

---

저자 (Authors)	하민호, 박태형 Minho Ha, Taehyoung Park
출처 (Source)	<a href="#">대한산업공학회지 46(1)</a> , 2020.2, 64-70(7 pages) <a href="#">Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 46(1)</a> , 2020.2, 64-70(7 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한산업공학회</a> Korean Institute Of Industrial Engineers
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09300911">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09300911</a>
APA Style	하민호, 박태형 (2020). 스마트팩토리 구현을 위한 기계 학습 기반의 소형 카메라 모듈(CCM) 불량 분류 시스템. 대한 산업공학회지, 46(1), 64-70
이용정보 (Accessed)	현대모비스 211.217.77.*** 2021/01/20 15:24 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 스마트팩토리 구현을 위한 기계 학습 기반의 소형 카메라 모듈(CCM) 불량 분류 시스템

하민호<sup>1</sup> · 박태형<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 대학원 제어로봇공학전공 / <sup>2</sup>충북대학교 전자공학부

## CCM Defect Classification System Based on Machine Learning for Smart Factory

Minho Ha<sup>1</sup> · Taehyoung Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Control and Robot Engineering, Chungbuk National University

<sup>2</sup>School of Electronics Engineering, Chungbuk National University

Smart Factory is a manufacturing method that combines ICT (Information & Communication Technology) to improve the competitiveness of the existing manufacturing industry in a changing the market environment. Among the technologies of Smart Factory, Machine Vision consists of camera, image board, optics and image processing software. It aims at automated inspection and process efficiency. In this paper, we propose a system that classifies CCM defects based on machine learning. We divided the CCM regions and derived the result using a defect judgment algorithm for each region. SVM was used in the machine learning method, and the classification accuracy was 95.4% based on 100 untrained data.

**Keywords:** CCM, Defect Classification, Machine Learning, Smart Factory, Machine Vision

### 1. 서 론

스마트팩토리는 변화하는 시장 환경에서 기존의 제조업 경쟁력을 향상시키기 위해, 기존 제조 산업에 정보 & 통신 기술(Information and Communication Technology, ICT)을 결합한 제조방식이다(Park, 2015). 스마트팩토리를 구현하기 위해 필요한 스마트 제조 8대 기술에는 제품 설계 및 생산, 에너지 효율 등 공정 최적화를 달성하기 위한 생산 시스템 혁신 기술과 생산 과정에서 발생한 다양한 정보를 수집, 가공, 활용하는 정보 통신 기반 기술이 있다. 생산 시스템 혁신 기술에는 스마트 센서(Smart Sensor), 3D 프린팅(3D Printing), 사이버 물리 시스템(Cyber Physical System), 에너지 절감 기술이 있고, 정보 통신 기반 기술에는 사물 인터넷(IoT), 빅 데이터(Big Data), 홀로그램

(Hologram), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)이 있다.

스마트 센서는 스마트한 제조회장을 가능하게 하는 제조업에서의 다양한 정보를 감지할 수 있는 센서를 의미하고, 빅 데이터는 제조 과정에서 발생하는 데이터를 수집하고 분석하는 지능화 기술이다. 위의 2가지 기술의 수준을 향상시킬 수 있는 부가적인 기술로는 머신 비전(Machine Vision)이 있다.

머신 비전은 산업 현장에서 자동 검사를 위한 이미지를 분석하는 기술이며, 제품 표면 검사, 객체 수 파악, 색 검사, 인쇄 회로기판(PCB) 검사 등을 수행할 수 있다. 머신 비전은 카메라와 영상보드, 광학기기, 영상처리 소프트웨어 등으로 이루어져 있고 자동 검사 및 공정 효율화를 목표로 하고 있다.

스마트팩토리는 전사적 자원 관리(Enterprise Resource Planning, ERP), 제조 실행 시스템(Manufacturing Execution System,

이 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2019년도 산학연 Collabo R&D 사업(No.S2719163)과 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임(2019년 스마트공장 운영설계 전문인력 양성사업, 과제번호 : N0002429).

\* 연락저자 : 박태형 교수, 28644 충청북도 청주시 서원구 충대로 1 충북대학교 전자공학부, Tel : 043-261-3240, Fax : 043-268-2386,

E-mail : taehpark@cbnu.ac.kr

2019년 12월 13일 접수; 2020년 1월 2일 수정본 접수; 2020년 1월 7일 게재 확정.

