

차영상 분석 기반의 자동차 엔진 실링상태 검사 시스템

최상복[†], 반상우^{**}, 김기택^{***}

요 약

본 논문에서는 차 엔진의 누수 방지를 위한 실링 처리 후 실링 처리 영역에 대한 정확도를 검사하는 새로운 알고리즘을 제안하고, 실제 생산라인에서 동작하는 자동차 엔진 실링검사 시스템을 개발하였다. 제안하는 실링검사 방법은 기존에 제안된 영상처리 기법에 기반을 두는 세 가지 검사 방법들이 갖는 설치의 어려움, 높은 계산의 복잡도, 유사 색 기름에 의한 실링검사 성능 저하 등의 여러 가지 단점을 해결하고 저비용의 시스템을 개발하기 위해 개발되었다. 제안하는 시스템은 기존의 방법에서 적용하지 않은 실링 전후의 차영상을 활용하는 기법을 이용하여 다양한 환경변화에 적응적이며, 고정형 카메라 1대로 검사가 가능한 저 비용 시스템이다. 실제 생산라인에서의 비교 실험을 통해 제안하는 실링검사 방법은 기존의 생산라인에서 적용되고 있는 세 가지 다른 방법들에 비해 높은 실링검사 정확도를 보여 성능의 우수성을 입증하였다.

Car Engine Sealing Inspection System Based on Analysis of Difference Image

Sang-Bok Choi[†], Sang-Woo Ban^{**}, Ki-Taeg Kim^{***}

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new car engine sealing inspection system based on image processing and understanding. The car engine sealing inspection plays very important role for protecting leakage caused by inappropriate sealing, which is a crucial point for productivity of car engines. The proposed inspection system has been aimed to enhance the previously proposed sealing inspection systems based on image processing, which have high computation complexity and low performance for correctly inspecting some contamination by oil with similar color with that of sealing. Moreover, the previously proposed system has a difficulty in installing the camera system on the sealing machine. The proposed system considers a difference of images before and after sealing obtained from one static camera. By utilizing a difference of images, the proposed system shows very robust performance using a proposed simple depth checking algorithm for some contamination cases by oil with similar color with that of sealing and the total inspection system is simple and cheap to implement. According to the experiments conducted in a real car product line, the proposed inspection system shows better inspection performance and needs smaller implementation cost than three other previously proposed system working in current car engine sealing inspection systems.

Key words: Car Engine Sealing Inspection(차 엔진 실링검사), Image Processing Based Sealing Inspection(실링검사를 위한 영상처리), Static Camera Inspection System(고정식 카메라 검사 시스템), Analysis of Difference Image(차영상 분석)

※ 교신저자(Corresponding Author): 최상복, 주소: 경상북도 경주시 외동읍 패릉리 762-6(780-822), 전화: 010) 5120-5297, FAX: 052-233-4187, E-mail: phdcsv@gmail.com
접수일: 2010년 9월 6일, 수정일: 2011년 1월 31일
완료일: 2011년 2월 24일

[†] 중신회원, (주)한세로 FA.

^{**} 준회원, 동국대학교 정보통신공학부
(E-mail: swban@dongguk.ac.kr)

^{***} 정회원, (주)한세로 FA.

(E-mail: kkt@hansero.co.kr)

1. 서 론

두 물체 간 접합을 위한 전처리 작업으로 접착제 또는 실링제 도포 처리가 이루어진다. 자동차 조립을 위한 도포제는 두 물체를 붙이기 위한 접착제가 있고, 두 물체간의 누수방지 또는 틈 제거용으로 사용하는 실링제가 있다. 이러한 접착제 및 실링제의 균일 도포 처리는 물체간의 접합 성능에 결정적 영향을 미치는 중요한 작업인데, 도포 작업 시 도포 장치의 결함이나 도포제 문제로 인해 비 균일 도포가 자주 발생한다. 따라서 도포 처리 후에 도포 처리 상태를 검사하는 작업이 물체 간 접합 작업 수행 전에 이루어지는 것이 일반적이다. 도포 검사는 전자회로 패턴 검사 및 납 도포 검사, 반도체 검사, 의료의 불소 도포 검사, 유리 부착을 위한 실링검사, 도로 도색 검사, 자동차 산업의 금속 접합 시 누수 방지를 위한 실링 검사 등 다양한 분야에 적용되고 있다[1-3].

본 논문은 새로운 컴퓨터 비전 기법을 이용하여 실제 자동차 생산 라인에서 자동차 부품의 실링 및 도포 상태를 검사하는 기능을 갖는 시스템 개발에 관한 것이다. 자동차 생산라인에서 자동차 금속 부품들 간의 조립 시 누수 및 틈을 제거 하기위한 실링제의 균일한 도포 처리는 안전한 자동차를 생산함에 있어 중요한 요소로써, 도포 처리 후 도포 처리 상태에 대한 정확한 검사는 자동차 생산 라인에서 중요한 공정으로 자리 잡아가고 있다.

기존의 비전 시스템을 이용한 자동차 부품의 실링 검사 기술은 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째 방법은 자동차 부품에 실링 처리 후, 다음 공정한 실링검사구간으로 실링 처리된 부품을 이동시켜, 고정된 실링검사 장치에서 한 대 또는 여러 대의 카메라로부터 획득된 영상들을 blob 알고리즘을 이용하여 실링 상태를 검사하는 방법이 있다. 두 번째 방법은 카메라를 실링 및 도포장치에 부착하여 실링 또는 도포 처리와 동시에 실링 또는 도포 상태를 검사하는 방법이다. 이 방법은 실링장비에 부착된 1대의 카메라가 실링 방향에 따라 실링 및 도포되는 곳을 실시간으로 촬영하도록 카메라가 회전하게 되고, 이 과정에서 획득된 영상을 실시간으로 처리하여 실링 및 도포된 구조에 대한 인식을 통해 도포 상태를 검사하는 방법이다. 세 번째 방법은 실링 및 도포장치에 카메라가 부착되어 있는 것은 두 번째 방법과 동일하나, 회전

하지 못하는 구조로 되어 있어 2대 이상의 카메라를 실링장비에 장착하여 여러 각도에서 영상을 촬영하여 실링 및 도포 처리된 위치에서 360° 주변 영상을 획득하고, 이를 분석하여 실시간으로 실링 및 도포된 구조를 인식하여 도포 상태를 검사하는 방법이다[4].

