

건설산업용 재료로서의 활용을 위한 제강슬래그의 특징

Properties of Steel Slag as Construction Material



김진만*
Jin Man Kim



유정훈**
Jung Hoon Yoo



곽은구***
Eun Gu Kwak

1. 서언

철강슬래그는 제조공정에 따라서 고로슬래그와 제강슬래그로 분류되며, 제강슬래그는 전로슬래그와 전기로슬래그로 구분된다. 이와 같이 다양한 공정에서 발생하는 슬래그는 무기광물 조성을 가지고 있지만, 성분상의 차이가 있다. 본 고에서는 철강슬래그 중 재활용이 활발히 이루어지고 있는 고로슬래그를 제외한 제강슬래그를 대상으로 그 성분과 특성을 알아보고, 재활용 과정에서의 문제점과 그 해결 방안에 관해서 제안하고자 한다.

2. 제강슬래그의 특성

(1) 화학 조성

일반적으로 철강슬래그는 CaO 및 SiO₂를 주성분으로 하고, 기타 전로슬래그는 FeO, MgO, MnO 등을 함유하고 있다. 이러한 성분은 보통의 암석, 광물 등의 조성과 일치하는 것이며, 화학적으로 일반적인 퇴적암 또는 포틀랜드 시멘트나 콘크리트와 동일한 알칼리성을 나타낸다. 표 1에

* 공주대학교 건축학부 교수
Professor, Kongju National University
E-mail : jmkim@kongju.ac.kr

** (주)삼표 기술연구소
Sampyo Co. R&D Center

*** 곽은구 / 공주대학교
Kongju National University

각종 슬래그의 화학분석 예를 나타내었다.¹⁾

(2) 광물 조성

① 전로슬래그

전로슬래그의 주요 구성광물은 Dicalcium silicate상[β-Ca₂(SiO₄, PO₄)], Tricalcium silicate상[(Ca, Mg, Mn, Fe)₃SiO₅], Dicalcium ferrite titanate [Ca₂(Al, Fe)₂O₅-Ca₃TiO₂O₇], 및 Lime상[Ca, Mg, Mn, Fe]O이다. Lime상은 전로슬래그 중에 0~10% 함유되어 있고, 이 중 Free CaO와 Free MgO가 수화반응을 통해 체적이 팽창해 균열을 발생시킨다.²⁾

② 전기로 산화슬래그

전기로 산화슬래그의 주요 구성광물은 Dicalcium silicate상[β-Ca₂(SiO₄, PO₄)], Calcium aluminate(12CaO·7H₂O)이고, Free CaO, Free MgO 등의 불안정 광물은 미량이다. 이와 같이 전기로 산화슬래그는 팽창붕괴시킬 만큼 팽창성 물질을 다량으로 함유하고 있지 않으므로, 전로슬래그와 비교하면 콘크리트용 골재로서 문제는 적다.

(3) 용출 시험 결과

각종 슬래그의 용출시험결과를 표 2에 나타내었다. 용

1) 김형석 외, 제강 slag 자원화 기술, 제강슬래그 활용 기술, 1998

2) 김진만 외, 아토마이징 공정에 의한 급냉 제강슬래그의 특성, 콘크리트학회지, 2007.8

표 1. 철강슬래그의 화학적 조성

구분 화학 조성(%)	고로 슬래그	전로 슬래그	전기로 슬래그		점토	안산암	포틀랜드 시멘트
			산화	환원			
SiO ₂	33.8	13.8	17.7	27.0	59.6	59.6	22.0
CaO	42.0	44.3	26.2	51.0	0.4	5.8	64.2
Al ₂ O ₃	14.4	1.5	12.2	9.0	22.0	17.3	5.5
T-Fe	0.3*	17.5	21.2	1.5	-	3.1*	3.0**
MgO	6.7	6.4	5.3	7.0	0.8	2.8	1.5
S	0.84	0.07	0.09	0.50	0.01	-	2.0**
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.1	0.2	-
TiO ₂	1.0	1.5	0.7	0.7	-	0.8	-

