

Hole Identification Method Based on Template Matching for the Ear-Pins Insertion Automation System

Baek Jonghwan[†] · Lee Jaeyoul^{††} · Jung Myungsoo^{†††} · Jang Minwoo^{††††} ·
Shin Dongho^{††††} · Seo Kapho^{††††} · Hong Sungho^{†††††}

ABSTRACT

In jewelry industry, the proportion of labor costs is high. Also, the production time and quality of products are highly varied depending on the workers' capabilities. Therefore, there is a demand from the jewelry industry for automation. The ear pin insertion automation system is the robot automatically inserts the ear pins into the silicone mold, and this automated system require accurate and fast hole detection method. In this paper, we propose optimal binarization method and a template matching method that can be applied in the ear pin insertion automation system. Through the performance test, it was shown that the applied method has an accuracy of 98.5% and 0.5 seconds faster processing speed than the Otsu binarization method. So, this automation system can contribute to cost reduction, work time reduction, and productivity improvement.

Keywords : Vision Based System, Automation System, Industrial Automation, Automation Robot

이어핀 삽입 자동화 시스템을 위한 템플릿 매칭 기반 삽입 위치 판별 방법

백 종 환[†] · 이 재 열^{††} · 정 명 수^{†††} · 장 민 우^{††††} · 신 동 호^{††††} · 서 갑 호^{†††††} · 홍 성 호^{†††††}

요 약

장신구 산업은 인건비의 비중이 높고 노동자의 역량에 따라 제품의 제작 작업 시간 및 품질의 편차가 심하다. 이에 산업계의 수요에 맞추어 귀걸이 제품을 위한 실리콘 몰드 표면 지름 0.75mm 홀에 이어핀을 삽입하는 공정을 자동화하기 위하여 삽입 자동화 시스템을 연구되고 있다. 본 논문에서는 다양한 실리콘 몰드에 대한 이어핀 삽입 공정 자동화를 위하여 산업용 카메라를 이용한 이진화 및 템플릿 매칭 기반의 이어핀 삽입 위치 검출 방법을 기술한다. 제안하는 방법은 입력 영상을 이진화와 템플릿 매칭을 이용하여 홀의 위치와 개수를 판단할 수 있다. 성능 시험을 통하여, 적용한 방법은 98.5%의 정확도와 Otsu 방법에 비해 0.5초 빠른 처리속도를 가지는 것을 보였다. 비전 기반 이어핀 삽입 자동화 시스템을 통해 원가 절감 및 작업 시간 절감과 생산성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

키워드 : 비전 시스템, 자동화 시스템, 산업 자동화, 자동화 로봇

1. 서 론

현재 주얼리 산업은 공정의 대부분이 수작업으로 이루어지는 전형적인 노동 집약적 산업으로 제품제조원가 증 인건비

의 비중이 가장 높으며, 수작업으로 인해 노동자 역량 및 컨디션에 따라 작업 시간 및 품질의 편차가 심하기 때문에 소비자에게 안정적인 품질을 제공하기 어려운 현실이다.

특히, 귀걸이 제품의 경우 제품 주조를 위한 실리콘 몰드에 직경 0.75mm의 이어핀을 작업자가 수작업으로 삽입하는 제조 공정이 수행되고 있으며 최저임금 인상 등으로 인한 국내의 인력 수급 문제로 생산성 향상이 시급한 실정이다. 그러나 소비자 수요에 맞추어 빠르게 변화하는 주얼리 산업의 특성상 Fig. 1처럼 다양한 귀걸이 제품들을 주조해야 하는 다수의 실리콘 몰드의 이어핀 삽입 위치가 다르게 요구되기에 자동화 시스템을 구축하기 어려운 현실이다.

본 논문에서는 다양한 실리콘 몰드에 대한 이어핀 삽입 공정 자동화를 위하여 산업용 카메라를 이용한 이진화 및 템플

* 이 논문은 2020년 한국정보처리학회 춘계학술발표대회에서 "이어핀 삽입 자동화 시스템을 위한 템플릿 매칭 기반 홀 판별 방법"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 정 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 주임
†† 비 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 책임연구원
††† 비 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 주임
†††† 비 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 연구원
††††† 비 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 본부장
†††††† 비 회 원 : 한국로봇융합연구원 인터랙티브연구본부 선임연구원

Manuscript Received : July 31, 2020

First Revision : October 13, 2020

Accepted : November 2, 2020

* Corresponding Author : Hong Sungho(hong6286@kiro.re.kr)

