

컴퓨터 비전을 이용한 파이프 불량 검사시스템 개발

Development of Pipe Fault Inspection System using Computer Vision

박 찬 호, 이 병 룡*, 양 순 용, 안 경 관, 오 현 옥

(Chan-Ho Park, Byung-Ryong Lee, Soon-Yong Yang, Kyoung-Kwan Ahn, and Hyun-Og OH)

Abstract : A computer-vision based pipe-inspection algorithm is developed. The algorithm uses the modified Hough transformation and a line-scanning approach to identify the edge line and the radius of the pipe image, from which the eccentricity and dimension of the pipe-end is calculated. Line and circle detection was performed using Laplace operator with input image, which are acquired from the front and side cameras. In order to minimize the memory usage and the processing time, a clustering method with the modified Hough transformation is introduced for line detection. The dimension of inner and outer radius of pipe is calculated by the proposed line-scanning method. The method scans several lines along the X and Y axes, calculating the eccentricity of inner and outer circle, by which pipes with wrong end-shape can be classified and removed.

Keywords : modified hough transform, pipe fault inspection, computer vision, line-scanning method

I. 서론

일반적으로 산업 현장에서 불량이 생기는 주요 원인으로 는 주변 치 공구가 노후화 되거나 물류 장치 등의 불안정으로 작업 대상물의 위치나 방향이 불규칙하게 변하여, 기계가 오 동작하게 되고, 최악의 경우는 전체 시스템을 불안정 상태로 만들어 제품의 불량을 야기 시킨다.

이러한 불량품이 정상제품과 같이 섞여 출하가 되어 기계에 장착이 될 경우 심각한 문제를 야기시킬 것이다. 예를 들면, 자동차의 브레이크 라인에 불량인 pipe가 사용되어 진다면, 이는 곧 인명사고로 이어질 것이다. 이러한 이유로 인해 제품이 출하되기 전에 항상 검사공정을 거치게 되어있다. 하지만 현재 사용되는 검사공정은 전수 검사내지는 샘플 검사로 이루어져 있다. 전수 검사란 생산 되는 전량을 손으로 직접 검사하는 방법으로 순간적인 오류로 인한 불량품을 검출해 낼 수 있는 장점과 모든 제품에 대해서 검사를 하기 때문에 품질에 대한 자신감을 가질 수가 있다. 하지만 생산되는 제품이 적고 고가인 경우에는 상당히 효율적이나 생산되는 제품의 수가 많은 경우에는 검사하는 사람의 그날 기분이나 피로도에 따라 불량률의 기준이 변할 수 있으므로 적합하지 않다. 다음으로 많이 사용되고 있는 샘플 검사란 생산되는 제품을 일정 간격으로 샘플을 추출하여 그 추출된 제품을 검사하는 것이다. 전수 검사에 비해서 간편한 방법이며 치 공구의 노후로 생기는 불량을 막을 수 있다. 하지만 샘플만을 검사하기 때문에 작업도중 생기는 로봇의 오 작동이나 물류장치의 불안정 등으로 인한 갑자기 생기는 불량은 검출해 낼

수 없을 것이다.

이와 같은 검사 방법의 문제점을 해결하기 위해서 컴퓨터 비전을 많이 사용하고 있다. 컴퓨터 비전은 컴퓨터 그래픽스, 로보틱스, 공정제어, 의학분야, 방위산업과 같은 분야에서의 목표확인 및 추적, 제작공장에서 자동조립, 수집기 등에서 위치 및 변위교정에 지대한 역할을 수행하고 있다[1][2]. 어떤 영상 내에서 특정한 형상의 것을 찾아내기 위해서는 그 형상의 특징을 검출 해야 하는데, 그 특징은 주로 윤곽선으로 이루어져 있다. 이러한 특징을 검출하는 방법중에서 Hough 변환은 직선 성분을 검출하는데 유용한 방법으로 알려져 있다[3][4]. 이러한 Hough 변환은 한꺼번에 화상 전체에 대한 특징을 추출하지 않고 각각의 물체에 대한 특징을 따로 처리해 나가기 때문에 템플릿 매칭(template matching)에 비해 빠르고, 잡음에 강한 장점 때문에 많은 연구[4][5]가 진행되고 있으며, 원, 타원, 포물선 같은 곡선 형태의 물체를 인식하는데도 적용되고 있다[6][7][8]. 그러나 Hough 변환 알고리즘은 함수 형태로 표현 가능한 물체들에 대해서만 제한적으로 사용되고 있다. 그리고, Hough 변환이 가지는 최대 약점인 과도한 메모리 사용으로 인한 느린 처리속도를 들 수 있을 것이다[3][9].

본 연구에서는 자동차용 oil 파이프 및 브레이크 oil 파이프의 검사공정에 컴퓨터 비전을 이용하여 성형된 파이프의 양 끝 단의 형상불량을 검출하는 알고리즘과 검사 시스템을 구축하였다. 검사 제품의 측면 영상을 Hough 변환을 이용하여 직선 성분과, 검사 제품의 정면 영상을 직선 탐색법(line-scanning method)을 이용하여 구한 외경과 내경의 중심좌표, 직경 등을 이용하여 제품의 불량 여부를 판정할 수 있는 검사 알고리즘을 제안하였다.

실제 현장에서 제품 성형은 4 초마다 한번씩 되므로 그 4 초안에 파이프 양 끝 단에서의 정면영상과 측면영상, 즉 4 개의 영상을 처리하여 불량 여부를 판정해야 하므로 영상처리 속도를 높이는 것이 중요하며, 이를 위하여 전통적인 Hough 변환을 이용하기보다는 변형된 Hough 변환을 알고리즘에 적용하였다. 그리고, 실제 실험을 통하여 제안된 알고리즘이 성

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 2. 24., 채택확정 : 2003. 7. 3.

