

# 관로상태 진단을 위한 자동 관로 등급 판정 기법 개발

이 복 훈\*, 배 진 우\*, 정회원 최 광 철\*\*, 강 영 석\*\*, 유 지 상\*

## Development of automatic pipe grading algorithm for a diagnosis of pipe status

Bok-heun Lee\*, Jin-woo Bae\*, Kwang-chul Choi\*\* · Young-sug Kang\*\* ·  
Ji-sang Yoo\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 지하에 매설되어 있는 통신 관로의 효율적인 관리를 위하여 관로상태를 진단할 수 있는 자동 관로 등급 판정 시스템을 제안하였다. 작업자에 의해 행해지던 기존의 관로 조사는 주관적인 판단에 의해 수동으로 판단하기 때문에 수치적인 정량화를 통한 관로 등급 판정 및 효율적인 데이터베이스 구축이 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 인입 길이별로 관로 단면에 레이저를 투영하여 단면의 상태를 획득하고, 획득된 영상에 대해 실제 관로 단면의 수치적인 최소 직경을 구하여 등급 판정하는 기법을 적용하였다. 제안된 기법에서는 관로 내부의 특별한 상황을 고려하여 잡음 제거 필터와 다양한 color model를 적용한 전처리 과정을 거치게 된다. 관로의 최소 직경 판단 및 등급 판정은 세부처리 단계를 통하여 이루어진다. 정확도(precision)를 이용하여 제안된 시스템의 성능을 평가한 결과 90% 이상의 정확한 등급 판정이 가능한 것을 확인하였다.

key Words : Image processing; color model;

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new automatic pipe grading algorithm for an efficient management of transmission pipe under the ground. Since the conventional transmission pipe evaluation was conducted by subjective decision made by an individual operator, it was difficult to grade them by means of numerical methods and also hard to realistically construct numerical database system. To solve these problems, we first obtain some information on the current condition of pipes' sections by shooting laser beam at a regular rate and then apply grading algorithm after complete calculation of minimum diameter of pipe. We use some of preprocessing techniques to reduce noise and also use various color models to consider special conditions of each inner pipe. The measurement of pipes' minimum diameter and decision of grade are performed through a detailed processing stages. By some experimental results performed in the field, we show that over 90 percent of correct grade decisions are made by the proposed algorithm.

### 1. 서 론

현재 정부는 세계 최고 수준의 정보 인프라 우위

를 유지하기 위하여, 1995년부터 '초고속정보통신망 구축계획'을 수립 및 시행하고 있다. 이 계획이 마무리되는 2005년 이후의 장기적인 정보인프라 고도

\* 광운대학교 전자공학과 디지털 미디어 연구실(dogtags@image.gwu.ac.kr, bjw8751@image.gwu.ac.kr, jsyoo@daisy.kw.ac.kr),

\*\* KT 기술본부 기술기획팀(kwang7@kt.co.kr, evertin@kt.co.kr)

논문번호 : 040116-0308, 접수일자 : 2004년 03월 08일

※본 연구는 KT 기술연구소에서 2002~2003년 정보통신부 선도기반기술과제로 수행한 "초고속 인프라망의 효율적 관리를 위한 핵심기술 개발" 사업의 지원으로 수행되었습니다.

화 비전 및 전략계획과 연계해 미래 IT 신산업 성장을 이끌 국가차원의 대표 프로젝트라는 계획 아래 차세대 통합네트워크 구축에 박차를 가하고 있는 실정이다[1]. 그와 발맞추어 그동안에 체계적으로 관리되지 않던 유선 통신 관로에 대한 효과적인 기초시설자료구축이 절실히 필요하게 되었다. 정부는 유선 통신의 수요에 맞추어 매년 또는 2~3년에 한번씩 지하에 케이블을 증설하고 있으며, 장래수요를 감안하여 공 관로를 매설하였다. 그러나 기존 음성 서비스를 위한 케이블이 지하관로에 대부분 대·개체 되지 않은 상태에서 xDSL 등 새로운 서비스를 위한 신규 케이블의 투자가 계속 진행되고 있는 실정이다. 미리 매설된 대부분의 공 관로는 플라스틱 재질이므로 내구성이 약하기 때문에 각종 외부 요소로 인해 손상되어 사용하지 못하게 되는 경우가 증가하고 있으며, 실제 사용가능한 관로는 공 관로 수보다 상당히 적은 실정이다. 따라서 기초시설에 대한 현 실태를 정확히 파악하여 향후 효율적인 장기투자계획을 수립하는 기초자료 수집이 절실히 필요하다.

