. 4)」을 발표하였으며, 2006년 7월 수립한 「하수슬러지관리 기본계획」을 기본으로 그간 사업계획 변경 등을 감안하여 2007년 5월 「하수슬러지관리 종합대책」을 수립하였다. 현재는 하수찌꺼기(슬러지)의 해양투기가 전면 금지되었으며, 이에 따라 하수찌꺼기(슬러지)의 처리·처분 계획의 수립 시는 국가에서 제시하는 정책방향의 틀 위에서 처리·처분방안을 검토하도록 한다.

가. 「공공하수도시설 운영 · 관리업무지침(2014.5, 환경부)」

[표 5.2-2] 하수찌꺼기(슬러지) 처리대책

가. 하수찌꺼기(슬러지) 최종처리방법은 법적 규제 사항, 공공하수처리시설 규모, 하수찌꺼기(슬러지) 발생량 및 지역특성, 경제성, 기술성, 환경성, 유지관리성 등을 종합적으로 비교·분석한 후 결정하여야 한다.

① 지역특성을 감안하여 적절한 재활용 방법을 채택하여야 한다.

- ㉠ 매립지 인근 지역은 고화처리하여 복토재로 활용
- ㉡ 소량발생 및 농촌지역은 퇴비화 추진
- ㉢ 생활폐기물소각장에 여유가 있는 지자체는 혼합 소각
- ㉣ 시멘트회사 인근 지역은 시멘트 원료화 추진
- ㉤ 석탄화력발전소 연료 사용 등 에너지화 추진

나. 하수찌꺼기(슬러지) 최종처리 관련 규정을 상세 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

① 「폐기물관리법」 시행규칙 제14조[별표5]의 규정에 따라 처리용량 1만㎥/일 이상의 공공하수처리시설에서 발생하는 유기성 하수찌꺼기(슬러지)는 직매립해서는 안됨.

㉠ 매립가스 자원화시설이 설치된 매립장 직매립은 일부 허용('07.02.14 「폐기물관리법」 시행규칙 개정). 단, 수분함량 75%이하, 1일 500톤 미만인 경우에 한함.

② 하수찌꺼기(슬러지)를 생활폐기물 소각시설에서 혼합소각하는 계획을 수립하는 경우에는 「생활폐기물 소각시설에서의 하수찌꺼기(슬러지) 혼합소각 지침(2007.4 환경부)」를 참조하여야 함.

③ 「비료관리법」 제4조의 규정에 의하여 도시 하수찌꺼기(슬러지)는 농지용 퇴비의 원료로서 사용이 제한됨.

다. 공공하수도관리청은 하수찌꺼기(슬러지)를 재활용할 경우에 대비하여 하수찌꺼기(슬러지)의 성분이 재활용기준 등을 준수할 수 있는지를 확인할 수 있도록 반기 1회 이상(화력발전소 연료 사용시 분기 1회) 하수찌꺼기(슬러지)에 대한 성분분석을 실시하고 그 기록을 5년간 보관 관리하여야 하며, 화력발전소 연료로 사용할 경우에는 저위 발열량, 수분, 회분, 황분 등의 분석을 추가하여야 한다.

① 성분분석항목은 유기성 하수찌꺼기(슬러지)의 재활용기준 등을 감안하여 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 납(Pb), 수은(Hg)은 반드시 성분 분석을 실시하여야 한다.

라. 하수슬러지처리시설을 안정적으로 운영함으로써 오염물질의 배출을 최소화하고 운영효율을 개선하는 방안을 지속적으로 강구 하여야 한다.

① 하수슬러지 처리시설 운영에 대한 객관적 평가가 가능하도록 운영실적에 대하여 투명하게 공개하여야 한다.

② 가동율을 향상시키기 위하여 보수기간 동안 지자체간 상호 연계처리에 최대한 협력하고 사전에 비상대책을 수립하는 등 세부방안을 마련하여야 한다.

나. 하수슬러지 관리계획 수립지침(2006.3. 환경부)

1) 배경 및 목적

- 런던협약 1996 의정서 발효를 앞두고 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

- 하수슬러지 성분조사
- 슬러지 발생 및 처리현황 조사
- 폐기물처리시설 현황 조사

3) 관리계획 수립

가) 계획의 목표

- 하수슬러지로 인한 2차 환경오염을 방지하는 한편 유용한 자원으로 활용
 - 제1기준 초과처리장 : 2008년 7월말까지 처리시설 완비
 - 제2기준 초과처리장 : 2011년 1월말까지 처리시설 완비
 - 기타 처리장 : 2011년 말까지 처리시설 완비

나) 계획수립시 고려사항

- 슬러지 처리과정, 처리 후 2차 환경오염(악취, 유해물질의 먹이사슬 유입 등)을 최소화할 수 있는 방안으로 계획
- 규모, 처리방식은 건설비 및 운영비 등을 고려하여 가장 경제적인 방안으로 계획

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

- 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, 20이상의 시·군 또는 시·도가 협력하여 광역화할 수 있는 경우는 이를 권장
- 처리장별 슬러지 발생규모에 따른 시설계획
 - － 슬러지가 대규모로 발생(1일 50톤 이상)되는 처리장의 경우는 처리장 단위로 하되 광역화할 수 있는 경우는 이를 권장
 - － 슬러지가 중규모로 발생(1일 20톤 이상)되는 경우는 자치단체 단위로 광역화방안을 추진하되, 불가피한 경우에는 처리장 단위로 계획
 - － 슬러지가 소규모로 산재되어 발생(1일 20톤 미만)되는 경우는 광역화 또는 집중화방안으로 계획

라) 관리방법 계획

- 감량화
 - － 소화효율 개선사업 및 감량화기술을 적용한 슬러지 발생 억제방안 적극 검토
- 재활용
 - － 퇴비화, 복토재, 시멘트 원료, 경량골재, 녹생토, 연료화 등
- 매립
 - － 매립가스 재이용시설 및 시설계획이 있는 경우 : 매립 후 에너지 회수 재활용으로 계획(잠정)
 - － 1만톤/일 미만 처리장의 슬러지로서 지역특성상 재활용이 곤란한 경우로써 매립장 여유용량이 있는 경우 매립으로 계획
 - － 폐기물처리업체의 매립시설을 이용할 수 있는 경우에는 이용방안 검토
- 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

제 1 장

제 2 장

제 3 장

제 4 장

제 5 장

제 6 장

제 7 장

제 8 장

제 9 장

제 10 장

다. 하수슬러지관리 종합대책(수정)(2008.5, 환경부)

1) 추진배경

- 런던협약 '96의정서 발효에 따라 하수슬러지를 포함한 폐기물의 해양배출기준을 대폭 강화(해양환경관리법 시행규칙 개정 ' 06.2)
 - 제1기준 초과 하수슬러지는 2008년 8월부터, 제2기준 초과 하수슬러지는 2011년 2월부터 해양배출 금지
- 2007년 5월 수립한 「하수슬러지관리 종합대책」을 기본으로 그간 지자체 별 사업 계획 변경 등을 감안하여 수정대책 수립

2) 기본목표 및 추진방향

가) 기본목표

- 2011년 말까지 하수슬러지처리시설 완비
- 재활용 활성화를 위한 관련제도 정비

나) 추진방향

- 처리방법의 다변화 추진
- 하수슬러지 관련 규정 제·개정 추진
- 재활용산업 육성 및 신기술 보급 추진

[표 5.2-3] 슬러지처리 기본목표

구 분	2007년	2011년 말	비 고
해양배출	68.5%	0%	
재활용	18.5%	69.5%	
소각	11%	29%	
매립	2%	1.5%	

3) 하수슬러지 처리계획 총괄

가) 하수슬러지 처리시설 확충계획

2008년~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

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.2-4] 하수슬러지 처리시설 확충계획

구 분	처리시설별	개소수	용량 (톤/일)	총 사업비(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
수도권광역1단계	재활용	1	2,000	370	115	255
1기준초과 또는 우려	소 각	1	7	7	5	2
	재활용	6	1,450	1,407	475	932
2기준초과 및 기타	소 각	15	1,303	1,614	780	834
	재활용	45	2,547	2,485	1,699	786

[표 5.2-5] 하수슬러지 처리시설 설치추진 상황

('08.4.30 현재)

구 분	계	공사중		설계완료 · 설계중					계획중 ('09설계)
		'08 준공	'09 준공	'08 착공			'09 착공		
				'08 준공	'09 준공	'10 준공	'10 준공	'11 준공	
개소수	68	10	10	1	19	9	7	2	10
용량 (톤/일)	7,307	2,910	1,025	8	475	1,150	311	750	678

4) 하수슬러지 재활용계획

2011년에는 하수슬러지가 19,259 톤/일 발생이 예상되며, 시 · 도별로 처리시설을 설치하여 재활용 7,136톤/일(69.5%), 소각 2,974톤/일(29%), 매립 149 톤/일(1.5%) 처리

- 매립처리(149톤/일)는 매립가스 회수시설이 있는 매립장 60톤/일, 단순 직매립 89 톤/일임
- 소각처리(2,974톤/일)는 생활쓰레기 소각시설 연계처리 685톤/일, 슬러지 전용 소각시설 2,289톤/일임

[표 5.2-6] 2011년 말 하수슬러지 처리계획

(단위: 톤/일)

구 분	발 생	처 리							
		해양배출	매 립			소 각			재활용
			소 계	직매립	가스화	소 계	생활연계	전용	
물량	10,259	0	149	89	60	2,974	685	2,289	7,136
%	100	0	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%), 녹색토 373톤/일(5.2%), 퇴비화 368톤/일(5.2%), 연료화 308톤/일 (4.3%) 등임.

[표 5.2-7] 2011년말 하수슬러지 시·도별 재활용계획

(단위: 톤/일)

구 분	합 계	복토재	탄 화	시멘트 원료	녹생도	퇴비화	연료화	지렁이 분변토
합 계	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
부산	529	529						
대구	219	219						
인천	372	372						
광주	287						287	
대전	323		323					
경기	1,966	1,338	9	473	120		17	9
강원도	156	1		126		17		12
충북	142	4		113	21			5
충남	298	60	163		26	40		8
전북	403	55	288		6	53		1
전남	121	22	65			32		2
경북	397	9	167		35	186		
경남	250	3	186			40	4	16
제주	62	62						

5) 하수슬러지 에너지화 계획

에너지화 가능 하수처리시설은 23개소로 약 1,600톤/일의 하수슬러지를 건조·탄화 등의 과정을 통해 354톤/일 고형연료 생산하며 석탄화력발전소, 시멘트 소성로 등에서 연료로 우선이용

- 전국의 석탄화력발전소 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 25억원 상당의 온실가스 배출권 발생
- 건조슬러지 등의 고형연료를 석탄화력발전소 등에 사용할 수 있도록 “고형연료의 제품기준” 설정 등 관련규정 제정
- ➔ 슬러지 전용소각시설을 계획하고 있는 지자체도 에너지화 방법으로 시설설치계획 변경 유도

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.2-8] 에너지화 가능 공공하수처리시설 현황

(단위: 톤/일)

시도별	처리장명	처리계획량	비고
계	23개소	1,609	
서울	난지	100	
광주	광주 제 1,2	287	
대전	대전, 흑석	323	
경기	부천, 의왕, 안성	26	
충남	천안, 보령, 논산	163	
전북	군산, 익산, 완주	288	
전남	순천, 무안	65	
경북	포항, 경산	167	
경남	진주, 김해, 의령, 남해, 합천	190	

[표 5.2-9] 에너지화 사업추진에 따른 기대효과

산 출 기 준

〈연료대체효과〉

- 슬러지 고정 연료량 : $1,609\text{톤/일} \times 0.22 = 354\text{톤/일}$
 - 건조슬러지의 발열량 : $3,500 \text{ kcal/kg}$
 - 역청탄의 발열량 : $8,100 \text{ kcal/kg}$
 - 역청탄 환산 시 : $354\text{톤/일} \times 3,500\text{kcal/kg} \div 8100\text{kcal/kg} = 153\text{톤-역청탄/일}$
 - 역청탄 수입단가 : $62.68 \$/\text{톤} \times 948\text{원}/\$ = 59,420\text{원/톤}$ ('07년 말 기준)
- $153\text{톤/일} \times 59,420\text{원/톤-역청탄} \times 365\text{일/년} = 33\text{억원/년}$

〈온실가스 배출권 확보를 통한 절감액〉

- 석유환산톤(TOE) : $354\text{톤/일} \times 3,500\text{kcal/kg} \times 1000\text{kg/톤} \times 10^{-7} = 124\text{TOE}$
- 온실가스 감축량 : $124\text{TOE} \times 3.883\text{톤 CO}_2/\text{TOE} = 481\text{톤CO}_2/\text{일}$
- CERs : $481\text{톤CO}_2/\text{일} \times 365\text{일/년} \times \text{€} 11/\text{톤CO}_2 \times 1,363.94\text{원}/\text{€} = 26\text{억원/년}$

소화조가 설치되어 있는 하수처리시설을 대상으로 소화조 효율개선사업을 시행하여 슬러지 발생량의 감축 및 에너지화 도모

- 소화조 용량 $4,500\text{m}^3$ 이상의 33개 공공하수처리시설을 대상으로 소화조 효율개선 사업 및 가스이용 사업 시행
- 소화가스를 발전용 연료 등으로 사용시 연간 232억원의 연료대체효과 및 35억원 상당의 온실가스 배출권 발생

[표 5.2-10] 소화조 효율개선사업 대상 공공하수처리시설 현황 (단위: m³/일)

시도별	처리장명	처리계획량	비 고
계	33개소	325,100	
서울(4)	종량, 탄천, 난지, 서남	165,490	
부산(3)	수영, 강변, 남부	32,810	
대구(4)	달서천, 신천, 서부, 북부	25,880	
인천(2)	가좌, 승기	6,520	
광주(2)	광주 제 1,2	18,650	
대전(1)	대전	8,395	
울산(1)	용연	8,415	
경기도(7)	수원, 성남 등	33,154	
강원도(2)	춘천, 원주	6,020	
전북도(1)	군산	6,932	
전남도(1)	목포	667	
경북도(3)	포항, 김천, 구미	5,759	
경남도(2)	마산, 진주	6,408	

[표 5.2-11] 소화조 효율개선 사업추진에 따른 기대효과

산 출 기 준

〈연료대체효과〉

- 가온용 연료생산(13개소) : $12\text{m}^3/\text{분} \times 1,440\text{분}/\text{일} \times 660\text{원}/\text{m}^3 \times 365\text{일}/\text{년} = 41\text{억원}/\text{년}$
- 전력생산(15개소) : $12\text{MWh} \times 1,000\text{KWh}/\text{MWh} \times 24\text{h}/\text{일} \times 84\text{원}/\text{KWh} \times 365\text{일}/\text{년} = 88\text{억원}/\text{년}$
- 정제가스생산(5개소) : $44.5\text{m}^3/\text{분} \times 1,440\text{분}/\text{일} \times 440\text{원}/\text{m}^3 \times 365\text{일}/\text{년} = 103\text{억원}/\text{년}$

〈온실가스 배출권 확보를 통한 절감액〉

- 석유환산톤(TOE) : $325,100\text{m}^3/\text{일} \times 5,200\text{kcal}/\text{m}^3 \times 1000\text{kg}/\text{톤} \times 10^{-7} = 169\text{TOE}$
- 온실가스 감축량 : $169\text{TOE} \times 3.883\text{톤 CO}_2/\text{TOE} = 656\text{톤CO}_2/\text{일}$
- CERS : $656\text{톤CO}_2/\text{일} \times 365\text{일}/\text{년} \times \text{₩}11/\text{톤CO}_2 \times 1,363.94\text{원}/\text{₩} = 36\text{억원}/\text{년}$

라. 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분관련 기준 검토

1) 하수찌꺼기(슬러지) 처분관련 기준

하수찌꺼기의 최종 처분방안(투기 또는 재활용)에 따른 하수찌꺼기에 함유된 유해물질 및 중금속의 기준 함량기준이 다르며, 이는 다음과 같이 구분할 수 있다.

[표 5.2-12] 하수찌꺼기(슬러지) 처리방안에 따른 기준

구 분		적 용 기 준	비 고
폐기물처리		폐기물관리법	
재활용	토지개량제 매립복토재	부숙토 원료기준	
	부숙유기질비료	비료관리법	
	시멘트 원료 건설재료	공장자체기준	
혼합소각		환경부지침	

가) 폐기물관리법

(1) 폐기물관리법 시행규칙 제14조 [별표 5] <폐기물처리 등의 구체적인 기준·방법>

[표 5.2-13] 폐기물관리법 시행규칙 제14조 [별표 5]

나) 오니
(1) 유기성 오니(고형물 중 유기성물질의 함량이 40퍼센트 이상인 것을 말한다. 이하 같다)는 다음의 어느 하나에 해당하는 방법으로 처분하여야 한다.
(가) 소각하거나 시멘트 · 합성고분자화합물의 이용, 그 밖에 이와 비슷한 방법으로 고형화 또는 고화 처분하여야 한다.
(나) 수분함량이 85퍼센트 이하로 탈수 · 건조한 후 관리형 매립시설에 매립하여야 한다. 다만, 물을 이용하여 폐기물을 운반한 후 침전처리하는 경우에는 탈수 · 건조처분을 하지 아니할 수 있다.
(다) 「물환경보전법」 제48조제1항에 따른 1일 처리용량 1만세제곱미터 이상인 공공폐수처리시설, 「하수도법」 제2조제9호에 따른 1일 처리용량 1만세제곱미터 이상인 공공하수처리시설과 「물환경보전법」 제2조제10호에 따른 1일 폐수배출량 2천세제곱미터 이상인 폐수배출시설의 유기성 오니는 (나)에도 불구하고 바로 매립하여서는 아니 된다.
(라) 축산폐수처리시설 · 분뇨처리시설 및 1일 폐수배출량 700세제곱미터 이상 2천세제곱미터 미만인 배출업소의 유기성 오니도 (다)와 같이 처분하여야 한다.
(마) 매립가스를 회수하여 재이용하는 시설이 설치된 매립시설의 경우에는 (다)와 (라)에도 불구하고 수분함량 75퍼센트 이하로 처리하여 매립할 수 있다. 다만, 1일 500톤 이상은 매립할 수 없다.

