

## 미세 와이어의 전단에 관한 연구

김웅겸<sup>#</sup>· 신용승<sup>1</sup>· 홍남표<sup>2</sup>· 김병희<sup>3</sup>· 김현영<sup>3</sup>

### A study on the shearing of the straightened micro-wire

W. K. Kim, Y.S. Shin, N. P. Hong, B. H. Kim, H. Y. Kim

#### Abstract

In this study, we have developed a novel wire straightener which uses the direct heating method (DHM) for straightening the micro wire. Also, we have developed a shearing device for cutting the micro wire. In order to avoid the surface oxidization, we supplied the inert gas(Ar) during the heating process and examined the effect of gas flow rate. The effects of the tension and the current applied to the tungsten micro wires were also thoroughly studied. From various experiments and analyses, we could obtain fine straightness ( $\approx 1 \mu\text{m}/1000 \mu\text{m}$ ) and roundness ( $< \pm 2 \mu\text{m} / 100 \mu\text{m}$ ) when the tension is 500~600gf and the current is about 1.5A. For burrfree cutting, counter-punch method which two cutters moving contrary was used. The cutting blade has various U-groove angle where upper  $10^\circ$ , mid:  $25^\circ$ , lower  $0^\circ$ . After the shearing process, we confirmed the shearing section.

**Key Words** : Micro wire(극세선), Straightener(직선화 처리기), Direct heating method(DHM:직접가열방식), Surface oxidation(표면 산화)

#### 1. 서론

직선화된 마이크로 니들/로드(micro needle/rod)는 반도체와 의료분야 등 폭넓게 사용되고 있다. 또한, 바이오(bio), 디스플레이(display), 나노(nano) 분야에 기타 주요 센서 등의 응용부품으로 사용되고 있으며[1], 텅스텐 프로브(probe)의 경우 웨이퍼 칩의 표면 검사에 매우 중요한 부분을 차지하고 있다[2]. 특히, 미세 펀치의 경우 주로 와이어 방전 연삭(wire electro-discharge grinding)과 같은 기계 가공에 의존하고 있다[3]. 이와 같은 반도체 및 의료시장의 규모를 고려하면 그 수요는 증가하리라 예상된다. 극세선의 직선화 정도는 제품의 품질을 좌우하며, 업계에서는 길이 50,000  $\mu\text{m}$  당 40  $\mu\text{m}$  이하의 진직도를 요구하고 있다. 또한 산업화에 있어 직선화 처리 시 공정시간 단축, 대량 생산, 우수한 표면 거칠기와 같은 요구조건을 갖추어야

한다. 그러나 전형적인 직선화 처리기에서는 위와 같은 요구를 모두 만족할 수 없었다. 이외에도 우수한 표면 거칠기를 얻기 위해서는 전기도금 또는 스퍼터링(sputtering)등 고비용의 추가 공정을 필요로 한다. 마찬가지로, 마이크로 이하의 미세 구조물의 가공은 고정밀도 가공과 표면 품질의 측면에서 상당한 기술적 어려움을 겪어 왔다[4].

본 연구에서는 200  $\mu\text{m}$ 이하의 튜브 및 와이어를 직선화 처리할 수 있는 시스템을 제작하였다. 직선화에 큰 영향을 주는 인가 장력 그리고 와이어에 직접 인가된 전류에 대하여 여러 실험을 통해 직접가열 방식의 효율성을 알아보았다.

제작된 직선화 처리기를 이용하여 최소 진직도 및 진원도를 갖는 와이어를 획득할 수 있었으며, 직선 처리된 와이어의 burr free 전단을 위하여 전단기를 설계/제작 하였다. 전단기는 카운터 펀치(counter punch)방식으로 두 전단날이 동시에 움직여 절단을 수행하며, 전단 후 와이어 전단면의 버 형상을 확인하였다.

# 교신저자: 강원대학교 메카트로닉스 공학과  
E-mail : ks22ks@kangwon.ac.kr

1. 강원대학교 산학협력 중심대학  
2. 강원대학교 산업기술연구소  
3. 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

## 2. 극세선의 직선화 처리

전형적인 직선화 처리 공정은 와이어 자체에 단순인장을 가하는 방식과 롤포밍(roll-forming) 그리고 와이어에 직/간접적 가열상태에서의 인장을 가하는 방식 등이 있다. 그러나 각각의 공정은 시간, 생산성, 표면 거칠기 등에서 실질적 한계를 가지고 있다. 위에서 열거한 방식 중 본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 와이어를 직접 가열하는 동시에 인장력을 가하여 와이어를 직선화 시키는 방식을 채택하였다.