MES) 도입 등을 1단계로 지칭하고, 제품의 자동 검사 등을 마지막 4단계로 분류한다(Oh *et al.*, 2018). ERP를 기반으로 하고 재고 관리 시스템으로도 공장에서는 큰 이득을 얻을 수 있겠지만 제조업의 가장 큰 목적인 좋은 제품을 생산하는데 있고, 불량이 유출되지 않고 공정이 무리 없이 돌아가야 한다. 생산된 제품의 불량을 분류함으로써 다수의 동일 불량 발생 시, 원인 파악 및 공정의 빠른 피드백이 가능하다. 그리고 불량 이미지를 데이터베이스에 저장하여 공정 최적화 및 개선에 활용할 수 있다(Jeong, 2019).

본 논문에서 사용한 소형 카메라 모듈(Compact Camera Module, CCM)은 이미지 센서와 주변 회로를 총칭하는 장치이다. 카메라 렌즈 모듈, 적외선 필터, 경통, 이미지 센서 등으로 구성된 카메라 모듈은 사진 및 영상 촬영 시 영상신호를 전기신호로 변환하는 기능을 수행한다. 다른 전자기기에 비해 높은 휴대성이 요구되어 고도의 소형화가 필요한 소형 전자기기인 스마트폰, 태블릿 PC, 노트북 등에 사용되고 있다.

본 논문에서 제시하는 CCM 불량 분류 시스템은 공정 이동 중에 발생할 수 있는 파손 불량, CCM과 덮개를 본딩(Bonding)하는 공정에서 발생할 수 있는 본딩 불량, 그리고 작업자가 실수로 지그(Zig)에 잘못 안착시켜 검사를 진행할 수 없는 로딩 불량을 검출 및 분류한다.

머신 비전에 관한 기존 연구는 LCD 결함 검출을 위한 머신 비전 알고리즘에 대한 연구가 있다(Jung, 2014). 검사자가 육안으로 품질 검사를 할 경우, 장시간의 검사와 작업의 단순성으로 인해 집중력이 저하되어 품질 검사의 신뢰도를 문제를 해결하기 위해 알고리즘을 제안하였다. CCM 불량 분류에 대한 기존 연구는 렌즈 제조 과정에서 발생하는 불량을 영상처리를 이용하여 분류한 연구가 있다(Ko *et al.*, 2004). 렌즈 이미지를 흑백으로 변환한 뒤, 수직 방향 투영 그래프를 구하여 렌즈 초점의 불량 유무를 확인하거나 수직, 수평 방향 투영 그래프를 미분하여 렌즈에 생긴 선 유무를 확인하였다.

본 논문에서는 CCM 검사기에서 입력 받은 이미지를 영상처리를 이용한 임계값 기준의 분류 방법으로 로딩 불량, 파손 불량, 미 본딩 불량을 1차적으로 분류하고, 수직 과본딩, 수평 과본딩 불량은 기계 학습 방법인 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)을 이용하여 분류하는 시스템을 제시한다.

본 논문의 기여도는 CCM 외관 검사 방법을 영상처리를 이용한 임계값 기준 불량 분류와 기계 학습을 이용한 불량 분류를 이용하여 높은 분류 정확도를 보였다. 또한 심층 학습(Deep Learning)을 사용하여 분류하는 방법에 비해 적은 자원을 사용하였다.

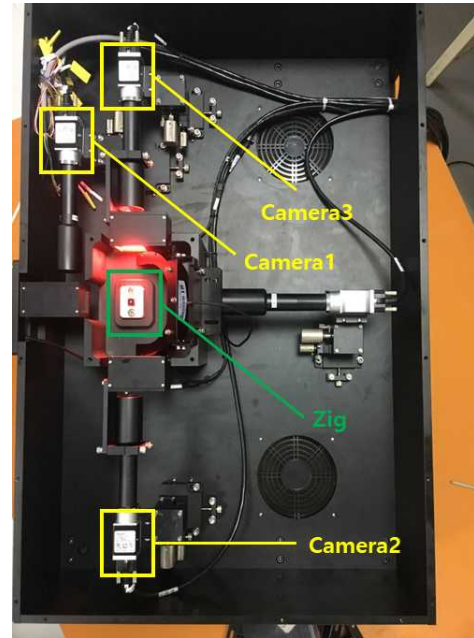


Figure 1. CCM Optical Construction

## 2. 본 론

CCM 검사기는 카메라로부터 획득한 영상데이터를 분석하여 CCM의 불량을 판정하는 장치이다. CCM 검사 광학계는 <Figure 1>과 같다. CCM을 <Figure 1>의 지그 위에 올리고, CCM의 브릿지 방향을 제외한 3개의 카메라로부터 영상데이터를 입력 받는다. 받은 이미지는 <Figure 2>와 같이 브릿지의 유무와 방향으로 구분할 수 있다. <Figure 2(a)>는 <Figure 1>의 Camera 1로 찍은 이미지, <Figure 2(b)>는 <Figure 1>의 Camera 2에서 찍은 이미지, <Figure 2(c)>는 위 <Figure 1>의 Camera 3에서 찍은 이미지이다. CCM 검사기에 사용된 카메라의 모델명과 사양은 <Table 1>과 같고, Camera 1~3은 모두 같은 기종이다.

