

하수관망관리의 자동화 및 전략적 관리계획

Strategic Management Planning for Sanitary Sewer Infrastructure

채명진*
Chae, Myung Jin

요 약

최근의 발전된 컴퓨터 기술과 로봇틱스 기술을 이용하여 지하매설된 인프라 (주로 상하수도 관망)를 관측하기 위한 방법들이 발전되어 왔다. 이 논문은 하수관망 관리에 관한 첨단 장비들과 데이터 처리에 관한 기법들, 그리고 궁극적으로 하수관망의 효율적 관리에 관한 개념을 정리 하고 있다. 원격조정되는 디지털 카메라와 이미지 처리 기법, 인공지능 시스템, 그리고 하수관망의 노화예측모델로 본 논문이 구성되어 있다.

키워드: 하수관망관리, asset management, 이미지 인식, CMOM, GASB34

1. 서론

1.1 연구의 배경

전통적으로 지하매설된 사회간접자본의 조사 및 상태평가방법은 사고후에 얻어지는 정보를 바탕으로 한 것이다. 이러한 지하 매설물들은 극적인 사고가 일어나기전까지는 무시되는 경우가 흔하였다. 또한 사고 이후의 수리와 재건에 드는 비용은 유지 관리를 효율적으로 하여 사고를 막는 비용보다 훨씬 크다. 인프라의 건강상태를 측정하기 위해서는 정기적인 정밀한 상태평가가 매우 중요하다. 최근에 광학센서와 컴퓨터 기술의 발전으로 상수 및 하수관망이나 통신관망같은 지하매설된 인프라의 관측 장비의 발전이 있어왔다. 그리고 관측자가 지하에 들어가지 않고 광학센서를 탑재한 원격조정되는 로봇을 이용한 탐사가 주를 이루고 있다. 이 원격탐측기기술은 최근 10 년간 급속한 발전을 거두고있으나 한가지 큰 문제점으로 남아있는것은 수집된 데이터를 신속하고 정확하게 처리를 하는 방법의 부재에 있다. 데이터의 정확한 분석 및 해석은 최근의 발전된 원격탐측리를 최대한 효율적으로 이용하기위한 핵심요소이다. 본 연구에서는 최근나타나는 신형 장비들로부터 수집된 디지털 정보를 처리 및 해석하는 새로운 기술을 보여주고 그 결과를 어떻게 응용할수 있는지를 보여줄것이다. 또한 인프라관리적 측면에서 deterioration prediction modelling(노화예측모델)에 어떻게 적용되는지 설명되어 있다. 본 연구 논문에서는 그간 이루어져온 하수관망 관리에 대한 신 기술들을 소개하여 국내의 asset management 의 발전에 도움을 주고자 한다.

1.2. 연구의 목적, 범위 및 방법

본 연구의 최근 하수관망 관리에 대한 첨단 기법들을 국내에 소개하는데에 있다. 그러한 노력을 위해 만들어진 시스템은 다음의 사항에 나타난 것들을 목표로 개발 되었다.

- (1) 하수관망 상태분석을 위한 자동화 분석 모델 개발하여 데이터를 처리하는데에 소요되는 시간과 노력을 대폭 줄임.
- (2) GIS 와의 연계와, Markov chain 을 이용한 하수관망노화모델과의 연계에관한 방법을 제시 할 것이다. 이 두가지 연구는 함께 연계되어 다음의 그림에 나온것과 같은 적극적 방법의 하수관망 인프라관리에 대한 프레임워크를 구성한다. 하수관망의 자동상태분석기는 하수관망뿐 아니라 다른 종류의 파이프 또는 터널에도 적용될 수 있겠지만, 본 연구에서는 최근 이슈화되고 있는 하수관망에 한정을 한다.

