

선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡판 제작을 위한 공정 설계에 관한 기초 연구

심도식¹, 양동열[#], 노형주², 김광희², 정성욱³, 한명수³

Fundamental investigation on process design for manufacturing of doubly curved plates using line array roll set

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

Abstract

For the effective manufacture of doubly curved metal plates, a line array roll set (LARS) process is proposed. The suggested process utilizes a pair of upper and lower symmetric roll assemblies. In the 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. Moreover, there is a close correlation between the deformation in the longitudinal direction and that in the transverse direction of the plates. Therefore, the finally formed shape in the incremental forming process is strongly dependent upon process conditions, such as the forming path and the forming increment. The manufacturing of arbitrary doubly curved plates with various curvatures is not an easy task because of such complicated behaviors of the plate; thus, the forming schedules for the desired shape should be carefully and accurately designed. In this study, several experiments with the LARS system were carried out for the fundamental investigation on process design for manufacturing of doubly curved plates.

Key Words : Incremental process, roll forming, curvature

1. 서 론

선박의 외판(Ship hull)은 단일 혹은 이중 곡률을 가지는 다양한 형상들로 이루어져 있다. 조선 현장에서 이중 곡률을 가지는 외판은 롤 벤딩(cylinder roll bending or press bending) 공정으로 초기 평판을 단일 곡률을 가지는 형상으로 만드는 1차 가공 과정과 가스 토치(gas flame torch)에 의한 국부적 가열을 이용하는 선상 가열법(Line heating process)을 이용한 2차 가공 과정을 거쳐 제작된다. 하지만 아직까지도 롤 벤딩과 선상 가열 작업의 대부분이 작업자의 경험에 의해 이루어지고 있어 생산성이 낮다는 단점을 가지고 있으며, 선상 가열 작업에서는 열원에 의한 고온 및 소음

발생 등에 따른 열악한 작업 환경이 해결되어야 할 문제로 부각되고 있다.

이러한 배경으로 국내외에서는 이중 곡률을 가진 판재를 효율적으로 제작하기 위해, 선상 가열 자동화 공정 및 냉간 가공 공정 등을 이용한 이중 곡면 제작을 위한 연구가 진행되고 있다 [1~4]. 또한 Shim 과 Yang[5] 등은 생산성을 보다 향상시키기 위한 냉간 가공 방법으로 선형 배열 롤 셋(Line array roll set)을 이용한 점진적 성형 공정을 제안하였으며 소규모 실험 장치를 이용한 공정 개발 연구를 진행 중에 있다. 본 연구에서는 선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡면의 점진적 성형을 위해 성형 스텝(step) 설계를 위한 기초 연구를 수행하였다.

1. KAIST 기계공학과
2. 부경대학교 기계공학부
3. ㈜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 위해 제안된 공정의 실험적 연구를 위해 Fig. 1과 같이 선형 배열 롤 셋 시스템을 구성하였으며, 그 성형 원리는 Fig. 2에 나타난 것과 같다. 상하부의 구동롤(motor-driven roll)과 유힬롤(idle roll)에 의해 판재에 굽힘 변형을 발생시키며 구동롤의 회전에 의해 판재가 이송되어 판재 진행 방향으로의 곡률이 생성된다. 또한 판재가 이송되는 수직 방향으로는 각 롤들의 상대적 위치에 의해 판재에 굽힘 변형을 주어 원하는 프로파일을 형성하게 된다.

서보 컨트롤 유닛(servo control unit)이 장치된 상하부 롤들은 성형하고자 하는 목적 곡면에 대한 기하학적 형상과 사용자가 직접 입력한 성형 계획에 따라 스텝 별 높이 정보를 입력 받아, 실제 성형 스텝(forming step)마다 각각의 위치를 조절하여 판재의 변형을 유도한다. 각 스텝 별로 미리 입력된 정보에 따라 상하부 롤들의 위치를 조절 한 상태에서, 상하부의 구동롤을 구동시켜 판재를 통과시키게 되면 하나의 성형 스텝이 종료된다.

