

## 대향 액압 디프드로잉법 시 박판 성형성에 관한 연구

황종관\*·강대민\*\*·정수중\*\*\*

(2002년 4월 26일 접수)

### A Study on the Formability of Sheet Metal Under Counter Pressure Deep Drawing

J. K. Hwang · D. M. Kang and S. J. Chung

#### Abstract

The square cup deep drawing simulations for hydraulic counter pressure deep drawing are carried out by the finite element method and the formability factors which affect to the formability in case of that process are investigated. As a result, it is found that the thickness distributions keep the higher quality than that of the conventional deep drawing, and the maximum pressure increased the thickness at the die profile regions of blank. But friction coefficient decreased the thickness at the same regions.

**Key Words** : Finite Element Method, Formability, Formability factors, Counter Pressure Deep Drawing

#### 1. 서론

90년대 이후 유압을 이용하여 금형과 소재의 접촉문제를 해결하려는 많은 연구가 되어왔다. 정밀한 기계부품이나 복잡한 형상을 성형하기 위하여 이러한 유체를 이용한 방법은 플랜지부의 저항을 줄이는 목적으로 하였다. 그리고 현재 새롭게 향상된 방법을 시도하여 성형한계를 극복하려는 시도를 하고 있다.

이러한 유체를 이용한 성형은 조명기구 기술자에 의해서 조명기구의 반사면을 성형하기 위해 도입되었는데 최근에는 금형을 간이화합으로써 비용절감을 가능하게 하는 성형법으로서 하형에 액압을 이용하는 대향액압 디프드로잉법이 주목받고 있다.

광학적 특성은 기계효율의 향상뿐만 아니라 용도에 맞는 광을 효과적으로 활용하 수 있어 종래의 성형기계로는 가공이 곤란하여 반사경을 성형하는데 적합한 특징을

\* 부경대학교 기계공학부 대학원  
\*\* 부경대학교 기계공학부 교수  
\*\*\* (주)승우금속 중앙연구소

지닌 대향 액압 프레스를 도입하게 되었다.

본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 대향 액압 디프드로잉법에서의 재료거동과 성형성을 평가하였다.

유한요소 해석에 사용된 코드는 동적 외연적 시간적분법을 사용하는 유한요소 프로그램으로 3차원 성형 해석 프로그램인 PAM-STAMP™을 사용하였다.

## 2. 대향 액압 디프드로잉 성형

Fig. 1은 대향 액압 디프드로잉에서 액압의 역할에 대한 그림이다. 이 그림에서 대향 액압 디프드로잉법은 유체로 가득 찬 하형의 공동에 펀치를 밀어 넣어 블랭크를 성형하는 방법이다. 그래서 이것은 유압과 블랭크 사이에 마찰력인  $\mu P$ 가 유압방향의 수직으로 발생하여 성형력의 일부를 부담하게 되고 펀치 형상부의 영향력을 유지하는 효과가 발생하게 되고 가압 펀프를 이용한다면 다이 형상부의 두께를 증가시키는 초기 팽창효과를 얻을 수 있다. 펀치가 움직이는 반대방향으로 박판을 확장시킨 후에 자오선 방향으로 압축하게 되어 다이 윤곽부 부근의 판 두께가 증가하는 초기 팽창효과가 얻을 수 있는데 이것은 파단을 억제하는 효과가 있으며 종래의 성형법에 비해 1공정에서의 한계 드로잉비를 대폭 향상시킬 수 있다.

또한 측면부를 적당한 각도를 주어 몸체주름이 문제가 되는 형상의 디프드로잉에 있어서 대향 액압 디프드로잉법을 이용하면 몸체 주름을 억제할 깊은 용기를 얻을 수 있으며, 이것은 펀치두부와 블랭크 홀더판의 사이에 있는 박판이 펀치의 진행방향과 반대방향으로 팽창되어 그 부분에 원주방향의 장력이 발생되고, 또한 성형되는 측면부는 마찰유지효과로 인해 파단이 억제되므로 종래의 성형법에 비해 반경방향의 장력을 증가시킬 수 있기 때문이다.

