

하수오니의 재활용현황

(1) 하수오니의 발생 및 처리현황

하수처리과정에서 발생하는 오니는 생오니, 2차 활성오니, 소화오니 및 스크린 오니 등을 포함한다. 하수오니는 중금속함량이 높을 뿐만 아니라 PCBs 등 유해 유기화합물을 함유하고 있으므로 안전성에 대한 검증이 불충분하여 미국 등 일부 국가에서는 퇴비 대체원으로 활용되고 있으나, 우리나라는 퇴비원료로 사용이 불가능한 재료이다^{(6), (7)}. 우리나라는 하천 등 공공수역의 수질보전을 위해 하수처리장을 꾸준히 건설하여 왔으며, 그 결과 전국에 시설용량 18,399천톤/일(2001년 기준)이 가동되고 있다⁽⁸⁾. 또한 2006년까지 소양강댐, 충주댐 등 8개 댐상류 지역에 무인자동 원격 감시제어시스템 등 첨단장비를 갖춘 하수처리장 329개를 건설할 계획이다. 이들 대부분이 활성오니법이며 질소·인 처리를 위한 고도처리공법도 계획 적용되고 있다. 표1에 보듯이 2001년도 하수처리장에서 발생한 오니량은 1,901천톤/년으로서 하수 1톤처리 당 평균 0.032%의 오니가 발생하고 있으며, 하수 1톤당 오니 발생량 비율은 하수관거정비 등으로 인한 유입수질의 상승으로 2000년도에 비하여 높아지고 있다.

표1. 국내의 하수오니 발생현황

연도별	유입하수량 (천톤/년)	유입하수량 (천톤/일)	연간발생량 (천톤/년)	1일발생량 (톤/일)	하수1톤당 발생율(%)
2000	5,711,315	15,684	1,757	4,822	0.031
2001	5,884,974	12,124	1,901	5,210	0.032
2002	-	-	2,079	5,689	-
2005(전망)	-	-	3,095	8,482	-

하수오니의 처리현황을 보면, 표16. 에 나타난 바와 같이, 육상매립의 경우 2000년도에는 25%를 차지하였으나 2001년도에는 12%로 크게 감소한 반면, 해양투기의 경우 2000년도에 64%에서 2001년도에는 73%로 증가하여 해양투기가 가장 높은 처리비율을 보이고 있다. 재이용 및 소각의 경우 2001년도에 각각 6.3% 및 7.3%를 차지하고 있다. 2001년도 육상매립 비율이 크게 감소하게 된 원인은 폐기물 관리법 시행규칙의 개정으로 시설용량이 1만톤/일 이상인 하수처리장의 오니는 직매립이 금지됨에 따른 것으로 판단된다. 직매립 금지의 경과조치의 하나로 함수율 75% 이하로 처리하는 처리장의 경우에는 2003년 6월 30일까지 발생오니의 직매립을 허용하였다.

전국에서 발생하는 하수오니 가운데 해양에 배출되는 비율이 지난 '97년 20%(29만t)에서 '98년 38%(55만t), 99년 51%(82만t), 2000년 64%(111만t), 2001년 73%(138만t)로 4년만에 4.7배나 크게 늘어났다. 특히 2003년 7월부터는 토양 및 지하수의 오염 문제로 하수오니

의 매립이 법적으로 금지되기 때문에 해양배출되는 하수오니가 급증할 전망이다. 이처럼 하수오니의 해양 배출량이 늘어나는 것은 무엇보다도 톤당 처리비가 2만7천원에 불과하여, 소각(5만5천원)이나 재이용(3~4만원)보다 저렴하기 때문인 것으로 사료된다.

국내에서 하수오니의 배출이 허용된 바다는 서해 1곳과 동해 2곳, 남해 1곳 등 모두 4곳이나 서해의 경우 용량이 한계에 도달해 내년부터는 동해안의 배출장이 주로 이용될 것으로 예상된다. 그러나 해양배출은 장기적으로 해양환경 파괴에 따른 부작용이 우려되어, 해양수산부에서는 해양부담금제도를 도입하고 환경부는 해양환경 보전을 위해 2001년도 현재 각각 7%인 소각과 재이용의 비율을 2005년까지 17%와 25%까지 높일 계획이다.

