



# 03

## 콘크리트용 제강슬래그 골재의 특성

Properties of Steel Slag Aggregate for Concrete

김진만 Jin-Man Kim  
공주대학교 건축공학과 교수

박현일 Hun-Il Park  
한국건설생활환경시험연구원 방수방식팀  
선임연구원

### 1. 머리말

철은 지구상에 매장량이 풍부하고, 가공성이 우수하며, 단단하다는 장점을 가지고 있어 인류역사와 함께 하면서 가장 널리 사용되고 있는 금속이다. 철강 산업은 이러한 철을 함유하고 있는 철광석, 철 스크랩 등을 녹여 연주 및 압연과정을 거쳐 강판, 철근, 강관 등 철강제품을 만들어 내는 산업이다. 국내의 철강 산업은 1970년대 가동을 시작하면서 조강생산량이 100만 톤을 돌파한 이래, 지속적인 설비 확충과 수요의 증가로 2010년 5,981만 톤을 생산하여 세계 6위의 철강 생산국으로 성장하였다. 그러나 철강 산업은 제조 공정의 특성상 다양한 원료를 사용함으로써 각종 부산물과 폐기물을 대량으로 발생시키고 있다. 그 중 슬래그가 대표적인 부산물이며, 철광석을 용융·환원하는 공정에서 발생하는 고로슬래그와 철을 정련하는 제강단계에서 발생하는 제강슬래그로 크게 구분되어진다.

이러한 철강 슬래그는 꾸준히 증가하여 2009년에 고로슬래그(blast furnace slag) 8,868천톤, 제강 슬래그(steel slag) 7,831천 톤, 합계 16,699천 톤이 발생하였고, 이후 경제규모의 확대에 의해 지속적으로 그 발생량이 증가하고 있어 슬래그의 활용은 점점 더 중요한 문제로 대두되고 있다. 슬래그가 이와 같이 막대하게 발생하므로 다른 산업분야에서 활용하는 것은 불가능하고 오직 건설분야에서만 활용하는 것이 가능하다.

이에 본 고에서는 국내 10개 플랜트에서 배출되는 제강슬래그의 건설공학적 특성을 소개함으로써 향후 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

### 2. 철강 슬래그 활용을 위한 제도적 기반

철강 산업의 발달과 함께 발생량이 증가하고 있는 슬래그 중 고로슬래그는 오랫동안 건설재료로 활용하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 그 결과 1981년 12월 KS F 2544 「콘크리트용 고로슬래그 골재」를 시작으로 1997년 KS F 2563



그림 1. 슬래그 골재의 국내 규격

「콘크리트용 고로슬래그 미분말」 등의 산업규격이 제정되어 건설 분야에서 안정적으로 활용되고 있다(그림 1). 그러나 제강슬래그의 경우 1981년 KS F 2535 「도로용 철강 슬래그」가 제정되었으나 이후 2007년에 와서야 콘크리트용 골재로서 활용하기 위한 KS F 4571 「콘크리트용 전기로 산화슬래그 잔골재」 규정, 2011년이 되어 굵은 골재를 포함한 KS F 4571 「콘크리트용 전기로 산화슬래그 골재」가 제정되게 되었다. 이와 같이 제강슬래그 관련 KS가 제정되어 있음에도 불구하고 아직까지 콘크리트표준시방서에는 전기로 산화슬래그를 콘크리트용 골재로서 사용하는 것을 금하고 있다. 그 이유를 ‘전기로 슬래그나 전로 슬래그 굵은 골재는 고로 슬래그 굵은 골재와 달라서 불안정하므로 콘크리트용 골재로 사용하지 않아야 한다.’라고 기술하고 있다. 이러한 배경에서 아직까지 제강슬래그는 콘크리트용 골재로서 활용되지 못하고 부가가치가 거의 없는 도로용 또는 성토용 골재에 한정되어 대부분 활용되고 있는 실정이다.

