

# 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발

## Development of Defect Inspection System for Polygonal Containers

윤 석 문\*, 이 승 호\*

Suk-Moon Yoon\*, Seung-Ho Lee\*

### Abstract

In this paper, we propose the development of a defect inspection system for polygonal containers. Embedded board consists of main part, communication part, input/output part, etc. The main unit is a main arithmetic unit, and the operating system that drives the embedded board is ported to control input/output for external communication, sensors and control. The input/output unit converts the electrical signals of the sensors installed in the field into digital and transmits them to the main module and plays the role of controlling the external stepper motor. The communication unit performs a role of setting an image capturing camera trigger and driving setting of the control device. The input/output unit converts the electrical signals of the control switches and sensors into digital and transmits them to the main module. In the input circuit for receiving the pulse input related to the operation mode, etc., a photocoupler is designed for each input port in order to minimize the interference of external noise. In order to objectively evaluate the accuracy of the development of the proposed polygonal container defect inspection system, comparison with other machine vision inspection systems is required, but it is impossible because there is currently no machine vision inspection system for polygonal containers. Therefore, by measuring the operation timing with an oscilloscope, it was confirmed that waveforms such as Test Time, One Angle Pulse Value, One Pulse Time, Camera Trigger Pulse, and BLU brightness control were accurately output.

### 요 약

본 논문에서는 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발을 제안한다. 임베디드 보드는 메인부, 통신부, 입·출력부 등으로 구성된다. 메인부는 주 연산장치로써 임베디드 보드를 구동하는 운영체제가 포팅되어서 외부 통신, 센서 및 제어를 위한 입출력을 제어할 수 있다. 입·출력부는 필드에 설치되어 있는 센서들의 전기적신호를 디지털로 변환하여 메인모듈로 전달하는 역할 및 외부 스텝 모터 제어의 역할을 한다. 통신부는 영상 촬영 카메라 트리거 설정 및 제어 장치의 구동 설정의 역할을 수행한다. 입·출력부는 제어 스위치 및 센서들의 전기적신호를 디지털로 변환하여 메인모듈로 전달하는 역할을 수행한다. 동작 모드 등과 관련된 펄스 입력 등을 받기 위한 입력회로에는 외부 노이즈의 간섭을 최소화하기 위하여 각 입력포트에는 포토커플러를 설계한다. 제안된 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발의 정확성을 객관적으로 평가하기 위하여 다른 머신비전 검사 시스템과 비교를 해야 하지만, 현재 다각형 용기의 머신비전 검사 시스템이 존재하지 않기 때문에 불가능하다. 따라서, 동작 타이밍을 오실로스코프로 측정하여서 Test Time, One Angle Pulse Value, One Pulse Time, Camera Trigger Pulse, BLU 밝기 제어 등과 같은 파형이 정확히 출력됨을 확인하였다.

*Key words : Embedded Board, Machine Vision Inspection, Camera Mount Part, Inspection Rotating Part, BLU Part*

\* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Sep. 23, 2021, revised Sep. 27, 2021, accepted Sep. 27, 2021.

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.

## I. 서론

머신비전 검사 시스템은 생산 제품의 외관 및 치수의 측정을 카메라, 임베디드 보드, PC 소프트웨어 등이 사람을 대신하여 수행한다. 그러나 제조 검사에 적용할 때 너무 복잡하고 시간과 비용이 많이 소모되는 단점이 발생한다. 이에 대한 해결방안으로 딥러닝 기술을 활용하여 프로그래밍이 불가능했던 애플리케이션의 자동화를 가능하게 하고, 검사 시간을 단축시킬 수 있게 하고 있다. 이에 따라 딥러닝 기술을 활용한 머신비전 검사 시스템은 제조업체에서 기존의 머신비전 솔루션으로는 해결하기 어려웠던 문제들을 더욱 강력하고 안정적인 방식으로 해결할 수 있게 되었다. 한편, 딥러닝을 활용한 다각형 용기의 머신비전 검사 시스템을 통해 불가능하고 복잡한 검사 애플리케이션을 자동 학습하고 불량 검출률을 높일 수 있게 하기 위한 머신비전의 제어 임베디드 보드 및 제어 장치의 기술 개발의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 딥러닝을 활용하여 다각형 용기의 결합 검사 시스템 개발을 제안한다[1][2].