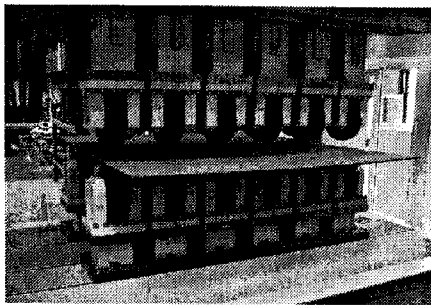


Fig. 1 Line array roll set system

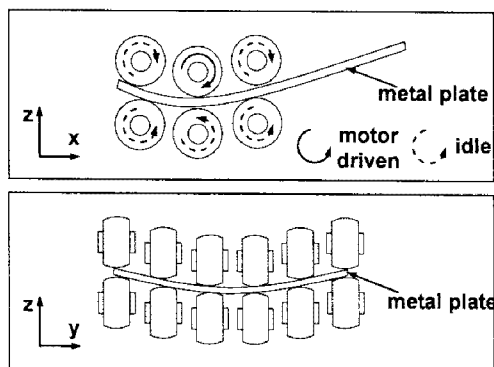


Fig. 2 Principles of deformation in rolling direction (top) and in the transverse direction (bottom)

3. 선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡면 제작

3.1 성형 실험 조건

폭 1000mm, 길이 1000mm, 그리고 두께 8mm 크기의 연강(mild steel) 판재를 이용하여 목적 형상으로의 가공을 선행 연구 결과에 따라 Fig. 3과 같이 전체 2 단계로 나누되, 1 단계에서는 폭 방향(y 방향)으로만 단일 곡률을 생성시킨 다음, 2 단계에서 종방향(x 방향) 곡률을 추가하는 과정을 거쳐 최종 이중 곡면을 성형하는 방법으로 실험을 실시하였다[6]. 각 단계(stage)별 성형은 전체 7 스텝으로 나누어 점진적 성형(incremental forming) 원리를 적용하여 성형을 진행시켰다.

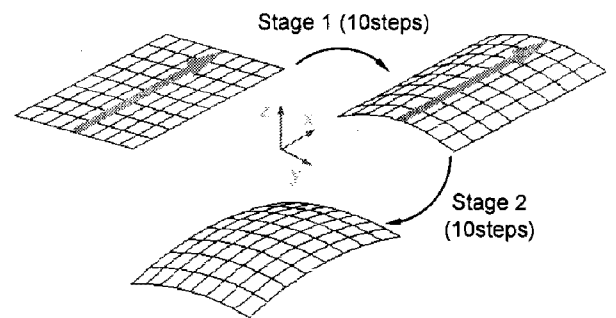


Fig. 3 Forming stages

3.2 중횡곡 동시 성형(Case 1)

이중 곡면 성형을 위한 첫 번째 성형 공정 방법으로 Fig. 4와 같이 stage 1에서의 횡방향 단일 곡 성형 후, stage 2에서는 횡과 종방향의 곡률을 동시에 증가시켜 이중 곡면 성형 실험을 실시하였다. 최종 성형된 이중 곡면은 Fig. 5와 같으며, 횡과 종방향의 최종 곡률은 Fig. 4에서 확인할 수 있다.

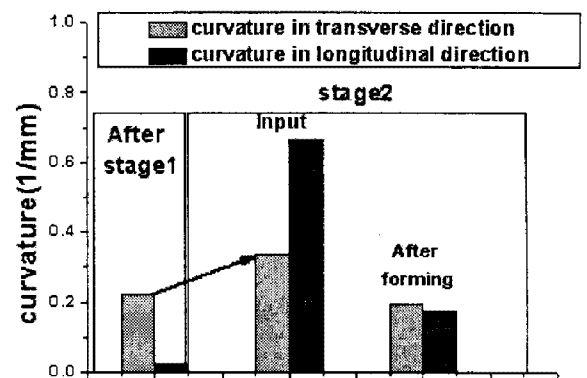


Fig. 4 Curvatures at each stage (case 1)

냉간 가공에 의한 이중 곡률 제작에 있어서,

판재에 과도한 신장(stretching)이나 수축(shrinkage)이 주어질 경우, 찢어짐(tearing) 또는 주름(wrinkling) 등의 성형 결함이 발생되기도 한다. 본 공정의 경우 과도한 변형이 없이 곡률 생성을 점진적으로 증가시켜 가면서 이중 곡면 성형에 필요한 굽힘 및 면내 방향으로의 자연스러운 변형을 유발 함으로서 주름 등의 성형 결함 없이 이중 곡면의 제작이 가능하였다.

