

직선화된 와이어의 버 없는 절단기 개발에 관한 연구

The Development of Burrless Shearing System for Straightened Wire

조 준 원* 김 응 겸** 김 현 영*** 김 병 희***
Cho, Joon-Won Kim, Woong-Kyum Kim, Heon-Young Kim, Byeong-Hee

Abstract

Micro wires manufactured by the straightening process are used in the BT(Bio-Technology), IT(Information-Technology), NT(Nano-Technology). We have developed a novel wire straightener which uses the direct heating method(DHM) for straightening the micro wire and shearing device for burr-less cutting. In this study, we confirm the tendency of micro wire after the shearing process. It is impossible to remove the burr in the shearing process. However, the embodiment of minimum burr size after the shearing process is the best in-process method. In order to minimize the burr size, we have accomplished the various experiment condition such as the U-groove, the effect of the counter punch, the shear angle, clearance.

키워드 : 극세선, 직선화, 절단, 직접가열방법, 버

Keywords : Micro wire, Straightening, Shearing, Direct heating method(DHM), Burr

1. 서론

국내 Bio, 반도체 및 TFT-LCD 산업의 활황으로 마이크로 로드/튜브의 수요는 증대되고 있으나 [1], 현재 국내 기업의 가공기술 수준은 매우 미약하여 프루브 편이 요구하는 고진직성을 생산하는 기업은 없다. 마이크로 로드/튜브에 사용되는 텅스텐(W) 합금도 국내에서 미개발 분야이다. 스테인리스 와이어의 경우에는 국내기업이 생산을 하고 있

으나 진직성 및 미세직경화의 한계에 따라 국내의 수요업체도 외국에서 수입하여 사용하고 있는 상황이다. 이와 같이 확대일로에 있는 마이크로 로드/튜브의 시장을 선점하기 위해서는 로드 및 튜브의 직선처리 기술이 선행되어야 한다[2]. 그러나 극세선의 직선처리기술이 아직 선진국에 비해 현저히 떨어지고 있을 뿐 아니라 절단 시 발생하는 버 제거는 극세선 제조를 위해 시급히 해결되어야 할 문제점이다. 직선처리 기술은 강도, 연성과 같은 재질특성을 유지 하면서 표면에는 손상이 없고, 절단면에 버(burr)가 없는 형상이 되어야한다. 이러한 직선 처리된 후 제품의 가격은 원재료의 가격과 비교해, 스테인리스강의 경우 약 15배, 텅스텐의 경우는 약 80배로 상승한다. 이러한 고부가가치의 기술인 직선처리 및 절단 기술에 대해 수입대체 및 국제경쟁력을 확보하기 위해 직선처리 및 절단에 대한 기술 개발이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 개발되어진 직선화 처리 시스템을

* 강원대학교 산업대학원 메카트로닉스공학과, 석사과정
** 강원대학교 일반대학원 메카트로닉스공학과, 석사과정
*** 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 교수, 공학 박사

사용하여, 직선화된 극세선의 절단 실험을 수행 하였다. 전단 시 생성되는 버를 억제/제거하기 위해 절단에 영향을 주는 인자를 파악하였다. 또한 절단 방식에 따라 버의 형상을 알아보고 최소 버가 생성되는 전단 조건을 파악하여 보았다.

2. 전단의 이론적 배경

절단 시 발생하는 버(burr)는 일반적으로 가공 후에 모서리에 발생하는 원치 않는 물체의 돌출된 부분으로 정의할 수 있다. 특히, 소성변형으로 생긴 버는 가공경화로 인해서 더욱 경(硬)하고 불규칙적이어서 다른 부품의 손상과 작업자에게 손상을 일으키기 쉽다.

일단 발생한 버는 반드시 제거되어야 하며, 가능하면 버의 발생이 방지되거나 허용 가능한 최소한의 크기로 생성되도록 유도하는 것이 가장 바람직할 것이다. 하지만 아직까지는 효과적으로 버 발생을 억제하거나 제거하는 방법에 대한 연구결과가 매우 적은 편이며, 발생하는 버를 수작업으로 제거하는 것이 빈번한 실정이다[3]. 정밀 전단에 관한 연구는 1920년대 독일의 Fritz Schiess에 의해 처음 특허 등록되었으며, 현재까지 많은 연구가 진행 중이다[4~5].

