J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 5, No. 3, 1996, 17-23
≫研究論文≪

電氣爐 製鋼 Slag의 物性에 關한 硏究

玄鐘泳 · 金亨錫 · 趙東星
仁荷大學校 資源工學科

Physical Characteristics of E.A.F. Steel-making Slag

Jong Yeong Hyun, Hyung Seok Kim and Dong Sung Cho
Dept. of Mining & Mineral Eng., Inha Univ.

요 약

전기로 제강업체인 I사에서 배출되는 슬래그에는 21%정도의 철이 함유되이 있다. 그중에서 약 8%는 수선과 자력선별로 회수되고, 나머지 13%의 철은 슬래그에 함유되어 도로의 노반이나 순수한 매립으로 활용되어 폐기된다 그러나 도로의 노반재나 매립으로 사용되는 슬래그중의 철성분은 대부분이 지금의 단체를 이루고 있으며, 극히 일부는 알카리토류 원소와 화합물을 형성하고 있다. 따라서 슬래그에 함유되었기 때문에 폐기되는 철성분은 간단한 분쇄로 단체 분리하여 자력선별로 회수하면 재활용이 가능하다. 슬래그의 성분이 주로 FeO, CaO, SiO_2, MgO, MnO이므로 고철을 원료로 하는 제강산업에서는 융제로서의 재활용이 가능하고, 골재로 사용한다면 비중이 크기 때문에 중량골재가 되며, 골재로 사용할 때에는 일정기간의 에이징이 필요하다. 또한 조립의 철분인 지금 입자를 제거한 슬래그는 시멘트의 원료로도 활용이 가능하다. 그러나 이렇게 재활용하기 위해서는 사용목적에 알맞게 입도와 성분을 조절하여야 한다

ABSTRACT

The slag discharged from the E.A.F. Steel-making company I, contains approximately 21% iron. 8% of the iron is recovered from the slag by hand-picking and magnetic separations. 13% of the unrecovered iron from slag is discarded or used for roadbed and reclamation utilization. While most of the unrecovered iron is in a simple state of metal, a small portion of the iron is in a combined state with alkaline earths element. The unrecovered and discarded iron can, therefore, be recovered by a crushing separation technique and magnetic separation. Since the major components of the slag consists of FeO, CaO, SiO_2, MgO and MnO, the slag can be used as a flux for the steel-making industry using scrap iron as raw materials. The slag can be used as heavy aggregates for construction because the specific gravity of the slag is higher than that of ordinary aggregates. For aggregates, the slag needs a long aging period. The non-metallic slag(metal-removed slag) can be used as the raw material for cement. The reutilizing both metallic and non-metallic slag requires the precise control of grain size and components with respect to using purpose of the slag

1. 서 론

포항제철(주)을 제외한 국내 대부분의 제강업체들은 전기로를 사용하고, 고철이 중요한 원료로 사용되고 있다. 1992년에 국내의 전기로 제강공장에서 사용된 고철의 양은 918만톤 정도였고, 전기로 제강공정에서 배출된 슬래그의 총량은 93만톤 정도였으나 39만톤(42%) 정도는 활용이 되고, 나머지 54만톤 정도는 폐기되었다[1]. 슬래그의 활용은 자원으로 재사용할 수 있는 물질로서의 활용으로부터 단순히 폐기처리를 위한 충전제로서의 활용에 이르기까지의 여러방법이 있겠으나, 여기서는 재활용의 가능성에 대하여 논하고자 한다.

전기로 제강업체인 I사(주)에서는 1995년도에 360만톤 정도의 철강을 생산하였으며, 평균 21%정도의 철이 함유된 슬래그를 46만톤 정도 배출하였다 그중에서 회수되는 철은 전체 슬래그량의 8%정도이다. 회수된 8%중에서 5%정도는

Table 1. Chemical Composition of the E.A.F.(Electric Arc Furnacc) Slag

Composition	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Cr_2O_3	TiO_2	MnO	T-S
wt.%	24.2	17.0	8.3	29.6	8.0	2.0	0.7	6.4	0.2

슬래그를 운반할 때에 사용되는 포트(pot)에서 생성된 최하부층(지금의 덩어리)을 산소절단기를 사용하여 적당한 크기로 절단하여 회수하고, 자력선별로는 3%정도가 회수된다 그러므로 배출된 슬래그에 함유된 철의 성분중에서 회수되는 것은 3만 6천 8백톤 정도이고, 나머지 5만 9천 8백톤 정도는 매립되기 때문에 소실되는 것으로 추정된다.

