

# PLC 기반 머신 비전 시스템 개발

## Development of Machine Vision System based on PLC

이 상 백, 박 태 형\*, 한 경 식  
 (Sang-Back Lee<sup>1</sup>, Tae-Hyoung Park<sup>2\*</sup>, and Kyung-Sik Han<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>A&D R&D Center, LS Industrial System

<sup>2</sup>Dept. of Electronics Eng., Chungbuk National University

**Abstract:** This paper proposes a machine vision module for PLCs (Programmable Logic Controllers). PLC is the industrial controller most widely used in factory automation system. However most of the machine vision systems are based on PC (Personal Computer). The machine vision system embedded in PLC is required to reduce the cost and improve the convenience of implementation. In this paper, we newly propose a machine vision module based on PLC. The image processing libraries are implemented and integrated with the PLC programming tool. In order to interface the libraries with ladder programming, the ladder instruction set was also designed for each vision library. By use of the developed system, PLC users can implement vision systems easily by ladder programming. The developed system was applied to sample inspection system to verify the performance. The experimental results show that the proposed system can reduce the cost of installing as well as increase the ease-of-implementation.

**Keywords:** PLC (Programmable Logic Controller), PAC (Programmable Automation Controller), machine vision, inspection

### I. 서론

PLC (Programmable Logic Controller)란 종래에 사용하던 제어반 내의 릴레이 타이머, 카운터 등의 기능을 반도체 소자로 대체하여, 프로그램을 통해 자율성을 높인 제어 장치로 국내에서는 1980년대 초반 처음 소개되었다[1]. PLC는 그림 1과 같이 상호 호환적인 래더 시퀀스 개발 환경을 가지고 있으며, 이 언어는 전기 입문자가 처음 접하게 되는 기존의 재래식 릴레이 시퀀스와 같이 복잡한 배선과 수많은 부품으로 이루어진 병렬처리 방식이기 때문에 그 어떤 제어 시스템 개발자 언어보다 직관적이며 편리한 개발환경을 지니고 있다.

PLC는 그림 2와 같이 프로세스, 모션, 대규모 라인 제어 등 다양한 산업 현장으로 적용 분야를 넓혀가고 있지만 현재까지 머신 비전 시장에서 역할은 매우 미미하다. 특히 영상 정보는 단위 프레임 당 수십에서 수백만 화소의 방대한 데이터로 구성되어 있으며 대다수의 영상처리 알고리즘이 이러한 데이터를 기반으로 하는 연산의 반복적인 수행을 필요로 하기 때문에 고속·고성능의 컴퓨터를 필요로 한다. 따라서 머신 비전 분야는 컨트롤 영역을 위한 PLC와 비전 기능을 위한 PC를 혼합한 시스템[2,3]을 제작하여 대응하였고, PLC 프로그래머와 비전 전문가가 협업을 통하여

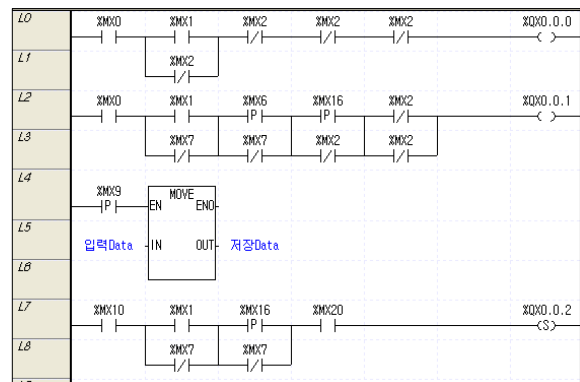


그림 1. PLC의 래더 시퀀스 프로그램.

Fig. 1. The ladder sequence program of PLC.

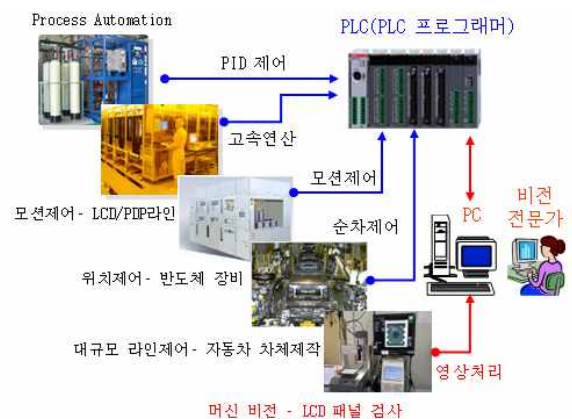


그림 2. PLC 응용 분야.

Fig. 2. PLC application.

\* Corresponding Author

Manuscript received September 30, 2013 / revised November 12, 2013 / accepted February 28, 2014

이상백, 한경식: LS산전(주) A&D 연구소

(sblee@lsis.com/kyungsikh@lsis.com)

박태형: 충북대학교 전자공학부(taehpark@cbnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 충북대학교 연구년제 지원에 의하여 연구되었음.

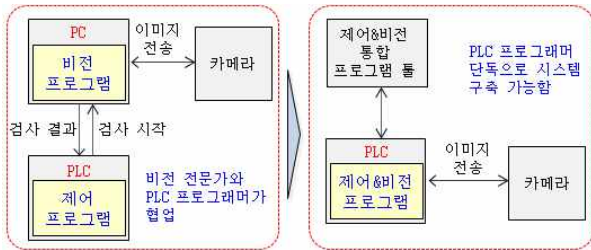


그림 3. 머신 비전 검사 시스템.  
Fig. 3. Machine vision inspection system.

시스템 구축이 가능하다.