2. 하수관망 관리를 위한 전략적 접근

전국도의 도시화가 진행되고 오래된 도시들의 하수도관망은 특히 심하게 노후됨에 따라 하수관으로서의 역할을 못 하게 되는 경우들이 발생하며, 그에 따라서 오염물이 지하수와 하천으로 흘러들어 심각한 환경문제를 야기할 뿐 아니라 무너져내린 하수관은 도로의 침하를 가져와 교통문제를 야기하기도 한다. 전통적인 관리방법은 사고후 수습이었으나 적극적인 사고 예방 대책으로 proactive management 을 고려해 볼 수 있다. 사고후 수습보다는 적극적 예방대책으로 사고를 방지하는 편이 생애주기비용관점에서, 그리고 환경적 관점에서 더 큰 이득이기 때문이다. 이미 미국의 경우 CMOM (Capacity, Maintenance, Operation,

*정회원, 연세대학교 토목환경공학과 박사후 과정, 공학박사, PE

Management)라는 EPA 에서 만든 조례와, GASP34(Governemnt Accounting Standards Boards Statement No. 34)라는 법규를 근거로 하여 모든 지방정부는 하수관망관리를 적극적 예방책으로의 전환이 의무화 되었을 뿐 아니라 asset management 가 의무화 되었다. 이러한 관리를 위해서는 하수관망관리의 전략적 접근이 필요하다. 이 전략은 크게 3 단계로 나뉘어 볼 수 있고 이는 다음의 그림과 같다.

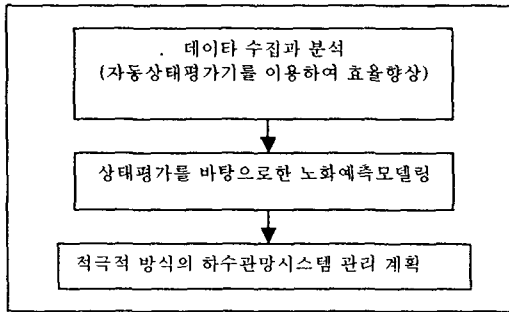


그림 2.1 하수관망관리를 위한 전략적 접근의 세 단계 (Chae 2001)

3. 데이터 수집 장비

현재 가장 많이 사용되고 있는 하수관망 관측 장비는 대개는 CCTV (Closed Circuit TV)가 달린 원격조정 (유선) 되는 탐색기를 이용한다. 이러한 CCTV 관측을 통하여 파이프 내의 문제점들을 찾는데, 조사의 정확도는 조사자의 경험, 숙련도, 그리고 조사중의 집중도에 달려있다. 또한 카메라의 성능에도 큰 영향을 받는다. 따라서 CCTV 를 통한 조사는 정확도가 떨어지며 특히 섬세한 결함까지 찾아내기에는 부족한 점이 많다.

최근 10년간 정밀도 높은 비파괴검사 장비들이 속속 개발되고 있는데, 다음과 같은 관측장비들이 있다.

- (1) 열적외선 시스템: 표면과 다른 요소들간의 온도차이를 탐지 (예: 물이 새는 곳은 주위에 비해 찬 온도로써 감지가 되고, 빈 공간은 다른부분보다 높은 온도로써 감지가 됨)
- (2) 초음파 측정 시스템: 초음파를 이용하여 물에 잠긴 부분을 탐측
- (3) GPR (Ground Penetrating Radar): 전자기 에너지 펄스를 방사하여 물질의 밀도의 변화를 감지하여 파이프의 크랙이나 파이프를 감싸고 있는 흙의 빈 공간등을 찾는데 이용됨

이러한 다양한 장비들이 있음에도 불구하고 한가지 측정방식으로는 완벽한 측정을 할 수는 없다. 따라서 한가지 이상의 센서를 탑재한 장비들이 개발되고 있으며 그러한 다중센서를 가진 장비는 하나이상의 상호 독립적인 센서로 부터 정보를 수집하여 더 완벽에 가까운 관측 결과를 만들 수 있다. 한가지 센서는 어떤 특정 결함을 찾는데 이용되고 다른 센서는 또 다른 결함을 찾는데 이용될 수 있기 때문에 다중센서를 동시에 이용함으로써 탐측의 정확도를 높이며 다중센서로부터의 결과 데이터를 통합하는 과정을 multi-sensory fusion process(다중 센서 퓨전 과정)라 부른다.