전기로에서 용융철과 슬래그를 분리시키는 과정이나 용융슬래그를 운반하는 과정 및 슬래그의 적하과정에서 지금과 슬래그로 완전히 분리되지 못한 작은 지금의 덩어리나 미립자들을 함유한 슬래그는 jaw crusher로 1차 파쇄하고, 이어서 rod mill로 슬래그와 지금의 결합을 분리시킨후 자력선별기로 지금을 회수한다. 그러나 자력 선별에서는 철의 품위가 95% 이상이고 입도가 100 mm이하인 지금의 덩어리만이 선별의 대상이 된다.

철을 회수하고 남게되어 폐기되는 슬래그에서 입도가 40~100 mm인 것은 총 슬래그량의 10~15%정도로 주로 도로의 노반재로 활용이 되며, 40 mm이하의 것은 매립으로 폐기된다. 그러나 폐기되는 슬래그를 조사한 결과 도로의 노반재나 매립용으로 사용되는 슬래그를 파쇄하면 단체로 분리될 수 있는 지금상태의 철입자가 상당량 존재할 뿐만 아니라, 철과 융제와의 고용물들도 함께 혼재함이 확인된다.

따라서 본 실험에서는 전기로 제강업체인 I사에서 발생되는 슬래그중에서 철의 함량이 95%가 되지 못하여 제강공장의 원료로 재사용되지 못하고, 도로의 노반재나 매립용으로 사용되는 슬래그에서 철을 회수할 수 있는 가능성과 철을 회수하고 남게 되는 슬래그의 물성을 조사하여 재활용 가능성을 알아보기로 하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 주로 육안과 현미경으로 조직을 관찰하고, 관찰된 조직들의 성분을 조사하여 재료로써의 활용 가능성을 조사하였다.

육안 관찰에서 슬래그중에 포함되어 있는 지금 입자 및 기공의 크기등은 Heywood경으로 측정하고, 연마된 단면적에서 지금이 차지하는 면적으로 함유량을 계산하였으며, 슬래그 운반 포트의 각 부분에서 고결된 슬래그들의 색깔에 따른 성분과 조직 및 비중등도 조사하였다. 또한 각 부분의 강도를 알아보기 위하여 여러 부분에서 시편을 채취하여 일축 압축 강도를 측정하였다

그리고 성분과 조직이 다르게 보이는 시료들은 연마편을 만들어 현미경으로 조직을 관찰하였으며, 현미경 관찰에서 광학적 특성이 다르게 나타나는 부분은 EPMA등으로 분석하고, 그 결과치를 이용하여 각부분의 개략적인 화학조성을 계산하고 활용방안을 검토하였다

3. 실험결과 및 고찰

Table 1은 본 실험의 시료로 사용된 전기로 제강업체인 I사(주)에서 배출되는 슬래그의 성분 분석 결과이다.

일반적으로 융제로 사용되는 석회석과 규석등은 주로 융점을 낮추기 위하여 사용된다. 그러나 고철을 원료로 사용하는 전기로 제강공정에서 사용되는 이들 융제는 융점을 낮추는 역할도 있겠으나, 고철등에 불순물로 포함되어 있던 물질들을 철성분과 분리시키며, 용융된 철의 산화를 방지함이 주된 기능으로 보여진다.

제강공정에서 원료로 사용되는 고철은 물론이고 슬래그에서 회수되어 재활용되는 지금도 철의 함유량이 95% 이상이어야 한다. 따라서 거의 순수한 철의 입자라도 단체로 완전히 분리되어 있지 않으면 자력선별에서 회수되지 못하여 제강공정의 원료로 사용되지 못한다.

