GOVP1200943529

건설기술혁신사업 제3차년도 최종보고서

R&D / 05 건설핵심 C27

Construction & Transportation R&D Report

멀티센서를 이용한 지하매설관로 상태평가 및 관리시스템 개발

2008. 12.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
위탁연구기관 / 인하공전 산학협력단
참 여 기 업 / (주)씨피이엔씨

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "멀티센서를 이용한 지하매설관로 상태평가 및 관리시스템 개발" 의 최종 보고서로 제출합니다.

2008. 12 . .

주관연구기관 : 한국건설기술연구원
원 장 조 용 주
위탁연구기관 : 인하공전산학협력단
총 장 고 석 면
참 여 기 업 : (주) 씨피이엔씨
대 표 이 사 김 혜 경

■ 총 괄 연 구 책 임 자 / 선임연구원 황 환 국 연 구 총 괄

■ 주관연구기관 참여연구원 / 선임연구원 채명진 외 7명 관로상태평가 및 관리시스템 개발

■ 위탁연구기관 참여연구원 / 선임연구원 김원대 외 7명 관측자료 처리 및 관리시스템 개발

■ 참 여 기 업 참여연구원 / 대표 이사 김혜경 외 4명 관로탐사 장비개발

요 약 문

Ⅰ. 제목

멀티센서를 이용한 지하매설관로 상태평가 및 관리시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구과제는 관로 내부를 해부학적으로 파악할 수 있도록 화상을 처리하고, 전체 관로 또는 부분적인 관로에 대하여 평면적으로 관로의 상태를 도면처럼 판독이 용이하도록 위치 정보와 결합된 화상 도면을 제작하기 위한 장치와 여기서 취득한 데이터의 분석 및 처리할 수 있는 GIS(Geographic Information System : 이하 GIS)와 연계한 상태평가 및 관리시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구개발의 필요성

1차년도 연구와 2차년도 연구를 통하여 관로 내면의 정보를 과거 CCTV(Closed-Circuit TeleVision : 이하 CCTV)를 이용하여 전면으로 촬영하는 방식이 아닌, 관로를 전개하여 관측할 수 있는 시스템과 촬영방식, 소프트웨어에 대한 방법을 제시를 하였다. 1차년도와 2차년도의 연구를 통하여 관로 내면의 정보를 취득할 수 있었지만, 아직까지는 정밀한 판독을 위해서는 하드웨어적이나 소프트웨어 적으로 부족하다. 또한 탐사결과를 소프트웨어적으로 판독하여 관로 내면의 이상부위를 자동으로 탐색하여 탐사결과를 객관적이고 정량적으로 판독할 필요성이 증가하고 있다.

이러한 관로 내면을 탐사할 수 있는 시스템을 통하여 산출되는 데이터는 방대한 양으로 지속적인 관리가 필요하므로 데이터베이스의 구축은 향후 지하매설관로의 특성을 충분히 고려할 수 있고, GIS 기술과 결합하여 종합적인 지하매설관로 관리 시스템으로 발전에 있어 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 관로 내면상태를 취득하기 위한 기법 및 장비 개발

- 반사렌즈를 통한 측면간접촬영방식 기법 개발
- 영상 전개시 나타나는 영상왜곡과 영상모자이크 기법 개발
- 국내 관로 상황에 최적의 성능을 발휘할 수 있는 자주차 개발 및 카메라 성능 및 영상전송방식 개선

2. 관로 내면상태를 영상데이터로 편리하게 취득하고 영상결과를 객관적이면서 정략적으로 판독할 수 있는 소프트웨어 개발

- 기존의 DPIM(Digital Pipe Image Module : 이하 DPIM) 성능개선 및 현장적용성 평가, 취득 데이터 처리, 보관하기위한 영상처리기법 개발 및 개선
- 처리된 데이터를 활용하기 위한 조사보고서 소프트웨어 개발
- 관로 내면 이상부위 자동판독 소프트웨어 개발

3. GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발

- 기존의 GIS 맵의 Conversion 기법 개발
- 본 연구를 통해서 개발된 소프트웨어와의 연계 모듈 설계 및 제작
- 관로자산관리를 위한 DB축적방안과 연계 모듈 설계 및 제작

4. 1, 2차 년도에 개발된 기술 및 장치를 통합하는 상용화 패키지 시스템을 구성하고 신기술로 인증 받아 상용화 기반 확보

- 상용화를 위해 표준화된 DPIM 시스템 구성, 기존 GIS 데이터 변환과 DPIM 시스템과의 연계모듈설계 및 제작을 통해 GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발
- 신기술 인증에 적극 노력하면서 기업에서는 전시회 참여 등 마케팅을 통해 상용화 주력

Ⅳ. 연구개발결과

- 기존 방식은 기술자의 숙련도에 따라 상태평가의 정도가 상이한데 반해 본 기술은 일정한 속도로 주행하면서 해상도가 높은 CCD(Charge Coupled Device : 이하 CCD)카메라를 사용하여 관로의 전방화상과 관로내면 360° 전개화상을 실시간 및 연속적으로 측정하기 때문에 이 문제를 총체적으로 해결
- 관로 내면 이상부위 판독 소프트웨어를 이용하여 이상부위의 객관적이고 정량적인 판독이 가능해짐
- 기존의 GIS기반 지하매설관로 관리시스템과 연계함으로서 영상 정보를 지리적 정보와 연계하여 관리
- 본 연구 결과를 영상 및 탐사 정보를 GIS의 데이터베이스와 연계하여 관리하는 경우, 기존 정보의 신뢰성 향상 및 활용도 증대
- 관로의 매설에서부터 경년에 따른 관로의 노화 및 변화를 감지하여 시설물의 유지 관리에 많은 정보를 제공하는 등의 각종 유, 무형의 경제효과 유발

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

- 기존의 전방 주시형 관로 탐사 장비와 구분하여 정밀한 자료의 취득 가능하고 전개도면 자체를 도면화하여 효율적인 시설물 관리 가능
- 동영상으로 관리되는 기존 자료와는 달리, 시설물의 종횡단면도 조회 기능과 같이 시설물의 선형 정보와 전개영상의 조회가 가능하여 가시성 개선 및 용이한 판독 기능 제공
- 기 구축 GIS를 이용한 지하매설물 관리시스템과 연계하여 기존 시스템의 활용도를 제고하고 효율적인 시스템의 구축을 통한 예산 절감의 효과 유도

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of Multi-Sensor System for Underground Pipeline Condition Assessment and Management

Ⅱ. Purpose and Need of R&D

1. Purpose of R&D

The object of this research is to develop a system with a device to assess and manage pipeline condition. The system is combined with GIS which can analyze and process data collected by the device. The main functions of the device will be as follows:

◦ Displaying pipeline interior as a detailed image to anatomically examine their condition; and

◦ Producing clear, detailed two-dimensional drawings of all or parts of pipelines including location information, which allows the interpretation of the pipeline condition become easier and more efficient

2. Need of R&D

The result of the first and second year researches suggested a software program for a system and photographing method which can observe pipeline interior as unfolded pictures. That method was different from an existing method which photographed the entire surface of pipeline interior by using CCTV. Even if data for pipeline interior could be collected through those researches, improvements still needed to be carried out to perform the precise interpretation of the data. In addition, necessities to read the result of such investigations objectively and quantitatively after automatically searching any abnormal part of pipeline interior based on the interpretation of observing results by a software program was increasing.

Furthermore, for the volume of data generated by such system, which can explore pipeline interior enormously, it is absolutely necessary to construct database for continual management. The expected advantages of constructing database are: (a) it will provide enough data to consider the characteristic of underground pipelines thoroughly; and (b) combining with GIS technology it will play important role in the development of a comprehensive management system for underground pipelines.

Ⅲ. Content and Scope of R&D

1. Develop Technique and Equipment for Pipeline Interior Condition Assessment

- ◦ Develop a technique of lateral indirect photographing by using a reflex lens.
- ◦ Develop a preventing technique of image distortion and mosaic which appear as unfolding image.
- ◦ Develop an autonomous vehicle which can provide the best performance under domestic pipeline conditions and improve the performance of camera and image transmission method.

2. Development of a Software Program for Convenient Collection of Video Data of Pipeline Interior Conditions and Objective and Quantitative Interpretation of the Data

- ◦ Improve the performance of existing DPIM and evaluate its work-site adaptability, process obtained data, and develop and improve image processing techniques to store these.
- ◦ Develop a software program for inspection reports to utilize processed data.
- ◦ Develop a software program which can automatically find the abnormal part of pipeline interior.

3. Development of a System with GIS for Pipeline Condition Assessment and Management

◦Develop a conversion technique of existing GIS maps.

◦Design and produce a module connected with a software program developed by this research.

◦Design and produce a module connected with DB accumulating method for pipeline asset management.

4. Constitution of Commercial Package System Based on Integration of Techniques and Devices Developed During the 1st and 2nd Years and Establishment of Commercialization by ObtainingNewTechnologyCertification

◦Constitute standardized DPIM system for commercialization and develop a system for pipeline condition assessment and management by designing and producing a module connected with existing GIS data conversion and DPIM system.

◦Focus on commercialization through marketing such as participating exhibitions while endeavoring to obtain the certification of new technology.

Ⅳ. R&D Results

◦Resolve the problem of the existing measurement method whose condition assessment results are totally varied with the skill level of operators because this new technique uses a high-resolution CCD camera to perform the real-time and continual measurement of front and 360° unfolded pipeline interior images.

◦Allow to perform the objective and quantitative reading of abnormal parts by a software program designed to read the abnormal parts of pipeline interior.

◦Manage to combine photographing information with geometrical information by connecting with underground pipeline management system based on existing GIS.

◦Provide DB for public and private sectors. Total investment amount was KRW320.7billion and total area stored in the database was 724311km at the end of 2003.

◦Improve the creditability of existing data and expand its utilization if this research' s result such as photographing and exploration information is managed by connecting with the GIS database.

◦Induce various tangible and intangible economic effects such as providing information for facility maintenance by detecting the aging and change of pipeline according to the passing of a year from the time of laying pipeline.

V. Utilization Plan of R&D Result

◦Allow effective facility management with abilities such as collecting detailed data and making unfolded drawings as real drawings unlike existing front focused type devices for pipeline assessment.

◦Improve visibility and provide easy reading function with a suitable search engine in terms of vertically and horizontally sectioned diagrams, the sector information of facilities, and of unfolded images.

◦Promote the utilization of the existing system by connecting with an underground facility management system based on constructed GIS and induce budget saving effect by constructing an efficient system.

목 차

제 1장 서론 ····· **1**
제 1절 연구개발의 개요 ····· 3
제 2절 연구개발의 필요성 ····· 4
제 3절 연구개발의 범위 ····· 6

제 2장 국내외 기술개발 현황 ····· **7**
제 1절 국내기술동향 ····· 9
제 2절 국외기술동향 ····· 13
제 3절 국내·외 유사기술의 현황 및 문제점 ····· 20

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· **23**
제 1절 영상취득장치개발 ····· 25
제 2절 영상처리기법개발 ····· 29
제 3절 시작품 제작 ····· 35
제 4절 DPIM 운영 및 보고서 작성 소프트웨어 ····· 48
제 5절 시범사업 ····· 112
제 6절 개발장비의 경제성 분석 ····· 133
제 7절 GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발 ····· 174
제 8절 CCTV방식과 본 기술 비교 ····· 211
제 9절 DPIM 시스템 매뉴얼 ····· 238
제10절 홍보 및 마케팅 ····· 285

제 4장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· **291**
제 1절 연구개발목표 달성도 ····· 293

제 5장 연구개발결과의 활용계획 ····· **297**
제 1절 타 산업에 미치는 효과 ····· 299
제 2절 정부 정책과의 연계 방안 ····· 299
제 3절 관련 후속연구개발의 전망 ····· 299

제 6장 연구개발과정에서의 수집한 해외과학기술정보 ····· **301**

제 7장 참고문헌 ····· **417**

제 1 장 서론

여 백

제 1 절 연구개발의 개요

본 기술은 관로 내부를 해부학적으로 파악할 수 있도록 화상을 처리하고, 전체 관로 또는 부분적인 관로에 대하여 평면적으로 관로의 상태를 도면처럼 판독이 용이하도록 위치 정보와 결합된 화상 도면을 제작하기 위한 장치를 개발하는데 있다.

그리고 상기 장치에서 취득한 데이터의 분석 및 처리할 수 있는, GIS와 연계한 상태평가 및 관리시스템을 개발하는 것이다.

다음에 세부적인 개발항목을 나타내었다.

① 관로 내면 360° 를 분할 영상으로 촬영하는 기기개발

- 관로 내부를 진행하며 관의 중심선상에 위치하도록 제작된 운반체
- 관로의 중심선상에 배열된 분할 화상 취득용 CCD 카메라
- 위의 장치를 관로 내부로 추진시키는 추진 장치

② 평면 화상 도면 처리 기법개발

- 분할 취득된 화상을 기하학적 보정을 통하여 정사영상(ortho-image)으로 만드는 화상처리기법
- 필요 부분을 절단하고 인근 처리화상과의 연결성을 부여 결합하는 영상 합성 과정
- 취합하여 합성된 전체 화상을 위치정보(positioning data)와 연결하는 작업

③ 수집된 데이터 분석 및 관리 S/W 개발

- 360 분할 영상을 연속적으로 검토가능
- 보고서 작성기의 탑재
- GIS 시스템과의 연계를 위한 데이터 변환 채널
- GIS 시스템으로부터 호출 기능
- GIS와의 통합을 통하여 하수관망의 상태가 GIS와 하나의 연결 시스템으로 통합적으로 운영 할 수 있는 작업 환경을 제공

제 2절 연구개발의 필요성

국내의 관로 내부조사 방식은 CCTV카메라를 이용한 전방 주시 중심으로 촬영 각도나 거리에 따라서 불명확한 촬영이 이루어 질 수 있으며, 측면 주시형의 경우에도 전방 주시 후 필요 부분에 대하여 측면 주시가 이루어짐으로 촬영 분량이 늘어나고 현장 판단 후 재촬영이라는 2중적인 작업으로 진행하고 있다. 비디오 화상을 인출할 경우 이는 단순한 화상의 인출이며, 현황 파악을 위한 보조적인 자료로서의 가치를 갖고 있다.

그리고 기존 CCTV 카메라는 케이블이 이동한 거리를 기준으로 거리표시를 하기 때문에 실제 거리와 다르게 화면에 나타나며, 조명의 조도에 따라 관로내면의 상황 판독력이 크게 달라진다. 이 때문에 기술자의 숙련도에 따라 상태평가의 정확도가 좌우 될 수 있다..

그러나 본 개발 기술을 적용할 경우, 일정한 속도로 주행하면서 고해상도의 CCD카메라를 사용하여 관로의 전방화상과 관로내면 360° 전개화상을 실시간으로 그리고 연속적으로 측정하기 때문에 이러한 문제를 총체적으로 해결할 수 있다.

개발되는 데이터 처리 및 분석 S/W는 기존의 자료관리 차원에서 획기적으로 변화를 가져올 수 있다.

특히 기존의 GIS기반 지하매설관로 관리시스템과 연계함으로써 과거의 GIS 또는 도면 자료가 관로의 위치나 매설 깊이, 관의 종별, 매설 년도도 정량화된 내용만을 포함하였지만, 본 연구에 의하여 개발되는 기술을 적용하여 산출되는 관로의 특성 영상 정보를 지리적 정보와 연계하여 관리함으로써 관로 관리 분야에 있어 시각적인 정보를 축적할 수 있고, 관로의 현황에 대한 세밀한 정보를 연계 관리함으로서 지하매설관로의 관리를 획기적으로 발전시킬 수 있는 계기가 될 것이다.

이러한 종합적인 데이터베이스의 구축은 향후 지하매설관로의 특성을 충분히 고려할 수 있고, GIS 기술과 결합하여 종합적인 지하매설관로 관리 시스템으로 발전에 있어 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

또한, 최근 미국에서는 CMOM이나 GASB34와 같은 법제도상의 변화로 인하여 하수관망의 위치, 상태뿐만 아니라 교체 및 수리 시기 및 예상되는 유지관리 비용과 교체비용까지 추적 관리할 것을 법으로 규정하고 있다. 이에 대응하기 위한 새로운 개념이 자산관리 (Asset Management)인데, 도로나 교량과 같이 상태평가가

쉬운 시설물보다는 하수관과 같이 지하에 매설되어 있는 시설물들은 상태평가도 어려울뿐더러, 교체와 수리비용 산정 및 가치평가 또한 매우 복잡하고 어려운 문제이다. 디지털 스캐닝 장비와 GIS의 통합적 연계와 Asset Management개념을 통한 소위 "Total Asset Management"를 하수관망 관리에 적용함으로서 국내 하수관망 관리 시스템의 새로운 패러다임을 열 수 있을 것이다.

정부는 1995년 NGIS(National Geographic Information System : 이하 NGIS, 국가지리정보체계) 사업을 시행하면서 각 지방자치단체에서 사용할 수 있는 수치지도를 제작하였으며, 각 지자체에서도 행정의 효율화를 위하여 도시정보체계(UGIS : Urban Geographic Information System 이하 UGIS)를 구축하였으며, 이 체계의 주요한 데이터베이스로서 지하매설관로에 대한 조사를 실시하였다.

건교부에 따르면 2003년 말 현재 도로와 7대 지하시설물(상수도·하수도·광역상수도·가스·난방열관·전기·통신)의 총 매설길이 85만6995㎞ 중 DB 구축 대상 물량은 전체의 95.6%인 81만9558㎞에 이르며, 이중 전체 대상물량의 88.4%인 72만4311㎞에 대해 DB화가 이뤄져 공공 및 민간 부문에서 활용되고 있다. 지금까지 이들 시설물 GIS사업에 투입된 예산은 총 3207억원에 이른다.

정보의 구축에 있어서 포함하고 있는 내용은 관로의 위치, 매설 깊이, 관종, 관의 매설년도 등 정량적인 정보만을 포함하고 있어 통계 관리 및 조회 관리 측면이 크다 할 수 있다.

그러나 본 연구의 결과를 도출할 수 있는 영상 및 탐사 정보를 GIS의 데이터베이스와 연계하여 관리하는 경우에 있어서는 도면 정보뿐만 아니라 관로의 현황을 영상 및 탐사 정보와의 결합을 통하여 관리함으로서 기존 정보의 신뢰성을 향상시키고, 활용도를 증대할 수 있으며, 관로의 매설에서부터 경년에 따른 관로의 노화 및 변화를 감지하여 시설물의 유지 관리에 많은 정보를 제공하는 등의 각종 유형, 무형의 경제적인 효과를 유발할 수 있을 것이다.

또한 미래의 산업에 있어서 주역이 될 것으로 예상되는 IT 및 정보 컨텐츠 사업에 있어서, 지하매설물에 대한 정보 및 각종 컨텐츠를 제공하기 위한 각 분야의 산업에 시너지 효과를 유발하여 사회 근간 시설의 정보화, 첨단화를 통하여 관련 산업 분야의 발전를 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

제 3절 연구개발의 범위

1. 관로 내면상태를 취득하기 위한 기법 및 장비 개발

- 반사렌즈를 통한 측면간접촬영방식 기법 개발
- 영상 전개시 나타나는 영상왜곡과 영상모자이크 기법 개발
- 국내 관로 상황에 최고의 성능을 발휘할 수 있는 자주차 개발 및 카메라 성능 및 영상전송방식 개선

2. 관로 내면상태를 영상데이터로 편리하게 취득하고 영상결과를 객관적이면서 정략적으로 판독할 수 있는 소프트웨어 개발

- 기존의 DPIM 성능개선 및 현장적용성 평가, 취득 데이터 처리, 보관하기위한 영상처리기법 개발 및 개선
- 처리된 데이터를 활용하기 위한 조사보고서 소프트웨어 개발
- 관로 내면 이상부위 자동판독 소프트웨어 개발

3. GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발

- 기존의 GIS 맵의 Conversion 기법 개발
- 본 연구를 통해서 개발된 소프트웨어와의 연계 모듈 설계 및 제작
- 관로자산관리를 위한 DB축적방안과 연계 모듈 설계 및 제작

4. 1, 2차 년도에 개발된 기술 및 장치를 통합하는 상용화 패키지 시스템을 구성하고 신기술로 인증 받아 상용화 기반 확보

- 상용화를 위해 표준화된 DPIM 시스템 구성, 기존 GIS 데이터 변환과 DPIM 시스템과의 연계모듈설계 및 제작을 통해 GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발
- 신기술 인증에 적극 노력하면서 기업에서는 전시회 참여 등 마케팅을 통해 상용화 주력

제 2 장 국내외 기술개발 현황

여 백

제 1절 국내기술동향

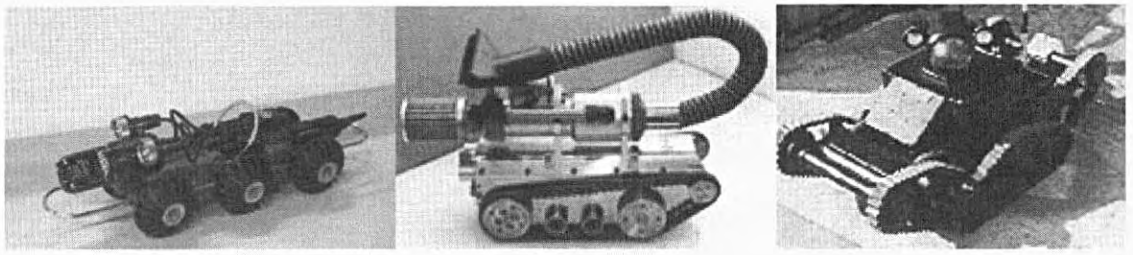
1. 조사장비

육안조사가 불가능한 지하매설물 등의 시설물을 조사하기 위한 카메라를 부착한 자주차를 활용한 조사기술은 20 여 년 전 국내에 처음 도입되었다.

이 후 관망 상태평가의 정확성, 정밀성, 그리고 생산성을 높이기 위한 노력은 CCTV 기술이 도입된 이후 많이 있었으며, 그 대부분은 CCTV의 화질 개선과 카메라를 운반하는 자주차의 기계적인 기술부분의 발전으로 한정되었다.

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

국내에서 활용되고 있는 관로조사기술은 아날로그 방식의 카메라를 자주차에 부착하여 전방 및 측방주시 동영상을 촬영하고, 문제되는 부분을 캡춰하여 보고서를 작성하는 Stop and go 방식이다.



(a)지하매설관로 조사용 (b)설비청소용 (c)재난시 구조용

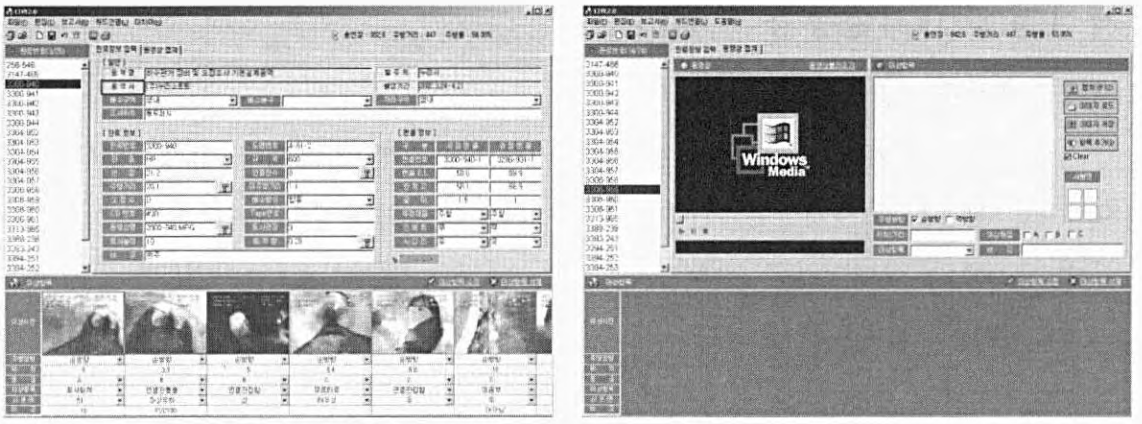
<그림 2.1.> 국내 적용중인 조사 장비

2. 자료관리 소프트웨어(Data Analysis and Interpretation)

국내에서 지하매설 관로조사 보고서용 프로그램은 T사의 SICAS 2000/Viewer와 N사의 LIVE 2.0 등이 있다.

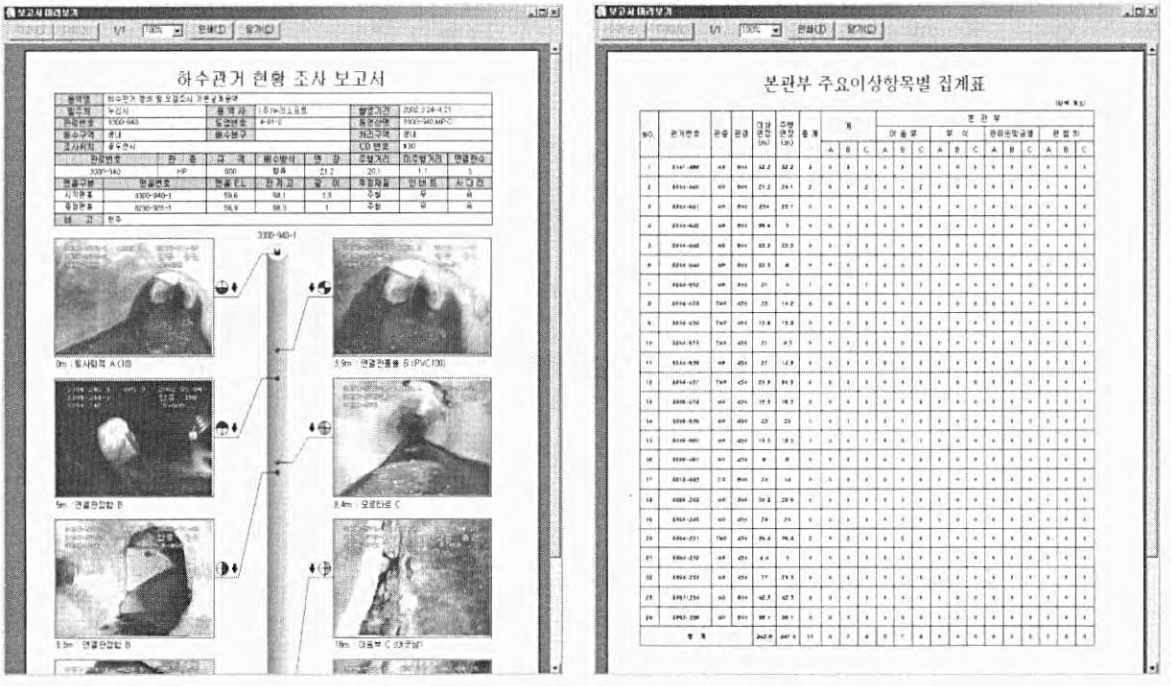
이 들의 기능은 대동소이하며 직시 촬영영상을 자료의 기본으로 삼고 있다.

LIVE 2.0에서는 6가지 집계표를 제공한다. 총괄표, 본관부 주요 이상항목별 집계표, 이상항목 집계표, 정비대상 관거 집계표, 비정비대상 관거 집계표, 관거내부 주요항목별 상세조사결과 보고서로 구성되어있다.



<그림 2.2.> 국내 지하매설관로 조사 분석용 프로그램 예시

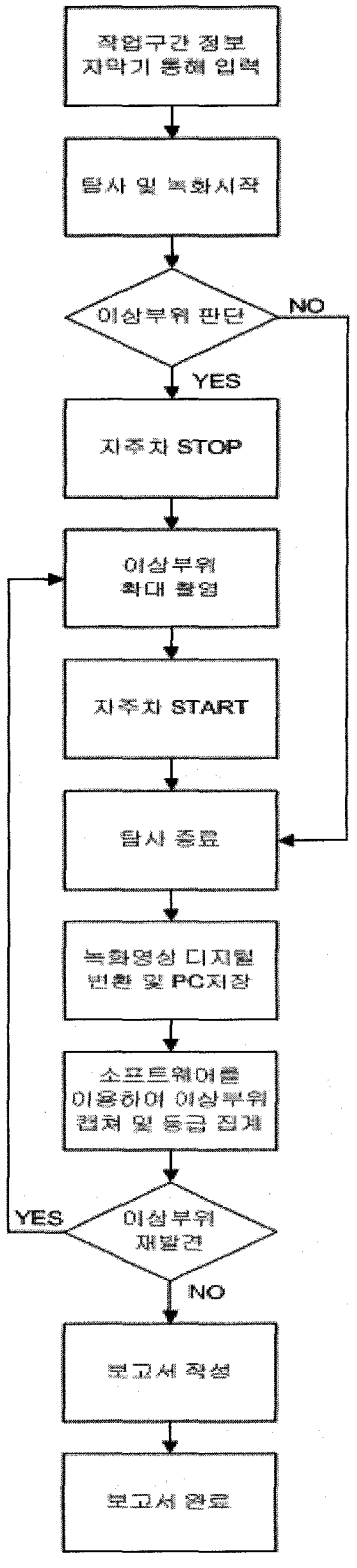
최종적으로 6가지의 집계표가 작성되며 다음과 같은 보고서를 출력할 수 있다.



<그림 2.3.> 국내 관로조사 보고서 사례

3. 작업 흐름

일반적인 CCTV를 이용한 관로 내부탐사의 작업흐름은 <그림 2.4.>에 나타내었다. 먼저 작업자가 작업구간에 대한 정보를 컨트롤러에 설치되어 있는 별도의 문자발생기를 통하여 입력한다. 작업을 위한 사전준비를 마치면 CCTV시스템의 자주차가 관로내부로 진입을 하게 되고 이때부터 CCTV시스템의 카메라를 통하여 전송되는 영상정보는 VCR(Video Cassette Recoder : 이하 VCR)에 녹화가 되게 된다. VCR을 통한 녹화는 일반적인 CCTV 시스템에 적용되어 있으며, DVD(Digital Versatiles Disc : 이하 DVD)나 PMP(Portable Media Player : 이하 PMP)등을 이용하여 영상매체를 디지털로 저장하는 방식이 개발되고 있다. 그러나 이러한 저장방식은 녹화 시작에서부터 끝까지 모든 영상정보를 저장하여야 하기 때문에 대용량의 영상정보를 원활하게 저장하기 위한 저장공간을 확보하는데 어려움이 있다. 이렇게 영상정보 녹화와 함께 탐사가 진행되는 동안 작업자는 모니터를 통하여 영상정보를 확인하면서 관로내 이상여부를 판단하게 된다. 작업자가 이상부위라고 판단되면 자주차를 정지시켜 CCTV시스템의 카메라를 Pan, Tilt, Zoom과 같은 물리적인 조작으로 이상부위를 확대 촬영 및 다각도 촬영을 수행하게 된다. 이렇게 이상부위의 확대 및 다각도 촬영을 마친 후에 자주차는 다시 전진하게 된다. 이렇게 작업구간 동안에 이상부위 발견시 자주차를 정지하고 다시 출발하는 방식을 Stop and Go 방식이라고 한다. 작업구간의 관로내 정보를 담고 있는 VCR테입의 녹화영상은 아날로그 신호로 녹화되어 있기 때문에 별도의 장치를 통하여 PC에서 작업이 가능한 AVI, MPEG형태의 동영상형태로 변환시킨다. 변환된 동영상 파일은 앞장에서 설명한 자료관리 소프트웨어를 통하여 확대 및 다각도 촬영된 이상부위를 JPEG형식과 같은 이미지 형태의 파일로 캡쳐되어 다시한번 변환 된다. 이렇게 변환된 이미지 형태의 파일은 보고서생성 소프트웨어 등을 통하여 최종적으로 보고서 형식으로 출력되게 된다. 하지만 이미지 파일을 변환하기 위하여 변환된 동영상 파일을 재생 중에 확대 및 다각도 촬영이 수행되지 않은 이상부위가 판독이 될 경우에는 다시 작업현장으로 되돌아가 재촬영을 해야한다는 문제점을 가지고 있다.

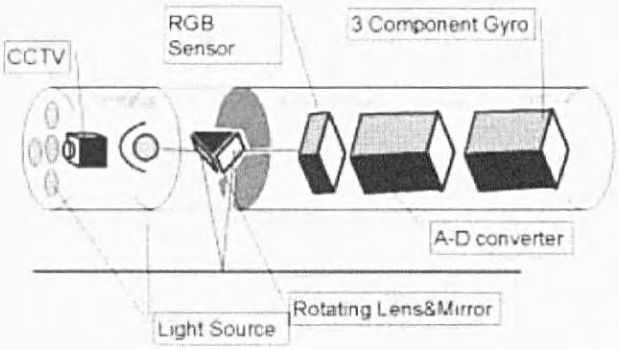


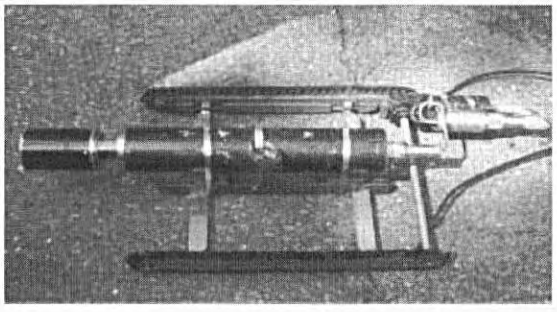
<그림 2.4.> CCTV를 이용한 하수관 탐사 작업 흐름

제 2절 국외기술동향

국외도 국내와 마찬가지로 CCTV를 이용한 시스템을 사용하고 있지만, 앞절에서 언급하였던 CCTV 시스템의 단점들로 인하여 새로운 형식의 관로탐사 시스템을 연구하고 있다. 그중에 가장 많이 연구가 진행된 SSET(Sewer Scanner and Evaluation Technology 이하 SSET)은 관로 내부를 전개하여 도면화 작업을 거쳐 관로 내부를 평면적으로 파악할 수 있도록 처리하는 방식으로 이런 아이디어는 1994년 일본의 Toa Grout사에서 최초로 고안한 것으로 알려져 있다. 일본의 지하매설물 탐측 전문 회사인 OYO-Japan은 미국 지사인 OYO-USA를 통하여 1997~1998년에 ASCE(American Society of Civil Engineers : 미국 토목학회), CERF(Civil Engineering Research Fund : 미국 토목공학 연구 재단), TTC(Trenchless Technology Center : 비굴착공법 연구 센터)가 공동으로 후원하여 SSET를 처음으로 선보이게 되었다.

초창기의 SSET기술은 관내면의 측면영상을 취득하기 위하여 본체의 영상취득 장치부분을 물리적으로 회전하면서 연속적인 디지털 이미지를 획득하는 방식이었다. 취득원리와 SSET 초기모델의 모습을 <그림 2.5.>에 나타내었다.





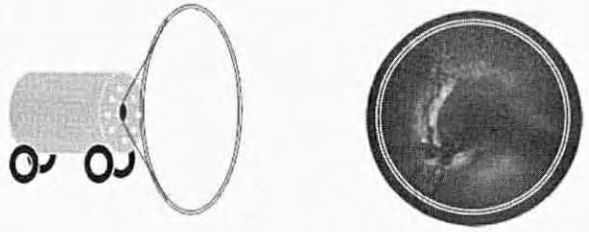
<그림 2.5.> SSET 영상 취득원리와 초기모델

초기 SSET모델은 미국 13개 도시에 걸쳐서 총 연장 126,612ft에 걸쳐서 탐사를 진행하였으며, SSET기술 향상을 위하여 다양한 필드 테스트를 수행하였다.

광학기술의 발달과 광학렌즈 가공기술의 발전으로 어안(魚眼)렌즈가 개발되면서 SSET장비에도 어안렌즈가 장착되게 되었다. 어안렌즈의 장착으로 관로내 화각이 측면영역으로 확장되면서 기존의 영상취득부의 물리적 회전으로 측면영역을 획득하는 방식을 탈피할 수 있게 되었다. 어안렌즈와 LED(Light Emitting Diode 이하 LED)를 통한 보다 밝은 광원을 확보한 SSET 장비는 부가적으로 정밀 2축 경사계를 탑재함으로써 관로내부 및 관의 기울기까지 측정할 수 있게 되었다.

이로써 2세대 SSET 탐사장비는 일정한 속도를 관로 내를 주행하면서 영상의 왜곡현상을 최소화하기 위하여 어안렌즈를 통해 전송되는 영상의 최대 바깥측면의 영상을 약 1mm 띠의 형태로 취득하여 관저면을 기준으로 절개하여 하나의 긴 직사각형 형태의 단위영상을 생성하고, 연속적인 Still image를 합성함으로써 관로내부벽면을 전개도면화 할 수 있는 Digital scanning 기술을 완성하였다.

<그림 2.6.>은 어안렌즈를 통한 디지털 이미지 취득원리와 still image 합성을 통한 전개도면 영상, <그림 2.7.>은 주요 SSET장비의 모습을 나타내었다.

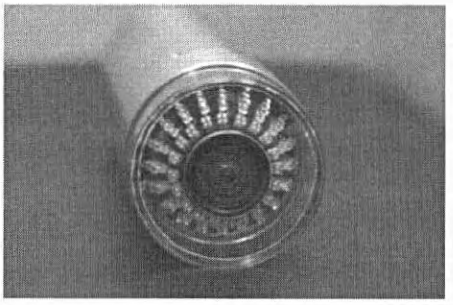


(a) 어안렌즈의 디지털 취득원리

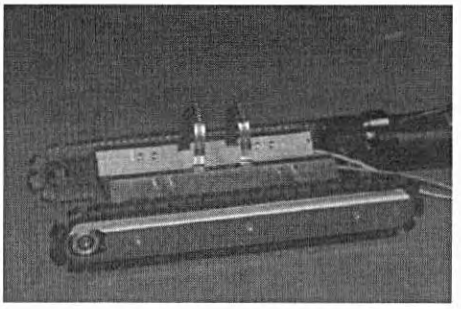


(b) Still image를 통한 전개도면 영상

<그림 26> SSET 이미지 취득 원리 및 전개도면 영상



SSET 어안렌즈 부



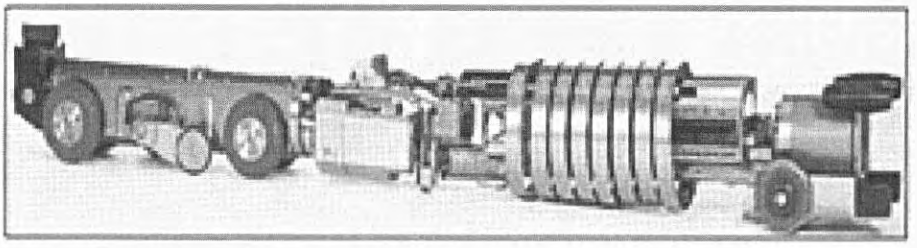
SSET 자주차 부

<그림 2.7.> SSET 장비 주요부 모습

2세대 SSET장비 개발에 성공한 OYO-USA는 Blackhawk-PAS라는 자회사를 설립하여 SSET를 이용한 관망 탐측기술을 본격적으로 전파 및 기술 완성하였으며, 핀란드의 VTT기술연구소에 의뢰하여 DAI라는 전용 분석 소프트웨어를 구축하게 되었다.

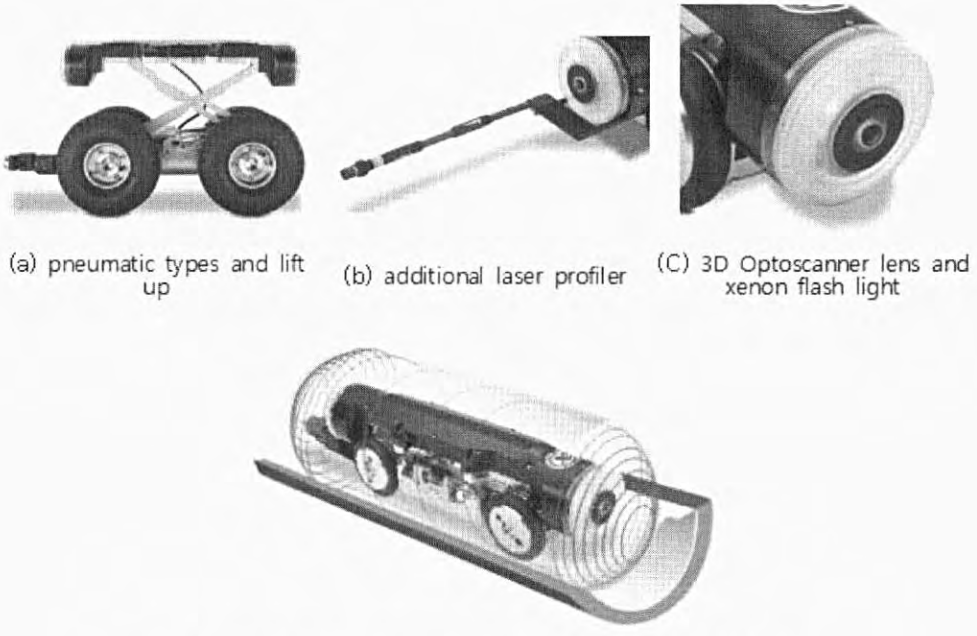
독일에서는 IBAK사가 PANORAMO 3D Optical Scanner(이하 Panoramo)라는 장비를 개발하였다. IBAK사는 하수관내 CCTV탐사 장비의 선두주자 역할을 하는 회사로서 하수관 탐사에 다양한 원천 Multi-Sensoring 기술을 보유하고 있다.

2001년경에는 현재 활용가능한 각종 Sensor들을 총망라해서 탑재한 SAM(Sewer Access Module)이라는 거대한 시스템을 개발한바 있다.



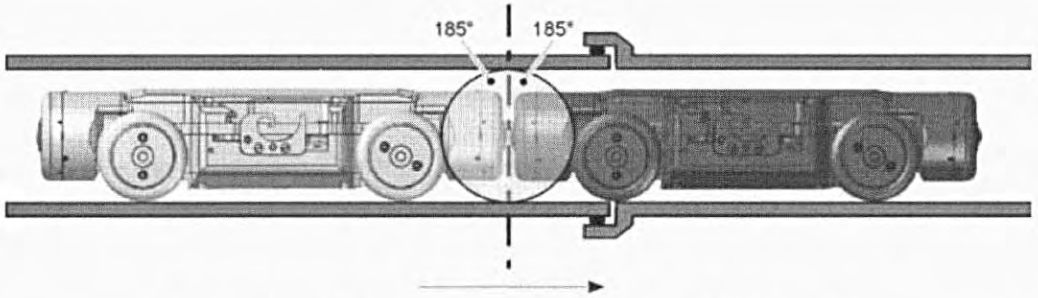
<그림 2.8.> IBAK사의 SAM 모습

이러한 기술력을 바탕으로 어안렌즈와 SSET 기술을 접목시킨 탐사장비가 위에서 언급한 Panoramo 모델이다. <그림 2.9.>는 Panoramo의 주요 멀티센서부와 자주차 모습이다.



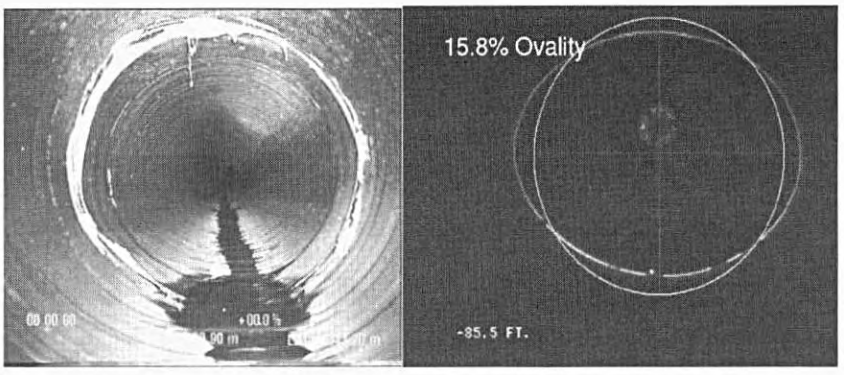
<그림 2.9.> Panoramo 주요 센서부와 전체모습

Panoramo는 자주차의 전면과 후면에 두 개의 어안렌즈를 장착하여 <그림 2.10.>과 같이 두 개의 영상을 취득하여 Stereo camera 기법을 통하여 3차원의 관로내 데이터를 산출할 수 있으며, 간단한 조작만으로 관로 내부를 시뮬레이션을 통하여 3차원으로 표시가 가능한 기술이다.

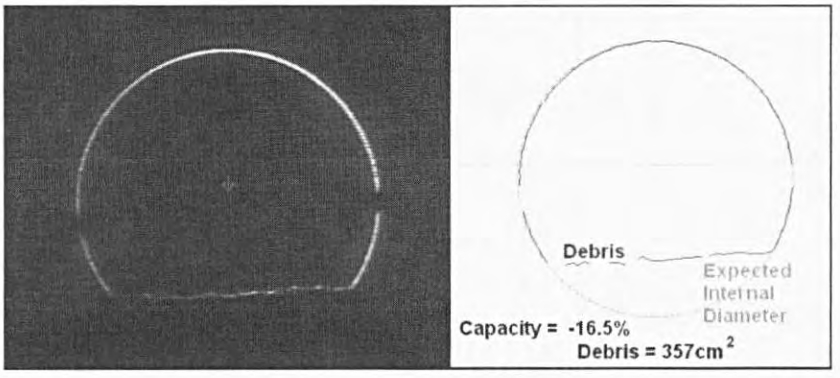


<그림 2.10.> Panoramo의 관로내 영상취득 원리

또한 Panoramo는 추가적인 센서로써 Laser Profiler를 채택하여 장착할 수 있게 제작함으로써 Laser Sensor를 이용하여 관로의 원둘레 형상을 취득하여 연성관과 같은 재질의 관로의 변형율이나 토사 퇴적면적 등을 산출 가능하게 제작하였다.



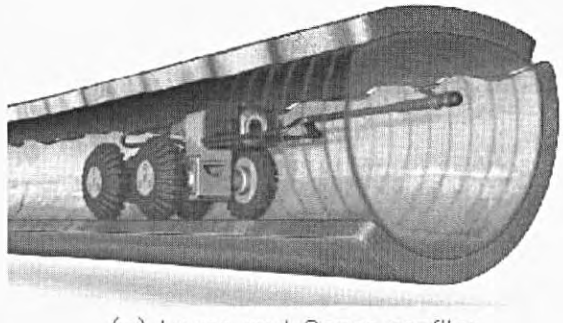
<그림 2.11.> Laser Sensor를 이용한 변형율 측정 예



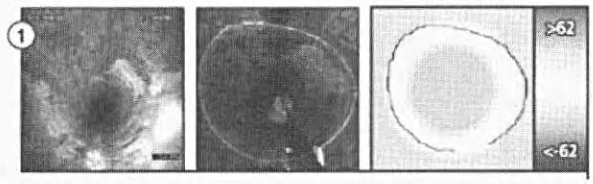
<그림 2.12.> Laser Sensor를 이용한 토사퇴적량 측정 예

국외의 경우 자료관리소프트웨어적에서도 상당한 개발이 이루어졌다. 앞에서 언급한 Blackhawk의 소트프웨어를 제작한 경험이 있는 핀란드의 VTT기술연구소와 핀란드 Painehuuhtelu Oy PTV사는 2000년에 Digisewer라는 OYO SEET와 유사한 시스템을 개발하였다.

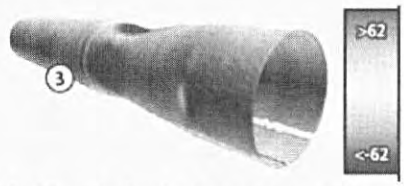
Digisewer시스템은 Blackhawk와 마찬가지로 어안렌즈를 사용하여 관의 내벽을 관찰할 수 있도록 개발되었으며, 독일 IBAK사의 Panoramo 모델과 같이 Sensor를 탈부착할 수 있도록 제작하였다. 독일 IBAK사의 Sensor는 Laser를 이용하여 관의 변형율 및 퇴적량을 측정할 수 있었던 반면에 Digisewer시스템의 Sensor는 Laser와 Sonar를 도입하여 관로의 흐름영역까지도 탐지할 수 있도록 개발하였다. 또한 Digisewer시스템은 디지털 스캔방식의 영상과 일반적인 CCTV 방식을 혼용하여 사용할 수 있는 Hybrid 시스템을 도입하여 자주차의 확장성을 높여서 개발하였다. <그림 2.13.>은 Digisewer의 부가적인 탐사기능을 나타내었다.



(a) Laser and Sonar profiler



(b) illuminated,non-illuminated and captured views of laser line projection



(c) 3D relief of pipe color-coded to depict radial deviation

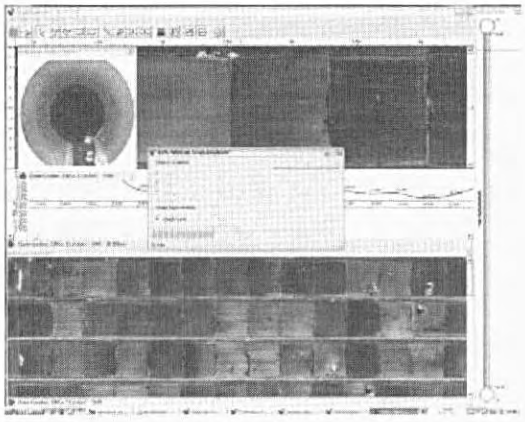
<그림 2.13.> Digisewer의 부가적인 탐사기능

그렇지만 Digisewer의 가장 큰 특징은 핀란드 VTT기술연구소에서 개발한 진보적인 데이터 분석 소프트웨어라고 할 수 있다. 본 프로그램은 관내면의 균열, 관이음부, 가지관 연결부 등을 자동으로 탐색 가능하며, 탐색결과는 가지관의 직경과 균열의 크기를 1mm까지 측정가능하며, 관에 유하하는 하수의 관경에 대한 수심비를 %로 산출되는 기능까지 갖추고 있다.

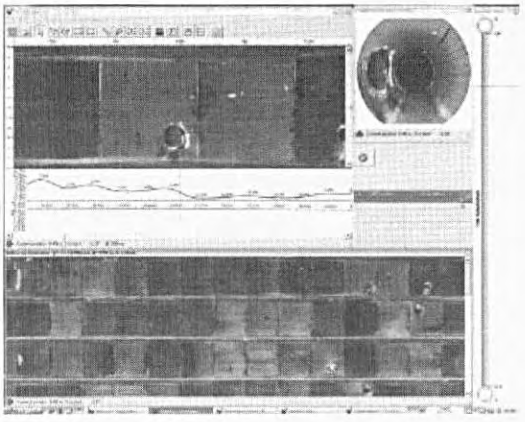
미국에서는 Digisewer시스템을 Envirosight사에서 판매하고 있으며, 미국 NASSCO의 PCAP(Pipeline Assessment and Certification Program)의 결함분류에 따른 Color-Coding탐색기능을 통한 빠른 분석이 가능하며, 미국의 사용실적이 많은 하수관 탐사용 소프트웨어인 Wincam과 연계 호환도 가능하다.

<그림 2.14.>는 Digisewer의 조사 분석 소프트웨어 사용 예를 나타낸 것이다.

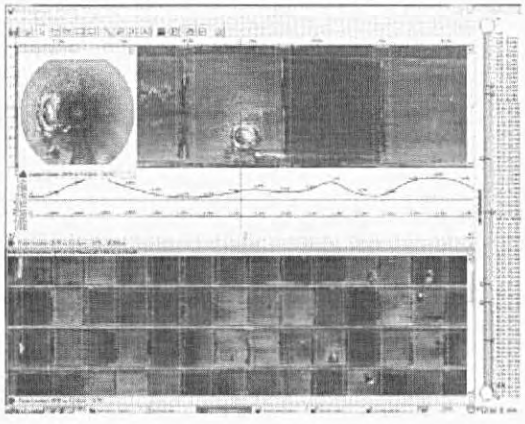
이처럼 국외의 경우 CCTV 조사결과를 사후적 관리차원에서 일회적 데이터로 소진되는 것을 방지하고자 새로운 기존의 CCTV탐사방식에서 탈피하여 새로운 방식의 탐사방식과 하드웨어를 개발할 뿐만 아니라 소프트웨어적인 측면에서도 자동탐사, GIS와의 연계와 같은 방법을 개발함으로써 향후 하수관로의 유지관리 모니터링 시스템 구축과 예방적인 유지관리 즉 자산관리 체계를 구축하고자 하고 있다.



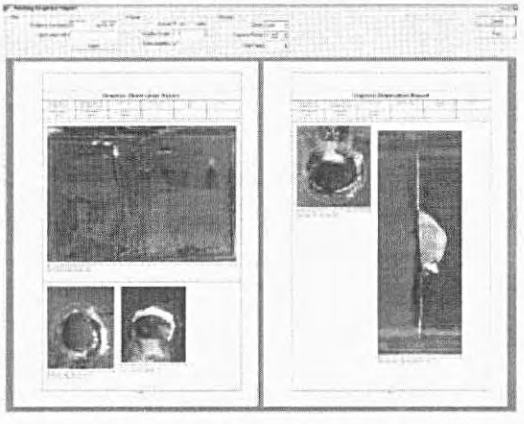
(a) 결함분석소프트웨어 분석 시작



(b) 결함분석소프트웨어 분석 중



(c) 결함분석소프트웨어 분석 완료



(d) 결함분석 조사보고서

<그림 2.14.> Digisewer 조사분석 소프트웨어

제 3절 국내·외 유사기술의 현황 및 문제점

하수관로 SSET 기술은 기존의 하수관로 조사방법인 CCTV기술을 대체하는 조사기술로 판단되며, SSET기술 외에도 다양한 Sensoring 기법의 발달로 하수관로의 상태평가 기술이 진보되고 있다. <표 2.1.>은 하수관로 상태평가 기술과 그 활용범위를 요약한 것이다. 현재 국내에는 CCTV기술 이외에는 별다른 SSET기술 및 Sensor를 이용한 하수관로 상태평가 방법의 기술개발의 거의 이루어 지지 않고 있지만, 국외의 경우는 CCTV기술의 단점을 보완한 다양한 하수관로 상태평가 기술이 개발되고 있다.

<표 2.1.> 다양한 하수관로 상태평가 기술 및 조사범위

하수관 상태평가 기술	조사범위				
	관로 내면조사	관로 내면 형태조사 (변형률)	관로 노후화 조사	관로외부 지반 조건조사	누수위치 조사
SSET (Sewer Scanner & Evaluation technology)	O				O
Laser based Techniques	O	O			O
Sonar (Ultrasonic)	O		O		O
Acousting Measuring Techniques (Impact echo testing)			O		O
Wave Impedance Probe				O	
Ground Penetrating Radar(Electromagnetic)			O	O	
Focused Electrode Leak Locator					O

그러나 국내의 CCTV기술이나 국외의 SSET기술이나 다른 Sensor를 이용한 탐사방법 모두 관의 내면조사, 형태변형조사, 노후도 조사등 하수관 내부의 상태평가만을 위한 장비이다.

또한 미국에서는 현재 하수관 갱생에 소용되는 국가예산보다 현재 하수관으 개량 및 보수에 필요한 비용이 초과되어 있으며, "CMOM"이라는 국가적인 프로그

램을 추진하여 하수관 SSO 발생 등의 문제를 장기간에 걸쳐 개선해 나가려고 노력하고 있다. 이러한 사례들의 교훈은 향후 하수관의 유지관리의 LCC(Life Cycle Cost)개념의 예방적인 유지관리 개념으로의 패러다임 전환될 것으로 예상된다.

현재 국내 각 지자체에서는 지하 매설관로에 대하여 국가 범용 NGIS 시스템을 구축해놓고 있으나, 아직까지는 이에 걸맞은 속성 Database가 구축되어 있지 않고 있다. 이러한 필요에 대응할 수 있는 하수관로 SSET 기술과 여러 가지 상태평가 기술의 도입은 시대적 요소기술임에 틀림없으며, 이에 본 연구에서 개발하고자 하는 지하매설관로 상태평가 및 관리시스템 개발은 이러한 움직임에 첫 발자국임에 틀림없다.

여 백

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

여 백

제1절 영상취득장치개발

1. 전·측방 동시 취득렌즈 개발

멀티센서를 이용하여 지하매설관로의 상태를 파악하기 위해 사용할 렌즈는 다음과 같은 조건을 만족하는 특수한 렌즈가 필요하였다. 이러한 조건을 만족하게 하기 위하여 3차년도에 걸쳐서 매년 좀 더 좋은 영상물을 얻을 수 있도록 렌즈개발을 수행하였다.

첫째, 전방 및 측방을 동시에 촬영할 수 있어야 함.

둘째, 측면영상 취득량을 최대한 많이 확보하여 영상처리 시간 및 효율을 극대화 시켜야함.

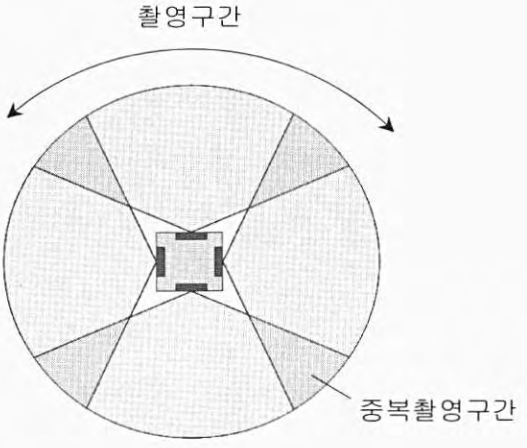
셋째, 관내면의 마모, 균열 등 표면상태를 파악하기 위한 고해상도의 화질을 갖추어야 함.

다음은 본 연구개발에서 시도한 영상취득방식의 개발경과를 나타냈다.

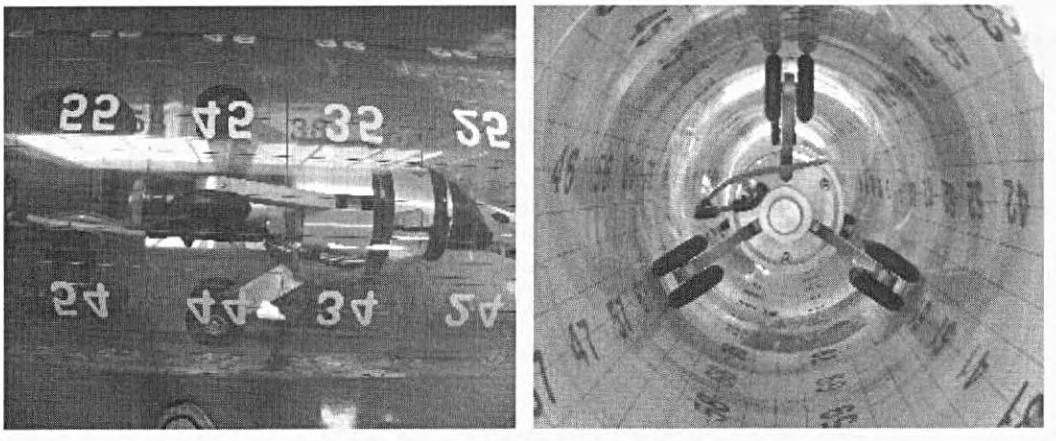
(1) 측면직접촬영방식

개발초기에 진행한 연구로서 4개의 CCD(Charge Couple Device; 이하 CCD) 카메라를 활용하여 사분면을 직접 촬영하는 방식이다. 각 CCD카메라는 120° 까지 촬영할 수 있는 제품으로써 관 내면을 중첩 촬영할 수 있도록 배치하였다.

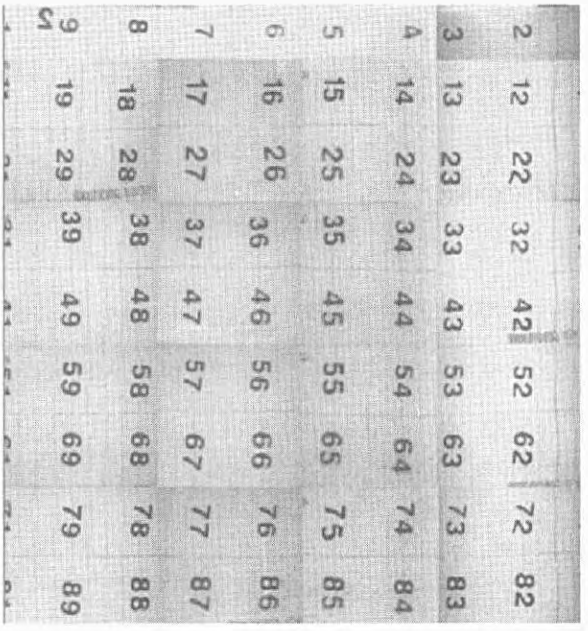
촬영된 내면영상은 영상보정작업을 거쳐 평면화 작업을 수행한 다음 조합하는 방식으로 내면전개도면을 작성하였다. 다음 <그림 3.1.>은 4개의 CCD카메라를 이용하여 영상촬영방식의 개념도로 나타냈다. <그림 3.2.>은 측면직접촬영방식으로 제작된 견인방식의 카메라 자주차가 내면에 숫자를 인쇄한 실험용 아크릴 관을 이동하면서 촬영하는 모습을 나타냈다. <그림 3.3.>은 측면직접촬영방식을 적용하여 <그림 3.2.>와 같은 방식을 이용하여 촬영한 영상결과물을 조합한 결과물을 나타내었다.



<그림 3.1> 4개의 CCD카메라를 이용한 관내면 촬영



<그림 3.2.> 영상 취득 시스템



<그림 3.3.> 관로내면 전개 결과

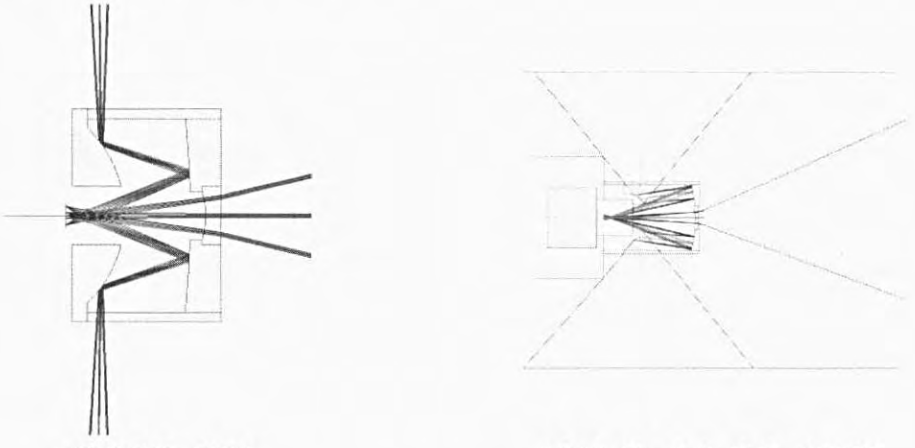
본 측면직접촬영방식으로 실험용 아크릴 관을 촬영한 결과 본 방식을 이용하여 지하매설관로의 상태를 파악 하는데는 다음과 같은 이유로 인하여 무리가 따를 것으로 판단되었다. 첫째, 측면을 위해서 4개의 CCD카메라를 이용함과 동시에 전방을 위한 카메라 1대를 추가적으로 설치를 해야하므로 많은 CCD카메라로 인하여 배선이 복잡해지고 이로 인하여 자주차의 부피가 커짐. 둘째, 4개의 카메라를 사용함으로써 중첩영상이 3군데가 발생하며 이 중첩구역을 처리하여 하나의 관로 전개도로 만드는 과정이 소프트웨어적으로 구현하기 힘들 뿐만 아니라 걸쳐야 하는 처리프로세스가 다수 존재하여 현재의 하드웨어로는 구현하기 힘들 뿐만 아니라 구현 한다 해도 가격적으로 경쟁력이 없을 것으로 판단됨. 마지막으로 4개의 카메라에서 관로의 촬영결과물을 저장장치로 보내기 때문에 한구역의 관로를 촬영한 결과물 저장용량이 대용량을 필요로 함. 이러한 이유로 인하여 측면직접촬영방식을 활용하지 못하였으며, 이에 대한 대안으로 측면간접촬영방식을 활용하게 되었다.

(2) 측면간접촬영방식

본 방식은 하나의 카메라모듈에 전방반사렌즈와 측면반사렌즈를 이용하여 하나의 CCD카메라를 이용하여 전방영상과 측면영상을 동시에 받아들여서 저장하는 방식이다. 카메라모듈은 CCD 카메라, 렌즈어댑터, 전면반사렌즈, 측면반사렌즈로 구성되어 있다.

<그림 3.4.>는 측면의 영상을 측면반사렌즈와 전방반사렌즈를 통해 두 번 반사하여 CCD 카메라로 전송되어진다. 본 방식은 한 개의 카메라를 활용하여 동시에 전방과 측면영상을 취득할 수 있고, 영상처리 소프트웨어 및 일반적인 하드웨어 사양으로도 충분히 운영할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구개발에서는 측면간접촬영방식을 채택하여 시작품에 적용하였으며, 본 방식은 특허가 등록된 상태이다.



(영상취득 경로) (측면 및 전면 영상 취득량)

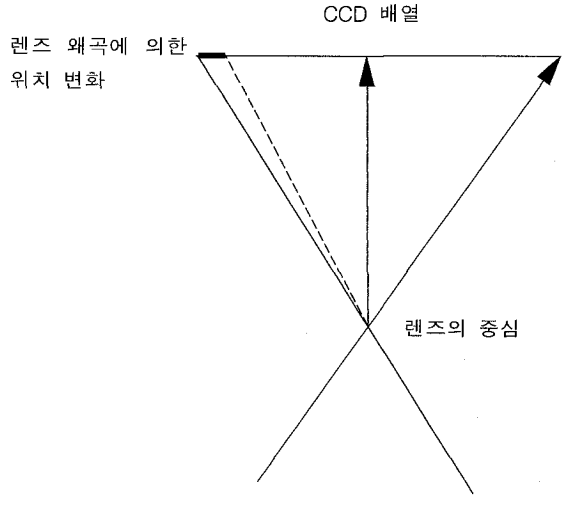
<그림 3.4.> 렌즈모듈을 통한 관 측면영상 취득경로 및 취득량

제2절 영상처리기법 개발

1. 영상보정

가. 영상왜곡

측면간접촬영방법을 이용하여 영상을 취득하는 과정에서 많은 왜곡 요소들이 포함되어 실물과 촬영결과물간의 많은 차이점들이 발생하게 된다. <그림 3.5.>에서 보는 바와 같이 렌즈의 중심에서 영상을 생성하는 CCD 카메라까지의 거리가 다르기 때문에 위치에 따라서 영상이 왜곡되어 나타나기도 하며, 렌즈를 제작하는 과정에서 발생하는 기기적인 오류(Ghost현상)들이 포함되기도한다.

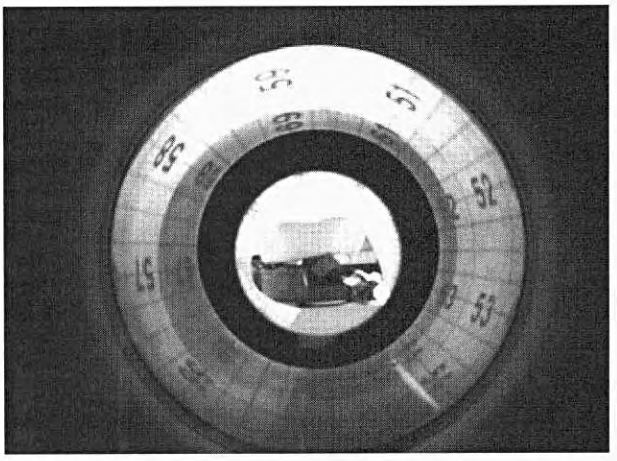


<그림 3.5.> 영상 취득시에 생기는 왜곡현상

이는 검정 과정을 통하여 보정이 가능하며 영상 취득에 사용되는 카메라 마다 특성이 다르므로 이러한 왜곡을 위한 보정과정이 중요하다 할 수 있다.

또한 위에서 언급한 수평적 왜곡현상 뿐만 아니라, 본 연구에서는 관로내 원형을 대상물로 삼기 때문에 이러한 원형관에서의 영상을 취득하는 과정에서 영상왜곡이 발생하게 된다. 이러한 왜곡현상은 구경이 동일한 크기의 관에 대해서 일정하게 왜곡이 발생하기 때문에 영상 처리과정에서 왜곡에 대한 보정계수를 이용하여 충분히 보정할 수 있다.

본 연구에 취득영상에 대한 샘플은 다음에 나타내었다.



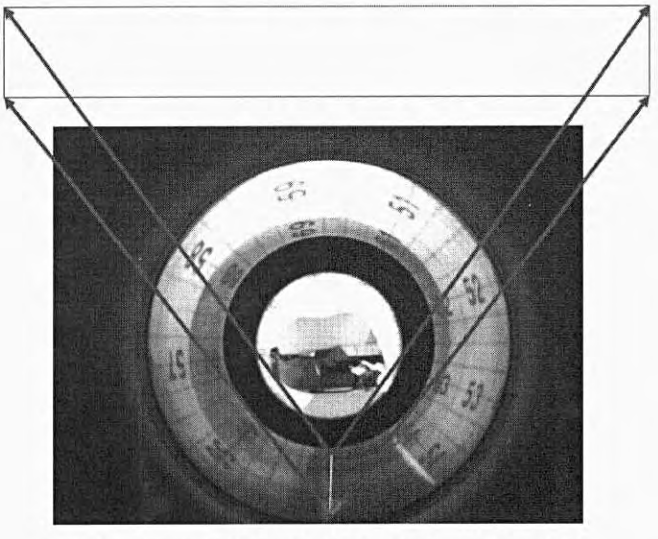
<그림 3.6.> 취득되는 영상 샘플

<그림 3.6.>에 나타낸바와 같이 영상을 취득하는 위치에 따라서 영상 취득거리가 CCD카메라에서 멀어지기 때문에 각 영상에 대한 크기의 차이와 위치의 차이가 발생하게 된다.

나. 영상 왜곡 보정

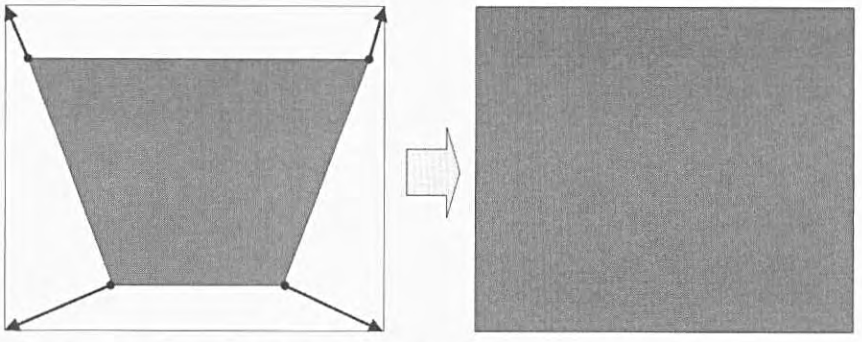
왜곡된 영상을 보정하는 방법에는 다항식법, 등각사상변환법, 부등각사상변환법, 러버쉬팅법 등 여러 가지 방법이 존재한다.

본 연구에서는 취득되는 영상이 원형이므로 이를 영상 전개하기 위해서는 다음 그림과 같은 방법으로 영상의 왜곡을 보정하여야만 한다.



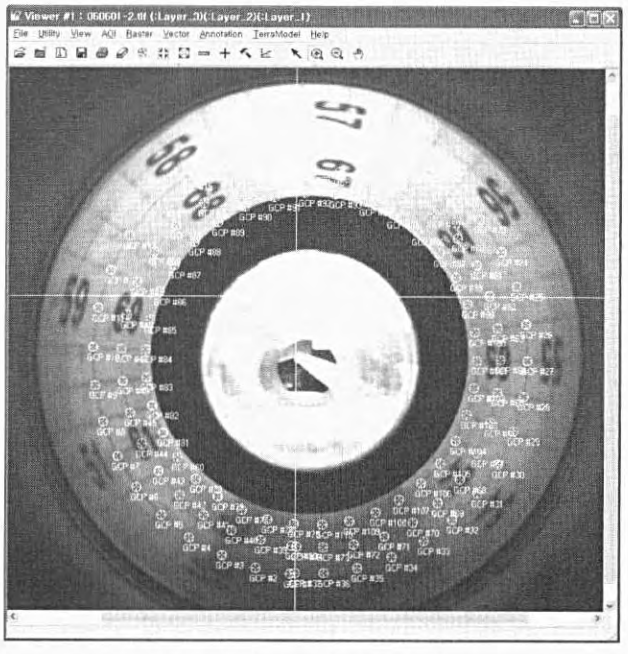
<그림 3.7> 영상 전개를 통한 왜곡 보정

이러한 보정을 위해서는 지도나 도면의 왜곡을 보정하기 위해서 사용되는 러버쉬팅(Rubber sheeting)기법을 적용하는 것이 적절하다고 판단되었다. 이 방법은 다수의 기준점을 사용하여 영상왜곡을 보정하는 비교적 단순하면서도 보정율이 우수한 방법이다. 왜곡된 영상을 보정하는 개념도는 다음에 나타내었다.



<그림 3.8> 러버쉬팅에 의한 영상왜곡의 보정 개념도

영상의 어떤 부분이 영상이 왜곡이 많이 발생하는지 <그림 3.9.>에 나타낸 것과 같이 CCD카메라와 가까운곳에서부터 순차적으로 기준점을 지정하여 기준점에 대응하는 절대좌표를 설정하여 영상보정을 수행하였다.



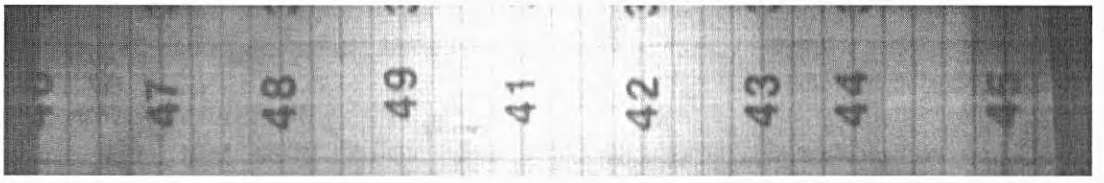
<그림 3.9.> 기준점 설정 예

148개의 기준점을 이용하여 영상의 왜곡정도와 왜곡위치를 나타내었으며 결과는 <표 3.1.>과 같이 러버쉬팅 기법으로 기준점과 이에 대응하는 절대좌표를 나타낸 것이다.

<표 3.1.> 영상왜곡보정을 위한 영상 좌표 및 절대 좌표 예

No	관측 상좌표(pixel)		기준 좌표(cm)	
	inpX	inpY	outX	outY
GCP #1	327.049	-399.483	0	5
GCP #77	304.45	-397.85	2.618	5
GCP #2	282.222	-392.472	5.236	5
GCP #78	260.908	-382.884	7.854	5
GCP #3	241.474	-369.986	10.472	5
GCP #79	224.139	-354.109	13.09	5
GCP #4	210.257	-334.862	15.708	5
GCP #80	198.881	-313.663	18.326	5
GCP #5	192.4	-290	20.944	5
GCP #81	189.609	-266.983	23.562	5
GCP #6	191.375	-242.581	26.18	5
GCP #82	196.643	-218.864	28.798	5
GCP #7	207.076	-196.468	31.416	5
GCP #83	221.102	-175.381	34.034	5
GCP #8	237.63	-158.559	36.652	5
GCP #84	258.324	-144.126	39.27	5
GCP #9	280.49	-133.663	41.888	5
GCP #85	304.089	-127.367	44.506	5
GCP #10	328.8	-126	47.124	5
GCP #86	353.506	-128.119	49.742	5
GCP #11	376.677	-134.936	52.36	5
GCP #87	398.627	-145.845	54.978	5
GCP #12	418.122	-160.114	57.596	5
GCP #88	434.723	-177.859	60.214	5
GCP #13	448.8	-198.4	62.832	5
GCP #89	457.284	-220.079	65.45	5
GCP #14	462.4	-243.6	68.068	5
GCP #90	463.729	-266.488	70.686	5
GCP #15	460.84	-289.401	73.304	5
GCP #91	454.598	-311.394	75.922	5
GCP #16	444.4	-333.2	78.54	5
GCP #92	430.211	-351.895	81.158	5

위와 같은 과정을 통하여 영상을 보정하고 취득과정에서 변형을 보정하면 다음과 같은 보정영상을 얻을 수 있다.



<그림 3.10.> 왜곡 보정 후 취득된 관로 전개 영상

2. 영상 모자이크

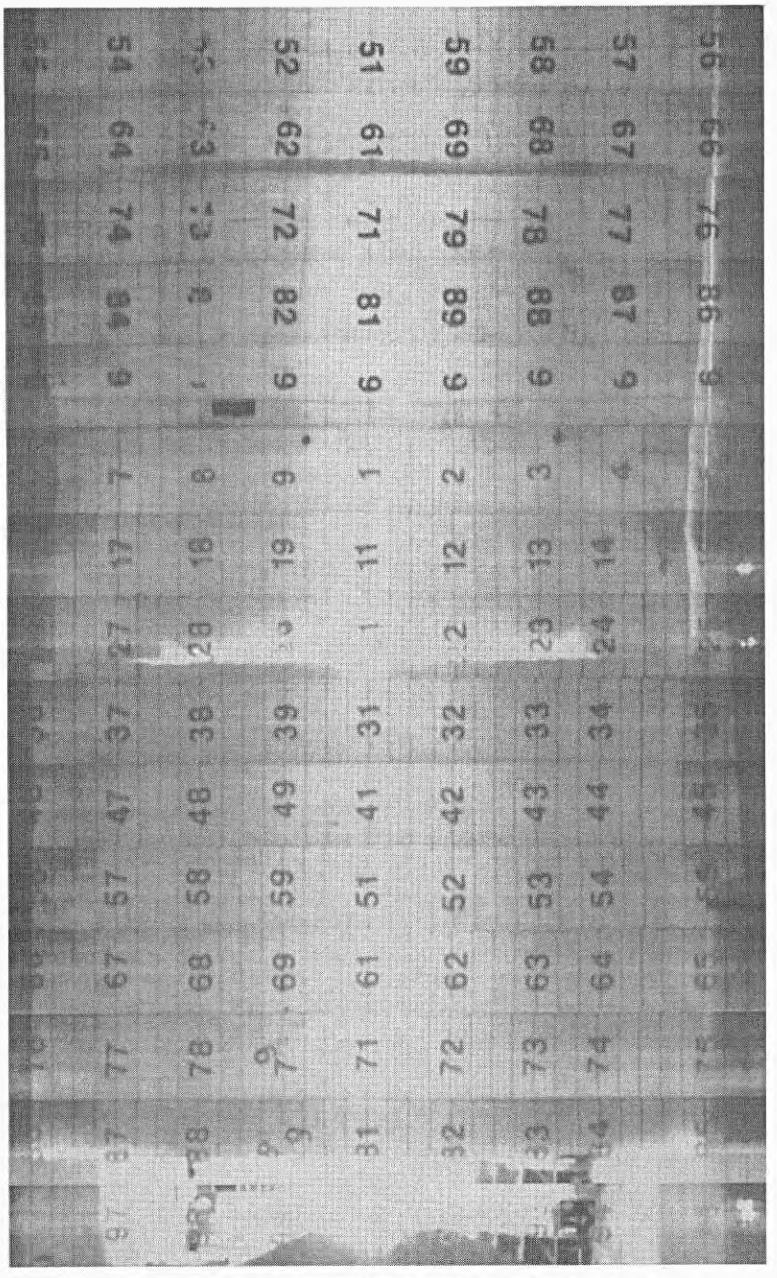
<그림 3.10.>에서 취득된 보정 영상은 자료의 중첩에 있어서 단위 영상물을 이어붙임에 따라서 틈이 벌어지는 것을 방지하기 위하여 작업에 필요한 영상의 크기보다 약간 큰 영상을 취득하게 된다.

이렇게 단위 영상물을 하나의 영상으로 만드는 과정이 영상모자이크 과정이다. 영상을 모자이크 하는 방법은 프로그램 상에서 겹치는 영상의 폭을 조정하여 자주 차의 진행속도나 거리, 영상의 특성에 맞추어서 조정할 수 있다.

거리에 의해서 영상을 모자이크 하는 방법은 하나의 영상이 취득되고 다음 영상이 취득되는 과정에서 전진하는 거리를 휠 센서를 이용하여 관측하고 이를 보정영상에서 필요한 거리 만큼을 절취하는 방법으로써, 영상 내의 특징점을 발견할 수 없는 신관 등의 시공하지 얼마되지 않은 관등에 유용하게 사용 할 수 있다.

영상의 특성을 이용하여 모자이크 작업을 수행하는 방법은 여러 가지 영상 모자이크 방법 중에서 가장 정밀한 방법이라 할 수 있다. 이 방법은 영상에 존재하는 영상의 특징을 찾아서 영상 접합 기법을 이용하여 영상의 접합 위치를 결정하는 것 방법으로써 단위 영상의 특징을 파악하여 단위 영상의 매칭점을 찾아서 적절한 위치에 접합을 하는 방법이다. 하지만 이렇게 영상의 특성을 이용하여 접합하는 방식은 단위 영상의 특징점을 찾는데 기준을 잡기가 매우 힘들며 단위 영상마다의 특징이 촬영 환경에 따라 달라지기 때문에 프로그램으로 구현하기는 매우 힘들다고 할 수 있다.

앞 절에서 취득한 영상을 이용하여 거리를 이용한 모자이크 방법으로 영상 모자이크 작업을 수행한 예는 다음 <그림 3.11.>에 나타내었다.



<그림 3.11.> 영상 모자이크 작업 후의 영상 예

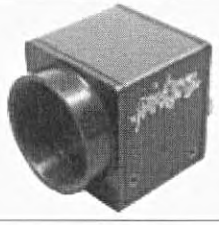
제3절 시작품 제작

1. 전체장치의 구성 및 사양

DPIM 시작품은 총 2회에 걸쳐서 제작 되었다. 1차년도에서 2차년에 DPIM-1을 제작하였으며, 2차년도에서 3차년도에 걸쳐서 DPIM-2를 제작하였다. DPIM-1이나 DPIM-2는 전체적인 장치의 구성은 동일하게 구성하였다.

다음의 표는 각 년차별로 시작품의 현장적용성을 높이기 위하여 각 구분별로 하드웨어 업그레이드한 내역을 나타낸 것이다.

<표 3. 2 .> 년차별 하드웨어 업그레이드 내용

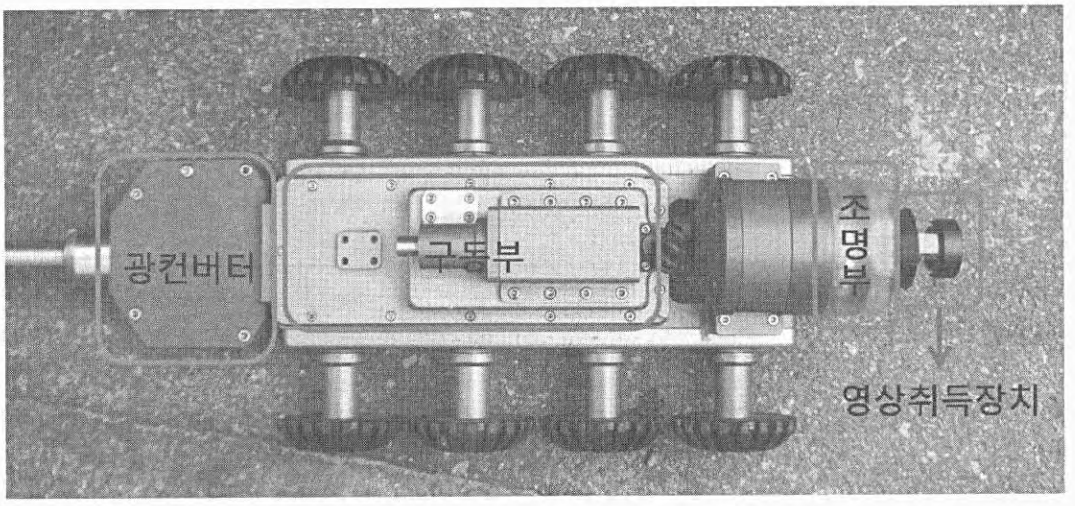
구성	1차년도	2차년도	3차년도
자주차	- 4개의 원형바퀴 - 기어를 이용한 4륜 전륜구동 - 렌즈부로 인하여 무게중심이 앞쪽으로 설계	- 8개의 원형바퀴 - 기어를 이용한 8륜구동 - 카메라 소형화로 자주차 무게중심이 낮게 설계되어 충격을 최소화 시킴.	- 영상취득부와 자주차 몸체를 컨넥터를 이용하여 연결함으로써 현장에서의 작업 편이성을 증대시킴
카메라 외형			
데이터 전송 방식	IEEE-1394	IEEE-1394	CAT-5e, CAT-6 Lan 방식
전송 케이블	광케이블, 광 신호 발생기 및 수신기 필요	광케이블, 광 신호 발생기 및 수신기 필요	Lan 방식이므로 PC에 직접연결
조명	전면부 조명과 측면부 조명이 분리되어 촬영시 배선에 의한 화면간섭현상이 발생	전면부와 측면부를 카메라 모듈 후면에 배치함으로써 배선에 의한 화면간섭현상 해결	-

DPIM은 크게 자주차, 컨트롤러, 권취기, PC 이렇게 총 4개 부분으로 나눌 수 있다. 모든 구성품은 승합차량에 설치하여 현장의 이동성 및 접근성을 높일 수 있도록 하였다.

가. 자주차

자주차는 실질적으로 하수관내에 영상취득장치를 진입시키는 이송체로써, 구성은 영상취득장치, 조명부, 구동부, 광신호발생장치(이하 광컨버터)로 나눌 수 있다.

구체적인 DPIM-2 자주차 내의 구성부 위치는 <그림 3.12.>에 나타내었다.



<그림 3.12.> DPIM-2 구성부 위치

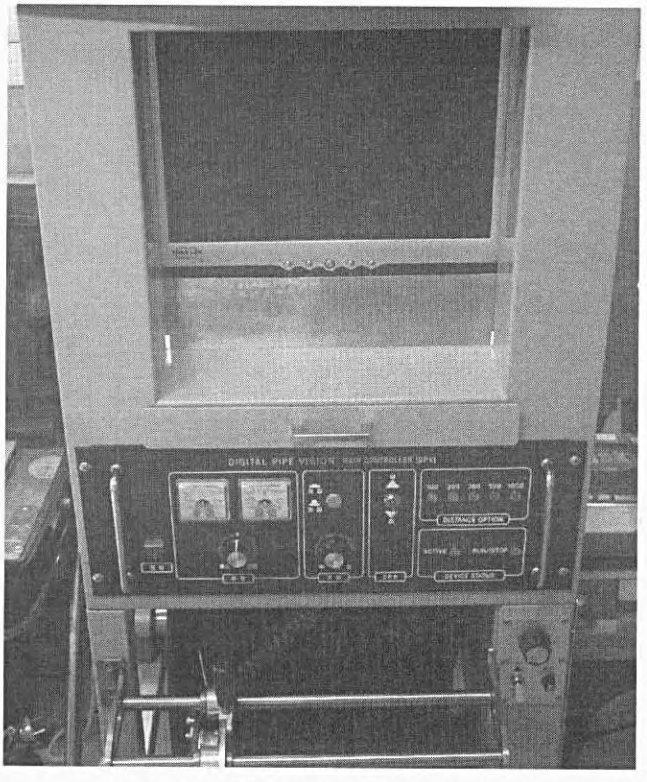
구체적으로 구성부위별 기능을 설명하면 영상취득장치는 하수관의 전면과 측면의 영상을 취득하기 위한 반사렌즈와 CCD카메라가 내장되어 있는 부분이며, 조명부는 영상취득장치에서 전면과 측면의 영상을 취득하는데 필요한 광원을 확보하기 위하여 전면부와 측면부에 LED를 내장하였으며, 컨트롤러를 통하여 광원의 밝기를 조절 할 수 있도록 제작하였다. 또한 조명부의 뒤쪽에는 영상취득장치에서 얻어진 영상을 송신하기 위한 PCB(Print Circuit Board : 이하 PCB)를 내장하였다. 구동부에는 자주차를 하수관에서 진행시키기 위한 구동모터와 모든 바퀴를 동시에 움직이게 하기 위한 기어 및 구동축을 내장시켰으며, 마지막으로 광컨버터 부위에는 영상취득장치에서 얻어진 대용량의 영상을 PC로 송신하기 위해서 디지털 신호를 광신호로 변환하기 위한 송신 광컨버터를 내장시켰다.

나. 컨트롤러

컨트롤러는 시스템 전체의 on/off, 시스템에 과부하 방지를 위한 전압과 전류의 모니터 게이지, 자주차의 전진과 후진, 속도조절과 조명부의 on/off, 밝기조정이 가

능하도록 설계하였다. 컨트롤부는 다음절에 설명할 귄취기와 PC의 모니터를 함께 설치함으로써 공간을 최대한 활용할 수 있도록 배치하였다. DPIM-1과 DPIM-2의 컨트롤러 구성 및 기능은 동일하게 설계하였다.

다음 그림은 DPIM-2의 컨트롤러를 나타내었다.



<그림 3.13.> DPIM-2 컨트롤러

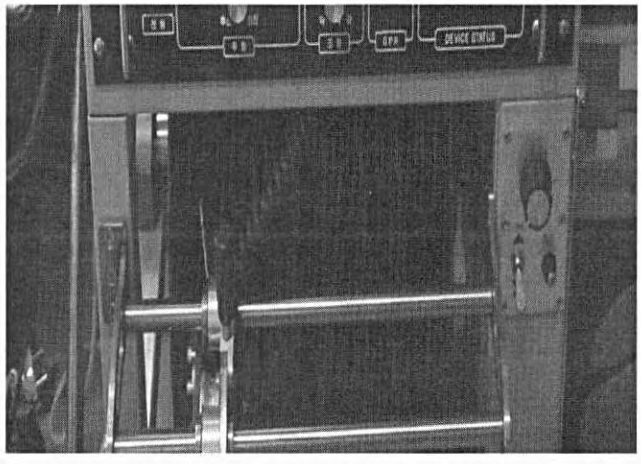
다. 권취기

관연장이 긴 구역을 촬영을 하였을 때, 풀린 케이블을 수동으로 감는 것은 현장 여건에 맞지 않을 뿐만 아니라, 현장에서의 작업효율성이 떨어진다고 할 수 있다.

또한, 자주차의 광컨버터에서 발생된 대용량의 영상을 PC에 전달하기 위하여 광섬유를 이용한 케이블을 제작하였는데, 광섬유 케이블은 꺽김에 매우 약한 단점을 가지고 있다. 이러한 광섬유케이블의 단점을 극복하기 위하여 광섬유 케이블을 자동으로 감거나 풀 수 있도록 권취기를 제작하였다.

본 권취기는 감는 속도와 풀리는 속도를 조정할 수 있을 뿐만 아니라, 거리계를 장착함으로써 자주차의 진행거리를 간접적으로 측정할 수 있도록 하였다.

<그림 3.14.>은 본 연구에서 개발하여 사용한 권취기의 모습이다.



<그림 3.14.> 권취기 모습

2. 영상취득장치 성능 개선

가. 카메라 성능 개선

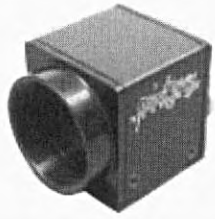
DPIM-1과 DPIM-2의 시작품을 제작하면서 카메라의 성능개선을 위하여 카메라를 총3번 교체하여 최종접합결과물의 화질 및 해상도를 개선하였다. 본 연구의 특성상 하수관내 도면화를 이루기 위해서는 고해상도의 카메라가 필요하며, 지하매설물이라는 하수관 특성상 외부충격에 노출될 확률이 높기 때문에 소형의 카메라를 선택하여야만 했다. 그러나 DPIM-1 시작품을 설계할 당시(2006년) 상용화된 카메라 중에는 고해상도이면서 소형인 카메라가 존재하지 않았기 때문에 선택의 폭이 넓지는 않았다. DPIM-1의 사용된 카메라로 인하여 렌즈가 영상취득부의 선단에 돌출되고, 렌즈의 지름도 크게 설계되어 탐사작업시 충격에 렌즈부를 보호하는 유리부분이 깨지는 등의 문제점이 나타났다.

DPIM-2의 시작품을 제작할 때에는 상용화된 카메라 중에 초소형이면서 고해상도의 카메라가 개발되어 시판되었다. 초소형의 카메라로 인하여 렌즈를 영상취득부의 선단에 DPIM-1에 비하여 적게 돌출되며, 구경도 작게 설계되었다. 또한 렌즈와 반사판을 보호하고 있는 유리관을 석영관으로 교체하여 강도 및 투명도를 향상시켰다. 이로 인하여 외부충격에 의한 렌즈의 손상을 줄일 수 있었다.

마지막으로 본 연구에서 같이 개발하는 하수관 데이터 처리 프로그램의 영상처리 기술부분의 성능향상으로 인하여 전송되는 영상 용량의 소용량화, 취득하는 영상폭도 5픽셀 미만으로 취득하여도 영상전개에 무리가 없음으로 판단되어 광케이블을 이용한 전송체계에서 CAT-5e급이나 CAT-6급의 Lan선을 이용한 영상전송이 가능할 것으로 판단되어 Lan선을 이용하여 전송할 수 있는 카메라를 선정하여 DPIM-2를 업그레이드 하였다.

다음의 표는 카메라 교체에 의한 성능개선을 정리한 것이다.

<표 3.3.> 카메라 교체에 따른 성능개선 요약

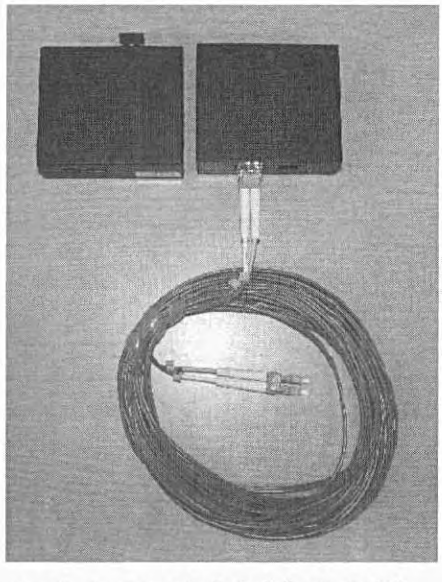
	DPIM-1	DPIM-2	DPIM-2 업그레이드
카메라 외형			
카메라 크기 (mm)	30(L)×39(W)×31(H)	30(L)×20(W)×2(H)	67(L)×44(W)×29(H)
해상도	1024 × 768	1032 × 776	1024 × 768
데이터 전송 방식	IEEE-1394	IEEE-1394	CAT-5e, CAT-6 Lan 방식
성능 개선 효과		- 외부 돌출의 최소화로 외부충격 완화	- 데이터 전송방식 변경으로 인한 간략화

나. 영상전송 방식 개선

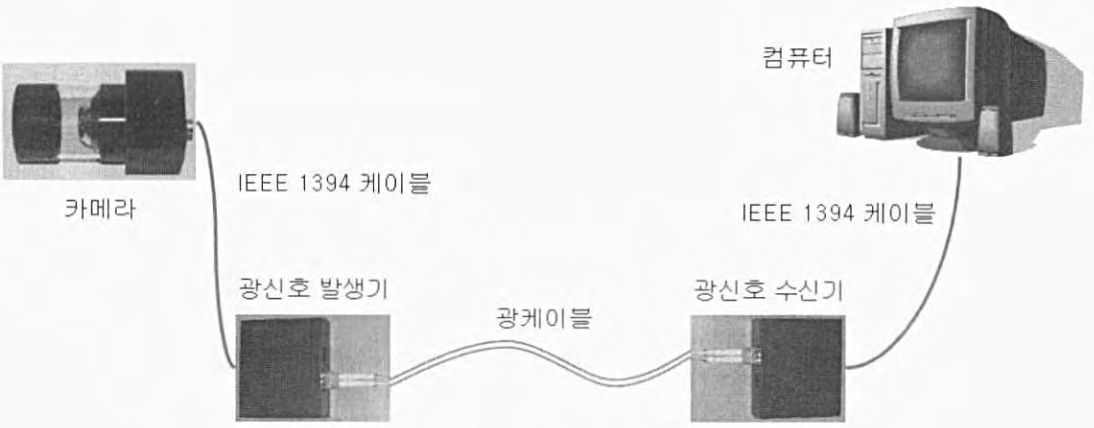
DPIM-1 시작품의 카메라 한계로 인하여 DPIM-1의 영상결과물 포맷이 대용량의 이미지 파일인 BMP형식만 지원하였다. 이로 인하여 하나의 단위영상의 평균 용량이 8Mbyte였으며, 초당 3매에서 최고 15매까지 전송을 하여야만 했다. 이는 24Mbyte/sec에서 최고 120Mbyte/sec정도의 트래픽을 유발하므로 기존의 동선이나 IEEE-1394형태의 전송방식으로는 불가능 한 것으로 조사되었다. 따라서 DPIM-1 시작품 개발단계에서는 영상 전송방식을 광케이블 방식을 선택하였다. 기존의 동선과 같은 케이블과는 달리 광케이블을 이용하는 경우 트래픽 유발이나 신호손실없이 장거리를 전송가능하지만, 영상취득장치와 컴퓨터를 직접 연결할 수 없기 때문에 광 컨버터를 이용하여 카메라에서 나오는 신호를 광신호로 변환하여 송신하면, PC 앞단에서 송신된 광 신호를 다시한번 광 컨버터를 이용하여 수신하고 PC에서 인식할 수 있는 신호로 변환하는 작업을 거쳐야만 한다.

또한 DPIM-2 시작품 업그레이드 전의 카메라의 경우 DPIM-1과는 달리 영상결과물을 지원하는 포맷이 BMP보다는 저장용량이 적은 JPEG 형태의 형식을 지원하여 촬영결과물의 용량에 의한 트래픽 유발현상 배제하였지만, 본 연구에서 최대 전송거리는 약 100m이기 때문에 이 거리를 트래픽 및 노이즈 없이 전송하기 위해서 DPIM-1의 광케이블을 사용하였다.

<그림 3.15.>은 광컨버터와 광케이블의 모습이며, <그림 3.16.>은 DPIM-1과 DPIM-2 업그레이드 전의 영상 전송방식에 대한 시스템 구성을 나타내고 있다.



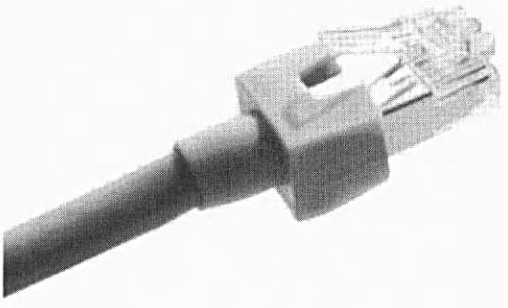
<그림 3.15> 광컨버터와 광케이블



<그림 3.16.> 광신호를 이용한 영상전송을 위한 시스템 구성

본 연구에 의해서 개발된 시스템은 각종 관로의 내부에서 사용되는 장비로써 장비의 내구성이 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 하지만 광케이블의 경우 데이터의 전송 능력은 다른 케이블에 비하여 탁월하지만 광케이블이 꺾임 등에 의한 충격에 쉽게 파손될 우려가 있으며, 한쌍의 광컨버터를 이용하여야 하기 때문에 유지보수 및 시스템 구성에 어려움이 있었다. 이러한 광케이블의 문제점을 해결하기 위하여 DPIM-2 시작품에 Lan(Local Area Network)을 이용한 영상전송이 가능한 카메라를 조사하여 적용하게 되었다. Lan이란 범위가 그리 넓지 않은 지역 내에서 다수의 컴퓨터나 OA기기 등을 속도가 빠른 통신선로로 연결하여 기기간의 통신이 가능하도록 하는 근거리 통신망으로써 본 연구의 데이터 전송 거리인 최대 100m는 충분히 전송할 수 있으며, CAT-6 Lan 케이블을 이용함으로써 Gigabit급의 용량도 처리가 가능하다. 이렇게 Lan을 이용할 수 있는 카메라로 DPIM-2를 업그레이드 함에 따라 광케이블을 이용한 전송방식에서 컨버터를 이용한 신호변환도 불필요하게 되었으며, 카메라에서 송신된 신호를 컴퓨터에서 바로 인식가능함에 따라서 시스템의 구성도 간단해졌다.

<그림 3.17.>은 DPIM-2 업그레이드에 사용된 CAT-6 랜케이블의 컨넥터 모습이다.

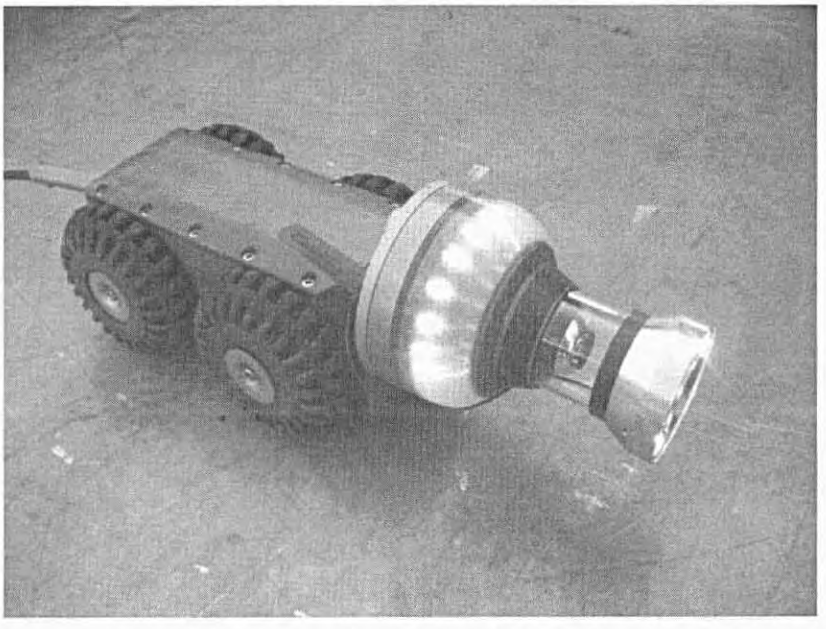


<그림 3.17.> CAT-6 랜케이블 컨넥터

3. 자주차 성능 개선

가. 몸체부 성능 개선

DPIM-1 몸체부의 가장 큰 특징은 미끄러운 하수관내 바닥에서 원활히 자주차를 전진시키기 위해서 원형바퀴를 4개를 이용하고, 기존의 CCTV 자주차의 체인에 의한 전륜구동방식과 다르게 기어를 이용한 전륜구동방식을 이용함으로써 체인이 늘어남에 따라 바퀴가 헛도는 현상을 방지하였다. <그림 3.18.>은 DPIM-1 시작품의 구동모습이다.



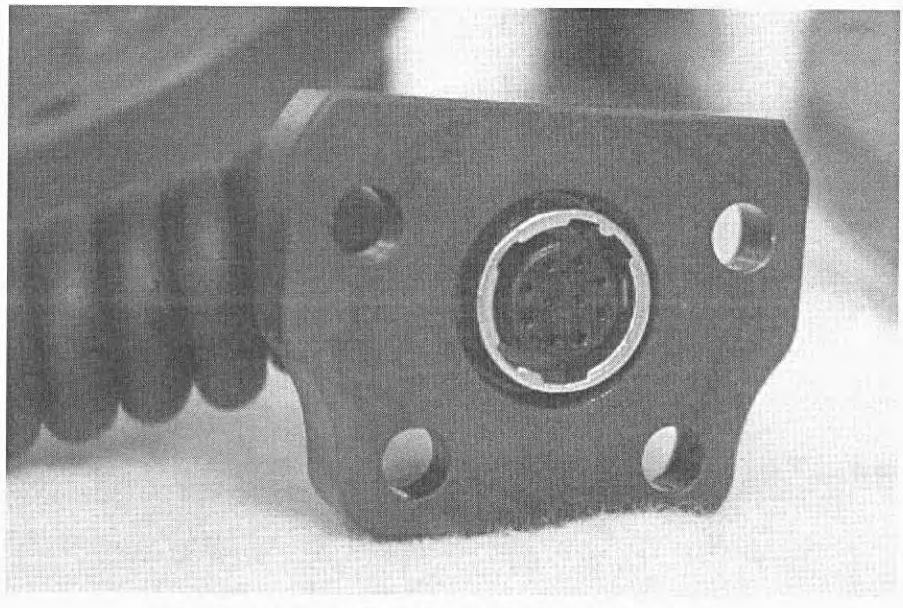
<그림 3.18.> DPIM-1 자주차 구동 모습

4개의 바퀴를 전륜방식으로 진행하도록 설계하여 미끄러운 하수관 미끄럼 없이 진행은 할 수 있었지만, 카메라의 크기로 인하여 자주차 전면부의 영상취득장치부가 본체에 비하여 크게 설계되어 무게중심이 앞쪽으로 쏠림에 의해서 관내의 단차, 기타 장애물등 외부 충격에 의해서 영상취득장치를 감싸고 있는 유리관이 깨지는 현상이 빈번히 발생하였다. 또한 영상취득장치 고장에 의한 수리를 위하여 전면부를 분해할 때, 자주차 본체와 영상취득장치를 일체형으로 설계함으로써 유지보수에 어려움이 발생하였다.

이러한 현상들을 방지하기 위하여 DPIM-2 시작품에는 카메라가 소형화가 됨에 따라서 영상취득장치부를 작게 설계할 수 있게 됨에 따라서 전면부 영상취득장

치부를 DPIM-1에 비하여 대폭 축소하여 설계하였으며, 하수관내에서 자주차의 추진력을 극대화 시키기 위하여 기존의 4개의 바퀴에서 바퀴수를 증가시켜 8개로 늘림으로써 자주차의 접지력과 추진력을 극대화 시켰다. 또한 DPIM-1에서 발생하였던 관내의 단차 및 장애물을 통과할 때 받는 충격을 최소화 할 수 있도록 차체를 낮게 설계하였다.

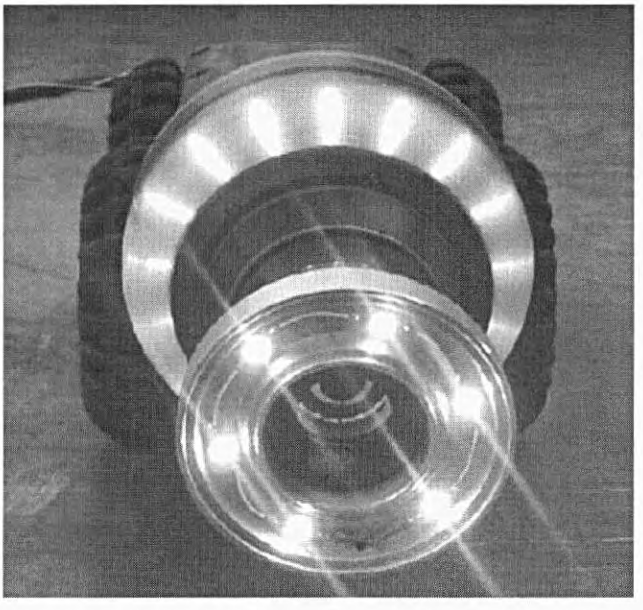
유지보수의 편리함을 증대하기 위해서 DPIM-1에서와 같이 영상취득장치부와 자주차 본체를 일체형으로 설계하지 않고 <그림 3.19.>과 같이 컨넥터 형식으로 변환함으로써 영상취득장치부 고장으로 인한 수리시 영상취득장치부의 교체만으로 현장에서 고장에 의한 현장조사 지연을 최소화 할 수 있도록 하였다.



<그림 3.19.> 영상취득장치의 컨넥터 부분

나. 조명부 성능 개선

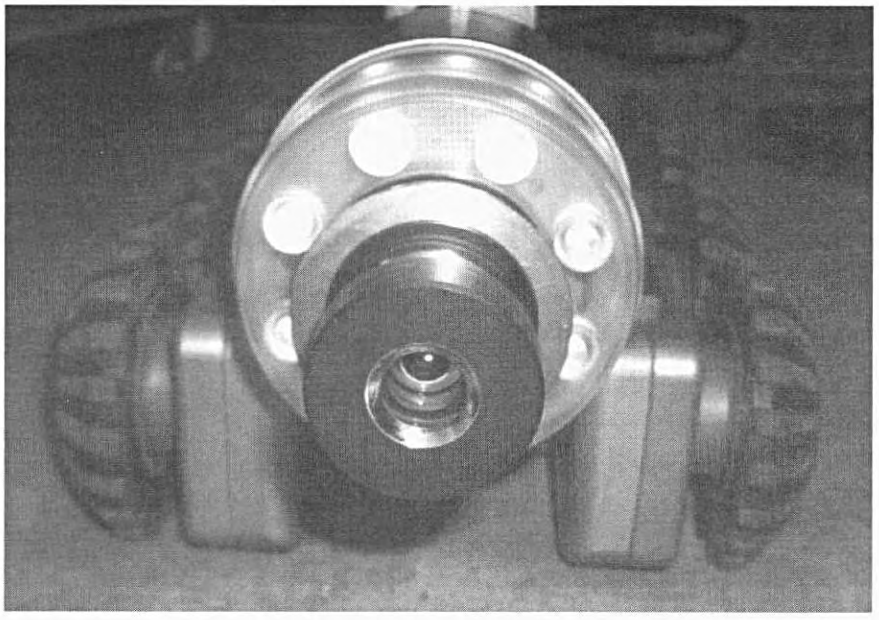
DPIM-1의 조명부는 카메라의 한계로 인하여 전면부 조명과 측면부 조명을 분리하여 전면부는 영상취득장치부의 최선단 LED 조명을 6개 설치하였으며, 측면조명부는 영상취득장치의 후단에 LED 17개 설치하였다. 이렇게 측면부 조명과 전면부 조명을 분리하여 설치함에 따라 최종 영상전개화면에 배선에 의한 얇은 줄이 나타났다. 그리고 전면부의 조명의 발열에 의해서 습도가 높은 하수관내 자주차 진입시에 결로현상으로 인하여 영상결과물이 뿌옇게 나타나는 현상도 발생하였다. 또한 전면부에 조명을 연결함으로 인하여 앞에서 설명하였듯이 DPIM-1의 경우 무게중심이 자주차의 앞쪽으로 설계가 되어 하수관내에서 단차 등에 고여진 하수에 전면부가 잠기는 경우가 발생하게 되는데 이때 전면 조명부의 수밀성 부족으로 인하여 회로가 쇼트가 일어나는 경우도 발생하였다. <그림 3.20.>은 측면부 조명과 전면부 조명이 분리된 DPIM-1의 조명부 모습이다.



<그림 3.20.> DPIM-1 측면부와 전면부 조명

앞에서 설명한 DPIM-1의 조명부에서 발생한 현상들을 방지하기 위하여 DPIM-2 시작품에는 전면부 조명과 측면부 조명을 카메라 후단에 설치함으로써 배선에 의한 화면 간섭현상을 없앴으며, 발열을 최소화 할 수 있는 알루미늄 재질의 발열판을 이용한 PCB를 제작함으로써 발열에 의한 결로현상을 최소화하였다.

DPIM-2의 조명부는 전면 조명에 고휘도 저발열 LED를 8개, 측면 조명에 14개를 사용하였으며, 광원이 한군데 집중되는 현상을 방지하기 위하여 불투명 아크릴을 오목렌즈 형태로 제작하였다. <그림 3.21.>은 DPIM-2의 측면과 전면 조명 모습이다.



<그림 3.21.> DPIM-2 측면과 전면 조명부

제4절 DPIM운영 및 보고서 작성 소프트웨어

1. 국내외 하수관 데이터 처리 프로그램 현황

가. 국내 기술 현황

국내의 경우 아직까지 디지털 이미지를 이용한 보고서 작성 프로그램이 없기 때문에 기존의 CCTV를 이용한 프로그램만을 본 장에서는 소개하고자 한다. CCTV를 이용한 데이터의 분석 및 보고서 작성을 위한 처리는 일반적으로 다음의 <표 3.3.>와 같이 다섯 단계를 거쳐서 완성되게 된다.

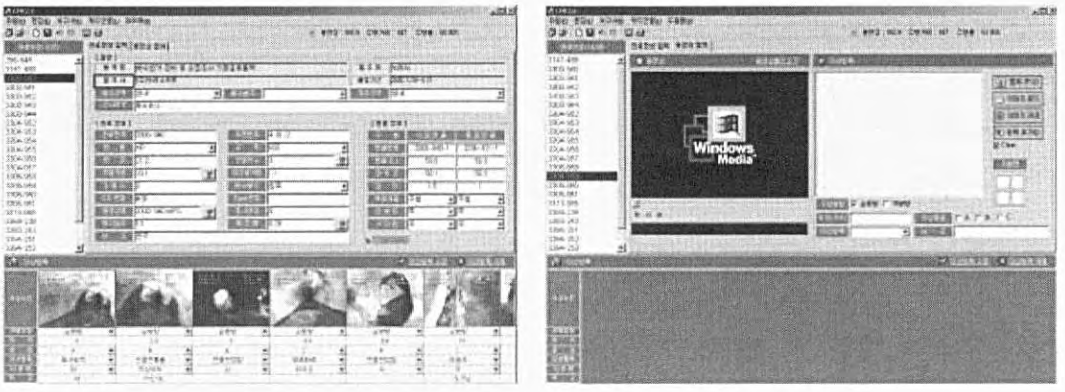
<표 3.4.> 일반적인 CCTV의 작업 단계

단계	단계 설명
Step 1	현장에서 CCTV를 통한 녹화 촬영
Step 2	현장에서 녹화된 아날로그 영상을 디지털 영상으로 변환 (동영상 인코딩 장비 필요)
Step 3	변환된 동영상에서 이상부위 정지화면 캡쳐
Step 4	각각의 캡쳐화면에 대한 설명 추가
Step 5	프로그램을 이용하여 캡쳐한 이미지를 자동으로 보고서 형태로 출력

현재 상업적으로 많이 사용되는 프로그램들은 위 단계의 작업을 간편하게 하기 위한 역할을 한다. 예를 들면, 현장에서 탐사장면을 녹화할 때 일반적인 VCR에 녹화에 녹화하는 방식이 아닌 DVD나 PMP와 같은 형태의 저장매체에 디지털 형식으로 녹화하는 방식이나, 이상부위를 녹화하기 위하여 정지하여 확대 및 여러각도의 촬영을 한 부분을 자동으로 캡쳐기능을 수행하는 기능을 가진 프로그램들도 있다. 하지만, 작업의 큰 흐름 순서는 위에 설명된 다선 단계를 거칠 수밖에 없다.

국내에서 많이 사용하고 있는 지하매설 관로 보고서용 프로그램은 T사의 SICAS 2000/Viewer와 N사의 LIVE 2.0등이 있다. 이들의 기능은 대동소이하며 기본적으로 직시 촬영영상을 자료의 기본으로 삼고 있다. 아래의 <그림 3.22.>은

국내 하수관망 관측 데이터 처리 프로그램의 캡쳐화면이다.



<그림 3.22.> 국내 지하매설관로 조사 분석용 프로그램

좌측에는 관측데이터에 대한 데이터 필드 및 관측 정보가 있으며, 우측 그림은 디지털 동영상을 윈도우즈 미디어 플레이어 Active X 모듈을 이용하여 볼 수 있도록 디자인 되어있다.

국내 프로그램의 수준은 하수관 상태를 정리하고 보고서를 작성하는 수준에 머물고 있다. 즉 관측 데이터를 DBMS(DataBase Management System)화 하거나 GIS와 연계 또는 자산관리(Asset Management)까지 연계되어 있는 프로그램은 현재까지 국내에는 개발되어 있지 않고 있다.

나. 국외기술동향

○ CCTV 관리 프로그램

국외의 경우 프로그램의 구성 및 보고서 생성기 등의 기능은 국내의 경우와 대동소이하나 데이터의 활용도 측면에서 크게 다른 점을 보이고 있다.

해외의 CCTV관측 데이터 처리 프로그램은 자산관리 (Asset Management)와 직접적으로 연결되어 DB를 공유 하거나 DB를 변환 시키는 수준으로 처리가 되어 있다. 미국의 Flexidata^{TM}의 경우 작성되는 보고서의 정보는 다음을 포함한다.

· Structural Score – 구조적 건강도 점수
· Structural Graph – 구조적 건강도 그래프
· O&M(Service) Score – 운영 및 관리 (서비스) 점수

· O&M(Service) Graph – 운영 및 관리 (서비스) 그래프

· Grade – 전반적인 등급

· Defect by Inspection – 조사단위별 이상부위

국내의 프로그램의 경우 위의 6가지 사항 중 마지막 사항만을 보고서에 포함하는 것이 일반적이다. 하지만 예방적 차원의 하수관 유지관리를 위해서는 자산관리에 필요한 기본적인 사항들을 보고서에 포함시켜야 할 것이다.

국외의 분석프로그램은 CMOM과 GASB34 법률이 정하고 있는 사항을 준수하는 것을 원칙으로 설계되어 있다. CMOM은 Capacity Maintenance And Operations Management의 약자로써 EPA(미국 환경청)이 정하고 있는 하수시스템 관리 기준이다. CMOM 규약에 부합하기 위해서는 프로그램은 하수관의 이력데이터를 관리하고 운영 계획 및 수리/보수/보강/교체 계획을 수립할 수 있는 기능을 갖추어야한다.

GASB34는 자산관리에 관한 법률로써 GASB34가 정하고 있는 기준에 부합하기위해서는 하수관 시설물의 가산가치 변화 추이를 관리할 수 있어야 한다. 대개의 경우 CMOM의 규정에 부합하면 GASB34 또한 문제가 없게 된다.

하수관 상태의 이상유무를 판단 하는데에 있어서는 NASSCO 규약에 따른 PACP코드를 차용하고 있다. NASSCO는 National Association of Sewer Service Companies (미국하수도관리업협회)로써 하수도 시스템의 관리의 통일성과 표준화에 많은 노력을 기여하고 있다.

PACP (Pipe Assessment and Certification Program)은 NASSCO에서 만든 표준화된 하수관 결함 코드로써, 각 지방 정부마다 업체마다 난립하는 결함코드를 표준화하여 상호 호환성을 높이기 위해서 만들어 졌다.

유럽의 경우 표준코드(BS EN 13508-2:2003)을 구축하였으며, 최근 미국, 캐나다, 호주 등은 이 표준코드를 이용하여 자국의 상황에 맞는 상태평가 매뉴얼을 제정하여 적용하고 있다.

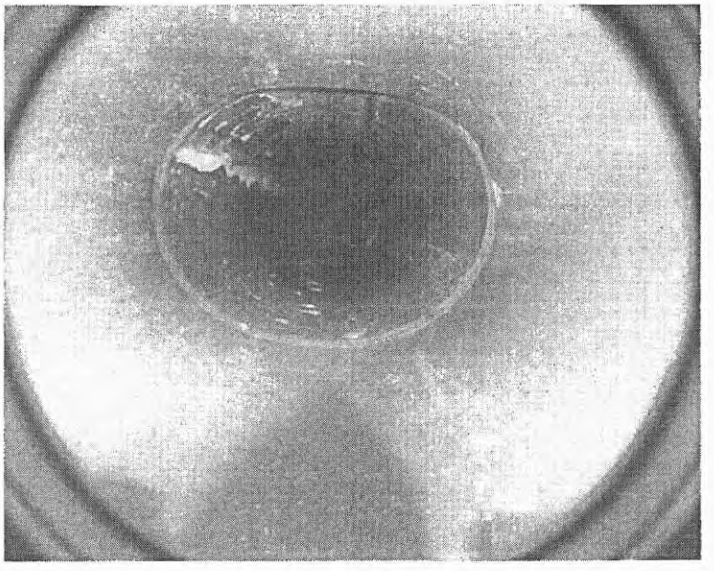
BS EN 13508-2:2003에서는 조사결과를 Main Code, Characterisation, Quantification, Circumferential location, Joint, Photo Ref., Video ref., Remarks등으로 나누어서 조사결과를 정리하고 있다.

Main Code는 세자리 알파벳으로 나뉘어서 분리가 되는데 Main code에 대한 정리는 다음의 표에 나타내었다.

<표 3.5.> BS EN 13508-2 분류코드

첫 번째 알파벳	설명	두 번째 알파벳	설명
A	조사구역의 전반적인 사항	A	조사방향, 조사지명, 조사지 유형등과 같은 전반적인 조사에 대한 사항
		B	조사방법, 저장형태, 이미지 형태와 같은 세부적인 조사방법에 관한 사항
		C	관로의 유형, 높이, 재질, 이송방식과 같은 관로의 자세한 설명에 관한 사항
		D	강수여부, 온도, 유량체크여부 등과 같은 부가적인 사항
		E	조사동안에 변경된 사항에 관한 사항
B	조사결과	A	관거의 구조적 이상부위에 관한 사항
		B	관거의 이송상태에 관한 사항
		C	조사지점의 가지관, 유지보수에 관한 사항
		D	부가적인 사항
C	맨홀과 inspection chamber의 전반적인 사항	A	맨홀과 inspection chamber의 조사지명, 조사지 유형등과 같은 전반적인 조사에 대한 사항
		B	맨홀을 이용한 90° 연결, 45° 연결, 저장형태, 조사방법, 이미지 형태와 같은 세부적인 조사방법에 관한 사항
		C	맨홀형태, 계단형태와 같은 조사부의 자세한 설명에 관한 사항
		D	강수여부, 온도, 황화수소 농도와 같은 부가적인 사항
		E	조사동안에 변경된 사항에 관한 사항
D	맨홀과 inspection chamber의 조사결과	A	맨홀과 inspection chamber의 구조적 이상부위에 관한 사항
		B	맨홀과 inspection chamber의 구조적인 이상을 제외한 사항
		C	가지관, 유지보수에 관한 사항
		D	부가적인 사항

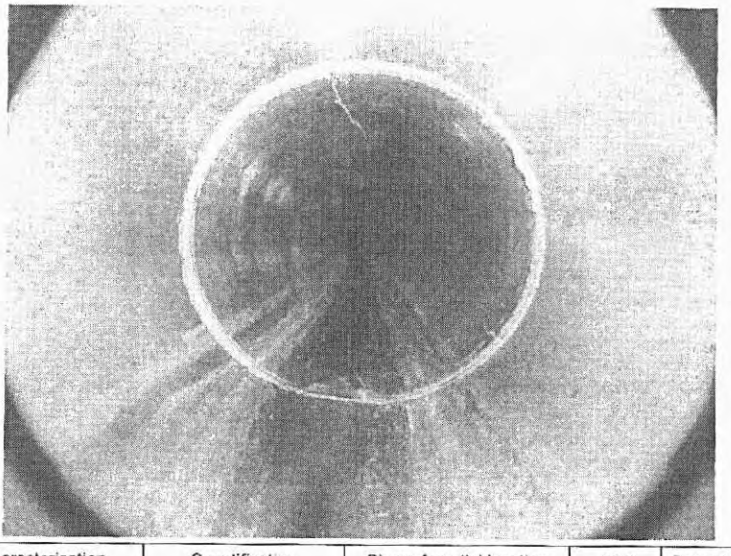
첫째자리와 둘째자리의 분류코드에 이어서 세 번째 자리의 알파벳 분리코드는 세부적인 이상항목이나 사항을 분리하였을 뿐만 아니라 구조적 상태등급을 매김으로써 정비우선순위를 산정할 수 있도록 하였다. 다음의 그림들은 BS EN 13508-2의 표준코드를 이용한 CCTV 조사결과를 나타낸 것이다.



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Remarks
BAA	A		10%		11	01		

<그림 3.23.> 하수관거 상태평가 예 (#1)

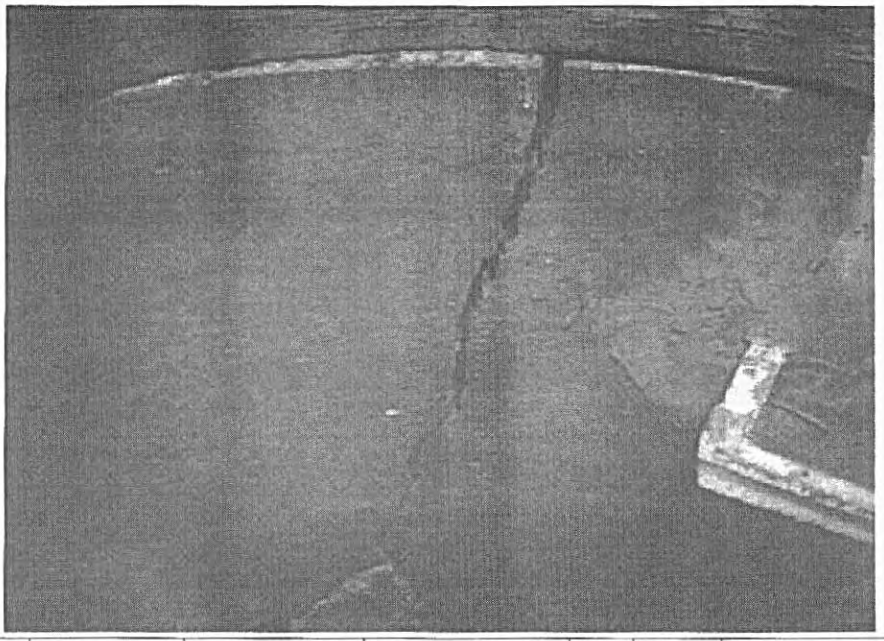
BAA : 관변형, A : 수평변형, 10%변형, 변형부위 11시~01시



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Remarks
BAB	B	A	1		12			
BAB	B	A	1		06			

<그림 3.24.> 하수관거 상태평가 예 (#2)

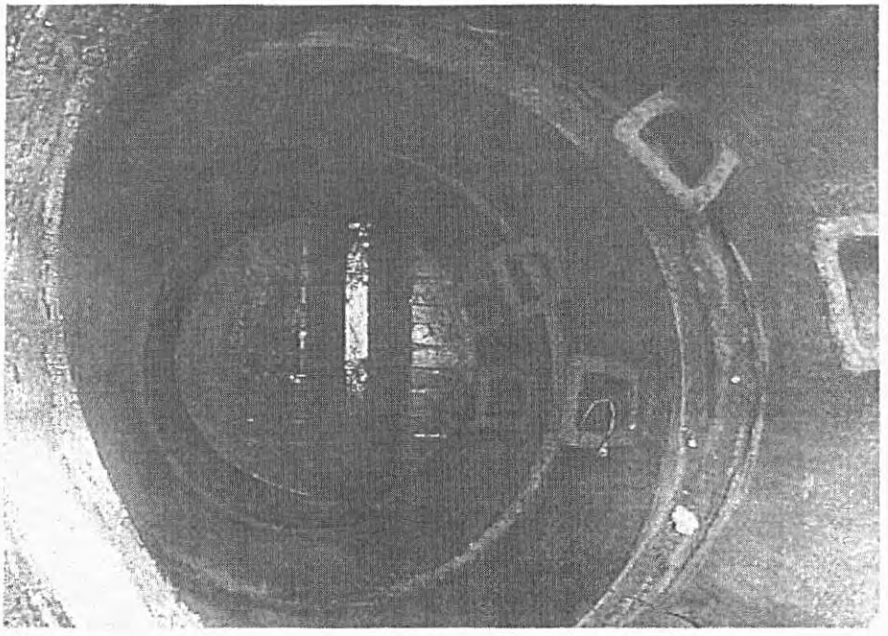
BAB : 균열, B : 갈라짐이 없는 크랙, A : 관의 진행방향으로 크랙, 크랙 부위 : 12시, 06시방향



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential Location		Joint	location	Remarks
DAB	C	A	6		10			C	

<그림 3.25.> 하수관거 상태평가 예 (#3)

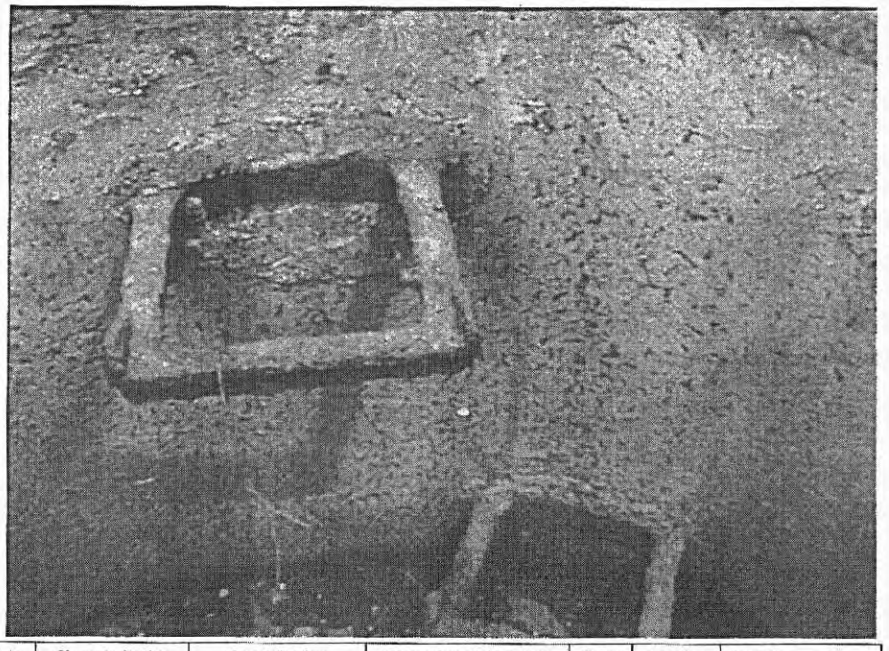
DAB : 맨홀부 균열, C : 파손, A : 수직방향, 6mm균열, 10시방향, C: 맨홀의 Shaft부분에서 발견



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Location	Remarks
DAJ	B		50		09			C	

<그림 3.26.> 하수관거 상태평가 예(#4)

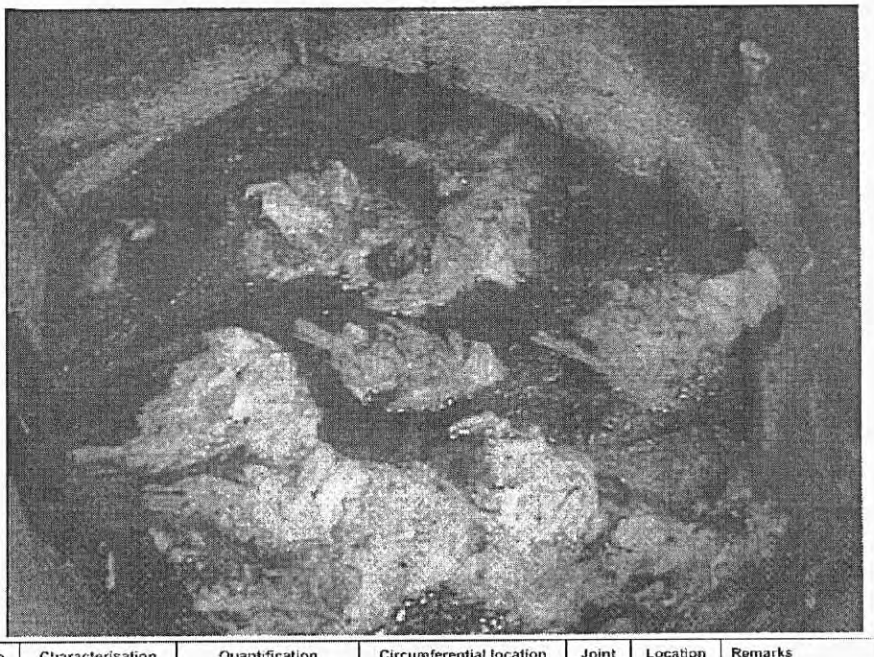
DAJ ; 맨홀연결부 교환, B : 수평방향, 50mm, 9시방향, C: 맨홀의 Shaft부분에서 발견



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Location	Remarks
DAQ	C		2		10			C	

<그림 3.27.> 하수관거 상태평가 예(#5)

DAQ : 사다리 결함, C : 사다리부식, 2 : 사다리 2개 부식, 10시 방향, C : 맨홀의 Shaft부분에서 발견



Code	Characterisation		Quantification		Circumferential location		Joint	Location	Remarks
DCN	A							I	

<그림 3.28.> 하수관거 상태평가 예(#6)

DCN : 인버트상부에 퇴적토퇴적, A : 맨홀부분은 이상없음, I : 수로부분에서 발견

국내에서 벤치마킹한 일본의 경우에도 사)일본하수도협회에서 2002년에 "하수관거 개축 등의 공법선정 매뉴얼(안)" 에서 다음 표와 같이 하수관거 조사판정기준(안)을 제시하였으며, 국제적인 표준 프로토콜은 아직 따르지 않고 있지만 자체적으로 가이드라인을 배포하여 하수관거 조사서 및 맨홀조사서 표준양식 등을 배포하고 있다.

