

염화제이철 수용액에 의한 스테인레스 강판의 식각에 관한 연구

이형민 · 박무룡* · 박광호* · 박진호†

영남대학교 화학공학부
712-749 경북 경산시 대동 214-1
*(주) LG이노텍 생산기술팀
730-713 경북 구미시 구포동 624
(2011년 8월 10일 접수, 2011년 10월 5일 채택)

Wet Etching of Stainless Steel Foil by Aqueous Ferric Chloride Solution

Hyung Min Lee, Mooryong Park*, Gwang Ho Park* and Chinho Park†

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, 214-1 Dae-dong, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-749, Korea

*LG Innotek, Co., Ltd., 624 Gupo-dong, Gumi-si, Gyeongbuk 730-713, Korea

(Received 10 August 2011; accepted 5 October 2011)

요 약

염화제이철 수용액에 의한 스테인레스 강판의 식각반응에 관한 연구를 수행하였다. 식각액 교반속도, 식각온도, Fe^{3+} 이온 농도, 식각액의 유리산도 및 비중 등 여러 공정변수가 식각속도에 미치는 영향에 대해 조사하였고, 그 결과, AK(aluminum-killed) 철, 크롬(chromium) 강, 그리고 스테인레스 강(STS430J1L 합금)의 식각반응이 1차 반응식을 잘 따름을 알 수 있었다. 또한 식각액의 피로도(fatigue ratio)가 16% 이하로 유지되면 식각액 내에 슬러지가 발생하지 않으며, 식각된 강판의 표면거칠기 또한 좋아짐을 알 수 있었다. 본 연구에서 조사한 범위 내에서는, 식각액의 보메(Baume)가 증가하면 식각속도는 감소하나 유리산도가 식각속도에 미치는 영향은 미비함을 알 수 있었다. 한편 본 연구의 실험 결과는 공정모델링을 통해 유도된 식각속도식의 계산결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

Abstract – Wet chemical etching of stainless steel foil by aqueous ferric chloride solution was investigated in this study. Effects of various process parameters (e.g. etchant agitation rate, etchant temperature, Fe^{3+} ion concentration, free HCl concentration, specific gravity, etc.) on the etch rate was first studied, and it was found that the etch rate of AK (aluminum-killed) steel, chromium metal and stainless steel (STS430J1L alloy) follows the pseudo-first order reaction equation. When the fatigue ratio of etchant was kept under 16%, sludge was not formed in the solution, and the etched surface showed smooth roughness. The etch rate decreases as Baume of etchant increases, but the effect of free HCl concentration on the etch rate turned out to be minimal. Experimental data were compared with the calculated results from modeled equation, showing very good agreement.

Key words: Etching, Aqueous Ferric Chloride Solution, Etch Rate, Stainless Steel, Fatigue Ratio

1. 서 론

스테인레스 강은 표면이 아름답고 내식성이 우수하여 도장, 도색 등 표면처리를 하지 않아도 고유의 표면을 살려 다양한 용도에 사용할 수 있다. 스테인레스 강은 주요 합금 성분인 크롬이 강의 표면에 강한 산화피막을 형성하여 더 이상의 산화를 방지하므로 잘 녹슬지 않는다. 또한 내산화성과 내열성이 뛰어나며, 기계적 강도, 가공성, 용접성 등에서도 우수하여 화학용, 식품용, 건축용을 비롯해 가정용품에서부터 원자력공업, 우주산업에 이르기까지 폭넓게 사용되고 있다[1]. 스테인레스 강판 외장재의 제조에 있어 식각에 주로 사용되는 식각용액(etchant)은 염화제이철 수용액으로서, 매우 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 여러 정밀 전자부품의 식각 용액으로도 널리 사용되고 있다[2,3]. 염화제이철 수용액을 사용한 식각공정은 제품의 품질과 원가에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 공정이다. 현재 상업적으로 주로 사용하고 있는 양산용 식각공정은 여러 개의 노즐을 사용한 분사 식각 기술으로서, 이러한 식각공정의 성공적인 수행을 위해서는 식각반응기 내의 유체유동, 물질전달 그리고 화학반응에 관한 전반적인 이해가 우선되어야 한다[4-8].

