

## 황산에 의한 페로망간 집진분 중의 망간 침출

박수지 · \*손호상

경북대학교 신소재공학부

### Sulfuric Acid Leaching of Manganese from Ferromanganese Dust

Suji Park and \*Ho-Sang Sohn

School of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

#### 요 약

본 연구에서는 페로망간 제조공정에서 발생한 집진분의 황산침출에 대하여 조사하였다. 황산의 농도, 반응온도, 교반속도, 입자크기 및 고-액비가 집진분 중의 Mn과 Fe의 침출에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. Mn과 Fe의 침출속도는 황산의 농도가 높고 반응온도가 높을수록 높아졌다. 실험결과를 입자축소모델을 이용하여 검토한 결과 침출반응은 입자표면에서의 화학반응에 의해서 일속되는 것으로 생각된다. Mn과 Fe 침출반응의 활성화에너지는 각각 79.55 kJ/mol과 77.48 kJ/mol로 계산되었다.

주제어 : 침출, 습식제련, 속도론, 활성화에너지, 화학반응

#### Abstract

The sulfuric acid leaching of ferromanganese dust was studied. The effect of acid concentration, reaction temperature, stirring rate, particle size and solid to liquid ratio on Mn and Fe extraction in the solution were investigated. It was found that the leaching rate of Mn and Fe increased with increasing reaction temperature and sulfuric acid concentration. Examination of data by shrinking core model suggested that the leaching rate is controlled by chemical reaction at the surface of particle. The activation energy for the leaching reaction of Mn and Fe were calculated to be 79.55 kJ/mol and 77.48 kJ/mol, respectively.

Key words : leaching, hydrometallurgy, kinetics, activation energy, chemical reaction

#### 1. 서 론

망간은 강의 기계적 성질을 개선하기 위한 합금원소로서 널리 사용되며, 제강공정에서는 탈산제로서도 중요한 역할을 한다. 이러한 망간은 순 망간의 상태(전해 망간)로 사용하거나 망간광석을 전로에 투입하여 용융 환원하기도 하지만, 대부분은 합금철의 형태로 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 망간 합금철은 망간광석(MnO<sub>2</sub>)을 전기로에

서 탄소를 환원제로 사용하여 제조하고 있다. 특히 망간은 금속상 보다는 탄화물을 생성하기 쉽기 때문에 포화농도에 가깝게 탄소를 함유한다. 이러한 고탄소 망간 합금철의 탈탄은 스테인리스 용강의 탈탄과 유사한 AOD (Argon Oxygen Decarburization)로에서 산소와 아르곤 가스를 취입하여 이루어진다.<sup>2)</sup> 한편, 망간의 끓는점이 Fe보다 낮기 때문에 정련과정에서 망간이 증발하여 분진의 형태로 집진되고 있다. 이러한 집진분 중

· Received : September 4, 2015 · Revised : October 7, 2015 · Accepted : October 16, 2015

\*Corresponding Author : Ho-Sang Sohn (E-mail : sohn@knu.ac.kr)

School of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, 41566 Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 망간은 제조공정에 따라  $Mn_3O_4$ 가 주성분인 고품위 집진분과 Mn농도가 낮은 저품위 분진이 있으나, AOD와 같은 고탄소 페로망간의 탈탄공정에서 발생하는 집진분의 대부분은  $Mn_3O_4$ 와  $MnO$ 의 상태로 존재하며, 재활용할 가치가 매우 높은 물질이다.

일반적으로 이러한 페로망간 제조공정에서 발생하는 집진분은 일정한 크기로 과상화하여 망간광석과 함께 전기로에 다시 투입하여 페로망간 제조의 원료로 사용되기도 한다.<sup>3)</sup> 한편, Kim 등은 이러한 페로망간 집진분을 이용하여 고순도 페로망간을 제조하기 위하여 알루미늄 금속 열환원법과 실리콘 금속 열환원법에 대하여 검토하였다.<sup>3)</sup> 그러나 금속 열환원법은 환원제인 알루미늄이나 실리콘이 망간 합금철에 비하여 고가이기 때문에 경제적이지 못한 단점을 가지고 있다.

