

## 신뢰성 향상 기반의 송풍전자장치 자동검사 시스템 구현

도남수 · 류광렬\*

### Implementation for Automatic Inspection System on Ventilating Electronic Device Based on Reliability Improvement

Nam Soo Do · Kwang Ryol Ryu\*

Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 35349, Korea

#### 요 약

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

#### ABSTRACT

This paper describes a system implementation for the automatic inspection on the ventilating electronic device based on the reliability improvement. To be enhancement, the inspection error is minimized by the automatic inspection system on the ventilating apparatuses against the manual inspecting system. The system consists of the control system, software structure and monitoring system to be scanning the inspection processing. The inspection system for reliability improvement is evaluated in Gage Repeatability and Reproducibility. The experimental results are improved about 2 times inspecting speed, measured error  $\pm 0.02V$ , effectiveness of discriminating performance 15%, missing probability 17% and false alarm probability 12% respectively in comparing with the manual inspection based on the wind pressure sensor. The system will be also improved more by making database and product bar codes for the total quality control system to the effective reliability enhancement in the future.

**키워드** : 자동검사 시스템, 송풍장치, Gage R&R, 신뢰성 향상

**Key word** : Automatic inspection system, Ventilating device, Gage R and R, Reliability improvement

Received 24 May 2017, Revised 25 May 2017, Accepted 05 June 2017

\* Corresponding Author Kwang Ryol Ryu (E-mail: conan@mwu.ac.kr, Tel: +82-42-829-7651)

Department of Electronic Engineering, Mokwon University, Daejeon 35349, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.6.1155>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

산업현장의 생산제조업체에서는 생산성에 큰 영향을 미치지 않으면서 정확하고 빠른 시간 내에 품질특성을 측정할 수 있는 검사기술을 요구하고 있다. 기존의 용이한 수동검사기술은 작업자의 숙련도, 피로도에 따라 주관적인 판단에 의해 검사 결과에 오류가 발생할 수 있고 전자제품의 복잡도에 따라 가중된다. 반면, 이와 같은 변량과 환경에 무관한 검사시스템의 연구는 제품의 품질과 생산성을 개선시키므로 전자제품의 검사 자동화 무인화기술은 효율적인 제품생산을 기대할 수 있는 핵심기술이며 주로 CCD 및 CMOS 영상센서를 이용한다[1-4].

검사시스템의 분석은 효율적인 공정 관리를 위한 통계적 관리 기법이다. 6시그마 혁신기법은 기업 전반의 경영 혁신 전략으로 확산되어 공정 개선 활동에 사용되고 있다. 혁신기법에서 측정시스템의 분석방법으로는 Gage R&R (Repeatability & Reproducibility) 방법이 많이 사용되며, 주로 계측기의 반복성과 재현성의 평가에 사용되는 통계적 기법을 이용한다[5-7].

본 연구에서는 비용이 높은 영상센서 대신 송풍장치에 대해 전용 자동검사 시스템을 구현하고 시스템의 신뢰성을 검증한다. 제어시스템은 송풍장치의 속도를 PWM제어를 통해 조절하고 마노미터의 출력 전압을 피드백 받아 제어한다. 출력 결과는 모니터링시스템으로 전송되어 실시간으로 감시된다. 신뢰성검사의 실험 방법은 Gage R&R 분석을 수행하며, 송풍장치의 수동 검사 시스템과 자동검사 시스템의 성능을 비교 평가한다.

## II. 자동검사 시스템 구현

### 2.1. 시스템 설계 구현

마이크로프로세서를 이용하여 풍압센서를 자동으로 검사할 수 있는 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 수동검사 시스템에서 작업자가 피스톤을 수동으로 조작하여 검사에 필요한 압력을 생성하지만, 자동검사 시스템에서는 제어시스템이 이를 대신한다. 제어시스템은 송풍장치를 자동으로 제어하여 검사에 필요한 압력을 생성한다. 그리고 수동검사 시스템에서는 작업자가

마노미터와 풍압센서의 출력전압을 육안으로 확인하지만, 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 송풍장치의 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. 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 내장된다.