위에서 언급한 세 가지 기술 중 첫 번째 방법은 자동생산라인에서 실링 및 도포검사를 하는 구간이 필요한 방식으로 생산라인에 추가적으로 실링 및 도포 검사를 위한 별도의 공간이 필요할 뿐 만 아니라, 도포 검사를 위한 부품 이동과 도포 검사가 별개로 이루어져야 하기 때문에 다소 많은 공정시간이 소요되는 단점이 있다. 하지만, 이 방법은 위에선 언급한 다른 두 방법들에 비해 실링 및 도포 검사의 정확도는 가장 높은 편이다. 두 번째 방법은 첫 번째 방법과 달리 실링 및 도포검사를 위한 공간이 필요하지 않지만, 실링장비에 카메라를 360°회전 시키는 장비의 장착이 필요하다. 그러나 카메라를 360°회전 시키는 장비를 실링 및 도포장치에 부착하는 것이 용의하지 못한 실링 및 도포장치가 많다는 문제점이 있다. 또한, 360°회전 장비 장착이 가능한 경우에도 실링 및 도포장치의 실링 및 도포 경로를 따라 카메라를 360°회전 시키는 장비에게 회전 각도를 알려주는 기능이 필요하다. 이 때문에 실링 및 도포장치의 이동 경로 데이터를 받아 실시간으로 360°회전 시키는 장비가 실제로 이동 경로상의 360° 주변 영상을 정확하게 획득하기 위한 구동을 하는 과정에서 오류를 내포하는 문제점이 있다. 한편, 검사 시스템을 구현하는데 있어 복잡도가 높고 제작비가 고가라는 문제점도 있다. 세 번째 방법은 첫 번째 방법과 달리 실링 및 도포검사를 위한 별도의 공간이 필요하지 않으며, 카메라를 360°회전 시키는 장비도 필요하지는 않지만, 여러 대의 카메라가 필요하다는 단점과 실링 및 도포된 상태가 여러 대 카메라로부터 획득되는 과정에서 동일한 도포 영역이 특정 카메라에서 획득된 영상에만 나타날 수도 있고, 여러 카메라에서 획득된 영상에 중복하여 나타날 수도 있어, 실링 및 도포된 구조를 인식하는 영상이해 알고리즘이 복잡하여 검사의 정확성이 다른 두 방법에 비해 다소 낮은 문제점이 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 비전 시스템을 기반으로 3가지 도포 검사 방법의 장점을 취하고, 문제점을 보완하는 새로운 도포 검사 방법을 제안한다. 제안하

는 방식에서는 앞서 언급한 첫 번째 방법의 장점인 카메라를 고정시킨 구조를 적용하여 실링검사 장비의 구조물 제작을 용이하도록 하였다. 그리고 두 번째와 세 번째의 장점인 실링 공정 구간에서 실링검사가 동시에 이루어지도록 하여 실링검사를 위한 별도의 공간을 줄일 수 있게 하였으며, 비전 처리를 기반으로 하는 실링검사의 실시간 처리가 가능한 영상처리 및 영상이해 알고리즘을 개발하여 실시간 공정 처리가 가능하도록 설계하였다. 따라서 본 논문에서는 3가지 기존 방법들이 갖는 여러 대의 카메라 사용 및 처리 알고리즘의 복잡성 등을 개선하기 위하여, 한 대의 고정식 고해상도 카메라를 사용하여 실시간 실링 상태 검사가 가능한 영상처리 및 이해 알고리즘을 기반으로 구현된 실제 자동차 생산 공정에 적용되는 자동차 엔진 실링검사 시스템을 제안한다. 그리고 제안하는 자동차 엔진 실링검사 시스템은 실험을 통해 기존의 3가지 기법의 시스템들에 비해 우수한 검사 성능을 가짐을 확인하고자 한다.

2. 비전 기반 실링검사 장비 및 검사 방법

2.1 개선된 실링검사 방법

제안하는 실링검사 시스템의 장비 구조와 검사 처리 알고리즘은 기존 비전 시스템을 이용한 실링검사 방법의 문제와 실링 장비의 구조적 문제를 개선하고자 제안되었다. 우선, 카메라가 실링 경로를 따라 움직이면서 촬영하는 시스템의 복잡한 기구적 구조를 간단하게 하기 위하여 그림 1과 같이 고정된 구조물에 카메라를 고정시켜 촬영하는 방식과 실링 장비에

카메라를 고정시키는 방법을 적용하였다.

그림 1의 (a)와 같은 구조물 방식은 실링장비와 큰 간섭이 없는 경우 용이한 방식이며, 그림 1의 (b)와 같은 구조는 실링장치에 카메라를 고정시키는 방식으로 실링할 면(Metal sheet)과 카메라 사이에 다른 구조물이 있는 경우와 검사 대상의 크기가 큰 경우 실링장비를 움직여 대상을 1/4, 1/6, 1/8, 1/10 등으로 나누어 촬영하고자 할 때 적합한 구조이다. 그림 1과 같은 구조를 적용함으로써 인하여 실링 및 도포검사를 위한 별도의 공간이 필요하지 않을 뿐만 아니라, 카메라를 360°회전 시키는 장비도 필요 없으며, 카메라를 한 대만 사용할 수도 있으므로 종래 실링검사 시스템과 비교하여 제조 단가가 기존의 다른 방법들에 비해 가장 낮게 된다는 장점이 있다.

또한 실링 및 도포 상태의 정확한 인식을 위하여 제안하는 실시간 처리 알고리즘은 고정 카메라로부터 획득한 실링 전과 실링 후의 영상으로부터 구한 차영상을 이용하는 새로운 실링 및 도포 상태 이해 기법 구현을 통해 기존의 실링검사 기술에 비하여 검사의 신뢰도를 높일 수 있게 되었다. 이는 검사 시스템을 실링 장치 또는 실링 부에 설치할 수 있도록 하는 구조적인 개선이 크다고 하겠다. 그림 1과 같은 개념의 구조를 기존의 시스템에 간섭 없이 설치하는 것은 어려운 일이다. 또한, 실링 및 도포 상태 인식에 있어서 기존 방법에서는 캘리퍼스 알고리즘(calipers algorism) 등 다양하고 복잡한 알고리즘으로 실링 및 도포된 구조를 인식한다[5-6].

