Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering
https://doi.org/10.11627/jksie.2023.46.4.181

Vol. 46, No. 4 : 181-189, December 2023
ISSN : 2005-0461 / EISSN : 2287-7975

Development of Stamping Die Quality Inspection System Using Machine Vision

Hyoup-Sang Yoon†

Department of Software Convergence, Daegu Catholic University

머신 비전을 이용한 금형 품질 검사 시스템 개발

윤협상†

대구가톨릭대학교 소프트웨어융합학과

In this paper, we present a case study of developing MVIS (Machine Vision Inspection System) designed for exterior quality inspection of stamping dies used in the production of automotive exterior components in a small to medium-sized factory. While the primary processes within the factory, including machining, transportation, and loading, have been automated using PLCs, CNC machines, and robots, the final quality inspection process still relies on manual labor. We implement the MVIS with general-purpose industrial cameras and Python-based open-source libraries and frameworks for rapid and low-cost development. The MVIS can play a major role on improving throughput and lead time of stamping dies. Furthermore, the processed inspection images can be leveraged for future process monitoring and improvement by applying deep learning techniques.

Keywords : Machine Vision, Stamping Die, Quality Inspection, OpenCV, Python Library

1. 서 론

최근 제4차산업혁명(Industry 4.0)의 발전과 더불어 머신 비전을 활용한 품질 검사 자동화 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고, 해당 연구 결과가 생산 현장에 적용되고 있다[4, 5, 6, 12]. 작업자가 수동으로 진행하는 전통적인 품질 관리 방식과 비교할 때, 자동화된 머신 비전 품질 관리 시스템은 다양한 이점을 제공한다. 예를 들어, 위험한 환경에서 24시간 내내 작업할 수 있고, 대부분 작업에서는 작업자 보다 더 빠르게 측정하면서 높은 정확성과 일관성을 유지할 수 있다. 또한 자동화 검사 시스템과 MES(Manufacturing Execution System)를 연동하여 품질 모니터링 결과가 제조업체의 공정 통제에 쉽게 통합될 수 있다[4].

머신 비전 검사는 제품의 표면에 있는 흠집, 파손을 비롯한 표면의 이상이나 외부 형태, 수치 등의 가공 상태를 측정하는 품질 검사 작업에 일반적으로 적용되고 있다[6]. 품질 검사 대상의 이미지를 획득하기 위해 광전센서(photoelectric sensor), 레이저, 카메라 등 다양한 장치를 사용할 수 있으며, 비용이 저렴하고 설치가 간단하여 활용도가 높은 카메라 기반 머신 비전 시스템은 부품의 유무, 부품의 위치와 방향, 색상, 크기 등을 검사하기 위해 통상적으로 사용되고 있다[1, 6, 7, 11, 13].

기존 머신 비전 품질 검사 시스템 개발에서는 센서, 조명 설정을 비롯한 이미지 획득 조건, 이미지 처리 알고리즘 등을 주로 다루고 있으나, 제4차산업혁명 도입이 진행될수록 사이버-물리시스템, 사물인터넷, 빅데이터 클라우드 컴퓨팅 등 신기술을 적용하기 위한 실시간 통신과 기기 간 연동의 중요성이 높아지고 있다[12].

본 연구에서는 자동차 외장재용 금형을 생산하고 있

Received 30 November 2023; Finally Revised 21 December 2023; Accepted 21 December 2023
† Corresponding Author : hsyoon@cu.ac.kr

는 중소규모 공장에서 머신 비전 시스템을 활용한 금형 품질 검사 시스템을 개발한 사례를 다루고자 한다. 해당 공장의 가공, 이송, 적재 등 주요 공정은 PLC(programmable logic controller), CNC(computer numerical control), 로봇 등을 이용하여 자동화되었지만, 최종 품질 검사 공정에서는 가공된 홀의 개수만 자동으로 측정할 수 있으며 정확한 수치 측정은 작업자가 수동으로 진행하고 있다.

머신 비전 품질 검사 시스템을 개발하여 완전 자동화된 생산 시스템 구축하는 동시에 MES와 연동을 위한 API(application programming interface), 빅데이터 기반 AI 분석을 위한 품질 검사 데이터 수집 및 이력관리를 위한 데이터베이스와 관리자 화면도 개발하고자 한다.

머신 비전 검사 시스템의 신속한 개발과 개발 비용 절감을 위해 전용 하드웨어, 솔루션 소프트웨어 사용을 지양하고, 범용 산업용 카메라와 OpenCV[2], Django[3], Streamlit[14] 등 파이썬[16] 기반 오픈소스 라이브러리와 프레임워크를 사용하여 개발하고자 한다. 이를 통해 신속하고 정확한 금형 품질 검사가 가능하여 생산량 증대, 리드 타임 단축, 불량률 감소 등 효과를 기대할 수 있다. 또한, 정밀하게 촬영된 결과물은 향후 딥러닝 기법을 적용하여 공정 모니터링 및 개선에 활용 가능하다.

