

〈논 문〉

최적 프레스가공을 위한 블랭크형상 설계

김 영 석* · 박 기 철**

(1996년 11월 19일 접수)

Optimum Design of Blank Shape for Press Forming

Y. S. Kim and K. C. Park

Key Words : Boundary Element Method(경계요소법), Press Forming(프레스성형), Blank Shape(블랭크형상), Potential Problem(포텐셜문제)

Abstract

In the stamping industry the blank shape to be stamped into a designed shape has been conventionally determined from the try out process by the press engineers. The work needs a lot of time and thus leads a loss of productivity. In this study boundary element method for 2-dimensional potential problem was used to design optimum blank shapes for irregular press forming. Here we assumed that the blank is controlled by blank holder only and material flow at blank holder was under potential flow. The developed PC code for designing the optimum blank shape shows that the blank shapes for optimal drawing can be calculated within a few minute in pentium PC and the calculated shapes agree well with the experiments. However the application of this method is constrained only to the pressed product with flat bottom.

1. 서 론

자동차 차체의 프레스 가공품은 원가 중에서 재료 비용이 대부분을 차지한다. 따라서 가공후에 잘라내야 하는 부분(scrap)을 줄이는 일은 생산성 향상에 매우 중요하다. 이러한 스크랩을 줄이는 효과적인 방법은 블랭크형상을 적절히 선정하여 근사정형(near net shape) 가공하는 것으로, 블랭크형상이 최적화되면 원가의 절약뿐 아니라 가공시에 재료의 흐름이 원활하게 되어 가공에 소요되는 에너지의 최소화 및 가공불량 발생을 줄일수 있는 부수적인 효과가 있다.

종래에는 프레스가공할 최적 블랭크형상을 결정하기 위하여 숙련된 프레스 기술자의 경험에 기초

한 반복실험에 의존하고 있는 실정이어서 새로운 형상의 프레스제품을 설계, 가공하고자 할 때는 try-out 기간이 상당히 요구되고 있다. 따라서 보다 합리적이고 과학적인 방법에 의한 블랭크형상결정방법에 대한 요구가 점점증하고 있으며, 이에 부응하여 여러 기하학적인 방법과 수치해석적인 방법들이 시도되고 있다. 그 대표적인 방법으로는 Sowerby 등이 제안한 성형전후의 그리드면적의 일치조건을 이용하는 기하학적인 맵핑방법⁽¹⁾과 Jimma 등이 플랜지면에서 재료의 드로잉변형을 평면변형으로 간주하여 슬립선장해석을 적용한 방법⁽²⁻⁴⁾ 그리고 Kobayashi 등이 재료변수 및 공정변수 등을 고려한 강소성 유한요소해석의 역해석을 통해 블랭크를 전개하는 방법⁽⁵⁻⁷⁾이 있다. 최근에는 Chung 등은 일련의 연구를 통해 3차원 패널형상에 대한 CAD 데이터를 이용하여 프레스 성형공정이 한 스텝에서 비례변형에 의해 일어난다는(이

*회원, 경북대학교 기계공학과

**회원, 포항제철(주) 기술연구소

상 소성변형) 가정하에 유한요소 역해석에 의해 초기 블랭크형상을 구하는 방법^(8,9)을 제안한 바 있다. 그러나 자동차 내·외 패널의 대부분은 3차원 비대칭형상이고, 또한 블랭크의 드로잉변형이 공구형상, 플랜지면의 마찰력과 관재의 소성이방성 등에 의해서 복합적으로 영향을 받고 있기 때문에 기존의 방법에 의해서 최적 블랭크형상을 정확하게 구하는 것은 그리 쉽지 않은 실정이다.

본 연구에서는 Zhaotao 등이 제안한 것과 같이 3차원 변형을 2차원 변형으로 이상화하여 플랜지면에서의 재료유동을 평면변형하의 포텐셜유동으로 간주하고, 경계요소법에 의한 라플라스방정식의 해에 기초하여 최적 블랭크형상을 구하는 방법^(10~12)에 대하여 검토하였다.

