한국환경과학회 봄학술발표회 발표논문집 제12권(제1호), 92 - 96, 2003
Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, May. 16~17, 2003

OF5

중금속 화학형태 연구에 의한 해양투기 하수슬러지의 생태위해성 평가

권영택[1], 한성대[1], 안병영[2], 윤지훈[3], 김부생[3]*
경남대학교 [1]토목환경공학부, [2]토목공학과, [3]환경공학과

1. 서 론

우리나라 하수처리장 및 폐수처리장에서 배출되는 슬러지 발생량은 23,209 톤/일이며, 2003년 7월 1일부터 소규모 처리장(1만톤/일 미만)을 제외한 대규모 하수처리 시설에서 발생하는 슬러지는 육상 매립이 금지된다(환경부a, 2002). 따라서 하수슬러지의 육상 매립 금지 조치에 따라 해양 배출량이 매년 급증하고 있다(환경부b, 2002). 그런데 해양에 배출되고 있는 하수슬러지는 Zn 1,448, Cu 461, Cr 225, Pb 80, Hg 27 그리고 Cd 4 mg/kg 등의 중금속이 고농도로 함유되어 있다(김해시, 1999). 최근 폐기물 배출 해역(서해병 지역) 환경조사 결과 퇴적물에 함유된 Cr의 농도가 최고 303.6 mg/kg이 검출되어 슬러지 등이 투기되지 않은 지역의 8.5 mg/kg과 비교할 때 35배나 높았다(해양경찰청, 2002). 본 연구는 해양에 투기된 슬러지가 퇴적층을 형성하여 오염 성분이 수환경으로의 용출은 물론 직접 저서생태계에 영향을 미치는 점을 감안하여 슬러지에 함유된 중금속 총량분석과 생태계의 영향평가, 슬러지 내의 중금속 존재형태를 Bioavailable phase(BAP)와 Non-bioavailable phase(NBAP)로 구분 측정하고(Tessier 등, 1979) 슬러지의 해양투기에 따른 생태위해성을 판단하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

경남지역 하수종말처리장을 대상으로 봄, 여름, 가을, 겨울에 발생된 슬러지를 채취하여 중금속의 총량 분석과 슬러지의 중금속 화학형태 연구대상 시료로 사용하였다.

2.2. 분석방법

슬러지의 중금속 총량 분석은 Microwave digester(Questron Q-Wave 1000)를 사용하여 전처리하고 원자흡광분석(Shimadzu AA-680)하였다.

슬러지에 함유된 중금속 화학형태 분석은 Tessier 등(1979) 및 Perin 등(1997)의 방법에 의거 Bioavailable phase(BAP)와 Non-bioavailable phase(NBAP)로 구분 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하수슬러지의 해양 배출

우리나라는 동해와 서해지역에 해양배출 해역을 각각 지정하고(해양오염방지법시행규칙, 별표 15) 1993년에 86천톤의 하수슬러지 투기를 시작으로 1998년 이후 급증하여

2001년에는 1,391천톤에 달하고 있다(Fig.1)(환경부b, 2002).

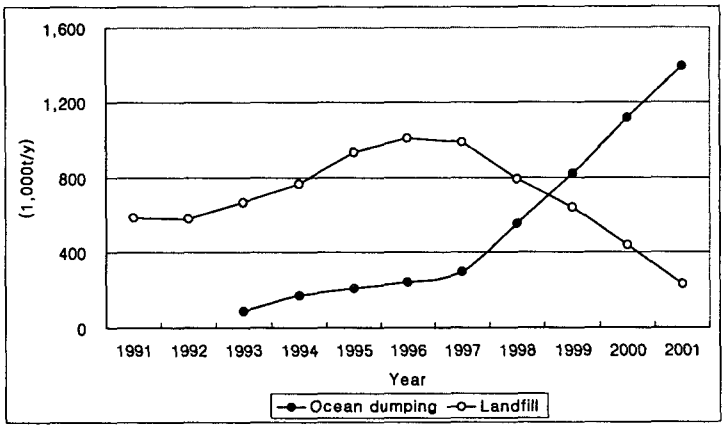

Fig. 1. Landfill and ocean dumping of wastewater sludge in Korea.

