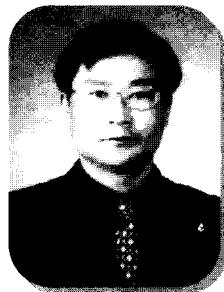


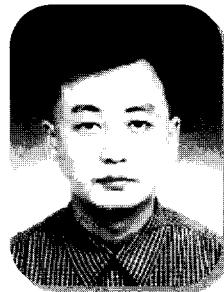
## 신경회로망을 이용한 반도체 패키지의 결합검사용 알고리즘 개발



김재열  
조선대 기계공학부 교수



송민종  
광주보건대학 의료정보학과장



김창현  
조선대 대학원 기계공학부 박사과정

### 1. 서 론

반도체 부품은 각종 전자제품을 포함하는 의료기기 및 군사무기 등과 같은 첨단장비에 필수요소로 사용되고 있으며, 이러한 이유에서 각종 장비의 성능을 크게 좌우하는 반도체 부품의 진전 성평가는 반도체 패키지의 양산과정에서 매우 중요한 항목으로 인식되고 있다.

반도체의 생산에 있어서 핵심부품의 하나인 PGA (Pin Grid Array), BGA(Ball Grid Array)와 같은 반도체 패키지의 생산은 최근 들어 종전의 Lead Frame이 포함된 타입의 개선형으로서 급속한 성장을 기록하고 있다. 따라서 회로집적도 및 정밀도가 매우 높은 반도체 패키지를 대상으로 하는 품질관리가 생산현장에서 지속적으로 요구되고 있으며, 이러한 요구내용을 살펴보면 반도체의 검사용 시스템은 처리속도와 정밀도 및 신뢰성 면에서 시스템의 경쟁력을 확보할 수 있도록 객관적인 성능평가 과정을 요구하고 있다.

현재 사용되는 반도체 검사 시스템으로서는 S.A.T (Scanning Acoustic Tomograph) 장비의 고성능화로 생산현장의 요구를 수용하고 있다. 히타치, 필립스, 소닉스 등과 같은 업체에서 생산하는 이러한 검사장비는 초음파를 이용한 비파괴적인 해석을 통하여

사용자에게 화상으로서 검사결과를 제공함으로서 보다 용이한 결합의 판단이 가능하다. 그러나, 검사자의 숙련성과 많은 횟수의 샘플링 검사를 필요로 하게되고 작업자의 작업조건에 따라서 상이한 결과를 도출할 수 있는 문제점을 내포하고 있으며, 이는 현재 산업현장에서 진행되고 있는 작업공정의 표준화를 고려할 때, 품질 및 생산성의 개선에 있어서 별도의 관리항목으로 검사작업 표준서를 필요로 하게 된다.

그러므로 본 연구에서는 종전에 작업자의 판단에 의존하던 초음파 평가시스템에 인공지능을 부여함으로서 다양한 결합정보를 유추하여 결합의 패턴을 판단하고, 평가공정을 일원화 또는 표준화시킴으로서 산업현장에서 결합의 발생방지를 근원적으로 해결하기 위한 공정제어를 제안하였으며, 이러한 제안의 현장적용을 실현하기 위한 정확하고 표준화된 결합의 정보를 작업공정으로 피드백 할 수 있는 반도체 평가 전문가 시스템의 개발에 대하여 SAT (Scanning Acoustic Tomograph)방법을 근간으로 하여 화상처리 및 신경망을 적용하였다.

### 2. 화상 단순화 처리

본 연구의 화상처리에서 사용되는 단순화 전처리 과정은 신경

망 입력을 위한 목적에 부합하도록 변환시키는 화상처리를 의미 한다.

### 2.1 디지털 화상 취득

디지털 화상은 화상에서의 각각의 점을 픽셀이라고 하고, 각 픽셀의 광강도 (Light Intensity)를 측정하여 그 정도를 일정 구간의 자연수로 나타내는 방식에 의하여 메모리나 보조기억장치에 저장된다.

