

## 베릴륨동 극박판의 드로잉 성형성과 품질특성 연구

박사성<sup>1</sup>· 황규복<sup>2</sup>· 김종봉<sup>3</sup>· 김종호<sup>#</sup>

# Investigation of Deep Drawability and Product Qualities of Ultra Thin Beryllium Copper Sheet Metal

S. S. Park, K. B. Hwang, J. B. Kim, J. H. Kim,

(Received January 25, 2010 / Revised March 8, 2010 / Accepted March 19, 2010)

### Abstract

The present study is focused on the deep drawability and product qualities of ultra thin beryllium copper sheet metal. The goal of this research is to investigate the limit drawing ratio in deep drawing of ultra thin beryllium copper metal. For the experiment, beryllium copper(C1720, 50 $\mu$ m in thickness) is used. Tensile test are also carried out to find out the material properties. Deep drawing experiments are carried out in Universal Testing Machine(UTM) to obtain limit drawing ratio. Deep drawing tests are carried out for various specimen sizes. Teflon film is used as a lubricant and constant blank holding force is imposed. Sheet thickness and surface hardness are measured along radial direction after deep drawing. Thickness is measured using optical microscope. For beryllium copper(C1720), the maximum LDR of 2.4 is obtained when the die shoulder radius is 20 or 30 times of sheet thickness.

**Key Words** : Micro Sheet, Deep Drawing, Limit Drawing Ratio

### 1. 서 론

최근 산업동향은 소품종 다량생산 체제에서 다 품종 소량 생산체제로, 고부가가치를 창출하는 제품의 생산으로, 그리고 전통적인 생산방식에서 벗어나 초정밀 미세가공 분야까지 확대되고 있다. 또한, 정보통신, 생명공학 관련 기기는 경량화, 슬림화, 고집적화, 대용량화, 그리고 고기능화가 필수적이며, 이로 말미암은 부품의 소형화 추세가 두드러지고 있다. 마이크로 제품과 다품종 소량 생산에 대응하기 위한 성형성의 향상과 공정 단축 및 개선 할 수 있는 성형 기술의 개발이 요구되고 있는 실정이다. Han 등[1]은 마이크로 박판

소재의 물성 평가를 위한 시험 장비를 개발하였으며, Shim[2,3]은 미세 박판성형에서 블랭크 형상이 미치는 영향에 관하여 제시되었고, Lee 등[4]은 마이크로 부품을 소성 성형하는 시스템에 대한 연구결과를 발표했다. Lee 등[5]은 일반 박판재의 드로잉 공정에서 설계변수 변화에 따른 성형품의 특성을 조사하여 발표하였고, Kang 등[6]은 미세박판재의 드로잉성에 대한 기초실험연구를 하였고, Park 등[7,8]은 원형 컵 드로잉 공정의 설계에 적용 될 수 있는 프로그램을 제시하였다. Beak 등[9]은 1~3 $\mu$ m 두께의 금속 박판에 6~14 $\mu$ m의 폭을 가지는 다양한 형상의 채널성형에 대한 연구결과를 발표했다. 이렇게 마이크로 성형의 기

1. 서울산업대학교 산업대학원  
2. 서울산업대학교 제품설계금형공학과 겸임교수. (주)넷시 대표이사  
3. 서울산업대학교 자동차공학과  
# 교신저자 : 서울산업대학교 제품설계금형공학과,  
E-mail : jhkim365@snut.ac.kr

술에 대한 연구는 최근 많이 이루어지고 있다. 박판성형 가공은 낮은 제조원가와 양호한 표면 가공 및 높은 정밀도의 제품을 생산하는데 매우 중요하며 성형품의 강성유지와 경량의 제품을 생산하는데 널리 사용되고 있다.

