

압축강도 평가를 위한 지능형 응력예측기 구축

박원규*, 우영환*, 이종구*, 윤인식**

Construction of the Intelligence Stress Predictor for Compression Strength Evaluation

Won-Kyou Park*, Young-Hwan Woo*, Jong-Ku Lee*, In-Sik Yun**

Abstract

This work is concerned with construction of the intelligence stress predictor for compression strength evaluation using neural network-ultrasonic waves. The contact pressure in jointed plates was measured by using ultrasonic technique.

Neural network is used to evaluate and predict contact pressure from the results of the calibration curves. The organized neural system was learned with the accuracy of 99%, as a result of learning the ultrasonic echo ratio to the contact pressure measurement between SM45C and STS410 materials. And it could be evaluated and predicted with the accuracy of 90% in the evaluation of ultrasonic echo ratio difference in the same surface roughness and contact pressure, and 85% in the prediction of virtual ultrasonic echo ratio.

Thus the proposed stress predictor is very useful for the evaluation and prediction of the contact pressure between SM45C and STS410 materials.

Key Words : Ultrasonic Wave(초음파), Contact Pressure(접촉압력), Incident Wave(입사파), Normal Probe(수직탐촉자), Surface Roughness(표면거칠기), Numerical Analysis(수치해석), Neural Network(신경회로망), Back Propagation(역전파), Hidden Layer(은닉층)

1. 서 론

최근 장치의 결합부나 금속간의 접촉상태 등과 같은 구조물의 접촉압력 측정 및 강도해석의 중요성이 높아지고 있다. 이와 같이 접촉상태에 있는 두 물체간의 접촉압력

을 정확히 파악하는 것은 공학적 측면에서 반드시 필요하며, 이에 대한 연구로는 탄성론에 의한 이론적 해석방법⁽¹⁾, 유한요소법과 경계요소법에 의한 수치해석적 방법⁽²⁾, 측압편⁽³⁾ 및 초음파에 의한 실험적 방법 등으로 크게 분류할 수 있다. 이러한 방법중에서 해석적인 방법은 접촉면의

* 경기공업대학 컴퓨터응용설계과
(박원규: wkpark@kinst.ac.kr)

** 경기공업대학 메카트로닉스과

기하학적 형상 등에 의한 정확한 모델링이 어렵고, 실험적인 방법은 시험편의 가공⁽⁴⁾이나 측정정밀도에 많은 문제점을 내포하고 있다. 그러나 초음파법을 이용하는 방법은 측정면의 상태를 손상하지 않고 접촉압력을 측정할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 Hara⁽⁵⁾, Minakuchi⁽⁶⁾ 등에 의해 연구되었다.

Hara⁽⁵⁾ 등은 상 하 평판이 금속/금속과 금속/비금속인 접촉문제에 대해서 초음파를 이용하여 접촉압력을 측정할 수 있음을 나타내었다. Minakuchi⁽⁶⁾ 등은 상 하 평판을 SM45C/SM45C재로 하여 압축하중하에서 접촉면과 저면의 초음파에코를 이용하는 방법과 접촉면에서의 다중에코를 이용하는 방법으로 교정곡선을 구하여 정량적으로 접촉압력을 구할 수 있음을 발표하였다.

지금까지의 연구에서는 상 하 평판의 재료가 SM45C/SM45C와 같은 동일재질에 대한 것이 대부분이며, 제한된 표면거칠기의 시험편에 대해 압축하중을 가하여 측정된 초음파에코만으로 접촉압력을 측정하여 평가 해석하였다.

따라서 본 연구에서는 SM45C/STS410재에 대해 역전파 학습알고리즘에 의한 신경회로망⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾을 이용하여 초음파에코와 접촉압력에 대해 평가하고, 가상 접촉압력을 테스트하여 실험을 하지 않고서도 새로운 교정곡선을 구하므로써, 지능형 응력 예측기의 구축에 의한 접촉압력과 초음파에코특성과의 관계를 예측 판단하고자 하였다.

