

기하학적 방법을 이용한 초기 박판형상 추정

정 동 원* · 이 상 제**
(99년 1월 14일 접수)

Prediction of Initial Blank Shape by Using Geometrical Method

Dong-Won Jung* · Sang-Je Lee**

Key Words : Geometric Modelling(기하학적 모델링), Initial Blank Shape(초기 블랭크 형상), Constant Area Mapping Hypothesis(일정 면적 매핑 가설), Interactive Computer Design(상호 대화식 컴퓨터 설계), Complex Shape(복잡한 형상)

Abstract

In this paper, method for mapping a three-dimensional shape into the two-dimensional plane will be introduced. This method is referred to geometric modelling and means a transformation between the flat sheet and the final surface. The initial blank shape represents the original configuration of the final shape formed into three dimensional surface. The initial constant area mapping hypothesis was used in this paper. This technique will be applied to the basic data for an interactive computer design capable of dealing with typical stamping process, including deep parts and complex shapes.

1. 서 론

1.1 개 요

박판 금속성형이란, 금속 판재를 이용하여 다양하고 비교적 복잡한 형상의 제품을 만드는 공정을 말하는데, 대부분의 박판 성형물은 제조공정 중에 커다란 소성변형을 수반하게 된다. 따라서 판재의 파단이라든지 형상불량 등의 가공 결함이 발생하기 쉽다. 이러한 물리적 결함을 수반하지 않는 우

수한 박판 성형물을 얻기 위해서는 합리적인 가공 공정의 설계가 필수적이라 할 수 있다.

일반적으로 사용되는 공정변수 결정방법은 이들 공정변수를 실험적인 방법으로 직접 취해서 얻는 것이다. 하지만 이러한 방법은 수많은 시행착오를 거쳐야 하기 때문에 요즘의 짧은 리드타임(lead time)을 요하는 생산 공정에 적용하기에는 매우 비효율적이라 할 수 있다. 이에 반하여 최근 컴퓨터의 발달로 인해서 수치적인 방법을 통해 성형공정을 해석하는 것이 가능하게 되었는데, 이에따라 컴

* 정회원, 제주대학교 기계공학과

** 제주대학교 기계공학과 대학원

퓨터를 이용한 많은 수치해석 기법들이 나오게 되었고, 산업현장에까지 직접 적용이 되고 있는 실정이다.

이러한 컴퓨터를 이용한 수치적 방법들의 발달에 힘입어 최근에는 제품이 성형되기 전, 소재의 초기형상을 예측해 보려는 시도가 이루어 졌고, 그에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 박판금속의 성형은 소재의 물리적인 특성 및 초기형상, 금형의 기하학적 형상, 금형과 재료간의 마찰, 가공방법 등 여러 가지 공정변수에 의하여 복합적으로 영향을 받게 된다. 그 중에서 초기 블랭크 형상은 성형중 재료의 변형에 영향을 미치며, 재료의 절감과 트리밍 공정의 감소를 위해서 매우 중요한 공정변수라 할 수 있겠다. 본 연구에서는 이러한 블랭크의 초기형상을 계산하기 위하여 '기하학적 모델링 (geometric modelling)'이라 불리는 투영 방법[7]을 사용하고자 한다.

1.2 초기형상 결정에 관한 연구

그동안 소재의 초기형상에 대한 관심이 높아지면서 성형공정의 설계시에 제품의 초기 상태를 계산하려는 연구가 많이 진행되어 왔다. 일단 초기형상을 결정해 놓으면 설계시에 고려 해야할 공정변수를 줄일 수 있으므로 공정의 설계를 보다 쉽게 수행할 수 있게 된다. 이러한 목적으로 진행된 연구중에서 Hazeq와 Lange¹⁾, Chu와 Dou²⁾, Ohwue³⁾ 등은 미끄럼 선장법을 이용하였고, Vogel과 Lee⁴⁾, Chen과 Sowerby⁵⁾ 등은 평면응력 특성을 이용하여 블랭크의 형상을 계산하였다. 그러나 위의 미끄럼 선장법이나 평면응력 특성 등을 이용한 방법은 컵의 높이가 일정한 경우에만 적용이 가능하고 드로잉된 형상을 고려할 수 없다는 한계를 가지고 있었다. 반면 Blount와 Stevens⁶⁾, Sowerby, Duncan 및 Chu⁷⁾는 순수한 기하학적 투영에 의하여 소재의 초기형상을 계산하고자 하였는데, 이러한 기하학적인 사상은 복잡한 형상에도 적용이 가능하지만 재료의 거동에 관한 물리적인 고려가 전혀 없어서 실제와는 다른 결과를 나타낼 수도 있었다. 하지만 일반적인 제품 형상에 적용한 결과 그 초기형상과 근접한 결과를 나타내었으며, 무엇보다 빠른 계산시간으로 인해서 초기 형상을 바로 살펴 볼 수 있는

장점을 지니고 있다. 또한, 유한요소법을 이용한 다른 초기형상 결정 프로그램에 초기 추측값(initial guess)으로 적용이 가능하다.

