

# 선체 곡판 완성도 평가용 3차원 곡형의 제작 자동화를 위한 생산 정보 산출 시스템

류철호<sup>1</sup>·손승혁<sup>2,†</sup>·심휘강<sup>2</sup>·김영만<sup>2</sup>·김병섭<sup>2</sup>·정창환<sup>3</sup>·황인혁<sup>4</sup>·신종계<sup>5</sup>  
인하공업전문대학 조선해양공학과<sup>1</sup>  
서울대학교 조선해양공학과<sup>2</sup>  
현대삼호중공업<sup>3</sup>  
삼성중공업 중앙연구소<sup>4</sup>  
서울대학교 해양시스템공학연구소<sup>5</sup>

## Manufacturing Information Calculation System for Production Automation of 3-dimensional Template Used to Evaluate Shell Plate Completeness

Cheolho Ryu<sup>1</sup>·Seunghyeok Son<sup>2,†</sup>·Huiqiang Shen<sup>2</sup>·Youngmin Kim<sup>2</sup>·Byeongseop Kim<sup>2</sup>·Changhwan Jung<sup>3</sup>·InHyuck Hwang<sup>4</sup>·Jong-Gye Shin<sup>5</sup>  
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Technical College<sup>1</sup>  
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University<sup>2</sup>  
Hyundai Samho Heavy Industries Co., Ltd.<sup>3</sup>  
Central Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd.<sup>4</sup>  
Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University<sup>5</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

3-D templates are produced to evaluate completeness of the shell plates during the forming process, which is an essential step for the ship production. They are mostly produced in advance during the detail/production design stage, but occasionally they are requested by the shell plate forming department, because it is impossible to predict accurately the necessities of them at the design stage. This results in a huge loss of man-hour and a bottleneck. In order to resolve this issue while reducing the dependence on other department, the process of manufacturing the 3-D templates needs to be automated. Therefore, this study proposes an automatic system that calculates the manufacturing information of the 3-D templates with only geometric information of the shell plates. The system considers the thickness and the cutting method of the parts of the 3-D templates and some options are provided to reflect the intention of the worker.

**Keywords** : Computer aided design(CAD, 컴퓨터 지원 설계), Automation(자동화), Hull shell plate fabrication(선체 외판 가공), 3-D template(3-D 곡형)

## 1. 서 론

선체 외판의 완성도 평가를 위하여 대부분의 조선소는 생산 설계 프로그램을 이용하여 곡형을 설계하고 이를 제작하여 사용한다. 조선소에서 사용하는 생산 설계 프로그램은 선체 외판 내부에 여러 개의 단면 정보를 제공하고, 각 단면 정보 하나당 하나의 나무 조각으로 제작하게 된다. 하지만 선수 선미부에 존재하는 곡률이 큰 선체 외판은 생산 설계 프로그램에서 제공하는

단면 정보만으로는 정확히 완성도 평가를 할 수가 없다. 그렇기 때문에 조선소에서는 선체 외판 내부 여러 위치에서 동시에 완성도 평가가 가능한 3차원 곡형을 제작하여 사용하고 있다 (Park et al., 2007). 이에 관련된 연구는 계속해서 진행되어 왔으며, 곡면의 전체적인 형상을 계측하기 위해 주로 비접촉식 계측 방식에 관한 연구가 이루어 졌으며, Luo and Liou (1982)는 공간 부호화 빔을 투영하는 시스템, Posdame and Altschuler (1998)은 스테레오 비전 시스템을 이용하는 등 다양한 방식에 관한 연구가

수행되었다. 특히 선체 외판에는 Jung et al. (2009)는 3차원 스캐너를 이용한 곡면 계측 방법을 제안하였으며, Park et al. (2016)은 통합된 선체 곡면 가공 시스템 중 멀티 레이저 비전 센서를 사용한 곡면 계측 방법을 제안했다. 그런데 여전히 조선소에서는 새로운 기술을 적용하기보다는 기존의 방법인 곡형을 사용한 완성도 평가 방법을 사용하고 있다. 이에 대한 이유는 다른 산업과의 비교에서 찾아볼 수 있다.

조선 산업과 유사하다고 볼 수 있는 기계 제작 분야와 비교를 하면, 제품 생산 방식에 따른 차이에서 그 이유를 확인할 수 있다. 기계 제작 시의 프레스 금형은 수치상의 차이가 있을 뿐 몇 가지 유형으로 정의 가능한 작업들을 수행하게 된다 (Sunil & Pande, 2008). 뿐만 아니라 라인 생산 방식을 주로 사용하므로 대부분의 공정이 자동화되어 있다. 하지만 선체 외판은 대략적으로 가공 작업 방식을 구분하는 것 이외에는 매번 외판에 맞도록 가공을 해야 하므로 자동화가 어렵고, 결국 작업자에 대한 의존도가 높다. 가공 작업 시에 곡형을 사용하는 것은 작업자가 곡형을 기울여 가며 실시간으로 완성도를 몸으로 직접 확인할 수 있게 하고, 다음 작업 계획을 세울 수 있게 한다. 하지만 최신의 곡면 계측 방법들은 완성도를 수치화하는 것은 용이할 수 있으나, 작업자의 경험과 직접적으로 연결되어 다음 작업에 사용하는 것에는 불리하다. 이러한 이유로 선체 외판을 생산하는 과정에서 여전히 곡형을 사용하는 것이다.

