

# 신뢰성 향상 기반의 풍압센서 자동검사 시스템구현

도남수\* · 류광렬\*

\*목원대학교

## System Implementation for Automatic Inspection of Wind Pressure Sensor Based on Reliability Improvement

Nam Soo Do\* · Conan K. R. Ryu\*

\*Mokwon University

E-mail : conan@mwu.ac.kr

### 요 약

본 연구는 신뢰성 향상 기반의 풍압센서 자동검사 시스템을 구현하기 위한 연구이다. 신뢰성향상을 위해 수동검사 시스템에서 자동검사 시스템으로 풍압센서 검사의 오류를 최소화한다. 풍압센서 자동검사 시스템은 제어시스템과 모니터링시스템으로 구성되어 되어 실시간으로 검사결과를 제공한다. 검사시스템의 신뢰성은 Gage R&R 분석기법을 적용하여 평가한다, 평가결과는 검사속도 2배 이상, 측정오차  $\pm 0.02V$ , 판정 능력의 유효성 15%, 누락확률 17%, 허위경보확률 12% 등으로 향상되었다. 따라서 풍압센서 자동검사 시스템은 제품 바코드와 연동시켜 데이터베이스화하면 효율적인 신뢰성 향상의 품질관리시스템으로 발전시킬 수 있다.

### ABSTRACT

This research describes system implementation for automatic inspection on wind pressure sensor production based on reliability improvement. The reliability is minimized by the automatic inspection system on the wind pressure sensor against the manual system. The system consists of the control system and monitoring system to be scanning the inspection processing. The inspection system for reliability is evaluated in Gage Repeatability and Reproducibility. The experimental results are improved about 2 times speed, measured error  $\pm 0.02V$ , effectiveness 15%, missing probability 17% and false alarm 12% respectively. The system will be also improved by database and the product barcodes for the total quality control system based on the effective reliability in the future.

### 키워드

풍압센서, 자동검사, 신뢰성 향상, Gage R&R, 감시시스템

### 1. 서 론

전자제품 검사자동화 기술은 효율적인 제품생산을 위한 핵심기술이다. 생산제조업체에서는 생산성에 큰 영향을 미치지 않으면서 정확하고 빠른 시간 내에 품질특성을 측정할 수 있는 자동검사 장치를 활용하여 검사시스템을 개선하고 있다.[1-3] 본 연구에서는 풍압센서 공정을 자동검사 시스템에 적용하고 시스템의 신뢰성 향상을 위해 Gage R&R 분석을 수행한다.[4-7] 생산 공정

과정에서 풍압센서 제어시스템은 송풍기의 속도를 PWM제어를 통해 조절하여 검사 시료에 공급되는 압력을 조절한다. 이때 송풍기의 속도는 마노미터의 출력 전압을 피드백 받아 제어한다. 검사 과정에서 입력 받은 마노미터와 풍압센서의 출력 값은 AD변환을 통해 데이터화하여 모니터링 시스템으로 전송된다. 모니터링시스템은 검사 프로세스가 진행되는 동안 생성되는 데이터를 수집하여 저장하고, 이 데이터를 작업자가 실시간으로 확인할 수 있도록 정보를 공유한다. 이 일련의 과

정을 자동화 시스템으로 구현한다. 검사 프로세서를 실제 공정검사에 적용하기 위해서 객관적인 방법으로 신뢰성을 검증한다. 실험방법은 Gage R&R 분석을 수행하며, 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 성능을 비교 평가한다. 평가항목은 검사속도, 측정오차, 판정 능력의 유효성, 누락확률, 허위경보확률 등이다.

