

# 금속재료의 정밀에칭 가공기술



김 만 (표면공학실 선임연구원)

- '81 경북대학교 공과대학 금속공학과 졸업
- '83 경북대학교 대학원 금속공학과 졸업(석사)
- '83-현재 한국기계연구원 선임연구원

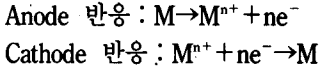
## 1. 서 론

금속재료의 가공기술에는 여러가지가 있지만 금속의 부식현상을 이용하여 금속을 정밀하게 가공하는 포토에칭 기술은 널리 알려져있지 않은 실정이다. 금속의 부식현상을 이용하여 재료를 가공하는 기술은 16세기경부터 유럽을 중심으로 한 동판화기법은 재료의 부식과 도금기술이 복합된 기술로 일종의 가공완제품이 생산된 셈이다. 그러나 당시에는 정밀도와는 무관하게 형상을 만들어 수정하거나 기계적인 가공과 병행하였다. 이러한 기술이 점차 발달되어 기계적인 가공없이 부식이나 도금기술을 이용하여 정밀한 부품을 생산하려는 기술이 계속 개발되었다. 그 기술중에서 가장 정밀도가 높으며 현재 널리 이용되는 기술이 사진술을 이용하여 금속표면에 감광재를 도표하고 자외선을 받은부분과 받지않은 부분으로 분리하여 금속을 부식시키는 포토에칭 기술이 재료의 정밀가공 기술로 널리 이용되고 있다. 따라서 여기서는 현재 금속재료의 가공기술로 각광받고있는 포토에칭 기술의 기초지식과 각 공정별 중요한 기술들을 중심으로 설명한다.

## 2. 금속재료의 부식 기초이론

금속재료의 표면은 균일하게 형성되어있는것 같지만 미세한 부분에서는 균일하지 않다. 미세한 부분에서의 조직의 차이, 성분의 편석, 잔류응력, 결정방위, 이물질의 부착 등으로 인하여 항상 불균일한 상태로 존재한다. 이러한 불균일한 금속을 전해질 용액에 침적하면 국부적으로 전위차가 발생하고 부식반응이 일어나는 국부전지가 형성

된다. 부식반응에 있어서 금속이 용액중에 이온으로 녹아나오는 부분을 anode라 하고 용액중에 있는 금속이온이 금속으로 환원되는 부분을 cathode라 하며 반응식으로 표시하면 다음과 같다.



이상의 부식반응이 일어나서 전류가 흐르는 경우 부식량은 Faraday 법칙에 의해 다음과 같이 계산된다.

- $W = I \cdot t \cdot e_0 / F$   
 W : 부식량(g)  
 I : 전류의 세기(A)  
 t : 시간(sec)  
 $e_0$  : 용해하는 물질의 화학당량  
 F : faraday정수

부식생성량은 위의 식으로 부터 계산이 가능하지만 실제로 부식반응이 일어날지 아닌지는 열역학적으로 반응의 자유에너지를 계산해서 예측할 수 있으며 이때 반응속도는 분극도에 의해 계산할 수 있지만 각 반응에서의 부식액의 농도, pH, 온도, 용존산소량 및 부식액의 유동 등에 의해 달라질 수 있으며 부식에 의한 금속의 용해로 발생하는 전극전위는 다음식에서 계산 할 수 있다.

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln a$$

- E : 전극전위  
 $E_0$  : 표준단극 전위  
 n : 이온의 전하수  
 F : faraday 정수  
 T : 절대온도  
 R : 기체정수  
 a : 용액의 이온 활량

위의 식을 이용하여 임의의 농도에서 금속이 온을 함유하는 액에서 그 금속의 전위를 계산할 수 있으며 이온활량이 다른 액중에 금속을 침적한

경우 전지의 기전력도 계산할 수 있다. 그러나 금속의 부식현상은 금속표면의 국부전지 형성으로 설명이 되지만 에칭현상은 국부전지의 형성만으로는 설명할 수 없다. 포토에칭의 경우에는 에칭액이 고농도이고 온도가 높기때문에 심한 용해현상이 일어나고 금속의 용해는 빠르게하기 위하여 부동태피막의 형성을 억제하고, 산화제를 첨가하여 산화성으로 만들어주며 에칭액이 금속과 결합해서 부식생성물을 만들어 금속표면을 덮고 있으므로 빨리 제거하기 위하여 액의 유동을 심하게 하는 등의 방법을 이용하여 부식진행을 빨리시켜야 한다.

### 3. 정밀에칭 공정

금속재료의 정밀에칭 가공을 위하여 많은 단계의 공정을 거치기 때문에 각 공정의 정밀도가 최종 가공제품의 정밀도에 큰 영향을 주므로 각 공정별로 정밀도의 관리가 매우 중요하다. 그림 1은 정밀에칭을 하기위한 포토에칭 공정의 개략을 나타낸 것이다.

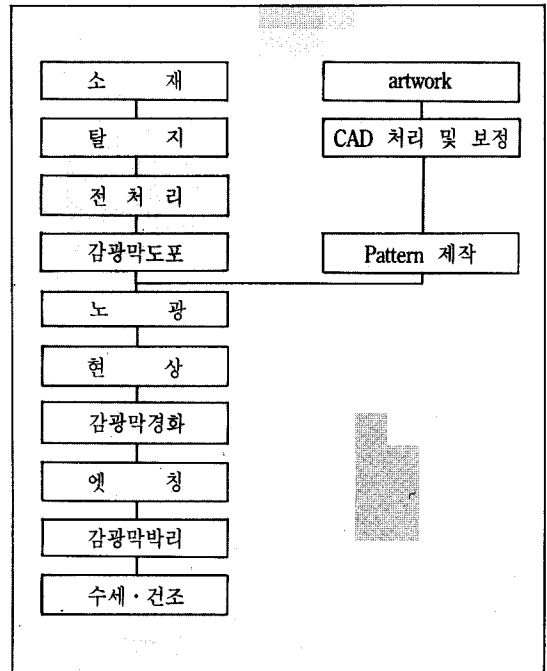


그림 1) 정밀에칭공정 개략도

### 3.1. master 설계

정밀 에칭기술로 부품을 가공하기 위하여 포토에칭의 공정특성에 맞도록 원도면을 설계하여야 하며, CAD에 의하여 설계한 것을 photoplotter를 이용하여 film 위에 그리는 작업이다. Photoplotter의 정밀도에 따라 다르지만, 4배정도 확대된 그림을 그리며, 정밀도에 따라 200배까지 확대하기도 한다. 보통 많은 수의 부품을 한장의 master로 가공하는 것이 경제적이며 step and repeat camera로 다수의 image를 한장의 master에 복제 가능하다.