한편,  $MnO_2$  상태의 망간광석은 산이나 알칼리 용액 중에서 비교적 안정한 것으로 알려져 있기 때문에 대부분의 경우 환원침출을 하거나 환원배소 등의 과정을 거쳐서 침출을 하고 있다.<sup>4)</sup> 페로망간 집진분은 그 특성상 미립으로서 비표면적이 크기 때문에 과분쇄할 필요가 없으며,  $MnO_2$ 가 환원배소된  $Mn_3O_4$ 나  $MnO$ 의 상태로 존재하기 때문에 침출이 용이한 장점을 가지고 있다.<sup>5)</sup> Lee 등은 질산을 이용하여 저탄소 페로망간 집진분에 함유된 망간을 침출하였다. 그러나 비정질 상으로 존재하는 집진분 중의  $MnO_2$ 가 잔류하여 최대 침출률은 약 67% 정도인 것으로 보고하였다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 중저탄소 페로망간 제조공정에서 발생하는 집진분으로부터 고순도의  $MnSO_4$ 를 제조하기 위하여 황산을 침출제로 사용하였으며, 집진분 중의 유가 금속인 Mn과 불순물인 Fe의 침출특성에 미치는 산농도, 반응온도, 교반속도, 고-액비 및 입도의 영향에 대하여 조사하였다.

## 2. 실험방법

Fig. 1에는 실험장치의 모식도를 나타내었다. 시료의 침출은 2 L용량의 파이렉스 반응조를 사용하였고, 가열 맨틀(heating mantle)로 반응조를 일정한 온도로 가열한 후 3시간 동안 침출 실험을 진행하였다. 실험 중 pH meter와 ORP meter (model HM-31P, internal reference electrode solution 3.3 mol/L KCl solution)를 사용하여 용액의 pH, Eh 변화 및 온도를 측정하였다. 또한, 실험 중 침출용액의 증발 손실을 방지하기 위하여 응축기를 반응조 상부에 설치하여 냉각수를 통과시키고, 교

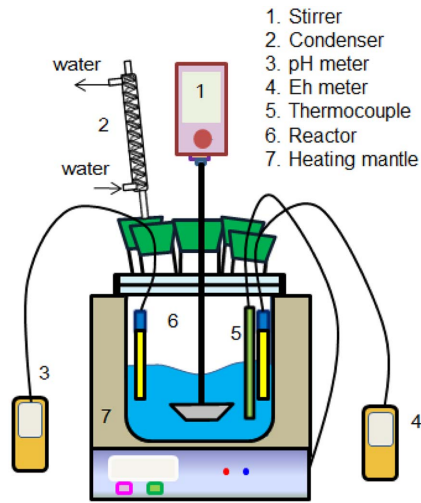


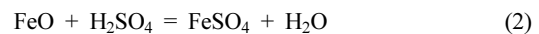
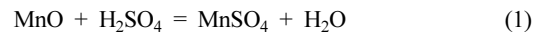
Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus.

반기를 이용하여 50 ~ 300 rpm의 속도로 침출용액을 교반하였다. 고액비는 50 ~ 200 g/L, 반응온도는 40 ~ 90 °C, 황산의 농도는 1.5 ~ 3.0 M로 실험을 진행하였다.

반응조에 일정농도의 황산을 투입한 후 소정의 온도에 도달하면 시료를 투입하고, 일정시간 간격으로 5 mL씩 시료를 채취하여 원심분리 한 후 0.2 μm의 시린지 필터를 이용하여 여과한 후, 여액 중의 망간과 철의 농도를 ICP(Perkin Elmer, Optima 7300DV)를 이용하여 분석하였다.

Table 1에는 본 시료의 조성을 나타내었다. Mn이 약 66.85 wt% 함유되어 있으며, 불순물로는 Si, Fe와 미량 원소 등이 존재하였다.

황산농도를 결정하기 위해 아래 식을 통해 당량비를 계산하였다.



