

Zinc-ferrite의 溶解 速度論에 미치는 黃酸 溶液의 溫度와 濃度の 影響

†吳伊植 · 金泉助

釜慶大學校 新素材工學部

Effect of Solution Temperature and Bath Concentration on the Kinetics with Dissolution Reaction of Zinc-Ferrite

†Lee-Sik Oh and Chun-Jo Kim

Division of Advanced Material Science and Engineering, Pukyong National University

요 약

황산 용액에서 Zinc-ferrite의 용해에 대한 반응속도론을 황산 용액의 반응온도와 농도 변화에 대해 조사하였다. 반응율(R)과 겉보기 반응 속도상수(K)는 황산 용액의 온도와 농도가 클수록 증가한다. Zinc-ferrite의 반응속도는 반응초기에서 $1-(1-K)^{1/3}=Kt$ 와 같은 속도식을 적용할 수 있다. 용해에 대한 활성화 에너지는 황산 용액의 농도에 관계없이 약 16.3 kcal/mole 이다. Zinc-ferrite가 황산 용액에서 용해할 때는 Zinc-ferrite의 화학 양론적 조성으로 용해되며, Fe 또는 Zn의 단독으로는 용해되지 않는다.

주제어: 용해속도론, 용속단계, 반응율, 겉보기 반응속도 상수, 활성화 에너지

Abstract

A kinetics study on the dissolution reaction of zinc-ferrite has been made with aqueous sulfuric acid in various temperature and concentration. Fraction reacted(R) and apparent rate constant(K) increased with increasing temperature and concentration of sulfuric acid solution. The rate of dissolution is shown by $1-(1-K)^{1/3}=Kt$ for the initial stage of the reaction in aqueous sulfuric acid, where K is apparent rate constant, R is fraction reacted and t is reaction time, respectively. Activation energy associated with reaction was determined to be 16.3 kcal/mole. The dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid solution is dissolved by stoichiometric composition, but Fe and Zn did not dissolved, respectively.

Key words: Dissolution kinetics, Rate determining step, Fraction reacted, Apparent rate constant, Activation energy

1. 서 론

산화제2철(Fe_2O_3)은 다른 금속화합물인 ZnO, MgO, CuO, BaO, CaO, NiO 및 Mn_3O_4 등과 고온에서 고체반응으로 Spinel type의 산화물 결정체인 세라믹이면서 자성을 지닌 Ferrite가 생성된다.^{1,2,3)}

Mn-Zn ferrite, Ni-Zn ferrite, Ni-Cu-Zn ferrite, Sr-ferrite, Mg-ferrite, Ba-ferrite 및 Mn-Ni ferrite 등은 강자성 재료, 반도체 재료, 전기 통신 재료에 광범위하게 사용되고 있다.^{4,5,6)} Cobalt-ferrite, Zinc-ferrite, Nickel-

ferrite, Copper-ferrite 등은 습식 및 건식제련에 많은 영향을 주며, 이중에서도 Zinc-ferrite와 Copper-ferrite는 섬아연광[Zn(Fe)S], 동이 함유한 유화철광(FeS_2)등의 배소시에 생성되어 제련시에 막대한 영향을 준다.^{7,8,9)} 국내에서 산출되는 대표적인 아연광은 혼합아연광인 Marmatite이다.⁷⁾ 이 혼합 아연광을 배소하면 광석에 함유되어 있는 철분은 전부 산화아연과 결합하여 Zinc-ferrite가 형성되어 묶은 황산에 잘 용해되지 않으므로 습식제련에서 아연 회수율의 저하를 초래하는 가장 큰 원인이 된다.^{7,8,9,10)}

아연광의 배소시 Zinc-ferrite의 형성과 습식 또는 건식제련에 미치는 영향과 전자 재료로서 Zinc-ferrite의

† 2003년 5월 26일 접수, 2003년 7월 18일 수리

† E-mail: metsiko@pknu.ac.kr

특성과 제조에 대해서는 많은 연구가 있었다.^{2,7,11,12,13)} 또한, Zinc-ferrite의 용해 반응에 대한 자료 및 연구들도 많이 보고되었다.^{14,15,16,17)} 그러나 Zinc-ferrite의 용해 반응을 용해 속도론에 대한 보고는 거의 없는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 Zinc-ferrite의 황산 용액에 대한 용해 반응을 황산 용액의 온도와 농도 변화에 따른 용해 속도론으로 고찰하여 습식제련에서 아연 회수에 대한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 Zinc-ferrite는 Fig. 1과 같이 시판 중인 1급 시약 ZnO와 Fe₂O₃ 분말을 각각 1:1의 몰비 (mole ratio)로 섞은 다음 Ball mixer에서 약 20시간 혼합하여 균일하게 하였고, 머플(muffle)로에서 900°C의 대기중에서 10시간 가열하여 제조하였다. 본 실험에서 사용된 모든 Zinc-ferrite는 1번(1회) 제조된 것을 사용하였기 때문에 혼합 조건과 가열 시간 및 가열 온도는 정확하게 동일하다. 900°C와 10시간은 아연 정광을 배소시킬 때의 Zinc-ferrite의 형성 조건과 거의 비슷하기 때문에 선택한 것이다. 또한 제조된 Zinc-ferrite를 같은 조건인 Hand grinding에서 분쇄(grinding)하여, 동일한 조건에서 분쇄된 분말상태로 된 것을 사용하였다.