포토에칭에 의한 기술은 부식에 의한 것이므로 에칭의 특성상 측면부식이 일어나므로 치수, 허용오차, 모양등은 소재의 두께와 소재의 종류, 에칭조건에 따라 달라진다. 치수가 금속의 두께에 접근할수록 실제적인 한계때문에 설계시 유의해야 할 곳들이 있다.

표 1은 Quest EMMA80과 Gerber33B photoplotter의 규격을 나타낸 것이다.

표 1) Photoplotter 규격

	Quest EMMA 80	Gerber 33B
Max. plot size(mm <sup>2</sup> )	581×734(23°×29°)	635×762(25°×30°)
Average accuracy (worst case)		±0.0125mm(±0.0005°)
(Static plot)	±0.015mm(±0.0006°)	
(Dynamic plot)	±0.035mm(±0.0014°)	
Repeatability	±0.006mm(±0.00024°)	±0.0025mm(±0.0001°)
Resolution	0.0025mm(0.0001°)	
Mask size(max.)	5.08mm(0.20°)	5.08mm(0.20°)
(min.)	0.025mm(0.001°)	0.050mm(0.002°)
Mask accuracy	0.010mm(0.0004°)	
Photoplotters speed (max.)	80mms <sup>-1</sup> (3.2°/sec)	127mms <sup>-1</sup> (5.0°/sec)

#### 가. 구멍의 가공

구멍의 크기는 가급적 같은 것이 좋다. 만약 서로 다른 크기가 필요하면 선의 굵기를 같은 폭으로 하여야 부식액에 노출되는 표면적이 같

아져서 원하는 크기의 구멍을 얻을 수 있다. 또, 판두께보다 작은 구멍의 가공은 불가능하므로 이를 고려하여 소재의 두께, 선폭을 결정하여야 한다. 가공가능 최소직경은 보통 판두께의 1~1.1 배로 두께에 따른 최소구멍직경을 표 2에 나타내었다.

표 2) 구멍크기와 가공할 금속 두께와의 관계

가공할 금속두께(μm)	구멍크기(μm)
50	75
125	150
178	200
254	305
500	660

보통 구멍 사이의 간격이 큰 문제는 되지 않으나 특별히 slot이나 구멍이 많을 경우 구멍간격이 제한된다. 판두께가 125μm이하에서는 구멍간격은 두께보다는 커야 하며 125μm이상의 판에서는 두께의 1.25배 이상 간격을 두어야 한다. 이들 관계를 표로 나타내면 표 3과 같다.

표 3) 최소간격과 두께와의 관계

Metal thickness	
T(mm)	W <sub>min</sub>
<0.125	≥ T
>0.125	≥ 1.25T

#### 나. 모서리 가공

에칭가공 공정을 거치면 모서리가 둥글게 된다. 모서리 반경은 가공할 금속의 두께에 비례하며, 내부모서리의 경우 가공가능반경은 적어도 두께와 같아야 한다. 즉, 50μm 두께 판재의 경우, 모서리 반경은 50μm이상이다. 외부모서리는 내부모서리 보다 작은 반경으로 가공가능하며, 판두께의 0.75배 정도로 가공이 가능하다. 이들 결과를 요약하여 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

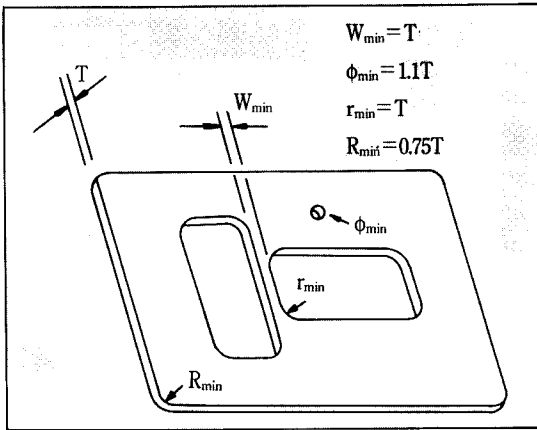


그림 2) 에칭가공 한계

다. 허용오차

부식치수를 결정하는 인자가 많기 때문에 항상 적용되는 법칙을 정하는 것은 불가능하다. 부식 허용오차에 영향을 미치는 변수는 판재의 치수, 사용장비, 수율 등이다. 일반적인 경험법칙으로 판재두께의 15%의 허용오차가 일반적으로 허용된다. 표 4에 허용오차를 나타내었다.

표 4) 포토에칭에 의한 가공 허용오차

a) 시제품제작시

	두께(μm)						
	50	125	250	500	1000	1500	2000
2"×2"	±5	±12.5	±19	±38	±50	±75	±100
8"×10"	5	±12.5	±25	±50	±75	±100	±150
12"×18"	5	±12.5	±25	±50	±100	±150	±200

b) 생산시

	두께(μm)						
	50	125	250	500	1000	1500	2000
2"×2"	± 5	±12.5	±25	±50	±100	±150	±200
8"×10"	± 7.5	±15	±38	±62.5	±125	±175	±250
12"×18"	±12.5	±20	±38	±75	±150	225	300
18"×24"	25	25	50	100	200	300	400

라. Tab

부품의 크기가 작고 양이 많을 경우, 생산효율을 높이기 위하여 1장의 금속판에서 많은 수의 부품을

가공하는 것이 경제적이다. 이 경우 가공이 완료될 때까지 부품이 연결되어 있어야 한다. 보통 부품에서 1~2개 이상의 선을 주위의 금속까지 연장하여 떨어져 나가지 않도록 하는데, 가공후에는 작은 돌출부로 남게 되므로 이런것들이 있어서는 안될 위치가 있으면 미리 지정하여야 하고 크기나 수 그리고 길이는 가급적 적을수록 좋다.