독일의 경우 산학협동의 연구기관(Forschungszentrum Karlsruhe, IA, Fraunhofer Gesellschaft IITB, IBP PIETZSCH GmbH, Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt GmbH)이 직경 200 밀리에서 500 밀리사이의 하수관을 관측하기 위한 원격탐측기를 개발하였다. 이 시스템은 KARO 라 하였으며 원격조정되는 반 자동으로 컨트롤되는 다중센서 방식의 장비이며 3 차원 광학센서, 초음파 센서, 그리고 극초단파센서를 갖추고 있다. 방해물, 크랙, 그리고 벽의 두께가 측정가능하였는데, 초음파 센서를 사용하여 진흙덩이 속에 묻혀있는 경우까지도 탐지할 수 있다. 또한 더 낮은 운동역학적이며 시각적 관측을 위하여 KARO 개발에 참여하였던 팀이 새로운 산학협동 연구기관 (Rheinische Energie Aktiengesellschaft), Inspector Systems Rainer Hitzel GmbH, Forschungszentrum Informatik (FZI), and the German National Research Center for Information Technology (GMD)을 구성하여 MAKRO 라는 로봇을 개발하였다. 6 개의 관절을 가진 MAKRO 는 마치 뱀처럼 움직이면서 파이프 조사시 나타나는 장애물을 넘어갈 수 있다 (그림 2). MAKRO 는 직경 300 에서 600 밀리 크기의 파이프를 조사할 수 있는데, 시스템의 유연한 움직임은 특히 전통적이 케이블을 끌고 다니는 관측기로는 조사할 수 없는 부분을 조사할 수 있는 능력 향상을 가져왔다. MAKRO 는 두개의 적외선 센서와 두 개의 카메라를 탑재하고 있으며 적외선센서와 이미지 센서를 이용하여 회전을 하고 방해물을 넘어갈 수 있다. 그리고 영상을 이용한 시스템을 이용해서 맨홀부위의 파이프 연결부위를 자동으로 넘어갈수 있는 기능이 있다.

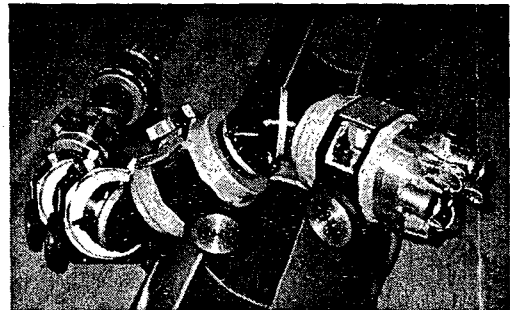


그림 3.1. MAKRO (Kolesnik 2000)

호주의 Commonwealth Science and Industrial Research Organization. Division of Building and Engineering (CSIRO DECE) 와 Melbourne Water 는 CCTV 하나로만 측정하는 탐색기의 한계를 극복하고자, 다중센서방식의 하수관망 조사 장비를 개발하였고 PIRAT(Pipe Inspection Real-time Assessment Technique)이라 이름 붙였다. 수백만 달러를 투입한 이 개발계획은 두개의 독립된 시스템으로 구성되어있다. 하나는 파이프의 기하학적 정보를 수집하는 하드웨어 장비이고, 다른 하나는 수집된 장비를 분석하고 파이프의 결함을 발견하고 평가하는 해석 장치, 즉 소프트웨어 장비이다. PIRAT 시스템은 스캐너와 센서를 탑재하여 파이프의 기하학적 정보를 수집하는 원격조정되는 장비이다. 수집된 장비는 인공지능을 이용한 소프트웨어를 이용하여 파이프의 결함이 자동으로 디텍트 되게 돼 있다. 인공지능을 이용한 데이터 분석기는 파이프

표면의 결함들 (노화, 침전물, 응력에 의한 변형, 마모 등) 을 찾는데 도움을 준다. 데이터분석기는 machine vision, 패턴 인식, 뉴럴 네트워크, 그리고, 전문가 시스템을 통하여 파이프의 결함을 자동적으로 인식하고 보고서를 자동으로 출력한다. PIRAT 은 결함부위의 정확한 위치 파악에 문제점을 갖고 있었는데 이것은 일종의 추적장치를 이용하여 극복할 계획이었다. PIRAT 은 한 번의 다양한 크기의 파이프에서 운영하기 위한 기술적 업그레이드를 하였으며 데이터분석기 또한 실제사용에 맞는 방식으로 콘크리트와 클레이 파이프에 잘 적용 되도록 재 프로그래밍 되었다. 그 업그레이드는 성능의 향상을 가져왔고 벽돌로 만들어진 파이프와 같은 경우에도 사용될 수 있을 정도의 다음단계의 업그레이드가 예상되었었다. 이 업그레이드는 약 2 백만달러(호주달러, 약 20 억원)의 예산이 필요한 것으로 예상되었었다. 현재 PIRAT 시스템은 CSIRO 의 연구파트너인 Melbourne Water 의 예산부속으로 더 이상의 연구를 멈추었을뿐 아니라 상용화 하는데 실패하였다.

