

최소 2차 가공을 위한 이중 곡면의 롤러 굽힘 형상 결정

윤대규*, 신종계**, 류철호***

A Determination of Approximated Cylindrical Surfaces of Doubly Curved Surfaces for the Least Line Heating

by

Dae Kyu Yun*, Jong Gye Shin**, and Cheol Ho Ryu***

요 약

선박의 선미부와 선수부는 복잡한 곡을 가진 블록들의 조립으로 만들어진다. 이러한 복잡한 곡물 분포를 가진 이중 곡면을 성형하기 위해서 조선소에서는 롤러 굽힘 가공과 선상 가열을 이용하고 있다. 일차적으로는 롤러 굽힘에 의한 가공으로 실린더 형상이나 원추 형상의 곡면을 만들고 난 후, 선상 가열을 수행하여 목적 형상으로 이차 가공을 한다.

본 논문은 곡면 가공에서 선행되는 일차 가공의 정보로서 가공 방향과 가공 후 형상을 결정하는데 목적이 있다. 목적 형상의 가우스 변환(Gauss mapping)으로부터 가공 방향에 관한 정보를 결정하고 목적 형상과 롤러 굽힘 가공에 의해 변형된 판 사이의 기하학적 관계를 이용하여 롤러 굽힘 가공의 모양을 결정하는 알고리즘을 제시하였다.

Abstract

The ship's bows and sterns are assembled with the curved blocks. In shipyards, the roller bending and the line heating or others are being used to fabricate such doubly curved shell. Firstly, the cylinder- or cone-type is formed through the roller bending, and then, the line heating is implemented to form the rest.

This paper presents an algorithm to determine the direction for the roller bending and the shape to be formed as fabrication information. The direction for the roller bending is determined with Gauss mapping of the desired surface and the shape to form is calculated by comparing the bent shape with the desired shape.

접수일자: 1999년 3월 22일, 재접수일자: 1999년 6월 3일

* 학생회원, 현대중공업 마북리연구소 로보틱스연구실

** 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

*** 학생회원, 서울대학교, 대학원

1. 서 론

선박의 선미부와 선수부는 복잡한 곡을 가진 블록들의 조립으로 만들어진다. 이러한 복잡한 곡률 분포를 가진 이중 곡면을 가공하기 위해서 많은 조선소에서 롤러 굽힘 가공과 선상가열을 이용하고 있다. 일차적으로는 롤러 굽힘 가공으로 실린더 형상이나 원추 형상의 곡면을 만들고 난 후, 목적 형상을 얻기 위해 선상 가열에 의한 이차 가공이 수행된다.

곡면 가공 과정은 많은 공수를 요구하고 있고 높은 정밀도가 필요한 분야이므로 생산성 향상의 측면에서 가공 자동화가 요구되어 왔다. 롤러 굽힘 작업은 곡면 가공 공정의 한 부분을 차지하고 있는 만큼 가공 자동화를 위해서는 이 작업에 관한 연구가 수행되어야 한다. 특히 롤러 굽힘에 의한 일차 가공에 따라서 그 뒤에 수행하게 되는 선상 가열의 작업량이 결정된다. 그러므로 일차 가공이 쉽게 수행될 수 있고 선상 가열 작업을 줄일 수 있는 일차 가공 정보를 결정해야 한다.

근래에는 곡면 가공의 자동화를 위해 선상 가열에 관하여 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 일차 가공에 관한 연구는 찾아보기가 어려운 실정이다. 김 등[1]은 피라미드 형의 롤러에 의한 굽힘을 수치해석을 통해서 시뮬레이션하였다. 그리고 목적 곡면의 곡률에 따라서 요구되는 중앙 롤러의 변위를 결정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 박 등[2]은 곡면의 곡률 분포를 계산하고 이 분포를 통계적으로 처리하여 롤러 굽힘의 영역을 결정하였다. 이 두 연구는 어떻게 롤러가 판에 위치해야 하며 얼마만큼의 양을 가공해야 하는지 결정이 된 후에 활용될 수 있는 것이다.

Randrup[3]은 임의 곡면을 실린더 곡면으로 근사시키는 알고리즘을 제시하였다. 이것은 임의 곡면을 전개 가능한 곡면들의 조각(patch)들로 근사시키는 다른 방법들과([4], [5]) 달리 하나의 전개 가능한 곡면을 결정할 수 있다는 점에서 일차 가공을 위한 정보 생성에 적절한 방법을 제시할 수 있다. 그러나 이 연구는 실린더의 형상을 계산할 때 화상 처리(image processing) 기법을 이용하여 목

적 곡면의 특성을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 곡면 가공 자동화를 위해 일차 가공에 대한 계획을 제시하고 Randrup[3]이 제시한 알고리즘을 기본으로 하여, 임의 곡면의 일차 가공에 필요한 정보, 즉 가공 방향과 가공 후 형상을 결정하는 알고리즘을 제시하고, 그 타당성을 검증하고자 한다. 임의 곡면의 가우스 변환(Gauss mapping)으로 일차 가공 방향을 결정하고, 판의 곡률 분포를 이용해서 그 방향의 역학적 타당성을 검토하고, 목적형상과 일차 가공에 의해 변형된 판 사이의 기하학적 관계, 굽힘 변형을 또는 곡률을 이용하여 롤러 굽힘 가공의 실린더 형상을 결정한다.