마. Bevel

부식가공 특성상 구멍의 벽이나 금속측면에 경사가 생긴다. 이와같은 bevel이 필요할 경우 지정하여야 한다. 일반적으로 두께 t의 금속판을 가공할 때 bevel은 단면부식시 0.4t, 양면부식시 0.1t이다.

3.2. Photoresist

Photoresist는 빛과 반응하여 용제에 대한 용해도가 변하는 고분자로 특히 3000~4000Å의 거의 자외선 영역에 민감하다. 이러한 특성을 갖는 화학물질은 많으나, 그의 물리적, 화학적으로 부식액에 견딜 수 있어야 하기 때문에 실제 사용되는 화학물질은 그렇게 많지않다. Negative type과 positive type의 두가지로 대별되며, 전자는 빛과 반응하여 용제에 불용성으로 되고 빛이 조사되지 않은 곳이 용해되는데 반하여, 후자는 반대로 빛과 반응하여 용제에 용해되고 반응하지 않은 부분이 불용성으로 남아있게 된다.

또, 빛과 반응하는 물질의 종류에 따라 수용성 colloid계, 계곡산계, 고무계, dryfilm(이상 negative type)과 퀴논 디아자이드계(positive type), 그 외에 초미세 가공용으로 UV보다 파장이 짧은 전자선, X선, deep UV와 반응하는 resist 등도 최근 반도체 산업의 고집적화 추세에 따라 활발히 개발되고 있다.

이러한 photoresist는 그 자체의 화학적 성질 뿐 아니라 도포방법과 후공정, 두께와 균일성에 따라 최종제품의 정밀도에 큰 영향을 미치므로 정밀 에칭 가공기술에는 이들의 공정개발과 함께 고성능 photoresist의 개발에 집중되고 있다.

그림 3은 negative photoresist와 positive photoresist가 UV에 노광 되었을때 반응의 차이를 나타낸

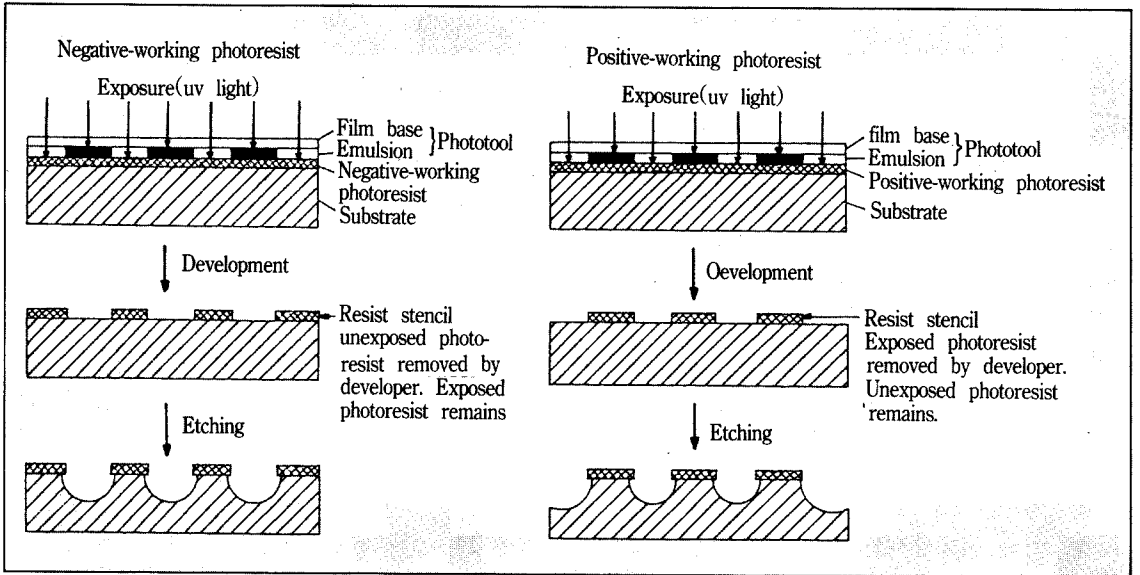


그림 3) negative photoresist와 positive photoresist의 차이.

것이다.

가. photoresist의 도포방법

(1) 칩적법

도포방법중 가장 단순한 방법으로 금속판을 세척 건조후, photoresist가 담겨 있는통에 담그고 마를 때까지 걸어놓는 방법이다. 정교한 방법은 아니지만 정밀도가 크게 유지되지 않을 때는 유용한 방법이다. 수작업이고, 개개인의 기술수준도에 의존하기 때문에 균일한 막을 유지하기 어렵다.

이와같은 단점을 보완하기 위하여, 자동화된 장치로 금속판을 통에 일정한 속도로 담그고, 다시 일정속도로 꺼내는 방법을 사용하기도 한다. 피막의 두께는 꺼내는 속도를 조절함으로써 조절 가능하며 천천히 꺼낼수록 피막두께는 얇아지고, 빨리 꺼내면 두꺼워진다. 최대도포 두께와 최소도포두께는 photoresist 자체의 고형분과 유동도에 따라 한계가 있다. 보통 분당 10~30cm의 속도가 가장 많이 쓰인다. Resist가 건조될 때까지 아래로 흐르기 때문에 윗부분보다 아래부분의 두께가 더 두껍게 된다.(wedge effect) 이런 현상은 저속으로 꺼내면 줄일 수 있으나 보통 그 차이가 크지 않기 때문에 무시할만 하다. 온도, 유동도, 꺼내는 속도를 적절히 맞추면 막의 두께 편차는 10%이내로 할

수 있다. Wedge effect에 대한 두께 편차를 줄이려면, 건조후 아래위를 바꾸어 다시 도포하면 늘랄만큼 균일한 막을 얻을 수 있다. 그러나 positive resist는 재침적법을 쓰면 첫번째 도포한 막이 녹아버리므로 이 방법을 쓸 수 없다. 유동도에 의하여 막의 두께가 변하므로 유동도의 조절도 매우 중요하다. 즉, 실내온도가 너무 내려가면 통의 외부를 적외선으로 가열하는 등의 방법으로 유동도를 조절해야 한다. 이 경우 solvent용 photoresist의 경우 화재의 염려가 있으므로 주의해야 한다. 가열후 유동도를 측정하며 가열시 증발된 solvent 양을 보충해 주어야 한다. 그리고 주기적으로 resist를 걸러 고형물을 제거하는 것이 좋다.