제조된 시료 Zinc-ferrite를 x-ray회절 분석한 결과 Fig. 15와 같이 ZnO·Fe₂O₃(ZnFe₂O₄)조성을 가진 하나

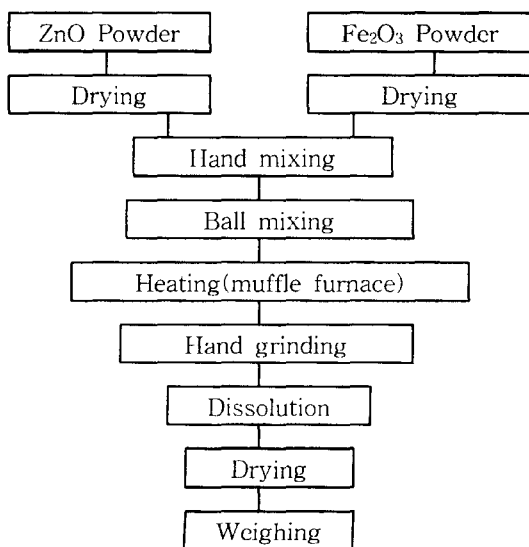
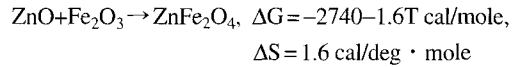


Fig. 1. Flow chart for the dissolution process of zinc-ferrite.

의 종류일 뿐이다.

Zinc-ferrite의 생성은 다음과 같은 반응²¹⁾으로 생성된다고 생각된다.

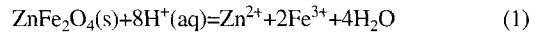


교반은 항온수조에서 동일한 조건으로 교반하면서 용해하였다. 황산 용액에 용해된 Zinc-ferrite의 반응율(R)은 잔사를 건조한 후 용해 전후의 무게를 0.1 mg까지 정밀하게 평량하여 그 무게 차이로 결정하였다. 또한 반응율은 동일한 실험조건에서 동일한 실험장치를 5개 설치하여 얻은 결과에서 최대값과 최소값을 제외한 3개의 값을 평균한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

Satava등은¹⁸⁾ 고체의 용해나 분해에 대한 반응기구는 열적 측량 측정방법(thermogravimetric method)으로 나타낸 식을 Table 1과 같이 분류하였고, Kolta등은¹⁹⁾ 이 반응기구를 Table 1의 식과 실험적 자료를 비교하여 설명할 수 있다고 하였다.

황산 용액중에서 Zinc-ferrite 용해의 주반응은 다음과 같은 식으로 나타낸다.^{17,20)}



식 (1)의 용해 과정을 여러단계로 설명할 수 있으나, Zinc-ferrite 표면에서 H⁺과 Zinc-ferrite의 반응이 율속 단계(rate determining step)라고 하였다.^{17,20)} 즉, H⁺은 Zinc-ferrite 표면으로 확산 및 흡착된 후, 반응하여, Zn²⁺, Fe³⁺ 및 H₂O를 생성하고, 그 생성물은 용액쪽으로 확산하여 평형을 이루게 된다. 그러므로 식(1)은 H⁺의 농도에 좌우된다. 식(1)은 Table 1에서 Function I의 속도론적 기구에 해당되며, 이에 대한 식 (2)를 유도할 수 있다.^{14,15,16,17,18)}

$$1 - (1 - R)^{\frac{1}{3}} = Kt \quad (2)$$

K: 용해에 대한 겉보기 반응속도 상수

식 (2)는 수용액에서 H⁺의 농도가 일정하게 유지되고, 반응 입자의 모양이 초기와 같은 모양을 유지하는 조건에서 1 - (1 - R)^{1/3}을 t에 대해 그리면 직선이 되어야 한다. 그러나 이러한 조건이 만족되지 않더라도 반응 초기에는 식(2)를 적용할 수 있다고 생각된다. 그러므로

Table 1. Kinetic Equations

Function	Equation	Rate-controlling process
A	$R^2=Kt$	One-dimensional diffusion
B	$(1-R)\ln(1-R)+R=Kt$	Two-dimensional diffusion, cylindrical symmetry
C	$\left[1-(1-R)^{\frac{1}{3}}\right]^2=Kt$	Three-dimensional diffusion, spherical symmetry; Jander equation
D	$\left(1-\frac{2}{3}R\right)-(1-R)^{\frac{2}{3}}=Kt$	Three-dimensional diffusion, spherical symmetry; Ginstling Brounshtein equation
E	$-\ln(1-R)=Kt$	Random nucleation, one nucleus on each particle
F	$\sqrt{-\ln(1-R)}=Kt$	Random nucleation; Avrami equation
G	$\sqrt[3]{-\ln(1-R)}=Kt$	Random nucleation; Avrami equation
H	$1-(1-R)^{\frac{1}{2}}=Kt$	Phase boundary reaction, cylindrical
I	$1-(1-R)^{\frac{1}{3}}=Kt$	Phase boundary reaction, spherical symmetry