기존의 관로 조사는 주로 작업자에 의해 수행되었으며 주관적인 판단에 의해 수동으로 판단하기 때문에 수치적인 정량화를 통한 관로 등급 판정 및 효율적인 데이터베이스 구축이 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 인입 길이별로 관로 단면에 레이저를 투영하여 단면의 상태를 획득하고, 획득된 영상에 대해 실제 관로 단면의 수치적인 최소 직경을 구하여 등급 판정하는 기법을 제안하였다.

제안된 기법을 적용하기 위하여 비어있는 관로 속으로 특수 제작된 카메라 장치를 삽입하여 내부 상황을 조사하고 레이저 빔을 관로 단면상에 투영하여 관로의 찌그러짐 및 그 손상 정도를 판정하는 자동 관로 등급 판정 시스템을 동시에 개발하였다. 제안된 기법으로 레이저를 투영한 관로의 단면 영상을 이용하여 손상정도를 확인하고, 관로의 최소직경을 산출하여 등급을 판정하게 된다. 제안된 자동 관로 등급 판정 알고리즘은 잡음 제거 및 레이저 영역을 추출하는 전처리 과정과 전처리 과정을 거친 영상에 대해 등급 판정하는 세부처리 과정으로 이루어진다. 또한 제안된 기법에서는 일반적인 관로의 상태뿐만 아니라 관로 안이 물이나 흙 등의 이물질로 채워진 경우 등 여러 손상 형태도 자동으로 인식하여 처리할 수 있다.

본 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 개요 및 구성에 대하여 기술하였고, III장에서는 관로영상 자동 등급판정을 위해서 제안한 기법에 대하여 설명하였다. IV장에서는 개발한 시스템을 통해서 실제 관로에 적용한 결과 및 분석을 서술하고, 마지막으로 V장에서는 결론과 향후 기대 효과를 제시하였다.

## II. 시스템 개요 및 구조

전체 시스템은 기초시설 운용 시스템과 맞물려 현장에서 관로의 상태에 대한 데이터를 획득하고, 영상처리 기법을 통해 관로단면에 투영된 레이저를 추출하고 관로의 상태를 자동으로 판단하는 기능을 가진다. 본 시스템에서는 획득되어진 영상과 각 위치정보에 동기를 맞추어 영상의 최소 직경과 판정 등급 및 사용자 정의를 통한 메타데이터를 저장한다. 또한, 용이한 검색을 위하여 메타데이터를 분석할 수 있으며, 해당 위치의 영상을 출력할 수 있도록 구성되었다. 그림 1은 관로상태 진단을 위한 자동 관로 등급 판정 시스템 구조를 나타낸 것이다.

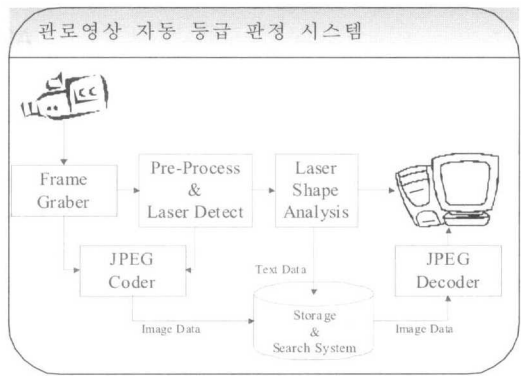


그림 1. 전체 시스템 구조

특수 제작된 탐사 카메라를 이용하여 레이저가 투영된 관로의 단면영상을 획득하게 되고, 획득된 영상에서 레이저 영역 추출 및 관로의 등급을 판정하게 된다. 영상데이터는 정지영상의 표준 압축기법인 JPEG 압축기법[2]-[5]을 사용하여 저장하고, 최소직경 및 등급은 자체적인 메타데이터를 생성하였다.

### Ⅲ. 자동 관로 등급 판정 알고리즘

자동 관로 등급 판정 알고리즘은 잡음 제거 및 레이저 영역을 추출하는 전처리 과정과 전처리 과정을 거친 영상에 대해 등급 판정하는 세부처리 과정으로 이루어진다.