<표 3.6.> 일본의 조사 판정 기준(안)

구간전체로 평가	항목 \ 등급		A	B	C
	1)관의 부식		철근 노출	골재 노출	표면이 거친 상태
	2)상하방향의 침하(단차)	관거관경 700mm 미만	관경이상	관경의 1/2 이상	관경의 1/2 미만
		관거관경 (700mm 이상 1,650mm 미만)	관경의 1/2 이상	관경의 1/4 이상	관경의 1/4 미만
		관거관경 (1,650mm 이상 3,000mm 이하)	관경의 1/4 이상	관경의 1/8 이상	관경의 1/8 미만

관한본당 평가	항목 \ 등급		a	b	c
	3)관의 파손	철근콘크리트관 등	이탈 손실	축방향의 크랙이 폭 2mm 이상	축방향의 크랙이 폭 2mm 미만
			축방향의 크랙이 폭 5mm 이상		
		도관	이탈 손실	축방향의 크랙이 관길이의 1/2 미만	-
			축방향의 크랙이 관길이의 1/2 이상		
	4)관의 크랙	철근콘크리트관 등	원주방향의 크랙이 폭 5mm 이상	원주방향의 크랙이 폭 2mm 이상	원주방향의 크랙이 폭 2mm 미만
		도관	원주방향의 크랙 길이가 원주의 2/3 이상	원주방향의 크랙 길이가 원주의 2/3 미만	-
	5)관의 이음부 이완		완전 탈각	철근콘크리트관 등 : 70mm 이상 도관 : 50mm 이상	철근콘크리트관 등 : 70mm 미만 도관 : 50mm 미만
	6)침입수		분출하고 있다.	흐르고 있다.	번지고 있다.
	7)연결관의 돌출[주3)]		본관 내경의 1/2 이상	본관 내경의 1/10 이상	본관 내경의 1/10 미만
	8)유지의 부착[주3)]		내경의 1/2 이상 폐쇄	내경의 1/2 미만 폐쇄	-
	9)나무뿌리 침입[주3)]		내경의 1/2 이상 폐쇄	내경의 1/2 미만 폐쇄	-
	10)모르터 부착[주3)]		내경의 3할 이상	내경의 1할 이상	내경의 1할 미만

주1 단차는 mm 단위로 측정한다. 또한, 기타 이상(나무조각, 타관통과 등과 같이 상기에 없는 항목)도 조사한다.
주2 7)연결관의 돌출, 8)유지의 부착, 9)나무뿌리 침입, 10)모르터 부착 등은 청소 등으로 간단히 제거할 수 없을 경우에 한하여 상기의 조사판정기준을 적용한다.

국내의 경우 표준화 코드가 아직 만들어져 있지 않고 있으며, 서울시의 경우 <표 3.6.>과 같이 A, B, C 등급으로 구분하고 있으며, 본 연구에서도 이상항목 판정기준으로 활용하였다. 본 연구를 통하여 서울시 하수관거 이상항목 판정기준과 일본의 이상항목 판단기준을 활용하여 자체적으로 이상항목 판단 기준 매뉴얼(안)을 작성하였다. 더 나아가 하수관거의 상태평가와 성능평가 체계에 관한 개발을 하기 위해 현재 데이터베이스를 확보하고 있으며 별도의 연구를 통하여 국내 실정에 적합한 상태평가와 성능평가 체계를 개발할 예정이다.

<표 3.6.> 서울시 하수관거 이상항목 판정기준

구 분	상세내역	A	B	C
맨홀부	맨홀 뚜껑 파손	맨홀 개폐 불능	파 손	균 열
	맨홀 연결부 파손	본관의 1/2이상	1/4정도	틈새보임
	부식 및 마모	철근 노출	조골재 노출	표면 마모
본관부	이 음 부	관경 1/3이상 어긋남	관두께 이상 어긋남	틈새, 철근 보임
	침 입 수	솟구치는 정도	흐르는 정도	스며 들어옴
	유 출 수	발 생	-	-
	부 식	철근 노출	골재 노출	표면 박리
	관파손 및 크랙	함몰, 변형	파손, 철근 노출	균 열
	곡 관 로	45° 이상 꺽임	45° ~30°	10° ~30°
	관침하, 관구배	관경의 2/3이상 침하	1/2정도 침하	1/3이하 침하
지관부	연결관 돌출	본관의 2/3이상	1/2정도	1/3정도
	연결관접합부 파손	지관크기의 2배이상	1.5배 정도	1배 정도
장애물	타관통과	1/3미만 높이	1/3~2/3 높이	2/3높이 이상
	폐 유	다 량	중 간	소 량
	모르타르	관경의 1/2이상	1/3정도	1/4이하
	토사퇴적	관경의 1/2이상	1/3정도	1/4이하
	기타 장애물	관경의 1/2이상	1/3정도	1/4이하

주) 하수관거정비사업의 효과분석을 위한 방안검토 연구 (서울시정개발연구원, 2003)

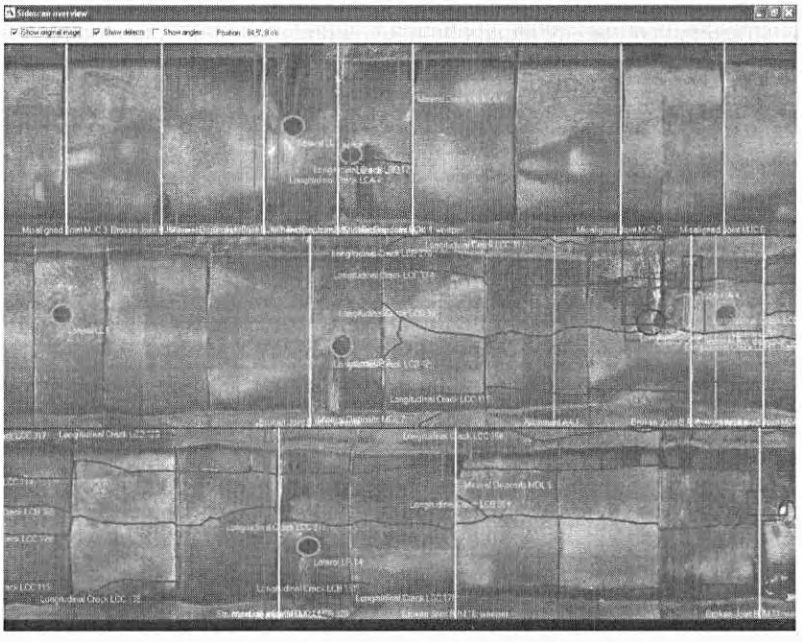
<표 3.7.> 본 연구에서 적용한 조사판정기준(안)

이상항목	A등급	B등급	C등급
부식	철근노출	골재 노출	표면 박리
상하방향 단차(침하)	관경의 2/3 이상	관경의 1/2 이상	관경의 1/3 이하
관 파손 및 균열	균열의 폭 5mm 이상	균열의 폭 2mm 이상	균열의 폭 2mm 미만
이음부 이완	완적 탈각	70mm 이상	70mm 미만
침입수	분출	흐름	번짐
연결관 돌출	관경의 2/3 이상	관경의 1/2	관경의 1/3
폐유 부착	관경의 1/2 이상 폐쇄	관경의 1/2 미만 폐쇄	-
나무뿌리 침입	관경의 1/2 이상 폐쇄	관경의 1/2 미만 폐쇄	-
모르타르 부착	관경의 1/2 이상	관경의 1/3	관경의 1/4 이하

○ 자동탐색 기술을 이용한 하수관 관리 시스템

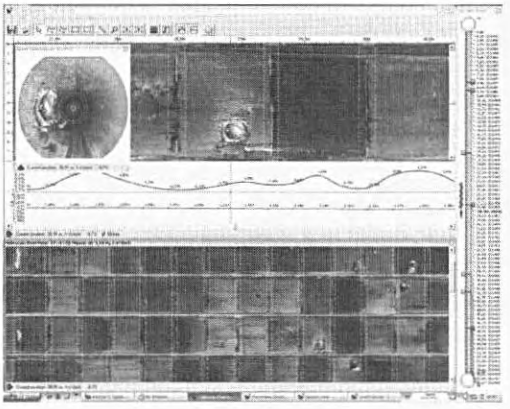
자동탐색(Auto-Detecting)기법을 이용하여 하수관의 탐사결과에 적용시키고자 하는 노력은 SSET와 Digisewer와 같은 시스템에서 2000년대 초반부터 연구 진행되고 있으며, 하수관 크랙위치 및 이음부, 가지관 연결부 등의 자동탐색기능은 향후 분석보고서 산출시 작업속도를 향상 시킬 것으로 기대되고 있다.

다음의 <그림 3.29.>은 SSET시스템의 자동결함탐색결과의 예를 보이고 있다.

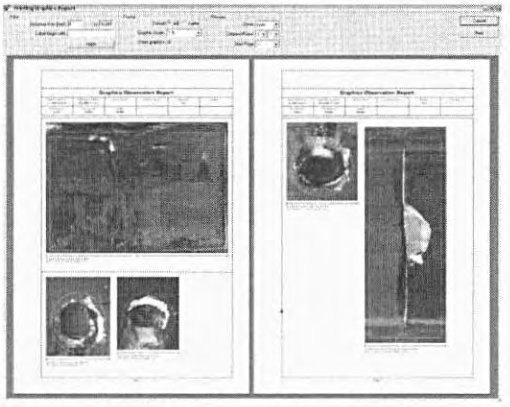


<그림 3.29.> SSET시스템의 자동결함탐색 예

핀란드의 Digisewer 시스템의 자동탐색 시스템의 경우 핀란드 VTT 기술연구소가 개발한 자동탐색 소프트웨어의 경우 하수관 내면의 균열, 관 이음부, 가지관 연결부 등의 이상부위를 자동으로 탐색함은 물론, 가지관의 직경과 균열의 크기를 1mm단위까지 측정가능하며, 관내 유하하는 하수의 관경에 대한 수심비를 %로 산출되도록 하는 기능까지 가지고 있다. 본 자동탐색 시스템은 유럽의 특성에 맞게 개발된 것으로써 2003년부터 의무화되는 유럽의 공통기준인 하수관 결함코드분류에 따라 실제의 결함 및 손실정도가 자동적으로 분류되어 기록되는 기능도 갖추고 있다.



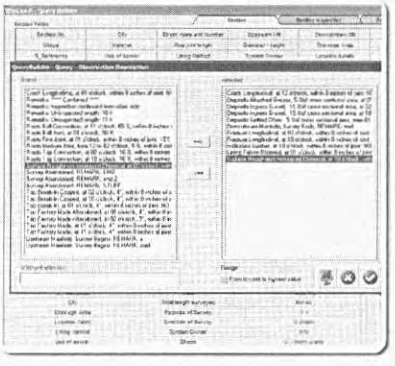
자동탐색소프트웨어 분석 완료 화면



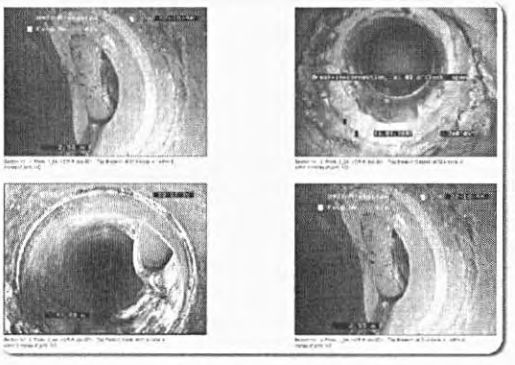
자동탐색분석 조사보고서

<그림 3.30.> Digisewer 조사 분석 소프트웨어 예

미국에서는 NASSCO의 PACP(Pipeline Assessment and Certification Program)의 결함분류에 따른 분석이 가능한 미국내에서 사용실적이 많은 하수관 자동탐색용 소프트웨어인 Wincam을 많이 사용하고 있다. Wincam의 경우는 SSET나 Digisewer의 영상결과물 뿐만 아니라 앞에서 설명하였던 CCTV의 정지영상의 자동추출 뿐만 아니라 이상항목 자동탐색이 가능하다. 또한 GIS와의 연동뿐만 아니라 자산관리 프로그램까지 연동이 됨에 따라서 일회적인 조사보고용이 아닌 총괄적인 조사, 분석 및 DB구축까지 가능한 것으로 알려져 있다.



자동탐색을 위한 query 설정



CCTV의 자동탐색결과

<그림 3.31.> Wincam 조사분석 소프트웨어 예

다. 국내외 시스템 비교

국내의 경우 CCTV를 기반으로 한 하수관 데이터 처리 프로그램은 여러 업체에서 개발되어 상용화 되고 있으나, DB와의 연계, 자산관리, 자동탐색과 같은 기능을 가진 프로그램은 아직 개발되어 있지 않은 상황이다. 앞의 국외 기술동향에서 서술한 것과 같이 해외의 업체는 DB와의 연계를 중요시하고 있으며 표준화된 결함 코드체계를 가지고 법적으로 정해져 있는 기능을 갖추고 있다. 해외에서도 CCTV를 이용한 하수관 이상부위는 조사하고 있지만 현재에는 관내부면을 펼쳐진 모습으로 보여 하수관 도면화를 가능하게 하는 디지털 스캔을 이용한 하수관 관리 시스템으로 변환하고 있는 단계이며 DB 구성과 자산관리 기능, 디지털 스캔 시스템의 장점을 조합하여 연구 개발하고 있다.

라. 국내 지하매설관로소프트웨어 비교

국내의 지하매설관로프로그램은 앞에서 언급하였던 것처럼 디지털 스캔시스템은 아직까지 상용화되어 있지 않다. 그러므로 본 장에서는 기존의 CCTV시스템과 본 연구에서 개발한 DPIM 시스템의 소프트웨어측면을 비교해보고자 한다.

○ CCTV

작업자의 탐사정보를 원하는 고객에게 전달하기 위해서는 하수관거 조사보고서 및 취득원본 영상화일을 제출하게 된다. 조사작업을 완료한 후에 촬영결과물이 녹화된 VCR, DVD, PMP를 별도의 변환 프로그램을 이용하여 avi, mpeg파일 포맷으로 변환하게 된다. 이렇게 변환된 avi, mpeg파일 포맷의 원본 결과물을 고객에게 전달하게 된다. 조사보고서의 경우 변환된 원본 결과물을 하수관거 조사보고서 전용 소프트웨어를 이용하여 녹화영상에서 조사당시에 카메라의 Zoom, Pan, Tilt 기능을 이용하여 자세하게 찍은 이상부위를 캡쳐하는 방식으로 조사보고서를 완성하여 제출하게 된다. 이때 현장조사에서 작업자의 실수 등으로 이상부위를 지나쳤을 경우 이상부위 확대영상 등이 변환된 원본파일에 존재하지 않기 때문에 현장 재촬영 등의 부가적인 작업이 필요하다. 이처럼 CCTV방식은 이상부위 판독 및 탐사 전반에 걸쳐서 조사자의 경험과 노하우에 절대적으로 의존된다고 할 수 있다.

○ DPIM

외업용 소프트웨어을 이용하여 실시간으로 전개되어 접합된 영상 결과물을 영상

데이터 분석 소프트웨어(DIA)로 불러들이게 된다. 영상 데이터 분석 소프트웨어는 외업용 소프트웨어를 이용하여 실시간으로 전개, 접합된 영상물의 이상부위를 판독하는 소프트웨어이다. 외업용 소프트웨어를 통해서 얻어진 영상 결과물이 고해상도(1032×776)이기 이미지이기 때문에 영상 데이터 분석 소프트웨어를 통하여 확대, 축소, 관정절개, 관저절개 등의 부가적인 기능이 가능하며 이러한 기능을 이용하여탐사한 관로의 이상부위 판독, 퇴적여부, 등급부여가 원활하게 이루어진다.

이렇게 영상 데이터 분석 소프트웨어을 통하여 이상부위 등을 판독하면, 내업용 소프트웨어(DPIM)을 이용하여 보고서가 자동으로 생성되게 된다. 이렇게 자동으로 생성된 보고서는 MS-WORD, 흔글과 같은 자유로운 형태로 출력이 가능하며, 보고서에는 이상부위의 등급별 집계표, 이상부위 확대영상, 이상부위에서의 정면영상 등이 자동으로 캡쳐되어 보고서에 출력되게 된다.

2. DPIM(Digital Pipe Image Module) 소프트웨어 개발

국내외 상용화된 소프트웨어들을 조사한 결과 다음과 같은 장/단점을 정리 할 수 있다. 해외 시스템의 경우 소프트웨어적으로 국내 시스템의 소프트웨어에 비하여 높은 수준임을 알 수 있다. 본 연구에서는 국내 시스템의 수준을 해외 수준에 맞추는 것을 목표로 할 뿐 아니라 해외의 디지털 스케너 시스템의 미비한 부분을 보완하는 것을 목표로 하고 있다.

다음의 표는 국내외 하수관 데이터 관리 시스템을 비교한 표이다.

<표 3.8.> 국내외 하수관 데이터 관리 시스템 비교

	국내 CCTV 시스템	해외 CCTV 시스템	해외 디지털 스캐너 시스템	DPIM
보고서 출력	O	O	O	O
DB 연계 기능	X	O	O	O
GIS 연계 기능	X	O	O	△
자산관리 기능	X	O	O	개발 예정

(△: 기능은 있으나 불완전 작동)

3차년에 걸쳐서 DPIM 소프트웨어를 개발하면서 최종적으로 개발된 DPIM 소프트웨어 운영은 총 4단계에 걸쳐서 수행되게 된다.

최종적으로 개발된 DPIM 소프트웨어의 구성순서를 보면 먼저 외업용 소프트웨어(DPIG ; Digital Pipe Image Gallery)를 실시간으로 촬영영상을 전개하여 접합시키면, 자동탐색 소프트웨어(DPIAD ; Digital Pipe Image Auto Detector)를 이용하여 스캔 데이터의 이상부위를 자동으로 탐색하고, 영상데이터 분석 소프트웨어(DIA ; Digital Image Analyzer)를 이용하여 DPIA를 이용하여 자동탐색된 이상부위와 추가적인 영상보정을 수행한 후에, 내업용 소프트웨어(DIPIM ; Digital Pipe Image Management)를 이용하여 작업구간별로 데이터를 관리하여 보고서를 작성시킨다.

<표 3.8.>은 DPIM 운영을 위한 소프트웨어 구성을 나타내었다.

<표 3.9.> DPIM 소프트웨어 구성

소프트웨어 명	기능 및 범위
외업용 (DPIG)	현장에서 데이터를 얻고 DPIM 콘트롤을 위한 제어용 프로그램.
내업용 (DPIM)	배수구역, 분구, 프로젝트별 스캔 데이터 관리를 위한 프로젝트 관리 프로그램. 외업용 소프트웨어와 연동하여 작업공정을 관리함. 동시에 여러 단위의 스캔 데이터를 이용한 보고서를 집계하고 자동 출력.
자동탐색 (DPIAD)	스캔 데이터를 이용하여 이상부위를 자동탐색.
영상데이터 분석 (DIA)	현장에서 얻어진 영상과 자동탐색을 거쳐서 탐색된 이상부위를 보정하고 상태를 평가하고 스캔단위별 보고서를 자동 작성할 수 있도록 함.

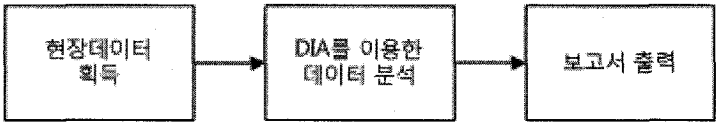
가. 연구 개발 범위 및 DPIM 소프트웨어 기능 향상

<표 3.10.>은 본 연구에서 표와 같은 기능을 갖추는 것을 목표로 하였다. 1~4번 항목은 1차년도, 5~6번 항목은 2차년도와 3차년도를 거치면서 개발, 업그레이드 하였다. 하드웨어 적으로도 업그레이드가 수행이 되었기 때문에 하드웨어 업그레이드에 맞춰서 소프트웨어도 업그레이드를 수행하였으며, 업그레이드는 사용자의 편의 및 원활한 데이터 처리에 중점을 두어 소프트웨어 업그레이드를 수행하였다.

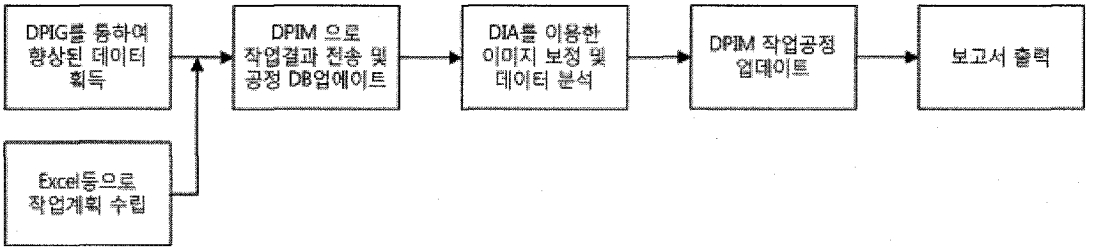
<표 3.10.> 연구 개발 범위

번호	개발 범위
1	영상의 전개 및 접합
2	결함표시
3	표시된 결함의 자동저장
4	보고서 자동출력
5	이상부위 자동탐색
6	DB와 연계하여 네트워크 수준의 관리 체계 구성

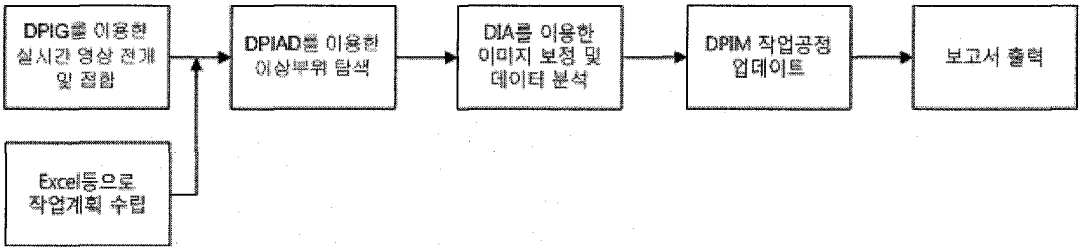
다음의 그림은 각 차년도에 따른 소프트웨어 작업순서를 나타낸 것이다. 1차년도에는 영상의 처리에 중점을 두어 개발하여 DIA를 이용하여 데이터를 분석하고 스켄단위별 보고서를 작성하도록 소프트웨어를 개발하였으며, 2차년도에는 DB 모듈이 추가되고 DIA 및 DPIG의 기능을 향상시켰다. 마지막으로 3차년도에는 실시간으로 영상의 전개 및 접합이 가능하도록 소프트웨어를 수정하였으며, DIA, DPIG 및 하수관내 이상부위 자동탐색 소프트웨어인 DPIAD를 개발하였다.



<그림 3.32.> 1차년도 작업순서



<그림 3.33.> 2차년도 작업순서



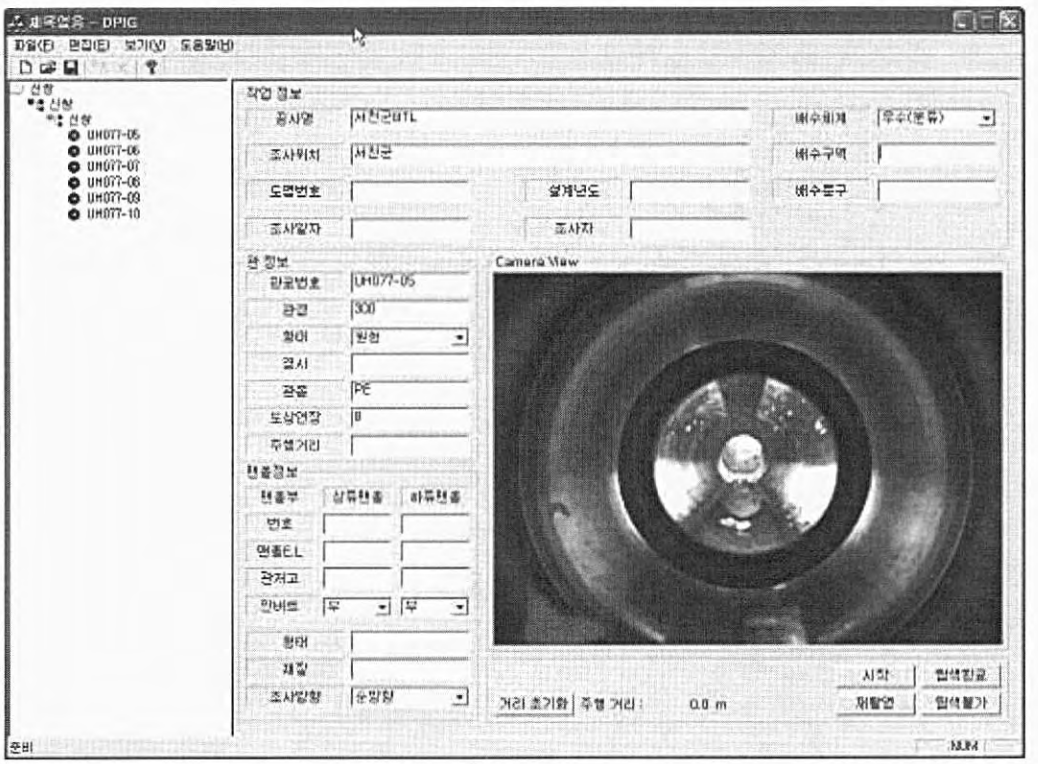
<그림 3.34.> 3차년도 작업순서

나. 외업용 소프트웨어(DPIG : Digital Pipe Image Gallery)

외업용 소프트웨어는 2차년도에 기본 프레임 워크를 개발하였으며, 3차년도에는 외업용소프트웨어에서 실시간으로 영상을 전개 및 접합이 가능하도록 제작하였다.

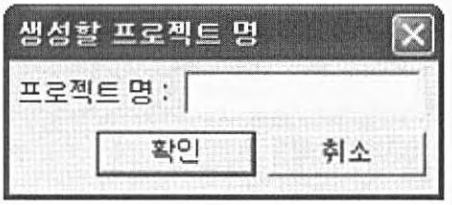
○ 2차년도 외업용 소프트웨어

2차년도 외업용 소프트웨어는 DPIM을 이용하여 관내 전개영상을 얻는 첫 번째 단계로써 프로젝트를 생성하고 CCD 카메라를 제어하는 기능을 갖는다. 다음 그림은 메인 대화상자를 보여주고 있으며, 현재 카메라의 영상이 출력되며 기동되고 있는 화면이다. 파일 메뉴는 프로젝트 생성, 프로젝트 열기, 엑셀 가져오기, 저장의 기능을 갖는다.



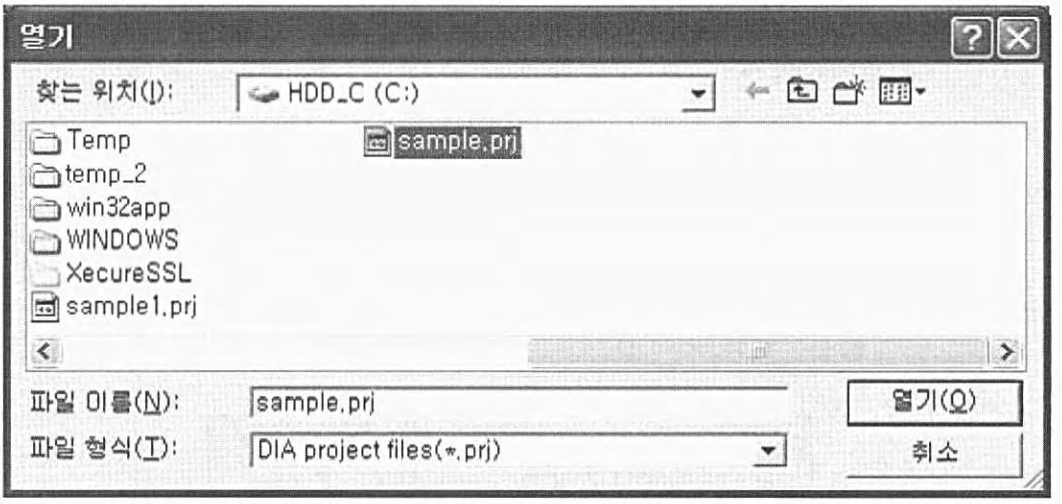
<그림 3.35.> 외업용 프로그램 실행화면

프로젝트 생성은 빈 프로젝트를 생성한다. 프로젝트 명을 입력하는 대화상자는 다음 <그림 3.35.>과 같으며, 프로젝트 열기 대화상자는 다음의 <그림 3.36.>과 같다.

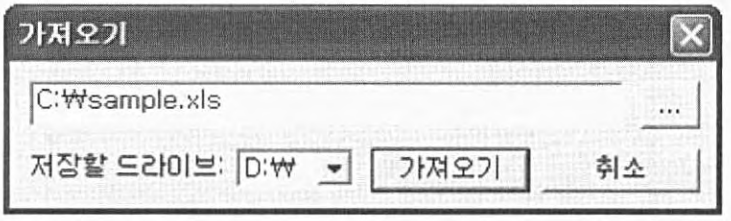


<그림 3.36> 프로젝트 생성 대화상자

프로젝트 열기는 내업용 프로그램 (DPIM)에서 미리 만들어진 업무 리스트를 읽어오며 현장에서의 작업진척정도는 다시 내업용 프로그램의 DB와 연동이 되도록 설계되어 있다.

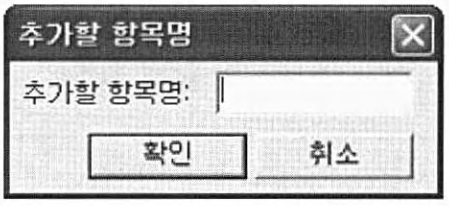


<그림 3.37.> 프로젝트 열기 대화상자



<그림 3.38> 엑셀 파일로부터 프로젝트 트리를 생성하는 대화상자

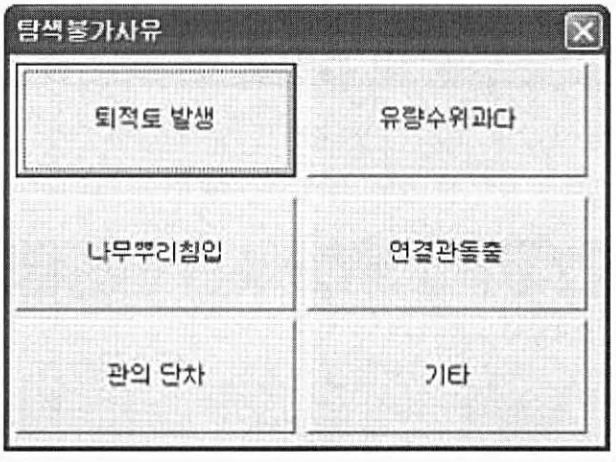
프로젝트 내에 작업 트리를 구성하고 트리는 프로젝트 명 밑으로 구역 / 분구/ 작업 단계로 트리를 구성할 수 있으며, 트리에서 팝업을 띄우면 다음의 대화상자를 통해 항목을 구성한다.



<그림 3.39.> 구역, 분구, 작업의 생성

작업 목록에서 맨 하위 항목인 작업 항목을 선택한 후, 메인화면에서 작업정보, 관정보, 맨홀정보 등을 입력하고 파일 메뉴에서 저장을 실행하면, 해당 작업 정보가 저장된다.

영상의 촬영은, 트리에서 맨 하위 항목인 작업 항목을 선택하고, 영상 보기 영역에서 시작 버튼을 클릭하면서 영상 촬영이 시작된다. 다시 중지(시작버튼이 중지로 이름이 바뀜)버튼을 클릭하면 촬영이 종료되며, 탐색 완료를 클릭하면 해당 작업의 촬영이 완료되고, 탐색 불가를 클릭하면대화상자가 뜨며, 해당 항목을 선택하면 프로젝트에 저장된다.



<그림 3.40.> 영상 취득 중지 대화 상자

여기서 재촬영 버튼은 해당 작업의 촬영분을 다 삭제하고 초기화하는 기능이며, 거리 초기화는 거리가 0 으로 다시 세팅된다.

o 2차년도 외업용 소프트웨어 DPIG의 개발 환경

1. 개발 사양

H/W 환경 : Pentium4 3.0GHz, Memory 2GB, Hard Disk 120GB

S/W 환경: OS : Windows XP professional, Dev S/W : Visual Studio 6.0

2. 개발 언어

Language : C++, Library : Intel Jpeg Library, PGR FlyCapture Library

3. 사용한 개발 방법론

BCE(Boundary - Control - Entity) Structure

Boundary : 컴퓨터와 사용자간의 입력, 출력과 관계되는 모듈

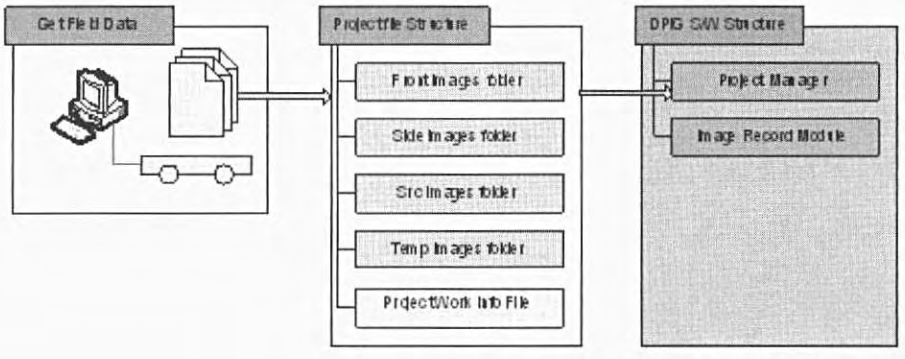
Control : Boundary와 Entity 간의 중계 모듈

Entity : 분석(Analysis)과 계산(Calculate)을 하는 라이브러리 모듈

4. 개발 기능

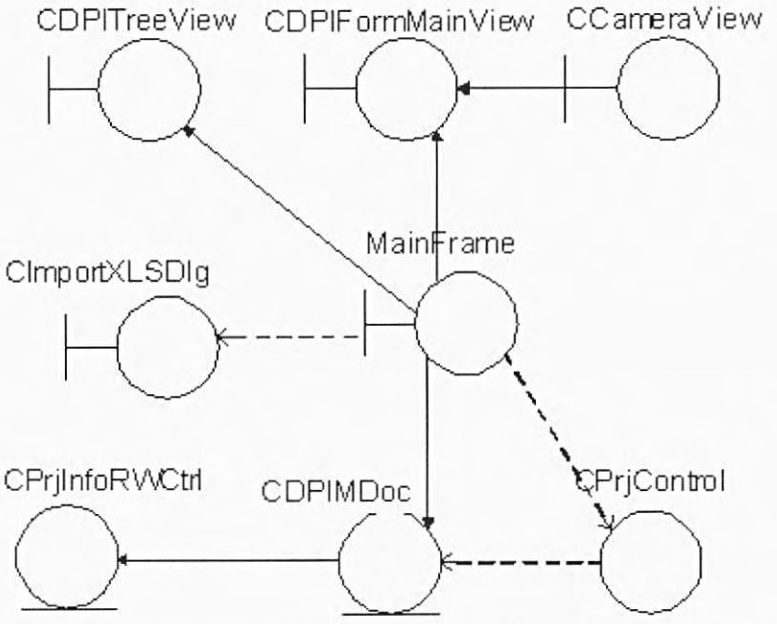
- 작업 정보 획득 기능 : 작업 정보 입력 및 저장
- 영상 데이터 획득 기능 : 카메라로부터 획득되는 영상 저장

5. 프로그램 구조



<그림 3.41.> 외업용 소프트웨어 구조

6. 아키텍쳐 설계

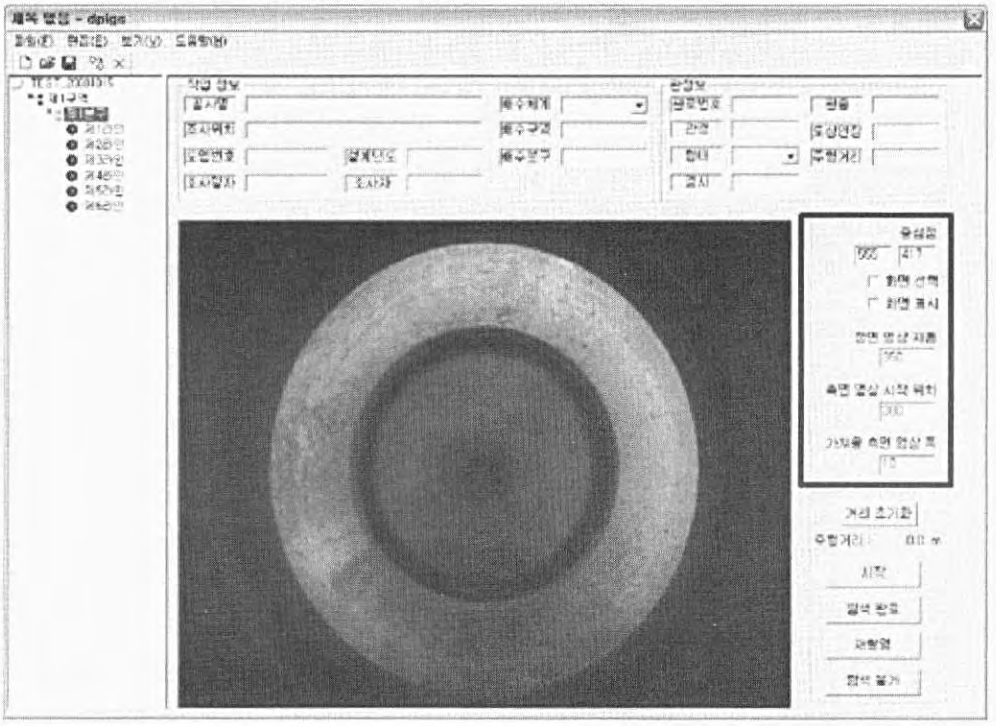


<그림 3.42.> 외업용 소프트웨어의 아키텍쳐

○ 3차년도 외업용 소프트웨어

3차년도 외업용 소프트웨어는 외부 데이터 열기, 프로젝트 생성이나, 프리구성, 영상시작 및 중지에 따른 대화상자등의 기본적인 기능은 동일하다. 그렇지만 3차년도 외업용 소프트웨어는 1초에 15frame으로 들어오는 카메라 신호영상을 실시간으로 바로 전개하여 접합할 수 있도록 업그레이드 하였다. 원래 영상의 전개 및 접합기능은 외업용 소프트웨어에서 영상을 취득한 후에 내업용소프트웨어에 구현되어 있는 기능이었으나, 소프트웨어 설계 노하우 축적 및 하드웨어 성능 향상으로 인하여 현장에서 실시간으로 충분히 영상의 전개 및 접합이 가능하다고 판단되어 외업용 소프트웨어에 추가하게 되었다.

<그림 3.43.>은 3차년도에 개발된 외업용 소프트웨어 모습이다.



<그림 3.43.> 3차년도 외업용 소프트웨어 실행화면

그림에서 보면 오른쪽 사각형 부분이 실시간으로 영상을 전개 및 접합을 하기 위한 변수를 입력하는 부분으로써, 이 부분은 중심점, 원 영상에서 가져올 정면 영상의 지름, 원 영상에서 측면영상을 가져올 폭등을 입력하게 된다.

이렇게 변수들을 입력을 하고 촬영시작을 하게 되면 <그림 3.44.>와 같이 실시

간으로 영상이 전개되어 접합되는 모습을 Side View창을 통해서 확인이 가능하다.



<그림 3.44.> 실시간 영상 전개 Side View

이렇게 실시간으로 영상의 전개 및 접합과정을 확인함으로써 이상부위 발견시에도 자주차의 주행 정지 없이 연속적으로 주행이 가능하며 Side View를 통하여 주행의 카메라의 상태와 접합상태를 확인가능하도록 설계하였다.

o 3차년도 외업용 소프트웨어 DPIG의 개발 환경

1. 개발 사양

H/W 환경 : Pentium4 3.0GHz, Memory 2GB, Hard Disk 120GB

S/W 환경: OS : Windows XP professional, Dev S/W : Visual Studio 2008

2. 개발 언어

Language : C++, Library : Intel Jpeg Library, PGR FlyCapture Library

3. 사용한 개발 방법론

BCE(Boundary - Control - Entity) Structure

Boundary : 컴퓨터와 사용자간의 입력, 출력과 관계되는 모듈

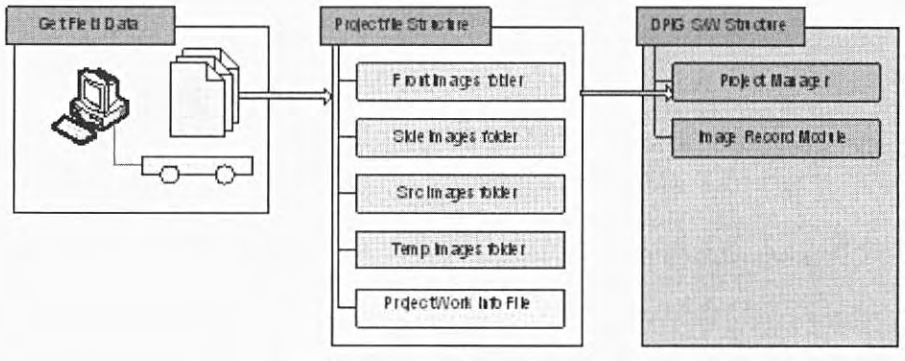
Control : Boundary와 Entity 간의 중계 모듈

Entity : 분석(Analysis)과 계산(Calculate)을 하는 라이브러리 모듈

4. 개발 기능

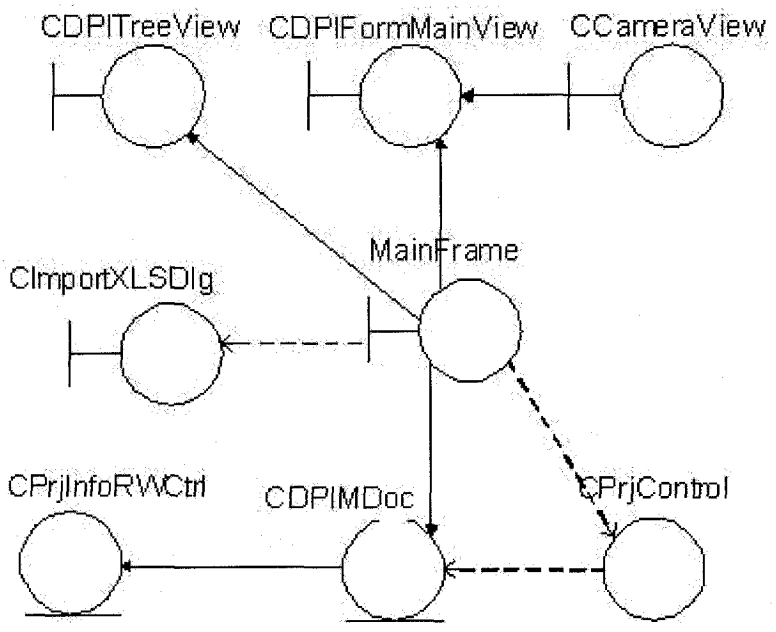
- 작업 정보 획득 기능 : 작업 정보 입력 및 저장
- 영상 데이터 획득 기능 : 카메라로부터 획득되는 영상 저장

5. 프로그램 구조



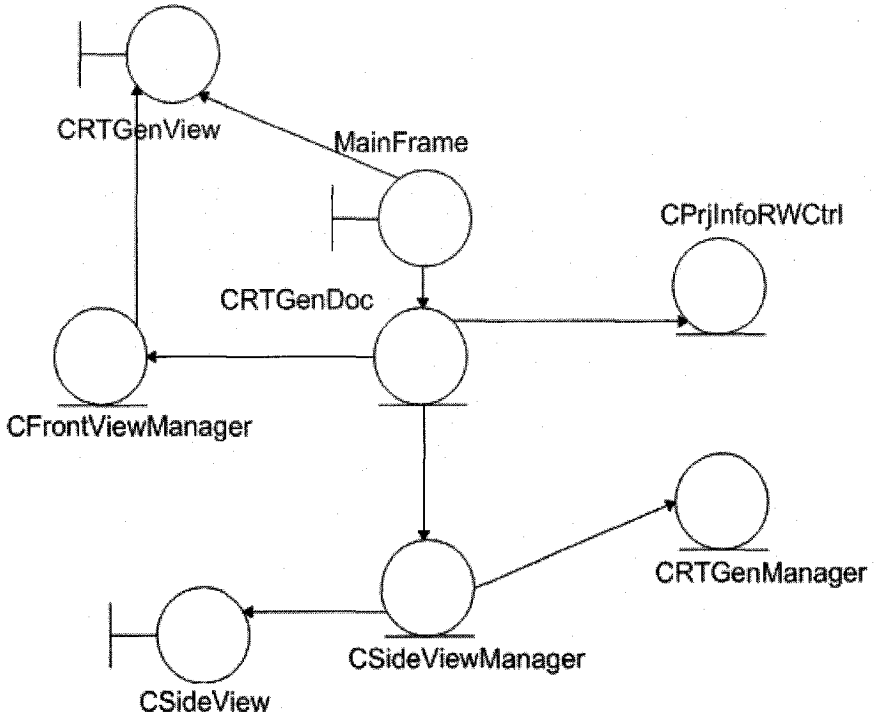
<그림 3.45.> 외업용 소프트웨어 구조

6. 아키텍처 설계



<그림 3.46.> 외업용 소프트웨어의 아키텍처

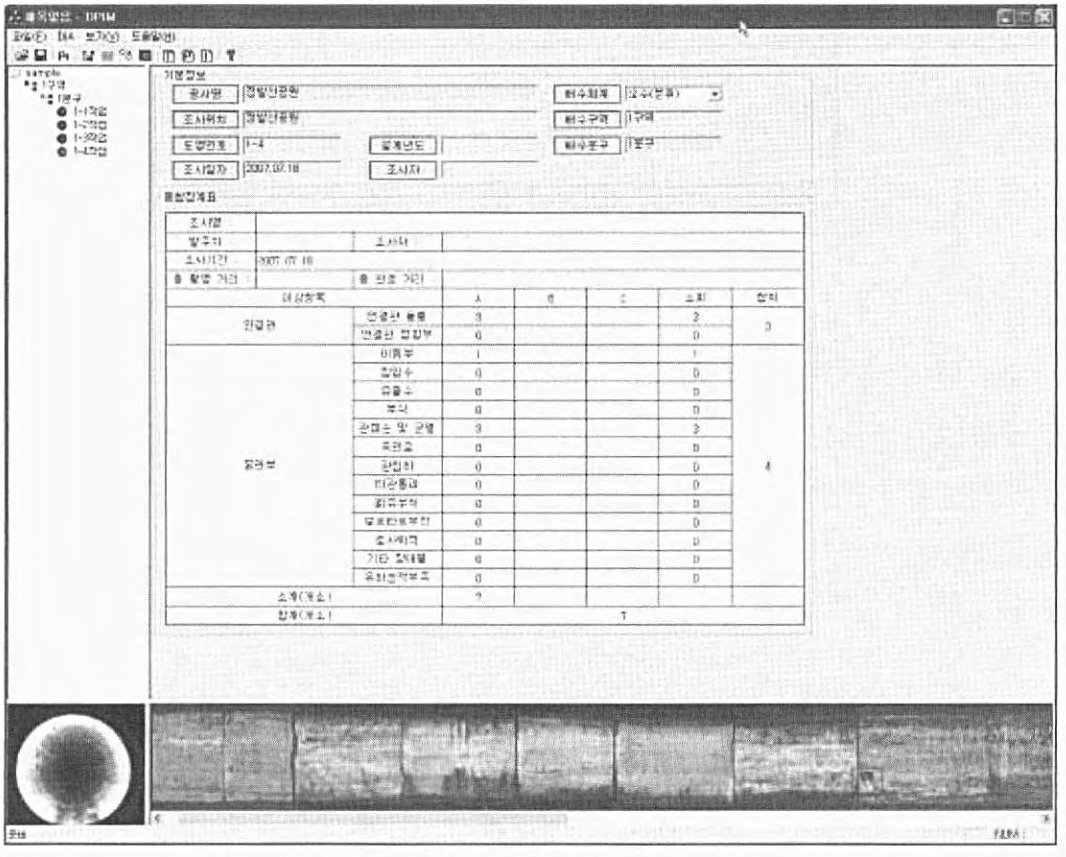
7. 실시간 영상전개 아키텍처 설계



<그림 3.47.> 내업용 소프트웨어 중 실시간 영상전개의 아키텍처

다. 내업용 소프트웨어(DPIM : Digital Pipe Image Management)

내업용 소프트웨어는 1차년도의 DIA를 포함하는 DB시스템으로 작업을 총괄 관리하고 작업을 생성하며, 보고서를 작성하는 기능을 포함하고 있다. 보고서 작성은, 분구별 통계를 내고 자동으로 보고서를 작성 하는 기능을 갖고 있다. 또한 DIA 모듈을 이용하여 작업별 보고서도 직접 출력이 가능하다. 내업용 소프트웨어는 2차년도에 개발하여 3차년도에는 좀더 원활한 소프트웨어 구동을 위하여 디버깅 작업을 수행하였다.



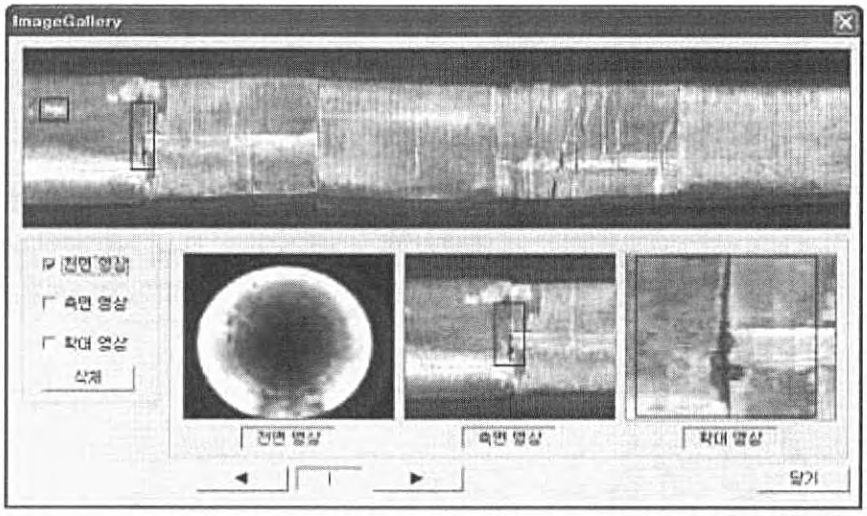
<그림 3.48.> 내업용 관리자 프로그램 DPIM

좌측의 작업트리에서 해당 작업을 선택하고 파일 메뉴에서 출력 기능을 수행하면, 직접 프린터로 보내지 않고 한글 포맷의 보고서 파일을 생성하여 사용자가 원하는 대로 보고서를 편집 할 수 있도록 하였다. 또한 직접 프린터로 출력도 가능하다.



<그림 3.49> 보고서 생성 대화상자

DPIM은 결함을 부위를 자동을 정리하여 GIS/DB에 연계하기위한 이미지 갤러리 생성 기능을 갖고 있으며 이는 다음 그림과 같다. 이러한 이미지 갤러리는 다음 절에 설명할 DIA를 통해서 사용자가 지정할 수 있다. 결함부위에 따라서 측면영상, 전면영상 등을 선택 할 수 있으며, 결함부위만을 검토할 수 있도록 개발 되었다.



<그림 3.50.> 결함부위 이미지 갤러리 (DIA 에서 만들어짐)

o 내업용 소프트웨어 DPIM의 개발 환경

1. 개발 사양

H/W 환경 : Pentium4 3.0GHz, Memory 2GB, Hard Disk 120GB

S/W 환경: OS : Windows XP professional, Dev S/W : Visual Studio 6.0

2. 개발 언어

Language : C++, Library : Intel Jpeg Library

3. 사용한 개발 방법론

BCE(Boundary - Control - Entity) Structure

Boundary : 컴퓨터와 사용자간의 입력, 출력과 관계되는 모듈

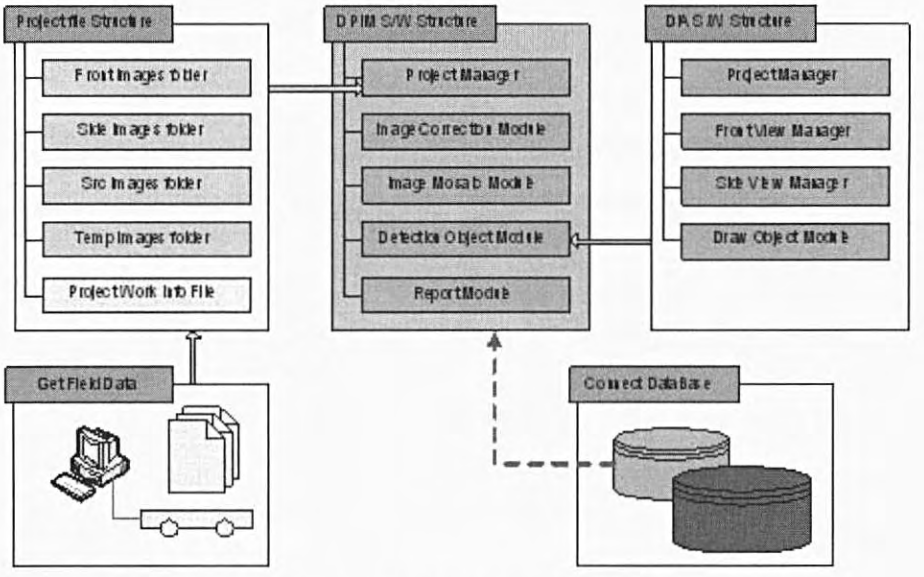
Control : Boundary와 Entity 간의 중계 모듈

Entity : 분석(Analysis)과 계산(Calculate)을 하는 라이브러리 모듈

4. 개발 기능

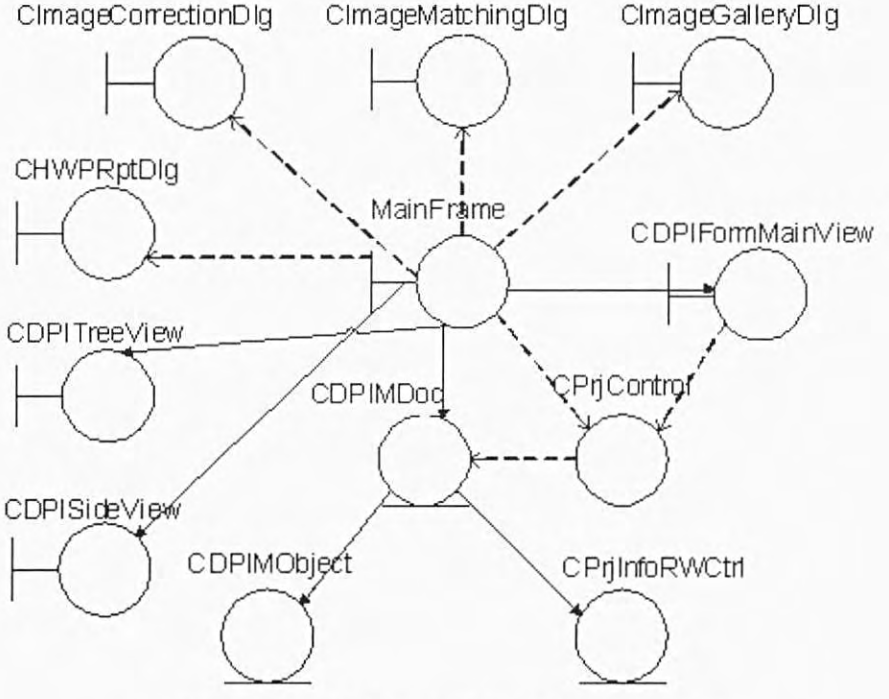
- 작업 정보 획득 기능 : 작업 정보 입력 및 저장
- 영상 추출 기능 : 정면 영상 및 사이드 영상 추출 기능
- 영상 보정 기능 : 사이드 영상을 펴서 보정하는 기능
- 영상 매칭 기능 : 사이드 영상을 매칭하여 하나로 만드는 기능
- 결함 영상 정리 기능 : 보고서 작성을 위한 결함 영상 정리 기능

5. 프로그램 구조



<그림 3.51.> 내업용 소프트웨어 DPIM의 구조

6. 기본 아키텍쳐 설계



<그림 3.52.> 내업용 소프트웨어의 아케텍쳐

마. 영상데이터 분석 소프트웨어(DIA : Digital Image Analyzer)

1, 2차년도의 DIA는 DPIG를 이용하여 현장에서 영상을 취득하여 DIA에서 영상을 전개 및 접합작업을 수행한 후 이상부위를 사용자가 직접 판독하게 하는 소프트웨어로 개발되었다. DIA는 내업용 프로그램인 DPIM의 종속 모듈로 구동이 될 수도 있고 작업구간별로 독립적으로 운영되는 프로그램의 기능도 함께 갖고 있다. 1차년도에서는 작업구간만을 구현이 가능하였으며 여러 개의 작업이 DPIM에 의해서 관리되는 형태는 아니었지만, 2차년도와 3차년도에는 여러 개의 작업이 DPIM에 의해서 DIA가 구동이 될수 있도록 개발하였다. 3차년도의 DIA의 특징은 1, 2차년도의 DIA와 달리 영상을 전개 및 접합하는 과정을 없앨 수 있었다. 이는 외업용 소프트웨어인 DPIG에서 실시간으로 전송된 영상을 전개 및 접합을 수행하기 때문에 DIA에서는 별도의 영상의 전개 및 접합 과정을 생략할 수 있게 되었다.

1, 2차년도 DIA의 작업 순서는 다음과 같다.

[1] 촬영한 영상을 정면영상을 추출하고 사이드영상을 펴는 보정 기능

[2] 편 영상을 이어 붙이는 접합 기능

[3] 균열을 탐색하기 위한 소프트웨어를 실행하는 균열 탐색 기능

[4] 균열 이미지를 관리하는 결함 영상 정리 (이미지 갤러리) 기능

1. 영상 보정

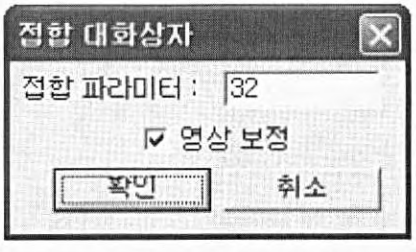
영상 보정 대화상자를 열면 관내부의 소실점을 기준으로 전방영상용 부위와 측면영상용 접합 영역을 선택할 수 있다. 이전영상, 다음영상 등을 클릭하며 영상의 중심을 확인한 후, 영상 생성을 클릭하면, 1초에 3장씩 저장한 영상 각각을 정면영상을 추출하고 사이드영상을 펴서 저장하게 된다.



<그림 3.53.> 영상 보정 대화상자

2. 영상 접합

측면영상은 기본 32픽셀로 이루어 져 있으며, 각 펴진 영상은 DIA에서 이어 붙여지게 된다. 영상 보정을 체크하게 되면, 각 영상이 이어 붙는 부분을 이미지 프로세싱 기능을 이용하여 좀 더 자연스럽게 영상을 처리하는 기능을 수행하도록 개발되었다.



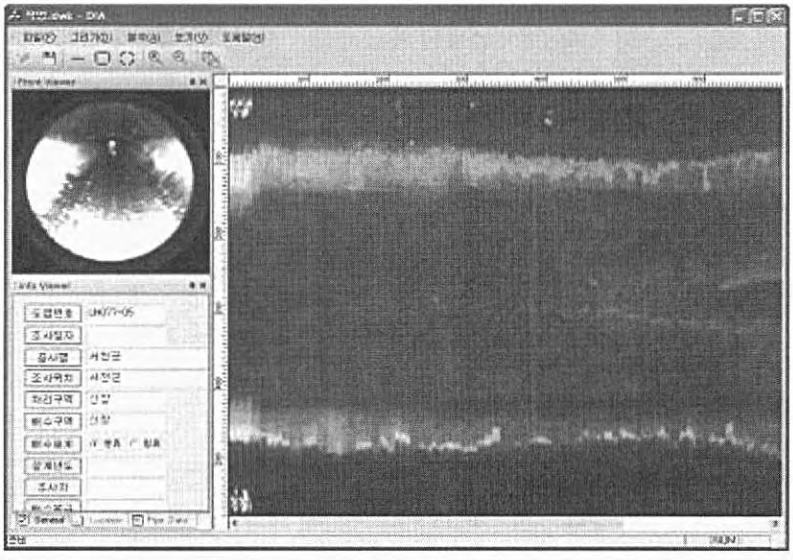
<그림 3.54> 영상 접합 대화상자

3 결함 탐색

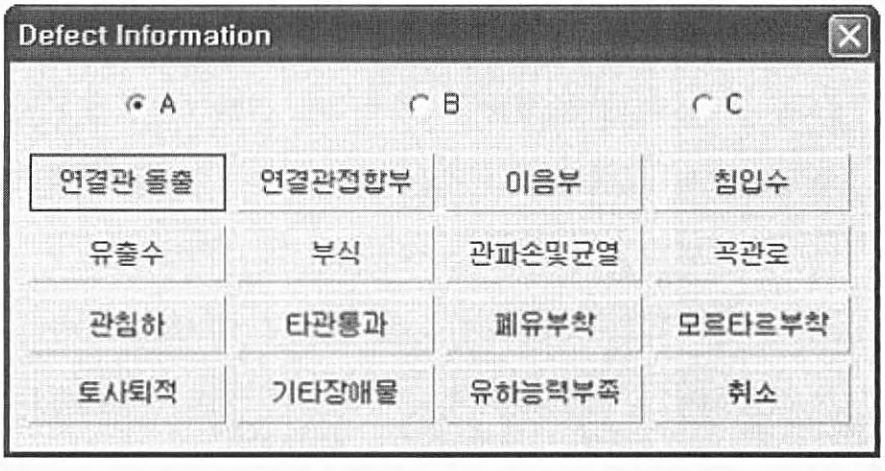
균열 탐색 기능은 DIA의 기본적인 기능으로 전개영상을 탐색하여 결함부위를 탐색하고 결함을 입력하는 기능이다. 좌측 상단의 정면영상과 좌측 하단의 기본 작업 정보를 도시하며, 해당 관로를 좌우로 탐색하며 이상 항목이 발견되면 그리기

도구로 해당 영역을 그리고 이상 항목 정보를 설정한다.

DIA의 주요 기능은 (1) 정면 영상과 측면 영상 및 기본 정보 도시, (2) 그리기 도구를 이용한 균열 표시 및 이미지로 저장(나중에 이미지갤러리로 편집) 등이 있다. 측면영상보기에서 그리기 도구로 그리고 마우스를 떼면 다음과 같은 결함 정보를 설정하는 대화상자가 도시된다.



<그림 3.55.> DIA 메인화면



<그림 3.56.> 결함 정보 입력 대화상자

이러한 결함항목은 3차년도에는 색깔별로 표시할 수 있도록 개발하였으며, 결함항목을 2차년도에는 소프트웨어 자체에서 지정하여 사용자가 변경할 수 없었지만, 3차년도에서는 색깔 및 이상항목을 사용자가 변경할 수 있도록 개발하였다. 이와 관련된 그림은 <그림 3.57.>와 <그림 3.58.>에 나타내었다.



<그림 3.57.> 결함항목 수정 윈도우



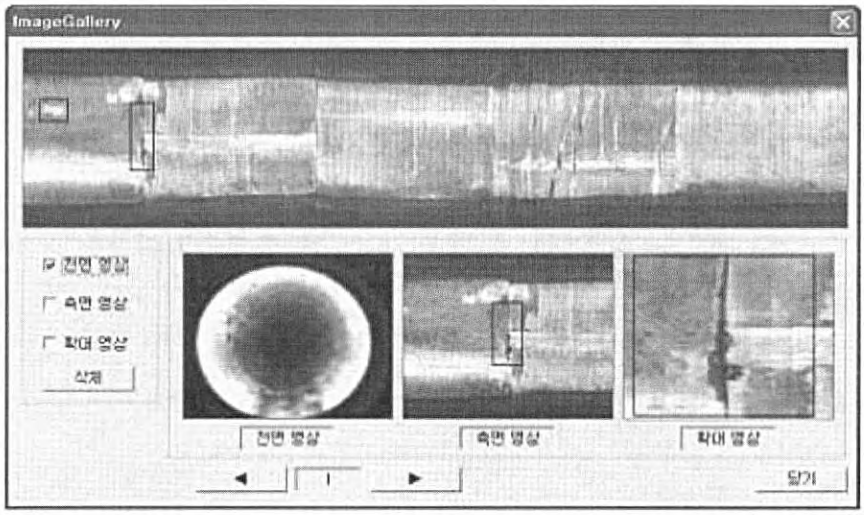
<그림 3.58.> 3차년도 결함정보 설정 윈도우

현재의 시스템에서는 이상부위 항목을 선택하고 등급을 작업자의 판단으로 등급별로 분류하였다. 추후의 소프트웨어 업그레이드를 통하여 이상부위 항목을 선택한 후에 각 이상부위 항목에 맞는 등급창을 자동으로 Popup될 수 있도록 제작하여 현재의 이상항목과 상관없이 일괄적인 등급매김 방식이 아닌 이상항목 별로 자세하게 등급을 저장할 수 있도록 소프트웨어 업그레이드 예정이다.

또한 현재의 진행성 결함(진행성 균열, 관침하량 증가, 부식의 진행 등)을 추적할 수 있도록 정량적 수치를 측정하고 기록할 수 있는 메뉴를 새로 작성하여 판정결과를 정성적으로만 분석하는 것이 아닌 이상부위의 진행여부도 기록할 수 있도록 수정할 예정이다.

4. 이미지 갤러리 구성하기

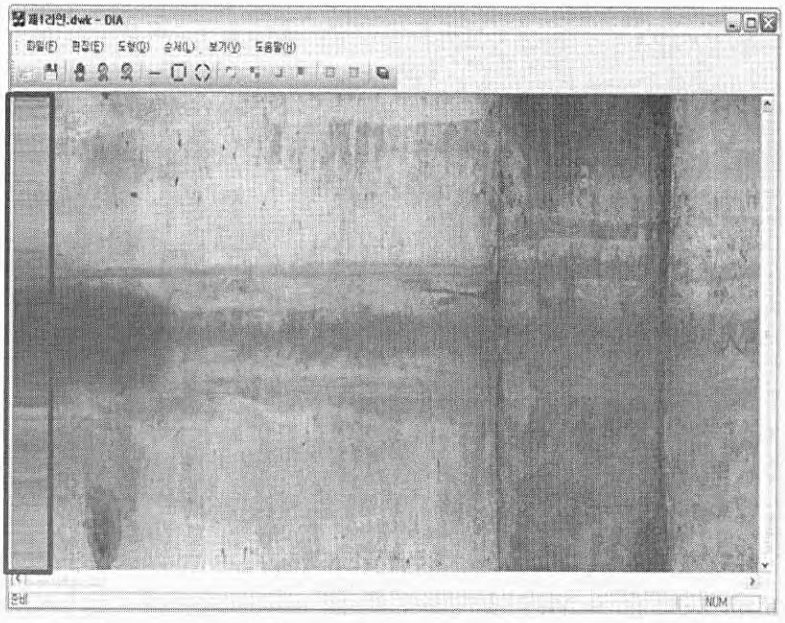
입력된 결함부위는 이미지 갤러리를 구성하기 위하여 측면, 전방, 확대 영상을 결함부위만 집합 시켜 놓아 DPIM에서 이미지 갤러리만을 검색 할 수 있고 GIS/DB와 연계될 때 유용하게 사용될 수 있다.



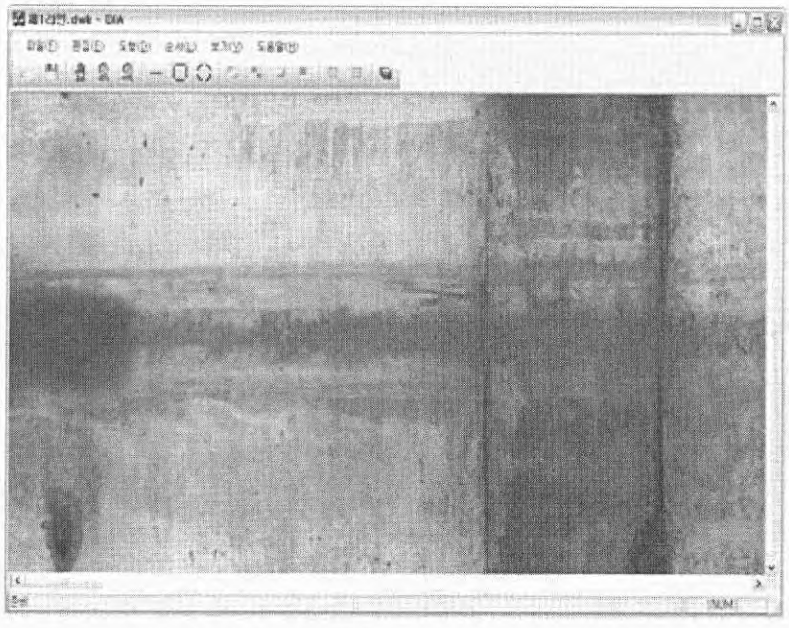
<그림 3.59.> 결함부위 이미지 갤러리 작성

이렇게 1, 2차년도 DIA에서는 DPIG에서 취득된 영상을 DIA에서 영상을 전개 및 접합하였지만, 3차년도에서는 이러한 작업을 외업용 소프트웨어인 DPIG에서 수행하기 때문에 DIA에서는 영상의 전개 및 접합과정을 생략할 수 있었다.

3차년도에는 또한 영상을 자주차의 움직임에 따라 영상을 취득하는 것이 아니라 탐사시작 후에는 연속적으로 영상을 전송하기 때문에 자주차가 멈추게 되었을 때에는 영상이 겹치게 접합이 되는 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우에 DIA에서 중복영상을 삭제할 수 있도록 구현하였다. <그림 3.60.>의 사각형 구역이 이러한 현상에 의하여 생긴 중첩영상이며, <그림 3.61.>는 DIA의 중첩구간 삭제기능을 이용하여 중첩영상을 삭제한 영상이다. 이러한 기능은 1, 2차년도의 DIA의 기능에도 구현하였으나, 정확한 중첩영상범위를 선택하고 삭제하기 위해서는 미세한 픽셀단위로 접합영상이 접합되어야 하는데 1, 2차년도의 접합영상은 평균 33픽셀이기 때문에 기능을 살리지 못하였으나, 3차년도의 접합영상은 5~10픽셀이기 때문에 기능을 원활히 사용할 수 있게 되었다.



<그림 3.60.> 3차년도 DIA 구동화면과 중첩영상구역



<그림 3.61.> 중첩영상 삭제 후 영상

또한 3차년도 DIA의 경우 DPIAD를 통해서 자동탐색된 영상결과를 DIA에서 자동탐색된 결과를 확인하고 자동탐색된 부분을 제외하고 추가적으로 이상부위가 발견되었을때 결함항목을 추가적으로 설정할 수 있다.

o 결함 탐색 소프트웨어 DIA의 개발 환경

1. 개발 사양

H/W 환경 : Pentium4 3.0GHz, Memory 2GB, Hard Disk 120GB

S/W 환경: OS : Windows XP professional, Dev S/W : Visual Studio 2008

2. 개발 언어

Language : C++, Library : Intel Jpeg Library

3. 사용한 개발 방법론

BCE(Boundary - Control - Entity) Structure

Boundary : 컴퓨터와 사용자간의 입력, 출력과 관계되는 모듈

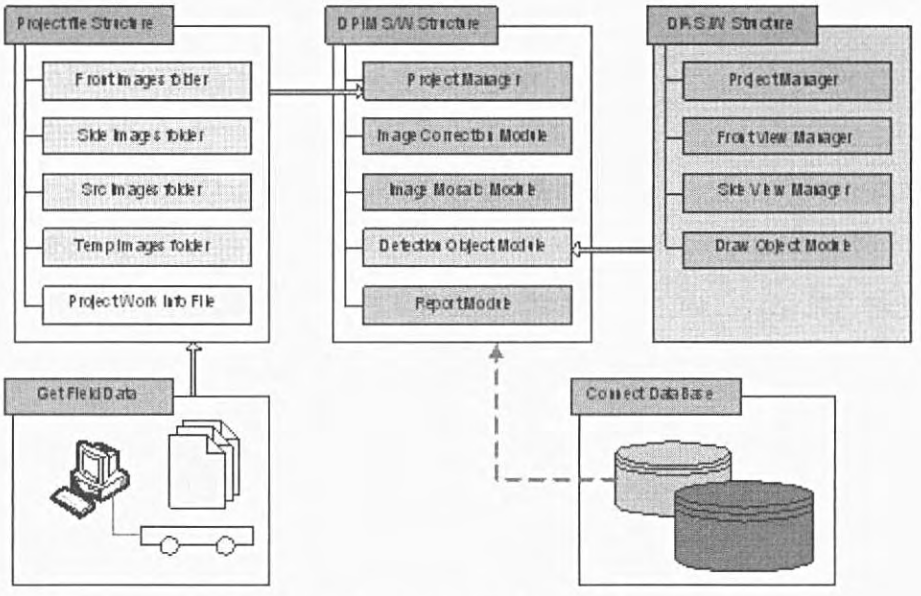
Control : Boundary와 Entity 간의 중계 모듈

Entity : 분석(Analysis)과 계산(Calculate)을 하는 라이브러리 모듈

4. 개발 기능

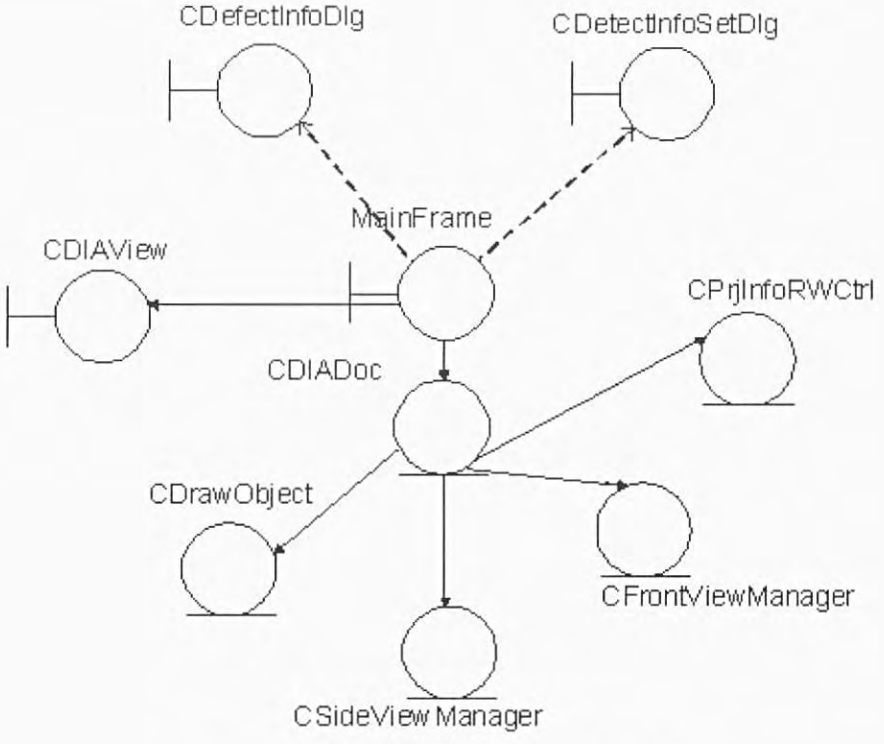
- 데이터 편집 기능 : 작업 정보 수정 및 저장
- 영상 도시 기능 : 프론트뷰, 사이드뷰 연계 도시
- 결함 객체 도시 : 결함 객체 생성 및 도시

5. 프로그램 구조



<그림 3.62.> DIA와 DPIM의 유기적 프로그램 구조

6. DIA의 아키텍처 설계



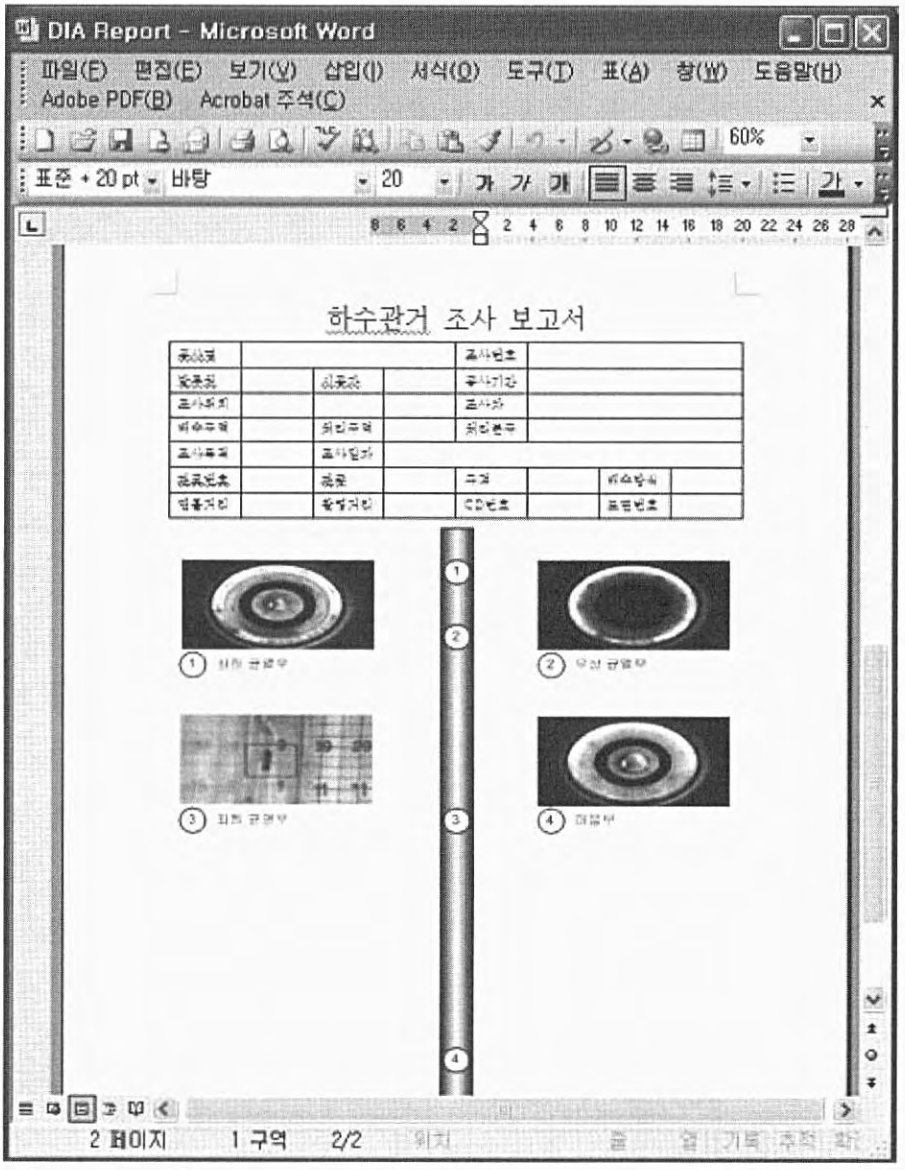
<그림 3.63.> DIA의 시스템 아키텍처

바. 보고서 작성기

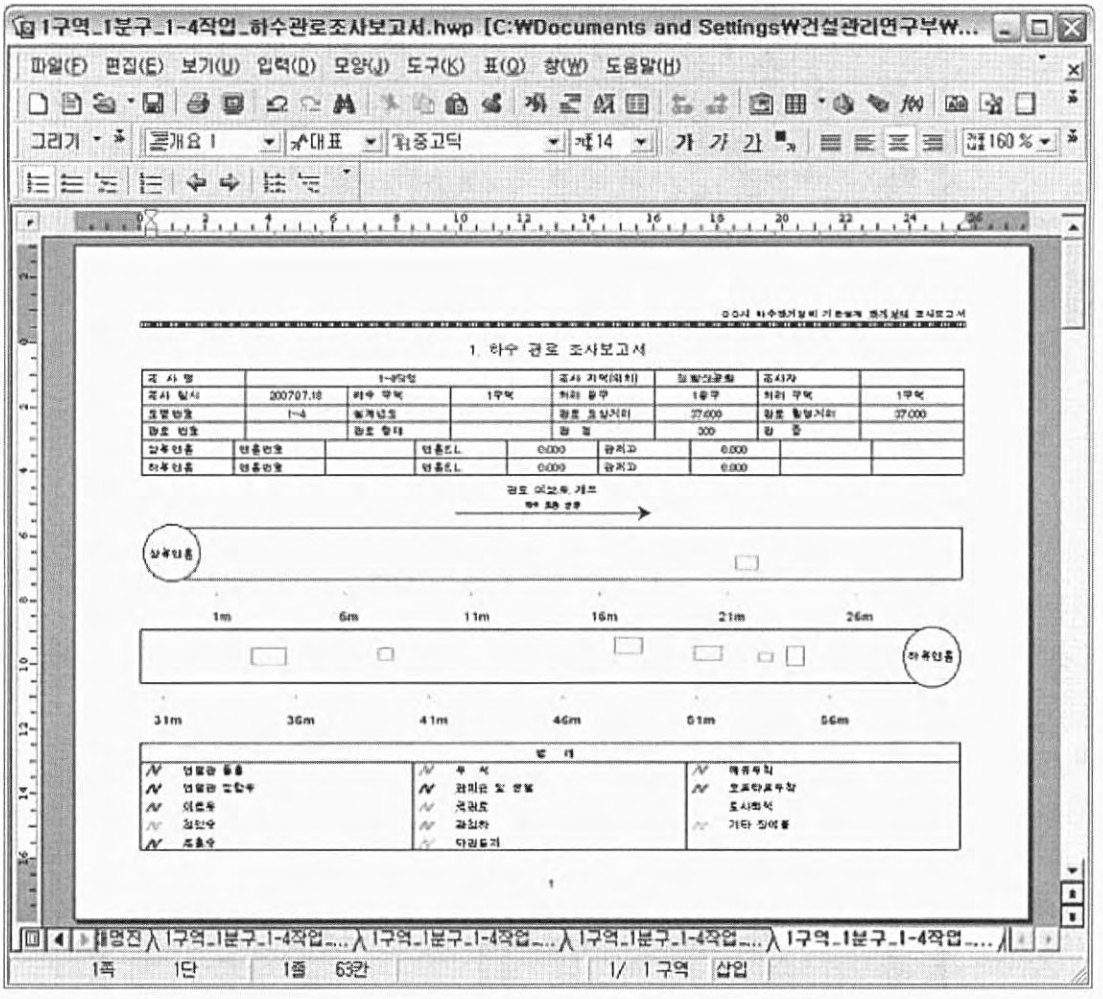
DIA는 최대한의 유연한 사용성과 손쉬운 사용자 환경을 추구하기 위하여 보고서를 문서 편집기 호환 파일 형태로 작성하도록 만들어졌다. 1차년도 개발과정에서는 MS-WordTM 방식의 포맷의 보고서가 만들어지는 방식을 취하였으나, 국내에서 호환성이 더 높은 흔글TM로 출력하도록 변경하였다. 보고서의 양식도 현장의 하수관 계측 전문가와의 협의를 통하여 DPIM의 특징과 장점을 최대한 부각시키는 방향으로 업그레이드 하였다. 업그레이드는 측면 전개영상 종합 다이어그램, 측면전개 영상 보기, 이미지 갤러리 보기 등 DPIM의 고유 기능을 포함 시켜 기존의 CCTV와의 차별성을 강조하였다.

보고서는 DIA에서 작업구간별 보고서 생성이 가능하고 DPIM에서 구역, 분구, 프로젝트별 통계데이터가 처리된 종합 집계 보고서 출력이 가능하다.

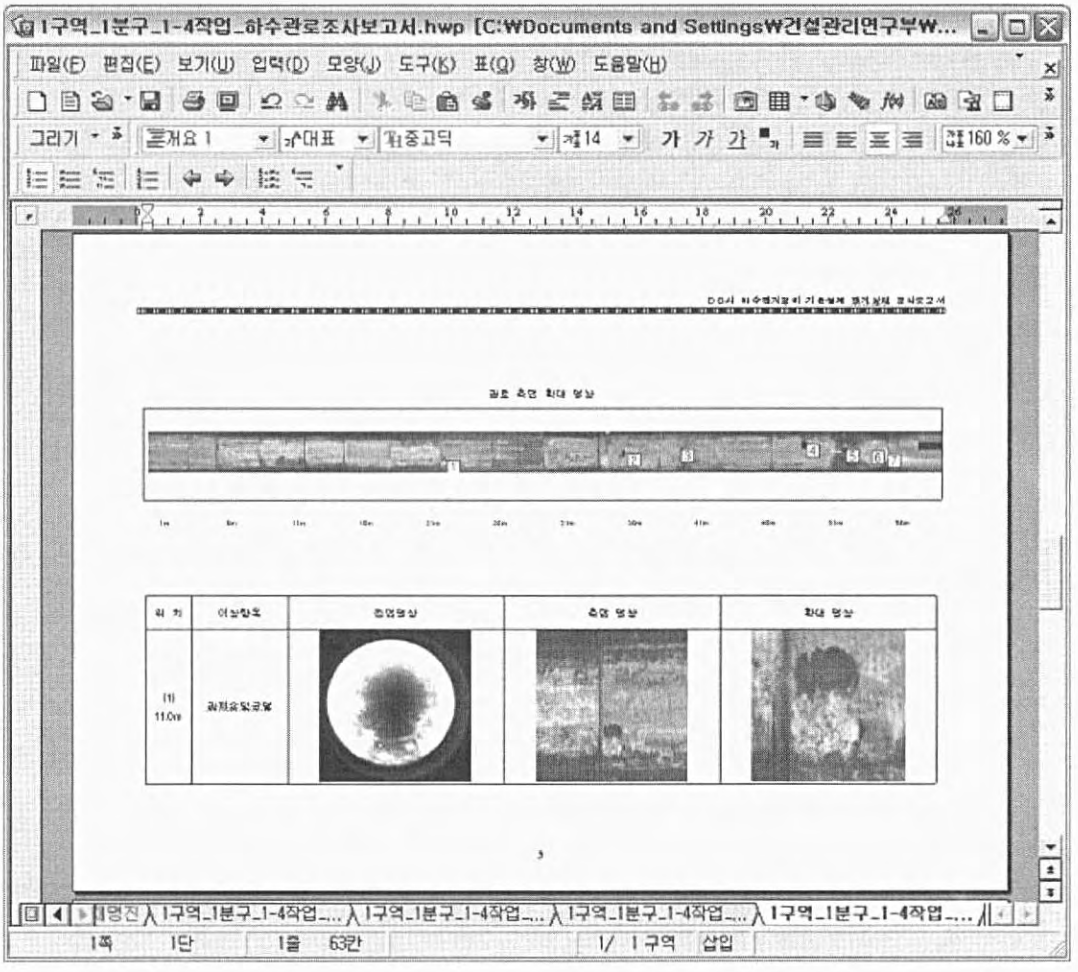
보고서는 문서편집기 파일로 만들어지기 때문에 DIA나 DPIM 프로그램이 없는 사용자도 문서편집기만 있으면 자유롭게 편집이 가능할 뿐 아니라, 다른 문서편집 프로그램을 이용하여 보고서의 통합이 자유롭기 때문에 최대한 범용성을 강조한 보고서 작성기로 손색이 없다. 그림에서 보듯이 일반 CCTV 화면의 구성과는 달리 측면영상이 조사보고서에 포함되어 좀 더 이해하기 쉽고 정확한 형태의 크랙과 이음부위 연결관 등의 관측이 가능함을 알 수 있다. 보고서는 관측한 구간의 전체적인 모습을 도식적으로 보여주고, 결함부위를 집계표로 보여준다.



<그림 3.64.> MS 워드 파일로 보내어진 보고서



<그림 3.65.> 흔글TM 형태로 만들어진 보고서, 종합 집계 다이어그램

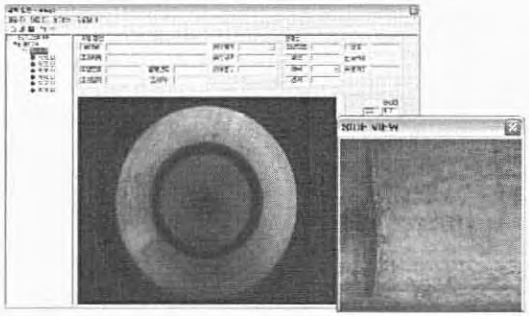
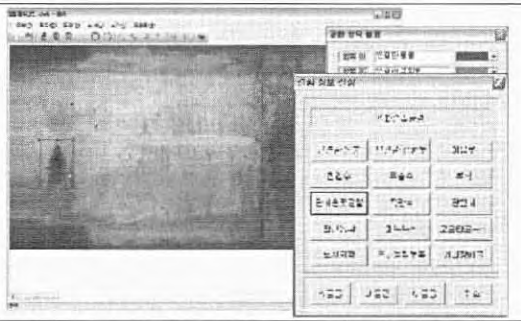
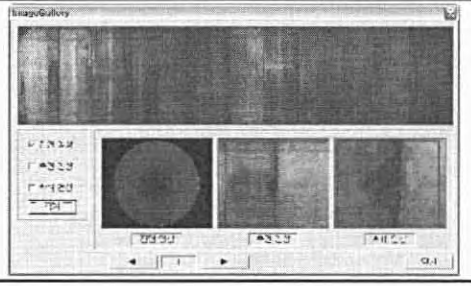


<그림 3.66.> 흔글TM 형태로 만들어진 DIA 보고서 메인 화면



<그림 3.67.> DPIM과 DIA에서 작성되는 하수관 결함 정보 통계자료

<표 3.11.> DPIM 소프트웨어 구동단계 및 기능설명

단계	프로그램 명	기능설명	구동화면
1	외업용 소프트웨어 (DPIG : Digital Pipe Image Gallery)	- 현장용 소프트웨어 - 조사위치, 관로, 맨홀 정보 등을 입력가능 - 관로정보 등이 미리 입력된 엑셀파일 호출가능 - 카메라 중심값, 전개 및 접합에 관련된 변수 입력 - 실시간으로 전개되는 관로영상을 참조하여 관로 주행	
2	영상데이터분석 소프트웨어 (DIA : Digital Image Analyzer)	- 생성된 전개영상에 관로 이상항목 정보(항목, 등급) 입력 - 필요시에 관정 혹은 관저 절개 선택 가능 - 이상항목 정보 선택시 항목 객수, 지정색 등을 사용자가 설정 가능	
3	내업용 소프트웨어 (DPIM : Digital Pipe Management)	- 입력된 관로 이상항목 편집 및 이미지 생성 - 생성시 전면, 측면, 혹은 측면확대 생성 - 관로 이상항목 입력편집 종료 후, 조사보고서 파일 생성 - 필요시 조사프로젝트 전체 혹은 일부지정 생성가능	

<표 3.11.>와 같이 DPIM 소프트웨어는 크게 3가지 독립된 소프트웨어를 포함한다. 추가적으로 하수관내 이상부위 자동탐색 소프트웨어도 있지만 이 부분은 아직 이상부위 감지의 인공지능 퍼지 이론 알고리즘이 불안정한 상태여서 추후에 작업을 통하여 이상부위 인식률을 높일 예정이다.

보고서는 DPIM과 DIA에서 자동으로 작성이 되며 문서 편집기 흔글TM 파일로 자동 저장이 되며 직접 출력도 가능하다. 흔글TM 파일로의 직접 작성은 DIA나 DPIM이 없이도 보고서의 포맷을 간단히 수정 보완 할 수 있고 여러 개의 보고서를 자유롭게 통합/편집 할 수 있다

1차년도에서는 기본적인 메인프레임과 영상을 전개 및 접합할 수 있기 위한 기본 알고리즘 작성 등을 수행하였으며, 2차년도에는 1차년도에 개발된 프레임과 알고리즘을 업그레이드 및 DB화 구성을 위한 기초적인 작업을 수행하였고 마지막차년도인 3차년도에는 사용자의 편익을 도모하기 위해서 실시간 영상전개 및 접합, 하수관내 이상부위 자동화 인식 소프트웨어, GIS와 연동을 위한 기본적인 프레임 구축등의 작업을 수행하였다.

다음은 DPIM 소프트웨어를 이용한 보고서 작성예를 나타낸 것이다.

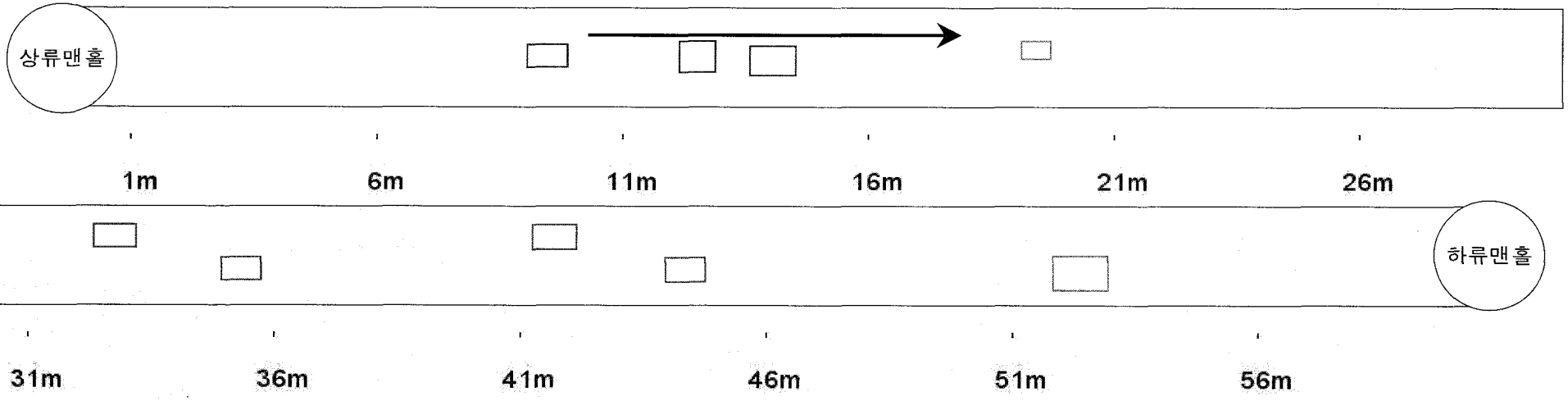
1. 하수 관로 조사보고서

조 사 명	정발산			조사 지역(위치)		조사자	
조사 일시		배수 구역	1구역	처리 분구	1공구	처리 구역	1구역
도엽번호		설계년도		관로 도상거리	0.000	관로 촬영거리	68.000
관로 번호		관로 형태		관 경	300	관 종	

상류맨홀	맨홀번호		맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		
하류맨홀	맨홀번호		맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		

관로 이상부 개요

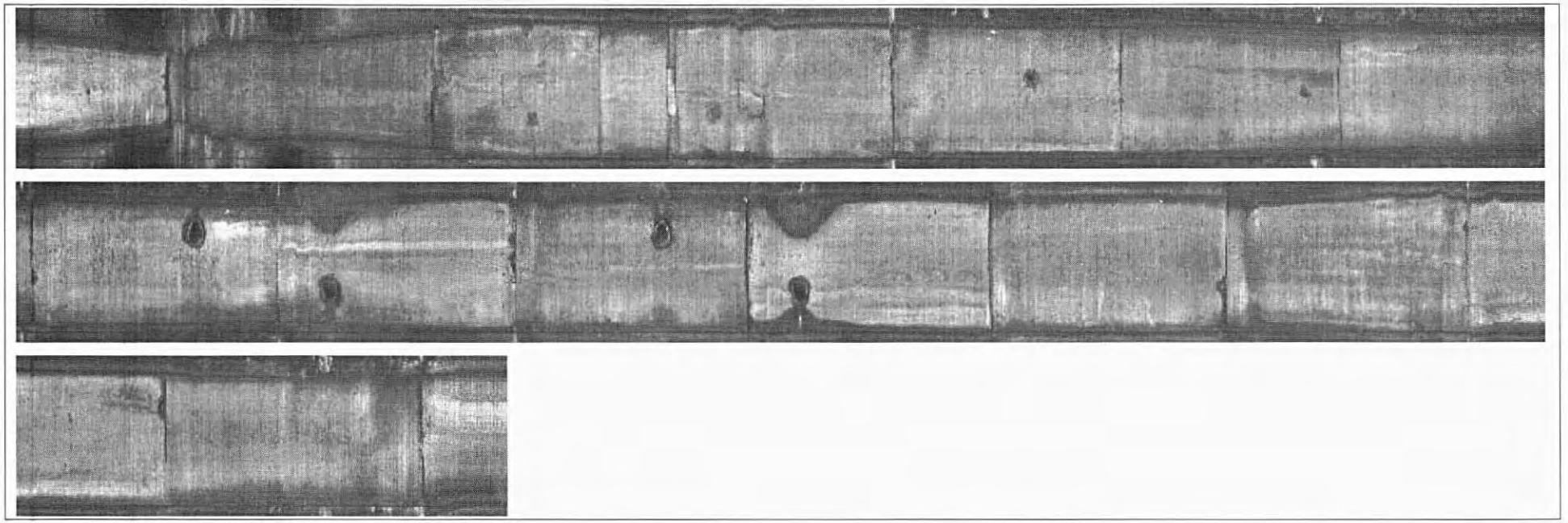
하수 흐름 방향



범 례		
연결관 돌출	부 식	폐유부착
연결관 접합부	관파손 및 균열	모르타르부착
이음부	곡관로	토사퇴적
침입수	관침하	기타 장애물
유출수	타관통과	

상류맨홀

관로 측면 영상

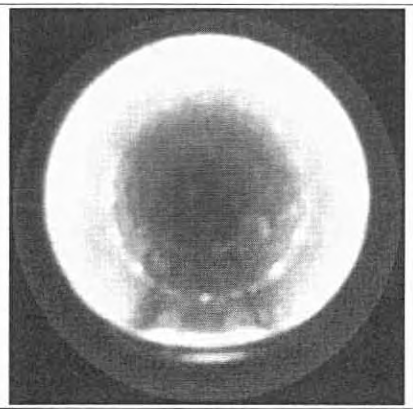


하류맨홀

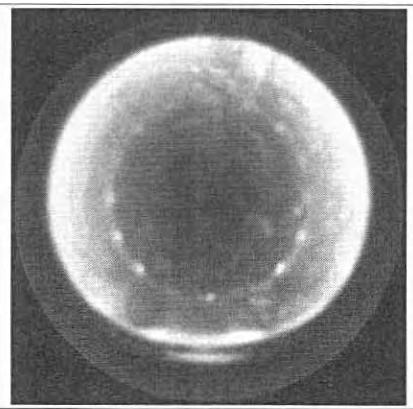
관로 전면 영상(이상부 발췌)

조 사 명	정발산		조사 지역(위치)		조사자	
조사 일시		배수 구역	1구역	처리 분구	1공구	처리 구역	1구역
도엽번호		설계년도		관로 도상거리	0.000	관로 촬영거리	68.000
관로 번호		관로 형태		관 경	300	관 종	

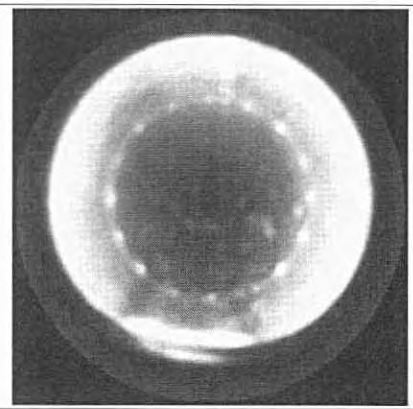
상류맨홀	맨홀번호		맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000	인버트	
하류맨홀	맨홀번호		맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000	인버트	



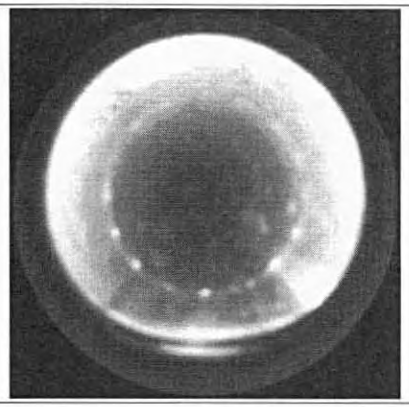
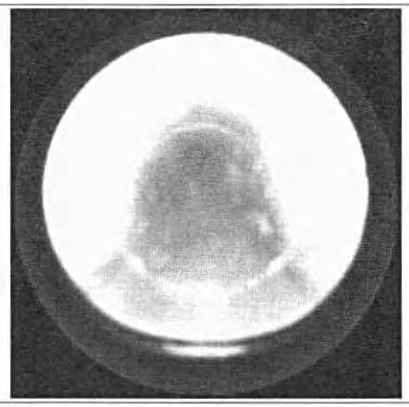
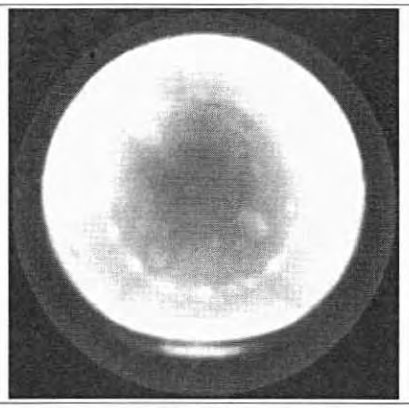
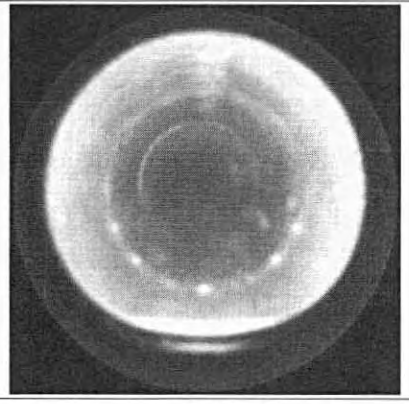
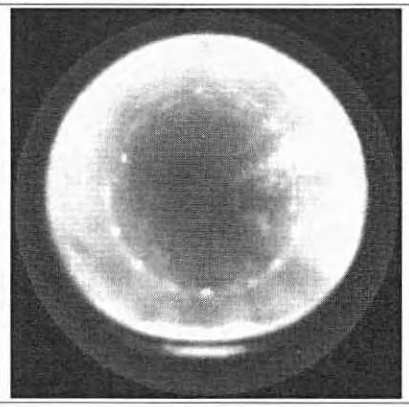
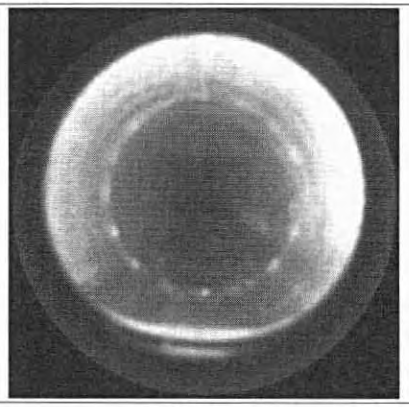
9.8m



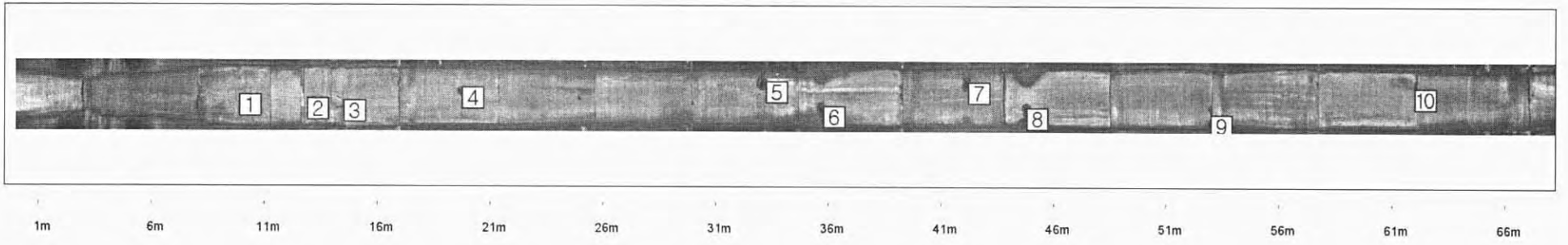
12.8m

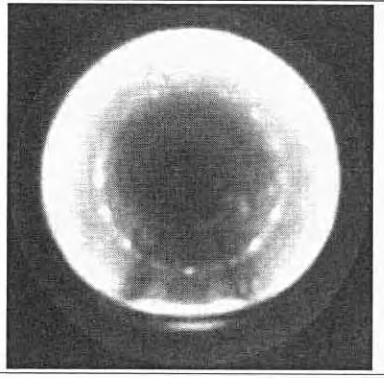
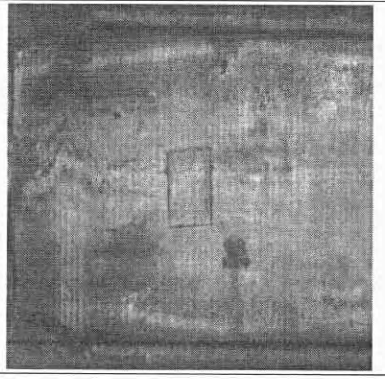
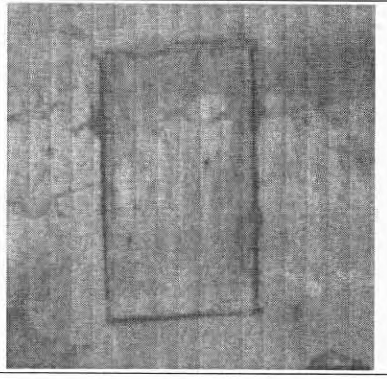


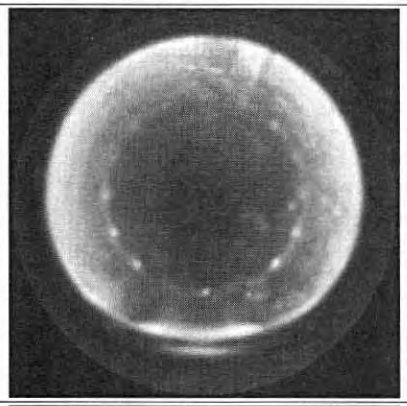
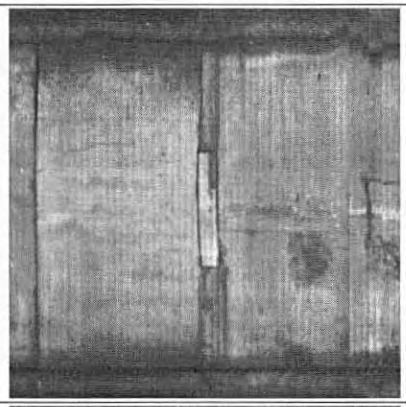
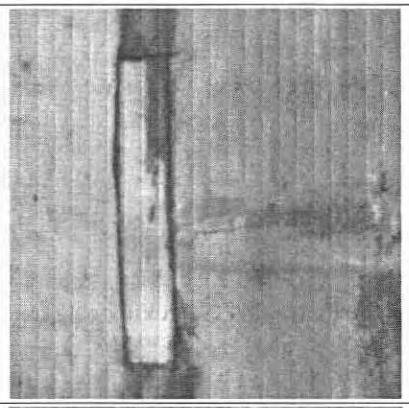
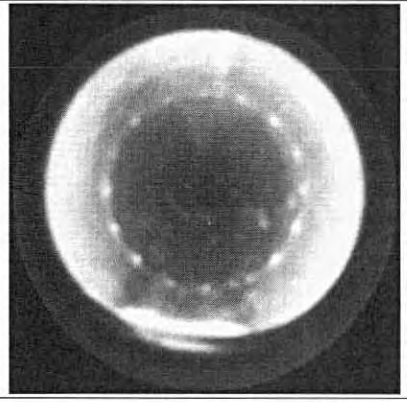
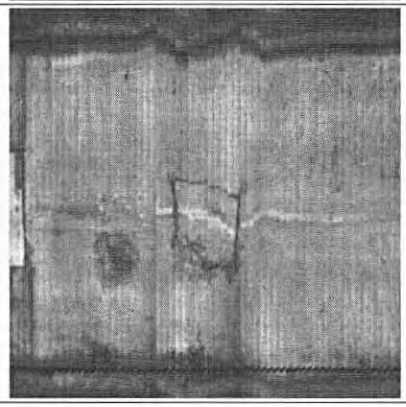
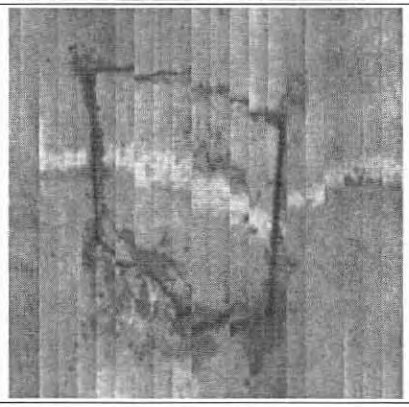
14.4m

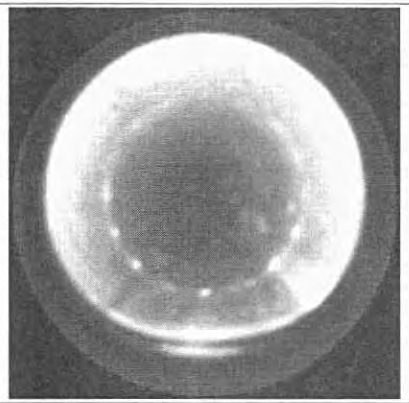
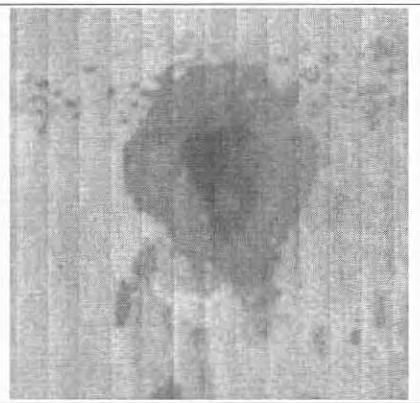
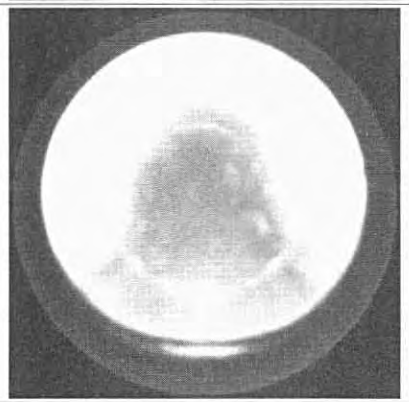
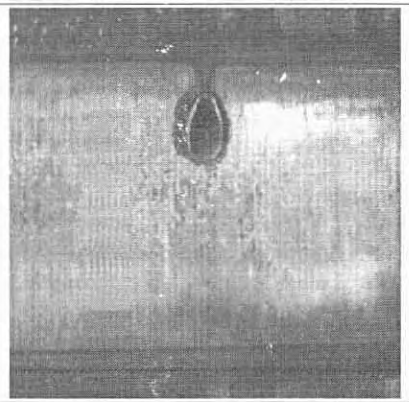
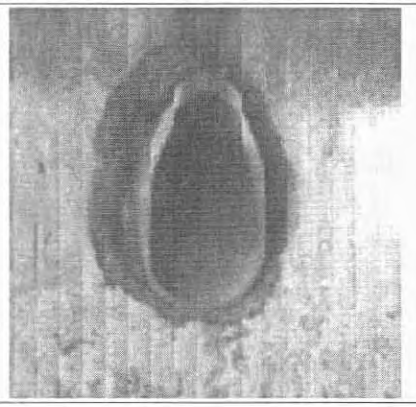
		
19.6m	32.8m	35.4m
		
41.6m	44.2m	61.4m

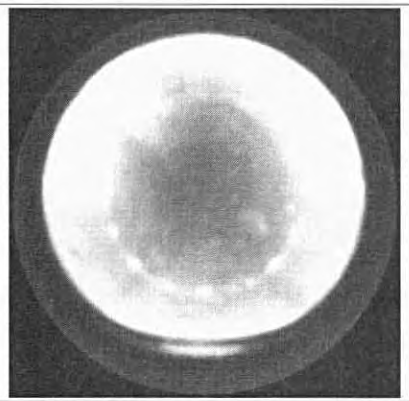
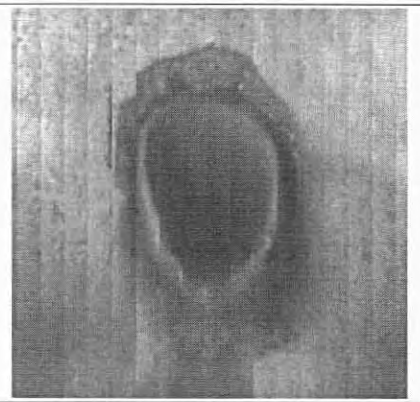
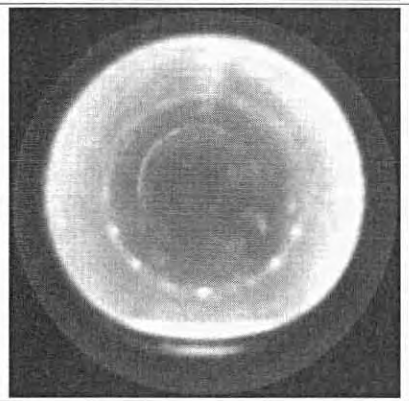
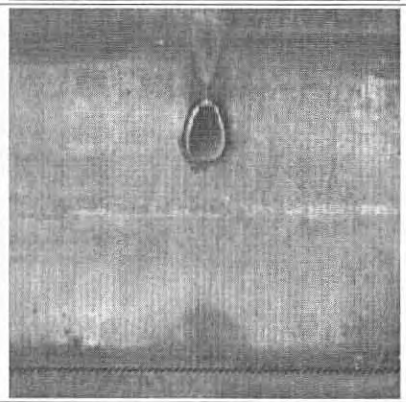
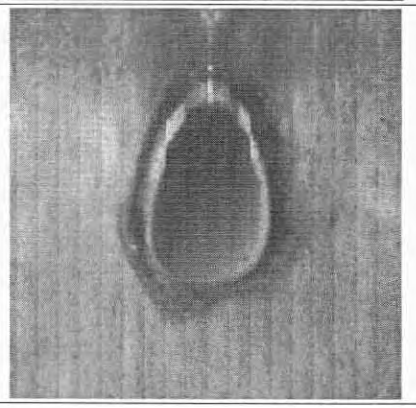
관로 측면 확대 영상

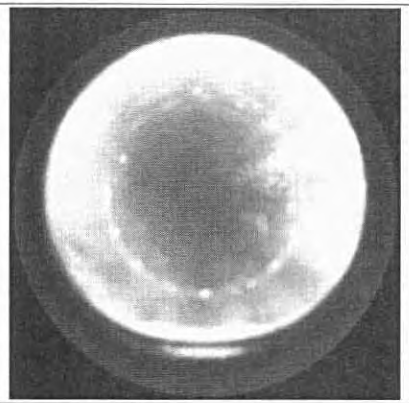
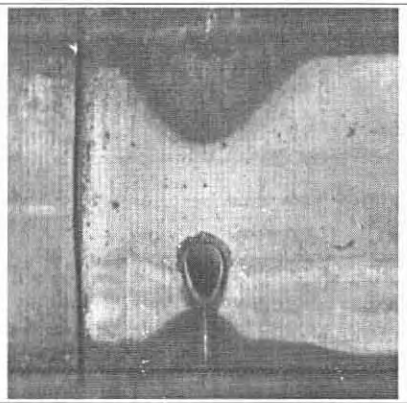
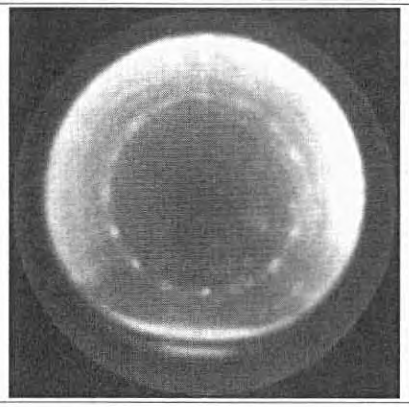
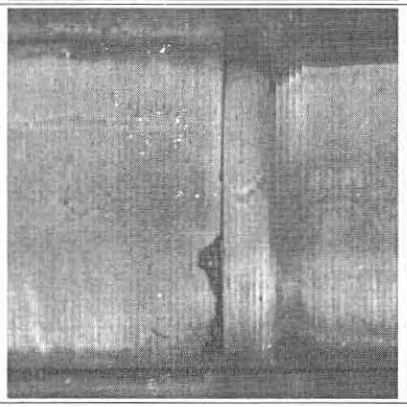
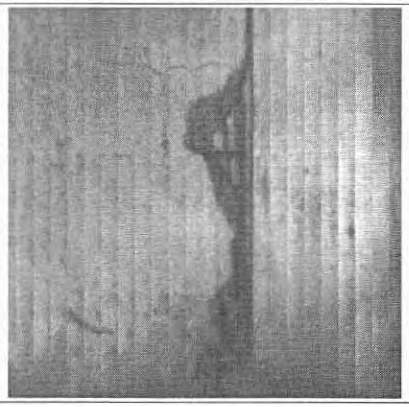


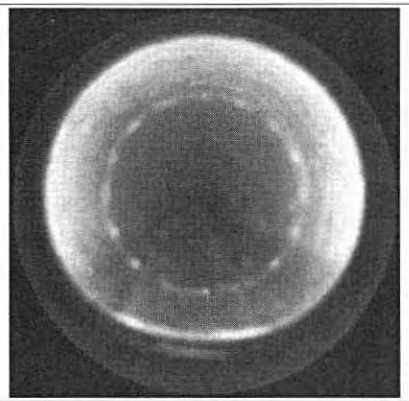
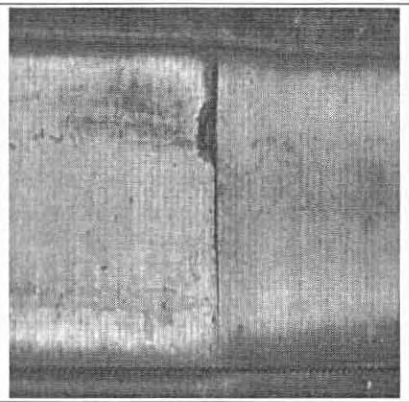
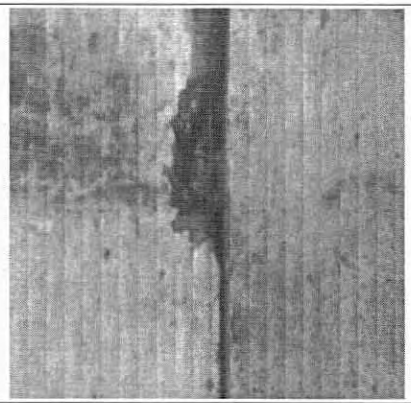
위 치	이상항목	전면영상	측면 영상	확대 영상
(1) 9.8m	관파손및균열			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(2) 12.8m	관파손및균열			
(3) 14.4m	관파손및균열			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(4) 19.6m	연결관 접합부			
(5) 32.8m	연결관 접합부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(6) 35.4m	연결관 접합부			
(7) 41.6m	연결관 접합부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(8) 44.2m	연결관 접합부			
(9) 52.4m	관파손및균열			

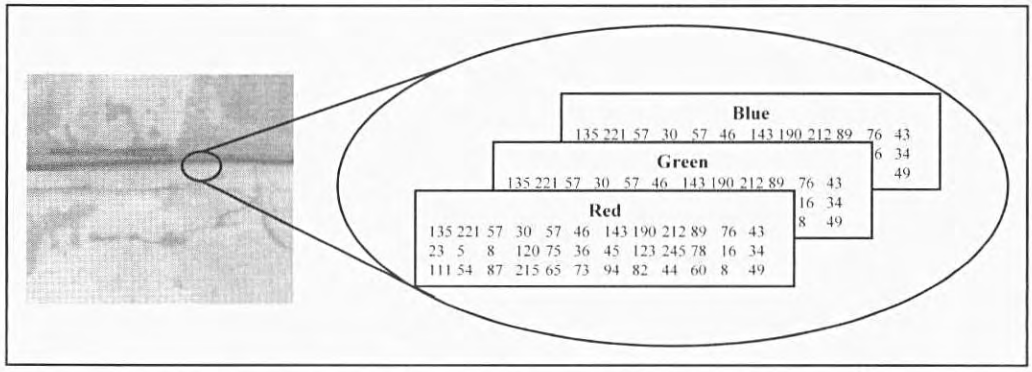
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(10) 61.4m	관파손및균열			

사. 이상부위 자동탐색 소프트웨어 개발

DPIM은 기존의 CCTV 조사와 달리 정지된 영상의 형태로 데이터가 얻어지므로 이미지 프로세싱 기술을 이용하여 후처리하기 매우 편리하다. 여기에서는 DPIM을 이용하여 얻어진 이미지 데이터를 처리하여 이음부와 연결관 접합부를 파악하는 부분을 보이고 있다.

(1)이미지 형식

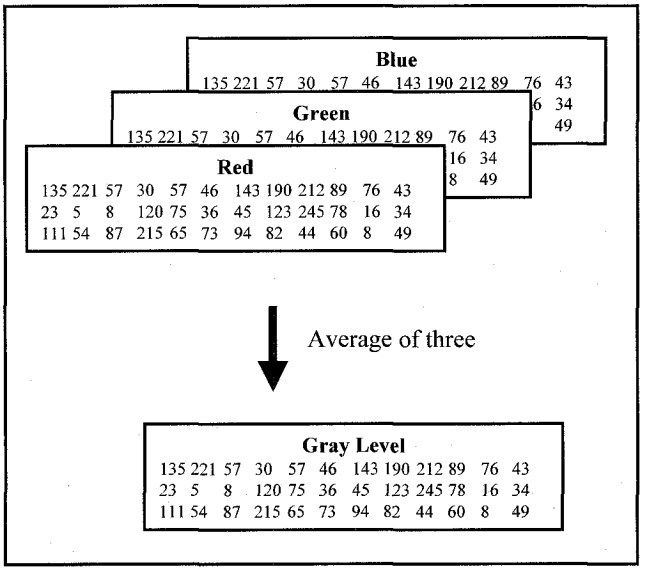
DPIM은 24비트의 칼러 이미지로 데이터를 구성한다. 칼라 이미지는 Red, Green, Blue 에 해당하는 3가지 layer로 이루어 져 있으며 각 layer는 8비트로 구성되어 있다. 8비트의 데이터는 0에서 16진수로 하면 FF, 10진수로 하면 256개의 단계를 가진다. 따라서 24비트 칼라 이미지는 256^3 개의 칼라를 가질 수 있다.



<그림 3.68.> 칼라 이미지의 데이터 형식

그레이 스케일 이미지

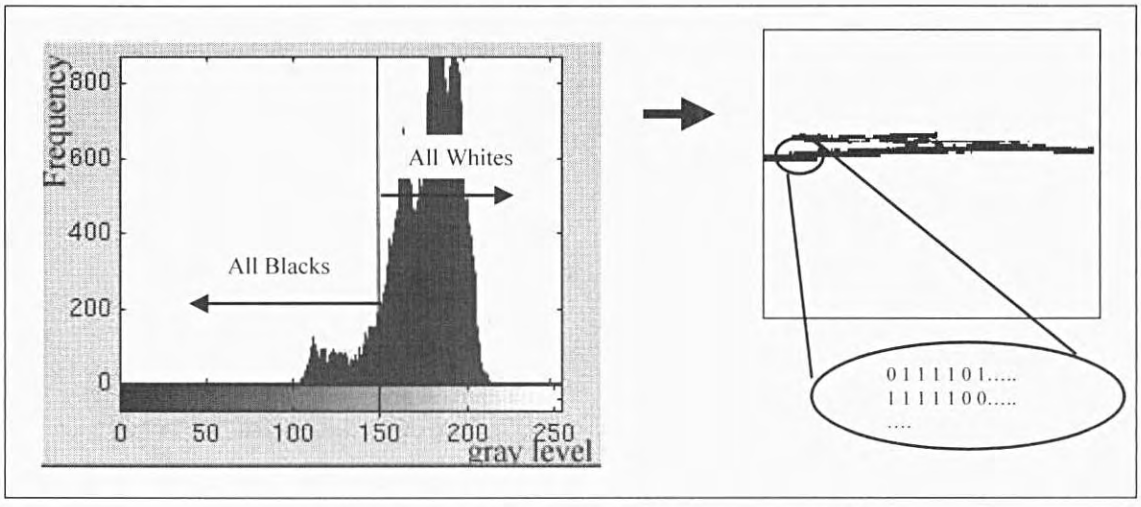
그레이 스케일 이미지는 RGB값들의 평균값으로 3개의 layer를 한 개의 layer로 합친 상태로써 회색조로 표현된다. 대게 이미지 프로세싱은 이러한 그레이스케일 이미지를 이용하여 수행한다.



<그림 3.69.> 그레이스케일 이미지로의 변환

흑백 이미지

흑백 이미지라 함은 Black (0) 또는 white (1)의 1비트로 이루어진 이미지를 의미한다. 그레이 스케일과 달리 완전한 검정 또는 흰색으로 이루어 진 것으로 그레이 스케일 이미지에서 특정 값을 기준으로 그보다 밝으면 흰색 어두우면 검정색 등으로 구분할 경우 표현 될 수 있다. 이러한 변환을 binary transformation이라고 한다.



<그림 3.70.> 바이너리 변환(흑백이미지 변환)

엣지 디텍션

엣지 디텍션은 layer상의 픽셀값을 vector로 보았을 때 vector의 그레디언트가 최대값이 되는 점을 찾는 것으로 엣지 디텍션이 이루어진다. 알고리즘의 종류에 따라서 Sobel, Canny등의 엣지 디텍션이 있으며, 본 연구에서는 Canny의 엣지 디텍션 알고리즘을 이용하여 객체인식의 출발점으로 사용하였다. 2차원 이미지의 경우 벡터그레디언트는 다음의 식과 같이 표현될 수 있으며,

$$G[f(x,y)] = \begin{vmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{vmatrix}$$

벡터그레디언트의 최대값은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

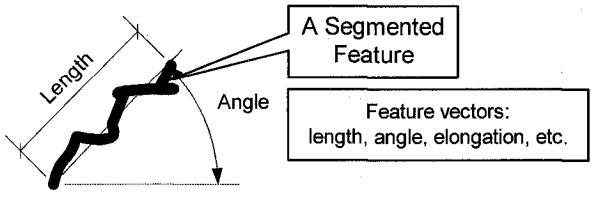
$$G = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

이상부위 자동 판독 알고리즘 구성

기존의 edge detection알고리즘이 많이 있으나, speed 와 성능 면에서 여러 개의 알려진 알고리즘을 사용 해본 결과 본 연구에서는 Canny Edge Detection알고리즘을 시작점으로 하였다.

1단계- Canny edge detection을 이용한 edge detection 수행

이상부위 판단의 첫 번째 단계에서는 최초의 칼라이미지를 그레이스케일 이미지로 변환을 하고 일반적으로 많이 사용하고 있는 edge detection알고리즘을 이용하여 feature를 획득한다. Feature라 함은 엣지 디텍션을 통해서 얻어진 조각조각으로 연결되어 있는 이미지 데이터를 의미한다. 이러한 feature들은 그 특성을 파악하여 이상부위인지 아니면 단순한 명암의 변화로 인한 것인지가 판단된다.



<그림3.71.> segmented feature와 feature 벡터

본 연구에서 사용된 feature 벡터는 (1) 영역의 크기, (2) 올일러 넘버, (3) 주축길이, (4) 편심률 (eccentricity), (5) orientation (각도) 등이다.

2단계 - 적정 threshold 결정

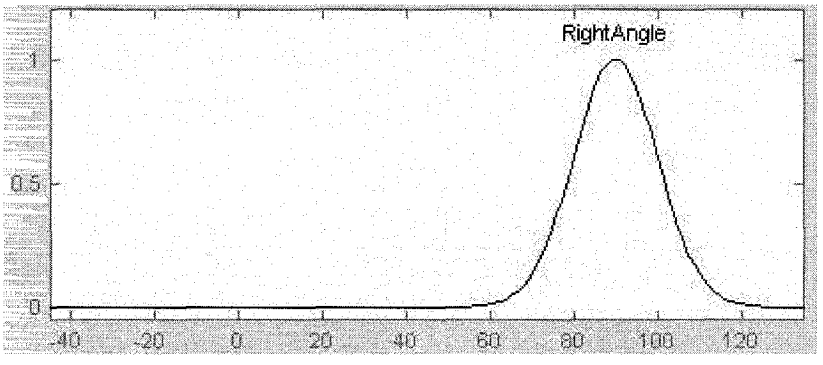
여러 차례의 trial-and-error를 이용하여 DPIM data의 경우 Canny Edge detection 알고리즘의 threshold값은 0.25로 정하였다. 여기서 threshold값은 이미지의 밝기값에 따라 달라지므로, 각 스캔별로 파이프 연결부위 등이 잘 표현되는 값을 찾아 주는 것이 필요하다. 위 그림의 경우 0.25라는 threshold 값이 효과적이었으며 다른 이미지에서는 다른 값을 사용해야 한다.

3단계 - Feature의 특성치 (벡터값) 파악

벡터값은 둥근정도를 나타내는 elongation, 픽셀의 총 개수를 나타내는 size, 1

차 중심축과 수평축과의 각도 등을 고려하여 의미 있는 데이터인지 의미 없는 데이터인지를 결정한다. 하지만, 각 feature들은 엄격하게 구분하기가 쉽지 않다. 여기서 사용된 방법은 fuzzy logic을 이용하여 categorization을 하여 부정확한 경계를 soft computing의 기술을 활용하여 해결하였다. 퍼지 논리의 구성은 다음의 표와 같다. 일단은 영역을 인공신경망을 이용하여 유효한 영역, 유효하지 않은 영역으로 구분하고 유요한 영역으로 판단이 되면, 다시 퍼지 로직으로 검증하면서 categorize하는 방식으로 진행된다. 아래 표에서 region2는 유효한 영역을 의미한다.

예를 들면 각도에 대한 feature vector의 fuzzy membership funciton은 다음의 그림과 같이 정의 될 수 있다.



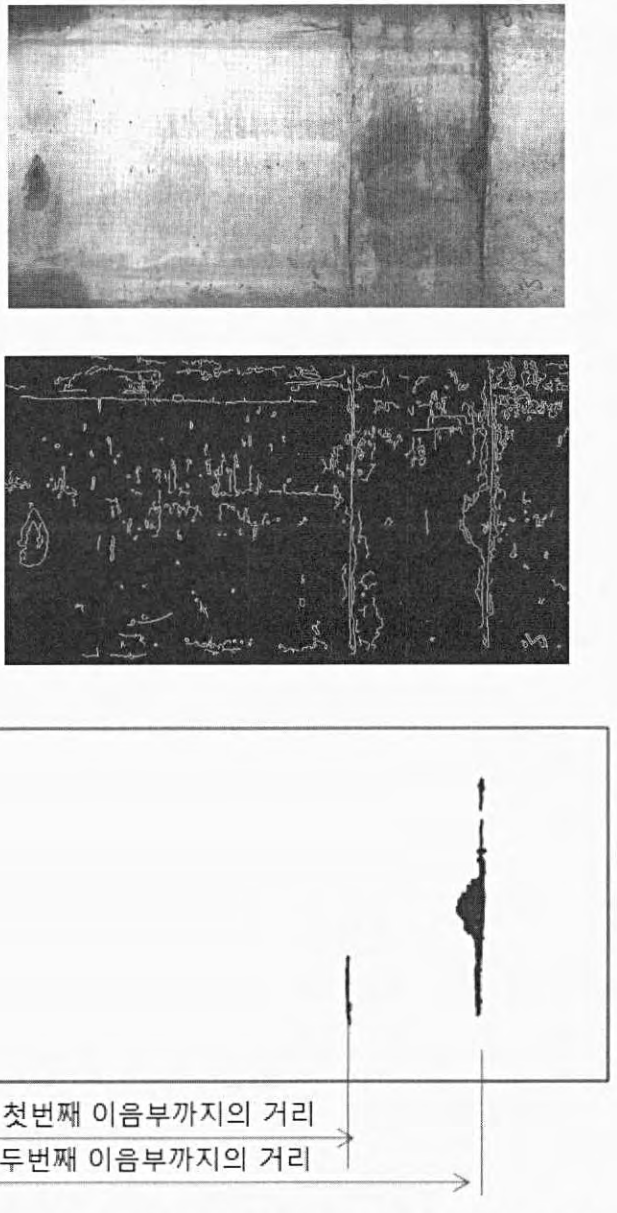
<그림 3.72.> 직각이라는 linguistic term의 fuzzy membership functoin

<표 3.12.> fuzzy reasoning(굵은 이탤릭체는 fuzzy membership 함수를 의미함)

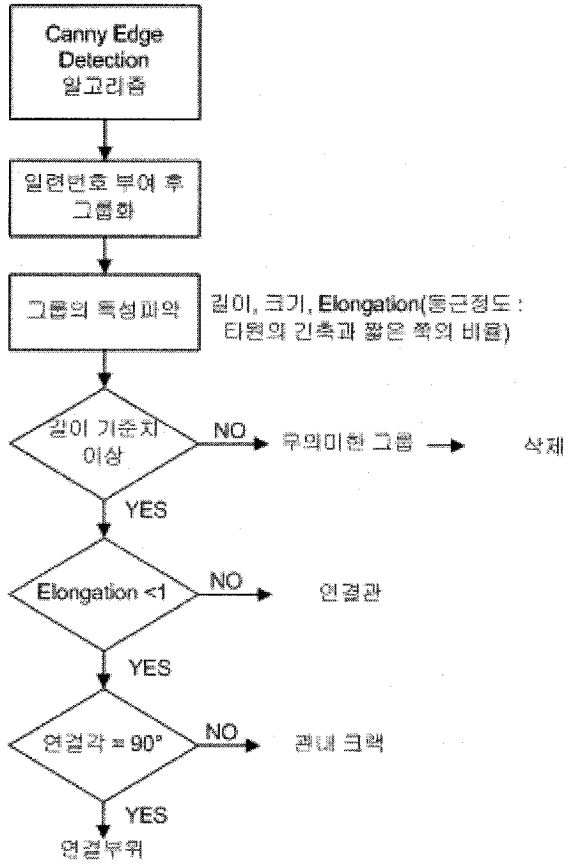
If Region is *2*andAngleis***RightAngle***thenthefeatureis***Joint***.
If Region is *1*andEccentricityis***Line***thenthefeatureis***Crack***.
If Region is *2*andAngleis***notRightAngle***thenthefeatureis***Crack***.
If Region is *1*andEccentricityis***notLine***thenthefeatureis***Noise***.

