

열간가공에 의한 강판의 곡 가공 자동화 시스템

이박인*, 류희승**, 변구근***, 김학곤****

A Study on Automation of Steel Plate Forming by Heating Method

B.I.Lee*, H.S.Yoo**, G.G.Byun*** and H.G.Kim****

요 약

선체 외판 중 약 70% 정도가 3차원 곡면 형상으로 구성되어 있다. 이러한 3차원 형상을 자동으로 성형하기 위해서 수년간 많은 연구를 수행하여 오고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 가열 현상을 합리적으로 대변할 수 있는 역학적 모델을 도입하여 가열 Simulator를 개발하는데 있다. 이를 위해 가열 결과에 영향을 줄 수 있는 가열 위치, 강판의 두께, 가열 속도 등 다양한 인자로써 실험을 수행하였다.

본 연구에서 개발한 가열 Simulator의 정당성을 입증하고자 몇 가지 모델에 대해 적용하여, 실험결과와 Simulator의 추정치를 비교한 결과 만족할 만한 결과를 나타내었으며, Simulator에 적용된 이론적 배경의 합당성을 확인할 수 있었다.

※Keywords: Plate Forming(강판의 성형), Line Heating(선상가열), Flow Rate(유량), Triangular Heating(삼각가열), F.E.M(유한요소해석), Angular Distortion(각변형), Transverse Shrinkage(횡수축)

Abstract

Approximately 70 percent of ship's hull plate consists of three-dimensional curved shell. Concerning with the research on the automation of plate forming many studies have been carried out for the last decade. The purpose of this study is to develop the simulator of heating on the basis of the reasonable mechanical model representing a heating phenomenon. The heating experiment has been carried out with varying parameters influencing on the results of heating information at the kinematics analysis, simulator estimate the shape of deformed plate that process along the processing information.

접수일자: 2001년 11월 7일, 승인일자: 2002년 4월 4일

* 현대중공업(주) 조선 사업본부 기획/지원부문 총괄중역

** 현대중공업(주) 조선 사업본부 기술개발부 부장(E-mail : hsryu@hhi.co.kr)

*** 현대중공업(주) 조선 사업본부 기술개발부 부장(E-mail : bgg@hhi.co.kr)

**** 현대중공업(주) 조선 사업본부 기술개발부 대리(E-mail : khgkim@hanmail.net)

When we get the initial shape and the object shape, we calculate the processing information first, using kinematics analysis. In a simulator we estimate deformed shape from the processing information. After this we compare deformed shape and object shape. If the error of deformed shape and object shape is in the proper limits, that information is determined the final processing information. Else we repeat the process changing variable

1. 서언

선체 구조는 여러 가지 형상의 판재와 형강재 등의 조합으로 이루어진 복잡한 구조물이며 특히 선수, 선미부등의 외판은 기하학적으로 복잡한 곡면 형상으로 성형되어진다. 이러한 선체 외판을 가공하기 위해서는 프레스, 롤러 등을 이용하는 기계적 냉간 가공법과 가열에 의한 잔류 열 소성 변형을 이용한 열간 가공법이 적용되고 있다. 일반적으로 단순한 1차 곡면의 성형에는 제어의 편의성 때문에 기계적 냉간 가공법이 많이 이용되고 있으나 양축 방향으로 곡률이 존재하는 경우 대부분 조선소에서는 1차 곡면에 대해 냉간 가공을 거친 후 열간 가공법을 이용하여 마무리 곡면을 성형하고 있다. 이러한 열간 가공법을 이용한 곡 가공 성형 물량은 선형에 따라 다소 차이는 있으나 전체 성형 물량의 70% 정도를 차지하고 있는 만큼 이의 효율성 향상은 선체 외판 생산성과 직결되고 있고 또한 전체 건조 공정에서도 중요한 위치를 차지하고 있다. 열간 가공법에 의한 곡가공은 일반적으로 판의 크기, 형상, 입열량, 냉각 방법 등 수많은 작업 변수에 따라 성형 결과가 달라질 수 있으므로 작업자의 경험과 감각에 의한 직무 계승과 작업 능력유지라는 극히 현실적인 측면과 경험이 있는 숙련자라도 성형물에 대한 충분한 정량적 Data를 갖고 있지 않아 시행 착오로 가공하고 있어 Process의 재현성이 불가능하므로 곡 가공 성형 작업의 자동화 기술개발의 중요성 및 시급성이 대두되고 있는 현실이다.

2. 열간 가공에 의한 곡면의 성형

열간 가공에 의한 곡가공법은 입열량의 배분에

따라 선상가열법과 삼각가열 법으로 구분되며 선체외판의 곡면 형상에 따라 달리 적용하고 있다.

