

하수슬러지 유효이용의 현황과 과제에 관해

❖ 본 논문은 일본하수도협회(JSWA)의 하수슬러지 유효이용에 관한 세미나강연집(2003. 10)에서 발췌·번역한 것입니다.

- 2004년 봄호 __ 1. 서론
 2. 하수슬러지의 발생량과 처리처분 등의 현상
 3. 하수슬러지 유효이용
-
- 2004년 여름호 __ 4. 하수슬러지 처리 및 유효이용에 관한 시책
 5. 향후의 과제
 6. 결론

1. 서론

하수도는 생태계나 자연의 순환 System을 건전하게 보존하기 위해 중요한 구성요소라 할 수 있다. 향후에도 확대되는 모든 활동을 유지하면서, 그에 수반되는 환경에의 부담을 적극 제어하는 것이 하수도에 부여된 큰 임무이다.

하수도는 하수의 배제·처리 과정에서 하수슬러지를 시초로 하여 협잡물, 토사 등을 발생시킨다.

이러한 발생슬러지 등을 적정하게 처리하는 것은, 방류수의 수질 관리와 함께 하수도의 유지관리상 가장 큰 과제이다.

2000년도 일본 산업폐기물 배출량은 약 4억 톤 정도가 된다. 그 중 약 19%인 7,580만 톤이 하수슬러지이고(그림 1), 그 발생량은 하수도의 보급과 고도처리의 도입에 의해 향후 더욱 증가할 추세이다.

이에 반해, 2001년 4월 1일 현재 산업폐기물 최종처분장의 잔여 년수는 수도권에서 1.2년, 긴키권에서 1.9년, 전국에서 3.9년으로 폐기물의 3R(Reduce, Reuse, Recycle)의 추진이 급무가 되고 있다.

이러한 배경으로 1996년 하수도법 개정에서 슬러지의 감량화에 노력할 목적으로 규정이 설치되었고, 이 규정에 따른 조직이 구성되었다.

또한, 다이옥신 대책관계각료회의에서는 「다이옥신 대책추진 기본방침」(1999년 3월 30일 각료회의 결정)에 기초하여, 폐기물 감량화의 목표량이 1999년 9월에 결정되었다. 이 가운데는 일반폐기물이나 산업폐기물의 배출량 제어, 재생이용량의 증가 및 2010년도의 최종처분량을 1996년도의 2분의 1로 절감하는 것을 목표로 설정하였다(그림 2). 그 후 순환형 사회로의 전환, 폐기물처리의 적정화가 사회적인 과제가 되는 가운데 순환형 사회형성 추진기본법과 개별 Recycle 법이 제정되어 2003년에는 「순환형 사회형성추진 추진기본계획」(<http://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html>)이 각료 결정되어, 일본의 순환형사회 구축을 위한 조직이 각 방면에서 추진되고 있다.

향후 하수슬러지에 관해서는 하수도 보급률의 향상에 따른 발생량의 증대를 피할 수 없다는 점, 또한 하수도는 지방공공단체라고 하는 공적주체가 사업자라는 점 등으로부터 폐기물의 감량화·Recycle의 추진을 우선하여 계획적으로 추진해가는 것이 필요하

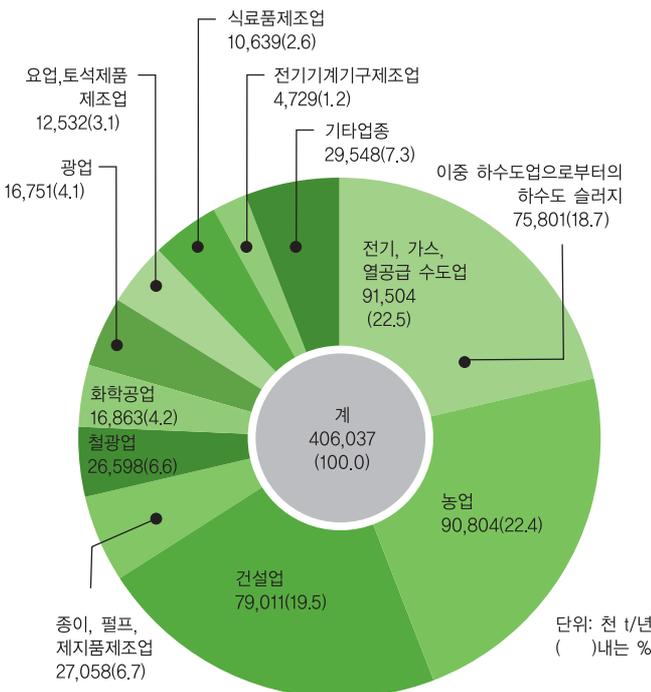


그림 1) 산업폐기물의 업종별배출량(2000년도 : 환경성조사)

