

# 신경회로망을 이용한 순 티타늄판재의 음향이방성 평가

## Acoustical Anisotropy Evaluation of Pure Titanium plate Using Neural Network

박희동<sup>1,✉</sup>, 윤인식<sup>2</sup>, 이원<sup>1</sup>  
 Hee-Dong Park<sup>1,✉</sup>, In-Sik Yun<sup>2</sup> and Won Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 숭실대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Soongsil Univ.)  
<sup>2</sup> 경기과학기술대학교 메카트로닉스과 (Department of Mechatronics, Kyonggi National University of Science and Technology)  
 ✉ Corresponding author: pgun21@hanmail.net, Tel: 032-472-9001

Manuscript received: 2011.3.16 / Revised: 2011.6.2 / Accepted: 2011.7.5

*This research quantitatively confirmed an acoustical anisotropy that exists in a pure titanium plate from the signal of ultrasonic flow detection and suggested a new way to evaluate the acoustical anisotropy by inputting acquired characteristic of ultrasound signal into the neural network. Using the fact with the suggested method that the characteristic of ultrasound signal is shown differently depending on the pure titanium plate's rolling direction, the neural network was constructed by extracting the characteristic that can decide each direction of 0°, 45°, and 90° with waveform analysis program. As a result of inputting the characteristic of ultrasound signal acquired from a random rolling direction into the neural network that was built like this, it showed a pattern recognition rate higher than 95% on directions of 0°, 45°, 90°.*

Key Words: Rolling Direction (압연방향), Angle of Refraction (굴절각), Connection Weight (연결강도), Neural Network (신경회로망), Acoustical Anisotropy (음향이방성)

### 1. 서론

티타늄<sup>1</sup>은 비강도가 높고, 내식성이 우수하여 항공, 우주, 화학플랜트, 열교환기 등에 사용되는 중요한 구조용 소재이다. 이와 같이 구조적으로 중요한 곳에 사용되기 때문에 용접부에 대한 건전성 평가는 중요하다. 티타늄은 용접부의 특성상 열 영향부가 용착금속부와 모재부에 비하여 경도와 충격치가 높다는 점과 용접 시, 산소, 질소, 수소와의 친화력이 강하다는 점을 고려할 경우 용접결함의 발생가능성이 크다고 할 수 있다.<sup>2,3</sup>

따라서 용접부에 존재하는 각종 결함을 검출하고 이에 대해 정량적으로 평가하는 것이 매우 중요하다. 현재 용접부의 내부결함을 검사하는데 있어 널리 사용되고 있는 방법으로는 방사선 투과와

초음파 탐상 등이 있다.

이중에서 방사선 투과( $\gamma$ -ray 나 X-ray)에 의한 방법은 비파괴검사 분야에서 가장 폭넓게 사용되고 있지만, 방사선 피폭에 의한 사용자의 피폭 위험성, 방사선 필름 해독을 위한 현상 및 실시간 결과처리의 불가능 등과 같은 많은 문제점을 내포하고 있다.

초음파에 의한 방법은 인간에게 치명적인 피폭 등의 문제점을 갖고 있는 방사선 투과에 의한 방법을 대체하고, 실시간 결과처리의 강점을 갖고 있으며 작업효율이 높은 등의 장점이 있어 건축, 화학, 화력·원자력 등과 같은 산업 플랜트에서의 건전성 및 안전성 평가방법으로 각광받고 있다. 초음파 탐상시 결함을 정확하게 평가하기 위해서 가장 먼저 확인하여야 할 것은 음향 이방성이 존

재하는 강제일 경우 압연방향과 압연직각방향을 확인하고 각 방향에 따른 음속과 굴절각을 적용하여 탐상기준<sup>4,5</sup>을 설정하는 것이 결함 평가에 중요하다. 만약 압연방향에 따른 음속과 굴절각이 잘못 적용되어 탐상할 경우 결함이 아닌 것을 결함으로 오인하거나, 주요한 결함을 놓치는 오류를 범할 수 있다.