#### 1. 전처리 과정

전처리 과정은 프레임 그래버(frame grabber)를 통해 입력받은 디지털 영상에 대하여 배경 조명의 밝기 및 레이저 강도를 수동으로 보정할 수 있도록 조정해 주는 초기 세부조정 단계와 실제 입력된 영상의 예외처리를 위한 color model 적용 및 레이저 영역 추출 단계, 그리고 밝기성분에 민감한 레이저에 대한 잡음제거 단계로 구성된다. 전처리 과정에 대한 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

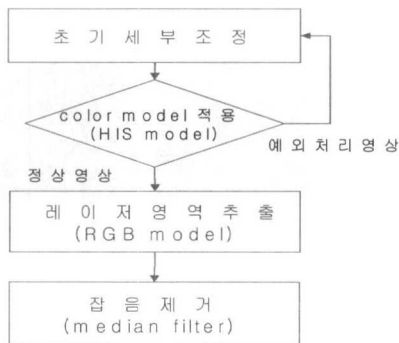


그림 2. 전처리 과정 순서도

시스템에서 모든 상황에 적응적으로 레이저 영역을 추출하는 데는 무리가 있기 때문에 관로의 내부를 작업자가 인식할 수 있는 최소한의 배경 조명을 보장할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 관로의 단면적에 대한 정보를 표현할 수 있는 레이저 또한, 제안한 기법에 적합하도록 RGB model에서 Red 성분을 충분히 포함하고 있어야 한다. 초기 세부조정 단계는 최소한의 배경 조명과 레이저 강도를 보장받기 위한 단계이다. 본 시스템에서는 붉은색 계열의 레이저를 사용하지만, 프레임 그래버의 특성상 자동이득조절기(auto-gain controller)가 내장되어 있기 때문에 배경 조명이 너무 어두우면 붉은색의 레이저 성분이 상대적으로 흰색으로 나타나게 된다. 때문에, 이와 같은 예외처리 상황을 고려하여, 배경 조명과

레이저 강도를 수동으로 조절하기 위한 color model 적용단계를 수행한다. 제안하는 기법은 color model인, HSI model을 적용하여 입력영상에서 레이저 추출이 가능한지를 분석하고 RGB model을 이용해서 레이저 영역을 추출한다. 인간의 색채 인식 시스템과 관련된 HSI model은 색상, 채도 및 명도를 그대로 표현해줄 수 있기 때문에 머신 비전 시스템(machine vision system)에 널리 사용된다[6]. 본 논문에서는 HSI model 중 명도(Intensity) 성분을 이용하여 배경 조명의 밝기를 판단하였으며, 채도(saturation) 성분을 이용하여 레이저의 강도를 판단하였다. 그림 3은 각 입력영상에 대하여 color model별 분석을 나타낸 것이다.



그림 3. 각 입력 영상에 대한 RGB model 및 HSI model별 분석

그림 3.(a)와 같이 배경 조명과 레이저의 강도가 보장되는 경우에는 RGB model에서는 큰 차이점을 볼 수 없지만 HSI model 중 S와 I 성분에서 보는 바와 같이 채도 성분과 명도성분에서 확연히 구분이 된다. 그림 3.(b)영상의 경우 배경조명이 너무 어둡기 때문에 명도 성분에서는 거의 표현되지 않는다. 그림 3.(c)영상의 경우 배경조명이 아주 밝기 때문에 명도 성분에 아주 큰 값을 가지고 반면에 채도성분은 거의 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 color model 중 HSI model을 이용하여 주위 배경 및 레이저의 강도가 보장되지 않는 영상은 예외 처리한다. 예외처리 영상은 실험을 통하여 획득된 임계값 이상의 S, I값에 대해 유효계수로 설정하고, 이를 기준으로 판단하였다. 유효계수는 S성분의 경우 30%이상인 값과 I성분의 40% 이상인 값으로 설정하고 그에 대한 분포를 통하여 상·중·하로 구분하였다. 지금까지의 과정에서 상·중·하로 구분된 분포 특성중 상과 하로 분류된 영상은 예외처리하고, 중에 해당하는 영상만 RGB model을 적용하여 레이저 영역을 추출하게 된다.