1.3 연구목적 및 범위

정밀한 블랭크를 설계하기 위해서는 실제 성형조건을 모두 고려해 주는 것이 좋지만, 그러한 조건을 모두 고려한다는 것은 사실상 매우 어려운 일이며, 해석하는 시간과 준비 작업면에서도 볼 때, 그 효율성은 극히 떨어지게 된다. 따라서 큰 영향이 없는 변수는 무시하고 복잡한 현상은 공학적 가정에 의해서 단순화시켜 계산하게 된다.

본 연구의 목적은 공정변수의 하나인 초기형상을 구하는데 있어 여러가지 적용방법 중, 기존의 기하학적인 방법⁷⁾을 사용하여 금형설계자에게 빠른시간 내에 소재의 초기형상을 제공하는데 있다. 실제 변형 경로를 따르지 않는 기하학적인 투영방법이기 때문에 어느정도의 오차가 허용되며, 이러한 특성에 따라 정밀도가 다소 뒤떨어질 수도 있다. 하지만 계산시간을 크게 단축시킬수 있다는 점에서 그런 문제는 어느 정도 감수를 하고 연구를 진행하고자 한다.

2. 본 론

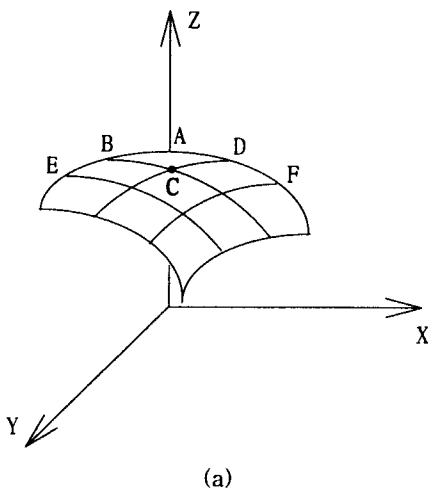
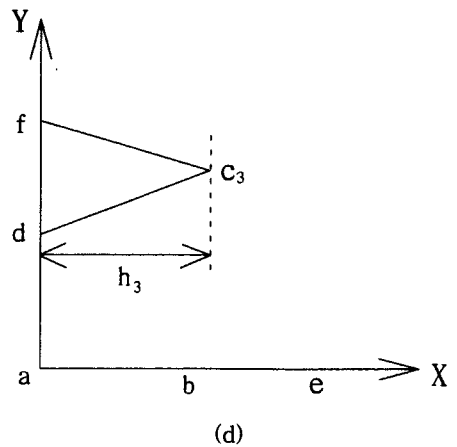
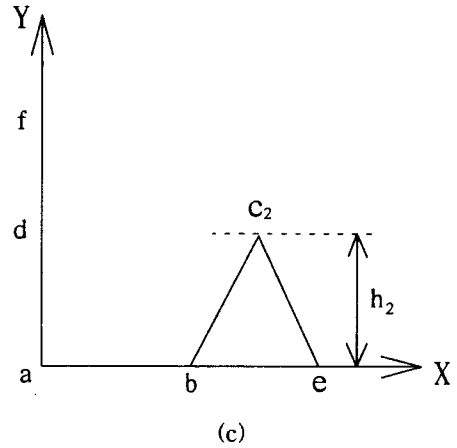
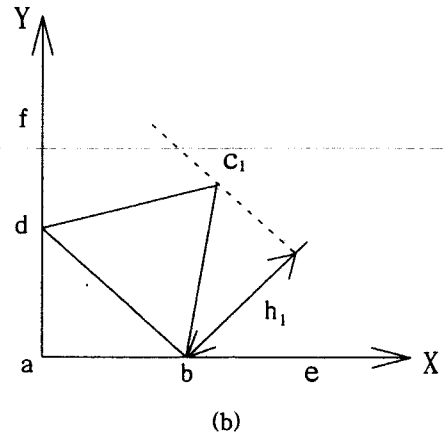
2.1 기하학적 모델링