이를 위하여 접촉부의 표면 거칠기를 4종류(1.2, 1.5, 2.0, 2.5 $\mu m R_{max}$)로 변화시킨 교정블럭을 압축하여 상블럭에 부착된 수직탐촉자(주파수 2MHz의 수직탐촉자)로 상 하 블럭의 접촉면에서 수신되는 에코높이를 일정하게 했을때 저면에서 수신되는 에코높이를 측정하여 교정곡선을 구하였다. 또한 결합상태하에 있는 상 하 평판을 압축하여 상평판에 부착된 수직탐촉자로 상 하 평판의 접촉면에서 수신되는 에코높이를 일정하게 했을때 저면에서 수신되는 에코높이를 측정하여 구한 결과를 교정곡선의 결과에 적용하여 상 하 평판간의 접촉압력을 정량적으로 구하였다. 이런 실험결과를 수치해석결과와 비교하여 실용성을 검토하였으며, 역전파학습알고리즘에 의한 신경회로망으로 초음파에코비, 접촉부의 표면거칠기변화, 게인(gain)변화와 접촉압력과의 관계를 예측 평가하여 실용성 및 유용성을 확인하였다.

2. 신경회로망과 초음파 이론

신경회로망은 Fig. 1과 같이 입력층, 은닉층, 출력층으로

구성되어 있는 다층신경회로망이 패턴분류를 위하여 사용된다. 중간층과 출력층은 처리소자와 연결강도를 지니고 있으며, 노드마다의 처리소자는 강도를 곱한 각각의 입력값에 바이어스값을 더해서 식(1)⁽⁹⁾과 같은 시그모이드 함수 $f(x)$ 에 의해 출력을 만들어 낸다.

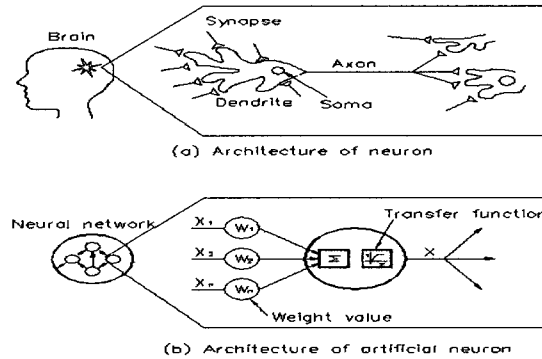


Fig. 1 A prototype of artificial neuron

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

여기서 θ_0 는 활성화함수인 시그모이드 곡선의 형태를 결정하는 형태상수이다. 입력층을 제외한 각 노드에 대한 총입력은 그 전층의 모든 노드의 출력값에 강도를 곱한 값들이다. 즉, k 층의 j 노드에 대한 총 입력은 식(2)⁽⁷⁾와 같이 된다.

$$net_j^k = \sum_{i=1}^m w_{ji}^k o_i^{k-1} \quad (2)$$

여기서, m : ($k-1$) 번째층의 노드수, w_{ji}^k 는 ($k-1$) 번째층의 i 번째 노드에서 k 번째층의 j 번째 노드사이의 연결강도, o_i^{k-1} 는 ($k-1$) 번째층의 j 번째 노드의 출력이다. 따라서 k 층의 j 노드에서의 출력은 식(3)⁽⁹⁾과 같다.

$$o_j^k = \frac{1}{1 + e^{-(net_j^k + \theta_j^k)/\theta_0}} \quad (3)$$

식(3)에서 계수 θ_j 는 바이어스값이다. 은닉층에서의 노드의 출력을 식(3)으로 계산하고 출력단에서의 출력을 계산한 후, 식(4)⁽⁷⁾과 같이 주어지는 출력단에서의 각 입력패

턴에 따라서 발생하는 추정치의 자승오차항을 평균으로 하는 오차 E 를 최소화하는 방향으로 입력과 출력단사이의 연결강도를 수정하는 과정을 반복한다. 일반적으로 출력값은 목표값과 같지 않고, 따라서 평균시스템 오차를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (y_i - o_i)^2 \quad (4)$$

여기서 m 은 입력으로 선정된 데이터 패턴수, y_i 는 목표치, o_i 는 출력치이다.

