

필터자동검사장치의 최적 운전 파라미터 동조를 위한 퍼지 모델링 기법의 적용

Application of Fuzzy Modeling Scheme to Optimal Parameter Tuning of Filter Test Equipment

한 윤 종, 육 의 수, 김 성 호
군산대학교 전자 정보 공학부

Yun-jong Han, Yui-Su Youk, Sung-Ho Kim
Dept. of Electronics and Information Engineering
Kunsan National University
E-mail : totorokiki@kunsan.ac.kr

요 약

일반적으로 반도체 생산 라인으로부터 생산되는 제품의 수율은 반도체의 가격에 직접적인 영향을 미치는 인자로 고수율의 제품 생산을 위해서는 반도체 생산라인 내부의 공기를 청정하게 할 필요가 있으며 이를 위해 고성능의 필터들이 사용되고 있다. 이러한 필터의 재료는 초극세 섬유로 작업자의 부주의한 조작에 의해 필터 표면에 핀홀(pinhole)등이 발생하기 쉽다. 이러한 핀홀은 육안으로 관측이 힘들 뿐만 아니라 필터의 여과 성능에도 악영향을 미치는 요소로 필터 생산업체에서는 이의 검출 및 보수에 많은 인력이 투입되고 있다. 본 연구에서는 필터 표면에 발생된 핀홀을 검출할 수 있는 자동 테스트 장치를 제안함과 동시에 제안된 테스트 장치의 효율적 운영을 가능케 하는 최적 운전 파라미터를 퍼지 모델링 기법을 이용하여 튜닝하고자 한다.

1. 서론

최근 반도체 산업의 활황으로 반도체 제조 라인의 증설이 추진되고 있다. 일반적으로 반도체 생산 라인으로부터 생산되는 제품의 수율은 반도체의 가격에 직접적인 영향을 미치는 인자로 고수율의 제품 생산을 위해서는 반도체 생산라인 내부의 공기를 청정하게 할 필요가 있으며 이를 위해 고성능의 필터들이 사용되고 있다. 또한 사회가 고도화됨에 따라 현대인들은 건강에 많은 관심을 갖게 되어 이전보다도 더욱 깨끗한 공기를 호흡하고자 하는 욕구가 늘어감에 따라 최근 국내에서도 회사 및 가정의 공기청정을 위한 다양한 형태의 공기청정기가 생산 판매되고 있다. 이러한 용도로 사용되는 필터에는 ULPA 및 HEPA 필터가 있으며 이들 필터는 재료로 초극세 섬유를 사용한다. 그러나 사용되는 섬유는 연약하기 때문에 부주의한 조작에 의해 필터 표면

에 핀홀(pinhole)등이 발생되기 쉽다. 이러한 핀홀은 육안으로 관측이 힘들 뿐만 아니라 필터의 여과 성능에도 악영향을 미치는 요소로 필터 생산업체에서는 이의 검출 및 보수에 많은 인력이 투입되고 있다. 현재 대부분의 필터 생산공장에서는 필터의 표면에 존재하는 핀홀의 검출을 위해 작업자가 수동으로 계측기(particle counter)를 필터 표면을 스캔하며 필터 표면으로부터의 일정 크기 이상의 입자가 규정농도 이상 검출되면 이곳의 위치를 표기하며 수정이 가능한 정도의 핀홀이라면 추가 수정작업을 통해 필터의 손상된 부분을 처리한다. 그러나 이러한 수동작업은 매우 고된 작업으로 작업자의 업무기피의 원인이 되기도 한다. 본 연구에서는 국내외의 많은 필터 생산공장에서 효율적으로 적용이 가능한 ULPA 또는 HEPA 필터 표면에 발생되는 핀홀의 검출을 가능케 하는 지능형 자동 필터 리크 테스트

