

전기로 환원 슬래그를 이용한 연약지반 고화재 개발에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Development of Soft Ground Firming Agent Using EAF Reduction Slag

이강석¹⁾, Kang-Seok Lee, 이윤규²⁾, Yoon-Kyu Lee, 최재석³⁾, Jae-Seok Choi, 한만해⁴⁾, Man-Hae, Han

¹⁾ (주)태영건설 토목기술팀 상무, Division of Civil Technology, Director, Taeyoung construction corporation

²⁾ (주)태영건설 토목기술팀 부장, Department head, Division of Civil Technology, Director, Taeyoung construction corporation

³⁾ 한국건설생활환경시험연구원 방부식기술팀 책임연구원, Corrosion Protection team, Senior Researcher, Korea Conformity Laboratories

⁴⁾ 한국건설생활환경시험연구원 방부식기술팀 연구원, Corrosion Protection team, Researcher, Korea Conformity Laboratories

SYNOPSIS : Most firming agent used in Korea is cement-firming agent. Cement-firming agent absorb water for combination, and then it makes ettringite. Through this chemical process, soft ground is firming by cement-firming agent. Although most cement-firming agent used in Korea made from CSA, it relies on imports. Therefore, the development of soft ground firming agent using new materials is required. In this study, we suggested that EAF reduction slag not used for anything in the steel industry is available for material of soft ground firming agent. If EAF reduction slag is used in soft ground firming agent, it will be possible to solve the problem with treatment of slag and improvement of soft ground.

Key words : EAF reduction slag, soft ground firming agent, dihydrate gypsum

1. 서 론

최근 과학기술의 눈부신 발전과 함께 토목기술도 큰 변혁을 가져와 전문화, 고도화가 요망되고 있다. 더욱이 최근 국내에서는 인천국제공항 건설과 함께 대도시 지하철 건설공사, 서·남해안 지반개량공사 및 항만시설 공사 등 국가건설공사가 대규모로 진행 중에 있어 앞으로 열악한 지반조건과 까다로운 시공여건 하에서의 공사가 건설계의 중요한 이슈로 떠오를 것으로 보인다.

지반을 굴착하거나 구조물을 축조할 경우에는 굴착면의 붕괴나 구조물 기초지반의 침하 등을 고려하여 연약지반을 개량하는 여러 방법들이 사용되고 있다. 이 중 지반고화재를 주입하여 지반의 투수성을 감소시키고 강도를 증대시키는 방법은 가장 간편하면서도 일반적인 방법으로 사용이 되고 있는데, 국내에서 사용되는 지반고화재의 주재료는 CSA계 시멘트로서 전량 수입에 의존하고 있다.

이러한 국내실정으로 인하여 새로운 재료를 활용한 연약지반 고화재 개발이 요구되고 있으며, 본 연구에서는 이러한 새로운 연약지반 고화재의 재료로서 현재 적절한 사용처를 찾고 있지 못하고 있는 철강산업의 전기로 환원 슬래그를 제시하였다. 전기로 환원 슬래그의 급결특성과 석고의 응결시간 조절특성을 접목하여 연약지반 고화재로서의 적용 가능성을 실험을 통해 검증하였다.

2. 전기로 환원슬래그 고화재의 연약지반 고화재로의 활용 가능성

2.1 시멘트계 고화재에 의한 지반개량의 원리

토질안정처리는 흙에 시멘트 또는 시멘트계 고화재를 첨가 혼합한 후, 다짐을 행함으로써 첨가제의 화학적 고화작용에 의해 흙의 안정성을 얻는 것을 말한다. 시멘트계 고화재를 첨가한 안정처리토는 양생일수의 경과와 함께 수화가 진전되고, 토립자의 응집·접착, 수분의 흡착·고용이 이루어져 수화물에 의하여 충전된다. 또, 시멘트량의 증가와 함께 투수계수가 작아지는 경향이 있다. 또한 시간이 경과하면 포졸란 반응이 생겨 토립자의 단립화, 고질경화에 의하여 컨시스턴시가 변화한다. 즉, 액성한계는 저하되고, 소성한계는 증가하여 소성지수가 적어지게 된다.