(2) 폐기물관리법 시행규칙 제3조(에너지 회수기주)

[표 5.2-14] 폐기물관리법 시행규칙 제3조

1. 가연성 고형폐기물로부터 다음 각 목에 따른 기준에 맞게 에너지를 회수하는 활동
 - 가. 다른 물질과 혼합하지 아니하고 해당 폐기물의 저위발열량이 킬로그램당 3천 킬로칼로리 이상일 것
 - 나. 에너지의 회수효율(회수에너지 총량을 투입에너지 총량으로 나눈 비율을 말한다)이 75퍼센트 이상일 것
 - 다. 회수열을 모두 열원(熱源)으로 스스로 이용하거나 다른 사람에게 공급할 것
 - 라. 환경부장관이 정하여 고시하는 경우에는 폐기물의 30퍼센트 이상을 원료나 재료로 재활용하고 그 나머지 중에서 에너지의 회수에 이용할 것

(3) 폐기물관리법 시행규칙 제10조(폐기물처리시설 외의 장소에서의 폐기물 처리)

[표 5.2-15] 폐기물관리법 시행규칙 제10조

2. 법 제46조에 따라 폐기물처리 신고를 한 자(이하 "폐기물처리 신고자"라 한다)가 폐기물처리시설에 해당하지 않는 시설을 이용하여 그 신고내용에 따라 재활용하는 경우
7. 폐기물을 제3조제1항제1호에 따른 에너지 회수기준에 맞고, 태운 후 남아 있는 물질 중 태울 수 있는 부분의 중량 비율(이하 "강열감량"이라 한다)이 1퍼센트 이하가 되도록 재활용하는 경우

(4) 폐기물관리법 시행규칙 제14조의3 [별표5의2] <폐기물의 재활용 기준 및 구체적인 재활용방법>

[표 5.2-16] 폐기물관리법 시행규칙 제14조의3 [별표5의2]

13. 유기성 오니, 음식물류 폐기물 또는 왕겨를 이용하여 부숙토나 지렁이 분변토를 만들어 매립시설 복토용 또는 토지개량제 등으로 사용하는 경우
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
31. 법 제13조의2제1항제5호에 따라 가연성 고형폐기물 또는 유기성 폐기물을 법 제2조제7호나목에 따라 재활용하는 경우

나) 유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 규정 (환경부고시 제2020-70호, 2020. 4. 3.)

- 유기성오니 음식물류 폐기물 등을 생물학적 폐기물처리시설, 부숙시설, 지렁이 사육 시설 또는 고화시설 등을 이용하여 부숙토, 지렁이 분변토 또는 고화처리물을 생산하여 토지개량제 또는 매립시설 복토용으로 사용하는 데에 적용
- 비료관리법 제2조의 규정에 의한 비료 및 비료의 원료로 사용되는 폐기물 제외

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.2-17] 부속토 원료기준(제5조, 제10조 관련)

(단위: 건조중량 기준, mg/kg)

구 분		등 급	
		가 등급	나 등급
유해물질 함량	비소(As)	50 이하	“가” 등급의 기준을 초과하는 경우
	카드뮴(Cd)	5 이하	
	크롬(Cr)	300 이하	
	구리(Cu)	500 이하	
	납(Pb)	150 이하	
	수은(Hg)	2 이하	

[표 5.2-18] 부속토 제품기준(제6조, 제8조 관련)

(단위: 건조중량 기준, mg/kg)

구 분		등 급	
		가 등급	나 등급
유해물질 함량	비소(As)	50 이하	“가” 등급의 기준을 초과하는 경우
	카드뮴(Cd)	5 이하	
	크롬(Cr)	300 이하	
	구리(Cu)	500 이하	
	납(Pb)	150 이하	
	수은(Hg)	2 이하	
유기물함량		25% 이상	
유기물대 질소비		50 이하	
염분(NaCl)		1% 이하	
부 속 도		실험수행시 실온 보다 20℃이상 재발열이 없을 것.	

비고 : 1. 도로절개지의 토지개량제로 사용하는 경우에는 “가” 등급의 유기물함량 기준은 15% 이상으로 한다.

다) 비료공정규격(농촌진흥청고시 제2020-40호, 2020. 12. 15.)

[표 5.2-19] 사전 분석검토 후 사용가능한 원료

구 분	비료의 종류	원료의 종류	비 고
부속 유기질 비료	퇴비	읍면단위 농어촌지역 생활하수오니	1. 합성 및 특수약품품을 제조하는 과정에서 발생하는 폐수처리오니는 제외 <02. 1. 31, '12.7.3> 2. 퇴비원료로 사용하고자 할 경우에는 별표6에 따라 사용가능한 원료로 지정받은 원료만 사용할 수 있음 <신설 '12.7.3>

라) 생활폐기물 소각시설에서의 하수슬러지 혼합소각 지침(2007.4)

(1) 입지조건의 적정성 검토

- 하수슬러지의 운송문제 등을 고려하여 소각시설과 하수종말처리시설 간의 접근성 검토

(2) 혼합비율의 결정

- 생활폐기물과 슬러지의 혼합비율은 소각시설의 열수지를 무너뜨리지 않는 범위 내에서 결정
- 이미 가동 중인 소각시설은 설계시 혼합소각에 대한 설계가 반영되어 있지 않아 기존설비와의 관계에 따라 크게 달라질 수 있으므로 가능하면 실제 혼합소각 시험을 통하여 문제점을 파악한 후 혼합비율 결정
- 혼합소각 시험을 행하기 어려울 때에는 실적에 의한 경험 및 충분한 설계검토를 통해 혼합비율 산정

① 스토카식

- 탈수케익(수분함량 80% 내외)을 그대로 반입·소각하는 경우 점성 등의 문제로 괴(塊)현상이 발생하여 적정소각이 곤란할 수 있으므로 소각로에 투입되는 생활폐기물에 슬러지를 10% 이내를 기준으로 균질하게 혼합하는 공정을 거쳐 투입. 다만, 개별 소각시설의 특성과 생활폐기물의 발열량에 따라 혼합비율을 조정할 것
- 슬러지를 수분함량 40~60% 건조한 후 소각로에 투입하는 경우 혼합비율은 20% 내외를 기준으로 하되 개별 소각시설의 특성 및 생활폐기물 발열량 등을 고려하여 수분함량과 혼합비율을 조정할 것

② 유동상식

- 탈수케익을 그대로 반입하여 소각은 가능하나 보조연료 없이 소각하는 데에는 한계가 있으므로 열정산에 의하여 혼합비율 결정
- 슬러지를 건조하지 않고 직투입시의 혼합비율은 탈수케익 기준으로 40% 내외로 결정하고, 생활폐기물의 발열량이 현저히 높거나 슬러지를 건조하여 소각할 때에는 혼합비율 증대 필요

(3) 장기계획의 검토

- 생활폐기물과 하수슬러지 발생량의 단계적인 장래 증가를 예측하여 소각시설의 잔여소각 여유율이 있는 경우에 혼합소각을 계획할 것

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

- 가동 중인 소각시설의 내구성과 증설시기, 대체건설 시기 등을 종합적으로 고려하여 장기적인 전망에 의한 계획내용을 반영하여 결정

(4) 폐기물의 질적 특성 검토

- 생활폐기물은 계절적으로 변동이 있고 하수슬러지의 성상은 비교적 안정적인 특성이 있는 점을 고려하여 계획을 강구할 것
- 성상이 다른 생활폐기물과 슬러지를 저장조 등에서 균질하게 혼합하는 데는 많은 어려움이 있으므로 일반적인 특성을 감안하여 혼합소각 계획 수립
 - 필요시 생활폐기물과 슬러지를 균질하게 혼합할 수 있는 작업공간이나 혼합장치를 설치할 것

[표 5.2-20] 활폐기물과 하수슬러지의 일반적인 특성 비교

구 분	생활폐기물	하수슬러지
물리적 특 성	○ 다양한 크기와 형상 ○ 강도, 밀도 차이가 큼. ○ 수분함량 변화가 큼.	○ 0~1mm 내외의 균질한 입자 ○ 성상차이가 적음.
화학적 특 성	○ 중금속 등을 다량함유 ○ 저위발열량 2,000~3,500 kcal/kg 내외	○ 중금속 함유량 적음. ○ 저위발열량 500 kcal/kg 내외
이 송 특 성	○ 정량 연속투입 곤란 ○ 크레인으로 batch식 투입 ○ 부대설비가 큼.	○ 펌프에 의한 정량투입 가능 ○ 배관이송-투입으로 부대설비는 비교적 적음.
혼 합 특 성	○ 서로 다른 특성으로 균질혼합이 곤란하며 점성에 의한 적정투입의 어려움 등이 있음. → 따라서, 스톡소각로에 혼합소각하는 경우 전처리시설에 의한 건조 후 혼합하여 투입 필요	

(5) 운전시간의 적합성 검토

- 소각시설 보수기간 중에는 슬러지 건조(소각열 이용) 및 소각작업이 중지되는 것을 전제로 계획
 - 소각시설은 처리용량에 따라 1일 운전시간, 소각로의 정기점검 등으로 연간 가동일수 등이 가변적이지만 하수종말처리시설은 연속 운전됨에 따라 계속적으로 슬러지 발생
- 소각시설 운전정지 또는 슬러지 건조시설 정지에 따른 대응방안(슬러지 보관시설 등) 강구 필요

(6) 대기오염물질의 발생량 검토

① 분진(Dust)

- 배출가스 내 분진농도는 로(爐)의 형식, 연소방식 등에 따라 영향을 받으며 혼합소각에 따른 영향을 언급하기는 곤란하나 일반적으로 비산재의 발생량은 증가 예상
- 따라서, 폐열보일러 및 집진시설에 대한 부하가 증가하므로 보일러의 구조 및 집진시설의 용량 등에 대한 검토 필요

② 황산화물(SO_x)

- 황산화물은 주로 소각대상 물질 내에 포함되어 있는 황의 총량에 따라 영향을 받음.
- 슬러지 탈수시 첨가되는 탈수보조제 또는 응집제의 종류에 따라 황 함유량이 상이하나, 일반적으로 슬러지 내의 황 함유량이 생활폐기물보다 높으므로 혼합비율에 따른 배출가스의 황산화물 농도 검토

③ 질소산화물(NO_x)

- 슬러지 중의 질소성분은 생활폐기물보다 높아 일반적으로 Fuel NO_x는 높아질 수 있지만 Thermal NO_x는 연소온도, 공기비에 따라 다르게 나타남
- 따라서, NO_x의 발생량은 혼합소각에 의한 영향보다 연소방식에 의한 영향이 지배적이라 할 수 있으므로 이에 대한 검토 필요

④ 염화수소(HCl)

- 염화수소는 소각대상물질 내에 포함되어 있는 Cl의 양에 따라 발생량에 영향을 받으며, 생활폐기물의 경우에는 주로 음식물이나 PVC의 혼입에 의해 직접적으로 영향을 받으나 슬러지는 성상에 따라 다르지만 생활폐기물 만큼 크게 변화하지는 않음
- 일반적으로 HCl발생량은 슬러지 혼합비율에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로 이에 대한 검토 필요

⑤ 악취

- 로(爐)의 출구온도가 800℃ 이상이면 대부분의 악취성분은 열분해되기 때문에 혼합소각에 따른 영향은 없는 것으로 알려져 있으나 슬러지의 저장, 건조, 이송 및 혼합작업 시 악취가 발생하므로 이에 대한 대책 필요
 - 각 공정별로 발생하는 악취물질을 포집하여 소각로에 유입시켜 소각하거나 탈취설비를 설치하는 방안 등 강구

마) 시멘트원료 및 건설재료로 활용시의 기준

건조된 하수찌꺼기를 시멘트원료로 활용하거나 소각 후 건설자재로 재활용하는 경우에는 중금속 및 유해물질에 대한 별도의 기준이 없으며 시멘트공장 등이 자체적으로 채택여부를 결정하고 있다. 그러나 하수찌꺼기 발생 인근 지역에 시멘트 공장이 없는 경우 운송비 부담이 과다해지며 최근 건축물 등에서 환경유해물질이 배출되는 추세로 인하여 자체 기준이 강화되고 있는 실정이다.

2003년 7월 이후 하수찌꺼기의 육상매립이 전면 금지되었고, 1996년 런던 의정서에 의해 하수찌꺼기의 해양투기가 2011년 이후 전면 금지됨에 따라 적절한 처분대책이 마련하는 것이 시급한 과제로 대두되고 있고 광범위한 재활용을 위한 현재 관련 법규의 기준이 부적절하고 미비한 상태로 판단된다.

2) 하수찌꺼기(슬러지)의 처리 및 재활용 방안

하수찌꺼기는 그 발생량 및 성상이 처리되는 물질의 양 및 성분에 따라 달라지므로 적정처리가 까다롭고 처리에 대한 기준이 필요하며, 이러한 기준의 처리방법이 단편적인 기술보다는 전체적인 시스템에 의하여 운영되고 결정되어야 한다.

하수찌꺼기의 처리 및 재활용기술에 대한 전반적인 검토사항은 아래와 같다.

Step 1.	찌꺼기의 성상 및 처리의 문제점 검토
☐ 찌꺼기의 성상 및 특성 파악 ☐ 현재 기술의 문제점 및 외국 기술에 대한 자료조사 ☐ 환경적 안정성 검토(병원균, 환경호르몬, 다이옥신 등)	
Step 2.	적정 처리방법의 결정
☐ 각각의 처리기술에 대한 찌꺼기의 성상 및 특성 파악 후 비교 검토 ☐ 각 처리방법에 대한 기준마련 및 평가	
Step 3.	요소기술의 개발 및 사용
☐ 2단계에서 제시된 처리조건을 기준으로 각각의 요소기술 개발 ☐ 각각의 처리방법별 경제성 및 효율 평가 ☐ 개발된 요소기술을 기준으로 찌꺼기 처리에 필요한 전체적인 시스템 구성	

[그림 5.2-2] 하수찌꺼기 처리 및 재활용에 대한 검토사항

5.3 하수찌꺼기(슬러지) 처분방법(처리방법포함)

5.3.1 하수찌꺼기(슬러지) 처리방법

가. 개 요

공공하수처리시설 내의 하수찌꺼기(슬러지) 처리는 처리시설 외로 반출되는 탈수찌꺼기(슬러지)의 최종처분을 위한 감량화 및 안정화를 주목적으로 하며 최종처분에 따라 하수찌꺼기(슬러지) 처리공정의 구성이 달라질 수 있다.

또한 과거 하수찌꺼기(슬러지)의 육상매립이 가능한 시점에서는 매립되는 하수찌꺼기(슬러지)의 위생적인 측면이 강조되어 혐기성소화와 같은 안정화 시설이 반드시 필요한 시설이었으나 현재와 같이 하수찌꺼기(슬러지)의 재활용 또는 소각과 같은 중간처리가 부각되는 시점에서는 하수찌꺼기(슬러지)의 혐기성 소화(유기물함량 감소)가 오히려 비경제적인 공정이 되어버렸기 때문이다.

반면, 사회경제활동의 고도화로 폐기물 발생량의 증대, 폐기물최종처분장의 신규입지 확보의 어려움 등과 함께 육상매립 및 해양투기의 금지 등과 같이 찌꺼기(슬러지)의 최종처분 방법이 극도로 제한되면서, 하수찌꺼기(슬러지)의 감량화가 가장 큰 명제로 부각되게 되었다. 찌꺼기(슬러지) 처리공정에서의 감량화 뿐만 아니라 찌꺼기(슬러지) 발생량이 적은 고도처리공법 및 하수처리공정에서의 감량화 기술 등이 계속 개발되고 선호되는 추세이다. 또한 하수처리공정에서 고도처리공법이 도입됨에 따라 잉여찌꺼기(슬러지)의 중력농축은 인의 재방출이라는 문제점에 의해 지향되고 있고 원심농축기와 같은 기계식 농축방식으로 전환되고 있다.

이와 같이 하수찌꺼기(슬러지)의 최종적인 처분을 위해서는 최소한 3~4개의 단위공정으로 구성되나, 수십 개의 단위공정을 활용할 수 있다. 따라서 하수찌꺼기(슬러지)의 처리·처분 방법을 결정하기 위해서는 각각의 단위공정에 대한 평가와 Process에 대한 평가를 병행해서 수행하여야 하며, 하수찌꺼기(슬러지)의 특성, 처리효율, 처리시설의 규모, 최종 처분방안, 입지조건, 건설비, 유지관리비, 관리의 난이도, 재활용 및 에너지화 그리고 환경 오염대책 등 설치하고자 하는 지역의 자연적, 사회적 조건을 고려한 종합적인 검토를 통하여 지역특성에 적합한 처리법을 평가하여 결정해야 한다.

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

다음은 하수처리공정으로부터 발생하는 찌꺼기(슬러지)의 종류에 따른 처리공정별 감량화율을 나타내었다.

