

# 역전파 알고리즘을 이용한 웨이퍼의 다이싱 상태 모니터링

## Monitoring of Wafer Dicing State by Using Back Propagation Algorithm

고 경 용, 차 영 업, 최 범 식

(Kyoung Yong Ko, Young Youp Cha, and Bum Sick Choi)

**Abstract** : The dicing process cuts a semiconductor wafer to lengthwise and crosswise direction by using a rotating circular diamond blade. But inferior goods are made under the influence of several parameters in dicing such as blade, wafer, cutting water and cutting conditions. This paper describes a monitoring algorithm using neural network in order to find out an instant of vibration signal change when bad dicing appears. The algorithm is composed of two steps: feature extraction and decision. In the feature extraction, five features processed from vibration signal which is acquired by accelerometer attached on blade head are proposed. In the decision, back-propagation neural network is adopted to classify the dicing process into normal and abnormal dicing, and normal and damaged blade. Experiments have been performed for GaAs semiconductor wafer in the case of normal/abnormal dicing and normal/damaged blade. Based upon observation of the experimental results, the proposed scheme shown has a good accuracy of classification performance by which the inferior goods decreased from 35.2% to 6.5%.

**Keywords** : dicing state monitoring, semiconductor wafer, back-propagation algorithm

### I. 서론

웨이퍼에서 블레이드(blade)를 사용하여 가로와 세로 방향으로 칩을 잘라내는 다이싱(dicing) 공정은 다른 반도체 제조공정보다 많은 불량률을 나타낸다. 다이싱 공정에서 제품, 즉 칩(chip)의 불량률이 만들어지는 변수로는 블레이드 상태와 재질, 웨이퍼 재질, 냉각수, 그리고 절삭조건 등이 있다.

이러한 제품의 불량률은 작업자가 인지하지 못하는 상태에서, 한 웨이퍼의 다이싱이 끝난 후에 발견되기 때문에 더욱 심각한 상황이 된다. 현재 다이싱 머신의 구조상 웨이퍼의 양/불량 검사는 다이싱 작업을 중단시키고 검사위치로 옮겨서 확대경을 통하여 이루어지도록 되어있다. 결국 생산성 면에서 보면, 다이싱 불량률 작업 중에 단속적으로 감시하기도 어려울뿐더러, 작업자가 계속 확대경을 통하여 다이싱 과정을 지켜보기도 어려운 일이다. 또한 계속 지켜본다고 하더라도 다이아몬드 입자가 박힌 회전 그라인더 형상의 블레이드에는 다이싱 과정에서 계속 냉각수가 분사되기 때문에 다이싱 과정을 정확히 지켜 볼 수가 없다. 더군다나 한 작업자가 여러 대의 다이싱 머신을 조작해야 하기 때문에 양/불량 판정이 다이싱 작업 중에는 거의 불가능하다.

신호처리를 이용한 모니터링에 대한 연구[1]~[5]와 웨이퍼 가공기의 진동해석[6], 그리고 연삭 메카니즘[7][8]에 대한 연구는 개별적으로 이루어져 왔으나, 신호처리 기법을 이용한 웨이퍼의 다이싱 공정 불량선별 시스템에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 이와 같은 연구는 비전

시스템[9]을 적용할 수 없는 경우의 반도체 제조공정의 자동화에 크게 기여할 것으로 생각된다. 그 결과로 안정되고 균일한 성능을 가진 제품을 생산할 수 있고, 작업 라인의 생산 주기를 단축할 수 있는 것은 물론, 제품의 불량률을 확실히 저감시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서는 다이싱 머신에서 불량률이 발생하는 순간에 블레이드 헤드에 장착된 가속도계로부터 전해지는 신호를 처리하여 5개의 특징값을 추출하고, 이를 신경회로망의 입력으로 사용하여 다이싱 정상과 불량, 그리고 블레이드 정상과 파손을 판정하는 다이싱 모니터링(monitoring) 방법을 제안한다. 그리고 실제로 LED용 GaAs 웨이퍼에 적용하여 여러 가지 다이싱 상태에서 제안된 알고리즘의 타당성을 검증한다.

