

◆특집◆ 정밀부품의 표면가공 및 디버링 기술

전해디버링을 이용한 박판 미세 버 제거

이은상\*, 이정훈\*\*, 김원목\*\*, 천영재\*\*

Removal of micro burr by using Electrolytic-deburring

Eun-Sang Lee\*, Jung-Hoon Lee\*\*, Won-Mook Kim\*\*, Young-Jae Chun\*\*

Key Words : electrolytic-deburring(전해디버링), burr(버), shadow mask(새도우마스크), current density(전류밀도), gap(간극)

1. 서론

전해디버링(Electrolytic-deburring)은 전해연마(Electro polishing)를 응용하여 미세 버(Micro burr)를 효과적으로 제거 할 수 있는 기술로, 전기적으로 도체인 모든 금속을 가공 할 수 있다. 또한 상온 전해액 중에서 가공하므로 열로 인한 변형이나 변질이 생기지 않고, 비접촉 가공이므로 부수적인 버의 발생이나 휨, 변형을 일으키지 않는 특징을 가지고 있다. 특히 디버링이 곤란한 속이 깊은 부분, 복잡한 형상을 가진 부분 및 미세 박판구조물에 대한 디버링에 대해서 유용하게 사용될 수 있다.

이러한 전해디버링 기술은 전해연마(Electro-polishing)를 이용한 디버링 기술이다. 따라서 전해디버링의 기본 메커니즘은 전해연마와 같고, 디버링 효과 뿐만 아니라 전해연마 효과 또한 얻을 수 있다. 그러므로 전해디버링을 할 경우 전해연마의 부식저항성 증대, 표면 평탄화, 수소의 제거, 표면 광택의 증대, 변색 및 응력의 제거 효과 또한 얻

을 수 있다.<sup>2</sup>

본 연구에서는 전해디버링의 기본 메커니즘을 이해하기 위해 전해연마의 원리 및 효과를 소개하고 전해디버링을 이용한 박판 미세 버 제거 실험과 응용분야에 대해서 알아보도록 하겠다.

2. 전해연마

2.1 전해연마의 원리 및 효과<sup>3</sup>

Fig. 1 은 전해연마에 대한 개략적인 실험장치를 나타내고 있다. 공작물에 (+)극, 불용해성이며 전기저항이 작은 공구를 (-)극에 연결하고 전해액 중에서 전류를 인가하면, (+)극에서는 산소가스가 발생하고, (-)극에서는 용출작용 없이 다량의 수소가스가 발생하기 시작한다. 그리고 점성, 비중, 절연성이 높은 산화막이 표면의 미소 요(凹)부를 덮어 그 부분의 용해를 방해하고 전류밀도가 집중하는 절(凸)부의 선택적 용해에 의해 연마가 이루어진다.

산화층 내의 금속이온은 주위의 전해액보다 높은 금속농도를 갖게 됨으로, 농도차에 의한 삼투현상에 의해 Fig. 2 와 같이 금속이온의 전해액으로 이동하는 현상이 활발하게 진행된다. 즉, 산화층 내에서도 바깥층의 이온 이동이 활발하게 이루어져 양극(+)의 돌출 부위를 덮고있는 절연성 산화막 농도를 줄여 그 부분의 선택적 용해를 촉진시킨다. 전해액이 포화상태로 진전하면 점점 점

\* 인하대학교 기계공학부  
Tel. 032-860-7308, Fax. 032-866-8627  
Email leees@inha.ac.kr

\*\* 인하대학교 기계공학과 대학원  
가공 시스템 특히, 초정밀 가공시스템, 반도체장비 및 비구면 장비에 관련하여 연구활동을 하고 있다.

성이 높아지는데, 이는 정제된 산화층의 형성을 촉진시키고, 외부에서의 힘이 가해지지 않는 한 그 층은 움직이지 않게 되어 안정한 용해를 일으킬 수 있게 된다.