이 방법은 resist의 손실을 최소화 하여 양면을 도포할 수 있는 장점이 있지만, 속도가 균일하지 않거나 chatter가 있으면 막의 두께가 불균일해 지므로 속도조절에 주의해야만 한다.

(2) Flow coating

이 방법은 금속판에 photoresist를 붓거나 흐르게 해서 중력으로 흐르게 하여 도포하는 방법이다. 금속판을 수직으로 세우고 nozzle을 금속판의 한쪽 면 윗부분에 장치하여 도포하며 두개의 nozzle을 쓰면 양면도포가 가능하다. 이 방법으로 면이 고르지 않은 판 위의 도포가 가능하고 길이가 긴

판을 도포할 경우에도 큰 탱크가 없이도 도포할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 결합이 없는 막을 얻기 위하여는 고도의 기술이 필요하고, 판이 수직으로 서 있으므로 아래쪽의 막두께가 위보다 두꺼운 단점이 있다.

(3) Roller coating

균일한 막두께를 얻을 수 있는 최신 공법이다. Photoresist가 roller를 통하여 판 위에 전달된 후 도포되므로, 판 위를 photoresist가 흐르는 다른 공법에서와 달리 막두께는 균일하다.

Roller coating 장비는 매우 작은 홈이 파진수평 roll과, roll과 접촉하는 자리에 PR을 저장하는 doctor bar 그리고 저장 tank에서 PR을 filter하여 doctor bar로 이송하는 pump로 구성되어 있다. 고무 roll과 doctor bar의 압력을 조절하여 막두께를 조절하도록 되어있다. 그림 4는 양면 roller coater의 개략도를 나타낸 것이다.

이 장치에 쓰이는 PR은 dip coating이나 flow coating에 비해서 viscosity가 커야 한다. Roll의 홈 깊이, doctor bar의 압력, roll speed, PR의 고형물 등의 인자가 막의 특성과 두께에 영향을 주므로 엄격히 관리해야 한다.

(4) Spray coating

손으로 spray할 수도 있으나, 이 경우 막이 불균일하고 숙련도에 따라 달라지므로 균일하게 도포할 수 있는 자동 장비를 사용하는 것이 좋다. 금속 roll을 토포에칭으로 공하기 위하여 PR을 도포할 경우 유용하게 사용될 수 있다. 금속 roll을 회전시키면서 spray gun을 roll축에 평행하게 이

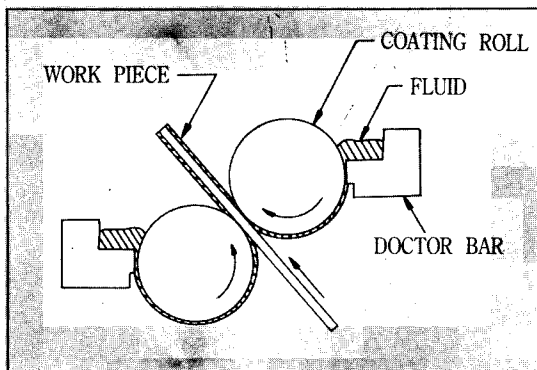


그림 4) 양면 roller coater

동시켜 균일한 막을 얻을 수 있다. 대부분의 경우 단면 도포에 사용된다. PR의 viscosity levelling 건조등이 중요한 인자가 된다. 압축공기는 oil과 수분이 완전히 제거된 것이어야 하며 약간의 기름이나 수분이 있더라도 심각한 문제를 일으킨다.

때로는 공기로 분사하지 않고 저장통을 압축하여 액체만을 분사하거나 hydrocarbon을 압축공기 대신 사용하여 분사하기도 한다.

(5) Spin coating(whirler coating)

Photo engraving을 위하여 원래 사용되던 방법이나, 현재는 많이 사용되지 않는다. 금속판을 저속(75~125 RPM)으로 회전시키면서 판의 중앙부에 PR을 부어 도포시킨다. PR과 금속판과의 wetting이 중요하므로 초기 회전속도를 감소시켜 PR이 충분히 퍼지도록 한다음, 속도를 증가시키거나 미리 solvent로 금속판을 적셔서 PR이 균일하게 퍼지도록 하는 방법을 쓰기도 한다. 균일한 두께를 얻을 수 있는 장점이 있으나 모서리나 변에 약간씩 PR이 모이는 경향이 있다. 매우 얇고 균일한 막을 얻기 위하여는 5000RPM이상으로 회전하기도 하여 초정밀 전자산업에서 주로 이용된다.

이 방법은 단면 coating용이나 연구개발용으로 적절한 방법으로 대량생산에서는 수작업이 많고 PR의 손실이 많아 실용적이지 못하다.

(6) Dry film lamination

Dry film은 예비소성이 필요없도록 막을 미리 일정한 두께로 성형시킨 것으로 빛을 받기 전에는 부드럽고 약간 끈적끈적하여 양면을 PE막으로 보호하여 공급된다.