### 3. 제강슬래그 골재의 건설공학적 특성

국내의 제강슬래그의 건설공학적 특성을 알아보기 위하여 국내의 10개 플랜트에서 배출되는 전기로산화슬래그를 대상으로 다양한 특성을 비교 검토한 결과를 소개한다. 전기로 공정에 의한 제품은 철근제품, 형강제품, 열연제품으로 분류할 수 있으며, 각 제품에 따라 강제의 품위가 변화하므로 슬래그의 품질도 변화하게 된다. 다음의 그림들에서 A1, A2, A3, A4, A5는 철근공정, B1, B2, B3, B4는 형강공정, C1은 열연공정에서 배출된 슬래그를 의미한다.

#### 3.1 물리적 특성

##### 3.1.1 밀도 및 흡수율

KS F 4571에서는 전기로산화슬래그 골재의 밀도를 잔골재와 굵은 골재 모두 N급(3.1~4.0), H급(4.0~4.5)의 2개 등급으로 나누어 규정하고 있다. <그림 2>는 국내 10개 배출원에서 발생한 전기로 산화슬래그 골재의 밀도 및 흡수율 결과를 나타낸 것이다. 골재 크기에 관련 없이 모든 골재에서 절전 밀도는 N급의 하한치인 3.1 수준의 값을 나타내고 있다.

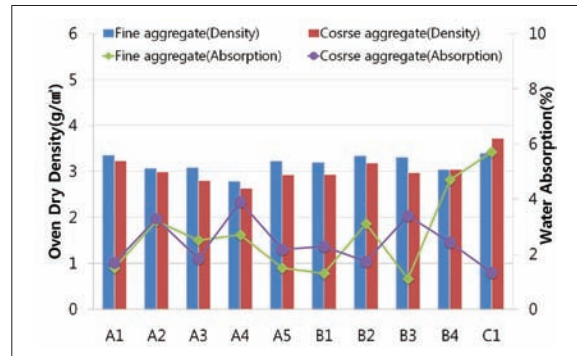


그림 2. 전기로산화슬래그 골재의 건조밀도 및 흡수율

흡수율은 기준에서 2.0% 이하로 규정되고 있으나 일부 슬래그에서 기준치를 상회하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 표면 및 내부에 다량의 공극을 포함하고 있는 폼 슬래그의 혼입률이 높기 때문에 나타난 것이다. 그러므로 전기로 산화슬래그를 건설재료로 활용하기 위해서는 슬래그 골재의 생산 시 폼슬래그의 함유율을 낮추기 위한 공정을 도입하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 전기로 산화슬래그 골재에 대한 현행의 흡수율 기준은 일반 골재의 3%보다 가혹한 2%로 설정되어 있어 KS 기준 조정에 대한 논의도 필요할 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 단위용적질량 및 실적률

<그림 3>은 전기로 산화슬래그 잔골재 및 굵은 골재의 단위용적질량과 실적률을 나타낸 그래프이다. 일부 슬래그를 제외하고는 단위용적질량 N급(1.8 kg/L)을 만족하며 일부 슬래그의 경우 2.0 kg/L 이상 높은 단위용적질량을 보이는 슬래그 골재도 확인이 되었다.

여기서 일부 낮은 실적율이 나타나는 원인은 슬래그 골재가 야적장에 덩핑된 후 에이징 후 조크러셔(jaw crusher)에 의한 파쇄공정을 거치면서 입형이 각진 사각

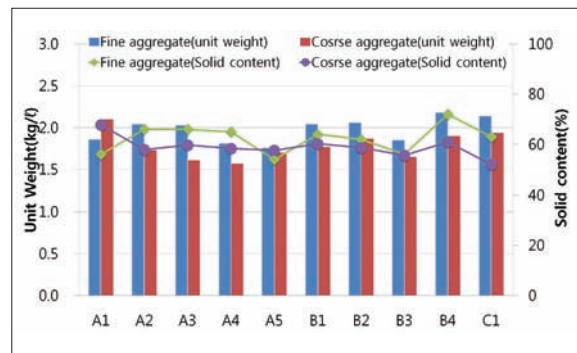


그림 3. 전기로산화슬래그 골재의 단위용적질량과 실적률

형 또는 삼각형 형태를 띠기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 이러한 특성은 크러셔의 종류를 변경함으로써 개선 가능하지만, 현재 슬래그를 배출하는 업체의 경우 거의 예외 없이 조크러셔만을 사용하고 있어 슬래그 배출업체의 설비의 개선이 요망된다.

