

드로비드가 판재성형에 미치는 영향에 관한 실험적 연구  
( An Experimental Study on the Effect of the  
Draw-beads in Sheet Metal Forming )

김진무(Kim Jin-Moo), 유호영(You Ho-Young), 고대림(Ko Dae-Rim)

울산대학교 기계과 교수, 울산대학교 대학원, 울산대학교 대학원.

<ABSTRACT>

Experiments on the drawability of squared boxes have been performed under various working conditions. In the present work, the pattern of material flow and the local change in the thickness of shell are used as the measures of drawability, and they are measured using the photo-etching technique. The effects of the size of draw bead, the magnitude of blank holding force and the condition of lubrication on the drawability of squared boxes have been analyzed.

## I. 서 론

드로비드를 이용한 박판성형과 관련된 기술적 사항들은 상당히 많으며 이에 관한 이론 및 실험적 연구는 지금까지 많이 수행되어 왔다. 특히, 최근에는 Implicit code 혹은 Explicit code를 이용한 박판성형 문제의 유한요소 해석 방법이 많이 연구되고 있다.

딥드로잉(deep drawing)에 있어 변형거동은 굽힘(bending), 노로잉(drawing), 스트레칭(stretching), 아이언링(ironing) 및 이들의 조합으로 구성된 복잡한 변형모드를 포함하고 있으며<sup>1</sup>, 재료자체의 성형성(formability), 이방성(anisotropy)등의 기계적 성질이나 공구상태, 표면유활상태, 성형속도, 성형압력 등에 따라 공구상태가 달라진다. 드로잉 공정은 파가공재인 판재의 세직과 비교하여 판재와 금형의 접촉 면적이 크므로 접촉부의 마찰력이 판재의 성형에 미치는 영향이 매우 크다. 딥드로잉 가공 중에 발생하는 문제점은 편지 어깨부에서의 과단(crack)과 플랜지부의 주름현상(wrinkling)을 대표적으로 생각할 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 블랭크홀더면상에 드로비드를 설치하면 재료의 유입방향과 반대방향으로 적당한 장력과 마찰을 부가하는 효과와 cyclic strain hardening 및 strain rate hardening에 의한 변형력의 변화를 기대할 수 있을 것이다. 특히 비드의 형상(사각, 원형), 높이, 설치 위치, 길이에 따라서 유동 상태를 변화시킬 수 있고, 또한 마찰상태에 많은 영향을 미치는 요소로서 블랭크홀더력과 윤활을 고려할 수 있다.

딥 드로잉에 관한 연구는 Swift<sup>[2,3]</sup>가 2축 인장, 굽힘, 아이언링가공을 받는 판재의 불안정성에 관하여 연구하였고, S.Rajagopal<sup>[4]</sup>, Amit K. Ghosh<sup>[5]</sup> 등은 편지와 판재 사이의 마찰에 관하여, Chung & Swift<sup>[6]</sup>는 간단한 컵형 드로잉에 대하여 연구했으며, 이와 같은 연구들은 Willis<sup>[7]</sup>, Alexander<sup>[8]</sup> 등에 의해서 잘 요약되었다. 더불어 블랭크의 크기 결정에 관한 연구들<sup>[9,10]</sup>도 많이 수행되었다. Johnson<sup>[11]</sup>은 일반 드로잉 공정에서 블랭크홀더의 유무에 따른 재료의 플랜지부에서 발생하는 주름에 관한 연구를 하였고 Nine<sup>[12]</sup>은 판재 성형과정에서 드로비드가 미치는 영향에 대한 변형기구를 분석하였다. 그러나 대부분의 연구들은 축대칭 문제에 대한 실험 및 해석에 국한되어 왔고, 사각형 용기의 성형과 드로비드 사이의 관계 및 기술적 검토에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다.

본 연구에서는 딥드로잉 성형작업시 드로비드의 유무 및 길이, 블랭크홀더력, 윤활정도 등을 변화시켜 이를 변수들이 성형공정에 미치는 영향을 파악하고, 최적 유동 상태를 얻기위한 이들 변수들의 상관관계를 찾는데 그 목적이다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1) 실험장치

본 연구에 사용된 실험장지는 그림 1에 나타낸 바와 같아, 프레스, 금형, 편지구동부, 변위측정부, 변위 및 하중 data 신호처리 system으로 구성되어 있다.