### II. 다이싱 공정과 특징

#### 1. 다이싱 공정

그림 1은 다이싱 장비의 외관을 보여주고, 그림 2는 웨이퍼 다이싱 부(part)를 보여주고 있다. 그리고 그림 3은 다이싱 머신에서 각 운동부의 축을 나타낸다. 웨이퍼 다이싱 과정은 X-Y 테이블 위에 장착된 척 테이블(chuck table)에 다이싱 할 웨이퍼를 올려놓고, Z축 방향으로 상하 이동하는 고속회전축에 다이아몬드 입자가 날 끝에 박힌 얇은 블레이드를 회전시키고, X-Y 테이블을 X축 방향으로 이동시키면서 다이싱이 이루어진다. 한 Line의 절단이 끝나면 다음 Line의 절단을 위해 블레이드는 Z축 방향으로 상향 이동하고, 웨이퍼는 칩의 간격만큼 Y축 방향으로 이동한다. 그리고 X축이 리턴(return)한 후, 회전 블레이드의 Z축이 하향 이동하고, 테이블이 X축 방향으로 이동하면서 다음 Line이 다이싱 된다. 이러한 과정을 반복하면서

웨이퍼를 절단한다.

그림 4는 다이싱 상태에서 웨이퍼와 블레이드의 관계를 도식적으로 보여준다. LED용 GaAs 웨이퍼의 다이싱 경우에, 일반적으로 블레이드 표면에 다이아몬드 입자가 붙어 있는 것을 사용하고, 블레이드 두께는 15 ~ 20  $\mu\text{m}$ , 외경은 50mm, 회전속도는 30,000rpm이다. 그리고 웨이퍼 두께는 약 260  $\mu\text{m}$ 이고, 다이싱된 웨이퍼의 폭은 블레이드의 두께보다 약간 커지는데, 이 폭을 Kerf라 하고 20 ~ 25  $\mu\text{m}$  정도가 된다. 웨이퍼를 잡아주는 테이프(PVC)의 두께는 40 ~ 50  $\mu\text{m}$ 이다. 테이프와 웨이퍼 사이에는 접착부가 있고, 이 두께는 20 ~ 30  $\mu\text{m}$ 이다. 다이싱 과정에서 블레이드는 웨이퍼를 통과해서 접착부를 약 10  $\mu\text{m}$ 만큼 더 들어간다. 일반적으로 다이싱 작업 후 생성되는 칩은 여러 가지가 있지만, 여기서는 가로 0.25mm, 세로 0.25mm, 높이 0.26mm의 크기를 갖는다. 그리고 회전하는 블레이드는 블레이드 헤드의 스피들에 장착되어 Z축 방향으로 상하운동한다. 웨이퍼를 진공적으로 고정하는 X-Y 테이블의 X방향은 블레이드 면과 평행하고, 이송속도는 15 ~ 17 mm/sec이다.

그림 5는 절삭수 공급방법을 보여준다. 절삭수 종류는 증류수(DI Water)를 사용하고, 절삭수 1차공급은 블레이드 회전축과 직각인 방향에서, 2차 공급은 블레이드 회전축과 평행한 방향에서 이루어진다. 그림 6(a)는 다이싱하기전의 GaAs 웨이퍼를 보여주고 있고, 그림 6(b)는 다이싱된 후의 칩 모양을 보여주고 있다.



그림 1. 다이싱 장비의 외관.  
Fig. 1. Photograph of dicing machine.

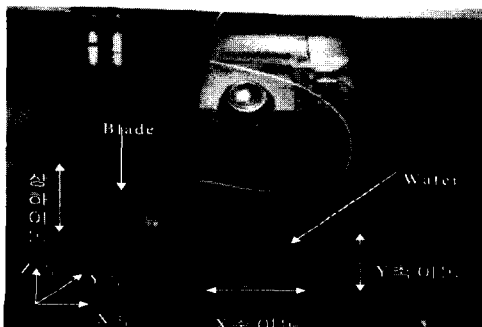


그림 2. 다이싱 부의 사진.  
Fig. 2. Photograph of dicing part.

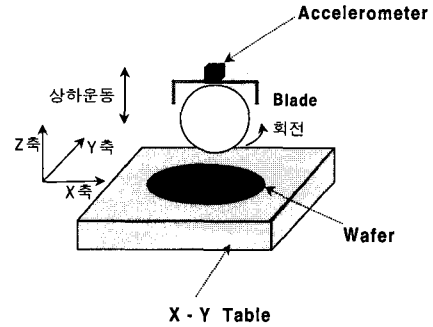


그림 3. 다이싱 머신에서 운동 축.  
Fig. 3. Moving axes in dicing machine.

