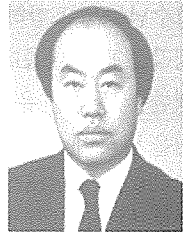


해외 선진국 하수슬러지 발생 및 처리 현황



정인권 | 환경관리공단 산업지원처장

■ 미국의 발생 및 처리현황

미국의 경우 1998년 기준으로 497.5만톤(건조중량)의 하수슬러지가 발생하고 있으며 주(州)별 여건에 따라 다양한 처리유형을 보이고 있으나 전국적으로는 농지주입 및 육상매립 처리가 많은 비율을 차지하고 있다. 아래 표와 같이 1970년대와 비교해 볼 때에도 매립, 소각은 감소하였으나 농지주입 및 퇴비화는 크게 증가하였다. 미국은 사막이나 불모지가 많고 슬러지에 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.

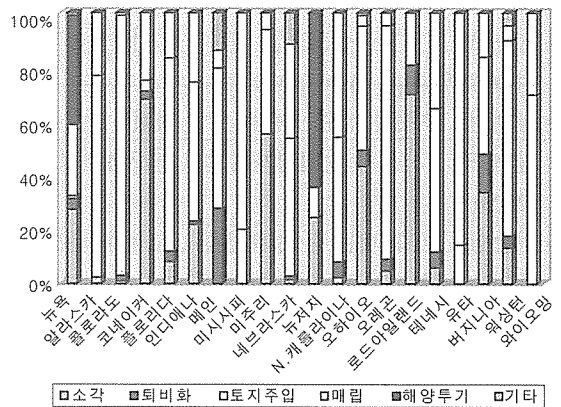
미국 주요도시의 슬러지 처리·처분현황은 아래 표와 같다. 최근에는 처리비용 측면에서 사막지역에서 건조에 의하여 건조한 후에 다시 재이용하는 방안에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 이러한 건조과정에 있어서 규제 대상이 되고 있는 병원성미생물에 대한 사멸정도에 대한 관심이 증가하고 있고, 가시적인 성과가 도출되고 있다.

〈표 1〉 미국의 하수슬러지 처리율(%) 변화

구분	매립	토양사용	표면처리	해양투기	소각	계
1972년도	40	20	-	15	25	100(4.29)
1997년도	38	36	10	-	16	100(5.3)

* () : 백만톤/년,

*자료 : 한국자원재생공사(1997), 퇴비제품의 안정성 및 효용성 평가
*NAP(1996), Use of reclaimed water and sludge in food crop production



[그림 1] 미국 주요도시의 슬러지 처리처분 현황

〈표 2〉 미국 주요 도시의 슬러지 처리·처분 현황

주요도시	소각(%)	퇴비화(%)	토지주입(%)	매립(%)	해양투기(%)	단독매립(%)	리군/저장(%)	기타(%)
뉴욕	27	4	1	26	40	-	1	1
알래스카	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
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	-
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.

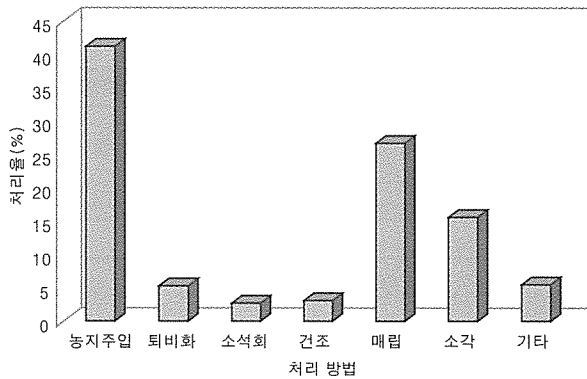
또한, 하수슬러지를 Biosolids로 정의, 자원의 개념으로 인식하여 하수슬러지를 유기비료 등으로 광범위하게 사용하고 있으며, 아래 표와 같이 1998년말 기준으로 퇴비화 및 농지주입(47%), 고형화 및 건조화(6%)로 약 53%를 자원으로 이용하고 있다.

미국은 이른 시기부터 하수슬러지에 대한 관리의 중요성을 인식하여 슬러지처리 전반에 대하여 가이드라인을 설정하여 두고 있으며, 측정방법, 처리방법, 유효이용방법에 대하여 설명, 간접적인 규제를 하고 있다.