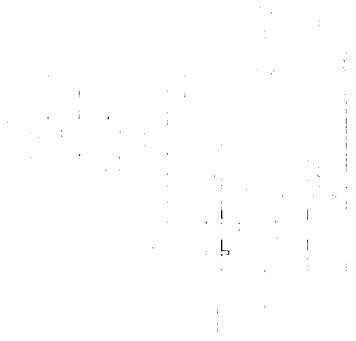


그림 1. 실험장치도

금형의 구성은 다이, 편지, 블랭크홀더, 블랭크홀더력과 편치력을 측정하는 두개의 로드셀(load cell)로 되어 있고 주요 차수는 표 1에 나타내었다. 금형 부문의 형상 및 자세한 차수는 그림 2와 같다.

표 1. 다이와 편지의 주요 차수

(단위:mm)			
	크기	코너 반경	어깨 반경
다 이	202.20	21.10	10.00
편 치	199.50	19.75	12.00

그림 2. 금형의 형상 및 차수

드로비드는 높이 1mm, 길이 각각 160mm, 120mm, 80mm로 제작하였다. 다이 구멍에서 19mm 떨어진 위치에서 블랭크홀더쪽에 설치하였고 바드가 없는 경우의 실험은 다이와 블랭크홀더의 빈 공간을 메운 후 평면연삭하였다.

바드의 형상은 그림 3과 같다.



그림 3. 바드의 형상

### 2-2) 실험방법

본 실험은 판재의 성형 조건에 따른 유통 변화를 관찰하는데 목적이 있으나, 그 변수에 따르는 경우의 수가 너무 많으므로 우선 바드의 설치 유무 및 크기 그리고 유통상태와 블랭크홀더력을 변수로 하여 유통상태를 분석하였다. 실험치는 바드의 유무 및 크기(1가지) 그리고 유통제의 점도가 다른 각각의 경우(2가지), 블랭크홀더력이 높은 경우와 낮은 경우(2가지)를 조합하여 실험하였다. 판재의 크기는 두께 0.9mm인 냉연강판(SPC) 330×330(mm<sup>2</sup>)을 사용하였으며 성형깊이는 45mm로 정하였다. 고려되는 결정은 바드가 없을 경우 최적의 성형이 되는 90mm로 통일하였고, 유통재는 동침성제수기 32.430(est)인 것을 사용하였다. 블랭크홀더력의 설정은 예비실험을 통하여 바드가 없을 때 파단되지 않고 성형이 이루어지는 상한치인 47ton 부근을 높은 블랭크홀더력으로 결정하고, 주름이 발생하지 않는 하한치인 33ton 부근을 낮은 블랭크홀더력으로 결정하여 실험하였다. 블랭크홀더력과 편치력의 측정은 상하 로드셀에서 나오는 신호를, 편지의 움직임은 편지구동부에 부착된 변위 측정기에서 나오는 신호를 각각 A/D 보드를 통하여 받아들인 후 신호를 증폭하여 컴퓨터에 입력시켜 데이터 파일로 저장하였다. 성형시 소재의 유통 파악은 측정용 지그를 이용하였고, 변형률의 측정은 현대자동차(주)에서 보유하고 있는 ASAME(The Automated Strain Analysis and Measurement Environment) 장비를 사용하였고, 이 장비의 사용을 위하여 소재의 표면에

FLD(Forming Limit Diagram)를 작성할 때 사용하는 원형의 격자를 사용하지 않고 5mm의 정사각 격자무늬를 예칭하여 새겨 넣었다.

