

철강산업부산물의 발생 및 재활용 현황

Present State on the Production and Recycling of Steel Industry By-products



김진만*
Jin Man Kim



조성현**
Sung Hyun Cho

1. 서론

우리나라는 1960년대 이후 급속한 경제발전을 이룩하였으며, 그 중에서도 기간산업인 철강산업의 발전은 매우 눈부시다. 철강협회의 자료에 의하면 국내의 조강 생산 능력은 1998년 IMF 시기에 다소 주춤하였으나, 매년 꾸준한 증가를 하여 2008년에는 약 5,300만 톤에 이르는 세계 6위의 조강 생산국이 되었다.¹⁾ 철강 산업은 산업의 발달에 있어 가장 중요한 산업이기도 하지만, 다량의 원료와 다량의 에너지를 소비하는 대표적인 업종일 뿐만 아니라 철강 생산에 따른 부산물인 철강슬래그를 다량 발생시킨다. 이러한 철강슬래그는 고로슬래그 외에는 뚜렷한 재활용 용도가 마련되지 않은 부산물로 세계 각국은 재활용용도의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

세계 6위의 조강 생산국인 우리나라 역시 철강슬래그의 발생량도 매우 막대하며, 다른 나라에 비하여 상대적으로 철강슬래그의 재활용이 시급한 국가로 분류할 수 있다. 철강슬래그는 1,500°C 이상 고온에서 용융(熔融) 후 냉각된 물질로 환경안정성에 대하여는 검증된 소재로 건축 및 토

목 재료, 비료 등으로 다양하게 활용되고 있으나, 구조부재에 사용할 경우의 장기적 안정성은 여전히 문제시 되고 있는 실정이다.

본 고에서는 철강슬래그의 발생 및 재활용 현황을 개괄하고, 국외의 연구 동향을 검토함으로써 철강부산물을 건설산업용 재료화 하기 위한 기술적 장애와 이를 극복할 수 있는 방안에 대하여 소개하고자 한다.

2. 철강슬래그의 분류

철강슬래그는 크게 고로와 제강슬래그로 분류된다. 고로슬래그는 제철소 고로에서 선철을 제조하는 과정에서 발생하는 부산물을 의미하며, 주원료(철광석)와 부원료(코크스, 석회석)의 회분에 존재하는 SiO_2 와 Al_2O_3 등이 고온에서 석회와 반응하여 생성되는 것으로 구성 원소는 일반 암석과 같으며 성분은 시멘트와 유사하다. 고로슬래그는 냉각 방식에 따라 급냉 슬래그와 서냉 슬래그로 분류되며 급냉 슬래그는 화학 성분이 포틀랜드 시멘트와 유사하여 수경성이 있으므로 슬래그 시멘트의 원료로 사용된다.²⁾ 제강슬래그는 선철을 정련하는 전로법에 의해 발생하는

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

** 한일시멘트(주) 테크니컬센터
Technical Center Hanill Co. Ltd

1) 한국철강협회, 2008년 세계 조강 생산 현황, 2009
2) 최상원 외, 국내외 철강슬래그의 발생 및 이용현황, 한국 콘크리트학회지, 제19권 6호 2007.11, pp.28-33

전로 슬래그와 고철 등을 전기로에서 정련하는 과정에서 발생하는 전기로 슬래그로 나뉜다.³⁾ 이상의 철강슬래그의 발생 공정에 따라 분류하면 그림 1 및 2와 같다.

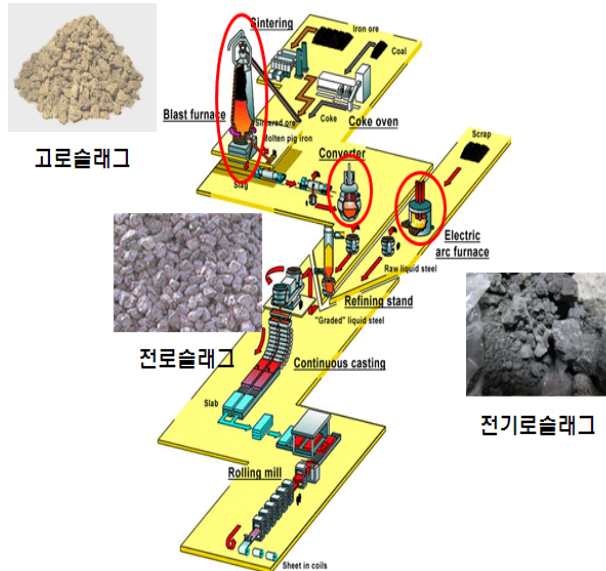


그림 1. 철강슬래그 발생 공정(출처 : 연안생태계 복원을 위한 철강슬래그 활용기술, 김형석)

하여 슬래그화 되어 철과의 비중차이에 의해 분리된다. 생성된 슬래그의 성분과 생성량은 장입원료, 만들고자하는 강의 재질, 조업방법 등에 의하여 차이가 있다.

