

연구논문

영상처리기법과 렌즈조합에 의한 관로내 탐사기법

The Inner Pipeline Scanning Method by Digital Image Processing and Lens Combination

김원대*

Kim, Won Dae

要 旨

관로 내부를 조사하는 일반적인 방법은 CCTV 카메라를 장착한 원격 조정 기계를 사용하는 것이다. 그러나, 이 시스템은 관로의 상태에 따라서 정확한 관측이 어렵다. 기존의 CCTV 기기의 경우에 있어서 카메라가 파이프의 정면만을 향하기 때문에 관측 거리에 따라서 판독 결과가 다른 경우가발생한다. 관측 정확도에 있어서도 작업자의 기술과 경험에 많은 영향을 받는다. 본 연구를 통하여 영상처리기법과 렌즈의 조합에 의한 새로운 시스템을 제안하였다. 영상취득 체계는 전면 영상과 함께 측면의 영상을 동시에 취득할 수 있도록 개발되었다. 측면에 대한 영상 전개 및 영상 결합을 위하여 적용된 영상처리 기법을 통하여 관로 내면에 대한 고해상도 영상 정보를 도출할 수 있었다.

핵심용어 : 관로, 렌즈조합, 영상처리, CCTV, 전개영상

Abstract

The most common method of pipeline inspection is to use a remote-controlled-machine equipped with a CCTV, which, however, has many limitations to accurately inspect pipeline condition. In case of a typical CCTV, since the camera looks at the end point of the pipe, the locations of the defects and distance-readings are often different. In addition, the quality and accuracy of the inspection is highly dependent on the operator's skill and experience. In this research a new system is developed by use of the image processing techniques and the lens combination. The image acquisition system is developed that acquires the front and the side view of the pipe simultaneously. Side view unwrapping and stitching technology using image process techniques are developed which delivers high resolution image data.

Keywords : Pipeline, Lens combination, Image processing, CCTV, Unwrapped image

1. 서 론

근대화 이후 산업화가 진행됨에 따라 나타나기 시작한 현상 중의 하나는 도시화 및 인구의 집중이다. 이러한 도시화에 따른 도시의 형태 변화와 더불어 시민에 대한 삶의 질 향상을 위하여 각종 도시시설물이 건설되었으며, 이러한 도시의 기반 시설은 도시지역 거주민의 편리한 생활과 안전한 활동을 위하여 철저히 관리되어야 한다.

도시의 근간이 되는 시설 중 삶의 기본이 되는 가장 중요한 시설물은 취수와 정수의 과정을 거쳐서 생산된 각종 용수를 청결하게 공급하고, 사용된 오수를 2차 오염이 없도록 배제하는 것이다.

각종 관로를 통하여 공급되는 상수와 사용된 오수를 배제하는데 가장 많이 사용되는 방법은 관로 시설을 사용하는 방법이다. 이러한 관로의 대부분은 지하에 매설되어 있는 것이 일반적이며, 일단 매설된 관로의 경우 관로의 상태 평가, 유지 및 보수가 매우 어려운 특징을 가지고 있다. 공급 용수의 누수로 인한 경제적인 손해 방지하고, 배제되는 용수의 누출로 인한 지하수의 오염, 관로 내 인입수에 의한 도로 침하 등 2차적인 재해를 예방하기 위하여 관로 내부의 상태를 정확하게 파악하는 것은 매우 중요한 과정이라 할 수 있다.(이삼노 외, 2002)

관로 내부의 상태를 평가하기 위한 정보를 취득하는 방법으로는 관로 내, 외부에 전기적 광학적 센서를 매설하

2008년 2월 11일 접수, 2008년 3월 10일 채택

* 정희원·인하공업전문대학 항공지형정보시스템과 부교수 (kimwd@inhac.ac.kr)

는 방법, 전기 저항을 이용하는 방법, 광섬유를 매설하는 방법 등 여러 가지 방법이 있으나, 이러한 방법들은 매설과 유지 관리, 정보의 해석 등에 소요되는 비용이 막대하여 중요한 관로의 지속적인 모니터링 등 한정된 시설에 한해서만 사용이 되고 있다. 그 외 시각적인 정보의 취득 방법은 관로 내부에 직접 CCTV 카메라를 투입하여 사진을 촬영하고, 이를 해석하는 방법이다(이강원, 1997).

