

# 딥 드로잉 공정에 미치는 영향인자에 관한 실험적 연구

이 승 훈\* · 정 동 원\*\*

## Experimental Study on the Parameters Affecting Deep Drawing Process

S. H. Lee and D. W. Jung

### ABSTRACT

Sheet metal forming process is a non-linearity problem which is affected by various process variables, such as geometric shape of punch and die, frictional characteristic, etc.. Therefore, the knowledge of the influence of the process variables is needed in the design of sheet metal working processes. In this paper, deep drawing tests for blank holding force, punch speed and lubrication between sheet material and tool were carried out to investigate the influence upon sheet formability. Experimental results were discussed about the defects on the deformation behaviors during the forming process.

**Key Words** : Cylindrical cup, Square cup, Deep drawing, Blank holding force, Punch speed, Lubrication

### 1. 서 론

박판금속을 소재로 하여 이어 붙임 없이 소성변형에 의하여 필요한 형상으로 성형하는 과정을 박판성형 혹은 프레스가공이라 부른다. 이 가공법은 단조, 압출, 압연 등과 같은 체적성형법과 함께 금속 소성가공법의 하나의 큰 줄기를 이루고 있다. 이러한 박판 금속성형법은 성형품의 강도에 비해 경량이며 낮은 제조 원가와 양호한 표면 가공 및 높은 정밀도 등 생산성이 높으며 부품으로서의 교환성이 뛰어나고 직

접 완제품으로 쓸 수 있는 등의 장점이 있어서 자동차의 차체, 비행기 기체부품, 가전제품의 케이스류, 주방용구, 맥주 캔 등에 널리 적용되고 있다[1].

박판 성형 가공은 재료의 물질적 특성, 다이의 기하학적 형상, 다이와 재료간의 마찰 특성 등 여러가지 공정 변수들에 의하여 복합적인 영향을 받는 비선형 문제이기 때문에 이러한 공정변수들을 파악하는 것은 효율적인 공정설계를 하는데 필수적이다. 따라서 실제 제품에 많이 적용되고 있는 복잡한 형상을 가진 제품의 드로잉 공정을 이해하는데 있어서 기본이 되는 딥 드로잉시 공정인자에 대해서 파악하는 것이 필요하며 딥 드로잉 공정에 대해서 많은 실험적 및 이론적 연구가 행하여져 왔다[2,3].

딥 드로잉이란 다이 공위에 블랭크를 올려놓고 편치를 내림으로써 성형하는 공정으로 이때 플랜지

\* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 첨단기술연구소

Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

(flange)에서 발생하는 주름(wrinkling)을 방지하기 위하여 블랭크 홀더를 쓴다. 딥 드로잉 제품은 그 형상에 따라 축대칭형 컵, 사각컵, 비축대칭품 등으로 나누어지는데 가장 간단한 공정형태가 축대칭형 컵 드로잉이다. 컵 드로잉은 원편을 링형상의 다이 위에 올려놓고 링형상의 블랭크 홀더로 원주를 누르고 있는 상태에서 펀치를 내림으로써 컵을 만드는 공정이다[1,4].

본 연구에서는 축대칭형 원형컵과 사각컵 드로잉 실험을 수행하여 시편의 한계드로잉비를 증가시키고 보다 나은 성형품을 얻기 위해서 변수가 되는 블랭크 홀딩력(blank holding force: 이하 BHF라 약함)과 펀치 속도에 따른 성형에 미치는 영향을 관찰하였으며 공구와 피가공재 사이의 마찰에 영향을 주는 윤활조건에 관한 실험을 통해 성형시 발생할 수 있는 여러 결함에 대하여 고찰하였다. 비선형 시스템의 경우 선형 시스템에 비하여 정확한 모델링 및 해석이 어려운 단점이 있다. 그래서, 고전 제어 등에서는 비선형 요소를 동작점 부근에서 테일러 급수 전개(Taylor's series)를 하여 그 1차항까지를 취한 선형화 방정식을 사용하여 제어계를 설계하는 것이 일반적이다[1]. 하지만, 이러한 선형화 시스템의 경우, 시스템의 동작이 선형화 동작점에서 벗어나면 실제 시스템과의 오차가 커지게 된다.