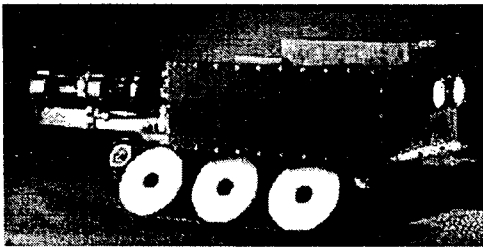


그림 3.2. PIRAT (CSIRO, 1999)

일본에서는 TOA Group, CORE Corporation, 그리고 TGS Company 가 합자하여 SSET (Sewer Scanner and Evaluation Technology)를 개발하였다. 본 시스템은 CCTV 와 디지털 스캐너와 gyroscope(관성측정기)를 탑재하여 관망의 내부를 광학적으로 측정할 뿐 아니라 관망의 상하좌우로의 변형또한 측정할 수 있다 (그림 3). SSET 의 디지털 광학센서가 다른 탐색기에 비해 다른점은 스틸픽처(still picture)를 찍는 다는 점이다. 파이프의 총길이(맨홀부터 다음 맨홀까지)에 대하여 파이프 내부의 모습을 연속적으로 스캔하여 한번에 이어서 연속적으로 보일 수 있다. 광학스캐너에 의한 데이터와 gyroscope 에 의한 데이터 값은 동일한 평면위에 펼쳐진 모습으로 나타내어 질 수 있고 조사 결과를 한눈에 알아보기 쉽게 디자인되어 있다. SSET 는 다른 탐색기들과 마찬가지로 방수기능과 가혹한 환경에서 사용될 수 있도록 만들어져 있다. 본 장비가 제공하는 디지털스캔이미지는 이미지처리기술과 패턴인식기술을 이용하여 자동으로 하수관망의 결함을 찾고 상태를 평가하는 자동결함평가기를 만드는 기초를 제공한다.

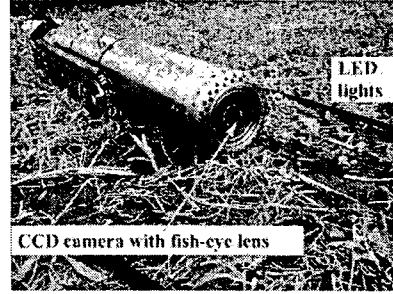


그림 3.3 SSET

SSET 는 분당 약 3.0m 에서 4.6m 로 이동하면서 시작하는 부분부터 끝나는 부분까지 연속적으로 스캔하여 하나의 연속된 이미지를 보여준다. 특히 이 장비의 장점은 관측자가 탐색기를 운전중 관망내에 결함을 발견하였을시 탐색기를 멈출필요가 없이 연속적으로 운전을 마칠수 있다는 점이다. 이러한 점은 현장업무의 효율성을 높이고 현장업무의 전체적인 양을 줄일 수 있다. 360 도의 관망내부를 스캔한 이미지는 평면상에 펼쳐진 포맷으로 CD 나 이동이 간편한 대용량 저장장치 (외장하드디스크) 등으로 저장되어 현장 또는 본사 사무소로 운반되어 후처리 과정을 수행한다. 여기서 후처리 과정이라함은 수집된 데이터를 분석하고 상태평가를 하는 과정을 말한다. 현장에서의 데이터 분석과정이 생략되기때문에 현장업무를 줄이는 이득이 있다.