2. 이론해석

임의 단면 컵의 성형공정에서 플랜지부의 변형거동을 두께변화가 없는 평면변형상태로 가정하고, 재료를 비압축성인 강소성체로 간주하면 무마찰상태 하에서 플랜지부에서 재료의 유동에 대한 평형방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (1)$$

여기서, Levy-Mises의 유동법칙, $d\epsilon_{ij} = \sigma_{ij}' d\lambda$, $d\lambda = 3d\bar{\epsilon}^p / d\sigma$ 에 따라 두께방향의 변형이 영인 평면변형에서의 각 방향의 응력성분은 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3d\bar{\epsilon}^p} d\epsilon_{ij} \quad (2)$$

여기서, $\bar{\sigma}$, $d\bar{\epsilon}^p$ 는 각각 상당응력, 상당변형률 증분을 나타내고, σ 는 정수압응력을 나타낸다. 한편 변형률 증분성분은 변형속도의 항으로

$$d\epsilon_{ij} = \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

으로 정의되므로 식 (2), (3)을 식 (1)에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x_i} + \frac{1}{3} \frac{\bar{\sigma}}{d\bar{\epsilon}^p} \nabla^2 v_i = 0 \quad (4)$$

재료의 변형은 비압축성이므로

$$v_{i,i} = 0 \quad (5)$$

을 만족한다. 식 (5)를 미분하고, 식 (4)에 대입하

면 정수압응력 σ 에 대해 다음의 Laplace 방정식의 관계가 얻어진다.

$$\Delta^2 \sigma = 0 \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

등방 강소성체의 평면변형에 대한 정수압응력의 분포를 나타내는 식 (6)은 균일 전도체에 대한 전기포텐셜 ϕ 의 분포를 나타내는 식 및 비점성유체의 비회전유동에서의 속도포텐셜 u 의 분포를 나타내는 식과 같은 형태를 갖고 있으므로 이들은 서로 유사(analogy)특성을 갖는다. 이와 같은 유사관계를 이용하면 일반 형상의 프레스제품을 드로잉할 때 플랜지부에서의 재료유동을 포텐셜유동으로 간주할 수 있다. 여기서 플랜지부에서 평면변형을 가정하는 경우에 일정한 높이의 컵을 성형하기 위한 최적 블랭크형상은 결국 컵의 표면적과 같은 표면적을 둘러싸고 있는 등 포텐셜선으로 정의된다. 따라서 플랜지부에서 재료의 유동을 포텐셜유동(등포텐셜선과 재료의 유선이 직교장을 형성)으로 간주하여 라플라스방정식을 푸는 방법으로 경계요소법⁽¹⁾의 해석기법을 이용하여 포텐셜선을 최적 블랭크형상으로 결정할 수 있다.^(10~12) 이 방법은 복수개의 경계면을 갖는 포텐셜문제에 대한 BEM의 해석기법을 응용하고 있으며, 앞에서 설명한 기존의 유한요소법이나 슬립선장이론을 이용한 방법 보다 계산이 간단한 장점이 있다.

3. BEM을 이용한 최적 블랭크형상 결정방법

포텐셜문제에 대한 BEM 해석기법을 응용하여 본 연구의 내용인 일정한 깊이의 드로잉부품을 가공하기 위한 최적 블랭크형상을 결정하기 위한 방법에 대해서 이하에 설명한다.

본 연구에서는 임의 형상의 제품이 최적 드로잉될 때 플랜지부에서 재료의 거동은 포텐셜유동과 두께변화가 없는 평면변형을 만족한다고 가정하였다. 이는 최적 드로잉가공에 대한 정의를 “재료가 소성변형될 때 형상변화에 소요되는 순수 소성변형 에너지 이외에 전단에너지와 같은 여분의 에너지 소실이 없는 이상 소성변형(ideal plastic forming)이 일어나고, 또한 드로잉시 제품의 두께감소가 없어 제품의 기계적 성능의 저하가 없는 가공”으로

정의하기 때문이다.

플랜지부에서 재료의 소성유동과 비압축성유체의 포텐셜유동의 상사성을 고려하면 평면변형 하에서 강소성재료의 소성저동을 나타내는 라플라스 방정식의 정수압응력 σ 함수를 포텐셜함수 u 로 간주할 수 있다. 따라서 최적 블랭크형상을 구하는 문제는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 복수개의 경계면, 본 연구의 경우는 2개만의 경계면을 갖는 경우에 펀치형상의 경계(Γ_2)에서 펀치하강에 의해 일정한 속도로 재료가 유입되고 있을 때, 플랜지부에서 블랭크의 외부경계(Γ_1)를 구하는 문제가 된다. 즉, 경계조건이 다음과 같이 주어지는 혼합경계조건에 대해

(a) 포텐셜 $\sigma = \bar{\sigma} : \Gamma_1$ (블랭크 외부경계) (7a)

(b) 유속 $q (= \partial\sigma/\partial n) = \bar{q} : \Gamma_2$ (펀치형상의 경계 또는 다이의 내부경계) (7b)

식 (6)의 Laplace 방정식의 해를 BEM에 의해 구하는 문제가 된다.

