

국내외 하수슬러지 처리·처분 현황 및 개선방안

김 갑 수

서울시정개발연구원 도시환경부

The Present State and Improvement of Sludge Disposal from Sewage Treatment Plants

Kap Soo Kim

Department of Urban Environment, Seoul Development Institute

1. 서 언

경제성장, 생활수준의 향상으로 생활하수 발생량이 증대되었으며 2005년 말을 기준으로 전국에서 가동중인 공공하수처리장은 294개소로 시설용량은 22,568천톤/일이며, 마을 하수도는 1,404개소, 시설용량은 98,402톤/일이다. 하수처리구역 내 하수처리인구 비율로 산정한 국내의 하수도 보급률은 2005년말 현재 선진외국의 하수도 보급률이 평균 80% 이상인 것에 비교하면 비슷한 수준인 83.5% 정도이다(Table 1 참조).

Table 1. 선진외국의 하수도보급률¹⁾

| 덴마크 | 영국 | 스웨덴 | 네델란드 | 독일 | 스위스 | 캐나다 | 프랑스 |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 89.0 | 97.0 | 93.0 | 97.4 | 93.0 | 94.0 | 80.0 | 77.0 |
| 한국 | 핀란드 | 오스트리아 | 미국 | 일본 | 이태리 | 스페인 | 노르웨이 |
| 83.5 | 71 | 86.0 | 71 | 67.0 | 61 | 59 | 57 |

2005년도 하수슬러지(하수오니)의 발생량은 2,560천톤/년이다. 또한 계속적인 하수도 보급률이 증가함에 따라 하수슬러지의 발생량도 증가될 전망이다.

하수슬러지는 함수율이 높고 유기물질을 다량 함유하고 있어 부패하기 쉬운 특성을 가지고 있어 처리과정에서 악취 및 해충발생으로 환경피해가 발생할 우려가 있으며, 또한 하수슬러지에 함유된 유기물의 유효이용과 매립지 소모량을 줄이기 위해 중간처리에 의한 감량화가 필요하다. 환경부에서는 유기성 슬러지의 재활용과 매립지 사용수명 연장 등을 위해 직매립 금지 규정을 도입하여 2003년 7월 1일부터 시행됨을 예고하였다. 즉, 2001년 1월 1일부터는 1만m³/일 이상의 공공하수처리장은 탈수케익 함수율이 75% 미만인 경우에만 육상직매립이 가능하였으며, 2003년 7월 1일부터는 유기성 슬러지의 함수율과 관계없이 육상직매립이 금지되고 있다. 그러나 지자체에서는 처리시설 설치를 위한 재원확보의 어려움과 처리기술의 미흡 등에 의해 직매립 금지의 시행시기 및 런

던협약 '96 의정서가 2006년 3월 24일 발효되었으나 이에 대한 준비가 부족하여 다각적인 대책마련이 필요하다. 본 고에서는 상기와 같은 관점에서 하수슬러지 처리 문제점과 자원화 실태 및 개선방안 등에 대하여 검토 및 고찰해보고자 한다.

2. 하수슬러지발생 및 처리실태

Table 2와 같이 하수슬러지의 처리는 '99년까지는 대부분 매립과 해양투기에 의해 처리되었다. 다만, 1997년 7월 유기성오니의 직매립 금지규정(시행시기 2003년 7월1일)이 도입된 이후 하수슬러지의 처리방법을 살펴보면 1997년에 비교하여 2005년에는 매립이 72.1%→1.7%로 감소한 반면 해양투기

Table 2. 하수슬러지의 배출 및 처리현황²⁾

(단위 : 천톤/년)

| 구 분 | 계 | 육상매립 | 소 각 | 재활용 | 해양투기 | 기타 |
|--------|----------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1997년도 | 1,323 (100) | 954 (72.1) | 4 (0.3) | 69 (5.2) | 296 (22.4) | - |
| 1998년도 | 1,468 (100) | 803 (54.7) | 12 (0.8) | 47 (3.2) | 606 (41.3) | - |
| 1999년도 | 1,574 (100) | 640 (40.7) | 33 (2.1) | 88 (5.6) | 820 (52.1) | - |
| 2000년도 | 1,739 (100) | 439 (25.2) | 93 (5.35) | 89 (5.15) | 1,118 (64.3) | - |
| 2001년도 | 1,902 (100) | 229 (12.0) | 138 (7.3) | 118 (6.2) | 1,391 (73.1) | 26 (1.4) |
| 2002년도 | 2,073 (100) | 255 (12.3) | 200 (9.6) | 107 (5.2) | 1,471 (71.0) | 40 (1.9) |
| 2003년도 | 2,267 (100) | 113 (4.98) | 280 (12.4) | 152 (6.7) | 1,626 (71.7) | 96 (4.23) |
| 2004년도 | 2,426 (100) | 34 (1.4) | 283 (11.7) | 239 (9.9) | 1,869 (77.0) | |
| 2005년도 | 2,557 (100) | 44 (1.7) | 286 (11.2) | 122 (4.8) | 1,994 (78.0) | 114 (4.4) |

*()안은 구성비율(%)

E-mail: sportkim@sdi.re.kr

Tel: 02-2149-1152

Fax: 02-2149-1199

Table 3. 하수슬러지 처리단가 비교⁸⁾

| (단위 : 원/톤) | | | |
|--------------|--------|--------|----------|
| 해양배출 | 매립 | 소각 | 재활용(시멘트) |
| 14,000(최저단가) | 37,000 | 44,000 | 37,000 |

는 22.4%→78.0%로 증가하여 하수슬러지의 처리방법을 직매립에서 재활용(녹생토, 퇴비화, 고품화 등)과 중간처리(소각)로 전환하려는 취지와는 달리 처리시설의 건설비가 들지 않고 처리비가 저렴한 해양투기로 전환하였음을 알 수 있다(Table 3 참조).

