

초기 속도법을 이용한 최적 블랭크 설계 프로그램의 개발

심현보* · 이상현** · 손기찬**

Development of Optimal Blank Shape Design Program Using the Initial Velocity of Boundary Nodes

H. B. Shim, S. H. Lee and K. C. Son

Abstract

A new method of optimal blank shape design using the initial nodal velocity (INOV) has been proposed for the drawings of arbitrary shaped cups. With the given information of tool shape and the final product shape, corresponding initial blank shape has been found from the motion of boundary nodes. Although the sensitivity method, the past work of Hynbo Shim and Kichan Son, has been proved to be excellent method to find optimal blank shapes, the method has a problem that a couple of deformation analysis is required at each design step and it also exhibits an abnormal behaviors in the rigid body rotation prevailing region. In the present method INOV, only a single deformation analysis per each design stage is required. Drawings of practical products as well as oil-pan, have been chosen as the examples. At every case the optimal blank shapes have been obtained only after a few times of modification without predetermined deformation path. The deformed shape with predicted optimal blank almost coincides with the target shape at every case. Through the investigation the INOV is found to be very effective in the arbitrary shaped drawing process design.

Key Words : Initial Nodal Velocity, Optimal Blank Design

1. 서 론

최근 자동차, 가전 및 반도체 산업 등의 박판 프레스 성형품의 최적 초기 형상 설계는 짧은 시간과 적은 노력으로 최적의 블랭크를 설계하는 방법을 요구하고 있다. 최적 블랭크는 재료의 수율을 높여 스크랩(scrap)을 줄이고 소재가 필요 이상의 홀딩력을 받지 않아 제품의 품질을 향상시킬 수 있는 박판 소성가공에서 필연적 선택이 되고 있다. 기존의 박판 성형공정에서 블랭크 설계

기술은 현장 작업자의 숙련된 경험과 이에 따른 시행착오로 제품의 개발이 이루어져 많은 시간과 비용이 소비되어왔다. 이러한 시행착오를 줄이고 짧은 시간에 정확하고 우수한 제품의 생산에 기인하는 방법의 요구가 높아지면서, 최근에는 컴퓨터를 이용한 유한요소법이 박판 성형공정에서 최적 블랭크 설계 기술 개발의 주류를 이루고 있다. 최근 손기찬 등은 민감도법⁽¹⁾에 의한 최적 블랭크 기법을 제안하고 이를 간단한 형상에서부터 재료의 유동이 복잡한 오일팬의 성형까지 다양한 형상의 최적

* 영남대학교 기계공학부
** 영남대학교 대학원

블랭크 형상을 설계하고 이를 실험으로 확인하여 타당성을 입증한 바 있다. 하지만, 변형 민감도를 얻기 위하여 각 단계별로 두 번씩 계산을 하여 민감도를 구하는 번거로움이 있었다.

본 연구에서는 단계별 각 한번의 계산만으로 블랭크 외곽 절점들의 초기 속도를 이용한 새로운 초기 속도법을 제안하고 실제 산업체에서 많이 쓰이고 있는 Pam - Stamp에 접목하는 프로그램을 GUI로 구현하고 드로잉 값이 다른 영향으로 인해 강제 회전 현상이 나타나는 오일펜 현상뿐만 아니라 실제 산업체에서 생산하고 있는 제품들에 적용하여 그 타당성을 확인하고자 한다.

2. 초기 속도법에 의한 최적 블랭크 설계

본 연구에서 사용하는 초기 속도법에서 절점 속도계수는 소재가 성형되어지는 동안 각 절점들은 각기 다른 속도와 비선형 경로를 따라 거동하고 초기블랭크 외곽선상에 위치한 절점의 초기 변화량이 최종 성형단계까지 전 변형 위치 변화량에 미치는 영향을 말하며 그 크기를 수치적으로 고려하여 채택한다. 오차 측정과 블랭크의 수정에 있어서도 기존의 민감도법이 고려하지 못했던 강제 회전 운동을 하는 형상의 적용에도 가능하도록 원끝조건 (Circular End Condition)⁽³⁾에 의해 방향을 결정하도록 하였다. 초기 속도법은 성형 후 외곽선이 목표 외곽선과 일치하지 않을 경우 제품의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하도록 성형 전 블랭크의 형상을 수정해 외곽선상의 모든 절점들이 가지는 형상오차가 목표형상과의 허용오차를 만족시켜 주어야 한다. 이때 성형 전 블랭크 형상의 수정은 외곽선상에 위치한 절점의 위치를 이동시켜줌으로써 이루어지며 절점의 이동거리와 크기를 결정할 때 절점 속도계수에 따라 각각 다른 비례로 절점의 위치를 수정하여준다.

