

곡가공에서 인공신경망을 이용한 가열선 예측 기법

양 영 수 Truong-Think Nguyen·배 강 열

Prediction of Heating Line for Plate Forming in Induction Heating Process Using Artificial Neural Network

Young-Soo Yang, Truong-Think Nguyen and Kang-Yul Bae

1. 서 론

선박제조공정에 사용되는 곡강판(curved-steel plate)은 주로 가스화염이나 유도가열을 이용한 곡가공 성형 공정으로 제작된다. 곡가공 공정에는 변형형상에 따라 선상가열과 삼각가열이 활용되고 있고, 선상가열은 직선상을 따라 가열하면서 한 방향의 곡률을 갖는 곡면형상의 제작에 사용되며, 삼각가열은 강재의 가장자리를 삼각형 모양으로 가열하여 오목한 곡면 형상을 얻고자 할 때 적용된다¹⁾.

본 강좌에서는 곡가공 공정에서, 원하는 곡강판 형상이 주어진 경우, 가열선 위치, 가열 속도 등 가열 변수를 인공신경망(Artificial Neural Networks, ANN)을 이용하여 산출할 수 있는 기법을 소개하고자 한다. 선상가열과 삼각가열 공정을 모델링하여 강판의 변형을 수치적으로 해석한 결과를 이용하면, 가열 변수와 변형량의 관계를 확보할 수 있고²⁻⁴⁾, 해석에서 구한 변형량을 신경망의 입력데이터로, 변형량 생성에 필요하였던 가열 변수를 출력데이터로 활용하여 신경망을 학습(learning)하고 시험(test)할 수 있다. 선상가열과 삼각가열의 각각에 대하여 신경망을 구축하여 학습하는 과정과 구축된 신경망을 적용한 결과로서, 출력된 가열 변수를 이용하여 강판을 가열하고, 가열 후 변형된 형상과 주어진 목적 형상을 비교하는 과정을 보이고자 한다.

2. 인공신경망을 이용한 가열 변수 예측

2.1 인공신경망 개요

Fig. 1은 선상가열을 위해 제안된 인공신경망의 구조를 보여 주고 있다. 원하는 강판의 형상 정보가 제공되는 입력층(input layer), 강판의 가열 변수가 출력되

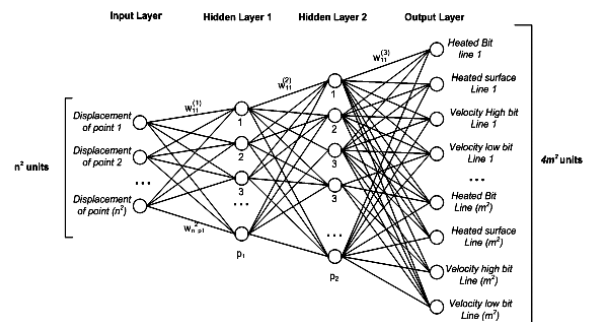


Fig. 1 Structure of four layered artificial neural network for line heating

는 출력층(output layer), 내부에 은닉하고 있는 뉴런(neuron)의 집합체인 은닉층(hidden layer) 그리고 입력력과 은닉층 사이에 지식과 정보를 저장하는 시냅스(synapse)의 연결강도(weight) 등으로 구성되어 있다. 출력층에서 각 뉴런의 출력값은 다음과 같이 결정된다⁵⁾.

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij}\right) \quad (1)$$

여기서 x 는 입력 단위(unit)의 집합을 나타내는 입력벡터, w_{ij} 는 출력 단위 j 에 대한 연결강도, y 는 출력벡터, f 는 시그모이드(sigmoid) 함수로 나타낸 전이함수(transfer function)이고, $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ 로 표현된다.

신경망의 학습은 단위 요소 간의 연결강도를 일정한 규칙에 따라 조절하는 과정이며, 이때 적용되는 규칙을 학습규칙이라고 한다. 일반적으로 활용되는 학습규칙은 오류 역전파(back propagation) 알고리즘이고, 출력값과 기대값을 비교하여 차이를 줄여 나가는 방향으로

연결강도를 조절하게 된다⁵⁻⁷⁾.

가열 변수를 생성하기 위한 인공신경망의 모델링 과정은 신경망의 학습과 시험의 2개 단계로 구성된다. 학습과정에서는 신경망의 연결강도를 조율함으로써 새로운 지식을 습득하게 하고, 시험단계에서는 신경망의 예측 능력과 유용성을 가늠하게 된다.