3. 국내 공공 하수슬러지 처리·처분현황

3.1. 발생현황

2005년도 기준으로 국내 공공하수처리장은 Table 4와 같이 294개소이며, 하수처리량은 18,261,853 m³/일이고, 슬러지 발생량은 7,017톤/일(2,560,959톤/년)로 나타났다.

국내 공공하수처리장의 하수 1 m³당 슬러지 발생량은 0.38 kg/m³로 나타났으며, 충청남도의 공공하수처리장의 하수 1 m³당 슬러지 발생량이 0.47 kg/m³로 가장 높았고, 인천광역시, 경상북도 및 제주도가 0.26 kg/m³로 가장 낮은 것으로 나타났다.

3.2. 재활용, 해양투기 등 현황

2005년 국내 하수종말처리장에서 발생하는 슬러지 처리 총량은 Table 5와 같이 2,560,959톤/년으로 발생량의 약 4.7%를 재활용으로, 1.8%를 매립으로, 11.1%는 소각으로, 78.0%는 지

Table 4. 국내 공공하수처리장의 슬러지발생량²⁾

| 구분 | 개소 | 시설용량 (m ³ /일) | 하수처리량 (m ³ /일) | 슬러지발생량 (톤/일) | 단위발생량 (kg/m ³) |
|-------|-----|--------------------------|---------------------------|--------------|----------------------------|
| 전국 | 294 | 22,568,097 | 18,261,853 | 7,017 | 0.38 |
| 서울특별시 | 4 | 5,810,000 | 5,023,100 | 1870 | 0.37 |
| 부산광역시 | 7 | 1,770,821 | 1,254,608 | 463 | 0.37 |
| 대구광역시 | 6 | 1,862,400 | 1,362,224 | 420 | 0.31 |
| 인천광역시 | 7 | 717,350 | 708,234 | 185 | 0.26 |
| 광주광역시 | 2 | 720,130 | 695,660 | 237 | 0.34 |
| 대전광역시 | 1 | 900,000 | 639,738 | 203 | 0.32 |
| 울산광역시 | 6 | 597,860 | 381,045 | 127 | 0.33 |
| 경기도 | 71 | 4,757,080 | 3,953,030 | 2027 | 0.51 |
| 강원도 | 17 | 528,034 | 441,180 | 139 | 0.32 |
| 충청북도 | 26 | 541,514 | 456,625 | 201 | 0.44 |
| 충청남도 | 24 | 509,855 | 440,249 | 207 | 0.47 |
| 전라북도 | 16 | 918,570 | 649,362 | 252 | 0.39 |
| 전라남도 | 36 | 652,634 | 416,894 | 134 | 0.32 |
| 경상북도 | 34 | 1,011,240 | 890,500 | 239 | 0.26 |
| 경상남도 | 32 | 1,092,240 | 834,730 | 283 | 0.34 |
| 제주도 | 5 | 178,369 | 114,674 | 30 | 0.26 |

정된 해역에 해양 투기로 처리하고 있는 것으로 나타났다.

3.3. 소각, 건조시설 등 설치현황

2004년말 국내 하수슬러지 처리시설 설치현황은 Table 6과 같이 총 23개 시설이 설치되어 있으며, 그 중 소각시설이 14개소, 건조시설이 3개소, 퇴비화시설 1개소, 지렁이 사육 등 기타시설이 5개소이다.³⁾

Table 5. 국내 하수슬러지의 처분현황(2005년말 현재)²⁾

| 구분 | 발생량 (톤/년) | 재활용 | | 육상매립 | | 소각 | | 해양투기 | | 기타 | | 이월량 | |
|----|-----------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | 양 (톤/년) | 비율 (%) | 양 (톤/년) | 비율 (%) | 양 (톤/년) | 비율 (%) | 양 (톤/년) | 비율 (%) | 양 (톤/년) | 비율 (%) | 양 (톤/년) | 비율 (%) |
| 전국 | 2,560,959 | 122,365 | 4.7% | 43,740 | 1.8% | 285,778 | 11.1% | 1,993,865 | 77.9% | 114,449 | 4.5% | 763 | 0.0% |
| 서울 | 682,422 | 43,545 | 6.4% | 16,360 | 2.4% | 109,345 | 16.0% | 398,723 | 58.4% | 114,449 | 16.8% | - | - |
| 부산 | 168,978 | 111 | 0.1% | - | - | 8,881 | 5.2% | 159,986 | 94.7% | - | - | - | - |
| 대구 | 153,381 | - | - | - | - | - | - | 153,381 | 100% | - | - | - | - |
| 인천 | 67,359 | - | - | - | - | - | - | 67,276 | 100% | - | - | - | - |
| 광주 | 86,406 | - | - | - | - | - | - | 86,406 | 100% | - | - | - | - |
| 대전 | 73,913 | - | - | - | - | - | - | 73,913 | 100% | - | - | - | - |
| 울산 | 46,519 | - | - | - | - | - | - | 46,519 | 100% | - | - | - | - |
| 경기 | 739,740 | 22,109 | 3.0% | 21,947 | 3.0% | 132,370 | 17.9% | 562,841 | 76.1% | - | - | - | - |
| 강원 | 50,768 | 2,206 | 4.3% | 487 | 1.0% | - | - | 47,999 | 94.7% | - | - | - | - |
| 충북 | 73,387 | 19,408 | 24.5% | 215 | 0.3% | 21,368 | 29.1% | 32,361 | 44.1% | - | - | - | - |
| 충남 | 75,593 | 22,385 | 29.6% | 430 | 0.6% | 105 | 0.1% | 52,672 | 69.7% | - | - | - | - |
| 전북 | 92,169 | 658 | 0.7% | - | - | - | - | 91,488 | 99.3% | - | - | - | - |
| 전남 | 48,741 | 2,822 | 5.8% | 2,214 | 4.5% | - | - | 43,645 | 89.7% | - | - | - | - |
| 경북 | 87,266 | 555 | 0.6% | 575 | 0.7% | 3,773 | 4.3% | 82,358 | 94.4% | - | - | - | - |
| 경남 | 103,501 | 8,565 | 8.3% | 1,351 | 1.3% | 9,935 | 9.6% | 83,638 | 80.8% | - | - | - | - |
| 제주 | 10,818 | - | - | 160 | 1.5% | - | - | 10,658 | 98.5% | - | - | - | - |