자동 이상부위 판독 결과

결론적으로 자동 이상부위 판독은 다음의 그림과 같이 결과를 나타낼 수 있다. 그림은 이음부의 위치를 파악한 모습이다. 최초의 그림은 칼라 이미지이며, canny의 edge detection algorithm에 의해 처리 되었으며, 마지막으로 fuzzy rule을 이용하여 이음부부분만을 푸른색으로 처리하고 나머지 부분은 지운 형태다. 따라서, 푸른색의 feature vector이 main axis의 x 좌표가 바로 이음부의 위치가 된다.



<그림 3.73.>연결부위 위치 파악 결과를 통한 이음부 위치 파악



<그림 3.74.> 이상부위 판독 알고리즘 플로우챠트

자동 판독 소프트웨어는 현재 이상부위의 인식율을 90%를 목표로 하였으나, 현재 70%의 판독수준을 보이고 있으므로 추후에 지속적인 업그레이드를 통하여 이상부위 90%이상 인식율을 보일 수 있도록 조치를 취할 것이며, 현재 이상부위는 아니지만 이음부 판독의 경우 100%인식율을 보이고 있다. 이를 이용하여 실제거리와 측정된 거리의 오차율을 줄일 수 있는 방안으로 활용할 예정이다.

제5절 시범사업

시범사업은 어느 특정 지역이나 지자체와 계약관계를 맺어서 그 지역만을 총괄적으로 하수관상태평가를 수행하고자 하였으나, 연구과제라는 특성상 계약관계를 맺어서 상태평가를 수행하는데는 무리가 있다고 판단되었다. 이에 본 연구에서는 연구특성에 맞게 여러 가지 케이스에 따른 DPIM 시스템의 특성을 파악하고자 일산, 부천 등의 지역을 시범사업 지역으로 정하여 DPIM 시스템을 이용한 하수관상태평가를 수행하였다. 본 사업에 사용한 DPIM 시스템은 DPIM-1과 DPIM-2 모두 사용하였다.

1. 일산지역

가. 작업구간 개요

일산지역은 본 연구의 주관 연구기관과 지리적 근접성으로 가장 많은 횟수로 촬영하였다. 그중에서도 가장 많은 구역을 촬영한 지역은 경기도 고양시 일산동구 정발산동으로 이 지역은 하수관의 초기관 지역으로 하수흐름량이 적고, 교통량이 적어서 DPIM 시스템 차량의 현장접근성이 용이하여 정발산동을 채택하게 되었다.



<그림 3.75.> 정발산 작업현장 전경

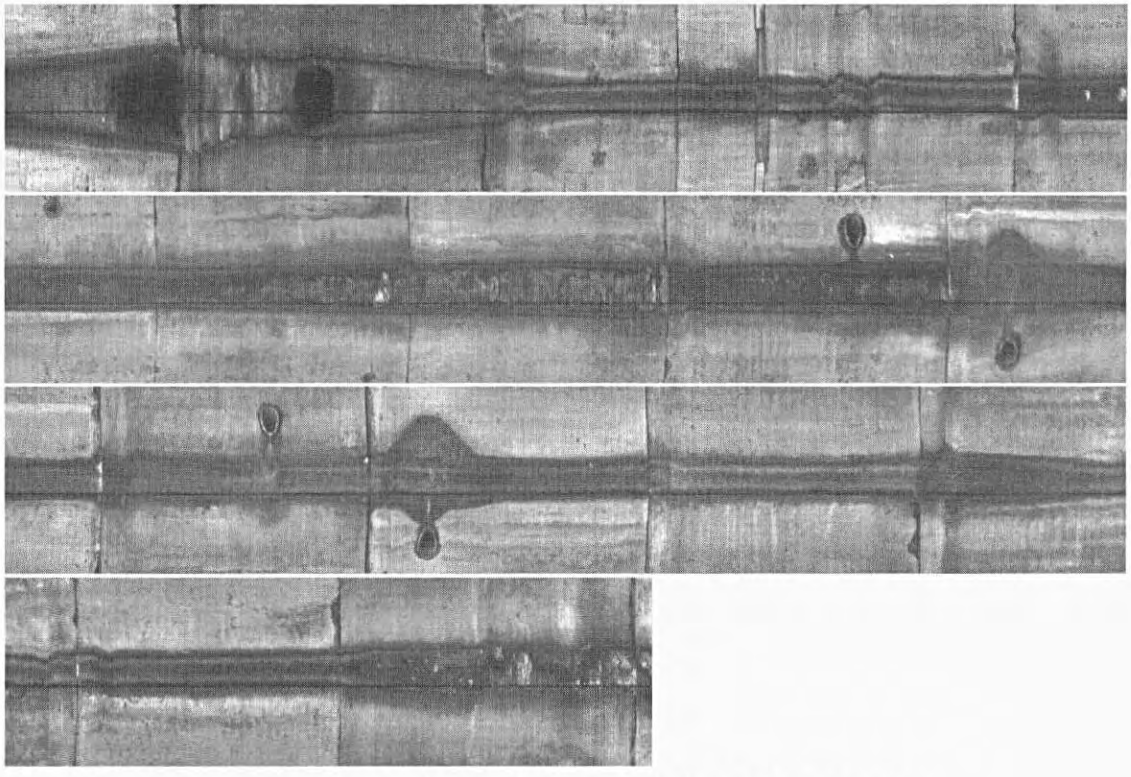
<표 3.13.> 일산시범사업 현장 개요

탐사 현장	경기도 고양시 일산동구 정발산동 율동초등학교 근처
탐사 일시	2008년 1월 ~ 4월
탐사 관	관경 300mm 흄관
탐사 구간 개수	6구간
촬영거리	약 350m
사용장비	DPIM-1

일산지역은 하수관 준공연도가 1995년으로써 준공한지 13년이 경과한 지역이며, 초기관지역으로 인하여 퇴적현상이 일정구간 발생할 것으로 판단되어, 본 지역은 DPIM 시스템의 소프트웨어적 테스트 할 수 있을 뿐만 아니라 하드웨어적으로도 자주차의 추진력이나 등판능력 등을 테스트 할 수 있을 것으로 판단되었다.

나. 탐사결과

(1) 일산 1구간



<그림 3.76.> 일산 1구간 DPIM 촬영 결과물(관정절개)

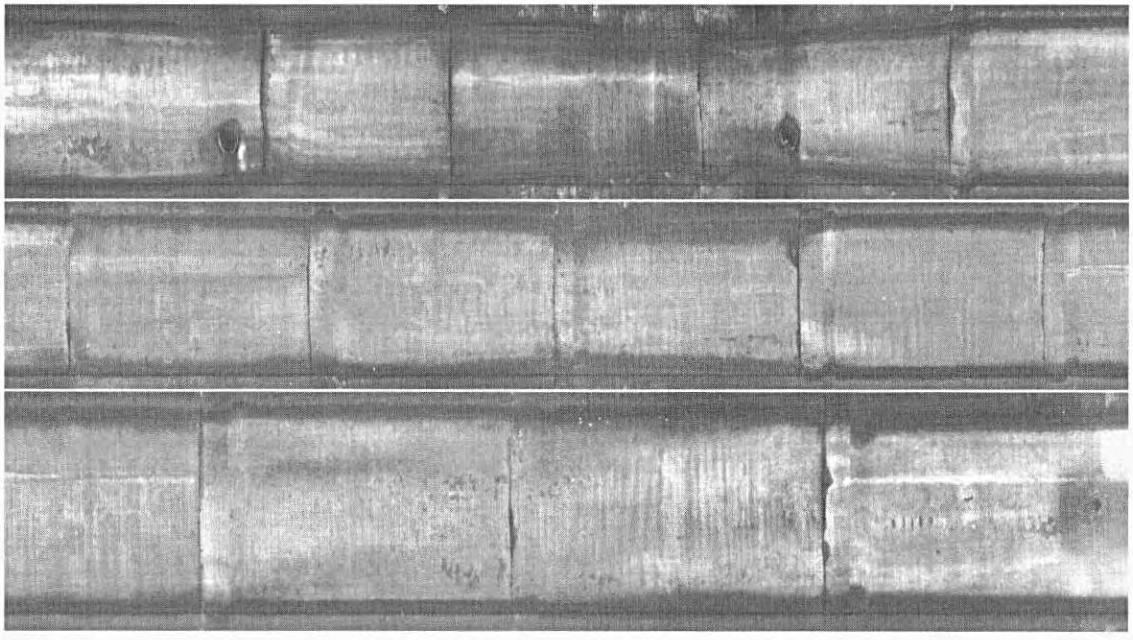
<표 3.14.> 일산 1구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	4	-	-	4
부식	2	-	-	2
관파손 및 균열	3	8	4	15
토사퇴적	1	2	-	3
유하능력부족	1	-	-	1
소계	11	10	4	25

일산 1구간의 경우 촬영결과 이상부위가 여러군데 관찰되었다. 일산 1구간 이상부위를 다음의 표로 간략히 정리하였다. 초기관 지역이므로 유하능력이 부족한 구

간과 유하능력 부족으로 인한 토사퇴적 구간이 발견되었으며, 연결관 접합상태는 양호하게 조사되었다. 또한 준공한지 13년 경과로 인하여 흄관 표면의 부식이 발생한 지점도 발견되었으며, 흄관의 철근이 노출되는 구간도 발견되었다.

(2) 일산 2구간



<그림 3.77.> 일산 2구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

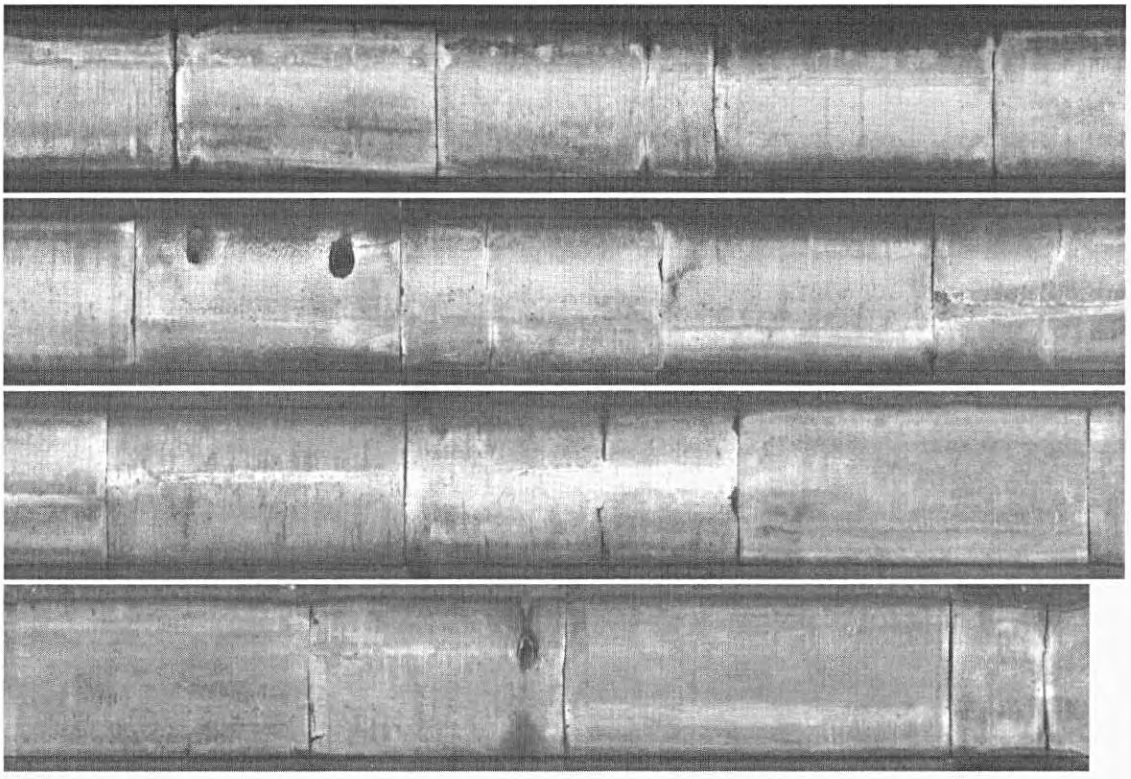
<표 3.15.> 일산 2구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	2	-	-	2
부식	0	-	-	0
관파손 및 균열	3	1	2	6
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	1	-	-	1
소계	6	1	2	9

일산 2구간은 1Span(맨홀 투 맨홀)로 촬영을 하였으나, 일산 1구간보다는 짧은 것으로 조사되었다. 또한 전체적인 하수관 상황도 일산 1구간보다 좋은 것으로 조

사되었다. 그렇지만 일산 1구간과 마찬가지로 관파손에 의한 철근노출 지점도 관찰이 되었으며, 유하능력 부족으로 인한 하수의 고임현상이 발생하는 곳도 관찰되었다.

(3) 일산 3구간



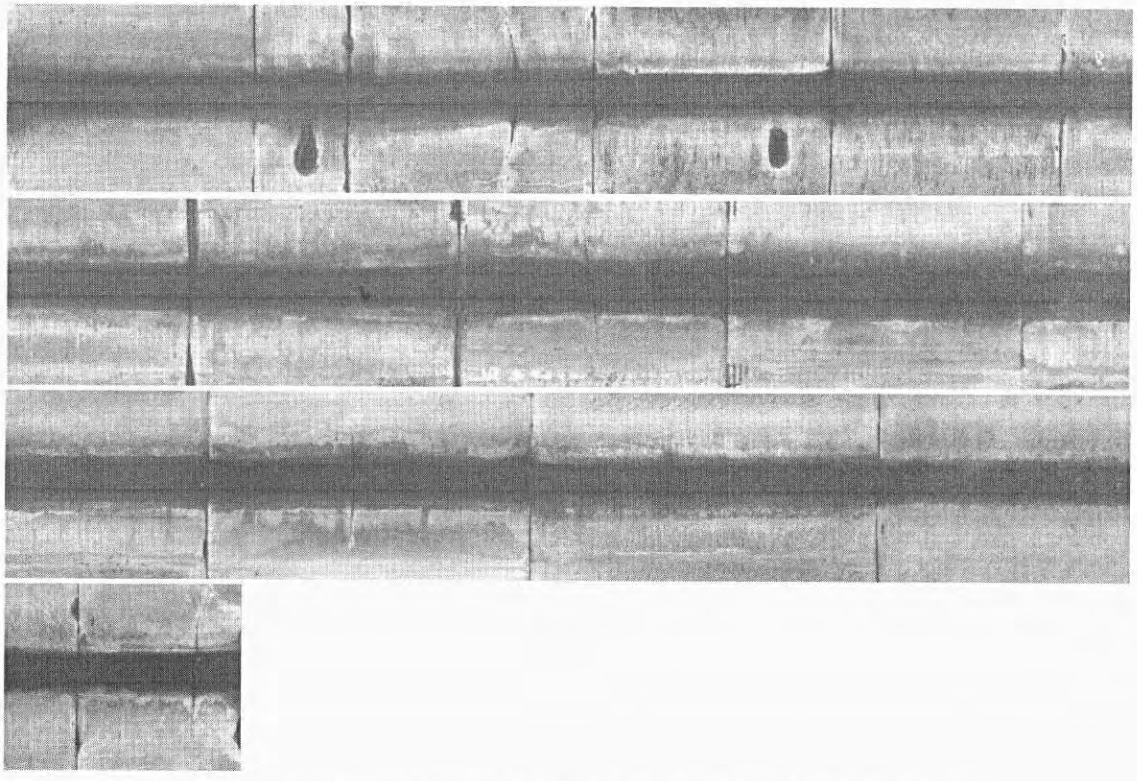
<그림 3.78.> 일산 3구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

<표 3.16.> 일산 3구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	1	-	-	1
연결관 돌출	1	-	-	1
부식	1	-	-	1
관파손 및 균열	2	4	2	8
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	-	-	-	0
소계	5	4	2	11

일산 3지역은 총 11개 이상부위가 발견되었다. 일산 3지역은 관파손 이상부위가 많이 발견되었는데 관 파손 형태도 앞의 지역처럼 관의 일부분이 파손되는 것이 아니라 전개도면으로 봤을때 일직선의 횡방향으로 나타났다. 즉 파손이 전체관 둘레에서 나타남을 뜻하는데 일산 3지역의 상부에 무거운 하중으로 인한 관파손 내지는 지반침하로 인한 관파손으로 사료된다.

(4) 일산 4구간



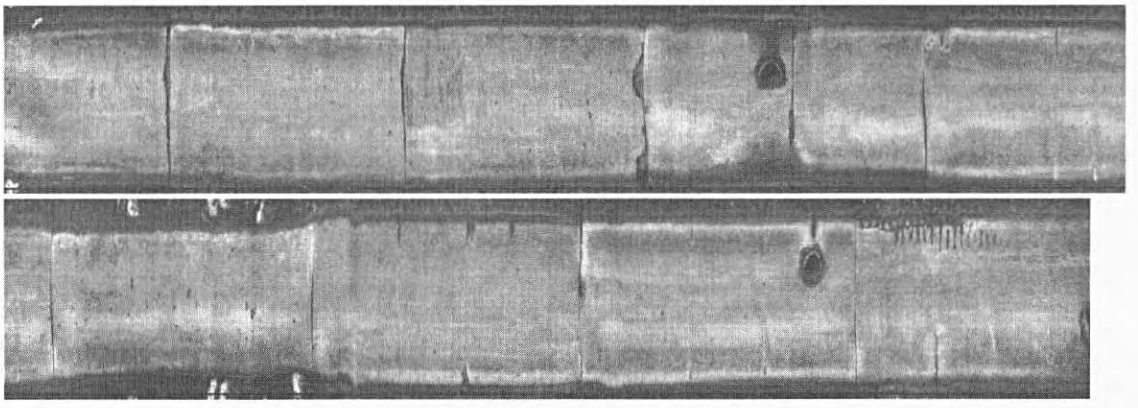
<그림 3.79.> 일산 4구간 DPIM 촬영 결과물(관정절개)

<표 3.17.> 일산 4구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	2	-	-	2
연결관 돌출	-	-	-	0
부식	-	-	-	0
관파손 및 균열	3	5	3	11
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	-	-	-	0
소계	5	5	3	13

일산 4구간은 총 13개의 이상부위가 발견되었다. 일산 3구간과 비슷하게 전개도면상에서 횡방향으로 파손이 일어난 부분이 많았지만, 일산 3구간과 같이 관 둘레 전체의 파손이 아닌 횡방향으로 관 둘레의 일부분만 파손된 것으로 미루어보아 파손이 진행중인 것으로 파악되었다.

(5) 일산 5구간



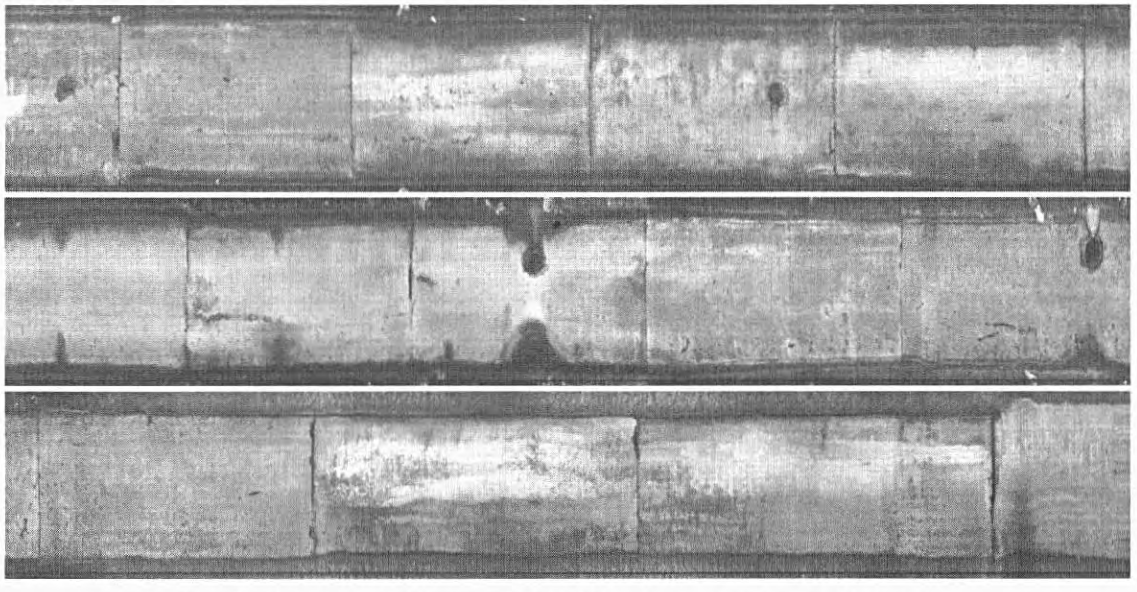
<그림 3.80.> 일산 5구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

<표 3.18.> 일산 5구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	1	1	-	2
연결관 돌출	-	-	1	1
부식	-	-	1	1
관파손 및 균열	-	2	3	5
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	-	-	-	0
소계	1	3	5	9

일산 5구간은 연결관 돌출부분으로 인하여 자주차가 더 이상 전진하지 못하여서 23m정도만 촬영할 수 있었다. 일산 5구간도 일산 3, 4구간과 마찬가지로 관둘레 전반에 걸쳐서 파손이 일어났으면, 파손이 진행되는 부위도 관찰되었다. 일산 5구간은 관저부분에서 부식에 의한 철근노출이 관찰되었다. 철근노출 부분의 바로 앞 상부에 가정집에서 유입되는 연결관이 있는 것으로 미루어보아 가정하수에 의한 부식이 가속화되어 일산 5구간 전체 부식속도보다 빠르게 부식이 되어서 나타나는 현상으로 사료된다.

(6) 일산 6구간



<그림 3.81.> 일산 5구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

<표 3.19.> 일산 6구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	1	-	1	2
연결관 돌출	-	-	-	0
부식	-	-	-	0
관파손 및 균열	2	1	3	6
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	-	-	-	0
소계	3	1	4	8

일산 6구간은 관로 전반적으로 유하능력이 부족하여 일부분에서는 하수가 정체 현상이 발견되는 구간이었다. 또한 하부로 내려갈수록 하수가 흘렀던 자국은 발견할 수 없었으면 이러한 구간에는 토사가 퇴적되어 있는 것을 발견하였다. 토사가 퇴적이 되어 있는 구간과 함께 연결관 접합을 위한 구멍이 관찰되었다. 이것은 연결관 연결을 위해 천공작업만 수행하고 연결관도 접합을 시키지 않고 천공작업부분을 처리를 하지 않음으로 인하여 외부로부터 토사가 유입되어 하수관내 토사가 퇴적이 일어난 것으로 판단되었다.

2. 부천지역

가. 작업구간 개요

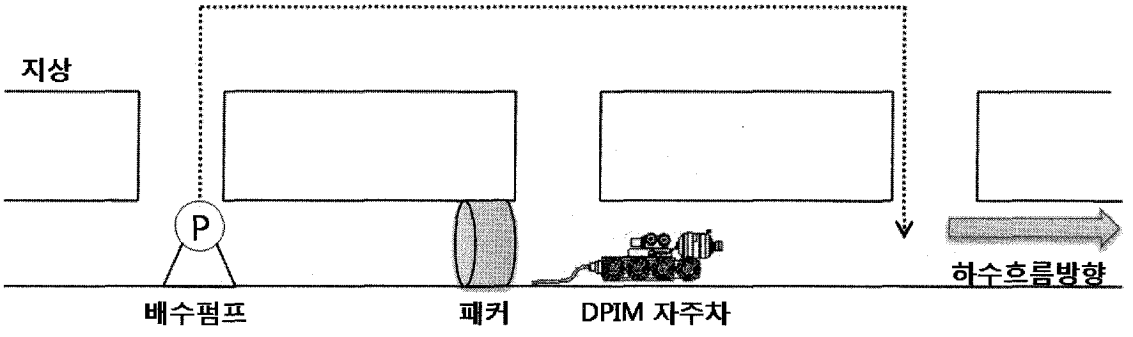
부천지역의 DPIM 시범사업은 상동지구를 대상으로 수행하였다. 부천지역의 개요는 다음의 표에 나타내었다.

부천 상동지구 중에서도 하수량이 적은 초기관 지역을 시범지구로 선정을 하려 하였으나, 부천 상동지구의 경우 아파트단지 및 다세대 주택단지로 구성되어 있어서 하수량이 적은 초기관 지역을 찾기가 쉽지 않았다. 따라서 부천지역에서는 패커를 사용하여 잠시 동안 하수의 흐름을 막고 DPIM 촬영을 수행하였다. 다음의 그림은 패커를 이용한 DPIM 하수관 조사의 계략도와 실제 수행하는 모습이다.

부천지역에서는 DPIM-2의 시스템을 사용하였으며, 측명영상폭을 DPIM-1에서의 50~60픽셀씩 전송하는 방식에서 10~40픽셀씩 전송하는 방식으로 변환함으로써 최종전개도면의 화질을 개선시키고자 하였다.

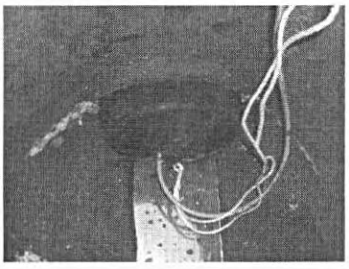
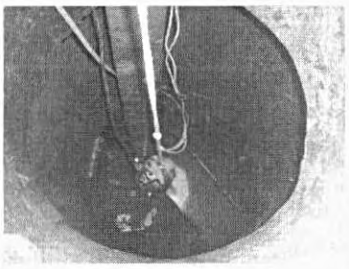
<표 3.20.> 부천시범사업 현장 개요

탐사 현장	경기도 부천시 원미구 상동지구
탐사 일시	2008년 7월 4일, 25일
탐사 관	관경 400mm 흄관
탐사 구간 개수	2 구간
촬영거리	약 100m
사용장비	DPIM-2



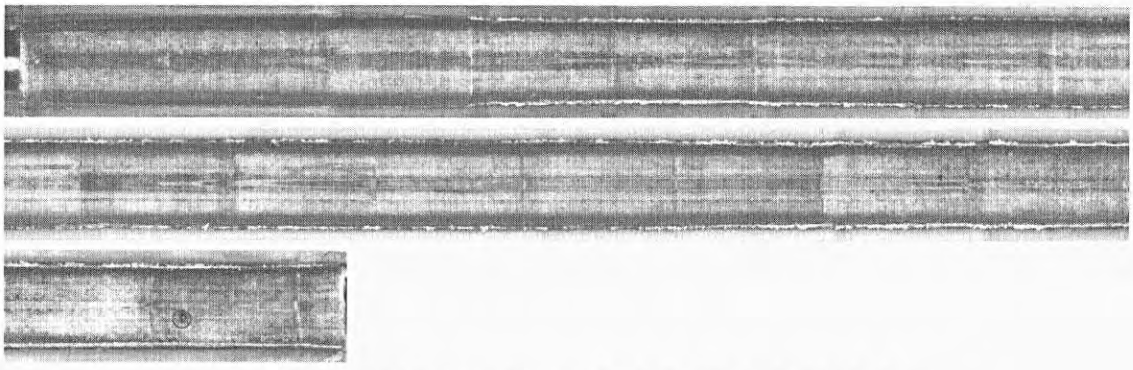
<그림 3.82.> 패커를 이용한 DPIM촬영 계략도

<표 3.21.> 패커를 이용한 DPIM촬영 요약

단계	작업모습	작업설명
1		- 지상에서 패커 견인선 설치 및 공기주입라인 설치
2		- 패커 삽입 및 공기주입
3		- 배수 펌프 설치 및 Bypass 라인 하부 맨홀에 연결 - 배수펌프 가동

나. 작업결과

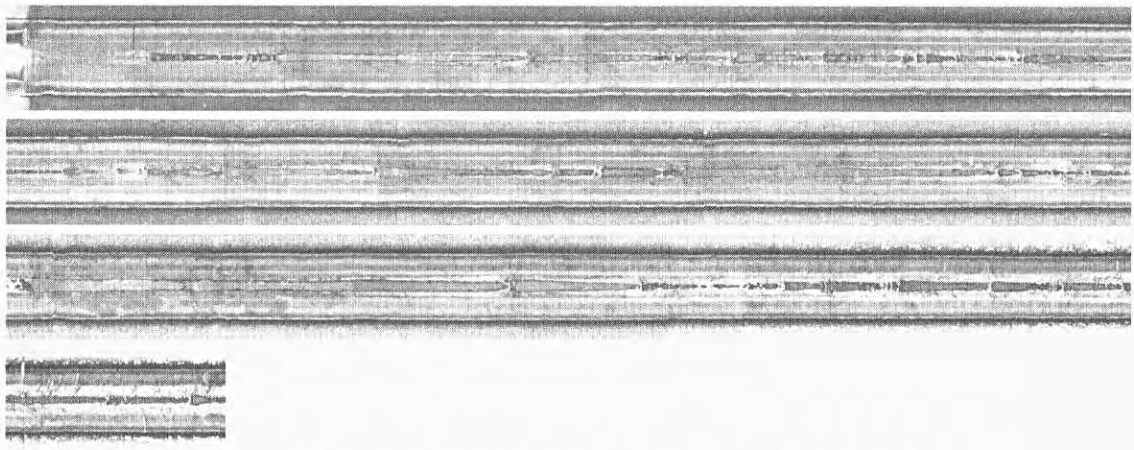
(1) 부천 1구간



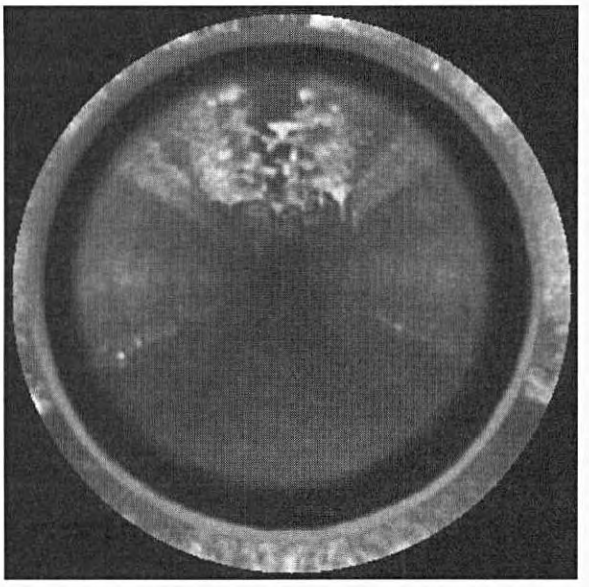
<그림 3.83.> 부천 1구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

부천 1구간은 전반적을 관상태가 매우 양호하였다. 시공당시에 이음부처리도 매우 우수하게 시공을 하였으며, 일산지역과 달리 관둘레 전반적인 관파손도 발생하지 않았다. 부천 1지역의 경우 43m를 촬영하였는데 43m중에 이상부위는 위의 그림의 빨간 원형에서 처럼 한 개소만이 발견되었다. 위의 촬영물은 측면영상을 30픽셀을 취하여 전개작업 후 접합한 영상이다. DPIM-1을 이용하여 전개 및 접합을 하였을 때보다 전개된 영상이 자연스럽게 전개된 것을 알 수 있었다.

(2) 부천 2구간



<그림 3.84.> 부천 2구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)



<그림 3.85.> 부천 2구간 전면영상

부천 2구간의 경우도 부천 1구간과 마찬가지로 관의 상태는 매우 깨끗하였다. 시공상태도 부천 1지역과 비슷한 수준으로 자주차가 이음부를 진입할 때 흔들림이 거의 없었다. 그렇지만 부천 1지역과 달리 부천 2지역은 <그림 3.85.>과 같이 관 상부에 흰색의 이물질들이 구간 전체에 발생한 것을 관찰하였으며 이 흰색의 이물질은 기름성분으로 판단된다.

이처럼 부천지역의 하수관 상태가 양호한 것은 준공연도가 2003년도로써 준공 후 시간이 얼마 지나지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

3. 대전지역

가. 작업구간 개요

대전지역은 대전광역시 유성구 노은동의 노은 1지구를 채택하였다. 대전 노은지구는 중에서도 아파트단지도 존재하지만 하수량이 적은 단독주택단지로 구성된 초기관 지역을 우선적으로 촬영하였다. 대전 노은지구의 하수관 준공시기는 2000년으로써 준공완료한지 8년이 경과한 시점에 본 조사를 수행하였다.

<표 3.22.>는 대전지역의 개요를 정리하였다.

<표 3.22.> 대전시범사업 현장 개요

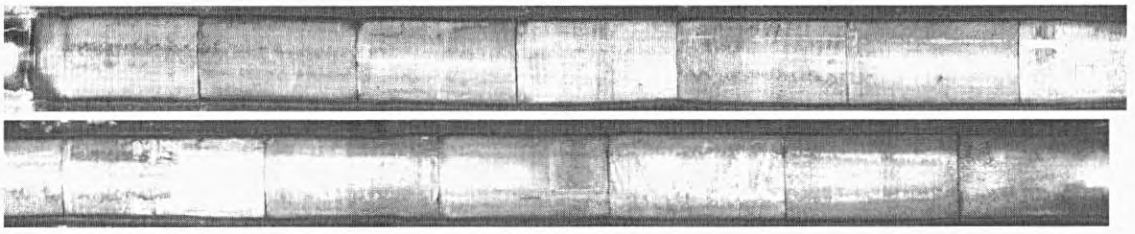
탐사 현장	대전광역시 유성구 노은1지구
탐사 일시	2008년 8월 6일
탐사 관	관경 400mm 흄관
탐사 구간 개수	5 구간
촬영거리	약 240m
사용장비	DPIM-2



<그림 3.86.> 대전지역 작업 모습

나. 작업결과

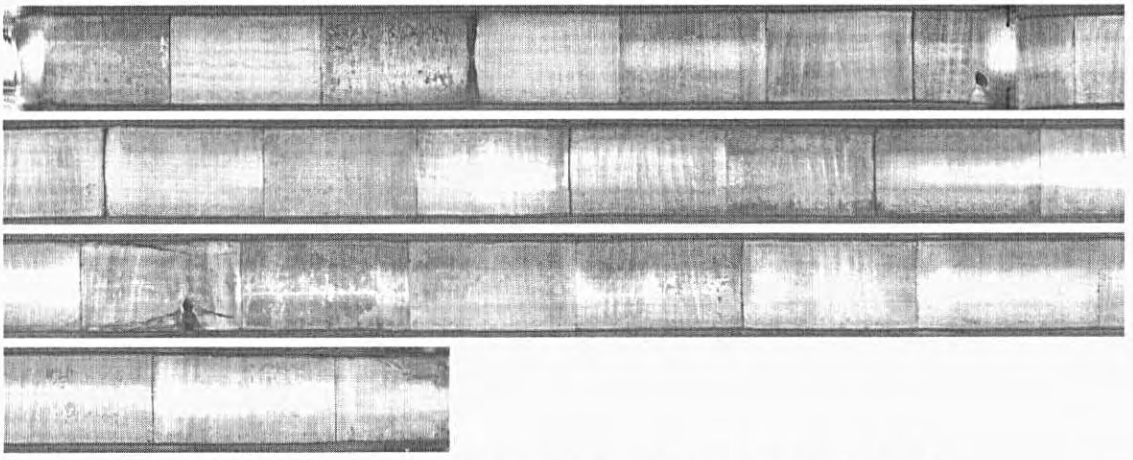
(1) 대전 1구간



<그림 3.87.> 대전 1구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

대전 1구간은 전반적으로 관상태가 양호하여 따로 이상부위는 정리하지 않았다. 대전 노은지구 준공시점이 2000년이기 때문에 관상태가 매우 깨끗한 것으로 사료되며, 대전 1구간의 경우 공터에 매설된 하수관이기 때문에 대전 1구간 하수관에 연결된 연결관은 발견되지 않았다.

(2) 대전 2구간



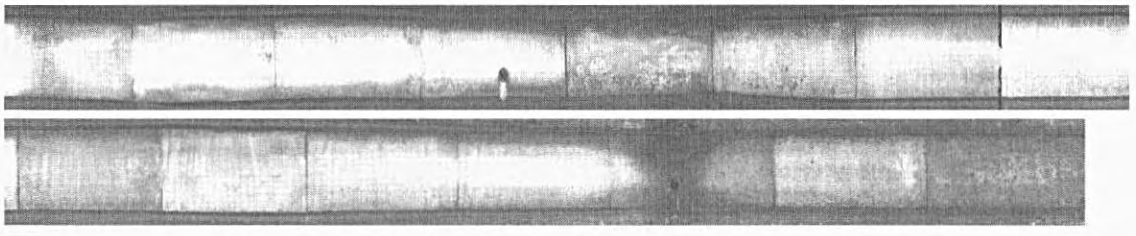
<그림 3.88.> 대전 2구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

<표 3.23.> 대전 2구간 이상부위별 집계

이상항목	등급			
	A	B	C	소계
연결관 접합부	2	-	-	2
연결관 돌출	-	-	-	0
부식	-	-	-	0
관파손 및 균열	-	1	-	1
토사퇴적	-	-	-	0
유하능력부족	-	-	-	0
소계	2	1	0	3

대전 1구간은 대전 1구간과 다르게 공터에 매설된 하수관이 아니라 단독주택들이 산재해서 존재하였다. 그에 따라서 연결관 접합부가 2개소 관찰되었으며, 2000년도에 준공된 하수관임에도 불구하고 관파손부위가 1개소 관찰되었다. 관파손부위가 이음부 근처에서 발생한 것으로 미루어 보아 시공상의 실수로 인하여 관이 파손된 것으로 판단된다.

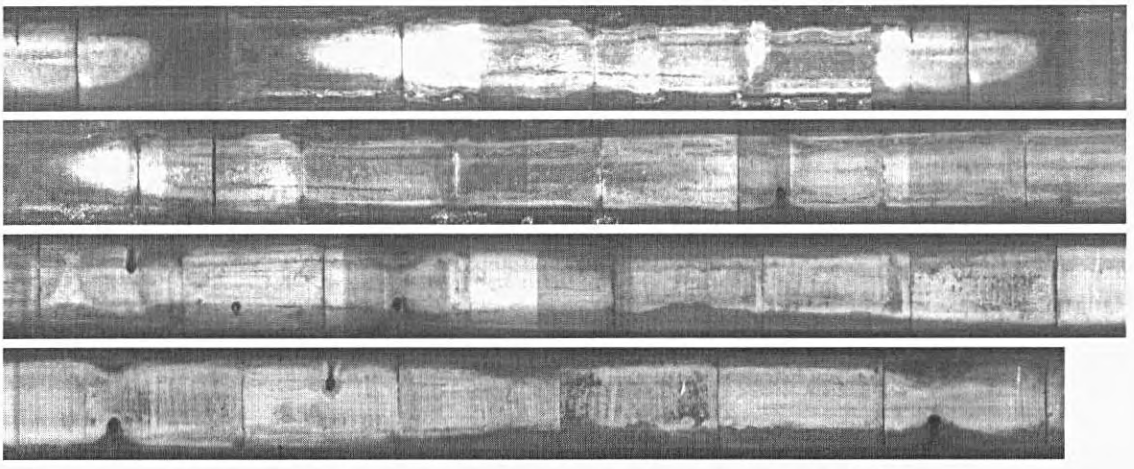
(3) 대전 3구간



<그림 3.89.> 대전 3구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

대전 3구간은 하수관의 내부상황은 매우 깨끗하였으며, 연결관 부위가 2개소 관찰되었지만 접합상태도 매우 양호하게 접합이 되었다. 유하능력이 부족하여 하수의 정체되는 현상 없이 하수가 원활하게 흐르는 것을 관찰하였다.

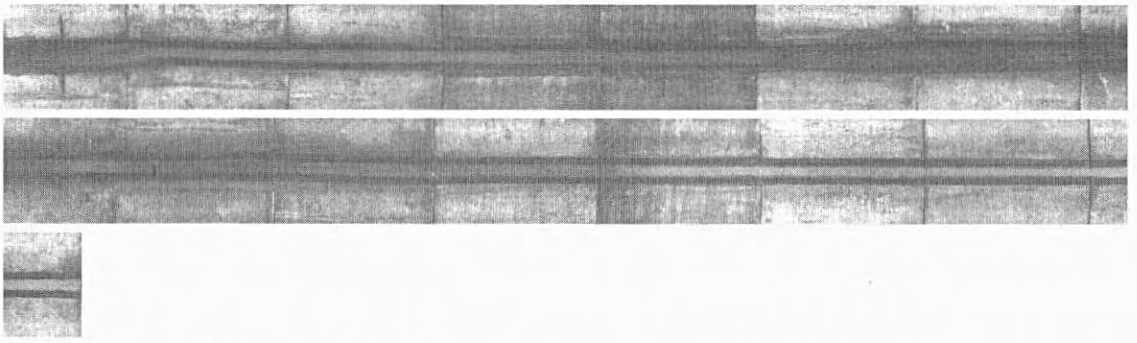
(4) 대전 4구간



<그림 3.90.> 대전 4구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

대전 4구간은 상부에 상업지역으로 구성되어 있었다. 그로 인하여 대전 4구간에 연결관 연결부위가 6개소 존재하고 있지만, 연결관 접합부위는 매우 양호하게 접합이 된 상태였다. 연결관 접합부위와 함께 관파손부위가 1개소 존재하였다. 대전 4구간의 경우는 유하능력이 부족하여 하수가 정체된 구간이 존재하였으며, 정체된 하수의 유지성분이 많은 것으로 사료되어 유지성분의 덩어리가 정체된 것이 발견되었다. 이는 대전 4구간이 상업지구이기 때문에 상업지구에서 배출되는 유지성분이 많은 하수가 유하능력이 부족한 구간을 지나갈 때 정체가 되어 유지성분이 굳어서 나타난 덩어리라고 사료된다.

(5) 대전 5구간

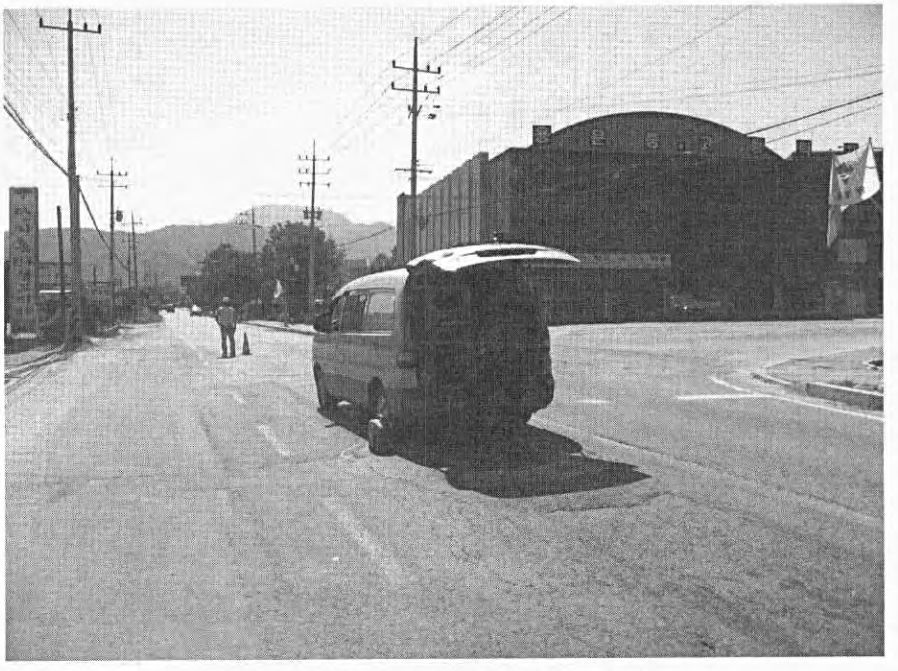


<그림 3.91.> 대전 4구간 DPIM 촬영 결과물(관정절개)

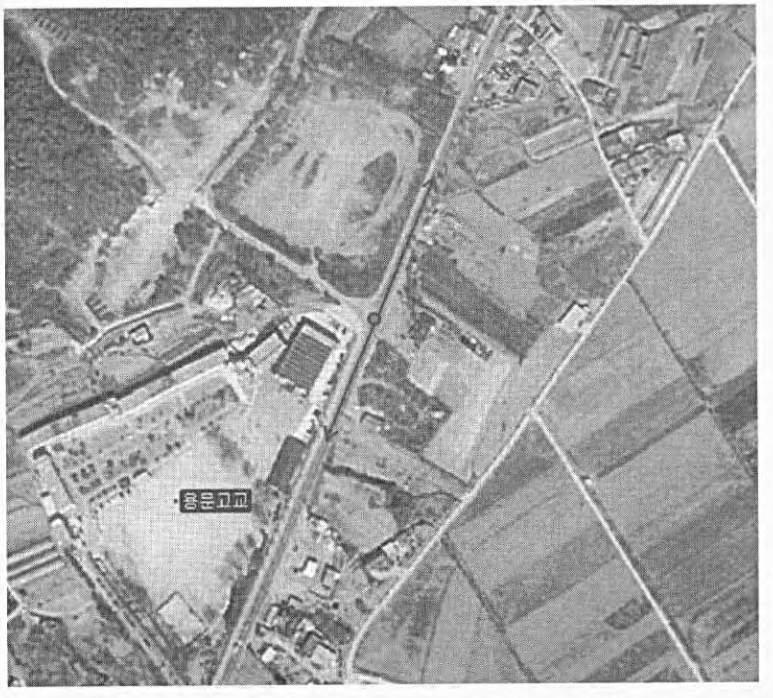
대전 5구간은 대전의 다른 구간과 마찬가지로 관로상태가 매우 양호한 것으로 조사되었다. 대전 4구간은 관경 400mm대상중 제일 말단관으로써 하수량이 다른 구간에 비하여 상대적으로 많이 흐르는 것을 알 수 있었다. 그렇지만 하수량이 많음에도 불구하고 유하능력 부족에 의한 하수고임현상이 없는 것으로 미루어 보아 대전 5구간의 관경사가 적절히 시공된 것으로 사료된다.

4. 용문지역

가. 작업구간 개요



<그림 3.92.> 용문작업현장 전경



<그림 3.93.> 용문작업구간(빨간선) 위성사진

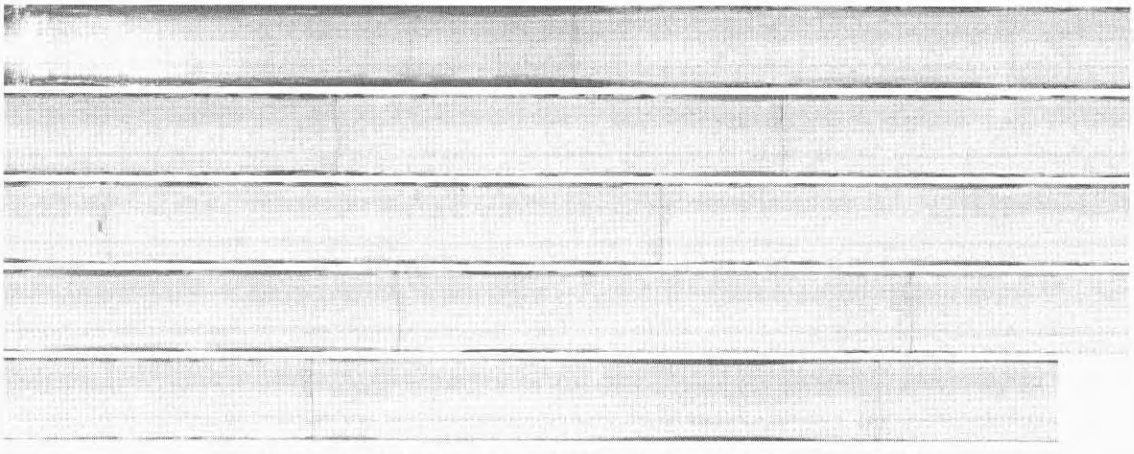
본 연구의 시범사업의 일환으로 경기도 양평군 용문면의 하수관거정비사업의 신규 매설관로에 DPIM-2 장비를 운전하여 신규매설관로의 상태를 알아보며, DPIM-2 장비를 시운전해보고자 하였다.

<표 3.24.>은 용문시범사업에서 DPIM-2를 이용하여 탐사한 현장을 요약한 것이다.

<표 3.24.> 용문시범사업 현장 개요

탐사 현장	경기도 양평군 용문면 마룡리 용문중고 앞
탐사 일시	2008년 09월 18일
탐사 구간 개수	2 구간
탐사 관	관경 300mm PVC 고강성 이중벽관
촬영거리	약 150m
사용장비	DPIM-2 업그레이드

나. 탐사결과



<그림 3.94.> 용문 1구간 DPIM 촬영 결과물(관저절개)

용문구역의 경우 용문 1구간이나 2구간이나 탐사결과가 비슷한 패턴을 나타내기 때문에 <그림 3.84>에 용문 1구간에 관한 촬영 결과물만을 나타내었다.

용문구역의 경우 다른 구역과 달리 DPIM-2의 업그레이드 시작품인 15frame/1sec의 영상물을 취득하여 전개 및 접합을 수행하였다. DPIM-2 업그레이드 시작품을 이용하여 용문구역을 촬영한 결과 영상물의 가독력이 월등히 증가하였다.

용문의 경우 현재 하수관거 정비사업을 진행 중에 있기 때문에 전 구간의 준공을 완료하지는 않았지만, 시공 후 기간이 얼마 지나지 않음과 동시에 앞의 시범지역과는 다르게 관종이 PVC 고강성 이중벽관 이므로 탐사결과는 깨끗하게 나타났다.

5. 시범사업 소결

1. 일산지역

- 준공연도가 1995년도로써 준공 후 13년이 경과한 하수관이므로 전반적으로 하수관의 노후화가 진행되었음.
- 노후화로 인하여 관의 부분 부분이 파손이 일어났으며, 지반침하 등의 영향으로 관의 전체가 파손이 일어난 구간도 상당부분 발견되었음.
- 연결관의 후 처리 미숙으로 외부의 토사 등이 하수관으로 유입되어 하수관내에 퇴적이 발생하는 지점도 발견되었음.

2. 부천지역

- 준공후 약 5년이 경과하였기 때문에 전반적인 하수관상태는 매우 양호하였음.
- 시공시 이음부 처리가 단차등에 의한 자주차의 흔들림이 거의 없었음.

3. 대전지역

- 준공후 약 8년이 경과하였기 때문에 전반적인 하수관상태는 매우 양호하였음.
- 상업지구의 유지성분으로 인하여 하수관내에 유지성분이 덩어리형태로 침전된 구간이 존재하였음.
- 시공시 이음부 처리 미숙 등으로 인한 관파손 부위가 발견되었음.

4. 용문지역

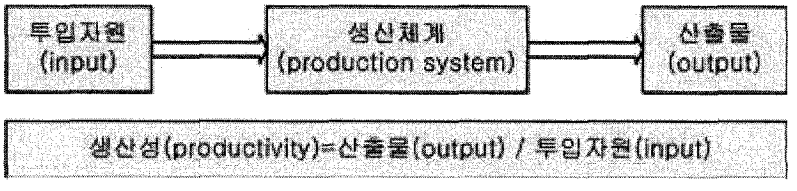
- 업그레이드된 DPIM소프트웨어를 이용하여 촬영한 결과 촬영 결과물에 가독력이 매우 향상됨.
- 신설관 지역이므로 관내 상태는 매우 깨끗하였으며, PCV재질의 하수관에서도 DPIM 시스템의 자주차는 미끄러지지 않고 정상적으로 운전 가능하였음.

제6절 개발장비의 경제성 분석

건설 자동화장비의 성능(performance)이란 생산성, 안전성, 품질, 경제성 등의 측면에서 자동화장비가 갖고 있는 성질이나 기능을 의미하며, 성능평가(performance evaluation)란 자동화장비의 현장실험을 통해 얻은 데이터를 토대로 기존의 재래식 방식과 비교하여 자동화방식의 성능을 분석·평가하는 것이다. 즉, 단순히 개발장비의 현장실험을 통한 기술적 타당성 검토 및 현장적용성에 대한 검토만이 아니라 기존방식과 비교하여 개발장비를 이용한 자동화방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 성능에 대한 다각적 분석 및 평가가 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 DPIM의 생산성 및 품질, 경제적 타당성을 측정·평가하기 위해 현장실험을 바탕으로 데이터를 수집하여 각각의 성능평가를 수행하였다.

1. 생산성측정

생산성의 개념은 일반적으로 투입자원에 대한 산출물의 비로 정의 될 수 있다.

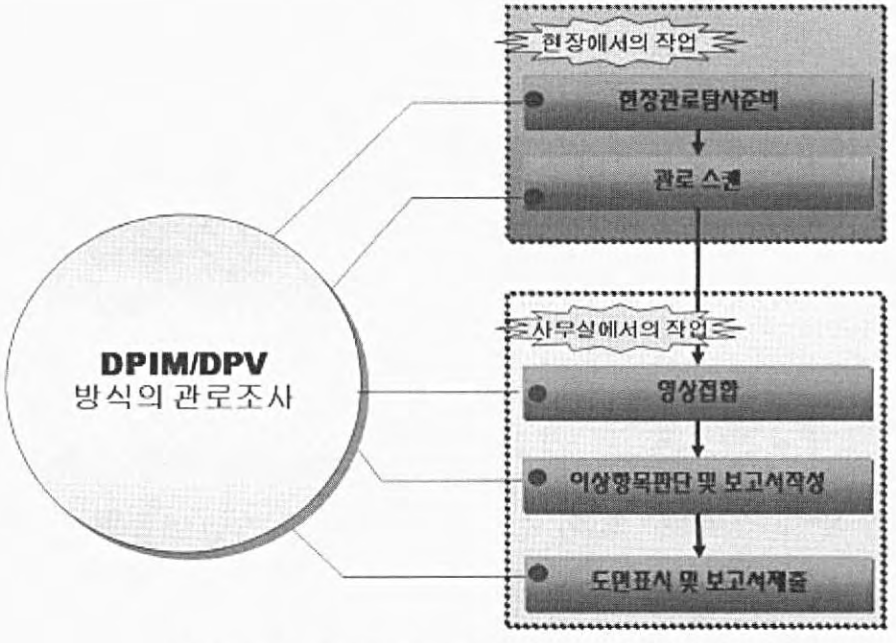


<그림 3.95.> 생산성의 개념 및 정의

위의 그림에서 투입자원은 노동, 장비, 기술, 재료 또는 에너지 등을 의미하며 산출물은 재화 및 서비스로 정의 될 수 있다. 예를 들면, '생산성/노동량(시간)' 또는 '매출액/노동량(임금)' 등으로 노동생산성을 표기 할 수 있다. DPIM 장비의 경우 투입되는 자원과 산출되는 결과물의 분석을 통해 DPIM장비의 생산성을 측정할 수 있으며, 이를 기존 CCTV촬영방식의 생산성과 비교·분석하여 투입자원의 효율적 활용 여부를 판단할 수 있다. 본 연구에서는 DPIM방식의 작업프로세스를 규명하고 이를 바탕으로 DPIM장비의 생산성을 측정하기 위한 생산성 측정 모델 및 데이터 수집방법을 제시하였다.

가. DPIM 방식의 작업 프로세스

기존 CCTV촬영방식의 작업은 크게 현장에서의 작업과 사무실에서의 작업으로 나눌 수 있다. 현장에서의 작업은 '도면현황파악 및 현장답사-현장CCTV촬영-작업일보작성' 와 같은 작업프로세스를 가지고 있다. 사무실에서의 작업은 '영상변환(아날로그→디지털)-영상검토-조사보고서작성(전산입력 및 출력)-도면정리-보고서제출' 의 순서로 작업이 이루어지고 있다. 이에 반해 DPIM 방식의 경우에는 현장에서의 작업과 사무실에서의 작업으로 나누어지는 것은 기존 작업과 동일하다. 세부적으로 작업프로세스를 구분하면, 현장에서의 작업은 '도면현황파악 및 현장답사-관로스캔' 과 같은 작업프로세스를 가지고 있다. 사무실에서의 작업은 '전개영상검토-조사보고서작성-보고서제출' 의 순서로 작업이 이루어지고 있다. 다음 <그림 3.96.> 은 DPIM 방식의 작업프로세스 분석을 나타낸 그림이다.



<그림 3.96.> DPIM 방식의 작업흐름도

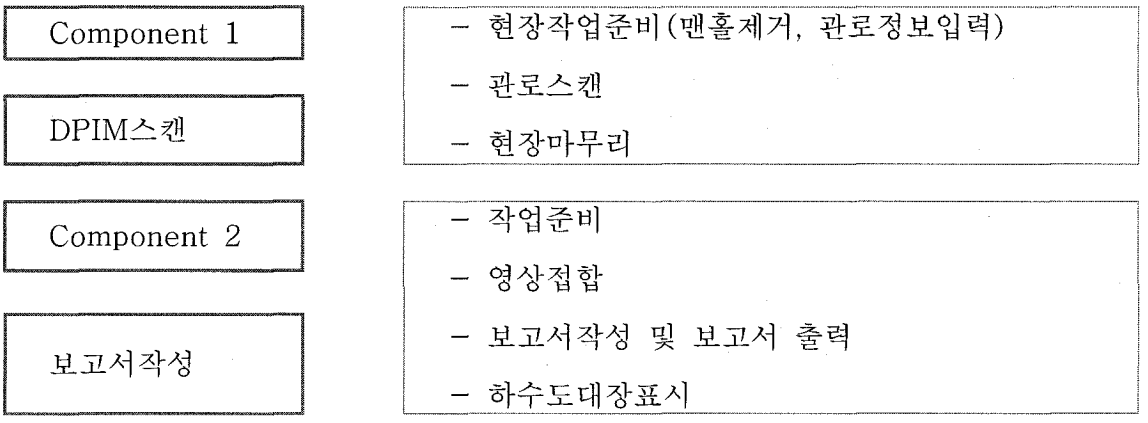
나. 생산성측정 모델 및 생산성측정 데이터 측정방법

본 연구에서는 워크샘플링 기법을 이용하여 작업구간 대비 작업시간을 측정하고 이를 1일 작업시간(8시간)에 작업 가능한 총 관로탐사 물량(길이)을 비교함으로써 CCTV방식과 DPIM 방식의 생산성을 비교·분석하였다.

그러나 두 작업의 방식이 서로 다른 작업환경 및 여건 하에서 수행될 경우 생산성의 비교·분석 결과에 대한 신뢰성 문제가 제기될 수 있다. 따라서 기존 CCTV촬영방식의 생산성 데이터가 측정된 작업환경 및 여건과 가장 유사한 상황하에서 DPIM방식의 생산성 데이터를 측정할 수 있는 생산성 측정 모델 및 생산성 데이터 측정방법을 제시하였다.

■ DPIM 장비의 생산성 측정 모델

DPIM 장비의 생산성 측정 모델은 하수관로탐사를 수행하는 DPIM장비의 행위요소에 따라 다음 그림과 같이 두 가지의 구성요소(component)로 분류되며 이를 기반으로 각 단위작업에 소요되는 작업시간을 측정하였다.



<그림 3.97.> DPIM 방식의 생산성측정 모델의 구성요소

① 현장에서의 관로조사 작업시간(component 1)

현장에서의 관로조사 작업시간은 장비를 반출하고 맨홀제거 및 관로정보 입력등의 작업이 필요한 현장작업준비시간(A1), DPIM장비가 측정대상의 관로의 영상을 스캔하는 데 소요되는 작업시간(A2), 작업이 끝나고 현장을 마무리 하는데 소요되

는 시간(A3)으로 구성되어있다. 이러한 작업시간은 관로의 상태, 관로의 노후도, 장비 운전자의 숙련도 등에 따라 영향을 받을 것으로 분석된다. 다음은 관로조사 작업시간의 산출 식이다.

■ 현장에서의 관로조사작업시간(component1) A = A1 + A2 + A3 식 1.

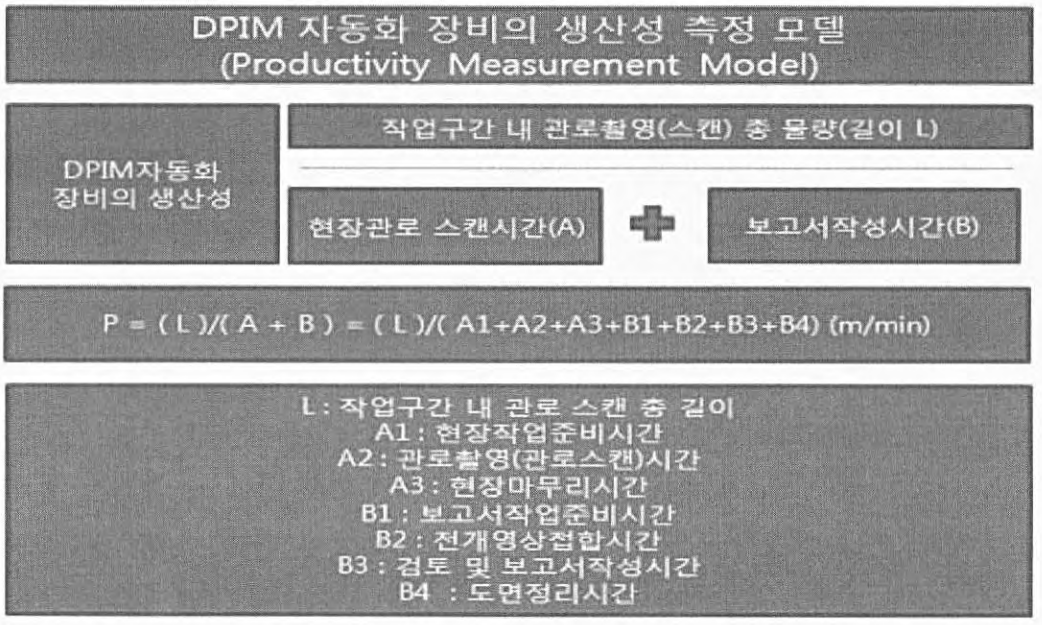
② 사무실에서의 보고서작성 작업시간(component 2)

사무실에서의 보고서작성 작업시간은 현장에서의 관로작업한 내용을 개발프로그램을 사용하여 보고서로 작성하는데 소요되는 시간을 의미한다. 이러한 보고서작성 작업시간에는 외업 결과파일을 불러오는 작업준비시간(B1), 전개영상을 접합하는 시간(B2), 전개영상을 검토하고 조사집계표등을 포함한 보고서를 작성하는 데 소요되는 시간(B3)과 검토가 끝난 구간에 대한 도면정리시간(B4)시간으로 구성되어 있다. 이러한 추가 작업시간은 작업자의 숙련도에 의해 영향을 받을 것으로 분석된다.

■ 보고서작성 작업시간(component 2) B = B1 + B2 + B3 + B4 식 2.

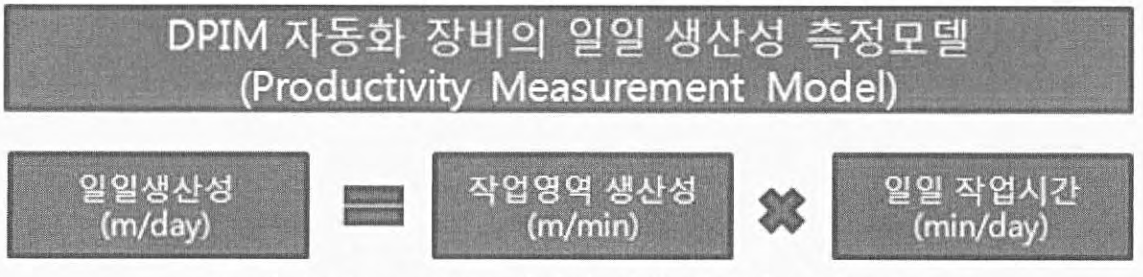
③ DPIM 장비의 생산성 측정 모델(productivity measurement model)

개발된 DPIM 장비의 생산성을 측정하기 위해서는 우선 단위작업구간을 수행하는데 소요되는 시간을 측정하여야 한다. 단위 작업구간에서 관로상태를 조사하는데 소요되는 작업시간은 앞에서 살펴본 각 구성요소를 수행하는데 소요되는 시간 값들의 합으로 산출 될 수 있다. 본 연구에서는 개발장비의 생산성을 측정하기 위해 다음 그림과 같은 생산성 측정 모델을 구축하였다.



<그림 3.98.> DPIM 장비의 작업구간 생산성 측정 모델

생산성 측정 모델에서 측정된 단위 작업 물량당 생산성 결과를 바탕으로 DPIM 장비의 일일 생산성을 산출할 수 있다. 일일 생산성은 단위 작업물량 생산성에서 나타난 단위시간(분) 당 생산성에 일일 작업시간 8시간(480분)을 곱하여 산출된다.



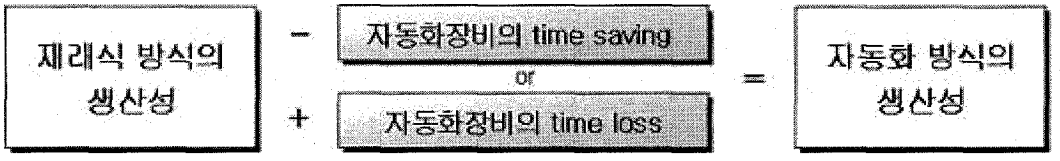
<그림 3.99.> DPIM 장비의 일일 생산성 측정모델

■ DPIM 장비의 생산성 데이터 측정방법

본 연구에서는 개발된 DPIM 장비의 생산성 데이터를 측정하기 위해 건설생산성 측정기법 중 대표적인 기법인 워크샘플링(work sampling)을 선택하였다. 워크샘플링 기법의 기본개념은 대상작업 내에서 이루어지고 있는 세부작업 내용을 작

업(working)과 비작업(non-working)으로 분류·관찰함으로써 작업의 생산성을 측정하고 효율성을 판단하는 것이다. 워크샘플링 기법의 수행과정은 첫째, 작업 전체 또는 세부 공정으로 작업대상을 선정한다. 둘째, 대상작업의 구분 방식을 정하고 각 유형에 속하는 행위를 정의한다. 셋째, 적절한 표본 수를 결정하여 관찰 및 측정을 실시한다. 넷째, 대상작업의 효율성을 측정하여 대상작업을 평가한다.

본 연구에서는 관로조사작업의 소요시간을 측정하기 위해 워크샘플링 기법 중 가장 널리 이용되고 있는 스톱워치(stop watch)법을 이용하였다. 스톱워치법은 작업에 소요되는 시간을 스톱워치를 이용하여 세부 작업별로 측정하는 방법으로, 작업시간 측정이 용이하나 작업시간 측정 시 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다. 따라서 실시간 비디오 촬영 기법을 이용하여 스톱워치법이 가진 문제점을 보완하였다. 이와 같이 관로조사작업에 소요되는 CCTV 방식과 DPIM 방식의 작업시간을 비교하기 위해 작업 구간을 선정하고 위와 같은 스톱워치 기법 및 실시간 비디오 촬영기법을 이용하여 CCTV방식과 DPIM방식의 작업시간을 측정하고 생산성을 산출하였다. 한편, 생산성 데이터는 날씨, 장소, 지반 및 토양, 주변현황, 작업방법, 품질기준, 장비사양, 노무인력의 숙련도 등과 같은 작업 환경 및 여건에 크게 영향을 받는다. 따라서 CCTV 방식의 생산성과 DPIM 방식의 생산성을 비교·분석하기 위해서는 측정된 작업 환경 및 여건에 대한 고려가 선행되어야 한다.



<그림 3.100.> DPIM방식의 생산성 데이터 측정 개념

상기 은 DPIM 방식의 생산성 데이터를 측정하기 위한 개념을 도식화한 것이다. 이는 생산성 데이터 수집 시 작업 환경 및 여건의 차이에서 발생하는 영향요소를 최소화하기 위한 것으로 CCTV 방식의 생산성과 비교하여 DPIM장비의 시간 단축(time saving) 및 시간 지연(time loss) 요소를 고려하면 DPIM방식의 생산성 도출이 가능하다는 개념이다.

따라서 이러한 개념을 바탕으로 관로상태를 조사하는데 있어서 CCTV촬영방식

과 DPIM 방식의 작업시간을 유형별로 분석한 후 동일하게 소요되는 작업시간은 배제하고 상이하게 소요되는 작업시간들 만을 고려함으로써 CCTV 방식과 비교하여 DPIM장비를 이용함에 따라 발생하는 작업시간의 단축(saving)이나 지연(loss)을 측정 할 수 있다. 우선 두 방식의 작업시간 중 도로현황파악 및 현장답사, 작업준비시간 등은 크게 차이가 없을 것으로 판단된다. 즉 CCTV촬영방식에서 현장에 도착한 후 장비를 내리고 간단한 장비점검과 당일 작업구간에 대한 확인 등 간단한 작업준비 및 측정대상 하수관로로의 이동과 안전시설물 설치, 작업종료 후 현장정리 등은 DPIM방식에도 있는 거의 유사 또는 동일한 항목이다. 따라서 이에 소요되는 시간은 동일한 작업환경 및 연건하에서 작업이 수행되면 소요시간은 동일하다. 그러나, 관로를 측정하는 작업시간은 기존 CCTV방식과 DPIM방식간의 작업방법 차이로 인해 상이하다. 기존 CCTV방식은 자주차가 진행하는 동안 관로의 상태를 운전자가 확인하면서 관로의 이상유무를 파악하기위해서 장비를 정지, 카메라 이동 등을 반복하면서 작업하고, 이때 촬영기사는 관로의 이상유무를 체크하고 작업일보를 작성하게 된다. 또한 한 구간의 작업이 끝난후에는 작업일보를 정리하게 된다.

그러나 DPIM장비의 경우에는 개발장비가 관로에 진입한후 장비의 멈춤이 없이 측정관로를 스캔하면서 이동하게 된다. 또한 한 구간의 작업이 끝난후에도 별다른 작업이 이루어지지 않는다.또한 보고서작업에서도 기존 CCTV작업은 '영상변환(아날로그→디지털)-영상검토-조사보고서작성(전산입력 및 출력)-도면정리-보고서제출' 순서로 진행이 되나, DPIM 경우, 스캔되어지는 관로의 영상정보가 당초 디지털로 저장되어지므로 영상변화의 작업을 거치지 않는다.

생산성 측정 방법을 바탕으로 DPIM 장비의 생산성 데이터를 수집하여 생산성을 산출할 수 있으며 CCTV 촬영방식의 생산성과 비교·분석함으로써 DPIM방식의 생산성 향상 효과를 증명할 수 있다.

다. DPIM 장비의 생산성 분석

관로조사 작업의 경우 노무, 장비 등과 같은 자원요소들이 투입됨으로써 작업이 수행되고, 산출물 역시 투입된 자원 요소들간의 조합 효과에 의해 얻어진다. 따라서 CCTV 촬영방식과 DPIM방식의 생산성을 비교·측정하기 위해서는 투입 자원 개개의 생산성을 산출하는 부분 생산성(partial productivity)이 아닌, 투입된 모든

생산요소의 결합효과를 반영하는 종합 생산성(total productivity)을 고려해야 한다. 선행 연구를 통해 CCTV 촬영방식의 생산성 단위를 일당 생산성(m/day 또는 ㎡/day)으로 산출하였다. 일당 생산성은 1일(8시간 기준)동안 노무, 장비 등으로 구성된 한 팀(자원 조합)이 투입되어 관로상태를 측정할 수 있는 작업 생산량을 의미한다. 따라서, 본 연구에서는 선행 연구 결과를 바탕으로 DPIM방식의 생산성도 CCTV 촬영방식과 동일하게 일당 생산성으로 분석하였다.

한편, 생산성 달성 비율(Productivity Achievement Ratio; PAR)의 검토를 통해 DPIM장비를 이용함으로써 CCTV 촬영방식의 생산성을 달성할 수 있는지의 여부와 생산성 향상 정도를 분석할 수 있다. 생산성 달성 비율이란 현재생산성(Actual Productivity; AP)과 획득가능생산성(Obtainable Productivity; OP)의 비로 정의된다.[1] 여기서 현재생산성은 현재 실제로 획득한 생산성을 의미하고 획득가능생산성은 실제로 얻을 수 있는 최대 생산성을 의미한다. 따라서, 본 연구에서는 DPIM 방식의 생산성을 현재생산성으로 설정하고, CCTV 촬영방식의 생산성을 획득가능생산성으로 설정하여 생산성 달성 비율을 산출하였다.

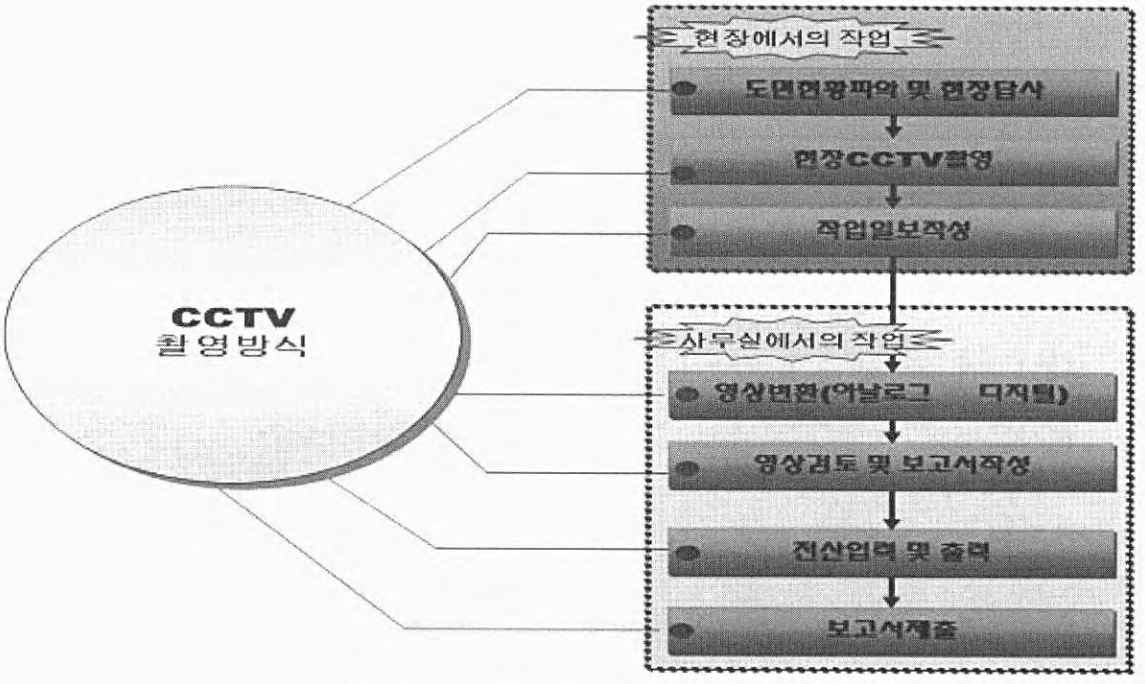
■ 기존 CCTV 촬영방식의 생산성

기존 CCTV 관로조사 작업은 다음 그림과 같이 「작업준비-CCTV촬영-작업일보작성-영상변환-영상검토-보고서작성-도면정리」 작업이 시간의 흐름에 따라 이루어진다. 현장에서의 작업은 작업 전 도면현황파악 및 현장답사를 실시하여, 사전에 작업스케줄 및 촬영순서를 정한다. 이 후 본 촬영을 실시한다. 이때 CCTV 촬영을 위해서는 일반적으로 교통흐름을 통제하기도 한다. 촬영도중 조사자는 자주차를 운전하면서 하수관로의 이상유무를 모니터로 관찰하면서, 이상이 발생한 지점의 화면을 정지한 후, 이상항목을 체크하고, 그 자리에서 현장작업일보를 작성하게 된다. 현장에서의 작업이 끝나면 CCTV 촬영 비디오테이프를 컴퓨터로 이동시키기 위해서 영상변화작업을 거치고, 변환된 디지털 영상과 작업일보를 기초로 해서 사무실에서 다시 한 번 영상을 검토한 후 조사보고서를 작성하며, 마지막으로 작업이 완료된 구간을 도면에 기록하는 작업을 함으로써 전체적인 작업이 끝나게 된다. 따라서 생산성 측정시 현장에서의 관로촬영작업과 사무실에서의 보고서작성작업을 구분한 후 현장작업을 우선 측정한 후 동일 물량을 사무실에서의 보고서작성작업

1) 한국건설기술연구원, 도로면 유지보수 자동화를 위한 원격조정 장비의 개발, 건설교통부, 2004. 8

을 측정하여 더함으로써 기존 CCTV 촬영방식의 생산성을 측정하였다.

본 연구에서는 워크샘플링(work sampling)기법을 이용하여 단위작업구간의 작업물량(길이) 대비 하수관로 상태평가 시간을 측정하고 이를 1일 작업시간(8시간)에 측정 가능한 총 촬영거리로 환산하였다.



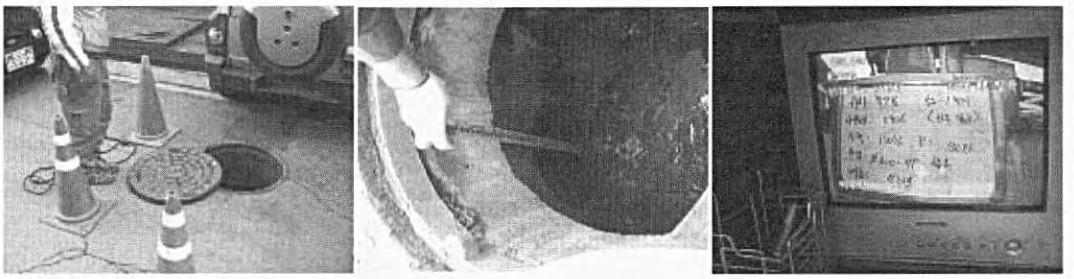
<그림 3.101> CCTV촬영방식의 표준 작업공정

① 1차 현장 생산성 측정-CCTV촬영부분

1차 CCTV 방식의 현장은 안양시내에 있는 ○○시장 주변의 하수관거를 촬영하는 현장이었다. 현장에 대한 기본 사항은 다음과 같다.

<표 3.25> 조사지점 개요

구 분	내 용
일 시	2007. 6. 16.
장소	안양시 소재 ○○시장
총 조사물량	200m (50m/회 × 4회)
조사대상 관거 제원	D800mm, HP, 오수관
작업인원	총 4인 : 시스템조작원 1인, 장비조작원 1인, 안전요원 2인
작업 특징	일반인의 통행이 많은 시장주변으로 안전사고를 대비 공사주변 접근을 제한하였으며, 조사관거가 노후한 오수관으로 자주차 촬영에 많은 시간이 소요되었다.



작업준비　　작업준비-관로높이체크　　관로세부사항입력



C.C.TV 조사　　현장판독　　작업일보작성

<그림 3.102.> 1차 현장실험

생산성 측정은 맨홀과 맨홀사이를 1구간(보통 50m)으로 설정하고, 작업준비부터~현장정리까지의 연속적인 작업들을 세부적으로 분개하여 나눈후 각 작업의 시작시점과 종료시점을 설정하고 데이터를 수집하였다. 다음 표는 1차 CCTV 현장의 생산성 측정 결과를 기록한 것이다.

<표 3.25> 1차 CCTV 촬영방식의 생산성 측정결과-현장 촬영

세부작업	세부작업내용	조사횟수			
		1회	2회	3회	4회
작업준비	맨홀제거, 관거높이, 관거정보입력	7	5	5	10
관거촬영	CCTV촬영 및 이상유무체크	10	11	10	10
작업일보작성	이상유무체크를 현장작업일보에 기재	10	8	8	8
현장마무리	맨홀원위치 및 현장청소	5	5	5	5
소계	총 작업거리(m)	50	50	50	50
	총 소요시간(min)	32	29	28	33
	분당 작업량(m/min)	1.56	1.72	1.79	1.52
	분당 평균 작업량(m/min)	1.64			

작업시간은 단위 물량을 촬영하는데 소요된 시간 즉, 작업준비, 관거촬영, 작업일보작성, 작업마무리에 소요된 시간을 의미한다. 단위 작업물량 생산성은 단위 작업물량(길이m)을 작업 소요시간(min)으로 나누어 산출하였다. 이렇게 측정된 4회의 단위 작업물량의 생산성을 분석해 보면, 거리기준 50m를 촬영하는데 비작업시간(휴식시간 및 작업구간이동시간 등)을 제외하면, 현장 생산성은 평균 1.64m/min이 된다.

② 1차 현장 생산성 측정-보고서작성부분

<표 3.26> 보고서 작성 작업 개요

구 분	내 용
일 시	2007. 6. 20.
보고서 작성물량	약 200m
작업인원	총 2인 : 보고서 작성자 1인, 보조자 1인

도면정리 및 CD저장 작업에서, 본 조사에서는 도면이 있어 도면정리 시간은 3분이 소요되었으나, 도면이 없을 시 약 20분의 소요시간이 걸린다. 보고서 작성작업의 순서는 "보고서작성을 위한 작업준비시간→비디오테이프를 디지털로 변화하는 동영상변화작업→용량변환작업→영상을 보고 이상유무를 캡쳐하여 보고서를 작성하는 작업→작업이 끝난 구간을 도면에 체크하는 작업"등이 순차적으로 이뤄지게 된다. 이때 동영상 변화작업은 실제 CCTV촬영시간과 동일하게 된다. 작업인원은 보고서를 작성하기 위한 프로그램작업자 1인, 사진 캡쳐 및 도면정리 등에 보조자 1인 등 총 2인이 소요된다.

측정된 4회의 단위 작업물량의 생산성을 분석해 보면, 거리기준 총 200m를 보고서로 작성하는데 비작업 시간(휴식시간 등)을 제외하면, 보고서 작성 생산성은 평균 1.96m/min이 소요되었다.

<표 3.27> 1차 CCTV 촬영방식 생산성 측정결과-보고서 작성

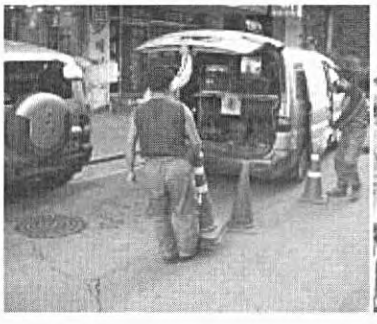
세부작업	세부작업내용	조 사 횟 수			
		1회	2회	3회	4회
작업준비	작업준비단계	2	2	2	2
동영상변환	아날로그-디지털변환	10	10	10	10
용량변환	디지털용량을 축소시키는 작업	5	5	5	5
보고서작성	이상항목 집계표가 포함된 보고서 작성	3	3	3	5
도면정리 및 CD저장	도면이 없는경우 (인터넷으로 도면을 찾을 경우)	5	5	5	5
소계	총 작업거리(m)	50	50	50	50
	총 소요시간(min)	25	25	25	27
	분당 작업량(m/min)	2.0	2.0	2.0	1.85
	분당 평균 작업량(m/min)	1.96			

③ 2차 현장 생산성 측정-CCTV촬영부분

2차 CCTV 촬영방식의 현장은 고양시 행신동에 있는 ○○상가 주변의 하수관거를 촬영하는 현장이었다. 현장에 대한 기본 사항은 다음과 같다.

<표 3.28> 조사지점 개요

구 분	내 용
일 시	2007. 10. 19.
장소	고양시 행신도 소재 ○○상가
총 조사물량	144m (48m/회 × 3회)
조사대상 관거 제원	D600mm, HP, 오수관
작업인원	총 3인 : 시스템조작원 1인, 장비조작원 1인, 안전요원 1인
작업 특징	촬영 대상 관거의 노후화가 많이 진행되어 자주차의 이동이 어려운 구간이었으며, 관거의 약 30% 정도 오수가 흐름



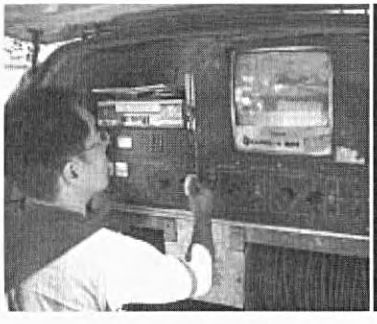
작업준비



관로세부사항입력



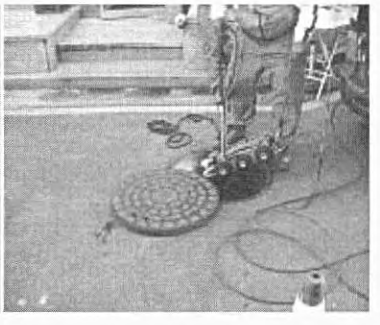
C.C.TV 조사



C.C.TV 조사



현장판독



작업마무리

<그림 3.103.> 2차 현장실험

생산성 측정의 맨홀과 맨홀사이는 48m이었으며, 작업준비에서 현장정리까지의 연속적인 작업들을 세부적으로 분리하여, 각 작업의 시작시점과 종료시점을 설정하고 데이터를 수집하였다. 다음 표는 2차 CCTV 현장의 생산성 측정 결과를 정리한 것이다.

2차 현장 촬영은 총 3회의 수행하였으며, 단위 작업물량의 생산성을 분석해 보면, 48m를 촬영하는데 비작업 시간(휴식시간 및 작업구간이동시간 등)을 제외하면, 현장 생산성은 평균 2.22m/min이 된다.

<표 3.29> 2차 CCTV 촬영방식의 생산성 측정결과-현장 촬영

세부작업	세부작업내용	조 사 횟 수		
		1회	2회	3회
작업준비	맨홀제거, 관거높이, 관거정보입력	4	5	5
관거촬영	CCTV촬영 및 이상유무체크	8	10	9.5
작업일보작성	이상유무체크를 현장작업일보에 기재	4	5	2.5
현장마무리	맨홀원위치 및 현장청소	5	3	4
소계	총 작업거리(m)	48	48	48
	총 소요시간(min)	21	23	21
	분당 작업량(m/min)	2.29	2.09	2.29
	분당 평균 작업량(m/min)	2.22		

④ 2차 현장 생산성 측정-보고서작성부분

<표 3.30> 보고서 작성 작업 개요

구 분	내 용
일 시	2007. 10. 22.
보고서 작성물량	약 144m
작업인원	총 2인 : 보고서 작성자 1인, 보조자 1인

총 3회의 보고서 작성 생산성 분석을 보면, 작업인원은 보고서를 작성하기 위한 프로그램작업자 1인, 사진캡쳐 및 도면정리 등에 보조자 1인 등 총 2인이 소요되었으며, 거리기준 총 144m에 대해서 비작업 시간(휴식시간 등)을 제외하여 보고서 작성 생산성은 평균 2.06m/min이 된다.

<표 3.31> 2차 CCTV 촬영방식 생산성 측정결과-보고서 작성

세부작업	세부작업내용	조 사 횟 수		
		1회	2회	3회
작업준비	작업준비단계	2	2	2
동영상변환	아날로그-디지털변환	8	9	9.5
용량변환	디지털용량을 축소시키는 작업	5	4	4
보고서작성	이상항목 집계표가 포함된 보고서 작성	3	3	3.5
도면정리 및 CD저장	도면이 없는경우 (인터넷으로 도면을 찾을 경우)	5	5	5
소계	총 작업거리(m)	48	48	48
	총 소요시간(min)	23	23	24
	분당 작업량(m/min)	2.09	2.09	2.00
	분당 평균 작업량(m/min)	2.06		

■ 소결(CCTV 방식의 생산성 측정 결과)

2차에 걸쳐 진행된 CCTV 촬영방식 생산성 측정결과 1차 현장의 생산성은 CCTV 촬영1.64m/min, 보고서작성 1.96m/min, 2차 현장 생산성은 CCTV 촬영 2.22m/min, 보고서작성 2.06m/min로 2차 현장의 생산성이 좋은 것으로 나타났다. 이러한 측정 결과는 관거상태 및 작업자의 숙련도에 기인하는 것으로 사료된다. 즉 관거의 노후화 및 관거내 퇴적물 및 오수량에 따라 자주차의 이동속도가 크게 영향을 받으며, 작업자의 숙련도에 따라 관거의 이상유무를 판단하는데 많은 영향이 있기 때문이다.

또한 생산성 측정 시, 작업자와의 면담 결과 작업구간이동 및 자주차의 청소 등 최소 70분에서 최대 120분의 비작업 시간이 발생하는 것으로 조사되었으나 본 생산성 측정과정에서는 비작업 시간을 생략하고 순수 실작업 시간만을 바탕으로 단위 작업 물량의 생산성을 도출하고 이를 일당 생산성으로 환산하였다.

<표 3.32> CCTV 촬영방식 생산성 측정결과

구분	CCTV현장촬영	CCTV보고서작성	평균생산성
1차 측정	1.64m/min	1.96m/min	1.80m/min
2차 측정	2.22m/min	2.06m/min	2.14m/min
작업영역 생산성	1.93m/min	2.01m/min	1.97m/min
일당 생산성	0.93km/day (1.93m/min×8hr/day)	0.97km/day (2.01m/min×8hr/day)	0.95km/day

2차에 걸쳐 측정된 CCTV 방식의 생산성을 1일 8시간 작업을 수행할 경우의 일당 생산성으로 환산하면 아래 표와 같다.

기존 CCTV 촬영방식의 작업은 작업 여건에 따라서 노무자는 최소 5인에서 6인까지 구성되며 1일 8시간의 작업시간 동안 거리기준 평균 0.95km/day(CCTV촬영+보고서작성)의 작업 물량을 수행하는 것으로 조사되었다.

■ DPIM 방식의 생산성 분석

생산성 데이터는 날씨 및 장소, 주변현황 등과 같은 측정 환경이나 기타 여건에 따라 많은 영향을 받는다. 따라서 기존 CCTV 촬영방식과 DPIM 방식의 생산성을 가장 정확하게 측정하기 위해서는 동일한 작업환경 및 연건하에서 관로조사작업이 수행되도록 해야한다. 그러나 기존의 CCTV 촬영방식과 동일한 작업환경 및 여건을 조성하는데 현실적으로 한계가 있으므로 최대한 유사한 작업환경 및 여건을 설정한 후 개발장비의 현장실험을 통하여 DPIM방식의 생산성을 측정하였다.

① 1차 현장 생산성 측정-DPIM

1차 DPIM방식의 현장은 고양시 정발산동에 있는 ○○공원 주변의 하수관거를 촬영하는 현장이었다. 현장에 대한 기본 사항은 다음과 같다.

<표 3.33> 조사지점 개요

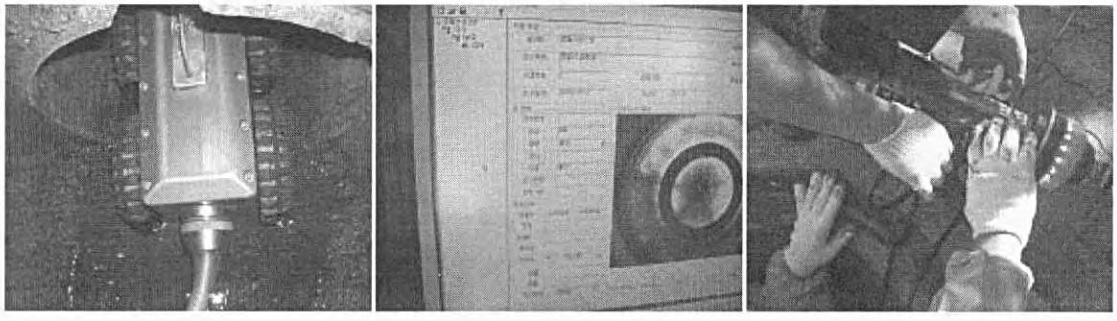
구 분	내 용
일 시	2007. 10. 19.
장소	안양시 정발산동 소재 ○○공원
총 조사물량	200m (50m/회 × 4회)
조사대상 관거 제원	D300mm, HP, 오수관
작업인원	총 3인 : 시스템조작원 1인, 장비조작원 1인, 안전요원 1인
작업 특징	조사대상 관거는 노후관으로 개발장비의 성능실험에 적절함

작업인원은 개발장비의 운전 및 시스템을 조작하는 시스템조작원 1인과 자주차를 준비하고 맨홀제거 및 기타업무를 담당할 장비보조원 1인 및 안전요원 1인 등 총 3인으로 구성되었으며, 작성구간은 50m로 총 4회 측정하였다.

조사는 기존 CCTV 촬영방식 동일하게 촬영할 구간을 확인하고 교통을 통제한 후, 맨홀을 제거하고, 관거높이를 측정하였다. 또한 자주차를 관거에 진입하기 전, 세부적인 관거 사항을 시스템에 입력한 후 본격적인 관거조사를 실시하였다. 현장에서 생산성 측정 후, 현장에서의 취득데이타를 이용하여 사무실에서 보고서 작성 업무를수행하였다.



작업준비　　관로높이체크　　관로세부사항입력



관로스캔시작　　관로스캔　　작업마무리

<그림 3.104.> DPIM 현장실험

<표 3.34> DPIM 방식의 생산성 측정결과-현장 촬영

세부작업	세부작업내용	조 사 횟 수			
		1회	2회	3회	4회
작업준비	맨홀제거, 관거높이, 관거정보입력	5	5	4	5
관거스캔	전체관거스캔	16	19	22	20
현장마무리	맨홀원위치 및 현장청소	5	5	5	5
소계	총 작업거리(m)	50	50	50	50
	총 소요시간(min)	26	29	31	30
	분당 작업량(m/min)	1.92	1.72	1.61	1.67
	분당 평균 작업량(m/min)	1.73			

DPIM 현장조사는 총 4회에 걸쳐서 생산성을 측정하였다

상기의 표에서 작업번호는 생산성을 측정한 DPIM 스캔 단위 작업구간의 작업물량(길이m)의 번호이며, 작업시간은 단위 물량을 촬영하는데 소요된 시간 즉, 작

업준비, 관거촬영, 작업일보작성, 작업마무리에 소요된 시간을 의미한다. 단위 작업물량 생산성은 단위 작업물량(길이m)을 작업 소요시간(min)으로 나누어 산출하였다.

측정된 4개의 단위 작업물량의 생산성을 분석해 보면, 거리기준 총 200m를 스캔하는데 비작업 시간(휴식시간 및 작업구간이동시간 등)을 제외한 실작업 소요시간은 116분 소요되었으며, 따라서 작업물량과 실작업 소요시간을 토대로 DPIM 방식의 현장 생산성은 1.73m/min이 된다.

② DPIM현장 생산성 측정-보고서작성부분

<표 3.35> 보고서 작성 작업 개요

구 분	내 용
일 시	2007. 10. 22.
보고서 작성물량	약 200m(50m/회×4회)
작업인원	총 1인 : 보고서 작성자 1인

DPIM 방식은 CCTV 촬영방식과는 달리 동영상 변환 및 용량 변화 작업등이 없기 때문에 작업자는 보고서를 작성하기 위한 프로그램 작업자가 1인 투입된다. 측정된 4회의 단위 작업물량의 생산성을 분석하면, 거리기준 총 200m를 보고서로 작성하는데 비작업 시간(휴식시간 등)을 제외하면 보고서 작성 생산성은 평균 3.58m/min이 된다.

<표 3.36> DPIM 방식의 생산성 측정결과-보고서 작성

세부작업	세부작업내용	조사 횟수			
		1회	2회	3회	4회
작업준비	작업준비단계	2	2	2	2
영상접합	영상전개 및 전개도면화	1	1	1	1
이상항목 개소판단	DIA를 이용한 이상항목 판단 및 이상항목개소 캡쳐이미지 생성	3	3	4	5
보고서작성	캡쳐이미지를 바탕으로 자동 보고서 생성	3	2	2	2
도면정리 및 CD저장	보고서 CD저장, 영상접합물 CD저장	5	5	5	5
소계	총 작업거리(m)	50	50	50	50
	총 소요시간(min)	14	13	14	15
	분당 작업량(m/min)	3.57	3.85	3.57	3.33
	분당 평균 작업량(m/min)	3.58			

■ 소결(DPIM 방식의 생산성 측정 결과)

DPIM 방식 생산성 측정결과 현장의 생산성은 1.73m/min, 보고서 작성 생산성은 3.58m/min 나타났다.

DPIM 방식의 생산성을 1일 8시간 작업을 수행할 경우의 일당 생산성으로 환산하면 다음 표와 같다.

<표 3.37> DPIM 방식의 생산성 측정결과

구분	DPIM관거스캔	DPIM보고서작성	평균생산성
작업영역 생산성	1.73m/min	3.58m/min	2.66m/min
일당 생산성	0.83km/day (1.73m/min×8hr/day)	1.72km/day (3.58m/min×8hr/day)	1.27km/day

생산성 결과를 바탕으로 일일 생산성 측정모델을 활용하여 일일 생산성으로 환산하면 거리기준 1.27㎞/day가 산출되었며, CCTV 촬영방식 생산성 거리기준 0.95㎞/day와 비교하면 0.32㎞/day 이상으로 분석되었다. 이를 토대로 DPIM 방식의 생산성 달성 비율(PAR)을 산출하면 다음과 같다.

- 생산성 달성 비율(Productivity Achievement Ratio; PAR)
  = Actual Productivity(AP) ÷ Obtainable Productivity(OP)
  = 1.27 ÷ 0.95 =134(%)

생산성 달성 비율을 분석한 결과, 현재 생산성(DPIM 방식의 생산성)대비 획득 가능한 생산성(CCTV 촬영방식 생산성)이 134%인 것으로 분석되었다. 이는 CCTV 촬영방식을 DPIM 방식으로 대체할 경우 34%의 생산성 향상 효과를 얻을 수 있는 것을 의미한다.

2) 품질 분석

아래의 표는 현장에서의 작업 시 CCTV촬영작업과 DPIM장비를 사용 시 향상되어지는 부분을 설명하고 있다.

<표 3.38.> CCTV와 DPIM방식 비교-현장작업시

현장에서의 작업시	CCTV 관측	DPIM
이상 상황 발견 시	운행을 멈추고 카메라를 돌림. 사용자는 이상 상황을 기록	이상상황 발생에 관계없이 지속적으로 운행 계속함
운행중 관내 이물질로 인하여 관측이 중단되었을 경우	다른 쪽 맨홀에서 다시 관측 시작. 두 개의 다른 데이터 생성	다른 쪽 맨홀에서 다시 관측 시작. 두 개의 데이터를 하나로 통합하여 하나의 scan으로 보이게 함.
사용자의 숙련도에 따른 생산성	사용자의 숙련도에 따라서 이상유무를 빠르게 관측	사용자의 숙련도에 관계가 없는 일관성 있는 생산성

또한 보고서 작성에서도 기존 CCTV 작업의 경우 현장조사자의 기술수준에 전적으로 의존해서 작성된 작업일보를 기준으로 하기 때문에 보고서 작성 시 오류 및 누락이 발생할 수 있으며, 높은 수준의 품질을 확보하지 못하는 것으로 조사되었다. 하지만 DPIM 방식은 균일한 품질을 확보할 수 있으며, 현장 작업이 기초로 이용되지 않으므로 작업자의 집중력이 향상 되는 것으로 조사되었다. 아래 표는 보고서 작성에 있어, 기존 CCTV 작업과 DPIM 작업시 향상되어지는 부분을 설명하고 있다.

<표 3.39.> CCTV와 DPIM방식 비교-보고서작성시

사무실에서의 작업	CCTV 보고서 작성	DPIM를 이용한 보고서 작성
보고서의 정확성	현장 CCTV 엔지니어의 기술수준에 전적으로 의존. 재검토 가능하나 현장 데이터 수집시의 상황을 극복하지 못함.	실질적인 상태평가는 사무실에서 이루어지므로, 높은 품질 기대됨.
보고서 작성의 효율성	A1-pro를 이용할 경우 간편함	국내 표준으로 사용되고 있는A1-Pro와 유사한 보고서 자동 작성

3) 경제적 타당성 분석

DPIM 장비의 경제적 타당성이 확보되지 않으면 생산성, 안전성, 품질 등이 CCTV 방식보다 월등히 우월하더라도 DPIM 장비의 연구개발을 지속하기가 곤란하며 DPIM장비의 개발이 완료된 후일지라도 이를 상용화하여 실제 작업에 도입하기에는 현실적으로 어려움이 따른다. 따라서 경제적 타당성 분석을 통해 CCTV 방식과 비교하여 DPIM 방식의 우위를 입증하는 것은 성능평가에 있어서 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

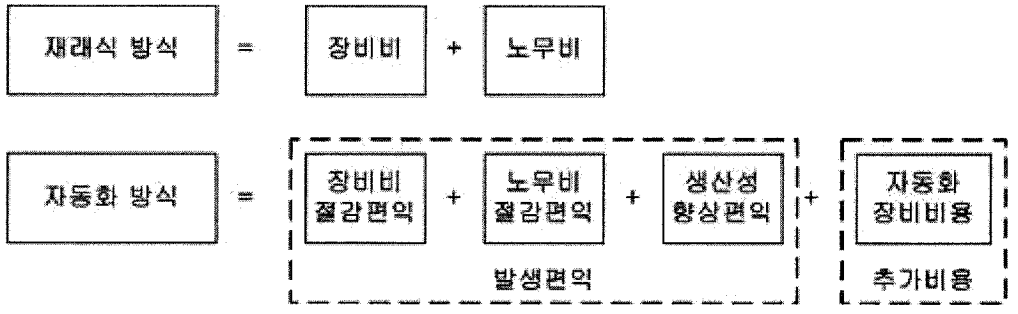
일반적으로 DPIM 장비의 경제적 타당성 분석은 기존 재래식 방식과 비교하여, DPIM 장비를 활용함으로써 추가적으로 소요되는 비용(costs)과 발생하는 편익(benefits)간의 비교·분석을 실시하고 이를 통해 DPIM 장비의 경제적 우위를 증명하여 장비 개발의 타당성을 입증하는 것이다. 그러나 DPIM 장비의 추가 비용 및 발생 편익을 분석하는데 있어서 모든 경제적인 고려요소를 파악하여 CCTV 방식과 비교하는 것은 현실적으로 많은 어려움이 수반된다. 또한 경제적 타당성 분석 방법 및 과정은 DPIM 장비 사용주체나 운용방법에 따라 다르게 계획 될 수 있으며, DPIM 장비의 개발 목표와 투자자의 경제성 분석 시나리오에 따라 그 분석 결과가 달라질 수 있다. 따라서 개발 초기에 설정되었던 DPIM 장비의 개발 관점에 비추어 합리적인 수준에서 분석 계획을 수립하고, 분석과정을 수행하는 것이 바람직하다.

따라서 본 장에서는 DPIM 장비를 도입할 경우, 하수관거탐사업체가 얻게 될 경제적 편익과 국가 차원의 사회적 파급효과 및 그 편익을 분석함으로써 개발장비의 경제적 타당성을 분석하고자 한다.

① 경제적 편익분석

경제적 편익을 분석하기 위하여 본 연구에서는 하수관거탐사 시공업체가 개발된 DPIM장비를 구입하여 기존의 CCTV방식으로 수행하던 작업을 레이져스케너를 이용한 DPIM 장비로 대체 수행하는 것으로 가정하고, DPIM장비를 도입함으로써 발생할 수 있는 추가비용 및 편익의 비교 · 검토를 통해 경제적 타당성 분석을 수행하였다.

본 장에서는 기존의 CCTV 방식과 DPIM 방식에서 발생되는 비용 및 편익의 유형을 아래 그림과 같이 비교·분석하였다.



<그림 3.105.> CCTV방식과 DPIM방식의 비용 및 편익유형분석

CCTV 방식과 비교하여 DPIM 방식의 경우 노무비절감 및 생산성 향상 편익이 발생하고 DPIM 장비 제작비용 및 유지보수 비용 등이 추가로 소요되는 것으로 분석되었다.

한편, 하수관거탐사에 소요되는 자재의 경우 CCTV 방식에서는 비디오테이프, DPIM 방식에서는 메모리가 주요한 자재로 사용되고 있으나 소요 비용이 크지 않은 것으로 조사되었다. 그리고 일반적으로 소요되는 운용비용(유류비 등) 및 기타 비용(식대, 보험료 등) 등이 발생할 수 있다. 그러나 전체 비용에 크게 영향을 주지 않을 정도로 미미한 비율을 차지하므로 본 장에서는 운용비용과 기타비용을 고려하지 않았다. 또한 DPIM 방식의 경우 노무인원 절감 등 생산성 향상과 같은 가시적 편익이외에 품질 향상 등의 비가시적인 편익도 발생하나, 이를 정량화 하여 경제적 가치로 환산하는 것은 많은 어려움이 있으므로 경제적 타당성 분석에서 고려하지 않았다.

따라서 본 장에서 고려한 DPIM방식의 추가비용은 장비제작 비용과 유지보수 비용으로 구성되어 있고, 발생 편익은 노무비 절감 등 생산성 향상에 따른 가시적인 편익으로 구성되어 있다.

■ 경제적 분석을 위한 변수 및 가정 설정

경제성 분석이란 DPIM 장비를 이용함으로써 얻을 수 있는 편익과 추가적으로 투입되는 비용을 분석함으로써, DPIM 장비로부터 획득될 수 있는 경제적 효과들을 검토하는 것이다. 한편, 연구 단계에서의 경제성 분석은 DPIM 장비의 상용화 이후 축적된 경제성 데이터들을 토대로 이루어지는 과정이 아니므로, 경제성 데이터의 수집범위 및 활용방법의 결정에 있어 상당한 제약이 수반된다. 따라서 경제성 분석을 위한 변수 및 가정의 설정이 요구되며, 이러한 변수 및 가정은 연구개발의 고유한 특성 및 DPIM 장비와 관련된 경제적 환경요소에 따라 달라질 수 있으므로 변수 및 가정 설정 시 보편·타당한 논리적 근거를 확보해야 한다.

DPIM 장비의 경제성 분석을 위해 DPIM 장비의 제작비용 및 예상수명, 연간 유지보수 비용, 연간 작업 가능일수, DPIM 장비 도입에 따라 절감되는 노무비용 및 장비비용, 최소기대수익률 등을 변수 및 가정으로 설정하고 각각의 변수 및 가정에 논리적으로 타당한 근거를 제시하였다.

① 장비 제작비용

DPIM 장비의 제작비용은 장비 개발업체와의 협의를 통해 DPIM 장비 1대를 제작하는 경우를 기준으로 각 주요 부위별로 소요되는 가격을 파악하여 다음 표와 같이 총 30,000,000원이 산출되었으며, 향후 향후 DPIM 장비를 대량 생산하게 될 경우 제작비용은 더욱 낮아질 것으로 예상된다.

<표 3.40> DPIM 장비 1대의 제작비용

주요 부위	세부 구성요소	비용(원)
컨트롤러부	휠센서부, 주장치, 센서 프로그램, 권취기, 자동정열기	10,820,000
영상인식부	산업용컴퓨터, 모니터 등	4,092,000
영상제어부	렌즈, 카메라 등	5,080,000
자주차부	자주차 및 바퀴휠, 조명장치	10,108,000
총 제작비용(DPIM 장비 1대 기준)		30,000,000

② DPIM장비의 내구연한

DPIM 장비의 내구연한은 개발업체와 제작자 및 전문가와 인터뷰 결과, 보통 10년 이상인 것으로 파악되었으나, 하수관거탐사 작업이라는 특수성과 수중작업 등 악조건하에서 수행된다는 특성을 감안하여 DPIM 장비의 예상수명을 10년으로 가정하였다.

통상 하수관거 탐사용 CCTV 장비는 고가이므로 한번 구매시 소모품 규체 및 고장시 부품 교체 등을 통하여 거의 반영구적으로 사용하고 있다. 또한 일반 기계류의 내구 수명은 보통 20년으로 파악되었으며, 자동차와 같은 기술적 진보가 빠른 장비의 경우도 10년은 무난히 사용하고 있으므로, 본 DPIM 장비의 소모품 교체, 광학렌즈부의 부품 교체, 컴퓨터 업그레이드 등을 통하여 충분히 10년은 사용가능할 것으로 판단된다.

또한, 예상수명 이후의 처분가치(salvage value) 및 잔존가치(remaining value)는 없는 것으로 가정하였다.

③ 연간 유지보수 비용

DPIM 장비 개발단계에서의 경제성 분석을 실시함에 있어, 연간 유지보수 비용은 예상되는 장비의 수명(life cycle)을 기준으로 경과년도 별로 차등 적용하는 것이 일반적이다. DPIM 장비의 연간 유지보수 비용은 예상수명 10년을 기준으로 1~5년간은 장비 제작비용의 5%, 6~10년간은 감가상각에 따라 추가적으로 소요되는 비용을 감안하여 장비 제작비용의 10%로 설정하였다.

④ 연간 작업가능 일수

하수관거탐사 전문시공업체와의 인터뷰 결과, 연간 작업 가능일수는 180~240일인 것으로 조사되었다. 그러나 하수관거탐사 작업의 연간 작업 가능일수는 건설 경기변화에 따른 공사 물량의 지속성 및 시공업체 규모, 동절기와 우기 등의 작업여건 및 환경에 따라 영향을 받을 수 있으므로 연간 작업 가능일수의 정확한 산정에는 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 180~240일 중 하수관거탐사 작업이 가능한 연간 작업 가능일수를 최소 작업일수인 180일로 추정하여 경제성 분석을 실시하였다.

⑤ 노무인원

현장조사 결과 CCTV 방식의 경우 노무인원은 최소 5인에서 최대 7인까지 소요되는 것으로 조사되었으나 본 검토에서는 최소 인원인 6인을 기준으로 시스템조작원(CCTV촬영담당 및 작업일보작성)-1인, 장비보조원(자주차준비 및 맨홀제거 등)-1인, 안전요원(운전포함)-1인, 보고서작성자-1인, 보고서작성 보조자(화면캡쳐 등)-1인으로 설정 하였다. 따라서 DPIM 장비의 활용을 통해 기존 CCTV 촬영작업에 투입되는 5명의 노무자 중 보고서적성 보조자 1명을 절감할 수 있을 것으로 기대되며, 이로 인한 노무비 절감액은 대한건설협회에서 매년 상·하반기에 발표하는 '2004년 상반기 적용 건설업 임금실태 조사 보고서' 중 건설기계운전기사, 보통 인부의 시중노임 단가를 적용하여 다음 표와 같이 산출되었다.

<표 3.41> CCTV방식과 DPIM방식의 노무비용 비교

구 분	CCTV방식			DPIM방식		
	인원(명)	단가(원)	비용(원)	인원(명)	단가(원)	비용(원)
system 조작원	1	108,828	108,828	1	108,828	108,828
장비보조원	1	79,518	79,518	1	79,518	79,518
안전요원	2	50,683	101,366	2	50,683	101,366
보고서 작성자	1	79,518	79,518	1	79,518	79,518
보조원	1	50,683	50,683	-	-	-
소계	6	-	419,913	5	-	369,230
419,913 - 369,230 = 노무비 50,683원 절감						

⑥ 투입 장비비

CCTV 방식의 경우 투입되는 주요 장비로는 승합차 및 CCTV 자주차, 녹화장비 등이 있으며 DPIM 방식의 경우 승합차 및 DPIM 및 컨트롤러 등 CCTV 방식과 비교했을 시 개발장비를 제외한 별도의 장비는 투입되지 않는다. 따라서 CCTV 방식에 투입되는 주요 장비와 DPIM 방식에 투입되는 주요 장비는 같다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 투입장비비에 대한 금액을 같다고 가정하였다.

<표 3.42.> CCTV방식과 DPIM방식의 장비비용 비교

CCTV방식				DPIM방식			
구분	댓수	단가(원)	비용(원)	구분	댓수	단가(원)	비용(원)
조사차량	1	7,486	7,486	조사차량	1	7,486	7,486
CCTV 촬영장비	1	205,800	205,800	DPIM 장비	1	205,800	205,800
컴퓨터	1	2,676	2,676	컴퓨터	1	2,676	2,676
합계			215,962	합계			215,962

⑦ 최소기대수익률(Minimum Attractive Rate of Return; MARR)

최소기대수익률은 기업이나 개인이 투자한 자금에 대하여 수입으로써 받아들일 수 있는 최소한의 수익률로써 기업의 투자나 자산 획득에 있어 의사결정의 기준이 된다. 건설자동화장비 개발단계에서 경제성 분석을 실시함에 있어 연간 유지보수 비용은 예상 장비수명을 기준으로 경과년도 별로 차등 적용하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 DPIM 장비의 연간 유지보수 비용은 예상수명을 10년을 기준으로 1~5년은 장비 제작비용의 5%, 6~10년은 감가상각에 따라 추가적으로 소요되는 비용을 감하였을 때 장비제작비용의 10%로 설정하였다. 또한 기존의 하수관거탐사장비(CCTV 장비)경우도 연간 유지보수 비용은 DPIM 장비와 동일한 것으로 조사되었다. 개발초기단계에서 하수관거탐사 전문시공업체와의 인터뷰 결과, DPIM 장비의 도입을 통해 얻고자 하는 최소기대수익률이 10~20%인 것으로 조사되었으나 본 연구에서는 최소기대수익률을 10%로 가정하였다.

본 검토에서는 상기와 같은 경제성 분석을 위한 변수 및 가정 설정을 토대로 DPIM 방식의 경제적 타당성 분석을 수행하며, 기타 경제성 요소(인플레이션, 노무임금 상승률 등)는 고려하지 않았다.

다음은 경제성 분석을 위해 본 연구에서 설정한 변수 및 가정을 정리한 것이다.

■ 하수관거탐사 시공업체가 DPIM 장비 1대를 활용하여 지속적으로 작업을 수행하는 것으로 가정

■ DPIM 장비 1대 제작비용 :30,000,000원

■ DPIM 장비 예상수명 : 10년

■ DPIM 장비 연간 유지보수 비용 : 1~5년간 제작비용의 5%, 6~10년간 제작비용의 10%

■ DPIM 연간 작업 가능일수 : 180일

■ DPIM 장비 도입에 따른 노무절감 인원 : 1명

■ 1일 노무비 절감액 : 50,683원

■ 1일 장비비 절감액 : 0원

■ 최소기대수익률(MARR): 10%

■ 경제성 분석

본 장에서는 변수 및 가정 설정을 토대로 하여 연간 발생편익 분석, 편익/비용 비율 분석, 순이익 분석 및 공사비 절감율 분석, 수익률 분석, 손익분기점 분석 등의 경제적 분석을 실시하였다. 또한 경제성 분석결과에 중대한 영향을 미칠 수 있는 변수 및 가정의 경우에는 민감도 분석을 통해 신뢰성을 보완하였다.

① 연간 발생편익 분석

현장실험을 통한 생산성 측정결과, CCTV 방식은 거리기준 0.95km/day, DPIM /DPV 방식은 1.28km/day의 생산성 결과가 도출되었으며, 변수 및 가정설정 단계에서 연간 작업가능 일수를 180일로 추정하였다. 따라서 하수관 관거탐사 시공업체가 CCTV 방식으로 연간 작업할 수 있는 관거탐사물량이 171km이고, 시공업체가 DPIM 장비를 이용하여 같은 물량을 제거 할 경우 135일(= 171km ÷ 1.27km/day) 만에 동일 물량을 촬영할 수 있다.

일일 작업 투입비용 분석결과, 장비비의 경우 투입이 배제되는 장비가 생기고 노무비의 경우 작업 투입인원이 서로 상이하므로 CCTV 방식과 DPIM 방식 간에 일일 작업투입비용 차이가 발생한다. 즉, DPIM 방식이 CCTV 방식에 비해 노무비 50,683원을 절감할 수 있다. 또한, 연간 동일 물량(171km)의 하수관거촬영을 수행하는 경우 생산성 차이로 인해 CCTV 방식은 180일, DPIM 방식은 135일이 소요되므로 연간 작업투입비용의 차이가 발생한다. CCTV 방식과 DPIM 방식의 연간 작업투입비용을 비교·분석하면 다음 표와 같다.

<표 3.43> 기존 CCTV 방식과 DPIM 방식의 연간 작업투입비용 비교·분석

CCTV방식(연간 180일 작업)			DPIM 방식(연간 135일 작업)	
구분	일일 작업 투입비용(원)	연간 작업 투입비용(원)	일일 작업 투입비용(원)	연간 작업 투입비용(원)
장비비	215,962	38,873,160	215,962	29,154,870
자재비	동일		동일	
노무비	419,913	75,584,340	369,230	49,476,820
계	-	114,457,500	-	79,000,920
DPIM 장비 도입에 따른 연간 발생편익 = 114,457,500 - 79,000,920 = 35,456,580원				

상기 표와 같이 CCTV 및 DPIM 방식간의 연간 작업투입비용 비교·분석을 통해 DPIM 장비 도입에 따른 연간 발생편익 35,456,580원을 산출하였다. 그 발생편익의 세부요소는 다음 표와 같다.

<표 3.44> DPIM 방식 도입에 따른 연간 발생편익 구성

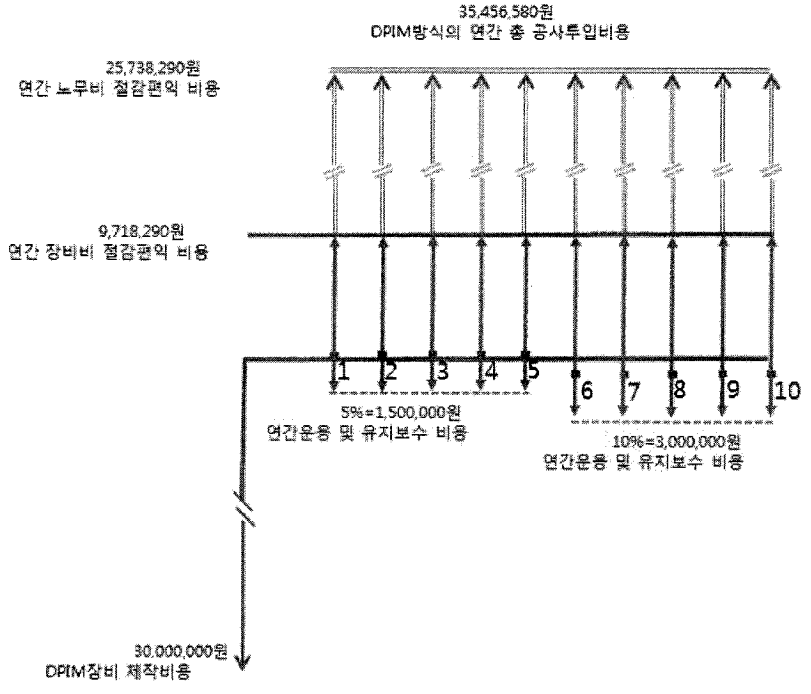
발생편익 구성	산출식	편익(원)
노무비절감 편익	= 419,913원×180일 - 369,230원×135일	25,738,290
생산성향상 편익	= 215,962원×180일 - 215,962원×135일	9,718,290
연간 발생편익 합계		35,456,580

상기 표와 같이 연간 발생편익은 크게 노무비절감 편익과 생산성향상 편익으로 구분될 수 있다. 노무비절감 편익은 CCTV 방식과 비교하여 DPIM 방식에 의해 획득되는 노무인력 절감효과에서 발생하며, 생산성향상 편익은 연간 작업일수를 단축함으로써 획득되는 장비 사용일수 단축 즉, 장비비 절감효과에서 발생한다.

② 편익/비용비율 분석(Benefit/Cost Ratio Analysis) 및 순이익 분석

DPIM 방식의 추가비용을 고려하지 않고 발생편익만으로 경제적 타당성을 분석할 수 없으므로 DPIM 장비 도입에 따른 연간 발생편익(36,041,772원)과 DPIM 장비의 연간 추가비용을 상호 비교·분석하였다.

DPIM방식의 연간 추가비용은 DPIM 장비 제작비용과 연간 유지보수 비용으로 이루어진다. 변수 및 가정에서 DPIM 장비 1대 제작비용은 약 30,000,000원, 연간 유지보수 비용은 1~5년간 1,500,000(제작비용의 5%), 6~10년간 3,000,000원(제작비용의 10%)이 소요되고 예상수명 10년이 경과한 후 DPIM 장비의 처분가치 및 잔존가치는 없는 것으로 설정하였다. 다음 그림은 DPIM 방식의 연간 추가비용과 발생편익을 함께 나타낸 현금 흐름도(cash flow diagram)이다.



(그림 3.106) DPIM 방식의 현금흐름도

편익/비용 비율(benefit/cost ratio) 분석이란 투자 대안에 따라 발생하는 편익의 현재가치(PW; Present Worth)와 소요되는 비용의 현재가치와의 비율 즉, 편익/비용 비율을 구하여 경제적 채산성을 판단하는 일반적인 경제성 분석방법이다. 발생편익이 소요비용보다 클 경우 즉, 편익/비용 비율이 1보다 클 경우 그 투자 대안은 충분히 경제적 타당성이 있다고 판단할 수 있다.

DPIM 방식의 경제성 분석을 위해 현금 흐름도를 바탕으로 편익/비용 비율을 산출하면 다음 식 3.~ 5.와 같다.

■ 발생편익의 현재가치(PW of benefits) 식 3.

= 35,456,580(P/A,10%,10)[2] = 35,456,580 × 6.1446

= 217,866,502원

■ 추가비용의 현재가치(PW of cost) 식 4.

= 30,000,000 + 1,500,000(P/A,10%,5)

+{3,000,000(P/A,10%,10) - 3,000,000(P/A,10%,5)}

= 30,000,000 + 3,000,000(P/A,10%,10) - 1,500,000(P/A,10%,5)

= 30,000,000 + (3,000,000 × 6.1446) - (1,500,000 × 3.7908)

= 42,747,600원

■ 편익/비용 비율(Benefit/Cost Ratio) 식 5.

= PW of benefit ÷ PW of cost = 217,866,502 ÷ 42,747,600

= 5.10 > 1

편익/비용 비율 분석 결과, 편익/비용 비율이 1보다 큰 5.10이 산출되었다. 따라서 DPIM 장비를 도입하는 경우 추가 소요되는 비용보다 발생되는 편익이 더 크므로 경제성을 확보할 수 있으며, 순이익이 발생함을 알 수 있다. 또한 DPIM 장비를 도입하여 내구연한(10년)동안 운용함으로써 얻어지는 순이익의 현재가치(NPW; Net Present Worth)를 계산해보면 다음 식 6.과 같다.

■ 순이익의 현재가치(NPW) 식 6.

= PW of benefits - PW of cost = 217,866,502 - 42,747,600

= 175,118,902원

---

2) P = A(P/A, i, n)
P : 현재가치(PW)
i : 최소기대수익률(MARR)

(P/A, i, n) = $[\{(1+i)^n-1\}\div\{i\times(1+i)^n\}]$: 현가계수
A : 연차 동일액 (Annual Cost)
n : 연(年)수

상기 식 6.과 같이 순이익 분석 결과, 현재가치로 175,118,902원의 순이익이 발생함을 알 수 있다. 즉, CCTV 방식을 DPIM 방식으로 대체하는 경우 DPIM 장비를 이용하는 10년간 현재가치로 총 175,118,902원의 비용을 절감할 수 있을 것으로 분석되었다.

또한, 10년 동안 매년 발생하는 순이익을 계산하기 위해 DPIM방식의 추가비용을 연간 등가가치(AW; Annual Worth)로 환산하면 다음 식 7.과 같다.

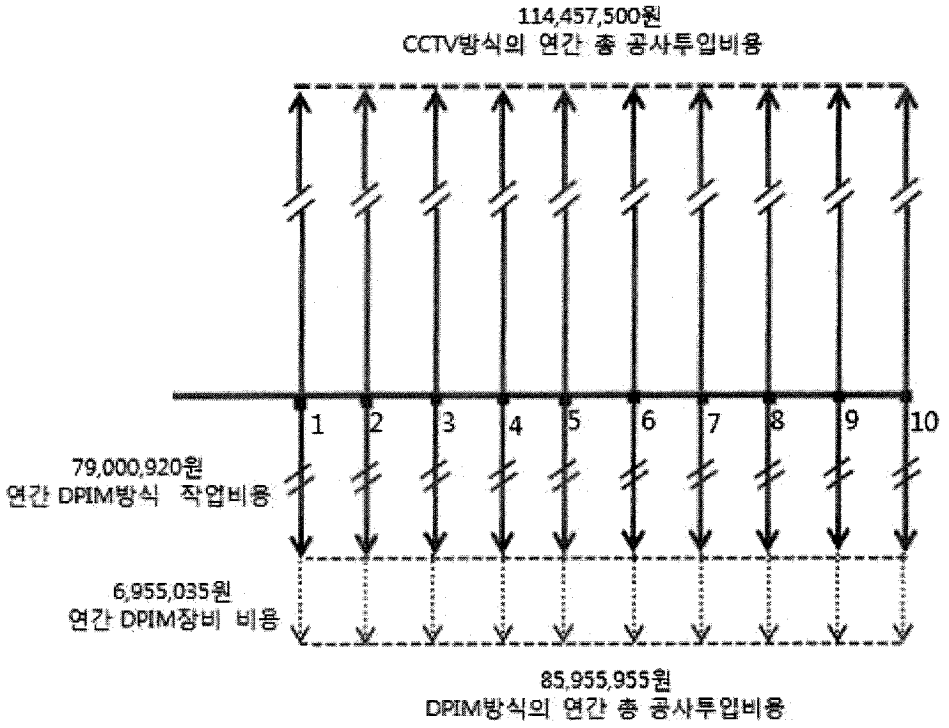
■ 추가비용의 연간 등가가치(AW of cost) 식 7.

= 42,747,600(A/P, 10%, 10)[3] = 42,747,600 × 0.1627

= 6,955,035원

상기 식 7.에서 추가비용의 연간 등가가치를 산출한 결과, DPIM 방식의 경우 매년 6,955,035원의 추가비용이 10년 동안 등가로 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 이를 연간 소요되는 DPIM 장비 추가비용으로 산정하고, CCTV 방식과 DPIM 방식의 연간 총 공사투입비용을 현금 흐름도로 나타내면 다음 그림과 같다.

3) $A = P(A/P, i, n)$ $(A/P, i, n) = [\{i\times(1+i)^n\}\div\{(1+i)^n-1\}]$: 등가계수



(그림 3.107) CCTV 방식과 DPIM 방식의 연간 총 공사투입비용 흐름도

상기 그림의 현금 흐름도를 바탕으로 10년 동안 매년 발생하는 순이익의 분석 결과, DPIM 장비를 도입하는 경우 CCTV 방식과 비교하여 시공업체는 10년 동안 매년 28,501,545원(=114,457,500원-85,955,955원)의 비용을 절감할 수 있으며 연간 24.9%(=85,955,955원÷114,457,500원) 정도의 공사비 절감효과를 거둘 수 있음을 의미한다.

③ 수익률(투자회수율) 분석(Rate of Return Analysis; ROR Analysis)

DPIM 방식의 경제성 확보가 가능하더라도 DPIM 장비에 투자함으로써 얻어지는 수익률이 시공업체가 기대하는 최소기대수익률(MARR)에 미치지 못하게 되면, 시공업체는 CCTV 방식을 DPIM 방식으로 대체하는데 큰 매력을 갖지 못하게 된다. 따라서 DPIM 장비 도입에 따른 수익률을 분석하여 시공업체가 기대하는 최소기대수익률을 상회하는 지에 대한 분석이 요구된다.

수익률(투자회수율) 분석은 투자 대안에 대한 편익과 비용의 현재가치의 차이 즉, 순 현재가치를 0으로 만드는 할인율인 수익률을 구하는 경제성 분석 방법이다. 이는 수익률이 해당 사업에 대한 업체의 최소기대수익률 보다 높으면 사업의 수익

성이 있어 투자할 가치가 있다고 판단하는 경제성 분석법으로, 내부 의사결정의 기준 및 경제적 타당성을 입증하는 일반적인 방법으로 사용된다. 수익률 분석 결과, 수익률이 최소기대수익률보다 낮은 경우에는 투자 대안을 기각하는 것이 합리적이고, 최소기대수익률보다 높은 수익률을 창출할 수 있는 경우에는 투자 대안을 채택하는 것이 바람직하다. 한편, 동일한 투자 대안에 대해서도 업체마다 또는 업체 내 부서마다 최소기대수익률이 다를 수 있다.

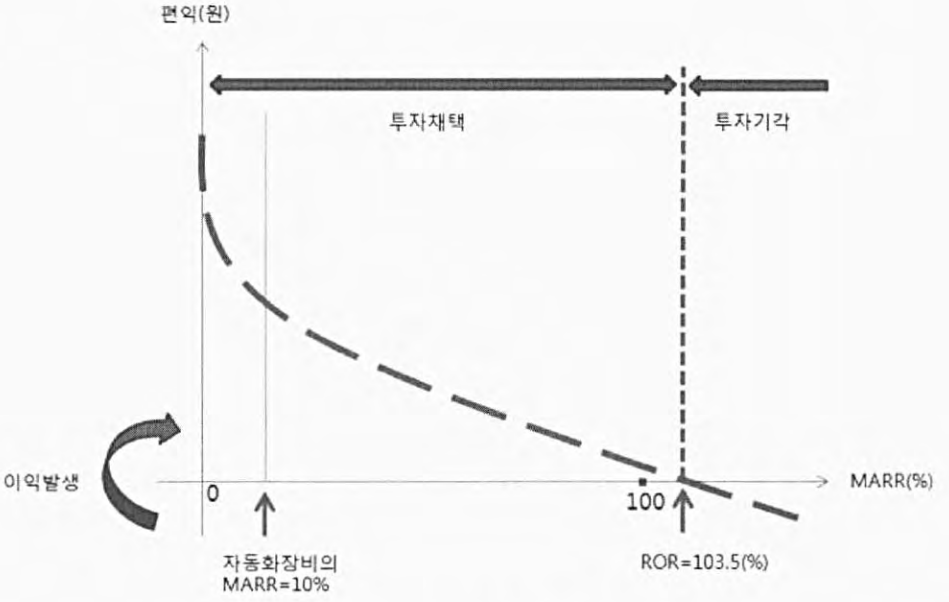
앞에서 도출된 경제성 데이터들을 토대로 DPIM 장비의 수익률(I; interest)을 계산하면 다음 식 8.과 같다.

■ 수익률(I) 식 8.

$$
\begin{aligned}
NPW &= \text{PW of benefits} - \text{PW of cost} \\
&= 35{,}456{,}580(P/A,I,10) \\
&\quad - \{30{,}000{,}000 + 30{,}000{,}000(P/A,I,10) - 1{,}500{,}000(P/A,I,5)\} \\
&= 5{,}456{,}580(P/A,I,10) + 1{,}500{,}000(P/A,I,5) - 30{,}000{,}000 \\
&= 0
\end{aligned}
$$

$\therefore$ I = 103.5% > 10%(MARR)

상기 식 8.과 같이 DPIM장비의 수익률이 약 103.5%로 경제성 분석 시 가정했던 최소기대수익률 10%를 크게 상회한다. 따라서 DPIM 방식을 채택한 시공업체의 경우 DPIM 장비를 통해 충분히 경제성을 확보할 수 있으며, 기대했던 수익률(MARR)보다 높은 수익률(ROR)을 획득하였으므로 적절한 의사결정을 내린 것으로 판단할 수 있다.



(그림 3.108) DPIM장비의 수익률 분석

④ 손익분기점 분석

손익분기점은 투자 대안의 초기투자비용, 투자 대안에 대한 기대정도, 업체의 자금흐름 상태 및 자금회수 위험률 등에 따라 달라질 수 있으므로, 연구단계에서 하수관거탐사 시공업체가 DPIM 장비를 도입함으로써 기대할 수 있는 손익분기점을 정확히 산정하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 장에서는 설정된 변수 및 가정에 따라 손익분기점을 제시하는 수준에서 경제성 분석을 수행하였고, 민감도 분석을 통해 변수 값들의 변화에 따른 손익분기점의 변화를 검토하였다

발생편익과 추가비용의 현재가치가 같아지는 손익분기점으로부터 DPIM 장비 이용에 따른 실질적인 이익이 발생하게 되므로, 추가비용(장비 제작비용, 연간 유지보수 비용) 및 발생편익을 고려하여 DPIM 방식의 손익분기점을 분석하였다.

다음 식 9.와 같이 10년 동안 소요되는 DPIM 장비 추가비용의 현재가치(PW of

costs)는 42,747,600원이며 발생하는 편익의 현재가치(PW of benefits)가 추가비용의 현재가치와 같아질 때 손익분기점에 도달하게 된다. DPIM 장비의 손익분기점(B)을 계산하면 다음 식 9.와 같다.