각종 가전제품의 외장재로 주로 사용되고 있는 STS(스테인리스) 강판은 새도우 마스크의 재료로 사용되어 온 AK(Aluminum-Killed) 철판이나 Invar 강판에 비해 염화제이철 수용액과의 반응성이 떨어

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: chpark@ynu.ac.kr

저 제품 생산속도가 낮다는 단점을 가지고 있다. 또한 생산현장에서는 염화제이철 수용액을 식각용액으로 사용하여 STS 강판의 식각공정을 진행하고 있는데, STS 강판의 낮은 반응성으로 인해 양산라인의 식각액 조건을 관리하는데 어려움을 겪고 있으며, 또한 잦은 슬러지(Sludge)의 발생으로 인해 down-time이 필요 이상으로 발생하는 등 생산성 저하 문제가 심각한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 염화제이철 수용액과 STS 강판의 반응에 대한 정량적인 실험결과를 바탕으로 식각 메커니즘을 우선 규명하고 이를 바탕으로 양산공정에서의 식각액 관리방안에 대한 해법을 찾고자 하였으며, 또한 슬러지 발생 원인도 규명하여 생산성 향상도 추구하고자 하였다. 이를 위해 현재 기업의 생산라인에서 사용하고 있는 식각용액과 스테인리스 강판(STS), 그리고 실험실 수준의 식각장비를 이용하여 실험을 수행하였고, 그 결과를 분석하고 이론적인 계산 결과와 비교 검토함으로써 제품의 품질과 생산성을 향상시킬 수 있는 여러 가지 방법론들을 찾고자 하였다.

2. 이 론

산업적인 스테인레스 강판 외장재의 식각공정에서는 식각반응 전환율(즉, 식각 용액 내의 Fe^{3+} 이온의 Fe^{2+} 이온에 대한 상대적인 농도), 비중, 그리고 식각용액 내 HCl의 농도를 보다 취급과 관리가 편리한 단위인 피로도(F: fatigue ratio), 보메(BeH), 그리고 유리산도(free acid concentration)로 각각 정의하여 사용하고 있으며, 이는 다음과 같이 정의된다[9].

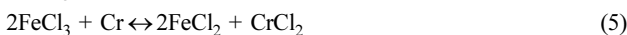
$$\text{피로도} = \frac{FeCl_2}{FeCl_3 + FeCl_2} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$\text{BeH} = 145 \left(\frac{\text{비중} - 1}{\text{비중}} \right) \quad (2)$$

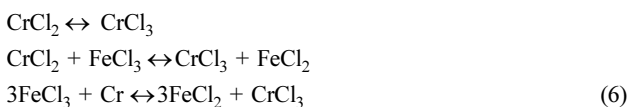
$$\text{유리산도} = \frac{HCl}{FeCl_3 + FeCl_2} \times 100(\%) \quad (3)$$

실제 스테인레스 강판 외장재의 생산에 있어서는 위의 세 가지 주요 공정변수와 더불어 식각온도, 분사 압력 및 식각용액의 pH도 함께 관리되며, 공정의 재현성과 균일성을 얻기 위해 분사 식각시스템의 설계에 있어서는 분사 식각반응기의 개수, 반응기 내 분사 노즐의 개수 및 간격, 노즐의 회전수와 회전각도, 그리고 주어진 식각속도에 최적화된 스테인레스 강판 이동 속도 등이 조절된다.

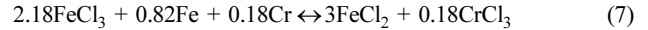
염화제이철 수용액에 의한 철과 크롬의 식각반응 양론식은 식 (4) 및 (5)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.



한편, 식 (6)의 부반응들도 반응기 내에서 진행된다.



본 연구에 사용된 철과 크롬의 합금인 POSCO STS430J1L (Ferritic stainless steel) 합금은 82 mol%의 Fe와 18 mol%의 Cr로 구성되어 있으므로, 염화제이철 수용액에 의한 STS430J1L 합금의 식각반응 총괄 양론식은 최종적으로 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.



위 식각반응들은 표면에 위치한 반응 site 들과 (Fe와 Cr 원자) 식각액 속에 함유된 Fe^{3+} 이온 간의 전하이동 메커니즘에 의해 이루어진다. 그러나, 실제 식각반응기 내부에서는 보다 복잡한 과정을 통해 식각이 진행되며 이를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

① Fe^{3+} 이온의 식각액 bulk로부터 금속 표면으로의 확산

② Fe^{3+} 이온의 금속 표면에서의 흡착

③ 금속 표면에서의 전하이동 반응



④ 금속 표면으로부터의 Fe^{2+} 이온과 Cr^{2+} 이온의 탈착

⑤ 탈착된 이온들의 식각액 bulk로의 확산

분사노즐로부터 분사되는 식각액의 농도가 균일하고 금속표면에 형성되는 난류층 내부의 Fe^{3+} 이온의 농도가 분사되는 농도와 같다고 가정할 때, Fe^{3+} 이온의 금속표면으로의 이동속도는 고-액 경계면에 형성되는 정체층(stagnant layer)에서의 Fe^{3+} 이온의 확산속도에 의해 결정된다. 또한 정상상태에서는 금속표면으로의 물질이동속도와 표면반응속도는 같아지므로, 표면반응이 1차 반응속도식을 따른다고 가정할 때 식각속도(E·R)는 식 (10)과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{D}{\delta} (C_b - C_s) = \frac{S}{V} k_0 \exp(-E_a/RT) C_s \approx 2 \frac{S}{V} (E \cdot R) \quad (10)$$

식 (2-10)은 간단한 막 이론(film theory)[10]을 적용하여 얻은 결과로서, 이때 D는 Fe^{3+} 이온의 식각용액 내에서의 확산계수, δ 는 정체층의 두께, C_b 는 분사되는 식각액 내의 Fe^{3+} 이온의 몰농도, C_s 는 스테인레스강판 표면 위에서의 Fe^{3+} 이온의 몰농도, S는 식각액에 노출된 STS430J1L 합금의 표면적, V는 식각액의 부피, k_0 는 표면반응의 frequency factor, E_a 는 표면반응의 활성화에너지, 그리고 R은 기체상수이다.