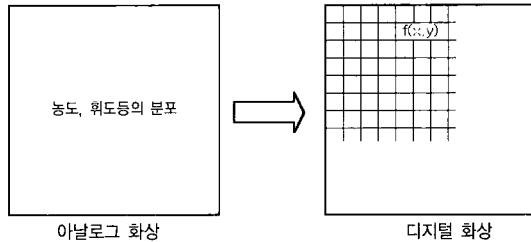


그림 1. Coordinates on a image.

픽셀  $(x, y)$ 에서의 광강도는 대응하는 지점에서 화상의 밝기를 의미하며, 광강도를 수치로 나타내는 과정을 디지털화라고 한다. 취득된 디지털 화상은 Gray Level로서  $f(x, y)$ 의 명암도는 0~256의 수치이다.

### 2.2 평활화 필터 처리

대상으로부터 화상을 취득하는 과정은 화상신호의 표본화, 정량화, 통신 등의 여러 가지 단계를 거쳐서 수행된다. 이러한 과정을 통과하면서 포함된 잡음신호를 제거하기 위하여 공간영역 필터의 한가지인 인근평균방법을 적용하였다.

크기가  $N \times N$ 인 화상  $f(x, y)$ 에서 모든 픽셀요소  $(x, y)$ 에 대하여 이웃하는 국소적 부분  $n \times m$  픽셀들을 평균하여 픽셀  $(x, y)$ 의 명암도로 대체하는 것이 인근평균 필터이다. 이렇게 평활화한 화상을  $g(x, y)$ 라 한다면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{m,n} f(n, m) \quad (1)$$

여기서,  $M$ 은 국소 부분  $n \times m$ 셀의 개수이며,  $S$ 는 국소영역에서의 픽셀들의 집합을 나타낸다. 화상 내에서 픽셀들은  $x=0, 1, 2, \dots, N-1$  그리고  $y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 과 같이  $(x, y)$ 를 변화시키면서 수행할 수 있다.

### 2.3 이치화 처리

농담화상, 컬러화상 등의 다치화상으로부터 이치화상으로 변환하는 과정을 이치화라고 한다. 이치화는 화상 내의 대상을 배경으로부터 분리한 대표적인 처리이며, 화상분할의 일종으로서 간단한 형식의 문턱값 결정처리는 농담화상  $f(x, y)$ , 문턱값  $t$ 에 관계하고 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$f(x, y) = 1 \quad f(x, y) \geq t \text{ 인 경우} \quad (2)$$

$$f(x, y) = 0 \quad f(x, y) \leq t \text{ 인 경우}$$

여기서,  $f(x, y)$ 는 이치화 문턱값에 의해서 결정된  $f(x, y)$ 의 이치화 화상이고  $f(x, y)$ 는  $(x, y)$ 의 농담화상이다. 처리결과  $f(x, y)$ 는 0과 1의 이치화상으로 변환된다.

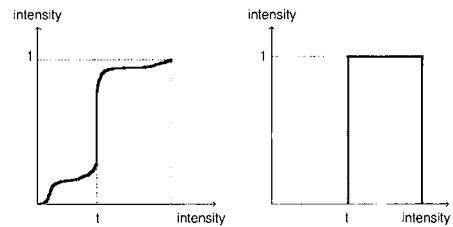


그림 2. Binary conversion for intensity image.

### 2.4 윤곽선 처리

윤곽선은 화상에서 영역의 경계를 나타내는 특징으로 픽셀의 밝기에 대한 불연속점을 나타낸다.

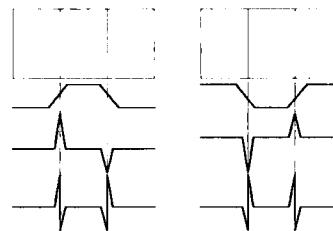


그림 3. Edge detection for Binary image.

