

박판성형의 초기소재 설계시스템

김두현* · 이정민** · 박상후*** · 양동열**** · 김용환*****

(1997년 7월 7일 접수)

Blank Design System for Sheet Forming

D.H.Kim, J.M.Lee, S.H.Park, D.Y.Yang and Y.H.Kim

Abstract

Geometric mapping technique has been used to find the shape of initial blank for sheet forming. The method was chosen because of its simplicity and numerical efficiency. Error in blank shape were measured along deformation path by FE analysis of forming. Blank shape was modified by volume addition/subtraction method with taking into account of deformation path. Modified blank shape shows an acceptable result, showing the current method can be an useful tool for predicting blank shape in the practical application. More test will be done to verify the validity of the method.

Key Words : blank design(소재 형상 설계), initial blank(초기소재), geometric mapping(기하학적 사상), deformation path(변형경로), volume addition/subtraction method(체적가감법)

1. 서 론

박판성형공정에서 블랭크 설계란 주어진 최종성형물을 얻기 위하여 필요한 초기소재의 형상 및 크기를 산출하는 과정을 말한다. 박판성형공정에서 초기소재의 형상 및 크기는 통상적으로 경험에 의존하거나 시행착오에 의한 방법으로 결정한다. 이상적인 초기소재의 형태는 성형공정 후 트리밍 공정이 필요치 않은 것이 겠으나, 성형공정에 있어서 드로우 비드의 존재, 재료의 생산로트에 따른 물성치의 차이 및 실제공정에 있어서 성형조건의 변화 등으로 트리밍 공정을 완전히 배제한다는 것은 불가능하다. 따라서 블랭크 설계의 주목적은 재료의 실수율을 높이기 위하여 성공적인 성형을 전제로 블랭크의 크기를 최소로

하는 형상을 예측하는데 있다. 이와같은 초기소재 예측방법에는 미끄럼선장법^(1,2), 기하학적 사상법^(3~5), 변형이론^(6,7) 및 이상성형이론⁽⁸⁾ 등과 같은 다양한 이론적방법이 제안되고 있다. 그러나 이와같은 방법들은 실제공정에 적용 가능한 수준의 정확도를 제공하지 못하기 때문에 프레스 금형의 try-out에 소요되는 시간 및 노력을 줄여주지 못하는 실정이다. 최근에는 박상후 등⁽⁹⁾이 전변형률이론, 이방성이론 및 변형경로를 고려한 체적가감법을 이용하여 유한요소법에 의한 블랭크 설계를 시도하였으나 유한요소에 의한 해석의 특성상 과다한 해석시간의 요구, 사용상의 어려움 및 수렴성에 문제를 가지고 있기 때문에 원하는 해를 쉽게 얻을 수 없다는 단점이 있다.

본 연구에서는 박판성형공정에서 실무자들이 빠른시간

* 한국타이어
** 국방과학연구소
*** LG생산기술원
**** 한국과학기술원 기계공학과
***** 충남대학교 기계설계공학과

내에 합리적인 결과를 도출해 낼수 있는 보다 체계적이고 안정적이며 경제적인 블랭크 설계시스템을 제안하였다.

블랭크의 설계는 먼저 최종제품 형상에 대한 3차원 데이터를 가지고 기하학적 사상법에 의하여 개략적인 블랭크 형상을 결정한다. 기하학적 사상법은 공정변수나 재료의 물성치를 적용하지 않기 때문에 근원적인 오차가 필연적으로 존재하게 되는데 이러한 오차를 개선하기 위하여 전산모사 해석결과와의 차이를 보정하는 방법을 사용하였다. 즉, 결정된 형상의 블랭크에 대한 전산모사 성형해석을 수행하고 이 해석결과와 최종제품의 설계치를 비교, 그 차이를 보정하여 초기소재 형상을 결정하도록 하였다 (Fig. 1). 이러한 방법을 자동차 판넬에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

또한, 작업의 편의성을 위하여 X-윈도우에 기반한 그래픽 사용자 인터페이스를 개발 하였는데 이것은 CAD 시스템으로부터 CAD 데이터를 직접 가져오거나, CAD 프로그램에서 읽어온 데이터를 점검하고 필요한 경우 이를 수정할 수 있는 기능도 갖추었다. Fig. 2에는 자동차 연료탱크를 3차원으로 표현한 그래픽 사용자 인터페이스를 보여 주고 있다.