염화제이철 수용액에 의한 금속의 식각공정은 물질이동과 표면반응이 모두 고려되는 조건에서 진행되므로 식 (10)으로부터 C_s 를 구하고 정리하면 식 (11)과 같다.

$$E \cdot R = \frac{1}{1 + \frac{\delta S}{DV} k_0 \exp(-E_a/RT)} k_0 \exp(-E_a/RT) C_b \quad (11)$$

또한 식 (11)에서 확산계수의 온도 의존성을 고려하면 $D = D_0 \exp(-E_d/RT)$ 이고, 이때 D_0 와 E_d 는 각각 실험에 의해 결정되는 계수들이다. 이를 식 (8)에 적용하여 정리하면 식 (12)로 표현될 수 있다.

$$E \cdot R = \frac{1}{1 + \frac{k_0 \exp(-(E_a - E_d)/RT)}{D_0/\delta}} k_0 \exp(-E_a/RT) \cdot C_b \quad (12)$$

한편 식 (12)에서 계면에 형성되는 정체층이 두께(δ)가 식각액의 유속(u)에 의존한다고 가정하면 $\delta = \delta_0 u^{-b}$ 로 나타낼 수 있고, 이때 δ_0 와 b는 계수들이다. 이를 식 (12)에 대입하여 정리하면 식 (13)과 같다.

$$E \cdot R = \frac{k_0}{1 + a \cdot u^{-b} \cdot \exp(-(E_a - E_d)/RT)} \cdot \exp(-E_a/RT) \cdot C_b \quad (13)$$

일반적으로 염화제이철 수용액을 사용한 식각의 경우 높은 Baume (44 BeH 이상)의 식각 용액을 사용하므로 E_a 와 E_d 는 근사한 값을 가

지게 된다[11]. 따라서 이를 다시 정리하면 최종적인 식각속도식은 식 (14)와 같다.

$$E \cdot R = \frac{k_0}{1 + a \cdot v^{-b}} \cdot \exp(-E_a/RT) \cdot C_b \quad (14)$$

3. 실험

Fig. 1은 실험에 사용된 교반형 식각반응기의 개략도이다. 이 반응 장치는 항온수조 안에 교반막대와 비커가 설치되어 있어 항온 조건에서 식각이 이루어질 수 있도록 설계하였고, 회전축에 장착된 교반기는 식각액에 의해 부식되지 않는 재료로 제작하였다. 또한 교반회전수(rpm)를 정확히 조절할 수 있도록 하여 실제 분사식각 공정조건과 근사한 조건을 얻을 수 있도록 설계하였다.

정확한 반응속도 상수들을 실험으로부터 추출하기 위하여 식각반응의 전환율이 10% 미만으로 일어나게 미분반응 조건에서 재현성 있는 실험 범위를 결정하였다. 식각에 사용한 식각액은 순철을 식각액 신액에 투입하여 피로도를 정확히 조절하여 사용하였으며, 반응 전후의 피로도 측정은 EDTA 적정법[12]을 사용하였고, 식각액 피로도의 증가에 따른 슬러지 발생 시점을 감안하여 슬러지가 발생하지 않는 조건과 생산현장에서 슬러지가 발생하는 조건에서 각각 실험을 진행하였다. 식각액의 유리산도는 염산을 첨가함으로써 변화시켰다. 식각액의 보메와 유리산도는 보메 비중계와 pH 미터에 의해 측정하였으며, 액의 모든 물성 측정은 침전물이 완전히 침전될 때까지 기다린 후 상온에서 측정하였다.

식각반응에 앞서 일정한 피로도의 식각액 300 ml를 500 ml 비커에 담아 항온조에 고정하여 일정한 식각온도를 유지시킨 후, 교반기를 적정 회전수로 회전시켜 정상상태를 유지하였다. 이어서 준비된 STS430J1L 합금시편을 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 크기로 절단하여 아세톤으로 세척한 후 식각액에 담가 5분간 식각한 후 순수(DI-water)로 세척하고 건조하였다. 또한 교반기 회전수를 증가시키면 더 이상 교반기 속도 상승에 따른 식각량의 변화가 거의 없는 포화 시점의 회전수에서 온도 변화에 따른 식각 실험을 진행하였다. 그리고 식각 후 감소된 시편의 질량을 측정함으로써 식각속도를 구하였고 HITACHI S-4800 SEM (Scanning Electron Microscope)을 통하여 식각 후 표면의 거칠기를 확인하였다. 이때 시편은 상업적인 분사식각 공정에서 일어나는 식각액의 흐름을 모사하기 위해 비커 내부의 유체 흐름에 수직하게 위치시켰다.