## II. 본론

### 1. 다각형 용기의 결합 검사 시스템

다각형 용기의 결합 검사 시스템의 임베디드 제어보드 블록도는, 메인부, 통신부, 입·출력부 및 그 외 기본적인 주변회로 등으로 구성된다. ARM Cortex-M3 프로그램을 위한 JTAG, 디버그를 위한 CAN, USART 등과 같은 환경을 구현 및 동작 상태 확인을 위한 통신 포트 등이 포함되어 있다. 장비에 전원이 인가되면 플래시 메모리에 저장되어 있는 운영체제가 구동되고 구동된 운영체제는 사전에 정의되어 있는 로직에 의해 다각형 용기의 결합 검사 시스템 제어보드 역할을 수행한다.

#### 가. 메인부

메인부는 그림 1과 같이 ARM사의 Cortex-M3 CPU를 사용하여 안정적으로 동작하고 강력한 고성능의 시스템 구현을 가능하게 하였다. 주 메모리는 내부 플래시를 이용하였으며, FreeRTOS 10.0.1의 OS 환경에 CMSIS\_V1(1.02) 인터페이스를 이용하였다. 동작에 필요한 환경 변수는 내부 플래시

를 이용하여 저장하도록 하였다. Power는 노이즈를 고려한 회로 설계를 적용하였다[3].

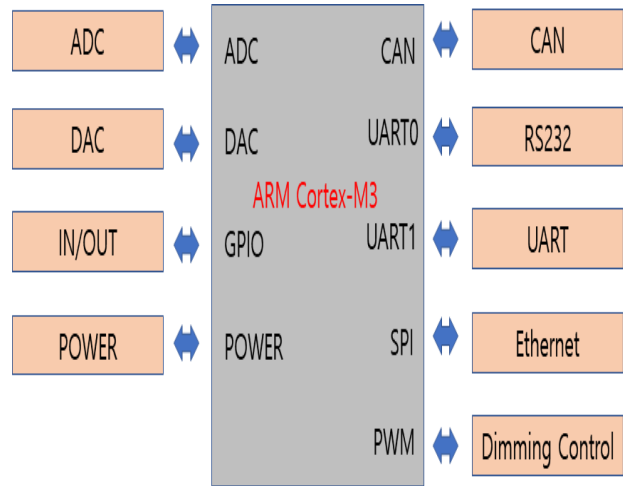


Fig. 1. Block Diagram of Main Part.

그림 1. 메인부의 블록도

#### 나. 통신부

통신부는 그림 2와 같이 Embedded Board와 연결된 부분과 area camera에 연결된 통신부가 있다. Embedded Board 통신부는 Ethernet(TCP/IP Client)와 RS232로 구성되어 있다. Embedded Board 통신부는 딥러닝을 이용한 다각형 용기 검사 GUI가 실행되는 PC와 연결된다. 또한, 딥러닝 기반 검사 소프트웨어와 임베디드 제어보드 간의 통신 속도 및 검사 환경을 설정한다. RS232를 통한 임베디드 보드의 스텝 동작 설정 및 검사 딜레이 시간을 조절한다. 또한, LAN으로 연결된 카메라의 설정을 변경할 수 있다. Area camera에 연결된 Ethernet(TCP/IP Client)는 Embedded Board의 트리거 신호에 동기화되어 영상을 PC의 딥러닝 기반 검사 소프트웨어에 전송하는 역할을 수행한다.

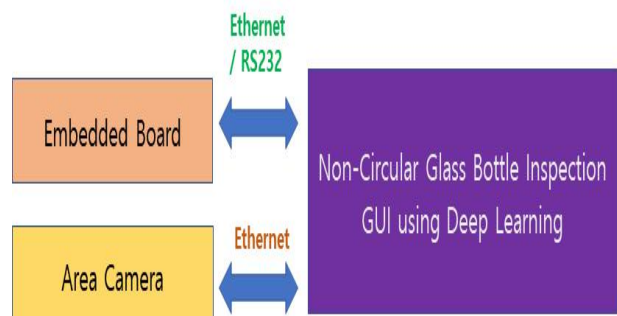


Fig. 2. Block Diagram of Communication Part.

