

수치 및 실험적 접근을 통한 다점무금형성형기술 연구

허성찬¹·서영호¹·구태완²·송우진³·김정²·강범수[#]

Study on Multi-point Dieless Forming Technology Based on Numerical and Experimental Approach

S. C. Heo, Y. H. Seo, T. W. Ku, W. J. Song, J. Kim, B. S. Kang

Abstract

Large curved plate blocks are widely used to construct hull structure in shipbuilding industry. Most curved plates are manufactured by using manual method called as line heating that use deformation caused by residual stress after local heating along a line which is perpendicular to the curvature direction. However, its working environment is poor and its formability is totally dependent on an experienced technician. In view of that, multi-point dieless forming (MDF) technology that use reconfigurable punch arrays instead of one piece die is proposed in this study. The MDF process is based on a concept of equivalent die surface made by numbers of punches which has round tip at the end of it. In this study, numerical simulation for common curvature type such as saddle shape was carried out. In addition, experiments in the plate forming process were also conducted to compare with the numerical results in view of final configuration. Consequently, it was noted that the proposed dieless forming method has considerable feasibility to substitute the new process for conventional manual method.

Key Words : Multi-point Dieless Forming (다점무금형성형), Thick Plate Forming(후판성형), Finite Element Analysis (유한요소해석)

1. 서론

금형을 이용한 금속재의 성형법은 단조(forging), 스탬핑(stamping), 드로잉(drawing), 액압성형(hydro-forming)과 같은 형태로 소성가공 분야에서 폭넓게 이용되고 있다.^(1,2) 그러나 이는 대량생산 체제에 적합한 대량생산에 적합한 방법으로서 조선이나 항공기 부품가공과 같이 다품종 소량 생산을 기반으로 하는 분야에는 적합하지 않다. 특히, 조선 분야에서는 이러한 이유로 수작업을 기반으로 하는 선상가열(line heating)법이 아직까지 이용되고 있는 실정이다.^(3,4) 생산성이 떨어지고 작업 환경이 열악

할 뿐만 아니라 인력 수급에도 어려움을 겪고 있는 선상가열법이 아직도 현장에서 이용되고 있는 것은 전술한 바와 같이 선체의 각 부위마다 곡률이 다를 뿐만 아니라 생산량 또한 매우 제한적이기 때문에 금형을 이용한 성형법을 이용하는 것은 경제성이 현저히 떨어지기 때문이다.

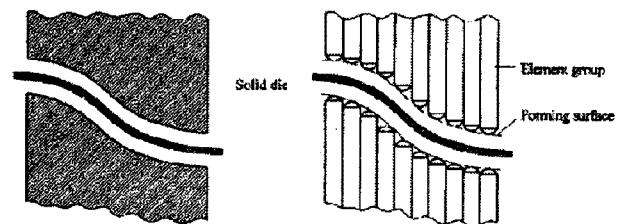


Fig. 1 Schematic view of flexible die equivalent to matched die forming tool

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원

2. 부산대학교 항공우주공학과

3. 부산대학교 산학협력단

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과,

E-mail: bskang@pusan.ac.kr

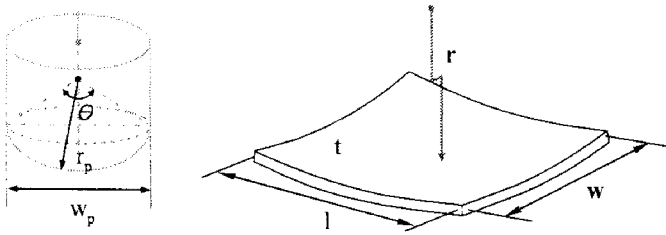


Fig. 2 Geometrical parameters in flexible die forming process

그러나 기존의 단일 금형을 사용하는 프레스 성형의 개념을 벗어나서 금형의 형상 변경이 용이한 성형방법을 적용할 수 있다면 기존의 곡판 가공 공정을 대체할 수 있게 되며 인력수급의 문제를 해결하고 제품의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 측면에서 착안하여 Fig. 1과 같이 상하의 다수의 펀치(punch) 배열로 구성되어 단일 금형과 등가의 곡면을 구현할 수 있는 다점무금형성형(multi-point forming)기술^(5,6)을 제안하였다. 이는 프레스를 이용한 성형을 하면서도 다품종 소량 생산에 적합하도록 표면 형상을 자유롭게 변형시킬 수 있는 개념의 성형법이다. 이에 본 연구에서는 다점무금형성형법의 적합성을 검증하기 위하여 대표적인 형상의 곡판성형해석을 수행하고 실험을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