● 향후의 대책 방안

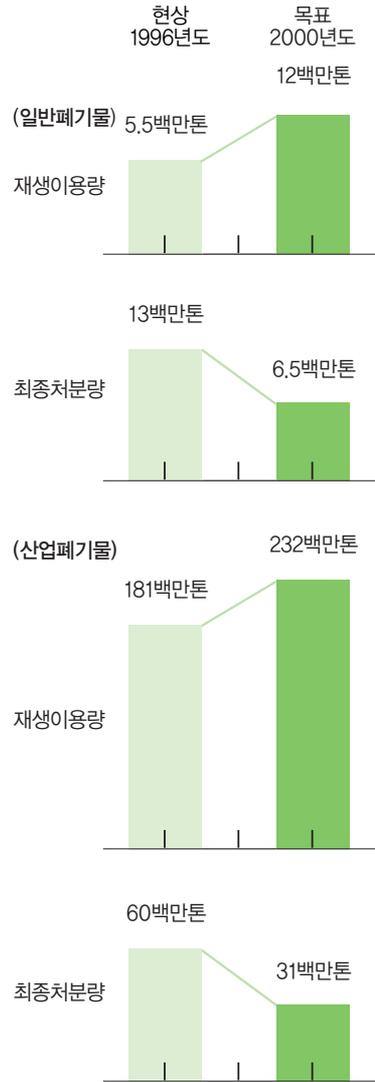
- ① 행정, 사업자 및 소비자가 각각의 역할에 따라 폐기물의 배출억제에 노력
- 사용 후 제품의 제조, 판매
 - 과잉포장의 자제
 - Returnable 용기의 이용
 - 일반폐기물의 처리수수료 징수의 추진 등의 경제적 조치의 활용 등

② 감량화에 관한 각종 법제도의 원활한 시행

- 폐기물처리법
- 재생자원이용촉진법
- 용기포장 Recycle법
- 가전 Recycle법

③ 감량화를 더욱 촉진하기 위한 새로운 방법의 검토

- 건축해체폐기물의 적절한 분별·Recycle 추진
- 식품폐기물의 Recycle 추진
- 국가의 실천실행계획에 의한 Recycle 추진 등



● 일반폐기물의 취급

- ① 용기포장폐기물
- 분별수집을 실시하는 시정촌으로의 지원
 - 재생품화 시설정비로의 지원 등
- ② 생쓰레기
- 퇴비, 사료 등으로의 재생이용의 추진 등
- ③ 종이
- 재생이용가능한 제지류의 회수 추진
 - 신문용지 등의 고지이용률의 향상 등
- ④ 기타
- 소각재 등의 용융고화의 추진
 - 조대쓰레기 처리시설 등에서의 금속회수의 추진 등

● 산업폐기물의 취급

- ① 슬러지
- 퇴비, 건설자재, 시멘트원료 등으로써 재생이용의 추진
- ② 동물의 분뇨
- 퇴비화 등에 의한 사용의 추진
- ③ 자갈류
- 노반재, 재성아스팔트 등으로써의 재생이용의 추진
- ④ 광재
- 노반재, 시멘트원료, 골재 등으로써 재생이용의 추진
- ⑤ 기타
- 매진 중 회소금속 등의 회수추진 등

그림 2) 폐기물 감량화의 목표달성을 위한 추진방법에 관해

다. 더불어 작년 12월에는 농수산성과 국토교통성 등으로부터 「Biomass·일본종합전략」(<http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>)이 각료 결정되었고, 2003년 6월에 정부가 결정한 「경제재정운영과 구조개혁에 관한 기본방침 2003」(<http://www.keizai-shimon.go.jp/material/cabinet/2003/0626kakugikettei.html>)에서는 활력 있는 사회·경제 실현을 위한 중점 4분야로서 순환형사회의 구축·지방 환경문제로의 대응이 거론되고 있으며, 이 가운데 Biomass의 활용은 「「Biomass 일본 종합전략」(2002년 12월 27일 각의결정)에 거론된 목표달성을 위한 조직공정 등의 책정과 평가기준의 명확화 등을 시행하고, 예산에 반영시키는 등, 환경을 중시한 시책으로의 전환을 추진한다」라고 기술되

어 있다. 이러한 Biomass의 적극적인 이·활용이라고 하는 관점에서 하수슬러지는 주목받고 있다.