실제의 페로망간 더스트는  $Mn_3O_4$ 와  $MnO$ 로 구성되어 있으나, 생성물이  $MnSO_4$ 이므로 황산의 당량비 계산은 동일하기 때문에 본 연구의 계산에서는 전량  $MnO$

Table 1. Chemical assay of ferromanganese dust (wt%)

Mn	Si	Fe	Zn	Al	Cu	Ni	Sn
66.85	3.85	2.916	0.07	0.02	0.11	0.34	0.11

로 존재하는 것으로 가정하여 계산하였다. 시료의 ICP 분석결과 Table 1에 나타난 바와같이 Mn의 품위는 66.85 wt%, Fe는 2.916 wt%였다. 이를 통해 계산된 시료 100 g에는 망간은 1.217 mol, 철은 0.052 mol이다. 한편 식 (1), (2)에 나타난 바와 같이 Mn과 Fe는 황산과 1:1 반응을 하므로 반응에 필요한 황산은 1.269 mol이다. 따라서 황산농도는 1.5~3.0 M의 농도범위에서 실험을 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2에는 시료의 X-선 회절분석(PHILIPS, Cubix) 결과를 나타내었다. 시료의 대부분은 Mn의 저급산화물인 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (JCPDS #18-0803)와 MnO (JCPDS #07-0230)로 존재하였다. 일반적으로 망간광석은 MnO<sub>2</sub> 상태이지만, 가열에 의해서 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(480 °C) → Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(950 °C) → MnO (1200 °C)로 열분해하는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서 사용한 시료는 저탄소 페로망간 제조공정에서 기화한 Mn이 대기 중에서 재산화되어 MnO와 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 생성되었거나 망간광석의 열분해에 의해서 생성된 것으로 생각된다.

Fig. 3에는 본 연구에서 사용한 시료의 전자현미경 관찰결과를 나타내었다. 본 시료는 저탄소 페로망간 제조공정에서 발생한 분진을 집진한 것으로, 그림에 나타난 바와같이 5 μm 이하의 구형이며, 1 μm 이하의 미세한 입자도 다량 존재하였다. 그러나 건조과정에서 이러한 입자들이 서로 응집되어 겉보기 입자의 크기는 수십 μm를 나타내었다.

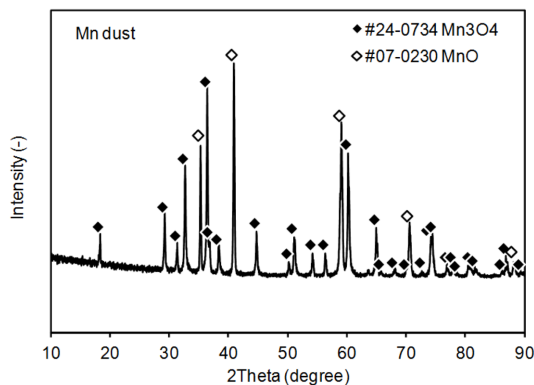


Fig. 2. X-ray diffraction analysis of ferromanganese dust used in this study.

Fig. 4에는 75 °C에서 100 g/L의 페로망간 집진분을 침출시켰을 경우 황산농도에 따른 Mn과 Fe의 용액 중 농도(a)와 침출률 변화(b)를 나타내었다. Mn의 경우 집진분을 투입함과 동시에 급격한 반응에 의해서 용액 중의 Mn농도가 약 30분까지는 현저하게 상승하였으며,

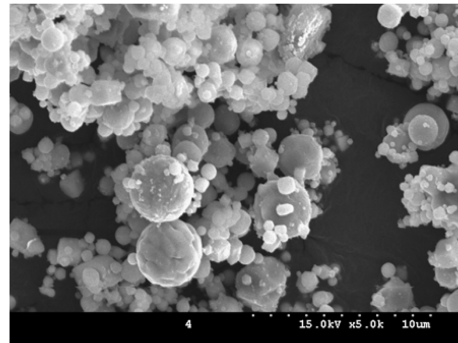


Fig. 3. Scanning electron micrograph of ferromanganese dusts used in this study.

