

## 정사각용기의 성형시 블랭크 홀더력에 관한 연구

김진무\* · 송영배\*\*

(1999년 10월 30일 접수)

### A Study on the Estimation of Blank Holder Force in Square Cup Drawing

J. M. Kim and Y. B. Song

#### Abstract

In this study, when a square cup is under drawing, blank holder pressure necessary for flange wrinkling prevention was experimentally studied. The materials used in the experiment were SPCC steel and SUS304 and the drawing ratio was 1.62~2.0. Two cases for lubrication condition were investigated. One was without lubricant and the other was with lubricant of high viscosity.

**Key Words** : Blank Holder Pressure(BHP), Wrinkle, Drawing Ratio, Lubricant, Square Cup Drawing.

#### 1. 서론

판재의 프레스성형에서 주된 불량현상으로는 재료의 부족부분에 발생하는 균열과 재료의 여분이 생기는 부분에 일어나는 주름을 들 수 있다. 균열과 주름에 대해서는 현재까지 실험과 이론의 양면에서 많은 연구가 이루어져 있다. 그러나 특히 주름은 소재의 재질과 두께 외에도 제품 형상과 소재의 구속조건에 크게 영향을 받으므로 극히 한정된 상황에 대해서만 주름을 억제하는 조건에 대해서 연구가 행해지고 있다. 원통용기의 성형시 플랜지에 발생하는 주름을 억제하는 조건에 관해서는 Miyagawa<sup>(1,2)</sup>, Kawai<sup>(3-5)</sup> 등에 의해서 상세히 연구된 바 있다. 그러나 실제 프레스제품의 형상은 복잡하고 다양한데 연구의 대부

분은 원통성형<sup>(6,7)</sup>에 관한 것이고, 정사각용기를 포함해서 원통 이외의 형상을 가진 용기의 성형에 관한 것은 많지 않다.<sup>(8~10)</sup> 다른 부분의 연구에는 컴퓨터에 의한 시뮬레이션이 다양하게 활용되고 있으나 주름이라는 불안정현상은 완전한 3차원해석을 대규모로 하여야 되므로 아직까지는 연구가 미진하다. 그러나 실용성측면에서 볼 때 원통용기 이외의 용기성형에도 주름이 발생하지 않고 성형하는데 요구되는 적절한 블랭크홀더력에 관한 자료는 필요하다.

본 연구에서는 정사각용기의 성형시 드로잉비, 윤활조건, 두께, 재질 등을 변화시켰을 때 주름이 발생하지 않는 블랭크홀더력을 실험을 통해서 연구한 결과를 제시하고자 한다.

\* 울산대학교 기계·자동차 공학부

\*\* 울산대학교 대학원

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 프레스(side frame type, PDH-250-100, 북동, 250ton, 120ton, 동성개발)에 펀치, 다이, 블랭크홀더, 펀치력과 블랭크홀더력을 측정하는 2개의 로드셀 등을 설치하여 구성하였다.

### 2.2 실험조건

실험에 사용한 판재의 재질은 냉간압연강(SPCC)과 스테인리스강(SUS304)이고, 두께는 각각 0.85mm와 0.45mm이다.

Fig.1은 실험에 사용한 금형의 형상과 치수를 나타낸 것으로 한 변의 길이가 105mm인 정사각단면이고, 다이의 코너반경은 15mm이며 형상계수(shape factor, SF, 코너반경/변의 길이)는 0.143이다.

펀치와 다이의 틈새는 1.4mm이고 펀치와 다이의 어깨반경은 각각 10mm와 12mm이다. 시험에 사용된 판재의 표면상태는 SPCC판인 경우 윤활은 하지 않은 것, 윤활제(점성계수,  $430 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ , 이수화학(주))를 사용한 것 등 두 종류로 하였고, SUS304는 유화액(emulsion)를 사용하였다.