식(2)를 적용될 수 있는 반응 초기 시간 t에 대한 실험 값의 기울기로부터 용해에 대한 겉보기 반응속도 상수 K값을 얻을 수 있다. 또한 식(2)에 따라 그린 곡선의 반응초기에 대한 기울기 K는 Arrhenius식으로 나타낼 수 있다.

$$K=A\exp(-Q/RT) \tag{3}$$

A: 적분상수

Q: 활성화 에너지

3.1. 황산 용액의 온도변화에 대한 속도론

Fig. 2는 황산 용액의 농도를 1N으로 고정시키고, 황산 용액의 온도 50~90°C와 반응시간(용해시간) 30~180분으로 변화시킬 때, 반응율(반응속도)을 측정 한 결과이다. R은 반응율(fraction reacted)이며, (반응전의 Zinc-ferrite의 무게-반응후의 Zinc-ferrite의 무게)/반응전의 Zinc-ferrite의 무게 비율로 나타낸다. Fig. 2에서 70°C까지는 반응시간 증가에 따라 반응속도가 반응시간에 대해 거의 비례(직선)하여 증가하고, 70°C 이상에서는 초기 반응속도는 빠르나, 반응이 진행할수록 반응에 대한 증가속도의 증가율은 감소되어 가며, 반응온도와 반응시간이 증가할수록 이러한 경향은 현저하다. 그러나 대체적으로 50~70°C에서 보다 80°C와 90°C에서의 반응율이 훨씬 크다. 즉, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C 및 90°C에서 180분 반응시킨 결과 각각 12%, 24%,

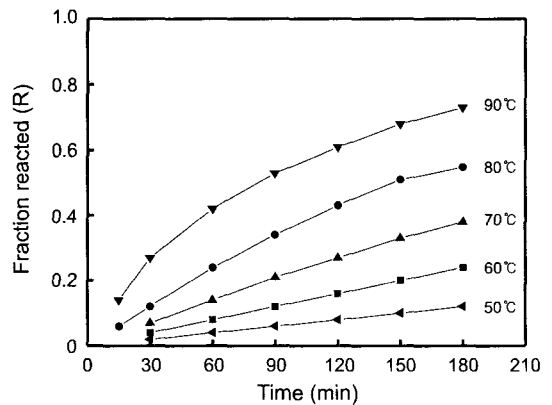


Fig. 2. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 1N H₂SO₄ and various temperature.

38%, 55%, 및 73%가 반응한다.

Fig. 3은 Fig. 2의 결과를 식 (2)에 따라 그린 것으로, 50°C, 60°C 및 70°C에서는 식 (2)에 거의 적용되나, 80°C와 90°C에서는 반응시간과 반응온도가 증가할수록 식(2)에서 점점 벗어남을 알 수 있다. 이러한 원인에 대한 연구는 좀 더 필요하다고 생각한다. 그러나 80°C에서는 150분까지, 90°C에서 90분까지는 대체로 식 (2)에 적용됨을 알 수 있다.

황산 용액의 농도를 4N으로 일정하게 하고 황산 용액의 반응온도 50~90°C와 반응시간 30~180분으로 변화시킬 때의 반응율을 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다.

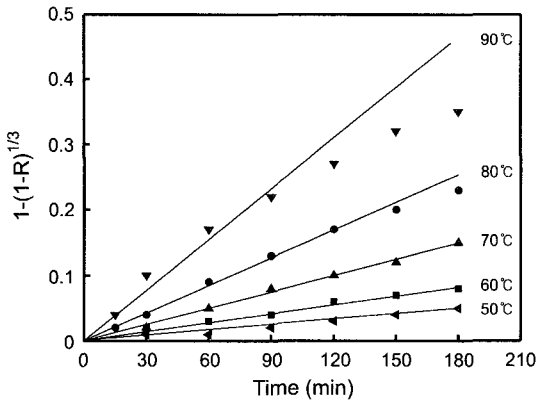


Fig. 3. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 1N H₂SO₄ and various temperature.

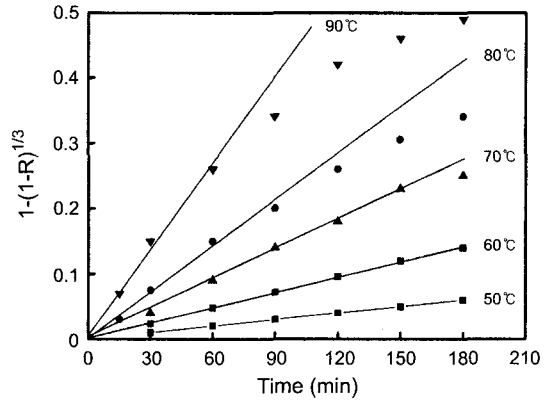


Fig. 5. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 4N H₂SO₄ and various temperature.