본 연구에서는 윤곽선 추출에 의한 화상정보가 역전파신경망에 입력되는 입력벡터로 사용되었으며, 윤곽선 검출은 4-이웃화소 방법을 적용하였다. 좌표가 각각  $(x, y), (s, t)$ 인 화소  $p, q$  사이의 유클리디언 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$D_p(p, q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

이러한 거리측도에 따르면  $(x, y)$ 점으로부터 임의의 값  $r$ 보다 작거나 같은 거리를 갖는 화소들은 중심  $(x, y)$ 에서 반경  $r$ 을 갖는 원 안에 포함된 점들이다.  $p, q$  사이의  $D_4$  거리는 다음과 같이 정의된다.

$$D_4(p, q) = |x-s| + |y-t| \quad (4)$$

중심  $(x, y)$ 로부터  $r$ 보다 작거나 같은 하나의  $D_4$  거리를 갖는 화소들은 대하여  $(x, y)$ 를 중심으로 다이아몬드형으로 구성된다.

2	1	2
1	0	1
2	1	2

그림 4. 4-connected neighborhood operation.

## 2.5 자기 조직화 지도 생성

본 연구에서 역전파 신경망에 입력벡터로 사용하기 위한 화상 정보의 단순화 처리 과정으로서 자기조직화지도(Self-organizing map)를 적용하였다.

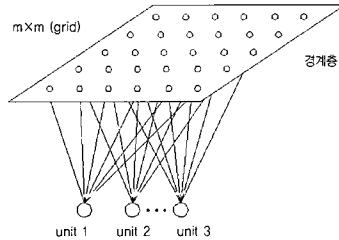


그림 5. Kohen network.

Kohonen의 자기 조직화 지도는 첫 번째 층은 입력층이고, 두 번째 층은 경계층인 2개의 층으로 구성된다. Kohonen 학습은 각 뉴런의 연결강도와 입력정보와의 거리를 계산하여 가장 가까운 거리의 뉴런이 승리하게 되는 승자 뉴런이 출력을 보낼 수 있는 유일한 뉴런이 되며, 승자와 그 이웃의 뉴런들만이 학습과정에서 연결강도를 조정할 수 있다.

자기 조직화 지도에서 입력벡터와 뉴런간의 거리는 다음의 식으로 나타낸다.

$$d_i = \sum_{i=0}^{n-1} X_i(t) - W_{ij}(t)^2 \quad (5)$$

또한, 뉴런  $j$ 와 그 이웃들의 연결강도는 다음의 식으로서 재조정된다.

$$W_j(t+1) = W_j(t) + \alpha(X_j(t) - W_j(t)) \quad (6)$$

## 3. 반도체 결합 분류기의 설계

본 연구에서 사용된 반도체 결합의 패턴 분류기로는 다층 퍼셉트론의 일종인 역전파 신경망을 적용하였으며, 입력층과 출력층 사이에 은닉층이 존재하며 Fig. 6와 같은 계층구조를 갖는다.

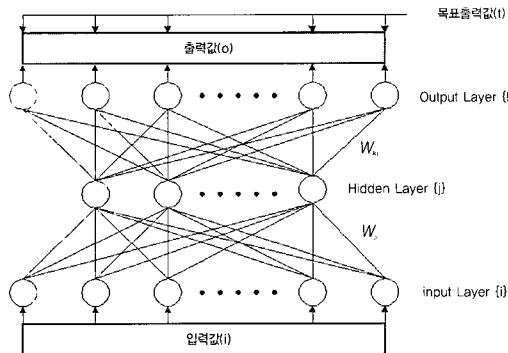


그림 6. Multi-layer perceptron.