2.2 선상가열에서 가열선 위치 및 가열 변수

평판을 동일한 간격의 격자로 나누고, 변형된 후, 각 격자점의 z축 방향 수직변위(h_i)를 신경망의 입력요소 값으로 취한다. 출력요소는 변형된 강판 형상을 생성하기 위한 가열 변수로, 가열위치, 가열면(전면 또는 후면), 속도 등으로 구성된다. 하나의 가열위치는 가열면과 가열속도를 포함하는 가열선이 된다.

출력층에서 각 요소의 출력 값은 이진(binary) 값으로 부호화되어 있고, 각 가열선은 4개의 파라미터로 예측된다. 파라미터 1은 가열여부를 나타내어, 값이 1이면, 해당 가열선에 가열이 수행되어야 함을 의미하며, 0이면 가열되지 않음을 나타낸다. 파라미터 2는 값이 1이면 전면에 가열을 수행하고, 0이면 후면을 가열하게 됨을 의미한다. 파라미터 3은 이진 값의 조합으로 5, 10, 15, 20m/s 의 4가지 가열속도를 나타낸다. 이를 위해 신경망의 출력값은 다음과 같이 한계값과 비교하여 결정된다.

$$y_j = 1 \quad \text{if} \quad f\left(\sum x_i w_{ij}\right) \geq 0.5 \quad ;$$

$$y_j = 0 \quad \text{if} \quad f\left(\sum x_i w_{ij}\right) < 0.5 \quad (2)$$

가열위치는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 강판에서 생성 가능한 m^2 개의 평형선, 수직선, 대각선으로 구분하

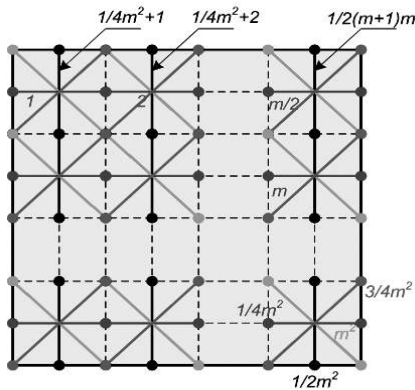
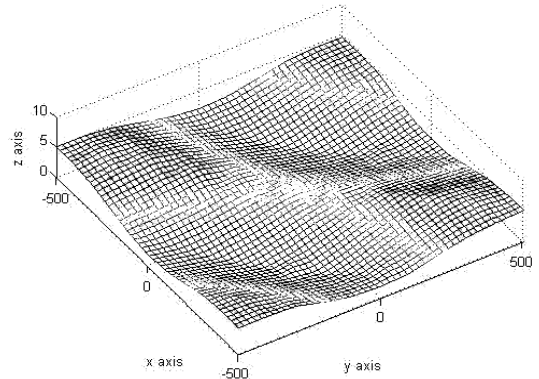
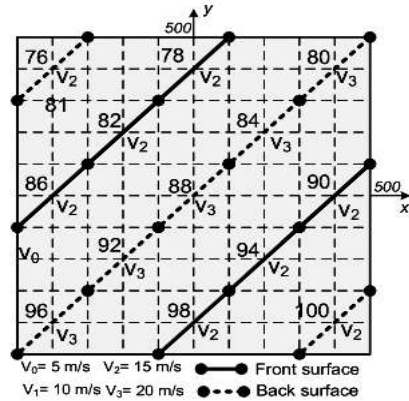


Fig. 2 Schematic diagram of heating paths



(a) desired shape



(b) predicted heating paths and their heating parameters

Fig. 3 Input and output of simulation with the ANN model

고, 이들을 따라 가열토치가 움직이게 된다. 따라서 인공신경망에서 강판가열에 예측 가능한 가열선은 최대 m^2 개가 된다. 각 가열선은 4개의 파라미터를 포함하여, 출력층에서는 총 $4m^2$ 개의 요소가 존재한다.

제시된 인공신경망을 학습하고 시험하기 위하여, $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 20\text{mm}$ 의 크기를 가진 강판에 대하여, 유도가열에 의한 변형 데이터를 해석적 방법으로 확보하였다^{3,4)}. 이때 변형을 산출하기 위한 격자 간의 간격은 100mm로 설정하였다. 학습에서는 수학적 처리에 수 시간이 소요되나, 시험은 수 초의 매우 적은 시간을 필요로 하게 된다. 해당 강판의 목적 곡면이 주어진 경우, 인공신경망을 이용하여 가열에 필요한 변수를 예측한 결과가 Fig. 3에 나타나 있다. 예측된 가열 위치 등 가열 변수를 이용하여, 강판의 가열을 해석한 시뮬레이션 결과는 목적 곡면과 유사한 형태를 보였다.