그림 2. 통신부의 블록도

다. 입·출력부

입·출력부는 그림 3과 같이 입·출력부는 필드에 설치되어 있는 센서들의 전기적신호를 디지털로 변환하여 메인모듈로 전달하는 역할 및 외부 스텝 모터 제어, BLU 제어[4]를 위한 PWM 출력의 역할이 가능하도록 설계하였다. 장치의 운전상태, 동작 모드 등과 관련한 펄스 입력 등을 수신하기 위한 입력회로에는 외부 노이즈로부터의 간섭을 최소화하기 위하여 각 입력포트에 포토 커플러를 설계하였다. 총 6핀의 입력회로를 구성하여 메인모듈로 해당 포트의 상태를 전달한다. 반면에 출력회로에는 장치의 회전부를 제어할 수 있는 스텝 모터[5] 드라이브에 CW/CCW 등의 펄스를 전달하여 스텝 모터 드라이브[6]에 의해 장치의 회전부가 목표의 각으로 동작할 수 있도록 제어한다. 또한, area camera에 트리거 신호[7]를 전달하여 영상을 획득하는 동기 신호를 출력한다. PWM 출력은 영상을 획득하기 위한 다각형 용기 외부의 밝기를 조절하기 위해 PWM을 60Khz에 0%~100%의 듀티비 출력을 내보내는 역할을 한다[8].

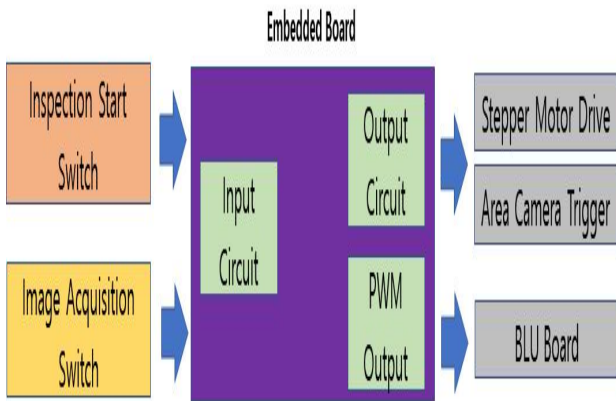


Fig. 3. Block Diagram of Input/Output.  
그림 3. 입출력 모듈의 블록도

2 다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치

다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치의 카메라 장착부는 에리어 카메라를 장착하고 이를 상하, 좌우로 움직이면서 카메라 위치를 조절할 수 있다. 검사 회전부는 스텝 모터 제어를 통한 다각형 용기 검사를 위한 위치 각을 제어하는 역할을 하며, BLU 부는 영상촬영을 위한 밝기를 조절하는 역할을 수행한다. 다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치를 위한 장치 설계도는 그림 4와 같다.

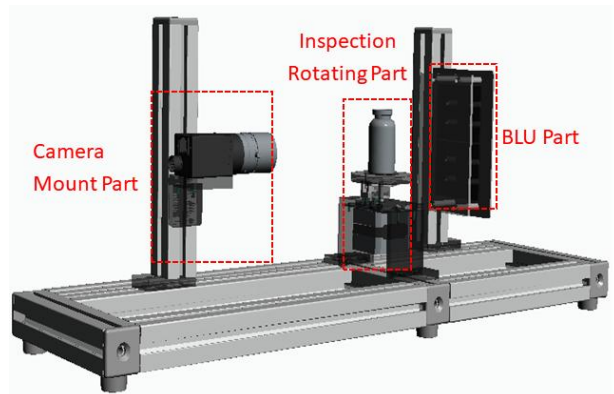


Fig. 4. Design Diagram for Machine Vision Inspection of Polygonal Containers.

그림 4. 다각형 용기의 머신비전 검사를 위한 장치 설계도

가. 카메라 장착부

다각형 용기의 결함 검사를 위한 영상 촬영 기구 거치대는 카메라를 이용한 측정 대상에 대한 방향성 고려, 카메라를 정면에 위치하게 하고 X, Z축으로 변경 가능하여야 한다. 그림 5는 다각형 용기의 결함 검사를 위한 카메라 장착부이다.

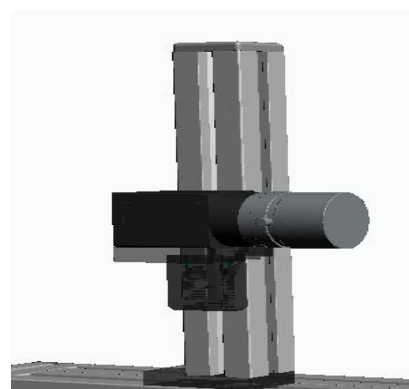


Fig. 5. Camera Mount Part.  
그림 5. 카메라 장착부

나. 검사 회전부

다각형 용기의 결함 검사를 위한 검사 회전부는 제품 회전을 위한 모터 드라이브 선정이 중요하다. 이는 회전 각도에 대한 정밀 조작이 있어야 하기 때문이다. 본 논문에서 선정된 스텝 모터 드라이브는 최고 분할수는 250분할이며, 기본 스텝이 0.72°인 5상 스텝 모터는 1펄스가 입력되면 0.00288°씩 회전하고, 모터를 1회전 시키기 위해서는 125,000 펄스가 필요한 드라이브를 선정하였다. 제품 안착을 위한 검사 회전부는 제품을 안착하고 회전시키는 부분이며 그림 6과 같이 설계한다.