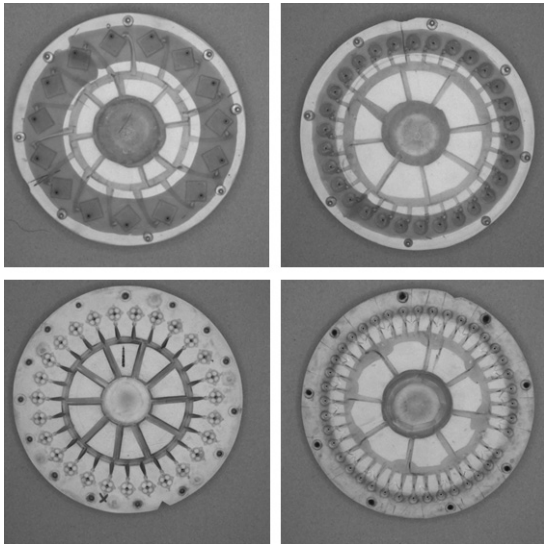


Fig. 1. Various Molds for the Ear-pin Casting

릿 매칭 기법 기반의 이어핀 삽입 위치 검출 방법을 기술한다. 영상처리 프로세스 내부의 이진화 기법과 템플릿 매칭 기법의 종류에 따른 처리 속도 및 정확도 성능 시험을 진행하였으며 이에 대한 결과를 도출하여 분석하였다. 이어핀 삽입 공정의 자동화는 원가절감 및 품질 안정성, 생산성 향상을 야기할 수 있다.

2. 관련 연구

국내 주얼리 산업은 디자인 분야에 한정하여 자동화 연구가 이루어지고 있다[1-3]. 캐스팅(Casting)이라 불리는 주얼리 형상을 설계 및 제작하는 기존의 수작업 방식이 CAD/CAM 기반 도면을 이용한 표준 형상을 통한 자동화 작업 방식으로 전환되어 가고 있는 추세이다. 그러나 제조분야에서는 자동화에 대한 연구개발이 이루어지지 않고 있다. 수작업 위주의 노동집약적 특성을 가진 주얼리 산업이 제조 분야에서 인력 부족과 같은 문제를 해결하려면 자동화가 필요한 실정이다[4].

이에 반해, 중국에서는 각 산업에 대한 공장 자동화에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다[5]. 중국의 Weldo사는 디스펜서 토출 기술을 이용하여 다양한 제품에 대한 임의의 제조 공정을 자동화하는 기기를 개발하고 있다. Weldo사의 스톤 삽입 자동화 기기(Diamond stone dispensing machine)는 트레이 상의 정렬된 주얼리 스톤들을 주얼리 캐스팅에 삽입하는 공정에 대한 자동화를 적용하였다.

Weldo사의 기기는 Fig. 2와 같이 두 개의 고화질 산업용 카메라와 흡입부와 토출부로 구성된 헤드로 구성되어 있으며 인력이 직접 주얼리 스톤과 캐스팅의 위치를 직접 입력하여 작업하는 자동화 방식을 적용하였다. 이로써 수작업보다는 작업량이 현저히 줄어들었으나 인력이 개입하여 데이터를 지정하는 과정을 수행하여야 한다.

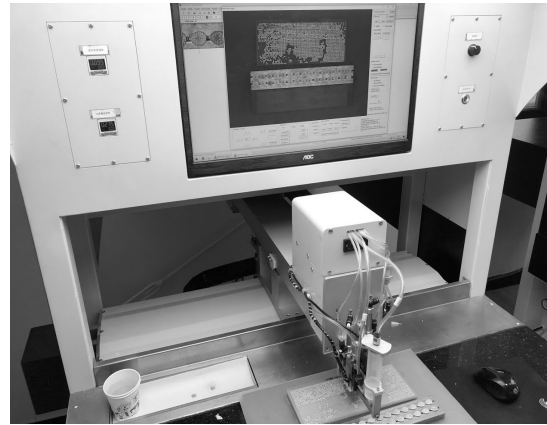


Fig. 2. Weldo Dispensing Machine

3. 이어핀 삽입 자동화 시스템

Fig. 3은 이어핀 삽입 자동화 시스템을 개략적인 모델로 나타낸 것이다. 이어핀 삽입 자동화 시스템은 리니어 젠트리 시스템, 이어핀 흡입 및 삽입용 헤드, 산업용 카메라, 비전용 원형 조명, 산업용 터치 패널 PC로 이루어져 있으며 베이스 판에는 몰드를 고정하기 위한 틀이 있고 사용자가 몰드를 쉽게 교체할 수 있게 하기 위하여 슬라이딩 레일이 부착되어 있다. 리니어 젠트리 시스템은 근접 센서를 이용하여 레일 위를 벗어나지 않도록 제어하며 사용자가 원하는 위치값까지 이동하도록 펄스값을 조정할 수 있다. 한 축에 위치한 헤드는 실린더를 이용하여 이어핀을 잡고(Pick) 영상 처리를 통한 획득 데이터 좌표로 위치시키는(Place) 역할을 하며 공압을 사용하기 때문에 컴프레셔나 공압 발생 장치가 필요하다. 산업용 카메라와 원형 조명은 케이스 안쪽 상부에 배치된다. 산업용 카메라는 용이한 전원 입력 및 통신을 위하여 PoE를 사용했으며 원형 조명은 발광부를 위로 올려 직광에 의한 영상처리 오검출을 방지하도록 하였다. 이어핀 시스템의 우측에는 산업용 카메라, 조명 등의 전원 및 통신을 위한 부가 장치들이 탑재되며 케이스에 노출되는 부분을 산업용 터치 패널 컴퓨터를 사용하여 작업자에게 직관적인 조작을 가능하게 한다.