Table 1. Camera Specifications

Model Name	acA2500-14gm
Sensor	CMOS
HxV	2592px × 1944px
Frame rate	14fps



(a) CCM Image from Camera 1



(b) CCM Image from Camera 2



(c) CCM Image from Camera 3

Figure 2. CCM Images Received from the Camera

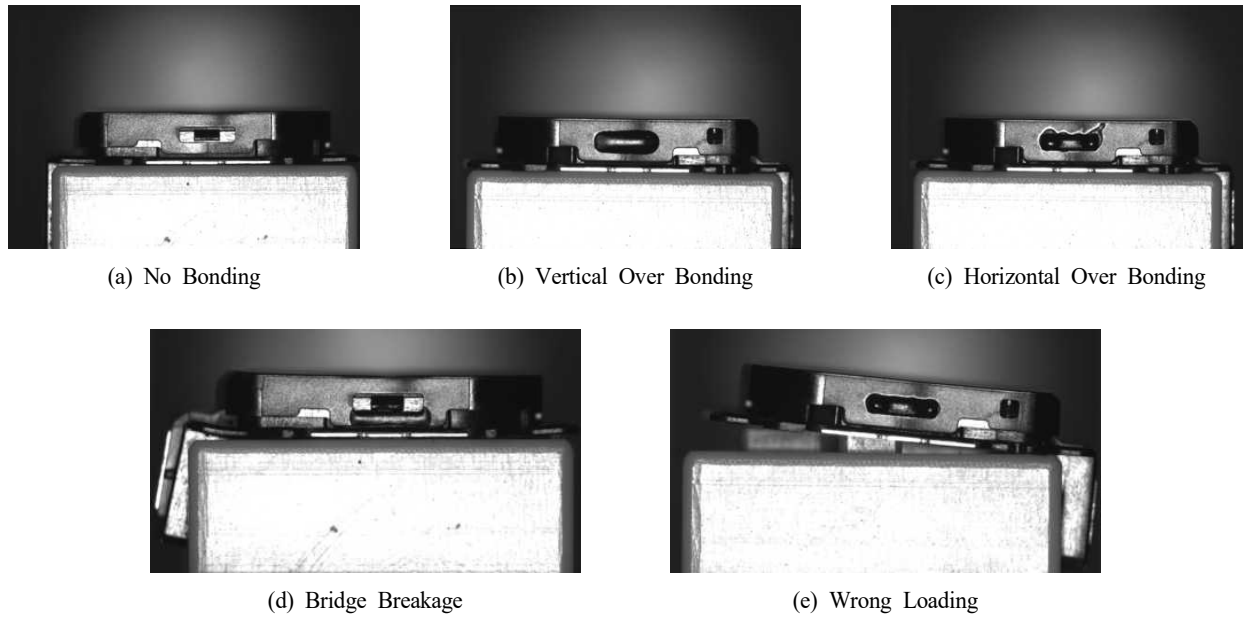


Figure 3. CCM Defect Image

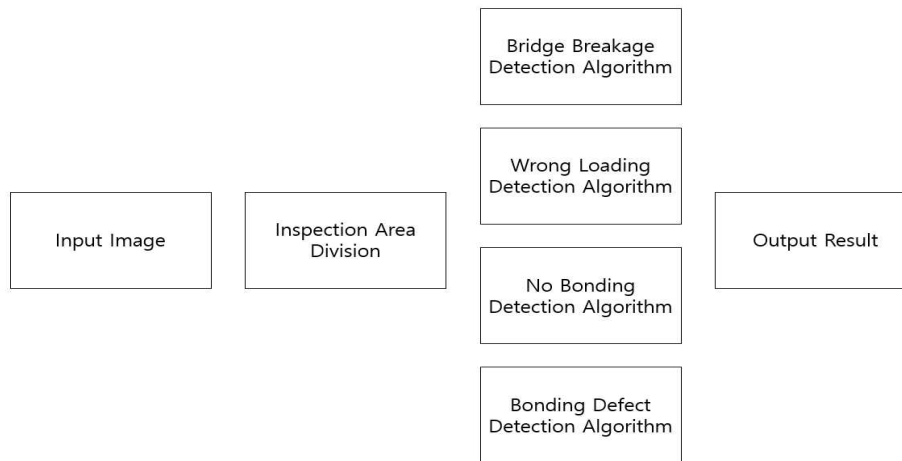


Figure 4. CCM Defect Classification System Architecture

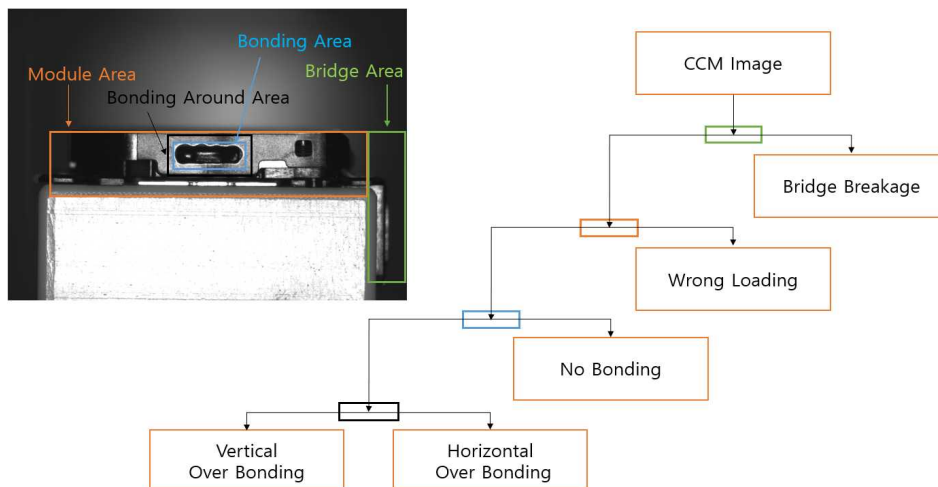


Figure 5. CCM Inspection Area Division

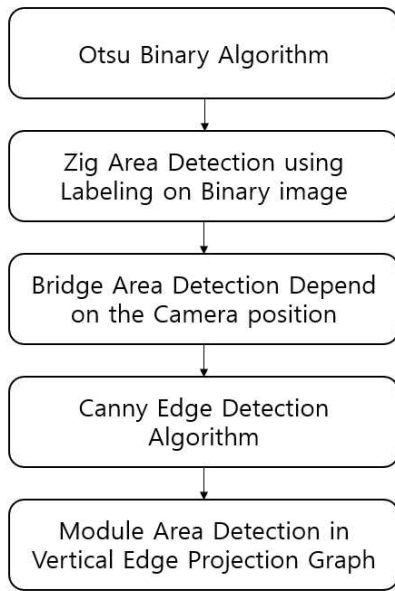


Figure 6. Bridge &amp; Module Area Detection Algorithm.

