

선형 배열 롤 셋 공정의 조선 산업 적용에 관한 연구

심도식¹, 양동열[#], 정성욱², 한명수²

A Study on the Application of Line Array Roll Set Process to Shipbuilding Industry

D. S. Shim, D. Y. Yang, S. W. Chung, M. S. Han

Abstract

The line array roll set process, as one of many kinds of incremental forming processes, is a continuous process in which a flat metal plate is formed into a singly or doubly curved plate through successive passes of forming rolls. 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 a shipbuilding yard, hull forming is an important fabrication process in which flat plates are deformed into singly or doubly curved plates. The major purpose of the present study is to estimate experimentally the general applicability of the line array roll set process for the manufacture of ship hull plates. In this study, the target shapes are selected through investigation of the shape classification of ship hull plates that comprise a certain vessel. Forming processes for twisted shapes are analyzed with the finite element method (FEM). Finally, the results of experimental work for two types of target shapes are presented.

Key Words : Incremental forming, roll set, twisted shape

1. 서론

조선 산업 (shipbuilding industry) 현장에서 건조되는 대형 선박은 다양한 형상의 이중 곡률 외판으로 구성되어 있다. 현재 생산 현장에서의 선박 외판(ship hull) 가공 공정은 평판에서부터 롤 벤딩(roll bending) 가공을 거쳐 1 차 가공이 된 후, 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 효율적으

로 제작하기 위한 시도로, 선상 가열 자동화 공정 및 냉간 가공 공정 등을 이용한 이중 곡면 제작을 위한 연구가 진행되고 있다. 이에 Shim 과 Yang [1] 등은 생산성을 향상시키기 위한 냉간 가공 방법으로 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 확인하였으며, 실제 현장 적용성 연구를 진행 중에 있다.

본 연구에서는 선형 배열 롤 셋 공정의 조선 산업 적용을 위한 연구로서 실제 선체(船體) 곡면에 대한 성형 가능성을 검토하기로 한다. 그러기 위해 대형 선체 곡면 곡면들 중 비틀림 특성을 가진 형상들에 대하여 성형 실험 및 유한 요소 해석을 통해 선형 배열 롤 셋 공정의 조선 산업 적용에 대해 검토해 보고자 한다.

1. KAIST 기계공학과

2. ㈜대우조선해양

교신저자: KAIST 기계공학과, dyyang@kaist.ac.kr

2. 선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡면 제작

본 공정의 실험적 연구를 위해 제작된 소형 실험 장치를 Fig. 1 에 나타내었다. 그림에서와 같이 회전뿐만 아니라 x, y, z 방향으로 위치 조절이 가능한 롤들이 일렬로 배열되어 상하부 대칭으로 각각 3 개의 라인(three line arrays)으로 구성된다. 각 상하부의 중앙 열에 배열된 롤들은 모터에 의해 구동되는 구동롤(driving roll)들로 구성되며, 그 외곽의 두 개의 열에 배치된 롤들은 자유 회전이 가능한 유힬롤(idle roll)들로 구성된다. 상하부 롤 셋 사이에 위치한 금속 판재는, 구동롤과 유힬롤의 상대적인 높이 배열에 의해 굽힘 변형을 받게 되고, 중앙의 구동롤 열이 회전을 하게 되면 판재와의 접촉에 의한 마찰력에 의해 판재가 이동함으로써 전 영역에 걸쳐 변형을 발생시키게 된다.



Fig. 1 Line array roll set system

단일 곡면과 이중 곡면의 경우, 선행 연구를 통해 선체 곡면의 실제 곡률 범위 이상으로 성형 가능함을 확인하였고[2], 실선체 곡면에 대한 선형 배열 롤 셋 공정의 적용 범위를 더욱 증가시키기 위해서는 실선체 곡면들이 가지는 공통적인 특징인 비틀림(twisting) 특성을 가지는 형상들에 대한 성형 검토가 필요하게 된다. 따라서 유한요소법을 이용한 성형 해석 및 성형 실험을 통해 이들 형상의 성형에 대한 연구를 아래와 같이 진행하였다.

3. 롤 셋을 이용한 판재의 비틀림 성형

3.1 롤 배열 형태에 따른 성형 해석

이중 곡면 성형 시 롤 배열 형태에 따른 성형성에 대해서는 실험 및 FEM 해석을 통해 검토가 되었으며, 그 결과 횡방향 성형의 경우 구동롤(driving roll)과 유힬롤(idle roll)간의 교대 배열(alternate arrangement)이, 종방향의 경우 일렬 배열(in-line arrangement)이 효과적임을 확인하였다[3].