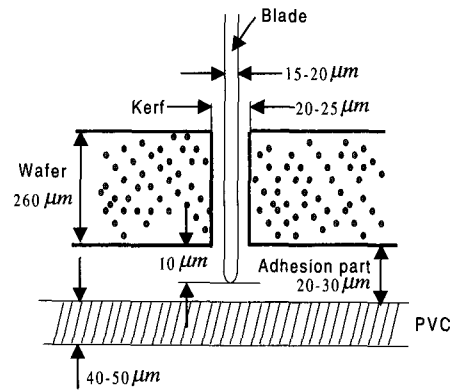


그림 4. 다이싱 상태에서 웨이퍼와 블레이드.  
Fig. 4. Wafer and blade at dicing state.

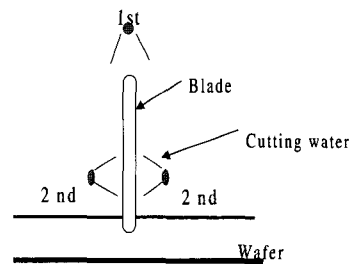


그림 5. 절삭수 공급.  
Fig. 5. Supply of cutting water.

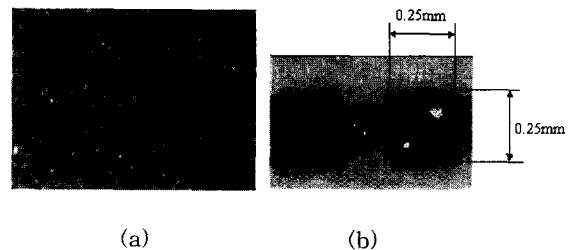


그림 6. (a) GaAs 웨이퍼와 (b) 칩 모양.  
Fig. 6. Photograph of GaAs wafer (a), and Chip shape (b).

2. 다이싱 공정의 특징

다이싱 공정에서 제품의 불량률이 발생하는 요인으로는 웨이퍼 재질에 따른 블레이드의 선택 잘못과 교체시기 초과, 그리고 블레이드 표면의 다이아몬드 입자의 과다탈락에 의한 웨이퍼의 열 발생과 부하증가, 웨이퍼 결정방향과 다이싱 방향의 불일치에 따른 파괴(fracture)와 크랙(crack), 수평방향 다이싱이 끝나고 수직방향 다이싱에서의 칩핑(chipping)발생 등이 있다. 그 외에도 블레이드 조건과 절삭수, 테이블의 이송속도 등 여러 가지 주위조건들에 의해 불량 칩이 발생한다. 이에 따른 불량 칩의 형태에는 그림 7과 같이, 표면 칩핑, 이면 칩핑, 개별적으로 금이 갈라지는 칩핑, 웨이퍼에 길게 금이 갈라지는 쪼개짐 등이 있다.

III. 다이싱 공정의 신호 분석 및 특징값 정의

1. 다이싱 공정의 신호 분석

웨이퍼 다이싱 과정을 살펴보면 회전 블레이드 측은 Z축 방향으로 상,하 이동하고, X-Y 테이블은 블레이드 면에 수직인 수평면에서 좌우로 이동하게 된다. 그림 8(a)는 회전 블레이드의 스피indle 헤드에 Z축 방향으로 가속도계를 장착(그림 2 또는 그림 3 참조)한 후에 얻은 가속도 신호를 보여주고 있다. 여기서 점 A는 블레이드 축이 한 Line의 다이싱을 끝내고 상부위치로 이동하기 위해 Z축 최고점으로 올라가는 부분이고, 그 다음 X-Y 테이블이 리턴한 후, 블레이드가 다음 Line 다이싱을 시작하기 위하여 웨이퍼 표면으로 이동하는 부분이 점 B가 된다. 그리고 X-Y 테이블을 X축 방향으로 이동시키면서 다이싱이 이루어지는데 이 부분이 Dicing process가 된다. 즉, A→B→Dicing process 과정을 계속 반복함으로써 한 웨이퍼의 다이싱이 이루어진다. 가속도계에서 얻은 시간영역의 신호는 FFT(fast fourier transform)에 의하여 주파수영역의 신호로 변환할 수 있다. 그림 8(b)는 주파수 영역의 신호를 시간경과에 따라서 Waterfall로 보여준 것이다. 여기서 500Hz에서 Dominant한 성분이 나타나는데 이는 블레이드가 30,000rpm으로 회전하기 때문이다.