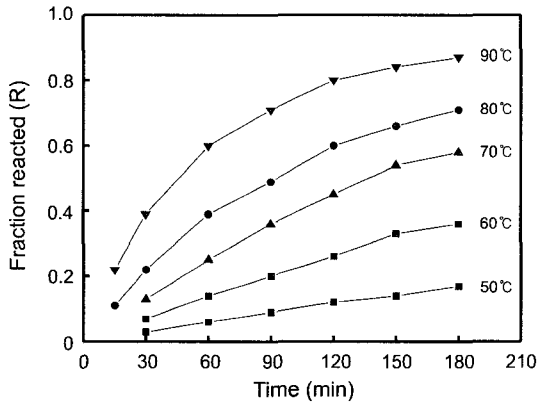


Fig. 4. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 4N H₂SO₄ and various temperature.

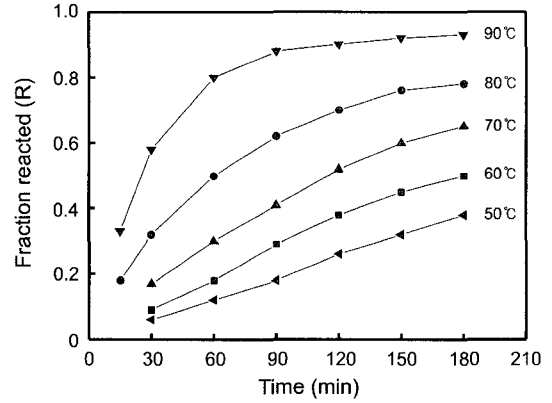


Fig. 6. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 8N H₂SO₄ and various temperature.

반응곡선의 모양은 Fig. 2와 유사하나 50°C에서만 반응시간의 증가에 따라 반응속도가 비례하여 증가하였고, 60°C 이상에서는 초기 반응속도는 빠르나, 반응이 진행할수록 반응에 대한 증가속도의 증가율은 감소한다. 이러한 경향은 반응온도와 반응시간이 증가할수록 Fig. 2보다 더 현저하다. 그러나 반응온도와 반응시간이 증가할수록 반응속도가 크며, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C 및 90°C에서 180분 반응시킨 결과 17%, 36%, 58%, 71% 및 87% 반응하여 Fig. 2의 결과보다 반응속도가 증가한다.

Fig. 4의 결과를 식(2)에 따라 그린 것을 Fig. 5에서 보여준다. Fig. 3에서 식(2)에 적용되는 황산 용액의 온도는 50°C, 60°C 및 70°C인데 비해, Fig. 5에서는 식(2)에 적용되는 황산 용액의 온도는 50°C와 60°C이며, 이 이상의 온도에서는 반응시간이 경과함에 따라 식

(2)에서 점점 벗어나는 것이 Fig. 3보다 더 큰 경향이 있다. 이러한 원인은 Fig. 2에서 설명한 것과 같다고 생각된다. 그러나 황산 용액의 온도 70°C, 80°C 및 90°C에서 반응시간 150분, 90분 및 60분까지는 식 (2)에 거의 적용됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 황산 농도 8N에서 황산의 반응온도 50~90°C와 반응시간 30~180분으로 변화시킬 때의 반응율을 나타낸다. 50°C에서만 반응시간의 증가에 따라 반응속도가 비례하여 증가하는 것은 Fig. 4와 거의 같으며, 60°C이상에서 반응초기의 반응속도는 비례적으로 빠르나 반응이 진행할수록 반응의 증가 속도에 대한 증가율이 감소하는 것은 Fig. 4보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 반응온도와 반응시간이 증가할수록 반응율은 증가하며, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C 및 90°C에서 180분 반응시킨 결과 38%, 50%, 65%, 78% 및 93% 반응하

여 Fig. 4의 반응속도 보다 증가한다.

Fig. 7은 Fig. 6의 결과를 식 (2)에 따라 그린 것으로, 50°C와 60°C에서 식 (2)에 적용될 수 있는 것은 Fig. 5와 거의 같다. 70°C 이상에서 온도가 증가할수록 식 (2)에 적용되지 못하는 것은 Fig. 5보다 더 큰 경향이다. 이러한 원인도 Fig. 3에서의 설명과 같다고 생각된다. 또한, 황산용액의 온도 70°C, 80°C 및 90°C에서 반응시간 120분, 60분 및 60분까지의 반응시간에서 거의 식 (2)에 적용된다.

Fig. 2, Fig. 4, Fig. 6의 결과로, 같은 농도의 황산용액에서 반응온도와 반응시간이 증가할수록 황산에 대한 Zinc-ferrite의 용해에 대한 반응속도의 증가율은 감소하나, 반응온도와 반응시간 및 황산 용액의 농도가 증가할수록 반응속도는 증가한다. Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7의 결과로 반응시간이 감소하고(반응초기), 황산 용액

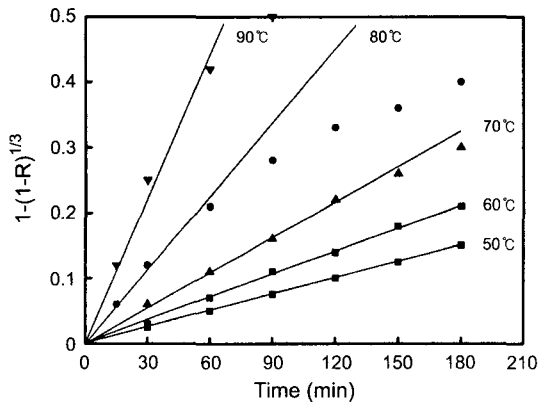


Fig. 7. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 8N H₂SO₄ and various temperature.

