

전기로 제강 환원슬래그 혼합토의 환경적 영향

Environmental Effect of the Reduced Slag in the Electric Furnace

나 현수¹⁾ · 윤 여원[†] · 윤 길림²⁾

Na, Hyunsu · Yoon, Yeowon · Yoon, Gillim

ABSTRACT : The oxidation slag has been widely used in civil engineering project, whereas the reduced slag from electric furnace has yet to be applied. Consequently in order to find out the recycling method in civil engineering field, the mineral compositions of the reduced slag were analyzed and some tests on water quality were performed to estimate the potential release of toxic compounds. Slag-soil mixtures of 0, 10, 20 and 30%(dry weight) soil were prepared in lysimeter columns and the effluents were collected with the period of one, two and four week options in closed system, respectively. The result from qualitative and quantitative analysis using X-ray Diffraction(XRD) and X-ray Fluorescence(XRF) indicates that the main mineral of the reduced slag is $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$, a kind of calcium silicate. Also, the leaching medium analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy(ICP-OES) showed that main heavy metals such as Al, Fe and Mn are included in the reduced slag due to the effect of steel production process. It can be seen that the leachate does not violate the regulation guide line of waste material of heavy metal. Also the pH levels were increased from pH 6.9 for 0% soil to pH 10 for 30% soil. However the influence on leachate circulation period of one through four weeks was negligible.

Keywords : Reduced slag, Leachate, pH, Slag-soil mixtures

요 지 : 산화슬래그는 토목분야에 널리 활용되어 왔으나 전기로 제강 환원슬래그는 거의 활용되지 않고 있는 실정이다. 따라서 토목 분야에서의 재활용 방법을 모색하기 위하여 환원슬래그의 성분을 분석하고 이를 바탕으로 토목현장에서 흔히 볼 수 있는 풍화토와 환원슬래그를 중량비 0% 내지 30%로 혼합한 후, 폐합시스템의 Lysimeter에서 1주, 2주, 4주의 주기로 환원슬래그 혼합토의 환경적 특성을 고찰하기 위한 시험을 수행하였다. 환원슬래그를 XRD, XRF를 이용하여 정성·정량적으로 분석한 결과, calcium silicate의 일종인 $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ 가 주요 결정 광물로 나타났다. 그리고 ICP-OES에 의한 중금속 분석결과 철강 생산 공정에 의한 영향으로 Al, Fe, Mn이 환원슬래그에 포함된 주요 중금속으로 확인되었다. 이를 폐기물관리법에 의한 오염물질 배출허용기준과 비교한 결과 중금속에 의한 오염가능성은 거의 없을 것으로 사료된다. 또한 환원슬래그 혼합토 침출수는 0% 혼합토에서 pH 6.9로부터 30% 혼합토에서 pH 10으로 측정되어 문제가 없음을 확인하였다. 침출수의 순환주기에 의한 pH 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

주요어 : 환원슬래그, 침출수, pH, 슬래그-흙 혼합토

1. 서 론

전로 또는 전기로에서 제련 및 제강과정 중 발생하는 제강슬래그는 산화슬래그와 환원슬래그로 나누어진다. 현재 국내·외에서 산화슬래그는 도로용 골재, 매립용 골재, 복토용 골재 및 뒷채움재, 벽돌용 골재, 호안공사용 골재 등 다양한 용도로 개발되어 토목분야에 널리 활용되고 있다(임희대, 1996; 이승한, 1996; 이형수 등, 1999; 이문수 등, 2000; Motz 등, 2001).

그러나, 전기로 제강 환원슬래그의 경우 그 자체가 갖고 있는 팽창붕괴 특성 때문에 아직 활용되지 못하고 거의 공지 매립용에 한하여 사용되고 있으며, 실제 건설현장에서의

활용은 전무한 상태이다. 또한 연약지반의 안정재로서의 적용성, 결합재 및 팽창재로서 활용법에 대한 약간의 연구 보고만 있을 뿐, 환원슬래그 재활용에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 환원슬래그를 토목분야에 재활용할 수 있는 방법을 모색하기 위하여 환원슬래그의 기본성분을 분석하고, 이와 더불어 지반공학적 강도특성을 분석하였다(신재원, 2011).

이에 본 연구에서는 이를 바탕으로 토사와 일정 중량비로 혼합한 후 환원슬래그 혼합토의 환경영향 특성을 고찰함으로써, 토목재료로서 환원슬래그의 활용 가능성을 고찰하고자 한다.