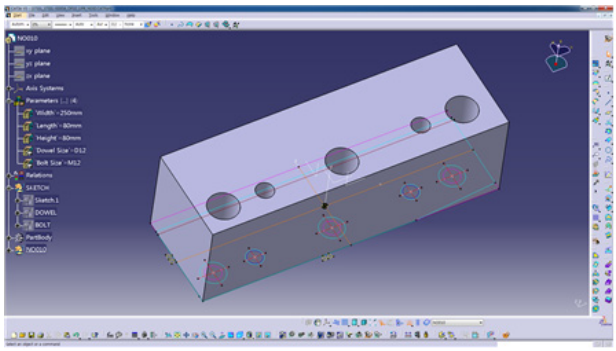
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 금형 인서트 블록 홀 가공 공정에 대한 소개 및 품질 검사 개선 문제를 정의하고자 한다. 제3장에서는 문제 해결을 위한 시스템 요구사항을 분석하고 시스템 하드웨어, 소프트웨어 및 데이터베이스 설계를 진행한다. 제4장에서는 머신 비전 시스템 시제품 구현을 위해 하드웨어 구성 및 소프트웨어 개발을 다루고자 한다. 마지막으로, 본 연구에서 개발된 머신 비전 품질 검사 시스템을 통한 개선 효과와 추후 연구 방안은 제5장에서 제시된다.

2. 홀 가공 공정 소개 및 문제 정의

자동차의 철제 외장 부품을 다이 스탬핑(die stamping) 방식으로 생산하기 위해 금속 소재 금형이 필요하다. 대형 외장 부품의 금형을 생산할 때 하나의 금속 블록을 통으로 가공하려면 대형 공작 기계에서 오랜 작업 시간이 소요된다. 대형 공작 기계에 비해 도입비용과 운용비용이 저렴한 중소형 공작 기계를 활용하여 금형을 생산하기 위해 큰 금형을 작게 분할된 블록 단위로 중소형 기계에서 1차 가공하여 조립 후 대형 공작기계에서 최종 가공하는 방식을 사용한다.

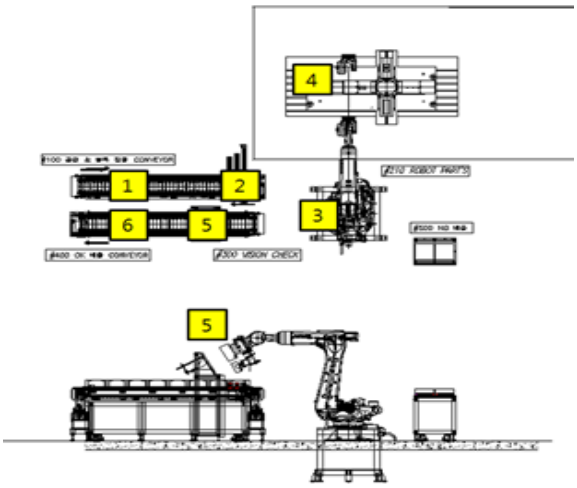
자동차 금형 공정은 주물과 인서트 스틸 제조 두 가지로 구분할 수 있다. 주물 공정은 금형을 고정하기 위한 프레임을 생산하는 단순한 공정임에 반해, 인서트 스틸 제조 공정에서는 자동차 외장 부품의 형상을 블록 단위로 분리하여 조립하기 위한 복잡한 홀 가공 공정이 필수적이다.

인서트 블록의 홀은 대상 부품의 형상에 따라 위치와 크기가 가변적으로 가공되며 <Figure 1>과 같은 3D CAD(computer aided design)도면을 사용하여 홀의 종류, 위치, 크기를 설계하게 된다.



<Figure 1> 3D CAD Data for Insert Block

인서트 블록 홀 가공 공정은 가공물 이송을 위한 컨베이어 벨트 및 로봇 이송 장치, 가공물 고정을 위한 스마트 지그, CNC 공작 기계 등으로 구성되어 있고, 각 장비는 PLC와 연동되어 있다. PLC를 통해 공작물의 정보를 파악하고 각 장비의 동작을 지시하게 된다. <Figure 2>는 인서트 블록 홀 가공 자동화 공정을 상부 조망(top view)와 전면 조망(front view)으로 나타낸 것이다.



<Figure 2> Automated Manufacturing System

가공 공정의 세부 구성품은 <Table 1>과 같고, 인서트 블록 가공의 개략적인 절차는 다음과 같다.

<Table 1> Insert Block Hole Processing System

Sub-part name	Number	Description
Conveyer belt	1	Raw Block Acquisition
	2	Alignment pusher, QR Code reader
	5	Inspect quality
	6	Completed Block Retrieval
Robot	3	Block loading and unloading
CNC Machine	4	Hole processing machine

- 공작물 소재를 컨베이어벨트 입구(1)에 투입
- 정렬 밀착기(alignment pusher) 2에 공작물이 이송되면 공작물의 크기에 따라 이송하기 용이하도록 공작물을 정렬
- 공작물에 타각된 QR코드를 리더기(2)로 스캔하여 PLC로 공작물에 대한 정보를 전송
- PLC로부터 전송된 공작물의 정보를 받은 로봇 이송장비(3)는 공작물을 이송
- 가공기계(4)로 전송된 공작물 가공
- 가공 완료 후, 후방 조명을 활용한 비전 검사장비(5)로 공작물 검사

현재 공정에서 비전 검사장비(5)의 문제점은 관통 홀의 개수를 측정할 수 있지만 홀의 위치, 크기를 검사할 수 없다는 것이다. 인서트 홀 가공공정에서 발생하는 가공 오차는 선행 공정에서 발생하는 오류를 포함해서 다양한 원인이 있을 수 있지만 주로 원인은 다음과 같다.

- CNC 가공 G코드 작성 오류
- CNC 가공 조건 설정 오류
- CNC 공구 마모 또는 설정 오류
- 치공구(jig and fixture) 고정 불량

G코드 작성 오류가 발생하는 경우를 제외하면 홀의 개수가 불량이 발생할 가능성은 매우 희박하고, 주로 나머지 원인에 의한 홀의 크기 또는 가공 위치에 불량이 주로 발생하게 된다. 홀의 가공 오차를 검사하기 위해 본 연구에서는 기존 시스템과 연동하여 인서트 블록의 홀 가공 품질을 검사하는 머신 비전 기반 시스템을 개발하고자 한다.