그러나 철의 함유율이 다소 낮은 부분이라도 슬래그에는 Table 1에서 보는 바와 같이 철분을 제외하면 CaO와 SiO_2가 상당량 있어 일반적인 융재로의 역할을 충분히 할 수 있으며, 현재의 자력선별에서 지금의 품위를 하향으로 조절한다면 회수되는 철의 양도 증가될 뿐만 아니라 폐기되는 슬래그의 양도 감소될 것이다.

현장에서는 슬래그 포트를 완전히 냉각시켜 야적하지 않고, 용융상태의 슬래그를 바로 운반하여 거의 액체 또는 반고체 상태의 것을 야적장에 적하한다. 따라서 거의 층서를 이루고 있던 반고체 상태인 슬래그도 층들이 또다시 혼합되게 된다. 일반적으로 운반포트에 슬래그를 주입할 때에는 유동성과 냉각속도의 차이 때문에 액상의 철이 분산되고, 이들이 밀도차에 의해서 충분히 모이기 전에 고화된 부분도 존재하게 된다. 그러나 용융슬래그를 정지된 상태에서 서냉을 하면 비중차에 의한 유동체의 이동이 충분히 일어나므로 슬래그의 층서가 이상적인 상태가 되고 각층의 슬래그는 거의 규칙적인 조직을 갖게됨으로서 재활용이 더욱

원활할 수도 있겠으나 실제로는 그러하지 못하다. 또한 운반포트에 용융슬래그를 주입할 때에도 무조건 한포트씩 주입하는 것이 아니고 포트에 채워진 슬래그의 양이 적을 경우에는 냉각속도에 차이가 나는 여러번의 주입이 있은 후에 운반을 하고 쏟아서 냉각 시킨다. 따라서 현재에는 비중차가 큰 유동체의 슬래그들도 혼합된 상태가 되어 고화된다고 볼 수 있다. 그러므로 슬래그를 야적장에 적하할 때에는 일부가 고결된 상태의 슬래그를 야적장에 적하할 것이 아니라 액상의 지금이 충분히 이동할 수 있는 시간을 주도록 운반포트를 설계하고 거의 완전히 고화시킨후 적하한다면 슬래그 중에 함유되어 있는 작은 입자의 지금들은 최하부층으로 가라앉을 확율이 높아지므로, 최하부층에서 생성되는 지금의 양도 증가 시킬 수 있고, 성분의 밀도에 따른 슬래그의 층서가 더욱 확실해질 것이기 때문에 폐기할 슬래그의 양도 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

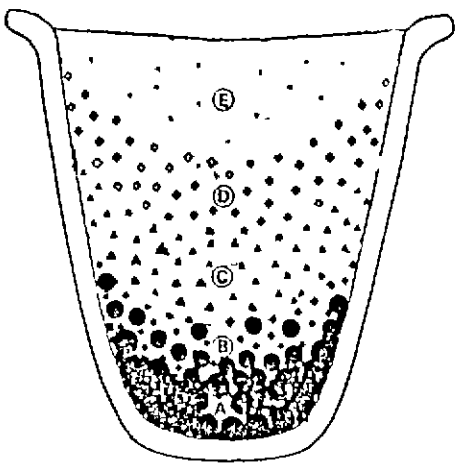


Fig. 1. Schematic diagram of the slag pot.

Fig. 1은 운반 포트내의 슬래그를 야적장에 쏟아 내기 직전의 고화된 상태를 고화 물질의 색깔과 비중, 지금의 함유율 등을 이용하여 모식도로 나타낸 것이다. 철분이 95% 이상 함유되어 지금으로 회수되고 있는 부분은 그림의 Ⓐ부분과 Ⓑ부분의 일부이다. 최하부층인 Ⓐ는 비중차에 의하여 지금만이 농집된 부분으로 breaker로 파쇄하고 산소절단기로 절단하여 괴상으로 회수(수선)되는 부분이며, Ⓑ는 95% 이상의 철분를 함유한 100 mm 이하의 입자만이 자력선별로 회수되는 부분이라 할 수 있다.

자력선별로 지금을 회수하고 남은 슬래그들의 덩어리에는 수mm~수cm의 지금의 입자들이 상당히 많이 관찰되며, 슬래그의 색깔도 크게 나누어 보면 검은색, 짙은 회색 및 회색인 부분으로 측정된 비중차에 의하여 쉽게 구분을 할 수 있었다.