그러나 본 논문은 실링 및 도포 처리된 상태에서 사전에 마우스로 입력받은 실링 및 도포 중심 경로

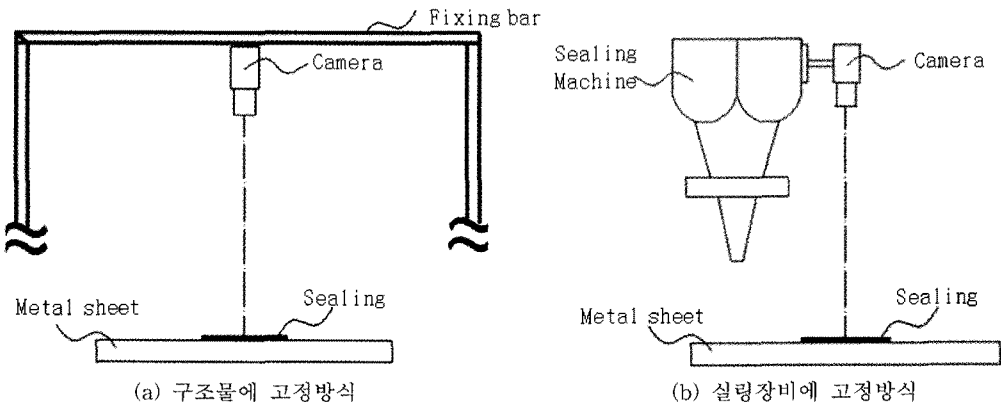


그림 1. 실링검사 장비 구조물 및 카메라 위치

좌표를 활용함으로써 다른 방법들에 비해 상대적으로 간단한 인식 알고리즘으로 실링 상태에 대한 빠르고 정확한 판단이 가능하다는 특징을 가지며, 실링 전후의 촬영 시 주변의 환경변화에 따른 실링 전후의 미세한 밝기의 차와 갑작스런 그림자 문제 등을 해결하기 위하여 실링검사 영역을 검사 궤적으로부터 일정 두께만큼 설정하도록 하였다. 이로 인해 연산 속도가 증가하였고, 실링검사 영역 이외의 노이즈를 차단할 수 있었다. 제안하는 실링검사 시스템의 차연산만으로 획득한 실링부분 영상에는 조명의 반사에 따른 실링부분의 왜곡된 영상과 기타 노이즈에 의한 왜곡된 영상을 가지고 있어 이를 해결하기 위한 반사 제거 알고리즘도 함께 사용하고 있다.

2.2 시스템 구성 및 동작설명

제안하는 비전을 이용한 실링검사 시스템의 구성은 그림 2와 같다. 그림 2에서 보는 바와 같이 실링 장치(Sealing Machine)와 실링 영상을 촬영하기 위한 카메라(Camera), 실링 대상(Metal sheet), 카메라로부터 실링 촬영 영상을 받아 실링 상태를 검사하는 PC, 실링의 검사과정 및 기타 실링장비의 상태를 보여주는 모니터(Monitor)로 구성되어 있다. 그리고 카메라를 실링 및 도포장치에 장착하지 않고 그림 1의 (a)와 같이 카메라를 고정 시키는 구조일 경우도 카메라 위치를 제외한 구성은 그림 2와 동일하다.

그림 2의 실링검사 시스템의 구성 중 실링 장치는 상용 제품을 사용하여 구성하였고, 이러한 일반적인 실링 및 도포장치에 영상신호를 획득하는 카메라를 그림 1의 (a) 또는 (b)와 같이 장착하고, 장착된 카메라로부터 영상신호를 받아, 개발한 실링 및 도포 상태 인식 영상처리 알고리즘을 구동하는 PC에서 실링 상태를 검사하여, 모니터로 검사 결과를 출력하는 동

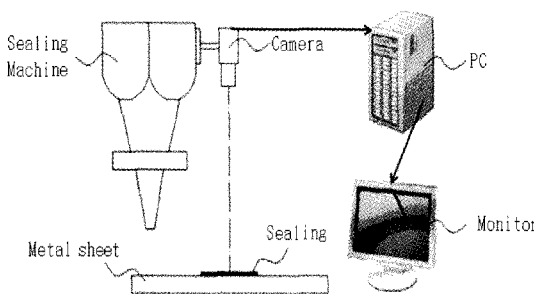


그림 2. 실링검사 시스템의 구성

작을 한다. 그리고 실제 현장의 생산라인에서는 실링 대상을 항상 정확한 위치에 정지 시키고 있다. 이는 실링 머신이 기억되어 있는 일정한 경로로 반복적인 실링 작업을 하기위한 필수 조건이다.

제안하는 실링검사 시스템의 실링 상태 검사 처리 과정은 그림 3과 같다. 그림 3에 있는 실링 상태 검사 과정의 각 세부 단계에서 이루어지는 구체적인 처리는 다음과 같다.

① 그림 1의 (a)의 경우는 실링 장치를 카메라 앵글에서 벗어나도록 이동시킨다. 그리고 그림 1의 (b)의 경우는 실링 및 도포 검사 영역 전체를 촬영할 수 있는 위치로 카메라가 부착된 실링 장치를 이동시키거나, 검사 대상이 큰 경우는 검사 대상을 분할한 영역을 촬영할 수 있는 곳으로 이동시킨다.

② “B=실링 전 영상 촬영”에서 실링을 하기 전 영상을 촬영하여, PC에서 영상을 저장한다. 그 결과 그림 4의 (a)와 같은 영상을 얻을 수 있다. 만약 그림

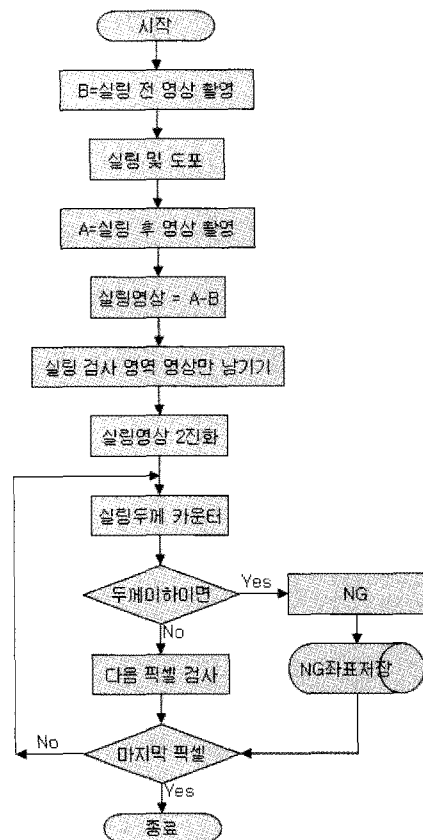


그림 3. 실링검사 시스템 흐름도

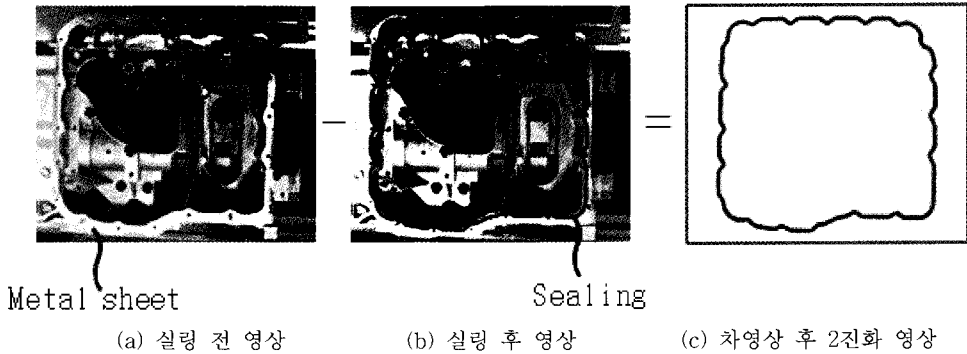


그림 4. 실링 영상 획득 과정

1의 (b) 경우에서 대상이 커서 분할 촬영하는 경우는 분할한 다음 영역을 촬영하기 위하여 ①과 ②의 과정을 반복하여 검사 영역을 모두 촬영하여 하나의 영상으로 만들어 저장하거나, 각각의 영상을 저장 한다.