그림 4는 S와 I성분에 대한 예외처리 범위를 나타낸 것이다. 여기에서 사용된 임계값  $T_L$ ,  $T_H$ 는 실험을 통하여 설정하였다. 그림 5는 각각의 입력 영상에 대해 유효 계수의 분포에 따라 분류한 것이다.

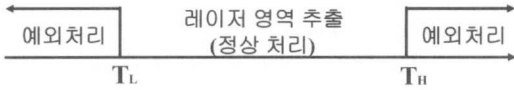


그림 4. S, I성분에 대한 예외처리 범위

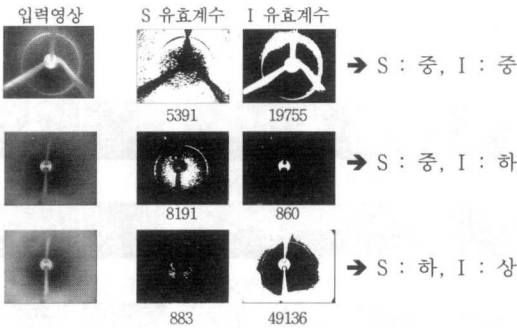


그림 5. 명도(I)와 채도(S)의 유효계수에 의한 영상분류

color model을 적용하여 예외처리 영상을 분류하고 정상 영상이라고 판단되는 영상에 대해서는 레이저 영역 추출 단계를 거치게 된다. 이 단계에서는 RGB model을 적용하게 된다. 실제 탐색카메라에 부착된 레이저가 붉은색계열임을 감안하여 레이저 영역 추출 단계에서는 Red 성분에 가중치를 두고 레이저성분을 추출하게 된다. 본 논문에서는 식(1)을 이용하여 레이저 영역을 추출하였다.

$$W * R(x, y) - (G(x, y) + B(x, y)) > T \quad (1)$$

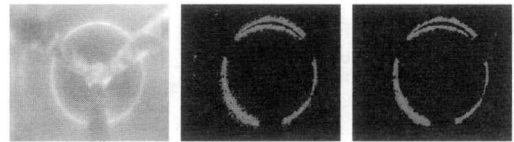
$R(x,y)$ ,  $G(x,y)$ ,  $B(x,y)$ 는 영상에서 각각의 Red, Green, Blue성분의 화소의 밝기값을 나타내고,  $W$ 는 가중치를 나타낸다.  $T$ 는 임계값을 나타낸다. 입력영상에서 볼 수 있듯이 레이저의 지지대부분은 배경 조명이 반사되어 흰색으로 나타나게 된다. 따라서 관로의 직경을 판단하기 위한 레이저 영역 추출과정에서 잡음으로 작용하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안한 기법에서는  $R \cdot G \cdot B$  성분이 유사한 회색계열(검정색, 회색, 흰색 등)의 성분을 제거하기 위하여 식(1)에서는  $W$ 를 2로 설정하였다.

전처리 과정의 최종 단계에서는 레이저 영역 추

출 단계의 결과에 대해 잡음제거 단계를 수행한다. 입력영상에 대한 잡음은 프레임 그래버를 통하여 디지털화 되는 과정에서 비선형 형태의 왜곡현상과 불규칙하게 산란되는 레이저 등으로 규정할 수 있다[7]. 본 논문에서는 이와 같이 불확실한 잡음을 제거하기 위하여 median filter를 사용하였다. 식 (2)는 논문에서 사용한 median filter를 나타낸다[8].

$$f(x, y) = \underset{(s, t) \in S_{xy}}{\text{median}} (g(s, t)) \quad (3)$$

$S_{xy}$ 는 마스크로 사용된 윈도우이며,  $x, y$ 는 각각 가로, 세로 좌표를 나타낸다.  $g(s,t)$ 는 원 영상에서 마스킹된 윈도우 영역이고,  $s$ 와  $t$ 는 윈도우의 각각 가로, 세로 좌표이다.  $f(x,y)$ 는 median filter 통과 후 잡음이 제거된 결과영상이다. 그림 6은 원영상과 알고리즘을 통해서 추출된 레이저영상, 그리고 median filter를 통해 잡음을 제거한 영상을 나타낸 것이다.



(a)원영상 (b)레이저 추출영상 (c)잡음제거영상

그림 6. 전처리 과정후의 레이저영상

그림 6.(c)에 보인 전처리 과정의 결과 영상은 다음 단계인 세부처리 과정의 입력이 된다.