2.1 곡면 형상의 분류

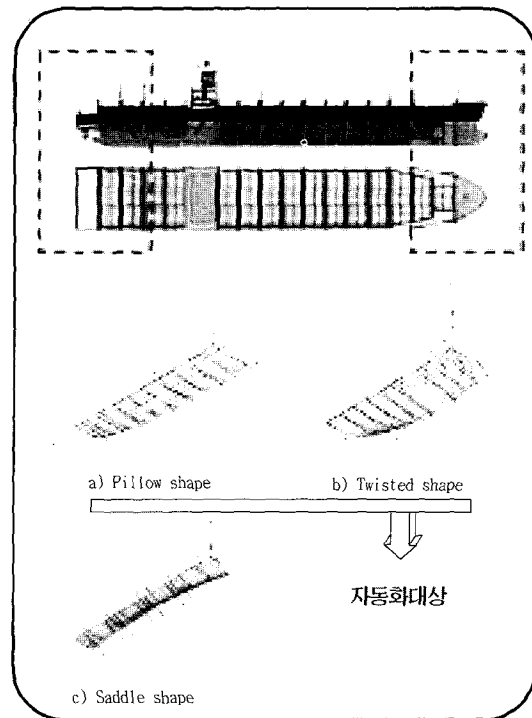


Fig. 2.1.1 Typical example of curved surface found in ship hull surface

선체 외판의 곡면 형상은 곡률의 분포에 따라 안형곡면(Pillow shape), 심형곡면(Saddle shape) 그리고 비틀림 곡면(Twisted shape)으로 나눌 수 있는데 선종에 따라 다소 차이는 있으나 비틀림 곡면(Twisted shape)은 전체 열간 가공 물량 중 약45% 정도를 차지하고 있고, 안형곡면(Pillow Shape)은 40% 정도의 점유율을 차지하는 반면

심형곡면(Saddle Shape)은 15% 내외에 불과하다. Fig. 2.1.1은 3가지 곡면의 전형적인 예를 보였다.

2.2 곡면 형상의 따른 곡 가공 자동화 대상
 이 중에서 비틀림 곡면(Twisted shape)는 냉각 가공(Cold Bending) 후 주로 선상가열 법에 의해 성형하고 있으며, 안형곡면(Pillow Shape)은 냉간가공(Cold Bending) 후 주로 삼각가열로 성형하는 대상물인데 반면 심형곡면(Saddle Shape)은 작업 중 대상물을 뒤집는(Turn over)는 공정이 추가로 발생하므로 자동화 적용 시 경제성 및 효율성 저하가 예상되므로 자동화 대상에서 제외시켰다. 따라서 본 연구에서의 곡 가공 성형 자동화 시스템 개발의 대상물은 안형 곡면(Pillow shape)와 비틀림 곡면(Twisted shape)으로 한정하였다.

2.3 열간 가공을 이용한 곡 가공 성형 공정
 곡 가공 성형 작업 공정은 Fig 2.2.1에 제시된 것과 같이 대상물의 입고에서부터 작업 후 출고까지 크게 9개의 공정으로 나눌 수 있는데 열간 가공을 이용한 곡 가공 성형 공정은 가열선 마킹과 가열 그리고 측정 공정으로 구성되어진다. 그러므로 곡 가공 성형 자동화 시스템이란 위 3개의 공정을 자동으로 수행하는 전산시스템과 전산시스템에서 생성된 Marking Data를 자동으로 인식하여 가열하고 측정하는 자동 가열 장비의 총체적 개념이라고 볼 수 있다.

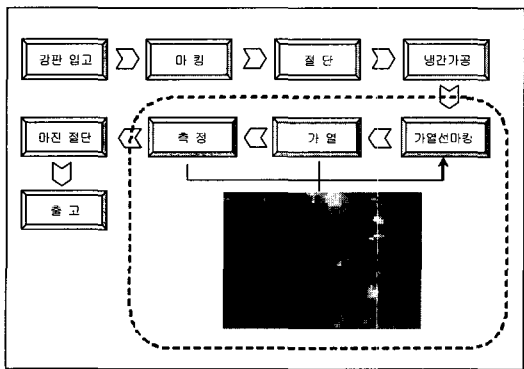


Fig. 2.2.1 Flow of plate forming process in shipyard

3. 자동화 SYSTEM의 구성

곡 가공 자동화 시스템 구축에 있어서 우선적으로 선결되어야 할 중요한 연구는 가공할 곡면에 대해 열원의 종류, 온도 및 속도 등 가열 조건이 주어졌을 때 가열 해야 할 위치 즉, Marking Data를 자동으로 생성할 수 있는 알고리즘과 이에 의거한 전산시스템의 개발에 관한 부분이다. 전술한 바와 같이 열간가공에 의한 곡 가공 성형 작업은 선체 외판의 곡률 형상에 따라 선상가열법과 삼각가열법이 구분 적용되고 있는데 선상가열 현상과 삼각가열 현상은 Mechanism에 다소 차이가 있으므로 자동화 시스템 개발에 있어 이를 분리하여 개발하였다.

3.1 선상가열과 삼각가열

Table 3.1 Comparison of line heating and triangular heating

항 목	선 상 가 열	삼 각 가 열
가열방법	입열량이 일정하도록 가열	입열량이 변하도록 가열
기본 Mechanism	굽힘변형으로 성형	굽힘과 수축변형으로 성형
성형 결과	가열선 방향으로 균일한 곡률	가열선 방향으로 불균일한 곡률