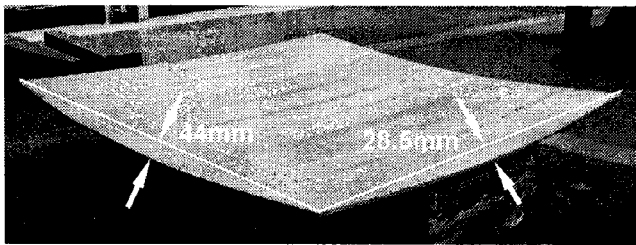


Fig. 5 Formed shape (case 1)

3.3 판재 단면 프로파일 관찰

판재를 상하부의 롤을 이용하여 연속적인 굽힘 변형을 일으키면서 구동롤의 회전에 의해 판재와 롤 사이의 접촉에 의한 마찰력을 이용하여 판재를 이송시키게 된다. 이 때 롤의 압하로 인한 판재의 압흔(indentation) 또는 국부적인 변형 등이 성형 품질을 좌우하게 된다.

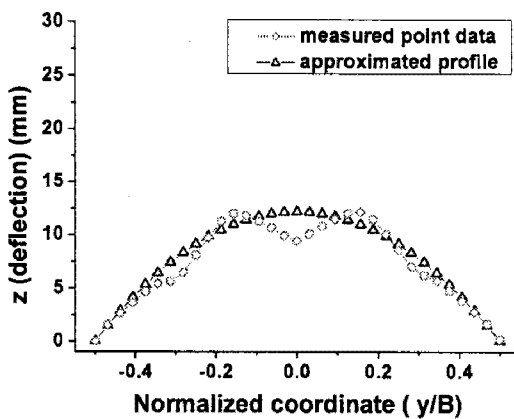


Fig. 6 Profile of formed shape (case 1)

이러한 판재의 표면 결함 등을 관찰하기 위해 최종 성형된 판재 중심의 폭방향(y 방향) 상부 표면 프로파일(profiles)을 3차원 측정기를 이용하여 측정하였다. 실제 상부 표면의 점 데이터(point data)와 부드러운 곡선으로 근사된(approximated) 프로파일을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서와 같이 판재의 중심 부근에, 구동롤에 의한 국부적 굽힘

으로 인해 판재 단면 곡선에 미세한 굴곡이 관찰되었다. 이러한 단면 굴곡은 Fig. 7과 같이 stage 2에서 판재의 횡/종곡의 과도한 변형에 의한 것으로 판단되는데, 이러한 현상은 횡/종곡을 동시에 성형하여 최종 스텝의 횡/종방향 곡률 증분량이 상당히 증가하게 되면 판재 폭 방향의 변형이 불안정점(instability)에 이르게 되어 판재의 폭 방향 단면에 굴곡이 발생된 것으로 고찰된다.

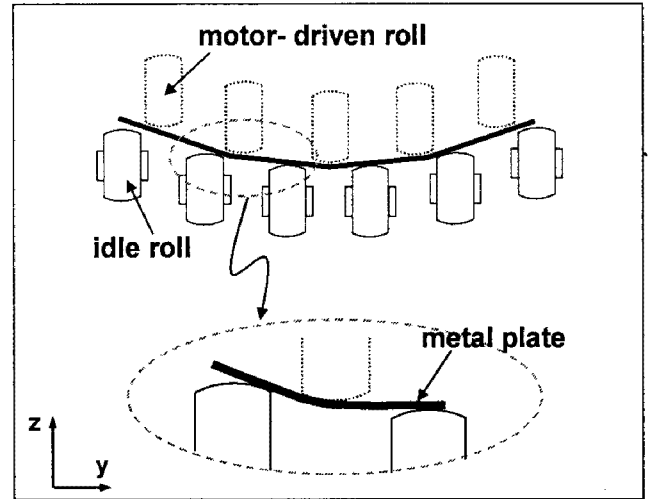


Fig. 7 Local deformation in transverse direction

4. 성형 공정 스텝 수정 후 실험(Case 2)

4.1 성형 실험 조건

앞 절의 실험에서와 같이 판재의 과도한 횡/종곡률 성형과는 달리, 이 절에서는 판재의 변형 기하를 고려하여 판재의 횡과 종방향의 곡률을 조절하여 성형 실험을 실시하였다. stage 1에서 횡 방향으로만 형성된 판재에 stage 2에서 종방향으로 판재를 굽히게 되면 판재의 변형 거동에 의해 횡 방향으로, stage 1에서 생성된 곡률을 감소시키는 분포력이 발생하게 되어 횡곡률이 감소하게 된다. 따라서 종곡률의 추가에 의한 횡곡률 감소를 고려하여 Fig. 8과 같이 stage 2에서 입력되는 횡곡률을 임의의 값만큼 감소시켰으며 그 외 조건은 case 1과 동일한 조건을 유지하였다.