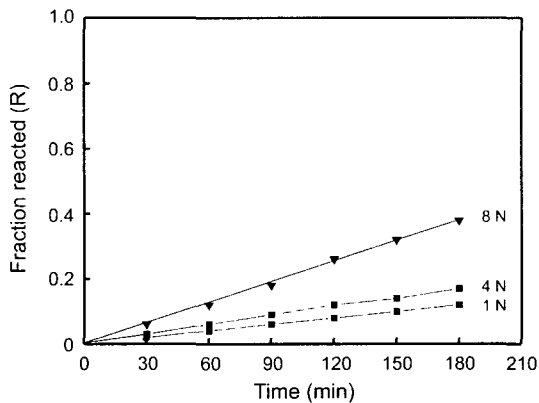


Fig. 8. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 50°C and various concentration.

의 온도와 농도가 감소할수록 식 (2)에 잘 적용된다. 그러므로 황산 용액에서 Zinc-ferrite의 반응속도는 황산 용액의 온도(50~90°C)와 농도(1N, 4N, 8N)에 관계없이 반응 초기(60분 이내)에는 식 (2)에 잘 적용됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 종래의 문헌¹⁷⁾과 비슷하였다.

3.2. 황산 용액의 농도변화에 대한 속도론

일정한 황산 용액의 온도에서 반응시간과 황산 용액 농도의 변화에 대한 Zinc-ferrite의 반응속도를 상세하게 조사하였다. Fig. 8은 일정한 50°C의 황산 용액에서 황산 용액의 농도 1N, 4N 및 8N과 반응시간 30~180분 변화에 대한 반응율의 결과를 나타낸다. 즉, 황산 용액 50°C에서 황산 농도가 증가할수록 반응율이 증가하며, 반응속도의 증가율도 반응시간에 비례적으로 증가하고, 반응시간 180분으로 반응시킨 결과 황산 농도 1N, 4N 및 8N일 때 반응율은 각각 12%, 17% 및 38% 반응한다. 이러한 결과는 Fig. 2의 황산 용액 1N에서 황산 용액의 온도가 증가할수록 반응에 대한 반응속도의 증가율이 감소하는데 비해, 황산 용액 50°C에서 황산 농도에 관계없이 반응시간에 대해 반응의 증가속도에 대한 증가율이 비례적으로 증가하여 상당한 차이가 있다.

Fig. 9는 Fig. 8의 결과를 식 (2)에 따라 그린 것으로 황산 용액의 농도와 반응시간에 관계없이 식 (2)에 거의 적용된다. 이러한 원인에 대한 연구는 좀 더 필요하다고 생각된다.

Fig. 10은 황산 용액의 온도를 70°C로 일정하게 하고, 황산 용액의 농도 1N, 4N 및 8N과 반응시간 30~180분으로 변화시킬 때의 반응율을 측정된 것이다. 황산 용액의 농도 1N에서는 반응시간에 대해 반응율이

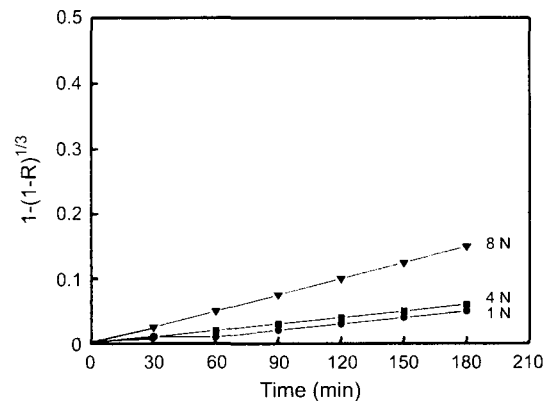


Fig. 9. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 50°C and various concentration.

거의 비례적으로 증가하였으나, 4N과 8N에서는 초기 반응속도는 빠르나 반응이 진행할수록 반응속도의 증가율이 감소되며, 이 증가율은 4N에서 보다 8N에서 더욱더 감소하여 대체로 황산 농도가 클수록 이러한 경향이 현저하다. 그러나 황산 용액의 농도가 증가할수록 반응율도 증가하였다. 즉 1N, 4N 및 8N에서 180분 반응시킨 결과 38%, 58% 및 65%가 반응하여 Fig. 8의 반응속도보다 증가한다.

Fig. 11은 Fig. 10의 결과를 식 (2)에 따라 나타낸 것으로 황산 용액 1N에서는 식 (2)에 적용되나 4N과 8N에서는 반응시간이 증가할수록 식 (2)에 적용되지 않는다. 이러한 원인도 Fig. 3에서와 같다고 생각된다. 그러나 황산 용액 4N과 8N에서도 반응시간 150분까지는 거의 식(2)에 적용됨을 알 수 있다.