그런데 곡형 중 선수미의 외판에 적용하기 위한 3차원 곡형은 제작 프로세스에 해결이 필요한 몇 가지 문제점이 존재한다. 추가 작업을 통한 선체 외판의 단면 획득 과정이 필요하고, 생산 설계 단계에서 3차원 곡형의 수요를 제대로 파악하지 못하는 경우에는 선체 외판 가공을 담당하는 부서의 요청에 따라 추가 단면 정보 생성, 3차원 곡형 부재 정보 생성, 3차원 곡형 제작의 과정을 추가로 거치게 되고, 이는 곡판 가공 작업 시수에 큰 손해를 야기한다 (Jung & Son, 2016). 따라서 다른 부서에 대한 의존도를 낮추기 위해 3차원 곡형 제작을 자동화할 필요성이 있으며, 이에 관련하여 기존의 연구를 살펴보았다.

먼저 기계 분야에서는 곡형으로 완성도를 평가하는 방식이 사용되지 않음을 확인할 수 있었는데, 이것은 재료의 특성에 기인한다. 기계 제작 분야에서 사용하는 강재는 주로 박판으로 선체 외판을 구성하는 후판과는 큰 차이가 있다. 일단 가공 방법은 주로 프레스를 이용한 금형 가공 및 NC를 이용한 절단을 사용하는 데, 그렇기 때문에 완성도를 평가하는 기준이 원하는 형상을 만들었는가 아니라, 상대적으로 미시적 관점의 표면의 편평도, 거칠기, 매끈한 정도 등이 주요 관심사가 된다 (Poon & Bhushan, 1995; Walczyk & Hardt, 1999). 실제로 Cai et al. (2012)는 선수미의 곡판과 비슷한 모양으로 박판을 성형하는 연구를 수행하였는데, 이 경우에도 역시 표면의 매끈한 정도가 완성도의 지표가 됨을 확인할 수 있다. 그렇기 때문에 원하는 모양이 완성되었는데에 집중하는 3차원 곡형을 제작하는 과정을 자동화하는 연구 역시 찾아볼 수 없었다. 조선 분야에서도 곡형이 아닌 다른 방법을 이용한 연구는 다양하게 수행되었으나, 3차원 곡형 제작에 대해 학술적으로 다룬 연구는 거의 없었으며, Shen

(2016)이 3차원 곡형의 부재 정보를 산출할 수 있는 알고리즘에 대해 연구를 수행하였다. 하지만 Shen (2016)의 연구에서 산출된 부재 정보는 3차원 곡형의 조립에 대한 정보를 반영하지 못하기 때문에 조립을 위한 작업자의 추가적인 부재 수정이 필요하다. 그렇기 때문에 작업자와의 인터뷰를 통해 요구사항을 파악하였고, 작업자는 조립을 위해 이미 수정된 부재 정보와 보강재의 위치가 필요하다고 했으며, 경계의 곡형 부재가 외판 비같이 나오아야 하는지, 내부의 곡형 부재가 몇 개 생겨야 하는지를 조절할 수 있도록 해야 한다고 하였다.

본 논문에서는 작업자의 의도를 반영하며, 부재 수정 없이 곧바로 조립이 가능한 곡형의 부재 정보를 생성하기 위한 연구를 수행하였다. 2장에서는 3차원 곡형의 제작 방식의 특성과 이에 따른 곡형 부재의 생산 정보를 생성하기 위한 방법론을 설명하고, 3장에서는 작업자가 3차원 곡형을 만들 때 고려하는 특징에 어떤 것이 있는지를 파악하여 이를 반영할 수 있는 모델링 흐름을 설명하였다. 4장에서는 앞의 두 가지 내용을 반영하여 구성한 시스템과 그 특징을 설명하였으며 결과적으로 이를 통해 작업자의 기존 작업 방식을 반영하며, 조립이 용이한 3-D곡형의 생산 정보를 산출할 수 있도록 하였다.

## 2. 제작을 고려한 생산 정보 산출

본 논문에서 제작을 고려하였다는 의미는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 제작에 사용되는 나무판의 두께와 나무판의 절단 방법을 고려했다는 의미이며, 다른 하나는 구조적으로 안정적으로 모양을 유지할 수 있도록 하는 보강재의 위치를 고려했다는 의미이다. 즉, 실제 부재를 사용하여 설계된 형상과 동일한 크기를 갖는 구조물을 제작하는 경우에는 원하는 형상을 갖기 위해 치수를 변경하고 보강재를 사용해 고정할 필요가 있다.

예를 들어 Fig. 1의 (a)와 같은 사각 기둥을 만든다고 가정했을 때, 실제 부재를 사용하면 (b)와 같이 제작이 가능하며, 이를 고정시키기 위해 (c)에서와 같이 보강재를 사용하여 고정하는 것이 가능하다. 이렇게 실제 부재를 사용한 제작을 위한 정보는 설계 정보와는 차이가 발생하게 되는데, 이는 Fig. 2에 잘 나타나 있다. (a)를 설계 정보와 같은 부재 정보라고 한다면, (b)는 실제 부재의 두께로 인해 설계 정보와 달라진 생산 정보를 의미한다. 그리고 실제 제작을 위해 필요한 보강재를 놓는 위치까지 표시한 생산 정보가 (c)이며, (d)는 보강재가 놓였을 때의 개념도를 의미한다.