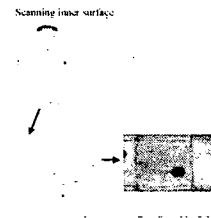


그림 3.4 관내 표면 스캐닝

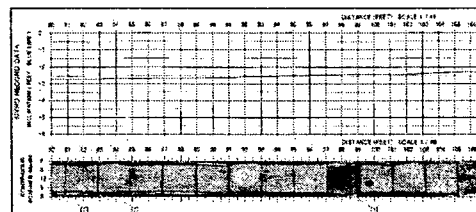


그림 3.5 샘플 SSET 이미지와 Gyroscope 데이터

현재는 일본회사의 미국 현지법인인 OYO Corporation-USA 의 자회사인 Blackhawk-PAS, Inc. 라는 회사를 통하여 SSET 는 더욱 업그레이드 되고 기술과 장비가 상업적으로 판매되고 있다. 또한 사용자 (상태평가 조사자)의 편의를 돕는 소프트웨어 패키지도 함께 제공되고 있다. 이러한 상업적 성공은 하수관망관리에 대한 관심을 높였을뿐 아니라 다른 연구기관들 및 기업체들에게 경쟁적 연구개발의 리드하여 하수관망 조사에 대한 신기술들이 나날이 발전하고 있다.

하수관망조사장비에 앞서 도로 표면의 결정을 조사하는 기술이 로는 Roadware Group Inc.가 개발한 ARAN(Automatic Road Analyzer) 라는 장비가 현재 한국에도 수입되어 사용되고 있다. ARAN 시스템은 아스팔트나 콘크리트포장도로 위를 약 80km/h 로 달리면서 영상 이미지를 비디오테입 또는 하드디스크에 디지털로 기록하고 기록이 끝난후 데이터 분석작업을 거친다. 고성능의 조명기를 사용하여 도로주변의 전봇대나 나무들에 의한 그림자를 없애고 균일한 광량을 줌으로써 균일한 품질의 영상 이미지를 얻을 수 있다. 조명기의 각도 또한 적절하게 조절하여 포장의 크랙이 잘 나타나게 하였다.

4. 상태평가의 자동화

컴퓨터 기술의 발전에 따라서, CCTV 등을 이용한 하수관망탐색기들의 기술도 발전하고 있다. 디지털 스캐너는 물론이고 소프트웨어 패키지들은 조사후의 데이터를 평가하고 보고서를 작성하는데에 효율성을 높여주고 있다. 이전에 설명되었듯이, 혁신적인 탐색장비인 SSET 가 개발되어 이미 상용화 되어있으며 고화질의 디지털 영상을 제공한다. 이 사실은 하수관망상태의 자동화를 위한 하드웨어적 측면의 완성을 뜻한다. 즉, 디지털 영상 획득후 자동으로 이미지 처리를 할 수 있다.

자동상태평가에 대한 노력은 크게 두가지 접근방식으로 나눌 수 있다. 첫째는, 전통적인 신호처리이론을 바탕으로하여 다양한 필터들을 이용하여 엣지탐지기법을 이용하여 원하는 개체와 배경화면을 분리해내는 기술이다. 배경화면으로부터 분리된 개체는 경험적 방법들과 통계적 방법, 또는 지식기반시스템 (knowledge-based system)등을 이용하여 그 의미가 인식하게 된다 (Pantsar 2000, Sinha et al. 1999, Sharpe 1995). 또 다른 대표적인 방법으로는 soft computing 이라고 하는 기법을 이용한 것으로 전문가시스템 (expert system), 퍼지로지 (fuzzy logic), 뉴럴네트워크 (neural network)등을 이용한 것이다. 이러한 기법들은 배경으로부터 분리된 개체들을 인식하는데에 주로 사용될 수 있고 (Moselhi et al. 1999), 배경과 개체를 분리하는데에도 사용 될 수 있다. 이러한 soft computing 기법을 이용하는 이유는 전통적인 방식인 경험적 방법과 통계학적 분류법의 한계를 넘어선 현실적인 결과를 만들어 낼 수 있다 (Tsoukalas et al. 1997). 하지만, 이 두가지 방법은 상황에 따라 적용 환경에 따라서 선택적으로 사용되어 최적의 성능을 얻는 시스템을 구축할 것이다.