1) 학생회원, 인하대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

† 정회원, 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : yoonyw@inha.ac.kr)

2) 정회원, 한국해양연구원 책임연구원

2. 슬래그의 특성 및 현황

2.1 슬래그의 발생

전기로 슬래그의 발생은 그림 1에 나타난 바와 같이 투입 원료(철, 스크랩 등)를 전기로에서 아크열을 열원으로 하여 용융, 용강 중에 발생하는 산화슬래그, 전기로에서 나온 쇳물을 LF(Ladle Furnace)에서 아크열로 승온 및 성분조정을 하는 과정에서 환원슬래그가 생성되는 공정으로 구성된다. 제선 공정은 용광로에 철광석과 코크스 등을 투입하고 가열하여 용융된 쇳물을 뽑아내는 공정이고, 압연 공정은 강괴를 롤러에 통과시킴으로써 형강이나 열연 코일과 같은 강재를 생산하는 공정이다.

이러한 제철 과정에서 발생되고 있는 고체상태의 폐기물에는 슬래그, dust, 슬러지 등이 있으며, 이 중에서 양적으로 가장 많이 배출되고 있는 것은 슬래그로서 연간 약 1,200만 톤이 발생하고 있다. 슬래그는 크게 제선슬래그(고로슬래그)와 제강슬래그로 나누어지며 이에 대한 상세한 분류는 그림 2에 나타내었다. 제선슬래그는 현재 거의 전량이 활용되고 있으나 제강슬래그는 일부분만이 재활용되고 대부분이 매립되고 있는 실정이다.

2.2 슬래그의 이용 및 기술 현황

2.2.1 제강슬래그의 재활용 현황

국내외를 막론하고 제강슬래그는 재활용이 활발히 진행되고 있다. 국내에서 제강슬래그의 이용 현황에 대하여 살펴보면, 1989년에 대한토목학회에서 도로용 복합슬래그골재

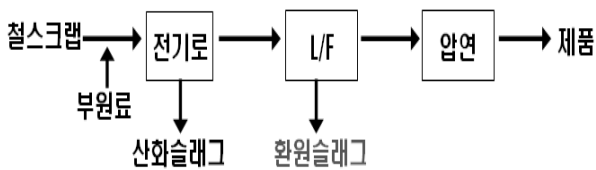


그림 1. 전기로 슬래그의 발생 공정

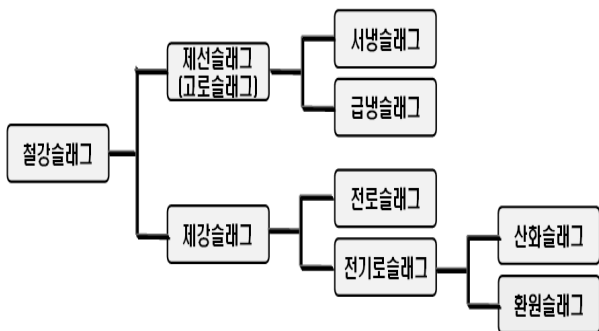


그림 2. 철강슬래그의 분류

시공지침이 작성되었으며, 1997년 KS F 2535(도로용 철강 슬래그)의 규격이 개정되어 노반재로서 복합슬래그도 사용이 가능하도록 하여, 제강슬래그의 우수한 장점을 살려서 여러 방면의 토목재료로서 이용이 가능하도록 규격화되었다.

2.2.2 전기로슬래그 발생 및 재활용 현황

전기로 슬래그의 발생 국내 조강 생산량 능력의 꾸준한 증가와 더불어 1997년 4천만 톤을 넘어 2006년 기준 약 4천 843만 톤에 이르고 있으며, 이 중 전기로슬래그는 2천 214만 톤으로 절반에 가까운 비율을 차지하고 있다. 전기로슬래그의 발생량은 전기로 제강공정에 의해 생산된 철근량의 약 5~7%로서 연간 약 150만 톤 정도 발생되고 있다. 이와 같이 전기로슬래그의 발생량이 많음에도 불구하고 국내에서 전기로슬래그의 재활용은 아직 산화슬래그와 환원슬래그의 선별 분리 기술에 대한 확보가 미흡한 상태로써 골재 자원화 수준에 미치지 못하고 있다. 현재 국내의 전기로슬래그의 재활용 용도는 도로용 및 성토용이 약 85% 정도로 발생량의 대부분을 차지하고 있으며, 콘크리트용 골재 등 실제 건설현장에서 요구되고 있는 골재로서의 활용은 전무한 실정이다. 이는 국내 전기로슬래그 골재의 생산 기술을 고려할 경우, 골재의 팽창반응성에 대한 안전성의 확보가 곤란하기 때문에 건설 구조용 원자재로서의 활용 실적이 거의 없는 것이다. 한편 해외에서의 전기로슬래그는 국내와 달리 소규모공장에서 소량으로 배출되고 있어 전기로 슬래그의 재활용 실적은 전무한 실정이다.

따라서 향후 천연자원의 고갈 및 산업폐기물의 재활용을 통한 환경 보호 측면을 고려할 때, 전기로슬래그와 같은 산업부산물의 재활용이 절실히 요구되고 있으며, 환경문제를 수반하지 않은 이용기술에 대한 사회적 요구와 관심이 증가하고 있다.