Lamination 장비는 dry film의 PE막을 자동으로 제거하여 건조된 금속판에 붙이고, 90~120°C로 가열 압착하도록 되어 있다. 속도는 분당 2m 정도가 보통이나 4m까지도 가능하다. 양면 단면 모두 가능하다. Lamination후 밀착력을 강화하기 위해 30분 유지하는 것이 좋으나, 이것도 필요없는 신제품도 개발되었다. 표면의 보호막은 노광후 벗기고 현상한다.

막이 미리 일정두께로 제조된 것이므로 두께 오차는 전면에 걸쳐 6% 이하이며 이러한 막두께의 균일성이 장점이다.

보통의 백색광에 의하여 영향을 받으므로 황

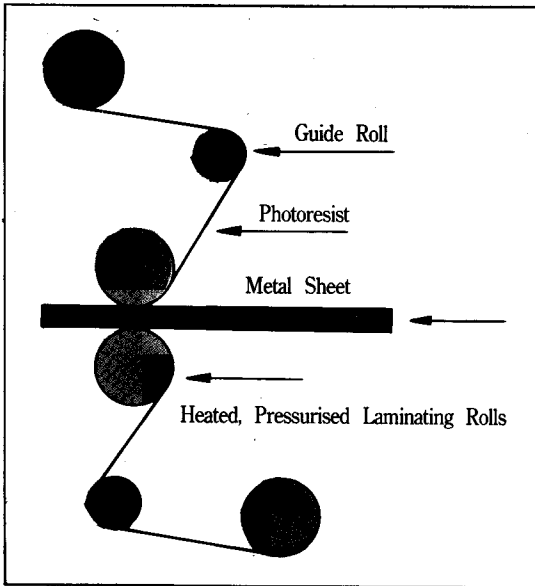


그림 5) 양면 dry film 피복 개략도

색광 아래에서 작업해야 하며, 특별히 예민한 PR의 경우 적색광등의 안정등을 사용해야만 한다.

그림 5는 dry film을 금속양면에 피복하는 공정개략도를 나타낸 것이다.

나. Photoresist의 건조

감광제에 함유된 용제를 제거하기 위하여 120℃의 온도에서 약 15분간 소성처리 한다. 처리온도는 중요하지 않으며 이보다 낮은 온도에서는 시간을 길게 하면 된다. 전술한 바와 같이 dry film을 PR로 사용할 경우에는 이러한 공정이 생략될 수 있으므로 유리하다.

보통 대류에 의한 건조와 복사에 의한 건조(적외선 건조)의 두가지 방법이 사용된다. 두 방법 사이에는 큰 차이가 있는데 적외선 건조시에는 금속과 PR 사이에서 건조가 시작되며 대류식에서는 표면부터 건조가 일어나는데, 이러한 차이는 막이 두꺼울 경우 매우 큰 영향을 주게 된다. 각 방법에 대하여 아래에 상세히 설명한다.

(1) 대류건조

가장 널리 쓰이는 방법이다. 뜨거운 공기를 순환시켜 건조시키는 방법으로서, 다만 먼지와 오물이 섞이지 않도록 세심한 주의를 기울여야 한다. Filter를 사용하는 것도 좋은 방법이며 oven내에

PR 방울 등이 쌓인 것도 제거해야 한다. 공기의 속도에 의하여 건조능이 좌우되므로 순환이 잘 되도록 적층해야 한다. 적외선 방법보다 건조속도는 느리나 온도조절이 쉬워 금속의 종류와 두께에 관계없이 적용할 수 있는 장점이 있다. 건조시 온도가 너무 높으면 PR막이 고분자화되어 현상이 되지 않으므로 주의해야 한다. 특히, 막이 두꺼울 경우에는 표면만이 심하게 건조되어 소량의 용제가 막 내부에 남아 현상과 인쇄가 올바르게 되지 않는다. 그러므로 대류식 건조시 증발된 용제는 밖으로 배출하고 배출된 공기는 공해기준을 위반하지 않도록 조치를 취하여야 한다.

(2) 적외선 건조

적외선 건조법은 대류식보다 빠르고 효과적이다. 사용하는 적외선의 파장이 PR에 영향을 주지 않는 범위가 되도록 하여야 한다. 적외선 열량이 매우 낮은 경우가 아닌 보통의 경우, 적외선 광원이 금속판 바로 앞에 놓여있으면 금속판에 열이 과다하게 되어 PR이 경화될 우려가 있고, 수직일 경우 상부의 온도가 아래보다 높게 되는 경향이 있으므로 일련의 적외선 광원 사이로 금속판을 수평으로 움직이게 하면 이러한 효과들이 상쇄되어 좋은 효과를 기대할 수 있다.

또한 금속에 따라 반사와 흡수정도가 다르고 두께에 따라서도 흡수가 달라지므로 재료에 따라 이송속도와 가열정도도 달라야 한다. 은과 같이 반사가 잘 되는 금속은 적외선으로 건조하기 어렵다.

이와같은 단점에도 불구하고 적외선건조는 건조속도가 빠르고 원하는 곳을 건조시킬 수 있으므로 매우 유용하다.

다. PR의 두께

항상 일정한 두께로 PR을 도포하는 것은 생산에 있어서 매우 중요하다. 두께가 두꺼워지면 노광시간이 길어져야 하고 현상시 상이 약해지고 너무 얇으면 부식액에 대한 저항성이 약해진다.

두께는 PR과 도포방법에 따라 달라진다. Dry film에서는 일정한 두께로 제조된 것을 도포하므로 문제가 없으나 다른 액체PR의 경우 viscosity에 의하여 가장 크게 영향을 받는다. 실내온도, PR내의 고형물 등도 viscosity에 영향을 준다.

표 5) Photoresist의 적정두께

PR type Thickness	Negative Resist	Positive Resist
Easy to etch application (1 to 5 mil stock)	0.05-0.10 mils	0.10-0.20 mils
More difficult to etch (6-10 mil stock)	0.12-0.20 mils	0.20-0.30 mils
Hard to etch application (over 10 mil)	0.20-0.30 mils	0.30-0.40 mils

필요한 막의 두께는 재료와 표면조도에 따라 달라진다. 0.1mm 두께의 판을 가공할 때, 0.5mm 판을 가공할 때 만큼 두꺼운 막이 필요치 않고 또 표면이 거칠수록 막의 두께는 두꺼운 것이 좋다. 일반적으로 필요한 막의 두께는 표 5와 같다.