판재의 비틀림 성형의 경우, Fig. 2 에서와 같이 중앙의 구동롤 열을 기준으로 좌우의 유힬롤 열을 임의의 각만큼 어긋나게 배열하여 판재가 삽입되어 롤에 의해 판재가 반대편으로 이송되면서 비틀림 성형이 이루어지게 된다.

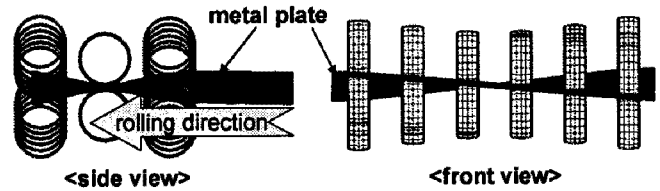
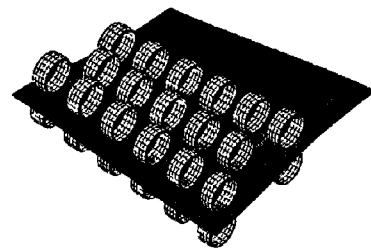
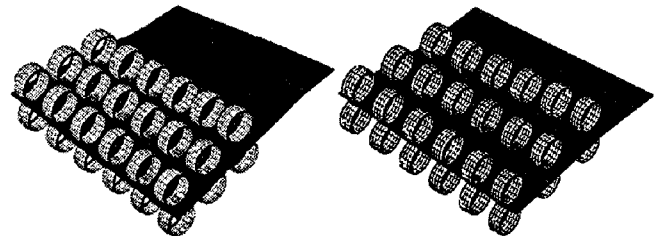


Fig. 2 Roll arrangement for twisting of plate



(a) Alternate arrangement



(b) In-line arrangement I (c) In-line arrangement II

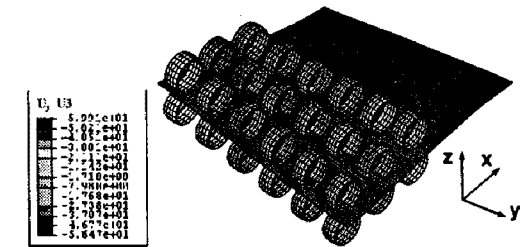
Fig. 3 Three types of roll arrangements for twisting of plate (FE simulation models)

롤 배열 형태와 롤 열 간 거리에 따른 성형성을 파악하기 위해 Fig. 3 에서와 같은 유한 요소 해석 모델을 사용하여 성형 결과를 검토하였다. 그림에서와 같이 판재를 동일한 비틀림 각만큼 성형하는데 있어서, 교대 배열(Fig. 3(a))과 일렬 배열(Fig. 3(b)) 그리고 상하부의 롤 열 간의 거리를 증가시킨 경우(Fig. 3(c))에 대해 비교, 검토하였다. 여기서 각 롤 배열 형태에 따른 성형성 비교를 위해 롤 셋에 의해 변형된 판재의 부하(loading) 상태와 롤 셋 제거로 인한 제하(unloading) 상태에서의 판재의 변형량을 각각 관찰하여 롤 배열 형태에 따른 스프링백(springback) 량을 알아보기로 한다. 해석에는 상용 유한 요소 해석 프로그램인 ABAQUS v.6.4(Implicit)를 이용하였으며, 각 롤들은 강체 곡면(rigid surface)으로 모델링 하였고 소재는

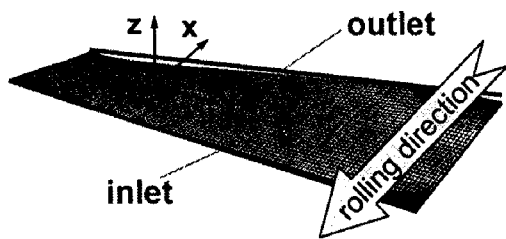
8 절점 육면체 체적요소로 구성하였다. 두께 방향으로 3 층의 요소가 배치되도록 하여 총 요소 수는 20600 개가 되도록 하였다.