박찬호: 쉐티엠디바이스 연구소(adultboy@chollian.net)

이병룡, 양순용, 안경관 : 울산대학교 기계자동차공학부

(brlee@mail.ulsan.ac.kr/soonyy@mail.ulsan.ac.kr/kkahn@mail.ulsan.ac.kr)

오현옥: 부국산업주식회사 연구소(ohosos@hanmail.net)

※ 본 연구는 "과학기술부-한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재특성평가 연구센터"의 지원에 의한 것입니다.

공적으로 적용되는 것을 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 본 연구의 2 장에서는 일반적으로 선 검출과 원 검출에 사용된 알고리즘인 Hough 변환이 소개되어 있고, 3 장에서는 변형된 Hough 변환과 직선 탐색법(Line-scanning Method)을 이용하여 파이프의 성형불량을 판정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 4 장에서는 본 연구에서 사용한 실험장치와 실험장치 구성도와 그에 따른 실험과 분석을 하여, 5 장에서 결론을 맺었다.

II. Hough 변환

컴퓨터를 이용하여 주어진 대상 영상에서의 선 성분의 유무나 위치를 인식하는 방법은 함수를 이용하는 방법과 선도형 추적 방법(Local Edge Linking Methods)으로 나눌 수 있다. 함수를 이용하는 방법 중에서 대표적인 것이 Hough 변환을 이용하는 방법이다.

Hough 변환은 1962 년 P.V.C. Hough 에 의해 제안되었으며 기울기-절편 ($a-b$) 좌표 계에서 직선을 추출하는 기본 방법이 처음 제안된 후[11], Duda 와 Hart 는 기울기-절편 좌표계에서 기울기와 절편이 무한대가 되는 것을 방지하고 검출 정도를 개선시킨 변위-각($\rho-\theta$) 파라미터를 이용하는 방법을 제안하였다[10].

Hough 변환은 입력된 영상 공간에서 직선, 원, 타원, 포물선 등의 형태를 추출해내기 위해서 누적 배열기(Accumulator Array)라고 명칭 되는 계수공간이 필요한 것이 특징이다.

1. Hough 변환을 이용한 직선검출

변위-각 좌표계에서의 Hough 변환은 기본원리는 기울기-절편 좌표계와 같으나 기울기와 절편이 무한대로 가는 것을 방지하고 검출 정도를 높이기 위해서 R.O. Duda와 P.E. Hart[12]가 제안하였다. $x-y$ 좌표계상의 직선을 변위-각 파라미터를 이용하여 Fig.1과 같이 표현할 수 있다. 여기서 ρ 는 $x-y$ 좌표계상의 원점에서 직선을 그은 수선의 길이이며 θ 는 이 수선과 x 축과 이루는 각을 나타낸다. 그러므로 $x-y$ 좌표계상의 직선 $y = ax + b$ 은 (1)으로 표현될 수 있고 다시 (1)은 (2)으로 나타낼 수 있다.

$$y = -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} x + \frac{\rho}{\sin \theta} \tag{1}$$

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{2}$$

Fig.2는 변위-각 좌표계에서의 Hough 변환을 잘 보여주고 있다.

$x-y$ 좌표계상에서 동일한 직선 상에 위치하는 두점이 있을 때 각각의 점을 지나는 직선들은 무수히 많다. 하지만 이 두점을 동시에 지나는 직선은 단 하나만 존재하며 이 직선은 변위-각좌표계상에서 한 점으로 표현된다. 이 점은 바로 $x-y$ 좌표계상에서 각각의 점에 의한 변위-각좌표계상의 두 직선들의 교점이 되는 것이다. 즉 $x-y$ 좌표계상에서 동일한 직선 상에 위치한 점들에 의해 만들어지는 변위-각좌표계의 곡선들은 모두 하나의 점에서 만나게 된다.

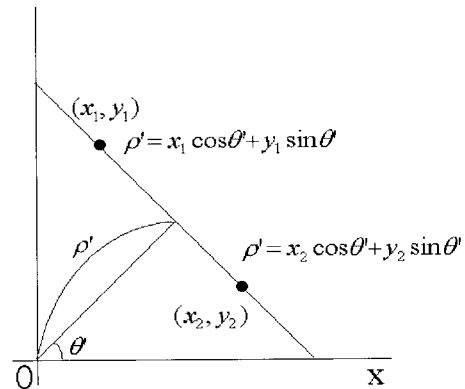


그림 1. x-y 좌표계에서의 직선.
Fig. 1. Line in x-y image space.

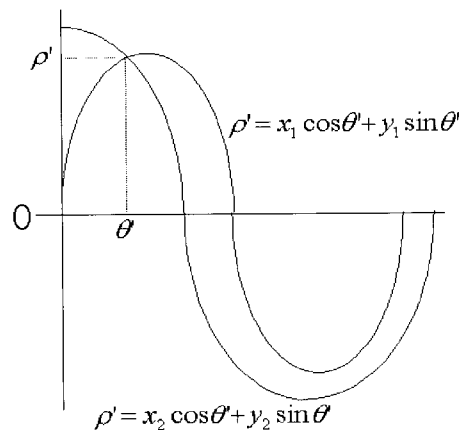


그림 2. $\rho-\theta$ 좌표계로 계수변환.
Fig. 2. Mapping to $\rho-\theta$ parameter space of a line.

2. Hough 변환을 이용한 원 검출 알고리즘

Hough 변환을 이용한 원 검출 알고리즘으로는 크게 두 가지로 분류를 할 수 있다. 하나는 Ballard 에 의한 원 추출기이고, 또 하나는 Kimme 에 의한 원 추출기이다. Ballard 에 의한 원 추출기는 R.O. Duda 와 P.E. Hart 에 의해 제안 되고 D.H. Ballard 에 의해 보완되어진 것이다[7]. Kimme 에 의한 원 추출기는 C. Kimme 와 J. Sklansky 에 의해 제안된 원 추출기이다[8].

2.1 Ballard의 원 추출기

일반적으로 원은 (3)과 같이 표현이 된다.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \tag{3}$$

(3)에서 x 와 y 는 변수이고, a 와 b 는 중심을 의미하고, r 은 반지름을 의미하는 계수이다. 따라서 계수공간은 $a-b-r$ 3 차원 공간이 된다. 이것이 누적 배열기가 되는 것이다.