전해연마의 효과로는 먼저 부식저항성을 들 수 있다. 전해연마 이전의 가공물은 대부분 표면에 불순물 및 가공변질층을 지니고 있고 이러한 불순물과 가공변질층은 쉽게 부식이 발생하게 될 수 있다. 전해연마를 통하여 가공물의 불순물 및 가공변질층이 제거되고, 따라서 부식에 대한 탁월한 저항성을 나타내게 된다. 특히 스테인레스강의 경우 표면에 부식저항성을 지닌 다량의 산화크롬층이 형성되어서 일반 기계가공 공작물보다 15 배 정도의 내부식성 향상이 생긴다. Fig. 3 은 기계연마, 브라이트 어닐링(Bright annealing), 전해연마를 한 후 표면에 생성된 크롬층을 나타내고 있다. 전해연마를 할 경우 가장 두꺼운 크롬층이 나타남을 알 수 있다.

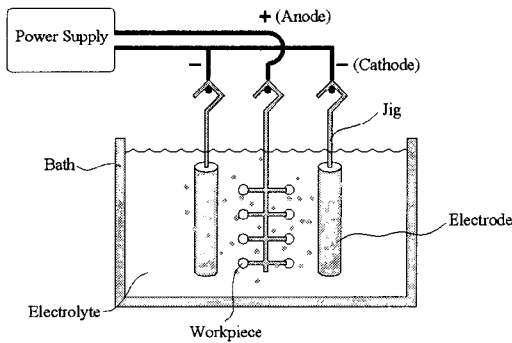


Fig.1 The principle of Electropolishing

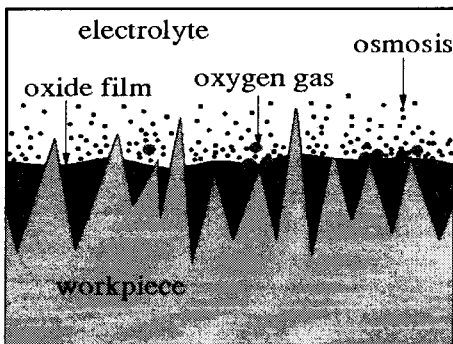


Fig.2 Mechanism of Electropolishing

Fig. 4 는 전해연마의 표면 평탄화 작용을 나타내고 있다. 전해연마는 근본적으로 미소 돌출부를 선택적으로 용해하기 때문에 탁월한 표면 평탄화 작용을 나타낸다. 전해연마는 또한 수소제거, 변색 및 잔류응력 제거 효과를 나타낸다. 수소제거를 통하여 박테리아 성장 및 피로파괴 억제효과를 얻을 수 있다.

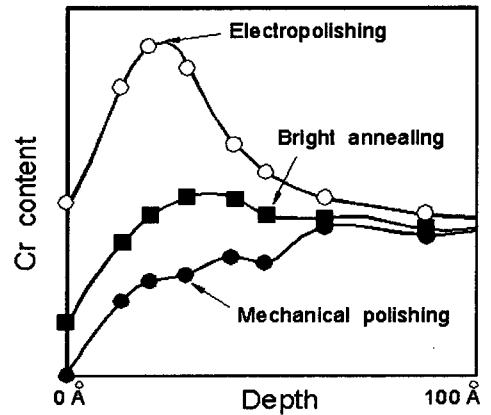


Fig. 3 Increase of Cr content

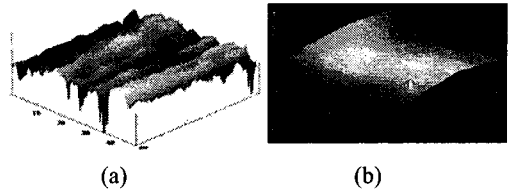


Fig. 4 Appearance before(a) and after(b) electropolishing

### 3. 전해디버링

#### 3.1 전해디버링의 원리 및 실험장치 구성

앞에서 언급하였듯이 전해디버링은 근본적으로 전해연마와 동일한 원리를 이용하지만 전해디버링의 경우 버 제거가 주 목적이고 전해연마의 경우 표면 평탄화를 목적으로 하기 때문에 각각의 목적에 따라 전해액 혼합 농도, 간극 거리, 전류 밀도, 전류 인가 시간 등의 가공 변수를 달리하여 최적의 가공조건을 선정하는 것이 중요하다.

공작물에 양극, 전극에 음극을 연결하고 전해액중에서 전류를 인가하면, 전류가 시편에 고르게 분포하는 것이 아니라 모서리 부분이나 버와 같은 돌출부에 집중함으로써 우선적인 용출작용이 일어나 버가 제거된다.

