

선형 배열 롤 셋을 이용한 오목형상 강판 성형경로 설계

노형주¹, 김광희[#], 심도식², 양동열², 정성욱³, 한명수³

Design of Forming Path for Concave Steel Plate Using the Line Array Roll Set

H. J. Roh, K. H. Kim, D. S. Shim, D. Y. Yang, S. W. Chung, M. S. Han

(Received Month Day, Year)

Abstract

Incremental forming path to manufacture a thick concave steel plate using the line array roll set is designed. To find the optimum forming path, the forming processes are simulated by the finite element method. A general-purpose commercial software, MSC.MARC is used. The rolls are modeled as rigid surfaces and the thick plate is modeled as 8-node hexahedral elastic-plastic solid elements to predict accurate springback. It is found that the process can be successfully applied to the fabrication of the dual curvature ship hull plate

Key Words : Line array roll set, sheet metal forming, concave, forming path

1. 서론

자동차, 선박, 비행기 등의 외형이나 여러 가지 부품들을 구성하는 판재 중에는 이중곡률을 갖는 판재가 필수적으로 사용되고 있다. 특히 선박의 외판은 다양한 이중 곡률을 가진 곡판으로 형성되어 있으며 초기평판을 이중 곡률을 가진 다양한 형상으로 가공하는 선박 곡 가공 공정은 선박 건조에 있어서 필수적인 공정이라 할 수 있다.

현재 선박용 곡 가공은 가스토키를 열원으로 하는 선상 가열법을 이용하여 판재에 국부적인 가열 후 급속냉각을 시킴으로써 판재를 성형하고 있는데, 이러한 가열 및 냉각을 숙련자의 경험에 의해 반복하면서 목적형상을 제작하고 있다. 이는

생산에 대하여 시간 및 비용의 증가의 원인이 된다.

이에 윤석준 등은 열간 가공법 대신 점진적 롤 성형을 이용한 냉간 가공법으로 곡률을 형성시키는 연구를 수행하였으며[1], 이를 발전시켜 선형 배열 롤 셋을 이용하여 이중곡률을 형성시키는 공정에 관하여 연구를 수행하였다.[2]

이중곡률을 가지는 판재를 성형하기 위해서는 공정조건 및 성형경로 등이 잘 설계되어 있지 않으면 중간 또는 최종형상에서 치수불량, 주름과 같은 결함이 발생할 수 있다

본 연구에서는 이중곡률을 갖는 형상 중 오목형상에 대하여 성형경로를 설계하여 유한요소법을 이용하여 검토하고자 한다.

1. 부경대학교 기계공학부

2. 한국과학기술원 기계공학과

3. ㈜대우조선해양

교신저자: 부경대학교 기계공학부, khk@pknu.ac.kr

2. 점진적 성형 경로 설계

선형 배열 롤 셋을 이용하여 이중 곡률을 가공하는데 있어서 있어서 폭방향 성형과 길이 방향 성형의 우선 순위에 따라 판재의 변형 양상은 약간씩 차이를 보이게 되는데[5], 본 논문에서는 현재 조선업계에서 시행하고 있는 방법인 폭 방향을 먼저 가공한 후에 길이방향을 가공하는 방법을 선택하였으며, 폭 방향에 대해 단일곡이 생성된 소재를 길이방향에 대하여 가공되는 성형 경로에 대해서 성형 검증을 하였다

2.1 성형경로 설계

두께가 8mm 이고 폭 방향 및 길이방향의 곡률이 각각 $2 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$ 인 오목형상을 가지는 후판을 가공하기 위하여 스프링백을 고려하여 가공단계를 18 단으로 결정하였다.

예비실험 및 예비 성형해석 결과로부터 발견된, 오목형상의 경우 길이방향의 곡률 증가 시 폭 방향의 곡률 감소 현상이 발생함을 고려하여 먼저 폭 방향 곡률만을 가공한 후, 길이방향으로의 곡률을 추가하여 최종 원하는 곡률을 가진 제품으로 성형하는 경로를 선택하였다.