2.2.3 국내 기술현황

(1) 국내 전기로슬래그 활용기술 수준

전기로 산화슬래그는 국내 KS 기준 'KS F 4571 콘크리트용 전기로 산화슬래그 잔골재'에 규정되어 있어 콘크리트용 골재로 활용은 가능하도록 제도화되어 있다. 그러나 국내의 콘크리트 표준시방서에는 콘크리트용 골재로서의 사용에 관한 사항이 아직 미비하며, 또한 KS 기준에서도 잔골재에 대해서만 국한하여 사용하도록 되어있다. 따라서 국내의 경우에는 골재 자원화 기술 및 콘크리트 제조 기술의 개발 수준은 초보단계라 할 수 있다.

(2) 국내 환원슬래그 재활용 기술 현황

일반적인 환원슬래그 재활용 기술은 선철과 고철로부터

강괴를 제조하는 제강 공정 중, 환원 과정에서 발생하는 환원슬래그에 의해 환경오염이 발생할 수 있는 가능성이 있다. 이러한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 폐기되는 환원슬래그를 회수하여 재사용함으로써 폐기물의 양을 줄임과 동시에, 조업 시간을 단축시킬 수 있는 환원슬래그 재활용 방법이 1999년 ‘환원슬래그 재활용 방법’이라는 특허가 이찬일에 의해 고안되었다. 이 목적을 달성시키기 위해서 고철과 용선에 산소를 투입하여 산화시키고 산화슬래그를 폐기하는 산화 과정과, 용강에 생석회와 규산염, 산화마그네슘, 산화알루미늄 등의 조재재를 투입하여 환원슬래그를 형성함으로써 필요한 규격 성분을 가진 제품을 생산하는 환원 과정으로 구성된 제강 공정에 있어서, 제품 생산 후 폐기되는 환원슬래그를 제강 조업 시 환원슬래그 조재재로 재투입하고 동량의 생석회 사용을 줄이며, 산화알루미늄은 전혀 투입하지 않은 상태에서 환원 과정이 이루어지도록 하였다.

이 환원슬래그 재활용 방법은 제강 공정에서 발생하는 환원슬래그를 회수하여 재사용하므로 환원슬래그의 유용성이 좋고 용해 속도가 빨라 조업시간이 단축되며 부재료의 사용량이 저감될 뿐 아니라 환원슬래그 폐기에 따른 환경오염을 방지할 수 있는 이점이 있다.

3. 재료 및 시험방법

3.1 실험재료

시험에 사용된 환원슬래그는 (주)인천선강의 인천 현장에서 채취한 것이며, 기본특성시험과 환경영향평가기험을 위하여 NO.200체를 통과한 시료를 사용하였다. 또한 환경영향평가기험을 위한 환원슬래그 혼합도에 이용된 풍화토는 경기 의왕시 내손동에서 채취한 시료를 사용하였다.

3.2 실험조건 및 방법

3.2.1 용출시험

환원슬래그를 성토재, 뒷채움재 또는 연약지반 개량재와

표 1. 용출시험의 개요

시험 종류	환원슬래그 혼합율(%)	기타 시험조건	비 고
용출 시험	0, 10, 20, 30	침출수 순환주기 7, 14, 28일	- 분석내용 pH, Al, Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, Se, Mn, Fe - 중금속 분석시험기 ICP-OES

같은 토목재료로 사용할 수 있다 할지라도, 환원슬래그에 의한 침출수가 2차적인 오염을 발생시킨다면 토목재료로서의 효용가치는 떨어지게 된다.

따라서 본 연구에서는 환원슬래그의 재활용이 환경적 측면에 미치는 영향을 실내시험을 통해 검증하고 분석함으로써 환원슬래그의 현장 적용 가능성에 대해 확인하고자 한다. 표 1은 용출시험의 개요에 대해 나타내었다.

3.2.2 시험방법

폐기물이 수분과 접촉하면 그 속에 포함된 성분의 일부가 외부로 방출된다. 방출된 성분은 물의 흐름에 따라 이동하고 때로는 최종 처분지 밖으로 나온다. 즉, 용출시험은 환원슬래그의 잠재적인 오염에 대한 가능성을 평가하기 위하여 수행한 실내시험이다. 시험방법은 원형 아크릴 셀 하부 판에 필터층을 두고, 노건조 된 풍화토에 환원슬래그를 질량비 0%, 10%, 20%, 30%로 각각 혼합하여 셀 내부에 넣어 그림 3과 같이 설치한다. 다른 비율의 혼합도로 채워진 원형 아크릴 셀에 증류수를 채워 각 조건에 맞추어 시험을 진행하였다.