〈표 3〉 미국의 하수슬러지 처리현황, 1998년 기준

발생량[dry 톤/년]	농지주입	퇴비화	고형화(소석회)	건조	매립	소각	기타
4,975,179	2,048,535	264,773	134,198	151,950	1,326,677	777,045	272,020
100%	41.2%	5.3%	2.7%	3.1%	26.7%	15.6%	5.5%

*자료 : 슬러지 관리와 재활용방안, '99한국폐기물학회 대구·경북지역회 추계산학협동 학술심포지움



〈그림 2〉 미국의 하수슬러지 처리 현황, 1998년 기준

■ 유럽의 발생 및 처리현황

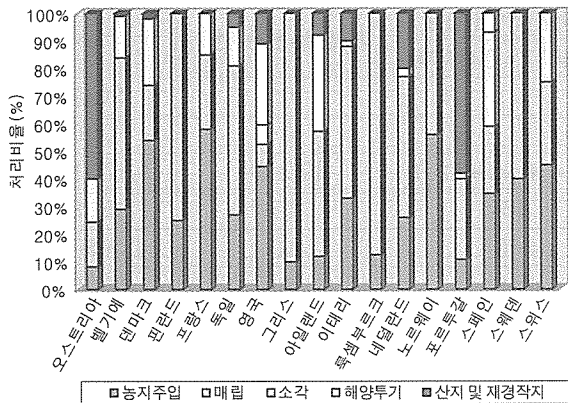
유럽 17개국을 대상으로 하수슬러지 발생량 및 처리 현황을 앞의 표에서와 같이 살펴보면 전체적으로 약 36.4%가 농경지 등에 재이용되고 있으며, 41.6%가 육상매립, 소각 10.9%, 해양투기 5.2%로 나타났다.

슬러지 재이용율이 높은 국가들로는 덴마크, 프랑스, 영국, 노르웨이, 스페인, 스웨덴, 스위스 등이며 이들 국가의 재이용율은 매년 증가하는 것으로 조사되었다. 육상매립에 대한 기준은 많은 유럽국가에서 2000년 이후부터 강화되는 추세로 매립비율은 점차 감소할 것으로 전망된다. 영국의 경우, 하수슬러지는 연간 약 3,500만톤(건조중량 110만톤/년)이 발생되며 이 중 약 50%가 농경지 및 토양에서 재활용되고 있고 30%는 해양투기 되었으나, 98년 이후에는 해양배출을 실시하지 않고 있다.

〈표 4〉 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량 및 처리현황

국가명	하수슬러지발생량 (dry천톤/년)	농토 재이용(녹농지) (dry천톤/년)(%)	육상매립 (dry천톤/년)(%)	소각 (dry천톤/년) (%)	해양투기 (dry천톤/년)(%)	산지 및 재경작지 (dry천톤/년)(%)
오스트리아	170.0	30.6(18)	59.5(35)	57.8(34)	-	22.1(13)
벨기에	59.2	17.2(29)	32.5(55)	8.9(15)	-	0.6(1)
덴마크	170.3	92(54)	34(20)	40.9(24)	-	3.4(2)
핀란드	150.0	37.5(25)	112.5(75)	-	-	-
프랑스	865.5	502(58)	233.5(27)	130(15)	-	-
독일	2,681.2	724(27)	1,448(54)	375.2(14)	-	134(5)
영국	1,107.0	488(44)	88.6(8)	77.4(7)	322(30)	121(11)
그리스	48.2	4.8(10)	43.4(90)	-	-	-
아일랜드	36.7	4.4(12)	16.6(45)	-	12.8(35)	2.9(8)
이태리	816.0	269.2(33)	449(55)	16.2(2)	-	81.6(10)
룩셈부르크	8.0	1(12)	7(88)	-	-	-
네덜란드	335.0	87(26)	171(51)	10(3)	-	67(20)
노르웨이	95.0	53.2(56)	41.8(44)	-	-	-
포르투갈	25.0	2.7(11)	7.3(29)	-	0.5(2)	14.5(58)
스페인	350.0	175(50)	122.5(35)	17.5(5)	35(10)	-
스웨덴	200.0	80(40)	120(60)	-	-	-
스위스	270.0	121.5(45)	81(30)	67.5(25)	-	-
총계	7,387.0	2,690.1(36.4)	3,066.2(41.6)	801.4(10.9)	380.3(5.19)	447.1(6)

*자료 : A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal, 1996, IAWQ



〈그림 3〉 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량 및 처리현황

1990년과 1991년 사이 영국은 전체의 0.3%만을 농경지에 이용하고 나머지는 배를 이용하여 해양투기하거나(약 30%) 매립 또는 소각(약 10%) 하였다. 또한 소량의 슬러지가 토양의 개량제로 이용되기도 하였다.

