

# 압착단자의 3차원 검사를 위한 스테레오 비전 알고리즘\*

이문규\*\* · 장상원\*\*

A Stereo Vision-based Algorithm for the 3-Dimensional Inspection of a Crimped Terminal

Moon-Kyu Lee · Sang-Won Jang

## 〈Abstract〉

This paper suggests a stereo vision-based algorithm for the 3-dimensional inspection of a crimped terminal. The crimped terminal is one of wire harness assemblies which transmit current or signals between a pair of electrical or electronic assemblies. Four types of nonconformities considered includes terminal rolling, band up/down, twist, and crimp height. To obtain stereo image correspondence, an algorithm using Hough transform is proposed. Coordinate transform is then applied to evaluate the degree of 3-dimensional nonconformities. The algorithm has been successfully tested on a number of real specimens collected from a wire harness factory. The test results show the feasibility of the proposed algorithm.

## 1. 서 론

근래에 많은 제조기업들은 제품에 대한 고객의 요구를 충족시키고 제조 경쟁력을 제고시키기 위한 방안의 하나로서 생산 시스템의 자동화에 주력하고 있다. 그러나, 대부분의 자동화가 제조설비에 치중되어 있는 반면, 제조단가에서 인건비 점유비율이 10% 이상이 되는 검사작업에 대한 자동화는 상대적으로 미약한 실정이다. 이와 같은 현실은 대부분 상용의 자동검사 시스템이 범용성이 약하거나 고가이고, 외국에서 수입되는 시스템의 경우에는 특히 시스템의 사후 관리에 많은 어려움이 있기 때문인 것으로 해석된다. 또한 경영층의 검사자동화의 성공 가능성에 대한 확신부족이나 마인드(mind) 부족도 한가지 원인이 되고 있다.

본 연구의 대상부품을 가공하는 업체의 경우에도 이러한 실정에서 크게 벗어나지 않는다. 특히, 대부분의 검사작업을 수작업에 의존하고 있으므로 작업자의 단순 반복적인 검사작업

에 따른 피로의 누적과 단조로움에 따른 의욕저하로 품질 수준의 향상이 기대 이하인 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 시간인식에 의한 부품검사의 자동화가 바람직한 대안이 된다.

본 연구의 검사대상인 압착단자(crimped terminal)는 전기/전자 제품이나 자동차의 자동제어 및 지능화에 필수 불가결한 요소이자 인체의 혈관에 비유할 수 있는 주요 요소 부품으로서 전기/전자적인 신호의 매개체 역할을 수행하는 제품이다. 이 때문에 한 부품의 불량률이 시스템 전체에 치명적인 기능 손상을 초래하여 상당한 인적, 경제적 손실을 유발시킬 수 있다. 이러한 불량을 최소화하기 위해서는 압착단자 전 제품에 대한 전수(全數)검사가 필수적이다. 이를 위하여 자동시각 검사 시스템의 구축이 요구되고 있는데 이에 대한 기존의 연구는 미비한 실정이다[1,2].

특히, 국외의 경우에는 시간인식분야의 기존 연구가 상당한 수준임에도 불구하고 본 연구과제와 관련된 연구실적은 거의

\* 이 논문은 1997년도 한국과학재단 지정 저공해 자동차 부품기술연구소(RRC) 지원으로 수행되었음.

\*\* 계명대학교 산업공학과

발표된 바가 없는데 그 이유는 자체 개발한 검사기술의 공개를 꺼리거나 아직 기술수준이 실용화에 이르기까지 도달하지 못한 것으로 해석된다.

본 연구에서는 기존의 2차원 환경하에서 구현된 압착단자의 동선노출불량, 노출길이 불량, 수평휨(twist)에 대한 자동검사 시스템[2]을 확장하여 3차원 검사가 가능하기 위한 시각인식 알고리즘을 제시하고자 한다.

## 2. 검사항목

본 연구는 여러 유형의 압착단자 중 가장 대표적인 것으로서 <그림 1>에 주어진 압착단자를 대상으로 하고 있다. 이러한 압착단자는 전선을 우선 알맞은 길이로 절단하고 양끝 부분의 전선표피를 제거(striping)한 다음, 이것을 압착금형(applicator)에 삽입하여 단자와 함께 압착함으로써 조립된다. 가공후의 가공상태를 판정하기 위한 시각검사와 기타 계기들을 이용한 압착인장력 측정, 동선노출길이 측정, 와이어배럴 압착높이 측정, 총길이 측정 등이 이루어진다. 시각검사 항목은 인슐레이션 배럴 어긋남, 단자 누락, 피복 밀림, 동선 노출, 크립프 높이(crimp height) 불량, 수평휨(twist) 불량, 수직휨(band up/down) 불량, 회전휨(rolling) 불량 등이다. 본 연구에서는 이들 중 정확한 검사를 위한 전용 검사기가 없고 목시 검사로만 검사가 가능하며 2차원 영상만으로는 분석이 어려운 회전휨(<그림 2>), 수직휨(<그림 3>), 크립프 높이(<그림 4>)를 주 연구 대상으로 한다. 그림에서 각도  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 각각의 기준위치에서 벗어난 각도를 의미한다.

기존의 연구에서는 “동선노출여부”, “strip 길이 측정”, “수평휨 불량” 등 3가지 항목에 대한 검사 알고리즘을 개발하였다[2]. 이 항목들은 모두 2차원 평면 영상 하에서 분석이 가능하기 때문에 카메라 1대로부터 얻어진 영상만으로도 충분하였다. 그러나 본 연구의 대상이 되는 회전휨, 수직휨, 크립프 높이 등의 측정은 카메라 1대로 얻어진 정보만으로는 분석이 어려운 특징을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구

결과를 확장하여 위에 열거된 3가지 검사 항목을 대상으로 하고 기존 연구에서 행하였던 수평휨(<그림 5>)까지 고려할 수 있도록 스테레오 비전(Stereo Vision) 시스템을 이용하는 시각검사 알고리즘을 구축하고자 한다.

## 3. 압착단자 검사를 위한 스테레오 비전 시스템

### 3.1 검사시스템의 구성

본 연구에서 알고리즘 개발을 위하여 구축한 스테레오 비전에 의한 자동검사시스템의 전체적인 모습은 <그림 6>과 같다. 검사대상부품이 정해진 위치에 고정되면 두 대의 카메라로부터 각각 영상이 취득되게 된다. 본 시스템에서는 불필요한 정보를 제거하고 보다 더 정확한 정보추출을 위하여 후방 조명(back lighting)을 사용하였고, 각각의 카메라는 압착단자 부분이 모두 보일 수 있는 위치와 방향으로 설치하였다. 또한 검사부품의 크기가 작기 때문에 고배율 렌즈와 확장링을 사용하여 정밀한 검사가 가능하도록 하였다.