각 절점당의 절점 속도계수는 성형해석을 수행하여 블랭크 홀더의 체결이 끝나는 시점부터 성형해석이 끝나는 시점까지의 구간을 시간중분배에 따라 등분하여 초기 변형량과 전체 변형량 비를 이용하여 절점 속도 계수를 구하도록 한다.

Fig. 1은 초기 블랭크 외곽선상 임의의 한 점이 변형되는 경로를 나타낸 것이다. 성형 전 단계인 블랭크 외곽선상의 n번째 절점을 X^n 으로, 성형 후 절점을 x^n 으로 표기한다. 성형후의 위치 x^n 에서 원끝조건에 의해 찾은 원의 중심점 방향의 벡터 r^n 의 연장선과 목표형상의 외곽선과 만나는 점을 x_T^n 로 표현하였다.

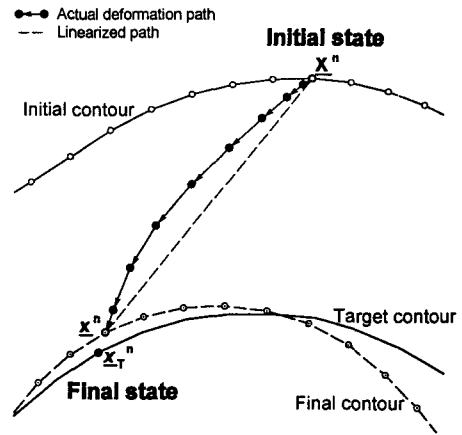


Fig. 1 Movement of a material point

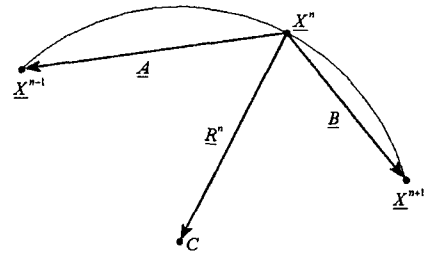


Fig. 2 Radius Vector under Circle End Condition

Fig. 2는 각각 변형의 초기단계에서 원끝조건에 의한 벡터 R^n 을 표현하였다. 다음의 식(1)에서와 같이 초기단계에서 원끝 조건에 의한 벡터 R^n 이 정의되어진다.

$$\begin{aligned}
 A &= X^{n-1} - X^n \\
 B &= X^{n+1} - X^n \\
 C &= A \times B \\
 R^n &= \frac{\{ |A|^2(B \times C) + |B|^2(C \times A) \}}{2|C|^2} \quad (1) \\
 \hat{R}^n &= \frac{R^n}{|R^n|}
 \end{aligned}$$

여기서 얻은 단위벡터 \hat{R}^n 은 다음단계에서 블랭크 수정의 방향으로 사용되어진다. 또한 r^n 은 마찬가지로 성형 후 외곽 절점에서의 법선 벡터로 최종형상에서 목적형상과의 오차측정을 위해 사용되어진다.

Fig. 3과 같이 x_T^n 은 목적형상 외곽선상의 점으로 최종 변형단계에서 r^n 방향의 연장선과 만나는 점으로 결정되며 3차원 공간상에서는 r^n 에 수직하는 x^n 에서의 접선벡터를 중심축으로 회전하는 평면과 목적형상이 접하는 점