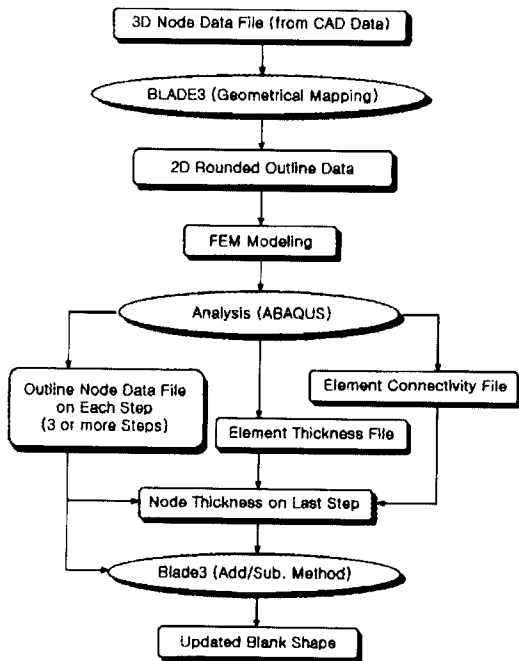


Fig. 1 Initial blank design system procedure

2. 기하학적 사상법에 의한 블랭크 형상의 결정

Chu⁽³⁾에 의하여 제안되었던 기하학적 사상법은 초기소재가 변형을 수반하지 않고 최종형상으로 성형된다는 가정에 기초하고 있다. 모델링은 소재의 각 요소들에 대한 힘의 평형 및 재료의 물성치를 고려하지 않고 순수하게 기하학적으로 수행된다. 각각의 요소는 면적의 변화없이 성형되며 성형 후에는 요소들 간에 어떠한 접침이나 틈새도 없다고 가정한다. Fig. 3(a)에서 처럼 최종제품의 표면에 사각형의 3차원 격자를 구성하고 그 절점을 평면상으로 이동시키기 위한 기준선을 정하는데, 대부분의 박판성형물은 소재의 질점이 따라 흐르며 이것을 가로질러 이동하지 않는 직선을 가정할 수 있으며 이것이 사상의 기준선이 된다. 대칭축의 교점을 포함하는 삼각형은 3변의 길이를 알고 있기 때문에 항상 유일하게 결정되며 이것이 사상절차의 시작점이 된다. 다음에 c점의 위치를 계산해야 하는데, 제품의 B, C 및 D점으로 구성되는 삼각형 BCD의 면적과 평면상의 삼각형 bcd의 면적이 같도록 c의 위치를 구한다. 이때, 점 c의 위치는 유일하지 않기 때문에 c점의 위치를 구하기 위하여 Fig. 3(b~e)과 같은 기법을 사용한다. 삼각형 BCD의 면적과 bcd의 면적이 같도록 하려면 c_1 은 직선 bd와 평행인 선상에 위치해야 하며 삼각형 bc_1e 및 dc_1f 도 마찬가지로 결정된다. 여기서 삼각형 $c_1c_2c_3$ 의 중점을 c점으로 삼는다. c점의 위치를 계산한 후에는 위의 방법으로 인접 요소에 대하여 차례로 사상을 수행하여 최종형상의 모든 요소를 평면상으로 이동시킨다.

전술한 바와 같이 기하학적 사상법에 의하여 예측한 초기소재 형상은 근원적인 오차를 가지고 있으나 적용상의 용이성, 짧은 계산시간, CAD 데이터의 직접적인 사용 및

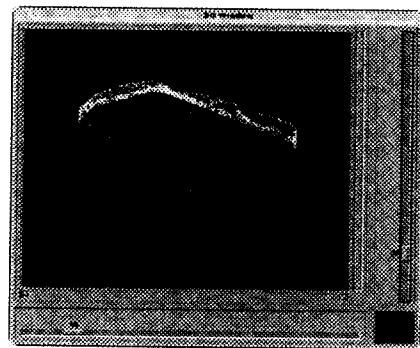


Fig. 2 3D shape of automobile fuel tank by GUI for blank design system

수렴에 문제가 없는 이점 때문에 개략적인 초기소재 형상을 예측하는 데에는 아주 유용하게 사용할 수 있다.