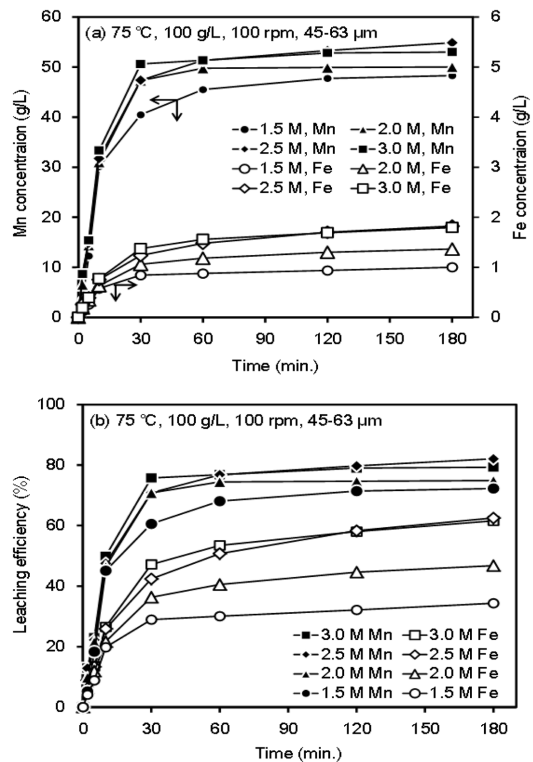


Fig. 4. The effect of sulfuric acid concentration on the metal concentration in solution (a) and leaching efficiency (b) of Mn and Fe.

그 이후에는 반응속도가 현저하게 감소하여, 3 시간 동안의 반응에서 최대 55 g/L의 농도를 나타내었으며, 이때의 침출률은 약 82% 수준을 나타내었다. 환원제를 사용하지 않았음에도 현저한 침출반응이 일어나는 것은 본 연구에 사용한 시료는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 망간광석(MnO<sub>2</sub>)보다 저급 산화물인 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>와 MnO로 구성되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 황산의 농도가 증가할수록 용액 중의 Mn농도와 침출률이 증가하였으나, 2.5 M 이상의 황산농도에서는 유사한 거동을 나타내었다. 한편, Fe의 경우에도 반응초기부터 현저한 침출반응이 일어나지만 Mn보다는 반응속도가 느린 것으로 나타났으며, 침출률도 최대 63% 수준으로 Mn보다 낮게 나타났다. Fe의 경우에도 황산농도가 증가할수록 침출률이 높게 나타났으나, 황산농도가 2.5 M 이상에서는 Mn의 경우와 마찬가지로 큰 차이는 나타나지 않았다. 한편 침출 반응 중의 Eh-pH 변화를 관찰한 결과, 황산농도에 따라 변동은 있으나 pH는 1 이하를 나타내었으며, Eh는 1.0~1.2 V 범위에서 변화하여 Mn<sup>2+</sup> 이온이 안정한 영역에 존재하였다.

Fig. 5에는 황산농도 2.5 M의 조건에서 100 g/L의 집진분을 투입한 경우 반응온도에 따른 Mn(a)과 Fe(b)의 침출률 변화를 나타내었다. 우선 Fig. 5(a)에 나타낸 것처럼 Mn의 경우 반응온도가 상승함에 반응초기의 침출속도와 침출률이 현저하게 상승하였으나, 75 °C 이상에서는 60 분이 경과한 후의 침출률에는 큰 차이가 없었다. 특히 90 °C의 경우 10 분간의 반응에서 약 75%의 침출률을 나타내었으며, 그 이후에는 반응속도가 급격히 감소하여 3시간 동안의 반응에서 약 82%의 침출률을 나타내었다. 한편, Fe(b)의 경우에도 반응온도가 상승함에 따라 침출속도와 침출률이 현저하게 상승하였으나, Mn의 경우와 마찬가지로 시간의 경과에 따라 75 °C 이상에서는 큰 차이가 없었다. 이와 같이 반응온도의 상승에 따라 반응속도와 반응물이 현저하게 차이가 나는 것을 침출반응이 반응계면에서의 화학반응에 의해서 율속될 가능성이 큰 것을 시사하는 것으로 생각된다.

Fig. 6에는 황산농도 2.5 M 및 75 °C, 100 rpm의 조건에서 제강분진을 침출시켰을 경우 침출액 중의 Mn과 Fe의 침출률에 미치는 고액비의 영향을 나타내었다. Mn과 Fe 모두 고액비가 증가할수록 침출률이 감소하였으나, 초기의 침출속도에는 큰 영향을 미치지 않았다. 그리고 100 g/L 이하의 고액비에서는 초기 침출거동과 최종 침출률에서도 큰 차이는 나타나지 않았다. 이러한