Table 3.1은 선상 가열과 삼각 가열을 비교한 Table로서 선상 가열을 이용한 강판의 곡가공은 국부적인 수축으로 변형하는 현상을 이용하는 것으로 가열면의 냉각 과정 중 수축으로 인해 발생하는 굽힘 변형 현상을 이용한 열가공법이고, 삼각가열은 선상 가열에 비해 가열선 방향으로 단위 길이 당 입열량을 증가시킴으로서의 굽힘 변형 뿐만 아니라 수축 변형을 유발시켜 성형하는 열가공법이다. 선상 가열은 가열선 방향으로의 속도가 일정하고 따라서 입열량 역시 일정하기 때문에 가열선 방향으로 성형시킬 변형량이 비교적 일정한 경우에 적용한다. 이와는 달리 삼각 가열은 가열선 방향으로 비례적으로 입열 되도록 하며, 이로서 가열선 방향으로 성형해야 할 곡률이 균일하지 않은 경우에 적용된다. Fig 3.1.1은 조선소에서 선

체 외판에 적용중인 선상가열법과 삼각가열법의 사례를 소개하였다. Fig 3.1.1에서 보는 바와 같이 선상가열 법에 의해 휩곡을 우선 성형 후 삼각가열 법으로 종곡을 마무리 성형하는 것이 일반적이다. 그래서 삼각가열 성형 프로그램 개발 시 상기 공정 순서를 반영하기 위해 선상가열 후 생성된 성형 곡면에 대한 DATA를 삼각가열 프로그램의 입력 DATA로 사용될 수 있도록 전산 시스템을 설계하였다.

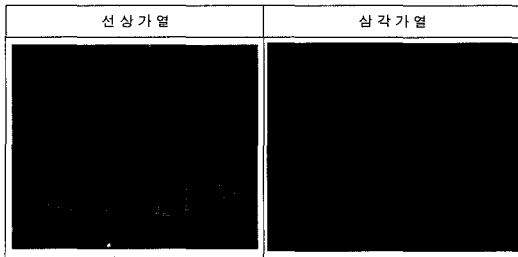


Fig. 3.1.1 Real surface of line heating and triangular heating

Fig 3.1.2와 Fig 3.1.3은 선상 가열법과 삼각 가열 법을 합리적으로 대변할 수 있는 비교적 간단한 역학적 모델을 도입하여 선상가열과 삼각가열 현상을 구현하였으며 이는 전산 시스템을 구축하는 이론적 배경으로 몇 가지 소형 모델에 대한 시험을 수행하여 역학적 모델링의 합당성을 확인하였다.(이주성,1998)

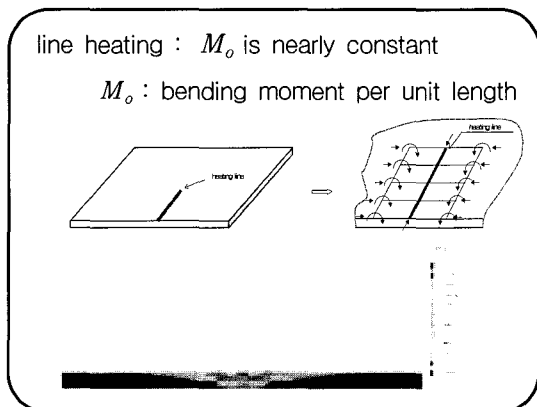


Fig 3.1.2 Mechanical modelling of line heating

triangular heating : ϕ_0 and s_0 vary linearly
 ϕ_0 : angular distortion per unit length
 s_0 : shrinkage per unit length

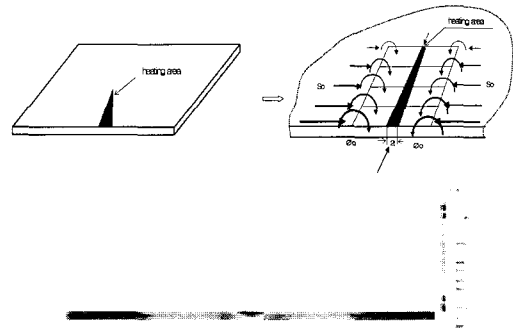


Fig 3.1.3 Mechanical modelling of triangular heating

3.2 열간 가공법을 이용한 자동화시스템 개념

일반적으로 자동화 시스템은 Marking Data를 생성하는 전산 시스템과 Marking Data를 전송 받아 가열 작업을 수행하는 자동 가열 장치로 분류된다. 자동 가열 장치는 기계적 제어에 해당되는데 software인 Marking Data의 자동 생성 전산 시스템이 더 중요한 위치를 차지한다. Fig 3.2.1은 자동화 가열 시스템의 개념 도를 나타낸 것으로 Fig 3.2.2에서 제시된 가공할 곡면의 Data를 전송 받아 전산 시스템 실행 결과로서 Marking Data 즉, 가열 선에 대한 정보가 생성되어 자동 가열 장치에 전달된다. 가열 선에 대한 정보에 따라 가열을 수행한 후 현재까지 성형된 곡면이 가공할 곡면에 얼마나 근접한 지를 비교하게 되는데 그 척도로서 유사성을 이용한다. 자동화 시스템으로 100% 일치하는 곡면을 성형하는 것은 현실적으로 어려움이 있으므로 허용 수준 이상의 유사성을 만족할 때까지 Marking Data의 생성 과정을 반복하게 되고 만족 할만한 곡면의 자료와 가열선이 얻어지면 Data Base에 저장한다. Data Base에 저장된 곡면의 자료와 가열 선에 대한 정보들은 새로운 곡면을 가공하기 위한 가열선의 정보를 효과적으로 산출하는데 활용하게 된다.