## II. 실험 방법

박판 성형시 공정에 영향을 미치는 인자 중 BHF와 윤활조건에 영향을 관찰하기 위해 50ton만능시험기를 이용하여 원형컵과 사각컵 드로잉실험을 수행하였다. 재료는 자동차 차체 성형용 압연강판과 알루미늄 압연판을 사용하였다. 판재의 두께는 각각 0.8mm이다.

컵 드로잉실험을 위한 시편은 프레스용 원형절단기를 이용하여 지름 120mm의 원형시편을 제작하였으며 원형컵 재료표면에 지름 5mm의 원형격자모양을 사각컵에는 5mm×5mm의 사각격자 모양의 전기화학 에칭하였다. Fig. 1, 2는 실험에 사용된 50ton급 프레스와 프레스의 펀치와 다이형상의 단면을 나타내고 있고 Fig 3은 실험에 사용된 원형과 사각 다이

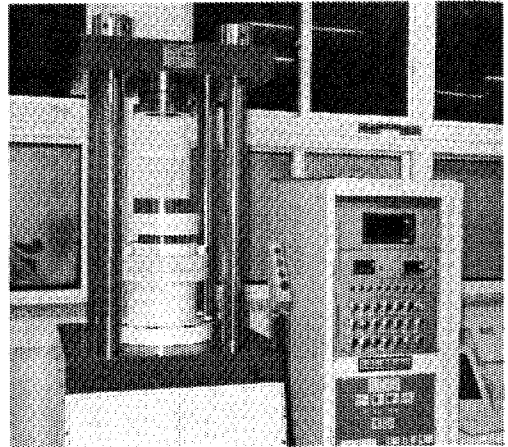


Fig. 1. 50ton Hydraulic press for experiment.

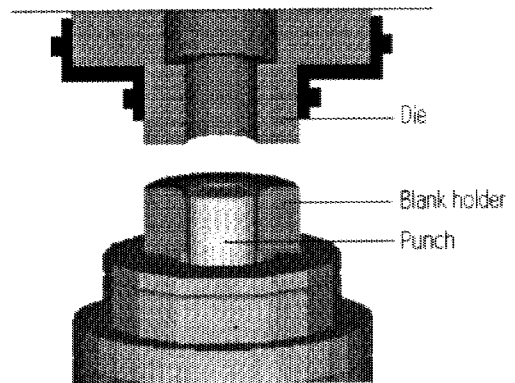


Fig. 2. Cross-sectional view of geometric description of the tooling for deep drawing.

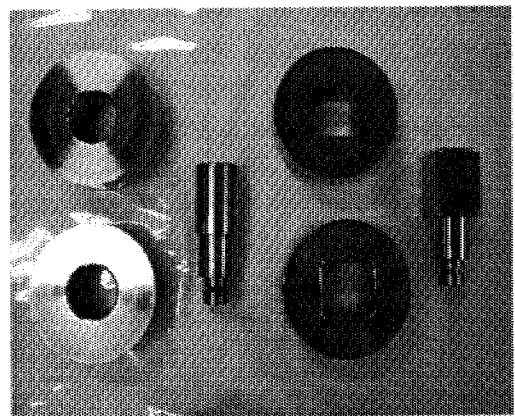


Fig. 3. Cylindrical tool and Square tool.

그리고 펀치 등을 나타내고 있다. 원형펀치의 직경은 59.88mm이며 원형 다이의 내부직경은 61.78mm이고 사각 펀치는 60mm×60mm이며 사각 다이는 62mm×62mm이고 곡률반경은 모두 5mm이다.