주) * : FeO, ** : Fe₂O₃, *** : SO₃

표 2. 철강슬래그의 용출 시험 결과

구분	항목	단위: mg/ℓ					
		Cd	Hg	Cr	Pb	As	Se
고로슬래그		ND	ND	ND	ND	ND	ND
전로슬래그		ND	ND	ND	ND	ND	ND
전기로 슬래그		ND	ND	ND	ND	ND	ND
검출 범위		0.01 이하	0.0005 이하	0.05이하	0.01이하	0.01이하	0.01이하

ND : No detected

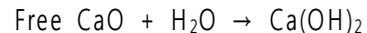
출수 중에는 유해물질이 함유되어 있지 않으므로, 매립처분 기준, 토양환경 기준을 만족하는 것을 알 수 있다.

(4) 제강슬래그의 팽창

제강슬래그 중의 불안정한 성분은 Free CaO 및 Free MgO, C₂F 및 β-C₂S 등으로 나눌 수 있으며, 이들에 의해 제강슬래그가 팽창 붕괴될 수 있다. 그러나 제강슬래그가 팽창 붕괴되는 주원인은 Free CaO의 수화에 의한 팽창 붕괴가 가장 일반적이다.

① Free CaO에 의한 팽창 반응

선철 및 고철 등의 제강원료를 정련할 때 부원료로 사용되는 생석회(CaO)는 슬래그화가 충분히 되지 않으면 불안정한 상태로 종종 슬래그 중에 잔존하며, 물과 반응하면 다음의 반응식처럼 체적은 약 2배로 팽창되므로 슬래그의 팽창 붕괴를 가져온다.



이러한 제강슬래그는 대기 중의 수분 등과 반응하여 팽창 붕괴를 반복하면서 안정화 된다.³⁾ 제강슬래그의 팽창 붕괴성은 그림1과 같이 Free CaO에 존재와 분포 상태에 따라 차이가 있다. 그림에서 a는 Free CaO가 적고 또한 슬래그 내부에 존재하는 경우로 대기 중의 수분과 접하지 않

