

후판의 곡면 가공을 위한 가변성형기술 적용 연구

허성찬¹ · 서영호¹ · 박종원¹ · 이현민¹ · 구태완² · 강범수[#]

Study on Application of Flexible Forming Technology for Curved Plate Forming using Thick Plate

S. C. Heo, Y. H. Seo, J. W. Park, H. M. Lee, T. W. Ku, B. S. Kang

Abstract

Generally, in shipbuilding, large curved block components which have large curvature radius along various directions are used for huge ships such as LPG-vessel and oil tanker ships. Lots of the blocks are manufactured by line heating method which uses a heat source to bend the thick plate materials. The conventional forming process is entirely dependent on the experience of experts because it is done by manual method thus the curvatures and qualities are not uniform even for same part. However, it is hard to adopt the press forming process using die tool sets for the manufacturing because of the characteristics of the industry that based on the small quantity and variety in the products. In this study, flexible forming technology using numbers of punches is investigated based on the simulation to substitute for the conventional forming method. Thick plate material model was applied to the proposed process to verify the feasibility for hull structure block forming process. The press forming processes were simulated by adopting the explicit-to-implicit sequential solution. Moreover, experiment of the flexible forming process was also conducted and its results were compared with that of simulation.

Key Words : Flexible Forming Technology (가변성형기술), Large Curved Plate (대곡률 곡판), Thick Plate Forming (후판성형), Finite Element Analysis (유한요소해석)

1. 서론

조선 분야에 있어서 최근 중국의 급성장과 더불어 국내 조선 산업이 위협을 받고 있으며 이에 따라 고부가가치 기술에 대한 수요가 대두되고 있다. 그러나 제조업 측면에서 본 조선 산업은 아직도 전통적인 방법에 의존하고 있다. 그 중에서도 선체에 이용되는 대곡률 곡판은 숙련된 기술자에 의한 비효율적인 방법에 의하여 제작되고 있다. 여기에는 선상가열법(line heating method)이 이용되고 있는데 이는 고온의 열원으로 판재를 가열하여 발생하는 잔류응력에 의하여 곡면이 형

성되는 원리를 이용하고 있다.^(1,2) 그러나 이는 생산성과 재현성이 떨어지는 문제를 안고 있으며 작업 환경이 열악하여 인력의 수급에 어려움을 겪고 있다. 이와 같은 문제의 해결을 위해 가장 이상적으로는 금형을 이용하는 프레스 성형공정을 생각할 수 있으나 이는 하나의 금형으로 다수의 제품을 생산하는 양산에 적합한 성형방법이다.⁽³⁻⁵⁾ 그러나 조선 산업은 주문량에 따라 제작되는 다품종 소량생산 기반의 산업이므로 단일 금형을 이용한 성형공정은 현실적으로 적용이 불가능하다. 이에 본 연구에서는 금형을 이용한 프레스 성형의 장점을 선체용 후판의 곡면 가공에 적용할