3.2. 슬러지의 해양 투기와 해양 생태계 영향

중금속을 함유하고 있는 슬러지를 해양에 투기하였을 때 투입된 슬러지 내의 중금속은 Fig. 2와 같이 해양 생물권에 분포하게 된다. 즉 투기된 슬러지에 함유된 중금속을 비롯한 유해성분은 용존 및 입자성으로 해수 중에 존재하기도 하며 대부분 응집 및 침강 현상으로 해저에 퇴적된다. 슬러지 유래의 해수 중 또는 퇴적물에 존재하는 중금속과 유해성분은 해양생물에게 직간접 적으로 영향을 미치게 된다.

즉, 오염성분의 물리화학적 성질과 생물체의 조직 특성 또는 서식 환경에 따라 다양한 생체농축계수(Bioconcentration factor, BCF)를 나타내게 된다.

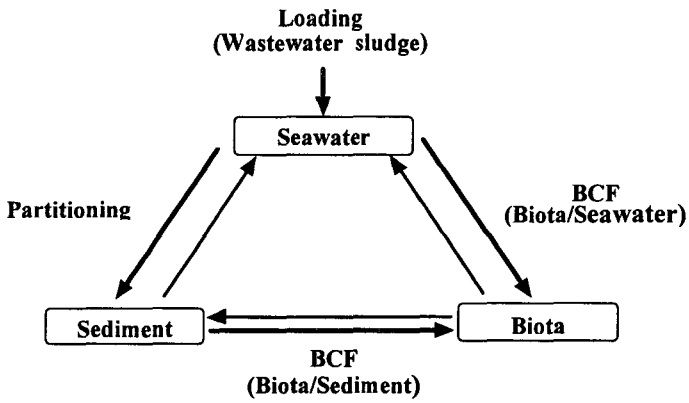

Fig. 2. Diagram of heavy metal bioconcentration and partitioning in marin biosphere.

3.3. 하수슬러지로 형성된 퇴적물의 생태영향

해양에 투입된 슬러지는 침강되어 퇴적층을 형성하게 될 것이다. 그래서 퇴적물에 함

유된 중금속이 저서생태계에 미치는 영향에 대해서 Long 등(1995)이 연구한 방법을 사용하여 슬러지에 함유된 중금속의 생태영향을 판단한 결과는 Table 1과 같다.

경남지역 M시와 T시의 하수슬러지의 경우 처리되는 하수의 발생원에 따라 슬러지의 중금속함량 및 생태영향 정도가 다르게 나타났다. 즉, M시의 경우 중공업단지를 포함한 도시 하수종말처리장이므로 T시와 비교할 때 중금속 총량이 높게 나타났으며 그에 따라 생태영향 정도가 아주 높았다. 물론 해양에 투입된 슬러지는 해수와 접촉하면서 침강하여 퇴적되므로 용출현상 등으로 처음 슬러지의 중금속 함량보다 낮을 수 있다. 슬러지 자체는 수중에서 발생된 것을 수거·탈수공정을 거쳐 얻어진 물질이지만 해수와의 접촉으로 중금속 함량에 다소 영향이 있을 것으로 생각되어 슬러지에 함유된 중금속의 해수중 용출율 시험을 수행 중에 있다.

Table 1. Toxicological effects of wastewater sludge by guideline values for the incidence of biological adverse effects

	Guideline (mg/kg)		Adverse effects (%)			Wastewater sludge			
	ERL	ERM	<ERL	ERL ~ ERM	>ERM	Concentration (mg/kg)		Adverse effects (%)	
						M-city	T-city	M-city	T-city
Zn	150	410	6.1	47.0	69.8	2,184~2,395	490~637	> 69.8	> 69.8
Pb	46.7	218	8.0	35.8	90.2	264~419	48~57	> 90.2	35.8~90.2
Cu	34.0	270	9.4	29.1	83.7	593~744	189~217	> 83.7	29.1~83.7
Cr	81.0	370	2.9	21.1	95.0	178~230	65~132	21.1~95.0	2.9~21.1

(ERL : Effect range-low, ERM : Effect range-median)

3.4. 하수슬러지 중금속의 생태위해성

하수슬러지에 함유된 중금속의 화학형태를 Bioavailable phase, BAP(Exchangeable, Carbonate, reducible)와 Non-bioavailable phase, NBAP(Organic, residual)로 구분 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 중금속별로 BAP와 NBAP의 비율이 크게 차이가 있었으며 Zn과 Mn은 BAP부분이 M시 하수슬러지의 경우 83%와 62%, T시의 경우 87%와 57%로 아주 높아 해양생태계에 크게 영향을 미칠 수 있을 것으로 나타났다. 그러나 Cu와 Cr은 NBAP 함량이 높아 상대적으로 생태계의 영향이 낮은 것으로 평가되었으며 기타의 유해성 중금속 및 계절적인 특성도 연구되었다.