다층 퍼셉트론은 단층 퍼셉트론과 유사한 구조를 가지고 있지만 중간층과 각 유닛의 입출력특성을 비선형화 함으로서 네트워크의 능력을 향상하여 단층 퍼셉트론의 단점을 극복하였다. 또한 다층 퍼셉트론의 경우 은닉층의 개수가 증가할수록 결정구역의 특성은 더욱 고급화되며, 3층인 경우에 이론상 어떠한 형태의 구역도 형성할 수 있는 것으로 알려져 있다.

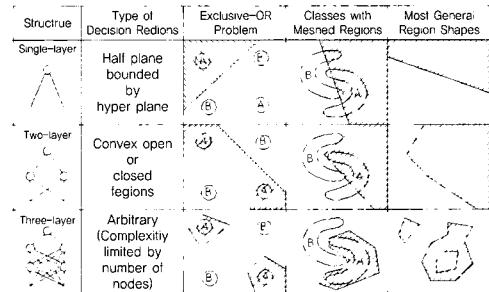


그림 7. Decision boundary by number of layer.

본 연구에서는 은닉층과 출력층의 비선형 활성함수로서 시그모이드 함수를 적용하여 결정영역이 통상의 직선이 아닌 완만한 곡선으로 경계가 형성되도록 하여 은닉층을 학습하도록 하는 역전파 학습 알고리즘을 수행하도록 하였다.

$$H_i = f(\sum_i W_{ji} \cdot I_i + \theta_j) \quad (7)$$

$$O_i = f(\sum_i W_{ki} \cdot H_i + \theta_k)$$

입력층 ( $I$ )과 은닉층 ( $H$ )의 2승오차 ( $E_p$ )를 줄이기 위한 연결강도 ( $W$ )는 다음의 식으로 재조정 된다.

$$W_{ji} = -\eta_3 \cdot \frac{\partial W_{ji}}{\partial E_p} = \eta_3 \cdot \delta_j \cdot I_i \quad (8)$$

여기서,  $\delta_j$ 는 은닉층의 출력오차이며,  $\eta_3$ 는 은닉층의 학습상수이다. 또한, 은닉층 ( $H$ )과 출력층 ( $O$ )의 2승오차 ( $E_p$ )를 줄이기 위한 연결강도 ( $W$ )는 다음의 식으로 재조정 된다. 여기서,  $\delta_k$ 는 출력층의 출력오차이며,  $\eta_2$ 는 출력층의 학습상수이다.

$$W_{ki} = -\eta_2 \cdot \frac{\partial W_{ki}}{\partial E_p} = \eta_2 \cdot \delta_k \cdot H_i \quad (9)$$

모든 패턴 ( $P$ )에 대한 2승오차 ( $E_p$ )는 다음의 식으로 나타낼 수 있다. 여기서,  $(T_{pk})$ 는 목표벡터이며,  $(O_{pk})$ 는 출력벡터이다.

$$E_p = \sum_{p=1}^P (T_{pk} - O_{pk})^2 / 2 = \sum_p E_p \quad (10)$$

이러한 과정을 통하여 각 패턴  $P$ 의 학습으로 2승오차 ( $E_p$ )를 점차 줄임으로서 전체적으로 오차함수 ( $E$ )를 극소화 한다.

#### 4. 검사 시스템 및 결합 시험편

본 연구에서 사용된 SAT 검사 시스템은 히타치사의 장비로서 3축 스캐너를 포함하고 있으며, 초음파 변환기(Ultrasonic Transducer)는 25MHz를 사용하였다. 초음파의 송·수신 유닛들로부터 수신된 초음파 신호는 SAT에 내재된 소프트웨어에 의해서 화상으로 변환된다.

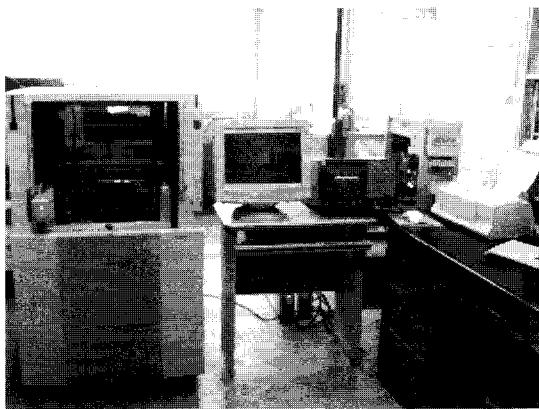


사진 1. Experimental apparatus.