(2) 전기로슬래그

전기로는 외부로부터 열을 공급받아 장입원료를 용해하고 정련하는 것으로 전기로 내의 환경을 산화성, 환원성으로 자유롭게 바꿀 수 있다. 일반적으로 산화성 환경에서는 용강 중에 함유되어 있는 불순물을 산화시켜 산화슬래그로 배출시킨 후, 환원성 환경으로 강의 탈산과 성분조정을 행한다. 전기로에 주원료인 용융선철과 고철 그리고 부원료인 생석회(CaO)를 장입하고 산소렌스로 고압의 산소를 불어넣어 격렬한 산화반응을 일으킴으로써 원료 중의 탄소, 규소, 인, 철의 일부를 산화시키며, 이 산화물은 CaO와 결합하여 슬래그를 만든다. 슬래그는 용철과의 비중차를 이용하여 전기로에서 배출한다. 전기로에서 배출된 용융상태의 제강슬래그는 냉수나 공기로 식힌 후 파쇄하여 철분을 제거하는 자선공정을 거치며 슬래그 내 혼입된 금속 철을 회수하고 제철원료로 재이용하기도 한다.⁴⁾

3. 철강슬래그의 발생 및 재활용율

철강슬래그의 발생량에 대해서는 2007년도 철강슬래그가 전년 대비 6.5% 증가한 총 18,666천 톤이 발생되어 이중 99.7%인 18,605천 톤이 재활용된 것으로 보고되고 있다. 고로슬래그와 전로슬래그는 각각 9,501천 톤, 5,396천 톤이 발생되어 100% 전량 재활용되었으며, 전기로 슬래그는 98.4%인 3,707천 톤이 재활용되었다. 슬래그의 재활용율은 당해연도 발생량과 당해연도 재활용량을 단순 비교한 것이다. 그러므로 98% 이상의 재활용율이 발생한 슬래그를 곧바로 거의 모두 재활용했다는 것을 의미하는 것이 아니다. 철강회사에서 그동안 매립되어 있던 슬래그를 적극적으로 활용함으로써 통계적으로 활용율을 높인 것으로 추정할 수 있다.

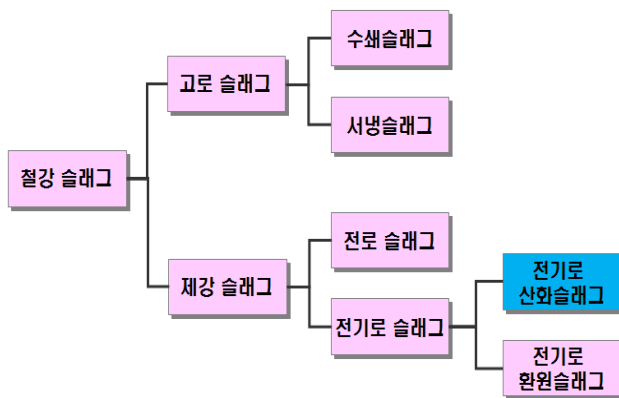


그림 2. 철강슬래그의 분류

(1) 전로슬래그

전로에서 사용되는 원료는 크게 주원료, 부원료, 합금철 등 3가지로 크게 나누어진다. 주원료는 용융선철과 철부스러기, 부원료는 생석회(CaO), 석회석(CaCO₃), 돌로마이트(CaCO₃·MgCO₃) 등으로 구분되며, 장입원료 중의 불필요한 성분을 분리하는데 사용된다. 전로에서는 용융선철에 산소를 불어넣어 선철 중에 함유되어 있는 불순물을 산화시키고 생성된 산화물은 생석회(CaO) 등의 부원료와 결합

3) 유정훈 외, 콘크리트용 철강슬래그 골재의 가능성 및 현안사항, 한국콘크리트학회지, 제19권 6호 2007. 11, pp.34-38

4) 유정훈, 제강슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 연구, 박사학위논문, 1997

