

## 염화 제2철 용액에 의한 Shadow Mask의 식각에 관한 연구

윤덕선 · 이근우\* · 박진호†

영남대학교 응용화학공학부

\*(주)LG마이크론 기술연구소

(1999년 10월 15일 접수, 2000년 1월 31일 채택)

## Studies on the Ferric Chloride Etching of Shadow Masks

Deoksun Yoon, Gunwoo Lee\* and Chinho Park†

School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University

\*Technical Research Laboratory, LG Micron Co., Ltd.

(Received 15 October 1999; accepted 31 January 2000)

### 요 약

염화 제2철 용액을 사용하여 aluminum-killed(AK) 철 및 Invar 합금의 식각에 관한 연구를 수행하였다. 공정 변수들 즉, 식각 용액의 온도, Fe<sup>3+</sup> 이온 농도, 비중(Baume) 및 유리산도가 식각 속도에 미치는 영향을 각각 조사하였고, 그 결과 AK 철과 Invar 합금의 식각 반응이 1차 반응식을 따르고 있음을 알 수 있었다. 식각 후 표면의 거칠기는 식각 용액의 Baume가 증가할수록 개선됨을 알 수 있었고, 유리산도가 식각 속도에 미치는 영향은 조사된 범위 내에서는 미미함을 알 수 있었다. 공정 모델링을 통해 유도된 식각 속도식의 계산 결과는 실험결과와 비교되었으며 이들은 매우 잘 일치하였다.

**Abstract** – The ferric chloride etching of aluminum-killed(AK) steel and Invar alloy was studied. The effect of process parameters(i.e., etchant temperature, Fe<sup>3+</sup> ion concentration, specific gravity(Baume), and free HCl concentration) on the etch rate was investigated, and the results showed that the etching reactions of AK steel and Invar alloy follow the first-order kinetics. Roughness of the etched surface was improved when the etchant Baume was increased. The change in free HCl concentration did not affect the etch rate significantly within the range covered in this study. The experimental data were compared with the calculations from process modeling, and they were in good agreement.

Key words: Shadow Mask, Etching, AK Steel, Invar Alloy, Ferric Chloride

### 1. 서 론

TV 브라운관 및 컴퓨터 모니터 등에 쓰이고 있는 CRT(Cathode-Ray Tube)의 주요 부품인 shadow mask는 수십 만개의 공경(aperture)이 형성되어 있는 얇은 금속판으로서, 전자총에서 주사되어 나온 전자빔의 방향을 유도하는 작용을 하며, CRT의 해상도와 선명도를 결정하는 매우 중요한 역할을 한다. 일반적인 상용 TV용 shadow mask의 재료로는 순철인 AK 철(aluminum-killed decarbonized steel)이 주로 사용되고 있고, 고해상도용 shadow mask의 재료로는 철-니켈 합금인 Invar 합금이 주로 사용되고 있다[1, 2]. 고해상도용 shadow mask의 재료로서 AK 철이 부적절한 이유는 이 재료가 높은 열팽창계수(1.2×10<sup>-5</sup>/°C)를 가지고 있어 가열시 shadow mask doming 현상으로 화면 변색이 일어나는 문제점이 있기 때문이다[1]. 이러한 doming 현상을 최소화하고 제품의 질을 높이기 위해서는 보다 낮은 열팽창계수(1.7×10<sup>-6</sup>/°C)를 갖는 Invar 합금의 사용이 적합하다.

Shadow mask의 제조공정 중 핵심 공정인 식각(etching) 공정은 사진

공정을 통해 도포된 감광성수지(photoresist)에 미세 패턴이 형성되어 있는 AK 철 또는 Invar 합금 위로 염화 제2철 용액을 균일하게 분사시켜 공경을 형성하는 공정이다[3, 4]. 식각 용액(etchant)인 염화 제2철 용액은 강한 산화력을 가지고 있으며 다양한 금속 및 합금의 식각에 사용될 수 있는 폭 넓은 반응성을 가지고 있다. 또한 값이 비교적 저렴하고 유독 가스와 냄새의 발생이 적어 PCB(Printed Circuit Board), 반도체용 lead frame 등 다른 여러 정밀 전자 부품의 식각 용액으로도 널리 사용되고 있다[5, 6]. 상업적으로 주로 사용되고 있는 shadow mask 식각 기술은 spray etching 기술로서 이를 통해 빠른 식각 속도(etch rate)와 균일한 공경형성(etch profile)을 추구하고 있다[7-9]. Spray etching 공정은 shadow mask의 품질과 원가에 직접적인 영향을 미치는 공정으로서, 공정 조건의 미세한 변화에 의해 제품의 품질이 현격히 변화되는 특징을 가지고 있다. 예를 들어 공정 조건 중 etchant의 온도는 shadow mask의 생산 속도와 직결되며, 식각 용액의 농도와 비중은 식각 속도, etch profile, 그리고 표면 거칠기에 영향을 미치게 된다. Spray 압력도 역시 식각 속도와 etch profile에 영향을 미치며, 식각 용액의 유리산도는 식각 용액 내의 슬러지 생성을 억제하는 역할을 한다[5]. 이들 공정 조건들은 서로 매우 밀접한 상호 연관성을 가지고 있어 etching