드로잉 성형성은 소재와 금형의 틈새, 다이 및 펀치의 코너반경, 블랭크 홀딩력, 프레스 작업속도, 윤활조건 등에 따라 달라 질 수 있다. 드로잉 실험으로 얻어진 한계드로잉비(Limit Drawing Ratio, LDR)는 드로잉 공정을 설계하거나 새로운 공정을 개발 할 때 사용되는 소재의 성형성을 나타내는 중요한 척도이다. 본 연구에서는 마이크로 두께의 박판 소재에 대한 한계드로잉비를 구해 봄으로써, 마이크로 박판 소재의 성형성을 분석해 보았다. 구해진 한계드로잉비는 마이크로 두께의 박판을 이용한 스탬핑 공정을 설계할 때 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

## 2. 인 장 시 험

### 2.1 실험 방법 및 결과

본 실험에 사용한 소재는 두께가 50 $\mu$ m인 베릴륨동(C1720) 소재이며 소재는 질소가스 분위기에서 풀립 처리된 롤재를 사용하였다. 시험편은 Wire-EDM 가공으로 Fig. 1과 같이 제작하였다. 시험편의 폭(W, Fig. 1)은 1.0mm 와 2.0mm 두 종류로 하였다. Wire-EDM 가공시 베릴륨동을 적층하여 한번에 가공하였다. 방전가공에 의한 외형의 치수변화는 없었고, 가공면의 표면 경화에 대한 재질의 변화도 시험 결과에 크게 영향을 주지 않음을 확인하였다. 시험편은 압연 방향과 일치하는 방향으로만 제작하였다.

Fig. 1에 보인 마이크로 박판 인장 시험편은 크기가 매우 작기 때문에 신율계(Extensometer)를 이용하여 변위를 측정하는 일반적인 인장시험을 수행하기 어렵다. 신율계를 설치할 공간의 확보가 어렵기 때문이다. 그래서 본 연구에서는 리니어인코더와 비전(Vision)을 복합적으로 이용해 측정하는 비전방식[1]인장시험기를 이용하여 측정 하였다. 측정한 결과는 Table 1에 표시되어 있다.

Table 1에서 보는 것과 같이 폭이 1.0mm와 2.0mm의 측정결과가 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이것은 시험편의 단면의 세장비가 1.0mm는 20이고 2.0mm는 40으로 2.0mm의 경우 세장비가 너무 커서

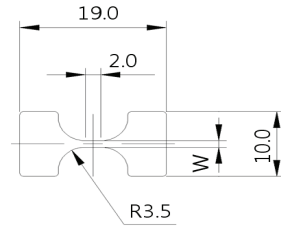


Fig. 1 Specimen for tensile test.

Table 1 Measured mechanical properties

Material	Width (W)	Yield Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )
Beryllium Copper	1mm	27.4	49.8
	2mm	24.7	49.8
	Width (W)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
	1mm	55.8	110.1
	2mm	48.3	110.1

Table 2 Experimental conditions

Blank diameter (Drawing ratio)	4.8mm(1.60), 5.1mm(1.70), 5.4mm(1.80), 5.7mm(1.90), 6.0mm(2.00), 6.3mm(2.10), 6.6mm(2.20), 6.8mm(2.26), 6.9mm(2.30), 7.1mm(2.36), 7.2mm(2.40), 7.3mm(2.43), 7.5mm(2.50), 7.7mm(2.56), 7.8mm(2.60)
	Clearance (C)
Diameter of die	3.14mm
Diameter of punch	3.0mm
Die corner radius (Rd)	0.3mm, 0.5mm, 1.0mm
Punch corner radius (Rp)	0.3mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm

하중이 불균일하게 작용하여 차이가 나는 것으로 사료된다.

## 3. 드로잉 시험

### 3.1. 실험조건

한계드로잉비를 찾기 위해 시험편의 직경을 4.8mm에서 7.8mm까지 15 구간으로 나누어 실험을 하였다. 실험에 사용된 다이와 펀치의 형상은 Table 2