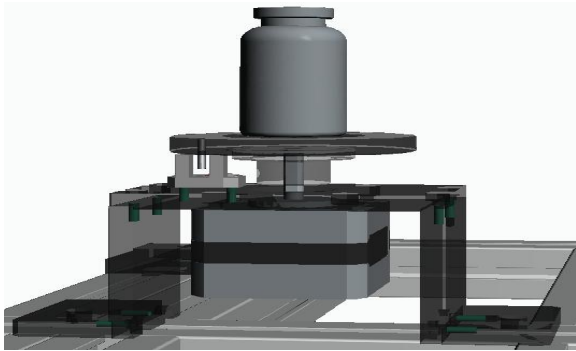


Fig. 6. Inspection Rotating Part.  
그림 6. 검사 회전부

다. BLU 부

BLU 부는 BLU 보드가 안착되는 부분이다. BLU는 다각형 용기 외부의 밝기를 조절하기 위해 PWM을 60KHz에 0%~100%의 듀티비 출력을 내보내는 역할을 한다. 따라서 기구에 대한 간섭 없이 측정 대상의 외부 밝기를 조절하도록 설계하였다. 설계된 BLU 부는 그림 7과 같다.

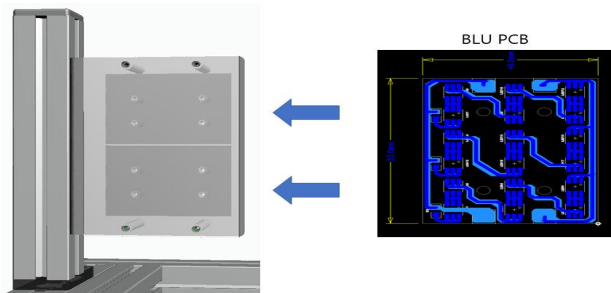


Fig. 7. BLU Part.  
그림 7. BLU 부

### 3. 임베디드 보드의 PCB 보드 설계 및 제작

그림 8은 임베디드 보드의 PCB 이미지를, 그림 9는 머신비전 검사를 위한 장치 이미지를 나타내고 있다.

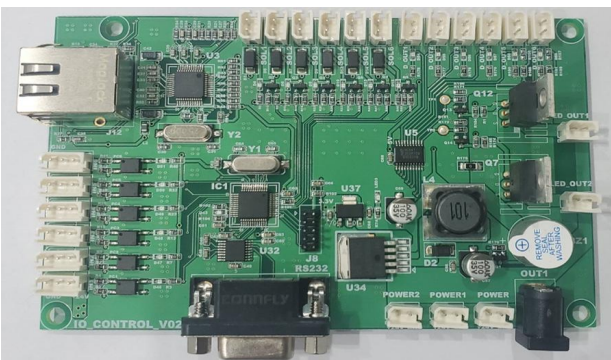


Fig. 8. PCB Image of Embedded Board.  
그림 8. 임베디드 보드의 PCB 이미지

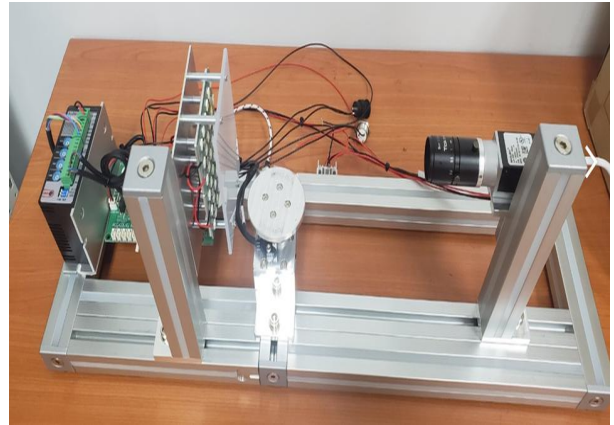


Fig. 9. Device for Machine Vision Inspection.  
그림 9. 머신비전 검사를 위한 장치

### 4. 다각형 용기의 결함 검사 시스템의 양품/불량 판별

다각형 용기의 결함 검사 시스템은 그림 10과 같이 한 방향의 각도로 다각형 용기 영상을 촬영한다. RS232는 동작 각도, 트리거 타이밍 등의 검사 시스템의 동작을 설정한다. LAN은 비전 카메라에서 검사 소프트웨어로 영상을 전송한다.