기하학적 사상법이라 불리는 이 방법은 간단히 말해서, 주어진 최종형상의 표면 면적을 그대로 평면상으로 옮겨 놓는 방법이다. 먼저 주어진 CAD 모델을 유한 개의 격자로 나누고, 요소의 면적을 같게 유지하며 개개의 절점을 2차원 평면상으로 이동시킨다. 여기서, 3차원상의 각각의 요소면적은 요소를 이루는 세 직선의 길이를 측정함으로써 삼각형 면적을 구하는 공식으로부터 얻어진다. 또한 요소들은 변형 중에 순수한 소성전단에 의해서만 변형한다고 가정한다.

우선, 이 방법을 수행하기 위해서는 기준선이 필요하다. 대부분의 박판 성형물은 소재 내에서 이동하지 않는 직선(symmetry lines)을 가정할 수 있으며, 이것이 투영의 기준선이 된다. 따라서, 먼저

기준선을 평면상으로 투영시킨 후, Fig. 1과 같이 내부 절점 C를 이동시킨다. 그 이동절차는 다음과 같다. C와 같은 내부의 점을 이동시키는데 있어 주안점은 그에 이웃한 삼각형 요소들의 면적을 같게 해 주는 일이다. 삼각형 BCD와 면적이 같기 위한 평면상의 절점을 C_1 , 삼각형 CBE의 면적에 관한 절점을 C_2 , 그리고 CDF의 면적을 같게 하기 위한 절점을 C_3 라 하자. 우선, Fig. 1의 (b)에서 삼각형 BCD의 면적을 같게 유지하기 위해서는 선분 bd로부터 절점 C_1 이 h_1 만큼 떨어진 어느 곳에 위치해도 관계가 없다. 따라서 선분 bd와 평행하고, h_1 만큼 떨어진 직선의 방정식을 구한다. 같은 방법으로 Fig. 1의 (c)와 (d)에서 삼각형 CBE와 CDF의 면적이 변하지 않기 위한 h_2 와 h_3 를 계산하고, 직선의 방정식을 구한다. 이렇게 구한 세 직선의 방정식이 만나는 점 즉, 이웃한 삼각형들의 면적이 모두 같음을 만족하는 절점을 C점으로 결정한다.

하지만 여기서 C점은 3차원 표면으로부터 이동하기 때문에 세 개의 직선이 한 점에서 만나지 않고, Fig. 1의 (e)에서 처럼 작은 삼각형을 이루게 될 경우도 있다. 따라서 이런 경우에는 삼각형의 중심을 절점으로 결정하여 세 직선으로부터 동일한 가중치를 부여하는 방법을 택하도록 한다. 나머지 절점들도 이와같은 방법에 의하여 평면상으로 이동시키면 전체 초기형상을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 이와같은 기하학적 사상법⁶⁾을 적용한 프로그램이 개발되었고, Fig. 2에 그 전체 흐름도를 나타내었다.



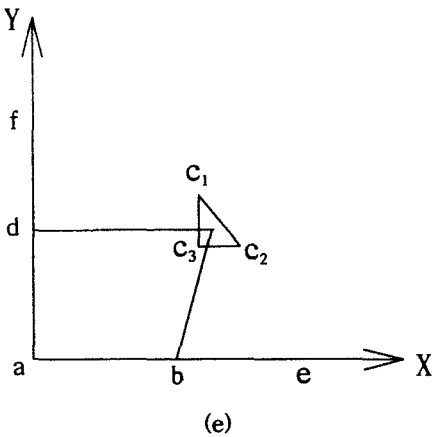


Fig. 1 Illustration of the mapping procedure

2.2 계산결과 및 고찰

앞서 기술한 기하학적 사상법을 이용하여 컴퓨터 프로그램을 개발하였고, 비교적 간단한 형상인 사각형 컵 문제에 적용시켜 소재의 초기형상을 계산해 보았다. CAD 모델은 Fig. 3과 같이 약간의 경사면을 가지며, 121개의 절점과 200개의 삼각형 요소를 가지고 있다. 사각형 컵은 X 및 Y축에 대칭형상이기 때문에 전체 형상의 1/4만을 대상으로 해석하였다.