「지구온난화대책추진개요」(<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/taiko/index.html>), 2002년 6월에 제정된 「전기 사업자에 의한 신 에너지 등의 이용에 관한 특별조치법」(신에너지 등 전기이용법)(<http://www.rps.go.jp/RPS/jsp/00/generalPage.jsp>) 및 2002년 6월에 개정된 「에너지 사용의 합리화에 관한 법률」(에너지 절약법)(<http://www.eccj.or.jp/law/index.html>) 등 지구온난화방지의 관점에서 Biomass Energy로써의 이·활용이 각광을 받고 있고 하수슬러지는 에너지 자원으로써 그 적극적인 이·활용이 기대되고 있다.

(2001년 4월 1일~2002년 3월 31일) (단위 : 천DS-t)

처분성상	처분형태	매립처분 (육상·해면)	유효이용	기타	계(%)
탈수슬러지		89	32	2	123 6%
소각재·용융슬래그		767	845	38	1,650 81%
건조슬러지·Compost 탄화슬러지		12	259	3	274 13%
소화·농업슬러지 (액상슬러지)		0	0	0	0 0%
계(%)		868 42.4%	1,136 55.5%	43 2.4%	2,047

국토교통성 조사

표 1) 하수슬러지의 처분현황(슬러지발생 시 건조중량 Base)

(2001년 4월 1일~2002년 3월 31일) (단위 : 천m³)

처분성상	처분형태	매립처분		유효이용	기타	계(%)
		육상매립	해양매립			
탈수슬러지		610	45	979	14	1,648 78%
소각재·용융슬래그		52	98	163	22	335 16%
건조슬러지·Compost 탄화슬러지		12	6	66	0	94 4%
소화·농업슬러지 (액상슬러지)		28	0	11	1	40 2%
계(%)		702 33.2%	159 7.5%	1,219 57.6%	37 1.7%	2,117

국토교통성 조사

표 2) 하수슬러지의 처분현황(처분 시 체적 Base)

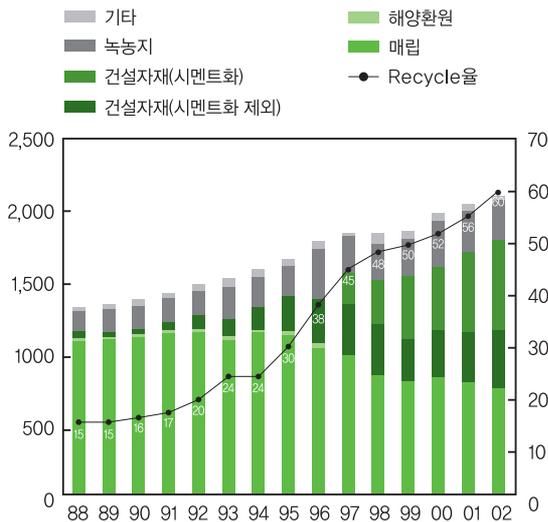


그림 3) 슬러지유효이용량의 경년변화(국토교통성 조사)

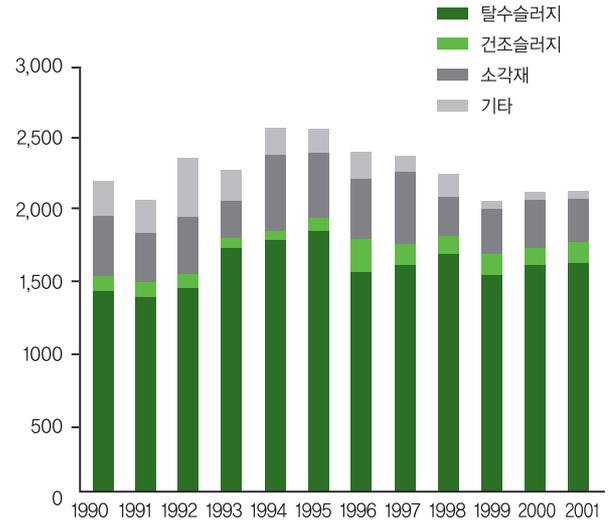


그림 4) 하수슬러지성상별 처분현황(국토교통성 조사)