2001년도 하수오니 처리비용은 소각이 1톤당 35,213원으로 가장 높고, 육상매립이 1톤당 20,321원으로 가장 낮은 등 처리방법별로 처리비용의 격차가 심하며, 매립비용의 경우에도 자체매립지를 확보하거나 위탁처리 여부에 따라 차이가 크다.

하수오니의 재이용 현황을 보면, 2001년도 하수오니 재이용량은 49개소 하수처리장에서 전체 오니 발생량의 6.3%인 연간 119천톤을 재이용하고 있다. 재이용 유형은 건설자재로 재이용하는 것이 전체 재이용량의 22.5%인 26,815톤으로 가장 많고 퇴비화의 경우 16.8%, 지렁이 사육이 7.7%를 보이고 있다. 대량으로 발생하는 오니의 처리방안으로서 매립을 지양하고 소각과 퇴비화 등을 추진하고 있는데, 앞으로 주된 처리방법으로는 소각처리방법이 될 것으로 전망된다. 일부 하수처리장에서는 오니의 처리를 위해 유동층 소각로를 설치하여 운전하고 있는데, 지금까지의 주요 문제점으로는 오니의 발열량이 낮아 보조연료의 소모가 높다는 것이며 이로 인해 운영관리에 많은 고민을 하고 있는 실정이다.

하수오니는 수분함량이 높기 때문에 다른 폐기물과는 달리 발열량이 낮으며 저위발열량은 대략 2,500kcal/kg 정도인 것으로 조사되고 있다.

표2. 하수오니 처리내역 및 처리비용 현황

연도별	구분	계	육상매립	해양배출	재이용	소각	기타
2000	처리량(천톤)	1,754	443	1,130	87	94	
	구성비(%)	100	25.2	64.4	5.0	5.4	
	처리비용(백만원)	43,530	10,036	27,774	1,714	4,006	
	1톤당비용(원)	24,823	22,675	24,582	19,743	42,672	
2001	처리량(천톤)	1,896	234	1,384	119	138	21
	구성비(%)	100	12.3	73.0	6.3	7.3	1.1
	처리비용(백만원)	46,791	4,745	34,343	2,459	4,875	369
	1톤당비용(원)	24,680	20,321	24,811	20,615	35,213	18,025

(2) 하수오니의 처리기술과 재활용 동향

오니 중의 수분함량을 감소시키기 위한 기술로는 농축, 개량, 탈수 및 건조 등이 이용되고 있으며 오니를 안정화시키기 위한 기술로는 소화, 퇴비화, 소각, 습식공기산화 등이 이용되고 있다. 오니 농축기술로는 중력 농축법, 공기부상 농축법 및 원심 농축법 등이 있으

며, 탈수효율을 증진시키기 위한 개량방법으로는 약품처리, 열처리, 세척, 생물학적 개량 및 전기적 개량법 등이 있다. 탈수기술로는 진공탈수, 가압탈수, 벨트프레스, 더블벨트프레스, 원심분리 등의 방법을 사용한다.

퇴비화방법은 유기성 폐기물을 토양미생물의 작용에 의하여 호기성조건에서 분해하여 그 중의 분해성 성분을 가스화하여 안정화하는 방식으로 오니의 녹농지 이용을 주요한 목적으로 하여 퇴비화기술에 의하여 탈수케이크 단독 혹은 통기개량제를 혼합 발효시켜 안정화하는 기술이다. 퇴비화된 오니는 다량의 유기물과 질소 등의 비료성분을 함유하고 있으며, 통기성 확보 등과 같은 물리적으로 토양을 개량할 수 있는 특성이 있어 미국, 유럽 및 일본 등에서 오니의 재활용방법으로 널리 이용되고 있다. 퇴비화장치의 종류로는 통기 및 혼합방식에 따라 퇴적통기, 입형원통, 입형다단, 횡형교반 및 원형교반방식 등으로 분류할 수 있다. 퇴비화를 통하여 오니를 유효한 자원으로 재활용할 수 있다는 장점이 있으나, 중금속 등이 함유된 오니의 경우 2차 토양오염의 원인이 될 수 있다.

지렁이를 이용한 오니의 처리방법은 국내에 적용되고 있는데, 유기성 오니를 지렁이의 먹이로 공급하는 것으로 하수처리장 오니를 대상으로 지렁이의 생육에 맞는 조건이 충족되어야 하며 하수처리오니 이외에도 분뇨처리장, 유기성 공장폐수처리장 등의 오니에도 적용하고 있다.

