

## 곡가공 프로세스를 고려한 곡판 분류 알고리즘

노재규<sup>†\*</sup>, 신종계<sup>\*\*</sup>

서울대학교 해양시스템공학연구소<sup>\*</sup>  
서울대학교 조선해양공학과<sup>\*\*</sup>

### An Algorithm of Curved Hull Plates Classification for the Curved Hull Plates Forming Process

Jackyou Noh<sup>†\*</sup> and Jong Gye Shin<sup>\*\*</sup>

Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University<sup>\*</sup>  
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

In general, the forming process of the curved hull plates consists of sub tasks, such as roll bending, line heating, and triangle heating. In order to complement the automated curved hull forming system, it is necessary to develop an algorithm to classify the curved hull plates of a ship into standard shapes with respect to the techniques of forming task, such as the roll bending, the line heating, and the triangle heating. In this paper, the curved hull plates are classified by four standard shapes and the combination of them, or saddle, convex, flat, cylindrical shape, and the combination of them, that are related to the forming tasks necessary to form the shapes. In preprocessing, the Gaussian curvature and the mean curvature at the mid-point of a mesh of modeling surface by Coon's patch are calculated. Then the nearest neighbor method to classify the input plate type is applied. Tests to verify the developed algorithm with sample plates of a real ship data have been performed.

※Keywords: Curved hull plates forming(곡가공), Curved hull plates classification(곡판 분류), Pattern recognition(패턴 인식), Nearest neighborhood method(최근접이웃법)

#### 1. 서론

선체 외판은 선체의 선형을 만드는 다양한 기하학적 형상을 가지는 판재들로 구성된다. 선체 외판을 구성하는 분할된 여러 판재들은 곡가공

---

접수일: 2009년 4월 6일, 승인일: 2009년 11월 9일

†교신저자: snucurl@snu.ac.kr, 02-880-9339

작업의 필요 유무에 따라 크게 평판과 곡판으로 나눌 수 있다. 평판은 생산 설계에서 분할된 선체 외판을 구성하는 여러 판재 중에서 절단 작업 후 국가공 작업을 거치지 않고 조립 작업으로 보내는 평면 형상의 판재이다. 곡판은 절단 작업 후 국가공 작업을 거쳐 조립 작업으로 보내는 곡면 형상을 포함하는 판재이다. 곡판은 대상 선종에 따라 30%에서 70%에 이르며, 숙련된 작업자의 경험과 기술에 전적으로 의존하여 가공하는 수작업을 통해 완성된다.

조선소에서는 이러한 작업자의 경험적 지식과 수작업에 의존해야 하는 국가공 작업을 자동화하려는 노력을 경주하고 있다. 이러한 국가공 자동화는 크게 작업자의 경험적 지식을 대체할 수 있는 역학 또는 미분 기하를 이용한 국가공 알고리즘을 개발하거나(Shin 1992, Kang et al. 2000, Lee and Shin 2002, Jang et al. 2002, 2008), 국가공 알고리즘과 더불어 작업자의 수작업을 대신할 자동화 기계를 포함하는 국가공 자동화 시스템 개발(Ishiyama and Tango 2000, Shin et al. 2003, 2004, Lee 2003)로 크게 나눌 수 있다.

대표적인 국가공 알고리즘으로는 전개 알고리즘, 실린더나 콘 형상의 곡판을 만드는 냉간 가공 알고리즘, 그리고 가열 알고리즘이 있다. 특히, 가열 알고리즘은 선상 가열과 삼각 가열에 대한 알고리즘으로 구분하여 개발되고 있다. 이는 곡판의 형상에 따라 좀 더 효율적으로 가공할 수 있는 기술이 다르기 때문이다. 하지만, 개발되었거나 개발 중인 국가공 자동화 시스템에서는 자동으로 그러한 가열 알고리즘을 구분하여 적용할 수 있는 기능에 대해서는 아직까지 연구가 수행되지 못하였다. 현재의 국가공 자동화 시스템에서는 작업자가 작업 대상 곡판의 최종 목적 형상을 파악하고, 적용할 가열 알고리즘을 선택하는 것이 모두 경험적 지식에 의해서 이루어지고 있다. 따라서, 국가공 자동화 시스템에서 국가공 알고리즘을 적용할 때 곡판의 최종 목적 형상을 고려하여 선상 가열 알고리즘을 적용할지, 삼각 가열 알고리즘을 적용할지에 관한 결정을 자동으로 할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한, 개발된 알고리즘을 실

제로 국가공 자동화 시스템에 적용하기 위해 국가공과 관련된 설계와 생산 프로세스 중에서 개발된 알고리즘이 적용될 수 있는 단계를 파악할 필요가 있다.

이러한 국가공 작업을 고려한 작업 대상 곡판의 최종 목적 형상 인식을 위한 곡판 분류 알고리즘과 직접적으로 관련된 연구는 이전에 수행된 바가 없으나, 선형 설계 단계에서 선체 외판의 형상에 따른 생산비용을 고려한 설계의 비용적 측면의 효율성 향상을 위한 선체 외판의 분류에 관해서는 Kim et al.(2004)의 연구에서 이루어진 바 있다. Kim et al.(2004)의 연구에서는 표준형상을 학습을 통하여 결정하고 이후에 데이터가 입력되면 표준형상에 가장 가까운 형상을 식별하는 방법을 신경망 이론을 사용하여 개발하였다. 주된 목적이 선형 설계 단계에서 곡판의 형상에 따른 생산비용을 고려한 설계의 비용적 측면의 효율성 향상에 관한 것이므로, 선체 외판을 격자 형태로 균일하게 나누어 적용하였으며, 선체 외판의 종류를 가우스 곡률의 분포를 이용하여 평판, 1 차 곡면, 2 차 곡면, 3 차 곡면으로 분류하였다. 하지만, 실제 생산 설계 단계에서 수행하는 블록 별 외판 분할에 따른 외판의 형상은 단순히 격자 형태로 균일하게 분할되어 있지 않는데 이에 대한 고려는 없다. 그리고 생산비용에 대한 고려에서 곡판의 생산 방법인 국가공의 여러 가공 방법과 프로세스를 고려하여 곡판을 분류하지는 않았다. 또한, 신경망 이론을 이용하여 인식을 하기 때문에 학습 결과에 따라 형상 인식율에 차이를 나타내고 있다.