†E-mail: chpark@yu.ac.kr

공정의 체계적인 관리를 위해서는 공정 변수들에 대한 근본적인 이해가 필요하다[10-14]. 즉 etching 공정이 포함하고 있는 화학반응적인 측면과 물질전달적인 측면에 대한 이해가 필요하며, 적절한 공정 모델링과 연계하여 현장에 직접 적용될 수 있는 식각 속도식의 개발이 필요하다. 또한 Invar 합금의 경우, AK 철과는 달리 철과 니켈로 구성되어 있으므로 etching 반응기 내에서 AK 철과의 반응 특성의 차이도 연구되어야 한다. 그러나 현재까지 etching 공정에 관한 근본적인 이해는 많이 부족한 실정으로 생산 현장에서는 아직도 조업의 상당 부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다.

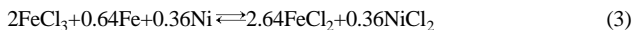
따라서 본 연구에서는 shadow mask의 재료인 AK 철과 Invar 합금의 etching 공정을 보다 근본적으로 이해하고 이를 통해 생산 공정에 직접 적용할 수 있는 etching 속도식을 구하기 위한 일련의 연구를 수행하였다. 우선 실험에 의해 공정 변수들이 etch rate에 미치는 영향을 조사하였고, 공정 모델링을 통해 etching 속도식을 유도하였다. 이러한 etching 속도식은 물질전달속도와 화학반응속도를 모두 고려한 속도식으로서 이 속도식으로부터 계산된 값들과 실험 data가 서로 비교되었으며 이를 실제 shadow mask의 생산 공정에 적용함으로써 etching 속도식의 유용성을 평가하였다.

### 2. 이 론

염화 제2철 용액에 의한 철과 니켈의 식각 반응 양론식은 식 (1), (2)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.



한편 철-니켈의 합금인 Invar 합금은 64 mol%의 Fe와 36 mol%의 Ni로 구성되어 있으므로 염화 제2철 용액에 의한 Invar 합금의 식각 반응 양론식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.



위 식각 반응들은 표면에 위치한 반응 site들(Fe와 Ni 원자)과 etchant 속에 함유된 Fe<sup>3+</sup> 이온간의 전자 이동 mechanism에 의해 이루어진다. 실제 etching 반응기 내부에서는 보다 복잡한 과정을 통해 식각이 진행되며 이를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- ① Fe<sup>3+</sup>이온의 etchant bulk로부터 금속 표면으로의 확산
- ② Fe<sup>3+</sup>이온의 금속 표면에서의 흡착
- ③ 금속 표면에서의 전자이동반응



- ④ 금속 표면으로부터의 Fe<sup>2+</sup>이온과 Ni<sup>2+</sup>이온의 탈착
- ⑤ 탈착된 이온들의 etchant bulk로의 확산

상업적인 shadow mask etching 공정에서는 etchant의 농도, 비중 그리고 etchant 중의 HCl의 농도를 보다 취급과 관리가 편리한 단위인 피로도(F: fatigue ratio), Baume(BeH)[15], 그리고 유리산도로 각각 정의하여 사용하고 있으며 그 관계식들은 다음과 같다.

$$\text{피로도}(F) = \frac{\text{FeCl}_2}{\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2} \times 100(\%) \tag{6}$$

$$\text{BeH} = 145 \left( \frac{\text{비중} -}{\text{비중}} \right) \tag{7}$$

$$\text{유리산도} = \frac{\text{HCl}}{\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2} \times 100(\%) \tag{8}$$

