

심곡판 성형을 위한 선형 배열 롤 셋에서의 롤 배열 형태에 관한 연구

심도식¹, 성대용¹, 정창균¹, 양동열[#], 정성욱², 한명수²

Investigation on Types of Roll Arrangements in Line Array Roll Set to Fabricate the Plate with Large Curvatures

D. S. Shim, D. Y. Seong, C.G. Jung, D. Y. Yang, S. W. Chung, M. S. Han

Abstract

In the line array roll set (LARS) process, the initial plate is progressed into the final shape in a stepwise or pathwise manner according to the basic principle of the incremental forming process. The deformation proceeds simultaneously in the longitudinal and transverse directions. It was found that the curvature level of the formed plates in the previous study was well over the curvature required in shipyards. This fact shows that the LARS method has considerable potential for shipbuilding applications. In this study, several experiments with the LARS system is carried out for manufacturing of plates with large curvatures. The bulbs at a stem and stern among ship hull plates correspond to these plates. Furthermore, the qualities of formed plates are evaluated according to the types of roll arrangements through experimental and numerical analyses.

Key Words : Incremental forming process, ship hull plates, curvature

1. 서론

현재 조선 현장에서의 선박 외판(Ship hull) 가공 공정은 가스 토치(gas flame torch)에 의한 국부적 가열을 이용하는 선상 가열 공정(Line heating process)을 통해 제작된다. 하지만 아직까지도 선상 가열 공정이 수작업에 의해 이루어지고 있어 생산성이 낮다는 단점을 가지고 있으며, 열원에 의한 고온 및 소음 발생 등에 따른 열악한 작업 환경이 문제점으로 대두되고 있다.

이러한 배경으로 국내외에서는 이중 곡률을 가진 판재(doubly curved plates)를 효율적으로 제작하기 위한 시도로, 선상 가열 자동화 공정 및 냉간 가공 공정 등을 이용한 이중 곡면 제작을 위한 연구가 진행되고 있다[1~3]. 이에 Shim 과 Yang [4] 등은 생산성을 향상시키기 위한 냉간 가공 방

법으로 선형 배열 롤 셋(Line array roll set)을 이용한 점진적 성형 공정을 제안하였으며 소규모 실험 장치를 이용한 이중 곡면 제작 실험을 통하여 그 가능성을 확인하였다. 제안된 공정을 통해 두께 8mm 의 선박용 강판을 이용하여 실제 선박 외판의 곡률 범위보다 큰 수준(곡률 반경 약 5000mm 이하)의 곡률을 가지는 이중 곡면의 제작이 가능하였으며[5], 이는 선박 외판의 제작을 위한 선형 배열 롤 셋 공정의 현장 적용 가능성을 보여준다.

본 연구에서는 롤 셋을 이용한 이중 곡면의 성형에 있어서 성형 곡률을 크게 증가시킬 경우 발생하는 결함을, 실험을 통해 관찰하고 이를 해결하기 위한 방법으로 롤 배열에 따른 판재의 성형성에 대한 평가를 실시하였다.

1. KAIST 기계공학과

2. ㈜대우조선해양

교신저자: KAIST 기계공학과, dyyang@kaist.ac.kr

2. 선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡면 제작

2.1 선형 배열 롤 셋 공정

선박용 외판의 냉간 곡가공을 위한 실험에 사용된 선형 배열 롤 셋은 Fig. 1 과 같으며, 상하부에 배열된 구동롤(motor-driven roll)과 유힬롤(idle roll)에 의해 판재에 종방향과 횡방향으로 굽힘 변형을 발생시키며 구동롤의 회전에 의해 판재가 이송됨과 동시에 성형이 진행된다.

상하부 각각에 3열로 롤이 배열되어 있으며, 가운데 열은 판재의 이송을 위해 모터 구동이 가능한 구동롤로 구성되어 있으며, 그 외각의 두 열은 자유 회전이 가능한 유힬롤 열로 구성되어 있다. 또한 각각의 롤들은 상하 및 좌우 방향으로 이동이 가능하도록 한 유연 배열 시스템을 그 특징으로 한다.