2.2 전기로 환원슬래그의 수화특성

환원슬래그의 구성성분은 CaO함유량이 가장 많고, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, MgO의 순으로 나타난다. 환원슬래그의 성분조성은 보통포틀랜드시멘트의 성분과 비교적 유사하지만, 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂ 성분의 영향으로 수화반응시 급결하는 특성을 나타낸다. 따라서 이수석고와 같은 응결지연제를 첨가하여 응결시간을 조절할 수 있다면, 시멘트 대체재로서 충분히 활용이 가능할 것으로 보고 있다. 본 연구에서는 전기로 환원슬래그와 이수석고를 혼합한 고화재를 시멘트계 고화재의 대체재로 선정하여 활용 가능성에 대하여 평가하는 실험을 수행하였다.

3. 전기로 환원슬래그 지반 고화재 실험

3.1 실험재료

고화재의 주재료인 전기로 환원슬래그는 국내 전기로 업체인 I사에서 배출되는 것을 사용하였으며, 대기중 수분에 의해 분산화 되기 전 괴상의 환원슬래그를 조크러셔, 콘크러셔, 룯드밀로 단계적으로 150 μ m 까지 분쇄하여 시료를 제조하였다. 본 실험에서 사용된 전기로 환원슬래그의 화학성분은 표 1과 같다.

표 1. 전기로 환원 슬래그 성분 분석

구분	성분 함량 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
Slag	3.75	29.25	0.63	54.31	7.58	2.57	-

3.2 실험방법

지반고화재의 주성분인 전기로 환원슬래그의 지반개량 효과를 파악하고 최적의 배합비율을 구하기 위한 실험을 계획하였다. 공시체는 \varnothing 7cm × 14cm 크기의 원통형 공시체를 사용하였으며, 양생기간 1, 3 일에서의 압축강도 시험을 분당 1mm 재하하중으로 실시하였다. 실험 변수는 전기로 환원 슬래그 치환율과 이수석고 첨가율로 하였으며, 이를 통하여 고화재 최적 배합비를 얻고자 하였다. 실험체 일람은 아래와 같다.

표 2. 실험체 일람

No.	시험체명	환원슬래그 치환율 (연약지반 대비 %)	이수석고 첨가량 (슬래그 대비 %)
1	Plain	0%(OPC사용)	0%
2	R-10	10%	0%
3	RG-10-5		5%
4	RG-10-8		8%
5	R-20	20%	0%
6	RG-20-5		5%
7	RG-20-8		8%

3.3 실험결과 및 분석

전기로 환원 슬래그의 연약지반 고화재로서의 활용 가능성을 확인하기 위하여 지반 배합 시험을 실시하였으며, 각 실험 변수별 1, 3일 압축강도 측정 결과는 아래와 같다.

표 3. 변수별 1, 3일 압축강도 결과

구 분	1일 압축강도 (MPa)	3일 압축강도 (MPa)
Plain	0.022628	0.035138
R-10	0.311426	0.555973
RG-10-5	0.414208	0.617405
RG-10-8	0.308774	1.084479
R-20	0.322761	0.511894
RG-20-5	0.391941	0.675068
RG-20-8	0.281841	0.787079