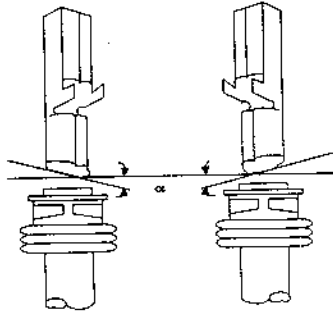
스테레오 비전을 이용한 자동검사 과정은 각각의 카메라로부터 취득되는 영상에 대한 전처리와 특징 추출 후 이들을 종합 처리하여 분석을 한 다음 그 결과를 출력하는 과정으로 이루어져 있다. 이와 같이 2대나 카메라를 이용해서 3차원의 정보를 추출하는 스테레오 검사시스템은 영상을 입력받아 전처리를 수행하고 실세계 좌표를 추출함으로써 검사대상 부품의 양·불량을 판단한다는 점에서는 일반적인 자동검사시스템과 동일하다. 그러나 각각의 영상으로부터 나온 특징들을 조합하는 영상정합(image mapping) 과정과 이를 분석하는 과정이 필요하다라는 점에서 일반적인 검사시스템과 차이가 있다.

### 3.2 검사 과정

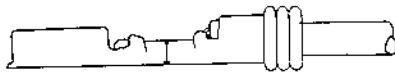
본 연구를 통하여 구축된 압착단자 검사과정은 <그림 7>에 도시된 바와 같다. 본 연구에서는 편의상 검사될 부품이 한 가



<그림 1> 본 연구의 대상인 와이어하니스의 압착단자



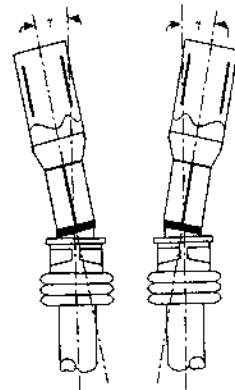
〈그림 2〉 회전됨



〈그림 4〉 크림프 높이



〈그림 3〉 수직됨

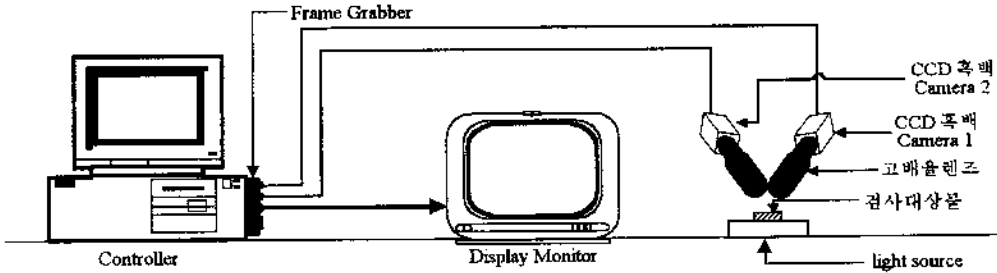


〈그림 5〉 수평됨

지 종류이고 검사시스템 내에 들어오면 항상 정확한 위치에 고정된다고 가정한다. 실제 자동검사시스템을 구축할 경우 가공되는 모든 종류의 압착단자가 대상이 될 수 있으므로 각각의 압착단자에 대하여 그에 적합한 자동검사 알고리즘이 개발되어야 한다. 본 연구에서는 시스템 구축을 위한 기초연구로서 한 가지 단자에 대해서만 고려한다. 그러나 향후 이러한 기초 연구를 바탕으로 많은 압착단자에 대하여 유사한 과정을 통하여 쉽게 확장할 수 있을 것이다.

전체적인 검사과정은 다음과 같다. 검사할 부품이 들어오면 먼저 CCD카메라 1에서 영상을 입력받아 Prewitt 마스크(mask)를 사용하여 윤곽선(edge)을 추출한다. 그 다음 본 연구에서 수행할 검사항목들 즉, 높이 불량, 회전회 불량, 수직됨 불량, 수평됨 불량들이 주로 와이어배럴 부분의 변형에 의해서 발생하게 되기 때문에 이 부분을 검사영역(region of interest : ROI)으로 정의하고 이어지는 검사과정들은 이러한 ROI를 중심으로 처리된다.

이 ROI에 대하여 불필요한 정보를 제거하기 위해 세션화(thinning) 알고리즘을 적용하면 두 개의 윤곽선으로 영상이 분할(segmentation)된다. 다음으로 두 윤곽선 중 윗 부분의 윤곽선에 허프 변환(Hough transform)[6]을 적용하여 하나의 직선식을 추출한다. 이 직선식과 윤곽선의 y좌표값을 비교함으로써 시작점(start point), 끝점(end point) 그리고 시작점과 끝점의 평균인 중간점(middle point)의 좌표를 추출한다. 마지막으로 중간점과 최단거리에 있는 아래 부분 윤곽선의 화소를 찾음으로써 중간점 2가 추출된다. CCD카메라 2의 영상에서도 같은 방법으로 네개의 점을 추출한다. 각 영상의 네 점들은 그 위치에 따라 각기 한쌍으로 mapping된다. 예로서, 영상1의 시작점과 영상2의 시작점이 한쌍이 된다. 이와 같은 4쌍의 좌표들은 각각 오차보정을 위한 다층퍼셉트론(multi-layer perceptron)에 입력되어 이들 점들의 실제계 좌표가 만들어지게 된다. 이때 두 개의 중간점은 높이 측정에 사용되고 나머지 두 점들은 회전됨, 수직됨, 수평됨의 각도를 결정하는 데 사용된다.



〈그림 6〉 검사시스템의 구성도

〈표 1〉 검사시스템의 구성요소

을 설명한다.

번호	구성 요소	사양
1	CCD 흑백카메라	PULNIX TM-7CN 카메라 2대
2	렌즈	6배율 zoom 렌즈, 15mm 확장량(extension ring)
3	프레임그래버 (frame grabber)	흑백 CI-512 보드 (해상도 : 512*512)
4	조명 장치	후방 광원(FL-20)
5	컨트롤러 (controller)	IBM-PC/586

다. 여기서 나온 값들과 제품사양을 비교하여 허용공차 이내면 양품으로서 다음 공정으로 보내고 그렇지 않으면 불량으로 처리한다. 다음 절에서는 이러한 검사과정을 자세히 설명한다.