시험조건으로는 0%, 10%, 20%, 30%의 시료를 7일 주기로 순환시켜 환원슬래그의 혼합율에 따른 중금속 검출 영향을 검토하였고, 혼합율 30%의 경우에는 순환주기에 따른 중금속 오염농도를 확인하기 위하여 7일, 14일, 28일의 주기로 각각 용출된 투과수를 순환시켰다. 그림 3은 용출시험장치 전개도에 대해 나타내었다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 기본특성시험

4.1.1 X-ray Diffraction(XRD)

X선을 결정에 부딪치게 하면 그 중 일부는 회절을 일으

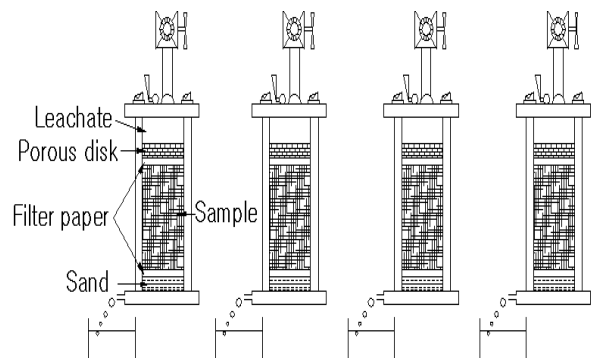
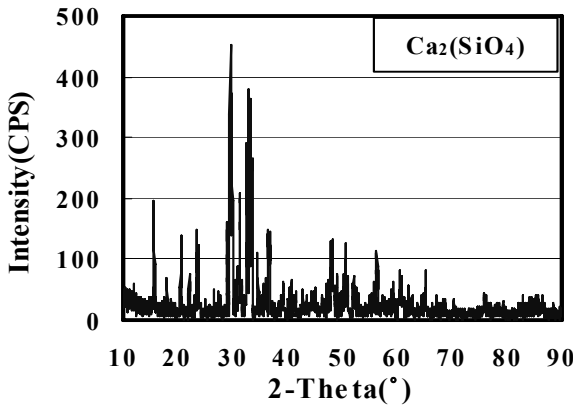
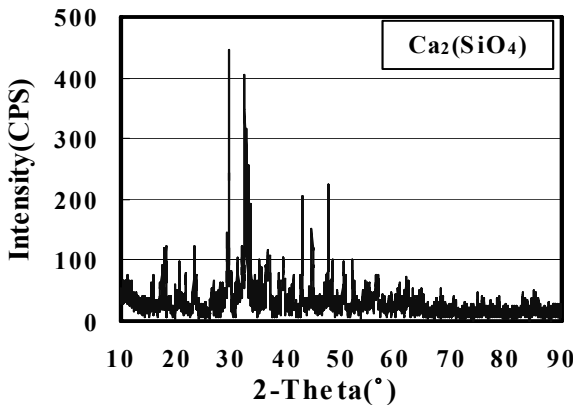


그림 3. 용출시험장치 전개도



(a) Sample 1



(b) Sample 2

그림 4. XRD 분석 결과

키고 그 회절각과 강도는 물질 구조상 고유한 것이므로, X 선을 이용하면 시료에 함유된 결정성 물질의 종류와 양에 관계되는 정보를 알 수 있다. 이와 같이 결정성 물질의 구조에 관한 정보를 얻기 위한 분석방법이 X선 회절법이다.

환원슬래그의 성분을 알아보기 위해 수행한 X-선 회절분석은 DMAX-2500(Rigaku)을 이용하였으며, No.200체를 통과한 분말 상태의 2개 시료에 대해 XRD를 분석하였다. 그림 4는 각각의 시료에 대한 XRD 성분 분석 결과를 나타내며, 분석 결과 환원슬래그의 주요 구성성분은 calcium silicate의 일종인 $Ca_2(SiO_4)$ 가 주요 결정 광물로 나타났다.

4.1.2 X-ray Fluorescence(XRF)

X-선 형광분광 분석기는 X-선관, 시편 노출장치, 분석용 결정판, 검출기로 구성되어 있으며, X-선이 방출되어 시료에 있는 원소들을 들뜨게 하여 특정 X-선을 내게 한다. 이 특정 X-선들은 분석용 결정판에서 Bragg의 회절식에 의하여 파장 별로 분광되어 검출기에서 검출된다. XRF는 이러한 파장들을 분석하여 시료 중의 존재원소를 정성적으로 알아낼 수 있으며, 특정 X-선의 세기를 측정하여 각 원소들의

표 2. XRF 분석 결과

[단위 : At%(Atomic)]

구 분	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃
인천 회백색 시료	61.6	27.3	4.59	4.17	0.63	0.6
인천 푸른색 시료	61.7	24.2	5.53	4.93	1.35	0.69
당진 회백색 시료	66.0	17.4	7.21	2.99	2.34	2.02
group A(9) 평균	65.5	19.3	6.35	3.68	1.52	1.76
group B(10) 평균	64.2	20.9	4.77	3.68	2.84	1.60
전체(22) 평균	63.8	21.8	5.69	3.89	1.74	1.33