### 2.1 BHF에 의한 영향 실험

드로잉 시에 플랜지에서 발생하는 주름을 예방하기 위해서 판면에 수직한 방향으로 가하는 힘을 블랭크 홀딩력이라 한다. 이 블랭크 홀딩력의 변화에 의한 박판성형시 영향을 관찰하기 위해 블랭크 홀더와 연결된 유압을 조절하면서 블랭크 홀딩력을 각각 10, 11, 12, 13, 14, 15ton으로 맞추어 펀치진행거리 10mm간격마다 펀치하중과 변위관계 그리고 두께변화를 측정하여 서로 비교하였다. 블랭크 홀딩력의 설정기준은 펀치가 최대 행정거리를 진행했을 때 파단이 전혀 일어나지 않은 영역에서부터 짧은 거리에서 파단이 일어나는 영역까지를 실험에 기초하여 설정하였으며, 드로잉시 파다 블랭크 홀딩력에 의한 파단후 펀치가 계속 진행되는 것을 막기 위해 시험기는 재료가 파단시 자동정지하도록 하였다. 펀치하중과 변위관계는 시험기에 연결된 컴퓨터에 자동 저장되도록 되어있으며 두께변화의 측정은 재료 성형후 단면을 절단하여 마이크로 미터를 이용하여 예칭된 원형격자를 따라 5mm 간격으로 측정하였다. 재료는 윤활되지 않은 상태이며 펀치속도는 1.65mm/sec로 일정하게 유지하였다.

### 2.2 윤활에 의한 영향 실험

공구와 피가공물간의 마찰은 박판성형에서 고려해 주어야 할 중요한 인자로서 윤활에 대한 충분한 고찰이 필요하다. 일반적으로 컵 드로잉에서 마찰계수를 낮추어주면 드로잉성이 증가한다. 따라서 본 실험에서는 다이와 재료가 접촉하는 부위에 윤활을 하여 그 영향을 관찰하였다. 실험에서는 다이와 접촉이 이루어지는 재료상부에 베어링용 오일을 바르고 윤활을 하지 않은 재료와 같은 BHF와 펀치속도로 성형중 펀치하중과 변위가 변해가는 모습을 비교하였고 성형후 두께변화를 측정하여 그 차이를 비교하였다. 윤활에 의한 마찰력의 변화는 마찰계수의 측정이 난해하

여 고려하지 못하였으며 윤활상태와 무윤활상태의 영향에 관해서만 실험을 수행하여 고찰하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 3.1 블랭크 홀딩력(BHF)의 영향

Fig. 4는 원형 컵의 강판, Fig. 5는 사각컵에서의 알루미늄의 딥 드로잉 실험에서 BHF의 차이에 따른 두께변형을 분포를 보여주고 있다. 전체적으로 펀치 곡률 부위에서 많은 변형이 발생하여 두께가 얇아짐을 알 수 있으며 다이 곡률부위에서는 오히려 두께가 증가하고 있는데 이는 펀치가 진행함에 따라 재료가 유입되면서 다이 곡률부위 쪽으로 재료가 모이고 있기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 4와 5는 형상도 다르고 펀치 진행거리도 다르지만 전체적인 두께 변형 경향은 비슷함을 알 수 있고, Fig. 6은 윤활한 상태에서 BHF의 조건만 달리 해서 실험한 결과이며, 윤활조건 상에서도 BHF의 의한 영향은 윤활은 하지 않은 경우랑 비슷한 경향을 보이고 있다. Fig. 5와 6에서 오히려 윤활을 한 Fig. 6의 변형율이 높은 것은 사각형상에서 대각선 방향의 곡률부분에서 특히 많은 변형이 발생하기 때문이다.

따라서 BHF는 성형중 파단과 재료의 두께 변화에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 파단이

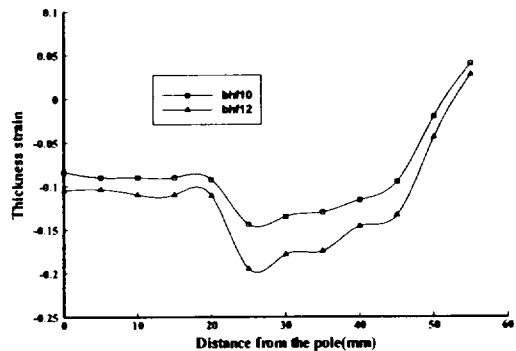


Fig. 4. Comparison of the thickness strain distribution between the BHF 10ton and BHF 12ton(cylinder cup, radial direction, stroke = 40mm, steel).