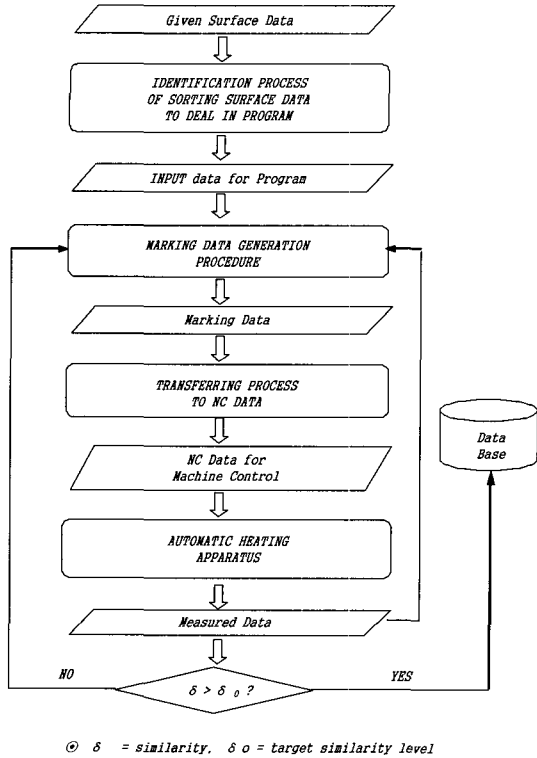


Fig 3.2.1 Conceptual diagram of automatic plate forming system

```

.....
TEMPLATE FOR PART: 1194 B626/C1
.....
*** TEMPLATE TYPE : WOOD ***
.....
TEMPLATE PART : B626/C1
TEMPLATE CURVE : SEAN-7-96-75
GLOBAL X-VALUE FOR TEMPLATE : 207400
DIST  OFFSET  Y      Z
-----
0      165    16253  2405  0
300    226    16466  2624
600    274    16667  2853
900    305    16853  3090
1200   318    17025
    
```

Fig. 3.2.2 Given data of heating plate

3.3 Marking Data의 자동생성을 위한 전산 시스템

전술한 바와 같이 선상가열 또는 삼각가열에 의한 전산 시스템을 구축하는데 있어 중요한 것은 Marking Data를 생성하는 과정이다. 이 과정은 가

열할 위치와 가열 조건을 결정하는 부분이며 이러한 가열 선을 이용해서 가공의 결과를 예측하는 Simulation 부분으로 크게 나눌 수 있다.

3.3.1 가열선의 위치 결정

강판을 가열할 때 가열선 수가 많으면 재료의 변화를 초래하므로 이를 방지하기 위해 가열선의 위치는 가능한 그 수가 적으면서 주어진 곡면을 성형 할 수 있도록 결정해야 한다. 여기에서 어느 위치를 가열하느냐 즉, 어느 위치에 각 변형과 수축을 얼마만큼 주어야 하느냐를 결정하기 위해 냉간가공(cold bending)의 여부와는 관계없이 현재까지 성형된 곡면을 주어진 곡면에 접촉시켜서 각 변형과 수축 량의 분포에 대한 결과를 이용해서 결정하는 방법을 활용한다.(Ueda,1992/1993) 각 변형과 수축 량의 분포는 비선형 유한 요소해석을 수행해서 구하고(이주성/구종도,1982) 상대적으로 각 변형과 수축 량이 큰 위치를 우선적으로 가열선의 후보로서 선정한다. 어느 가열단계에서 가열선을 최종적으로 결정하는 것은 다수의 가열선 후보들을 선정해서 구조시스템의 신뢰성 해석(reliability analysis of structural system)에서 이용하는 "Branching Technique"을 도입하여 가공할 곡면과 비교해서 가장 유사한 변형의 결과를 줄 수 있는 것을 가열 선으로 결정한다. Fig 3.3.1에서 h_{ij} 는 i 번째 가열단계에서의 j 번째 가열선 후보이고, δ_{ij} 는 현재까지 성형된 곡면과 가공할 곡면과의 유사한 정도를 표시하는 유사성(similarity)이다. 유사성은 현재까지 성형된 곡면이 가공할 곡면 즉, 주어진 곡면과 비교해서 닮은 정도를 표시하는 척도로서 아래의 식으로 정의될 수 있다.(이주성,1996)

$$\delta = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} d_{ij}^2}{N_T}}, d_{ij} = \frac{g_{ij} - c_{ij}}{g_{\max}} \quad (1)$$

식(1)에서 N_x 와 N_y 는 길이와 폭 방향으로 격자점(grid point)의 수이고, N_T 는 격자점의 총

수이다. c_{ij} 와 g_{ij} 는 격자점 (i, j) 에서 각각 현재까지 성형된 곡면과 주어진 곡면의 변위이고 g_{max} 는 주어진 곡면에 대한 변위의 최대치이다. 현재까지 성형된 곡면이 주어진 곡면과 비교해서 차이가 작을수록 유사성 δ 는 1.0에 가까운 값을 갖는데 이론상으로 $\delta = 1.0$ 이면 현재까지 성형된 곡면은 주어진 곡면과 완전히 일치함을 의미한다. 이러한 과정을 거치면 가열선이 각 가열 단계마다 하나씩 구해지게 되는데, 이러한 방법을 택하는 이유는 가열선의 위치가 같은 경우라도 가열 순서에 따라 최종적으로 성형되는 곡면의 형상이 달라지기 때문이다.