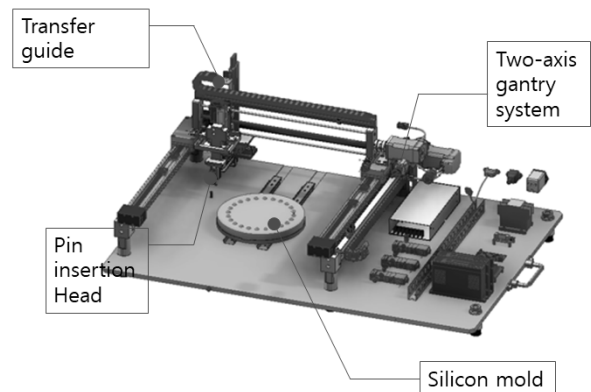


Fig. 3. Ear-pin Insertion Automation System

템플릿 매칭 기반의 영상 처리 방법을 수행하기 위해서 삽입용 헤드의 좌표 데이터와 영상 처리 좌표 데이터를 일치시킬 필요성이 있다. 이에 따라 Fig. 4와 같이 베이스 판의 좌측 상단에 기준점 역할을 하는 적색 핀을 배치하여 삽입용 헤드의 끝부분과 입력 영상의 좌표를 일치하도록 한다.

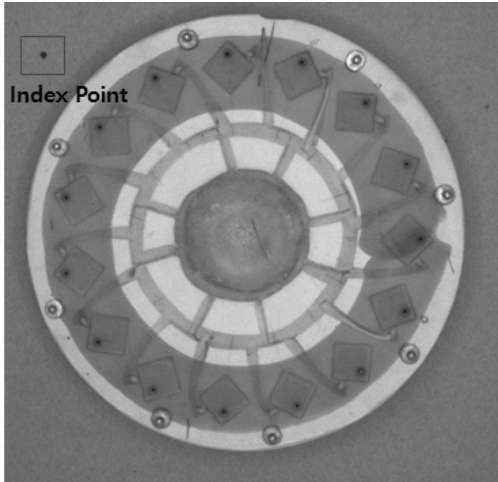


Fig. 4. Index Point of the System

본 연구에서 적용된 이어핀 삽입 공정의 자동화 방법은 사람의 작업 방식을 그대로 모방하고 있다. 이어핀 삽입은 주조 공정을 위해 실리콘 몰드 표면 구멍에 작업자가 직접 지름 0.75mm의 핀을 삽입하는 과정으로 사람의 눈으로 보고, 삽입 위치를 인식한 후, 손을 움직여 위치에 삽입하는 작업으로 세분할 수 있다. 이어핀 자동화 시스템은 이러한 사람의 작업 방식과 유사한 작업 방식을 갖는다.

4. 비전 기반 이어핀 삽입 좌표 데이터 추출법

삽입 좌표 인식을 위한 영상 처리의 흐름도는 Fig. 5와 같다. 산업용 카메라는 실리콘 몰드를 촬영하여 RGB 색상 모델로 영상을 얻어온 후 영상 처리를 진행한다. 산업용 카메라를 통해 입력된 이미지는 객체 분리를 위한 이진화 과정을 수행하게 된다. 본 논문에서 객체는 이어핀 홀을 의미하므로 이어핀 홀에 대한 형태가 이진화 결과로 흰색(255)의 픽셀로 표현된다. 이에 대하여, 저장되어 있는 템플릿 이미지를 동일한 이진화 기법으로 이진화 수행 후 템플릿 매칭 방법을 통하여 객체인지 잡음인지 판단한다. 매칭 결과 객체라고 판단된다면, 관심 영역 레이블링을 통하여 실리콘 몰딩의 각 홀의 개수와 좌표를 판단하고 입력 영상에 적색 사각형으로 표시한다. 이 때, HSV 모델을 통한 색 검출 알고리즘을 통해 3절의 문단에서 설명하였던 기준점 좌표 획득이 수행된다. 각 홀의 좌표들과 본 기준점 좌표들의 차 연산을 통하여 기준점에서 서부터 좌표까지의 거리를 계산할 수 있다. 계산된 거리와 적색 사각형으로 표시한 홀 검출 결과 이미지를 사용자 인터페이스 시스템에 송신하도록 한 후 프로그램은 해당 데이터를 모터 제어 프로그램을 통해 제어를 수행하도록 전달한다.

본 논문은 시험을 통해 작업의 수행 속도와 정확도를 높이기 위하여 최적의 이진화 기법과 템플릿 매칭 기법을 찾아내기 위한 작업을 수행한 후 이어핀 홀 판별 방법에 적용할 수 있는 최적의 기법들을 기술한다.