3. 시스템 요구사항 및 설계

3.1 시스템 요구사항

본 연구를 통해 개발하고자 하는 머신 비전 품질 검사 시스템은 홀에 발생하는 오차를 정확히 측정하는 기능을 필수적으로 제공할 수 있어야 한다. 카메라로 촬영한 물체의 외형 치수를 측정하기 위해서는 동일 위치에 비교 가능한 기준 척도가 있거나 물체까지 거리를 측정할 수 있어야 한다. 비교 가능한 기준 척도를 사용하는 방법은 추가 공정이 도입되어야 하는 단점이 있고, 거리를 측정할 수 있는 카메라를 도입하는 방법은 비용이 증가하는 단점이 존재한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 인서트 블록 자체의 외형 치수를 기준으로 하여 홀의 크기와 위치를 상대적으로 측정하는 방안을 도입하고자 한다. 검사 대상이 되는 인서트 블록의 외형 치수를 검사에 활용하기 위해서는 인서트 블록에 부착된 QR코드로 인서트 블록을 식별하고, 생산관리시스템(MES; manufacturing execution system)에 저장되어 있는 인서트 블록의 외형 치수를 조회하는 방식을 사용하고자 한다. 따라서, 본 연구를 통해 개발되는 머신 비전 검사 시스템(MVIS; machine vision inspection system)과 MES의 연동이 필수적이라 할 수 있다. 또한 품질 검사 결과를 MES와 연동하기 위한 기능도 필요하다. 다만, 비전 검사 시스템의 개발비용 증가를 피하기 위해 기존에 운영하고 있는 MES를 변경하거나 개선하는 추가 개발은 고려하지 않고 본 연구를 통해 최소한의 핵심적인 기능을 갖춘 독자적인 MES 시스템도 함께 개발하고자 한다.

MVIS의 하드웨어와 소프트웨어 개발에 있어 개발 비용과 개발 기간도 중요한 고려 사항이다. 인서트블록 품질 검사의 요구 정밀도가 수 밀리미터 단위 정도로 초정밀 측정이 필요하지 않은 중소기업에서 활용하는 시스템이므로 가능한 개발비용을 낮추고, 개발 기간을 단축하고자 하는 요구 사항이 있다. 이러한 요구 사항을 반영하고자 전용 하드웨어를 사용하지 않고 상호 호환되는 범용 부품을 선정하여 하드웨어 시제품을 제작하고, 오픈소스 라이브러리 또는 프레임워크를 활용하고자 한다.

3.2 시스템 하드웨어 구성

MVIS의 하드웨어는 카메라, 임베디드 보드, 서버로 구성된다. 카메라는 일반적으로 머신 비전 시스템 구성에 가장 중요한 하드웨어라 할 수 있으며, 카메라 선정에는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 카메라 촬영 방식 : 카메라 촬영 방식은 크게 Line Scan 또는 Area Scan 방식으로 나눌 수 있으며, Line Scan 방식은 1차원 선형 구조의 센서를 사용하여 필름, 섬유 등 연속적으로 생산되는 제품을 검사하기에 적합하고 Area Scan 방식은 개별 제품을 검

사하기에 적합함

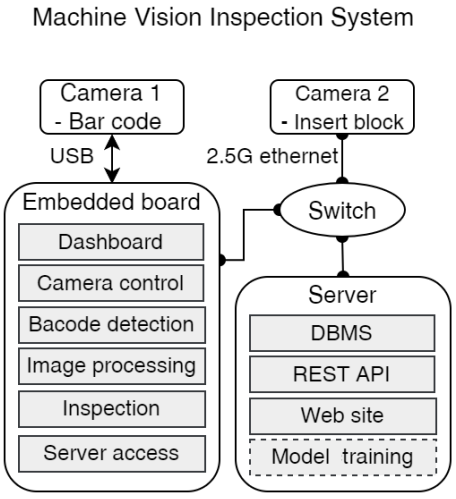
- 카메라 해상도 : 머신 비전 대상이 되는 제품의 크기와 식별하고자 하는 정확도를 고려하여 해상도를 선정해야 하며, 해상도가 높을수록 정확도가 높아지지만 비용과 처리시간도 증가하게 됨
- 촬영 속도 : 초당 촬영 가능한 프레임을 의미하며 FPS(frame per seconds) 단위로 나타내고, 빠른 속도로 제품을 검사하고자 하면 촬영 속도도 이를 감당할 수 있어야 함
- 인터페이스 : 카메라와 컴퓨터 장치를 연결하여 이미지 데이터를 전송하는 규격을 의미하며, 컴퓨터에 직접 연결 가능한 근거리에 카메라가 위치하는 경우 USB 인터페이스를 사용하고, 컴퓨터와 카메라가 원거리에서 연결되어야 하는 경우 GigE(gigabit ethernet) 방식을 사용함
- 빛의 파장 : 제품의 특성에 따라 자외선, 적외선, 또는 특정 파장의 빛을 촬영할 수 있는 카메라를 선택함
- 조명 및 카메라 렌즈 : 사용 환경에 따라 조명을 추가하거나 카메라의 초점거리, 조리개 범위를 선택함

MVIS를 구성하기 위한 주요 하드웨어 사양은<Table 2>에 나타나 있다.

