

## 酸化亞鉛의 炭素熱還元反應에서 酸化鐵의 影響†

\*金炳洙 · 朴珍泰 · 金棟植\* · 兪在珉 · 李在天

韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部, \*(주)세아베스틸 연구1팀

## Carbothermic Reduction of Zinc Oxide with Iron Oxide†

\*Byung-Su Kim, Jin-Tae Park, Dong-Sik Kim\*, Jae-Min Yoo and Jae-chun Lee

Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), Daejeon, Korea 305-350

\*R&D Center for Metallurgy, SeAH Besteel Corporation, Kunsan, Korea 573-711

### 요 약

대부분 전기로 분진 처리공정은 전기로 분진으로부터 아연을 회수하기 위하여 전기로 분진에 함유된 산화아연의 환원제로 탄소를 사용한다. 본 연구에서는 산화아연의 탄소열환원반응에 관한 전기로 분진의 주성분 중의 하나인 산화철의 영향에 대하여 속도론적으로 조사되었다. 실험은 반응온도 1173 K-1373 K 범위에서 중량감량법을 이용하여 수행되었다. 실험결과, 적절한 량의 산화철 첨가는 산화아연의 탄소열환원반응 속도를 증진시키는 것으로 나타났다. 이것은 산화철이 산화아연의 탄소열환원반응에서 탄소의 gasification 반응을 촉진시키기 때문으로 관찰되었다. 표면화학반응이 율속인 shrinking core model이 1173 - 1373 K 범위에서 고체 탄소에 의한 산화아연의 환원반응 속도 데이터를 분석하는데 유용한 것으로 분석되었다. ZnO-C 반응계에서 활성화 에너지는 224 kJ/mol (53 kcal/mol)로, ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계에서 활성화 에너지는 175 kJ/mol(42 kcal/mol)로 그리고 ZnO-밀스케일-C 반응계에서 활성화 에너지는 184 kJ/mol (44 kcal/mol)로 각각 계산되었다.

주제어 : 재활용, 전기로 분진, 산화아연, 밀스케일

### Abstract

Most electric arc furnace dust (EAFD) treatment processes to recover zinc from EAFD employ carbon as a reducing agent for the zinc oxide in the EAFD. In the present work, the reduction reaction of zinc oxide with carbon in the presence of iron oxide was kinetically studied. The experiments were carried out at temperatures between 1173 K and 1373 K under nitrogen atmosphere using a weight-loss technique. From the experimental results, it was concluded that adding the proper amount of iron oxide to the reactant accelerates the reaction rate of zinc oxide with carbon. This is because iron oxide in the reduction reaction of zinc oxide with carbon promotes the carbon gasification reaction. The spherical shrinking core model for a surface chemical reaction control was found to be useful in describing kinetics of the reaction over the entire temperature range. The reaction has an activation energy of 53 kcal/mol (224 kJ/mol) for ZnO-C reaction system, an activation energy of 42 kcal/mol (175 kJ/mol) for ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C reaction system, and an activation energy of 44 kcal/mol (184 kJ/mol) for ZnO-mill scale-C reaction system.

Key words : Recycling, Electric arc furnace dust, Zinc oxide, Mill scale

### 1. 서 론

매년 30만톤 이상의 전기로 분진이 고철을 원료로 철

강을 생산하는 국내의 전기로업체에서 배출되고 있다. 전기로 분진은 Fe, Zn, Pb, Cu, As, Cd 같은 장기간에 걸쳐 빗물에 노출될 경우 침출될 수 있는 인체 및 환경에 유해한 중금속 물질을 다량 함유하고 있다. 이러한 금속들은 각종 표면 처리된 기능성 철강제품의 재활용에 의해서 발생하는 분진의 일부이다. 따라서 매립

† 2006년 2월 3일 접수, 2006년 5월 29일 수리

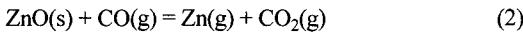
\*E-mail: bskim@kigam.re.kr

에 의한 분진의 처리는 환경적으로 매우 위험하다. 또한 분진이 철과 아연을 상당량 함유하고 있어 자원 재활용 측면에서도 매립에 의한 분진의 처리는 자원의 손실이다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 전기로 분진으로부터 아연을 회수하기 위한 많은 공정들이 개발되었으며, 몇몇 공정들은 이미 상업화되어 가동 중에 있다.<sup>1-3)</sup>

현재까지 보고된 전기로 분진 처리 공정은 크게 건식 공정, 습식공정 그리고 건식과 습식의 혼합공정으로 대별될 수 있다. 그렇지만 많은 공정들이 개발되었음에도 불구하고, 현재 전기로 분진으로부터 아연을 회수하기 위한 중요한 공정들은 모두 건식공정으로 이루어지고 있다. 일반적으로 건식공정은 탄소열환원법에 의하여 분진으로부터 아연을 환원 휘발하여 회수하고, 철이 농축된 고형잔사를 배출한다. 그러므로 이미 탄소와 산화아연간의 반응에 대한 많은 연구가 수행되어 졌다.<sup>3,5,6)</sup> 탄소와 산화아연간의 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



이 반응은 아래 두 반응의 조합으로 이루어진다.



