

레이저 투영 영상 분석에 의한 통신 관로 내벽 검사 기법

이 대 호[†]

요 약

본 논문에서는 지하에 매설된 통신 관로를 레이저 투영 영상 분석에 의해 검사하는 새로운 기법을 제안한다. 레이저 다이오드, 발광 다이오드와 카메라로 구성된 장비가 관내에 직접 투입되며, 레이저 다이오드는 관벽에 투영 영상을 생성하고 발광 다이오드는 내부 조명 장치로 사용되며, 카메라는 관로 영상을 획득한다. 카메라에서 전달된 다양한 조건의 관로 영상에 대해 투영 영역을 정확히 분할하기 위하여, 새로운 색차 모델과 다중 임계치 기법을 이용한다. 분할된 투영 고리의 형상은 최소 직경과 푸리에 표기자에 의해 표현하여 관로의 상태를 규칙에 기반하여 분류한다. 국부적인 최소 직경과 전역적인 푸리에 표기자를 모두 사용하므로 파손된 관로, 찌그러진 관로 등의 다양한 조건에서 높은 분류 성능을 나타낼 수 있으며, 여러 상태의 영상에 대한 실험 결과는 2% 미만의 오분류로 높은 성능을 나타냈다.

Inspection for Inner Wall Surface of Communication Conduits by Laser Projection Image Analysis

Daeho Lee[†]

ABSTRACT

This paper proposes a novel method for grading of underground communication conduits by laser projection image analysis. The equipment thrust into conduit consists of a laser diode, a light emitting diode and a camera, the laser diode is utilized for generating projection image onto pipe wall, the light emitting diode for lighting environment and the image of conduit is acquired by the camera. In order to segment profile region, we used a novel color difference model and multiple thresholds method. The shape of profile ring is represented as a minimum diameter and the Fourier descriptor, and then the pipe status is graded by the rule-based method. Both local and global features of the segmented ring shaped, the minimum diameter and the Fourier descriptor, are utilized, therefore injured and distorted pipes can be correctly graded. From the experimental results, the classification is measured with accuracy such that false alarms are less than 2% under the various conditions.

Key words: Vision System(비전 시스템), Laser Projection Image(레이저 투영 영상), Shape Analysis(형상 분석)

1. 서 론

지하 관로의 조사 장비는 초음파를 이용하는 방법 [1,2], 음파를 사용하는 방법 [3]과 폐쇄 회로를 이용하는 방법 [4]들이 연구되어 왔다. 초음파를 이용하거나 음파를 이용하는 방법은 시각적인 능력이 없기

때문에 산출된 관로의 상태를 검증하기 어렵고, 대부분의 폐쇄 회로를 이용하는 기법들은 자동으로 관로의 상태를 판별하는 능력을 가지고 있지 않다.

폐쇄 회로를 이용하여 자동으로 관로의 상태를 분석하는 기법은 [5,6]에서 보고되었다. Duran [5]는 레이저 투영 장비와 카메라를 이용하여 관로 내벽의

* 교신저자(Corresponding Author) : 이대호, 주소 : 경기도 용인시 기흥구 서천동 1(446-701) 전화 : 031)201-2289, 2959. FAX : 031)203-4968. E-mail : nize@khu.ac.kr

접수일 : 2006년 3월 13일, 완료일 : 2006년 6월 7일

[†] 경희대학교 교양학부 전임강사

손상을 검출하였다. 획득된 영상의 에지 정보를 이용하여 타원 정합에 의해 투영 영역을 분할하였다. 또한, 투영 영역을 여러 개의 국부 영역으로 구분하여 평균 광강도를 계산하고 신경망을 이용하여 손상 유무를 판단하였다. Henry[6]는 레이저 투영 영역의 광강도가 크다는 점을 이용하여 광강도가 큰 영역을 찾아서 기준 폭과 비교하여 투영 고리를 분할하였다. 분할된 투영 고리는 푸리에 급수로 표현하고 기준 고리 형상의 푸리에 계수와 비교하여 손상된 관로를 조사하였다. 그러나, Duran의 기법은 레이저의 특성과 관내의 특성에 따라 광강도가 변화할 수 있으므로 실용적인 기법으로 사용되기 어렵고, Henry 기법은 적은 푸리에 계수만으로 손상된 관로를 조사하기 때문에 작은 손상과 왜곡을 검출하기 어렵다. 또한, 이 기법들은 단지 광강도만으로 형상을 분할하였으므로 투영 영역을 쉽게 검출할 수 있으나, 침수된 경우와 관내에 이물질이 존재하는 경우와 같은 예외 상황에 대한 분석이 불가능하다.