최적 블랭크형상은 반복계산을 통해 블랭크의 외부경계 Γ_1 에서 얻어지는 유속 q 에 시간증분 Δt 을 곱하여 등 포텐셜선(equipotential line)인 Γ_1 에 수직한 방향으로 블랭크의 외부경계 Γ_2 를 점차 확장하여 가는 방법으로 구해진다. 반복계산에 있어서는 펀치형상의 경계 Γ_1 는 고정하고, 블랭크의 외부경계 Γ_2 만을 갱신하여 간다. 한편 일정한 깊이의 드로잉부품을 가공하기 위한 최적 블랭크형상을 계산하는 문제에서는 데이터로 펀치형상의 경계, 즉 다이의 내부경계 Γ_2 만이 입력된다. 그러나 앞에서 논한바와 같이 2개의 경계면을 갖는 포텐셜문제에 대해서는 외부경계 Γ_1 에 대한 데이터가 요구되고 있으므로 BEM 계산의 수행을 위해서는 가상의 초기 외부경계 Γ_1 를 가정하여야 한다. 이 가상의 초

기 외부경계는 펀치형상의 경계 Γ_1 로부터 일정한 거리만큼 외부로 확장된 경계로 가정한다. 이것은 블랭크형상이 최적으로 설계되었을 때 드로잉가공시 플랜지부에서 재료가 균일하게 드로잉되어 항상 잔류플랜지가 일정하게 되고, 결국 최종 컵높이가 균일하게 되기 때문이다. 따라서 펀치형상의 경계 Γ_2 로부터 일정한 거리만큼 떨어져 있는 초기 외부경계 Γ_1 은 결국 최적 블랭크형상으로 가공한 후 드로잉가공시 잔류플랜지의 외부경계임을 알 수 있다.

한편 일정한 높이의 제품을 가공하기 위한 최종 블랭크형상은 드로잉되는 블랭크의 표면적이 드로잉 컵의 표면적과 같게 될때의 블랭크의 외부경계 Γ_1 의 형상으로 정의한다.

4. 해석 및 고찰

본 연구에서는 BEM기법을 응용하여 임의 단면형상 제품의 최적 프레스가공-주로 드로잉가공을 대상으로 함-을 위한 최적 블랭크 금형설계용 프로그램을 개발하였고, 또한 pre-processor 및 post-processor를 개발하여 프레스 현장의 금형설계 기술자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. BLANK V3.0으로 명명된 개발된 기술은 적용목적에 따라 다음의 네가지 모드로 구분된다.

- (1) Mode 1 : 이 경우는 드로잉성형하려는 펀치의 단면형상이 주어진 경우에 최적 블랭크를 설계하고자 하는 경우에 해당함.
- (2) Mode 2 : 이 경우는 펀치의 단면형상과 초기의 블랭크형상이 주어진 경우에 펀치의 진행에 따