계산 과정의 유용성을 확인하기 위하여 선각의 형태를 대표하는 볼록 곡면(convex surface), 뒤틀림 곡면(twisted surface)과 안장 곡면(saddle surface)에 적용하여 그 타당성을 확인한다.

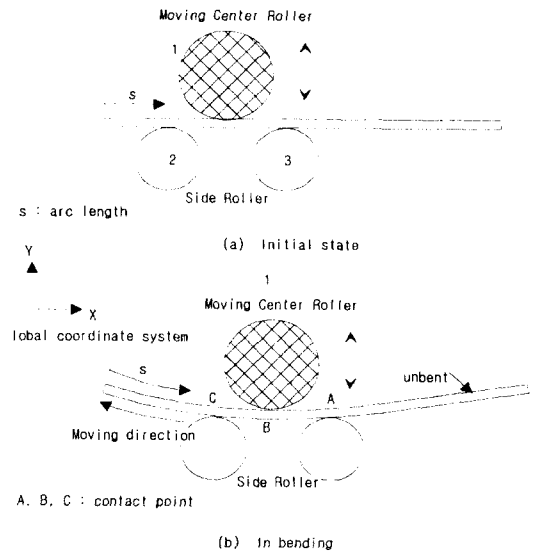


Fig. 1 Bending process by pyramid type rollers(modified from [1])

2. 롤러 굽힘 가공에 관한 고찰

곡면은 곡률의 특성에 따라서 두 가지 형태로 구

분할 수 있다. 수학적으로, 임의 곡면에 대한 가우스 곡률(Gaussian curvature)의 분포가 영(zero)이면 전개 가능한 곡면(developable surface), 그리고 영이 아니면(nonzero) 전개가 불가능한 곡면(nondevelopable surface)이라 한다 [6]. 역학적으로, 전개 가능한 곡면은 인장이나 수축의 변형 없이 단순 굽힘만으로 제작이 가능하고, 전개 불가능한 곡면은 그렇지 못하다. 각각의 곡면을 단순 곡면, 이중 곡면이라 부른다. 단순 곡면은 일반 조소에서 사용하는 피라미드형의 롤러 굽힘 장치에 의해 가공이 가능하다. 하지만 이중 곡면은 이 굽힘 가공만으로 만들어지지 않으므로 선상 가열이나 롤러 프레스링과 같은 후속 작업이 필요하다.

이 두 가지 경우 모두 롤러에 의한 굽힘 가공이 필요하다. 단순 곡면을 제작하는 경우에 굽힘 가공만으로 원하는 형상을 제작할 수 있고, 이중 곡면을 제작하는 경우에 후속 작업의 편의성을 위해 선형 작업으로 롤러 굽힘 작업이 수행되어 일단 단순 곡면을 제작하게 된다. Fig. 1은 피라미드형의 롤러 굽힘 장치에 의해 가공되는 모델을 보여 주고 있다. 아래 두 개의 롤러(side roller, 2, 3)는 상하 위치가 고정되어 있고 중앙 롤러가 상하로 움직이며 대상 철판을 누르게 된다. 이 때 가공되는 형상은 누르는 위치와 누르는 양에 의해 결정된다. 또한 전체적인 곡면의 형상은 굽힘 가공이 이루어져야 하는 범위에 따른다. 다시 말하면, 가공되는 단순 곡면은 롤 라인(Roll line), 중앙 롤러의 상하 변위, 그리고 롤링 폭(Rolling breadth)에 의해 결정된다.

Fig. 2는 이 3 가지 인자를 포함한 롤러 굽힘 가공의 정보 계획(Information planning)을 보여주는 도표이다. 그림에서 굵은 선 안의 내용이 본 논문에서 다루어질 내용으로 가공 방향과 가공할 형상이 추정된 후에 가공 형상 결정 인자인 롤 라인(Roll line), 중앙 롤러의 상하 변위, 그리고 롤링 폭(Rolling breadth)이 계산될 수 있다.

3. 선직면(Ruled surface)

롤러 굽힘에 의해서 제작된 곡면은 전개 가능한 곡면(developable surface)이다. 전개 가능한 곡

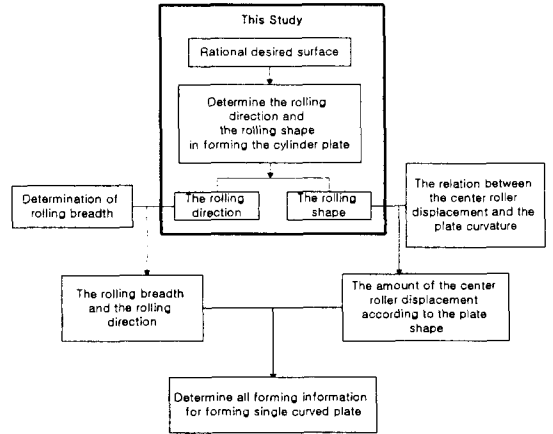


Fig. 2 Information for roller bending process

면은 선직면(ruled surface)의 하나로, 실린더, 원추형 곡면(cone), 접평면(tangent surface) 등이 이에 속한다. 롤러 굽힘 가공에서 만들어지는 곡면은 대체로 실린더 형상이거나 원추형 곡면이다.