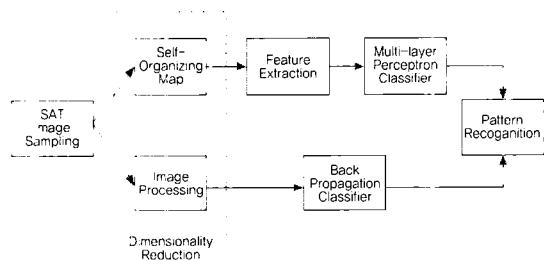


그림 8. Test algorithm.

SAT로부터 출력된 초음파 화상정보는 자체적으로 개발한 소프트웨어에 입력되어 반도체의 건전성 여부를 평가하며, 결함의 종류에 대한 정보를 PC의 모니터 상에 출력한다.

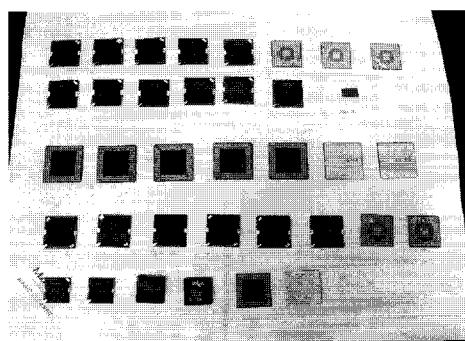


사진 2. Semiconductor packages for test.

#### 5. 결과 및 고찰

전처리 과정들을 통하여 역전파 신경망에 입력되는 입력벡터를 그림12와 그림13에 나타내었으며, 그림12에서의 입력정보는

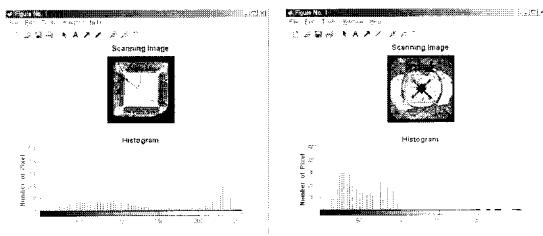


그림 9. Scanning Image.

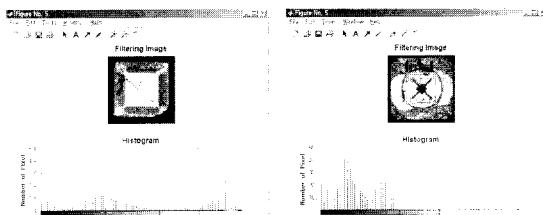


그림 10. Filtering Image.

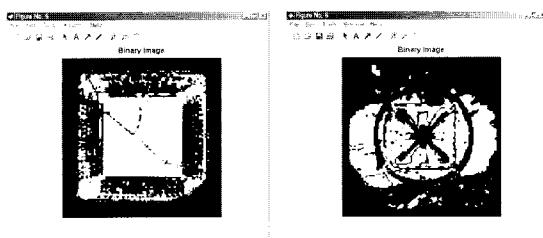


그림 11. Binary Image.

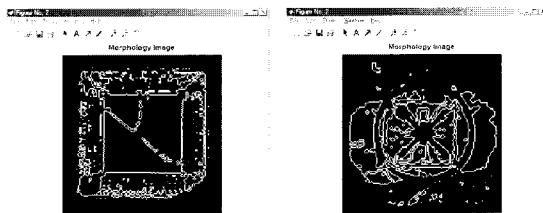


그림 12. Morphology Image.

