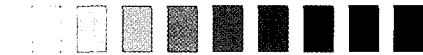


해설



광석 용제로 활용되는 백운석과 감람석

고 상 모

한국지질자원연구원

백운석(dolomite)은 방해석(calcite: CaCO_3) 및 아라고나이트(aragonite: CaCO_3)와 함께 대표적인 탄산염 광물의 일종으로서 화학식은 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 이다. 보통 회백색을 띠며 이론적인 화학조성비는 CaO 30.4 wt%, CO_2 47.7 wt%, MgO 21.9 wt%이고, 비중은 2.8~2.9이며 모오스 경도는 3.5~4.0이다(Harben, 1999). 석회암(limestone)이 주로 방해석으로 구성되는데 반해 백운암(dolostone)은 백운석으로 주로 구성되며 방해석이 흔히 수반·산출된다. 석회암과 유사한 지질환경에서 형성되고 석회암을 교대하여 형성됨이 일반적이다.

감람석(olivine)은 두개의 단성분인 포스터라이트(forsterite: Mg_2SiO_4)와 페이알라이트(fayalite: Fe_2SiO_4)가 고용체 상태로 산출되기 때문에 화학식을 $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ 로 표시하며, 이론적인 화학조성비는 MgO 32 wt%, SiO_2 47.6 wt%, $\text{Fe}_2\text{O}_3(+\text{FeO})$ 20.4 wt%이다. 보통 녹색 내지는 담녹색을 띠며 비중은 3.2~4.3이며 모오스 경도는 6.5~7.0이다(Harben, 1999). 감람석은 초염기성암에 속하는 두나이트(dunite)에서 매우 풍부하게 산출된다.

1950년대 이래 고품위 철광석 공급의 부족이 저품질 철광석 개발을 촉진시켰으며 철 농집을 위해 미분쇄와 농집과정을 거치게 된다. 미립의 철 농집물은 고로(blast furnace: BF)로 공급되기 전에 보통 덩어리 형태로 소결되거나 펠릿

(pellet)으로 제조되어 공급된다. 백운석과 감람석은 제철공정에서 미분의 철광석을 철 덩어리로 만들기 위해 소결(sintering)과 펠릿화(pelletising)시키는데 용제(flux)로 사용되고 있다. 소결과 펠릿화는 고로설비를 현저하게 발전시켰으며, 특히 코크스 비율을 감소시키고 환원율을 증대시키며 용광로부터 날라 다니는 미분양을 최소화시켰다. 이러한 장점으로 인해 백운석과 감람석이 철광석 소결과 펠릿용 수요가 증대되고 있는 추세이다.

소결화

소결(sintering)은 철을 생산하는데 세계적으로 사용되는 주요한 공정이다. 철광석의 평균 SiO_2 함량이 5%, CaO- SiO_2 비가 1.5~2.0 일때 소결하기에 가장 좋은 물리성과 제련조건을 제공해 준다. 또한 용제는 좋은 소결과 제련조건을 제공하기 위해서는 적절한 MgO를 함유하여야 한다. 용광로 슬래그 양은 용광로 설비에 따라서 달라진다. 전형적인 소결체는 55% Fe (71% Fe_2O_3 , 7% FeO), 5% SiO_2 , 10% CaO, 2% MgO, 1% Al_2O_3 및 기타성분 4%의 화학조성비를 가진다. 이러한 화학 조성비는 약 50%의 소성손실이 일어나는 석회석이나 백운석과 같은 용제가 적어도 20% 이상 요구된다. 소결시 용제로서 사용

되는 원료광물은 석회석, 백운석, 감람석, 사문석 및 생석회이다.