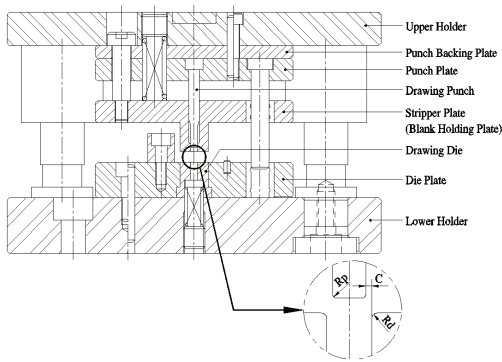


Fig. 2 Schematic view of drawing test apparatus

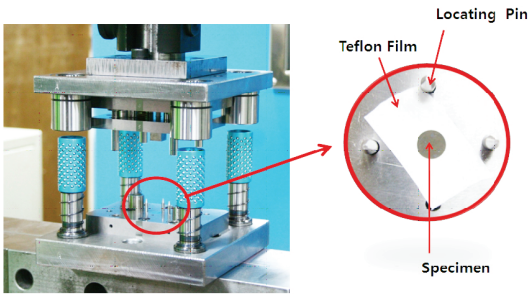


Fig. 3 Photo of drawing test apparatus

에 기술되어 있다. 펀치와 다이의 코너 반경이 드로잉 성형성에 미치는 영향을 파악하기 위해 다이코너반경(Rd)을 0.3mm에서 1.0mm까지 3종류, 펀치코너반경(Rp)을 0.3mm에서 1.5mm까지 4종류로 변경시키면서 실험을 하였다.

드로잉 실험을 위한 금형 도면과 사진을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 드로잉 시험은 만능 재료 시험기에 금형을 장착하고 수행되었다. 드로잉 속도는 20mm/min로 하였다. 블랭크 홀딩력은 예비 실험을 통해 결정하였으며, 5kgf로 일정하게 부가하였다. 윤활제로는 테프론 필름을 이용하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1. 성형 제품

Fig. 4는 실험에 의해 성형된 제품의 형상을 보여 주고 있다. 성형된 제품을 보면 제품의 상부 측면에 미세 주름이 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 소재가 다이 코너반경 부위로 유입될 때 블랭크홀더가 소재를 가압하지 못해서 발생한 것이다. 이러한 불량은 금형 수정을 통해 해

Drawn Cup		
	Rd = 0.3mm Rp = 0.3mm	Rd = 0.5mm Rp = 0.5mm
Drawn Cup		
	Rd = 1.0mm Rp = 1.0mm	Rd = 1.0mm Rp = 1.5mm

Fig. 4 Formed cups for various corner radii

결이 가능하기 때문에 드로잉성을 조사하는 본 연구의 실험 데이터에 포함시켜 분석하였다.

##### 4.2. 한계 드로잉비

Fig. 5는 펀치와 다이의 코너반경 변화에 따른 한계드로잉비를 보여준다. 한계드로잉비(Limit drawing ratio, LDR)는[10] 주어진 펀치직경(d)에 대해 블랭크 직경을 증가시키면서 드로잉하여 파단 없이 드로잉이 되는 최대 직경(D<sub>max</sub>)의 비로 다음과 같이 정의된다.

$$LDR = D_{max}/d \quad (1)$$

다이와 펀치의 코너 반경이 증가 할 수록 한계 드로잉비는 증가한다. 다이 코너반경이 작으면 다이 내부로 소재의 유입이 원활 하지 않아 드로잉 성이 감소하고, 펀치 코너반경이 작으면 굽힘에 의한 응력 집중으로 드로잉성이 감소하기 때문임을 알 수 있다. 보다 구체적으로 살펴 보면, 다이 코너반경이 0.3mm와 0.5mm인 경우와 펀치 코너반경이 1.0mm 이하일 때는 한계드로잉비가 2.20과 2.30로 차이가 없고, 펀치 코너반경이 비교적 큰 1.5mm일 때만 한계드로잉비가 각각 2.26, 2.36와 2.40으로 차이가 남을 알 수 있다. 다이 코너반경이 1.0mm인 경우에는 다이 코너반경이 0.3mm 또는 0.5mm일 때보다 약 5% 한계드로잉비가 증가하였다. 그리고, 펀치코너반경이 0.3mm 또는 0.5mm인 경우도 한계드로잉비가 차이가 없고, 펀치코너반경을 1.0mm 이상으로 했을 때 약 5% 증가하였고, 더 이상의 펀치 코너 반경의 증가는 한계드로잉비에 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 이러한 수치는 일반 강판의 한계드로잉비[11]

