

Mattress/Filter용 수중Slag의 2차 오염특성

Secondary Contamination Characteristics of Slag Mattress/Filter in River Channel

고진석¹⁾, 송시훈²⁾, 지흥기³⁾, 이순탁³⁾

1. 서론

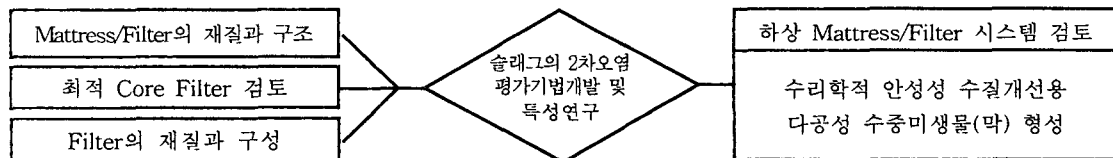
지금까지의 하천은 치·이수에 목적을 두고 하천의 주변 제방이 획일적으로 개발되는 등 자연생태적인 기능에 대한 고려가 없이 개발되어 생태계가 파괴되고 이로인해 하천의 수질이 나빠지는 악순환이 이루어지고 있다. 따라서 하천의 수질 개선과 하천 본래의 기능인 환경생태기능을 회복시킬 수 있는 방안에 대해 강구해 볼 필요가 있다. 현재 산업현장의 제철소나 열병합발전소 등에서 많은 양의 슬래그가 양산되고 있으며 이들의 처리에는 많은 비용과 기술이 소요된다. 슬래그는 천연재료가 가질 수 없는 안정된 품질과 특성을 가지고 있으므로 슬래그를 Mattress/Filter채움재로 사용함으로써 산업폐기물을 처리하여 경제성을 증진하고, 친환경 및 친생태적인 공간을 확보하여 자연생태계를 보전·복원시키고 수질을 개선할 수 있는 친환경적인 구조물의 개발 및 복원기술의 확보가 절실히 필요하다.

제철소나 열병합발전소의 부산물인 슬래그가 폐기물 관리법상 환경적인 측면에서 무해할 뿐만 아니라 그 양이 막대하며, 슬래그를 재활용함으로써 처리비용을 줄이고 축조 후 유지관리도 용이하다. 지금까지는 도로용이나 시멘트 원료로 사용되었지만 Mattress/Filter 채움재로 사용하여 하천의 어류와 수생생물의 생태를 보존하는데 있어서 다른 재료에 비하여 매우 우수한 것으로 알려져 있다.

따라서 폐자원의 재활용 및 산업 경제의 발전 등의 효과를 거두는데 새로운 토목재료로서 활용할 수 있는 기반을 조성하는데 멈추지 않고, 슬래그의 물리·화학적 특성에 관련된 제반 연구를 통하여 현재까지 실험적인 근거없이 이용되는 차원에서 벗어나, 2차 오염특성을 규명하여 Mattress/Filter재료로서 수질개선 및 자연생태계 복원기술 개발에 활용 가능성을 검토하여야 한다.

2. Mattress/Filter용 수중슬래그의 2차 오염 가능성 검토

2.1 수중슬래그의 2차오염 평가과정



<그림 2.1> 연구과정

본 연구는 <그림 2.1>와 같이 Mattress/Filter구조의 메카니즘과 Filter재료의 재질을 규명한 현 단계에서

-
- 1) 영남대학교 대학원
 - 2) 영남대학교 대학원
 - 3) 영남대학교 토목도시환경공학부 교수

수질개선, 수변생태계 서식성 및 식생복원시스템을 구축하기 위한 과정이다. 여기서, Filter 재료로서 슬래그의 2차 오염특성 연구는 Mattress/Filter 재질과 구조 즉, 최적의 Core Filter 검토와 사용재료의 검토과정이 필요하며, 이 Mattress/Filter 시스템을 수리화적으로 안정성을 확보할 수 있는 과정에서 수질을 개선시킬 수 있는 수중미생물막의 형성이 용이해야 한다.

