

염화 제2철을 이용한 스테인리스강의 단면 포토에칭 연구

김 만 · 이 종 권*

한국기계연구원 재료공정부, 순천향대학교 재료공학과

A study on the single-side photo etching of stainless steel plate etched with ferric chloride etchant

Man Kim and Jong-Kwon Lee*

Dept. of Material Processing, Korea Institute of Machinery and Materials, 66 sangnam-dong, Changwon, Kyungnam, 641-010, Korea

**Dept. of Material Engineering, Soonchunhyang University,*

Asan P.O.Box 97, Asan, Chungnam, 337-745, Korea

Photoetching, which has been extensively used for manufacturing high precision parts, was investigated in STS304 stainless steel. The ferric chloride solution was used as a etching solution. The conveyerized spray etching machine was employed in order to determine the effect of solution temperature and spray pressure. The studied range of solution temperature, spray pressure and line width are 30~50°C, 0.6~1.5kg/cm² and 50~75μm, respectively. The effect was presented in terms of etching factor and etch rate. As the solution temperature and spray pressure increased, etching rate was increased, but etching factor was decreased. The width of gap between lines also affected the etching factor and etch rate. However, the difference of line width did not have a noticeable effect on them. The cross sectional morphology were examined microscopically and discussed.

1. 서 론

포토에칭기술은 감광성수지와 사진기법을 이용해서 가공하고자하는 물체에 감광성수지를 도포하고 여러가지 형태의 무늬나 도면을 제작한 후 화학적 또는 전기화학적으로 나머지 부분을 제거하여 제품이나 형상을 가공하는 기술로 제품이 소형화되고 정밀도를 요구하는 정밀부품의 수요가 급증하면서 포토에칭에 대한 연구^{1~7)}가 많이 진행되고 있으며 반도체분야에서는 초정밀

미세가공에 포토에칭기술이 필수적인 기술이 되었다. 그러나 국내에서의 포토에칭기술은 아직 초보단계의 제품생산에 그치고 있으며 전문적으로 연구하는 곳은 아직 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 포토에칭의 기초자료를 마련하기 위하여 포토에칭에 영향을 미치는 에칭액의 온도, 분사압력의 영향을 조사하고 선폭과 선폭사이의 간격을 변화시켰을때 에칭상태의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 Master 제작

정밀 에칭기술은 원하는 선폭이나 깊이로 가공하기 위하여 각 공정별로 정밀도가 높은 장비와 설비를 이용하여 각별히 신경써야 각 공정에서의 오차를 최소화하여 가공할 수 있다. 여러 공정을 거치는 동안 각 공정에서 오차가 생기면 누적되어 최종적으로는 당초 설계한 것과 많은 차이가 있게된다. 50 μ m 이하의 선폭을 가공하기 위하여 단면 50 μ m와 75 μ m의 master선폭으로 가공한 공정의 개략도를 나타내면 Fig. 1과 같다.

Master제작은 포토에칭을 위하여 가장 기초적인 공정인면서 가장 중요한 공정중의 하나로 master가 정밀하고 깨끗하지 않으면 노광공정에서 자외선으로 노광하여도 노광된 부분과 노광되지 않은 부분이 정확하게 구별되지 않아 정밀한 에칭을 기대할 수 없다. 그뿐 아니라 작은 편홀이나 점, 얼룩 등이 존재하면 현상공정 후 노출된 금속의 표면상태가 불균일하여 에칭공정

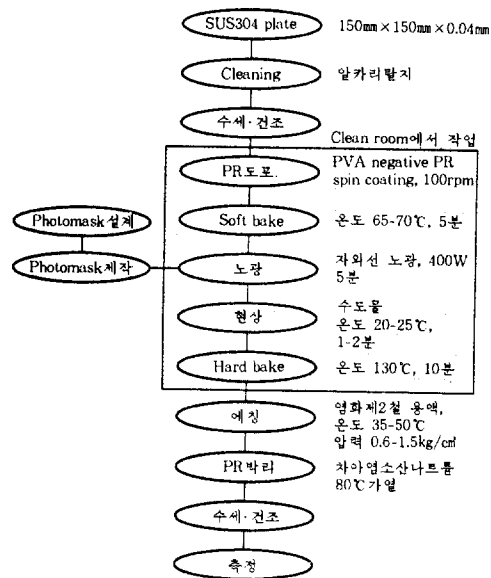


Fig. 1. Schematic diagram of single-side photoetching process.

초기에 균일하게 에칭되지 않고 부분적인 미에칭이나 과에칭 등의 현상이 나타나므로 특히 정밀도와 master 관리에 신경써야 한다

Fig. 2는 정밀에칭을 위하여 제작한 master로 단면에칭의 경우 선폭 50 μ m를 50 μ m간격으로 배열한 것과 선폭 75 μ m를 75 μ m 간격으로 배열한 2 종류를 제작하였다.

2.2 Photoetching용 재료

본 연구에 사용한 photoetching용 재료는 독일 Ferrostal사의 냉연압연 스테인리스 304로 폭 305mm, 두께 40 μ m이며 화학적 조성 및 기계적 성질은 Table 1과 같다.