4.1 색상 검출을 이용한 기준점 저장

산업용 카메라를 통해 실리콘 몰드가 포함된 입력 이미지를 획득하게 되면, RGB 영상 Matrix를 Fig. 6-(a)와 같은

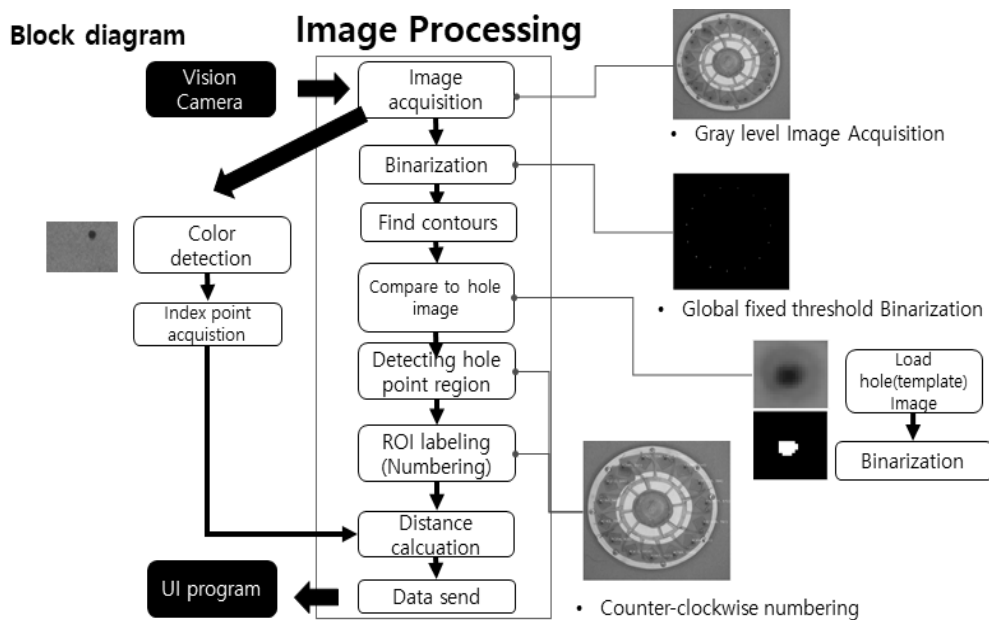


Fig. 5. Flowchart of Ear-pin Hole Coordinate Detection

HSV 모델 영상으로 변환한다. HSV 색 모델은 인덱스 역할을 하는 색상(Hue)과 채도(Saturation), 명도(Value)의 세 가지의 값의 영상 정보를 가진 모델로 입력 영상의 관심 객체가 주위 배경과 다른 색상을 가지고 있다면 영상 정보를 이용하여 쉽게 관심 객체를 추출할 수 있는 모델이며, 이러한 특성으로 인해 차선 인식 검출 연구에서 기본적으로 사용하고 있는 모델이다[6-8]. 해당 모델을 이용하여 작업 영역 내 기구의 기준점을 판단하기 위해서는 실리콘 몰딩들이나 바닥과 다른 색상을 가지도록 해야하므로 실리콘 몰딩들에 가장 많이 사용되는 녹색의 색 정보를 토대로 보색 관계에 해당하는 빨간색을 선정하였다. 보색 관계는 Fig. 6-(b)에서 볼 수 있다.

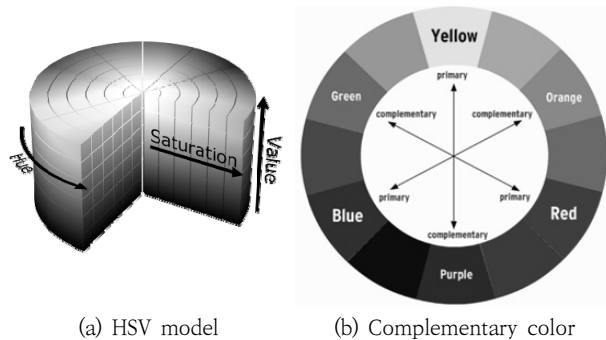


Fig. 6. Finding a Index Point using HSV Color Model

4.2 이진화

이진화(Binarization)는 특정 경계값을 두고 두 개의 클래스 분류 문제로 0 아니면 1, 흑 아니면 백으로 분류하여 관심 객체를 분류하는 작업을 의미한다.

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255 & src(x,y) > T \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

영상에서의 이진화는 Equation (1)과 같이 특정 경계값 T 를 기준으로 픽셀값을 255나 0으로 분류한다. 그레이 스케일의 이미지는 한 픽셀 당 8비트(0~255) 밖에 차지하지 않기 때문에 컬러 스케일의 이미지보다 연산속도에 있어서 이점을 얻을 수 있다. 이러한 그레이 스케일 이미지를 다시 이진화함으로써 0과 1로 이루어진 1비트 스케일로 축소하고 객체 분리를 위한 영상 처리 면에서 빠른 연산속도를 얻을 수 있다.

그레이 스케일 이미지의 0부터 255의 픽셀 중 어떠한 값을 0과 1로 만들지에 대한 것은 이진화 기법에 달려있다. 이진화 기법은 입력 영상의 환경, 특히 조명의 영향을 다소 받게 되어 대비가 낮고 잡음이 심하며 객체의 패턴이 복잡한 입력 영상에서는 이진화 결과 영상의 성능과 품질에 따라 정확한 객체 구별이 어려워질 수도 있다. 이에 다양한 환경이 주어진 원 영상의 이진화 처리를 위하여 논문들이 발표된 바 있다[9-13].

다음 Table 1는 기존 임계값 결정 방법들의 특징을 비교하여 정리한 것이다.