Table 6. 국내 슬러지 처리시설 건설사업 현황(2004년 기준)³⁾

| 지역 | 처리장명 | 적용기술 | 처리방법 | 시설용량(톤/일) | 비고 |
|----|------|------|-------|-----------|------------------|
| 서울 | 중량 | 건조 | 간접건조 | 200 | '02.07 |
| | 탄천 | 건조 | 직접건조 | 200 | '02.07 (가동중단) |
| 서남 | 소각 | 유동상 | | 150 | '02.09 |
| | 난지 | 소각 | 유동상 | 150 | '02.09 |
| 부산 | 해운대 | 혼합소각 | 스토커 | 48 | '96.08 |
| 경기 | 성남 | 소각 | 유동상소각 | 200 | '01.11 |
| | 안산 | 소각 | 유동상소각 | 150 | '00.12 |
| | 광주 | 소각 | 고정상소각 | 40 | '98.11 |
| | 양평 | 소각 | 유동상소각 | 40 | '05.01 |
| | 과천 | 혼합소각 | 스토커 | 10 | '02.10 |
| | 구리 | 소각 | 유동상소각 | 70 | '98.12 |
| 충북 | 청주 | 소각 | 유동상소각 | 90 | '00.09 |
| | 충주 | 건조 | 직접건조 | 120 | '01.03 |
| 전남 | 제천 | 건조 | 건분화 | 40 | '00.07 |
| | 합평 | 재이용 | 지렁이 | 5 | '99.06 |
| | 영암 | 재이용 | 지렁이 | 1 | '04.01 |
| | 광영 | 재이용 | 지렁이 | 1 | '00.05 |
| 경남 | 구미 | 소각 | 유동상 | 160 | '05.07 (가동중단) |
| | 상주 | 혼합소각 | 스토커 | 7 | '02.05 |
| 경북 | 통영 | 혼합소각 | 스토커 | 7 | '02.03 |
| | 김해 | 혼합소각 | 스토커 | 50 | '01.06 |
| | 의령 | 재이용 | 지렁이 | 3 | '00.07 |
| | 고성 | 재이용 | 퇴비화 | 5 | '03.12 |

4. 국내 하수슬러지 처리·기술개발 현황

현재 국내에서는 소각, 용융, 건조, 퇴비화, 고화 분야 등의 다양한 분야의 하수슬러지 처리기술이 개발 또는 도입되어 있어 현장 상황에 맞추어 적합한 기술을 선택할 수 있다. 그러나 국내 설치사례가 많지 않고 또한 적용실적도 소각과 같은 일부 기술에 한정되고 있어 소개되고 있는 다양한 기술의 안정성을 입증할 만한 충분한 자료가 제공되지 못하며 이에 따라 개발된 기술이 제대로 현장에 적용되지 못하고 있는 실정이다.

현재 국내에서 개발된 하수슬러지 처리기술로는 건조, 감광화, 소각, 탄화, 퇴비화 등의 다양한 기술 등이 있다. 이런 처리기술들은 대부분 Pilot Test 및 실증시험 등의 실용화 과정을 거쳐 현장 적용이 가능한 상태에 있으며 일부 기술은 실제 현장에 설치되어 운영되고 있는 기술도 있다. Table 7은 국내에서 개발되어 발표회 등에서 소개된 기술들을 정리한 것이다.

5. 국외 하수슬러지 처리 및 자원화 시설 현황

5.1. 일본

일본은 Table 8 및 9와 같이 2004년도(2004.4.1~2005.3.31)에 액상슬러지, 탈수슬러지, 퇴비화, 건조슬러지, 탄화슬러지, 소각재, 용융슬래그로 발생된 하수슬러지중에서 체적기준으로서 29.1%, 건조중량기준으로서 30.4%가 매립에 의해 최종 처분되었다.⁴⁾ 이것은 2002년도 기준 38.5%와 비교하여 감소되고 있으며 반대로 유효이용의 경우는 녹농지, 시멘트화

Table 7. 슬러지 감광화 건조시설 등

| 기술분야 | 기술명 | 업체명 | 비고 |
|------|--|---------------------|----|
| 고화 | 하수슬러지 건조 고품화기술 | (주)포스코건설 | |
| | 하수슬러지를 발효, 고품화하여 매립지 복토재를 제조하는 기술 | (주)홍진씨엔텍 | |
| | 내부발열소결법을 이용한 하수슬러지 경량골재 자원화 기술 | (주)네오이엔비, (주)화오이엔비 | |
| | 수화열 공법을 이용한 슬러지 가공원료 시멘트 부원료 생산기술 | (주)아주글로벌 | |
| | 하수슬러지를 이용하여 건조, 성형, 소성과정을 거쳐 인공경량골재로 자원화하는 설비시스템에 대한 기술 | (주)토정 | |
| 건조 | 하수슬러지의 경량골재 자원화기술 | (주)다올환경기술 | |
| | 슬러지 처리를 위한 탈수 및 건조복합처리 시스템 | (주)에코셋 | |
| | 파쇄 및 다단 건조상을 이용한 하수슬러지 건조기술 | (주)한틀산업 | |
| | 이젝터 기술의 저온진공건조 시스템을 이용한 하수슬러지 완전건조기술 | (주)드림바이오넷 | |
| | 하수슬러지 건조 자원화 | (주)수테크 | |
| | 순환 건조시스템 | (주)두산건설 | |
| | 한솔 슬러지 건조기술 | (주)한솔이엠이 | |
| | 유동상 건조기술을 이용한 하수 슬러지 자원화 | (주)화이텔엔지니어링 | |
| | 수평박막식 슬러지 건조기 | (주)화일씨엔이 | |
| | 증기 폭쇄를 이용한 다목적 폐기물 재활용시설 | (주)한솔이엠이 | |
| | 청정 열풍을 이용한 하수슬러지 건조 자원화 설비(청정로) | (주)보성DSK | |
| | 하수슬러지와 스텔레스분화슬래그를 혼합하여 열풍회전 3PASS 건조장치와 양생 Silo를 이용한 시멘트 연료화기술 | (주)포스코건설 | |
| | ViroSewageTM Technology | (주)지오인바이오텍 | |
| 용융 | 유동제어판을 적용한 건조 하수슬러지 선회용융기술 | (주)고등기술연구원, (주)대우건설 | |
| 소각 | 한솔 유동층 슬러지 소각기술 | 한솔이엠이(주) | |