교반기 회전수는 700 rpm, 식각액의 온도는 50~60 °C, 보메는 47.5~50.0, 유리산도는 양산공정 범위인 0.7~1.8%, 피로도는 양산조건인 약 19.22%와 슬러지 미발생시점인 약 16.11% 범위에서 온도 변화에 따른 영향을 조사하였다. 이는 실제 상업용 스테인레스 외장

재 생산 라인의 식각조건을 모두 포함하는 범위이다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 2는 피로도 약 19.22%의 양산조건 범위에서, 교반기의 회전수 증가에 의한 식각속도의 변화를 측정한 결과이다. 그래프에서 나타난 superficial velocity는 시편을 지나가는 식각액의 평균 유속이다. 우선 회전수가 증가함에 따라 식각속도는 단순 증가함을 알 수 있었다. 회전수가 증가함에 따라 식각속도가 증가하는 이유는 회전수가 증가할수록 시편 표면 근처의 식각액의 유속(v)이 증가하게 되고 유속의 증가는 시편 표면 위에 존재하는 정체층의 두께(δ)를 얇게 하는 효과를 야기시켜 Fe^{3+} 이온의 확산 속도를 증가시키기 때문이다.

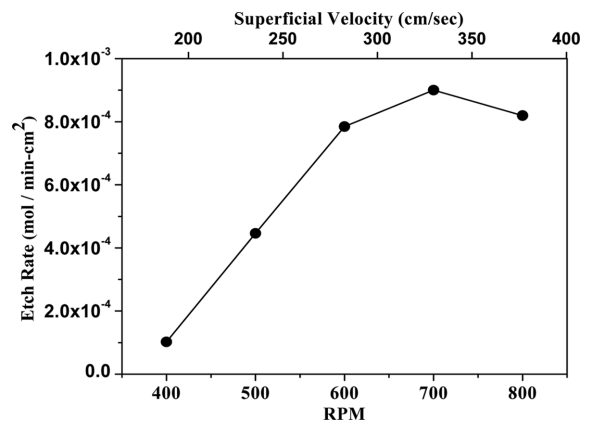


Fig. 2. RPM Effect on Etch Rate of STS (F=19%; T=57 °C).

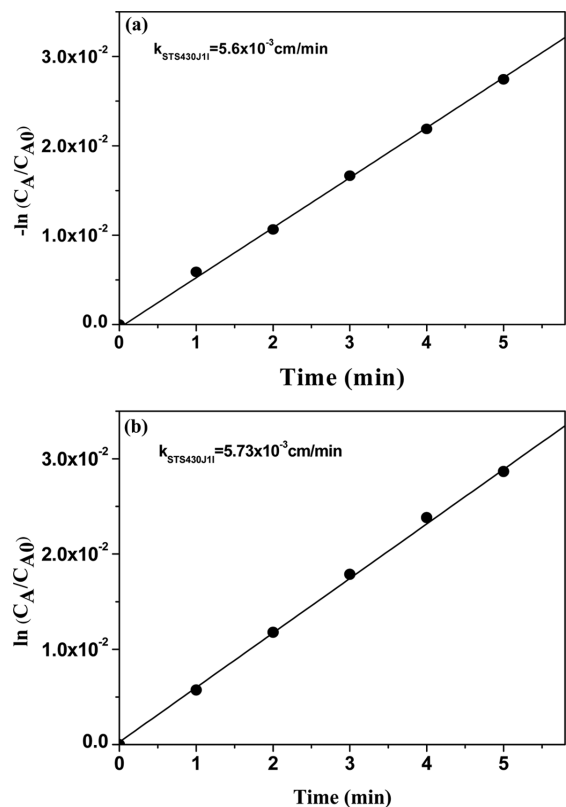


Fig. 3. (a), (b) Reaction Rate Constant (k) (F=19%; T=57 °C), Reaction Rate Constant (k) (F=16%; T=57 °C).

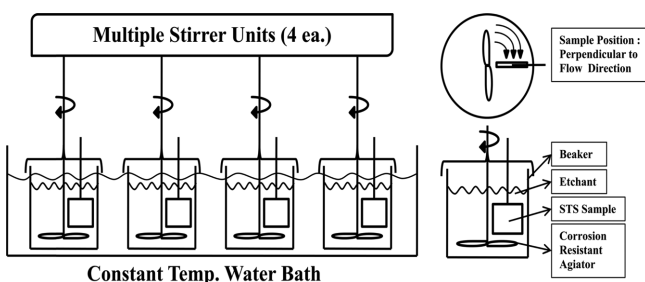


Fig. 1. Schematic of the stirred-bath Stainless steel etching reactor.