북미에서는 용광로 슬래그에 요구되는 MgO와 CaO 양을 충족시키기 위해 백운석을 주요 용제로 사용하며, 유럽이나 아시아에서도 사용되기도 한다. 그러나 세계 다른 나라에서는 요구되는 MgO 양을 맞추기 위해 감람석을 용제로 사용하며, 감람석은 SiO₂ 양을 5 % 또는 그 이상 올려주는 역할을 한다. 감람석의 사용은 첨가되는 석회석양을 증가시켜 CaO/SiO₂ 비가 1.5~2.2 정도로 되게 한다. SiO₂의 증가는 브라질, 스웨덴이나 호주산 저질리카 철광석을 주로 사용하는 유럽이나 아시아 소결공장에서 요구되고 있다.

감람석은 Fe-감람석인 페이알라이트가 Mg-감람석(포스터라이트)보다 용융점이 보다 낮기 때문에 Mg:Fe 비가 용제로서의 품질요건이기도 한다. 또한 강열감량(loss of ignition: LOI)은 수화광물인 녹니석이나 사문석의 존재를 지시해준다. 철광석 소결에 0.3 mm 입도의 감람석이 사용되며, 감람석을 함유한 철광석 펠릿이나 10~50 mm 덩어리로 용광로에 공급된다. 감람석은 백운석보다 높은 MgO 함량비, 에너지 소비 절감, 불필요한 예열, 코크스 소비의 감소, 슬래그의 감소, 낮은 CO₂ 방출량 등에서 우수한 측면을 가지고 있다. 감람석과 사문석은 북미 외 지역에서도 소결과정에서 MgO 공급원으로서 보다 바람직한 원료로서 인식되고 있다. 감람석은 유럽에서 1970년대 중반 이래 철광석 용제용으로 백운석을 대체하기 시작하였다. 유럽에서 총 소결체 중 25~40 kg/ton 의 감람석이 사용되는 것으로 보고된다. 또한 감람석은 소성이 필요치 않아, 유효성 측면에서 백운석보다 높은 것으로 평가된다.

펠릿화

북미에서 고품위 철광석의 부족으로 인해 저품위 철광석인 태코나이트(taconite)의 생산을

증가시켰다. 이러한 현상이 벤토나이트와 수화석회로 혼화된 녹색의 철광석 불을 제조하는 펠릿화(pelletising)의 발전을 초래하였다. 펠릿화 과정에서 용제의 가장 중요한 성질은 펠릿의 슬래그를 형성하는 물질의 화학조성을 변화시키는 것이며, 그들의 주요 접합제는 벤토나이트이지만 접합력을 부여시키는 것이다.

백운석

미국에서 최초 상업적으로 생산된 산성 펠릿(5~6 % SiO₂, <1.0 % CaO+MgO)은 철광석 농집 덩어리를 만드는데 우수한 성능을 제공하였으나 고품질 용융 소결체에 비하면 하급이었다. 그러나 철광석 용제로서 백운석이 사용되면 환원성(reductibility), 고온연화(high temperature softening) 및 용융온도 등과 같은 제련에 필요한 성질이 향상된다. 1980년대 중반 북미와 일본에서 백운석이 용융펠릿으로서 상업적으로 사용되기 위해 개발되었다. 1990년대 이후 대부분의 북미 펠릿 공장들은 용융펠릿을 생산하는 공정으로 변경되었다. CaO와 SiO₂비가 0.9~1.0이나 1.3까지 초과되어도 되며, 반면 MgO 함량비는 0.6~1.8 % 이어야 한다. MgO 함량비는 용융 혼합체에서 방해석과 백운석의 비율을 측정해 준다.

백운석 용제 첨가물은 산성 펠릿의 성질을 증진시키는데 주요한 역할을 하며, 1~2 % 첨가시키게 되면 압축강도, 팽윤에 대한 저항력, 저온파손방지 등의 물리적 성질을 향상시키게 된다. 용제 첨가물의 양은 백운석 용제펠릿용이 100 kg/ton (10 %)이며 석회석이나 감람석 용제 첨가물은 50 kg/ton 이하이다. 산성 펠릿이 용광로에 공급될 때 초기 첨가물로서 석회석을 1~2 % (10~20 kg/ton) 첨가하게 되면 펠릿의 강도를 증진시킨다. 또한 어떤 공정에서는 백운석을 1 % (10 kg/ton) 첨가시키기도 하는데 이는 팽윤에 대한 저항력을 향상시키기 위함이다.