■ 손익분기점(B) 식 9.

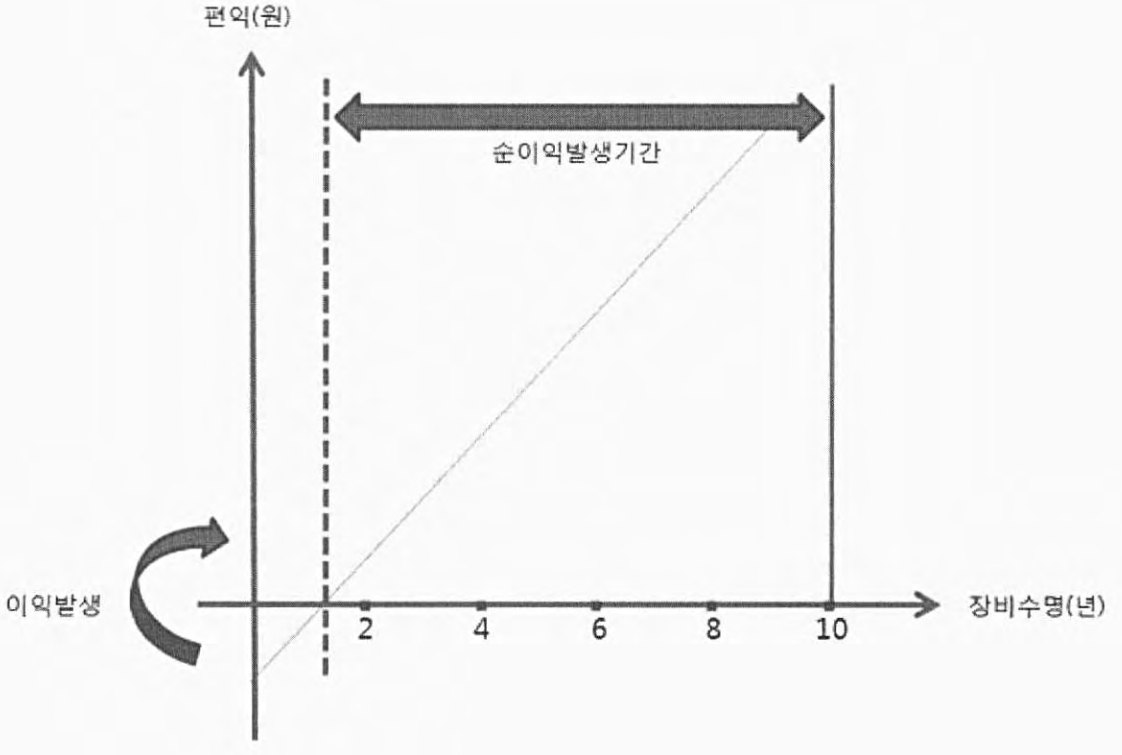
PW of cost = PW of benefits

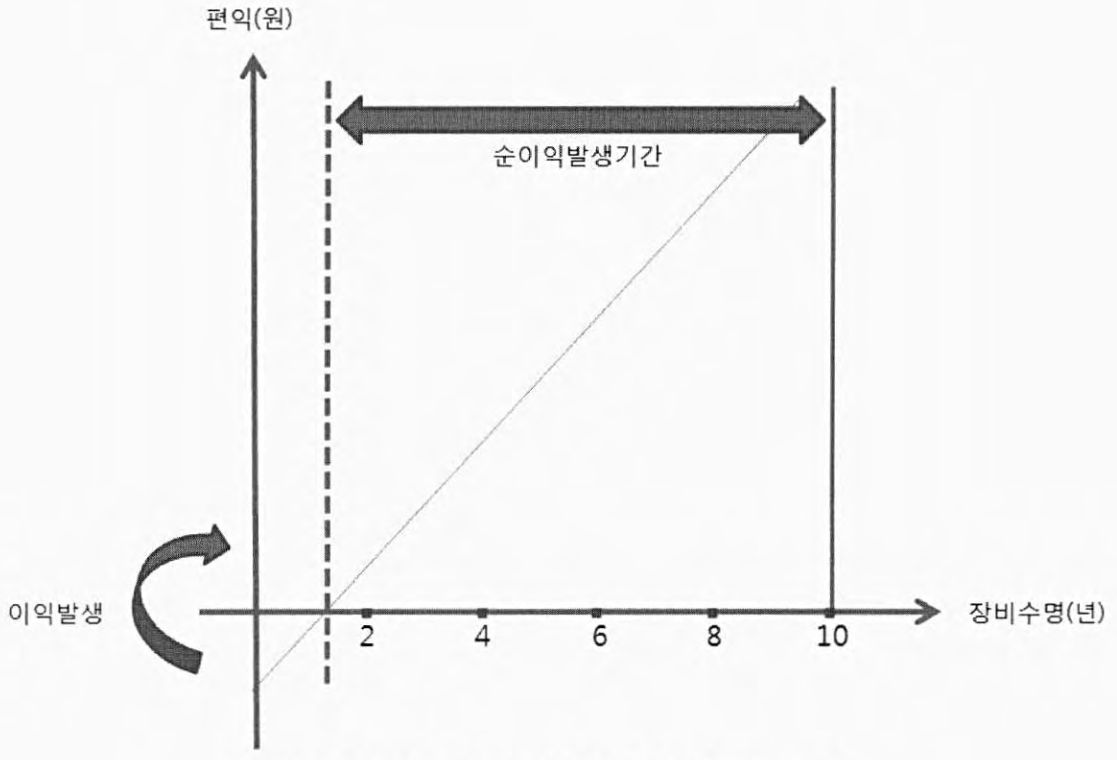
42,747,600 = 35,456,580(P/A, 10%, B)

(P/A, 10%, B) = 42,747,600 ÷ 35,456,580 = 1.21

∴ B = 1.35 → 1년5개월(17개월)

상기 식 9.과 같이 DPIM 방식의 손익분기점은 1년 5개월(17개월)로 산출되었다. 이는 DPIM 장비를 도입함으로써 소요되었던 추가비용이 1년 5개월이 경과하면 모두 회수될 수 있으며 손익분기점 이후부터는 순이익이 발생되는 것을 의미한다.





(그림 3.109) DPIM 방식의 손익분기점 분석

지금까지 DPIM 장비의 경제성 분석을 위해 보편·타당한 변수 및 가정을 설정하고 연간 발생편익 분석, 편익/비용 비율 분석, 순이익 분석 및 공사비 절감율 분석, 수익률 분석, 손익분기점 분석 등을 수행한 결과, DPIM 장비를 활용하는 경우 기존 CCTV 방식에 비해 매우 높은 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

또한, DPIM 장비 도입에 따른 시공업체의 이미지 개선, 품질 향상 등으로 기대될 수 있는 비가시적인 경제적 편익(intangible benefits)들을 추가 고려하면 DPIM 장비의 경제적 타당성은 보다 더 클 것으로 판단된다.

5) 소결

본 연구에서 개발한 DPIM 장비의 생산성 및 안전성, 품질, 경제적 타당성을 분석·평가하기 위해 현장실험을 바탕으로 데이터를 수집하고 성능평가를 수행하였다.

DPIM 장비의 성능평가 방법은 생산성 측정의 경우, 기존 CCTV촬영방식과 비교를 위해 생산성 측정 모델을 구축하고 현장실험을 통해 생산성 데이터 수집 및 DPIM 방식의 생산성 측정을 통해 생산성 향상 정도를 분석하였다. 품질 분석의 경우, DPIM 장비를 도입함으로써 기대될 수 있는 품질 향상 요소를 검토하고 이를 통해 CCTV 방식과 비교·분석하였다. 경제적 타당성 분석은 보편·타당한 변수 및 가정을 설정한 후 DPIM 장비 도입에 따른 시공업체의 경제적 편익 분석(연간 발생편익 분석, 편익/비용 비율 분석 및 발생 순이익 분석, 수익률 분석, 손익분기점 분석)을 수행하였다. 이와 같은 성능평가 결과들을 정리하여 다음 표에 나타내었다.

<표 3.45> DPIM 방식의 경제성평가 결과

대상 및 항목		산출값	분석 결과
생산성 측정		1.27㎞/day	재래식 방식의 생산성(0.95㎞/day)보다 34% 증가된 생산성 향상 효과
품질 분석		-	하자발생 저하 및 자동화 시공에 의한 균일한 품질 확보
경제적 타당성 분석	시공업체의 경제적 편익 분석		
	편익/비용 비율	5.10	1보다 큰 5.10이 산출되었으므로, 추가적으로 소요되는 비용보다 더 큰 편익이 발생
	순이익 및 공사비 절감율	28,501,545원/년 총 175,118,902원 24.9%	대략 연간 2천9백만원, DPIM 장비 예상수명 10년간 총 1억7천5백만원의 순이익 발생, CCTV 방식과 비교하여 연간 24.9%의 공사비 절감 효과
	수익률	103.5%	수익률 103.5%가 최소기대수익률 10%보다 크게 상회하므로 DPIM 장비에 투자하는 것은 적절한 의사결정으로 판단 가능
	손익분기점	1년 5개월	손익분기점인 1년 5개월(17개월) 이후부터는 DPIM 장비 도입에 따른 순이익 발생

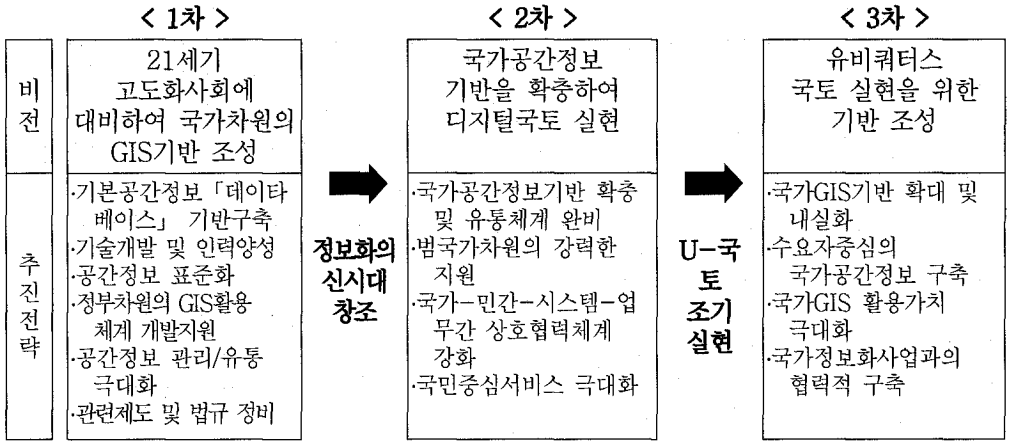
제7절 GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발

1. 국내 지하시설물 관련 GIS 현황

가. 국가 지리정보체계 개요

정부에는 국가적인 차원의 정보기반을 확충하기 위하여 1995년부터 범정부적인 차원의 국가지리정보체계(National Geographic Information Systems, NGIS) 구축사업을 추진해오고 있다.

1995년부터 수행된 제1차 국가GIS기본계획은 '21세기 고도화사회에 대비하여 국가차원의 GIS기반 조성' 을 목적으로 하였으며, 2001년부터 수행된 제2차 국가 GIS기본계획은 '국가공간정보기반을 확충하여 디지털국토 실현' 을 목표로 진행되었다. 2006년부터 진행되고 있는 제3차 국가GIS기본계획은 '유비쿼터스 국토 실현을 위한 기반 조성' 을 목표로 하고 있다. 국가GIS기반 확대 및 내실화, 수요자중심의 국가공간정보 구축, 국가GIS 활용가치 극대화, 국가정보화사업과의 협력적 구축 등의 4대 전략을 수립하여 추진되고 있다.



< 그림 3.110 > 국가GIS기본계획 흐름도

나. 기반 위치 정보 구축 사업

(1) 지형도 수치지도화 사업(1995~2000)

개별 수요기관의 목적에 따라 수치지형도가 제작됨에 따른 범용성 결여와 중복투자, 정확도 및 신뢰성 감소 등의 문제점을 해소하고 국가사업인 GIS구축을 원활하게 추진하기 위하여 국가차원에서 지형도 수치지도화 사업을 추진하게 되었다.

이 사업은 국토지리정보원 주관으로 국토연구원과 수치지형도를 공동으로 제작하였으며, 약 742억원의 예산이 투입되었다.

2000년말까지 1/1,000 수치지형도 12,428도엽, 1/5,000 수치지형도는 16,194도엽, 1/25,000 수치지형도 754도엽 등 총 29,376도엽이 제작되었다. 다음의 표는 1995년에서 2000년까지의 수치지형도 제작 실적을 나타낸 것이다.

<표 3.46> 연도별 수치지형도 제작실적(1995 ~ 2000) (단위 : 도엽)

구분 / 연도	1/1,000	사업지구	1/5,000	사업지구	1/25,000
1995	329	부산시 등 5개	4,426	호남, 제주지역 등 (총 35개지구)	-
1996	4,491	서울시 등 23개	4,170	경북일원, 충북지역 등 (총 46개지구)	159
1997	5,171	서울시 등 26개	3,389	충남지역, 호남지역 등(총 22개지구)	-
1998	2,053	평택시 등 20개	1,676	-	360
1999	384	부산시 등 4개	1,994	-	-
2000	-		539	-	235
계	12,428		16,194		754

(2) 공통주제도 수치지도화사업(1998 ~ 2000)

개별 수요기관의 목적에 따라 주제도가 제작됨에 따른 범용성 결여, 중복투자, 정확도 및 신뢰성 감소 등의 많은 문제점을 해소하고 GIS구축을 원활하게 추진하기 위하여 국가차원에서 지형도와 함께 공통주제도를 수치지도화 사업으로 추진하게 되었다. 그리고 IMF체제하의 경제구조 조정과정에서 생겨난 실업과 미취업근로자의 취업을 돕고 산업구조조정을 촉진하기 위해 정부에서 추진한 정보화 근로사업으로 GIS부분의 새로운 일자리를 창출하려고 하였다. 또한 단기 전문교육을 통해 수치지도 편집요원 등 전문인력을 양성하여 국가GIS구축사업의 인력수요에 충당하고 정보산업의 첨병으로 육성하고자 계획되었다. 이 사업은 1998년부터 2000년까지 약 258억원의 예산이 투입되었으며, 정보통신부 기금으로 국토지리정보원, 국토연구원, 한국교통연구원에서 사업을 수행하였다.

계획수립 당시 정부, 지방자치단체 및 투자기관이 공동으로 재원을 부담하기로

하였으나 재원확보가 어려워 사업이 지연되었으며, 1998년도 및 1999년도 정보화 근로사업으로 일부 공통주제도 구축사업이 추진되었다. 다음의 표는 공통주제도 수치지도화 사업의 세부사업별 사업실적을 나타낸 것이다.

<표 3.47.> 공통주제도 수치지도화 사업실적(1998 ~ 2000)

사업명	추진실적	추진기관
토지이용현황도	·전국토의 38%제작 ·제작물량 총 12,400 도엽	국토지리정보원
도로망도	·서울시, 인천시, 한강이남 경기도 16개시군을 대상으로 총 710도엽 제작	한국교통연구원
국토이용계획도	·미추진(제작계획 조차 수립 못함)	지방자치단체
도시계획도	·미추진(제작계획 조차 수립 못함)	지방자치단체
행정구역도	·미추진(제작계획 조차 수립 못함)	행정자치부
지형·지번도	·전국토의 52.4% 제작 ·1/1,000 축척 9,605도엽, 1/5,000 축척 6,729도엽	국토연구원

다. 지하시설물 정보 관련 사업

(1) 지하시설물도 수치지도화사업(1998 ~ 2000)

지하시설물도 전산화 역시 개별 수요기관의 목적에 따라 제작되어 범용성 결여와 중복투자, 정확도 및 신뢰성 감소 등의 문제가 발생하였다. 이를 해소하고 국가사업인 GIS구축을 원활하게 추진하기 위하여 국가차원에서 지형도 및 주제도와 함께 지하시설물도를 수치지도화 사업으로 추진하게 되었다. 이 사업은 사업기간동안 약 906억원의 예산이 투입되었으며, 정보통신부기금으로 국토연구원에서 사업을 수행하였다. 또한 재조달 및 협조체계 미흡으로 사업착수가 지연되어 지리정보분과(국토지리정보원)에서 총괄분과(건설교통부)로 이관하여 추진하였다.

다음의 표는 지하시설물 수치지도화 실적을 나타낸 것이다.

<표 3.48.> 지하시설물 수치지도화 실적(2000.03 현재)

시설물 종류	총 매설길이(㎞)	수치지도화 대상물량(㎞)	수치지도화(㎞)	수치지도화 실적(%)
상수도	97,285.1	88,750.0	35,014.2	39.5
하수도	59,762.2	56,516.2	15,250.0	27.0
광역상수도	2,076.7	1,968.7	605.6	30.8
가스	1,955.0	1,955.0	1,482.0	75.8
도시가스	16,629.9	16,559.2	12,932.6	78.1
전기	14,920.0	14,920.0	405.0	27
통신	111,545.0	111,545.0	111,545.0	100.0
송유관	920.0	827.0	0.0	0.0
난방열관	2,258.0	1,636.0	1,512.0	92.4
계	307,351.9	294,677.1	178,746.4	60.7

(2) 지하시설물 관리체계 개발 시범사업(1996~1997)

산업화 사회에서 도시 기반시설은 종류와 양이 증가하였으나, 각종 시설 정보의 관리 체계의 부실로 대형 폭발 사고 등 많은 사고가 빈번히 발생하였다. 이러한 사고 등을 사전에 예방하기 위한 관리시스템 중 지하시설물에 대한 정보의 조사·탐사 및 관리시스템을 실제 구축하여 발생할 수 있는 문제점을 파악하고 그 해결방안을 제시하기 위하여 지하시설물관리체계개발 시범사업이 계획되었다.

지하시설물관리체계개발 시범사업은 약 14억원의 예산을 투입하여 총괄분과인 건설교통부에서 주관으로 국토연구원이 수행하였으며, 시범사업을 위한 계획 및 지침을 1995년에 수립하였다. 그리고 1996년에서 1997년까지 경기도 과천시 시가화구역(21.25㎢)을 시범지역으로 선정하여 상수도, 하수도, 전기, 통신, 가스, 지역난방, 송유관 등의 지하시설물을 대상으로 시범사업을 실시하였다.

시범사업의 결과로 지하시설물관리에 필요한 절차, 방법, 지침, 표준 제도정비 등의 제도적 기반이 마련되었으며, 지하시설물 통합관리 프로그램이 개발되었다. 그리고 지하시설물 관리제도 정비방안으로 지하시설물 관리 전산화를 위한 관련체계 정비, 관련 대장 정비, 도형자료 정비방안 등이 제시되었으며, 지하시설물 관리체계 개발지침(안)과 지하시설물 관리체계 유지관리지침(안)이 마련되었다. 또한 시범사업에서 파악된 지하시설물관리 현황과 문제를 해결하는 방법으로써 지하시

설물 관련제도정비 방안을 제시하였으며, 시범사업을 통해 마련된 각종 제도정비 방안과 시스템 개발지침을 토대로 전국 도시에서 지하시설물 통합관리시스템을 구축할 수 있도록 홍보 및 순회교육을 실시하였다.

(3) 도로와 지하시설물 공동구축사업(2001 ~ 계속)

도로와 7대 지하시설물의 정보를 통합·관리함으로써 국토를 효율적으로 관리하고 개별 시스템 구축으로 인한 예산낭비 방지 및 각종 안전사고를 예방할 수 있다.

아현동('04.12), 대구('95.4)지하철 공사 중에 일어난 가스폭발사고를 계기로 전국 시(市)급 지자체를 대상으로 도로와 상·하수도 등 7대 지하시설물에 대하여 일관성 있는 전산화사업을 추진함으로써 비용절감 및 안전사고 예방에 기여하고자 도로와 지하시설물 공동구축 사업은 추진되었다.

이에 따라 장기적으로 2005년 12월까지 지하시설물 수치지도화 사업을 완료한 30개 지자체를 제외한 시급 지자체에 대하여 도로와 지하시설물(상·하수도)수치지도화 사업을 조기 완료함으로써 디지털 국토건설의 기반을 마련하고, 단기적으로는 전국 84개 시급도시를 대상으로 도로와 지하시설물의 정보를 전산화하여 안전사고 예방에 기여하는 것을 추진목표로 정하였다.

도로와 지하시설물 공동구축사업은 국가지리정보체계의 구축 및 활용 등에 관한 법률에 근거하여 추진되었다. 사업 범위에는 84개 시(市)급 지자체의 도로와 상·하수도 전체 207,482km 전산화가 포함된다. 주요 사업으로 총사업비 3,077억원의 전체 84개 시(市)급 지자체 중 2005년 말 현재 30개시 완료를 들 수 있으며, 총 물량 207,482km 중 154,425km가 이미 전산화되었으며, 2005년 말 현재 74% 완료되었다.

<표 3.49.> 도로와 지하시설물 공동구축사업 추진실적(2001~2005)

년도	수립 목표	추진실적		실적 (계획 대비)	집행 예산 (백만원)
		DB 구축내용	시스템개발내용		
2001	도로 및 상·하수도의 공간/속성 정보 전산화	DB구축 8,608km		완료	13,200
2002		DB구축 15,099km	상하수도관리범용프로그램 기본설계, 지하시설물통합관리시스템, 도로 시설물관리시스템	완료	20,888
2003		DB구축 7,017km	도로관리범용 프로그램기본설계	완료	18,338
2004		DB구축 18,072km	40개 지자체 DB 전산화 추진	완료	49,700
2005		DB구축 5,600	39개 지자체 DB 전산화 추진	완료	15,400

2. 지하시설물 정보 취득 및 처리

가. 개요

(1) 지하시설물 측량

지하에 매설하여 설치된 시설물을 효율적이고, 체계적으로 유지관리하기 위하여 지하시설물에 대한 조사측량, 도면제작 및 그에 따른 데이터 베이스 구축까지를 말한다.

(2) 지하시설물 종류

지하시설물 종류는 상수도, 하수도, 가스, 통신, 전기, 난방열관 또는 기타 국토지리정보원장이 정하는 시설물로써 계약에 의해 탐사하고자 하는 지하시설물 및 이와 관련된 시설물을 말한다.

(3) 공정구분 및 작업순서

지하시설물도의 공정구분 및 작업순서는 표준공정에 준하여 시행하되, 계획기관의 작업범위 및 목적에 따라 변경하여 사용할 수 있다.

(4) 위치 및 좌표기준

위치 및 좌표기준은 측량법 제5조에 규정한대로 평면 직각 좌표계와 평균해수면 높이를 기준하고 있으므로 이에 따라 국가 기준점으로 부터 측량하여야 한다.

또한, 투영법, 단위, 좌표계의 원점을 명시한다.

(5) 용역 발주기준

측량법 제39조에 따라 등록된 측량업자에게 용역을 발주하여야한다.

(6) 지하시설물도 관리책임

지하시설물도 계획기관 또는 정보를 제공받은 기관이 관리상의 책임을 가지며 수치형태로 제공시 국가데이터교환표준을 사용하여야 한다.

(7) 공동협의체 구성

지하시설물 관리주체는 수치지도를 기초로 하여, 지하시설물을 일정한 기호와 축척으로 표시한 지하시설물도 작성을 효율적이고 체계적으로 유지관리 하기 위하여 관련 지하시설물 관리기관과 공동협의체를 구성한다.

(8) 지하시설물 측량 기기 기준

측량기기 성능은 등록기준 장비로써 기기성능 검사를 필한 장비를 사용한다.

(9) 안전 확보

측량 작업 전 및 작업시 안전교육을 실시하여야 한다.

(10) 지하시설물도 작성시기

지하시설물 설치, 변경 또는 폐지 등의 사유가 발생할 때는 지하시설물도를 작성 또는 수정하여야 한다.

나. 작 업 계 획

작업기관은 작업착수 전에 작업계획을 수립하여 계획기관에 제출하여 승인을 받아야 한 다. 또한 작업계획을 변경하고자 할 경우에도 동일하다.



< 그림 3.111 > 지하시설물 정보 취득을 위한 작업계획 수립 및 자료 준비

다. 자료 수집 및 작업준비

지하시설물 조사가 용이하도록 지하시설물 기도에 지하시설물 관련 자료의 조사, 수집하고 이를 이용하여 지하시설물 기도에 이기 또는 편집도면을 작성하는 것을 말한다.

라. 지상시설물 조사 및 편집

지하시설물과 관련된 지상시설물의 현지조사와 현지보완측량을 실시하여 지하시설물 기도를 재편집하는 작업을 말한다.

마. 지하시설물 조사 및 탐사

지하시설물 조사 및 탐사는 관련자료를 수집하여 관로에 대한 각종 속성값을 획득하고, 조사, 탐사에 의하여 관로에 대한 평면적인 위치와 심도를 측량하는 것을 말한다.



< 그림 3.112 > 지하시설물 탐사 및 위치 측량

바. 지하시설물 위치측량

지하시설물 위치측량은 탐사기기에 의하여 표시된 점과 맨홀을 대상으로 공공기준점 또는 특정 지형·지물로부터 측량하는 작업을 말한다.

사. 지하시설물 원도 작성

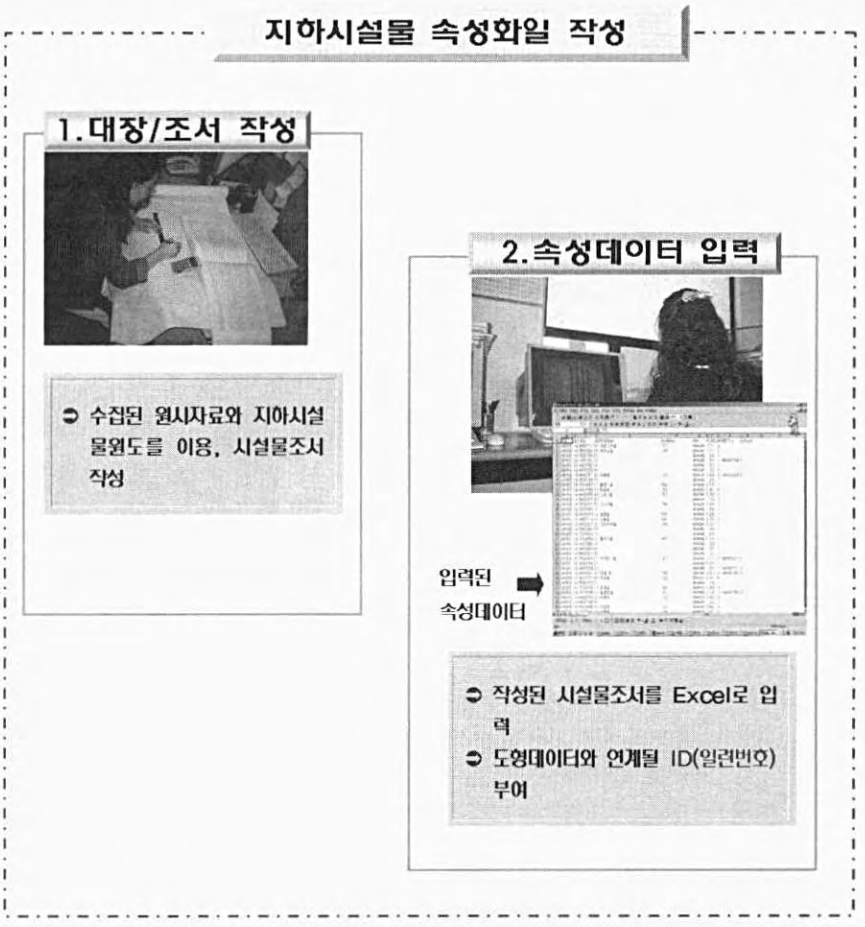
지상시설물 조사결과와 지하시설물 측량결과를 기초로 하여 지하시설물도의 입력이 용이 하도록 지하시설물에 대한 성과를 지하시설물 제2원도(필름복제)에 정리하여 원도를 작성 한다.



< 그림 3.113 > 지하시설물 도면 작성

아. 대장 및 속성DB작성

대장 및 속성DB 작성은 지하시설물도의 도형정보와 관련된 구체적인 특성, 성질 등의 관 련 속성정보를 일정한 규정에 의하여 DB를 작성하는 작업을 말한다.



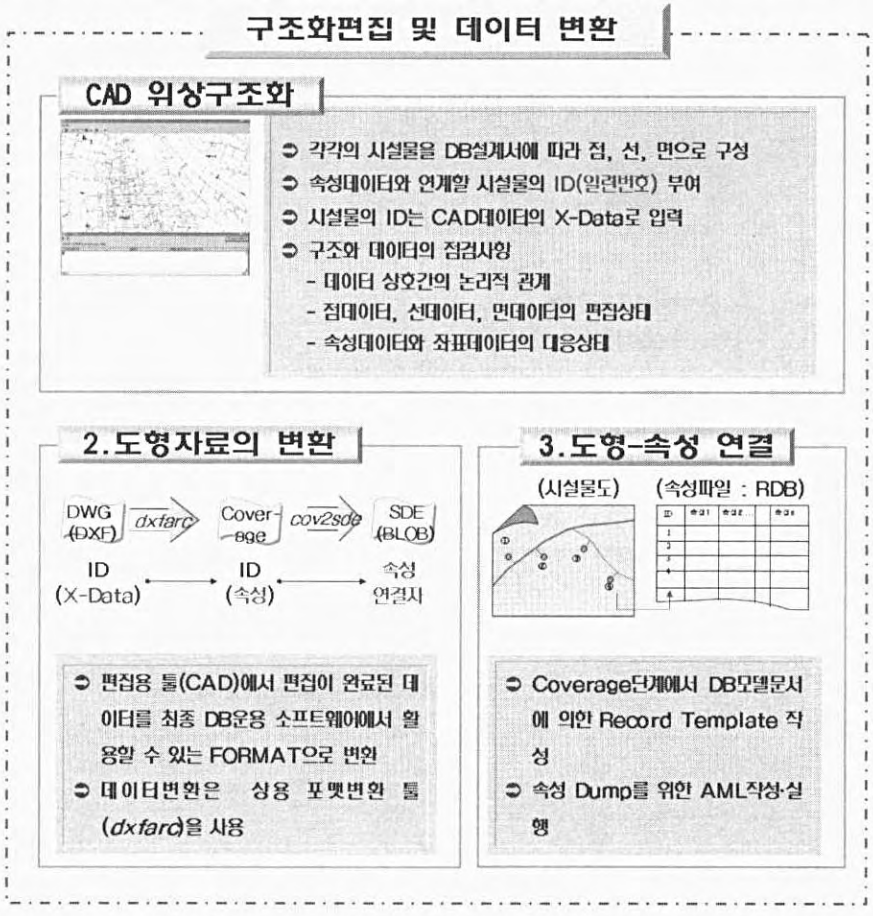
< 그림 3.114 > 지하시설물 관련 속성 파일 제작

자. 정위치 편집

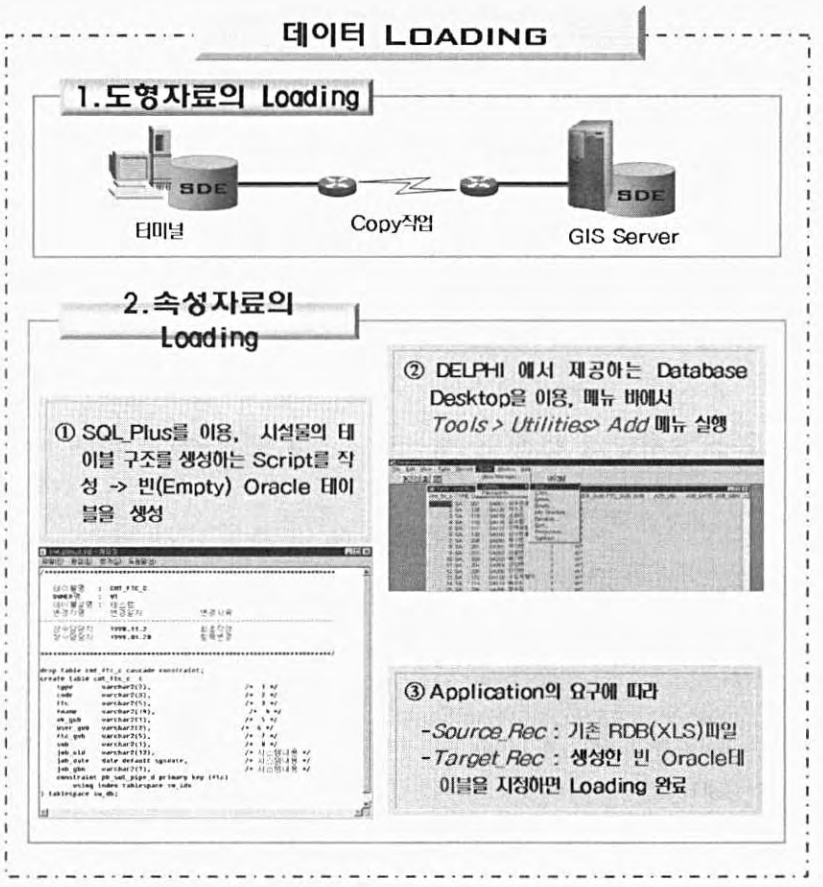
지하시설물 원도의 성과를 표준코드 등을 이용하여 지하시설물도 입력기준에 따라 입력 하여 편집하거나 지하시설물에 대한 탐사의 성과를 이용하여 지하시설물도를 수정·보완하 는 작업을 말한다.

차. 구조화 편집

자료간의 지리적 상관관계를 유지하기 위하여 정위치 편집된 지하시설물을 기하학적 형태로 구성하는 작업을 말한다.



< 그림 3.115 > 지하시설물 자료의 위상 구조화



< 그림 3.116 > 자료 로딩 과정

카. 도면제작 편집 및 도면출력

(1) 도면제작 편집

지도형식의 도면으로 출력하기 위하여 정위치 편집된 성과를 지도도식 규칙 및 표준도식에 의하여 편집하는 작업을 말한다.

최종출력도면이라 함은 현장조사 및 탐사성과를 입력한 후 정위치 편집한 도면 또는 추가로 구조화 편집까지 끝낸 최종성과물을 말한다.

표준도식은 수치지도를 구성하는 도형의 형태, 크기, 선호, 구조 및 방향을 정하여 도면의 통일을 기하기 위한 도식을 말한다.

(2) 최종도면 출력

최종 도면 출력은 지상시설물조사, 현지보완측량성과 및 탐사성과를 입력한 후 정위치 편집과 구조화 편집까지 끝낸 최종성과물을 출력하는 것을 말한다.

타. 성과 등의 정리

지하시설물 탐사성과 및 관련자료를 효율적으로 이용하여 정확하게 작성한다.

성과검사는 국립지리원 대행사인 대한측량협회에 의뢰하여 심사한다.

3. 지하시설물 관리 시스템 현황

현재 국내에서 구축되어 있는 지하시설물 관리 시스템은 광역시 또는 시군구 단위로 구축되어 있다. 이러한 구축 현황은 다음의 표에 나타나 있다.

<표 3.50> 상수도 전산화 정보 구축 현황

(단위 : ㎞, 백만원, ㎢, 매)

구 분	수치지도화 대상물량	수치지도 구축 현황				수치지도화 사업기간
		길이	비용	대상면적	도엽수	
총 계	87,107	66,486	60,065	16,856	22,545	1991.1~2010
특별시및 광역시	**42,047**	**42,010**	**15,759**	**1,716**	**11,315**	**1991.10 ~ 2003.12**
서울특별시	14,654	14,287	4,980	503	4,018	1998.12 ~ 2001.12
부산광역시	8,477	7,997	3,792	242	1,223	1998.06 ~ 2003.09
대구광역시	7,125	7,139	1,065	270	1,534	1997.12 ~ 2003.12
인천광역시	4,628	4,628	1,047	251	1,022	2000.03 ~ 2003.07
광주광역시	2,849	3,089	590	169	1,408	1991.10 ~ 2001.12
대전광역시	3,698	4,118	3,200	106	653	2000.12 ~ 2003.12
울산광역시	616	752	1,085	175	1,457	1997.03 ~ 2000.01
경기도	**14,282**	**9,563**	**14,847**	**1,553**	**6,902**	**1996.07 ~ 2004.12**
수원시	1,448	1,226	2,457	76	333	1999.06 ~ 2004.06
성남시	2,412	776	366	158	690	2003 ~ 2007
의정부시	372	316	239	-	21	2003.12 ~ 2005.08
안양시	587	536	245	31	127	2001.12 ~ 2005.07
부천시	1,268	1,268	1,420	53	265	1999.07 ~ 2003.12
광명시	208	130	268	-	400	2004.10 ~ 2006.01
평택시	777	695	1,265	55	219	2001.07 ~ 2004.06
동두천시	259	259	73	22	88	2001.06 ~ 2002.08
안산시	1,238	1,235	-	98	399	1999 ~ 2003
고양시	726	991	2,950	268	1,198	1999 ~ 2002
과천시	149	153	-	36	-	1996.07 ~ 2002.12
구리시	286	286	-	33	138	1999.10 ~ 2004.01
양주시	-	-	-	-	-	신규 지차체 등록
남양주시	317	102	68	2	9	1999.05 ~ 2000.04
오산시	87	121	94	43	218	2003.10 ~ 2004.12
시흥시	396	490	1,610	38	211	1999.06 ~ 2002.12
군포시	262	250	116	23	86	2003.01 ~ 2004.11
의왕시	33	33	-	25	-	2001.06 ~ 2002.01
하남시	172	-	-	-	-	-
용인시	733	-	1,662	592	2,500	-
파주시	620	-	-	-	-	-
이천시	217	162	533	-	-	-
안성시	239	-	-	-	-	-

김포시	391	-	-	-	-	-
광주시	732	222	698	-	-	2004.07 ~ 2005.06
화성시	353	312	780	-	-	2004.09 ~ 2007.12
포천시	-	-	-	-	-	신규 지차체 등록
강 원 도	**4,042**	**1,412**	**3,149**	**12,148**	**698**	**1998 ~ 2003.12**
춘천시	827	580	794	1	13	2003.4 ~ 2003.12
원주시	489	487	1,965	42	172	1998.12 ~2003.12
강릉시	947	98	389	-	233	-
동해시	404	-	-	-	-	-
태백시	288	-	-	-	-	-
속초시	678	65	-	51	120	1999.05 ~ 2003.12
삼척시	409	182	-	12,054	160	-
충청북도	**1,913**	**1,100**	**3,634**	**80**	**339**	**1997.10 ~ 2003.11**
청주시	795	1,100	3,435	80	339	1999 ~2003.10
충주시	881	-	-	-	-	-
제천시	237	-	198	-	-	-
충청남도	**2,152**	**1,222**	**-**	**33**	**220**	**1999 ~2001.12**
천안시	288	942	-	-	-	1999.02 ~ 2005.01
공주시	206	-	-	3	57	1999 ~ 2005
서산시	348	70	-	-	-	-
보령시	373	-	-	-	-	-
아산시	414	210	-	30	163	2001.05 ~ 2001.12
계룡시	75	-	-	-	-	신규 지차체 등록
논산시	448	-	-	-	-	-
전라북도	**4,456**	**2,553**	**3,226**	**140**	**195**	**1999.05 ~ 2007.12**
전주시	1,993	1,813	1,950	40	162	1998.12 ~ 2004.12
군산시	452	223	611	8	33	1996 ~ 2003
익산시	631	143	498	-	-	2004.08 ~ 2007.12
정읍시	8	-	-	-	-	-
남원시	249	-	-	-	-	-
김제시	1,123	374	166	92	-	2005.02 ~ 2007.10
전라남도	**2,844**	**1,033**	**3,760**	**84**	**350**	**1997 ~2003.10**
목포시	1,075	59	341	-	-	-
여수시	660	659	1,755	81	340	1997 ~ 2002
순천시	710	134	923	3	10	2000.12 ~ 2003.10
나주시	270	52	147	-	-	2005 ~ 2007
광양시	129	129	593	-	-	-
경상북도	**7,140**	**3,531**	**4,929**	**810**	**975**	**1998.12 ~ 2010**
포항시	1,422	1,449	1,725	104	418	1998.12 ~ 2003.12
경주시	497					
김천시	579	67	433	-	-	2003.12~2004.10
안동시	497					
구미시	637	379	1,475	2	8	2001.10~2004.12
영천시	497					
상주시	125	-	-	-	-	-
문경시	497					
경산시	1,183	102	636	-	-	-
영주시	497					
경상남도	**6,356**	**2,837**	**6,922**	**192**	**1,148**	**1993~2007**
창원시	689	661	148	125	877	1993~2000
마산시	1,033	278	1,154	33	133	2004.04~2005.01
진주시	1,308	372	291	-	-	-
진해시	313	312	1,148	32	129	2001.02~2004.12
통영시	238	47	133	-	-	-

사천시	434	172	621	-	-	2003.07~2005.01
김해시	980	489	1,401	2	9	2003.05~2004.05
밀양시	506	100	263	-	-	2003.11~2004.10
거제시	450	119	538	-	-	-
양산시	405	287	1,222	-	-	2003.08 ~ 2007.10
제주도	**1,875**	**1,225**	**3,839**	**101**	**403**	**1999.01~2003.10**
제주시	1,115	1,225	3,839	101	403	1999.01~2003.10
서귀포시	760	-	-	-	-	-

<표 3.51.> 하수도 전산화 정보 구축 현황

(단위 : km, 백만원, ㎢, 매)

구 분	수치지도화 대상물량	수치지도 구축 현황				수치지도화 사업기간
		길이	비용	대상면적	도엽수	
총 계	64,050	48,972	47,049	4,880	21,705	1992.07 ~ 2010
특별시및 광역시	**29,565**	**27,796**	**13,340**	**1,256**	**12,417**	**1992.07 ~ 2003.12**
서울특별시	9,985	10,193	5,342	352	4,015	1998 ~ 2003
부산광역시	5,865	6,127	2,622	242	1,223	1998.06 ~ 2003.09
대구광역시	4,737	4,710	127	143	3,762	1992.07 ~ 2003.12
인천광역시	3,314	3,314	917	210	840	1999.05 ~ 2003.07
광주광역시	2,103	2,101	1,877	134	1,120	1997.12 ~ 2002.12
대전광역시	2,026	-	-	-	-	2004 ~ 2005
울산광역시	1,535	1,351	2,455	175	1,457	1995.12 ~ 2001.01
경기도	**10,570**	**9,349**	**8,440**	**1,436**	**5,547**	**1994 ~ 2005**
수원시	1,043	1,192	1,452	87	333	2001.10 ~ 2004.12
성남시	907	931	346	16	72	2003 ~
의정부시	135	77	-	-	-	2003.12 ~ 2005.08
안양시	476	472	105	33	136	2001.12 ~ 2005.06
부천시	763	763	644	53	265	2001.08 ~ 2003.12
광명시	273	183	269	-	-	2004.10 ~ 2006.01
평택시	502	703	174	55	219	2001.07 ~ 2004.06
동두천시	269	269	96	13	52	2002.11 ~ 2003.11
안산시	1,489	1,510	-	97	372	1999 ~ 2003
고양시	616	690	199	268	1,198	1999 ~ 2004
과천시	244	245	-	36	-	1996.07 ~ 2002.12
구리시	205	205	-	33	138	1999.10 ~ 2004.01
양주시	-	-	-	-	-	신규지자체등록
남양주시	112	174	94	87	-	1999.05 ~ 2001.03
오산시	126	156	70	-	-	2003.10 ~ 2004.12
시흥시	549	660	1,250	43	200	2000.08 ~ 2004.12
군포시	242	260	58	23	62	2003 ~ 2004
의왕시	117	117	-	-	-	2003.02 ~ 2004.02
하남시	100	-	-	-	-	2004.02 ~ 2006.02
용인시	408	-	1,666	592	2,500	-
파주시	241	-	-	-	-	-
이천시	314	162	535	-	-	-
안성시	372	-	-	-	-	-
김포시	144	-	-	-	-	-
광주시	732	268	700	-	-	2004.07 ~ 2005.06
화성시	192	312	782	-	-	2004.09~2007.12
포천시	-	-	-	-	-	신규지자체등록

강원도	**2,848**	**817**	**1,987**	**120**	**532**	**1998.12 ~ 2002.11**
춘천시	626	–	455	–	–	–
원주시	504	537	1,141	42	172	1998.12 ~ 2003.12
강릉시	416	98	391	24	204	–
동해시	292	–	–	–	–	–
태백시	252	–	–	–	–	–
속초시	556	–	–	–	–	–
삼척시	202	182	–	53	156	–
충청북도	**2,404**	**1,545**	**1,723**	**80**	**339**	**1997.10 ~ 2002.12**
청주시	1,137	1,067	1,523	80	339	1,998
충주시	947	–	–	–	–	2006 ~
제천시	320	478	200	–	–	2004.01 ~ 2006.12
충청남도	**1,302**	**645**	**1,295**	**1,349**	**126**	**2000.12 ~ 2002.12**
천안시	71	575	1,295	1,334	–	2000.12 ~ 2002.12
공주시	121	–	–	–	–	2001.09 ~ 2002.05
서산시	321	70	–	15	126	–
보령시	212	–	–	–	–	–
아산시	–	–	–	–	–	–
계룡시	136	–	–	–	–	신규지자체등록
논산시	441	–	–	–	–	–
전라북도	**4,019**	**1,823**	**2,942**	**62**	**507**	**1996 ~ 2007.12**
전주시	1,250	860	1,951	32	126	2000 ~ 2004
군산시	499	217	324	8	33	1996 ~ 2003
익산시	623	143	500	–	–	2004.08 ~ 2007.12
정읍시	286	–	–	–	–	–
남원시	238	229	–	22	348	1996 ~ 2001
김제시	1,123	374	167	–	–	2005.02 ~ 2007.10
전라남도	**2,082**	**834**	**2,681**	**84**	**350**	**1997 ~ 2006**
목포시	572	59	342	–	–	–
여수시	684	414	613	81	340	1997 ~ 2002
순천시	596	180	984	3	10	2000.12 ~ 2003.10
나주시	101	52	148	–	–	2005 ~ 2007
광양시	129	129	594	–	–	–
경상북도	**4,586**	**1,801**	**5,435**	**94**	**405**	**2000.07 ~ 2010**
포항시	1,042	1,139	2,928	92	397	2000.07 ~ 2003.12
경주시	872	–	–	–	–	2004 ~ 2010
김천시	–	92	435	–	–	2003.12 ~ 2004.10
안동시	298	–	–	–	–	–
구미시	777	408	1,435	2	8	2001.10 ~ 2004.12
영천시	244	–	–	–	–	–
경산시	459	–	–	–	–	–
상주시	181	–	–	–	–	–
문경시	352	102	637	–	–	2004 ~ 2010
영주시	361	60	–	–	–	–
경상남도	**5,591**	**3,762**	**7,864**	**343**	**1,254**	**1993 ~ 2003**
창원시	1,125	1,139	148	170	1,003	1993 ~ 1999
마산시	556	292	1,156	33	113	2004.04 ~ 2005.01
진주시	693	372	1,041	106	–	–
진해시	532	602	1,380	32	129	2001.03 ~ 2004.12
통영시	290	47	135	–	–	–
사천시	255	269	623	–	–	2003.07 ~ 2005.01
김해시	772	497	1,354	2	9	2003.05 ~ 2004.05
밀양시	813	91	264	–	–	2003.11 ~ 2004.10
거제시	204	119	540	–	–	–

양산시	351	334	1,223	-	-	2003.08 ~ 2007.10
제주도	**1,083**	**600**	**1,342**	**57**	**228**	**2002.12 ~ 2004.12**
제주시	530	600	1,342	57	228	2002.12 ~ 2004.12
서귀포시	553	-	-	-	-	-

<표 3.52.> 도로 전산화 정보 구축 현황

(단위 : ㎞, 백만원, ㎢, 매)

구 분	수치지도화 대상물량	수치지도 구축 현황				수치지도화 사업기간
		길이	비용	대상면적	도엽수	
총 계	56,634	33,405	35,546	3,664	17,096	1998~2010
특별시및 광역시	**17,848**	**18,257**	**8,172**	**1,520**	**9,594**	**1998.12~2003.07**
서울특별시	7,959	8,118	3,910	605	2,122	1997.12~2004.12
부산광역시	3,023	3,241	2,325	242	1,223	1998.06~2003.09
대구광역시	2,143	2,156	-	-	-	1988.12~2003.12
인천광역시	2,245	2,245	358	231	922	2000.03~2003.07
광주광역시	630	390	146	76	633	1996.12~2000.12
대전광역시	1,161	1,372	1,433	190	3,237	1990~1998
울산광역시	687	735	-	175	1,457	1995.12~2001.01
경기도	**9,813**	**8,414**	**10,765**	**1,681**	**5,225**	**1997~2006**
수원시	999	1,072	915	87	333	2001.10~2004.12
성남시	985	723	785	158	690	2003~
의정부시	46	160	928	82	395	2001.04~2003.08
안양시	250	305	652	32	177	1998.07~2001.04
부천시	542	542	296	53	265	2002.11~2003.12
광명시	159	73	267	-	-	2003.12~2004.11
평택시	556	436	165	55	219	2001.07~2004.06
동두천시	127	127	111	37	215	2002.11~2003.11
안산시	903	885	-	144	615	1999~2003
고양시	399	60	151	268	1,198	2003~2004
과천시	150	145	-	36	-	1996.07~2002.12
구리시	132	132	-	33	138	1999.10~2001.04
양주시	-	-	-	-	-	신규지자체등록
남양주시	185	247	364	37	149	1999.05~2001.03
오산시	92	28	765	43	412	2002.10~2003.10
시흥시	380	175	-	-	-	2003.08~2004.12
군포시	170	165	26	23	194	2002~2004
의왕시	11	11	-	-	-	2003.02~2004.02
하남시	34	306	1,043	449	-	2001~2002
용인시	899	2,040	2,111	144	-	-
파주시	643	-	-	-	-	-
이천시	139	163	536	-	-	-
안성시	372	-	-	-	-	-
김포시	143	-	-	-	-	-
광주시	731	268	700	-	-	2004.07 ~ 2005.06

화성시	696	313	782	-	-	2004.09~2007.12
포천시	70	38	168	-	225	2003.10 ~ 2004.12
강원도	**3,734**	**561**	**1,809**	**30**	**122**	**-**
춘천시	966	-	455	-	-	-
원주시	311	280	962	30	122	2002.11 ~ 2003.12
강릉시	524	98	392	-	-	-
동해시	450	-	-	-	-	-
태백시	299	-	-	-	-	-
속초시	566	-	-	-	-	-
삼척시	618	183	-	-	-	-
충청북도	**1,886**	**625**	**784**	**17**	**69**	**2001~2005**
청주시	860	625	584	17	69	2001~2004
충주시	1,026	-	-	-	-	-
제천시	-	-	200	-	-	-
충청남도	**4,279**	**70**	**-**	**-**	**-**	**-**
천안시	1,158	-	-	-	-	-
공주시	-	-	-	-	-	-
서산시	1,237	70	-	-	-	-
보령시	910	-	-	-	-	-
계룡시	28	-	-	-	-	신규지자체등록
아산시	-	-	-	-	-	-
논산시	946	-	-	-	-	-
전라북도	**4,515**	**704**	**952**	**8**	**33**	**1998~2001**
전주시	840	67	-	-	-	-
군산시	352	119	287	8	33	1996~2003
익산시	455	144	500	-	-	2005.08~2007.12
정읍시	607	-	-	-	-	-
남원시	1,137	-	-	-	-	-
김제시	1,124	374	165	-	-	2005.02~2007.10
전라남도	**2,478**	**346**	**1,927**	**45**	**227**	**2000.12~2006**
목포시	245	60	341	42	217	-
여수시	622	-	-	-	-	2003~2004
순천시	995	106	848	3	10	2000.12~2003.10
나주시	487	51	146	-	-	2005~2007
광양시	129	129	592	-	-	-
경상북도	**5,295**	**1,188**	**2,820**	**93**	**420**	**2000.10~2010**
포항시	773	649	515	91	412	2002.04~2003.12
경주시	931	-	-	-	-	2004~2010
김천시	276	62	434	-	-	2003.12~2004.10
안동시	-	-	-	-	-	-
구미시	400	315	1,234	2	8	2001.10~2004.12
영천시	446	-	-	-	-	2003년하반기이후
상주시	381	-	-	-	-	-
문경시	715	-	-	-	-	2004~2010
경산시	439	103	637	-	-	-
영주시	934	59	-	-	-	-

경상남도	5,868	3,070	7,019	237	1,274	1993~2004.05
창원시	839	853	220	170	1,003	1993~2000
마산시	612	285	1,157	33	133	2004.04 ~ 2005.01
진주시	663	371	293	-	-	-
진해시	422	353	1,150	32	129	2001.02~2004.12
통영시	-	48	136	-	-	-
사천시	421	178	622	-	-	2003.07~2005.01
김해시	700	487	1,414	2	9	2003.05~2004.05
밀양시	457	-	264	-	-	-
거제시	743	120	540	-	-	-
양산시	1,011	375	1,223	-	-	-
제주도	**918**	**170**	**1,298**	**33**	**132**	**2002.12~2005.02**
제주시	918	170	1,298	33	132	2002.12~2005.02
서귀포시	-	-	-	-	-	-

<표 3.53.> 기타 지하시설물 전산화 정보 구축 현황

(단위 : ㎞, 백만원, ㎢, 매)

시설물		관종	총 매설길이	수치지도화 대상물량	전산화구축현황			수치지도화 사업기간
					길이	비용	대상면적 (도엽수)	
광역상수도		총계	3,914	3,914	3,914	38,216	391	1999.01~2004.12
		강관	2,544	2,544	2,544	24,839	254	1999.01~2004.12
		주철관	1,120	1,120	1,120	10,936	112	1999.01~2004.12
		흄관	10	10	10	98	1	1999.01~2004.12
		기타	240	240	240	2,343	24	1999.01~2004.12
가스		총계	2,435	2,435	2,235	13,762	1,084(4,518)	1999.5~2000.5
		가스관	2,435	2,435	2,235	13,762	1,084(4,518)	-
도시가스		총계	24,201	24,201	24,022	20,021	58,868	1994~2004
		본관	8,048	8,048	7,928	-	-	-
		공급관	16,153	16,153	16,094	-	-	-
		기타	-	-	-	-	-	-
전기		총계	21,357	21,357	21,357	31,484	1,681(24,136)	1999.10~2003.12
		직매	2,324	2,324	1,857			
		관로	16,392	16,392	10,110	31,484	1,681(24,136)	1999.10~2003.12
		전력구	2,641	2,641	2,174			
통신지하		총계	811,970	811,970	6,797	3,240	13,789	1987~1999
	KT	소계	400,330	400,330			14,1101/1000 16,6731/5,000	1995.03~2004.09
		PVC관	269,863	269,863	-	-	-	
		FC관	120,842	120,842	-	-	-	
		기타	9,625	9,625	-	-	-	
	하나로 통신	관로	2,361	2,361	729	2,240	서울전역	2000.01~2001.04
		광케이블	4,839	4,839	2,103			
	데이콤	FC100mm	4,110	4,110	3,965	1,000	1/5,000:4,839	1999.01~2003.12

		관로					1/1,000:8,950	
통신지상		총계	457,365	155,176	150,518	1,600	-	1987~1999
	KT	소계	450,189	148,000	148,000	600	14,1101/1000 16,6731/5,000	1995.03~2004.09
		동선케이블	300278(131,952)	300278(131,952)	-	-	-	
		광케이블	149911(17333)	149911(17333)	-	-	-	
		기타	-	-	-	-	-	-
	하나로통신	가공케이블	6,024	6,024	1,366	-	서울전역	2001.01~2001.04
	데이콤	광케이블	1,152	1,152	1,152	1,000	1/5,000:4,839 1/1,000:8,950	1999.01~2003.12
송유관		총계	946	946	-	-	-	-
		송유관	946	946	-	-	-	-
열배관		총계	2,126	2,126	1,350	175	388(2,974)	-
		회수관	1,063	1,063	675	88	388(2,974)	-
		공급관	1,063	1,063	675	87		-

4. 지하시설물 범용 시스템

가. 지하시설물 범용 시스템 추진 배경

1998년 이후부터 정부 및 지방자치단체가 주축이 되어 19개 거점 도시를 선정하여 GIS 구축 기본 계획이 종료되는 2005년까지 상하수도 시설물에 대한 전산화 완료를 목표로 사업을 진행하였다.

그러나, 감사원에서는 1999년 지하시설물 관리시스템이 일정한 기준이 없이 무분별하게 구축되고 있다는 지적을 하게되고, 이후 지하시설물과 이에 관련된 도로기반 시설물의 통합 관리를 위한 연구를 진행하였다.

<표 3.54.> 도로 기반 시설물의 통합 관리 연구 내용

연구 제목	지하시설물 관리 범용프로그램 개발지침 연구	지하시설물관리 범용프로그램 활용방안 연구	도로기반시설물 통합관리 사업 확대추진방안 연구
연구 목적	상하수도 관리시스템의 중복 개발에 따른 예산의 중복투자를 방지하기 위한 대안으로 각 지방자치단체에서 재활용 및 커스터마이징이 용이한 범용프로그램의 개발 필요성을 검토하고, 범용 프로그램을 개발하기 위한 계획과 지침을 수립하는 것을 목적으로 함	'지하시설물 관리 범용프로그램 개발지침 연구' 의 결과를 토대로 상하수도 범용프로그램의 지방자치단체 도입 방안 및 지침의 제시를 목적으로 함	2002년에 수행된 '도로와 지하시설물 통합관리 시범사업 연구' 의 결과를 시급 지방자치단체에 확산시키고 도로관리 범용 프로그램을 개발 및 지방자치단체 도입지침 수립을 목적으로 함
연구 내용	범용프로그램 개발의 프레임 워크 작성 범용프로그램 기본설계서 작성 방안 범용프로그램 품질인증 체계 범용프로그램 개발 추진계획	지방자치단체의 범용프로그램 도입 방안 범용프로그램 품질 인증 방안	지방자치단체의 정보공동구축 협력 체제 수립 지방자치단체의 정보공유체계 수립 도로시설물 관리시스템 범용화를 위한 기본설계 도로기반시설물 통합관리 사업 발전 방향
연구 한계	도로를 기반으로 한 상하수도 시설물 범용프로그램화를 검토함에 있어 도로를 배제하였으며, 구체적인 활용 방안이 제시되지 않음	지방자치단체에서 상하수도 관리 범용프로그램 도입이후 구체적인 유지관리 방안이 제시되지 않음	도로관리 범용 프로그램의 기본설계에 치중하여 지방자치단체에 도입이후 타 정보시스템과의 연계방안 제시가 미흡



< 그림 3.117. > 범용시스템 기본설계 개념도

나. 범용시스템의 정의

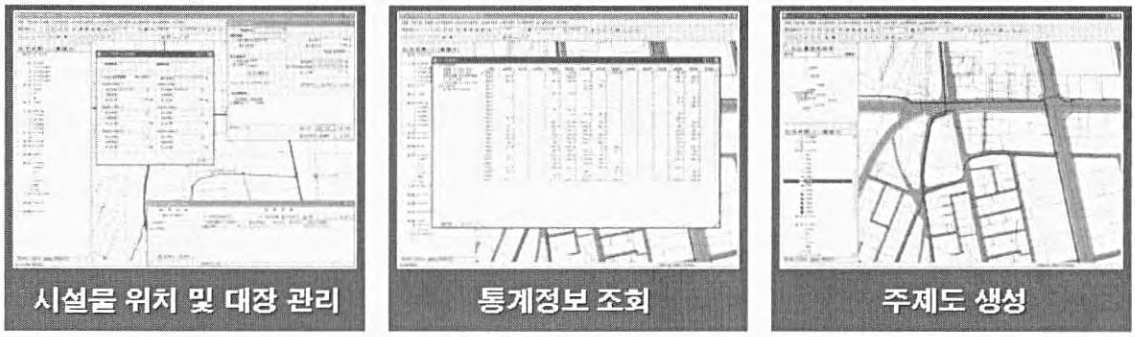
시설물관리 범용시스템은 도로기반 시설물 중에서 상대적으로 업무 전산화 효과가 높은 도로 및 상하수도 관리업무에 대해 각각의 업무가 갖는 공통 업무를 추출하고, 추출된 업무의 절차와 관리데이터 형태를 표준화하여 전산화한 응용시스템을 말한다.

이러한 범용 시스템의 개발 과정은 다음의 <그림 3.118.>에 나타나 있다.



< 그림 3.118. > 범용시스템 개발 과정

다. 범용시스템의 활용



시스템 사용 전

- 시설물 관리대장의 미 정비로 현황파악 불가
- 담당자의 기억에 의존하여 부정확
- 관련 도면 및 대장의 이중 보관 또는 망실, 훼손으로 정확한 현황 파악 곤란

시스템 사용 후 업무 개선 효과

- 시설물 위치와 대장을 동시에 조회하여 현황파악 시간 단축
- 정확한 통계정보와 동별, 지역별, 시설물 종류별 다양한 주제도를 생성하여 계획 수립을 위한 의사결정 지원

< 그림 3.119.> 시설물 현황 관리 업무 개선



시스템 사용 전

- 타 시설물의 위치를 조사하기 위하여 관련 부서 또는 유관기관의 도면 입수
- 시설물 담당자의 확인
- 필요 시 굴착 및 현장 확인

시스템 사용 후 업무 개선 효과

- 타 시설물의 위치와 대장을 실시간으로 조회
- 시설물간의 상대적 위치와 심도를 실시간으로 파악하여 안전사고 예방

< 그림 3.120.> 3차원 횡단면도 조회 업무의 효율화

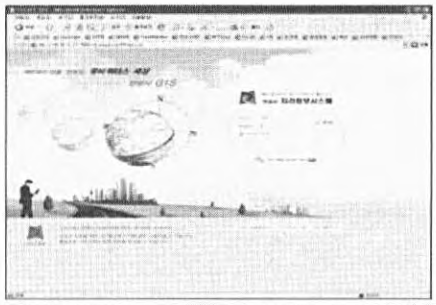


< 그림 3.121.> 단수 대상 주택 자동 추출



< 그림 3.122.> 각종 행정 정보시스템의 통합 운영





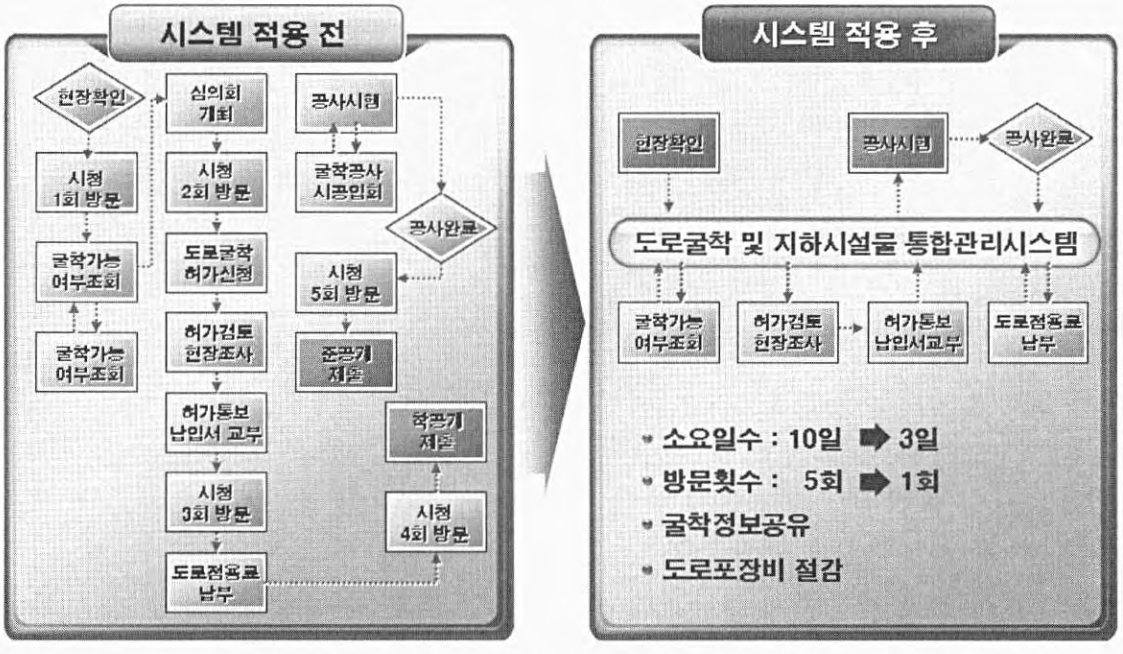
시스템 사용 전

- 도로, 상하수도 담당자 외에는 시설물 정보 조회 불가
- 위치나 지번을 조회하기 위해 새주소 시스템과 웹gis시스템을 별도로 사용하여 업무 불편

시스템 사용 후 업무 개선 효과

- 도로, 상하수도 담당자 외에 권한을 부여받은 유관부서 실무자도 시설물정보 조회 및 공유
- 자료 요청 및 수집을 위한 전화 연락이나 방문 시간 단축
- 건물명 및 지번으로 위치 조회
- 새주소시스템이나 웹gis시스템 불필요

< 그림 3.123.> 인트라넷을 이용한 시설물 관리 시스템 구현



< 그림 3.124.> 온라인 도로 굴착 관리 시스템에 의한 업무 프로세스 변화

5. 지하시설물 관리 시스템의 데이터베이스 구조 분석

지하시설물 시스템의 구축을 위하여 업무에 사용되는 각종 정보 및 서류 양식 등은 코드와 레이어, 대장 등의 형태로 각각 부호화 되어 국가의 기준 또는 필요에 따른 사용자 정의에 의하여 구축된다.

다음의 표는 하수 관련 코드 목록의 예를 나타내고 있다.

<표 3.55.> 하수 관련 코드 목록 예

대구분	코드	세부 형식	대구분	코드	세부 형식
배수설비인허가대장_하수처리구분	BRC000	미분류	역사이펀_역사이펀형태	FOR017	고형체형
배수설비인허가대장_하수처리구분	BRC001	분류식	역사이펀_역사이펀형태	FOR024	각형
배수설비인허가대장_하수처리구분	BRC002	합류식	역사이펀_역사이펀형태	FOR006	난원
역사이펀_역사이펀용도	SBA003	우수관	역사이펀_역사이펀형태	FOR013	돛대,활대처럼 둥글고
역사이펀_역사이펀용도	SBA000	미분류	역사이펀_역사이펀형태	FOR034	T형
역사이펀_역사이펀용도	SBA004	오수관	역사이펀_역사이펀형태	FOR003	원통형
역사이펀_역사이펀용도	SBA001	합류관	역사이펀_역사이펀형태	FOR012	기둥,축
역사이펀_역사이펀용도	SBA002	차집관	역사이펀_역사이펀형태	FOR021	평방형
역사이펀_역사이펀재질	MOP015	주철관	역사이펀_역사이펀형태	FOR026	태형
역사이펀_역사이펀재질	MOP028	폴리에틸렌분체라이닝	역사이펀_역사이펀형태	FOR010	피라미드형
역사이펀_역사이펀재질	MOP032	후렉스블전선함	역사이펀_역사이펀형태	FOR004	구형
역사이펀_역사이펀재질	MOP033	철근콘크리트박스	역사이펀_역사이펀형태	FOR001	원형
역사이펀_역사이펀재질	MOP000	미분류	역사이펀_역사이펀형태	FOR016	돔형
역사이펀_역사이펀재질	MOP041	FRP	역사이펀_역사이펀형태	FOR007	반원형
역사이펀_역사이펀재질	MOP005	폴리에틸렌관	역사이펀_역사이펀형태	FOR022	다이아몬드형
역사이펀_역사이펀재질	MOP012	흄관	역사이펀_역사이펀형태	FOR015	다중아치형
역사이펀_역사이펀재질	MOP011	연관	역사이펀_역사이펀형태	FOR030	A형
역사이펀_역사이펀재질	MOP006	스테인레스관	역사이펀_역사이펀형태	FOR023	사다리꼴
역사이펀_역사이펀재질	MOP002	강관(CP)	우수토실_맨홀존재여부	MAH000	미분류
역사이펀_역사이펀재질	MOP003	아연도강관	우수토실_맨홀존재여부	MAH001	유
역사이펀_역사이펀재질	MOP010	회주철관	우수토실_맨홀존재여부	MAH002	무
역사이펀_역사이펀재질	MOP018	석축	우수토실_우수토실형태	FOR004	구형
역사이펀_역사이펀재질	MOP040	원심력철근콘크리트	우수토실_우수토실형태	FOR031	H형
역사이펀_역사이펀재질	MOP014	강관(ST)	우수토실_우수토실형태	FOR033	Y형
역사이펀_역사이펀재질	MOP004	경화염화비닐관	우수토실_우수토실형태	FOR000	미분류
역사이펀_역사이펀재질	MOP999	기타	우수토실_우수토실형태	FOR010	피라미드형
역사이펀_역사이펀재질	MOP007	동관	우수토실_우수토실형태	FOR005	타원형
역사이펀_역사이펀재질	MOP017	도관	우수토실_우수토실형태	FOR003	원통형
역사이펀_역사이펀재질	MOP020	토관	우수토실_우수토실형태	FOR014	아치형
역사이펀_역사이펀재질	MOP042	강재	우수토실_우수토실형태	FOR023	사다리꼴
역사이펀_역사이펀재질	MOP036	폴리에틸렌피복강관	우수토실_우수토실형태	FOR020	사각형
역사이펀_역사이펀재질	MOP001	닥타일주철관	우수토실_우수토실형태	FOR001	원형
역사이펀_역사이펀재질	MOP019	도복장강관	우수토실_우수토실형태	FOR015	다중아치형
역사이펀_역사이펀재질	MOP013	철근콘크리트관	우수토실_우수토실형태	FOR034	T형
역사이펀_역사이펀형태	FOR050	불규칙한 형태	우수토실_우수토실형태	FOR024	각형
역사이펀_역사이펀형태	FOR014	아치형	우수토실_우수토실형태	FOR011	사면체형
역사이펀_역사이펀형태	FOR002	원추형	우수토실_우수토실형태	FOR006	난원

표준에 의하여 정의되어 있는 각종 지형지물 관련 코드 및 레이어는 실 업무에 적용되기 위하여 시스템으로 정의되고 설계되어야 한다. 이러한 과정은 매우 복잡하고, 효율적인 자료의 입력과 관리, 운용을 위하여 최적으로 설계되고 구축되어야 하는 과정이다.

범용의 하수관리시스템도 동일한 과정을 통하여 데이터베이스의 설계, 시스템의 구축, 자료 입력, 운용의 과정을 거치게 된다.

범용시스템의 인증 및 설계는 도로기반시설물정보통합관리에 관한지침을 따라 작성한다.

다음의 표는 범용시스템을 도입하여 지자체에서 하수관시스템 구축한 산출물의 예로써 이를 토대로 멀티센서 시스템관련 테이블의 설계가 이루어져야 한다.

<표 3.56> 하수관리시스템의 테이블 정의

NO	테이블명	내용
1	SWT_PIPE_MA	하수관거대장
2	SWT_CONN_MA	하수연결관대장
3	SWT_BADP_DT	불량하수관거
4	SWT_PTST_DT	하수관거검사내역
5	SWT_SIDE_MA	측구대장
6	SWT_MANH_MA	하수맨홀대장
7	SWT_SPOT_MA	물받이대장
8	SWT_CLAY_MA	우수토실대장
9	SWT_RSPH_MA	역사이펀대장
10	SWT_SPEW_MA	토구대장
11	SWT_VENT_MA	환기구대장
12	SWT_JIPW_MA	집수구대장
13	SWT_RIVR_MA	하천대장
14	SWT_SUTL_HT	하수관망시설 보수이력
15	SWT_SUTL_LNK	하수관망시설 보수이력 연결
16	SWT_PIDR_HT	하수준설이력
17	SWT_DRDG_DR	하수준설일지
18	SWT_AODP_MA	처리구역대장
19	SWT_DODP_MA	처리분구대장
20	SWT_DODS_MA	소처리분구대장
21	SWT_AODR_MA	배수구역대장
22	SWT_DODR_MA	배수분구대장
23	SWT_SSER_MA	배수불량민원대장
24	SWT_SPMT_MA	배수설비대장
25	SWT_DRAN_MA	하수처리장대장
26	SWT_PUMP_AS	하수펌프장대장
27	SWT_ATTA_DT	하수부속시설 세부현황
28	SWT_CTPP_MA	차집관로대장
29	SWT_CONS_MA	하수공사대장
30	SWT_COST_DT	하수공사 공사비지급내역
31	SWT_CHNG_DT	하수공사 설계변경내역
32	SWT_SUBC_DT	하수공사 하도급내역
33	SWT_FLAW_DT	하수공사 하자보수내역

34	SWT_PBRS_DT	하수광사 관급자재내역
35	SWT_AUDT_DR	하수공사 감리업무일지
36	SWT_IMGE_ET	하수 설계도면/사진
37	SWT_CCTV_MA	CCTV촬영대장
38	SWL_VALV_PS	하수밸브대장
39	SWL_CPIP_LM	하수폐관대장

위에서 정의된 각종 하수관리시스템의 세부적인 설계의 예는 다음의 표에 나타나 있다. 다음의 표는 하수 관리의 기본적인 내용을 포함하고 있는 하수관거대장에 대한 테이블의 정의에 대한 하나의 예이다.

<표 3.57> 하수관리 테이블의 정의

테이블명	하수관거대장			
번호	컬럼ID	항목정의	필수	분류
1	FTR_CDE	지형지물부호	*	권고안
2	FTR_IDN	관리번호	*	NGIS,건교부
3	HJD_CDE	법정동	*	권고안
4	SHT_NUM	도엽번호	*	권고안
5	MNG_CDE	관리기관	*	건교부
6	IST_YMD	설치일자		NGIS,건교부
7	SBA_CDE	하수관용도	*	권고안
8	MOP_CDE	관재질	*	NGIS,건교부
9	LIT_CDE	규모		NGIS,건교부
10	FOR_CDE	단면형태	*	NGIS,건교부
11	PIP_DIP	구경		NGIS,건교부
12	PIP_HOL	가로길이		NGIS
13	PIP_VEL	세로길이		NGIS
14	PIP_LEN	연장		NGIS,건교부
15	BEG_DEP	시점깊이		NGIS
16	END_DEP	종점깊이		NGIS
17	SBK_ALT	시점관저고		권고안
18	SBL_ALT	종점관저고		권고안
19	PIP_SLP	평균구배		NGIS,건교부
20	PIP_LIN	차선통로수		NGIS
21	PIP_SBO	우수배수면적		NGIS,건교부
22	PIP_SBP	오수배수면적		NGIS,건교부
23	PIP_SBQ	우천시유속		NGIS,건교부
24	PIP_SBR	청천시유속		NGIS,건교부
25	BOM_CDE	시점맨홀지형지물부호		권고안
26	BOM_IDN	시점맨홀관리번호		NGIS,건교부
27	EOM_CDE	종점맨홀지형지물부호		권고안
28	EOM_IDN	종점맨홀관리번호		NGIS,건교부

위의 테이블에서 정의되어 있는 세부 항목들에 대한 설명은 다음 표에 나타나 있다.

<표 3.58> 테이블 정의 세부 항목 세부

속성	설명
지형지물부호	하수관거를 암거 및 개거로 구분 암거 : SB001 개거 : SB002 매설형태를 동시에 관리함
관리번호	관거의 관리번호
법정동	관거가 포함된 법정동
도엽번호	하수관이 포함된 1/1000 도엽의 번호
관리기관	하수관의 관리기관 : 관리기관 참조(기본값 : 미분류)
설치일자	관거가 매설된 년월일
하수관용도	하수관의 용도 : 하수관용도 참조(기본값 : 미분류) SBA000 : 미분류, SBA001 : 합류관, SBA002 : 차집관, SBA003 : 우수관, SBA004 : 오수관
관재질	하수관의 재질 : 관재질 참조(기본값 : 미분류)
규모	하수관의 규모 : 규모 참조(기본값 : 미분류)
단면형태	하수관의 구조물의 단면 형태 : 구조물 형태 참조(기본값 : 미분류)
구경	하수관의 구경, 단면이 원형인 경우 해당
가로길이	하수관거의 가로 길이, 단면이 사각형인 경우 해당
세로길이	하수관거의 세로 길이, 단면이 사각형인 경우 해당
연장	하수관거의 연장
시점깊이	하수관거 시점의 심도
종점깊이	하수관거 종점의 심도
시점관저고	관하단을 기준으로 한 시점의 해발고도값
종점관저고	관하단을 기준으로 한 종점의 해발고도값
평균구배	하수관거의 경사도평균구배 = tan(sin-1(|시점관저고-종점관저고)/관거연장|)*100
차선통로수	하수관거의 수량
우수배수면적	우수의 배수면적
오수배수면적	오수의 배수면적
우천시 유속	우천시 유속
청천시 유속	청천시 유속
불탐여부	탐사 : KSY001, 불탐 : KSY002, 미분류 : KSY999
시점맨홀지형지물부호 시점맨홀관리번호	하수관의 시점에 위치한 하수맨홀 지형지물부호 및 관리번호
종점맨홀지형지물부호 종점맨홀관리번호	하수관의 종점에 위치한 하수맨홀 지형지물부호 및 관리번호

또한 이러한 코드와 테이블에 의하여 구성되는 레이어에 대한 세부적인 설계의 예는 다음의 표에 나타나 있다.

<표 3.59> 레이어 정의 예

레이어정의서									
시스템명	하수도관리시스템				작성일				
테이블ID	SWL_PIPE_LM				작성자				
테이블명	하수관거								
관리단위									
도형타입	선형								
번호	컬럼ID	항목정의	형태	자릿수	키	단위	필수	분류	비고
1	FTR_CDE	지형지물부호	문자	5	*		*	권고안	
2	FTR_IDN	관리번호	숫자	6	*		*	NGIS,건교부	
3	PIP_LBL	관라벨	문자	50				권고안	
4	FT_SYM	심볼구분	숫자	2					

○ 항목정의 설명

속성	설명
지형지물부호	암거:SB001,개거:SB002,하수연결관:sb003,측구:SB004 매설형태를동시에관리함
관리번호	관거의 관리번호
관라벨	하수관거의Label로하수관거항목을조합하여생성(하수연결관제외) 원형관의경우:설치년도(4자리)+ '/' +관재질약어+ '/Ø' +구경+' /L' +연장 + '/D' +평균깊이 사각형관의경우:설치년도(4자리)+ '/' +관재질약어+ '/' +가로길이+' *' +세로길 이+' /L' +연장+ '/D' +평균깊이
FT_SYM	FTR_CDE -> 0 (암거:SB001), 1(개거:SB002), 2 (연결관:SB003), 3(측구:SB002)
SBA_SYM	SBA_CDE -> 0 (SBA000:미분류), 1 (SBA001:합류관), 2 (SBA002:차집관), 3 (SBA003:우수관), 4 (SBA004:오수관)

하수도 관리 시스템을 위하여 필요한 레이어의 목록은 다음 표에 나타나 있다.

<표 3.60> 레이어 전체 목록

NO	테이블명	내용	비고
1	SWL_PIPE_LM	하수관거	
2	SWL_PIPE_AS	면형하수관거	
3	SWL_DEPT_PS	하수관거심도	
4	SWL_MANH_PS	하수맨홀	
5	SWL_SPOT_PS	물받이	
6	SWL_CLAY_PS	우수토실	
7	SWL_RSPH_PS	역사이펀	
8	SWL_SPEW_PS	토구	
9	SWL_VENT_PS	환기구	
10	SWL_DRAN_AS	하수처리장	
11	SWL_PUMP_AS	하수펌프장	
12	SWL_SPUMP_PS	간이펌프장	
13	SWL_AODP_AS	처리구역	
14	SWL_DODP_AS	처리분구	
15	SWL_DODS_AS	소처리분구	
16	SWL_AODR_AS	배수구역	
17	SWL_DODR_AS	배수분구	
18	SWL_JIPW_PS	집수구	
19	SWL_RIVR_AS	하천	
20	SWL_WRJN_PS	오접합	
21	SWL_ATTA_AS	하수부속시설물	
22	SWL_VALV_PS	하수배수	
23	SWL_IFLW_PS	유입구	
24	SWL_CPIP_LM	하수폐관	
25	SWL_CNTR_PS	제어기	
26	SWL_PEND_PS	하수관말	

6. 관거 정보 연계 방안

현재까지 각 지방자치단체 등에서 구축한 지하시설물 관리 시스템과 연계를 통하여 하수 관로의 상태 및 판독 정보를 관리하는데 있어서 가장 효율적인 방법은 기존에 구축되어 있는 정보를 최대한 활용하는 것이다. 앞선 사례에서 나타난 바와 같이 일반적인 하수 관리 시스템의 기본은 시설물의 위치, 인식 번호, 고유 속성 등으로 구성되어 있다.

본 연구에 의하여 생성되는 정보는 관로 영상 정보, 관로 상태 평가 정보, 관로 상태 판독 정보, 관 이음매 정보, 관로 배면 상태 정보 등으로 구분할 수 있다. 이러한 정보는 별도의 위치 정보와 연계되는 것이 아니라 기존의 시스템에 존재하는 정보와 연계하여 관리하는 것이 종합적인 관리 측면뿐만아니라, 운용상에 있어서도 많은 장점을 가지고 있다고 할 수 있다.

기존의 시스템과 연계하는데 있어서 필요한 정보는 관로 정보, 맨홀 정보를 중심으로, 배수구역, 관로 상태, 관리자 등의 세부적인 정보를 기반으로 하는 것이 필요하다.

관로의 정보는 앞 절에서 기술된 하수관거 대장에 자세히 나타나 있다. 이 하수관거 대장에는 지형지물부호, 관리번호, 법정동, 도엽번호, 관리기관, 설치일자, 하수관용도, 관재질, 규모, 단면형태, 구경, 가로길이, 세로길이, 연장, 시점깊이, 종점깊이, 시점관저고, 종점관저고, 평균구배, 차선통로수, 우수배수면적, 오수배수면적, 우천시유속, 청천시유속, 시점맨홀지형지물부호, 시점맨홀관리번호, 종점맨홀지형지물부호, 종점맨홀관리번호 등을 포함하고 있어 본 연구에 의하여 생성되는 각종 관리 정보를 모두 포함하고 있다.

특히 기존의 범용 시스템에서는 관로에 대한 정보만이 아니라. 맨홀의 세부적인 정보를 포함한 각종 정보를 데이터베이스화하고 있다. 따라서 이러한 정보를 이용하는 것이 정보의 중복 생산을 방지하고, 규칙적이고 통일된 기준에 의하여 정보를 체계적으로 관리하는 기법을 생산할 수 있다.

<표 3.61.>과 <표 3.62.>은 맨홀에 대한 정보를 포함하고 있는 맨홀대장의 구성 예를 나타내고 있다. 이러한 구성을 통하여 하수관거의 정보와 관거의 구분 및 시 종점을 나타내는 각종 맨홀에 대한 정보 및 상태 정보를 현장에서 측량하지 않아도 됨으로 경제적인 측량이 가능할 수 있다.

<표 3.61> 하수 맨홀 대장 테이블의 구성

테이블명	하수맨홀대장			
번호	컬럼ID	항목정의	필수	분류
1	FTR_CDE	지형지물부호	*	권고안
2	FTR_IDN	관리번호	*	NGIS,건교부
3	HJD_CDE	법정동	*	국토연
4	SHT_NUM	도엽번호	*	권고안
5	MNG_CDE	관리기관	*	건교부
6	IST_YMD	설치일자		NGIS,건교부
7	ECN_YMD	최종준설일자		건교부
8	SMU_CDE	하수맨홀용도	*	건교부
9	FOR_CDE	하수맨홀형태	*	NGIS,건교부
10	SOM_CDE	하수맨홀종류	*	NGIS,건교부
11	MAN_DIP	하수맨홀구경		국토연
12	MAN_HOL	하수맨홀가로		국토연
13	MAN_VEL	하수맨홀세로		국토연
14	MAN_HEI	하수맨홀높이		
15	SBC_CDE	하수맨홀뚜껑재질	*	NGIS,건교부
16	IVT_CDE	인버트유무	*	건교부
17	LAD_CDE	사다리설치유무	*	국토연
18	MOS_HSL	하수맨홀고도		NGIS,건교부
19	LMS_HSL	하수맨홀저고		국토연
20	PIP_SLP	하수맨홀이상상태	*	권고안

<표 3.62> 하수 맨홀 대장 테이블의 구성 세부 설명

속성	세부 설명
지형지물부호	하수맨홀 : SB101
관리번호	하수맨홀의 관리번호
법정동	하수맨홀이 포함된 법정동
도엽번호	하수맨홀이 포함된 1/500 도엽의 번호
관리기관	하수맨홀의 관리기관 : 관리기관 참조(기본값 : 미분류)
설치일자	하수맨홀이 설치된 년월일
최종준설일자	하수맨홀이 최종으로 준설된 년월일
하수맨홀용도	하수맨홀의 용도 구분 : 하수맨홀용도 참조(기본값 : 미분류)
하수맨홀형태	하수맨홀의 형태 구분 : 주로 미분류, 원형, 구형 존재; 구조물형태 참조(기본값 : 미분류)
하수맨홀종류	하수맨홀의 종류 : 맨홀종류 참조(기본값 : 미분류)
하수맨홀 구경	하수맨홀이 원형일 경우 구경
하수맨홀 가로	하수맨홀이 각형일 경우 가로길이
하수맨홀 세로	하수맨홀이 각형일 경우 세로길이
하수맨홀뚜껑재질	하수맨홀의 뚜껑재질 : 뚜껑재질 참조(기본값 : 미분류)
인버트유무	인버트의 설치 유무 : 인버트유무 참조(기본값 : 미분류)
사다리설치유무	사다리의 설치 유무 : 사다리유무 참조(기본값 : 미분류)
하수맨홀 고도	하수맨홀 뚜껑의 지반고
하수맨홀 저고	하수맨홀 바닥의 고도값
하수맨홀이상상태	하수맨홀의 이상상태 : 이상상태 참조(기본값 : 미분류)

이러한 기존의 시스템은 일반적으로 하나의 일체형 시스템으로 구성되어 있는 경우가 많다. 따라서, 본 연구에서 개발된 자료를 관리하기 위한 시스템은 설계 단계에서 반영할 수 있으면 관리시스템 상에서 일련적으로 구동되는 시스템으로 구성되는 것이 이상적이다.

그러나, 기존의 시스템은 현재 많은 지방자치단체 및 정부 기관에서 구축하여 사용되고 있고, 기존의 시스템이나 소프트웨어를 부분적으로 수정하는 것은 여러 가지 문제로 인하여 어려움이 있을 것으로 사료된다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서 산출되는 정보 및 정보 처리, 조회, 관리의 기능을 가지는 기능은 기존의 시스템을 최대한 유지하고 별도의 모듈 또는 소프트웨어를 접합하여 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

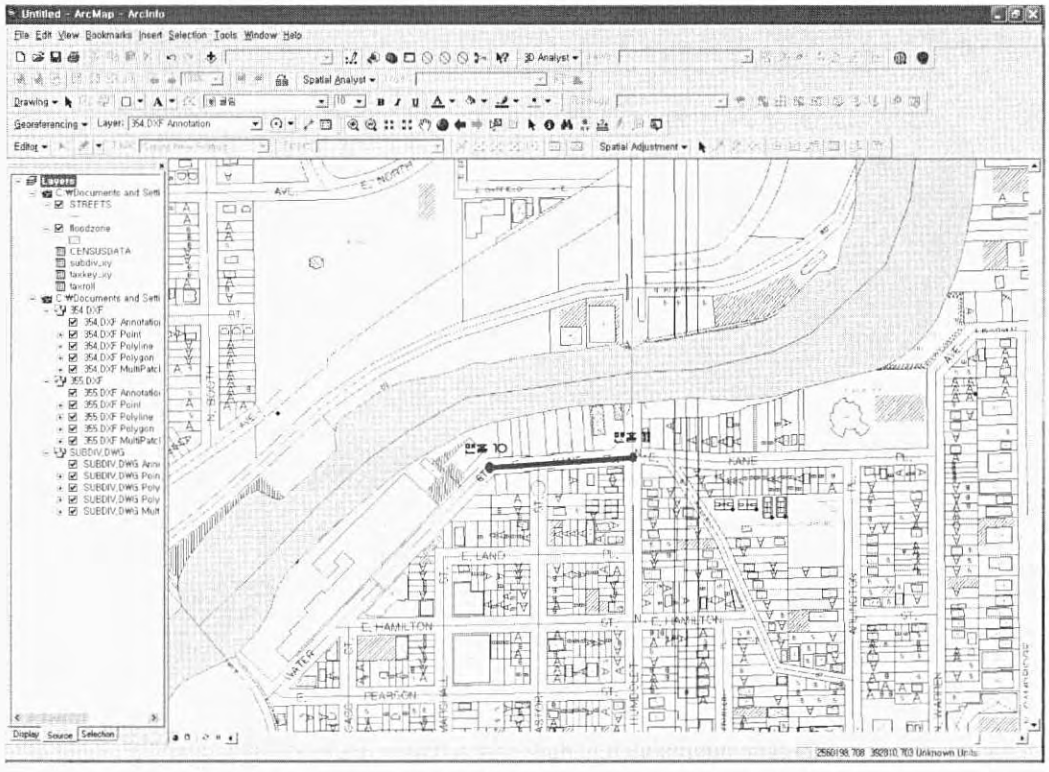
향후 소프트웨어의 수정이나 업그레이드를 위하여 시스템을 재설계하는 과정이나 작업이 진행된다면, 그 작업 과정에 시스템 내부에서 이를 흡수하거나, 별로의 모듈로써 접합할 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

다음의 <표 3.63.>은 정보 관리 모듈을 지원할 수 있는 속성 테이블의 예를 나타내고 있다.

<표 3.63.> 관로 내부 조사 관리 테이블

테이블명	하수관거검사내역			
번호	컬럼ID	항목정의	필수	분류
1	SIN_IDS	하수관거검사_관리번호	*	
2	STR_CDE	하수관거_지형지물부호		
3	FTR_IDN	하수관거_관리번호	*	
4	PTP_STA	검사후상태	*	
5	ABN_COR	이상지점		
6	**INS-IMG**	**전개 영상**		**이미지 파일**
7	**INS-GPR**	**배면 탐사 이미지**		**이미지 파일**
8	BAD-ITM	관로 상태 판단 항목		
9	JTN_NUM	관 이음부 번호		
10	JNT_STA	이음부상태		
11	OBS_STA	장애물상태		
12	TOT_EST	종합평가		
13	**FRT_VTR**	**전방 영상 파일 명**		**동영상파일명**
14	CCD_IDS	CCTV관리번호		
15	CRT_IDE	최초생성자		
16	MDF_IDE	최종갱신자		
17	MDF_SDT	최종갱신일		

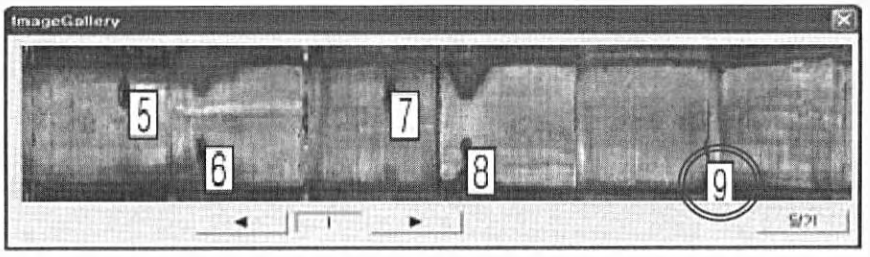
다음의 <그림 3.125.>은 일반적인 GIS 소프트웨어에서 관로의 상태 영상 정보를 조회하는 과정 중 관로의 대상을 선택하는 과정의 예를 나타내고 있다.



< 그림 3.125 > GIS 소프트웨어 상에서 영상 정보 연결(대상 선택)

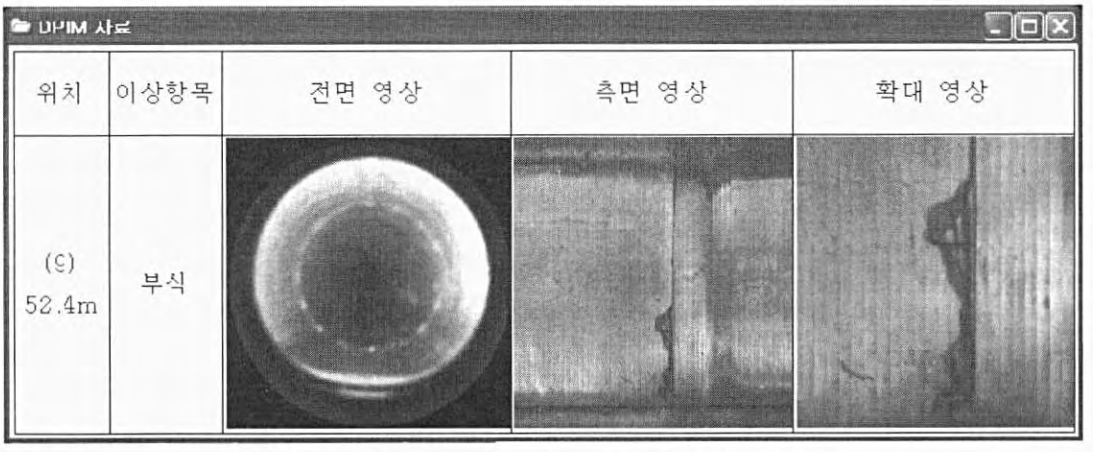
DPIM 시스템을 통하여 조사된 영상정보는 하수관거 조사보고서 문서형식으로 출력될 뿐만 아니라 DPIM 결과물에 위치정보를 수록하고 있어서 위의 GIS 소프트웨어와 링크작업을 통하여 관로별 상황을 다음과 같이 쉽게 열람할 수 있다.

대상 선택을 한 후에는 영상 정보를 호출할 수 있는 독립적인 윈도우를 통하거나, 지도의 하단부 연계하여 대상물을 조회할 수 있다. 이때 다른 정보와 영상 정보를 연결하는 것은 GIS 위치 기반 데이터인 거리 정보를 이용하는 경우 정확한 연결이 가능하다.



< 그림 3.126 > 위치에 기반한 영상 상태 정보 조회

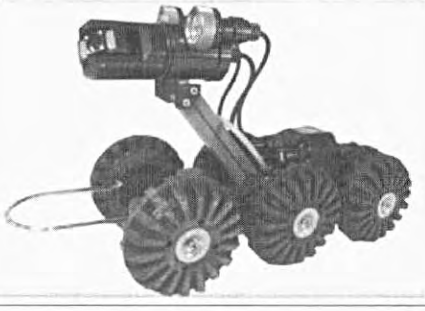
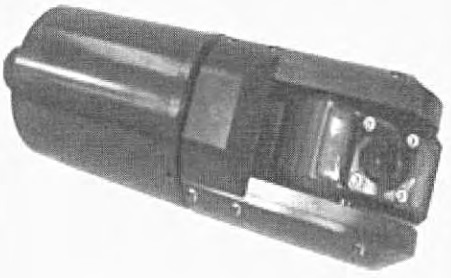
연결된 영상 정보는 상태만을 나타내는 정보를 제공할 수도 있으며, 관로 상태를 판독한 자료를 연결하는 경우에 있어서는 결함 부위를 파악할 수 있는 자료로써 다양하게 제공될 수 있다.



< 그림 3.127 > 이상 항목의 세부 정보 조회

제8절 CCTV방식과 본기술 비교

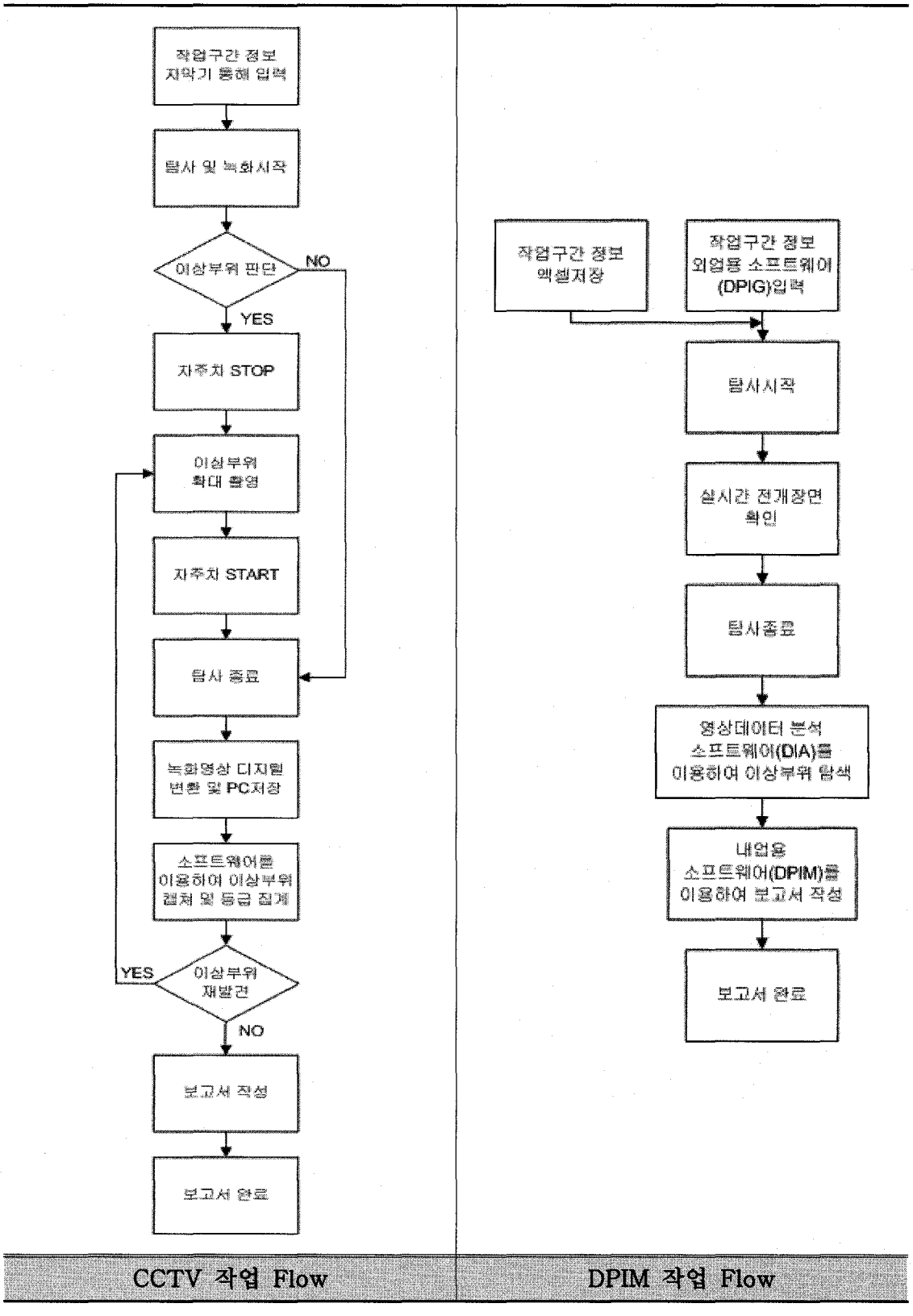
1. 하드웨어 비교

항목	CCTV	DPIM
외형		
카메라 및 렌즈 부	 41만 화소 카메라 사용	 80만 화소 카메라 사용
카메라 부가기능	Pan, Zoom, Tilt	불필요
판독범위	1mm이상	0.1mm이상
부가장비	컨트롤러 + 자막기	컨트롤러
녹화 장비	VCR, DVD, PMP	하드드라이브
바퀴형태	원형 + 6륜	원형 + 8륜
구동방식	체인을 이용한 전륜 구동	기어를 이용한 전륜 구동
비고	- 카메라 부가기능으로 인하여 카메라 부피가 큼. - 현장 조사시에 자막기를 이용하여 VCR과 같은 매체에 자막과 같이 녹화해야 함. - 체인을 이용한 구동방식이므로 체인이 노후화 되어 늘어남에 따라 바퀴가 헛도는 현상 발생.	- 실시간으로 전면과 측면을 저장하기 때문에 카메라에 부가기능이 필요없음. - PC의 소프트웨어를 이용하기 때문에 자막기와 같은 부가적인 장비가 필요없으며, 촬영결과물을 PC에 바로 저장가능함. - 기어방식을 채택하여 바퀴 헛도는 현상이 없으며, 장애물 극복능력이 탁월.

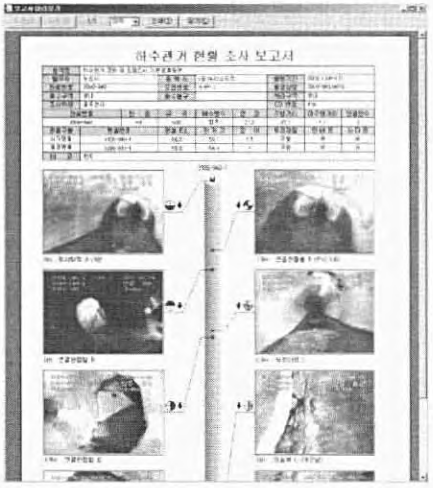
2. 운전방식, 영상결과물 처리 및 보고서 작성 비교

항목	CCTV	DPIM
운전방식	Stop and go 촬영 방식	연속 촬영 방식
원본 영상 변환	필요	불필요
파일 포맷	avi, mpeg	위치정보를 가지고 있는 jpeg
이상부위 탐색방법	- 조사자가 이상부위 발견시 자주차를 정지 후 이상부위 중심을 확대 및 다각도 촬영 후 자주차 전진	- 연속촬영 후 영상분석 소프트웨어(DIA)를 이용하여 이상부위 판독
보고서 작성	- 이상부위 중심으로 촬영한 영상을 별도의 소프트웨어를 이용하여 화면캡쳐 후 보고서 작성	- DIA에서 이상부위 범위 설정 후 내업용 소프트웨어(DIPIM)에서 자동으로 이미지 생성 및 보고서 작성
비 고	- 조사자의 실수 등으로 이상부위를 놓쳤을 경우 재촬영이 필요함.	- 관내부상태를 전개하여 접합하는 관로도면화를 통하여 누구나 쉽게 이상부위 판독 가능. - 촬영 종료 후에는 재촬영 불필요.

3. 운전절차 비교


작업구간 정보
자막기 통해 입력
탐사 및 녹화시작
이상부위 판단
NO
YES
자주치 STOP
이상부위
확대 촬영
자주치 START
탐사 종료
녹화영상 디지털
변환 및 PC저장
소프트웨어를
이용하여 이상부위
캡쳐 및 등급 집계
YES
이상부위
재발견
NO
보고서 작성
보고서 완료
작업구간 정보
엑셀저장
작업구간 정보
외업용 소프트웨어
(DPIG)입력
탐사시작
실시간 전개장면
확인
탐사종료
영상데이터 분석
소프트웨어(DIA)를
이용하여 이상부위 탐색
내업용
소프트웨어(DPIM)를
이용하여 보고서 작성
보고서 완료
CCTV 작업 Flow
DPIM 작업 Flow

4. 출력보고서 비교

시스템	결과 보고서 예	보고서 작성 순서
CCTV		- 조사자가 현장에서 CCTV의 모니터상에서 이상부위를 판별하여 이상부위로 판단될 때 자주차 정지 후 이상부위 중심으로 확대 촬영. - 실내에서 현장에서 녹화된 원본파일은 PC의 소프트웨어를 이용하여 파일변환. - 변환된 파일 중 현장에서 확대촬영한 이상부위를 캡쳐. - 캡쳐한 파일을 이용하여 보고서 작성
DPIM		- 외업용 소프트웨어(DIPIG)를 이용하여 현장에서 실시간으로 관의 전면과 측면 전개 후 접합 - 영상데이터분석소프트웨어(DIA)를 이용하여 현장에서 저장된 결과물에 이상부위 범위 및 항목 표시 - 내업용 소프트웨어(DPIM)에서 이상부위 범위 이미지 자동 생성 후 항목별로 집계 후 보고서 자동 생성

5. 현장조사를 통한 비교

본 조사는 앞에서 설명한 시범사업과 달리 추가적으로 CCTV와 DPIM 시스템과의 현장적용성을 비교하기 위하여 2009년 1월 15일에 경상남도 김해시 내외동의 하수관로를 CCTV시스템과 DPIM 시스템을 이용하여 하수관거 조사를 실시하였다.

CCTV 시스템은 현재 하수관거 조사 업체에 의뢰하여 수행하였으며, 대상관로의 이상부위 뿐만 아니라 이음부와 연결관 접합부까지 조사하여 두 시스템을 비교하고자 하였다. 대상관로는 관경 300mm의 흄관이었으며, 조사구간은 약 30m의 구간을 조사하였다.

또한 CCTV시스템의 경우 촬영 후 동영상 변환에서부터 동영상을 기초로 이상부위 판독까지 모든 작업은 CCTV 조사업체에서 수행하였다.

각 시스템을 통하여 조사된 결과를 다음의 표에 정리하였다.

이상항목	CCTV	DPIM
연결관 돌출	1	1
연결관 접합부	6	8
이음부	11	11
관파손및균열	1	1
부식	0	2
합계	19	23

상기의 표에서 알 수 있듯이 연결관 접합부와 부식의 이상항목을 DPIM 시스템에서 추가적으로 판독하였다. 연결관 접합부의 경우 CCTV 시스템에서 충분히 판독가능한 항목이지만 현장에서 작업자가 측시촬영을 안하고 넘어가서 집계에서 제외 되었으며, 관파손및 균열항목의 경우 부식으로 인한 항목을 관파손 및 균열 항목으로 넣었으며, 추가적인 부식 구간도 판독하지 못하였다. 또한 이음부의 미세한 관파손 항목은 CCTV 시스템의 경우 판독하지 못하였지만 DPIM의 경우는 판독가

능하였다.

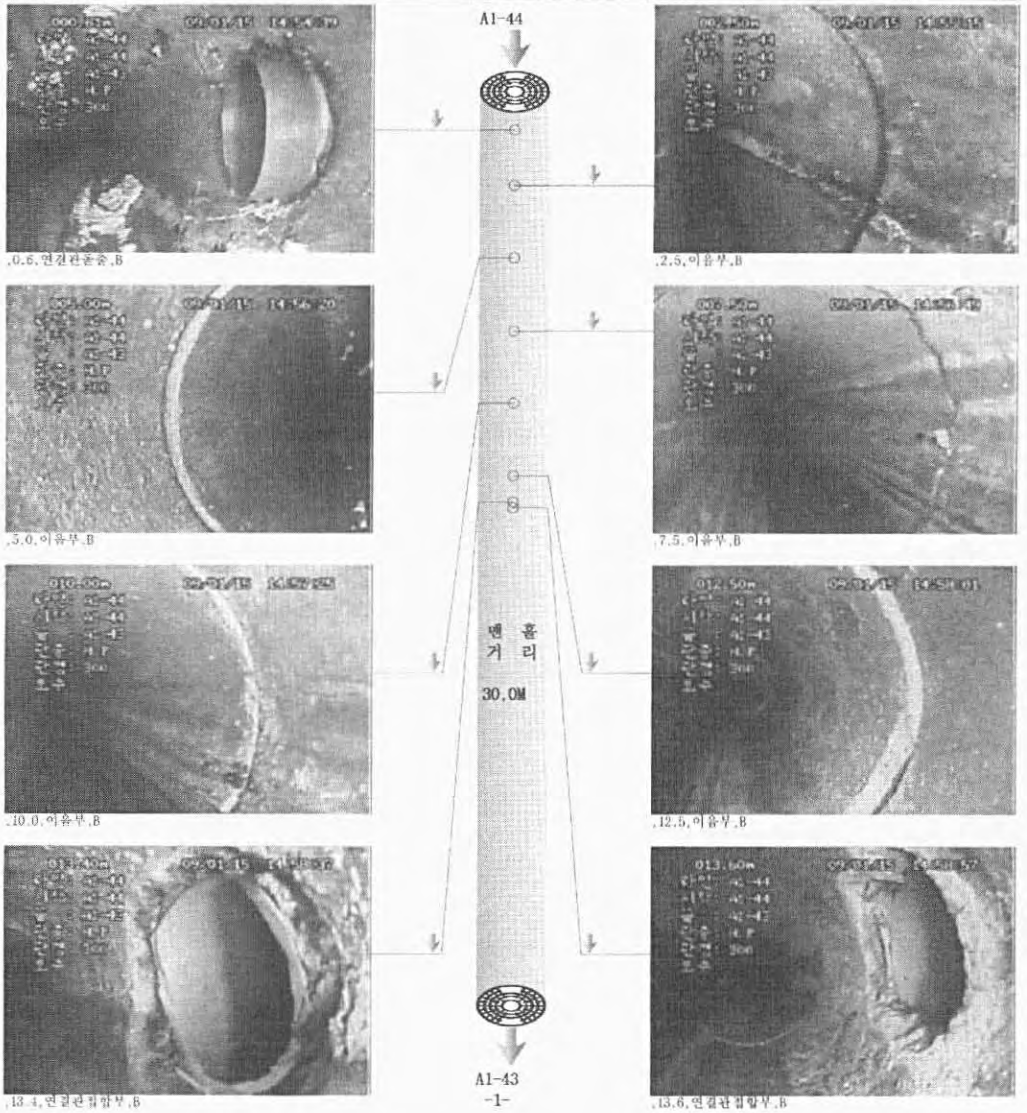
또한 최종결과물인 보고서의 경우 CCTV 시스템은 별도의 파일을 생성되지 않고 지면형태의 보고서로만 출력됨으로써 추가적인 작업이 불가능 하였으며, VCR에 녹화된 촬영 결과물을 동영상 파일로 변환하는 과정에서 열화현상 등으로 화질 저하가 발생하였다.

다음은 CCTV시스템을 통하여 작성된 조사보고서와 DPIM 시스템을 통하여 작성된 조사보고서를 첨부하였다. 두 시스템 모두 집계표가 같이 출력이 되었으나, 본 조사의 경우 한구간만을 탐사하였기 때문에 집계표는 첨부에서 제외시켰다.

가. CCTV시스템을 이용한 하수관거 조사보고서

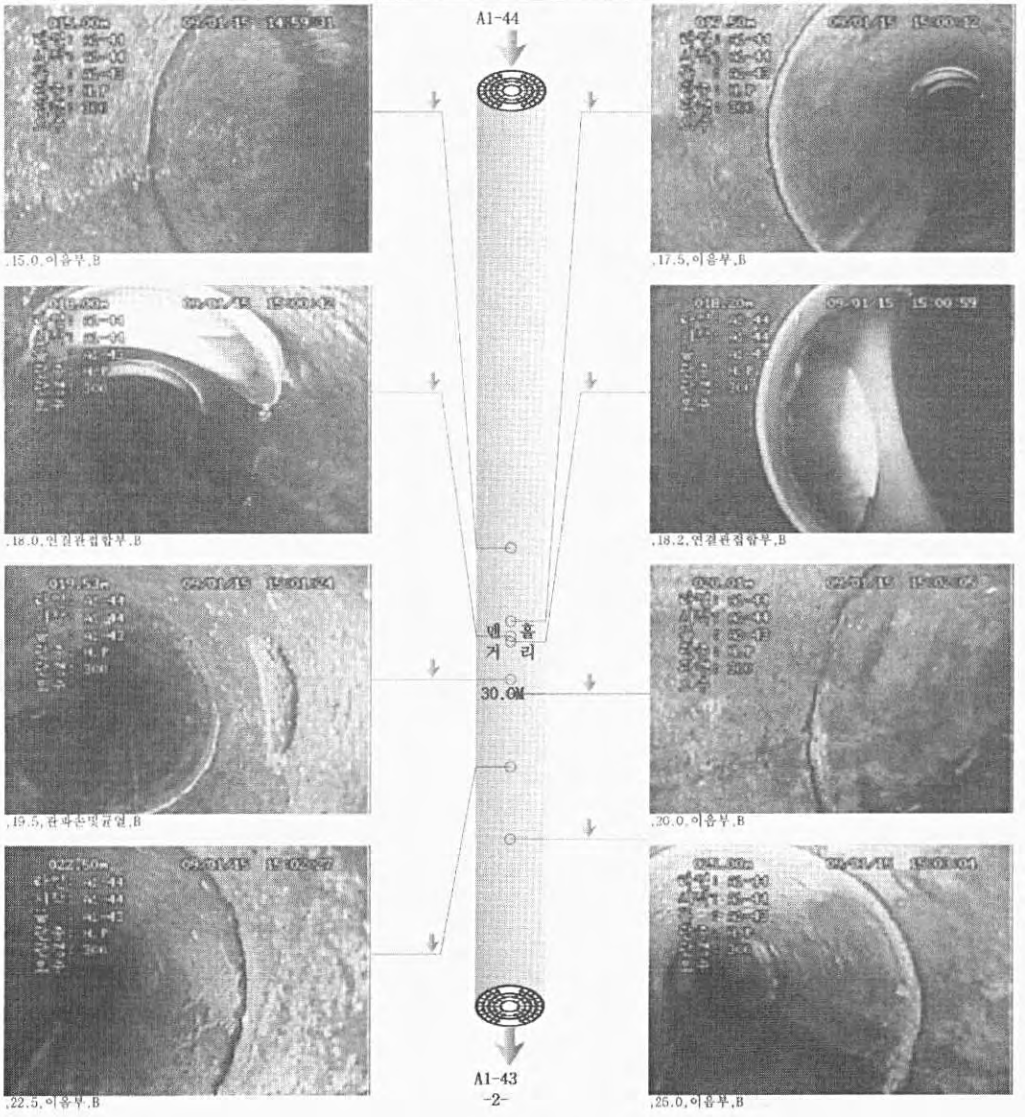
하수관거 종합 조사 보고서

공 사 명	김해 내외동					조사번호	김해 01				
발 주 처		시 공 자				공사기간	~				
조사위치						조 사 자					
배수구역		처리구역				처리분구					
조사목적		조사일자									
관로번호	A1-44	관 종	H.P			규 격	300	배수방식	오수		
맨홀거리	30.0	촬영거리	30.0			CD 번 호		도면번호			
맨 홀 부	번 호	맨홀E.L	관저고	깊 이	맨홀뚜껑	인버트	유 향	X 좌표		Y 좌표	Z 좌표
시작맨홀	A1-44				주철(원형)						
끝 맨 홀	A1-43				주철(원형)						
조사비고											



하수관거 종합 조사 보고서

공 사 명	김해 내외동				조사번호	김해 01			
발 주 처		시 공 자			공사기간	~			
조사위치					조 사 자				
배수구역		처리구역			처리분구				
조사목적		조사일자							
관로번호	A1-44	관 종	H.P		규 격	300	배수방식	오수	
맨홀거리	30.0	촬영거리	30.0		CD 번 호		도면번호		
맨 홀 부	번 호	맨홀E.L	관저고 깊 이	맨홀뚜껑	인버트	유 향	X 좌표	Y 좌표	Z 좌표
시작맨홀	A1-44			주철(원형)					
끝 맨 홀	A1-43			주철(원형)					
조사비고									

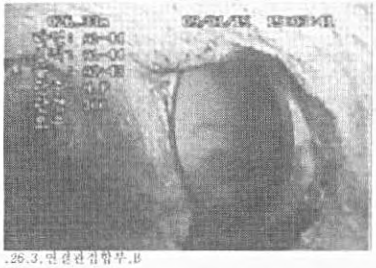


-2-

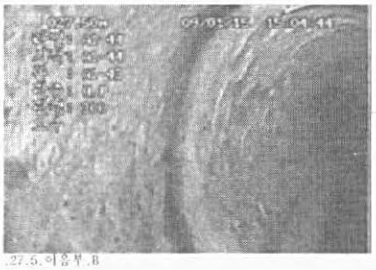
하수관거 종합 조사 보고서

공 사 명	김해 내외동				조사번호	김해 01		
발 주 처		시 공 자			공사기간	~		
조사위치					조 사 자			
배수구역		처리구역			처리분구			
조사목적		조사일자						
관로번호	A1-44	관 종	H.P		규 격	300	배수방식	오수
맨홀거리	30.0	촬영거리	30.0		CD 번 호		도면번호	

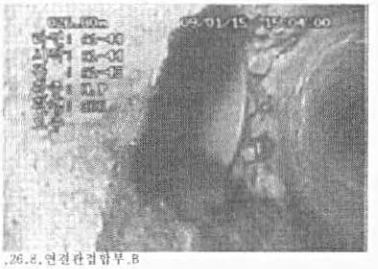
맨 홀 부	번 호	맨홀E.L	관저고	깊 이	맨홀뚜껑	인버트	유 향	X 좌표	Y 좌표	Z 좌표
시작맨홀	A1-44				주철(원형)					
끝 맨 홀	A1-43				주철(원형)					
조사비고										



,26.3.연결관집합부.B



,27.5.이음부.B



,26.8.연결관결합부.B



-3-

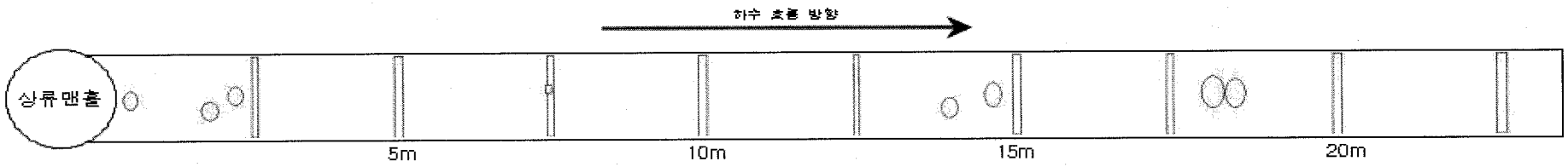
나. DPIM 시스템을 이용한 하수관거 조사보고서

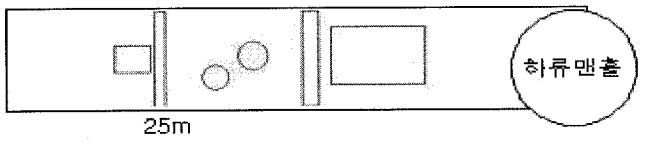
1. 하수 관거 조사보고서

조 사 명	김해시 하수관로 조사			조사 지역(위치)	내외동	조사자	CPENC
조사 일시	2009-01-15	배수 구역	내외동	처리 분구	A	처리 구역	내외동
도엽번호		설계년도		관로 도상거리		관로 촬영거리	30m
관로 번호	A1-44	관로 형태	■	관 경	300	관 종	HP

상류맨홀	맨홀번호	A1-44	맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		
하류맨홀	맨홀번호	A1-43	맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		

관로 이상부 개요

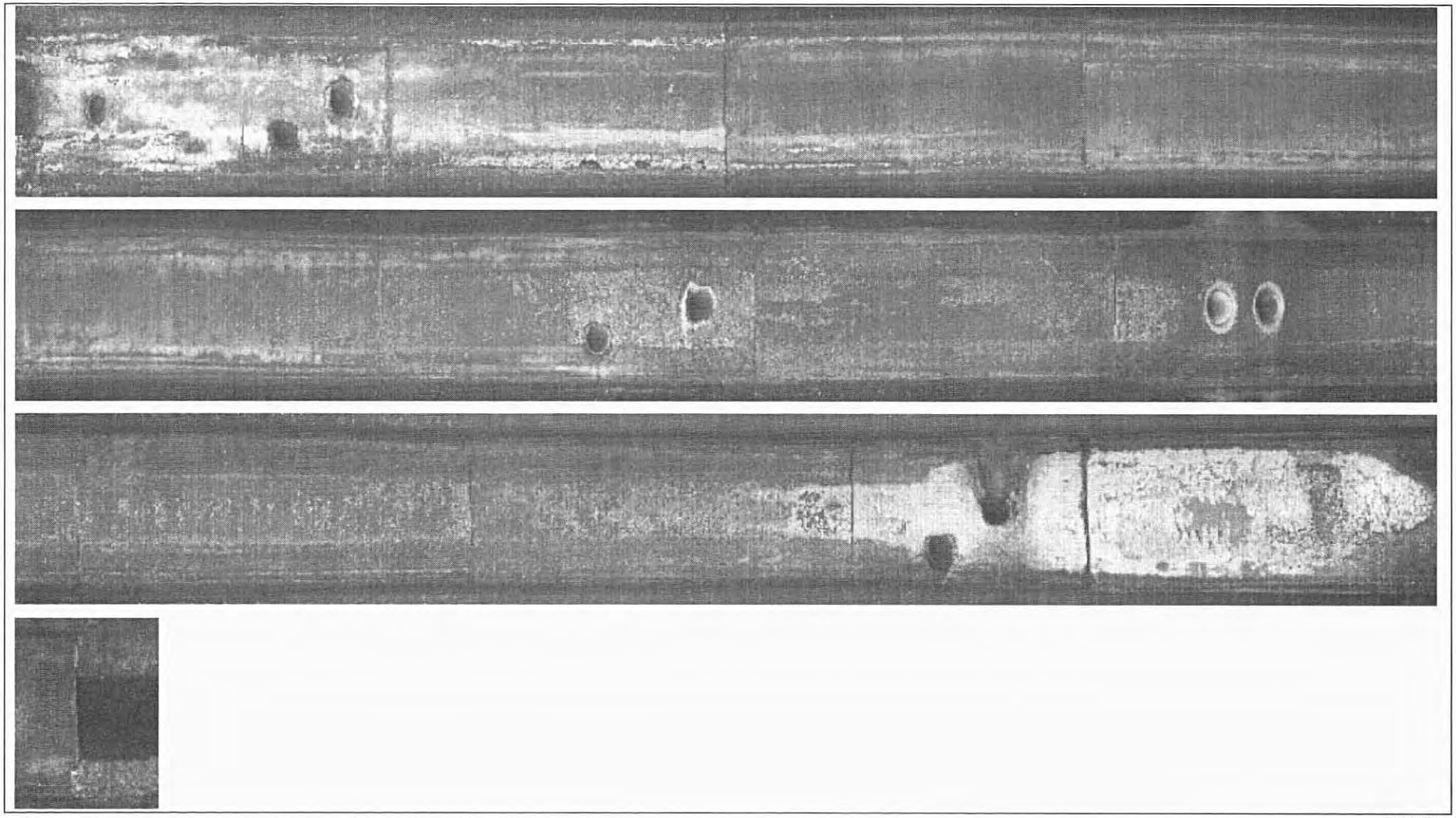




범 례		
연결관 돌출	부 식	폐유부착
연결관 접합부	관파손 및 균열	모르타르부착
이음부	크관로	토사퇴적
침입수	관침하	기타 장애물
유출수	타관통과	

상류맨홀

관로 측면 영상

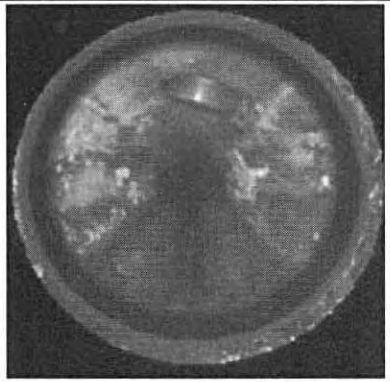


하류맨홀

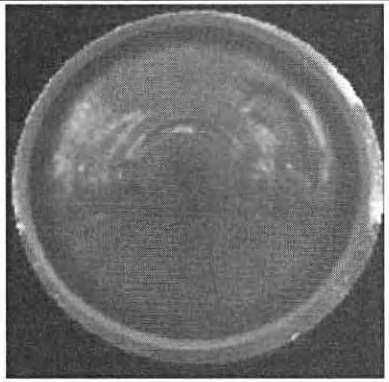
관로 전면 영상(이상부 발췌)

조 사 명	김해시 하수관로 조사			조사 지역(위치)	내외동	조사자	CPENC
조사 일시	2009-01-15	배수 구역	내외동	처리 분구	A	처리 구역	내외동
도엽번호		설계년도		관로 도상거리		관로 촬영거리	30m
관로 번호	A1-44	관로 형태	■	관 경	300	관 종	HP

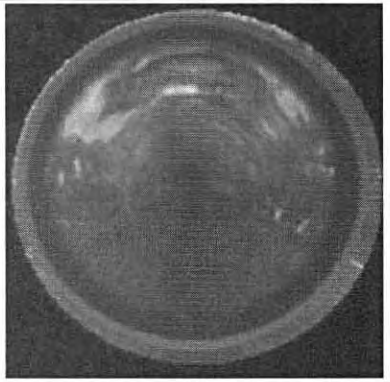
상류맨홀	맨홀번호	A1-44	맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		
하류맨홀	맨홀번호	A1-43	맨홀E.L.	0.000	관저고	0.000		



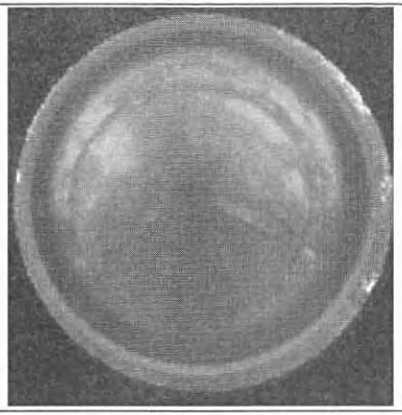
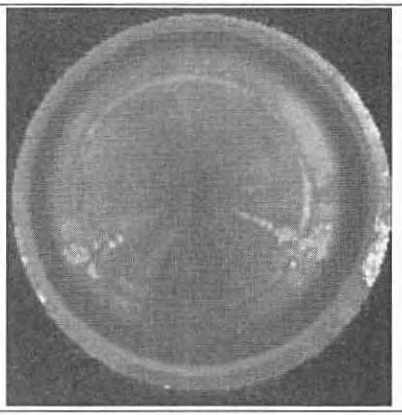
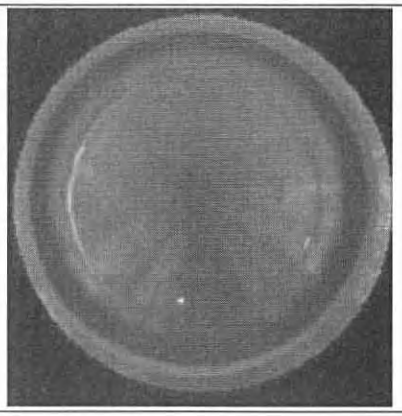
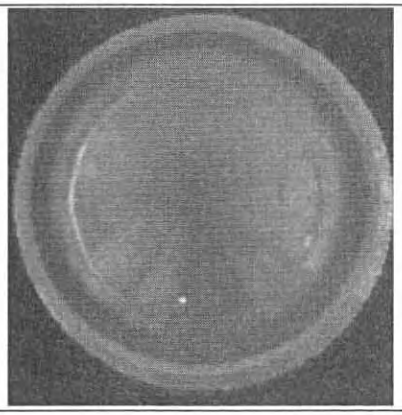
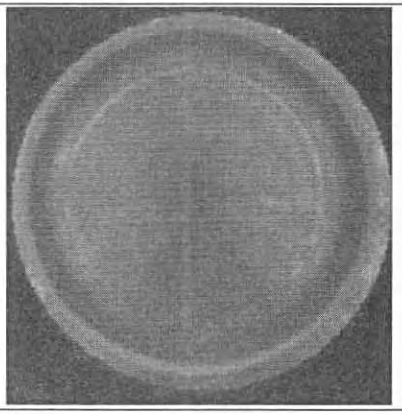
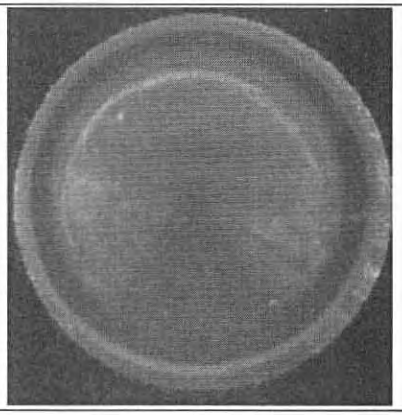
0.4m

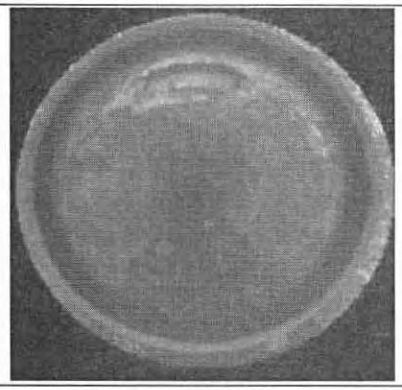
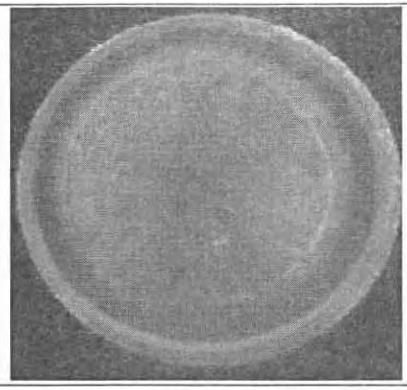
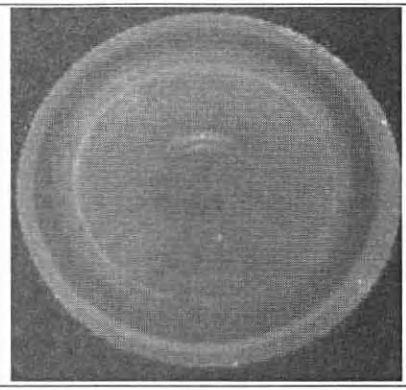
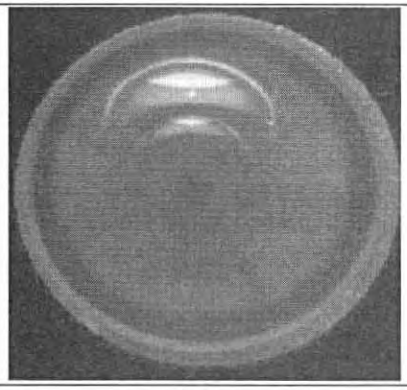
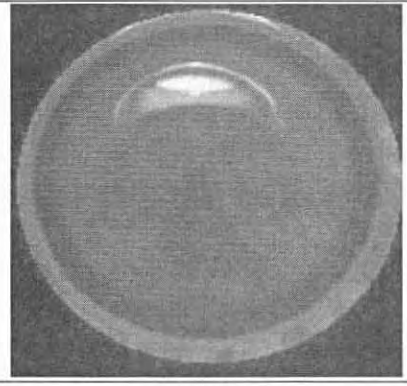
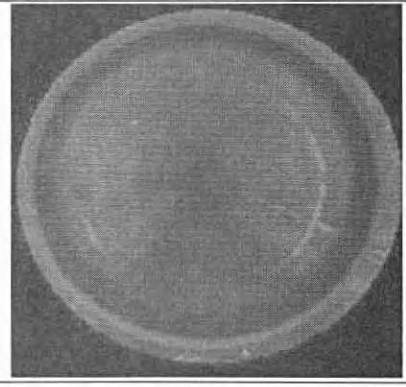


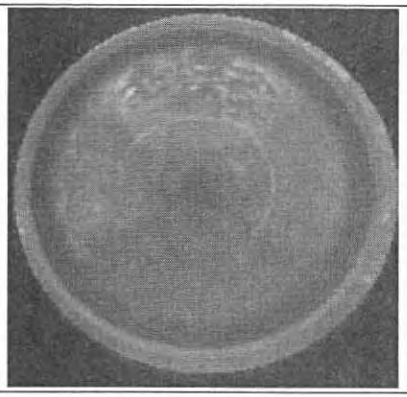
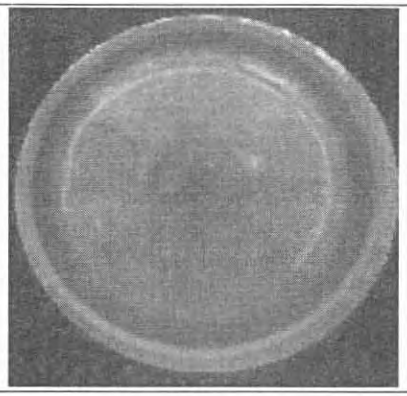
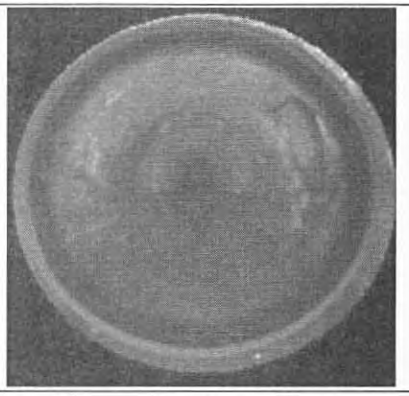
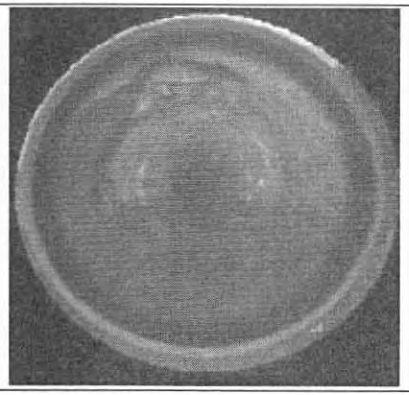
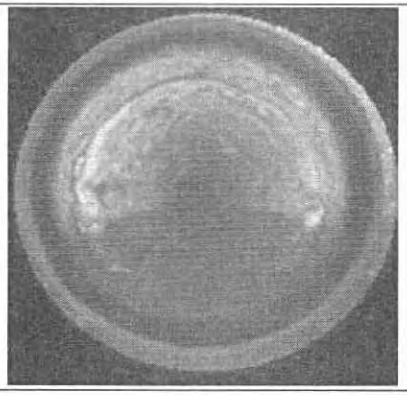
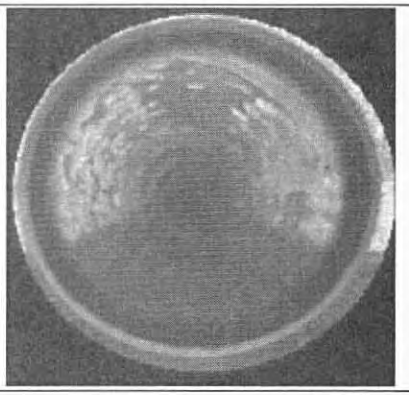
1.2m