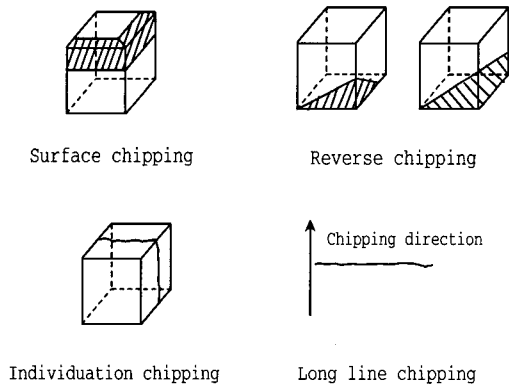
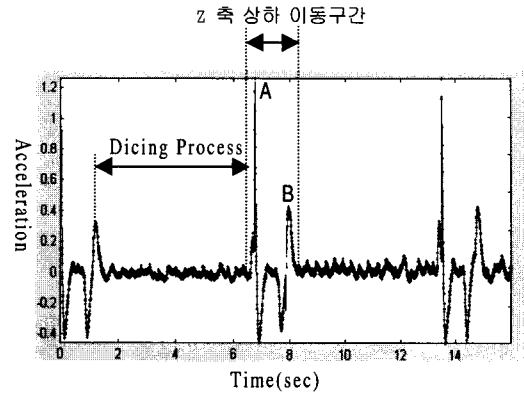
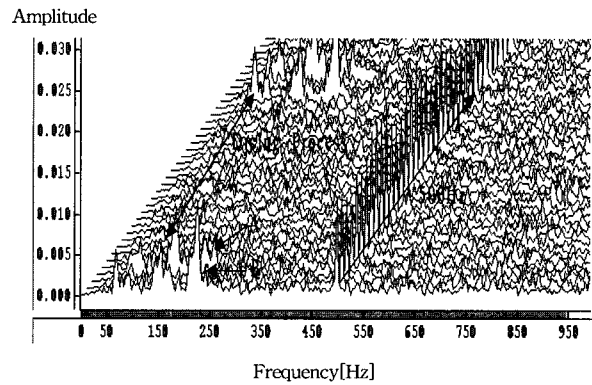


그림 7. 불량 칩의 형태.  
Fig. 7. Bad chip shape.



(a)



(b)

그림 8 (a) 시간영역과 (b) 주파수 영역에서 웨이퍼 다이싱 공정의 신호해석.

Fig. 8. Signal analysis of wafer dicing process in (a) time and (b) frequency domain

본 연구에서는 블레이드 헤드의 진동 데이터 획득을 위하여 가속도계로는 PCB Piezotronics사의 353B33을 사용하고, A/D변환, FFT, 밴드패스 필터링 그리고 알고리즘 구현을 위하여 Strawberry Tree사의 DataShuttle Express H/W와 WorkBench PC for Windows S/W를 사용하였다.

2. 특징값 정의

웨이퍼 다이싱 공정에서 가속도 신호 측정 시 블레이드의 상태, 회전수, 절삭수 뿐만 아니라 외부 노이즈의 영향 등 여러 변수에 의해 다이싱 정상/불량 데이터가 항상 균일하게 나오지는 않는다. 따라서 다이싱 정상/불량 판정에 어려움이 있는데, 이에 따른 효과적인 정상/불량판정을 위하여 특징 값 추출과 역전과 알고리즘을 적용한다.