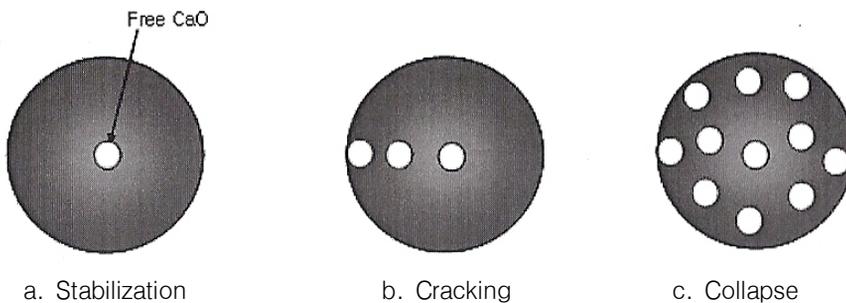


그림 1. Free CaO의 팽창 붕괴성

3) 대한토목학회, 전기로슬래그를 사용한 도로포장 설계·시공지침, 1997

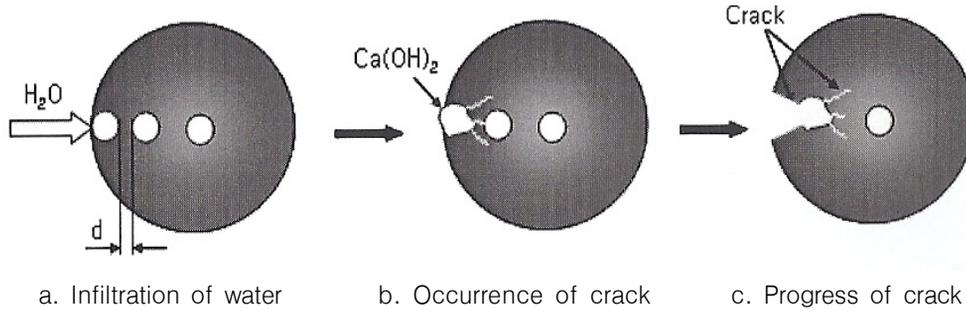


그림 2. 철강슬래그의 팽창 모델

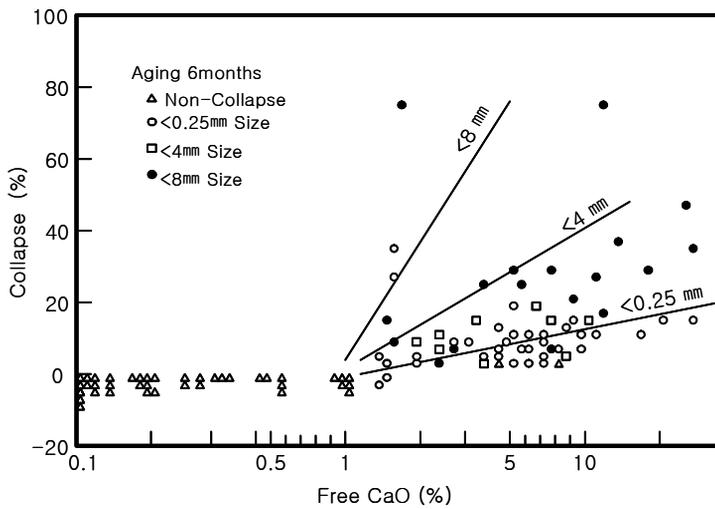


그림 3. 슬래그의 유리석회(Free-CaO) 양과 팽창 붕괴의 상관성

기 때문에 안정한 상태라 할 수 있다. 그림 b의 경우 Free CaO가 적지만 일부가 대기와 접하고 있기 때문에 균열이 생기며, 시간이 경과함에 따라 안정화 상태로 된다. 그림 c의 경우 Free CaO가 많이 때문에 팽창 붕괴하여 시간이 경과함에 따라 안정한 상태로 된다.

그림 1의 그림 b를 세분화하여 제강슬래그 골재의 팽창에 의한 균열 성장을 나타내면 그림 2와 같다. 수화될 수 있는 제강슬래그 내의 Free CaO의 분포가 그림 a와 같고 가정할 경우 Free CaO의 거리가 짧을수록 수화 반응에 유리하여 에이징처리 시 진척도가 빠를 것으로 추측해 볼 수 있다. 즉 그림 b와 같이 초기에 H₂O와 반응한 CaO가 Ca(OH)₂로의 변화에 의한 팽창으로 주변의 취약부분으로 부피 팽창이 일어나면서, 그림 c와 같이 미세균열을 발생시키는 등의 구조 변화가 일어날 것이다. 이러한 과정을 통해서 발생된 균열들은 H₂O의 전파 통로가 될 것이며, 이 균열들이 주변의 Free CaO와 연결될 경우 수화반응은 연쇄적으로 급격하게 일어날 것으로 추측된다. 이러한 일

련의 반응은 Free CaO의 간의 거리가 짧을수록 확률이 높아질 것이다.⁴⁾

제강슬래그의 Free CaO는 전로슬래그의 경우 약 0.1~20%로 편차가 크며, 전기로슬래그

는 약 0.3% 내외로 상대적 팽창량은 전로슬래그보다 작다. 따라서 그림 3에 나타난 전로슬래그의 붕괴와 Free CaO의 함량과의 관계를 보면 Free CaO 함량이 1% 이상일 때 팽창과괴하는 경향을 보여주고 있다.⁵⁾⁶⁾ 최근 Free CaO의 함량관계를 나타내기 위해서 CaO/SiO₂의 염기도 개념이 도입되었으며 그 비율이 2.0이상 일 경우 슬래그가 수분과 반응 시 팽창붕괴 위험이 있다고 보고되고 있다.

② Free MgO에 의한 팽창 반응

제강슬래그의 Free CaO의 팽창은 빠르게 진행되는 반면에 Free MgO의 팽창은 느리게 장기간에 걸쳐 진행되는 것으로 알려져 있으나 명확히 규명되어 있지 않다. 전로슬래그의 Free MgO에 대해서는 장입된 돌로마이트(CaCO₃·MgCO₃) 중의 마그네시아가 Free MgO의 형태로 슬래그에 중에 석출되는 것으로 알려져 있다. 현재 팽창성에 관하여 연구 중에 있으나 전기로슬래그의 Free MgO는 약 0.003%이기 때문에 팽창성은 거의 없는 것으로 보고되고 있으며 Free CaO와 비교하면 그 영향은 매우 적다.