몇가지 자동차 부품의 초기소재 형상을 기하학적 사상법으로 예측하였다. 간단한 예로서, 딥드로잉 사각컵에 적용하여 보았다. Fig. 4는 사각컵 최종제품의 표면을 사

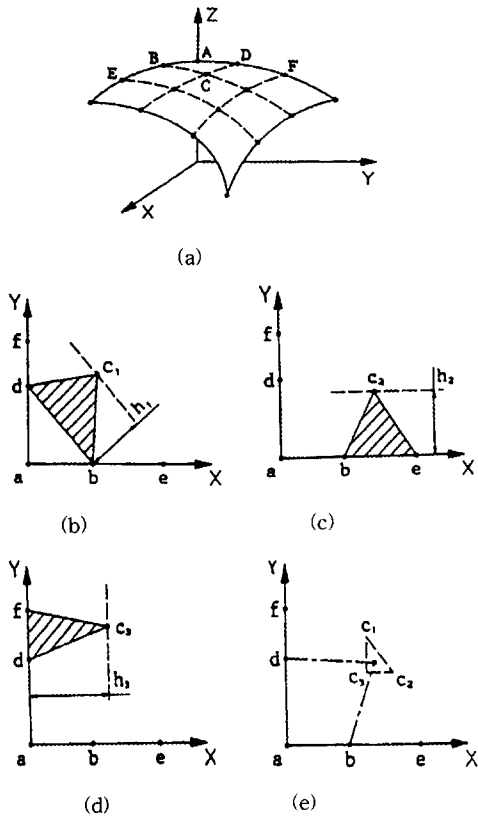


Fig. 3 Schematics of geometric mapping

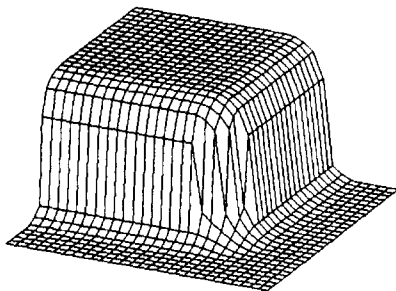


Fig. 4 3D Shape of square cup (1/4 part)

각형 격자로 구성한 것으로 대칭성에 의하여 전 제품의 1/4만 나타내었는데 사각컵의 폭은 100 mm, 높이는 36 mm, 플랜지부를 포함한 전체의 폭은 140 mm로 하였다. 이 경우 두 개의 대칭 중심선은 자동적으로 결정된다. Fig. 5는 기하학적 사상법에 의하여 예측된 초기소재 형상을 보여준다.

기하학적 사상법에 의하여 계산된 초기소재 형상을 가지고 ABAQUS/Explicit 5.5.1에 의하여 전산모사 성형 해석을 수행하여 소요의 최종제품과 비교하였다. Fig. 6

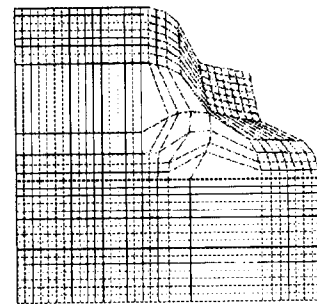


Fig. 5 Initial blank shape of square cup by geometric mapping

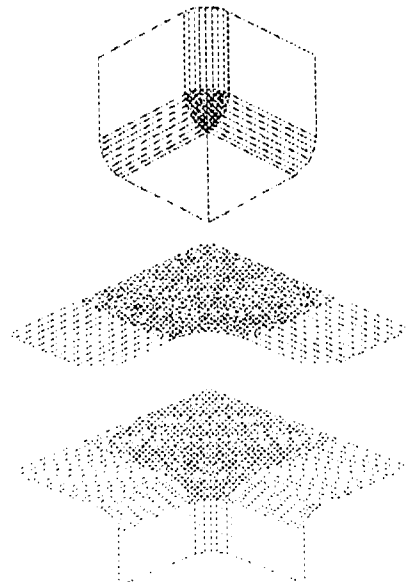


Fig. 6 FEM models of punch, blank-holder and die for square cup drawing

에 전산모사를 위한 편치, 다이 및 블랭크홀더의 모델이 나타나 있다. 성형재료는 JIS-SPCE 딥드로잉 스틸을 이용하였고 그 물성치는 Table 1에 나타내었다. Fig. 7에 성형 진행에 따른 외곽선의 변화를 나타내었다. 그림에서 처럼 초기블랭크의 외곽선과 성형후의 외곽선을 비교할 수 있는데 목표치(70 mm)를 기준으로 보면 남는 부분과 모자라는 부분을 쉽게 알 수 있다.