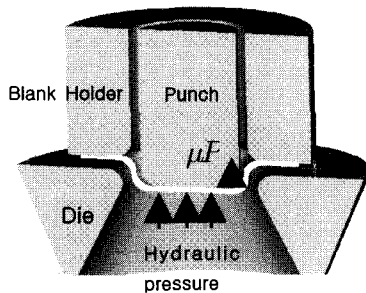


Fig. 1 Counter Pressure Deep Drawing

## 3. 유한요소 해석

### 3.1 동적 외연적 시간 적분법

외연적 시간 적분법은 강성행렬의 구성 및 평형조건의 만족을 위한 계산정보 만으로 항상 다음단계의 해를 구할 수 있어 해의 수렴성이 문제가 되지 않는다는 장점이 있다. 이러한 코드에는 정확한 해에 영향을 주고 안정성에 영향을 주는 변수인 시간증분조건을 잘 선택하면 내연적 시간 적분법보다 계산시간에서 많은 장점이 있다. 이것은 CFL 판별식으로부터 안정성이 있는 각 요소의 임계시간 증분을 계산해 낼 수 있다. 각 요소에 대한 임계시간 증분은

$$\Delta t_{cr} = \frac{L}{C} \quad (1)$$

이며 식(1)에서  $L$ 은 요소의 길이와 대각선의 길이로부터 얻어지는 요소의 특성길이이고,  $C$ 는 재료의 음속이다. 여기서 재료의 전파속도는

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \quad (2)$$

이며 식(2)에서  $E$ 는 재료의 탄성계수이다. 그리고  $\rho$ 는 재료의 밀도이고  $\nu$ 는 재료의 포아송 비이다.

### 3.2 모델링 및 해석 조건

유한요소해석을 위한 모델링은 상용 CAD프로그램인 I-DEAS Master modeler에서 수행하였고 이산화작업은 Simulation module에서 수행하였다. Table 1은 시간제어의 입력내용이다.

Table 1 Time control card

termination time	2.6ms
Number of time history plot	200
Number of mesh plot states	20

재료 물성치 입력은 자동차 산업에서 사용하는 냉연강판으로 인장시험을 통하여, 탄성계수( $E$ ), 강도계수( $K$ ), 가공경화지수( $n$ ) 및 이방성 계수( $R$ )의 값을 계산하였다. 재료의 소성거동은 Krupkowsky 모델을 사용하였고, Tool 부분은 널(null-material)로 정의하였다. Table 2는 유한요소 해석에 사용된 재료 물성치이다.

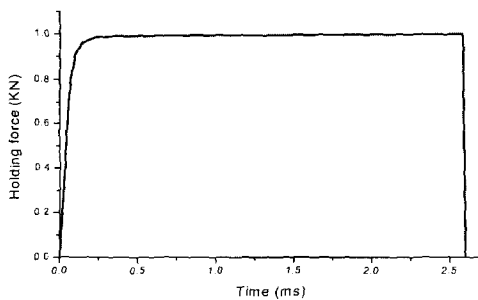
**Table 2 Mechanical properties for analysis**

Element	Blank	Tool
Material type	Elastic-plastic anisotropy	Null
Density (kg/mm <sup>3</sup> )	7.87e-06	7.87e-06
Young's mod.(GPa)	218	218
Poisson's ratio	0.3	0.3
Strength coeff.(GPa)	0.5419	-
Strain offset( $\epsilon_0$ )	0.0105	-
Hardening exp.(n)	0.2660	-
Lankford coeff.(R)	1.6885	-
Thickness(mm)	1.2	10

금형과 펀치의 기계적인 움직임을 제어하기 위하여 블랭크 홀더의 하강과 펀치의 하강이 자유로운 복동 프레스 공정(double effect process)을 선택하였다. 블랭크 홀더의 무게중심에 6KN의 힘을 부과하기 위하여 곱수는 6으로 하여 Fig. 2와 곱하여져서 시간에 따라 홀더력이 부과된다. Table 3은 블랭크 홀더의 하중과 구속조건이다.