미분 기하에서 선직면의 매개 함수는 식(1)처럼 표현될 수 있다.

$$S(u, v) = \beta(u) + v \delta(u) \tag{1}$$

여기서 $\beta(u)$ 는 준선(directrix)이라고 불리며 $\delta(u)$ 는 모선(ruling)이라고 불린다. 식 (1)은 곡선 $\beta(u)$ 를 $\delta(u)$ 의 방향으로 연장시켰을 때 선직면이 만들어진다는 것을 의미한다. 그리고 $\{\beta, \delta, \delta\}$ 가 곡면 상의 임의 점에서 식(2)을 만족하면 전개 가능한 선직면이 된다.

$$\beta(u) \cdot (\delta(u) \times \delta'(u)) = 0 \tag{2}$$

실린더 형상은 모선 $\delta(u)$ 이 일정한 값을 가진 벡터이므로 이것을 q 로 치환하면 식 (1)은 식(3)으로 표현된다.

$$S(u, v) = \beta(u) + v q \tag{3}$$

본 논문에서 제시하고자 하는 것은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 실린더 형상을 구성하는 준선 $\beta(u)$

와 모선 q 이다.

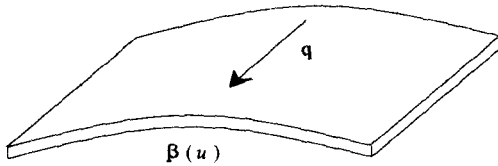


Fig. 3 Components for cylinder surface

4. 롤러 굽힘 가공 방향의 결정

Randrup[3]은 목적 형상으로부터 근사 실린더 곡면의 모선(ruling)을 구하지 않고 가우스 변환(Gauss mapping)을 이용하여 목적 형상의 가우스 상(Gaussian image)으로부터 모선(ruling)을

얻었다. 모선(ruling)은 이것을 법선 벡터로 하는 평면을 구함으로써 얻어진다. 이 평면은 목적 형상을 투영하게 되는 투영 평면(projection plane)으로 가우스 변환에 의해 얻어진 목적 형상의 가우스 상으로부터 쉽게 얻을 수 있다. 이 투영 평면은 모든 임의의 형상에 대해서 구할 수 있으며 그 물리적 의미는 주어진 형상이 투영되었을 때, 여러 평면들 중에서 투영된 면적이 가장 작은 평면이라 할 수 있다. Fig. 4는 투영 평면을 구하는 과정을 보여주는 그림이다.

4.1. 가우스 변환(Gauss mapping)과 가우스 상(Gaussian image)

가우스 상(Gaussian image)은 가우스 변환(Gauss mapping)을 통해서 얻어지는 상이다. 임의의 목적 형상 M 위의 점 P 를 잡고, 그 점에서 곡