이전의 연구결과로는 Fig. 2의 (a)와 같은 결과를 얻을 수밖에 없으며 이 정보를 곡형 부재 정보로 사용한다면 작업자가 직접 (b)와 같이 수정을 할 수 밖에 없을 것이며, 수정을 할 수밖에 없다면 곡형 부재 정보 산출 과정의 자동화 정도가 낮아지게 될 것이다. Tanaka et al. (2004)는 조립을 고려한 부재 정보를 만들기 위해서 최종 제품의 2차원 조립도를 3차원 와이어 프레임 모델로 만들고, 최종 부재의 3차원 형상을 생성하는 연구를 수행하였다. 따라서 곡형의 경우 최종 부재의 정보를 만들기 위해서

먼저 3차원 곡형의 조립 모델을 완성해야 한다는 것을 의미한다. 3차원 조립 모델을 만들기 위해서는 각 부재의 설계 정보를 3차원 부재로 모델링 한 후 부재 간 간섭을 고려하여 부재 모델을 수정하는 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 간섭을 고려하기 위해 각 부재를 솔리드 모델로 생성한 후 모델 간의 교차 계산을 사용하였다. 여기서 부재의 절단 방식을 고려해야 하며, 이는 3차원 곡형을 제작할 때 부재의 절단면은 나무판에 수직하도록 자를 수밖에 없다는 것을 의미한다. 이러한 특성을 고려하여 경계에 위치하는 곡형을 다른 곡형의 모델을 이용하여 잘라내기 위해서는 여러 단계를 거쳐야 한다.

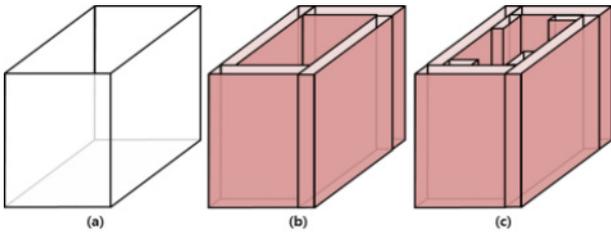


Fig. 1 Concept of making square pillar with thick materials

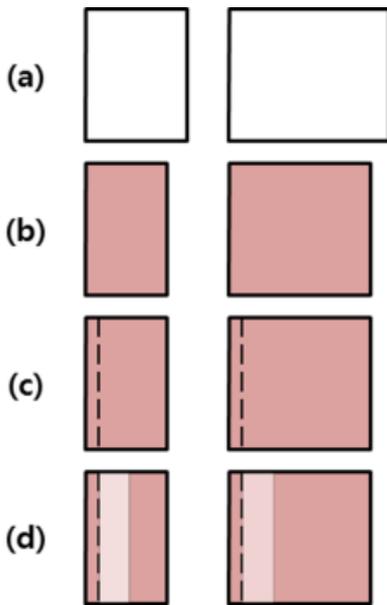


Fig. 2 Concept of revision of production information by using thick materials

먼저 Fig. 3과 같은 두 경계 쪽 곡형의 솔리드 모델 간 빼기 연산을 수행한다. (a)는 두 경계 쪽 곡형이 서로 겹쳐있는 모습이며, (b)는 빼기 연산 수행 직후의 솔리드 모델을 나타낸다. (b)의 솔리드 모델에서 잘린 단면이 경계 곡형의 설계 정보가 만드는 평면에 수직이 되도록 하기 위해서는 잘린 부분의 가장 안쪽 꼭지점을 지나는 평면이 필요하다. 이를 위해서는 Fig. 4의 (a)와 같이 경계 곡형의 위와 아래 부분을 없애는 평면을 생성해야 한다. 이는 (a)의 경우에서와 같이 완전히 제거되지 않는 부분이 남

는 경우에도 일반적으로 적용하기 위한 방법을 제안하기 위함이다. 이러한 평면은 경계 곡형의 설계 정보가 이루는 평면과 수직이며, 경계 곡형의 선체 외판과 닿지 않는 부분의 직선과 평행한 특성을 지니게 된다. 평면을 이용해 경계 곡형의 윗 부분과 아랫 부분을 잘라내고 나면, (b)과 같은 형상을 지니게 되고, 이 솔리드 모델의 꼭지점 중 경계 곡형의 가운데 부분에 가까운 꼭지점을 골라낼 수 있게 된다. 골라진 점들은 (c)에서와 같이 경계 곡형의 기준면 부분에서 한 점, 외판 부분에서 한 점이 있고, 이 두 점을 잇는 직선을 포함하며, 경계 곡형의 설계 정보가 이루는 평면에 수직인 평면을 생성할 수 있게 된다. (d)에는 이렇게 구한 평면을 이용해 생산 정보 생성을 위해 필요한 직사각형 형태의 솔리드 모델을 만든 것을 확인할 수 있다. 이렇게 만들어진 솔리드 모델을 이용해 Fig. 5의 (a)에서와 같이 빼기 연산을 수행하고, (b)와 같이 생산을 고려한 경계 곡형 정보를 생성하게 된다.