본 논문에서는 다른 비전 기반 자동 관로 검사 장비[5,6]와 다르게 시각적 검증 능력을 강화하기 위하여 보조 조명 장치를 사용한다. 보조 조명 장치의 사용으로 레이저 투영 영역의 분할이 어렵기 때문에 색차 모델과 다중 임계치를 이용한다. 시각적 검증 능력에 의해, 침수와 극심한 파손 등과 같은 상황을 수동으로 확인할 수 있는 장점을 가질 수 있다. 또한, 검출된 투영 영역의 최소 직경과 푸리에 표기자에 의한 투영 영역의 기하학적 특징 등을 이용하여 비관로 영상과 파손된 관로를 정확히 판별할 수 있다. 제안된 기법의 성능을 검증하기 위하여, 다양한 환경에서 얻어진 실제 관로 영상에 대한 실험이 수행되었으며, 수동으로 분류한 결과와 비교하여 2% 미만의 오분류를 보였다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 투영 영역의 분할 기법을, 3장은 투영 고리의 형상 추출 기법을 기술하고 4장에서는 관로 상태 분류 방법을 제안한다. 마지막으로, 5장과 6장에서 실험 결과와 결론을 기술한다.

2. 투영 영역 분할

관로 내부를 자동으로 조사하는 대부분의 비전 기반 시스템은 단지 LD(레이저 다이오드)만을 이용하

여 그림 1(a) 같은 영상이 획득된다. 이러한 영상은 레이저 투영 영역을 분할하기가 매우 쉬우나 부분 침수나 심한 파손을 구분하기 힘들며 심지어 수동으로 확인이 불가능하다. 본 논문에서는 시각적 검증 능력을 향상하기 위하여 보조 조명 장치를 설치하여 그림 1(b)와 같은 관로 영상을 획득한다. 실험에 사용한 장비의 구성은 그림 2와 같다. LD에서 적색 가시광 레이저를 출력하고 전방의 원뿔 거울에 의해 관로 내부 표면에 투영된다. LD 후방에 설치된 LED(발광 다이오드)에서 보조 조명을 비추며, 카메라에서 관내의 영상을 획득한다. 또한, 스프링 구조의 암에 의해 장비는 80-100mm 관벽과 맞닿게 된다.

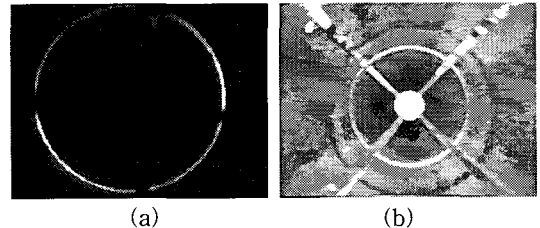


그림 1. 관로 영상: (a) 레이저 다이오드만 사용, (b) 보조 조명을 사용

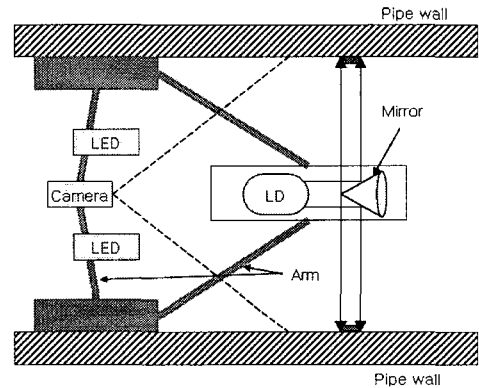


그림 2. 장비 구성

보조 조명을 사용하지 않는 시스템에서는 투영 영역외의 부분은 매우 낮은 광강도를 가지고 있으므로 매우 간단한 방법으로 투영 영역을 분할할 수 있다. 그러나 보조 조명을 사용하면 투영 영역 보다 광강도가 높은 영역이 많이 발생한다. 따라서 보조 조명을 가지는 경우에는 색차 특성을 이용해야 한다. 본 논문에서는 색차 모델과 다중 임계치를 이용하여 투영 영역을 분할한다. 본 논문에서 사용하는 적색의 색차(D_R)는 식(1)과 같이 적색(R) 요소와 다른 요소(녹색

(G), 청색(B))와의 차이의 최소값을 사용한다.

$$D_R(x, y) = \min(R(x, y) - G(x, y), R(x, y) - B(x, y)) \quad (1)$$

식(1)에서 D_R 값이 음수이면 다른 색상 요소보다 적색이 어두운 것이므로 0으로 지정한다. 그림 4(a) 영상에 대해서 D_R 의 크기는 그림 4(b)와 같이 나타난다.