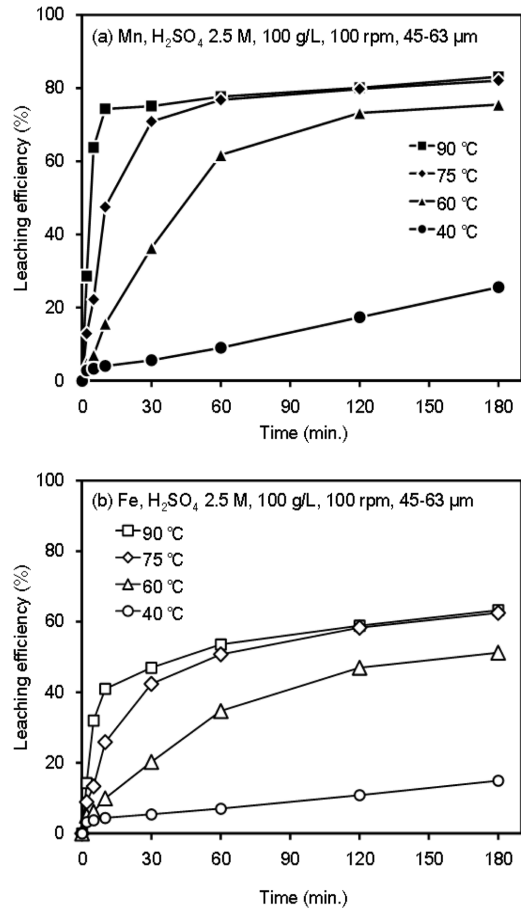


Fig. 5. The effect of temperature on the leaching efficiency of Mn (a) and Fe (b).

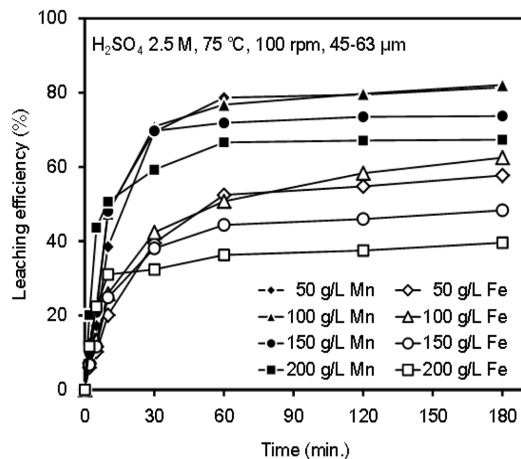


Fig. 6. The effect of solid to liquid ratio on the leaching efficiency.

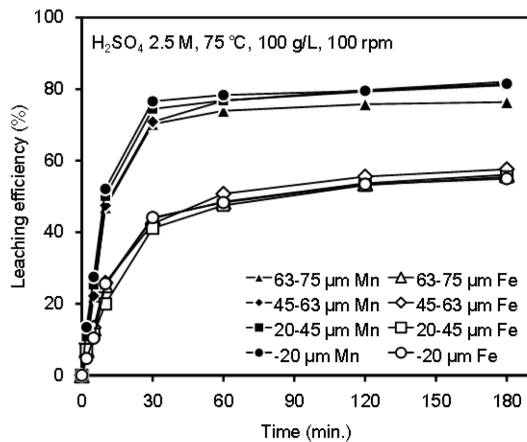


Fig. 7. The effect of particle size on the leaching efficiency.

결과는 침출에 필요한 황산농도를 계산할 때 고액비를 100 g/L로 가정하였기 때문에 그 이하의 고액비에서는 황산농도가 충분하였기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 100 g/L 이상의 고액비에서 최종 침출률이 저하하는 것은, 고액비에 따라서 초기의 침출속도에는 큰 차이가 없는 것으로 보아 황산농도가 부족하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 7에는 황산농도 2.5 M, 75 °C의 조건에서 100 g/L의 집진분을 투입한 경우 폐로망간 집진분의 겉보기 입자크기가 Mn과 Fe의 침출률에 미치는 영향을 나타내었으나, 입자 크기는 침출률에 큰 영향을 미치지 않았다. 본 실험에 사용한 시료는 저탄소 폐로망간 제조공정에서 채취한 것으로, 공정 중 Mn의 증발-산화에 의한 것과 Mn광석인 MnO<sub>2</sub>의 열분해에 의해서 생성된 것이다. 따라서 실제의 집진분 입자의 크기는 약 5 μm 이하로 매우 미세하지만 건조 과정에서 입자들끼리 응집된 것을 체질(sieving)하여 분류한 것으로, 침출과정에서 응집된 입자들이 분리되어 겉보기 입자 크기의 영향이 나타나지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 8에는 황산농도 2.5 M, 75 °C의 조건에서 100 g/L의 집진분을 투입한 경우 교반속도가 Mn과 Fe의 침출률에 미치는 영향을 나타내었다. 50 rpm의 조건에서는 Mn과 Fe 모두 반응초기의 침출속도도 느리고 최종 침출률 또한 낮게 나타났으나, 100 rpm 이상에서는 큰 유의차는 나타나지 않았다. 이러한 결과로부터 100 rpm 이상의 교반속도에서는 집진분 입자 주위의 액 경계층을 통한 물질이동은 율속단계가 되지 않는 것으로 생각된다.