## 2. 세부처리 과정

세부처리 과정에서는 추출된 레이저영상으로부터 정확한 레이저좌표를 구하여 관로의 최소직경을 산출하고, 이를 이용하여 관로의 등급을 판단한다. 그림 7은 세부처리 과정을 나타낸 것이다.

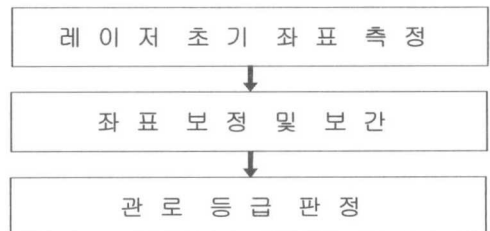
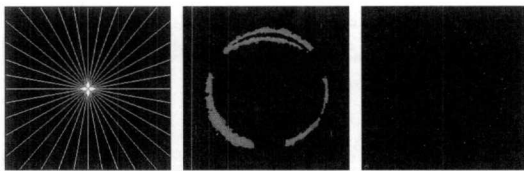


그림 7. 세부처리 과정 순서도

2.1 레이저 초기좌표 측정

레이저 초기좌표 측정 단계에서는 전처리 과정의 결과영상을 이용하여 화소의 밝기값을 기준으로 대략적인 초기좌표를 측정하게 된다. 레이저 영상이 형성하는 원의 각 좌표를 절대 좌표로 표현하기 위하여 대략적인 중점을 구하게 되고, 그 중점을 기준으로 정방향 캔버스영상으로 좌표이동 된다. 최종적으로 캔버스영상으로 이동된 영상을 이용하여 초기 좌표를 설정하게 된다.

일정범위 내에서 가로, 세로방향으로 각각 스캔하여 가장 긴 선분의 중점을 원의 대략적인 중점으로 설정하고, 그 중점을 260×260 크기의 캔버스영상의 중심좌표인 (130,130)으로 평행 이동시킨다. 최종적으로 캔버스영상을 이용하여 원의 중점을 기준으로 10도 간격으로 이동하면서 레이저의 위치를 찾는다. 즉, 10도 간격의 36개 좌표를 구하게 되고 이를 레이저가 형성하는 원의 초기좌표로 설정하게 된다. 연산량을 줄이기 위하여 각 10도 간격의 좌표는 미리 계산하여 메모리에 저장을 하였으며, 해당 각도에 대한 탐색 영역 내에서 가장 밝은 화소를 레이저의 초기 좌표를 설정하게 된다. 그림 8에 36개의 레이저 초기좌표를 구하는 과정이다.



(a)좌표 마스크 (b)캔버스영상 (c) 초기좌표  
그림 8. 레이저 초기좌표 설정

그림 8.(a)는 미리 구해진 좌표마스크를 나타낸 것이며, 이를 이용하여 그림 8.(b)영상에서 초기좌표로 설정된 각 좌표를 그림 8.(c)에 나타내었다. 그림 8.(c)에서 보느냐와 같이 레이저 영역의 크기에 따라 좌표가 불규칙하게 나타나고, 지지대와 같은 구조물로 인해 36개의 좌표를 모두 찾을 수는 없다. 제한한 기법에서는 레이저좌표를 일정하게 만드는 좌표보정 단계와 미 탐색좌표에 대한 처리를 위해서 좌표보간 단계를 수행하여 시스템의 성능을 향상시켰다.

2.2 좌표보정 및 보간

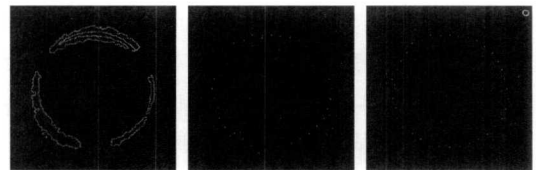
좌표보정 및 보간 단계는 레이저 초기좌표를 기준으로 일정영역을 재탐색하여 좌표를 보정하는 좌

표보정 단계와, 미 탐색된 좌표에 대한 보간(interpolation) 단계로 이루어진다.