본 연구에서는 국가공 자동화 시스템을 운용하거나 수작업으로 국가공 작업을 수행할 때, 작업자가 최종 목적 곡판의 형상을 파악하여 경험적으로 가열 알고리즘을 선택하여 사용하는 현재의 작업 환경을 보완하기 위해서, 생산 설계 단계에서 국가공 가열 방법에 대한 정보를 자동으로 국가공 자동화 시스템이나 작업자에게 제공할 수 있는 곡판 분류 알고리즘을 개발하였다.

이를 위하여, 먼저 생산 설계부터 국가공 작업까지의 설계 및 생산 프로세스를 분석하여 곡판 분류 알고리즘이 국가공 자동화 시스템 및 생산

설계에서 적용 가능한 단계를 제안하였다. 그리고, 국가공 작업에 사용되는 다양한 가공 방법을 고려한 곡판의 종류를 Coon's Patch 를 사용한 곡면 모델링과 모델링 된 곡면의 가우시안 곡률과 평균 곡률을 이용하여 분류하였으며, 작업 대상 곡판이 분류된 곡판의 종류 중 어디에 해당하는지를 최근 접이웃법을 사용하여 추론한 다음, 추론된 결과에 따라 국가공 가열 알고리즘이나 가열 방법의 선택에 관한 정보를 제공할 수 있는 곡판 분류 알고리즘을 개발하였다.

## 2. 국가공 관련 프로세스

국가공과 관련된 조선소에서의 프로세스를 살펴보면 다음과 같다. 생산 설계 단계에서 블록 분할, 외판 분할, 전개 작업을 하고, 절단 공장에서 절단 작업을 한 다음 절단된 평판을 국가공 공장으로부터 이송하면 국가공 공장에서 국가공 작업을 통해 설계에서 목적인 곡면 형상으로 가공한다. 이러한 국가공 관련 프로세스의 기능적인 활동에 대하여 Fig. 1 에서와 같이 FFBD(Functional Flow Block Diagram)(Blanchard and Fabrycky 2006)를 이용하여 분석하고, 분석된 결과를 토대로 국가공 시스템의 자동화에 있어서 곡판 분류 알고리즘이 적용되는 단계를 정의하였다.

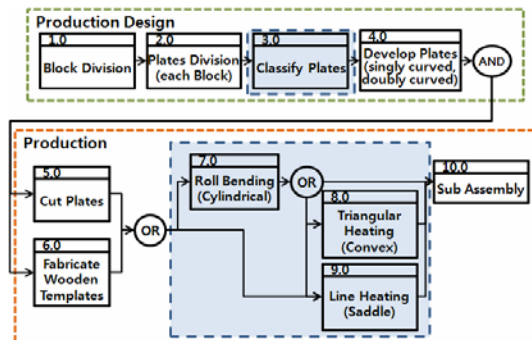


Fig. 1 Functional Flow Block Diagram of Line Heating Process with Classification of Plates

본 연구에서는 블록 분할과 외판 분할이 이루어지면 분할된 곡판의 곡면 데이터의 추출이 가능하

므로 외판 분할 후에 곡판 분류 알고리즘을 적용하도록 정의하였다. 외판 분할 후 전개 작업이 이루어지기 전에 곡판 분류 알고리즘을 적용하도록 정의하였는데, 전개 작업 과의 선후 문제는 크게 중요하지 않다고 판단된다.

전개된 설계 데이터는 생산 현장인 절단 공장과 목형 제작 공장으로 보내 강판을 절단하고 목형을 제작한 다음 국가공 공장으로 보낸다.

곡판을 만드는 국가공 작업은 크게 1 차 국가공 작업과 2 차 국가공 작업으로 나뉜다. 1 차 국가공 작업은 절단된 평판을 프레스나 롤벤딩 머신을 사용하여 실린더 형상이나 콘 형상과 같은 1 차 곡판으로 가공하는 작업이다. 2 차 국가공 작업은 주로 1 차 국가공 작업이 끝난 1 차 곡판을 가스 토치를 사용하여 종 방향과 횡 방향의 곡률을 가지는 안장 형상, 볼록(오목) 형상, 비틀림 형상의 2 차 곡판으로 가공하는 작업이다.

2 차 곡판을 가공하는 가열 방법은 크게 선상 가열과 삼각 가열로 나눌 수 있다. 선상 가열은 주로 토치를 이용하여 선의 형태로 대상 작업판을 가열하여 주로 안장 형상(saddle)의 판을 가공하는 방법이며, 삼각 가열은 판의 내부에 삼각형의 꼭지점을 가지고 판의 경계에 삼각형의 밀변의 형태를 가지는 삼각형과 유사한 사다리꼴 형태로 가열하여 볼록형상(convex)의 판을 가공하는 방법이다.

2 차 곡판을 가공하는 경우에, 소형 조선소에서는 1 차 국가공이 생략되고 바로 2 차 국가공 기술을 사용하여 2 차 곡판을 완성하는 방법을 사용하기도 하지만, 대개의 경우에는 어려운 2 차 국가공의 작업량을 줄이기 위하여 프레스나 롤벤딩 머신 작업을 통하여 2 차 곡판에 가장 가까운 형태의 1 차 곡판으로 만든 다음 열간 가공을 한다(Yun et al. 1999).

이와 같이 국가공 프로세스는 1 차 국가공의 여부, 2 차 곡판의 종류에 따라 가공 방법과 절차의 선택에 있어 차이를 보인다. 따라서 국가공 자동화 시스템에 있어 1 차 곡판과 2 차 곡판의 분류는 작업 대상 판을 어느 후행 가공 공정으로 보낼지를 결정하는 역할을 가지게 된다.

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 곡가공 프로세스를 정의하였다. 안장 형상 또는 안장 형상의 비틀림 형상은 롤벤딩 작업을 거쳐 선상 가열 작업으로 보내고, 볼록 형상 또는 볼록 형상의 비틀림 형상은 프레스 또는 롤벤딩 머신 작업을 거쳐 삼각 가열 작업으로 보내고, 실린더 또는 콘 형상은 프레스 또는 롤벤딩 머신 작업 만을 수행한다.

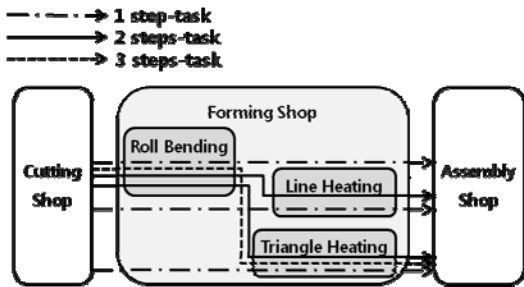


Fig. 2 Forming task paths of curved hull plates

다만, 실제 현장에서는 안장 형상이나 볼록 형상의 변형의 정도가 크지 않은 경우나 자중의 영향을 받아 프레스 또는 롤벤딩 머신 작업이 필요하지 않은 경우 등은 바로 선상 가열 작업이나 삼각 가열 작업을 하지만, 본 연구에서는 직접 선상 가열 작업이나 삼각 가열 작업으로 보내지는 경우는 제외하였다.

