

## 통신 관로의 상태 조사를 위한 최소 직경 산출 방법

이대호<sup>0</sup>, 박영태<sup>0</sup>  
 경희대학교 교양학부<sup>0</sup>, 경희대학교 전자정보대학  
 {nize<sup>0</sup>, ytpark}@khu.ac.kr

### Estimation of minimum diameter for inspection of communication conduits

Daeho Lee<sup>0</sup>, Youngtae Park  
 Kyunghee University

#### 요 약

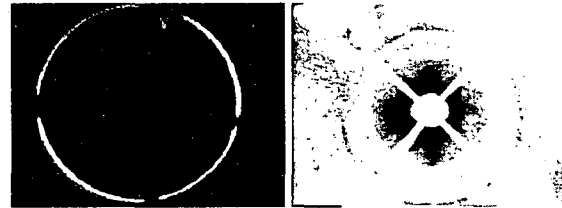
본 논문에서는 지하에 매설된 통신 관로의 상태를 조사하기 위해, 레이저 투영 영상을 이용한 관로의 최소 직경을 산출하는 새로운 방법을 제안한다. 투영 영역을 정확히 분할하기 위하여 새로운 색차 모델과 다중 임계치를 적용하였다. 관로의 투영 단면은 레이저가 투영된 곡선의 형상에 나타나므로 곡선의 최소 직경을 계산하여 관로가 찌그러져 있거나 이물질이 존재하는 것을 구분할 수 있다. 제안하는 기법은 100mm의 정상 관로에서 평균 1.83mm의 오류를 나타내어 관로의 상태를 조사하는 기법으로 사용이 가능하다.

#### 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 어렵다. 폐쇄 회로를 이용하여 자동으로 관로의 상태를 분석하는 기법은 [5,6]에서 보고되었으나 외부 조명 없이 레이저만을 이용하여 단면에 투영된 레이저 영상을 분석하였다. 본 논문에서는 시각적인 검증 능력을 향상하기 위하여 외부 조명을 사용하여 관로의 투영 단면을 조사하는 기법을 제안한다. 외부 조명을 사용하므로 레이저 영상의 분할이 기존의 기법들 보다 어려우므로 색차 모델과 다중 임계치에 의해 투영 영상을 분할하고 투영 영역을 이산적인 폐곡선 좌표로 매핑하여 수학적으로 표현한다. 또한 이 물질에 의해 끊어진 투영 영역은 보간 기법에 의해 추정한다. 만일 관로 내부에 이물질이 있거나 관로가 찌그러진 경우에는 단면의 최소 직경이 정상 관로의 직경에 비해 낮게 측정될 것이므로 관로의 상태 조사를 위한 특징으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 폐곡선의 최소 직경을 산출하는 새로운 방법을 제시하며 실험을 통하여 정확도를 검증한다.

#### 2. 투영 영상 분할

기존에 제안된 기법들의 관로 내부 영상은 그림 1(a)와 같이 투영 영역만이 높은 밝기를 가지므로 간단한 임계치를 이용하여 쉽게 투영 영역을 분할할 수 있다. 그러나 조명을 사용하지 않으므로 관로 내부 상태를 정확히 판단하기 어렵다. 본 논문에서는 누수 및 파손 여부를 쉽게 관측하기 위하여 LED(light emitting diode)를 장착하여 그림 1(b)와 같은 관로 내부 영상을 획득한다.



(a) 조명을 사용하지 않은 경우, (b) 조명을 사용한 경우  
 그림 1. 관로 내부 영상.

본 논문에서 획득된 관로 내부 영상은 주위에 밝은 영역이 많이 가지기 때문에 화소의 밝기에 임계치를 설정하여 레이저 영역을 분할할 수 없다. 그러나 적색 레이저 다이오드를 사용하므로 색차 모델을 이용하면 보다 쉽게 투영 영역을 분할할 수 있다. 식(1)은 영상 압축에서 사용되는 적색 계열 색차 모델( $C_r$ )이며  $R$ ,  $G$  과  $B$  는 각각 적색, 녹색 청색 계열 밝기를 나타낸다.

$$C_r(x, y) = 0.5R(x, y) - 0.41869G(x, y) - 0.08131B(x, y). \quad (1)$$

그림 2(b)와 같은 영상에 식(1)과 같은 색차 모델을 적용하면 백색 특성이 많이 나타나는 적색과 흐릿한 적색을 쉽게 구분하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 식(2)와 같은 적색 색차 모델을 사용한다.