일반적인 박판 전단면의 형상은 Fig. 1과 같이 크게 롤오버(rollover), 전단영역(burnish area), 파단영역(fracture zone), 버(burr) 등의 4가지 형태로 구분된다. 그러나 이상적인 전단에서는 롤오버, 전단영역, 버 등이 존재하지 않고 오직 전단영역만 존재하는 완전전단이 발생하게 되는데, 박판전단의 경우와 같이 와이어의 완전전단 구현은 현실적으로 매우 어렵다[6].

전단공정에 있어 버 발생과 전단면 형상에 영향을 주는 인자로는 펀치와 다이의 간극, 펀칭 속도, 전단소재의 기계적 성질, 전단 날의 마모, 전단각, 펀치-다이의 상/하 정렬, 하부 다이 유·무 등이 있다. 카운터 펀칭(counter punching)에 의한 전단가공을 수행할 경우 버의 억제가 가능할 것으로 기대된다.

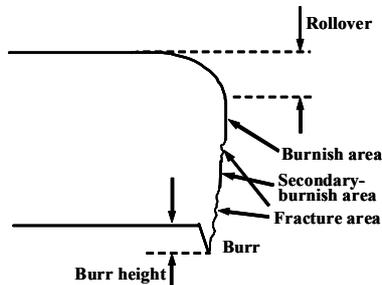


Fig. 1 Cross-sectional view of sheared sheet

최근 Ming은 실험적 연구를 통하여 펀치와 다이를 동시에 서로 반대방향으로 움직이는 카운터 펀칭을 이용할 경우, 전단에서 초기 크랙 발생을 유도함으로써 버를 최소화할 수 있게 된다.

본 실험에서는 펀치와 펀치를 동시에 서로 반대방향으로 움직이는 기구를 제작하여 실험을 수행하였다.

2.1 전단시스템의 구조

와이어의 버 없는 전단을 위하여 두 날이 펀치 역할을 하는 Fig. 2와 같은 전단 시스템을 제작하였다. Fig. 3은 공압을 이용한 실제 전단 시스템의 전체 모습을 보여주고 있다.

전단 공정은 솔레노이드(solenoid)와 리미트 스위치(limit switch)를 사용하여 공압 실린더에 부착된 펀치 헤드를 전·후로 왕복운동으로 두개의 푸셔(pushers)를 타격한다. 이후 푸셔(pushers)는 지렛대 원리에 의해 전단날을 이송시켜 와이어를 절단하게 된다. 또한 푸셔볼트(pushers bolt)의 길이를 조절함으로써 전단날의 이송 거리를 조절할 수 있다.

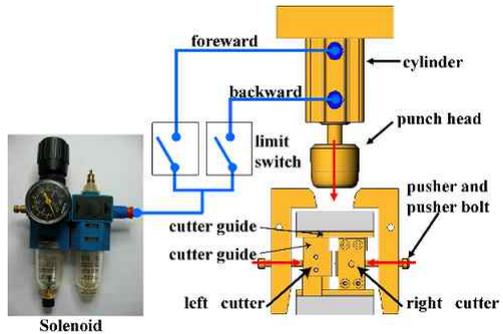


Fig. 2 Schematic of the shearing system

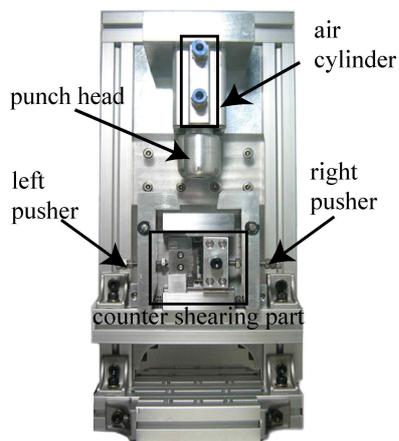


Fig. 3 Counter-shearing machine

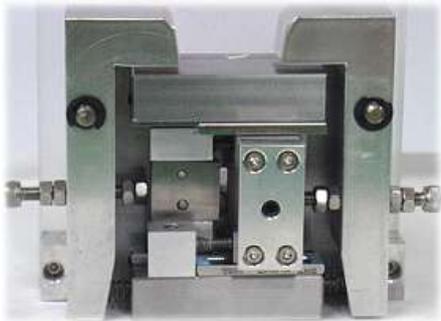


Fig. 4 A novel shearing system for burr-free wire



Fig. 5 Depth μ -meter for clearance control

Fig. 4는 전단 시스템 중 절단 역할을 하는 부분으로써 Fig. 2에서 설명한 좌우 전단 날과 푸셔 볼트(pusher bolt)등 실제 제작된 모습을 보여주고 있다.

