Mattress 채움재용 Slag의 물리 · 화학적 특성
Phsical and Chemical Properties of Slag for Charging Mattress

이 준 우[1],김 기 환[1],박 기 영[2],권 혁 문[3],지 홍 기[4]

1. 서 론

지금까지의 하천의 개발은 자연생태적인 기능에 대한 고려가 없는 획일적 개발에 의존하여 생태계가 파괴되고 하천의 수질이 나빠지는 악순환이 이루어지고 있다. 그러므로 수질개선과 환경친화적인기능 회복에 노력을 기울일 필요가 있다.

제철회사나 발전소에서 많이 발생되는 slag가 안정된 품질과 특성을 가지고 있으므로 slag를 Mattress채움재로 사용하므로서 폐기물의 경제성을 높이고 친환경적인 공간을 확보하여 자연생태계를 보호하고 수질을 개선할 수 있는 복원기술의 확보가 필요하다. ·

산업부산물인 slag가 환경적인 측면에서 무해할 뿐만 아니라 그 양이 막대하며 slag를 재활용하면 저렴하고 축조 후 유지관리도 용이해진다.

본 연구는 slag의 물리 · 화학적 특성에 관련된 조사, 분석을 통하여 Mattress 채움재로서 친환경적 기능에 대하여 알아보고자 한다. 또한 폐자원의 재활용 및 산업 경제의 발전 등의 효과를 거두는데 새로운 토목재료로서 활용할 수 있는 기반을 조성하는데 멈추지 않고, slag의 물리 · 화학적 특성을 연구하여 오염이 없는 친환경적인 재료로서 사용이 가능한지를 검토하는 것이 목적이다.

2. 고로슬래그 골재

2.1 일반사항 및 특성

고로슬래그는 서냉슬래그와 수재슬래그로 대별된다. 서냉슬래그는 괴재슬래그라고도 하며 고로에서 배출된 슬래그를 dry pit(슬래그냉각장)에서 공냉시키거나 적당히 살수하여 냉각시킨 덩어리상의 것이며, 수재슬래그는 용융상태의 슬래그를 대량의 물 등으로 급냉시킨 것으로 유리질의 모래와 같은 것을 말한다.

<표 1> 고로슬래그의 화학조성 (단위 %)

구 분	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Total Fe	MgO	S	MnO	TiO_2
고로슬래그	33.4	41.0	14.5	0.4	8.0	1.0	0.7	-

1) 정회원, 영남대학교 대학원 토목공학과 석사 053-810-3661
2) 정회원, 영남대학교 대학원 토목공학과 박사과정 053-810-3661
3) 정회원, 영남대학교 토목공학과 부교수 053-810-2411
4) 정회원, 영남대학교 토목공학과 교수 053-810-2414

<표 2> 고로슬래그의 물리적 성질

구 분	서랭슬래그	골재	특 징
단위중량(톤/m^3)	1.87~2.39	1.8	모래보다 약간 상회
안식각(°)	40	30	모래보다 커서 토목공사용 재료로 적합
투수계수(cm/s)	1~0.01	1~0.01	모래와 비슷

<표 3> 고로슬래그의 중금속 용출시험결과 ('94.6.27/경북보건환경연구원)

검사항목	Pb	Cd	As	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	PCE	TCE
검사결과	0.008	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
환기준	≤3.0	≤3.0	≤1.5	≤0.005	≤0.3	≤1.5	≤1.0	≤1.0	≤0.1	≤0.9
단위	mg/ℓ	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<표 1>~<표 3>에 나타난 바와 같이 물리적 특성으로는 재활용 가능성 및 시공성이 다분하여 파쇄골재로서는 도로공사용 표층, 기층, 보조기층용 노반재로 활용가능하며 원석은 노상에 천연골재대용으로 사용가능하다. (한국산업규격 'KS F2535/도로용 철강슬래그' 인증) 또한 토목용재료로는 성토용, 기초잡석용등으로 사용되고 있다.(철강슬래그 및 석탄재배출사업자의 활용지침/1993.12.10 환경부고시) 그리고 마지막으로 콘크리트용골재로는 슬래그콘크리트는 자갈콘크리트에 비하여 작업성이 약간 떨어지나 시멘트 배합비를 조정함으로서 유사한 성능의 콘크리트제조가 가능하다.

2.2 유황성분의 제거 및 수중오염 특성

고로슬래그에는 약 1% 정도의 유황이 주로황화칼슘(CaS) 형태로 존재하고 있는데 이것은 물과 접촉시 황화이온을 생성, 초기에는 연황색을 띠며 약한 온천냄새를 발한다. 그러나 이러한 이온은 불안정한 중간생성물로서 대기중이나 수중의 산소에 의하여 산화하거나 탄산가스에 의하여 중화하여 안정함으로써 색과 냄새가 소실되는데 이것을 숙성(Aging)이라한다. 이러한 숙성을 통하여 황이 제거됨으로서 수중생태계에 유해한 환경을 제공하지 않게 되는 것이다.

고로슬래그의 중금속 용출시험결과에 의하면 납성분과 구리를 소량 함유하고(우리나라 음용수 기준치 이하 납 ≤3.0mg/ℓ 구리 ≤3.0mg/ℓ) 있으며 나머지의 중금속성분은 용출되지 않았기 때문에 일반폐기물로 인정되며, Mattress 채움재로서 환경적인 문제를 일으키지 않을 것으로 사료되어 친환경적인 재료가 되기 위한 기술적인 조건에 만족한다.

따라서 고로슬래그 골재는 구조재로의 기능을 유지하면서 생태계를 보전하기 위한 대안으로 충분히 가능하며 또한 재활용 측면에서도 매우 유용하다 할 수 있다.