식(4)를 연결강도 w_j 에 대해서 최소화시키는 것은 최급강하(steepest-descent)방법으로 가능하며, 역전파 학습 알고리즘을 이용하였다.

기계가공된 상·하 평판의 접촉부를 미시적으로 보면 실제 접촉부분과 공극 부분으로 구성되어 있다. 이와 같은 두 평판 중에 상평판상에 수직 탐촉자를 부착하여 초음파를 입사파 음압(평면파) P_0 로 접촉면에 수직입사시키면 일부는 접촉면으로부터의 반사파 음압 P_1 으로 수신되고 하평판의 저면에서 반사된 투과파 음압 P_2 로 수신된다.

이와 같은 P_0, P_1, P_2 의 관계는 Fig. 2와 같이 초음파 탐상기의 CRT상에 에코높이의 거동으로 나타나며, $h_1, h_1 + h_2$ 는 각각 수직탐촉자로부터 상·하 평판의 접촉면과 저면까지의 거리이다.

H_{10} 는 무부하시, H_1, H_2 는 부하시의 에코 높이라 할 경우, 음압은 에코 높이와 비례관계에 있으므로 에코 높이를 이용하여 E_R 은 식(5)⁽⁴⁾와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_R = \frac{H'_2}{H'_1} = \frac{H_2(H_{10}/H_1)}{H_1(H_{10}/H_1)} \quad (5)$$

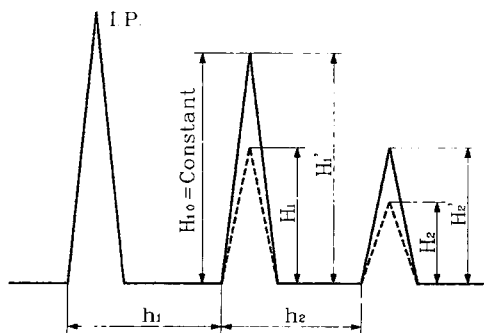


Fig. 2 Behavior of ultrasonic wave (echo height)

여기서 H'_1, H'_2 는 각각 H_1, H_2 를 H_{10}/H_1 배한 값이며 H'_1 는 H_{10} 와 같다. 즉 식(5)는 부하시의 에코높이 H_1 이 항상 무부하시의 H_{10} 가 되도록 계인을 설정했을 때에 수신되는 저면에코 높이 H'_2 의 값과 접촉압력 σ_m 의 관계를 나타내고 있다. 따라서 본 측정법에서는 에코높이비 E_R 의 값을 평가기준으로 하여 접촉압력 σ_m 을 구한다.

3. 초음파에코의 측정

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 측정법의 실험 장치는 Fig. 3과 같으며, 주요장비로는 초음파탐상기(USD-10), 탐촉자(주파수 2MHz, 진동자직경 10mm), 인장압축시험기, 안내판(Guide plate, 재질 STD11, 열처리 HR60, 설계하중 55kN)이다.

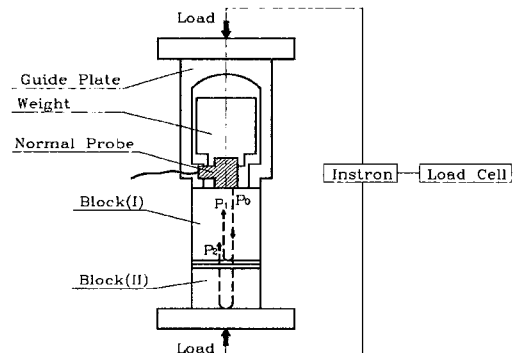


Fig. 3 Schematic diagram of apparatus

3.2 교정블럭의 압축실험

결합상태하에 있는 상·하 평판의 접촉압력을 초음파를 이용하여 정량적으로 측정하기 위해서 Fig. 4와 같은 교정블럭을 제작하였다. 교정블럭(Ⅰ), (Ⅱ)는 상평판을 SM45C, 하평판을 STS410으로 하고, 이들 접촉면은 연삭가공 후 래핑에 의해 표면 거칠기를 여러 단계로 변화시켰다. Table 1은 실험에 사용한 교정블럭의 표면상태와 기계적 성질을 나타낸다.