Table 1. Comparison of Binarization Methods

Method	Note	Classification
Fixed Value	All pixels are the same	User set
Otsu	All pixels are the same	Finding the optimal value by the iterative method
Niblack	Different threshold values for each pixel	Use the average value of neighboring pixels and the weight of standard deviation
Bernsen	Different threshold values for each pixel	Uses the middle value between the maximum and minimum values of neighboring pixels
D.Bradley	Different threshold values for each pixel	Use the average value and error range of neighboring pixels

고정 이진화와 Otsu 기법을 제외한 Niblack, Bernsen, D.Bradley의 방법은 픽셀마다 다른 임계값을 가지기 때문에 적응형 이진화(Adaptive threshold) 방법으로 불린다. 본 논문의 이어핀 삽입 자동화 시스템은 덮개로 인하여 몰드 표면에 항상 균일한 조명을 방사할 수 있으며, 그로 인해 표면의 홀이 음각으로 뚜렷하게 드러나기 때문에 전역 고정 경계값 이진화를 사용함에 문제가 없다. 전역 고정 경계값 이진화란 전 지역에 하나의 임계값을 지정하여 이진화 하는 방법으로 전 픽셀이 하나의 임계값만 비교하여 처리하기 때문에 처리 속도가 우수하다. 적응형 이진화 방법이나 지역 이진화 방법을 사용할 경우, 몰드 표면에 여러 무늬가 있는 실리콘 몰드의 특성상 잡음까지 인식하는 문제가 있다.

4.3 템플릿 매칭을 통한 관심 영역 획득

템플릿 매칭은 입력 영상에서 템플릿 이미지와 일치하는 이미지의 작은 부분을 찾기 위한 이미지 처리 기법이다. 본 기법은 입력 영상에서 작은 크기의 부분 영상 위치를 찾아내고 싶은 경우 사용하는 방법으로 입력 영상과의 유사도를 계산한다. 유사도는 입력 영상과 템플릿 영상이 얼마나 유사한지 나타내는 지표이다. 템플릿 매칭은 찾으려는 객체의 이동 문제에 강한 편이지만 회전 및 크기가 조절된 물체의 매칭은 어려운 편이다. 입력 영상의 이진화와 마찬가지로 이어핀 삽입 자동화 시스템은 카메라 높이가 고정되어 있으며 균일한 조명을 비추기 때문에 홀 영역을 찾는 작업에 템플릿 매칭 방법을 사용한 것이 적합하다. 실리콘 몰드 표면의 홀 영역을 찾기 위하여 아래 Fig. 7과 같은 템플릿을 입력시키고 이진화하여 탐색하고 일치되는 영역을 관심 영역(Region of Interest, ROI)으로 지정한다.

이진화 템플릿 영상은 슬라이딩 윈도우가 되어 이진화 입력 영상 왼쪽 위에서 오른쪽 아래까지 탐색을 시도하며 매칭 방법에 따라 매칭을 시도한다. 입력 영상과 템플릿 영상 간의

비교 계산 방법에 따라 매칭 유사도는 조금씩 달라진다.[14] 매칭 방법은 제공차 매칭, 상관관계 매칭, 상관계수 매칭이 있으며 각각의 수식을 통해 유사도를 계산할 수 있다. 제공차 매칭은 입력 값이 높게 나오고, 상관관계와 상관계수 매칭은 일치할수록 값이 낮게 나온다. 상관계수 매칭 방법은 일반적으로 제공차 매칭보다 시간이 더 걸리지만 더 정확한 결과를 보인다.

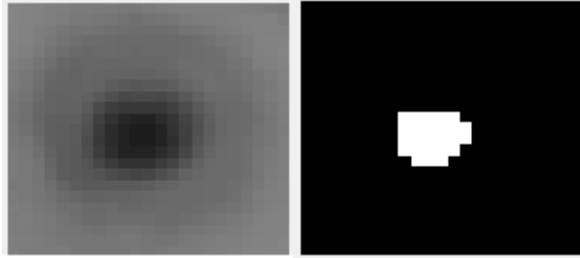


Fig. 7. Template and Binary Template Image

4.4 ROI 영역 레이블링을 통한 좌표 검출

레이블링은 관심 객체에 꼬리표(label)를 붙이는 작업을 의미한다. 템플릿 매칭을 통해서 홀의 대략적인 영역을 획득할 수 있으나 홀의 정확한 좌표 획득을 위한 방법이 필요하다. 이진화된 영상의 분석에 있어서 레이블링 기법은 요소들에 대한 연결성을 제공하고 각각의 픽셀을 하나의 관심 객체로 묶는 기법이다. 신호 처리를 위한 레이블링 알고리즘은 두 번의 탐색을 통하여 재귀적으로 입력 영상 이미지에 레이블을 붙이는 작업을 하거나 비재귀적으로 한 번의 탐색을 통해 레이블링하는 기법을 사용한다[15]. 그러나 제안하는 방법에서는 템플릿 매칭을 통하여 관심 영역을 획득하고 그 영역 내에서만 레이블링 작업을 수행하기 때문에 복잡한 레이블링 알고리즘을 사용하지 않고 관심 영역 내에서 흰색 화소만을 찾는 간단한 알고리즘을 사용하였다. 이후, 관심 영역에서 레이블링된 객체의 중간 화소와 관심 영역의 위치를 합하면 홀의 좌표가 검출된다. 검출된 관심 영역 및 좌표들은 반시계 방향 순서로 번호가 매겨진다. 이후 영상의 픽셀 좌표계를 실 좌표계로 변환하고 Fig. 8과 같은 결과 영상과 좌표를 사용자 프로그램에 송신한다.