Sinha et al. (2000)는 SSET 로부터의 이미지를 이용하고, Yakimovsky(1976) 의 엣지검색기와 Touzi(1988)의 엣지검색기를 혼용하여 하수관망의 크랙과 조인트를 찾는 탐색기를 개발하였다. 하지만 이 두개의 탐색기는 방향성이 있어서 여러각도로 회전시켜가면서 엣지를 찾아야하는 불편함이 있다. Sinha et al.은 8 개의 방향으로 이미지를 회전시켜서 방향성이 강한 탐색기를 이용하였다. 두개의 상호 독립적인 탐색기는 다음과 같은 식을 통하여 하나로 합쳐졌다.

$$\sigma(x,y) = \frac{xy}{1-x-y+2xy}, \text{ for } f(x,y) = xy$$

Pantsar(2000)는 가우시안의 라플라스 알고리즘을 변형시킨 이미지의 이차미분 평균에 대한 최소제곱법에 기초한 크랙감지 필터를 개발하였다. Sinha 의 크랙감지기가 방향성을 가진 필터라면 Pantsar 의 필터는 무방향성 필터로써 계산 속도를 높였다. Sinha 의 감지기의 경우 8 개의 방향으로 필터를 회전시키는 과정은 많은 컴퓨팅 작업을 요하였다. Pantsar 의 감지기는 컴퓨팅 시간을 줄여서 자동화된 크랙감지를 데이터를 수집함과 동시에 실현토록 하는 노력을 하였다. Pantsar 의 무방향성 필터는 그림 9 에 나타나 있다.

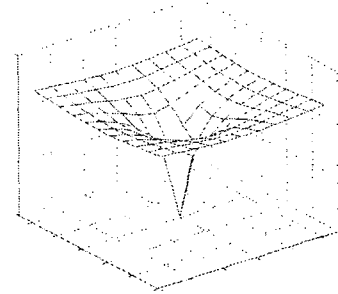


그림 4.1 무방향성 필터 Pantsar (2000)

4.1 분할된 이미지의 분류 (이미지 인식/image recognition)

배경으로부터 분리된 개체(또는 특징)들은 통계학적 방법, 지식기반의 인공지능 시스템, 뉴럴네트워크등과 이들을 혼합한 방법들을 사용할 수 있다. 예를 들면 CSIRO 가 개발한 PIRAT 시스템의 경우, 법칙기반시스템과 뉴럴네트워크를 이용하였다. 최하단위에서는 이미지처리 기법으로 이미지 교정을 하였고, 그 다음으로는 원본이미지에서 비슷한 특성을 가진 개체와 영역을 포함하는 이미지 분할이 이루어 졌다. 그리고, 뉴럴네트워크에 의해서 분할된 이미지의 분류가 이루어진다. 뉴럴네트워크는 back-propagation 이라는 기법을 이용한 뉴럴네트워크를 이용하였다. 그 다음, 최상위 레벨에서는 선언형 지식기반 시스템을 이용하여 하수관망의 결함을 인식하는 단계이다. 지식기반시스템은 두개의 특징이 있는데, 선언적 방법(declarative description)과 단계적 방법(procedural or algorithmic description)이 있다. Declarative description 과 procedural description 중 어떤것이 더 쉽고 자연적인지는 많은 논란이 있다. 일반적으로는 declarative 방식이 좀더 다양한 상황에 사용할 수 있어 유연성있다고 말을 하며, procedural 방식은 특정 목적에 따라서 덜 유연성이 있으나 더 효과적이라고 알려져 있다.

Moselhi et al. (1999)은 CCTV 이미지를 이용한 뉴럴네트워크를 이용한 분류기를 기반으로한 자동평가시스템을 제안하였다. 그런데 CCTV 이미지는 기본적으로 3 차원 이미지를 2 차원 화면을 통하여 보여주는 것이다. 3 차원에서

2 차원으로 변형되는 과정중에, 잃어버린 깊이 정보의 효과적 처리에 어려움이 있었다. 배경화면으로부터의 분리과정후 뉴럴네트워크를 이용하여 분리된 개체들을 분리하고 인식하는 엔진을 개발하였다.

Kaseko et al. (1993)은 고속도로의 포장표면의 크랙감지하는 시스템을 뉴럴네트워크를 이용한 분류기법으로 보여주었다. 결론적으로 뉴럴네트워크를 이용하여 도로의 크랙을 감지, 분류, 정량화 할 수 있음을 보였다. 하지만 그 연구는 원본이미지로부터 개체를 분류 하는 과정 (segmentation)이 약했다.