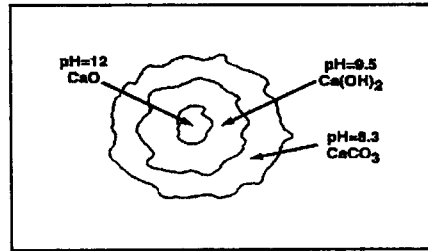
2.2 슬래그의 화학적인 특성

슬래그의 화학성분은 고온의 용융에 의해 화합물로서 존재하며, 그 결정질은 주로 석영으로 되어있으며 비결정의 유리분도 다량 존재한다. 일반적인 화학성분은 실리카(SiO_2)가 54%, 알루미나(Al_2O_3)가 18.3%, 산화제철(Fe_2O_3)이 9.24%로서 이들이 차지하는 비율이 전체의 81.5%를 점하는 주성분이고, 그밖에 CaO , K_2O , MgO , Na_2O , Ti_2O 등의 산화물이 고루 분포되어 있다. 슬래그에는 Ca^{+2} , Mg^{+2} , Si^{+4} , Fe 및 유황분을 많이 함유하기 때문에 pH8-10정도의 약알칼리성을 띄고 있으며, 이 유황분이 그대로 유출되면 급격한 산소결핍 현상의 문제가 발생한다. 슬래그는 물과 결합하면 주로 탄산칼슘으로 구성된 흰색의 다공성 석회 침전물을 생성시킨다. 그 침전물은 공기중의 이산화탄소와 침출수와의 결합을 도와준다. 슬래그의 석회 성분은 물과 결합하여 수산화칼슘을 생성한다.

<표 2.1> 슬래그의 화학적 구성 성분과 함유율

(주) 한국화학시험검사소, 1992

구성성분	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	K_2O
함유율(%)	54.0	18.3	9.24	2.69	2.67
구성성분	Na_2O	S	MgO	TiO_2	MnO
함유율(%)	1.42	0.41	1.2	0.69	0.22



<그림 2.2> 슬래그의 단면

3. 수중 슬래그의 2차 오염 특성

3.1 슬래그의 용출 실험

슬래그의 중금속 함유량 검사를 위한 용출실험을 실시한 결과가 <표 2.2>에 나타나 있다. 이 실험은 용출되어 나오는 물질들의 양 그리고 용출수가 어떤 환경에서 용출되는가를 평가하는 것으로 주로 폐기물의 주위환경에 미치는 영향을 예상하는데 사용된다.

<표 3.1> 슬래그의 용출실험 결과

검사항목	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr+6	CN	유기인	Tri C.E	Tetra CE
슬래그(mg/l)	0.040	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0040	0.000	0.000
폐기물관리법기준(mg/l)	≤3.0	≤3.0	≤1.5	≤0.005	≤0.3	≤1.5	≤1.0	≤1.0	≤0.1	≤0.9

위의 <표3.1>에서 나타낸 슬래그의 중금속 용출실험결과에서 납과 유기인이 검출되었지만, 우리나라 폐기물관리법(납 또는 그화합물 3.0mg/l 이하, 유기인화합물 1.0mg/l 이하)에 만족하고, 수질·환경 관계법규에 기술된 환경기준치중 음용수 기준치(납 0.05mg/l, 유기인 0.2mg/l) 이하이다.

3.2 수중 슬래그 침출수의 특성

슬래그가 물과 접촉에 의해 생긴 침출수의 성질을 파악하기 위해 침출실험을 수행하여 침출수가 지하수에 미치는 영향, 토양에 미치는 영향, 농작물의 성장에 대한 영향은 다음과 같다.

1) 지하수 및 토양에 미치는 영향

침출수는 pH와 Ca^{+2} , Mg^{+2} , Si^{+4} 등의 농도는 높은 반면 SO_4^{-2} 의 농도는 그리 높지 않은 것이 특징으로 나타났다. pH는 쉽게 저하되나 SO_4^{-2} , Cl^- 등의 농도는 시간이 지날수록 오히려 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 높은 pH에 의해 토양내의 SO_4^{-2} , Cl^- 등이 용해되어 침출되는 것으로, 슬래그가 지하수에 대한 가장 큰 영향은 pH에 의한 것으로 확인되었다. 토양에서는 침출수에 포함된 중금속이 흡착되어 감소되어 지하수에서 중금속은 문제가 없다. 슬래그에는 Ca^{+2} , Mg^{+2} , Si^{+4} , Fe 및 유황분을 많이 함유하고 있어 유황분이 그대로 자연계에 유출되면 급격한 산소결핍 현상의 문제가 있기 때문에 사용하기 전에 어느 정도 양생시켜야 한다.

2) 농작물의 성장에 대한 영향

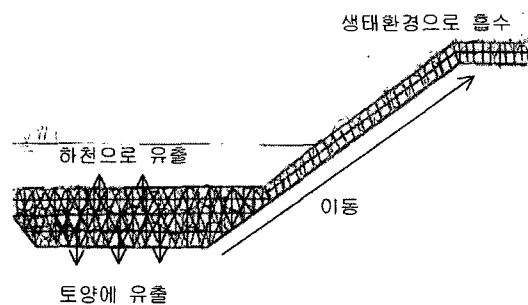
슬래그의 사용에 따른 pH와 알타리무의 생육현황을 <표3.1>에 나타냈다. 슬래그의 사용량을 증가시키면 pH가 상승하고 뿌리무게가 증가하는 등 식물의 발아율, 뿌리무게, 잎길이 및 잎폭 등의 외형적인 성장에 나쁜 영향을 주지 않는 것으로 확인되었으며, 침출수에 포함된 중금속은 그리 문제가 없을 것으로 판단되었다.