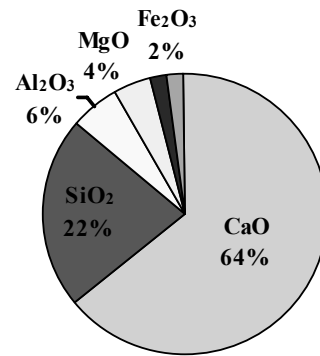


그림 5. 환원슬래그의 구성성분 비율(%)

스펙트럼을 나타냄으로써 정량적 분석이 가능하다.

환원슬래그를 이루고 있는 원소의 종류와 그 양을 측정하기 위해 수행한 XRF 분석은 Axios(Phillips)를 이용하였으며, 표 2와 그림 5에 환원슬래그의 XRF 분석 결과를 나타내었다. 분석에 사용된 시료는 인천 회백색 시료와 푸른색 시료, 당진 회백색 시료, group A, group B이다. group A는 채취장에서 채취한 환원슬래그 시료 9개에 대한 XRF 값을 나타낸 것이며, group B는 당진 제철소에서 제철 과정 중 채취한 환원슬래그 시료 10개에 대한 XRF 값을 나타낸 것이다. 분석 결과, 각 시료의 성분비율은 전체 평균과 어느 정도의 오차를 나타내고 있으나 모든 시료에서 CaO와 SiO₂가 각각 60%, 20% 이상씩 포함되어 있어 환원슬래그의 주요성분으로 분석되었다. 이는 정련과정에서 발생하는 O₂와 S를 제거하기 위하여 코크스와 생석회를 넣게 되는데 이에 따른 영향 때문이라 할 수 있다. 또한, 알루미늄, 마그네슘, 철, 황의 산화물이 1% 이상으로 환원슬래그에 포함되어 있다.

4.1.3 Scanning Electron Microscope(SEM)

환원슬래그의 표면을 분석하기 위해 수행한 SEM분석은 S-420(Hitach)을 이용하였으며, 인천 회백색 시료와 푸른색 시료, 당진 회백색 시료 세 종류의 시료에 대해 1,000배, 3,000

배, 10,000배의 비율로 촬영하였다. SEM 분석결과를 그림 6, 그림 7, 그림 8에 나타내었다.

그림 6의 인천 회백색 시료의 경우에는 입자 크기가 균일하지 않으며 배열이 매우 불규칙한 모습을 볼 수 있다. 또한, 입자 표면이 거칠고 곳곳에 약간의 층상구조를 볼 수 있는 것이 특징이다. 그림 7과 그림 8에 나타난 인천 푸른색 시료와 당진 회백색 시료에서도 입자 크기가 균일하지 않고, 입자 배열이 불규칙한 공통적인 특징을 볼 수 있다. 인천 푸른색 시료는 표면이 둥근 것이 특징이며, 당진 회백색 시료는 곳곳에 침상구조가 눈에 띄는 것과 입자들이 비교적 큰 것이 특징으로 나타났다. SEM 결과상에서 나타난 얼룩 현상은 시료 자체에서 gas가 발생하는 경우나 수분 함유 시

에 전자빔이 흡수되지 않아 발생한 것이다.

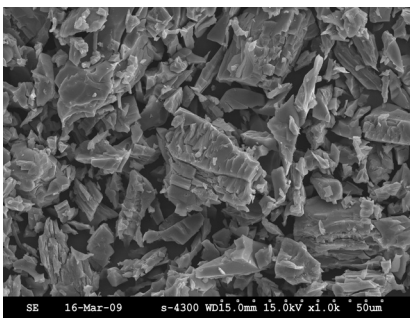
4.2 환경영향평가시험

4.2.1 침출수 분석결과

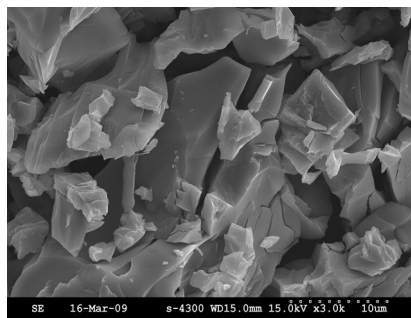
(1) 침출수의 중금속 분석

환원슬래그를 풍화토와 혼합하였을 때의 중금속 검출여부를 판단하기 위하여 4주 동안 용출된 침출수를 각각 15mL 정도씩 PP(polypropylene) test tube에 채취하여 9개 항목(Al, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, Se, Mn, Fe)에 대한 ICP-OES시험을 수행하였다. 그림 9는 용출시험장치에 대해 나타난 것이다.