[표 5.3-1] 하수찌꺼기(슬러지) 종류에 따른 처리공정별 감량화율

단위공정	조 건	감량율		비 고
		체적	DS	
생찌꺼기	함수율 : 99%	100 (1)	1	○ 1차 찌꺼기 + 잉여찌꺼기
농 축	농축후 함수율:96%	25 (1/4)	1	○ 농축후 체적 = $DS / ((100 - \text{함수율}) \times (1/100))$ = $1 / 0.04 = 25$
소 화	VS : 60% 소화율 : 50% 소화후 함수율:95%	14 (1/7)	0.7	○ 소화후의 DS = $1.0 \times 0.6 \times 0.5 + 1.0 \times 0.4 = 0.7$ ○ 소화후의 체적 = $0.7 / 0.05 = 14$
탈 수	약품주입율 : 1% 탈수후 함수율:75%	2.8 (1/36)	0.7	○ 탈수후의 DS = $0.7 \times 1.01 \div 0.7$ ○ 탈수후의 체적 = $0.7 / 0.25 \div 2.8$
소 각	외관비중 : 0.8	0.5 (1/200)	0.4	○ 소 각 감 량 분 = $1.0 \times 0.6 \times 0.5 = 0.3$ ○ 소각후의 체적 = $0.4 / 0.8 = 0.5$

나. 찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분 방법별 분류

현재 우리나라에서 적용되고 있는 표준활성슬러지법의 수처리 공정에서 발생하는 하수찌꺼기(슬러지) 양은 전체 유입하수량의 약 1% 정도로 고형물량의 40~90%가 유기물로 구성되어 있고, 수분함량이 97~99%로 적절한 전처리 없이 최종처리 할 경우 찌꺼기(슬러지) 중에 대량으로 포함되어 있는 유기물은 부패되기 쉬워 악취문제 및 위생상의 문제를 유발시킬 수 있다.

또한 함수율이 높은 찌꺼기(슬러지)는 최종처분장으로 운반하는데 많은 비용이 소요되고, 보다 넓은 처분장소를 필요로 하며, 매립시에는 침출수로 인한 2차적인 오염문제를 유발한다. 따라서 찌꺼기(슬러지)는 기본적으로 안정화와 안전화 그리고 감량화가 필수적이며 현재 여러 가지 공정을 통해 찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분이 이루어지고 있다.

현재 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분방법은 처리방식에 따라 다음에서 제시한 바와 같이 예비처리공정, 중간처리공정, 그리고 최종처분공정으로 구분할 수 있다.

예비처리공정이란 하수처리시설 내에서 이루어지는 전처리 공정으로서 농축, 안정화, 개량, 탈수와 같이 하수찌꺼기에 함유된 수분 및 유기물을 제거함으로써 감량화를 주요 목적으로 하고 있다.

중간처리공정은 최종처분공정을 위하여 탈수찌꺼기를 감량 또는 안정화시키는 방법으로 고형화 및 건조, 소각, 탄화, 열분해 및 용융 등이 이에 해당한다.

한편, 최종처분은 예비처리공정 및 중간처리공정에서 발생하는 최종 산물을 유효하게 이용하는 것이다. 이와 같이 하수찌꺼기(슬러지)의 최종적인 처분을 위해서는 최소한 3~4개의 단위공정들이 조합되어야 하나, 수십 개의 단위공정을 활용할 수 있다.

따라서 찌꺼기(슬러지)의 처리·처분방법을 결정하기 위해서는 각각의 단위공정에 대한 특성 및 평가, 처리시설을 설치하고자 하는 지역의 자연적, 사회적 조건을 고려하여 종합적인 검토를 통해 이루어져야 한다.

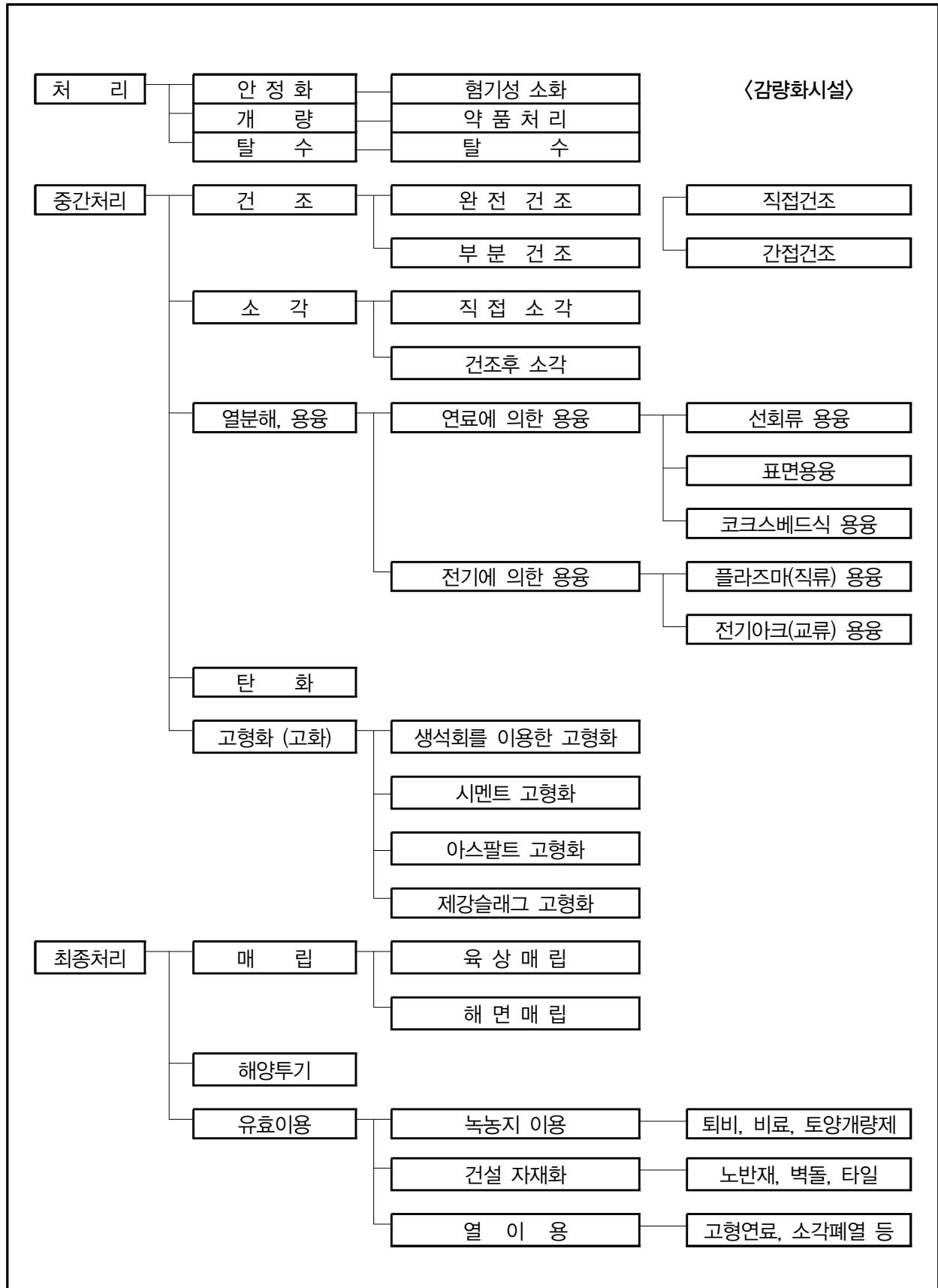
[표 5.3-2] 처리목적 및 기능에 따른 분류

구 분	주 목 적	처 리 방 법
예비처리공정	탈수	농축, 안정화, 개량, 탈수
중간처리공정	감량, 안정화	건조, 소각, 용융, 탄화, 고형화
최종처분공정	최종처분 또는 재이용	매립 또는 유효이용

[표 5.3-3] 유효이용 방법에 따른 분류

구 분	원료찌꺼기	처리공정	생성물	유효이용 제품(분야)
녹농지 이용	탈수찌꺼기	무가공	탈수찌꺼기	비료
		건조	건조찌꺼기	비료, 녹생토
		건조→탄화	탄화찌꺼기	탈취제, 컴포스트 첨가제, 토양개량제, 연료
		발효→퇴비화		토양개량제(비료)
		탈수→탈리액	탈리액	화학비료의 원료(MAP)
	소각재	건조→소각→소성	소성물	원예용 세립토
건설 자재화	소각재	(무가공) 또는 고형화(고화)	소각재	시멘트 원료, 매립지복토
		소성	소성물	경량골재화, 타일, 벽돌, 투수성 벽돌, 도관 등
		가압성형소성	소성물	인터로킹 블록
	용융슬래그	(무가공)	용융슬래그	노반재, 콘크리트 골재 등
		(성형)	성형품	타일, 장식품
열 이용	농축찌꺼기	소화	메탄가스	가온용 연료, 발전 등
	탈수Cake	다중효용증발	고형연료	연료
		건조	건조찌꺼기	연료
		소각, 용융	폐열	지역냉난방, 발전

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획



[그림 5.3-1] 하수찌꺼기(슬러지) 처리방식에 따른 분류

제 1 장

제 2 장

제 3 장

제 4 장

제 5 장

제 6 장

제 7 장

제 8 장

제 9 장

제 10 장

다. 하수찌꺼기(슬러지) 감량화

찌꺼기(슬러지) 처리과정은 농축조에서 수처리과정을 통하여 발생한 찌꺼기(슬러지)를 장시간 중력침전시켜 부피를 감소시키며 소화조와 탈수설비를 통하여 부피와 무게를 감소시키고 운반과 처분을 쉽게 하기 위한 찌꺼기(슬러지) 상태로 만든다.

1) 농축

농축이란 찌꺼기(슬러지)의 함수율을 저하시켜 고형물농도를 증가시키는 방법으로 소화 및 소각 등과 같은 후속의 단위공정에 대한 용량감소 및 효율증대를 목적으로 하는 단위공정이다. 일반적으로 찌꺼기의 농축성은 투입찌꺼기의 성상, 수온, 운전조건에 의하여 크게 영향을 받는데, 찌꺼기의 성상에 의한 영향인자는 유기물함량, 비중, 입경 등이 있으며 이들은 하수의 배제방식, 지역특성, 수세화율 등에 따라 변화한다. 이중 찌꺼기의 농축성에 가장 영향을 주는 것은 유기물로서 배제방식 및 관로의 유속과 분뇨의 직투입 여부 등과 관계가 있는데, 합류식의 경우 지표면의 무기물을 주체로 하는 토사가 유입되기 때문에 유기물 함유율이 낮으며 상대적으로 분류식 배제방식을 채택하는 찌꺼기보다 농축성이 좋다고 알려져 있다.

[표 5.3-4] 하수찌꺼기(슬러지) 처리방식에 따른 분류

방법	원 리	형 식	특 징	적용성	비 고
중 력 농 축	중력을 이용하여 고액분리를 실행하면서 농축	자연 침강형	중력에 의하여 고형물을 자연 침강시키면서 농축한다. 운전비용이 가장 저렴함	혼합찌꺼기 초기침전찌꺼기	실적이 많으나 설계치를 밀도는 곳도 많음
		회전 드럼형	고분자응집제를 사용하여 응집된 찌꺼기를 천천히 회전시키면서 여포 또는 금속망을 부착한 드럼	탈수를 전제로 한 농축방법	
원 심 농 축	원심력을 사용하여 고액분리를 실행하면서 농축	Basket (입형)	원심효과 500~2,000G Batch 또는 반연속식	잉여찌꺼기	실적 있음
		분리판형	원심효과 700~9,500G 반연속 또는 연속식		
		Solid Bowl (횡형)	원심효과 500~4,000G 연속식	잉여찌꺼기	실적 있음
부 상 분 리 농 축	고형물입자를 기포를 부착시켜 기포의 부력에 의하여 고형물 입자를 부상시켜 분리농축	분산공기 부상법	대기압 하에서 다공판 등을 통하여 공기를 불어넣어 기포 발생	효율이 나쁘고 적용성은 낮음	
		용해공기 부상법	수중에 용해된 공기를 기포로서 발생시킴	가압부상형이 적용성은 높음	가압부상형으로 서전가압, 부분가압방식이 실적 있음
		전해 부상법	물의 전기분해에 의하여 발생하는 수소와 산소를 기포로서 사용한다.	생물처리찌꺼기의 전도성이 낮아 소비전력량이 많음	

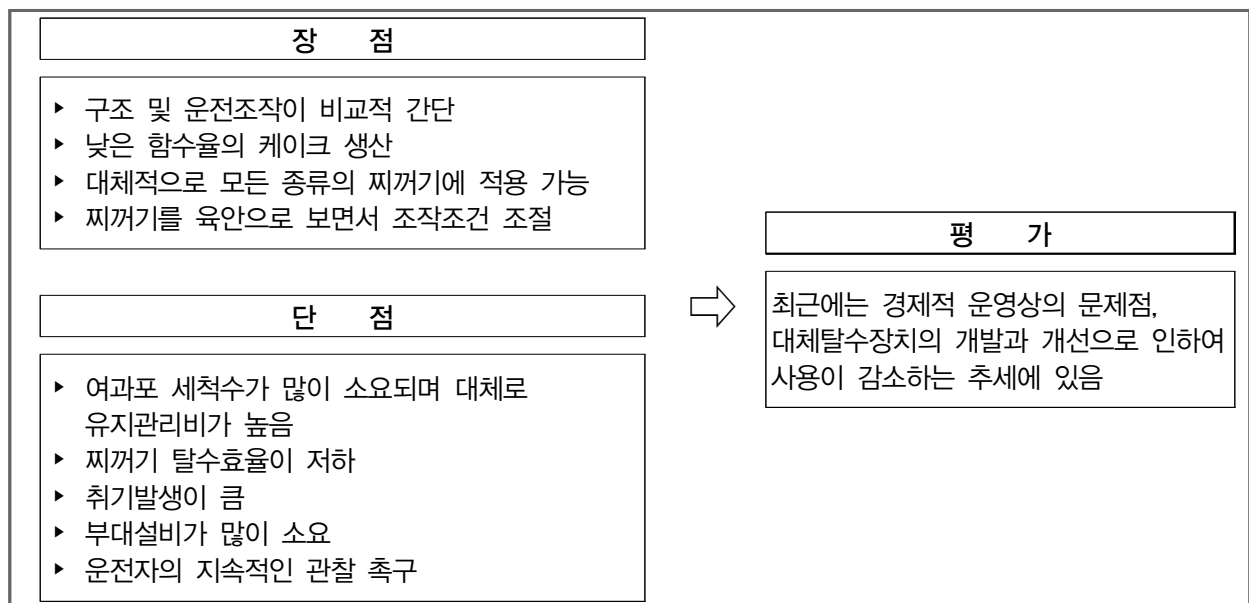
2) 탈수

탈수의 목적은 찌꺼기(슬러지)로부터 수분을 제거하기 위함으로 최종처분지 까지의 운반비 절감 및 매립작업에 지장이 없도록 하는 것은 물론 소각 등을 행할시 찌꺼기(슬러지)의 연료로서의 가치를 높여 보조연료량을 줄이고, 열수지를 유리하도록 하기 위함이다. 탈수는 다공상여재(여포 또는 모래)를 이용하여 자연적으로 찌꺼기 고형물과 수분을 분리하는 자연건조(여과탈수방식)와 여재를 사용하지 않는 기계탈수 방식으로 다음과 같이 분류할 수 있다. 또한, 자연건조와 기계탈수의 장 · 단점을 아래에 나타내었다.

[표 5.3-5] 하수찌꺼기(슬러지) 탈수방식 비교

구 분	자 연 건 조	기 계 탈 수
장 점	○ 시설비 저렴 ○ 유지운영비가 적음 ○ 찌꺼기 성상변화에 대한 영향이 적음 ○ 건조찌꺼기의 함수율이 낮음	○ 소요부지가 적어 대규모의 하수처리장에 적용가능 ○ 위생적인 찌꺼기 처리 ○ 기상조건의 영향 없이 찌꺼기 처리가 가능
단 점	○ 소요부지가 넓어 대규모 처리장 적용 불가능 ○ 기상조건(우기)을 고려한 설계와 유지관리가 필요 ○ 2차 환경문제(악취, 위생문제 등) 유발	○ 고가의 유지비 및 운전비가 소요 ○ 에너지 소비가 비교적 많음 ○ 화학적 개량이 필요 ○ 찌꺼기 성상에 따라 탈수효율이 차이가 많이 발생 ○ 케이크 함수율이 대체로 높음
평 가	○ 자연건조방식은 시설비가 저렴하고 경제적인 방식이지만 소요부지확보의 어려움, 2차 환경오염 발생 등의 단점으로 인하여 최근에는 거의 사용되지 않고 있는 실정이며, 현재는 대부분 기계탈수방식을 채택하고 있다.	