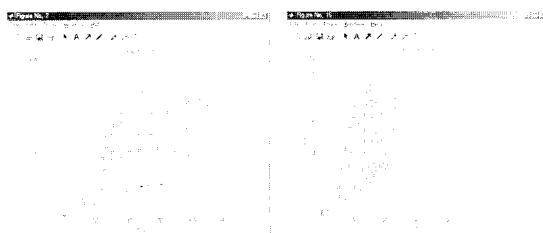


그림 13. Self-organizing map.

22,500개로서 데이터의 내용은 0과 1의 정보로 구성되어 반도체 평가용 소프트웨어의 실행시간을 절감할 수 있고, Fig.13에서의 입력정보는 자기 조직화 지도를 구성하는 결합강도의 개수로서  $10 \times 10$ 개의 데이터를 갖으며, 내용은 0부터 1 사이의 수치이다.

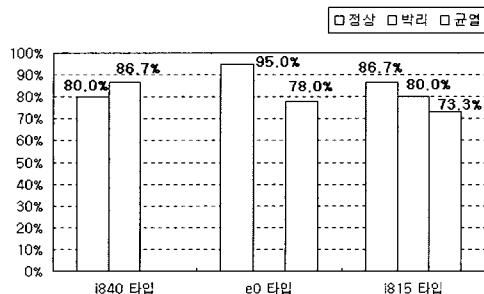


그림 14. Test result by self-organizing map.

본 연구에서 화상 단순화 처리의 과정을 화상처리와 자기조직화 지도라는 2가지 방법을 적용하였으며, 자체적으로 역전파 신경망을 적용하여 개발한 반도체 결합 평가 소프트웨어에 입력하여 결합평가시험을 수행하였다.

그림14와 그림15에서 보여지듯이 자기 조직화 지도에 의한 반도체 결합의 인식률은 80%정도의 결과를 얻을 수 있었으며, 화상처리에 의한 반도체 결합의 인식률은 100%의 결과를 얻을 수 있었다.

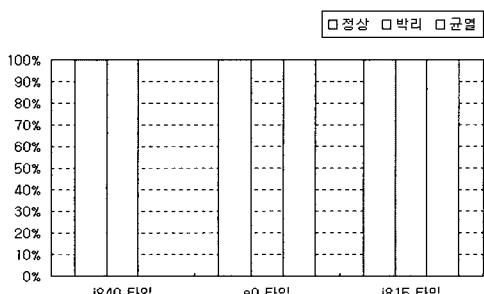


그림 15. Test result by image processing.

자기 조직화 지도에서의 인식률이 화상처리에서의 인식률보다 낮은 이유는 자율학습 신경망은 구조상으로 100%의 인식률을 얻을 수 없으며, 산업현장에 적용하기 위한 중요한 변수인 실행시간의 단축을 위하여 특성상 허용되는 최적조건으로 설정하였다.

표 1. Test time in each method.

화상전처리	실행시간	시스템사양
화상처리	$\leq 03\text{sec.}$	CPU700MHz
자기조직화지도	$\leq 40\text{sec.}$	RAM128MByte