현재 횡과 수직 탐촉자를 사용하여 압연방향을 확인하는 방법<sup>6</sup>을 제시하고 있으나, 이는 별도의 횡과 수직 탐촉자와 전용 접촉매질이 구비되어 있어야 하며 작업자의 숙련과 경험을 필요로 하는 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 순 티타늄 판재(Grade 2)에 존재하는 음향이방성에 대하여 초음파 탐상신호를 획득하고, 획득한 신호의 분석 및 특징추출을 통하여 신경회로망 적용에 의한 순 티타늄 판재의 압연방향을 인식하는 새로운 방법을 제시하였다.

## 2. 신경회로망의 원리

인간 두뇌의 신경조직 기본구성은 Fig. 1 과 같이  $10^{11}$  개의 뉴런(Neuron)이라 불리는 신경세포로 이어져 있으며, 각각의 뉴런은 1000 에서 20000 개의 다른 뉴런과 서로 연결되어 있다.

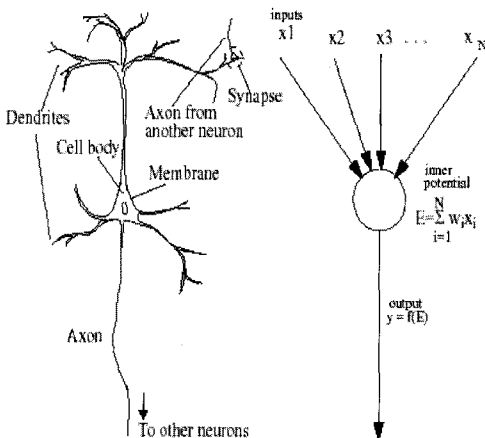


Fig. 1 Basic structure of neural network

수상돌기(Dendrite)는 다른 신경세포체(Cell Body)에 전달하는 역할을 하며, 신경세포는 이를 해석하여 축삭돌기(Axon)를 통해 다른 신경세포에 정보를 전달하게 된다.

그리고 뉴런과 뉴런간의 연결접속부인 시냅스

(Synapse)는 뉴런간의 연결강도(Connection Weight)를 나타낸다. 연결강도는 한 뉴런이 다른 뉴런을 흥분 또는 억제시키는 정도를 나타낸 것으로 이 연결강도에 의해서 지식을 표현하고 학습이 이루어진다.

따라서 신경회로망<sup>7</sup>은 인간 두뇌의 작동원리를 단순화시켜 수학적 모 델링 함으로서 병렬 시스템인 인간의 두뇌와 같은 지능형 형태를 구현하는 것이다.

현재 대표적으로 사용되는 신경회로망 구조는 Fig. 2 와 같이 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 은닉층을 가지는 다층 퍼셉트론 구조에 비선형 함수인 시그모이드 함수의 역전파 학습 알고리즘<sup>8</sup>이며, 학습과정을 아래와 같이 11 단계<sup>9</sup>로 요약하였다.

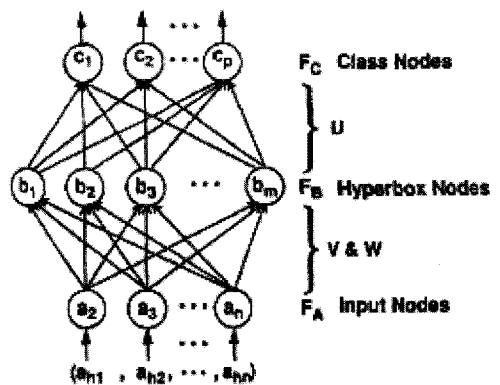


Fig. 2 Schematic of multilayer neural network

1) 입력 학습벡터  $X=(X_1, X_2, X_3, \dots, X_L)$ 을 인가한다.