③ 실링 전 영상 획득이 끝난 후, 실링 장치가 “실링 및 도포” 작업을 수행한다.

④ 실링 및 도포작업이 끝나면, 실링 및 도포 전에 촬영한 위치로 실링 및 도포장치를 이동시켜, 실링 후의 영상을 촬영하여 PC가 저장한다. 물론 그림 1의 (a)의 경우는 실링 및 도포 장치를 카메라 앵글에서 벗어나도록 이동시킨 후, “A=실링 후 영상 촬영”을 수행한다. 그 결과 그림 4의 (b)와 같은 영상을 얻을 수 있다.

⑤ 실링 및 도포 전의 영상과 실링 및 도포 후의 영상으로부터 차영상을 구한다.

⑥ “실링검사 영역 추출” 과정을 통하여 검사영역 외의 영상의 화소 값은 모두 0으로 설정한다. 실링검사영역은 사전에 마우스를 통해 입력 받은 검사 경로를 이용하여 미리 설정한 검사 폭을 검사경로에 반영하여 만들어진 2진 영상과 앞에서 구한 실링 전후 차영상과의 곱하기 연산을 적용한 영상을 구한다.

⑦ ⑥에서 구한 영상으로부터 특정 임계치를 적용한 2진 영상을 구하게 되면 그림 4의 (c)와 같은 영상을 얻을 수 있다.

⑧ ⑦에서 추출된 실링검사 영역 정보를 갖는 2진 영상의 각 화소에서 검사경로의 수직 방향으로 실링된 영역으로 판단되는 화소의 폭을 구한다. 이때 각 화소에서 구한 실링의 폭이 허용 폭을 만족하면 정상적인 실링처리가 된 것으로 판단하고, 특정 화소에서 실링의 폭이 허용 폭 이하이면 해당 화소의 위치와 해당 화소에서의 실링 폭 정보를 저장하는 과정

을 거치고 나서, 전체 검사가 종료된 후, NG(No Good)좌표를 화면에 표시하게 된다.

2.3 사전 검사 구간 설정

실링 영역의 정상/비정상 검사에 소요되는 영상처리 시간을 줄이기 위한 목적으로 실링검사 영역에 대해 마우스를 이용하여 검사 구간을 사전 설정하는 과정을 포함시켰다. 이는 반복적인 실링작업을 위해서 실링대상 즉, 실링검사대상은 항상 고정된 곳에 정지하기 때문에 실링검사 구간은 항상 일정하게 되는 것이다. 그래서 실링검사 구간이 항상 동일하므로 사전에 검사 영역을 미리 설정하는 방법을 선택하였다. 그리고 사전 검사 영역 설정은 검사 영역과 무관한 영역에 대하여 검사를 생략하여 검사 시간을 줄이고, 검사의 정확도 및 검사 시간의 효율성을 높일 수 있도록 하였다. 사전 검사 구간설정 처리 과정은 그림 5와 같다. 사전 검사 영역 설정 처리는 다음과 같은 세부 처리 과정의 수행을 통해 이루어진다.

① 우선 그림 6과 같은 실링 처리된 영상을 카메라로부터 획득한다.

② 그림 6과 같이 마우스를 이용하여 실링검사 영상위에 실링 처리된 부분의 중심을 지나면서 직선으로 연결이 가능한 두 점(이 때의 n 번째 짝는 두 점을 각각 $(x_n, y_n), (x'_n, y'_n)$ 라고 두었다.)을 선택하며, 실링 처리 영역 위에 두 점을 잇는 직선이 출력되도록 구현 되어 있다. 두 점으로 그린 직선들의 모습은 그림 6의 검사 구간(Check course)으로 표시되어 있다. 직선으로 이어질 두 점은 실링 영역을 벗어나지 않는 한 최대한 긴 직선이 나오도록 선택한다. 이 때 선택

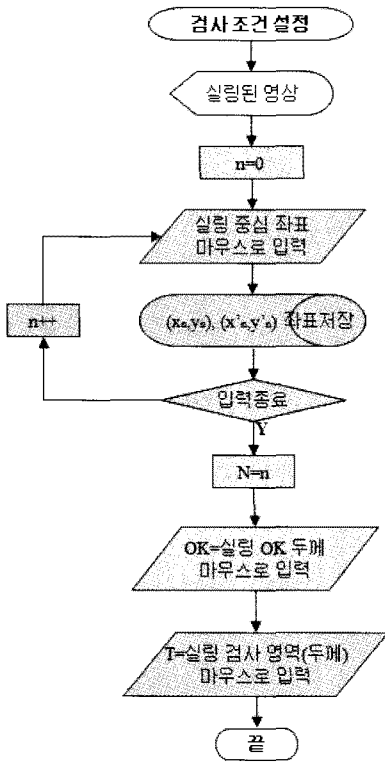


그림 5. 검사 조건 설정 흐름도

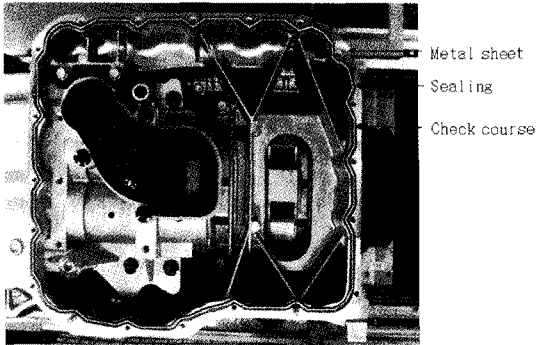


그림 6. 실링검사영역 입력 사진

된 두 점의 좌표 $(x_n, y_n), (x'_n, y'_n)$ 는 저장되어 실링 검사에 활용된다. 이러한 방식으로 실링 영역을 모두 포함할 때 까지 검사경로를 지정하고, 지정된 경로 정보는 저장된다.

③ 위와 같이 도포된 검사경로 입력을 마치면, 실링 검사 폭의 OK 범위를 설정해야 한다. 이는 실링 머신의 종류에 따라 실링 폭이 다르기 때문이다. 검사 폭의 OK 범위는 키보드를 이용하여 직접 입력도 가능하고, 마우스를 이용하여 화면의 실링 및 도포

대상 사진을 보면서 마우스로 두 점을 찍어 직선을 만들어 설정할 수도 있다. 마우스로 입력 시, 직선의 길이만큼의 픽셀이 곧 실링검사 시 실링 폭 OK 범위로 인식한다. 두 점의 좌표로부터 OK 범위를 결정하는 식은 식 (1)과 같다.

$$OK = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} \quad (1)$$

④ 다음은 연산속도를 빠르게 하기 위하여 검사 영역을 실링검사 폭의 OK 범위 설정 방법과 동일한 방식으로 입력한다. 이 또한 키보드나 마우스로 두 점을 찍어 설정할 수 있도록 하였다. 이렇게 키보드나 마우스로 입력받은 검사 영역을 T라 하였고, 마우스로 입력받은 검사 영역 T를 구하는 식은 식 (1)과 동일한 방법으로 구할 수 있다.