블레이드 헤드에 장착한 가속도계로부터 얻은 데이터 범위는 0Hz에서 1000Hz까지이고, 이 주파수 구간에서 특징값을 추출한다. 본 연구에서는 다음과 같이 5가지 특징값을 정의하여 사용한다.

i) 50-950Hz 구간에서 적분값 : 이 구간은 거시적인 다이싱 정상/불량 판정을 할 수 있는 구간으로 특히 블레이

드 정상/파손을 구분할 수 있다.

ii) 50-400Hz 구간에서 적분값 : 이 구간에서는 블레이드가 다이싱을 끝내고 다음 Line으로 이동하기 위해 Z방향으로 이동하는 영역의 특징이 나타나는 구간으로, 다이싱 정상/불량 판정은 물론 블레이드가 정상이라도 다이싱 불량인 경우에 이를 판정할 수 있는 구간이다.

iii) 400-600Hz 구간에서 적분값 : 500Hz를 포함하고 있는 이 구간에서의 적분값은 30,000rpm으로 회전하는 블레이드와 웨이퍼가 직접 접촉한 후 절단이 이루어질 때의 신호가 나타나는 부분으로서 웨이퍼 절단 시 정상/불량 판정을 할 수 있는 구간이다.

iv) 600-950Hz 구간에서 적분값 : 전체 구간에서 적분값을 보면 데이터는 정상인데도 칩핑이 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우는 블레이드 날 불량과 웨이퍼 크랙 등의 원인으로 인하여 전체구간의 적분값 자체는 정상으로 나오지만 칩핑이 발생하는 경우이다. 이러한 점에 대비하여 이 구간에서의 적분값을 다이싱 정상/불량 판정에 활용한다.

v) 500Hz에서의 진폭값 : 500Hz에서의 진폭값을 측정함으로써 웨이퍼 절단 시 블레이드 헤드에 전해지는 가장 Dominant한 성분을 분석하여 다이싱 정상/불량을 판정한다.

이와 같이 특징 값을 5가지로 구분함으로써 각각의 구간마다 웨이퍼 절단 시 정상/불량과 블레이드 정상/파손 판정에 대해 민감하게 반응시키고, 그리고 서로 보완시킬 수 있다.

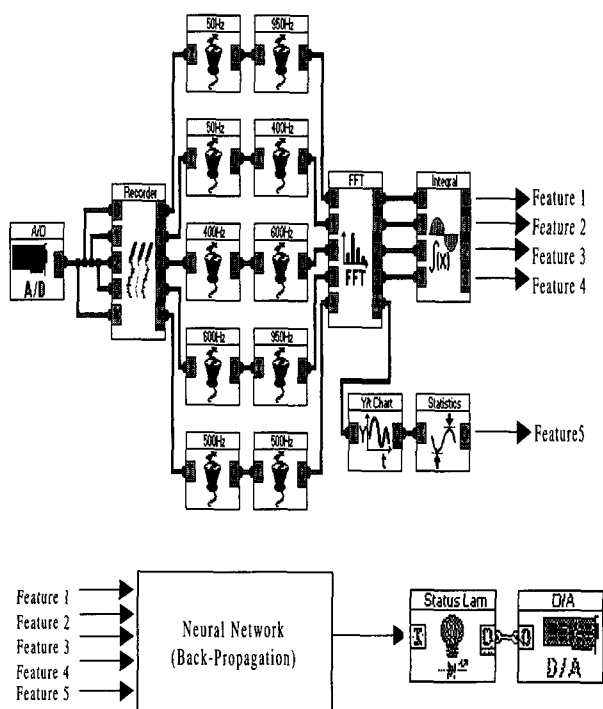


그림 9. 다이싱 상태 모니터링 시스템.  
Fig. 9. Dicing process monitoring system.

**IV. 역전파 알고리즘을 적용한 실험결과**

다이싱 상태 모니터링 시스템을 위한 다이싱 정상/불량 그리고 블레이드 정상/파손 분류 알고리즘에 대한 순서도가 그림 9에 나와있다. 여기서보면 가속도계로부터 획득한 신호는 밴드패스필터와 FFT, 그리고 적분을 통하여 5개의 특징값으로 변환되고 역전파 알고리즘에 의해 다이싱과 블레이드의 양/불량 판정이 이루어진 후 불량이면 알람램프를 동작시키고 공정을 정지시킨다.