그러나 이러한 혼합 시스템 방식은 시스템 구축, 문제 해결, 유지보수 및 안정성 확보가 어려운 문제점이 있다. 각 장비는 함께 작업하도록 설계되지 않았기 때문에 시스템 엔지니어들이 여러 다른 벤더의 하드웨어와 소프트웨어를 통합해야 하는 번거로움과 어려움이 따른다. 또한, PC 기반 컨트롤의 주된 문제점은 표준 PC가 거친 환경을 위해 설계되지 않았다는 사실이다. PC의 범용 OS는 컨트롤에 충분할 정도로 안정적이지 않고, 하드 드라이브와 전원공급 장치는 현장의 노이즈에 견디기 어렵게 설계되어있다[4].

이를 극복하기 위한 노력과 최근 기술 발달에 따라 비전 전용 FPGA 또는 고속 멀티코어 프로세서를 기반으로 하는 많은 임베디드 비전 처리 솔루션이 연구[5,6]되었고, 이를 응용하여 본 논문에서는 그림 3과 같이 PC를 사용하지 않고, 영상처리와 제어처리를 PLC에 통합한 PLC 기반 머신 비전 시스템을 제안한다.

PLC 기반 머신 비전 시스템에서는 복잡한 영상처리 알고리즘을 간단한 PLC 명령어로 제공하는 방법을 제안한다. 그리고 영상 전문가가 아닌 PLC 프로그래머가 손쉽게 영상 처리 알고리즘을 설계하여 다양한 제품에 적용할 수 있는 유연한 검사 알고리즘을 제공한다.

본 논문 II장에서는 PLC 기반 머신 비전 시스템을 제안하고, III 장과 IV장에서는 제안한 비전 시스템에 적합한 영상 처리 알고리즘과 PLC 명령어 구현 내용을 설명한다. 그리고 V 장은 실제 비전 검사에 적용한 실험환경과 실험결과를 설명하고, 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. PLC 기반 머신 비전 시스템

1. 시스템 구성도

그림 4는 본 연구에서 개발한 머신 비전 시스템의 전체 구성도이다. PLC는 기존의 제어, 모션, 통신 프로그램에 비전 프로그램을 추가하여 카메라와 인터페이스하고, 비전 명령어를 통한 영상 처리가 가능하다.

2. 영상처리 소프트웨어 구성

본 연구에서 제안한 영상처리 소프트웨어(XG-VISION)에서는 그림 5와 같이 영상에 대한 시뮬레이션과 모니터링이 가능하여 PLC 프로그래밍 전에 시운전을 진행하고, 시운전한 알고리즘을 PLC에 적용 가능하도록 사용자정의 명령어로 변환하는 기능을 제공한다.

3. 영상처리 명령어 동작 과정

그림 6은 본 연구에서 제안하는 영상처리 명령어 컴파일

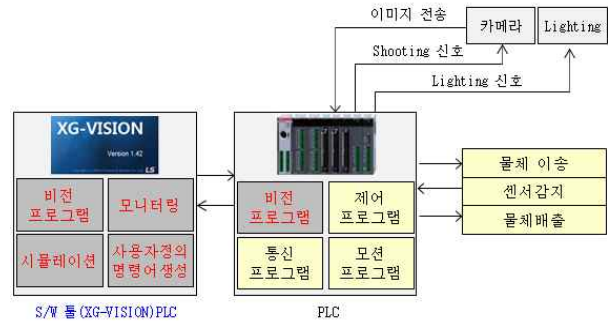


그림 4. 시스템 구성도.  
Fig. 4. System diagram.



그림 5. 영상처리 소프트웨어.  
Fig. 5. Image processing software.

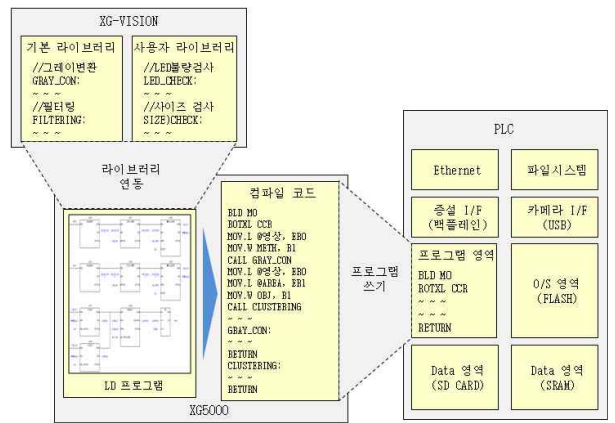


그림 6. 영상처리 컴파일 과정.  
Fig. 6. The compile process of image processing.

과정을 보여준다. XG-VISION에서 검증한 영상처리 명령어는 XG5000과 자동 연동되어 LD 프로그램에서 명령어 형태로 호출된다. LD 프로그램 작성을 완료한 후 PLC MPU에 적합한 기계어로 컴파일 하여 PLC 프로그램 영역에 저장한다. PLC는 시퀀스 프로그램에 따라 카메라로부터 영상을 읽어 전처리 과정을 거쳐 필요한 정보를 얻는 동작을 반복 수행한다.

