

Microtox 생물검정을 이용한 소각재 용융슬래그의 독성평가

An Experimental Study on Toxicity Evaluation of Melting Slag from MSWI Ash Using Microtox Bioassay

박상구*, 김건흥**, 한양수***, 김길호****

Sang Goo Park, Geon Hung Kim, Yang Soo Han, Gil Ho Kim

요 지

본 연구에서는 기존 매립이나 지반보강재로 사용되던 소각재 용융슬래그를 고부가가치 수처리 여제로 활용하기 위하여 형광성 박테리아를 통한 Microtox 생물검정법으로 독성을 평가하였다. 소각재 용융슬래그의 독성평가 대조군으로는 기존의 수처리 여재인 입상활성탄(석탄계/야자계/목탄계), PP·PE 펠렛(Poly-Propylene·Poly-Ethylene pallet), 표준여과사를 비교하였으며, 시료의 용출시험은 US EPA에서 제안한 TCLP 방법을 사용하였다. Microtox Acute Toxicity 평가 결과, 독성순위는 석탄계 입상활성탄, 소각재 용융슬래그, 목탄계 입상활성탄, 야자계 입상활성탄, 표준여과사, PP·PE 순으로 나타났으며, 실험에 사용된 모든 수처리 여제들은 급성독성을 고려하지 않는 무독성으로 나타났다. 따라서 소각재 용융슬래그가 수처리를 목적으로 수체에 편입시켜도 기존의 수처리 여제들과 비교할 때 수환경에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 소각재 용융슬래그, MSWI, TCLP, Microtox, Bioassay

1. 서 론

일반적인 하수처리는 각종 우수 및 하수를 이송하여 대규모의 처리시설에서 고도처리 후 방류하는 방식을 이용하고 있으며, 강우 시에는 합류식 하수관거 구역은 1차 침전 후 별다른 처리 없이 수계로 방류되고 있다. 그러나 최근에는 생활하수나 공장폐수 등의 오염도가 높아짐에 따라서 하수처리에 대한 부하 자체가 증가하고 있는데 반하여, 하수처리가 가능한 부하량은 정해져 있기 때문에 결과적으로 하수처리장에 대한 부하 증가로 나타나고 있다. 부하를 처리하기 위하여 기존 하수처리장의 확장이 요구되나 많은 사회·경제적 비용을 필요로 하므로 상대적으로 하수처리장 효율 증대 및 유입수의 수질 개선 등의 해결방안이 절실하게 요구되고 있다.

이러한 문제들에 대한 대책으로서 초기우수에 대응하는 하수 여과기술이 주목 받고 있다. 초기우수 저감 시설에는 소규모 장치형과 대규모 합류식시설이 있으며, 본 연구에서는 장치형에 주로 사용되는 여재인 입상활성탄(석탄계/야자계/목탄계), PP·PE 펠렛(Poly-Propylene·Poly-Ethylene pallet), 표준여과사를 사용하였다. 유해폐기물을 관정하기 위한 방법인 용출시험 방법은 각 나라마다 조금씩 상이하나, 우리나라의 KLT(Korea leaching Test)법, 일본의 JIS(Japanese Industry Standard)은 유사한 용출시험 방법을 사용하고 있다. 반면, 미국의 TCLP(Toxic Characteristic Leaching Procedure) 시험법은 용출용매의 pH, 시료와 용매의 비율, 용출조건 및 용출시간 등이 국내 용출 시험법과는 다르다. 일반적으로 국내/일본의 용출시험방법보다 미국의 방법이 더욱 높은 민감도를 가지고 있는 것으로 알려

*정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정·E-mail : voodoorush@gmail.com

**정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 교수·E-mail : kimgh@inha.ac.kr

***정회원·경동대학교 건축토목공학부 토목환경공학과 교수·E-mail : hysddd@k1.ac.kr

****정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정·E-mail : kgh0518@gmail.com

져 있으며 본 연구에서는 미국의 TCLP방법을 선택하여 각각의 여제에 대하여 용출시험을 수행하고 적출된 시료를 기초로 Microtox 생물검정(Bioassay)를 실행하였다.