전방향 과정과 역방향 과정을 포함한 전반적인 역전파 진행과정은 그림 10과 같다. 역전파 알고리즘[10]을 이용하기 위하여 네트워크는 가중치를 0에서 1까지의 작은 수로써 무작위(random)로 초기화 한다. 가중치가 초기화되면, 실제 출력값을 얻을 때까지 전방향으로 네트워크를 진행시킨다. 역전파는 새로운 가중치를 만들 때 용이하며, 이러한 반복을 통하여 실제 출력과 요구되는 출력사이의 전체오차를 줄여 나간다. 트레이닝 집합의 전체벡터를 모두 한번씩 입력한 시기를 기점(epoch)이라 한다면, 하나의 기점을 마친 후, 모든 오차가 허용오차보다 적은 경우 네트워크가 수렴했다고 할 수 있다.

네트워크의 구조결정과 특징값 그리고 다이싱과 블레이드의 정상/불량 판정 알고리즘의 타당성 검증을 위하여, 네트워크의 입력값으로 5개의 특징값을 전부 사용한 경우와 4번째 특징값을 제외한 4개의 입력값만을 사용한 경우로 나누어 실험하였다. 역전파 변수인 가상온도  $T=0.6$ , 학습율  $\eta=0.8$ , 모멘텀 상수  $\alpha=0.7$  로 하여 100,000회 반복하고 나서, 마지막 기점에서 평균오차(average error)와 최대 오차(worst error)를 검사하였다.

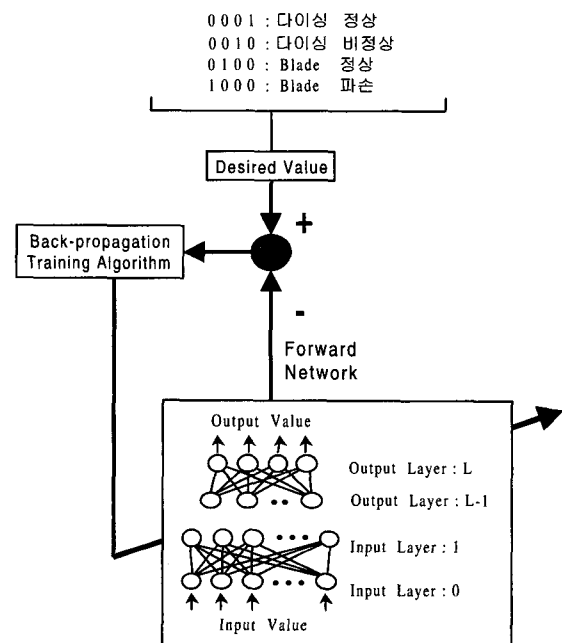
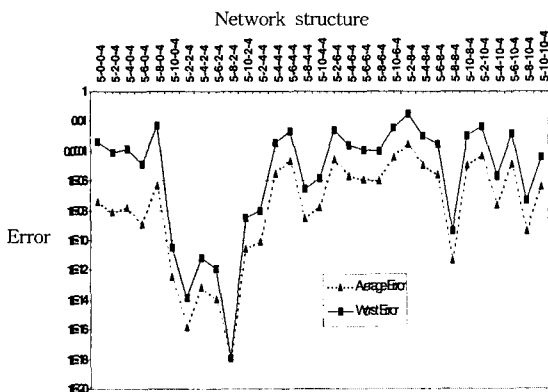
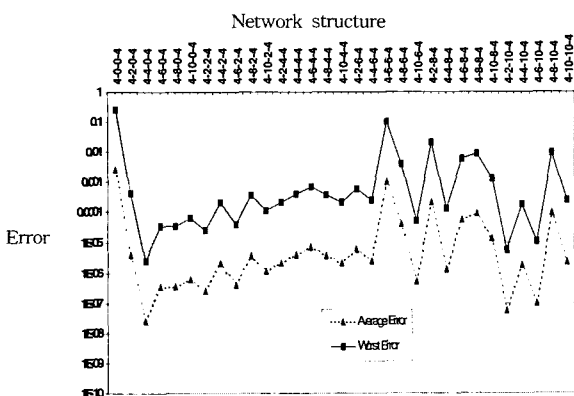


그림 10. 역전파 네트워크 구조.  
Fig. 10. Network of back-propagation.