Spray nozzle로부터 분사되는 etchant의 농도가 균일하고 금속 표면 위에 형성되는 난류층 내부의 Fe<sup>3+</sup>이온의 농도가 분사되는 농도와 같다고 가정할 때, Fe<sup>3+</sup>이온의 금속 표면으로의 이동속도는 고-액 경계면에 형성되는 정체층(stagnant layer)에서의 Fe<sup>3+</sup>이온의 확산속도에 의해 결정되어 진다. 또한 정상상태에서 금속 표면으로의 물질이동속도와 표면반응속도는 같으므로, 표면반응이 1차 반응 속도식을 따른다고 가정할 때 식각 속도는 식 (9)와 같이 표현될 수 있다.

$$(D/\delta)(C_b - C_s) = k_0 \exp(-E_a/RT)C_s = \text{Etch Rate} \tag{9}$$

식 (9)는 간단한 막이론(film theory)[16]을 적용하여 얻은 결과로서, 이때 D는 Fe<sup>3+</sup>이온의 식각 용액 내에서의 확산계수, δ는 정체층의 두께, C<sub>b</sub>는 분사되는 etchant 내의 Fe<sup>3+</sup>이온의 몰농도, C<sub>s</sub>는 금속 표면에서의 Fe<sup>3+</sup>이온의 몰농도, k<sub>0</sub>는 표면반응의 frequency factor, E<sub>a</sub>는 표면반응의 활성화에너지, 그리고 R은 기체상수이다. 염화 제2철 용액에 의한 금속의 식각 공정은 물질이동과 표면 반응이 모두 고려되는 조건에서 진행되므로 식 (9)로부터 C<sub>s</sub>를 구하고 정리하면 식 (10)과 같다.

$$\text{Etch Rate} = \frac{1}{1 + \frac{1}{D/\delta} k_0 \exp(-E_a/RT)} k_0 \exp(-E_a/RT) C_b \tag{10}$$

식 (10)에서 확산계수(D)의 온도 의존성을 고려하면 D=D<sub>0</sub>exp(-E<sub>d</sub>/RT)이고, 이때 D<sub>0</sub>와 E<sub>d</sub>는 각각 실험에 의해 결정되어지는 계수들이다. 일반적으로 염화 제2철 용액을 사용한 식각의 경우 높은 Baume(>44 BeH)의 식각 용액을 사용하므로 E<sub>d</sub>와 E<sub>a</sub>는 근사한 값을 가지게 되고 [8], 이를 식 (10)에 적용하여 정리하면 식 (11)로 표현될 수 있다.

$$\text{Etch Rate} = \frac{1}{1 + \frac{k_0}{D_0/\delta}} k_0 \exp(-E_a/RT) C_b \tag{11}$$

한편 식 (11)에서 계면에 형성되는 정체층의 두께(δ)가 etchant의 유속(v)에 의존한다고 가정하면 δ=δ<sub>0</sub>v<sup>-b</sup>로 나타낼 수 있고 이때 δ<sub>0</sub>와 b는 계수들이다.

끝으로 이를 식 (11)에 대입하여 정리하면 최종적인 식각 속도식을 얻을 수 있고 이는 식 (12)와 같다.

$$\text{Etch Rate} = \frac{1}{1 + av^{-b}} k_0 \exp(-E_a/RT) C_b \tag{12}$$

이때 a(=k<sub>0</sub>δ<sub>0</sub>/D<sub>0</sub>)와 b는 실험 data와의 비교를 통해 얻어야 하는 fitting parameter들로서 주로 물질전달 특성에 의해 결정되는 계수들이다.

위에서 유도한 식각속도식은 동일한 반응 site들에 대한 속도식으로서 AK 철 식각의 경우에는 바로 적용되는 식이나, 두 가지 반응 site들 즉, Fe와 Ni로 구성된 Invar 합금의 경우에는 Invar 표면에 노출된 Fe의 표면반응속도와 Ni의 표면반응속도가 서로 다르므로 그 차이를 고려해야 되고 이를 적용하면 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Etch Rate} = \frac{1}{1 + av^{-b}} [k_{0Fe} \exp(-E_{aFe}/RT)(0.64C_b) + k_{0Ni} \exp(-E_{aNi}/RT)(0.36C_b)] \tag{13}$$

여기서 k<sub>0Fe</sub>와 k<sub>0Ni</sub>는 각각 Fe와 Ni 표면반응의 frequency factor, E<sub>aFe</sub>와 E<sub>aNi</sub>는 각각 Fe와 Ni 표면반응의 활성화에너지를 나타낸다. 단, 식 (13)의 유도 과정에서 표면에 노출된 Fe와 Ni 원자들의 결합상태에 따른 반응성 차이는 무시되었고 모두 1차 반응 속도식을 따른다고 가정하였다.