Table 1 Material properties of JIS-SPCE deep drawing steel

E	Y ₀	ν	ρ
210 GPa	185 MPa	0.3	7700 kg/m ³
$\sigma = 587.54 \times (0.011997 + \bar{\epsilon})^{0.26125}$ MPa			

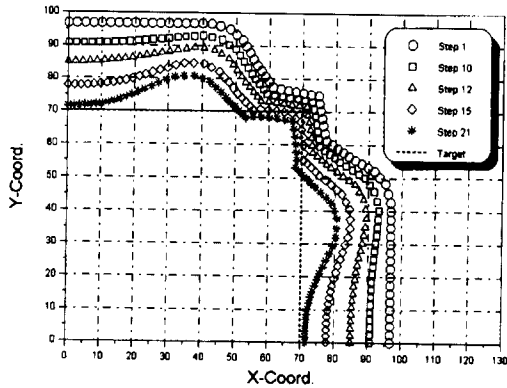


Fig. 7 Variations of boundary nodes along deformation path for cup drawing

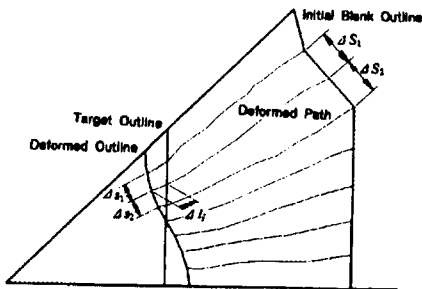


Fig. 8 Volume addition/subtraction method along the deformation path

3. 변형경로를 고려한 체적가감법

기하학적 사상법을 이용하여 결정된 블랭크를 가지고 유한요소 성형해석을 수행한 뒤 성형 목표치와의 차이를 보정하는데, 블랭크의 보정은 Fig. 8에서 처럼 전산모사에 의하여 계산된 결과와 최종제품의 차이만큼 재료를 더하거나 제거하여서 달성한다. 블랭크의 외곽을 구성하는 각 노드들의 변형경로는 일련의 곡선을 이룬다. 따라서 성형과정 중 노드의 위치를 i 라고 하면 변형경로는 다음과 같은 3차 스플라인 곡선으로 가정할 수 있으며 재료를 더하거나 제거하는 것은 이 곡선을 따라 내삽 또는 외삽에 의하여 이루어 진다.

$$f_i(x) = \frac{f''(x_{i-1})}{6(x_i - x_{i-1})}(x_i - x)^3 + \frac{f''(x_i)}{6(x_i - x_{i-1})}(x_i - x_{i-1})^3 + \left[\frac{f(x_{i-1})}{(x_i - x_{i-1})} - \frac{f''(x_{i-1})(x_i - x_{i-1})}{6} \right](x_i - x) + \left[\frac{f(x_i)}{(x_i - x_{i-1})} - \frac{f''(x_i)(x_i - x_{i-1})}{6} \right](x_i - x_i) \quad (1)$$

윗 식은 각 구간 양단에서 2차도함수를 미지수로 가지고 있다. 이 미지수들은 다음식으로 구해진다.

$$(x_i - x_{i-1})f''(x_{i-1}) + 2(x_{i+1} - x_{i-1})f''(x_i) + (x_{i+1} - x_i)f''(x) = \frac{6}{(x_{i+1} - x_i)}[f(x_{i+1}) - f(x_i)] + \frac{6}{(x_i - x_{i-1})}[f(x_{i-1}) - f(x_i)] \quad (2)$$

이렇게 얻어진 블랭크 외곽을 구성하는 각 노드들의 변형경로를 따라 성형물의 체적분변의 조건을 이용하여 노드의 위치를 변경한다. 즉, 노드 i 의 성형해석 결과에 따른 두께를 t_i , 변형경로로 가정한 3차 스플라인 곡선 상에서의 성형 목표치와의 차이를 ΔI_i , 외곽선 상의 양쪽 인접 노드와의 거리를 각각 ΔS_1 , ΔS_2 라 하면 보정해야 할 체적 ΔV_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_i = t_i \times \Delta I_i \times (\Delta S_1 + \Delta S_2) \quad (3)$$

여기에서 노드의 두께 t_i 는 성형해석 결과에 의하여 직접 산출할 수 없으므로 해당노드를 포함하고 있는 인접요소들의 평균두께로 정의한다. 따라서, 블랭크 상에서의 초기