에코의 측정에는 수직탐촉자를 사용하였으며, 접촉면에서 반사파 음압이 안정되게 얻어지도록 3.25 N으로 일정하게 압착하였다.

교정블럭은 접촉면압이 가능한한 일정하게 압축하고,

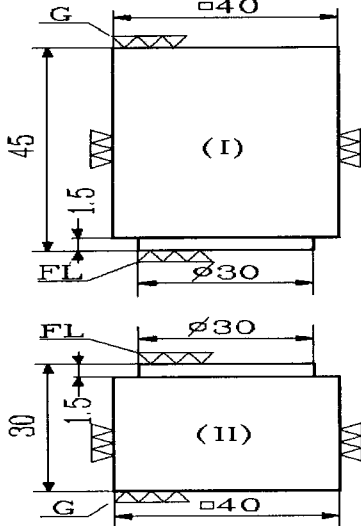


Fig. 4 Configuration and size of calibration blocks

Table 1 Surface condition and mechanical property of calibration blocks

No.	Blocks	Materials	Surface condition	
			Roughness ($\mu m R_{max}$)	Machining method
1	(I)	SM45C	1.2	Lapping
	(II)	STS410		
2	(I)	SM45C	1.5	
	(II)	STS410		
3	(I)	SM45C	2.0	
	(II)	STS410		
4	(I)	SM45C	2.5	
	(II)	STS410		

그 때의 부하 크기는 로드셀로 검출하였다. 초음파 탐상기의 브라운관상에 나타나는 저면 에코높이 H_2' 는 접촉면에코높이 H_1 이 항상 100%가 되도록 계인을 설정하여 측정하였다.

3.3 상 하 평판의 압축실험

본 측정법의 실용성을 검증하기 위해 Fig. 5와 같은 상 하 평판의 시험편을 이용하여 결합상태하에서 접촉압력을 측정하였다. 압축하중은 전하중이 W 인 등분포압력 P 가 작용

하며, E, ν 는 각 평판의 종탄성계수 및 푸와송비이다.

상 하 평판의 치수는 $2l = 160 \text{ mm}$, $h_1 = 45, 60 \text{ mm}$, $h_2 = 30 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$ 이며, 판의 상하면은 연삭가공후 접촉면에 대해 표면거칠기가 $2.5 \mu m R_{max}$ 가 되도록 래핑을 하였다. Table 2는 판의 치수, 기계적성질, 표면상태를 나타낸다.

접촉압력측정은 Fig. 5와 같이 판의 상·하면에 단면치수가 폭 $2a = 20 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$ 의 강제압축블럭을 설치하여 하중 $W = 19.6 \text{ kN}$ 으로 압축하였다. 하중의 크기는 로드셀로 검출하였다. 결합상태하에 있는 평판(I)상에 수직탐촉자를 3.25 N 으로 일정하게 압축하였다.

저면 에코높이는 Table 2의 No.1에 대해 수직탐촉자를 $x = 20.0, \sim 25.0, \sim 30.0, 35.0 \text{ mm}$ 의 각 위치에, Table 2의 No. 2에 대해서는 수직탐촉자를 $x = 20.0, 25.0, \sim 30.0, \sim 35.0, \sim 40.0 \text{ mm}$ 의 각 위치에 부착하였다.

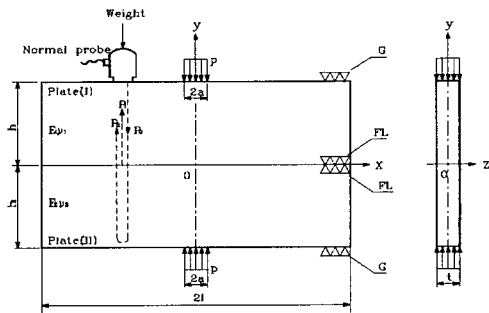


Fig. 5 Configuration of upper/lower plates

Table 2 Mechanical property and size of upper/under plates

No.	Plate	Materials	h_1 h_2 (mm)	E (GPa)	ν	Surface condition		
						Roughness ($\mu m R_{max}$)	Flatness deviation (μm)	Machining method
1	I	SM45C	45	206	0.3	2.5	0.9	Lapping
	II	STS410	30	200	0.3			
2	I	SM45C	60	206	0.3			
	II	STS410	30	200	0.3			