프로그램 수행 결과 계산시간은 PC/AMD 200에서 1초도 걸리지 않았으며, 나타난 사각형 컵의 초기형상은 Fig. 4와 같다. 그런데 적용 방법의 한계성, 즉 단지 면적을 일정하게 유지시켜주는 방법이기 때문에 플랜지부에서의 부드러운(smooth) 모습은 기대하기 힘들었고, 모서리 부위의 요소면적이 최종형상일 때와 초기형상일 때 서로 차이가 발생함을 보였다. 이것은 코너부근의 요소를 평면상에 매핑할 때, 요소의 세 변이 한 점에서 만나지 않음으로 삼각형의 중심을 택하기 때문에 일어나는 오차라 여겨진다. 그러나 여기서 계산된 초기형상만으로 성형되기 전, 박판의 초기형상을 어느정도 추정하기에는 무리가 없다고 여겨진다.

추가로 계산의 정확도를 더 높이기 위하여 Fig. 5에 보여진 그림과 같이 CAD 형상의 격자를 이전 격자의 1/2 크기로 더 잘게 나누어서 계산해 보았다. 그 결과 격자를 나누지 않았던 이전 경우보다 플랜지부에서 좀더 유연함을 보였고, 면적 차이로

나타난 오차량을 상당부분 줄일 수 있었다. 이상으로부터 계산에 이용되는 격자의 크기가 작을수록 좀더 정확한 형상 표현이 가능하다는 사실도 입증되었다. 마지막으로, 1/4만으로 계산된 결과를 종합하여 전체 사각형 초기형상을 Fig. 6에 나타내었다.