손상된 관로나 조명의 변화에 의해 투영 영역의 적색 색차가 균일하게 나타나지 않기 때문에 본 논문에서 색차 영상에서 투영 영역을 분할하기 위하여 다중 임계치를 이용한다. 그림 3은 투영된 영역의 일부를 두 개(A, B)의 임계치로 분할한 것이다. 만일 A의 높은 임계치로 분할하게 되면 색차 강도가 낮은 B₂ 영역은 분할되지 않는다. 또한 B의 낮은 임계치로 분할하게 되면 색차 강도가 낮은 B₂ 영역은 분할되지만 B₁ 영역에 의해 A 영역이 두터워지거나 다른 배경 영역의 잡음과 연결되어 정확한 투영 영역을 분할할 수 없게 된다. 따라서 그림 3에서 이상적인 결과는 아랫부분은 A₁, A₂, A₃로 분할되고 윗부분은 B₂로 분할되는 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 아래와 같은 다중 임계치 기법을 제안한다.

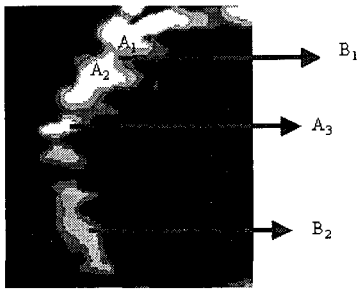


그림 3. 다중 임계치로 분할된 영역

단계 1: 임계치 리스트 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, ($T_i > T_{i+1}$)를 상위 임계치 비율($\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$)에 의해 초기화한다.

단계 2: T에 의해 원영상을 이진화하고 연결 영역 라벨화[7]를 수행하여 연결 영역을 $S_i = \{R'_1, R'_2, \dots, R'_m\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 으로 저장한다.

단계 3: S_i의 모든 연결 영역은 분할 영역으로 지정한다.

단계 4: S₁을 제외한 S_i의 l번째 영역 R'_l가 아래의 조건을 만족하면 분할 영역으로 지정한다.

$$n(R'_j \cap R'_l) = 0 \text{ or } n(R'_j \cap R'_l) \neq 0 \wedge n(R'_l) \ll n(R'_j), \forall k$$

여기서, $j < i$ 이고 $n(\cdot)$ 는 연결 영역의 화소수를 의

미한다.

단계 1은 분할할 영상 특성에 따라 상위 임계치 비율이 결정될 것이며, 본 논문에서는 투영 영역의 크기를 감안하여 {5%, 10%, 15%}를 사용하였다. 단계 4는 상위 임계치 영역과 겹치지 않거나 겹치더라도 상위 임계치 영역보다 매우 큰 영역은 분할 영역으로 지정하는 것으로 $n(R'_j) \ll n(R'_l)$ 조건은 $n(R'_l)/n(R'_j) > \alpha$ 로 대체할 수 있으며 $\alpha = 5$ 를 선택하여 사용하였다.

그림 4(c)와 (d)는 그림 4(b)의 적색 색차 영상에 대해 단일 임계치에 의해 얻어진 분할 영역이다(원영상은 그림 4(a)). 높은 임계치는 (c)와 같이 좌우의 흐릿한 영역을 분할하지 못하며 높은 임계치는 (d)와 같이 좌우 영역을 분할할 수 있으나 상하의 투영 영역이 너무 두꺼워진다. 그림 4(e)는 다중 임계치를 적용한 결과이며 (f)는 제안한 방법에 의해 분할된 영역을 나타낸다. 그림 4(f)의 결과가 (c)나 (d)의 결과보다 우수한 것을 볼 수 있다.

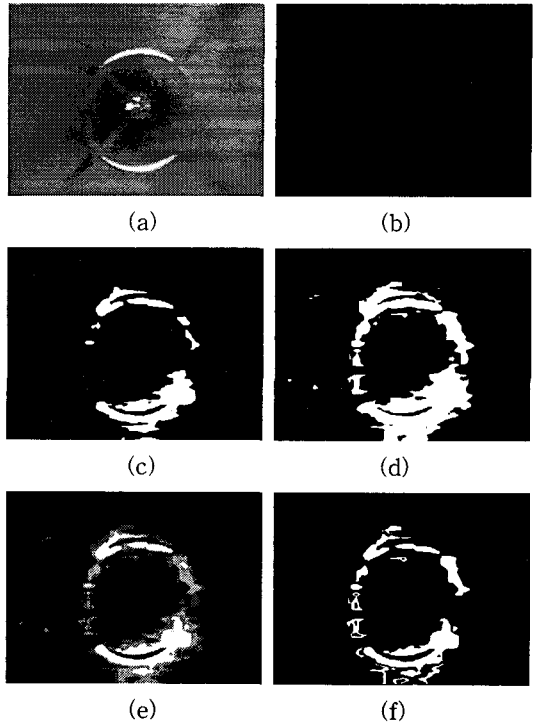


그림 4. 투영 영역 분할: (a) 원영상, (b) 적색 색차 영상, (c) 높은 단일 임계치에 의해 (b)를 이진화한 영상(임계치: 17), (d) 낮은 단일 임계치에 의해 이진화한 영상(임계치: 9), (e) 다중 임계치 영상(임계치: 21, 13, 9), (f) 제안하는 다중 임계치 기법으로 이진화한 영상