## II. 자동검사 시스템 구현

마이크로프로세서를 이용하여 풍압센서를 자동으로 검사할 수 있는 시스템은 그림1과 같이 구성된다. 수동검사 시스템에서 작업자가 피스톤을 수동으로 조작하여 검사에 필요한 압력을 생성했지만, 자동검사 시스템에서는 제어시스템이 이를 대신한다. 제어시스템은 송풍기를 자동으로 제어하여 검사에 필요한 압력을 생성한다. 그리고 수동검사 시스템에서는 작업자가 마노미터와 풍압센서의 출력전압을 육안으로 확인했지만, 자동검사 시스템에서는 제어시스템이 마노미터와 풍압센서의 출력전압을 피드백 받아 데이터를 획득한다. 추가적으로 자동검사 시스템에서는 모니터링시스템을 통해 검사 진행 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. 자동검사 시스템의 연결방법은 다음과 같다. 마노미터와 풍압센서에 동일한 압력을 공급할 수 있도록 송풍기의 토출부를 풍압센서 상위챔버와 마노미터 입력부에 각각 연결한다. 송풍기는 제어시스템에 연결하여 속도를 제어할 수 있도록 한다. 풍압센서의 출력부와 마노미터의 출력부는 제어시스템에 연결하여 측정된 풍압센서와 마노미터의 출력 값을 입력 받을 수 있도록 한다. 마지막으로 검사 진행 상태를 확인할 수 있도록 제어시스템과 모니터링시스템을 통신모듈을 통해 연결한다. 자동검사 시스템에서 사용되는 마노미터는 입력되는 압력을 측정하여 0 ~ 30[mmHg] 범위의 압력을 DC 0 ~ 5[V]로 변환하여 출력한다. 송풍기는 BLDC(Brushless DC)모터로 구동되며, 모터 구동 회로가 내장되어 있다.

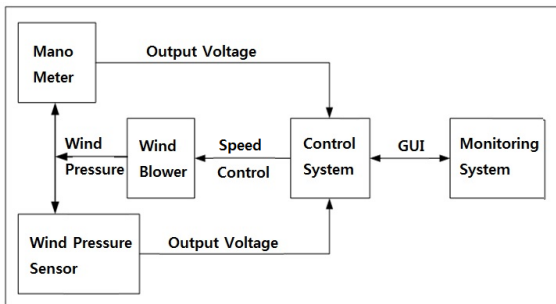


그림 1. 자동검사 시스템

마이크로프로세서를 이용한 제어시스템의 하드웨어는 크게 전원부, A/D 입력부, PWM 제어부,

RPM(Revolution per minute) 입력부, 그리고 마이크로프로세서로 구분된다. 그림 2와 같이 제어시스템의 전원부는 SMPS(Switching Mode Power Supply)회로로 설계되었으며, AC 220[V]/60[Hz]의 전원을 입력 받아 송풍기 구동에 필요한 전원과 마이크로프로세서 주변회로 구동에 필요한 전원을 출력한다.

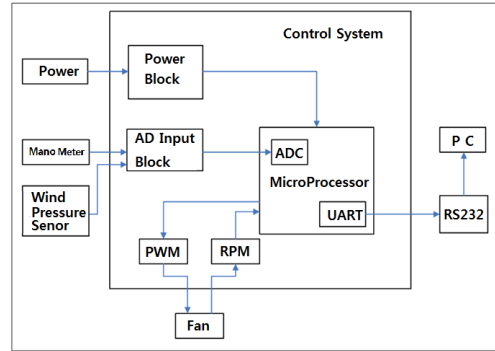


그림 2. 제어시스템 구성

A/D입력부회로는 마노미터와 풍압센서로 2개의 A/D입력채널이 있으며, 로우패스필터(Low Pass Filter)로 설계되었다. 송풍기 구동회로는 PWM 제어부와 RPM 입력부로 구성되며 송풍기의 고장모드를 확인할 수 있도록 설계되었다. 만약 PWM 제어 중 송풍기의 RPM 신호가 입력되지 않거나 PWM 제어를 멈춘 상태에서 송풍기의 RPM 신호가 입력될 경우 제어시스템은 송풍기 고장으로 판단하고 검사 프로세스를 더 이상 진행하지 않는다. 고장모드를 확인하는 목적은 제어시스템에 문제가 발생한 상태에서 이를 감지하지 못하고 검사를 계속 진행하여, 검사시료를 불량품으로 판정하는 문제를 방지하기 위함이다. 제어시스템과 모니터링시스템 간의 시리얼통신을 위해 RS232C 통신모듈을 별도로 사용했으며, 마이크로프로세서의 UART 포트를 통신포트로 사용한다.