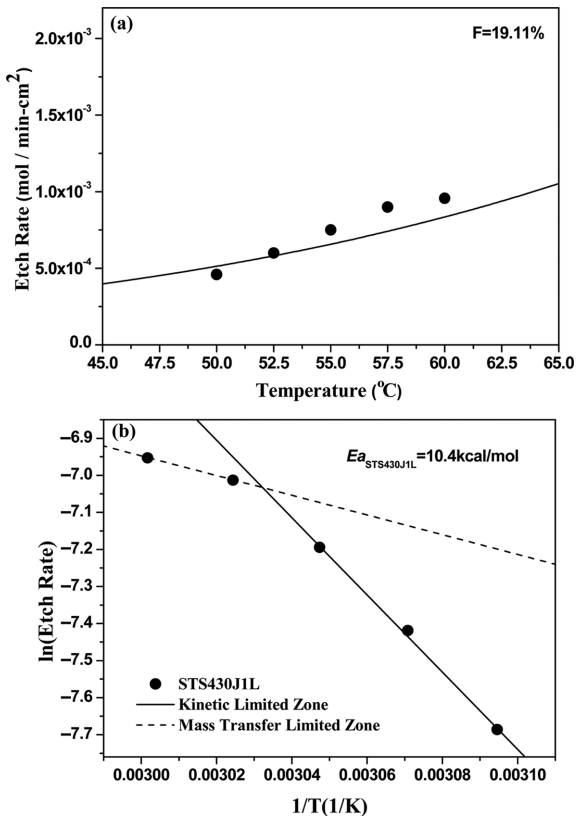


Fig. 4. (a), (b) Effect of Temperature on Etch Rate and Arrhenius Plot of Etching Reaction (F=19.11%; RPM=700).

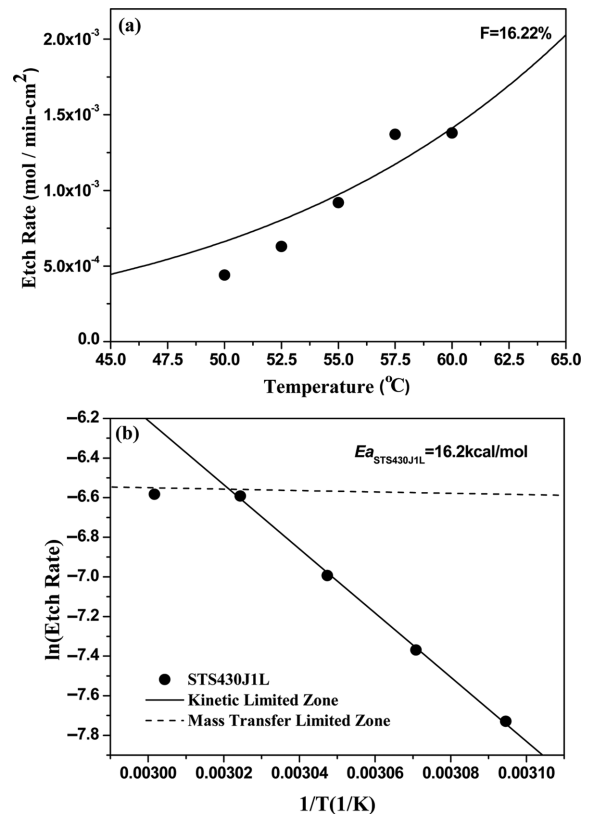


Fig. 5. (a), (b) Effect of Temperature on Etch Rate and Arrhenius Plot of Etching Reaction (F=16.22%; RPM=700).

또한 700 rpm 이상의 영역에서는 회전수의 증가에 의한 식각속도의 증가가 둔해져 식각속도가 포화되고 있음을 알 수 있었다. 이는 각 시편의 식각반응이 물질전달속도를 결정하는 변수들에 민감하게 의존하는 영역에서 벗어나고 있음을 의미한다. 따라서 반응속도식 추출을 위해 700 rpm을 고정 회전수로 채택하였다.