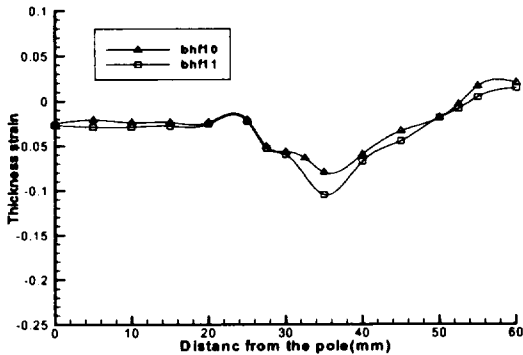


Fig. 5. Comparison of the thickness strain between BHF 10ton and BHF 11ton(square cup, horizontal direction stroke=30mm, aluminum).

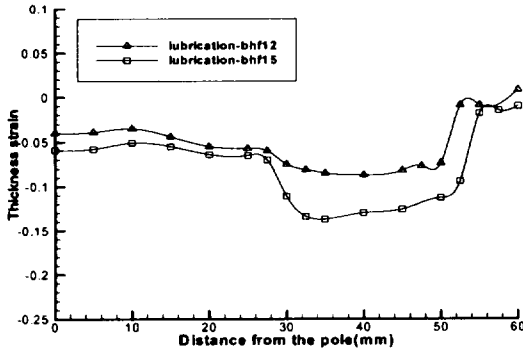


Fig. 6. Comparison of the thickness strain distribution between BHF 12ton and BHF 15ton(square cup, diagonal direction, stroke=30mm, steel).

발생하지 않는 BHF영역에서도 높은 BHF의 설정은 보다 많은 두께 감소를 초래하여 제품 사용중 파단이 쉽게 발생할 수 있는 가능성이 있기 때문에 주름발생을 억제할 수 있는 최소 BHF의 설정이 필요함을 확인할 수 있다.

### 3.2 윤활의 영향

Fig. 7과 8은 철과 알루미늄의 윤활된 재료와 무윤활 재료의 두께 변형율을 비교한 것으로 BHF는 12ton과 11ton인 경우이다. Fig. 7에서 무윤활 시편인 경우 굽힘 변형이 많이 발생하는 펀치 곡률부위에서 국부적인 변형이 집중되는 반면 윤활을 한 시편은 전

체적으로 고른 두께 분포를 보여주고 있다. 또한 윤활을 한 재료는 전체적으로 무윤활 시편보다 낮은 두께변형을 보여주고 있어 윤활에 의한 마찰을 고려하는 것은 박판성형에 있어서 아주 중요하게 작용됨을 알 수 있다. 따라서 윤활에 의한 정확한 마찰력을 산정하는 것은 보다 나은 성형을 위한 변수를 확보하는 것이 될 것이다.

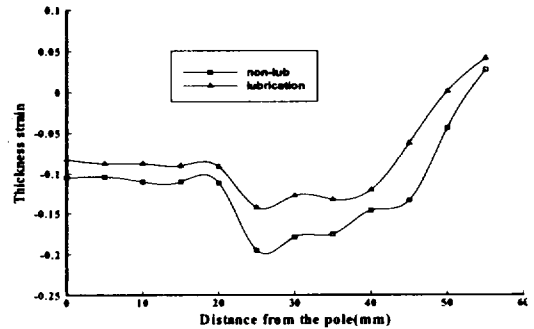


Fig. 7. Comparison of the thickness strain between lubrication and non-lubrication(cylinder cup, BHF 12ton, stroke=40mm, steel).