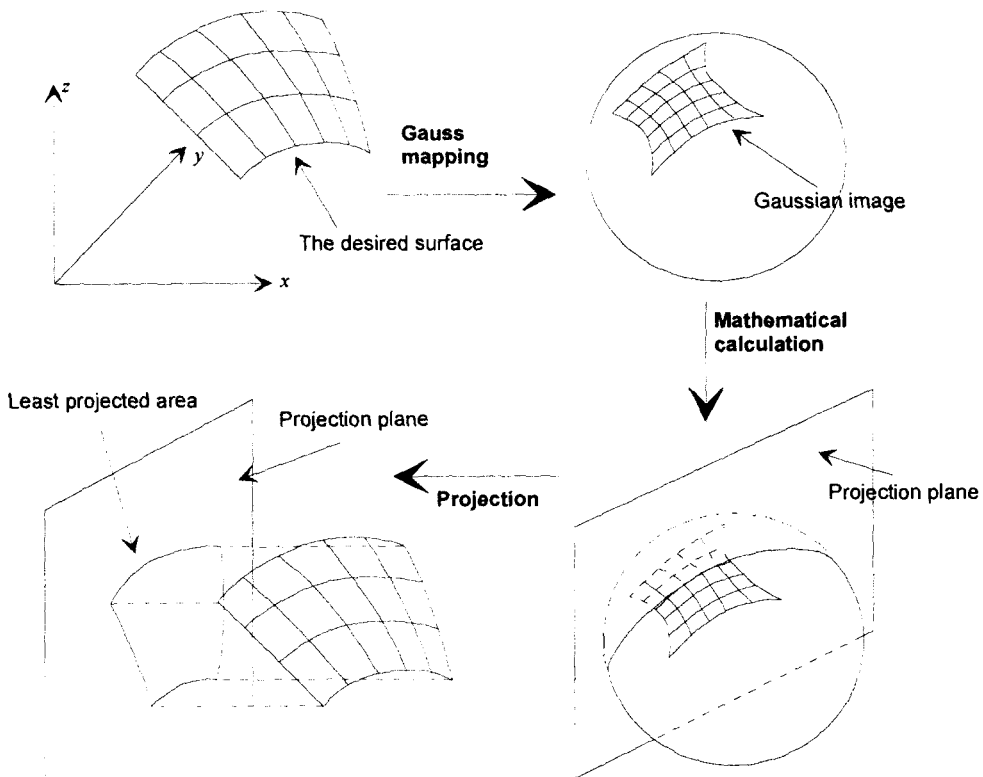


Fig. 4 Procedure for calculation of the roller bending direction

면에 수직인 단위 법선 벡터 $n(P)$ 를 구한다. $n(P)$ 의 출발점을 원점에 위치시키면, $n(P)$ 의 끝점은 단위 구 위에 존재하게 된다. 이런 식으로 목적 형상의 모든 점을 변환시키면 단위 구 위에는 임의의 상(image)이 나타나게 되는데 이 상을 가우스 상(Gaussian image)이라 하고 이러한 변환을 가우스 변환(Gauss mapping)이라 한다 (Fig. 5).

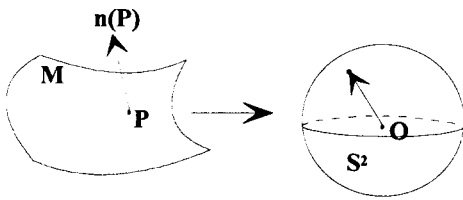


Fig. 5 Gauss mapping

전개 가능한 곡면의 경우 가우스 상은 단위 구 위에 곡선으로 나타나며, 실린더의 경우는 원호로 나타난다. 그러나, 다른 임의의 곡면들은 어떤 면적을 가진 단위 구 위의 곡면으로 변환되어 나타난다.

목적 곡면 위의 모든 점들에 대해 상을 구하여 투영 평면을 구할 수가 없기 때문에 곡면을 대표할 수 있도록 N 개의 점을 선택하게 된다. 그러나 이 점들이 곡면의 특성을 나타내지 못하므로 각 점의 변환에 가중치(weight)를 부여하게 된다. 곡면을 N 개의 조각(patch)으로 나누고 각 조각의 중앙 점을 가우스 변환시킬 점으로 취한다. 그리고 각 조각의 면적과 곡면의 전체 면적의 비를 각 점의 가중치로 고려한다. 이러한 가우스 변환을 가중치 가우스 변환 (weighted Gauss mapping)이라고 한다.

4.2. 투영 평면(Projection plane)의 결정

투영 평면은 목적 형상의 근사 실린더 형상을 구하기 위해서 목적 형상이 투영될 평면으로 이것은 가우스 상(Gaussian image)으로부터 쉽게 구해질 수 있다.

목적 형상이 실린더인 경우 가우스 상은 원호로 나타난다. 이를 포함하고 원점을 지나는 원에 의해

만들어지는 투영 평면은 직관적으로 구할 수 있다. 그리고 투영 평면의 법선 벡터는 실린더의 모선(rulings)의 방향과 일치한다는 것을 확인할 수가 있다. 즉 투영 평면의 법선 방향으로 실린더 형상을 바라보게 된다면 실린더는 곡선일 것이다 (Fig. 6).

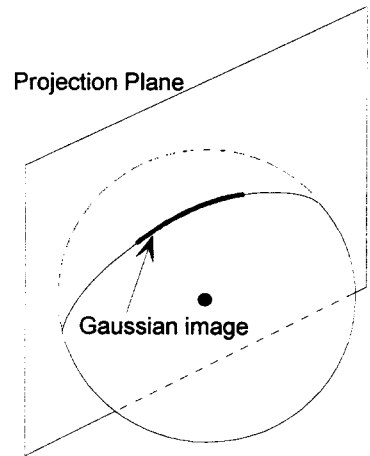


Fig. 6 Projection plane for cylindrical surface

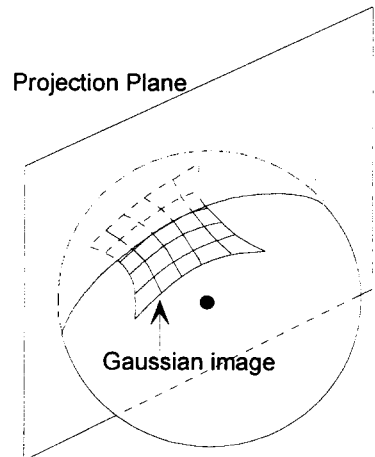


Fig. 7 Projection plane for doubly curved surface

그러나 실린더가 아닌 다른 곡면의 경우 가우스 상은 원호가 아닌 구 상의 곡선이거나 면적을 가진

입의의 형상이 될 것이다. 실린더의 경우를 비추어 볼 때 이러한 경우들에 있어서 가우스 상을 대표하는 원호를 지나고 원점을 통과하는 평면을 구한다면 이 평면은 목적 형상의 근사 실린더를 구하는 투영 평면이 될 수 있다 (Fig. 7).