<표 3.2> 슬래그 사용에 따른 pH와 알타리무의 생육현황

슬래그 종류	10a 당 슬래그 사용량 (kg)	토양의 pH	알 타 리 무			
			발아율 (%)	뿌리무게 (g)	잎길이 (cm)	잎폭 (cm)
2개월 양생 고로슬래그	50	5.1	89	2.9	12.1	3.6
	100	5.2	78	4.4	13.6	3.8
	1,000	5.4	81	5.0	12.9	3.7
표준구(무비구)	.	5.0	74	4.3	12.9	3.6



<그림 3.1> 설치중인 Mattress/Filter용 슬래그



<그림 3.2> Mattress/Filter 내부를 통과한 원소의 이동과정

3.3 슬래그의 환경적인 영향

도로에 시공된 슬래그의 환경적인 영향을 연구하기 위하여 토양과 지하수의 분석과 민들레의 뿌리에 흡수되는 금속원소의 생물학적 흡수를 조사하기 위해서 수행된 연구(B.B.Lind, 2001)에서 Cr 등의 중금속 및

비금속원소가 슬래그로부터 유출되었으나 아주 적은 양이었으며, 분석된 원소들의 지하수로의 유입도 아주 적었다. 그리고 민들레의 뿌리가 슬래그에서 왕성하게 자라는 시기에 분석된 원소들의 현저한 흡수가 관찰되었다. 따라서 슬래그를 채움재로 사용한 하상보호용 Mattress/Filter에 식생을 하면 슬래그에서 하천이나 토양에 유출되는 금속물질들의 흡수가 이루어져 수질이 크게 개선될 수 있음을 알 수 있다.

4. 연구 결과

Mattress/Filter재료로서 슬래그의 2차 오염특성을 규명하여 수질개선 및 자연생태계 복원기술 개발에 활용 가능성을 검토한 결과들은 다음과 같다.

1) 슬래그의 중금속함유량 검사시험결과에 의해 납성분과 유기인을 함유한 것 이외에는 여타 중금속을 함유하고 있지 않기 때문에 일반폐기물로 분류할 수 있으며, Mattress/Filter 채움재로 활용할 때 지하수 오염 등의 환경적인 문제를 일으키지 않을 것으로 사료되어 친환경적인 재료가 되기 위한 기술적인 조건에 만족한다.

2) 슬래그로부터 유출되는 중금속 및 비금속원소의 양은 극히 적었으며, 이들 원소는 수중 식물에 의해서 흡수가 이루어져 수질이 개선되었으며, 흡수한 식물의 성장에도 지장을 주지 못했다.

따라서 기존의 치·이수 기능은 유지하면서 행태계를 보전하기 위한 대안으로 생태복원구조물인 친환경 Mattress 채움재용 슬래그를 이용하면 수질개선 뿐만아니라 기존하천에 초본식물들이 식생됨으로서 하천 본래의 생태계를 유지할 수 있는 늪지 조성, 우리하천에 맞는 다양한 우리풀 식생, 하천의 친수성 확보, 오염된 하천의 자정능력 향상 및 수질 정화, 수변식물이 어우러져 동식물의 서식처 제공, 경제성과 경관이 보전된 아름다운 수변공간 조성할 수 있는 중요한 재료임을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 환경부 한국환경기술진흥원이 추진하는 “2002년도 차세대 핵심환경기술개발사업”의 자유공모과제(과제번호:02-22-66) 연구수행 결과의 일부이며, 연구비지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 배상수, 이경욱, 송시훈, 허창환, 지홍기,(2002), Mattress/Filter를 이용한 하천수질개선기법, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집.
2. 이철규, 경북 봉화, 영양지역 금속광산주변 토양, 농작물, 수계에 대한 중금속 오염, 서울대학교 대학원 공학박사학위논문.
3. 최의소, 권수열, 이용조, 박원목,(1987), 고로 슬래그 침출수의 특성과 환경에 미치는 영향, 대한토목학회논문집 Vol.7 No.3.
4. B.B. Lind,(2001), Environmental Impact of Ferrochrome Slag in Road Construction, *Waste Management* :21(3) ; 255-264.
5. Simons, D.B., Hi, R.H. and Liang, W.S.,(1981), *Design Guidelines & Criteria. Channels & Hydraulic Structures on Sandy Soils, Officine Maccaferri Technical Report, Fort Collins, Colorado.*