또한 Fig. 5와 같이 전단 시스템 뒷면에는 깊이 마이크로미터를 장착하여 클리어런스(clearance)를 조절할 수 있도록 하였다. 우측 날(right cutter)과 우측날 가이드 양쪽에 $\phi 5\text{mm}$ 핀 구멍을 작업하여 우측날이 앞뒤로 슬라이딩(sliding)되도록 하였고, $10\mu\text{m}$ 의 정밀도로 클리어런스(clearance)를 조절할 수 있도록 하였다.

2.2 전단날

전단 역할을 수행하는 전단날의 모습을 Fig. 6, 7, 8과 같이 제작하였다. 가장 중요한 날부는 초경 합금으로 제작하였고, 정밀도가 요구되는 가이드 블록(guide block), 날부 가이드(cutter guide) 등은 연삭작업을 통하여 정밀도를 확보하였다.

본 실험에서는 버의 발생을 최소화하기 위하여 전단 날의 각도를 다양하게 조절하였다. 또한, U형 홈을 와이어 방전 가공기(W-EDM)를 이용하여 제작하였다. Fig. 6은 U형 홈을 가공하기 전의 좌·우 전단 날을 나타내고 있으며, 양날의 각도는 약 10° 이다.

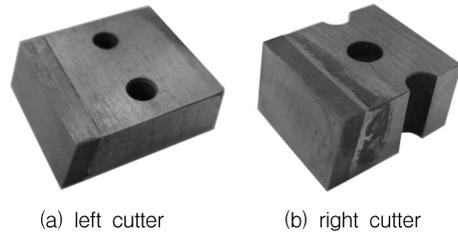


Fig. 6 General cutter (#1. shear angle : 10°)

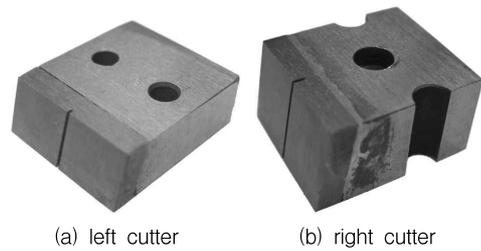


Fig. 7 Grooved tools(#2. shear angle : 20°)

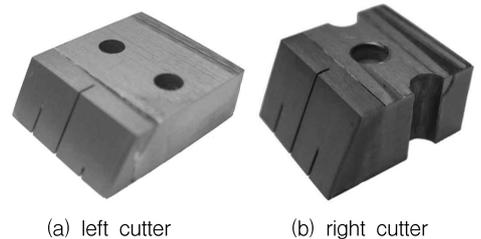


Fig. 8 Grooved tools (#3. shear angle : upper 10° , mid 20° , lower 0°)

Fig. 7은 와이어 방전 가공기를 이용하여 약 20° 의 U형 홈 각도를 가지고 있으며, 각도 깊이는 2mm만큼 가공하였다. Fig. 8은 다양한 각을 U형 홈에 적용하였으며, 각각 상부 약 10° , 중간부 약 20° 이고 하부 약 0° 로 가공하였다.

이러한 다양한 종류의 전단날과 와이어의 전단 특성을 결정하는 주요요인인 전단각, U형 홈의 영향, 양날의 클리어런스(clearance), 그리고 카운터 펀칭(counter punching)에 대한 조건으로 실험을 수행하였다.

3. 실험 결과

본 실험에서 사용된 재료는 $200\mu\text{m}$ 의 SUS304 와이어이다. 수십mm의 와이어인 경우에는 전단 윤

관부의 계측이 실질적으로 힘들며, 제조단계에는 현미경등을 이용한 정량적 측정을 할 수 없으나, 본 연구에서는 절단된 와이어의 형상을 파악하기 위하여 연구실에서 보유하고 있는 광학 현미경을 이용하여 와이어의 전단특성을 평가 하였다.

자체 개발한 직선화 처리기로 직선화 처리된 와이어의 단면을 평가하기 위한 방법으로 광학현미경과 육안 확인을 채택하였다. 단면 미세 측정은 실험실에서 보유하고 있는 광학 현미경을 이용하여 40배에서 100배율로 순차적으로 와이어 형상을 관찰하여, 다양한 조건에 따른 버(burr)의 유·무 및 단면을 측정하였다.