3. 형상 추출

레이저 투영 고리는 분할된 영역의 중심을 계산하고, 계산된 중심에서 분할 영역으로 방사하면서 정확한 관로 내벽의 위치를 검출하여 추출할 수 있다. 분할된 영역의 중심을 계산하기 전에 배경 영역에서 나타나는 잡음을 제거하기 위하여 연결 영역 라벨화를 수행하여 작은 연결 영역을 제거한다. 잡음이 제거된 영역들을 한 개의 외곽 사각형으로 묶고 외곽 사각형의 중심을 분할된 영역의 중심 (c_x, c_y) 으로 지정한다. 그림 5(a)는 그림 4(f)의 분할된 영역에서 잡음을 제거한 후 외곽 사각형을 계산하여 표시한 것이고, 그림 5(b)는 정상 관로에 대해 표시한 것이다.

본 논문에서 투영 고리의 형상은 식(2)와 같이 이산 좌표로 표현한다. 식(2)에서 $p(i)$ 는 중심 (c_x, c_y) 에서부터 i 로 표현되는 이산 각도에 위치하는 투영 고리의 좌표이며, $p(i)$ 의 실제 방사 각도는 $i \times 2\pi / N$ 으로 계산할 수 있다. 본 논문에서는 $N=36$ 를 사용하였으며, 그림 5에서 추출된 투영 고리를 회색점으로 표시하였다.

$$C = \{p(0), p(1), L, p(N-1)\} \quad (2)$$

레이저 투영 영역의 단면은 그림 6과 같이 단면의 중심에서 가장 강한 광강도(I)를 나타내므로 식(3)과 같이 광강도가 가장 큰 위치를 관로 내벽의 투영 고리 위치로 지정할 수 있다. 식(3)에서 1134는 i 의 방사각으로 조사되는 범위를 지정하는 것으로 분할 영역내에서 0.5간격으로 증가시키면서 계산한다.

$$p(i) = \max I(x, y) \quad (3)$$

$$(x, y) \in (c_x + \cos(2\pi i / N) \times \delta, c_y + \sin(2\pi i / N) \times \delta)$$

만일 i 의 방사각으로 분할 영역이 존재하지 않는다면, i 주위의 방사각에서 검출된 투영 고리의 좌표들에 의해 식(4)와 같은 보간으로 추정할 수 있다. 보간에 의해 장비의 압 등으로 투영 영역이 나타나지 않는 위치에서 투영 고리의 좌표가 추정될 수 있다.

$$p_x(i) = c_x + \frac{1}{2l} \sum_{k=i-l, k \neq 0}^{i+l} |c_x - p_x(k)| \quad (4)$$

$$p_y(i) = c_y + \frac{1}{2l} \sum_{k=i-l, k \neq 0}^{i+l} |c_y - p_y(k)|$$

식(4)에서 l 는 이웃 위치의 범위로 본 논문에서 보

간에 의해 파손된 고리의 왜곡을 최소화하기 위하여 $t=1$ 을 사용하였다. 그림 5에서 마름모로 표시된 고리 좌표는 보간에 의해 계산된 투영 고리이다.

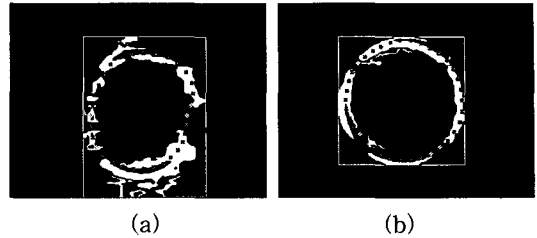


그림 5. 투영 고리 형상 추출

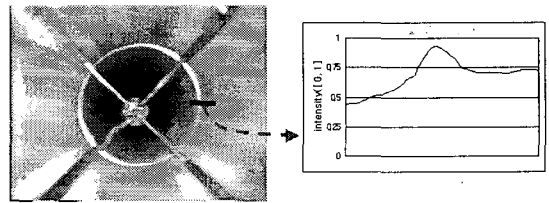


그림 6. 투영 영역의 단면의 전형적인 광강도 특성

4. 상태 분류

관로 조사 장비의 상태는 비관로 영상, 손상된 관로(F), 정상 관로(A-D)로 구분한다. 비관로 영상은 관로 외부에서 획득된 영상이며, 손상된 관로는 보수가 반드시 필요한 관로이고 정상 관로는 최상, 상, 정상, 하로 분류한다. 하로 분류된 관로는 관내 최소 직경이 정상 사용 허용치를 가지고 있으나 수동으로 검사가 필요한 관로이다.