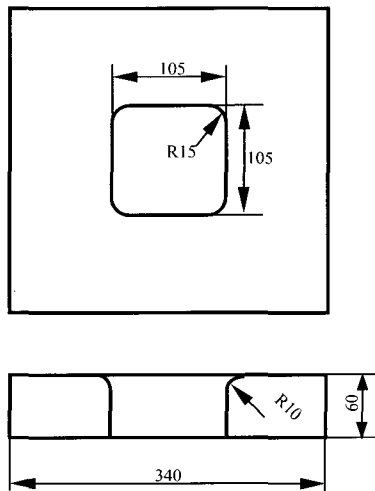


Fig. 1 Shape of die with square section

### 2.3 실험방법

시험편의 형상은 정사각형이고 드로잉비(drawing ratio, DR)는 (블랭크단면적/펀치의 단면적)<sup>1/2</sup>의 정의로 1.6~2.0까지 4종류를 사용하였다. 재료의 유동과 변형률을 측정하기 위해서 블랭크에 5mm간격의 정사각 격자무늬를 포토에

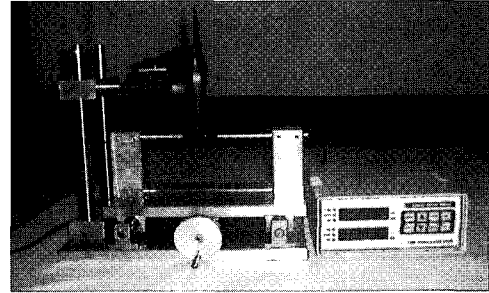


Fig. 2 Measurement system

칭하였다. 정사각용기의 성형은 최소플랜지의 폭이 약 20mm 정도로 남을 때까지 하였다. 주름의 높이는 1/1000mm까지 측정할 수 있는 전자마이크로미터 2개를 이용하여 측정하였으며, Fig.2는 전자마이크로미터를 이용한 측정장치를 나타낸 것이다.

## 3. 해석결과 및 고찰

포토에칭된 블랭크를 10mm씩 단계별로 성형한 후 플랜지 부분에서 변형된 격자로부터 변위와 변형률을 측정하였다. 주름발생의 기준은 성형된 용기의 플랜지상에서 주름의 최대높이가 0.02mm 이상 커질 때로 하였으며, 주름의 높이가 0.02mm 이하일 때 최대 블랭크홀더압력(blank-holder pressure, BHP)을 주름이 발생하지 않는 최소 블랭크홀더압력으로 나타내었다.

Fig.3은 블랭크홀더 압력을 0.10 kgf/mm<sup>2</sup> 로 하여 냉간압연강(SPCC)판재로 정사각용기를 성형할 때 플랜지에 주름이 생성되는 것을 나타낸 그림이다. 직선변플랜지와 코너플랜지에서 동시에 주름이 발생하고, 코너플랜지에는 양단이 고정된 기둥과 같이, 직선변플랜지에는 한쪽 끝만 고정된 기둥처럼 주름이 형성된다. 성형깊이가 커짐에 따라 처음 주름이 생긴 위치에서 주름의 높이가 커지는 것을 알 수 있다.

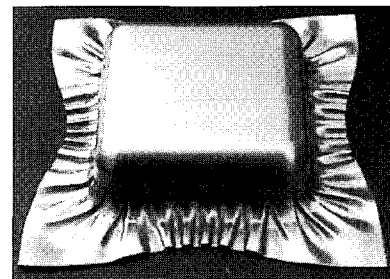


Fig. 3 Wrinkles in flange(DR 1.66 ; SPCC)

### 3.1 플랜지 부분의 둘레방향 변형률

Fig.4<sup>(1)</sup>는 용기의 플랜지에서 재료의 유동상태를 알아보기 위해서 사각격자를 포토에칭한 냉간압연강판을 윤활하지 않은 상태로 성형하였을 때 코너플랜지와 직선변플랜지의 경계선과 각각 코너플랜지와 직선변플랜지의 중앙선에 용기의 둘레방향으로 발생한 변위를 나타낸 그림이다. 경계선에서 둘레방향으로 변위량이 가장 크고 두 중앙선에서 변위는 크기가 비슷하다.