2.3 Cleaning

Cleaning공정은 PR(Photo resist)의 밀착력을 향상시키기 위하여 스테인리스 박판에 부착된 먼지, 기름, 지문 등의 이물질들을 제거하는 공정으로 PR이 스테인리스 박판에 도포되었을때 박리되는 것을 방지할 수 있다. 밀착력이 불량하

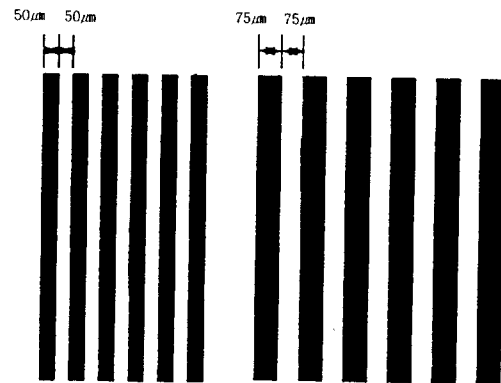


Fig. 2. Masters for single-side photoetching

Table 1. Chemical compositions and physical property of stainless steel(wt.%)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Composition	0.09	0.57	0.96	0.029	0.01	18.3	7.11
Yield Strength	Tensile Strength		Elongation		Vickers Hardness		
122.1 kg/mm ²	143.7 kg/mm ²		15.0%		397		

면 현상이나 에칭공정에서 PR과 스테인리스판 사이로 부식액이 침투하여 정밀도를 기대할 수 없으며 cleaning공정에서 부분적으로 표면상태가 달라지면 에칭공정에서 균일하게 에칭되지 않고 불균일한 에칭이 일어나 부분적으로 선평두께가 달라지는 현상이 나타난다. 본 연구에서는 스테인리스 박판을 emery paper #1000으로 연마 후 알카리탈지하고 증류수로 세척하여 열풍건조 하였다.

2.4 PR 도포

정밀도가 높은 제품을 가공하기 위하여 PR도포시 먼지나 불순물 등이 부착되면 그 부분의 선이 에칭공정시 가공이 되지 않거나 부분적으로 끊어지는 현상이 발생하므로 clean room에서 작업이 필요하다. PR도포는 spin coater를 사용하여 100rpm의 속도로 회전시키면서 PR을 도포하고 70℃에서 5분간 soft bake시켰다. PR은 PVA계 수지를 base로 크롬산을 감광제로한 수용성 negative type을 사용하였다.

2.5 노광 및 현상

본 연구에 사용된 PR은 negative type이기 때문에 UV빛을 받은 부분이 경화되어 보호 피막으로 작용하고 빛을 받지 않은 부분은 수용성으로 있다가 현상시 녹아나와 스테인리스 표면이 노출된다. 본 연구에 사용한 노광기는 400W 수은 전구가 아래.위 양쪽에 각각 설치되어 있으며 PR도포된 스테인리스 박판이 중간에 위치하여 노광된다. 노광량 측정을 위하여 Dynachem사의 UV intergrating radiometer를 사용하여 측정된 결과 5분간 노광시켰을때 320mJ/cm²였으며, 250mJ/cm² 이하에서는 현상시 박리현상이 일어났다. 따라서 노광은 5분으로 고정하여 실험하였다. 현상공정은 UV에 의해 빛을 받은 부분과 빛을 받지 않은 부분으로 분리만 되어 있는 노광상태에서 빛을 받지 않은 부분을 녹여내는 공정으로 현상액으로는 물을 사용하였다.

2.6 Hard bake

현상공정이 끝난 PR피막은 건조되어 있는 상태로 피막이 연하고 무르기 때문에 기계적인 충격이나 굽힘에 약할 뿐 아니라 에칭시 박리되거나 부분적으로 침식될 수 있으므로 경화시키는 공정이 필요하다. 경화는 130℃에서 10분간 baking시켰을때 완전히 경화되었다.

2.7 에 칭

Hard bake공정이 끝난 제품은 master와 똑같은 형태로 선명하게 육안으로 구별이 가능하지만 선평이 매우 미세하여 육안으로 구별이 불가능하였다. 따라서 확대한 현미경하에서 관찰하여 깨끗한 것만 실험에 사용하였다. 에칭공정은 노출된 스테인리스를 녹여내는 공정으로 42% 염화 제2철 용액을 사용하여 온도 35~50℃ 범위에서 분사압력을 변화시키면서 실험하였다

2.8 PR 박리

에칭이 끝난 제품은 PR을 박리하여야 한다. 본 연구에 사용한 PVA수지 negative PR의 박리는 5% 차아염소산 나트륨 용액을 80℃로 가열하여 박리하고 수세 건조 후 에칭상태를 관찰하였다

2.9 가공정밀도 측정

Photoetching후 공구현미경과 금속현미경을 사용하여 가공정밀도를 측정하였으며, 그것을 laser profilometer로 측정한 것과 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

두께 40μm의 스테인리스 박판을 이용하여 master상의 선평 50μm와 75μm의 단면 에칭시험에 대하여 에칭액의 온도와 압력을 변화시키면서 에칭시간을 1~4분으로 변화하면서 에칭시험을 하였다. 에칭시험 후 PR을 박리하여 단면을 절단하여 수지에 고정시킨 후 polishing하여 금

속현미경으로 단면을 관찰하여 선폭 및 에칭깊이를 측정하여 비교 분석 하였다.

3.1 에칭온도의 영향

Table 2는 단면에칭을 위하여 50 μm 와 75 μm 의 선폭에 대하여 에칭액의 온도를 35 $^{\circ}\text{C}$ ~50 $^{\circ}\text{C}$ 까지 5 $^{\circ}\text{C}$ 간격으로 변화시키면서 에칭시간을 1분~4분까지 변화 시켰을때 에칭 후 선폭 및 에칭깊이의 변화를 나타낸 것이다.