③ β-C₂S에 의한 팽창반응

전로슬래그 β-C₂S 함량은 약 37% 정도이지만, 수경성이 활발하지 않은 것으로 보고되고 있다. 그러나 수분이 존재하는 환경에서 전로슬래그 중의 β-C₂S는 수화반응이 촉진되어 재령과 함께 서서히 그 양이 저하되고 3개월 재령 이후 전로슬래그 중의 공간에 C-S-H 겔이 발생한다고

- 4) 유정훈, 축징에정 처리 제강슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 특성 평가, 2002
- 5) 조성현, 급냉제강슬래그 잔골재를 사용한 특수 모르타르 및 콘크리트의 개발과 실용화 방안, 2005
- 6) 각종산업폐기물의 콘크리트용 재료로서의 적용성에 관한 강습회(日本콘크리트工學九洲支部) 2000. 11. pp. 41

한다. 또한 전로슬래그의 수산화칼슘은 공기 중 에이징 3개월까지는 증가하지만 6개월 이후에는 감소하는 경향을 나타낸다. 탄산칼슘도 에이징 기간과 함께 증가하는 경향을 나타내며 이 반응은 잔입자일수록 더 활발하다고 보고되고 있다. 전기로슬래그 β - C_2S 의 함량은 미량으로 이에 따른 수경성 반응은 거의 없는 것으로 보고되고 있다.

④ Fe부식에 의한 팽창반응

제강슬래그는 제강조업 시 불어주는 산소가 용선내의 불순물뿐만 아니라 Fe도 산화시키고 산화된 Fe가 산화물 형태로 슬래그화 되어 존재하게 된다. 전로조업 후 용광과 슬래그를 분리하는 과정에서 완벽하게 분리되지 않기 때문에 슬래그 내에 금속 Fe도 존재하게 된다. 이와 같이 제강슬래그의 철분은 금속 및 화합물형태로 존재하며, Fe 중량기준으로 약 20~30%를 차지한다. 제강슬래그 내에 철 성분은 수분과 공기 중의 산소가 작용하여 Fe_2O_3 와 $Fe(OH)_2$ 가 생성되어 붉은색을 띠게 되며, 제강슬래그를 매립이나 성토용 골재로 사용 시 침출수가 붉은색을 띠게 되는 원인이 된다. 또한, 콘크리트용 골재로 사용 시 철 성분이 부식하게 되면 부피팽창을 일으킬 수 있다. 그림 4는 부식에 의한 철의 체적 팽창을 나타낸 것으로 최대 6배까지 체적이 팽창하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 그러나 철 성분은 제강슬래그의 에이징 과정에서 일반적으로 산화되기 때문에 에이징 후에는 큰 문제가 없는 것으로 보고되고 있다.

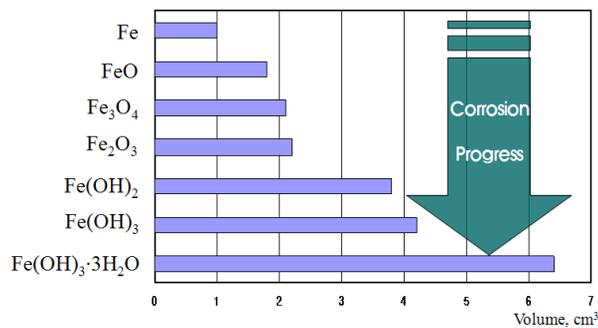


그림 4. Fe의 부식에 의한 용적 팽창

3. 제강슬래그의 재활용 현황

(1) 전로슬래그

전로슬래그는 제강용 용선의 예비 처리 후 배제시키는 용선 슬래그와 용선의 취련 후 배제시키는 용선 슬래그로 구분하며, 냉각장에서 수냉 또는 공냉 처리하여 괴상의 슬래그를 만든다. 제강슬래그는 일반적으로 20% 이상의 철