$x-y$ 평면에서 한 점을 $a-b-r$ 공간으로 변환 하여 직각 원추(right circular cone)의 형태로 구성되는 것이 Ballard 의 방법이다. 이 방법은 모든 특징 화소들이 $a-b-r$ 3 차원공간에서

원추의 모양을 이루게 되어 많은 계산시간을 필요로 하게 되므로 비효율적이 된다.

2.2 Kimme의 원 추출기

원을 (3)과 마찬가지로 $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ 와 같이 표현한다. 이때 계수는 a, b, r 이 되지만 계수 공간을 $a-b-r$ 3 차원 공간으로 선택하지 않고, 이 알고리즘에서는 입력된 동일한 크기를 갖고 동일한 양자화 간격을 갖는 2 차원 배열을 계수 공간으로 잡는다. 그리고 특징 화소를 중심으로 반지름이 r_i 인 원을 그리면 그 원들은 어떤 한 점을 공유한다. 이때 반지름은 인위적으로 결정을 해주거나 또는 반지름을 $\{r_k | k = 1 \dots, m\}$ 과 같이 이산적으로 변화시켜주는 것이 Kimme 원 추출기의 특징이 된다. 만일 $r_k = n$ 으로 고정시켜주면 영상 내에서 반지름이 n 인 원만을 추출하기 때문에 반지름은 이산적으로 변화시켜주는 것이 보통이다. 하지만 이 원 추출기에서는 각 특징 화소를 중심으로 하는 원을 공간적으로 양자화된 계수공간에서 어떻게 표현하느냐 하는 문제가 발생하게 된다.

하지만 Hough 변환을 이용하여 원을 검출하기엔 해결해야 할 많은 문제점을 안고있다. 제일 문제가 되는 것은 Hough 변환이 가지는 특징 중 하나인 누적 배열기(Accumulator Array)라고 명칭 되는 계수공간이 직선보다 많이 필요한 것이다.

III. 제안된 Pipe 형상 불량 검사 알고리즘

이번 장에서는 직선 검출과 원 검출에 따른 Hough 변환의 문제점을 알아보고, 이를 해결하기위한 새로운 검출 알고리즘을 제안 하였다.

1. Pipe 측면 검사 알고리즘

Hough 가 제안한 방법의 경우 $N \times N$ 영상에 대해 직선 $y = ax + b$ 에서 파라미터 a, b 의 범위는 $-\infty < a < \infty, -\infty < b < \infty$ 이다. a, b 의 범위가 크기 때문에 많은 메모리량이 필요하고 파라미터 공간에서의 피크 값 검출에 많은 시간이 소요된다. 반면에 Duda 와 Hart 는 직선을 표현하는 식을 $y = ax + b$ 대신 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 를 사용함으로써 파라미터 ρ, θ 의 범위를 제한할 수 있었다.

즉, $-N\sqrt{2} \leq \rho \leq N\sqrt{2}, -\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$ 로 파라미터가 한정되어 있음을 알 수 있다. 파라미터 공간이 제한되어 있으므로 메모리량과 계산량을 효과적으로 감소시킬 수 있기 때문이다. 하지만 아직도 메모리량과 계산량이 많기 때문에 빠른 처리속도를 기대하긴 어렵다.

Hough 변환의 또 다른 하나의 문제는, 노이즈의 영향으로, 본래 파라미터 공간의 하나의 셀을 지나야 하는 선이 반드시 하나의 셀을 지난다고 할 수 없고, 퍼져서 분포할 수 있다는 것이다. 즉, 각 셀이 아니라 어느 정도의 넓이를 가진 영역에서 많은 점이 모이는 곳을 찾아야 할 필요가 있다. 이것이 이른바 클러스터링(Clustering)이다[13].

영상에서 각 점을 파라미터 공간의 곡선에 사영하여, 파라미터 공간으로 누적수가 많은 셀을 찾는 Hough 변환에 대해

서 영상공간의 각각의 국소적인 점 집합으로부터 직선방정식을 구하고, 파라미터 공간의 한 점에 사영하여 파라미터 공간에서 점이 모이는 클러스터를 찾는 방법이다. 각각의 국소적인 점 집합으로부터 구해지는 직선방정식은 노이즈 이산오차 때문에 파라미터 공간에 정확하게 한 점에 모이지 않고 다소의 분포를 가지고, 이 분포의 밀도함수가 가우시함수로 근사되면 그 중심은 그 클러스터에 속하는 점의 평균으로서 계산된다.

본 연구에서는 pipe 끝단을 형성하고 있는 기울기 값을 안다는 가정 하에서 Fig.3 과 같이 어느 정도 넓이를 지니는 영역을 지정하는 인위적인 클러스터링을 하여 직선을 검출 하였다. 검출된 직선으로부터 검사에 필요한 편심량 및 각도들을 계산하여 불량 판정을 하였다.

Fig.4 는 검출된 직선의 모습을 예로 보여주고 있다.

직선 \overline{ab} 와 직선 \overline{cd} 는 Pipe 성형부분의 특징을 담고 있는 직선들이고, 직선 \overline{ef} 는 Pipe 의 중심을 지나는 직선이다. 직선 \overline{ab} 와 직선 \overline{cd} 의 교점 A 를 (x_c, y_c) 라 하고 직선 \overline{ef} 의 방정식을 $ax + \beta y + \gamma = 0$ 라 하면, 교점 A 와 직선 \overline{ef} 가 떨어진 거리 δ 는 Pipe 의 편심량을 나타내며, 계산식은 (4)과 같다.

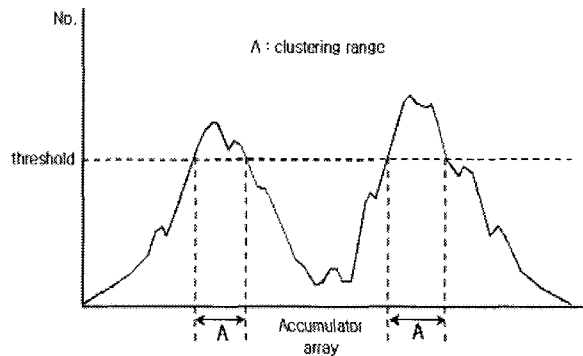


그림 3. 클러스터링.