Fig. 12는 황산 용액의 온도 90°C에서 황산 용액 농

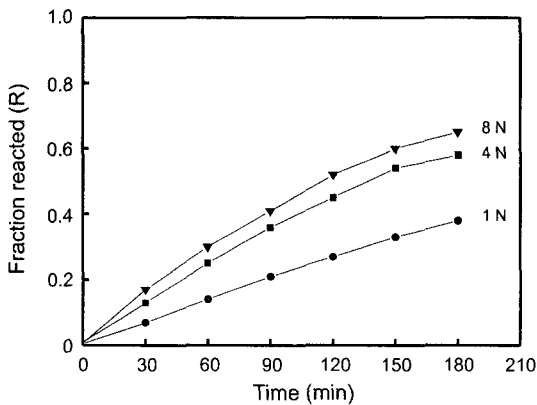


Fig. 10. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 70°C and various concentration.

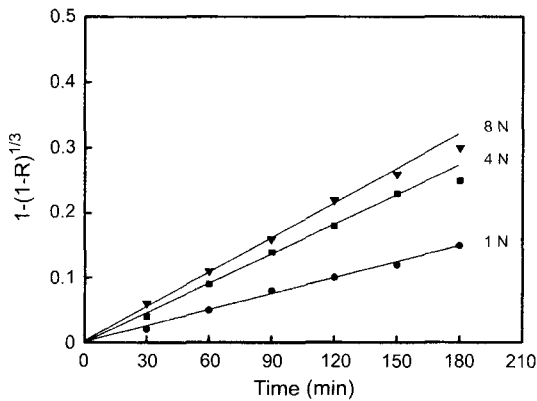


Fig. 11. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 70°C and various concentration.

도 1N, 4N 및 8N과 반응시간 30~180분으로 변화시킬 때, 반응율을 나타낸 것이다. 황산 용액의 농도와 반응시간에 관계없이 초기 반응속도는 빠르나 반응이 진행할수록 반응의 증가속도 증가율은 감소되며, 이러한 경향은 황산 용액의 농도와 반응시간이 클수록 현저하다. 즉, 황산 용액의 농도 1N, 4N 및 8N에서 180분 반응된 반응율은 73%, 87% 및 93% 반응하여 Fig.10의 반응율보다 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 13은 Fig. 12의 결과를 식 (2)에 따라 그린 것으로, 황산 용액의 농도에 관계없이 식 (2)에 벗어나며, 이러한 경향은 황산 용액의 농도와 반응시간이 증가할수록 현저하다. 이러한 원인도 Fig. 3과 같다고 생각된다. 그러나 황산 용액의 농도가 증가할수록 반응율이 증가함을 알 수 있다. 또한 황산 농도 1N, 4N 및 8N 모두에서 반응시간 60분(반응초기)까지는 대체로 식 (2)

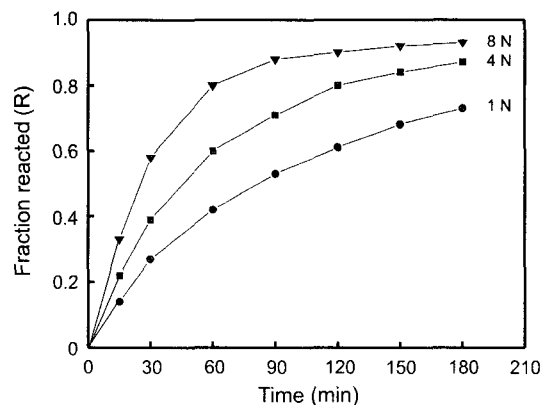


Fig. 12. Fractional dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 90°C and various concentration.

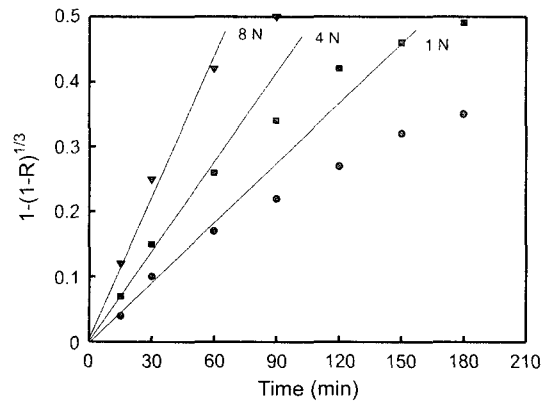


Fig. 13. Kinetic plot of dissolution of zinc-ferrite in sulfuric acid at 90°C and various concentration.

에 적용된다.

Fig. 8, Fig. 10, Fig. 12의 결과로 같은 황산 용액의 온도에서도 황산 용액의 농도와 반응시간이 증가할수록 용해반응에 대한 반응속도의 증가율은 감소하나, 반응온도, 반응시간 및 황산 용액의 농도가 증가할수록 반응율이 증가되는 것이 재확인된다.

또한 Fig. 9, Fig. 11, Fig. 13에서 반응시간이 감소하고(반응초기) 황산 용액의 온도와 농도가 감소할수록 식 (2)에 적용되는 것도 재 확인된다. 그러므로 상기의 결과로서 황산 용액의 온도와 농도가 증가할수록 반응속도가 증가하고, 황산 용액에서 Zinc-ferrite에 대한 용해의 반응속도는 반응시간 60분까지의 반응초기에서 황산 용액의 온도(50~90°C)와 농도(1N, 4N, 8N)에 관계없이 식 (2)에 적용됨이 재 확인된다. 이러한 결과는 종래의 문헌¹⁷⁾과 거의 비슷하였다.