Photo 1은 슬래그 포트의 모식도에서 Ⓑ와 Ⓒ부분으로 관찰되는 고화된 시료의 사진이다.

모식도에서 여러층으로 구분한 슬래그에서 색의 명암, 겉보기 비중, 지금의 양 및 기공의 크기 등을 측정한 결과 슬래그의 색이 짙은 회색 또는 검은색을 띄는 하층부(Ⓒ) 시료의 겉보기 비중은 3.5~3.8정도이며 기공과 지금의 크기는 주로 1 mm 이상이다. 중층부(Ⓓ)의 시료는 대체로 검은색이고, 지금의 크기는 주로 1 mm 이하이며, 겉보기 비중은 3.1~3.5정도였다. 그리고 포트의 상부(Ⓔ)에서 생성된 시료의 겉보기 비중은 2.8~3.1정도로 회색 또는 진회색을 띄며, 철분의 함유량이 대단히 적고, 함유된 철분도 대부분이 Table 2에서 알 수 있듯이 Ca나 Si의 화합물 상태나 화합물들의 고용체를 이룬 상태이었다.

지금을 회수하고 남게된 40~100 mm의 시료를 임의로 채취하고 절단하여, 육안으로 지금의 함유율과 슬래그의 색깔

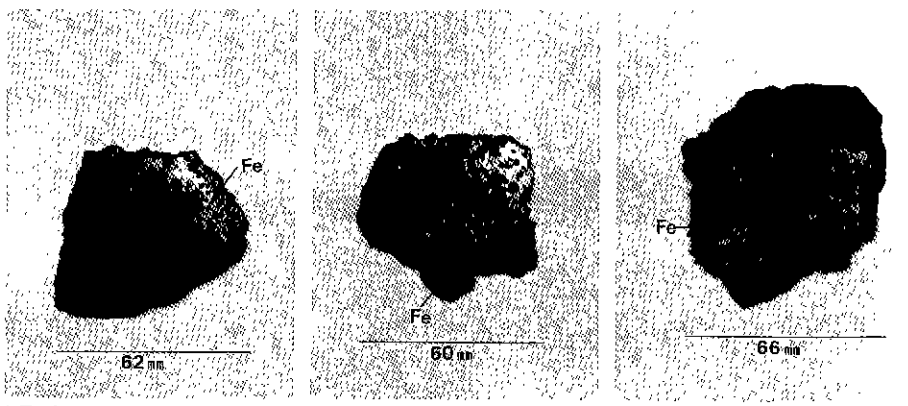


Photo 1. E.A.F. slag.

Table 2. The pore and metals in the E.A.F. slag

Sample No.	Metal (Wt.%)	Metal (Vol.%)	Maxium Diameter of Metal(mm)	Pore (Vol. %)	Maxium Diameter of Pore(mm)	Expected Layer
1	0	0	-	27	21.4	
2	0	0	-	25	13.9	
3	0	0	-	20	8.5	
4	0	0	-	10	8.3	
5	0	0	-	10	4.4	
6	0	0	-	6	7	
7	0	0	-	2.5	8	Upper Layer
8	0	0	-	1	3.5	(Ⓔ of Fig. 1)
9	0	0	-	1	2.8	
10	0	0	-	0.5	6.6	
11	0	0	-	0	-	
12	2.38	1	4.5	1	4.9	
13	2.38	1	1	23	7.5	
14	5.95	2.5	5.5	1.5	4 5	
15	11 9	5	5.4	5	6.2	
16	11 9	5	4.2	7	9.1	
17	16.66	7	2.7	10	6.5	
18	23.8	10	3.3	8	8.3	Middle Layer
19	23.8	10	7.4	14	7.3	(Ⓓ of Fig. 1)
20	26.18	11	3.5	13	9.1	
21	28.56	12	3 5	13	6.8	
22	28.56	12	6	14	7.6	
23	59 5	25	7.5	15	11	Lower Layer
24	59.5	25	6.5	10	9.3	(Ⓒ of Fig. 1)

등의 상태로 층서의 위치를 예상하여 본 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서는 지금이 차지하는 면적에 대하여 Fe의 비중은 7.86, 슬래그의 비중은 3.3으로 환산하여 지금의 무게 퍼센트를 나타내었다.