3. 유연탄 연소재 (크링커 형태)

3.1 일반사항 및 특성

석탄회(Coal Ash)는 일반적으로 화력발전소에서 발전용으로 석탄을 연소시킴으로써 발생되는 회를 의미

하며, 보일러의 연소가스속에 포함되어 날아다니는 비회(Fly Ash)와 보일러 저부로 떨어지는 저회(Bottom Ash)를 포함하는 것이다. 저회(Bottom Ash)란 이 낙하한 용융상태의 회들을 급냉, 고형화시켜 암괴상태로 만든 것을 분쇄하여 입도를 25mm이하로 조정한 것이다.

대구 열병합 발전소에서 발생하는 유연탄 연소재는 약 100~130t/day에 달하며 지금까지는 그 사용실적이 미비한 것이 현실이다. 또한 국내의 다른 발전소에서 발생하는 유연탄 연소재의 활용분야도 레미콘 혼합재와 시멘트원료, 벽돌 및 기와제조, 단열재등으로 한정되어 있는 실정이므로 산업폐기물을 재활용하여 국내의 산업발전에 이바지하는 연구개발이 절실히 요망되고 있다.

<표 4> 유연탄 연소재(BA)의 물리적 특성

항 목		항 목	
비 중(G_s)	2.36	최대건조밀도(γ_{dmax}, gf/cm^3)	1.51
소성지수(I_p, %)	NP	최적함수비(O.M.C, %)	20
균등계수(C_u)	10.0	투 수 계 수(k, cm/sec)	5.77×10^{-3}
곡률계수(C_g)	2.5	통 일 분 류	SW
유효입경(d_{10}, mm)	0.39	건조단위중량(γ_d, gf/cm^3)	0.997

<표 5> 유연탄 연소재(BA)의 (화학조성 한국화학시험검사소 1992)

구 분(단위%)	SiO_2	Igloss	Al_2O_3l	BaO	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO
유연탄 연소재	54.0	8.08	18.3	0.23	2.69	9.24	2.67	1.2
구 분(단위%)	MnO	Na_2O	SrO	TiO_2	V_2O_3	ZrO_2	S	-
유연탄 연소재	0.22	1.42	0.08	0.69	0.02	0.06	0.41	-

<표 6> 유연탄 연소재(BA)의 중금속 용출시험결과 (대구광역시 보건 환경연구원 1995)

검사항목	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr+6	CN	유기인	Tri C.E.	TCE.
검사결과	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
법기준	≤3.0	≤3.0	≤1.5	≤0.005	≤0.3	≤1.5	≤1.0	≤1.0	≤0.1	≤0.9
단위	mg/ℓ	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2 유연탄 연소재(BA)의 오염특성

유연탄 연소재의 화학성분은 고온의 의해 생성되어 주로 석영의 결정질로 이루어져있으며 유리분과 같은 비결정질도 다수 존재한다. 표 5는 한국화학시험검사소(1992)에서 실시한 유연탄 연소재의 화학특성을 나타낸 것이다. 주성분은 실리카(SiO_2) 54%, 알루미나(Al_2O_3l) 18.3%, 산화제2철(Fe_2O_3) 9.24%이며 그 밖에 CaO, K_2O, MgO, Na_2O, TiO_2등의 산화물이 고루 분포되어 있다.

<표 6>은 유연탄 연소재의 중금속 용출시험 결과를 나타낸 것이며 과거 송동철등(1992)에 의하면 석탄등

의 회분은 식물중의 무기질과 석탄 생성시에 혼입된 점토와 식물등으로 이루어지며, 대부분 수은, 카드뮴, 납, 비소등의 금속을 미량 함유하고 있기 때문에 이를 성토재등으로 활용할 경우에는 지하수 오염문제등이 발생할 수 있으므로 용출특성을 검토해볼 필요가 있다고 보고한바 있다. 그러나 대구광역시 보건환경연구원(1995)에서 실시한 유연탄 연소재의 중금속 용출시험결과를 보면 납(Pb)이 0.04mg/ℓ와 유기인이 0.004mg/ℓ 함유되어 있으나 그 외 중금속은 전혀 검출되지 않은 것으로 되어있다. 수질·환경 관계법규(1992)에 기술된 환경기준의 음용수 기준(납 0.05mg/ℓ이하, 청정지역에서 유기인 0.2mg/ℓ이하)이하로 나타냄을 알 수 있으며 또한 납이외에 9개 항목에 대하여 검사한 결과 일반 폐기물로 구분지어진다. 따라서 유연탄 연소재를 Mattress 채움재로서의 재활용이 가능하다고 할 수 있으며 수질오염에도 영향이 거의 없다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

고로슬래그와 유연탄 연소재의 중금속 용출시험결과에서 보듯이 이들은 지하수 또는 하천의 오염에 문제를 일으키지 않을 것으로 판단되며 자원재활용 및 친환경적인측면에서도 충분한 사용성이 있다.

따라서 기존 치·이수 기능과 기존하천에 초본식물들의 식생이 가능함으로 하천 생태계를 유지할 수 있는 늪지 조성, 수변식물이 어우러져 동식물의 서식처 제공, 경제성과 경관이 보전된 아름다운 수변공간을 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.

5. 참 고 문 헌

1. 배상수, 이경욱, 송시훈, 허창환, 지홍기, Mattress/Filter를 이용한 하천수질개선기법, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집. 2002.
2. 유연탄 연소재(크링커 형태)의 토목재료로서 활용 가능성에 관한 연구 보고서, 사단법인 대한토목학회 대구 경북지회. 1996.4.24
3. 조재훈, 포러스 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구, 영남대학교 대학원 토목공학과 석사학위논문