또 막의 두께가 두꺼울수록 정밀도가 나빠지게 되므로 부식액에 건디는 한 가능하면 얇을수록 높은 정밀도를 얻을 수 있다. 이와같은 이유로 두께가 결정되어 생산공급되는 dry film의 경우, 두께가 18~75 $\mu$ m로 다양하게 생산하고 있으며 보통 18~38 $\mu$ m가 많이 사용되고 고해상도를 위해 더욱 얇은 film의 개발이 진행중이며, positive형의 경우 10 $\mu$ m도 개발되었다.

### 3.3. 노광

사용하는 PR의 종류에 따라 민감한 파장영역이 다르며 그것의 예를 아래 그림 6에 나타내었다.

그림 6에 나타난 바와 같이 3000~5000Å에서 PR은 감도가 높은 것을 알 수 있으며 통상 자외선(UV)를 이용하여 노광시킨다.

또 PR에 따라 감도가 다르며 이것을 ASA로 나타내면 표 6과 같다.

이와같이 감도가 다르고 UV source의 강도도 다르므로 적정노출시간을 결정하기 위하여 step wedge나 step tablet을 사용하면 쉽게 노출시간을 정할 수 있다. 노출시간에 영향을 주는 인자는 매우 많으며 각 인자의 변화에 따라 노출시간을 달리하여야 한다. 그 인자는 아래와 같다.

#### 1) PR의 두께

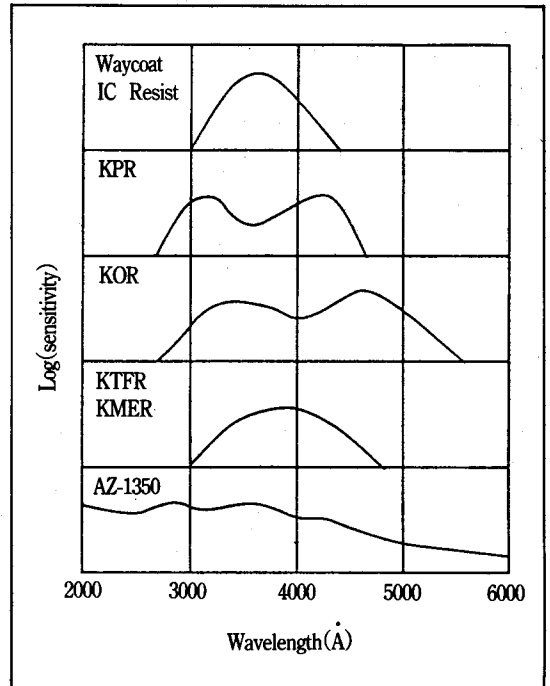


그림 6) Photoresist의 상대적인 민감도

표 6) ASA로 나타낸 photoresist의 민감도

KOR	$10^{-4}$
KPR-2	$5 \times 10^{-6}$
KTRF	$2 \times 10^{-5}$
AZ-1350	$3 \times 10^{-6}$
고해상력 건판	$10^{-2}$
인 화 지	$10^{-2} - 3 \times 10^{-1}$

#### 2) 금속표면상태

##### a. 광택도

##### b. conversion coating or passivation treated

- 3) 자외선원에 대한 PR의 흡수파장영역
- 4) 자외선원의 강도
- 5) 자외선원과 vacuum frame과의 거리
- 6) PR에 흡수되는 자외선을 약화시키는 재료
  - a. vacuum frame의 plastic 혹은 유리
  - b. master 재료(유리 혹은 film)
  - c. PR의 oxygen inhibition
  - d. 자외선을 collimation시키는 frame
- 7) 도포후의 baking정도



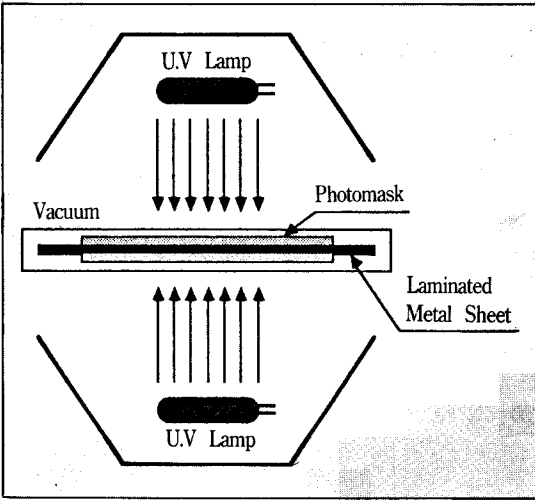


그림 7) 양면노광기 개략도

그림 7은 양면노광기의 개략도를 나타낸 것이다.

이와같은 많은 인자들이 있으나 대부분의 PR에 있어서 흔히 사용되는 장비에서의 적정노출조건이 제조자에 의하여 제시되므로 특수한 경우를 제외하고는 이를 따르는 것이 안전하다.

### 3.4. 현상

PR의 재료에 따라 각각에 알맞은 현상액이 PR제조시 추천되어 있다. 용제사용 negative resist의 경우는 Trichloroethylene, Trichloroethane, Xylene등을 기본으로 한 혼합물이 사용되고 수용성 resist는 물로 현상된다. Positive resist는 약알칼리용액으로 현상된다. Dry film은 type에 따라 용제 혹은 약알칼리에서 현상한다. 현상방법으로는 a) 침적법 b) 뜨거운 증기법 c) 증기분사법 d) 분사법 등이 있다.

침적법은 2개의 tank를 이용하는 것이 경제적이다. 첫번째 tank에서 30~60초 침적하여 대부분의 PR고형물을 제거하고 두번째 tank에서 완성시킴으로써 현상액의 수명을 증가시킬 수 있다.