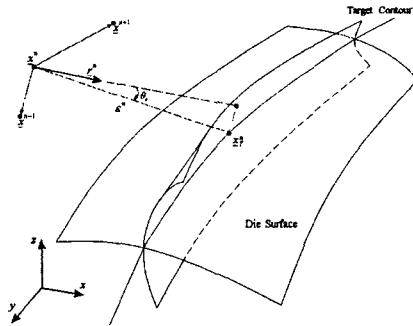


Fig. 3 Measurement of Shape Error

을 x_T^n 로 구하고, x^n 과 x_T^n 사이의 거리를 형상오차 ϵ^n 으로 하였다. 만약 형상오차 ϵ^n 이 오차범위를 벗어난다면 식(2)에 의해 수정되어야 한다.

$$X_T^n = X_{T}^{n-1} + \epsilon^n \cdot I^n \cdot R^n \quad (2)$$

I^n 은 절점 속도계수(Nodal Velocity Coefficient)로서 식(3)으로 구해지는데 β_1 과 β_2 는 절점 속도계수가 0.5~0.9의 값이 되도록 하는 매핑(mapping) 상수이다.

$$I^n = \frac{\int_0^1 |v^n(t)| dt}{\sum_{k=1}^n \int_0^1 |v_k^n(t)| dt} \beta_1 + \beta_2 \quad (3)$$

최적블랭크는 형상오차 ϵ^n 이 모든 절점에서 허용오차 이하가 될 때까지 해석 및 블랭크 수정을 수 차례 반복하여 구한다.

3. 초기 속도법의 프로그램 개발 및 적용

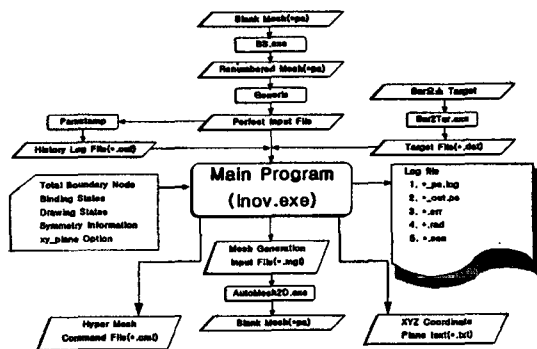


Fig. 4 Program Flow Chart

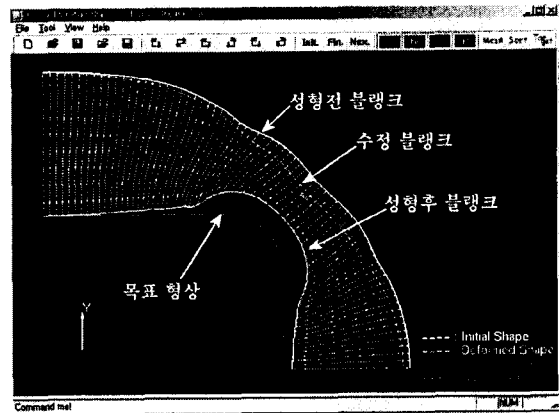
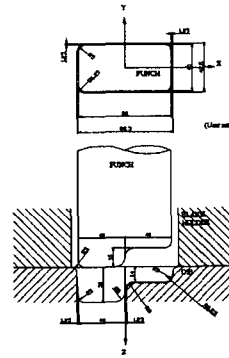
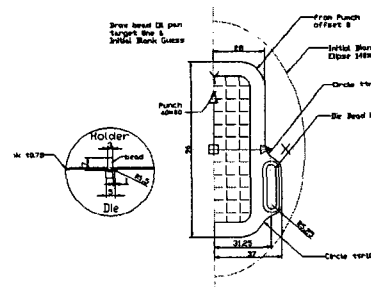


Fig. 5 INOV Program



(a) Oil-Pan Tool Shape



(b) Target Shape & Initial Blank
Fig. 6 Oil-Pan Model

3.1 프로그램의 개발

본 연구에서 개발한 최적 블랭크 프로그램(INOV)은 초기 속도법을 상용 프로그램인 Pam-Stamp에 접목하고 PC 환경에서 각 절점의 실질적 변형 거동을 3차원적으로 관찰하기 위해 MFC와 OpenGL을 사용하여 구현하였

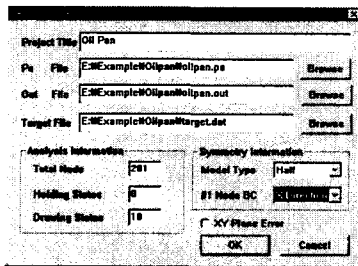
으며 Fig. 4의 개략적인 순서에 따라 운용된다.