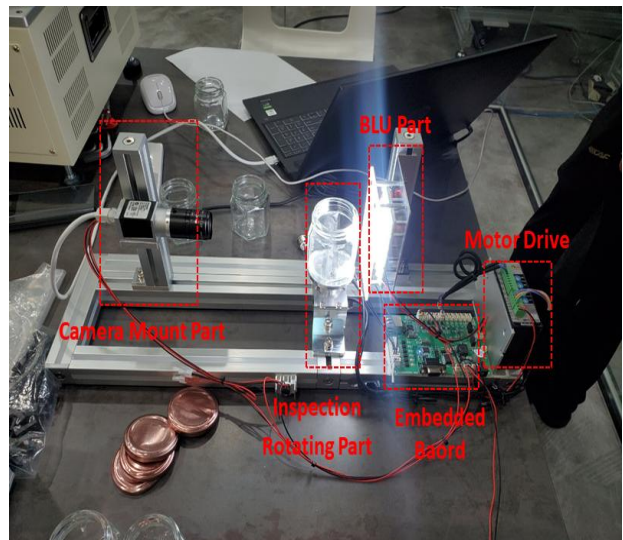


Fig. 10. Apparatus for Machine Vision Inspection of Polygonal Containers.

그림 10. 다각형 용기의 머신비전 검사를 위한 장치

그림 10의 머신비전 검사 장치에 연결된 애리어 카메라를 통해 획득한 양품/불량 이미지를 그림 11과 같이 데이터베이스를 구축한다. 한편, 촬영에 사용되는 애리어 카메라는 BASLER사의 ace classic로 1600x1200 해상도이다.

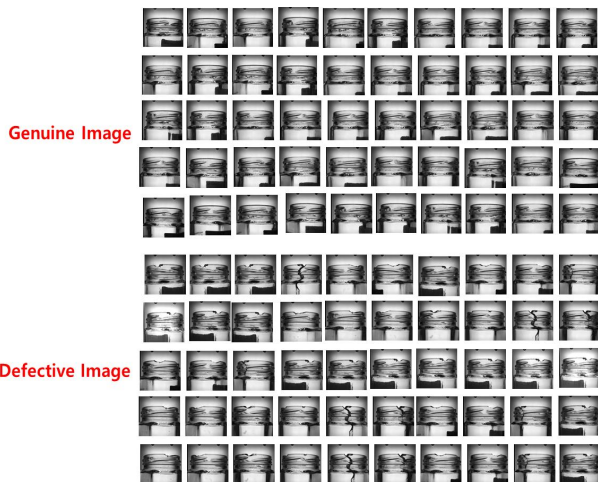


Fig. 11. Building of Database.  
그림 11. 데이터베이스 구축

다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치 검사 시스템은 GUI를 통해 제어하도록 설계하였다. GUI는 그림 12와 같이 카메라에서 받아오는 영상을 띄우는 부분과, 검사의 영역을 지정하는 부분, 카메라 트리거 신호를 제어하여 영상을 찍는 부분으로 구성되어 있다.

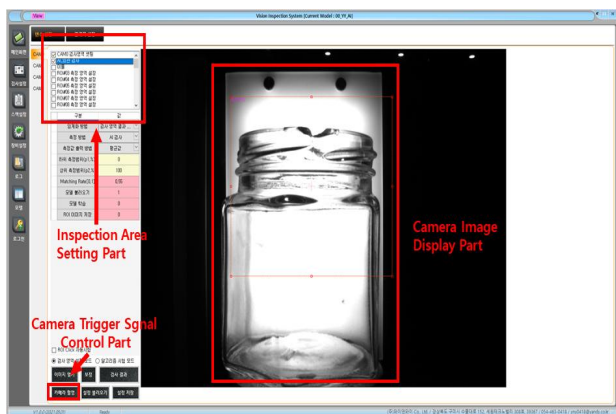


Fig. 12. GUI of Machine Vision Inspection Device.  
그림 12. 머신비전 검사 장치의 GUI

다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치 시스템을 통해 얻은 양품/불량 사진을 지정된 영역만 검출한 후, 딥러닝을 이용하여 이미지들을 학습시킨다. 학

습이 완료된 후에, 카메라를 통해 실시간 영상이 입력되면 지정된 영역의 이미지만을 검출하고, 딥러닝을 통해 학습된 이미지와 비교하여 그림 13과 같이 다각형 용기 인식을 하게 된다.