Fig. 5 는 실험에서 사용된 실험장치를 나타내고 있다. 전극은 구리를 사용하여 (-)극에 연결하였고, 스테인레스강으로 제작된 지그를 (+)극에 연결해 공작물을 고정할 수 있게 하였다. 전해액은 황산, 인산, 증류수의 혼합액을 사용하였고 전원공급장치는 최대 50V, 50A 까지 인가할 수 있도록 제작 되었다. 실험은 알루미늄 박판, 박판 새도우 마스크, 의료용 스텐트 및 박판 스위치 부품에 대한 전해디버링을 하였다.

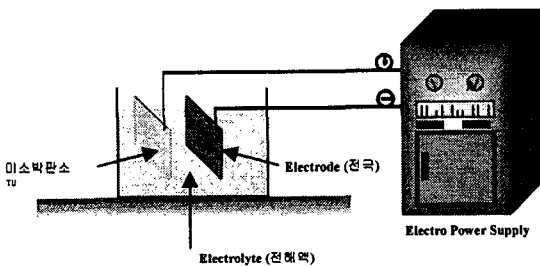


Fig. 5 Experimental set-up for EMD

### 3.2 알루미늄 박판의 전해디버링

Fig. 6(a)는 전해디버링 하기 전의 박판이다. 에지 부분에 다량의 버가 있음을 알 수 있다. 버의 크기는 최고 100  $\mu\text{m}$  정도로 관찰 되었다. 알루미늄 박판 시편에 맞도록 황산, 인산, 증류수를 적절히 혼합한 후 간극을 2 mm, 가공 시간을 120sec, 전류 밀도를 6A/cm<sup>2</sup>로 하고 실험을 하였다. Fig. 6(b)는 전해디버링 후의 박판의 모습이다. 사진에 나타나 있듯이 에지부분에 있던 버가 모두 제거 되었음을 알 수 있다. 인가된 전류가 에지부에 있는 버에 집중되어서 대부분의 금속이 우선적으로 용출되었음을 알 수 있다.

한편 전해디버링을 할 때 전해연마의 효과를 알아보기 위하여 알루미늄 박판에 대해 전류밀도 및 간극거리에 대한 실험을 하였고, 표면사진과 표면거칠기를 측정 하였다.

Fig. 7 은 전류밀도에 따른 표면거칠기를 나타내고 있다. 실험결과 전류밀도가 높을수록 표면 거칠기는 향상되는 경향을 보인다. 그러나 전류밀도가 6A/cm<sup>2</sup>이상의 영역에서는 표면거칠기의 향상은 둔화됨을 알 수 있다. 또한 표면사진을 관찰하면 0A/cm<sup>2</sup>일 때는 표면에 수많은 돌출부가 관찰되나 4A/cm<sup>2</sup>이상에서는 전류밀도가 커질수록 표면거칠기가 양호해짐을 알 수 있다.

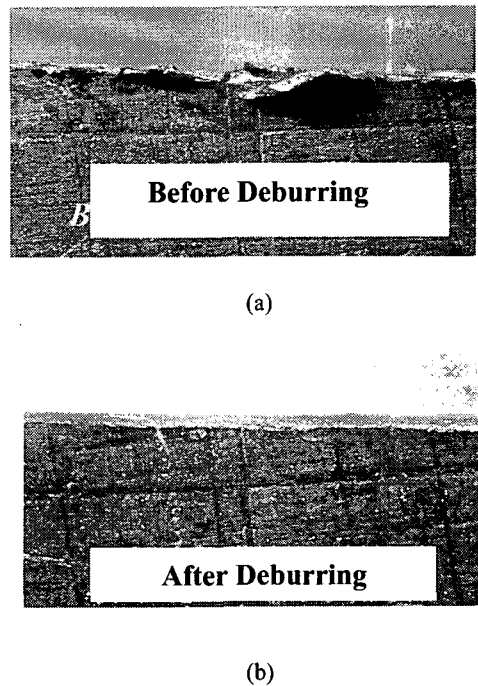


Fig. 6 Electrolytic-deburring for Aluminum

Fig. 8 은 전극의 간극에 따른 표면거칠기를 나타내고 있다. 실험결과 전극 간극이 넓어질수록 표면이 거칠어지는 경향을 보인다. 또한 표면 사진에서도 간극이 2 mm일 때는 표면거칠기가 양호하나, 6 mm 이후에는 거칠어지는 것을 알 수 있다. 이는 전극의 간극이 커질수록 처음에 용출되었던 금속들이 표면에 재응착 되기 때문이다. 또한 전극간극이 2 mm 이하일 때는 공식현상(pitting)이 발생하였다.<sup>4</sup>