가) 건조용 라군(lagoons)



[그림 5.3-2] 슬러지 탈수방식 비교(건조용 라군)

나) 가압탈수기(Filter Press)

장 점	→	평 가
▶ 탈수효율이 좋고 탈리액 농도가 낮음 ▶ 케이크 함수율이 낮고 가격이 비교적 저렴 ▶ 무기물 찌꺼기에 적용성이 우수		가압탈수는 찌꺼기의 성상에 따라 처리효율이 차이가 나며 유지관리비가 많이 들고 동력소모가 크다는 점 등의 경제적 이유로 국내 사용실적이 현재까지 거의 없으며 유럽에서 많이 이용되고 있는 실정임
단 점		
▶ 찌꺼기 충전 및 케이크 배출이 비교적 연속적 ▶ 인건비 다량 소요되며 설치면적 넓음 ▶ 탈수속도가 대체로 느림 ▶ 부대설비가 많이 소요 ▶ 잉여찌꺼기의 탈수성 저하		

[그림 5.3-3] 슬러지 탈수방식 비교(가압탈수기)

다) 원심탈수기(Centrifugation)

장 점		평 가
▶ 탈수속도가 비교적 빠름 ▶ 운전조작이 비교적 용이 ▶ 약품사용량이 적고 취기대책이 용이 ▶ 세척수량 적음	➡	원심탈수는 탈수속도가 빠르고 처리효율이 우수하나, 고속회전으로 소음·진동이 심하다. 예전에는 수입에 의존하였으나 근래에 국산화가 많이 되어 점차 사용이 증가하는 추세임
단 점		▶ 고속회전으로 소음, 진동이 심함 ▶ 낮은 고형물 농도에서 탈수성 불량 ▶ 균일한 찌꺼기 성상에만 적용 가능 ▶ 방음장치, 제사설비 등 부대설비 필요 ▶ 기계부품의 마모가 심함

[그림 5.3-4] 슬러지 탈수방식 비교(원심탈수기)

라) 벨트프레스 탈수기(Belt Press Filter)

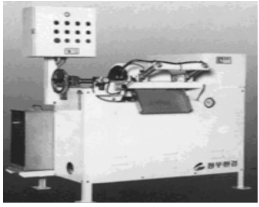
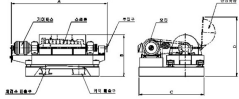
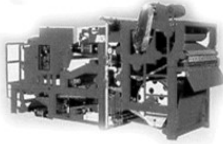
장 점		평 가
▶ 소음·진동이 적어 작업환경 양호 ▶ 약품사용량이 적고 동력비 적게 소요 ▶ 연속, 자동운전이 가능 ▶ 육안관찰 가능하여 유지관리 용이 ▶ 부대설비 적게 소요	➡	벨트프레스는 작업장 내에 악취 등이 발생하는 문제점이 있으나, 비교적 탈수효율이 우수하고 기기가 국산화된 상태여서 현재 국내 적용실적이 가장 많음
단 점		
▶ 여과포 세척수량 다량 소요 ▶ 설치면적 대체로 넓음 ▶ 기계 보수점검에 장시간 소요 ▶ 악취가 심하여 탈취시설 필요		

[그림 5.3-5] 슬러지 탈수방식 비교(벨트프레스 탈수기)

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

하수찌꺼기 탈수기의 종류별로 특성은 다음과 같다.

[표 5.3-6] 하수찌꺼기(슬러지) 탈수기 종류별 비교

구 분	진공탈수기	가압탈수기	원심탈수기	벨트프레스
형 식				
Cake 함수율	72~80%	55~65%	75~80%	76~83%
탈수속도	7~15kg-DS/m ³ ·hr	3~5kg-DS/m ³ ·hr	1~150m ³ /hr	100~150kg-DS/m ³ ·hr
소요면적	많다	많다	적다	적다
약품주입율 (고형물당)	Ca(OH) ₂ : 25~40% FeCl ₃ : 7~12%	좌 동 (무약품 주입식 있음)	0.7~1.0%	0.5~0.8%
조작조건	흡착탈수:2.5min 여과탈수:2.5min 케이이크반출:2.5min	탈수공정:5min 압출공정:12min 건조공정:1.5min 배출공정:5.5min	—	여포 이동속도 : 0.4~2.4m/min 여포 인장압 : 1~3kg/cm ²
약품개량제	소석회+염화제2철	좌 동	고분자응집제	고분자응집제
여포교환	8hr/d 운전시 : 5~6개월	8hr/d 운전시 : 3개월 (1,500 싸이클)	8hr/d 운전시 : 2~2.5년 (단, 스크류)	8hr/d 운전시 : 약 1년
여포세척	필요수량 : 많다 세척수입 : 2~3kg/cm ²	필요수량 : 보통 세척수입 : 6~8kg/cm ²	필요수량 : 적다	필요수량 : 많다 세척수입 : 3kg/cm ²
케이이크 배 출	여포의 이동에 의한 연속배출	싸이클마다 여포실 개방과 여포이동에 따라 배출	스크류에 의해 연속배출	여포의 이동에 의해 연속 배출
연속조작	간편	간편	간편	간편
소 음	보통	보통(간헐적)	보통(패키지 부착)	적다
동 력	많다	많다	많다	적다
보조기류	많다	많다	많다	적다
소모품	보통	보통	많다	적다

3) 수처리 공정 내 찌꺼기 감량화

하수찌꺼기 종류에 따른 처리공정별 감량화율은 다음과 같다.

[표 5.3-7] 하수찌꺼기(슬러지) 종류에 따른 처리공정별 감량화율

단위공정	조 건	감 량 율		비 고
		체적	DS	
생슬러지	함수율 : 99%	100 (1)	1	○ 1차슬러지 + 잉여슬러지
농 축	농축후 함수율:96%	25 (1/4)	1	○ 농축후 체적 = $DS / ((100 - \text{함수율}) \times (1/100))$ = $1 / 0.04 = 25$
소 화	VS : 60% 소화율 : 50% 소화후 함수율:95%	14 (1/7)	0.7	○ 소화후의 DS = $1.0 \times 0.6 \times 0.5 + 1.0 \times 0.4 = 0.7$ ○ 소화후의 체적 = $0.7 / 0.05 = 14$
탈 수	약품주입율 : 1% 탈수후 함수율:75%	2.8 (1/36)	0.7	○ 탈수후의 DS = $0.7 \times 1.01 \approx 0.7$ ○ 탈수후의 체적 = $0.7 / 0.25 \approx 2.8$
소 각	외관비중 : 0.8	0.5 (1/200)	0.4	○ 소각감량분 = 케이크중의 유기분 = $1.0 \times 0.6 \times 0.5 = 0.3$ ○ 소각후의 체적 = $0.4 / 0.8 = 0.5$

최종적으로 생산되는 탈수Cake량을 감량하기 위한 수처리공정에서의 방안으로는 침사
자협잡물제거시설에서 직매립이 가능한 물질로 최대한 제거하는 방안, 고도처리과정
에서 잉여찌꺼기 분해를 통한 탄소원으로 자체 조달함으로서 찌꺼기(슬러지)를 감량화 하
는 방안 등이 있으며 감량화 기술의 분류는 다음과 같다.

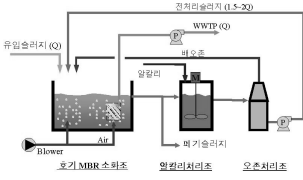
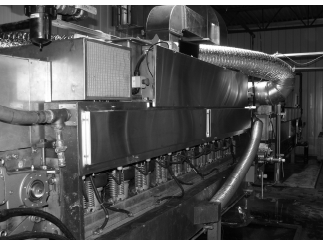
[표 5.3-8] 하수찌꺼기(슬러지) 감량화 기술의 분류.

처리기술	처 리 방 법	
생물화학적 처리방법	○ 고온 호기성 세균을 이용한 방법	○ 소화균을 이용하는 방법
화학적 처리방법	○ 오존을 이용한 처리방법	○ 전기분해를 이용한 처리방법
	○ 알칼리 약품처리법	○ 펜톤 처리법
	○ 초음파를 이용한 처리방법	
물리적 처리방법	○ Cavitation 파쇄법	○ 초임계수를 이용한 방법
	○ Mill 파쇄법	
복합 처리방법	○ 알칼리 처리 + 기계적 파쇄	○ 감압파쇄 + 가열 + 초음파

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

가) 수처리공정 내 하수찌꺼기(슬러지) 감량화 공법검토

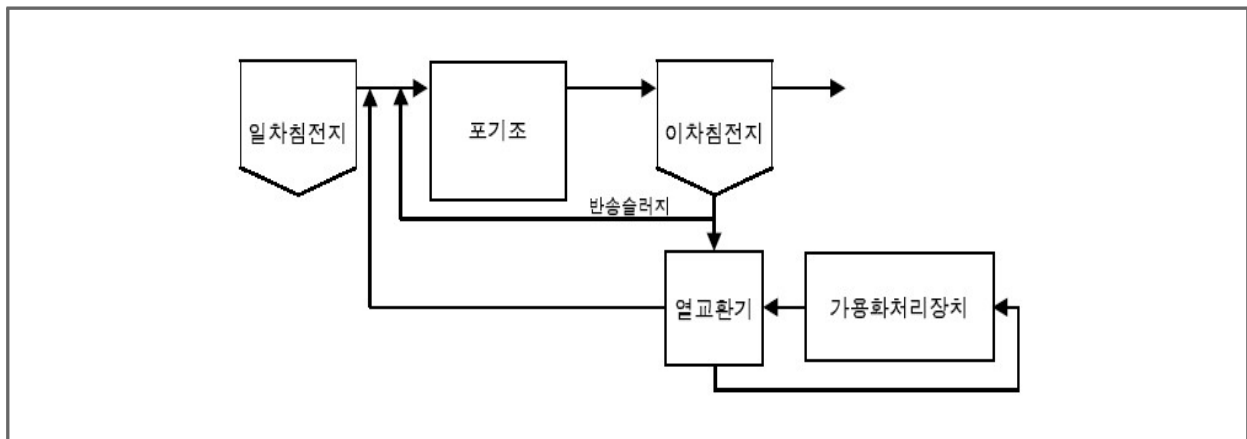
[표 5.3-9] 하수찌꺼기(슬러지) 감량화 기술의 분류

구 분	오 존 처 리	열 적 산 화	에스테프로세스
시 설 개 요	오존투입을 통한 세포 및 유기물 분해 후 효율 증진	고온, 고압에서 가수분해, 산화반응으로 CO ₂ , H ₂ O로 분해	호열균의 효소에 의해 유기성 잉여찌꺼기 분해감량
공 정 형 상			
Vs 감량율	70%	90%	80%
케익발생저감율	60%	80%	70%
장 점	○ 기존시설에 유리 ○ 초기투자비 ○ 비교적 저렴	○ 감량효율 높음 ○ 탈수케익 발생량 적음	○ 감량 효율 높음 ○ 유지관리 용이
단 점	○ 대용량시설 적용 불리 ○ 오존시설 비대화 ○ 국내적용 사례적음	○ 고온/다소고압으로 운영의 난이도 ○ 수처리부하 증가 ○ 국내적용 사례적음	○ 유지관리비 상승 ○ 수처리부하 증가 ○ 국내적용 사례적음
구 분	초 음 파	전 기 건 조	비 고
시 설 개 요	초음파를 통한 세포액 파괴로 소화효율 증진	전극을 통한 전류공급으로 찌꺼기 수분 제거	
공 정 형 상			
Vs 감량율	60%	50%	
케익발생저감율	10~20%	50%	
장 점	○ 운전비용 저렴 ○ 시공 간편 ○ 유지관리 용이	○ 시공 간편 ○ 유지관리 용이 ○ 건축소요면적 최소화	
단 점	○ 생/잉여찌꺼기 분리 ○ 초음파 발생장치 주기적 교체	○ 국내 적용실적 미비	

4) 잉여찌꺼기 감량화

가) 고온호기성세균을 이용한 감량화

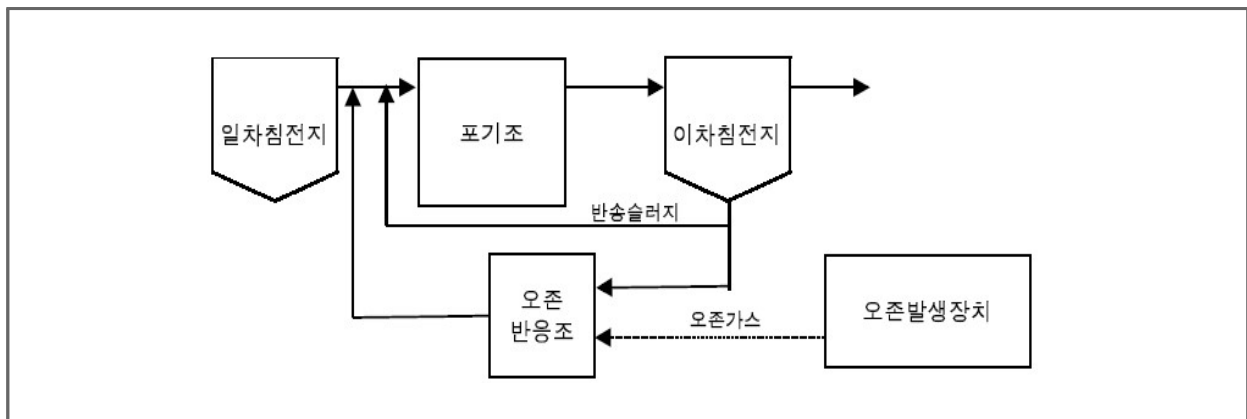
가용화처리시설에서 약 55~65℃로 활성찌꺼기를 가열하면 활성찌꺼기를 보호하는 점성물질이 해체된다. 고열호기성세균이 가열에 의해 활성화되어 효소를 분비하고 이 효소가 세포벽을 파괴하여 파쇄가 이루어져 원형질이 용출된다. 원형질은 BOD성분으로 고열호기성세균이 일부 분해하고 나머지는 생물반응조로 유입되어 최종적으로 이산화탄소로 분해되고 일부는 생체합성에 사용되어 잉여찌꺼기가 감량화 된다.



[그림 5.3-6] 고열호기성 세균을 이용한 감량화 시설

나) 오존산화를 이용한 감량화

오존의 산화력을 이용하여 잉여찌꺼기(슬러지)를 산화·분해·감량화하는 기술로 찌꺼기(슬러지)에 오존을 투입하여 생분해성이 높은 유기물인 RBD-COD (Readily Biodegradable COD)로 전환시켜 하수처리공정으로 순환시키고 미반응된 유기찌꺼기와 무기찌꺼기를 분리하여 재순환시킴으로서 하수고도처리시 질소제거를 위해 필요한 유기탄소원으로 활용하고, 나머지는 생물반응조 미생물에 의해 분해·제거된다.

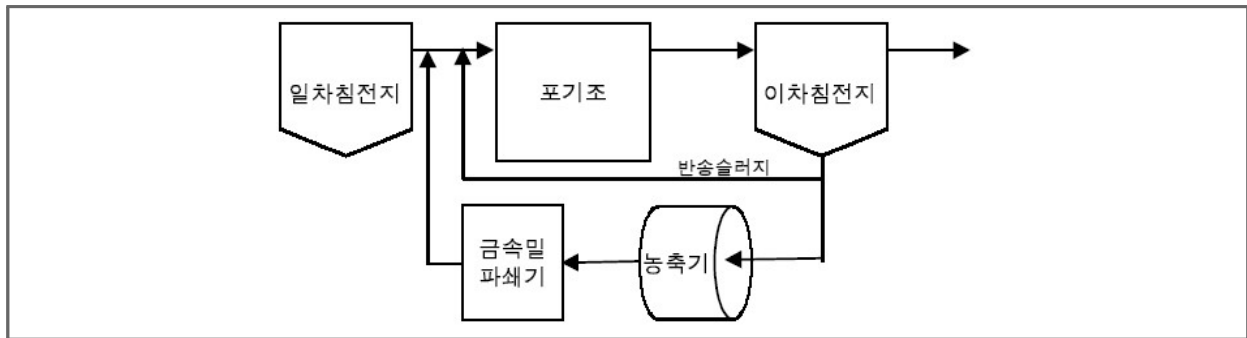


[그림 5.3-7] 오존산화를 이용한 찌꺼기(슬러지) 감량화 시설

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

다) 금속밀의 마찰력 및 마찰열을 이용한 감량화

잉여찌꺼기(슬러지)를 농축 후 금속밀 파쇄기에 유입시키고 금속밀을 상호 유동시켜 불과 불 사이의 마찰력과 마찰열에 의해 활성찌꺼기의 세포벽을 강제적으로 파쇄하여 가용화시킨 후 반응조로 유입시켜 최종적으로 이산화탄소로 분해되고 일부는 생체합성에 사용되어 잉여찌꺼기가 감량화 된다.



[그림 5.3-8] 금속밀을 이용한 찌꺼기(슬러지) 감량화시설

다음은 일본 하수도사업단과 공동연구 및 처리장 사용실적이 있는 기술에 대하여 기술의 특징 및 장·단점을 비교하여 나타낸 것이다.

[표 5.3-10] 감량화 기술의 특징과 장단점 비교

구 분	고열호기성세균 감량화기술	오존산화 감량화기술	금속밀 감량화기술
실용화 연도	○ 1998년	○ 1994년	○ 2000년
가용화 원리	○ 고열호기성세균(효소)	○ 오존산화(물리화학적 처리)	○ 밀 파쇄(기계적 파쇄)
주요기기	○ 고열호기성세균, 배양조 (가용화조), 열교환기, 송풍기, 가온설비	○ 오존반응조(가용화조), 오존발생기, pH조정설비, 폐오존 처리장치	○ 밀 파쇄장치, 농축기
장 점	○ 운전비 저렴 ○ 2차 오염 적음 ○ 일부 무가화되어 반류부하 감소	○ 반응이 빠르고 시설이 컴팩트화	○ 시설이 컴팩트화
단 점	○ 시설면적이 크다. ○ 가용화조에서의 취기 발생	○ 오존발생기 유지관리복잡 ○ 가용화액의 반류부하 큼 ○ 반응조의 발포현상 우려 ○ 침강성이 약간 불량	○ 가용화액의 반류부하 큼 ○ 금속볼의 교체비용 고가 ○ 침강성 불량 ○ 전기소비량 많음
공통단점	○ 처리수질 악화, - COD : 10~50% 상승 - T-P : 30~80% 상승	○ 처리수질 악화, - COD : 10~40% 상승 - T-P : 50~90% 상승	○ 처리수질 악화, - COD : 10~40% 상승 - T-P : 50~90% 상승
감량화율	○ 분류식 : 90 ~ 95%	○ 분류식 : 95 ~ 98%	○ 합류식 : 85 ~ 88%
실적여부	○ 하수(산화구법, 표준활성슬러지법), 공장폐수 등에 적용	○ 하수(산화구법), 공장폐수 등에 적용	○ 공장폐수에 적용

5) 탈수Cake의 감량화

하수처리시설에서 일반적으로 행해지는 탈수에 의해서 함수율 78% 정도를 탈수Cake을 얻는 것이 일반적이다. 따라서 이 함수율을 최대함수율을 최대한 낮출수록 후속 중간처리 및 최종처분 공정의 소요 용량이 작아진다.