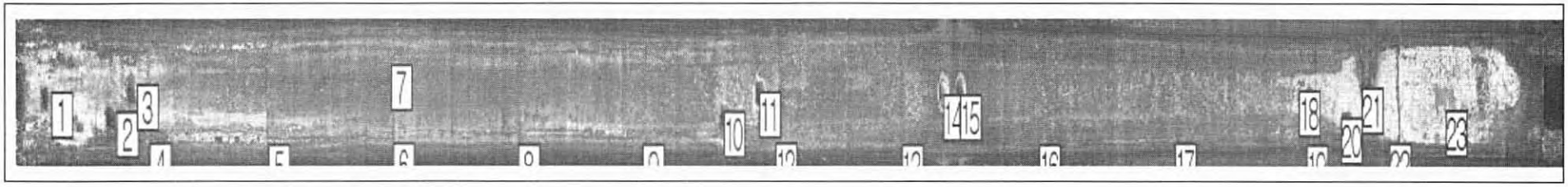
1.8m

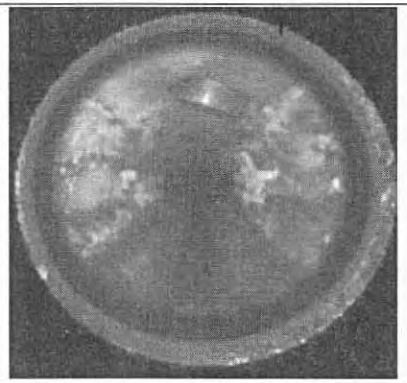
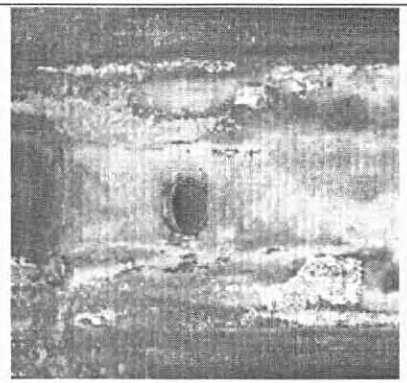
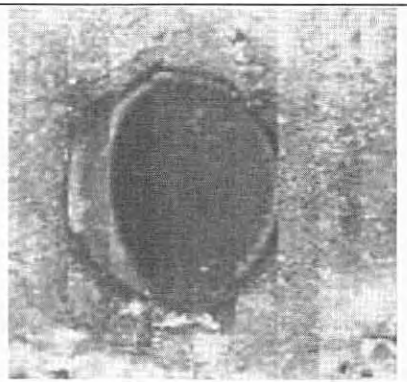
		
2.5m	5.0m	7.5m
		
7.5m	10m	12.5m

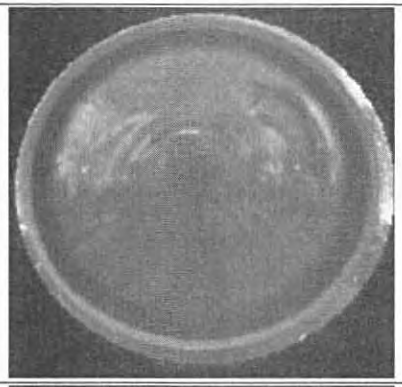
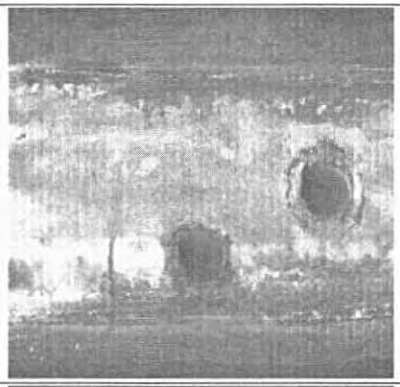
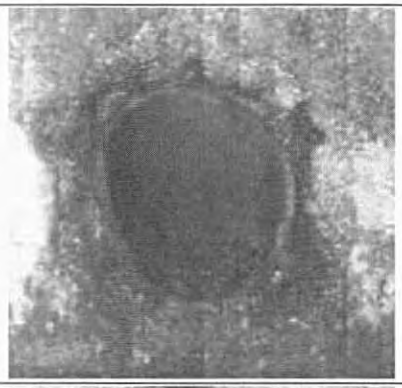
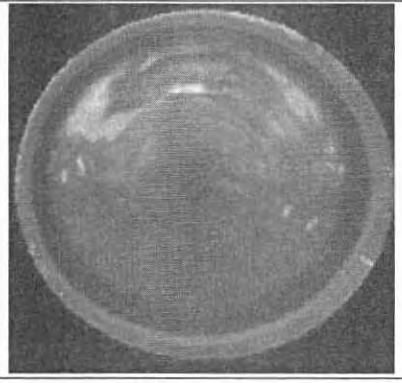
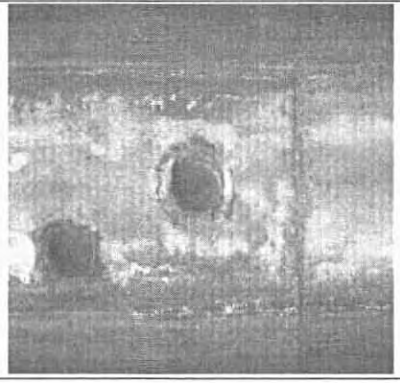
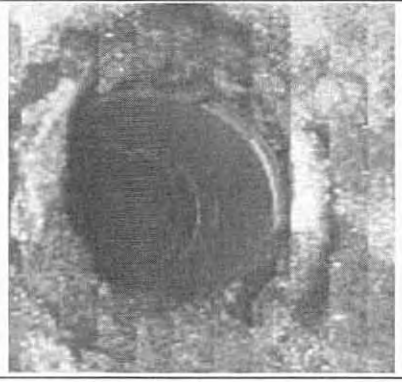
		
14m	154m	17.5m
		
18.3m	18.9m	20m

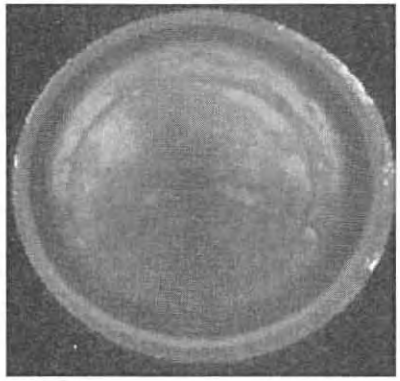
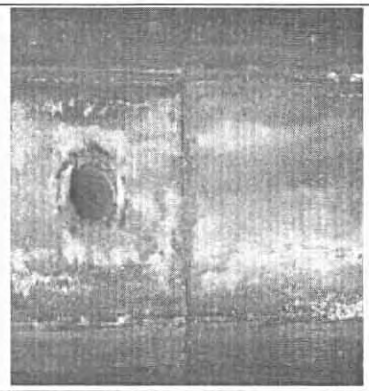
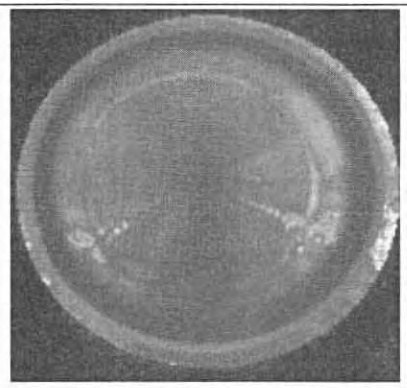
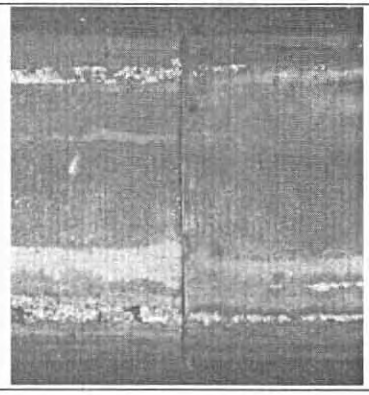
		
23.9m	25m	25.9m
		
26.3m	27.5m	27.6m

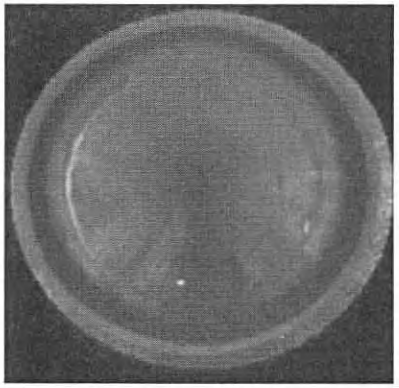
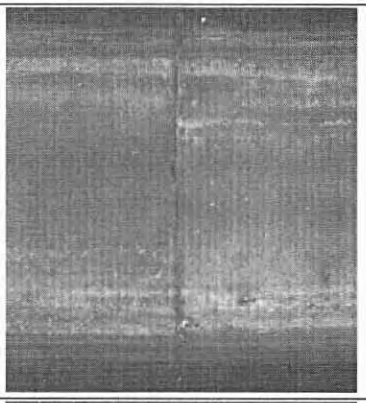
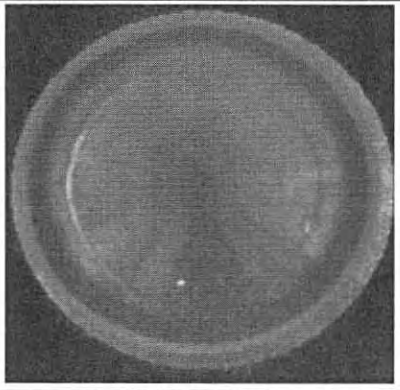
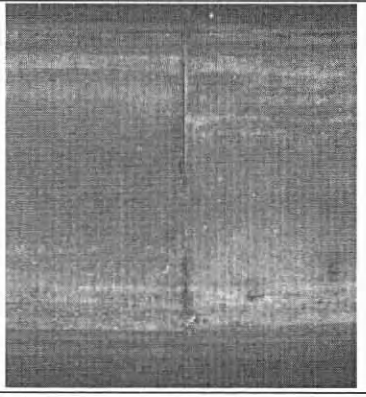
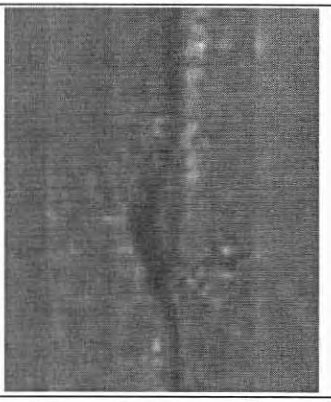
관로 측면 확대 영상

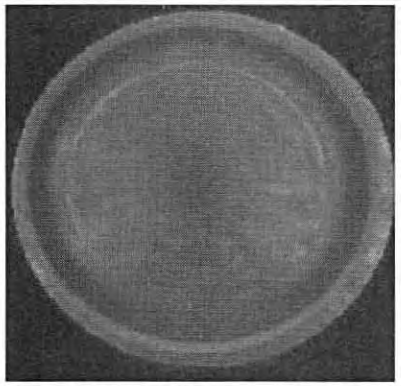
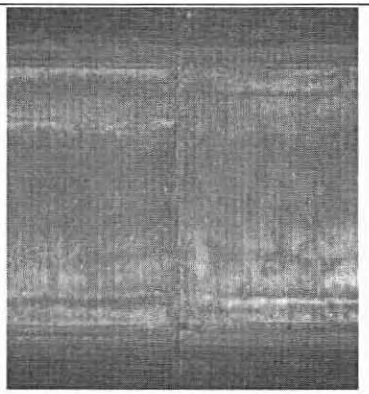
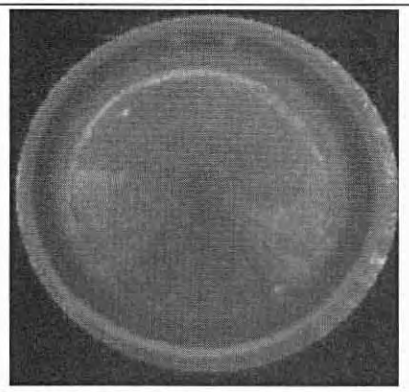
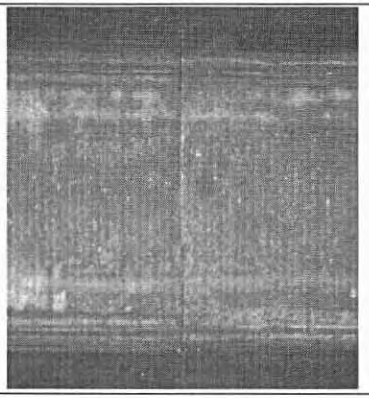


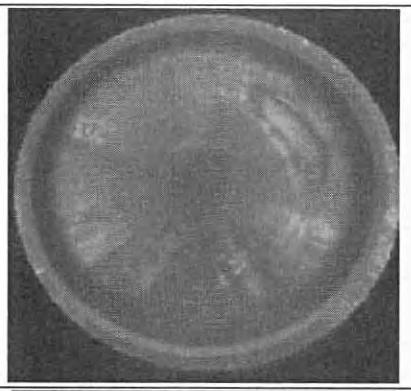
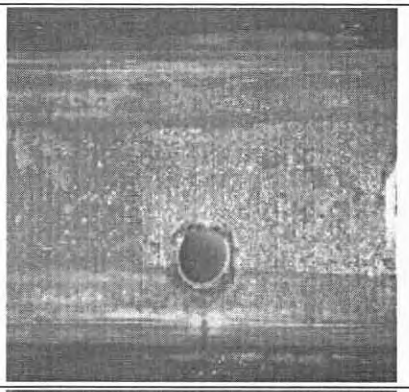
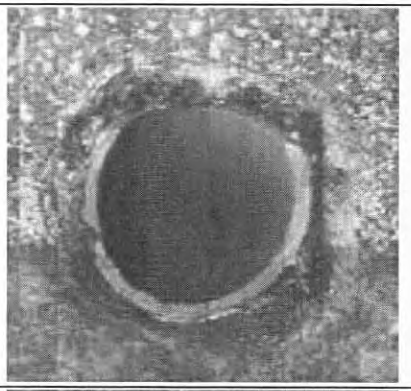
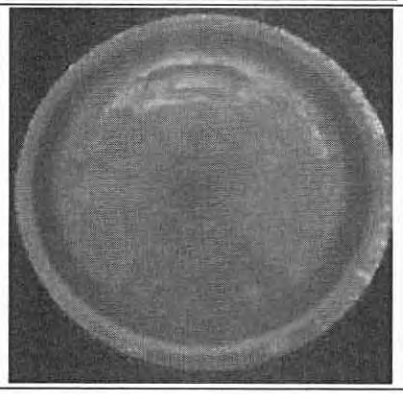
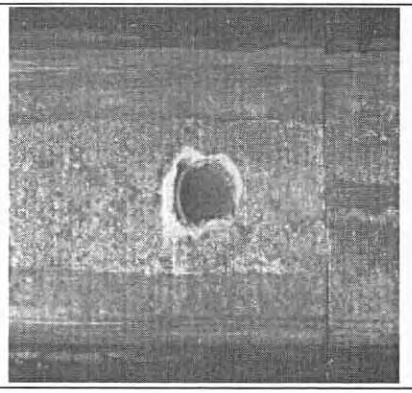
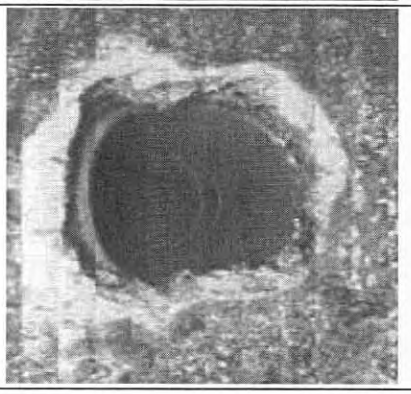
위 치	이상항목	전면영상	측면 영상	확대 영상
(1) 0.4m	연결관 돌출			

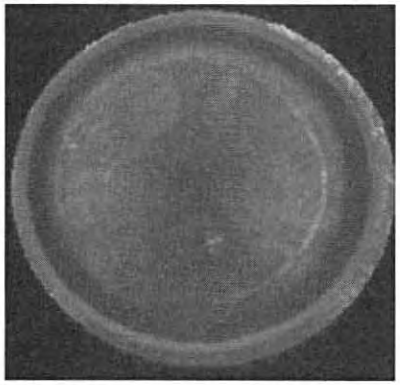
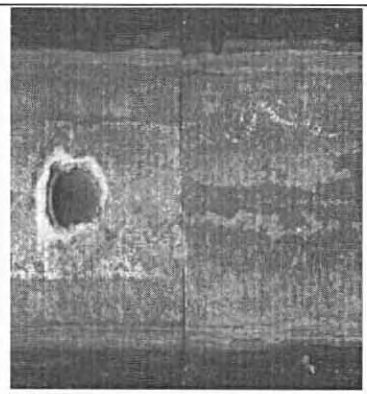
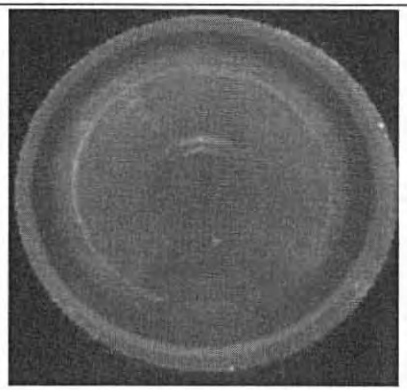
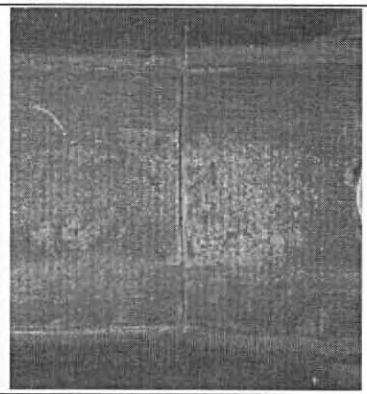
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(2)1.2m	연결관 접합부			
(3)1.8m	연결관 접합부			

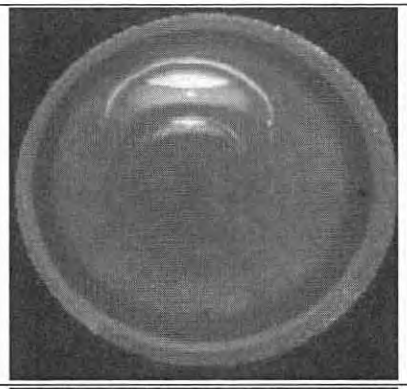
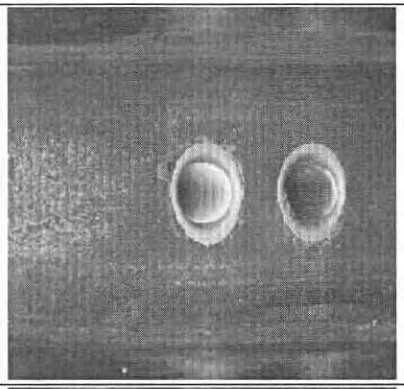
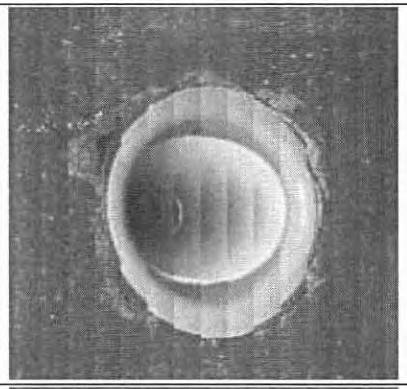
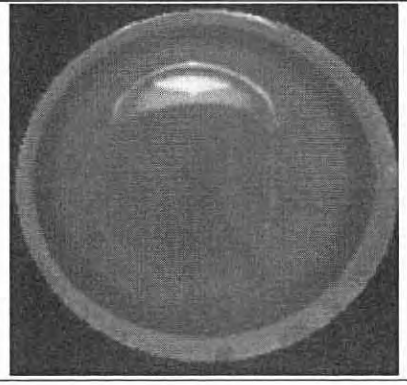
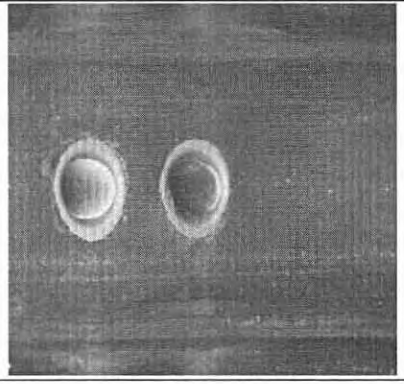
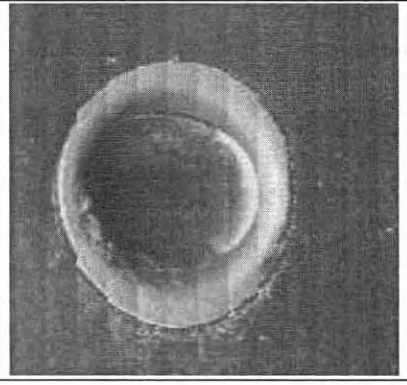
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(4)2.5m	이음부			
(5)5.0m	이음부			

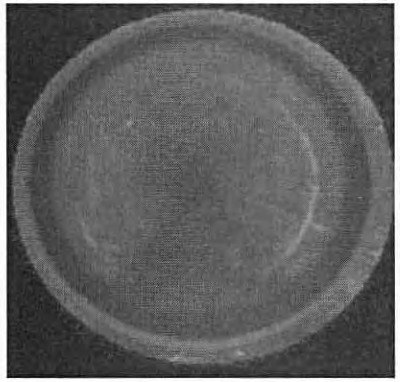
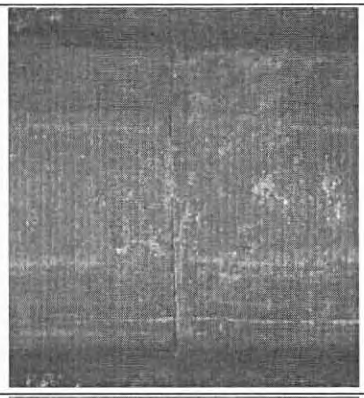
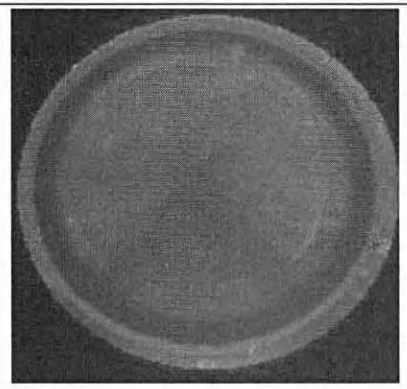
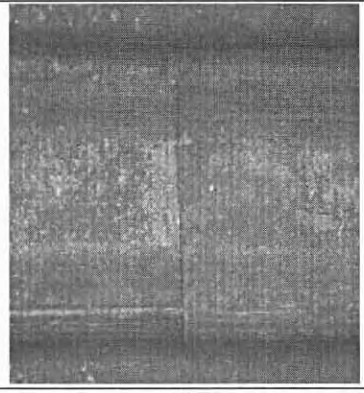
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(6)7.5m	이음부			
(7)7.5m	관파손및균열			

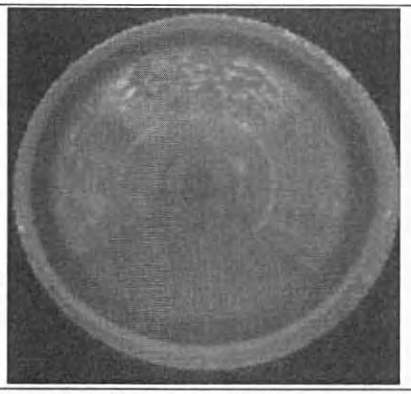
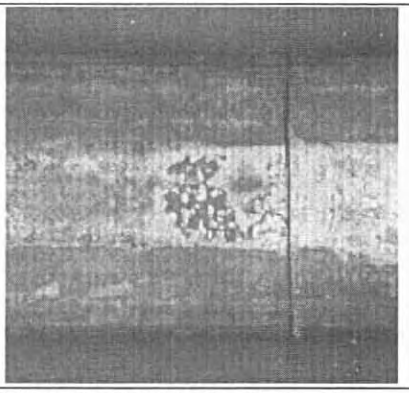
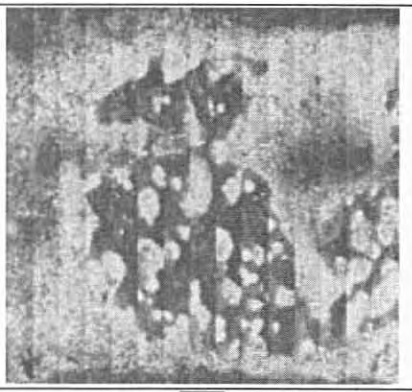
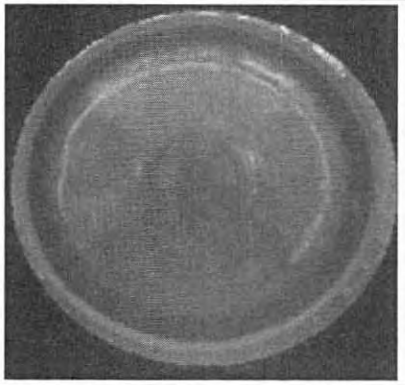
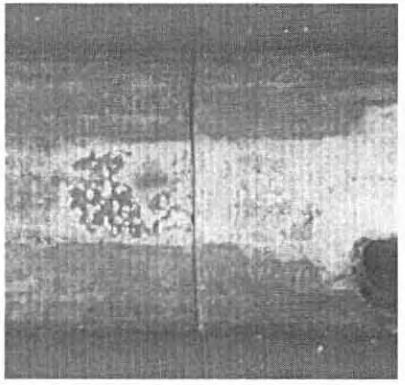
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(8)10.0 m	이음부			
(9)12.5 m	이음부			

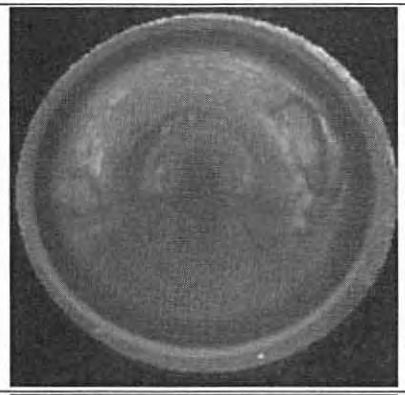
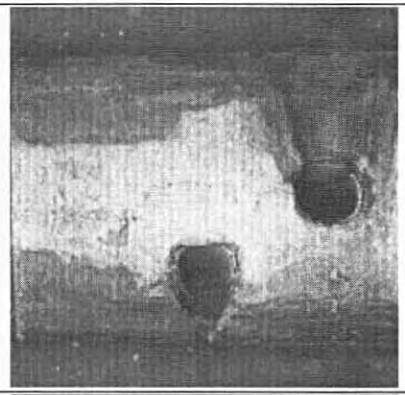
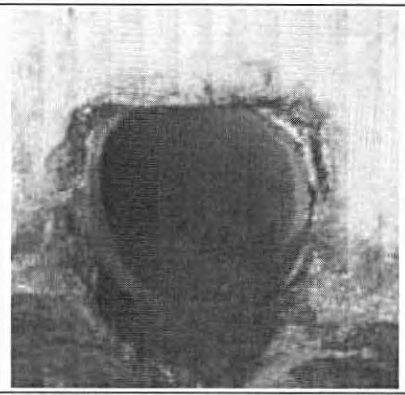
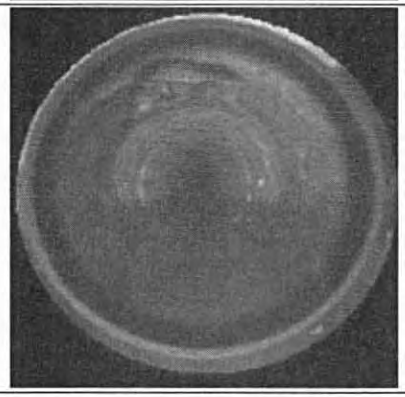
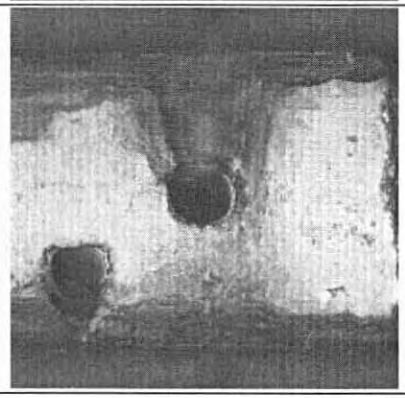
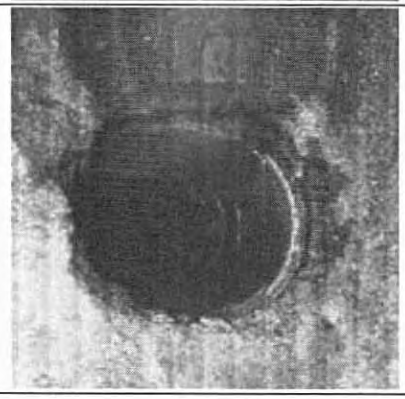
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(10)13.2m	연결관 접합부			
(11)14.1m	연결관 접합부			

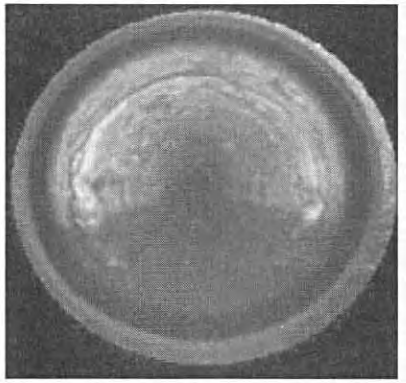
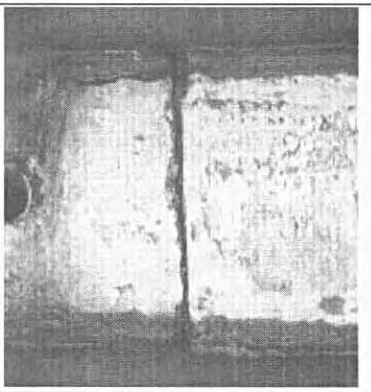
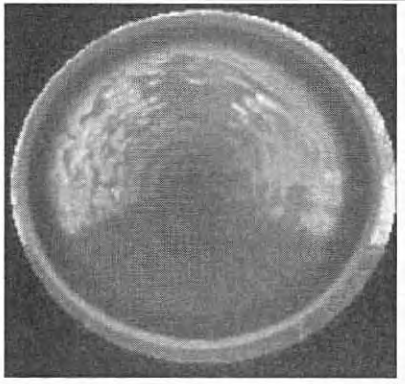
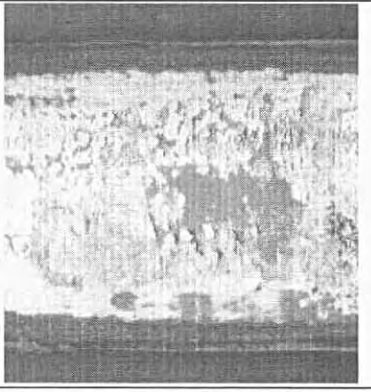
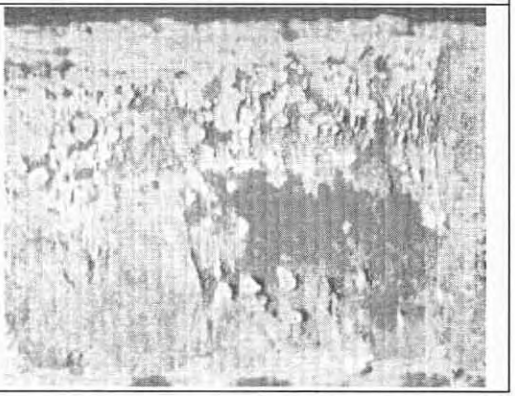
위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(12)15m	이음부			
(13)17.5m	이음부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(14)18.3m	연결관 접합부			
(15)18.9m	연결관 접합부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(16)20m	이음부			
(17)22.5m	이음부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(18)23.9m	부식			
(19)25m	이음부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(20)25.9m	연결관 접합부			
(21)26.3m	연결관 접합부			

위치	이상항목	전면 영상	측면 영상	확대 영상
(22)27.5m	이음부			
(23)27.6m	부식			

제9절 DPIM 시스템 매뉴얼

가. 조사업무매뉴얼

1. 총론

1.1 목적

하수관거 시설이 본래의 기능을 발휘하기 위해서는 관로내의 상황을 정확하게 파악해 노후화된 관로와 이상이 발생한 관로를 적절히 처치할 필요가 있다. 이 적절한 처치, 즉 준설, 수선, 개선을 적절한 시기에 하지 않을 경우 악취의 발생과 하수의 침수, 도로함몰 등의 사고로 연결될 가능성이 높다.

하수관거 시설에는 소구경관거와 안전상의 문제로 조사원이 관로내에 들어갈 수 없는 개소가 있다. 이러한 관로내의 이상과 부식 등을 조사하는 방법으로 CCTV(Closed-Circuit TeleVision : 이하 CCTV) 를 이용한 조사가 이용되고 있다.

하수관거 시설의 상태조사에는 파손, 노후도 조사, 혹은 침입수 조사 등의 조사목적에 따라 다소 차이가 있지만 본 매뉴얼에서는 카메라 조사, 조사계획의 책정, 조사업무의 추진방법, 조사보고서의 정리방법과 같이 CCTV를 이용한 하수관거 시설 상태조사의 총론적인 사항뿐만 아니라 DPIM(Digital Pipe Image Module : 이하 DPIM)을 이용한 하수관거 시설 상태조사의 방법도 통합적으로 정리하였다.

1.2 적용범위

하수도 관거시설의 유지관리에는 사고를 미연에 예방하는 예방보전형 유지관리와 사고가 발생하고 나서 대응하는 고장대응형 유지관리로 나눌수 있다. 예방보전형 유지관리는 계획적 유지관리를 말하며, "점검", "준설", "조사", "유지·보수" 가 그림 1.과 같이 체계적으로 실시되는 것이다.

1995년 3월에 일본 건설성도시국하수도부에서 발간된 "관로시설의 계획적 유지관리와 재정적효과에 관한 조사보고서" 에서는 "계획적 유지관리를 수행함으로써 사고의 발생건수가 감소함과 동시에 비용편익비가 1을 넘는다." 라고 기술되어 있다. 즉, 장애대응형 유지관리보다 계획적 유지관리쪽이 사고발생빈도 및 비용적인 면에서 장점이 많다고 할 수 있다.

따라서 하수관거 시설의 이상에 따른 사회적 영향을 최소한으로 억제해 주민이

안심하고 생활할 수 있도록 유지관리를 수행하여야 하며 그중에서도 관로내 상태를 파악하기 위하여 카메라를 이용한 하수관거시설 조사를 계획적으로 수행할 필요가 있다.

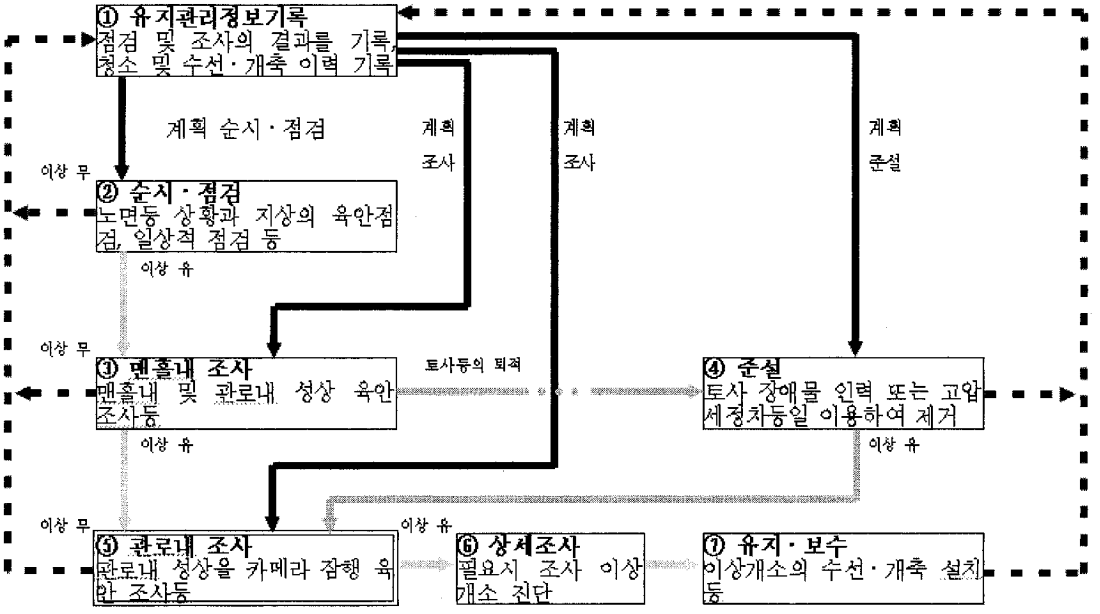


그림 1. 계획적 유지관리 개념도

2. 카메라 조사

2.1 적용관경

기본적으로 CCTV를 이용하여 조사하는 경우 본관 및 연결관의 관경은 150~800mm미만을 원칙으로 하고 있으며, DPIM의 경우 본관 및 연결관의 관경은 300~600mm미만을 원칙으로 하고 있다. DPIM의 경우는 추가적으로 바퀴를 제작할 경우 800mm까지 확장해서 사용가능하다.

관경 800mm이상인 관거에 대해서는 조사원이 관로내에 진입하여 육안으로 조사를 할수 있지만, 유량이 많은 경우나 위험가스가 예상되는 경우등과 같이 조사원이 관로내에 진입할 수 없는 관로에 대해서는 카메라에 의해 조사하는 경우도 있다. 이러한 경우 일반적인 카메라를 사용하기 않으며 대형관로 촬영에 적합하게 제작된 특수한 조사차량을 사용한다.

2.2 조사기기의 종류

하수관거 시설의 관로 조사하는 CCTV장비는 본관용과 연결관용 두 가지로 나눌 수 있다. 본관용 장비에는 자주식 카메라를 탑재한 카메라 탑재차량으로 작업하는 것이 주류이며, 촬영법에는 관로내의 전경을 비추는 직시촬영과 이상개소 등의 국소를 비추는 측시촬영이 있다.

DPIM 장비의 경우는 자주식 차량이며, 차량이 진행하면서 실시간으로 전방과 측방을 동시에 촬영하면서 전개도면화 시키기 때문에 CCTV장비와 같이 직시촬영방법과 측시촬영방법으로 나뉘어 지지 않고, 직시촬영방법만으로도 측시촬영이 동시에 이루어지는 촬영방법이라 할 수 있다.

연결관용 카메라는 삽입식에 의한 직시촬영방법으로 작업은 모니터 일체형 비디오에 카메라와 작업차량의 전원 또는 발전기와 연결하여 조사를 수행하는 경우도 있으나, 주로 탑재차량과 조합하여 조사를 수행하는 경우가 많다.

DPIM 장비의 경우는 현재까지 연결관용 카메라는 개발되어 있지 않고 있다.

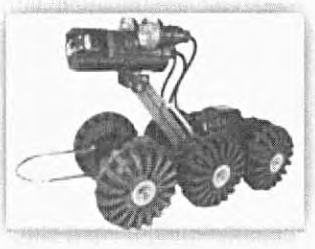


그림 2. CCTV 자주차량

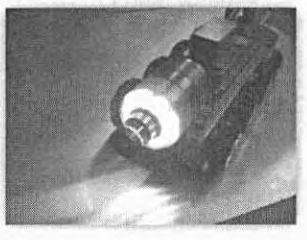


그림 3. DPIM 자주차량

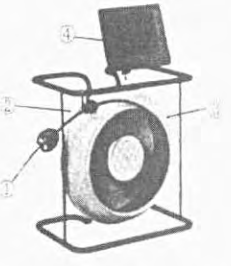


그림 4. 삽입식 카메라

2.3 조사 방법

본관조사는 원칙적으로 상류 맨홀에서 하류 맨홀 방향으로 조사한다. 연결관 조사는 원칙적으로 받이에서 본관 방향으로 조사를 수행한다.

2.3.1 CCTV 본관 조사

CCTV 본관 조사는 렌즈에 물보라가 일지 않도록 상류측 맨홀에서 하류측 맨홀 방향으로 조사를 수행한다.

상류측 맨홀의 중심에 카메라를 설치하고 거리계를 0으로 설정한다. 카메라의

이동, 직시, 측시 촬영을 바꾸어 조도 등을 조정한 후에 카메라 탑재차 내의 컨트롤 박스에서 조정한다.

직시 촬영에서는 카메라를 전진시키면서 모니터의 영상으로 관로내를 관찰하여 이상개소와 연결관로를 발견함과 동시에 관로내의 전체영상을 수록한다. 발견된 이상개소나 열결관에서는 자주차를 정지시켜 측시촬영을 수행하며, 이상내용과 위치를 정확하게 프로그램 자체의 기능으로 표시를 한다.

이 작업을 하류측 맨홀의 본관관로까지 반복하여 조사한다.

2.3.2 DPIM 본관 조사

DPIM 본관 조사의 경우도 마찬가지로 렌즈에 물보라가 일지 않도록상류에서 하류방향으로 조사를 진행한다.

상류측 맨홀의 중심에 DPIM 자주차를 설치하고 컴퓨터에서 DPIG(Digital Pipe Image Gallery : 이하 DPIG)를 실행시켜 거리계를 0으로 설정하며, 일정거리를 전진시켜 DPIM 자주차가 관의 중심에 위치하였을 때 DPIG 소프트웨어에서 중심점, 정면영상지름, 측면 영상 시작위치, 가져올 측면 영상 폭의 값을 조정하여 실시간 영상 접합 조건을 셋팅한다. 또한 이때 조도를 조정하여 측면영상과 정면영상이 선명하게 보일 수 있도록 조도를 조정한다.

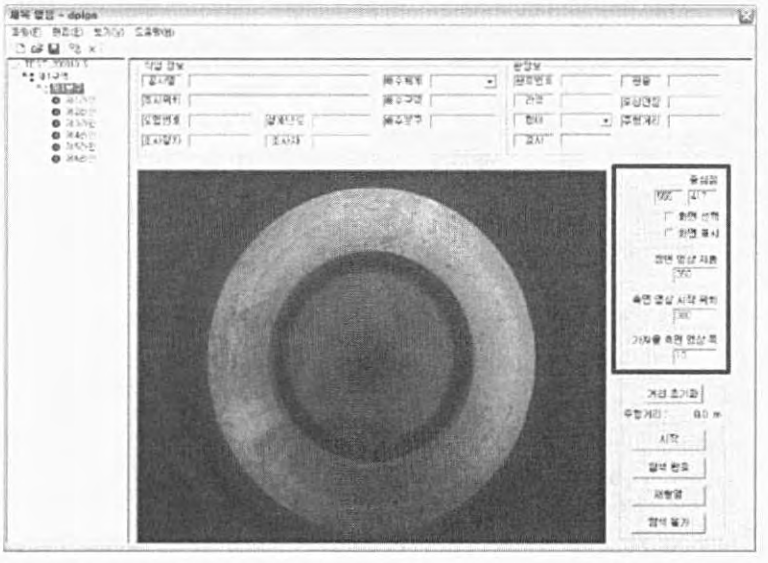


그림 5. DPIG 실행화면 & 세팅값 조정 창(네모)

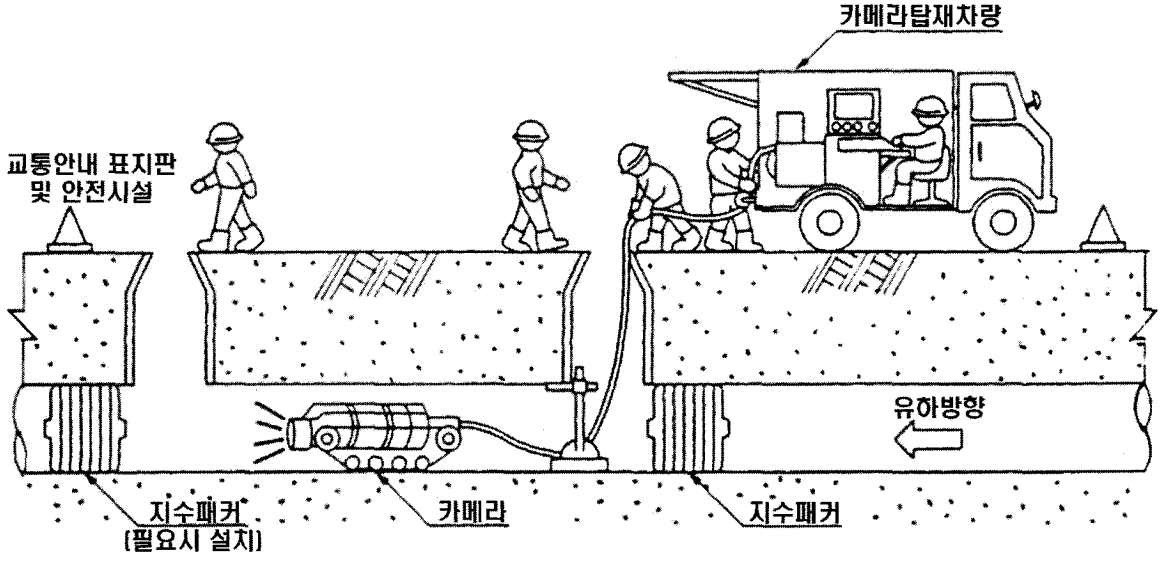


그림 6. 본관조사의 작업개요도

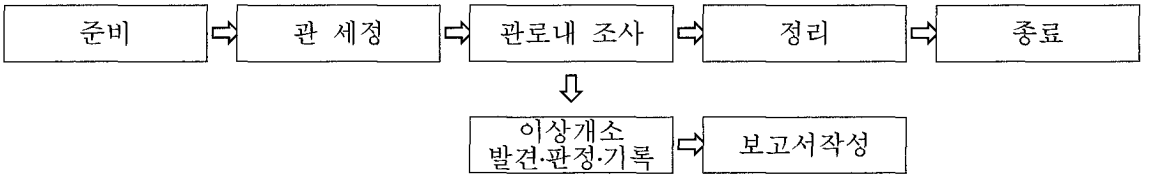


그림 7. CCTV를 이용한 조사의 기본 흐름도

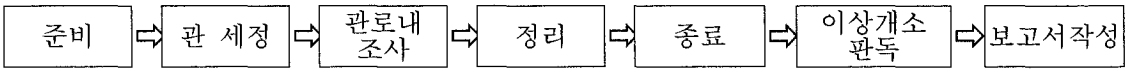


그림 8. DPIM을 이용한 조사의 기본 흐름도

<유의 사항>

① 조사에 앞서 원칙적으로는 미리 관거를 세정한다. 또한 세정압에 따라서는 관로 시설이 손상되는 일이 있으니 주의한다.

② 침입수와 같이 하수가 소량으로 흐르는 상태에서도 조사는 할 수 있지만 일반적으로는 하수가 흐르지 않는 상태에서 조사를 시작한다.

③ 거리계의 정밀도(1/100이상)을 노상에서 확인한다. 또한 케이블이 느슨할 경우 거리계의 정밀도가 떨어지기 때문에 케이블은 팽팽하게 유지한다.

④ 카메라헤드는 관중심에 셋팅되도록 하며, 관경이 변화할 때 마다 카메라 헤드가

관중심에 셋팅되도록 조정한 후에 조사를 재개한다.

⑤ 적정한 조도를 유지하여 선명한 영상을 얻을 수 있도록 한다.

⑥ 관의 폐쇄 또는 다른 부가적인 이유로 자주차가 더 이상 전진할 수 없는 상황에서는 하류측 맨홀부터 조사하여 미조사구간을 최소화 할 수 있도록 한다.

⑦ 집중호우 등의 예상하지 못한 기후적인 돌발 상황이 발생할 가능성이 높기 때문에 일기예보에 유의하여 조사날짜를 잡도록 한다.

⑧ 아파트 단지나 고층 빌딩에서 하수를 대량으로 일시에 방류하는 경우가 있기 때문에 사전에 관계자와 방류시간 등에 대하여 협의한 후 조사를 수행한다.

2.3.3 연결관 조사

연결관조사는 직시용 카메라를 받이에서 본관을 향해 인력으로 밀어 넣으면서 조사를 수행한다. 발견된 이상개소에서는 카메라 삽입을 일시정지하고 이상내용과 받이의 연결관 입구를 시점으로 측정한 위치를 정확하게 표시하도록 한다.

<유의 사항>

① 받이가 사유지내에 있는 경우 또는 택지내 받이에서 받이의 위치를 확인하는 경우는 사전에 조사내용을 주민에서 설명하여 이해를 구한다.

② 연결관의 곡관부나 관의 어긋남이 생긴 개소에서는 카메라 헤드를 회전시키면서 밀어 넣는다. 이때 무리하게 밀어넣을 경우 연결관의 파손, 카메라 케이블의 단선, 렌즈 파손 등을 초래하거나 카메라를 뺄 수 없는 경우도 있기 때문에 주의한다.

③ 받이에 조사가 불가능한 경우는 본관측에서 연결관을 조사하는 일도 있다.

④ 받이의 유지가 부적당한 경우 관리자에게 적정한 받이의 관리를 의뢰한다.

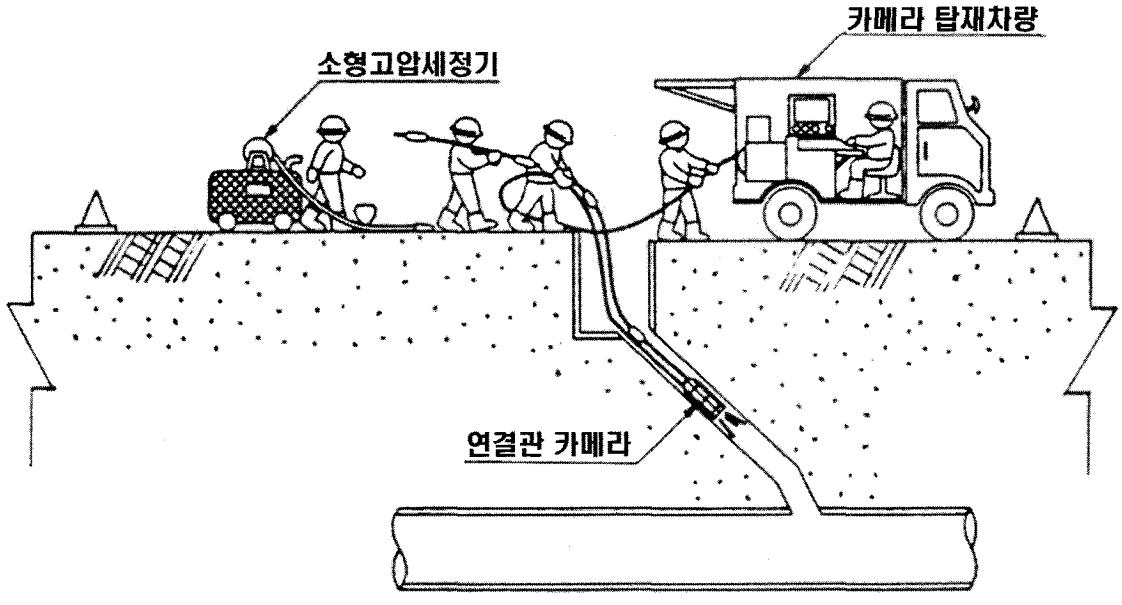


그림 9. 연결관조사 작업 개요도

3. 조사 계획 수립

3.1 조사 주기

하수관거 시설은 경과년수와 함께 손상·부식이 일어나거나 또는 타공사에 영향을 받아서 손상을 받는 경우도 있다. 종래의 하수관거 조사는 관거에 이상이 발생하고 나서 시행되어 왔다. 그러나 하수도관로 시설의 건전성을 정기적으로 확인하여 그 건전도와 손상·부식의 진행을 파악하는 일이 하수관거 시설의 보전 및 도로함몰 등의 사고를 미연에 방지할 수 있다는 연구결과들이 발표되고 있다. 따라서 원칙적으로 10년에 1회의 비율로 조사하여 손상·부식도의 데이터를 축적하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

3.2 조사계획의 우선순위

조사계획은 다음과 같은 대상시설의 우선순위를 고려하여 수행되어야 한다.

① 준공년도가 오래된 관로 : 경과년도가 오래될 수록 손상·부식이 진행되어 도로함몰등의 사고로 이어질 확률이 매우 높다.

② 과거에 이상이 발견된 관로 : 과거의 조사에서 균열, 파손, 침입수가 발견 되었

으나 유지보수를 시행하지 않은 관로, 또는 관찰주기를 마련하고 있는 관로

③ 카메라조사 이외에서 이상이 발견된 관로 : 맨홀내 조사등에서 균열, 파손, 침입수 등의 흔적이 발견된 관로

④ 주요 간선도로 등에 매설된 관로 : 사고가 발생하면 사회에 큰 영향을 미치게 되는 관로 및 축하중의 영향을 받기 쉬운 관로

⑤ 긴급용 피난 통로나 대피시설에 매설된 관로 : 재난시에 사용되는 도로가 기능을 하지 못하게 되는 경우를 사전에 방지

⑥ 지반 취약 구역에 매설된 관로 : 부동침하등에 의해 이상이 발생할 확률이 높은 관로

⑦ 지하수위가 높은 지역에 매설된 관로 : 지하수가 관의 이음부와 파손부위로부터 관로내에 침입할 가능성이 높은 관로. 지하수가 침입하면 관거 주변의 토사가 관로내에 유입하여 관로 함몰의 위험성이 높아짐

4. 조사업무의 진행방법

4.1 조사업무의 위탁

4.1.1 CCTV 조사

CCTV를 이용한 하수관 조사의 경우 관리자가 스스로 수행하는 경우와 CCTV를 소유하고 있는 민간업체에 위탁하는 경우가 있다. 그러나 조사기기의 소유와 검사자 등의 문제로 인하여 민간업자에게 조사업무를 위탁하고 있는 경우가 대부분이다.

관로내 조사는 유지보수 계획등에 영향을 미치는 업무이기 이며, CCTV를 이용한 하수관 조사의 경우 조사방법의 특성상 조사실적이 많은 업체나 조사 경험이 풍부한 조사자에게 의뢰하여야만 이상 내용을 정확하게 판단하여 정확한 조사결과를 얻을 수 있다.

4.1.2 DPIM 조사

DPIM을 이용한 하수관 조사의 경우 현장에서 DPIM 자주차는 전면과 측면을 동시에 촬영을 하고 최종결과물은 관로 전개도면으로 저장되기 때문에 최종 조사결과에는 조사자의 경험이 크게 반영되지 않는다. 또한 관로 전개도면을 이용하여

소프트웨어적으로 자동으로 이상부위를 탐색하기 때문에 조사자는 자동탐색부위를 최종적으로 확인하는 업무만 수행하면 되기 때문에 객관적이며 정량적으로 이상부위를 도출할 수 있다.

4.2 감독자의 업무

4.2.1 CCTV 감독자

<일반 사항>

① 설계서 및 사양서에 따라서 수탁업무의 내용을 확인한다.

② 조사계획서를 검사한다. ⇒ 관로내 조사 위탁 사양서 및 관로내 조사 계획서 기재요량에 따라 작성 여부

③ 발주업자와 사전에 협의한다. ⇒ 위탁사양서의 협의사항에 대해서 협의, 조사의 진행방법에 대하여 협의, 판정기준이나 성과도서의 정리방법에 대하여 협의.

④ 현장에서 조사 업무를 감독한다. ⇒ 조사계획서에 기재되어 있는 기기 사용여부, 지상의 실측거리와 실제 주행거리계와의 정밀도가 1/100이상되는 여부, 이상부위를 정확하게 판독하여 직시, 측시 촬영여부

<조사보고서>

① 각 발주업체에서 정한 양식으로 조사총괄표, 조사집계표, 조사기록표 등을 정확하게 작성하고 있는지 여부.

② 정확한 판정기준으로 판정되는지 여부.

<비디오테이프>

① 선명한 화질로 모든 대상물이 녹화가 이루어 졌는지 여부.

② 화면 중앙과 관의 중심에 일치 여부.

③ 녹화된 영상물과 각 시설의 조사개시에서 종료까지의 노선번호, 관경, 관종, 이음부 번호, 조사거리의 정확성 여부.

④ 이상개소 발견시 측시 촬영여부 및 상황을 알 수 있게 표시가 되었는지 여부.

⑤ 조사보고서와 이상부위의 사진대장과의 정확성 여부.

<이상개소 사진대장>

① 선명한 이미지로 이상부위를 다각도로 촬영하였는지 여부.

② 각 사진에는 사진번호와 손상상황을 기입하여 인덱스 등을 이용하여 정리하였는지 여부.

③ 이상부위에 대하여 조사보고서와 사진대장과의 일치여부.

4.2.2 DPIM 감독자

<일반 사항>

① 설계서 및 사양서에 따라서 수탁업무의 내용을 확인한다.

② 조사계획서를 검사한다. ⇒ 관로내 조사 위탁 사양서 및 관로내 조사 계획서 기재요량에 따라 작성 여부

③ 발주업자와 사전에 협의한다. ⇒ 위탁사양서의 협의사항에 대해서 협의, 조사의 진행방법에 대하여 협의, 판정기준이나 성과도서의 정리방법에 대하여 협의.

④ 현장에서 조사 업무를 감독한다. ⇒ 조사계획서에 기재되어 있는 기기 사용여부, 지상의 실측거리와 실제 주행거리계와의 정밀도가 1/100이상되는 여부, 이상부위를 정확하게 판독하여 직시, 측시 촬영여부

⑤ 발주업자에게 노선번호, 관경, 관종 등의 내용이 실려 있는 파일을 받아서 현장용 소프트웨어에서 관로정보를 바로 읽어들일 수 있도록 한다. 파일이 없을 경우는 미리 관로정보를 입력하여 사용한다.

<조사보고서>

① 각 발주업체에서 정한 양식으로 자동으로 출력된 조사총괄표, 조사집계표, 조사기록표등이 정확한지 여부.

<이상개소 탐색>

① 전개도면을 이용하여 소프트웨어에서 이상부위를 정확하게 탐색하였는지 여부.

② 자동탐색에서 탐색되지 않은 지점이 존재하는지 여부.

표 2-4 조 사 총 괄 표 (예)

No.

	상 류 맨 홀							관 거								하 류 맨 홀					
No	구획				Mesh		번호	맨홀 종별	맨홀 심도	상류 관정심	관종	관경	맨홀간 연장	관본수	socket수	VTR 번호	사진번호	하류 관정심	구획				Mesh		번호	맨홀 종별	맨홀 심도
							02	북수	4.79	3.49	HP	Φ1200	75.25	31				3.23									

표 2-5 조 사 집 계 표 (예)

No.

No	상류맨홀번호				하류맨홀번호				관의 부식			상하 방향 침하			관의 파손			관의 크랙			관의 이음부 이완			침입수			연결 관의 돌출			유지 부착			나무 뿌리 침입			모르터 부착			계			도로종별		맨홀간 연장 (m)	관경 (㎜)	관종	관본수 (本)	VTR 혹은 사진 번호
	구획	Mesh	번호	지(枝)	구획	Mesh	번호	지(枝)	A	B	C	A	B	C	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A·a	B·b	C·c	도로관리자	보차별				
10			01				02		1				1		1					4			1			10								1	1				2 (1)	2 (0)	16 (15)		차도	69.50	Φ1000	HP	29	
11			02				03			1			1			1			2		2			4	9		1							2				10 (7)	13 (11)		차도	75.25	Φ1200	HP	31	
12			03				04			1				1		1			5						5			1						2				3 (0)	13 (11)		보도	46.00	Φ1200	HP	19	

표 2-6 본 관 용 조 사 기 록 표 (예)

노선 No.

구획	mesh	번호	지	맨홀종별	맨홀수심	토피	맨홀뚜껑종별
		02		특수	4.79m	3.49m	철 Φ600

맨홀내점검

관종	관경	맨홀간연장
HP	Φ1200m	75.25m

구획	mesh	번호	지	맨홀종별	맨홀수심	토피	맨홀뚜껑종별
		03		특수	4.63m	3.23m	철 Φ600

맨홀내점검

이음부	이 음 부	관구	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	관구			
	사 진 번 호		1	2			4			5		6		8					10	12	13		14	15	17	18		20		21							
	내 용		침입수c	침입수c			침입수b			b		침입수c		침입수c					침입수c	침입수b	b		침입수c	침입수c	침입수c	침입수c		침입수b		침입수b							
본관부	본 관 부	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
	사 진 번 호				3											9			11					16		19				22		23				
	내 용				크랙c											파손b			나무뿌리침입c					나무뿌리침입c		상하방향취하B				부식B		크랙				
socket부	연결관 번호												1																							
	사 진 번 호												7																							
	내 용												연결관돌출b좌																							
	고 찰																																			

관본수 [31 本]
socket수 [개소]
관불량수 [18 本]
VTR번호 [권]
counter번호 [ ]
[ ]
포설년도 [년]

점용위치
1. 국도, 현도, 주요시도차도
2. 이면도로, 보도내, 가드레일내
3. 상기이외

해당번호 번

이상내용 / 이상개소	관의 부식			상하 방향 침하			관의 파손			관의 크랙			관의 이음부 이완			침입수			연결관의 돌출			유지 부착			나무뿌리 침입			모르터 부착			계			고찰
	A	B	C	A	B	C	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A+a	B+b	C+c	
이음부														2			4	9														6(6)	9(9)	나무뿌리 제거가능
본관부		1			1			1				2															2						3(1)	4(2)	연결관돌출 제거가능
socket 부																				1													1(0)		
맨홀부																																			
계		1			1			1				2		2			4	9		1							2						10(7)	13(11)	

나. 이상항목 판단 매뉴얼(안)

총론

현재 국내의 경우 조사 판정기준에 대한 확립된 기준이 없으므로 본 매뉴얼에서는 2003년에 서울시정개발연구원에서 발행한 하수관거정비사업 효과분석을 위한 방안검토연구에서 제시된 서울시 하수관거 이상항목 판정기준을 기본으로 하여, 2002년에 사단법인 일본하수도협회에서 발행한 하수관거 개축 등의 공법선정 매뉴얼(안)을 참고하여 매뉴얼을 작성하였다.

본 매뉴얼에서는 현재 국내에 매설된 하수관종은 여러 가지 종류가 매설되어 있지만 그 중에서도 2006년 환경부 하수도통계에 따르면 전체 매설 관종 중에 48.7%를 차지하고 있는 것으로 조사되어 본 매뉴얼에는 흄관만을 대상으로 작성하였다.

또한 이상항목 중에 여러 가지가 있지만 국내에서 발생빈도가 가장 높다고 판단되는 다음의 10가지 항목을 대상으로 판정기준 매뉴얼을 작성하였다.

1. 부식
2. 상하방향 단차(침하)
3. 파손
4. 균열
5. 이음부 이완
6. 침입수
7. 연결관 돌출
8. 폐유 부착
9. 나무뿌리 침입
10. 모르타르 부착

다음의 표는 위의 본 매뉴얼에 적용한 조사판정 기준을 정리한 것이다.

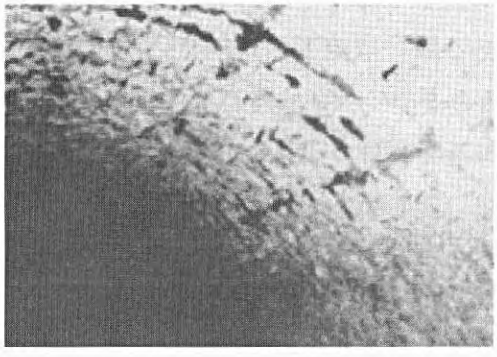
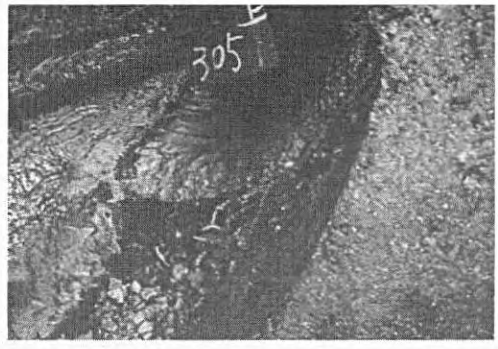
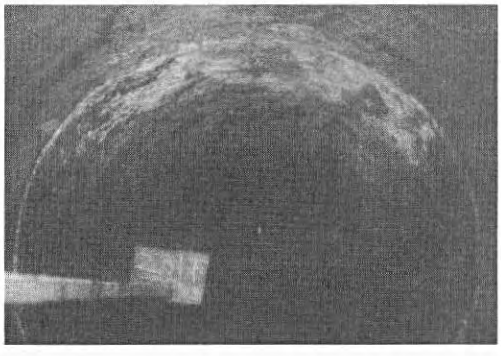
이상항목	A등급	B등급	C등급
부식	철근노출	골재 노출	표면 박리
상하방향 단차(침하)	관경의 2/3 이상	관경의 1/2 이상	관경의 1/3 이하
관 파손 및 균열	균열의 폭 5mm 이상	균열의 폭 2mm 이상	균열의 폭 2mm 미만
이음부 이완	완적 탈각	70mm 이상	70mm 미만
침입수	분출	흐름	번짐
연결관 돌출	관경의 2/3 이상	관경의 1/2	관경의 1/3
폐유 부착	관경의 1/2 이상 폐쇄	관경의 1/2 미만 폐쇄	-
나무뿌리 침입	관경의 1/2 이상 폐쇄	관경의 1/2 미만 폐쇄	-
모르타르 부착	관경의 1/2 이상	관경의 1/3	관경의 1/4 이하

1. 부식

부식의 판정은 철근의 노출정도와 표면의 박리상태에 따라서 분류한다.

A등급은 철근이 노출된 상태, B등급은 골재가 노출된 상태, C등급은 표면이 거친 상태인 박리상태로 분류한다.

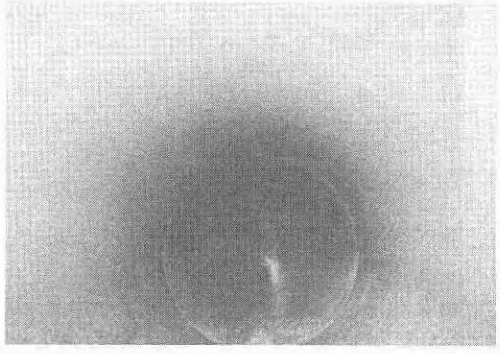
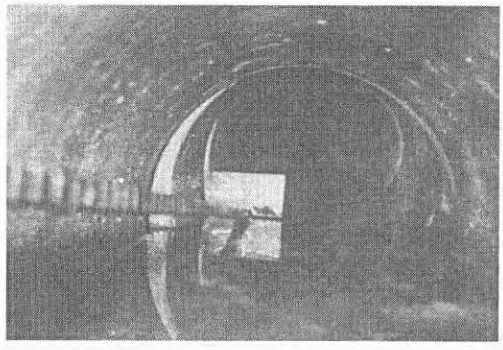
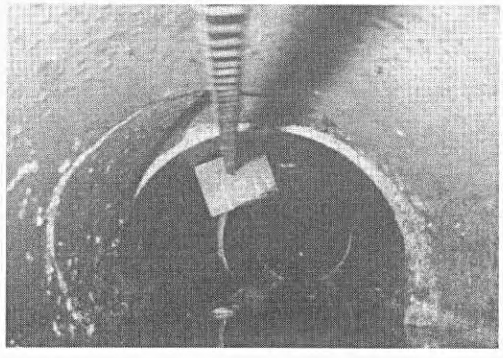
부식의 경우 진행성 결함항목으로써 추후 진행여부를 정략적으로 측정하여야 하기 때문에 부식 범위를 파악할 수 있도록 부식의 시작점과 끝나는 지점을 표시하여 추후에 부식의 진행도를 파악할 수 있도록 한다.

A등급	B등급
	
C등급	
	

2. 관 단차(침하)

관 단차의 경우 일본의 경우 관경에 따라서 관경 700mm 미만의 경우 A등급은 관경이상의 경우, B등급은 관경의 1/2이상, C등급은 관경의 1/2미만으로 나누었으며, 700mm 이상 1,650mm 미만인 경우 A등급은 관경의 1/2이상, B등급 관경의 1/4이상, C등급 관경의 1/4미만, 1,650mm 이상 대형관의 경우 A등급 관경의 1/4이상, B등급 관경의 1/8이상, C등급 관경의 1/8미만으로 나누고 있다.

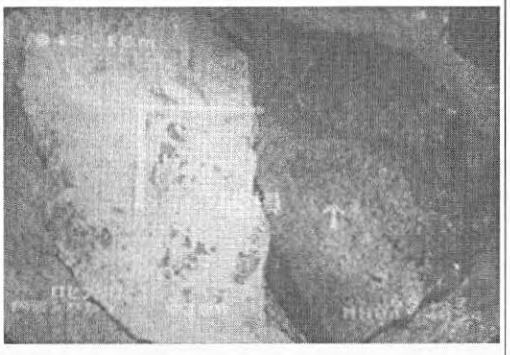
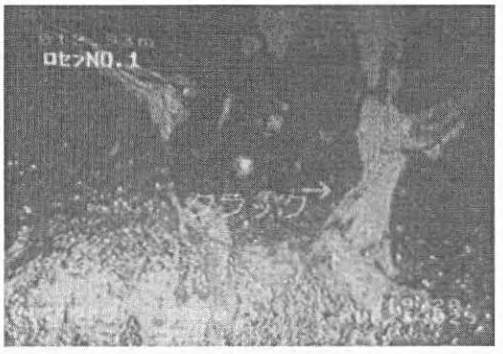
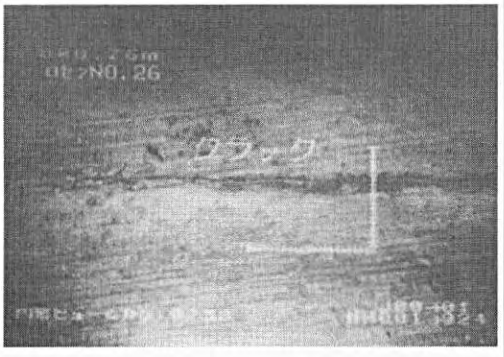
그렇지만 국내의 경우는 관경과 상관없이 A등급은 관경의 2/3이상, B등급 1/2이상, C등급 1/3이하로 나누고 있다. 본 매뉴얼에서는 국내의 판정등급을 이용하였다.

A등급	B등급
	
C등급	
	

3. 파손 및 균열

일본의 경우는 하수흐름방향 즉 축방향을 관 파손, 원주방향을 크랙으로 분리하고 있으며, 관종에 따라서 등급부여 기준을 다르게 두고 있다.

본 매뉴얼에서는 일본과 같이 관 파손과 크랙을 분리하지 않고 축방향과 원주방향을 모두 관 파손 및 균열로 분류하였으며, 등급은 관 파손이나 균열은 진행성 결함항목으로써 진행도를 정량적으로 파악하여야 하기 때문에 일본의 경우와 같이 흄관의 경우 A등급 균열의 폭 5mm이상, B등급균열의 폭 2mm이상, C등급 균열의 폭 2mm미만으로 분류하였다.

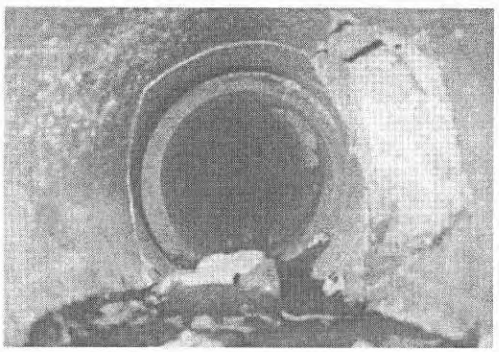
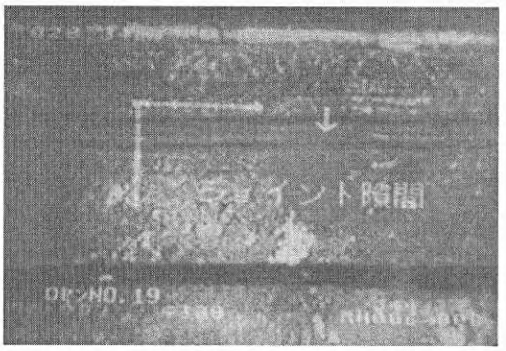
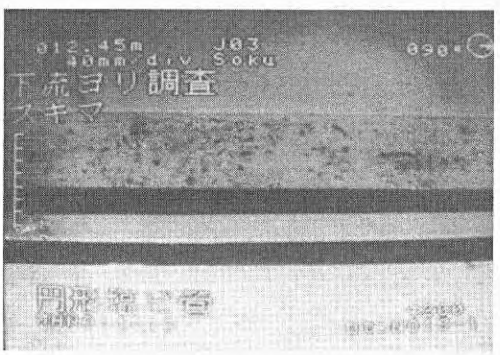
A등급	B등급
	
C등급	
	

4. 이음부 이완

이음부 이완의 판정기준은 국내는 A등급 고나경 1/3이상 어긋남, B등급 관두께 이상 어긋남, C등급 틈새, 철근 보임으로 분류하였다.

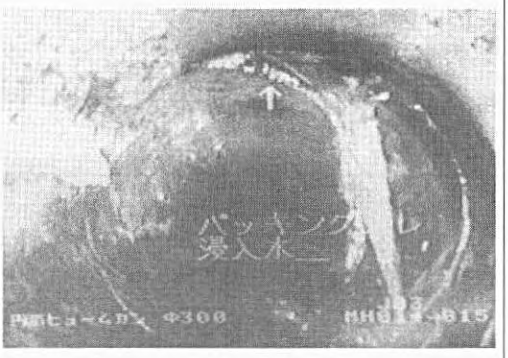
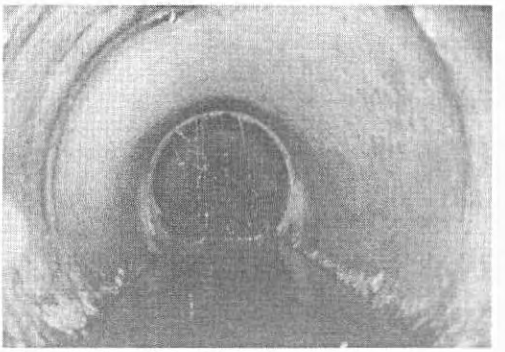
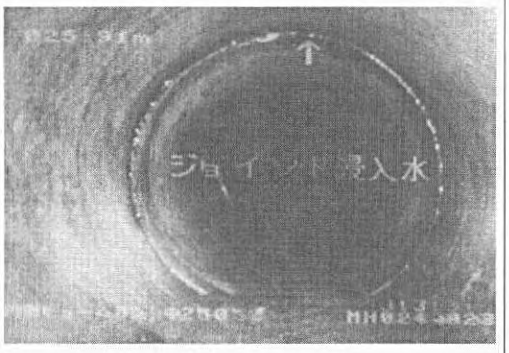
일본의 경우는 A등급 완전 탈각, B등급 흡관 70mm 이상, 도관 50mm 이상, C등급 흡관 70mm 미만, 도관 50mm 미만으로 분류하였다. 여기서 탈각이란 연결된 하수관이 완전히 벗어난 것을 말하며, 연결은 유지가 되어 있지만 소정의 위치로 이동된 것을 이완이라 한다. 즉 B등급과 C등급이 이완이라 할 수 있다.

본 매뉴얼에서는 정량적으로 측정하기 위하여 일본의 분류등급을 따른다.

A등급	B등급
	
C등급	
	

5. 침입수

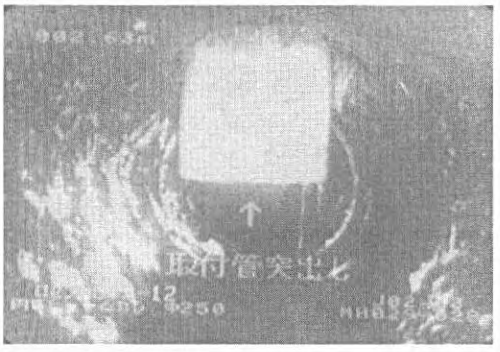
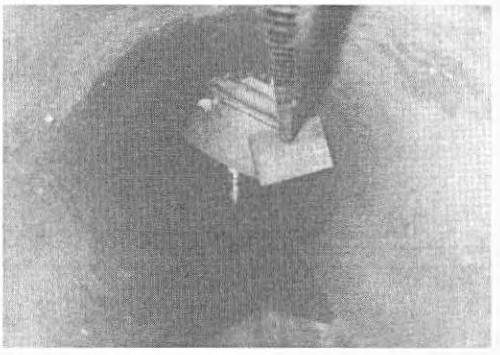
침입수의 판정은 국내와 일본이 동일한 분류등급을 사용하고 있다. A등급은 분출, B등급은 흐름, C등급은 번짐으로 분류하고 있다.

A등급	B등급
	
C등급	
	

6. 연결관 돌출

연결관 돌출은 국내에서는 A등급 내경의 2/3이상, B등급 1/2, C등급 1/3으로 구분하고 있으며, 일본의 경우 A등급 1/2이상, B등급 1/10이상, C등급 1/10미만으로 구분하고 있다.

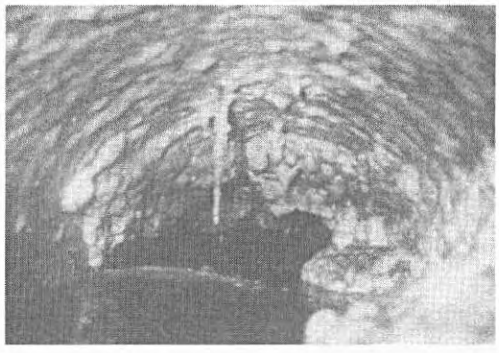
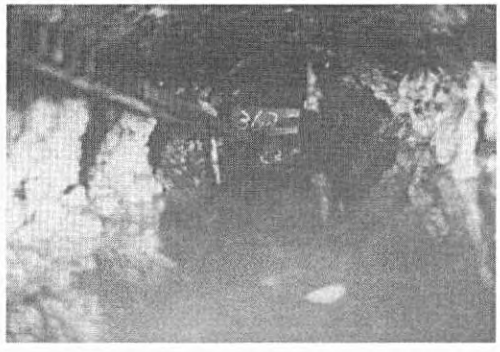
본 매뉴얼에서는 편의상 기존의 국내 등급을 반영하였다.

A등급	B등급
	
C등급	
	

7. 폐유부착

폐유부착 항목의 경우 국내의 등급 분류는 A등급 다량, B등급 중간, C등급 소량으로 분류하고 있으며, 일본의 경우 A등급 내경의 1/2이상 폐쇄, B등급 내경의 1/2미만 폐쇄로 분류하고 있다.

본 매뉴얼에서는 국내의 분류방법이 다량, 중간, 소량으로 구분하기가 어려우므로 일본의 등급을 적용하였다.

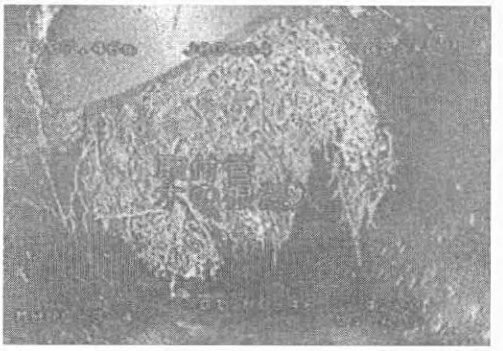
A등급	B등급
	

8. 나무뿌리 침입

국내의 경우 나무뿌리 침입이라는 항목은 존재하지 않으며, 기타장애물이라는 항목으로 구분하고 있다. 등급구분은 A 등급 관경의 1/2이상, B등급 1/3, C등급 1/4이하로 구분된다.

일본의 경우는 나무뿌리 침입이라는 항목이 존재하며 등급은 폐유부착과 동일하게 A등급 내경의 1/2이상 폐쇄, B등급 내경의 1/2미만 폐쇄로 구분하고 있다.

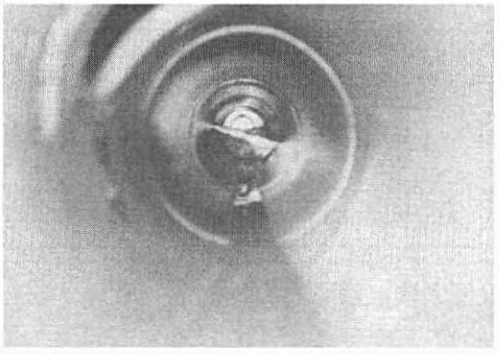
본 매뉴얼에는 국내의 등급구분을 이용하여 세가지 등급으로 나누어서 분류하였다.

A등급	B등급
	

9. 모르타르 부착

국내의 모르타르 부착의 등급은 기타장애물의 등급 분류와 같이 A등급 관경의 1/2이상, B등급 1/3, C등급 1/4이하로 나누어서 분류하였으며, 일본의 경우는 A등급 관경의 3할이상, B등급 내경의 1할 이상, C등급 내경의 1할 미만으로 분류하였다.

본 매뉴얼에서는 국내의 등급구분을 적용하였다.

A등급	B등급
	

다. 소프트웨어 매뉴얼

1 소프트웨어 구성

하수관로의 유지 · 보수를 위해 하수관로를 촬영하고 분석하여 보고서를 작성하는 일련의 작업을 진행하는 소프트웨어로서 다음과 같이 구성된다.

가. 외업용 소프트웨어(DPIG)

작업을 위한 프로젝트 파일을 작성하고 하수관로의 정보를 획득한다.

나. 내업용 소프트웨어(DPIM)

현장에서 획득한 데이터를 가공하여 분석용 데이터를 생성하고 보고서를 작성한다.

다. 결함 탐색 소프트웨어(DIA)

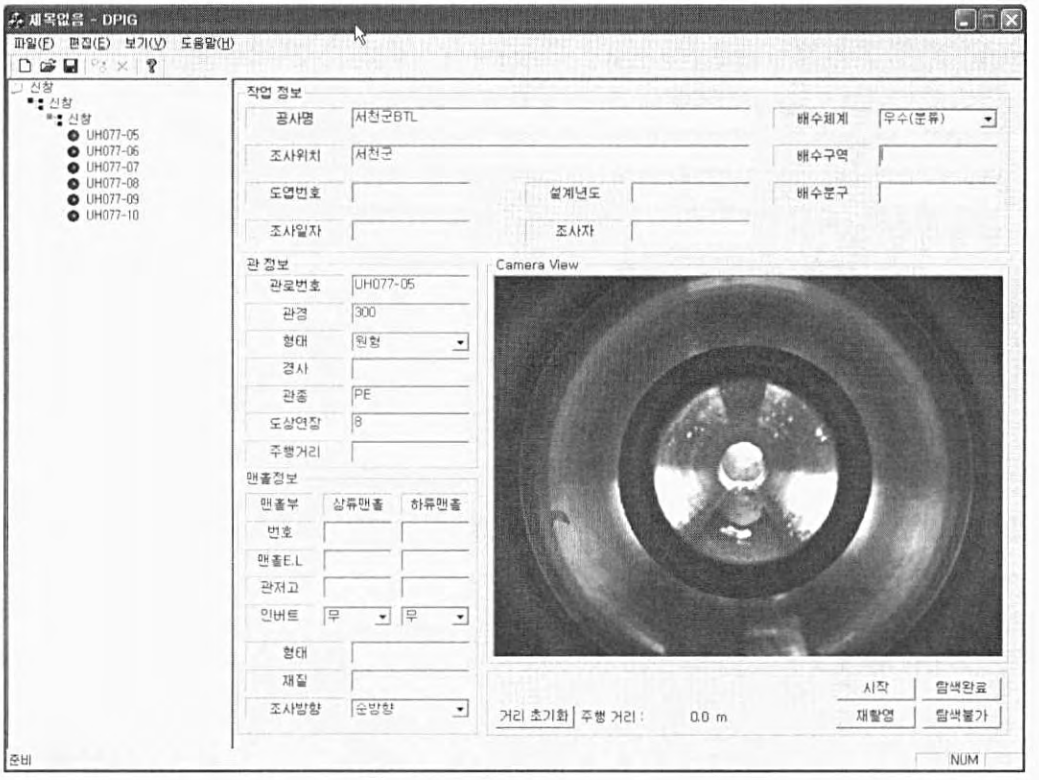
분석용 데이터인 정면 영상과 측면 영상을 활용하여 결함 탐색 정보를 생성한다.

※ 실제 현장 및 내업 작업의 흐름에 따른 방식으로 소프트웨어 운영을 설명합니다.

2. 외업용 소프트웨어(DPIG)

가. 메인화면

〈그림 1〉 외업용 소프트웨어 메인화면



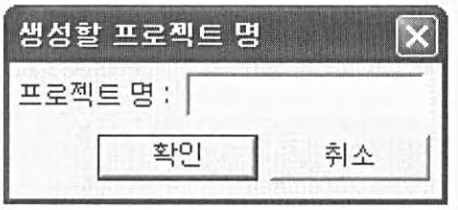
소프트웨어를 초기에 실행하면 그림1과 같은 화면이 표시된다. 화면의 구성은 왼쪽 뷰에 작업 파일 트리창, 그리고 오른쪽 뷰에 해당 작업 정보창으로 구성되어 있다. 프로젝트를 생성하고 기본 작업 정보를 입력하며, 영상을 촬영하여 외업 작업을 저장하는 기능을 수행한다.

촬영 장비가 전원이 켜지고 준비되면, 프로젝트 파일이 열려있는 것과는 상관없이 카메라 뷰가 작동하며, 카메라 정면 상태를 확인할 수 있다. 따라서, 카메라 뷰에 화면이 출력되는 것을 확인하고 프로젝트 생성 및 열기 작업을 수행한다.

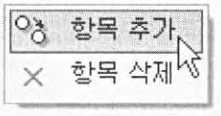
나. 프로젝트 파일 작성

1) 직접 입력

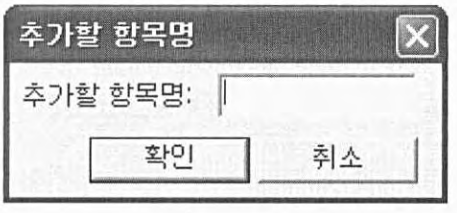
〈그림 2〉 프로젝트 생성 대화상자



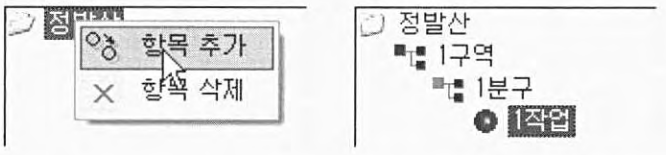
〈그림 3〉 작업 항목 설정 팝업 대화상자



〈그림 4〉 항목 생성 대화상자



〈그림 5〉 작업 파일 생성



① 새 프로젝트 생성은 파일 메뉴의 새 프로젝트...를 클릭한다. 프로젝트 명을 입력하는 대화상자는 그림 2와 같다.

② 프로젝트를 생성하면, 작업파일 트리창에서 프로젝트 항목을 선택하고 오른쪽 마우스 클릭하여 그림 3과 같은 팝업 대화상자를 띄워 항목 추가를 선택한다.

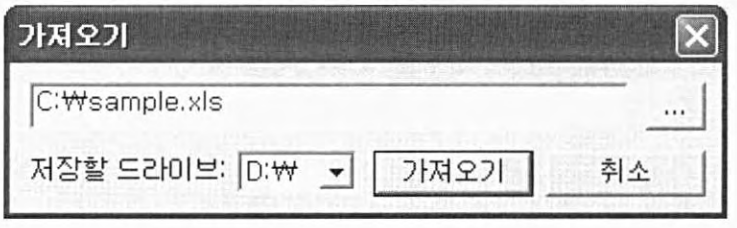
그림 4와 같은 대화상자를 통해 입력한다.

③ 프로젝트는 4단계로 구성되며, [프로젝트-구역-분구-해당 작업]의 단계를 가진다. 하나의 작업만을 하더라도, 위의 4단계 구성은 만들어야 한다. 작업 생성 단계는 그림 5와 같다.

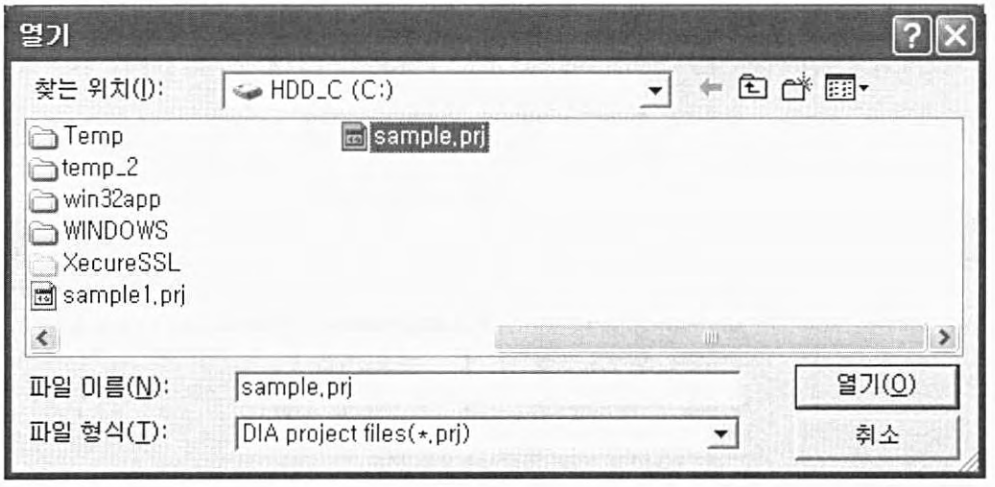
④ 팝업 대화상자에서 항목 삭제를 클릭하면 해당 항목 및 그 하위 항목들이 모두 삭제된다.

2) 엑셀 파일로부터 생성

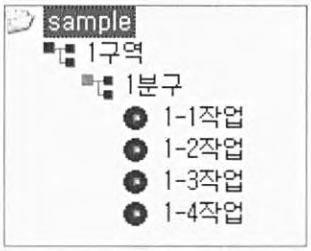
〈그림 6〉 엑셀 파일을 이용한 프로젝트 생성 대화상자



〈그림 7〉 프로젝트 열기 대화상자



〈그림 8〉 엑셀로 작성된 프로젝트 구조



① 엑셀 파일로부터 한 번에 프로젝트 트리를 구성하는 기능이다. 엑셀 파일을 선택한 후, 저장할 드라이브(작업 드라이브인 D:\ 드라이브를 선택하도록 한다.)를 선택하고 가져오기를 클릭하면 프로젝트 파일이 해당 드라이브에 생성된다.

② 파일 메뉴에서 프로젝트 열기를 선택하고, 프로젝트 열기 대화상자에서 생성된 프로젝트 파일을 선택하고 열면, 프로젝트 트리창에 작업 트리가 표시된다.

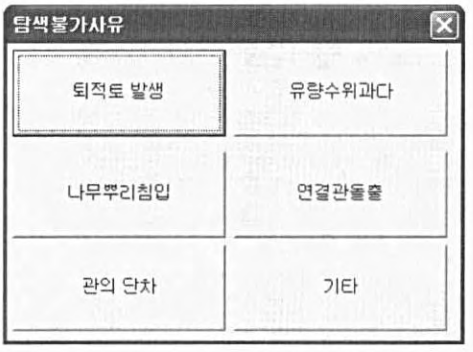
다. 데이터 획득 작업

1) 작업 정보 작성 및 촬영 데이터 획득

〈그림 9〉 외업용 소프트웨어 작업 정보 화면



〈그림 10〉 프로젝트 생성 대화상자



① 하수관로 촬영에 앞서, 해당 구간의 기본 정보를 확인한 후, 추가 작업 사항을 입력한다. 그림 9과 같이, 작업 정보를 확인 및 입력(수정)한다.

② 우측 하단의 시작 버튼을 클릭하면, 해당 구간의 촬영을 시작한다.

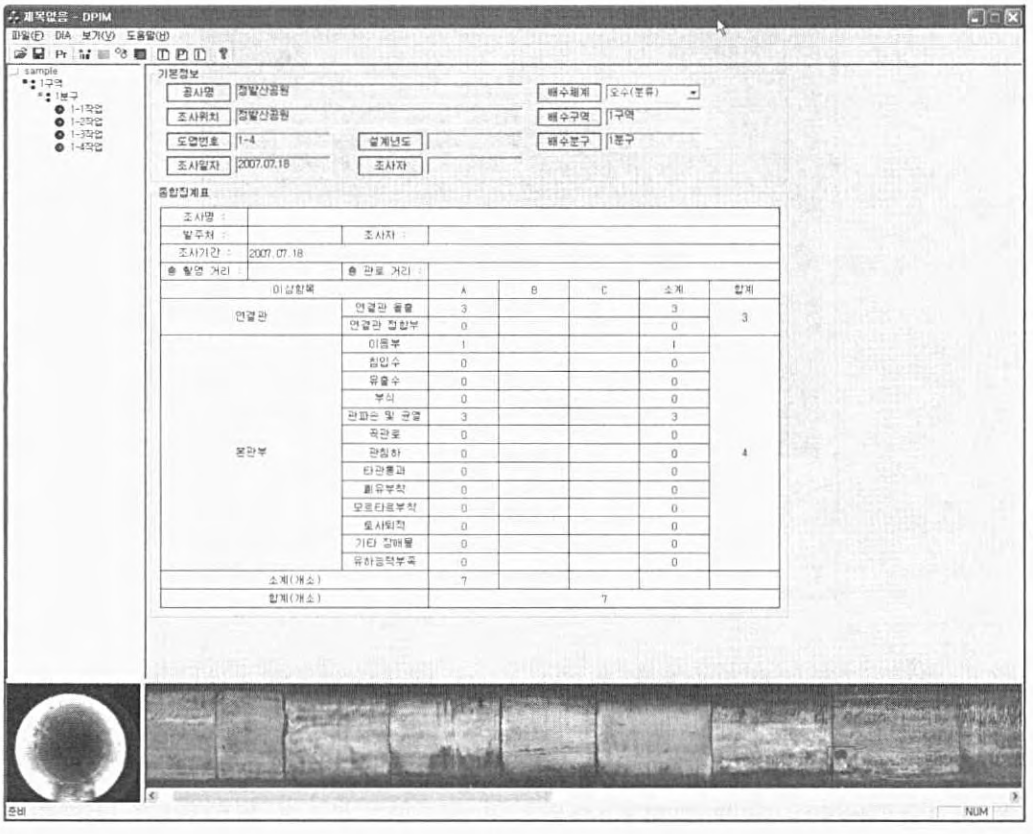
③ 탐색완료를 클릭하면, 해당 구간의 촬영을 마치며, 영상 및 거리 데이터가 저장된다.

④ 재촬영을 클릭하면, 기존의 촬영된 영상을 모두 삭제하여 초기화 하고, 다시 촬영할 수 있는 상태가 된다.

3. 내업용 소프트웨어(DPIM)

가. 메인화면

〈그림 11〉 외업용 소프트웨어 메인화면



소프트웨어를 초기에 실행하면 그림11과 같은 화면이 표시된다. 프로젝트 트리창과 작업 정보 및 분석 집계창, 그리고 하단에는 해당 작업의 정면 및 측면 영상 뷰로 구성되며, 외업용 소프트웨어로 작업한 프로젝트를 불러와서 분석을 위한 데이터를 생성하고 보고서를 작성하는 기능을 수행한다.

프로젝트 트리창에서 작업 항목을 선택하면, 해당 항목이 영상 보정 및 접합 단계를 거친 경우는, 그림11의 하단과 같이 정면영상 및 전개영상이 도시된다. 또, 결함 항목을 저장한 경우는 결함 항목도 표시된다.

나. 영상보정

〈그림 12〉 영상 보정 대화상자



① 촬영한 영상 데이터를 소스로하여, 정면 영상과 측면 영상을 분리한다.

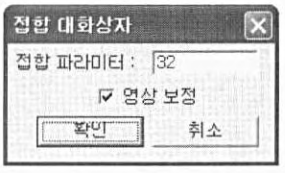
② 이전 영상, 다음 영상 버튼을 클릭하고 화면 선택 버튼을 클릭하여 영상을 중심을 찍은 후, 화면 표시 버튼을 클릭하여 가져올 영상의 범위를 확인한다.

(보통의 경우는 기본 값을 그대로 적용한다.)

③ 영상 생성 버튼을 클릭하면, 정면 영상과 측면 영상이 생성된다.

다. 영상 접합

〈그림 13〉 영상 접합 대화상자



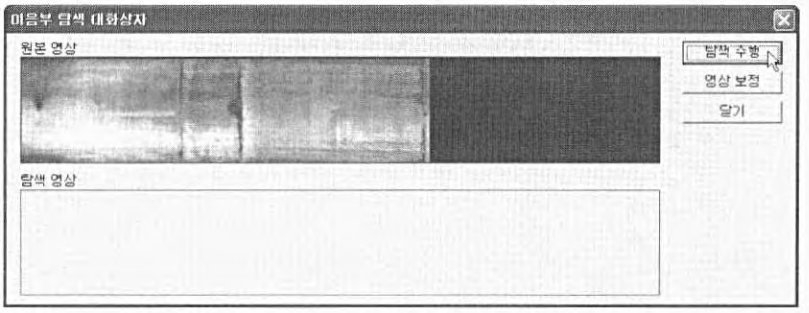
① 측면 영상 데이터를 소스로하여, 측면 영상을 접합하여 하나의 영상으로 생성한다.

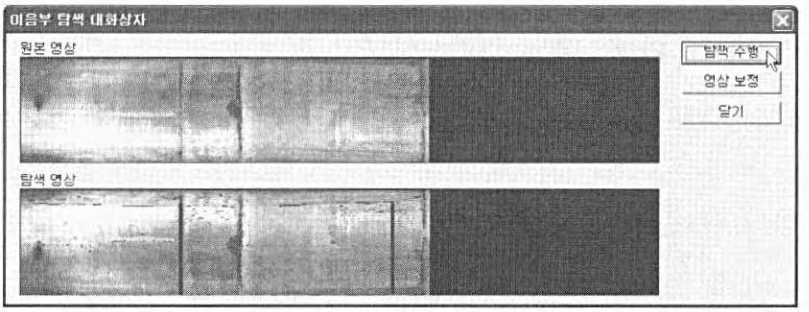
② 영상 접합을 위해 각 측면 영상으로부터 가져올 픽셀 수를 설정(기본값 32)하고 확인 버튼을 클릭하면, 영상이 생성된다.

③ 영상 보정을 체크하면, 이어 붙는 부분을 좀 더 자연스럽게 영상 처리하는 기능을 수행한다.

라. 이음부 탐색

〈그림 14〉 이음부 탐색 대화상자





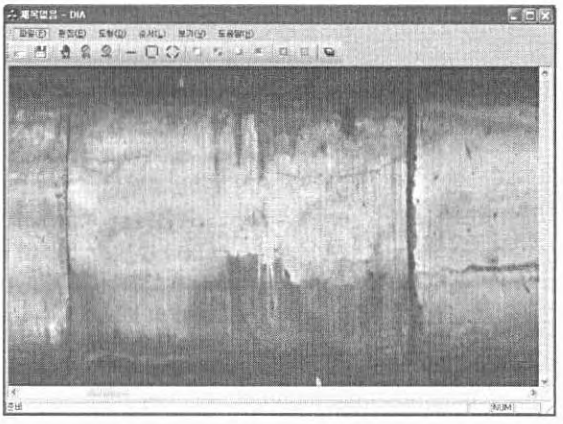
① 메뉴에서 이음부 탐색을 클릭하면, 그림 14의 상단과 같은 대화상자가 실행된다.

② 탐색 수행을 클릭한다. canny edge detect 알고리즘을 수행하여, 선택된 에지 중
이음부로 탐색된 결과를 빨강색 선으로 표시한다.

③ 수행 후 그림 14의 하단과 같은 결과가 출력되며, 영상 보정을 클릭하면, 이음부와
이음부 사이를 균일한 길이로 영상보정하고 표준관 길이로 거리값을 계산하여, 저장한다.

라. 결함 탐색

〈그림 15〉 결함 탐색 소프트웨어 DIA



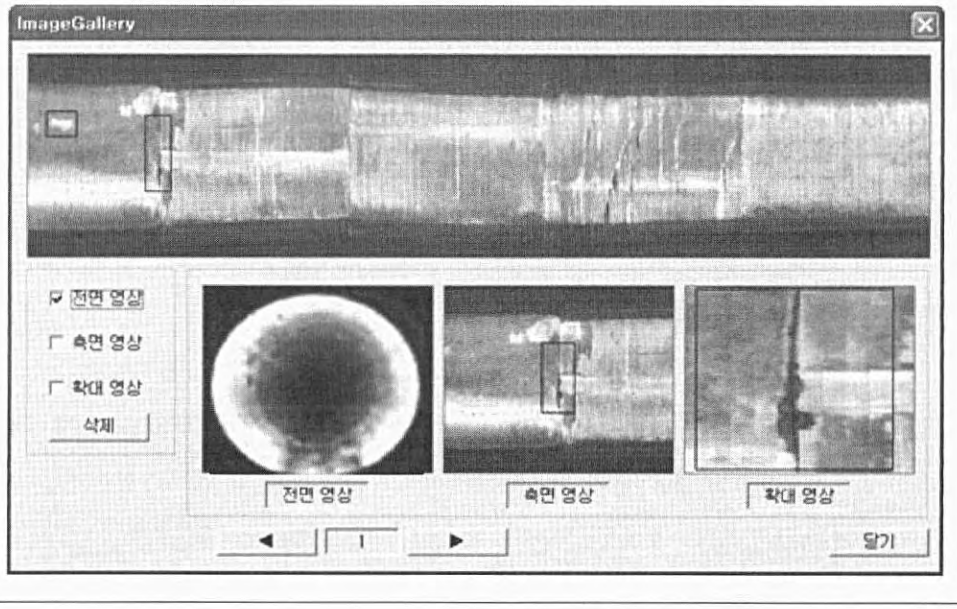
① 메뉴에서 결함 탐색을 클릭하면, 그림 15와 같은 소프트웨어가 실행된다.

② 결함 탐색을 수행한다.

(결함 탐색 기능은 4. 결함 탐색 소프트웨어 편을 참조)

마. 결함 영상 정리

〈그림 16〉 결함 영상 정리 대화상자



① 결함 탐색을 수행 후, 결함 영상 정리를 수행하면 그림 16과 같은 대화상자

가 띄워진다.

② 화살표 이동 버튼을 클릭하여, 결함 영상을 확인하고, 사용하고자 하는 영상을 제외한 나머지 영상은 왼쪽 그룹의 체크박스를 체크하여 삭제를 수행한다.

바. 보고서 생성

〈그림 17〉 보고서 생성 대화상자



① 결함 영상 정리를 수행 후, 파일 메뉴에서 보고서 작성을 클릭하면 그림 17와 같은 대화상자가 표시된다.

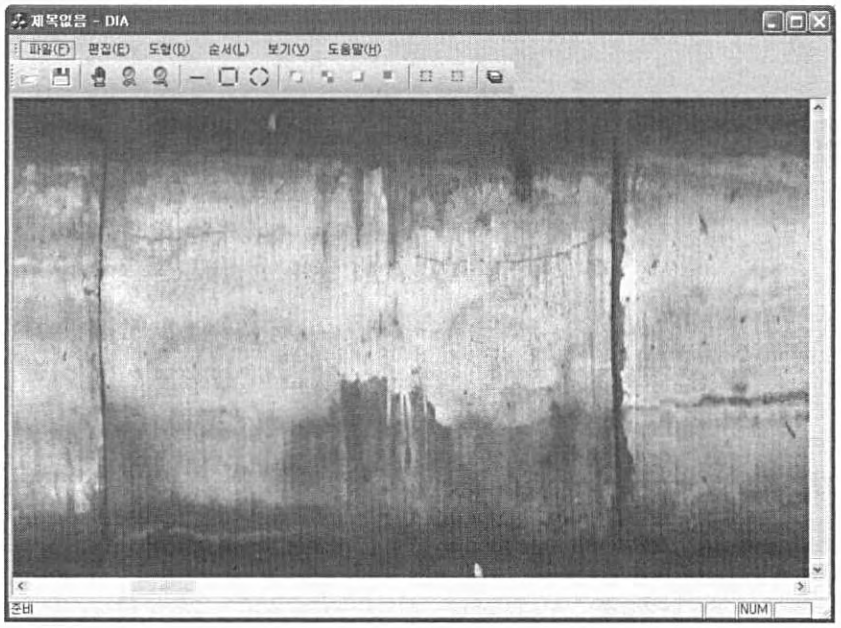
② 보고서를 작성하고자 하는 작업 파일을 체크한 후, 보고서 생성 버튼을 클릭하면, 한글 문서가 생성된다.

③ 보고서 출력 버튼을 클릭하면, 바로 기본 프린터를 통해, 출력 기능이 수행된다.

4. 결함 탐색 소프트웨어(DIA)

가. 메인화면

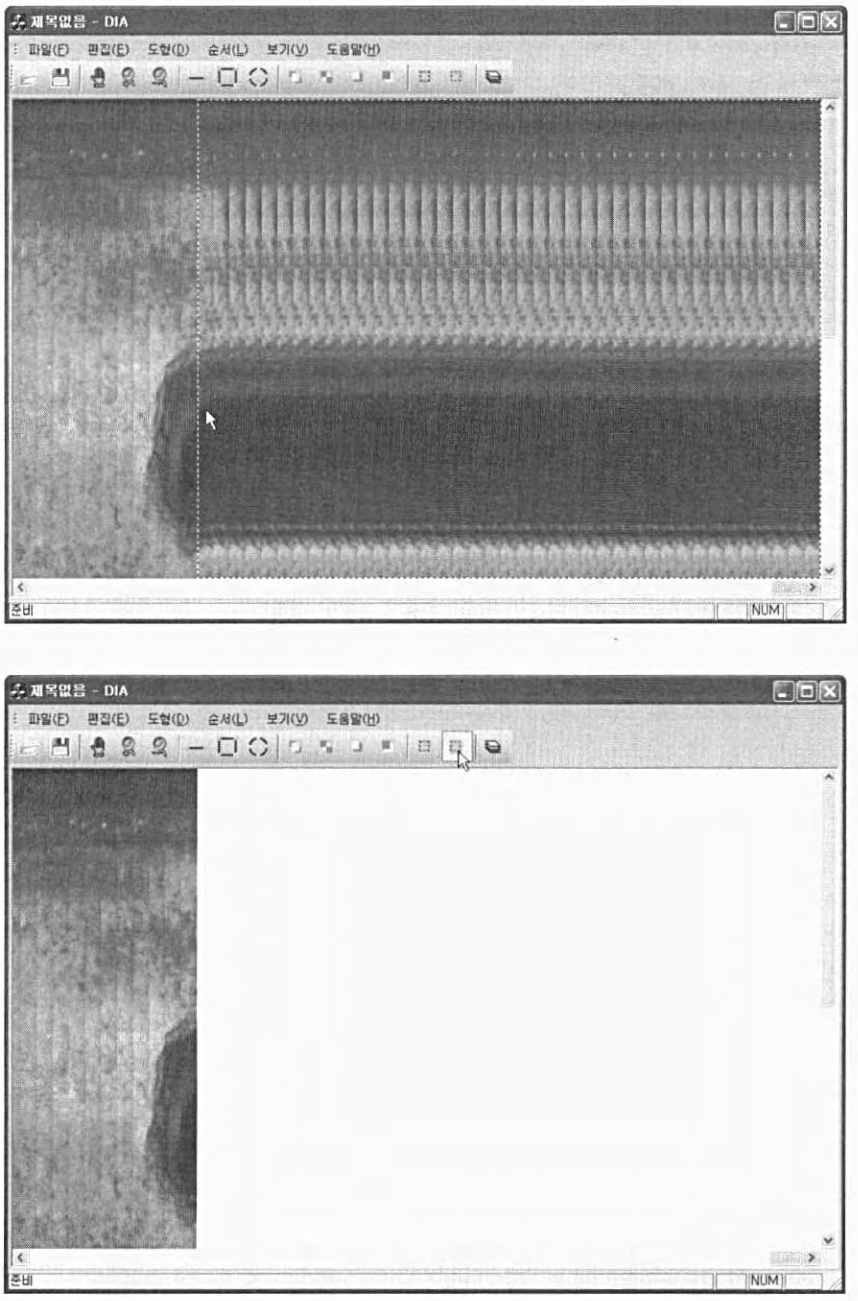
〈그림 18〉 결함 탐색 소프트웨어 DIA



소프트웨어를 초기에 실행하면 그림18과 같은 화면이 표시된다. 영상 보정 후 접합 단계를 거친 프로젝트 작업 파일은, 결함 탐색을 수행할 수 있는 단계가 된다. DIA는 이런 프로젝트 작업 파일을 열어 결함 탐색을 수행한 결과를 저장하고, 결함 영상을 생성한다.

나. 중복 영역 삭제

〈그림 19〉 중복 영역 삭제



① 메뉴에서 영역 선택 기능을 클릭하고, 마우스로 해당 영역을 드래그한다.

② Shift키를 누른 상태에서 왼쪽 마우스 버튼 클릭으로 영역을 세밀하게 설정할 수 있다.

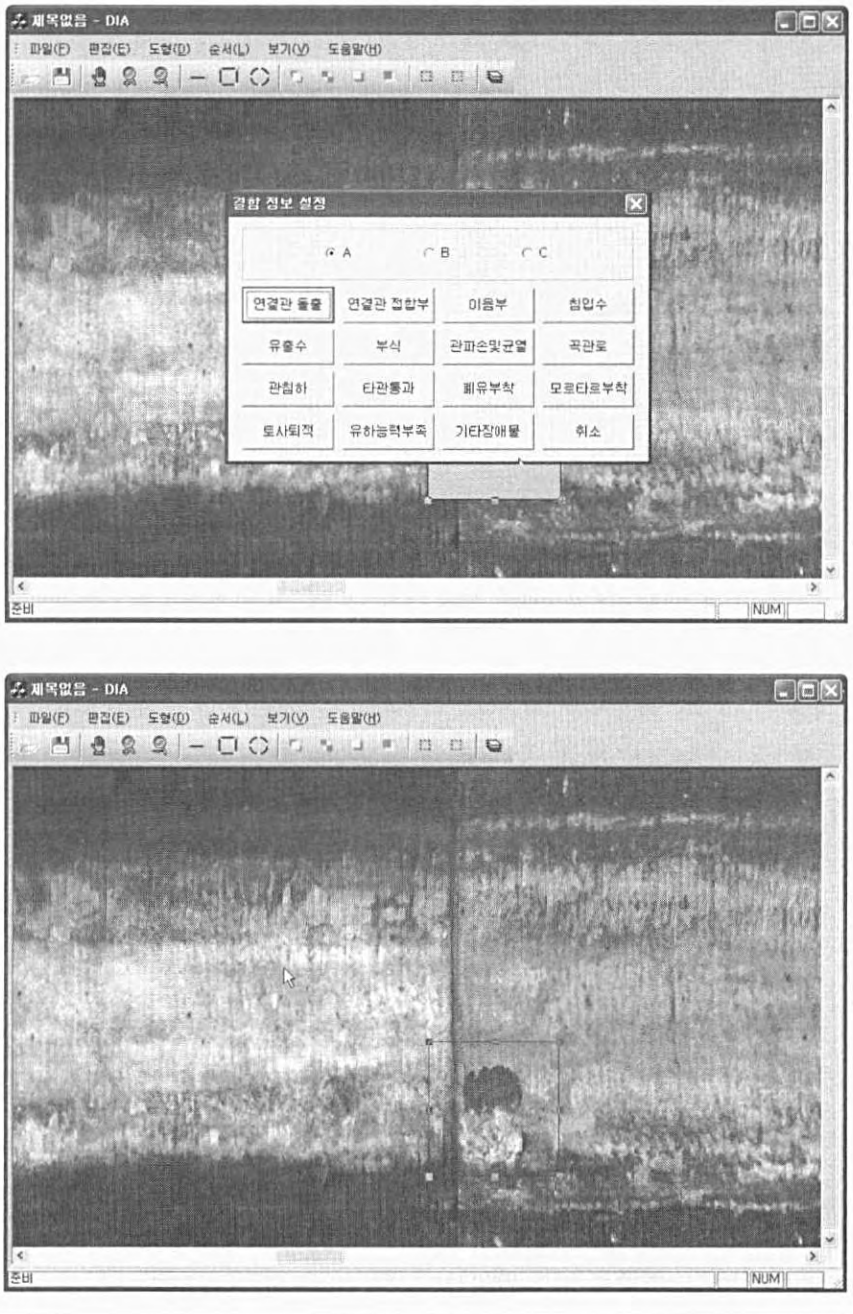
③ 영역 삭제 기능을 클릭한다.

④ 선택한 영역이 삭제되고 화면이 갱신된다.

※ 취소 기능을 클릭하면, 삭제가 취소된다.

다. 결함 영상 생성

〈그림 20〉 결함 영상 생성



① 그리기 도구를 사용하여 결함 부위를 측면 영상 뷰에 그린다.

② 결함 항목 선택 대화상자가 표시되면, 해당 결함 항목을 체크한다.

③ 프로젝트 파일을 저장한다.

④ 메뉴에서 결함 영상 생성을 클릭하면, 측명 뷰에 표시한 부분이 결함 영상으로 저장된다.

라. 결함 항목 편집

〈그림 21〉 결함 항목 편집



① 편집 메뉴에서 결함 항목 편집을 클릭한다.

② 결함 항목 편집 대화상자가 표시되면, 해당 결함 항목의 항목명 혹은 색상을 편집한다.

③ 설정 버튼을 클릭하여 설정 정보를 저장한다.

④ 결함 영역 정보가 갱신된다.

라. DPIM 시스템 매뉴얼

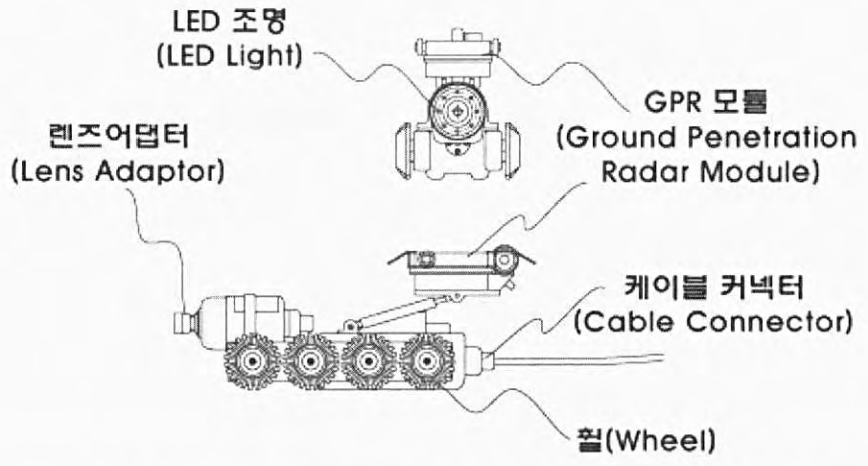
1. 조사 작업 전 유의사항

가. DPIM 시스템 주요부 확인



■ DPIM을 이용한 관로 조사 작업을 수행하기 전 사용자는 DPIM 자주차의 상태, 케이블 체결 상태, DPIM 컨트롤러의 작동 유무 등 DPIM 시스템 주요부에 대하여 확인하여야 한다.

나. DPIM 자주차



■ DPIM 자주차의 전방에 설치되어 있는 렌즈어댑터에 이물질이 부착되어 있는 경우, 취득영상에 나타나므로 사용자는 렌즈어댑터의 청결 상태를 유지해야 한다.

■ 사용자는 렌즈어댑터 후방에 설치되어있는 LED조명 상태를 확인하여, 각 LED의 점등여부, 휘도 성능을 검토하여 관로 투입시 적정 휘도를 유지할 수 있는지 확인해야 한다.

■ 사용자는 외부 구동장치인 휠(WHEEL)에 이물질의 부착여부를 확인하여야 한다. 이물질이 휠에 부착되어 있는 경우, 관로조사 투입된 DPIM 자주차의 주행시 차량 요동의 발생 원인이 되므로 조사 투입전 이물질이 부착되어 있는 경우, 이를 제거해야 한다.

■ DPIM 자주차 상부에 GPR 모듈을 장착하는 경우, 관로 상부 벽면에 GPR 모듈이 최대한 접근될 수 있도록 GPR 지지대의 상승 높이 및 GPR 롤러의 텐션을 확인하여야 한다.

■ 자주차 본체와 케이블을 연결하는 케이블 커넥터의 체결이 견고하게 되어있는지 확인한다.

다. DPIM 케이블드럼 및 컨트롤러

■ 관로조사 전, 사용자는 케이블드럼의 전동회전 여부를 확인하여 케이블의 원활한 감기 및 풀기가 가능한지 확인한다. 케이블이 엉켜있는 상태로 감겨있는 경우, 자주차 투입 전에 엉켜있는 케이블을 정렬해야 한다.

■ DPIM 컨트롤러에 장착되어있는 자주차 전후진 속도 컨트롤 다이얼, 조명 휘도 컨트롤 다이얼을 시험 조작하여 자주차의 관로 투입시 원활한 작업이 이루어질 수 있도록 한다.

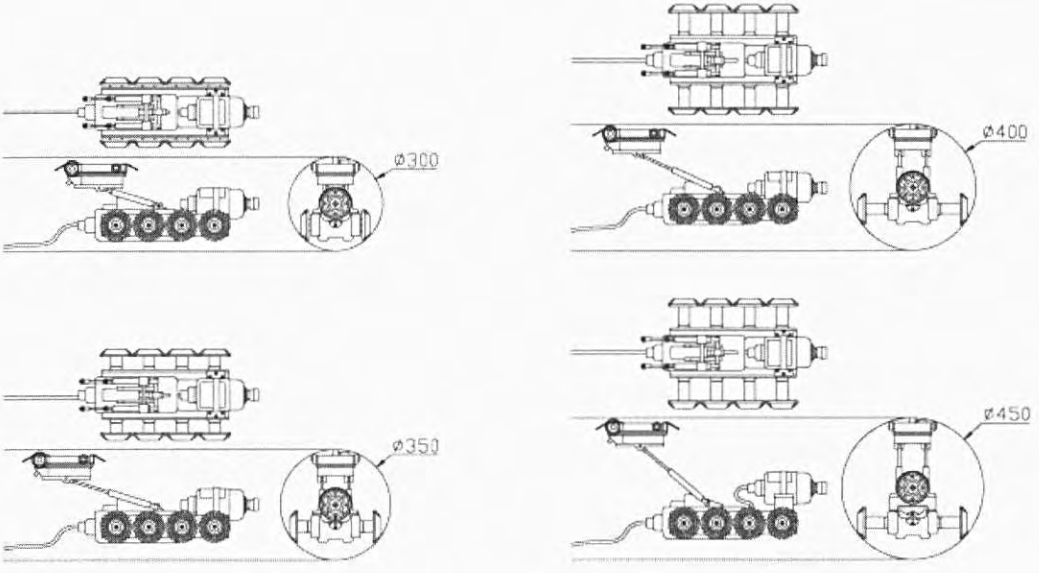
2. 조사 작업 중 유의사항

가. 자주차 컨트롤

■ 사용자는 자주차의 관로 투입 직후, 조사촬영 직전에 디스플레이의 영상을 확인하여 자주차의 렌즈어댑터 중심부가 관로 중심부에 정확이 일치하였는지 확인한다.

■ 만약, 렌즈어댑터 중심부가 관로 중심부에서 편심되어 있는 경우, 취득영상의 전개과정에서 오류를 발생시킬 수 있으므로 자주차를 관로에서 꺼낸 후, 조사관로의 관경을 고려하여 자주차의 구동 휠 높이 및 휠 사프트 등을 적정하게 조절하고 자주차를 관로에 재투입한다.

■ 아래의 그림은 조사 관로의 관경별로 구동휠을 교체한 상태를 나타낸 것이므로 사용자는 이를 참고하여 적정 구동휠로 교체를 하여야 한다.



■ 관로 조사 중, 관로의 심각한 균열, 토사퇴적, 이음부의 탈락, 연결관으로부터의 다량의 오수 유입 등으로 주행이 불가능한 경우에는 조사주행을 멈추고 자주차를 회수해야 한다.

■ 컨트롤러 사용자는 조사 자주차의 주행속도를 면밀히 확인하여 PC에 녹화되는 영상을 고려하여야 한다. 과도한 저속주행 및 고속주행의 경우, 취득영상의 품질에 영향을 줄 수 있으므로 영상 취득 소프트웨어와 연계되어 결정된 속도를 준수하여야 한다.

나. 조사 보조 업무

■ 자주차의 관로 투입시, 맨홀 상부에서 후크 등을 이용하여 자주차를 내리는 경우, DPIM 렌즈어댑터의 파손이 발생할 수 있으므로, 보조인력을 투입시킬 수 있는 현장조건인 경우에는 보조인력이 자주차를 관로 시점부까지 위치시켜야 한다.

■ 관로 조사가 진행 중인 경우, 보조인력은 조사주행이 원활이 이루어질 수 있도록 케이블을 적정 속도를 유지하여 풀어야 한다. 미리 케이블을 풀어놓는 경우, 케이블 맨홀 투입 전에 엉키는 경우가 발생하므로 주의하여야 한다.

3. 조사 작업 완료 후 유의사항

가. 자주차 컨트롤

■ DPIM 자주차가 종점 맨홀에 도착하였거나 주행이 불가한 상태에 놓여 자주차를 관로에서 꺼내야 하는 경우, 컨트롤러를 사용하여 자주차를 후진시킨다.

■ 자주차를 후진시키는 경우, 컨트롤러 사용자는 보조인력과 행동을 조합하여 케이블이 구동휠에 영켜 감기는 일이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 자주차를 과속으로 후진시키는 경우에는 미처 나오지 못한 케이블이 구동휠에 감기므로 주의해야 한다.

■ 자주차 컨트롤러 조작자는 보조인력의 신호에 따라 후진 컨트롤을 수행해야 한다. 자주차가 조사 시점부에 이르렀을 경우에는 속도를 감속하여 자주차가 맨홀에 충돌하는 상황을 피해야 한다.

나. DPIM 시스템 유지관리

■ DPIM 조사 자주차를 관로에서 안전하게 꺼낸 후, 다른 조사장소로 이동하거나 모든 조사작업을 완료하였을 경우에는 케이블에 부착되어 있는 이물질, 수분 등을 청결하게 유지하여 케이블 드럼에 감아야 한다.

■ 케이블을 드럼에 감을 경우에는 전동속도 등을 조절하여 케이블이 엉킨 상태로 감기지 않도록 해야한다.

■ 조사 완료 후 사용자는 DPIM 렌즈어댑터, 구동휠 등에 부착되어 있는 이물질, 수분 등을 반드시 제거해야 한다. 특히 렌즈어댑터에 이물질이 고착되는 경우, 후속작업이 불가능하므로 유리 재질로 되어있는 렌즈어댑터는 항상 청결을 유지해야 한다.

■ 케이블드럼에 케이블을 완전히 감은 후 DPIM 시스템 장착차량이 이동할 경우, 이동차량에 DPIM 자주차를 견고히 고정해야 한다. 차량 이동시 발생하는 충격에 의하여 유리재질로 되어있는 DPIM 렌즈어댑터 파손이 발생할 수 있으므로 자주차 본체를 이동차량에 고정시켜야 한다.

4. 고장 발생시 조치사항 및 유지관리

가. DPIM 렌즈어댑터

■ 렌즈어댑터의 균열, 파손, 이물질 고착 등으로 인하여 충분한 성능을 발휘할 수 없는 경우에는 새로운 렌즈어댑터로 교체하여야 한다. 따라서, DPIM 시스템이 장착되는 조사차량에는 여분의 렌즈어댑터를 구비하여야 한다.

■ 렌즈어댑터 교체시, DPIM 헤드부 고정부위에 밀착한 상태로 고정하여 수밀성을 향상시켜야 한다.

나. 구동 휠(Wheel)

■ 구동 휠을 장기간 사용할 경우, 고무재질로 되어있는 휠의 마모가 발생하여 렌즈어댑터의 중심부와 관로 중심부가 일치하지 않는 경우가 발생하므로 휠의 마모 상태를 고려하여 마모가 심한 경우에는 교체하여야 한다.

■ 구동장치 내부의 기어장치에는 충분한 윤활재료를 주입하여 월활한 구동이 이루어지도록 하여야 한다.

■ 구경에 따른 휠 교체시, 육각렌치 등을 사용하여 교체를 교체를 하며 휠 고정 나사부가 풀어지거나 나사의 산이 뭉개지지 않도록 적정한 힘을 가하여 고정한다.

다. 케이블

■ 케이블 내에는 전력선, 데이터 전송선 등 여러가닥의 전선이 함께 묶여 피복되어 있는 상태이므로, 케이블커넥터의 탈착시에는 주의하여야 하며 피복의 탈락, 전선의 절단 들이 있을 경우에는 절연성이 충분히 확보될 수 있도록 재연결 해야 한다.

■ 장기간 사용시 케이블 피복이 마모되는 경우가 있으므로, 일정 사용기간이 지나면 신규 케이블로 교체하여야 한다.

라. 케이블 드럼

■ 전동식으로 구동되는 케이블 드럼 사용시, 케이블 드럼 내에 물이 들어가지 않도록 조사완료 후 케이블을 청결히 하여 감아야 하며 케이블 모터가 작동을 안할 경우를 대비하여 예비 케이블모터를 상시 준비하여야 한다.

마. DPIM 컨트롤러

■ 변압장치가 내장되어 있는 DPIM 컨트롤러에는 과부하를 방지하기 위한 퓨즈가 설치되어 있으므로 퓨즈가 절단되는 경우를 대비하여 여분의 퓨즈를 구비하고 있어야 하며, 퓨즈가 절단되는 경우 전원공급장치와의 연결을 차단한 상태에서 퓨즈를 교체해야 한다.

■ 컨트롤러 내에 조사케이블 등에 묻어있는 수분이 들어가는 경우를 대비하여 컨트롤러의 외면에는 방수처리를 해야한다.

사. 전원공급장치

■ DPIM 시스템에 전력을 공급하는 전원공급장치로는 일반적으로 소형발전기를 사용하므로 조사 자주차의 주행시, 컨트롤러 사용시, 컨트롤러와 연결되어 있는 PC 사용시에 전원이 차단되는 일이 발생하지 않도록 충분한 연료 공급이 이뤄져야 한다.

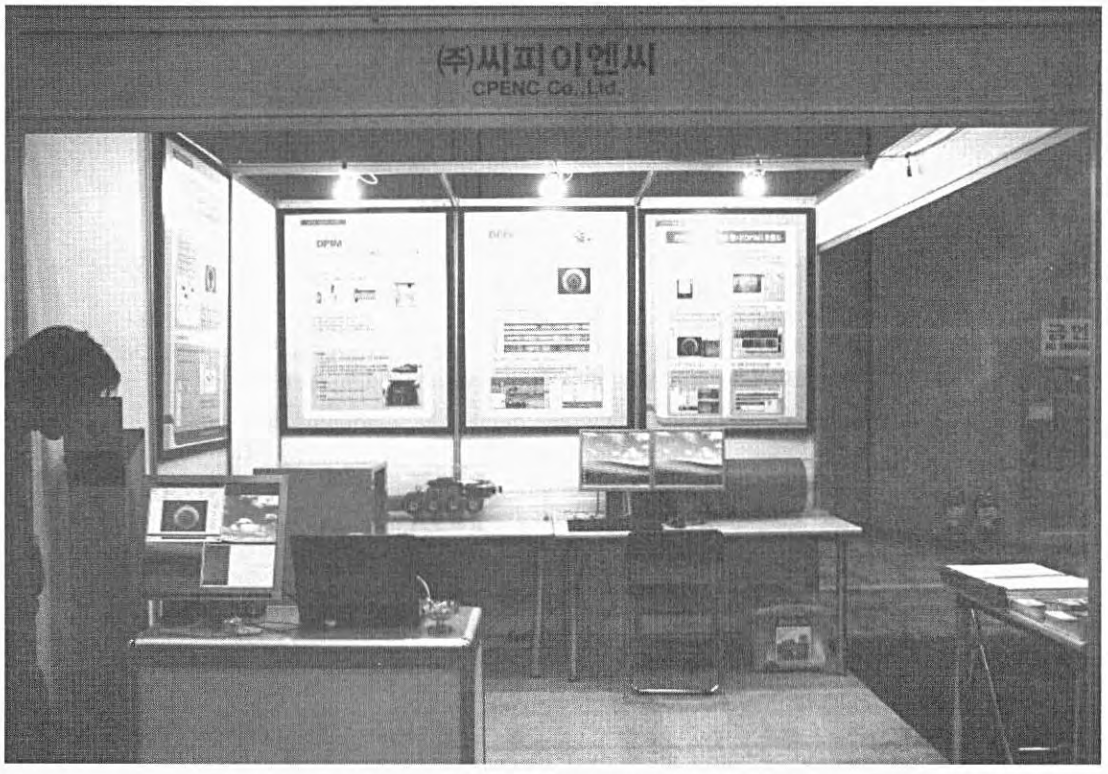
■ 또한, 조사 작업 종료 후에는 반드시 DPIM 컨트롤러의 전원스위치를 조작하여 전원을 내려야하며, 영상녹화에 사용되는 PC의 전원이 내려지기 전에 전원공급장치의 가동을 중단하여서는 안된다.

제10절 홍보 및 마케팅

홍보 및 마케팅의 수단으로 본 연구의 참여기업인 (주) 씨피이엔씨가 2008년 신기술대전 및 2008 국제상하수도전시회에 본 연구의 성과물인 DPIM 시스템을 출품하여 DPIM 시스템을 홍보하였다.

1. 2008 신기술대전

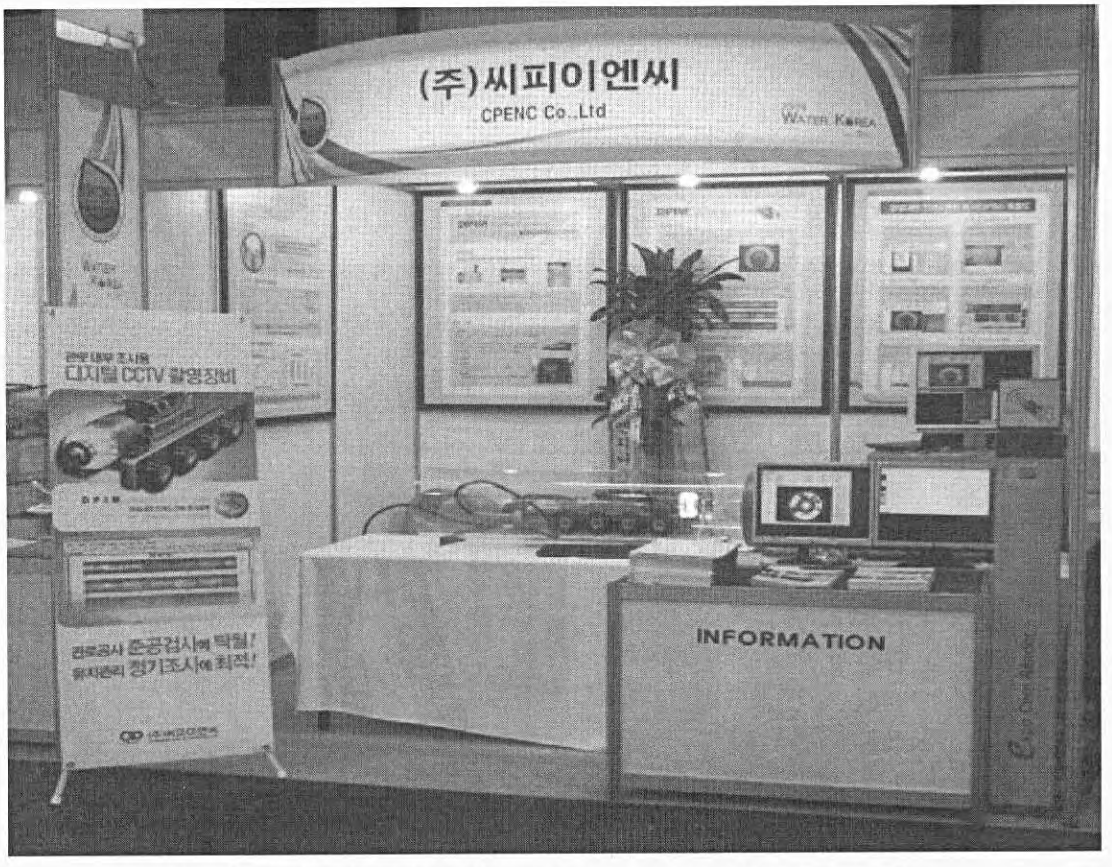
2008년 10월 22일 ~ 24일 3일동안 한국국제전시장(KINTEX)에서 한국건설교통기술평가원과 한국환경기술진흥원의 주체로 열린 2008 신기술대전에 본 연구의 참여기업인 씨피이엔씨에서 DPIM시스템을 출품하였다.