좌표보정 단계에서는 레이저의 영역을 검출하고, 레이저 영역의 중심 좌표가 실제 레이저의 좌표로 판단하게 된다. 이는 레이저 영역으로 판단된 부분의 중앙이 실제 레이저의 위치라는 가정을 전제로 한 것이다. 레이저 영역의 중심부를 찾기 위하여 본 논문에서는 레이저 영역의 경계를 찾아 그 경계 내부에서 중심을 재탐색하였다. 레이저 영역의 경계를 검출하는 기법으로는 morphological gradient 연산을 사용하였다. 영상의 경계를 검출하는 기법에는 Sobel, Robert 등 주위 화소의 차이값을 기준으로 하는 대표적인 기법이 있지만, 이들의 기법은 필터의 계수에 따라 특정 방향성을 가지는 선분에 대하여 경계 검출이 어렵다는 단점이 있다. 입력되는 영상이 원에대한 경계 선분을 찾기 때문에 방향성에 민감한 경계검출 기법은 실제 유효한 정보를 잃을 수 있다. 때문에 본 논문에서는 방향성에 덜 민감한 morphological gradient 연산을 사용하였다. 식(3)에서는 morphological gradient 연산을 나타낸 것이다 [9].

$$f(x, y) = (g \oplus b)(s, t) - (g \ominus b)(s, t) \quad (3)$$

$(g \oplus b)(s, t)$ 는 불림(dilation)연산을 나타내고,  $(g \ominus b)(s, t)$ 는 녹임(erosion)연산을 나타낸다.  $f(x, y)$ 는 불림연산 후의 결과영상에서 녹임연산 후의 결과영상을 뺀 결과영상이다. 그림 9.(a)은 그림 8.(b)영상을 morphological gradient 연산한 결과영상이다.



(a)MG 결과영상 (b)좌표 보정 (c)좌표 보간영상  
그림 9. 레이저좌표 보정 및 보간 후의 결과영상

그림 8.(c)의 초기 좌표를 기준으로 하여, 그림 9.(a)영상에서 제한된 영역 내에 존재하는 두 화소를 찾게 된다. 최종적으로 두 화소의 중점을 보정된 레이저좌표로 설정하게 된다. 그림 9.(b)는 레이저좌표 보정후의 결과영상이다. 그림 8.(c)와 그림 9.(b)를 비교하면, 레이저좌표가 보정된 것을 확인할 수

있다. 좌표보간 단계에서는 미탐색 좌표에 대한 보간으로 최종적으로 36개의 좌표를 생성하게 된다. 보간 작업은 두개의 탐색된 이웃좌표를 이용하여 선형적으로 이루어진다. 그림 9.(c)는 그림 9.(b)를 보간 작업하여 36개의 좌표를 구한 결과영상이다. 그림 9.(c)를 이용하여 관로 등급 판정을 하게 된다.

2.3 관로 등급 판정

관로 등급은 최소직경을 기준으로 판정된다. 그림 9.(c)에서 원점으로 대칭되는 좌표간의 거리를 산출하여 최단거리를 최소직경으로 한다. 여기서 구한 최소직경은 화소수를 기반을 한 것이기 때문에 실제 관로 크기 단위인 밀리미터(mm)로 환산하는 과정이 필요하다. 밀리미터로 환산하기 위하여 최소직경에 일정한 가중치를 적용하였다. 특히, 관로 안에 물이 가득차있을 경우에는 레이저가 굴절되어 실제 관로 크기보다 더 크게 측정된다. 본 논문에서는 이러한 영상에서도 적응적인 등급판정을 위하여 물의 굴절률도 적용하였다. 이를 pseudo code로 나타내면 다음과 같다.

$$Duct_{Diameter} = W_1 * Temp_{Diameter}$$

$$if(Duct_{Diameter} > Ref_{Diameter})$$

$$Duct_{Diameter} = W_2 * Duct_{Diameter}$$

$$else Duct_{Diameter} = Duct_{Diameter}$$

$Temp_{Diameter}$ 는 화소기반의 최소직경,  $Duct_{Diameter}$ 는 가중치를 적용하여 밀리미터로 환산한 최소직경을 나타내며,  $Ref_{Diameter}$ 는 실제 표준이 되는 관로의 직경이다.  $W_1$ 은 밀리미터로 환산하기 위한 가중치이고,  $W_2$ 는 물의 굴절률을 고려한 가중치이다. 관로 등급 판정 기준인, 표 1을 이용하여 5단계로 등급을 판정하게 된다.