2. 다점성형공정의 주요 성형인자

가변금형성형법의 주요 성형인자는 판재와 펀치의 소재물성(material properties), 형상치수 그리고 곡판의 형태와 곡률 등이다. 이 중에서 성형성에 큰 영향을 미치는 요소는 Fig. 2와 같이 펀치의 형상이다. 판재의 경우 두께에 따른 성형하중 및 성형한계 곡률이 다르게 나타나는데 판재가 두꺼울수록 성형하중이 증가하고 성형한계곡률이 감소한다. 또한 판재가 얇아질수록 곡면이 불연속적이므로 판재의 가장자리에서 압축응력이 과도하게 발생할 경우 이를 지지하지 못하여 펀치 사이의 공간으로 주름이 발생하기 쉽다. 펀치 끝은 접촉점 예측이 용이하도록 하기 위하여 일반적으로 구면을 이용한다. 펀치에 대해서는 펀치의 폭(punch width)과 펀치 끝 반경(punch tip radius)을 주요 인자로 들 수 있다. 펀치의 폭은 판재의 크기와 비교하여 펀치의 개수를 결정짓는 요소이기도 하다. 동일한 크기의 판재를 성형함에 있어 펀치의 개수가 늘어날수록 즉, 펀치의 폭이 줄어들수록

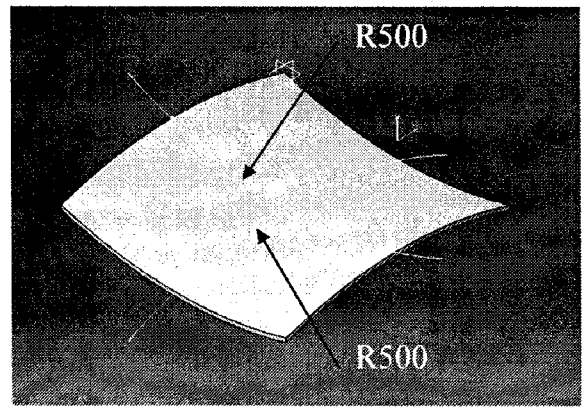


Fig. 3 Configuration of a saddle type plate for comparison between numerical analysis and experiment results

즉 펀치와 펀치 사이의 간격이 좁기 때문에 주름 발생가능성이 줄어든다. 펀치 끝 반경은 판재 표면의 딩플(dimple) 발생과 관련이 있는데 동일한 펀치 폭에 대하여 펀치 끝 반경이 작을수록 딩플이 발생하기 쉬운 대신 곡판의 성형한계 곡률을 줄일 수 있다.

3. 대곡률을 갖는 판재의 성형해석

본 연구에서는 일반적으로 선체의 일부분으로 이용되는 Fig. 3과 같은 안장형(saddle type) 곡판을 선정하였다. 판재의 크기는 선체용 대형 곡판을 고려하여 가로 세로가 300mm인 정사각형이며 두께는 5.0mm이다. 펀치의 폭과 펀치 끝 반경은 25mm로 모델링하였으며 해석모델을 간소화하기 위하여 소재와 접촉이 발생하는 펀치 끝만 고려하였다. 또한 펀치의 개수는 판재의 크기보다 조금 넓은 성형면적을 갖도록 하기 위하여 121 (11×11)개의 펀치배열을 아래 위로 각각 배치하여 모두 242개의 펀치를 이용하였다.

가변금형을 이용한 성형에서 가장 중요한 것은 주어진 곡면에 등가인 면을 구성하도록 펀치의 수직위치를 결정하는 것이며 이는 설계된 곡면과 펀치 사이의 접촉점에 대한 예측을 기반으로 한다. 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 범용 CAD 프로그램인 CATIA가 지원하는 거리측정 기능을 이용하여 각 펀치와 곡면과의 거리를 산출하였다. 여기서 산출된 데이터를 성형해석에 이용된 프로그램의 전처리과정(preprocessor)에서 APDL (ANSYS parametric design language)를 이용하여 입력하였다. 이를 통하여 Fig. 5와 같은 안장형 곡판 해석모델

