

초기 속도법을 이용한 최적 블랭크 설계 프로그램의 개발

심현보*·이상현**·손기찬**

(2002년 6월 28일 접수)

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 the present authors, 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. 서론

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 품

질을 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

* 영남대학교 기계공학부
** 영남대학교 대학원

성형공정에서 최적 블랭크 설계 기술 개발의 주류를 이루고 있다. 최근 손기찬 등은 민감도법⁽¹⁾에 의한 최적 블랭크 설계기법을 제안하고 이를 간단한 형상에서부터 재료의 유동이 복잡한 오일팬의 성형까지 다양한 형상의 최적블랭크 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 블랭크의 모양을 수정하는데 필요한 정보를 단계별로 한번의 계산만으로 블랭크 외곽 절점들의 초기 속도를 이용하여 구하는 초기 속도법⁽²⁾을 이용하여 실제 산업체에서 많이 쓰이고 있는 Pam-Stamp에 접목하는 프로그램을 GUI로 구현하고 실제 산업체에서 생산하고 있는 제품들에 적용하여 그 타당성을 확인하고자 한다.

2. 초기 속도법에 의한 최적 블랭크 설계

초기속도법은 성형후의 외곽선과 목표외곽선의 차이를 보정하기 위해 절점속도계수로 정의되는 변형의 전과정 동안 절점이 이동한 거리에 대한 성형초기 단계의 절점의 이동거리의 비와 인접하는 절점의 위치로부터 결정되는 원의 반경방향벡터를 이용하여 성형전의 블랭크 모양을 수정해 주는 방법이다. 즉 성형후의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하지 않을 경우 제품의 외곽선이 목표 외곽선과 일치하도록 성형전의 블랭크의 모양을 수정해 주는데 이때 성형전의 블랭크 모양을 수정할 때 절점속도계수와 반경벡터를 이용한다.

이러한 절점속도계수는 외곽선에 위치한 모든 절점마다 구하는데 기존의 민감도법과는 달리 한번의 계산만으로 구할 수 있다.

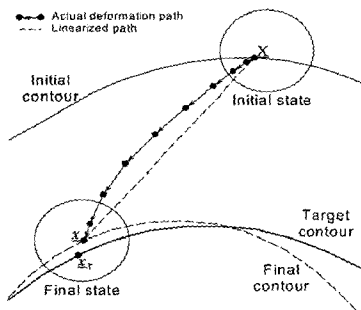


Fig. 1 Movement of a material point

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 목표형상을 정의하는 곡면과 만나는 점을 x_T^n 로 표현하였다.

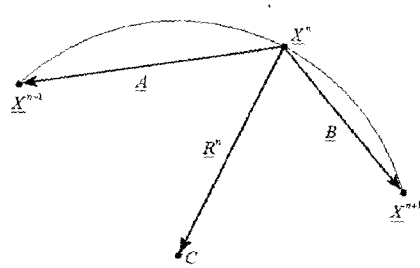


Fig. 2 Radius vector under circle end condition

Fig. 2는 각각 변형의 초기단계에서 인접하는 3 절점으로 결정되는 원의 반경방향의 벡터 R^n 을 나타내었는데 이는 다음의 식(1)과 같이 결정된다.⁽³⁾

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

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

Fig. 3은 자유곡면으로 표현된 금형면에서 형상오차를 결정하는 방법을 설명하고 있다. 즉 형상오차는 변형후의 위치인 x^n 과 목표형상의 외곽선 x_T^n 와의 거리를 Δ^n 방향으로 측정한 거리이며 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$x^n + \epsilon^n \hat{Y}^n = x_T^n \tag{2}$$

즉 X^n 은 목표형상 외곽선상의 점으로 최종변형단계에서 Z 방향의 연장선과 만나는 점으로 결정된다.