## 4. 검사 알고리즘

### 4.1 특징점 추출

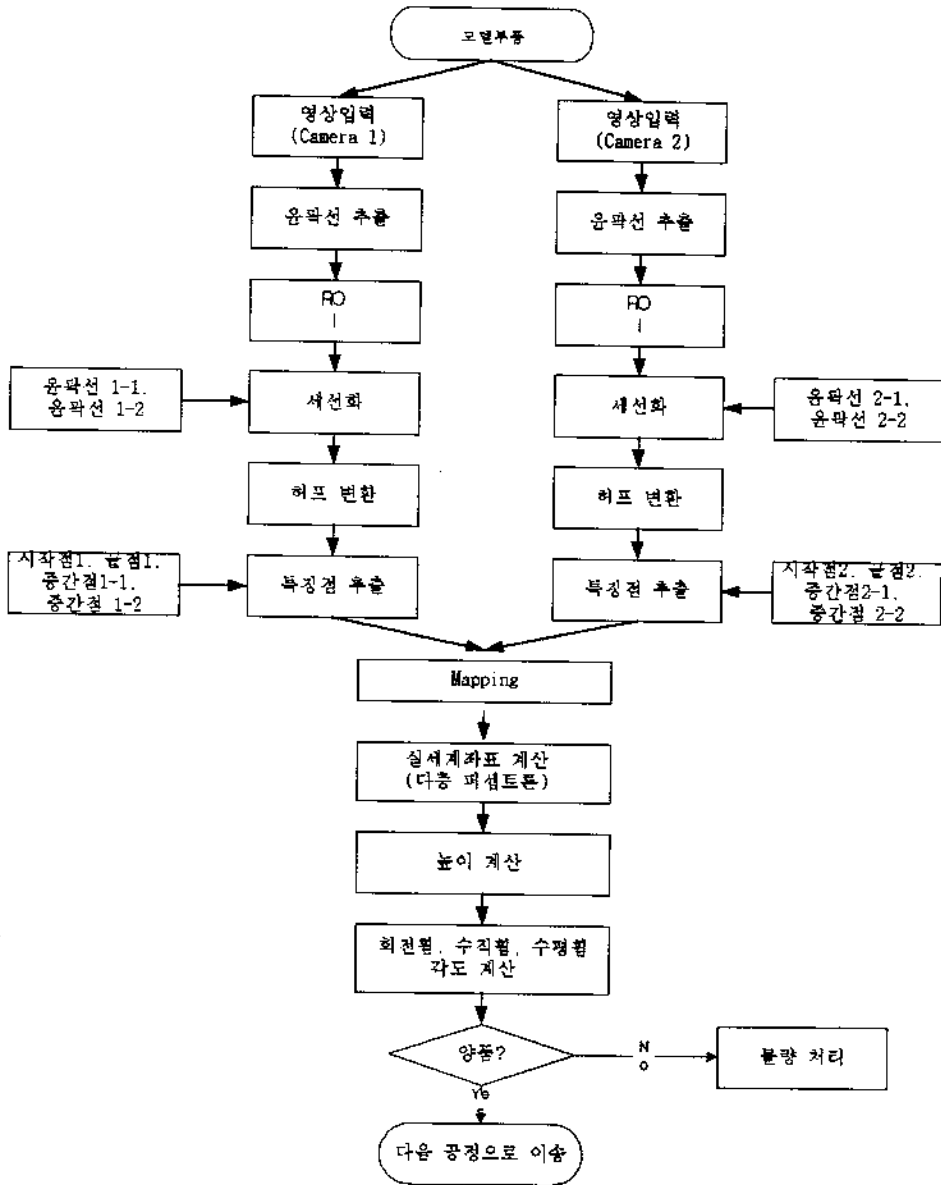
와이어배럴의 높이 및 회전축, 수직축, 수평축의 각도 측정은 수작업 하에서도 상당히 많은 오차가 발생될 수 있고, 작업자에 따라 다른 결과가 나타날 경우가 많다. CCD 카메라로 이러한 3차원적인 정보를 추출하는 데에도 상당한 제약과 어려움이 따른다. 그 중의 하나가 〈그림 8〉에서 보는 바와 같이 두 영상을 설명하는 주요 특징점들을 서로 일치시켜야 하는 점이다. 이것은 소위 영상정합문제(image correspondence problem)로서 스테레오 비전 분야에서 가장 기본적인 동시에 어려운 난제이다[4,5]. 여기서는 영상정합을 위한 각 영상의 특징점 추출을 다루고, 다음 4.2와 4.3절에서는 이를 바탕으로 하여 대상검사항목의 평가를 위한 추정치를 구하는 과정

### 4.1.1 영상 세션화

검사 작업을 위하여 추출할 특징 화소들은 영상1에서 시작점( $s_1$ ), 중간점( $m_1$ ), 끝점( $e_1$ )과, 영상2에서는 이에 대응되는 시작점( $s_2$ ), 중간점( $m_2$ ), 끝점( $e_2$ )들이다. 시작점  $s_1, s_2$ 와 끝점  $e_1, e_2$ 은 회전축, 수직축, 수평축의 정보를 추출할 때 사용되고 나머지 중간점  $m_1, m_2$ 는 와이어배럴의 높이를 측정할 때 사용된다.

〈그림 8〉에서 보는 바와 같이 검사에 필요한 특징점들은 와이어배럴 부분에 집중 되어 있다. 따라서 가능한 이 부분에 대한 영상을 개선하고 필요한 정보를 정확하게 얻을 필요가 있다. 이를 위하여 우선 조명을 후방에 설치함으로써 불필요한 정보와 잡음을 최대한 제거하였고, Prewitt 마스크를 사용하여 영상 물체의 테두리가 선명하게 나타나도록 입력 영상을 개선하였다. Prewitt 마스크는 Sobel 마스크, Roberts 마스크와 함께 윤곽선 검출 마스크로서 흔히 사용되고 있다[7].

앞서 가정한 것과 같이 검사 부품이 정확한 위치에 고정되면 특징점들을 포함하고 있는 와이어배럴 부분이 미리 정의된 ROI영역에 해당된다. 지금부터는 여기서 만들어진 창을 중심으로 영상처리가 이루어진다. Prewitt 마스크를 이 ROI에 적용하면 와이어배럴 부분에 두 개의 곡선이 나타난다. Prewitt 마스크에 의하여 추출된 이 곡선들은 최소 2개의 화소로 이루어져 있기 때문에, 보다 정밀한 정보의 획득을 위하여 1개의 화소로만 이루어지도록 세션화하였다. 기존의 많은 연구에서 제시된 세션화 알고리즘들은 발견적(heuristic) 방법으로서, 윤곽선 화소들의 연결성(connectivity)을 점검하면서 하나의 화소가 남을 때까지 주위의 화소들을 제거하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 잡음에 매우 민감한 반응을 보이고 있고, 윤곽선이 서로 만나는 꼭지점 부분에서의 처리가

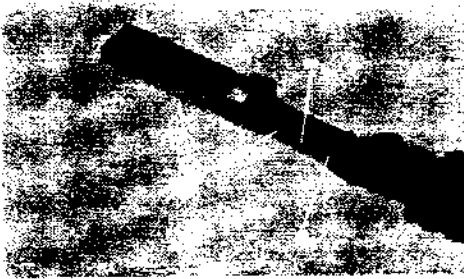


〈그림 7〉 압착단지의 자동검사를 위한 영상처리 과정

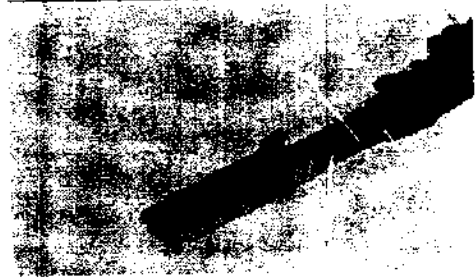
다소 미흡하기 때문에 필요한 정보가 소실될 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 다음에 설명된 것과 같이 이를 보완할 수 있는 간단한 휴리스틱을 개발하여 사용하였다.

〈그림 9〉에서 보면 ROI 내부는 크게 세 개의 곡선으로 이루어져 있다. 그러나 알고리즘에서 특징추출에 필요한 곡선들

은 그림에 표시된  $cvu$ 와  $cvd$  두 개 뿐이다. 각 영상의 ROI 우측 상단에서 y축의 양의 방향으로 화소들을 따라 내려가면서 최초로 최고 명암도(maximum gray level: 8bit로 표현되는 경우 255)를 갖는 화소를 만나면 그 점을 선의 외곽을 이루는 점으로 하고, 다음 점을 찾기 위하여 x축 방향으로 한 칸 이



a. 영상 1



b. 영상 2

〈그림 8〉 검사대상 부품의 입력영상과 특징점.