본 논문에서 분류하고자 하는 불량 종류의 종류는 <Figure 3>과 같이 총 5가지이다. 본딩 불량 종류로는 본딩이 되지 않은 <Figure 3(a)>의 미 본딩 불량, 본딩이 노출로부터 과다 분출되어 생긴 <Figure 3(b)>의 수직 과 본딩 불량, 본딩의 점도가 묽어 본딩 영역 주변으로 본딩이 흐른 <Figure 3(c)>의 수평 과 본딩 불량이다. <Figure 3(d)>은 공정 이동 중 브릿지가 파손된 불량이고, 로딩 불량 종류로는 지그에 잘못 안착되어 발생한 <Figure 3(e)>의 오로딩 불량이 있다.

본 논문에서 제시한 불량 분류 시스템 구조는 <Figure 4>와 같다. 영상처리를 이용하여 검사영역을 분할하고, 분할한 검사영역에 대하여 브릿지 파손 검출 알고리즘, 로딩 불량 검출 알고리즘, 미 본딩 검출 알고리즘을 실행한다. SVM을 이용한 본딩 불량 알고리즘으로 CCM 불량을 분류하였다.

검사 영역 분할 알고리즘은 입력 받은 CCM 이미지에서 이진화 및 라벨링 등의 기본적인 영상처리를 이용하여 검사영역을 분할하는 알고리즘이다. 분할하는 영역은 <Figure 5>와 같이 모듈 영역, 브릿지 영역, 본딩 영역, 본딩 주변 영역이다. 모듈 영역과 브릿지 영역을 검출하는 알고리즘의 흐름 도는 <Figure 6>과 같다.