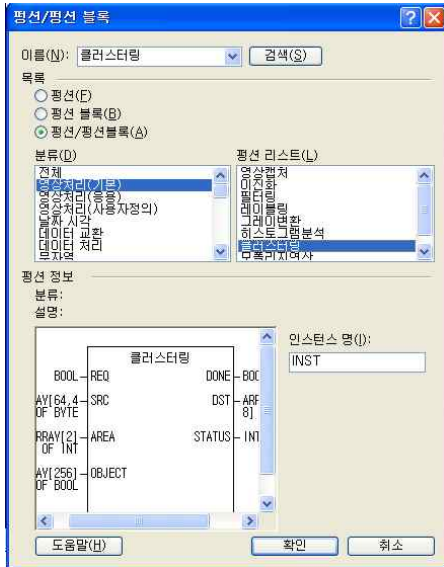


그림 7. 영상처리 명령어 연동.

Fig. 7. Instruction interworking for image processing.

XG5000에서는 그림 7과 같이 영상처리 라이브러리를 명령어(명선 또는 평선블록) 형태로 호출하여 래더 프로그램을 작성한다. 영상처리 명령어는 기본, 응용, 사용자정의로 구분되고, 각 분류별 리스트와 명선 정보를 상세히 보여 주어 사용자가 원하는 명령어를 쉽게 찾아 프로그래밍 할 수 있도록 도와준다. 특히, 사용자정의 영상처리 명령어는 영상처리 소프트웨어에서 생성한 명령어가 자동으로 연동되어 “영상처리(사용자정의)” 분류에 자동 등록된다.

### III. PLC용 영상 알고리즘

#### 1. 영상처리 알고리즘

본 연구에서는 PLC에 적합한 유연한 영상처리 알고리즘을 제공하기 위하여 표 1과 같이 다양한 명령어를 기본으로 제공한다.

#### 2. Gray Scale Auto Selection 기능

영상 처리는 기본적으로 그레이 영상을 가지고 처리하나 최근에는 컬러 영상에서 지폐 감별 또는 유리조각 색상 선별과 같은 정밀한 영상 감별에 HSV 모델을 응용한 다양한 선별 알고리즘이 연구[7,8]되고 있다. 수동 방법에서는 Gray, RGB 영상의 각 Plane(R, G, B)뿐 아니라 HSV 영상의 각 Plane(H, S, V, HS)을 선택할 수 있다.

특히 본 연구에서는 검사의 정확도를 높이기 위해 물체와 배경을 잘 구분하는 최적 Plane을 자동으로 Selection하는 기능을 제안한다. Otsu의 임계값 결정법[9]을 응용한 Gray Scale Auto Selection 기능은 영상처리에 대한 전문 지식 없이 우수한 Gray 영상을 간편하게 얻을 수 있다. Auto를 선택 시 선택 영역에 대하여 히스토그램을 N개로 나누었을 때, 각 영역 사이의 분산이 최대가 되고, 같은 영역 내 분산이 최소가 되는 평면을 자동 선택하는 기능으로 아래와 같이 구한다.

그레이 레벨(0 ~ 255)로 표현되는 이미지의 히스토그램에서 그레이 레벨 i번째 해당하는 픽셀의 수가  $n_i$  이고, n을

표 1. 영상처리 명령어.

Table 1. Image processing commands.

명선	동작
영상캡처	기준 영상과 검사 영상을 획득함
그레이 변환	원본 영상을 그레이 스케일 영상으로 변환 * 최적 Plane 자동 Selection 기능 제안
필터링	필터 적용을 통한 노이즈 제거
히스토그램 분석	효과적인 클러스터링 및 이진화를 위한 히스토그램 분석을 수행함.
클러스터링	디지털 영상을 여러 개의 픽셀 집합으로 분할 * 다양한 제품 검사에 적합한 클러스터링 기법 제안
이진화	이진화를 통해 검사하려는 특정부분과 그 외의 배경 부분으로 구분함
모폴리지 연산	침식 연산과 팽창 연산을 반복하여 외곽을 정리하고, 노이즈를 제거함
레이블링	영역을 구분한 후 동일 객체에 고유 번호를 부여함
자동정렬	검사 품질을 향상하기 위해 기준 데이터와 검사 데이터를 일치시킴
매칭검사	기준영상과 검사 영상을 비교하여 상관계수를 통한 유사도를 계산함.
크기검사	각 검사 물체의 가로, 세로 사이즈를 픽셀단위로 계산함
문자추출	선택 영역에서 문자를 추출하여 스트링 값으로 출력함

이미지의 전체 픽셀 수라고 할 때 i번째 그레이 레벨이 발생할 확률은 아래 식 (1)과 같다.

$$p_i = \frac{n_i}{n}, p_i \geq 0, p_i = \sum_{i=0}^{255} \frac{n_i}{n} = 1 \quad (1)$$

임의의 임계값 T를 기준으로 두 개의 영역으로 나누고 각각을 각 영역의 확률을  $\omega_1, \omega_2$  라고 할 때 각 영역의 확률은 아래 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\omega_1 = \sum_{i=0}^t p_i, \omega_2 = \sum_{i=t+1}^{255} p_i \quad (2)$$

또한 각 영역의 평균 레벨을  $\mu_1, \mu_2$  라고 하고, 전체 이미지의 평균 레벨을  $\mu_T$  라고 할 때 두 영역 사이의 거리를 나타내는 영역사이의 분산 값은 아래 식 (3), 각 영역내의 분산 값은 아래 식 (4)과 같이 정의한다. 여기서,  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 는 각 영역의 분산을 의미한다.

$$\sigma_B^2 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_T)^2 \quad (3)$$

$$\sigma_W^2 = \omega_1\sigma_1^2 + \omega_2\sigma_2^2 \quad (4)$$

$$(\sigma_1 = \frac{1}{\omega_1} \sum_{i=0}^t (i - \mu_1)^2 p_i, \sigma_2 = \frac{1}{\omega_2} \sum_{i=t+1}^{255} (i - \mu_2)^2 p_i)$$

자동 그레이 변환은 아래 식 (5)과 같이  $O_{between}$ 이 최대이고,  $O_{within}$ 이 최소인 단 평면을 선택하는 방법이다.

$$\eta(T) = \left[ \frac{\sigma_B^2(T)}{\sigma_W^2(T)} \right]_{\max} \quad (5)$$

표 2. Gray 변환 성능 비교.