투영 평면을 α 라 하면 이 평면은 다음의 평면 방정식으로 표현이 된다.

$$u_1x + u_2y + u_3z = u_0 \quad (4)$$

이 평면은 원점을 통과하기 때문에 $u_0 = 0$ 이 되고, u_1, u_2, u_3 는 투영평면의 단위 법선 벡터의 성분으로 계산할 수 있다.

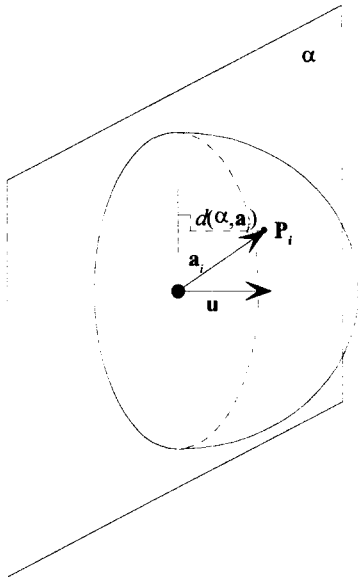


Fig. 8 Normal vector \mathbf{u} of projection plane

곡면의 가중 가우스 상을 가중치 w_i 를 가지고 있는 N 개의 점 P_i 로 정의해 보자. 곡면 위의 각 점 P_i 는 구 상에 끝점이 존재하는 단위 벡터 \mathbf{a}_i 로 변환된다. 이점으로부터 평면 α 에 이르는 수직 거리는 \mathbf{a}_i 의 평면에 대한 법선 벡터 \mathbf{u} 로의 투영과 같다. 이것은 식(5)로 나타낼 수 있다 (Fig. 8).

$$d(\alpha, \mathbf{a}_i) = |\mathbf{u}^T \cdot \mathbf{a}_i| \quad (5)$$

투영 평면은 평면 α 와 단위 구 위의 가우스 상과의 거리에 대해 최소 자승법을 적용하여 결정할 수 있다. 식(6)은 그 과정을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \min Q(\mathbf{u}) &= \min \sum w_i |\mathbf{u}^T \cdot \mathbf{a}_i|^2 \\ &= \min \sum w_i \mathbf{u}^T | \mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_i^T | \mathbf{u} \\ &= \min \mathbf{u}^T \sum w_i | \mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_i^T | \mathbf{u} \\ &= \min \mathbf{u}^T \mathbf{A} \mathbf{u} \end{aligned} \quad (6)$$

$\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3$ 를 \mathbf{A} 의 고유값(eigenvalues)이라고 하고, $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3$ 를 그에 해당하는 고유 벡터 (eigenvectors)라 하자. \mathbf{A} 가 대칭 행렬이므로 모든 \mathbf{u} 에 대해 식(7)이 만족하게 된다.

$$Q(\mathbf{u}) = \mathbf{u}^T \mathbf{A} \mathbf{u} \geq \lambda_1 \quad (7)$$

그리고 대칭 행렬 \mathbf{A} 는 대각 행렬과 그에 따른 임의의 행렬들의 곱으로 표현될 수 있으므로 식(8)처럼 다시 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} Q(\mathbf{u}) &= \mathbf{u}^T \mathbf{A} \mathbf{u} \\ &= \mathbf{u}^T \mathbf{V} \mathbf{D} \mathbf{V}^T \mathbf{u} = \mathbf{u}'^T \mathbf{D} \mathbf{u}' \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 \mathbf{D} 는 \mathbf{A} 의 고유값으로 이루어진 대각 행렬이고, \mathbf{V} 는 고유 벡터들로 만들어진 행렬이다.

식 $\mathbf{u}'^T = (1, 0, 0)$ 으로 놓으면 함수 Q 의 값은 최소값 λ_1 을 얻을 수 있다. 따라서 투영 평면의 법선 벡터는 식(9)로부터 구해진다.

$$\mathbf{u} = \mathbf{V} \mathbf{u}' = \mathbf{v}_1 \quad (9)$$

이 식으로부터 투영 평면의 법선 벡터는 $w_i \mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_i^T$ 에 의해 얻어지는 대칭행렬 \mathbf{A} 의 최소 고유값에 해당하는 고유 벡터로 주어진다 것을 알 수 있다.

5. 롤러 굽힘 가공의 형상 결정

롤러 굽힘 가공에 의한 형상을 결정하는 문제는

근사 실린더의 준선 $\beta(u)$ 를 구하는 문제이다. 본 논문에서는 실린더의 준선(directrix)을 다항식으로 가정하였으며, 따라서 본 문제는 각 항의 계수를 구하는 문제로 귀착된다.