그런데 금형면이 자유곡면일 경우 오차의 측정을 위해 X^n 으로부터 Z 방향의 연장선과 목표형상인 X_T 과 만나지 않을 경우가 나타날 수가 있기 때문에 오차의 측정이 문제가 된다. 따라서 본 연구에서는 Z^n 을 X^n 에서의 접선벡터를 중심축으로 회전시켜 줌으로써 목표형상과 만나는 점과의 거리를 그 절점에서의 형상오차 ϵ^n 으로 정의한다.

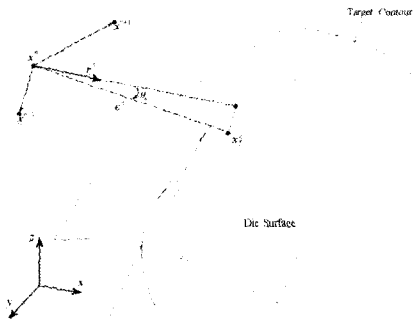


Fig. 3 Measurement of shape error

새로운 절점의 위치는 식(3)과 같이 그 절점에서의 형상오차와 반경방향벡터로부터 구하여진다.

$$X^n_{(i)} = X^n_{(i-1)} + \epsilon^n \cdot \Gamma^n \cdot \hat{R}^n \quad (3)$$

여기서 Γ^n 은 식(4)로부터 결정되는 절점속도계수(nodal velocity coefficient)로 그 절점의 전체 이동거리에 대한 최초이동거리의 비로부터 결정되는데 β_1 과 β_2 는 절점 속도계수가 0.5~0.9의 값이 되도록 하는 매핑(mapping) 상수이다.

$$\begin{aligned} \Gamma^n &= \frac{|v^n(0)|}{\int_0^{t_i} |v^n(t) dt|} \beta_1 + \beta_2 \\ &= \frac{|v^n|}{\sum_{k=1}^{\# \text{ of steps}} |v^n_k|} \beta_1 + \beta_2 \end{aligned} \quad (4)$$

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

하여 구한다.

본 연구에서 제안하는 초기속도법은 본 저자에 의해 발표된 기존의 민감도법⁽¹⁾과 비교할 때 최종형상을 목표형상과 비교하여 오차량을 감안하여 절점의 위치를 이동시킨 후 해석을 재차 수행하여 목표형상을 만족할 때까지 계속적으로 블랭크의 모양을 변경시켜 준다는 점에서는 비슷하나 기존의 민감도법에서는 블랭크의 형상을 수정해 주기 위해서는 2회의 성형해석이 필요하나 본 초기속도법은 1회의 해석이 필요하다는 점이 다르다. 즉 민감도법에서는 원래의 블랭크, 그리고 이로부터 편위시킨(offset) 블랭크 등의 2회의 해석이 필요하고 특히 편위블랭크의 결정등의 번거러움 때문에 상용해석 S/W의 해석 결과를 그대로 이용하는데 어려움이 있었는데 반하여 초기속도법에서는 1번의 해석만으로 블랭크형상의 수정이 가능하다는 점 때문에 상용해석 S/W 해석결과와 후처리가 간단해지는 장점이 있다.

3. 최적블랭크 설계 프로그램 개발 및 적용

3.1 프로그램의 개발

본 연구에서 제안한 초기속도법에 의한 최적블랭크 설계기법을 현장사용자의 편의를 위해 상용 성형해석 프로그램인 Pam-Stamp, 상용 격자생성기인 HyperMesh와 접목하고 PC 환경에서 각 절점의 실질적 변형 거동을 3차원적으로 관찰하기 위해 MFC와 OpenGL을 사용하여 구현하였으며 Fig. 4의 개략적인 순서에 따라 운용된다.