Table 2. Performance.

유형	RGB(R)	GRAY	HSV(H)	HSV(S)
검사 영상				
히스토그램				
이진화				
$\sigma_B^2$	52	1,715	913	846
$\sigma_w^2$	7	25	7	42
$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_w^2}$	7.4	68	130	20
매칭률	0.613	0.960	0.979	0.947
Auto 선택	X	X	O	X

표 2는 검사 영상에 대한 각 Plane의 히스토그램과 이진화 영상을 보여주고 있다. Auto 방법을 선택하면  $\sigma_{between}$ 이 최대이고,  $\sigma_{within}$ 이 최소가 되는 HSV(H) Plane이 선택되고, 이때 양품인 검사 영상에 대하여 매우 높은 유사도를 보여 명확하게 불량을 검출할 수 있다.

3. 클러스터링을 활용한 영상 분할

분할은 디지털 영상을 여러 개의 픽셀 집합으로 나누는 과정을 말한다. 분할의 목적은 영상의 표현을 좀 더 의미 있고 해석하기 쉬운 것으로 단순화하거나 변환하는 것이다.

영상분할을 위해서 가장 많이 적용되는 방법은 문턱값(Thresholding)에 의한 분할이다. 빠르고, 정확하게 영상을 분할하기 위해서 Otsu의 임계값 결정법[9]을 시작으로 유전자 알고리즘[10], 여러 개의 문턱값을 구하기 위한 양자 입자 최적화 방법[11] 등 많은 방법이 연구되고 있다. 하지만 대부분의 알고리즘들은 특정 이미지에 국한되어 효과를 보여 PLC와 같이 다양한 제품에 적용할 수 있는 유연한 검사 알고리즘에 적합하지 않다. 또한, 너무 복잡하고 많은 연산량으로 인하여 PLC에 적용하는데 한계를 가지고 있다. 따라서 이 논문에서는 좀 더 빠른 연산과 다양한 제품에 적용할 수 있는 K-평균 알고리즘에 간단하게 휴리스틱 기법을 적용하는 방법을 제안한다.

K-평균 알고리즘은 영상을 K 클러스터로 분할하는데 사용하는 반복적 기술이다. K-평균 알고리즘은 클러스터링 알고리즘 중 간단한 구조를 가지며 많은 환경에서 빠르게 수행하게 때문에 널리 사용[12,13]된다. 하지만, 주어진 영상 데이터 중에서 임의로 초기 클러스터 수와 중심을 선정하기 때문에, 선정된 초기 값에 따라 결과 및 수행시간에 큰 차이를 보이는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 각 객체를 마우스로 클릭하여 클러스터

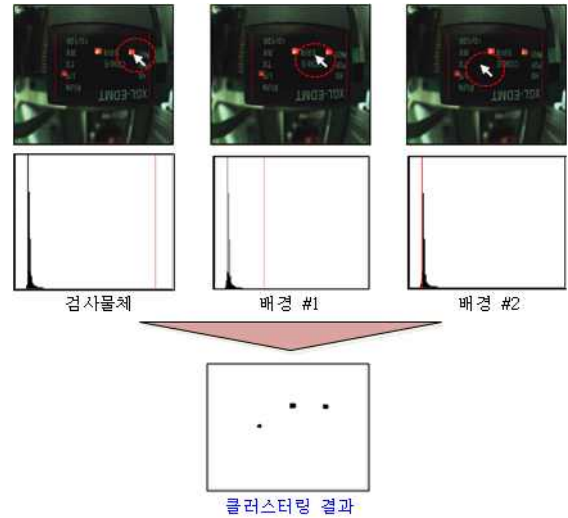


그림 8. 클러스터링 방법.

Fig. 8. Clustering method.

표 3. 카메라 흔들림에 의한 왜곡 실험.

Table 3. The Experiment of distortion caused by camera shake.

유형	Nothing	Otsu 방법	제안 방법
검사 영상			
히스토그램			
이진화 영상			
상관 계수	0.639	0.448	0.940

수와 중심을 지정하는 휴리스틱 기법을 사용하여 이 문제점을 해결하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 틀에서 그림 8과 같이 검사하려는 객체를 먼저 마우스로 클릭한 후 배경이 되는 객체를 차례로 선택한다. 이때, 마우스로 선택한 횟수가 초기 클러스터 수가 되고, 마우스로 처음 선택한 화소 값이 검사 대상의 초기 클러스터 중심 값으로 지정된다. 나머지는 배경 부분의 초기 클러스터 중심 값으로 지정된다. 이때 초기 클러스터 수와 중심을 육안에 의해 비교적 정확하게 입력하기 때문에 빠른 속도로 연산이 가능하다.

표 3은 영상 분할을 하지 않거나 Otsu 방법에 의한 영상 분할과 본 논문에서 제안한 휴리스틱 기법을 사용한 클러스터링 방법과 비교하여 얻은 결과이다.

