하수슬러지 처리 방법에 대한 고찰

손병현*, 권영현*, 정문헌*, 이주호*, 김민철**, 이강우**, 정종현***,
최수경****
*한서대학교 환경공학과
**(주)유성 중앙연구소
***서라벌대학 보건의료행정과
****한서대학교 건축공학과
e-mail:bhshon@hanseo.ac.kr

Disposal, recycle and treatments of sewage sludge : a review

Byung-Hyun Shon*, Young-Hyun Kwon*, Moon-Hun Jung*, Ju-Ho Lee*, Min-Choul Kim**, Gang-Woo Lee**, Jong-Hyeon Jung***, Soo-Kyung Choi****
*Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University
**YOO SUNG Co. Ltd., R&D Center
***Dept. of Health&Medical Admin., Serobal College
****Dept. of Architectural Engineering, Hanseo University

요 약

경제성장과 산업도시의 발달로 인해 물의 사용량이 증가함에 따라 하수처리장의 수와 규모가 커지고 있어 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지의 양도 지속적으로 증가하고 있다. 런던협약 '96의정서 발효에 따라, 하수슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화 되었으며 또한 2012년부터는 하수슬러지의 해양투기가 전면 금지될 것이므로, 해양투기 등으로 처리되고 있는 하수슬러지를 에너지자원으로 활용하여 고유가 및 기후변화에 적극 대응하고, 런던협약 등에 따른 해양투기 금지('2012)에 대처하기 위해 하수슬러지의 처리 및 재이용 방법에 대한 최근의 연구동향을 고찰해 보았다.

1. 서론 및 연구의 중요성

우리나라의 경우 1990년대 초반에는 대부분의 하수슬러지를 매립으로 처리해 왔으나, 1993년도부터 50% 이상을 해양배출로 처리해 오다가 하수슬러지의 직매립 금지조항이 설정된 초기인 2000년도 초반부터 해양배출량이 급격히 증가되어 최근까지 약 70%이상을 해양배출에 의존하고 있다. 육상에서의 처분 및 자원화를 유도하기 위하여 직매립 금지조치가 시행되었으나 그 목적과는 달리 실제 소각 및 재활용비율은 그다지 증가하지 않은 채 해양투기로 집중되는 현상이 나타났다. 런던협약 '1996의정서 발효에 따라, 하수슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화되었으며 또한 2012년부터는 하수슬러지의 해양투기가 전면 금지될 것이므로, 해양투기 및 퇴비 등으로 처리되고 있는 하수슬러지를 에너지자원으로 활용하여 고유가 및 기후변화에 적극 대응하고, 런던협약 등에 따른 해양투기 금지('2012)에 대처하기 위해 하수슬러지의 처리에 대한 연구동향의 파악이 반드시 필요하다.

2. 하수슬러지 발생 및 처리 현황

2.1. 하수슬러지 발생 및 처리

우리나라의 연도별 하수슬러지의 처리 및 처분현황을 살펴보면 [표 1]과 같다. 하수슬러지는 년 2,743천톤 가량 처리('2007)되며, 그 중 약 68.1%(1,868천톤/년)는 해양투기되고, 14%(382천톤/년)를 재활용하고 있다.

2.2. 하수슬러지 재활용

현재 발생되는 하수슬러지의 재활용은 크게 퇴비화, 시멘트 원료화, 녹생토처리, 지렁이사육, 고형화

(매립장 복토제) 등으로 구분할 수 있으며 [표 2]와 같이 하수슬러지의 재활용 실태를 보면, 2006년도를 기준으로 전체 하수슬러지 발생량 2,742천톤 중 약 10%인 280천톤만이 재활용되고 있다. 재활용방법으로는 퇴비화 7.2%, 지렁이 사육 5.7%, 고형화에 의한 건설자재 22.7%, 시멘트원료 등의 기타방법 등으로 64.4%가 이용되고 있는 실정이며 아직까지는 하수슬러지의 재활용율은 낮은 실정이다.

[표 1] 우리나라의 연도별 하수슬러지의 처리 현황
(단위 : 1000톤/년)