(2001년 4월 1일~2002년 3월 31일)
(단위 : 천DS-t)

구분	처리성상	처리성상						계
		탈수케익	Compost	건조 슬러지	탄화 슬러지	건조회	슬러지	
녹농지 이용	지자체에서 실시	10	36	11	0	8	0	65
	장기간 인도	11	176	13	5	9	0	214
	소계	21	212	24	5	17	0	279
건설자재 이용	지자체에서 실시	0	0	0	0	187	78	265
	장기간 인도	12	6	9	3	540	24	594
	소계	12	6	9	3	727	102	859
	합계	33	218	33	8	744	102	1,138

국토교통성 조사

표 3) 하수슬러지의 유효이용실시현황(슬러지발생시 건조중량 Base)

년도	계	내역						Recycle율
		처분						
		매립	해양환원	기타	건설자재 (시멘트화 제외)	건설자재 (시멘트화)	녹농지	
88	1,364	1,117	10	27	54		157	15
89	1,385	1,129	11	37	38		170	15
90	1,413	1,138	12	36	45		182	16
91	1,448	1,151	16	31	76		174	17
92	1,496	1,149	15	32	108		192	20
93	1,559	1,092	20	77	147		223	24
94	1,629	1,160	20	59	174		216	24
95	1,691	1,136	20	28	282		226	30
96	1,824	1,062	28	49	311	114	260	38
97	1,863	1,009	10	15	364	197	269	45
98	1,864	908	7	63	302	315	270	48
99	1,877	884	4	45	259	415	270	50
00	1,977	900	4	42	332	419	280	52
01	2,047	868	1	41	346	541	277	56
02	2,113	824	1	28	425	550	285	60

중전, 건설자재로서 카운트되었던 처리비용을 지불하고 인도했던 매립복토는 매립으로 분류하고, 처리비용을 지불하지 않고 인도된 것만을 건설자재용도로써 카운트하고 있다. 이에 따라 Recycle율이 보정된다.

표 4) 슬러지유효이용의 경년변화(국토교통성 조사)

2. 하수슬러지의 발생량과 처리처분 등의 현상

2001년도의 하수슬러지 처리 및 처분의 성상을 표 1), 표 2)에 나타낸다. 하수슬러지는 연간 205만DS-t(건조중량 t)이 발생하고 있고, 그중 약 56%가 유효이용되고 있다. 최근 수년간은 매립처분의 비율이 순조롭게 저하되고 있으며, 유효이용비율도 착실히 증가하고 있다.

하수슬러지 유효이용 현황을 표 3), 그림 3)에 나타낸다.

유효이용의 내역으로써는 중전의 녹농지 이용이 중심이었지만, 최근에는 시멘트 원료로써의 이용과 용융슬래그의 이용 등 건설자재이용이 추진되고 있고, 1995년도에 건설자재이용이 녹농지 이용의 비율을 상회하고 2001년도에도 이 경향이 뚜렷해졌다.

그림 4)는 슬러지 성상별로 처분량(최종적으로 처리가 완료된 시험의 체적)의 경년변화를, 그림 5)는 처리방법별로 처분량의 경년변화를 나타낸 것이다. 탈수슬러지로서의 처분량은 여전히 많지만, 유효이용량이 증가하고 있다는 것을 알 수 있다.

슬러지 발생량이 증가하고 있기 때문에 최근 최종매립 처분량은 거의 일정한 비율이 되고 있다.

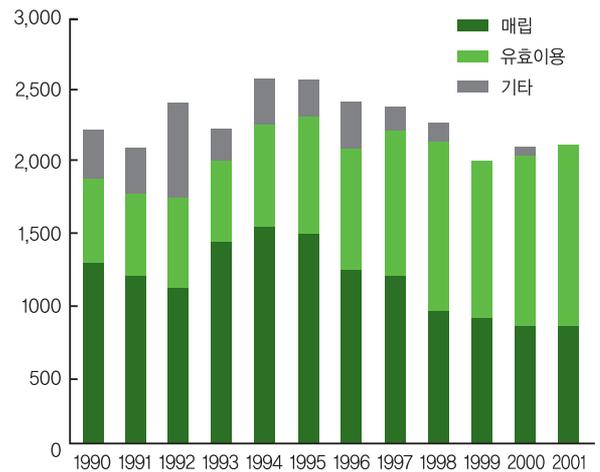


그림 5) 하수슬러지처리방법별 처분현황(국토교통성 조사)