<Figure 7(b)>와 같이 지그 영역이 모듈 영역보다 밝은 특징을 이용하여 Otsu 이진화로 지그 영역을 검출한다. 지그 위에

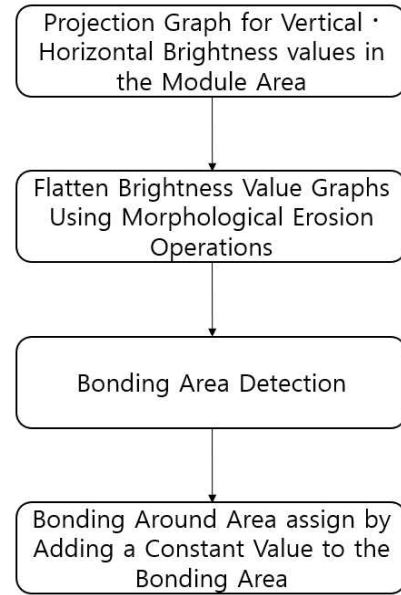


Figure 8. Bonding &amp; Bonding Around Area Detection Algorithm

모듈을 안착하기 때문에 지그 영역의 상단을 모듈 영역의 하단으로 지정한다.

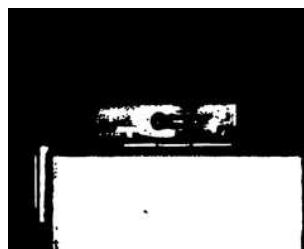
모듈 영역의 상단을 지정하기 위해 CCM 이미지를 캐니 엣지 검출 알고리즘을 이용하여 엣지 영상을 구한다. 엣지 영상에서 x값을 이미지의 중심으로 고정하고 y = 0부터 y값을 증가시켜가며, 엣지 값이 존재하는 (x, y)값을 구한다. 구한 y값을 모듈 영역의 상단으로 지정한다.

<Figure 7(c)>과 같이 지그 영역의 상단을 수직 방향으로 투영하여 엣지 투영 그래프를 구하고, 그래프의 값이 실험으로 구한 임계 값 미만으로 떨어지는 영역을 모듈 영역의 좌측, 우측으로 지정하여 모듈 영역을 검출한다.

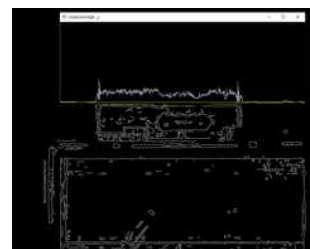
본딩 영역을 검출하는 알고리즘은 <Figure 8>과 같다. 검출한 모듈 영역에서 본딩 영역을 검출하기 위해서 모듈 영역에서 밝기 값을 기준으로 수직, 수평 그래프를 구하여 밝기 값이 임계값 미만으로 떨어지는 영역을 본딩 영역으로 검출한다. 본딩 영역을 검출하는 과정에서 수직 과 본딩 등의 불량인 경우 본딩 영역의 밝기 값 투영 그래프에서 본딩 영역 내부에 임계치보다 높아지는 구간이 존재한다. 이를 해결하기 위해 <Figure 9>와 같이 모듈 영역을 흑백 영상에서 모폴로지 침식을 사용하여 본딩 영역 중간에 발생하는 밝기 값을 낮추어서 본딩 영역을 검출하였다.



