

국내 고로슬래그의 발생현황 및 재활용 전망

Status and Prospects of Recycling Blast Furnace Slag



조봉석*
Bong-Suk Cho



이훈하*
Hoon-Ha Lee



김규용**
Gyu-Yong Kim

1. 서 언

우리나라의 제철산업은 국가 핵심 기초산업으로서 전후 방산업과의 연관효과가 매우 크며, 고품질의 철강소재를 수요산업에 안정적으로 공급함으로써 우리나라 경제성장의 견인차 역할을 해왔다. 이러한 제철산업은 비약적인 발전을 거듭해 왔으며, 지속적인 설비증설 및 기술개발에 따라 조강생산량이 매년 증가하고 있으나, 관련 부산물인 철강슬래그 발생량 또한 상승하고 있다.

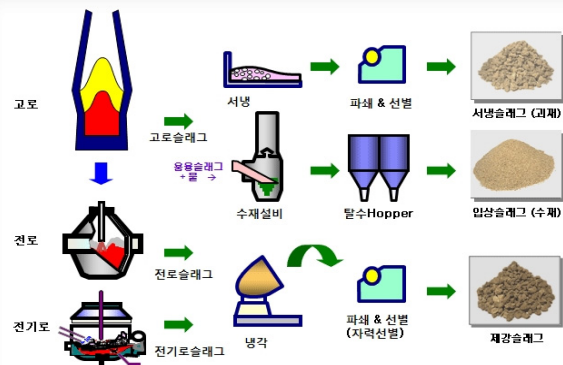
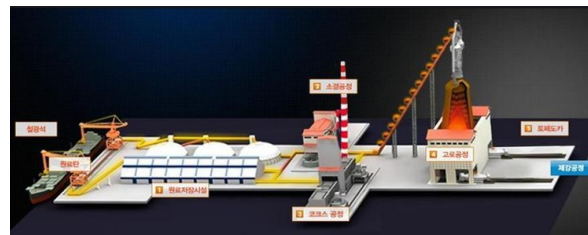
이에 따라, 철강슬래그를 재활용하여 폐기물의 발생량을 가능한 줄이고, 발생된 것은 자원화를 도모함으로써 폐기물 처리비용을 경감하는 동시에 환경보호 측면에 이바지하고자 하는 연구가 꾸준히 진행되고 있는 실정이다. 철강슬래그는 철, 탄소 및 석회석 등의 재활용이 가능한 유효한 자원을 다량 함유하고 있어 그대로 매립해 버리는 것은 자원 및 에너지의 낭비를 초래한다.

이에 본고에서는 고로슬래그의 발생 공정 및 처리공정과 발생현황 및 품질규격을 정리하고, 재활용 전망에 대해 살펴보고자 한다.

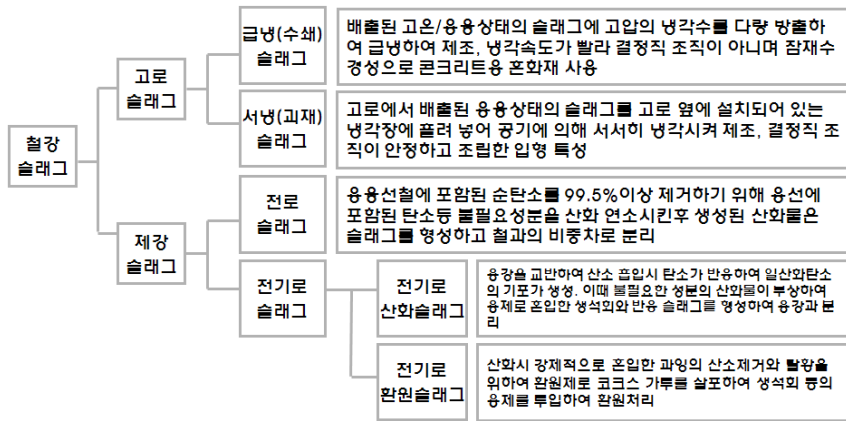
- * 포항산업과학연구원 (RIST) 에너지지원연구본부, 책임연구원
Energy & Resources Research Department
E-mail : chos8@rist.re.kr
- ** 충남대학교 공과대학 건축공학과 교수
Chungnam National University
E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr

2. 고로슬래그의 발생공정

제철산업의 주된 부산물은 철강슬래그로서, 그림 1에 나타낸 바와 같이 공정에 따라 고로슬래그와 제강슬래그로 구분된다. 이와 같이 생산된 고로 및 슬래그는 고온에서 철광석으로부터 선철을 제조하는 과정 중 배출된 고온/용융상태의 슬래그에 고압의 냉각수를 다량 살수 및 이를 통해 급냉하여 제조하며, 서냉슬래그는 고로에서 배출된 용융상태의 슬래그를 냉각장으로 흘려 보내 공기 중



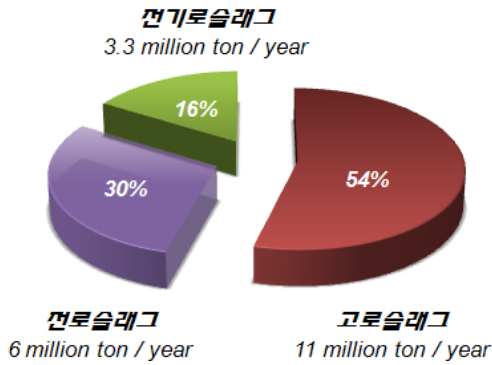
[그림 1] 고로슬래그의 발생 및 처리공정



[그림 2] 철강슬래그 분류 및 발생과정

슬래그)와 괴재슬래그(서냉슬래그)로 구분된다. 수재

제강슬래그는 철에서 강을 만들기 위해 쇳물에 녹아있는 황, 인, 탄소, 규소성분 등을 제거하는 공정에서 발생하며 전로슬래그와 전기로슬래그로 구분된다. 전로슬래그는 용융선철에 포함된 순탄소를 99.5% 이상 제거하기 위해 용선에 포함된 탄소 등 불필요성분을 산화 연소시킨 후 생성된 산화물 슬래그를 철과의 비중차로 분리시켜 제조한다. 전기로 슬래그는 스크랩을 주로 사용하는 것으로 전기 아크열에 의해 생성된 고열을 가하여 원료를 용해하면서 발생하는 부산물로서 산화과정에 의해 발생하는 것이 일반적인 제강슬래그와 환원과정(정련공정) 중 발생하는 환원슬래그가 있다.

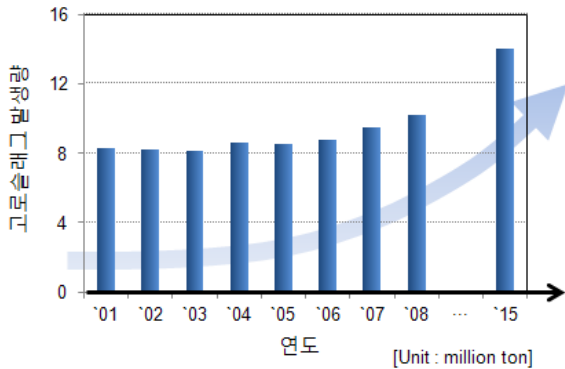


[그림 3] 철강슬래그 발생현황(2010)

3. 고로슬래그의 발생현황 및 품질규격

국내 총 조강수준은 약 8천만톤 규모로 세계 4위 수준이다. 국내 조강생산량은 1973년 첫 쇳물이 나온 이후 현재까지 약 40년 만에 918배 늘어난 것으로 나타났다. 누계 조강생산량은 1973년 124만톤에서 현재까지 11억 3천만톤 정도로 조강생산량을 연도별로 살펴보면, '86년 1억톤, '91년 2억톤, '94년 3억톤, '97년 4억톤, '99년 5억톤, '02년 6억톤, '04년 7억톤, '06년 8억톤, '08년 9억톤, '10년 10억톤, '11년 11억톤 등으로 최근에는 증가량이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이에 따라 국내 철강슬래그 또한 급격하게 증가할 것으로 예상된다. 철강슬래그 총 발생량은 2010년 기준으로 2,030만톤으로 해마다 그 비율이 증가하고 있다. 그림 3은 철강슬래그 발생현황을 나타낸 것으로 고로슬래그는 1,100만톤, 제강슬래그는 930만톤으로 집계되었다. 특히 고로슬래그는 그림 4에서 나타난 바와 같이 최근 그 발생량이 증가 추세를 보이고 있으며, 2013년 6월 일관제철의 추가적 건립에 의해 국내 조강생산 1200만톤 체제가 더해짐으로서 증산 가속화가 예상되는 등 2015년에는 1,400만톤 이상이 발생할 것으로 추정된다.