Fig. 3. Clustering.

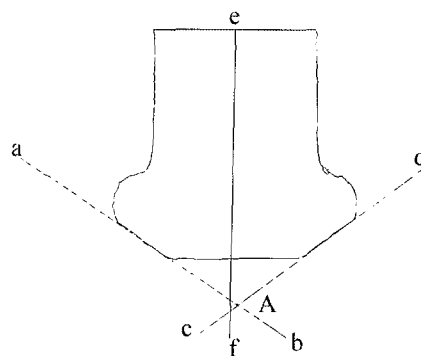


그림 4. 편심량을 구하기 위한 직선추출.

Fig. 4. Detection of lines for calculating eccentricity.

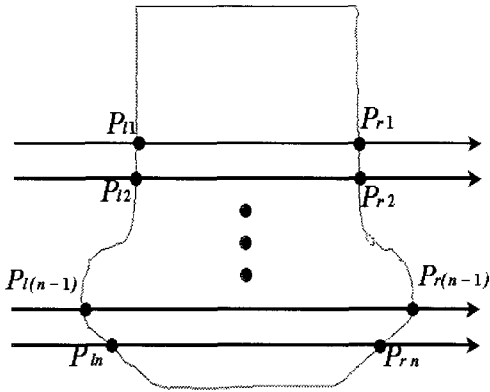


그림 5. 최대 직경을 구하기 위한 직선 탐색법.
Fig. 5. Line search for finding maximum radius.

$$\delta = \frac{|\alpha x_c + \beta y_c + \gamma|}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \quad (4)$$

$x_v = \frac{-\beta y_c - \gamma}{\alpha}$ 라 두면

$$\delta = \frac{\alpha |x_c - x_v|}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \quad (5)$$

(5)에서 $\alpha \gg \beta$ 이므로 δ 는 다음과 같이 근사화 된다.

$$\delta = |x_c - x_v| \quad (6)$$

Pipe 가 정상적으로 성형 되었음을 보장 하기 위해서는 편심량이 적어야 되지만, 부수적으로 성형부분의 직경도 일정한 범위 내에 들어야 한다. 따라서, 정확한 성형불량 검사를 위하여 x 방향의 최대 길이, 즉, 파이프 성형부의 최대 직경을 구하는 것이 중요하다. Fig.5 은 직선 탐색법(line-scanning method)을 이용하여 최대 직경을 구하는 방법을 보여주고 있다. 직선 탐색법(line-scanning method)에 의해 구해진 좌표들을 이용하여 x 방향의 최대길이 X_{max} 는 샘플링 값 n 개중에서 상위값 k 개의 평균으로 나타내었다.

$$X_{max} = \max_{1 \dots k} \{P_{rj} - P_{lj}\} / k \quad j = 1, \dots, 100 \quad (7)$$

2. Pipe 정면 검사 알고리즘

앞에서 언급한 바와 같이 Ballard 의 원 추출기는 과도한 누적 배열기로 인한 계산 효율이 떨어지고, Kimme 의 원 추출기는 계수공간에 표현하기가 상당히 어려운 단점이 지니고있다. 이처럼 Hough 변환을 이용한 원 추출기는 누적배열기가 많은 관계로 계산 효율이 떨어진다는 문제점이 있다. 또한 실제 영상에서는 조명에 의한 노이즈가 심하기 때문에 정확한 원을 검출하기엔 적합하지 않다. 따라서, 본 논문에서

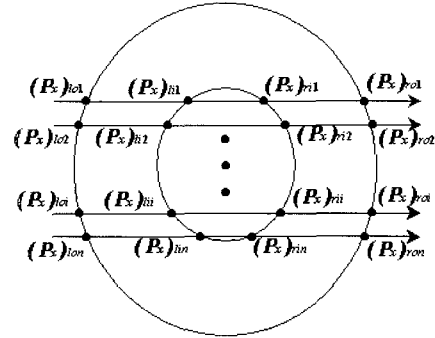


그림 6. 정면 영상의 직선 탐색법 방법.
Fig. 6. Line-scanning method of front view image.

는 새로운 원 검출 알고리즘을 제안하였다.

본 연구에서 제안하는 방법은 Hough 변환 같은 함수를 사용하는 방법이 아닌 직선 탐색법(line-scanning method)을 이용하였다. 현(chord)의 수직이등분선은 반드시 원의 중심을 지난다는 원의 원리를 이용하여 전처리 된 입력 영상에서 윤곽선(edge)을 추출하여 각 점들간의 상호 관계를 조사하는 방식이다.

이를 위하여 Fig.6 과 같은 점 좌표를 이용하였다.

각각의 점 좌표를 이용하여 다음과 같이 외경과 내경의 중심점을 구할수 있다.

$$X_{center} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_x)_{li} + (P_x)_{ri}}{2} \right] / n \quad (8)$$

$$x_{center} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_x)_{li} + (P_x)_{ri}}{2} \right] / n \quad (9)$$

여기서, X_{center} 와 x_{center} 는 각각 외경과 내경 중심점의 x 좌표이고, n 은 탐색선의 개수이다.