관로 탐사를 위한 CCTV 영상 취득은 대부분 카메라를 부착한 자주차를 관로 내부에 투입하여 전방만을 주시하고 전진하는 방법과 관측하는 과정에서 이상이나 문제가 있는 관로 내면 부위에서 정지 후 카메라를 상하좌우 움직여서 자세한 영상을 취득하는 방법이 있다. 기존의 관로 내부 조사를 위한 영상을 취득하는 방법은 전방만을 주시하는 방법의 경우 전방만을 주시하도록 되어 있으므로 관로 벽면의 정보를 취득하지 못하는 단점이 있으나 영상을 촬영하는 속도는 빠르다는 장점이 있다. 주행 후 정지하여 자세한 영상을 취득하는 방법의 경우 앞의 방법과 달리 벽면의 세부적인 영상을 취득할 수는 있으나, 문제 부위가 많을 경우 정지후 영상을 촬영하는데 소요되는 시간이 많이 소요되는 단점이 있다고 할 수 있다. 또한, 두가지 방법 모두는 촬영하는데 소요되는 시간뿐만 아니라, 촬영된 영상 또는 비디오 기록물을 내업에 의하여 일일이 확인해야 하는 2중적인 작업이 필요하다.

본 연구에서는 기존의 관로 내부 영상 취득 방법의 단점을 보완하고, 정보를 효율적으로 관리하기 위하여 렌즈의 조합에 의한 전측방 영상을 동시에 취득하고, 취득된 영상에 대하여 영상처리기술을 적용하여 관로 내부 상황을 파악하기 위한 방법을 제시하고, 관로 내부 상황 관측을 위한 영상자료 구축에 관하여 연구를 진행하였다.

2. CCTV에 의한 관로 정보 취득

2.1 아날로그 취득 방식

상수관 및 하수도관 등 직접적인 방법에 의한 조사가 불가능한 시설물을 조사하기 위한 방법으로 가장 많이 사용되는 방법인 카메라를 부착한 자주차를 활용한 조사 기술은 20 여 년 전 국내에 처음 도입되었다.

이 후 관망 상태평가의 정확성, 정밀성, 그리고 생산성을 높이기 위한 노력은 도입된 이후 많이 있었으며, 그 대부분은 CCTV의 화질 개선과 카메라를 운반하는 트랙터의 기계적인 기술부분의 발전이 있었다. 그림 1은 일반적인 관로 조사용 CCTV 자주차를 나타내고 있다.

이 기술은 공장내부 설비관로, 송유관, LNG 수송관, 전력관, 상하수관 등 다양한 관로의 조사에 활용된다.

국내에서 활용되고 있는 관로조사기술은 아날로그 방

식의 카메라를 자주차에 부착하여 전방 및 측방주시 동영상을 촬영하고, 문제되는 부분을 캡춰하여 보고서를 작성하는 방식이다. 이러한 방식에 의하여 취득 영상은 주로 전방을 주시하는 방식으로서 그림 2와 같은 형태로 취득된다.

전방만을 주시하는 장치의 경우에 있어서는 그림 2에서 보는 바와 같이 관의 상태가 촬영하는 거리에 따라서 원 형태와는 다르게 보이는 경우도 있고, 영상 관독의 경우에 있어서는 관독하는 작업자의 경험이나 숙련도에 따라 결과 정확도에 많은 영향을 미치게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 전방만을 주시하는 방법에서 탈피하여, 그림 3에서와 같이 카메라 부위가 상하좌우로 움직여서 결합이나 유의 부위에 대하여 자세하게