또 Table 2의 결과에서 50 μm 와 75 μm 선폭에 대하여 변화에 따른 에칭깊이와 선폭의 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 온도가 증가하고 에칭시간이 길어짐에 따라 에칭깊이는 전반적으로 깊어지고 있으며 남아있는 선폭은 감소하는 경향을 나타내고 있으며 같은 시간 에

칭하였을때 에칭속도는 선폭이 넓어질수록 에칭깊이가 더 커짐을 알 수 있었다. 그러나 온도가 높은 경우에는 에칭깊이가 깊어지는 반면에 side 에칭이 심하여 남아있는 선폭은 오히려 좁아져 산모양의 에칭형태가 나타났으며, 낮은온도에서 오히려 더 깊이 에칭이 가능하였다. Fig. 4는 50 μm 와 75 μm 선폭에 대하여 4분간 에칭 후 에칭속도를 조사한 것으로 50 μm 선폭에서는 대략 4~5 $\mu\text{m}/\text{min}$ 를 나타내고 있으며 75 μm 선폭에서는 대략 6~7.5 $\mu\text{m}/\text{min}$ 의 속도를 나타내고 있어 선폭이 넓어짐에 따라 에칭속도가 약50%정도 향상 되었다. 이는 선폭과 선폭사이의 간격이 넓어서 새로운 부식액이 계속해서 침투가 잘되기 때문인 것으로 사료된다.

각 에칭조건에서 얻어진 에칭깊이와 선폭으로부터 EF(etching factor)를 조사하였다.

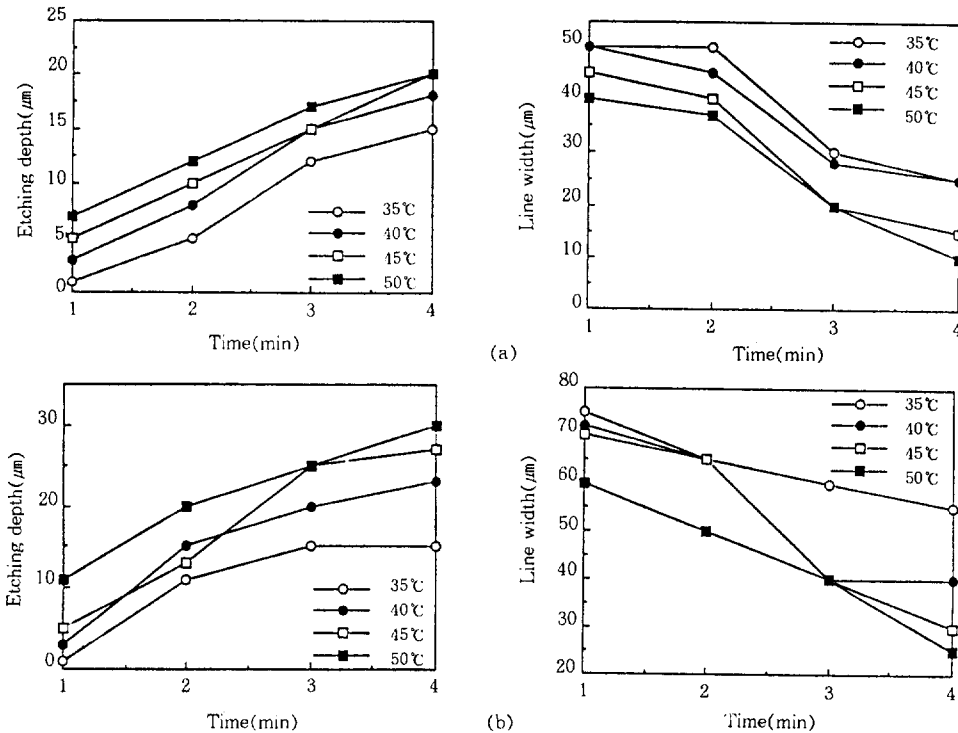


Fig. 3. Variation of etching depth and line width with etching time in the spray pressure 1.2kg/cm² (a) 50 μm (b) 75 μm

Table 2. Result of STS 304 plate etching

		etching time				
		1min	2min	3min	4min	
50 μ m	35 $^{\circ}$ C	etching depth	1	5	12	15
		line width	50	50	30	25
		etching factor	-	-	1.2	1.2
	40 $^{\circ}$ C	etching depth	3	8	15	18
		line width	50	45	28	25
		etching factor	-	3.2	1.36	1.44
45 $^{\circ}$ C	etching depth	5	10	15	20	
	line width	45	40	20	15	
	etching factor	2	2	1	1.14	
50 $^{\circ}$ C	etching depth	7	12	17	20	
	line width	40	37	20	10	
	etching factor	1.4	1.85	1.13	1	
75 μ m	35 $^{\circ}$ C	etching depth	1	11	15	15
		line width	75	65	60	55
		etching factor	-	2.2	2	1.5
	40 $^{\circ}$ C	etching depth	3	15	20	23
		line width	72	65	40	40
		etching factor	2	3	1.14	1.31
45 $^{\circ}$ C	etching depth	5	13	25	27	
	line width	70	65	40	30	
	etching factor	2	2.6	1.43	1.2	
50 $^{\circ}$ C	etching depth	11	20	25	30	
	line width	60	50	40	25	
	etching factor	1.47	1.6	1.43	1.2	