그러나 전기로 분진을 구성하고 있는 구성물 중 산화아연외의 주성분 중의 하나인 산화철이 탄소와 산화아연간의 반응에 미치는 영향에 대한 속도론적 연구는 매우 미비한 상태이다. 한편, 최근에는 전기로 분진과 밀스케일을 환원제인 탄소와 혼합 단광하여 전기로에 재투입함으로써 철을 회수하고, 아연을 농축 회수하는 새로운 공법을 개발하고자 하는 노력이 기울려지고 있다.<sup>7)</sup> 밀스케일은 철강의 열간압연 공정에서 발생하는 부산물로 철이 70% 이상 함유되어 있는 복합 철산화물로서 철원으로서의 이용이 가능한 것으로 알려져 있다.

그러므로 본 연구에서는 탄소에 의한 산화아연의 환원 휘발반응에서 산화철의 영향에 대하여 속도론적 연구가 외부산화효과와 내부산화효과가 최소화된 질소분위기에서 중량감량법을 이용하여 수행되었다. 따라서 얻어진 결과는 기존 건식공정에 의한 전기로 분진처리 공정의 조업 개선뿐만 아니라 향후 전기로업체에서 발생하는 철산화물인 밀스케일과 전기로 분진의 동시처리공정 개발에 필요한 유용한 데이터가 될 것으로 기대된다.

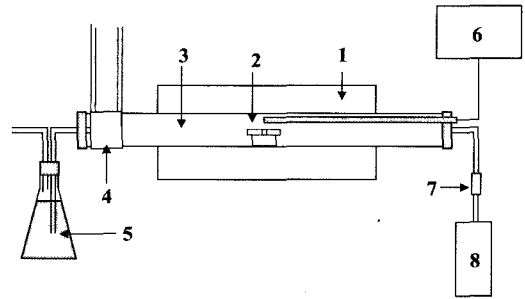


Fig. 1. A schematic diagram of the experimental apparatus.  
 1. Furnace. 2. Alumina Crucible. 3. Reactor tube.  
 4. Condenser. 5. Exhaust gases. 6. Control box.  
 7. Gas flowmeter. 8. N<sub>2</sub> cylinder.

## 2. 실험

실험은 반응속도를 측정하기 위하여 수평로를 이용하여 수행되었다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 크게 가열장치, 반응관, 반응부로 구성되었다. 가열장치는 SiC 수평관상로가 사용되었고, 실험 온도는 R-type 열전대(Pt-13Rh/Pt)와 PID 온도제어장치를 이용하여 ±2 K 범위에서 제어되었다. 반응관은 플라이트관(I.D.: 6.0cm, L: 110.0cm), 그리고 시료 장입용기로는 1 mm의 구멍이 나 있는 뚜껑이 달린 알루미늄 도가니(D: 2.7cm, H: 2.7cm)가 사용되었다. 이것은 다음에 설명되겠지만 반응영역을 최소화함으로써 분말시료의 베드높이에 따른 CO(g)와 CO<sub>2</sub>(g)의 농도기울기를 최소화하기 위한 것이다.

본 연구에서는 일본 Junsei Chem.(주)에서 제조된 시약급 시약(99.9% 이상)인 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)과 국내 전기로업체 A사의 열간압연공정에서 발생하는 밀스케일 두 종류의 산화철이 사용되었다. 또한 일본 Junsei Chem.(주)에서 제조된 시약급 시약(99.9% 이상)인 산화아연(ZnO)과 탄소(99.9% 이상)가 사용되었다. 밀스케일을 제외한 사용된 시료의 크기는 -74 μm이었으며, 밀스케일은 -100 μm로 분쇄되어 사용되었다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 밀스케일의 X-ray 분석결과를 나타낸 것이다. Fig. 2에 제시된 바와 같이 밀스케일은 대부분 FeO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 복합 철산화물로 존재하는 것으로 분석되었으며, 여기서 확인되지 않은 peak는 일부 금속 Fe와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>의 산화물로 추정된다.