### 3. 결과 정리 및 검토

#### 3-1) 실험 결과의 정리

ASAME 장비에서는 변형률 및 용기의 해석 결과를 그림의 처리하여 색깔의 등급으로 나타내므로 전체적인 경향 파악은 쉽다. 그러나 정확한 데이터 값은 모니터 화면상에서 한 점을 찍으면 수치로 나타내므로 이러한 국부적 한 수치로서 전체 해석 결과를 수치적으로 파악하려면 많은 시간이 필요하기 때문에 측정용 지그를 제작하여 데이터를 처리하였다. 그 결과는 유통의 형태를 파악하기 위해 유익하나 미세한 두께변형률의 표현에는 다소 미흡한 점이 있어서 ASAME 장비에서 그레이드 처리된 등급을 참고로 하여 개략적으로 서술하였다. 정사각형 용기는 직면부를 중심으로 대각면을 중심으로 각각 대칭이므로 용기의 1/8을 해석하였다. 변형 해석은 초기 좌표점을 기준으로 변형 후의 좌표점을 비교하는 것이 일반적이나, 비드부분과 코너부에 대한 초기 좌표점의 측정이 오차를 수반할 수가 있다. 본 실험에서는 변형 후 두께화 좌표점을 미리 결정하고 측정용 지그를 이용 성형품에 표시하여 초기의 좌표점을 찾는 방법을 이용하였다. 이러한 방법을 사용함으로써 측정시의 오차를 최소화하였다. 측정용 지그의 형상은 그림 1와 같다.

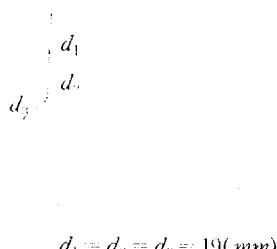


그림 1. 측정용 지그의 형상

그림 1에서 다이의 어깨에 평행한 1가지 위치방향( $d_1-d_3$ )에 수직 방향) 중 측정한 좌표점(그 점을 통과하는 변형 진 좌표)은 플랜지부를 기준으로 1,2,3,4의 순서로 점자를 사용하였다. 데이터점의 표기 방법을 보기로 설명하면 BMHL1의 경우 BM은 비드의 길이를 나타내고 (BL>BM>BS>BN 비드가 없음), II는 윤활의 정도

(high,low)L은 블랭크홀더의 크기 1은 데이터점의 위치를 나타낸다. 본 실험에서는 측정용 지그를 통과하는 모든 점의 실험치를 측정하였으나 지면의 제한성과 드로비드를 통과하지 않는 플랜지부와 변형이 적은 바닥부의 실험치는 제재하지 않았다.

#### 3-2) 실험 결과의 검토

그림 5,6,7,8은 다이 어깨부분에서의 비드의 길이에 따른 유통량을 나타내고 있다. 비드가 없을 경우 다이의 중점에서 멀어 질수록 소재의 유입량은 현저하게 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 이 현상은 플랜지 원주 방향의 압축가공에 의한 저항이 그 원인으로 파악되며 일반적으로 예측이 가능한 현상이다. 윤활 및 블랭크홀더의 고려부에서 유입량의 변화에 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다. ASAME에서 살펴본 두께변형률의 변화는 코너부에서 가장 크게 나타나지만 대수진변형률로 0.12 정도를 나타낸다. 이것은 본 실험에서 비드가 없는 경우 측정의 성형조건을 제공하는 코너컷(corner cut)양을 기준으로 실험을 수행한 결과라 판단된다. 비드가 80mm의 (BS) 경우 전체적인 유통형태를 살펴보면 다이의 중점에서 비드가 끝나는 곳에서 20mm를 지난 지점까지는 유입량이 미소하게 증가하지만 다시 코너부분까지 부터는 유입이 적어진다. 재료의 유입량을 비드가 없는 경우(BN)와 비교하면 다이 직선부의 중점에서 부터 비드가 끝나는 곳에서 20mm를 지난 지점까지는 유입량이 적고 그곳에서 코너부까지는 유입량이 많은 것을 볼 수 있다. 두께진변형률은 비드설치 부분에서는 -0.2정도로 일정한 값을 나타내나 비드의 끝점에서부터 급격한 변화를 보이면서 0.1정도의 값을 유지하다 코너 끝점에서는 다시 -0.1정도의 값을 나타낸다. 비드가 120mm인(BM) 경우 유입량은 BS와 거의 비슷하나 비드 통과 부분의 영역에서는 BS의 경우와는 다르게 일정하다.