가공 형상을 결정하기 위해 먼저 준선 $\beta(u)$ 를 매개 함수로 표현하지 않고 z 를 y 에 대한 3차 함수로 표현한다. 여기서 투영 평면이 yz 평면이라고 생각한다 (Fig. 9).

$$z(y) = ay^3 + by^2 + cy + d \quad (10)$$

위의 계수 중 d 는 함수의 z 방향 위치에만 영향을 주므로 실린더 형상 정보와는 독립적이다. 따라서 원점을 지나는 함수가 되도록 초기에 설정해 놓는다. (혹은 목적형상이 원점을 지나지 않을 때는 목적형상의 중앙에 오도록 조절할 수도 있다) 절편에 해당하는 d 를 소거하면

$$z(y) = ay^3 + by^2 + cy \quad (11)$$

로 줄여 사용할 수 있다. 이렇게 가정하면 문제는 a, b, c 를 결정하는 문제가 된다.

근사 실린더의 모양을 결정하는 것은 곡면의 가공 공정에서 발생하는 판의 변형과 밀접한 연관이 있다. 이중 곡면을 가공하는 것은 가공 도중 여러 변형을 수반하게 된다. 앞서 언급했듯이 현재 이중 곡을 만들기 위해 횡방향의 가공에는 롤러 굽힘이, 그리고 종방향 가공에는 선상 가열이 수행된다. 따라서 롤러 가공에 의해 가공된 판의 형상이 실제의 목적 형상에 좀더 가까운 형태로 가공되면 선상 가열 작업량은 그만큼 줄어들게 될 것이다.

이중 곡면을 가공하는데 유발되는 변형은 다음 세 가지 요인에 의해 생긴다 [7, 8].

- 1) 롤러가공기에 의한 굽힘 변형
- 2) 선상 가열에 의한 굽힘 변형
- 3) 선상 가열에 의한 면내 변형

이러한 변형에 의한 변형율을 고려함으로써 근사 실린더의 형상이 가공량을 줄이도록 얻을 수 있다. 그러나 면내 변형율(in-plane strain)은 x, y, z 방향에 대한 변위가 서로 연성이 되어 있으므로 [8] 아직 형상을 모르는 근사 실린더에 대해서는 고려하

기 어려운 사항이다. 따라서 본 논문에서는 곡률로 대치될 수 있는 굽힘 변형율(bending strain)을 고려함으로써 각 계수를 구하게 된다. 즉 곡률 분포가 목적 형상의 곡률 분포와 유사한 근사 실린더를 찾게 되는 것이다.

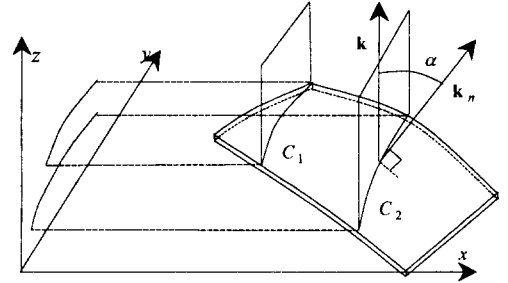


Fig. 9: Intersection of projection plane and desired surface

5.1. 계수 a와 b의 결정

롤러 굽힘 가공 후 형상과 목적 형상의 곡률을 비교하여 유사한 형상을 찾는다. 가정한 근사 실린더의 준선(directrix)의 곡률과 투영 평면과 평행한 여러 평면들과 목적 형상과의 교선의 곡률들에 최소자승법을 적용하여 계수를 결정한다 (Fig. 9). 즉 준선에 대해 가정된 다항식의 2계 미분을 곡률로 근사하면 식(12)가 구해진다.

$$z'' = 6ay + 2b \quad (12)$$

그리고 투영 평면과 평행한 여러 평면들과 목적 형상과의 교선 위의 곡률들을 κ_i 라 하면, 계수 a 와 b 는 식(13)을 최소화하도록 결정된다.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N (6ay_i + 2b - \kappa_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^N [(6ay_i)^2 + (2b)^2 + \kappa_i^2 \\ & \quad + 2(12aby_i - 6ay_i\kappa_i - 2b\kappa_i)] \quad (13) \\ &= 36a^2 \sum_{i=1}^N y_i^2 + \sum_{i=1}^N \kappa_i^2 + 24ab \sum_{i=1}^N y_i \\ & \quad - 12a \sum_{i=1}^N y_i \kappa_i - 4b \sum_{i=1}^N \kappa_i + 4b^2 N \end{aligned}$$

식(13)이 최소값을 가지는 조건을 적용하기 위해

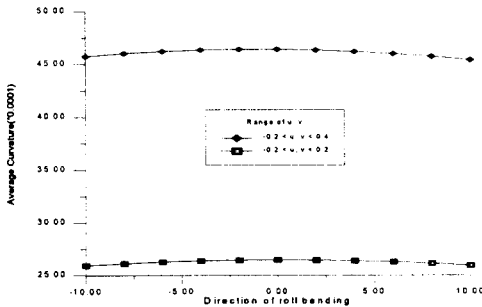


Fig. 10 Average curvature of convex type corresponding to the viewing direction

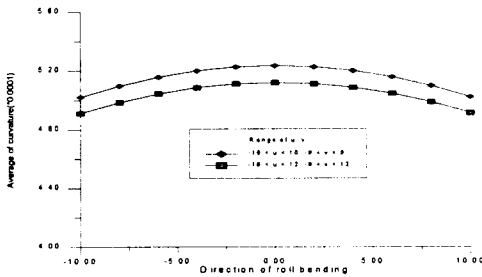


Fig. 11 Average curvature of saddle type corresponding to the viewing direction

a 와 b 에 대해서 각각 편미분을 해서 정리하고 행렬의 형태로 표현하면 식(14), (15)와 (16)와 같이 유도된다.