일반적으로 함수율 78%의 탈수Cake을 65%까지 낮출 경우, 약 37%의 감량화가 이루어지게 되며 이런 목적으로 하수처리시설 내에서 추가 탈수를 수행할 필요가 있다.

본 계획에서는 추가 탈수의 한 방식으로 개발된 전기침투 탈수방식을 검토하였다.

가) 원리

전기침투방식은 종래의 가압탈수방식과 다르게 전기침투 작용을 이용하여 고효율의 탈수가 가능한 탈수방식으로 1차 탈수된 Cake를 양극 드럼과 음극 드럼 캐터필러 사이에 공급하여 양극 간에 삼상교류전압을 인가하여 여러 가지 하수찌꺼기의 세포 내 결합수를 강하게 음극측으로 밀어내어 고효율의 탈수가 가능하다.

나) 전기침투 과정

- 초기전기침투 : 전기영동 작용에 의한 하수찌꺼기 입자(-)가 양극측을 이동
- 중기전기침투 : 전기침투 작용에 의한 분리수가 음극측으로 탈수
- 말기전기침투 : 하수찌꺼기의 세포막이 파괴되어 결합수가 배출
- 세포막 파괴 : 하수찌꺼기의 결합수가 모세관 압력에 의해 음극측으로 탈수

다) 특징

- 기계적으로 불가능했던 저함수율 영역까지 탈수가 가능하다.
- 탈수Cake의 성상이 변화해도 전기침투인가 전압의 설정에 의해 함수율을 자유로이 조절할 수 있다.
- 고분자 응집제 첨가를 줄여 사용전력을 고려해도 운영비가 낮다.
- 탈수Cake 처리에 있어 저함수율이므로 운반비(매립), 연소비(소각), 수분조정(퇴비화) 등의 비용이 절감된다.

6) 기타 감량화 기술

현재 개발되어 있는 하수찌꺼기(슬러지) 감량화 기술은 주로 농축찌꺼기(슬러지)에 대하여 초음파, 오존, 고온호기성세균, 용균성산화제, 물리적 파쇄장치 및 이들을 조합한 감량기술 등을 적극적으로 개발하고 있으며, 일부에서는 상용화하여 실제 하수찌꺼기(슬러지) 발생량이 상당히 감소한 것으로 보고되고 있으나 국내 하수처리시설에서는 적용실적이 거의 없는 실정이다.

라. 하수찌꺼기(슬러지) 안정화

안정화에 대한 정의는 처리관심 시각에 따라 여러 정의가 있을 수 있으나 일반적으로 하수찌꺼기(슬러지) 처리시 안정화는 악취감소, 질병 등을 유발하는 병원균 제거, 화학적 독성제거, 탈수증진 등이다. 다음은 처리방법에 따른 안정화 효과를 나타내고 있다.

[표 5.3-11] 처리방법에 따른 하수찌꺼기(슬러지) 안정화 효과

처 리 방 법	안 정 화 효 과			
	악취제거	살 균	독성제거	탈 수
혐기성 소화법	+	+	+ ^{a)}	+
호기성 소화법	+	+	O	-
Lime 처리법 (Ca(OH) ₂)	+	+	+ ^{b)}	+
Quicklime 처리법 (Cao)	+	++	++ ^{b)}	+
퇴비화	+	+	O	NA
Long-Term Lagooning	O	+	O	+
염소처리법 (Chlorination)	+	++	O	+
이온처리법 (Ionizing Radiation)	+	++	O	O
자외선 조사법 (Irradiation)	O	++	O	O
살균법	-	++	O	+
건 조	++	++	O	NA
소 각	++	++	O	NA

주) - : negative effect, O : not very effective, + : somewhat effective, ++ : very effective
NA : not applicable, a) : supernatant removal, b) : reduction of soluble

1) 소화

하수찌꺼기(슬러지) 소화의 목적은 유기물을 감소시키고 안정화시키는데 있다. 적절한 소화를 거친 찌꺼기(슬러지)는 박테리아 활동이 적게 되며 이는 찌꺼기(슬러지) 내의 병원체 박테리아가 크게 감소되는 것을 나타내기도 한다. 찌꺼기(슬러지)는 소화조에 유입되어 적절한 소화온도로 적당한 소화일수를 거치면 유기물은 가스화되어 25~60% 정도 감소한다. 소화방식에는 혐기성 소화방법과 호기성 소화방법이 있으며 각각의 장단점은 다음과 같다.

[표 5.3-12] 하수찌꺼기 소화방식 비교

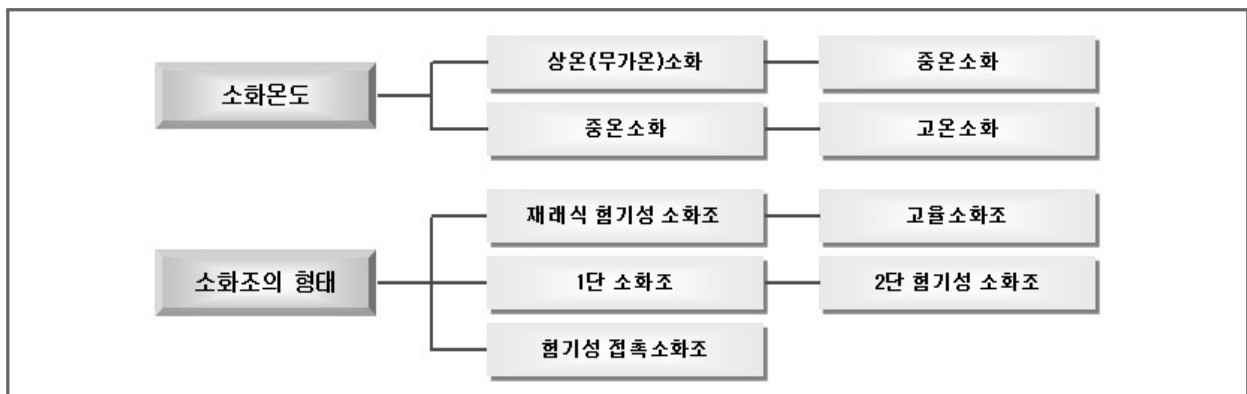
구 분	혐기성 소화방식	호기성 소화방식
장 점	- 소화에 소요되는 동력이 적음 - 소화찌꺼기는 탈수가 쉬움 - 안정한 최종생산물을 얻음 - CH₄와 같은 유용한 가스 생산	- 처리기간이 단기간 - 휘발성 고형물의 감소효율이 좋음 - 악취가 없고, 안정한 최종생산물을 얻음 - 운전이 비교적 쉬움 - 건설비가 적게 듦
단 점	- 장기간이 소요 - 온도, pH, 알칼리도, 암모니아 등에 영향을 받으며 운전이 어려움 - 건설비가 많이 듦	- 산소공급을 위한 동력비가 많이 듦 - 소화찌꺼기는 기계적으로 잘 탈수되지 않음 - 메탄과 같은 유용한 부산물이 얻어지지 않음
평 가	호기성 소화방식은 그 처리기간이 단기간이라는 장점이 있으나, 산소공급을 위한 동력비가 많이 요구되어, 대규모 하수처리장의 찌꺼기 소화방식은 혐기성 소화방식으로 구성되어 있는 것이 대부분임	

가) 혐기성 소화

혐기성 소화조는 산소가 존재하지 않는 조건하에서 유기산균과 메탄균을 이용하여 분해시킴으로써 찌꺼기(슬러지)의 양을 감소시키고, VS 감량에 따른 안정한 최종생산물을 얻을 수 있으며 기생충과 병원균 사멸 등의 안정화 효과를 목적으로 한다. 혐기성 소화는 소화온도와 소화조의 형태에 따라 다음 그림과 같이 분류할 수 있으며 국내 하수처리시설에서는 대부분 중온소화(36℃ 전후)를 하고 있다.

나) 호기성 소화

찌꺼기(슬러지) 중의 유기물을 호기성 미생물의 작용에 따라 분해하고 소화찌꺼기와 탈리액 및 가스를 최종적으로 생산하는 공정을 호기성소화라고 한다. 호기성소화를 행하는 소화조의 구조는 수처리에서의 포기조와 비슷하다. 뒤에 연속되는 농축조에 의해 소화찌꺼기와 탈리액이 분리된다. 호기성소화에 의해 찌꺼기(슬러지) 중의 유기물은 20일 정도에 30~50%가 감소되고 탄산가스와 물로 된다.



[그림 5.3-9] 하수찌꺼기 처리와 처분에 대한 process 조합

2) 화학적 안정화

가) 염소산화

염소산화법은 염소가스를 다량 주입하여 찌꺼기(슬러지)를 화학적으로 산화시키는 방법이다. 일반적으로 밀폐된 반응조에서 단시간 동안 액상찌꺼기와 염소를 직접 접촉 시킴으로써 부패작용을 수행하는 미생물을 살균하고 이에 따라 부패와 악취를 화학적으로 방지하고 병원균도 살균할 수 있다. 이 방법은 부패성을 억제시키기 위하여 어떤 생물찌꺼기의 처리에도 사용가능하며, 또한 현존하는 시설의 용량이 초과하였을 때 보조수단으로도 이용가능하다. 대부분 염소산화장치는 사전가공 표준설계, 완전조립 이동식으로 만든다. 찌꺼기(슬러지)를 안정화시키는 방법으로 염소산화만을 이용할 수 있는 경우 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 이하의 플랜트로 제한되어 있다. 염소산화공정의 후속 탈수공정으로는 모래건조상이 효과적이다. 벨트필터프레스 탈수방법도 쓰이는데 고분자 전해질을 미리 가하여 조정한다.

나) 석회안정화

석회안정화법에는 생찌꺼기에 석회를 충분히 가하여 pH를 12이상으로 높여 미생물이 생존할 수 없는 환경으로 만드는 방법이다. 따라서 pH를 높게 유지하는 한 찌꺼기(슬러지)가 부패하거나 냄새가 나거나 보건상의 위험이 초래되지 않는다. 석회안정화에서는 탈수에서 필요한 양보다 다량의 석회가 요구되며 박테리아의 증식에 필요한 유기물을 파괴시키는 것이 아니므로 pH가 상당히 낮아지기 전에 찌꺼기(슬러지)를 처분해야 한다. 그렇지 않으면 다시 pH가 낮아질 때 미생물이 증식하여 부패하게 된다.

3) 개량(Conditioning)

찌꺼기(슬러지)의 개량(Conditioning)은 찌꺼기(슬러지)의 탈수특성을 좋게 하기 위하여 실시된다. 여러 가지 개량방법이 있으나 약품처리와 열처리방법이 가장 많이 사용되며, 그 외 냉동과 방사선처리법도 시도되었다. 세척(Elutriation)은 물리적인 방법으로서 약품처리를 위한 약품요구량을 감소시키기 위하여 실시된다.

가) 세척(Elutriation)

찌꺼기(슬러지)의 세척은 소화찌꺼기를 물과 혼합시킨 다음 재침전시키는 방법으로 찌꺼기(슬러지)의 탈수특성을 향상시키기 위한 것이 아니고 약품처리시의 약품요구량을 감소시키기 위한 것이 목적이다. 소화된 찌꺼기(슬러지)는 알칼리성이 매우 강한데 물로 씻음으로써 알칼리도를 줄이고 찌꺼기 탈수에 사용되는 응집제의 양을 줄일 수 있

다. 또한 찌꺼기(슬러지)의 세척은 소화된 찌꺼기(슬러지) 내의 가스방울을 없애주므로 부력을 감소시켜 잘 농축되게 한다. 그러나 미립자가 씻겨 나가든지, 질소분이 씻겨나가 찌꺼기(슬러지)의 비료가치가 낮아진다는 단점이 있다. 세척방법은 단계식, 다단계 병류식, 다단계향류식 등이 있지만 비경제적인 이유로 인하여 현재는 거의 사용되지 않고 있는 실정이다.

나) 열처리

찌꺼기(슬러지)를 140℃까지 가열한 후 냉각시키든가 또는 -20℃까지 동결시킨 후 녹임으로써 탈수성을 높일 수 있다. 이 효과에 대해서는 온도변화에 의한 colloid의 응집작용과 세포막파괴에 의한 세포 내 수분이탈에 원인이 있는 것으로 알려져 있다. 찌꺼기(슬러지)를 고온처리하면 단백질이 용해되어 BOD가 매우 높아진다. 따라서 국내 고도하수처리시설의 대부분이 원수의 탄소원이 부족하여 외부탄소원을 이용한 탈질을 사용하고 있는 실정에서 찌꺼기(슬러지)로부터 분리된 상징액을 탈질조에 반송함으로써 탄소원 부족문제를 해결할 수 있는 장점이 있으나 아직까지 현실적 타당성이 부족한 것으로 나타났다. 만약 잉여열을 쉽게 얻을 수 있을 때에는 경제적으로 타당할 것으로 판단된다.

다) 약품처리(Chemical Conditioning)

수처리시설에서 배출되는 찌꺼기는 농축조에서 96~98%의 함수율을 가지게 되어 탈수효율이 좋지 않게 되고 이에 따라 찌꺼기(슬러지)의 탈수특성을 좋게 하기 위하여 화학약품을 사용하여 개량한다. 사용되는 화학약품은 정수나 폐수처리를 위하여 사용되는 응집제로서 백반(Alum), 각종 철염이 대표적이며, 최근에는 유기합성에 의한 고분자전해질(Polyelectrolyte)이 개발되어 많이 사용되고 있다. 일반적으로 진공탈수기와 가압탈수기에는 무기성 응집제를, 원심탈수나 벨트프레스 탈수기에는 유기성 응집제를 사용한다.

라. 하수찌꺼기(슬러지) 처리방식 결정

공공하수처리시설 내의 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 사용되어왔다.

그러나 「공공하수도시설 설치사업 업무지침 개정(2014.1, 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.

현재 천안시 공공하수처리시설에서 발생하는 슬러지는 원심분리형 농축조를 이용하여 농축 후 벨트프레스형 또는 원심기계식 탈수기를 이용하여 탈수 분리하여 슬러지 자원화시설 처리 가능량을 병천 공공하수처리시설로 이송하여 통합 최종처분하고 잔여량을 민간위탁(비료화 : 부숙화)하여 최종처분하고 있다.

향후 신·증설 공공하수처리시설의 경우 농축시설이 필요할 시 중력식 농축방법에 비하여 경제성 및 유지관리측면에서는 다소 불리하지만 처리장 부지의 효율적 이용과 농축효율이 최대인 점을 고려하여 기계식 농축 적용을 우선하며, 특히 잉여슬러지 합병처리 시 문제 시 되는 슬러지 혐기화로 인한 슬러지의 인 재용출을 방지하기 위해 생·잉여슬러지를 분리·농축토록 하여야 한다.

또한 슬러지 소화조는 설치 시 병원균 살균 및 악취감소와 함께 후속공정인 탈수 및 소각 시설의 유입고형물량을 감소시켜 그 규모를 최소화 할 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 건설 시 소화조를 제외한 공정도입이 바람직하므로 기계식 농축 후 바로 기계 탈수하도록 계획함이 타당할 것이다.

5.3.2 하수찌꺼기(슬러지) 처분방법

하수찌꺼기(슬러지)의 처리 및 처분에는 여러 가지 방법이 있으나 궁극적으로는 최종 부산물의 자원화를 목표로 감량화가 이루어져야 한다. 하수처리과정에서 발생하는 하수찌꺼기(슬러지)는 함유율이 높고, 유기물을 다량 함유하여 악취를 발생시키며, 병원균 등이 존재하기 때문에 이를 적절하게 처리하여 최종 처분하는 것이 필요하다.

하수찌꺼기(슬러지)의 최종처분 계획시 고려할 사항으로는 처분지의 장기적 전망, 안전성, 경제성 등을 들 수 있으며, 처분방법의 선택에 있어서는 계획대상지역 및 공공하수처리시설의 제반여건을 고려하여 사용 가능한 토지유무, 하수찌꺼기(슬러지)의 양 및 특성, 장기적으로 환경에 미치는 영향, 장래 이용가능성 등을 파악함으로써 경제적이고 합리적인 방법을 채택하는 것이 중요하다. 또한 최근의 추세를 볼 때 하수찌꺼기(슬러지)량의 증가, 하수찌꺼기(슬러지) 전용 처분시설 부족에 따른 탈수Cake 처분 곤란, 장기적이고 안정적인 매립지 확보 곤란 등이 문제점으로 크게 대두되고 있어 이의 해결방법 모색이 커다란 과제가 되고 있는 실정이다.

현재 우리나라에서 사용되고 있는 하수찌꺼기(슬러지) 최종처분방법에는 건조, 소각, 용융, 퇴비화, 고품화, 매립, 자원화 등이 있다.