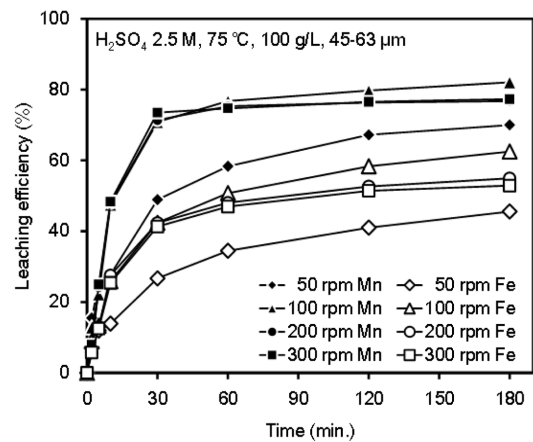


Fig. 8. The effect of stirring rate on the leaching efficiency.

폐로망간 집진분 중의 Mn농도가 약 67 wt%로 비교적 높기 때문에 침출반응에 의해서 Mn이 용출되면 입자의 크기는 시간의 경과에 따라 감소할 것이다. 따라서 폐로망간 집진분의 황산용액 중 침출거동을 설명하기 위하여 반응 중 입자크기가 감소한다는 가정(shrinking core model)하에서 속도론적으로 검토하였다.<sup>6)</sup> 고체 입자의 침출반응은 계면에서의 화학반응이나 입자 주위에서 물질이동, 반응 생성물층을 통한 확산 그리고 이러한 것의 복합적인 작용에 의해서 율속되는 것으로 생각할 수 있다. Lasheen 등은 질산용액 중 망간광석의 환원침출에 대하여 생성물 층을 통한 확산이 율속단계인 것으로 보고하였다.<sup>7)</sup> 이 경우에는 당밀을 환원제로 사용하여 계면에서의 화학반응이 비교적 쉽게 일어날 수 있으며, 광석 중에 SiO<sub>2</sub>, 돌로마이트, 철산화물 등이 다량으로 함유되어 있기 때문에 반응생성물층을 통한 확산이 율속단계로 작용할 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 시료는 폐로망간 제조공정에서 발생한 집진분으로 Table 1에 나타낸 것처럼 Si와 Fe가 각각 3.85, 2.92 wt%로 비교적 적은 양이 함유되어 있으며, 나머지는 미량 원소로 구성되어 있기 때문에 반응생성물층이 생성되지 않을 것으로 생각된다. 한편, 100 rpm 이상의 교반속도에서는 침출거동에 큰 차이가 나타나지 않으므로 입자 주위의 물질이동에 의해서도 율속되지 않는 것으로 가정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 환원제를 사용하지 않았기 때문에 침출반응은 식(3)에 나타낸 반응계면에서의 화학반응에 의해서 율속되는 것으로 가정할 수 있다.