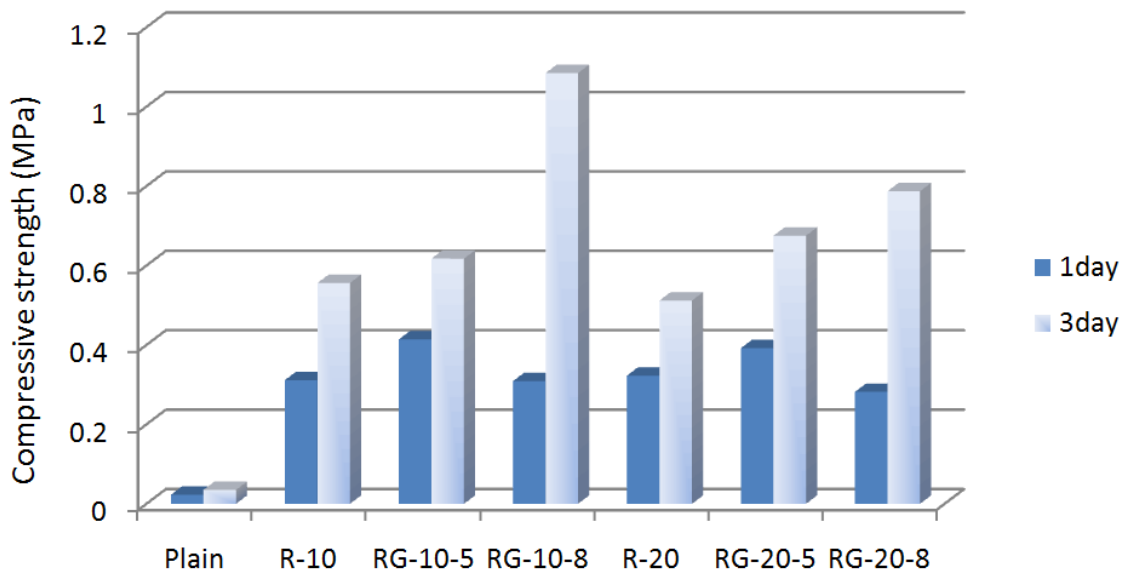


그림 1. 변수별 1, 3일 압축강도결과

전반적으로 3일 압축강도가 0.5~0.8 MPa 내외의 분포를 보임으로써 일반적인 고화재의 28일 강도인 1 MPa의 50~80% 수준을 나타냈다. 이를 통하여 전기로 환원 슬래그 고화재가 28일 경과시 충분한 강도를 나타낼 것으로 예상할 수 있다. 특히 RG-10-8 실험체의 경우 3일 압축강도가 1 MPa를 상회하는 값을 보여 28일 후 충분한 압축강도 확보가 가능할 것으로 보인다.

환원슬래그 치환율 부분을 보면, 연약지반 대비 10% 치환의 경우가 가장 적합할 것으로 보인다. 20%의 경우가 10%의 경우보다 강도가 증진된 모습을 보이긴 하지만, 증가된 슬래그 치환량에 비하여 강도 증진수준이 미비하기 때문에 경제성과 고화재 혼합 시공성 측면에서 적합하지 못하다고 볼 수 있다.

이수석고의 첨가량의 경우에는 8% 첨가량이 가장 적절할 것으로 보인다. 대부분의 실험체의 경우에서 이수석고의 첨가량에 따라 압축강도의 결과가 선형적으로 증가하는 모습을 볼 수 있었다. 이는 이수석고의 응결지연효과를 통해 환원슬래그의 급결특성이 억제되어 초기강도가 효과적으로 발현이 된 것으로 사료된다. 또한 본 실험에서는 이수석고 첨가율을 8%까지로 제한을 두었지만 이후 추가적인 실험을 통하여 경제성과 효율성을 감안한 적절한 이수석고 첨가율에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

4. 결론

전기로 환원 슬래그의 급결특성과 석고의 첨가를 통한 응결시간 조절특성을 접목하여 연약지반 고화재로서의 개발을 하고자 하였으며, 전기로 환원 슬래그 연약지반 고화재 적용 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전기로 환원 슬래그 연약지반 고화재 적용성 평가 실험 결과에서 일반적인 고화재의 28일 강도를 상회하는 값을 보여, 그 적용 가능성을 충분히 확인할 수 있었다.
- 2) 환원슬래그 치환율은 치환량에 따른 경제성과 고화재 혼합 시공성 측면을 종합적으로 고려해 볼 때 10%가 가장 적합할 것으로 보인다.
- 3) 이수석고 첨가율이 증가함에 따라 이수석고의 응결지연효과를 통해 환원슬래그의 급결특성이 억제되어 압축강도가 선형적으로 증가하는 모습을 확인 하였다. 또한 이수석고 첨가율 8% 이상에서의 효율성과 경제성 평가에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 철강 용융슬래그 기능재료 제조기술 개발(10035222)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권호진, 정기룡(2003), “사질토지반 개량을 위한 간편 고화재의 개발”, 대한토목학회 정기학술대회
2. 안동욱 외(2007), “급결성 유동화 처리토의 최적 고화재 선정에 대한 실험적 연구”, 대한토목학회 정기학술대회
3. 천병식 외(2008), “연약해성토의 표층안정처리를 위한 최적고화재조합 선정에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술대회