마찬가지로, Fig.6 에서 수직방향으로 직선 탐색을 하여 각 원 중심점의 y 좌표도 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Y_{center} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_y)_{loi} + (P_y)_{doi}}{2} \right] / n \quad (10)$$

$$y_{center} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_y)_{loi} + (P_y)_{doi}}{2} \right] / n \quad (11)$$

위 식에서 구한 각각의 중심 좌표로 편심량 δ_x, δ_y 과 반지름 $R_{x0}, R_{y0}, R_{xi}, R_{yi}$ 을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\delta_x = |X_{center} - x_{center}| \quad (12)$$

$$\delta_y = |Y_{center} - y_{center}| \quad (13)$$

$$R_{x0} = \max_{1 \dots k} \{ (X_{center} - (P_x)_{l0j}) \} / k \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

$$R_{yo} = \max_{1 \sim k} \left\{ \left(y_{center} - (P_y)_{uj} \right) \left((P_y)_{dj} - y_{center} \right) \right\} / k \quad (15)$$

$j = 1, \dots, n$

$$R_{xi} = \max_{1 \sim k} \left\{ \left(x_{center} - (P_x)_{ij} \right) \left((P_x)_{rj} - x_{center} \right) \right\} / k \quad (16)$$

$j = 1, \dots, n$

$$R_{yi} = \max_{1 \sim k} \left\{ \left(y_{center} - (P_y)_{ij} \right) \left((P_y)_{dj} - y_{center} \right) \right\} / k \quad (17)$$

$j = 1, \dots, n$

IV. Computer Vision 을 이용한 Pipe 성형불량 검출 실험

이 장에서는 본 연구에서 제시한 알고리즘을 이용하여 pipe의 성형불량 검출을 위한 실험을 하였다. 파이프의 정면과 측면의 영상을 입력 받아 pipe 검사에 필요한 외경, 내경, 편심량 등을 측정 한 후 Pipe의 불량과 정상 상태를 판정하는 기준을 마련하였다. 이를 위하여, 인위적으로 생성시킨 불량품과 작업도중 발생한 실제 불량품 검출 등을 이용하여 실험하였으며, 본 연구에서 제시한 알고리즘이 실제 현장에서 잘 적용이 됨을 확인하고자 하였다.

1. 실험장치의 구성

실험 장치를 크게 하드웨어와 소프트웨어로 나누면 Table 1과 같다. 실험에 사용된 영상의 크기는 640×480 이고, 256 개의 명암도를 가지고 있다. Pipe의 측면 영상을 처리하는 알고리즘은 앞에서 제시한 변형 Hough 변환을 사용하였고, Pipe의 정면 영상 처리를 위한 알고리즘은 직선 탐색법(line-scanning method)을 사용하였다.

2. 전체 시스템의 구성

Fig.7은 전체 시스템의 장치 개략도와 실제 시스템의 사진을 보여주고 있으며, 실험에 사용된 전체 시스템의 흐름도는 Fig.8과 같다. 전체 시스템의 작동순서는, 먼저 센서로부터 pipe가 감지되면, CCD 카메라로부터 화상을 얻어 DT-3152 화상처리보드로 보내지고, 이 화상데이터는 “BoogookEx” 프로그램에서 처리된다. “BoogookEx” 프로그램에서 측정된 길이를 바탕으로 불량여부를 판정하여, 불량일 경우 I/O 보드를 통해서 Pipe Remover를 작동시키는 신호를 PLC로 보내게 된다.

Fig.9는 화상 처리 프로그램인 “BoogookEx”의 내부 작동 흐름을 보여주고 있다. 이 화상처리 프로그램은 Visual C++을 이용하여 직접 개발하였다. DT-3152에서 들어온 정면영상과 측면영상을 이치화(Threshold) 작업을 통하여 단순화된 화상에서 윤곽선을 검출한 다음, 측면 영상인 경우는 Hough 변환으로 직선검출을 하여 각도 및 외경의 길이를 측정하고, 정면 영상일 경우는 Line-scanning Method를 이용하여 pipe의 내경과 외경을 측정을 한다. 측정된 길이가 오차 범위 내에 포함된 경우는 참(True)값을, 오차 범위내에 들지 않을 경우는 거짓(False)값을 보내준다.

3. Pipe 측면 영상에서의 검사

Fig.10은 파이프의 성형 불량이 없는 측면 영상을 보여주고 있다. 이 영상(Image)를 가지고 제안 한 알고리즘의 성능을 확인하기로 한다.

표 1. 시스템 구성도.

Table 1. System parts for vision inspection.

	모델	종류	사양
하드웨어	DT-3152	화상처리 보드	4 channel, Monochrome
	CS8420	CCD Camera(Teli)	Monochrome, 4EA
	AX 5420P	Relay & I/O Board	
	PC	AMD 1.2GHz	IBM 호환
	Ring Light	고휘도 LED	2EA
	Back Light	고휘도 LED	2EA
	파워서플라이	조명용 파워	2EA
소프트웨어	파워서플라이	카메라용 파워	4EA
	BoogookEx	비전&I/O 제어 프로그램	Win9x, NT 호환(자체개발)

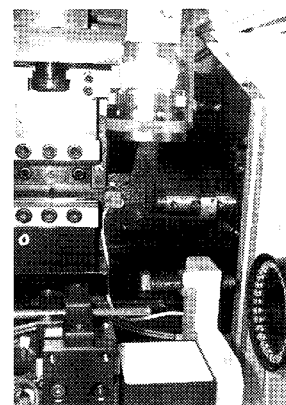
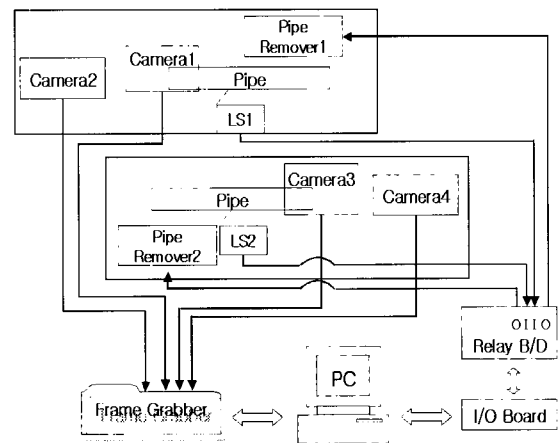


그림 7. 시스템 구조도.

Fig. 7. System structure and picture.