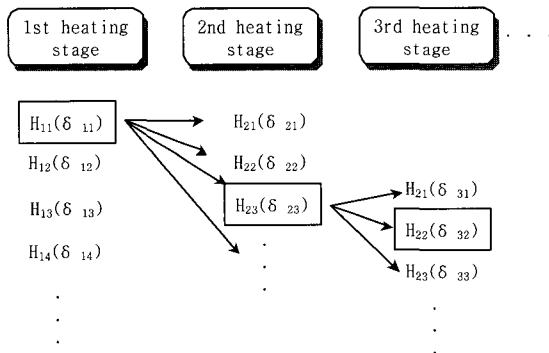


Fig 3.3.1 Concept of branching technique

3.3.2 각 변형 및 수축 변형의 간이 예측 모델

선상가열은 입열량과 각 변형 사이의 관계를 실험과 이론적 해석 결과를 토대로 정량적으로 수식화 할 수 있으며, 이 결과를 토대로 삼각가열로 인한 각 변형과 수축량을 정량화 할 수 있는 이론적 배경으로 활용하였다. 각 변형과 수축량은 입열량의 크기에 따라 달라지며, 개념적으로는 강판의 두께, 토치의 온도와 속도 및 냉각방법 등 가열 조건들의 함수로 표시할 수 있다. 가스와 산소의 압력이 정해지면 토치의 온도는 거의 일정하고 따라서 가열선 방향으로의 단위길이 당 입열량은 토치의 속도 즉, 가열속도에 의해 결정된다. 또한 냉각방법이 정해지면 가열선 방향으로의 각 변형

과 수축량은 가열속도의 함수로 표시할 수 있다. 가열속도는 곧 단위 길이 당 입열량과 직접적인 관계가 있으므로 선상가열인 경우 각 변형 ϕ_0 와 수축량 s_0 는 시편에 대해 Fig 3.3.2.1과 같이 LNG GAS와 산소의 혼합 GAS를 열원으로 하여 여러 차례 실험을 수행한 결과를 해석하여 아래의 식과 같이 각 변형 및 수축 등가 모델을 개발하였다. 아래 식에 제시된 각 변형 및 수축 등가 모델은 입열량 및 판 두께의 함수로 정의됨을 알 수 있다. 그리고 열간 가공 시 소비되는 연소 가스의 유량 측정은 Fig 3.3.2.2의 왼쪽과 같이 유량계 및 압력계를 직접 연결하여 실 작업 조건에서 측정하였다. 유량 측정 시 사용된 유량계는 대기압 하에서 공기 유량 측정용으로 사용되는 면적식 유량계이므로 측정된 유량을 식(2)을 이용하여 각 가스의 종류에 따라 측정된 값을 보정하고 이를 Fig 3.3.2.2의 오른쪽에 Table에 나타내었다.

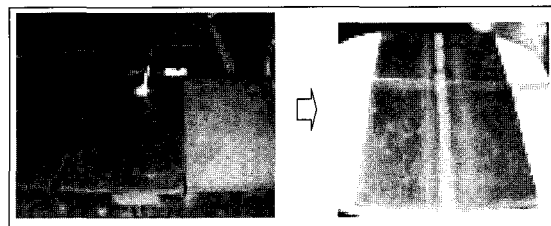


Fig 3.3.2.1 Experiment in heating

$$\phi_0 = 0.0035 \frac{Q_0}{t^{1.5}} [\times 10^{-3} rad]$$

$$s_0 = 4.2 \cdot 10^{-6} \frac{Q_0}{t}$$

(by Experimental Result)

$$Q = \eta Q_t : \text{단위 시간당 입열량(cal/sec)}$$

(Ueda, 1992/1993)

$$Q_0 = \frac{Q}{V} : \text{단위 길이당 입열량}$$

$$Q_t = 149A : \text{발열량}$$

t : 강판의 두께(cm)

V : 가열속도(cm/sec)

$$\eta = \left(\frac{V}{A} \right)^{0.17} \cdot 0.52 \quad \text{: 열효율}$$

A : 가스의 유량 (by The Flow Meter)

A_{LNG} : LNG Gas의 유량

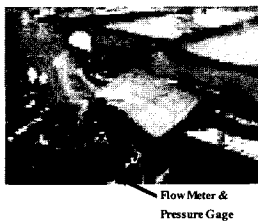
$$A_{LNG} = A_{air} \sqrt{\frac{\gamma_{air}}{\gamma_{LNG}} \sqrt{\frac{(1.0332 + P_{LNG})(273 + t_{air})}{(1.0332 + P_{air})(273 + t_{LNG})}}} \quad (2)$$

