

콘크리트 골재로서의 재활용을 위한 전기로 스테인레스 슬래그의 물성 평가

유광석¹⁾, 한기천¹⁾, 엄남일¹⁾, 안지환¹⁾
한국지질자원연구원¹⁾

Study on physical properties of electric arc furnace stainless slag for recycling as concrete aggregate

Kwang-Suk You¹⁾, Gi-Chun Han¹⁾, Nam-Il Um¹⁾, Ji-Whan Ahn¹⁾

Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources, Minerals & Materials Processing Division¹⁾

요 약

본 연구에서는 콘크리트 잔골재 대체 골재로써의 재활용을 위한 재강슬래그의 특성을 조사하였다. 화학조성과 중금속 용출, 재강슬래그의 soundness 및 모르타르의 압축강도를 측정하였다. 그 결과, 중금속 용출과 soundness는 한국 산업 기준(Korean Industrial Standard)과 한국 환경 기준(Korean Environmental Limit)에 적합하였다. 모르타르의 압축 강도는 재강슬래그의 대체 비율이 커질수록 증가하였다.

1. 서 론

산업 폐기물은 원료로써의 시멘트나 콘크리트 제조 공업에서 상당수 사용되어 왔고, 최근 들어 특히 시멘트와 콘크리트 산업에서 천연 자원의 대체재로서 산업 부산물을 사용하기 위한 연구가 증가하고 있다. 그러나 재강슬래그의 경우, 물리적 측면으로 봤을 때 충분히 콘크리트 혼화재로서의 활용이 가능함에도 불구하고 구체적인 골재로서의 물성에 대한 정확한 연구 보고가 없어 국내에서는 그 사용 예가 거의 없는 실정이다.

대부분의 국외의 많은 연구들은 혼합재나 콘크리트 골재로의 재강슬래그 거동과 물리적 기계적 성질 그리고 재생골재로의 적절한 처리에 초점을 두고 있고 있다. 그러나 재강슬래그의 경우, 골재 대체재로써 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 콘크리트 골재로서의 안정성에 대해 많은 불신을 안고 있다.

2004년 국내의 P사에서 발생하는 재강슬래그를 일부분 잔골재로써 건설 현장에 적용한 예가 있으나 아직까지 정확한 골재 특성에 대해서는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는

재강슬래그를 콘크리트 혼화재인 모래의 대체재로 사용하기 위해 재강슬래그의 화학조성과 광물상, 중금속 용출, 재강슬래그의 soundness, 몰탈의 압축 강도 등 기본적 특성을 조사하였다.

2. 시료 및 실험 방법

2.1 시료

본 연구에서는 철강제조 업체인 국내 P사에서 발생하는 재강슬래그를 이용하였다. 2002년에 약 4 백만 톤의 재강슬래그가 발생하는데 일반적으로 재강슬래그는 파쇄 되어 자력선별에 의해 철 광물은 회수된다. 따라서 본 연구에서는 자력선별 후 남아있는 재강슬래그를 잔골재 대체재로 사용하였다.

2.2 실험 방법

재강슬래그를 취하여 $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 건조시켰으며 $0.075\mu\text{m}$ 의 입자 크기로 분쇄하였다. 그런 다음 화학조성과 광물상을 XRD, ICP 그리고 XRF에 의해 측정하였다.

중금속 용출 시험은 Korean Leaching Procedure 법으로 측정하였는데 5.8-6.3 pH의 수용액에 6시간동안 노출 시켰으며 고액비는 1:10으로 하였다.

Korean Industrial Standard(KS 5105)에 따라 모래를 재강슬래그로 대체한 모르타르의 압축강도를 조사하였다. 재강슬래그와 모래의 대체 비율을 20%와 50%로 하였으며 water/cement 비율을 0.485로 하였다. 압축 강도에 사용된 몰탈은 측정에 앞서 수중양생을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table. 1은 재강슬래그의 화학조성을 나타내고 있다. CaO와 SiO₂는 32.78%와 28.18% 함유하였다. Fe₂O₃는 2.30% 함유하였는데 자력 선별에 의한 철 광물의 대부분이 회수 때문이라고 생각된다. Cr의 함유량은 19,190.6mg/kg 이었고 다른 중금속과 비교하였을 때 매우 높게 나타났다. 그러나 용출시험 결과 0.3mg/L로 용출된 Cr을 제외한 다른 중금속의 용출량은 나타나지 않았기 때문에 일반폐기물로 분리 되었다. 잔골재로 사용하기 위해 screening을 통해 취해진 재강슬래그의 입자 크기는 2.36mm와 0.15mm사이에 존재하였다. 황산나트륨에 의한 재강슬래그의 soundness의 결과는 0.7%를 나타냈다.

Table 1. Chemical composition of EAF slag

Element	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Heavy metals(mg/kg)		
								Cu	Cr	Ni
Content (wt.%)	32.78	1.27	5.26	2.30	2.78	5.97	28.18	85.9	19,190.6	468.7

재강슬래그의 X-ray diffraction pattern을 관찰한 결과 주 광물상은 akermanite, wollastonite, bredigite, gehlenite and magnetite와 같은 silicates 계였고 이러한 결과를 Fig. 1에 나타냈다.

Fig. 2는 20%와 50%로 대체한 모르타르의 압축강도 결과를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 모르타르의 압축강도는 재강슬래그의 대체 비율이 증가할 수 록 증가하였고 50% 대체한 모르타르의 경우, 7일과 28일의 압축강도는 plain에 비해 약 10%의 증가율을 보였다.