| 기술분야 | 기술명 | 업체명 | 비고 |
|------|---|-----------------------|----|
| 감량화 | 오존분해기술을 이용한 슬러지 자원화 및 감량화 기술 | (주)엔바이로텍, KIST | |
| | 오존처리 및 가성소다를 이용 슬러지를 분해시키고 호기성소화 및 침지식 평막을 결합한 하수슬러지 저감기술 | (주)제닉스엔지니어링, (주)태영 | |
| | 고압구동방식 벨트프레스 (하수슬러지용) | (주)한국탈수기 | |
| | S-TE Process (호열성 세균에 의한 잉여슬러지의 감량화 기술) | (주)수환경R&D | |
| | 공기이송건조를 이용한 슬러지의 감량화 기술 | (주)리엔텍 엔지니어링 | |
| | 고효율 생물반응기(ER-1)을 이용한 하수슬러지의 호기성소화 감량화 및 건조·고화 전처리 기술 | (주)에코데이 | |
| | 초음파를 이용한 슬러지 감량 및 바이오가스 증산기술 | 울트라텍 | |
| 연료화 | 하수슬러지와 석탄을 혼합한 연료 제조기술 | (주)조이환경에너지, (주)한라산업개발 | |
| | 하수슬러지의 2차 탈수 및 RPF 연료화 기술 | (주)리렌스 | |
| | 하수슬러지의 전기침투 탈수와 자연통기건조 및 고형연료화 기술 | (주)리켄코리아 | |
| 퇴비화 | 무첨가형 하수슬러지 퇴비화 기술(HSC공법) | (주)현대엔지니어링 | |
| | 퇴비화기술 | (주)지오인바이로텍 | |
| | 원심박막건조기를 이용한 감량화 및 퇴비화 | (주)비프로시스 | |
| | 지렁이를 이용한 하수슬러지 처리 자동화대형화 시스템(HIDETM VCOMTM) | (주)하이드 | |
| 탄화 | 무첨가식 슬러지 부숙화 기술(HSC 공법) | (주)현대엔지니어링 | |
| | 하수슬러지의 탄화처리 및 재활용 기술 | (주)한국하이테크 | |
| | 유기슬러지 탄화기술 | (주)월드이노텍 | |

등으로 Table 10과 같이 건조중량기준으로 67.2%로서 확실히 증가되고 있다. 한편, 일본에서는 하수슬러지의 해양투기가 전면 이루어지지 않고 있다.

유효이용의 종류는 종래는 녹농지 이용이었으나 최근에는 시멘트 원료 및 용융슬래그의 이용 등의 건설자재이용이 증가되고 있다.

또한 건설자재로서의 이용량은 녹농지 이용량보다 적었으나 1995년도에 건설자재로서 이용량(용융슬래그의 노반재이

용, 시멘트원료이용 등을 포함)이 녹농지 이용보다 높아져 2004년도에는 이 경향이 더욱더 뚜렷해졌다.

한편, 2002년도에 일본에서의 하수처리장에서 사용된 전력량은 총 소비 전력량 약 1조 kwh와 비교하여 연간 펌프장을 포함하여 약 67억 kwh(0.6%)였으나 2002년도에 요코하마시(横浜市) 호쿠부(北部)슬러지처리센터를 포함하여 전국 18개 하수처리장에서 유효이용된 소화가스량은 약 1.8억³m³이며 그 중 가스발전에 이용된 발전량은 8,700만 kwh였다.⁵⁾

Table 8. 하수슬러지의 처리 및 처분현황(처분시 체적기준)⁴⁾

2004년4월1일~2005년3월31일(단위: m³/년)

| 슬러지 형태 | 최종안정화 | | | | | | | | 합계 (%) |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|----------|---------------|--------------|-------------------|
| | 매립처분 | 녹농지이용 | 건설자재이용 | | 연료화등 | 해양 환원 | 장내 저장 | 기타 | |
| | | | 시멘트화 | 시멘트화 이외 | | | | | |
| 액상 슬러지 | 26,995 | 13,129 | 1,759 | 3,999 | 723 | 0 | 0 | 1,853 | 48,458 (2.2%) |
| 탈수 슬러지 | 490,937 | 689,345 | 465,575 | 101,492 | 5,759 | 0 | 2,181 | 563 | 1,755,852 (78.3%) |
| 퇴비화 | 237 | 42,458 | 0 | 235 | 0 | 0 | 313 | 0 | 43,243 (1.9%) |
| 건조 슬러지 | 17,128 | 19,987 | 9,006 | 1,181 | 9,533 | 0 | 172 | 3,516 | 60,523 (2.7%) |
| 탄화 슬러지 | 0 | 94 | 0 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129 (0.0%) |
| 소각재 | 117,758 | 3,349 | 88,282 | 77,020 | 0 | 0 | 3,870 | 0 | 290,278 (12.9%) |
| 용융 슬래그 | 40 | 556 | 598 | 31,079 | 0 | 0 | 10,858 | 0 | 43,130 (1.9%) |
| 합계% | 653,094 (29.1%) | 768,918 (34.3%) | 565,220 (25.2%) | 215,039 (9.6%) | 16,015 (0.7%) | 0 (0.0%) | 17,394 (0.8%) | 5,932 (0.3%) | 2,241,613 (100%) |