표 1. 철강슬래그 발생 및 재활용 현황

단위: 천 톤, %

구분	2005년			2006년			2007년				
	고로	제강	계	고로	제강	계	고로	제강			계
								전로	전기로	계	
발생량	8,526	8,095	16,621	8,843	8,689	17,533	9,503	5,396	3,768	9,164	18,666
재활용량	8,526	8,285	16,811	8,843	9,107	17,951	9,503	5,396	3,708	9,104	18,606
재활용률	100.0	102.4	101.1	100.0	104.8	102.4	100.0	100.0	98.4	99.3	99.7

(1) 고로슬래그

고로슬래그는 2006년도에는 8,843 톤이 발생하였으나, 2007년도에는 9,503 톤으로 증가하는 것으로 나타났으며, 대부분 시멘트의 원료로 사용하는 것으로 나타나고 있다. 슬래그 발생량이 증가하게 된 원인은 포스코 파이넥스 설비 가동으로 인한 출선량 증가에 기인한 것이다.

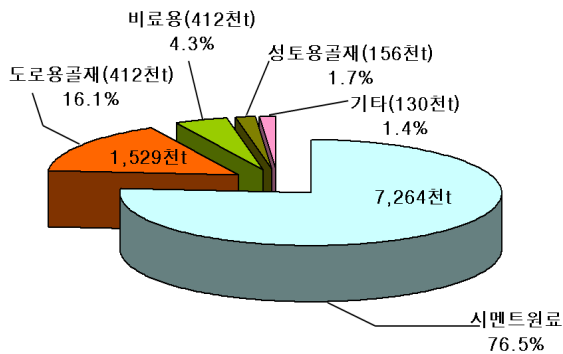


그림 3. 고로슬래그 재활용 현황

(2) 제강슬래그

현재 철강슬래그는 관련 지침에서 95%이상 재활용하도록 명시하고 있으며, 철강 업체들은 매년 높은 재활용률을 기록하고 있다고 보고하고 있다.⁵⁾ 2007년도의 제강슬래그 재활용률은 전년대비 5.5%p 감소(104.8→99.3%)하였는데, 이는 2006년도에 현대제철 당진공장에서 재고 슬래그 전량을 처리하여 일시적으로 재활용률이 증가한 것에 기인하며, 그 이후에는 99% 수준의 안정적인 수준을 보이고 있다.

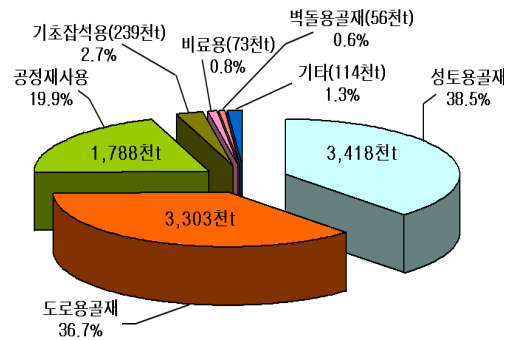


그림 4. 제강슬래그 재활용 현황

4. 국외의 현황

(1) 일본

일본은 1995년에 약 10,160만 톤의 조강 생산량을 보이고 있는데, 이는 생산량 기준으로 세계 1위의 기록이다. 이후 경기 침체로 인하여 조강 생산도 2001년까지 정체현상을 보였으나, 2002년 이후에 다시 증가하는 추세를 보이기 시작하여, 2003년에는 약 11,050만 톤을 넘어서면서, 중국에 이어 세계 2위의 조강 생산량을 보이고 있다.⁶⁾

조강 생산량이 연간 약 10,000만 톤 이상을 생산하기 때문에 이와 더불어 제강슬래그의 발생량도 전로와 전기로슬래그 합계 연간 약 1,300만 톤이라는 막대한 양이 발생되고 있다. 이 중 전로 슬래그가 약 75%, 전기로 슬래그가 약 25%를 차지하고 있다. 일본은 1920년부터 1950년도까지는 철강슬래그를 단순 폐기물로 지정하여 제철소 부근의 매립 및 토목용 골재로만 이용하였으나, 1970년부터 일본 철강연맹을 중심으로 슬래그 자원화 위원회, 철강슬