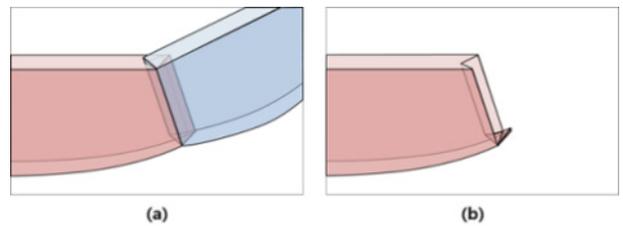


Fig. 3 Subtraction between two boundary template solid models

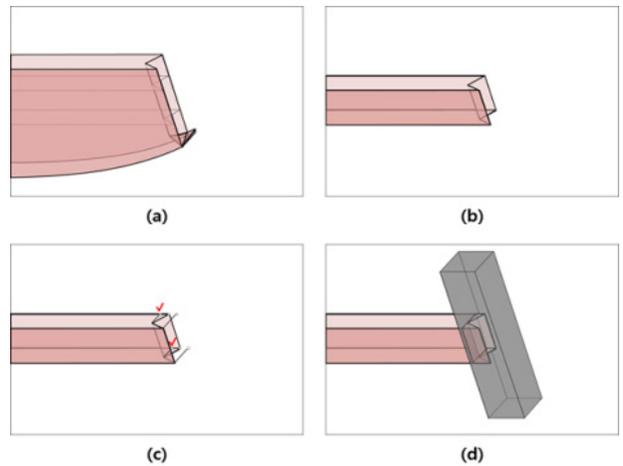


Fig. 4 Method for generating manufacturing information of boundary template

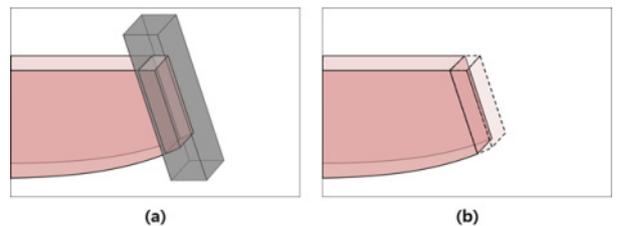


Fig. 5 Revision of the model of boundary template considering manufacturing

이렇게 생성된 3차원 곡형의 부재를 연결하기 위해서는 보강재가 필요하다. 보강재를 이용해 3차원 곡형 부재를 연결하는 방법을 설명하기 위해 Fig. 1과 동일한 사각기둥의 경우를 예로 들면 다음과 같다. Fig. 6 (a)의 사선으로 채워진 곡형 부재에 먼저 흰색 사각형으로 표현한 보강재를 고정된 뒤, (b)의 점으로 채워진 부재를 고정하는 방법을 사용한다. 생산 정보로 사용하기 위해서는 Fig. 6의 (a) 사선 부재 쪽에 보강재가 놓이는 위치를 계산하며 미리 마킹할 필요가 있다.

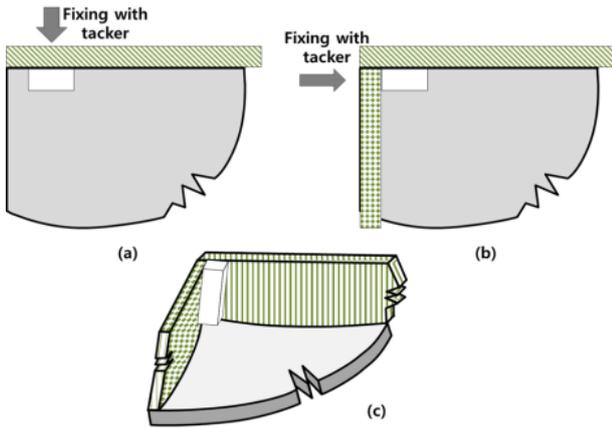
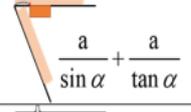


Fig. 6 Concept of stiffener in 3-D template

그런데 3차원 곡형 부재가 만나는 각도에 따라 보강재가 놓이는 위치가 달라지므로 각 경우에 따라 그 위치를 계산해야 한다. 만나는 각도는 예각, 직각, 둔각 세 가지 경우로 나눌 수 있다. 그리고 곡형 부재의 두께 생성 방향이 3차원 곡형의 외부인지, 내부인지에 따라 보강재 위치는 달라질 수 있다. 각 경우에 따른 보강재 위치는 Table 1과 같다. Table 1의 식에 있는 ‘a’는 사용된 부재의 두께를 의미하며, ‘α’는 두 경계 곡형이 이루는 각도를 의미한다.

Table 1 Position where the stiffener is placed according to the angle at which the three-dimensional template member meets

	Acute angle	Right angle	Obtuse angle
Outside + Outside	 $\frac{a}{\tan \alpha}$	0mm	0mm
Outside + Inside	 $\frac{a}{\sin \alpha} + \frac{a}{\tan \alpha}$	9mm	$a \times \cos(\alpha - 90)$
Inside + Inside	 $(a - \cos(180 - \alpha)) \times \sin(180 - \alpha)$	9mm	$a \times \tan(90 - \alpha) + \frac{a}{\cos(90 - \alpha)} + a \times \tan(90 - \alpha)$

이 외에도 기준면과 곡형이 닿는 부분이 바닥에 놓이더라도 원하는 모양을 유지하기 위해서 추가적인 계산이 필요하다. Fig. 7에서와 같이 3차원 곡형의 생산 정보를 만들 때 기하학적 정보를 유지하기 위해서는 바닥과 부재가 겹치는 부분만큼을 잘라내어 최종 생산 정보를 생성해야 한다.

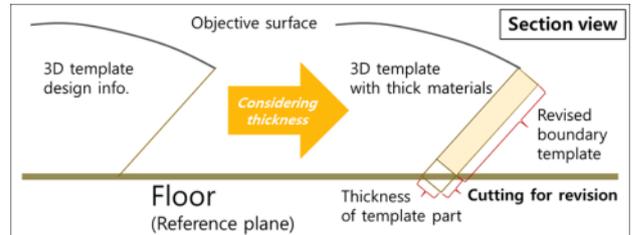


Fig. 7 Generation manufacturing information considering the contact of the floor with boundary templates

### 3. 작업자의 작업 방식을 고려하기 위한 3차원 곡형 제작 흐름

Shen et al. (2017)의 연구에서는 3차원 곡형을 제작하기 위해 기준면 생성 후, 모든 선체 외판의 경계 곡선 중 한 평면에 존재하는 경우와 아닌 경우를 구분하여 생산 정보를 생성하는 과정을 거쳤다. 하지만 이러한 과정은 실제 작업자의 작업 방식을 온전히 고려하기에는 불충분하다. 따라서 본 논문에서는 3차원 곡형 생산 정보의 생성 과정을 좀 더 상세히 나누어 작업자의 의도를 반영할 수 있도록 구현하였다.