LD의 전원이 꺼져 있는 영상과 관로 외부 영상은 비관로 영상으로 분류되어야 하며, 비관로 영상은 임계치 리스트(T)의 임계값들과 산출된 평균 직경(\bar{D})이 일반 관로와 차이가 많을 것이다. 또한, 부분 침수가 일어났거나 손상이 큰 관로는 많은 위치에서 투영 고리를 검출하지 못할 것이다. 따라서 투영 고리 검출율(γ)로 손상이 심한 관로를 찾을 수 있다. 또한, 손상이 없는 관로의 등급은 투영 고리의 최소 직경(D_m)을 이용하면 찌그러진 정도를 판단할 수 있다. 위에서 언급한 특징만으로 관로의 상태를 검사하면 원형이 아닌 굴곡이 많은 관로가 높은 등급으로 분류될 수 있으므로 투영 고리의 전체적인 형상 정보를 추가적으로 이용하며, 본 논문에서 푸리에 표기자를

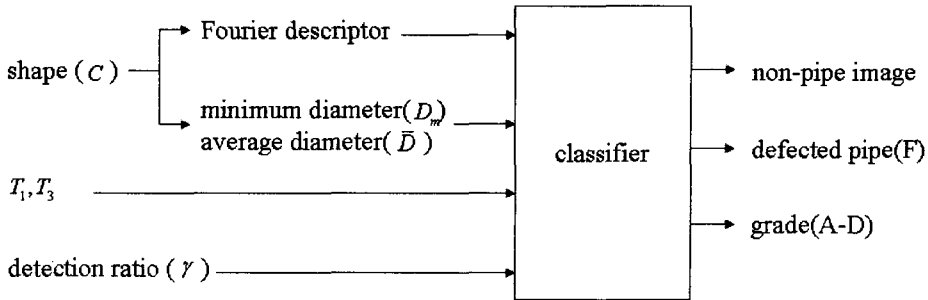


그림 7. 분류기의 입출력

이용하여 투영 고리의 형상을 판단한다. 그러므로 본 논문에서 제안하는 관로의 상태 분류는 그림 7과 같은 구성을 가지고 있다.

4.1 푸리에 표기자(Fourier descriptor)

푸리에 표기자는 일반적으로 폐곡선을 표현하는 기법으로 이진 형상의 외곽 정보를 표현하는 기법으로 사용된다. 푸리에 표기자는 폐곡선의 좌표[8]나 누적각 함수(cumulative angular function)[9]가 형상의 정보로 이용되며 푸리에 급수나 푸리에 변환으로 표현하는 기법이다. 투영 고리의 좌표가 이산적인 각도로 표현되어 있으므로 식(5)와 같이 $p(i)$ 의 좌표를 푸리에 변환하면 고리의 형상 정보를 판단할 수 있다.

$$f(u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \{p_x(k) + jp_y(k)\} \exp(-2j\pi uk / N) \quad (5)$$

식(5)로 표현된 계수의 크기($|f(u)|$)는 크기에 불변한 특징량이 아니므로 정규화된 푸리에 표기자를 식(6)과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{f}(u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \{\hat{p}_x(k) + j\hat{p}_y(k)\} \exp(-2j\pi uk / N) \quad (6)$$

식(6)에서 정규화된 투영 고리 좌표는 식(7)과 같으며, 평균 관로 직경은 식(8)과 같다.

$$\hat{p}_x(k) = \frac{p_x - \bar{p}_x}{D/2}, \hat{p}_y(k) = \frac{p_y - \bar{p}_y}{D/2} \quad (7)$$

$$\bar{D} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |p_x(k) + jp_y(k) - f(0)| \quad (8)$$

식(7)에서 \bar{p}_x 와 \bar{p}_y 는 각각 푸리에 표기자의 첫 번째 계수($f(0)$)의 실수부와 허수부이다.

결과적으로 정규화된 크기에 대한 푸리에 표기자

는 크기, 회전과 이동에 불변한 특징량이 되며, $\hat{f}(0)$ 는 항상 0의 값을 가지게 된다.