Table 9. 하수슬러지의 처리 및 처분현황(슬러지 발생시 건조중량 기준)⁴⁾

2004년4월1일~2005년3월31일(단위: DS-t/년)

| 슬러지 형태 | 최종안정화 | | | | | | | | 합계 (%) |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------|------------------|------------------|----------------------|
| | 매립 처분 | 녹농지 이용 | 건설자재이용 | | 연료화 등 | 해양환원 | 장내 저장 | 기타 | |
| | | | 시멘트화 | 시멘트화 이외 | | | | | |
| 액상 슬러지 | 0 | 4 | 0 | 0 | 148 | 0 | 0 | 72 | 224 (0.0%) |
| 탈수 슬러지 | 74,173 | 25,284 | 13,554 | 576 | 100 | 0 | 2,181 | 13 | 113,767 (5.2%) |
| 퇴비화 | 77 | 229,143 | 0 | 839 | 0 | 0 | 313 | 0 | 230,160 (10.6%) |
| 건조 슬러지 | 11,017 | 27,731 | 1,992 | 2,681 | 12,119 | 0 | 172 | 3 | 55,611 (2.6%) |
| 탄화 슬러지 | 0 | 1,092 | 937 | 610 | 117 | 0 | 0 | 0 | 2,787 (0.1%) |
| 소각재 | 574,867 | 19,304 | 602,966 | 347,760 | 0 | 0 | 3,870 | 4,275 | 1,559,199 (71.7%) |
| 용융 슬래그 | 971 | 2,640 | 3,617 | 166,538 | 243 | 0 | 10,858 | 0 | 211,771 (9.79%) |
| 합계 (%) | 661,115 (30.4%) | 305,196 (14.0%) | 623,066 (28.7%) | 519,003 (23.9%) | 12,727 (0.6%) | 0 (0.0%) | 17,394 (0.8%) | 4,814 (0.23%) | 2173,518 (100%) |

주: 녹농지이용, 건설자재이용 이외의 유효이용을 「연료화 등」으로 구분하였음.

5.2. 유럽 주요국가

유럽 23개국을 대상으로 하수슬러지 발생량 및 처리현황을 보면 Table 11과 같이 전체적으로 약 22%가 농업에 재이용되고 있으며 육상매립 26%, 소각 10%이며 해양투기 및 기타(산지 및 제경작지) 42%를 나타내고 있다. 슬러지의 녹

농지 재이용률이 평균값인 22% 보다 낮은 국가는 오스트리아, 이탈리아, 포르투갈, 터키 등이었으나 이들 대부분의 국가들에 있어서도 재이용률은 점차 증가하는 추세를 보인다. 슬러지 해양투기가 많았던 영국의 경우, 하수슬러지는 연간 약 3,500만톤(건조중량 100만톤/년)이 발생되며 이 중 약 56%

Table 10. 하수슬러지의 유효이용실시상황(슬러지 발생시 건조중량 기준)⁴⁾

2004년4월1일~2005년3월31일(단위: DS-t/년)

| | 액상슬러지 | 탈수슬러지 | 퇴비화 | 건조슬러지 | 탄화슬러지 | 소각재 | 용융슬래그 | 계 |
|-------------------------|-------|--------|---------|--------|-------|---------|---------|-----------|
| 녹농지이용 | | | | | | | | |
| 지자체에서 실시 | 0 | 8,630 | 38,926 | 7,285 | 589 | 10,375 | 997 | 66,803 |
| 민간인도 | 4 | 16,654 | 190,216 | 20,446 | 502 | 8,929 | 1,643 | 238,393 |
| 소계 | 4 | 25,284 | 229,143 | 27,731 | 1,092 | 19,304 | 2,640 | 305,196 |
| 건설자재이용 (시멘트화) | | | | | | | | |
| 지자체에서 실시 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 43,936 | 0 | 43,954 |
| 민간인도 | 0 | 13,536 | 0 | 1,992 | 937 | 559,030 | 3,617 | 579,112 |
| 소계 | 0 | 13,554 | 0 | 1,992 | 937 | 602,966 | 3,617 | 623,066 |
| 건설자재이용 (시멘트화 이외) | | | | | | | | |
| 지자체에서 실시 | 0 | 493 | 283 | 2,681 | 245 | 155,729 | 106,079 | 265,510 |
| 민간인도 | 0 | 83 | 556 | 0 | 365 | 192,031 | 60,459 | 253,493 |
| 소계 | 0 | 576 | 839 | 2,681 | 610 | 347,760 | 166,538 | 519,003 |
| 연료화 등 | | | | | | | | |
| 지자체에서 실시 | 0 | 0 | 0 | 10,296 | 0 | 0 | 0 | 10,269 |
| 민간인도 | 148 | 100 | 0 | 1,850 | 117 | 0 | 243 | 2,458 |
| 소계 | 148 | 100 | 0 | 12,119 | 117 | 0 | 243 | 12,727 |
| 합계 | 152 | 39,514 | 229,982 | 44,523 | 2,756 | 970,029 | 173,037 | 1,459,992 |

Table 11. 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량 및 처리 현황¹⁾

(단위 : 건조물량 천톤/년,%)