3. 선체 외판 및 곡판 분류

선체 외판은 특정 목적에 따라 분류하여 사용하는데 그러한 분류 방법으로는 선체에서의 특정 위치에 따른 분류, 곡률 방향의 개수 및 축의 비틀림과 관련된 기하학적 형상의 특성에 따른 분류, 전개의 관점에 따른 분류 등이 있다.

먼저, 선체 외판이 선체에서 위치하는 각 부분에 따라서 Fig. 3 과 같이 스텐 플레이트, 빌지 플레이트, K-플레이트, A-플레이트, 스푼 플레이트, 볼워크, 패션 플레이트, 바우 초크 플레이트 등으로 분류한다.

그리고, 선체 외판의 곡률 방향의 개수 및 축의 비틀림과 관련된 기하학적 형상의 특성에 따라 분

류할 경우에는 평판, 한 방향의 곡률만을 가지는 1 차 곡면, 임의의 2 방향의 곡률만을 가지는 2 차 곡면, 임의의 2 방향에 대한 곡률과 함께 하나의 축에 대한 비틀림도 존재하는 3 차 곡면으로 분류한다(Kim et al. 2004).

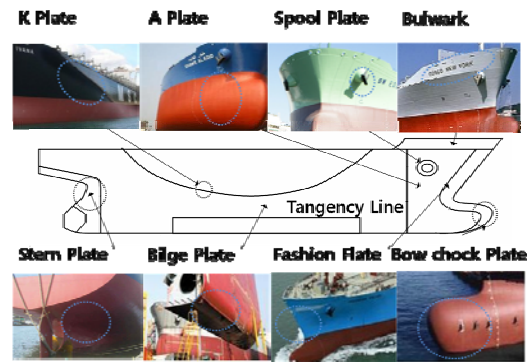


Fig. 3 The Names of Hull Curved Plates in terms of Locations

또한, 선체 외판을 전개의 관점에서 분류하면, 임의 곡면에 대한 가우스 곡률의 분포가 영이면 전개가 가능한 단순 곡면, 영이 아니면 전개가 불가능한 이중 곡면으로 분류한다(Ryu 2002).

본 연구에서는 이러한 선체 외판 분류 방법과 다르게 선체 외판을 이루는 다양한 판재 들 중 곡면 형상의 판재인 곡판을 가공할 때 필요한 곡가공 작업과 곡가공 작업에 사용되는 다양한 가공 방법을 고려하여 선체 외판 중 곡판을 분류하였다.

곡가공 작업의 종류에 따라 분할된 선체 외판 중 곡판은 1 차 곡가공 작업 만이 필요한 1 차 곡판, 1 차 곡가공 작업 후에 2 차 곡가공 작업이 필요한 2 차 곡판으로 분류할 수 있다. 이러한 분류에 따르면, 1 차 곡판은 1 차 곡면 또는 단순 곡면에 해당하는 실린더 형상 또는 콘 형상의 곡판을 통칭하고, 2 차 곡판은 2 차 곡면, 3 차 곡면 또는 이중 곡면 에 해당하는 안장 형상, 볼록 형상, 비틀림 형상의 곡판을 통칭하게 된다.

그런데, 1 차 곡판은 프레스나 롤벤딩 머신을 사용하여 가공하는 방법이 유일하지만, 2 차 곡판을 가공하는 방법은 곡판의 기하학적 형태에 따라 다

르게 사용된다. 볼록 형상의 곡판은 삼각 가열 방법을 사용하고 안장 형상의 곡판은 선상 가열 방법을 사용하며, 비틀림 형상의 곡판은 비틀리기 전의 곡판의 형상이 볼록 형상이면 삼각 가열 방법을, 안장 형상이면 선상 가열 방법을 사용하여 작업한다.

따라서, 가공 방법에 따른 곡판을 분류하기 위해서는 실린더 형상, 콘 형상, 안장 형상, 볼록 형상, 비틀림 형상을 독립적으로 구분할 수 있어야 한다. 그런데, 콘 형상은 실린더 형상과 동일한 가공 방법으로 가공되고, 비틀림 형상은 비틀리기 전의 형상에 따라 가공 방법이 결정되므로 최종적으로 실린더 형상, 안장 형상, 볼록 형상을 독립적으로 구분할 수 있으면 된다. 또한, 분할된 외판이 곡판과 평판이 만나는 접선을 가지는 K-플레이트인 경우에는 곡가공 작업이 필요하므로 곡판으로 분류되지만 이를 위해서는 평판인 부분을 제외할 수 있어야 한다. 이를 위하여 평판에 대해서도 독립적인 구분이 가능하여야 한다.

Besl and Jain(1988)은 곡면을 이루는 특정한 점에서의 가우시안 곡률과 평균 곡률의 부호에 따라 Fig. 4 와 같이 peak, pit, ridge, valley, saddle ridge, saddle valley, flat, minimal 의 8 가지 기본 곡면으로 분류하였다. 이 들 기본 곡면들 중에서 peak, pit 은 볼록 형상, ridge 와 valley 는 실린더 형상, saddle ridge, saddle valley 와 minimal 은 안장 형상, flat 은 평판으로 나눌 수 있다.

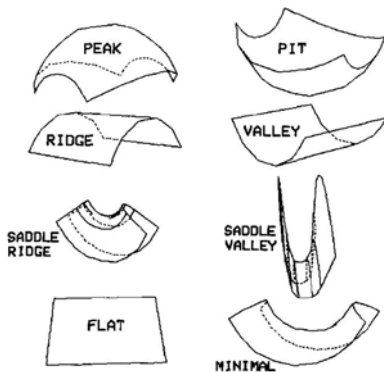


Fig. 4 Eight fundamental surface types from surface curvature sign (Besl and Jain 1988)

Besl and Jain(1988)의 곡면 분류는 본 연구에서 독립적인 구분이 필요한 4 가지 형상인 평판, 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상을 잘 나타낼 수 있으므로 이를 사용하여 곡가공 작업 및 가공 방법을 고려한 곡면 분류 방법으로 사용하였다. 이러한 4 가지 형상은 표준 형상으로 정의하여 Fig. 5 에 정리하였다.

