

선박용 이중 곡판 제작을 위한 선형 배열 롤 셋 공정 개발에 관한 연구 A Study on Line Array Roll Set Process for Manufacturing of Doubly Curved Ship Hull Plates

*심도식¹, 정창균¹, 성대용¹, #양동열¹, 한명수², 정성욱²

*D. S. Shim¹, C.G. Jung¹, D. Y. Seong¹, #D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)¹, M. S. Han², S. W. Chung²
¹한국과학기술원 기계항공시스템학부, ²(주)대우조선해양

Key words : Incremental Forming, Line Array Roll Set, Curvature

1. 서론

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 이중 곡률을 가진 판재를 효과적으로 제작하기 위한 다양한 공정들이 제안되었고 아직까지도 꾸준히 연구되고 있다. 이중 곡판 제작을 위한 열간 가공으로, 작업자의 경험에 의존하는 기존의 선상 가열법에 대한 자동화 연구는 국내외에서 활발히 진행되고 있다[1~2]. 이외에도 생산성 향상을 위한 방법으로 열간 가공이 아닌 냉간 가공 공정을 이용한 이중 곡판 제작을 위해, 국내외에서 여러 가지 방법으로 그 연구가 진행되고 있으나[3~4], 다양한 곡률과 크기를 가지는 선박용 후 곡판에 대해서는 아직까지 만족할 만한 정밀도와 생산성을 가지지 못해 실용화 단계는 미치지 못하고 있는 실정이다. 이에 Yoon 과 Yang[5] 등은 점진적 롤 성형 공정(Incremental roll forming process)을 제안하여 알루미늄 판재를 이용한 이중 곡면 성형에 적용하였다. 이를 좀 더 발전시켜 Shim 과 Yang[6] 등은 생산성을 보다 향상시키기 위한 방법으로 롤 셋을 일렬로 상하부에 대칭으로 배열하여 1회 이송으로 판재의 전 영역에 소성 변형을 유도하는 선형 배열 롤 셋(Line array roll set) 공정을 제안하였다.

본 논문에서는 선박용 판재로 사용되는 연강(mild steel)에 대한 후 곡판 성형을 위해 개발된 선형 배열 롤 셋 실험 장치를 소개하며, 두께 10mm 판재를 이용한 실험을 통해 점진적 롤 성형 공정을 선박용 이중 곡판의 제작에 적용하여 그 가능성을 검토하고자 한다.

2. 선형 배열 롤 셋 공정

선박용 외판의 냉간 곡가공을 위해 본 연구에서 제안하는 선형 배열 롤 셋에 대한 개념도가 Fig. 1에 나타나 있다. 그림에서와 같이 회전뿐만 아니라 x, y, z 방향으로 위치 조절이 가능한 롤들이 일렬로 배열되어 상하부 대칭으로 각각 3개의 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 유히롤(idle roll)들로 구성된다(Fig. 2). 상하부 롤 셋 사이에 위치한 금속 판재는, 구동롤과 유히롤의 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.