<그림 3.157.> 2008년 신기술대전 참여기업 부스 모습

2. 2008 국제상하수도전시회

2008년 11월 10일 ~ 13일까지 대치동 SETEC에서 서울특별시와 한국상하수도 협회에서 주최하는 2008 국제상하수도 전시회에 본 연구의 참여기업인 씨피이엔씨에서 DPIM시스템을 출품하였다.



<그림 3.158.> 2008 Waterkorea 참여기업 부스 모습

전시회 소결

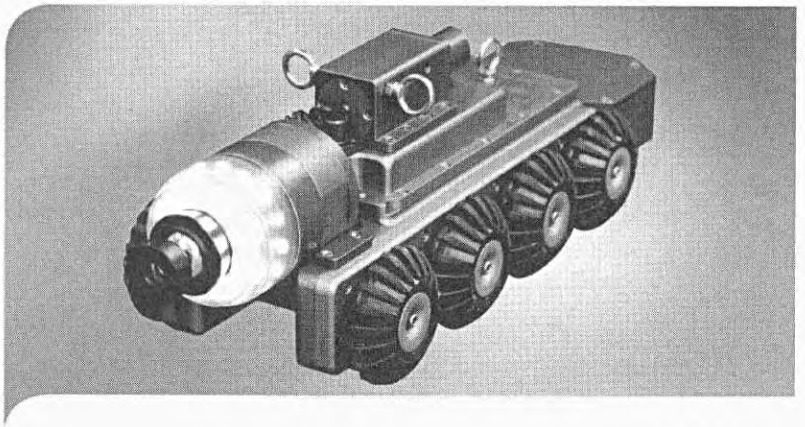
참여업체인 씨피이엔씨에서 참여한 두 전시회에서 관공서 하수관 관계자들이 본 DPIM 시스템에 상당한 관심을 가졌으며, 관공서 뿐만 아니라 하수관 시공업체에서도 준공검사나 정기조서에 활용을 하고자 DPIM 시스템에 관심을 보였다.

또한 국외의 바이어들도 기존의 CCTV방식과 다르며 어안렌즈를 사용한 SSET 방식과 다른 본 시스템의 렌즈구조 및 소프트웨어를 이용한 실시간 전개 및 접합 방식과 자동탐색 소프트웨어에 상당한 관심을 보였다. 다음 그림들은 전시회에 사용한 씨피이엔씨의 DPIM 홍보 카달로그이다.

www.cpenc.com



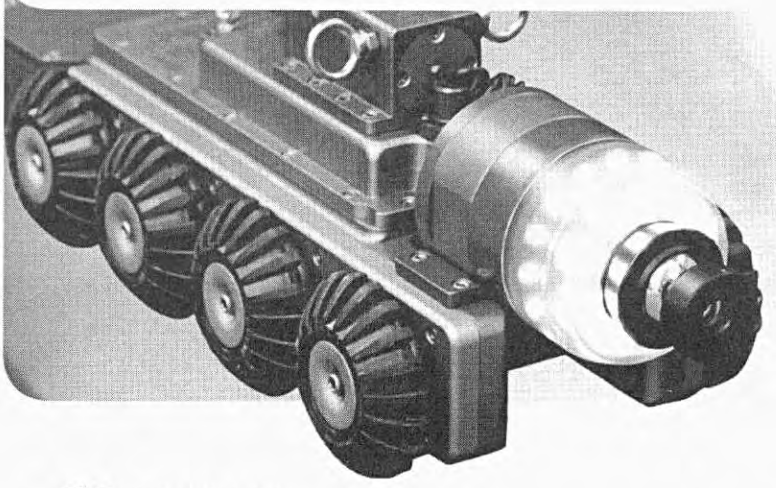
CPENC



DPIM Digital Pipe Image Module

관로내면 전개도면화 탐사로봇





CPENC (주)씨피이엔씨

411-805 경기도 고양시 일산서구 대화동 2226 우리프라자 204호 Tel 031.924.2450 Fax 031.924.8178

#204, Woori-Plaza, 2226 Daehwa-dong, IlsanSeo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-805 Republic of Korea

기술연구소(205호) Tel 031.924.8172 Cleanpipe Engineering & Construction Co.,Ltd.

www.cpenc.com

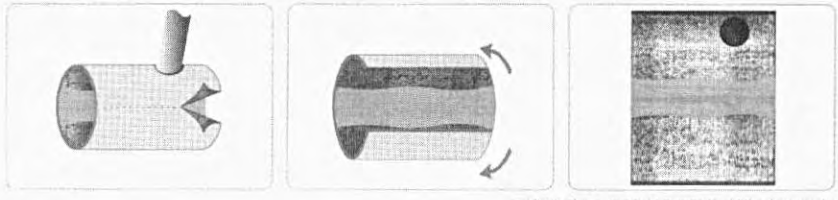
DPIM Digital Pipe Image Module

관로 내면 전개도면화 탐사로봇

특허 10-0657226호 | NET 신기술인증 0190호

‖ 시스템 개요

• 고해상도 전개영상을 통해 관내부 이상부위를 일시에 판독하는 조사법



▶ 작업자의 숙련도와 관련없이 정밀 탐사 및 분석 가능
▶ 준공검사용 하수관거 조사법으로 최적
▶ 관 내면영상 평면화 작업시, 관정 또는 관저 절개 가능
▶ 디저털 기반 자료이므로 관리시스템 자료로 즉시 호환 가능

‖ 주요 구성

• **하드웨어**

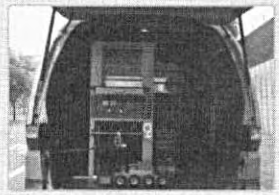
▶ 관로 내면의 전방 · 측방 영상을 동시에 취득할 수 있는 **특수 광학 렌즈**
(국내특허 제 0657226호)
▶ 관로의 중심선상에 배열된 측면 원주영상 취득용 **디지털 CCD 카메라**
▶ 다량의 탐사결과를 트레픽 없이 전송할 수 있는 **광케이블 및 광컨버터**
▶ 전방 및 측방 영상 취득시 밝기조절이 유리한 **LED광원**



• **소프트웨어**

▶ **조사용**
하수관거 현장탐사 데이터 수집용 소프트웨어

▶ **분석용**
수집된 데이터의 이상개소 분석 및 보고서 제작용 소프트웨어

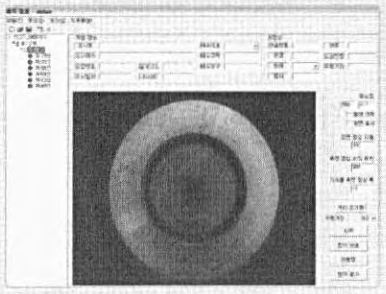


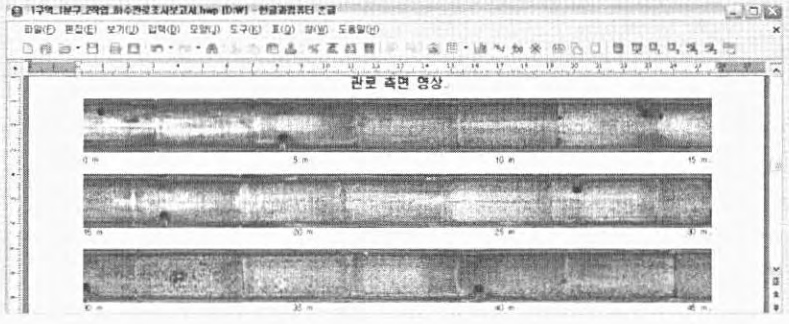
DPIM Digital Pipe Image Module



‖ 시스템 특징

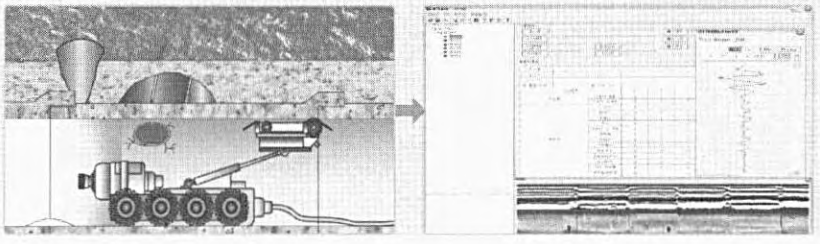
- 고해상도의 디지털 영상을 사용
- 관로조사 작업중, 이상개소 발견시에도 자주차 정지없이 연속진행하므로 작업시간 단축
- 디지털 고해상도 전개영상 판독으로 객관성 제고
  → 조사자의 숙련도와 무관
- 조사시 관 내부 이상항목에 대해 고해상도 전개화상으로 실시간 표시
- 내업시 전개영상에 대한 이상항목 집계분석과 동시에 조사보고서 출력
  → 다양한 파일형태(hwp, MS-Word, MS-Excel)로 작성 가능
- 하수도관리시스템과 연계한 시설물 관리 가능





‖ 개발 예정 시스템(DPV-Digital Pipe Vision)

- 지표투과레이더(GPR)를 DPIM 자주차에 장착하여 공동발생 등 지반상태를 파악
- 실시간으로 관로내면 전개영상 및 관로외면의 지반상태를 동시에 판독



여 백

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

여 백

제 1절 연구개발목표 달성도

1. 연구개발 목표의 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
상용화 DPIM시스템 구성	95	- DPIM 자주차 및 소프트웨어 업그레이드 - DPIM 시스템 탑재차량 표준화 설계 및 제작 - 대량생산을 위한 DPIM 표준화 설계 및 제작
자동판독시스템 개발	80	- 균열 등의 이상항목을 자동판독하기 위한 모듈 개발 - DIPAD 소프트웨어 개발
GIS와 연계한 관로상태평가 및 관리시스템 개발	90	- 기존 GIS 데이터 Conversion - DPIM 시스템과의 연계 모듈 설계 - DPIM 시스템과의 연계 모듈 제작
시범사업	100	- 일산, 부천, 대전 지역 DPIM 촬영 - 용문 하수관정비사업 DPIM 촬영
홍보 및 마케팅	100	- 신기술대전 출품 - Waterkorea 2008 출품 - 국내 및 국외 학술발표회 발표 - 국내 및 국외 논문 수록

2. 관련분야에의 기여도

(1) 기술적 측면

- 기존 CCTV 카메라는 실제 거리와 달리 화면에 나타나고 조명의 조도에 따라 관로내면의 상황 판독력이 크게 달라 기술자의 숙련도에 따라 상태평가의 정확도가 상이
- 개발 기술을 적용할 경우, 일정한 속도로 주행하면서 해상도가 좋은 CCD카메라를 사용하여 관로의 전방화상과 관로내면 360° 전개화상을 실시간으로 그리고 연속적으로 측정하기 때문에 이러한 문제를 총체적으로 해결할 수 있음
- DPIM 소프트웨어의 경우 자동판독을 위하여 개발된 알고리즘을 업그레이드하여 기존의 CCTV 동영상에 적용시켜 이상부위를 DPIM 시스템의 촬영 결과물 만이 아닌 기존의 CCTV 동영상에 적용시켜 이상부위를 자동으로 탐색가능하게 활용할 수 있으며, 현재 공공 및 민간 부문에서 활용되고 있는 GIS와 DPIM 시스템을 통하여 얻어진 하수관 전개 도면의 연계방안은 향후 지속적인 하수관거 이상부위를 모니터링 시스템으로 활용할 수 있을것으로 판단됨.
- DPIM 시스템의 구축을 통하여 개발된 광학기술 및 자주차 기술 등은 향후 기존 CCTV시스템에 접목시켜 기존 CCTV시스템을 한단계 업그레이드 시킬 수 있을 것으로 판단됨.
- 기존의 GIS기반 지하매설관로 관리시스템과 연계함으로써 영상 정보를 지리적 정보와 연계하여 관리함으로써 관거 관리 분야에 있어 시각적인 정보를 축적
- 하수관과 같이 지하에 매설되어 있는 시설물들을 디지털 스캐닝 장비와 GIS의 통합적 연계와 Asset Management개념을 통한 소위 "Total Asset Management"를 하수관망 관리에 적용함으로써 국내 하수관망 관리 시스템의 새로운 패러다임 유도

(2) 사회·경제적 측면

- 2003년 말 현재 72만4311㎞에 대해 DB화가 이뤄져 공공 및 민간 부문에서 활용되고 있으며 투입된 예산은 총 3207억원

- 본 연구의 결과를 도출할 수 있는 영상 및 탐사 정보를 GIS의 데이터베이스와 연계하여 관리하는 경우, 기존 정보의 신뢰성을 향상시키고, 활용도를 증대할 수 있으며, 관로의 매설에서부터 경년에 따른 관로의 노화 및 변화를 감지하여 시설물의 유지 관리에 많은 정보를 제공하는 등의 각종 유형, 무형의 경제적인 효과를 유발
- 또한 미래의 산업에 있어서 주역이 될 것으로 예상되는 IT 및 정보 컨텐츠 사업에 있어서, 지하매설물에 대한 정보 및 각종 컨텐츠를 제공하기 위한 각 분야의 산업에 시너지 효과를 유발하여 사회 근간 시설의 정보화, 첨단화를 통하여 관련 산업 분야의 발전을 유도
- 2003년 말 72만4311㎞에 대해 DB화가 이뤄져 공공 및 민간 부문에서 활용되고 있으며 투입된 예산은 총 3207억원
- 본 연구의 결과를 도출할 수 있는 영상 및 탐사 정보를 GIS의 데이터베이스와 연계하여 관리하는 경우, 기존 정보의 신뢰성을 향상시키고, 활용도를 증대할 수 있으며, 관로의 매설에서부터 경년에 따른 관로의 노화 및 변화를 감지하여 시설물의 유지 관리에 많은 정보를 제공하는 등의 각종 유형, 무형의 경제적인 효과를 유발
- 또한 미래의 산업에 있어서 주역이 될 것으로 예상되는 IT 및 정보 컨텐츠 사업에 있어서, 지하매설물에 대한 정보 및 각종 컨텐츠를 제공하기 위한 각 분야의 산업에 시너지 효과를 유발하여 사회 근간 시설의 정보화, 첨단화를 통하여 관련 산업 분야의 발전을 유도

여 백

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

여 백

제 1절 타 산업에 미치는 효과

- 국가지리정보체계(NGIS)에 의하여 구축되어 있는 각 지자체의 지하매설물 관리시스템의 중요한 요소인 수치지도상의 선형 시설물들과 연계된 세부 관리 정보 및 관로의 상태 평가를 통합적으로 관리함으로써 기 구축된 정보의 활용도를 증대시키고, 예산 운용의 효율성 유도
- 관로에 대한 미세한 정보까지 취득이 가능하고, 오수나 기타 오염 물질의 누수로 인하여 발생하는 토양오염, 지하수 오염 등의 예방뿐만 아니라, 관로의 상태에 따른 파손전 관리 등을 통하여 도시 시설물 관리에 있어서도 많은 정보를 제공할 수 있음

제 2절 정부 정책과의 연계 방안

정부 및 관련 지자체 등에 홍보하여 기존 CCTV조사 방식과의 차별성과 생산성에 서 월등함을 주지시킴으로써, 시공자와 관리자가 모두 활용할 수 있도록 함.

제 3절 관련 후속연구개발의 전망

- 관로 내 영상의 취득 속도를 개선하기 위하여 디지털 영상 프레임의 속도가 증가된 카메라가 개발된다면 지금 보다도 더 미세한 정보를 취득할 수 있는 기반이 마련될 것이며, 이에 따른 관로의 세밀한 변화도 추적이 가능할 것으로 사료됨
- 기존의 아날로그 방식의 VCR 영상에 대한 처리 기술의 개발을 통하여 과거 자료를 시계열적으로 통합 관리할 수 있는 방안을 강구하여함(현재로는 과거의 광범위한 자료량 및 보고서 작성 방법의 차이로 인하여 지속적인 기술 개발이 필요할 것으로 예상됨)
- 현재 관로 밖에서 이루어 지는 관로의 위치나 매설 깊이에 대한 정보를 관로 내를 질주하는 자주차 또는 멀티센서 조합 기기상에 설치된 관성 관측 장치인 IMU(Inertial Measeurement Unit)를 이용하여 내부에서 영상 관측과 동시에 지형 및 공간에 관련된 정보를 취득하는 방법을 추가할 경우에 대한 연구를 진행할 필요가 있음

여 백

제 6 장 연구개발과정에서의 수집한 해외과학기술정보

여 백

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Expert Systems with Applications 35 (2008) 1327–1337
Expert Systems with Applications
www.elsevier.com/locate/eswa

Automated diagnosis of sewer pipe defects based on machine learning approaches

Ming-Der Yang *, Tung-Ching Su

Department of Civil Engineering, National Chung Hsing University, 250, Kuo Kuang Road., Taichung 402, Taiwan

Abstract

In sewage rehabilitation planning, closed circuit television (CCTV) systems are the widely used inspection tools in assessing sewage structural conditions for non man entry pipes. Currently, the assessment of sewage structural conditions by manually interpretation on CCTV images seems inefficient, especially for several thousands of frames in one inspection plan. Also, the assessment work significantly involves engineers' eye sight and professional experience. With a purpose of assisting general staffs in diagnosing pipe defects on CCTV inspection images, a diagnostic system by applying machine learning approaches is proposed in this paper. This research was first to use image process techniques, including wavelet transform and computation of co-occurrence matrices, for describing the textures of the pipe defects. Then, three neural network approaches, back-propagation neural network (BPN), radial basis network (RBN), and support vector machine (SVM), were adopted to classify pipe defect patterns, and their performances were compared and discussed. The diagnostic system of pipe defects was applied to a sewer system in the 9th district, Taichung City which is the largest city in middle Taiwan. The result shows that the diagnosis accuracy of 60% derived by SVM is the best and also better than the diagnosis accuracy of 57.4% derived by a Bayesian classifier.
© 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: CCTV images; Sewer pipe defects; Diagnostic system; Textural features

1. Introduction

Sewage rehabilitation plays an important role as sewage construction but is not easily processed due to uncertainty of occurrence of sewer pipe defects. Thus, worldwide engineers pay a greater attention to the proactive and preventive repair strategies than the traditional approach of regular sewer maintenance (Fenner, 2000). Before undertaking sewer rehabilitation, four major series steps of sewer rehabilitation planning including inspection of sewage, assessment of sewage structural conditions, computation of structural condition grades, and determination of rehabilitation methods and substitution materials have to be finished (Yang & Su, 2006, 2007). Various tools or technologies such as closed circuit television (CCTV) cameras mounted on robots, ground piercing radar (GPR), sonar and infrared thermograph, are developed to assist engineers in sewage inspection (Cordes, Berns, Eberl, Ilg, & Suna, 1997; Fenner, 2000; Makar, 1999; Moselhi & Shehab-Eldeen, 1999; Wirahadikusumah, Abraham, Iseley, & Prasanth, 1998). CCTV, one of the most popular inspection tools because of its commercial availability, is usually mounted on robot to be putted inside sewer pipes from a manhole and remotely-controlled outside to acquire images of inner pipe (Makar, 1999). In addition, the advantages of mobile CCTV system include fewer inspectors needed, more safety-ensured to inspectors, and more detailed data of distance and slope possibly recorded (Madryas & Przybyla, 1998).

Traditionally, pipe defects are generally diagnosed by human interpretation on CCTV inspection images. It remains to improve the technology of interpreting an enormous quantity of CCTV inspection images due to human fatigue, expertise-dependence, and inefficiency. To

* Corresponding author. Tel.: +886 4 2284 0440x214; fax: +886 4 2286 2857.
E-mail address: mdyang@dragon.nchu.edu.tw (M.-D. Yang).

0957-4174/$ - see front matter © 2007 Elsevier Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.eswa.2007.08.013

overcome these limitations, some computer vision systems based on morphologies or geometries of pipe defects have been tried (McKim & Sinha, 1999; Moselhi & Shehab-Eldeen, 1999; Xu, Luxmoore, & Davies, 1998). Sinha and Fieguth (2006) used mathematical morphology methodology for segmentation of pipe defects including crack/hole, joint, collapse pipe, and lateral, but the method was difficult to classify those defect patterns into various classes based on their severity of defects. It was suggested that the segmented objects have to be further processed to be classified according to the severity of defects by using other shape or textural features. This paper attempts to apply machine learning approaches to develop a diagnostic system with better capacity in diagnosing pipe defects based on textural features instead of morphological or geometrical features.

Like a fingerprint databases, the straightforward approach is to establish a complete databank, which stores an enormous amount of CCTV inspection images collected from many inspection cases. Any inspection image can be classified into one category of sewage structural conditions by comparing the defect characteristic with the stored ones. However, it is almost impossible to establish the databank due to the natural shape irregularities of sewer pipe defects and the complex imaging environment. Therefore, this paper attempts to extract specific principal textural features of pipe defects from CCTV inspection images acquired in one inspection mission to train the diagnostic system and automatically interpret the rest of inspection images based on supervised learning.

Many researches proposed some efficient approaches to extraction of textural features. Wunsch and Laine (1995) concluded wavelet descriptors insensitive to individual shape variations and better than Fourier descriptors in shape representation for handprinted characters. Amet, Ertüzün, and Erçil (2000) used wavelet transform (WT) and co-occurrence matrices to extract the co-occurrence features of defective textile fabrics which are powerful in detecting defects. Moreover, wavelet transform has multiresolution technique, so its sub-band decomposition of tree structure is appropriate for detection of local signal varieties on images. Arivazhagan and Ganesan (2003) presented that co-occurrence features computed from discrete wavelet transformed images are useful for texture segmentation. In this paper, the hybrid use of wavelet transform and co-occurrence matrices is considered as an effective solution for the texture analysis of sewage structural conditions. Based on the extracted co-occurrence features, the diagnostic system could be trained to assign each defect pattern to a correct category.

At present, pattern recognition techniques commonly use multilayer neural network and statistic methods such as Bayesian classifier, maximum likelihood method, and decision tree. Marchant and Onyango (2003) compared a Bayesian classifier with a multilayer feed-forward neural network to a plant/weed/soil discrimination case. The classification result demonstrated that the Bayesian classifier outperform the neural network due to its optimization in the sense of total misclassification error. Unfortunately, in most actual cases there is rarely a complete knowledge about the probabilistic structure of the problem. Thus, the nonparametric methods such as neural networks have been proposed to be widely applied to many actual pattern recognition problems (Duda, Hart, & Stork, 2001). Currently, back-propagation neural network (BPN), radial basis network (RBN), and support vector machine (SVM) are the three commonly used neural networks (Liao, Fang, & Nuttle, 2004) that is adopted in this paper to solve this classification problem of pipe defect patterns. The most efficient neural network technique is commended based on classification performance, and finally the application of this diagnostic system to a sewer system in the 9th district, Taichung City, Taiwan is discussed.

2. Methodology

2.1. Wavelet transform

Wavelet transform (WT) is a linear transform developed from Fourier transform. Unlike Fourier transform whose basis functions are sinusoids, wavelet transform is based on small waves, so-called wavelet, of varying frequency and limited duration so to obtain better resolutions along frequency scale (Chen, Wang, Yang, & McGreavy, 1999; Gonzalez & Woods, 2002). In multiresolution analysis (MRA), a scaling function is to create a series of approximation of a function or an image; additional functions, i.e. wavelet functions, are then used to encode the difference in information between adjacent approximations (Gonzalez & Woods, 2002). A set of wavelet functions is defined as:

$$\psi_{a,b}(x) = 2^{a/2}\psi(2^a x - b) \tag{1}$$

for all $a, b \in \mathbf{Z}$. $\mathbf{Z}$ is a set of integers. The scale parameter a controls stretch or compression of the mother wavelet function; the translation parameter b is an offset along the time axis; $2^{a/2}$ controls its height or amplitude (Chen et al., 1999; Gonzalez & Woods, 2002). Obviously a CCTV image can be regarded as the change of discrete signal along a two-dimensional (2D) scale. Hence, a 2D discrete WT (DWT) was proved to be useful for signal or image processing and pattern recognition (Bashar, Matsumoto, & Ohnishi, 2003; Hwang et al., 2005). The fast wavelet transform was considered as a computationally efficient implementation of the DWT was defined as (Gonzalez & Woods, 2002):

$$\varphi_{a,b}(x) = \sum_b h_\varphi(b)\varphi_{a+1,b}(x), \tag{2}$$

$$\psi_{a,b}(x) = \sum_b h_\psi(b)\varphi_{a+1,b}(x), \tag{3}$$

where $\varphi_{a,b}(x)$ and $\psi_{a,b}(x)$ are computed by convolving $\varphi_{a+1,b}(x)$ with the time-reversed scaling and wavelet vectors, $h_\varphi(b)$ and $h_\psi(b)$. In other words, the original function, $\varphi_{a+1,b}(x)$, is split into a lowpass (approximation compo-

nent) corresponding to $\varphi_{a,b}(x)$, and a highpass (detail component) corresponding to $\psi_{a,b}(x)$.

Due to the separability of wavelet transform, a 2D-DWT can be expressed in terms of a number of one-dimensional transforms (Parker, 1997). Through the decomposition of 2D-DWT, which is implemented by consecutive lowpass (L) and highpass (H) filtering through one-dimensional convolution, the CCTV image can be divided into an approximation image (LL) by a two-dimensional scaling function, $\varphi(x,y)$, shown as:

$$\varphi(x,y) = \varphi(x)\varphi(y) \tag{4}$$

and three detail images in horizontal (HL), vertical (LH), or diagonal (HH) directions by the three two-dimensional wavelets, $\psi^{H}(x,y)$, $\psi^{V}(x,y)$, and $\psi^{D}(x,y)$, respectively (see Fig. 1).

$$\psi^{H}(x,y) = \psi(x)\varphi(y), \tag{5}$$

$$\psi^{V}(x,y) = \varphi(x)\psi(y), \tag{6}$$

$$\psi^{D}(x,y) = \psi(x)\psi(y). \tag{7}$$

At each recurring step of decomposition, the approximation image is split into the next level of approximation and detail images until no more valuable information is obtained.

2.2. Co-occurrence matrices

A co-occurrence matrix is a square matrix in which each element M_{ij} in row (i) and column (j) directions records a relative occurrence frequency of a pair of pixels with the same gray level value separated by a certain pixel distance in one direction (Amet et al., 2000; Parker, 1997). For example, the approach of computing a co-occurrence matrix by one pixel distance in row direction is shown as Fig. 2. It is notable that the size of co-occurrence matrix depends on the range of the gray level values of the CCTV image. In common, there are 14 types of co-occurrence features derived from co-occurrence matrices useful for pattern classification (Haralick, Shanmugam, & Dinsten, 1973). However, the relationship between the co-occurrence features is not absolutely independent so that the redundant features would reduce the efficiency of pattern classification. Through a discriminant analysis, the most independent co-occurrence features with co-relation coefficients of less than 0.5 were found as entropy (ENT), correlation (COR), and cluster tendency (CLU), which were broadly used to describe the textures of objects on images (Amet et al., 2000; Arivazhagan & Ganesan, 2003; Hwang et al., 2005; Yao & Li, 2003), and are employed in this paper to describe the textures of sewer pipe defects and calculated as:

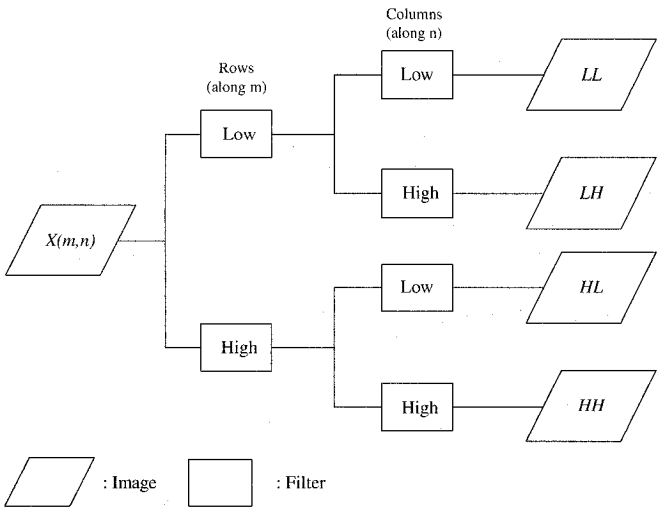


Fig. 1. Two-dimensional discrete wavelet transform.

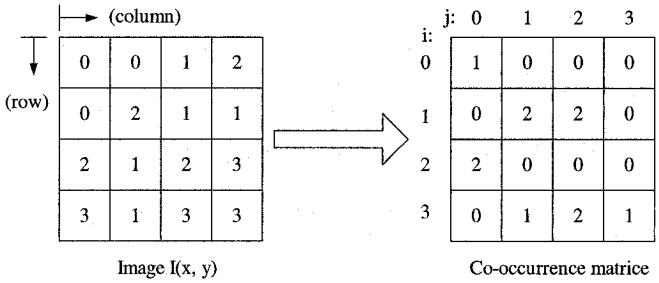


Fig. 2. Example of a horizontal co-occurrence matrix computation.

$$\mathrm{ENT} = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} P_{ij}\cdot \log P_{ij}, \tag{8}$$

$$\mathrm{COR} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(i\cdot j)P_{ij}, -\mu_x\mu_y}{\sigma_x\sigma_y}, \tag{9}$$

$$\mathrm{CLU} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(i-\mu_x+j-\mu_y)^2\cdot P_{ij}, \tag{10}$$

where

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}} \tag{11}$$

$$\mu_x = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} i\cdot P_{ij} \tag{12}$$

$$\mu_y = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} j\cdot P_{ij} \tag{13}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(i-\mu_x)^2\cdot P_{ij}} \tag{14}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(j-\mu_y)^2\cdot P_{ij}}. \tag{15}$$

2.3. Back-propagation neural network (BPN)

BPN, a popular technique for pattern recognition and classification (Nolan, 2002), is one of the multilayer neural networks which usually consist of a three-layer structure:

input layer, hidden layer, and output layer. The numbers of neurons in the input and output layers are given according to the numbers of co-occurrence features and classes of pipe defects, respectively. As for the number of hidden layer neurons, there is no definite number and usually determined by trial and error (Moselhi & Shehab-Eldeen, 2000). Hidden layer neurons are fully connected to both input layer and output layer neurons, so the utility of hidden layer is to take in the external input or to send out the network output. Each hidden neuron computes its net activation based on the weighted sum of the input. Similarly, each output layer neuron computes its net activation based on the weighted sum of its net activations of hidden layer neurons. The type of the net activations between the input-hidden and hidden-output layers is defined as (Duda et al., 2001):

$$\text{net} = \sum_p X_p w_p + w_0 \tag{16}$$

where X_p represents either the co-occurrence features within the input-hidden layers or the activations of the input-hidden layers within the hidden-output layers; w_p is the interconnection weights; w_o is a bias; the subscript p indexes units in the layer. Each neuron within the hidden and output layers has a nonlinear sigmoid function of its activation shown as (Duda et al., 2001; Vapnik, 2000):

$$\begin{aligned}\text{Sgn}(\text{net}) = \tanh(\text{net}) &= \frac{\exp(\text{net}) - \exp(-\text{net})}{\exp(\text{net}) + \exp(-\text{net})} \\ &\equiv \begin{cases} 1 & \text{if} \quad \text{net} \geqslant 0 \\ -1 & \text{if} \quad \text{net} < 0 \end{cases}.\end{aligned} \tag{17}$$

During the training process, the optimal weights are estimated by minimizing the Least-mean-square (LMS) between the desired output t_l known a prior and the real output z_l. The LMS algorithm is adopted for evaluating the training error and expressed as

$$J(w) = \frac{1}{2}\sum_{l=1}^{c}(t_l - z_l)^2, \tag{18}$$

where c is the length of the output vectors; w represents all the weights in the network. Consequently, the basic approach of training a multilayer neural network is to input the training patterns of pipe defects to the input layer and to determine the assigned classes at the output layer via the network. The learning rule of BPN is to adjust the weights using the gradient descent of LMS for the sigmoid approximation of neural network. Initially, the weights are given randomly and adjusted in a direction by the chain rule for differentiation of $J(w)$ which involves two learning parameters, learning rate (η) and momentum factor (θ). Learning rate controls the relative size of the adjustment in weights. A large learning rate speeds up the rate of gradient descent, but decreases the stability of the network. Momentum factor is used to dynamically adapt the learning rate so that the danger of instability could be avoided and the convergence performance could be improved (Duda et al., 2001; Vapnik, 2000).

During BPN operation, the difference signal (t–z) is propagated backward through the network to adjust the weights using the gradient of LMS for the sigmoid approximation of neural network. The output vector has a dimension of $c \times n$, if n frames of CCTV images are inspected. Within an output vector, the lth element as "1" represents that this CCTV image is diagnosed as the lth defect pattern. Once the multilayer neural network is well trained through the above procedure, the intelligent diagnostic system of sewer pipes is ready for the recognition of pipe defect on a CCTV inspection image.

2.4. Radial basis network (RBN)

RBN, one of three-layer neural networks, is almost same as BPN, but with weights between the hidden and output layers. There are two stages, i.e. unsupervised learning and supervised learning, for training RBN (Zhang, Jiang, & Kamel, 2005). At the stage of unsupervised learning, clustering algorithm is used to divide all training samples of pipe defects s into subsets. The number of subsets is set as the number of neurons in the hidden layer of RBN. The characteristic of the training samples in each subset can be described by radial basis functions (G_j), one of activation functions, as (Hwang & Bang, 1997):

$$G_j = \begin{cases} \exp\left\{\frac{-\|s-c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right\}, & j = 1,2,\ldots,n_{\text{H}}, \\ 1 & j = 0 \quad \text{(bais neuron)}, \end{cases} \tag{19}$$

where c_j and σ_j are the center and covariance matrix of each hidden neuron, respectively, which can be determined by clustering; $\|\cdot\|$ denotes the Euclidean distance; n_{H} represents the number of the hidden neurons. At the stage of supervised learning, a linear weighted sum between the hidden and output layers is computed as:

$$z_l = \sum_{j=0}^{n_H} G_j w_{lj}, \tag{20}$$

where l denotes the c classes of pipe defects; z_l is a linear weighted sum of the outputs of the hidden neurons; optimal w_{kl} is the solution of this set of linear equations by feed-forward calculation (Han & Xi, 2004; Liao et al., 2004; Zhang et al., 2005). A pipe defect pattern is fed into the trained RBN to be assigned into a certain class of pipe defect, so the output vector also has a dimension of $c \times n$, if n pipe defect patterns are recognized. Within an output vector, the lth element as a maximum z_l represents that this CCTV image is diagnosed as the lth pipe defect pattern.

2.5. Support vector machine (SVM)

SVM is a special type of feed-forward neural network. Given a set of training samples consisting of pairs of co-occurrence feature vector and class of pipe defect labels

as (X_i, Y_i), in which the subscript i indexes the lengths of the vectors ($Y_i \in \{1,-1\}$, $X_i \in \mathbf{R}^n$), the training approach of SVM is to adjust the weights ω and biases b ($b \in \mathbf{R}$) to search an optimal hyperplane and maximum margin which is defined as the distance of the closest vectors in both classes to the hyperplane. To find this hyperplane the following quadratic programming problem has to be solved (Scholkopf & Smola, 2002).

$$\text{Min} \quad \phi(\omega) = \frac{1}{2}(\omega \cdot \omega) = \frac{1}{2}\|\omega\|^2, \tag{21}$$

$$\text{s.t.} \quad Y_i[(X_i \cdot \omega) + b] \geqslant 1 \quad \text{for all } i = 1, \ldots, N. \tag{22}$$

However, it is difficult to straightforwardly solve the above primal model. Based on the duality theorem, the primal model can be transformed as the following dual model by modifying Eq. (21) with more convenience. To derive the dual problem, the Lagrangian is introduced,

$$\text{Max} \quad L(\omega, b, \lambda) = \frac{1}{2}\|\omega\|^2 - \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \{Y_i[\langle X_i \cdot \omega \rangle + b] - 1\}, \tag{23}$$

where λ_i is Lagrange multipliers. A maximum L must satisfy the following conditions by applying a first-order derivation to Eq. (23) respective to b and ω as,

$$\frac{\partial L(\omega, b, \lambda)}{\partial b} = \sum_i \lambda_i^0 Y_i = 0, \quad \lambda_i^0 \geqslant 0, \tag{24}$$

$$\frac{\partial L(\omega, b, \lambda)}{\partial \omega} = \sum_i Y_i \lambda_i^0 X_i = \omega_0, \quad \lambda_i^0 \geqslant 0. \tag{25}$$

Only the Lagrange multipliers are non-zero at the saddle point and precisely meet the constraints of Eq. (22) as,

$$\lambda_i[Y_i(\langle X_i \cdot \omega \rangle + b) - 1] = 0 \quad \text{for all } i = 1, \ldots, N. \tag{26}$$

The patterns X_i for which $\lambda_i > 0$ are also called support vectors (SVs) which lie exactly on the margin (see Fig. 3), and all remaining training samples satisfy automatically their constraints Eq. (22). Substituting the conditions for Eqs. (24) and (25) into the Lagrangian Eq. (23), the following dual form is obtained as

$$\text{Max} \quad L_p(\omega, b, \lambda) = \sum_i \lambda_i - \frac{1}{2}\sum_{i,j} Y_i Y_j \lambda_i \lambda_j \langle X_i \cdot X_j \rangle. \tag{27}$$

In pattern recognition, a decision function, which correctly classifies the labeled samples (X_i, Y_i), is defined as (Scholkopf & Smola, 2002):

$$f_{\omega,b}(X) = \text{sgn}(\langle \omega \cdot X \rangle + b). \tag{28}$$

The way to find a large margin hyperplane for the linearly separable data by solving the above dual optimization problem is addressed above. However, to make SVM appropriate for real-world decision surfaces, several kernels are used to nonlinearly map the input data, X_i, from a sample space into a high-dimensional feature space where the implementation of linear separation becomes much easier (Cristianini & Shawe-Taylor, 2000; Vapnik, 2000). In this paper, well known kernel functions, radial Gaussian and polynomial, are used as (Brudzewski, Osowski, & Markiewicz, 2004; Scholkopf & Smola, 2002; Vapnik, 2000):

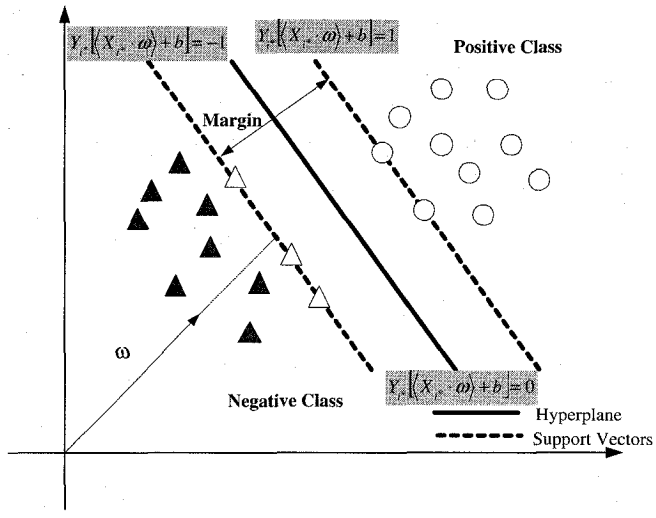


Fig. 3. Classification of two classes using SVM.

$$\text{Radial Gaussian}: \quad K(X, X_i) = \exp(-\|X - X_i\|^2/2\sigma^2), \tag{29}$$

$$\text{Polynomial}: \quad K(X, X_i) = (X^T \cdot X_i + \gamma)^d, \tag{30}$$

where K is kernel function; σ is the width of X_i; r is constant; d is the degree of polynomial.

A complete binary classification, where a class is labeled as either +1 or −1, has been discussed previously. Whereas, the pattern recognition of sewer pipe defects, one of many real-world problems, has more than two classes. Four methods including one versus the rest (also called one against all), pairwise classification, error-correcting output coding, and multi-class objective functions are able to deal with this issue (Scholkopf & Smola, 2002). One versus the rest, the most widely used by a set of binary c-class classifiers (Liao et al., 2004; Zheng, Li, & Song, 2004), repeats binary classifications to a multi-class object according to the maximal output (Scholkopf & Smola, 2002).

3. Study site and experimental materials

Water Research Centre (WRc) in UK categorizes major sewer pipe defects into 10 classes including open joint, displaced joint, crack, fracture, broken pipe, hole, collapse, spalling, wear, and deformation (Water Research Centre, 1993). This categorization rule has been widely applied to many sewage inspections and also to this study case. The recent inspection work was implemented in 2002 prior to a connection house program for the study site. Thousand frames of the CCTV inspection images were acquired and processed using 2D-DWT and computation of co-occurrence matrices described as follows.

3.1. Study site

The sewage in the 9th district of Taichung city, the largest city in the central Taiwan, consists of ten sewer systems, system A through J. The diameters of most pipelines are 300 mm and 85% of pipes are made of vitrified clay pipe (VCP). The other pipelines with diameters larger than 350 mm are made of reinforced concrete pipe (RCP). In 2002, the CCTV inspection work provides engineers 1101 CCTV inspection images for diagnosing the sewer pipe defects. The diagnosis result revealed that most of the detected pipe defects existed within system G so that in this paper it was selected to be the study site for demonstration. In system G, there were 291 CCTV inspection images acquired. A statistics for the 291 CCTV images reveals that open joint, crack, broken pipe, and fracture are the typical sewer pipe defects, and appears on CCTV images 107, 112, 16, and 56 times, respectively.

3.2. Experimental materials

The techniques of 2D-DWT and co-occurrence matrices were used to extract the textural features of the pipe defects. A 2-level 2D-DWT was used to divide each of

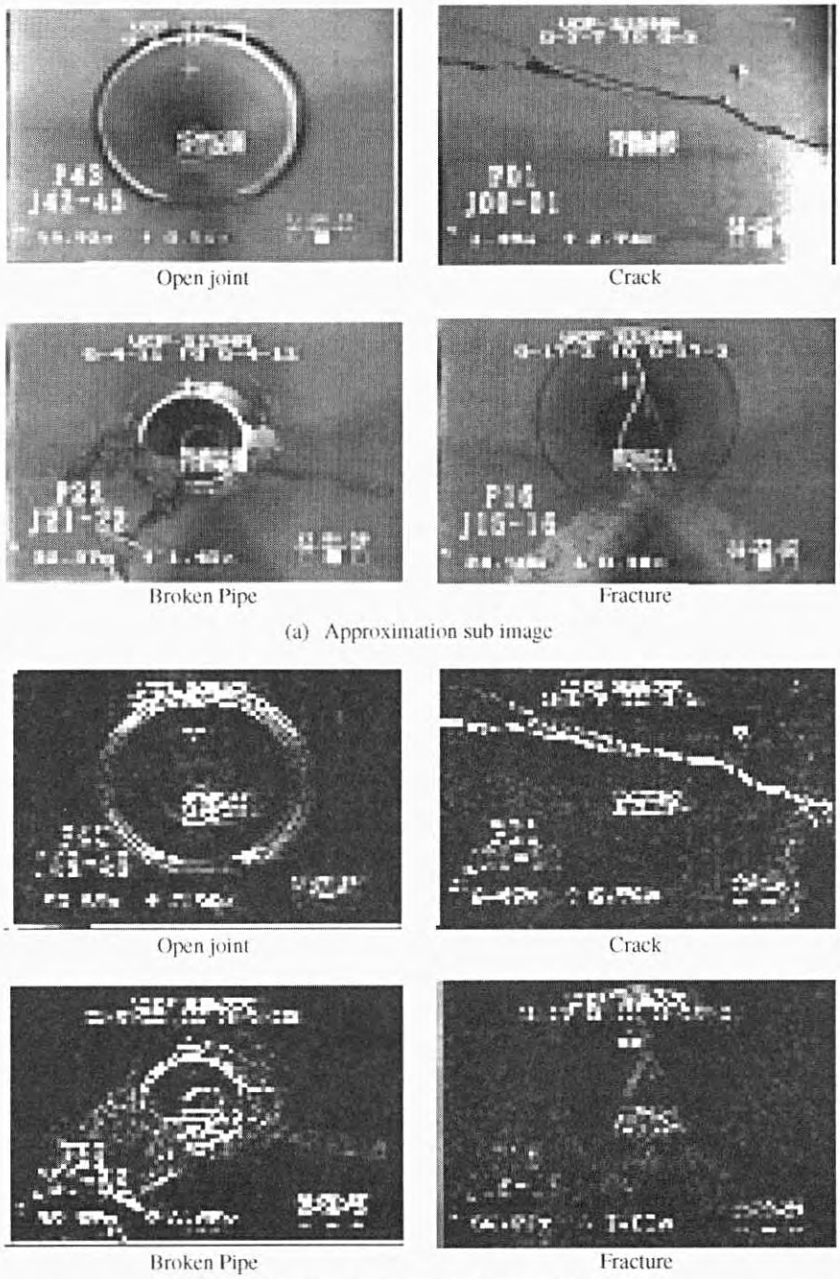
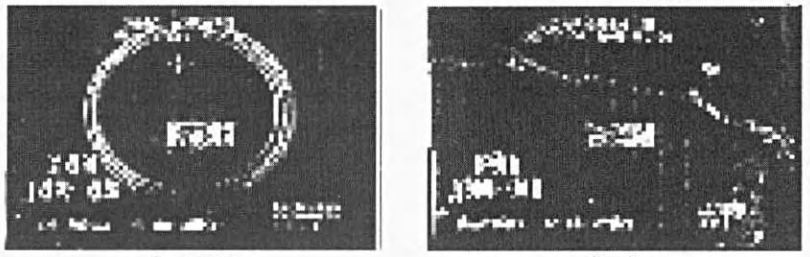


Fig. 4. 2-level 2-D wavelet transformation of the inspection images. (a) Approximation sub image (b) detail sub image in horizontal direction (c) detail sub image in vertical direction (d) detail sub image in diagonal direction.



Open joint Crack

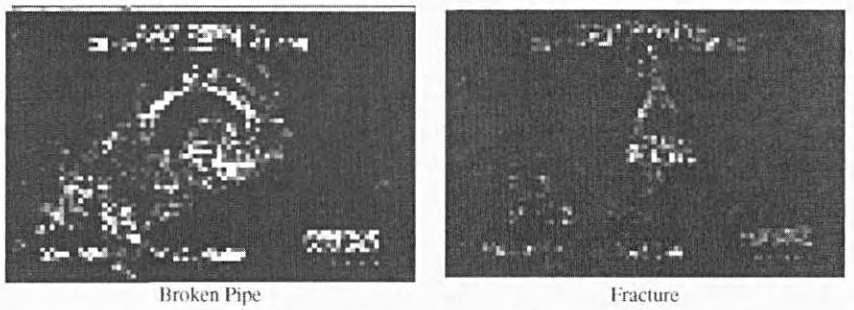


Broken Pipe Fracture

(c) Detail sub image in vertical direction



Open joint Crack



Broken Pipe Fracture

(d) Detail sub image in diagonal direction

Fig. 4 (*continued*)

the 291 inspection images into four detail images including approximation sub image, horizontal detail sub image, vertical detail sub image, and diagonal detail sub image (see Fig. 4). Generally, distances of one pixel in the directions of 0°, 90°, and 45° and 135° are used to extract the co-occurrence features from the horizontal, vertical, and diagonal detail sub-images, respectively (Lohmann, 1995). In other words, the co-occurrence features in four orientations can be extracted from a CCTV image for the pipe defect. The co-occurrence feature in each orientation consists of entropy (ENT), correlation (COR), and cluster tendency (CLU). Thus, the average values of ENT, COR, and CLU in the four orientations were computed, respectively, to represent the textural feature of pipe defect. The data scatters of ENT vs. COR, ENT vs. CLU, and COR vs. CLU for the four pipe defects are shown as Figs. 5–7, respectively. These figures show that the extracted textural features have a large overlap among the four pipe defects. Thus, this pattern recognition problem is also a linearly non-separable problem.

Generally, training samples are either randomly selected among all patterns if all prior probabilities are equal or uniformly selected for each class if all prior probabilities are unknown so to avoid any selection bias (Brudzewski et al., 2004; Shehab & Moselhi, 2005; Shin, Lee, & Kim, 2005). Statistically, the number distribution of acquired

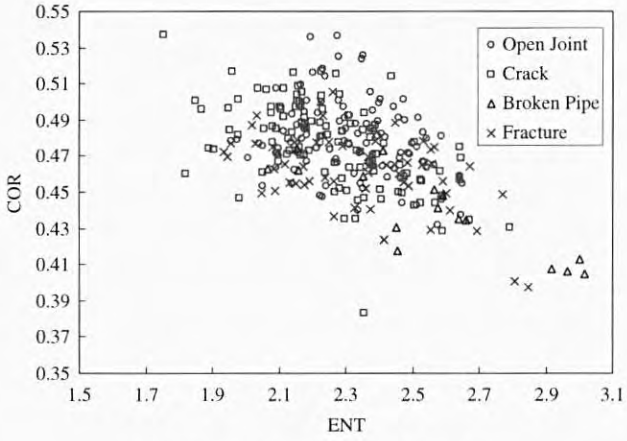


Fig. 5. Textural features of ENT vs. COR.

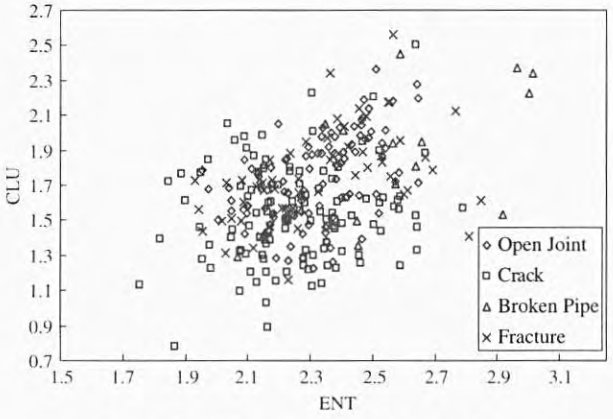


Fig. 6. Textural features of ENT vs. CLU.

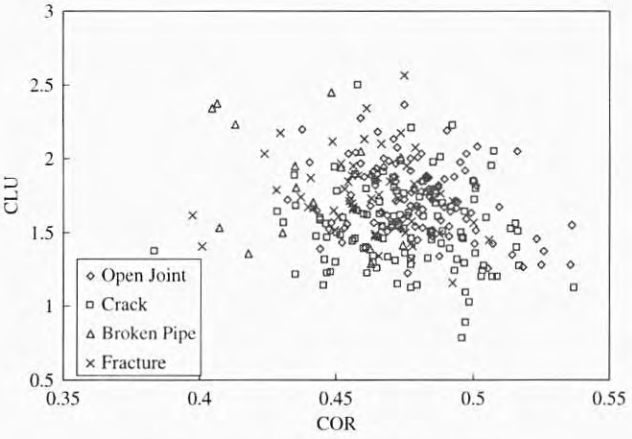


Fig. 7. Textural features of COR vs. CLU.

CCTV images in four pipe defects has a great difference. In the G sewer system, the pipe defect of broken pipe appears on 16 CCTV images only, which is comparatively less than the other pipe defects. Thus, two experiments (I and II) were designed to select 40 training images for the diagnostic system. In Experiment I, the training sample of each pipe defect pattern was assigned 10 images by assuming equal prior probability. Assuming unequal prior probability, Experiment II selected the training samples (also 40 images) of each pipe defect pattern based on its group size among the 291 images. Regarding to the sewage in the 9th district, the proportions of open joint, crack, broken pipe, and fracture are 36.8%, 38.5%, 5.5%, and 19.2%, respectively. Consequently, in Experiment II the numbers of training images of open joint, crack, broken pipe, and fracture were given by 15, 15, 2, and 8, respectively.

4. Implementation results and discussion

The concept of the diagnostic system proposed in this paper is shown as Fig. 8. The diagnosis performances of the three types of neural networks, BPN, RBN, and SVM, on pipe defects were compared with a discriminant analysis. Due to an expertise-based interpretation on the 291 CCTV images, four defect patterns can be discriminated by Bayesian classifier. BPN was established based on a supervised and LMS- correcting algorithm. The learning rate and momentum factor were set as $\eta = 0.5$ and $\theta = 0.999^t$ in which t represents the number of iterations ($t = 10{,}000$ in this paper to dynamically adapt η to 0 in the final iteration). According to trial-and-error results, the hidden layer of BPN was given by three neurons. The computation took about 450 s on Pentium IV 1.3G PC to obtain the classification result shown in Table 1. Compared with the classification result of Experiments I, the Experiment II has an overall accuracy of 54.6%, which is better than that (47.4%) of Experiment I. In Experiment II, the classification accuracy of the diagnostic system for pipe defects seems to vary with the number of training samples. The classification accuracy of broken pipe is zero that could result from a poor training due to comparatively less occurrence to other sewage defects.

RBN took about 0.1 s on Pentium IV 1.3G PC for the classification. Table 2 shows that the overall accuracy of Experiment II is also better than Experiment I. In Experiment II, the classification accuracy of each pipe defect seems to have a positive correlation with its proportion among the 291 CCTV images. Comparing Tables 1 and 2, there are three important results found from the experiments. Firstly, regarding to classification efficiency RBN performed much better than BPN due to taking extremely

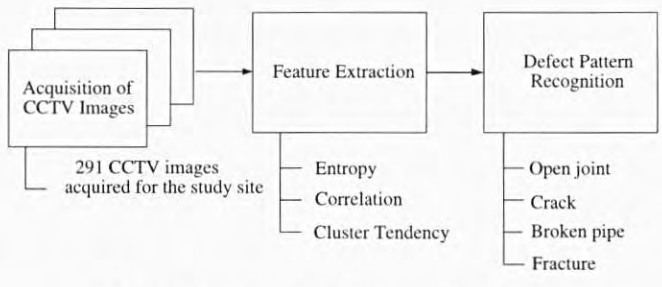


Fig. 8. Basic structure of automated classification.

Table 1
Classification accuracy of sewer pipe defects using the BPN classifier

Pipe defects	Experiment I (%)	Experiment II (%)
Open joint	35.5	66.4
Crack	24.1	67.8
Broken pipe	43.8	0.0
Fracture	67.9	21.4
Overall	47.4	54.6

Table 2
Classification accuracy of sewer pipe defects using the RBN classifier

Pipe defects	Experiment I (%)	Experiment II (%)
Open joint	30.0	68.2
Crack	35.7	57.1
Broken pipe	68.8	25.0
Fracture	50.0	28.6
Overall	38.1	54.0

short computation time. Secondly, RBN offered a better classification accuracy of 25% than BPN in the class of broken pipe in Experiment II. Thirdly, the overall accuracies in Experiment II are higher than Experiment I. In conclusion, RBN in Experiment II can perform the best classification.

SVM, a new classification method developed by Vapnik in 1999, finds an optimal hyperplane, which is orientated in such way that the margin is maximized, between any two classes (Liao et al., 2004; Vapnik, 2000). A less number of support vectors, usually about 10–30% of the total number of training samples, is expected so that the trained SVM could have a better generalization ability (Tran, Zhang, & Li, 2003). Originally SVM was designed for solving the problem of binary classification only (Liao et al., 2004), but recently has been modified for multi-classification, such as the problem of pipe defect diagnosis in this paper, by applying a "one against all" method (Liao et al., 2004).

Suitable for a linearly non-separable problem, SVM with either the radial Gaussian kernel or the polynomial kernel are applied to the automated classification of defect patterns. The parameters of the kernels affect the classification accuracies (Vapnik, 2000), and are determined based on heuristics during SVM training (Seo, 2007; Widodo, Yang, & Han, 2007). SVM took about one second on Pentium IV 1.3G PC for Experiments I and II to obtain classifications shown as Tables 3 and 4, respectively. Comparing Tables 3 with 4, SVM classification with different kernel functions obtained similar overall accuracies, whereas overall accuracies appear quite different and depend on the selection of training samples. Moreover, these testing results demonstrate that the obtained classification accuracy of each pipe defect in Experiment II is less affected by the selection of kernel functions than that in Experiment I.

The acquired numbers of support vectors in Experiments I and II are given in Tables 5 and 6, in which the

Table 3
Classification accuracy of sewer pipe defects using the SVM classifier in Experiment I

Pipe defects	Polynomial $(d, r) = (5, 3.3)$ (%)	Radial Gaussian $\sigma = 0.5$ (%)
Open joint	46.7	11.2
Crack	40.2	90.2
Broken pipe	87.5	50.0
Fracture	48.2	28.6
Overall	46.7	47.1

Table 4
Classification accuracy of sewer pipe defects using the SVM classifier in Experiment II

Pipe defects	Polynomial $(d, r) = (3, 1.2)$ (%)	Radial Gaussian $\sigma = 0.3$ (%)
Open joint	73.8	76.6
Crack	62.5	58.0
Broken pipe	18.8	18.8
Fracture	35.7	23.2
Overall	60.0	56.0

ratios of the total support vectors to samples are either within the acceptable range of 10–30% or approximately 10%. Basically SVM in Experiments I or II could be trained to be with superior generalization ability. With SV ratios over 50.0% (see Table 5), the defect pattern of broken pipe classified by SVM in Experiment I was over fitted due to relative less samples. Comparing the classification performances of RBN and SVM in Experiment II (see Tables 2 and 4), it can be found that the overall accuracies of SVM are little better than RBN. As for the efficiencies of classification, RBN or SVM both took an extremely short

Table 5
Numbers of support vectors (SV) in Experiment I

Pipe defects	Polynomial $(d, r) = (5, 3.3)$		Radial Gaussian $\sigma = 0.5$	
	No. of SV	% of SV	No. of SV	% of SV
Open joint	12	11.2	7	6.5
Crack	16	14.3	3	2.7
Broken pipe	14	87.5	8	50.0
Fracture	14	25.0	8	14.3
Total	56	19.2	26	8.9

Table 6
Numbers of support vectors (SV) in Experiment II

Pipe defects	Polynomial $(d, r) = (3, 1.2)$		Radial Gaussian $\sigma = 0.3$	
	No. of SV	% of SV	No. of SV	% of SV
Open joint	9	8.4	7	6.5
Crack	10	8.9	9	8.0
Broken pipe	6	37.5	4	25.0
Fracture	7	12.5	7	12.5
Total	32	11.0	27	9.3

Table 7
Classification accuracy of sewer pipe defects using Bayesian classifier with [ENT, COR, CLU]

		Classification				Column total
		Open joint	Crack	Broken pipe	Fracture	
Reference data	Open joint	77	26	2	2	107
	Crack	34	72	3	3	112
	Broken pipe	2	5	6	3	16
	Fracture	27	14	3	12	56
Row total		140	117	14	20	291
Accuracy (%)		72.0	64.3	37.5	21.4	57.4

time for computation. In conclusion, RBN or SVM in Experiment II could obtain better classification results for the pattern recognition of sewer pipe defects.

In order to verify the classification performance of the diagnostic system, a discriminant analysis based on Bayesian theory was done for the 291 sewer pipe images through the feature vector [ENT, COR, CLU]. The analysis result shown as Table 7 shows that the overall accuracy of 57.4% is extremely close to the overall accuracies obtained by the SVM. The overall accuracy of 60.0% obtained by the SVM with the Polynomial kernel is even better than the discriminant analysis result.

5. Conclusions

Neural networks, BPN, RBN, and SVM, have been applied to many classification problems, but only BPN ever was applied to the detection and classification of pipe defects. This paper is the first trial to apply RBN and SVM to the diagnosis of sewer pipe defects. As input elements to BPN, RBN, and SVM, the textural feature vectors consisting of the average ENT, COR, and CLU extracted by 2D-DWT and co-occurrence matrices were adopted to represent the texture information of sewer pipe defects on the CCTV images. The larger the size of co-occurrence matrix is, the more computation time takes. In this paper, 291 frames of CCTV inspection images of sewer system G in the 9th district of Taichung City were used to implement the automated classification of sewage structural conditions. On Pentium IV 1.3G PC, the testing result shows that about 60 s are required for a defect pattern to obtain co-occurrence features.

Two experiments were designed to verify the diagnostic system due to the great difference of the acquired images numbers between different pipe defect patterns. The testing results reveal that Experiment II, in which the training sample number of each pipe defect pattern was decided based on its group size, is more suitable for the diagnostic system. Based on these experiments, an automated diagnosis of sewer pipe defects should be firstly implemented an expertise-based human diagnosis to a portion of all the CCTV images (about 1/7 of all images or 40 images suggested in this paper) for the neural network training. Subsequently, the diagnose system can be applied to the rest of CCTV images. In addition, it is found that the performance of the diagnostic system using either SVM or RBN is better than BPN. Especially for SVM, however, the best parameters within the kernel functions are usually determined based on heuristics at present. Some literatures suggested that a structured method of selecting the best learning parameters in SVM should be developed for the best classification performance (Seo, 2007).

To compare the best accuracy (60%) resulted form SVM, a Bayesian classifier based on discriminant analysis was also used to diagnose the 291 pipe defect images and obtained an accuracy of 57.4% that proves the utility of the diagnostic system. Some textures of inspection attributes manually recorded on the original CCTV images (see Fig. 4) become harmful noises so to derive the extracted textural features of pipe defects with a linear non-separable relationship for the automated diagnosis and to increase the difficulty of classification. If the textural features of pipe defects are extracted from pure CCTV images without inspection records attached, the diagnosis accuracy should be increased. However, the accuracy of the automated diagnosis for sewer pipe defects remains to be improved for practical application in the future work.

Acknowledgement

This study in part was sponsored by the Construction Bureau, Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior, Taiwan. This author would like to thanks Pipewell Ltd., Taiwan for providing the CCTV inspection images.

References

Amet, A. L., Ertüzün, A., & Erçil, A. (2000). An efficient method for texture defect detection: sub-band domain co-occurrence matrices. *Image and Vision Computing, 18*(6–7), 543–553.

Arivazhagan, S., & Ganesan, L. (2003). Texture segmentation using wavelet transform. *Pattern Recognition Letters, 24*(16), 3197–3203.

Bashar, M. K., Matsumoto, T., & Ohnishi, N. (2003). Wavelet transform-based locally orderless images for texture segmentation. *Pattern Recognition Letter, 24*(15), 2633–2650.

Brudzewski, K., Osowski, S., & Markiewicz, T. (2004). Classification of milk by means of an electronic nose and SVM neural network. *Sensors and Actuators B: Chemical, 98*(2–3), 291–298.

Chen, B. H., Wang, X. Z., Yang, S. H., & McGreavy, C. (1999). Application of wavelets and neural networks to diagnostic system development, 1, feature extraction. *Computers and Chemical Engineering, 23*(7), 899–906.

Cordes, S., Berns, K., Eberl, M., Ilg, W., & Suna, R. (1997). Autonomous sewer inspection with a wheeled, multiarticulated robot. *Robotics and Autonomous Systems, 21*(1), 123–135.

Cristianini, N., & Shawe-Taylor, J. (2000). *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods.* Cambridge, NY: Cambridge University Press.

Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2001). *Pattern classification.* New York: Wiley.

Fenner, R. A. (2000). Approaches to sewer maintenance: a review. *Urban Water, 2*(4), 343–356.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Digital image processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Han, M., & Xi, J. (2004). Efficient clustering of radial basis perceptron neural network for pattern recognition. *Pattern Recognition, 37*(10), 2059–2067.

Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinsten, I. (1973). Texture features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 3*(6), 610–621.

Hwang, Y. S., & Bang, S. Y. (1997). Recognition of unconstrained handwritten numerals by a radial basis function neural network classifier. *Pattern Recognition Letters, 18*(7), 657–664.

Hwang, H. G., Choi, H. J., Kang, B. D., Yoon, H. K., Kim, H. C., Kim, S. K., & Choi, H. K. (2005). Classification of breast tissue images based on wavelet transform using discriminant analysis, neural network and SVM. In Proceedings of the 7th international workshop on enterprise networking and computing in healthcare industry (pp. 345–349). Busan, Korea.

Liao, Y., Fang, S. C., & Nuttle, H. L. W. (2004). A neural network model with bounded-weights for pattern classification. *Computers and Operations Research, 31*(9), 1411–1426.

Lohmann, G. (1995). Analysis and synthesis of textures: A co-occurrence-based approach. *Computers & Graphics, 19*(1), 29–36.

Madryas, C., & Przybyla, B. (1998). Inspection of pipes as an element of operating municipal sewerage networks. *Tunneling and Underground Space Technology, 13*(1), 57–64.

Makar, J. M. (1999). Diagnostic techniques for sewer systems. *Journal of Infrastructure Systems, 5*(2), 69–78.

Marchant, J. A., & Onyango, C. M. (2003). Comparison of a Bayesian classifier with a multilayer feed-forward neural network using the example of plant/weed/soil discrimination. *Computers and Electronics in Agriculture, 39*(1), 3–22.

McKim, R. A., & Sinha, S. K. (1999). Condition assessment of underground sewer pipes using a modified digital image processing paradigm. *Tunneling and Underground Space Technology, 14*(2), 29–37.

Moselhi, O., & Shehab-Eldeen, T. (1999). Automated detection of surface defects in water and sewer pipes. *Automation in Construction, 8*(5), 581–588.

Moselhi, O., & Shehab-Eldeen, T. (2000). Classification of defects in sewer pipes using neural network. *Journal of Infrastructure Systems, 6*(3), 97–104.

Nolan, J. R. (2002). Computer systems that learn: An empirical study of the effect of noise on the performance of three classification methods. *Expert Systems with Applications, 23*(1), 39–47.

Parker, J. R. (1997). *Algorithms for image processing and computer vision*. New York: Wiley.

Scholkopf, B., & Smola, A. J. (2002). *Learning with kernels: Support vector machines, regularization, optimization, and beyond*. Cambridge, MA: MIT Press.

Seo, K. K. (2007). An application of one-class support vector machines in content-based image retrieval. *Expert Systems with Applications, 33*(2), 491–498.

Shehab, T., & Moselhi, O. (2005). Automated detection and classification of infiltration in sewer pipes. *Journal of Infrastructure Systems, 11*(3), 165–171.

Shin, K. S., Lee, T. S., & Kim, H. J. (2005). An application of support vector machines in bankruptcy prediction model. *Expert Systems with Applications, 28*(1), 127–135.

Sinha, S. K., & Fieguth, P. W. (2006). Segmentation of buried concrete pipe images. *Automation in Construction, 15*(1), 47–57.

Tran, Q. A., Zhang, Q. L., & Li, X. (2003). Reduce the number of support vectors by using clustering techniques. In *Proceedings of the 2nd international conference on machine learning and cybernetics* (pp. 1245–1248). Xi'an, China.

Vapnik, V. N. (1999). *The natural of statistical learning theory*. New York: Springer.

Vapnik, V. N. (2000). *The nature of statistical learning theory*. New York: Springer.

Water Research Centre (1993). *Sewer rehabilitation manual*. Swindon, UK: Water Research Centre/Water Authorities Association.

Widodo, A., Yang, B. S., & Han, T. (2007). Combination of independent component analysis and support vector machines for intelligent faults diagnosis of induction motors. *Expert Systems with Applications, 32*(2), 299–312.

Wirahadikusumah, R., Abraham, D. M., Iseley, T., & Prasanth, R. K. (1998). Assessment technologies for sewer system rehabilitation. *Automation in Construction, 7*(4), 259–270.

Wunsch, P., & Laine, A. F. (1995). Wavelet descriptors for multiresolution recognition of handprinted characters. *Pattern Recognition, 28*(8), 1237–1249.

Xu, K., Luxmoore, A. R., & Davies, T. (1998). Sewer pipe deformation assessment by image analysis of video surveys. *Pattern Recognition, 31*(2), 169–180.

Yang, M. D., & Su, T. C. (2007). An optimization model of sewerage rehabilitation. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, 30*(4), 651–659.

Yang, M. D., & Su, T. C. (2006). An automation model of sewerage rehabilitation planning. *Water Science and Technology, 54*(11–12), 225–232.

Yao, H., & Li, B. (2003). An efficient approach for texture-based image retrieval. In *Proceedings of 2003 IEEE international workshop on neural networks for signal* (pp. 1039–1043). Toulouse, France.

Zhang, C., Jiang, J., & Kamel, M. (2005). Intrusion detection using hierarchical neural networks. *Pattern Recognition Letters, 26*(6), 779–791.

Zheng, E., Li, P., & Song, Z. (2004). Performance analysis and comparison of neural networks and support vector machines classifier. In *Proceedings of the 5th world congress on intelligent control* (pp. 4232–4235). Hangzhou, China.

여 백

[2] R. G. Askin and C. R. Standridge, *Modeling and Analysis of Petri Nets*. New York: Wiley, 1993.
[3] S. L. Chung, C. C. Wu, and M. Jeng, "Failure diagnosis: A case study on modeling and analysis by Petri nets," in *Proc. IEEE SMC*, Washington, DC, 2003, pp. 2727–2732.
[4] R. David and H. Alla, *Petri Nets and Grafcet—Tools for Modeling Discrete Events Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1992.
[5] A. Giua and C. Seatzy, "Observability of place/transition nets," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 47, no. 9, pp. 1424–1437, Sep. 2002.
[6] A. Ichikawa and K. Hiraishi, "Analysis and control of discrete event systems represented by Petri nets," in *Proc. IIASA Conf.*, Berlin, West Germany, 1988, pp. 115–134.
[7] D. Lefebvre and A. El Moudni, "Firing and enabling sequences estimation for timed Petri nets," *Proc. IEEE SMC A*, vol. 31, no. 3, pp. 153–162, 2001.
[8] D. Lefebvre and C. Delherm, "Structural sensitivity for the conflicts analysis in Petri nets," in *Proc. IEEE SMC*, Washington, DC, Oct. 7–10, 2003.
[9] A. Ramirez-Trevino, E. Ruiz-Bletran, I. Rivera-Rangel, and E. Lopez-Mellado, "Diagnosability of discrete event systems. A Petri net based approach," in *Proc. IEEE ICRA*, New Orleans, LA, pp. 541–546.
[10] M. Sampath, R. Sengupta, S. Lafortune, K. Sinnamohideen, and D. Teneketzis, "Diagnosibility of discrete event systems," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 40, no. 9, pp. 1555–1575, Sep. 1995.
[11] T. Ushio, I. Onishi, and K. Okuda, "Fault detection based on Petri net models with faulty behaviors," *Proc. IEEE SMC*, pp. 113–118, 1998.
[12] L. Zhang and L. E. Holloway, "Forbidden state avoidance in controlled Petri nets under partial observation," in *Proc. Allerton Conf.*, 1995, pp. 146–155.

Automated Pipe Defect Detection and Categorization Using Camera/Laser-Based Profiler and Artificial Neural Network

O. Duran, K. Althoefer, and L. D. Seneviratne

***Abstract*—Closed-circuit television (CCTV) is currently used in many inspection applications, such as the inspection of nonaccessible pipe surfaces. This human-oriented approach based on offline analysis of the raw images is highly subjective and prone to error because of the exorbitant amount of data to be assessed. Laser profilers have been recently proposed to project well-defined light patterns, improving the illumination of standard CCTV systems as well as enhancing the capability of automating the assessment process. This research shows that positional (geometrical) as well as intensity information, related to potential defects, can be extracted from the acquired laser projections. While most researchers focus on the analysis of positional information obtained from the acquired profiler signals, here the intensity information contained within the reflected light is also exploited for the purpose of defect classification and visualization. This paper describes novel strategies created for the automation of defect classification in tubular structures and explores new methods to fuse intensity and positional information, achieving improved multivariable defect classification. The acquired camera/laser images are processed in order to extract signal information for the purpose of visualization and map creation for further assessment. Then, a two-stage approach based on image processing and artificial neural networks is used to classify the images. First, a binary classifier identifies defective pipe sections, and then in a second stage, the defects are classified into different types, such as holes, cracks, and protruding obstacles. Experimental results are provided.**

***Note to Practitioners*—The method presented in this paper aims to automate the inspection of nonaccessible pipe surfaces. The method was thought to be employed in the inspection of sewers; however, it could be used in many other industrial applications and could also be extended to other shapes rather than tubular structures. A laser ring profiler, consisting, for instance, of a laser diode and a ring projector, can be easily integrated into existing closed-circuit television systems. The proposed algorithm identifies defective areas and categorizes the types of defects, analyzing the successive recorded camera images that will contain the reflected ring of light. The algorithm, that can be used online, makes use of the deformation of the reflected laser ring together with its changes in intensity. The fact of combining the two kinds of data using artificial-intelligent algorithms makes the method robust enough to work in harsh environments.**

***Index Terms*—Artificial neural network (ANN), backpropagation learning, camera/laser profiler, classification, fusion, image processing, pipe inspection.**

I. Introduction

This paper presents a neural-network-based classification method, which allows the automated detection and classification of defects in pipe walls. The approach consists of two stages where, at first, defects are detected and then categorized according to their severity and type (such hole, elongated crack, defective joint, and protruding root). Extending the idea of fusing different sets of information acquired by a laser/camera-based inspection profiler [11], this paper develops the independent methods (intensity and positional data) into an integrated

Manuscript received January 23, 2005; revised October 11, 2005. This paper was recommended for publication by Associate Editor L. Monostori and Editor M. Wang upon evaluation of the reviewers' comments.

O. Duran is with the Imperial College, London SW7 2AZ, U.K. (e-mail: olga.duran@imperial.ac.uk).

K. Althoefer and L. D. Seneviratne are with the King's College, London WC2R 2LS, U.K. (e-mail: k.althoefer@kcl.ac.uk; lakmal.seneviratne@kcl.ac.uk).

Digital Object Identifier 10.1109/TASE.2006.873225

1545-5955/$25.00 © 2007 IEEE

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

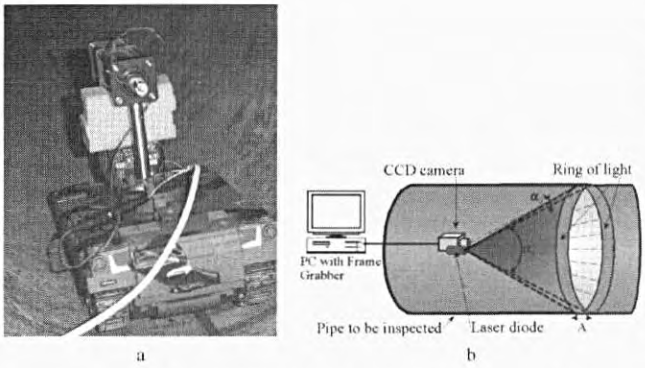


Fig. 1. Sensor as used in the experimental setup. (a) Prototype. (b) Schematic.

scheme bringing together feature extraction methods and an adaptive neural-network structure. The transducer used is based on a laser light generator that projects rings of light onto the pipe wall, which are then acquired by a charge-coupled device (CCD) camera (Fig. 1) [12].

Most of the available systems perform a geometrical analysis of acquired images, measuring the radial distance between the image center and the projected laser ring using triangulation to identify defects in the pipe wall [3], [4], [6], [14]. In this work, the intensity distribution of the reflected light, position, as well as the combination of the two is exploited in order to assess the condition of the structure under test. The information extracted is transformed into a "signature" space where defective and nondefective signals are clearly separated. The chosen approach eases not only the training of the subsequent neural classifier, but also allows high-speed execution of the algorithms as needed for such a real-time application. The neural-network architecture chosen is based on the multilayer perceptron paradigm; the backpropagation algorithm is chosen for training. Two neural networks are implemented, one for defect detection in stage 1 and the other for defect classification in stage 2.

This paper is organized as follows. Section II gives an overview of the related work. Section III describes the feature extraction method from positional and intensity surface maps. Classification strategies and sensor fusion at the decision level will be described in Section IV. An approach to binary classification and to classification into different types of defects is presented. Examples to validate the above method are given in Section V. The conclusion is drawn in Section VI.

II. Classification in Pipe Inspection: Problems

Most pipe systems are inspected visually by mobile closed-circuit television (CCTV) platforms. Standard CCTV provides an inspection approach with often very subjective results. This inspection approach depends on the ability, training, and decision of the operator. The fatigue of the operator, sometimes occurring after only short assessment intervals, is another factor that can lead to mistaken judgments of the degree of sewer damage. An inspection by two different operators or even the same operator at different times may give two different ratings of a pipe's condition. This can cause problems, especially when a particular degree of damage is the cutoff point for pipe replacement.

One approach to quantify the results of CCTV inspections is the use of computer systems to either assist in the analysis process, or to automatically identify and classify defects [3]. In the literature, intelligent classification defect algorithms are introduced. Recognition and classification of pipe surface defects from digitized video using image analysis pattern recognition and neural networks have been proposed recently [4], [5]. The method consists of using image processing tools to segment the image acquired by a CCD camera into a number of regions that represent potential faulty areas. In [5], the image segmentation is achieved by thresholding and each connected region is then considered as an individual object. Thirteen parameters from those objects are measured and analyzed. These parameters help describe the geometry of each object and constitute the training set of the ANN. A three-layer neural network based on backpropagation was trained to classify potential defects into four groups [5].

In [4], the use of a neuro-fuzzy algorithm to classify the defects in pipes scanned with Sewer Scanner and Evaluation Technology (SSET) is proposed. Six normalized features were extracted using image processing tools and used as input for the classifier system. The defects were classified into seven types. Sole camera-based systems may also fail occasionally when dirt lines on the wall surface are confused with actual cracks.

Although those systems overcome many of the disadvantages of human CCTV assessment, mainly related to subjectivity and high cost, they still rely on the quality of raw camera images. Moreover, the system has difficulties in identifying some defects due to the distance between the camera and the defects. In other words, it is difficult for this system to "understand" whether a particular defect is a large defect far away from the camera, or a small one that is close.

Advanced multisensory robot inspection systems incorporating fuzzy logic to fuse individual sensor information have been proposed [3]. One example is the pipe inspection real-time assessment technique (PIRAT) [6]. The PIRAT system measures the internal geometry of the sewer and analyzes these data. Automatic recognition, rating, and classification of pipe defects are carried out by means of artificial-intelligence software tools. A rule-based system interprets, rates, and reports the classified regions as pipe defects [6]. Such robotic systems have some disadvantages as they tend to be large and complex, being difficult to deploy, and built from expensive moving mechanisms [6], [13], [14]. The approach proposed here copes with those disadvantages, still achieving results in the same range of accuracy (millimeter range), using a much simpler and smaller system. Such a system can be easily integrated into existing camera-based inspection devices using low-cost components and without significantly changing the size of the existing platform, easing its deployment in an operational environment. Note that, for instance, PIRAT needs to be folded before being lowered down into a manhole, and extended again once in the pipe. The approach presented here is robust since no moving components, such as motors, are used. Furthermore, it has great potential for further miniaturization of the overall inspection system and, thus, could be developed into an inspection system for pipes with smaller diameters.

III. Feature Extraction

A. Data Preprocessing

The raw data acquired from the presented camera/laser-based profiler are preprocessed for further data analysis using the neural classifier and also for visualization purposes. The different data-processing stages are depicted in Fig. 2. The first stage consists of the image segmentation that identifies the location and specific shape of the ring profile and separates it from the image background. Once the area of the light ring in the camera image is identified, two algorithms working in parallel compute the contained intensity and the positional information, respectively [11]. Employing the intensity information only, a 2-D mapping of the internal wall surfaces is obtained. Fusing the intensity information with the positional data, 3-D representations of the wall surfaces can be achieved. The resulting data are represented in the form of surface maps. In these maps, the cylindrical-polar pipe surface has been cut at the right-hand side of the pipe (45°) and unwrapped for a planar display along the x-axis; the y-axis is the displacement along the

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

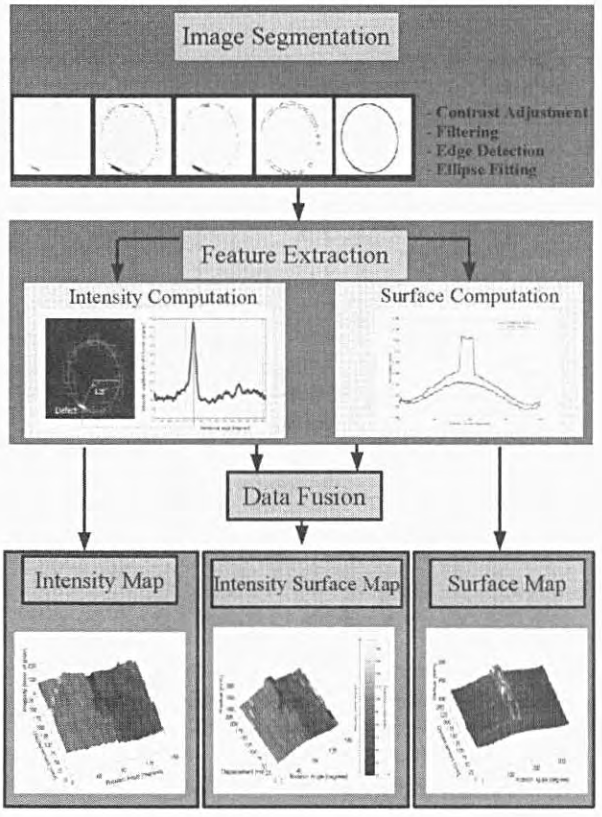


Fig. 2. Overview of the preprocessing and visualization algorithm.

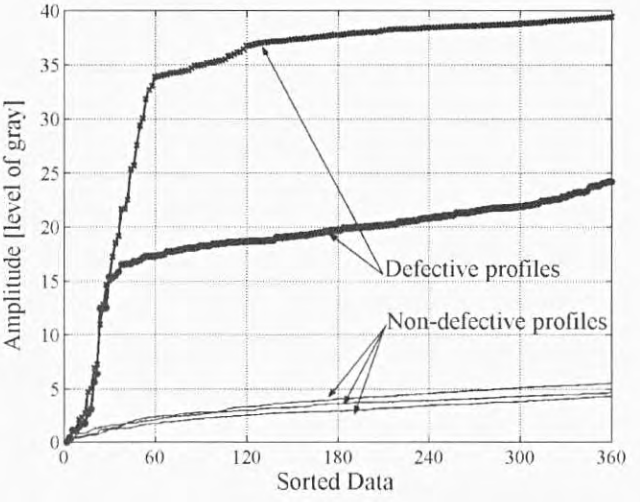


Fig. 3. Normalized signature of defective and nondefective profiles. Defective profiles, irrespective of the angular position of the defect, produce a similar signature and differ considerably from nondefective profile signatures.

pipe axis, and the z-axis is the intensity as a measure of the reflectance (intensity map) or the radial distance (surface map), respectively.

B. Sorting Algorithm

The approach based on a simple sorting algorithm has been found to be most appropriate for the discrimination of the signals associated with defective and nondefective profiles. The key point of this sorting algorithm is the generation of a signature sequence for each profile, where the characteristic features (i.e., intensity or position) are independent of their angular positions along the profile. The data for each pipe profile are sorted according to intensity or radial distance, respectively, in descending order. To calculate the final signature, a further normalization step was applied, by subtracting the amplitude values at each section from its maximum value $\mathrm{S(I)} = \mathrm{abs(sort(I - max(I))}$, where I are the data (intensity or distance data) for a pipe profile. The resulting signal is a monotonically increasing sequence starting from zero. Nondefective sections will appear as relatively flat signals. Signatures representing profiles with one or more defects will have a sharp slope reaching a fairly flat region for higher amplitudes (Fig. 3) [9], [12].

C. Image Feature Extraction for Defect-Type Identification

An important aim of this inspection approach was to classify the detected defects into different categories. In order to do this, image-processing tools were used to extract the generated surface map at locations where the binary classification indicated a potential fault. Firstly, objects belonging to the defective regions in the intensity map were extracted. The features chosen for this work were the area of the defect, axis in the angular direction, the axis on the longitudinal direction, ratio between the length of the minor axis (ma) and the length of the major axis (MA), the ratio of ma and MA, the depth of the defect, and its center location. The longitudinal axis was normalized with respect to the radius. Those attributes represent important geometrical features of the defects. The center gives the exact location of the defect, while the minor and major axis, and the axes ratio provide information about its shape. The area of the defect is a measure describing the severity of the defect. The depth allows the discrimination of obstacles (positive depth) and cracks and holes in the pipe walls (negative depth). The obtained features are fed into a classifier to evaluate and categorize the defects into different types, namely radial cracks, holes, or defective joints [2].

IV. Classification

In order to distinguish between defective and nondefective areas, an edge detector could be applied to the surface maps [7]. This approach also allows distinguishing between the different shapes of potential defects. Ideal maps with well-defined intensity peaks would produce good results, clearly showing the defect locations and the flat surfaces corresponding to nondefective areas. However, images recorded from the real world usually contain unwanted, random signals (i.e., noise) in addition to the actual image. The approach proposed here uses a fast binary classifier first. This step makes the method more robust to image noise and also faster as the image-processing extraction is only applied to potentially defective profiles. A subsequent defect classifier based on edge detection and image-processing feature extraction is then applied to the profiles that have been identified as defective by the binary classifier. The training algorithm and classifiers are described next.

A. Training Algorithm

The ANNs employed here are based on the multilayer perceptron (MLP), which is a commonly used neural-network architecture. It has been shown that an MLP is sufficient to model any continuous function [10]. A scaled conjugate gradient (SCG) training algorithm is used in this study. SCG is based on backpropagation (BP), and is widely used for solving classification problems [8]. The algorithm is based on a conjugate gradient method. SCG uses second-order information from the neural network but requires only $\mathrm{O}(N)$ memory usage while standard BP uses $\mathrm{O}(N^3)$, where N is the number of weights in the network [8].

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

TABLE I
ANN ARCHITECTURE FOR BINARY CLASSIFICATION

	Training set	Number of inputs	Number of hidden nodes	Error after 1000 epochs	Error after 4000 epochs
Intensity data	175	9	5	1.9E-5	2.7E-6
Positional data	600	9	20	1.5E-2	0.9E-2
Signal fusion data	600	18	20	5.6E-6	1.5E-7

B. Binary Classification

Three different ANNs were trained with data extracted from the intensity, positional maps, and a combination of both, respectively, and then used for the binary classification. The ANN architectures were created using a trial-and-error procedure. Table I summarizes the results for the binary classifiers.

The data used during training consists of sorted signatures, corresponding to both faulty and nonfaulty pipe profiles obtained from real experiments and simulation results. The positional and the intensity data networks accepted as input nine values of the sorted signature (2nd to 10th; the first value is zero in all signatures) and had one hidden layer. The fusion network had 18 inputs: 9 inputs from sorted intensity data and 9 from positional sorted data.

It is noted that the intensity data-based network (see Table I) had a lower number of nodes than the positional- or fusion-based networks. Consequently, a smaller amount of data was needed for training. The best performances were achieved with the architectures described in Table I. Tests where the number of hidden nodes were changed were carried out to validate the performance of the above networks. Reducing the number of hidden nodes led to poor generalization performance. An increase was not helpful either as the performance did not improve but training time tended to get longer. The training behavior showed that those algorithms are able to classify the training data, bringing the error down to the 106 in the case of intensity or fusion data after 4000 epochs. For the positional data, however, the error could only be reduced to 10^{-2} after the same number of iterations. This is mainly due to the fact that not all defects were detected using this approach. In other words, the ANN was forced to learn a behavior where the signal apparently did not show any difference with respect to nondefective profiles. The latter occurred when the defects were small and did not show in the surface map.

The minimum training error of the signal fusion network was in the same range as the intensity-based network after the same number of epochs. However, it was noticed, when observing the inputs significance (i.e., changing the input range and observing the output variations), that the first nine inputs, corresponding to the intensity-related data were more decisive than the positional one (the last nine inputs); the latter did not influence much of the ANN output. This is due again to the fact that small defects are not identified, so the ANN tends to use the more general input that respond to all defective situations (e.g., the intensity inputs). For this reason, it is probably enough to have the intensity network for binary classification. The percentage of success is calculated using a "0.5" threshold, where the outputs above the threshold are considered as "nondefective," and the ones below, as "defective" profiles.

Fig. 4 shows the results of the binary classifiers having the same data used during training as inputs. While the intensity [Fig. 4(a)] and the fusion networks [Fig. 4(c)] follow the target almost perfectly, the positional data network does not follow the target so precisely. However, by using the 0.5 threshold, the success rate is still 100% [Fig. 4(b)]. Another factor to take into account is that for the training of the positional data network, mostly large defects were used. Small defects in the same range as the ones used for the intensity training could not be identified in the positional data. Using such small defects, network training would have meant to force the network to respond with different output signals (i.e., "defective" or "nondefective") to virtually the same input data. This approach would have led to large errors bringing classification performance down dramatically.

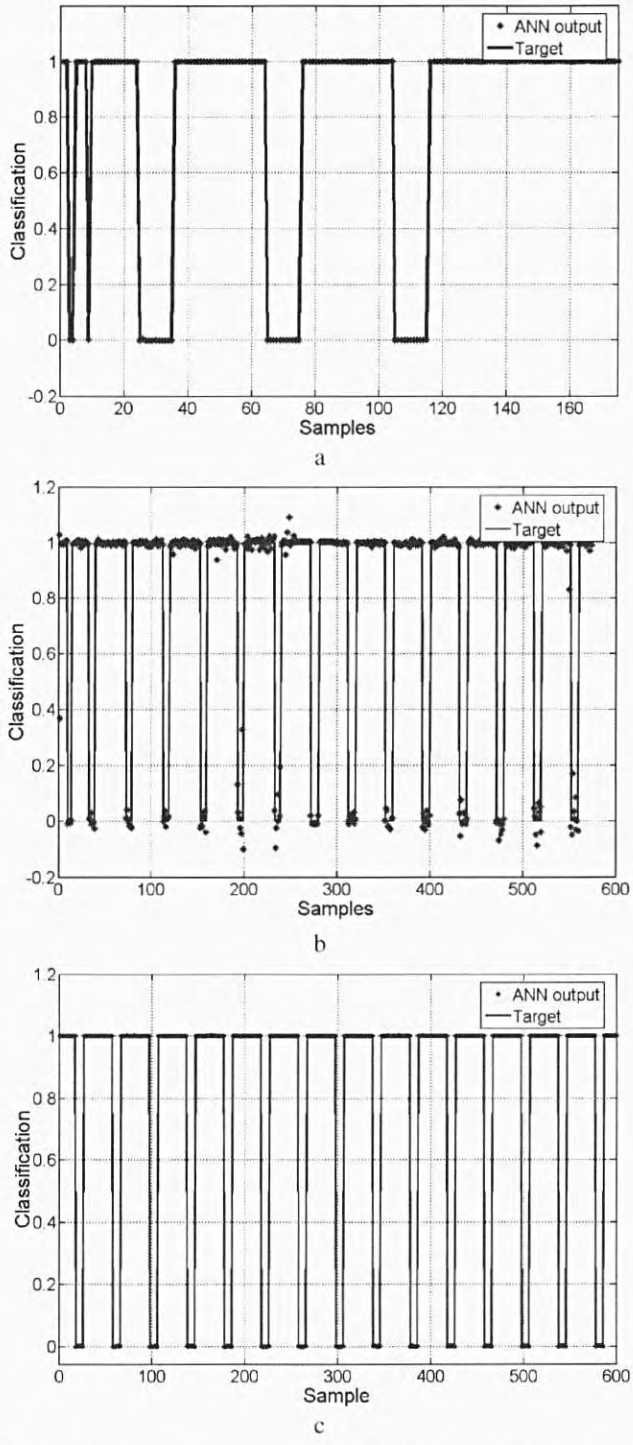


Fig. 4. Binary classification using the intensity (a), positional (b) and fusion (c) ANN, respectively. The values "1" or "0" correspond to nondefective and defective sections, respectively.

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

TABLE II
ANN ARCHITECTURE FOR MULTIVARIABLE CLASSIFICATION

Network	Training set	No. of inputs	No. of hidden nodes	No. of outputs	Error after 1000 epochs	Error after 4000 epochs
Intensity data (training data set without obstacles)	122	4	50	1	7e-3	3e-3
Intensity data (training data set with obstacles)	140	4	50	1	2e-1	1e-1
Signal fusion data (without severity rating)	140	5	40	1	2e-2	3e-3
Signal fusion data (with severity rating)	140	5	30	2	3e-2	1e-2

C. Multivariable Defect Classification

For defect classification, the features described in Section III were extracted from the surface maps. The training samples that are used consist of acquired data of defects with dimensions in the range of centimeters down to millimeters and varying shapes such as rectangle, hole, longitudinal, and radial cracks. Extrapolated artificial data to include a larger set of different defects (with varying dimensions and shapes) were also produced and used during training. These features are then fed into a classifier to distinguish between types of defects, namely radial cracks, longitudinal cracks, holes, and defective joints and obstacles [2]. The selection of network architecture and training parameters was conducted again by a trial-and-error procedure. The training algorithm selected was the same as that used in the binary classification stage.

Three networks were trained. The first one included information from the intensity map only (no depth information). This network was trained with two different data sets (see Table II). First, the network was trained with a training set that did not include obstacles. Then, it was also trained with a data set that included obstacles (ANN1). A second network (ANN2) had, in addition, the depth of the defect extracted from the positional surface map as an input. The classifiers had one output that could range from -2 to 2 (-2: joint, -1: radial crack; 0: hole; -1: longitudinal crack; 2: obstacle). A third network (ANN3) was trained with a second output giving a severity rating of the defect. Table II summarizes the architectures of the resulting networks.

V. EXPERIMENTAL RESULTS

To test the performance of the presented system, it was subjected to a wide range of tests using data from different types of pipes and under different conditions. A model for the intensity pipe inspection was developed. It was observed that surface-related factors, such as roughness, had an important influence on the reflectance response [1]. Moreover, it was shown that a larger pipe diameter usually leads to a longer distance between the sensor and surface under inspection and, consequently, a change in the intensity received by the camera. In the case of positional data, it was noted that the main factor that limited the detection was the size of the defect, since only large defects were detected. Consequently, experiments were devised based on the observations underpinned by the results using the sensor model in simulations [1]. Thus, experiments using pipes with a different diameter, material, wall texture, and color were conducted in order to test the behavior of the intensity ANN to different unseen data (Table IV). For each experimental case, defects of different sizes and shapes are evaluated. Holes and cracks of different sizes, from 10 cm down to 2 mm, were inserted in the walls of the pipe segments to simulate defects. The loose connection of two pipes simulates a defective joint. Data were acquired not only under laboratory conditions, but also onsite at the facilities of what was formally called Water Research Centre (WRc), Swindon, U.K., where a large number of used pipes with defects and under conditions as expected in a real sewer network were available.

TABLE III
EXPERIMENTAL RESULTS OF THE ANNS. THE NUMBER OF DEFECTIVE (D) AND NONDEFECTIVE (ND) SAMPLES IS SHOWN IN BRACKETS IN THE "TEST SETS" COLUMN

(**I** = intensity network, **P** = Positional network, **F** = Fusion network)

Experiments	No. of tests sets	Success rate [%] with 0.5 threshold					
		Defective			Non-defective		
	Total (D/ND)	I	P	F	I	P	F
Noise tolerance (Salt and Pepper)							
Noise density < 1%	100 (25/75)	100	100	100	100	100	100
10%>Noise density>1%		60	100	100	100	100	100
Noise density > 10%		12	100	76	84	100	88
Noise tolerance (Speckle Noise)							
SNR > 1	100 (25/75)	100	100	100	100	100	100
SNR < 1		92	100	100	100	100	100

TABLE IV
EXPERIMENTAL RESULTS OF THE INTENSITY ANN. THE NUMBER OF DEFECTIVE (D) AND NONDEFECTIVE (ND) SAMPLES IS SHOWN IN BRACKETS IN THE "TEST SETS" COLUMN

Experiments	No. of test sets Total (D/ND)	Success rate [%]* Defective	Non-defective
Test environment 1: Unseen data with characteristics similar to training data has been used for generalization during training.	100 (12/88)	100	100
Test environment 2: Pipes with rough surfaces, diameters of 260 and 330 mm; defects: small holes and joints.	50 (6/44)	84	100
As above, with 0.85 threshold.		100	100
Test environment 3: Clay pipe, with internal diameter of 350 mm; defects: small holes and joints.	25 (5/20)	80	100
As above, with defects in the cm range and larger.	25 (5/20)	100	100
Test environment 4: PVC pipes, with internal diameter of 330 mm; defects: small holes, joints.	42 (10/32)	80	100
As above, with larger defects in the centimeter range and with different shapes.	40 (8/32)	88	100

*The threshold is 0.5, unless otherwise noted.

First, the binary classifiers are tested. Features from sections found as defective by the binary classifier are then fed into the data-fusion multivariable classifier for defect classification and rating.

A. Binary Classification

Tables III and IV show an overview of the binary classification experiments and results obtained. First, to test the general concept of the proposed approach, noise tolerance tests were conducted. The noise tolerance of the data-processing algorithms and the subsequent ANNs are tested by deliberately corrupting the images with noise. This tests the ability of the trained network to cope with unseen data. The intensity network has in addition been subjected to pipes with different surfaces in order to see the performance of the system under harsh conditions.

1) Noise Tolerance: It is noted that the positional-based network is more noise-tolerant than the intensity-based network (Table III). This is due to the fact that image preprocessing stages prior to the ellipse fitting are very effective in attenuating the noise. The ring is located correctly

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

in all cases, and the results extracted from positional information are practically noise independent.

The intensity information, on the contrary, is calculated using the raw image instead of the preprocessed one. Independent noise, such as salt and pepper noise can have a high impact in the intensity calculation as random pixels are set to the maximum and minimum intensity values.

The experimental study revealed that the proposed approach performs well when the data are corrupted by salt and pepper noise with densities up to 1%. When images contain higher amounts of noise, the intensity features are hidden in the noise and the data-processing algorithm cannot extract those features from the background. However, this situation is very unlikely to occur as the images acquired during the experiments never reached such a high noise density.

The three networks have good performance against dependent noise. The speckle noise does not affect so much the intensity calculation: although the error average remains small, when the signal-to-noise ratio (SNR) in the speckle noise drops below one, about 10% of the profiles are incorrectly classified.

2) Network Generalization Ability: The ability of the trained networks to cope with unseen data was also tested. Sets of 100 normalized signatures corresponding to both faulty and nonfaulty pipe sections not seen before by the ANN, but corresponding to pipes with characteristics similar to the ones used during training (diameter, material, and texture), are fed to the ANNs (Table IV, test environment 1).

Binary outputs can be obtained by converting results greater than a fixed threshold of 0.5 to "1" and the rest to "0." As an example, Fig. 5 shows the output results for pipe segments of a total length of 3 m. The signatures of these pipe segments have not been seen by the ANN during training. These results show that the network is able to identify irregularities in the data (caused by defective sections), even though the data were not seen by the network beforehand. All incidences covering longitudinal cracks, radial cracks, and holes are identified and can be distinguished using a fixed threshold of 0.5 [12]. It was found that the fusion network has a behavior similar to the behavior of the intensity network. However, with the positional network, it was found that the defect has to be both wide and deep to be detected by this method. A wide but not deep defect would lead to a small ring deformation. In the case of a deep but not wide enough defect, the far edge of the defect would be hidden by the pipe walls and in the camera image, a perfect ring would appear. More tests were conducted to find out the minimum defect size detectable. Defects in the centimeter range, both in width and deep, were detected by the positional network while for the same hardware, fusion and intensity networks could detect defects in the millimeter range (see Section V-A4).

3) Pipe Texture and Color: The detection system has also been exposed to pipes with very rough and colored surfaces in order to test the performance of the system under harsh and varying conditions. Such changes in the environment affect particularly the performance of the intensity network (Table IV, test environment 2). It is noted that the rougher the surface is, the more difficult it becomes to distinguish defective areas by the naked eye as the intensity of the reflected rings is increased compared to a similar pipe with smooth walls. The result is a less contrasted image. Decreasing the iris aperture in the CCD lens increases the contrast in the image and the defects are emphasized. Further tests with a lower iris aperture are tried in surfaces with roughness, height, and spacing in the millimeter range. The outcome of this experiment shows that with an appropriate adapted threshold of 0.9 instead of the previously used 0.5, the algorithms are able to detect the defects and to discriminate them from the roughness of at least the same order of magnitude. This is probably due to the fact that the training set did not contain signatures corresponding to rough surfaces, since the training was done using PVC pipes only [2]. From experiments with differently colored pipes, it was learned that the intensity distribution

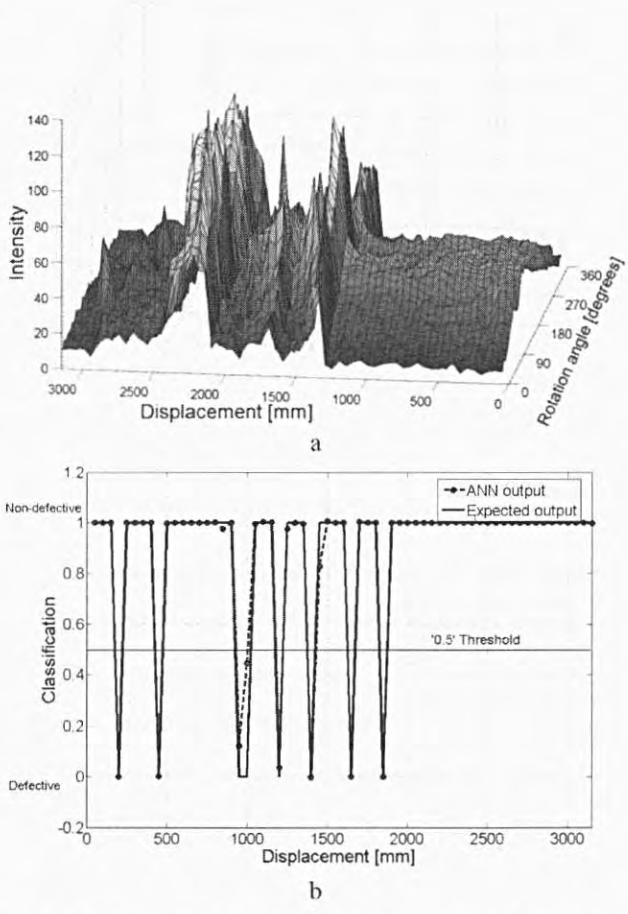


Fig. 5. Generalization of the intensity-based network. (a) Intensity map. (b) Output of intensity ANN.

experiences a shift in the mean intensity. As this information is treated in a differential way when generating the signatures, the response of the algorithm and the ANN is independent of the mean intensity. The tests show that apart from extremely reflective colors (e.g., white pipe walls), defects can be identified in differently colored pipes.

4) Network Response to Dimensional Variations in Environment: Tests were conducted involving varying pipe material and pipe diameter. PVC, clay, and metallic pipe sections with inner diameters ranging from 260 to 350 mm were used. Pipes with defect sizes ranging from 2 mm to 10 cm were used, including thin cracks with a width of 2 mm. Experiments with defects with different depths were also carried out.

The intensity network was tried first (Table IV, test environment 3). The tests proved that the resolution is approximately proportional to the pipe diameter and the projection angle used. When using a small projection angle, small defects in the millimeter range could be identified. However, when increasing the pipe diameter, small holes in the millimeter range are not detected. Holes in the centimeter range and pipe joints are still detected by the intensity ANN. This is mainly due to the fact that an increase in pipe diameter results in a dramatic increase of the distance L from the platform to the projected ring. Subsequently, the resolution in the camera images decreases, as the same numbers of pixels cover a larger area in real space. For the inspection of pipes with larger diameters, the use of a profiler with a higher projection angle and a higher-resolution CCD or a zoom lens is required if the resolution is to be maintained. However, it has to be taken into account that

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

TABLE V
ANN PERFORMANCE FOR MULTIVARIABLE CLASSIFICATION

	Absolute error					Percentage of success				
	Hole	Long. Crack	Radial Crack	Joint	Obstacle	Hole	Long. Crack	Radial Crack	Joint	Obstacle
Intensity data (without obstacles in training)	0.0071	0.0529	0.0035	0.0374	2.5905	100	**95**	100	100	**0**
Intensity data	0.1281	0.2477	5.7581e-004	0.0374	0.4375	100	**81.25**	100	100	**73.68**
Signal fusion data	0.04	0.0361	0.0111	0.0825	0.0165	100	100	100	100	100

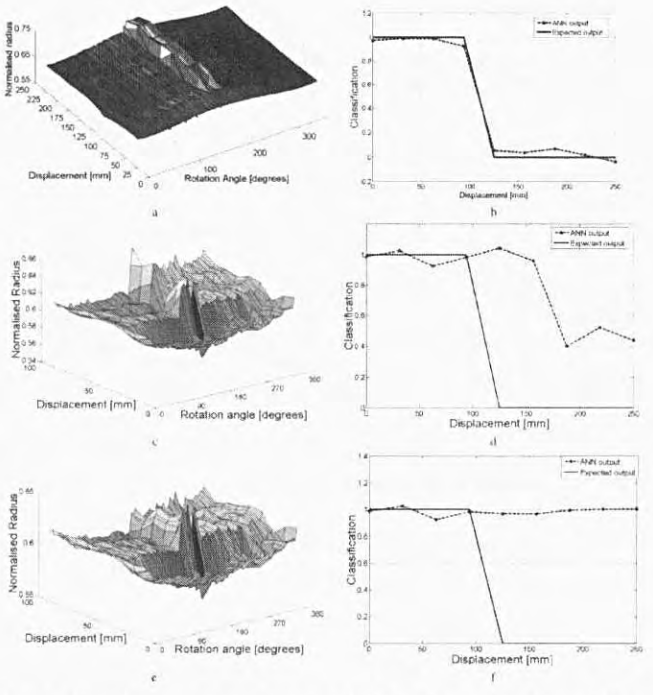


Fig. 6. Classification using the positional ANN only on data obtained from plastic pipes with different defect sizes: 20 mm width (a and b), 10-mm width (c and d), and 5-mm width (e and f). Surface maps (a, c, and e) and the output of the positional network are shown.

an increase in the diffuser projection angle will also lead to a less evident detection since the difference in intensity between the defective and nondefective pipe wall area will not be so emphasized [1].

Experiments to test the minimum size of defects detectable with the positional method were also conducted. Defects were not detected for sizes smaller than 5 mm (Fig. 6). When defects are not detected by any of the above methods, the fusion approach cannot provide better results.

B. Multivariable Classification

Data acquired at the facilities of WRc were used for those experiments. In order to identify five different types of defects, a binary output is achieved using five thresholds at a distance of "0.5" from the target ANN outputs. Table V shows the results using the different multivariables, where a percentage of success and the absolute mean error from the expected targets are shown. It can be observed that, as expected, the network trained with the intensity data, but without data corresponding to obstacles, cannot identify obstacles. It is noted that obstacles are sometimes reported as radial cracks or holes [Fig. 7(a)]. Moreover, the network has difficulties with the classification of longitudinal cracks.

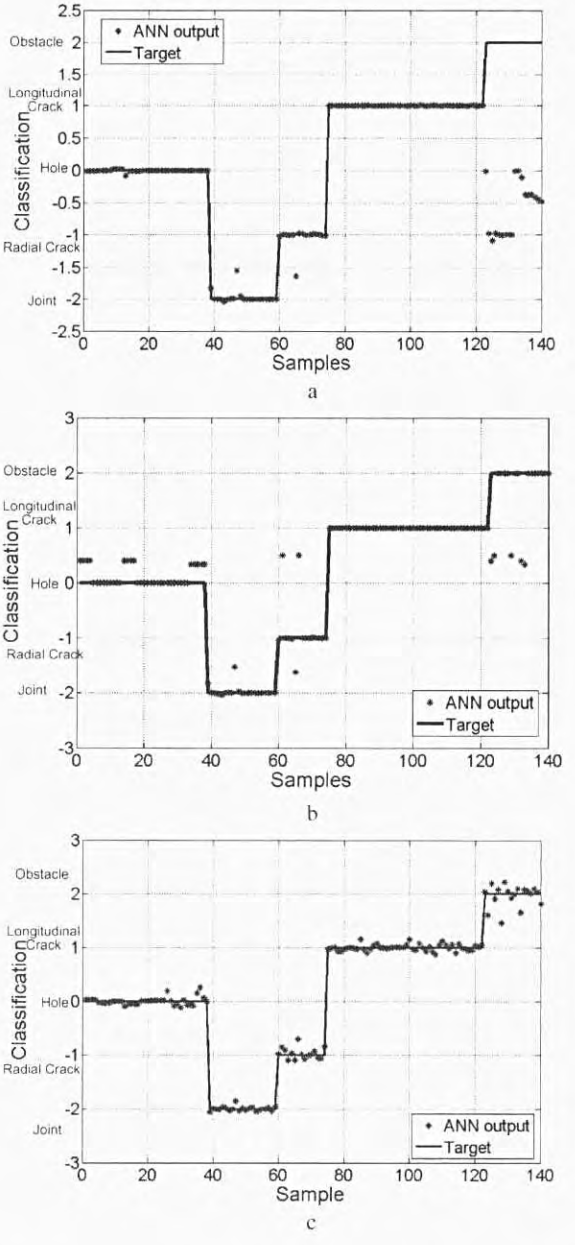


Fig. 7. Multivariable classification. The target values correspond to −2: joint, −1: radial crack; 0: hole; 1: longitudinal crack; 2: obstacle (a) Intensity training data where obstacles defects are not used during training. The ANN fails to assign the obstacles correctly. (b) Intensity training data with obstacles defects: the ANN fails to assign the obstacles correctly. (c) Fusion training data: the fusion ANN is capable of classifying all defects correctly.

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

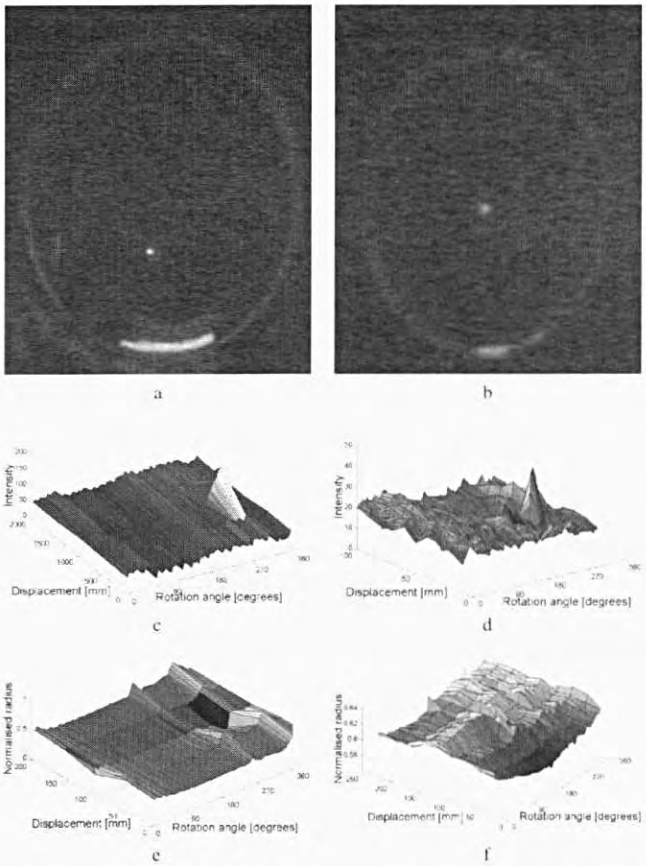


Fig. 8. Obstacle versus hole. The laser image (a), intensity map (c), and surface map (e) of an obstacle are shown. The laser image (b), intensity map (d), and surface map (f) of a hole are also shown.

The network trained with intensity data from all types of defects, including obstacles, does not give accurate results either. The attributes of longitudinal cracks and obstacles are similar and the network has difficulties in differentiating them [Fig. 7(b)]. The best results were obtained with the fusion data network. There, in addition to the attributes used in the above networks, the depth of the defect extracted from the positional map is used as an additional input. Fig. 7(c) shows the classification results with such a network. Now, all five defect types are clearly identified. Fig. 8 shows an example of holes and protruding obstacles in a pipe wall. It is observed that here the positional network is fundamental for the discrimination between the two types of defects. The classification results for this example are presented in Table VI for the three different networks, where ANN1, ANN2, and ANN3 refer to the intensity, fusion, and fusion with rating networks, respectively.

TABLE VI
HOLE VERSUS OBSTACLE: FEATURES AND ANN OUTPUTS

Obstacle		Hole	
Longitudinal Axis \Normalized	50mm\ 0.4	Longitudinal Axis\ Normalized	50mm\ 0.4
Angular Axis	30deg	Angular Axis	20deg
Ratio minor Axis/Major Axis	5/7	Ratio minor Axis/Major Axis	5/6
Area	65*50	Area	43*50
Depth	-0.11	Depth	-0.0062
ANN1 output	0.0004	ANN1 output	0.0318
ANN1 result	Hole	ANN1 result	Hole
ANN2 output	2.0313	ANN2 output	0.1916
ANN2 result	Obstacle	ANN2 result	Hole
ANN3 output (classification)	2.0737	ANN3 output (classification)	2.0028
ANN3 result (classification)	Obstacle	ANN3 result (classification)	Obstacle
ANN3 output (rating)	0.8493	ANN3 output (rating)	0.2067
ANN3 result (rating)	severe	ANN3 result (rating)	Not severe

VI. CONCLUSION

Aiming to overcome the disadvantages of standard human-based CCTV inspection, this paper puts forward a novel approach for the automated detection and classification of defects in tubular structures. The main contribution of this research is the extraction and fusion of two types of signals (intensity and positional data) from a single camera/laser-based profiling sensor, creating an enhanced inspection system. As a result, this research study led to the conception of a general method based on ANNs to correctly classify camera images enhanced by the projection of laser light patterns, capable of differentiating between defective and nondefective areas, and categorizing the defective areas into different types of defects commonly occurring in pipes, such as sewers and water pipes. The proposed classification approach not only surpasses other methods in robustness due to the fusion characteristic, it also excels due to the simplicity, small size, and integration capabilities of the sensor required (i.e., the accuracy of the results obtained is in the same range as those obtained in [6] but the sensor required is much simpler and more easily implemented). Besides classification, the presented approach also allows the creation of positional and intensity surface maps visualizing the pipe interior.

Two main steps can be identified as part of the proposed methodology. First, a fast binary neural-network-based classification process is employed to identify defective sections. Second, another algorithm, employing a further neural network, elaborates on the areas highlighted as potentially defective by the first network and attempts to separate the identified defects into categories. An in-depth study was conducted in training and testing different networks using the data available from the profiler inspection system, and optimizing the networks with respect to the most appropriate number of neurons and layers. The research showed that instead of feeding the intensity and positional data directly into the binary classifier, a feature extraction preprocessing algorithm reduces data complexity and makes classification and interpretation strategies more efficient. The results proved the excellent capabilities of this approach with a high success rate for most investigated cases even when probing unseen real or artificial data.

Combining the promising results achieved with the intensity and positional networks, sensor data fusion is investigated. This research revealed that fusing the two types of data available from the laser profiler sensor enhances the classification process. The decision on whether to use all of the data available is a tradeoff between accuracy and computational costs. However, the use of both—the intensity and the positional information—instead of just one for multivariable classification, adds little to the computation time and it could still be used in a real-time inspection system. This paper shows that in order to have an accurate classification into the types of defects, the fusion of the two data types has proven essential.

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

Future work aims to investigate the benefits of the selection of additional features to achieve more robust defect discrimination. For instance, the use of the intensity data could help the classification process, since it was observed that large defects cause a decrease in intensity, while small ones cause an increase.

REFERENCES

[1] O. Duran, K. Althoefer, and L. D. Seneviratne, "Laser profiler model for robot-based pipe inspection," presented at the WAC, Seville, Spain, Jun. 28–Jul. 1, 2004.

[2] O. Duran, K. Althoefer, and L. D. Seneviratne, "Experiments using a laser-based transducer and automated analysis techniques for pipe inspection," presented at the IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Taipei, Taiwan, R.O.C., May 2003.

[3] ——, "State of the art in sensor technologies for sewer inspection," *IEEE Sensors J.*, vol. 2, no. 2, pp. 73–81, Apr. 2002.

[4] S. K. Sinha and F. Karray, "Classification of underground pipe scanned images using feature extraction and neuro-fuzzy algorithm," *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 13, no. 2, pp. 393–401, Mar. 2002.

[5] O. Moselhi and T. Shehab-Eldeen, "Classification of defects in sewer pipes using neural networks," *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 97–104, 2000.

[6] R. Kirkham, P. D. Kearney, and K. J. Rogers, "PIRAT—a system for quantitative sewer pipe assessment," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 19, pp. 1033–1053, 2000.

[7] R. C. Gonzalez, *Digital Image Processing*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1987.

[8] M. F. Moller, "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning," *Neural Netw.*, vol. 6, pp. 525–533, 1993.

[9] O. Duran, K. Althoefer, and L. D. Seneviratne, "Automated sewer inspection using image processing and a neural classifier," in *Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks*, 2002, vol. 2, pp. 1126–1131.

[10] S. Haykin, *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. New York: Macmillan, 1994.

[11] O. Duran, K. Althoefer, and L. D. Seneviratne, "Automated pipe inspection using ANN and laser data fusion," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, New Orleans, LA, Apr. 26–May 1, 2004.

[12] ——, "Pipe inspection using a laser-based transducer and automated analysis techniques," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 8, no. 3, pp. 401–409, Sep. 2003.

[13] E. Rome, J. Hertzberg, F. Kirchner, U. Licht, H. Streich, and T. Christaller, "Toward autonomous sewer robots: the MAKRO project," *J. Urban Water*, vol. 1, pp. 57–70, 1999.

[14] H.-B. Kuntze and H. Haffner, "Experiences with the development of a robot for smart multisensoric pipe inspection," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, May 1998, pp. 1773–1778.

Authorized licensed use limited to: IEEE Xplore. Downloaded on January 20, 2009 at 03:19 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

여 백

ESTABLISHING A CCTV INSPECTION, ASSESSMENT AND IMPROVEMENT PROGRAM FOR A LARGE DIAMETER COLLECTION SYSTEM

by
Parivash Dezham[1], Julio Im[2], and Dean Gipson[3]

[1]Manager, Pretreatment & Source Control, Inland Empire Utilities Agency, Chino, CA
[2]Senior Associate Engineer, Inland Empire Utilities Agency, Chino, CA
[3]Senior Project Manager, PBS&J, San Diego, CA

BACKGROUND

The Inland Empire Utilities Agency (IEUA), formed in 1950, serves a 242 square mile area located in the southwest corner of San Bernardino County, approximately 35 miles east of Los Angeles. IEUA provides regional wastewater service and imported water deliveries to several contracting agencies. IEUA's Non-Reclaimable Wastewater System (NRWS) is a large diameter pipeline and force main system, about 55 miles long, conveying non-reclaimable wastewater or "brine." Over the years, records for this system became outdated and the condition of the pipelines and manholes were unknown.

In the summer of 2005, IEUA contracted with PBS&J, an engineering consulting firm, to locate, inspect and assess the NRWS, including approximately 5 miles of force main, and 613 manholes. PBS&J teamed with Houston & Harris, PCS, Inc. (H&H) to inspect the sewers. Cecilia's Safety Services prepared the temporary traffic control plans, acquired the traffic permits, and performed the traffic control set up and take down for the inspection efforts. California Surveying Corporation located the inspected manholes using global positioning system (GPS) equipment to locate the manholes to the nearest 0.1 of a foot.

The NRWS Capital Improvements Program Plan provided IEUA with recommendations for capital improvements, cleaning recommendations and on-going system maintenance efforts for the NRWS. The inspection and assessment work occurred between September 2005 and January 2006. The fast-paced schedule required the completion of the final report by March 1, 2006.

DETAILS OF THE NON RECLAIMABLE WASTEWATER SYSTEM

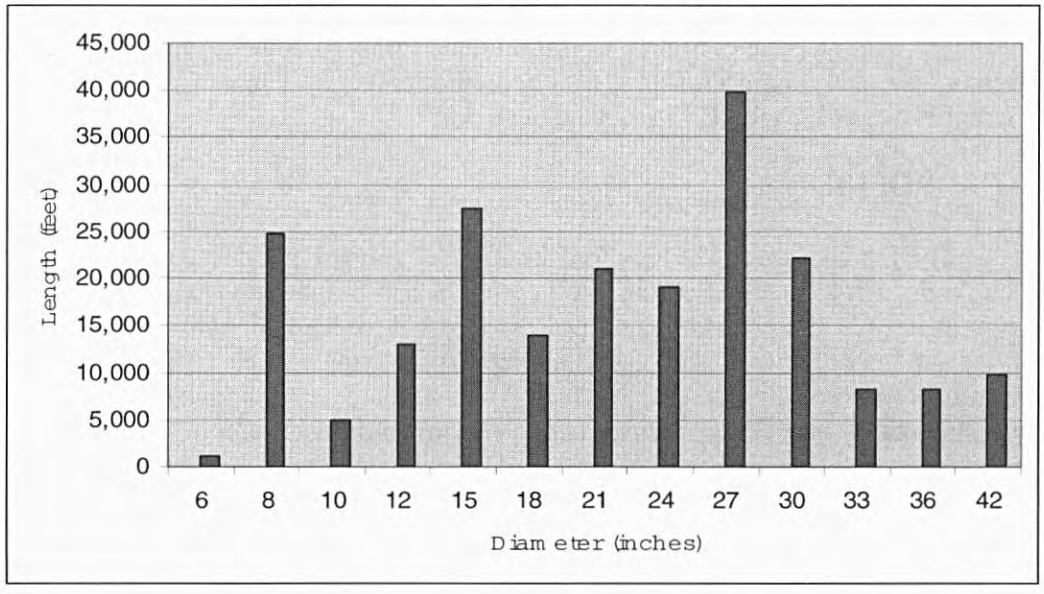
The NRWS collects industrial flows from businesses located within the IEUA service area. The flows discharged into the system may contain hazardous constituents and often is high in suspended solids. These materials, while not always

Copyright ASCE 2007

harmful to the pipelines, tend to accumulate and constrict the flow as well as make the wastewater non-reclaimable for beneficial uses.

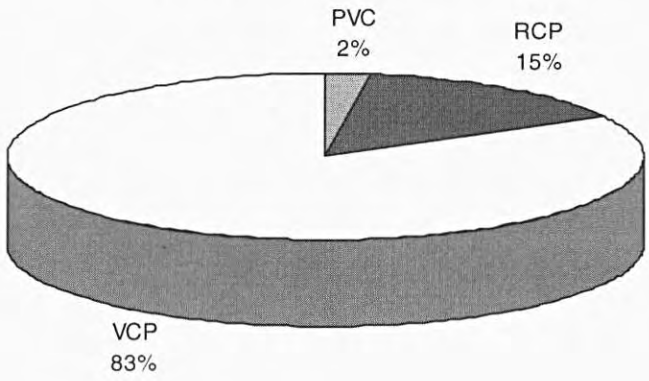
The NRWS system ranges in diameter from 6 inches up to 42 inches. Based on an inspected length of approximately 255,374 feet, Figure 1 shows the length of pipe for each diameter in the NRWS.

Figure 1- Distribution of Pipe Diameters



The pipeline material is mostly vitrified clay pipe (VCP), while unlined reinforced concrete (RCP) pipe and polyvinyl chloride (PVC) make up the remainder of the system. Figure 2 shows the amount of material in each category, by length.

Figure 2 -Pipe Material



Copyright ASCE 2007

INSPECTION CRITERIA AND PROCEDURES

Closed circuit television cameras offer valuable insight to the internal structural condition of buried infrastructure. Video inspection of sewer pipelines is used to evaluate the existence and severity of cracks, misaligned joints, and potential sources of infiltration. Analysis of this data determines where rehabilitation is required and which method of repair is most appropriate and cost effective.

Uniformity and consistency of the observation comments is paramount in providing useful assessment results. Using standardized inspection observation codes, different CCTV camera operators can provide consistent comments about the condition of the pipe and assign uniform values to each observation based on severity.

The IEUA established its own observation and defect codes based on the Water Resource Centre (WRc) codes. Before beginning the inspections, the operators reviewed the codes to become familiar with them, and clarified uncertainties with IEUA staff before beginning the inspections. These codes are compatible with the National Association of Sewer Service Companies (NASSCO) standards for pipeline assessment.

INSPECTING THE NRWS PIPELINES

Inspection and assessment of sanitary sewer pipelines and manholes is an important part of maintaining and operating a sewer system. Inspection and assessment is used to evaluate the existing system conditions and potential defects, which may contribute to potential overflows. Such conditions include root intrusion at misaligned joints or cracks and inflow and infiltration entering into the system through cracks in pipes, manholes or via illegal storm drain connections. The results of a sewer assessment are then used to determine the funding required to repair, rehabilitate and replace an aging collection system and to prioritize how the funds should be allocated.

Our team began with outdated as-builts, incomplete electronic records for the manholes and pipelines, and a reliance on the institutional knowledge of the operations staff. Plus, IEUA, for the first time, specified digital video and database submissions for the inspection and assessment work, which created new electronic data management and storage challenges for IEUA. IEUA developed an asset numbering scheme to facilitate incorporating the collected sewer system data into IEUA's GIS system. IEUA required that the manholes be located by coordinates and the data provided for GIS mapping.

A challenging task involved the force main inspection. Locating the access points to the force mains required as-built record reviews, field reconnaissance, pot holing, and some excavation to locate the cleanouts. Additionally, concerns about the by-pass pumping process and wet well detention time were addressed.

Copyright ASCE 2007

H&H inserted closed circuit television (CCTV) cameras into the sewer pipelines, and, by remotely controlling the cameras, recorded the condition of the interior of the pipelines. Ultimately four (4) inspection vehicles were on the job site to maintain the aggressive schedule. PBS&J and H&H also inspected the associated manholes. PBS&J recorded the physical condition of the structures, while H&H captured digital images of the manholes.

PIPELINE RENEWAL AND REHABILITATION OPTIONS

Replacement of existing systems can be very disruptive to a community. In many cases, the problem sewer may have isolated or point defects that can easily be repaired. It is becoming more common to rehabilitate sewers instead of constructing new replacement or relief sewers. Alternative construction techniques, such as lining, can significantly reduce community impacts and provide a cost effective option to replacement. Of course, there are cases where due to the age of the sewer and the extent of defects, there may be no alternative but to replace the sewer line.

Certain rehabilitation methods can be performed quickly and with little impact to the community at a fraction of the cost of replacing a facility, but the ability to maintain rehabilitated facilities, along with the estimated benefits, must be considered. The approach to selecting appropriate rehabilitation alternatives are summarized below in Table 1. As a reminder, the selection of a method based on the general rules below is not a substitute for the experience and knowledge of the staff and engineers performing the assessment. The unique situation and condition of each segment must be considered when finalizing recommendations. As such, not every recommendation will rigidly adhere to the methods and rules below.

Table 1 - Sewer Improvement Alternatives

Description of Defect	Recommended Method
Roots, broken or cracked pipe, misaligned or open joint, and/or grade break at 1 or 2 locations along a pipe	Point repair (if total pipeline length is > 300 feet); Replacement (if total pipeline length is < 300 feet)
Roots only, more than 2 locations	Lining, Chemical Herbicide or Repetitive Cleaning
Multiple cracks only – minor to medium	Lining
Roots most joints with multiple cracks, no offsets	Lining
Roots at most joints with major offsets, breaks, major cracks or major grade breaks and all other conditions	Replacement
Severe defects requiring replacement in difficult to access locations or areas of high traffic congestion	Pipe bursting, bore and jack, directional drilling or micro tunneling

Copyright ASCE 2007

The following descriptions summarize a variety of rehabilitation and repair methods considered for the NRWS.

Point Repairs

Where defects were noted from the video inspections at one to two locations between manholes, point repairs were recommended. However, for short pipe segments less than 300 feet with two defects, point repairs may affect the integrity of the remaining pipe and full pipe replacement is usually recommended. Point repairs are cost effective alternatives to full pipe replacement if the remaining portions of the pipe are in good condition as noted from video inspections and replacement of the entire pipe segment appears unwarranted.

Pipe Lining

Pipeline lining offers a trenchless method to rehabilitate deteriorating sewer mains. Because no open trenching is required during the lining application, there is minimal disruption to residents and business owners during construction. Lining of sewer mains is recommended for pipes with rooting problems and/or cracks with no major offset joints.

Where breaks, major offsets, or bends are noted in the video inspections, lining is not recommended because the lining material cannot be applied properly where these conditions occur. In choosing an appropriate repair method, there are cases where it may be cost effective to consider combining point repairs with lining.

Several methods of lining can be used to rehabilitate a pipeline. Cured-in-Place Pipe (CIPP) lining involves inverting a resin-impregnated fabric tube into a clean, existing pipeline, then curing it in place with hot water or steam. Fold-and-form lining requires pulling a fabric tube, saturated with a resin and folded into a U-shape, into a clean, existing pipe, then expanding the tube to the shape of the pipe with pressurized water before curing with heated water or steam. Both of these methods require the flow to be plugged or diverted during the installation process.

Spiral wound pipe is another lining method that inserts a continuous strip of reinforced plastic, usually 6 or 8 inches wide, into an existing pipe, which interlocks to form a watertight seal. Spiral wound pipe can typically be installed in a live sewer without plugging or diverted the flow.

All of these lining methods can provide a system with independent structural integrity that does not rely on the host pipe for strength.

Pipe Bursting

Pipe bursting offers a solution to replacing defective pipe that has access at its end points but not between, such as pipe that crosses a freeway or major intersection.

Copyright ASCE 2007

Pipes that are good pipe bursting candidates generally have no bends or curves and have adequate slope with very minor or no sags. Access pits are required at the ends of the pipe segment being burst. If any service connections must be reinstated, access pits are required at these locations as well. The size of the pipe can generally be increased to the next standard pipe diameter above the existing diameter, and possibly to the next standard pipe size depending on the existing soil conditions and adjacent utilities. The material used for the replacement pipe includes high density poly-ethylene (HDPE) pipe or joint-fused PVC pipe. This method may be more costly than traditional dig and replace, but it is generally faster and less disruptive to the environment and community, thereby resulting in intangible benefits.

Easement Access

Sewer mains located in some easements are a concern due to inadequate access to maintain these areas and to replace with traditional dig and replace methods. Sewer mains in easements with poor or no access for maintenance or emergency repair work often result in higher repair costs due to using specialty access equipment, hand labor, and mitigation of unplanned environmental impacts. Conversely, sewer mains with appropriate access, such as access paths or in parking lots, would not necessarily need relocation. Rather, coordination with the land owner may be all that is required. Another option is using carrier pipes or casings in the easements, so that sewer mains can be replaced outside the constrained easement areas. Private pumping is also an option. In most cases, the topography of the area will dictate the alignment of the new gravity sewer system. As such, relocating easement sewers may not be cost effective.

Often the cost of relocating sewers is expensive because of the costs associated with constructing new facilities, as well as abandoning the old facilities. If the annual costs of maintaining an aging easement sewer, plus the benefits to the community and environment, outweigh the capital expense to relocate, it may be prudent to relocate easement sewers. However, if operations staff can adequately access the sewer, and the facility is in good condition or easily improved, the sewer does not need relocating. To properly evaluate the feasibility of realigning pipelines, with poor or no access, into the public streets and out of private property, an agency should conduct, on a case-by-case basis, re-direction studies to consider alternatives and recommend accessibility improvements and costs.

Pipeline and Manhole Replacement

Replacements of pipe segments are recommended where multiple occurrences of breaks, cracks, misaligned joints, grade breaks and roots are identified in the video inspections. In addition, where pipe replacement is recommended, replacement of both manholes at each end of the pipe is also recommended. For maintenance purposes, pipelines with a diameter of 6 inches or less are recommended for replacement with 8 inch diameter pipe. Actual replacement must be evaluated on a

Copyright ASCE 2007

case by case basis after considering several factors such as pipe condition, slope, cleansing velocity, capacity, and available maintenance equipment and methods.

ASSESSMENT CRITERIA AND PROCEDURES

Several factors set the priority of projects identified during the assessment process, although the condition of the pipe is usually the primary factor. Other factors can include a goal to reduce sanitary sewer overflows, reduce infiltration and inflow in pipes located below the water table, or reduce maintenance efforts by improving the pipe. Other considerations include coordinating surface and utility improvements with the agency or municipality having jurisdiction over the property through which the sewer facilities pass, and minimizing community disruption.

Each NRWS segment inspected was ranked using a scale of 1 through 5 to indicate the severity of pipeline's condition, with 5 being the worst condition. Table 2 shows the general condition ranking associated with each severity level as well as the recommended response time to complete the recommended action.

Table 2 - Condition Severity Ranking

1	2	3	4	5
Good	Adequate	Moderate	Poor	Failing
Maintenance	5 + years	3 to 5 years	1 to 2 years	Immediate

The severity assigned to each pipeline is based on the criteria for each observation listed in Table 3. Using the observation and severity, staff then made a preliminary recommendation for each pipeline segment. Table 4 summarizes the typical preliminary recommendations for each observation and severity ranking. The ranking prioritized each segment from best to worst and estimated the useful life remaining for each. Every pipeline also received one of the following recommended actions: 'no action,' 'clean/maintain,' 'point repair,' 'rehabilitate,' 'replace,' or 'evaluate/re-inspect.'