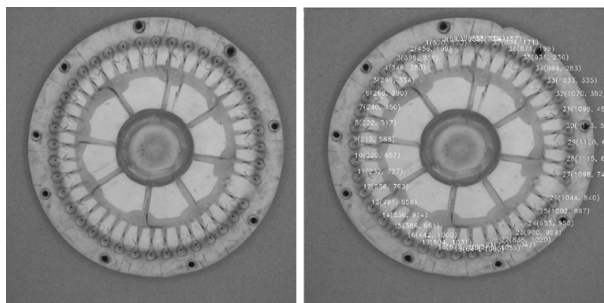


Fig. 8. Result of Hole Identification

4.5 템플릿 매칭에 의한 중복 검출 문제

템플릿 매칭은 슬라이딩 윈도우 기반이기 때문에 윈도우의 픽셀 이동 간격이 너무 미소하면 하나의 홀이 중복 검출되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 검출된 좌표의 y 좌표를 오름차순으로 정렬하고 y 좌표끼리 비교하여 5개 픽셀 이내라고 판단이 되면 좌표를 삭제하는 기법을 사용하였으며 같은 y좌표 내의 두 개의 홀이 삭제되는 것을 방지하기 위하여 입력 영상의 절반씩 탐색하여 두 그룹을 합쳐 레이블하는 기법을 사용하였다.

4.6 스플라인 보간법

스플라인 보간법(Spline Interpolation)은 전체 구간을 소구간별로 나눠 저차수의 다항식 조각들로, 매끄러운 함수를 구하는 방법이다. 각 점들은 직관적으로 보았을 때 국부적으로 급격히 변하는 직선 함수의 소구간들로 이루어져 있다. 스플라인 보간법을 이용하면 이렇게 획득한 좌표들의 각각의 위치로 이러핀 디스펜서가 이동할 때 부드러운 움직임을 구현하는 것이 가능해진다. n개 데이터점이 주어졌을 때, (n-1)개의 소구간이 주어질 것이며 스플라인 함수 $s_j(x)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) \tag{2}$$

$$s_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 \tag{3}$$

$$s_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + c_j(x - x_j)^2 + d_j(x - x_j)^3 \tag{4}$$

이 때, a_j 는 절편이며 b_j, c_j, d_j 는 직선의 기울기이다. 고차수의 스플라인 보간을 사용할수록 더 부드러운 움직임을 구현할 수 있다.

5. 성능 시험

5.1 시험 조건

제안한 비전 기반 삽입 좌표 추출 시스템에 사용한 방법의 수행 속도 및 정확도 향상을 위하여, 입력 영상에 각 방법을 적용하였을 때 수행 속도 및 정확도를 측정한다. 시험 환경은 산업용 머신 비전 카메라를 실리콘 몰드 표면 상부에서 30cm 떨어져서 촬영하였으며 뒷개를 이용하여 암실을 만들고 외경 48cm, 내경 36cm의 링 형태의 LED를 사용하여 균일한 조명 환경을 만들었다. 입력 영상은 1280px×1280px이며 잡음의 영향이 없도록 무늬가 없는 바닥을 사용하였다. 사용한 전역 이진화 경계값은 50으로 고정하였으며 템플릿 매칭 유사도는 0.5로 고정한 후 시험하였다.

시험은 Fig. 9와 같은 실리콘 몰딩에 대하여 각 방법을 4번씩 수행하였다. 실리콘 몰딩의 홀 개수는 12개이며 4절에서 기술하였던 적색 사각형이 표시된 결과 이미지를 통하여 홀 위치에 대한 정확도와 처리시간을 평가한다.

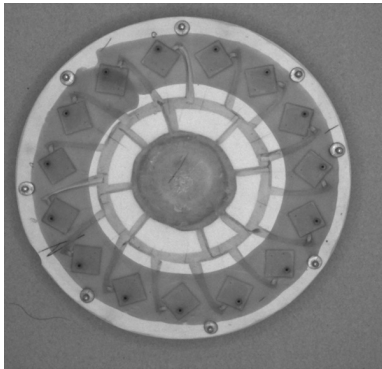
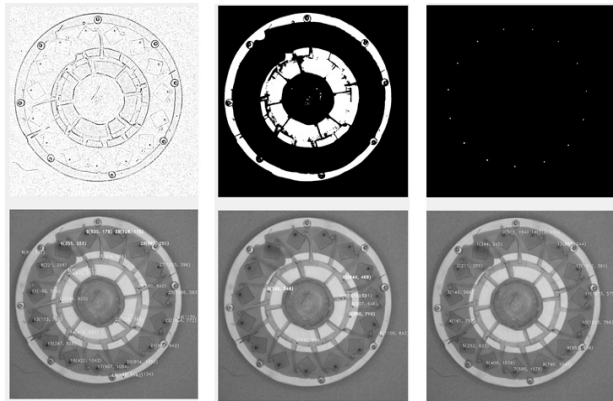