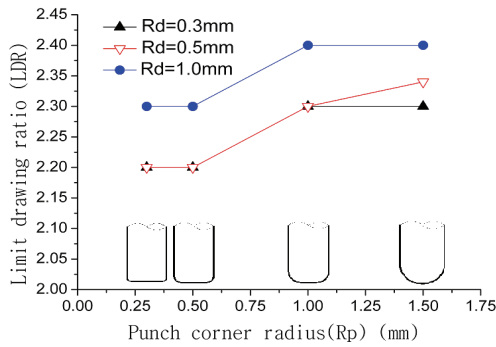


Fig. 5 Limit drawing ratio for various punch and die corner radii

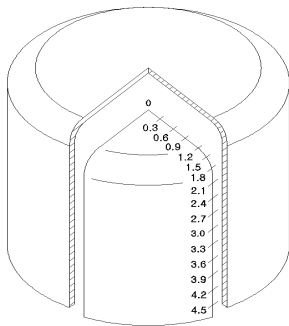


Fig. 6 Schematic view of measuring position for hardness and thickness

인 2.0~2.3과 거의 같은 수치로 일반 강판의 한계 드로잉비와 마이크로 박판의 한계드로잉비가 거의 같음을 알 수 있었다.

#### 4.3. 성형품의 경도 및 두께 분포

성형된 제품의 두께분포와 경도를 측정하기 위하여 시편을 수직으로 몰딩하여 수직으로 마운팅하였다. 마운팅한 시편을 Fig. 6와 같이 절단하고 샌드 페이퍼(#100~#2000)로 연마하여 시편 단면을 래핑하였다. Fig. 6와 같이 절단된 시편을 중심으로 부터 0.3mm간격으로 마이크로비커스 경도계를 이용하여 경도를 측정 하였고, 마이크로스코프를 이용하여 두께를 측정 하였다. 측정 결과는 Fig. 7~10에 나타내었다.

Fig. 7은 다이 코너반경을 0.5mm로 고정하고 펀치코너반경을 0.3mm, 1.0mm, 1.5mm 로 변경하여 성형된 경우 성형품의 경도를 측정한 결과를 보여준다. 성형된 컵의 중앙에서 벽면 부를 지나 컵의 끝 부분으로 가면서 경도가 증가하는 것을 볼

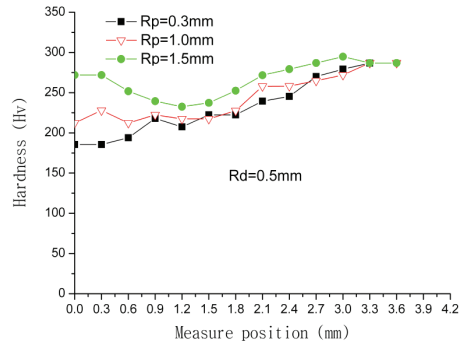


Fig. 7 Hardness distribution of drawn cups for various punch corner radii along the section shown in Fig. 6

수 있다. 이것은 컵의 끝 부분으로 갈수록 성형에 따른 가공경화가 발생하였기 때문으로 판단된다. 펀치의 코너반경이 0.3mm인 경우는 측벽부의 경도가 바닥부의 경도보다 50% 정도 증가하였다.

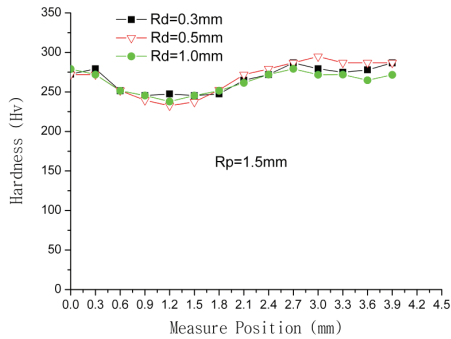
펀치의 코너반경이 1.0mm인 경우는 약간의 인장성형과 디프트로잉이 복합되어 바닥부가 경도가 0.3mm 보다 15% 정도 높고 측벽으로 갈수록 경도가 증가하여 측벽부의 경도가 바닥부의 경도보다 35% 정도 증가하였다.

펀치 코너 반경이 1.5mm인 경우는 바닥부의 경도가 중심부에서 높고 측벽으로 갈수록 낮아지다 측벽에서 높아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 펀치 코너반경이 증가함에 따라, 즉, 펀치의 형상이 반구형으로 될수록 인장성형과 디프트로잉 성형이 복합되어 컵 중앙부가 가공경화가 많이 되기 때문이다. 가장 높은 곳과 낮은 곳의 차이는 13% 정도이다.

Fig. 8은 다이코너반경을 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm로 변경하고 펀치코너반경을 1.5mm로 고정하여 성형된 경우의 성형품의 측정된 경도를 보여준다.