시멘트공장에서 오니를 시멘트원료로 이용하는 방법과 탄화공정을 이용한 재활용 제품생산, 오니에 첨가제를 혼합하여 비료화하는 방법 등이 적용되고 있으며, 오니를 이용한 벽돌 제조 등에 대한 연구도 진행되고 있다. 또한 고화처리에 있어서는 시멘트고화, 아스팔트고화, 슬래그나 생석회를 이용한 고화처리방법 등이 있으나 기술적 및 경제적인 문제점이 있다.

소각은 공기 중의 산소를 이용하여 가연성물질을 연소시키는 방법으로 최근의 매립지란 해소를 위한 폐기물의 감량화, 유기물의 무기물화를 위한 부패성물질 처리를 위한 안정화 등의 폐기물의 처리공법으로 많이 이용되고 있다. 또한 연소시 발생하는 폐열을 이용하여 발전이나 난방 등으로 재이용할 수 있어 오래전부터 도시 폐기물처리 등에 많이 활용되어 왔으며, 선진국에서는 대도시를 중심으로 기존의 매립방법에서 소각으로 전환하고 있는 추세이다. 소각처리의 장점으로는 위생적인 처분이 가능하고, 부패성이 없으며, 오니 용적이 최초용적의 10~20%로 감소되어 감용률이 높다. 오니의 소각방식으로는 유동층 소각로가 가장 널리 이용되고 있으며, 입형 다단소각로, Rotary kiln식 소각로, 열분해 소각로, 용융 소각로 등 여러 가지 형식이 있다.

대량으로 발생하는 오니의 처리방식에 있어서 앞으로 매립은 금지되며, 해양배출도 금지될 예정이어서 그 대책방안이 시급한 실정이다. 처리 방향설정에서 중금속 등 유해물질이 함유되어 있지 않은 오니의 경우 퇴비화 방식이 제품의 품질향상이 뒷받침될 경우 확대 적용될 것으로 예상되며, 대량처리 및 위생처리가 가능한 소각처리방식이 널리 적용될 전망이다. 소각처리방식에 있어서 오니의 함유율이 문제시되고 있는데, 이는 함유율이 높아 저위발열량이 낮아져 보조연료사용이 많아지는 경제성 문제와 함께 연소효율에도 영향을 미

쳐 함수율을 최대로 감소시켜야 함과 동시에 발열량을 높이는 기술적인 문제가 있다.

한 편 표3.은 하수오니의 처리방법별 실적 및 2005년 계획을 나타낸 것으로서 2002년 현재 하수오니의 재활용은 소각 후 재활용을 포함하여 19%에 불과하며 발생량의 72%가 해양배출되는 것을 알 수 있다. 이러한 처리실태는 향후 꾸준히 개선하여야 할 과제로서 2005년에는 소각 후 재활용을 포함하는 하수오니 재활용율을 40% 수준으로 상향시키며 해양배출 비율을 58% 수준으로 낮추고 매립비율 역시 2002년 9%에서 2005년에는 2%로 낮출 계획이다.

표3. 하수오니 처리방법별 실적과 계획

	발생량/일	해양배출	매립	소각후재활용	재활용
2002	5,689톤	4,083(72%)	530(9%)	559(10%)	517(9%)
2005(계획)	8,482톤	4,895(58%)	194(2%)	1,427(17%)	1,966(23%)

(3) 일본의 하수오니 재활용 동향

하수오니의 재활용 방안은 그림1. 과 같이 다양한데, 용도별로 살펴보면 녹농지 이용, 건설자재 이용, 에너지 이용으로 구분된다.

녹농지 이용은 하수오니가 질소 등의 영양소를 풍부하게 포함하고 있으며 오니 중의 유기물이 부식질을 생성하여 토양의 통기성, 보수성, 미생물 유지능력 등을 개선시키는 효과를 가지고 있기 때문이다. 소각재 이용을 비롯한 녹농지 이용의 실시실적의 약 30%는 지자체가 자체적으로 실시하고 있으며 약 2/3는 비료회사 등에서 제품화하고 있다. 지자체가 보유하고 있는 유효이용 시설은 컴포스트화 시설이 주를 이루며 건조시설이 그 뒤를 잇고 있다.