2) 연결강도  $w$ 와 바이어스 값  $\theta$ 를 각각 아주 작은 값으로 초기화하며 일반적으로  $-0.5 \sim 0.5$  사이의 값으로 적용한다.

$$net_j = \sum_{i=1}^L w_{ij} X_i + \theta_j$$

3) 시그모이드 함수  $f$ 를 적용하여 중간층 뉴런의 출력을 구한다.

$$Z_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-(net_j)/\theta_0}}$$

4) 중간층 유니트와 출력값  $Z$  를 얻었으면 중간층과 출력층 사이의 연결강도와 출력층의 바이어스 값을 이용하여 출력층 유니트와 입력값을 구한다.

$$net_k = \sum_{j=1}^M w_{jk} Z_j + \theta_k$$

5) 시그모이드 함수  $f$  를 적용하여 출력층 유니트의 출력을 구한다.

$$O_k = f(net_k) = \frac{1}{1 + e^{-(net_k)/\theta_k}}$$

6) 학습패턴의 목표출력  $y$  값과 실제출력  $o$  값의 상관관계를 이용하여 두 출력값의 차이를 구하고 출력층 유니트에 연결된 연결강도와 출력층 유니트의 바이어스 값에 대한 오차값을 구한다.

$$\begin{aligned} \delta_k &= (y_k - o_k) f'(net_k) \\ &= (y_k - o_k)(1 - o_k)o_k \end{aligned}$$

7) 출력층에서 구한 오차값  $\delta$  와 중간층과 출력층간의 연결강도  $w$  와 중간층의 출력값  $Z$  로부터 중간층 유니트에 연결된 연결강도와 중간층 유니트의 바이어스 값에 대한 오차를 구한다.

$$\begin{aligned} \delta_j &= f'(net_j) \sum_{k=1}^N \delta_k w_{jk} \\ &= Z_j(1 - Z_j) \sum_{k=1}^N \delta_k w_{jk} \end{aligned}$$

8) 새로운 학습패턴에 사용될 연결강도와 바이어스 값을 갱신시키기 위하여 모멘텀 항  $\alpha$  와 학습률  $\eta$  를 사용한다. 일반적으로 0 ~ 1 사이의 값으로 적용을 한다.

9) 중간층과 출력층에서 구한 오차값을 이용하여 각 구간의 연결강도는 모멘텀 항을 곱하고 오차값은 학습율과 각 층에서의 입력벡터를 곱함으로써 새로 연결된 연결강도를 수정한다.

$$w_{jk(n+1)} = \alpha w_{jk(n)} + \eta \delta_k Z_j$$

$$w_{ij(n+1)} = \alpha w_{ij(n)} + \eta \delta_j X_i$$

10) 다음 패턴을 학습시킨다.

11) 최종 점검을 위한 오차항 계산을 한다.  $E$  값이 연속적으로 허용치 안에 들어가는 아주작은 값을 유지하면 학습을 중지하게 된다. 단 학습의 반복 횟수가 제한 횟수보다 작으면 2 번째 단계로 되돌아가서 반복한다.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (y_k - o_k)^2$$

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 시스템의 구성 및 실험방법

본 연구에 사용된 주요 기기로는 초음파 신호를 송수신하는 초음파 탐상기(DAKOTA ULTRASONICS Sitiescan 130), 결합 신호를 수신하는 횡파 사각 탐촉자(Kratkrämer 사의 4MHz, 굴절각 : 70°, 진동자 크기 : 8×9 mm), 디지털 오실로스코프(LeCroy 9354A, 500MHz), 초음파펄스 발생 수신장비(JSR PR35)이며, Fig. 3 과 같이 초음파 신호 획득을 위한 시스템을 구성하였다.