Fig. 1 에서처럼, 먼저 가공 후 최종 스프링백된 폭 방향 곡률이 목적 곡률($2 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$)의 2 배인 $4 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$ 을 얻을 수 있을 것으로 추정되는 최종 폭 방향 곡률을 각각 $7 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$, $7.5 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$, $8 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$ 인 3 가지 경우에 대하여 총 6 단에 성형하는 경로를 모델링 하여 폭방향 단일곡 성형에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 이 중 $7.5 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$ 인 경우가 폭방향 목적 곡률에 제일 근사한 곡률 생성 결과를 확인하였고, 이를(폭방향 단일곡이 형성된 형상) 전체 12 단에 걸쳐 길이방향 곡률을 추가하는 해석을 실시하였다. 이 때 폭 방향 곡률을 목표곡률 $2 \cdot 10^{-4} \text{mm}^{-1}$ 보다 각각 10%, 20%, 30%, 40% 작은 곡률이 되도록 폭 방향의 곡률을 점진적으로 감소시켜 가면서 길이방향의 곡률을 추가하였다

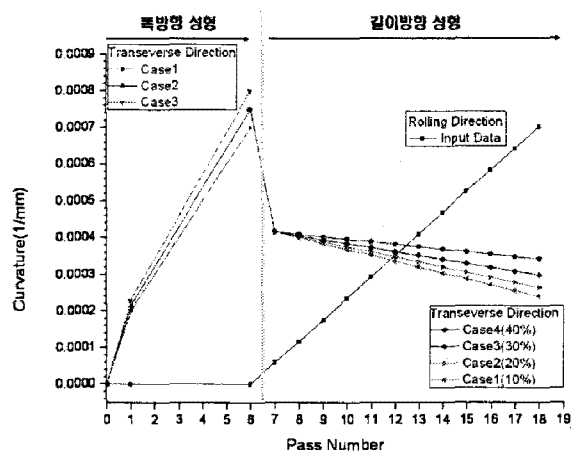


Fig. 1 Designed Forming Paths

Fig. 1 과 같이 설계된 각각의 성형경로에 대하여 상용 CAD 프로그램인 CATIA 를 사용하여 선형 배열 롤 셋의 각 롤들의 위치를 Fig.2 과 같이 생성하였다.

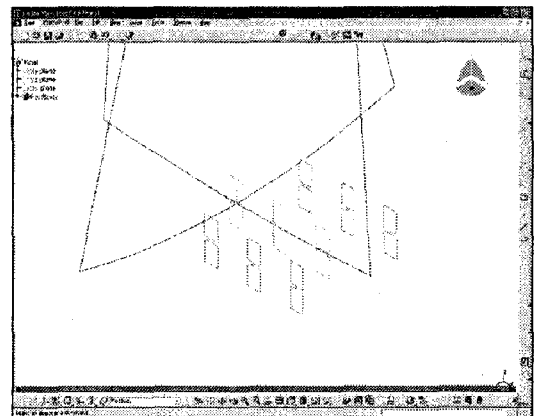


Fig.2 Determination of Positions of Rolls by CATIA

2.2 유한요소해석

해석 프로그램은 MARC 를 사용하였으며, 선형 배열 롤 셋의 각 롤들과 초기 소재에 대하여 Fig. 3 과 같이 모델링 하여 3 차원 유한요소해석을 수행하였다. 각 롤들은 강체의 곡면으로 모델링 하였고 소재는 8 절점 육면체 체적요소로 모델링 하였으며 요소 수를 줄이기 위하여 폭 방향에 대해서는 좌우 대칭인 점을 고려하여 1/2 만 모델링 하였고, 두께방향으로는 3 층의 요소가 배치되도록 하고, 폭 방향 및 길이방향으로는 요소 길이가 12.5mm 가 되도록 하여 총 요소 수가 9,600 개가 되도록 해석하였다.