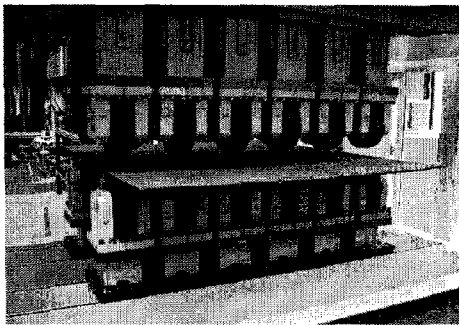


Fig. 1 Line array roll set system

2.2 롤 셋을 이용한 이중 곡면 제작

두께 8mm 의 연강(mild steel) 판재를 이용하여 목적 형상으로의 가공을 Fig. 2 와 같이 전체 2 단계(stages)로 나누되, 1 단계에서는 폭 방향(y 방향)으로만 단일 곡률을 생성시킨 다음, 2 단계에서 종방향(x 방향) 곡률을 추가하는 과정을 거쳐 최종 이중 곡면이 제작된다. 여기서 각 단계(stage)별 성형은 전체 10 스텝으로 나누어 점진적 성형(incremental forming) 원리를 적용하여 성형을 진행시키게 된다. 이러한 성형 방법으로 제작된 대표 실험 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. Fig. 3(a)의 경우 종방향 곡률 반경은 약 6588mm, 횡방향 곡률 반경은 약 5263mm 으로 측정되었으며, Fig. 3(b)의 경우 종방향 5321mm, 횡방향 3460mm 으로 측정되었다.

실제 대형 조선소에서 제작되는 대형 선박에 대해 외판의 형상을 조사한 결과, 실선체 외판의 곡률은 종방향의 경우 약 95% 가 곡률 반경 50000mm 이상의 곡률을 가진 형상이며, 횡방향의

경우 약 80% 이상의 곡률이 곡률 반경 8000mm 이상의 값을 가지는 형상인 것으로 조사되었다. 이 점을 감안할 때, 현재 개발된 선형 배열 롤 셋 공정을 통해 실선체 곡면 중 대부분의 형상이 제작 가능함을 알 수 있다.

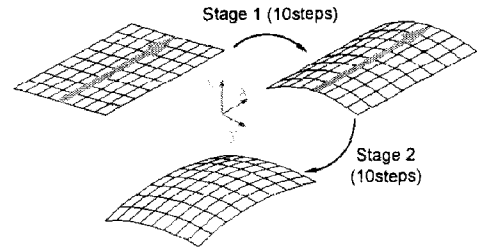
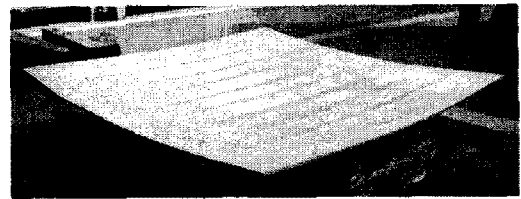
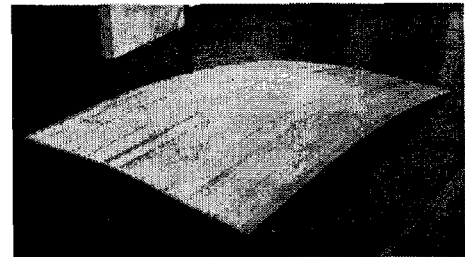


Fig. 2 Forming stages and steps



(a) (1000*1000*8)



(b) (750*1000*8)

Fig. 3 Experimental results (unit: mm)

3. 선수, 선미부의 심곡판 성형

3.1 심곡판 성형 시 성형 결함

실선체 외판 중 약 1% 이하의 일부 선수(stem), 선미부(stern)의 경우 곡률 반경 3000mm 이하의 큰 곡률을 가지는 형상들도 존재하게 되는데, 선형 배열 롤 셋을 이용하여 이러한 깊은 곡률을 가진 형상에 대한 성형 실험을 실시하였다. 이 때 발생하는 성형 결함을 관찰하기 위해 성형 판재 중심 부분을 폭방향으로 절단하여 그 단면을 관찰하였으며 이를 Fig. 4 에 나타내었다. 실선 화살표는 상부 구동롤의 압하 위치를 나타내며, 점선 화살표는 하부 유힬롤의 받침 위치를 나타낸다. 실험 결과에서와 같이 상부 구동롤의 압하량을 크게 증가시킬 경우에는 점선과 같이 판재의 절

곡 현상이 발생됨을 확인하였다. 이러한 상하부 롤 배열에서 판재(1/2 model)의 변형 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서와 같이 구동롤과 유휴롤의 위치가 서로 어긋나도록 배열될 경우, 판재의 성형 곡률을 크게 증가시키기 위해 상부 구동롤의 압하량을 증가시키게 되면 상부 구동롤의 압하 위치에서 판재를 지지할 하부의 받침롤이 존재하지 않으므로 이 위치에서 판재의 절곡이 발생하는 것으로 추정된다. 이러한 롤 배열에서의 결함을 해결하기 위해 Fig. 6에서와 같이 상부 구동롤의 위치를 이동하여 하부 유휴롤과 동일 선상에 위치되도록 하여 상부 구동롤의 압하 위치에서 하부 유휴롤이 지지될 수 있도록 하였다. 위의 두 가지 롤 배열에 따른 판재의 곡면 품질을 평가하기 위해 유한요소해석을 실시하였으며, 그 결과를 다음 장에 비교하였다.