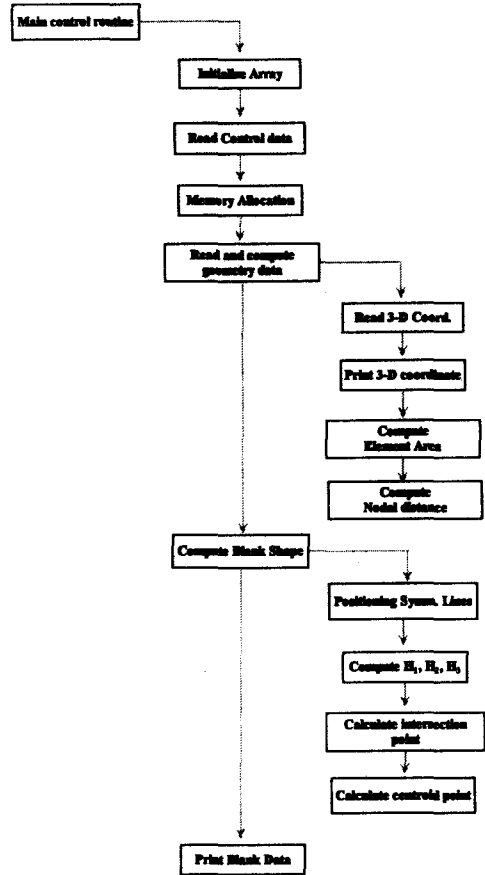


Fig. 2 Flow chart of the developed program

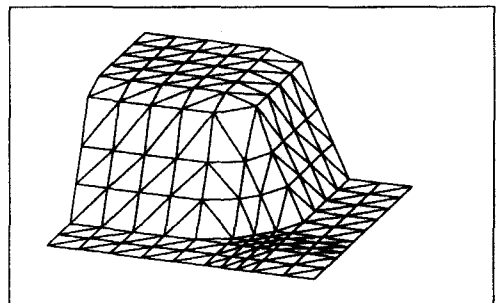


Fig. 3 Schematic view of the square cup

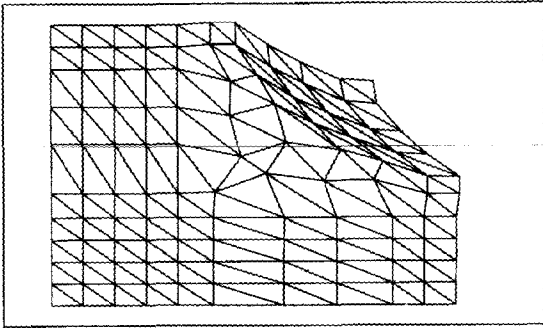


Fig. 4 Calculated initial blank shape

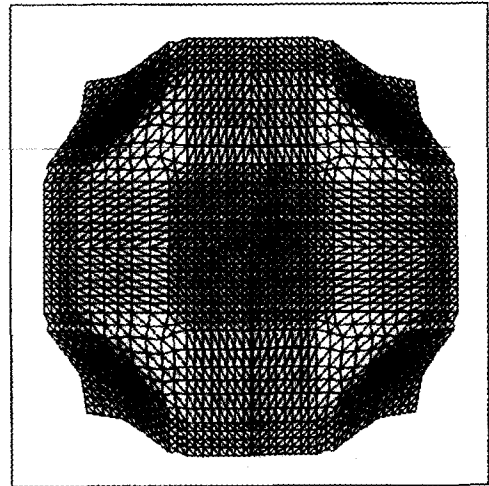
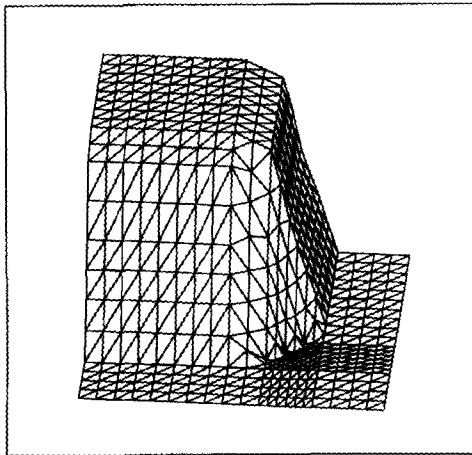
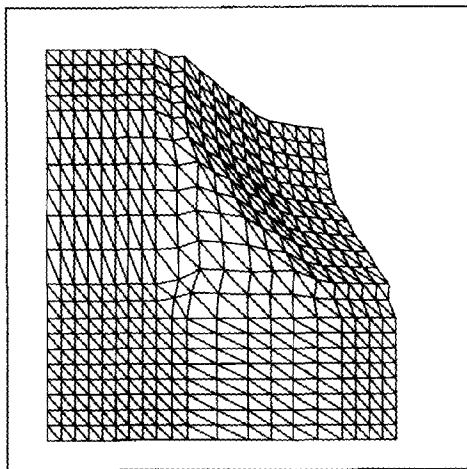


Fig. 6 Combined total initial blank shape



(a)



(b)

Fig. 5 A remeshed shape and calculated result

2.3 실용 부품에의 적용

본 연구에서 사용된 프로그램의 실용성을 확인해 보기 위하여, 실제 사용되고 있는 자동차 부품에 대하여 해석을 해 보았다. Fig. 7은 자동차 바퀴 부분에 들어가는 펜더(fender)의 3차원 형상이다. 본 연구에서 사용한 기하학적 방법으로는 전체 형상을 한꺼번에 계산할 수는 없었으므로, 형상을 4부분으로 나눠서 각각에 대한 초기 형상을 계산하였다. 3차원 형상을 분할한 그림들은 Fig. 8에, 각 영역에 대해 계산된 초기 형상은 Fig. 9에 나타내었다. 이로써 펜더가 성형되기 전, 블랭크 전체의 초기 형상은 Fig. 10과 같이 나타나리라 예측해 볼 수 있다.

다음은 연료탱크(fuel tank)에 대해서 해석을 해 보았다. 3차원으로 모델링된 형상은 Fig. 11과 같으며, 여기에 사용된 전체 절점수는 1251개이고, 2400개의 삼각형 요소를 사용하였다. 앞의 펜더 예제와 마찬가지로 형상을 1/4로 분할하여 각각에 대한 초기값을 계산하는 방법을 취하였다. 결과로 나타난 초기 블랭크 형상은 Fig. 13과 같으며, 이것을 조합한 전체 블랭크 형상은 Fig. 14와 같이 나타났다. 마지막으로 뒷문힌지(rear hinge)에 대해서도 해석을 하였다. Fig. 15에 보이는 3차원 형상은 1904개의 절점과 3680개의 요소를 사용하였고, 앞

의 예제와 같은 방법으로 초기 블랭크 형상을 계산하였다. 그 결과 뒷문헌지의 3차원 형상은 Fig. 16과 같은 크기를 가지는 초기 블랭크 형상을 얻을 수 있었다.