### 3.2 제강슬래그의 화학적 특성

#### 3.2.1 산화물 분석

KS F 4571에서는 산화칼슘(CaO) 40% 이하, 산화마그네슘(MgO) 10% 이하, 산화철(FeO) 50% 이하, 염기도(basicity, CaO/SiO<sub>2</sub>) 2.0 이하에 관한 구성산화물의 조성 비율을 규정하고 있다. 이는 배출되는 슬래그의 조성의 허용 범위내에서 유리석회 또는 유리마그네슘의 함유량을 최소화하기 위한 목적에 의한 것이다. <그림 4, 5>는 전기로 산화슬래그 잔골재와 굵은 골재의 산화물 분석값을 나타낸 것이다. CaO, FeO, MgO의 경우 대부분 기준에 만족하지만 배출원별로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 철강 제품의 강종에 따라 투입되는 첨가제 및 순도의 차이와 로를 보호하기 위한 내화물의 사용이 주된 이유이다.

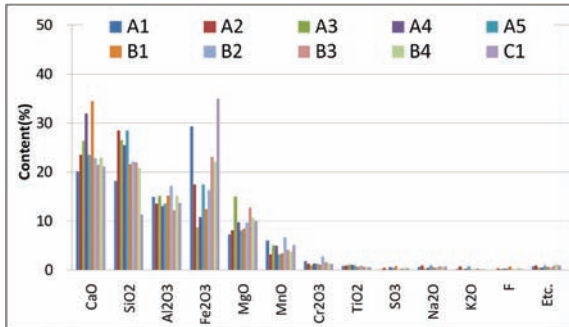


그림 4. 슬래그 잔골재의 XRF 결과

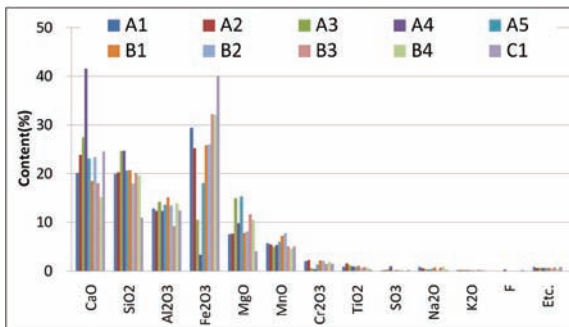


그림 5. 슬래그 굵은 골재의 XRF 결과

<그림 6>은 염기도를 나타낸 것으로 전기로 산화슬래그 골재의 품질을 규정하는데 가장 중요한 것으로 염기도가 높으면, 콘크리트 타설 이후, 팽창성에 의한 사용성 저하를 야기할 수 있기 때문이다. C1을 제외하고는 모두 기준을 만족하고 있다. C1의 경우 CaO의 함량이 잔골재 21%, 굵은 골재 24%로 다른 슬래그와 유사하거나 낮은 편임에도 불구하고 이와같은 결과를 보이는 것은 상대적으로 SiO<sub>2</sub>의 함량이 매우 낮기 때문이다.

#### 3.2.2 중금속용출

철강슬래그는 다양한 종류의 화학성분을 함유하고 있음에도 불구하고 폐기물공정시험기준에서 제시하는 유해중금속인 Pb, Cd, Cr<sup>+6</sup>, Cu, Hg, As 등이 용출되지 않아 매우 안정적인 것으로 나타났다.

## 4. 맺음말

국내에서 배출되는 전기로 산화슬래그중 10개 공정의 제강슬래그에 대하여 건설재료로서 사용을 위한 기초적 물성을 간략하게 살펴보았다.