실험은 각각 일정량 시료를 취하여 충분히 혼합하여 알루미늄 도가니에 장입한 후 저온부에서 10분 정도 예열한 후, 실험온도로 유지되고 있는 온도 균열대에 시

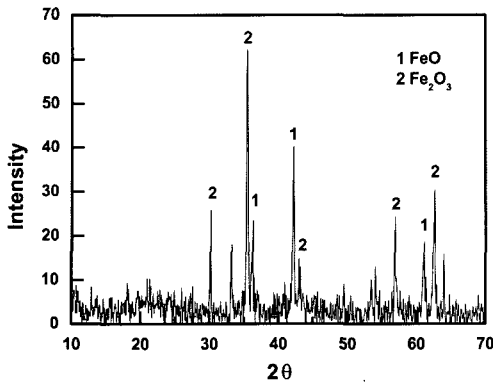


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of the mill-scale used in the experiments.

료가 담긴 알루미늄 도가니를 위치시킨 상태에서 수행되었다. 반응관은 99.9%의 질소를 1.2 l/min로 주입하면서 질소분위기로 유지되었다. 산화아연의 환원율은 시료를 일정 시간동안 온도 균열대에서 반응시킨 후 시료가 담긴 알루미늄 도가니를 반응관 밖으로 이동하여 냉각시킨 후, 무게를 측정하고, 유도결합플라즈마방출분석기(Inductively coupled plasma Spectrometer, Jobin-Yvon Equipment Co., JY-38 plus)를 이용하여 Zn를 분석하여 얻어졌다. 상분석은 X선회절분석기(X-ray Diffractometer, Rigaku, D-max-2500PC)를 이용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

$Fe_2O_3$ 와 밀스케일의 첨가에 따른 산화아연의 탄소열 환원반응속도는 질소분위기의 1173 K-1373 K의 온도 범위에서 앞에서 설명된 장치에 의해서 측정되었다. 특정 시간에서의 산화아연의 환원율은 그 시간에 발생한 아연의 무게변화량과 초기장입시료 중 아연의 량의 비로서 계산되었다. 모든 실험에서 첨가된 환원제 고체 탄소분말은 장입된 산화아연과 1:1 몰비로 장입되었다.

일반적으로 산화아연은 반응 (2)와 (3)처럼 고체탄소 또는  $CO(g)$ 와 함께 탄소열환원으로 환원되기 때문에 탄소에 의한 산화아연의 환원반응속도는 장입 시료의 베드높이에 의존하는 것으로 보고되고 있다.<sup>5,6)</sup> 따라서 탄소에 의한 산화아연의 환원반응속도에 대한 베드높이의 영향을 조사하기 위하여 질소를 1.2 l/min로 주입하면서 1373 K에서 0.25cm-1.50cm 범위로 베드높이를 변화시키면서 첨가제 없이 ZnO-C 반응계에 대하여 실험이

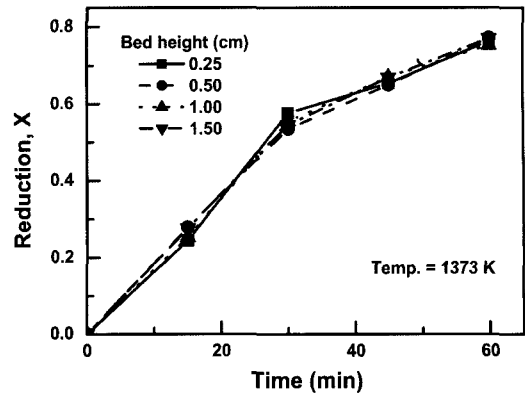


Fig. 3. Effect of bed height on the ZnO-C reaction.