### 3. 실험

Fig. 1은 실험에 사용된 stirred bath 식각 반응기의 개략도이다. 이

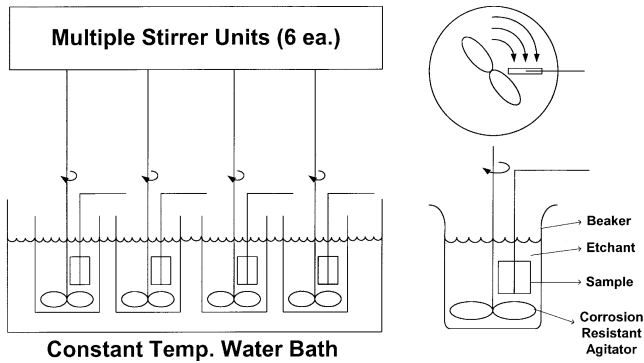


Fig. 1. Schematic of the stirred-bath etching reactor.

반응장치는 항온수조 안에 6개의 stirrer unit과 beaker들이 설치되어 있어 항온 조건에서 여러 조성의 etchant들을 동시에 사용할 수 있도록 설계하였고, 회전축에 장착된 교반기는 teflon 코팅을 하여 식각 반응 도중 etchant에 의한 교반기의 부식을 방지하였다. 또한 stirrer의 회전수(rpm)를 정확히 조절할 수 있도록 하여 실제 shadow mask의 spray etching 공정조건과 근사한 etching 조건을 얻을 수 있도록 설계하였다.

정확한 반응속도 data를 실험으로부터 추출하기 위하여 etchant의 피로도 변화가 반응 전후를 통해 10% 미만으로 유지되도록 미분 반응조건을 확립하였고, 예비실험을 통해 제한성있는 실험 범위를 결정하였다.

식각에 사용한 etchant의 피로도는 양탄식에 의해 정량된 시편들(AK 철, Invar 합금, 순수 nickel)을 연화 제2철 용액에 용해시켜 조절하였으며, 반응 전후의 피로도 측정은 EDTA 적정법[17]을 사용하였다. Etchant의 BeH는 적정량의 DI water를 가하거나 가열하여 etchant내의 수분을 제거함으로써 조절하였고, 유리산도는 HCl을 첨가함으로써 변화시켰다. Etchant의 BeH와 유리산도는 각각 Baume 측정기와 pH meter에 의해 측정하였다.

식각반응에 앞서 일정한 피로도의 etchant 200 ml를 Fig. 1과 같이 250 ml beaker에 담아 항온조에 고정하여 일정한 etchant 온도를 유지시킨 후, 교반기를 적정 rpm으로 회전시켜 정상상태를 유지하였다. 이어서 준비된 AK 철, Invar 합금 또는 순수 nickel 시편을 2×2 cm<sup>2</sup> 크기로 절단하여 etchant에 담가 5분간 etching한 후 DI water로 세척하고 건조하였다. 그리고 etching 후 감소된 시편의 질량을 측정함으로써 etching 속도를 구하였다. 이때 시편은 상업적인 spray etching 공정에서 일어나는 etchant의 흐름을 모사하기 위해 beaker 내부의 유체 흐름에 수직하게 위치시켰다. 식각 후에는 etchant의 피로도, BeH, 그리고 유리산도를 모두 측정하였고, 식각된 철판의 표면과 공경 모양은 전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였다.

Etchant의 온도는 40-60 °C, etchant의 피로도는 18-26%, etchant의 BeH는 44.0-46.5, 그리고 etchant의 유리산도는 0.5-2% 범위에서 변화시켰으며, 이는 실제 상업용 shadow mask 생산 라인의 etching 조건을 모두 포함하는 범위였다.

#### 4. 결과 및 토론

Fig. 2는 AK 철 식각 속도의 stirrer 회전수에 대한 의존성을 나타내는 그림이다. 그림에 나타난 superficial velocity는 시편을 지나가는 etchant의 평균 유속이다. 우선 회전수가 증가함에 따라 etch rate이 단 순 증가함을 알 수 있으며, 동일한 회전수에서는 온도가 증가할수록 식각 속도가 증가함을 알 수 있다. 회전수가 증가함에 따라 식각 속도가 증가하는 것은 회전수가 증가할수록 시편 표면 근처의 etchant의