화학적 특성은 대부분 기준을 만족하고 있지만, 물리적인 특성은 기준을 만족하지 못하고 있다. 물리적 특성은 파쇄공정의 개선과 폼 슬래그의 유입량을 조절함으로써 개선이나 아직까지 슬래그를 배출하는 철강업체 및 슬래그 중간처리업체에서 건설 분야의 다양한 수요에 대응하도록 생산하고 있지 못하고 있는 것이 현실이다. 그러나 천연골재의 채취로 인한 환경 훼손에 대하여 사회적 인 경각심이 높아지고 있으며, 이로 인해 골재자원의 부

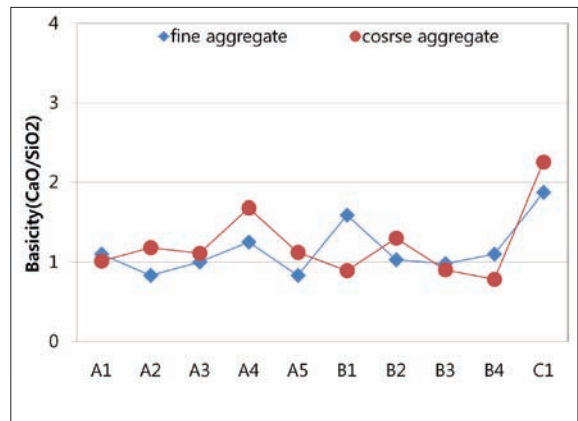



그림 6. 슬래그 굵은 골재의 XRF 결과

죽 현상은 점점 더 심화될 것이다. 그러므로 조만간 건설 분야에서 다양한 골재원이 보편적으로 사용될 수밖에 없는 상황에 직면할 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 제강슬래그는 가장 유력한 대체 자원임에 틀림이 없다. 그러므로 제강슬래그가 적절히 가공되어 적절한 품질의 골재로 활용될 수 있도록 골재로서의 가공 기술, 콘크리트에의 사용 시 재료적, 구조적, 시공적 특성 등에 관한 다양한 연구가 필요하며, 또한 적절한 성능을 갖는 제강슬래그 골재가 보다 잘 활용될 수 있도록 제도적 기반을 정비하는 것도 필요할 것으로 사료된다. 

담당 편집위원 : 유성원(우석대학교) imysw@woosuk.ac.kr

**참고문헌**

1. 한국철강협회, 철강슬래그 2009년 재활용실적 및 2010년 계획.
2. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 2009.
3. 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計-施工指針(案), 土木学会, 2003. 4. 한국철강협회, <http://www.kosa.or.kr/>
4. 한국표준협회, KS F 4571, 콘크리트 구조용 전기로 산화 슬래그 골재, 2011.
5. 박헌일, 김진만, 다양한 발생원을 갖는 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 골재로서의 특성, 한국폐기물학회, Vol. 29, No. 5, 2012, pp. 431 ~ 440.



**김진만** 교수는 '고강도 영역 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 제요인의 영향'이라는 논제로 충남대학교에서 박사학위를 취득하였다. 1997년부터 공주대학교 건축공학과에 근무하고 있으며, 다양한 산업부산물과 건설부산물의 리사이클링에 관한 연구에 전념하고 있다.  
jmkim@kongju.ac.kr



**박헌일** 선임연구원은 한국생활환경시험연구원(KCL) 방수방식기술팀에서 건설재료의 시험 및 평가 업무와 국책 과제인 에코 철강 슬래그 제조를 위한 그린 프로세스 개발 연구에 참여하고 있으며, 현재 공주대학교 건축과에서 박과과정 수료 후 전기로 산화슬래그의 콘크리트용 골재로 활용과 관련된 연구를 진행 중에 있다.  
hunilkr@gmail.com



**국토해양부 제정 콘크리트구조기준 2012년도 개정판**

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- ISBN : 978-89-6225-444-0 93540
- 출판사 : 기문당
- 정 가 : 20,000원
- 발행일/Page : 2012, 10 / 342
- 회원할인가 : **16,000원**

**도서 소개**

이번 개정판에는 AC318-08, Eurocode 등 해외 기준의 발전 내용 및 최신 국내 연구가 반영되었다. 힘 및 전단 설계에서 SD600, SD500 철근을 사용할 수 있도록 하여 고강도 철근의 적용 범위가 확대되었고, 슬래브, 기초판의 뚫림 강도 평가가 합리적으로 개정되었다. 국토해양부 R&D로 우리 학회에서 수행한 사회기반시설물평가사업단의 연구가 반영되어 기존 구조물의 안전성 평가가 개선되었다. 이외 자중구조물의 과다 설계를 방지하기 위한 하중계수를 조정, 확대머리 철근 사용 추가, 경량콘크리트계수 내용이 일관성 있게 정리되었다.