먼저 수행되었다. Fig. 3은 베드높이에 따른 반응시간과 산화아연의 환원율을 나타낸 것이다. Fig. 3에 보여지는 바와 같이 산화아연의 환원반응속도는 본 실험조건에서의 베드높이에서는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이와 같이 기대되지 않은 결과는 앞에서 설명한 바와 같이 구멍이 나 있는 뚜껑이 달린 시료 도가니를 사용하여 반응영역을 최소화 하여 시료의 베드 안에서  $CO(g)$ 와  $CO_2(g)$ 의 농도기울기가 최소화되었기 때문으로 판단된다. 그러므로 모든 이후의 실험에서는 1.5cm 이하의 베드높이가 외부확산효과를 최소화하기 위하여 선택되었다. ZnO-C 반응계에서는 산화아연분말 1.0 g ( $\pm 0.0002$  g)과 탄소분말 0.1475 g ( $\pm 0.0002$  g)를, ZnO-C- $Fe_2O_3$  반응계에서는 산화아연분말 1.0 g ( $\pm 0.0002$  g), 탄소분말 0.1475 g ( $\pm 0.0002$  g),  $Fe_2O_3$  0.2g ( $\pm 0.0002$  g)를, ZnO-C-밀스케일 반응계에서는 산화아연분말 1.0 g ( $\pm 0.0002$  g), 탄소분말 0.1475 g ( $\pm 0.0002$  g), 밀스케일 0.2 g ( $\pm 0.0002$  g)를 각각 장입함으로써 1.5cm 이하의 베드높이를 얻을 수 있었다. 한편, 0.2 l/min-1.2 l/min 범위의 질소유속에 대한 ZnO-C 반응계에서 산화아연의 탄소환원반응에 대한 예비실험에서는 반응속도가 유속에 크게 의존하지 않는 것으로 확인되었다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 같이 반응영역이 매우 작기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 탄소에 의한 산화아연의 환원반응속도가 구멍이 나 있는 뚜껑이 달린 시료도가니의 반응영역으로부터 아연의 휘발제거속도에 영향을 받지 않게 하기 위하여 질소를 1.2 l/min로 충분히 주입하여 모든 실험이 수행되었다.

Fig. 4는  $Fe_2O_3$  또는 밀스케일 첨가 없이 ZnO-C 반응계에 대한 반응 온도의 영향을 나타낸 것이다. 그

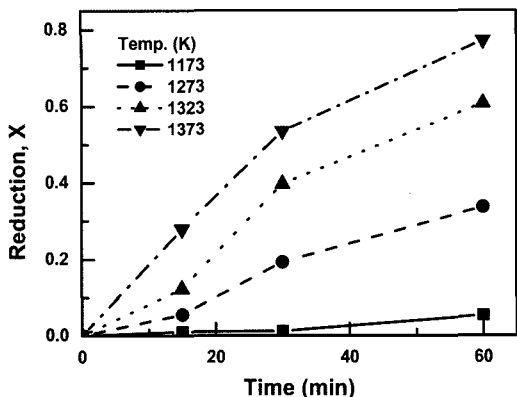


Fig. 4. Effect of reaction temperature on the ZnO-C reaction.

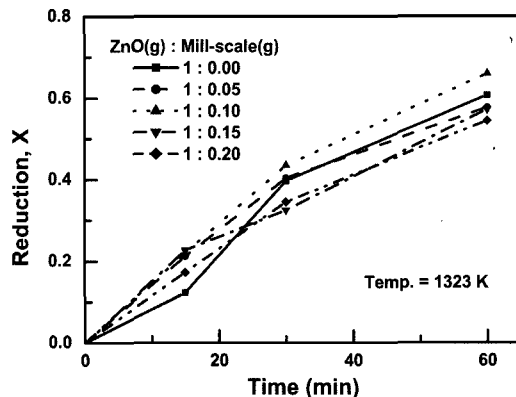


Fig. 6. Effect of mill-scale addition on the ZnO-C reaction.

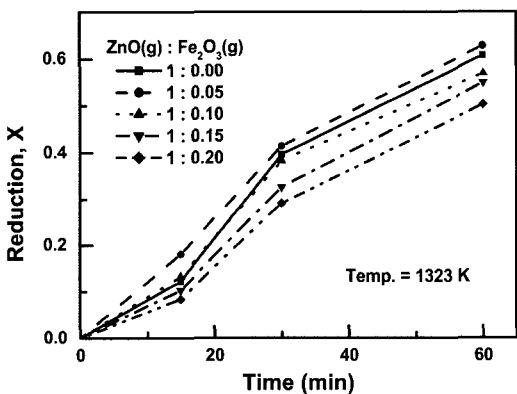


Fig. 5. Effect of  $Fe_2O_3$  addition on the ZnO-C reaction.

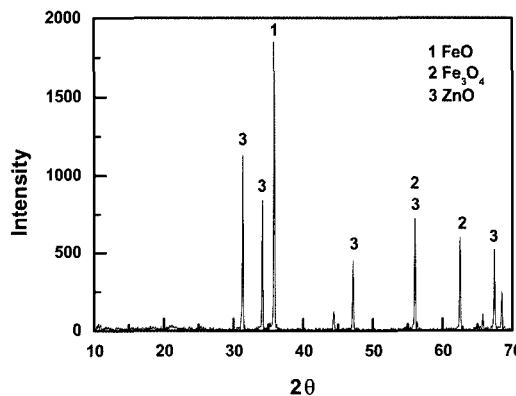


Fig. 7. X-ray diffraction pattern of reacted solids from ZnO- $Fe_2O_3$ -C reaction for 60 minutes at 1373 K.