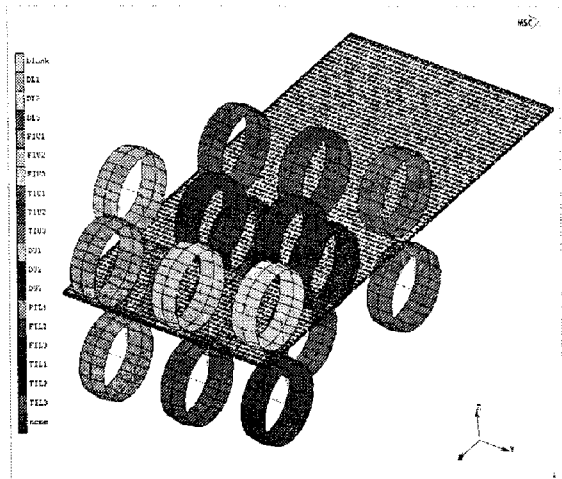


Fig. 3 FEM Model of the Incremental Forming Process

각 단의 성형 종료 후 롤들의 위치를 다음 단의 위치로 변경하고 롤의 회전방향이 반대방향이 되도록 해석하였다.

소재는 Grade-A mild steel 이며, 소재의 상하부에 위치하는 3 개 열의 롤들 중 구동롤인 중간 열의 롤들은 마찰계수를 0.3 으로 설정하여 일정 회전속도로 회전시켰으며, 나머지 유후롤은 일정 회전속도로 회전하되 무마찰 조건으로 모델링하였다.

3. 해석결과 및 검토

해석은 HP XW6400 공학용 워크스테이션에서 수행하였으며, 각 경우의 해석시간은 3 주정도가 소요되었다.

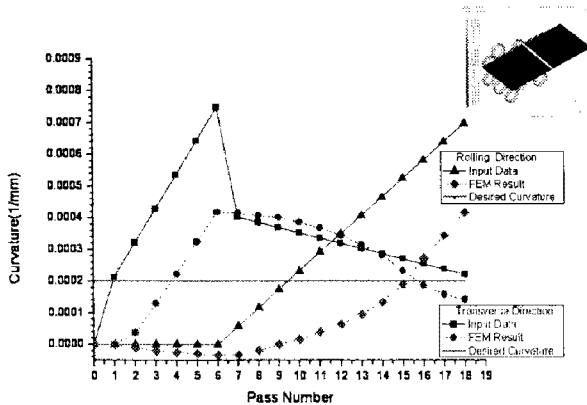


Fig. 4 Curvature of Concave 1(Desired value+10%)

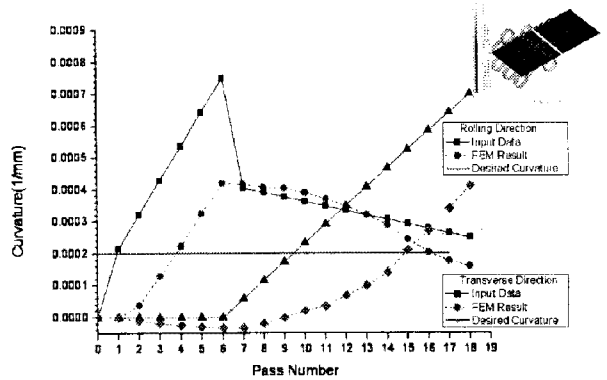


Fig. 5 Curvature of Concave 2(Desired value+20%)

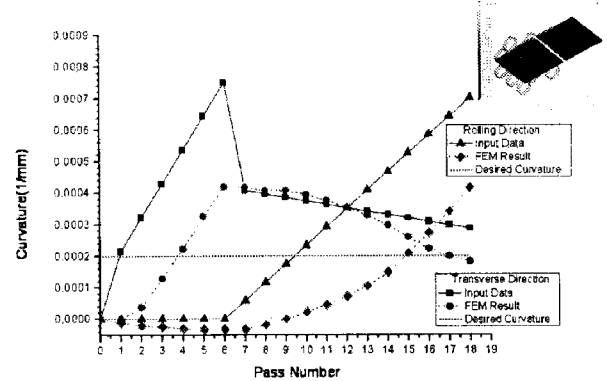


Fig. 6 Curvature of Concave 3(Desired value+30%)

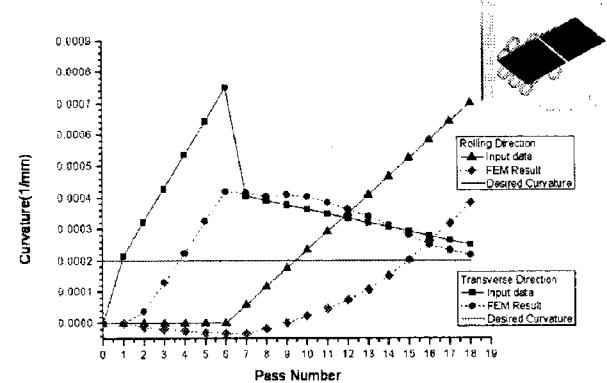


Fig. 7 Curvature of Concave 4(Desired value+40%)