4. 결과 및 고찰

4.1 교정블럭의 측정선도

Fig. 6은 Table 1의 교정블럭을 압축하여 σ_m 과 E_R 을 구한 교정곡선으로 여기서 σ_m 은 평균접촉압력이다. 횡축의 σ_m 은 교정블럭의 접촉면압을 균일 분포로 간주하고 압축하중 W 를 교정블럭의 접촉면적 ($225 \pi \text{ mm}^2$)으로 나눈 값을 나타낸다. 또 표면 거칠기는 교정블럭(I), (II)의 접촉부 표면거칠기의 평균값을 사용하였다. 같은 σ_m 에 대하여 E_R 은 작아지며, 같은 표면거칠기에 대하여 σ_m 의 증가에 따라 E_R 은 커지는 경향을 나타낸다.

E_R 과 σ_m 에 관한 교정곡선의 결과는 1~2 kN의 저하중에서는 약간 산포되는 경향이 나타나며 특히 접촉부 표면 거칠기가 $2.0 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 일 경우의 1 kN하중에서 E_R 의 값은 접촉부 표면거칠기가 $1.5 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 일 경우보다도 높게 나타나고 있다.

2 kN에서도 $1.2 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 와 $1.5 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 의 E_R 차이가 거의 없이 나타나며, 이는 시험편의 평면도 등에 의한 미소한 가공오차와 서로 접촉된 시험편이 안정적으로 되기 위한 부하의 범위로 생각된다. 표면 거칠기가 $2.0 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 일 경우에는 전체적으로 데이터가 다른 표면거칠기들에 의한 데이터들 보다 선형적이지 못하며 표면 거칠기가 $2.5 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 일 경우 가장 선형적임을 알 수 있다. 즉 접촉부 표면거칠기가 $2.5 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 에서 저면으로부터 수신된 에코높이비 H'_2 는 σ_m 의 증가를 동반하며 거의 직선적으로 증가하였다.

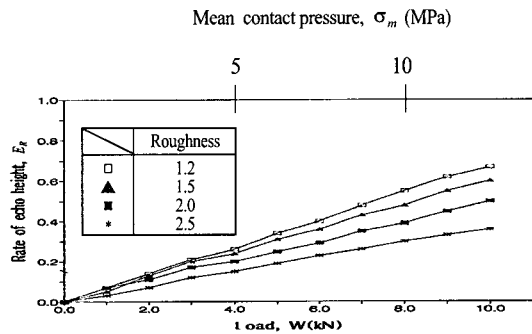


Fig. 6 Relation between mean contact pressure and echo height ratio(calibration curves)

4.2 상 하 평판의 측정곡선

Fig. 7은 Table 2에 나타난 상 하 평판에 대한 접촉압력 분포의 결과를 나타낸다. □, ▲의 기호는 판두께비 $h_1/h_2 = 1.5, \sim 2.0$ 인 경우의 실험결과이며, 실선은 Fig. 5를 2차원 모델링하여 유한요소법⁽⁹⁾으로 해석한 결과이다. $x/a = 3.9, 4.6$ 의 위치에서 E_R 의 값이 0으로 무부하시와 같은

접촉면의 분리점이 되므로서 실험결과와 상당히 잘 일치한다. 그러나 접촉압력이 작은 영역에서는 실험결과에 의한 접촉면의 분리점이 계산결과보다도 부하부에 가까운 위치에서 일어남을 알 수 있다. 이것은 시험편 가공시 평면도 및 가공상의 오차로 인하여 접촉면의 분리점이 수치 해석 결과보다 가까워졌다고 생각할 수 있다.