림에 나타난 바와 같이 산화아연의 환원율은 1173 K에서는 매우 낮으며, 온도가 증가함에 따라서 환원율이 증가하는 것으로 나타났다. Figs. 5-6은 ZnO-C 반응계에 대한 각각  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일의 첨가영향을 나타낸 것이다. 그림에서 보여 지듯이  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일의 적절한 량의 첨가는 산화아연의 환원반응속도를 증가시키는 것으로 나타났다. 그러나 ZnO와  $Fe_2O_3$ 의 무게비가 1:0.05 이상인 경우와 ZnO와 밀스케일의 무게비가 1:0.10 이상인 경우에 산화아연의 환원반응속도가 감소하는 것으로 나타났다. 여기서 산화아연의 환원반응속도가 증가되는 것은 이 등의 보고에 의하면 첨가된 산화철이 탄소와 CO(g)에 의하여 Fe로 환원되어 환원제 역할을 하기 때문이라고 보고되었다.<sup>8)</sup> 그러나 Figs. 5-6에서 보여 지는 바와 같이 ZnO-C 반응계에 적정량 이상의  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일을 첨가한 경우 산화아연의 환

원반응속도가 감소하기 때문에 산화아연의 환원반응속도가 증가되는 것은 첨가된 산화철이 탄소와 CO(g)에 의하여 Fe로 환원되어 환원제 역할을 하기 때문이라기 보다는 아마도 첨가된  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일이 쉽게 고체 탄소와 반응하여 CO(g)와  $CO_2$ (g)를 생성하여 고체 탄소 표면에서 Boudouard 반응을 촉진시켜 강한 환원성 분위기가 형성되었기 때문으로 판단된다. 반면에 산화아연의 환원반응속도가 감소되는 것은 아마도 Boudouard 반응에 의하여 생성된 CO(g)가 첨가되는  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일의 량이 증가함에 따라서 첨가된 산화철과의 접촉면적이 증대되어 ZnO 뿐만 아니라  $Fe_2O_3$ 와 밀스케일에 함유된 산화철을 환원하기 위하여 소비되기 때문으로 판단된다. 이것은 1373 K에서 ZnO- $Fe_2O_3$ -C 반응계의 반응 후의 잔사를 X-ray 분석한 결과 FeO와  $Fe_3O_4$ 가 검출됨으로서 간접적으로 확인되었다. Fig. 7은

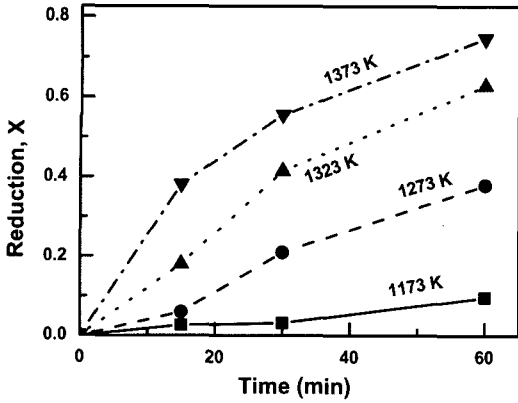


Fig. 8. Effect of reaction temperature on the ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C reaction.

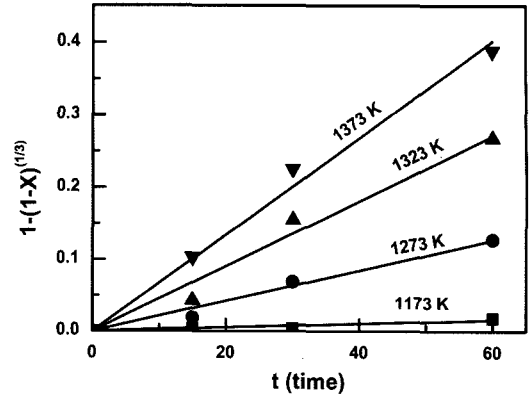


Fig. 10. Plot of the results in Figure 4 according to Eq. (4).

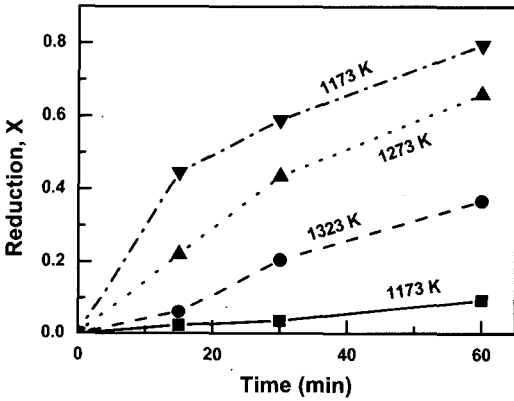


Fig. 9. Effect of reaction temperature on the ZnO-mill-scale-C reaction.