Fig. 3(a), (b)는 STS430J1L의 식각반응 전환율을 식각시간의 함수로 측정한 결과로부터 얻어진 것으로, 이 결과와 아래 Fig. 4(a), (b) 그리고 Fig. 5(a), (b)로부터 구한 양산 피로도 조건과 슬러지 미발생 조건에서의 반응 활성화에너지 값들로부터 식 (14)에 필요한 반응속도상수(k)값과 a, b 계수들을 모두 구할 수 있었다. 이 값들을 Table 1에 정리하여 나타내었고, 식 (14)로부터 계산한 값들을 각각 Fig. 4(a) 그리고 Fig. 5(a)에 실선 곡선으로 표시하였다. 그림에서도 나타났듯이 구해진 계수들과 식 (14)가 실험 데이터를 잘 묘사하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4(a), (b)는 양산 피로도 범위인 약 19.11%, Fig. 5(a), (b)는 슬러지 미발생 피로도 범위인 약 16.22%에서, 각각 교반기의 회전수를 700 rpm으로 고정시키고 반응온도의 변화를 50~65 °C 범위에서 2.5 °C 씩 변화시키면서 식각속도를 조사하여 그래프로 그리고 또한 이를 Arrhenius plot한 결과이다. 온도가 증가할수록 식각속도는 예상대로 증가하였으며, 이는 표면반응속도의 증가와 물질전달속도의 증가가 복합적으로 작용하여 나타나는 결과로 해석된다.

Arrhenius plot에서는 시편에 대해 표면반응속도 율속 영역과 물질 전달속도 율속 영역을 확인할 수 있었고, 이중 표면반응속도 율속 영역에서 구한 시료의 식각반응 활성화에너지(apparent activation energy; E_a)는 양산 피로도 조건에서 10.4 kcal/mol, 슬러지 미발생

Table 1. Operating equation parameters

Fatigue Ratio	a	b	$k_{0,STS}$	$E_{a,STS}$
19.11%	1.1×10^{-4}	0.423	$4.73 \times 10^4 \text{ min}^{-1}$	10.4 kcal/mol
16.22%	8.2×10^{-6}	13.9	$4.79 \times 10^8 \text{ min}^{-1}$	16.2 kcal/mol

피로도 조건에서 각각 16.2 kcal/mol이었다. 이 두 가지 피로도 범위로 활성화에너지를 비교해 보면, 슬러지 미발생 조건의 피로도 조건에서 더 높게 나타났다. 반응 활성화에너지가 높다는 것은 식각반응이 온도에 더욱 민감하다는 것을 의미한다. 또한 Fig. 4(a)와 Fig. 5(a)의 식 (14)에 의해 계산된 실선 곡선은 슬러지 미발생 피로도 범위인 약 16.22%에서 양산 피로도 조건에 비해 그 기울기가 급격해 지는 것을 볼 수 있다. 이는 위의 해석을 증명하는 결과이며 식 (14)는 양산 라인에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

추가적으로 Invar 합금과 그에 포함된 금속들 및 STS430J1L의 양산 피로도 조건에서의 식각속도를 상호 비교한 결과 이중 STS430J1L가 유사한 조건에서 다른 금속들에 비해 식각속도가 가장 느린 것을 확인할 수 있었고, 이는 STS 양산 라인의 생산속도 저하의 원인을 보여주는 결과이다.

한편 Fig. 6은 슬러지 미발생 조건과 양산조건을 모두 포함하는 피로도 범위에서 피로도의 상승에 따른 식각속도의 변화를 관찰한 것으로서, 피로도가 상승함에 따라 식각속도가 감소함을 알 수 있다. 이는 식각반응에서 염화제이철은 금속과 반응하여 염화제일철을 생성하는데, 피로도는 이러한 화학적인 반응을 정량적으로 확인할 수 있는 값으로, 피로도가 상승하면 식각에 직접적으로 관여하는 염화제이철의 농도가 감소하게 되므로 피로도의 증가에 따라 식각속도가 느려지는 것은 예상되는 결과라 하겠다.

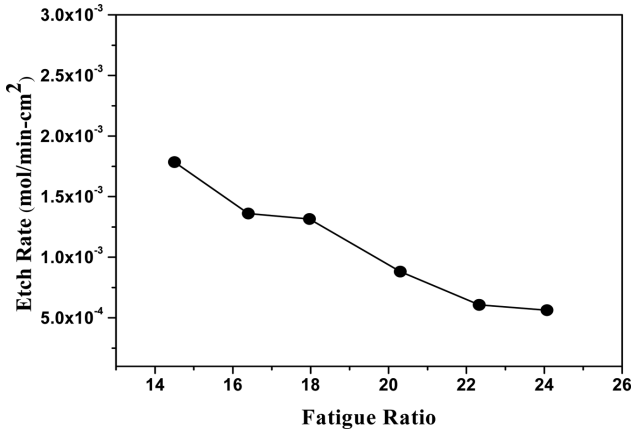


Fig. 6. Effect of fatigue ratio on the etch rate of STS.