<Table 2> MVIS HW Device Specification

HW Device	Product Model	Specification
Camera1	Logitec C922 Pro	1080p 30FPS USB Interface
Camera2	Basler ACE2	4K resolution Monochrome, 5GigE
Lense	Basler Lense	25mm fixed
Embedded board	Nvidia AGX Orin Dev. Kit 32GB	12 Core Arm CPU 32GB RAM
Server	Supermicro 5014A-TT	AMD Threadripper CPU 128GB RAM Nvida A2000 GPU

<Fig 3>는 하드웨어 구성도를 나타내고 있다. 바코드를 인식하기 위한 카메라 1식(Camera1)은 임베디드 보드에 USB로 연동되고 인서트 블록 촬영을 위한 카메라 1식(Camera2)은 2.5G ethernet 케이블로 스위치를 통해 임베디드 보드에 연결된다. 임베디드 보드에서는 MVIS 모니터링을 위한 대시보드, 카메라 제어, 바코드 인식, 이미지 처리, 검사, 서버 연동의 기능을 수행한다. 또한, 서버는 MVIS 관리자 웹 페이지 구동, 데이터베이스 운용, API 서비스 기능을 담당한다. 'Model training' 박스는 MVIS에 축적된 홀 이미지를 학습하기 위한 딥러닝 모델을 의미하며, MVIS 시제품에는 딥러닝 모델이 구현되어 있지 않고 딥러닝 학습용 GPU만 장착되어 있으므로 점선으로 표시되어 있다.



<Figure 3> MVIS Architecture

3.3 시스템 소프트웨어 구성

MVIS에서 사용하는 소프트웨어는 Ubuntu 운영체제를 사용하는 임베디드 보드 및 서버에서 구동되며 파이썬[16] 기반 라이브러리 또는 프레임워크를 사용하여 개발하고자 한다. 임베디드 보드에서 구동되는 MVIS의 응용 프로그램은 품질 검사 모니터링, 인서트 블록 식별, 홀 이미지 촬영, 이미지 처리, 품질 검사, 검사 결과 전송 등 기능으로 구성된다. 서버에서는 MES의 데이터베이스를 구동하기 위해 오픈소스 DBMS(database management system) 중에서 성능 및 기능이 우수하다고 평가받는 PostgreSQL[8]을 사용하고, MVIS 검사 기능과 연동하기 위해 REST API[15] 방식으로 데이터베이스 접속 인터페이스를 설계하고자 한다.

대부분 응용 프로그램 소프트웨어 개발에는 <Table 3>에 나타난 바와 같이 파이썬 기반인 Pyzbar[9], OpenCV[2], Requests[10], Django Framework[3], Streamlit[14] 등의 라이브러리를 사용하고자 한다. MVIS의 핵심 기능인 홀 이미지 촬영, 이미지 처리 및 품질 검사에는 OpenCV를 활용하고, 데이터베이스 구축 및 관리자 화면과 REST API 기능은 Django 프레임워크를 활용하여 개발하고자 한다. 관리자 화면은 Django 프레임워크에 포함되어 있는 admin site 기능을 커스터마이징 하여 기본적인 데이터 입력, 조회 기능을 제공할 수 있게 구현하고자 한다.

MVIS 시제품 개발 단계에서는 웹서버를 별도로 구축하는 대신 Django 프레임워크에 내장된 개발용 웹서버를 사용하고 향후 생산 공정에 적용하는 단계에서 웹서버를

구축하여 적용하고자 한다.

<Table 3> Python Library for MVIS

Library	MVIS SW component
Pyzbar	Barcode detection
OpenCV	Camera control Image processing Inspection
Requests	Server access
Django Framework	REST API Web site
Streamlit	Dashboard

3.4 데이터베이스 설계

인서트 블록 홀 가공 공정에서 현재 운용하고 있는 인서트 홀 가공 자동화 시스템의 MES에 품질 검사 결과를 연동함과 동시에 간섭을 최소화하고자 하는 요구사항을 달성하기 위해 MVIS에도 기본적인 생산관리를 위한 제품 기초 정보 및 생산정보 처리를 위한 데이터베이스 구축이 필요하다.

인서트블록 기초 정보는 <Table 4>와 같으며 체계적인 관리와 시스템 고도화를 고려하여 데이터 중복 방지, 일관성 유지를 위해 데이터베이스를 설계하고자 한다.

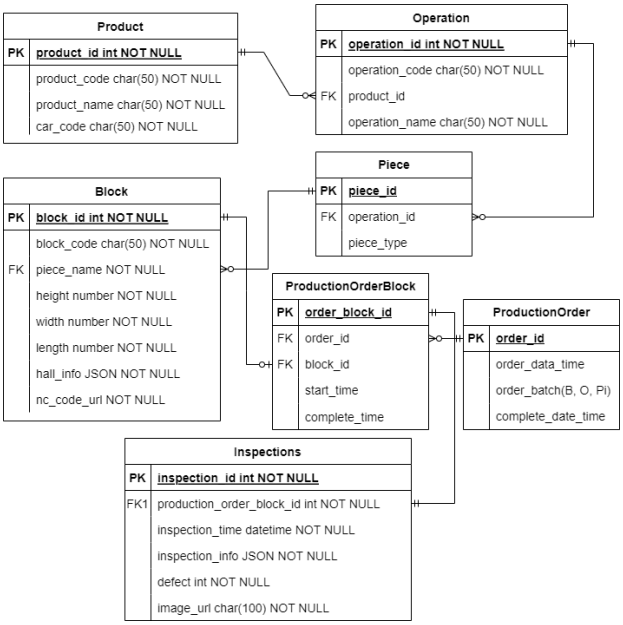
<Table 4> Insert Block Basic Data

Code	Example
Car	BL7r-5DR
Product	64134-BA000
Operation	OP10
Piece	LWR
Block	N0001

Block은 개별적인 인서트 블록에 할당되는 코드이며 인서트 블록의 외형을 나타내는 파라미터는 너비, 길이, 높이 등이며 홀 위치는 x, y 좌표로 구성된다.