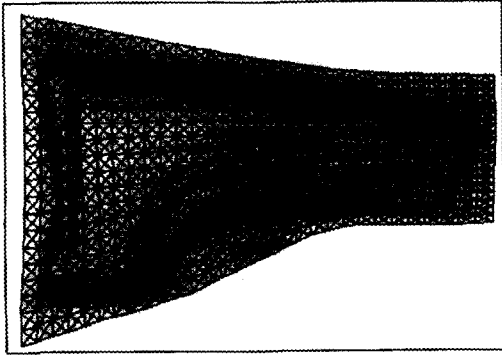
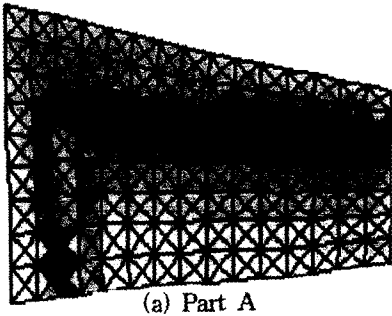


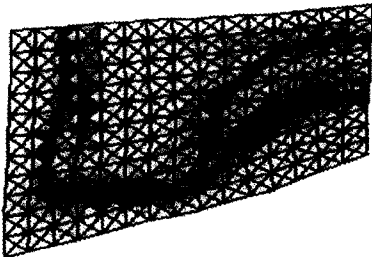
Fig. 7 Schematic view of a fender



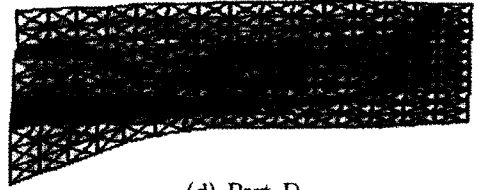
(a) Part A



(b) Part B

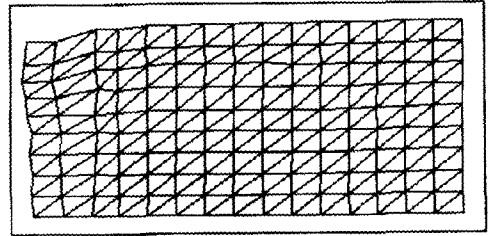


(c) Part C

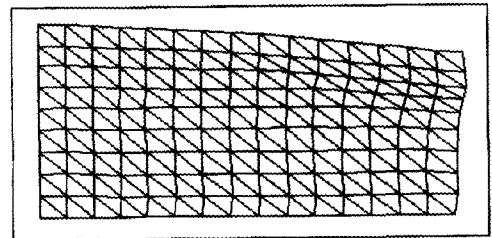


(d) Part D

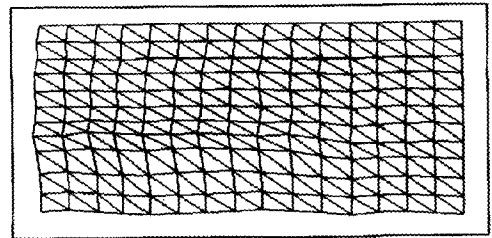
Fig. 8 A shape of fender divided into four