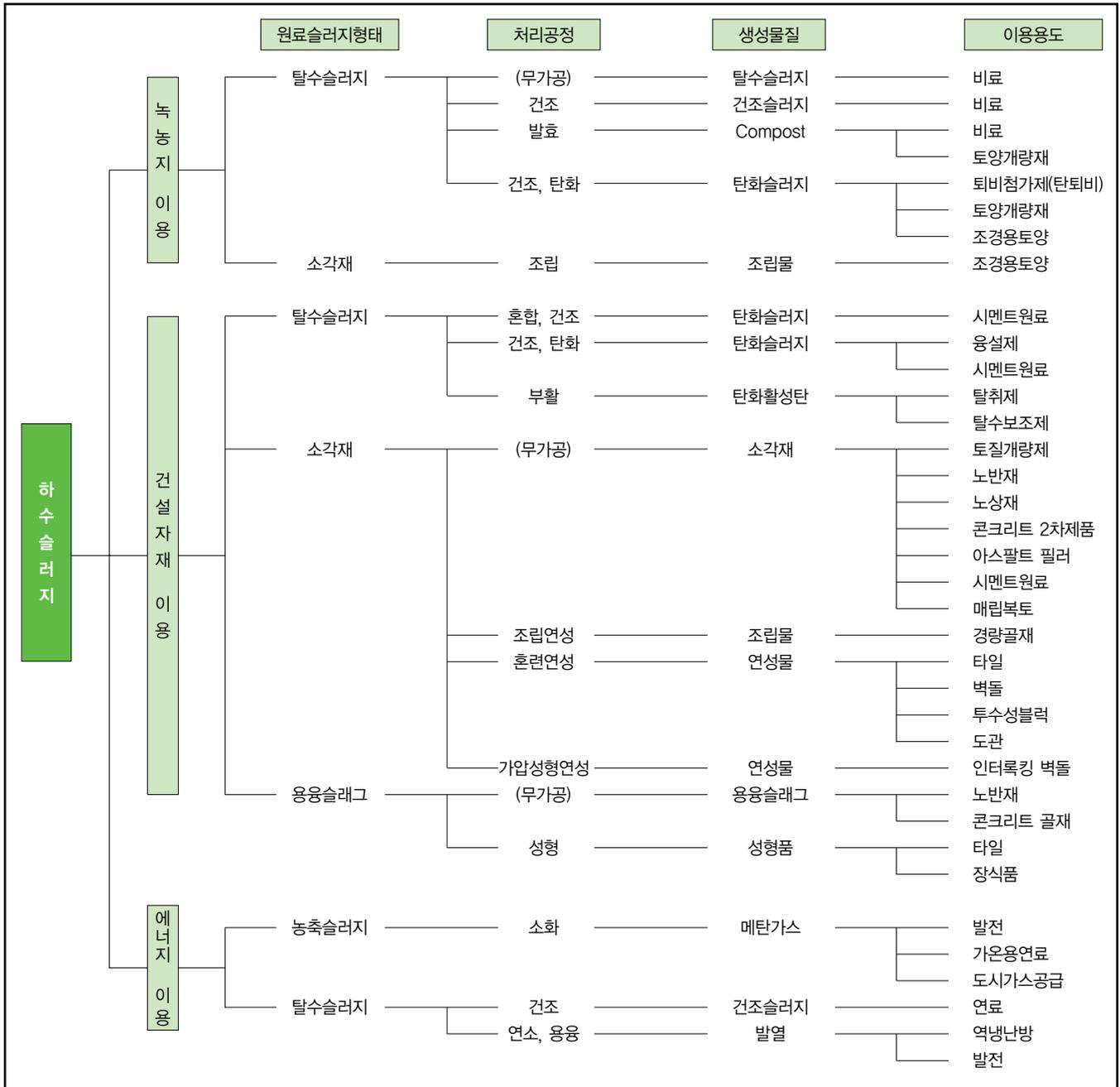


그림 6) 하수의 유효이용 용도

3. 하수슬러지의 유효이용

하수슬러지의 유효이용의 형태는 다양하지만, 그림 6)과 같이 농지 이용, 건설자재이용과 에너지이용으로 크게 구분된다. 또한, 하수슬러지의 유효이용에 관한 유해물질의 기준은 표 5)와 같다.