장치를 제안하고자 한다. 제안된 장치는 필터 표면으로부터의 입자를 검출하는 입자 검출부와 이를 필터 표면상에서 스캔하게 하는 1축 로봇 시스템, 그리고 필터 하부에서 DOP등이 포함된 외부공기를 강제로 불어넣는 기능을 하는 인버터 구동 송풍기 등으로 구성된다. 이러한 시스템의 효율적 운영을 위해서는 여러 가지 변수들이 최적화되어야 한다. 본 연구에서는 이들 파라미터의 튜닝을 위해 퍼지 모델링 기법을 도입하고자 하며 이들 기법에 의해 구해진 파라미터를 실제 시스템에 적용하여 봄으로써 구해진 파라미터의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 자동 필터 리크 테스트 장치

본절에서는 HEPA 및 ULPA 필터의 리크 검출을 위한 테스트 장치의 전체 구조에 대해 설명하고자 한다. 제안 설계된 장치의 전체 구조는 그림 1과 같다.



그림 1. 필터 리크 검사 시스템
Fig. 1. Filter leak test system

필터 리크 검사 시스템은 크게 장치에 고정된 필터의 하부로 강제적으로 공기를 불어 넣어 주는 송풍 시스템과 필터 상부에 설치되어 표면을 스캔하는 입자 검출부 및 입자 검출부를 규정된 속도로 이송시키기 위한 1축 로봇 시스템으로 구성되며 이들 특성은 다음과 같다.

2.1. 송풍 시스템

필터 표면에 존재하는 미세한 핀홀을 효율적으로 검출하기 위해서는 강제적으로 외부 공기(대기전)를 끌어 들여 필터를 통과 시켜야 한다. 만약 필터 표면에 핀홀이 존재한다면 핀홀을 통과한 공기는 여과되지 못해 대기에 포함된 입자를 그대로 배출하며 그 외 핀홀이 없는 부분에서는 여과된 공기가 배출되게 된다. 이러한 기능을 수행하는 송풍 시스템은 테스트 하고자 하는 필터의 종류 및 크기에 따라 풍량이 조절되어야 함과 동시에 대기

에 포함된 입자의 수가 규정 이하일 경우에는 DOP (DiOctyle Phthalate)를 섞어 송풍하여야 한다. 풍량조절 및 DOP 투입 기능을 갖는 송풍 시스템의 전체 구조는 그림 2와 같다.

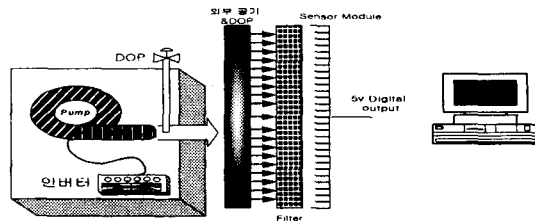


그림 2 송풍 시스템의 구조
Fig. 2. Structure of Flow System

2.2 입자 검출 시스템

입자 검출 시스템은 그림 3과 같으며 테스트 필터의 위쪽 위치하며 핀홀을 통해 빠져나온 공기에 포함된 입자의 수를 계수하는 기능을 수행한다. 그림에서 보는 바와 같이 센서 시스템에 연결된 진공 펌프로부터 필터 상부의 공기를 빨아 들여 오리피스 노즐을 통해 일정 유속을 만든 후 이러한 공기 흐름에 포함된 입자를 계수하기 위해 레이저 빔을 통과시킨다. 이때 레이저 빔이 흡입된 공기에 존재하는 입자와 부딪치게 되면 광산란이 발생하게 되고 이들 산란광을 PD를 통해 검출하게 된다. 따라서 일정 크기의 입자에 부딪혀 발생하는 산란광의 크기는 피크형태의 전기적 신호로 변형이 가능하게 되며 이러한 피크를 계수함으로써 공기중에 포함된 입자의 계수가 가능하게 된다. 본 입자 검출 시스템은 HEPA 및 ULPA 필터의 표준 검사 입자인 0.3um의 입자에 반응하도록 설계되었다. 이러한 입자 검출 센서는 컴퓨터와의 인터페이스를 위해 아날로그 신호처리부 및 원칩 마이크로프로세서와 함께 사용되며 또한 동시에 한번 스캔시 넓은 면적의 검사하기 위해 그림 3와 같이 그룹으로 묶여져 사용된다.