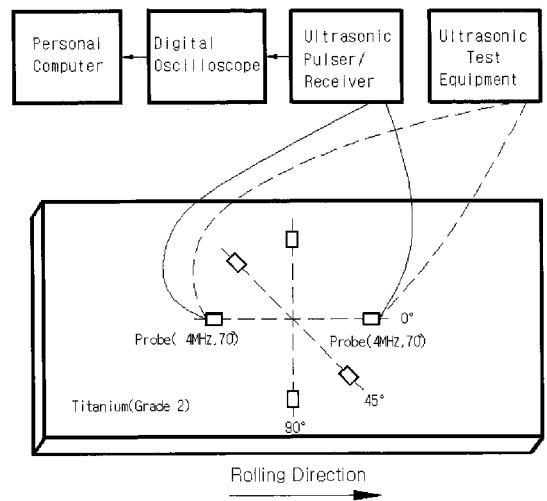


Fig. 3 Schematic of ultrasonics time signal system

실험에 있어서는 압연방향이 확인된 호칭 두께 10 mm 의 순 티타늄 판재를 대상으로 2 개의 횡파 사각 탐촉자로 Fig. 4 와 같이 V 주사<sup>10</sup> 하여 압연 방향에 0°, 45°, 90° 일 때 디지털 오실로스코프로부터 초음파 신호를 획득하였다.

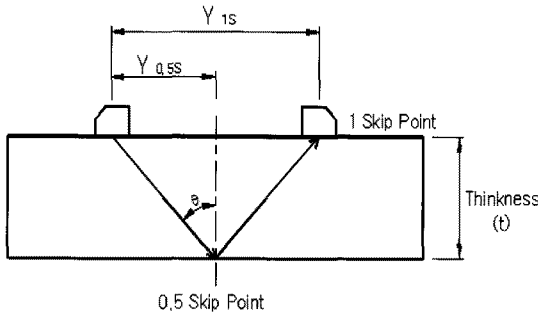
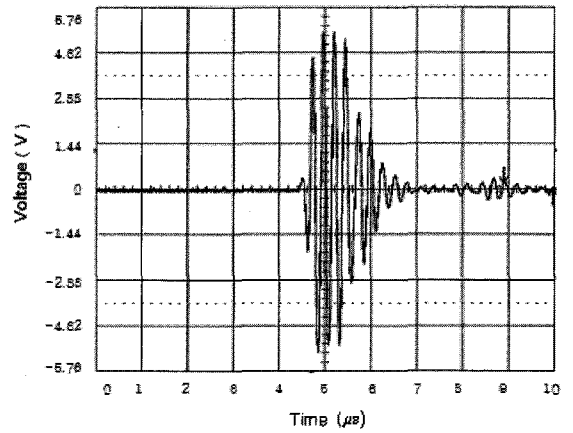


Fig. 4 Schematic of angle beam method

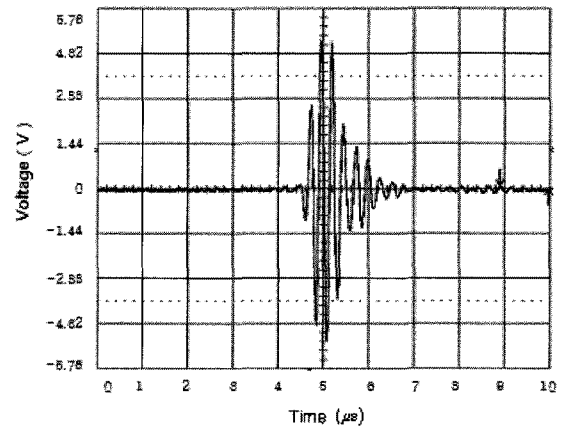
순 티타늄 판재의 압연방향에 0° 의 위치에서 2 개의 탐촉자를 Fig. 4 와 같이 V 주사하였을 때 탐촉자의 입사점간 거리를 측정된 결과 43 mm 로 확인 되었다.

Fig. 5(a)는 초음파 탐상기로 0° 방향에서 최대 신호를 잡은 상태에서 탐촉자 케이블만 디지털 오실로스코프로 연결하여 획득한 신호이며, Fig. 5(b), Fig. 5(c)는 0° 방향에서의 최대신호일 때 탐촉자의 입사점간 거리를 43 mm 로 유지한 상태에서 45° 와 90° 에서 각각 획득한 신호이다.