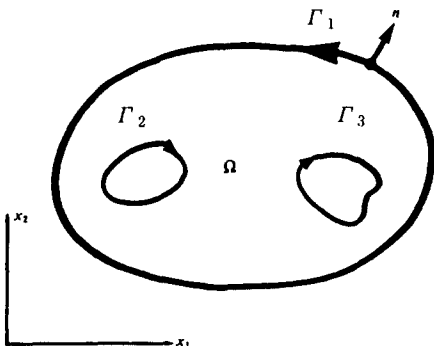


Fig. 1 Potential problem with multi-boundaries

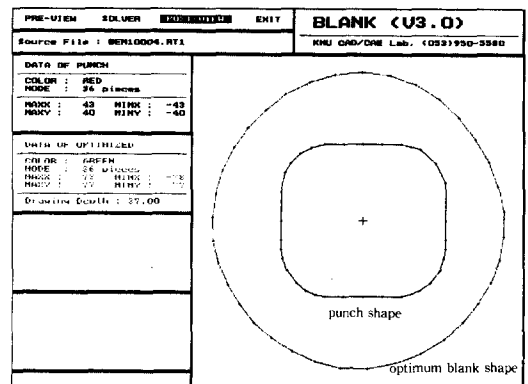


Fig. 2 Punch and calculated optimum blank shape for rectangular cup pressing

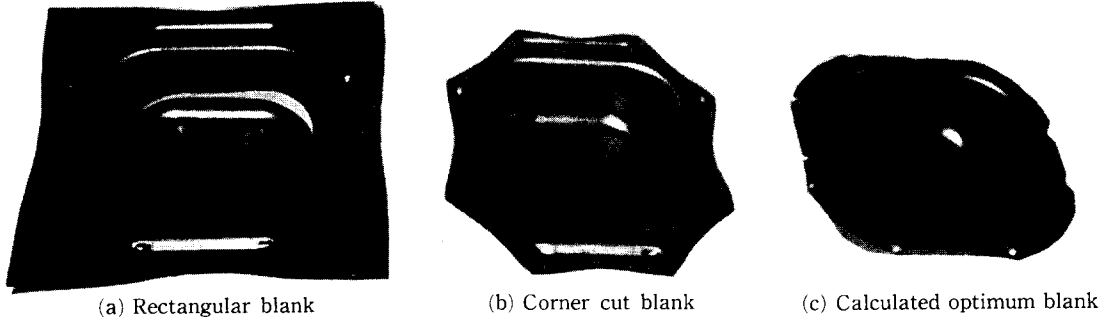


Photo 1 Residual flange shapes of drawn cups

른 블랭크의 유입형태와 잔류 플랜지형상을 나타내고자 하는 경우에 해당함.

(3) Mode 3 : 이 경우는 다단 드로잉공정에서 각 단계에서 요구되는 블랭크형상과 최종적인 블랭크형상을 구하고자 하는 경우에 해당함.

(4) Mode 4 : 이 경우는 펀치형상과 드로잉 후에 필요한 플랜지부의 형상이 주어질 때 요구되는 블랭크형상을 결정하고자 하는 경우에 해당함.

또한 각 모드에 있어서 다이면에 드로오비드가 존재하는 경우에 대해서도 해석이 가능하도록 하였다. 이때에는 드로오비드가 존재하는 부분에서 비드의 유입저항에 의해 재료의 유입속도가 드로오비드가 존재하지 않는 부분에 비하여 작아지므로 이를 고려하여 드로오비드의 영향을 고려하도록 하였다.

본 연구에서 개발된 블랭크 금형설계용 프로그램을 몇가지 예에 대해서 적용하여 개발코드의 유용성을 확인하였다. 이하에 구체적인 계산 일부결과와 실험결과와의 비교에 대해서 설명한다.

4.1 사각컵 드로잉가공에 대한 최적 블랭크형상

사각컵 드로잉가공은 프레스현장에서 자주 접할 수 있는 대표적인 예로 여기서는 펀치의 길이 86 mm, 폭 80 mm 그리고 곡률반경 25 mm인 제품을 $h=37$ mm 높이로 가공하기 위한 경우에 대해서 해석하였다. BEM 프로그램의 실행을 위한 입력데이터로는 펀치형상의 경계 Γ_2 를 일정요소로 분할한 각 절점의 x, y위치 데이터가 입력된다.

Fig. 2는 입력된 펀치형상의 경계점들과 사각컵을 37 mm 높이로 가공하기 위해 필요한 최적 블랭크형상에 대한 계산결과를 나타낸다. 이 형상의 제품을 가공하기 위해서는 통상 경험적으로 길이 164 mm, 폭 158 mm인 사각블랭크에 길이 45 mm의

코너컷한 시편을 사용한다. 따라서 최적 블랭크형상은 코너컷한 블랭크형상에 내접하며 모서리부가 원호로 형성되어 있는 형태임을 알 수 있다. 계산 결과에서 얻어진 최적 블랭크형상의 타당성을 검토하기 위해 계산된 최적 블랭크형상과 종래의 코너컷한 블랭크형상 그리고 코너컷이 없는 사각 블랭크형상을 이용한 프레스성형 비교실험을 행하였다.

Photo 1은 사각블랭크, 코너컷한 블랭크 및 계산된 최적 블랭크를 이용한 프레스성형 실험에서 각각의 블랭크에 대하여 펀치높이 $h=28$ mm에서 실험을 중지하여 드로잉중에 플랜지부에서 재료의 유동상태를 평가한 것이다. 최적화된 블랭크형상을 이용한 경우는 잔류플랜지가 거의 일정하게 유지되고 있어 드로잉 중에 플랜지부에서 재료의 반경방향 유동이 균일하게 일어나고 있음을 알 수 있다. 반면 코너컷이 없는 사각블랭크의 경우는 펀치의 직변부에서는 재료의 유동이 큰 반면 펀치의 코너부에서는 상대적으로 재료의 유동이 적은 것을 알 수 있다. 이렇게 부위별로 재료의 소성변형이 큰 차이를 보이면 그 경계부분에서 심한 전단변형을 야기하여 여분의 전단변형에너지가 소요되어 가공 에너지를 크게 할뿐 아니라 재료의 유동이 적은 펀치코너부의 재료는 과다한 인장을 받아 두께감소와 파단발생의 가능성이 높아진다. 한편 코너컷한 블랭크의 경우는 최적 블랭크형상을 이용한 경우와 유사한 거동을 보이거나 모서리부분에서 재료의 유동이 상대적으로 적어 잔류 플랜지형상이 일정하지 않음을 보이고 있다.