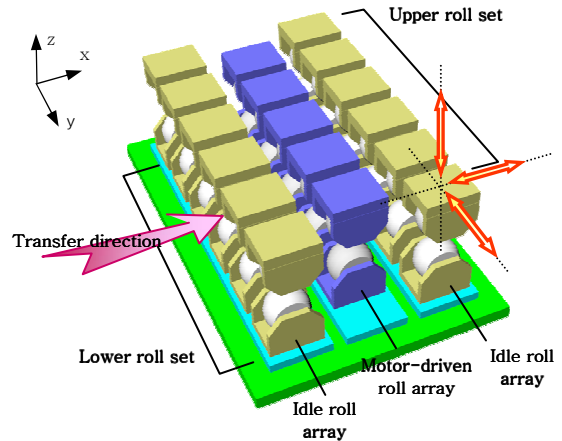


Fig. 1 Schematic of Line Array Roll Set

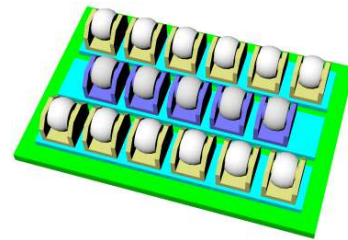
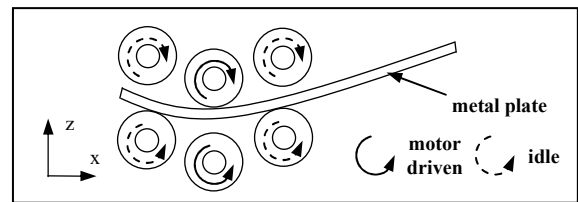
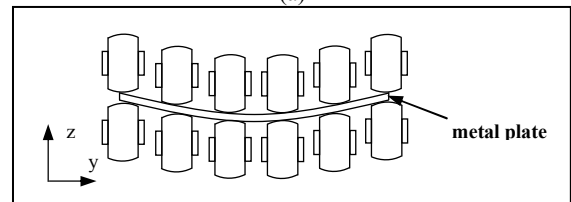


Fig. 2 Arrangement of rolls (lower roll set)



(a)



(b)

Fig. 3 Principles of deformation (a) in the rolling direction (b) in the transverse direction

3. 성형 원리

본 공정에 있어서 곡률 생성을 위한 성형 원리를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)와 같이 구동롤의 회전에 의해 판재가 이송되면서, 실린더 롤 벤딩 공정과 유사한 방식으로

상부의 구동롤 열과 하부 한 쌍의 유휴롤 열에 의한 3 점 굽힘의 원리에 의해 판재 진행 방향으로의 곡률이 생성되며, 반대로 하부의 구동롤 열과 상부 한 쌍의 유휴롤 열에 의해 반대 방향으로의 곡률을 생성시킬 수 있게 된다. 또한 Fig. 3(b)와 같이 판재가 이송되는 수직 방향으로 각 롤들의 상대적 위치에 의해 판재에 굽힘 변형을 주어 원하는 프로파일을 형성하게 된다.

4. 선형 배열 롤 셋 실험 장치

선박용 외판의 냉간 곡가공을 위해 제안된 공정의 실험적 연구를 위해 Fig. 4 와 같이 선형 배열 롤 셋 실험 장치를 제작하였다. 서보 컨트롤 유닛(servo control unit)이 장치된 상하부 롤들은 성형하고자 하는 형상에 대한 기하학적 형상과 사용자가 직접 입력한 성형 계획에 따라 스텝별 높이 정보를 입력 받아, 실제 성형 스텝(forming step)마다 각각의 위치를 조절하여 판재의 변형을 유도한다. 각 스텝별로 미리 입력된 정보에 따라 상하부 롤들의 위치를 조절한 상태에서, 상하부의 중심롤 열을 구동시켜 판재를 통과시키게 되면 하나의 성형 스텝이 종료된다.

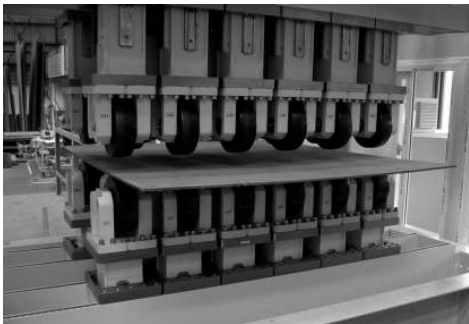


Fig. 4 Line array roll set system

5. 선형 배열 롤 셋 실험 장치를 이용한 기초 실험

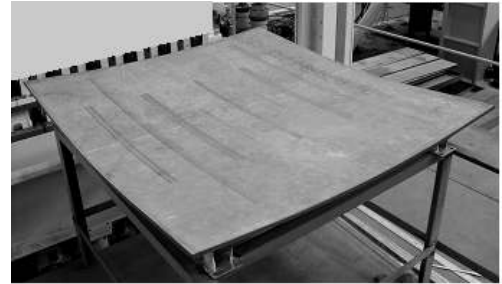
폭 1100mm, 길이 1200mm 그리고 두께 10mm 크기의 연강(mild steel)을 이용하여 최종 목적 형상으로서의 가공을 전체 2 단계로 나누어, 1 단계에서는 폭 방향으로만 단일 곡률을 생성시킨 다음, 2 단계에서 종방향 곡률을 추가하는 과정을 거쳐 성형 실험을 실시하였다. 각 단계별 성형은 10 스텝으로 나누어 점진적 성형(incremental forming) 원리를 적용하여 성형을 진행시켰다.