컨베이어 진동 또는 카메라 흔들림에 의해 왜곡 발생 시 제안한 방법은 검사 물체와 배경을 정확히 구분하여 배경 영상의 흔들림 영향이 적어 높은 상관 계수 값으로 양품으로 정확히 판정한다. 그러나 영상 분할을 하지 않거나,

Otsu 방법에 의한 영상 분할 방법은 배경으로부터 물체를 구분하지 못해 흔들림의 영향을 많이 받아 불량으로 검출하는 오류를 보인다.

IV. PLC 영상 명령어 구현

1. 기본 명령어 구현

표 4. 기본 명령어.

Table 4. Basic commands.

명령어	동작
<p>INST0</p>	카메라에 영상 캡처 신호를 보내, 수신된 영상 데이터를 출력함
<p>INST1</p>	입력 RGB 영상을 그레이 영상으로 변환하여 출력함 (그레이, RGB, HIS 각 평면 중 선택)
<p>INST3</p>	입력 영상을 지정된 방법으로 필터링한 후 출력함(평균값, 중간값, 가우시안 필터 중 선택)
<p>INST12</p>	영상의 명암값 프로필을 보여주기 위해 SRC 영상의 명암 값을 인덱스로 인덱스 별 픽셀 수를 출력함
<p>INST13</p>	선택 영역 내에서 객체 좌표들을 초기 값으로 K-평균 알고리즘을 적용하여 디지털 영상을 여러 개의 픽셀 집합으로 나누어 출력함
<p>INST14</p>	클러스터링 데이터를 기반으로 선택한 객체만 이진데이터로 출력함.
<p>INST15</p>	영상에서 잡음의 제거하거나, 영상에서 객체의 모양을 기술하기 위해 사용됨. 침식 연산/팽창 연산 선택, 필터의 크기 및 사용 횟수를 지정함.
<p>INST4</p>	인접한 화소에 같은 번호를 부여하여 배경 분리. 객체수와 객체별 중심 좌표 값을 저장함(지정한 최소 픽셀보다 작은 객체는 제외함)

제한한 시스템은 다양한 영상 처리 라이브러리를 표 4와 같이 PLC 기본 명령어로 제공한다. 기본 명령어는 그레이 변환, 필터링, 히스토그램분석 등과 같이 주로 영상 데이터를 가공하고 분석하는 명령어로 구성한다.

2. 응용 명령어 구현

응용 명령어는 표 5와 같이 분석된 영상처리 데이터를 기준으로 필요한 최종 정보를 추출하는 작업을 수행한다.

3. 사용자정의 명령어 구현

사용자정의 명령어는 표 6과 같이 사용자가 자주 사용하는 영상 처리 알고리즘을 사용자가 정의한 이름으로 새로운 PLC 명령어가 생성하여 PLC 래더 프로그램을 통해 간편하게 프로그램이 가능하다.

표 5. 응용 명령어.

Table 5. Application commands.

명령어	동작
<p>INST16</p>	기준데이터와 비교데이터의 중심, 크기, 각도를 보정하여 기준데이터와 동일한 위치로 자동 정렬하고 상관계수 값을 출력함.
<p>INST17</p>	SRC1과 SRC2의 선택된 객체의 이진 데이터를 가지고 상관계수 값을 출력함.
<p>INST18</p>	SRC 영상의 선택된 객체의 코너 위치의 길이를 계산하여 부품의 가로, 세로 길이를 측정하여 출력함.
<p>INST19</p>	SRC 영상의 선택된 객체에서 문자를 추출하여 스트링 값으로 출력함.

표 6. 사용자정의 명령어.

Table 6. User-defined commands.

명령어	동작
<p>INST20</p>	전처리 과정, 자동 정렬 및 매칭 검사 알고리즘을 모두 포함하고 있음. 영상을 입력하면 기억된 영상 처리 알고리즘에 따라 상관계수 값을 출력함.
<p>INST21</p>	시험영상에 대한 전처리 과정을 거친 후 각 객체에 대한 가로, 세로 사이즈를 출력함.

4. 래더 프로그램 작성

4.1 기본/응용 명령어 적용

그림 9는 기본/응용 명령어를 사용한 영상 처리 프로그램이다. 프로그램 작성이 다소 복잡하나, 영상처리 방법, 조건, 영역 등을 디테일하게 설정할 수 있어 문제 발생 시 디버깅에 의한 프로그램 수정이 용이한 장점이 있다.

4.2 사용자정의 명령어 적용

그림 10은 사용자정의 명령어를 적용한 영상 처리 프로그램이다. 영상캡처 명령어로 기준영상과 시험영상을 입력 받아 LED 불량검사 명령어로 매칭검사를 수행하여 상관계수 값을 얻는다. 상관계수 값이 기준 값 이상이면 합격 처리하고 다음 공정을 수행한다.

이 방법은 프로그램으로 처리 방법, 조건, 영역 등을 변경하기 어려우나, 시뮬레이션으로 검증한 알고리즘을 실수 없이 간편하게 PLC 프로그램으로 적용 가능하다. 또한 영상 데이터 변환과 이동을 최소화하고, 스캔과 동기되어 CPU 모듈과 정보를 교환하는 횟수가 줄어 기본-응용 명령어를 조합하여 사용하는 방법보다 약 40% 처리 속도를 단축할 수 있다.