[그림 4] 연도별 고로슬래그 생산현황

에서 서서히 냉각하여 제조한다. 제강슬래그는 그 화학적 성분과 물리적 성분이 다르므로 그 응용분야도 다르다.

그림 2는 고로슬래그 분류 및 발생과정을 나타낸 것이다. 고로슬래그는 고로에서 선철을 제조하는 과정에서 발생하는 생성물을 말하는 것으로 주원료와 부원료의 회분에 존재하는 SiO₂와 Al₂O₃ 등이 고온에서 석회와 반응하여 생성된다. 고로슬래그는 냉각방식에 따라 수재슬래그(급냉

4. 고로슬래그의 재활용 전망

일관제철공정을 갖춘 제철의 경우 원료, 제선, 제강, 압

<표 1> 연도별 재활용률 현황

구 분	고로슬래그			제강슬래그			재활용률
	발생량	재활용량	재활용률	발생량	재활용량	재활용률	
2009	8,868	8,868	100	7,831	7,800	99.6	99.8
2010	11,087	11,074	99.9	9,272	9,240	99.7	99.8
2011	13,599	13,599	100	10,330	10,305	99.8	99.9
2012 (전망)	14,264	14,264	100	10,664	10,670	100.1	100

(단위 : 천톤, %)

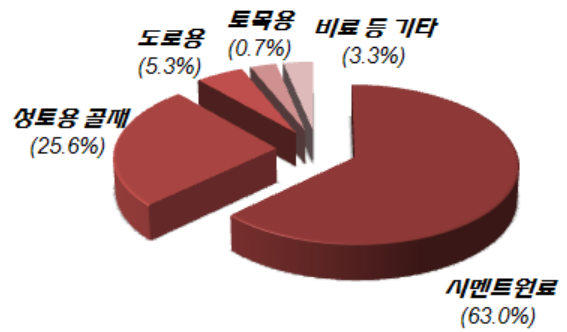
<표 2> 고로슬래그 재활용 용도

2004년 개정	
· 시멘트원료 (혼화재, 증량재)	· 공유수면 매립지 뒹채움재
· 콘크리트용 혼화재	· 도로용/아스콘용 골재
· 규산질 비료원료	· 요업용 골재
· 벽돌용, 콘크리트용 골재	· 배수층골재
· 성토용 골재	· 미끄럼 방지용 골재
· 복토용 골재	· 옹벽 및 뒹채움재
· 호안공사용 골재	· 기초잡석용

연 및 스테인레스 등 복잡한 연결 생산 체제를 거치면서 수많은 종류의 부산물 및 폐기물인 철강슬래그를 다량으로 발생시킨다. 이에 따라, 철강슬래그를 재활용 하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 제강슬래그는 불안정한 화학적 성상으로 인하여 재활용에 있어서 여러 가지 어려움이 있기 때문에 고로슬래그에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

현재 철강슬래그는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 제25조 및 동법 시행령 제35조(환경부)」에서 제시된 목표율(95%)을 준수하여 재활용되고 있다. 표 1은 철강슬래그 재활용률 현황을 나타낸 것이다. 2009년부터 2011년까지 재활용률은 99.8~99.9%로 나타났으며, 2012년에는 100%로 전망된다. 표 2는 철강슬래그 재활용 용도를 나타낸 것으로 2004년 개정되어 다양한 용도로 재활용되고 있다.

그림 6은 2011년 고로슬래그의 재활용 실적을 나타낸 것으로 고로슬래그의 용도별 재활용 현황을 살펴보면, 시멘트 원료(63.0%), 성토용 골재(25.6%), 도로용 골재(5.3%), 토목용 골재(0.7%), 비료 등 기타(3.3%) 등으로 사용되고 있다. 이러한 철강슬래그는 현재 표 3에 나타난 바와 같이 각 용도별 관련규격 및 설계시공지침에 준하여 재활용하도록 관련지침이 규정되어 있다.