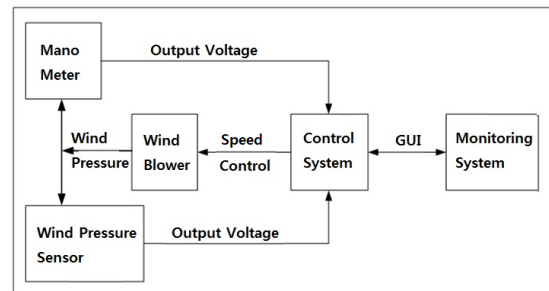


Fig. 1 Implemented system blocks

제어시스템은 그림 2와 같이 A/D입력회로는 마노미터와 풍압센서로 2개의 채널이며, 저역필터로 설계된다. 송풍장치 구동회로는 PWM 제어와 RPM 입력으로 구성되며 송풍장치의 고장모드를 확인할 수 있도록 설계된다. 만약 PWM 제어 중 송풍기의 RPM 신호가 입력되지 않거나 PWM 제어를 멈춘 상태에서 송풍장치의 RPM 신호가 입력될 경우 제어시스템은 송풍장치 고장으로 판단하고 검사 프로세스를 종료한다. 고장모드를 확인하는 목적은 제어시스템에 문제가 발생한 상태에서 이를 감지하지 못하고 검사를 계속 진행하여, 검사시료를 불량품으로 판정하는 문제를 방지한다. 제어시스템과 모니터링시스템 간의 시리얼통신을 위해

RS232C 통신모듈을 별도로 사용하며, 마이크로프로세서의 UART 포트를 통신포트로 사용한다.

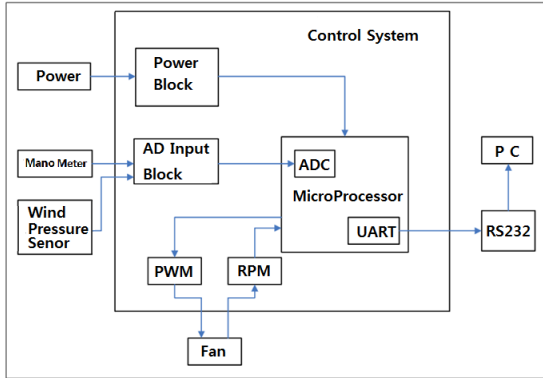


Fig. 2 Control system blocks

### 2.2. 소프트웨어 구동

마이크로프로세서 기반의 제어시스템의 소프트웨어 구성은 그림 3과 같이 송풍장치의 속도제어 기능, A/D 변환 기능, 통신 기능으로 구분된다. 송풍장치 속도제어 모듈은 PWM 제어를 통해 송풍장치의 속도를 증가시키거나 감소시키며, 이러한 제어를 수행하는 동안 RPM을 입력 받아 송풍장치가 정상적으로 동작하고 있는지 감시한다. A/D 변환 모듈은 마노미터와 풍압센서로부터 출력되는 전압을 입력 받아 ADC를 통해 데이터를 획득한다. 통신 모듈은 모니터링시스템으로부터 검사 시작 또는 종료 신호를 수신하고, 검사 프로세스가 진행되는 동안 마노미터와 풍압센서 데이터를 모니터링시스템으로 송신한다.

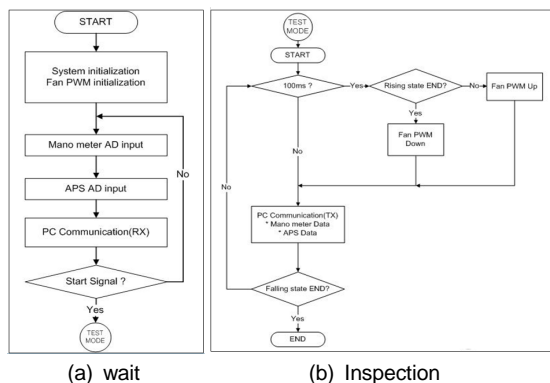


Fig. 3 Software running routine

제어시스템의 프로그램 흐름은 그림 3 (a)의 대기상태와 (b)의 검사 상태 프로세싱으로 실행된다. 작업자가 모니터링시스템을 이용하여 제어시스템으로 시작신호를 보내면 제어시스템은 정해진 검사 프로세스를 진행한다. 검사가 시작되면 제어시스템의 송풍장치 속도 제어 모듈은 일정주기마다 PWM 제어를 수행하여 송풍장치의 속도를 증가시킨다. 송풍장치 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 출력전압은 A/D 변환 모듈로 입력되어 아날로그디지털컨버터를 통해 마노미터의 풍압데이터와 풍압센서의 출력전압 데이터로 각각 변환된다. 송풍장치 속도제어 모듈은 마노미터의 풍압데이터를 피드백 받아 30[mmHg]에 도달할 때까지 일정한 기율기로 송풍장치 속도를 증가시킨다. 마노미터로부터 입력 받은 풍압이 30[mmHg]에 도달하면, 다시 풍압이 0[mmHg]가 될 때까지 송풍장치 속도를 감소시킨다. 풍압이 0[mmHg]에서 증가하여 30[mmHg]까지 도달하다가 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, 송풍장치를 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. 신뢰성 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 측정 대상을 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 획득

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, 허위경보확률을 각 작업자 별로 분석해야 한다.