광학 현미경은 자체 소프트웨어인 이미지 프로세서(image processor)로 구동되어지며, 측정된 와이어의 형상은 이미지 프로세서의 측정 기능과 표면 거칠기 기능을 이용하여 개략적인 단면의 최종 형상을 파악하고, 와이어의 표면 상태를 평가하였다. 또한, 광학 현미경을 이용한 와이어 측정은 Fig. 9와 같이 전단 방향의 수직면에서 측정하였다.

3.1 일반날과 U형 홈 차이

본 실험에서는 일반적인 전단 날에 U형 홈을 가공하여, 전단 후 와이어 형상을 관찰하였다. Fig. 10은 U형 홈을 가공하지 않은 일반적인 전단 날에 의한 전단 방식이며, 와이어 전단 결과는 Fig. 11과 같다.

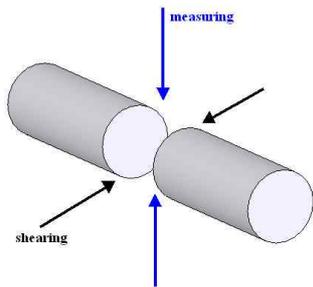


Fig. 9 Images of shearing wire using the optical microscope

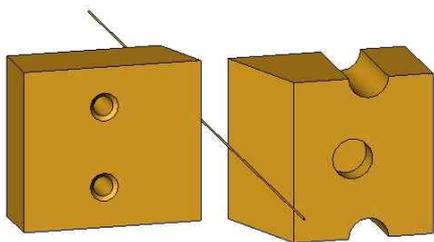
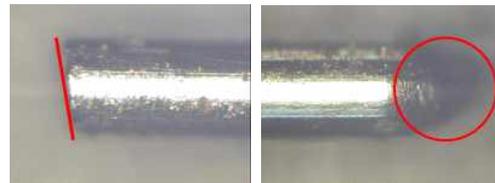


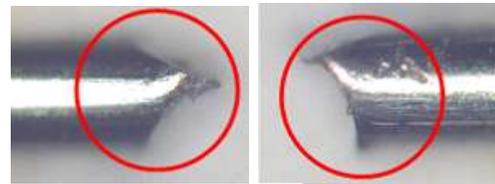
Fig. 10 Shearing schematic by general cutter

일반적인 전단 방식에서는 와이어 끝면이 구부러지거나 미끄러지는 형상을 볼 수 있다.

이러한 형상을 보완하기 위하여 Fig. 12와 같이 U형 홈을 가공하여 전단을 수행 하였다. 일반적인 전단 조건과 같은 조건으로 전단 실험을 수행하였다. Fig. 13의 U형 홈의 전단 결과 와이어 끝단에는 구부러진 형태나 미끄러진 형상은 볼 수 없었다. 그러나 Fig. 13 (b)와 같이 압입자극의 형상이 발생하였다.



(a) bent shape



(b) slip shape

Fig. 11 Various wire shapes by general cutter

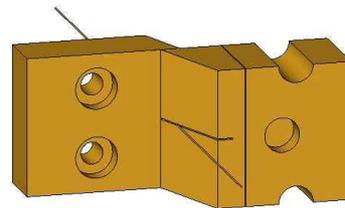
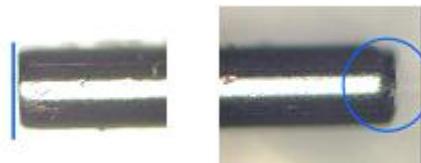