금속을 포함하고 있기 때문에 고로슬래그에 비해 높은 비중을 가지고 있다. 전로슬래그 중의 금속철 등 유가자원을 회수하기 위해 파쇄자선헌비를 유지하여 정광분, 분 슬래그 등을 회수하고 있으며, 이렇게 회수된 물질은 스크랩, 철광석 및 석회석($CaCO_3$) 대용으로 사용된다. 이 과정에서 생기는 5~15mm의 슬래그는 다량의 철 성분을 함유하고 있어 시멘트 공장의 철원으로 공급하고 있다. 한편 전로슬래그의 마모 및 압축에 대한 저항특성 때문에 도로용 미끄럼 방지재로 사용이 증가추세에 있다. 그러나 전로슬래그는 Free CaO에 의해 그 자신이 가지고 있는 팽창 붕괴의 불안정성 때문에 콘크리트용 골재로 사용하지 못하며 재활용 한계를 보여주었다. 최근에는 전로슬래그의 활용기술 개발에 따라 약 6개월에서 1년간의 에이징 과정을 거친 후 골재로서 활용하는 기술이 개발되고 있다.⁸⁾

표3은 전로슬래그의 처리 현황 나타낸 것으로 2005년 전로슬래그 발생량은 540만 톤/년으로 재활용률은 100%에 이르고 있지만, 전로슬래그의 활용률은 고로슬래그에 비해 부가가치가 낮지만 시멘트용 원료로의 사용은 약간씩 증가하는 추세에 있다. 또한 도로용 기층재의 개발이 최근에 활발히 진행 중에 있으며, 성토용으로의 재활용이 급격히 증가하는 추세이다. 향후 전로슬래그의 활용을 지속적으로 높이기 위하여 폐수정화제, 갈륨비료, Sand Compaction 및 복합노반재 등의 용도개발이 진행 중에 있다.

(2) 전기로슬래그

전기로에서는 전로와는 달리 주원료로 고철을 사용하는 것으로 외부에서 열을 가하여 원료를 용해하여 정련한다. 전기로의 특징은 로 내의 분위기를 산화성, 환원성으로의 자유로운 변화가 가능하며 이 때 각각의 경우에 발생하는 슬래그가 산화환원슬래그이다. 철강협회의 자료에 의하면 국내 전기로 업체의 2005년 전기로슬래그 발생량은 377만 톤/년으로 재활용률은 98.4%에 이르고 있지만 표 3과 같이 대부분이 부가가치가 낮은 토목용이나 성토용으로 활용되고 있다. 전기로슬래그의 물리적 특성은 밀도가 자연사보다는 크고 안정성과 흡수율이 양호한 것으로 나타나 있다. 또한, 팽창률은 10% 이하로 팽창붕괴성이 낮기 때문에 대부분이 토목성토용으로 재활용되고 있다.⁹⁾

7) 김진만 외, 아토마이징 공정에 의한 급냉 제강슬래그의 특성, 콘크리트학회지, 2007.8

8) 한국전력공사, 풍쇄슬래그를 이용한 방사선 차폐콘크리트 개발, 보고서, 2003

9) 배영오, 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율에 따른 콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구, 2005

표 3. 전로 슬래그의 재활용 현황

구분	시멘트용	포장용	복합노반재	재이용	기타	합계
총량(1,000t)	83	1,958	1,505	1,270	72	5,396
비율(%)	1.7	40.0	30.8	26.0	1.5	100

표 4. 전기로 슬래그의 재활용 현황

구분	시멘트용	포장용	복합노반재	비료	제방	재이용	콘크리트 제품	기타	합계
총량(1,000t)	4	589	2,215	106	155	88	31	202	3,708
비율(%)	0.1	17.4	65.3	3.1	4.8	2.6	0.9	6.0	98.4

4. 제강슬래그 재활용률 향상 방안

철강슬래그의 사용상의 제약요인 중 가장 중요한 것은 체적안정성이다. 체적 안정성을 저해하는 요인으로는 유리석회, 유리마그네슘, 산화철 등이며, 이들을 안정화 하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다.

(1) 제강슬래그의 안정화 기술

팽창붕괴성 있는 제강슬래그를 도로 및 콘크리트용 골재로 재활용하기 위해서는 제강슬래그를 충분히 안정화시켜야 한다. 제강슬래그를 안정화시키는 방법으로는 에이징 처리, 급냉처리, 개질처리 등 다양한 방법들이 있다.