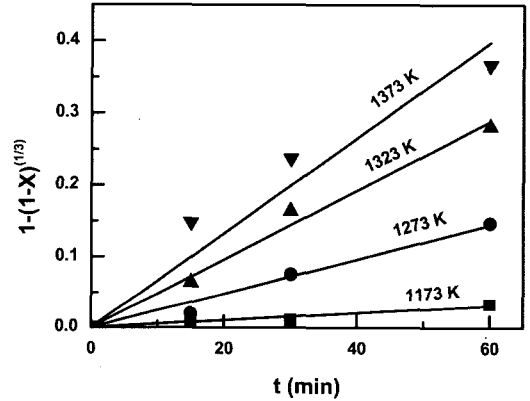


Fig. 11. Plot of the results in Figure 8 according to Eq. (4).

1373 K에서 60분 동안 반응후의 ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계의 반응물을 X-ray 분석한 결과를 나타낸 것이다. Figs. 8-9는 ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계와 ZnO-밀스케일-C 반응계에 대한 반응 온도의 영향을 나타낸 것이다. 여기서 ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계의 장입량은 산화아연분말 1.0 g(±0.0002 g), 탄소분말 0.1475 g(±0.0002 g), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.05 g(±0.0002 g) 그리고 ZnO-C-밀스케일 반응계에서는 산화아연분말 1.0 g(±0.0002 g), 탄소분말 0.1475 g (±0.0002 g), 밀스케일 0.1 g(±0.0002 g) 이었다. Figs. 8-9는 산화아연의 환원율이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 밀스케일 첨가 없이 ZnO-C 반응계에서 관찰된 결과와 같이 온도가 증가함에 따라서 증가하는 것을 보여주고 있다. 이 실험의 재현성은 각 온도에서 ±4.0% 이내였다.

일반적으로 탄소에 의한 산화아연의 환원반응은 탄소의 gasification 반응에 의하여 조절되는 것으로 이미

많은 연구자들에 의하여 보고되고 있다.<sup>1,5,6</sup> 즉, 산화아연의 탄소에 의한 환원반응은 ash층이 형성되지 않고 산화아연의 입자가 반응이 진행됨에 따라서 줄어들어 고체-가스 반응으로 이미 잘 알려져 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 시약급 분말(-74 μm)인 산화아연은 비교적 작은 입자일 뿐만 아니라 ash층이 형성되지 않고 오히려 반응이 진행됨에 따라서 입자크기가 작아지기 때문에 입자 내에서의 확산의 영향은 거의 없을 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 속도데이터의 해석을 shrinking core model(SCM)의 표면화학반응이 유효인 경우와 확산이 유효인 경우의 식을 이용하여 얻어진 속도데이터를 분석하였다. 분석결과 SCM의 표면 화학반응이 유효인 식이 가장 좋은 결과를 나타내는 것으로 확인되었다. 표면화학반응이 유효인 경우에 SCM 식에서 산화아연의 환원율-반응시간의 관계는 다음과 같

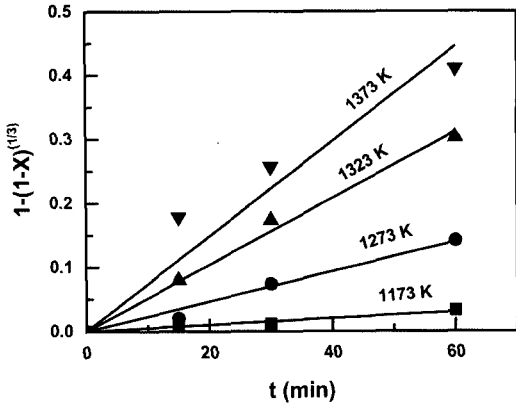


Fig. 12. Plot of the results in Figure 9 according to Eq. (4).

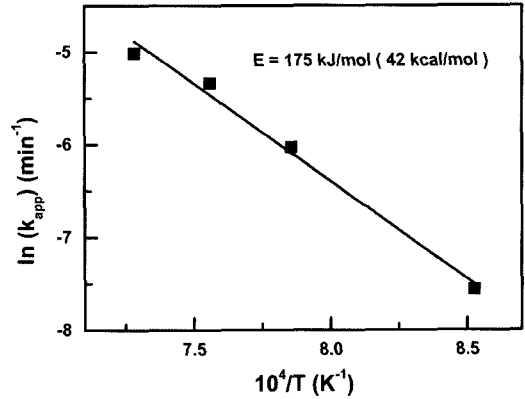


Fig. 14. Arrhenius plot of the rate constants for ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C reaction.