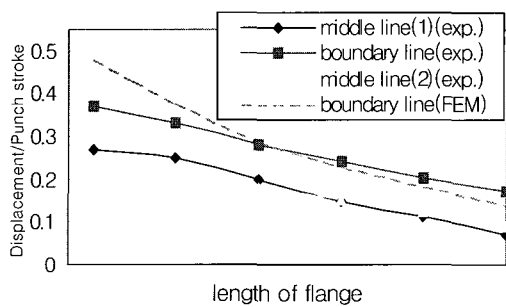


Fig. 4 Circumferential displacement in flange for 60mm in depth(SF 0.15, DR 1.78)

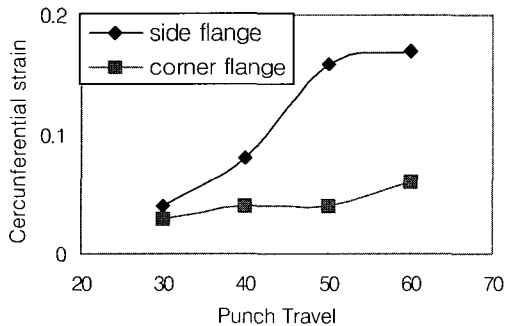


Fig. 5 Circumferential strain in the centerline of flange for SPCC sheet

Fig.5는 코너플랜지와 직선변플랜지의 중심선에서 용기의 둘레방향으로 발생한 변형률을 성형깊이의 변화에 대해서 나타낸 그림이다. 성형깊이가 증가할수록 직선변플랜지의 중심선에서 변형률은 코너플랜지의 중심선에서 변형률보다 크게 증가하였다. 두 그림으로부터 코너플랜지에 있는 재료가 경계선을 지나서 직선변플랜지의 중앙부측으로 유동함을 알 수 있다. 또한 플랜지에서 둘레방향의 변형률은 압축변형률이므로 이 값이 커진다는 것을 그만큼 주름이 발생할 가능성이 크다는 것을 의미한다. 이들의 결과로부터 원통용기의 플랜지에서 원둘레방향으로 동일한 크기의 둘레변형률이 발생하는 것과는 전혀 다른 변형상

태이므로 원통용기의 성형에서 주름을 억제하기 위한 블랭크홀더 압력을 그대로 비축대칭용기의 성형에 적용하는 것은 적절하지 않음을 알 수 있다.

### 3.2 최소 블랭크홀더 압력

Fig.6은 두께가 0.85mm인 냉간압연강판을 윤활을 하지 않은 상태로 정사각용기를 성형할 때 드로잉비에 따라 주름이 발생하지 않는 최소와 최대 블랭크홀더 압력을 나타낸 그림이다. 그림에서 드로잉비가 작을 때에는 주름이 발생하지 않는 블랭크홀더 압력의 영역이 넓고 드로잉 비가 커지면 그 영역은 점차 작아지는 것을 보이고 있다. 주름을 발생하지 않는 최소블랭크홀더 압력을 성형에 이용하면 다이, 블랭크홀더 및 플랜지사이에서 마찰력의 감소로 성형에 유리하므로 이후에는 최소블랭크홀더 압력을 주름이 발생하지 않는 블랭크홀더 압력으로 나타낸다.

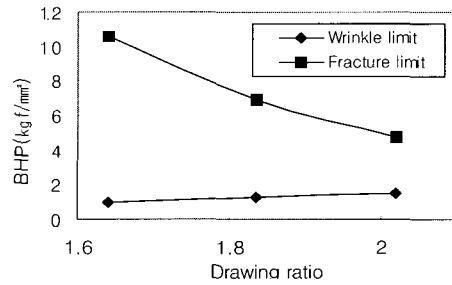


Fig. 6 BHP vs. Drawing ratio for SPCC steel of 0.85mm thickness without lubricant

Fig.7은 냉간압연강판을 성형할 때 드로잉비가 변할 때 최소블랭크홀더 압력의 변화를 나타낸 그림이다. 그림으로부터 드로잉비가 증가하면 최소블랭크홀더 압력도 상당히 커짐을 알 수 있다. 이것은 드로잉비가 커지면 플랜지에서 둘레방향으로 압축변형률이 증가하여 주름발생을 방지하기 위한 블랭크홀더 압력이 커져야 하기 때문이다. Fig.7(a)는 판재의 두께가 0.85mm일 때 윤활조건에 따른 최소 블랭크홀더압력을 나타낸 그림이다. 최소블랭크홀더 압력은 드로잉비가 커짐에 따라 윤활을 하지않은 경우는 1.0(kg/mm)에서 1.5(kg/mm)까지 커지고, 점도가 높은 윤활제 ( $430 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ )로 윤활을 한 경우는 0.55(kg/mm)에서 2.9(kg/mm)까지 증가하였다. 드로잉비가 작은 영역에서는 윤활을 하지 않은 경우가 조금 크고 드로잉비가 큰 경우는 윤활을 하지 않은 경우가 상당히 커지고 있음을 나타내고 있다. 이것은 드로잉비가 커지고 윤활을 하면 플랜지의 둘레방향으로 마찰저항의 감소로 주름을 억제하기 위한 블랭크홀더 압력을 증가시켜야 되기 때문으로 생각한다. Fig.7(b)는 판재의 두께가 0.55mm일 때 윤활조건에 따른 영