표 1. 관로 등급 판정 기준

등급	최소 직경 범위(mm)	관로 상태
A	95 ~ 100	정상 관로
B	90 ~ 94	
C	80 ~ 89	비정상 관로
D	60 ~ 79	
F	otherwise	예외처리

IV. 실험결과 및 분석

1. 실험환경

시스템 사양은 Pentium IV 1.4GHz, RAM 512MB, Window 2000에서 Visual C++ 6.0을 이용하여 알고리즘을 구현하였다. 실험에 사용된 프레임 그래버는 Matrox사의 Orion보드를 사용하였으며, 입력영상의 크기는 640×480이다. 알고리즘 처리시에는 계산량을 줄이기 위해서 320×240영상으로 축소하여 처리하였다. 전처리 과정에서 median filter 윈도우 크기는 2×2, 3×3을 사용하였다. 실제 관로 크기로 환산하기 위해서 사용된 가중치  $W_1$ ,  $W_2$ 는 각각 1.1, 1.32로 하였다. 이는 실험을 통하여 획득한 결과이다. 본 시스템은 매 10cm당 영상을 획득하였으며, 초당 5~6 프레임정도를 처리하였다. 실험에서는 100mm 직경의 관로를 대상으로 측정하였다.

2. 결과 및 분석

표 1을 기준으로 400개의 실험영상(F등급을 제외하고 각 등급에100씩)을 자동 관로 등급 판정 시스템에 적용하여 성능실험을 하였다. 성능평가 기준으로는 정확도(Precision)을 이용하였다. 식(4)은 정확도를 나타낸 것이다.

$$Precision = \frac{Count_{result}}{Count_{ref}} \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

$Count_{ref}$ 는 등급마다 수동으로 직접 측정된 실험영상 개수이고,  $Count_{result}$ 는 자동 관로 등급 판정 시스템을 이용해서 정확하게 판정한 영상 개수이다. 표 2에서는 레이저좌표 보정없이 실험결과를 나타낸 것이고 표 3에서는 레이저좌표 보정시 실험결과이다.

표 2. 레이저좌표 보정없이 실험한 결과

등급	성공	실패	정확도(%)
A	92	8	92
B	91	9	91
C	91	9	91
D	87	13	87

표 3. 레이저좌표 보정 후 실험한 결과

등급	성공	실패	정확도(%)
A	99	1	99
B	96	4	96
C	97	3	97
D	90	10	90

### V. 결론

본 논문에서는 자동 관로 등급 판정 기법을 제안하였다. 전처리 과정에서는 적응적인 레이저 영역 추출을 위하여 color model을 적용하였으며, 상황에 따라 변화가 심한 입력영상에서도 효율적으로 레이저의 형태를 분석하여 관로의 최소 직경을 구함으로써 자동으로 관로 등급을 판정할 수 있는 시스템을 구현하였다. 제안하는 기법은 관로와 유사한 환경에서 실제 내부의 왜곡정도를 판단하는 분야에 효율적으로 적용가능하다. 특히 자동으로 관로의 상태에 대하여 정량화, 객관화가 가능하기 때문에 통신 관로와 같은 기초 시설물에 대한 효율적인 데이터베이스구축에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구 과제로는 물이나 흙 등에서의 레이저 산란 현상을 분석 및 반영하여 좀 더 주위 환경에 적응적인 기법이 제시되어야 할 것이다.

표2와 표3에서도 알 수 있듯이 자동 관로 등급 판정 시스템의 성능이 뛰어나다는 것을 확인할 수 있다. 레이저좌표 보정을 적용할 경우 시스템성능은 더욱 향상됨을 확인하였다. 정상적인 관로에 해당하는 A, B와 왜곡이 적은 C등급의 경우 비교적 정확한 등급 판정이 이루어진 반면, 왜곡이 심한 D등급의 경우 실제 관로의 내부 상태가 상당히 불균일하여 정확한 등급 판정이 이루어지지 않음을 확인할 수 있다. 그림 10은 각 등급별로 분류된 입력영상들과 제안한 기법을 통해 산출한 최소직경을 나타낸 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 권영주, “ NGcN의 개념적 이해를 토대로 한 진화 시나리오 검토”, 정보통신정책 제 15권 10호 통권 325호 pp 1~14, 2003.6.
- [2] G. K. Wallace, “The JPEG still picture compression standard”, Comm of the ACM, Vol.34, pp.31-44, April 1991.
- [3] ISO/IEC JTC1 10918-1: ITU-T Rec. T.81, Information technology-Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines, 1994.
- [4] ISO/IEC JTC1 10918-2: ITU-T Rec. T.83, Information technology-Digital compression and coding of continuous-tone still images: Compliance testing, 1995.
- [5] ISO/IEC JTC1 10918-3: ITU-T Rec. T.84, Information technology-Digital compression and coding of continuous-tone still images: Extensions, 1996.
- [6] K. N. Plataniotis, A. N. Venetsanopoulos, *Color Image Processing and Application*, Springer, 2000.
- [7] J. Weng, P. Cohen and M. Herniou, “Camera Calibrate on with Distortion Models and Accuracy Evaluation”, *IEEE Trans. on PaMI*,