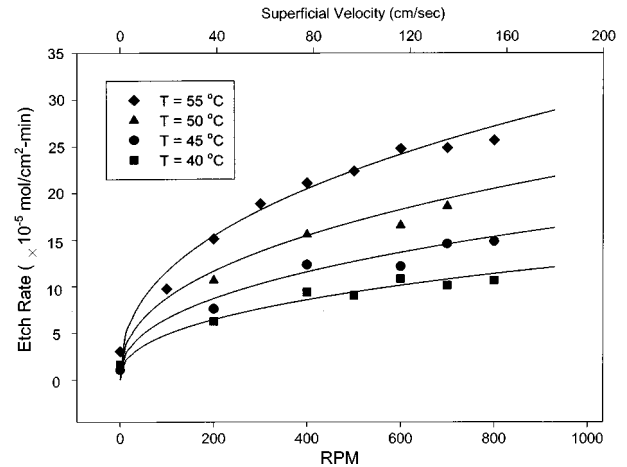


Fig. 2. Effect of stirrer RPM on the etch rate of AK steel. (Fixed process condition: F=20%, BeH=46.50)

유속(v)이 증가하게 되고 유속의 증가는 정체층의 두께(δ)를 얇게 하는 효과를 야기시켜 Fe<sup>3+</sup> 이온의 확산 속도를 증가시키기 때문이다. 그리고 온도가 증가함에 따라 식각 속도가 증가하는 이유는 표면반응속도의 증가와 물질전달속도의 증가가 복합적으로 작용하여 나타나는 결과이다. 또한 700 rpm 이상의 영역에서는 rpm의 증가에 의한 etch rate의 증가가 둔해져서 etch rate이 각 온도에서 거의 포화되고 있음을 알 수 있었고, 이것은 AK 철의 식각 반응이 물질전달속도를 결정하는 변수들에 민감하게 의존하는 영역에서 벗어나고 있음을 의미한다. 따라서 700 rpm을 고정 회전수로 사용하여 rpm의 변화에 따른 물질전달속도의 변화가 크지 않은 영역 즉, 표면반응속도영역에 근접한 영역에서 반응속도상수(k)를 구하는 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 식각 시간에 따른 연화 제2철 이온 농도의 변화를 보여주는 그림으로서, AK 철과 순수 nickel의 식각 반응이 1차 반응식을 잘 따르고 있음을 나타내고 있다[18]. 그림으로부터 구한 반응속도상수는 AK 철의 경우 7.28×10<sup>-5</sup> cm/min, 순수 nickel의 경우 1.51×10<sup>-5</sup> cm/min이었고, 동일한 반응 조건에서 순수 nickel의 반응속도상수가 AK 철의 그것에 비해 작음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 4는 식각 반응의 Arrhenius plot으로서 반응 활성화에너지(E<sub>a</sub>)는 AK 철의 경우 11.85 kcal/mol, 순수 nickel의 경우 13.07 kcal/mol이었으며, 이로부터 순수 nickel의 식각 반응이 AK 철의 식각 반응에 비해 온도에 보다 민감하게 변화함을 알 수 있었다. 상업적인 spray etching 공정에서 보고되는 AK 철의 활성화

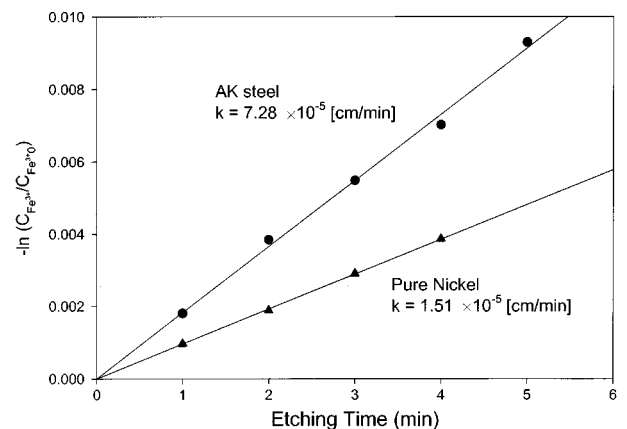
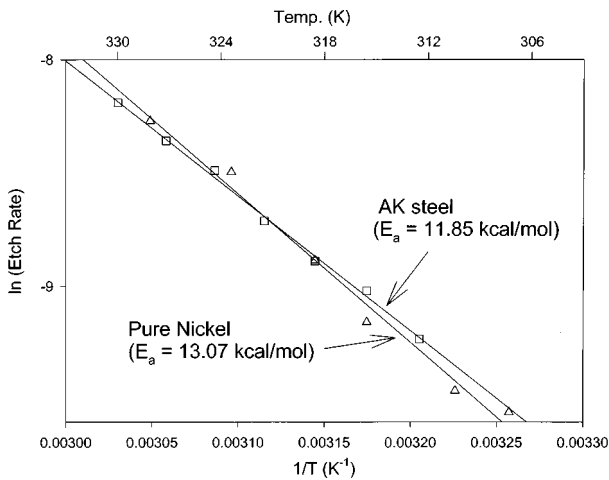