향을 나타낸 것이다.그림으로부터 드로잉비가 커지면 역시 최소블랭크홀더 압력이 윤활을 하지않은 경우는 1.3(kg/mm<sup>2</sup>)에서 2.4(kg/mm<sup>2</sup>)까지, 윤활을 한 경우는 1.6(kg/mm<sup>2</sup>)에서 2.5(kg/mm<sup>2</sup>)까지 각각 증가하고 있음을 나타내고 있다. 그러나 그 차이는 크지 않다.

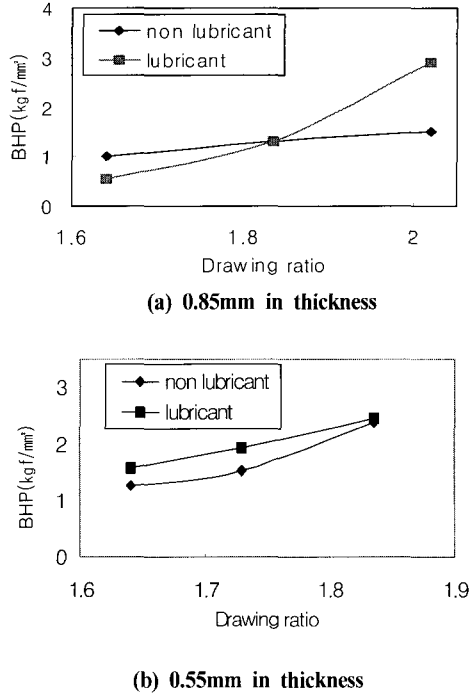


Fig. 7 Minimum BHP vs. Drawing ratio for SPCC sheet

Fig.8은 냉간압연강판을 성형할 때 판뚜께의 영향을 나타낸 그림으로 세로축은 최소블랭크홀더 압력을 판뚜께로 곱해서 나타냈다. Fig.8(a)는 윤활을 하지 않은 경우이고 Fig.8(b)는 윤활을 했을 때의 결과인데 대체적으로 큰 차이는 없어서 각각 큰 값을 이용하여 하나의 곡선으로 근사하여 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

Fig.9는 두께가 0.85mm인 냉간압연강판을 성형할 때 연구의 결과를 현재 가장 유용하게 활용할 수 있는 M.Gotoh의 결과와 비교한 그림이다. 그림에서 Gotoh의 상한치와 하한치는 주어진 식으로부터 계산한 것이고 이 식에는 드로잉비에 대한 고려는 되어 있지 않아서 그 결과는 평행한 수평선으로 나타나게 하며 또한 마찰의 영향에 대한 것도 고려되어 있지 않다. Fig.9(a)는 윤활을 하지 않은 경우인데 실험결과가 Gotoh의 상한치보다 크고 드로잉비가 증가하면 그 차이가 더욱 커져서 드로잉비가 클 때 Gotoh