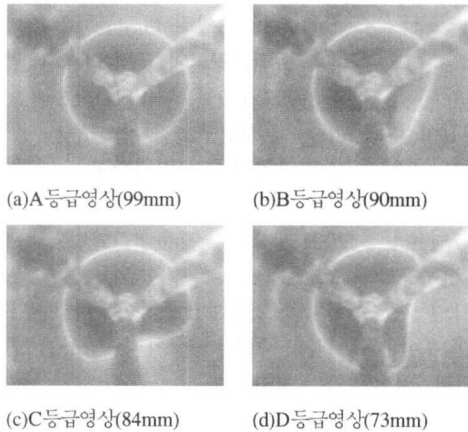
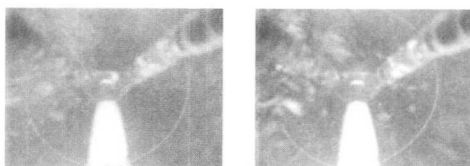


그림 10. 등급별 입력영상

그림 11는 전처리 과정을 통해서 예외처리(F등급) 영상으로 판정된 영상을 나타낸 것이다.



(a)레이저가 물에 1/3정도 잠긴 영상  
(b)물이 튀어 레이저가 보장되지 않는 영상  
그림 11. 예외처리(F등급) 영상

vol 14, No. 10, pp.965-980, Oct. 1992.

[8] Sonka, Halvac, Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, International Thomson Publishing(ITP) Inc., pp. 559~595, 1999.

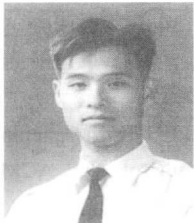
[9] C. Gonzalez, E.Woods, *Digital Image Processing. 2nd ed*, Prentice Hall, Inc., 2002.

이 복 훈(Bok-heun Lee) 준회원



2003년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업  
2004년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 동영상 코덱, 영상통신

배 진 우(Jin-woo Bae) 준회원



1998년 2월 : 순천대학교 전자공학과 졸업  
2003년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사  
2003년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 웨이블릿 기반 영상 처리, 동영상 코덱, 영상통신

최 광 철(Kwang-chul Choi) 정회원



1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과 졸업  
1997년 2월 : 서울대학교 토목 공학과 석사  
1997년 2월 : 한국통신 선로기술연구소 입사  
2004년 현재 : KT 기술본부 기술기획팀 연구원

<관심분야> 데이터통신, 유비쿼터스 네트워크, 통신 정책 및 경영

강 영 석(Young-sug Gang) 정회원



1985년 2월 : 동국대학교 토목공학과 졸업  
1987년 2월 : 동국대학교 토목공학과 석사  
1990년 2월 : 한국통신 입사  
1997년 2월 : 한국통신 선로기술연구소 토목기술연구팀장(부장)

2004년 현재 : KT 기술본부 기술기획팀 연구원  
<관심분야> 영상통신, 초고속정보통신, 통신정책 및 경영

유 지 상(Ji-sang Yoo) 정회원



1985년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1987년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
1993년 5월 : Purdue 대학교 전기공학과 졸업(Ph.D.)  
1993년 9월 ~ 1994년 8월 :

현대전자산업(주) 산전연구소 선임연구원  
1994년 9월 ~ 1997년 8월 : 한림대학교 전자공학과 조교수  
1997년 9월 ~ 2001년 8월 : 광운대학교 전자공학과 조교수  
2001년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수  
<관심분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리