Fig. 3. Conversion of ferric chloride as a function of etching time. (Fixed process condition: T=45 °C, F=20%, BeH=46.50, 700 rpm)

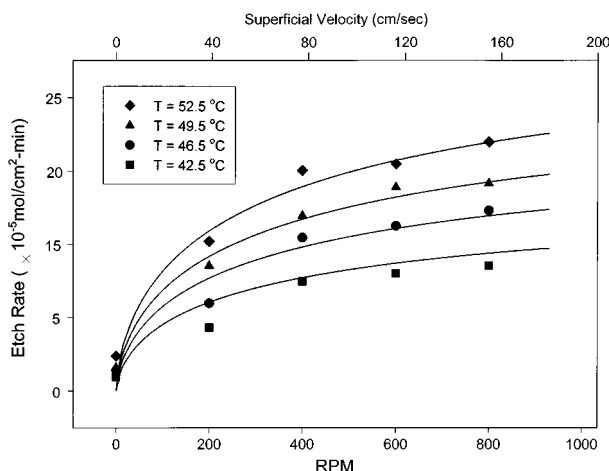


**Fig. 4. The Arrhenius plot.**  
(Fixed process condition: F=20%, BeH=46.50, 700 rpm)

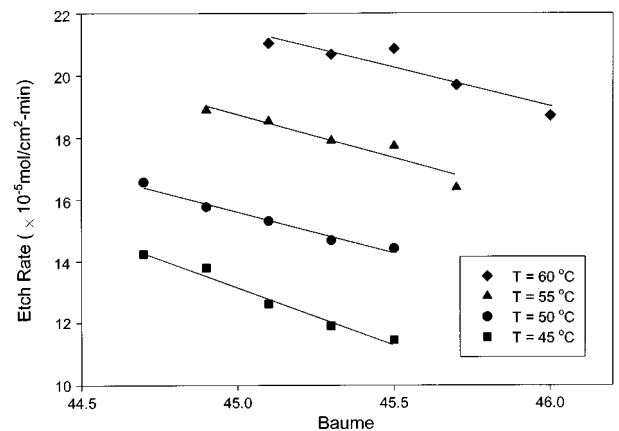
에너지( $E_a=13.03$  kcal/mol)[8]와 비교해 볼 때 stirred-bath etching 반응기에서의 식각이 spray etching의 경우보다 물질전달 유효영역에 가까운 조건에서 진행되고 있음을 알 수 있었다.

이렇게 구한 kinetic parameter들을 공정 모델링을 통해 유도한 식 (12)의 etching 속도식에 적용하여 우선 AK 철의 실험결과와 비교하였고, 이로부터 AK 철과 관련된 fitting parameter들을 결정할 수 있었다. AK 철 식각의 경우 a와 b의 값은 각각 15.95와 0.641 이었다. Fig. 2에 나타난 실선들은 AK 철의 식각 속도식의 계산 결과를 보여주는 그림으로서, 본 연구에서 유도한 모델링 equation이 실험 data를 매우 근사하게 예측하고 있음을 보여주는 결과이다. 또한 Fig. 2에는 나타나 있지는 않으나 etching 속도식이 식각 온도나 피로도를 변화시킨 실험 결과와도 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