Cheng et al. (1999)는 fuzzy set 이론을 이용하여 도로포장의 크랙을 감지하는 시스템을 개발하였다. 크랙부분은 주위부분에 비해서 어둡게 나타난다는 점에 착안을 하여 크랙 감지 엔진을 개발하였다. 첫째 단계는, 감지시스템은 밝기에 관한 멤버함수 (membership function)를 정의 함으로써 이미지내의 일정 픽셀들이 주변에 비해서 얼마나 어두운지를 결정하고, 둘째 단계는 fuzzy화된 이미지를 크랙 멤버함수를 찾음으로써 크랙 영역에 사상 (mapping)할 수 있다. 수식으로 표현하면

$f_{cracks}(i, j) = Map(f_{bright}(i, j))$ 이고 Map 은 변환함수이다. 여기서 사상 (mapping)은 밝기가 0.3 이하는 크랙으로, 0.4 이상은 크랙이 아닌것으로 분류하고 0.3 과 0.4 사이에 있는 픽셀은 그 중간으로 분류가 된다. 세번째 단계에서는 어두운 픽셀들의 연결정도를 평가하여 연결정도가 낮은 픽셀은 제거하는 단계이다. 마지막으로 이미지 사영 알고리즘을 이용하여 수평, 수직, 대각선 크랙을 분류 하였다.

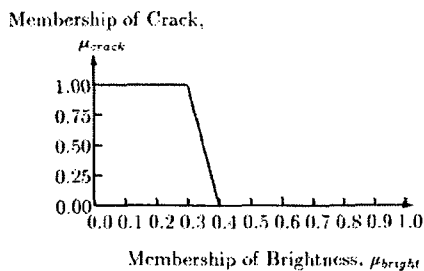


그림 4.2 밝기에 대한 멤버함수 (Chang et al., 1999)

이러한 상대적으로 복잡한 계산과정을 통한 이미지처리 방식을 이용한 방법은 매우 독특하다고 할수 있는데, 이 fuzzy logic 방식은 도로포장에 크랙을 감지하는데 좋은 성능을 발휘하였지만, 하수관망의 크랙과는 명도차이, 밝기, 크랙의 모양등이 달라 바로 응용할 수 있는지는 실험된 경우가 없다.

마지막으로 이미 상용화 되어서 사용되고 있는 ARAN (Automatic Road Analyzer) 역시 포장도로의 크랙을 자동으로 감지하는 기능을 갖고있다. 이미지는 255 레벨의 밝기를 같은 연속적인 디지털 이미지로 변환되어 자동적으로 크랙을 감지하는 엔진에 이용이 된다. 자동크랙감지기는 운영에 들어가기전 여러개의 매개변수 (parameter)를 조율과정을 거친다. 그 매개변수들은 선명도, 밝기, 그리고 도로의 표면상태에 따라서 조절이 된다. 조율과정동안 크랙감지기는 시각적 피드백을 사용자에게 줌으로써 변수조절을 용이하게 하였다. 여러차례의 시행착오를 통하여 특정구역의 특정 도로표면에 대한 크랙감지 매개변수들이 결정된다. 매개변수들이 결정되면 그 후부터는 자동으로 크랙을 감지할 수 있게된다. 이 장비의 정확도는 수동으로 수행하는 샘플검토를 통하여 이루어진다. 이 장비의 크랙감지엔진은 업체의 대외비정보로써 일반에게는 알려져 있지 않으나 매개변수들을 설정하는 과정과 최초의 샘플에 대하여 사용자가 기초답안을 제시하듯하는 과정을 거치는 것으로써 뉴럴네트워크의 훈련과정과 닮아있어 뉴럴네트워크를 이용한 분류법이 사용됐으리라는 추측을 해 볼 수 있다.

4.2. 뉴로퍼지를 이용한 이미지 패턴 인식 (Neuro-Fuzzy Approaches for Image Pattern Recognition)

Chae (2001)은 이미지 하수관망 자동화 평가에 있어 인공신경망 (neural network)과 퍼지로지시스템 (fuzzy logic system)을 이용하였고 그 둘을 합한 integrated system 을 개발하였다. 그 프레임 워크는 그림 4.3 과 같다.