(a) Original Image



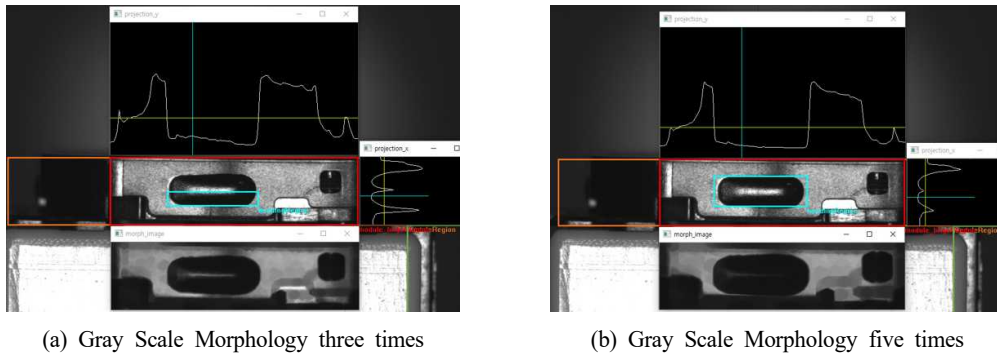
(b) Binary Image



(c) Canny Edge Image

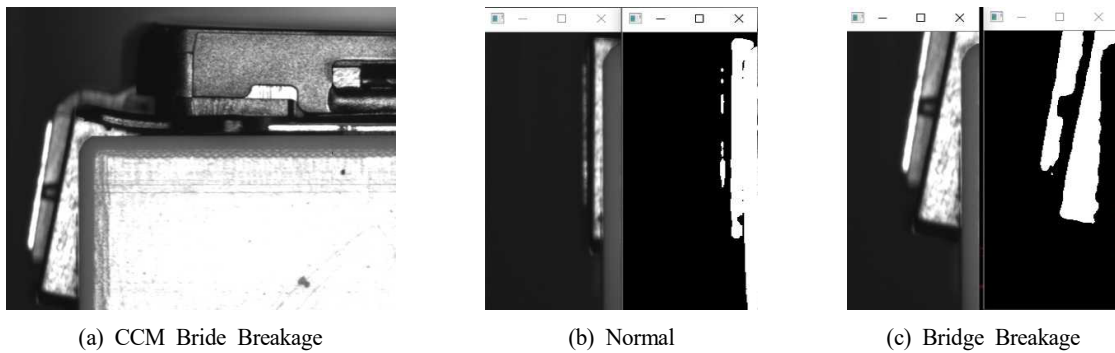
Figure 7. Module Area Detection Method





(a) Gray Scale Morphology three times

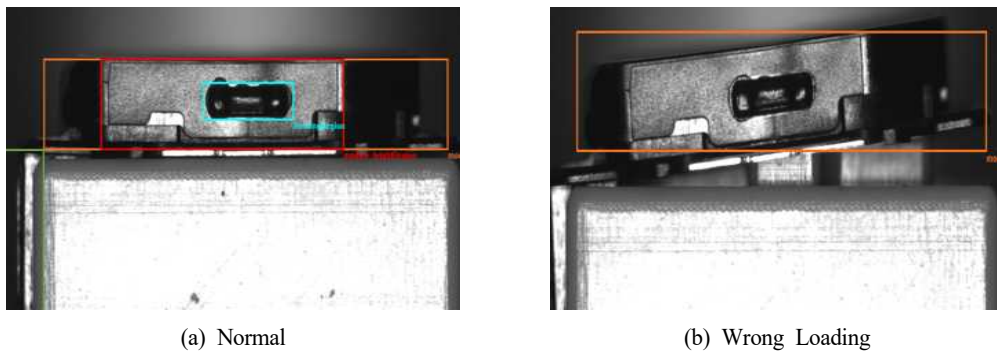
(b) Gray Scale Morphology five times

**Figure 9.** Bonding Area Detection using Morphology Erosion

(a) CCM Bride Breakage

(b) Normal

(c) Bridge Breakage

**Figure 10.** Bridge Break Image Comparison

(a) Normal

(b) Wrong Loading

**Figure 11.** Wrong Loading Image Comparison

본딩 주변 영역은 본딩의 영역에서 상, 하, 좌, 우로 상수 값을 더하여 본딩 주변 영역을 검출한다. 본딩 주변 영역을 검출하는 이유는 본딩의 점도가 묽어 본딩 주변 영역으로 흘러서 발행하는 수평 과 본딩 불량을 검출하기 위함이다.

검사 영역을 모두 분할한 뒤, 브릿지 파손 알고리즘을 사용하여 파손 유무를 확인한다. <Figure 10(c)>와 같이 브릿지 부분이 파손되면 정상 이미지인 <Figure 10(b)>보다 들뜸이 존재한다. 이 특징을 이용하여 브릿지 해 정한 임계치보다 클 경우 브릿지 파손 불량으로 분류하였다.

파손 유무를 판단한 뒤, 로딩 불량 검출 알고리즘을 이용하여 오로딩 불량을 검출한다. 검사 영역 분할 알고리즘을 이용하여 검출한 모듈 영역의 높이가 <Figure 11(b)>와 같이 실험으로 구한 평균적인 임계치보다 높으면 오로딩 불량으로 분류

하였다.

미 본딩 불량은 검사 영역 분할 알고리즘을 이용하여 <Figure 12(b)>와 같이 검출한 본딩 영역의 너비가 실험을 통해 정한 임계치보다 작을 경우 본딩이 되지 않았음을 의미하여, 해당 CCM 이미지를 미 본딩 불량으로 판정한다.