최적화된 블랭크형상을 이용한 프레스성형 실험에서는 완전히 드로잉된 컵의 높이가 거의 일정하게 유지되고 있는 반면 코너컷한 블랭크의 경우 사각모서리부분에서 큰 귀(ear)의 발생이 심하고 코너컷이 없는 사각블랭크의 경우는 더욱 그 정도가

매우 심한 것을 확인할 수 있었다.

4.2 사각컵 드로잉가공시 잔류 플랜지형상

앞의 본문에서 논한바와 같이 Γ_1 에서 계산된 유속 q 에 음의 시간증분 ($\Delta t < 0$)을 곱하면(역해석) 블랭크의 유입량을 구할 수 있으므로 잔류플랜지의 크기를 결정할 수 있다. 이 경우 프로그램의 실행을 위한 입력데이터로는 펀치형상의 경계 Γ_2 과 주어진 초기 블랭크형상의 경계 Γ_1 에서의 각각의 절점의 x, y위치 데이터가 입력된다.

Fig. 3(a)는 코너컷을 갖는 초기 블랭크형상으로부터 재료가 유입된 후의 잔류 플랜지형상에 대한 계산결과를 나타낸다. Fig. 3(b)는 컵높이가 $h=28$ mm일때 구한 잔류 플랜지형상과 실험결과의 비교를 나타낸다. Fig. 3(b)에서 실험결과와 계산결과의 최대 차이는 코너컷을 한 부위에서 발생하였고,

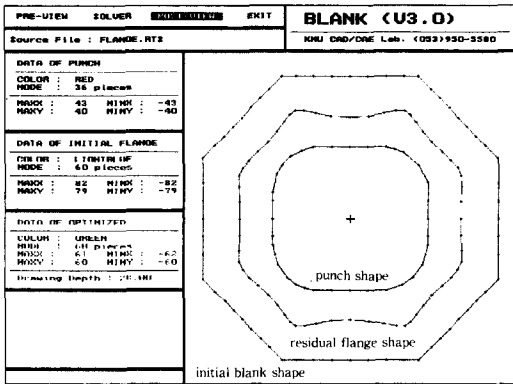


Fig. 3(a) Calculated residual flange shape

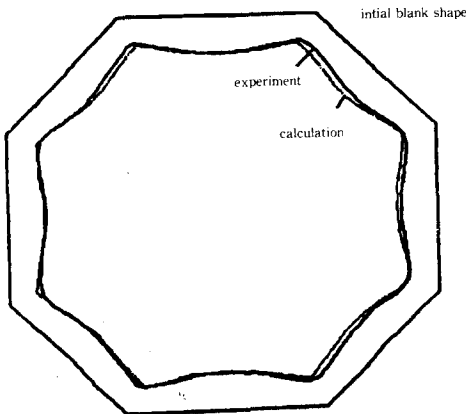


Fig. 3(b) Comparisons of calculated residual flange shape with experimental result

그 값은 약 2 mm 정도이었다. 따라서 역해석에 의해 계산된 잔류 플랜지형상은 실험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이렇게 잔류 플랜지형상을 예측하므로써 과다한 드로잉이 발생하는 부위를 알 수 있고, 따라서 과다한 드로잉을 억제하기 위한 드로오비드설치에 대한 지침을 줄 수 있는 장점이 있다.

4.3 오목형 펀치가공에 대한 최적 블랭크형상

Fig. 4은 오목형 펀치형상에 대해 본 연구에서 개발된 기술의 적용가능성을 평가하기 위해 사용한 펀치형상에 대해 컵높이를 10 mm로 가공할 때의 최적 블랭크형상을 나타낸다.

오목형의 제품에 대한 해석에 있어서는 플랜지형상을 외부로 확장하여 갈 때, 오목부에서는 인접절점간의 겹침현상이 발생하여 수치발산으로 인하여 계산이 중단되기 때문에 시간증분을 매우 작게 하는 것이 요구된다. 그러나 이 방법은 계산시간이 과대해지는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 각 계산단계에 있어서 인접절점간의 거리를 구하여 거리가 어떤 범위내에 들어오면 인접절점간의 거리가 일정한 값 이상이 되도록 요소를 재분할하는 방법을 택하여 시간증분에 대한 제약을 없애고 계산을 안정적으로 수행하도록 하였다.