그림 1. CCTV 탑재 자주차

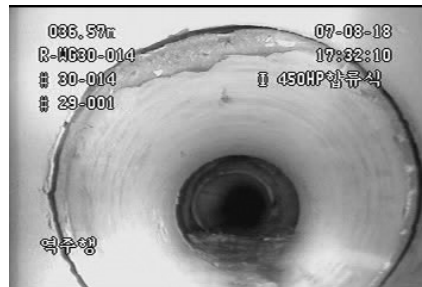


그림 2. 아날로그 영상 취득

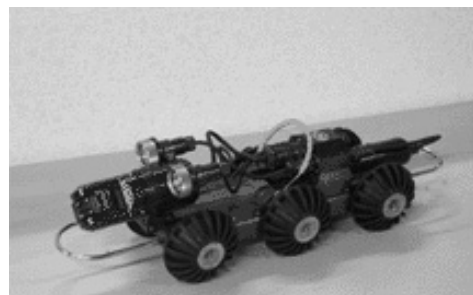


그림 3. 카메라 헤드 작동 시스템

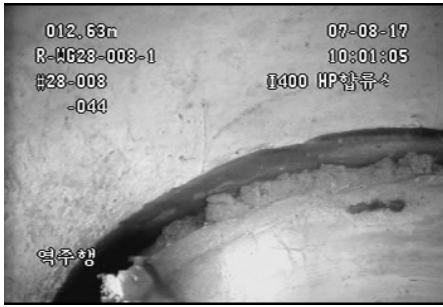


그림 4. 이상 부위 상세 영상

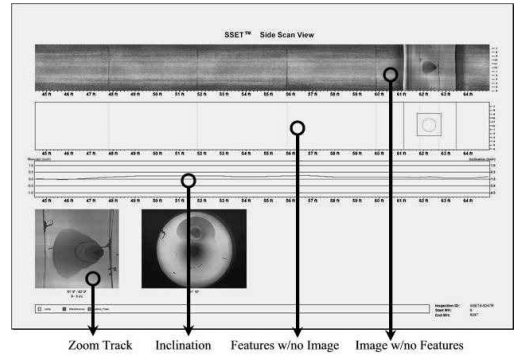


그림 6. 관로면 영상 전개의 결과

촬영할 수 있는 기능을 제공하는 방법이다.

이러한 방식의 경우 그림 4에서와 같이 부분적인 자세한 영상을 얻을 수 있으나 이상 부위가 있는 곳 마다 자주차를 정지하고, 카메라를 이동한 다음 상세한 영상을 취득해야 하므로 이상 부위가 많은 관로의 경우 작업 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

2.2 디지털 영상 취득 방식

기존의 CCTV촬영방식이 아닌 관망전체를 연속적으로 스캔하여 펼쳐진 모습을 취득하기 위한 방법으로부터 시작하여 하수관망의 디지털 스캐너라는 기술이 개발되기 시작하였다(건설기술연구원, 2006).

1997-1998년에 ASCE(미국 토목공학 학회), CERF(Civil Engineering Research Fund, 미국 토목공학 연구 재단), TTC (Trenchless Technology Center, 비굴착공법 연구 센터)가 공동으로 SSET(Sewer Scanner and Evaluation Technology)를 처음 선보이게 되었다(그림 5). 이 SSET의 prototype은 하수관의 내부벽면을 연속적인 Still Image를 Digital Scanning을 통하여 2차원 표면에 보여주는 장치로 개발되었다.

OYO-USA와 Blackhawk-PAS, Inc.에 의하여 개발된

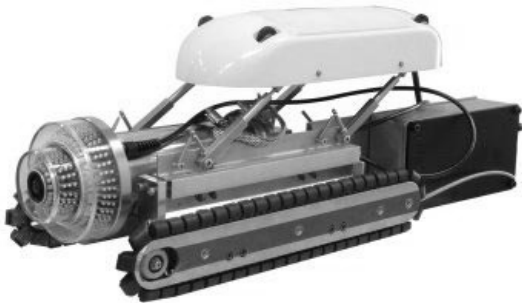


그림 5. 관로면 스캐닝용 SSET

SSET은 두개의 파트로 나뉜다. 하나는 FDA(Field Data Acquisition)과 DAI(Data Analysis and Interpretation)이다. 현장에서 데이터를 수집하는 하드웨어적인 장비와 수집된 데이터를 처리하고 해석하는 소프트웨어적인 부분으로 나뉜다(Chae et al, 2001).