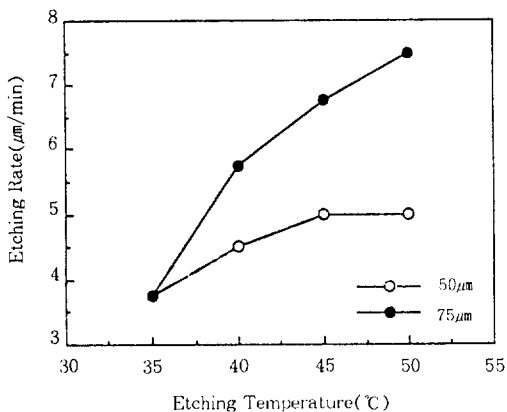


Fig. 4. Variation of etching rate with etching temperature

EF는 master상에 설계된 선폭과 선폭사이의 간격도 측정하였으며 에칭에 의해 침식된 시료의 깊이도 측정하여 비교 검토하였다. Fig. 5는 EF의 개념을 설명하기 위하여 에칭의 단면상태

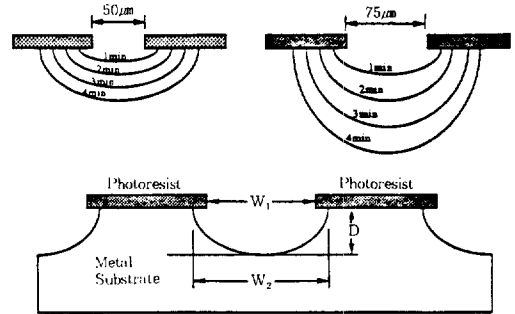


Fig. 5. The illustration of etching factor

를 개략적으로 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 PR이 박리되어 스테인리스가 노출된 부분에만 에칭되는 것이 아니라 PR이 코팅된 아래 부분까지 에칭액이 침투하여 스테인리스를 에칭시킨 것을 나타내고 있으며 이러한 현상을 undercut이라고 하여 PR아래까지 얼마나 에칭액이 침투되었는지를 나타내는 정도이다.

$$\text{undercut} = 1/2(W_2 - W_1)$$

Undercut이 존재하는 상태에서 에칭액이 스테인리스강에 얼마나 깊이 침투하여 에칭시켰는가를 나타내는 식이 EF이며 아래식으로 표현된다.

$$EF = \text{에칭깊이} / \text{undercut}$$

$$= 2D / (W_2 - W_1)$$

W₁ : 스테인리스가 노출된 폭

W₂ : PR아래까지 침투하여 에칭된 폭

D : 에칭깊이

EF는 클수록 undercut이 작은것을 의미하므로 정밀가공을 위하여는 EF가 클수록 바람직한 결과를 얻을 수 있다. 위에서 설명한 바와 같이 에칭된 단면을 사진으로 찍어 값을 측정하여 EF를 구한 결과는 Fig. 6과 같다.

EF는 대략 1.2-2값을 나타내고 있으며 전반적으로 50 μ m선폭의 EF보다 75 μ m의 EF가 약간 향상되었다. 또, 같은 선폭에서는 온도가 증가함에

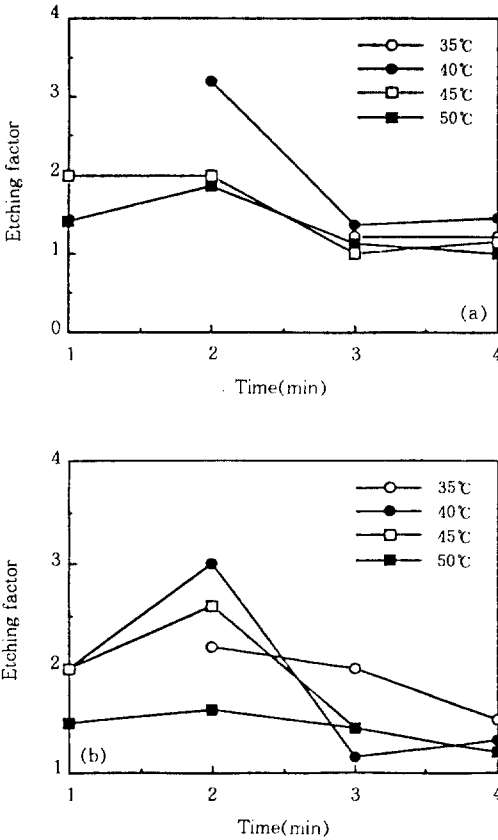


Fig. 6. Variation of etching factor with etching time in the spray pressure 1.2kg/cm². (a) 50µm (b) 75µm

따라 EF가 증가하다가 40°C를 기준으로 해서 감소하는 경향을 나타내고 있으며 에칭시간이 길어지면 증가하다가 3분 이후에는 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 에칭공정에서 에칭이 진행되는 동안 처음에는 깊이 방향으로 에칭이 진행되다가 에칭이 진행되면서 깊이 방향으로만 에칭이 되는 것이 아니라 옆으로도 에칭이 진행되어 PR의 밑부분까지 side에칭이 일어나기 때문에 master상의 선폭보다 선폭이 작아진다. 이들 결과는 Allen등^{8~9)}이 수행한 에칭 profile에 대한 연구결과와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 온도가 높아질수록 에칭시간이 길어질수록 더 심하게 나타나며 선

폭과 선폭사이의 간격이 좁을수록 깊이 방향의 에칭보다 side방향의 에칭이 더 많이 일어나 PR이 더 많이 침식되기 때문에 사료된다. 에칭온도와 에칭시간의 변화에 따른 에칭깊이와 남아있는 선폭을 측정하기 위하여 에칭된 박판을 절단하여 에칭한 단면을 수직으로 세워서 수지로 mounting한 후 연마지로 연마하여 금속현미경으로 단면을 관찰하였다.