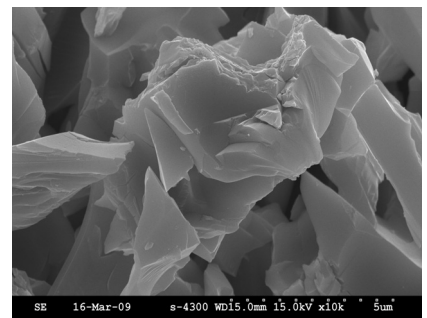
노 건조된 풍화토에 환원슬래그를 질량비 0%, 10%, 20%, 30%로 혼합한 환원슬래그 혼합토를 7일 주기로 순환시켜



(a) 1,000배 촬영

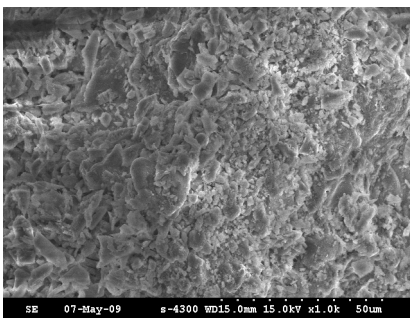


(b) 3,000배 촬영

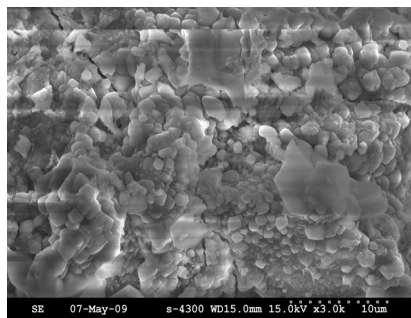


(c) 10,000배 촬영

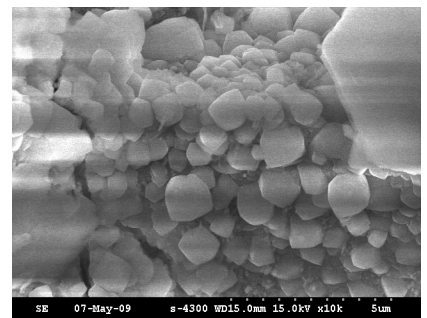
그림 6. 인천 회백색 시료 SEM사진



(a) 1,000배 촬영

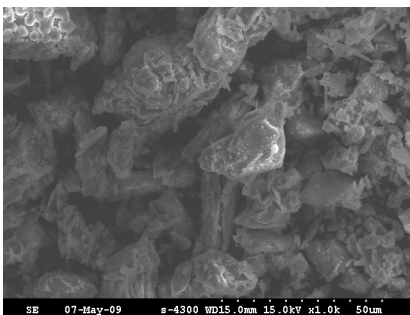


(b) 3,000배 촬영

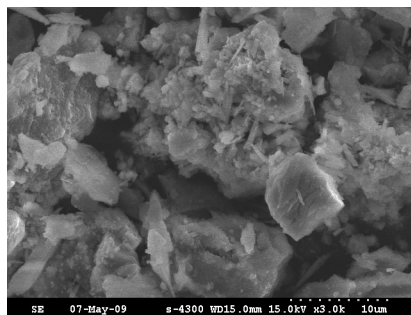


(c) 10,000배 촬영

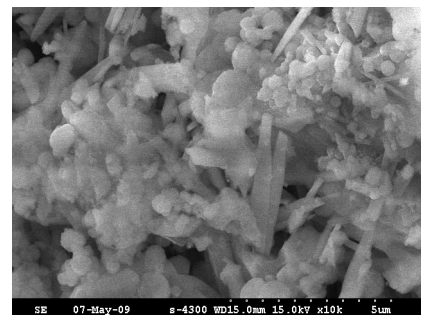
그림 7. 인천 푸른색 시료 SEM사진



(a) 1,000배 촬영



(b) 3,000배 촬영



(c) 10,000배 촬영

그림 8. 당진 회백색 시료 SEM사진

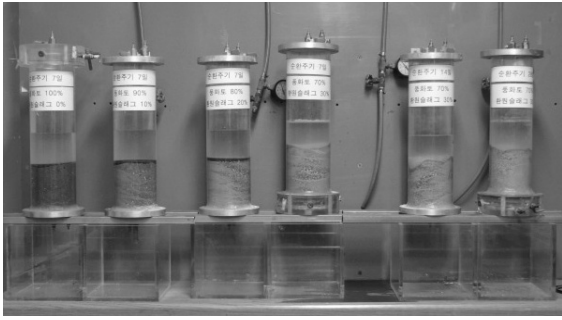


그림 9. 용출시험장치

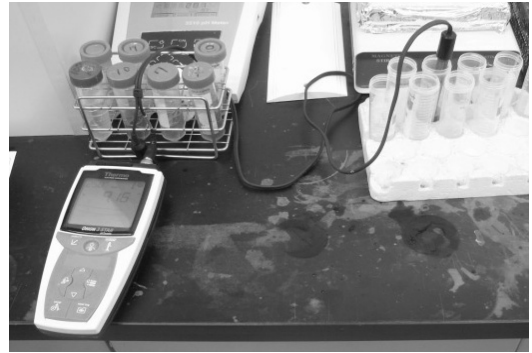


그림 10. pH측정 모습

환원슬래그 혼합율에 따른 중금속검출 영향을 검토하였고, 순환주기에 따른 중금속 오염농도를 확인하기 위하여 7일, 14일, 28일의 주기로 투과수를 순환시켰다. 표 3은 환원슬래그 혼합율과 침출수 순환주기에 따른 중금속 검출량과 법적 기준치와의 비교를 나타낸 것이다.

시험결과에 따르면 중금속 검출량이 알루미늄을 제외한 모든 항목에서 기준치 이하의 결과가 나왔다. 알루미늄의 검출량은 환원슬래그의 혼합율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈으나, 알루미늄은 석회와 함께 시멘트 주성분의 하나로서 폐기물관리법이나 토양오염우려기준에서도 별도로 규제하지 않는다. 다만, 먹는 샘물 수질기준에서 심미적 영향물질로 분류하고 있다. 또한 동일한 혼합율(S30)조건에서 침출수의 순환주기에 따른 중금속 검출량은 뚜렷한 경향을 보이지 않으므로, 중금속 오염물질에 의한 환경오염은 크지 않을 것으로 사료된다.