시료의 단면에서 지금으로 보이는 입자의 직경은 대체로 1 mm 이상이고, 형태는 구형에 가까운데 이는 주로 밀도의 영향으로 나타나는 응집현상과 용융점의 차이 때문에 나타난 결과로 생각된다. 그리고 지금의 입자들이 존재하는 곳에는 항상 기공이 공존하며, 지금과 기공의 존재는 대체로 비례하는 경향을 보이고 있다. 그러나 Photo 1의 Ⓓ부분의 상부나 Ⓒ부분의 하부에서는 기공의 크기가 크고 많아도 지금이 존재하지 않는 곳도 있었다

슬래그중에 함유된 기공은 고철속에 함유되어 있던 불순물과 환원 분위기를 만들기 위하여 첨가된 흑연중의 탄소가 용융 슬래그중에 함유되어 있던 과잉의 산소(산화 과정에서 과잉으로 혼입한 산소)와 결합하여 기체상태의 CO를 발생시키거나, 이렇게 생성된 CO의 일부가 CO_2를 생성하기도 하며, 융제로 첨가된 석회석이 분해될 때에도 CO_2가 생성되기 때문에 슬래그 중에는 많은 기공이 생성된 것으로 생각된다. 또한, 발생된 기포는 밀도에 의하여 상승하면서 굵은 기포가 된 것으로 보인다.

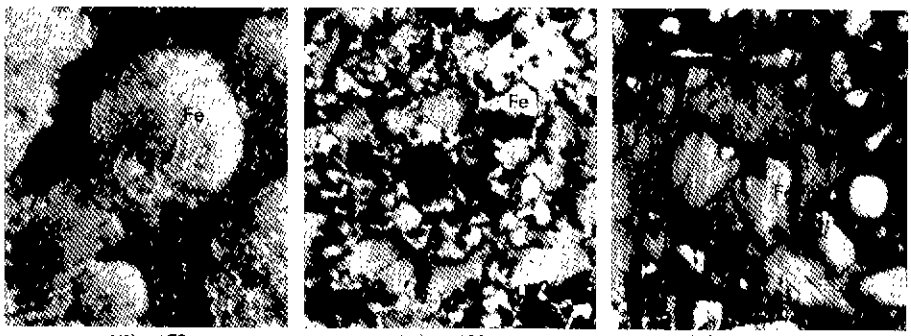
하층부와 중층부의 슬래그에서 지금이 존재하는 부분에는 기공도 비교적 많이(면적의 10% 이상) 분포하므로, 함철 슬래그는 파쇄에 의해서 지금과 분리가 쉽게 이루어 질수 있을 것으로 생각되며, 파쇄된 슬래그의 경우에는 요철(凹凸)이 더욱 발달하게 된다. 그러나 슬래그중에는 파쇄가 되지 않는 금속의 덩어리가 비교적 큰 입자로 존재하기 때문에 파쇄설비로는 압쇄를 이용하는 jaw crusher보다 hammer 등과 같이 충격을 이용하는 파쇄기가 바람직할 것으로 생각된다.

포트의 각 부분에서 고결된 슬래그 괴에서 직경 3 cm정도의 시편을 제작하여 골재로의 활용을 위한 일축 압축강도를

측정하였다. 임의의 압축강도(Sc' : kg/cm²)는 시험편이 파괴를 일으켰을때의 전체하중(Pc : kg)과 시험편의 단면적(A : cm²)을 이용하는 식으로 구하였으며, 미국 ASTM의 표준시험법에 채택되고 있는 실험식으로 부터 직경과 길이의 비가 1 : 1인 시험편의 압축강도(Sc : kg/cm²)로 환산하였다[2].