Fig. 7은 50µm선폭과 75µm선폭을 단면에칭하여 금속현미경으로 관찰한 것으로 50µm선폭에서는 에칭온도가 높아짐에 따라 에칭깊이가 깊어지면서 선폭이 감소하고 있으며 50°C에서는 깊이 방향보다 side방향으로 더 많이 침투되어 있음을 확인하였다. 따라서 50°C에서 에칭한 경우에는 깊이방향의 에칭은 진행되지 않고 side방향의 에칭이 더 많이 진행되어 부드러운 산모양의 단면이 나타났다. 그러나 75µm선폭의 경우에도 에칭온도가 높아짐에 따라 선폭이 감소하지만 50µm선폭의 경우와는 달리 에칭온도가 높아지더라도 형태가 그대로 유지되면서 선폭이 감소하였으며 에칭깊이도 훨씬 깊게 에칭되었음을 알 수 있다. 이상의 결과에서 에칭온도가 높아질수록 에칭시간이 길수록 에칭은 많이 이루어지지만 선폭과 선폭사이의 간격이 좁은 경우에는 처음에는 깊이방향으로 진행되다가 side방향으로 진행이 촉진됨을 알 수 있다.

이상의 결과에서 보는바와같이 선폭이 커질수록 에칭깊이가 증가하고 side에칭이 감소하는것은 선폭 그자체의 영향이라기 보다는 선폭이 커짐과 함께 선간격이 같이 커지도록 master가 설계되었기 때문에 선간격이 커짐에따라 에칭액인 염화제2철 용액이 에칭된 스테인리스의 안쪽에 고여 있지않고 분사되는 압력에 의해 외부로 잘 빠져나오기 때문에 사료되며 Kuiken 등¹⁰⁾이 제시한 것과 잘 일치하고 있다. 에칭액에 의해 에칭되는 과정을 모식적으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 PR이 도포되지 않은 스테인리스강의 표면에 에칭액인 염화제2철