두께를 T_i , 외곽선 상의 양쪽 인접노드와의 거리를 각각 ΔS_1 , ΔS_2 라 하면 보정길이 ΔL_i 는 다음과 같다.

$$\Delta L_i = \frac{\Delta V_i}{T_i \times (\Delta S_1 + \Delta S_2)} \quad (4)$$

체적가감법에 의하여 보정된 초기소재의 형상을 Fig. 9에 나타내었고 이를 가지고 실행한 전산모사의 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 처럼 상당히 많은 양의 오차가 줄었음을 알 수 있다. 체적가감법에 의하여 초기소재의 형상을 한 번 더 보정한 결과를 Fig. 11에 나타내었고 전산모사의 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 그림에서 처럼 거의 목표치에 근접하는 결과를 나타내었다. 이와같이 체적가감법을 반복적으로 적용하면 오차를 줄일 수 있는 것

나 대부분의 박판성형공정은 트리밍 공정을 완전히 배제할 수는 없으므로 전산모사 해석을 여러번 반복할 필요는 없을 것으로 판단된다.

4. 실제부품에의 적용

개발된 초기소재 설계시스템을 이용하여 실제 성형문제인 자동차 연료탱크의 초기소재 형상의 결정에 적용하여 보았다. 자동차 연료탱크의 형상에 대한 CAD 데이터를 직접 읽어 그 형상과 선택된 2개의 대칭축을 Fig. 13에 나타내었다. 자동차 연료탱크는 형상은 길이 900 mm, 폭 590 mm, 높이 113 mm의 비대칭 형상이다. 기하학적 사상법에 의하여 계산된 초기소재의 형상을 Fig. 14에 나

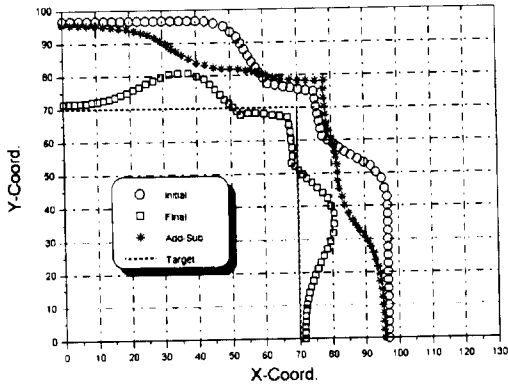


Fig. 9 Modified initial blank by volume addition/subtraction

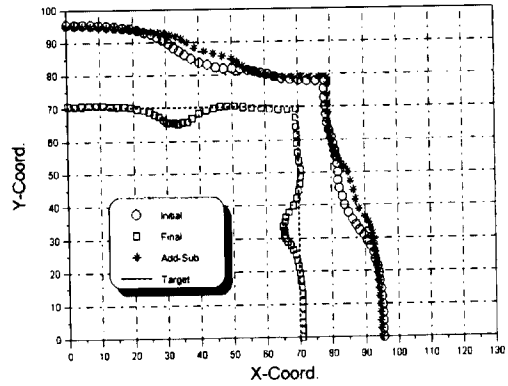


Fig. 11 2nd modified initial blank by volume addition/subtraction

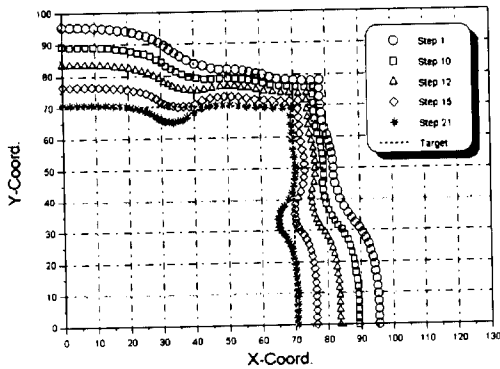


Fig. 10 Variations of boundary nodes along deformation path for cup drawing from modified initial blank

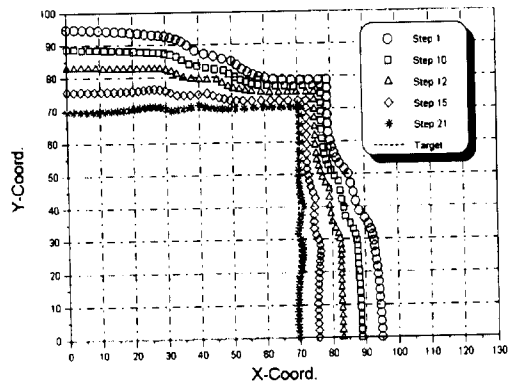


Fig. 12 Variations of boundary nodes along deformation path for cup drawing from 2nd modified initial blank