인서트 블록 데이터를 관리하기 위해 사용되는 기초 데이터에 추가하여 데이터베이스에는 생산지시, 품질검사 결과를 등록할 수 있는 데이터베이스 구조가 필요하다. 또한, 생산지시 등록 시점, 생산 완료 시점, 품질 검사 완료시점, 품질 검사 결과 및 비전 이미지 등록을 위한 DB 구조 설계가 요구된다.

<Figure 4>에는 MVIS의 요구사항을 반영한 데이터베이스 설계 결과인 ERD(entity relationship diagram)가 나타나 있다. <Table 4>에 포함된 인서트 블록의 기초정보를 등록하고 관리하기 위해 데이터베이스에 추가되어야 하는 테이블은 금형으로 생산하고자 하는 부품을 의미하는 제품을 위한 Product 테이블, 제품 생산 공정을 관리하는 Operation 테이블, 금형의 상판, 하판을 구분하는 Piece 테이블, 인서트 블록의 외형 수치, 홀 정보, CNC 가공 코드(G-code)를 관리하는 Block 테이블 등이 필요하다. 또한, 생산지시를 등록하는 ProductionOrder 테이블, 생산지시에 포함되는 인서트 블록을 등록하는 ProductionOrderBlock 테이블, 품질 검사 결과를 관리하는 Inspection 테이블도 설계에 포함된다.



<Figure 4> Entity Relationship Diagram for MVIS

4. MVIS 구현

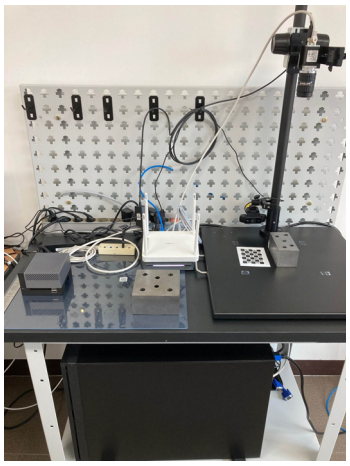
4.1 MVIS 하드웨어 시제품

MVIS(Machine Vision Inspection System)는 비용을 낮추고 개발 기간을 단축하기 위해 범용 제품을 조립하여 시제품을 개발하고자 한다. 하드웨어 시제품 제작에 필요한 구성품은 작업대와 카메라 거치대를 비롯한 단순 구조물을 포함하여 카메라, 임베디드 보드, 서버, 네트워크 스위치 등으로 구성된다. 주요 부품에 대한 요구 사양은 <Table 2>와 같다.

임베디드 보드는 NVidia Jetson AGX Orin 제품을 사용하며 카메라 제어, 대시보드 작동, 비전 검사 결과 연산 기능을 수행한다. 시제품 하드웨어 테스트를 통해 성능이 충분함을 확인 가능하고, 양산 단계에서 비용 절감을 위해 더 낮은 사양의 제품으로 대체하는 것도 가능하다.

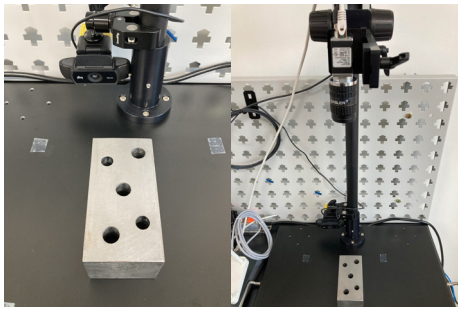
카메라는 바코드 촬영 및 인서트 블록 홀 촬영을 위해 총 2대가 필요하다. 바코드 촬영에는 고해상도 기능이 필요하지 않지만 초점 조절 기능이 필요하므로 일반적인 웹캠을 사용하지만, 비전 검사용 인서트 블록 홀 촬영에는 최대해상도 4000x3000로 촬영 가능한 고성능 카메라를 사용한다. 비전 검사용 이미지 촬영 카메라는 5GigE 전송 인터페이스(최대 5gbps 전송)를 갖추고 있으나 네트워크 스위치의 최대 전송 속도가 2.5Gps 한계이므로 초당 3 프레임으로 촬영을 제한한다.

MVIS 하드웨어 시제품은 <Figure 5>에 나타나 있으며, 작업대 상단에 카메라 거치대, 네트워크 스위치, 임베디드 보드가 위치하고, 하단에 서버가 위치한다.



<Figure 5> MVIS HW Prototype

<Figure 6>은 바코드촬영 카메라와 블록 홀 촬영 카메라를 자세히 살펴볼 수 있도록 카메라 거치대 부분을 확대한 이미지이다.