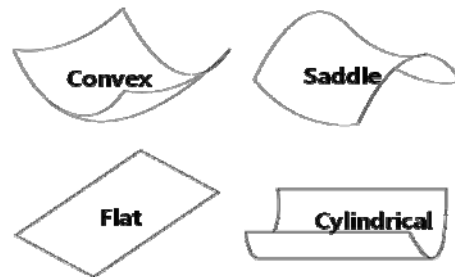


Fig. 5 Standard shapes for classification of curved hull plates

곡가공에 사용되는 작업 및 가공 방법을 고려한 곡판 분류를 위한 4 개의 표준 형상과 관련된 곡가공 작업 및 가공 방법을 Table 1 과 같이 표로 정리하였다.

Table 1 Relations between standard shapes and forming tasks

Forming Task	Standard Shape
No Forming	Flat
Roll Bending	Cylindrical
Roll Bending + Line Heating	Saddle
Roll Bending + Triangular Heating	Convex
Roll Bending + Line Heating + Triangular Heating	Saddle + Convex

정리된 내용은 평판(Flat)은 곡가공 작업을 하지 않고(No Forming), 실린더 형상(Cylindrical)의 곡

판은 1 차 곡가공 작업(Roll Bending)만 하고, 안장 형상(Saddle)형상의 곡판은 1 차 곡가공 작업과 2 차 곡가공 작업 중 선상 가열(Line Heating) 작업을, 볼록 형상(Convex)의 곡판은 1 차 곡가공 작업과 2 차 곡가공 작업 중 삼각 가열(Triangular Heating) 작업을, 안장 형상과 볼록 형상이 모두 포함된 곡판은 1 차 곡가공 작업과 2 차 곡가공 작업 모두를 수행해야 함을 나타낸다.

#### 4. 곡판 분류 알고리즘

특정 곡판이 앞서 정의된 곡판 분류의 어느 형상에 해당하는지 식별하기 위해서 패턴 인식을 사용하였다. 패턴 인식은 미지의 입력 패턴을 미리 정해 놓은 여러 개의 패턴의 집합 중의 하나에 대응시켜 식별하는 정보 처리 방법이라고 할 수 있다. 패턴 인식 알고리즘은 크게 표준 패턴에 대한 전처리 과정, 특징 추출 과정과 입력 패턴에 대한 전처리 과정, 특징 추출 과정, 비교 및 인식 과정으로 이루어진다.

미리 정하는 여러 개의 패턴의 집합인 표준 패턴 집합을 구성하기 위해서 표준이 될 수 있는 데이터들을 적절한 처리를 하는 작업을 전처리 작업이라고 한다. 이러한 전처리 작업을 통하여 표준 형상을 식별할 수 있는 특징들을 추출해 낼 수 있다.

어떠한 특징을 추출하고 선택하느냐에 패턴 인식의 성공 여부가 달려 있다고 할 수 있다. 특징을 추출하여 만든 특징 벡터의 차원을 줄이고 불필요한 특징은 제거함으로써 성능적인 관점에서 인식율을 향상시킬 수 있다(Lee and Landgrebe 1993).

추출된 특징들이 가지는 유사성을 이용하여 그룹화시켜 표준 패턴의 집합을 완성하게 되고 하나의 클래스 또는 카테고리를 이루어 표준 패턴이 완성된다. 이상의 표준 패턴 생성 과정은 Fig. 6에 나타낸 것과 같다.

미지의 입력 패턴 또한 동일한 데이터 처리 과정을 거치게 된다. 미지의 입력 패턴을 특정 짓기 위하여 입력 데이터에 대하여 전처리 작업을 수행

하고 특징을 추출하여 추출된 특징으로 입력 패턴을 결정짓는다. 입력 패턴이 결정되면 표준 패턴 중에서 가장 유사한 표준 패턴을 식별하여 입력 패턴을 해당 표준 패턴으로 분류한다.

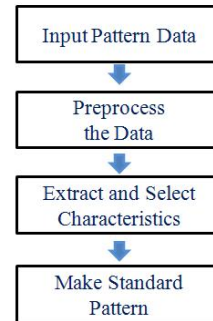


Fig. 6 Procedure of standard pattern creation

곡판 분류 작업은 생산 설계 단계에서 이루어지게 되는데 이 때 표준 패턴을 선정하기 위하여 사용되는 표준 형상과 미지의 입력 형상은 크기, 위치, 방향이 서로 다르게 된다. 패턴을 비교하기 위해서는 이러한 표준 형상과 입력 형상의 특징을 비교하여 유사성을 판단하여야 하므로 표준 형상과 입력 형상을 비교할 수 있는 매개 변수의 선정이 중요하다.

본 연구에서는 표준 형상과 입력 형상을 동일한 방법으로 모델링하고 불변 특성을 가지는 곡률을 사용하여 형상의 특성에 따른 곡률의 개수를 이용하여 특징 벡터를 구성하였다.

##### 4.1 표준 형상의 전처리

곡판 분류는 3 차원 형상인 표준 형상과 입력 형상을 비교하여 식별하는 작업이므로 2 개의 3 차원 형상을 비교할 수 있는 방법이 필요하다. 일반적으로 3 차원 형상 모델간의 유사성을 비교하기 위해서는 형상의 위치, 방향 및 크기의 정규화가 이루어져야 한다. 이러한 정규화는 그 방법이 다양하고 적용 대상에 따라 다양한 성능을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 정규화를 위해 곡률을 이용하였다. 가우시안 곡률과 평균 곡률의 경우에는

(u,v)-변환에서의 Jacobian 이 0 이 아니라는 조건만 만족하면 (u,v)-매개 변수로 이루어지는 임의의 변환에 대해서 불변 성질을 가지고 있고, 임의의 회전과 평행이동에 대해서도 불변 값을 가진다 (Besl and Jain 1986). 따라서 본 연구에서는 가우시안 곡률과 평균 곡률을 형상을 비교하는 매개 변수로 선정하였다.

또한, 곡판이 가지는 표준 패턴을 구성하기 위한 형상 모델링은 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상, 평판을 나타내는 설계 형상 정보를 이용하고 쿤스 패치(Coon's Patch)(Coons 1967)를 사용하여 각 형상에 해당하는 곡면으로 모델링 하였다. 본 연구에서는 모델링 된 곡면을 이루는 메쉬(mesh)의 중앙점에서의 가우시안 곡률과 평균 곡률을 추출하여 사용하였다.