유효성(E): 유효성은 합격 또는 불합격을 정확하게 판정할 수 있는 능력을 나타내며 정확히 판정한 시료수를 총기회수로 나눠 계산한다. 여기서 총 기회 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  $\frac{\text{합격오류판정수}}{\text{불합격시료수} \times \text{반복수}}$ 이다.

허위경보확률(P(FA)): 허위경보확률은 합격품을 불합격품으로 판정할 확률  $P(FA) = \frac{\text{불합격오류수}}{\text{합격시료총측정수}}$  또는  $\frac{\text{불합격오류수}}{\text{합격시료수} \times \text{반복수}}$ 로 계산된다.

편의(B): 편의(Bias)는 작업자가 합격품과 불합격품을

을 분류하는 성향을 나타내는 척도를 나타내며  $P(FA)/P(miss)$  식으로 계산된다.  $B = 1$ 이면 편의가 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.

IV. 실험 및 고찰

풍압센서 자동검사 시스템의 성능 분석을 위해, 기준 풍압을 생성한 상태에서 풍압센서의 출력 값을 자동검사 시스템으로 측정된 데이터와 오실로스코프로 측정된 데이터를 비교하여 측정 오차를 확인한다.

Table. 1 Standards evaluation Values

Item	Good	Conditional	Bad
Effect.	0.90 - 1.00	0.80 - 0.90	less 0.80
Miss.	0.00 - 0.02	0.01 - 0.05	over 0.05
False	0.00 - 0.05	0.05 - 0.10	over 0.10

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.

Table. 2 Comparison on inspection time [sec]

System	A	B	C	mean
Manual	97	82	104	94
Automatic	40	40	40	40

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.

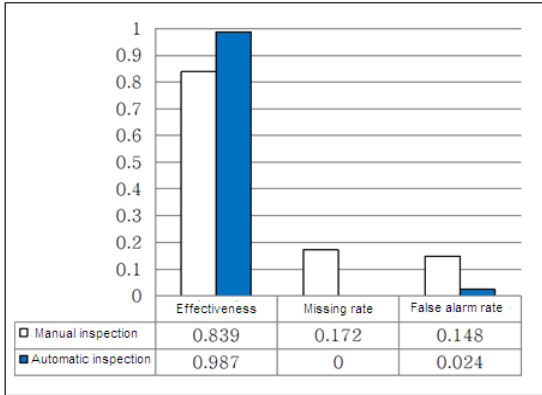


Fig. 4 Results comparisons

수동검사 시스템을 이용하여 검사하는데 소요된 시간과 자동검사 시스템을 이용하여 검사하는데 소요된 시간을 비교한 결과 표 2와 같이 자동검사 시스템은 수동검사 시스템보다 2.4배 빠른 검사 속도를 보였다. 수동검사 시스템과 자동검사 시스템의 유효성, 누락확률, 허위경보확률을 그림 4와 같이 각각 비교한 결과, 측정 시스템의 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 허위경보 확률에서 수동검사 시스템은 0.15로, 자동검사 시스템은 비교하여 12.4% 향상된 0.02로 나타났다.

모니터링시스템은 작업자가 보다 쉽게 자동검사 시스템을 조작할 수 있도록 GUI를 제공한다. 작업자는 GUI를 통해 검사프로세스를 시작하거나 정지할 수 있고, 검사 과정에 생성되는 데이터를 실시간으로 확인할 수 있다. PC에서 GUI 프로그램을 실행시키면 그림 5와 같이 GUI 초기화면이 나타난다. 기본조작 부분은 제어시스템과 모니터링시스템의 시리얼 통신을 연결하거나 끊을 수 있으며, 검사를 시작하거나 종료할 수 있다. 통신상태 부분에서 현재 제어시스템과 모니터링시스템간의 데이터 송, 수신 상태를 확인할 수 있다. 검사프로세스 부분은 검사에 소요된 시간과 검사 횟수가 표시된다.

마노미터 부분에는 마노미터의 출력 값이 실시간으

로 표시된다. 검사결과 부분은 풍압센서의 출력 값이 실시간으로 표시되며, 검사가 완료된 후 판정 결과가 표시된다.

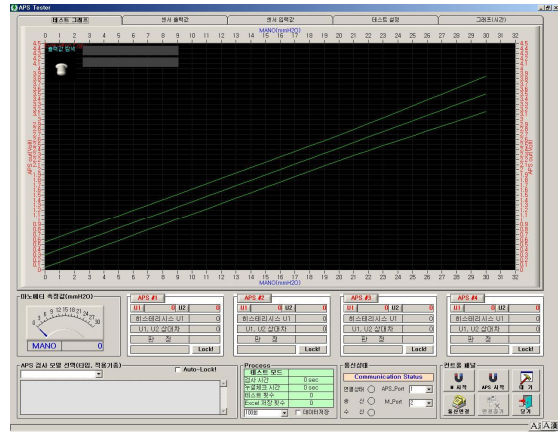


Fig. 5 Monitoring display

그래프 부분은 그림 6과 같이 풍압센서 판정기준치, 상한치, 하한치가 그래프로 표시되고, 검사가 시작되면 현재 풍압센서 출력 값이 실시간으로 표시된다.