타내었다. 그림에서는 외곽선이 매우 뾰족한 것을 알 수 있는데 이것은 기하학적 사상법의 특성상 이웃한 요소의 밀림량이 다음 요소에 영향을 주어 골곡이 심한 표면에 요소가 많은 경우에 나타나는 현상이다. 본 연구에서는 이를 외곽 라운딩 기법으로 처리하였으며 그 결과가 Fig. 15에 나타나 있다.

성형해석을 위한 펀치, 다이 및 블랭크홀더의 모델을 Fig. 16에 나타내었으며 재료의 물성치는 Table 2에 나타내었다. ABAQUS/Explicit 5.5.1에 의한 전산모사 성형해석 과정을 Fig. 17, 1차 보정에 의한 전산모사 성형해석 과정을 Fig. 18에, 2차 보정에 의한 전산모사 성형해석 과정을 Fig. 19에 각각 나타내었다. 두 번의 보정으로 목표치에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다.

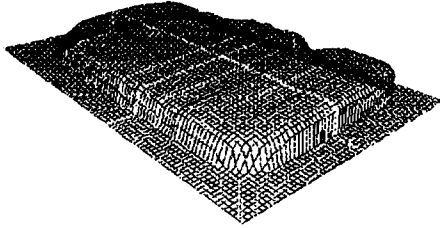


Fig. 13 3D view of automobile fuel tank with quadrilateral mesh

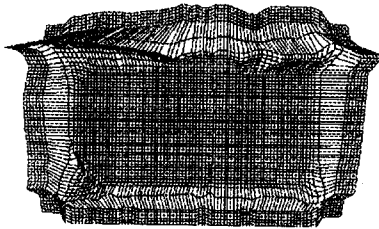


Fig. 14 Initial blank shape of automobile fuel tank by geometric mapping

Table 2 Material properties of cold rolled steel

E	Y ₀	ν	ρ
200 GPa	162 MPa	0.3	7700 kg/m ³
$\sigma = 526.0 \times (0.0074 + \bar{\epsilon})^{0.239} \text{ MPa}$			

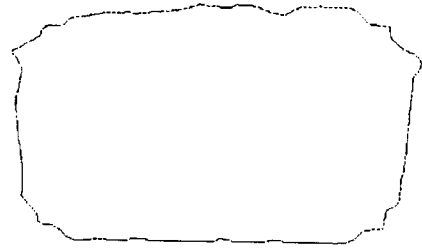


Fig. 15 Rounded outline of initial blank shape of automobile fuel tank

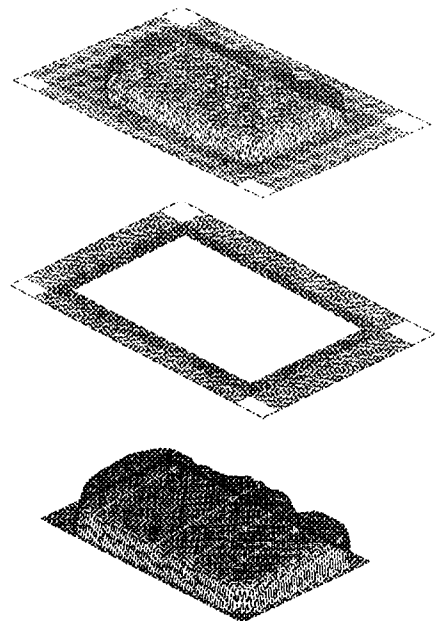


Fig. 16 Modeling of die, blank-holder and punch for automobile fuel tank

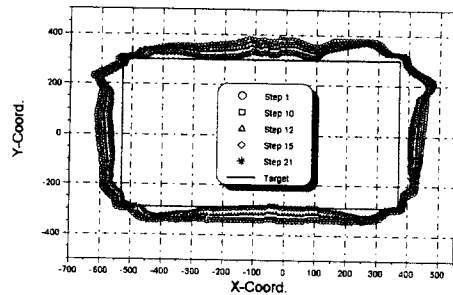


Fig. 17 Variations of boundary nodes along deformation path for automobile fuel tank