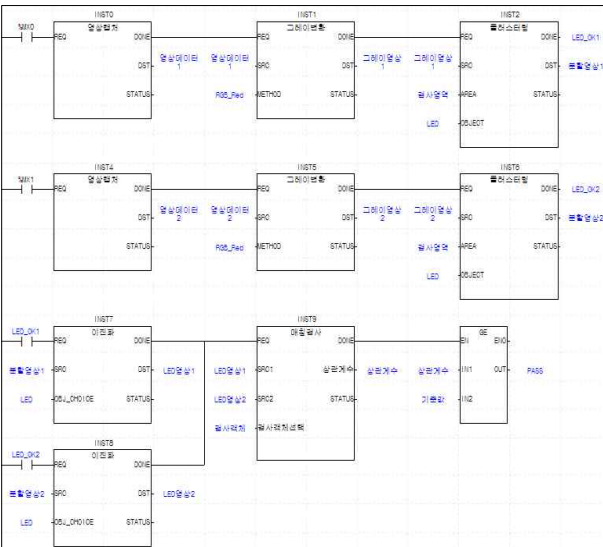


그림 9. 기본/응용 명령어를 사용한 영상 처리 프로그래밍.

Fig. 9. Image processing programming using Basic / application commands.

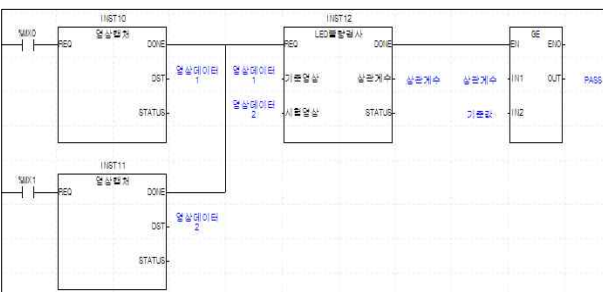


그림 10. 사용자정의 명령어를 사용한 영상 처리 프로그래밍.

Fig. 10. Image processing programming using user-defined commands.

V. 실험 결과

1. 실험 환경

제안한 시스템을 그림 11과 같이 PLC XGK 통신모듈 (XFL-EDMT) 윈도우 불량 검사에 적용하여 실험을 진행하였다. 카메라는 컨베이어 위를 지나는 제품 윈도우를 촬영하도록 고정하고, 이 정보를 제어반 내에 설치된 PLC 기반 머신 비전 시스템에 전달하여 비전 검사를 수행한다. 표 7은 적용 시스템의 주요 하드웨어 규격을 나타낸다.

2. 프로그래밍 과정 비교

PC 기반 시스템과 PLC 기반 시스템의 프로그래밍 방식을 비교하여 PLC 기반 시스템의 간편성을 입증하고자 한다. 그림 12는 MFC를 활용한 PC 기반 프로그램 예이다.

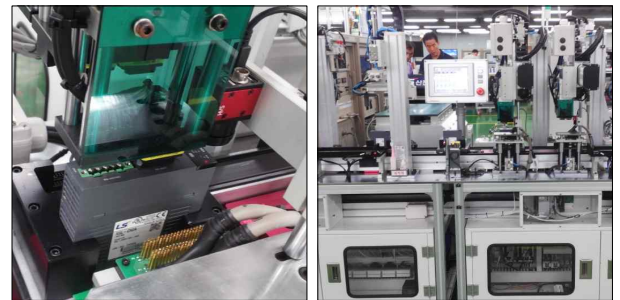


그림 11. 실험 시스템.

Fig. 11. The experimental system.

표 7. 시스템 하드웨어 규격.

Table 7. The hardware specifications of system.

항목		규격
비전 시스템	Processor	R5F5631E(100MHz)
	SD카드	샌디스크 SDHC 32GB
	SDRAM	K4S281632O(16MB)
카메라	형명	HVR-2030CA
	Resolution	VGA / WVGA / 1.3M / 3M
	인터페이스	USB 2.0 (480Mbps)

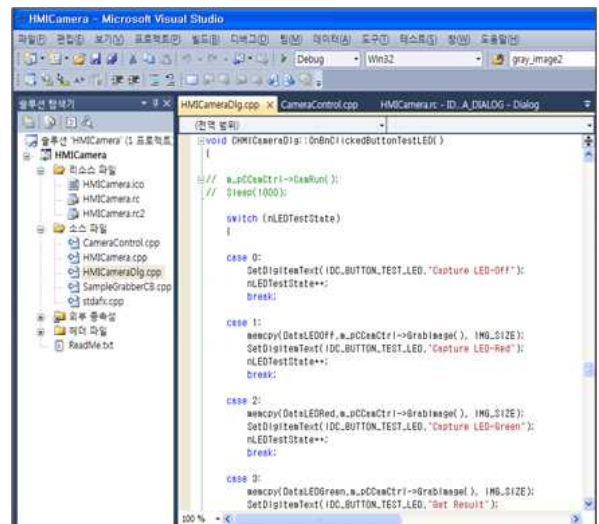


그림 12. PC 기반 영상 프로그래밍.

Fig. 12. Image programming based on PC.

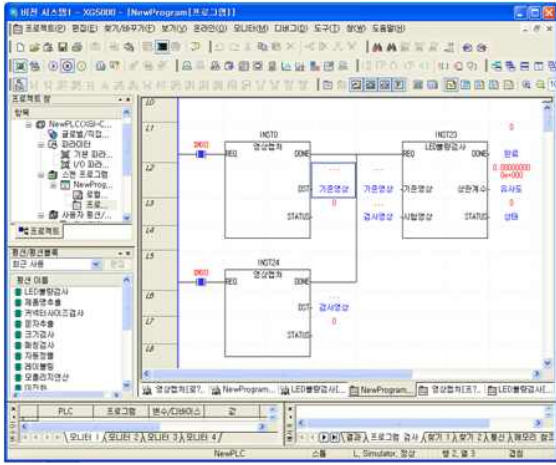


그림 13. PLC 기반 영상 프로그래밍.