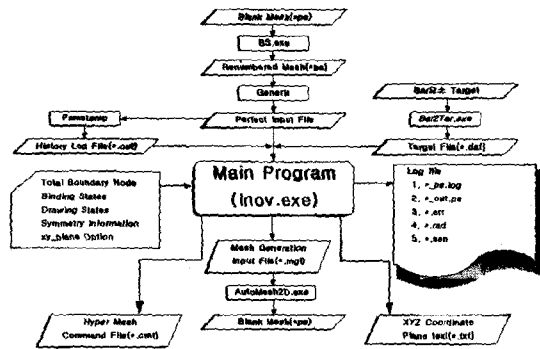


Fig. 4 Flow diagram of INOV

또 Hyper Mesh와 Pam-Generis와의 호환기능과 아울러 자체 요소생성 모듈도 가지고 있다. Fig. 5는 개발된 프로그램의 사용모습을 보여주며 점선은 각 절점의 변형 거동을 나타낸다.

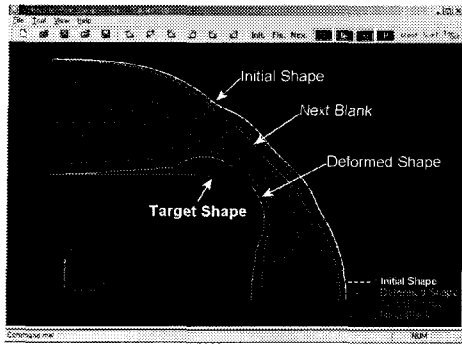
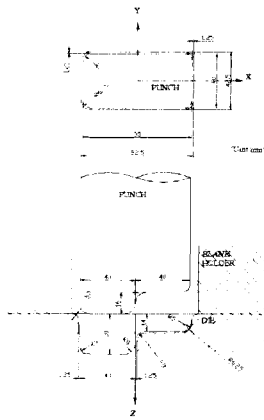
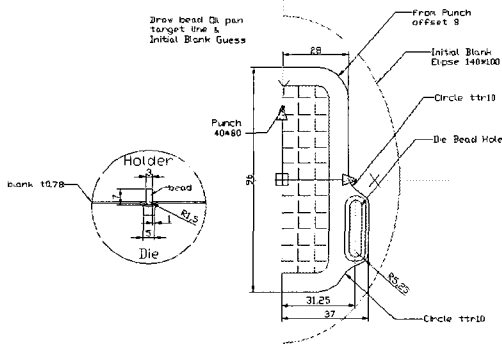


Fig. 5 INOV program window

3.2 예제 1 : Oil-Pan의 성형



(a) die geometry



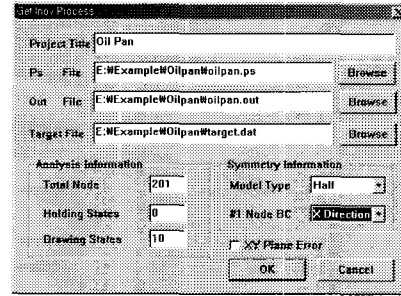
(b) details of die and target shape

Fig. 6 Die geometry for oil-pan drawing

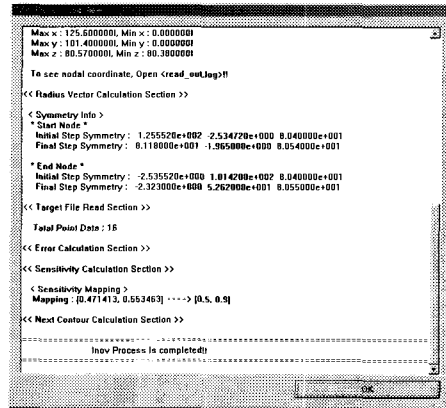
본 연구에서 개발된 초기속도법의 타당성과 최적블랭크 설계프로그램 (INOV로 명명)의 가능성을 확인해 보

기 위하여 오일팬의 최적블랭크 설계에 적용해 보았다.

본 예제에 사용된 금형은 Fig. 6과 같이 유동의 조절을 위해 선형의 드로오비드가 설치되어 있으며 허용오차는 0.5mm로 설정하였다.