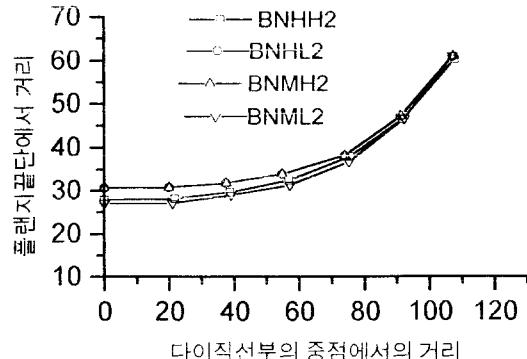


그림 5. 비드가 없을 때 다이 어깨에서의 유통량

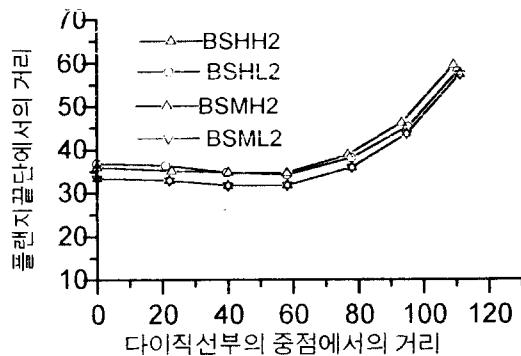


그림 6. 비드가 짧을 때 다이 어깨에서의 유동량

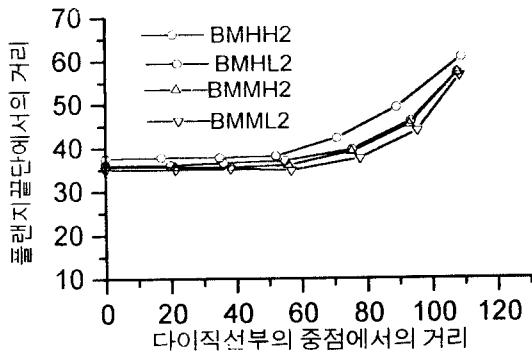


그림 7. 비드가 중간일 때 다이 어깨에서의 유동량

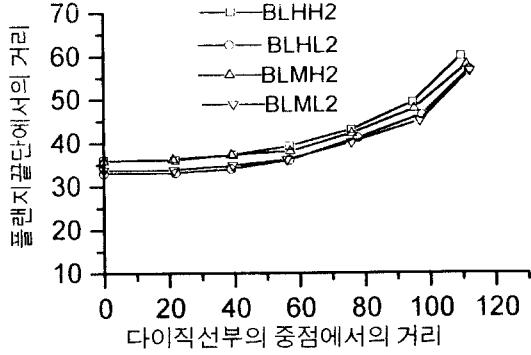


그림 8. 비드가 길 때 다이 어깨에서의 유동량

두께진변형률은 BS의 경우와 비슷한 현상을 보이지만 비드가 끝나는 지점에서 중점방향으로 5~8mm에서부터 양의 값을 나타내면서 0.15정도까지 완만하게 증가한다. 고너부분에서는 블랭크홀더력의 영향을 받아서 하중이 높을 경우에는 -0.12정도의 값이 나타남을 볼 수 있고, 낮은 경우에는 0.02정도의 값을 나타낸다. 비드가 160mm인(BL)경우 유입량은 비드 통과영역에서도 완만하게 감소함을 보이고 있다. BM과 비교하면 비드의 길이 차이가 발생하는 부위에서부터 유입량이 작아지는 양상을 보인다. 두께진변형률의 변화는 BM의 경우와 비슷한 현

상을 보이고 있으나, 비드통과 부분 영역중 중점에서는 -0.1정도의 값을 가지며, 비드 끝단에서는 0.02의 값을 가지면서 BM의 경우 보다 양의 방향으로 완만한 증가를 볼 수 있다. 블랭크홀더력의 영향은 하중이 낮을 경우에는 높을 경우에 비하여 변형률의 변화량이 완만하게 증가한다.