펀치코너반경이 1.5mm인 경우는 다이코너반경치수를 변경하였어도 펀치형상이 반구형으로 인장성형과 디프트로잉 성형이 복합되어 경도변화가 일률적으로 바닥부의 경도가 중심부에서 높고 측벽으로 갈수록 낮아지다 측벽에서 높아지는 것을 볼 수 있다. 가장 낮은 곳의 경도와 가장 높은 곳의 경도는 13% 정도의 차이를 보이고, 다이코너반경의 영향은 거의 없는 것으로 보인다.

Fig. 7과 Fig. 8의 결과로 다이코너반경은 경도 변화에 크게 영향을 주지 않고 펀치코너반경의 변화가 다이코너반경보다 더 크게 영향을 줌을



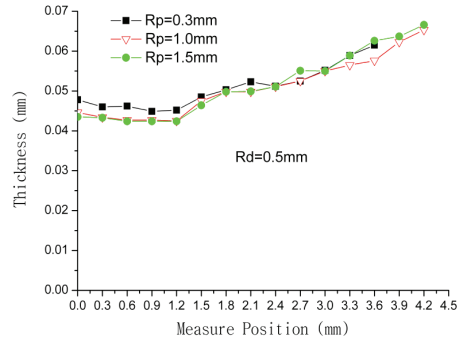
**Fig. 8** Hardness distribution of drawn cups for various die corner radii along the section shown in Fig. 6

알 수 있다.

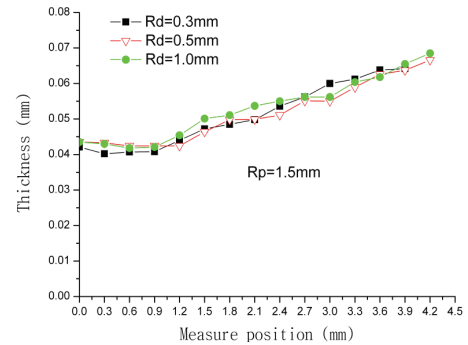
Fig. 9와 Fig. 10은 금형 형상에 따른 두께 변화를 파악하기 위해 두께 분포를 비교한 것이다. 원통형 용기를 디프드로잉 가공 할 때 원주 방향으로 압축변형이 심하게 일어난다. 이때 플랜지 면의 소재 두께가 두꺼워지는 경향이 나타나고, 심한 경우 주름이 발생하기도 한다. 본 실험에서도 Fig. 4에서와 같이 제품에 주름이 심한 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 다이코너반경을 0.5mm로 고정하고 펀치코너반경을 0.3mm, 1.0mm, 1.5mm로 변경하여 성형된 성형품의 측정된 두께 변화를 보여준다. 펀치코너반경이 작을수록 바닥부 두께 변화가 적고 반경이 클수록 바닥부의 두께가 얇음을 알 수 있다. 이것은 펀치와 다이의 코너반경이 크기 때문이기도 하지만, 펀치의 코너반경이 큰 경우 한계 드로잉비가 커서 사용된 시편의 반경이 컸기 때문으로 사료된다. 직경이 큰 소재가 사용되어 다이 내부로 유입에 대한 저항력이 컸기 때문에 컵 바닥면의 두께가 더 얇아 졌다고 판단이 된다. 이것은, 소재가 다이 내부로 상당부분 유입되고 난 후인 공정 후반부에서는 두께가 급격히 증가하는 것을 보아도 확인 할 수 있다. 펀치코너반경이 가장 작은 0.3mm는 반구형 형상인 1.5mm 보다 바닥 두께가 15% 정도 두껍게 나타났으며, 1.0mm 보다는 10% 정도 두껍게 나타났다. 그리고 가장 얇은 곳과 가장 두꺼운 곳의 차이는 약 50% 정도의 차이를 보였다.