Fig. 4~7 은 각 성형경로에 대하여 폭 방향 및 길이방향의 입력 곡률 및 스프링백 후 최종 곡률을 도시한 것이다. 4 가지 성형경로 모두 15 단에서 길이방향의 곡률을 얻을 수 있는 것으로 나타났지만 폭 방향의 곡률은 목표치 보다 약간 초과함을 알 수 있으며 목표곡률보다 10% 증가시킨 경우가 가장 폭 방향 목표치가 가까웠다.

위의 결과를 고려하여, 폭 방향 성형 후 길이 방향 곡률 추가 시 폭 방향의 패스별 곡률

값을 목표곡률보다 10% 큰 값으로(작은 값?) 일정하게 유지하면서 총 9 단에 걸쳐서 길이방향 곡률을 증가시키는 성형경로를 이용하여 해석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 8 에 보였다.

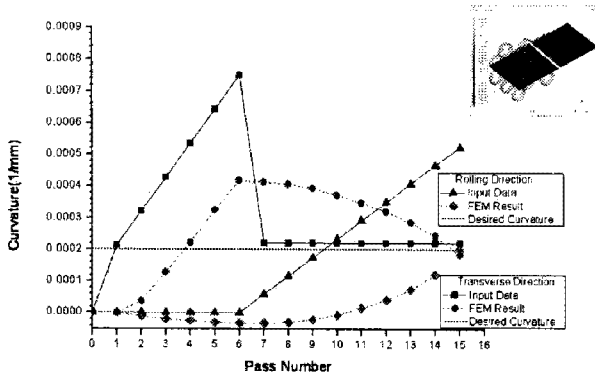


Fig. 8 Curvature of Concave 5(Desired value+10%)

폭 방향 및 길이방향의 곡률이 목표곡률값에 거의 도달함을 알 수 있었으며, 이러한 성형경로가 오목형상의 목적 곡률을 생성하기 위해 효과적인 경로가 될 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 선형 배열 롤셋을 이용하여 오목형상을 제작할 수 있는 성형 경로를 제안하고, 유한요소해석을 수행하여 검증하였다. 그로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제안된 성형경로 중 폭 방향 및 길이 방향의 곡률을 동시에 성형하는 것보다 종방향과 길이방향 중 한 방향의 곡률은 일정하게 유지시키고 나머지 방향의 곡률을 생성하는 것이 더 나은 경로임을 확인할 수 있었다.

(2) 제안된 성형경로를 이용하여 선형 배열 롤셋을 이용한 오목형상 제작 시에 가공하고자 하는 곡률값을 가공할 수 있을 것으로 판단되며, 실제 선박외판의 오목형상의 제작 시에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 경상남도 지역산업 중점기술개발 사업인 “장방향 대형 후곡판용 점진적 롤 성형 시스템 개발”의 일부이며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 윤석준, 양동열, 2004, 점진적 롤 성형공정을 이용한 이중곡률의 금속판재 제작 및 정밀 성형을 위한 형상 예측, 한국정밀공학회지, 제 21 권 제 9 호, pp. 95~102.
- [2] D. S. Shim, C.G Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, Y. S. Han, M. S. Han, 2006, A Study on the Line Array Roll Set Process for the Cold Fabrication of a Doubly Curved Metal Plate, KSTP, Oct., pp 292~295
- [3] Kim, K. H., 1999. "Design of Forming Rolls using Finite Element Analysis," J. of Ocean Eng. Tech., Vol.13, No., p.75-81,
- [4] Society of Manufacturing Engineers, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", 4th ed., Vol.2, Chapter 8, p16, 1984.
- [5] D. S. Shim, C.G Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, M. S. Han, S. W. Chung, 2008, "An Experimental Study on Incremental Roll Forming Process for Manufacturing Doubly Curved Ship Hull Plates", KSTP, Vol. 17, pp 27~34