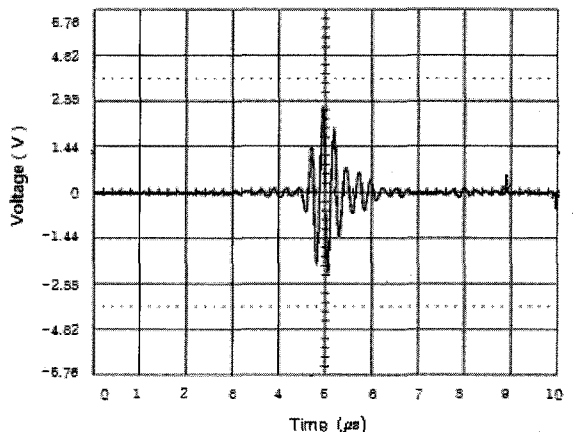
본 연구에 사용된 순 티타늄재와 용접구조물에 많이 사용되는 용접구조용 압연강재(SM520B, 두께 10 mm)의 초음파특성을 비교한 결과 현저하게 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 용접구조용 압연강재는 압연방향과 압연직각방향의 초음파 특성이 Fig. 6 와 Fig. 7 에서와 같이 큰 차이 없이 시간축의 신호발생 위치와 세로축의 초음파 에너지가 일치하였으며, 초음파 탐촉자의 입사점간 거리도 55 mm로 동일하였다. 그러나 순 티타늄판재는 Fig. 8 과 Fig. 9 에서와 같이 압연방향의 초음파 특성이 압연직각방향의 초음파 특성에 비하여 시간축은 30 % 이상 크게, 초음파 에너지는 50 % 이상 작게 나타나는 것으로 확인되었다. 시간축의 차이는 초음파 사각탐상에 있어 굴절각과 음속에 영향을 주어 결함의 위치를 정확하게 확인하는데 영향을 주고, 초음파 에너지축의 차이는 결함길이 측정에 영향을 주어 결함평가 등급분류에 오류를 범할 수 있다.



(a) rolling direction (0° )



(b) rolling direction (45° )



(c) rolling direction (90° )

Fig. 5 Time series signal of rolling direction

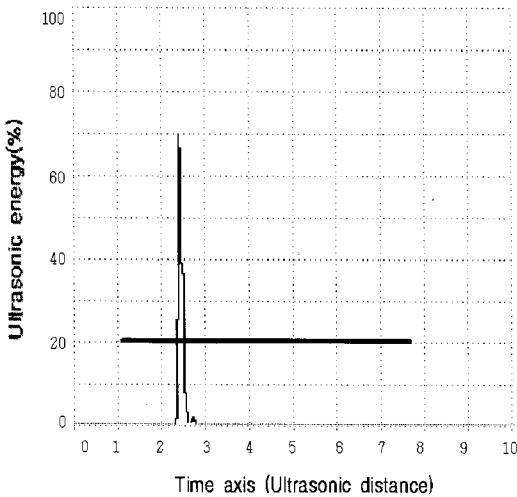


Fig. 6 Ultrasonic signal of rolling direction(carbon steel)

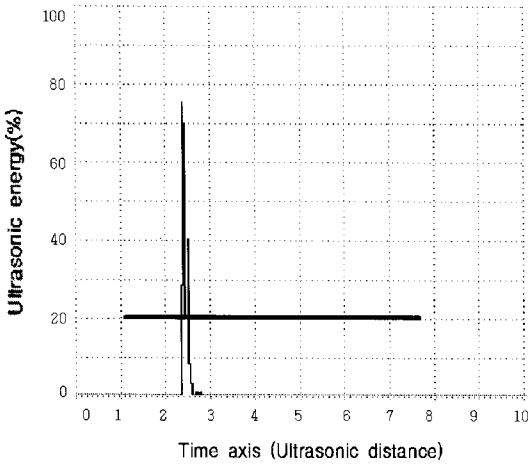


Fig. 7 Ultrasonic signal of transverse direction(carbon steel)