Fig. 9. Silicon Molding for Test

5.2 이진화 방법에 따른 매칭 결과

Fig. 10은 이진화 방법에 따른 결과를 나타내었다. 템플릿 매칭 방법은 상관계수 매칭 방법을 각각 사용하였다. 4번의 시험 결과 중 Fig. 10의 a에서 적응형 이진화 방법을 사용하였을 때, 홀 검출은 비교적 잘 되었으나 잡음을 이어핀 홀로 인식하는 모습을 보인다. Fig. 10의 b에서 Otsu 이진화 방법을 사용하였을 때 홀을 이진화하지 못하여 검출을 못하는 모습을 보인다. Fig. 10의 c에서는 홀을 100% 검출하였으며 좌표 출력이 되는 모습을 보인다.



(a) Adaptive threshold (b) Otsu (c) Fixed value

Fig. 10. Result of using Each Binarization Methods

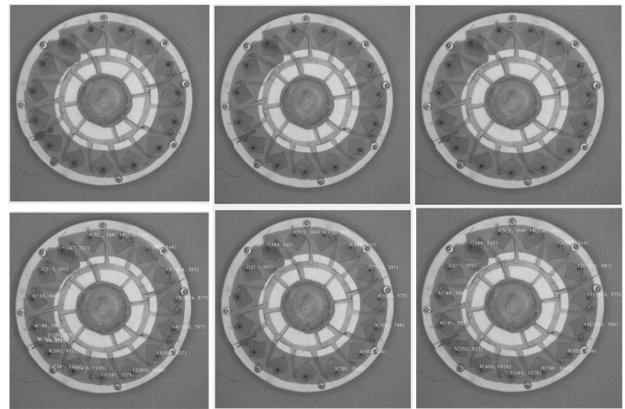
Table 2. Test 1(Binarization)

시험		1	2	3	4
Adaptive threshold (Niblack)	Processing time[s]	0.62	0.72	0.51	0.61
	Detecting count	15	20	16	34
	Accuracy[%]	100	100	100	100
Otsu	Processing time[s]	0.52	0.83	0.92	0.74
	Detecting count	1	4	2	6
	Accuracy[%]	8	33	16	50
Fixed Value	Processing time[s]	0.12	0.05	0.19	0.12
	Detecting count	12	12	11	12
	Accuracy[%]	100	100	91	100

이진화 기법에 따른 시험을 통해 Table 2의 결과를 얻었다. 적응형 이진화 기법은 검출 개수로 오검출이 많이 보이며 Otsu 기법은 다른 기법에 비해 정확도가 비교적 낮게 측정되었다.

5.3 템플릿 매칭 방법에 따른 매칭 결과

Fig. 11은 템플릿 매칭 방법에 따른 결과를 나타낸다. Fig. 11-(a)에서 제곱차 매칭 방법은 홀의 위치에 대한 정확도가 높으나, 잡음 역시 홀 검출 영역으로 판단하는 모습을 보인다. Fig. 11-(b)에서 상관관계 매칭에서는 홀 위치를 일부 탐지하지 못하였다. Fig. 11-(c)에서 상관계수 매칭에서는 홀 영역 탐색을 비교적 잘 수행한 것을 볼 수 있다. 템플릿 매칭 기법에 대한 시험을 통해 Table 3의 결과를 얻었으며, 제곱차 매칭 기법은 처리 시간은 우수하나 잡음이 많이 검출되었으며 상관관계 매칭 기법은 정확도 및 처리시간이 비교적 낮음을 볼 수 있다. 상관계수 매칭은 처리 시간은 제곱차 매칭에 비해 길었으나 정확도에서 우수함을 보인다.



(a) SQDIFF (b) CCORR (c) CCOEFF

Fig. 11. Result of using Each Binarization Methods

Table 3. Test 2(Template Matching)

시험		1	2	3	4
SQDIFF	Processing time[s]	0.32	0.42	0.21	0.21
	Detecting count	13	34	16	12
	Accuracy[%]	100	100	100	100
CCORR	Processing time[s]	1.02	0.83	0.92	1.74
	Detecting count	1	4	2	6
	Accuracy[%]	8	33	16	50
CCOEFF	Processing time[s]	1.12	0.96	0.79	0.96
	Detecting count	12	12	12	12
	Accuracy[%]	100	100	100	100

6. 결 론

본 논문에서는 주얼리 실리콘 몰드에 대한 이러핀 삽입 자동화 시스템에 적용할 수 있는 산업용 카메라 기반의 템플릿 매칭 및 이진화 기법을 이용한 검출 알고리즘을 제안하였다. 성능 시험을 통하여, 적용한 이진화 방법은 평균 97%의 정확도와 Otsu 알고리즘에 비해 0.5초 빠른 처리속도를 보였으며 적용한 템플릿 매칭 방법은 100% 정확도를 보였으므로 이진화와 템플릿 매칭이 포함된 하나의 작업 사이클에서 98.5%의 정확도와 Otsu 이진화 방법에 비해 0.5초 빠른 처리 시간을 보인다. 비전 기반 이러핀 삽입 자동화 시스템을 통해 원가 절감 및 작업 시간 절감과 생산성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

References

[1] J. Y. Koh, O. S. Song, J. H. Ryu, and S. H. Shin, "Jewelry design automatization using a 3D CAD," *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.2, No.2, pp.95-99, 2001.