| 국가 | 연도 | 계(건조중량/poids sec) (천톤) | 처리·처분 방법 | | | |
|-------|------|------------------------|----------|----|----|----|
| | | | 녹농지이용 | 매립 | 소각 | 기타 |
| 오스트리아 | 1998 | 212 | 20 | 17 | 32 | 31 |
| 벨기에 | 1998 | 78 | 36 | 33 | 23 | 9 |
| 체코 | 1999 | 198 | 77 | 19 | - | 4 |
| 덴마크 | 1998 | 154 | 59 | 13 | 21 | 3 |
| 핀란드 | 1997 | 136 | 39 | 10 | - | 51 |
| 프랑스 | 1997 | 814 | - | - | - | - |
| 독일 | 1998 | 2,482 | 32 | 8 | 16 | 44 |
| 그리스 | 1997 | 38 | - | - | - | - |
| 헝가리 | 1998 | 87 | 36 | 47 | 1 | 17 |
| 아이슬란드 | 1999 | 0.20 | - | - | - | - |
| 아일랜드 | 1999 | 38 | 24 | 45 | - | 31 |
| 이탈리아 | 1993 | 2,177 | 10 | 57 | 1 | 32 |
| 룩셈부르크 | 1999 | 17 | 70 | 19 | - | 11 |
| 네덜란드 | 1998 | 350 | - | 29 | 46 | 25 |
| 노르웨이 | 1999 | 104 | 59 | 12 | - | 29 |
| 폴란드 | 1999 | 354 | - | 58 | 1 | 41 |
| 포르투갈 | 1992 | 25 | 11 | 29 | - | 60 |
| 슬로바키아 | 1998 | 117 | 72 | 28 | - | - |
| 스페인 | 1997 | 689 | - | 48 | - | - |
| 스웨덴 | 1998 | 221 | 25 | 46 | - | 29 |
| 스위스 | 1998 | 220 | 39 | 7 | 51 | 3 |
| 터키 | 1997 | 2,838 | 5 | 21 | 0 | 74 |
| 영국 | 1999 | 1,000 | 56 | 11 | 21 | 12 |

가 농경지 및 토양에서 재활용되고 있고, 소각 21%를 제외한 나머지는 해양투기하거나 매립하여 처분하고 있다. 1990년과 1991년 사이에 영국은 처분된 슬러지 전체의 0.3%만을 농경지에 이용하고 나머지는 배를 이용하여 해양투기하거나(약 30%) 매립 또는 소각하였다(약 10%). 또한 소량의 슬러지가 임야나 퇴비를 필요로 하는 토양의 개량제로 이용되기도 하였다.

6. 하수슬러지 해양투기로 인해 발생할 수 있는 주요 영향

상대적으로 많은 유기물질, 중금속 및 유기독성물질을 함유한 하수슬러지가 해양투기될 경우 발생할 수 있는 주요 영향으로는 Fig. 1과 같이 크게 부영양화, 생체 내 유해독성물질 축적, 병원성 미생물에 의한 악영향을 들 수 있다. 이중 병원성 미생물의 경우에는 하수처리장에서 소화조를 거칠 경우 거의 대부분이 죽는 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 그러나 국내 300여개 하수처리장 중 현재 60개소만 혐기성소화조가 설치되어 있다.

한편, 동해 병해역 홍계에서 검출된 머리카락 등 해양투기로 인한 폐기물 잔재가 수산물에서 검출되면 수산물 전체

에 대한 불신으로 작용할 수 있으므로 하수슬러지 해양배출시 문제점을 사전에 제거해야 한다는 입장이다. 홍계는 통발로 잡으며 많이 잡히는 지역은 해양투기지역으로 고시된 동해 병해역이다. 2003년부터 홍계살에서 머리카락이 검출되기 시작하였고, 원인 조사결과 하수슬러지 해양투기가 원인이라는 것을 해양연구원에 의해 밝혀졌다.⁶⁾

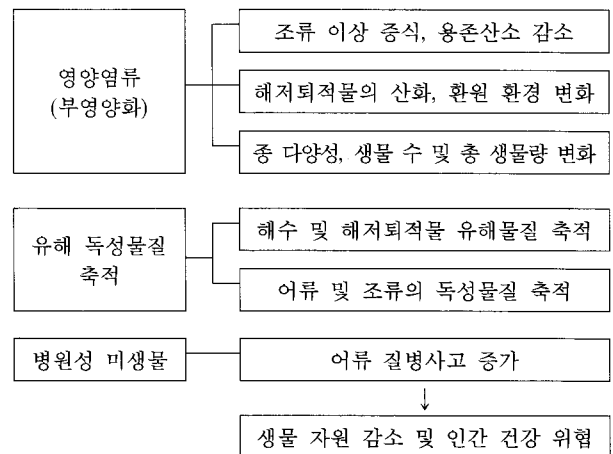


Fig. 1. 하수슬러지 해양투기로 인해 발생할 수 있는 주요 영향.

7. 폐기물 해양투기 규제에 대한 국제 동향 (1972 런던협약 및 1996 의정서)

육상과는 달리 해양은 해류 순환 및 어류들의 회유로 폐기물 해양투기는 한 국가에 국한되지 않고, 주변 국가들 더 나아가서는 전세계 국가들에 영향을 미친다. 이에 따라 인간활동으로부터 해양환경을 보호하기 위한 국제협약인 런던협약이 1972년 체결되었다.⁶⁾

런던협약의 목적은 모든 해양 오염원을 효율적으로 제어하고, 폐기물 및 기타물질의 처분으로 인한 해양오염을 예방하기 위한 모든 실현 가능한 조치를 취하는 데 있다.^{6,7)} 2004년 9월 기준으로 총 80개국이 가입하였고, 우리나라는 1992년도 12월에 가입하여 1994년에 당사국 지위를 획득하였다.⁶⁾

1993년에는 부속서가 개정되어 산업폐기물과 하수슬러지의 해상소각 금지, 저준위 방사성폐기물을 포함한 모든 방사성폐기물의 해양투기 금지사항이 추가되었으며 1995년 12월31일까지 산업폐기물의 해양투기를 전면 금지하는 규정도 신규 채택되었다. 이후 체결당사국들의 의무사항 준수를 위하여 1996년에는 한층 강화된 의정서가 채택되었다.⁶⁾

1996 의정서와 1972 런던협약의 중요한 차이점 중 하나로 체결국들의 이행 준수를 강화시키기 위해 투기허가발급보고, 투기해역 환경상태보고 및 이행을 위한 행정, 입법 조치를 정기적으로 보고하도록 한 사항을 꼽을 수 있다(Table 12 참조).