2005년도 이후의 하수처리량은 보다 늘어날 것이며 장래 하수슬러지 발생량은 연간 150만톤이 될 것으로 추정되었다. 또한 1998년에 해양투기가 금지되었기 때문에 슬러지를 효율적으로 재이용할 수 있는 방안에 대한 대책을 마련하고 있는 실정이다. 아래 〈표 5〉는 영국의 하수슬러지 처분현황 및 처분계획을 보여주고 있다. 특히 런던시의 경우 소각로가 준공된 1998년 이후부터는 전량

〈표 6〉 일본의 하수슬러지 처리 현황

연도	처리형태 처리성상	매립(dry천톤/년)		유효이용(dry천톤/년)		기타(dry천톤/년)	계
		육상	해면	녹농지	건설자재		
1998년	탈수슬러지	849	331	619		74	1,873(73)
	소각재(용융슬래그포함)	128	185	84		5	402(15)
	건조슬러지(퇴비화포함)	11	0	75		10	96(4)
	소화·농축슬러지	0	0	0		198	198(8)
	계(%)	988(38)	516(20)	778(30)		287(11)	2,569(100)
1999년	탈수슬러지	120		28	25	5	178(9.5)
	소각재	601		8	731	2	1,342(71.5)
	용융슬래그	1		0	62	28	90(4.8)
	퇴비화	0		211	0	0	211(11.2)
	건조슬러지	17		22	0	15	54(2.9)

소각에 의해 하수슬러지를 최종 처리, 처분하고 있다.

〈표 5〉 영국의 하수슬러지 처분현황 및 처분계획

구 분	1995년	2005년
소 각	10%	28%
매 립	10%	6%
재 활용	50%	66%
해양투기	30%	0%

*자료 : 서울시 하수처리장 슬러지의 감량 및 재이용 방안에 관한 연구, 1997, 서울시정개발연구원

■ 일본의 발생 및 처리현황

일본의 경우, '98년 하수슬러지 처리성상에 따른 처리·처분현황을 살펴보면, 아래 〈표 6〉에서 보는 바와 같이 탈수슬러지 형태로 처분하는 경우가 전체의 73%를 차지하는 것으로 나타났으며, 소각재 처분은 15%를 나타냈다. 이러한 처리현황이 시간의 경과에 따라 크게 변화하였으며, 2001년도에 탈수슬러지로서 처분된 양은 6%이며, 소각재로서 처분된 양은 81%를 보이고 있다. 일본의 경우에는 대부분이 소각에 의하여 처리가 되고 있는 것을 간접적으로 알 수 있다.

연도	처리형태 처리성상	매립(dry천톤/년)		유효이용(dry천톤/년)		기타(dry천톤/년)	계
		육상	해면	녹농지	건설자재		
1999년	탄화슬러지	0		1	1	0	2(0.1)
	소화·농축슬러지	0		0	0	0	0(0)
	계(%)	739(39.4)		270(14.4)	819(43.6)	49(2.6)	1,877(100)
2000년	탈수슬러지	103		43		5	151(8)
	소각재	624		900		41	1,565(79)
	건조슬러지	11		248		1	260(13)
	소화·농축슬러지	0		0		0	0(0)
	계(%)	738(37.3)		1,191(60.3)		47(2.4)	1,976(100)
2001년	탈수슬러지	89		32		2	123(6)
	소각재	767		845		38	1,650(81)
	건조슬러지	12		259		3	274(13)
	소화·농축슬러지	0		0		0	0(0)
	계(%)	868(42.4)		1,136(55.5)		43(2.1)	2,047(100)

*자료: 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2002, 재생과 이용 Vol. 25, 2003, 재생과 이용 Vol. 26; 2004, 재생과 이용 Vol. 27(103호)

2001년도에 하수슬러지 처분의 육상매립 및 해면매립을 통해 이루어진 양은 전체의 42.4%였고, 토양환원 및 건축자재로의 이용 등 하수슬러지를 유효 이용하는 경우도 55.5%를 보였다.

처분현황 중 자원화 측면에서 하수슬러지를 유효활용하는 사례를 살펴보면 아래 <표 7>에서 보는 바와 같이 전체 유효이용되고 있는 1,138천톤중에 녹농지로 이용된 양이 279천톤, 건설자재로서 이용된 양이 859천톤이다.