한편, 해양수산부는 폐기물 해양투기로 인한 국민의 불안감을 해소하고 해양환경을 보호하려는 국제적 노력에 동참하기 위해 2006년 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」을 수립해 2006년 900만^{m³}에서 2008년 700만^{m³}, 2011년 400만^{m³} 등으로 연도별 해양투기 목표량을 설정하고, 2012년에 하수처리오니와 가축분뇨의 해양투기 금지, 2013년에는 음폐수의 해양투기를 금지했다. 또한 2012년 「육상폐기물 해양배출 제로화 추진계획」을 수립해 2013년 분뇨와 분뇨오니의 해양투기를 금지하고, 2014년 산업폐수 및 폐수오니 해양투기를 원칙적으로 금지했다.

해양수산부는 해양투기의 전면적인 금지에 따른 사회·경제적인 혼란 방지와 해양투기에 따른 환경 손실을 최소화하기 위해 폐수와 폐수처리오니에 대해 2014년부터 원칙적으로 해양투기를 금지하되, 예외적으로 육상처리 불가능을 입증한 업체에 한해서 2015년 12월 31일 이내에 해양투기를 일부 허용하는 보완장치를 마련했다. 또한 폐기물 해양투기 해역에 대해 지속적인 모니터링을 통해 체계적 관리체계를 마련함으로써 환경 손실이 최소화되도록 노력하고 있다.

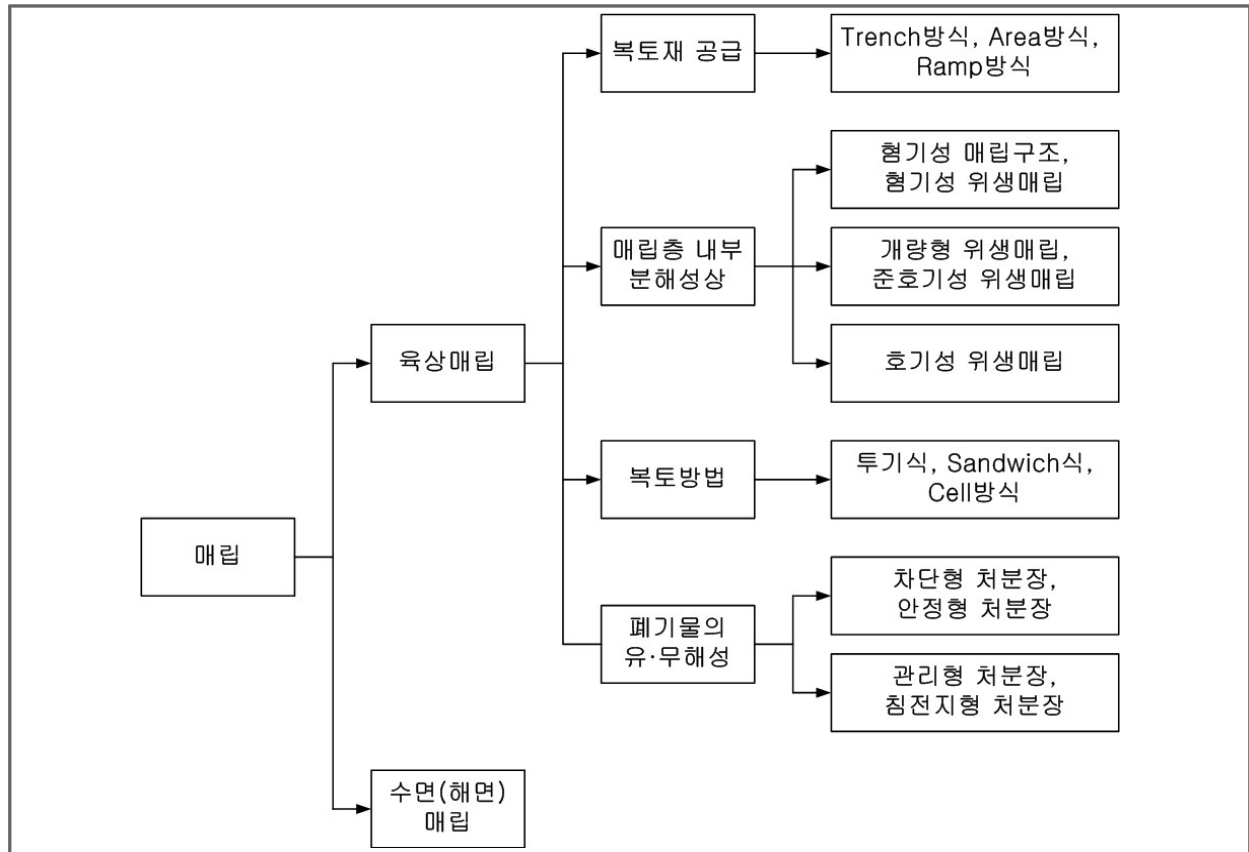
2016년 1월 1일부터는 국제사회에서 해양투기가 가능하도록 규정하고 있는 준설토사, 수산 가공잔재물 등 일부를 제외한 모든 육상폐기물 해양배출이 전면 금지되었다.

가. 매립

하수찌꺼기(슬러지)의 전통적인 처분방법은 주로 토지살포와 매립이 활용되어져 왔는데 토지살포는 기상 조건 및 사용 가능 토지의 제한은 물론 2차 오염의 문제가 제기됨에 따라 사용이 급속히 감소하고 있는 추세이다.

과거 국내에서 개발된 하수찌꺼기(슬러지) 처분방안 중 기술적, 경제적인 측면에서 매립보다 효율적인 처리 방법이 없고 재이용 측면에서도 실용화 단계가 아직 이르기 때문에 탈수Cake의 대량 처분은 주로 매립에 의존하였다. 그러나 매립처분의 경우 하수찌꺼기의 취급, 매립부지의 확보, 침출수 문제 등의 어려움이 있고 하수찌꺼기의 직매립 금지와 매립지에 반입하는 비용 및 운반비용의 증가로 하수찌꺼기의 매립에 의한 처리 방법은 한계에 이르렀으며 현재는 사용이 감소하고 있는 추세이다.

매립방법은 매립지의 위치에 따라 육상매립 및 수면매립으로 대별되며, 육상매립의 경우 다음과 같이 분해특성 및 복토방법 등에 따라 다양한 분류가 가능하다.



[그림 5.3-10] 일반적인 매립의 분류

1) 하수찌꺼기(슬러지) 육상매립 동향

하수찌꺼기(슬러지)의 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 /일 이상인 공공하수처리시설에서 발생하는 슬러지는 폐기물관리법에 의해 직매립이 금지되어 대부분 해양배출 또는 소각 등의 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 종합

대책을 수립하여 하수슬러지는 2011년부터 전량 육상처리토록하며 재활용을 위한 제도 정비는 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 매립가스발생량 증가에 따른 자원의 재활용 측면과 온실가스감축효과의 복합적인 효과를 기대할 수 있게 되었다.

2) 국내 매립가스 자원화

국내에는 3,000여 개의 매립지가 있으며, 그 중 대형 매립지에 속하는 수도권, 난지도 매립지 등은 2001년 이후 자원화사업을 실시하는 중이다

매립가스의 자원화는 매립지의 규모, 특성, 용도에 따라 발전, 중질가스, 난방 등 여러 가지 자원화방법을 적용하고 있다.

[표 5.3-13] 매립가스 자원화사업 국내사례

항 목	수도권 매립지	난지도 매립지	부산생곡 매립지	울산 성암 매립지	대전금고동 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)
활용기간 (year)	10	10	20	20	10
사업방식	Lease방식	서울시	BOO	BTO	BTO
사업자	수도권매립지 관리공사	한국지역 난방공사	서회EnC +호주EDL사	SK+한라	효성+토탈 ENS
가동여부	2001. 11.~	2001. 11.~	2001. 06.~	2002. 10.~	2003. 06.~

나. 소각

하수찌꺼기(슬러지) 소각은 고온가열에 의해 수분을 감소시키고 유기물을 산화시켜 가스화하는 방법으로 하수찌꺼기(슬러지) 감량화는 물론 안정화와 안전화의 목적을 완벽하게 달성할 수 있으며, 소각시 발생하는 잉여열을 이용할 수도 있다.

하수찌꺼기(슬러지) 소각의 대표적인 장점은 다음과 같다.

- 부패성이 없고 위생적으로 안전하다.
- 탈수 CAKE에 비해 혐오감이 적고 소각재의 자원화가 가능하다.
- 하수찌꺼기(슬러지) 용적이 1/50~1/100로 감소하며, 이에 따른 운송비가 절감된다.
- 기후에 무관하게 처리할 수 있으며, 하수찌꺼기(슬러지)량에 따라 24시간 가동이 가능

그러나 소각은 고열을 취급하는 방법이므로 기본적으로 요구되는 효율성, 안전성 등이 소각대상물질에 따라 변화하며, 하수찌꺼기(슬러지) 소각시의 발열량이 낮기 때문에 다량의 보조연료를 필요로 하는 등 연구되어야 할 요소가 많이 있다. 또한 초기건설비 및 유지관리비가 고가이므로 하수찌꺼기(슬러지) 발생량이 적고 재정자립도가 낮은 소규모 도시에서는 경제적 부담이 크며, 배기가스에 의한 대기오염방지와 소각재 중에 생성되는 2차 공해 방지대책에 많은 투자를 필요로 한다.

[표 5.3-14] 하수찌꺼기(슬러지) 소각의 장 · 단점

구 분	장 점	단 점	비 고
하수슬러지 소각	○ 감량율이 높아 처리가 용이하다. ○ 처리가 힘든 유해폐기물의 처리에 적합하고, 위생적으로 안전한 처리가 가능하다. ○ 부패성이 없다. ○ 열량이 높은 슬러지 소각시 각여열을 이용할 수 있다. ○ 기후와 상관없이 24시간 처리가 가능하다.	○ 대기오염방지를 위한 대책이 필요하며, 도시 주거지역과 인접할 경우 민원발생의 우려가 있다. ○ 초기투자비와 유지관리비가 많이 소요된다. ○ 유지관리 기술이 필요하다.	

소각기술은 생활쓰레기, 산업폐기물 및 하수찌꺼기(슬러지) 소각로의 지속적인 설치 및 운영으로 시행착오를 겪어오면서 이에 대한 기술이 많이 축적되어 있는 실정이다. 일반적인 하수찌꺼기(슬러지) 소각에 적용 가능한 소각로 형식에 대한 비교 결과는 다음과 같다.

[표 5.3-15] 소각시설 비교

구 분	스토카식 소각로	유동상식 소각로	로타리킬른 소각로
구조적 특징	로 내에 화격자를 설치해서 그 위에 폐기물을 투입하여 소각하는 방식으로 비교적 발열량이 낮은 하수슬러지의 경우에는 연소용 공기를 화격자 하부로부터 공급하는 상향연소 방식을 채택함	로 내에 유동매체(모래 또는 석회석 등)가 적절한 높이까지 채워져 있고 연소 공기는 유동 매체의 하부에 있는 공기분산판을 통해 주입하는 방식으로 유동매체는 하부로부터 유입되는 가스에 의하여 격렬한 운동을 하여 혼합을 증진시키고 열전도도 용이하게 됨	원통형의 소각로로 0.5~8° 의 각도로 기울어져 있으며 폐기물의 혼합을 높이기 위해 소각로가 지속적으로 0.5~5rpm으로 회전하며 상부에서 투입된 폐기물이 소각로를 따라 연소되면서 출구에서는 재만 남는 방식
소각폐기물	혼합 쓰레기 (가연성분+불연성분)	가연성분 쓰레기	혼합 쓰레기 (가연성분+불연성분)
전처리과정	불필요	가연성분만을 소각하기 때문에 가연성분의 철저한 분리와 파쇄 등의 전처리가 필요	불필요
소각처리규모	대용량이 가능 1,000톤/기 이상이 설치된 예도 있음	기당 일처리 규모 200톤 이상은 기술적인 문제로 비효율적	대용량이 가능함
공기비	1.5~2.5	1.15~1.3	2~3
소각효율	화 격자의 설계 여부에 따라 소각효율이 좌우되며 일반적으로 소각효율이 떨어지고 수분 함량이 많은 쓰레기의 경우는 보조연료 등의 사용이 불가피함	쓰레기가 연소 공기와 격렬하게 혼합되기 때문에 열전도 효과가 크고 소각상태를 균일하게 유지할 수 있어 소각효율이 아주 우수한 것으로 평가됨	쓰레기와 연소용 공기와의 접촉효과가 떨어져 완전 연소를 위해 일반적으로 2차 연소실이 있음. 일반적으로 소각효율이 좋지 못한 것으로 평가됨
보조연료량	보 통	적 다	크 다
에너지 이용율	높 음	낮 음	낮 음
유지관리	소각로 내의 기계적인 구동부분이 많아 고장 가능성이 높음	구조가 단순하고 기계적 구동부분이 적어 유지관리가 용이함	구조가 단순하고 구동부분이 적어 유지관리가 용이함
건설비	1.5억원/톤	1.0억원/톤	1.4억원/톤

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 5.3-16] 국내 하수슬러지 소각로 설치현황

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

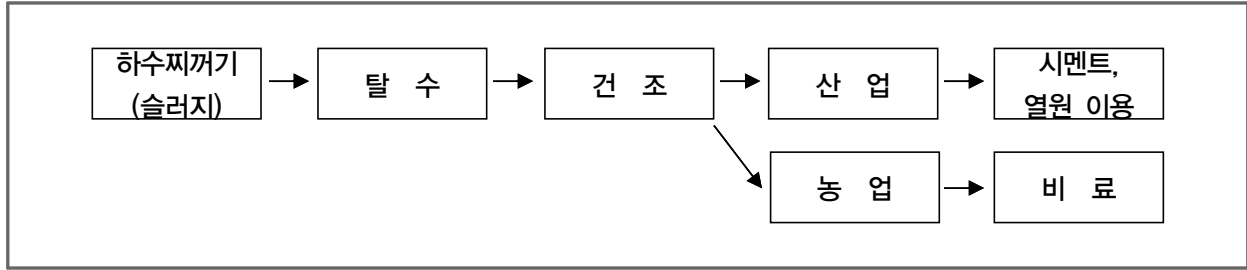
다. 건조

최근 국내 · 외에서 하수찌꺼기(슬러지)를 자원화 또는 에너지화 하려는 연구개발이 다양하게 이루어지고 있으며, 선진국에서는 건조 후 시멘트화, 건조 후 퇴비화, 소각 · 용융 후 건설자재 등으로 상당부분 실용화되고 있다. 반면 국내에서는 현재 이러한 부분에 대한 시험적용 연구만이 부분적으로 수행되고 있는 실정이며, 최근에 이에 대한 연구개발의 투자가 본격화되고 있다. 따라서 이러한 하수찌꺼기(슬러지)의 안정화, 감량화를 위한 재활용, 용융 · 소각처리공정에서 건조기를 이용하는 것은 공정 전체의 에너지 절약화와 효율화에 있어 매우 필수적인 공정이다.

1) 건조방법

가) 완전건조

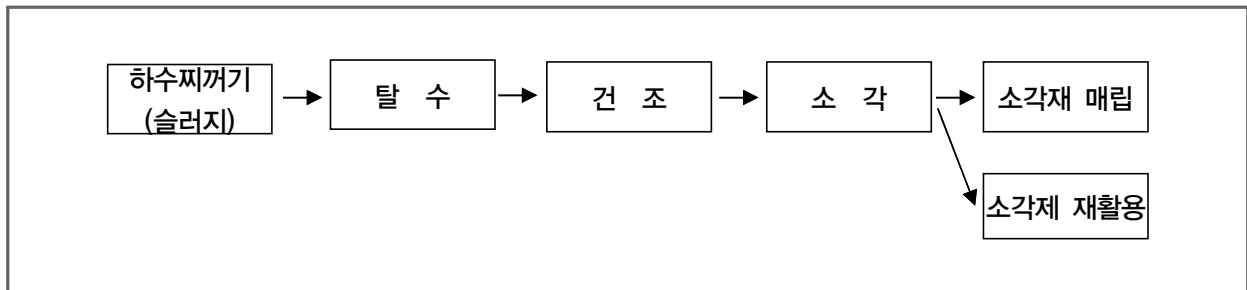
하수찌꺼기(슬러지)의 수분함량이 약 5~30% 이하인 상태를 말하며, 주로 하수찌꺼기(슬러지)의 재활용을 위해 사용된다. 재활용을 위한 하수찌꺼기(슬러지)의 건조는 하수찌꺼기(슬러지)의 부피와 무게를 감소시킬 뿐만 아니라 부패, 변질을 방지하고 병원균을 사멸시키는 역할을 한다.



[그림 5.3-11] 완전건조 계통도

나) 부분건조

수분 40% 이하의 부분건조는 소각의 전처리형태로 이용되는데, 함수율이 50% 이상인 상태로 소각시 자체열량을 높여주기 위한 목적 및 보조연료 사용량을 감소하는데 그 목적이 있다.