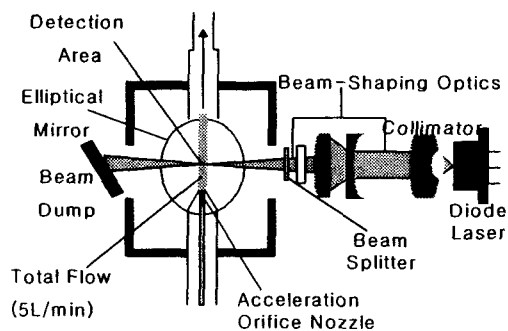


그림 3. 입자 검출 시스템의 구조
Fig. 3. Structure of particle detection system

2.3 1축 로봇 시스템

이송 시스템은 입자 검출시스템의 필터 표면 스캔을 위해 사용되며 직선 왕복운동을 수행한다.

2.4 실시간 제어 및 모니터링 시스템

상기의 각종 시스템의 효율적 운영을 위해서는 송풍 시스템의 속도제어, 입자 검출 시스템과의 데이터 통신, 각종 솔레노이드 밸브와 릴레이 구동 및 리크 검출 표시가 필요하며 본 연구에서는 컴퓨터에 의한 실시간 제어 및 모니터링 시스템을 사용하고 있다. 설계된 실시간 제어 및 모니터링 시스템은 24개의 입자 검출 시스템의 출력을 실시간으로 읽어 들여 필터 표면의 리크를 검사자에게 실시간으로 나타내준다. 실시간 모니터링 시스템의 구성도를 나타내면 그림 4와 같다.

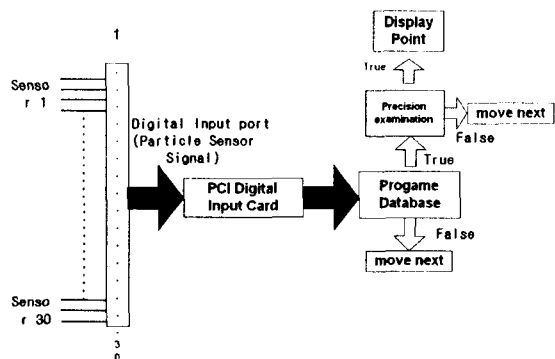


그림 4. 실시간 모니터링 시스템
Fig. 4. Real-time monitoring system

2.5 자동 테스트 장치의 파라미터 동조

상기 자동 테스트 장치에서 필터 표면에 존재하는 편홀의 효율적 검출을 위해서는 여러개의 파라미터가 최적으로 동조되어야 한다. 이들 동조 파라미터에는 송풍 시스템으로부터 테스트 필터의 하부로 공급되는 DOP가 포함된 대기진의 풍량 및 DOP 농도, 입자 검출 시스템의 스캔속도 및 1,2차 측정시의 시간 지연 등을 들 수 있다.

3. 자동 필터 리크 검사 장치의 파라메타 동조를 위한 퍼지 모델링 기법

본 절에서는 자동 테스트 장치의 최적 파라미터의 동조를 위해 학습을 통해 얻어진 인공신경망으로부터 퍼지 규칙의 도출이 가능한 RBFN(Radial Basis Neural Network)을 사용하고자 한다.

3.1 RBFN

Moody and Darken은 함수를 대표하고 있는 은닉

층을 가지고 있는 RBFN을 제안하였으며 이의 구조는 그림 5와 같다[1,2].