2. 실험 및 방법

본 실험에서 수행한 Microtox 생물검정 절차는 <그림 1>과 같다. 용출슬래그의 독성과 현재 사용되고 있는 여과용 여제인 입상활성탄(석탄계/야자계/목탄계), PP·PE 펠렛(Poly-Propylene·Poly-Ethylene pallet), 표준여과사의 독성을 비교하기 위하여 전처리 과정은 미국에서 제한한 TCLP 용출시험 방법을 사용하였다. TCLP과정을 통과한 각각의 시료들을 Microtox Model 500 분석기로 5분, 15분, 30분 급성독성 실험을 수행하였다.

2.1 용출시험

용출시험은 폐기물에 의한 환경오염을 미리 방지하기 위해 환경 기준과 처리기준을 평가하는 방법으로서 미국에서 1971년 칼럼식(Colum)이 최초로 적용된 이래 여러 차례에 걸쳐 개정 되어 현재, Zero Headspace Extraction용기를 이용하여 휘발성 및 반휘발성 유기물의 용출이 가능한 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)방법이 이용되고 있으며 실험 방법은 <표 1>과 같다.

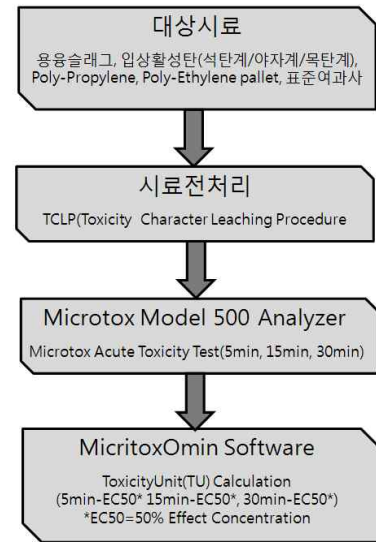


그림 1. Microtox 생물검정 절차

표 1. TCLP 전처리 방법

실험방법	TCLP
시료의 전처리	9.5mm이하로 분쇄
진탕장치	Rotary Extraction Device(회전속도 :30rpm, 18hr)
용매의 pH	fluid 1 : 4.93±0.05, fluid 2 : 2.88±0.05
용매의 비	20:1(용질 100g 이상)
고액분리	0.6~0.8 μ m MF or 원심분리후 상등액
용출용기	2 l 의 Teflon or PE(Zero Headspace)

2.2 생물검정(Microtox Toxicity Test)

TCLP방법으로 전처리된 각각의 시료들의 독성정도를 알아보기 위하여 Microtox Acute Toxicity Test를 수행한다. 형광성 박테리아에 의한 독성실험은 Microtox Model 500 Toxicity Analyzer(Strategic Diagnostics Inc., Newark, New Jersey, USA)를 사용하여 측정하였다. Microtox Model 500 측정기의 구성은 <그림 2>와 같이 빛 발산량을 측정할 수 있는 측정구(read well)와 동결 건조된 형광성 박테리아를 활성화시키는 Reagent Well 그리고 15 $^{\circ}$ C로 유지되는 항온구(well)로 구성되며, 항온구에는 3ml 시험관이 30개가 들어갈 수 있게 배열되어 있다. Microtox를 이용한 독성실험중 1:2 Serial Dilution 방법으로 매우 가파른 양반응 곡선을 나타내는 샘플에 대하여 적용하는 희석방법이며 Microtox Acute Toxicity Test 절차는 Basic Test에 준하였다.