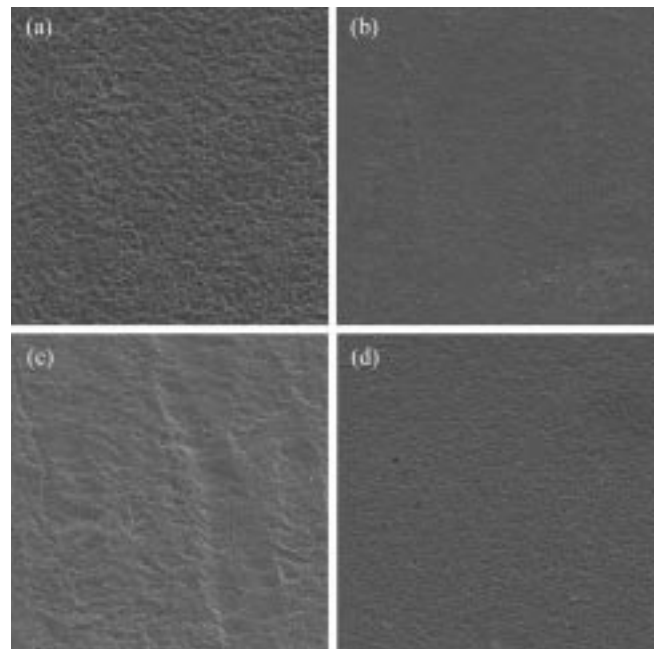
Fig. 5는 Invar 합금 etching 실험 data와 식 (13)으로부터 계산된 결과를 같이 보여주는 그림이다. 이때 AK 철 식각 속도식에 사용된 fitting parameter 값들을 그대로 사용하였고, 실험을 통해 구한 순수 nickel의 kinetic parameter 값들을 적용하여 Invar 합금의 식각 속도를 계산하였다. Invar 합금의 식각 속도식에서 AK 철 식각의 경우와 같은 fitting parameter 값들을 사용한 것은 Invar 합금의 식각 반응에서도 AK 철의 경우와 같은  $Fe^{3+}$  이온의 물질전달이 일어난다고 볼 수 있기 때문이다. 그림에서 보듯이 계산된 curve가 실험 data와 매우 잘 일치함을 알 수



**Fig. 5. Effect of stirrer RPM on the etch rate of Invar alloy.**  
(Fixed process condition: F=20%, BeH=46.50)



**Fig. 6. Effect of Baume on the etch rate of AK steel.**  
(Fixed process condition: F=20%, BeH=46.50, 700 rpm)



**Fig. 7. SEM images of AK steel surface after etching.**  
(a) T=50°C, F=20%, BeH=44.70, (b) T=50°C, F=20%, BeH=45.50, (c) T=60°C, F=20%, BeH=45.10, (d) T=60°C, F=20%, BeH=46.00

있었고 이는 위에서 도입한 가정이 합리적임을 나타내는 결과이다.

Fig. 6은 BeH의 변화에 따른 각 온도별 AK 철의 식각 속도의 변화를 나타내고 있다. BeH가 증가함에 따라 식각 속도는 단조 감소함을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 7은 식각 후 촬영한 AK 철의 표면 SEM 사진으로서 BeH가 증가할수록 표면의 거칠기는 개선됨을 알 수 있었다. 이는 다른 연구자들의 결과와 잘 일치하는 결과로서[7] BeH가 증가할수록  $Fe^{3+}$  이온의 확산속도가 줄어들어 식각 속도가 감소한 결과로 해석할 수 있다. 또한 동일한 BeH에서 온도가 증가할수록 식각 속도는 증가하지만 표면거칠기가 나빠짐을 알 수 있었으며 이는 온도 증가에 따른  $Fe^{3+}$  이온의 확산 속도의 증가에 기인한 영향으로 해석할 수 있다. 따라서 700 rpm 조건이 완전한 표면반응 유효영역을 제공하는 것은 아님을 확인할 수 있었다. 또한 표면거칠기가 물질전달 관련 parameter에 민감하게 의존하는 현상으로 보아 본 연구의 etching 공정이 물질전달 유효영역 근처에서 진행되고 있음을 알 수 있었다.

끝으로 Fig. 8은 유리산도의 변화에 따른 AK 철의 식각 속도를 보

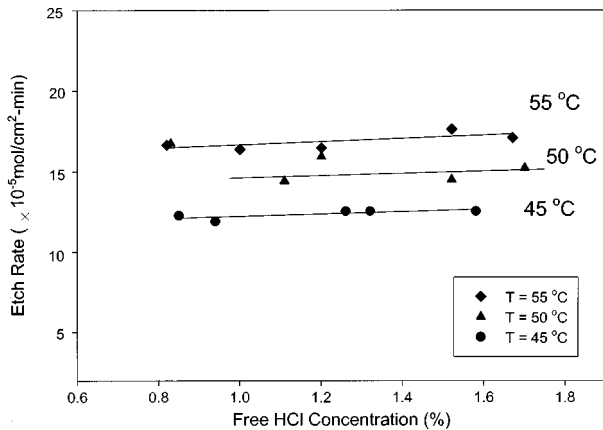


Fig. 8. Free HCl concentration effect on the etch rate of AK steel. (Fixed process condition: F=20%, BeH=46.50, 700 rpm)

여주는 그림으로서 본 연구에서 조사한 실험범위 내에서는 유리산도가 식각 속도에 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있었다. 식각된 AK 철 표면의 거칠기도 각 온도별 HCl 농도의 변화에 따라 거의 변화가 없음을 알 수 있었다.