이 계산결과는 문헌상에서 보고되고 있는 기존의 슬립라인 해석결과⁽¹³⁾와 잘 일치하고 있다. 따라서 최적 블랭크형상을 구하기 위한 기존의 여러 해석들이 주로 볼록형의 다각형 제품을 대상으로 하고 있는 반면 본 연구에서 개발된 기술은 오목형 제품에 대해서도 안정적으로 해를 구할 수 있는 장점이

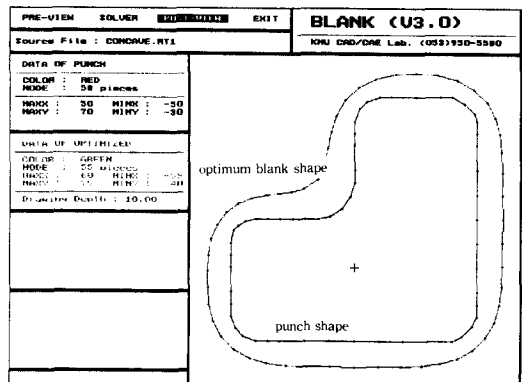


Fig. 4 Calculated blank shape for concave cup pressing

있음을 알 수 있다.

4.4 Oil Pan 2단 드로잉가공에 대한 최적 블랭크형상

일반적인 oil pan은 2단 드로잉가공공정에 의해 생산된다. 첫번째 공정에서는 oil pan의 윗부분이 먼저 드로잉가공되고, 다음 두번째 공정에서 넓은 밑부분이 가공된다. 이런 2단 공정에 대한 최적 블랭크형상의 해석은 앞의 예제들에서 설명한 단일 드로잉공정에 대한 최적 블랭크형상을 구하는 방법을 반복하여 적용하는 것에 의해 가능하다. 입력데이터로는 두번째 공정에서 가공되는 펀치형상의 경계 Γ_2 과 첫번째 공정에서 가공되는 펀치형상의 경계 Γ_1 에서의 각각의 절점의 x, y위치 데이터가 순서대로 입력된다.

그러나 본 개발기술에서는 2단 드로잉공정 해석시에 실제공정과는 반대로 두번째 공정에 대한 해석을 먼저 수행하고, 첫번째 공정에 대한 해석을 나중에 수행하도록 하였다. Fig. 5는 두번째 공정의 펀치형상을 $h=15\text{ mm}$ 깊이로 가공하기 위한 최적 블랭크형상과 첫번째 공정의 펀치형상을 $h=30\text{ mm}$ 깊이로 가공하기 위해 필요한 최적 블랭크형상을 나타낸다. 이 결과는 기존의 슬립선장 이론에 의한 해석결과⁽¹⁴⁾ 및 프레스현장의 경험과 잘 일치하고 있다.

4.5 플랜지형상이 지정된 경우에 대한 최적 블랭크형상

프레스가공후 후속공정에서 용접, Hemming이나 기타 목적을 위해 드로잉부품의 잔류플랜지가 일정하게 유지되어야 하는 경우에 대한 해석 예를 Fig. 6에 나타내었다. 입력데이터로는 펀치형상의 경계 Γ_1 과 프레스가공후의 잔류 플랜지형상의 경계 Γ_2 에서 각 절점의 x, y위치 데이터가 순서대로 입력된다. 여기에서는 잔류 플랜지형상을 기준으로 하여 역해석하는 것에 의해서 펀치가 15 mm 하강하였을 때 주어진 잔류플랜지를 갖도록 하는 최적 블랭크형상을 구하였다.