Where

$\gamma_{LNG}, \gamma_{air}$: Specific gravity of LNG and air

P_{LNG}, P_{air} : Pressure of LNG and air

t_{LNG}, t_{air} : Temperature of LNG and air



	P (kgf/cm ²)	A (L/min)
Ethylene (CH ₂)	0.8	10~20
LNG (CH ₄)	5.0	240

Fig 3.3.2.2 Measurement of flow rate and pressure for LNG line

가열조건으로서 필요한 것은 가열속도를 구하는 것인데 각 변형과 수축량의 분포로부터 가열선의 후보가 선정되면 그 가열 선에 대해 가열선 방향으로의 각 변형과 수축량이 결정되고 따라서 위의 식으로부터 역으로 가열선 방향으로 가열속도의 분포를 결정할 수 있다. 삼각가열시 입열량과 각 변형량 및 수축량 사이의 관계는 선상 가열과는 달리 각변형에 의한 굽힘 모우먼트 뿐만 아니라 수축에 의한 면내력을 작용 시켜야 하고 가열 속도가 가열선 방향으로 일정하지 않아서 입열량이 가열선의 위치에 따라 변하므로 작용하는 굽힘 모우먼트와 면내력이 가열선 방향으로 변화 될 수 있도록 해야 한다. 본 연구에서는 삼각가열 효과를 반영하기 위하여 속도를 선형적으로 변화하는 방법을 이용하였는데 Fig 3.3.2.3에서는 가열 속도와 각 변형량(또는 수축량)의 분포를 보여 주는데 단위길이 당 입열량 Q_0 는 가열 속도에 반비례 하

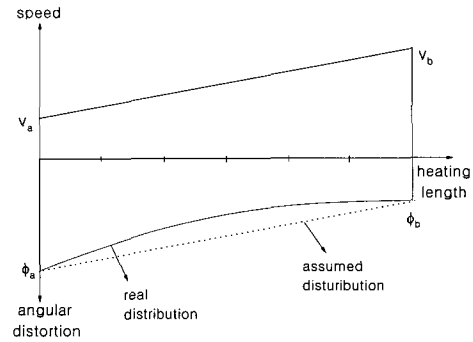


Fig 3.3.2.3 Distribution of ϕ_0 along heating line with varying heating speed

지만 각 변형량 ϕ_0 는 속도에 선형 함수가 아니다. 그러나 비선형을 시뮬레이션 과정에서 고려하는데 많은 어려움이 있으므로 본 연구에서는 속도가 V_a 와 V_b 일 때 적용되는 각 변형량 ϕ_a 와 ϕ_b 를 구하여 a점에서 b점까지 선형적으로 변한다고 가정하였다. 이러한 과정은 수축량 s_0 에 대해서도 마찬가지로 적용하였다. simulation의 변형량은 구조해석을 수행해서 구하게 되는데 대상 모델을 3절점 또는 4절점 판요소(plate element)로 모델링하고 굽힘 모우먼트와 면내력을 작용시키는 대신 가열선에 대한 각 변형량과 수축량의 가열선 방향으로서의 분포가 주어지면 이를 강제 변위조건 (forced boundary condition)으로 주는 유한요소해석을 통해 추정하였다. 유한요소해석을 위한 요소 분할과 필요한 입력 자료는 가열선 마다 일일이 입력하는 것은 효율적이지 않으므로 가열선의 위치, 가열조건 등 가열 선에 대한 정보들을 이용해서 전산 시스템 내에서 자동적으로 생성할 수 있도록 하였다. Fig 3.3.2.4에서 요소의 자동 분할 결과를 예시한 것이다. 이러한 방법으로 삼각가열의 각 변형량을 정량화 하면 다음과 같은 식(3)으로 정의 할 수 있다.

$$\psi(\epsilon) = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{\phi_b - \phi_a} \cdot (\epsilon - \epsilon_a) + \phi_a \quad (3)$$

- ϵ : 가열선 방향으로의 좌표
- ϵ_a, ϵ_b : a 와 b 점의 좌표
- ϕ_a, ϕ_b : a 와 b 점에서의 가열선 속도와 V_a 와 V_b 에 대응되는 각변형량
- V_a, V_b : a 와 b 점에서의 가열속도

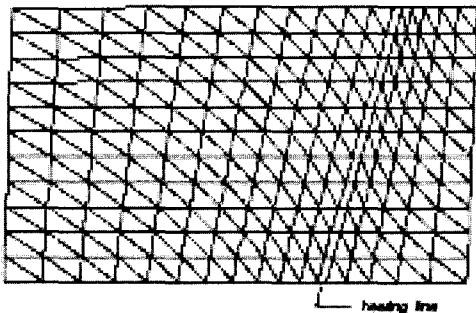


Fig 3.3.2.4 Example of automatically generated mesh

수축량에 대해서도 동일한 가정으로 적용하면 된다.

3.4 Marking Data의 자동생성을 위한 전산 시스템의 구성

전술한 바와 같이 주어진 곡면의 Data가 입력 되면 우선적으로 설계 Data로부터 곡량의 분포를 나타내는 Data만을 sorting 하여 설계 Data와의 interface 작업을 수행하게 되고, 설계 Data와의 interface가 완료되면, 가열할 강판에 대한 완성 곡면을 3차원으로 표시 할 수 있게 된다. Fig 3.4.1의 a)는 실제 대상물의 완성 형상을 3차원으로 표시한 결과이다. 또한 interface가 완료되면 설계 Data에 주어진 완성 곡면을 가공하기 이전인 평판으로 전개하는 작업이 수행되게 되는데, Fig 3.4.2의 b)는 열간 가공법으로 성형되는 대상물의 전개도를 도시한 것이다. 이러한 강판의 전개가 완료되면 본 연구의 목적인 가열선의 위치 즉, Marking Data와 가열속도를 결정하는 Program이 수행되게 된다. 이때 냉각가공(cold bending)후 곡량의 변화를 사용자가 수치적으로 알 수 있도록