수집된 관로 벽면 영상은 그림 6 영상에 나타난 것 과 같이 관로의 벽면을 촬영하여 관로 내면을 전개한 영상으로 표현하게 된다. 이러한 영상의 경우 매우 편리한 작업이 가능하다(Chae et al, 2003).

이 시스템의 경우 고가의 어안 렌즈를 사용하고, 영상 취득용 렌즈의 과다한 왜곡을 수정하기 위하여 최소의 영상소만을 사용하기 때문에 작업의 속도가 저하되어 경제적인 작업이 곤란한 상황으로 인하여 널리 사용되지 못하고 있다.

3. 관로 내면 영상 전개 기법

3.1 영상 촬영 기기

본 연구에서는 2장에서 기술한 기존의 CCTV 관로 조사시스템의 단점을 보완하고 효율적인 관로내 정보를 취득하기 위하여 별도의 렌즈 시스템을 제작하였다.

기존의 시스템이 전방을 주시하면서, 필요시에 자주차를 정지하고, 중요 부분이나 결함 부위를 카메라를 이동하여 촬영함으로써 조사에 시간이 많이 걸리는 단점이 있었다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 시스템과 마찬가지로 전방을 주시하면서, 관로 내면의 정보를 정밀하게 취득하기 위한 렌즈 조합을 설계하였다. 그림 7은 본 연구에 의하여 설계된 렌즈 조합의 반사 특성을 나타내고 있다.

그림 7과 같은 렌즈 조합을 자주차에 부착한 모습은 다음의 그림 8에 나타나 있다. 이러한 자주차를 관로 내에 투입하여 취득되는 영상은 그림 9에 나타나 있다.

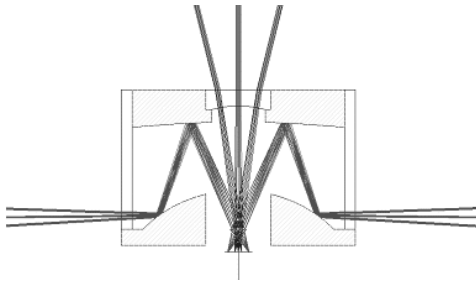


그림 7. 렌즈 조합 평면도

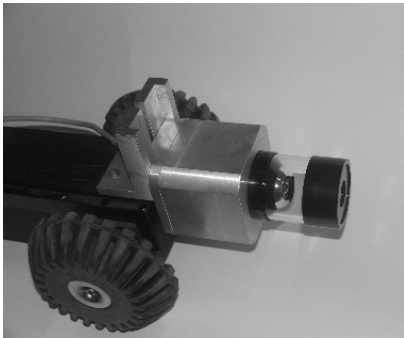


그림 8. 자주차에 부착된 렌즈 조합

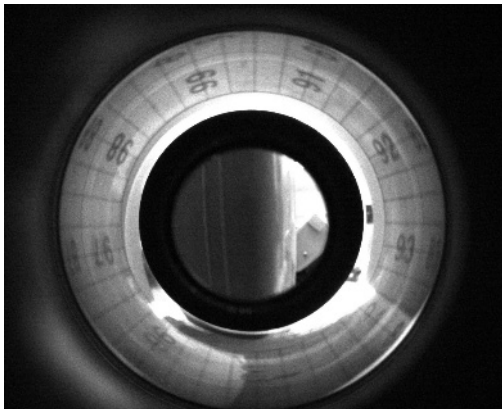


그림 9. 전측면 동시 취득 영상

본 연구의 특성상 근간이 되는 자료는 영상이므로 향후 처리 과정에서 충분한 해상력을 지원할 수 있도록 고해상도 고성능의 카메라가 필요하다. 여러 가지 상황을 고려하여 선정된 카메라는 SCORPION SCOR-20SO로서 그 사양은 표 1에 나타나 있다.