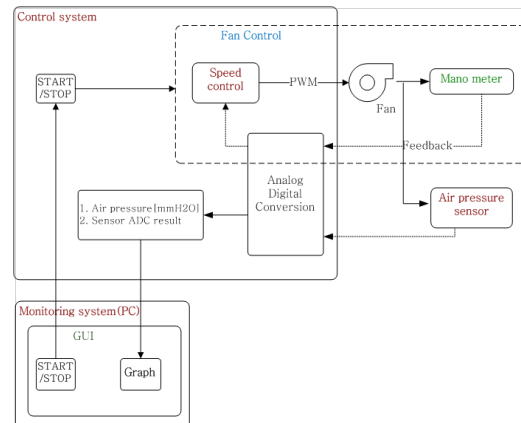


그림 3 제어시스템 소프트웨어 구성

마이크로프로세서를 이용한 제어시스템의 소프트웨어 구성은 그림 3과 같이 송풍기 속도제어 기능, A/D 변환 기능, 통신 기능으로 구분된다. 송풍기 속도제어 모듈은 PWM 제어를 통해 송풍기의 속도를 증가시키거나 감소시키며, 이러한 제어를 수행하는 동안 RPM을 입력 받아 송풍기가 정상적으로 동작하고 있는지 감시한다. A/D 변환 모듈은 마노미터와 풍압센서로부터 출력되는 전압을 입력 받아 아날로그디지털컨버터(ADC)를 통해 데이터를 획득한다. 통신 모듈은 모니터링시스템으로부터 검사 시작 또는 종료 신호를 수신하고, 검사 프로세스가 진행되는 동안 마노미터와 풍압센서 데이터를 모니터링시스템으로 송신한다.

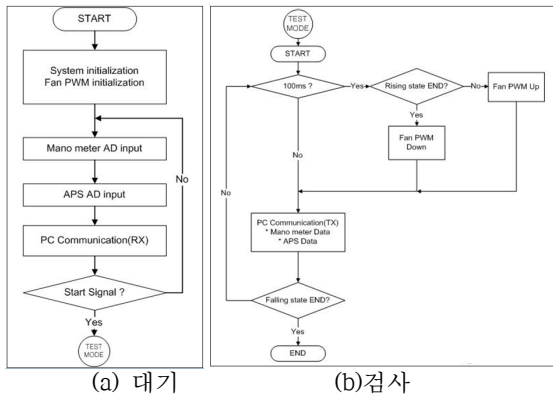


그림 4. 소프트웨어 실행과정

제어시스템의 프로그램 흐름은 그림 4 (a)의 대기상태와 (b)의 검사 상태 프로세스로 실행된다. 작업자가 모니터링시스템을 이용하여 제어시스템으로 시작신호를 보내면 제어시스템은 정해진 검사 프로세스를 진행한다. 검사가 시작되면 제어시스템의 송풍기 속도제어 모듈은 일정주기마다 PWM 제어를 수행하여 송풍기의 속도를 증가시킨다. 송풍기 속도가 증가함에 따라 마노미터와 풍압센서에 공급되는 풍압이 증가된다. 이때 마노미터는 풍압을 측정하여 측정된 값을 DC 0 ~ 5[V]의 아날로그 전압신호로 출력한다. 또한 풍압센서도 홀 센서에 의해 감지된 값을 아날로그 전압신호로 출력한다. 마노미터와 풍압센서의 출력 전압은 A/D 변환 모듈로 입력되어 아날로그디지털컨버터를 통해 마노미터의 풍압데이터와 풍압센서의 출력전압 데이터로 각각 변환된다. 송풍기 속도제어 모듈은 마노미터의 풍압데이터를 피드백 받아 30[mmHg]에 도달할 때까지 일정한 기울기로 송풍기 속도를 증가시킨다. 마노미터로부터 입력 받은 풍압이 30[mmHg]에 도달하면, 다시 풍압이 0[mmHg]가 될 때까지 송풍기 속도를 감소시킨다. 풍압이 0[mmHg]에서 증가하여 30[mmHg]까지 도달했다가 다시 0[mmHg]로 감소할 때까지 통신 모듈은 마노미터의 풍압데이터와 풍압센서의 출력전압 데이터를 모니터링시스템으로 전송한다. 모니터링시스템은 이 데이터를 받아 실시간으로 그래프를 표시한다. 그래프 표시가 완료되면

풍압센서 합격품 규격과 비교하여 “양품” 또는 “불량”으로 판정 결과를 표시한다. 제어시스템에 전원이 인가되면 시스템은 초기화를 수행하고, 송풍기를 정지 상태로 유지하여 풍압센서와 마노미터에 압력이 공급되지 않도록 한다. 이 상태는 대기모드로서 작업자는 검사시료를 자동검사 시스템에 연결한다. 작업자가 준비를 마치면 모니터링시스템을 통해 검사시작 신호를 제어시스템으로 전송하며, 제어시스템이 시작신호를 수신하면 이때부터 제어시스템에 의해 검사 프로세스가 자동으로 진행된다.