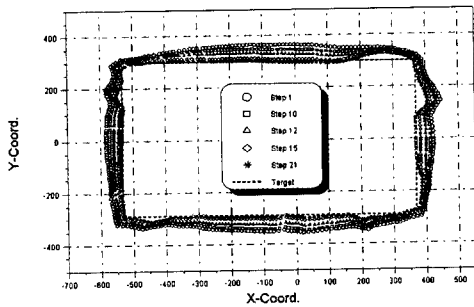


Fig. 18 Variations of boundary nodes along deformation path for automobile fuel tank from 1st modified blank

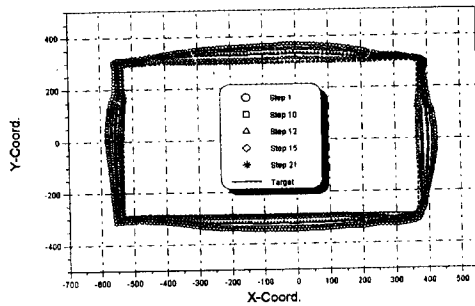


Fig. 19 Variations of boundary nodes along deformation path for automobile fuel tank from 2nd modified blank

6. 결 론

본 연구에서는 박판성형과정에서 꼭 필요한 과정인 초기소재의 형상결정 과정을 실무자가 사용하기 용이한 형태로 개발하고 그 유용성을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기하학적 사상법을 적용함으로써 계산시간의 단축 및 해를 구하는 과정에서의 수렴성 문제에 안정성을 기하였다.

(2) 상용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS/Explicit을 이용하여 성형과정을 전산모사 하였고, 그 결과를 바탕으로 하여 변형경로를 고려한 체적가감법을 이용하여 기하학적 사상법에서 근원적으로 가지고 있는 오차량을 줄일 수 있었다.

(3) 초기소재 설계시스템을 개발하는데 있어 X-윈도우 환경에서 수행되는 그래픽 사용자 인터페이스를 구축하여

사용자의 편의를 도모하였다.

(4) 간단한 형상의 예로 사각컵의 초기소재 형상을 결정하고 검증하여 그 과정 및 원리의 적합성을 입증하였으며, 실제적인 문제에 있어 자동차 연료탱크의 초기소재를 결정할 수 있었다.

후 기

본 연구는 크레이사의 1996년도 대학 연구개발 보조프로그램 및 현대자동차(주)의 지원으로 수행 되었으며 이에 감사드립니다. 또한 현대자동차(주)의 CAD 데이터 제공에도 감사드립니다.

참고문헌

- (1) V.R.Hasek and K.Lange, 1979, "Use of the slip line field method in deep drawing large irregular shaped component", Proc. 7th NAMRC, pp.65~71.
- (2) H.Gloeckl and K.Lange, 1983, "Computer aided design of blanks for deep drawing large irregular shaped component", Proc. 11th NAMRC, pp.243~251.
- (3) E.Chu, D.Soper, H.Gloeckl and J.C.Gerdeem, 1985, "Computer aided geometric simulation of sheet metal forming Processes", In N.M.Wang and S.C.Tang eds., Computer Modeling of Sheet Metal Forming Processes, pp.65~76.
- (4) R.Sowerby, J.L.Duncan and E.Chu, 1986, "The modeling of sheet metal stamping", Int. J. Mech. Sci., vol.28, pp.415~430.
- (5) G.N.Blount and P.R.Stevens, 1990, "Blank shape analysis for heavy gauge metal forming", J. Mat. Proc. Tech., vol.24, pp.65~74.
- (6) S.A.Majlessi and D.Lee, 1987, "Further development of multi-stage sheet forming analysis method", Trans. ASME, J. Eng.Ind., vol.109, pp.330~337.
- (7) Y.Q.Guo, J.L.Batoz and J.M.Duroux, 1990, "Application of an inverse FE-procedure for strain estimations of sheet metal forming part", Int. J. Num. Meth. Eng., vol.30, pp.1385- 1401.

- (8) K.Chung and O.Richmond, 1992, "Ideal forming II. - Sheet forming with optimum deformation", Int. J. Mech. Sci., vol.34, pp.617~633.
- (9) 박상후, 윤정환, 양동열, 김용환, 1996, "이상적 성형

이론과 변형경로 반복법을 이용한 최적블랭크 설계에 관한 연구", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 659~664.