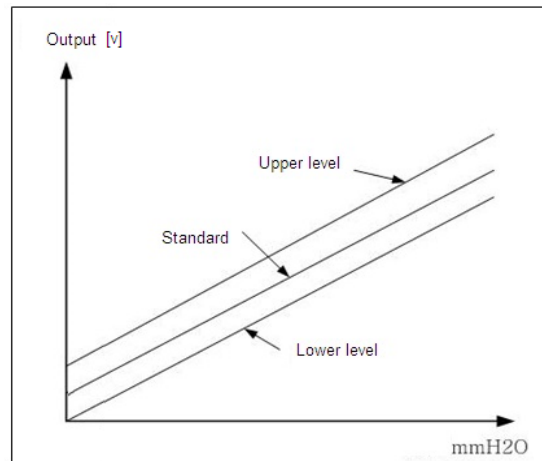


Fig. 6 Measurement for wind pressure sensor

검사 프로세스가 시작되면 그림 6과 같이 풍압이 0[mmH2O]에서 서서히 상승해서 30[mmH2O]에 도달하면, 다시 풍압이 서서히 하강해서 0가 된다. 검사 프로세스가 시작되어 풍압이 0에서 서서히 상승하여

30[mmH2O]에 도달하면, 다시 풍압이 서서히 하강해서 0[mmH2O]가 된다. 이 과정에서 풍압센서의 출력 값이 그래프로 그려진다. 이 그래프가 상한치선이나 하한치선 밖으로 그려지면 불량품으로 판정되고, 상한치선과 하한치선 안에서 그려지면 합격품으로 판정된다.

## V. 결 론

송풍장치의 풍압센서 자동검사 시스템 구현을 통해 생산 공정의 신뢰성을 향상시켰다. 시스템은 기존 수동 검사 시스템과의 비교실험을 통해 자동검사 시스템의 성능을 평가하는 자동검사 시스템이 2.4배 빠르다. 수동 검사 시스템과 자동검사 시스템의 유효성, 누락확률, 허위경보확률을 각각 비교한 결과, 측정시스템의 정확한 판정 능력을 나타내는 유효성에서 자동검사 시스템이 14.8% 향상되었다. 불량품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 누락확률은 0으로 나타났다. 합격품을 불량품으로 잘못 판정할 확률을 나타내는 허위경보확률에서도 12.4% 향상되었다.

본 연구에서 제안한 송풍장치의 풍압센서 자동검사 시스템은 향후 제품 바코드와 연동시켜 데이터베이스화한다면 보다 효율적인 품질관리시스템으로 발전 가능하다.

## REFERENCES

- [1] L. Xie and D. Cai, "Design of Serial Communication and Data Processing Platform Based on Visual Basic 6.0," *2011 ISCCS International Symposium*, pp. 240-243, July 2011.
- [2] H. S. Chuang, Y. L. Ke and Y. C. Chuang, "Analysis of commutation torque ripple using different PWM modes in BLDC motors," *Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference-Conference Record 2009 IEEE*, pp. 1-6, May 2009.
- [3] W. Yan, D. Wang and W. Li, "The PWM speed regulation of DC motor based on intelligent control," *Systems Engineering Procedia*, vol. 3, pp. 259-267, 2012.
- [4] Z. Liu, H. Ukida and P. Ramuhalli, *Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection: Advances and Applications*. pp. 1-19, Springer, 2015.
- [5] B. Balta, B. F. O. Sonmez and A. Cengiz, "IMECE2011-62130 Gage Repeatability and Reproducibility Investigations of a Test Rig Using ANOVA/Xbar-R Method," *International Mechanical Engineering congress 2012*, pp. 793-800, 2012.
- [6] R. B. Tuttle, "Gage R&R Study of the ASTM A609 Ultrasonic Testing Standard, A (11-029)," *Transactions of the American Foundry Society*, vol.119, pp. 529-544, 2011.
- [7] C. H Ha, "Reliability of Assessment for Supplier Selection Using Gauge R&R Study," *Journal of Industrial and Intelligent Information*, vol. 3, no. 4, pp. 374-348, Dec. 2015.



도남수(Nam Soo Do)

목원대학교 대학원 전자공학과 석사  
※관심분야 : IoT, IoT, Energy system



류광렬(Kwang Ryol Ryu)

목원대학교 전자공학과 교수  
※관심분야 : BME, DSP, Biometrics, Spiritual Science