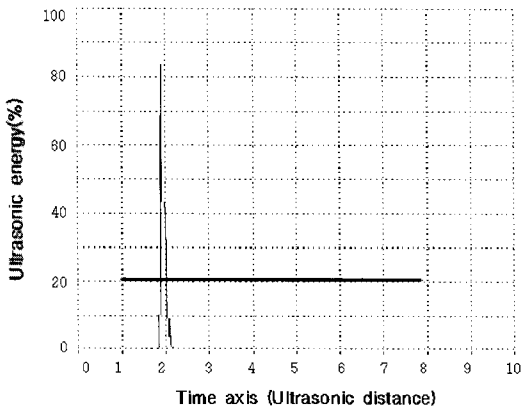


Fig. 8 Ultrasonic signal of rolling direction(titanium)

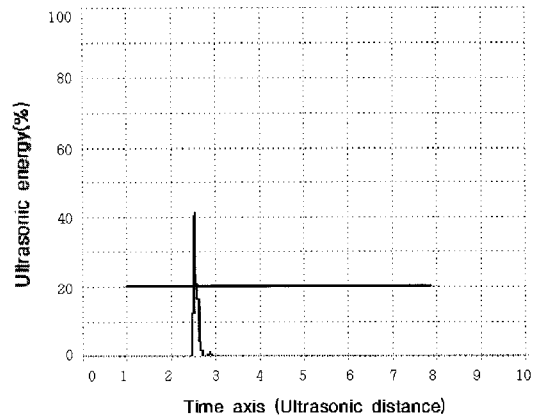


Fig. 9 Ultrasonic signal of transverse direction(titanium)

초음파 탐촉자의 입사점간 거리도 압연방향 43 mm, 압연직각방향 63 mm로 40 %이상 차이 났다. 따라서 순 티타늄판재에 존재하는 음향이방성을 초음파 탐상의 V 주사법을 사용하여 정량적으로 확인할 수 있었다.

### 3.2 학습 파형특징 추출 및 결과

신경회로망을 구성하는데 있어 가정 먼저 수행해야 할 부분은 초음파 탐상위치에 따라 파형의 형태가 다른 점을 이용하여 시계열상에서 초음파 탐상 위치를 결정 짓는 파형의 특징항목을 선정하고 이에 따른 데이터를 추출하는 작업이다.

본 연구에서는 자체개발한 파형분석 프로그램을 Fig. 10 과 같이 이용하여 초음파 탐상위치에 따른 특징을 빠른 시간 내에 추출하였으며 이를 바탕으로 초음파 탐상위치를 결정짓는 파형의 특징항목을 Fig. 11 과 같이 5 가지(peak-peak, rising time, falling time, rising slope, falling slope)로 선정하였다.<sup>8</sup>