(1) 농지이용

하수슬러지에는 다량의 비료유효성분과 유기물이 포함되어 있고, 적정하게 사용하면 토양개량재와 비료로써 충분한 효과를 지

니는 것이 밝혀져 슬러지의 농지로서의 유효이용의 축진이 기대되고 있다. 하수슬러지를 농지로서 이용할 경우의 형태로써는 탈수슬러지, 건조슬러지, Compost화 슬러지를 고려할 수 있다. 특히, Compost화 슬러지는 슬러지가 질적으로 개선되었고, 취급이 용이하며, 발효처리로 인해 멸균·안정화되는 이점이 있기 때문에 유효이용의 축진 관점에서 Compost화의 의의는 크다. 현재, 샷뽀로시의 아쯔베쯔 Compost 공장이 1985년도부터 판매를 개시하여 착실하게 실적을 올리고 있다.

물질명	법령·통지 대상량	개정비료 단속법	폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률 (비료단속법으로 용출기준을 준용)	다이옥신류 대책특별조치법	녹용지에서의 토양중 중금속등의 누적방지에 관한 관리기준과 그 운용	녹농지의 토양의 슬러지방지등에 관한 법률	(참고) 토양의 슬러지에 관한 환경기준
		함유량	용출량	함유량	함유량	함유량	용출량 등
알킬수은			ND				ND
총수은		2mg/kgDS	0.005mg/l				0.0005mg/l
카드뮴		5mg/kgDS	0.3mg/l			1mg/kg 米	0.01mg/l
납		100mg/kgDS	0.3mg/l				0.01mg/l
유기인			1mg/l				ND
육가크롬			1.5mg/l				0.05mg/l
크롬		500mg/kgDS					
비스		50mg/kgDS	0.3mg/l			15mg/kgDS	0.01mg/l
시안			1mg/l				ND
PCB			0.003mg/l				ND
동						125mg/kgDS	
아연					120mg/kgDS		
니켈		300mg/kgDS					
트리클로로에틸렌			0.3mg/l				0.03mg/l
테트라클로로에틸렌			0.1mg/l				0.01mg/l
씨클로로메탄			0.2mg/l				0.02mg/l
사염화탄소			0.02mg/l				0.002mg/l
1,2-시클로로에탄			0.04mg/l				0.004mg/l
1,1-시클로로에틸렌			0.2mg/l				0.02mg/l
시스-1,2-시클로로에틸렌			0.4mg/l				0.04mg/l
1,1,1-트리클로로에탄			3mg/l				1mg/l
1,1,2-트리클로로에탄			0.06mg/l				0.006mg/l
1,3-시클로로프로판			0.02mg/l				0.002mg/l
C ₆ H ₁₂ N ₂ S ₂ (농약일종)			0.06mg/l				0.006mg/l
simazine(제초제일종)			0.03mg/l				0.003mg/l
치오벤칼프			0.2mg/l				0.02mg/l
벤젠			0.1mg/l				0.01mg/l
세렌			0.3mg/l				0.01mg/l
다이옥신류				3ng-TEQ/g			1ng-TEQ/g
비고		보통비료의 공정규격	· 보통비료의 공정규격 · 관리형처분 기준준용	소각재·매연· 슬래그 등 적용	· 대상은 토양자체 · 환경청수질보전국장통지	· 수전만대상 · 토양자체를 대상 · 카드뮴은 쌀을 대상	· 녹용지토양슬러지방 지법의 규정도 적용 · 다이옥신은 함유량

개정비료단속법(시행일 2000년 10월 1일)에 의해, 슬러지 비료는 「특수비료의 규정」에 따라 통상비료의 공정규격을 준수할 필요가 있다.
다이옥신류 대책특별조치법(시행일 2000년 1월 15일)에 의해, 소각시설로부터 발생하는 소각재·매연·슬래그 등의 다이옥신류 함유량 규제가 실시되게 되었다.