건설자재 이용에 있어 하수오니 중의 무기물은 규소, 알루미늄, 칼슘 등 토양과 유사한 성분으로 이루어져 있으므로 시멘트 원료, 콘크리트 제품, 기와, 골재 등의 용도가 주류를 이룬다. 자치체에서 유효이용 시설을 보유하고 있는 비율은 녹농지 이용과 비슷한 1/3 정도이다. 실시현황을 살펴보면 소각재를 이용하는 경우가 많은데, 이는 시멘트 원료로서 민간 회사에서 실시중인 사례가 많기 때문으로 자치체가 보유하고 있는 가장 많은 유효이용 시설은 용융로이며 발생 슬래그는 노반재 등의 매립재와 골재로 이용되고 있다.

에너지 이용은 물질을 직접적으로 이용하는 것은 아니며 혐기성 소화 메탄가스를 이용하는 엔진이용 발전이 가장 많고 고형연료화, 폐열회수 등의 실시예가 있다.

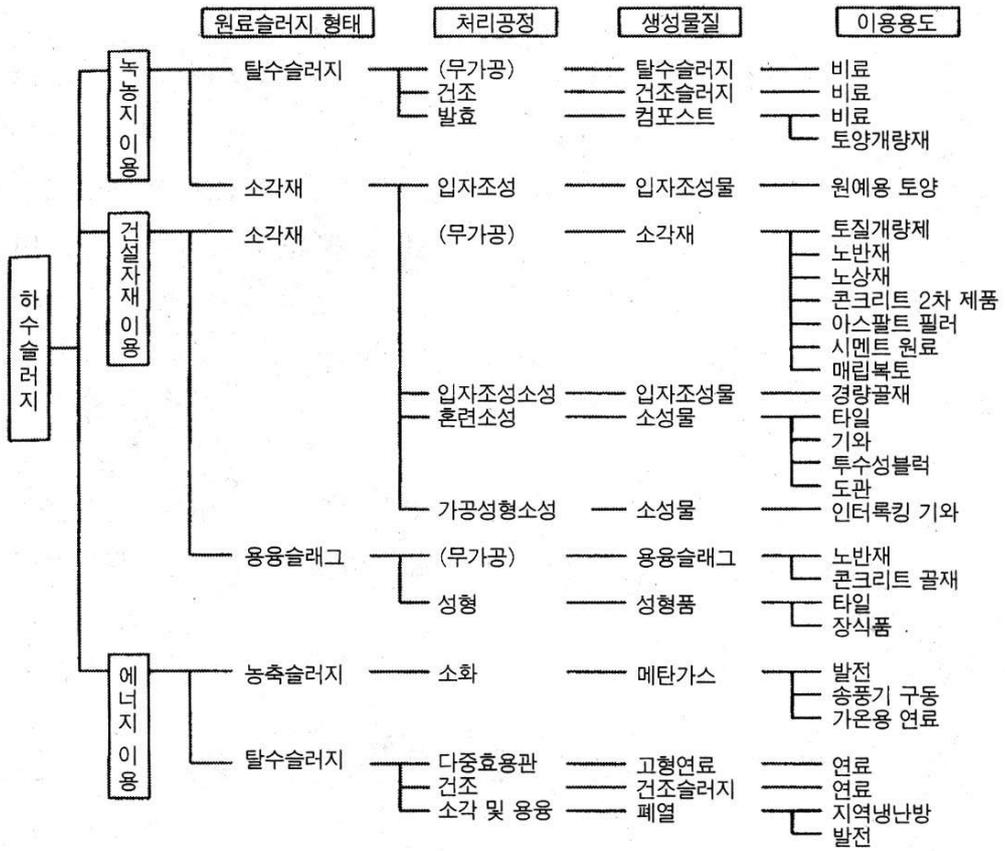


그림1. 하수오니의 재활용

아래의 그림2.는 일본 쓰루오카시에서 운영하고 있는 하수오니 탄화시설 공정도로서 함수율 80% 전후의 탈수오니를 함수율 30%로 입자 건조하는 건조기, 건조후의 오니를 탄화하는 탄화로, 연소가스로부터 열을 회수하는 열교환기 및 배출가스처리시설로 구성되어 있으며 탄화로 하부의 예열 버너로 스크류 컨베이어의 외측 케이싱을 700℃로 가열하면 건조오니가 저산소 상태에서 분해 즉 건류되어 탄화되는 공정이다. 시설용량은 10톤/일 로서 하수슬러지 자원화 시설은 탄화로 내에 상하방향으로 다단 스크류 컨베이어를 관통시킨 일종의 외열형 킬른으로 원료오니를 상단의 스크류 컨베이어로부터 하단의 스크류 컨베이어로 이송하는 사이에 스크류 컨베이어 외측 케이싱을 가열·건류하는 방식으로 되어 있다.