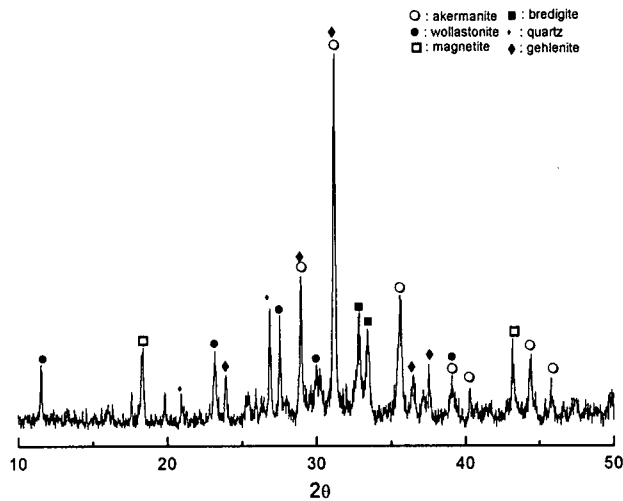


Fig. 1. XRD patterns of EAS slag.

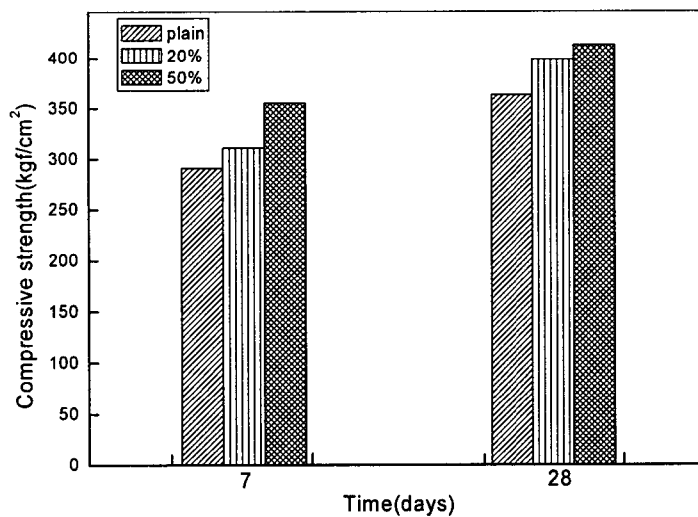


Fig. 2. Compressive strength as a function of time of reference mortar and mortar with 20% and 50% replacement of EAF slag for sand at the curing time of 7days and 28days.

Fig. 3은 재강슬래그가 잔골재 대체재로 사용된 28일 수중 양생된 몰탈의 미세구조를 나타낸 SEM 사진이다. 그림에서와 같이 골재 주위에 needle 형태의 수화물이 다량 관찰되었다. 일반적으로 28일 시멘트 몰탈에서는 이와 같은 침상형의 수화물의 생성은 매우 드문 것이다. 따라서 본 연구에서는 아직까지 보고되지 않은 재강골재의 반응에 의해 침상형의 수화물이 생성되었을 것으로 사료된다. 이에 대한 연구는 향후 연구에서 규명할 예정이다.

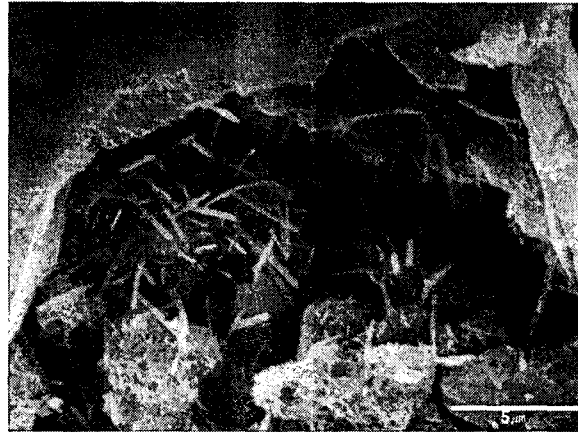


Fig. 3. SEM photograph of hydrates in mortar with 50% replacement of EAF slag at the curing time of 28days.

4. 결 론

1. 재강슬래그의 주 성분은 CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ and MgO로 이루어 졌으며 이러한 성분은 akermanite, wollastonite, bredigite, gehlenite and magnetite의 형태로 존재한다. 재강슬래그는 중금속 용출결과에 따라 일반폐기물로 분류되었다. 황산나트륨을 사용하였을 때 재강슬래그의 soundness 결과 0.7%로 나타나 콘크리트 골재로의 적용에 적합한 것으로 나타났다.

2. 재강슬래그로 대체한 모르타르의 압축강도는 증가하였고 50% 대체한 모르타르를 7일과 28일의 양생한 후 압축강도 측정하였을 때 모래를 사용했을 때와 비교하여 약 10%의 강도 증가율을 보였다.

References

- 1) POSC, "Environmental Progress Report 2003" (2004)
- 2) Mises Frias Rojas, M.I. Sanchez de Rojas, "Chemical assessment of the electricarc furnace slag as construction material: Expansive compounds", Cement and Concrete Research 34, pp. 1881-1888(2004)
- 3) Douglas E, Mainwaring PR. "Hydration and pozzolanic activity of nonferrous slags", Am Ceramic Soc Bull (1985)