이를 위해 3차원 곡형의 생산정보 산출과정을 여러 단계로 나누어 각 단계에서 사용자의 의도를 반영할 수 있도록 하였다. 먼저, 선체 외판의 경계에 있는 곡형 부재를 생성하는 단계에서 의도를 반영할 수 있도록 하였다. 선체 외판의 경계 곡선이 한 평면 안에 들어오는지 각 곡선 별로 판단하여, 한 평면 안에 들어오지 않는 곡선만 골라 그 경우에 기준면에 수직이며 평면이 아닌 곡형 부재를 만들고, 나머지 경우에는 평면 곡형 부재를 만든다. 여기서 기준면이란 3차원 곡형 제작의 기준이 되는 평면을 의미 하며 (Shen, 2016), 실제 제작 단계에서도 바닥에 닿는 부분을 의미한다. 이 때 Fig. 8과 같이 작업자의 판단에 따라 평면 곡형 부재를 평면이 아닌 부재로 변경하는 기능을 넣어 작업자의 의도를 반영할 수 있도록 하였다.

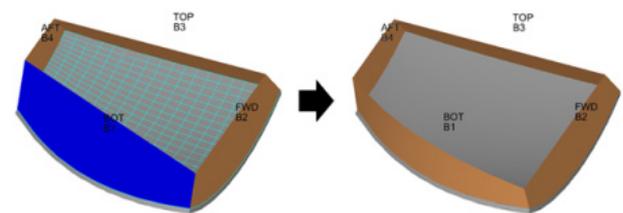


Fig. 8 Revision of the boundary template part with user options

두 번째로 내부 곡형 부재를 만드는 단계인데, 내부 곡형 부재란 3차원 곡형의 경계 부재 안쪽에 위치하여 선체 외판 내부의 곡량을 확인할 수 있게 함과 동시에 3차원 곡형을 구조적으로 안정하게 만들어 주는 역할을 하는 부재를 의미한다. 곡량을 정확하게 나타낼 수 있는 내부 곡형 부재를 생성하기 위해서는 내부 곡형 부재의 법선 벡터를 결정한 후, 평면의 위치를 설정하여 선체 외판과 교차 계산을 수행하여 곡선을 얻는 과정이 필수적이다. 따라서 작업자의 의도를 반영하여 내부 곡형 부재를 생성하기 위해서는 작업자가 결정해야 하는 사항이 두 가지 있다. 하나는 생성 기준이 되는 경계 곡형 부재를 선정하여 법선 벡터를 결정하는 것이며, 다른 하나는 기준 경계 곡형 부재와 평행한 내부 곡형 부재를 몇 개 생성할 지 결정하여 위치를 설정하는 것이다. Fig. 9의 (a)와 (b)에 있는 각각의 왼쪽 그림은 기준이 되는 경계 곡형 부재를 선정하는 두 가지 경우에 대해 나타내었다. 이 중 (a)는 B1로 표시된 경계 곡형 부재를 기준으로 내부 곡형 부재를 1개 만들고, B2로 표시되는 경계 곡형 부재로는 내부 곡형 부재 2개를 만드는 경우를 나타낸다. (b)에서는 B1대신 B3의 경계 곡형 부재로 내부 곡형 부재를 만드는 경우를 보여준다. 또한 Fig. 9의 오른쪽 그림에는 일정한 간격으로 점이 나타나 있는데, 이 점들은 작업자가 원하는 위치에 내부 곡형 부재를 추가로 생성할 수 있도록 하기 위한 기준점에 해당한다.

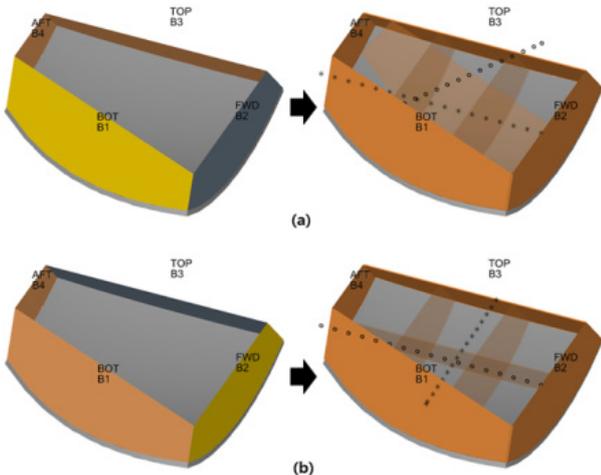


Fig. 9 Generation inner template parts with user options

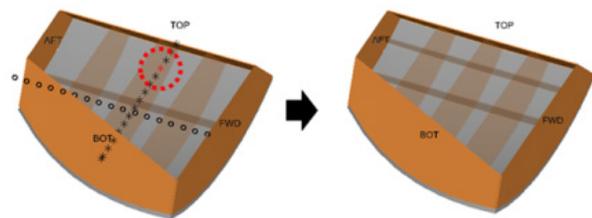


Fig. 10 Add inner template part

이렇게 해서 3차원 곡형의 설계가 완료되며, 마지막으로 생산 정보로의 변환 과정이 필요하다. 변환 작업에 대한 자세한 내용

은 2장에 서술하였다. 생산 정보로 변환하기 위해서는 작업자는 경계 곡형 부재의 두께 생성 방향을 결정해야 한다. Fig. 11은 두 개의 경계 곡형 부재의 두께 생성 방향을 외판 안쪽으로 설정한 것이다. 기본 설정으로 두께 생성 방향이 바깥쪽으로 되어 있기 때문에 안쪽으로 생성하고 싶은 것을 선택하는 방법으로 구현하였다. 이후에는 2장의 내용과 같이 생산 정보로 변환을 위한 다양한 계산을 수행한 후, Fig. 12와 같이 생산 정보를 구한다.