## 6. 결 론

SAT에 의한 지능형 반도체 평가 전문가 시스템의 개발에 대한 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 반도체 결합의 평가에서 화상 단순화 전처리 과정으로 자기 조직화 지도를 적용한 결과, 정상은 87.2%, 박리는 83.4%, 균열은 75.7%의 인식률을 얻었다.
- 2) 반도체 결합의 평가에서 화상 단순화 전처리 과정으로 화상처리를 적용함에 있어 신경회로망에서 다양한 가중치를 설정한 결과, 100%의 인식률을 얻었다.
- 3) 반도체 결합의 평가시간은 화상 단순화 전처리 과정으로 화상처리에 의한 결과는 3sec.이내였으며, 자기조직화지도에 의한 결과는 40sec.이내의 성능을 얻을 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] 김재열, “초음파를 이용한 반도체 패키지의 미소결합검출을 위한 화상처리에 관한 연구”, 한양대 대학원 박사학위 논문, 1990.
- [2] Freeman, H. and Shapira, R., “Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming Techniques”, 1991.
- [3] Fu, K. S., Syntactic Pattern Recognition and Application, Prentice-Hall 1982.
- [4] Fu, K. S. and Rosenfeld, A., “Pattern recognition and image processing.” IEEE Trans. Computers, Vol. C-25, No. 12, 1976.
- [5] Brown, L. L., Jr., “Mean-squared truncation error in series expansion of random functions.” J. SIAM, Vol. 8, 1960.
- [6] Castleman, K. R., Digital Image Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1979.
- [7] Clark, R. J., Transform Coding of Images, Academic Press, New York. 1985.
- [8] Davis, L. S., “A survey of edge detection techniques.” Comput. Graphics Image Proc. Vol. 4, 1975.
- [9] Dougherty, E. R. An Introduction to Morphological Image Processing, SPIE Press, Bellingham, Wash. 1992.
- [10] Gonzalez, R. C. and Fittes, B. A., “Gray-level transformation for interactive image enhancement.” Mechanism and Machine Theory, Vol. 12, 1977.
- [11] Habibi, A., “Two-dimensional Bayesian estimate of images.” IEEE, Vol. 60, 1972.
- [12] 김재열, 김훈조, 홍원, 송경석 “Micro Ball Grid Array의 결합평가를 위한 화상해석” 한국비파괴검사 추계학술 논문집, 1999.
- [13] 방승양. “뉴로컴퓨터” 상호사, 1993.

- [14] 박민용, 최항식. "뉴로컴퓨터" 대영사, 1991.
- [15] 하영호, 임재권, 남재열, 김용석 "디지털 영상처리", 그린, 1998.
- [16] Manual: "Image Processing Toolbox", The Math Works inc.
- [17] Manual: "Neural Network Toolbox", The Math Works inc.

## 저자 약력

### 성명 : 김 재 열

#### ❖ 학력

- 1987년 6월 – 1987년 9월  
일본 Hitachi 건설기계연구소 연수생
- 1989년 3월 – 1991년 8월  
일본 동경대 생산기술연구소 외국인 협력연구원
- 1989년 3월 – 1991년 8월  
조선대 정밀기계공학과 전임강사
- 1992년 6월 – 1992년 9월  
일본 동경공대 정밀공학연구소 객원연구원
- 1995년 9월 – 2000년 8월  
조선대 정밀기계공학과 부교수
- 1996년 3월 – 현재 한국공작기계학회 편집이사
- 1998년 3월 – 현재 한국정밀공학회 기술이사
- 2000년 1월 – 현재 한국비파괴 검사학회 기술이사
- 2000년 9월 – 현재 조선대 정밀기계공학과 교수

### 성명 : 김 창 현

#### ❖ 학력

- 1987년 3월 – 1994년 2월  
조선대 공과대학 정밀기계공학과(학사)
- 1994년 3월 – 1996년 2월  
조선대 대학원 정밀기계공학과(석사)
- 1996년 11월 – 2000년 4월  
(주)대우중공업 전기사업본부
- 2000년 9월 – 현재  
조선대 대학원 정밀기계공학과(박사과정)

### 성명 : 송 민 종

#### ❖ 학력

- 1989년 원광대 공과대학 전기공학과
- 1991년 원광대 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1992년 홍익대 대학원 전기제어공학과(공학박사)

#### ❖ 경력

- 1997년 – 현재  
광주보건대학 의료정보공학과 학과장, 조교수
- 1998년 – 현재  
한국의용생체공학회 교육위원
- 2000년 – 현재  
한국전기전자재료학회 편집위원
- 현재  
광주 · 전남지방 중소기업청 연구 개발 지원단 전문위원

#### ❖ 전공분야

- 전기전자재료

#### ❖ 주관심분야

- 의용센서, 생체재료, 의용계측