각 네트워크에 특징값 정의에 따라 얻은 입력값으로 각각 80개의 패턴을 만들어 사용하고, 오차범위는 0.01, 그리고 변수는  $T=0.8$ ,  $\eta=0.6$ ,  $\alpha=0.7$  로 하여 네트워크 가중치들을 구했다. 네트워크의 결정은 평균오차보다 최대 오차가 낮아야 오차범위를 최소로 할 수 있으므로, 최대오차가 가장 적은 네트워크를 분류 네트워크로 결정한다. 그리고 적은 수의 네트워크일수록 계산량과 시간이 줄어들므로 비슷한 오차율이라면 네트워크 수가 적은 것을 선택해야 한다. 그림 11은 위의 변수조건에 의한 네트워크 오차를 보여준다. 점선은 평균오차를 나타내고, 실선은 최대 오차를 나타낸다. 여기서보면 5-8-2-4 구조와 4-4-4의 구조를 갖는 2개의 네트워크가 가장 적은 최대오차를 가지며, 5-8-2-4구조의 네트워크는 99%의 신뢰도를 보였고, 4-4-4구조의 네트워크는 95%의 신뢰도를 보였다. 즉 5개의 특징값을 사용한 경우가 4개만 사용한 경우보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 11. (a) 5개의와 (b) 4개의 입력뉴런에서 역전파 네트워크 오차.

Fig 11. Network error of back-propagation in (a) Five and (b) four input neuron

그림 12는 1차와 2차(그림 5참조) 절삭유량에 따른 500Hz의 진폭과 50에서 950Hz 대역에서 적분값의 변화를

보여준다. 여기서 보면 1차와 2차 유량이 적어질수록 500Hz 진폭과 50-950Hz 대역의 적분값이 낮아지는 것을 볼 수가 있는데 이는 절삭수가 분사되면서 블레이드 날에 계속해서 충격을 가하기 때문에 유량이 적을수록 다이싱 공정에는 유리하다. 하지만 절삭수가 없는 공정은 절삭수가 있는 공정보다 불량 발생률이 더 많다. 이는 절삭수가 웨이퍼의 다이싱에서 발생하는 열을 감소시키고 절단시 발생하는 미세한 칩을 씻어주기 때문이다. 따라서 적당한 유량 선정이 중요하다. 본 연구에서는 모든 실험에서 절삭수량을 1차에 0.8 l/min, 2차에 0.6 l/min로 일정하게 공급했다.

그림 13은 블레이드가 정상과 파손일 때 Z축에서 측정된 500Hz의 진폭과 50에서 950Hz 대역에서 적분값(80개 데이터의 평균값)을 보여주고 있다. 이 결과를 보면 블레이드가 정상일 때와 파손일 때 두 수치가 모두 차이를 보이고 있다. 즉 블레이드가 파손일 때가 정상일 때보다 두 값에서 더 크게 나온다. 이는 블레이드 파손 시에 진동이 더욱더 심한 것을 가리킨다.

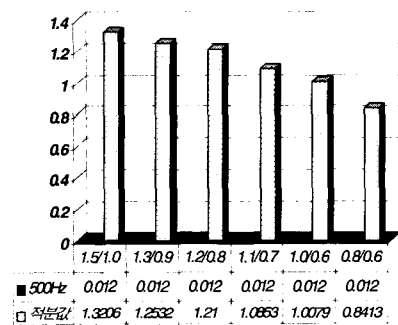


그림 12. 절삭유량에 따른 실험결과.

Fig. 12. Experimental result according to volume of cutting water.

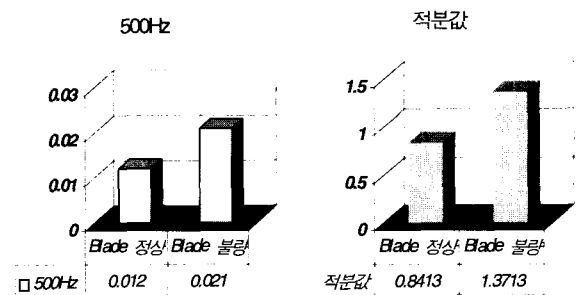


그림 13. 블레이드 상태에 따른 실험결과.

Fig. 13. Experimental result according to blade state.