3.2 영상처리기법

본 연구의 결과에 의하여 취득된 영상은 전면의 영상은

표 1. 카메라의 세부 제원

항목	사양
형태	IEEE 1394 카메라
영상 취득 센서	Sony ICX 274 1/1.8" CCD sensor Progressive scan Global shutter
해상력	1600×1200 흑백 또는 컬러
형식	8bit 또는 16bit
영상소 크기	4.4μm × 4.4μm
프레임 비율	1600×1200 시 15FPS
사용전력	3.5W 미만
무게	125g

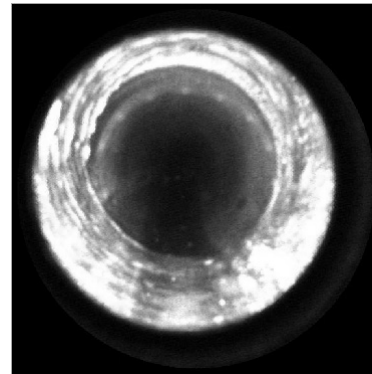


그림 10. 전방영상의 예

가운데 부분에 원형의 관 모양으로 취득이 된다. 영상을 절개하여 연결하면 기존의 CCTV에서 취득하던 영상 취득의 결과와 동일한 결과를 나타내게 되며, 현장에서 작업을 하는 경우, 전방의 상황을 보면서 자주차를 운영하는 데에도 유용한 정보를 제공하게 된다.

그림 10은 영상의 중앙부에 나타난 전방영상의 예를 나타내고 있다.

관로 벽면의 정보를 취득하기 위해서 본 연구에서는 그림 9에서 취득된 영상의 외곽부에 도우넛 형태로 취득된 관로에 대한 측면 영상을 영상처리 및 보정 기법에 의하여 처리하였다. 영상 처리를 위하여 본 연구에서 사용된 렌즈의 왜곡에 대하여 정밀하게 관측을 실시하였다. 왜곡 관측 결과는 다음 그림 11에 나타나 있다.

렌즈조합에 의한 영상의 특성상 발생하는 그림 11과 같은 영상 왜곡을 보정하기 위해서는 보정용 영상을 취득한 후 기준점을 설정하여 왜곡 보정요소를 취득하여야 한다. 본 연구에서는 다항식 영상 보정 기법을 사

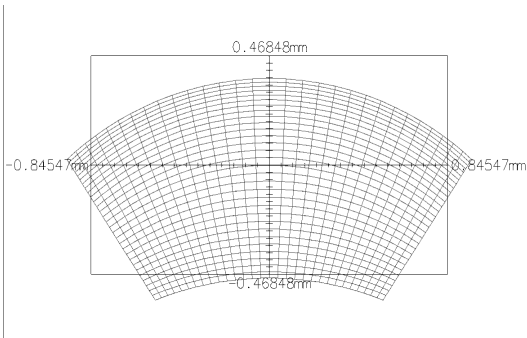


그림 11. 렌즈의 왜곡 발생

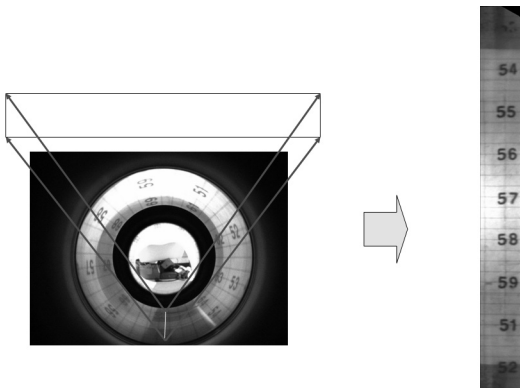


그림 12. 본 연구에서 사용한 영상 보정 개념

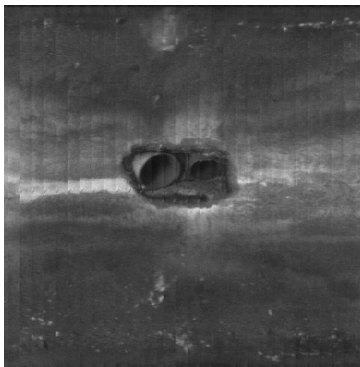


그림 13. 결합된 보정 영상



그림 14. 관로 내면 탐사 결과 영상

용하였으며, 보정된 영상에 대하여 직사각형의 측면 정보를 담고 있는 정확한 보정을 위하여 러버 쉬팅 (rubber sheeting) 기법을 적용하여 최대의 정밀한 보정 영상을 얻을 수 있도록 기법을 적용하였다(김원대, 2004, KIM, W., et al 2007).