① 에이징 처리

에이징 처리의 가장 일반적인 방법은 그림 5와 같이 고온의 제강슬래그를 서냉시킨 후 적절한 입도로 파쇄한 다음 사용 전에 대기 중에 방치하여 인위적으로 Free CaO를 수분에 노출함으로써 Ca(OH)₂로 변화시켜 사용 중에 팽창붕괴현상이 발생하지 않도록 사전 수화반응을 유도하는 공기 중 에이징 방법이다.

그러나 팽창이 안정하기까지 전로슬래그의 경우 약 6개월 이상, 전기로슬래그의 경우 3개월 이상을 필요하고 Free CaO의 함량이 많은 경우에는 더욱 장기간 시간을 요한다. 수중 및 온수 중 에이징 처리는 공기 중 에이징 처리에 비해 시간을 단축시키지만 수중 에이징은 슬래그



a. dumping



b. cooling



c. sizing



d. aging



e. crushing



f. sorting



g. aging



h. shipping

그림 5. 공기 중의 서냉 처리



그림 6. 아토마이징 공정에 의한 급냉 처리

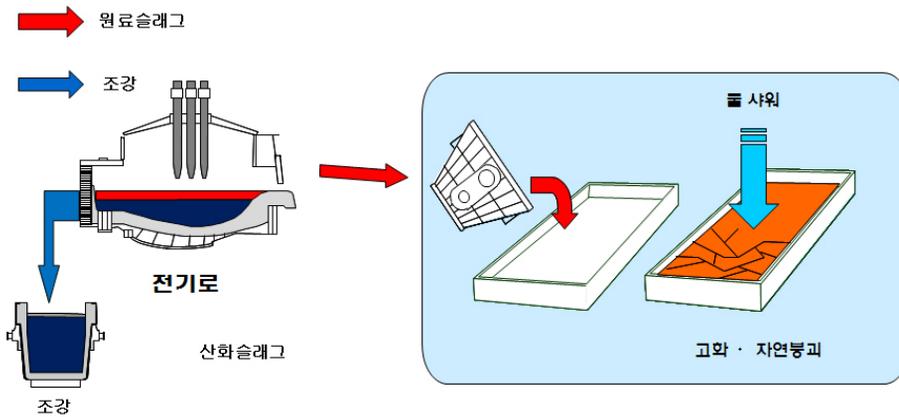


그림 7. 팬과 물에 의한 급냉 처리

의 균질화에 문제가 있으며, 온수 에이징의 경우에는 일부에서 실시되고 있지만 비용 등의 문제로 널리 실용화되지는 못하고 있다. 증기 에이징은 공기 중 에이징에 비교하여 전로슬래그의 팽창붕괴 시간이 약 1/30로 단축되고, 수침 팽창량이 0.58% 이하로 되어 도로용 골재로서 사용가능하며, 한정된 부지를 유효하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 오토클레이브에 의한 에이징은 제강슬래그를 고온고압의 증기를 이용하여 수화반응을 촉진시키는 방법이지만 이 두 공법은 처리비용이 고가이고, 1회 처리량이 적은 점에서 문제가 되고 있다.

② 급냉 처리

그림 6의 급냉처리는 Free CaO 등에 의한 팽창붕괴 방지를 목적으로 용융상태의 슬래그를 고속의 공기로 아토

마이징 하거나 고속 회전하는 날개 달린 드럼에 주입하여 비산시켜 급냉시키는 방법이며, 이때 슬래그는 표면장력에 의해 구형화된다.¹⁰⁾ 또한 다른 방법으로 그림 7과 같이 두꺼운 팬에 슬래그를 야적하고 물을 분사하는 방식으로 급냉화시킨 후 고화된 슬래그를 파쇄하는 방법이 있다.¹¹⁾ 제강슬래그 조성용 원료로서는 주로 석회(CaO), 석회석(CaCO₃), 형석이 사용되기 때문에 슬래그는 주로 Fe₂O₃와 CaO로 이루어져 있다. 이로 인해 염기성이 강한 CaO와 산성이 강한 Fe₂O₃가 용융상태에서 SiO₂, MgO와 용융되어 적당한 규산도를 유지하고 있다.