1996 의정서는 26개국이 가입한 후 30일 이후부터 효력을 갖게 되며, 현재 총 20개국이 가입하고 있다. 그러나 제 25차 런던협약 당사국회의(2003.10)에서 약 10개국이 가입 의사를 표명하였다.⁶⁾

Table 12. 1972 런던협약과 1996 의정서 차이 비교⁶⁾

| 구분 | 1972 런던협약 | 1996 의정서 |
|---------------|---------------------|---|
| 규제 방식 | 해양투기를 허용하되 특정물질만 금지 | 해양투기를 금지하되 특정품목(7개) 허용 |
| 일반 원칙 | - | 사전방지, 오염자 부담 |
| 적용 범위 | 내수면 적용 배제 | 내수면에도 적용 |
| 목적 | 해양투기 통제 | 모든 오염원으로부터 해양 환경보호, 해상소각 금지 |
| 의무사항 (정기적 보고) | - | 투기허가발급현황(매년) 투기해역환경상태(매년) 이행위한 행정, 입법 조치(주기적) |

1996 의정서는 모든 산업폐기물에 대해 해양투기를 금지하고 있으나 Fig. 2와 같이 준설물, 하수슬러지 등 7개 품목에 대해서만 예외로 하고 있다. 그러나 이 허용품목들은 이미 1993 런던협약 개정(1994년 발효)시 규정됨으로서, 런던협약 체결당사국들은 예외와 무관하게 이 품목들도 준수해야 한다.⁶⁾

우리나라에서는 해양오염방지법 시행규칙 개정안에 대한 대책으로서 런던협약 96의정서가 2006년 3월 24일에 발효되어 폐기물의 해양 배출 처리기준을 대폭 강화할 계획으로 되어 있어 해양배출 폐기물로 육상처리대책 가능 여부 등을 고려하여 경과 조치 조정 등 대책방안이 마련되었다. 즉, 제1기준('07년 적용계획), 제 2기준('11년 적용계획)으로 구분 적용하고, 검사항목을 현재 14항목에서 25개로 세분화되며, 유예기간은 제1기준의 경우 6개월, 제 2기준의 경우 5년을 설정하는 것으로 되어 있다.⁸⁾

| 허용품목 | 내 용 |
|-----------------------|--|
| 준설물 | 수로유지 및 정화를 위해 준설된 퇴적물 |
| 하수슬러지 | 처리과정을 거친 하수처리 슬러지 |
| 생선폐기물 | 생선폐기물 및 수산물 가공과정에서 발생한 폐기물 |
| 천연자원유기물 | 훼손 부패된 농작물(쌀, 감자 등) 및 가축 고기(쇠고기, 돼지고기 등) 화물 |
| 불활성 무기 지질물질 | 무기지질물질로서 화학성분이 해양환경으로 누출될 가능성이 없는 물질 |
| 선박플랫폼 또는 기타 해상인공구조물 | 퇴역플랫폼(근해유전 플랫폼을 대상) 인공구조물(부표, 잔교 등 해양근거 구조물) |
| 강, 철, 콘크리트재질의 벌크형태 물질 | 해양배출이외에는 다른 대안이 없는 섬에서 발생한 철,강철, 콘크리트 및 이와 유사한 무해물질로 이루어진 대형물체 |

Fig. 2. 1996 의정서의 해양투기 가능 허용 품목.

8. 정책방안

폐기물관리의 기본원칙은 감량화→재활용→적정처리이며, 하수슬러지도 사업장폐기물의 하나로서 이 원칙에 의하여 관리하여야 한다. 그러나 하수슬러지 발생량은 하수의 유기물 함량, 하수처리공정의 소화공정의 유무, 하수처리시설의 운전조건 등에 의해 결정되므로 하수처리공정은 하수슬러지의 처리방법과 연계하여 결정되어야 한다. 즉 소각처리하여 여열을 회수하는 경우에는 슬러지의 발열량을 높이기 위해 신설 하수처리장 건설시 소화공정을 거치지 않는 것이 바람직할 것이며, 반면 고화처리하는 경우에는 소화공정을 설치하여 유기물함량을 40~50% 정도 낮추는 것이 바람직할 것이다.

그러나 우리나라의 하수처리장은 혐기성소화조가 60여개소 설치되어 있으나 정상적으로 유기성 슬러지의 40~45% 정도 무기물(가스화) 분해시켜 가동되고 있는 하수처리장의 수는 매우 적은 것으로 파악되고 있어, 우선 혐기성소화조의 처리효율 극대화를 도모하여야 할 것으로 판단된다. 환경부는 직매립 금지규정을 도입하여 하수슬러지는 퇴비화, 고화 등에 의해 직접 재활용하거나, 소각, 열분해, 용융처리 등에 감량화 처리후 재활용하거나 최종처리토록 하는 정책방향을 명확히 하고 있다.

그러나 여러 가지 재활용 및 감량화 방법 중에서 어떤 것을 선택할 것인가는 지역 여건, 특히 생산된 퇴비나 처리잔재물 등의 수요처 확보 가능성을 감안하여 결정되어야 할 것이다. 예를 들면 퇴비의 수요처 확보가 가능한 농촌이나 농촌 인접 도시에서는 퇴비화를 추진하는 것이 좋고, 시멘트 제조회사가 인근에 위치하여 건조한 하수슬러지를 시멘트원료로 제공할 수 있다면 건조를 추진하는 것이 바람직하다. 또한 폐기물매립지나 성토재의 수요가 많은 지역에서는 고화처리를, 폐열이나 보조연료를 싼값으로 공급받을 수 있는 경우에는 건조나 소각처리를 선택할 수 있을 것이다.

9. 결 언

국내 하수슬러지 발생량은 하수도 보급률이 증가함에 따라 매년 증가 일로에 있다. 그러나 하수슬러지의 중간처리시설의 정비는 미미한 실정으로 발생량의 16.0%만이 지렁이사육 등에 의한 분변토의 재활용이나 소각에 의하여 처리되고 나머지는 직매립(1.7%)과 해양투기(78.0%)에 의해 처리되고 있다. 참고로 해양배출량 중에서 하수슬러지가 차지하는 비율은 약 15%에 달한다.