2.4 실링 폭 검사 알고리즘

실링 폭 검사 알고리즘은 앞서 설명한 그림 4의 (c)와 같은 실링 전후 차영상에서 사전 설정된 검사 경로 정보를 이용하여 실링 폭 검사를 수행하는 것으로 그림 7과 같은 과정으로 수행된다.

① 사전 검사 경로 설정 과정을 통해 획득된 검사 경로 직선 세그먼트들에 대한 정보를 나타내는 좌표 쌍들 $[(x_1, y_1), (x'_1, y'_1), \dots, (x_n, y_n), (x'_n, y'_n)]$ 을 이용하여 각각의 직선 세그먼트를 결정하는 두 점을 지나는 직선의 방정식을 구한다. 이때 n 은 1씩 증가하며, 이렇게 검사경로를 지정한 모습이 그림 6의 “Check course”로 표시된 부분이다. 그림 6의 검사경로의 총 계수인 N 은 66개 직선으로 이루어져 있다. 즉, 두 점의 좌표 66개는 $((x_1, y_1), (x'_1, y'_1)) \sim ((x_{66}, y_{66}), (x'_{66}, y'_{66}))$ 까지 저장된 것이다.

② 다음은 각 직선 세그먼트에 포함되는 화소의 위치를 결정하기 위해 직선 세그먼트 기울기의 절대 값이 1보다 작을 경우 x축을 기준 축으로, 1보다 클 경우에는 y축을 기준 축으로 이용한다. 이렇게 함으로써 각 직선 세그먼트에 포함되는 모든 화소를 찾을 수 있게 되고, 각각의 화소 위치에서 실링의 폭 검사를 수행한다.

③ 각 직선 세그먼트에 포함되는 화소에서 각 직선 세그먼트의 수직 방향으로 실링 영역 화소의 수를 이용하여 해당 위치에서의 실링의 폭 검사가 이루어진다. 구한 화소의 수가 정상 폭의 임계치 범위 내에

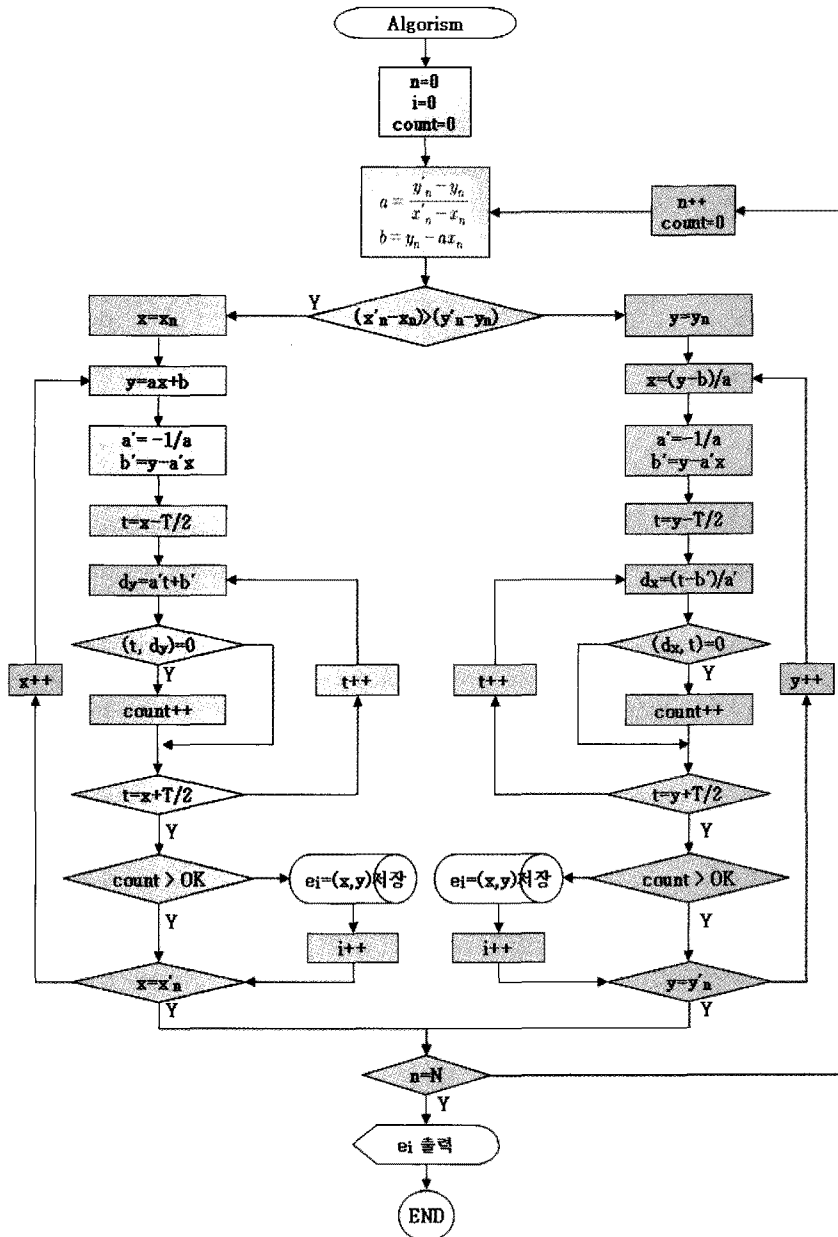


그림 7. 실링 폭 검사 알고리즘

있으면 정상 실링 화소로 인식하고 그렇지 않은 경우 비정상 실링 화소로 인식하게 되며, 비정상 실링 처리 화소 좌표를 기억하게 된다.

④ 모든 직선 세그먼트에 대한 실링 폭 검사가 종료되면 실링 처리 상태에 대한 최종 판단을 하고, 실링의 오류 영역을 화면에 표시하게 된다.