< 표 7 > 하수슬러지의 유효이용사례 (2001년 4월 ~ 2002년 3월)

[단위: dry천톤]

구분	처리성상	계(dry 천톤/년)	탈수슬러지	퇴비	건조오니	탄화오니	소각재	용융슬래그
합 계		1,138	33	218	33	8	744	102
녹농지	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	지자체에서 실시	265	0	0	0	0	187	78
	민간에게 인도	594	12	6	9	3	540	24
이용	소 계	859	12	6	9	3	727	102

*자료: 하수오니의 유효이용의 현상과 과제, 2004, 재생과 이용 Vol. 27(103호)

전체 자원화된 양중에 실제 녹농지에 이용된 양은 25% 전후이다. 녹농지에 이용된 양중에서 가장 많은 양을 차지하는 것이 퇴비이고 212천톤을 보여주고 있으며,

생오니 혹은 건조오니의 상태에서도 이용되고 있는 현상을 보여주고 있다. 특이한 것은 녹농지에 이용되었던 양중에서 소각재로서 이용된 양이 17천톤임을 보여주고

있다.

건설자재로서의 이용은 대부분 소각재 및 용융스래그를 이용한 것이며, 859천톤이 각종 건설용골재로서 재이용되었다. 슬러지 처리성상 면에서 보면, 소각재 상태로 건설자재로 이용되는 양이 가장 많았으며, 그 이유는 소각시 발생하는 소각재의 성분이 균일하고 입상의 상태가 양호하여 건설자재로서 이용가치가 높기 때문인 것으로 알려지고 있다. 이러한 재활용은 공공 즉 지자체보다

는 민간에게 인도되어 자원화된 비율이 높은 것으로 나타났다. 일본 내 대도시의 경우는 '80년대부터 하수슬러지 처리를 매립에서 소각으로 전환시키고 있으며 소도시에서는 슬러지의 자원화 측면에서 토양화 또는 직접 농지에 환원시키는 방법을 사용하고 있다. 또한 슬러지를 적절하게 처리한 후, 경량골재 및 벽돌, 타일, 건축자재와 지반개량제로 이용하고 있는 실정이다. '88년도부터 2002년 까지 자원화현황의 변화과정을 <표 8>에 나타내었다.

<표 8> 하수슬러지의 유효이용사례 (2001년 4월 ~ 2002년 3월)

[단위: dry천톤]

년도	계	처분			유효이용			재활용률(%)
		매립	해양환원	기타	건설자재(시멘트화 제외)	건설자재(시멘트화 포함)	녹농지	
1988	1,364	1,117	10	37	54		157	15
1989	1,385	1,129	11	37	38		170	15
1990	1,413	1,138	12	36	45		182	16
1991	1,448	1,151	16	31	76		174	17
1992	1,496	1,149	15	32	108		192	20
1993	1,559	1,092	20	77	147		223	24
1994	1,629	1,160	20	59	174		216	24
1995	1,691	1,136	20	28	282		226	30
1996	1,824	1,062	28	49	114	311	260	38
1997	1,863	1,009	10	15	197	364	269	45
1998	1,864	908	7	63	302	315	270	48
1999	1,877	884	4	45	259	415	270	50
2000	1,977	900	4	43	332	419	280	52
2001	2,047	868	1	41	346	514	277	56
2002	2,113	824	1	28	425	550	285	60

'90년대 중반부터 매립량이 감소하고, 건설자재로서 유효이용량이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 소각으로 전환되고 있는 시기였음을 알 수 있다.

해양환원은 '90년 중반부터 급격하게 감소하여 최근에는 거의 없는 것을 알 수 있으며, 녹농지의 이용량은 계속적으로 증가하고 있는 현상을 관찰할 수 있다.

이러한 일본의 사례에서 볼 수 있는 것과 같이 일본은

런던 '96의정서에 대비하여 육상처리를 전제로 많은 대책을 수립하여 왔으며, 대부분이 소각으로 대책이 진행하면서 소각재를 자원화 하는 지자체가 대부분이나, 토양개량제, 퇴비로서 사용범위도 탈수케익을 그대로 이용하거나, 건조, 퇴비화 하여 이용하는 방안이 법적으로 정비되어 있어, 폭넓은 처리 및 자원화를 하고 있다. ◀