연도	처리량	처리방법						
		합계	리사이클	매립	소각	해양배출	기타	미처리
1996	1,298	1,298	30	1,009	5	243	11	-
			2.3%	77.7%	0.4%	18.7%	0.9%	-
1997	1,478	1,348	43	989	9	279	9	130
			2.9%	66.9%	0.6%	20.1%	0.7%	8.8%
1998	1,695	1,413	34	792	27	552	8	282
			2.0%	46.8%	1.5%	32.6%	0.5%	16.6%
1999	1,593	1,574	80	641	33	820	-	19
			5.1%	40.7%	2.1%	52.1%	-	1.2%
2000	1,741	1,739	88	439	93	1,118	0.92	1.6
			5.1%	25.2%	5.3%	64.2%	0.1%	0.1%
2001	1,902	1,897	118	229	138.2	1,391	20.4	5.4
			6.2%	12.0%	7.3%	73.3%	1.1%	0.1%
2002	2,076	2,076	239	197	222	1,418	-	-
			11.5%	9.5%	10.7%	68.3%	-	-
2003	2,267	2,267	152	113	280	1,626	96	0.3
			6.7%	5.0%	12.4%	71.8%	4.23%	-
2004	2,426	2,426	239	34	283	1,869	-	-
			9.9%	1.3%	11.7%	77.1%	-	-
2005	2,561	2,560	122	44	286	1,994	114	0.8
			4.8%	1.7%	11.2%	77.9%	4.5%	
2006	2,742	2,742	336	43	307	2,012	42	0.9
			12.3%	1.6%	11.2%	73.4%	1.6%	
2007	2,743	2,743	382	108	351	1,868	34	0.3
			13.9%	3.9%	12.8%	68.1%	1.2%	

출처 : 환경부, 하수도통계, 2008

[표 2] 하수슬러지의 재활용 현황

연도	합계 (ton)	퇴비화	녹농지 이용	지렁이 사육	건설 자재	기타
2000	86,850	19,345 (22.3%)	45,517 (52.4%)	6,272 (7.2%)	-	15,716 (18.1%)
2001	119,264	20,094 (16.8%)	-	9,143 (7.7%)	26,815 (22.5%)	63,212 (53%)
2002	164,201	6,695 (4.1%)	-	12.194 (7.4%)	16.510 (10.1%)	128,802 (78.4%)
2003	151,778	4,206 (2.8%)	-	9,963 (6.6%)	30,097 (19.8%)	107,512 (70.8%)
2004	239,085	4,617 (1.9%)	-	15,486 (6.5%)	80,529 (33.7%)	138,390 (57.9%)
2005	280,477	20,073 (7.2%)	-	15,885 (5.7%)	63,787 (22.7%)	180,732 (64.4%)

출처 : 환경부, 하수종말처리시설 운영관리실태 분석, 2006

2004년도 일본(일본 하수도 협회, 2005)의 하수슬러지 처분 및 재이용 현황을 살펴보면 해양투기는 0%, 건설자재이용이 52.6%로 가장 높았고 다음으로 매립처분이 30.4%로 조사되었다. 슬러지 처리 후 상태는 소각재가 71.7%로 가장 높았고, 퇴비화 10.6%, 용융슬래그 9.7%로 조사되었는데, 이는 소각 처리가 주를 이루고 있어, 대부분 이 소각재를 건설자재나 매립처분을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

2.3. 하수슬러지 발생량 예측 및 처리시설 현황

우리나라의 하수슬러지 발생량은 계속해서 증가할 것으로 예상되며 [표 3]에서 나타낸 바와 같이 2011년에는 약 10,259톤/일 정도가 발생할 예상된다.

[표 3] 하수슬러지 발생량 증가 예상량
(단위 : 톤/일)

구 분	2006	2007	2011
처리시설(개소)	318	347	460
시설용량(천㎥/일)	22,949	23,735	25,146
슬러지 발생량(톤/일)	7,446	7,631	10,259

출처 : 런던협약 '96의정서 발효에 따른 하수슬러지관리 종합대책('08.6)

[표 4]의 하수슬러지 처리시설 설치 현황을 보면, 2009년 3월 현재 3,954톤/일(32개소)이 완공되었으며, 설치중인 시설이 5,977톤/일(60개소)로서 총 9,931톤/일(92개소) 규모로 설치되고 있다. 가동중인 시설은 고화, 소각 및 건조시설이 3,774톤/일(95%, 26개소)이며, 그 외 탄화시설 100톤/일(1개소), 부숙화, 분변토 등 5개소(80톤/일)로 나타났다.

[표 4] 하수슬러지 처리시설 설치 현황('09.3)
(단위 : 톤/일, 개소수)

구분	계	고화	소각	건조	탄화	퇴비화	부숙화	미확정	기타
계	9,931	2,497	2,422	2,365	775	226	70	1,536	40
	(92)	(15)	(28)	(15)	(13)	(12)	(4)	(3)	(2)
가동 중	3,954	1,630	1,714	430	100		40		40
	(32)	(3)	(20)	(3)	(1)		(3)		(2)
설치 중	5,977	867	708	1,935	675	226	30	1,536	
	(60)	(12)	(8)	(12)	(12)	(12)	(1)	(3)	

출처 : 하수슬러지 에너지화 추진계획, 환경부 자원순환국('09.4)