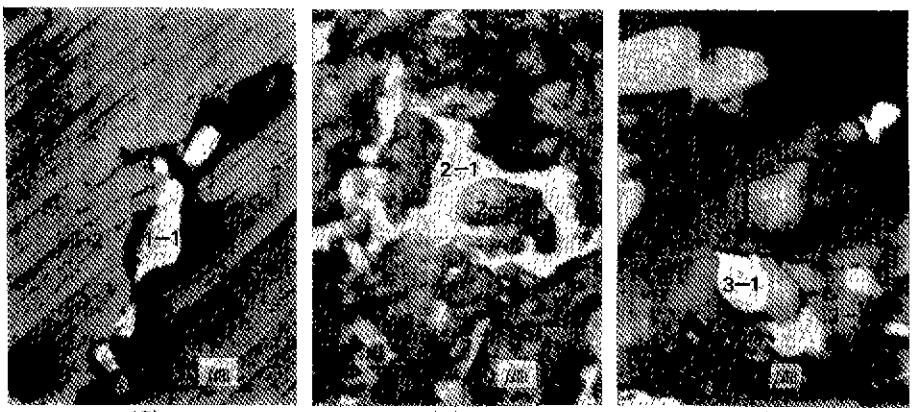
상층부 슬래그의 압축강도는 450~900 kg/cm², 중층부는 430~600 kg/cm², 하층부는 200~350 kg/cm²로 나타났으며, 같은 부분의 시료라도 압축강도의 편차가 대단히 크게 나타났다. 이렇게 압축강도의 편차가 생기는 이유는 기공과 냉각과정에서 발생된 미세균열의 발달에 영향을 받은 결과로 보인다 그리고 콘크리트의 충전용으로 쓰이는 골재의 규격으로 제강 슬래그를 천연골재와 비교하면 슬래그의 표면외관은 요철부분이 많고, 천연의 쇄석골재와 비슷하지만, 철분이 다량 함유되어 있음으로 절대건조비중이 천연골재에 비하여 높게 된다 또한 슬래그가 외관상으로는 다공질이기 때문에 비중이 낮아 경량골재로 사용할 수 있을 것이라 생각할 수도 있으나 슬래그중에는 작은 지금 입자가 다량 존재하기 때문에 겉보기 비중이 2.8~3.8 정도가 되므로 도로의 노반재와 같은 중량골재로 밖에 사용될 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 일반 천연골재에 비하여 압축강도의 편차도 크며 강도가 약하기 때문에 굵은 골재로의 사용을 어렵겠으나, 콘크리트의 강도에 영향을 비교적 적게 미치는 잔골재로의 사용은 가능할 것으로 생각된다.

그러나 슬래그를 콘크리트의 골재로 사용하는 경우에 CaO의 함유량이 많으면 유리석회(free lime)가 대기중의 수분이나 이산화탄소와 결합하여 서서히 재결정이 일어나기 때문에 발생하는 체적증가로 콘크리이트에 열화(劣化)가 되고, MgO도 비슷한 효과를 나타내나 고용체를 이루는 경우에는 안정하다[3]고 알려져 있다 따라서 전기로 제강업체인 I사에서 배출되는 슬래그는 CaO와 MgO의 함량이 32%정도이므로 골재로 사용하기 위해서는 오랜기간의 에이징(aging)이 필요할 것으로 생각된다.



(C) ×50 (D) ×100 (E) ×200

Photo 2. E.A.F. slag.



(C) (D) (E)

Photo 3. E.A.F. slag used in EPMA(×400)

Table 3. EPMA data of each part in the E.A.F. slag

Sample No.	ELMT	%ELMT	OXIDE	%OXIDE	Expected Component
1-1	Fe	99.548			Metal Fe
1-2	Fe Ca Si	22.516 28.772 14.459	FeO CaO SiO_2	28.966 40.257 30.930	$2CaO \cdot SiO_2 \cdot FeO$
1-3	Fe Mn	75.559 1.589	FeO MnO	97.257 2.052	$(Fe_{0.98} \cdot Mn_{0.02})O$
2-1	Fe Ca Al	29.115 35.755 7.004	FeO CaO Al_2O_3	37.456 50.029 13.235	$7CaO \cdot 4FeO \cdot Al_2O_3$
2-2	Fe Ca Si	1.306 48 158 14.248	FeO CaO SiO	1.680 67.382 30.480	$2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$
3-1	Fe Mn Mg	67.192 6 413 2.989	FeO MnO MgO	86.441 8 281 4.952	$6FeO \cdot (Mn_{0.4} \cdot Mg_{0.6})O$
3-2	Fe Mn Ca Si Mg	13.486 4.645 28.084 15.752 4.589	FeO MnO CaO SiO_2 MgO	17 350 5 998 39.395 33.697 7.610	$3CaO \quad 2SiO_2 \cdot Fe \cdot (Mn_{0.3} \cdot Mg_{0.7})O$
3-3	Fe Ca Si Mg	3.526 37.911 13.282 5.651	FeO CaO SiO_2 MgO	4.536 53.045 34.169 9.370	$3CaO \quad 2SiO_2 \cdot (Fe_{0.2} \cdot Mg_{0.8})O$