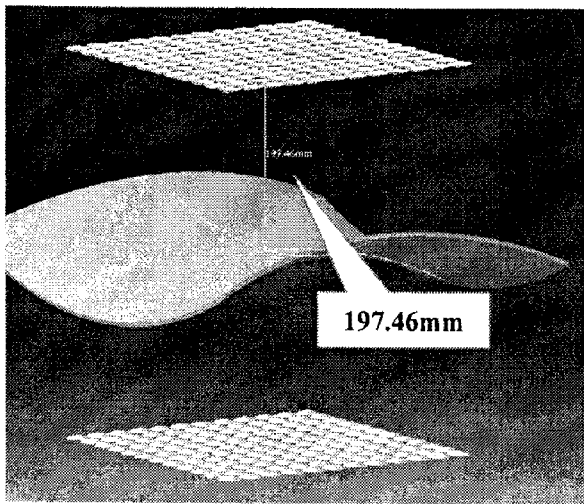


Fig. 4 Function of distance analysis for determination of punch height based on contact points between curved plate and punches

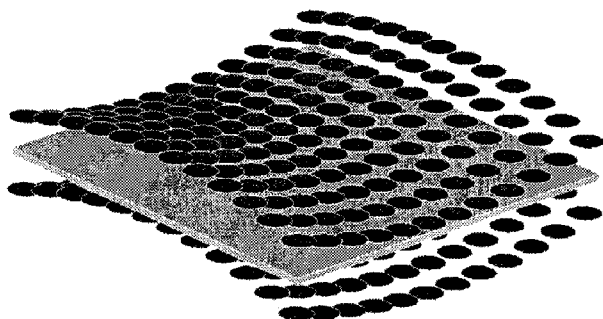


Fig. 5 Simulation model for sheet metal forming process of saddle type plate

을 구성하였다. 판재는 8면체 요소(solid element)로 분할하였으며 소재는 AH32강을 이용하였다. 소재의 물성모델로는 가공경화식 $\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$ 을 이용하였고 단축인장시험을 통하여 도출된 소성강도계수 $K=790.5[\text{MPa}]$, 가공경화지수 $n=0.168$ 을 이용하였다. 접촉이 일어나는 끝 부분만 모델링 된 펀치는 면 요소(shell element)를 이용하였으며 강체로 가정하였다. 끝으로 펀치와 소재간의 마찰계수는 0.01로 가정하였으며 해석은 ANSYS LS-DYNA를 이용한 외연적(explicit) 해석을 수행하였다.

Fig. 6은 성형 완료 시점에서 판재의 표면에 작용하는 압력 분포를 도시한 것이다. 이는 소재의 모든 면에서 접촉이 발생하는 일반 금형에 의한 성형과는 달리 다수의 펀치 배열로 구성된 불연속적인 면과 판재 사이의 접촉점에 의하여 성형이 이루어지기 때문에 이 접촉점에 해당하는 부위에

하중이 집중되므로 이와 같은 압력 분포를 나타낸다. Fig. 7은 성형 후 판재의 변형률 분포를 나타내고 있다. 인장에 의한 변형이 가장 크게 발생하는 부위는 판재의 가장자리이며 이러한 분포는 곡판의 형상에 따라 달라진다. 이 때 가장자리에서의 변형률의 분포가 다소 불연속적인 것을 확인할 수 있는데 이는 이미 언급한 바와 같이 금형에 해당하는 펀치의 배열이 불연속적이어서 기인한 것이다. 그러나 이와 같은 변형률 분포가 곡판의 전체 형상을 결정짓는 데는 큰 영향을 주지는 않을 것으로 판단된다. 성형해석에 이어서 탄성회복 예측을 위하여 탄성계수($E=210\text{GPa}$)를 고려한 내연적(implicit) 해석을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 8에 도시하였다.