Fig. 13. Image programming based on PLC.

PC 기반 영상 처리 시스템을 구축하기 위해서는 카메라와 인터페이스, 영상 처리, 영상 결과를 PLC에 전송하는 복잡한 MFC 프로그래밍 과정을 거쳐야 한다.

그림 13은 래더를 이용한 PLC 기반 프로그램 예이다. PLC 래더 프로그램으로 카메라로부터 영상을 가져와 영상 처리 알고리즘 적용하고 영상 처리 결과에 따라 제어 동작을 쉽게 연계할 수 있다. 또한 복잡한 영상처리 알고리즘을 간단한 PLC 명령어로 제공하여 영상 처리에 대한 전문지식이 없는 PLC 프로그래머가 간편하게 구현 가능하다.

3. 검사과정

그림 14는 제안된 시스템의 전체 동작 흐름도이다. PLC 기반 머신비전 시스템은 검사 대상 객체가 공급되면 동기 센서에 의해 비전 카메라에 촬영 지시가 내려지고, 촬영된 이미지 데이터는 PLC로 전달되어 기 저장된 기준 영상과 비교검사를 통하여 검사를 진행하게 된다. 사용자는 기본/응용 비전 명령어의 조합에 의해 프로그램을 작성하거나, 사용자정의 명령어에 의해 하나의 명령어로 프로그램을 작성한다. 검사가 완료되면 검사 결과에 따라 PLC 시퀀스 프로그램으로 제품을 정상 또는 부적합 제품으로 분류하여 그에 따른 제어 동작을 수행한다.

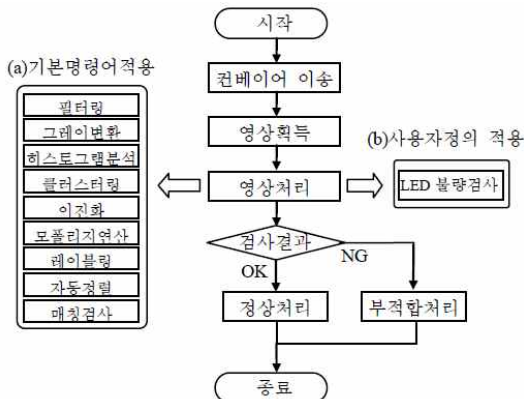


그림 14. 검사과정 순서도.

Fig. 14. Flowchart of inspection procedure.

4. 영상처리 성능 측정

표 8과 같이 기본/응용 명령어로 영상 처리 프로그램을 작성하기 위해서는 명령어 16개를 조합하여 사용해야 한다. 하지만 사용자 정의 명령어는 1개의 명령어로 동일할 영상 처리 수행이 가능하여 프로그램이 간편하고 처리속도가 약 40% 단축할 수 있다.

실제 공정에서 만들어진 제품에서 정상제품과 불량품을 올바르게 판단해 내는지를 알아보기 위해 표 9와 같이 각 검사 항목별로 정상제품과 불량품을 임의로 추출하여 실험을 진행하였다. 정상 영상에 대해서는 임계값이 없는 경우, Otsu 방법으로 임계값을 넣어 이진화한 경우, 제안한 클러스터링 방법으로 이진화한 경우 모두 유사도가 1에 가까운 정상 제품으로 판정하였다. 그러나 밝기 불량과 점등 불량에

표 8. 기본/응용 명령어와 사용자 정의 명령어 성능 비교.

Table 8. Performance comparison of Basic/application and user-defined commands.

명령어	기본/응용 명령어		상관 계수	사용자 정의 명령어		
	처리속도(ms) 정렬	매칭		명령어	처리속 도(ms)	상관 계수
그레이변환	15	15	0.999	LED 불량 검사	1,875	0.999
필터링	660	660				
히스토그램	130	175				
클러스터링	40	170				
이진화	55	119				
모폴로지	125	135				
레이블링	300	345				
자동정렬	155	-				
매칭검사	-	30				
합계	3,130					

표 9. XFL-EDMT 윈도우(창) 검사.

Table 9. XFL-EDMT Windows inspection.

유형	시험영상	Nothing	Otsu방법	제안방법
정상		0.999	0.999	0.999
밝기 불량		0.878	0.926	0.739
점등 불량		0.833	0.901	0.732
인쇄 불량		0.673	0.715	0.685

대해서는 임계값이 없거나 Otsu 방법으로 이진화한 경우 유사도가 매우 높아 불량 검출이 어려우나, 제안된 방법으로 이진화한 경우에는 유사도가 낮아 명확하게 불량을 검출할 수 있었다. 마지막으로 인쇄 불량 영상은 임계값이 없거나 Otsu 방법 또는 제안한 방법으로 이진화한 경우 모두 유사도가 낮아 알고리즘 별 차이가 적음을 알 수 있다. 결과적으로 Otsu 방법의 경우 클래스가 2개(히스토그램 형태가 두 개의 봉우리)일 경우 비교적 우수하게 불량을 검출할 수 있으나, 클래스가 3개 이상(히스토그램 형태가 3개 이상의 봉우리)인 경우 불량 검출 성능이 현저히 낮아진다. 제안한 방법은 클래스 수에 영향을 받지 않고 매우 정확하게 검사 물체와 배경을 분할하여 불량을 명확하게 검출할 수 있는 우수한 알고리즘임을 알 수 있다.