동된 y축 상단으로 이동한다. 이로부터 다시 y축의 양의 방향으로 최고 명암도를 가지는 화소들을 찾고 여기서 찾은 화소와 이전 화소와의 연결성을 고려하여 연결성이 없다면 잡음으로 간주하고 이 화소를 제거한다. 그렇지 않으면 곡선의 외곽을 이루는 점으로 한다. 이러한 방법으로 ROI 내부를 모두 조사하면 〈그림 9a〉와 같이 영상 1의 세선화된 곡선  $cvu_1$ 이 얻어진다. ROI 우측 하단에서 음의 방향으로 이와 같은 방법을 수행하면 역시 세선화된 곡선  $cud_1$ 이 얻어진다. 영상 2에서도 마찬가지로 방법으로 세선화된 곡선  $cvu_2$ 와  $cud_2$ 를 얻을 수 있다. 〈그림 9b〉에서 보는 바와 같이 ROI내에서 최초로 만나는 최고 명암도를 가지는 화소는 영상의 복서 부분에 존재하나  $cvu_1$ 가 될 수 없다. 따라서 이화소를 잡음으로 간주하고 계속 진행하면 같은 결과를 얻을 수 있다. 〈그림 10〉은 이 알고리즘에 따라 세선화된 최종결과를 보여 주고 있다.

사용하였다. 허프 변환은 윤곽선의 점들로부터 직선, 원 등의 간단한 기하학적 형태를 찾기 위해 사용되는데, 본 연구에서는 직선식을 찾는 허프 변환 알고리즘을 사용하였다.

$N_1 \times N_2$  화소로 이루어진 영상의 직선상의 한 점  $(x, y)$ 를 극좌표로 표현하면

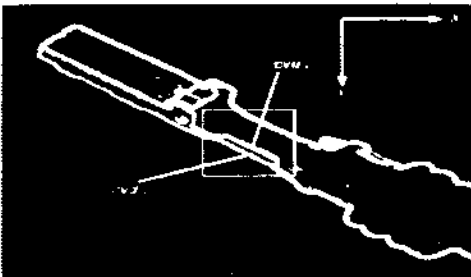
$$\gamma = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{1}$$

$$-\sqrt{N_1^2 + N_2^2} \leq \gamma \leq \sqrt{N_1^2 + N_2^2}, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

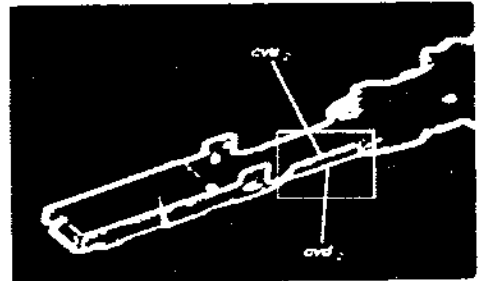
가 된다. 이 영상에서 최대 명암도를 가지는 임의의 화소  $(x, y)$ 를 통과하는 직선들은 식 (1)의  $(\gamma, \theta)$ 로 표현된다. 여기서, 연속변수 공간  $(\gamma, \theta)$ 를  $\gamma_i, i = 1, \dots, n$ 과  $\theta_j, j = 1, \dots, n$ 로 고정된 이산변수 공간  $(\gamma_i, \theta_j)$ 로 한정한다. 다음으로 각 점  $(x, y)$ 가  $(\gamma_i, \theta_j)$ 의 함수로 표시될 수 있으면 이러한 화소들 세는 함수를  $p(\gamma_i, \theta_j)$ 라 하고 이 함수 값을 1만큼 증가시키게 된

4.1.2 직선식 추정

세선화된 영상의 특징점들을 추출하기 위하여 허프 변환을

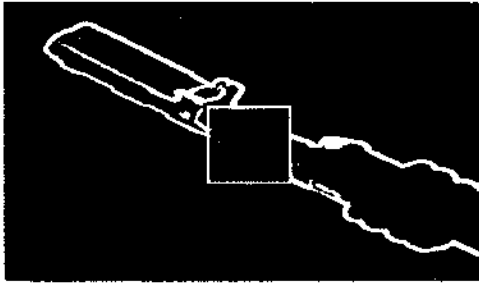


a. 영상 1

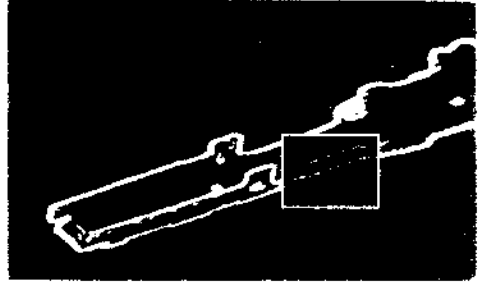


b. 영상 2

〈그림 9〉 이치화된 영상에서의 ROI와 주요곡선들.

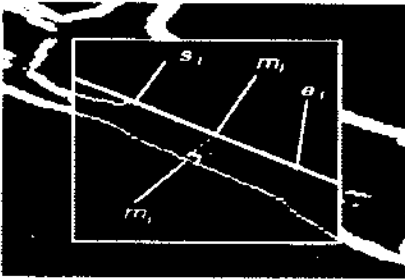


a. 영상 1

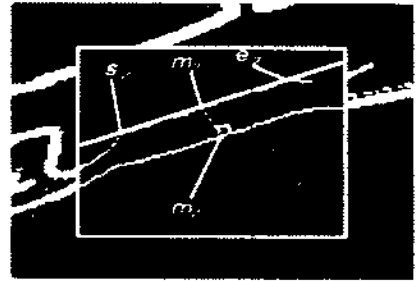


b. 영상 2

〈그림 10〉 세선화 알고리즘이 적용된 영상



a. 영상 1



b. 영상 2

〈그림 11〉 영상상의 특징점

다. 이러한  $p(\gamma, \theta)$  중 그 값이 특정 임계치 이상이 되면 영상에는 모수  $(\gamma, \theta)$ 를 갖는 직선식이 된다. 여기에서는 이러한 직선들 중에  $p(\gamma, \theta)$ 값이 가장 큰 직선을 선택한다. 이 직선의 방정식을 매개변수  $m$ 과  $b$ 로 표현되는  $(x, y)$ 좌표계로 역변환시키면 직교 좌표계의 직선식  $y = mx + b$ 을 얻게 된다. 〈그림 11〉은 〈그림 9〉의 영상  $c_{ki}$ 에 대한 허프변환으로부터 직선식을 구하고 그 결과를 도시한 것이다.

다음으로 윤곽선  $c_{ki}$ ,  $k=1,2$ 에 포함된 화소들의 좌표를  $\{(x_{k1}, y_{k1}), (x_{k2}, y_{k2}), (x_{k3}, y_{k3}), \dots, (x_{kn}, y_{kn})\}$ 이라 하고 허프변환에 의해 만들어진 직선의 방정식이 다음과 같다고 하자:

$$y = m_k \cdot x + b_k$$

여기서  $c_{ki} = y_{ki} - y$ 라 하면 시작점  $s_i$ 과  $e_i$ 는 인자  $i$ 가 1로부터 증가할 때,  $c_i$ 값이 음(-)의 값이 계속되다가 양(+)의 값으로 처음 바뀌는 부분에 0에 가장 가까운 값을 가지는 화소가 된

다. 역시 끝점  $e_i$ 과  $e_n$ 는 인자  $i$ 가  $n$ 으로부터 감소할 때,  $c_i$ 값이 음의 값에서 양의 값으로 바뀌는 부분에서 0에 가장 가까운 값을 가지는 화소가 된다.