투영 고리가 원이면 정규화된 푸리에 표기자($\hat{f}(u)$)의 $u = 1$ 나 $u = N - 1$ 의 계수는 1이고, 나머지 계수의 합은 0이다. 따라서, 본 논문에서는 $\hat{f}(u)$ 를 이용한 식(9)와 식(10)의 두 개의 특징을 사용하며, FD_c 는 원형에 가까울수록 1에 가깝고, FD_h 는 굴곡이 클수록 큰 값을 가진다.

$$FD_c = |\hat{f}(1)| + |\hat{f}(N-1)| \quad (9)$$

$$FD_h = \sum_{k=2}^{N-2} |\hat{f}(k)| \quad (10)$$

4.2 최소 직경 산출

투영 고리의 최소 직경(D_m)은 식(11)과 같이 모든 $p(i)$ 에 대응되는 반대편 위치($O_{p(i)}$)와의 거리 중에서 가장 짧은 거리를 의미한다.

$$D_m = \min \|p(i) - O_{p(i)}\|, i = 0, 1, L, N-1 \quad (11)$$

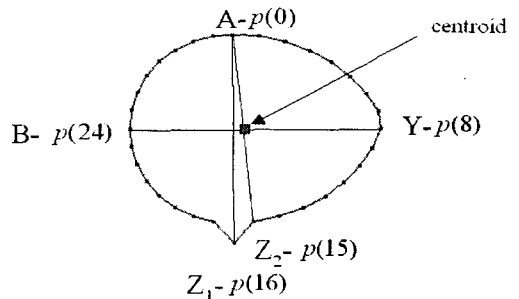


그림 8. 직경 계산

$p(i)$ 에 대한 $O_{p(i)}$ 는 투영 고리가 원형이 아닌 경우

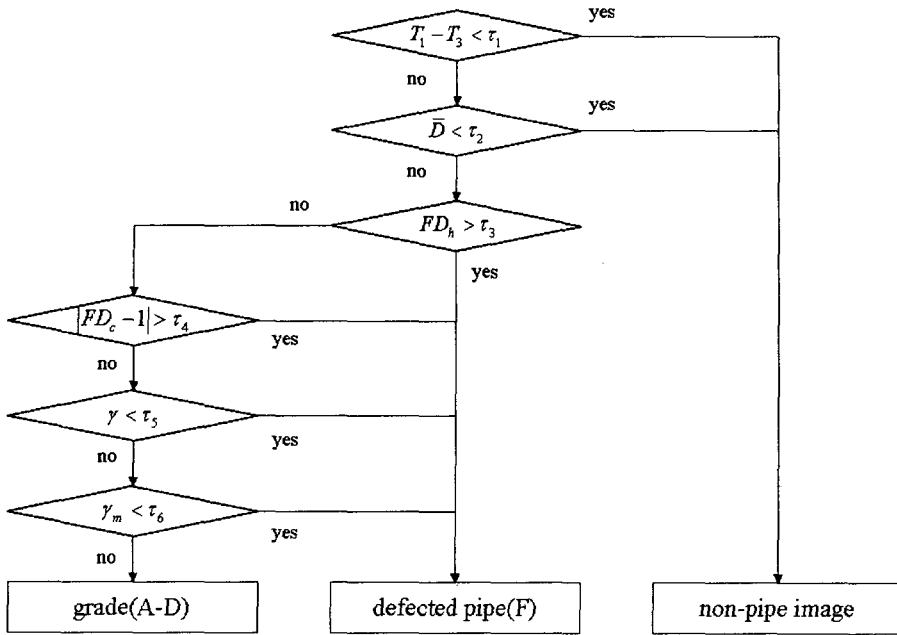


그림 9. 분류 기법 상세

를 고려하여, 식(12)와 같이 $p(i)$ 와 연결한 선분이 고리의 중심과 가장 가까운 것으로 지정하였다. 식(12)와 같이 정의하는 것은 많이 찌그러진 고리에서는 $p(i)$ 간 간격이 일정하기 않기 때문이다. 그림 8에서 A에 대한 $O_{p(i)}$ 는 Z_1 이 아닌 Z_2 이고, B에 대한 $O_{p(i)}$ 는 Y이다.

$$O_{p(i)} = \arg \min_{p(k)} \text{dist}(\overline{p(i)p(k)}, (c_x, c_y)), k = 0, 1, L, N-1 \quad (12)$$

식(12)에서 $\text{dist}(\cdot)$ 는 선분과 점의 최소 거리를 의미한다.

4.3 관로 상태의 분류

본 논문에서는 그림 9와 같은 관로 상태 분류 기법을 이용한다. 처음에 T_1 과 T_2 의 차이가 작은 경우와 평균 직경(\bar{D})이 작은 경우는 적색 계열이 적게 포함되어 있는 것이므로 비관로 영상으로 지정할 수 있다. 또한 푸리에 표기자로 계산된 특징인 FD_h 와

FD_c , 투영 고리 검출율(γ)로 손상된 관로를 검출한다. 마지막으로 추정된 최소 직경과 이상적인 직경과의 비율(γ_m)에 의해 표 1과 같이 관로 상태의 등급을 결정한다.