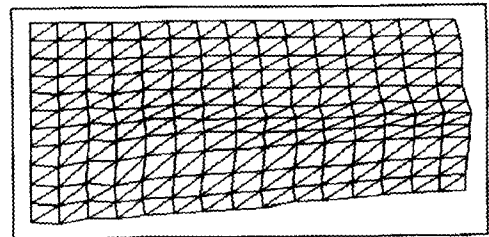
(a) Part A



(b) Part B



(c) Part C



(d) Part D

Fig. 9 Calculated initial blank shape

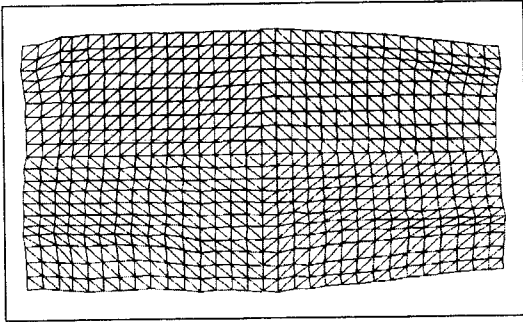


Fig. 10 Combined total initial blank shape

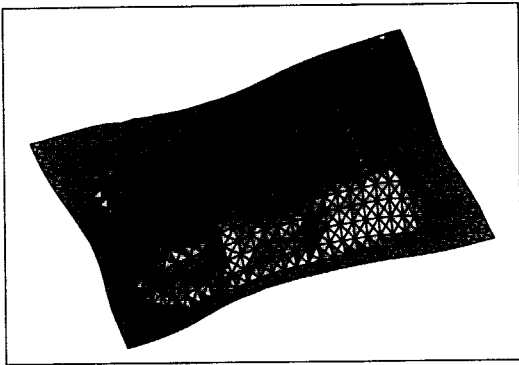
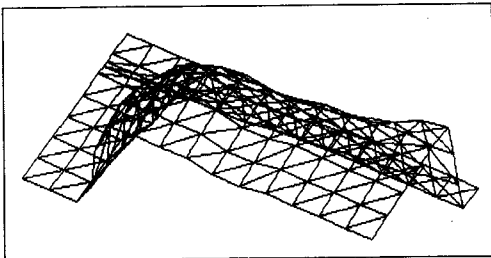
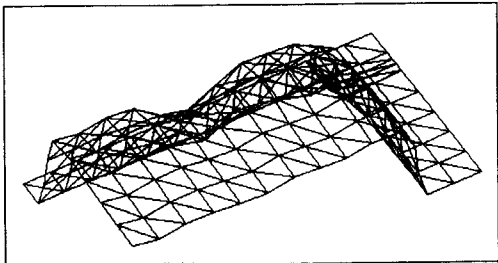


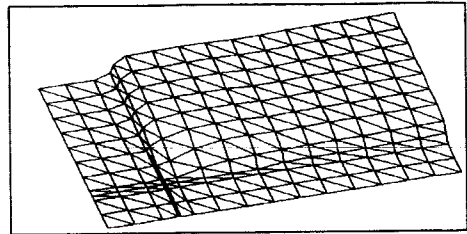
Fig. 11 A fueltank model



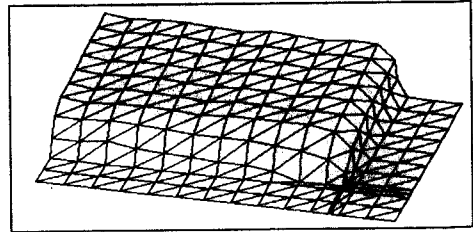
(a) Part A



(b) Part B

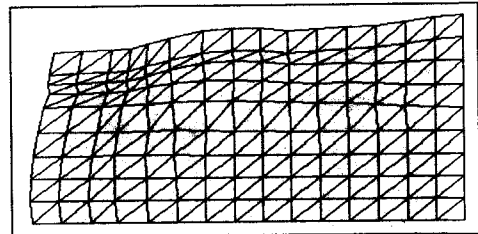


(c) Part C

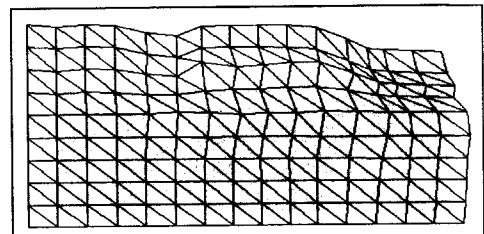


(d) Part D

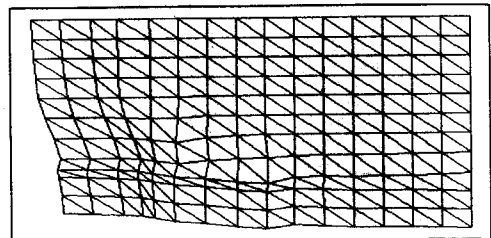
Fig. 12 A shape of fueltank divided into four