(a) Input window



(b) Process log window

Fig. 7 Examples of input window and log window

Fig. 7(a)은 블랭크를 수정하는데 필요한 연산에 사용되는 Pam-Stamp의 *.ps · *.out 파일, 목표형상 정보 *.dat 파일, 외곽 절점 개수, 해석결과 출력정보, 대칭 정보가 입력되는 모습을 보여주고 있다. 본 예제에서는 대칭성을 이용하여 1/2 모델링 하였으며 외곽 절점은 201개가 사용되었다. Fig. 7(b)는 연산 과정을 보여준다.

본 초기속도법을 적용할 때 목표형상의 곡률이 급격하게 변화하는 몇몇 절점에서 Fig. 8(a)와 같이 생성된 수정 블랭크의 좌표가 튀는 현상이 나타나는 경우가 있는데 이러한 현상은 대체로 블랭크의 형상이 최적형상과 먼 초기설계 단계에서 많이 나타나며 이는 수정횟수가 증가함에 따라 블랭크의 형상이 최적형상에 접근함에 따라 현저히 줄어든다. 본 프로그램에서는 절점이 튀는 현상에 대한 대책으로 절점의 위치 수정기능을 부여하여

수작업으로 점점의 위치를 수정할 수 있도록 하였다.

Fig. 8(b)은 수정기능을 이용하여 점점의 위치를 이동시켜 얻은 블랭크의 형상을 보여주고 있다.

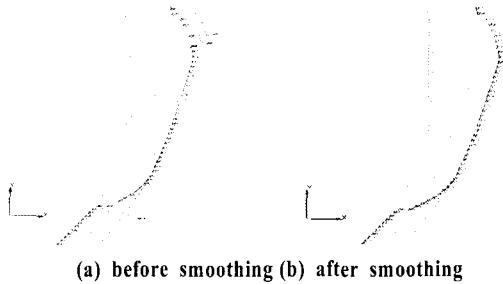


Fig. 8 Smoothing of contour

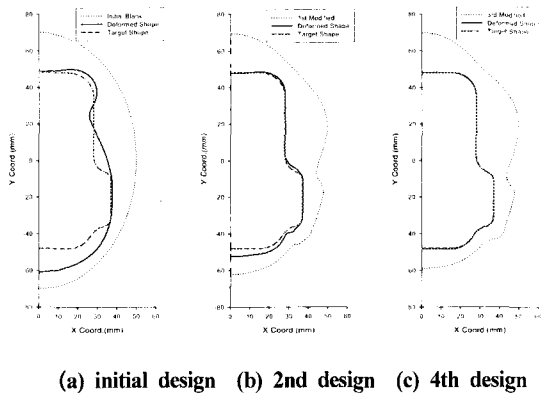


Fig. 9 blank shapes and flange contours at each design stages (oil pan)

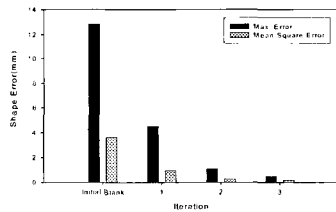


Fig. 10 Decrease of shape error(oil pan)

Fig. 9는 블랭크 모양의 초기 가정으로 장축 방향으로 140mm, 단축 방향으로 100mm의 타원형 블랭크로부터 설계단계별 블랭크의 변화모습과 더불어 성형후의 모습을 목표형상과 비교한 것인데 단 1회의 수정만으로도 목표형상에 근접하고 3회의 수정후 플랜지 외곽선의 형상 오차가 허용치인 0.5mm이내에 들어 목표형상과 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다.

또 Fig. 10은 형상오차 감소 추이를 각 설계단계별 최대형상오차와 평균형상오차로서 보여주고 있는데 설계가 진행됨에 따라 형상오차가 급격하게 감소하고 있음을 보여주고 있어 본 프로그램에서 적용한 초기속도법에 의한 최적블랭크 설계법의 우수성을 알 수 있다.

Fig. 11은 최적블랭크로 성형후의 모습을 보여주고 있다.