4.6 드로오비드의 영향을 고려한 최적 블랭크형상

프레스 금형의 설계에 있어서 다이면에서 재료의 유입을 제어하고 가공하려는 판재의 파단이나 주름의 발생을 억제하기 위해 다이 캐비티에서 다이면

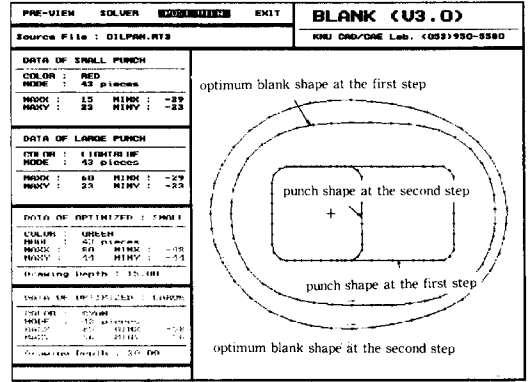


Fig. 5 Optimum blank shape for two step oil pan pressing

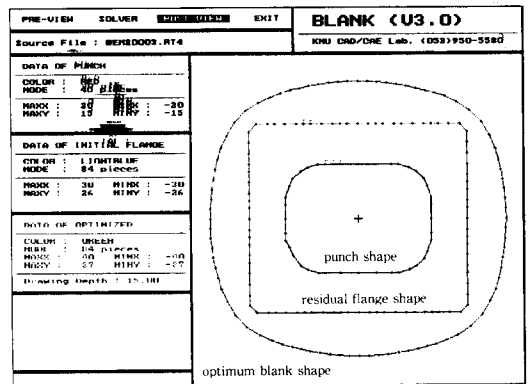


Fig. 6 Optimum blank shape for pressing in the case of given flange shape

으로 일정한 거리에 사각 또는 원형비드(드로오비드 혹은 고정비드 역할)를 설치하는 경우가 자주 있다. 이렇게 비드가 설치되면 비드의 유입저항력에 의해 다이면에서 재료가 유입되는 속도가 비드가 설치되어 있지 않은 부위와 비교하여 차이가 생긴다. 본 연구에서는 다이면에서 드로오비드 유무의 영향을 고려하기 위해서 드로오비드가 설치되어 있는 부위에서 재료의 유입속도를 펀치의 하강속도 v_0 보다 작게하는 것, $\alpha v_0 (\alpha < 1)$ 에 의해 드로오비드의 영향을 평가하는 것으로 하였다. 이때 $\alpha=1$ 은 드로오비드에 의한 영향이 없는 것을 의미한다.

Fig. 7(a)은 드로오비드가 존재하지 않는 경우에 펀치가 23 mm 하강하였을 때의 잔류 플랜지형상을 예측한 결과이다. 그림으로부터 펀치의 직선부에서 블랭크의 일부가 과도하게 드로잉되고 있음을 알 수 있다. 이렇게 블랭크의 일부가 다른 부분보다

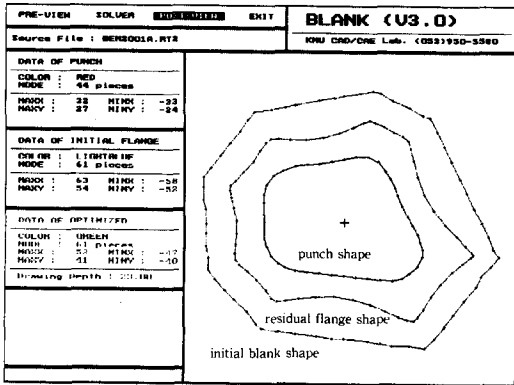


Fig. 7(a) Residual flange shape for pressing without drawbead at die face

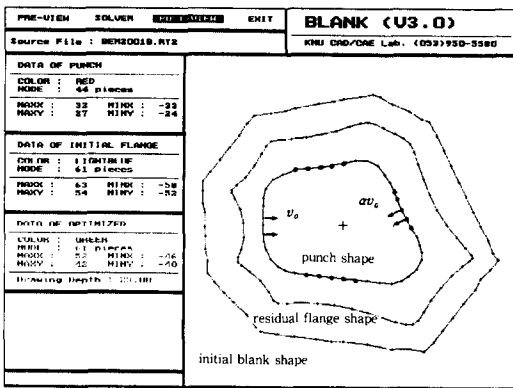


Fig. 7(b) Residual flange shape for pressing with drawbead at die face

과다하게 빨리 들어가면 그 부분에서 주름의 발생 및 빨려들어 오지않는 부분에서 상대적으로 잔류플랜지 길이가 커지므로 그 부위의 컵 벽부분에서 파단발생 등이 문제가 된다. 따라서 가능하면 블랭크가 균일하게 드로잉되도록 하는 것이 바람직하다. Fig. 7(b)는 블랭크의 일부가 과다하게 드로잉되는 부위에 드로오비드의 설치를 가정하여 펀치가 23 mm 하강하였을 때의 계산결과이다. 드로오비드의 위치는 펀치형상의 경계 Γ_1 상에 검은 점(●)으로 표시한 15개의 절점에 해당하는 것으로 하였다. Fig. 7(a)의 결과와 비교하면 드로오비드의 설정모델에 의해 플랜지부에서 재료의 드로잉이 전체에 걸쳐 균일하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 실제 프레스현장에서의 결과와 정성적으로 일치하는 것으로 드로오비드를 가정한 본 모델의 타당성을 입증하는 결과이다. 다이면에 드로오비드를

적절히 설치하는 경우는 재료의 유입조절뿐 아니라 보다 작은 크기의 블랭크를 이용하여 원하는 깊이 의 제품을 성공적으로 가공하는 것이 가능하기 때문에 재료의 실수를 향상에도 크게 기여한다.