(a) (b)

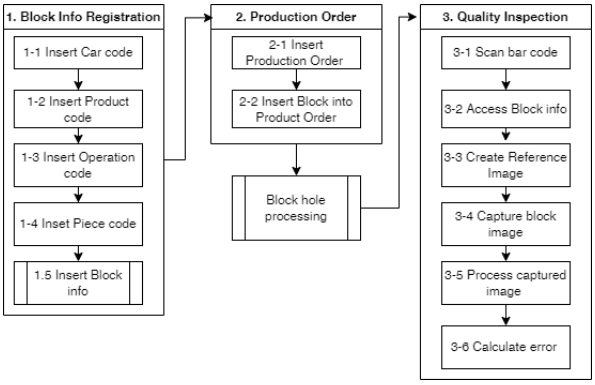
<Figure 6> Camera Devices: (a) Barcode Detection, (b) Insert Block Image Capture

MVIS 하드웨어 시제품에는 서버가 함께 구축되어 있으나 추후 서버는 별도의 서버실로 이전하여 운용하고자 한다.

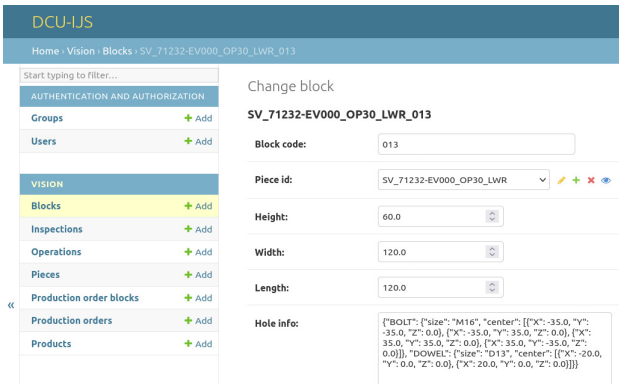
4.2 MVIS 작동 절차

MVIS HW 시스템에서 구동되는 품질 검사는 크게 블록 정보 등록, 생산지시, 생산 완료 블록에 대한 품질 검사 단계로 구성되며 <Figure 7>에 나타난 순서대로 진행된다. 첫 번째 블록 정보 등록(Block Info Registration)에서는 인서트 블록의 기초 정보에 해당하는 자동차 코드, 제품 코드, 공정 코드, 피스 코드가 등록된 이후 인서트 블록 홀 가공 정보가 등록된다.

<Figure 8>은 MVIS의 관리자 웹사이트에서 조회가능한 인서트 블록 정보 상세 조회 화면으로, 블록 코드 및 피스 코드, 블록 외형 수치(Height, Width, Length), 홀 위치 정보(JSON 형식), NC 코드 파일을 확인할 수 있다. 인서트 블록 정보는 작업자가 수동으로 입력하거나 NC 코드 생성 SW에서 코드 생성과 동시에 자동으로 MVIS의 데이터베이스에 업데이트하는 기능을 포함한다.



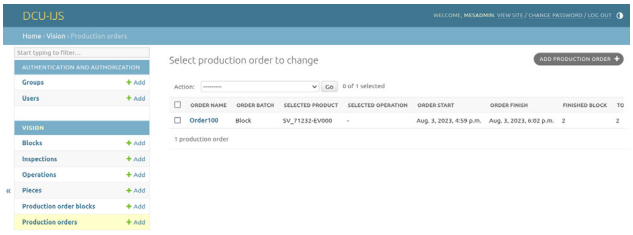
<Figure 7> Quality Inspection Procedures of MVIS



<Figure 8> Administration Web Page for MVIS

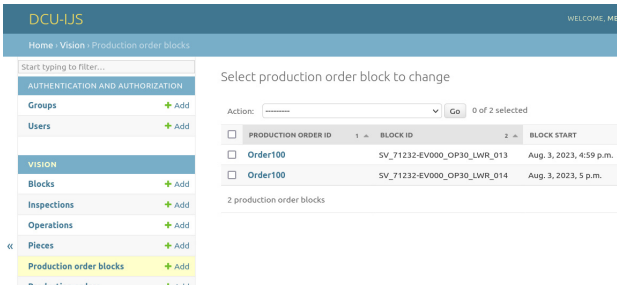
인서트블록 정보가 등록되면, <Figure 9>와 같이 생산지시(Production Order) 등록을 통해 작업지시가 등록, 조회, 변경하는 것이 가능하다. 생산지시를 등록하고 해당 작업지시에 포함되는 인서트블록을 등록하게 된다. 생산

지시에 인서트 블록을 등록할 때 개별 블록 단위, 피스 단위, 공정 단위로 묶음 등록하는 것도 가능하다.



<Figure 9> Production Oder Page

<Figure 10>은 생산지시에 인서트블록 정보를 등록하고 조회하는 화면으로서 작업지시에 포함된 인서트블록 아이디, 블록 가공 시작 시점, 완료 시점, 검사 결과를 조회하는 기능을 제공한다.



<Figure 10> Production Order Block Page

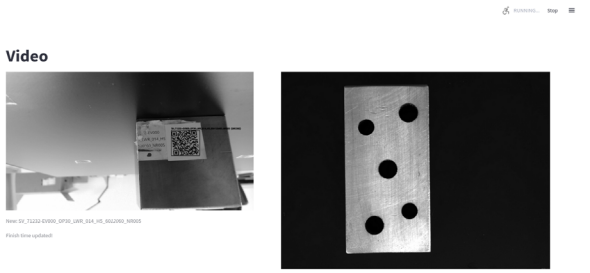
생산지시가 등록되면 PLC에 연동된 CNC 장비에서 인서트 블록 홀 가공(Block hole processing)이 진행되고, 홀 가공이 마무리되면 품질 검사 단계로 진행된다.