#### 4.1.3 최적 특징점 추출

앞절의 결과로 얻어진 직선과 윤곽선을 비교함으로써 시작점과 끝점을 각 영상별로 찾을 수 있다. 그러나, 이와 같이 특징점들을 찾는다 하더라도 이치화, 윤곽선 검출, 세선화 등의 영상 전처리 과정에서 일어날 수 있는 오차로 인하여 이들 점들이 서로 정확하게 대응(mapping)되지 않았을 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 위에서 얻은 두 영상의 특징점들과 그 주위의 10개의 화소들을 특징 가능점 즉, 정확한 특징점이 될 수 있는 가능한 화소들로 상정한다. 상정된 점들에 대한 대응 순서를 변화시켜 가면서 대응된 각 쌍의 점들로부터 참고문헌[3]의 방법을 이용하여 구한 실제계 좌표인 : 값들의 분산이 최소인 것을 최적 대응 순서로 간주하였다(참

고: 두 영상의 2차원 좌표로부터 그에 대응하는 하나의 실세계 3차원 좌표(x, y, z)를 구하는 문제는 스테레오 비전에 의한 카메라 오차보정(camera calibration) 문제이다. 이와 같이 하는 이유는 만약 대응이 바르게 되었다면 와이어배럴 부분의 윤곽선의 높이가 정밀일 경우 거의 일정할 것이고 수직·수평·회전축 등이 발생했다 하더라도 높이의 변화량은 그다지 크지 않을 것이기 때문이다.

이렇게 하여 두 영상의 직선을 최적으로 대응시키고, 앞절에서 정의한  $c_k$  값을 이용하여 각 직선에 대한 최적의 특징점인 시작점과 끝점을 구하게 된다. 예를 들어, 영상1의 가능점을 1, 2, ..., 9, 10 그리고 영상2의 가능점을 1', 2', ..., 9', 10'이라 두고, 최적의 대응 순서를 (1, 2'), (2, 3'), ..., (9, 10')이라 가정하자. 그러면 각 쌍에 대한  $(c_{1k} + c_{2k})$ 의 값이 가장 최소인 쌍이 최적의 시작점과 끝점이 된다. 이렇게 얻어진 점들을 이용하여 중간점을 찾을 수 있다. 즉,  $cvu_1$ 과  $cvu_2$ 의 중간점  $m_k$ ,  $m_2$ 는 시작점과 끝점의 평균값,

$$m_k = (xm_k, ym_k) = \left( \frac{xs_k + xe_k}{2}, \frac{ys_k + ye_k}{2} \right), \quad k = 1, 2$$

이 된다. 끝으로 중간점인  $m_k' = (xm_k', ym_k')$ ,  $k = 1, 2$ 는 윤곽선  $cvd_k$ ,  $k = 1, 2$ 쌍에 한 화소인데 앞서 구한 중간점1과 윤곽선  $cvd_k$  set의 거리가 최소가 되는 화소가 된다.

이렇게 구한 각 영상의 시작점, 끝점, 중간점1, 중간점2를 이용하면 대상 물체의 검사 항목에 대한 추정치인 와이어배럴 높이, 휨각도 등을 구할 수 있게 된다.

### 4.2 와이어배럴 높이 측정

특징점들 중에 중간점1과 중간점2가 높이 측정을 위해 사용된다. 즉 영상1에서의 중간점1( $m_1$ )과 영상2에서의 중간점1( $m_2$ )에 대응되는 실세계좌표  $(x_1, y_1, z_1)$ 과  $m_1'$ 와  $m_2'$ 에 대응되는 실세계 좌표  $(x_2, y_2, z_2)$ 를 구한다. 그러면 와이어배럴 높이  $H$ 는

$$H = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

가 된다.

### 4.3 회전축, 수직축, 수평축의 각도 추정

#### 4.3.1 회전축에 의한 각도 추정 알고리즘

특징점들 중에 시작점과 끝점이 회전축, 수직축, 수평축의

측정을 위하여 사용된다. 앞서 가정하였듯이 검사부품은 일정 위치에 고정되어 있으므로 정품에 대한 이들 특징점들의 기준은 미리 정의되어 있다. 또한 제조공정을 통해 생산되는 압착 단자가 비록 불량일지라도 각각의 각도는 기준위치로부터 최대  $\pm 30$ 도 내에 있게 된다. 따라서 고려하고자 하는 회전축, 수직축, 수평축의 각도  $\alpha, \beta, \gamma$ (그림 2, 3, 5 참조)의 범위는  $-30$ 도에서  $30$ 도에서 한정된다. 수직전개의 편의를 위하여 다음 용어를 사용한다:

$(Xs, Ys, Zs)$  : 정품의 시작점 실세계좌표(기준점 1)

$(Xe, Ye, Ze)$  : 정품의 끝점 실세계좌표(기준점 2)

$(xs, ys, zs)$  : 영상으로부터 구한 검사부품의 시작점 실세계 좌표

$(xe, ye, ze)$  : 영상으로부터 구한 검사부품의 끝점 실세계좌 표

3차원 공간상에서 정의된 좌표변환(coordinate transformation)은 주어진 점의 좌표값  $(x, y, z)$ 을 다른 좌표값  $(x', y', z')$ 으로 변환시키는 것을 의미한다. 여기서는 정품의 시작점 및 끝점과 영상으로부터 도출된 검사 대상 부품의 시작점 및 끝점의 실세계 좌표들간의 좌표변환의 관계를 이용하여  $\alpha, \beta, \gamma$  값을 추정하고자 한다. 즉  $T(\alpha, \beta, \gamma)$ 를 <그림 12>에 정의된 방향에 따라  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ 의 순서대로 회전변환시킬 때의 변화행렬이라고 하면 영상의 시작점과 실세계좌표의 시작점과의 관계는

$$(xs, ys, zs, 1) = (Xs, Ys, Zs, 1)T(\alpha, \beta, \gamma) \quad (2)$$

가 된다. 여기서 변환행렬  $T(\alpha, \beta, \gamma)$ 는

$$T(\alpha, \beta, \gamma) = T_x(-\alpha) \cdot T_y(-\beta) \cdot T_z(\gamma) =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하여  $(xs, ys, zs)$  값을 구하면,

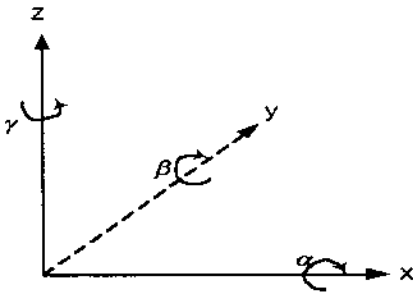
$$xs = Xs \cdot (\cos \beta \cdot \cos \gamma) + Ys \cdot (\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma - \cos \alpha \cdot \sin \gamma) - Zs \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \gamma)$$



$$y_s = X_s \cdot (\cos \beta \cdot \sin \gamma) + Y_s \cdot (\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + \cos \alpha \cdot \cos \gamma) + Z_s \cdot (-\cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \gamma)$$

$$z_s = X_s \cdot \sin \beta - Y_s \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + Z_s \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (4)$$

가 된다. 다음으로, 식 (4)에서  $z_s$ 가  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 함수이기 때문에