**Table 3 Concentrated nodal nodes card**

Tool	C.G number	direction	Load (KN)
Blank Holder	1496582	Z cord.	6

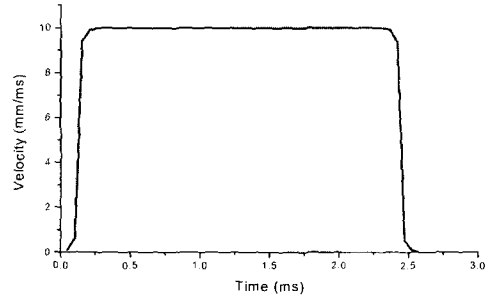


**Fig. 2 The relationship between holding force and times**

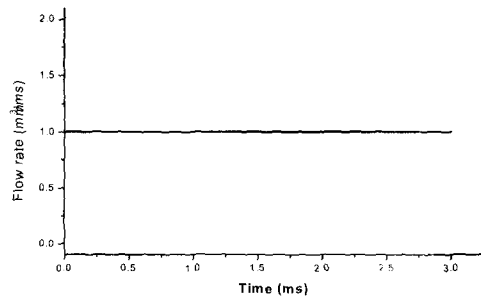
유한요소 해석을 위해서 다이, 블랭크 홀더, 바인더, 펀치와 블랭크 사이에는 접촉을 정의하기 위해서 적절한 접촉조건을 주었다. 급속한 속도로 펀치가 블랭크와 접

촉함을 피하기 위하여 서서히 속도를 증가시켰다.

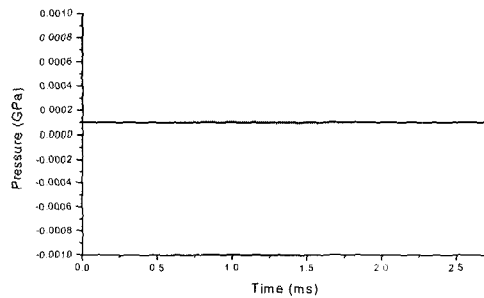
Fig. 3은 펀치의 움직임에 대한 시간에 따른 속도변화를 나타낸 것이다.



**Fig. 3 The relationship between punch velocity and times**



**Fig. 4 The relationship between flow rate and times**



**Fig. 5 The relationship between pressure and times**

때 시간 계산단계에서 계산의 정확성을 위하여 적응격자분할(adaptive mesh)을 하였다. 본 해석에서는 셸 요소를 이용하였으므로 셸 요소에 적합한 인접요소와의 변형 시 발생하는 각도를 기준으로 하였고 기준 각도는 7°이다. 격자분할은 계산 완료시점까지 1회 실시하였으며,

요소는 4개가 작은 요소로 나뉘었다.

하형이 없이 유체의 압력을 이용하므로 다이 홈 표면의 유한요소화가 필요하므로 적합한 접촉과 접촉력을 입력하였다. 슬라브(slave)로 정의된 블랭크와 마스터(master)로 정의된 다이의 홈과 바인더의 표면은 유체로 가득 찬 체적으로 정의되었고, 법선은 마주보게 하였다. 대향 액압은 블랭크가 다이의 홈에 접촉하지 않는 지역에 만 영향을 미쳐야 하며 그 압력은

$$\Delta P = BULK \times \left( \frac{\Delta V}{V} + \frac{Q \Delta t}{V} \right) \quad (3)$$

로 근사할 수 있으며 사용한 유체는 물로 가정하였다. 또한 해석도중 다이의 홈 속의 액압은 Fig. 4에 다양한 곱수를 곱하여서 대향 액압을 조절하였고 내부 압력을 계속 유지하게 되며 다시 Fig. 5를 인지하여 최대압력이 Fig. 5에 나타난 바와 같이 0.01GPa 이상 상승하지 않도록 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 일반 디프드로잉법과 대향 액압 디프드로잉법과 비교

다이 홈 속의 최대 압력이 0.01GPa로 고정된 대향 액압 디프드로잉을 해석한 결과와 일반 디프드로잉을 해석한 결과를 비교하였다. Fig. 6은 일반 디프드로잉법과 대향 액압 디프드로잉법으로 해석한 결과로 코너방향의 두께 분포를 나타낸 것이다. 대향 액압 디프드로잉법에 의한 해석결과에서의 두께 분포가 일반 디프드로잉법에 의한 결과보다 전체적으로 두께 분포의 증감이 적은 것을 알 수 있고 대향 액압 디프드로잉법을 사용할 때에는 다이 프로파일에서의 두께 상승이 대략 1.42mm까지 상승한 것을 알 수가 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 일반 디프드로잉과 대향 액압 디프드로잉을 FEM으로 해석한 결과에서 두께 분포를 보여주고 있다. 여기서 대향 액압 디프드로잉이 일반 디프드로잉 보다 두께증감 폭이 적다는 것을 알 수 있다. 또한 다이와 플랜지사이의 영역 A에서 더욱 두께분포가 두꺼워져 있음을 알 수가 있다. 그리고 일반 디프드로잉을 해석한 후 최소 두께가 0.9738mm로 나타났으나 대향 액압 디프드로잉에서는 최소 두께가 1.04mm이상 나왔다. 이상의 결과에서 대향 액압 디프드로잉을 사용하면 일반 디프드로잉 보다 향상된 성형한계를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