품질 검사(Quality Inspection) 단계에서는 인서트 블록에 부착된 QR 코드를 스캔하여 데이터베이스에서 블록 정보를 조회하는 기능, 블록 정보에서 생성된 기준 블록 이미지를 생성하는 기능, 인서트 블록 이미지 캡처하는 기능, 캡처 이미지를 처리하여 기준 이미지와 비교하여 오차를 계산하는 기능 순서대로 진행된다.

인서트 블록에 부착된 바코드를 인식하고 인서트 블록 이미지를 캡처하는 과정은 <Figure 11>과 같이 MVIS의 임베디드 보드에서 구동되는 모니터링 소프트웨어(Dashboard)를 통해 실시간으로 확인 가능하다.

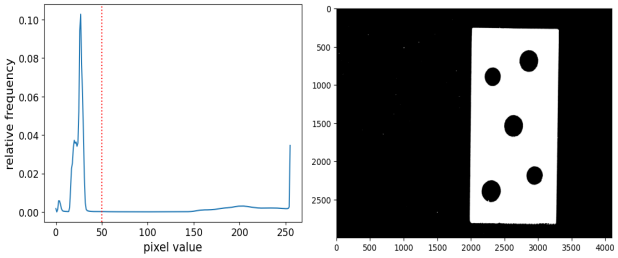
바코드가 인식되면 데이터베이스에서 인서트 블록의 외부 수치 정보와 홀의 크기 및 좌표를 조회하여 기준 이미지를 생성한다. 기준 이미지는 도면에 작성한대로 생산되어 오차가 없는 이상적인 상태라고 할 수 있다.

인서트 블록 홀 이미지 캡처 단계에서 촬영된 이미지 주변 조명 상태, 블록의 재질로 인한 반사로 인해 기준 이미지와 직접 비교하기 어려운 상태이므로 전처리 과정이 필요하다. 이미지 전처리 과정은 이진 임계화(binary thresholding) 과정을 통해 <Figure 12>의 이미지와 같이 픽셀 값이 0(검은색), 255(흰색)만으로 나타나게 된다.



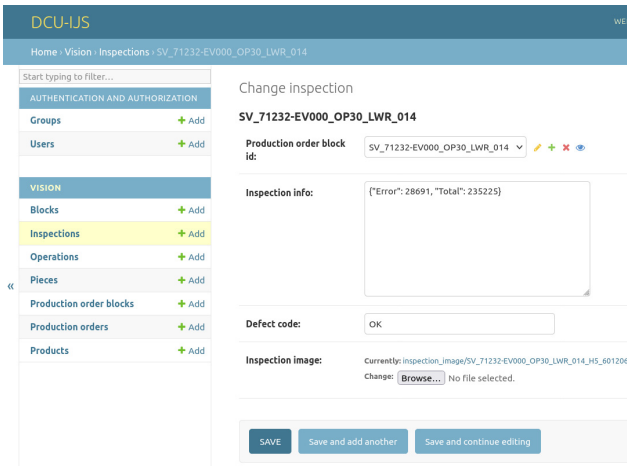
<Figure 11> Dashboard

이진 임계화는 이미지의 히스토그램을 분석하여 붉은색으로 표시된 임계점을 기준으로 계산된다.



<Figure 12> Binary thresholding

<Figure 12>에서 생성된 인서트 블록 홀 이미지는 기준 이미지와 비교하여 불일치하는 영역의 픽셀 수를 기준으로 불량률을 계산할 때 사용된다. 품질 검사 과정은 4.3절에 소개하고자 한다.



<Figure 13> Inspection Result Page

품질 검사 결과는 <Figure 13>과 같이 MVIS의 관리자 화면에서 조회 가능하도록 REST API를 통해 데이터베이스에 기록된다. 완료 시점과 검사 결과는 품질 검사 이후 자동으로 데이터베이스에 등록되며, 관리자 화면에서는 해당 결과를 조회할 수 있다. 검사 코드는 불량(BAD), 정상(OK)로 표시되고 있으나 향후 표시되는 내용을 변경할 수 있다.

4.3 MVIS 기능 및 성능 검증

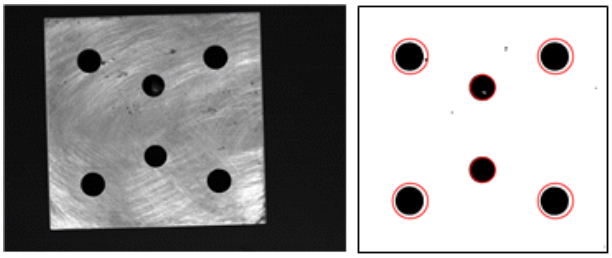
본 연구를 통해 개발된 MVIS의 품질 검사 기능과 성능을 확인하기 위해 <Table 5>와 같이 오차가 있는 인서트 블록과 오차가 없는 인서트 블록을 각각 생산하여 검증을 실시한다.

<Table 5> Insert Blocks for Validation

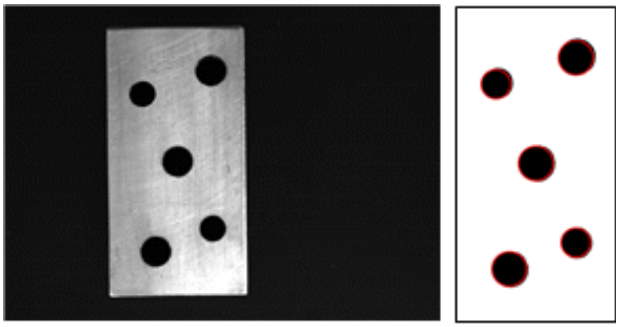
Block Code	Quality Status
NR004	Intended defective in hole size
NR005	Not defective

<Figure 14>, <Figure 15>는 각각 인서트 블록 촬영 이미지와 품질 검사 결과를 나타낸다. <Figure 14>, <Figure 15>의 좌측에 있는 이미지는 인서트 블록 촬영 이미지 원본이고, 우측에는 있는 이미지는 품질 검사 결과를 표시하는 이미지이다. 우측 이미지에 있는 검은 원형은 좌측의 인서트블록 촬영 이미지에서 전처리를 거쳐 식별된 홀을 나타내고, 붉은 색 실선으로 표시되는 원형은 DB에서 조회하여 생성한 인서트블록의 외형을 나타내는 기준 이미지의 홀을 나타낸다.