증기 혹은 증기분사법은 증기탈지장치와 비슷한 장비를 이용하여 현상시킨다. 분사법은 현상액을 실온 혹은 가열하여 분사시키는 것으로 fan nozzle을 사용하면 현상력을 최대로 얻을 수 있다.

현상 후 baking 처리를 하게 되며 baking 온도가 높을수록 산에 대한 저항성은 커지나 막을 제거하는 시간이 많이 걸린다.

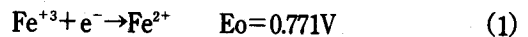
### 3.5. Post bake

PR의 내산성을 크게 하기 위하여 post bake처리가 필수적이다. 수용성 PR의 경우 190~260°C로 가열하지 않으면 내산성이 생기지 않으며 용제형PR은 현상시 잔류된 용제를 제거하는 목적으로 100~120°C로 가열한다. 특히 금속판이 두꺼울 경우 post bake 처리에 의하여 PR을 강화시키므로써 구부러지거나 접하지 않는 막을 이용하여 부식 가공효율을 높일 수 있는 이점이 있다. 보통 1~5분정도 baking하며 15분이상은 하지않는 것이 좋다. baking이 과다하면 막의 박리가 어렵게 된다.

### 3.6. 부식가공

재료에 따라 사용하는 부식액과 부식속도 등 조건이 달라지게 되나, 많은 재료에 대하여 적합한 부식조건이 연구되어져 있으므로 이를 이용할 수 있다. 대부분 금속재료의 가공에 FeCl<sub>3</sub> 용액이 사용될 수 있으므로 FeCl<sub>3</sub>를 부식액으로 사용하는 것이 실작업시에 유리한 점이 있다. 표 7에 FeCl<sub>3</sub> 부식액에서 소재종류와 농도에 따른 부식속도의 의존성을 나타내었다.

염화제2철은 위와 같은 장점이 있으므로 가장 널리 사용되므로 그 화학반응과 액관리에 대하여 조사하였다. 염화제2철 수용액은 가수분해에 의하여 강산성이며 동시에 다음의 반쪽반응의 표준전극전위에 나타난 것처럼 강산화성이다.



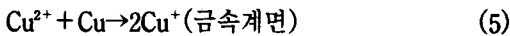
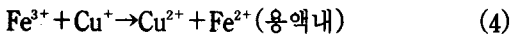
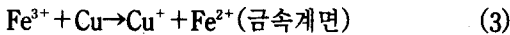
철계 재료의 부식시 반응은



구리와 그 합금에서의 부식반응은 보다 복잡하여 다음과 같다.

표 7) 염화제2철 용액의 에칭속도

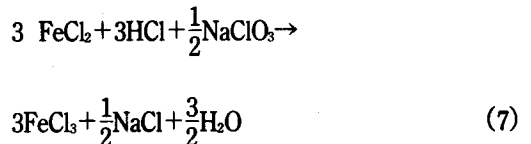
Material	Temperature of FeCl <sub>3</sub> T(°C)	Concentration of FeCl <sub>3</sub> for maximum rate of etching at T°C	Rate of etch (μm min <sup>-1</sup> )	Reference
Copper	25-45 e.g. 45	2.0-2.5M(29-34°Be) 2.5M(34°Be)	- 5.6(flowed)	Burrows et al.(1964)
Copper	25	2.5M(34°Be)	31(sprayed)	Bogenschütz et al.(1979)
Mild steel	60-80 e.g. 70.1	2.1-2.3M(30-32°Be) 2.3M(32°Be)	- 6.6(stirred)	Maynard et al. (1984b)
Spring steel	50	2.1M(30°Be)	32(sprayed)	Hamidon Musa(1984)
Stainless steels :				
AISI 304 (19% Cr, 10% Ni)	50	2.3M(32°Be)	38(sprayed)	Allen et al. (1981)
X12 CrNi 17 7 (17% Cr, 7% Ni)	25	2.5M(34°Be)	16(sprayed)	Bogenschütz et al.(1979)
X5 CrNi 18 9 (18% Cr, 9% Ni)	50	2.3M(32°Be)	25(sprayed)	Visser et al. (1984)



부식액은 사용후 재생이 가능하다. 보통 염소 가스주입법이나 NaClO<sub>3</sub>와 염산을 혼합하여 사용하며 반응식은 다음과 같다.



위의 반응에서 부식이 진행됨에 따라 Fe<sup>3+</sup>의 농도가 감소하게 되며 그 경우 반응(5)에 의한 반응이 중요하게 된다. 부식액의 30%가 소모된 후에는 부식되는 구리금속의 40%는 Cu<sup>2+</sup>에 의하여 부식되고 60%가 Fe<sup>3+</sup>에 의하여 부식된다. Fe<sup>3+</sup>가 계속 소모되어 50%가 소모되면 80%가 Cu<sup>2+</sup>, 20%가 Fe<sup>3+</sup>에 의하여 부식된다.



이와같이 재생처리를 하면 재생 양을 경우보다  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$ 의 가격으로 할 수 있어 경제적이다.

### 3.7. 가공정밀도

Photoetching법에 의한 부품의 가공 정밀도는 가공할 판의 두께, photoresist 두께, photomask상태, 에칭액 등과 밀접한 관계가 있다.

특히, 판의 두께는 두께 방향으로의 가공과 동시에 측면 에칭이 함께 일어나기 때문에 직접적으로 정밀도에 영향을 미치며 허용오차는 보통 판두께의 15% 가량이다. 그러므로 고정밀도의 부품가공시에는 가급적 얇은 판재를 사용하는 것이 유리하다. 표 8에 판재의 두께와 크기에 따르는 오차를 나타내었다.