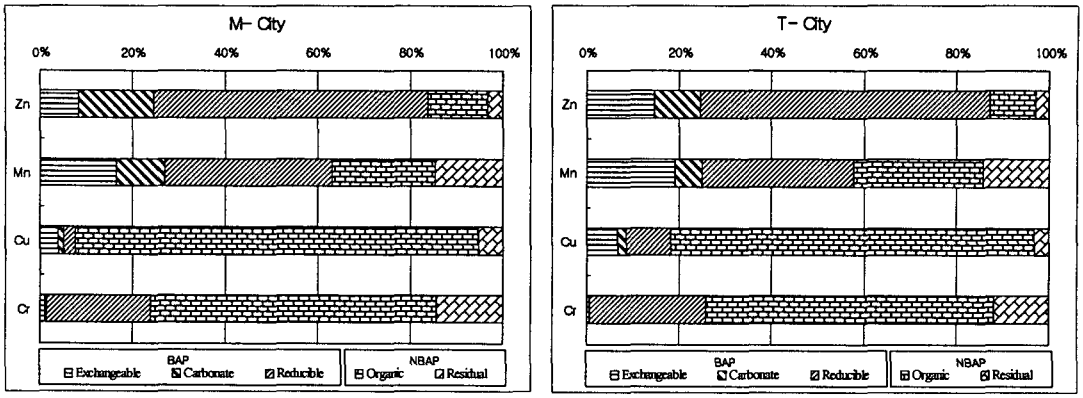

Fig. 3. Bioavailable and Non-bioavailable metals in wastewater sludge.

4. 요 약

1) 우리나라의 하수슬러지 해양투기량은 발생량의 73%를 상회하고 있으며 최근에 급증하는 추세에 있다.
2) 슬러지를 비롯하여 해양에 투기된 유해성분은 해양생물권 오염도 증가의 큰 요인으로 작용하고 있었다.
3) 해양에 투기된 하수슬러지가 침강하여 퇴적층을 형성하였을 때 저서생태계에 영향을 미칠 수 있는 가능성은 아주 높았다.
4) 슬러지의 중금속 화학형태 분석 결과 생물이 이용 가능한 중금속 비율이 원소에 따라 차이는 있으나 총 함량의 80% 이상을 차지하는 경우도 있었다.
5) 해양생물권의 오염도 증가, 유해성분에 의한 생태계의 악영향 및 투기된 중금속의 높은 생물 이용 가능성 등을 고려할 때 하수슬러지 처리방법의 전환이 필요하였다.

감사의 글

이 연구는 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00570).

참 고 문 헌

환경부a, 2002, 하수슬러지처리 종합계획, 환경부 상하수도국 하수도과.

환경부b, 2002, 하수도 통계, 1992-2002.

해양경찰청, 2002, http://analysis.nmpa.go.kr, 분석자료실, 폐기물배출해역수질조사결과 (서해병 해저퇴적물 조사결과 2001. 8. 3~6).

김해시, 1999, 김해시 하수종말처리장 슬러지소각처리시설 타당성연구.

Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L., Calder, F. D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentration in marine and estuarine sediments, Environmental Management, 19(1), pp.81~97.

Tessier, A. and P.G.C. Compbell, 1979. Partitioning of trace metals in the sediments ;

Relationship with bioavailiability, Hydrobiologia, 149, pp.43~52.

Perin, G., R. Fabris, S. Manente, A.R. Wagener, C. Hamacherand, S. Scotto, 1997. A five-year study of the heavy metal pollution of Guanabara bay sediments and evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation, Wat. Res. 31, pp.3017~3028.