와이어에 직접적으로 장력과 전류를 공급하여 와이어 생산 시 남아 있는 잔류응력으로 인한 굽힘과 불규칙성을 제거하였으며, 낮은 비용으로 높은 진직도를 갖는 와이어를 획득할 수 있었다. 또한 직접가열로 인한 와이어 온도상승으로 와이어 표면에 산화가 발생한다. 이를 방지하기 위하여 직선화 처리 중 불활성 가스를 주입하였다. 또한, 직선화된 와이어를 용도에 맞게 절단하고, 전단 시 버를 최소화 시킬 수 있는 전단 장치를 제작하였다.

### 2.1 마이크로 와이어의 직선화 처리

직선화 처리 공정의 궁극적인 목적은 최소 진직도, 진원도 및 가공 후 우수한 표면 거칠기를 유지하는 것이다. 실험에 사용된 와이어는 가공되지 않은 코일 형태의 와이어를 사용하였기 때문에 일반적으로 와이어 자체에는 잔류응력이 남아 있다. 이 잔류응력에 의해 와이어의 한쪽 표면 부는 인장력에 의해 늘어나려고 하는 반면에 다른 한쪽은 압축되어 와이어에는 굽힘이 발생한다[5].

본 연구에서는 잔류응력은 통전 식 열처리를 통해 제거하였으며, 소성변형 범위내의 장력을 주어 최소의 진직도를 얻을 수 있었다.

장력을 조절하기 위하여 와이어가 처음으로 들어가는 부분에 장력 조절 장치를 설치하였고, 가열 챔버(heating chamber)를 통과할 때 전원 공급장치(digital power supply)를 이용하여 와이어를 직접 가열하였다. 가열 시 발생하는 표면산화를 방지하기 위하여 가열 챔버 내에 불활성 가스를 주입하였다.

극세선의 이송은 직선 처리기와는 독립적으로 와이어 이송 장치(wire pulling roller)를 개발하여 와이어의 연속 생산이 가능하게 하였다.

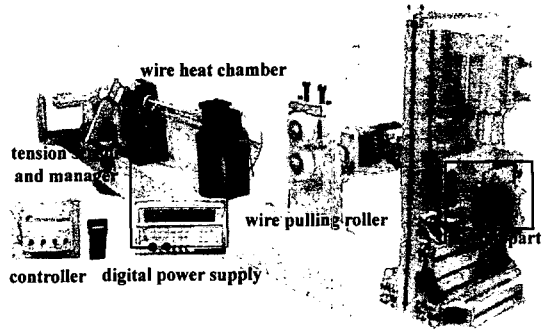


Fig. 1 Straightening system using DHM

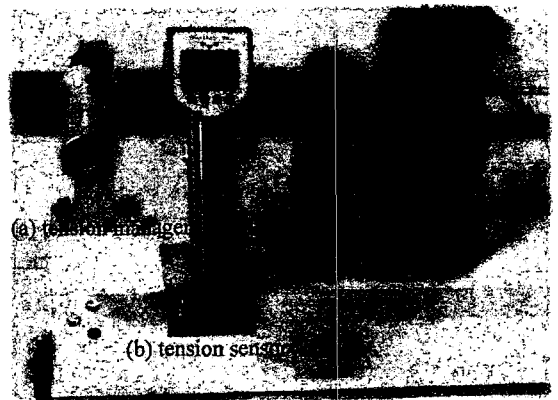


Fig. 2 Components for tension controlling and sensing

두 개의 우레탄 롤러를 이용하여, 롤러의 압착과 회전으로 와이어를 연속적으로 이송하게 된다. 이송되는 속도에 의해 장력이 발생되며, 발생된 장력은 Fig. 2 (a)의 장력 조절기(tension manager)에 의해 조절된다. 장력 조절기는 양모(羊毛)를 사용하여 와이어 손상을 최소화 하였으며, 와이어에 일정한 장력이 유지될 수 있도록 제작하였다. Fig. 2 (b)의 장력 측정기(tension sensor)는 와이어 문치와 가열 챔버 사이에 설치하여, 인가된 장력의 수치를 정량적으로 측정할 수 있다.