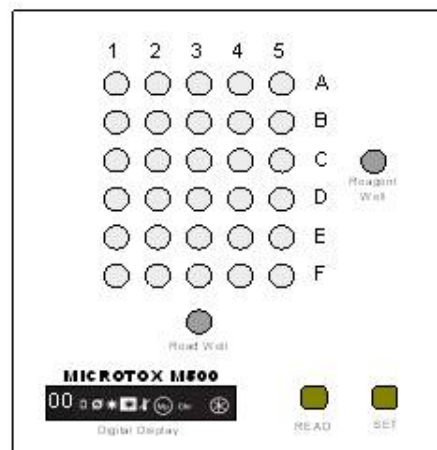


그림 2. Microtox Model 500 Analyzer

3. 실험결과

실험에서 여제인 입상활성탄(석탄계/야자계/목탄계), PP·PE 펠렛(Poly-Propylene·Poly-Ethylene pallet), 표준여과사 용융슬래그가 형광성 박테리아에 영향을 미치는 효과농도 5min-EC₅₀, 15min-EC₅₀, 30min-EC₅₀은 <그림 3>과 같다. 그리고 실험결과 <표 2>를 볼 때 급성독성 시험에서의 5분, 15, 30분의 경우 형광성박테리아의 밝기 감소정도가 경향성을 보여 비슷한 것으로 판단되므로 기준 효과농도를 15min-EC₅₀으로 설정하고 비교 하였고, <표 3>에 독성순위를 정리하였다.

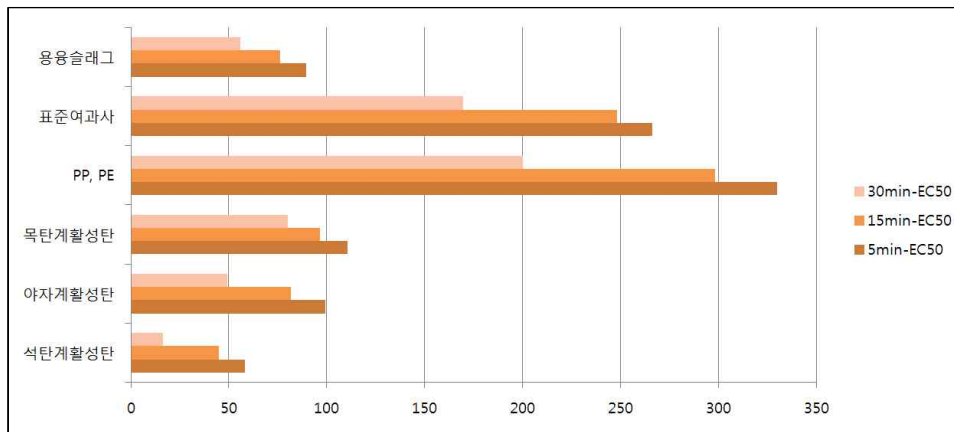


그림 3. 형광성 박테리아의 효과농도(EC₅₀) (단위: ppm)

표 2. 시간별 형광성 박테리아의 효과농도(EC₅₀) (단위:ppm)

시 료 명	5min-EC ₅₀	15min-EC ₅₀	30min-EC ₅₀
석탄계활성탄	58.25	45	16.3
야자계활성탄	99.11	81.48	49.18
목탄계활성탄	110.39	96.33	80.19
PP, PE	330.3	298	200
표준여과사	266	248	169.7
용융슬래그	89.5	76.38	55.8

표 3. 용융슬래그와 기존 여과용 여제들의 독성순위

시 간	독성 순위
5min-EC ₅₀	석탄계활성탄 > 용융슬래그 > 목탄계활성탄 > 야자계활성탄 > 표준여과사 > PP, PE
15min-EC ₅₀	석탄계활성탄 > 용융슬래그 > 목탄계활성탄 > 야자계활성탄 > 표준여과사 > PP, PE
30min-EC ₅₀	석탄계활성탄 > 용융슬래그 > 목탄계활성탄 > 야자계활성탄 > 표준여과사 > PP, PE