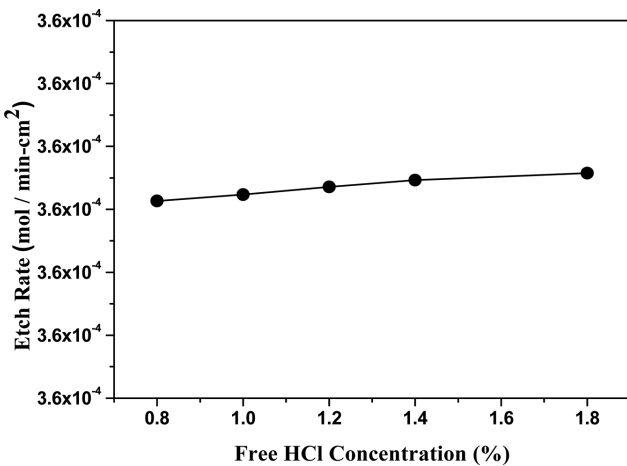


Fig. 7. Free HCl concentration effect on the etch rate of STS (F=16.0~16.5%, T=50 °C, RPM=700).

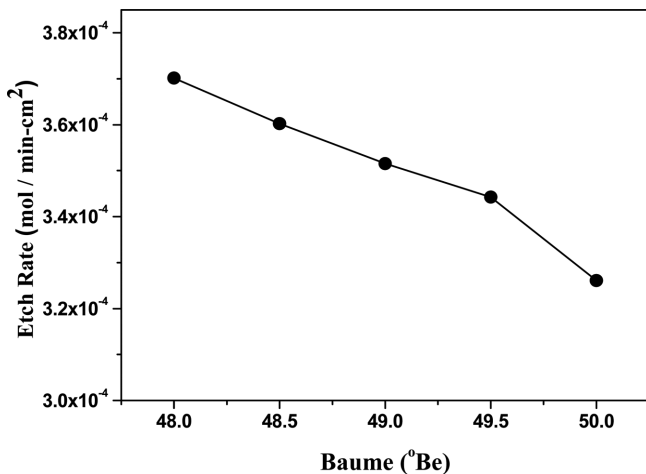


Fig. 8. Effect of Baume on the etch rate of STS (F=16.0~16.5%, T=50 °C, RPM=700).

Fig. 7은 비슷한 피로도 범위에서 염산을 적당히 투입하여 유리산도를 변화시키며 식각속도의 변화를 측정한 것인데, 양산 범위 내의 유리산도 변화에 따른 식각속도는 소폭 증가하지만 다른 식각변수에 비해 큰 변화는 없음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 보메 증가에 따른 식각속도의 변화를 관찰한 결과이다. 보메 증가에 따라 식각속도는 감소하며, 이는 액의 비중이 증가하면

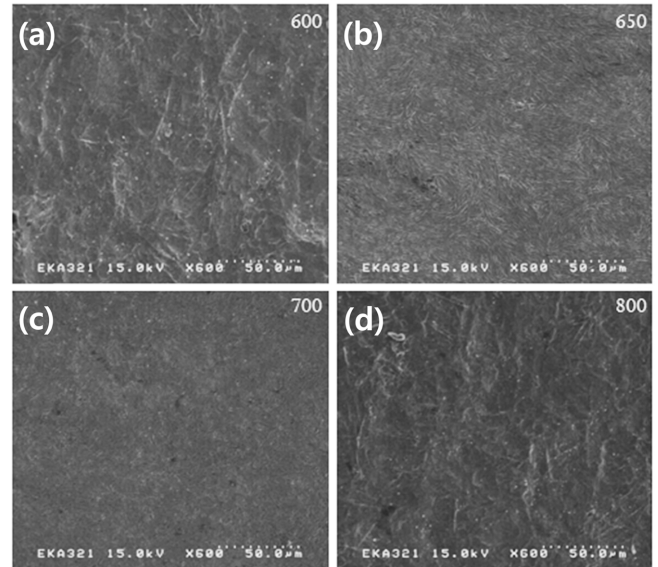


Fig. 9. Effect of RPM on STS roughness: (a) RPM=600 (b) RPM= 650 (c) RPM=700 (d) RPM=800(STS Etchant: F=19~20, Be=49.5, free acid conc.=0.7~1.5, RPM=600~800).

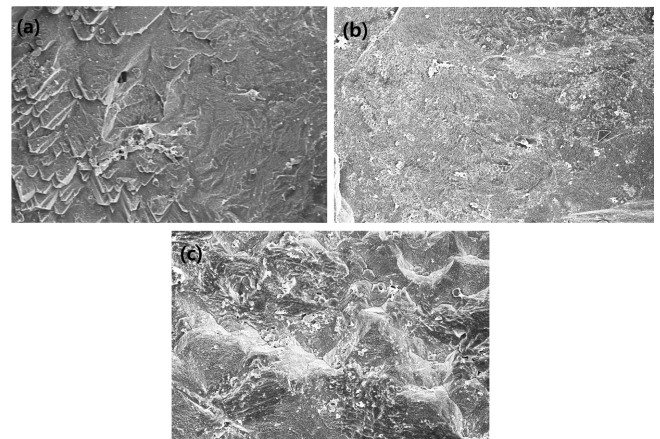


Fig. 10. Effect of fatigue ratio on STS roughness: (a) F=13, (b) F=16, (c) F=19(T=57 °C; RPM=700).