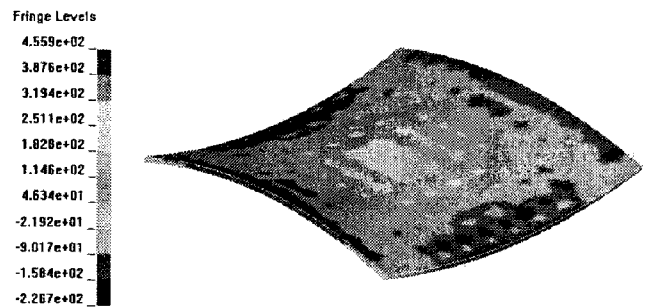


Fig. 6 Press distribution on the contact surface

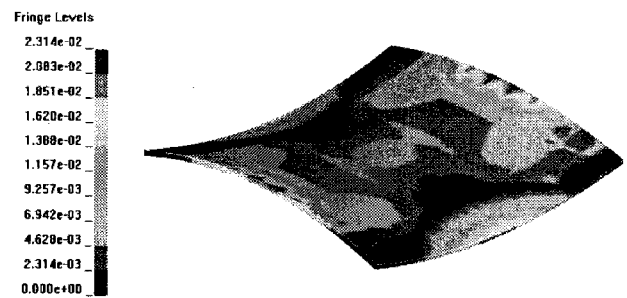


Fig. 7 Strain distribution over the curved plate

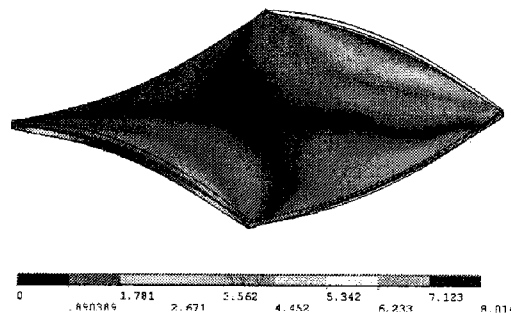


Fig. 8 Displacement distribution after spring-back

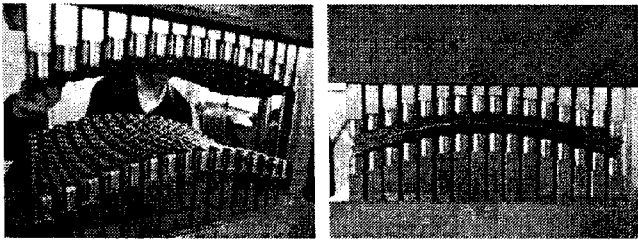


Fig. 9 Configuration of multi-point dieless forming apparatus during experiment

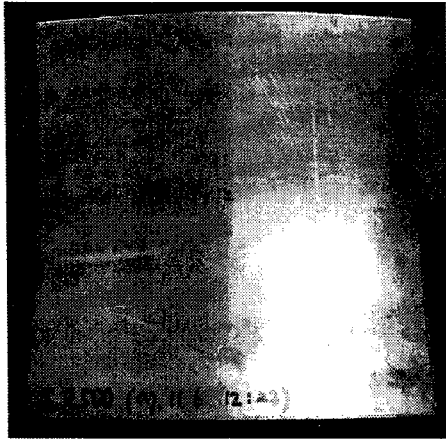


Fig. 10 Obtained curved plate which has saddle shape

4. 다점무금형성형 시험

본 연구에서는 앞에서 산출한 펀치의 위치 정보와 해석 결과를 바탕으로 Fig. 3 형상의 곡판성형 시험을 수행하였다. Fig. 9는 다점무금형성형장치와 이를 이용한 성형공정 완료 후 소재가 변형된 모습을 도시하고 있다. 이 때 펀치 표면의 보호를 위하여 고장력 우레탄을 소재와 펀치 사이에 그림과 같이 두었다. 원하는 형상을 얻기 위하여 먼저 탄성회복에 대한 고려 없이 주어진 곡률대로 성형을 한 후 탄성회복량을 측정하여 해석 결과와의 오차를 확인하였으며 이로부터 탄성회복량에 대한 보정치를 고려함으로써 Fig. 10과 같은 최종적으로 목표한 형상을 성형하였다. 그리하여 약 507mm의 곡률반경을 갖는 안장형 곡판을 획득할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 해석적 실험적 방법을 통하여 가변금형성형법의 가용성을 검증하였다. 이를 통하여 금형을 이용한 성형법이 다품종 소량생산에 적합하지 않다는 점 때문에 인하여 조선 분야 등

에서 이용되지 못하고 있던 문제를 해결할 수 있음을 보이고 그 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 제안된 성형방법이 향후 좀 더 개선되고 실용화되어 조선분야에 적용된다면 생산성 향상과 경제성 제고에 기여할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다. 또한 본 연구는 2단계 BK21사업, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-02002-0)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. M. Heo, J. J. Kang, K. H. Shin and Y. H. Lee, 2003, The Present and the Future for Dies and Molds Industry in Korea, Transactions of Materials Processing, Vol. 13, No. 5, pp. 421~432.
- [2] 전기찬, 1993, 박판금속의 성형 - 이론과 실제, 반도출판사.
- [3] Odumodu KU, Shuvra D., 1996, Forceless forming with laser. In: Advanced materials: development, characterization processing, and mechanical behavior, Proceedings of the 1996 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta, GA, USA., New York, pp. 169~170.
- [4] H. C. Kuo and L. J. Wu, 2002, Automation of heat bending in shipbuilding, Computers in Industry, Volume 48, Issue 2, pp.127~142.
- [5] K.A. Pasch, 1981, Design of a discrete die surface for sheet metal forming, S.B. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- [6] Mingzhe Li, Yuhong Liu, Shizong Su and Guandquan Li, 1999, Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 87, Issues 1-3, pp. 277~280.