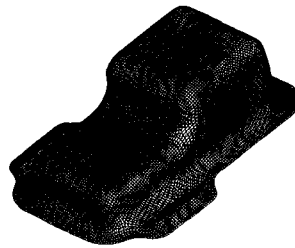


Fig. 11 Deformed shape (optimal blank)

3.3 예제 2 : 자동차 Reinforcement의 성형

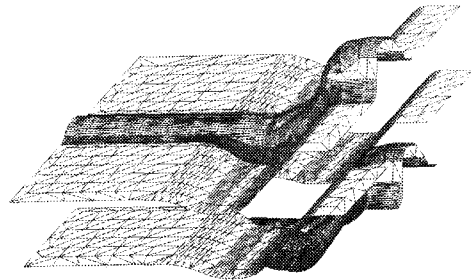
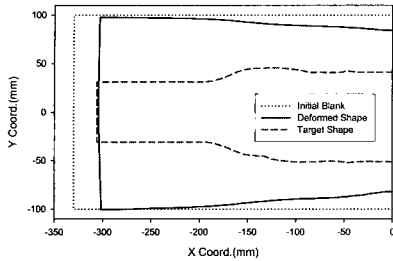


Fig. 12 Die geometry for reinforcement drawing

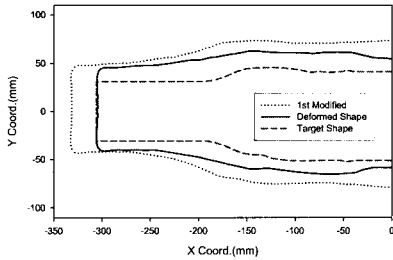
Fig. 12는 자동차부품인 레인포스먼트(reinforcement)의 금형을 보여주고 있는데 이 제품은 바인딩(binding)과 드로잉(drawing)에 의해 성형이 이루어지고 있으며 최초블랭크 형상은 본 금형의 가공후 금형의 수정과 더불어 블랭크의 모양을 결정해 주는 단계인 트라이아웃단계에서 최초로 적용하고 있는 모양인 330×200[mm] 사각형으로 최적블랭크 설계를 시작하였으며 허용오차는 0.5mm로 택하였다.

Fig. 13은 레인포스먼트의 성형에 대한 최적블랭크 설계단계를 보여주고 있는데 Fig. 13(a)는 최초로 가정한 블랭크의 모양으로 성형 해석한 결과로서 최종상태에서 플랜지 외곽선의 모양으로 성형모양이 목표형상과 많은 차이가 나타났는데, Fig. 13(c)에서 5회의 수정으로 플랜지

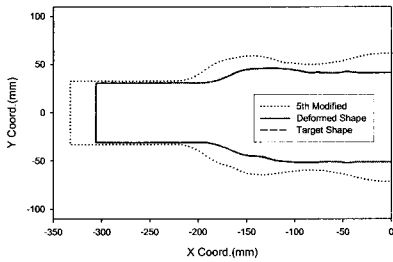
외곽선의 형상이 목표형상과 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며 블랭크의 크기도 최초의 형상에 비하여 50% 이상 대폭 감소하고 있음을 알 수 있다.



(a) initial blank



(b) 2nd design



(c) 6th design

Fig. 13 Blank shapes and flange contours at each design stage (reinforcement)

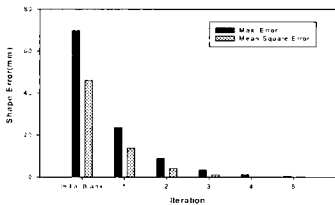


Fig. 14 Decrease of shape error (reinforcement)

Fig. 14는 형상오차의 감소추이로 블랭크의 수정횟수에 따라 형상오차가 급속히 감소하고 있으며 5회의 수정

만에 최종 형상 오차가 최대오차 0.49mm, 평균오차가 0.13mm로 수렴하였다. 여기서 최대오차는 각 절점에서의 얻은 형상오차값 중에서 최대값이고 평균오차는 각 절점에서의 오차를 제곱한 평균한 값으로 목표형상을 만족하는지의 판단기준은 최대오차로 판별하였다.