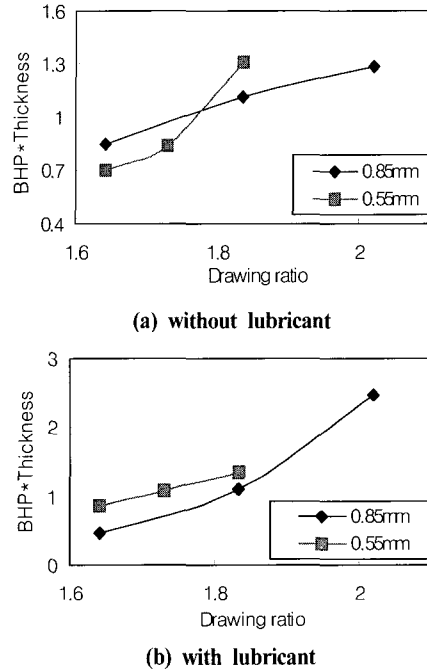


Fig. 8 Min BHP Thickness vs. Drawing ratio for SPCC sheet

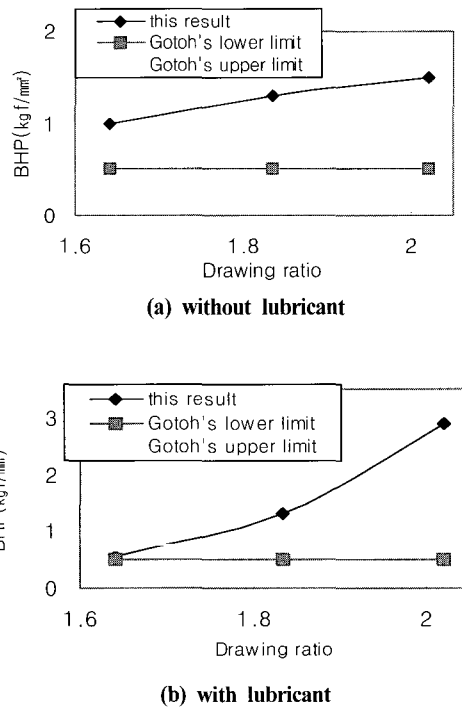
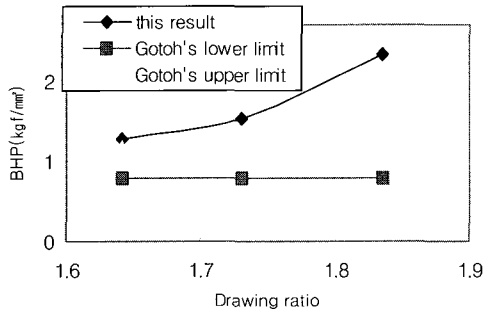
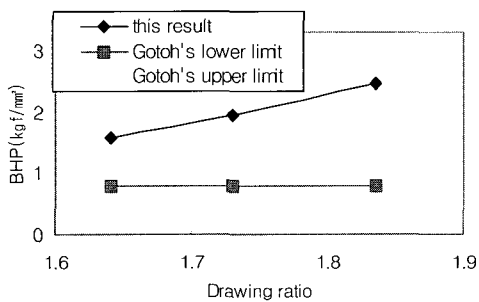


Fig. 9 Comparison of this result with Gotoh's for SPCC sheet with 0.85mm in thickness

의 결과를 활용할 때는 주의를 요한다. Fig.9(b)는 윤활을 한 경우에 대한 것으로 드로잉비가 아주 작은 경우를 제외하고는 Gotoh의 상한값이 실험결과보다 작고 드로잉비가 증가하면 역시 그 차이는 더 커진다.



(a) without lubricant



(b) with lubricant

Fig. 10 Comparison of this result with Gotoh's for SPCC sheet with 0.55mm in thickness

Fig.10은 두께가 0.55mm인 냉간압연강판을 성형할 때 실험결과를 Gotoh의 결과와 비교한 것이다. Fig.10(a)와 (b)는 각각 윤활을 하지 않은 경우와 윤활을 했을 때 결과들을 비교한 것인데 Fig.9의 결과와 흡사하게 Gotoh의 결과가 본 연구의 실험결과보다 작은 최소블랭크홀더 압력을 나타내고 있다.

Fig.11은 스테인리스강판(SUS304)을 성형할 때 최소블랭크홀더 압력을 성형한계내에서 냉간압연강판의 경우와 비교한 것이다. 그림으로부터 스테인리스강판에서도 최소블랭크홀더 압력은 드로잉비가 커지면 증가하는 것을 알 수 있다. 그림에는 냉간압연강판의 경우는 윤활을 하지 않은 경우와 윤활을 한 경우를 동시에 나타냈고 스테인리스강판인 경우는 유화유로 윤활을 한 경우에 대한 것이다. 그림으로부터 두 재료에 대한 결과에는 그 차이를 나타내지 않으므로 큰 값만을 이용한 단일 곡선으로 두 재료의 최소블랭크홀더 압력을 근사화할 수 있다.