5) 한국철강협회, 철강환경, 2008년도 03월, 제 2호, pp.7-9

6) 철강협회, 세계철강통계자료, 2004

래그 협회를 설치하고 업계 공동으로 기술 개발과 용도 개발에 노력하여 산업폐기물의 재자원화를 적극적으로 추진한 결과 최근 96% 이상의 재자원화를 달성하였다. 특히 고로슬래그는 시멘트, 도로용 등을 중심으로 전량 사용되고 있다. 제강슬래그의 경우는 공정 내 재이용을 제외하면, 항만 공사(사석용, 케이슨 채움재, 뒷채움재, 택지 조성용 자갈 등)와 토목 공사 용재(가설공사, 기초, 성토 공사, 택지 등)의 일반 토목용과 도로용(노반재, 아스팔트, 콘크리트용 골재 및 필러 등)으로 주로 사용되고 있다. 자원으로서 다량의 안정수요가 기대되는 재이용, 도로용, 시멘트용은 전체의 61%에 머무르고, 나머지는 부가가치가 낮은 토목용 등이다.

(2) 미국

미국은 조강 생산량이 2000년까지 계속해서 증가하여 10,010만 톤이 넘었으나 그 이후로 조강 생산량이 점차 감소하는 추세를 보이고 있다. 2003년 기준으로 조강 생산량은 약 9,040만 톤이며, 제강슬래그는 2003년 기준으로 연간 약 1,130만 톤이 발생하고 있다(18).

미국에서는 미국 슬래그 협회(NSA)의 최종보고서를 바탕으로 하여 ASTM D 4792 「Standard Test Method for Potential Expansion of Aggregate from Hydration Reaction」를 제정하여 슬래그의 팽창성을 검토한 후 재활용하도록 하였다. 철강슬래그 재활용율은 고로슬래그의 경우 90% 이상이 재활용되고 있으며, 약 10% 정도가 매립되고 있다. 반면 제강슬래그의 경우에는 매립량이 55%이고, 재활용율이 45%로 고로슬래그보다 재활용 비율이 낮다. 이들의 재활용은 대부분 아스팔트 콘크리트용 골재, 시멘트 원료, 시멘트 혼화재료, 뒷채움재, 철도선용 골재, 기층 등으로 사용되고 있다.(7)

(3) EU

EU의 경우 발생하는 제강슬래그를 시멘트 원료로 재활용하는 비율이 국내보다 높으나 국내와 마찬가지로 도로용 노반재 및 최종매립 등과 같은 단순 처리방식으로 대부분을 처리하고 있다. 영국은 현재 제강슬래그에 관한 규격이 없고, 벨기에에서 제강슬래그에 대해 다음과 같은 추진을 하고 있다.

- ① 제강슬래그는 생산시 유리석회(Free CaO)량이 4.5% 이하이어야 한다.
- ② 제강슬래그를 사용하기 전에 1년 동안 에이징 시켜야 한다.

- ③ 최대입자 크기는 20-25mm를 초과하여서는 안된다.
- ④ 사용 전에 체적안정성을 체적팽창시험법으로 확인하여야 한다.

5. 결론

국내에서 철강슬래그는 국내 골재 소비량의 10%을 초과하는 매년 2,000만톤에 가까운 매우 막대한 양이 발생하고 있다. 자원이 비교적 많은 나라의 경우에는 철강슬래그의 재활용 비율이 비교적 낮지만, 우리나라와 같이 국토가 협소하고 부존자원이 부족한 나라의 경우에는 재활용율이 비교적 높은 것으로 나타나고 있다. 그러나 재활용의 기술 수준은 그다지 높지 않은 실정이다.

성분 및 발생량을 고려하면, 철강슬래그를 타 산업의 원료로서 이용하는 것은 불가능하며, 오직 건설산업분야에서만 활용할 수 있다. 철강슬래그 중 고로슬래그는 성공적으로 건설분야에 안착한 훌륭한 사례이며, 그 사용량 뿐만 아니라 부가가치의 창출 측면에서도 지속적인 성장이 이루어지고 있다. 그러나 제강슬래그의 경우에는 아직까지 매우 낮은 기술 수준으로 재활용되고 있다. 좀 더 높은 수준의 고부가가치를 창출할 수 있는 기술 개발이 요구되는 재료라고 할 수 있다.

다른 산업분야를 포함하여, 철강산업에서 발생하는 부산물은 적극적으로 건설자원화 할 필요성이 있다. 단순한 매립 또는 성토의 수준에서 벗어나 좀 더 부가가치를 낼 수 있는 기술의 개발을 통하여 부산되는 자원을 폐기하지 않고 활용하기 위한 관련 기관의 노력을 지속할 필요가 있다.

7) Farrand, B. and Emery, J., Recent Improvements in Quality of Steel Slag Aggregate, Transportation Research Record, No. 1486, 1995, pp.137~141