Fig.15는 최적블랭크로 성형후의 모습을 보여주고 있다.

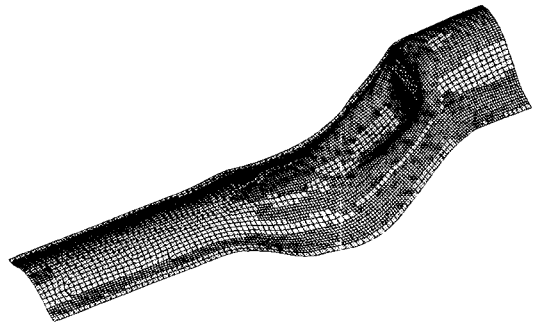


Fig. 15 Deformed shape (optimal blank)

3.3 Wheel Housing의 성형

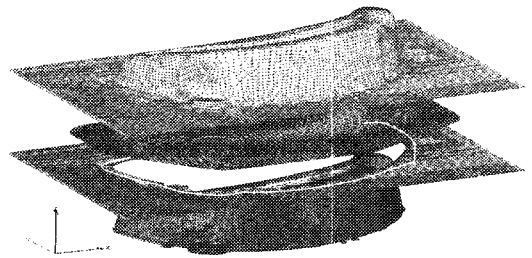


Fig. 16 Die geometry for wheel housing stamping

Fig. 16은 채택한 휠하우징 (wheel housing) 스탬핑 금형을 나타낸 것으로 이 모델의 경우 일반적인 드로잉과 달리 강제회전 운동이 발생되고 있어 기존의 민감도 범으로는 해석이 곤란할 뿐만 아니라 성형이 진행됨에 따라 플랜지 부분이 블랭크홀더를 빠져나오면서 비지 영역이 발생하는 관계로 성형후의 형상이 블랭크의 형상에 대단히 민감하게 변화하는 특성을 지니고 있다.

일반적인 드로잉의 경우 편차가 진행됨에 따라 성형의 전과정동안 플랜지가 금형의 공동부(die cavity)쪽으로 빨리 들어가면서 성형이 이루어지는데 반하여 본 예제에서는 성형의 초기단계에서는 블랭크 전체가 오무러지는 변형을 하다가 이후 일반적인 드로잉과 마찬가지로의 변

형, 즉 급형공동부쪽으로 플랜지가 빨려 들어가는 변형을, 즉 강제회전에 의한 절점의 이동방향의 역전현상이 발생된다. 그런데 기존의 민감도법에서는 최종상태의 변형으로부터 최종상태의 움직임방향으로 측정된 오차를 이용하여 최초의 이동 방향으로 블랭크모양을 수정해 주기 때문에 이렇게 블랭크의 회전에 따른 절점 이동의 역전현상이 발생하는 경우 오히려 수정된 블랭크의 모양을 악화시키는, 즉 성형후의 모양이 목표형상과 비교하여 모자라는 경우 해당부위의 블랭크를 키워주어야 하는데 민감도법에서는 초기운동방향으로 블랭크의 모양을 수정해 주기 때문에 오히려 감소시키는 문제점이 있다. 그런데 본 연구에서 채택한 초기속도법에서는 절점의 최초 이동 방향 대신 인접하는 3 절점들의 위치에 의해 결정되는 원의 반경방향으로 수정해 주기 때문에 강제 회전에 의한 문제점이 나타나지 않는다.