$$K = \begin{bmatrix} 72 \sum_{i=1}^N y_i^2 & 24 \sum_{i=1}^N y_i \\ 24 \sum_{i=1}^N y_i & 8N \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$m = \begin{bmatrix} 12 \sum_{i=1}^N y_i \kappa_i \\ 4 \sum_{i=1}^N \kappa_i \end{bmatrix}$$

$$K \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = m \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = K^{-1} m \quad (16)$$

5.2. 계수 c 의 결정

c 값은 $y=0$ 에서 곡선의 기울기를 의미한다. 따라서 $y=0$ 부근의 목적 형상과 평행한 투영 평면들과의 교선들 위의 점에 대해 기울기를 구한 후 이들의 평균으로 이 계수를 결정한다.

6. 알고리즘의 적용

본 논문에서 롤러 굽힘 가공을 위한 정보를 산출하기 위해 제안된 과정을 검토하기 위한 예제로 수학적으로 쉽게 표현되는 2차 곡면(quadratic surface)들에 대해 계산을 수행하였다. 특히 선체 곡면의 대표 형상으로 고려되는 볼록 곡면(convex surface), 뒤틀림 곡면(twisted surface)과 안장 곡면(saddle surface)에 적용하였다. 각 곡면은 다음 식으로 표현될 수 있다.

Convex type

$$S(u, v) = \begin{pmatrix} a \frac{2u(1-v^2)}{(1+u^2)(1+v^2)}, \\ b \frac{2v(1-u^2)}{(1+u^2)(1+v^2)}, \\ c \frac{(1-u^2)(1-v^2)}{(1+u^2)(1+v^2)} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Saddle type

$$S(u, v) = (au, bv, u^2 - v^2) \quad (18)$$

Twist type

$$S(u, v) = (u, v, auv) \quad (19)$$

지금까지 제시한 과정, 즉 투영 평면을 구하고 근사 실린더의 모양을 구하는 것은 롤러 굽힘 가공에서 롤러가 위치해야 하는 방향과 가공량을 산출하는 일련의 과정이다. 본 장에서는 실제로 이렇게 구해진 방향이 역학적인 타당성이 있는가를 투영 평면의 법선 벡터의 방향을 임의로 바꾸어가며 검토하였고 각 예제에 따라 근사 실린더의 형상, 즉 굽힘 가

공 후의 형상을 구하였다.

Fig. 10, 11와 12은 롤러 굽힘의 방향, 즉 투영 평면의 방향을 바꾸어 가며 평행한 투영 평면들과 목적 형상과의 교선 상의 점들의 곡률들의 평균을 도시한 그래프이다. 각 그래프에서 가로축이 투영 평면의 방향으로, 본 논문에서 제시한 방향을 0으로 하고 좌우로 회전한 방향을 각 +, -라 하였다. 각 그래프를 보면 알 수 있듯이 본 논문에서 제시한 방향으로 투영평면을 잡았을 경우에 곡률의 평균값이 크게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이것은 곡률이 큰 부분이 미리 가공되면 이후 가공에 있어서 가공량을 줄일 수 있다는 직관과 일치한다.

Fig. 13, 14, 15과 16에 근사 실린더의 형상을 목적 형상의 투영면에 대한 투영 면적과 함께 나타내었다. 실선으로 나타난 부분이 계산을 수행하여 얻은 근사 실린더 형상이고 점선으로 나타낸 것은 목적 형상 위에 등 간격으로 분포시킨 점들을 투영 평면 위에 나타낸 것이다. 특히 Fig. 13는 롤러 가공만으로도 만들 수 있는 실린더 형상을 본 알고리즘을 이용한 결과와 비교한 것이다. 이상적으로는 일치해야하지만 이차 함수의 곡률을 구할 때 기울기가 크지 않다는 가정 하에 2계 미분을 곡률로 간주하여 구했기 때문에 오차가 유발된다. 곡률이 큰 곡면을 가공할 경우가 아니라면 크지 않음을 볼 수 있다.

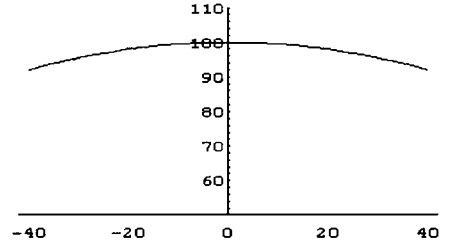


Fig. 13 Cylinder type

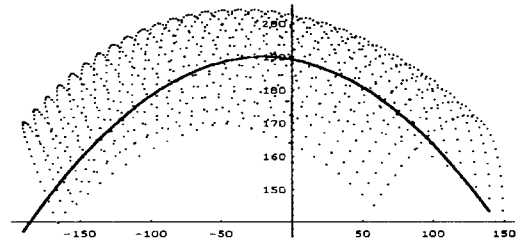


Fig. 14: Convex type
($a=500, b=300, c=200, -0.2 < u, v < 0.4$)