시험 결과 상관 계수 값에 가장 큰 영향을 주는 요소는 검사 물체를 배경으로부터 명확하게 구분할 수 있는 분류 알고리즘의 성능이다. 또한 처리속도에 가장 큰 영향을 주는 요소는 그레이 영상 변환 방법, 검사 영역 크기, 클러스터링 집단 수 등이 있다. 처리 속도를 빠르게 하기 위해서는 검사 영역을 최소화하고, 검사 객체와 배경을 단순하고 분명하게 선택하는 것이 중요하다.

## VI. 결론

본 논문에서는 영상처리와 제어처리를 PC없이 콤팩트하게 실현하기 위한 방법으로 PLC 기반 머신 비전 시스템을 제안한다. 영상에 대한 시뮬레이션과 모니터 기능을 수행하는 영상처리 소프트웨어를 개발하고, PLC 래더 프로그램 적용을 위한 기본/응용 명령어를 구현하였다. 또한, 다양한 자동화 검사 라인에 적합하도록 커스터마이징 기법을 적용한 사용자정의 명령어를 구현하였다.

그리고 제안한 시스템을 LED 검사 라인에 적용하여 Auto 그레이 변환 방법과 휴리스틱을 적용한 클러스터링 알고리즘이 다양한 제품에 유연하게 적용될 수 있는 우수한 알고리즘임을 실험을 통해 입증하였다. 특히 사용자 정의 명령어 사용 시 기본-응용 명령어를 사용하는 경우보다 처리속도가 약 40% 단축되었다.

본 연구에서 제안한 PLC 기반 머신 비전 시스템은 영상처리에 전문 지식이 없는 기존 PLC 프로그래머가 쉽게 접근할 수 있고, 설치비용이 저렴하며, 유지 보수가 간편하여 향후 PLC를 사용하는 시스템에 머신 비전 제어 솔루션을 제공하는데 일익을 담당할 것으로 기대한다.



그림 15. PLC 영상처리 모듈.

Fig. 15. Image Processing module for PLC.

추후, PLC 기반 임베디드 영상처리는 하드웨어 자원 제약을 극복하기 위해 그림 15와 같이 멀티코어 프로세서를 탑재한 PLC 플랫폼에 통합되고, HALCON과 같은 표준 라이브러리 내장을 기반으로 PLC 언어에 적합한 영상 처리 명령어를 표준화하여 개발할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] J. B. An, "PLC development," *Journal of Korean Institute of Electrical Engineers (in Korean)*, vol. 38 no. 12, pp. 37- 40, 1989.
- [2] Y. S. Kim and S. Y. Yang, "PDevelopment of the sorting inspection system for screw/bolt using a slant method," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers (in Korean)*, vol. 19, no. 5, pp. 698-704, Oct. 2010.
- [3] B. J. Park, K. S. Hahn, and E. S. Shin, "Design and implementation of an automated visual inspection system of PDP frames," *Journal of Korea Multimedia Society (in Korean)*, vol. 13, no. 4, pp. 512-525, Apr. 2010.
- [4] National Instruments, "PAC for industrial control, the future of control," [www.ni.com/white-paper/3755/ko/pdf](http://www.ni.com/white-paper/3755/ko/pdf)
- [5] M. Tusch, "High-performance image processing on FPGAs," *Xcell Journal*, vol. 57, no. 2, pp. 42-44, Apr. 2006.
- [6] T. Liu, Z. Ji, Q. Wang, D. Xiao, and S. Zhang, "Research on evaluation of parallelization on an embedded multicore platform," *Lecture Note in Computer Science*, vol. 5737, pp. 330-340, 2009.
- [7] M. Y. Kim, D. J. Seo, Y. M. Kim, and J. K. Ryeu, "Color assortment system of tinted glass pieces using image processing based on hsi color model," *Conference on Information and Control Systems (in Korean)*, pp. 309-310, Oct. 2009.
- [8] G. H. Lee and T. H. Park, "Automatic extraction of UV patterns for paper money inspection," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems (in Korean)*, vol. 21, no. 3, pp. 365- 371, 2011.
- [9] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Sys, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.
- [10] B. R. Lee, Q. Truong, V. Pham, and H. S. Kim, "Automatic thresholding selection for image segmentation based on genetic algorithm," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 6, pp. 587- 595, Mar. 2011.
- [11] H. Yourui and W. Shuang, "Multi level Thresholding methods for image segmentation with Otsu based on QPSO," *Proc. of Congress on Image and Signal Processing*, pp. 701-705, May 2008.
- [12] M. Luo, Y.-F. Ma, and H.-J. Zhang, "A spatial constrained K-Means approach to image segmentation," in



Proceedings of the Joint Conference of International Conference on Information, Communications and Signal Processing, and Pacific Rim Conference on Multimedia, vol. 2, pp. 738-742, Dec. 2003.

- [13] T. Eloma and H. Koivistoinen, "On autonomous K-Means clustering," in *Proc. of 15th International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems*, pp. 228-236, May 2005.



#### 이 상 백

1994년 충남대학교 전자공학과 졸업.  
2014년 충북대학교 제어로봇공학과 대학원 석사. 1994년~현재 LS산전(주) A&D 연구소 수석연구원. 관심분야는 영상처리 및 임베디드 시스템.



#### 박 태 형

1988년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1990년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1994년~1997년 삼성테크윈(주) 정밀기기연구소 선임연구원. 1997년~현재 충북대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 산업용 로봇 및 자동화.



#### 한 경 식

1987년 인하대학교 전자공학과 졸업. 2002년 동 대학원 석사. 1987년~현재 LS산전(주) A&D 연구소 부연구위원. 관심분야는 임베디드 시스템.