$$D_r(x, y) = \min(R(x, y) - G(x, y), R(x, y) - B(x, y)). \quad (2)$$

그림 3(a)의 관로 내부 영상에 대한 식(2)의 색차 모델을 적용한 결과는 그림 3(b)와 같다. 이러한 영상에서 좌우 영역의 흐릿한 부분도 식(2)에 의해 배경과 분리되었으나 크기는 상하

영역의 투영 영역에 비해 상당히 낮은 값을 가진다. 따라서 단순한 단일 임계치에 의해 투영 영역을 분리하는 것은 불가능하다. 그림 2는 투영 영상의 일부분으로 위 부분은 강한 적색 계열 크기를 가지고 아래 부분은 낮은 크기를 가지는 경우이다. 그림 2에서 A와 B로 구분된 영역은 두 개의 임계치에 의해 구분된 것이며 A가 높은 임계치에 의해 분할된 영역이다. 만일 높은 임계치만을 사용하면 B<sub>2</sub>는 배경 영역으로 설정될 것이며 높은 임계치를 사용하면 A<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub>가 B<sub>1</sub>에 의해 두터워지고 혹은 다른 배경 영역과 연결 영역으로 설정될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 연결 영역 정보를 이용하는 새로운 다중 임계치 기법을 아래와 같이 제안한다.

Step 1: 옴차순에 의해 임계치 리스트  $T = \{T_1, T_2, \Lambda, T_n\}$ .

( $T_i > T_{i+1}$ )를 초기화 한다.

Step 2: T에 의해 원 영상을 이진화하고 연결 영역 라벨화[7]를 수행하여 연결 영역을  $S_i = \{R_1^i, R_2^i, \Lambda, R_m^i\}$

$i = 1, 2, \Lambda, n$ 으로 저장한다.

Step 3: S<sub>i</sub>의 모든 연결 영역은 분할 영역으로 지정한다.

Step 4: S<sub>i</sub>를 제외한 S<sub>j</sub>의 l번째 영역 R<sub>k</sub><sup>j</sup>이 아래의 조건을 만족하면 분할 영역으로 지정한다.

$$n(R_i^j \cap R_k^j) = 0 \text{ OR } n(R_i^j \cap R_k^j) \neq 0 \wedge n(R_k^j) \ll n(R_i^j), \forall k$$

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

Step 1에서 n은 영상의 복잡도에 의해 지정해야 할 것이며 본 논문에서는 3의 값으로 설정하였다.

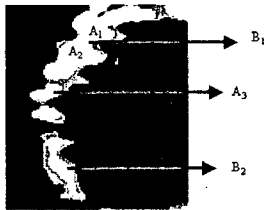


그림 2. 다중 임계치.

그림 3(c)와 (d)는 단일 임계치에 의해 얻어진 분할 영역이다. 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 3(e)는 다중 임계치를 적용한 결과이며 (f)는 제안한 방법에 의해 분할된 영역을 나타낸다. 그림 3(f)의 결과가 (c)나 (d)의 결과보다 우수한 것을 볼 수 있다.

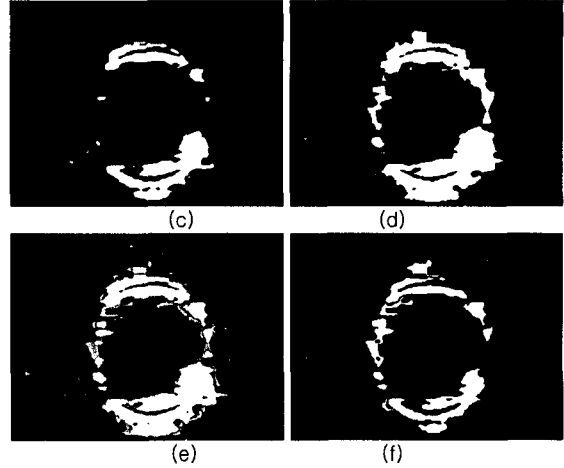
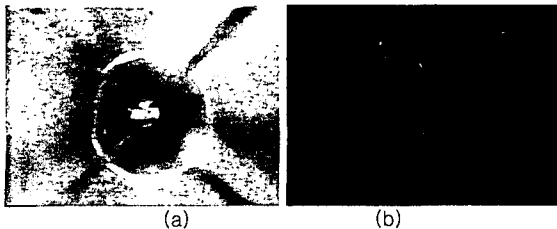


그림 3. 투영 영역 분할.

### 3. 투영 곡선 추출

투영 영역이 분할되면 투영 영역을 수학적인 폐곡선으로 표현하기 위하여 정확한 투영 위치를 찾아야 한다. 그림 4는 투영 영역의 단면의 화소들의 밝기를 나타낸 것으로 중심 위치가 가장 밝은 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 분할된 투영 영역을 그룹화하여 중심 좌표( $c_x, c_y$ )를 찾고 중심 좌표에서 360도를 N 개의 방위로 나누어 외곽적으로 진행하면 높은 화소값 위치를 식(3)과 같이 찾는다.