**4.2 표준 형상의 특징 추출**

전처리 과정을 거치게 되면 표준 형상의 모델링 곡면의 각 각의 메쉬가 가지는 가우시안 곡률과 평균 곡률을 알 수 있다. 이를 이용하여 각 표준 형상이 가지는 특징을 추출하여 Table 2 에 나타내었다.

**Table 2** Dimensions of the calculation domain

Plate Type	Gaussian Curv. (K)	Mean Curv. (H)
Saddle	K<0	
Convex	K>0	
Cyindrical	K=0	H≠0
Flat	K=0	H=0

모델링 곡면의 전체 메쉬의 가우시안 곡률과 평균 곡률을 살펴보면 안장 형상의 경우에는 평균 곡률의 값과 무관하게 가우시안 곡률이 음의 값을 가지고, 볼록형상의 경우에는 평균 곡률의 값과 무관하게 가우시안 곡률이 양의 값을 가지게 되며, 실린더 형상의 경우에는 가우시안 곡률과 평균 곡률이 모두 0 의 값을 가지게 되고, 평판의 경우에는 가우시안 곡률은 0 의 값을 가지고 평균 곡률은 0 이 아닌 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

각 각의 표준 형상들은 상기와 같은 특징을 가지므로 전체 메쉬의 개수 중에서 해당하는 특징을 가지는 메쉬의 개수를 이용하여 다음 식(1)과 같은 특징 벡터를 추출하였다.

$$y = \left( \frac{N_s}{N_t}, \frac{N_c}{N_t}, \frac{N_f}{N_t}, \frac{N_l}{N_t} \right) \quad (1)$$

여기서,  $N_s$  는 안장 형상을 나타내는 메쉬의 개수,  $N_c$  는 볼록 형상을 나타내는 메쉬의 개수,  $N_f$  는 평판을 나타내는 메쉬의 개수,  $N_l$  은 실린더 형상을 나타내는 메쉬의 개수,  $N_t$  는 모델링 곡면 전체 메쉬의 개수를 의미한다. 표준 형상에 대한 특징 벡터를 정리하면 다음 Table 3 과 같다.

**Table 3** Standard characteristics vector

Plate Type	Characteristics Vector
Saddle	(1,0,0,0)
Convex	(0,1,0,0)
Cylindrical	(0,0,1,0)
Flat	(0,0,0,1)

**4.3 식별 알고리즘**

미지의 입력 패턴의 입력 특징을 표준 패턴의 표준 특징과 비교하여 가장 유사한 표준 특징을 식별하는 작업이 패턴 인식의 마지막 작업이 된다. 이러한 식별에 관해서는 일반적으로 식별 함수를 사용하여 식별에 대한 규칙을 정의한다. 본 논문에서는 복잡한 식별 함수를 계산하는 대신 입력 특징 벡터와 표준 특징 벡터와의 거리를 계산하여 가장 가까운 표준 특징 벡터를 가지는 표준 형상을 입력 형상의 표준 형상으로 결정하는 방법인 최근접이웃법(Nearest Neighborhood Method) (Dasarathy 1991)을 사용하여 식별 알고리즘을 개발하였다. 이 방법은 계산량이 적어 실시간에 가까운 짧은 계산 시간을 제공한다.

미지의 입력 특징 벡터를  $x$  라고 하면 표준 특징 추출에서 결정된 표준 특징 벡터  $y$  를 이용

하여 최근접이웃법에 사용한 규칙은 다음 식 (2)와 같다. 여기서,  $i$  는 표준 특징 벡터의 종류를 의미하며,  $m$  은 표준 특징 벡터의 개수를 의미한다.

$$\min_{1 \leq i \leq m} \{ \| \mathbf{x} - \mathbf{y}_i \| \} \quad (2)$$

곡판 분류 알고리즘의 목적이 해당 곡판을 곡가공 작업 흐름에서 어느 작업에 할당해 주어야 하는지를 식별하기 위한 것이다. 따라서, 단순히 미지의 입력 형상이 어느 표준 형상에 유사한지만을 판단하기 보다는 입력 형상이 곡가공의 어느 작업에 할당되어야 하는지를 결정하여야 한다.

입력 특징 벡터는 표준 특징 벡터를 구할 때와 동일한 전처리 과정과 모델링 방법을 적용하여 구한다. 입력 특징 벡터가 모델링에 의한 오차에 기인하여 성분 중에 노이즈가 들어갈 수 있으므로 이를 해결하기 위하여 전체 메쉬에선 차지하는 비중이 5%(0.05)미만의 성분은 0 으로 처리하고 남은 성분을 이용하여 입력 특징 벡터를 완성한다. 완성된 입력 특징 벡터와 표준 특징 벡터를 이용하여 최근접이웃법을 적용하면 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상, 평판 중의 하나로 식별이 된다.

식별된 형상이 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상일 경우에는 Table 1 의 표준 형상과 곡가공 작업과의 관계를 나타내는 표를 이용하여 곡가공 작업을 할당하여야 한다. 이를 위하여 새로운 특징 벡터를 도입하였다.  $\mathbf{z}$  는 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{z} = (\mathbf{a}, \mathbf{b}) \quad (3)$$

여기서  $\mathbf{a}$  는 안장 형상의 성분이 존재할 경우에 1 의 값을 가지고 안장 형상 성분이 없을 경우에는 0 의 값을 가진다.  $\mathbf{b}$  는 볼록 형상의 성분이 존재할 경우에 1 의 값을 가지고 존재하지 않을 경우에 0 의 값을 가진다. 이러한 새로운 특징 벡터  $\mathbf{z}$  와 곡가공 작업의 관계를 나타내면 Table 4 와

같다. 이러한 관계를 적용하면 입력된 곡판은 어느 곡가공 작업 공정으로 할당 되어야 하는지 자동으로 분류된다.

Table 4 Relations between  $\mathbf{z}$  and forming tasks

$\mathbf{z}$	Roll Bending	Line Heating	Triangular Heating
(0, 0)	⊙		
(0, 1)	⊙		⊙
(1, 0)	⊙	⊙	
(1, 1)	⊙	⊙	⊙

식별된 형상이 평판일 경우에는 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상이 전혀 포함되어 있지 않은 완전 평판이 있을 수 있으며 이 경우에는 곡가공이 필요치 않다. 그러나, K-플레이트와 같이 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상이 성분이 포함된 경우에는 해당 형상과 관련된 곡가공 작업 공정으로 할당된다. 이상의 알고리즘은 Fig. 7 에 정리하여 나타내었다.