종곡률 추가에 따른 횡곡률 감소를 고려하여 성형된 곡면의 최종 곡률과, 앞선 실험과 같이 성형 판재의 최종 단면 프로파일을 Fig. 9에 나타내었다. case 2의 성형 판재의 최종 곡률과 단면 곡선을 앞의 경우(case 1)와 비교해 볼 때, 최종 성형된 판재의 횡곡률은 감소하였지만 판재 표면의 평활도(fairness)는 상당히 개선되었음을 확인할 수 있

었다. 이와 같은 실험 결과로부터 각 스텝 별 성형량에 따라 판재의 최종 성형 곡률 및 곡면 품질이 결정된다는 것을 알 수 있다.

위의 case 2 실험에서, stage 2에 입력되는 횡곡률은 몇 가지 실험을 통한 경험적인 데이터를 통해 결정되었으나 보다 정밀한 이중 곡면 성형을 위해서는 최적의 값으로 설계되어야 하는, 공정 계획을 위한 중요한 인자(key factor)라고 할 수 있다. 따라서 이중 곡률을 가진 형상의 성형을 위한 점진적 성형을 위해서는 판재의 변형역학을 고려하여 굽힘 변형에 따른 판재의 거동 및 스프링 백에 관한 이론적 및 실험적 데이터를 바탕으로 한, 최적 성형 공정으로의 설계가 필요할 것으로 판단된다.

서 공정 방법에 따른 결과를 확인하기 위해 판재의 길이 방향과 폭 방향으로의 곡률 조절을 조정하여 그 성형 결과를 확인하였다. 그 결과 임의의 이중 곡면의 성형을 위해서는 각 스텝 별 성형량 또는 성형 증분이 적절히 설계되어야 함을 알 수 있었으며, 이를 위해 향후 이중 곡면의 정밀 제작을 위한 성형 공정 설계에 필요한 이론 및 실험적 연구를 진행하고자 한다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [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] Shin, J.G., Kim, W.D., and Lee, J.H., 1996, Numerical Modeling for Systematization of Line Heating Process, J. Hydrospace Tech., Vol. 2 No. 1, pp. 41~54.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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, No. 1., pp. 27~34.

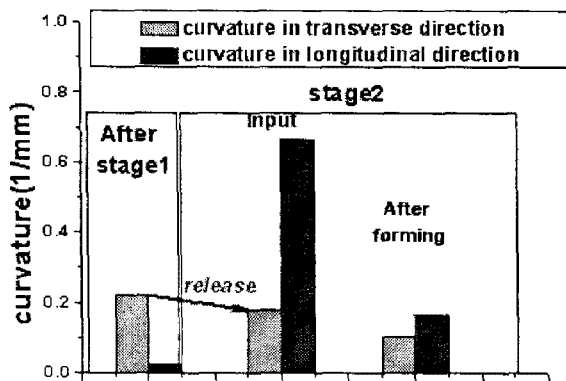


Fig. 8 Curvatures at each stage (case 2)

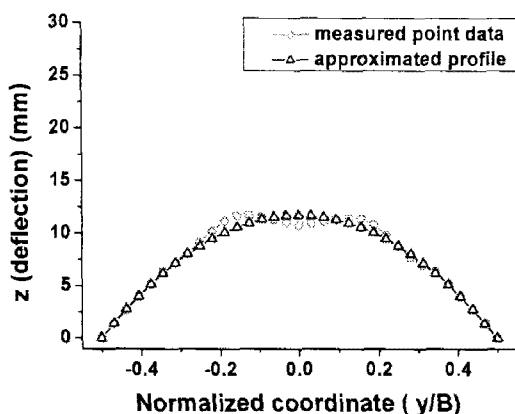


Fig. 9 Profile of formed shape (case 2)

4. 결 론

선형 배열 롤 셋을 이용한 이중 곡면 제작을 위한 기초 실험 연구로서, 이중 곡면 제작에 있어