접촉압력이 작은 경우에 측정정밀도의 문제는 있지만 본 측정법은 결합상태하에 있는 상 하 평판간의 접촉압력을 높은 정밀도로 측정할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

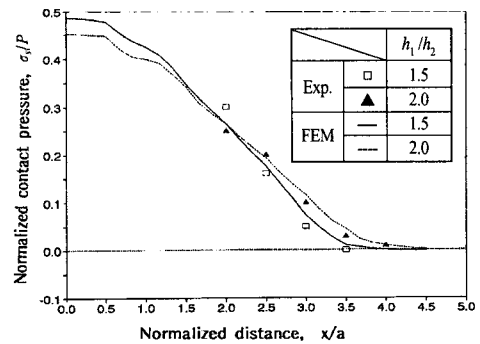


Fig. 7 Contact pressure distribution of upper/lower plates

4.3 응력예측기에 의한 평가 및 예측

본 연구에서는 이산적인 입출력 관계를 학습시켜 미학습의 데이터에 대한 입력정보로부터 출력정보를 추측할 수 있는 일반화 능력 등의 장점을 갖고 있는 신경회로망을 이용하여 지능형 응력예측기 시스템을 구성하였다.

동일한 하중과 개인변화, 접촉부의 표면 거칠기, 초음파 에코에 대해 신경회로망을 이용하여 접촉압력을 평가하고, 가상결과를 예측하는 것은 수치해석의 적용으로 부족한 부분을 보완하는 실용적인 측면에서 대단히 중요하다.

적용한 신경회로망의 구조와 입력조건은 Table 3과 같다. 신경회로망은 접촉부의 표면거칠기와 개인변화, 에코 높이비에 따른 압축하중의 크기를 표본으로 역전파 학습 알고리즘을 이용하여 학습시켰다.

학습은 40개의 패턴을 표본데이터로 하여 전체에러값을 0.0001, 학습회수 10,000번으로 학습시킨 결과, 거의 99%의 정확성으로 학습되었다. 또한 학습된 처리소자들에 의해 새로운 실험조건(접촉부의 표면 거칠기 및 접촉압력)을 테스트 하여, 0.90 이하를 에러로 처리한 결과, $2.0 \mu\text{m}R_{\text{max}}$ 의 다섯

Table 3 Structure and load relation of neural network

Structure		Load relation	
Parameters	Structure	load(kN)	load type
Number of input units	3	2.0	5
Number of hidden units	9	4.0	4
Number of output units	5		
Number of hidden layers	1	6.0	3
Learning rate(η)	0.7	8.0	2
Momentum rate(γ)	0.9		
Shape factor(θ_0)	1.0	10.0	1

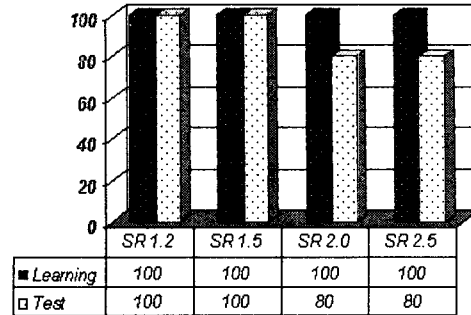


Fig. 8 Success rate in test

번째 데이터와 $2.5 \mu m R_{max}$ 의 두 번째 데이터의 두 경우가 0.84와 3.66으로 나타났다. 이는 10kN과 4kN을 100% 인식율로 하였을 경우 42%와 83%에 해당하는 비율로 압축하중을 예측 판정하였으며, 그 결과는 Table 4, Fig. 8과 같다. 특히 $2.0 \mu m R_{max}$, 10kN에서 목표값과 차이가 큰 42%로 나타난 것은 다른 교정곡선들과는 달리 데이터 차이가 많기 때문으로 테스트시에 접촉압력이 학습한 범위를 벗어난 경우라고 생각된다. 테스트한 전체 20개의 패턴 중에 2개를 에러로 처리하여 90%의 성공률로 압축응력을 예측 판단하였다.

Table 5와 Fig. 9는 네 종류의 표면거칠기 변화에 의한

초음파에코비의 결과로부터 접촉부의 표면거칠기(1.0, 1.8, 2.25, $3.0 \mu m R_{max}$ 와 접촉압력을 가산하여 20개의 입력패턴으로 테스트한 결과로, $1.8 \mu m R_{max}$ 의 네 번째와 $3.0 \mu m R_{max}$ 의 세 번째와 네 번째 패턴의 모두 3개의 패턴에 대하여 에러로 처리하였다.