3. 하수슬러지 처리 방법별 특징

슬러지는 기본적으로 안정화와 무해화 그리고 감량화가 필수적이며 현재 여러 가지 공정을 통해 슬러지의 처리·처분 방법은 전처리공정과 중간처리공정, 최종처리공정으로 구분된다. 전처리 공정이란 중간처리하기 전의 단계로 농축, 안정화, 개량, 탈수와 같이 감량화를 주 목적으로 하고 있으며, 중간처리는 퇴비화, 고화, 연료화, 건조, 소각, 탄화, 용융 등이 이에 해당된다. 한편 최종처리는 전처리 또는 중간처리 공정에서 발생된 처리부산물을 매립 또는 재이용하는 것이다. 2003년 7월 1일 이후 슬러지의 직매립 금지 조치시행과 해양오염방지법의 개정으로 인한 2008년 2월부터 단계적으로 해양배출 금지는 전처리 후 바로 최종처리하기는 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다. 따라서, 해양배출이 되지 않는 하수슬러지에 대한 지상처리방안이 시급히 마련되어야 한다. 육상 처리방안은 중간처리와 최종처분을 거쳐 무해화와 안정화 시키는 단계를 의미한다고 볼 수 있으며, 슬러지의 최종처분을 위해서는 반드시 중간처리공정을 거쳐야 하므로 중간처리공정에서의 처리방안 선정을 위해서는 각각의 단위공정에 대한 특성 및 평가, 처리시설을 설치하고자 하는 지역의 여건과 각 처리방안의 기술적, 환경적, 사회적, 경제적 측면을 종합적으로 검토하여 적절한 처리방안을 선정하여야 할 것이다.

[표 5] 처리목적 및 기능에 따른 분류

구 분	주 목 적	처 리 방 법
전처리공정	탈수	농축, 안정화, 개량, 탈수
중간처리공정	감량, 안정화	건조, 소각, 용융, 탄화, 고화
최정처분공정	최종처분, 재이용	매립, 해양투기, 유효이용

각 처리방법별 장단점을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 각 처리방법별 장단점

3.1.1 퇴비화

[표 6] 슬러지 퇴비화 처리기술의 장·단점

장점	단점
• 감량효과가 우수 • 처리부산물의 다각적 재이용이 가능 • 유해 배출가스 발생 없음 • 국내·외 기술수준 양호 • 부산물 재이용시 슬러지 처리비 저렴 • 유해 세균 살균 • 취급이 용이 • 토양개량제 등으로 재활용	• 운전비용 증가 • 처리주기 장시간 소요 • 수요처 확보 곤란 • 유기성 슬러지만 가능 • 소규모 시설에 적용 • 국내 기술업체 극소수 • 슬러지내 중금속 등으로 토양오염 유발 • 비교적 소요면적이 큼 • 넓은 보관장소 필요 • 악취 환경오염 시설 필요

3.1.2 고화

[표 7] 슬러지 고화 처리기술의 장·단점

장점	단점
• 성상변화 적용성 우수 • 화학적으로 결합시켜 환경으로 이동(용해)을 저지가능. • 건설자재, 매립지복토재 등 재이용 가능성 높음 • 국외 기술 수준 양호 • 전반적인 환경영향이 적음 • 건설비 저렴	• 열을 이용한 처리방안보다 처리주기 장기간 • 고화제 등 부자재 투입으로 감량효과 적음 • 처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요 • 국내 설치사례 적음

3.1.3 소각

[표 8] 슬러지 소각처리기술의 장·단점

장점	단점
• 처리주기 단기간 • 부산물 시멘트원료화 용이 • 감량효과 우수 • 혼합소각 우수 • 국내 설치사례 다수 • 기술적 신뢰성 안정성 • 국내·외 기술 수준 우수 • 안정적이고 위생적 처리 • 폐열활용 가능	• 고급 운영기술 필요 • 대기 및 수질, 소음진동 등 환경영향 큼 • 소각재 중금속 용출 영향 큼·대규모 환경오염방지시설 필요 • 환경영향으로 민원야기 • 비교적 건설비 및 처분비 고가

3.1.4 탄화

[표 9] 슬러지 탄화기술의 장·단점

장점	단점
• 처리부산물(폐기물)을 거의 발생하지 않음 • 발생가스(열분해가스)를 재이용하는 에너지 절약시스템 • 단시간/대량처리가능 • 감량화율이 높다 • 2차환경오염유발이 적음 • 설치면적이 적음 • 탄화물의 유상판매 가능 • 탄화물의 장기보관 가능 • 소각과 비교하여 환경영향 및 건설비, 소요면적이 적음	• 탄화제품 특성이 안정적이지 못함 • 처리부산물 재이용 불가시 추가 추분비 소요 • 고도의 숙련 운영관리 기술 필요 • 운영관리가 고난이 • 국내 설치 사례 적음 • 기술적 신뢰성 미흡 • 국내·외 기술수준 낮음 • 비교적 처분비 고가