2.3 삼각가열에서 가열 위치 및 가열 변수

Fig. 4에 보인 바와 같이, 사각 평판을 x_1 방향과 x_2

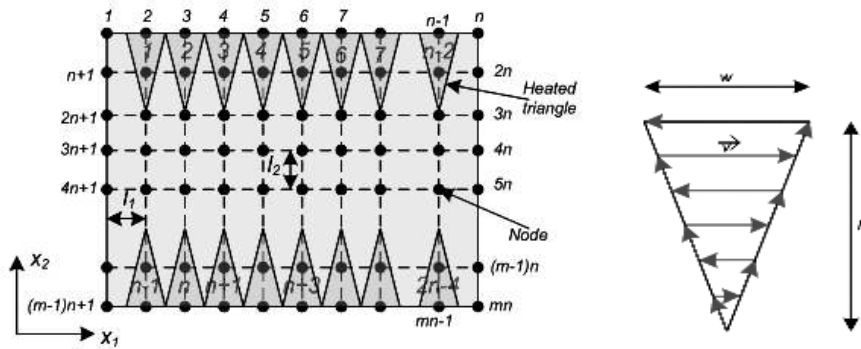


Fig. 4 Schematic diagram of nodes, heated triangle and triangle heating's configuration placed on plate

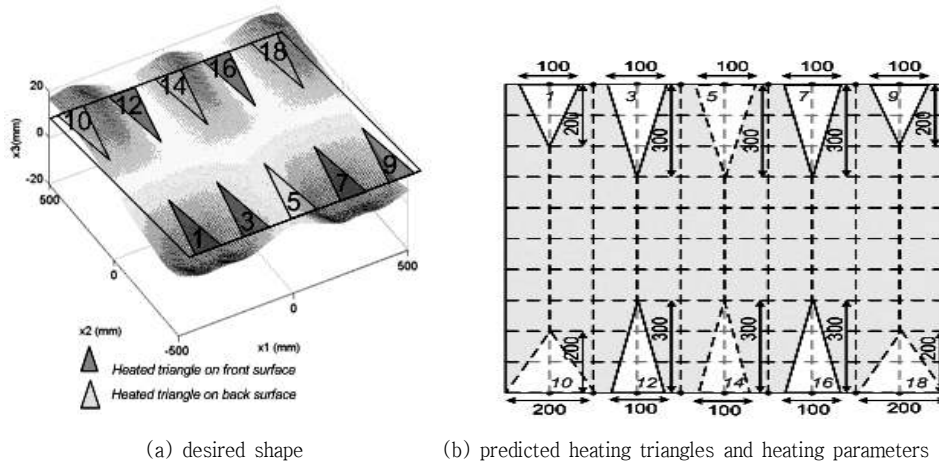


Fig. 5 Input and output of simulation with the ANN model

방향에서 각각 l_1 과 l_2 의 등간격으로 분할하고, 격자점 mn 개의 위치를 생성한다. 삼각가열 후 강판은 변형되고, 변형 해석 해를 이용하면, 각 격자점에서 횡수축 (transverse shrinkage)과 종변위(vertical displacement)를 얻을 수 있게 된다^{2,4)}. 격자점 i 에서는 x_3 축 방향(x_1 과 x_2 에 수직)을 따르는 종변위 h_i 와 x_2 축 방향의 횡수축 s_i 를 갖게 된다. 따라서 입력벡터는 mn 개 격자점의 모든 위치에서의 변형형상으로 표현되는 $2mn$ 개의 요소(unit)를 갖게 된다.

출력벡터는 삼각가열의 위치, 가열면, 삼각가열의 크기 등의 변수를 나타내는 요소로 구성된다. 삼각가열의 위치는 Fig. 4와 같이 $2n - 4$ 개로 구분하여 나타낼 수 있으며, 강판의 하부 가장자리와 상부 가장자리를 따라 형성되어 있다. 각 삼각가열 위치는 4개의 파라미터로 구성된다. 파라미터 1은 삼각가열이 필요한 지 그렇지 않은 지를 각각 1과 0으로 나타내고, 파라미터 2는 가열면이 전면 또는 후면인지를 각각 1과 0으로 나타낸다. 파라미터 3은 가열 폭인 밑변의 2가지 종류를 0, 1

로써 나타내며, 파라미터 4는 가열높이를 2가지 종류로 나타내게 된다.