특히 접촉부의 표면거칠기가 $3.0 \mu m R_{max}$ 의 경우에는 전체 5개의 패턴 중에 2개의 패턴을 에러로 처리하여 60%의 성공율을 나타내었는데, 이는 일종의 내 외삽을 나타내는 신경회로망의 특성상 정밀도가 떨어지는 외삽의 경우에 해당된다고 생각되며, 전체적으로 85%의 성공율

Table 4 Test results

Experimental conditions			Load type of test results					Target load value	Actual load types
Surface roughness ($R_{\mu m}$)	Gain (G_{in}/G_{out})	Ratio of echo height (E_r/ER_{max})	1	2	3	4	5		
1.2	0.9230	0.2777	0	0	0	0.06	1.94	2.00	5
	0.9423	0.4722	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.6250	0	0.02	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.8333	0.08	7.92	0	0	0	8.00	2
	1.0000	1.0000	9.98	0	0	0	0	10.00	1
1.5	0.9230	0.2222	0	0	0	0	1.98	2.00	5
	0.9423	0.3888	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.4722	0	0	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.6944	0	7.96	0.04	0	0	8.00	2
	1.0000	0.7777	9.98	0	0	0	0	10.00	1
2.0	0.9230	0.1250	0	0	0	0	1.98	2.00	5
	0.9423	0.2777	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.4027	0	0	5.98	0.02	0	6.00	3
	1.0000	0.5000	0	7.96	0.04	0	0	8.00	2
	1.0000	0.5694	0.84	9.16	0	0	0	10.00	1
2.5	0.9230	0.1111	0	0	0	0	1.96	2.00	5
	0.9423	0.2777	0	0	0.34	3.66	0	4.00	4
	0.9615	0.3472	0	0	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.4583	0.06	7.94	0	0	0	8.00	2
	1.0000	0.5416	9.98	0	0	0	0	10.00	1

Table 5 Prediction results

Experimental conditions			Load type of test results					Target load value	Actual load types
Surface roughness ($R_{\mu m}$)	Gain (G_{in}/G_{out})	Ratio of echo height (E_r/ER_{max})	1	2	3	4	5		
1.0	0.9230	0.2083	0	0	0	0	1.98	2.00	5
	0.9423	0.3889	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.6110	0	0.02	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.8612	0	7.98	0	0	0	8.00	2
	1.0000	1.0277	9.98	0	0	0	0	10.00	1
1.8	0.9230	0.1635	0	0	0	0	1.98	2.00	5
	0.9423	0.2955	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.4621	0	0	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.5941	0.74	7.26	0	0	0	8.00	2
	1.0000	0.6844	9.98	0	0	0	0	10.00	1
2.25	0.9230	0.1180	0	0	0	0	1.98	2.00	5
	0.9423	0.2777	0	0	0	3.98	0	4.00	4
	0.9615	0.3749	0	0	5.98	0	0	6.00	3
	1.0000	0.4791	0	7.98	0	0	0	8.00	2
	1.0000	0.5555	9.98	0.02	0	0	0	10.00	1
3.0	0.9230	0.0875	0	0	0	0.12	1.88	2.00	5
	0.9423	0.2053	0	0	0.16	3.84	0	4.00	4
	0.9615	0.2577	0	0	5.28	0.72	0	6.00	3
	1.0000	0.4166	7.96	0.04	0	0	0	8.00	2
	1.0000	0.5138	9.98	0	0	0	0	10.00	1

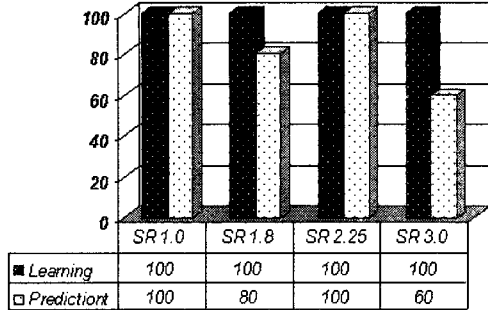


Fig. 9 Success rate in prediction

을 나타냄으로써 실험을 하지 않은 표면거칠기의 접촉압력과 초음파에코비에 대해 예측·판단할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 최근 이산적인 입출력 관계를 학습시켜 네트워크의 결합 계수로 시스템을 구축할 수 있는 적용의 간편성과 몇개의 샘플 데이터를 학습하여 미학습의 데이터에 대한 입력 정보로부터 출력 정보를 추측할 수 있는 일반화 능력 등의 장점을 갖고 있는 신경회로망을 이용하여 지능형 응력 예측기 시스템을 구성하였다.