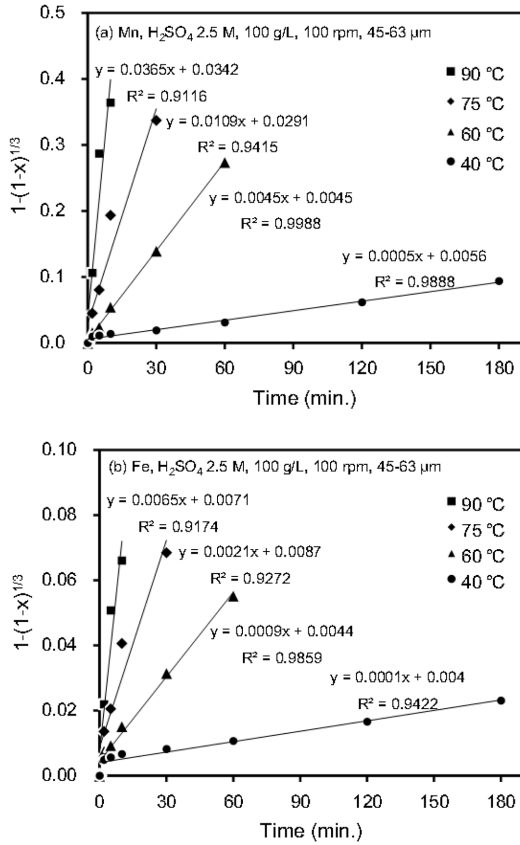


Fig. 9. Plots of  $1 - (1-x)^{1/3}$  versus time for different temperature.

$$1 - (1-x)^{1/3} = k_r t \quad (3)$$

여기서  $x$ 는 반응률(-),  $t$ 는 반응시간(s), 그리고  $k_r$ 은 화학반응속도의 겉보기 속도상수( $s^{-1}$ )를 나타낸다.

Fig. 9의 (a), (b)에는 각각 Mn과 Fe의 침출반응의 속도상수를 구하기 위하여 식(3)의 좌변을 시간에 대하여 나타내었다. 그림 중 추세선의 기울기가 겉보기 속도상수인  $k_r$ 에 해당한다. Mn과 Fe 모두 반응온도가 낮을수록 상관계수( $R^2$ )가 비교적 높게 나타났다. 이러한 결과는 반응온도가 상승할수록 화학반응이 잘 일어나기 때문에 저온일수록 화학반응에 의해서 가속된다는 것을 시사하는 것으로 생각된다. 한편, Mn과 Fe 모두 반응온도의 상승에 따라 겉보기 속도상수가 현저하게 증가하였다.

Fig. 10에는 식(4)로부터 활성화 에너지를 구하기 위하여 각 추세선 기울기의 대수를 온도의 역수에 대하여 나타내었다.

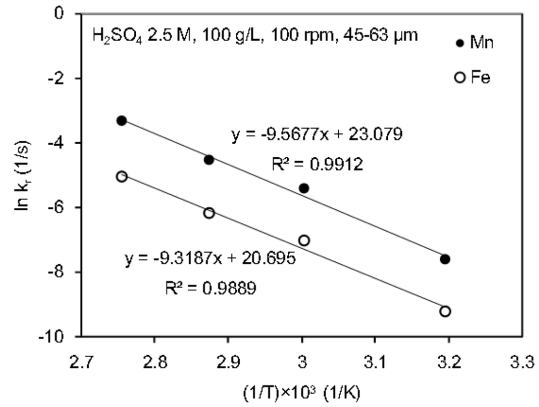


Fig. 10. Arrhenius plot of reaction rate against reciprocal temperature.

$$\ln k_r = -\frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (4)$$

여기서  $E$ 는 활성화 에너지(J/mol),  $R$ 은 기체상수 ( $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )이다. 그림에 나타낸 바와같이 Mn과 Fe의 추세선 기울기는 각각  $-9.5677$ 과  $-9.3187$ 이며, 따라서 Mn과 Fe의 활성화에너지는 각각  $79.55$ ,  $77.48 \text{ kJ/mol}$ 로 계산되었다. Lasheen 등은 Mn광석의 질산용액 중에서 Mn 환원침출의 활성화 에너지가  $25.7 \text{ kJ/mol}$ 인 것으로 보고하였다.<sup>7)</sup> 그리고 Xue 등은 MnO<sub>2</sub>의 황산용액에서의 환원침출을 반응생성물층을 통한 확산에 의해서 가속되는 것으로 해석하여 활성화 에너지가  $15.18 \text{ kJ/mol}$ 인 것으로 보고하였다.<sup>8)</sup> 이러한 결과는 본 연구에서 구한 값보다 훨씬 낮은 값으로 환원제를 이용한 환원침출이기 때문인 것으로 생각된다. 한편 Artamonova 등은<sup>9)</sup> 망간광석의 옥살산을 첨가한 황산용액에서 침출반응의 활성화에너지가  $80 \text{ kJ/mol}$ 인 것으로 보고하였으며, 본 연구의 결과와 유사한 값을 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 페로망간 제조공정에서 발생한 집진분 중의 유가자원인 Mn회수를 위한 기초연구로서 Mn과 Fe의 침출에 미치는 황산농도, 반응온도, 교반속도, 고액비, 그리고 입자크기의 영향에 대하여 조사하였으며, 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서 사용한 페로망간 집진분은 망간의 저급산화물인 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>와 MnO로 구성되어 있으며, 이것은 페로망간 제조공정에서 증발한 Mn의 산화나 Mn광

석의 열분해에 의해서 생성된 것으로 생각된다.