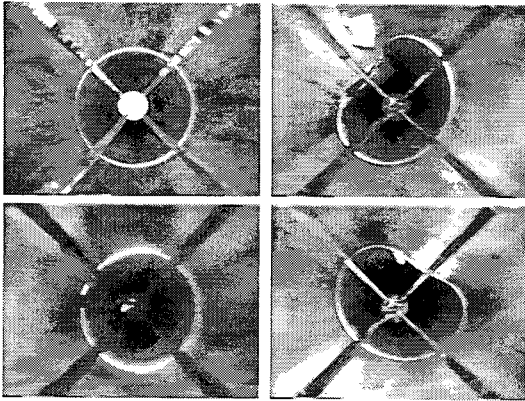
5. 실험 결과

파장이 630-730nm의 가시광 영역의 적색 LD(1mW)를 실험에 사용하였다. 관로 내부의 비디오 영상은 다양한 환경(그림 10)에서 획득되었으며, 제안하는 기법은 USB 프레임 그레이버가 장착된 펜티엄 PC(1.6GHz)에서 수행되었다. 획득된 영상은 320 x 240의 해상도를 가지는 24비트 컬러 영상이다.

산출된 관로 직경의 정확도를 평가하기 위하여 100mm의 직경을 가지는 정상 관로 영상 100개에 의해 실험을 수행하였다. 계산된 직경의 RMSE(root mean square error)은 1.83mm로서 320 x 240의 영상에서 2.6화소의 크기이다.

표 1. 관로 상태 등급

γ_m (%)	$0.95 \leq \gamma_m$	$0.9 \leq \gamma_m < 0.95$	$0.85 \leq \gamma_m < 0.9$	$0.8 \leq \gamma_m < 0.85$
상태	A (최상)	B (상)	C (정상)	D (하)



정상 관로 손상 관로
그림 10. 다양한 관로 영상

또한 관로 상태 분류를 검증하기 위하여 여러 상태를 가지는 1040개의 관로 영상을 획득하여 시험을 수행하였다. 분류기 임계치는 $(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6) = (8, 50, 0.4, 0.1, 0.6, 0.8)$ 로 선택하여 실험하였다. 이 임계치들은 세 가지 실험군(정상, 손상 관로와 LD의 조명이 불안정한 경우)으로 구성된 100개 영상들에 의해서 결정된 값이다. 1040개의 관로 영상에 대한 성능은 표 2과 같으며 대부분의 실험 영상에서 그림 11과 같은 우수한 결과를 나타내었다. 그림 11은 100mm 정상 관로 영상이며, 산출된 최소 직경은 99.6mm이다. 표2에 나타난 대부분의 오분류는 그림 12와 그림 13과 같이 투영 고리의 보간에 의한 것으로 투영 영역이 나타나지 않은 부분에 기인한 것이다. 그림 12와 그림 13의 오른쪽 영상에 표시된 최소 직경이 모두 보간된 위치 연결되어 있는 것을 알 수 있다. 보간이 사용되지 않는다면 이러한 오류를 줄일 수 있지만, 파손이 심하지 않은 관로에 대해서는 최소 직경의 오차가 커지게 되므로 오히려 오류를 더욱 증가시킬 수 있다.

한 프레임에 대해서 평균 97.43ms의 처리 시간을 보였으며, 실제 관로에서 모니터링과 결과 자료(영상 및 분류 결과)를 저장하면서 실시간으로 사용할 수 있었다.

표 2. 제안하는 기법의 성능

등급	A	B	C	D	손상	비관로	계
개수	363	335	62	153	118	9	1040
오분류	1	5	0	4	6	0	16
정확도(%)	99.72	98.51	100	97.39	94.92	100	98.46

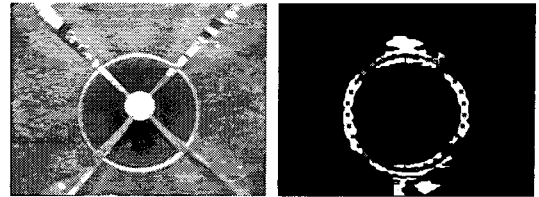


그림 11. 100mm 관로의 획득 영상과 결과 영상(산출된 지름 : 99.6mm)

두 대 이상의 장비를 동일한 관로에서 동시에 실험하는 것이 불가능하므로, 기존에 제안된 방식과의 성능 비교는 불가능하다. 하지만, [5,6]에서 제안된 기법들에 비해서 본 논문에서 제안하는 기법은 그림 10과 같은 다양한 영상들에 대해서도 특별한 사용자 설정이 없이도 높은 정확도로 관로 상태를 판별할 수 있다.