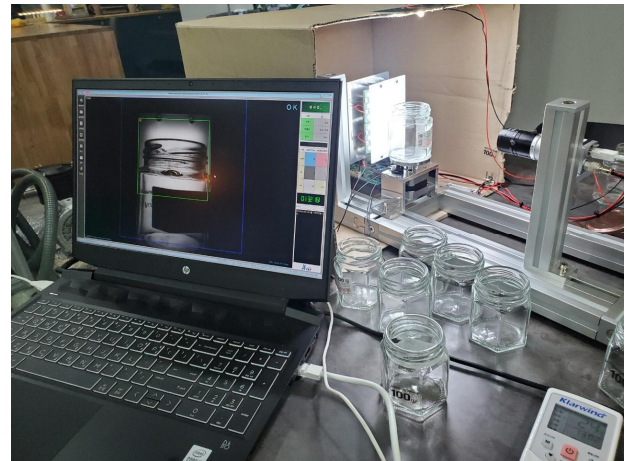


Fig. 13. Recognition of Polygonal Containers using Deep Learning.

그림 13. 딥러닝을 활용한 다각형 용기 인식

### 5. 성능 실험

#### 가. 실험 환경

본 논문에서 제안한 다각형 용기의 결함 검사를 위한 장치에 대한 평가를 위해 그림 14와 같이 테스트 환경을 구축하여 실험하였다.

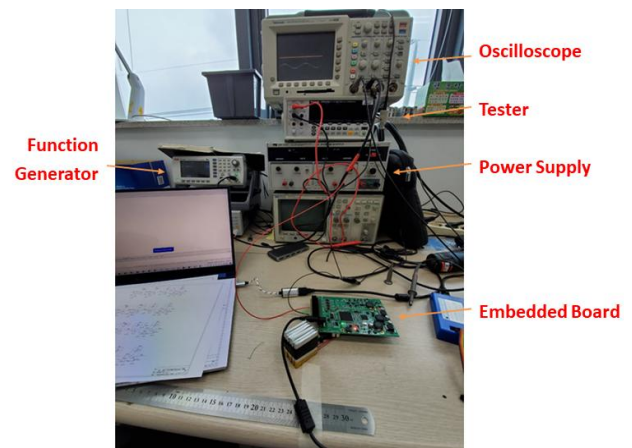


Fig. 14. Test Configuration Environment of Embedded Board.

그림 14. 임베디드 보드의 테스트 구성 환경

#### 나. 실험 결과

제안된 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발의 정확성을 객관적으로 평가하기 위하여 다른 머신비전 검사 시스템과 비교를 해야 하지만, 현재 다

각형 용기의 머신비전 검사 시스템이 존재하지 않기 때문에 불가능하다. 따라서, 표 1과 같은 동작 타이밍을 오실로스코프로 측정하여서 Test Time, One Angle Pulse Value, One Pulse Time, Camera Trigger Pulse, BLU 밝기 제어 등과 같은 파형이 정확히 출력됨을 확인하였다.

Table 1. Action Timing.

표 1. 동작 타이밍

Category	Standard
Test Time	2sec
One Angle Pulse Value	334pulse
One Pulse Time	800us
Camera Trigger Pulse	6pulse
BLU 밝기 제어	0 ~ 100%

① Test Time, Camera Trigger Pulse 측정

그림 15는 Test Time, Camera Trigger Pulse 등을 오실로스코프로 실제 측정한 결과이다. Test Time은 스텝 모터를 제어하기 위한 전체 시간으로서, 1.6sec가 임베디드 제어보드에서 출력됨을 확인하였다. 또한 Camera Trigger Pulse는 6pulse가 임베디드 제어보드에서 출력됨이 확인되었다.

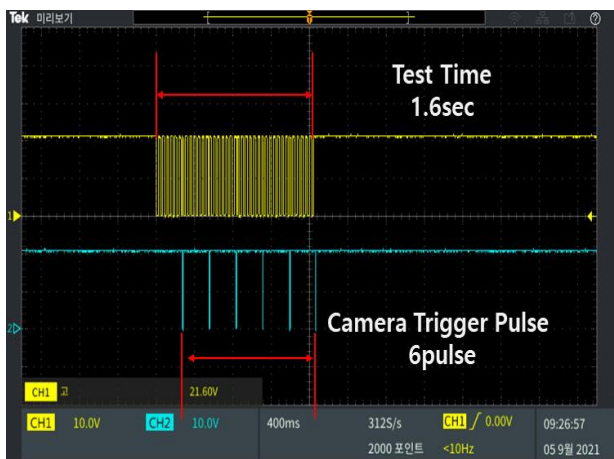


Fig. 15. Test Time, Camera Trigger Pulse Measurement.  
그림 15. Test Time, Camera Trigger Pulse 측정