[그림 6] 고로슬래그 재활용 실적(2011)

<표 3> 고로슬래그의 용도별 한국산업규격 등 관련규격 및 설계시공지침

용 도	관련규격 및 설계시공지침
1. 시멘트원료	한국산업규격 KS L 5210 또는 KS L 5201
2. 콘크리트용 혼화재	한국산업규격 KS F 2563
3. 압면 원료	한국산업규격 KS L 9102
4. 콘크리트용 골재	한국산업규격 KS F 2544
5. 도로용, 아스콘용 골재	한국산업규격 KS F 2535 도로공사 표준시방서 (건설교통부 고시)
6. 케이슨 채움재	한국산업규격 KS F 2579
7. 미끄럼방지용 골재	한국산업규격 KS F 2532

최근, 환경 문제에 대한 관심이 고조되면서 일본과 유럽 지역에서는 단순 매립에서 벗어나 철강 슬래그의 물성 변화를 통한 고기능성 재료 개발 연구가 이뤄지고 있다. 국내의 경우 전기로 슬래그의 아스팔트 콘크리트 골재 연구, 전로 슬래그의 연안 생태 복원용 인공어초 개발 연구 등이 진행되고 있으며, 고로 슬래그 미분말을 활용한 시멘트 혼화재는 이미 상용화돼 여러 분야의 건축과 토목 공사에 활용되고 있다. 또한, 사진 1에 나타난 바와 같이 고로슬래그 기반 클링커 Free 결합재와 슬래그 골재를 활용하여 인터로킹블록, 잔디블록, 호안블록 등과 같은 콘크리트 2차 제품으로의 생산이 가능하며, 국방부 방호벽과 같은 실무재료의 연구도 진행되고 있다.

한편, 최근 골재부존자원의 부족으로 인한 골재수급의 불균형문제와 품질악화 측면에서 대체골재에 대한 관심이 대두되고 있다. 국내 골재수급의 불균형문제 해결과 고로슬래그의 재활용 활성화를 위한 측면에서 고로수재슬래그를 골재로 활용하기 위한 연구도 수행중이다.



a) 인터로킹블록



b) 잔디블록

c) 옹벽블록



d) 국방부 방호벽

[사진 1] 고로슬래그 기반 클링커 Free 결합재+슬래그 골재

사진 2와 사진 3은 수재골재를 활용한 수로관 및 수재골재의 레미콘용 활용을 나타낸 것이다.

그러나, 이러한 국내 기술들은 철강 슬래그 발생 후 용도 개발에 국한된 기술로 그 활용도에 있어 다소 제한적일 수밖에 없어 좀 더 환경 친화적인 활용을 모색하기 위해 냉각 이전 용융 상태부터 철강 슬래그 조성과 물성 제어 기술 개발이 필요한 시점이다.

참고문헌

1) 曹倬碩ほか `韓國における鐵鋼スラグ骨材の利用と技術の現況` Journal of JCI `Vol.48` `No.1` `pp.148-152` `2010.1



[사진 2] 수재골재를 활용한 수로관



[사진 3] 수재골재의 레미콘용 활용

2) 曹倬碩, 高盧徐冷スラグのスラグセメントおよびコンクリート用混和材への活用性評價, Architectural Institute of JAPAN, 2010.9
 3) 조봉석, 이훈하, 김규용, High Volume Slag 콘크리트의 공학적 특성 및 내구성능 평가, RIST 연구논문, Vol.22, No.1, pp.51~59, 2008.6
 4) 환경부, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률, 2012
 5) 전남대학교 최상원, 국내·외 철강 슬래그의 발생 및 이용 현황, 콘크리트학회지 제19권 6호 2007. 11
 6) 김지동, 철강슬래그 활용 기술 동향, 한국과학기술정보연구원, 2003. 4.
 7) 김형석, 제강슬래그를 활용한 인공어초/해조초의 실용화, 보고서, 포항산업과학연구원, 2004. 3.