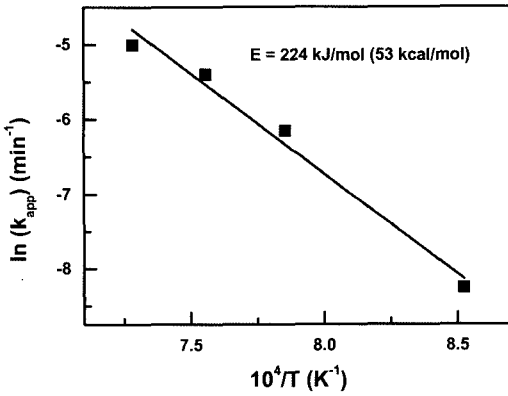


Fig. 13. Arrhenius plot of the rate constants for ZnO-C reaction.

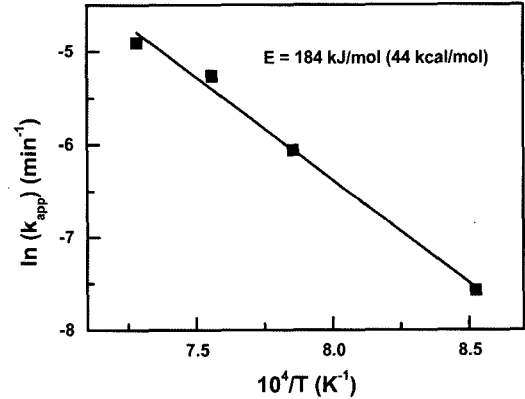


Fig. 15. Arrhenius plot of the rate constants for ZnO-mill-scale-C reaction.

이 나타낼 수 있다. 9)

$$1 = (1-X)^{1/3} = k_{app}t \quad (4)$$

X: 산화아연의 환원율

$k_{app}$ : 겉보기속도상수(1/min)

t: 반응 시간(min)

Figs. 10-12는 Fig. 4와 Figs. 8-9의 반응 온도에 따른 산화아연의 환원율에 대한 속도 데이터를 식 (4)를 이용하여 fitting 한 결과를 보여준다. Figs. 10-12에 나타난 바와 같이 탄소에 의한 산화아연의 환원반응의 속도 데이터는 식(4)의 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. Figs. 13-15는 Figs. 10-12의 기울기들로부터 얻어진 겉보기속도상수 값들로부터 그려진 Arrhenius 그래프이다. Figs. 13-15로부터 ZnO-C 반응계에서 활성화 에너지는 224 kJ/mol(53 kcal/mol), ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응

계에서 활성화 에너지는 175 kJ/mol(42 kcal/mol) 그리고 ZnO-밀스케일-C 반응계에서 활성화 에너지는 184 kJ/mol(44 kcal/mol)로 각각 계산되었다. ZnO-C 반응계에서 얻어진 활성화 에너지는 ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계와 ZnO-밀스케일-C 반응계에서 얻어진 활성화 에너지보다 큰 값으로 나타났다. 한편, 본 연구에서는 산화아연과 산화철의 혼합물에서 탄소에 의한 산화철의 환원정도는 규명되지 못했다. 이상의 실험 결과로부터 전기로 분진과 밀스케일을 환원제인 탄소와 혼합 단광하여 전기로에 재투입함으로써 철을 회수하고, 아연을 농축 회수하기 위해서 필요한 환원제 탄소량은 전기로 분진에 함유된 산화아연과 산화철 그리고 밀스케일에 함유된 산화철에 대한 최소한의 당량비가 요구된다고 판단된다. 한편, 여기서 얻어진 ZnO-C 반응계에 대한 높은 활성화 에너지는 이미 보고된 활성화 에너지와 비슷한 값으로<sup>9)</sup>

산화아연이 탄소에 의한 환원반응은 표면화학반응이 윌 속이라는 것을 간접적으로 의미하는 것이다. 또한 얻어진 데이터를 선형 회귀분석하여 겉보기속상수( $k_{app}$ )와 온도( $1/T$ )와의 관계로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있었다.