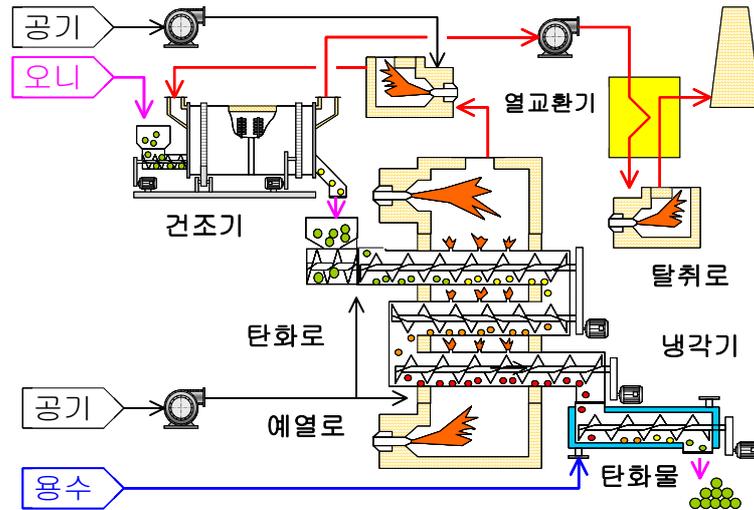


그림2. 하수슬러지 탄화시설 공정도

표4.는 생산된 탄화 오니의 성상을 원료로 사용한 탈수오니의 성성과 비교한 것으로서 최종 생성물인 탄화오니는 목탄과 유사한 성질을 가지고 있어서 고품연료로 사용함에 손색이 없으며 용도별 소비량에 따라 그 지역에 적합한 재활용이 가능하다. 쓰루오카 정화센터 주변에는 메론농장이 대단위로 있어 화훼용의 원예작물에 사용되는 토지개량제로 무상 공급중이며, 일본에서는 하수슬러지를 비료화 및 농경지 환원시 각각의 처리기준을 설정하고, 이 기준에 적합하면 처리가 가능토록 체계를 유지하고 있다.

표4. 탈수오니와 탄화오니의 성상

항 목	단 위	탈수오니	탄화오니	측정방법	
함 수 율	%	83.8	23.6	하수시험법	
강열감량	%	87.1	58.2	하수시험법	
회 분	%	12.9	41.8	하수시험법	
고위발열량	KJ/kg	20,760	18,170	열량계법	
충진밀도	kg/m ³	-	440	JIS K 1474	
원 소	C	%	45.7	47.5	원소분석계
	H	%	6.5	1.1	원소분석계
	N	%	8.4	6.0	원소분석계
	S	%	1.2	<0.5	원소분석계
전 인	mg/kg	2,870	48,200	JIS K 0102	
칼 슘	mg/kg	1,580	24,300	JIS K 0102	
마그네슘	mg/kg	380	7,900	JIS K 0102	
카 드 뮴	mg/kg	520	7,800	JIS K 0102	
pH	-	-	7.8	하수시험법	

한 편, 하수오니 탄화시설의 경제성 검토를 위하여 함수율 80%의 탈수오니를 420kg/h 처리하는 탄화장치를 24시간 운전할 경우의 운전비용을 분석한 결과는 표5.와 같다.

표 5. 하수처리오니 탄화시설의 운전비 내역

구분	사용량	단가	운전비용	톤당 단가
동력	1,690(kwh/d)	63원/kwh	106,470원/일	5,320원/톤
탄화로 연료	120(ℓ/d)	386원/ℓ	46,320원/일	2,320원/톤
재연로 연료	1,170(ℓ/d)	386원/ℓ	660,060원/일	33,000원/톤
합 계	40,640원/톤			