Photo 2는 Fig 1에서 구분한 하층부(C), 중층부(D) 및 상층부(E) 시료의 연마편 사진이다. (C)에서 보이는 바와 같이 지금의 Fe로 밝혀진 입자는 거의 구상으로 존재하고 큰 단체 입자로 존재함을 알 수 있다. 또한 (D)의 경우에도 금속 Fe로 밝혀진 입자는 mm단위 이하의 세립이지만 (C)과 같이 거의 구상인 단체로서 존재함을 알 수 있다. 그리고 (E)에서는 Fe로 생각되는 입자의 경계부위에서는 Mn, Mg의 고용체의 형태로 Fe가 존재하고, 경계밖의 물질에도 Fe가 미량 존재함이 EPMA로 분석되었다.

Photo 3도 하층부(C), 중층부(D) 및 상층부(E)에서 고결된 슬래그에서 임의로 채취한 시료에서 EPMA분석을 실시한 현미경 사진이며, EPMA로 성분을 측정한 결과치로 그 부분의 개략적인 화학조성을 보이면 Table 3과 같다.

(C)에서 1-1은 Fe의 함량이 99%이상의 금속(지금)의 상태이고. 1-2는 FeO가 29%, CaO가 40%, SiO_2가 31% 정도이므로 $2CaO \quad SiO_2 \cdot FeO$의 상태이며, 1-3은 FeO가 97%. MnO가 1.5%정도이므로 $(Fe_{0.98} \cdot Mn_{0.02})O$의 상태로 Ca-Silicate 슬래그에서 Fe로 생성되는 FeO-CaO-SiO_2계[4] 상태도에서의 wüstite로 판단된다.

(D)에서 2-1은 FeO가 37%, CaO가 50%, Al_2O_3가 13%정도이므로 $7CaO \cdot 4FeO \quad Al_2O_3$로, 2-2는 CaO가 67%, SiO_2가 30% 이므로 $2CaO \cdot SiO_2$의 상태로 생각된다.

(E)에서 3-1은 FeO가 86%, MgO가 8%. MnO가 5% 정도이므로 $6FeO \cdot (Mn_{0.4} \cdot Mg_{0.6})O$의 형태로서 wustite와 비슷하고, 3-2는 FeO가 17%, CaO가 39%, SiO_2가 33%, MnO가 6% 및 MgO가 7.6% 정도이므로 $3CaO \cdot 2SiO_2 \quad FeO \cdot (Mn_{0.3} \quad Mg_{0.7})O$의 형태를 이룬 것으로 생각된다. 그리고 3-3은 CaO가 53%, SiO_2가 34% 정도에 FeO가 4.5%, MgO가 9%정도 고용되어 $3CaO \quad 2SiO_2 \cdot (Fe_{0.2} \quad Mg_{0.8})O$의 형태를 이룬 것으로 생각된다.

따라서 대부분 슬래그의 개략적인 화학조성은 Ca-Silicate 슬래그에서 Fe성분의 존재로 생성되는 FeO-CaO-SiO_2계[4] 상태도에서 wüstite나 Ca_2SiO_4와 비슷한 물질의 영역임을 알 수 있다. 시료의 일부가 wüstite의 영역으로 나타

나는 것은 용융슬래그중에서 철의 산화물이 완전히 환원되지 못하였거나 철이 산화된 부분이 존재하기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 지금의 경계 부위에 존재하는 화합물은 대부분이 철의 고용체 상태로 존재되는 것으로 보인다.