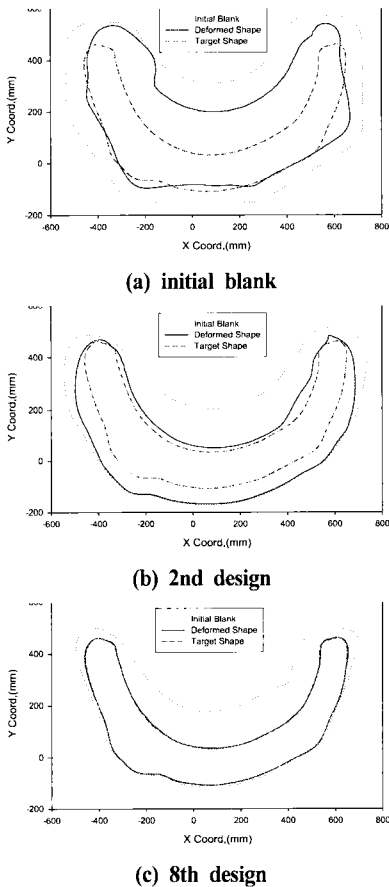


Fig. 17 Blank shapes and flange contours at each design stage (wheel housing)

Fig. 17(a)는 최초로 가정된 블랭크로 성형 해석한 결과로서 최종상태에서 플랜지 외곽선의 모양으로 성형모양이 목표형상과 많은 차이가 나타났는데, Fig. 17(c)에서 7회의 수정으로 플랜지 외곽선의 형상이 목표형상과 거의 일치하고 있다. 본 문제의 경우 수렴성이 앞서의 예제에 비하여 느린 것으로 나타났는데 그 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 성형도중 블랭크홀더에 의해 구속되지 않는 비지지 영역이 있어 블랭크의 모양에 따라 최종변형모양이 민감하게 달라지기 때문으로 생각된다. Fig. 18은 형상 오차 감소 추이를, 그리고 Fig. 19는 최적블랭크로 성형후의 모습을 나타내고 있다.

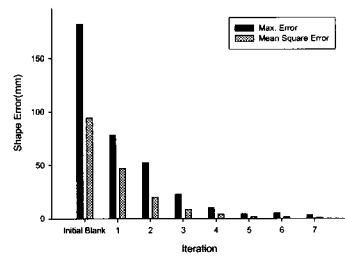


Fig. 18 Decrease of shape error (wheel housing)

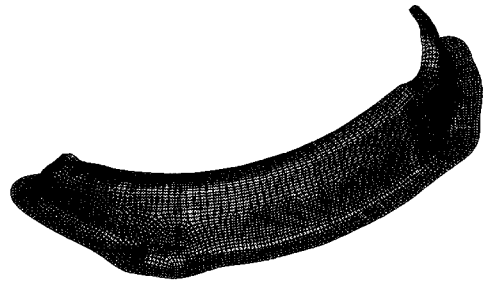


Fig. 19 Deformed shape (optimal blank)

4. 결론

본 연구에서는 새로운 최적블랭크 설계기법인 초기 속도법을 새롭게 제안하고 이를 사용하기 쉽게 산업체에서 널리 사용하고 있는 상용 성형해석 프로그램인 Pam - Stamp에 성공적으로 접목하여 최적 블랭크 설계 프로그램(INOV)을 작성하였다. 초기속도법의 타당성과 본 프로그램의 가능성을 확인하기 위하여 복잡한 변형역학을 지닌 오일팬의 성형에 뿐만 아니라 실제 산업 현장 제품에 이르기까지 성공적으로 적용함으로써 이 방법이 기존의 민감도법에 의한 블랭크 설계법을 개선하여 보다 빠

르고 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.

참 고 문 헌

- (1) 심현보, 손기찬, 황현태, 2000, 민감도를 이용한 최적 블랭크 설계법의 일반적인 모양의 금형에의 적용, 한국소성가공학회지 9권 3호, pp. 226~232.
 - (2) Shim H.B, Son K.C. and Suh E.K, 2001, Optimal blank shape design using the initial velocity of boundary nodes" RUSKO-AM 2001 Novosibirisk, Russia
 - (3) Choi B.K., 1991, "Surface Modeling for CAD/CAM", El Sevier.
- (1) 심현보, 손기찬, 황현태, 2000, 민감도를 이용한 최적