또 Hyper Mesh와 Pam-Generis와 잘 호환되게 하였고 자체 요소생성프로그램을 가지고 있다. Fig.5는 개발한 프로그램을 Square Cup에 사용한 모습을 보여주며 점선은 각 절점의 변형 거동을 나타낸다.

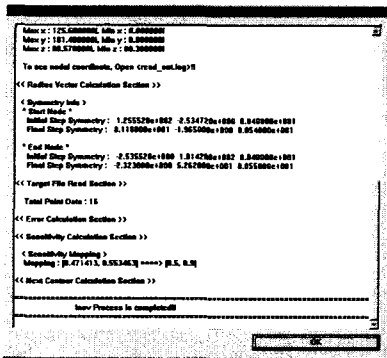
3.2 Oil-Pan의 성형

초기 속도법에 의한 최적블랭크 설계법의 타당성을 확인해보기 위하여 복잡한 오일팬의 성형에 적용하여 보았다. Fig. 6과 같이 블랭크 모양의 초기 가정으로 장축 방향으로 140mm, 단축 방향으로 100mm의 타원형 블랭크를 택하였고 수렴판정의 허용 오차는 0.5mm로 택하였다.

Fig. 7(a)와 같이 수정 블랭크를 연산하기 위해서는 Pam-Stamp의 *.ps *.out 파일, 목표현상 정보 *.dat 파일, 외곽 절점 개수, 해석결과 출력정보, 대칭 정보가 필요하다. oil-pan 성형에서는 1/2 모델링 하였으며 외곽 절점은 201개가 쓰였다. Fig. 7(b)는 연산 과정을 보여준다.



(a) Computation Information

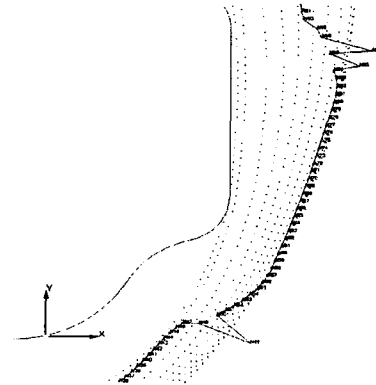


(b) Computation Process Log

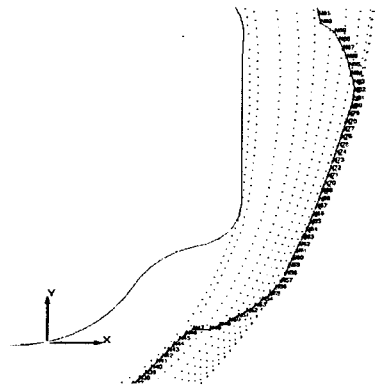
Fig. 7 Computation Information and Log

Fig. 8(a)와 같이 생성된 수정 블랭크의 몇몇 절점은 그 값이 매끄럽지 못하다. 이것은 성형 후 블랭크의 플랜지 형상에 비해 목적 현상의 곡률의 변화가 상대적으로

로 크기 때문이며 이러한 현상을 수정 횟수가 증가할수록 현저하게 줄어든다. 수정 메뉴를 이용하여 보간하면 Fig. 8(b)와 같이 부드러운 형상을 얻고 얻어진 수정 블랭크 정보를 Hyper Mesh, Pam-Generis 및 자체 요소 생성 프로그램을 이용하여 요소를 생성할 수 있다.