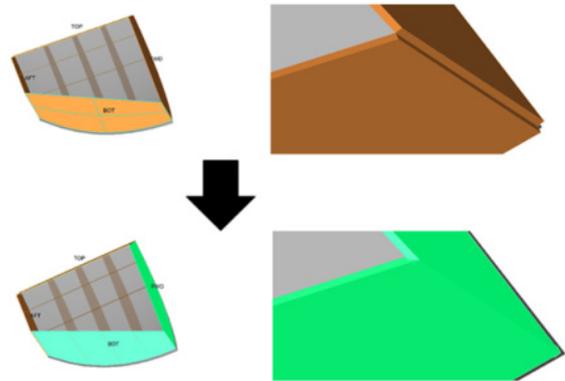


Fig. 11 Changing thickness direction

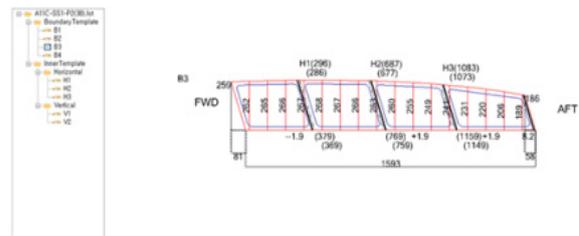


Fig. 12 Manufacturing information of template part

#### 4. 3차원 곡형 생산 정보 산출 시스템

2장과 3장의 방법을 사용한 3차원 곡형 생산 정보 산출 과정은 Fig. 13과 같다. 크게 곡형 모델을 생성하고, 제작을 고려한 생산 정보 생성, 도면화의 과정을 거치게 되며, 제작을 고려한 생산 정보 생성 단계에서는 사용자의 입력을 받아들인다. 이 과정에서 사용자의 입력이 아니라 외판의 조건에 따라 생산 정보를 만들어내는 과정이 달라지는 부분이 존재하게 되는데, 본 장에서는 전체 시스템과 함께 그 부분에 대해 자세히 설명하였다.

사용자의 입력이 아닌 시스템에서 고려하는 조건은 센터판인가 아닌가 하는 것이다. 이는 Fig. 13에서도 파악할 수 있다. 여기서 센터판이란 선박의 중앙 종단면을 지나는 판을 의미하며, 선박의 센터 라인을 기준으로 대칭인 형태를 가진다. 한 개의 선체 외판에 대해 3차원 곡형을 제작할 때 센터판인지를 총 두 번 고려하며, 첫 번째는 곡형 모델을 생성하는 과정 중이고, 두 번째는 제작을 고려한 생산 정보를 생성하는 과정 중이다.

곡형 모델을 생성하는 과정 중 내부 곡형 부재를 만드는 과정에서 센터판인지가 중요하다. 이 부분 역시 작업자의 기존 작업

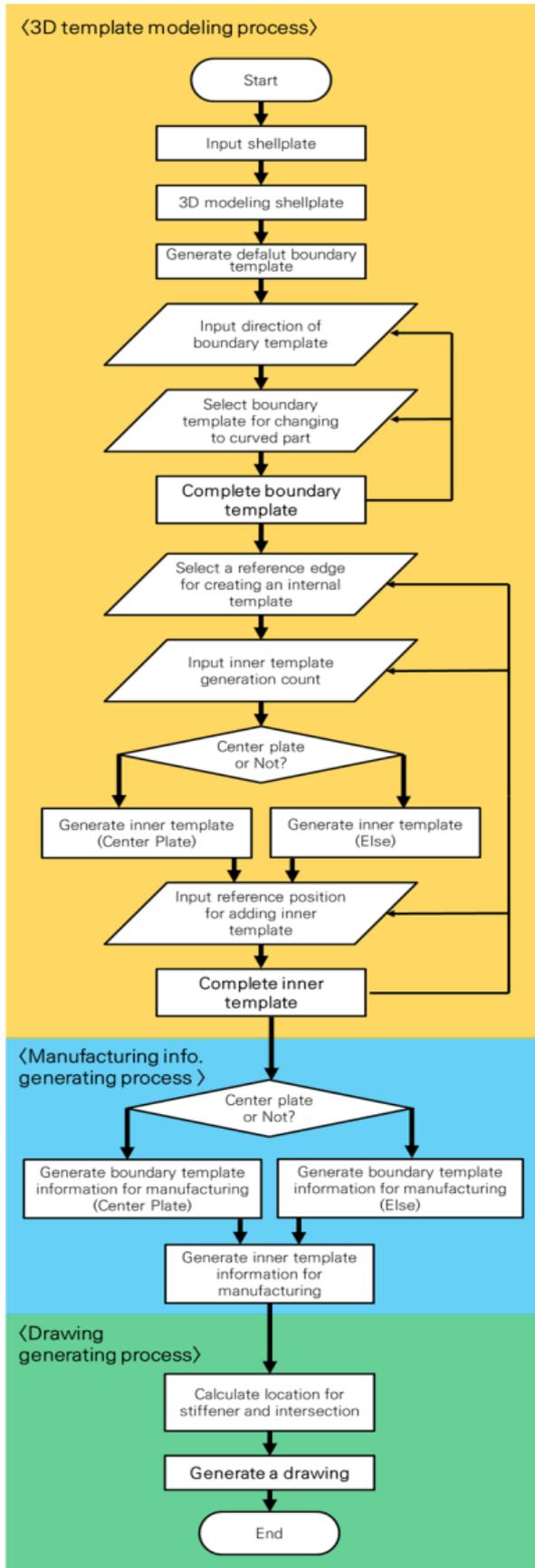


Fig. 13 Flow chart of the process for calculating the manufacturing information of a 3-D template