다. 북미에서의 용융 펠릿의 소비는 연간 45백만 톤으로 집계되며, 석회석이나 백운석과 같은 용제는 이의 10 %인 4백만 톤 이상이 소비된다.

감람석

감람석(olivine) 용융 펠릿은 낮은 SiO₂ 함량비를 가지는 스웨덴 철광석을 펠릿화시키기 위하여 보통 유럽에서 사용된다. 감람석은 SiO₂와 MgO의 공급원이며 특히 MgO는 펠릿의 제련성을 향상시키고, 감람석의 결정구조가 높은 물리적 강도를 제공해 준다.

유럽시장에서는 석회석/백운석 대용으로 감람석이 사용되며, 제철/제강 회사들은 슬래그의 감소로 인한 생산량의 증가, 금속질의 향상 및 에너지 절감 때문에 감람석을 선호한다. 이는 감람석이 백운석보다 보다 높은 MgO 함량비에 기인된 현상이다.

효율성

용제의 선택에 있어 또 하나의 주요한 요인은 용제 원료물질에 대한 효율성(availability)이다. 노르웨이, 이태리, 스페인, 오스트리아 및 터키와 같은 유럽의 제강회사들은 요구되는 철강 양과 비용을 충족시켜 주기 때문에 감람석을 사용한다. 또한 중국, 일본, 한국 및 브라질에서도 감람석을 토착적인 원료로 생각하면서 사용하고 있다. 지난 10년 동안 북미 제강회사들은 감람석 대신 백운석을 사용하여 왔다. 미국의 제철/제강 회사들에 있어 백운석은 매우 풍부하고 값싼 원료이기 때문이다. 예외적으로 미국의 한 제강사는 SiO₂ 함량비가 낮은 브라질 철광석을 사용하고, 발생되는 슬래그의 감소 때문에 노르웨이산 감람석을 선호하여 사용하고 있다.

2005년 말 그린랜드 지역에서 새로운 감람석

자원이 발견되어 미넬코(Mineralco) 광산이 2006년 생산에 돌입하여 연간 1.1백만톤 생산 계획에 있어 북대서양 지역의 제철/제강회사들이 용제 선택에 있어 관심을 불러일으키고 있다.

결론

철 광석의 소결 및 용융 펠릿용 원료로써 백운석 또는 감람석을 선택하기 위해서는 이들이 고온에서 철광석과 반응할 때 일어나는 화학성이 중요한 요인이다.

첫째, 제철공정에서 펠릿화와 소결의 선택은 철광석의 광물학적 성질이나 제철/제강회사와 철광석 공급지의 지리적인 위치에 따라 선택되어져야 한다.

둘째, 유럽이나 아시아에서와 같이 SiO₂ 함량비가 낮은 철광석을 사용하는 경우 감람석(또는 사문석)이 선호되어져야 하고, 대조적으로 북미에서와 같이 높은 SiO₂ 함량비와 소량의 태코나이트를 함유하는 철광석을 사용하는 경우에는 백운석의 선택이 필수적이다.

세 번째 요인은 원료물질의 효율성이다. 북미와 유럽의 중간에 위치한 그린랜드의 감람석 공급지는 동부 미국이나 다른 지역 제강사들에 있어서는 원료사용의 선택을 위해 고려되어 질 수 있는 요인이다.

참고 문헌

Harben, P.W (1999) The industrial minerals handy book: A guide to markets, specifications and prices. Published by Industrial Minerals Information Ltd., 3rd edition, 296p.

Industrail Minerals (200) 46-49.