장력은 최대 인장력 이내에서 조절하였으며, 와이어의 온도가 약 700℃ 정도로 고온영향을 받기 때문에 매우 쉽게 연약해지므로 낮은 장력에서 높은 장력으로 점진적으로 높여가며 직선화 공정을 수행 하였다.

직접 가열로 인한 와이어의 과도한 온도상승은 와이어의 파단이나 표면산화와 같은 결함이 발생됨으로 과도한 온도상승은 피해야 할 요소이다.

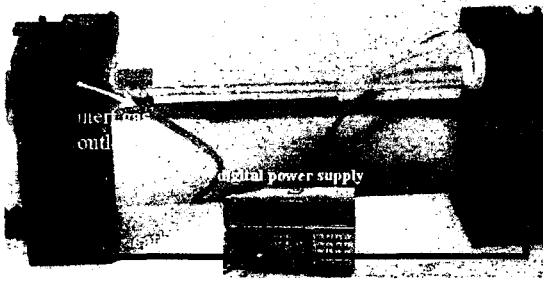


Fig. 3 Wire heating chamber

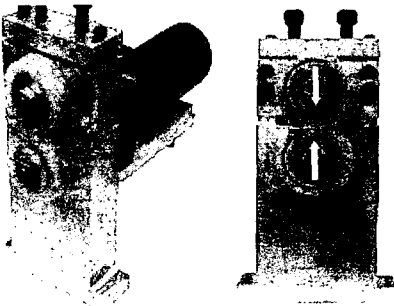


Fig. 4 Photograph of wire pulling roller

따라서, 과전류에 의한 와이어의 온도상승을 피하기 위하여 Fig. 3 에서와 같이 전원 공급 장치(digital power supply)를 이용하여 일정한 전류를 인가하였으며, 전류가 직선화 처리기 전체에 흐르지 않도록 하기 위하여 각각 축에는 독립적인 통전을 하였다. 또한, 전류를 와이어에 직접 인가함과 동시에 유리관 튜브의 가열 챔버 내에 불활성 가스인 아르곤(Ar)을 공급하였으며, 레귤레이터(regulator)를 사용하여 가스량을 조절하였다. 와이어는 초기, 장력 조절장치를 거쳐 가열 챔버 내로 들어간 후 Fig. 4 의 와이어 이송장치(wire pulling roller)에 의해 연속적으로 이송 된다.

## 2.2 와이어 이송장치

와이어 이송장치는 가열 챔버 뒤에 위치하고 있다. Fig. 4 는 와이어 이송장치로써, DC 모터를 사용하여 우레탄 재질의 롤러를 회전시킨다. 두 롤러 사이에 와이어가 지나가며, 롤러의 압착과 회전에 의해 와이어가 이송된다. 롤러는 DC 모터에 의해 속도조절이 가능하며, 여러 가지 직경의 와이어도 이송이 가능하다.



Fig. 5 Photograph of shearing device

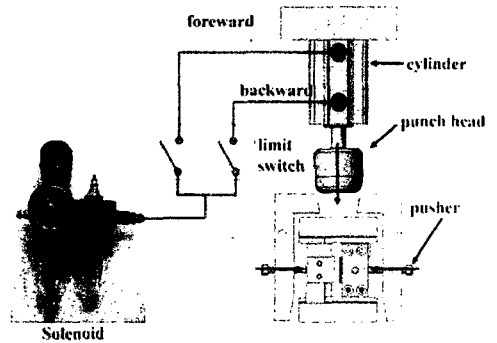
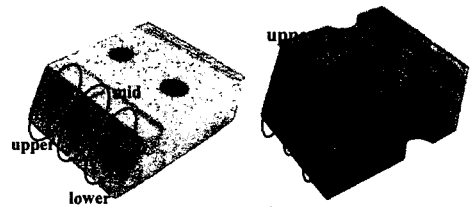


Fig.6 Schematic of shearing process

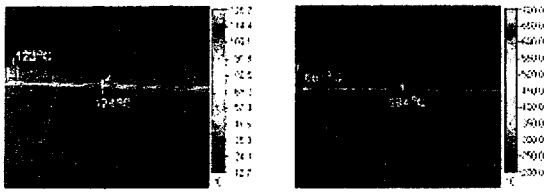


(a) left cutter (b) right cutter  
Fig. 7 Grooved cutters(groove angle : upper 10° , mid:25° , lower 0° )