### III. 실뢰성 향상

측정시스템의 변동량 분석은 공정의 변동량과 측정시스템의 변동량을 합한 결과가 측정의 총변동량이다. 여기서 측정시스템의 변동량은 반복성과 재현성으로 구분된다. 측정시스템의 변동량 중 반복성은 동일한 작업자가 동일한 계측기를 이용하여 동일한 시료를 측정했을 때 발생하는 측정의 변동량이다. 측정시스템의 변동량 중 재현성은 다른 작업자가 동일한 계측기로 동일한 시료를 측정했을 때 작업자간에 발생하는 측정의 변동량이다. 즉, 반복성에서 나타나는 계측기 변동과 재현성에서 나타나는 작업자 변동을 합한 것이 측정시스템의 변동량이며 Gage R&R 분석 기법을 적용한다. 이원 분류 계수형 측정시스템은 측정대상을 규격 한계와 비교하여 한계 내에 있으면 합격으로 판정하고, 한계 밖에 있으면 불합격으로 판정한다. 이원 분류 계수형 측정시스템에 대한 Gage R&R 분석은 다음과 같은 절차에 따라 수행한다.

#### ① 데이터 수집

시료의 수와 반복 측정횟수는 평가자의 수에 따라 전체 시료의 50%는 합격품에서 수집하고 나머지 50%는 불합격품에서 수집한다. 시료가 준비되면 각 작업자에게 시료를 임의의 순서로 한 번씩 측정하게 하여 그 결과를 합격은 ‘G’로 표기하고, 불합격은 ‘NG’로 표기하여 결과표에 기입한다. 이때 작업자가 시료에 대한 선입견을 갖는 것을 방지하기 위해, 시료의 참값(합격품 또는 불합격품)과 시료번호를 모르도록 한다. 또한 한 번 측정에 소요되는 시간을 정하여 작업자가 정해진 시간 내에 측정을 완료하도록 한다.

#### ② 데이터 분석

데이터가 수집된 후에는 유효성, 누락확률, 허위정보확률을 각 작업자 별로 분석해야 한다. 유효성(E): 유효성은 합격 또는 불합격을 정확하게 판정할 수 있는 능력을 나타내며 정확한 판정한 시료수를 총기회수로 나눠 계산한다. 여기서 총기회 수는 시료의 수와 반복 횟수를 곱한 것을 의미한다. 누락확률(P(miss)): 누락확률은 불합격품을 합격품으로 판정할 확률을 나타내며 다음 수식으로 계산한다.  $P(miss) = \frac{\text{합격오류판정수}}{\text{불합격시료의 총측정수}}$  이며 또는  $\frac{\text{합격오류판정수}}{\text{불합격시료의 총측정수}}$

격시료수 $x$ 반복수이다. 허위경보확률( $P(FA)$ ): 허위경보확률은 합격품을 불합격품으로 판정할 확률  $P(FA) = \frac{\text{불합격오류수}}{\text{합격시료총측정수}}$  또는 불합격오류수/합격시료수 $x$ 반복수로 계산된다. 편의( $B$ ): 편의(Bias)는 작업자가 합격품과 불합격품을 분류하는 성향을 나타내는 척도를 나타내며  $P(FA)/P(miss)$  식으로 계산된다.  $B = 1$ 이면 편이가 없음을 나타내고,  $B > 1$ 이면 불합격으로 판정하는 경향이 높음을 나타낸다.  $B < 1$ 이면 합격으로 판정하는 경향이 높음을 나타낸다.

③ 시스템 평가

각 작업자 별로 유효성, 누락확률, 허위경보확률을 계산한 후에는 표 1의 평가기준에 따라 이원 분류 계수형 측정시스템을 평가한다.