본 연구에서 구한 etching 속도식은 실제 shadow mask 생산용 spray etching 라인에 적용되어 공정변수 조절용 속도식으로 사용되었고 그 결과, 실험으로부터 구한 kinetic data가 적용된 모델링 식의 적용성이 매우 우수함을 입증할 수 있었다.

### 5. 결 론

Stirred-bath etching 반응기를 이용하여 염화 제2철 용액에 의한 AK 철, 순수 nickel, Invar 합금의 식각 반응을 실험적으로 조사하였고 공정 모델링을 통해 etching 속도식을 유도하였다. 유도된 속도식과 실험 data를 비교 분석한 결과 shadow mask 식각 공정을 보다 근본적으로 이해할 수 있었고 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 염화 제2철 용액에 의한 AK 철 및 nickel의 식각 반응은 Fe<sup>3+</sup> 이온의 농도에 대해 1차 반응속도식을 따른다.
- (2) Arrhenius plot으로부터 구한 AK 철 및 nickel의 활성화에너지는 각각 11.85 kcal/mol, 13.07 kcal/mol이었고 동일한 식각 조건에서는 AK 철의 식각 속도가 nickel의 그것에 비해 빠름을 알 수 있었다.
- (3) BeH가 44.5-46인 범위에서 AK 철의 식각 속도는 BeH가 증가함에 따라 단조 감소하였으나 식각된 표면의 거칠기는 향상됨을 알 수 있었다.

(4) 유리산도의 변화가 AK 철 식각 속도에 미치는 영향은 조사된 범위 내에서 미미하였으며 표면 거칠기의 변화도 거의 없었다.

(5) 마이크로를 사용하여 유도한 식각 속도식은 stirred-bath etching 실험결과들을 잘 예측할 수 있었으며, 또한 실제 상업용 shadow mask의 생산 라인에도 적용되어 그 유용성을 입증하였다.

### 감 사

본 연구는 (주)LG마이크론의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Yamazaki, H. and Ohtake, Y.: *Toshiba Review*, **156**, 29(1986).
2. Maynard, R. B., Moscony, J. J. and Saunders, M. H.: *RCA Review*, **47**, 88(1986).
3. PCMI-H-1050: Design and artwork generation handbook(1998).
4. Moscony, J. J., Matthies, D. L. and Nosker, R. W.: *J. SID*, **7**, 6(1991).
5. Ueda, R.: *Boshoku Gijutsu*, **38**, 231(1989).
6. Lewis, R. J., Sir.: "Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials," 8th ed., Van Norstrand Reinhold, New York(1992).
7. Maynard, R. B., Moscony, J. J. and Saunders, M. H.: *RCA Review*, **45**, 73(1984).
8. Ueda, R., Asakura, S., Tanozaki, Y. and Sugiura, T.: *Hyomen Gijutsu*, **43**, 48(1992).
9. Allen, D. M. and Li, M.-L.: *PCMI J.*, **33**, 4(1984).
10. Moscony, J. J., Maynard, R. B., Wetzel, C. M., Eshleman, C. C. and Saunders, M. H.: *J. SID*, **4**, 231(1996).
11. Kim, M., Chang, D. Y., Lee, K. H. and Rho, B. H.: *Bulletin of KIM & M*, **23**, 29(1993).
12. Visser, A., Weissinger, D. and Ullmann, E.: *Galvanotechnik*, **75**, 14(1984).
13. Visser, A., Weissinger, D. and Ullmann, E.: *Galvanotechnik*, **76**, 442 (1985).
14. Allen, D. M., Hegarty, A. J. and Horne, D. F.: *Trans. Inst. Met. Finish.*, **59**, 25(1981).
15. Perry, R. H. and Green, D. Eds.: "Perry's Chemical Engineers' Handbook," 6th ed., 1(1984).
16. Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N.: "Transport Phenomena," John Wiley & Sons, New York(1960).
17. Fischer, R. B. and Peters, D. G.: "Quantitative Chemical Analysis," 3rd ed., Saunders, W. B., Company, Philadelphia(1968).
18. Maynard, R. B.: *RCA Review*, **45**, 58(1984).