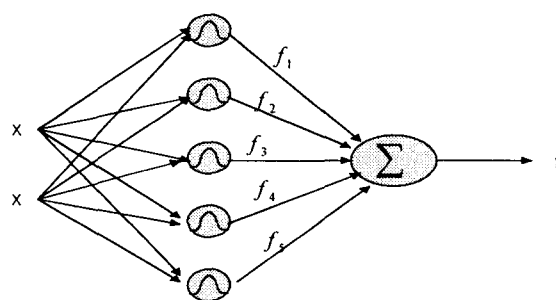


그림 5. RBFN의 구조
Fig 5. Structure of RBFN

여기서 은닉층의 i 번째 출력을 나타내면 식(1)과 같다.

$$\omega_i = R_i(\vec{x}) = R_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| / \sigma_i), i = 1, 2, 3, \dots, H \quad (1)$$

여기서 \vec{x} 는 N 차원의 입력 벡터이고, \vec{c}_i 는 \vec{x} 와 같은 차원의 벡터이다. 또한 H 는 은닉층 뉴런의 수이고, $R_i(\cdot)$ 는 은닉층 뉴런의 출력이다. 일반적으로 $R_i(\cdot)$ 는 식(2)로 표현되는 Gaussian function을 사용한다.

$$R_i(\vec{x}) = \exp\left[-\frac{\|\vec{x} - \vec{c}_i\|^2}{\sigma_i^2}\right] \quad (2)$$

또한 식(1)을 이용한다면 RBFN의 출력은 다음과 같다.

$$f(\vec{x}) = \frac{\sum_{i=1}^H f_i \omega_i}{\sum_{i=1}^H \omega_i} = \frac{\sum_{i=1}^H f_i R_i(\vec{x})}{\sum_{i=1}^H R_i(\vec{x})} \quad (3)$$

여기서 f_i 는 i -번째 은닉층 뉴런과 출력의 결합강도를 나타낸다.

3.2 퍼지 시스템과의 관계

Jang 등은 RBFN이 퍼지 시스템과 구조적으로 같다는 것을 입증하였다[3]. 만일 m -개의 입력 (x_1, \dots, x_m) 에 대해 각각의 중심 값이 \vec{c}_i 이고 분산이 σ_i 인 가우시언 멤버십 함수를 전건부로 갖는 1-개의 퍼지 규칙은 전건부의 AND 연산자를 곱(product) 연산으로 대체한다면 각 규칙 전건부의 적합도는 다음과 같이 표현된다.

$$f_i = \exp\left[-\frac{(x_1 - c_{i1})^2}{\sigma_{i1}^2} \dots - \frac{(x_m - c_{im})^2}{\sigma_{im}^2}\right], i = 1, \dots, l \quad (4)$$

만일 식(4)에서 $\sigma_i = \sigma_{i1} = \dots = \sigma_{im}$ 이면, 식(4)는 식(2)와 같게 된다. 또한, 퍼지 시스템에서 비퍼지

화 방법으로 무게 중심 법을 사용한다면 RBFN은 퍼지 시스템으로 모사하는 것이 가능하게 된다.

4. RBFN의 자동 필터 리크 검사 장치에의 적용

자동 필터 리크 검사 장치는 DOP 농도, 송풍시스템의 유량 및 파티클센서 시스템의 1,2차 측정 지연시간을 입력 파라미터로 하고 그림 6과 같은 기지의 핀홀(mask pattern) 위치를 알고 있는 필터로부터 측정되는 기지의 핀홀과 측정된 핀홀간의 유클리드 거리, 기지의 핀홀을 측정하지 못한 경우의 수, 핀홀이 없는 위치를 핀홀이 있는 것으로 판단한 경우의 수를 출력으로 하는 블랙박스로 간주할 수 있다.