슬래그는 서냉 할 때는 일반적인 경우 각기 이온들은

10) 오옥수, 제강슬래그 내의 지금회수 방법, 1996

11) Hoshino Ltd., 전기로슬래그의 유효이용에 관한 국제 심포지엄 자료집, 2008

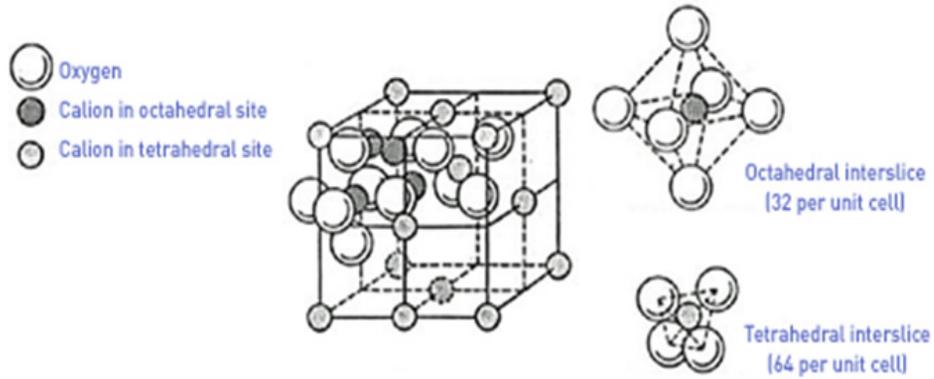


그림 8. 급냉 처리에 의한 스피넬 구조

응고되면서 격자의 분자가 응집하여 결정체가 석출되지만 고온의 용융상태 중에서 $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Mg}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 형태의 복합 산화물인 슬래그를 고속의 공기로 급냉하게 되면, 그림 8과 같이 스피넬(Spinel)형인 2개의 산화물과 3개의 산화물의 복합체를 형성하게 된다. 스피넬 구조의 새로운 구조식은 AB_2O_4 의 화합물(A와 B는 금속 원소)로 볼 수 있는 대표적인 결정 구조형의 하나이며 정8면체의 외형을 띄고 있는 특징을 가지고 있다. 즉, 이 결정은 입자 격자에 속하며, 산소원자는 거의 입방 최밀 패킹으로 충전되어 있어 이들의 산소사이에는 8면체형 속에서 6개의 산소에 포위된 B원자가, 또한 4면체형에 4개의 산소에 의해 포위된 A원자가 들어 있는 일반적인 스피넬형이다. 원래 스피넬이라는 것은 팔면체 결정의 MgAl_2O_4 를 주성분으로 하는 침적석을 의미하는 것이다. 이러한 결정체는 천연적으로 많으나 인공적으로도 얼마든지 만들 수가 있으며, 이들의 성질은 대체적으로 경도가 2.5~8.0이며, 유리 같은 광택을 가지고 있고 굴절률이 높으며 아주 견고하고 내식성과 내풍화성이 강한 일종의 결정체로 된다.

모든 화학반응은 이온의 이동 또는 전자의 이동으로 이루어지는데 이러한 스피넬형의 복합 산화물 표면을 이루게 되면 이온의 이동이 어렵게 되어 안정된 화합물 상태가 되면, 풍화 등 물리·화학적 외부의 파괴 요인에 대한 저항이 커지면서 원래 상태를 유지할 수 있다.

③ 개질처리

개질방법은 제강슬래그 Free CaO가 존재하지 않도록 하는 방법이다. 즉 Free CaO를 반응시켜 다른 화합물을 형성할 수 있도록 용융상태의 제강슬래그에 첨가제를 투입시키거나 산소를 불어 넣은 등 Free CaO를 충분히 슬래그화하여 안정한 광물로 만드는 방법이다.