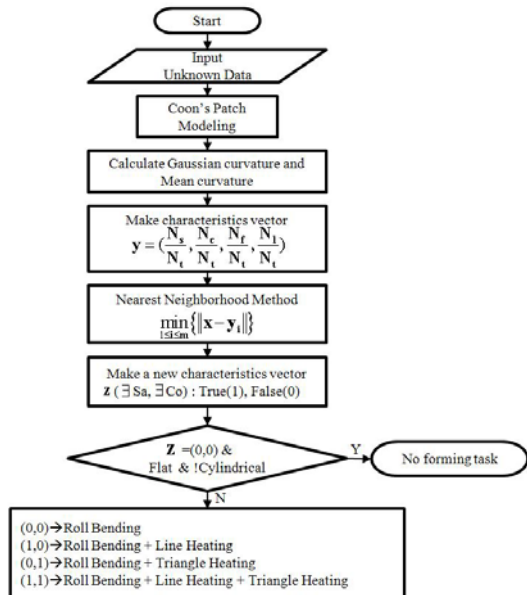


Fig. 7 Curved hull plates classification algorithm



### 5. 곡판 분류 알고리즘의 시험

본 연구에서 개발된 곡판 분류 알고리즘의 검증 을 위하여 국내 중소형 조선소의 실선의 외판 분 할 설계 데이터를 Kim et al.(2008)에서 제안한 방 법을 사용하여 샘플 데이터를 추출하고 시험하였 다.

알고리즘의 시험을 위하여 여러 표준형상이 혼 재되어 있는 모델, 볼록 형상만으로 구성된 모델,

안장 형상만으로 구성된 모델, 실린더 형상만으로 구성된 모델 그리고 평판 만으로 구성된 모델을 대상으로 선정하였다. 또한, 시험 대상 모델은 곡 판 중에서 사각형 형태인 곡판 중에서 시험 대상 모델로 선정하였다. 각 모델의 곡면 모델링은 Coon's Patch 를 사용하였으므로 내부 3 차원 좌 표 데이터는 사용하지 않고, 네 변의 3 차원 좌표 데이터 만을 사용하였으며, 각 곡면 모델이 320 개 의 메쉬를 가지도록 모델링 하였다.