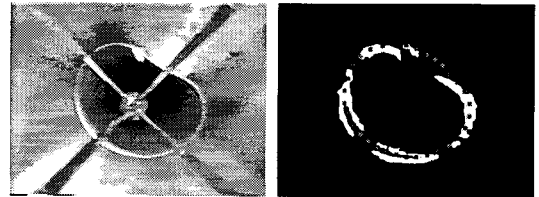


그림 12. 오분류의 예 (결과 등급 : B, 실제 등급 : D)

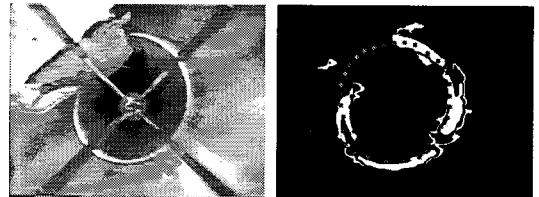


그림 13. 오분류의 예 (결과 등급 : A, 실제 등급 : F)

6. 결 론

본 논문에서는 레이저를 관로 내벽에 투영하고, 카메라를 이용하여 영상을 획득하여 관로 상태를 분류하는 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 색차 모델과 다중 임계치를 이용하여 투영 고리 영상을 분할하였고, 최소 직경 계산과 푸리에 표기자에 의해 관로 상태를 분류하였다. 기존에 제안된 CCTV를 이용하는 관로 검사 장비는 지능적 판단 능력을 가지고 있지 않지만 본 논문에서 제안한 기법은 자동으로 관로의 상태를 분류할 수 있다. 또한, 보조 조명 장치를 사용하여 시각적인 검증 능력을 향상하였으며, 투영 고리의 국부적인 정보인 최소 직경과 전체 형상

정보인 푸리에 표기자를 동시에 사용하여 분류 성능을 향상하였으며, 다양한 조건의 실제 매설된 관로 영상의 실험에서 2% 미만의 오분류를 보였다. 또한, 성능향상을 위해서 제안한 분류기와 신경망이나 SVM(support vector machin) 등과 같은 훈련에 의한 분류기와의 비교 연구가 추가적으로 이루어지고 있다.

대부분의 오분류는 LD의 불안정으로 발생하였다. 저가형 LD를 사용하여, 장비의 비용은 최소화하였으나 불안한 출력 특성을 조절할 하드웨어를 추가하지 않았다. 투영 영역이 잘 나타나지 않는 영역은 보간법을 이용하여 해결하였으나, 보간에 의해 일부 손상된 관로들에 대한 오분류를 나타냈다. 이러한 문제는 LD 특성을 안정화할 수 있는 하드웨어적 보완으로 해결되어야 한다. 또한 제안하는 기법이 관로를 검사하는 범용적인 장비로서 사용되기 위하여, PVC(polyvinyl chloride) 관로, 콘크리트 관로와 하수도 관로 등에서 추가적인 실험과 보완 연구가 계속 수행될 것이다.

참 고 문 헌

[1] M.V. Predoi, C.C. Petre, M. Rousseau and M. Billy, "Ultrasonic inspection of defects in welded plates and tubes," *IEEE Proceedings of Ultrasonics Symposium*, pp. 845-848, 1997.

[2] K. Reber, M. Beller, H. Willems, and O.A. Barbian, "A new generation of ultrasonic in-line inspection tool for detecting, sizing and locating metal loss and cracks in transmission pipelines," *IEEE Proceedings of Ultrasonics Symposium*, pp. 665-671, 2002.

[3] T. Manabe, T. Tsujimura, S. Tomita, and T. Tabuta, "Acoustic inspection system for underground telecommunication conduit," *IEEE Conference Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology*, pp. 761-764,

1994.

[4] W.W. Zhang and B.H. Zhuang, "Non-contact laser inspection for the inner wall surface of a pipe," *Measurement Science and Technology*, Vol. 9, No. 9, pp. 1380-1387, 1998.

[5] O. Duran, K. Althoefer, and L.D. Seneviratne, "Pipe inspection using a laser-based transducer and automated analysis techniques," *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*, Vol. 8, No. 3, pp. 401-409, 2003.

[6] R. Henry and A.R. Luxmoore, "A pipe-profiling adapter for CCTV inspection cameras: development of a pipe-profiling instrument," *Measurement Science and Technology*, Vol. 7, No. 4, pp. 495-504, 1996.

[7] S. Marchand-Maillet and Y.M. Sharaiha, *Binary Digital Image Processing*, Academic Press, NY, 2000.

[8] G..H. Granlund, "Fourier preprocessing for hand print character recognition," *IEEE transaction on Computers*, Vol. C-21, pp.195-201, 1972.

[9] C.T. Zahn and R.Z. Roskies, "Fourier descriptor for plane closed curves," *IEEE transaction on computers*, Vol. C-21, pp. 269-281, 1972.



이 대 호

1998년 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 경희대학교 전자공학과 (공학박사)
 2005년~현재 경희대학교 교양학

부 전임강사
 관심 분야 : 컴퓨터비전, ITS, 신경망, 패턴인식, 신호처리