〈그림 12〉 회전축, 수평축, 수직축

$$a = Y_s \cdot \sin \alpha - Z_s \cdot \cos \alpha, \quad b = X_s, \quad c = z_s$$

라 두고  $\beta$ 에 대해서 정리하면,

$$a \cos \beta + c = b(\pm \sqrt{1 - \cos^2 \beta}) \quad \text{단, } \cos^2 \beta + \sin^2 \beta = 1 \quad (5)$$

이 된다. 식 (5)는 편의상  $\beta \geq 0$ 일 때만을 고려하면

$$\cos \beta = \frac{-a \cdot c + b \cdot \sqrt{a^2 - c^2 + b^2}}{a^2 + b^2} \quad (6)$$

으로 표현되는 이 것은 결국 변수  $\alpha$ 와 변수  $\beta$ 의 관계를 나타내고 있다. 식 (4)의  $x_s$ 와  $y_s$ 를  $\gamma$ 에 대하여 각각 정리하면,

$$x_s = (X_s \cdot \cos \beta + Y_s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta - Z_s \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha) \cos \gamma + (Y_s \cdot \cos \alpha + Z_s \cdot \sin \alpha) \sin \gamma$$

$$y_s = (X_s \cdot \cos \beta + Y_s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta - Z_s \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha) \sin \gamma + (Y_s \cdot \cos \alpha + Z_s \cdot \sin \alpha) \cos \gamma$$

가 된다. 여기서  $d$ 와  $e$ 를 다음과 같이 정의하고

$$d = X_s \cdot \cos \beta + Y_s \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta - Z_s \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha ;$$

$$e = Y_s \cdot \cos \alpha + Y_s \cdot \sin \alpha$$

이를  $X_s, Y_s$ 에 대해서 풀면,

$$X_s = d \cdot \cos \gamma - e \cdot \sin \gamma$$

$$Y_s = d \cdot \sin \gamma - e \cdot \cos \gamma$$

이 된다. 식 (7)로부터  $\sin \gamma$ 를 구하면

$$\sin \gamma = \frac{Y_s - \frac{e}{d} X_s}{d + \frac{e^2}{d}} \quad (7)$$

이다. 식 (7)은 변수  $\alpha, \beta$ 와  $\gamma$ 값과의 관계를 나타낸다. 두식 (6)과 (7)은 임의의  $\alpha$ 값에 대한  $\beta$ 와  $\gamma$ 값의 순차적인 관계를 설명하고 있다. 그러나  $\alpha$ 값을 어떻게 결정하느냐에 대한 문제는 여전히 남아 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 특징점 중 끝점을 이용한다. 즉, 임의의  $\alpha$ 값에 대해 식(6)과 식(8)을 이용하여  $\beta$ 와  $\gamma$ 값을 구한 다음 기준점 2인 ( $X_e, Y_e, Z_e$ )를 회전 변환시키면

$$(x', y', z', 1) = (X_e, Y_e, Z_e, 1)T(\alpha, \beta, \gamma)$$

이 되는데 이 좌표값과 검사부품의 끝점의 실제좌표( $x_e, y_e, z_e$ )값과의 norm이 최소가 되는  $\alpha, \beta, \gamma$ 가 추정 각도값이다. 따라서,  $\alpha$ 값을  $-30^\circ$ 에서  $30^\circ$ 까지 변화시켜서 norm값이 최소가 되는  $\alpha$ 값을 찾으면 된다.

### 4.3.2 각도 추정 알고리즘의 성능평가

각도 추정 알고리즘의 성능 평가를 위하여 임의로 기준점1의 위치를  $(x, y, z) = (19.87, 1.34, 5.67)$ , 기준점2의 위치를  $(12.10, 1.395, 5.34)$ 라 가정하였다. 〈표 1〉에서는 기준점1과 기준점2가 어떤  $\alpha, \beta, \gamma$ 에 의한 회전변환이 발생했을 때의 좌표를 나타내고 있고, 〈표 2〉는  $\alpha, \beta, \gamma$ 에 대한 최적해와 본 알고리즘의 결과로서 나오는 추정치를 보여주고 있다. 본 알고리즘의 정확성을 판단하기 위해 최적해  $X = (\alpha, \beta, \gamma)$ 와 추정치  $\hat{X} = (\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma})$ 사이의 오차에 대한 pairwise z점정을 한 결과 유의수준 0.05에서 최적해와 추정치간에 유의차가 없었다. 이로써 각도 추정 알고리즘의 측정 성능이 만족할만한 것으로 평가되는데 norm의 평균 또한 0.016으로써 아주 작은 값을 나타내고 있다.

### 4.4 스테레오 비전 시스템의 성능평가

앞서 기술한 바와 같이 검사 대상물을 정확하게 위치시킬 수 있는 물류 기기와 치구 그리고 3가지 원의 각도를 복합적으로 정확하게 측정할 수 있는 기기가 현재로는 갖추어져 있

〈표 1〉 회전변환된 기준점들의 좌표

번호	기준점 1을 회전변환한 좌표			기준점 1을 회전변환한 좌표		
	X값	Y값	Z값	X값	Y값	Z값
1	19.559	2.466	6.336	11.813	2.109	5.734
2	17.956	5.506	8.720	10.478	4.184	7.042
3	18.532	3.332	8.614	10.979	2.148	7.192
4	18.283	5.322	8.134	10.740	4.094	6.690
5	18.015	5.292	8.730	10.541	3.842	7.141
6	16.225	1.671	12.757	9.234	0.491	9.558
7	18.858	-3.905	7.610	11.714	-1.180	6.186
8	19.642	3.150	5.747	11.901	2.498	5.386
9	18.704	2.722	8.457	11.078	2.215	7.018
10	16.339	1.023	12.679	9.299	0.091	9.507
11	18.973	1.172	8.211	11.346	1.602	6.751
12	19.569	0.754	6.728	11.838	1.118	5.956
13	18.897	5.301	6.599	11.276	3.948	5.842
14	18.551	-4.626	7.952	11.472	-1.752	6.495
15	11.310	10.915	13.480	5.603	7.560	9.398
16	19.870	1.340	5.670	12.100	1.395	5.340
17	16.869	8.577	8.404	9.779	5.726	6.962
18	18.558	1.975	8.971	10.965	1.372	7.401
19	11.069	11.004	13.607	5.436	7.616	9.451
20	19.164	0.379	7.833	11.637	1.532	6.253
21	18.331	3.949	8.784	10.782	2.928	7.214
22	18.694	-1.417	8.791	11.335	0.296	6.951
23	15.885	8.761	9.983	8.890	6.368	7.569
24	15.902	6.048	11.803	8.982	3.835	9.027
25	18.911	4.689	7.010	11.260	3.682	6.043

지 않기 때문에(추가연구가 요구됨) 회전편, 수직편, 수평편의 실제 각도를 정량화하고 검사시스템의 결과치와 비교, 분석하기가 불가능하다. 따라서 대상부품이 정확하게 일정 위치에 고정되어 있다는 전제하에 검사부품에 대한 양·불량만을 판단함으로써 본 시스템의 성능 평가를 대신하고자 한다.