Fig. 10은 펀치코너반경을 1.5mm로 고정하고 다이코너반경을 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm로 변경하여 성형된 성형품의 측정된 두께를 보여준다. 다이코너



**Fig. 9** Thickness distribution of drawn cups for various punch corner radii along the section shown in Fig. 6



**Fig.10** Thickness distribution of drawn cups for various die corner radii along the section shown in Fig. 6

반경이 0.3mm인 경우가 0.5mm 1.0mm 보다 3% 정도 얇게 나타났다. 이것은 다이코너반경이 클수록 성형시 재료 유입이 원활 한 것으로 볼 수 있지만, 측정 오차를 고려하면 큰 차이가 없다고 판단하는 것이 옳다. 펀치 코너부의 가장 얇은 곳과 컵 끝부분의 가장 두꺼운 부분의 두께는 약 50% 차이를 보였다.

Fig. 9 와 Fig. 10의 결과로 다이코너반경은 적용된 범위안에서 제품의 두께 변화에 큰 영향을 주지 않고 펀치코너반경이 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 두께의 베릴륨동 극박관의 한계드로잉비를 구해 봄으로서 마이크로 박관의 성형성을 분석하였다. 펀치 및 다이의 코너

반경을 변화시키면서 디프드로잉을 수행하여 한계드로잉비를 구했고, 성형된 컵의 경도와 두께를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다이코너반경이 클수록 한계드로잉비가 커짐을 알 수 있었고, 두께가 0.05mm인 소재인 경우 다이 코너반경이 0.3mm인 경우보다 1.0mm인 경우 한계드로잉비가 약 10% 증가하였다.

(2) 성형된 컵의 바닥에서 측벽부 끝으로 갈수록 경도가 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 소재의 가공경화에 기인한 것으로 볼 수 있다.

(3) 다이코너반경은 적용된 범위 내에서 성형된 컵의 경도변화와 두께변화가 큰 차이가 없고 편치코너반경이 다이코너반경 보다 큰 영향을 줄 수 있다.

본 실험의 결과는 마이크로 두께의 박판을 이용한 성형 공정의 설계에 활용이 될 수 있을 것으로 사료된다. 향후, 같은 재료를 이용하여 두께별로 한계드로잉비를 구해보는다면 보다 유용한 자료가 될 것이다.

## 후 기

본 연구는 서울산업대학교 학술연구비 지원사업과 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

[1] A. R. Han, H. J. Lee, N. K. Lee, K. A. Lee, J. A. Song, 2008, Vision strain measurement module for micro material property system. Proc. Kor. Soc. Precision Eng., Spring, pp. 329~330.  
 [2] Y. S. Kim, H. B. Shim, 2006, Measurement of

material properties for miniature stamping. Trans. Mater. Process., Vol. 15, No. 3, pp. 247~254.  
 [3] H. B. Shim, 2006, A study on the effect of blank shape on the miniature stamping. Trans. Mater. Process. Vol. 15, No. 4, pp. 304~310.  
 [4] N. K. Lee, H. J. Lee, S. W. Choi, G. A. Lee, 2006, Development of micro metal forming manufacturing system. Material Science Forum, Vol. 505-507, pp. 19~24.  
 [5] J. M. Lee, J. H. Kim, S. T. Won, 2002, Effects in the product quality which follow in process change of the circular cup drawing. Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 8, pp. 716~723.  
 [6] H. J. Kang, M. J. Kim, B. J. Park, Y. S. Shin, G. B. Hwang, J. H. Kim, 2008, Investigation of deep drawability for micro sheet metals. Proc. Kor. Soc. Die and Mould. Eng., Winter, pp. 21~24.  
 [7] S. B. Park, Y. Choi, B. M. Kim, J. C. Choi, B. H. Kim, 1996, A study on the computer-aided design system of axisymmetric deep drawing process(I), Trans. Mater. Process. Vol. 5, No. 1, pp. 27~36.  
 [8] S. B. Park, Y. Choi, B. M. Kim, J. C. Choi, J. Lee, 1996, A study on the computer-aided design system of axisymmetric deep drawing process(II). Trans. Mater. Process., Vol. 5, No. 1, pp. 61~71.  
 [9] S. W. Beak, B. Y. Joo, S. H. Rhim S. I. Oh, 2006, Micro channel forming with ultra thin copper foil. Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., Vol. 30, No. 2, pp. 157~163.  
 [10] W. S. Cho, 1994, Press tool design technology, Gijeon, Seoul.  
 [11] D. H. Kim, 1988, Experimental study on minimizing wall thickness thinning for deep drawing of circular shells, Trans. Mater. Process., Vol. 7, No. 4, pp. 393~399.