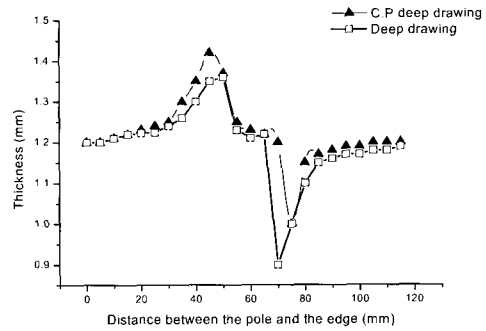


Fig. 6 Variation of thickness with distance at corner section

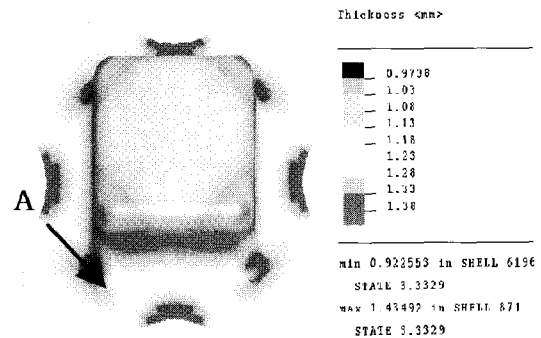


Fig. 7 Thickness distribution for Deep drawing

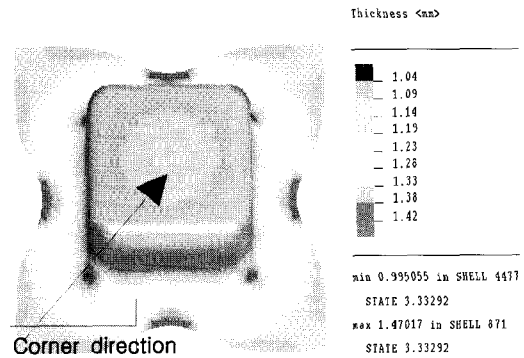


Fig. 8 Thickness distribution for Counter Pressure Deep drawing

##### 4.2 최대 압력의 차이에 의한 비교

다양한 대향 액압의 차이에 의한 두께분포효과를 알기 위하여 다이 홈 속의 대향 액압을 4MPa에서 12MPa 사이에서 해석을 수행하였다. 다이 속의 내부 체적은 스

템핑 방향으로 펀치가 움직일 때마다 감소하므로 압력 또한 증가한다. 내부 압력은 점차 증가하고 이때 최대 압력에 한계를 주어 설정된 압력이상은 상승하지 않는다. Fig. 9는 여러 가지 대향 액압의 크기에 따른 두께분포를 보이고 있다. 코너부 및 끝변부(edge)에서 블랭크의 최종심점(pole)사이의 두께 분포를 나타내었다. 여기서 보면 액압이 증가함에 따라 펀치 프로파일 부의 두께는 감소함을 알 수가 있다. 그래서 사용된 블랭크의 물성치에 적합한 액압이 존재한다고 사료되고 성형 작업에서 다이프로파일부에서 파단이 일어 날 때 액압을 감소시킴으로써 파단을 지연시킬 수 있을 것이다.

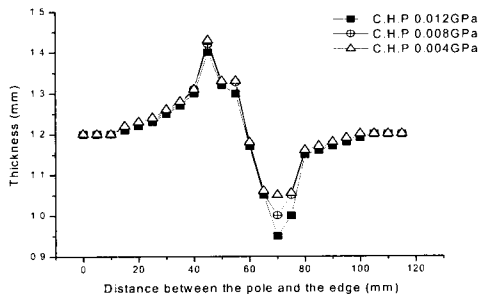


Fig. 9 Variation of thickness with distance for various for counter pressure

#### 4.3 마찰 계수의 다양함에 따른 두께분포의 변화

최대 압력을 10MPa로서 고정하고, 블랭크와 홀더사이, 블랭크와 펀치사이를 0.05에서 0.3까지 범위의 마찰계수로 두께분포를 알아보기 위하여 해석을 수행하였다.