품질 검사 결과는 붉은색 실선으로 표시되는 부분과 검은색으로 표시되는 부분의 차이를 비율로 계산하여 평가한다. 의도적으로 오차를 발생하여 가공한 <Figure 14>의 인서트 블록 주변부 4개 홀과 오차가 없는 중앙부 2개 홀이 시각적으로 명확하게 구분 가능하다. 또한 오차가 없는 <Figure 15>의 모든 홀은 기준 이미지와 일치함을 알 수 있다.



<Figure 14> Result of Inspection for Detective



<Figure 15> Result of Inspection for Not-Detective

품질 검사 결과는 <Figure 13>과 같이 MVIS 시스템관리자 화면에서 조회 가능하여 품질 검사 결과 등록 기능도 이상이 없음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 금형 인서트 블록의 홀 가공 품질을 검사하는 머신 비전 품질 검사 시스템(MVIS)을 개발하기 위한 요구사항 분석 결과를 도출하고, 신속한 개발과 개발 비용 절감을 위해 일반 산업용 카메라를 비롯한 범용 하드웨어와 OpenCV[2], Django[3], Streamlit[14] 등 파이썬[16] 기반 오픈소스 라이브러리와 프레임워크를 사용한 설계 방안을 제시하였다.

완전 자동화된 생산 시스템 구축하는 동시에 MES와 연동을 위한 API, 빅데이터 기반 AI 분석을 위한 품질 검사 데이터 수집 및 이력관리를 위한 데이터베이스와 관리자 화면을 갖춘 MVIS 시제품 하드웨어와 소프트웨어 개발 결과를 상세히 제시하였다.

개발된 금형 품질 검사 시스템은 신속하고 정확한 검사가 가능하여 생산량 증대, 리드 타임 단축, 불량률 감소 등 효과를 얻을 수 있을 뿐 아니라 정밀하게 촬영된 결과물은 향후 딥러닝 기법을 적용하여 공정 모니터링 및 개선에 활용 가능하다.

추후 연구를 통해 불량을 판별하는 기준과 품질 지표를 개발하고자 한다. 또한 홀 가공에 사용된 공구 이력 데이터를 추가 수집하여 MVIS에서 축적되는 홀 이미지와 연계하여 불량을 유발할 수 있는 공구 마모를 예측하는 AI 모델을 제시하고자 한다.

Acknowledgement

This work was supported by research grants from Daegu Catholic University in 2021.

References

[1] Akundi, A. and Reyna, M., A Machine Vision Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis, *Procedia Computer Science*, 2021, Vol. 185, pp. 127-134.

[2] Bradski, G., The OpenCV Library, Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000. https://opencv.org/.

[3] Django Software Foundation, 2019. Django, Available at: https://djangoproject.com.

[4] Heleno, P., Davies, R., Correia, B.A.B., and Dinis, J., A Machine Vision Quality Control System for Industrial Acrylic Fibre Production, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2002, Vol. 7.

[5] Louw, L. and Droomer, M., Development of a Low Cost Machine Vision Based Quality Control System for a Learning Factory, *Procedia Manufacturing*, 2019, Vol. 31, pp. 264-269.

[6] Martínez, S.S., Ortega, J.G., García, J.G., and García, S.A., A Machine Vision System for Defect Characterization on Transparent Parts with Non-plane Surfaces, *Machine Vision and Applications*, 2012, Vol. 23, No. 1, pp. 1-13.

[7] Moru, D.K., and Borro, D., A Machine Vision Algorithm for Quality Control Inspection of Gears, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020, Vol. 106, No. 1-2, pp. 105-123.

[8] PostgreSQL Database Management System, https://www.postgresql.org/

[9] Pyzbar, https://pypi.org/project/pyzbar.

[10] Requests, https://pypi.org/project/requests.

[11] Shankar, K.R., Indra, J., Oviya, R., Heeraj, A., and Ragunathan, R., Machine Vision Based Quality Inspection for Automotive Parts Using Edge Detection Technique, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, Vol. 1055, No. 1, 012029.

[12] Silva, R. L., Rudek, M., Szejka, A. L., and Canciglieri Junior, O., Machine Vision Systems for Industrial Quality Control Inspections, *15th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM)*, Turin, Italy, 2018, pp. 631-641.

[13] Sioma, A., Vision System in Product Quality Control Systems, *Applied Sciences (Switzerland)*, 2023, Vol. 13, No. 2, p. 751.

[14] Streamlit, https://streamlit.io/.

[15] Sujan, Y.M., Shashidhara, H.R., and Rohini, N., Survey Paper: Framework of REST APIs, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2020, Vol. 07, No. 06, pp. 1115-1119.

[16] Van Rossum, G. and Drake, F.L., Python 3 Reference Manual, Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.

ORCID

Hyoup Sang Yoon | http://orcid.org/0000-0003-3306-7327