3.2 성형 해석 결과

Fig. 4(a)은 일렬 배열을 이용한 판재의 비틀림 성형 진행을 보여주고 있다. 위의 각 롤 배열 형태에 따른 스프링백 각도를 위해 Fig. 4(b)에서와 같이 롤링(rolling)에 의한 판재의 부하/제하 과정을 완전히 마친 영역만을 추출하여 입구부(inlet)와 출구부(outlet)의 에지 프로파일(edge profile)을 y-z 평면에 투영하여, 두 프로파일간의 비틀림량을 비교하였으며 각 배열 형태에 따른 판재의 스프링백 전후의 프로파일을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서와 같이 롤의 교대 배열을 이용하는 경우(Fig. 5(a)), 판재의 스프링백 각도가 가장 크게 나타남을 알 수 있으며, 이에 비해 일렬 배열 경우 비틀림에 대한 판재의 스프링백 각도가 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 또한 일렬 배열을 이용하는 경우에 있어서는 롤 열 간의 간격을 줄일 경우(Fig. 5(b), In-line arrangement I), 스프링백 각도가 더욱 감소함을 확인할 수 있으며, 판재의 비틀림 성형 시 가장 효과적인 롤 배열 형태임을 알 수 있다. 이와 같은 유한 요소 해석 결과를 바탕으로 실제 판재의 비틀림 성형 시 일렬 배열을 이용하되 장치의 사양을 고려하여 롤 열 간 간격을 최소화하여 성형 실험에 적용하기로 하였으며, 이를 토대로 앞서 목적 형상으로 선정된 분류 4에 해당하는 형상에 대해 성형 실험을 실시하였으며, 그 결과를 다음 장에 나타내었다.

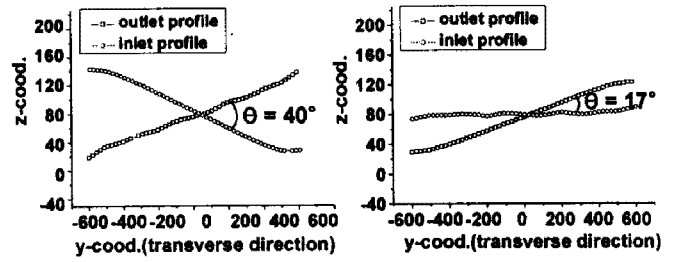


(a) Twisting of a plate

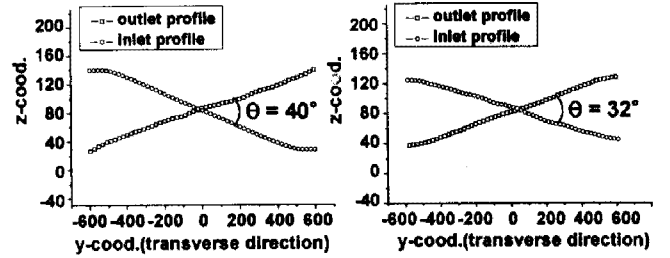


(b) Twisted plate

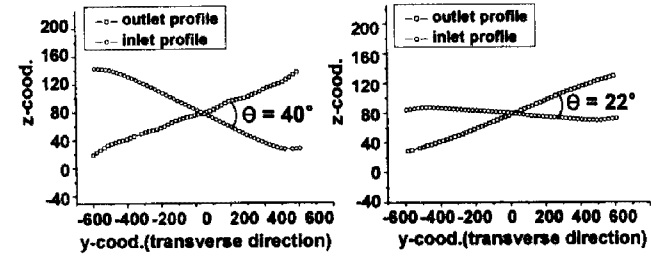
Fig. 4 Result of FE simulation (In-line arrangement I)



(a) Alternate arrangement



(b) In-line arrangement I



(c) In-line arrangement II

Fig. 5 Results of FE simulation
(left: before springback, right: after springback)

4. 비틀린 이중 곡면 성형 실험

두께 8mm 의 조선용 연강(mild steel) 판재 (1000mm*1200mm)를 이용하여 비틀린 이중 곡면에 대한 성형 실험을 실시하였다. 전체 성형 단계를 2 단계로 나누어, 1 단계에서는 비틀린 횡곡면 형상으로 성형한 후, 2 단계에서 종곡물을 추가하는 방식으로 비틀린 이중 곡면 성형 실험을 실시하였다. 최종 스프링백 후의 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었으며, 판재의 중앙을 지나는 횡방향 단면 곡선들과 종방향 단면 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. 횡방향 단면 프로파일에 보이는 바와 같이 입의의 곡물을 가진 프로파일들이 x 방향으로 점점 회전되어 분포됨을 확인할 수 있으며, 이는 성형된 판재가 x 축에 대해 비틀려있는 형상임을 말해준다. 또한 종방향 단면 곡선으로부터 종방향

으므로 곡률이 생성되었음을 알 수 있다. 이를 통해 실선체 곡면들 중 대표 형상인 비틀린 이중 곡면에 대한 본 공정의 성형 가능성을 확인할 수 있게 되었다.