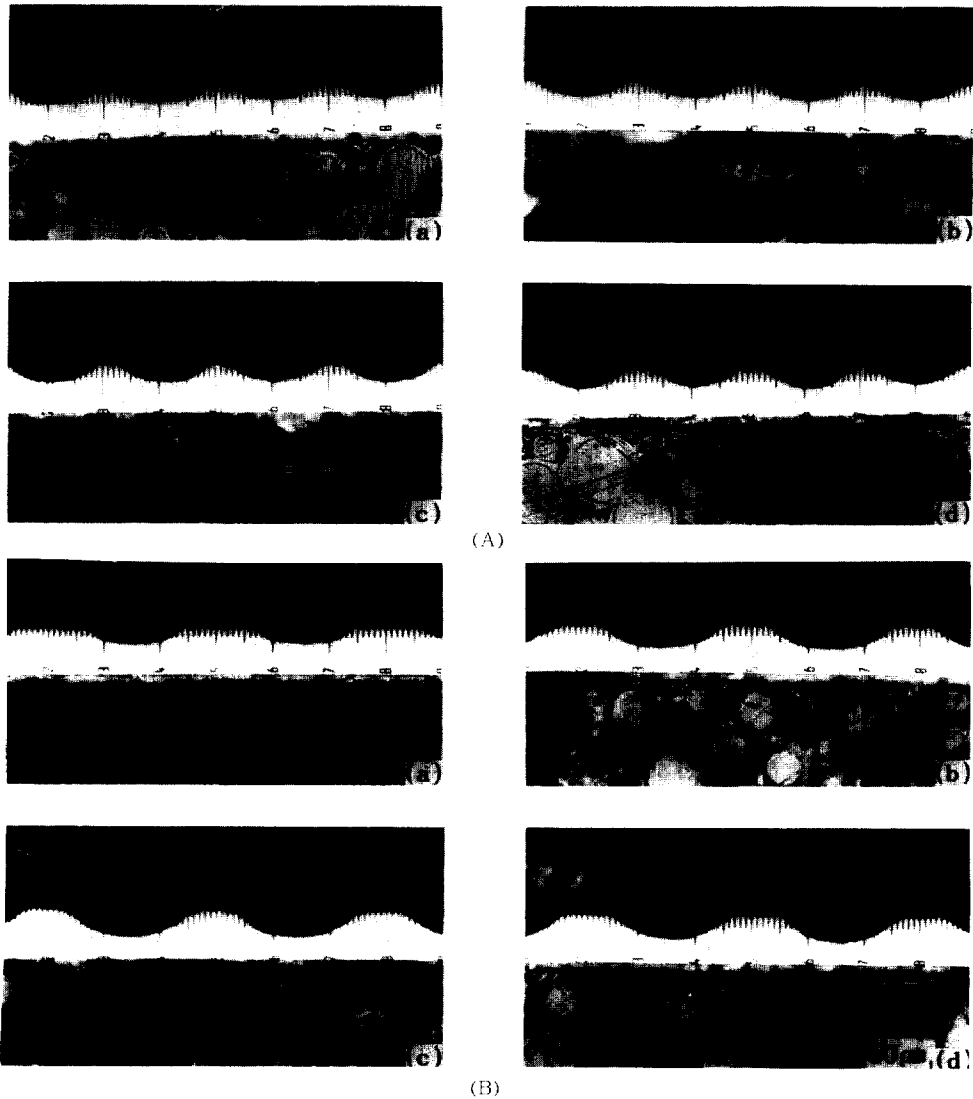


Fig. 7. Cross sections of etched line width $50\mu\text{m}$ and $75\mu\text{m}$ in the spray pressure $1.2\text{kg}/\text{cm}^2$ with 3min.etching time. (A) $50\mu\text{m}$ (B) $75\mu\text{m}$ (a) 35°C (b) 40°C (c) 45°C (d) 50°C

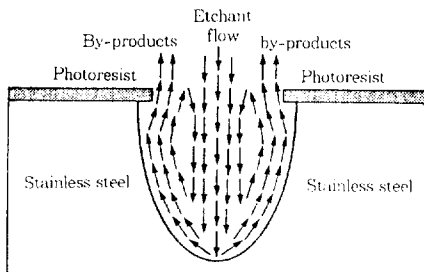


Fig. 8. Flow of etchant and reaction products in a stainless etching process.¹⁰⁾

용액이 분사되면 표면에서부터 에칭되어 계속적으로 깊이방향으로 진행이 촉진되지만 선폭이 좁은 경우에는 에칭액의 유동이 원활하지 못하여 에칭된 부산물이 좁은 틈새에 계속 고여있으므로 새로운 에칭액의 침투를 방해하므로 side에칭과 깊이방향의 에칭속도가 비슷하며 에칭속도는 줄어든다. 반면에 선폭이 증가하면 분사되는 압력에 의해 에칭된 부산물이 밖으로 배출되고

Table 3. Result of STS304 plate etching with etching temperature and spray pressure

		spray pressure(kg/cm ²)				
		0.6	0.9	1.2	1.5	
50 μ m	35 $^{\circ}$ C	etching depth	3	3	13	13
		line width	45	45	30	40
		etching factor	1.2	1.2	1.3	1.3
	40 $^{\circ}$ C	etching depth	5	7	13	17
		line width	40	35	25	15
		etching factor	1	0.93	1.04	0.97
	45 $^{\circ}$ C	etching depth	6	13	15	20
		line width	40	25	25	20
		etching factor	1.2	1.04	1.2	1.33
50 $^{\circ}$ C	etching depth	7	17	18	20	
	line width	40	20	20	15	
	etching factor	1.4	1.13	1.2	1.14	
75 μ m	35 $^{\circ}$ C	etching depth	5	10	15	22
		line width	70	60	65	58
		etching factor	2	1.33	3	2.59
	40 $^{\circ}$ C	etching depth	10	17	20	23
		line width	60	55	45	40
		etching factor	1.33	1.7	1.33	1.31
	45 $^{\circ}$ C	etching depth	16	20	25	25
		line width	55	45	35	35
		etching factor	1.6	1.33	1.25	1.25
50 $^{\circ}$ C	etching depth	13	22	23	25	
	line width	55	50	50	35	
	etching factor	1.3	1.76	1.84	1.25	

스테인리스 표면에는 새로운 에칭액이 계속 공급되므로 side에칭보다는 깊이방향으로의 에칭속도가 증가한것으로 사료된다.

3.2 분사압력의 영향

Table 3은 50 μ m와 75 μ m의 선폭에 대하여 에칭시

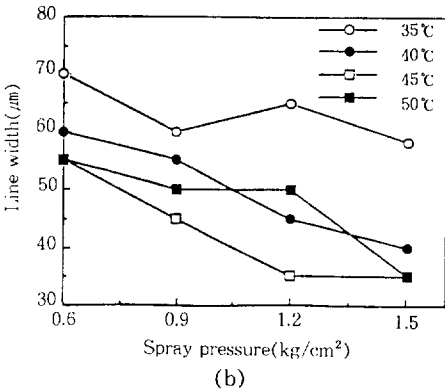
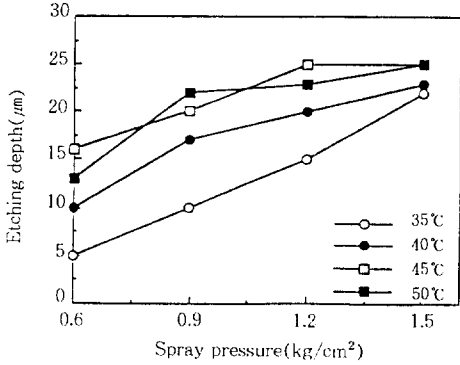
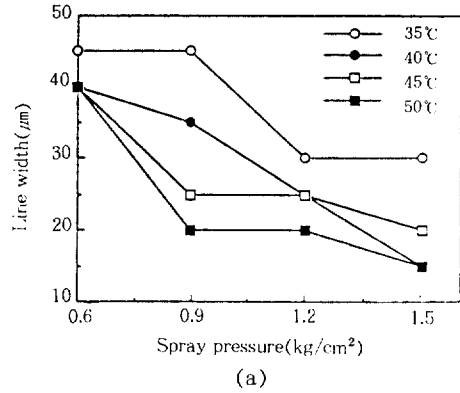
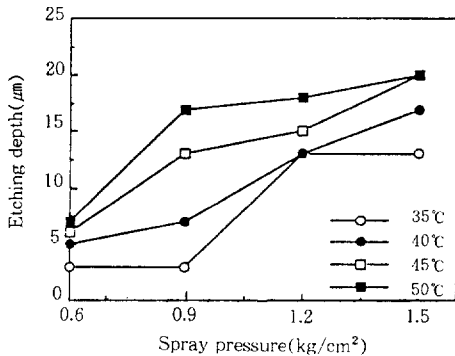