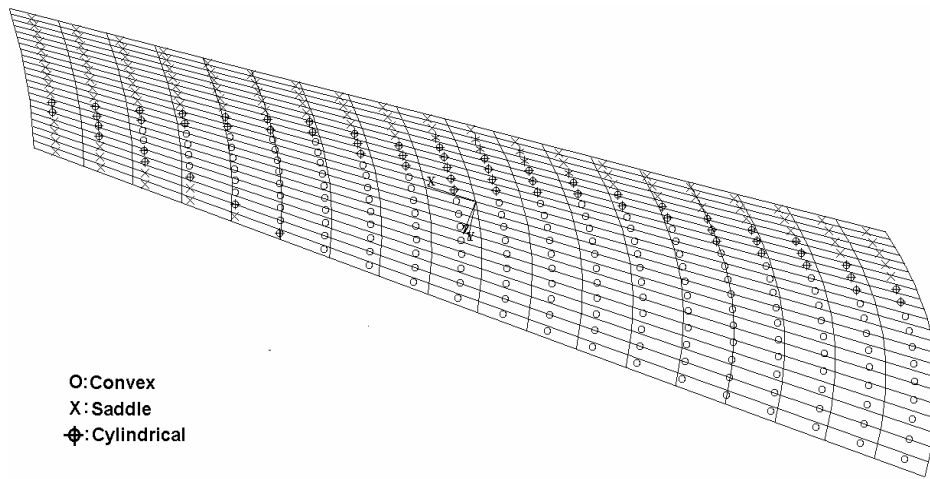


Fig. 8 An example plate of roll bending, line heating, and triangle heating

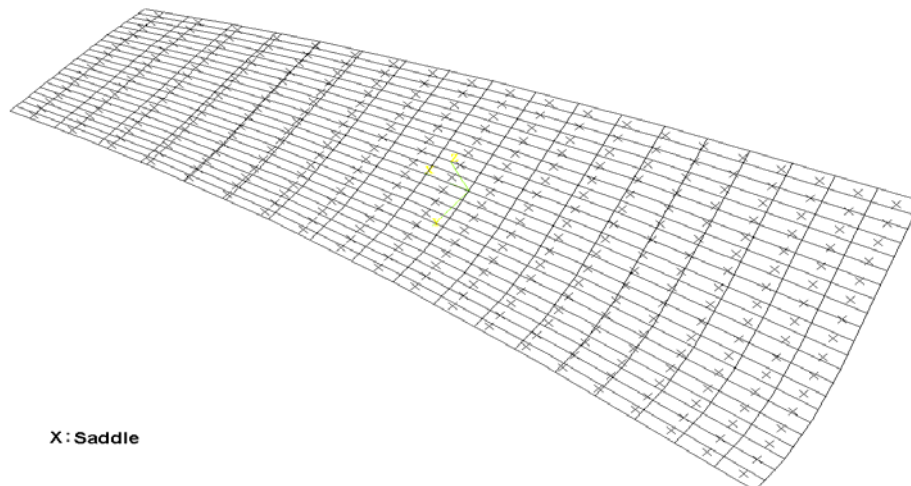


Fig. 9 An example plate of roll bending and line heating

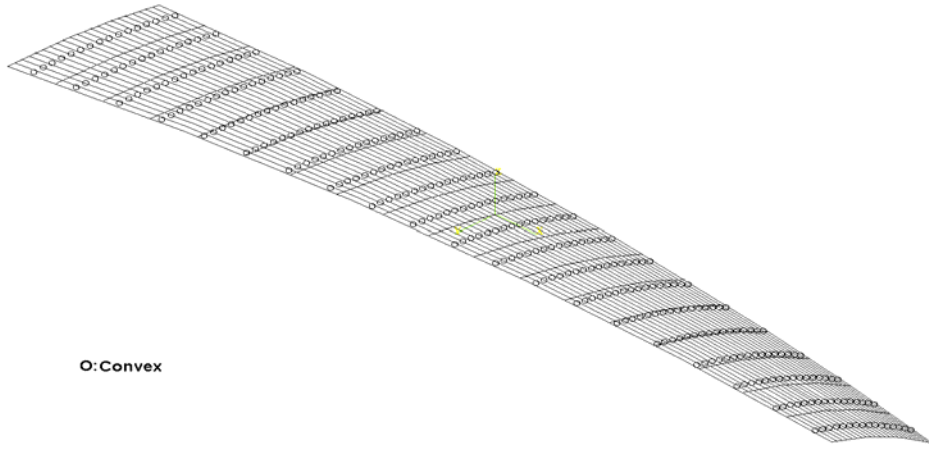


Fig. 10 An example plate of roll bending and triangle heating

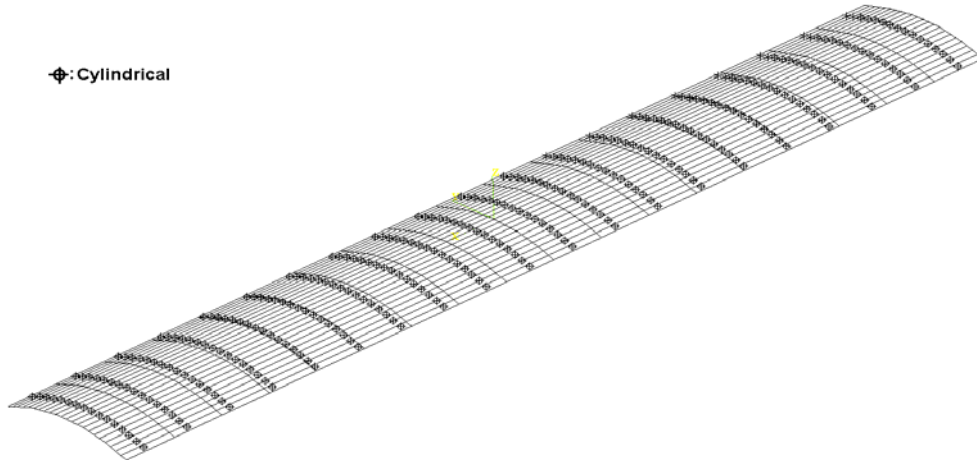


Fig. 11 An example plate of roll bending

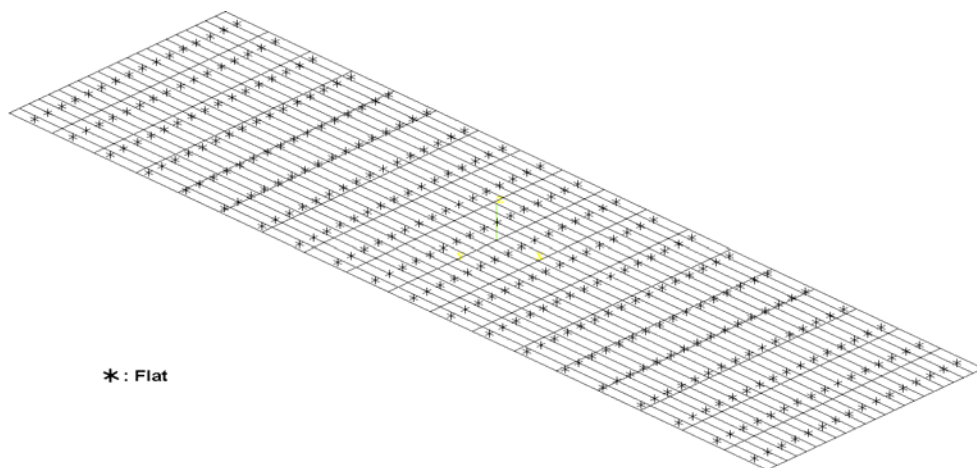


Fig. 12 An example plate of flat plate

선미부 곡판에 해당하는 Fig. 8의 시험 모델에 곡판 분류 알고리즘을 적용한 결과, 안장 형상 성분이 30.94%, 볼록 형상 성분이 48.75%, 실린더 형상 성분이 18.44%, 평판 성분이 1.87%인 특징 벡터를 가지는 곡판임을 알 수 있다. 이 중에서 평판 성분은 5%이내 이므로 노이즈로 판단하여 제외하였다. 이 곡판은 최근접이웃법에서 볼록 형상으로 식별된다. 그리고,  $\mathbf{z}$ 가 (1,1)의 값을 가지므로 프레스 또는 롤벤딩 머신 작업 후에 선상 가열과 삼각 가열을 수행해야 하는 작업 공정으로 투입되어야 함을 알 수 있다.

선미부 곡판에 해당하는 Fig. 9의 시험 모델에 곡판 분류 알고리즘을 적용한 결과, 안장 형상 성분이 100%인 특징 벡터를 가지는 곡판으로, 최근접이웃법에서 안장 형상으로 식별되었다. 이 곡판은  $\mathbf{z}$ 가 (1,0)의 값을 가지므로 프레스 또는 롤벤딩 머신 작업 후에 선상 가열을 수행해야 하는 공정에 투입되어야 함을 알 수 있다.

선박의 중앙과 선미부의 사이에 위치하는 곡판에 해당하는 Fig. 10은 볼록 형상 성분이 100%인 특징 벡터를 가지는 곡판으로, 최근접이웃법에서 볼록 형상으로 식별되는 되었다. 이 곡판은  $\mathbf{z}$ 가 (0,1)의 값을 가지므로 프레스 또는 롤벤딩 작업 후에 삼각 가열을 수행해야 하는 공정에 투입되어야 함을 알 수 있다.

선체 중앙부의 밑지 부분에 위치하는 Fig. 11은 실린더 형상 성분이 96.25%, 평판 성분이 3.75%인 특징 벡터를 가지는 곡판이다. 최근접이웃법에서 실린더 형상으로 식별되었다. 이 곡판은  $\mathbf{z}$ 가 (0,0)의 값을 가지므로 프레스 또는 롤벤딩 작업만 이루어지는 곡판이다.

선체 중앙부의 평판에 해당하는 Fig. 12는 평판 성분이 100%인 특징 벡터를 갖는 평판으로 최근접이웃법이 사용되지 않고 평판으로 분류된다. 따라서, 곡가공 작업이 전혀 필요 없는 분할된 외판임으로 식별하고 있음을 확인 할 수 있었다.

그리고, 시험 모델 중에서 Fig. 9, Fig. 10은 모두 비틀림 형상을 가지고 있지만, Fig. 9는 비틀림 형상임에도 안장 형상 성분만으로 구성되어 있고, Fig. 10은 비틀림 형상임에도 볼록 형상 성분만으로

구성되어 있다. 이는 선체 외판 분류를 1차 곡면, 2차 곡면, 3차 곡면으로 분류하는 분류 방법에서 2차 곡면과 3차 곡면을 가우시안 곡률과 평균 곡률만으로 정확하게 구분하기는 어려움을 알 수 있다.