② One Angle Pulse Value 측정

그림 16은 One Angle Pulse Value를 오실로스코프로 실제 측정한 결과이다. 1개의 Camera Trigger Pulse 발생하기 전에 스텝 모터 드라이브 제어신호인 One Angle Pulse Value가 334pulse가 임베디드

제어보드에서 출력됨이 확인되었다. 이때 카메라로 공급하는 Camera Trigger Pulse Period는 10us이상 출력되어야 한다. 따라서, 본 논문의 임베디드 제어보드에서는 안정적인 트리거 공급을 위해 6ms의 펄스를 출력하였고, 오실로스코프로 실제 측정한 결과로 정확히 출력됨이 확인되었다.

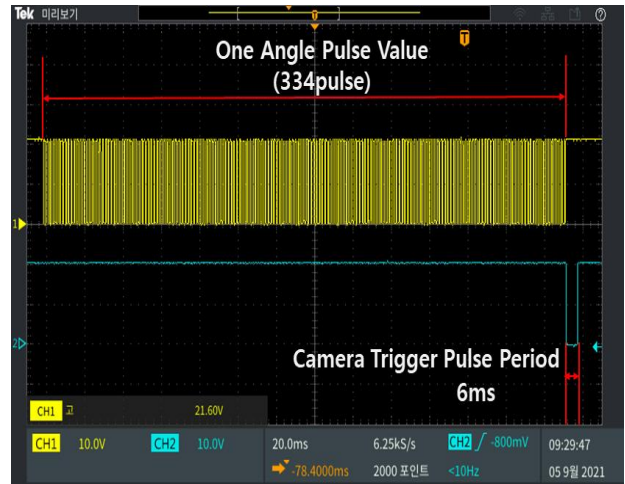


Fig. 16. One Angle Pulse Value Measurement.  
그림 16. One Angle Pulse Value 측정

③ One Pulse Time 측정

그림 17은 One Pulse Time을 오실로스코프로 실제 측정한 결과이다. 스텝 모터 드라이브에 공급되는 1개의 One Pulse Time이 800us로 임베디드 제어보드에서 출력됨이 확인되었다.

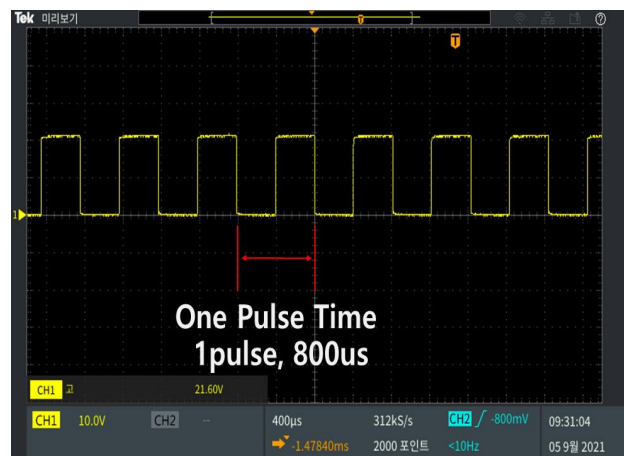


Fig. 17. One Pulse Measurement.  
그림 17. One Pulse 측정

④ BLU 밝기 제어 기능 측정

BLU의 동작은 60KHz의 주파수에 0~100% 듀

티가 가변되어야 한다. 본 논문에서는 0%~100%의 듀티를 전체적으로 측정하지 않고 20%, 55%, 70%의 출력만을 측정하였다. 그림 18은 PWM 듀티에 따른 BLU 모듈의 밝기 가변을 오실로스코프로 실제 측정한 파형으로 듀티 20%, 55%, 70% 출력이 정상적으로 나가고 있음이 확인되었다. 한편, 본 논문에서 제안하는 BLU 모듈은 임베디드 보드에 포함된 FET 제어를 통해 출력하므로 High Level의 듀티가 작을수록 밝기가 밝다.