Fig. 9. Effect of spray pressure at the various etching temperature with 3 min. etching time. (a) 50 μ m (b) 75 μ m

간을 3분간 유지하면서 분사압력을 0.6-1.5kg/cm² 까지 0.3kg/cm²씩 변화시켰을때 에칭깊이와 선폭의 변화를 측정된 결과이다.

또 Table 3의 결과에서 50 μ m와 75 μ m 선폭에 대하여 에칭시간의 변화에 따른 에칭깊이와 선

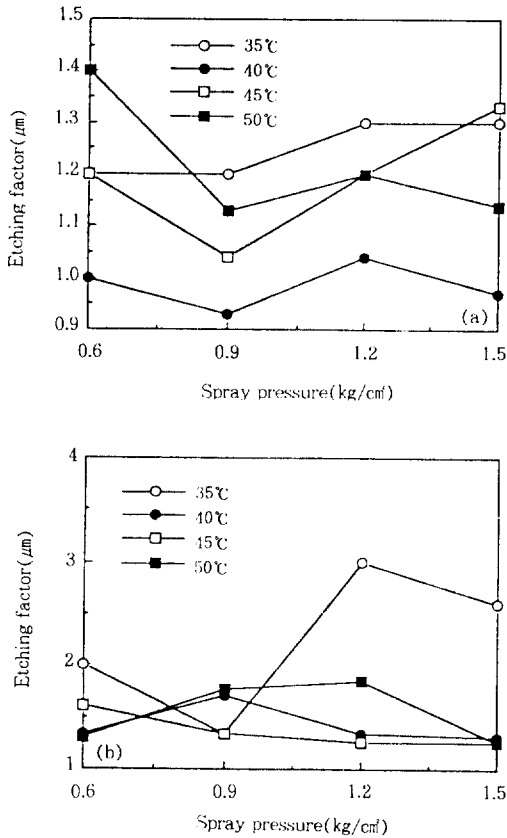


Fig. 10. Variation of etching factor at the various spray pressure with 3min. etching time. (a) 50µm (b) 75µm

폭의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. Table 3과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 온도와 분사압력이 증가함에 따라 에칭깊이는 전반적으로 증가하고 선폭은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 분사압력이 1.2kg/cm²까지는 에칭깊이가 급격하게 증가하다가 그 이후에는 서서히 증가하는 경향을 나타내고 있으며 선폭이 증가할수록 에칭깊이가 더 깊어지는 경향을 나타내고 있다. 이는 분사압력이 높을수록 에칭이 잘되지만 선폭과 선폭 사이의 간격이 좁은 경우에는 분사압력이 증가하더라도 에칭액의 순환이 늦게 이루어져 깊이 방향보다 side방향의 에칭이 상대적으로 더 크기 때문이다.

또 분사압력의 변화에 따른 에칭조건에서 얻

어진 에칭깊이와 선폭으로 부터 EF를 구한 결과는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 알 수 있는 바와 같이 EF는 선폭 50µm의 경우 대략 1.2-1.4의 값을 나타내고 있으며 75µm의 경우 대략 1-2의 값을 나타내고 있어 전반적으로 50µm 선폭의 EF보다 75µm의 EF가 약간 향상되었으며 같은 선폭에서는 분사압력의 영향은 거의 발견할 수 없었으나 에칭온도가 낮은 경우에는 전반적으로 EF가 높고 온도가 높은 경우에는 EF가 낮게 나타났다. 이는 높은 온도에 비해 낮은 온도에서는 깊이 방향의 에칭에 비해 측면에칭이 훨씬 적게 일어났기 때문이다. 따라서 EF를 높이기 위하여 가급적 에칭온도를 낮추어서 작업하는 것이 바람직하다. Fig. 11은 50µm선폭과 75µm선폭을 온도 40°C, 에칭시간을 3분간 유지하면서 분사압력의 영향을 나타낸 것이다. 50µm선폭의 경우 분사압력이 증가함에 따라 에칭깊이는 증가하는 것을 관찰하였으며, 분사압력이 1.2kg/cm²이상일 경우에는 깊이방향의 에칭과 함께 side에칭이 심하여 산모양의 형태로 나타났다. 그러나 75µm선폭으로 에칭한 경우에는 선폭50µm와는 달리 분사압력이 증가하더라도 형태를 유지하면서 깊이방향으로 에칭이 진행됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

염화 제2철 용액을 사용하여 STS 304 박판을 단면 photoetching한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단면에칭의 경우 에칭속도는 50µm의 선폭에서는 4~5µm/min이었으며 75µm의 선폭에서는 6~7.5µm/min로 선폭과 간격이 커짐에 따라 에칭속도도 증가하였다
2. 에칭온도와 분사압력이 증가할수록 에칭속도는 증가하였으나 선사이의 간격이 좁은 경우에는 side방향의 에칭이 심하여 에칭시간이 경과함에 따라 부드러운 산모양 형태가 나타났다.