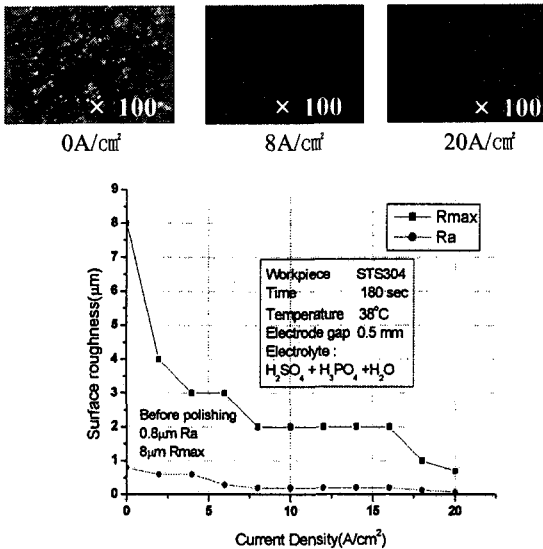


Fig. 7 The relationship between surface roughness and current density

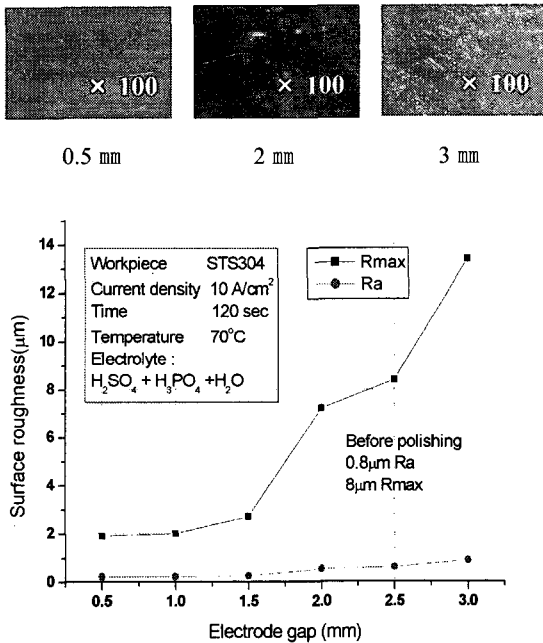


Fig. 8 The relationship between surface roughness and electrode gap

### 3.3 박판 스위치 부품의 전해디버링

Fig. 9(a)는 프레스 가공 후 부품을 나타내고 있

다. 에지부분에 전단되지 않고 남아있는 다량의 버가 있음을 알 수 있다.

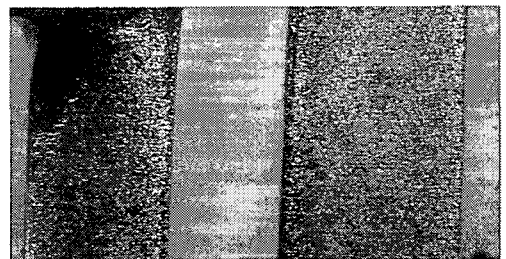
Fig. 9(b)는 전류밀도 0.5A/cm<sup>2</sup>, 전극과 공작물 간격은 2 mm, 가공시간은 5 초로 전해디버링 한 부품을 나타내고 있다. 에지부분에 있던 버가 깨끗이 제거되었음을 알 수 있다.

박판 특성상 가공 속도가 빠르고, 가공 효율 역시 우수하므로 단시간과 낮은 전류 밀도 및 최적의 간극 거리가 필수 요건이었으며, 이에 따라 최적의 전해디버링 결과가 나타났다. 또한 이 실험에서는 도금 전 재료인 황동을 공작물로 사용하였으므로 철이나 다른 금속 재료보다 가공이 쉽고 빠르게 되는 경향을 보였다.

전해디버링을 할 때 전해연마의 효과를 알아 보기 위해서 디버링 전·후의 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 10 은 전해디버링 전·후의 표면거칠기를 나타내고 있고, 전해디버링 전 표면거칠기는 Ra=0.485 μm, Rmax=3.48 μm 이고, 전해디버링 후에는 Ra=0.336 μm, Rmax=2.58 μm 로 개선되었음을 알 수가 있다. 이는 짧은 전해디버링에서 우수한 표면거칠기 향상 효과를 의미한다.