3.3. 겉보기 반응속도와 활성화 에너지

Fig. 3, Fig. 5, Fig. 7에서 초기 반응시간(t) 60분까지는 황산 용액의 농도와 온도 증가에 따라 반응율이 반응시간에 대해 거의 비례적(직선)으로 증가하여 식(2)에 적용된다. 따라서 Table 2는 반응시간(t) 60분에서 황산 용액의 농도 1N, 4N 및 8N과 반응온도 50~90°C로 변화시킬 때, 반응율에 대한 실험값의 기울기로부터 황산 용액에서 Zinc-ferrite의 용해에 대해 겉보기 반응속도 상수K를 식 (2)에서 얻은 값이다. Table 2에서 황산 용액의 온도와 농도가 증가할수록 K 값은 증가하여 Fig. 2, Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8, Fig. 10 및 Fig. 12에서 황산 용액의 온도와 농도가 증가할수록 반응속도가 증가하는 것과 일치한다.

K는 식 (3)으로 나타낼 수 있으므로 활성화 에너지의 값을 얻을 수 있다. Fig. 14는 Table 2의 값을 식 (3)의 기울기를 그린 것이다. 황산 용액의 농도(1N, 4N, 8N) 변화에도 거의 같은 기울기가 된다. 따라서 황산 용액에서 Zinc-ferrite의 용해 반응에 대한 활성화 에너지

는 Fig. 14의 기울기로부터 16.3 kcal/mole이 된다. 이러한 결과는 황산 농도에 관계없이 활성화 에너지는 거의 동일한 값이 된다는 것을 알 수 있다.

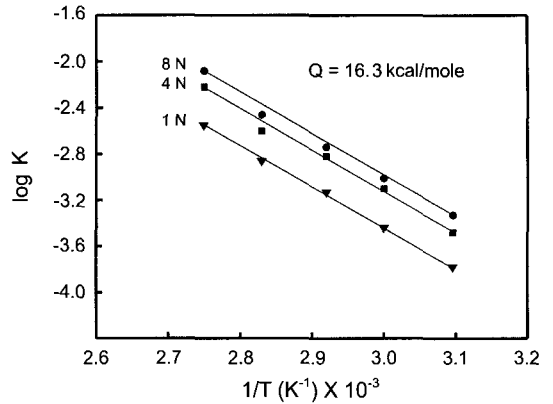


Fig. 14. Arrhenius plot for dissolution reaction of zinc-ferrite with sulfuric acid.

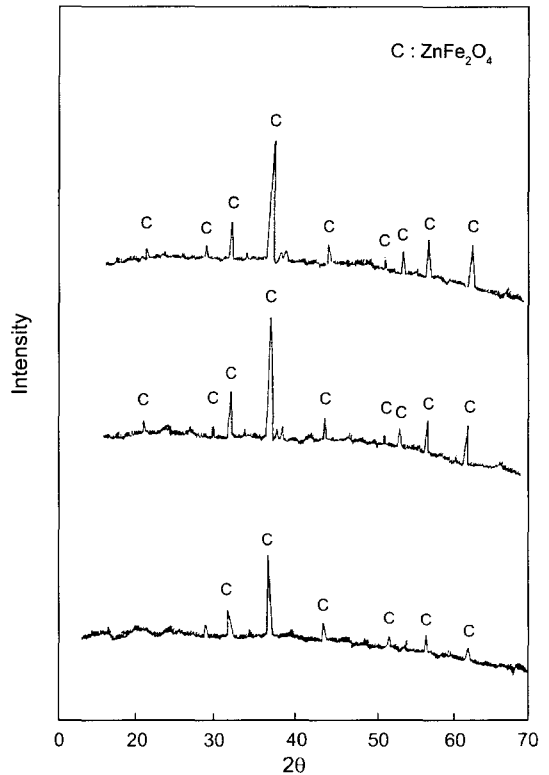


Fig. 15. X-ray diffraction analysis for specimen and residue after dissolution. (A): Zinc-ferrite specimen (B): residue after dissolution(1N, 500°C) (C): residue after dissolution(8N, 900°C)

Table 2. Apparent rate constant K(min⁻¹) for dissolution temperature at 60 minutes.

N	Temp				
	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C
1N	1.66×10 ⁻⁴	3.63×10 ⁻⁴	7.41×10 ⁻⁴	1.38×10 ⁻³	2.82×10 ⁻³
4N	3.31×10 ⁻⁴	7.94×10 ⁻⁴	1.51×10 ⁻³	2.51×10 ⁻³	6.00×10 ⁻³
8N	4.67×10 ⁻⁴	9.7×10 ⁻⁴	1.81×10 ⁻³	3.46×10 ⁻³	8.32×10 ⁻³

황산 용액에서 Zinc-ferrite 조성 중 Fe 및 Zn 단독에 대한 용해를 조사하기 위해 용해전의 Zinc-ferrite와 반응율이 최소 조건(1N과 50°C) 및 반응율이 최대 조건(8N과 90°C)에서 용해한 후의 잔사를 X-ray 회절 분석한 결과는 Fig. 15와 같이 $ZnFe_2O_4$ 성분의 한 종류뿐이다. 또한 Zinc-ferrite가 용해된 황산용액을 화학 정성분석을 하여도 Zn^{2+} 과 Fe^{3+} 만 검출되었을 뿐 다른 이온은 확인되지 않았다. 이러한 결과는 Zinc-ferrite가 황산 용액에서 용해할 때는 Zinc-ferrite의 화학 양론적 조성으로 용해되며, Fe 또는 Zn 단독으로는 용해되지 않음을 의미한다고 생각된다.