표 8) 가공정밀도

두께	최 소 구멍직경	최 소 구멍간격	구멍크기에 따른 가공정밀도			
			0.10mmφ	0.5mmφ	1.00mmφ	10.00mmφ
0.03	0.030	0.010	±0.008	±0.008	±0.008	±0.008
0.05	0.050	0.015	±0.010	±0.010	±0.010	±0.010
0.10	0.070	0.030	±0.010	±0.010	±0.010	±0.015
0.20	0.150	0.080		±0.020	±0.020	±0.020
0.25	0.180	0.100		±0.025	±0.025	±0.025
0.30	0.220	0.120		±0.030	±0.030	±0.030

304 스테인레스강 (단위 : mm)  
수용성 플로이드계 감광막

판두께와 함께 감광막의 두께와 원판과 시편의 밀착성도 정밀도에 큰 영향을 미친다. 이것은 노광에 사용되는 광원이 평행광선일 경우에는 문제가 되지 않으나 실제로는 점광원이기 때문에 pattern과 시료의 거리, 막의 두께가 문제가 된다. Pattern과의 거리가 멀수록 또 감광막이 두꺼울수록 오차가 커지는 것을 알 수 있으며 같은 의미에서 막두께의 균일성을 유지하는 점도 매우 중요하다.

### 3.8. 에칭 factor

정밀에칭에 있어서 에칭 factor의 관리는 에칭의 정밀도를 관리하는 측면에서 매우 중요한 인자이다. 정밀에칭에 있어서 금속의 에칭은 photore-

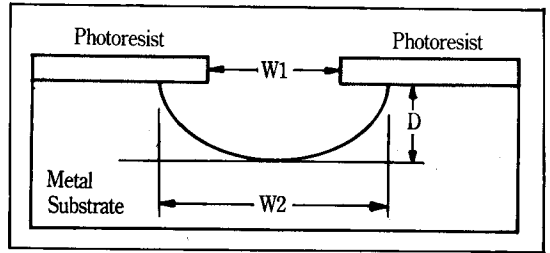


그림 8) 에칭 factor 모식도

sist가 피복된 부분만 정확하게 남아야 되지만 실제적으로는 photoresist의 밑부분까지 에칭액이 침투하여 금속을 부식시키기 때문에 설계된 것보다 폭이 좁은 제품이 생산되기 때문에 여분의 설계를 하여야 한다. 이때 고려해야할 것이 에칭 factor로 금속의 재질 및 에칭액의 특성에 따라 달라진다. 그림 8은 에칭 factor의 개념을 설명하기 위하여 개략적으로 나타낸 것이다.

그림 8에서 보는 바와 같이 photoresist가 피복된 부분까지 에칭액이 침투하여 금속을 부식시킨것을 알 수 있으며 이러한 현상을 under cut이라고 하여 photoresist까지 얼마나 에칭액이 침투되었는지를 나타내는 정도이다.

$$\text{Under Cut} = \frac{1}{2}(W_2 - W_1)$$

Under cut이 존재하는 상태에서 부식액이 금속에 얼마나 깊이 침투하여 금속을 에칭시킨 정도를 나타내는 것이 에칭 factor이다.

$$\text{에칭 factor} = \frac{\text{에칭깊이}}{\text{under cut}} = D / \frac{1}{2}(W_2 - W_1)$$

- W<sub>1</sub> : photoresist가 없이 금속이 노출된 폭
- W<sub>2</sub> : photoresist아래까지 침투하여 에칭된 폭
- D : 에칭깊이

### 4. 향후 기술추이

정밀에칭에 의한 가공기술은 반도체 분야에서 이미 1μm이하의 에칭에 대하여 많은 연구가 진행되고 있지만 일반 기계부품에 사용되는 금속의 에칭은 10~100μm 정밀도를 요구하는 제품이 많이

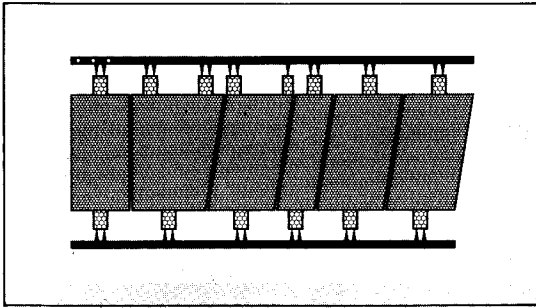


그림 9) grid master 도면

응용되고 있으며 두께가 두꺼워 질수록 그 정밀도는 더 떨어진다. 정밀에칭법을 사용하여 일반적인 기계부품에 많이 사용되는 금속의 두께는 약 30~180 $\mu\text{m}$  정도로 현재 표면공학실에서는 digitron용 grid를 연구개발중에 있다. Digitron용 grid는 digital display에 필수적인 부품으로 두께 40 $\mu\text{m}$ 의 SUS 304 스테인레스판을 선폭 25 $\mu\text{m}$ 로 가공하여야 하는 첨단제품이다. 그림 9는 grid의 에칭을 위하여 에칭 factor가 고려된 master 도면이다.

Grid외에 servo motor의 핵심부품인 encoder slit도 스테인레스 에칭으로 제작하고 있으나 정밀도 향상을 위하여 유리위에 크롬 coating된 것을 에칭하여 많이 사용되고 있다. 앞으로 정밀에칭을

위하여 plasma나 laser를 이용하여 정밀에칭하는 기술도 개발되고 있어 에칭분야의 기술개발은 앞으로도 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료되며 이를 위하여 당실에서도 정밀에칭연구에 중점을 두고 추진하고 있다.

## 5. 맺음말

이상에서 설명한 바와같이 정밀에칭기술은 그 활용도가 실로 다양하며 그 수요는 앞으로도 계속 증가할 것으로 사료되나 반도체 분야를 제외한 정밀에칭에 의한 금속재료의 가공분야는 아직 기술개발이 미흡하고 업체가 영세하여 효과적으로 추진되지 않고 있으며 정밀도도 아직 초기단계이므로 고부가가치의 제품을 개발하고 생산하기 위하여 효과적인 투자와 기술이 시급하게 개발되어야겠다.

이를 위하여 국가적인 차원에서도 적극적인 지원이 이루어져야하며 관련기업도 기술개발과 설비투자에 많은 노력이 있어야할 것으로 사료된다. 당실에서도 기술축적을 위하여 노력하고있으며 관련업체와도 적극적인 기술개발을 추진하고 있다.