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원

2. 부산대학교 항공우주공학과

교신저자 : 부산대학교 항공우주공학과,

E-mail: bskang@pusan.ac.kr

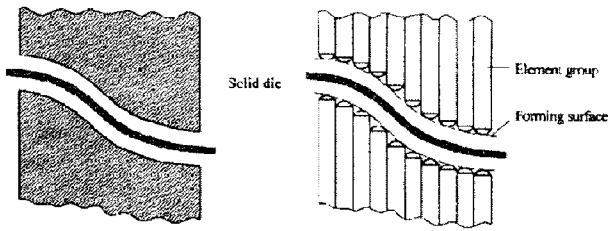


Fig. 1 Schematic view of flexible die equivalent to matched die forming tool

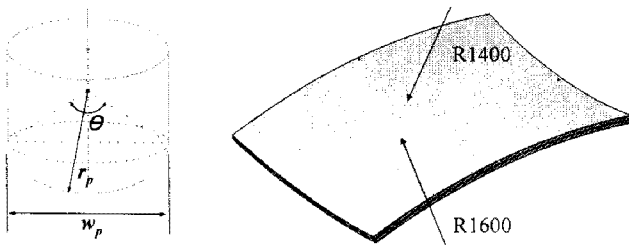


Fig. 2 Configurations of punch and saddle type plate

수 있는 가변성형(flexible forming)기술⁽⁶⁾을 제안하였다. Fig. 1은 가변성형공정에 대한 개략도를 도시하고 있다. 가변성형장치는 높이 조절이 가능한 다수의 펀치를 이용하여 단일 금형과 등가의 곡면을 형성하도록 배치하여 사용하므로 단일 금형을 대체할 수 있다. 또한 주어진 곡면에 따라 유연하게 형상을 변화시킬 수 있으므로 다수의 대곡률 곡판으로 구성된 선체의 가공 시 유용하게 이용될 수 있는 기술이다. 본 연구에서는 가변성형공정을 활용한 선체용 후판 소재의 성형 해석을 수행하고 이에 대한 실험을 통하여 가변성형 기술의 적용 가능성을 확인하였다.

2. 선체용 후판의 곡면 가공 해석

2.1 해석 모델링

본 연구에서는 일반적으로 선체의 일부분으로 이용되는 Fig. 2와 같은 안장형(saddle type) 곡판을 선정하였다. 초기 판재의 크기는 선체에 이용되는 곡판의 크기에 준하는 판재를 성형하기 위하여 가로 800mm, 세로 600mm인 직사각형으로 두었으며 두께는 20mm로서 실제 선체에 이용 가능한 후판을 선정하였다. 펀치의 폭 w_p 와 펀치 끝 반경 r_p 는 각각 50mm로 모델링하였다.

성형해석에 있어서는 모델의 간소화를 위해 펀치를 강체로 가정하고 이에 따라 접촉이 발생하는 펀치의 끝 면만 고려하였다. 또한 펀치의 개수

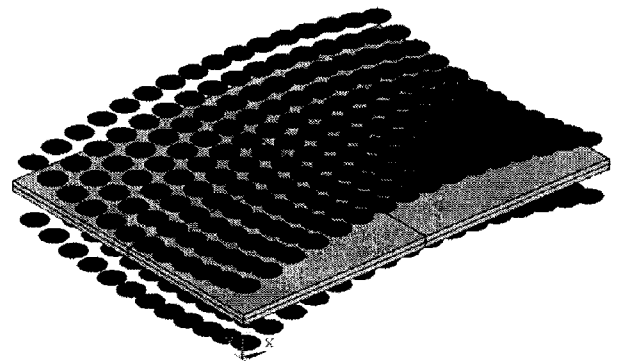


Fig. 3 Simulation model of flexible forming process for saddle type plate

는 주어진 판재의 크기에 대하여 192(16×12)개의 펀치배열을 아래 위로 각각 배치하여 모두 384개의 펀치를 모델링하였다.

가변성형에서는 설계된 곡면과 펀치 간의 점접촉에 의하여 성형이 이루어진다. 따라서 가변성형에서 가장 중요한 펀치의 높이 산출에는 구면 펀치와 곡면 간의 점접촉 시 얻어지는 기하학적인 관계가 이용될 수 있다. 본 연구에서는 이를 기반으로 한 산출기법을 개발하여 주어진 곡면에 대한 펀치 위치를 획득하였다. 산출된 펀치의 높이 데이터는 ANSYS의 전처리 기능의 하나인 APDL (ANSYS parametric design language)을 이용하여 입력되었으며 펀치의 높이 데이터는 모델링에 직접 이용되었다. 이를 통하여 Fig. 3과 같은 안장형 곡판 해석모델을 구성하였다.

판재는 8면체 요소(solid element)로 분할하였으며 소재는 AH32강을 이용하였다. 소재의 물성모델로는 가공경화식 $\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$ 을 이용하였고 단축인장시험에서 획득한 소성강도계수 $K=790.5[\text{MPa}]$ 와 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 ANSYS LS-DYNA를 이용한 외연적(explicit) 해석을 수행하였다.

2.2 해석 결과

Fig. 4~6에 가변성형공정에 대한 해석 결과를 도시하였다. Fig. 4의 유효변형률 분포를 살펴보면 최대 변형률이 약 0.013으로 판재의 가장자리에 변형이 집중되며 곡률이 적은 방향의 변형이 다소 크게 나타난다. 또한 가장자리에서 변형률 분포가 불균일하게 나타나는데 이는 불연속적인 성형면