## 2.3 전단 메커니즘

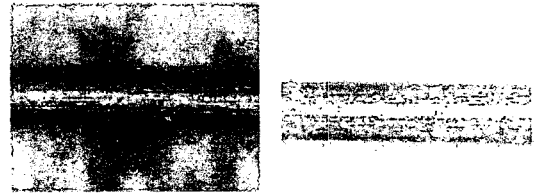
일반적으로 정밀 전단면을 확보하기 위하여 레이저 절단 혹은 기타 전단가공 후 2 차 가공을 수행해야 한다. 하지만, 이러한 방법들은 생산성 저하와 단가의 상승을 초래한다[6~7]. 또한 전단 후 원치 않게 생성되는 버는 매우 작고 날카롭기 때문에 버의 정확한 측정 및 적절한 제거 방법을 선정하여야 한다.

직선 처리된 와이어를 용도에 맞게 절단하며, 버 없는 절단을 위하여 Fig. 5 와 같은 정밀 전단 기구를 제작하였다. 일반적인 전단기에 비해, 본 연구에서 제작한 전단기는 양쪽 날이 모두 전단



(a) before compensation (b) after compensation

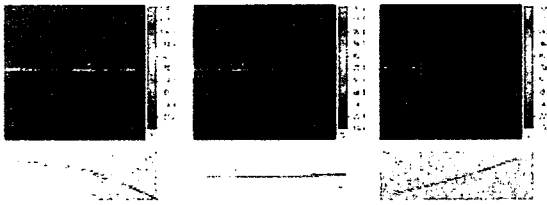
Fig. 8 Compensation of micro wire



(a) air

(b) using Ar gas

Fig. 10 Surface oxidation by optical microscope of wire with respect to the inert gas existence



(a) 0 kg/cm<sup>2</sup> (b) 0.5 kg/cm<sup>2</sup> (c) 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

Fig. 9 Temperature distribution and straightness accordance with the argon flow-rate

수행하도록 제작하였다. 전단공정은 Fig. 6 에서와 같이, 공압을 이용하여 펀치헤드(punch head)를 전 후 왕복운동을 한다. 이후 두개의 푸셔(pushers)를 타격하며, 푸셔(pushers)는 지렛대 원리에 의해 전 단날을 이송시켜 와이어를 절단하게 된다. 또한 푸셔(pushers)의 길이를 조절함으로써 전단날의 이송 거리를 조절할 수 있다.

본 실험에서는 버의 발생을 최소화하기 위하여 U 형으로 홈(U-groove)을 가공하였으며, U 형 홈의 각도는 Fig. 7 에서와 같이 하부 0°, 중간부 25°, 상부 10° 로 각각 제작하여 전단날의 각에 따른 전단 특성을 평가해 보았다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 직선화 구간의 온도 측정

재질별 직선화 구간의 온도를 측정하기 위하여 적외선 카메라를 이용하였다. 적외선 카메라를 사용하여 정확한 온도를 측정하고자 할 때는 피 측정물의 방사율과 적외선 투과 시 투과되는 재질의 투과율을 보정하여야 한다.

Fig. 8 은 텅스텐의 고유 방사율(emissivity = 0.15)과 유리 투과율(transmissivity=0.52)을 보정하여 실제 텅스텐 와이어의 온도를 측정한 결과이다.

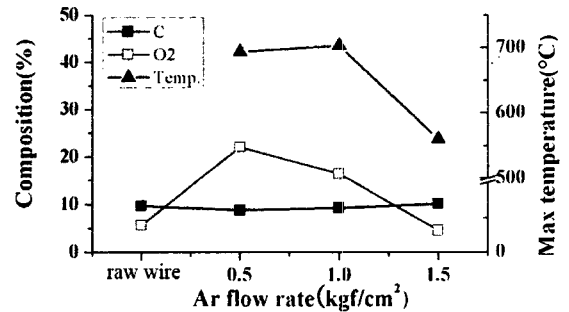


Fig. 11 Composition and temperature of tungsten wire after straightening process according to the Ar flow-rate by EDS

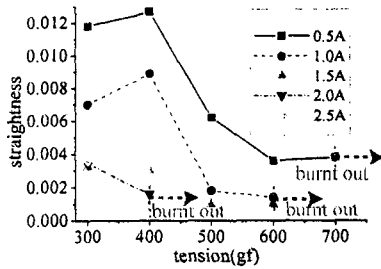
Fig. 8 (b)에서 보는 바와 같이 텅스텐 와이어의 직선화 온도는 약 700°C라는 것을 알 수 있었다.