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

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

식(3)에서  $\delta = 0.5$ 로 증가시키며 위치를 찾고 투영 곡선은 N 크기의 이진화된 좌표  $C = \{p(0), p(1), \Lambda, p(N-1)\}$ 로 표현된다.

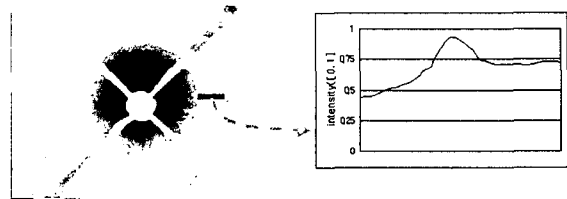


그림 4. 투영 영역 단면의 전형적인 화소 밝기.

만일 i 방향으로 곡선의 좌표를 찾지 못한다면 식(4)와 같이 주위 t개의 좌표를 사용하여 보간 기법으로 추정한다.

$$p_x(i) = c_x + \cos(2\pi i / N) \times \frac{1}{2t} \sum_{k=i-t, i \neq 0}^{i+t} |c_x - p_x(k)| \quad (4)$$

$$p_y(i) = c_y + \sin(2\pi i / N) \times \frac{1}{2t} \sum_{k=i-t, i \neq 0}^{i+t} |c_y - p_y(k)|$$

4. 최소 직경 산출

관로의 최소 직경( $D_m$ )은 임의의 좌표( $p(i)$ )에서 대응되는 상대 좌표( $O_{p(i)}$ )로의 거리가 최소인 거리로 식(5)와 같다.

$$D_m = \min \|p(i) - O_{p(i)}\|, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

$O_{p(i)}$ 는 중심과 가장 가까운 선분으로 이어지는 좌표를 의미한다. 그림 5에서 A의 상대 좌표는  $Z_1$ 이나  $Z_2$ 로 추정할 수 있으나  $Z_2$ 와 이어진 선분이 중심과 가까우므로  $Z_2$ 를 상대 좌표로 지정하여 최소 직경을 계산한다.

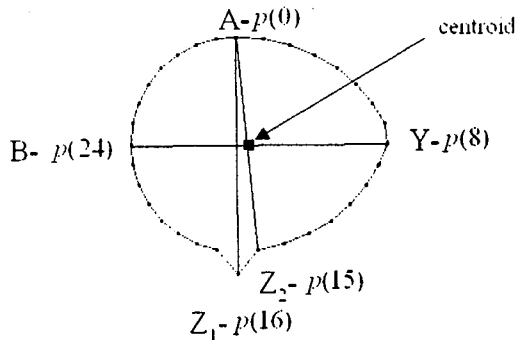


그림 5. 직경 계산.

5. 실험 결과 및 결론

320×240의 해상도로 획득된 영상에 대해 펜티엄 프로세서 (1.6GHz)를 이용하여 실험하였다. 그림 6은 100mm의 직경을 가지는 정상 관로에 대한 실험으로 분할된 투영 영역과 최소 직경을 가지는 위치를 보여준다. 그림 6에서 사각형으로 표시된 좌표는 검출된 투영 위치이며 마름모형으로 표시된 좌표는 보간에 의해 추정된 좌표이다. 계산된 최소 직경은 99.6mm로서 매우 정확한 결과를 나타내었다.



그림 6. 100mm 관로 내에서 획득 영상과 결과 (계산 최소 직경: 99.6mm).

100mm 직경을 가지는 PVC(polyvinyl chloride)와 콘크리트 관로에 대한 여러 위치에서 획득된 100장의 영상에 대해 최소 직경을 계산한 결과 1.83mm의 RMSE(root mean square error)를 나타냈다. 이것은 320×240의 영상에서 2.6 pixel을 의미하며 매우 정확하게 직경을 산출한 것이다. 따라서 제안하는 기법은 관로의 상태를 자동으로 조사하는 기법의 핵심 기술로 사용될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 정상 관로에 대한 실험 결과를 나타냈으나 다중

임계치에 의해 분할된 투영 영역은 침수된 관로, 파손된 관로와 이물질이 존재하는 관로에서도 안정된 분할 결과를 보였으며 투영 곡선에 대한 특징을 분석하여 관로의 등급을 자동으로 지정하는 기법에 대한 연구가 이루어질 것이다.

참고 문헌

[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. Tabata, "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, 2000