2003년 7월 1일부터 유기성하수슬러지의 육상직매립이 금지됨에 따라 사전준비가 이루어지지 않은 지방자치단체에서는 법규준수를 위해 임기응변책으로 해양투기를 선택한 결과 일시적으로 해양투기가 증가하고 있다. 따라서, 해양수산부의 폐기물 해양배출 규제기준 강화 등 해양투기 억제계획은 제1기준(2007년 적용계획)과 제2기준(2011년 적용계획)으로 구분적용하고, 검사항목을 현재 14개에서 25개로 세분화하여 해양투기를 금지시키는 것으로 되어 있다.

한편, 하수처리시설이 설치된 지역 및 유형별로 하수슬러지의 성분을 정밀분석하여 중금속 등의 유해물질 함유량이 기준치 이하로 낮은 경우에는 퇴비화가 가능한 지역으로 적극적으로 자원화 대책을 지원하여야 할 것이다. 현재 농림부의 비료관리법 및 관련고시 등으로 인하여 읍, 면 단위지역에서 발생하는 하수슬러지를 제외하고는 하수슬러지의 퇴비화가 제도적으로 불가능한 실정이다. 농촌지역과 도시지역에서 발생하는 하수슬러지 성분은 대부분 농림부의 비료관련 규정을 만족하고 있어 농림부의 관련법규처럼 원천적으로 도시지역 하수슬러지는 퇴비사용이 불가능한 원료로 구분하는 것은 자원회수측면에서 바람직스럽지 않다.

하수슬러지의 해양배출은 런던협약 발효와 관계없이 점차 줄여나가 결국에는 모든 하수슬러지는 육상에서 처리하는 시스템으로 정착시켜야 한다. 이를 위해 하수슬러지는 단순하게 매립장에 매립하거나 바다에 투기하는 쓰레기가 아니라 잘 활용하면 자원이 될 수 있다는 인식의 전환이 필요하다.

한편 최근에는 슬러지의 발생을 하수처리장 경계내에서 고효율 저비용으로 원천 감량시키는 source control 기술로서 일본에서 개발된 하수슬러지 감량화 연구에서는 하수처리과정에서 최종발생되는 잉여슬러지의 양을 90% 정도 감량화하는 기술이 개발되어 실용화되고 있으며, 우리나라에서도 실용화를 위하여 2~3개 하수처리장에서 실험실규모 및 실규모 시설에서 성능평가를 실시하고 있는 것은 상당히 고무적이다. 특히 유입하수량 350 m³/일의 경기도 광주시 광동리 하수처리장의 경우는 2년간 잉여슬러지 발생량이 90% 이상 감량화된 것이 확인되었다. 또한 2004년 10월부터 가동되고 있는 구미시의 LG전자 폐수처리장의 경우, 자체 폐열을 활용하여 잉여슬러지 발생량도 90% 이상 감량화되어 경제적 측면에서 큰 이익을 보고 있다. 이 감량화 공법은 슬러지가 용화조(可溶化槽)에서 호열성세균(好熱性細菌)을 60~70℃로 유지하기 위한 유지관리비가 증가하는 경향이 있으나 처리장내에서 발생하는 폐에너지(폐열) 또는 혐기성소화조에서 발생하는 잉여 메탄가스를 열원으로 이용하는 경우 에너지비용을 상당히 절감할 수 있을 것으로 판단되어 경제적인 것으로 평가되고 있다.

또한 생슬러지 및 잉여슬러지를 동시에 감량화 할 수 있는 열적가수분해 시스템은 고열에서 병원균이 없으며 저장이 용이하고 악취문제가 없어 경작지에 활용도가 높아 유럽에서는 퇴비로서 활용되고 있다. 즉, 슬러지 감량률 40%, Biogas 생산증가율 40~50%, 탈수효율증가율 10~15% 정도로서 현재 일본 및 유럽 등의 실 규모시설에서 잘 가동되고 있어⁹⁾ 혐기성 소화조가 설치되어 있는 하수처리장에서 적극적인 검토도입이 필요한 것으로 판단된다.

지속적인 연구개발을 통하여 하수처리장에서 최종 발생하는 생슬러지 및 잉여슬러지의 양을 줄이는 노력과 하수처리과정에서 불가피하게 발생된 탈수캐이크를 재활용하는 방안도 다각적으로 강구되어야 할 것이다. 하수슬러지를 소각 및 용융 등으로 태우는 것은 불가피한 상황에서 최후의 처리수단으로 삼아야 할 것이다.

참고문헌

1. OECD Environmental Data Compendium(2004).
2. 2005 하수도통계, 환경부(2006).
3. 배현도, 하수슬러지 처리기술 개발현황 및 우수기술 육성·보급 방안, 하수슬러지 처리 및 자원화 방향에 관한 포럼, 한국상하수도협회, 41~65(2004. 12).
4. 2006년 일본의 하수도, 하수도협회(2006. 12).
5. 김갑수 번역, 바이오 솔리드 활용 기본계획(하수슬러지 처리 종합계획) 책정 매뉴얼, 한국상하수도 협회(2005).
6. 정창수, 친환경적 하수오니 관리를 통한 해양환경보호, 하수슬러지 처리 및 자원화 방향에 관한 포럼, 한국상하수도협회, 109~126(2004. 12).
7. http://sanhaon.or.kr/subpages/body11/pollution_by_dumping/int'l_org2.htm.
8. 해양오염방지법 시행규칙 개정안에 대한 대책, 산업폐기물과, 환경부(2005. 12).
9. 신코(神鋼)환경 Solution, 汚泥可溶化裝置, 재단법인 하수도신기술추진기구(2005. 3).
10. 김갑수, 슬러지의 처리처분 계획, 국립환경연구원 환경연수부 하수도과정 교재(1989~2004).
11. 김갑수, 각국의 하수 슬러지발생 및 정책에 관한 연구, 하수슬러지 처리 및 자원화 방향에 관한 포럼, 상하수도협회, 19~40(2004. 12)
12. 김갑수 등, 서울시 하수처리장 슬러지의 감량 및 재이용 방안에 관한 연구, 서울시정개발연구원 97-R-16.