방식을 해치지 않기 위해 고려한 것이다. 센터판의 경우에는 곡판을 대칭으로 나눌 수 있는 대칭면이 존재하며, 적어도 하나의 내부 템플릿이 이 대칭면 위에 존재하도록 하였으며, 대칭면과 다른 방향의 내부 템플릿은 곡량을 확인함과 동시에 3차원 곡형 자체의 구조적인 안정성을 위해 필요한 대칭면과 수직이도록 하였다. Fig. 14는 센터판의 내부 템플릿 생성 예이다.

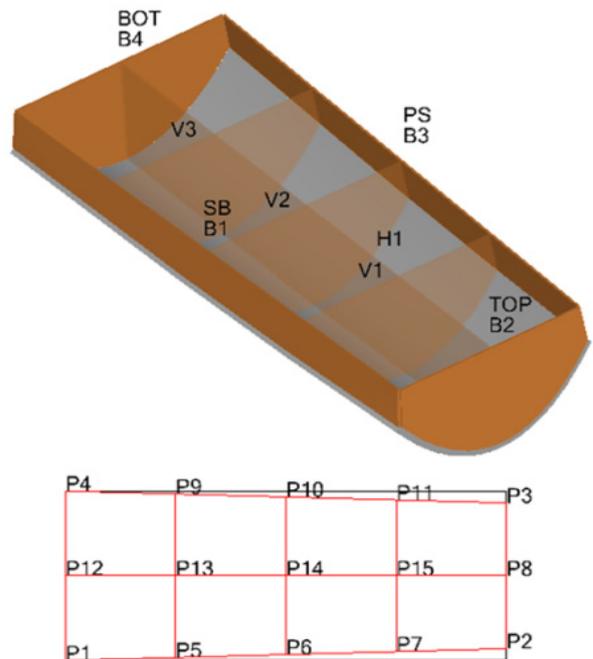


Fig. 14 Generation of inner templates for the case of centerplate

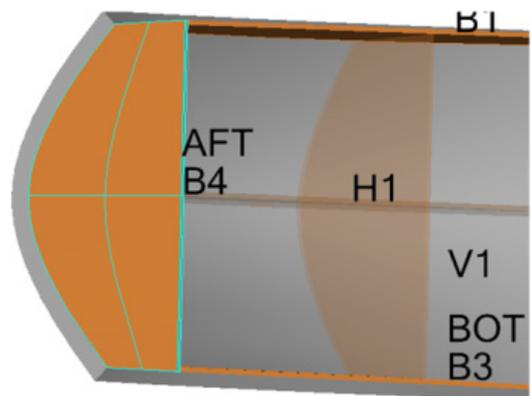


Fig. 15 Revision of boundary templates for the case of centerplate

제작을 고려한 생산 정보 생성 과정에서도 센터판인지 여부를 고려하는데, 이는 경계 곡형 부재의 두께 생성 방향이 안쪽으로 된 두 개의 부재가 만나는 경우에 잘라야 하는 부재가 센터판인지 아닌지에 따라 다르기 때문이다. 센터판인 경우에는 Fig. 15와 같이 대칭면과 수직인 부분의 부재를 자르지 않고, 대칭면에 평행한 부재를 잘라 상형곡형을 제작한다. 센터판이 아닌 경우에

는 바운더리 순서에 따라 자를 부재를 결정하게 되며, 이러한 규칙을 따라 모든 부재의 두께 생성 방향이 안쪽인 경우에는 모든 부재가 한 쪽 모서리는 잘리고 한쪽 모서리는 잘리지 않는 형태를 가지게 된다.