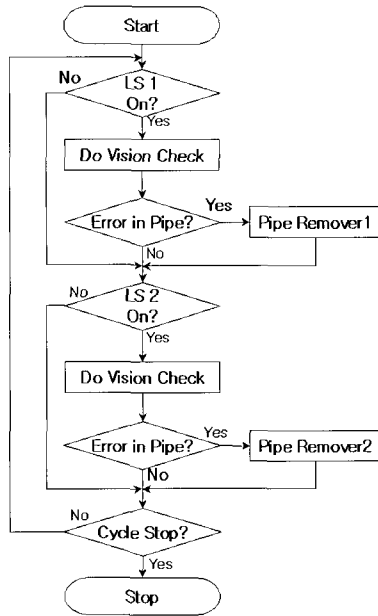


그림 8. 시스템 개략도.
Fig. 8. System flowchart.

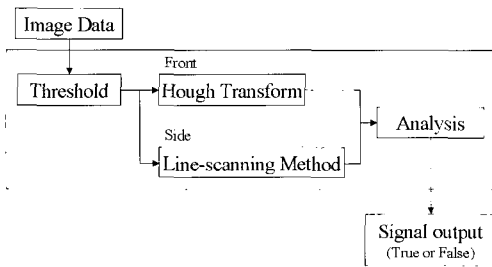


그림 9. 영상처리 개략도.
Fig. 9. Image processing flowchart.

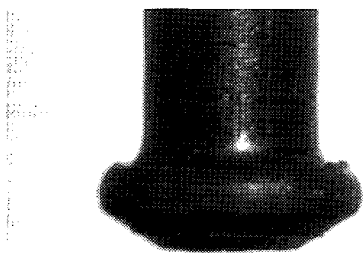


그림 10. 파이프의 측면영상.
Fig. 10. Side view image of pipe.

먼저 전처리와 윤곽선 검출 알고리즘을 적용하여 Fig.11 와 같은 윤곽선 만의 이진화 영상을 얻었다. 그리고 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용시켜서 편심량과 각도를 측정할 직선 성분을 검출한 것을 Fig.12에서 보여 주고있다. 그리고

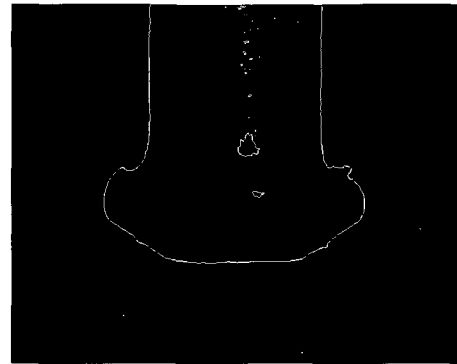


그림 11. 측면영상의 윤곽선 검출.
Fig. 11. Edge detection of side view image.

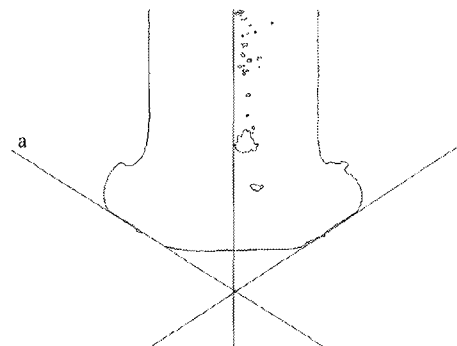


그림 12. 측면영상에 제안된 알고리즘 적용.
Fig. 12. Application image of proposed algorithm to side view image.

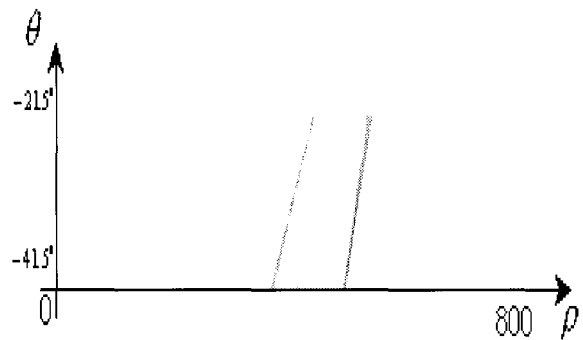


그림 13. 직선 a 검출을 위한 매개변수 영역.
Fig. 13. Parameter space of detecting Line a.

Fig.13 는 이때 사용된 parameter space 의 일부이며, 최대점은 $\theta = 32^\circ$, $\rho = 478$ 에서 측정되었다. 편심량을 측정하기 위해서 Fig.12 에서 검출된 기울어진 직선들의 방정식을 구하여 그 직선들의 교점 좌표를 검출하여, 수직선에 가까운 직선 두개의 이등분점을 구하여 비교를 하였다. 검출된 좌표는 Table 2 에 나타내었다.

4. Pipe 정면 영상에서의 검사

Fig.14 은 파이프의 성형 불량인 정면 영상을 보여주고 있다. 이 영상(Image)를 가지고 본 연구에서 제안 한 알고리즘의 성능을 확인하기로 한다.

표 2. 직선 윤곽선을 이용한 편심량 계산
Table 2. Calculated eccentricity using line edges

기울기를 가지는 직선의 교점(X 좌표)	수직선의 이등분점(X 좌표)	편심량
320.318334	317.386162	2.932172

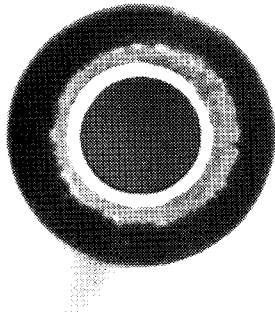


그림 14. 파이프 정면 영상.
Fig. 14. Front view image of pipe.

먼저 전처리와 윤곽선 검출 알고리즘을 적용하여 Fig.15 와 같은 윤곽선만의 이진화 영상을 얻었다. 그리고 제시한 알고리즘을 적용시켜서 안쪽 원과 바깥쪽 원의 중심좌표와 각각의 반지름을 측정할 것을 Fig.16 에서 보여 주고있다. 편심량을 측정하기 위해서 검출된 각각 원의 중심좌표와 반지름을 이용하여 중심들간의 편심률과 반지름간의 상호 관계로서 불량 판정 기준으로 하였다. 이때 각각 원의 중심좌표와 반지름은 Table 3 에 나타내었다.