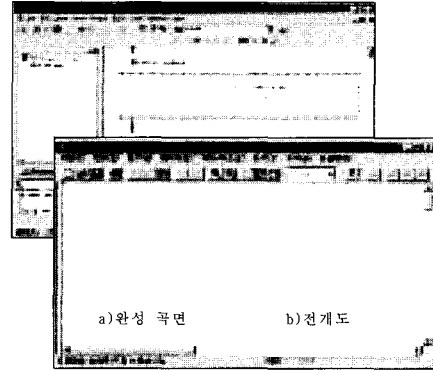


Fig 3.4.1 Given surface and developed surface

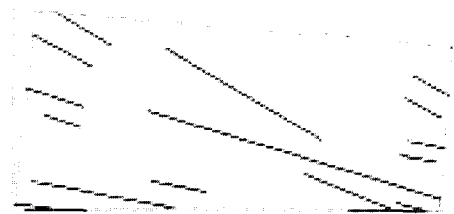


Fig 3.4.2 Display of heating line

가 열 정 보						
NO	START POIN'		END POINT		Heating Length (mm)	Heating Speed (mm/min)
	X	Y	X	Y		
1	326	485	2707	45	2421	350
2	6679	1183	7272	1066	604	250
3	6473	142	6986	5	532	250
4	4912	618	6403	17	1608	650
5	6542	925	7133	811	602	250
6	2580	2709	5186	1202	3010	400
7	2336	494	3265	315	946	400
8	690	3321	1636	2773	1093	800
9	246	2071	1213	1754	1017	650
10	2279	1675	7200	214	5133	600
11	6737	2281	7338	1949	687	800
12	15	108	660	27	650	700
13	329	2955	1349	2411	1156	800
14	524	1621	1175	1392	690	700
15	6628	1894	7239	1564	694	800

Fig 3.4.3 Marking data

각 가열 단계마다의 변형량 정보를 제공 할 수 있도록 시스템을 구성하였고, 또한 자동으로 생성된 Marking Data 즉, 가열 선은 가열 작업 후 완

성 곡면과의 유사성의 정도를 정량적으로 계산하여 사용자에게 제공한다. Fig 3.4.2는 본 연구 과제인 Heating Line를 도시한 예이며, Fig 3.4.3과 같이 각각의 가열 선은 X축과 Y축이 만나는 원점에 대한 절대 좌표로 생성되고, 각 가열선마다 길이와 가열 속도가 자동으로 생성되어 자동 가열 장비를 제어 할 수 있는 기본적인 Data로 활용된다.

3.5. 전산 시스템의 적용성에 대한 고찰

본 연구에서 개발한 Marking Data 자동 생성을 위한 전산 시스템의 적합성을 검증하고자 실제 모델에 대해 현장 실험을 실시하였다. 아래 내용은 선상가열 및 삼각가열 자동화 전산 시스템에 대한 현장 적용 가능성 Test를 실시한 결과로 대체로 대상물의 비틀림 정도는 만족할 만한 수준이며 자중에 의한 처짐 정도와 냉각 가공 시 오차 및 Torch의 Stick-out 등 외부적 요인으로 인해 부분적인 Over Heating이 발생하였으나 완성 곡면과의 유사성은 프로그램 계산과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있어 전산 시스템의 합당성을 검증 할 수 있었다. Fig 3.5.1은 실제 모델에 대한 수차례의 실험 중 한 가지를 예시한 것으로 Test의 정도를 높이기 위해 속도 제어가 가능한 간이 기구를 제작하여 자동 가열 장치에서 구현하는 방법과 거의 동일하게 Heating Test를 수행하였다. 상기 결과에서 보는 것과 같이 곡 가공 성형작업을 자동으로 수행하여 100% 완성 곡면을 성형하기란 사실상 불가능하므로 가열 후 유사성(δ)이 0.85 이상 되면 나머지는 종전과 동일한 방법으로 작업하는 것이 작업 시간 단축 및 제어 기구의 가동률 등을 고려해 볼 때 합리적인 것으로 판단되어 프로그램 Logic에 유사성 조건을 부여하여 유사성 정도가 원하는 수준 이상에 도달하면 프로그램을 종료하도록 하여 전산 프로그램에서의 가열선 산출 시간을 현실적으로 단축시켰다. 또한 가열에 영향을 줄 수 있는 외부적 인자에 대한 제어 방법에 대해서도 지속적인 연구를 해오고 있어 프로그램의 정확도를 높일 수 있을 것이라 기대된다.

4. 곡 가공 성형 가열 장치

곡 가공 성형 자동화 시스템은 상기의 전산시스템의 결과로서 생성되는 가열선의 좌표 및 가열속도를 기본 DATA로 전송받아 위치 보정 및 속도를 제어할 수 있는 장치를 적용하므로 실현되는데, 가장 이론적으로 합리적인 제어기구는 선상 가열과 같이 균일한 속도로 가열하는 경우뿐만 아니라 삼각 가열과 같이 속도가 불균일한 경우에도 제어할 수 있는 제어기구(Control Mechanism)를 고안해서 최종적으로 선상가열과 삼각가열을 동시에 구현할 수 있는 자동가열 장치를 설계 및 제작해야 하나 제어의 복잡성 및 경제성으로 인해 우선 제어가 비교적 간단한 선상가열을 주 대상으로 하는 Heating 장치에 대해 검토하였으며 가능한 가열시간을 단축하고자 하기와 같이 Multi-Torch의 독립 제어 기구를 구상하였다.