이러한 과정의 모식도는 그림 12에 나타나 있다.

그림 12에서와 같이 하나 하나의 영상에서 취득한 관로 내부 벽면에 대한 영상 보정의 결과는 하나의 직사각형 띠의 형태로 구성이 되는데, 카메라의 영상 주기에 따라서 초당 최고 15장의 영상을 생산하게 된다. 보정된 영상을 모자이크 하면, 연결된 관로 내면에 대한 영상을 형성하게 된다. 일반적으로 자주차의 진행 속도에 따라서 영상 모자이크에 필요한 영상의 두께가 틀려지게 된다. 본 연구에서는 영상 취득 시간 차이 동안 자주차가 진행하는 거리를 자주차 운전용 케이블에 부착된 휠 거리 감지기를 이용하여 취득 순간의 거리를 기록하여 영상을 보정한 후 절개 폭을 결정하는데 사용하였다. 보정된 영상으로부터 필요 부분을 절개하여 연결한 영상의 예는 다음 그림 13에 나타나 있다.

4. 분석 및 고찰

본 연구에 의하여 구축된 관로 내면 탐사 기법의 적용을 위하여 실험 대상지역을 선정하고, 실제 적용에 의한 결과를 도출하였다.

실험 대상지역은 경기도 고양시 일산구 정발산동 인근의 하수 관로로 선정하였다. 관로의 개요는 길이 40m의 흙관으로서 직경 300mm인 오수 관로이다.

대상 하수 관로에 대하여 본 연구에 의하여 개발된 장치를 투입한 후, 자주차를 일정속도로 진행한 후 영상을 취득하고, 영상을 처리한 결과 그림 14와 같은 결과 영상을 도출하였다.

그림 14와 같은 영상을 자주차 주행시 발생하는 거리 자료와 결합하면, 관로 내부의 상태를 파악하는데 유용한 정보로 활용할 수 있다.

그림 15는 그림 14와 같은 영상에 대하여 관로 내면의 상태를 판독한 결과 표면 부식, 관로 이음부 이상, 관 균열 및 파손, 타관 연결부 돌출 등 이상 부위에 대한 판독

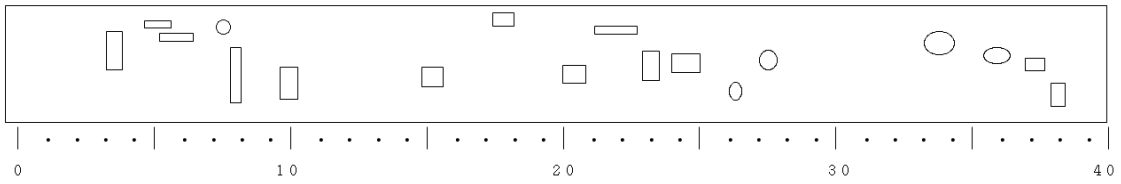


그림 15. 관로 내면 현황 판독 결과 이상 부위

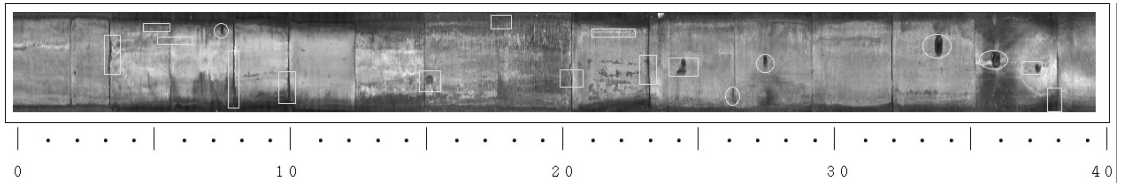


그림 16. 관로 내면 영상과 판독 결과의 합성

표 2. 관로 내면 상태 판독 결과 상세 표

위 치	이상항목	전면영상	측면 영상	확대 영상
3.1m	이음부 불량			
7.4m	관파손 및 균열			
5.6m	관파손 및 균열			
19.8m	이음부 불량			
21.2m	관파손 및 균열			
23.7m	부 식			
32.5m	연결관 돌출			

이 용이하였다. 그림 15에 나타난 사각형과 원형은 관로 내벽면의 이상 부위의 위치 및 형태를 나타내고 있다.