이러한 첨가제로서는 모래, 폐주물사, 적토, 알루미늄이

트게 폐내화물 등이 있으나 첨가제를 용융슬래그 내에 투입하여 Free CaO와 반응을 시켜야 하므로 첨가량이 많은 경우 용융상태를 유지하기 위한 추가 열원을 필요로 하게 되는 고가의 안정화 방법이다. 이 방법은 안정화 자체는 매우 신뢰성이 있지만, 일반적으로 처리량이 적고 처리단가가 높으며, 제조되는 강의 생산 및 품질이 우선이기 때문에 아직 실용화 되지 않고 연구 단계에 있는 실정이다. 따라서 이 방법을 현실화하기 위해서는 추가적인 열원의 공급이 필요치 않거나, 최소화할 수 있는 방법을 개발하는 것이 필수적이고, 또한 값싼 첨가제를 사용할 수 있어야만 한다.¹³⁾

(2) 제강슬래그의 재활용에 있어서의 제도 보완

1997년 제정된 「철강슬래그 및 석탄재 배출 사업자의 활용 지침」은 2004년도와 2009년도 개정되면서 고로와 제강슬래그를 통합쳐서 철강슬래그의 재활용 용도를 설정하고 있다. 그러나 이러한 방법은 제강슬래그가 고로슬래그와 성분상 큰 차이가 있는 것을 고려하면, 적절치 않은 것이며, 1997년도 판의 분류 방법이 더 합리적일 뿐만 아니라 철강슬래그의 재활용률 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.¹²⁾

또한 사용용도별 슬래그의 숙성 방법에서 제시하고 있는 숙성방법은 기존 제강슬래그를 서냉과 살수에 의해 단시간내에 에이징하는 방법이기 때문에 골재를 신뢰성 있게 안정화 한다고 판단하기 어려운 점이 있어 보완이 필요할 것으로 판단된다.

12) 환경부고시, 철강슬래그 및 석탄재 배출 사업자의 재활용 지침, 2009년도 8월 21일

표 5. 연도별 지침 안에서의 철강슬래그 재활용 용도

	1997년도	2004년도	2009년도
고로 슬래그	시멘트원료(혼화제, 중량제) 규산질 비료원료 벽돌용 골재 성토용 골재 복토용 골재 호안공사용 골재 공유수면매립지뒷채움재 도로용 골재 요업용 골재 배수층 골재 옹벽 및 뒷채움재 기초잡석용	가. 시멘트원료(혼화제, 중량제) 나. 콘크리트용 혼화제 다. 규산질 비료원료 라. 벽돌용·콘크리트용 골재 마. 성토용 골재 바. 복토용 골재 사. 호안공사용 골재 아. 공유수면매립지 뒷채움재 자. 도로용·아스콘용 골재 차. 요업용 골재 카. 배수층 골재 타. 미끄럼방지용 골재 파. 옹벽 및 뒷채움재 하. 기초 잡석용	가. 시멘트원료(혼화제, 중량제의 용도로 서 고로슬래그에 한한다.) 나. 콘크리트용 혼화제 다. 규산질 비료원료 라. 벽돌용·콘크리트용 골재 마. 성토용 골재 바. 복토용 골재 사. 호안공사용 골재 아. 공유수면매립지 뒷채움재 자. 도로용·아스콘용 골재 차. 요업용 골재 카. 배수층 골재(고로슬래그에 한한다.) 타. 미끄럼방지용 골재 파. 옹벽 및 뒷채움재 하. 기초 잡석용
제강 슬래그	시멘트원료(혼화제, 중량제) 규산질 비료원료 벽돌용 골재 성토용 골재 복토용 골재 호안공사용 골재 공유수면매립지뒷채움재 도로용 골재 미끄럼방지용 골재 옹벽 및 뒷채움재 기초잡석용		

5. 결론

철강산업의 발달과 함께 철강슬래그는 매년 급격하게 증가하고 있다. 2010년부터 당진 현대제철의 생산이 본격화 되면, 슬래그의 발생량은 현재 기준으로 약 1.2% 정도 증가할 것으로 예상된다. 이와 같이 발생량이 증가하지만, 재활용 용도는 저부가가치 분야에 집중되어 있어 새로운 용도의 창출을 위한 연구개발이 필요한 실정이다.

철강슬래그 중 제강슬래그는 화학적 반응에 의한 팽창 붕괴성으로 인하여 에이징 처리가 필요하지만, 기존의 서냉 방법은 환경적 문제점과 골재의 안정성에 대한 확실한 신뢰를 주기에는 부족하므로 보다 신뢰성 있는 에이징 처리 방법의 개발이 시급하다.