LED 전용 GaAs 웨이퍼 한 개의 가로와 세로방향 다이싱을 위하여 약 300-400라인의 절단이 필요한데 각각 10개의 웨이퍼에서 기존의 육안검사에 의한 다이싱에서는

35.2%의 불량률이 발생하는 반면에, 500Hz의 진폭과 50에서 950Hz 대역에서 적분값을 사용하여 문턱치로 정상/불량을 판별한 경우에는 12.8%의 불량률이 발생했고, 5개의 특징값을 모두 사용하여 역전파 알고리즘에 적용한 경우에는 6.5%로 불량율이 현저히 감소하였다. 불량율을 더욱더 감소시키는데 문제가 되는 것은 다이싱 공정 중에 여러 변수들, 즉 절삭수량의 변화, 블레이드 회전속도와 이송속도, 각 블레이드의 다이아몬드 입도의 불균일, 가로와 세로방향 다이싱에 따른 재료의 방향성, 그리고 각 장비의 특성에 따른 노이즈(noise) 영향에 따라서, 네트워크의 입력으로 사용되는 특징값이 모든 다이싱에서 각각의 상태에서 항상 일정하게 나오는 것이 아니기 때문이다.

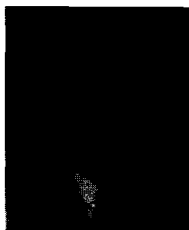
**V. 결론**

본 연구에서는 다이싱 머신의 블레이드 헤드에 가속도계를 부착하고 여기서 얻어지는 시간영역의 신호를 FFT에 의하여 주파수 영역의 신호로 변환한 뒤에, 유용한 5개의 특징값을 추출하여 역전파 알고리즘에 적용함으로써 다이싱 정상/불량 그리고 블레이드 정상/파손을 판정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이러한 알고리즘을 이용하여 다이싱 불량 또는 블레이드 파손이 발생하는 순간에 자동으로 작업자에게 알리는 시스템을 구성할 수 있었다.

**참고문헌**

[1] H. T. Grimmeliuss and P. P. Meiler, et al., "Three state -of-the-art methods for condition monitoring," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 42, no. 2, pp. 407-416, 1999.  
 [2] L. M. D. Owsley, L. E. Atlas, and G. D. Beranrd, "Selforganizing feature maps and hidden markov

models for machine-tool monitoring," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 45, no. 11, pp. 2787-2797, 1997.  
 [3] S. Li and M. A. Elbestawi, "Tool condition monitoring in machining by fuzzy neural networks," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 118, pp. 665-672, 1996.  
 [4] Kwa, M. K. and Denoyer, K. K., "Dynamic modelling and vibration suppression of a slewing structure utilizing piezoelectric sensors and actuators," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 189, no 1, pp. 13-31, 1996.  
 [5] T. C. Lim and G. C. Steyer, "Hybrid experimental -analytical simulation of structure-borne noise an vibration problems in automotive system", SAE, vol. 408, 1992.  
 [6] 김명업, "웨이퍼가공기의 진동 해석 및 실험적 검증", 한국과학기술원 학위 논문, 1990.  
 [7] A. Hassui and A. E. Diniz, et al., "Experimental evaluation on grinding wheel wear through vibration and acoustic emission", *Wear*, vol 217, pp. 7-14, 1998.  
 [8] K. Subramanian, S. Ramanath, and M. Tricard, "Mechanism of material removal in the pression production grinding of ceramics", *Journal of Manufacturing science and Engineering*, vol. 119, pp. 509-519, 1997.  
 [9] 오제휘, 차영엽, "비전 시스템에서 신경 회로망을 이용한 검사 영역에 관한 연구", 제어 자동화 시스템공학회지, 제4권, 제3호, pp. 387-383, 1998. 6.  
 [10] A. S. Pandya and R. B. Macy, "Pattern recognition with neural networks in C++", CRS Press, 1995.



**고 경 용**

1972년 4월 28일생. 1997년 원광대 기계공학과 졸업. 1998년~동대학원 석사 과정. 관심분야는 신호처리, 영상처리. 이동로봇.



**최 범 식**

1974년 3월 6일생. 2000년 원광대 기계공학과 졸업. 2000년~동대학원 석사 과정. 관심분야는 신호처리, 영상처리. 이동로봇.



**차 영 엽**

1961년 11월 18일생. 1984년 부산대 기계공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 생산공학과(석사), 한국과학기술원 정밀공학과 박사(1995). 1995 - 현재 원광대학교 기계공학부 조교수. 관심분야는 이동 로봇, 영상처리, 지능제어.

분야는 이동 로봇, 영상처리, 지능제어.