마지막으로 본딩 불량 검출 알고리즘을 이용하여 수직 과 본딩 불량과 수평 과 본딩 불량을 검출하기 위해 기계 학습 방법을 사용하였다. 기계 학습 방법 중 SVM은 표본 샘플 집합을 기반으로 두 범주로 분해하는데 사용하는 단순한 형태의 분류 알고리즘이다. SVM 알고리즘의 확장형은 다중 범주( $n > 2$ ) 분류에 사용할 수 있다(Ko, 2005). SVM의 커널(Kernel)은 포인트를 입력 훈련 벡터의 원래 공간에서 고차원 특징 공간으로 매핑하고 다시 원래대로 되돌릴 수 있도록 매핑하는 기능을 한다.

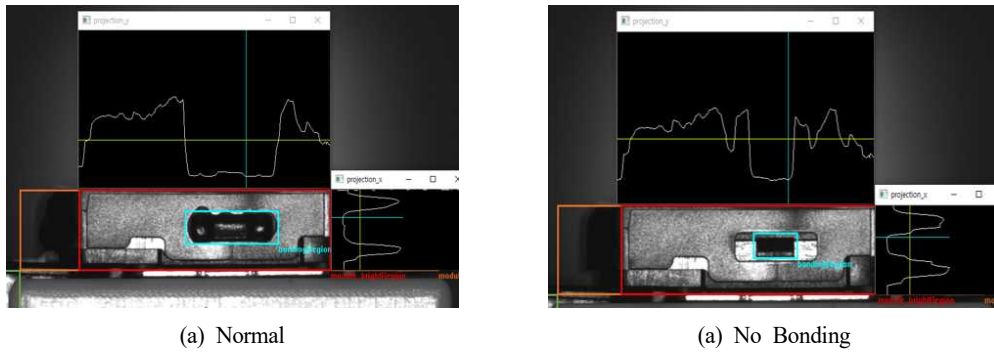


Figure 12. No Bonding Image Comparison

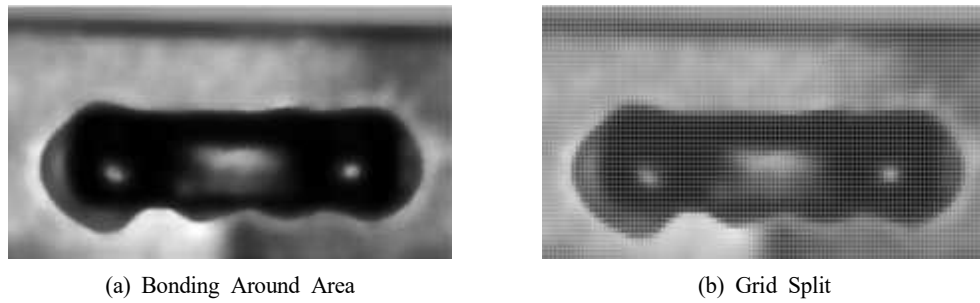


Figure 13. Bonding Around Area Feature Extract Method

본딩 영역 특징 검출 과정은 본딩 영역 검출 알고리즘으로 검출된 본딩 영역으로부터 SVM 학습에 필요한 특징을 검출하는 과정이다. 수평 과 본딩 불량은 본딩 영역 주변으로 본드가 넘치는 불량이다. 수평 과 본딩 불량을 분류하기 위해서 본딩 영역과 그 주변 영역도 포함시켜야 한다. <Figure 13(a)>와 같이 검출된 본딩 주변 영역을  $200 \times 100$  크기로 통일하였고, <Figure 13(b)>와 같이  $2 \times 2$  그리드로 분할하였다.  $100 \times 50$  크기로 줄여진 이미지를 1차원 벡터로 변환하여 본딩 주변 영역의 특징을 추출한다.

학습에는 C-벡터 SVM을 사용하였다. 다중 범주 분류를 위해 ‘정상, 수직 과 본딩, 수평 과 본딩’의 라벨을 {0, 1, -1}로 구성된 벡터로 변환하였다. 커널은 단순한 선형(Linear) 커널을 사용하였고(Lee, 2015), C는 1의 값을 주었다.

### 3. 실험 결과

본 실험은 i7의 CPU환경에서, Visual Studio 2017 환경에서 MFC를 구성하여 SVM을 학습하기 위해 openCV 라이브러리를 사용하였다. 본딩 불량 분류에 필요한 SVM 학습을 위해서

‘정상, 수평 과 본딩, 수직 과 본딩’ 학습 샘플 1,366장과 테스트 샘플 775장을 사용하였다. ‘브릿지 파손, 오 로딩, 미 본딩’ 불량은 영상처리를 이용한 임계치 기준의 불량 분류를 하기 때문에 SVM 학습에는 사용되지 않았다.