2.5 실링부 반사에 의한 왜곡 해결

영상 처리를 기반으로 하는 일반적인 실링검사 방법과 마찬가지로 제안하는 실링검사에 있어서 조명 반사에 의하여 카메라로부터 획득된 영상에서 실링 처리된 부분이 실링 처리 되지 않은 부분과 유사한 특성을 보이는 문제가 발생하는 경우가 있다. 그림 8에 보는 것과 같이 “Metal sheet” 위에 실링된 부분

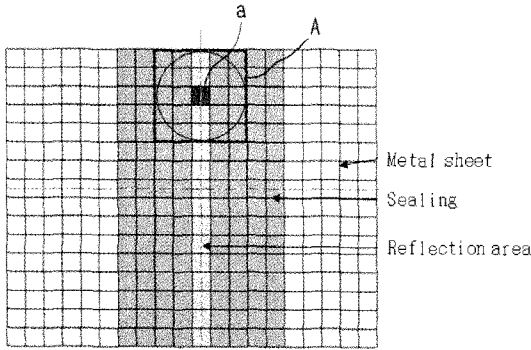


그림 8. 실링 폭 검사 알고리즘

(Sealing)과 실링된 영역 중심 부에 조명에 의하여 반사된 부분(Reflection area)이 보인다. 우선 그림 8과 같이 반사부분을 제거하기 위한 마스크(A)를 만든다. 이 마스크는 실링영역 위에 원이며, 이 원의 직경은 실링 OK 길이만큼 또는 실링 OK 길이보다 1~3픽셀 작은 크기의 마스크이다. 이런 크기의 반사 제거 마스크의 값은 연산의 편의성을 위하여 정사각형 마스크 내부의 원에 포함되는 곳을 1로 하고 나머지는 0으로 하여 만든다. 그 식은 식 (2)와 같이 마스크 크기의 반을 반지름 r 로 하여, 반사제거 마스크의 좌표를 i 와 j 축으로 하여, i, j 를 1씩 증가 시켜 식 (2)에 대입하여 r 보다 작으면 원모양 마스크 이내의 픽셀이므로 1로하고, 그렇지 않으면 0으로 하는 마스크를 만든다.

$$(r-i)^2 + (r-j)^2 \leq r \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 만든 마스크를 그림 8과 같이 앞서 영상차로 구한 영상에 마스크를 입혀 마스크와 영상의 값을 곱한 후, 더하여 마스크의 1의 개수만큼 나눈 값으로 그림 8의 a 의 픽셀을 교체한다. 이런 후 영상을 2진화 하고, 실링검사를 실시한다. 즉, 실링 중심 영역에서 원 영역 내의 화소에 평균필터를 취하여 2진화 한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실링검사 장비 구성

제안하는 실링검사 비전 시스템은 그림 9와 같이 검사대상인 오일 팬의 실링 전·후 영상을 획득하는 카메라(Camera), 카메라로부터 획득된 영상신호를 변환해주는 비전 보드(Image board)와 비전 보드로

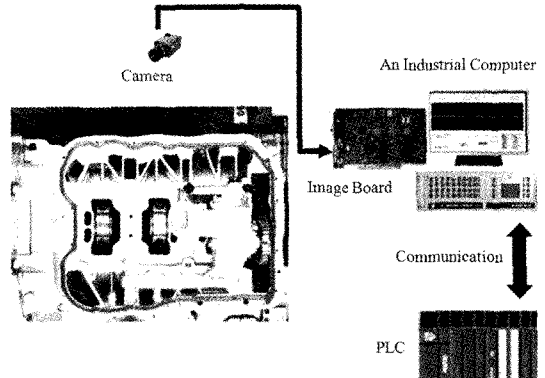


그림 9. 실링검사 장비의 구성

부터 받은 영상을 이용하여 실링부분을 검사하는 산업용 컴퓨터(An Industrial Computer) 및 생산라인을 전체적으로 총괄하는 PLC(programmable logic controller)로 구성되어 있다. 산업용 컴퓨터는 생산라인의 전체를 총괄하는 PLC로부터 이더넷 통신을 통하여 검사대상의 도착여부와 실링 전·후를 알리는 제어 신호를 받는다. 제안하는 실링검사 비전 시스템은 검사하는 대상의 크기에 따라 여러 대의 고정된 카메라를 이용하거나, 실링장비에 카메라를 부착하여 분할 촬영하여 실링상태를 검사할 수도 있다.

3.2 실링검사 프로그램 구성

그림 10은 제안한 실링 및 도포 검사 시스템이 Ladder Frame 실링검사에 적용되어 검사하는 과정 및 결과를 모니터링 하는 사용자 인터페이스 화면을 나타낸 것이다. 모니터링 화면은 실링검사 영상 표시부, 검사 좌표 표시부, 기종 선택부, 실링 전 영상 촬영 버튼, 실링 후 영상 촬영 버튼, 검사 설정 값 입력 부분, 각종 버튼 부분으로 구성되어 있다.

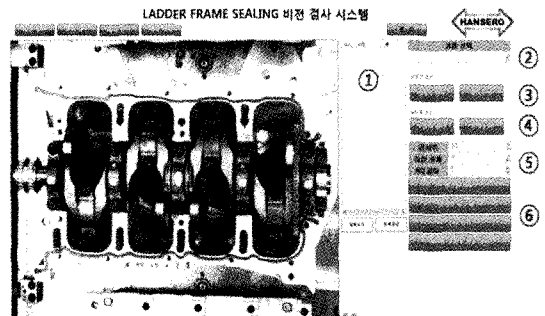


그림 10. Ladder Frame Sealing 비전 검사 시스템 화면

그림 10에 있는 실링검사 인터페이스 화면의 각 부분은 다음과 같은 기능을 한다.

① 실링 영역으로 설정된 각 직선 세그먼트의 양 끝점의 좌표 정보를 표시한다.

② 기종 선택부는 실링검사 기종이 다른 경우 사전 설정된 검사 영역 세그먼트 정보들이 다르므로, 해당 기종을 위한 사전 검사 영역 설정 정보를 불러 오기 위해 검사 기종을 선택하는 기능을 한다.

③ 실링 전 영상 촬영 버튼은 실링 전 영상의 수동 획득도 가능하도록 하기 위한 것이다.

④ 실링 후 영상 촬영 버튼은 실링 후 영상의 수동 획득을 위한 것으로, 해당 기종의 검사 초기에 마우스를 이용하여 검사할 영역의 각 직선 세그먼트들을 사전 설정하기 위해 필요한 버튼이다. ③과 ④의 실링 전·후 영상 촬영 버튼은 각 검사 기종에 대한 검사 시스템 동작 초기에 한 번만 사용되고, 실제로 실링 검사가 진행되는 동안에는 PLC와 연동하여 자동으로 실링 전·후 영상이 획득되기 때문에 사용되지 않는다.

⑤ 검사 설정 값 입력 부분은 앞서 설명한 검사영역을 마우스로 2점을 클릭하면 식 (1)과 같은 방식으로 이용하여 계산한 픽셀 값을 표시하고, 실링 폭은 식(1)의 OK범위로 역시 픽셀 값을 표시한다. NG 길이는 그림 7의 e_i 값의 연속적인 값이 몇 픽셀 이상이면 NG로 판단할지를 판단하는 기준 픽셀 값으로 수작업으로 입력한다.

⑥ 기타 각종 버튼은 앞서 검사 설정 값을 저장하는 버튼과 현 이미지 저장 버튼, 수정 실링검사 버튼, 마스터 이미지 저장 버튼으로 구성되어 있다.