Photo 2와 Table 3에서 보이는 것과 같이 슬래그를 구성하는 각 부분은 금속 Fe(지금), $2CaO \cdot SiO_2 \cdot FeO$의 형태, $(Fe_{0.98} \cdot Mn_{0.02})O$의 형태, $7CaO \cdot 4FeO \cdot Al_2O_3$의 형태, $2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$의 형태, $6FeO \cdot (Mn_{0.4} \cdot Mg_{0.6})O$의 형태, $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot FeO \cdot (Mn_{0.3} \cdot Mg_{0.7})O$의 형태 및 $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot (Fe_{0.2} \cdot Mg_{0.8})O$등의 상태를 이루므로 화학 조성으로 본다면 지금의 단체 입자를 제거한 슬래그는 포트랜드 시멘트 성분과 거의 비슷하므로 시멘트 크링커나 크링커의 제조시 CaO와 철분의 공급원으로의 활용이 이상적인 것으로 생각된다.

보통 포틀랜드 시멘트의 주원료로써 사용되는 석회석은 $CaCO_3 \rightarrow CaO+CO_2$로 반응시키는데에 필요한 이론적인 열량이 75만kcal/T이므로, 중유나 가스와 같은 연료로 소성로의 온도를 1200°C로 하였을때 소비열량은 생석회 1톤당 100~130만kcal가 필요하게 된다[5]고 한다 그러나 슬래그 중의 일부는 시멘트와 같은 성분이거나 시멘트 클링커의 중간 생성물이며, 클링커에 생성되는 화합물을 일부 생성하고 있으므로 제강 슬래그를 시멘트 클링커 제조의 원료로 사용한다면 석회석 원료의 절약과 탈탄산 반응에서 소요되는 에너지만이라도 절약할 수 있는 경제적인 재료로 생각된다.

고철의 전기로 제강 슬래그의 폐기되고 있는 철성분은 대부분이 단체로 존재하므로 슬래그의 분리하는 작업조건의 개선이나 자력선별의 강화로 철성분의 대부분이 회수가 가능하며, 철을 회수하고 남는 슬래그는 제강의 융제로 재활용하거나, 시멘트의 원료인 칼슘 및 철분의 공급원으로 활용될 수 있으며, 철분이 거의 함유되지 않은 부분은 토양의 개량재로도 활용이 가능하다고 하겠다. 그러나 이렇게 재활용하기 위해서는 입도와 사용목적에 알맞는 성분이 되도록 품질을 조정할 수 있도록 작업조건을 개선하여야 한다.

4. 결 론

전기로 제강업체인 I사에서 배출되는 전기로 제강 슬래그의 물성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬래그의 철성분 폐기율을 낮게하려면 가장 먼저 슬래그 포트의 작업조건이나 자력선별 방법의 개선이 요구된다.
2. 슬래그에 함유되어 있는 철분은 대부분이 단체상태로 존재하므로 분쇄만 하여도 간단히 분리될 수 있고, 자력선별로 회수가 가능하다.
3. 슬래그를 구성하는 대부분의 성분은 wüstite와 dicalcium silicate등의 성상을 가지므로 단체의 철을 제거한 슬래그는 포트랜드 시멘트의 제조원료로써의 활용이 바람직하다.
4. 슬래그의 성분은 CaO와 SiO_2가 상당량 있으므로 융제로의 재활용도 가능하다.
5. 슬래그를 노반의 골재로 사용한다면 굵은 골재로의 사용보다는 저급의 잔골재로의 사용이 가능하다.

참고문헌

1. 한국자원리싸이클링학회 편저 "자원리싸이클링의 실제", 동화기술, pp 125, pp. 135, (1994)
2. 윤지선 : "암석역학입문", 구미서관, pp. 220, (1992).
3. 윤재환 "포틀랜드 시멘트 및 콘크리트", 세진사, pp. 28, pp30, (1994).
4. 심재동 · 반봉찬 "금속공학에서의 슬래그", 대광문화사, pp. 235, (1991).
5. 化學工業日報社 : "11691の化學上品", 化學工業日報社, pp. 69, (1991).