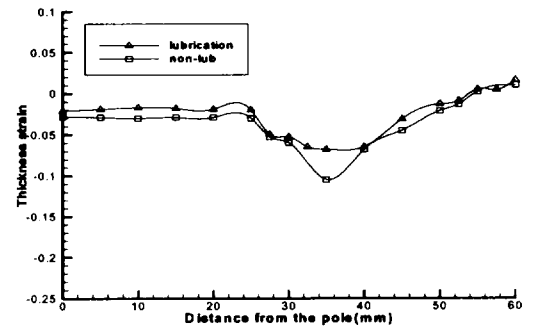


Fig. 8. Comparison of the thickness strain between lubrication and non-lubrication(square cup, BHF 11ton, horizontal direction, stroke=30mm, aluminum).

Fig. 8과 9에서 사각컵인 경우 BHF가 14ton일 때 대각선을 따라 두께 변형률을 윤활인 경우와 무윤활인 경우로 나누어 각각 측정하였다. 무윤활인 경우가 전체적으로 두께 변형율이 크게 나왔고 특히 곡률이 큰 부분에서 심하게 얇아져 파단의 가능성을 보이고 있

## 후 기

이 논문은 2001년도 제주대학교발전기금 청봉학술 연구기금(효천연구비 : 효천학술연구기금)의 지원에 의해서 연구되었음.

## 기호 설명

DR : 드로잉 비  
BHF : 블랭크 홀딩력 [ton]

## 참고 문헌

- 1) Shingji Fukui and Kiyota Yoshida, 1962, "Measurement of the Mean Friction Coefficient in Sheet Drawing", Int. J. Mech. Tool. Des. Res., Perhamon Press, Vol.2, pp.19-62
- 2) 양동열, 정완진, 송인섭, 전기찬, 유동진, 이정우, 1991, "강소성 유한 요소법을 이용한 자동차 판넬 성형 공정의 평면 변형 해석", 대한기계학회 논문집 제15권 1호, pp.169-178
- 3) Yang D. Y. and Kim Y. J., 1987, "Analysis of Hydrostatic Bulging of Anisotropic Redtangular Diaphragms by the Rigid-Plastic Finite Element Method", J. Engng. Ind., Trans ASME, Vol.109, pp.148-154
- 4) Yang, D. Y. and Kim, Y. J., 1986, "A Rigid-Plastic Finite Element Formulation for the Analysis of General Deformation of Planar Anisotropic Sheet Metals and Its Applications", Int. J. Mech. Sci., Vol.28, pp.825-840

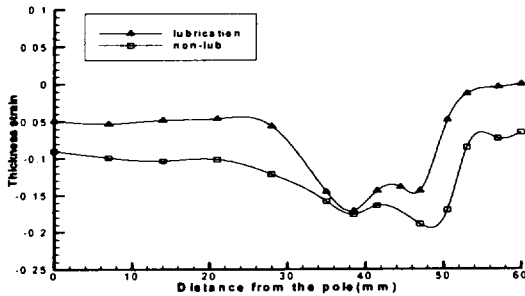


Fig. 9. Comparison of the thickness strain between lubrication and non-lubrication(square cup. BHF 14ton. diagonal direction. stroke =30mm. steel).

다. 윤활을 적절히 잘하게 되면 전체적으로 고른 두께 분포를 보여 품질을 대폭 향상시킬 수 있음을 알 수 있고 향후 연구 과제로 위치에 따라 다른 윤활 조건을 가하여 최적의 품질과 공정상태를 얻을 수 있음을 짐작할 수 있다.

## IV. 결론

박판금속 성형시 공정에 영향을 미치는 여러 인자 중 블랭크 홀딩력과 윤활의 영향에 대하여 원형컵과 사각컵 드로잉 실험을 통하여 각각의 경우에 대한 편치하중과 변위 관계 그리고 성형수 두께변형을 특정하였다. 이상의 실험과 고찰로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 블랭크 홀딩력의 증가는 한계 드로잉 비를 낮추기 때문에 주름이 발생하지 않을 정도의 최소한의 블랭크 홀딩력을 유지하는게 중요하다.
- 성형재료의 윤활은 마찰을 감소시켜 한계 드로잉비를 월등히 증가시키고 전체적인 두께 변형도 고르게 분포시켜 성형시 중요한 역할을 하므로 보다 정확한 마찰계수의 측정이 필요하다.