3.3 실링검사 영역 설정

실링검사 영역을 설정은 실링처리 후 획득된 영상에서 마우스를 이용하여 각 직선 세그먼트들을 설정하는 과정이다. 검사할 모든 직선 세그먼트들의 등록을 마치고 나면 등록 종료 버튼을 클릭한다. 실링검사 영역을 설정할 때, 세그먼트들 간에 영역이 겹치도록 설정하는 것이 신뢰도를 높이는 데 유리하며, 검사 궤적이 원모양인 경우는 영역 크기에 따라 다소 차이가 있을 수 있지만, 최소 6개 이상의 직선 세그먼트들로 영역을 설정하면 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 그림 11은 Oil Pan Sealing 비전 검사 시스템의

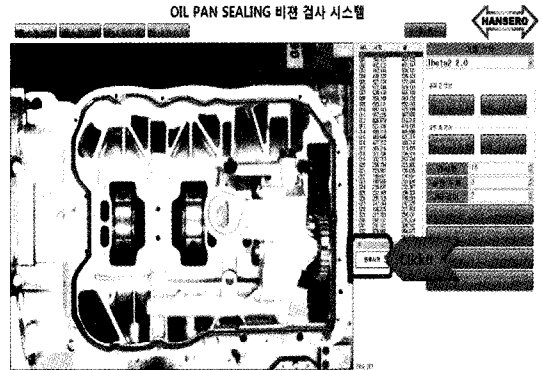


그림 11. 실링 궤적 입력하기

예를 보인 것으로, 검사 시스템에 적용된 프로그램의 구성 및 알고리즘은 그림 10의 Ladder Frame Sealing 비전 검사 시스템과 동일하며, 단지 사전 설정된 검사 영역만 다르다.

그림 12는 제안한 실링검사 시스템에 의해 NG처리된 경우로써, 이는 인접한 주변 구멍의 영향으로 실링 액이 얇게 도포되었기 때문이며, 사용자에게는 빨간색으로 알려준다.

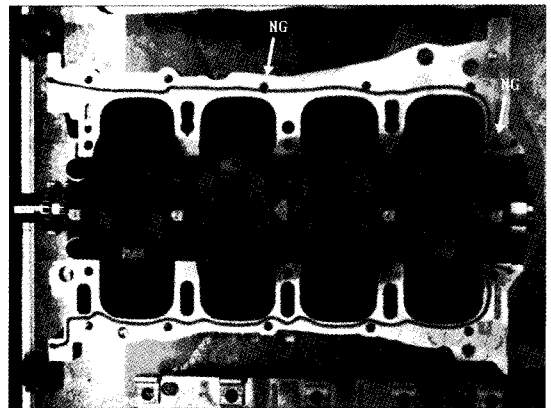


그림 12. 실링 NG영상

3.4 고찰

그림 13은 실링 전후 차영상을 기반으로 하는 제안하는 실링검사 시스템이 실제 생산라인에서 운영되고 있는 현장 사진이다. 실링검사의 신뢰도 향상을 위해서는 보다 고해상도의 카메라를 사용하는 것이 필요하다. 본 실험에서 사용한 카메라는 640×480과 1024×768, 1400×1200을 사용하였고, 각각은 Ladder Frame Sealing 비전 검사와 Oil Pan Sealing 비전

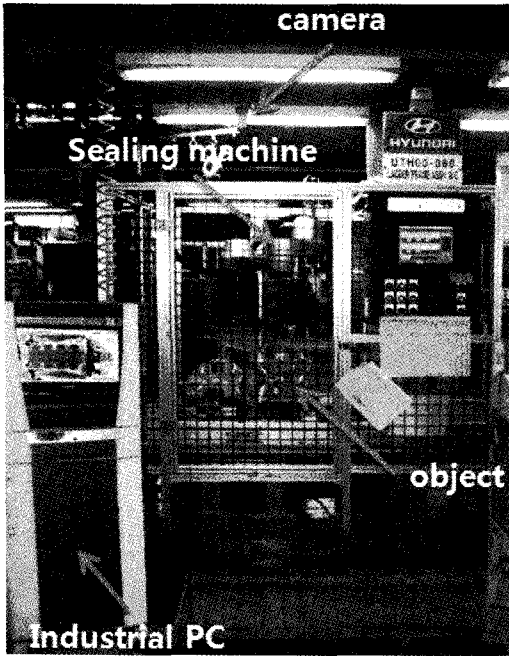


그림 13. 설치된 실링검사 장비 사진

검사, Low case sealing 비전 검사에 적용하였다. 이렇게 해상도가 다른 카메라를 사용한 것은 검사대상의 크기가 다르기 때문이다. 검사대상이 큰 경우에는 고해상도의 카메라를 사용하거나, 저해상도 카메라 여러 대를 사용하는 것이 검사 성능을 향상시키기 위해 필요하기 때문이다. 한편, 실링 및 도포 전·후의 영상 획득 시 형광 조명 노이즈를 제거하기 위해 노출 시간을 전원 주파수의 배수만큼으로 하는 기법을 적용하였다.

표 1은 앞서 언급한 기존의 세 가지 실링검사 방법과 제안하는 검사 방법의 성능을 1,000대의 대상에

대해 실험한 결과를 이용하여 비교한 것이다. 물론 같은 대상으로 실험한 것은 아니나, 그러나 그림 6, 그림 12와 그림 13에서 보는 것과 같이 실링 궤적의 차이뿐 별 다른 차이는 무시할 만하다. 표 1에서와 같이 제안하는 방법은 99.5%의 검사 정확도를 보여, 다른 세 가지 방법들 보다 우수한 성능을 갖는 것으로 분석되었다. 표 1과 같은 결과는 실링부분에 기름 등으로 인한 실링과 유사 색으로 오염된 경우 기존의 세 가지 방식은 실링처리 영역과 그렇지 않은 영역을 구별하기 어려우나, 제안하는 방법은 실링 전후의 차영상을 이용함으로써 유사 색을 띄는 오염 물질도 실링 전·후의 영상차로부터 구분이 가능하므로 기존의 세 가지 방식보다 우수한 성능을 보이는 것으로 분석되었다.

특히, 실링 재질이 흰색인 경우에 표 1의 1번~3번 방법은 검사 정확도가 급격히 낮아지는 특성을 보이지만, 본 논문에서 제안한 실링 전후의 영상차를 이용하는 방법은 흰색의 실링 재질을 사용하는 경우에도 높은 검사 정확도를 보였다. 이는 영상차를 이용하게 되면 흰색의 실링 재질도 영상 차 성분이 나타나기 때문에 표 1의 1번~3번의 방법보다 우수한 결과를 얻을 수 있게 되는 것이다. 그림 13은 두 가지의 실링 재질을 가지는 경우이다.