(2) 침출수의 pH 분석

환원슬래그의 혼합율과 침출수 순환주기에 따라 pH가 어떻게 변화하는지를 알아보기 위하여 용출된 투과수의 pH를 측정하였다. pH는 수소이온[H⁺]농도로 표시하는 지표로 원래 수용액의 산성, 알칼리성 농도를 표시하는 척도이다.

흙을 대상으로 하는 경우, 충분한 수분을 함유하고 있는 경우를 제외하고 흙과 같은 상태의 pH를 측정하는 것은 어렵다. 그러므로 시료에 일정한 증류수를 혼합한 현탁액의 pH를 흙의 pH로 할 수 있다.

흙의 pH가 토목공학에 미치는 영향은 축조된 구조물의 내구성에 관계되는 콘크리트 노화나 강재의 부식문제, 연약지반, 고유기질토 등에서의 지반개량, 산업폐기물의 처리나 무공해화를 위한 공법의 시공 및 효과 등의 검토에 중요한 지표가 된다.

pH시험은 pH미터(Thermo. orion 3 star)법을 이용하였으며, pH측정 모습을 그림 10에 나타내었다. 또한 환원슬래그 혼합율과 순환주기에 따른 pH측정 결과와 그래프를 표 4, 그림 11에 나타내었다.

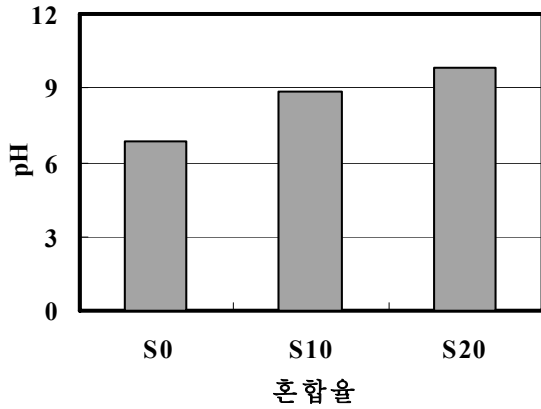
시험 결과에 따르면 혼합율에 따른 pH변화는 혼합율이 증가할수록 약알칼리로 증가하는 경향을 보였으며, 침출수 순환주기에 따른 pH는 일정한 경향이 없이 변화하였으나, 환원슬래그를 혼합한 시료의 수소이온농도는 전반적으로 약 알칼리로 나타났다. 지정폐기물 해당 기준에서는 산 또는 알칼리에 따른 수소이온농도 범위가 pH 2.0 이하이면 폐산, pH 12.5 이상이면 폐알칼리로 구분하여 관리한다. 환원슬래

표 3. 환원슬래그 혼합율과 침출수 순환주기에 따른 중금속 검출량과 법적 기준치와의 비교

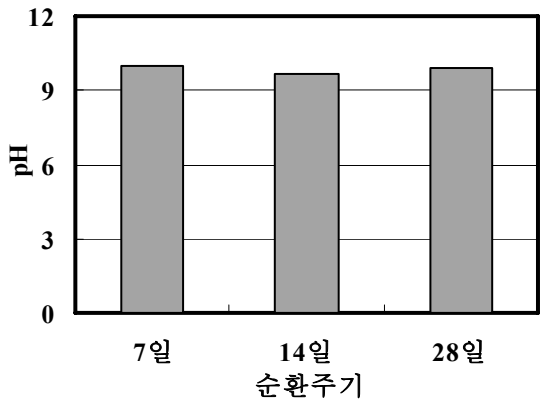
[단위 : ppm]