[2] S. H. Shin and W. T. Oh, "Development of the design data system of jewelry design industrial," *The Korean Society of Science & Art*, Vol.9, No.9, pp.151-160, 2011.

[3] S. Choi, E. O. Do, Y. W. Huang, and S. C. Park, "A study on fabrication of traditional metal craft techniques using 3D CAD," *Journal of Digital Convergence*, Vol.18, No.3, pp.349-355, 2020.

[4] J. S. Kang, "2019 Korea Jewellery Industry Strategy Forum Proposes Strategy for the Next 10 Years," <Fashionbiz>. (2019. 11. 27). <http://www.fashionbiz.co.kr/TN/view.asp?idx=175396>

[5] D. W. Kim, "[Why T] Why is China focusing on factory automation during the Corona 19 crisis?," <hellot>. (2020. 03. 27). http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=201&sub=001&idx=51414&list=thum

[6] D. B. Lenat, "Programming artificial intelligence," in *Understanding Artificial Intelligence*, Scientific American, Ed., New York: Warner Books Inc., pp.23-29, 2002.

[7] A. Stoffel, D. Spretke, H. Kinnemann, and D. A. Keim, "Enhancing document structure analysis using visual analytics," in *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, Sierre*, pp.8-12, 2010.

[8] P. Sangwook and K. Bong Soon, "Optimized hardware implementation of HSV algorithm for color correction," *Journal of IKEEE*, Vol.24, No.1, pp.243-247, 2020.

[9] S. H. Kim and J. S. Kim, "Three-level color clustering algorithm for binarizing scene text images," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.12, No.7, pp.1-8, 2005.

[10] P. Matti and J. Sauvola, "Adaptive document image binarization," *Pattern Recognition*, Vol.33, No.2, pp.225-236, 2000.

[11] Y. Liu and N. S. Sargur, "Document image binarization based on texture features," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.19, No.5, pp.540-544, 1997.

[12] M. S. Pak, J. H. Park, and S. H. Kim, "The implementation of defect detector using efficient thresholding method," *Computer Science and its Applications*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.1085-1091, 2015.

[13] S. H. Kwon, "Advanced image quality index-based binarization of gray images," *Journal of The Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol.30, No.3, pp.236-241, 2020.

[14] R. Brunelli, "Template matching techniques in computer vision: Theory and practice," John Wiley & Sons, pp.43-71, 2009.

[15] K. Do Hyeon, K. Dong Koo and C. Eui Young, "Image and voice processing: Adaptive image labeling algorithm using non - recursive flood - fill algorithm," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.9, No.3, pp.337-342, 2002.



백 종 환

<https://orcid.org/0000-0001-8718-484X>
 e-mail : jh100@kiro.re.kr
 2018년 한경대학교 전기전자제어공학(석사)
 2019년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
 인터랙티브연구본부 주임
 관심분야 : Vision based robot control,
 Machine Vision Algorithm



이 재 열

<https://orcid.org/0000-0003-3943-1441>
 e-mail : jylee0914@kiro.re.kr
 2008년 한밭대학교 기계설계공학과(석사)
 2020년 한밭대학교 기계공학과(박사)
 2011년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
 인터랙티브연구본부 책임연구원
 관심분야 : 특수 제조로봇 및 자동화 로봇 개발



정 명 수

<https://orcid.org/0000-0003-4407-1217>
 e-mail : jms86@kiro.re.kr
 2017년 한경대학교 정보통신융합전공(석사)
 2012년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
 인터랙티브연구본부 주임
 관심분야 : Convergence of vision and
 sensing



장 민 우

<https://orcid.org/0000-0003-0878-8755>
e-mail : minoo1236@kiro.re.kr
2018년 금오공과대학교 기계공학과(학사)
2019년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
인터랙티브연구본부 연구원
관심분야: 특수 제조로봇



서 갑 호

<https://orcid.org/0000-0002-3471-8972>
e-mail : neoworld@kiro.re.kr
2020년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
인터랙티브연구본부 본부장
관심분야: 임베디드 시스템 및 다중 로봇 제어



신 동 호

<https://orcid.org/0000-0002-2137-8585>
e-mail : tlsehdgh01@kiro.re.kr
2020년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
인터랙티브연구본부 연구원
관심분야: Vision system



홍 성 호

<https://orcid.org/0000-0001-8539-8801>
e-mail : hong6286@kiro.re.kr
2017년 한양대학교 지능로봇공학과(석사)
2020년 ~ 현 재 한국로봇융합연구원
인터랙티브연구본부 선임연구원
관심분야: 임베디드 시스템 및 다중 로봇 제어