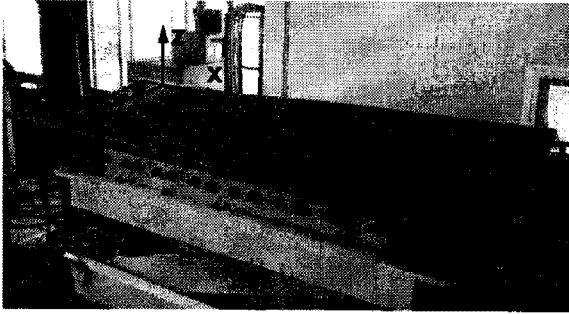
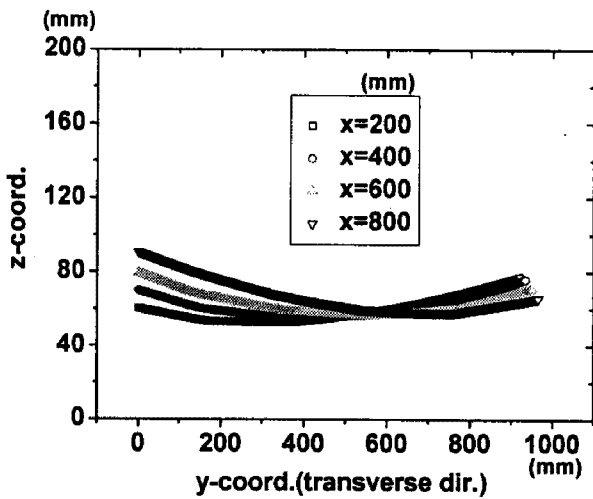
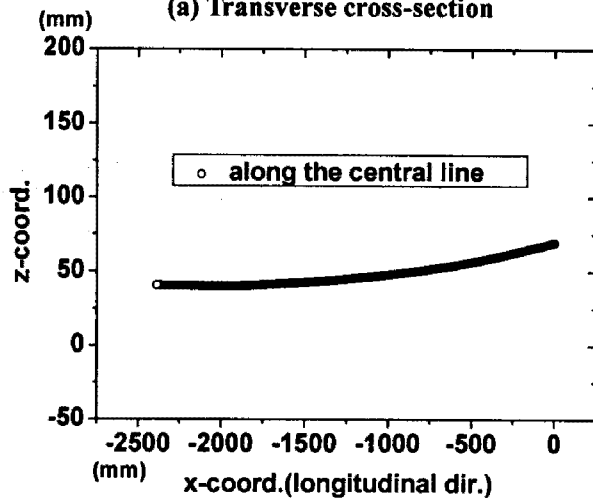


Fig. 6 Finally formed shapes



(a) Transverse cross-section



(b) Longitudinal cross-section

Fig. 7 Cross sections of formed shapes

5. 결론

대형 선박 건조를 위한 곡면 가공 공정에 선형 배열 롤 셋 공정의 산업적 적용을 위해, 실선체 곡면 성형을 위한 성형 가능성을 검토하였다. 이를 위해 실제 건조되는 대형 선박 1척을 선정하여 외판을 구성하고 있는 실선체 곡면에 대한 형상들을 조사한 결과, 실선체 곡면 성형에의 적용을 위해서는 판재의 비틀림 성형이 필수적임을 확인하였다. 이에 유한요소해석을 통해 비틀림 성형 해석을 실시하였으며, 그 결과를 실제 성형 실험에 반영하여 실험을 실시하였다. 그 결과, 비틀림 특성을 포함한 대표 곡면인 비틀린 이중 곡면에 대한 성형 가능성을 확인 함으로서 선형 배열 롤 셋 공정에 대한 조선 산업에의 적용 가능 범위를 넓힐 수 있었다.

후기

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

참고 문헌

- [1] 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, Portugal, pp. 865~870.
- [2] D. S. Shim, D.Y. Yang, M.S. Han, S.W. Chung, K.H. Kim, H.J. Roh, 2008, Experimental study on manufacturing doubly curved plates using incremental rolling process, Proc. of Advan. Technol. of Plast., Gyeongju, Korea, pp. 887~888.
- [3] D. S. Shim, D. Y. Seong, C.G. Jung, D. Y. Yang, S. W. Chung, M. S. Han, 2008, Investigation on types of roll arrangements in line array roll set to fabricate the plate with large curvatures, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf, Jeju, Korea, pp. 158~161.