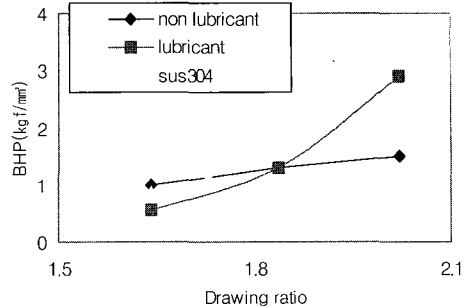


Fig. 11 Comparison of BHP for SUS304 with one for SPCC

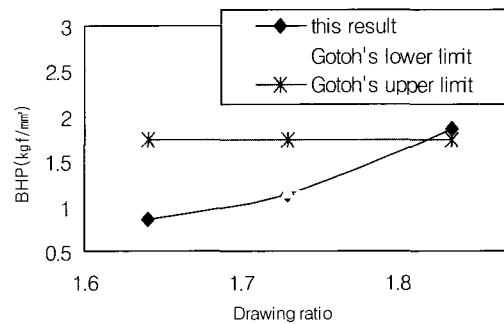


Fig. 12 Comparison of this result with Gotoh's for SUS304

Fig.12는 스테인리스강판에 대한 실험결과를 Gotoh의 결과와 비교한 것이다. 드로잉비가 가장 큰 구간을 제외하면 거의 모든 영역에서 Gotoh의 상한치가 본 연구의 결과보다 크다.

Gotoh의 하한치와 본 연구결과를 비교하면 드로잉비가 비교적 큰 구간에서는 본 실험결과가 크고 드로잉비가 작은 구간에서는 Gotoh의 하한치가 조금 크다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 냉간압연강판과 스테인리스강판 공히 드로잉비가 증가하면 주름을 발생하지 않는 최소블랭크홀더 압력은 증가한다.
- (2) 실험에서 구한 최소블랭크홀더압력을 Gotoh의 식으로부터 구한 결과와 비교하면 냉간압연강판의 경우는 본 연구의 결과가 크다.
- (3) 스테인리스강판의 경우는 드로잉 비가 큰 경우를 제외하면 본 연구의 결과가 Gotoh식으로부터 구한 상한치보다 작다.

(4) 냉간압연강판의 경우 다이, 블랭크홀더 및 소재를 점도가 높은 윤활제로 윤활하면, 드로잉비가 낮은 경우를 제외하면 최소블랭크홀더 압력은 커진다.

(5) 냉간압연강판과 스테인리스강판을 성형할 때 주름이 발생하지 않는 최소블랭크홀더 압력은 그 크기가 거의 같다.

### 참 고 문 헌

- (1) Matsuo Miyagawa, 1957, "Mechanism of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 1st Report", J. of JSME, Vol.23, No.130, pp. 390~398.
- (2) Matsuo Miyagawa, 1957, "Mechanism of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 2nd Report", J. of JSME, Vol.23, No.130, pp. 399~407.
- (3) Nozomu Kawai, 1960, "Critical Conditions of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 1st Report", J. of JSME, Vol.26, No.166, pp. 850~857.
- (4) Nozomu Kawai, 1960, "Critical Conditions of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 2nd Report", J. of JSME, Vol.26, No.166, pp. 857~863.
- (5) Nozomu Kawai, 1960, "Critical Conditions of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 3rd Report", J. of JSME, Vol.26, No.166, pp. 864~873.
- (6) T. X. Yu and W. Johnson, 1982, "The Buckling of Annular Plates in Relation to The Deep-Drawing Process", Int. J. Mech. Sci., Vol. 24, No.3, pp. 175~188.
- (7) 김영석, 임성언, 손현성, 한수식, 1999, "블랭크 홀딩력 제어에 의한 스탬핑 가공성 향상 기술", 한국소성가공학회지, 제8권, 제3호, pp. 269~275
- (8) M. Ahmetoglu, et al., 1995, "Control of Blank Holder Force to Eliminate Wrinkling and Fracture in Deep-Drawing Rectangular Parts," CIRP, Vol.44, pp. 247~250.
- (9) M. Gotoh and C. R. Lim, 1992, "Conditions for Flange Wrinkling Prevention in the Drawing Process of Circular and Square Shells from Irregularly Shaped Blanks", J. of JSME(c) Vol.58, No.556, pp. 299~306.
- (10) A. Murata, Y. Ebine and M. Matsui, 1992, "Effect of Blank Holding Force Control on Deep Drawability of Square Shell" J. of JSTP Vol.33, No.375, pp. 411~416.
- (11) 김진무, 유효영, 1999, "정사각용기의 성형에서 변형률완화에 관한 연구" 한국정밀공학학회지, 제16권, 제2호, pp. 31~38.