[그림 5.3-12] 부분건조 계통도

[표 5.3-17] 부분건조 계통도

구 분		직접건조방식	간접건조방식	비 고
건조기 형식		○ 드럼 건조기, 유동층 건조기 등	○ 패들건조기, 디스크 건조기, 진공필터 프레스건조기, 싼필름건조기 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	
배 기 가 스	가스량	크 다	적 다	
	입자상 물질	많다(1~10g/Nm³)	적다(0.1~2g/Nm³)	
	온도(°C)	낮 다	높 다	
	가스처리장치	크 다	작 다	
열효율(%)		75 ~ 80	50 ~ 70	

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

[표 계속] 부분건조 계통도

구 분	직접건조방식	간접건조방식	비 고
장 점	- 건조속도가 빠르다. - 점착성이 큰 Sludge에 유리 - 자동운전이 가능 - 설비가 간단하며 소요부지 적게 소요됨. - 단속운전시 연료손실이 적다 - 건조 효율이 비교적 높다.	- 건조 Sludge의 성분변화가 적다. - 대기오염이 비교적 적다. - 건조시간이 길어 건조효율이 높다. - 폭발 위험성이 적다. - 악취발생이 적다.	
단 점	- 대기 오염의 우려가 있다. - 건조 Sludge의 성분변화가 크다. - 폭발위험성이 산재한다. - 고온으로 부식, 산화가 되기 쉽다. - 악취발생이 많다.	- 건조속도가 느리다. - 자동운전이 비교적 어렵다. - 설비가 복잡, 소요부지가 많이 소요됨. - 단속운전시 연료손실이 크다. - 별도의 보일러설비가 필요하다.	

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

2) 국내·외 건조기 운영현황

가) 국내 설치 운영사례

[표 5.3-18] 국내 설치 운영 사례

구 분	용량(톤/일)	수 량	형 식	운영현황	처리목적
청주 공공하수처리시설	65	2	패들	간접	소각
용인 공공하수처리시설	36	2	벨트	직접	퇴비
구리 공공하수처리시설	70	1	패들	간접	소각
해운대 공공하수처리시설	50	1	패들	간접	소각
안산 공공하수처리시설	150	2	디스크	간접	소각
경안 공공하수처리시설	40	1	드럼	직접	소각
성남 공공하수처리시설	200	2	간접	간접	소각

나) 일본의 연도별 건조기 설치현황

[표 5.3-19] 일본의 건조기 설치현황

연 도	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
설 치(개소)	19	27	27	29	31	44	45	79	32	23

자료) 일본하수도연감(1999년)

다) 유럽의 하수찌꺼기(슬러지) 건조기 운영현황

[표 5.3-20] 유럽의 건조기 설치현황

구 분	건조기 수량		건조 시스템	
	하 수	폐 수	부분건조(35~65%)	완전건조(15%이하)
독 일	150	13	20	143
영 국	19	2	4	17
프랑스	20	5	4	14
이탈리아	23	2	-	25
스페인	9	-	4	5
네델란드	17	4	9	8

라. 탄화

1) 개요

탄화란 예로부터 널리 사용하던 탄화로의 원리에 기초하여 슬러지 등 유기성폐기물을 무산소 상태에서 가열하면 로 내에서 수분 및 가스가 발생하고 열분해가 시작되며, 잔존물에는 탄소를 주체로 하는 무기물이 남는 것을 말한다. 기존의 슬러지 소각로는 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 비교 시 다음과 같은 장단점이 있다.

[표 5.3-21] 슬러지 탄화 처리방안 장·단점

장 점	단 점
○ 처리부산물(폐기물)을 거의 발생하지 않는 환경친화적 처리 ○ 발생가스(열분해가스)를 재이용하는 에너지 절약 시스템 ○ 단시간 처리 ○ 대량처리 가능 ○ 감량화율이 높음. ○ 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 ○ 폐열 활용 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 어려움 ○ 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 하수 종말처리장의 고도화 처리제 또는 오염하천의 정화제인 흡착, 탈취제는 물론 일본에서 사용 중에 있는 화장실벽의 흡취제 및 노래방의 방음제등으로 사용이 가능하며 음식물 쓰레기 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 코크스와 혼합하여 사용하는 철강가탄제는 물론 석탄등과 혼합하여 비닐하우스의 보조연료 또는 이동식 간이연료로 성형하여 사용이 가능하고, 알카리성분을 가지고 있으므로 소금과 중금속이 많이 함유되지 않은 탄화물은 산성토양의 개토제는 물론 골프장이나 운동장의 잔디 흡충제용으로 사용이 가능하다.

마. 열분해 · 용융

1) 개 요

하수슬러지의 용융은 열조작을 중심으로 구성되는 시스템으로서 소각과 유사하지만 처리온도가 소각에 비해 훨씬 높고(1,100~1,600℃) 소각재의 재활용면에서 구성시스템이 다른 경우도 있다. 하수슬러지를 소각 후 소각재를 용융하거나, 하수슬러지 자체를 용융하는 시스템 두 종류가 있다.

용융(Melting)이란 중유, 석탄 등의 연료 또는 전기를 열원으로 사용하여 폐기물 등을 약 1,300℃이상의 고온에서 액체 상태로 만드는 공정으로서, 용융 슬래그와 용융 비산재를 포함하는 배가스를 생성하는 단위공정을 말한다. 폐기물 처리에 있어서는 주로 열분해 잔재물이나 소각재, 하수슬러지를 1,100~1,600℃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 도로용 자재나 건축용자재로 재이용하고자 하는 발상은 오래 전부터 있어왔지만, 하수슬러지를 용융 Process에 본격

적으로 도입하기 시작한 것은 1978년 제2차 석유파동 이후 일본 오사카에서 이루어졌으며, 최근에는 4~5종의 방식이 소규모로 활용되고 있다.

용융방식의 장단점을 살펴보면, 소각재의 경우 1/2~1/3의 감용화가 가능하고, 용융슬래그가 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 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 등을 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 쇠석상의 경질로서 치밀한 결정의 슬래그 획득이 가능하다.

하수슬러지 중에는 유해 중금속류를 포함하기 때문에 가연분을 연소하여 회분을 용융하여 슬래그로 하는 방법에 의해 SiO_2 등이 유리질 중으로 봉입되는 것이 많다. 또는 확연히 감량하는 것이 가능하고 균질물질로 변하기 때문에 유효하게 된다.

슬러지 용융처리방안의 장단점은 다음과 같다.

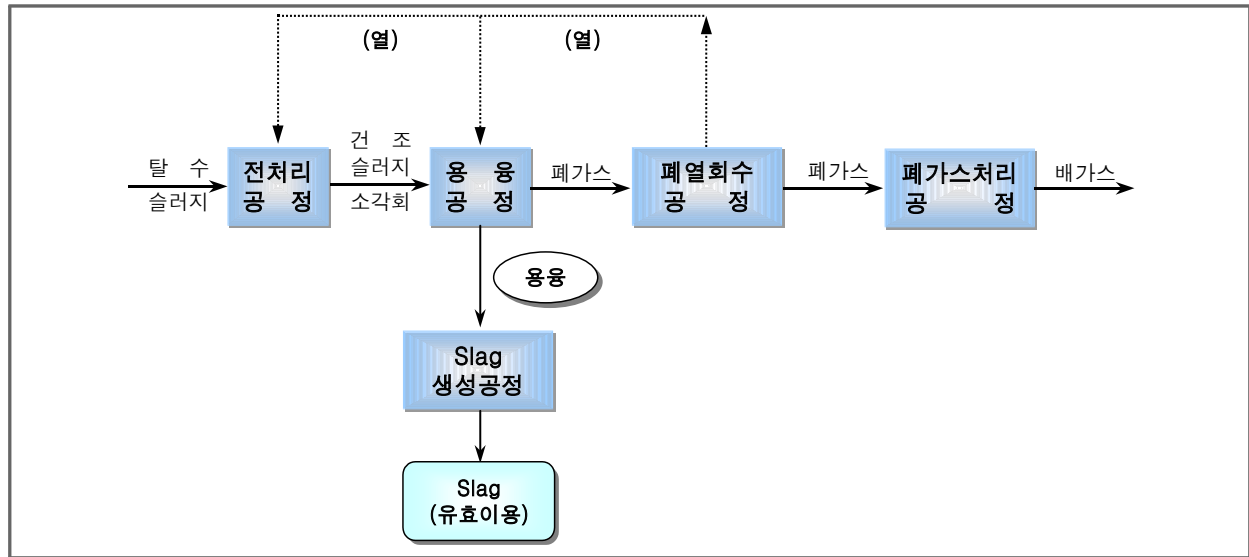
[표 5.3-22] 슬러지 용융처리방안의 장·단점

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

2) 용융공정 주요구성

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

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획



[그림 5.3-13] 용융공정 구성

바. 퇴비화

1) 개요

하수찌꺼기(슬러지)는 질소와 같은 비료성분을 함유하고 있으며, 통기성 확보 등과 같이 물리적으로 토양을 개량할 수 있는 특성이 있다. 따라서, 최근에는 하수찌꺼기(슬러지)를 호기성으로 발효시켜 안정화한 후 농지로 환원하는 처분방법이 소도시를 위주로 검토되고 있다. 호기성 미생물에 의해 분해되므로 악취를 감소시키고 비교적 안정한 재료를 만들 수 있으며, 분해 중에 생긴 발효열에 의해서 병원성 미생물을 살균함으로써 유기성 폐기물의 생물학적 안정화가 가능하다. 퇴비화된 하수찌꺼기(슬러지)는 탈수슬러지에 비해 취급이 우수하며, 토양개량제(토목재료) 등의 유효한 자원으로 활용할 수 있으며, 특히 농촌지역에서 발생하는 하수찌꺼기(슬러지)의 퇴비화는 가능한 것으로 나타났다. 하수찌꺼기(슬러지) 퇴비화의 장점은 다음과 같다.

- 발효과정에서 생기는 열에 의해 하수찌꺼기(슬러지) 내에 함유된 유해세균 및 기생충을 소멸시키므로 위생적으로 안전하다.
- 발효된 하수찌꺼기(슬러지)는 토지개량제 또는 작물의 비료로 활용이 가능하다.
- 처리된 하수찌꺼기(슬러지)에 대한 별도의 최종처분시설이 불필요하다.

2) 퇴비화를 하기 위한 기본조건

- 퇴비화를 위한 시설규모는 퇴비수요량 예측 값에 적합한 양을 기준으로 설정해야 한다. 따라서 지역특성을 고려한 시장조사 등에 의해 품질목표의 설정과 수요량의 예측을 행한 후 퇴비 생산량을 설정하며, 물질수지를 기초로 한 퇴비화 계획 하수찌

꺼기(슬러지) Cake양을 설정한다. 또한 시설의 가동중지 시 대체 처리시설이 없는 경우에는 시설의 계열수를 복수화 하는 것이 바람직하다.

- 하수찌꺼기(슬러지) Cake는 분뇨, 식물에 유해한 병원균, 기생충 알, 잡초종자 등이 포함되었을 가능성이 높으므로 보건위생상 고온살균효과를 고려하여 퇴비는 분해온도가 65℃ 이상에서 2일 이상 경과하도록 한다.
- 퇴비의 품질목표는 다음과 같으며 하수찌꺼기(슬러지) Cake의 성상, 퇴비화의 방식, 시비시의 상황, 법령기준 등을 감안한다.
 - 시비시 작물이나 식물 등의 육성을 촉진하고 장애를 일으키지 않을 것
 - 저장 및 시비시 취급성이 좋을 것
 - 제품 퇴비중에 함유된 중금속 등이 토양, 작물 등에 축적되지 않을 것
- 퇴비화 시설은 처리장이나 수요처와의 위치관계, 주변 환경 등이 경제성에 큰 영향을 미치기 때문에 입지조건을 충분히 고려해야 한다.
- 투입조건은 품질목표 이외에도 하수찌꺼기(슬러지) Cake의 함수율, 퇴비의 반송률, 첨가물의 첨가율 등을 고려한 물질수지 또는 열수지를 기초로 하여 설정한다.

3) 퇴비화 방식

퇴비화의 시설 방식은 통기 및 혼합방식에 따라 퇴적, 입형원통, 입형다단, 횡형교반 및 원형교반방식 등으로 분류할 수 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

가) 퇴적통기방식

이 방법은 하수찌꺼기(슬러지)와 반송퇴비 또는 첨가물을 혼합하여 수분 또는 pH를 조절한 후 일정 높이로 퇴적하고, 하부에서 공기를 공급하여 발효시킨다. 발효는 비가 적은 지역에서는 옥외에서 하지만 보통은 옥내에서 하는데 퇴적고를 2m 정도로 하고 악취방지를 위해 혼합물의 상부를 약 30cm 정도 숙성퇴비로 덮거나, 배출가스를 강제로 혼입하여 숙성퇴비 사이를 통과시켜 처리한다. 통기는 송풍기로부터 통기관을 이용해 주입하는 간단한 방법을 이용하는 경우가 많으며, 뒤집기는 보통 불도저를 이용한다. 이 방법은 설치비가 저렴하나 넓은 부지가 필요하다.

나) 입형원통방식

발효조의 형상이 원통으로 하부에 퇴비 배출장치를 갖추고 있으며, 통기는 하부로부터 하고 하수찌꺼기(슬러지)는 반송퇴비 및 톱밥 또는 왕겨 등의 첨가물과 혼합한 후 발효조의 상부에서 투입한다. 자중에 의해서 혼합물은 하부로 이동하는데, 발효조 내에서는 교반을 하지 않으므로 혼합물 중의 미생물 우점종의 천이는 자연법과 유사하

다고 알려져 있다.

필요부지면적은 횡형 발효조에 비해서 적고, 발효조 내의 기계적인 장치는 퇴비배출 장치만 필요하므로 비교적 조작이 간단하나 퇴적고에 한계가 있는데, 약 5m 정도인 것으로 알려져 있다.

다) 입형다단방식

입형의 발효조 내부를 몇 개로 분리하여 공기를 각 소실의 하부로부터 보내고 상부에서 배출되게 한다. 상단의 소실에서 하단의 소실에 혼합물을 보내는 방법으로는 개폐식, 회전날개방식 등이 있으며, 이 장치에 의해 큰 덩어리의 혼합물이 분쇄되어 혼합물 내부의 발효가 촉진된다. 본 방식은 발효조를 수직방향으로 설치하므로 부지면적을 절약할 수 있다. 그러나 그만큼 기계장치가 증가하기 때문에 운전조작, 유지관리, 보수 면에서 입형원통방식보다 복잡하다.

라) 횡형교반방식

발효조가 횡형으로 설치되어 기계식 뒤집기에 의해서 혼합물이 분쇄, 혼합 및 이동이 이루어지며, 뒤집기 기계의 종류는 카터필더, 바스켓 및 스쿠류형 등이 있고, 통기는 하부에서 행한다. 본 장치는 구조적으로 많은 발효조를 횡으로 배열 가능하며, 발효조는 상부가 개구형이므로 발효상태를 관찰하기 쉽고 기기 수리가 손쉬운 특징을 갖고 있다. 한편 입형에 비해 넓은 부지면적이 필요하고, 개구부가 넓기 때문에 악취방지대책이 비교적 곤란한 단점이 있다. 따라서 발효조 상부에 신축자재로 덮개를 하거나 강제흡입방식에 의하여 악취방지 효과를 얻을 수 있다.

마) 원형교반방식

원형의 발효조 내부에 많은 스크류 또는 회전날개를 설치하여, 뒤집기를 하는 장치이다. 이 방식은 자체에서 혼합물을 충분히 교반할 수 있고, 발효전에 혼합장치가 필요 없는 특징을 갖고 있지만 교반부의 유지관리에 주의할 필요가 있다.

사. 고화

고화는 탈수된 하수찌꺼기(슬러지)에 고화제를 혼합하여 액체와 고체가 혼합된 하수찌꺼기(슬러지)를 고체구조 내에 특정 유해물질을 물리적으로 고정시키고 화학적으로 안정화시키는 방안으로, 고화제로는 생석회, 시멘트, 아스팔트 등이 일반적으로 이용되고 있다.

일반적으로 고화된 하수찌꺼기(슬러지)는 폐기물매립장의 복토재나 노상재 등의 골재로 이

용되는데 하수찌꺼기(슬러지)의 고화는 다음과 같은 장점이 있다.

- 하수찌꺼기(슬러지)의 취급을 용이하게 한다.
- 하수찌꺼기(슬러지)의 표면적을 감소시켜 하수찌꺼기(슬러지) 내에 함유된 유기물 방출을 줄인다.
- 하수찌꺼기(슬러지) 내 오염물질의 용해도를 감소시켜서 독성을 감소시킬 수 있다.

이상에서 검토한 바와 같이 고화는 하수찌꺼기(슬러지)를 물리·화학적으로 안정화시킴으로써 환경오염을 낮출 수는 있으나, 고화를 위하여 하수찌꺼기(슬러지)가 분체형태로 고루 섞여야 되며, 유기물이 분해가 일어나지 않도록 완전히 처리되어야 하는데 아직 이러한 문제가 검증되지 못한 실정이다.

1) 생석회를 이용한 고화

하수찌꺼기(슬러지)에 생석회를 주성분으로 하는 물질을 혼합시키면 흡수발열반응이 일어나 하수찌꺼기(슬러지)중의 수분을 화합수의 형태로 만들고, 석회자체의 수화반응에서 발생하는 열에 의해 수분이 증발되면서 하수찌꺼기(슬러지)중의 수분이 감소되고 압밀이 촉진된다. 또한 석회의 칼슘이온이 물에 분산되어 있는 토립자에 가해지면 토립자의 표면에 흡착되어 있던 Na, K, Mg 등이 Ca에 의해 치환되고 이로 인해 서로 반발하고 있던 토립자가 접근할 수 있게 되어 단결화가 이루어지는 이온교환반응이 진행된다.

이온교환반응 후에는 점토성분으로부터 수중에 용출된 콜로이드실리카와 콜로이드알루미늄이 증가하여 석회의 Ca와 반응하여 존재하지 않았던 새로운 복잡한 화합물을 형성하는 포졸란 반응이 진행되고, 이들 반응생성물들은 장기간에 걸쳐 생성되어 이들이 결합체로 되어서 고화가 되고 강도, 내구성이 발휘된다. 또한 장기적으로 석회가 공중의 탄산가스와 반응해서 석회(CaCO_3)를 형성하는 반응이 일어나 흙을 고결시켜 하수찌꺼기(슬러지)가 안정한 상태를 보이게 된다.