Many benefits stem from performing a systematic assessment of a sanitary sewer system. Some of the benefits realized include:

- Providing a comprehensive overview of the system's condition;
- Prioritizing the pipe from worst to best, thereby achieving the most benefit for each dollar spent by working on the worst facilities first;
- Estimating the projected costs to complete the identified work;
- Normalizing the pace of improvement work to avoid large fluctuations in the capital improvements program from year to year;
- Reducing emergency responses as the system is improved; and
- Highlighting common defects so that the agency can address problems on a global level (e.g. focusing on a specific material that may fail more frequently

Copyright ASCE 2007

than others, or showing high grease concentrations in areas that may need a grease control program).

Table 3 - Infrastructure Assessment Criteria

Observation	SEVERITY				
	1	2	3	4	5
Cracks • Circular • Longitudinal • Multiple	None	Very small Hair line crack(s)	Hair line crack(s) <50% of ID in length	Cracks ≤1/8" wide or >50% of ID in length	Cracks >1/8" wide
Broken Pipe	None	Connecting cracks, no displacement	Connecting cracks, displacement ≤¼"	Connecting cracks, displacement >¼"	Collapsed pipe, impassable
Joints - Offset	Minimal	Up to ½ of the pipe thickness	½ to thickness of the pipe	Thickness of the pipe to 1 ½ times	Over 1 ½ times the thickness of the pipe
Joints – Separation	None	Gasket exposed	Bell exposed	Dirt exposed at top	Dirt exposed at invert
Roots	Minimal	10% to 35% Fine roots	35% to 60% Fine/medium roots	60% to 80% Medium roots	80% to 100% Tap root(s) visible
Grease	None	≤¼" thick	¼" to ½" thick	½" to 2" thick	>2" thick
Debris Accumulation	Minimal	Sporadic deposits (no rocks)	≤10% of ID (no rocks)	10% to 25% of ID and/or rocks	>25% of ID or impassable
Erosion (Typ Conc Pipe)	None	Rough surface	Exposed aggregate	Exposed rebar	Missing concrete
Corrosion (metal pipe only)	None	Minimal	Light tuberculation	Moderate tuberculation	Impassable, heavy tuberculation
Mineral Deposits	None	Minimal (possible infiltration)	≤10% ID thickness	>10% ID thickness	Impassable, heavy mineral deposits
Infiltration	None	Dripping	seeping	Constant stream	Gushing water
Sag	None	Minimal (probably not perceptible)	≤25% of ID	25% to 75% of ID	>75% of ID
Flow Capacity	Minimal	2/5 or less full	2/5 to ½ full	½ to ¾ full	¾ to completely full

Copyright ASCE 2007

Table 4 - Pipeline Recommendation Criteria

Observation	SEVERITY				
	1	2	3	4	5
Cracks • Circular • Longitudinal • Multiple	No Action	No Action or Rehabilitate	No Action or Rehabilitate	Rehabilitate	Rehabilitate or Replace
Broken Pipe	No Action	No Action or Rehabilitate	Point Repair or Rehabilitate /Replace	Point Repair or Replace	Immediate Point Repair
Joints - Offset	No Action	No Action or Rehabilitate	Point Repair and/or Rehabilitate	Point Repair and/or Rehabilitate /Replace	Point Repair and/or Rehabilitate /Replace
Joints – Separation	No Action	Rehabilitate	Rehabilitate	Point Repair and/or Rehabilitate /Replace	Rehabilitate or Replace
Roots	No Action	Clean and Rehabilitate	Clean and Rehabilitate	Clean and Rehabilitate	Clean and Rehabilitate /Replace
Grease	No Action	Clean	Clean	Clean	Clean
Debris Accumulation	No Action	Clean	Clean	Clean	Clean
Erosion (Typ Concrete Pipe)	No Action	Rehabilitate	Rehabilitate or Replace	Rehabilitate or Replace	Replace
Corrosion (metal pipe only)	No Action	Ream and Rehabilitate	Ream and Rehabilitate	Replace	Replace
Mineral Deposits	No Action	No Action or Rehabilitate	Point Repair or Rehabilitate	Rehabilitate	Rehabilitate
Infiltration	No Action	No Action or Rehabilitate	Point Repair or Rehabilitate	Rehabilitate	Rehabilitate
Sag	No Action	No Action	Any option	Replace	Replace
Flow Capacity	No Action	No Action	No Action	Evaluate capacity	Evaluate capacity

Copyright ASCE 2007

RESULTS AND RECOMMENDATIONS

Overall, the pipelines that were inspected were in generally good condition. Nearly 21 percent of the segments require no action. However, the system needs cleaning. Half of the inspected segments have debris accumulation or deposits in the pipeline. Structural defects were found in approximately 17 percent of the system, requiring repairs, rehabilitation or replacement. Less than 10 percent of the system should be re-inspected due to excessive debris build up or inaccessibility that prevented a complete inspection from being performed. Table 5 summarizes the inspection and assessment results.

Table 5 - Pipeline Inspection and Assessment Results by Length

Action	Feet	Miles	Percentage
No Action	54,636	10.35	21%
Maintenance	133,558	25.30	53%
Repair/Rehabilitate/Replace	43,779	8.29	17%
Re-Inspect	23,401	4.43	9%
TOTALS	**255,374**	**48.36**	**100%**

The recommended Capital Improvement Program identified projects to be completed beginning July 1, 2006. A five-year and a ten-year CIP were developed. The relatively good condition of the system allowed the improvements to be spread over a ten year period, reducing the annual capital expenditure. However, the overall ten-year CIP is more expensive than the five-year CIP because of inflation, estimated at four percent per year. Also, additional capital projects not yet identified may arise as the system's useful life decreases with time.

PBS&J also recommended an aggressive cleaning program to clean every segment in the NRWS over a three-year period. This cleaning effort will ensure that every pipe segment and manhole is properly maintained before implementing a recommended five-year cleaning and maintenance program. The 5 year program should be designed to clean every pipe at least once every five years, and to clean and maintain other segments more frequently as determined by the circumstances.

Additionally, IEUA should implement a routine inspection and assessment program to ensure that every pipe is inspected at least once every seven years. The inspection information will provide a basis for estimating the remaining life of the NRWS as well as identify areas requiring improvements before catastrophic failure and/or a sanitary sewer overflow occurs.

Other studies recommended to improve the operations and capacity of the NRWS include an Inflow and Infiltration (I/I) Study to identify and correct I/I problems that reduce capacity and generate higher billings, and a Hydraulic Modeling Study, which will provide a dynamic model of the system and forecast when the system will exceed its current capacity.

Copyright ASCE 2007

Available online at www.sciencedirect.com
SCIENCE DIRECT®
ELSEVIER
Flow Measurement and Instrumentation 15 (2004) 111–117
Flow Measurement and Instrumentation
www.elsevier.com/locate/flowmeasinst

Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept

Mohamed Khorchani *Olivier Blanpain

Département de Géotechnique & Génie Civil, Polytech'Lille, LML URA 1441 CNRS, Av. Paul Langevin, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, Lille, France

Received 14 July 2003; received in revised form 28 August 2003; accepted 10 September 2003

Abstract

Overflow structures built in combined sewer systems are often the source of hydraulic failure during wet weather conditions. Their modelling and particularly that of side weir overflows constitutes a very difficult task both regarding the quantitative and the qualitative aspects. In this paper, a new approach based on the video monitoring concept of these structures is proposed. This study aims at the adjustment of a measuring system able to take into account both spatial and temporal heterogeneity of discharges by digital cameras. In order to achieve this task, a full-scale experiment was carried out. Two lighting systems have been used. The acquired images from the experimental follow-up of the installation, over a period of about 15 months, are analysed. Image processing tools are used to determine the shape of the surface profile on the side weir and to transform image data into numerical data exploitable for modelling. The results were proved very satisfactory.
© 2003 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Video monitoring; Free surface measurement; Side weir overflow; Image processing

1. Introduction

The hydraulic performance of overflow structures and particularly of side weir overflows is quantitatively and qualitatively difficult to model. These structures are often the site of complex hydraulic phenomena, and compared to frontal weirs their study is relatively recent. The first difficulty is to represent the surface profile along a side weir. The second is to determine the discharge coefficient. This coefficient depends not only on the head on the weir and the overflow structure geometry but also on flow conditions and pipe slopes upstream and downstream of the side weir.

The earliest studies of the hydraulic characteristics of side-channel weirs were concerned primarily with the analytical prediction of the effects of the weirs on the longitudinal water surface profile in the channel for the idealized case of a rectangular channel with a vertical weir plate and a constant discharge coefficient, and were carried out by De Marchi [1], Frazer [2] and Henderson [3]. Some other studies on evaluation of the discharge over the side channel weirs are those of El Khashab et al. [4], James et al. [5] and Hager [6]. The general nature of flow over side weirs is then understood. However, quantitative values for key coefficients are not well known. In addition, most of the work reported on flow over side weirs is for sharp-crested weirs, whereas most prototype systems use broad crested weirs. Very little information is available concerning the effect of the weir crest thickness on the side weir hydraulics. The report by Tynes [7] contains measurements for flow over a broad-crested side weir; however, his analysis was limited, and most of his results are specific to the particular configuration tested. Moreover, Krajewski et al. [8] show that the discharge coefficient is a major source of uncertainty in estimating discharge, a fact reflecting both the lack of standardization and the great diversity of overflow structures. Various experiments have been applied, but no consensus is apparent in the literature about the best method. Besides, most of the previous work has considered only forward flows, and no detail was given

* Corresponding author. Tel.: +33-3-20-33-72-68; fax: +33-3-28-76-73-31.
E-mail addresses: mohamed.khorchani@eudil.fr (M. Khorchani); olivier.blanpain@eudil.fr (O. Blanpain).

0955-5986/$ - see front matter © 2003 Elsevier Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.flowmeasinst.2003.09.003

on the hydraulic behaviour of side weirs in cases of surcharging and backwater effects.

After these considerations, a finer study of overflow structure functioning has been decided in order to allow a better understanding of the real hydraulic phenomena near the side weir. To achieve this task, a full-scale experiment using the video monitoring concept was carried out in the sewer network of Lille Urban Community (North France). The project was established in collaboration with Lille Urban Community, our financial partner, and the SOVEP company dealing with the installation and the maintenance of the on-site equipment. This study aims at the adjustment of a measuring system able to take into account both spatial and temporal heterogeneity of discharges by digital cameras.

A detailed description of the experimental site and the installed equipments is given first. The experimentation is carried out in two main steps. The first stage of this study is focused on the qualitative information that can be extracted from the acquired images. This particularly includes the image quality and the equipment reliability. In the next stage, the images are analysed and processing tools are used in order to determine the shape of the surface profile on the side weir and to transform image data into numerical data usable for modelling.

2. Description of the experimental site

2.1. Studied area localization and side weir description

As shown in Fig. 1, the side weir under study is located at the outfall of a watershed covering a land area of 154 km^2 mainly drained by combined sewer systems. This structure is often the subject of frequent and sometimes intensive discharges. The side weir overflow is fitted out along the side of the main collector (2.3 × 2.7 m). The weir crest elevation is 1.67 m, and the weir length is 3.95 m. This structure is also characterized by a connection chamber 9 m in length, a suspended veil on the up-side which reaches the weir crest elevation and a divergence on the down-side.

2.2. Equipment of the experimental site

The site is equipped with two digital cameras, an overflow detector and a lighting system. The different equipment is distributed according to Fig. 2. The data filling unit is in a cupboard outside the overflow structure.

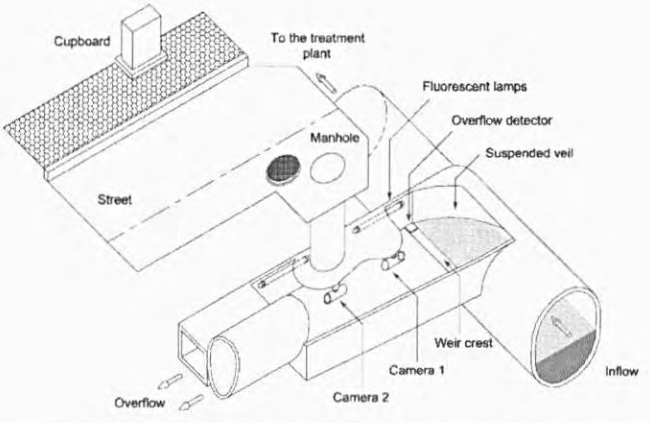


Fig. 2. A schematic view of the experimental site.

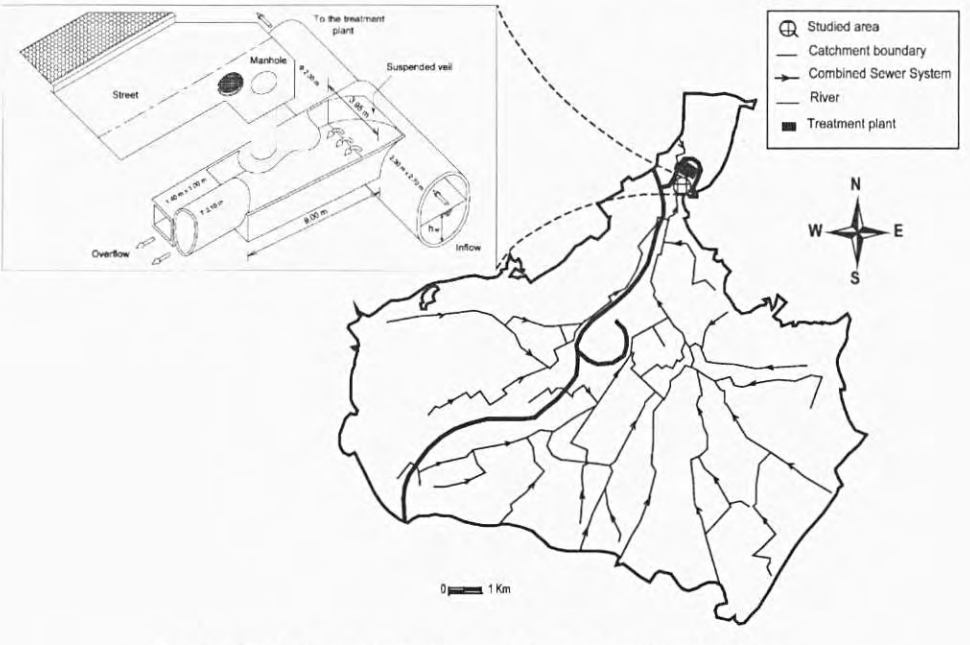


Fig. 1. Studied area localization and side weir overflow description.

2.2.1. Cameras

Color matrix cameras are used. The type of image sensor is 1/3' interline transfer Charge Coupled Device (CCD) with a resolution of 752(H) by 582(V) pixels. The first camera is installed facing the side weir overflow, the second facing the divergence. Each one is placed inside a stainless steel tight box with a glass window and fixed with a metallic support allowing a 360° swiveling of the case.

2.2.2. Recorder

The DVD-RAM used for data filling is capable of recording 28,000 high quality images. Once configured, it allows automatic response to a detector or to alarm signals. In this manner, it will allow the recording of image sequences taken from the cameras during discharges. In this study, the choice is made of recording an image every three seconds for each one of the digital cameras.

2.2.3. Overflow detector

When the water depth reaches the weir crest elevation, the overflow detector will engage the recording by sending an alarm to the recorder. The disappearance of the signal will stop the recording.

2.2.4. Lighting

Qualitatively, the goal of this study is to ensure a visual monitoring of the overflow structure during discharges, aiming to acquire a thorough knowledge of concerned hydraulic phenomena. That is why fluorescent lamps have been initially chosen as a lighting system.

2.2.5. Power supply

In order to ensure a complete autonomy for the different equipment installed on the experimental site, the electrical energy is supplied by a power pack via a transformer (230 V/12 V).

3. Hydraulic behaviour of side weirs

As indicated above, flow over side weirs depends on the head on the weir, among other factors. The head depends on the water surface profile along the channel where the diversion is taking place. One of the possible longitudinal water surface profiles in a channel along a side weir for forward flow is that for subcritical flow (Fig. 3), which is adapted from El Khashab et al. [4].

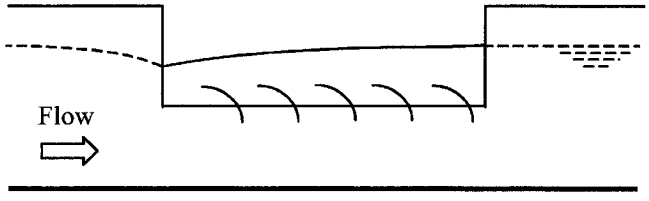


Fig. 3. Subcritical flow throughout.

The water surface elevation usually increases in the downstream direction.

It is also possible to have a hydraulic jump in the channel because of the outflow, as illustrated in Fig. 4. The possible occurrence of the jump depends on the hydraulics of the outflow and does not require supercritical flow in the channel upstream of the weir.

Since the calculation of water surface profiles for subcritical flows depends on knowing a downstream boundary condition (water depth), it is impossible to correctly calculate the depths and water surface profile in the channel upstream of the weir without first considering the details of the flow over the weir and the type of profile which exists at the weir.

In general, the side weir discharge per unit length of the weir can be written as:

$$\frac{dQ}{dx} = C_d \frac{2}{3}\sqrt{2g}h^{3/2} \tag{1}$$

where Q is the discharge, g is the gravitational acceleration, and h is the water depth above the weir crest at any point along the weir. C_d is the discharge coefficient which may be constant or variable along the weir. This coefficient can thus be defined as:

$$C_d = \frac{3}{2}\frac{Q}{\sqrt{2g}.\int_{x=0}^{L} h^{3/2}dx} \tag{2}$$

where L is the length of the side weir.

In cases of subcritical and supercritical flows without hydraulic jump, the discharge coefficient can be approximated by the following expression:

$$C_d = \frac{3}{2}\frac{Q}{\sqrt{2gh_e}.\left(\frac{h_u + h_d}{2}\right)L} \tag{3}$$

where h_u and h_d are respectively the upstream and downstream water depth above the side weir. h_e is the upstream water depth above the side weir in supercritical flow and the downstream water depth above the side weir in subcritical flow.

Therefore, this study focuses on the use of the video monitoring technique in order to better understand the hydraulic behaviour of side weirs and to allow an accur-

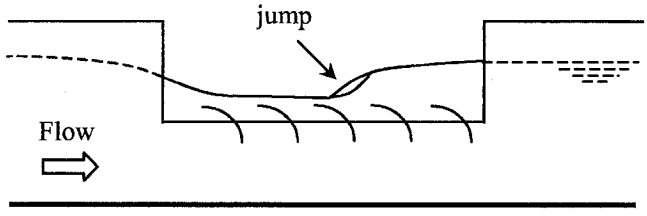


Fig. 4. Jump due to side discharge with subcritical flow upstream and downstream.

ate estimation of the discharge coefficient according to real flow conditions near the side weir. This can be achieved either, where the water depth above the weir crest is known only at upstream and downstream of the side weir, or at any point along the weir.

4. Material and methods

As shown previously, the main goal of this study is to bring out from the acquired images the significant characteristics of the hydraulic behaviour of the side weir. This can be achieved by exploiting the image processing tools. Usually, after a preliminary image preparation (contrast adjustment and histogram equalization), the image processing procedure includes three main steps, as explained by Canning et al. [9], Cocquerez et al. [10] and Marcel et al. [11].

4.1. Image smoothing

This operation is applied in order to reduce noise and to prepare the image for further processing such as segmentation. The technique used is known as low-pass filtering. A linear filtering has been chosen. In this case, the pixel transformation is the result of a linear combination of the neighbour pixels. For a rectangular filter (3 × 3), this method consists in considering each point in the image and to make its intensity as being the average of the eight neighbour pixel intensities. The output pixel intensity is given by:

$$I_o(x,y) = \sum_{i=-1}^{1}\sum_{j=-1}^{1} H_1(i+1,j+1).I_i(x+i,y+j) \qquad (4)$$

$$H_1 = \frac{1}{9}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

where x and y are respectively, the horizontal and vertical position of the current pixel (central pixel), I_i its input intensity, I_o its output intensity and H_1 is a rectangular filter (3 × 3).

4.2. Image segmentation

This is an operation of edge finding using a differential method. This method comprises the convolution of the smoothed image by a two-dimensional Laplacian filter. The output intensity of the current pixel is given by:

$$I_o(x,y) = \sum_{i=-1}^{1}\sum_{j=-1}^{1} L(i+1,j+1).I_i(x+i,y+j) \qquad (5)$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

where L is a two-dimensional Laplacian filter (square filter 3 × 3).

4.3. Image binarization

The next stage of the image processing is the binarization. This operation allows to reduce the needed memory for the data filing. With the binarization, the pixel is coded 0 or 1 (black or white), instead of being coded on 24 bits in color image.

5. Qualitative results

The experimental follow-up of the installation for more than fifteen months highlights the reliability of the equipments and their ability to receive important water masses without any risk of deterioration. The images illustrated in Fig. 5 which are extracted from the recorded overflow (September 7, 2002) reveal the high quality of the acquired results.

6. Quantitative results

Edge finding by a two-dimensional Laplacien filter, whose results are exposed in Fig. 6, is very sensitive to noise, and the fact of being preceded by a low-pass filtering could not solve the problem. Indeed, many undesirable marks appear in the binarization phase which are probably due to the light reflection on the overflowing sheet. For that reason, suitable algorithms were thus developed in order to improve the quality of the final results and to bring out the significant characteristics from the acquired images.

6.1. Developed approach

This strategy consists first in the definition of the area of interest. This step will enable us to draw side weir overflow boundaries and to considerably reduce the necessary time for the image processing.

The next step will be the edge finding which can be defined as an abrupt variation of pixel intensities. The method consists in taking place within the previously defined area in the input image, and to consider a neighbourhood of eight connections (a rectangular window 3 × 3 pixels). By scanning this area, the central pixel is assumed as a pixel of contour when the difference of

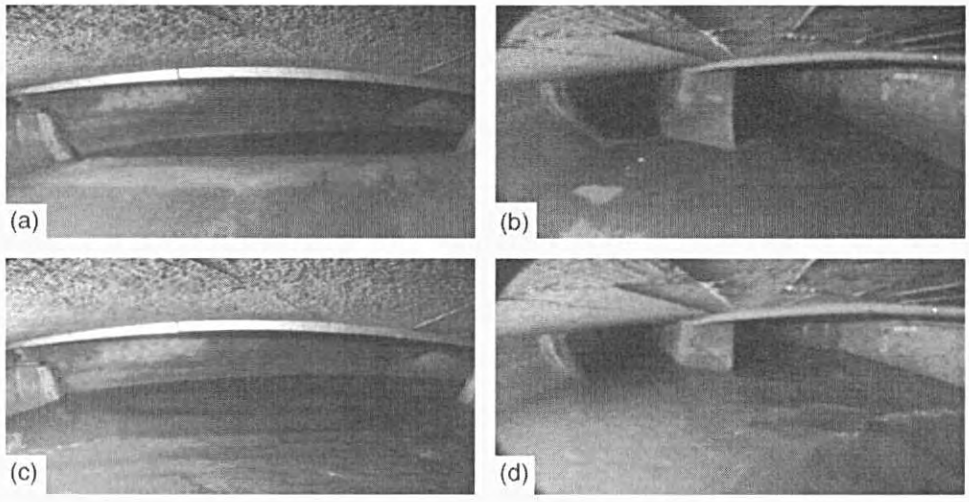


Fig. 5. The overflow structure in dry weather: (a) camera 1, (b) camera 2 and wet weather conditions: (c) camera 1, (d) camera 2.

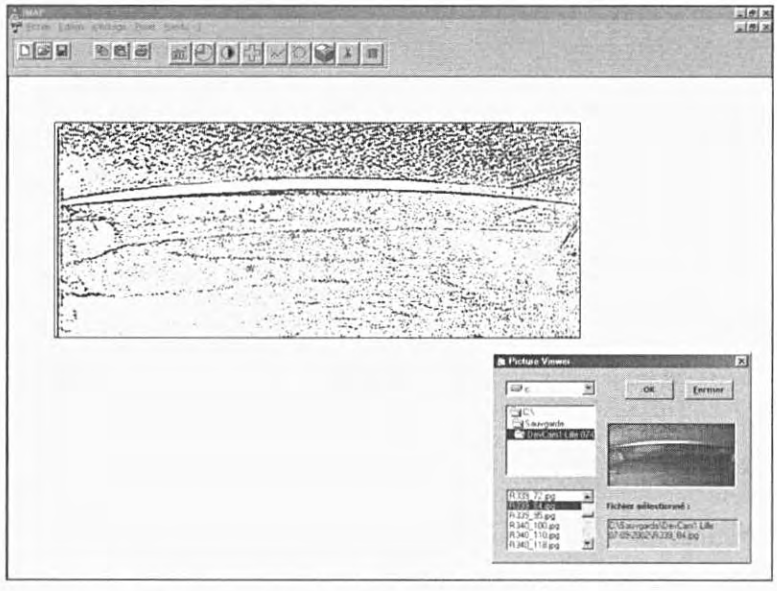


Fig. 6. Image processing results according to the usual procedure.

intensity between two opposed pixels of its neighbourhood exceeds a certain value. This value is fixed according to the image contrast, as reported by Young et al. [12]. The implemented approach notably reduces the complexity of the image analysis process and produces contours with only one pixel of thickness. The results of this approach are demonstrated in Fig. 7.

The final step of this process is feature extractions. After carrying out the necessary transformations, the implemented procedure allows to display upstream (right side in Fig. 7) and downstream (left side in Fig. 7) water levels on the side weir and to approach the surface profile, as illustrated in Fig. 7.

The analysis of the side weir overflow behaviour revealed that during all the discharge periods, the downstream water level remains higher than the upstream water level. Besides, this variation exceeds 100% in the flood period. This configuration is not so much due to the presence of a suspended veil as to its shape which causes a strong flow dissymmetry.

6.2. *Improvement of the concept efficiency*

One of our major concerns in this experimentation is to be able to redraw the surface profile on the side weir. The acquired results at this stage led us to plan complementary investments to improve the effectiveness of the developed concept.

After a test series carried out in the laboratory, the choice is directed to the use of optical fiber as a lighting system whose results are proved satisfactory. The system comprises a halogenous source, a light line of 0.40m

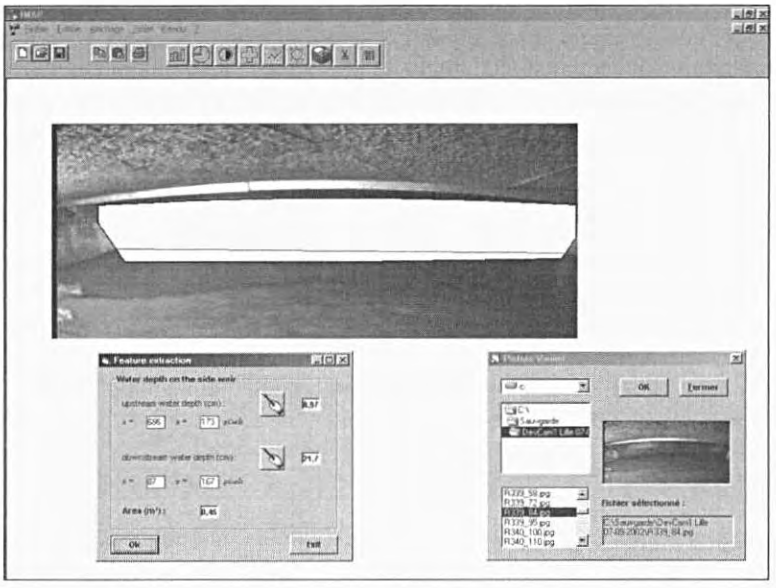


Fig. 7. Image processing results according to the new approach.

in length and a focusing lens. The principle consists in projecting on the water surface a line allowing to follow overflowing sheet variations without being, however, entirely diffused. The important slope variation in the connecting chamber reveals a hydraulic jump in the middle and water waves near the multiple fork. This place was chosen for the new system installation. Like the recorder, the system is only engaged when a signal sent by the overflow detector is received.

The different steps for the image processing followed here are those described above. The advantage of such a system is its ability to redraw the overflowing sheet variations. In this manner, water depths can be given at any point of the water surface, once the section is defined. The results exposed in Fig. 8, correspond to water depths in different points taken at 0.1 m intervals.

6.3. Relative uncertainty on water depth measurement

In order to highlight the effectiveness of the adopted technique, it was decided to evaluate the uncertainty associated with water depth measurements by such an approach. In limnimetry, the study of Roux et al. [13] shows that, after statistical analysis of on-site calibration results of a piezometric level sensor, the resulting uncertainty corresponding to a confidence level of 95% is equal to ±0.03 m. In our case, this uncertainty is reduced to a water depth equivalent to one pixel. Consider an interior contour or an external contour, the uncertainty is evaluated at ±0.009 m. In both cases, the absolute uncertainty value ($\Delta H = \pm$ 0.03 m and $\Delta H = \pm$ 0.009 m) can be transformed into relative uncertainty ($\Delta H/H$) and represented graphically as shown in Fig. 9.

It appears that ($\Delta H/H$) tends to infinity when water depth tends to zero, and tends to zero for infinite water depths. Fig. 9 also shows that in the case of the developed approach, relative uncertainty becomes lower than 10% when water depth exceeds 0.10 m. However, to reach the same relative uncertainty value by limnimetry the water depth should exceed 0.30 m. This result enables us to confirm the efficiency of the adopted technique for surface profile definition.

7. Conclusion

The video monitoring technique implemented in this study highlights the efficiency of such an approach for side weir overflow functioning analysis and modelling. From the qualitative aspect, thanks to the equipment reliability, this approach allows a better understanding of the hydraulic behaviour of overflow structures and a real-time prevention of possible hydraulic failure.

From the quantitative aspect, the joint use of a suitable lighting system and most appropriate image processing tools has given us the opportunity to bring out the relevant characteristics of the side weir overflow functioning. In this manner, water depth at any point along the side weir can be defined and the surface profile can be redrawn. This is an asset to achieve a better calibration of the existing models according to real flow conditions.

The adopted procedure was established within a compromise between the result quality and the operation cost. Thanks to its reliability, ease to implement and low cost (about 7500 US$), the developed concept can be easily extended to many sites with various geometric and hydraulic configurations.

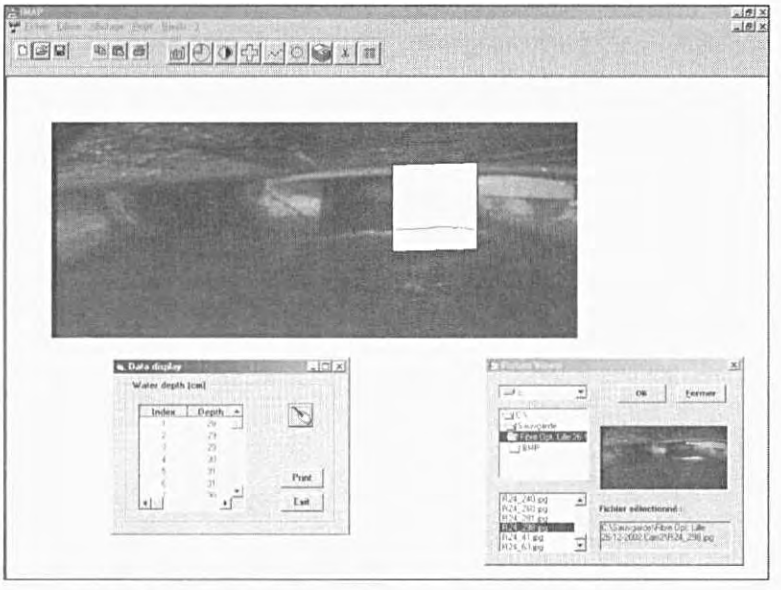


Fig. 8. The acquired results from the application of the new lighting system.

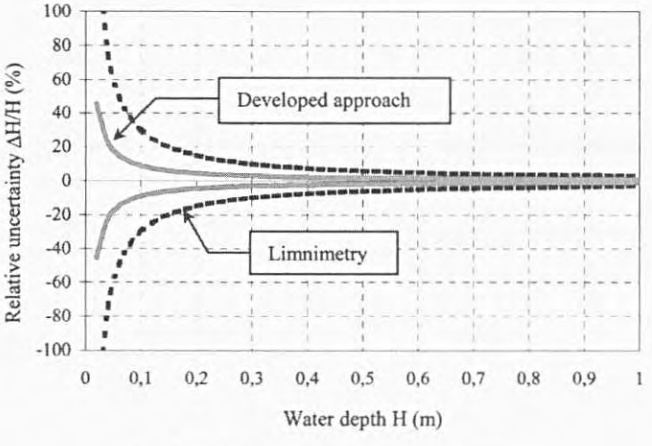


Fig. 9. Relative uncertainty evaluation.

8. Acknowledgements

The authors are grateful to the Lille Urban Community for their financial support. The authors also thank the SOVEP Company responsible for the installation, the adjustment and the maintenance of the experimental site equipment.

References

[1] G. De Marchi, Essay on the performance of lateral weirs, L'Energia Ellectrica, Milan 11 (11) (1934) 849.
[2] W. Frazer, The behaviour of side weirs in prismatic rectangular channels, Proceedings of the Institute of Civil Engineers 6 (1957) 305–327.
[3] F.M. Henderson, Open Channel Flow, MacMillan, New York, 1966.
[4] L. El Khashab, K.V.H. Smith, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of the Hydraulics Division ASCE 102 (1976) HY9.
[5] W. James, H. Mitri, General algorithm for side weir overflow and diversion structures from combined sewer systems, in: Proceedings of the SWMM user's group meeting, Austin, TX, 1981.
[6] W.H. Hager, Lateral outflow over side weirs, Journal of Hydraulic Engineering 113 (4) (1987) 491–504.
[7] K.A. Tynes, Hydraulics of side-channel weirs for regional detention basins. University of Texas at Austin, Masters thesis, 1989.
[8] J.L.B. Krajewski, D. Laplace, C. Joannis, G. Chebbo, Mesures en hydrologie urbaine et assainissement, Lavoisier Tec & Doc, Paris, 2000.
[9] P. Canning, K. She, J. Morfett, Application of video imaging to water wave analysis, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Hydro-Science and Engineering, on CD-ROM, Advances in Hydro-Science and Engineering, Cottbus, Berlin, 1998.
[10] J.P. Cocquerez, S. Philipp, Analyse d'image: filtrage et segmentation, Masson, Paris, 1995.
[11] B. Marcel, M. Cattoen, Détection de contours et de lignes dans les procédures de bas-niveau, in: Third Workshop on Electronic Control and measuring systems, Toulouse, France, juin 2–3, 1997.
[12] I.T. Young, J.J. Gerbrands, L.J. Van Vliet, Image Processing Fundamentals. Dept of Applied Physics, Delf University of Technology, 1996. http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/frames/fip.html.
[13] C. Roux, A. Viola, Analyse statistique des écarts à l'étalonnage des capteurs de niveau piézométrique, in: Actes de conférence SHF-GRAIE : Autosurveillance et mesures en réseau d'assainissement, Lyon, France, 5 et 6 Décembre 2000, pp. 103–110.

여 백

LADAR-based Pipeline Inspection and Location

I. Kwak, A. Morris, D. Silver, E. Kratzer, N. Vandapel and S. Thayer
RedZone Robotics, Inc.
484 W. Seventh Avenue
Homestead, PA 15218
Phone: 412-476-8980 x 248
Fax: 412-476-8981

Abstract

Laser Radar (LADAR) enables a new generation of quantitative pipeline inspection techniques. These techniques differ from traditional inspection techniques including Closed Circuit Television (CCTV) and laser profiling systems by capturing 3-D range images that encode the local three-dimensional (3D) structure of the inspected pipeline. Individual range images thus obtained can be processed and integrated into a high-resolution geometric model of the inspected pipeline. Once the integrated pipeline model is assembled, techniques from 3-D computer vision and computational perception produce quantitative answers to pipe location, integrity, and performance questions. Three separate case studies that employed LADAR in quantitative pipeline inspection operations are presented: estimation of the effects of relining on pipe transport capacity within a culvert system, estimation of corrosion in Pre Cast Concrete Pipes (PCCP) and geo-location of two parallel segments of brick-lined sewer. In each case, an overview of the approach to data acquisition, processing, and sample results are provided.

I. Introduction

A periodic program of sewer inspections is necessary to determine pipe condition and prioritize maintenance to preserve integrity of public utilities (EPA, 1999). Leaks, clogs or collapses can disrupt services and in the most severe cases result in significant damage to the environment and economy of affected communities. The most common forms of sewer inspections employ trained operators armed with CCTV cameras in order to identify and grade pipe defects. However such inspections rely on inspection vigilance and do not produce a quantitative description of pipe condition. Furthermore, image-based inspection systems, such as CCTV, cannot produce rigorous cross-sectional analysis, three-dimensional representation of pipe features, or pipe location information.

In this paper, we present a unique combination of components for quantitative pipeline inspection: a robust mobile platform, called Responder (Figure 1), a sensor suite that includes a 3-D laser scanner, and 3-D data processing techniques derived from computer vision and computational perception (Horn, 1986) (Russell, 1995). The geometric integration and processing of 3-D point clouds rely on state-of-the-art techniques (O'Neill, 1997) (Hartley, 2000). In addition, using Redzone analytics, 3-D geometric models of pipes can be reconstructed and used to produce quantitative answers to pipe location, integrity, and performance questions.

Copyright ASCE 2007



Figure 1: The Responder Robotic Platform



Figure 2: Deployment of Responder

Three separate case studies that employed LADAR in quantitative pipeline inspection operations are presented. In the first case study, the LADAR was employed to estimate the effects of relining on pipe transport capacity within a culvert system. The second case study details the use of LADAR sensing in the precision estimation of corrosion in PCCP pipes. The last case examines the use of LADAR in the geo-location of two parallel segments of brick-lined sewers. In each case, the basic approach to data acquisition, processing, analysis, and project outcomes is presented.

The rest of this paper is organized as follows: Section II presents the Robotic platform developed, Section III, IV, and V detail the three different applications mentioned above. Section VI concludes this paper.

II. The Responder Robotic Platform

RedZone's Responder robot platform (Figure 1) features a 4 HP hydraulic drive motor, low-profile tracks, and skid-steering with independent track control. It can produce over 35 KN of force to pull its steel armored umbilical cables from a semi-automated control reel. It weighs 270 kg and has a volume profile of 58 cm W x 96 cm L x 51 cm H. It can be equipped with various work attachments such as sediment resuspension, sampling, and emergency response tools. The platform's maximum operating depth is 150 meters and can survey nearly 7 kilometers of pipes from a single access point with a maximum speed of 12 m/min in its standard configuration.

For comprehensive pipe inspections Responder can be equipped with a sensor suite which includes a multi-frequency sonar, PTZ CCTV camera, high-resolution imager, multi-gas logger, as well as a 3-D laser scanner. Sensors can be mounted on a turret capable of 360° motion range. Additional sensors can be easily integrated via Responder's Electronics Box (E-Box) which provides a range of expansion ports.

Responder is designed to be deployed from a standard manhole (Figure 2). It can operate with a full suite of inspection sensors in pipes 92 cm and above, either charged, partially charged or dry.

Responder is outfitted with a three dimensional laser scanning system. This system was used in each of the three subject case studies. A scan-line laser is centrally rotated, producing a hemispheric scan as illustrated in Figure 3. This means of scanning is advantaged over 2-D laser-profiling systems where a single cross section is obtained. The significance of the advantage is detailed in the case studies.

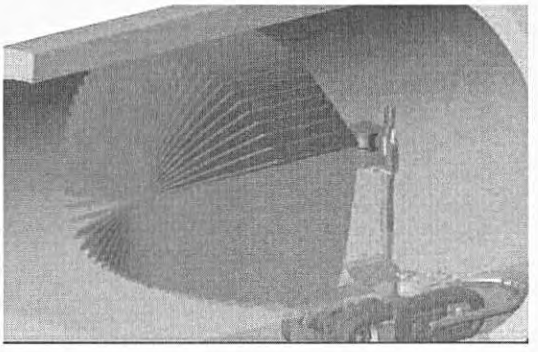


Figure 3: Laser scanner deployed

The first case presents the advantages of 3-D laser scanning when applied to pipe cross-sectional analysis problems.

III. Application to the study of lining on pipe capacity

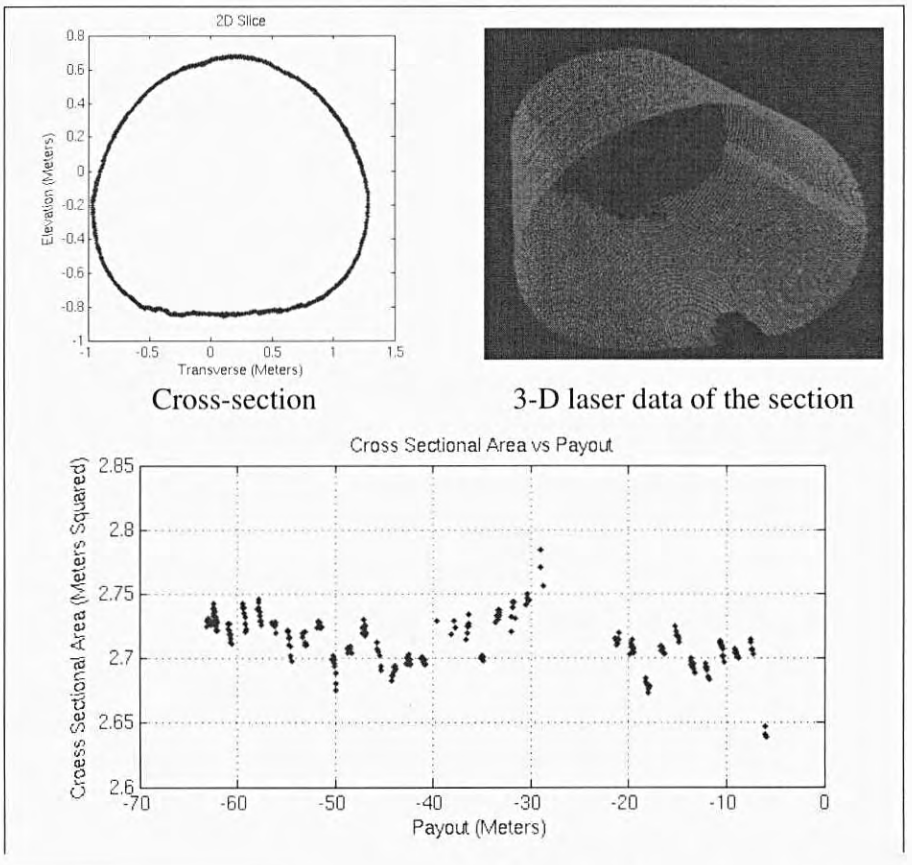
As mentioned in section II, three dimensional laser scanning is able to efficiently and inexpensively provide precision cross sectional area and perimeter measurements within a broad range of pipe shapes and sizes. This first case study outlines a laser-based inspection of a culvert to estimate the effects of relining on transport capacity. The approach to computing transport capacity utilized the Manning Equation (Chaudhry, 1993) to calculate the open-channel flows. As can be seen in Equation 1, flow calculations are highly sensitive to the accuracy of area, A, and wetted perimeter, P. Customer specification required one sigma area and perimeter with mean error of no more than 1.5%.

$$\text{(Eq. 1)} \quad Q = A\frac{k}{n}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

The relined culvert presented an egg-shaped, elliptical cross section (approximately 1.5 x 2.3 meters) and was nearly 60 meters in length. Accurate calculation of transport capacity required obtaining area and perimeter estimates in 0.3 meter increments over the entire 60 meter expanse. Responder was outfitted with the scanning laser (approximately centered) and deployed to acquire the required 200 precision 3-D laser scans (one scan for each 0.3 m increment). From each individual

scan, a composite perimeter and area estimate was synthesized after pipe axis computation, laser data realignment, and correction for occlusion of the pipe invert[1].

An example scan collected by Responder is shown in Figure 4 (top right). Two-dimensional cross sections, such as the one from Figure 4 (top left) were extracted from calibrated and registered 3D scans. Due to the uncertainty associated with fabrication and liner installation and the variable cross-section, accurate as-built perimeter and area function was not known. However, standard convex hulling algorithms were applied to the cross sections to calculate area and perimeter. The collected cross section areas (Figure 4, middle) and perimeters (Figure 4, bottom) were delivered to contractors for analysis.



[1] There was a small amount of water in the pipe and requiring manual measurements the water column at various locations within each scan.

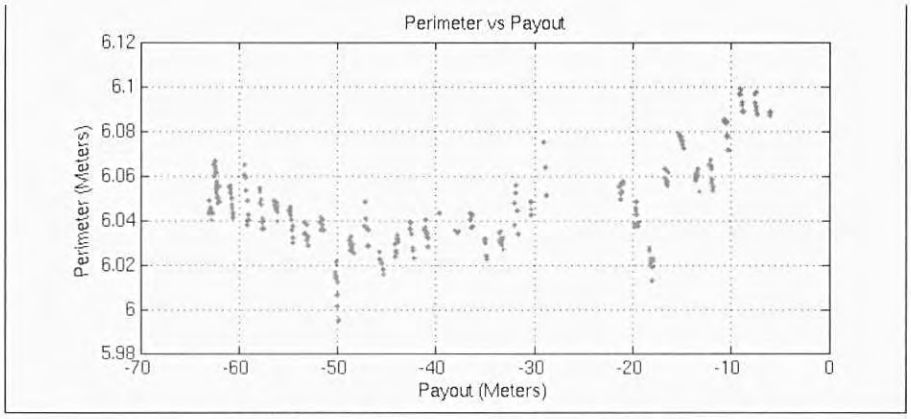


Figure 4: Results on the lining influence on the pipe capacity.

While the results of the hydraulic analysis are proprietary and outside the purview of this paper, the accuracy of the areas and perimeter estimation techniques were verified on pipes of known area and perimeter. As shown in Table 1, the estimation techniques easily satisfy the 1.5%, single sigma average error requirement.

Scan Attempt	Expected Area (Meters Squared)	Mean Area (Meters Squared)	Standard Deviation
1	1.5077	1.5069	0.0003
2	1.5077	1.5050	0.0004
3	1.5077	1.4965	0.0008
4	1.5077	1.5049	0.0007
5	1.5077	1.5040	0.0007
6	1.5077	1.5021	0.0007

Table 1: Measured areas for test pipe.

The presented case study provides superior results in cross-sectional analysis (area, perimeter, ovality, eccentricity, etc.) over those possible with 2-D laser profilers. The primary reason for this improvement is that 2-D profilers implicitly assume that the profile is perpendicular to the central axis of the pipe. If this constraint is violated, i.e. the perpendicularity is off by even a few degrees, the cross-section is corrupted. Three-dimensional scans are immune to this problem, since cross-sections that are perpendicular to the pipe axis can always be obtained. The superior priorities of 3-D laser data are exploited in the next section in a pipe corrosion application.

Copyright ASCE 2007

IV. Application To Pipe Corrosion Evaluation

The second case overviews the use of 3-D laser scanning in the measurement of pipe material loss (corrosion) and gain (buildup). CCTV and other image-based inspection technologies provide subjective, visual estimations of material loss or gain (see Figure 5 top). As an example, estimates of material loss have been made from CCTV images of exposed rebar by estimating the rebar depth from the as-built drawings and inferring material loss accordingly. However, such cases are rare and CCTV images are ambiguous with respect to dimension. In particular, CCTV images do not provide the means to make quantitative measurements of either corrosion or buildup.

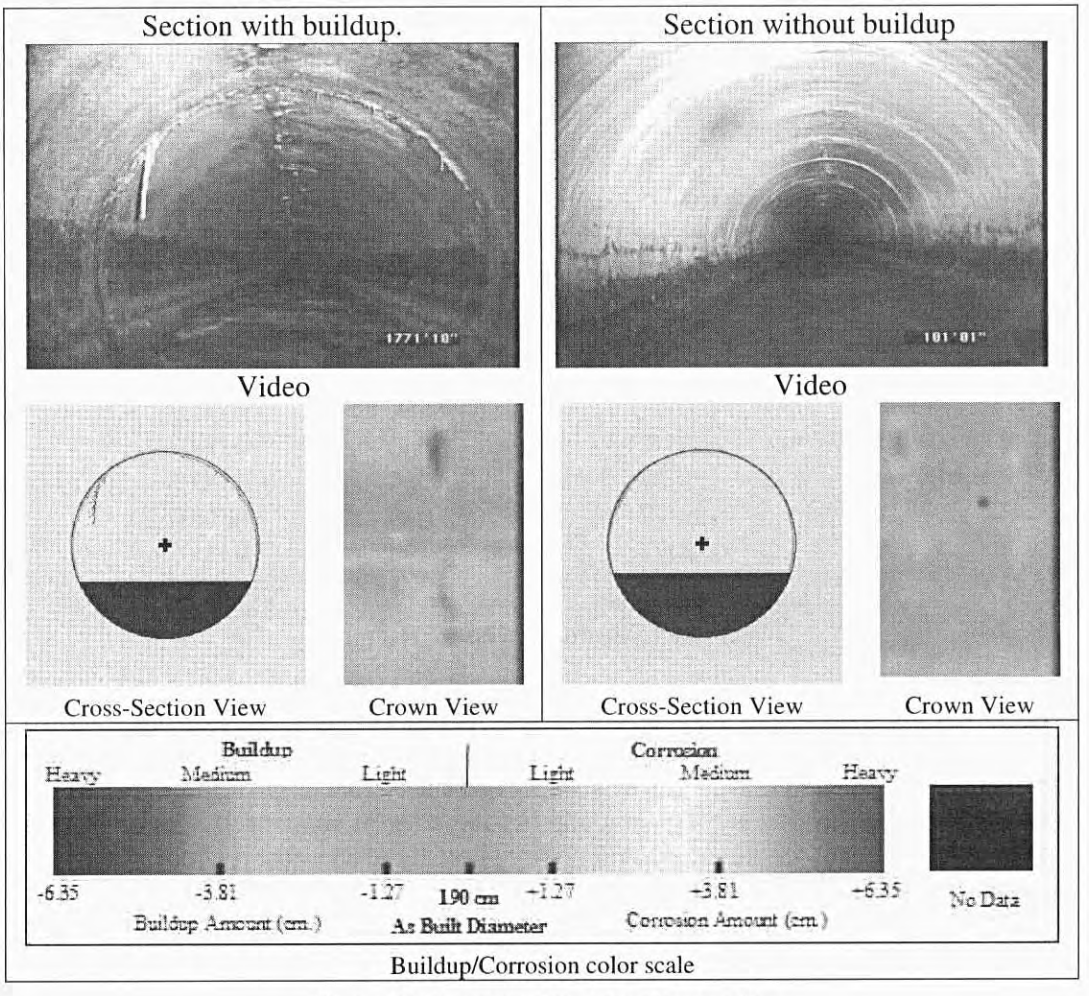


Figure 5: Pipe corrosion evaluation results.

Responder's 3-D scanning LADAR system was employed within a segment of concrete pipe that was 1.9 meters in diameter and over 790 meters in length. Within this segment, 3-D snapshots where acquired at approximately 5 meter intervals in order to provide full inspection coverage. Post acquisition analytics operate on

acquired laser data to compute the pipe axis, correct for sensor alignment issues, and derive pipe coordinates frames. After alignment, additional analytics convert calibrated data in to quantitative cross-section (Figure 5, middle left) and crown corrosion (Figure 5, middle right) views.

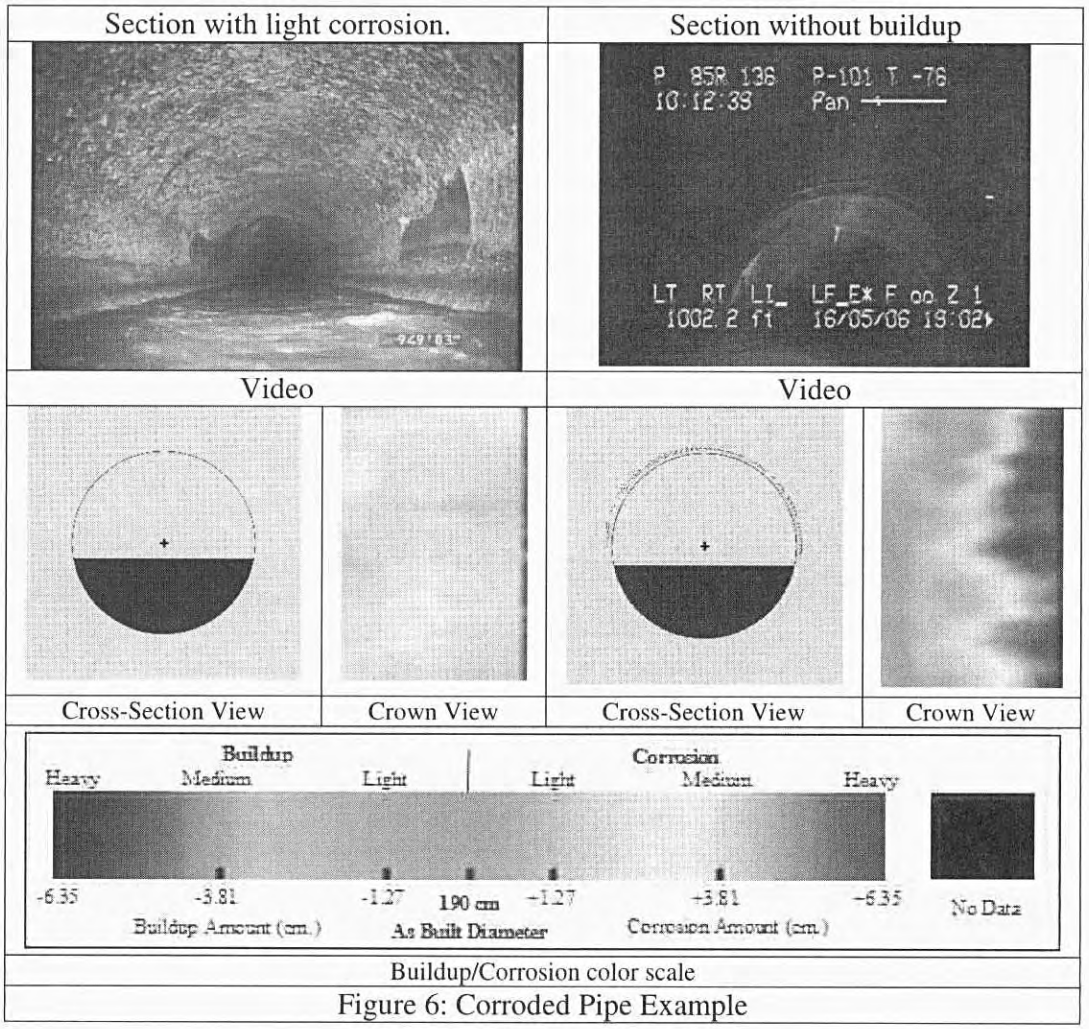


Figure 6: Corroded Pipe Example

Due to the length of pipe inspected, it was important to automatically and visually highlight areas of interest and concern. Quantitative corrosion and build up maps are colored (Figure 6, bottom) to highlight deviations from as-built or expected pipe conditions. Yellow, Orange, and Red coloring indicates that the wall is increasingly further away from the center of the pipe than expected - highlighting material loss or corrosion. Aqua and Blue coloring indicates that the wall is increasingly closer to the center of the pipe than expected - highlighting material gain or buildup. Green coloring indicates that the wall is at an expected distance from the center of the pipe. For example, the root intrusion shown in Figure 5 is easily identified from the CCTV images and easily measured using the cross-section maps.

Copyright ASCE 2007

In Figure 6 (middle, left) there is an approximately uniform loss of concrete on each of clocking angles. Loss of pipe material is noticeable in the video screen capture (Figure 6, top left) but the amount of pipe loss is nearly impossible to estimate with CCTV imagery. Nevertheless, material loss is accurately measured with the cross-section view (Figure 6, bottom left) and crown view corrosion (Figure 6, bottom right) maps.

Another provided representation of material loss/gain is as a graph of average pipe diameter versus relative location within the pipe (Figure 7). This graph highlights areas of advanced corrosion and buildup that warrant further inspection in cross-section or crown views.

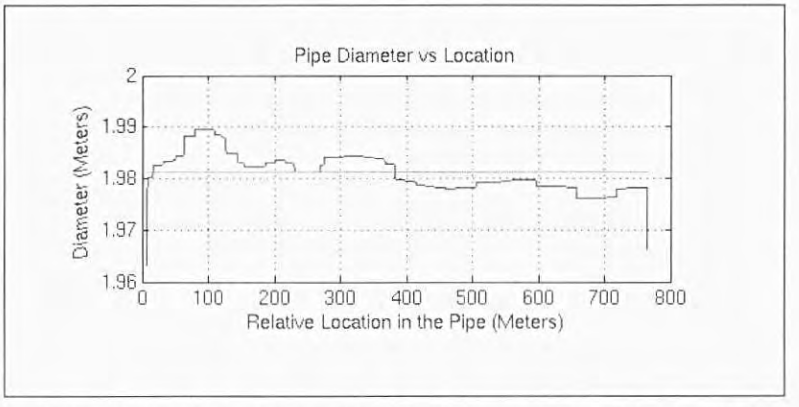


Figure 7: Example Average Pipe Diameter versus Relative Location

The second case provided a brief overview of the use of 3-D Laser scanning in the estimation of pipe corrosion and buildups. Similar to the first case study, 3-D laser scanning provides superior results due to the elimination of sensor alignment problems. The third and final exploration of laser technology in the paper applies 3-D laser data to a pipe geo-location problem.

V. Application to Geo -location of Parallel Pipes

The penultimate use of LADAR technology is in the geo-location of buried infrastructure. The final case study presents the location of parallel sewer pipes near a construction site in order to prevent accidental damage during excavation. The pipes ran adjacent and beneath a system of railroad track and complex of abandoned surface structures. Various design drawings and surveying documents (see Figure 8) were available but they were inconsistent, dated (late 1800's), known to be inaccurate, and insufficient for planning site excavation and construction to avoid damaging the sewer system.

Copyright ASCE 2007



Figure 8: Expected position of parallel Belgian block storm sewer lines.

Pipe construction was Belgian blocks with horseshoe cross section of heights 2.7 and 1.8 meter and extended 345 m and 123 m in length, respectively. While the segments were parallel for a portion of the plan view, they were composed of three approximately piece-wise linear segments separated by two elbows - highlighted in red within Figure 8.

Each pipe segment was delimited by two manholes that provided GPS coordinates, survey references, and deployment access to Responder. Three-dimensional laser snapshots (see Figures 9 and 10) were acquired at regular intervals to compliment the continuous acquisition of vehicle position data.

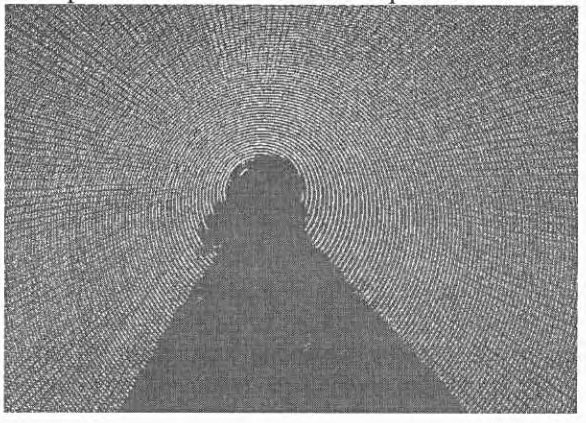


Figure 9: Example of featureless laser scan

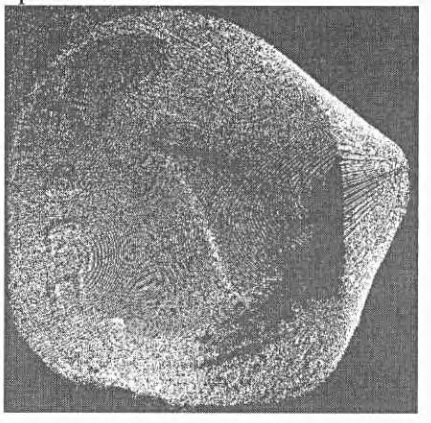


Figure 10: Example of laser scan near a man hole

Accurate geo-location for excavation planning required the fusion of multiple position estimation techniques in order to meet the location constraints (approximately one pipe diameter) data over the length of the inspection. The first technique relied on standard "dead-reckoning techniques" (Chung, 2001). Dead-reckoning relies on the use of orientation (roll, pitch, and yaw) and odometer information (umbilical length) to reconstruct the position of the pipe. This method is know to accumulate error and is particularly vulnerable at bend locations where umbilical position is highly variable.

Copyright ASCE 2007

The second approach relies on the co registration of three-dimensional LADAR snapshots from consecutive scans using the Iterative Closest Point (ICP) algorithm (Rusinkiewicz, 2001). This approach is also known to accumulate errors but is particularly sensitive to the lack of features in the linear section of the pipe, as shown in Figure 9. However, it proves accurate in feature rich areas of the pipe such as man-hole locations (Figure 10), pipe junctions, and at the elbows.

Position estimates were derived from a fusion of both approaches and the location of the manholes to estimate the pipe locations as presented in Figure 11. Careful digging was undertaken at various locations and confirmed the pipe position with enough accuracy to avoid damage during construction as intended.

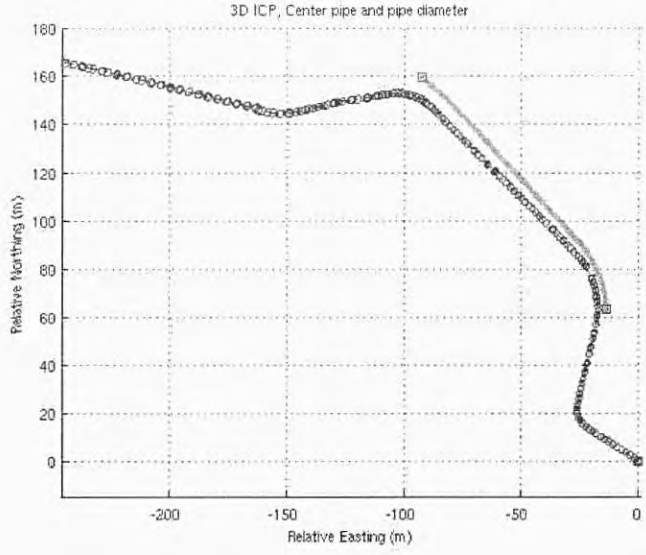


Figure 11: Pipes estimated location

In this section we presented the use of Responder for the geo-location of two parallel pipes. The use of point cloud registration techniques allowed us to produce an accurate 3D reconstruction over hundreds of meters of pipe.

VI. Conclusion

In this paper, we presented a pipeline inspection system composed of three unique components: a robust mobile platform, a 3-D LADAR scanner, and innovative data processing techniques. We also presented three case studies that highlight the unique quality of 3-D LADAR to produce quantifiable pipe inspections with superior accuracy than is possible with 2-D profiling lasers. The first case study employed LADAR to recover cross-sectional areas and wetted perimeter estimates to compute open flow pipe transport capacity. The second utilized LADAR to estimate corrosion and buildup in PCCP pipe to prioritize maintenance activities within the inspected line. In the final study, LADAR pipe position estimates were fused with standard "dead" reckoning techniques to guide site excavations on a construction site. In each case, 3-D LADAR provides the precision geometric and structural data that is

complementary to standard inspection methods, such as CCTV, and offers a new suite of precision diagnostic tools for pipe inspection and maintenance operations.

VII. REFERENCES

(EPA, 1999) Environmental Protection Agency, Collection Systems O & M Fact Sheet, EPA 832-F-99-031, September 1999

(Chaudhry, 1993) Chaudhry, M. H. Open-Channel Flow. Prentice-Hall, Inc., 1993.

(Lightman, 2006] Lightman, A. (2006). "Sewer Assessment in Fort Worth, Texas". Trenchless Technology, January.

(Rusinkiewicz , 2001) S. Rusinkiewicz and M. Levoy. Efficient Variants of the ICP Algorithm. Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, 2001.

(Chung, 2001) H. Chung, L. Ojeda, and J. Borenstein, "Sensor fusion for Mobile Robot Dead-reckoning with a Precisoion-calibration Fiber Optic Gyroscope" In IEEE ICRA, pages 3588-393, Seoul, Korea, May 21-26, 2001.

(Horn, 1986) B. K. P. Horn, Robot Vision, MIT Press, Cambride, Massachusetts, 1986.

(Russell, 1995) S. Russel and P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

(O'Neill, 1997) B. O'Neill, Elementary Differential Geometry, Academic Press, San Diego, CA, 1997.

(Hartley, 2000) R. Hartley and A. Zisserman, Multi-View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

여 백

International Journal on Artificial Intelligence Tools
Vol. 16, No. 4 (2007) 611–625
© World Scientific Publishing Company

World Scientific
www.worldscientific.com

NAVIGATION OF AN AUTONOMOUS SEWER INSPECTION ROBOT BASED ON STEREO CAMERA IMAGES AND LASER SCANNER DATA

ALIREZA AHRARY[1,3], LI TIAN[2], SEI-ICHIRO KAMATA[2] and MASUMI ISHIKAWA[3]

[1]*FAIS-Robotics Research Institute*
2-1 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu 808-0196, Japan
[2]*Graduate School of Information, Production and System, Waseda University*
2-7 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu 808-0135, Japan
[3]*Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology*
2-4 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu 808-0196, Japan
ali@ksrp.or.jp, tianli@ruri.waseda.jp, kam@waseda.jp, ishikawa@brain.kyutech.ac.jp

Sewer environment is composed of cylindrical pipes, in which only a few landmarks such as manholes, inlets and pipe joints are available for localization. This paper presents a method for navigation of an autonomous sewer inspection robot in a sewer pipe system based on detection of landmarks. In this method, location of an autonomous sewer inspection robot in the sewer pipe system is estimated from stereo camera images. The laser scanner data are also used to ensure accurate localization of the landmarks and reduce the error in distance estimation by image processing. The method is implemented and evaluated in a sewer pipe test field using a prototype robot, demonstrating its effectiveness.

Keywords: Autonomous; sewer inspection; robot navigation; stereo matching; laser scanner; sewer pipe system.

1. Introduction

Pipe walls in sewer systems are prone to be damaged due to aging, traffic and chemical reactions, causing rainwater and groundwater seep into pipe systems. Regional city government reports[1] state that this inflow amounts to approximately 30 percent of the total water flow. In addition to the inflow, outflow from damaged systems also occurs, contaminating the surrounding environment.[2–4]

Currently, inspection is carried out using a cable-tethered robot with an onboard video camera system. An operator remotely controls the movement of the robot and the video system. By this video-supported visual inspection, any noticeable damages or abnormalities are recorded. The reliability of this system depends on the experience of an operator. Therefore, the current manual inspection system is tedious and erroneous.

To ameliorate this difficulty, an autonomous and real-time sewer inspection robot is desired for identifying and extracting faulty areas. One of the central issues

in developing an autonomous sewer robot is its navigation. Detecting landmarks such as manholes, inlets and joints in a sewer pipe system is an important task in navigation. In this paper, we propose a method for detecting landmarks and estimating the location of a mobile robot based on stereo camera images and laser scanner data.

Various methods have been proposed for the detection of landmarks. Hertzberg and Kirchner conducted experiments on navigation of a sewer robot in a dry sewer test field at GMD, Sankt Augustin.[5] They succeeded in detecting local features by ultrasonic sensors. The detected landmarks were then scanned by a different, pivoted ultrasonic transducer. Finally, local features obtained by the scanner are classified using a specially trained artificial neural network. Although this method has a high rate of classification (75 out of 81 samples), it lacks the capability of locating an individual manhole.

Schonherr *et al.*[6] proposed a pivoted ultrasonic transducer that permanently scans the walls of the upper half section of pipes for detecting inlet. This procedure is time consuming. Paletta *et al.* proposed a method for detecting inlets from grayscale images taken by an onboard CCD camera.[7] Although it involves a time consuming training phase, the detection of inlets by trained neural networks is fast.

In a real sewer pipe system, a robot is required to explore unknown sewer area during the training phase. This property of time consuming training is undesirable from a practical point of view. To automatically detect damages in sewer pipes, Campbell *et al.*[8] and Clarke[9] proposed pipe profiling methods for 3D reconstruction. Using sensor devices mounted on a teleoperated sewer robot, data evaluation is performed in a stationary surveillance vehicle.

Our method uses stereo camera images and laser scanner data for detecting landmarks. A sewer inspection robot is capable of self localization, which is impossible by the above methods. In our method, the stereo images are captured by a stereo camera at the front of a robot. A fast and accurate stereo matching measure named a linear computation (here after referred to as LC) computes the distance between a sewer inspection robot and a landmark based on the stereo images. We refine the distance by a threshold elimination function. If the distance is less than 10 cm, we check laser scanner data to detect the exact location of the landmark. Finally, information on the locations of a robot and landmarks are used for robot navigation.

The paper is organized as follows. Section 2 gives overview of our sewer pipe system. Then we present our method in detail in Section 3. Section 4 shows experimental results by our method. Section 5 provides conclusions.

2. Sewer Pipe System

Sewers mainly consist of smooth, uniform cylindrical or elliptical pipes. Figure 1 illustrates the sewer pipe construction with the manhole over each pipe-bend, the inlets from houses, and the joints conecting two pipes.

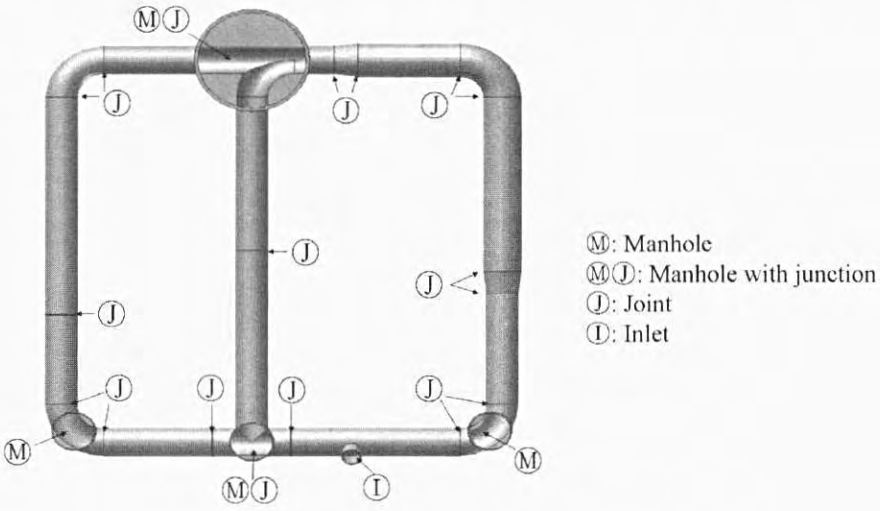
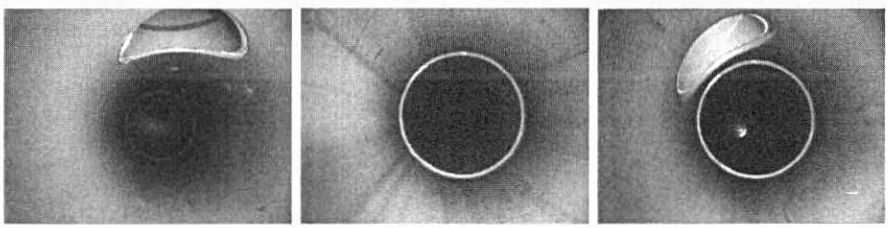


Fig. 1. Landmarks in the sewer pipe system.



(a) The manhole. (b) The joint. (c) The inlet.

Fig. 2. Locations of the landmarks in the sewer images.

For navigation in a sewer pipe system, a robot needs distinctive landmarks. Elements like manholes, inlets and pipe joints are well suited for this purpose. As shown in Fig. 2, manholes are always located in the upper part of the sewer image, while joints and inlets are always in the centeral and upper half of the sewer image. This facilitates the extraction of their positions from the image. The fact that the maximum length of a plastic or ceramic pipe is less than 2m makes capturing landmarks still easier. The resulting map has descriptions on manholes, inlets, pipe joints, the distance between them and so forth.

2.1. *The autonomous sewer inspection robot, KANTARO*

In the conventional sewer inspection, commercially available robots are capable of moving inside of straight pipes, but not capable of passing through pipe-bends such as "curves", "joints" and "T-junctions". Therefore, the design of a robot capable

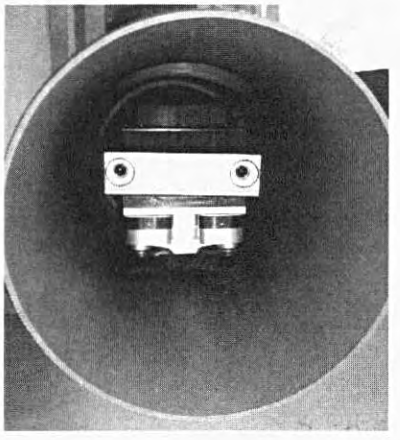


Fig. 3. The prototype autonomous sewer robot, KANTARO.

of moving inside of straight pipes and passing through pipe-bends is expected to bring great progress in sewer inspection industry.

We have designed a compact and novel moving mechanism for sewer inspection robots. The design is based on passive adaptation of robot wheels to the bends in the pipe. This is accomplished by proper adjustment of wheel orientation and passive damping of springs. A single robot with this new moving mechanism can load a controller, electronic devices, motors and sensors, and is capable of passing through any pipe bends, moving inside of different sized pipes and avoiding obstacles without intelligent control using sensors. Figure 3 shows the overview of the prototype autonomous sewer inspection robot, KANTARO.[14]

2.2. *Vision system*

Our sewer inspection robot is designed for checking a sewer pipe system based on sensory data such as stereo camera images and laser scanner data. Obtained data on the sewer system can be used for inspection and navigation. The environment in the pipe is less affected by changes of external light. Lighting condition is controlled by an array of white LEDs around the camera to acquire the best quality image.

2.3. *Laser scanner*

It is difficult to use the conventional laser scanner on mobile robots such as KANTARO because of its size and weight. Therefore, we design the new laser scanner in Fig. 4 for Kantaro. The sensor is mounted on the rear-center of KANTARO and IR beam is emitted from the top of a rotary segment. The microcontroller calculates the distance, the laser scanner angle and so on. Data are transmitted to a computer at the sampling speed of 10 KHz via the network with the maximum transmission rate of 1 Mbps. Figure 5 illustrates the errors in distance measurement. Table 1 describes the specification of the 2D laser scanner.

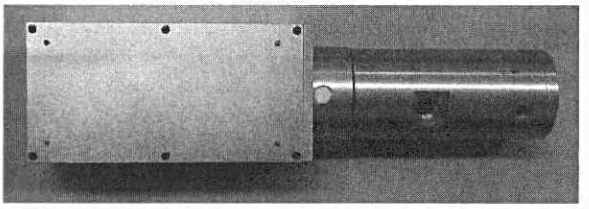


Fig. 4. The newly developed laser scanner.

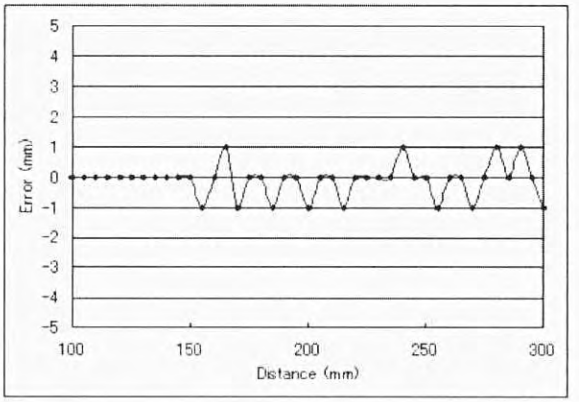


Fig. 5. Errors in distance measurement.

Table 1. Specification of the laser scanner.

Scanning directions	360 degree
Scanning speed	0–1800 (rpm)
Distance range	70–190 (mm)
Accuracy	±1 (mm)
Beam radius	0.5 (mm)
Transmission method	Full duplex serial transmission (2Mbps)
Sampling speed	More than 10 KHZ
Measured signals output	Distance, Scanning angle
weight	200 g
Size	37 × 48 × 166 (mm)
Power	±12V(0.5A) + 5V(1A)

The diameter of the typical manhole is larger than that of the connected pipe by 50 cm, and inlet size is between 10 and 15 cm. Sewer landmarks are not uniformly distributed along the pipe perimeter. Rather, they appear in the upper part, left side and right side of pipes. This allows to restrict the search to the angle width of 15 degrees for each candidate as shown in Fig. 6, and to design the size and position of each scanning window. By full rotation of the laser scanner, the mirror

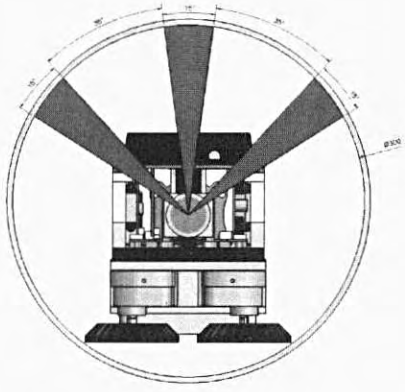


Fig. 6. Scanning directions.

rotates 360 degrees and the distance is measured at the right, top and left scanning windows.

3. Methodology

The proposed method in Fig. 7 is composed of two stages: estimation of the location of a mobile robot and detection of landmarks. Firstly, a stereo sewer image is captured by the stereo camera on KANTARO. Secondly, we extract two rectangular Region of Interest(ROI) images for the manholes, inlets and joints, and detect edges in each ROI image (3.1). Thirdly, a fast and accurate stereo matching measure (LC) is applied to these ROI images to estimate the distances between the robot and landmarks (3.2). Fourthly, we refine the estimated distances using a threshold

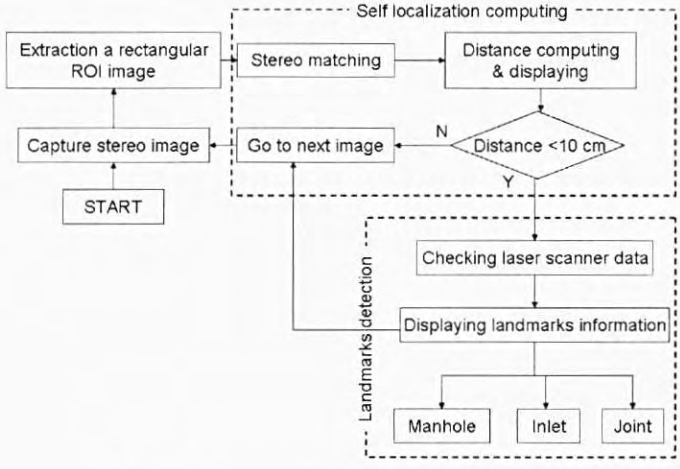


Fig. 7. Overview of the proposed method.

elimination function (3.3). If the refined distance is less than 10 cm, we check the laser scanner data to detect the landmark. Finally, the refined estimates of location of the robot and the landmarks are used for navigation (3.4).

3.1. *Edge detction in extracted rectangular ROI image*

In sewer pipe systems, manholes, inlets or joints are always located in particular parts of the sewer image; the manholes and inlets are always in the upper part of the sewer image, and the joints are always in the central part of the image. Figure 8 illustrates the original image and the extracted rectangular ROIs of manholes, inlets and joints.

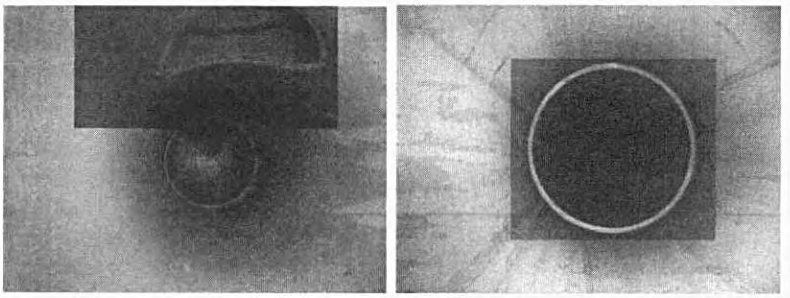


Fig. 8. Original image and the extracted rectangular ROI images. (a) The rectangular ROI image for the manhole and inlet. (b) The rectanglular ROI image for the joint.

After the extraction of ROI, we use the canny edge detector to get the edges in ROI. The Canny edge detection algorithm[13] is known to be the optimal edge detector in terms of error rate. It introduced two kinds of threshold for the gradient with hysteresis, i.e., the lower threshold T_1 and the higher threshold T_2. The values of the threshold are determined based on the following requirements. The first requirement is that edges in images should not be overlooked and that non-edges should not be detected as edges. The former corresponds to the error of the second kind, and the latter corresponds to the error of the first kind in mathematical statistics. The second requirement is that the edges be well localized. In other words, the distance between the detected edge and the actual edge be minimum. The third requirement is to produce only one response to each edge. This is included because the first two are not enough to eliminate multiple responses to an edge.

Based on these requirements, the canny edge detector firstly filters the image to eliminate noise. It then finds the image area with large spatial derivatives. The algorithm then tracks along these regions and any pixel in an edge list with the gradient larger than the higher threshold is classified as a valid edge. Pixels connected to a valid edge and with the gradient larger than the lower threshold are also classified as an edge. The small value of the higher threshold tends to increase the number of spurious and undesirable edge fragments, hence should be avoided.

3.2. *Distance measurement by stereo matching*

An application of the conventional gradient measure for stereo matching[11] to our sewer image generates disparities, which provide the distance map based on the geometry of stereopsis.[12] The resulting distance map is represented by the brightness of pixels; the larger the distance is, the darker the pixel is. Due to the shadow, however, the conventional gradient measure tends to produce fringes of the feature pixels in the distance map as in Fig. 9.

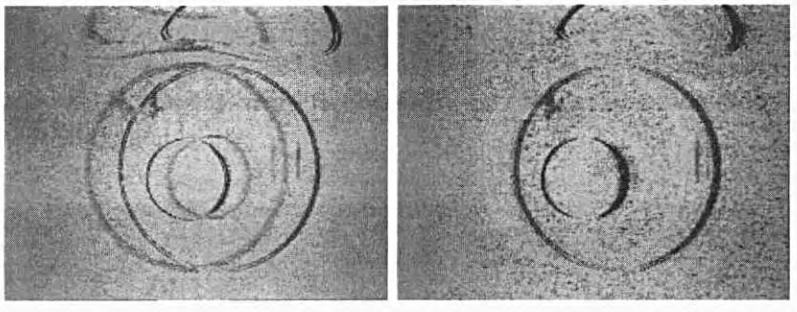


Fig. 9. Distance maps obtained by, (a) Gradient method. (b) LC method.

To overcome this difficulty, we propose a new measure[10] which is partly similar to the conventional gradient measure. To compare locations in two images, most existing methods depend on *similarity* reflecting the resemblance of the corresponding locations of two images, and sometimes on *distinctiveness* reflecting the likelihood of the correctness of the match.[15] Our measure combines the similarity and the distinctiveness into a single measure of matching. Since only the horizontal shifts need to be considered in the stereo matching, the differences of the brightness between horizontally neighboring pixels are calculated. The differences between two neighboring pixels in left-eye and right-eye images are $D_L(x,y) = I_L(x,y) - I_L(x-1,y)$ and $D_R(x,y) = I_R(x,y) - I_R(x-1,y)$, respectively.

We calculate the sum of their absolute values, $C_d(x,y) = |D_L(x,y)| + |D_R(x+d,y)|$, to represent the distinctiveness, and the minus of the absolute value of their difference, $-G_d(x,y) = -|D_L(x,y) - D_R(x+d,y)|$, to represent the similarity at the displacement, d. We define the matching measure as the sum of these two terms: $E_d(x,y) = C_d(x,y) - G_d(x,y)$. In summary, for a given displacement, d, the matching measure, E_d, is:

$$E_d(x,y) = |D_L(x,y)| + |D_R(x+d,y)| - |D_L(x,y) - D_R(x+d,y)|\,. \qquad (1)$$

To find the best match for an isolated pixel, we maximize E_d with respect to d under consideration. It is not hard to understand why our method generates strong responses at the feature pixels. If the matching pixel is a non-feature one,

the difference of brightness between horizontally neighboring pixels is small. As a result, both $D_L(x, y)$ and $D_R(x+d, y)$ have small values. Hence, E_d also has a small value. On the contrary, if the matching pixel is a feature one, it has a large difference of brightness horizontally. This will result in a large value of E_d. Therefore, this method is expected to work well in the matching of feature pixels.

Figure 9 demonstrates that the resulting distance map by the proposed measure provides better view of the feature pixels than that by the conventional gradient refined measure. The distance errors for ten pairs of stereo images using the gradient and LC in the feature pixels is shown in Fig. 10. The distance errors using our LC measure are significantly smaller than those by the conventional gradient measure in the feature pixels.

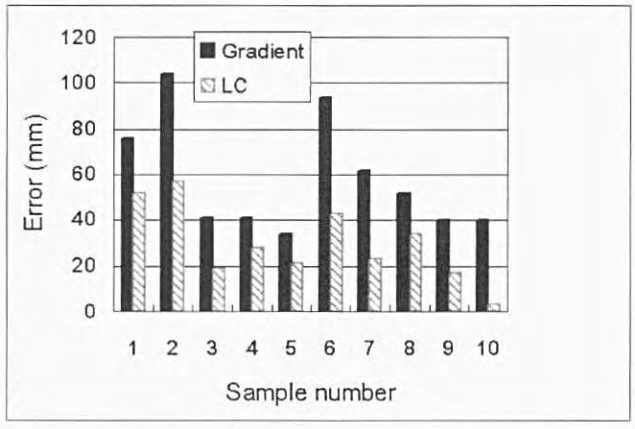


Fig. 10. Distance errors in the feature pixels.

3.3. *Refinement of the measured distance*

Figure 11 illustrates two linear fits of the number of edge points by our method. For computing the linear fits, we use a plenty of training images. Firstly, the edges of training images are extracted by the Canny edge detector using two sets of thresholds for the gradient, (T_{1_1}, T_{2_1}) and (T_{1_2}, T_{2_2}). True distances between the camera and landmarks are measured manually, and are used for ground truth. Then, we make two linear fits between the number of edge points extracted by two sets of thresholds for the gradient and the corresponding true distance. Finally, a shorter distance τ_1 is estimated by the linear fit in Fig. 11(a), given the number of edge points. Similarly, a longer distance τ_2 is estimated by the linear fit in Fig. 11(b), given the number of edge points. These shorter and longer distances play a major role in the subsequent computation.

We can estimate the distance between the robot and each landmark by the stereo matching. We use the following threshold elimination function to obtain

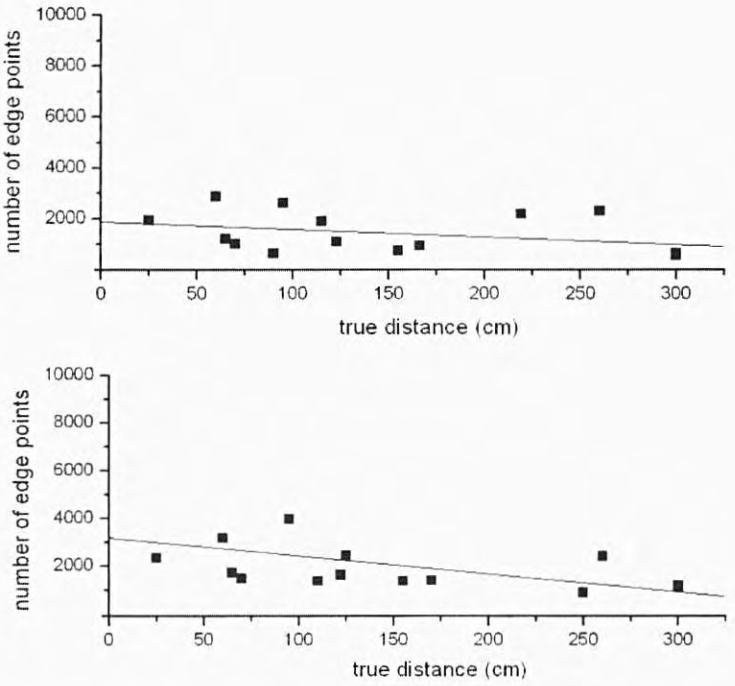


Fig. 11. Two linear fits of the number of edge points for two sets of thresholds for the gradient. (a) $T_{1_1} = 50$ and $T_{2_1} = 150$. (b) $T_{1_2} = 50$ and $T_{2_2} = 250$.

refined distance by averaging estimated distances.

$$\rho(x) = \begin{cases} x & (\text{if} \quad \tau_1 \leq x \leq \tau_2) \\ \tau_2 & (\text{if} \quad x > \tau_2) \\ \tau_1 & (\text{if} \quad x < \tau_1)\,. \end{cases} \tag{2}$$

Suppose the estimated distances between the robot and features of a landmark are $D = \{d_1, \ldots, d_{N_f}\}$, where N_f is the number of feature pixels in ROI image. The refined distance, d_r, is given by:

$$d_r = \frac{1}{N_f} \sum_{i=1}^{N_f} \rho(d_i)]\,. \tag{3}$$

3.4. *Detection of landmarks by a laser scanner*

At the last stage, we compute the distance between the robot and each landmark. In other words, when the robot reaches one of the landmarks, the distance becomes zero and the system can detect it. However, the computed distance based on stereo image still has some error, hence the laser scanner data are applied to improve its estimation. If the refined distance is less than 10 cm, we regard that the robot is

close enough to the corresponding landmark. Then, the system checks the laser scanner data for still better estimation.

As shown in Fig. 6, the laser scanner has three scanning windows at the right, top and left. During one rotation of the laser scanner, the IR beam passes three windows and provides three distance values. Table 2 gives estimation of landmarks based on the status of the distance measurements. Our robot is designed for the pipes with the diameter ranging from 250 to 350 mm. When the robot is moving inside the sewer pipe, the distance measurement is between 125 mm and 175 mm. The distance value larger than 175 mm is regarded as a distance measure at the landmarks.

Table 2. Estimation of the type of landmarks based on measurements.

Status No.	Distance value larger than 175 mm	Estimated landmark type
0	none	no landmark
1	at the top window	manhole
2	at the left window	inlet at the left
3	at the right window	inlet at the right
4	at the top and at the right or left window	manhole with junction
5	at the top, at the right window, and at the left window	robot is outside of the pipe

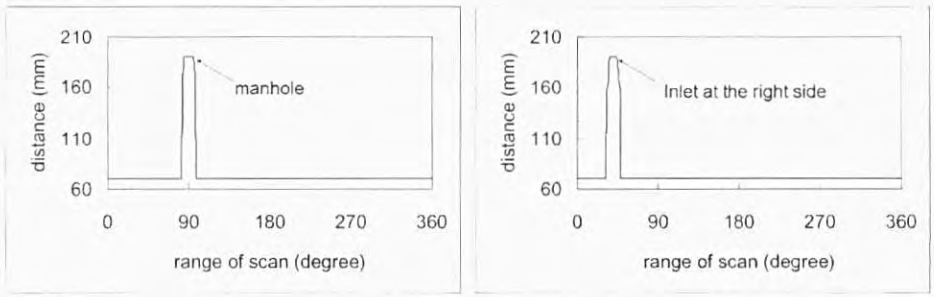


Fig. 12. Typical landmarks detected. (a) The manhole. (b) Inlet at the right side range of scanning.

Figure 12 illustrates typical places where the KANTARO detects the manhole and inlet in moving through the pipe with diameter 300 mm. The rotation starts from the horizontal line (counterclockwisely).

4. Experimental Results

To evaluate the effectiveness of the proposed method, we did a series of experiments by running the KANTARO in the sewer test field (Fig. 13) at FAIS-Robotics Research Institute (RRI). The sewer test field is made by plastic pipes with the diameter ranging from 250 to 300 mm.

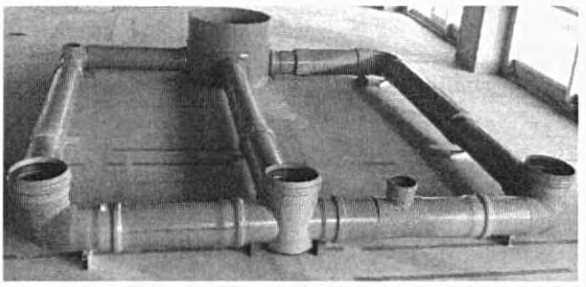


Fig. 13. Sewer test field at RRI.

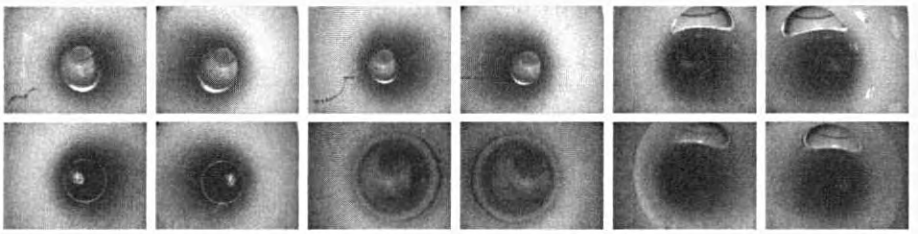


Fig. 14. Samples of stereo images captured by KANTARO during its movement in the sewer test field.

Table 3. The percentage of estimation of the distance with error less than 5 cm.

Images type	The number of images	Rate(%)
Manhole	32	96.87
Joint	26	88.46
Inlet	12	91.66
Total	70	92.33

4.1. *Self localization*

This test demonstrates the accuracy of self localization by capturing stereo images with size of 640×480 pixels such as shown in Fig. 14. We used the lower threshold $T_1 = 50$ and the higher threshold $T_2 = 200$ for edge detection in each ROI images (3.1). Then the distance of feature pixels computed by LC measure (3.2). Next, we used two differents sets of thresholds value for the gradient, ($T_{1_1} = 50$, $T_{2_1} = 150$) and ($T_{1_2} = 50$, $T_{2_2} = 250$) for computing the linear fit, as shown in Fig. 11 (3.3). Finally, the distance error between refind distance, d_r, and the true distance between the camera and a point under consideration in the sewer defined as the following:

$$error = |d_r - d'| \tag{4}$$

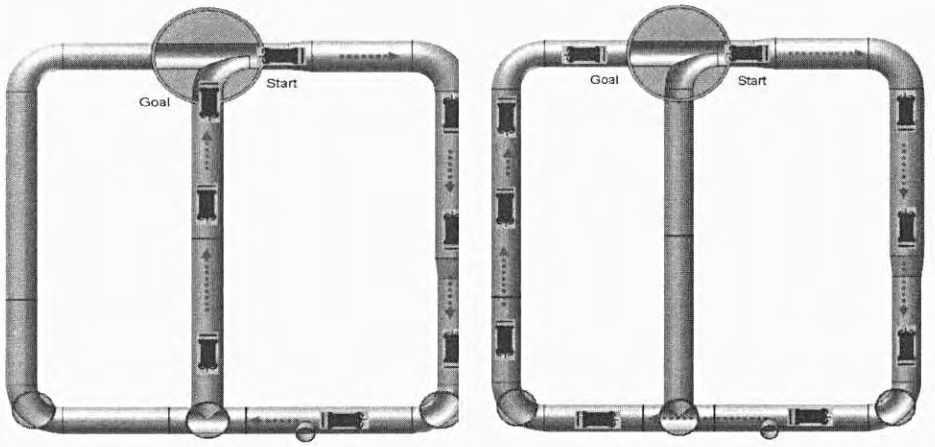
Table 3 presents the percentage of estimated distances with error less than 5 cm. On the average, about 92% of input sewer images provide the distances with small

errors. Although the unstable illumination condition in the real sewer pipe system may effect a large errors in the estimation of the distance. We still have to perform further experiments to fine tune the values of parameters used for edge detection to reduce the errors.

4.2. *Navigation through sewer test field*

This test demonstrates KANTARO's ability in moving through a sewer pipe to the goal by using the proposed method. This experiment requires two basic perceptual abilities: detecting the landmarks and self localization. Both must be executed with high precision, because misperception such as turning action in straight pipe causes damage to KANTARO.

The mission of reaching the goal starting from the initial position is given by a human operator. Figure 15 provides two different routes in navigation.



(a) Route 1. (b) Route 2.

Fig. 15. Examples of test navigation routes.

When the robot moves along the Route 1, it makes a turning action at the first detected manhole with junction. Due to the position of the laser scanner on KANTARO, the manhole is detected when the robot fully entered into the manhole. At this moment, the robot can't turn, because the front wheel passed the junction entrance. To slove this problem, we modified the action as follows; if the robot enters into the manhole and is to turn it moves backward by 40 cm and turns. (Fig. 16).

This mission is successfully achieved in our sewer test field with the maximum speed of 15 cm/s. Figure 17 shows the GUI for navigation during the movement of KANTARO in the sewer test field.

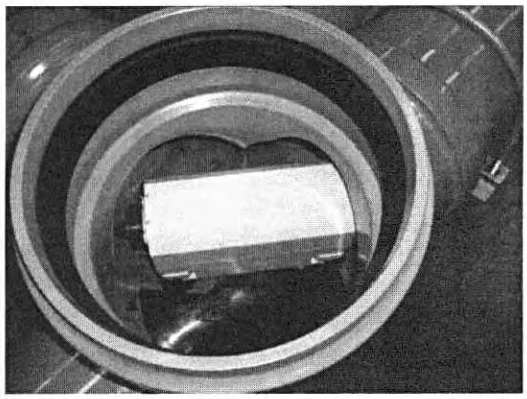


Fig. 16. KANTARO turning in the manhole.

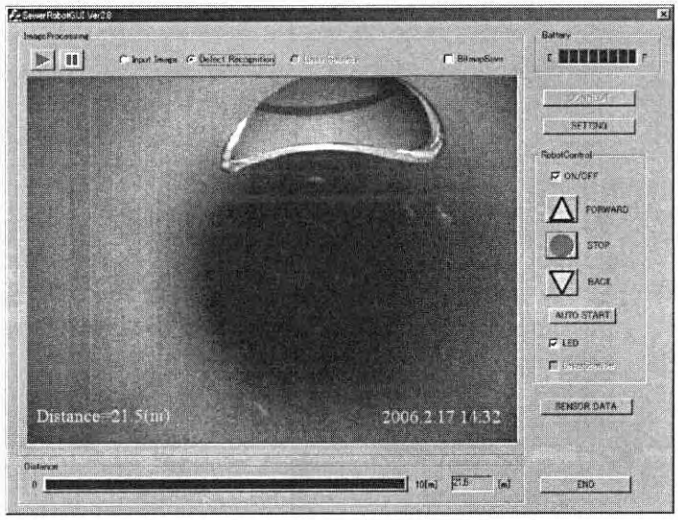


Fig. 17. GUI for navigation.

5. Conclusions

We have proposed a method for navigation in sewer pipe systems using the robot platform, KANTARO. Our method uses stereo camera images and laser scanner data for detecting landmarks. It is capable of self localization of the sewer inspection robot, which cannot be done by the conventional methods. The results of self localization experiment shows high performance in providing the appropriate distance. We also design the new mobile laser scanner for KANTARO. The locations of landmarks in sewer pipe system are estimated successfully based on measurements. The laser scanner is fast enough to continuously scan relevant pipe sections in the presence of landmarks, while the KANTARO moves at ordinary inspection speed

of up to 15 cm/s. Also moving the KANTARO in our sewer test field by using the proposed method was done successfully.

Acknowledgment

This research was supported by the Organization for Small and Medium Enterprises and Regional Innovation, JAPAN (SMRJ).

References

1. Material provided by Sewer System Administration Dept., City of Kitakyushu, Japan.
2. W. Durbeck, "Stand der Eigenkontrollverordnung in den Landern der Bundesrepublik Deutschland aus der Sicht der Industrie," *Dokumentation 4. Int. Kongress Leitungsbau*, Hamburg, Germany, Oct. 1994, pp. 153–166.
3. M. Keding, S. Riesen and van Esch, "Der Zustand der offentlichen Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der ATVUmfrage 1990," *Korrespondenz Abwasser*, Nr.10, 1990, pp. 1148–1153.
4. U. Rudolph, J. Wellnitz, "Zustand und Sanierungsbedarf der Abwasserkanale in den neuen Bundeslandern," *Korrespondenz Abwasser*, 38 Nr.12, 1991, pp. 1625–1630.
5. J. Hertzberg and F. Kirchner, "Landmark-based autonomous navigation in sewerage pipes," *the First EuromicroWorkshop on Advanced Mobile Robots (EUROBOT '96)*, IEEE Press, Los Alamitos, CA, Kaiserslautern, Germany, Oct. 1996.
6. F. Schonherr, J., Hertzberg, W., Burgard, "Probabilistic mapping of unexpected objects by a mobile robot," *the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '99)*, Vol. 1. IEEE Press, Piscataway, NJ, Kyongju, Korea, Oct. 1999.
7. L. Paletta, E. Rome, A. Pinz, "Visual object detection for autonomous sewer robots," *the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '99)*, Vol. 2, IEEE Press, Piscataway, NJ, Kyongju, Korea, Oct. 1999.
8. G. Campbell, K. Rogers, J. Gilbert, "PIRAT - A system for quantitative sewer assessment," *the 12th International No-Dig Conference*, Messe und Congress GmbH, Hamburg, Germany, Sept. 1995.
9. T. Clarke, "The development of an optical triangulation pipe profiling instrument," *Optical 3-D Measurement Techniques III - Applications in inspection, quality control and robotics*, Wichmann, Karlsruhe, Vienna, Oct. 1995.
10. A. Ahrary, L. Tian, S. Kamata, M. Ishikawa, "A cooperative stereo matching algorithm for sewer inspection robots," *the IASTED International Conference on Robotics and Applications*, Cambridge, USA, Oct. 2005, pp. 294–299.
11. D. Scharstein, "Matching images by comparing their gradient fields," in *ICPR*, 1994, Vol.1, pp. 572–575.
12. S. Milan, H. Vaclav and B. Roger, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, pp. 448–502, Thomson Press, 2002.
13. J. Canny, "A Computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol 8, No. 6, Nov 1986.
14. A. Ahrary, A. Nassiraei, M. Ishikawa, "A study of an autonomous mobile robot for sewer inspection system," *Proc. of the 11th Int. Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB'06)*, Oita, Japan, Jan.2006.
15. P. Anandan, "A computational framework and an algorithm for the measurement of visual motion," *IJCV*, 2(3): 283–310, 1989.

Copyright of International Journal on Artificial Intelligence Tools is the property of World Scientific Publishing Company and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

Nondestructive Testing and Evaluation,
Vol. 22, No. 1, March 2007, 35–60

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Neuro-fuzzy approaches for pipeline condition assessment

S. KUMAR and F. TAHERI*

Department of Civil and Resource Engineering, Dalhousie University, 1360 Barrington Street, Halifax, NS, Canada, B3J 1Z1

(Received 2 June 2006; revised 5 January 2007; in final form 8 January 2007)

Recent advances in electronics, transducers, ultrasonic and computing technologies, have led to the development of inspection systems for underground facilities such as water lines, sewer pipes, oil and gas pipelines. Recent inspection technologies have been developed that require no human entry into underground structures; they are now fully automated, from data acquisition to data analysis, and eventually to condition assessment, which can be used during the manufacturing as well as maintenance stage. This paper describes the development of an automated data interpretation system for pipeline, which can be used during the manufacturing stage to maintain the highest standard of quality control and it can also be extended to the maintenance stage. The proposed system is highly desirable and useful where a large number of similar samples are to be investigated which can be applied to investigate various defects in metals as well as composites. The interpretation system obtains Ultrasonic C-scan data obtained through an ultrasonic water immersion or air scan system. The proposed system utilizes Artificial Neural Networks (ANN), and Genetic Algorithm to recognize various types of defects in a given specimen. Image processing and Wavelets techniques are used to determine the details of the damage geometry. An Expert System for composite repair mechanism is also being developed using the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), to perform damage condition assessment as well as material degradation evaluation. MATLAB is used in developing a real time automated prototype system.

Keywords: Neural network; Condition assessment; Inspection; Imaging; Matlab

1. Introduction

Many technologies have evolved over the past few years that have the potential for inspecting, monitoring and evaluating infrastructure problems. However, the effective application of these technologies has been slow. This problem can be addressed in two steps.

1. The accuracies and precisions of these infrastructure inspection technologies must be analysed in order to quantify the variances of various technologies (Maser 1988, Huston 1991).

*Corresponding author. Email: farid.taheri@dal.ca

Nondestructive Testing and Evaluation
ISSN 1058-9759 print/ISSN 1477-2671 online © 2007 Taylor & Francis
http://www.tandf.co.uk/journals
DOI: 10.1080/10589750701327858

2. Effective and speedy interpretation of the data provided by these technologies must be improved (Feng *et al.* 1995). A deeper understanding of the precision and relevance of the data is a necessary input to the maintenance and rehabilitation strategy process, in order to incorporate the risk element into these decisions.

Although good inspection technologies exist, the reliability of most condition assessments is low due to the subjective interpretation of images. There are some challenges in automating the interpretation of multisensory data. One noteworthy reason is that the task to be performed by the interpretation system is complex because there are many types of defects (e.g. delaminations, cracks, debonding, corrosion and so on). In addition, some of these defects may overlap.

Advances in computer technology have accelerated the development of automated inspection of the sanitary sewer pipelines. Feature recognition basically uses techniques ranging from statistical methods, or the knowledge-based (or rule-based) artificial intelligence (AI) system, to artificial neural networks (ANNs). Combining two methods/technologies is becoming common. For example, the Pipe Inspection Real-time Assessment Technique (PIRAT) system developed (Campbell *et al.* 1995) by the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in Australia for commercial purposes uses a combination of the rule-based system and neural networks (Sharpe *et al.* 1995). The procedure involves (1) image preprocessing and segmentation utilizing the data obtained by PIRAT; (2) image classification using the feedforward neural network; and (3) interpretation using AI tools.

In Japan, the Sewer Scanner and Evaluation Technology (SSET) was developed jointly by TOA Grout, CORE Corporation and TGS Company. Higher-quality data regarding sewer conditions can be obtained by utilizing SSET's combination of CCTV technology, an optical scanner and gyroscopic technology. The SSET provides a CCTV video record, a full-circumference scanned image and a computer-generated colour-coded printout of the defects, a written description of each defect along the pipe (based on inspector reports), and horizontal and vertical pipe deflections (Abraham *et al.* 1997, Iseley *et al.* 1997).

Sinha *et al.* (1999) utilized a Statistical approach for the fusion of the results from two crack detectors for feature recognition. The two detectors utilize different approaches for crack detection, so the detection results are independent of each other. One detector may recognize a certain crack while the other may not. The use of two detectors may lead to better results if the method of fusion is appropriate for the specific problem, such as crack detection.

This paper describes the development of an improved fully automated methodology, developed using MATLAB language for accurately analysing and interpreting data regarding the condition of pipelines, which is highly desirable and useful where a large number of similar samples are to be investigated and can be applied to investigate various defects in metals as well as composites. The methodology involves the use of advanced data acquisition tools and a framework based on image processing and ANN. The advanced data acquisition tools provide high-quality digitized information to the automated assessment system through image preprocessing. The proposed system analyses and assesses defects using image pattern recognition techniques and suggests a repair mechanism for composites based on neuro-fuzzy expert system.

2. Methodology outline

Nondestructive evaluation (NDE) techniques to detect cracks, delamination, debonding and defects hidden in solids are very important to assure the structural integrity of operating plants and structures, and to evaluate their residual lifetime. Among various NDE techniques, the Ultrasonic technique has been most widely applied to various engineering problems. Improvement of accuracy of the ultrasonic method has been one of the critical issues in the NDE field. Selection of proper transducers, water scan or air scan, pulse echo or through transmission, longitudinal waves or shear waves or plate waves, spike pulse or tone burst signal and reference standards, are all key parameters in ultrasonic method of damage detection. Ultrasonic methods have a unique potential of detecting surface as well as internal damage states, while many others like replication, magnetic measurements, and eddy currents merely inspect the surface or near-surface region of materials and radiography detects only internal damage states.

Appropriate Image Pre-processing is a very important step to make images suitable for various purposes. For example, an image can be pre-processed to make it distinguishable to the human eye and/or more appropriate for computing purposes. The processing does not create new information from the original information. It sharpens the image feature, adjusts contrast, and so forth. In practical situations, noisy input data are inevitable. Therefore, the robustness of NDE methods against noisy input data is one of the key issues in developing practical NDE systems. Wavelet technique plays a very important role in de-noising and compression of images.

In addition, a highly qualified expert is frequently required to analyse the data and to identify and locate damage. Recently, Multilayer Neural Networks derived through modeling of the human brain have drawn much attention because of the following attractive features for problem solving:

1. Capability of constructing an arbitrary nonlinear mapping from multiple input data to multiple output data within the network, through learning sample input versus output relations (Ham and Kostanic 2001).
2. Capability of estimating appropriate output data even for unlearned input–output relations. This feature is called "generalization." Regularization and early stopping are two methods for improving generalization (Kulkarni 2001).
3. Speed of the trained network in an application process. Computational resources required for operating the trained network may restricted to a personal computer.

Normally, the learning speed of Neural Networks is slow. A human expert usually does the configuring of a Neural Network. Genetic Algorithm is another learning method of Neural Networks (Poli and Langdon 2002). Genetic Algorithm can be used for automatic configuration of Neural Networks, as well as for weight optimization.

Image Post processing is needed to measure image features once a defect is recognized by ANN. One of the most useful methods for extracting a feature of interest from an image is to perform the binary transformation of a gray-level image through thresholding. Using an edge enhancement algorithm, an original image is modified into a new image that has amplified edges. Thus, edge detection has the effect of making edges easier for the viewer to see. Morphological segmentation, contours, profile, 3D view, the quadtree decomposition, fourier

transform, discrete cosine transform, pixel values and statistical methods are a few of the image analysis methods required to accurately study the defect level and geometry (Cichocki and Amari 2002).

In an attempt to replace the human expert with a computer, this paper also describes a neuro-fuzzy expert system for fiber-reinforced composite repair mechanism (Composite Repair NDT/NDI Handbook 1996), designed to mimic the human decision process. An expert system allows for easy encoding of expert knowledge as a set of rules. "Fuzziness" of the expert system allows better treatment of the uncertainties of the problem and simplifies the expert system itself (Durkin 1998).

A Graphical User Interface based (GUI), integrated software package is being developed using MATLAB language to enable the user to automatically investigate the flaws and to evaluate material properties based on ultrasonic testing, which include modules such as database management system, digital image processing, neural networks and fuzzy logic (FL) for damage detection, risk assessment, geographic information system, materials evaluation, medical image analysis, online web-based structural health monitoring system and neuro-fuzzy expert system for suggestive repair mechanism for composites. The proposed system is a generalized one that is applicable to treating any type of images obtained by various tools such as optical scanner, MRI scan, CT scan, gyroscopic technology, SSET and other similar methods (Kumar and Taheri 2004).

3. Automated data interpretation system

The development of the automated interpretation system using image processing, ANN and FL is divided into the following five steps namely, C-scan image acquisition, image preprocessing, defect recognition using neural networks, image post-processing and suggestive repair mechanism for composites using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is as shown in figure 1.

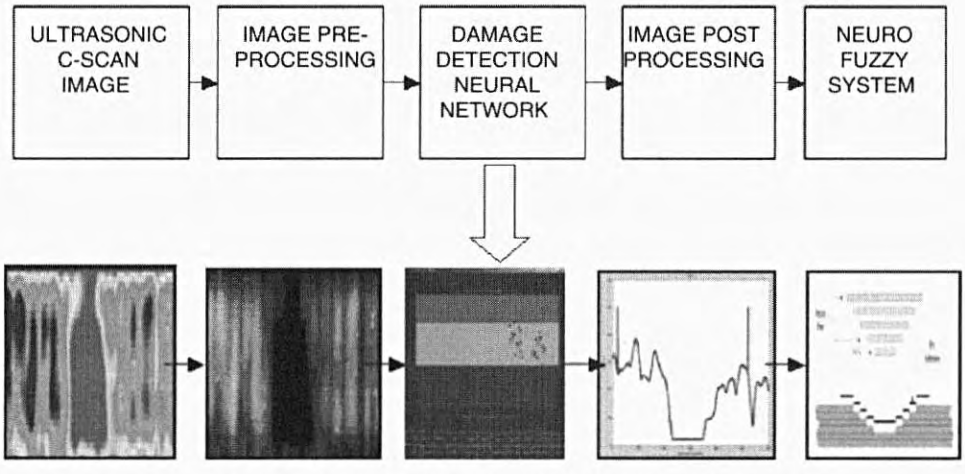


Figure 1. Schematic of the automated interpretation system.

4. Tools used for development of system

The multi axes ultrasonic testing systems used to obtain our C-scan images are MATEC water coupled system and QMI–SONDA airscan system. A GUI based, integrated software package is currently being developed using the MATLAB language to automatically to accommodate the steps described in above.

5. Step 1—ultrasonic image acquisition

Ultrasonic nondestructive testing (UT) uses high frequency sound energy to conduct examination of the material. Ultrasonic inspection can be used for flaw detection/evaluation, dimensional measurements and material characterization, to name a few. During the last decade air coupled ultrasonic has advanced from being a laboratory curiosity of little practical application, to a point where it is a viable technique for many manufacturing inspections (Grandia and Fortunko 1995). With appropriate equipment it is possible to perform sensitive inspections for defects such as voids, cracks and delaminations in a wide variety of water-incompatible materials.

A typical UT inspection system consists of several functional units, such as the pulser/receiver, transducer and display devices. A pulser/receiver is an electronic device that can produce high voltage electrical pulse. Driven by the pulser, the transducer generates high frequency ultrasonic energy. The sound energy is introduced and propagates through the materials in the form of waves. When there is a discontinuity (such as a crack) in the wave path, part of the energy will be reflected back from the flaw surface. The reflected wave signal is transformed into electrical signal by the transducer and is displayed on a screen. Signal travel time can be directly related to the distance that the signal would travel. From the signal, information about the reflector location, size, orientation and other features can sometimes be gained (NDT Resource Center).

Ultrasonic data can be collected and displayed in a number of different formats. The three most common formats are known in the NDT world as A-scan, B-scan and C-scan presentations. Each presentation mode provides a different way of looking at and evaluating the region of material being inspected. Modern computerized ultrasonic scanning systems (figure 2) can display data in all three presentation forms simultaneously.

6. C-scan presentation

The C-scan presentation (figure 3) provides a plan-type view of the location and size of test specimen features. The plane of the image is parallel to the scan pattern of the transducer. C-scan presentations are produced with an automated data acquisition system, such as a computer-controlled immersion scanning system. Typically, a data collection gate is established on the A-scan and the amplitude or the time-of-flight of the signal is recorded at regular intervals as the transducer is scanned over the test piece. The relative signal amplitude or the time-of-flight is displayed as a shade of grey or a colour for each of the positions where data was recorded. The C-scan presentations (figure 4(a),(b)) provides an

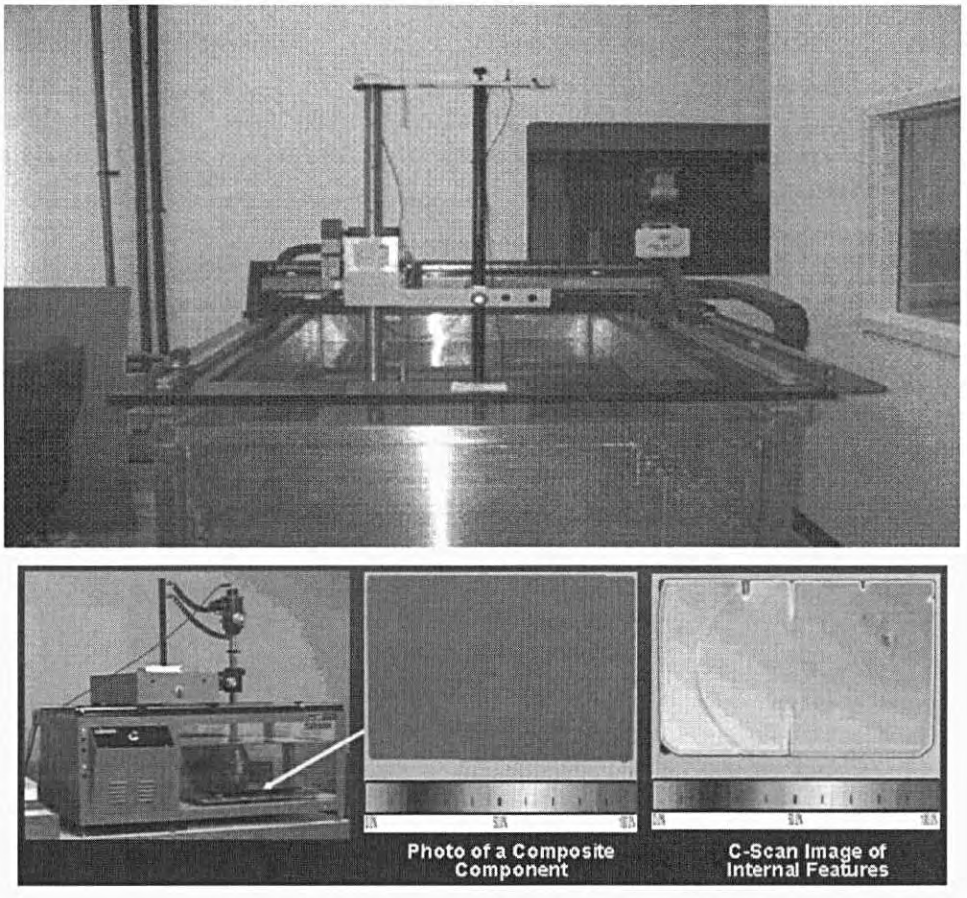


Figure 2. Ultrasonic water immersion C-scan imaging system.

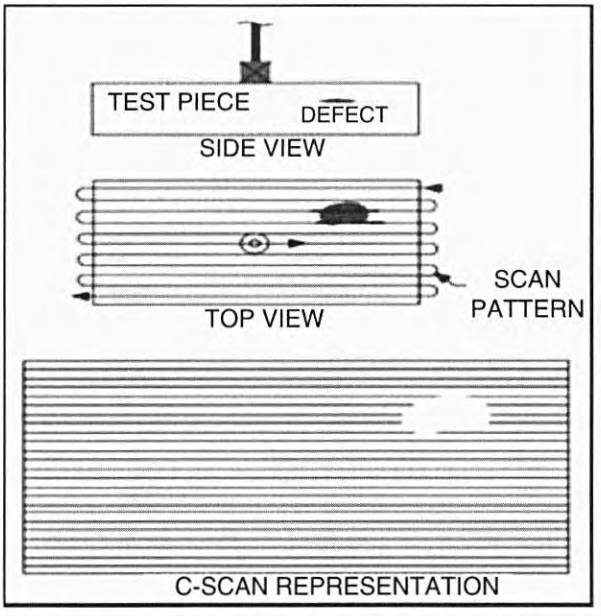
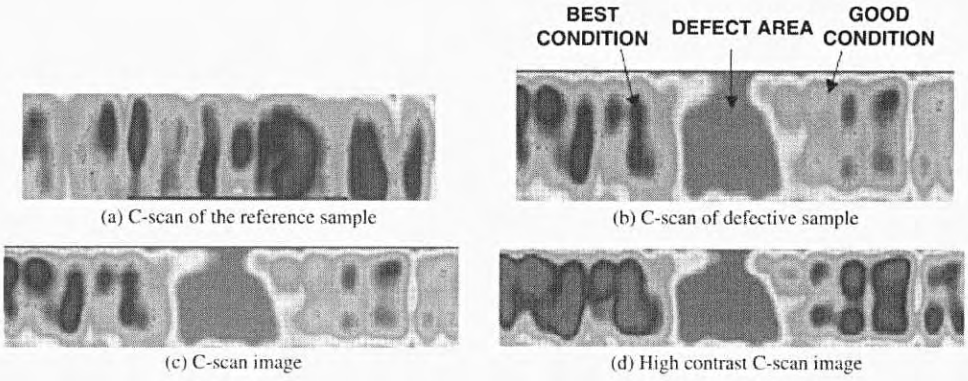


Figure 3. C-scan presentation.



(a) C-scan of the reference sample (b) C-scan of defective sample

(c) C-scan image (d) High contrast C-scan image

Figure 4. An original C-scan image and its pre-processed images.

image of the features that reflect and scatter the sound within and on the surfaces of the test piece.

7. Step 2—image pre processing

Appropriate image pre-processing (Rafael *et al.* 2004) is a very important step to make images suitable for various purposes. The processing does not create new information from the original information. It sharpens the image feature, adjusts contrast, does RGB to GRAY scale conversion, resizing, splitting images, de-noising, and so forth (figure 4(c),(d)). Digital images are prone to a variety of types of noise. There are several ways that noise can be introduced into an image, depending on how the image is created. For example:

- If the image is acquired directly in a digital format, the mechanism for gathering the data (such as a CCD detector) can introduce noise.
- If the image is scanned from a photograph made on film; the film grain is a source of noise. Noise can also be the result of damage to the film, or be introduced by the scanner itself.
- Electronic transmission of image data can also introduce noise (such as from probes in ultrasonic scanning system).

Wavelet is a waveform of effectively limited duration that has an average value of zero.

Compare wavelets with sine waves, which are the basis of Fourier analysis. Sinusoids do not have limited duration, they extend from minus to plus infinity. Where sinusoids are smooth and predictable, wavelets tend to be irregular and asymmetric (figure 5).

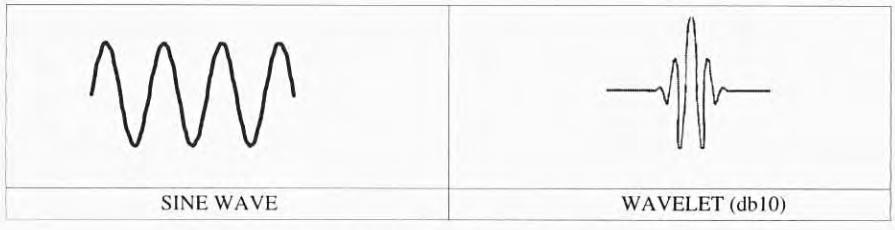


Figure 5. Comparison of a wavelet with a sine wave.

Fourier analysis consists of breaking up a signal into sine waves of various frequencies. Similarly, wavelet analysis is the breaking up of a signal into shifted and scaled versions of the original wavelet. Just looking at the graphs of wavelets and sine waves, one can see intuitively that signals with sharp changes might be better analysed with an irregular wavelet than with a smooth sinusoid (just as some foods are better handled with a fork than a spoon). It also makes sense that local features can be described better with wavelets that have local extent.

De-noising is one of the most important applications of wavelets. Two-Dimensional Wavelet Analysis is performed repeatedly on the noisy image until we are able to get a satisfactory de-noised image (Burrus *et al.* 1998). The Haar and sym6 wavelet can be used in succession to remove the blocking and ringing effect in an image (figure 6(a),(b)). The general De-noising procedure involves three steps. The basic version of the procedure follows the steps described below.

1. *Decompose*: choose a wavelet; choose a level N; compute the wavelet decomposition of the signals at level N.
2. *Threshold detail coefficients*: for each level from 1 to N, select a threshold and apply soft thresholding to the detail coefficients.
3. *Reconstruct*: compute wavelet reconstruction using the original approximation coefficients of level N and the modified detail coefficients of levels from 1 to N.

At this stage if the noise could not be removed use a strategy based on the two-dimensional Discrete Stationary Wavelet Transform (SWT) to de-noise images (Coifman and Donoho 1995). We know that the classical Discrete Wavelet Transform suffers a drawback, that is, the DWT is not a time- invariant transform. This means that even with periodic signal extension, the DWT of a translated version of a signal χ is not, in general, the translated version of

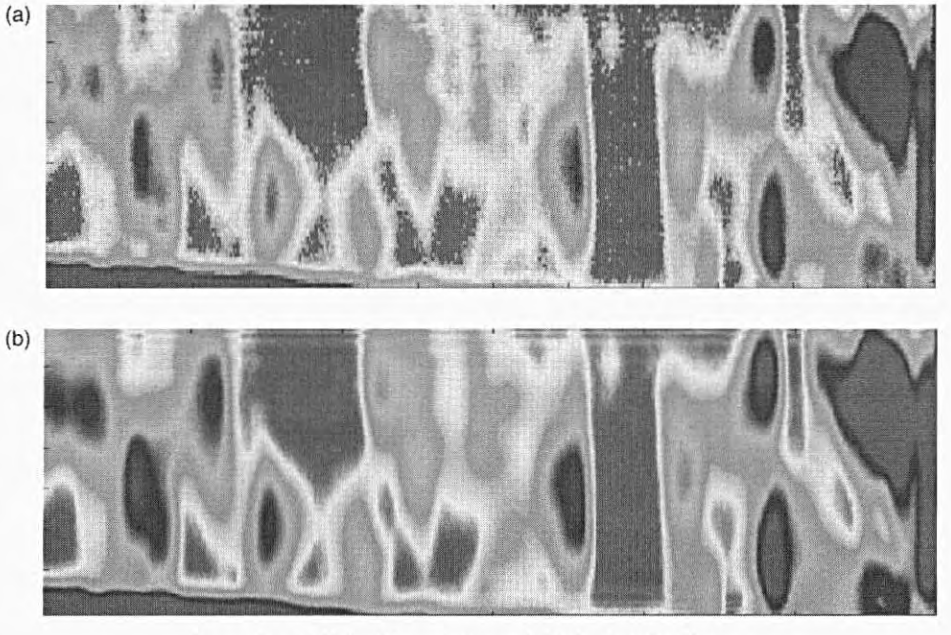


Figure 6. (a) Noisy C-scan image and (b) the de-noised image.

the DWT of χ. To restore the translation invariance, which is a desirable property lost by the classical DWT, one could average some slightly different DWT (also called ε-decimated DWT), to define the SWT. The principle is to average several de-noised signals. Each of them is obtained using the usual de-noising scheme, but applied to the coefficients of a ε-decimated DWT. The de-noising methods based on the wavelet decomposition was initiated by Donoho (1995) in the USA, and Hardle *et al.* (1998) in France. Meyer (1993) considers that this topic is one of the most significant applications of wavelets.

8. RGB images

An RGB image, sometimes referred to as a true-colour image, is stored in MATLAB as an $m \times n \times 3$ data array that defines red, green and blue colour components for each individual pixel. RGB images do not use a palette. The colour of each pixel is determined by the combination of the red, green and blue intensities stored in each colour plane at the pixel's location. Graphics file formats store RGB images as 24-bit images, where the red, green and blue components are 8 bits each. This yields a potential of 16 million colours. The precision with which a real-life image can be replicated has led to the commonly used term true-colour image. An RGB array can be of class double, uint8, or uint16. In an RGB array of class double, each colour component is a value between 0 and 1. A pixel whose color components are (0,0,0) is displayed as black, and a pixel whose colour components are (1,1,1) is displayed as white. The three-colour components for each pixel are stored along the third dimension of the data array. For example, the red, green and blue colour components of the pixel (10,5) are stored in RGB (10,5,1), RGB (10,5,2) and RGB (10,5,3), respectively. Figure 7(a) depicts an RGB image of class double.

9. Intensity images

An intensity image is a data matrix whose values represent intensities within some range. MATLAB stores an intensity image as a single matrix, with each element of the matrix corresponding to one image pixel. The matrix can be of class double, uint8, or uint16. While intensity images are rarely saved with a colourmap, MATLAB uses a colourmap to display them. The elements in the intensity matrix represent various intensities, or gray levels, where the intensity 0 usually represents black and the intensity 1, 255, or 65,535 usually represents full intensity, or white. Figure 7(b) depicts an intensity image of class double. For certain operations like image recognization, it is helpful to convert an RGB image to intensity image type, which will reduce the size of the matrix and hence computation time, considerably.

10. Step 3—neural networks damage detection

Neural networks are composed of simple elements operating in parallel. These elements are inspired by biological nervous systems. As in nature, the network function is determined largely by the connections between elements. We can train a neural network to perform a

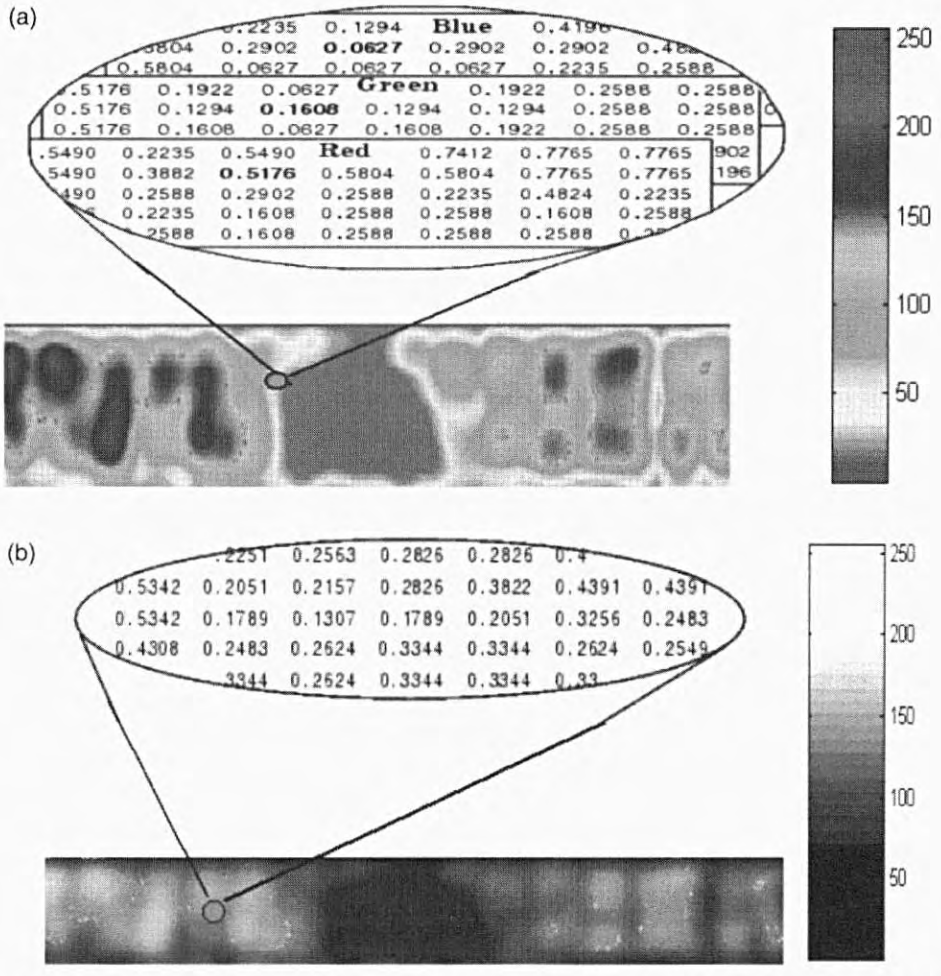


Figure 7. The pixel values in an (a) RGB image defines color planes, and in (b) the intensity image define gray levels.

particular function by adjusting the values of the connections (weights) between its elements (Bose and Liang 1996).

Commonly neural networks are adjusted, or trained, so that a particular input leads to a specific target output. Such a situation is shown in figure 8. There, the network is adjusted, based on a comparison of the output and the target, until the network output matches the target. Typically many such input/target pairs are used (in this supervised learning), to train a network. Batch training of a network proceeds by making weight and bias changes based on an entire set (batch) of input vectors. Incremental training changes the weights and biases of a network as needed after presentation of each individual input vector. Incremental training is sometimes referred to as "on line" or "adaptive" training.

Neural networks have been trained to perform complex functions in various fields of applications including pattern recognition, identification, classification, speech, vision and control systems. Today, neural networks can be trained to solve problems that are difficult for conventional computers or human beings. The supervised training methods are commonly used, but other networks can be obtained from unsupervised training techniques or from

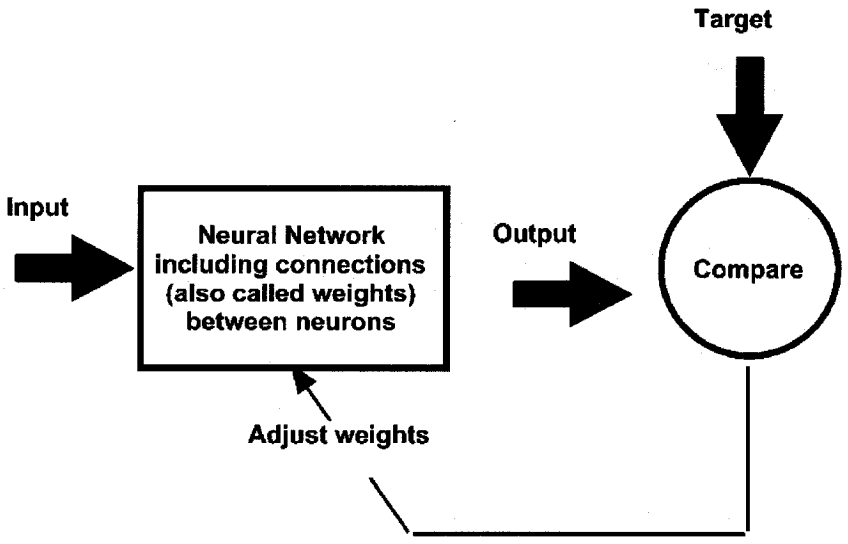


Figure 8. Neural network conceptual model.

direct design methods. Unsupervised networks can be used, for instance, to identify groups of data (Hagan *et al.* 2003).