곡 가공에서 삼각가열의 위치 등 가열 변수를 예측하기 위한 신경망 모델은 Fig. 1과 유사하게 제안할 수 있고, 선상가열과 동일한 방법을 적용하여 구축할 수 있다. Fig. 5는 구축된 신경망을 1000mm×1000mm×25mm 크기의 강판 가공에 적용한 예를 보여 준다.

Fig. 5(a)에 보인 바와 같이 목적 곡면이 주어지면, 격자점에서의 변위는 신경망을 시험하기 위한 입력 벡터로 저장된다. 신경망을 시험한 결과의 출력은 Fig 5(b)와 같은 삼각가열 위치 등 가열 변수가 된다. 결과에서, 실선은 강판의 정면에서의 가열을 의미하고, 파선은 이면 가열을 의미한다. Fig. 5(b)에서 보인 신경망의 출력으로써 강판에 대한 가열 시뮬레이션 해석을 수행하면, 강판의 변형 형상은 Fig. 5(a)에 나타낸 목적 곡선과 매우 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

3. 결 론

선상가열과 삼각가열을 이용하는 강판의 곡가공 공정

에서, 원하는 곡면의 형상을 얻기 위한 가열선을 용이하게 예측할 수 있는 인공신경망을 구축할 수 있다. 이를 위해서는 우선 곡가공 공정에서 강판의 변형을 효과적으로 예측할 수 있는 해석 식을 활용하여, 강판의 가열 변수와 변형량과의 관계를 얻고, 이를 데이터베이스로 구성한다. 다음은 변형된 형상을 입력요소로 하고 가열 변수를 출력요소로 하는 인공신경망을 구축한다. 데이터베이스로 구성된 가열변수와 변형량과의 관계를 활용하여, 인공신경망을 역전파 알고리즘을 적용하여 학습하는 동시에, 예측 오차를 최소로 하는 최적의 층수와 뉴런의 수를 결정한다. 최적의 인공신경망 구축이 완료되고, 가공되어야 할 형상의 곡면이 주어지면, 인공신경망은 곡가공에 필요한 가열 변수를 예측할 수 있다. 이와 같은 과정을 이용하여 강판을 가열하는 모사 해석의 결과, 가열된 강판은 주어진 목적 형상과 잘 일치하는 것으로 나타나, 인공신경망은 목적하는 곡면 형상을 얻기 위한 가열 변수를 효과적으로 예측할 수 있는 기법으로 판단되었다.



·양영수
·1963년생
·전남대학교 기계공학과
·용접변형 및 잔류응력 해석
·e-mail : ysyang@chonnam.ac.kr



·Truong Thinh Nguyen
·1974년생
·Hochiminh City University of Technical Education
·용접공정 해석 및 인공지능
·e-mail : truongthinhs@yahoo.com

- ### 참 고 문 헌
1. Chang-Doo Jang, Dae-Eun Ko, Sung-Choon Moon, and Yon-Rok Seo : Simulation of Plate Deformation by Triangle Heating Process, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 38-4 (2001), 66-74 (in Korean)
 2. T.-T. Nguyen, Y.-S. Yang, and K.-Y. Bae : Analysis of Bending Deformation in Triangle Heating of Steel Plates with Induction Heating Process Using Laminated Plate Theory, Mechanics Based Design of Structures and Machines, 37 (2009), 228-246
 3. T.-T. Nguyen, Y.-S. Yang, and K.-Y. Bae : The development of an Artificial Neural Network Model to Predict Heating-Line Positions for Plate Forming in Induction Heating Process, Mechanics Based Design of Structures and Machines, 37(2009), 201-227
 4. N. T. Thinh : Prediction of Heating-Line Paths in Induction Heating Process using the Neural Network, PhD Dissertation, Chonnam National University, 2010
 5. Kwang-Jae Son, Young-Soo Yang, and Kang-Yul Bae : Prediction of Heating-line positions for line Heating Process by Using a Neural Network, Journ. of KWS, 21-4 (2003), 401-408 (in Korean)
 6. Martin T.Hagan, Howard B.Demuth, and Mark Beale : Neural Network Design, PWS Publishing Company, 1996
 7. Raul Rojas : Neural Networks A systematic Introduction, Springer, 1996



·배강열
·1962년생
·진주산업대학교 메카트로닉스공학과
·용접공정 해석 및 자동화
·e-mail : kybae@jinju.ac.kr