결과적으로 가장 높은 독성을 나타낸 여과제인 석탄계활성탄은 45ppm으로 가장 낮은 값을 나타낸 PP, PE 펠렛보다 6배 이상 독성이 높은 것으로 나타났다. 본 논문에서 중심으로 다루는 용융슬래그는 76.38ppm을 나타냄으로서, 석탄계활성탄보다 16.38ppm정도 조금 높게 나타났으며 이어 야자계활성탄 81.48ppm 목탄계활성탄 96.33ppm, 표준여과사 248ppm, PP,PE 298.6으로 나타났다. 따라서, 용융슬래그가 기존의 여과제들에 비하여 특별히 독성이 높은 것은 아니며, 15min-EC₅₀을 기준으로 하여 석탄계활성탄이 현장에서 적용되기 때문에 용융슬래그 역시 적용상에 문제점은 없을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 여재로 사용되는 여재들과 새롭게 부각되고 있는 용융슬래그의 독성을 비교 평가하였으며, 실험 결과에 의하여 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 용융슬래그의 급성독성 시험결과 가장적인 독성을 나타낸 PP, PE 펠렛 보다 4배 이상의 독성이 검출 되었으나, 5분, 15분, 30분 시험결과 용융슬래그, 황토 모두 100ppm으로 국내 환경부 기준의 급성독성을 고려하지 않는 무독성물질로 판단되었다.
- 2) 용융슬래그와 기존에 사용되는 수처리 여재인 석탄계/야자계/목탄계활성탄, PP, PE 펠렛, 표준여과사 역시 무독성으로 판단되었으며, 사용목적에 맞는 여과재를 선택 사용하는 것이 가장 좋은 방법이라고 판단된다.
- 3) PP, PE 펠렛은 용출시험시에도 각각의 시료들이 매우 안정적이어서 특별한 용출이 없었던 것으로 판단되며 매우 안정적인 실험결과로 입증하였다.

본 연구에서는 기존에 버려지거나 지반보강재로 사용되는 소각재 용융슬래그를 고부가 가치의 수처리 여재로 사용하기 위하여 형광성 박테리아를 통한 생물검정 방법으로 독성을 평가하고, 기존의 여재들과의 비교를 수행하여 그 활용성을 평가하였다. 분석결과, 각각의 여재의 종류에 따라 독성의 차이가 있으나 모든 여재가 무독성으로 나타났다. 다만, 각각의 여재에 독성의 차이가 존재하고 있으므로 용도에 따라 수생생태계에 미치는 영향도 다를 것으로 예상할 수 있다. 따라서 여재선택에서도 적절한 여재의 선택, 수생생태계에 미치는 영향과 제거효율과의 관계를 고려하여 효과적인 여재를 선택하는 것이 바람직하며, 용융슬래그의 여과능과 경제성에 대해서도 체계적이고 계획적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 유승철(2008). 소각회 용융슬래그의 흡착특성과 이를 이용한 초기강우 유출수의 수질관리, 박사학위논문, 전북대학교
2. 한국건설교통기술연구원(2004). 소각재용융슬래그의 건설자재 활용기술 개발 연구보고서
3. 조기중·임병란·원종철·이수구(2008). 국내외 용출시험방법에 따른 MSWI 바닥재의 입경별 중금속용출, 추계학술연구회발표논문집, 한국폐기물자원순환학회, pp. 205-208.
4. 정홍배(2001). "국내 하천 퇴적물 건강성평가를 위한 Microtox 독성시험 조건 확립 연구", 한국환경독성학회지, Vol. 16, No. 4, pp. 143-151.
5. 해양수산부(2001). 해양환경공정시험방법(해양생물편), 해양오염방지법
6. 채수권, 김건홍(1992). "Daphnia magna에 의한 전기공장폐수의 독성평가", 인하대학교, 산업과학기술연구소 논문집, Vol. 20, pp. 363-367.
7. 민선홍, 김성태, 김건홍(2000). "조류, 물벼룩, 형광성 박테리아를 이용한 금속의 독성평가", 대한토목학회 논문집, Vol. 20, No. 3-B, pp. 421-427.
9. 채명식, 김성태, 김건홍(2000). "조류제거제의 독성과 제거효율에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, Vol. 20, No. 6-B, pp. 853-858.
10. 박상구, 김건홍, 김형수(2005). Microtox Bioassay 방법을 이용한 산화티타늄의 독성평가, 2005년도 한국습지학회 정기 학술발표대회 논문집, pp 178-181.