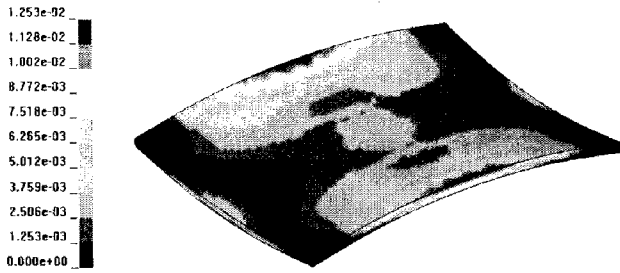


Fig. 4 Strain distribution of saddle type plate

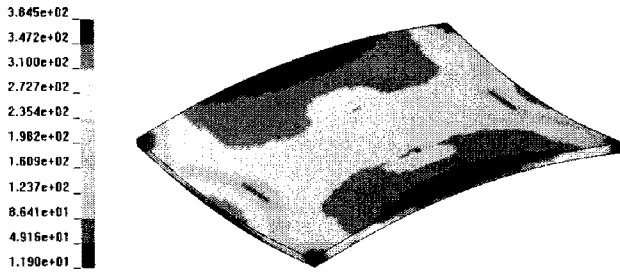


Fig. 5 Stress distribution of saddle type plate

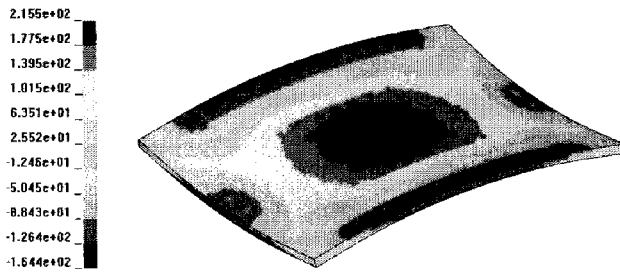


Fig. 6 Pressure distribution of saddle type plate

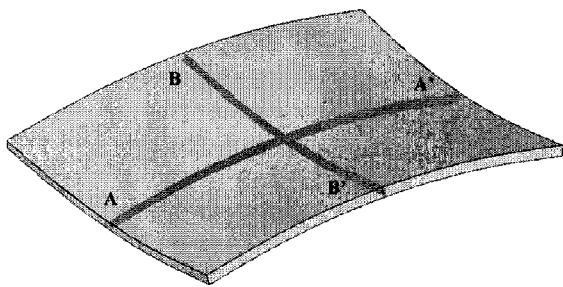


Fig. 7 Sections for investigation on curvature radius

을 갖는 가변성형의 특성에서 기인한 것이다. Fig. 5는 유효응력의 분포를 도시하고 있다. 최대 응력은 약 385 MPa로 판재의 가장자리에 집중되며 대체적으로 균일한 분포를 보인다. Fig. 6에는 성형 완료 시점에서 소재의 표면에 발생한 압력 분포를 도시하였다. 압력의 경우 하중이 주로 전달되는 판재의 중앙에 압력이 높게 분포함을 알 수 있다. 또한 국부적으로 압력이 집중되는 경향을 볼 수 있는데 이는 전술한 바와 같이 가변성형의

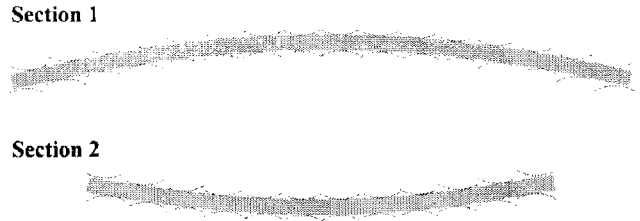


Fig. 8 Investigation on contact state for two sections

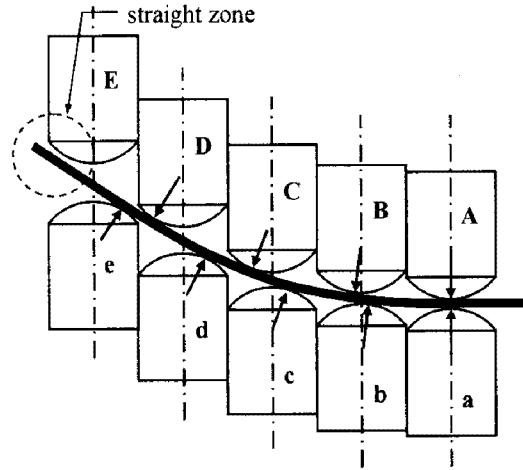


Fig. 9 Straight effect in flexible forming process

경우 면접촉이 아닌 점접촉에 의하여 성형이 이루어지는 것에서 기인한 것이다.