Fig. 12 Shearing schematic by U-groove cutter



(a) shapes of burnish



(b) indentation

Fig. 13 Various wire shapes by U-groove cutter

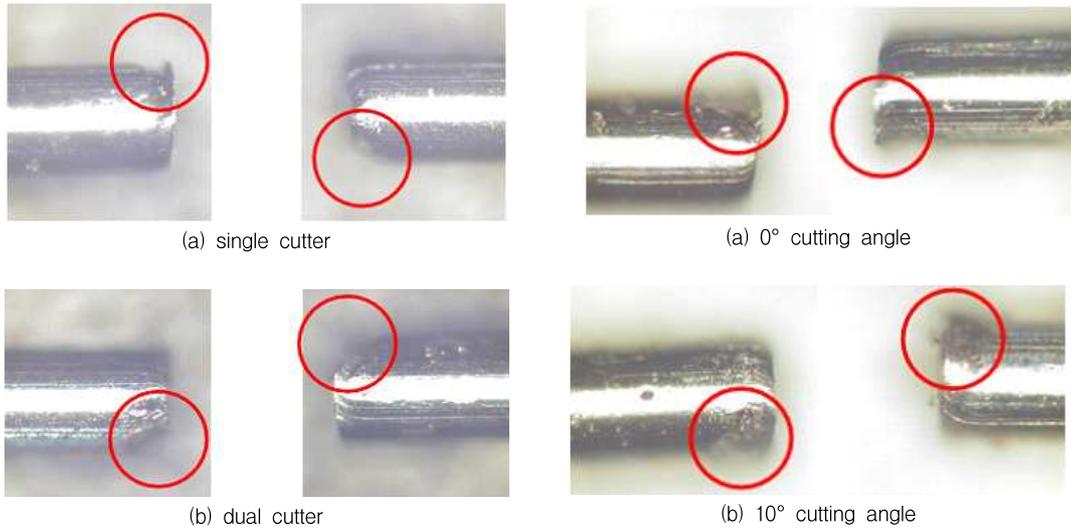


Fig. 14 Wire shapes according to the counter punching shear modes

3.2 카운터 펀칭(counter punching)의 영향

카운터 펀칭의 효과를 확인하기 위하여 Fig. 12의 전단날을 사용하여, 좌측날은 고정시키고 우측날은 펀치역할을 수행 하도록 하였다. Fig. 14 (a)와 같이 한쪽 전단날만 절단을 할 경우, 압입 자국과 함께 버가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 Fig. 14 (b)는 양쪽날을 움직여서 전단하는 카운터 펀칭(counter punching)방식으로, 그림에서 보듯이 압입자국이 나타나고 있으나 버는 아주 작게 발생하는 것을 알 수 있었다.

3.3 전단각에 의한 형상

전단날이 마모되어 그 전단각이 감소하면 버의 크기, 전단면의 거칠기와 전단영역은 증가하나 파단영역은 감소한다. 또한 전단면도 매우 불균일하게 나타난다. Fig. 15는 전단각에 따른 전단면을 보여주고 있다. 전단각이 커질수록 압입 크기가 크게 나타나고 있으며, 카운터 펀칭에 의한 압입자국이 크게 나타나고 있다. 이러한 결과로 와이어 전단 시 작은 전단각은 와이어의 압입자국을 최소화 하는 요인임을 알 수 있었다.

3.4 클리어런스(clearance)의 영향

펀치-다이 간극이 커질수록 전단력과 전단에너지는 감소하기 때문에, 톨-오버, 파단영역 및 파단각, 파단깊이, 버 높이, 전단면 거칠기 등이 증가한다. 반면 전단영역은 감소한다.

Fig. 16은 카운터 펀칭을 이용하여 전단된 와이어의 형상을 관찰한 그림이다. (a)에서 클리어런스가 약 10 μ m에서는 압입 자국은 나타났다.

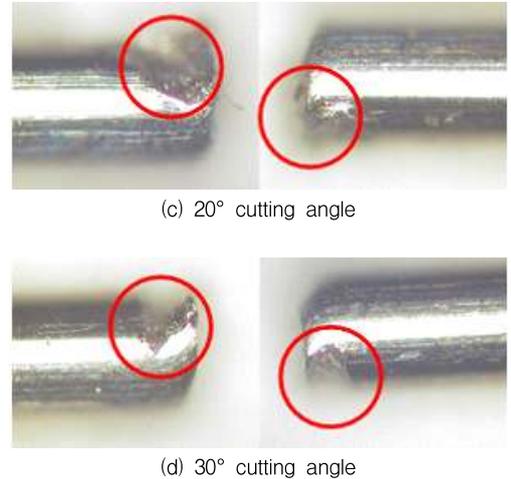
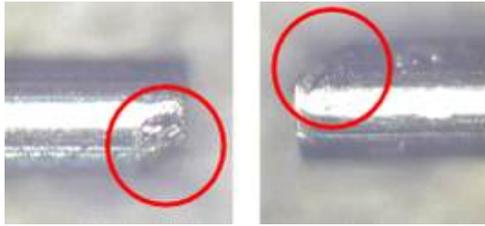