Table. 1 Evaluation standards

통계량	적합	조건부 선택	부적합
유효성	0.90 - 1.00	0.80 - 0.90	0.80 이하
누락확률	0.00 - 0.02	0.02 - 0.05	0.05 이상
허위경보확률	0.00 - 0.05	0.05 - 0.10	0.10 이상

IV. 실험 및 고찰

풍압센서 자동검사 시스템의 성능 분석을 위해, 기준 풍압을 생성한 상태에서 풍압센서의 출력 값을 자동검사 시스템으로 측정된 데이터와 계측기(오실로스코프)로 측정된 데이터를 비교하여 측정 오차를 확인한다. 그리고 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 성능을 비교하기 위해 Gage R&R 분석절차에 따라 비교실험을 수행하며, 각 절차에 따른 실험은 수동검사 시스템과 자동검사 시스템으로 나누어 각각 진행한다. 측정결과에 대한 데이터 분석과 시스템 평가를 수행하여 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 성능을 비교하여 평가한다. 기준 풍압을 생성한 상태에서 풍압센서의 출력 값을 자동검사 시스템으로 측정된 데이터와 계측기로 측정된 데이터를 비교한 결과 자동검사 시스템의 측정 오차는  $\pm 0.02[V]$ 로 나타났다. 수동검사 시스템을 이용하여 검사하는데 소요된 시간과 자동검사 시스템을 이용하여 검사하는데 소요된 시간을 비교한 결과 자동검사 시스템은 수동검사 시스템보다 2.4배 빠른 검사 속도를 보였다. 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 유효성, 누락확률, 허위경보확률을 각각 비교한 결과, 측정시스템의 정확한 판정 능력을 나타내는 유효성에서 수동검사 시스템은 0.84로, 자동검사 시스템은 수동검사 시스템과 비교하여 14.8% 향상된 0.99로 나타났다. 불합격품을 합격품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 누락확률에서 수동검사 시스템은 0.17로, 자동검사 시스템은 누락확률이 제거되어 0으로 나타났다. 합격품을

불합격품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 허위경보확률에서 수동검사 시스템은 0.15로, 자동검사 시스템은 수동검사 시스템과 비교하여 12.4% 향상된 0.02로 나타났다.

V. 결론

풍압센서 자동검사 시스템 구현을 통해 생산공정의 신뢰성을 향상시켰다. 기존 수동검사 시스템과의 비교실험을 통해 자동검사 시스템의 성능을 평가는 자동검사 시스템이 2.4배 빠르다. 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 유효성, 누락확률, 허위경보확률을 각각 비교한 결과, 측정시스템의 정확한 판정 능력을 나타내는 유효성에서 수동검사 시스템은 0.84로, 자동검사 시스템은 수동검사 시스템과 비교하여 14.8% 향상된 0.99로 나타났다. 불합격품을 합격품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 누락확률에서 수동검사 시스템은 0.17로, 자동검사 시스템은 누락확률이 제거되어 0으로 나타났다. 합격품을 불합격품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 허위경보확률에서 수동검사 시스템은 0.15로, 자동검사 시스템은 수동검사 시스템과 비교하여 12.4% 향상된 0.02로 나타났다. 본 연구에서 제안한 풍압센서 자동검사 시스템은 향후 제품 바코드와 연동시켜 데이터베이스화한다면 보다 효율적인 품질관리시스템으로 발전 가능하다.

참고문헌

- [1] 신동주, “쇼크업소버 제조시스템의 검사 및 이송공정 설계 및 구축에 관한 연구“, 전주대학교, 2011
- [2] 장지웅, “자동검사장비의 검사오류에 관한 연구“, 인하대학교, 2003
- [3] 고건석, “전자부품 검사용 자동측정 설비의 Gage R&R기법 적용에 관한 연구“, 상명대학교, 2002.
- [4] Jiahong Wang, “Assessing Measurement System Acceptability for Process Control and Analysis Using Gage R&R Study“, The Graduate School University of Wisconsin-Stout, 2004.
- [5] Jaynes, K. R. “Understanding Gage R & R“, TECHNICAL PAPERS- SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEE, Vol.- No.378, 1993.
- [6] Volkmar, A. P. “Effectively Using Gage R&R and Measurement Systems Variability (Part 1)“, Modern casting, Vol.83 No. 11, 1993.
- [7] Kyle, R. A. “Improve Gage R&R Ratios“, QUALITY -ILLINOIS-, Vol.43 No.1, 2004