#### 3.2 불활성 가스의 영향

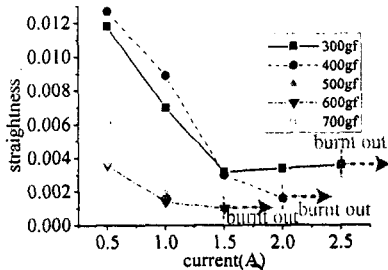
와이어 가열로 인한 산화 방지를 위하여 불활성 가스를 유리관 챔버 내에 주입시켰다, 불활성 가스로는 아르곤을 사용하였다. 아르곤 가스는 텅스텐 와이어와 대기 중 산소와의 산화반응을 방지할 뿐만 아니라, 가열된 와이어를 빠르게 냉각시키는 효과를 가지고 있다.

불활성 가스량이 직선화를 이루는 임계량 보다 적거나 많으면 와이어에는 잔류응력이 남게 되며, 이 잔류응력에 의해 진직도는 감소하게 된다. Fig. 9 는 아르곤 가스량에 따른 와이어의 온도 분포와 각각의 직선화 결과를 보여주고 있다.

Fig. 9 (b)에서 보는 바와 같이 불활성 가스량이 0.5 kg/cm<sup>2</sup> 일 때가 다른 조건 Fig. 9 (a), (c)에 비하여 더 좋은 직선화 결과를 나타냄을 알 수 있다.



(a) straightness accordance with the tension



(b) straightness accordance with the current

Fig. 12 Straightness result of the W-wire

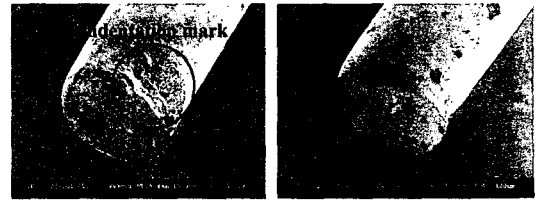
Fig. 10 은 광학현미경을 이용하여 텅스텐 와이어의 산화 정도를 관찰한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 불활성 가스를 사용하지 않은 상태 (air)보다 아르곤을 사용한 와이어의 표면 산화가 적음을 알 수 있다. Fig. 11 는 텅스텐 와이어의 산화 정도를 분산형 X 선 측정기(EDS)에 의해 분석한 결과이다. 가스량이 직선화를 이루는 임계값인 약  $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$  이상 증가하면, 산화량은 감소하게 된다. 특히, 직선화를 이루지 못한 Fig. 6 (c)에서 직선화를 이루는 온도 약  $700^\circ\text{C}$ 보다 작다는 것을 알 수 있었다.

### 3.3 전류와 장력의 영향

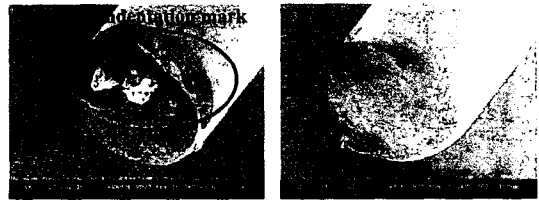
진직도는 직선화된 와이어를 길이방향으로 100 mm로 절단 후, 이미지 프로세싱에 의해 길이에 대한 수직 높이의 비율로써 측정하였으며, 직경은 무시하였다.

Fig. 12 는 텅스텐 와이어에 인가된 전류와 장력에 따른 진직도를 보여주고 있다.

텅스텐 와이어는 직선화 조건이 전류 1.5A, 장력 500~600gf 일 때, 최소의 진직도( $<0.001$ )를 갖는다. 전류와 장력을 증가시킬 경우 진직도는 향상되었으나, 직선화 조건 이상의 과도한 전류와



(a) upper cutter (shear angle  $10^\circ$ )



(b) mid cutter (shear angle  $25^\circ$ )



(c) lower cutter (shear angle  $0^\circ$ )

Fig. 13 SEM images of  $200\ \mu\text{m}$  SUS304 wire section after the shearing (the clearances are 5% of wire thickness)

장력 하에서는 와이어가 절단되거나 파단 되었다.