본 검사 대상체인 압착단자의 검사규격은 3가지 휨의 각도의 경우  $\pm 3^\circ$  이내이고 높이는  $1.7 \pm 0.5\text{mm}$ 이다. 시작점과 끝점의 실제 위치는 정품의 압착단자를 본 알고리즘으로 여러번 반복 수행하여 평균함으로써 얻을 수 있었는데 그 결과는 다음과 같다:

시작점  $(X_s, Y_s, Z_s) = (8.10, 2.24, 2.28)$ ,

끝점  $(X_e, Y_e, Z_e) = (4.68, 2.35, 3.31)$ .

이를 기준으로 10개의 정품과 16개의 불량품을 이용하여 성능 평가를 수행하였다. 불량 제품의 경우 4가지 검사 항목 중 하나라도 불량이면 불량으로 판정하고, 양품은 4가지 조건 모두 규격을 만족해야 양품으로 인정하기로 한다. 양·불량 판정 결과와 불량요인은 〈표 4〉와 〈표 5〉에서 보는 바와 같다. 이 표들에서 마지막 열의 “결과”는 본 알고리즘을 적용하여 도출된 검사 결과이고 “실측”은 작업자에 의한 육안검사 결과이다. 양품과 불량품의 구별은 96%로서 좋은 결과를 보였는

〈표 2〉 회전변환 추정 알고리즘의 성능평가 결과

번호	실제 회전변환량(단위 : degree)			추정 회전변환량(단위 : degree)			오차			nam
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$ 오차	$\beta$ 오차	$\gamma$ 오차	
1	1	2	3	0.998	2.000	3.001	0.002	0.000	-0.001	0.003
2	10	10	10	9.993	9.999	10.002	0.007	0.001	-0.002	0.007
3	-12.13	8.245	9.832	-12.123	8.245	9.830	-0.007	0.000	0.002	0.007
4	10.23	8.24	9.215	10.222	8.239	9.217	0.008	0.001	-0.002	0.008
5	3.45	9.34	11.24	3.461	9.341	11.237	-0.011	-0.001	0.003	0.012
6	-28.4593	22.35	11.24	-28.453	22.349	11.238	-0.006	0.001	0.002	0.007
7	20.345	8.124	-21.347	20.364	8.127	-21.352	-0.019	-0.003	0.005	0.020
8	0.123	0.23134	5.215	0.138	0.232	5.211	-0.015	-0.001	0.004	0.016
9	0.0001	8.234	4.215	0.023	8.236	4.208	-0.023	-0.002	0.007	0.024
10	-29.3583	22.158	9.235	-29.370	22.159	9.239	0.011	-0.001	-0.004	0.012
11	9.257	8.356	-3.215	9.248	8.355	-3.213	0.009	0.001	-0.002	0.009
12	2.3434	3.25	-2.3948	2.315	3.248	-2.387	0.028	0.002	-0.008	0.029
13	5.259	3.128367	10.2487	5.237	3.126	10.255	0.022	0.002	-0.006	0.022
14	15.1542	8.3457	-22.35	15.150	8.345	-22.349	0.004	0.001	-0.001	0.005
15	29.234	29.345	29.472	29.245	29.347	29.469	-0.011	-0.002	0.003	0.012
16	0	0	0	0.023	0.002	-0.007	-0.023	-0.002	0.007	0.024
17	2.234	8.24242	22.222	2.258	8.244	22.215	-0.024	-0.002	0.007	0.025
18	-11.234	9.342	5.4324	-11.207	9.342	5.424	-0.027	0.000	0.009	0.029
19	30	30	30	29.990	29.998	30.003	0.010	0.002	-0.003	0.011
20	23.345	9.325	-9.32	23.343	9.325	-9.320	0.002	0.000	0.000	0.002
21	-0.2344	9.214	8.131	-0.263	9.212	8.140	0.029	0.002	-0.009	0.030
22	17.3532	11.245	-13.45	17.327	11.241	-13.443	0.026	0.004	-0.007	0.027
23	21.356	15.67654	18.356	21.338	15.673	18.361	0.018	0.003	-0.005	0.019
24	-6.36743	18.546	18.456	-6.394	18.545	18.465	0.026	0.001	-0.009	0.028
25	8.5467	4.678	7.537	8.561	4.680	7.533	-0.014	-0.002	0.004	0.015
				평균			0.00084	0.00023	-0.00026	0.01608
				분산			0.00032	0.000003	0.00003	0.00008
				통계량(Z)			0.23	0.65	-0.23	

데, 8번째 시편의 경우 양품을 불량으로 판단하였는데 이것은 검사 대상 부품을 앞서 가정된 정확한 위치에 놓지 못한 결과로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 와이어 하니스의 압착단자를 대상으로 동선 노출 불량, 동선 노출길이 불량, 수평됨 불량에 대한 검사알고

리즘을 개발한 기존 연구를 확장하였다. 즉, 와이어배럴의 높이, 회전됨, 수직됨과 같은 기존의 2차원 환경 하에서는 측정이 어려웠던 검사항목들과 기존 연구[2]에서 개발된 수평됨까지를 동시에 고려한 스테레오 비전 검사 알고리즘을 개발하였다.

스테레오 비전의 난제인 영상정합문제는 허프 변환을 이용하여 윤곽선의 특징점인 시작점, 끝점, 중간점1, 중간점2를 추출함으로써 해결하였고, 이러한 특징점들을 와이어배럴의 높