4. 결 론

황산 용액에서 Zinc-ferrite의 용해에 대한 반응속도론을 황산 용액의 반응온도와 농도 변화에 대해 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 반응율(R)과 겉보기 반응 속도상수(K)는 황산 용액의 온도와 농도가 클수록 증가한다.
2. Zinc-ferrite의 반응속도는 반응시간 60분 이내와 반응온도 50°C 이하에서 다음과 같은 속도식을 적용할 수 있다.

$$1 - (1 - R)^{\frac{1}{3}} = Kt$$

3. 용해에 대한 활성화 에너지는 황산 용액의 농도에 관계없이 약 16.3 kcal/mole 이다.
4. Zinc-ferrite가 황산 용액에서 용해할 때는 Zinc-ferrite의 화학 양론적 조성으로 용해되며, Fe 또는 Zn의 단독으로는 용해되지 않는다.

참고문헌

1. Kushima, L., and Amanuma, T., 1954: On the Constitution of Zinc ferrite Memories of the Faculty of Engineering Kyoto Univ., **16**(6), pp. 191-204.
2. Beretka, J., and Ridge, M. J., 1967: Formation of Zinc

- ferrite at low Temperature, Nature, **216**(4), p. 473-475.
3. 落合達四郎, 1988: 철, 망간 용액의 공배소 열분해에 의한 Ferrite 재료, 제조 Process의 개발, 자원사이클링, **7**(4), pp. 18-19.
4. 富求滋, 1988: 고성능 Soft ferrite용 산화철", 자원사이클링, **7**(4), pp. 13-17.
5. 손홍재, 허원도, 정화삼, 1996: Soft ferrite의 개요, 자원사이클링, **5**(2), pp. 17-25.
6. 권오홍, 2000: 스피넬계 Mn-Zn 페라이트의 망간이온이 미치는 영향, 자원사이클링, **9**(5), pp. 11-15.
7. 김재원, 김희정, 1965: 아연의 습식아연을 위한 Zinc-ferrite에 관한 연구, 금속학회지, **3**(4), pp. 133-139.
8. 久島核三雄, 天沼倭, 1961: 亞窒酸 に関する研究, 日本鑛業會誌, **68**(768), pp. 267-271.
9. 박평주, 1972: Zinc-ferrite의 수소환원에 관한 연구(I), 금속학회지, **10**(1), pp. 56-61.
10. 박평주, 1972: Zinc-ferrite의 수소환원에 관한 연구(II), 금속학회지, **10**(2), pp. 135-146.
11. 久島核三雄, 天沼倭, 1963: 高温における 亞窒酸亞鉛の組成につ, 日本鑛業會誌, **72**(812), pp. 81-85.
12. 新居和嘉, 久松敬弘, 1964: Zinc-ferriteに関する研究(3), 日本鑛業會誌, **80**(90), pp. 362-364.
13. 新居和嘉, 久松敬弘, 1966: Zinc-ferriteに関する研究(5), 日本鑛業會誌, **82**(943), pp. 926-932.
14. 新居和嘉, 木村啓造, 久松敬弘, 1962: Zinc-ferriteに関する研究, 日本鑛業會誌, **78**(884), pp. 108-112.
15. 新居和嘉, 久松敬弘, 1964: Zinc-ferriteに関する研究(第2報), **80**(908), pp. 95-98.
16. 新居和嘉, 久松敬弘, 1966: Zinc-ferriteに関する研究(第4報), **82**(942), pp. 846-854.
17. 진영술, 박평주, 1976: 황산 용액 중에서 Zinc-ferrite의 용해에 관한 속도론적 고찰, 금속학회지, **14**(10), pp. 401-407.
18. Satava, V., and Skvara, F., 1969: Mechanism and Kinetics of the Decomposition of Solids by a Thermogravimetric Method, J. of the American Ceramic Society, **52**(11), pp. 591-595.
19. Kolta, G. A., Fltawill, S. Z., Ibrahimand, A. A., Felix, N. S., 1980: Kinetics and Mechanism of Zincferrite Formation, Thermoche. Acta., **36**, pp. 359-365.
20. Habashi, F. 1969: Extrative Metallurgy, Science Publishers, Paris, **1**, General Principles, pp. 143.
21. 오이식, 황용길, 1981: 합성 Zinc-ferrite에 관한 연구, 대한금속학회지, **19**(11), pp. 940-946.

吳 伊 植

- 현재 부경대학교 신소재공학부 교수
- 본 학회지 10권2호, 12권1호 참조

金 泉 助



- 부산공업대학교 공학사
- 부경대학교 석사과정중
- 현대 주강 산기(주)