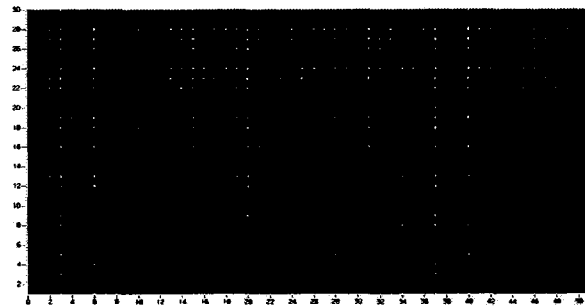


그림 6. 테스트 패턴(pinhole 위치)
Fig. 6. Test pattern(position of pinhole)

설정된 임의의 DOP 농도, 지연시간 및 송풍기속도에 대한 측정 시스템의 출력응답의 일례는 그림 7과 같다. 그림으로부터 알 수 있듯이 DOP 농도, 지연시간 등과 같은 입력 파라미터를 잘 동조하여 그림 6과 같은 출력이 나오도록 하여야 한다.

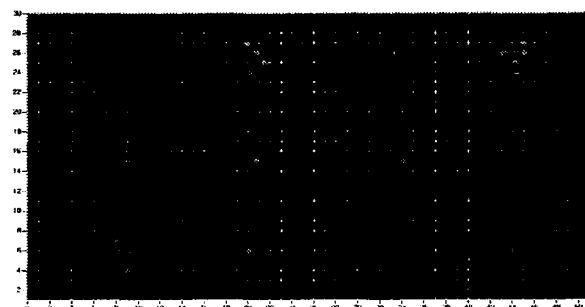


그림 7. 테스트 결과
Fig. 7. Result of test

상기의 블랙박스를 RBFN으로 모델링 하기 위해서는 다양한 형태의 운전 데이터가 필요하게 되며 이를 위해 본 연구에서는 다수의 실험을 수행하였

다. 모델링에 사용된 RBFN은 입력층(3개), 은닉층(5개) 및 출력층(3개)로 구성된다. 장치의 최적 파라미터의 동조를 위해 최적의 운전 파라미터의 조건인 Euclidean distance가 1 False rate가 0 및 Missing rate를 0으로 하는 DOP, Flow, Delay_time의 조건은 각각 DOP=0.5976, Flow=0.6134 및 Delay_time= 0.6578을 구할 수 있었으며 이를 시스템에 적용하여 운전하였을 경우의 테스트 결과를 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8로부터 알 수 있듯이 RBFN을 통해 얻어진 동조파라미터는 바람직한 결과를 얻을 수 있었다.

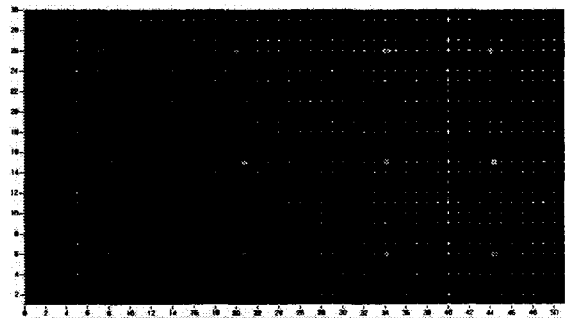


그림 8. 최적 파라미터 적용시의 응답 특성
Fig. 8. Test result for optimal system parameters

5. 결론

본 연구에서는 자동 테스트 장치의 최적 파라미터의 동조를 위해 RBFN을 도입하였으며 이로부터 얻어진 파라미터를 실제 시스템에 적용하여 봄으로써 얻어진 파라미터의 유용성을 확인하였다.

6. 참고문헌

- [1] J. Moody and C. Darken. Learning with localized receptive fields. In D. Touretzky, G.Hinton, and T. Sejnowski, editors, Proc. of the 1988 Connectionist Models Summer School. Carnegie Mellon University, Morgan Kaufmann Publishers, 1988
- [2] J. Moody and C. Darken. Fast learning in networks of locally-tuned processing units. *Neural Computation*, 1:281-294,1989
- [3] Jang, J.S.R and Sun, C.-T., "Functional equivalence between radial basic function network and fuzzy inference systems", *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol4, No.1,pp.156-159, 1993