구분	혼합율	S0	S10	S20	S30			폐기물관리법 1급수(2급수)	먹는샘물 수질기준
	순환주기	7일	7일	7일	7일	14일	28일		
Al		0.013	9.831	30.29	31.25	41.83	29.87	na ¹⁾	0.2
Fe		0.272	0.003	nd ²⁾	nd	nd	nd	2.0(10)	0.3
Mn		2.883	nd	nd	nd	nd	nd	2.0(10)	0.3
Cr		nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.5(2)	0.05
Zn		0.005	nd	nd	nd	nd	nd	1.0(5)	3.0
Cu		0.014	0.159	0.02	0.067	0.227	0.078	0.5(3)	1.0
Cd		nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.2(0.1)	0.005
Pb		nd	nd	nd	nd	nd	0.072	0.2(1)	0.01
Se		nd	0.02	0.071	0.013	nd	0.024	na	0.01

na¹⁾ : not applicable, nd²⁾ : not detected



(a) 혼합율에 따른 pH 변화



(b) 순환주기에 따른 pH 변화

그림 11. pH측정 결과

표 4. 환원슬래그 혼합율과 순환주기에 따른 pH측정 결과

구 분	혼합율	S0	S10	S20	S30		
	순환 주기	7일	7일	7일	7일	14일	28일
pH		6.88	8.85	9.79	9.95	9.63	9.93

그 혼합토의 침출수는 평균적으로 약 9.5정도로 기준치 이내에 만족하므로 지정폐기물에 해당하지 않음을 알 수 있다.

5. 결 론

환원슬래그의 실질적인 재활용 가능성 분야를 고찰하기 위하여 본 연구에서는 환원슬래그의 기본특성을 분석한 후, 토목현장에서 흔히 볼 수 있는 토사와 혼합율 0, 10, 20, 30% 중량비로 혼합하여 환경영향특성을 고찰하였다. 시험 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 환원슬래그를 XRD, XRF를 이용하여 정성·정량적으로 분석한 결과, calcium silicate의 일종인 $Ca_2(SiO_4)$ 가 주요 결정 광물로 나타났으며, CaO와 SiO_2 가 각각 60%, 20% 이상씩 주요성분으로 포함되어 있음을 알 수 있었다. 이는 정련과정에서 발생하는 O_2 와 S를 제거하기 위하여 코크스와 생석회를 넣게 되는데 이에 따른 영향 때문이라 사료된다.
- (2) 환원슬래그 혼합토에 대한 용출시험을 통한 침출수의 중금속 분석결과 침출수 내에서 Al이 다량 검출되었으나, Al은 건강상 유해물질이 아닌 심미적 영향 물질이므로, 폐기물 관리법에서는 따로 규정을 하지 않고 있으며 먹는 샘물 수질기준에서만 규정하고 있다. 따라서 중금속에 의한 오염가능성은 없을 것으로 판단된다.
- (3) 환원슬래그 혼합토 침출수의 pH는 혼합율 0%일 때 pH 6.88로부터 혼합율 30%로 증가함에 따라 pH 10으로 증가하는 것으로 측정되었다. 또한 폐합시스템에서의 순환주기 변화에 따른 pH의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 환원슬래그 혼합토 침출수의 평균 pH값이 지정 폐기물 조건을 만족하지 않으므로 지정폐기물에 해당하지 않음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 신재원(2011), 전기로 제강 환원슬래그 혼합토의 지반공학적 특성, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 16~49.
2. 이문수, 이광찬, 정규향, 허준희, 문영민(2000), 제강슬래그 현장 투수성에 관한 연구보고서, 한국지반공학회, pp. 3~26.
3. 이승한(1996), 보조기층재로서 한국산 전기로슬래그의 특성에 관한 연구, 산업기술연구소논문보고집, Vol. 19, No. 1, pp. 105~112.
4. 이형수, 김수삼, 이송, 정승용, 한상재, 김지용, 김용수(1999), 제강슬래그를 이용한 연약지반 개량기술 개발연구, 대한토목학회, pp. 9~32, pp. 63~96.
5. 임희대(1996), 벤토나이트 혼합율에 따른 제강 슬래그 및 슬러지의 투수특성, 충남대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 11, No. 2, pp. 134~141.
6. Motz, H., Geiseler, J.(2001), Products of Steel Slags an Opportunity to Save Natural Resources, *Waste Management*, Vol. 21, No. 3, pp. 285~293.

(접수일: 2010. 12. 15 심사일: 2011. 3. 3 심사완료일: 2011. 6. 19)