표 5) 하수슬러지의 유효이용에 관한 유해물질의 기준

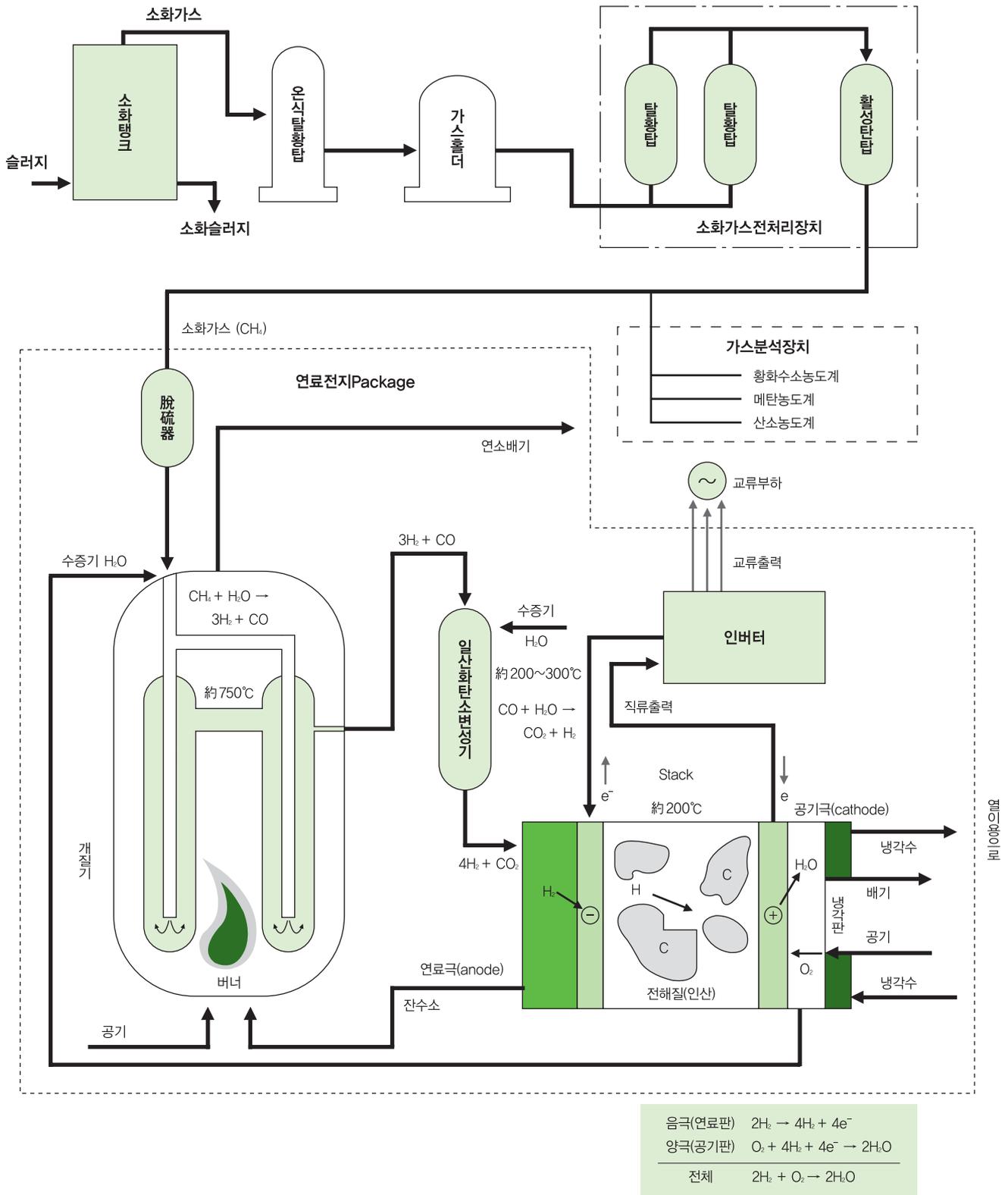


그림 7) 시스템의 구성과 전력반응모식도

녹농지 이용에 관해서는 다음과 같은 지침이 있다.

- 도시녹화에서의 하수슬러지의 사용지침(1987년, 1995년 1부 개정)
- 하수슬러지 녹농지이용 Manual(하수슬러지자원이용협의회 ((사)일본하수도협회내))
- 하수슬러지 Compost 시설편람-2001년판-((사)일본하수도협회)

또한, 비료의 품질을 보존하기 위해 비료의 규격 등을 정한 비료 단속법이 1999년 7월에 개정되어 2000년 10월부터 시행되고 있다. 이에 따라 특수비료로 되어 있던 하수슬러지를 원료로 하는 비료가 보통 비료로 되었지만, 「하수슬러지비료」는 유해성분을 함유할 우려가 높다고 인정되어 농재수산대신의 등록을 받아야만 하는 것으로 되었다.