Fig. 15 Various shapes in accordance with the shear angle

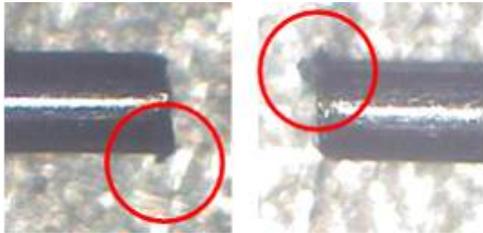
그러나 버는 크게 나타나고 있지 않으며, (b)의 20 μ m에서 압입 자국은 작아졌으나 버가 발생되었다. 또한 (c)의 40 μ m 클리어런스에서는 좀 더 큰 압입자국과 버가 발생하는 것을 관찰하였다. 이와 같이 작은 클리어런스에서 버의 사이즈가 줄어들을 수 있었다.

3.5 실험 결과

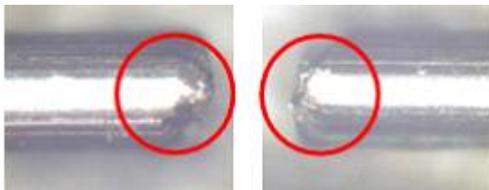
일반적인 전단가공에서는 한쪽 날이 전단 수행을 한다. 본 연구에서는 양쪽 날이 전단 수행을 할 수 있도록 전단기를 자체 설계/제작 하였으며, 전단되어진 와이어의 형상을 광학 현미경을 이용하여 알아보았다.



(a) 5% clearance of wire thickness



(b) 10% clearance of wire thickness



(c) 20% clearance of wire thickness

Fig. 16 Wire shapes of 200 μ m SUS 304 wire accordance with the clearance

전단 날의 형상은 일반적인 것보다는 U-형의 홈이 있는 것이 버의 최소화에 기인하며, 또한 한날을 가지고 전단하는 것보다 양쪽날이 동시에 움직이는 카운터 펀칭 방식의 절단이 버를 최소화에 유리하다. 작은 전단각과 클리어런스는 버 생성에 가장 많은 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. 버 생성과 클리어런스의 관계에서는 더 작은 클리어런스(10 μ m 이내)에서 실험을 수행하여 구체적으로 클리어런스에 대하여 연구할 예정이다.

4. 결론

본 연구에서는 바이오, 반도체 분야 등에 사용되고 있는 극세선의 직선화 처리와 버가 발생하지 않는 정밀 절단 시스템을 개발하는 것이다.

자체 개발한 직선처리기를 이용하여 와이어를 직선화하였으며, 직선 처리 된 와이어를 사용 목적에 맞게 절단하기 위하여 정밀 절단기를 제작하였다. 제작한 전단기를 이용하여 최소 버를 생성하는 조건을 찾아보았다.

전단 시 버 발생의 최소화를 위하여 U형 홈, 카

운터 펀칭(counter punching), 작은 전단각, 작은 클리어런스 등 여러 가지 절단 실험을 수행하였다.

와이어에 생기는 압입자국을 제거하지 못하였으며, 이는 좀 더 작은 클리어런스의 확보와 카운터 펀칭의 역할 등 실험장치의 개선이 필요하다.

전단 시 와이어를 지지할 수 있는 패드의 사용 또는 장력을 이용하여, 견고한 지지가 가능하도록 고정구를 설치하는 방법도 추후에 연구되어야 할 것이다. 또한 정량적인 버를 측정하기 위한 시스템을 도입하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김현재, "LTPS TFT-LCD 개발 현황", *한국 정보디스플레이학회지*, Vol.2, No.1, pp30-35, 2001.
- [2] 윤성만, 전병희, "마이크로 가공 기술", *기계저널*, Vol.40, No.11, pp34~39, 2000.
- [3] S. Fukui, K. Konda and K. Maeda, "Smooth shearing by stepped profile tool", *Ann. CIRP*, Vol.20, pp. 57-58, 1971.
- [4] T. C. L. C. Chan and P. F. Zheng, "Application of the finite-element deformation method in the fine blanking process", *Journal of materials Process Technology*, Vol.63, pp.744-749, 1987.
- [5] 홍남표, "레이저를 이용한 박판 버의 기상 측정 및 최소화에 관한 연구", *강원대학교 박사학위 논문*, 2004.
- [6] M Oyane, T. Sato, K. Okimoto and S. Shema, "Criteria for ductile fracture and their applications", *Journal of Mechanical Working Technology*, Vol.4, pp. 65-81, 1980.