Fig. 10과 11은 금형에 주어진 마찰계수의 변화에 따른 두께분포 결과를 보여주고 있다. 블랭크와 블랭크 홀더의 사이의 다양한 마찰계수 변화에 대한 해석에서 마찰계수가 높을수록 전체 영역에서 두께가 마찰계수가 낮을 때의 결과보다 얇아짐을 알 수 있으나 전체적인 두께 변화 분포의 경향은 비슷함을 알 수가 있고 다이 프로파일부의 두께 변화에도 기인함을 알 수가 있다.

그리고 블랭크와 펀치사이의 마찰계수변화에서는 마찰계수가 클수록 펀치 프로파일부에서 두께가 더욱 얇아짐을 알 수 있다. 또한 블랭크와 펀치사이의 마찰계수는 다이프로파일부의 두께에는 그다지 변화를 주지 않으나 펀치 프로파일부의 두께에는 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

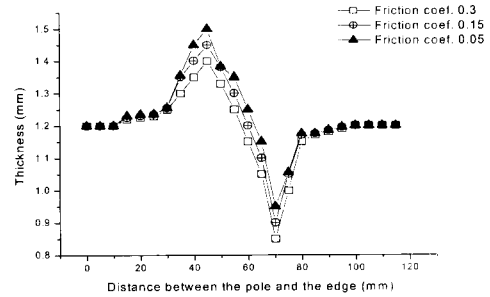


Fig. 10 Variation of thickness with distance for various coefficients between blank and holder counter pressure

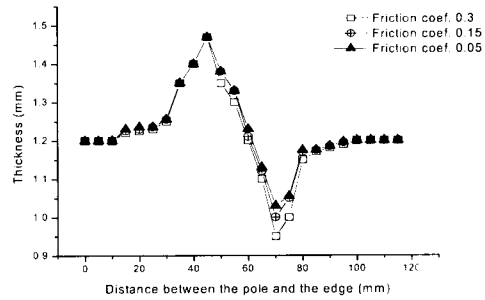


Fig. 11 Variation of thickness with distance for various coefficients between blank and punch

#### 5. 결론

일반 디프드로잉과 대향 액압 디프드로잉으로 성형해석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 일반 디프드로잉과 대향 액압 디프드로잉에 의한 유한요소해석결과를 비교한 결과 대향 액압 디프드로잉법에서의 두께분포가 더욱 향상된 것으로 나타나 대향 액압 디프드로잉이 일반 디프드로잉 보다 성형성이 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

(2) 파단지연효과는 액압의 크기에 영향을 받는데 그에 따른 효과는 펀치프로파일부와 다이프로파일부에서 서로 다른 현상이 나타났다.

(3) 금형과 블랭크의 마찰계수에 따라 다양한 두께분포현상을 관찰할 수 있었으며 이에 적합한 윤활환경이 중요한 성형인자로서 작용한다.

참 고 문 헌

- (1) H. M. Shang, F. S. Chau, C. J. Tay, and S. L. Toh, 1985, "Hydroforming Sheet Metal into Axisymmetric Shells with Draw-in of Flange Permitted", Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME, Vol. 107, pp. 372~378.
- (2) H. Amino and T. Nakagawa, 1988, "Application of Hydraulic Counter pressure Fluid Forming into Car Body Sheet Metal Forming", SAE 880365, pp. 35~48.
- (3) N. Bay, S. S. Jensen, M. P. Malberg, and S. Grauslund, 1994, "Forming Limits in Hydromechanical Deep Drawing", Annals of the CIRP, Vol.43, pp. 253~256.
- (4) G. Ziaja, 1996, "A Shapeability Testing of the Counter-Pressing Deep Drawing", 19th IDDRG Biennial Congress, pp. 425~432.
- (5) Kazuhiko Nakamura Received on July 30, 1999 "Lubricating Oil-less Deep Drawing Assisted by Water Pressure" 塑性加工 (日本塑性加工學會會誌) 第 41 卷 第 471 号 (2000-4).
- (6) Hibbit H.D., Marcal P.V., and Rice J.R., 1970, Finite element formulation for problems of large strain and large displacements, Int. J. Solids Struct. Vol 6, pp. 1069~1089.
- (7) Kawka M. and Makinouchi A., 1993, Shell element formulation on the static explicit FEM code for simulation of sheet stamping. NUMISHEET, 93.
- (8) "Pam-stamp solver notes manual", "Pam-stamp solver reference manual" PAM System, 1998.
- (9) J.M. Kim and Y.B.Song, 2000, " A study on the Estimation of Blank Holder Force in Square Cup Drawing ", Transactions of Materials Processing Vol. 9, No. 4, pp. 356~361.