결합상태하의 SM45C/STS410재에 대한 접촉압력, 개인 변화, 초음파에코비, 접촉부의 표면거칠기 변화의 관계를 역전과 학습알고리즘에 의한 신경회로망으로 학습시켰다. 학습 후, 생성된 처리소자로 테스트하고 예측하여 서로의 관계에 대해 평가·예측하였다. 또한 접촉면에코와 저면 에코특성에 의해 정량적으로 접촉압력을 구할 수 있는 응력예측기법을 제안하고 유효요소법의 해석결과와 비교·검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정량적 접촉압력의 평가를 위한 응력예측기 구축에서 입력소자 3, 은닉층 소자, 9, 출력층 소자 5, 은닉층 1 층, 학습율 0.7, 모멘텀을 0.9, 형상계수 1을 기본구조로 하는 지능형 시스템을 제시하였다.
- (2) 지능형 응력예측기를 이용하여 동일한 조건하에서의 접촉압력 테스트를 한 경우, 전체 20개 패턴 중 90%를, 예측을 한 경우, 전체 20개의 패턴 중 85%의 성공율로 판정함으로써 구축한 시스템의 유용성을 확인하였다.
- (3) 네중류의 표면거칠기 변화에 의한 초음파에코비의

결과에 응력예측기를 이용하여 가상 표면거칠기(1.0, 1.8, 2.25, 3.0 μmR_{max})를 구함으로서 넓은 범위의 표면거칠기에 대해서도 예측·판단할 수 있음을 제시하였다.

- (4) SM45C/STS410재에 대하여 초음파 에코특성에 의한 정량적 접촉압력의 결과로부터 이종금속의 접촉압력에 대한 해석 가능성을 제시하였다.
- (5) 본 연구에서 초음파 측정법은 결합상태하에 있는 상하 평판의 접촉압력을 간단히 정량적으로 측정할 수 있으며, 수직탐촉자의 부착방법이나 접촉매질 등에 의한 입사파음압의 영향을 받지 않기 때문에 접촉압력의 정량적 평가가 가능하다.

참고 문헌

- (1) S. P. Timoshenko, J. N. Goodier, "Theory of Elasticity," McGraw-Hill, p.414. 1951.
- (2) J. W. Hutchinson, M. E. Mear, J. R. Rice, "Crack Paralleling an Interface Between Dissimilar Materials," J. Appl. Mech., Vol. 54, pp.828~832. 1987.
- (3) 水口義久, 小泉焼, 涉谷壽一, "側壁ピンによる接觸壓力測定法の改良", 非破壊検査, 31-11, pp.843~848. 1982.
- (4) 유송민, "수동연삭공정을 위한 유연성디스크가공 모델링," 한국공작기계학회지, 제10권 제2호, pp.12~22. 2001.
- (5) 原利昭, 大石浩彦, "超音波による金屬パンチと非金屬板間の接觸壓力測定," 日本機械學會論文集 A, 51-471, pp.2426~2650. 1985.
- (6) 水口義久, 吉峯鼎, 小泉焼, 萩原隆徳, "超音波による接觸壓力測定(定量測定法について)," 日本機械學會論文集 A, 50-453, pp.953~958. 1984.
- (7) R. P. Lippman, "An Introduction to Computing with Neural Nets," IEEE ASSP Magazine, April, pp.4~22. 1987.
- (8) P. D. Wasserman, "Neural Computing Theory and Practice," Van Nostrand Reinhold, pp.27~59. 1989.
- (9) G. Aleksander, H. Morton, "An Introduction to Neural Computing," Champman and Hall Pub. Co., pp.131~146. 1990.