이어서 판재의 성형 정도를 조사하기 위하여 Fig. 7에 도시한 바와 같이 A-A'와 B-B'방향으로 자른 단면에 대한 곡률 반경을 조사하였으며 곡률반경은 중간면(neutral surface)을 기준으로 삼았다. 해석결과로부터 A-A'면에 대해서는 1640.1mm로 약 2.5%의 오차를 보였으며 B-B'면에 대해서는 1518.5mm로 약 8.4%의 오차를 나타냈다. 이는 한쪽 방향의 변형량이 설계 곡면에 대하여 다소 부족하게 나타남으로 인하여 다른 방향에 대한 변형 거동에 간접 요인으로 작용하였기 때문이다. 판재의 성형 오차를 야기하는 또 다른 요인은 가변성형의 특성 때문이다. Fig. 8은 성형 완료 시점에 판재의 중형 방향에 대한 임의의 편치 열에 대해서 단면을 조사한 것이다. 여기서는 모든 편치에 대해서 대체적으로 균일하게 접촉이 발생한 것으로 보인다. 그러나 Fig. 9에 도시한 바와 같이 최외곽에서는 접촉이 일어나지 않는다. 이는 점접촉을 기반으로 하는 가변 금형의 경우 가장자리에서 곡면을 원활히 형성하지 못하기 때문이다. 그러나 약간의 변위에 대해서도 민감하게 변화하는 곡률 반경의 특성과 판재의 크기에 비하여 불



Fig. 10 Saddle type plate specimen

때 이와 같은 오차는 무시할 수 있을 것이라 판단된다.

3. 가변성형실험

본 연구에서는 후판의 곡면 성형성을 검증하기 위하여 가변성형장치를 이용한 성형시험을 수행하였다. 실험에서는 펀치 표면의 보호를 위하여 두께 10mm의 폴리우레탄 판을 소재와 펀치 사이에 삽입하였으며 펀치의 위치 산출 시 우레탄 판의 두께 역시 고려되었다. 성형 시험 결과 성형해석 결과와 약 10% 이내의 형상오차를 나타냈으며 Fig. 10은 이를 이용한 성형공정 완료 후 소재가 변형된 모습을 도시하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 조선용 후판의 곡면 가공에 대한 해석과 실험을 병행하였다. 성형해석 결과로부터 가변성형공정을 적용할 경우 약 8% 이내의 곡률 오차를 갖는 제품을 획득할 수 있을 것으로 예측하였으며, 실험결과와 비교할 때 약 10% 이내의 형상오차를 갖는 제품을 획득할 수 있었다. 비록 곡률 반경에 대해서는 다소 큰 오차를 보이거나 실시간으로 금형 형상의 변형 및 수정이 가능한 가변성형공정의 특성상 이에 대한 보정이 어렵지 않으리라 생각된다. 결론적으로 본 연구를 통하여 양산 기반 제품에 이용되어온 성형공정을 다품종 소량생산에 적용하였으며 만족할만한 결과를 얻었다. 본 연구결과를 현업에 활용하게 된

다면 선체용 곡판의 제작에 있어서 생산성과 제품의 정밀도를 높이고 생산 단가를 절감하는데 기여할 수 있으리라 기대된다.

후 기

이 논문은 2008년도 과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. R0A-2008-000-20017-0). 또한, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(No. R15-2006-022-0200 2-0)의 부분적 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] H. C. Kuo and L. J. Wu, 2002, Automation of heat bending in shipbuilding, Computers in Industry, Volume 48, Issue 2, pp.127~142.
- [3] Y. C. Chang, C. S. Park, B. M. Kim, T. A. Dean and B. S. Kang, 2002, Experimental and numerical study of cold ironing as a post-process of net-shape manufacture of gears, Transactions of the KSME A, Vol. 26, No. 10, pp. 2096~2103.
- [4] J. Kim, Y. C. Chang, S. J. Kang and B. S. Kang, 2001, Analysis of hydroforming process for an automobile lower arm by FEM, Transactions of materials processing, Vol. 10, No. 7, pp. 534~542.
- [5] T. W. Ku, H. Y. Kim, W. J. Song and B. S. Kang, 2008, Process design and finite element analysis of rectangular cup used for Ni-MH battery with high aspect ratio, Transactions of materials processing, Vol. 17, No. 3, pp. 170~181.
- [6] 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.