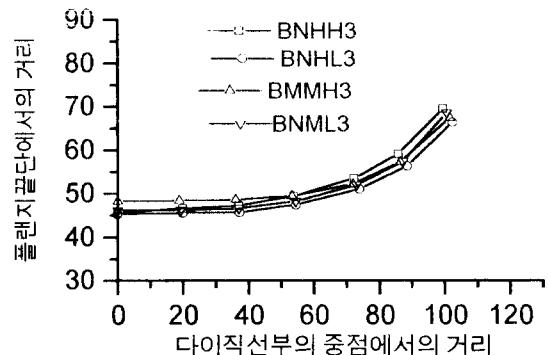


그림 9. 비드가 없을 때 측벽 부분에서의 유동량

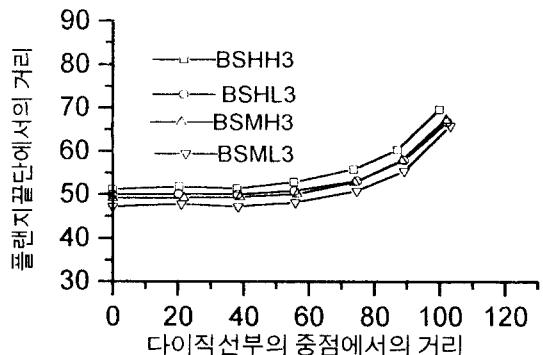


그림 10. 비드가 짧을 때 측벽 부분에서의 유동량

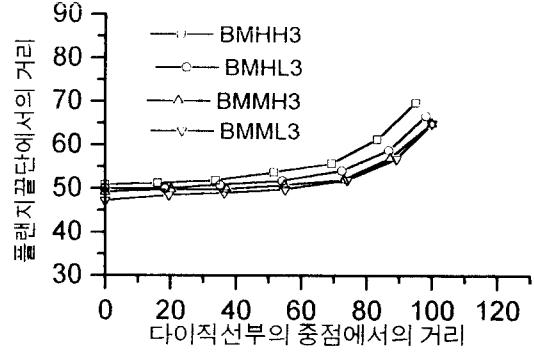


그림 11. 비드가 중간일 때 측벽 부분에서의 유동량

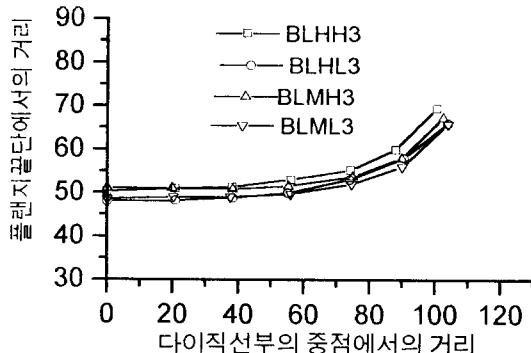


그림 12. 비드가 길때 측벽 부분에서의 유동량

그림 9, 10, 11, 12는 다이 측벽부분에서의 비드 길이에 따른 유동량을 나타내고 있다. 비드가 없는 경우 다이의 중점에서 멀어 질수록 소재의 유입양이 감소하는 현상이 발생하지만 다이 어깨부분에서 보다는 완만한 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 코너부에서는 플랜지 원주 방향의 압축 가공에 의한 저항과 굽힘 및 인장변형의 조합에 의해서 유동이 차단된다. 그러나 다이의 중점에서는 굽힘 및 인장변형의 조합에 의해서 유동이 차단된다. 위의 2가지 경우의 발생하는 유동에 대한 저항력의 차이는 굽힘이 없는 다이 어깨부분의 2지점에서의 유동에 대한 저항력의 차이보다 적은 원인으로 파악된다. ASAME에서 살펴본 두께변형률의 변화는 다이 직선부에서 0.05정도로 거의 일정함을 보였고 다이의 라운드가 시작되는 단후부분에서는 0.13정도로 증가하다 코너부분에서는 0.13정도를 나타낸다. 코너컷량의 결정은 비드가 없는 경우 측면의 성형상태를 유지하는 것이므로 가장 취약한 부위라 판단되는 코너부에서 측정된 이 변형률은 우리가 사각 형상의 용기제작사 과제가 예측되는 곳에서 발생하는 최저변형률이라 판단된다. 비드가 80mm인(BS) 경우, 다이의 중점 부분과 코너부에서 유동된 재료의 유입량 차이와 유동 형태를 BN과 비교하면 다이 어깨부분에서는 차이가 많으나 측벽부분에서는 상당히 유사함을 알 수 있다. 다이 어깨부에서 유동양은 중점에서 비드가 끝난 지점을 20mm정도를 초과한 지점까지는 미소하게 증가하다가 다시 감소를 하지만, 측벽 부분에서는 증가하지 않고 일정하게 유지되다가 위의 지점에서부터 감소한다. 두께진변형률은 블랭크홀더력이 큰 경우, 비드설치부분의 중점을 기준으로 -0.2정도의 값에서 비드가 끝나는 점까지 서서히 양방향으로 증가하지만 코너부분으로 다시 음방향으로 증가하여 -0.25정도에 도달한다. 블랭크홀더력이 작을 경우 중점에서 다이의 라운드가 시작되는 곳까지 서서히 양방향으로 증가하다가 다시 코너부분까지 음 방향으로 증가한다. 비드가 120mm인(BM) 경우