(a)



(b)

Fig. 9 Appearance before(a) and after(b) electrolytic deburring

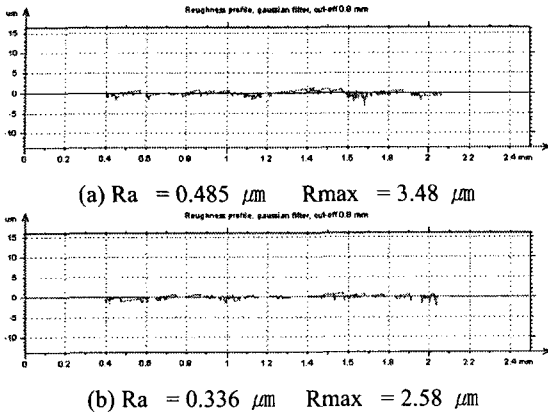


Fig. 10 Surface roughness before(a) and after(b) electrolytic-deburring

### 3.4 의료용 스텐트의 전해디버링

Fig. 11 은 심장학 치료 컴포너트 중 하나인 스텐트(stent)이고, 스텐트는 혈관 내부의 각종 물질의 흡착으로 인한 동맥류의 혈류 흐름을 저하시키는 문제점을 해결해 주는 것이다.

스텐트는 인체에 삽입 될 경우 혈액과 접촉하거나, 조직세포와 접촉한다. 두 가지 경우 모두 인체의 세포는 스텐트 재료를 이물질로 인식하므로 이물질 반응이 일어난다. 따라서 스텐트 금속의 표면처리를 통하여 음의 전하를 띠고 있는 단백질, 세포등의 부착을 억제하여 혈전형성을 방지 하여야 한다.<sup>5</sup> 전해디버링을 통하여 스텐트 에지부분의 미세 버의 제거와 함께 표면처리가 가능하다.

Fig. 12(a)는 가공 직후의 스텐트의 모습이다. 에지부분에 상당량의 버가 있음을 알 수 있다. 전류밀도를  $1\text{A}/\text{cm}^2$ , 간극을 2 mm, 가공시간을 5 초로 하고 실험을 하였다. Fig. 12(b)는 전해디버링 후의 스텐트의 모습을 나타내고 있다. 가공 전 에지부분에 있던 버가 깨끗이 제거되었음을 알 수 있다.



Fig. 11 Stent formed from stainless steel sheet, featuring an axial backbone with integral gold makers



(a)



(b)

Fig. 12 Appearance of stent before(a) and after(b) Electrolytic-deburring

### 3.5 박판 새도우 마스크의 전해디버링

Fig.13 은 두께가  $30 \mu\text{m}$ 인 박판에 직경  $110 \mu\text{m}$ 의 원형 홀을 가공한 새도우 마스크를 나타내고 있다. 사진에서 알 수 있듯이, 가공된 초기 새도우 마스크는 상당량의 버(burr)를 보유하고 있고, 버의 크기는  $30\sim 50 \mu\text{m}$ 정도의 분포를 나타내고 있다. 광원을 선별적으로 전달하도록 해주는 새도우 마스크의 기능 특성상 버가 제거 되지 않은 상태의 불균일한 형상의 새도우 마스크로는 제대로 된 기능을 하지 못하는 주요한 원인이 됨으로 이와 같은 버의 제거는 반드시 필요하다.<sup>6</sup>

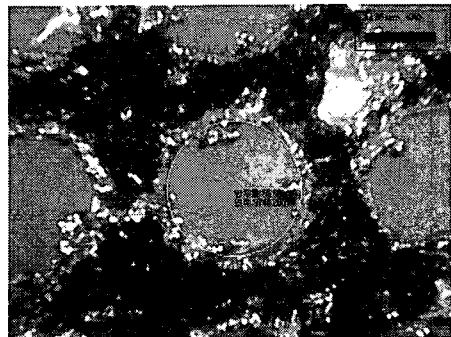


Fig. 13 Picture before Electrolytic-deburring

Fig.14 는 전류밀도를 2A 로 고정하고 전해 시간을 각각 5 초, 10 초, 15 초로 인가 하였을 때의 새도우 마스크 사진 모습이다. 전해 시간을 5 초로 인가 했을 때는 버의 탈락이 완전하지 않은 것을 알 수 있다. 이는 전해 반응이 완전히 일어나서 버가 전체적으로 탈락하기 이전에 가공이 중단되었기 때문이다.