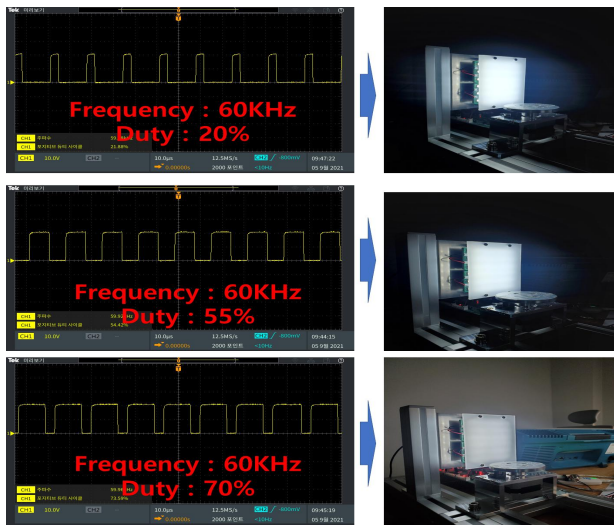


Fig. 18. Variable BLU Brightness according to Pwm Duty.  
그림 18. PWM 듀티에 따른 BLU 밝기의 가변

### III. 결론

본 논문에서는 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발을 제안하였다. 임베디드 보드는 메인부, 통신부, 입·출력부로, 장치는 카메라 장착부, 검사 회전부, BLU 부로 구성되었다. 제안된 다각형 용기의 결함 검사 시스템의 정확성을 평가하기 위하여 Test Time, One Angle Pulse Value, One Pulse Time, Camera Trigger Pulse, BLU 밝기 제어 등과 같은 동작 타이밍을 오실로스코프로 측정하였다. 측정 결과, Test Time, One Angle Pulse Value, One Pulse Time, Camera Trigger Pulse, BLU 밝기 제어 등과 같은 파형이 정확히 출력됨을 확인할 수 있었다. 향후 연구 과제는 수동으로 안착하는 방식이 아닌 생산라인의 자동화 설비들과 연동하여 다각형 용기를 테스트 할 수 있는 다각형 용기의 결함 검사 시스템 개발 시스템의 연구가 필요하다.

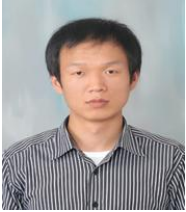
### References

- [1] CHOI DONGGYU, Dongjin Lee, Jiwon Lee, SEONGHO SON, Kim min young, Jongwook Jang, "A Study on the Efficiency of Deep Learning on Embedded Boards," *The journal of Convergence on Culture Technology*, Vol.7 No.1, pp.668-673, 2021. DOI: 10.17703/JCCT.2021.7.1.668
- [2] Yong-Min Lee, Won-Bog Lee, Seung-Ho Lee, "Development of embedded board for construction of smart factory," *Journal of Electrical and Electronic*, Vol.23 No.3, pp.1092-1095, 2019. DOI: 10.7471/ieeee.2019.23.3.1092
- [3] Joonghyun An, Jiae Youn, Jeonghun Cho, Daejin Park, "Automatic On-Chip Glitch-Free Backup Clock Changing Method for MCU Clock Failure Protection in Unsafe I/O Pin Noisy Environment," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol.52 No.12, pp.99-108, 2015. DOI: 10.5573/ieie.2015.52.12.099
- [4] Chun, Woo-Young, Song, Sang-Bin, Kim, Jin-Hong, Ki-Hoon Kim, "Development of drive and control circuit for direct LED BLU," *Journal of Lighting and Electrical Equipment Society*, Vol.11, pp.119-124, 2007.
- [5] Huh Wook-ryeol, "stepper motor control," *Journal of Electrical Journal*, Vol.36 No.2, pp.91-98, 1987.
- [6] Kim Dae-gon, "Control of a 3-Phase VR Type Self-Bearing Step Motor," *Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.25 No.12, pp.1974-1980, 2001. DOI: 10.22634/KSME-A.2001.25.12.1974
- [7] Jang Yong-jun, "VFX with motion control cameras," *Journal of Information Science*, Vol.21 No.7, pp.49-58, 2003.
- [8] Seung-Woo Lee 1, Jung-Gi Lee, Sun-Yeob Kim, "LED driver IC design for BLU with current compensation and protection function," *Journal of the Korean Society of Industrial Academia and Technology*, Vol.21 No.10, pp.1-7, 2020. DOI: 10.5762/KAIS.2020.21.10.1

---

**BIOGRAPHY**

---

**Suk-Moon Yoon** (Member)

2009 : BS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University  
2020 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University  
2021 ~current : Ph. D degree course of Electronic Engineering, Hanbat National University

**Seung-Ho Lee** (Member)

1986 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
1989 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
1994 : Ph. D degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
1994 ~current : Professor, Department of Electronic Engineering, Hanbat National University