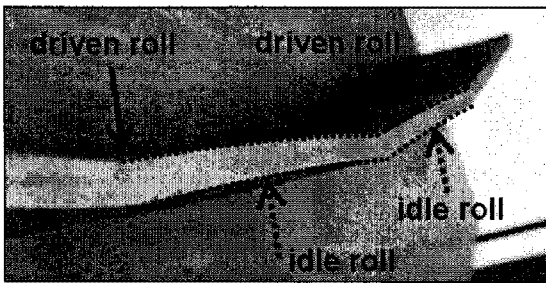


Fig. 4 Cross section of the formed plate with large curvature

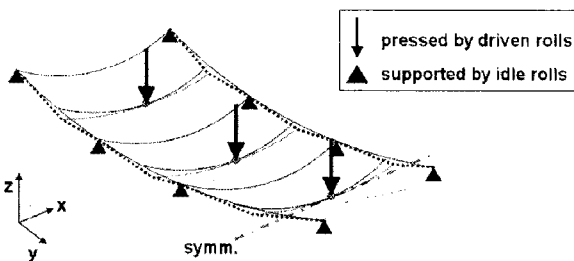


Fig. 5 Alternative arrangement

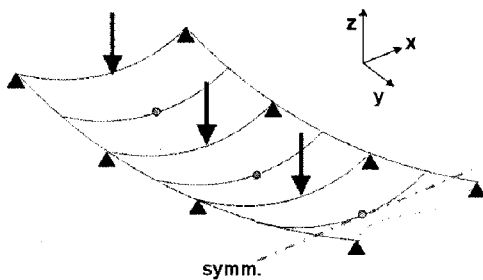
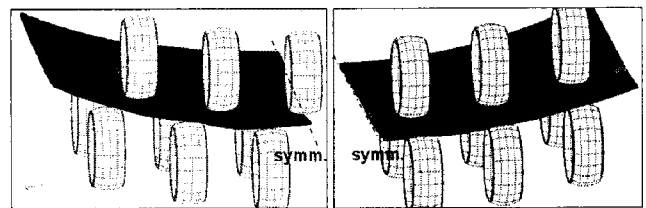


Fig. 6 In-line arrangement

3.2 롤 배열 형태에 따른 성형 해석

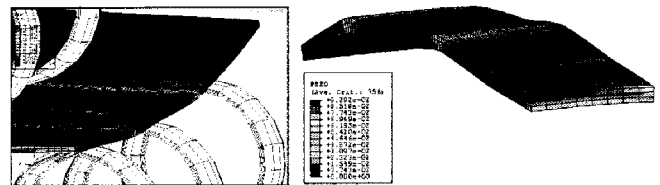
큰 곡률을 가지는 이중 곡면의 성형 시, 앞서 언급한 구동롤과 유휴롤의 어긋난 배열(Fig. 7(a))에서 발생하는 판재의 성형 결함을 해결하기 위해 상부 구동롤의 위치를 이동하여 Fig. 7(b)와 같이 상부 구동롤과 하부 유휴롤을 일렬로 배열하였으며 그 효과를 알아보기 위해 상용 프로그램 ABAQUS v.6.4(Implicit)를 사용하여 3 차원 유한요소해석을 수행하였다. 각 롤들은 강체의 곡면으로 모델링 하였고 소재는 8 절점 육면체 체적요소로 구성하였다. 또한 요소 수를 줄이기 위하여, 폭 방향에 대해서는 좌우 대칭인 점을 고려하여 1/2만 모델링 하였고, 두께방향으로는 3 층의 요소가 배치되도록 하여 총 요소수는 10800 개가 되도록 하였다.



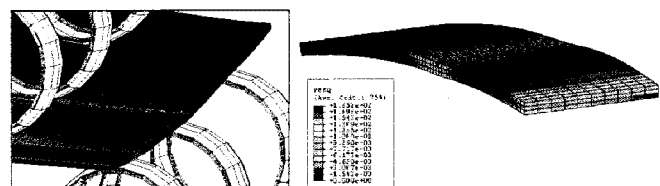
(a) (b)
Fig. 7 Finite element models

3.3 유한요소해석 결과

가정된 성형 결함의 원인을 해결하기 위해 롤 배열을 달리하여 성형 해석을 실시한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 두 가지 성형 결과를 비교한 결과, 심곡판 성형 시 나타나는 성형 결함이 일렬 배열 형태에서 제거됨을 확인할 수 있다.