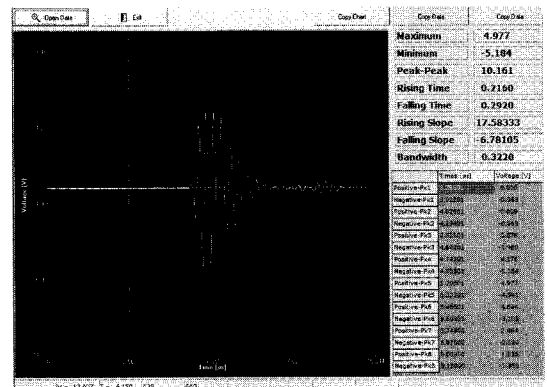


Fig. 10 Feature extraction of ultrasonic signal

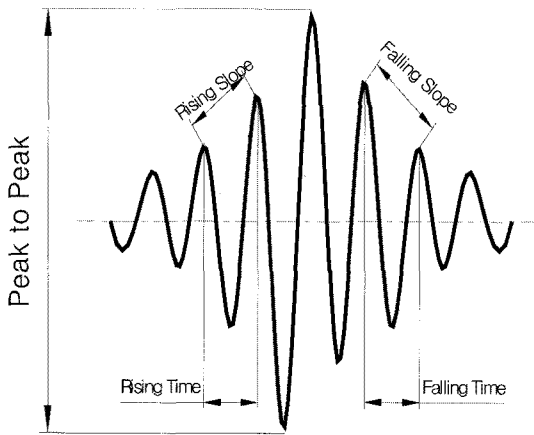


Fig. 11 Schematic of feature extraction

Table 1 은 파형의 특징에 대한 패턴으로 패턴 1 에서 10 번까지는 0°를 기준으로 시계방향과 반시계방향으로 1°씩 회전시켜 각각 5 회 측정 한 후 가장 큰 값으로 무차원화 한 데이터이다. 그리고 패턴 11 에서 20 번까지는 45°, 21 에서는 30 번까지는 90°를 기준으로 획득한 데이터이다. 이들 데이터는 신경회로망의 기준이 되는 학습용 데이터이다.

Table 2 는 초음파 탐상방향에 대한 목표 값을 1 과 0 을 사용하여 규정하였고 은닉층 15, 모멘텀을 ( $\alpha$ ) 0.9, 학습율( $\eta$ ) 0.7, 전체 에러값( $E$ ) 0.001, 학습 회수 1000 번으로 학습시킨 결과이다. Table 2 의 학습결과에서와 같이 목표 값에 대해 95 %이상의 인식률을 나타내고 있어 학습데이터로서 유효성을 확인하였다.

**3.3 신경회로망에 의한 초음파 신호 인식결과**

Table 3 은 압연방향을 구분할 수 없는 호칭두께 10 mm의 순 티타늄 판재를 대상으로 초음파탐촉자의 입사점간 거리를 학습데이터를 얻을 때와 동일하게 43 mm로 유지시킨 상태에서 탐상하여 획득한 데이터이다.

Table 4 의 시험결과는 Table 3 에서 획득한 시험 데이터를 학습이 완료된 신경회로망에 입력하여 출력한 결과로서 압연방향에 대한 인식률은 95% 이상 높은 것으로 평가되었다.

Table 1 Feature extraction learning data of ultrasonic signal

Feature \ Pattern	1	2	3	.....	30
Peak-Peak	1.00	1.00	1.00	.....	0.47
Rising Time	0.83	0.82	0.83	.....	0.85
Falling Time	0.98	0.99	0.98	.....	0.91
Rising Slope	0.94	0.95	0.94	.....	0.29
Falling Slope	0.67	0.65	0.66	.....	0.35

Table 2 Learning result of neural network

Pattern	Target			Learning result		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	1	0	0	0.97	0.03	0.01
2	1	0	0	0.98	0.02	0.01
3	1	0	0	0.97	0.02	0.01
4	1	0	0	0.99	0.01	0.01
5	1	0	0	0.98	0.01	0.02
6	1	0	0	0.92	0.08	0.01
7	1	0	0	0.96	0.03	0.01
8	1	0	0	0.98	0.01	0.01
9	1	0	0	0.99	0.01	0.01
10	1	0	0	0.95	0.05	0.01
11	0	1	0	0.02	0.98	0.01
12	0	1	0	0.01	0.99	0.01
13	0	1	0	0.06	0.95	0.01
14	0	1	0	0.01	0.99	0.01
15	0	1	0	0.01	0.96	0.04
16	0	1	0	0.01	0.99	0.01
17	0	1	0	0.01	0.99	0.01
18	0	1	0	0.06	0.93	0.01
19	0	1	0	0.01	0.99	0.01
20	0	1	0	0.01	0.99	0.01
21	0	0	1	0.00	0.01	0.99
22	0	0	1	0.01	0.04	0.96
23	0	0	1	0.00	0.01	0.96
24	0	0	1	0.00	0.01	0.99
25	0	0	1	0.01	0.00	0.99
26	0	0	1	0.00	0.01	0.99
27	0	0	1	0.01	0.00	0.99
28	0	0	1	0.00	0.01	0.99
29	0	0	1	0.01	0.00	0.99
30	0	0	1	0.01	0.00	0.99

Table 3 Feature extraction test data of ultrasonic signal

Pattern Feature	1	2	3	.....	15
Peak-Peak	0.99	1.00	1.00	.....	0.61
Rising Time	0.76	0.79	0.77	.....	1.00
Falling Time	0.81	0.81	0.83	.....	0.89
Rising Slope	0.90	0.83	0.86	.....	0.27
Falling Slope	0.21	0.35	0.19	.....	0.48