[기본 사양]

- ① Gantry Crane Type(이동가능)
- ② Three Torch 독립 제어(X,Y,Z축)
- ③ 강판과 Torch 수직도 제어
- ④ Water Cooling 장치
- ⑤ 곡면 Measuring 장치
- ⑥ Plate Support 장치
- ⑦ Teaching & Play-Back 기능

·원점을 기준으로 수동으로 각 토치별 위치를 순차적으로 기억시킨 후 자동으로 Teaching된 가열 선을 추적 할 수 있는 기능
·성형 프로그램 오류 시 작업자에 의해 수동 마킹된 가열선 좌표를 곡 가공 가열 장비가 인식할 수 있는 기능

Fig 4.1.1은 Multi-Torch 가열장비의 개념도를 도시한 것으로 곡 가공 자동 성형 장비는 전산 시스템의 결과인 Marking Data를 NC Data로 변환하여 LAN을 통해 전송 받게 된다. 이때 전송 받은 DATA는 가열선 Group의 기울기 및 가열속도와 시종점 좌표가 상이하므로 이에 대응할 수 있도록 Sub x축을 구성하여 상대속도 개념을 이용하여 제어함으로써 장비의 경제성과 효율성 및 작

업성을 확보할 수 있도록 전체적인 System을 구성하였다.

및 연구개발로 現 전산 시스템의 문제를 꾸준히 보완해 나갈 계획이다.

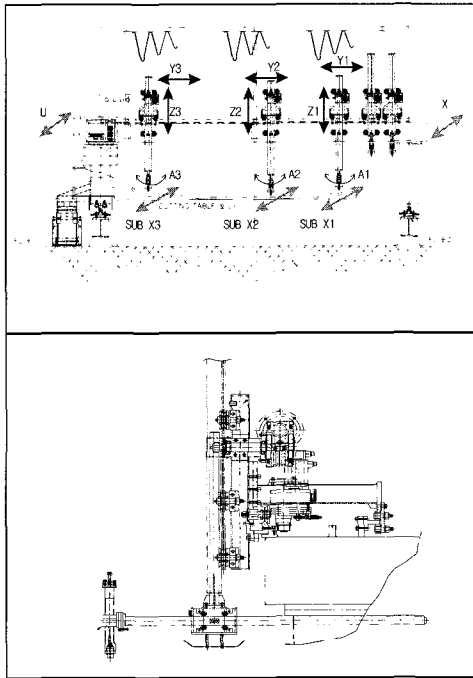


Fig 4.1.1 Automatic line heating machine

5. 결 론

곡 가공 성형 자동화 시스템 개발은 국내외 조선소에서 많은 연구가 진행되고 있으나 3차원 곡면 형상이 다양하고 성형 작업 시 가열에 영향을 줄 수 있는 많은 종류의 인자가 존재하므로 이를 총체적으로 제어하지 못해 아직 그 성과는 다소 미비한 편이다. 상기 연구 결과도 부분적으로 보완되어야 할 문제가 있어 기대 수준에는 미치지 못하나 여러 가지 인자에 대한 제어 방법을 지속적으로 연구하고 있어 프로그램의 정도를 보다 향상시킬 수 있을 것이라 기대되며, 본 연구의 목적인 전산 시스템의 현장 검증을 통해 가능성을 확인하였다는 측면에서 소기의 성과가 있다고 할 수 있겠다. 향후 보다 정확한 전산 시스템의 개발하기 위해서 실제 모델에 대해 보다 광범위한 실험

참 고 문 헌

- 이주성, "선상가열법에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템(II)", 대한조선학회 논문집 33권 3호, 1996, pp. 81-93
- 이주성, "선상가열법에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템(III)", 대한조선학회 논문집 34권 2호, 1997, pp. 85-89
- 이주성, 구중도, "선체구조물에 관한 비선형 해석 연구", 대한조선학회지, 20권 1호 1982, pp.11-20
- 이주성, "강판의 곡가공을 위한 Marking 자동생성 시스템개발", 현대중공업-울산대학교 산학협동연구 최종보고서, 1995
- 이주성, "곡가공 수치제어 시스템 개발", 현대중공업-울산대학교 산학협동연구 최종 보고서, 1996
- 이주성, "차세대 조선생산시스템 기술개발(III)", 현대중공업-울산대학교 위탁기술개발, 3차년도 중간 보고서, 1998, pp.102-123
- Ueda et.al., "Development of Computer Aided Process Planing System for Plate Bending by Line Heating(2nd report)", J. Society of Naval Architecture of Japan, vol.171, 1992, pp.409-419
- Ueda et.al., "Development of Computer Aided Process Planing System for Plate Bending by Line Heating(4th report)", J. Society of Naval Architecture of Japan, vol.171, 1993, pp.4683-695
- Nomoto, T. and Aoyama, "Development of Simulator for Plate Bending by Line Heating", J. Naval Architecture and Ocean Engineering, Society of Naval Architecture of Japan, vol.30, 1993, pp.143-148



< 류희승 >



< 이박인 >



< 김학곤 >



< 변구근 >