불량 분류 알고리즘의 성능 평가는 랜덤으로 100장을 가져와서 알고리즘을 이용하여 불량을 분류한 뒤, 실제 라벨과 Precision, Recall을 비교하는 F1-score 지표를 사용하여, 95.7%의 정확도를 보였다. 100장에 대한 Confusion Matrix는 <Table 2>와 같고, 각 불량별 분류 정확도는 <Table 3>과 같다.

Table 3. F1-Score Each Defects[%]

	Precision	Recall	F1-score
Good	94.3	94.3	94.3
Bridge Breakage	100	100	100
No Bonding	92.3	100	96.0
Vertical Over Bonding	100	100	100
Horizontal Over Bonding	100	93.3	96.6
Wrong Loading	75.0	100	85.7
Average	93.6	97.9	95.4

Table 2. Confusion Matrix

Result \ Label	Normal	Bridge Breakage	No Bonding	Vertical over Bonding	Horizontal Over Bonding	Wrong Loading
Normal	33	0	1	0	0	1
Bridge Breakage	0	10	0	0	0	0
No Bonding	0	0	12	0	0	0
Vertical over Bonding	0	0	0	10	0	0
Horizontal Over Bonding	2	0	0	0	28	0
Wrong Loading	0	0	0	0	0	3

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 머신 비전을 이용하여 CCM 불량 분류 시스템을 제안하였다. 각 불량에 따라 검사영역을 4개로 분할하고 영상처리를 이용한 임계값 기준의 분류를 하였다. 본딩 불량 분류 방법에는 기계 학습 중 하나인 SVM을 이용하였다. SVM 학습에 필요한 검출된 본딩 영역을 그리드 방식으로 사용하여 특징을 추출하였다. 임의의 100개의 샘플 데이터로 성능을 평가해 본 결과, 95.4%의 분류 정확도를 보였다.

기존의 CCM 불량 분류 연구에는 영상처리를 이용한 임계치 기준의 방법만 사용하였다. 본 논문에서는 불량 분류 정확도를 기계학습인 SVM을 사용하여 향상시켰고, 심층 학습 기법보다 적은 자원을 사용하였다.

오 로딩 불량률의 경우는 다른 불량들에 비해 샘플 데이터의 수가 적어 정확도가 상대적으로 낮았다.

향후 연구는 SVM의 입력 영상의 특징 추출 방법을 다양하게 실험 해보고, GAN을 이용하여 부족한 불량 이미지의 유사 이미지를 만드는 방법으로 데이터의 수를 확장시켜 균형을 맞추는 방법을 연구 할 것이다.

#### 참고문헌

- Jeong, Y. S. (2019), A Model Design for Enhancing the Efficient of Smart Factory for Small and Medium-Sized Businesses Based on Artificial Intelligence, *Journal of Convergence for Information Technology*, **9**(3), 16-21
- Jung, M. C. (2010), Study on Machine Vision Algorithms for LCD Defects Detection, *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, **9**(3), 59-63
- Ko, K. W., Lee, Y. J., Choi, B. W., and Koh, K. C. (2004), CCM (Compact Camera Module) Defect Inspection, *Proceedings of the Korea Society for Precision Engineering Conference*, 585-589.
- Ko, J. P. (2005), Solving Multi-class Problem using Support Vector Machines, *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, **32**(12), 1260-1270.
- Lee, J. S. and Park, T. H. (2015), Defect Classification of Components for SMT Inspection Machines, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, **21**(10), 982-987.
- Oh, S. N., Park, W. C., Riew, M. C., and Lee, M. K. (2018), A Case Study of the Construction of Smart Factory in a Small Quantity Batch Production System : Focused on IDIS Company, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, **46**(1), 11-26
- Park, H. W. (2015), Manufacturing Technology Trends Associated with Smart Factory, *Information & Communications Magazine*, **33**(1), 24-29.

#### 저자소개

**하민호** : 2019년 충북대학교 전자공학부를 졸업하고, 동 대학원 제어로봇공학전공 석사과정에 재학 중이다. 연구 분야는 소형 카메라 모듈 불량 분류 및 결합 검출이다.

**박태형** : 서울대학교 제어계측공학과에서 1988년 학사, 1990년 동 대학원 석사, 1994년 동 대학원 박사학위를 취득하였다. 1994년부터 1997년까지 삼성테크윈(주) 정밀기기연구소 선임연구원과 2000년부터 2001년 Univ. of Toronto 방문교수를 역임하고 1997년부터 충북대학교 전자공학부 교수로 재직하고 있다. 연구 분야는 전자조립 및 검사시스템, 로봇동작계획 및 최적화 알고리즘이다.