전류밀도 2A 에서 전해 시간을 10 초로 인가 했을 때 가장 깨끗한 형상과 치수 정밀도를 얻을 수 있었다.

전해 시간을 15 초로 인가 했을 때는 과도한 가공으로 인하여 버는 제거되었지만 새도우 마스크 홀의 크기가 현저하게 증가되었고, 홀주변에 피팅현상이 발생하였으며, 이로 인하여 홀의 형상 정밀도가 저하되었다.

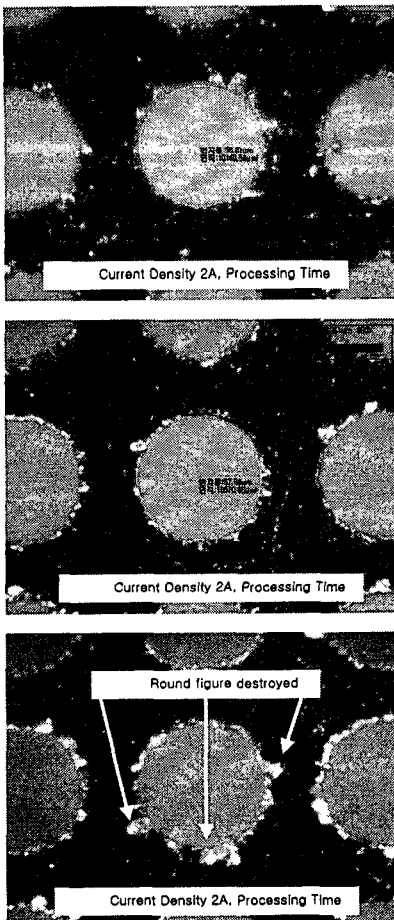


Fig. 14 Pictures after Electrolytic-deburring under 2A condition

#### 4. 결론

본 연구에서는 전해연마 메커니즘을 이용한 전해디버링에 대해서 소개하였으며, 전해디버링은 비접촉으로 이루어지는 기술이므로 복잡한 형상이나 미세 박판 구조물에 대한 버 제거에 탁월한 효과를 보였다.

전해디버링 실험을 위해서 본 연구에서는 알루미늄 박판, 박판 새도우 마스크, 박판 스위치 부품, 의료용 스텐트등 미세 박판에 남아있는 버에 대해서 디버링을 하였다. 가공 직후 각각의 시편에지부분에서 다량의 버가 관찰되었고, 전해디버링을 적용한 결과 버가 완전히 제거 되었음을 알 수 있었다. 이러한 디버링 실험에 있어 시편의 모양, 두께, 재질에 따라 최적의 공정조건을 찾는 것이 중요한 것이었다. 그리고 디버링 효과뿐만 아니라 전해연마의 효과로서, 표면거칠기, 광택, 내식성, 내마모성 등도 향상됨을 알 수 있다.

이러한 전해디버링 기술은 고정밀도를 요구하는 앞으로의 기계 전자제품에 대해서도 좋은 역할을 담당할 것으로 기대된다.

#### 후 기

이 논문은 2004 학년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음. (INHA-31500)

#### 참고문헌

1. Ouhara, A., "The deburring technology for the ultra-precision machining," Automation systems, Vol. 20, No. 6, pp.78-79, 2004.
2. Lee, E. S., "Electropolishing for the high efficiency and high quality of the surface," <http://kongkankorea.com>.
3. Lee, E. S. and Kim, C. G., "A study on machining characteristics of the electropolishing of Aluminum alloy," KSMTE, Vol.12, No.2, 2003.
4. Lee, E. S., "The 9<sup>th</sup> workshop for the precision surface machining and deburring technology," 2005. 7. 7.
5. Park, S. S., Lee, W. C., "The new trend of the stent development," KIEEME, Vol. 14, No. 3, 2001.
6. Chun, Y. J., Lee, J. H. and Lee, E. S., "A Study On

the Optimal Condition Selecting Ultra-thin Shadow Mask with Electrolytic-deburring ,” The KSME Spring Conference, 2005.