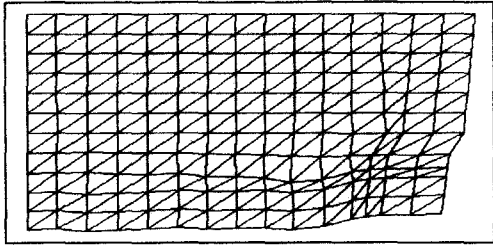
(a) Part A



(b) Part B



(c) Part C



(d) Part D

Fig. 13 Calculated initial blank shape

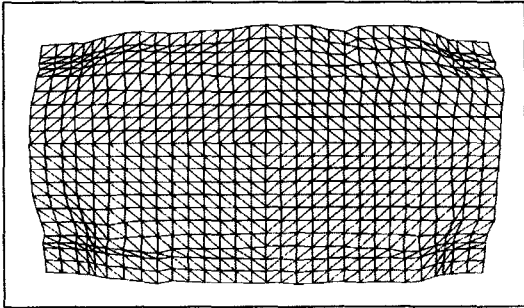


Fig. 14 Combined total initial blank shape

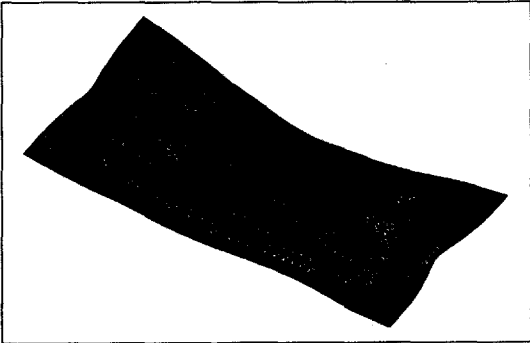


Fig. 15 Schematic view of a rear hinge

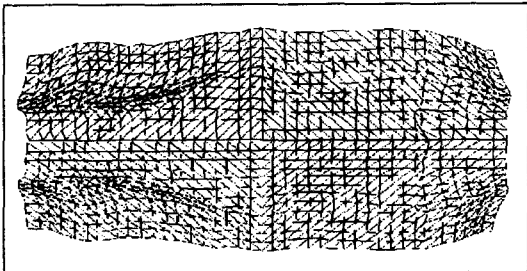


Fig. 16 Combined total initial blank shape

이상에서 살펴본 바와 같이 본 연구에 사용된 프로그램은 일반적인 형상인 사각꺾형 예제뿐만 아니라, 실제 자동차 부품의 초기형상을 예측하는 데에도 적용 가능성을 확인할 수가 있었다.

3. 결론 및 향후과제

본 연구를 통하여 박판성형물의 최종형상으로부터 초기 소재의 형상을 예측하여 보았다. 이에 사용된 방법은 기하학적인 사상법을 이용하였으며, 여러 가지 박판 형상에 대해 적용해 봄으로써 초기형상을 계산할 수 있는 가능성을 보였다.

하지만, 이 방법은 단지 순수한 기하학적 투영에 의한 것으로 실제 소성변형시 발생하는 복잡한 변형이력이라든지, 소재의 물질특성 등은 고려하지 못했다. 따라서 그에 대한 계산시간은 매우 빠른 반면에 소재의 초기형상을 개략적으로 밖에 예측할 수 없다는 문제점이 있었다. 그러므로 본 연구에서 수행된 결과로는 성형공정 설계시, 빠른 시간 내에 대략적인 초기 블랭크 형상의 경향을 파악한다는 정도에 만족을 하고, 향후 과제로 다음과 같은 내용이 연구되어야 할 것으로 본다.

- 1) 보다 정밀한 수준의 초기형상을 구하기 위해서 실제 재료의 변형경로를 고려한 유한요소법을 이용하여 소재의 초기형상을 찾는다.
- 2) 수치해석으로 구한 초기 블랭크 형상과 직접 실험을 통하여 얻어낸 형상을 비교하여 실제 공정에서의 적용가능성을 판단해 본다.
- 3) 실제 생산공정에 적용이 가능하도록 프로그램을 대화형식(interactive)으로 개발한다.

참고문헌

- 1) Hazeck, V. V. and K. Lange, "Use of Slip Line Field Method in Deep Drawing of Large Irregular Shaped Components", Proc. of 7th NAMRC, Ann Arbor, Michigan, pp.65-71, 1979
- 2) Chu, J. Y. and A. P. Dou, "A Software

- System for Designing Reasonable Blank for Box-shaped Deep-drawn Articles", Proc. of 3rd ICTP, Vol. 3, pp. 1319-1324, 1990
- 3) Ohwue, T., M. Takita, Y. Itami, M. Ataka, S. Ikura and M. Toda, "Analysis of Materials Draw-in from Flange Corner during Deep Drawing of Polygonal Shells", Proc. of 3rd ICTP, Vol. 3, pp. 1311-1318, 1990
 - 4) Vogel, J. H. and D. Lee, "An Analysis Method for Deep Drawing Process Design", Int. J. Mech. Sci., Vol. 32, pp. 891-907, 1990
 - 5) Chen, X. and R. Sowerby, "The Development of Ideal Blank Shapes by the Method of Plane Stress Characteristics", Int. J. Mech. Sci., Vol. 34, No. 2, pp. 159-166, 1992
 - 6) Blount, G. N., P. R. Stevens, "Blank Shape Analysis for Heavy Gauge Metal Forming", J. Mater. process. Technol., Vol. 24, pp. 65-74, 1990
 - 7) Sowerby, R., J. L. Duncan, E. Chu, "The Modeling of Sheet Metal Stamping", Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No. 7, pp. 415-430, 1986