## 6. 개발 알고리즘의 한계

본 연구에서는 곡판의 분류를 위해서 곡면 모델링의 방법으로 Coon's Patch를 사용하였다. Coon's Patch는 4각형의 4변의 데이터만으로 곡면을 모델링하므로 내부의 곡면 형상이 복잡한 곡판의 모델링에는 한계가 있다. 또한, 변이 3개 이거나 5개 이상인 곡면은 모델링 할 수 없는 한계를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 다른 곡면 모델링 방법을 사용하여야 한다.

## 7. 결론

본 연구에서는 곡가공 자동화 시스템에 필요한 기술 가운데 곡가공 작업을 고려한 작업 대상 곡판의 최종 목적 형상 인식을 위한 곡판 분류 알고리즘을 개발하였다.

이를 위하여 먼저 생산 설계부터 곡가공 작업까지의 설계 및 생산 프로세스를 FFD를 사용하여 분석하고, 곡판 분류 알고리즘이 곡가공 자동화 시스템 및 생산 설계에서 적용 가능한 단계를 정의하였다. 그리고, 곡가공 작업에 사용되는 다양한 가공 방법과 작업 순서를 고려하여 곡판 분류에 사용할 4개의 표준 형상으로 안장 형상, 볼록 형상, 실린더 형상, 평판을 선정하였다.

곡판 분류 알고리즘은, 먼저, Coon's Patch를 사용한 곡면 모델링과 모델링된 곡면의 가우시안 곡률과 평균 곡률을 이용하여 선정된 4개의 표준 형상 및 임의의 입력 형상의 특징 벡터를 추출하고, 특징 벡터를 바탕으로 적은 계산량을 가지는 최근접이웃법을 사용하여 특정 곡판이 분류된 곡판의 종류 중 어디에 해당하는지를 추론한 다음, 추론된 결과에 따라 곡가공 가공 방법의 선택에 관한 정보를 제공할 수 있게 하였다.

개발된 곡판 분류 알고리즘은 경험과 수작업으로 이루어지고 있는 곡가공 공정에 적용할 경우에는 생산 설계에서 곡판 분류 정보를 숙련되지 않은 작업자에게 제공함으로써 작업자는 최종 형상이나 적용 가능한 가공 방법을 쉽게 파악할 수 있으므로 작업자의 숙련도 향상에도 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

### 후 기

본 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 도약연구사업의 일환으로 수행된 연구입니다(No. 2008-0054839). 또한 본 논문의 실선 데이터 관련 연구는 2008 년도 정부(지식경제부)의 재원으로 글로벌 지식기반 디지털 생산 지원 시스템 수행과 관련된 연구입니다(No. 0457-20080026).

### 참 고 문 헌

- Besl, P.J. and Jain, R.C., 1986, "Invariant Surface Characteristics for 3D Object Recognition in Range Images," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 33, pp. 33-80.
- Besl, P.J. and Jain, R.C., 1988, "Segmentation Through Variable-order Surface Fitting," IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, Issue 2, pp. 167-192.
- Blanchard B.S. and Fabrycky, W.J., 2006, Systems Engineering and Analysis, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Coons, S.A., 1967, "Surfaces for Computer-Aided Design of Space Forms," Technical Report MAC-TR 44 MIT, Cambridge, MA, USA.
- Dasarathy, B.V., 1991, Nearest Neighbor (NN) Norms : NN Pattern Classification Techniques, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Calif.
- Ishiyama, M. and Tango, Y., 2000, "Advanced Line-Heating Process for Hull-Steel Assembly," Journal of Ship Production, Vol. 16, No. 2, pp. 121-132.
- Jang, C.D., Ha, Y.S., Ko, D.E. and Moon, S.C., 2002, "Determination of Inherent Strain Regions to Estimate Plate Deformation by Line Heating," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 39, No. 1, pp. 82-89.
- Jang, C.D., Ko, D.E. and Ha, Y.S., 2008, "Simulation of Plate Deformation due to Triangle Heating Using Inherent Strain Method," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 703-709.
- Kang, J.G., Lee, J.H. and Shin, J.G., 2000, "Numerical Analysis of Induction Heating for the Application of Line Heating," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 3, pp. 110-121.
- Kim, J., Park, J.S., Jo, Y.H., Shin, J.G., Kim, W.D. and Ko, K.H., 2008, "A Study of 3D Design Data Extraction for Thermal Forming Information," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 12, no. 3, pp. 1-13.
- Kim, S.Y., Moon, B.Y., Kim, D.E. and Shin, S.C., 2004, "Automation of Hull Plates Classification in Ship Design System using Neural Network Method," Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 20, No. 2, pp. 493-504.
- Lee, C. and Landgrebe, D.A., 1993, "Feature Extraction Based on Decision Boundaries," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 4. pp. ?-?.
- Lee, J.H. and Shin, J.G., 2002, "Relations between Input Parameters and Residual Deformation in Line Heating Process using Finite Element Analysis and Multi-Variate Analysis," Journal of the Society of Naval

- Architects of Korea, Vol. 39, No. 2, pp. 69-80.
- Lee, J.S., 2003, "Development of Numerical Control System for Plate Forming Automation," Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 72-79.
- Ryu, C.H., 2002, Consistent Algorithm for Unfolded Flat Shape of Curved Ship's Hull Shells by Minimizing Strain Energy, Ph.D. Dissertation, Seoul National University.
- Shin, J.G., 1992, "A Two-Dimensional Simulator for Plate Forming by Line Heating," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 29, No. 1, pp. 191-200.
- Shin, J.G., Ryu, C.H., Lee, J.H. and Kim, W.D., 2003, "User-Friendly, Advanced Line Heating Automation for Accurate Plate Forming," Journal of Ship Production, Vol. 19, No. 1, pp. 8-15.
- Shin, J.G., Ryu, C.H. and Nam, J.H., 2004, "A Comprehensive Line-Heating Algorithm for Automatic Formation of Curved Shell Plates," Journal of Ship Production, Vol. 29, No. 2, pp. 69-78.
- Yun, D.K, Shin, J.G. and Ryu, C.H., 1999, "A Determination of Approximated Cylindrical Surfaces of Doubly Curved Surfaces for the Least Line Heating," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No. 3, pp. 134-143.



< 노 재 규 > < 신 종 계 >