5. 결 론

본 연구에서는 경제요소법의 이론에 기초하여 프레스가공에 투입되는 블랭크의 최적 형상을 결정하기 위한 프로그램이 개발되었고, 몇몇 예에 적용한 결과는 기존의 프레스 기술자들의 경험에 의한 블랭크형상을 잘 예측함을 알 수 있었다. 그러나 본 기술의 개발에 있어서 다이면과 블랭크간의 마찰 및 재료의 특성(이방성, 강도 등)을 고려하지 않았고 또한 프레스제품의 형상이 펀치면이 일정한 깊이를 갖고 있는 드로잉제품을 대상으로 하는 구속 조건때문에 실제 3차원 형상의 프레스제품에 대한 직접 적용에는 제약을 받는다. 이 경우는 대상으로 하는 3차원 형상의 프레스부품을 높이가 거의 일정한 미소 컵형상의 조합으로 이상화하면 각각의 컵형상에 대해서 본 개발기술을 적용하는 것에 의해 3차원 형상의 프레스부품가공에 필요한 최적 블랭크형상을 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 이 부분은 추후의 연구 대상이 될 것이다.

후 기

본 연구는 산학협동재단의 '95년도 학술연구지원비와 (주)화신의 연구비 지원에 의해 수행되었다. 이에 관계 제위께 감사드립니다. 아울러 프레스실험을 수행하여 준 포항제철(주) 기술연구소의 김정철씨께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Sowerby, R., Duncan, J. L. and Chu, E., 1986, "The Modeling of Sheet Metal Stamping," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 28. No. 6, pp. 415~430.
- (2) Jimma, T., 1970, "Deep Drawing of Convex Polygon Shell-researches on Deep Drawing of Sheet Metals by the Slip Line Theory-1st Report," *J. Japan Soc. Tech. Plasticity*, Vol. 11, No. 116, pp. 653~670.
- (3) 신재현, 김민수, 서대교, 1994, "비원형 단면

- 에 대한 관재의 성형성(I),” 한국자동차공학회 논문집, 제2권, 제1호, pp. 84~95.
- (4) Karima, M., 1989, “Blank Development and Tooling Design for Drawn Parts Using a Modified Slip Line Field Based Approach,” *ASME Trans., J. of Eng. Ind.*, Vol. 111., pp. 345~350.
- (5) Toh H. C., and Kobayashi, S., 1985, “Deformation Analysis and Blank Design in Square Cup Drawing,” *Int. J. Mech. Tool Des. Res.*, Vol. 25, No. 1, pp. 15~32.
- (6) Kim, N. and Kobayashi, S., 1986 “Blank Design in Rectangular Cup Drawing by an Approximate Method,” *J. Mach. Tool. Des. Res.*, Vol. 26, No. 2, pp. 125~132.
- (7) Iseki, H. and Murota, T., 1986, “On the Determination of the Optimum Blank Shape of Nonaxisymmetric Drawn Cup by the Finite Element Method,” *Bullitin of JSME*, Vol. 29, No. 249, pp. 1033~1040.
- (8) Chung, K. and Richmond, O., 1992, “Ideal Forming-I, Homogeneous Deformation with Minimum Plastic Work,” *Int. J. mech. Sci.*, Vol. 34~7., pp. 575~591.
- (9) 이충호, 허 훈, 1996, “박관금속 성형공정에서의 블랭크설계 및 변형률 예측,” 대한기계학회 논문집, 제20권, 제6호, pp. 1810~1818.
- (10) Zhaotao, Z. and Bingwen, L., 1986, “Determination of Blank Shapes for Drawing Irregular Cups Using an Electrical Analogue Method,” *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 28, No. 8, pp. 499~503.
- (11) Brebbia, C. A., 1980, *The Boundary Element Method for Engineers*, Pentech Press.
- (12) 박기철, 김영석, 1992, “경계요소법을 이용한 딥드로잉가공의 최적 블랭크형상 결정” 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 398~401.
- (13) Liu, F. and Sowerby, R., 1991, “The Determination of Optimum Blank Shapes When Deep Drawing Prismatic Cups,” *J. Mater. Shaping Tech.*, Vol. 9, No. 3 pp. 153~159.
- (14) Kuwabara, T. and Jimma, T., 1987, “Deep drawing of Shells with Stepped Bottoms-Deep Drawing of Irregular Shaped Cups IV,” *J. Japan Soc. Tech. Plasticity*, Vol. 28, No. 314 pp. 278~283.