### 3.4 와이어 전단

전단 가공은 현재 가장 많이 사용 되는 절단 공정 중의 하나이다. 다이와 펀치를 이용하여 판재나 기타 가공물을 절단하는 전단가공은 일반적으로 재료 두께의 30~50% 가량이 전단면 이다 [8]. 본 연구에서는 100,  $200\ \mu\text{m}$ 의 와이어를 절단할 수 있는 전단기를 설계/제작 하였다.

Fig. 13 은 전단기를 사용하여 절단된 와이어의 단면 형상을 나타내고 있다. Fig. 13 (a), (b)의 경우 와이어의 전단면에 버 형상이 나타나며, 특히 압입 자국(indentation)이 나타났다. Fig. 13 (c)는 전단각이  $0^\circ$  인 경우이며, 압입 자국이 나타나지 않았다. 패인자국의 경우 전단시 한쪽 전단날이 충분한 전단을 하지 못한 것으로 예상된다. 전단각

이 작을수록 패인자국이나 버의 형상이 작은 것을 알 수 있다.

### 3.5 실험 결과

텅스텐 로드, SUS304 로드/튜브 등과 같은 다양한 종류의 와이어를 사용하여, 최소 진직도 조건을 갖는 직선화 처리 실험을 수행 하였다. 특히, 텅스텐 와이어의 직선화 조건은 전류 1.5A, 장력 500~600gf 의 조건과 적외선 카메라를 이용하여 텅스텐 와이어를 측정 한 결과 약 700℃ 조건에서 최소 진직도를 이루는 텅스텐 와이어를 얻을 수 있었다.

불활성 가스는 와이어의 진직도에 영향을 미치는 요소로써, 냉각효과와 산화현상을 방지하는 효과를 가지고 있음을 알 수 있었다.

현재 개발 중에 있는 전단기를 이용하여 전단각에 대하여 실험을 수행하였으며, 와이어 표면의 압입 자국과 버의 크기를 관찰하여 보았다.

## 4. 결 론

본 연구에서는, 직선화 처리 시스템을 개발하여, 200  $\mu\text{m}$ 이하의 가공되지 않은 코일 형태의 와이어를 사용하여 직선화 공정을 수행하였다.

직선화의 주요 요인인 장력과 전류를 인가하여 최소의 진직도 1  $\mu\text{m}/1000 \mu\text{m}$ 이하의 요건을 만족하는 100  $\mu\text{m}$  텅스텐 와이어를 얻을 수 있었다. 또한, 불활성 가스를 사용하여 와이어의 표면산화를 방지하고, 소성변형 내에서 와이어를 냉각시킴으로써 진직도를 향상 시켰다.

역편치가 가능한 전단기 설계하여 버의 최소화 에 관해 실험을 수행하였다. 현재 제작 중인 모델은 초기모델로써 앞으로 버 없는 전단을 위하여 전단각, 전단 시 틈새의 영향, 편치의 속도에 따른 제품의 정밀도등 광범위한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

[1] H. J. Kim, 2001, "The present development of LTPS TFT-LCD", The Korea Information Display society, Vol. 2, No. 1, pp. 30~35.  
[2] C. H. In, K. M. Kim, J. N. Chu, 2001, "Fabrication of tungsten probe using electro-chemical etching",

Journal of The Korea Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 111~118.

- [3] H. J. Lim, Y. M. Lim, S. H. Kim, Y. K. Kwak, 2000, "Study on the fabrication of Ultra Punch", Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol 17. No. 12, pp. 145~150.  
[4] H. W. Lee, J. M. Park, S. C. Jeong, H. D. Jeong, E. S. Lee, 2001, "A Study on the Minimization by the chemical mechanical micro machining(C3M)", Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol 18. No. 12, pp. 177~184.  
[5] H. K. Han, S. I. Kim, Y. C. Yoo, 2000, "Predict on flow curves and micro structure of 304 stainless steel", The Korean Society for Technology of Plasticity Conference , Vol. 9, No.1, pp. 72~79.  
[6] Y. S. Shin, B. H. Kim, H. Y. Kim, 2000 "A study on the fine-shearing characteristics of a micro sheet metal under shearing force analysis", Korean Society of Precision Engineering, pp. 494~497.  
[7] D. C. Kang, B. H. Jeon, W. P. Lee, "Development of shearing mechanism for without burr", Proceedings of the Korean Society of Machine, pp573-578, 2000  
[8] W. S. Kim, S. L. Ko, "Development of measurement method for micro burr geometry", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, pp407~410, 2002