그림 16은 그림 15에서 판독된 결과를 영상 정보와 결합한 형태를 나타내고 있다. 전체의 관로 길이 40m에 대하여 관로의 상태와 이상 부위를 쉽게 파악할 수 있으며, 판독 결과에 대한 관로의 이상 형태에 대해서도 손쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있다.

표 2는 이러한 판독의 결과의 세부 항목을 거리 자료 결합하여 작성한 보고서의 일부를 나타내고 있다.

표 2에 나타난 바와 같이 하나의 렌즈에 의하여 취득된 영상으로부터 전면 영상, 전개 영상, 이상부위 세부 영상 등 판독의 결과를 시각화할 수 있는 다양한 정보를 얻을 수 있으며, 위치 정보와 연계함으로써 정확한 위치 관리도 가능하다.

그림 17과 같이 전방에 대한 사진만을 출력하여 개략적인 위치만으로 관리하던 기존의 관로 탐사 보고서와는 달리 자세하고 다양한 정보를 포함할 수 있으므로 향후 시설물 관리에 있어서 유용한 기법으로 활용가능할 것으로 사료된다.

또한 그림 16과 표 2에 나타난 관로 탐사 정보는 위치를 기반으로 효율적으로 관리할 수 있으므로 향후 GIS 시설물 관리 시스템과의 연계 등을 통하여 지하 시설물 관리를 위한 유용한 정보로 활용이 가능할 것이다.

지하시설물 관리시스템과의 연계를 위해서는 영상 취득, 처리과정에 대한 정확도 향상이 수반되어야 하나, 본 논문에서는 자료 취득 체계 구현을 중심으로 연구가 진행되었으며, 정확도 향상을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 시스템의 운영을 위한 최적의 전산 시스템이 수



그림 17. 기존의 관로 탐사 보고서

반되어야 할 과제로서 향후 추가적인 시스템 구축이 이루어질 것이다.

5. 결 론

본 연구는 관로 내부 탐사를 위하여 기존의 시스템이 가지던 한계를 극복하고자 렌즈 조합과 영상처리기법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 관로 내부 탐사를 하는 과정에서 전면 영상과 측면 영상을 동시에 취득하여 고해상도 관로 내면 전개영상을 취득할 수 있었다.
2. 관로 내면 전개 영상을 이용하여 관로 현황을 판독

한 결과, 기존의 시스템보다 정확하고 다양한 정보를 이용한 탐사 결과의 도출이 가능하였다.

3. 향후 위치 정보에 기반한 관로 내면 전개 영상과 시설물 관리 시스템과의 연계를 통하여 효율적인 정보의 관리를 위한 방안을 제시하였으며, 영상 취득 및 처리에 대한 정확도 향상 방안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 인하공업전문대학 2006년도 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2006, *지하시설물 GIS 구축현황*, 건설교통부.
2. 김원대, 2004, *실무사진측량*, 구미서관.
3. 유복모, 2001, Toni Shenk, *현대디지털사진측량학*, 문운당.
4. 이강원, 1997, *지하시설물 측량의 실무*, 대한측량협회.
5. 이삼노, 이경훈, 박성천, 문병석, 2002, *현대상하수도공학*, 구미서관.
6. 한국건설기술연구원, 2006, *지하매설관로 관측 자료 처리 및 관리시스템 개발*, 위탁연구보고서.
7. Chae, M, and Abraham, D. M., 2001, "Image Acquisition and Interpretation for Automated Assessment of Sanitary Sewer Infrastructure", *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 15(1), 4-14.
8. Chae, M., Iseley, T., Abraham, D., 2003, "Computerized Sewer Pipe Condition Assessment", Pipeline 2003, ASCE (American Society of Civil Engineering), 13-16 July, Baltimore, MD.
9. KIM, W., Hwang, H., Chae, M., 2007, "Development of Image Processing Method for Effective Mangement of Sewerage", GISUP 2007 International.