는 유동의 형태는 BS의 경우와 거의 비슷한 양상을 보이고 있고, 비드 통과 부분의 영역에서는 BS의 경우와는 다르게 유동량이 감소한다. 두께진변형률의 변화는 다이 어깨부분과 비슷한 현상을 보이지만 이 현상이 중점방향으로 ±8mm정도 이동하여 나타나고 크기는 중점에서 ~0.2정도로 크게 나타난다. 비드가 160mm인(BL) 경우 유입양은 비드 통과영역에서도 완만하게 감소함을 보이고 있다. BM과 비교하면 비드의 길이 차이가 발생하는 부위에서 유입양이 감소하지만 다이 어깨부분에서 보다는 영향이 작음을 볼 수 있다. 두께변형률은 BM의 경우와 비슷한 현상을 보이고 있으나 BM의 경우 보다 변형률의 분포는 양의 방향으로 완만한 증가를 볼 수 있다. 블랭크홀더력의 영향은 하중이 낮을 경우에는 높을 경우에 비하여 변형률의 변화량이 완만하게 증가한다. 다이 어깨부와 동일하게 윤활의 영향은 비드의 유무와 상관없이 성형 가능한 블랭크홀더력의 영역을 확장 시키는 효과를 가지고 있다고 판단된다.

#### 4. 결 론

사각형 용기의 낱드로잉 성형에 있어 드로비드의 유무 및 크기의 변화와 블랭크홀더력과 윤활 조건을 변수로하여 실험하고, 두께 변화량 및 유입량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 드로비드의 길이가 길수록 코너부의 유입량은 커지며 다이 중점과 코너부 사이에서 유입량의 변화가 완만하다.
2. 윤활조건의 변화는 성형가능한 블랭크홀더력의 범위를 넓여 준다.
3. 블랭크홀더력은 두께방향의 진변형률에 영향을 주며 홀더력이 증가 할수록 다이 중심부에서 코너부사이의 변형률 변화폭이 커진다.

#### < 참 고 문 헌 >

- [1] R. A. C. Slater, "Engineering Plasticity", Macmillan Press, pp. 328-341, 1977.
- [2] H. Swift, "Instability of Sheets Subjected to Biaxial Tension", Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 1, pp. 1, 1952.

- [3] H. Swift & R. Lowe, "The Ironing of a Sheet Metal", Institute of Automobile Engineering, Report, 1945.
- [4] S. Rajagopad, "A Deep Drawing Test for Determining the Punch Coefficient of Friction", Journal of Engineering for Industry, Vol. 103, pp. 197-202, 1981.
- [5] Amit K. Ghosh, "A Method for Determining the Coefficient of Friction in Punch Stretching of Sheet Metals" Int. J. Mech. Sci., Vol. 19, pp. 457-470, 1977.
- [6] S. Y. Chung & H. Swift, "Cup Drawing from a Flat Blank", Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering, Vol. 165, pp. 169, 1951.
- [7] J. Willis, "Deep Drawing ; A Review of the Practical Aspects of Professor H. Swift's Researches", Butterworth Scientific Publication, 1954.
- [8] J. Alexander, "An Appraisal of the Theory of Deep Drawing", Metallurgical Reviews, Vol. 5, pp. 19, 1965.
- [9] Zhang Zhato and Liang Bingwen, "Determination of Blank Shapes for Drawing Irregular Cups Using an electrical Analogue Method", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No.8, pp.499-503, 1986.
- [10] Lu Xueshan and Liang Bingwen, "Modeling of Flange Deformation of Irregular Drawn Cup Using a Fluid Analogy", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No.8, pp.491-497, 1986.
- [11] W. Johnson & Yu, T. X., "The Buckling of Annular Plates on Relation to the Deep Drawing Process", Int. J. Mech. Sci., Vol. 24, pp. 175-188, 1982.
- [12] H. D. Nine, "Drawing Bead Forces in Sheet Metal Forming", Mechanics of Sheet Metal Forming, Plenum Press, pp. 179-211, 1978.