(2) 건설자재이용

하수슬러지의 건설자재이용으로써는 시멘트 원료로의 이용 비율이 높아지고 있고, 2001년도에는 건설자재이용 중 건조중량을 기준으로 약 56%차지하고 있다.

하수슬러지로부터의 건조회와 용융 슬래그를 건설자재로써 이용하는 형태는 크게 나누어 다음 2가지이다.

- ① 하수슬러지의 최종처분형태(소각재와 용융슬래그) 그 자체를 자재로써 이용하는 것
(예 : 석탄계소각재의 복토재, 노반재 등)
- ② 소각재와 용융슬래그를 건설자재제조의 원재료의 일부 또는 전부로써 이용하는 것
(예 : 고분자계 소각재의 강관 및 투수성 벽돌원료로써의 이용 등)

최근에는 소각재와 굴착잔토를 이용하여 개량토를 제조하는 기술이 실용화되고 있고, 그 외 하수슬러지 소각재만으로 다른 재료를 첨가하는 것 말고 벽돌이나 타일 등의 제품을 만들어내는 기술도 개발되고 있다.

토치키현에서는 하수도자원화 공장을 건설하고, 현대의 각 공공 하수처리장과 유역하수처리장에서 발생한 탈수 탈수케익, 소각재를 수집하여 용융슬래그화한 후에 건설자재로써 유효이용하는 사업을 2002년 10월부터 시작하고 있다.

하수슬러지의 건설자재 이용촉진에 관해서는 아래와 같은 지침류가 있다.

- 하수슬러지의 건설자재이용에 Manual(안) 2001년판

((사) 일본하수도협회)

- 하수슬러지 건설자재화의 Guideline(안) 2001년판
- ((사) 일본하수도협회)

(3) 에너지이용

재생자원의 이용에 관한 법률제정 후, 다양한 재생자원의 이용이 도모되어 왔지만, 최근 유기성폐기물 등의 Biomass로부터 Bio Gas를 골라내 에너지로써 이용하는 것이 주목받기 시작했다. 하수슬러지는 에너지로써 높은 포텐셜을 가지고 있지만, 현재는 거의 이용되고 있지 않는 상황이다.

하수슬러지의 유효이용은 하수슬러지의 혐기성소화과정에서 발생하는 소화가스의 발전 등에 의한 이용, 하수슬러지 소각발열의 이용과 슬러지 자체의 연료화로 분류된다.

현재, 소화가스발전에 관해서는 요코하마시 남부슬러지처리센터 등 19처리장에서 실시되고 있다.

최근에는 발전효율과 배기가스의 면에서 우수한 연료전지발전 System에 소화가스를 연료로써 이용하고, 발전하는 설비가 요코하마시에 도입되어 향후 보급동향이 주목된다(표 6).

내용	슬러지소화가스를 연료로 하여, 연료전지발전 Plant에서 발전 (설치장소 : 요코하마시 하수도국 북부슬러지 처리센터)	
장치개요	형식	인산형, 상압식, 수냉식
	출력	200kW, 400V, 50Hz
	원료	하수슬러지소화가스(메탄농도 65%)
	전지분체수명	4만시간이상
	휴대설비	소화가스전 처리장치 1식
	발전원단위	소화가스 1㎡당 약 2.5kWh
	발전전력의 세대수	일반가정의 480세대분에 상당
환산	(160만 kWh(센터 소비전력의 약 5.5%))	

표 6) 소화가스발전 System(연료전지) (요코하마시)

최근의 움직임으로써는, 2002년 3월 19일에 정부의 지구온난화 대책추진본부가 결정한 「지구온난화대책추진개요」에서 에너지 공급면의 이산화탄소절감대책으로써 Biomass Energy의 도입이 명기되었다. 하수슬러지라고 하는 Biomass 자원을 많이 가지는 하수도 분야에서도, 온실효과 Gas인 메탄과 일산화이질소의 배출 억제에 신경 쓰면서, 소화 Gas 발전 등에 의한 에너지의 유효이용을 한층 촉진하는 것이 요구되고 있다. ㉔

(2004년 여름호에 계속)