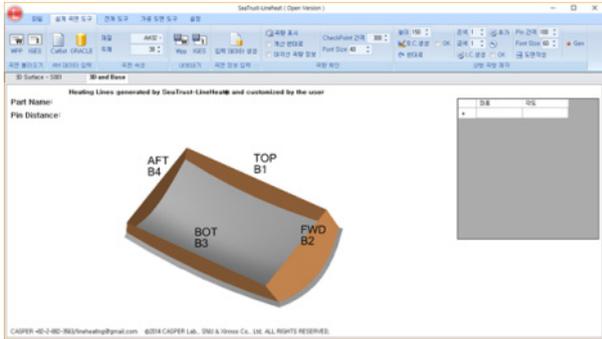


Fig. 16 Model of the boundary template during the modeling process

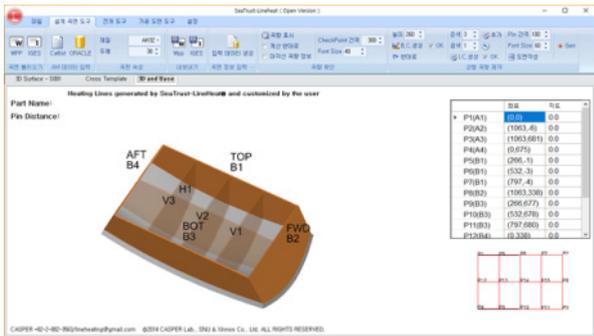


Fig. 17 Model after generating manufacturing information

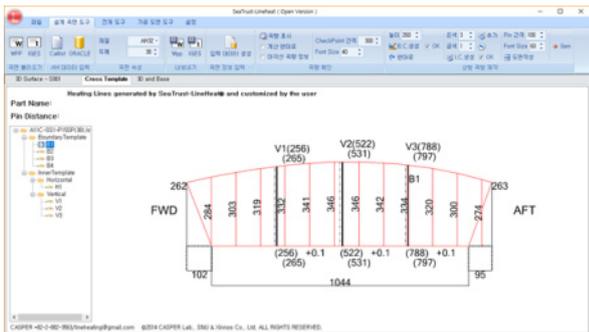


Fig. 18 Drawing of a template part

## 5. 결론

본 논문에서는 3-D 곡형을 제작하기 위한 부재 정보를 산출할 수 있는 시스템에 대해 설명하였다. 3차원 곡형의 제작 방식의 특성에 따른 곡형 부재의 생산 정보를 생성하기 위하여 제작에 사용되는 부재의 두께 및 절단 방식을 고려하는 방법을 고안하였으며 이는 부재들이 서로 만나는 경우와 부재와 바닥이 만나는 경우에 적용된다. 또한 작업자가 3차원 곡형을 만들면서 경계 곡형 부재를 곡면으로 만들지, 내부 곡형 부재를 몇 개를 만들지,

추가 내부 곡형 부재가 필요한지를 판단하고 이를 반영하여 곡형 모델을 만드는 3차원 곡형의 곡형 생산 정보 산출과정을 제시하였다. 마지막으로 앞의 두 가지 내용을 반영하여 시스템을 구성하였으며, 이 시스템은 센터판인 경우를 고려하여, 전반적인 조선소의 3차원 곡형 물량에 대해 적용 가능하도록 만들었다.

본 논문에서 제안하는 시스템을 통해 작업자는 기존 작업 방식을 반영할 수 있음에도 기존보다 훨씬 빠르고 간편하게 3차원 곡형의 부재 정보를 획득하는 것이 가능하다. 나아가 부재 정보를 NC머신에 입력하여 부재를 절단하고 보강재 위치를 마킹하는 것이 가능할 것이다. 이렇게 된다면 곡형 제작 프로세스에서 곡형을 조립하는 것 이외에는 모두 자동화가 가능할 것이며, 이는 다른 부서에 대한 의존도를 현저히 낮추어 주며, 곡형 제작 프로세스 자체의 개선도 가능하게 할 것이다. 이로써 최종적으로 기존에 곡판 가공 작업에서 발생하는 병목 현상의 원인 중 하나를 제거할 수 있을 것으로 기대한다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발 사업 "중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리시스템 개발" 과제 (과제번호: 10050495), 미래창조과학부 ICT융합 Industry4.0S(조선해양) 기술개발 사업 "해양조선 생산 코스트 최적화 생산 전략 및 실행 시뮬레이션 기술 개발"과제 (과제번호: S1106-16-1020), 산업통상자원부 그린카 등 수송시스템산업핵심기술개발 사업(조선) "인공지능형 자동 곡기공장치를 갖춘 스마트팩토리 개발"과제 (과제번호: 10077588)와 현대삼호중공업의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

## References

Cai, Z. Y., Lan, Y. W., Li, M. Z., Hu, Z. Q. & Wang, M., 2012. Continuous sheet metal forming for doubly curved surface parts. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(11), pp.1997-2003.

Jung, C.H. & Son, S.H., 2016. A study on the manufacturing information generation system for 3-dimensional template to fabricate hull plates. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(4), pp.27-34.

Jung, J.M., Park, C.M. & Yang, P.D.C., 2009. A Study on the in-line assessment of completion for fabrication of curved plates (I). *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 23(1), pp.135-139.

Luo, P.F. & Liou, S.S., 1998. Measurement of curved surface by stereo vision and error analysis. *Optics and lasers in engineering*, 30(6), pp.471-486.

Park, J.M. et al., 2016. Automated thermal forming of curved plates in shipbuilding: system development and validation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(10), pp.1128–1145.

Park, J.S., Shin, J.G. & Ko, G.H., 2007. Geometric assessment for fabrication of large hull pieces in shipbuilding. *Journal of Computer-Aided Design*, 39(10), pp.870–881.

Poon, C.Y. & Bhushan, B., 1995. Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler, AFM and non-contact optical profiler. *Wear*, 190(1), pp.76–88.

Posdamer, J.L. & Altschuler, M.D., 1982. Surface measurement by space-encoded projected beam systems. *Computer Graphics and Image Processing*, 18(1), pp.1–17.

Shen, H.Q., 2016. *Development of calculation algorithm of forming information of three-dimensional template for curved hull plates evaluation*. Master's Thesis. Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.

Shen, H.Q., Son S.H., Kim C.H., Ryu C.H. & Shin J.G., 2017. Forming information calculation algorithm of 3-D template for evaluation of curved hull plates. *Procedia CIRP* 62(2017), Naples, Italy, 20–22 July 2016.

Sunil, V.B. & Pande, S.S., 2008. Automatic recognition of features from freeform surface CAD models. *Computer-Aided Design*, 40(4), pp.502–517.

Tanaka, M., Anthony, L., Kaneeda, T. & Hirooka, J., 2004. A single solution method for converting 2D assembly drawings to 3D part drawings. *Computer-Aided Design*, 36(8), pp.723–734.

Walczyk, D.F. & Hardt, D.E., 1999. A comparison of rapid fabrication methods for sheet metal forming dies. *Transactions–American Society of Mechanical Engineers Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 121, pp.214–224.