3.1.5 용융

[표 10] 슬러지 용융기술의 장·단점

장점	단점
• 처리 주기 단시간 • 소각재, 생활 폐기물, 산업폐기물, 유해폐기물 등의 혼합처리가능 • 감량 효과가 가장 우수 • 처리부산물의 무해화 • 재활용 가능성이 높음 • 부산물의 장기 보존 • 폐열활용 가능	• 처리부산물 재활용 수요처 확보 어려움 • 고도의 운영 기술 필요(운영관리 난이) • 국내 설치사례 적음 • 건설비가 고가

3.1.6 시멘트 자원화

[표 11] 슬러지 시멘트자원화기술의 장·단점

장점	단점
• 초기투자비의 절감 • 대규모 처리 • 자원순환형 시설 • 2차 환경오염 최소화 • 에너지 절약 도모	• 원거리 이송시 경제성 미확보 • 전처리설비 필요 • 주변지역 민원발생 예상 • 제품공급 차질 예상

3.1.7 해양배출

[표 12] 슬러지 해양배출기술의 장·단점

장점	단점
• 단시간 대량처리 가능 • 비교적 운영관리 용이 • 처리비용 저렴 • 처분비 저렴	• 적조발생 등 해양환경영향 매우 큼 • 슬러지 운반시간으로 처리주기 장시간 • 런던협약에 의해 단시일내 해양배출 전면금지 시행예정

4. 하수슬러지 처리의 경제성 검토

현재 가동중인 시설에 대한 조사결과, 매립을 제외한 시설중 건조시설의 설치, 운영비가 비교적 적게 소요되는 것으로 나타났으며, 소각과 탄화시설 등이 비교적 처리단가가 높게 나타났다.

4.1 설치비

[표 13] 각 시설별 설치비 비교

처리법 \ 비용 문헌		설치비(억원/톤) 1	2	3	4	5	7
소각	전용	1.5~2.0	1.6	1.24~1.5	1.5~2	1.5~2	0.982
	혼합						1.58
건조		0.8~1.0	0.7	0.54~0.64	0.7~1	0.7~1	0.52
탄화		1.0~1.2	1.4	1.0~1.2	-	-	1.74
용융		3.0	2.7	3.0~3.5	-	-	-
고화		1.2~1.4	0.5	0.70~0.75	-	-	1.37
연료화		0.8~1.2	-	0.58~0.67	-	-	-
퇴비화		1.8	0.7	1	0.5~0.8	0.5~0.8	-
매립		-	-	-	0.1~0.3	0.1~0.3	-
분변토		-	-	-	-	-	3.80
부숙화		-	-	-	-	-	2.09

4.2 운영비

[표 14] 각 시설별 운영비 비교

처리법 \ 비용 문헌		운영관리비(천원/톤) 1	2	3	4	5	6	7
소각	전용	38~43	35~41	40~52	30~50	45~60	150	69
	혼합							72
건조		39~43	60	60~61	27~33	30~50	-	29
탄화		40~43	46~90	59~66	-	-	-	77
용융		60~80	-	71~97	-	-	-	-
고화	고화	38~48	35	37~42	-	-	34	67
	경량골재	130						
연료화		55~75	-	37~38	-	-	-	-
퇴비화		33~43	50	17~33	27~30	27~40	45	-
매립		-	-	-	29~40	28~33	60	-
해양투기		-	-	-	24~30	24~30	23	36
분변토		-	-	-	-	-	-	88
부숙화		-	-	-	-	-	-	57

사사

본 연구는 **국토해양부** 지역기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 08지역기술혁신B-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 환경관리공단, “제주특별자치도 하수슬러지 자원화 시설 설치사업 타당성조사 및 기본계획보고서”, 2007. 7.

[2] 천안시, “천안시 하수슬러지 자원화 처리시설 기본 및 실시 설계보고서”, 2007. 12.

[3] 대구광역시, “대구광역시 하수슬러지 처리시설 건설 사업 타당성조사 및 기본계획 보고서”, 2006. 10.

[4] 환경관리공단, “하수슬러지의 효율적 처리방안”, 2004. 5.

[5] 월간폐기물21, “환경부의 하수슬러지 처리 정책방향” 및 “하수슬러지의 처리 및 자원화 방법별 운영비용 검토”, pp. 52-70, 2003. 7.

[6] 한국해양연구원, “폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축(II)-최종보고서”, 2005. 12. 하수도 통계, 환경부, 2005-2007.

[7] 환경부 자원순환국, “하수슬러지 에너지화 추진계획”, 2009.04.