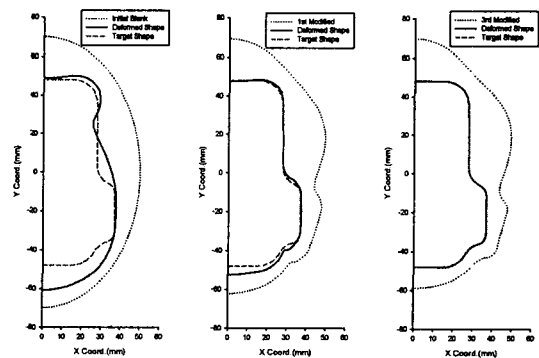


(a) Before Smoothing



(b) After Smoothing

Fig. 8 Smoothing Flange contours



(a) Initial Blank (b) 1st Modified (c) 3rd Modified

Fig. 9 Flange contours after deformation

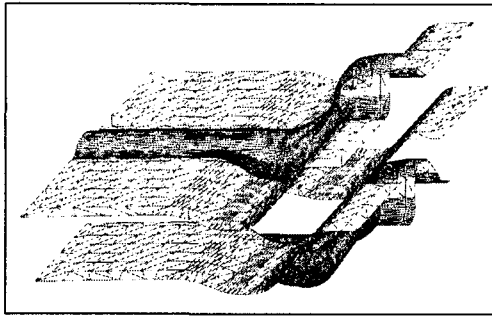
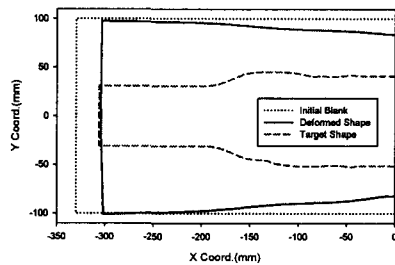
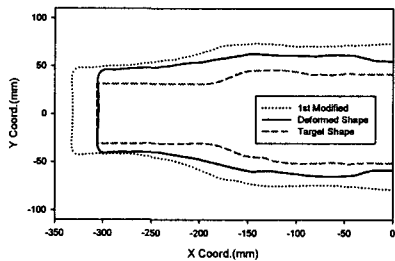


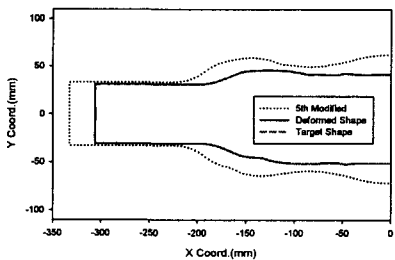
Fig. 10 Practical Problem : Binding & Drawing



(a) Initial Blank



(b) 1st Modified



(c) 5th Modified

Fig. 11 Flange contours after deformation

Fig. 9(a)에서와 같이 최초로 가정된 블랭크로 성형 해석한 결과인데 최종상태에서 플랜지 외곽선의 모양으로 성형모양이 목표형상과 많은 차이가 나타났는데, Fig. 9(c)에서 3회의 수정으로 플랜지 외곽선의 형상이 목표형상과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

3.3 Practical Problem : Binding and Drawing

Fig. 10와 같이 이 모델은 Binding & Drawing 공정으로 초기 블랭크는 330×200[mm] 사각형이며 수렴 판정의 오차는 oil-pan과 같이 0.5mm로 택하였다.

Fig. 11(a)에서와 같이 최초로 가정된 블랭크로 성형 해석한 결과인데 최종상태에서 플랜지 외곽선의 모양으로 성형모양이 목표형상과 많은 차이가 나타났는데, Fig. 11 (c)에서 5회의 수정으로 플랜지 외곽선의 형상이 목표형상과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 초기 속도법을 실제 산업체에서 사용하고 있는 상용 프로그램인 Pam-Stamp에 성공적으로 적용하여 최적 블랭크 설계 프로그램(INOV)을 작성하였으며 복잡한 변형역학을 지닌 오일팬의 성형에 뿐만 아니라 실제 산업 현장 제품에 이르기까지 성공적으로 적용함으로써 이 방법이 기존의 민감도법에 의한 블랭크 설계법을 개선하여 보다 빠르고 신뢰성 높은 최적블랭크 설계 기법임을 확인하였다. 또한 성형공정 시 난이도가 가장 높은 형상을 통한 검증으로 설계법의 타당성뿐만 아니라 산업 현장 문제에도 적용이 가능한 우수한 방법임을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Shim H.B., Son K.C., and Kim K.H., 2000, "Optimum blank shape design by sensitivity analysis", Journal of Material Processing Technology, Vol. 104, pp. 191~199.
- (2) Shim H.B., Son K.C. and Suh E.K. "Optimal blank shape design using the initial velocity of boundary nodes" RUSKO-AM 2001 Novosibirsk, Russia
- (3) Choi B.K., 1991, "Surface Modeling for CAD/CAM", ELSEVIER.