11. Probabilistic neural networks

Probabilistic neural networks (PNN) can be used for classification problems. When an input is presented, the first layer computes distances from the input vector to the training input vectors, and produces a vector whose elements indicate how close the input is to a training input. The second-layer sums these contributions for each class of inputs to produce as its net output, a vector of probabilities. Finally, a compete transfer function on the output of the second-layer picks the maximum of these probabilities, and produces a 1 for that class and a 0 for the other classes. The architecture for this system is shown in figure 9. The algorithm is explained below based on MATLAB language library.

It is assumed that there are Q input vector/target vector pairs. Each target vector has K elements. One of these elements is 1 and the rest are 0. Thus, each input vector is associated with one of the K classes.The first-layer input weights, $IW^{1,1}$ (net.IW{1,1}) are set to the transpose of the matrix formed from the Q training pairs, P'. When an input is presented the ||dist|| box produces a vector whose elements indicate how close the input is to the vectors of the training set. These elements are multiplied, element by element, by the bias and sent the radbas transfer function. An input vector close to a training vector is represented by a number close to 1 in the output vector a^1. If an input is close to several training vectors of a single class, it is represented by several elements of a^1 that are close to 1.

The second-layer weights, $LW^{1,2}$ (net.LW{2,1}), are set to the matrix T of target vectors. Each vector has a 1 only in the row associated with that particular class of input, and 0's elsewhere. (A function ind2vec is used to create the proper vectors.) The multiplication Ta^1 sums the elements of a^1 due to each of the K input classes. Finally, the second-layer transfer function, compete, produces a 1 corresponding to the largest element of $\mathbf{n}^2$, and 0's elsewhere. Thus, the network has classified the input vector into a specific one of K classes

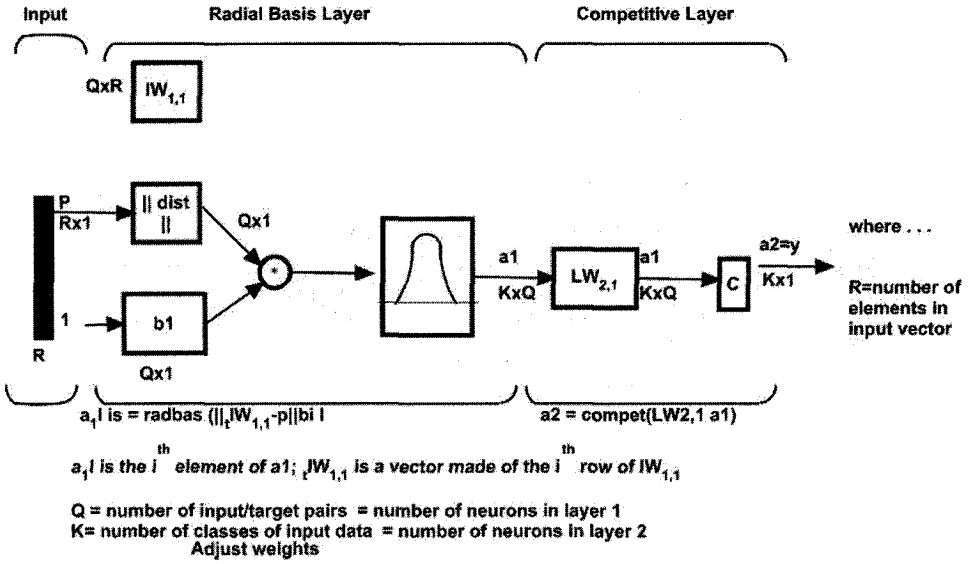


Figure 9. Probabilistic neural networks—network architecture.

because that class had the maximum probability of being correct. Typical transfer function graphs are shown in figure 10.

PNN can be used for our classification problem where we want to classify the sample as good or defective based on the pixel values of the C-scan image. Their design is straightforward and does not depend on training. A PNN is guaranteed to converge to a Bayesian classifier providing it is given enough training data. These networks generalize well. The PNN have many advantages, but suffer from one major disadvantage. They are slower to operate because they use more computational effort than other kinds of networks to do their function approximation or classification (Osyczka 2001).

12. Improving generalization

One of the problems that occurs during neural network training is called overfitting. The error on the training set is driven to a very small value, but when new data is presented to the network, the error becomes large. In this case, the network has memorized the training examples, but it has not learned to generalize to new situations.

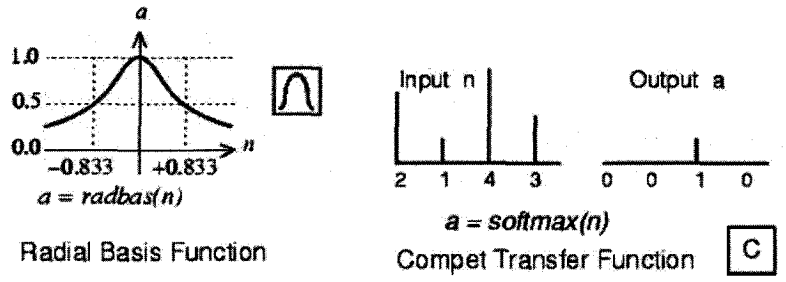


Figure 10. Transfer function graphs.

Figure 11(a) shows the response of a 1-20-1 neural network that has been trained to approximate a noisy function. The underlying function is shown by the dotted line, the noisy measurements are given by the " + " symbols, and the neural network response is given by the solid line. Clearly this network has overfit the data and will not generalize well.

One method for improving network generalization is to use a network that is just large enough to provide an adequate fit. The larger a network you use, the more complex the functions the network can create. If we use a small enough network, it will not have enough power to overfit the data.

13. Regularization

The first method for improving generalization is called regularization. This involves modifying the performance function, which is normally chosen to be the sum of squares of the network errors on the training set.

13.1 Modified performance function

The typical performance function that is used for training feedforward neural networks is the mean sum of squares of the network errors.

$$F = \text{mse} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (e_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (t_i - a_i)^2$$

It is possible to improve generalization if we modify the performance function by adding a term that consists of the mean of the sum of squares of the network weights and biases.

$$\text{msereg} = \gamma \text{mse} + (1 - \gamma)\text{msw}$$

where γ is the performance ratio, and

$$\text{msw} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} w_j^2$$

Using this performance function will cause the network to have smaller weights and biases, and this will force the network response to be smoother and less likely to overfit. Figure 11(b) shows the response of the trained network. In contrast to the one in figure 11(a), in which a 1-20-1 network overfit the data, here we see that the network response is very close to the underlying function (dotted line), and, therefore, the network will generalize well to new inputs.

14. Early stopping

Another method for improving generalization is called early stopping. In this technique the available data is divided into three subsets. The first subset is the training set, which is used for computing the gradient and updating the network weights and biases. The second subset is the validation set. The error on the validation set is monitored during the training process. The validation error will normally decrease during the initial phase of training, as does the

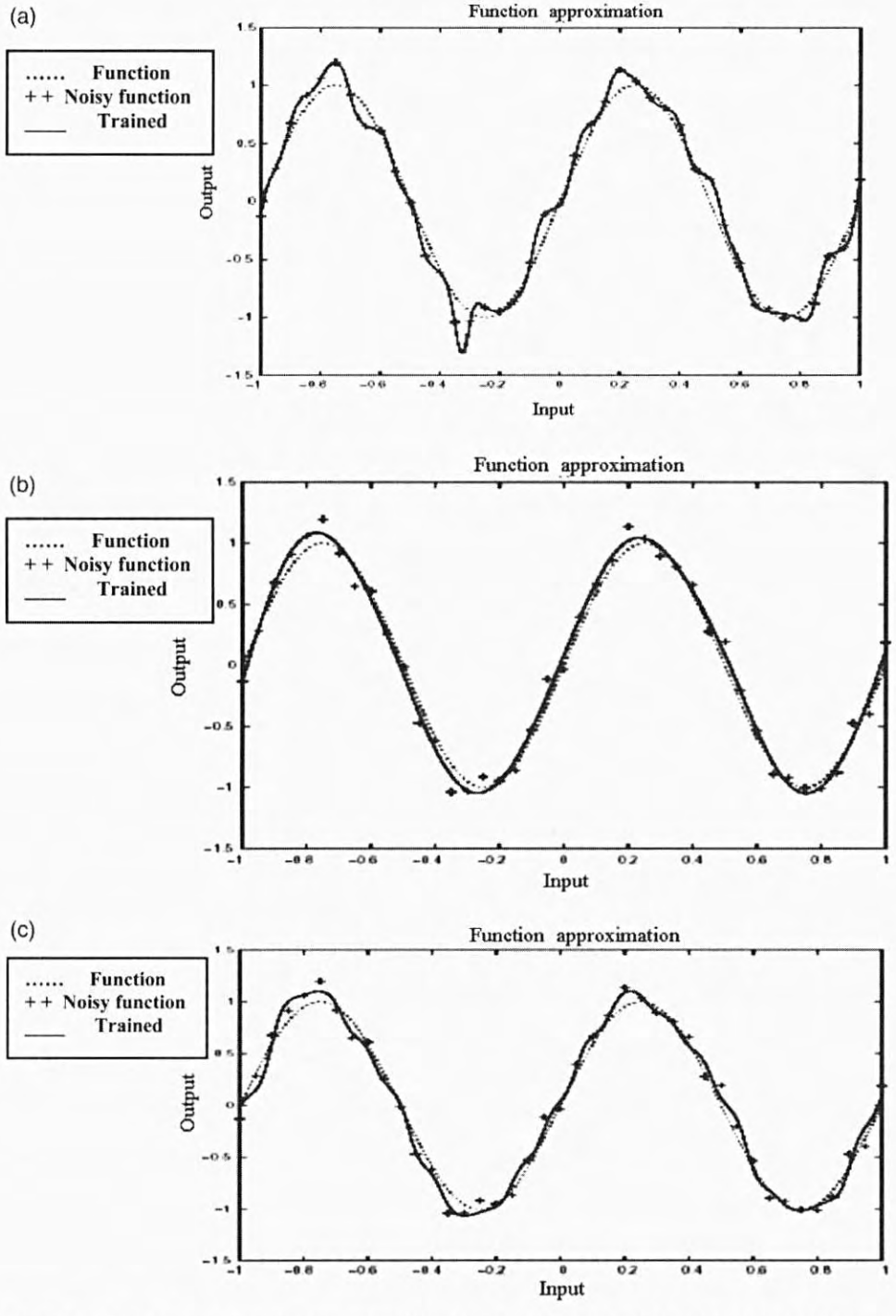


Figure 11. Over-fitting problems and some remedies: (a) over-fitting, (b) regularization and (c) early stopping.

training set error. However, when the network begins to overfit the data, the error on the validation set will typically begin to rise. When the validation error increases for a specified number of iterations, the training is stopped, and the weights and biases at the minimum of the validation error are returned.

The test set error is not used during the training, but it is used to compare different models. It is also useful to plot the test set error during the training process. If the error in the test set reaches a minimum at a significantly different iteration number than the validation set error, this may indicate a poor division of the data set. Early stopping can be used with any of the training functions that were described earlier in this chapter. You simply need to pass the validation data to the training function.

Figure 11(c) shows a graph of the network response. We can see that the network did not overfit the data, as in the earlier example, although the response is not extremely smooth, as when using regularization. This is characteristic of early stopping.

14.1 Neural networks damage detection

Our defective sample (figure 4(b)) is a laminated graphite epoxy coupon with defect at the middle portion of the sample (defective portion is shown in red colour, the best portion is shown in blue and good portion is shown in green). The PNN is trained and tested using the reference samples (figure 4(a)) as the target. After doing the necessary pre-processing of the C-scan image of the samples, we feed the images into our PNN for damage detection. Now the PNN is ready to detect the damage by comparing the pixel colour values of the samples with the pixel values of the reference and do three-way classification as defect, good and best, based on pixel intensity values. Figure 12 shows the resulting three-way classification of our defective sample.

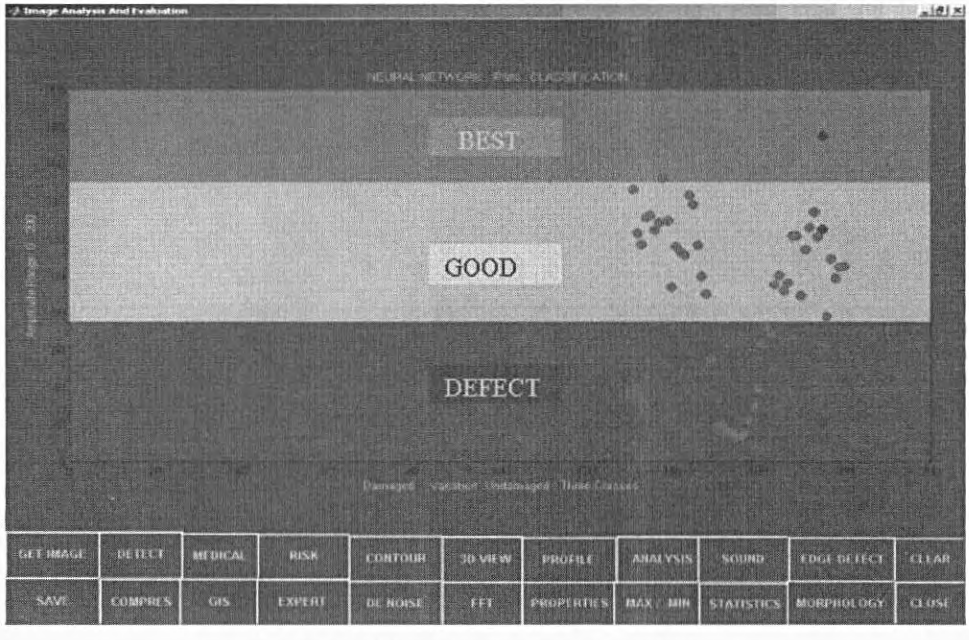


Figure 12. PNN damage detection and classification.

15. Step 4—image post processing

Image Post processing is also needed to measure image features once the damage is detected by the ANN. The image profiling calculates and plots the intensity values along a line segment or a multiline path in an image using nearest-neighbour interpolation to determine the values of equally spaced points along the path. Longitudinal Image profiling for our defective sample is shown in figure 13(a).

A contour graph displays isolines of the intensity matrix of the image. The number of contour levels and the values of the contour levels are chosen automatically based on the minimum and maximum values of the intensity. Contour graphs of our defective sample are shown in figure 13(b).

In a binary image, each pixel assumes one of only two discrete values. Essentially, these two values correspond to on (good) and off (defective). A binary image is stored as a logical array of 0's (off pixels) and 1's (on pixels). An image histogram is a chart that shows the distribution of intensities in an indexed, binary or intensity image. The image histogram function creates this plot by making "n" equally spaced bins, each representing a range of data values. It then calculates the number of pixels within each range. Figure 14(a) displays a binary image of our defective sample and figure 14(b) shows a histogram based on the binary image.

Pixel by pixel image analysis method is a powerful way of assessing the intensity of the defect. Using MATLAB's image viewer and pixel region tool one can get information about

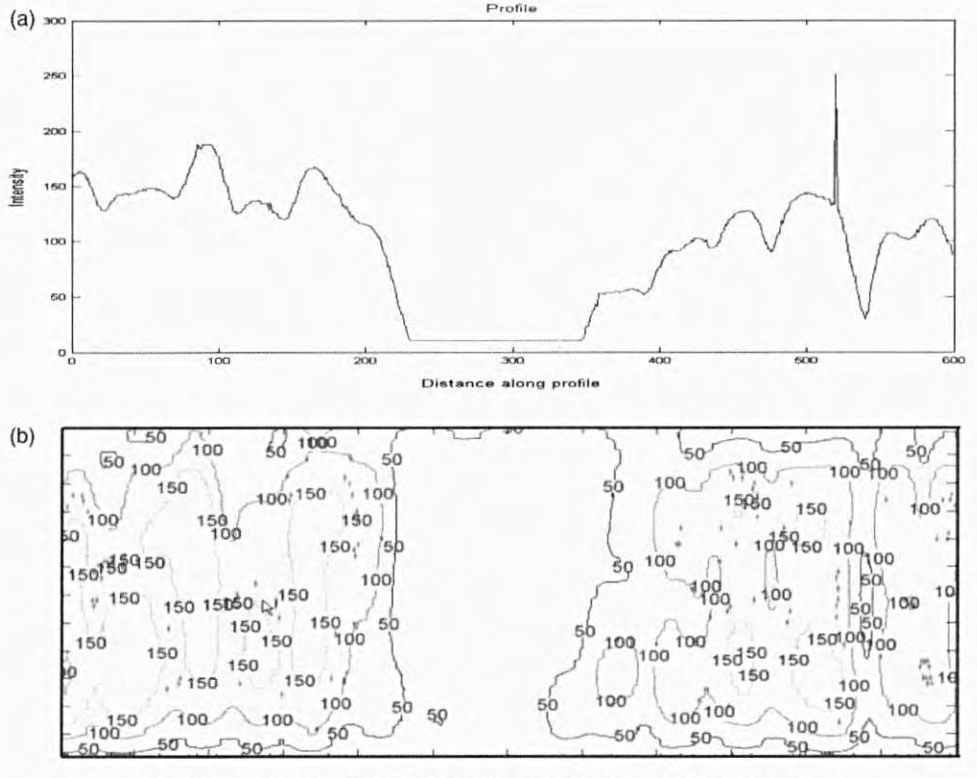


Figure 13. Various profiles of the defected sample: (a) longitudinal, (b) contour.

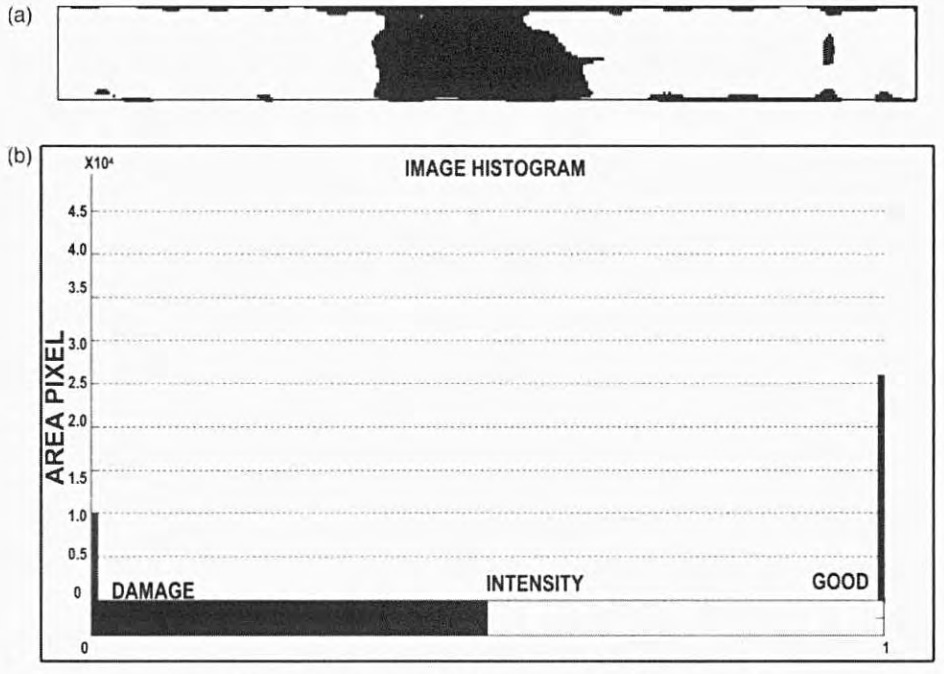


Figure 14. (a) The binary and (b) histogram of the defective sample.

specific pixels in an image. The pixel region rectangle defines the region of the image that one would desire to examine. The pixel region tool displays a grid of cells where each cell represents a pixel in the region specified by the rectangle. Each cell contains the numeric value of the pixel. For RGB images, each cell contains three numeric values, one for each band of the image. For indexed images, the cell contains the index value and the associated RGB value. The colour of the cell represents the colour of the pixel. If a defect is present, one could then assess the intensity (corresponds to sonic amplitude) of the defect by performing pixel by pixel analysis of the C-scan image. Figure 15 shows the pixel by pixel analysis of the defective sample.

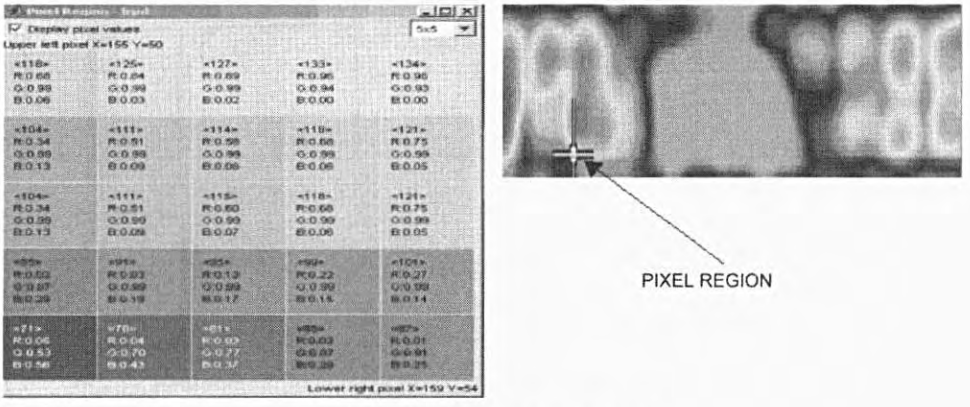


Figure 15. Pixel by pixel image analysis.

16. Step 5—neuro-fuzzy expert system

FL in general has two different meanings. In a narrow sense, FL is a logical system, which is an extension of multivalued logic. However, in a wider sense, which is in predominant use today, FL is almost synonymous with the theory of fuzzy sets, a theory which relates to classes of objects with unsharp boundaries in which membership is a matter of degree (Zadeh 1987). What makes the FL so powerful is the fact that most of human reasoning and concept formation is linked to the use of fuzzy rules. A trend that is growing in visibility relates to the use of FL in combination with neurocomputing and genetic algorithms. More generally, FL, neurocomputing and genetic algorithms may be viewed as the principal constituents of what might be called soft computing. Among various combinations of methodologies in soft computing, the one that has highest visibility at this juncture is that of FL and neurocomputing, leading to so-called neuro-fuzzy systems. Within FL, such systems play a particularly important role in the induction of rules from observations. An effective method developed by Jang (1992) for this purpose is called ANFIS.

The basic structure of the type of fuzzy inference system (FIS) is a model that maps input characteristics to input membership functions, input membership function to rules, rules to a set of output characteristics, output characteristics to output membership functions, and the output membership function to a single-valued output or a decision associated with the output. The fuzzy inference diagram simultaneously displays all parts of the fuzzy inference process. Information flows through the fuzzy inference diagram as shown in figure 16. The flow proceeds up from the inputs in the lower left, then across each row, or rule, and then down the rule outputs to finish in the lower right. This is a very compact way of showing everything at once, from linguistic variable fuzzification all the way through defuzzification

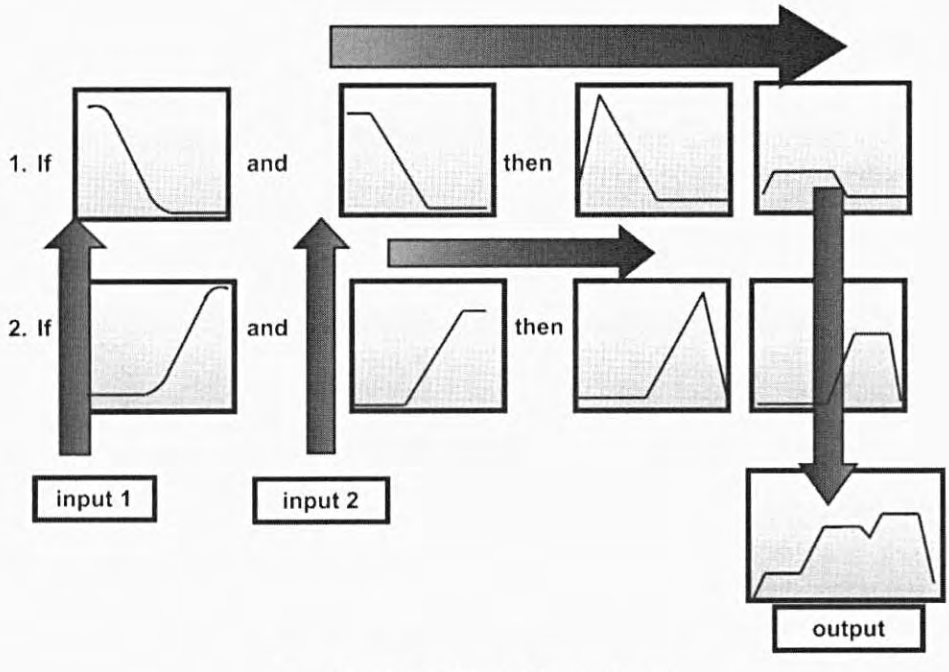


Figure 16. A typical fuzzy inference diagram.

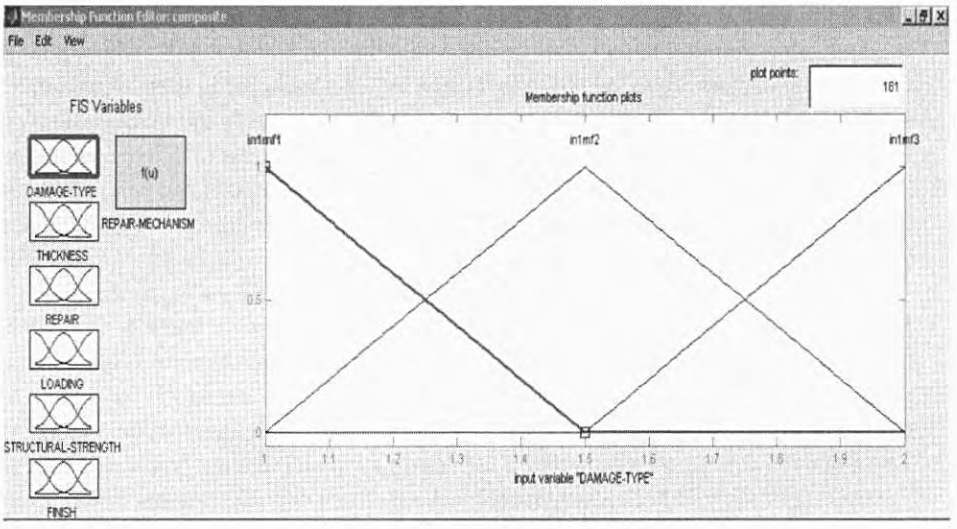


Figure 17. A typical membership function plot.

of the aggregate output. The membership functions (figure 17) have been fixed, and somewhat arbitrarily chosen. Also, one should apply fuzzy inference to modeling systems whose rule structure is essentially predetermined by the user's interpretation of the characteristics of the variables in the model (Mendel 2001).

16.1 Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)

In this section, we discuss the use of the ANFIS as suggested by Jang (1993) to data modeling. In the normal FIS, the shape of the membership functions depends on parameters, and changing these parameters will change the shape of the membership function. Instead of just looking at the data to choose the membership function parameters, we will see how membership function parameters can be chosen automatically. Suppose one wants to apply fuzzy inference to a system for which one already has a collection of input/output data that would be used for modeling, model-following, or some similar scenario. One does not necessarily have a predetermined model structure based on characteristics of variables in the system.

There will be some modeling situations (as in our case) in which one cannot simply look at the data and discern what the membership functions should look like. Rather than choosing the parameters associated with a given membership function arbitrarily, these parameters could be chosen so as to tailor the membership functions to the input/output data in order to account for these types of variations in the data values. This is where the so-called neuro-adaptive learning techniques incorporated using ANFIS in our software package. The basic idea behind these neuro-adaptive learning techniques is very simple. These techniques provide a method for the fuzzy modeling procedure to learn information about a data set, in order to compute the membership function parameters that best allow the associated FIS to track the given input/output data. This learning method works similarly to that of neural networks.

Neuro-Fuzzy techniques provide a collective method for the fuzzy modeling procedure required to learn information about a data set, in order to compute the membership function parameters that best allow the associated FIS to track the given input/output data.

This learning method works similarly to that of the neural networks explained earlier. Using a given input/output data set, the function ANFIS constructs a FIS, whose membership function parameters are tuned (adjusted) using either a backpropagation algorithm alone, or in combination with a least squares type of method. This allows the fuzzy systems to learn from the data they are modeling. A network-type structure similar to that of a neural network, which maps inputs through input membership functions and associated parameters, and then through output membership functions and associated parameters to outputs, can be used to interpret the input/output map. The parameters associated with the membership functions will change through the learning process. The computation of these parameters is facilitated by a gradient vector, which provides a measure of how well the FIS is modeling the input/output data for a given set of parameters. Once the gradient vector is obtained, and any of several optimization routines could be applied in order to adjust the parameters so as to reduce some error measure (usually defined by the sum of the squared difference between the actual and the desired outputs). ANFIS uses either back propagation or a combination of least square estimation and backpropagation for the membership function parameter estimation.

The modeling approach used by ANFIS is similar to many system identification techniques. First, one hypothesize a parameterized model structure (relating inputs to membership functions to rules to outputs to membership functions, and so on). Next, one collect input/output data in a form that will be usable by ANFIS for training. One can then use ANFIS to train the FIS model to emulate the training data presented to it by modifying the membership function parameters according to a chosen error criterion. This type of modeling works well if the training data presented to ANFIS for training (estimating) membership function parameters is fully representative of the features of the data that the trained FIS is intended to model. In some cases, data is collected using noisy measurements, and the training data cannot be representative of all the features of the data that will be presented to the model. This is where model validation comes into play.

Model validation using checking and testing data sets is the process by which the input vectors from input/output data sets on which the FIS was not trained, are presented to the trained FIS model, to see how well the FIS model predicts the corresponding data set output values. This is accomplished with the ANFIS Editor GUI using the so called "testing data set". One can alternatively use another type of data set for model validation in ANFIS. This other type of validation data set is referred to as the checking data set and this set is used to control the potential for the model overfitting the data. When checking data is presented to ANFIS as well as training data, the FIS model is selected to have parameters associated with the minimum checking data model error. One problem with model validation for models constructed using adaptive techniques is selecting a data set that is both representative of the data set the trained model is intended to emulate, yet it is sufficiently distinct from the training data set so as not to render the validation process trivial. If one has collected a large amount of data, hopefully this data contains all the necessary representative features, so the process of selecting a data set for checking or testing purposes is made easier. However, if one expect to be presenting noisy measurements to the model, it is possible that the training data set may not include all of the representative features one want to model. The basic idea behind using a checking data set for model validation is that after a certain point in the training, the model begins overfitting the training data set. In principle, the model error for the checking data set tends to decrease as the training takes place up to the point that overfitting begins, and then the model error for the checking data suddenly increases.

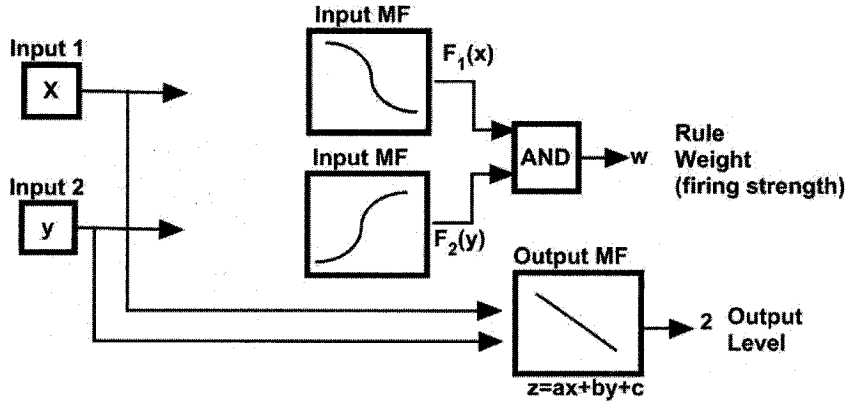


Figure 18. A typical Sugeno fuzzy inference model.

ANFIS is indeed much more complex than the FIS, and is not available for all of the FIS options. Specifically, ANFIS only supports Sugeno-type systems (Sugeno 1985) as in figure 18. Such systems have the following properties:

- Be a first or zeroth order Sugeno-type system.
- Have a single output, obtained using weighted average defuzzification. All output membership functions must be the same type and either is linear or constant.
- Have no rule sharing. Different rules cannot share the same output membership function, namely the number of output membership functions must be equal to the number of rules.
- Have a unity weight for each rule.

An error occurs if the selected FIS structure does not comply with these constraints. Moreover, ANFIS cannot accept all the customization options that basic fuzzy inference allows. That is, one cannot make one's own membership functions and defuzzification functions; one must use the ones provided.

17. FIS structure and parameter adjustment

As stated the ANFIS is an acronym for ANFIS. Using a given input/output data set, ANFIS constructs a FIS whose membership function parameters are tuned (adjusted) using either a backpropagation algorithm alone, or in combination with a least squares type of method. This allows fuzzy systems to learn from the data with which they are modeled. A network-type structure similar to that of a neural network, which maps inputs through input membership functions and associated parameters, and then through output membership functions and associated parameters to outputs, can be used to interpret the input/output map as in figure 19 (Jang *et al.* 1997).

The parameters associated with the membership functions will change through the learning process. The computation of these parameters (or their adjustment) is facilitated by a gradient vector, which provides a measure of how well the FIS is modeling the input/output data for a given set of parameters. Once the gradient vector is obtained, any of several optimization routines could be applied in order to adjust the parameters so as to reduce some

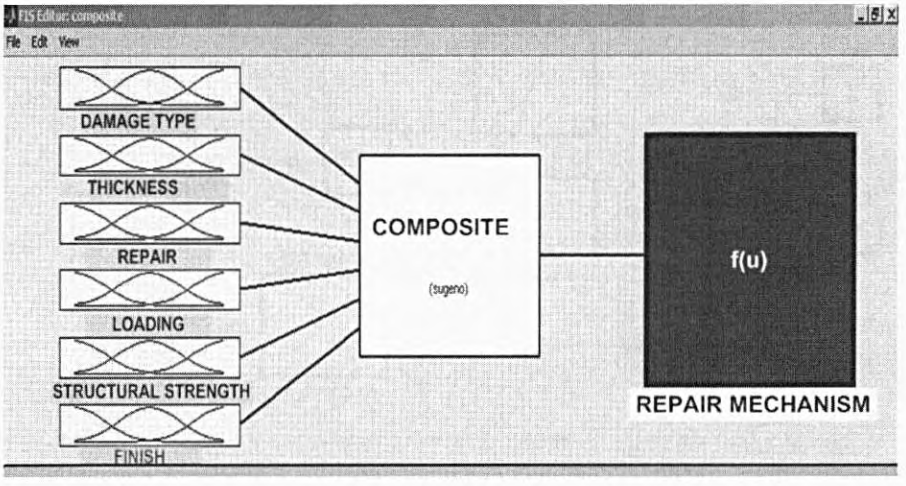


Figure 19. Input/output map.

error measure (usually defined by the sum of the squared difference between actual and desired outputs). Anfis uses either back propagation or a combination of least squares estimation and backpropagation for membership function parameter estimation. Figures 20 and 21 shows the fuzzy rules for a composite repair system.

The back-propagation was created by generalizing the Widrow-Hoff learning rule (Hagan *et al.* 2003) to multiple-layer networks and nonlinear differentiable transfer functions. Input vectors and the corresponding target vectors were used to train a network until it could approximate a function, associate the input vectors with specific output vectors, or classify input vectors in an appropriate way as defined by the user. Networks with biases, a

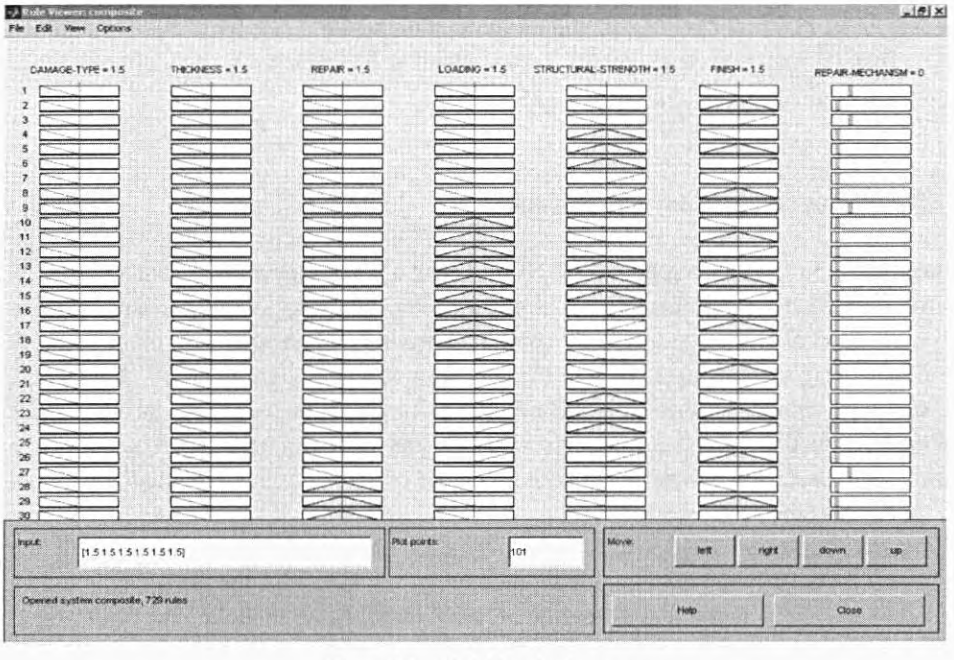


Figure 20. Matlab's rule viewer.

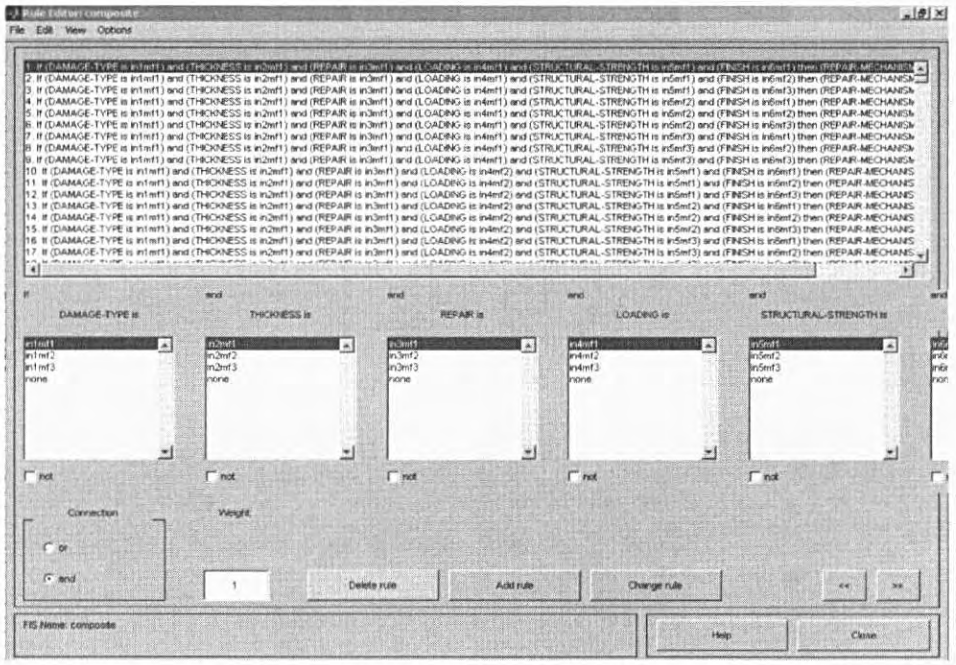


Figure 21. The fuzzy logic rules.

sigmoid layer, and a linear output layer are capable of approximating any function with a finite number of discontinuities.

Standard back-propagation is a gradient descent algorithm, as is the Widrow-Hoff learning rule, in which the network weights are moved along the negative of the gradient of the performance function. The term back-propagation refers to the manner in which the gradient is computed for nonlinear multilayer networks. There are a number of variations on the basic algorithm that are based on other standard optimization techniques, such as the conjugate gradient and the Newton methods.

Properly trained back-propagation networks tend to provide reasonable answers when presented with inputs that they have never seen. Typically, a new input leads to an output similar to the correct output for input vectors used in training that are similar to the new input being presented. This generalization property makes it possible to train a network on a representative set of input/target pairs and get good results without training the network on all possible input/output pairs. There are two features of the Neural Network that are designed to improve network generalization—regularization and early stopping that was discussed before.

The architecture of the network that is most commonly used with the back-propagation algorithm is the multilayer feed-forward network. A single-layer network of S logsig (A function in Matlab library) neurons having R inputs is shown below in figure 22(a). Feed-forward networks often have one or more hidden layers of sigmoid neurons followed by an output layer of linear neurons. Multiple layers of neurons with nonlinear transfer functions allow the network to learn nonlinear and linear relationships between input and output vectors. The linear output layer lets the network produce values outside the range -1 to $+1$ (figure 22(b)).

The proposed expert system used in the development of our composites repair mechanism follows Armstrong and Barrett (1998). The following six parameters after conveting to an

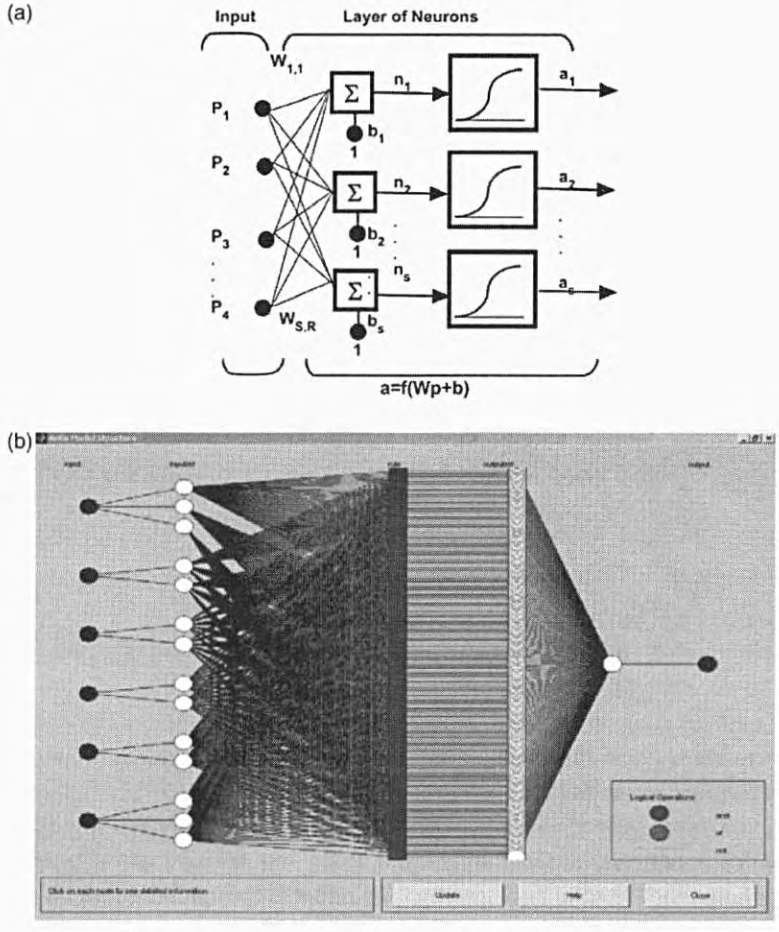


Figure 22. (a) The feed-forward network and (b) the ANFIS model structure.

equal numerical value in the range between 1 and 2 (normalization done automatically), are taken as inputs: (i) Surface or deep damage (ii) thin or thick composite (iii) temporary or permanent repair (iv) lightly or heavily loaded (v) partial or full strength (vi) rough or smooth flush finish. These inputs can also be changed as per our requirements. Based on the six input parameter the ANFIS would suggest an output as for the repair mechanism selected from a series of repair mechanisms like Cosmetic, Resin Injection, Semi-structural Plug / Patch, Structural Mechanically-fastened Doubler, Structural Bonded External Doubler, and Structural Flush Repair. The original ANFIS numerical output in the range between 0 and 1 (normalized value) will be automatically converted to the above linguistic repair mechanism output. A sample output of our ANFIS is shown in figure 23.

18. Summary

In this paper, a new robust methodology for damage detection and suggestive repair mechanism of pipelines was developed. The methodology is deemed to be most suited for health monitoring of pipeline structures, mainly because of the voluminous data involved

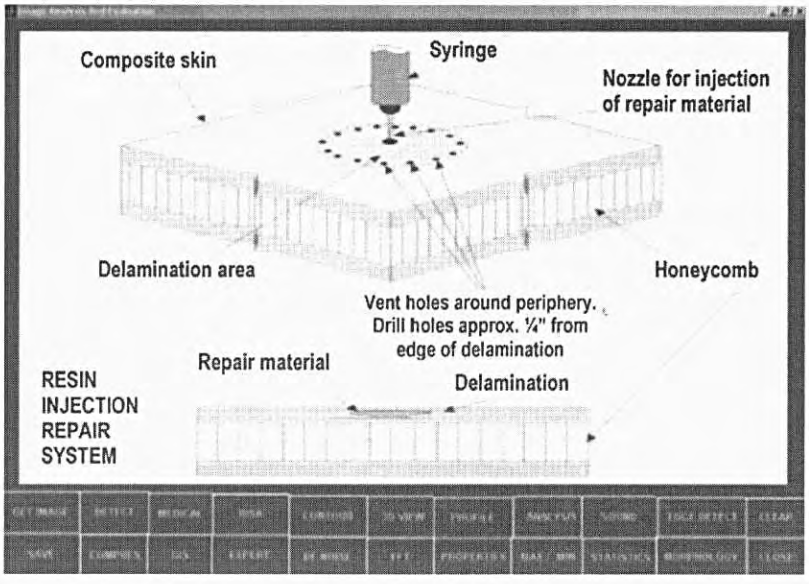


Figure 23. Adaptive neuro-fuzzy inference system output.

when assessing such structural arrays, as opposed to other type of structures. We have also developed a real time automated prototype system using MATLAB language for the damage detection and composite repair mechanism. The proposed system is a generalized one that not only could be used to decipher ultrasonic C-scan images but is also applicable for testing any type of image obtained by various tools such as optical scanner, gyroscopic technology, MRI scan, CT scan, SSET and other similar procedures. The only issue to be considered and managed would be the training of the neural networks for the respective types of images. Therefore, the developed system can be tuned and adopted to assess various types of structural systems. The composite repair mechanism, as described and implemented, could also be easily modified, such that pipelines made of other materials also could be considered with different input parameters. The proposed methodology and system works not only for pipelines like sewer, oil and gas, water networks and chemical transport networks but it can also be used for testing any samples, that are repetitive in nature. Our future research will include further development of the system, such that it could be used in real time through the Internet, as an online Web-based structural health monitoring of system.

Acknowledgements

The financial support of the Atlantic Innovation fund, as well as NSERC granted to the second author in support of this work is gratefully acknowledged.

References

Abraham, D.M., Iseley, T., Prasanth, R.K. and Wirahadikusumah, R., Integrating sensing technologies for underground utility assessment, ASCE Conf. on Infrastruct. Condition Assessment: Art, Sci., Pract., ASCE, Reston, Va., pp. 316–325, 1997.

Armstrong, K. and Barrett, R., *Care and Repair of Advanced Composites* (SAE—1998, ISBN: 0768000475), 1998.
Bose, N.K. and Liang, P., *Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms, and Applications*, 1996 (McGraw-Hill: New York).
Burrus, S., Gopinath, R.A. and Guo, H., *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer*, 1998 (Prentice Hall: Englewood Cliffs).
Campbell, R., Rogers, K. and Gibert, J., PIRAT—A system for quantitative sewer assessment, Int. No-Dig. 95 Conf., Hamburg-Messe & Congress GmbH (HMC), Dresden, Germany, pp. 455–462, 1995.
Cichocki, A. and Amari, S., *Adaptive Blind Signal and Image Processing: Learning Algorithms and Applications*, 2002 (John Wiley & Sons, Inc.: New York).
Coifman, R.R. and Donoho, D.L., Translation invariant de-noising. *Lecture Notes in Statistics*, Vol. 103, pp. 125–150, 1995.
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), 1999. http://www.dbce.csiro.au/ind-serv/brochures/pirat/pirat.htm
Composite Repair NDT/NDI Handbook, 1996 (SAE International: Warrendale, PA).
Donoho, D.L., De-noising by soft-thresholding. *IEEE Trans. on Inf. Theory*, 1995, **41**(3), 613–627.
Durkin, J., *Expert Systems—Design and Development*, 1998 (Macmillan Publishing: New York).
Feng, M.Q., Suzuki, H. and Yokoi, I., Development of optical sensing systems for smart civil infrastructure. *Smart Mat. and Struct.*, 1995, **4**(1A), 114–120.
Grandia, W.A. and Fortunko, S.M., NDE applications of air-coupled ultrasonic transducers, 1995 IEEE International Ultrasonic Symposium Seattle, Washington, Conf. Proc., 1995, S. 697–709.
Hagan, M.T., Demuth, H.B. and Beale, M.H., Neural Network Design (Brooks Cole, ISBN: 0-9717321-0-8), 2003.
Ham, F.M. and Kostanic, I., *Principles of Neurocomputing for Science & Engineering*, 2001 (McGraw-Hill: New York).
Hardle, W., Kerkyacharian, G., Picard, D. and Tsybakov, A., Wavelets, approximation and statistical applications. *Lecture Notes in Statistics*, Vol. 129, 1998 (Springer Verlag: New York).
Huston, D.R., Smart civil structures—an overview, Proc., SPIE Fibers '91 Symp., Paper No. 1588-21, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Wash, 1991.
Iseley, T., Abraham, D.M. and Gokhale, S., Intelligents sewer condition evaluations technologies. Proceedings of the International No-Big Conference, 1997, 254–265.
Jang, J.S.R., Neuro-fuzzy modeling: architectures, analyses, and applications. Ph.D. Dissertation, EECS Department, Univ. of California at Berkeley, 1992.
Jang, J.S.R., ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 1993, **23**(3), 665–685.
Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, 1997 (Prentice Hall: Englewood Cliffs).
Kulkarni, A.D., *Computer Vision and Fuzzy-Neural Systems*, 2001 (Prentice Hall: Englewood Cliffs).
Kumar, S.S. and Taheri, F., Neuro-fuzzy approaches for FRP oil and gas pipeline condition assessment, American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, v 490, Storage Tank Integrity and Materials Evaluation, 2004, p 271–275. ISBN #: 0791846857, 2004.
Maser, K.R., Inventory, condition, and performance assessment in infrastructure facilities management. *J. Profl. Issues in Engrg. Educ. and Pract., ASCE*, 1988, **114**, 271–280.
Mendel, J.M., *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*, 2001 (Prentice Hall: Englewood Cliffs).
Meyer, Y., Les ondelettes. Algorithmes et applications, Colin Ed., Paris, 2nd edition. (English translation: *Wavelets: algorithms and applications. SIAM*).
NDT Resource Center. http://www.ndt-edt.org/index_flash.htm.
Neural Network toolbox user's guide, 2005 (The Math Works: Natick, Massachusetts).
Osyczka, A., Evolutionary algorithms for single and multicriteria design optimization. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Vol. 79, 2001 (Physica-Verlag: Heidelberg), November.
Poli, R. and Langdon, W.B., *Foundations of Genetic Programming*, 2002 (Springer-Verlag: New York).
Rafael, C., Woods, E. and Eddins, L., Digital Image Processing Using MATLAB (Pearson Prentice Hall, ISBN 0-13-008519-7), 2004.
Sharpe, R., Gibert, J. and Oakes, S., Expert systems and artificial intelligence applications in engineering design and inspection, 8th Int. Conf. on Industrial & Engrg. Applications of AI & Expert Sys., International Society of Applied Intelligence, 99–109, 1995.
Sinha, S.K., Fieguth, P.W., Polak, M.A. and McKim, R.A., Automated underground condition assessment by image analysis of the state-of-the-art sewer scanner and evaluation technology (SSET) surveys, No-Dig 1999 Conf., North American Society for Trenchless Technology, (CD-ROM), Orlando, Fla, 1999.
Sugeno, M., *Industrial Applications of Fuzzy Control*, 1985 (Elsevier Science Pub. Co.: (Amsterdam).
Zadeh, L., In *Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L.A. Zadeh*, edited by R.R. Yager *et al.* 1987 (John Wiley: New York).

Copyright of Nondestructive Testing & Evaluation is the property of Taylor & Francis Ltd and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

여 백

Real-time Laser Monitoring based on Pipe Detective Operation

Mongkorn Klingajay, and Tawatchai Jitson

***Abstract*—**The pipe inspection operation is the difficult detective performance. Almost applications are mainly relies on a manual recognition of defective areas that have carried out detection by an engineer. Therefore, an automation process task becomes a necessary in order to avoid the cost incurred in such a manual process. An automated monitoring method to obtain a complete picture of the sewer condition is proposed in this work. The focus of the research is the automated identification and classification of discontinuities in the internal surface of the pipe. The methodology consists of several processing stages including image segmentation into the potential defect regions and geometrical characteristic features. Automatic recognition and classification of pipe defects are carried out by means of using an artificial neural network technique (ANN) based on Radial Basic Function (RBF). Experiments in a realistic environment have been conducted and results are presented.

***Keywords*—**Artificial neural network, Radial basic function, Curve fitting, CCTV, Image segmentation, Data acquisition.

I. Introduction

THE sewer operation is one of the biggest infrastructures of several industrialised countries, reaching 5000 km of sewers per million of persons. Whilst, the total sewer operations in Thailand are predicted to be 170,000 km long. Some sewers are now more than 100 years old, and at least half the total number of sewers is over 50 years old, and around 20% of them are damaged in any reason. According to a study by a Thailand-based company, there are approximately 6,000 collapses and 350,000 blockages per year in the Thailand. Considering that only 0.1 % of the sewer system is replaced every years, these figures are expected to increase by 3% every years. Early detection of pipe defects may prevent severe failures that could involve environmental catastrophes and high economic costs.

Since the small diameter of sewers, humans could not access and directly inspect a large part of pipes in the municipal sewer system. Remotely controlled inspection devices based on mobile robots or wheeled platforms equipped with sensors are used instead. The standard approach is to have a closed circuit television (CCTV) camera fitted on a mobile platform that travels through the pipe recording images onto a videotape. The recorded images are assessed off-line by an engineer. One of the major drawbacks of this technique is the exorbitant amount of information generated, that can reach about 3 hours of video for the inspection of 1 km of line [6].

Standard CCTV is currently used in many pipe inspection applications, such as sewers. This human-based approach is prone to error because of the exorbitant amount of data to be assessed, and smaller anomalies or defects are likely to be overlooked reducing the chance of detection of faults at an early stage. And some research has been carried out in the field of automated sewer inspection. For instance, the Civil and Environmental Engineering group, at Concordia University (Canada), is developing a model for automating the process of identifying surface defects from digitised video images of underground water and sewer pipes, using image analysis, pattern recognition and neural networks [5]. Automatic recognition, rating and classification of pipe defects are carried out by means of artificial intelligence software tools. Images are segmented into potential defect regions and characteristic geometric features. Region classification is performed by a feed-forward, off-line trained neural network classifier. A rule-based system interprets, rates and reports the classified regions as pipe defects [1].

Laser profilers for pipe inspection have been recently proposed to overcome CCTV problems. Positional as well as intensity information, related to potential defects. While single techniques have been used for other types of pipe inspection [9], inspecting the two media (liquid and gas) in sewers is more complex than, for example, gas or water pipelines inspection [7]. The investigation reported in this paper is part of a research program with aiming to develop intelligent autonomous agents, which able to travel inside sewer pipes and inspect them for defect detection. A main research challenge in developing autonomous systems is to create a robust sensor system capable of monitoring the pipe above and below the water line. Two main disadvantages of such camera-based inspection systems are (a) the low quality of the acquired images due to difficult lighting conditions (b) the susceptibility to error during the offline assessment by human operators. This research is aim to overcome these disadvantages and to create an intelligent sensing approach for improved and automated pipe-condition assessment.

Therefore, the time required by the engineer to assess the pipe condition depends on the number of defects. Owing to the variability and the time consumption incurred by the human-based assessment process, automation of this part of the inspection task becomes an important issue.

This research is aim to study and develop multi-sensor systems and to create intelligent sensor fusion and sensor data processing algorithms. It is envisaged that a system based on a laser-profiler and CCD camera measures the surface geometry

M. Klingajay is with Rajamangala University of Technology Thunyabury, Pathumthanee, 12120, Thailand (e-mail: mongkorn@rmutt.ac.th).

T. Jitson is with Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, 10330, Thailand (e-mail: t_jitson@hotmail.com).

 © 2008 WASET.ORG

of the drained part of a sewer, while a sonar scanner measures the flooded part. And also is assessment for sampling sewage water leaking from holes around the pipe.

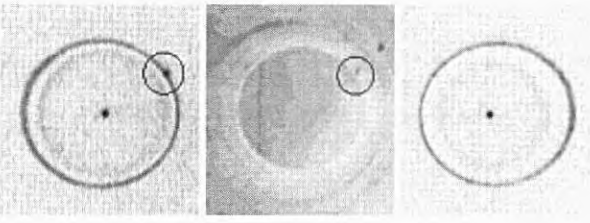
In the development of a micro-robot for inspecting the inside of pipes with an internal diameter of 1 to 3 inches, the author of this paper designed an in-pipe mobile mechanism adaptive to pipe diameter. This paper presents the automated inspection condition assessment of the non-flooded part of the pipe, using a structured light source and a ring-pattern projector. The described method makes use of an intelligent classification stage that provides clear identification of defective pipe segments. The research work presented in this paper mainly aims at the identification of holes. Work to classify other faults such as radial cracks, longitudinal cracks and obstacles is still in the experimental stage and also presents a compact design of the robot's mechanical and electronic systems, and develops a simple for determining the hole position using some characteristics of this in-pipe robot.

The different processing stages such as data acquisition, image processing and classification are described in the following sections. In Section II, the transducer that is used to acquire the images is described. The segmentation of the image into regions of interest will be shown in Section III. The classification step is shown in Section IV. Finally, conclusions are given in Section V.

II. CCTV-Based Laser Profiler

CCTV images are often difficult to interpret. Spatial reference is needed if faults are located, and illumination is not always sufficient to allow fault identification. This is specially the case with small cracks and holes in the pipe surface (Fig. 1). In this work, a laser-based profiler can easily be incorporated into existing camera-based systems is employed with this problem. The transducer consists of an optical pattern generator. The optical ring generator is made of an assembly of a laser generator and diffractive diffuser optics. The experimental rig used a semiconductor laser diode wavelength and a diffractive diffuser generating a ring pattern. The circular patterns of light are fetch by a calibrated CCD camera, and stored in a computer via a frame grabber (see Fig. 2).

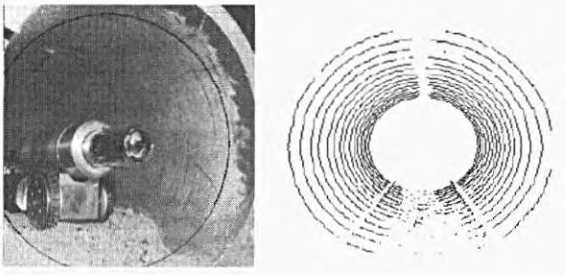
Tests were conducted on PVC pipe sections with inner diameters of 260 and 300 mm. Holes were pierced into the walls of the pipe segments in order to simulate defects. Local discontinuities, such as cracks or holes can be detected by analysing the light intensity of the projected rings. At points where discontinuities occur, the laser light is scattered resulting in changes of intensity levels in the acquired camera image (see Fig. 2). With analyzing these intensity levels defects can be detected. Therefore, as the geometric characteristics of the cone of light are fixed for a given diffuser optic, the location of the surface under investigation relative to the platform is known. Consequently discontinuities can be identified and located.



(a) (b) (c)

Fig. 1 Images of a pipe with a 2 mm hole

In Fig. 1, the images of a pipe with a 2 mm hole has been presented, the location of the hole is also highlighted with a small circle, see Fig. 1 (a). This is shown that the image acquired using the laser-based transducer, where the crack can be easily identified. At the Fig. 1 (b) shown the image acquired with a conventional CCD camera and lighting system. Note that the white spot next to the circle is created by a light reflection; it is not a defect (c) that presents the image acquired using the laser-based transducer, corresponding to the location of the non-defective point caused by light reflection as referred to in b). This image shows that the proposed method correctly presents this point as non-defective.



(a) the traversal algorithm (b) the curve from sensor

Fig. 2 The identification process

The identified technique has applied using the computer interfacing to receive the image signal during the traversal algorithm. The digital signal of signature curves has been applied to the identification process as monitoring method. This traversal algorithm and identification process have been presented in Figs. 2(a) and 2(b).

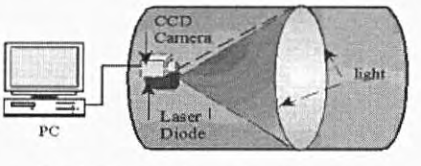


Fig. 3 The experimental test rig set-up

In Fig. 3, this shown the test rig as the experimental set-up, where a camera and a laser projector are placed next to each other. The camera images are loaded into a Personal computer by means of a frame-grabber process for using in the identified algorithm.

 © 2008 WASET.ORG

III. Image Segmentation

A sequence of image processing stages is used to identify the location and specific shape of the ring profile and to separate it from the image background. Once a ring profile is properly extracted, a feature extraction algorithm scans the profile. This process is repeated for each of the acquired profiles, instead of searching the entire and potentially very large pipe wall image for defects. This approach has been shown to considerably reduce the amount of data to be processed, and consequently the computation time. The projection of a circle into the camera image is an ellipse. Also, any misalignment of the projector device with respect to the pipe centre will cause the ring projection to degenerate into an ellipse. Fitting the acquired pixels to an ellipse equation becomes a need. Clustering methods such as Hough transform were tried, but besides some advantages like high robustness to occlusions and lack of pre-segmentation requirements.

They are computationally complex and result in multiple solutions. In this work, a highly efficient specific ellipse-fitting algorithm is used. It is preceded by a signal-conditioning and filtering stage, which enhances the quality of the images and facilitates the identification of the ellipse [3].

A. Signal Conditioning

Prior to applying the conic-fitting algorithm, image quality needs to be enhanced. Low-pass filtering steps are applied, followed by an edge detector [3]. One essential operation to cope with lighting variations is histogram adaptation. In our case, the intensity levels of all the image pixels are adjusted to span the entire available intensity range (0,255). This is an adaptive image processing step where the pixels intensities are mapped in such a way that all input intensities that fall below the average intensity value (background) are mapped to zero intensity, and all intensities higher than the average are "expanded" to span the entire image intensity range. The effect is that the resulting image is considerably brightened, and the dynamic range of the dark portions of the original image is widened, making it much easier to identify the circle of light. A median filter is applied then, so that noise is attenuated and edges are preserved. Finally, a canny edge detector has been found most efficient to pre-segment the image by finding the edges of the ring of light [3].

B. Ellipse Extraction – Curve Fitting

The methodology has been used in this research to efficiently fit the image to a conic. It is based on the ellipse fitting method proposed by Fitzgibbon [2], improved by a method suggested by Halýr [4]. The approach is a non-iterative algorithm based on a least squares minimization of the algebraic distance between the data points and the ellipse. A quadratic constraint guarantees an ellipse-specific solution even for scattered or noisy data, or for a partial occlusion condition, which can occur when the sewer is partially flooded. Also to improve the behaviour of the algorithm in the presence of noise, a weighted function is applied to the points before feeding them to the above algorithm.

The method is based on the representation of a conic by an implicit second order polynomial:

$$F(\bar{a},\bar{x})=\bar{a}\cdot\bar{x}=a\cdot x^2+b\cdot x\cdot y+c\cdot y^2+d\cdot x+e\cdot y+f=0 \quad (1)$$

Where $\bar{a}=[a\ b\ c\ d\ e\ f]^T$ and,

$$\bar{x}=[x^2\ \ xy\ \ y^2\ \ x\ \ y\ \ 1]^T$$

and $F(\bar{a},\bar{x})$ is the algebraic distance of a point (x, y) to the conic $F(\bar{a},\bar{x})=0$.

The curve fitting consists of minimizing the squares of the distances, $\sum_{i=1}^{N}F(\bar{a},\bar{x}_i)^2$, subject to the equality constraint, $4ac-b^2=1$, incoporating both scaling and ellipse-specific conditions. Then, the smooth curve can be fitted and applied to the experimental signal. Using the interpolating polynomial of n^{th} degree then we can obtain a piecewise use of polynomials, this technique is to fit the original data with the polynomial of degree through subsets of the data points. This result is quite suitable approach as a least square curve fit algorithm [10].

C. Feature Extraction

At that stage, the extraction of the intensity information along the segmented ellipse is completed. In order to achieve this, a partial histogram of the image is created using local averages of intensity along the ring profile. Subsequently, faults can be identified and located analyzing successive histograms. The feature extraction algorithm computes local averages of intensity along a defined number of segments of the ellipse. The local average intensity is computed using the formula:

$$\frac{\Sigma\mu - x}{\Sigma\mu} \quad (2)$$

Where,

x is the grey level of a certain image point, and

μ the frequency of that grey level.

Since the image of the ring of light is wider than one pixel, the average is computed over a sliding window covering area along individual ellipse segments. Fig. 3 shows the results of the feature extraction process displayed as a partial image histogram. In the current experiment, a pipe of 260 mm of diameter is used. A 2mm hole has been pierced at 122 degrees from the horizontal axis. The partial histograms have been computed with steps of one degree along the ellipse segments. Successive histograms are computed from the pipe surface images that are taken while the platform travels along the pipe, to create an image of the pipe wall. Steps of 5 mm in the longitudinal direction were used in this experiment. A sliding window is applied along the ellipse. The peak indicates the location of a potential discontinuity, which shown in Fig. 4.

 © 2008 WASET.ORG

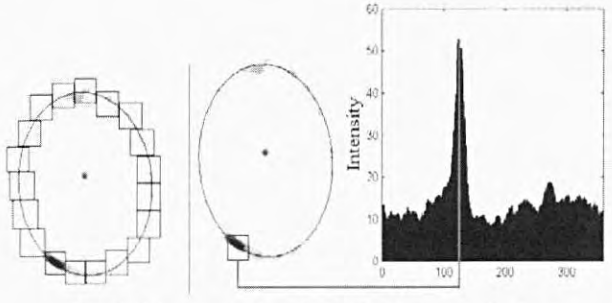


Fig. 4 Extraction feature (with the sliding window)

IV. Classification Using RBF Neural Network

The aim of the neural network is to identify defective and non-defective pipe sections and to classify different defects in the surface of the pipe. This work focuses on the identification and classification of holes. In further work, the neural network is intended to classify between other discontinuities such as longitudinal cracks, radial cracks, holes and obstacles. Sets of pre-processed data representing 360-degree profiles are fed into the network. The main aim of the pre-processing stage is to remove measurement noise from the training data that could otherwise enter the RBF NN algorithm and interfere in the learning process and probably complicate the classification task. Open-up representation of the inner surface of the pipe and the peak intensity shows the location of a potential hole/defect shown in Fig. 5.

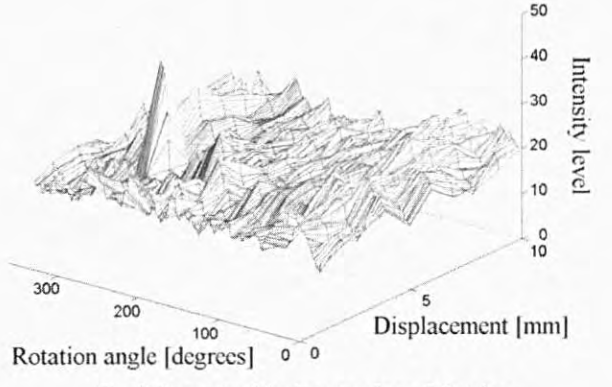


Fig. 5 Open-up of the inner surface of the pipe

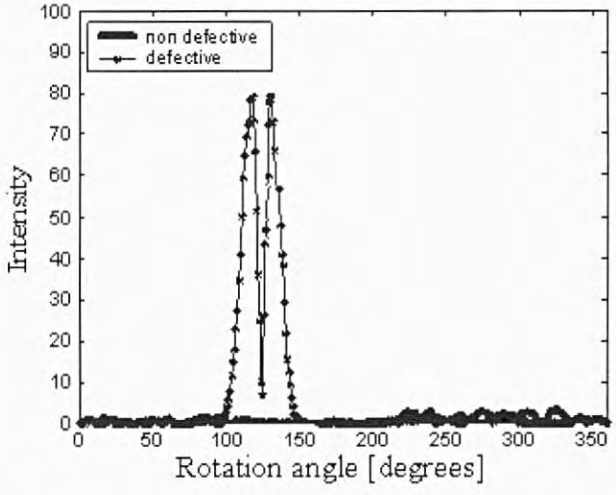
A. Pre-processing

Before feeding the neural network, the raw data is pre-processed to filter out non-relevant data. In our case the goal is the identification of holes in the surface of the pipe. The main interest here is to locate the points where the variation in intensity levels is high, both in the radial and in the displacement direction, regardless of the lighting conditions (Fig. 4). The first step consists of emphasising sharp intensity variations (associated to possible holes).

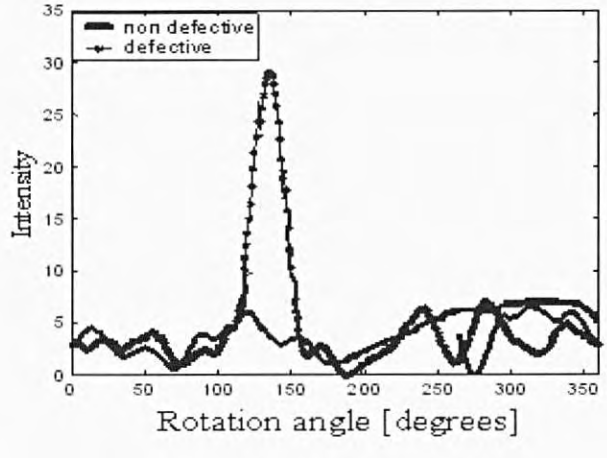
The computation in this stage is based on obtaining the partial derivatives $\partial f/\partial d$ and $\partial f/\partial \alpha$, with d being the displacement along the pipe in the longitudinal direction, and α being the rotation angle along a pipe profile. Both partial derivatives at the point where the hole is located present sharp peaks of amplitude (Fig. 5).

This operation effectively attenuates slow changes in intensity that is primarily due to simple differences in illumination across the section under study. As a lateral effect, low-amplitude noisy data transitions will be emphasised as well. A low-pass moving average filter is applied to remove this high-frequency noise. Fig. 5 shows sample pipe profiles after filtering. It can be noticed that defective sections present sharp peaks of intensity in both partial derivatives.

Therefore, the curve fitting method has been employed using an algorithm of the polynomial technique to fit on this captured curves [11] into this signal after noise filter.



(a)



(b)

Fig. 6 Pipe profiles after filtering

Pipe profiles representations after filtering can be noticed that defective sections present a sharp peak of intensity in both partial derivatives in Fig. 6(a) are Partial derivative respect to the rotation angle of non-defective and defective sections;

 © 2008 WASET.ORG

Partial derivative respect to the displacement of non-defective and defective sections shown in Fig. 6(b)

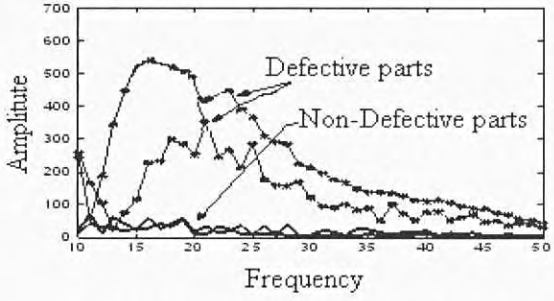


Fig. 7 FFT of defective and non-defective sections

In Fig. 7, FFT of defective and non-defective sections have presented. Although the resulting data could probably be used to feed the NN (Fig. 6), a further step is taken in order to reduce the amount of data supplied to the network. Fig. 7 shows defective and non-defective pipe profiles together with their Fourier transforms. The peaks that can be observed in the mid-frequency range of the Fourier domain correspond to intensity variations due to physical defects.

The interesting feature is the fact that a neural network can use this FFT data in order to consider defects, regardless of their position in the spatial domain along a certain profile. In other words, by using Fourier data, the NN does not need to be trained with a stream of sections that contain defects at all possible points in the pipe section (see Fig. 7).

B. Network Structure

The network used in this work that consists of three layers composed of neurons. These neurons are arranged in such a way that each of them has a weighted connection coming from every neuron in the previous layer. Each neuron performs a summation of all its inputs and passes the value through a non-linear function before sending it to the output. Choosing the parameters for these operations is done through a training process. The training algorithm used in this work is based on RBF, which is widely used for classification problems. The training method is gradient descent with momentum and variable learning rate. The training rule is: $\Delta w_{ij}(n+1) = \eta(\delta_{pj} O_{pi}) + \alpha \Delta w_{ji}(n)$, where n is the index for the presentation number, α is the learning rate , and Δ is a constant that determines the effect of the past weight changes [1,6].

C. Experimental Results

Experiments with different configurations of NN architectures and different number of hidden layer nodes were carried out. The best performance was achieved with three layers: One first layer of 50 inputs, the second of 100 hidden nodes and finally one output node as the third layer. The input to the training algorithm was a stream of pre-processed measurement data, as shown in section IV(A), containing both faulty and non-faulty pipe sections.

The training behaviour shown the algorithm is able to classify the training data bringing the error down to 0.0001 after 39 epochs (Fig. 8). The ability of the data to cope with unseen data is also tested. Table I is to conclude the output results of the network for four pipe profiles not seen during the training. The target column specifies the value '1' or '0' corresponding to non-defective and defective sections respectively. The output column represents the output node. The error is the absolute difference between the target and the output values.

These results show that the network is able to identify irregularities in the data, related to defective sections with holes, even if the data was not seen by the network beforehand.

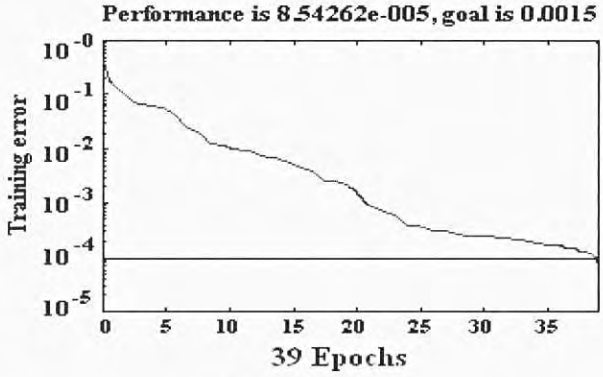


Fig. 8 Training error

TABLE I
NETWORK RESPONSE TO UNSEEN DATA

Section	Target	Output	Error
Defective sections	0	0.2169	0.0021
	0	0.0650	0.0050
Non-defective sections	1	1.2021	0. 032
	1	1.2324	0. 0161

V. CONCLUSION

A new laser-based inspection system for the automatic assessment of sewer conditions has been presented. The method is based on the projection of a laser-generated pattern onto the pipe walls, allowing the location of cracks in the inner surface of pipes by analyzing the light intensity of the projected rings. Classification is achieved by means of an RBF NN. The trained network is capable of distinguish between defective and non-defective pipe sections. Tests have been conducted in plastic pipes with different inner diameters and Holes as small as 2 mm. have been detected. Future work will focus on the classification of other discontinuities such as longitudinal and radial cracks.

This laser profiler as well as the suggested defect detection method can be easily incorporated into existing CCTV inspection systems, greatly improving their behaviour, especially under harsh lighting conditions. After these

 © 2008 WASET.ORG

encouraging results, the next step will be to test the system in real pipes, in order to confirm its robustness and to improve the experimental set-up and the algorithms to cope with real conditions. Algorithms to retrieve the position of the platform with respect to the pipe are under research, since the platform is not expected to be always in the centre of the pipe. Besides that, the profile images could change, due to possible particles in the gaseous part of the pipe and roots penetrating through the walls of the pipe. To cope with such problems the algorithms and the experimental set-up could need further development to guarantee a clear representation of discontinuities.

The long-term objective of this research is to assess partially flooded pipes using a multi-sensor system. The transducer described in this paper inspects the non-flooded surface, while an ultrasonic sensor will inspect the flooded parts [1]. In order to get a complete image representing the condition of the entire surface of the pipe, sensor fusion can be carried out at the pixel, signal or feature levels. Moreover, the information acquired by the ultrasonic sensor will be used in order to improve the performance of the camera-based method described here, especially in the presence of noise or under conditions where the camera images are partially occluded.

REFERENCES

[1] Campbell, G. Rogers, K. Gilbert, J. Pirat – a system for quantitative sewer assessment, Interna¬tional No Dig'95, Dresden, Germany, 1995.
[2] Fitzgibbon, A. Pilu, M. Fisher R. Direct Least Square Fitting of Ellipses. Pattern analysis and machine intelligence, Vol. 21 Issue 5, pp 476-480, 1999.
[3] Gonzalez R.C. Digital Image Processing. Addison-Wesley, MA, 1987.
[4] Halir, R. Flusser J.: Numerically stable direct least squares fitting of ellipses. The Sixth International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, Plzeò, pp. 125-132, 1998.
[5] Moselhi, O. Shehab-Eldeen, T. Automated detection of surface defects in water and sewer pipes. Automation in Construction 8, pp 581-588, 1999.
[6] Pace, NG. Ultrasonic surveying of fully charged sewage pipes, Electronics and Communications Engineering Journal, pp 87-92, 1994.
[7] Romero, A. Applications and benefits of using camera technology to internally inspect polyethylene main service piping", American Gas Association Operations Conference, Clevehand, Ohio, USA, May 1999.
[8] Roth, H, Schilling, K. Navigation and Control for Pipe Inspection and Repair Robots: Proc of IFAC World Congress, 1999.
[9] Willke, T. Five technologies expected to change the pipe line industry, Pipe Line & Gas Industry, January 1998.
[10] Mongkorn Klingajay, Nicola Ivan Giannoccaro, The monitoring of autonomous threaded fastening based on curve fitting and lsm estimatione, Proceedings of The International Association of Science and Technology for Development IASTED) on Robotics and Applications (RA2005), Cambridge, USA, November 2005.
[11] Mongkorn Klingajay, Sirisorn Mitranon, The optimization of an autonomous real-time process using curve fitting signature signal, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM 2008), Chengdu, China, June 2008.

 © 2008 WASET.ORG

Copyright of Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology is the property of World Academy of Science, Engineering & Technology and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

여 백

State of the Art in Sensor Technologies for Sewer Inspection

Olga Duran, Kaspar Althoefer, and Lakmal D. Seneviratne

Abstract—**This paper reviews the state of the art in sensors and automated inspection devices for enhanced sewer inspection. Efficiency, safety, environmental, and legislative concerns have made inspection and assessment of communal sewers a central issue to water and sewerage companies. Nowadays, the standard sewer inspection system is based on a wheeled platform on which a closed circuit television (CCTV) camera is mounted. One of the disadvantages of camera inspection systems is that they can only detect a small proportion of all possible damage in a sewer. The inspection outcome of such systems relies not only on the quality of the acquired images, but also on the off-line recognition and classification conducted by human operators. In consequence, CCTV-based platforms are frequently not effective. Infrared, microwave, optical, and ultrasonic-based sensors have been proposed to complement the existing CCTV-based approach and to improve inspection results. New inspection devices employing multiple sensors and being capable of carrying out remote sewer inspection tasks are under research.**

Index Terms—**CCTV, ground penetrating radar, infrared thermography, laser profilometry, pipe inspection, sewer inspection, sonar.**

I. Introduction

THE communal sewer network is often one of the biggest infrastructures of an industrialized country, reaching about 5000 km of sewers per million citizens. For example, the total sewer network of the U.K. is estimated to be 250 000 km long, Japan's network is 340 000 km long, and the sewer system in Germany is even 360 000 km long [1], [3], [9]. Similar figures apply also to the U.S., which, according to the U.S. Environmental Protection Agency, is presumed to have approximately two million-km of sewers.

Mainly due to their age (at least half the total number of sewers is over 50 years old), it is estimated that around 20% of sewer networks are damaged [2]. According to a study by an U.K.-based company, there are approximately 5000 collapses and 200 000 blockages per year in the U.K. [3]. Considering that only 0.1% of the sewer system is replaced every year, these figures are expected to increase by 3% every year [3]. Early detection of cracks may prevent severe failures that can involve environmental catastrophes and high economic costs. Most of the sewer inspection systems currently use closed-circuit television (CCTV) as the sensing device. The camera is fitted on a robot or a wheeled platform that travels across the pipe recording the images in a videotape which will be inspected off-line by an operator. This method has some disadvantages such as being slow, expensive, and prone to human errors.

Emerging sensing technologies for sewer inspection are infrared thermography systems, based on heat transfer and temperature differences in materials, ground penetrating radar, based on the emission of electromagnetic pulses, ultrasonic-based systems, and laser-based systems. These sensing technologies have been proposed and implemented in some advanced inspection platforms that are mostly under research. The aim of this paper is to review currently-used and newly-developed sensing methods suitable for assessing the condition of waste pipes. In Section II, the characteristics of the pipes and sewer environment are examined to establish the requirements of sewer inspection sensors. In Section III, current commercially employed systems for sewer inspection are reviewed. In Section IV, sensing methods that can be used for the nondestructive inspection of sewer conditions are described. In Section V, integrated inspection systems making use of some of these sensing methods are described. The conclusions of the paper will be presented in Section VI.

II. Characteristics of Sewers

The quality of the assessment can be optimized by choosing the most suitable sensors for the particular inspection problem. In order to do this, it is necessary to define the specifications of the required inspection and, consequently, to take into account details of the nature and characteristics of the pipe.

There are three types of wastewater systems: storm drains, sanitary sewers, and combined systems for both purposes. Sewers, in general, were traditionally constructed of vitrified clay, cast iron, bricks, and concrete. Current constructions use materials such as reinforced concrete, ductile iron, steel, polyvinyl chloride (PVC), and polyethylene [3], [7].

A large part of pipes used in municipal sewer networks is circular. Pipes wider than 1 m inner diameter are considered accessible for humans and are inspected by walking through them. Although the size of sewers varies greatly in different countries, the majority of them are inaccessible, with diameters going down to 100 mm [3], [8], [17], [18], [59]. For instance, in the U.K., 96% of the 250 000 km of existing sewers have inner diameters smaller than 1 m. There are, however, holes at regular intervals through which the pipe can be accessed. These apertures are called manholes and are predominantly made of clay bricks or reinforced concrete [2].

Besides the material and geometrical characteristics of the pipe, it is important to consider the nature of the failures to be

Manuscript received September 8, 2000; revised February 4, 2002. The associate editor coordinating the review of this paper and approving it for publication was Dr. Vladimir Lumelsky.

The authors are with the Department of Mechanical Engineering, King's College London, London, U.K. (e-mail: olga.duran@kcl.ac.uk; k.althoefer@kcl.ac.uk; lakmal.seneviratne@kcl.ac.uk).

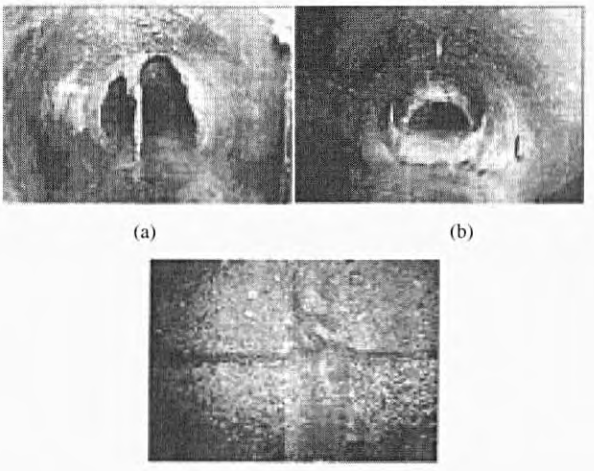
Publisher Item Identifier S 1530-437X(02)03943-X.

1530-437X/02$17.00 © 2002 IEEE

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

detected. Structural failures in pipes include cracks, vertical and horizontal deflection, missing bricks, root intrusion, sag, open joints, and deteriorated mortar (see Fig. 1). Most structural failures are caused by corrosion, soil movement, or roots that puncture or grow inside the pipe [3], [7]. The type of soil surrounding the pipe is an important factor to be considered, as the stability of a deteriorated sewer may depend on the lateral support provided by the soil [5].

Other characteristics of sewers have to be considered as they may cause difficulties during the inspection. One of them is the fact that levels of water inside the pipe may vary from dry to completely flooded. Typically, the lowest water level to be expected in a sewer is around 5% [1]; this condition might occur, for instance, in a combined sewer during dry weather. Another example is the lack of light inside the pipe that may adversely effect the quality of sensor measurements, especially when optical solutions are employed. Finally, it has to be taken into consideration that, in general, the walls are not smooth. When the sensing methods, such as laser or ultrasonic-based techniques, operate on the principle based upon wave-material interaction phenomena, the surface roughness can reduce signal amplitude by scattering and focusing the beam.



(a) (b)

(c)

Fig. 1. Structural defects in sewers: a) roots; b) blockage; c) cracks (courtesy of Everest VIT Ltd.).

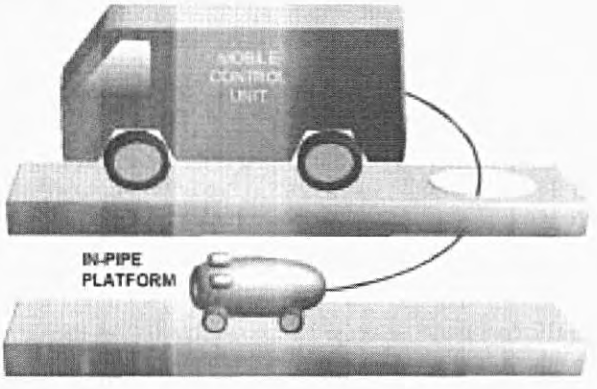


Fig. 2. In-pipe platform and mobile control room.

III. Current Commercially Employed Systems

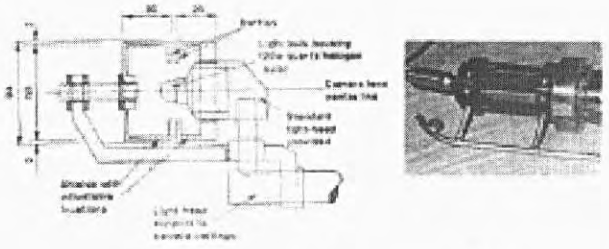
Closed-circuit television (CCTV) equipment has established itself as the most common method for inspecting the internal condition of sewers. The method consists of a wheeled remotely-operated platform usually equipped with a color, high-resolution video camera and a lighting system. The camera platform is connected via a physical multi-core cable to a remote station situated over-ground. The cable is used for transmitting power supply and data, determining the distance traveled, and also allowing to manually pull the platform to safety in case of malfunction (see Fig. 2). However, the cable restricts the range of operation of the inspection platform connected to it, mainly due to the friction between the cable and the pipe wall.

The CCTV camera acquires images of the inner surface of the pipe, which are stored onto videotape. The videotape is then visually inspected by a human operator. The accuracy of such systems relies on the quality of the on-line acquired images and the offline recognition and classification by trained operators. Moreover, the amount of information generated (about 30 h of video for the inspection of 10 Km of line) is exorbitant and a major hindrance for conducting large-scale surveys. The time required to inspect the pipe also depends on the number of defects, since at each defect the operator must stop, assess, and record the condition. Thus, the inspection of a heavily damaged pipe section will take much longer than an intact pipe section [5]. Therefore, it is difficult to estimate time and cost to perform CCTV surveys.

Some major drawbacks that make the use of CCTV-based platforms in sewers more difficult have been reported by inspection companies. In some cases, it is not even possible to deploy the camera in the sewer because of existent obstructions [see Fig. 1(b)] [3]. The lack of visibility inside the pipes is another difficulty. New adapted lighting systems for small diameter cameras and cameras with increased light sensitivity have been introduced, reducing greatly the visibility problem [60]. However, the lack of visibility becomes specifically a weakness when the camera is submerged in the sewage because the images may become distorted. For this reason, a large quantity of sewers, estimated to be between 10 000 and 25 000 km in the U.K. [1], cannot be inspected by CCTV means. Draining the pipe might not be an appropriate option as it adds a considerable cost to the survey, besides disrupting the service. Changes in the sewer shape are also difficult to measure using conventional CCTV camera systems. This is due to the lack of external reference points (objects of known size and distance to the camera) that are needed in order to calibrate the sewer image.

In the field of image enhancement using CCTV systems, advanced methods are being investigated. For instance, using a special light head attached to the camera, a normal CCTV platform can allow the measurement of pipe profiles and consequently the detection of changes in the sewer shape. This approach is used in the Flexiprobe system, proposed by the Department of Civil Engineering at the University of Wales (U.K.). The Flexiprobe consists of a profiling adapter for conventional CCTV pipe inspection cameras (see Fig. 3). The system works by projecting a thin ring of light onto the pipe wall that is then acquired by the camera. As the platform moves through the pipe,

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.



(a) (b)

Fig. 3. Flexiprobe system: Pipe-profiling system for CCTV system. (a) Lighting projection system and (b) the flexiprobe camera (courtesy of IOP Publishing Ltd. [4]).

a succession of measurements of the profile allows the creation of a three-dimensional picture of the inner pipe wall. At a further stage, a filtering operation on the profiling points removes extraneous points that do not belong to the profile. This system has been successfully used to examine vitrified clay and plastic sewer pipes [4].

Further improvements for systems using CCTV cameras for the detection of surface defects in water and sewer pipes are under research. In the field of automated systems, for instance, the system proposed by Civil and Environmental Engineering group, Concordia University, Canada, utilizes image analysis, pattern recognition, neural networks, and techniques commonly used in processing digitized video images [42].

A detailed description on different commercial platforms and CCTV cameras can be found in [60]. Despite improvements in CCTV-based systems, the increasing need for repairing and replacing sewer and similar pipe networks encouraged the development of new rehabilitation tools and inspection methods.

In order to get fast and accurate measurements of pipe profiles, to improve the accuracy and to obtain high-resolution measurements, laser-profilometry techniques can be used to complement the data acquired by CCTV cameras. Further technologies that can be used for sewer inspection are infrared thermography, ground penetrating radar, and ultrasonic-based techniques.

IV. Advanced Sensing Methods

A. Laser-Based Systems

Profiling techniques using conventional CCTV cameras and additional lighting systems have been presented in Section III. In profilometry, the precision of the pattern generated by the projector is crucial for the quality of the measurements. For this reason, advanced optical systems use a structured light source instead of a standard lighting system (e.g., halogen light). Structured light sources are able to project better-defined patterns of light onto the wall of the pipe. This arrangement is known as laser profilometry technique and, in most cases, a laser diode is used as light source [46], [47].

Regarding the configuration of the device used to generate the light ring, profiling techniques can implement the whole circle image method, or the single spot scanning method [44]. The first method consists of an optical pattern generator that projects a full ring of light onto the wall (*in one go*). Optical ring generators are usually made of an assembly of lenses and conical

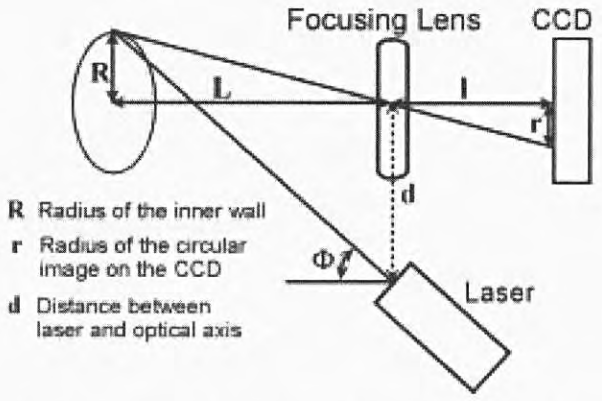


Fig. 4. Typical optical path and principle of optical triangulation: If the height of the target surface R changes, the image spot shifts.

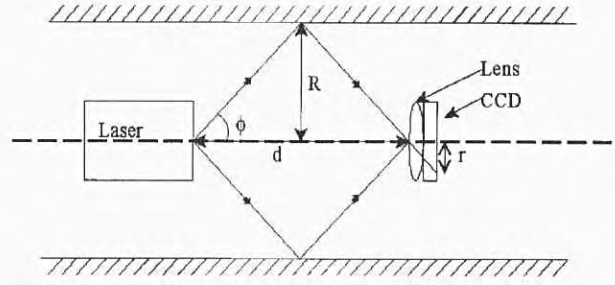


Fig. 5. Symmetric arrangement: The projector and camera are located along the same optical axis.

reflecting mirrors or prisms. The reflected light will form an invariant-width and circular pattern of light, independently of the inner diameter of the pipe, which will be read by the camera. The single spot scanning method sends point-by-point beams in a sequential manner. A mechanism incorporating a light-sensitive sensor and a laser rotates continuously in order to transmit individual light points perpendicular to the pipe axis and to measure their reflection off the pipe surface. The Thames Water/OMC pipe profiling tool is an example of such a single spot method. The rotation angle is measured with an optical encoder. This system measures the size and shape of pipes by taking around 1000 measurements in a 360-degree scan in 5 s. The resolution of the device is 0.25 mm and the diameters of pipes that can be measured with this method range from 225 mm to 1.5 meters [22]. The choice between the whole-circle-image method and the single-spot-scanning method is a trade-off between accuracy and inspection time. The whole-circle-image method allows faster data acquisition, but has been found less accurate [43]–[45].

In profilometry arrangements, the calculations are based on the parallax between camera and illumination, and the principle of optical triangulation. Fig. 4 illustrates the basic principle of the measurement [46], [47]. The spot of the laser light reflected is projected through a lens onto a CCD detector, which generates a signal proportional to the position of the spot. If the height of the target surface changes, the image spot shifts.

These calculations are simplified when the illumination source and the detector are located on the same optical axis. Moreover, as shown in Fig. 5, owing to the symmetry of the optical axis, there is a constant illumination over the complete

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

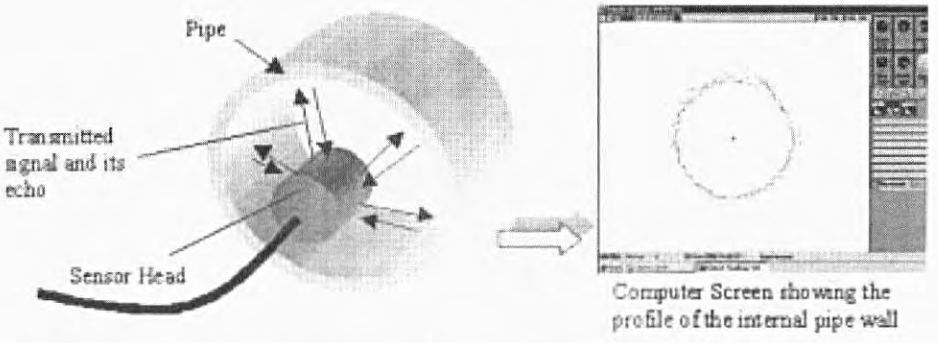


Fig. 6. Experimental setup and some results using rotating transducers.

circle of the pipe wall, and all the points are measured with the same accuracy.

Common profiling systems have the detector and the projector located side by side (see Fig. 4). For such systems, special arrangements are needed in order to have the detector and the objective lens on the same optical axis. One of these arrangements, where detector and camera are placed along the same optical axis, is shown in Fig. 5 [48]. Another construction is used in the KARO robot [10], [13]. The solution for the latter pipe inspection robot is an optical system consisting of the following elements: a light projector, a camera for visual inspection and a camera for profiling measurement. By means of an appropriate lens system, these elements are on the same virtual optical axis.

Laser profilometry sensors have proved efficient for sewer inspection. Compared to ultrasonic profiling tools, better results have been obtained in terms of accuracy and resolution. However, cameras usually work in the air medium and special camera and lighting systems have to be used when working in water or other fluids because of the notable loss of visibility. Another concern is that profiling methods just allow inspection of the inner wall and not subsurface inspection. Other problems using conventional CCTV camera system is the lack of calibration. Detecting and measuring changes in the shape is, then, a difficult procedure. Profiling systems overcome those problems by generating a line of light around the pipe circumference [42]–[47].

B. Ultrasonic-Based Sensors

Sewer inspection methods based on ultrasound use high frequency sound waves to detect several features of a material such as thickness, attenuation, shape, presence of defects, size of defects, and orientation of defects. Pulsed beams of ultrasound can be produced with a transducer. Any sound that returns to the transducer gives two main measurements: amplitude of returned signal and time elapsed between emission and reception by the transducer [19], [20]. As the speed of sound is usually known, the travel distance can be calculated by measuring the time of flight. A point-by-point inspection can be achieved with a rotating transducer that scans the pipe wall, receiving the echo from the pipe wall, and then rotating to the next position [19]–[21], [34]. This echo is caused by the difference in the acoustic impedance of two materials, causing the reflection of the acoustic energy. The disparity between the impedance of the water and the impedance of the rigid wall of a pipe, or between the air and the pipe wall itself provide excellent sonic reflectors, as does the interface between air and water.

An inspection system called *Rotator Sonic Caliper* is an example of a commercial tool based on sonic measurements. The sound is generated by a single piezoelectric transducer capable of both transmitting and receiving sonic pulses. As the name suggests, the transducer rotates around the center of the device, recording the distances to 50 points around the transversal section of the wall. The rotating speed is 120 rpm [7].

Fig. 6 shows another application example of an ultrasonic sensing system, which has been researched and used by the Department of Mechanical Engineering, King's College, London, U.K., in a set of experiments for automatic defect classification based on neural networks [34]. The system is built around a commercial sonar head (the SeaKing Dual Frequency Profiling Sonar, manufactured by Tritech International).

A common limitation of sonic systems is the fact that they can only measure the distance to the first acoustic interface, so they cannot inspect the subsurface of the pipe. In fact, this is mainly due to the operating frequency, which is always a trade-off between some relevant factors, such as resolution, sound attenuation, and depth of penetration. A higher resolution can be achieved with the use of higher frequencies, but then sound attenuation is also increased, and, consequently, the penetration depth is reduced. In particular, concrete and plastic are very high sound-attenuating materials. Lower frequency probes have a narrower band characteristic, which implies that the most suitable transducer for a particular pipe (in terms of material and geometrical characteristics) will not necessarily suit another pipe [19]. Another drawback of this kind of system is its inability to inspect the flooded part of the pipe and the dry one simultaneously as the optimal operating frequency in water and air are different.

Besides the profile of the inner surface, wall thickness, lamination, and planar defects in the plane of the wall may be detected using immersion transducers at lower frequencies, with decreased resolution. The most efficient way to generate ultrasound inside a material is by means of water-coupled probes and contact probes [23]. However, air-operational techniques have been developed in order to generate effective ultrasound in the material. The air-operational techniques include electromagnetic acoustic transducers (EMATs), laser beam optical generators and detectors, and improved air-coupled ultrasonic systems [23].

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

Air operational transducers have been improved in order to generate utilizable ultrasound inside the pipe. The transmitting transducer generates high levels of sound with a focused beam profile and the receiver transducer uses high-gain and low-noise amplification. Various configurations and wave modes can be generated [24]. However, the resulting transducers are narrow-band, can be operated at one frequency only and the maximum distances between the transducer and the structure under test are in the range of centimeters [24]–[26]. Although improved air operational transducers and lasers have been proven as useful noncontact techniques in industrial applications, they have not been used in sewer assessment. It has to be noted that their adaptation for sewer inspection may be difficult, and their application costly.

EMATs (electromagnetic acoustic transducers) have been successfully used for material defect characterization in pipes. A transmitting coil element can generate a mechanical pulse within the material, based on the magnetostrictive effect. It is particularly interesting that EMATs are able to generate guided waves [27]. The principle of the guided wave technique is that the waves are guided between the two parallel surfaces of the pipe (see Fig. 7). Guided waves require the generation of transverse or shear waves. However, transverse waves only occur in solid materials but never in liquid or gases, and, therefore, immersion probes cannot be used to generate guided waves [28].

EMATs generate a mechanical pulse within the material, and thus, the measurement is not affected by the coupling medium between the transducer and the material. The main disadvantage is the fact that the material to be inspected has to be electrically conducting, excluding most types of sewer [29]–[31]. Current designs for pipe inspection incorporating ultrasonic technology include *Ultrascan CD* (Crack Detector), a tool including 480 ultrasonic sensors, oil coupled transducers and EMATs, for crack detection in oil pipes [33].

Recently, the Group of Non-Destructive Testing at Imperial College has developed a new type of ultrasonic probes, named dry contact transducer, that can generate longitudinal and shear waves. These probes consist of immersion-type probes enclosed in a thin elastomer membrane and are coupled to the object by pressure [32]. Thus, these probes have the same performance as immersion probes but they can also generate shear waves and guided waves with low frequencies, which will follow the shape of the pipe inner wall. As in traditional contact probes, attenuation and conversion of the wave may occur, if the material to be tested is highly porous or the pressure applied is not high enough.

On the one hand, ultrasonic is a very versatile technology, where different commercial probes and measurement modes are available. On the other hand, some drawbacks have to be considered and can be summarized as follows: large amounts of data are usually generated; the nonhomogeneity of the materials to be inspected affects the measurements; the rough surfaces of pipes may create coupling problems; difficulties exist to create guided waves, and there are further problems associated with the wave generation such as mode conversion (for example, longitudinal waves can be transformed into transverse waves, and vice versa).

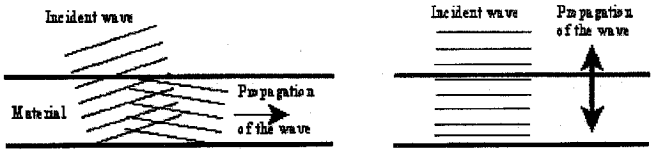


Fig. 7. (a) Guides waves and (b) longitudinal waves in immersion probes.

C. Infra-Red (IR) Thermography

In thermography, infrared radiation is used to generate temperature differences across an object, which can be subsequently measured. The infrared wavelengths span 8 to 14 μm, where the atmosphere is transparent [40], [41].

Employing this method, the spatial distribution of heat in a test object and its variation with time are measured. The thermal evolution is measured using an infrared scanner sensitive in the 8-14 μm range [35], [37]. High-resolution infrared scanners allow large areas to be scanned. The measured heat distribution is then converted into a visible image with areas of differing temperatures determined by different colors. Normally, for high-resolution purposes, the infrared scanner must be cooled to eliminate background noise. With cooled scanners, resolutions up to 0.01 C can be achieved [41].

Thermography is based on heat transfer. The energy transfer theory states that energy flows from warm areas to cooler ones. This allows acquiring information about the subsurface of the objects. Depending on whether an artificial heating source is required or natural sources are sufficient, two different procedures, active or passive, can be applied [36].

The inspection of sewers without an artificial heating source (passive approach) has been efficiently performed [39], [7]. Subsurface defects such as deteriorated pipeline insulation, leaks, or voids, which could not be detected by traditional CCTV inspection, could be discovered. The inspection was carried out from outside the pipe allowing large areas to be examined in a short time. There, either, the sun acts as energy source, warming the ground surface above the pipes, or for nightly inspections, the process is reversed with the ground as the heat source and the sky as the heat sink.

For active thermography, infrared tube lights are normally used to heat the pipe. The active procedure has been proposed for pipe inspection [37], [38]. Several techniques of measurement are then available. pulsed thermography (PT) is the simplest among them. A thermal impact is applied to the test structure, and the subsequent thermal evolution of the surface is monitored. As the absorption of energy from the thermal pulse causes the surface temperature to change quickly, a thermal front propagates by diffusion along the surface. Special zones like defects and air gaps have thermal properties that are different from the test structure itself, and change the diffusion rate so that defect location and depth can be recognized. The main drawback of this method is the high sensitivity to illumination: the spatial resolution with depth is low due to the loss of thermal contrast, and consequently, more than one subsurface defect at the same position cannot be detected (lower defects are concealed in noise) [37], [38].

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

A further improved technique is modulated infrared thermography (MT). With this technique, a temperature wave, which is sinusoidaly modulated, is applied to the pipe, and the resulting stationary response, whose amplitude and phase depend on the input frequency, is observed. The relevant magnitude to be observed is the phase image which, being related to the propagation time, is independent of optical or infrared surface features. However, it is difficult to apply the modulated heating, and the acquisition process is slow. In order to speed up the acquisition process without loosing the frequency resolution, a frequency transform (e.g., Fourier transform) of thermal wave frequencies obtained in PT experiments can be used. This procedure is called pulsed phase infrared thermography (PPT). PPT has the advantages of MT but in addition, the acquisition speed is increased. Moreover, phase images are not affected by nonuniform heating; thermal sources are thus easier to place. Using FFT, it is very easy to observe defects. More than one defect at any position can be detected [37], [38].

In conclusion, IR thermography is intrinsically safe, emitting no radiation other than thermal radiation. The technique is not affected by the type of material to be tested. Moreover, it is possible to measure large areas in short periods. Infrared thermography is an area testing technique, contrary to point test methods where multiple readings have to be taken to obtain information on an area.

D. Ground Penetrating Radar

The term surface or ground penetrating radar (GPR) [49] refers to the location of objects or interfaces buried under the ground or surrounded by visually opaque structures, using the emission of short pulses of electromagnetic energy. GPR is considered as a proven nondestructive testing method for the inspection and location of buried objects. The conventional way of measuring is carried out by moving the radar across the surface of the structure to be tested and creating an image as in an ultrasonic scan [50]. Radar systems can be used either from inside or outside the pipe to give information about the pipe and the surrounding ground [49].

Radar involves the propagation of electromagnetic waves from probes, typically antennas, at frequencies ranging from 3 MHz to 300 GHz. GPR employs waves typically in the 100 to 1000 MHz frequency range [51]. The radar itself consists of a single antenna working as a transmitter and receiver or two separate antennas for transmission and reception, respectively. An impulse in the time domain is often used and the reflections from variations in the dielectric (e.g., presence of moisture or a defect) are measured. In principle, any dielectric discontinuity is detected with a radar system. Nevertheless, the radar system should be designed to detect a given target, and optimum performance will be obtained if the characteristics of the dielectric materials including defects are taken into account. These characteristics will determine the spatial resolution and penetration depth of the radar [49].

Information about the sewer's structural conditions, the sewer-soil interface, and the surrounding soil may then be obtained using different antennas with penetration depths and resolutions according to the targets. For instance, an antenna with a medium frequency (e.g., 200 MHz) can be used to inspect the surrounding soil, a higher frequency antenna (e.g., 500 MHz) to investigate the structure of the sewer and the sewer-soil interface and, eventually, a third antenna operating at a very high frequency (e.g., 1 GHz) to examine the structure with increased precision [52].

TABLE I
SOME DIELECTRIC MATERIALS AND THEIR PROPERTIES

		Frequency	100MHz	1GHz	10GHz
Material	Relative permitivity	Propagation velocity cm/ns	Wavelength [cm]		
Air	1	30	300	30	3
Concrete	9	10	100	10	1
Freshwater	80	3.35	33.5	3.35	0.335

As shown in Table I, the choice of the frequency range is a trade-off between resolution and penetration depth. The maximum resolution achievable is in the range of the value of the wavelength. Signal processing techniques have been developed in order to increase the resolution, but the resolution limit still remains close to the wavelength value. Typically, maximum penetration depths do not exceed 20 wavelengths. To achieve adequate penetration in wet materials, such as wet soil, low frequencies have to be used [49]. It has also to be noted that the relative permitivity of the dielectric materials such as concrete or plastics, which are used in sewers, is very close to the permitivity of air. Hence, the detection of cracks and air gaps in these materials can be a problem. On the other hand, leakage or wet soil, obstacles, or metallic pieces are easily detected.

Current applications of GPR include the examination of concrete bridges. It has also been successfully utilized in France for the assessment of sewer networks. In this work, the GPR measurement is complemented by a CCTV system that is used to control the antenna orientation [52]. ERA technology, based in U.K., has also developed a pipe-inspection radar antenna to assess the state of the surrounding ground. This radar antenna is designed for use in sewers of 200 mm diameter [54].

One of the main advantages of GPR is the fact that the antenna does not have to be in contact with the surface of the pipe. Another issue is the fact that information about what surrounds the pipe and the interface of the pipe-soil can be comprised. Furthermore, GPR inspection techniques are currently used because of the high inspection speed when compared to other methods. However, there more work needs still to be done in the fields of signal processing and image recognition [53], [54].

V. MULTISENSOR SEWER INSPECTION SYSTEMS

As shown, each individual inspection method has specific characteristics that make it suitable for the detection of particular defects. Usually, only a limited subset of occurring anomalies can be recognized by examining data obtained from a single sensor. In most cases, it is only possible to determine anomalies combining several different sensor signals. Systems combining several different sensing technologies have been proposed. The data collected by those systems is usually stored separately and combined after the inspection is complete [6]. These new systems often consist of an in-pipe vehicle that carries the sensors

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

and associated instruments through the sewer and is linked to a mobile control room by cables [7], [4], [9].

KARO is an advanced multi-sensory robot inspection system that has been developed in a joint research and development project with four partners from the German industry and research institutes. The KARO system consists of two functional units: a mobile control and surveillance station and the mobile robot carrying intelligent multi-sensors. Both units are linked by a cable. The robot, that has been designed to inspect pipes with a minimum internal diameter of 200 mm, is 800 mm long and 160 mm in diameter.

The robot is characterized by a flexible pan-and-tilt head that holds the sensors: a CCTV camera, used for manual operation, supplemented with sensors that consist of a monochrome camera with a radial-light structural projector, air-operational and diving ultrasonic sensors, as well as microwave sensors. The microwave sensor can detect damage, including leakage holes in the soil and cracks in the pipe, up to 100 mm beyond the pipe wall. The camera analyzes the rings of light projected onto the internal pipe wall, finding pipe deformations and obstacles. Finally, ultrasonic sensors are capable of measuring obstacles, cracks, and wall thickness. Fuzzy logic and mathematical methods have been implemented in order to fuse individual sensor information. The procedure takes advantage of the fact that probable damage can be recognized early by single sensor information, although the final analysis and action will be determined by the global sensor data result. The final information given to the human operator is a detailed description of the damage according to the ATV standards [10]–[13].

The pipe inspection real-time assessment technique (PIRAT) system is another experimental system developed by CSIRO and Melbourne Water, Australia. The PIRAT platform measures the internal geometry of the sewer and analyzes this data. Depending on the flow level, the surface geometry is measured by laser or sonar profilometry tools. The system consists of a vehicle including a CCTV used for its manual operation, a laser scanner for inspecting drained pipes, and a sonar scanner for flooded pipes. The laser scanner operates by reading reflected light using a video camera, and the sonar scanner works by analyzing echoes that represent the features of the pipe. The maximum resolution obtained with the laser scanner is approximately 1.5 mm in radius [14], [15]. Sonar data was found significantly inferior to laser data. Automatic recognition, rating and classification of pipe defects are carried out by means of artificial intelligence software tools. After an initial image processing stage involving correction of missing values from the raw data, images are segmented into potential defect regions and characteristic geometric features. Region classification is performed by a feed-forward, off-line trained neural network classifier. A rule-based system interprets, rates, and reports the classified regions as pipe defects. Finally, the resulting condition assessment report is presented to the user with a graphical interface. This approach has performed much better than CCTV-based systems when applied to concrete and vitrified clay pipes.

The sewer scanner and evaluation technology (SSET) is a data acquisition tool that obtains scanned and videotaped images of the pipe and rotation information from a three-axis mechanical gyroscope [7], [4], [16]. One of its main features is the analysis of scanned image to locate corrosion in joints and pipe walls. Although the process of result interpretation is currently carried out by a human operative, the use of fuzzy techniques for identification and classification of defects is under research. This would allow the system to deal with the uncertainty caused by the lack of precision in measurement data. The proposed neural system is based on a Kohonen self-organizing map, implemented as a neuron array [61].

Finally, work is undergoing in what is termed totally integrated sonar and camera system (TISCIT). The TISCIT system consists of combining sonar with CCTV or profiling techniques to generate a continuous 360° view in semi surcharged pipes. Amtec Europe of Chesterfield (U.K.) has gained considerable expertise in the use of this technique. Sonar sensors and CCTV cameras are mounted on the same trolley, allowing its use in pipes above 600 mm diameter; the time needed for a 360-degree scan is under a second. In order to assist in the analysis, the system has the possibility of digitizing the original sewer plans, enabling the comparison of cross sections for the assessment of the sewer condition in terms of shape, cracks, and deposits.

VI. Conclusion

Despite their drawbacks and advantages, each sensing method provides limited information about the sewer condition. This is because each method measures different physical properties and, consequently, only specific features of the material defects are recognized [55].

Ultrasonic sensing is a very flexible method with several different measurement modes and sensors available. Defects can be detected in longitudinal and transverse directions of the pipe. Ultrasonic measurements can be very precise, and small defects can be detected but the volume of information generated and the time needed for acquisition and evaluation may be prohibitive. Furthermore, measurement precision decreases with the real conditions of the sewer (wall roughness, water impurities, etc.). Different types of ultrasonic sensors and different measurement technologies can be implemented in order to fulfil all the specifications of the pipe inspection system. It should be noted that due to the high sound attenuation in concrete and plastics, just one sensor for inspecting the whole circumference of the pipe would not be sufficient. Several sensors or rotating transducers have to be used in most cases.

Profiling tools include optics- and ultrasonic-based systems. They give accurate and fast information about the surface but no information about the subsurface of the pipe. Laser profilometry is a fast and accurate technique. However, no useful images are obtained when the camera becomes submerged in liquid. Sonar techniques overcome this problem. When balancing drawbacks and capabilities of these methods, combinations such as optic plus ultrasonic profiling tools represent good complementary sensor pairs to be used respectively in the media air and water. Another choice, in order to avoid the use of optical sensors (whose results are more sensitive to real sewer condition, such as darkness or moisture), could be the combination of both immersion and air-operating ultrasonic sensors with suitable working frequencies. However, it has to be taken into account that sonar

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

data has been found less accurate than data from laser/camera systems.

Infrared is a very promising measurement technique for sewer assessment. Active configurations using new acquisition methods are very favorable in terms of resolution and ease of implementation. At present, there are only preliminary methods for quantitative defect evaluation using IR. The passive IR configuration has been successfully proven for sewer condition assessment of large areas. Although infrared thermography and ground penetrating radar are two potential sewer inspection methods, interpretation of their data still presents some difficulties. The combination of these two methods has already been proposed as a solution that can provide good results [56], [57].

Multisensor systems that are under research have also been reviewed. After defect location with one method, it is suggested that measurements acquired by another method be used to validate the first one or to give additional information. However, the use of additional sensors can be expensive and time consuming. If improperly processed, the volume of data can also increase, making signal interpretation more complex. Furthermore, the storage of a large amount of data can increase system weight and power consumption. Future research will have to focus more on the process of integrating data from different sensors using a signal-processing concept known as multisensor data fusion. In order to extract valuable information, data fusion architectures have to be developed to evaluate the structural integrity of the pipe more accurately. Artificial-Intelligence-based methods will have to be developed to interpret the data and to arrive at reliable prediction of the long-term behavior of the inspected pipe segments [55], [58].

REFERENCES

[1] N.G. Pace, "Ultrasonic surveying of fully charged sewage pipes," *Electron. Commun. Eng. J.*, pp. 87–92, Apr. 1994.

[2] H. Roth and K. Schilling, "Navigation and Control for Pipe Inspection and Repair Robots," in *Proc IFAC World Congr.*, 1999.

[3] "Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation," WEF Manuals & Reports FD-6, vol. 62, ASCE Manuals & Reports on Engineering, 1994.

[4] R. Henry and A.R. Luxmoore, "A pipe-profiling adapter for CCTV inspection cameras: Development of a pipe-profiling instrument," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 7, pp. 495–504, 1996.

[5] G. Read and I. Vickridge, *Sewers, rehabilitation and new construction, repair and renovation*. London, U.K.: Butterworth-Heinemann, 1997.

[6] J. Doyle, "The expanding use of lasers in ND testing," *Mater. Eval.*, vol. 57, no. 4, pp. 426–430, Apr. 1999.

[7] R. Wirahadikusumah, D. M. Abraham, T. Iseley, and R. K. Prasanth, "Assessment technologies for sewer system rehabilitation," *Automat. Constr.*, vol. 7, pp. 259–270, 1998.

[8] S. R. Gokhale, D. M. Abraham, and T. Iseley, "Intelligent Sewer Condition Evaluation Technologies-An analysis of three promising options," in *Proc. North Amer. No-Dig. 97 Conf.*, Seattle, WA, Apr. 1997, pp. 253–265.

[9] J. Hertzberg, T. Christaller, F. Kirchner, U. Litcht, and E. Rome, "Sewer robotics," in *Proc. 5th Int. Conf. Simulation Adaptive Behavior (SAB-98)*, Cambridge, MA, pp. 427–436.

[10] H.-B. Kuntze, H. D. Haffner, and D. Schmidt, "Sewer inspection by means of smart sensor-based robot," *Pipes, Pipelines Int.*, Nov.-Dec. 1996.

[11] Robot Inspector Helps in Sewer Maintenance (1997, Dec.). [Online]. Available: www.fraunhofer.org.

[12] H.-B. Kuntze and H. Haffner, "Experiences with the development of a robot for smart multisensoric pipe inspection," in *Proc. 1998 IEEE Int. Conf. Robotics Automat.*, Leuven, Belgium, May 1998.

[13] H.-B. Kuntze, D. Schmidt, H. Haffner, and M. Loh, "KARO, a flexible robot for smart sensor-based sewer inspection," in *Proc. Int. Dig.'95*, Dresden, Germany, 1995.

[14] G. Campbell, K. Rogers, and J. Gilbert, "Pirat – a system for quantitative sewer assessment," in *Proc. International Dig'95*, Dresden, Germany, 1995.

[15] "CSIRO annual report,", *1994–95*.

[16] Sewer Scanner and Evaluation Technology [Online]. Available: www.new-technologies.org

[17] E. Rome, J. Hertzberg, F. Kirchner, U. Licht, and T. Christatller, "Toward autonomous sewer robots: the MAKRO project," *Urbanwater*, vol. 1, pp. 57–70, 1999.

[18] F. Kirchner and J. Hertzberg, "A prototype study of an Autonomous robot platform for sewerage maintenance," *Auton. Robots*, pp. 857–862, 1997.

[19] U. Schlengermann. (1997, May) Determination of crack depth using ultrasonics – An overlook. *NDT.net* [Online], vol (05)

[20] E. Ginzel. (1999, June) Ultrasonic Inspection 2: Training for nondestructive testing- variables affecting test results. *NDT.net* [Online], vol (6)

[21] H. T. Shandiz and P. Gaydecki. (1999, Nov.) "A New SAFT Method in Ultrasonic Imaging at very low frequency by using pulse echo method". *NDT.net* [Online], vol (11)

[22] Thames Water/OMC Pipe Profiling Tool [Online]. Available: http://www.optical-metrology-centre.com/gallery_sewer_profiling.htm

[23] B. Djordjevic and R. E. Green. (1997, November) Non-contact ultrasonic techniques for process control of composite fabrication. *NDT.net* [Online], vol (11)

[24] "Panametrics Technical notes,".

[25] H. Loertscher, B. Grandia, J. Strycek, W. Grandia, and U. Schlengermann. (1996, September) Airscan Transducers, technique and application. *NDT.net* [Online], vol (09)

[26] J. Strycek, W. Grandia, and H. Loertscher. (1997, May) Wave modes produced by air coupled ultrasound. *NDT.net* [Online], vol (05)

[27] S. G. Pierce and B. Culshaw, "Laser generation of ultrasonic Lamb waves using low power optical sources," *IEE Proc. Inst. Elect. Eng., Sci. Meas. Technol.*, vol. 145, no. 5, pp. 244–249, 1998.

[28] A. Chahbaz, V. Mustafa, and D. R. Hay. (1997, May) Inspection of cylindrical structures using ultrasonic guided waves. *NDT.net* [Online], vol (05)

[29] R. Diederichs, "Generation of horizontally polarized shear waves with EMAT transducers," *NDT.net*, vol. 3, no. 3, Mar. 1998.

[30] "Nondestructive evaluation of pipes and tubes using magnetostrictive sensors," U.S. Patent 5581037.

[31] J. Gauthier, V. Mustafa, and A. Chahbaz. (1999, Apr.) EMAT generation of polarized shear waves for pipe inspection. *NDT.net* [Online], vol (4)

[32] Non-destructive Testing Group at Imperial College – Research [Online]. Available: www.me.ic.ac.uk/dynamics/ndt/research.html

[33] H. Willems and Barbian_Oa, *Ultrasonic Crack Detection in Pipelines by Advanced Intelligent Pigging. Pipeline Technology*. New York: Elsevier, 1995, vol. I And II, ch. 117, pp. 223–234.

[34] M. P. Bin Hussen, K. A. Althoefer, and L. D. Seneviratne, "Automated inspection of sewers using ultrasonic sensors," in *Proc. EUREL Eur. Adv. Robotics Syst. Masterclass Conf.*, vol. 1, Salford, U.K., Apr. 12–14th, 2000.

[35] G. Gaussorgues, *Infrared Thermography, Microwave Technologies*. London, U.K.: Chapman & Hall, 1994, vol. 5.

[36] X. Maldague, *Infrared Methodology and Technology, Nondestructive Testing Monographs and Tracts*. Amsterdam, The Netherlands: Gordon and Breach, 1994, vol. 7.

[37] ——, *Pipe Inspection by Infrared Thermography*: NDT solution, 1999.

[38] F. Galmiche and X. Maldague. (1999, March) Pulsed phased and thermal tomography: A comparison. *NDT.net* [Online], vol (3)

[39] G. J. Weil, R. J. Graf, and L. M. Forister, "Remote Sensing Pipeline rehabilitation methodologies based upon the utilization of infrared thermography, Urban drainage rehabilitation programs and techniques," in *ASCE*, 1994.

[40] T. Perazzo, M. Mao, O. Kwon, and A. Majumdar, "Infrared vision using uncooled micro-optomechanical camera," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 74, no. 23, pp. 3567–3569, 1999.

[41] B. R. Orton, M. Copaul, and C. E. Velez-Ospina, "The potential use of infrared thermography to detect aircraft pressurization leaks," *Insight*, vol. 41, no. 3, pp. 164–166, 1999.

[42] O. Moselhi and T. Shehab-Eldeen, "Automated detection of surface defects in water and sewer pipes," *Automat. Constr.*, vol. 8, pp. 581–588, 1999.

[43] J. Moraleda, A. Ollero, and M. Orte, "A robotic system for internal inspection of water pipelines," *IEEE Robot. Automat. Mag.*, pp. 30–41, Sept. 1999.

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

[44] B. H. Zhuang, W. Zhang, and D. Y. Cui, "Non-contact laser sensor for pipe inner wall inspection," *Opt. Eng.*, vol. 37, pp. 1643–1647, 1998.
[45] K. Suzumori, T. Miyagawa, M. Kimura, and Y. Hasegawa, "Micro inspection robot for 1-in pipes," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 4, no. 3, pp. 286–292, Sept. 1999.
[46] R. Roberts. (1999, Feb.) Laser profilometry as a inspection method for reformer catalyst tubes. *NDT.net* [Online], vol (2)
[47] ——, *Applications of laser profilometry for boiler tube inspection*, vol. 3, no. 7, July 1998.
[48] M. Hartrumpf and R. Munser, "Optical three-dimensional measurements by radially symmetric structures light projection," *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 13, pp. 2923–2928, 1997.
[49] D. J. Daniels, *Surface-Penetrating Radar*. London, U.K.: IEE, 1996.
[50] P. Mallinson, "Surface penetrating radar as an NDT tool," *Insight*, vol. 39, no. 12, pp. 874–877, 1997.
[51] A. P. Annan, *Ground Penetrating Radar – Workshop notes*. Kimpton, Herts, U.K.: Earth Science, 2001.
[52] R. Foillard, B. George, and C. Schwarze, "New applications of ground penetrating radar for construction & rehabilitation in the pipe sector," in *Proc. Int. No Dig.'95*, Dresden, Germany, 1995.
[53] Z. Wu and C. Liu, "An image reconstruction method using GPR data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 37, pp. 327–334, Jan. 1999.
[54] W. Mast and S. Nelson. Imaging radar for Bridge Deck Inspection. [Online]. Available: www.lasers.llnl.gov
[55] X. E. Gros, J. Bousigue, and K. Takahashi, "NDT data fusion at pixel level," *NDT & E Int.*, vol. 32, pp. 283–292, 1999.
[56] G. J. Weil, "Detecting the defects," *Civil Engineering*, pp. 74–77, 1989.
[57] K. R. Maser, "From guesswork to guarantee," *Civil Eng.*, pp. 78–79, 1989.
[58] M. Kam, X. Zhu, and P. Kalata, "Sensor fusion for mobile robot navigation," *Proc. IEEE*, vol. 85, pp. 108–119, Jan. 1997.
[59] S. J. Broadhurst, G. Cockerham, N. Taylor, and T. Pridmore, "Automatic task modeling for sewer studies," *Automat. Constr.*, vol. 5, pp. 61–71, 1996.
[60] P. Morici, "Small cameras: Diagnosing sewer laterals quickly and easily," *Trenchless Technol.*, vol. 6, no. 10, pp. 40–45, 1997.
[61] S. Haykin, *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*. New York: Macmillan, 1994.



Olga Duran received the M.S. degree in microengineering from the Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, in 1996. She is currently pursuing the Ph.D. degree in mechatronics at King's College, London, U.K.

In 1997, she joined the Research and Development department of Protovale Ltd., Abingdon, U.K. During 1998 and 1999, she worked for D+T Microelectronica, Bellaterra, Spain. In 1999, she joined the Department of Mechanical Enginering, King's College.



Kaspar Althoefer received the degree in electronic engineering from the University of Technology, Aachen, Germany. He received the Ph.D. degree from the Department of Electrical and Electronic Engineering, King's College (KCL), London, U.K., in 1997.

He is currently a Lecturer with the Department of Mechanical Engineering, KCL. Being engaged in research on mechatronics since 1992, he has considerable expertise in the areas of sensing, data analysis and interpretation using neural networks, and fuzzy logic as well as robot-based applications.



Lakmal Seneviratne is a Professor of mechatronics, King's College, London, U.K. He is also the Director of the Centre for Mechatronics and Manufacturing Systems Engineering, King's College. His research interests include robotics and intelligent autonomous systems.

Authorized licensed use limited to: Yonsei University. Downloaded on January 20, 2009 at 03:28 from IEEE Xplore. Restrictions apply.

여 백

제 7 장 참고문헌

여 백

제 1절 참고문헌

1. 환경부, 하수도통계 , 2006
2. 환경부, 환경백서, 2008
3. 국토해양부, 2006년도국가GIS지원연구_국가GIS 표준체계 확립, 2007
4. 국토해양부, 2006년도국가GIS지원연구_기본지리정보 통합관리, 2007
5. 국토해양부, 제2차국가GIS백서, 2001-2005
6. 서울시정개발연구원, 하수관거정비사업 효과분석을 위한 방안검토 연구, 2003
7. 서울시정개발연구원, 서울시 하수도분석시스템 구축을 통한 하수도전산정보시스템 고도화 방안, 2008
8. 서울시정개발연구원, 하수관거 최적정비를 위한 유지관리 모니터링 구축방안연구, 2006
9. 채명진, 진경호, 홍태훈, 이교선 (2005) "자산관리 개념을 이용한 하수관망 유지관리 (Asset Management Approach for Sewer Pipeline Management)", 대한토목학회 2005년도 정기 학술대회 논문집, 2005.10.20. - 2005. 10. 21., 대한토목학회, pp. 384~387
10. 채명진 (2004) "하수관망관리의 자동화 및 전략적 관리계획 (Strategic Management Planning for Sanitary Sewer Infrastructure)" 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2004. 11. 6. 중앙대학교, pp. 163-170.
11. 이교선, 채명진, 진경호, 홍태훈, 오은호 (2006) "공공시설물 내구성증대를 위한 유지관리비용산정 시스템 개발" 건설교통부, 건설교통기술평가원, 건설기술연구원, R&D/04-기반기술 A01-03
12. Nation Master.Com, http://www.nationmaster.com
13. http://www.flexi-data.com
14. http://www.envirosight.com
15. http://wincanamerica.com
16. 서울특별시, 도로시설물 안전관리 백서, PP. 391-393, 2002
17. 사단법인 일본하수도협회, 하수관거 개축 등의 공법선정 매뉴얼(안), 2002
18. EPA (Environmental Protection Agency) SSO Fact Sheet-Asset Management for Sewer Collection Systems, 2002

19. Harlow, K. (2004) Customers, Criticality, and Cash or Why Do We Manage Our Assets, Anyway?, Brown and Caldwell, Inc. Company Brochure
20. Chae, M. J., Abraham, D. M. (2001) Neuro-Fuzzy Appoaches for Sanitary Sewer Pipeline Condition Assessment, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 15, No. 1, PP. 4-14, 2001
21. Korka, J. W., Oloufa, A. A., Thomas, H. R. (1997) Facilities Computerized Maintenance Management Systems, Journal of Architectural Engineering, Vol 3, No. 3, PP. 118-129
22. Thompson, P. D., Sobanjo, J. O., and Kerr, R. (2003) Florida DOT Project-Level Bridge Managment Models, Journal of Bridge Engineering, Vol. 8, No. 6, PP. 345-352, 2003
23. Tsoukalas, L. H., and Uhrig, R. E. (1997) Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, Wiley, New York.
24. Abaza, K. A. Integrated Pavement Management System with a Markovian Prediction Model, Journal of Transportation Engineering, Vol.130, No.1, PP. 24-33, 2004
25. Morcous, G., Lounis, Z., and Mirza, M. S. Identification of Environmental Categories for Markovian Deterioration Models of Bridge Decks, Journal of Bridge Engineering, Vol. 8, No. 6, PP. 353-361, 2003
26. Abraham, D. M., Wirahadikusumah, R., Short, T. J., Shahbahrami, S Optimization Modeling for Sewer Network Management, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 124, No. 5, PP. 402-410, 1998
27. El-Bibany, H., Bechtel, J., Branch, B., and Ault, D., Facility Management Value-Adding Functional Analysis Model, Journal of Architectural Engineering, Vol. 3, No. 4, PP. 170-175, 1997
28. Zayed, T. Budget Allocation for Steel Bridge Paint Maintenance, Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 18, No. 1, PP.

36-46, 2004

29. Durango-Cohen, P. Maintenance and Repair Decision Making for Infrastructure Facilities without a Deterioration Model, Journal of Infrastructure Systems, Vol. 10, No. 1, PP. 1-8, 2004
30. Chae, M. J. (2001) Automated Interpretation and Assessment of Sewer Pipeline Infrastructure, Ph.D. Thesis, Purdue University, 2001
31. British Standard, BS EN 13508-2:2003 Condition of drain and sewer systems outside building-Part 2 : Visual inspection coding system, 2003
32. Mongkorn Klingajay, Tawatchai JitsonReal-time Laser Monitoring based on Pipe Detective Operation, Proceedings of world academy of science, engineering and technology, Vol 32, Aug. 2008
33. Min-Der Yang, Tung-Ching Su, Automated diagnosis of sewer pipe defeats based on machine learing approaches, 2008
34. O. Duran, K. Althoefer, L. D. Seneviatne, Automated Pipe Detection and Categorization Using Camera/Laser-Based Profiler and Aritificail Neural Network, Transations on automation science and engineering, Vol. 4, No. 1, Jan., 2007
35. Parivash Dezham, Julio Im, Dean Gipson, Establishing a CCTV Inspection, Assessment and Improvement Program for a Large Diameter Collection System, Pipeline 2007

35.I. Kwak, A. Morris, D. Silver, E. Kratzer, N. Vandapel, S. Thayer, LADAR-based Pipeline Inspection and Location, Pipeline 2007

36.Olga Duran, Kaspar Althoefer, Lakmal D. Seneviratne, State of the Art in Sensor Technologies for Sewer Inspection, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 2, NO. 2, APRIL 2002

37.Alireza Ahrary, Li Tian, Sei-Ichiro Kamata, Masumi Ishikawa, Navigation of an Autonomous Sewer Inspection Robot Based on Stereo Camera Images and Laser Scanner Data, International Journal on Artifi cial Intelligence Tools Vol. 16, No. 4 (2007)

38.S. Kumar, F. Taheri, Neuro-fuzzy Approaches for Pipeline Condition Assessment, Nondestructive Testing and Evaluation, Vol. 22, No. 1, Mar., 2007

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ **문의처 : 한국건설교통기술평가원** TEL 031)381-6311
한국건설기술연구원 TEL 031)910-0305
인하공전산학협력단 TEL 032)870-2243

R&D / 05건설핵심C27

멀티센서를 이용한 지하매설물 상태평가 및 관리시스템 개발

■ **발행일 / 2007 . 12. .**
■ **발행처 / 한국건설기술연구원**
경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
TEL : 031-9100-114(대)

■ **인쇄처 / 세창문화사**