표 1의 2번과 3번 방법은 라인 레이저를 함께 사용함으로써 카메라를 통한 영상으로 부터 실링의 높이 측정도 가능하지만, 이 역시 표본적으로 실링 궤적의 일부분의 높이를 측정하여 전체 높이를 표현함으로써 정확도는 낮다고 하겠다. 물론 논문에서 제안하는 방식에서는 실링의 높이 측정은 고려되어 있지 않아 실링 높이를 측정할 수 없다는 단점이 있다. 하지만

표 1. 실링검사법에 따른 신뢰도

	실링검사 방법	검사 수	오인식 수	검사 신뢰도	장 점	단 점
1	실링검사 구간 이동 카메라 고정형	1,000	24대	97.6%	저가	검사 공간 필요, 신뢰도가 낮다
2	실링 장비부착 카메라 회전형	1,000	30대	97%	실시간, 실링 높이 측정 가능	고가, 유지관리가 어렵다
3	실링 장비부착 카메라 고정형	1,000	50대	95%	실시간, 실링 높이 측정 가능	고장이 잦다 알고리즘이 복잡
4	제안하는 검사 법 (실링 전후의 차영상 이용 카메라 고정형)	1,000	5대	99.5%	저가, 실시간	실링 높이 측정 불가

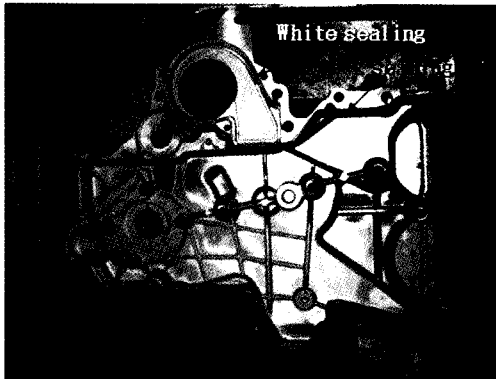


그림 14. 두 개의 실링 재질을 가진 실링 대상

본 논문에서 제안하는 실링검사 방법은 첫 번째 방법처럼 별도의 구간으로 이동하여 검사를 하지 않아도 된다는 장점이 있으며, 두 번째 방법과 같이 실링머신의 움직임 궤적 좌표를 수신하여 카메라를 회전시키는 동작을 하지 않아도 된다는 장점이 있다. 한편, 세 번째 방법처럼 최소 2대 이상의 고정형 카메라를 실링머신에 부착하여 실시간으로 촬영하면서 2대 이상의 카메라로 부터 받은 영상을 하나의 영상으로 합치는 복잡한 처리 작업을 하지 않아도 된다는 장점이 있다. 이러한 기존의 세 가지 방식이 갖는 단점을 극복하고, 상대적으로 간단한 검사 알고리즘을 이용함으로 실링 후 촬영과 동시에 실시간으로 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 제안하는 실링검사 시스템은 실제 생산라인에서 실링 처리 영역을 촬영한 후 결과를 도출하기 까지 1초미만으로 아주 짧은 처리 시간이 소요된다. 또한, 실링장비와 간섭이 없는 환경에서의 실링검사의 경우 본 논문의 방법은 실링검사 방법으로써는 제작비뿐만 아니라 성능 면에서 최적이라 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 컴퓨터 비전 처리 기법을 이용하여 실링 상태 검사를 하는 방법으로 실링 전후의 영상차를 이용하는 방법을 제안하였다. 이는 기존의 실링검사 시스템에서 촬영의 간섭으로 인해 구조적으로 적용할 수 없었던 문제를 실링장치의 소형화와 실링장치의 궤적의 확대에 의하여 간섭 문제를 해결할 수

있음으로 인하여, 실링 전후의 영상을 획득할 수 있었다. 획득한 실링 전후의 차영상에 실링 검사영역을 제한하고, 반사제거 및 노이즈 제거를 함으로써 실제 생산라인에서 성공적으로 동작하도록 하였다. 제안한 실링검사 시스템은 기존에 개발된 방법들에 비해 검사의 정확도가 가장 우수하고, 시스템 제작비용도 제시한 타 방법들에 비해 저렴한 특성을 가짐을 보였다.

제안하는 실링검사 방식은 차영상 획득이 가능한 구조를 갖는 유리, 도색 등 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 기대 된다. 한편, 현재 제안하는 실링검사 방법에서는 고려되지 않은 실링 높이를 검사하는 기능을 갖도록 하기 위해 측면 방향에 카메라를 추가하여 3D 방식의 영상 처리 기법을 기반으로 하는 새로운 검사 시스템 구현을 고려하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김상지, 황용현, 이병국, 이준재, "B-spline 기반의 FPD 패넬 결함검사," 한국멀티미디어학회논문지, 제10권, 10호, pp.1271-1283, 2007.
- [2] 이준재, "휴대폰 키버튼 불량 검사 시스템," 한국멀티미디어학회논문지, 제13권, 2호, pp.196-204, 2010.
- [3] Du Chel Gang, Seung Il Han, Byung Gook Lee, and Joon Jae Lee, "Keypad Inspection System of Cellular Phone," *IEEE, Computer Graphics, Imaging and Visualisation*, pp. 93-96. Bangkok, Thailand, 2007.
- [4] 크비스, 게이베하, "몇 개의 카메라들 및 이를 위한 장치를 사용하여 기관에 도포되는 구조의 인식 방법," 출원번호 특허2006-7014861번, 2006.
- [5] Godfried T. Toussaint, "Solving Geometric Problems With the Rotating Calipers," *IEEE Melecon, Citeseer*, 1983.
- [6] S.G. Akl, and Godfried Toussaint, "Efficient Convex Hull Algorithms for Pattern Recognition Applications," *Proc. 4th Int'l Joint Conf. on Pattern Recognition*, Kyoto, Japan, 483-487, 1978.



최 상 복

1996년 경일대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 경북대학교 센서공학과 (공학석사)
2004년 경북대학교 센서공학과 (공학박사)

2006년 (주)코메드 연구소장
2007년 (주)디토정보기술 기술이사
2010년 동국대학교 겸임교수
2003년~울산과학대학 겸임교수
2008년~(주)한세로 FA. 기술이사/부사장
관심분야: 인공지능센서시스템, 비전을 이용한 검사시스템



반 상 우

1992년 경북대학교 전자계산학과 (이학사)
1995년 경북대학교 전자계산학과 (이학석사)
2006년 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년~2002년 경북대학교 센서기술연구소 전문연구
요원
2006년~동국대학교 경주캠퍼스 정보통신공학부 조교수
관심분야: 지능형센서신호처리시스템, 신경망, 뇌신경
정보학, 패턴인식



김 기 택

2002년 울산대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2010년 울산대학교 컴퓨터정보통신공학과(석사과정)
2002년~(주)한세로 FA. 책임연구
구원

관심분야: 비전을 이용한 검사시스템, 영상처리, DB 관리