〈표 3〉 검사알고리즘의 수행 결과 1

NO	특징점	좌표(mm)			각도(도)			높이(mm)	판정	
		X	Y	Z	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$		결과	실측
1	시작점	7.991	2.405	2.871	1.914	0.901	0.597	1.694	양	양
	중간점1	6.196	2.236	2.852						
	끝점	4.697	2.507	3.283						
	중간점2	6.491	2.013	1.158						
2	시작점	8.317	-0.145	3.064	5.482	3.365	-18.484	1.701	수평형 불량	불량
	중간점1	6.784	0.994	3.181						
	끝점	5.102	1.094	3.340						
	중간점2	6.674	0.833	1.639						
3	시작점	8.020	2.330	2.971	0.923	1.330	0.322	1.702	양	양
	중간점1	5.754	2.242	3.102						
	끝점	4.589	2.429	3.379						
	중간점2	5.543	2.184	1.400						
4	시작점	7.865	-0.672	4.034	-5.483	7.363	-19.267	1.690	회전, 수직형 불량	불량
	중간점1	6.384	-0.269	4.068						
	끝점	4.623	0.527	4.090						
	중간점2	6.468	-0.146	2.379						
5	시작점	8.073	2.333	2.821	0.325	0.099	0.549	1.686	양	양
	중간점1	6.339	2.223	2.993						
	끝점	4.651	2.413	3.305						
	중간점2	6.033	2.115	1.307						
6	시작점	7.989	2.505	2.913	2.246	1.298	1.118	1.694	양	양
	중간점1	6.178	2.287	3.088						
	끝점	4.557	2.567	3.321						
	중간점2	5.964	1.983	2.393						
7	시작점	7.999	2.464	2.920	0.077	0.730	1.574	1.683	양	양
	중간점1	5.898	2.077	2.985						
	끝점	4.571	2.481	3.366						
	중간점2	6.066	2.087	1.302						
8	시작점	7.775	2.668	3.319	2.793	4.384	2.149	1.711	수직형 불량	양
	중간점1	6.098	2.360	3.478						
	끝점	4.325	2.673	3.540						
	중간점2	5.981	2.249	1.768						
9	시작점	8.019	2.528	2.808	2.184	0.535	1.294	1.689	양	양
	중간점1	6.287	1.991	2.891						
	끝점	4.593	2.579	3.262						
	중간점2	6.186	1.868	1.201						
10	시작점	8.107	0.565	3.541	0.985	5.477	-12.366	1.711	수평형 불량	불량
	중간점1	6.473	1.054	3.603						
	끝점	4.761	1.420	3.701						
	중간점2	6.353	1.269	1.892						
11	시작점	7.504	3.304	3.619	6.670	7.817	5.455	1.766	회전, 수직형 불량 수평형 높이 불량	불량
	중간점1	5.455	3.173	3.993						
	끝점	4.341	3.108	3.707						
	중간점2	5.876	2.981	2.226						
12	시작점	7.081	3.627	4.890	-5.706	13.932	12.759	1.723	회전, 수직형 불량 수평형 불량	불량
	중간점1	5.847	2.769	4.018						
	끝점	4.636	2.775	3.806						
	중간점2	6.237	2.626	2.295						
13	시작점	7.367	3.382	3.828	-1.237	3.837	10.287	1.717	수평형 불량	불량
	중간점1	5.860	2.937	3.627						
	끝점	4.866	2.453	3.217						
	중간점2	6.028	2.876	1.910						
14	시작점	8.182	3.806	3.299	-4.388	2.255	11.805	1.727	회전, 수평형 불량	불량
	중간점1	6.047	3.555	3.883						
	끝점	4.962	2.975	3.384						
	중간점2	5.890	2.897	2.156						
15	시작점	6.769	4.409	3.648	1.385	6.384	16.483	1.710	수직, 수평형 불량	불량
	중간점1	5.159	3.948	3.714						
	끝점	3.424	3.546	3.752						
	중간점2	5.381	2.859	2.004						
16	시작점	7.322	3.886	3.142	-3.385	1.385	13.499	1.696	회전, 수직형 불량	불량
	중간점1	5.833	3.483	3.333						
	끝점	3.967	3.164	3.555						
	중간점2	5.630	2.765	1.637						

〈표 4〉 검사알고리즘의 수행 결과 2

NO	특징점	좌표(mm)			각도(도)			높이(mm)	판정	
		X	Y	Z	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$		결과	실측
17	시작점	7.662	1.973	3.116	18.015	8.138	-6.452	1.600	회전, 수직힘 불량 수평힘, 높이 불량	불량
	중간점1	6.373	1.586	2.209						
	끝점	4.391	2.755	3.301						
	중간점2	6.296	2.087	0.609						
18	시작점	6.710	3.231	4.808	10.294	18.368	4.393	1.740	회전, 수직힘 불량 수평힘, 높이 불량	불량
	중간점1	5.002	3.109	4.534						
	끝점	3.314	3.167	4.166						
	중간점2	5.346	3.335	2.794						
19	시작점	8.037	2.451	2.825	0.033	0.042	1.487	1.690	양	양
	중간점1	6.490	2.255	3.077						
	끝점	4.615	2.473	3.312						
	중간점2	6.189	1.981	1.386						
20	시작점	6.901	0.900	5.490	2.384	21.385	-12.348	1.735	수평, 수직힘 불량	불량
	중간점1	5.299	1.565	5.088						
	끝점	3.645	1.746	4.695						
	중간점2	5.118	1.324	3.353						
21	시작점	6.949	2.870	4.696	5.987	15.939	2.839	1.696	회전, 수직힘 불량	불량
	중간점1	5.125	2.856	4.448						
	끝점	3.526	2.861	4.215						
	중간점2	5.294	2.848	2.752						
22	시작점	6.853	2.932	4.798	-8.929	12.384	9.383	1.720	회전, 수직힘 불량 수평힘 불량	불량
	중간점1	5.143	2.755	4.668						
	끝점	3.446	2.402	4.554						
	중간점2	5.431	2.676	2.948						
23	시작점	7.999	2.506	2.884	1.873	0.983	1.249	1.699	양	양
	중간점1	5.930	2.192	3.135						
	끝점	4.569	2.557	3.311						
	중간점2	5.886	2.097	1.436						
24	시작점	7.267	3.155	3.976	4.587	9.833	5.393	1.704	회전, 수직힘 불량 수평힘 불량	불량
	중간점1	5.558	3.098	3.902						
	끝점	3.817	2.979	3.865						
	중간점2	5.789	2.989	2.198						
25	시작점	7.363	1.430	4.724	-2.488	13.495	-5.393	1.691	수직, 수평힘 불량	불량
	중간점1	5.573	1.386	4.620						
	끝점	3.946	1.841	4.407						
	중간점2	5.457	1.254	2.929						
26	시작점	8.009	2.464	2.964	0.081	1.047	1.526	1.694	양	양
	중간점1	6.196	2.236	2.852						
	끝점	4.640	2.477	3.179						
	중간점2	6.491	2.013	1.153						

이, 회전힘, 수직힘, 수평힘의 각도를 추정하기 위한 기초 자료로 사용하였다. 또한 이들 각도를 추정하기 위하여 회전변

환을 이용한 알고리즘을 개발하였다.

본 연구를 통해 개발된 스테레오 비전 시스템은 검사 대상체의 검사 영역을 3차원으로 확장함으로써 보다 범용성 있는 검사 시스템의 개발 가능성이 커졌다는 데 의의가 있다고 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이문규, 윤찬균, "접속케이블의 품질검사를 위한 자동시각 검사 시스템," 산업공학, 9권 1호, pp. 63-71, 1996.
- [2] 이문규, 이정화 "압착단자의 자동검사를 위한 시각인식 알고리즘," 산업공학, 11권 1호, pp. 191-197, 1998.
- [3] 이문규, 이정화, "다중퍼셉트론을 이용한 카메라 오차보정," 제어·자동화·시스템공학회지, 4권 4호, 1998.
- [4] Ananth, R. P. and Parthasarathy, G., "Disparity Estimation from a Stereo Pairs Using Recurrent Neural Network," IEEE Int'l Conference on Systems Cybernetics, Vancouver, Canada, pp. 3896-3901, 1995.
- [5] Bhalla, K., Durdle, N. G., Raso, J., and Hill, D., "Automatic Feature Detection and Correspondence in a Stereo-Vision Application," IEEE Int'l Conference on Systems Cybernetics, Vancouver, Canada, pp. 3537-3542, 1995.
- [6] Chen, C. and Nakajima, M., "A Study on Underwater Cable

Automatic Recognition using Hough Transformation," Proceedings of the SPIE on Machine Vision Applications in Industrial Inspection III, Vol. 2423, pp. 94-105.

- [7] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Co., 1992.



이문규

현재 계명대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 서울대학교 산업공학과에서 공학사(1979), 한국과학기술원에서 공학석사(1981), 공학박사(1989) 학위를 취득하였고, 미국 Rutgers대학 산업공학과에서 Post Doc. 및 방문교수(1991-1993)로 있었다. 주요 관심분야는 machine vision, 신경망, 물류시스템 등이다.



장상원

현재 계명대학교 산업기술연구소의 조교로 근무중이다. 계명대학교 산업공학과에서 공학사(1996), 공학석사(1998) 학위를 취득하였고, 주요 관심분야는 machine vision, 생산 자동화 등이다.