(2) 황산농도가 증가할수록 Mn과 Fe의 침출률과 침출속도가 증가하였으며, 실험조건에 따라 Mn의 최대 침출률은 82%이며, Fe의 침출률은 최대 63% 수준을 나타내었다. 그리고 반응온도의 상승에 의해 Mn과 Fe의 침출률과 침출속도가 현저하게 증가하였으나, 75 °C 이상의 온도에서 침출률에는 큰 차이가 없었다. 그리고 고-액비의 증가에 따라 침출률이 감소하였으나, 100 g/L 이하의 고-액비에서는 침출률의 큰 차이는 없었다.

(3) 본 연구의 실험조건에서는 입자크기의 영향은 나타나지 않았으며, 이것은 약 5 μm 이하의 입자들이 응집되어 있는 상태이기 때문으로 생각된다. 그리고 100 rpm 이상에서는 교반속도의 영향은 나타나지 않았다.

(4) 페로망간 집진분의 황산용액 중 침출거동을 설명하기 위하여 입자수축모델을 적용하여 검토한 결과 입자표면에서의 화학반응 율속으로 설명할 수 있으며, 이러한 결과로부터 황산농도 2.5 M, 고액비 100 g/L, 교반속도 100 rpm의 조건에서 Mn과 Fe 침출반응의 활성화에너지는 각각 79.55 kJ/mol과 77.48 kJ/mol로 계산되었다.

### 감사의 글

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐금속유용자원재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호: GT-11-C-01-010-0).



박 수 지

- 금오공과대학교 신소재공학부 학사
- 경북대학교 대학원 신소재공학부

### References

1. Sohn, H.S., Kim, J.S. and Jung, W.G., 1998: *Reduction Kinetics of Manganese Oxide in CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO<sub>sat</sub>-FeO-MnO Slag*, J. Kor. Inst. Met. & Mater. **36**, pp. 2228-2234.
2. You, B.D. 1995: *A Study on Argon-Oxygen Decarburization of High Carbon Fe-Mn Melt*, J. Kor. Inst. Met. & Mater. **33**, pp. 1508-1513.
3. Kim, Y.C., Song, Y.J. and Park, Y.K., 2012: *Recycling of Ferro-manganese Furnace Dust Collected from Converter*, J. Kor. Inst. of Resources Recycling **21**(3), pp. 21-27.
4. Abbruzzese, C. et al., 1990: *BIOLOGICAL AND CHEMICAL PROCESSING OF LOW-GRADE MANGANESE ORES*, Minerals Engineering **3**, pp. 307-318.
5. Lee, G.S. et al., 2000: *The Extraction of Manganese from the Medium-Low Carbon Ferromanganese Dust with Nitric Acid*, J. Kor. Inst. of Resources Recycling **9**(3), pp. 21-26.
6. Park, S.J., Son, I., and Sohn, H.S., 2015: *Leaching of Zinc from EAF Dust with Sulfuric Acid*, Korean J. Met. Mater. **53**(11), pp. 793-800.
7. Lasheen, T.A., El Hazek, M.N., and Helal, A.S., 2009: *Kinetics of reductive leaching of manganese oxide ore with molasses in nitric acid solution*, Hydrometallurgy **98**, pp. 314-317.
8. Xue, J. et al., 2014: *Kinetics of reduction leaching of manganese dioxide ore with Phytolacca americana in sulfuric acid solution*, Journal of Saudi Chemical Society, in press.
9. Artamonova, I. V., Gorichev, I. G., and Godunov, E. B., 2013: *Kinetics of Manganese Oxides Dissolution in Sulphuric Acid Solutions Containing Oxalic Acid*, Engineering, **5**, pp. 714-719.

손 호 상

- 현재 경북대학교 신소재공학부 교수
- 당 학회지 제11권 6호 참조