서 이에 따른 점도의 증가에 의해 식각반응기 내 유체의 이동 속도가 감소하게 되고 정체층의 두께가 증가함에 따른 것으로 해석된다.

Fig. 9는 교반기 회전수를 변화시키면서 에칭한 스테인레스 시편의 표면거칠기를 분석한 결과이다. 표면거칠기는 회전수에 크게 의존하지 않으며 전반적으로 양호하나, 650~700 rpm에서 좀더 부드러운 표면을 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10는 슬러지 발생 시점을 중심으로 양산 피로도 범위까지 STS430J1L 현상품을 온도 55 °C, 700 rpm에서 식각한 후 표면거칠기를 SEM으로 분석한 결과이다. 슬러지 미발생 시점인 피로도 약 16% 근처에서 표면거칠기가 가장 양호함을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 염화제이철 수용액에 의한 기존의 STS 합금의 식각 양산공정에서 STS의 낮은 식각속도로 인한 잦은 슬러지 발생과 식각액 관리의 어려움이 생산속도 저하로 이어지는 문제점을 보완하

기 위해 식각반응을 실험적으로 조사하였다. 공정모델링을 통하여 식각속도식을 유도하였고 실험결과를 유도된 속도식에 대입한 결과 STS의 식각공정을 보다 근본적으로 이해할 수 있었다.

(1) 염화제이철 수용액에 의한 STS의 식각 반응은 Fe^{3+} 이온의 농도에 대해 1차 반응속도식을 따른다.

(2) Arrhenius plot으로부터 구한 STS의 활성화에너지는 양산 및 슬러지 미발생 피로도 조건에 따라 각각 10.4 kcal/mol, 16.2 kcal/mol 이며, 슬러지 미발생 피로도 조건에서 식각반응이 온도에 더욱 민감하다는 것을 의미한다.

(3) STS는 동일한 조건에서 AK철이나 Invar 합금에 비해 식각속도가 확연히 떨어짐을 확인할 수 있었다.

(4) 유리산도의 증가는 식각속도에 큰 영향을 미치지 않는다.

(5) 보메 증가에 따라 식각속도가 감소하는 것은 점도의 증가에 의해 식각반응기 내 유체의 이동 속도가 감소하게 되고 정체층의 두께가 증가함에 따른 것으로 해석된다.

(6) 표면거칠기는 교반기 회전속도 650~700 rpm, 슬러지 미발생 피로도 조건에서 가장 양호함을 확인할 수 있었다.

본 실험으로 도출된 data는 실제 상업용 STS 외장재 생산라인에 유용하게 적용되어 생산성 향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 (주)LG이노텍의 연구비 지원, 그리고 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 에너지인력양성사업(No. 20104010100580)의 지원을 받았습니다.

참고문헌

1. Smith, W. F., Structure and Properties of Engineering Alloys," 2nd ed., McGraw-Hill, New York(1994).

2. Ueda, R., "Chemical Machining by Ferric Chloride Etchant," *Corrosion Eng.*, **38**, 231-237(1989).
3. Lewis, R. J., Sir, "Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials," 8th ed., Van Norstrand Reinhold, New York(1992).
4. Moscony, J. J., Maynard, R. B., Wetzel, C. M., Eshleman, C. C. and Saunders, M. H., "Optimization of the Ferric Chloride Etching of Shadow Masks," *J. Sid*, **4**, 231(1996).
5. Maynard, R. B., Moscony, J. J. and Saunders, M. H., "Ferric Chloride Etching of Low Carbon Steels," *Rea. Rev.*, **45**, 73(1984).
6. Visser, A., Weissinger, D. and Ullmann, E., "Pray Etching, Mechanism of Removal, Removal Rate, and Surface Structure During Spray Etching of Stainless Steel with Ferric Chloride Part II," *Galvanotechnik*, **75**, 14(1984).
7. Visser, A., Weissinger, D. and Ullmann, E., "Material Processing by Spray Etching, Part II. Etching Precision," *Galvanotechnik*, **76**, 442(1985).
8. Allen, D. M., Hegarty, A. J. and Horne, D. F., "Surface Textures of Annealed AISI 304 Stainless Steel Etched by Aqueous Ferric Chloride-Hydrochloric Acid Solutions," *Trans. Inst. Met. Finish.*, **59**, 25(1981).
9. Yoon, D., Lee, G. and Park, C., "Studies on the Ferric Chloride Etching of Shadow Masks," *HWAHAK KONGHAK*, **38**(3), 393-397 (2000).
10. Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N., "Transport Phenomena," John Wiley & Sons, New York(1960).
11. Ueda, R., Asakura, S., Tanozaki, Y. and Sugiura, T., *Hyomen Gijutsu*, **43**, 48(1992).
12. Fischer, R. B. and Peters, D. G., "Quantitative Chemical Analysis," 3rd ed, W.B. Saunder Company, Philadelphia(1968).