(a) Alternative arrangement

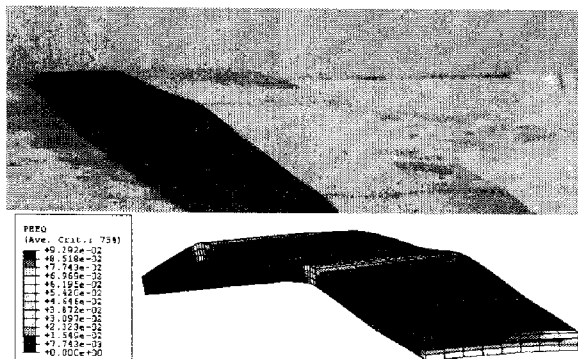


(b) In-line arrangement

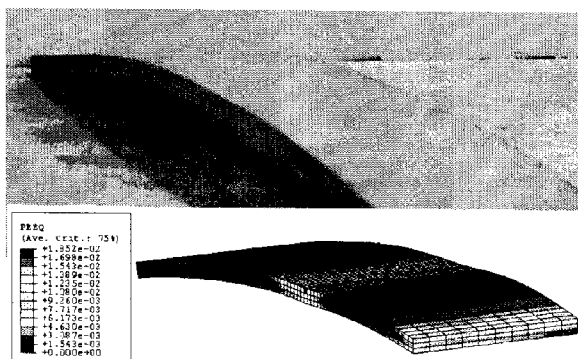
Fig. 8 FE simulation results

3.4 롤 배열 형태에 따른 성형 실험

성형 곡률이 큰 형상에 대한 성형 실험에서 나타났던 판재의 성형 결함의 원인을 롤 배열 형태에 따른 것으로 추정하였고, 유한요소해석을 통해 상부 구동롤과 하부 유휴롤의 위치를 동일선상에 일렬로 배열할 경우, 심곡판의 성형에 유리함을 확인하였다. 이를 실제 심곡판 성형 실험에 적용하였으며 그 결과를 유한요소해석 결과와 함께 Fig. 9에 나타내었다. 유한요소해석 결과와 마찬가지로 일렬 배열에 의한 심곡 성형이 판재의 결함을 제거하는데 효과적임을 실험 결과에서도 확인할 수 있다. 따라서 심곡 성형을 위한 공정 설계에서 곡면 품질 향상을 위해서는 적절한 스텝에서 롤 배열 형태의 변화가 필요할 것으로 판단된다.



(a) Alternative arrangement
(b)



(b) In-line arrangement

Fig. 9 Experiment and numerical results

4. 결론

실선체 곡면 중 선수, 선미부의 일부 심곡판에 대한 성형 실험을 통해 발생 가능한 성형 결함을 확인하였으며 그 원인을 롤 배열 형태에 따른 것으로 예측하였다. 유한요소해석을 통해 롤 배열 형태에 따른 성형성을 확인하였으며, 실제 성형 실험을 통해서 곡률을 크게 증가시킬 경우 구동롤과 유휴롤의 일렬 배열이 효과적임을 확인하였다. 향후 롤 배열 형태에 따른 판재의 변형 거동에 대해 심도있는 분석을 실시하여 롤 배열 형태의 변화를 고려한 공정 설계에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후기

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

참고 문헌

- [1] Nomoto, T., Ohmori, T., Sutoh, T., Enosawa, M., Aoyama, K. and Saitoh, M., 1991, Development of Simulator for Plate by Line Heating, J. Soc. Nav. Arch. Japan, Vol. 170, pp. 577~586.
- [2] Nishioka, F. Matsuishi, m., Yasukawa, W., Tohgoh, O., Nishimaki, K., Tanaka, T. and Yamauki, T., 1978, On Automatic Bending of Plates by the Universal Press with Multiple Piston heads (1st Report : Fundamental Study), Trans. Soc Nav. Archi. Japan, Vol. 132, pp. 481~501.
- [3] Rady, E.H., 1992, Mechanics of Die-less Forming of Doubly Curved Metal Shells, Ph. D. Thesis, Dept. of Ocean Engineering, M.I.T., Cambridge.
- [4] D. S. Shim, C.G. Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, J. M. Han, M. S. Han, 2007, Process Development And Simulation For Cold Fabrication Of Doubly Curved Metal Plate By Using Line Array Roll Set, Numiform2007, June 17-21, Portugal, pp. 865~870.
- [5] 심도식, 양동열, 노형주, 김광희, 정성욱, 한명수, 2008, 선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡판 제작을 위한 공정 설계에 관한 기초 연구, 2008 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 400~403.