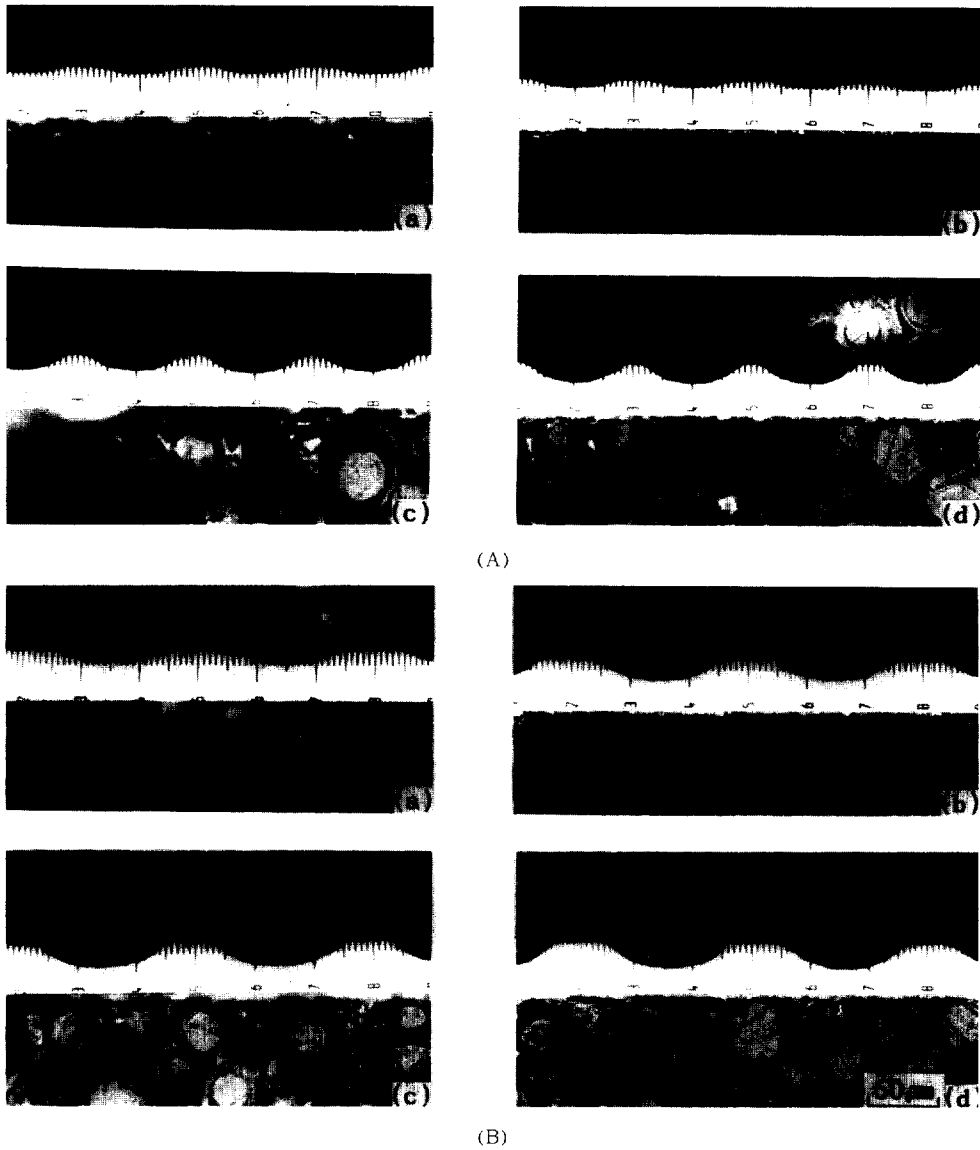


Fig. 11. Cross sections of etched line width $50\mu\text{m}$ and $75\mu\text{m}$ in the etching temperature 40°C with 3min. etching time. (A) $50\mu\text{m}$ (B) $75\mu\text{m}$ (a) $0.6\text{kg}/\text{cm}^2$ (b) $0.9\text{kg}/\text{cm}^2$ (c) $1.2\text{kg}/\text{cm}^2$ (d) $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$

3. 스테인리스 강의 EF는 대략 1~2값을 나타내고 있으며 선사이의 간격이 커질수록 증가하는 경향을 나타내었다.

5. 참고 문헌

1. D. M. Allen, "The principles and practice of photochemical machining and photoetching", Adam Hilger, Bristol and Boston, p. 109 (1986)

2. PHOTO CHEMICAL MACHINING INSTITUTE, Design and artwork generation handbook, PCMI-H-1050, Oct. p. 1 (1984)
3. D. M. Allen, Processing of Advanced Materials **1**, p. 69 (1991)
4. D. M. Allen, et al, Precision Engineering, **5**, p. 51 (1983)
5. D.M.Allen, et al, PCMI, Fall, p. 5 (1985)
6. M.J.Collie, "Etching compositions and processes", Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, p. 1 (1982)
7. R.Ueda, Boshoku Gijutsu, **38**, p.231 (1989)
8. D.M.Allen, et al, J.of photographic Sci., **28**, p. 140 (1980)
9. D. M. Allen, et al, J.of Photographic Sci., **25**, p.254 (1977)
10. Kuiken H. K., et al, J. of Electrochem. Soc., **130**, p.1722 (1983)