그림 15. 정면영상의 윤곽선 검출.
Fig. 15. Edge detection of front image.

5. 불량품 테스트

본 연구에서 제시한 알고리즘이 불량품 검출 능력에 대한 검증으로 불량품 2 개에 대한 결과를 제시한다.

이때, 검사의 기준은 다음과 같다.

- ① 측면 영상에서 측정된 x 방향의 최대길이 $7.1 \pm 0.18mm$ 이상이면 불량이다.
- ② 측면 영상에서 측정된 편심량이 10pixe 이상이면 불량이다.
- ③ 정면 영상에서 측정된 x, y 방향의 외경 반지름의 길이가 $188 \pm 6 pixel$ 이상이거나 x, y 방향의 내경 반지름의 길이가

$84 \pm 3 pixel$ 이상이면 불량이다.

- ④ 정면 영상에서 측정된 외경과 내경의 x, y 중심좌표의 차이가 10pixel 이상이면 불량이다.

표 3. 원 영상의 좌표검출 결과

Table 3. Calculated positions and radiuses of pipe

	안쪽 원	바깥쪽 원
중심의 X 좌표	339	339
중심의 Y 좌표	223	224
X 방향의 반지름 길이	86	192
Y 방향의 반지름 길이	83	186

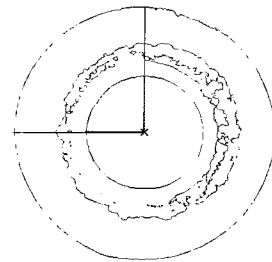
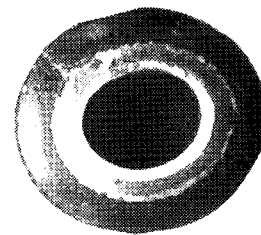
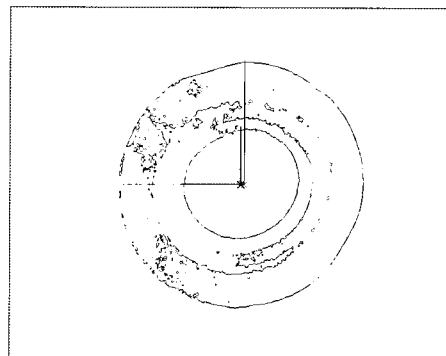


그림 16. 정면영상에 제안된 알고리즘 적용.
Fig. 16. Application of proposed algorithm to front view image.

Case 1: 불량 파이프 1 테스트

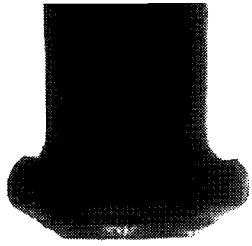


(a) Front view image of fault pipe1

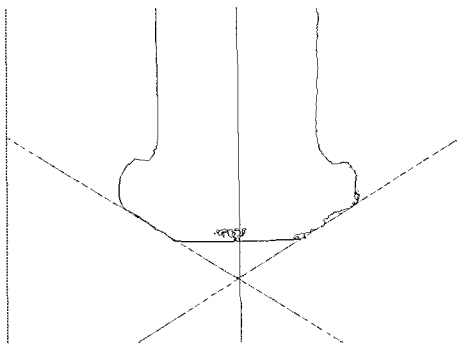


(b) Application of proposed algorithm to front view image

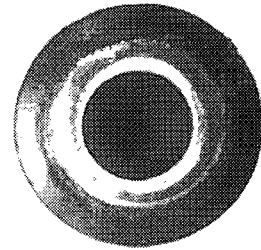
Case 2: 불량 파이프 2 테스트



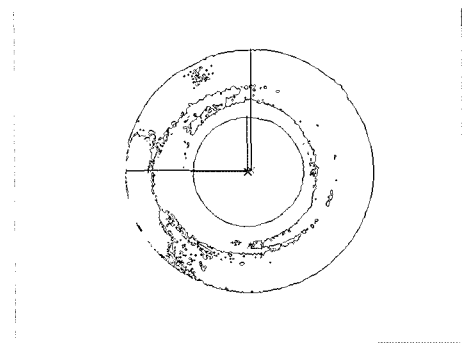
(c) Side view image of fault pipe1



(d) Application of proposed algorithm to side view image



(a) Front view image of fault pipe2



(b) Application of proposed algorithm to front view image

그림 17. 불량파이프 1의 결과.

Fig. 17. Test result of faulty pipe 1.

표 4. 불량 파이프 1의 좌표 검출 결과(측면).

Table 4. Test result of faulty pipe 1 (side).

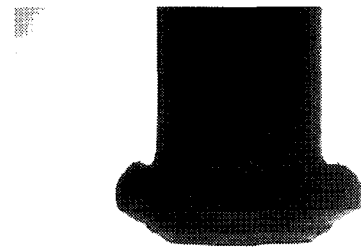
기울기를 가지는 직선의 교점 (X 좌표)	수직선의 이등분점 (X 좌표)	편심량	최대길이 (X 방향)
327.709115	330.001095	2.29198	6.726208

표 5. 불량 파이프 1의 좌표 검출 결과(정면).

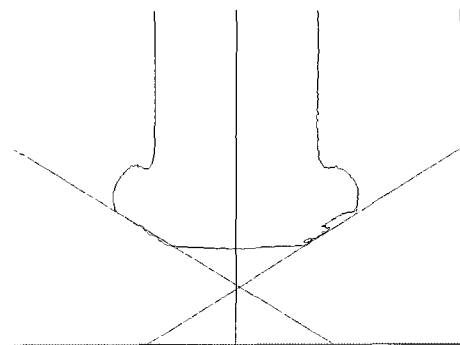
Table 5. Test result of faulty pipe 1 (front).