Table 4 Test result of neural network

Pattern	Target			Test results		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
1	1	0	0	0.99	0.00	0.00
2	1	0	0	0.99	0.01	0.00
3	1	0	0	0.99	0.00	0.00
4	1	0	0	0.99	0.00	0.00
5	1	0	0	0.99	0.01	0.00
6	0	1	0	0.04	0.95	0.01
7	0	1	0	0.03	0.97	0.01
8	0	1	0	0.01	0.99	0.01
9	0	1	0	0.01	0.99	0.01
10	0	1	0	0.02	0.97	0.01
11	0	0	1	0.00	0.00	0.99
12	0	0	1	0.00	0.00	0.99
13	0	0	1	0.00	0.01	0.99
14	0	0	1	0.00	0.00	0.99
15	0	0	1	0.00	0.00	0.99

4. 결론

본 연구에서는 순 티타늄판재에 존재하는 음향 이방성을 초음파신호의 정량적인 파형분석과 처리를 통하여 확인하였고 압연방향의 패턴인식을 결정하는 특징으로 Peak-Peak, Rising Time, Falling Time, Rising Slope, Falling Slope 의 5 가지를 선정하여 압연방향을 인식하는 신경회로망을 구축하였다. 신경회로망에 의한 압연방향의 인식 결과 0°, 45°, 90°의 압연방향에서 95 %이상의 높은 인식률을 나타내어 음향 이방성 평가에 효과적으로 적용될 수 있을 것이다. 추후 티타늄 용접구조물의 안전성 확보를 위하여 순 티타늄판재에 존재하는 음향 이방성과 기계적성질의 상관관계를 평가하는 것이 과제라 남아있다. 본 프로그램을 활용하면 향후 음

향 이방성이 존재하는 소재의 품질관리에 크게 활용될 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. KS D 6026, "Titanium and Titanium Alloy Castings," 2003.
2. Yi, W., Park, H. D. and Yun, I. S., "A Study on the Ultrasonic Distance Amplitude Characteristics Curve for Weld Defects Evaluation of titanium Weld Zone," J. of KOSOS, Vol. 23 No. 4, pp. 7-8, 2008.
3. Sung, B. S., Kim, I. S., Kim, I. J. and Cha, Y. H., "The Residual Stresses Evaluation of Butt Welded Zone on the Joint shape in the Titanium Plate," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 290-294, 2001.
4. Park, H. D., Yun, I. S. and Yi, W., "Porosity Defect Evaluation of Titanium Weld Zone using Ultrasonic Distance Amplitude Characteristics Curve," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 529-530, 2009.
5. Park, H. D., Yun, I. S., Yoon, G. W. and Yi, W., "Titanium Ultrasonic Distance Amplitude characteristics Curve Considering Acoustical Anisotropy," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1223-1224, 2010.
6. KS B 0896, "Method for ultrasonic examination for welds of ferritic steel," 1999.
7. Yi, W. and Yun, I. S., " The Defect Detection and Evaluation of Austenitic Stainless Steel 304 Weld Zone using Ultrasonic Wave and Neuro," J. of KWS, Vol. 16, No. 3, pp. 192-201, 1998.
8. Lee, D. W., Hong, S. H., Cho, S. S. and Joo, W. S., "A Study on the Pattern Recognition of Hole Defect using Neural Networks," J. of KSPE, Vol. 20, No. 2, pp. 146-153, 2003.
9. Yun, I. S., Park, W. K. and Yi, W., "A Study on the Enhancement of Ultrasonic Signal Recognition in Ferrite Carbon Steel Weld Zone Using Neural Networks," J. of KSPE, Vol. 19, No. 1, pp. 158-164, 2002.
10. KS B 0897, "Methods of Ultrasonic Angle Beam Examination for Butt Welds of Aluminium Plates," 2009.