2) 시멘트 고화법

소량의 고제로서 단시간에 효과를 얻을 수 있는 것은 알루미늄계 특수시멘트이다. 이 시멘트는 단시간에 응결화되며 동시에 탈취, 유해물의 흡착, 고착성을 높이는 작용이 있다. 그러나 보통의 포틀랜드 시멘트, 조강 시멘트 등은 단기간에 강도를 얻기 힘들며, 첨가량도 많이 필요해서 고화제로서의 효과가 미약하다.

따라서 알루미늄계 특수시멘트를 고화제로 하여 탈수슬러지의 중량에 대해 약 10%의

고화제를 혼합해서 반죽하고, 양생장소에서 2~3일간 정치한 후 처분지에 반출할 경우 효과가 높은 것으로 보고되고 있다.

시멘트 고화법은 그 동안 많이 사용하였으나 성형품이 산에 약하고 분진의 pH가 높을 경우(건식 또는 반건식법으로 연소가스를 처리한 경우 미반응 소석회로 인하여 pH가 높음)에는 납(Pb)의 용출이 쉽게 되므로 일본에서는 1994년 분진처리 관련법의 재개정 이후로는 처리물의 안정성이 부족하여 근래에는 거의 이용하지 않는 방법이다.

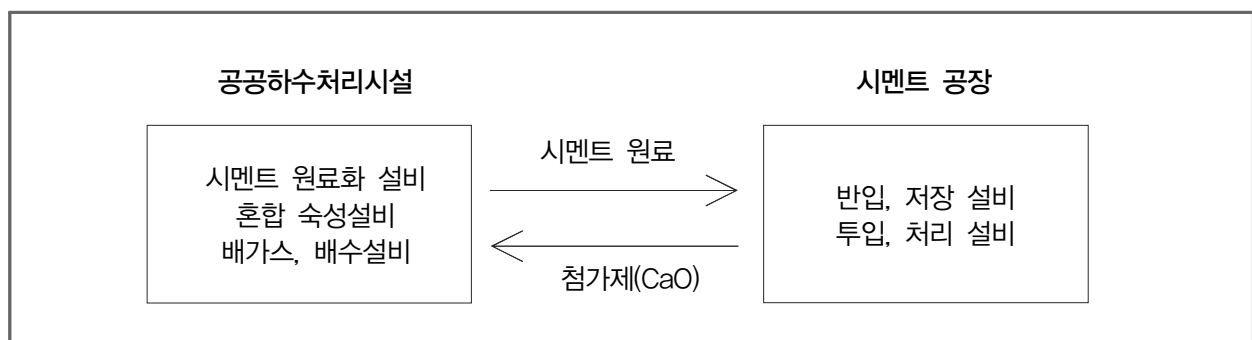
3) 아스팔트 고화

아스팔트를 혼합제로 이용한 아스팔트 고화는 하수찌꺼기(슬러지)를 아스팔트와 혼합 반죽하여 고화처리한 후 토질역학적 강도를 증가함과 동시에 유해물이 용출·확산되지 않도록 안정화한다. 연속식 아스팔트 고화공정은 함수율 5~10% 정도로 건조하기 위해 90℃ 정도로 가열한 하수찌꺼기(슬러지)와 170℃로 용융한 아스팔트를 하수찌꺼기(슬러지) 고형물당 25~28% 정도 첨가해 혼합 반죽한다. 이후 80℃ 정도로 공기 냉각한 혼합 반죽물을 성형기에 공급하여 고화시킨다.

고화물의 밀도는 성형전의 약 0.5배로 줄어든다. 압축강도는 장기간에 걸쳐 물과 접촉한 후에도 거의 강도를 유지할 수 있다. 또한 유해물질이 고화되어 용출량이 상당히 감소하는 장점이 있다.

아. 시멘트화

1) 하수찌꺼기(슬러지) 자원화 시스템 개념도



[그림 5.3-14] 하수찌꺼기(슬러지) 자원화 시스템 개념도

2) 국내 시멘트회사의 하수찌꺼기(슬러지) 재활용 가능성 검토

가) 현행 법규상 적용 가능성

폐기물관리법 시행령 개정으로 처리 가능

나) 시멘트제조 적용 가능성

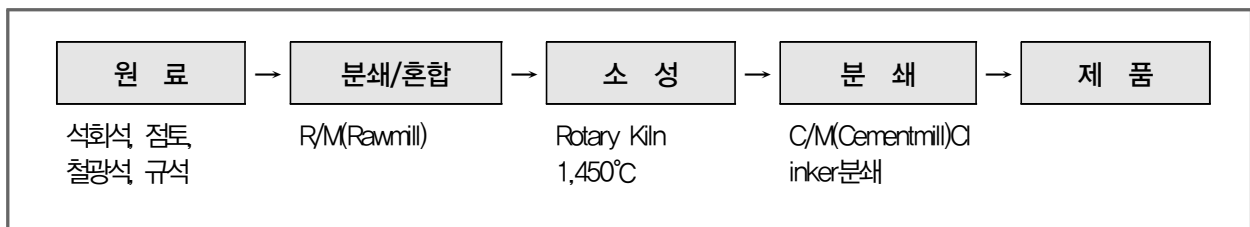
시멘트는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 의 4가지 성분을 함유하는 원료를 시멘트 원료로 사용한다.

시멘트 원료에는 석회질 원료, 점토질 원료, 산화철 원료가 있으며, 이중 점토질 원료(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)가 하수찌꺼기(슬러지)의 주성분과 동일하다.

하수찌꺼기(슬러지)의 무기물을 원료로 하고 유기물을 열원으로 유효 이용하여 폐기물을 전혀 발생시키지 않는 효율적인 처리방법으로서 자원 재활용 측면에서 일본, 스위스 등에서는 조금씩 활용을 하고 있다. 그러나 염소(Cl)와 알칼리(Na_2O), 인(P_2O_5) 성분은 제조과정 및 제품에 영향을 미치므로 하수찌꺼기(슬러지)를 시멘트 자원으로 활용할 경우 주의가 요망된다.

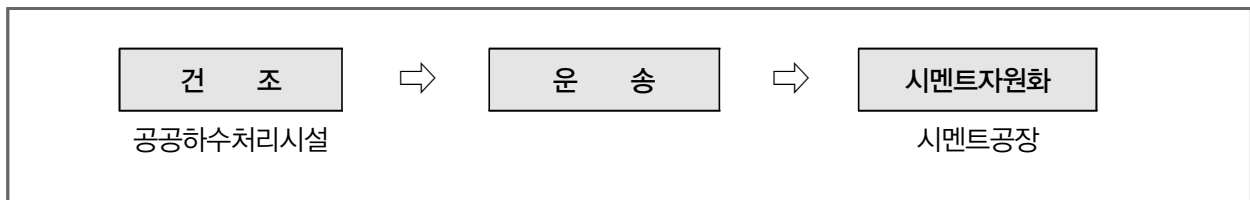
하수찌꺼기(슬러지)의 화학성분이 시멘트 기준치에 맞고, 공급량이 안정적이며, 품질이 균일하고 경제성이 있다면 배출되는 하수찌꺼기(슬러지)의 함수율을 줄이는 몇 가지 설비의 보충을 하여 현재 점토질 원료로 사용중인 경석, 납석, 플라이애쉬와 함께 사용이 가능한 것으로 조사되었으며, 이를 만족하기 위해서는 탈취시설, 침출수 방지, 혼합 저장조, 그레놀화 및 수송설비, 염소 바이패스 시설 등이 필요한 것으로 나타났다.

다) 시멘트 제조과정



[그림 5.3-15] 시멘트 제조과정

라) 시멘트 자원화 방안



[그림 5.3-16] 시멘트 자원화 방안

- 건조 : 공공하수처리시설 내 건조설비에 의한 수분 10~30% 이하로 건분화(공공하수처리시설에서 배출되는 수분 80% 상태 그대로 운송될 경우 운송비의 과다로 경제성에 문제가 있고, 악취발생이 있어 공공하수처리시설 내에 건조설비를 설치하여 수분 10% 이하 상태로 건조시켜 감량화 한다.)

제5장 하수찌꺼기(슬러지) 처리 · 처분계획

- 운송 : 공공하수처리시설에서 인근 시멘트공장까지 운송
- 시멘트 자원화 : 시멘트 원료, 연료로 대체 (운송된 건조슬러지는 시멘트 제조와 품질에 영향을 주지 않는 범위 내에서 제조공정에 투입된다. 투입된 하수찌꺼기(슬러지)의 유기물, 무기물은 각각 시멘트 연료와 원료로 대체되므로 2차적인 환경문제 없이 시멘트 제품화가 가능하다.)

자. 지렁이를 이용한 퇴비화

1) 지렁이 퇴비화의 원리

- 자연생태계에서 건조, 식물체, 동물의 분뇨 등 다양한 유기물질이 미생물에 의해 1차분해
- 최종적으로 지렁이에 의해 식물이 이용할 수 있도록 분해
- 지렁이는 유기물을 먹이로 섭취하여 분변토로 배설하는데 12~20시간 소요
- 섭취된 유기물은 지렁이 체내의 사낭에서 분쇄되어 각종효소 및 장내미생물에 의해 식물이 흡수 가능한 물질로 변환
- 지렁이 분변토는 크기가 작고 단립구조로 되어 있어 공극률이 크므로 토양의 보수성과 통기성을 유지

2) 지렁이에 의한 퇴비화 재활용방안

가) 재활용방안 및 효과

[표 5.3-23] 재활용방안 및 효과

구 분	내 용	비 고
재활용방안	○ 낚시미끼, 양어 및 축산사료, 식물성장 촉진제, 의약품원료 등	
분변토효과	○ 보습성, 흡수성, 통기성을 향상시킴. ○ 부숙과정에서 암모니아 질소 발생으로 인한 산소 결핍 및 열이 발생하지 않음. ○ 입자가 곱고 부드러워 취급용이	
지렁이의 중금속 제거효과	○ 지렁이를 이용한 하수찌꺼기(슬러지) 퇴비화 적용시 중금속에 의한 지렁이 생태 영향 검토 ○ 하수찌꺼기(슬러지)에 포함된 중금속이 지렁이 체내에 축적되어 분변토에는 중금속 감소 ○ 분변토는 퇴비 이용, 지렁이는 식용이외의 용도로 이용(낚시미끼 등)	

나) 지렁이를 이용한 퇴비상 형식

[표 5.3-24] 지렁이를 이용한 퇴비상 형식

구 분	자동화 사육장	상자형 사육장	고정상 사육장
개 요	연속단(10~15단)을 구성하여 사육	사육상자에 분해하여 2~3단으로 구성	일반하우스 형태의 대지에 사육
장 · 단점	- 초기투자비 소요 - 완전자동화로 소요인력이 적음 - 다층구조로 소요부지가 작음	- 초기투자비 적음. 2~3층 구조로 소요부지가 큼 - 인력소모가 큼 - 차량 및 운반기계 필요	- 초기투자비가 적음. - 단층구조로서 소요부지가 큼 - 인력소요가 많음 - 차량 및 운반기계 필요

다) 지렁이 사육장 공정

[표 5.3-25] 지렁이 사육장 공정

구 분	내 용
저장호퍼	하수찌꺼기(슬러지)를 호퍼에 일시 저장하여 투입량을 조정함.
웜비오(worm-bio) 접종공정	하수찌꺼기(슬러지)에 특수 배양된 worm-bio 접종으로 지렁이가 선호하는 미생물상을 정착하여 사육장치로 이송
먹이급이	- 웜비오(worm-bio)가 접종된 하수찌꺼기(슬러지)는 자동공급장치에 의해 사육장 위에서부터 공급 - CCTV를 통해 모니터로 확인
다단식 사육장치	- 다단식 사육장치(6단)에 지렁이를 사육(소요공간부지 : 재래식의 10~20%) - 사육장 상부에서 공급된 하수찌꺼기(슬러지)는 중력에 의해 점진적으로 하부로 이동 - 사육장의 두께를 항상 일정하게 유지시켜 산소공급이 원활토록 함.
지렁이와 분변토의 자동 수확 및 생산	- 사육장 하단에서 배출된 분변토와 지렁이는 컨베이어에 의해 선별기로 이송 - 분별토는 선별되고, 지렁이와 분해가 덜된 물질은 사육장으로 재순환 - 지렁이의 순환은 선별기에 의해 자동적으로 이루어짐.

차. 기타

1) 녹·농지환원

하수찌꺼기(슬러지)를 녹·농지에 토양개량제나 비료로 이용하는 것으로서 발생슬러지량의 증가에 따른 처분지의 부족, 에너지절감 및 하수찌꺼기(슬러지)의 자원화, 농지개량 증대를 위한 유기질 비료의 필요성이 높아짐에 따라 유망한 처리방법으로 등장하고 있다. 그러나 일반적으로 하수찌꺼기(슬러지)의 탈수Cake 성상은 함수율이 높고 병원균 또는

기생충이 포함되어 이를 직접 이용하기에는 많은 문제점이 따른다. 따라서 이용시에는 다음과 같은 사항을 충분히 검토하여야 할 것이다.

- 녹 · 농지 환원에 적합한 하수찌꺼기(슬러지)가 되도록 질적으로 전환시킬 것
 - － 함수율의 조절, 유기물의 안정화, 유해물질의 제거, 입상화 등이 필요함.
- 수요자와 공급자의 조정
 - － 지속적인 수요처를 확보하고 수요의 계절적 변화에 대처할 수 있는 대형저장시설 및 관리시스템이 요구됨.

2) 건설자재로의 이용

하수찌꺼기(슬러지)의 건설자재화 방안은 폐기물 처분의 기본개념인 재생이용에 의한 발생량의 감량화나 자원부족 시대를 맞은 현 상황에서 자원과 에너지 절약의 개념에도 일치하는 유효한 처분방법으로 평가된다.

하수찌꺼기(슬러지)는 시멘트화, 소성화, 용융슬래그 등의 공정을 통하여 매립재, 도로용 골재, 콘크리트용 골재 및 굴삭토의 개량재 등으로 사용이 가능하고, 그 중에서도 도로용 골재로서 활용이 가장 유망한 것으로 보이며, 하수찌꺼기(슬러지)를 이용한 유용물을 전환하면 영구적인 처분이 가능하므로 가장 바람직한 처분방법이 된다. 그러나 현재까지는 연구 및 실험단계에 머물고 있는 실정이므로 실용화를 위한 적극적인 방안수립과 지원 대책이 필요하다고 판단된다.

카. 하수찌꺼기(슬러지) 처분방식 결정

천안시의 하수슬러지의 최종 처분방식은 탈수된 슬러지를 병천 공공하수처리시설 내 설치된 자원화시설에서 소각 및 탄화하여 재활용 또는 민간위탁으로 처리 · 처분하고 있다.

앞 절에서 산출한 현재 및 장래 발생하수량에 대한 하수슬러지 발생 증가량을 예측한 결과 계획하수량 증가로 인한 하수찌꺼기 발생량은 계속해서 증가하는 것으로 검토되었다.

하수찌꺼기 감량율(57.1%) 및 감량(113톤/일)은 기 승인 천안시 하수도정비 기본계획(변경)(2015.09) 2030년 기준 발생량 198톤으로 계획되어 금회 계획한 하수찌꺼기 발생량(250톤/일)에 비해 약 80% 수준으로 이를 고려하여 성능보증(100톤/일 이내) 내용을 적용하여 계획하였다. 또한 에너지 자립화 도입 이후 부족한 하수찌꺼기 처리량 및 에너지 자립화 보증내용 미준수를 대비하여 민간위탁 처리량을 지속적으로 유지하여 이를 대비하고 추가적인 처리시설 증설 또는 개량 계획을 수립하지 않는 것으로 계획하였다.

향후 하수찌꺼기 처리 · 처분시설 추진 시 에너지자립화 사업에 소요되는 사업비 및 감량율과 처리 · 처분 시설의 용량 등을 면밀히 검토 후 사업을 시행하여야 할 것이다.

[표 5.3-26] 단계별 최종 처분방법

(단위:톤/일)

구 분			단위	1단계	2단계	3단계	4단계	비 고
				2020년	2025년	2030년	2035년	
하 수 찌꺼기 발생량	합 계		톤/일	223	239	259	265	
	처리시설	천 안	톤/일	171	176	188	195	
		성 환	톤/일	37	47	55	55	
		병 천	톤/일	15	16	16	15	
처리/처분 시설계획	에너지자립화 ¹⁾		톤/일	-	100	100	100	2025년 준공 예정
	탄화시설 처리량 ²⁾		톤/일	130	130	130	130	실 처리가능 시설용량
	과 · 부족량 (1)		톤/일	-93	-9	-29	-35	일최대 기준
	민간위탁 처리량		톤/일	93	40	40	40	2019년 기준 약 65톤/일 처리 중
	과 · 부족량 (2)		톤/일	-	31	11	5	민간위탁 처리량 고려

주1) 에너지 자립화 : "천안공공하수처리시설 현대화사업 에너지 자립화(기존 소화조를 활용한 가용화시설 도입)" 하수찌꺼기 감량율 : 57.1%, 감량 : 113톤/일 ⇒ 성능보증 : 100톤/일 이내

주2) 탄화시설 처리량 : 천안시 하수찌꺼기 자원화시설 시설용량 150톤 중 실 처리 · 처분 가능량은 기계설비 운영범위, 점검 기간에 따른 운영일수 등 실제 위수탁 협약 내용을 고려 130톤 적용(최근 5년 평균 처리량 : 131톤)