	안쪽 원	바깥쪽 원
중심의 X 좌표	335	340
중심의 Y 좌표	242	242
X 방향의 반지름 길이	86	181
Y 방향의 반지름 길이	79	171

불량 파이프 1의 경우는 인위적으로 만든 불량품이다. 먼저 측면 영상에서 측정된 x 방향의 최대길이를 보면 6.726208mm 로써, $7.1 \pm 0.18mm$ 에 못 미치는 수치이다. 또한 정면 영상에서 측정된 x, y 방향의 외경반지름이 $188 \pm 6 pixel$ 와 차이가 있으며, 특히 외경 및 내경의 x, y 방향의 반지름이 10, 8pixel 씩 차이가 난다. 이는 곧 한쪽으로 찌그러져짐, 즉 성형불량을 의미한다.



(c) Side view image of fault pipe2



(d) Application of proposed algorithm to side view image

그림 18. 불량 파이프 2의 결과.

Fig. 18. Test result of faulty pipe 2.

표 6. 불량 파이프 2 의 좌표 검출 결과(측면).

Table 6. Test result of faulty pipe 2 (side).

기울기를 가지는 직선의 교점(X 좌표)	수직선의 이등분점 (X 좌표)	편심량	최대길이 (X 방향)
322.504192	316.9372206	5.5669714	6.914516

표 7. 불량 파이프 2 의 좌표 검출 결과(정면).

Table 7. Test result of faulty pipe 2 (front).

	안쪽 원	바깥쪽 원
중심의 X 좌표	332	337
중심의 Y 좌표	233	231
X 방향의 반지름 길이	81	179
Y 방향의 반지름 길이	80	175

불량 파이프 2 의 경우는 공장에서 작업 중에 발생한 불량품이다. 먼저 측면 영상에서 측정된 x 방향의 최대길이를 보면 6.914516mm 로써, 7.1±0.18mm 에 못 미치는 수치이다. 또한 정면 영상에서 측정된 x, y 방향의 외경반지름이 188±6 pixel 와 3,7pixel 씩 차이가 있다.

이것은 불량 파이프 2 가 지그에 정확히 물리지 못해서 성형이 제대로 일어나지 못 했다는 걸 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 변형 Hough 변환과 line-scanning method 를 이용하여 각각 직선과 원을 검출하여 pipe 검사에 필요한 외경, 내경, 편심량 등을 측정하여, 이를 바탕으로 불량판정을 하였다. 측면 영상에서 편심률과 최대 직경을 측정하여 성형 정도를 예측할 수 있고, 정면 영상에서는 내,외경의 직경 및 편심률을 측정하여 파이프의 찌그러짐 정도를 예측할 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 테스트를 위한 pipe 의 정면과 측면영상을 따로 받아서 측정을 하였다. 실험한 결과를 보면 최대 관건인 시간소요측면에서 1 Cycle 시간인 4 초 동안 4 개의 영상을 충분히 검사 할 수 있었고, 정확도 또한 만족스러운 성능을 보여 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

그러나, 실제 현장에 배치하여 테스트 결과 몇 가지 문제가 발생하였다. 먼저, 작업자가 움직이면서 발생하는 충격에

민감한 반응을 보였는데, 이는 고배율의 확대로 인한 부작용이라고 할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 작업자와 검사장 비사이에 가이드를 세워 직접적인 충격을 피하기로 하였다.

차후, 보다 효과적인 품질관리를 위하여 측정된 치수들의 실시간 데이터 저장 및 전송을 하는 부분의 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] H. Maitre, "Contribution to the prediction of performance of the hough transform", *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-8(5), 1986.
- [2] J. Illingworth and J. Kittler, "A survey of the hough transform", *comput. vision graphics image processl.*, vol. 44, pp.87-116, 1988.
- [3] J. L. Turney, T. N. Mudge, and R. A. Volz, "Recognizing partially occluded parts", *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-7(4), pp.410-421, 1985.
- [4] G. Stockman, S. Kopstein and S. Benett, "Matching images to models for registration and object dection via clustering", *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-4, pp.229-241, 1982.
- [5] B. Bhanu and O. D. Faugeras, "Shape matching pf. two-dimensional objects", *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-6(2), pp.137-155, 1986.
- [6] C. K.Chan and M. B. Sandler, "A complete shape recognition system using the hough transform and neural network", *IAPR*, 11th, pp.21-24, 1992.
- [7] D. H. Ballard, "Generalizing hough transform to detect arbitrary shapes", *Pattern Recognition.*, vol. 13, pp.111-122, 1981.
- [8] C. Kimme, D. H. Ballard and J. Sklansky, "Finding circles by an array of accumulators", *Comm. Of ACM.*, vol. 18, pp.111-122, 1981.
- [9] M. W. Koch and R. L. Kashyap, "Using polygons to recognition and locate partially occluded objects", *IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intel.*, PAMI-9(4), 1987.
- [10] W.-Y. Wu and J. W. M.-J., "Elliptical ob jection by using its geometric properties", *Pattern Recognition.*, vol. 26(10), pp.1499-1509, 1993.
- [11] P. V. C, Hough, "Method and means for recognizing complex patterns", U.S. Patent., 3,069,654, Dec.18,1962.
- [12] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the hough transformation to detect lines and curves in picture", *Comm. Of ACM.*, vol. 15, no. 1, Janu., pp.11-15, 1972.
- [13] 조강현, 유범재 공역, "3 차원 비전", 대영사, 2000



박 찬 호

1974 년 6 월 10 일생. 2001 년 울산대학교 기계공학과 졸업. 2003 년 울산대학교 기계자동차공학과 석사. 현재 (주)티앤디바이스 연구원. 관심분야는 로봇제어. 컴퓨터비전 응용.

이 병 통

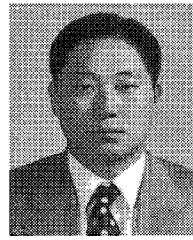
제어·자동화·시스템공학 논문지 제 8 권 제 9 호 참조.

양 순 용

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 8 권 제 9 호 참조.

안 경 관

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 8 권 제 9 호 참조.



오 현 옥

1965년 6월 12일생, 1993년 동의대 산업공학과 졸업, 1993년~1999년 부국산업(주) CIM 연구실 선임연구원. 2000년~ 부국산업(주) 연구소 선행연구팀 책임연구원. 관심분야는 공장자동화 및 차량용 네트워크 통신.