ZnO-C 반응계에 대하여

$$k_c = 2.36 \times 10^6 \times \exp \left[ \frac{-26.900}{T} \right] (\text{min}^{-1}) \quad (5)$$

ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계에 대하여

$$k_c = 3.38 \times 10^4 \times \exp \left[ \frac{-21.100}{T} \right] (\text{min}^{-1}) \quad (6)$$

ZnO-밀스케일-C 반응계에 대하여

$$k_c = 7.74 \times 10^4 \times \exp \left[ \frac{-22.100}{T} \right] (\text{min}^{-1}) \quad (7)$$

#### 4. 결 론

반응온도 1173 K - 1373 K 범위에서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 밀스케일의 첨가에 따른 산화아연의 탄소열환원반응에 미치는 영향이 질소분위기에서 중량감량법을 이용하여 조사되었다. 실험결과, 적절한 량의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 밀스케일 첨가는 산화아연의 환원 휘발반응 속도를 증진시키는 것으로 나타났다. 그러나 ZnO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 무게비가 1:0.05 이상인 경우와 ZnO와 밀스케일의 무게비가 1:0.10 이상인 경우에 산화아연의 환원 휘발반응속도가 감소하는 것으로 나타났다. 산화아연의 환원 휘발반응속도가 증가되는 이유는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 밀스케일이 산화아연의 탄소열환원반응에서 탄소의 gasification 반응을 촉진시키기 때문이며, 반면에 첨가되는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 밀스케일의 량이 증가함에 따라서 산화아연의 환원반응속도가 감소되는 이유는 아마도 Boudouard 반응에 의하여 생성된 CO(g)가 ZnO 뿐만 아니라 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 밀스케일에 함유된 산화철을 환원하기 위하여 소비되기 때문으로 판단된다. 또한 고체 탄소에 의한 산화아연의 환원율은 온도가 증가함에 따라서 증가하는 것으로 나타났으며, 표면화학반응이 윌속인 shrinking core model이 1173 - 1373 K 범위에서 고체 탄소에 의한 산화아연의 환원반응 속도 데이터를 분석하는데 유용한 것으로 분석되었다. ZnO-

C 반응계에서 활성화 에너지는 224 kJ/mol(53 kcal/mol)로, ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C 반응계에서 활성화 에너지는 175 kJ/mol(42 kcal/mol)로 그리고 ZnO-밀스케일-C 반응계에서 활성화 에너지는 184 kJ/mol(44 kcal/mol)로 각각 계산되었다.

#### 참고문헌

1. Donald J. R. and Pickles C. A., 1996: *A kinetic study of the reaction of zinc oxide with iron powder*, Metal. and Mater. Trans. B, **27B**, pp. 363-374.
2. Donald J. R. and Pickles C. A., 1996: *A kinetic study of the reaction of zinc oxide with iron powder*, Can. Met. Quart., **35**(3), pp. 255-267.
3. Chen H., 2001: *Kinetic study on the carbothermic reduction of zinc oxide*, Scandi. J. Metal., **30**, pp. 292-296.
4. 김병수 외, 2004: 전기로 분진에서 납의 휘발반응에 대한 속도론적 연구, 대한금속재료학회지, **42**(4), pp. 369-375.
5. Guger. C. E. and Manning F. S., 1971: *Kinetics of zinc oxide reduction with carbon monoxide*, Metal. and Mater. Trans., **2**, pp. 3083-3090.
6. Gonzalez G. Szczygiel Jordens Z., Escobedo S., 1996: *Dependence of zinc oxide reduction rate on the CO concentration in CO/CO<sub>2</sub> mixtures*, Thermochemica Acta, **278**, pp. 129-134.
7. Visit to SeAH Besteel Corporation, Gunsan, Korea, February, 2005.
8. 이용학, 이중호, 1997: 電氣爐 製鋼터스트의 乾式製鍊工程에서 亞鉛, 鉛, 鹽素의 舉動, 대한금속학회지, **35**(9), pp. 1190-1194.
9. Szekely J., Evans J. W., Sohn H. Y., 1976: *Gas-solid reactions*, pp. 65-75, Academic Press, Inc., New York, USA.

---

#### 金炳洙

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 금속회수연구실
  - 본 학회지 제13권 1호 참조
-



俞 在 珉

- 1997년 전북대학교 금속공학과 공학사
- 1999년 전북대학교 금속공학과 공학석사
- 2004년 전북대학교 금속공학과 공학박사
- 현재 한국지질자원연구원 선임연구원



金 棟 植

- 1985년 전북대학교 금속공학과 공학사
- 1990년 전북대학교 금속공학과 공학석사
- 현재 (주)세아베스틸 기술연구소 책임연구원

朴 珍 泰

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제14권 4호 참조

李 在 天

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 부장
- 본 학회지 제10권 제6호 참조

### 학회지 광고게재 안내

격월로 년간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.