이중 곡면 기초 성형 실험을 통해 얻어진 최종 형상을 Fig. 5(a)에 나타내었으며 Fig. 5(b)와 같이 성형된 형상의 곡 깊이를 측정하여 최종 형상의 곡률을 계산하였다. 그 결과 횡방향 4895mm, 종방향 7838mm 의 곡률 반경(radius of curvature)을 가지는 이중 곡면을 얻을 수 있었다. 냉간 가공에 의한 이중 곡률 제작 공정에 있어서, 판재에 과도한 신장(stretching)이나 수축(shrinkage)이 주어질 경우, 찢어짐(tearing) 또는 주름(wrinkling) 등의 성형 결함이 발생되기도 한다. 따라서 이중 곡면의 효과적 성형을 위해서는 형상별로 적절한 성형 계획을 통해 굽힘 및 면내 변형을 유도하여야 하는데, 본 공정의 경우 과도한 변형이 없이 곡률 생성을 점진적으로 증가시켜 가면서 면내 방향으로 자연스러운 변형률을 유발시키게 됨으로서 특별한 성형 결함 없이 이중 곡면의 제작이 가능함을 확인하였다.

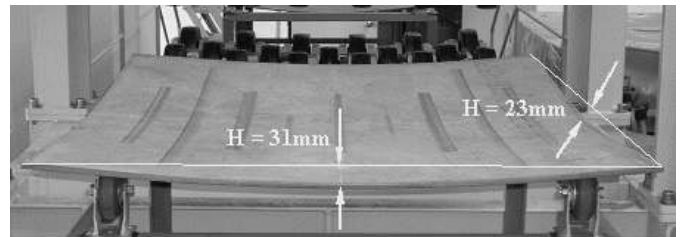
5. 결론

새로운 개념의 금속 판재 성형 공정으로 선형 배열 롤 셋(Line array roll set) 공정을 제안하여 선박용 외판의 이중

곡면 제작을 위한 기초 연구 수행을 위해 성형 시스템을 설계 및 제작하였다. 실제 조선 현장에서 사용되는 가공 공정 순서와 유사한 방식으로 최종 목적 형상으로서의 가공을 2 단계로 나누어 이중 곡면 성형 실험을 실시하였다. 그 결과 점진적 성형 원리를 적용하여 판재에 연속적인 굽힘 변형을 생성시켜 종방향과 횡방향으로의 곡률을 동시에 가지는 이중 곡면을 아무런 결함 없이 성형할 수 있음을 확인하였고, 이를 통해 본 공정의 선박용 외판 가공에 대한 적용 가능성을 제시하였다.



(a)



(b)

Fig. 5 Results of Experiment

5. 참고 문헌

- [1] Nomoto, T., Ohmori, T., Sutoh, T., Enosawa, M., Aoyama, K. and Saitoh, M., "Development of Simulator for Plate by Line Heating," Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 170, pp. 577~586, 1991.
- [2] Shin, J.G., Kim, W.D., and Lee, J.H., "Numerical Modeling for Systematization of Line Heating Process," Journal of Hydrospace Technology, Vol. 2 No. 1, pp. 41~54, 1996.
- [3] Nishioka, F., Matsuishi, m., Yasukawa, W., Tohgoh, O., Nishimaki, K., Tanaka, T. and Yamauki, T., "On Automatic Bending of Plates by the Universal Press with Multiple Piston heads (1st Report : Fundamental Study)," Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 132, pp. 481~501, 1978.
- [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] S.J. Yoon, D.Y. Yang, "An Incremental Roll Forming Process for Manufacturing Doubly Curved Sheet Blanks with Enhanced Process Features," Annals of CIRP, Vol. 1, pp. 221~224, 2005.
- [6] D. S. Shim, C.G. Jung, D. Y. Seong, D. Y. Yang, J. M. Han, M. S. Han, "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, 2007.