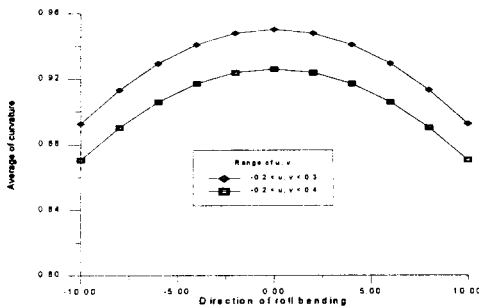


Fig. 12 Average curvature of twisted type corresponding to the viewing direction

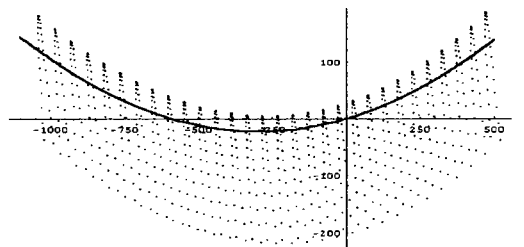


Fig. 15: Saddle type
($a=100, b=60, -10 < u < 10, -9 < v < 9$)

참 고 문 헌

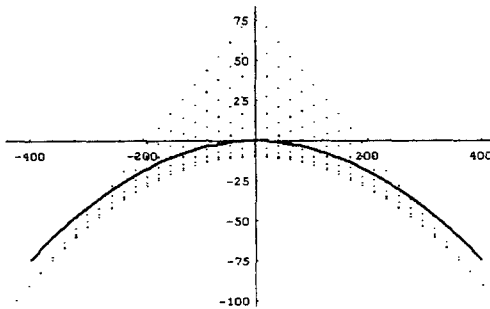


Fig. 16 Twisted type
($a=0.001, -200 < u, v < 400$)

7. 결 론

대부분의 조선소에서는 롤러 굽힘에 의해서 내지는 선상가열 작업과 병행하는 방법으로 선체 곡판들이 가공되고 있다. 그러한 모든 작업에 있어서 롤러 굽힘 작업은 항상 선행되는 작업이다. 본 논문에서는 롤러 굽힘 작업을 위한 정보와 가공 계획이 정의 되었으며 이러한 가공 정보 중 롤러 굽힘 가공의 방향, 즉 롤 라인(roll line)과 가공 후 형상, 즉 후행 작업량을 줄이기 위한 근사 실린더 형상을 계산하는 과정을 제안하였다.

선택된 곡면을 가우스 상(Gaussian image)을 이용하여 목적 형상이 최소 투영 면적을 가지도록 투영 평면을 결정하여 롤러 굽힘 가공의 방향을 결정했다. 그리고 목적 형상과 유사한 곡면의 특성을 가질 수 있도록 곡률 분포를 통해 근사 실린더의 형상을 결정하였다. 그리고 대표적인 형상들에 대해 본 논문에서 제시한 과정을 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

이 연구를 통해 선상가열을 포함한 일련의 선체 곡판의 가공 공정에 대한 정보 시스템의 구성이 가능하리라 기대된다.

- [1] 김 유일, 신 종계, 이 장현 (1996), "Roll bending machine에 의한 선체외판의 곡면가공 해석", 대한 조선 학회 논문집, 제33권, 제4호, pp. 142~149.
- [2] 박 태준, 신 종계, 김 원돈 (1996), "이중곡을 갖는 판의 일차 가공에서 굽힘 영역과 곡률의 결정", 1996년 대한 조선 학회 추계 학술대회 논문집, 서울대학교, pp. 455~458.
- [3] Randrup, T. (1997), "Approximation by Cylinder Surfaces," Mat-Report No. 1997-19, Dept. of Mathematics, Technical university of Denmark.
- [4] Hoschek, J. and Schneider, M. (1997), "Interpolation and approximation with developable surfaces," Curves and Surfaces with Applications in CAGE, Proceedings of Chamonix 1996, pp. 185~202.
- [5] Redont, P. (1989), "Representation and deformation of developable surfaces," Computer-aided design, Vol. 21, No. 1, pp. 13~20.
- [6] Shin, J.G. and Kim, W.D. (1997), "Kinematics Analysis of the Process Planning for Compounding Ship Hull Plates," Journal of Ship Production, Vol. 13, No. 1, pp. 28~35.
- [7] Ueda, Y., Murakawa, H., Mohamed, R.A., Neki, I., Kamachika, R., Ishiyama, M., and Ogawa, J. (1994), "Development of computer aided process for plate bending by line heating (Report 1) - Relation between the final form of the inherent strain," Journal of Ship Production, Vol. 10, No. 1, pp. 59~67.
- [8] 류 철호, 이 장현, 신 종계 (1997), "선상가열 자동화를 위한 판의 기하학적 변형을 분석", 1997년 대한 조선 학회 추계 학술대회 논문집, 한국과학기술회관, pp. 416~421.