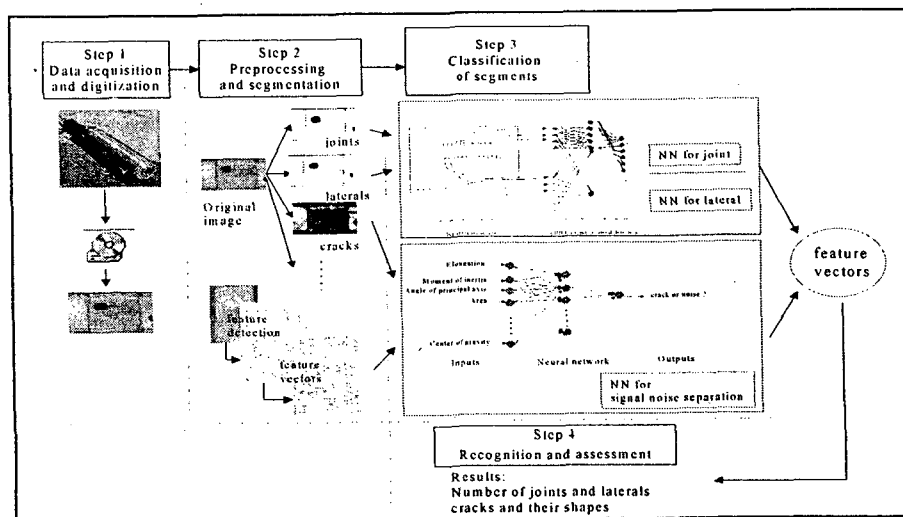


그림 4.3 뉴로퍼지 시스템을 이용한 하수관망의 자동화 평가 프레임 워크 (Chae, 2001)

SSET 를 이용하여 데이터를 수집한후 preprocessing 을 거치고 edge detection 을 거쳐서 image segmentation 을 수행하고 인공신경망을 이용하여 segmented feature vector 를 이용하여 각각의 segment 들을 분류하였으며 퍼지로직을 이용하여 분류된 segment 들에 의미를 부여하는 작업을 하였다. 이 방법은 그간의 선행된 방법에 비하여 가장 노이즈와 error 를 잘 다룰 수 있는데, 그것은 인공신경망과 퍼지로직이 갖고있는 soft-computing 적 특징이기도 하다.

5. Markov Chain 을 이용한 노화예측모델 (Deterioration Prediction Model)

Wirahadikusumah (1999), Sinha(2001), Chae (2001) 은 Markov chain 을 이용한 하수관망의 노화예측모델을 제안 하였다. Markov chain 은 현상태의 평가자료를 바탕으로 전문가의 설문조사, 그리고 추계학적 분석을 통하여 이루어지는데, 이중 가장 중요한 것은 현상태평가 결과의 신뢰도가 가장중요하다. Markov chain 은 다음의 그림과 같이, 단순적인 프로세스의 연결로 표현될 수 있다.

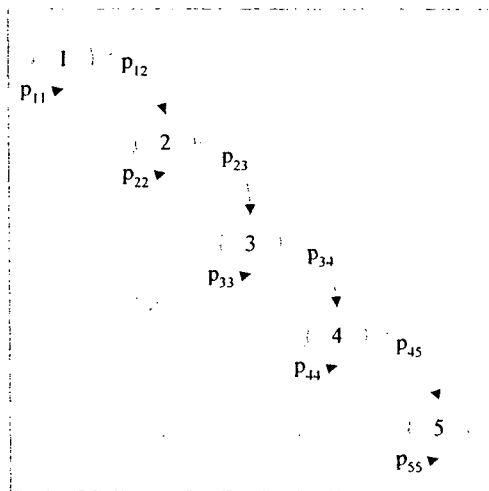


그림 5.1 Markov Chain

상태 1 을 최상의 상태, 상태 5 을 최악의 상태로 보았을 경우, 상태-1 에서 상태-2 로 갈 확률을 p_{12} 라 하고 그대로 머물 확률을 p_{11} 으로 가정할 수 있다. p_{23} 와 p_{22} 도 마찬가지로 생각할 수 있으며 p 값들의 모음을 Markov 의 변환행렬(transition matrix)이라 한다. 이 변환행렬은 전문가의 자문에 의한 값과 설문조사로부터 얻어지고 주기적인 상태평가조사를 수행함으로써 변환행렬의 값을 업데이트 할 수 있다. 이전 장에서 설명된바와 같이, 자동상태평가기의 완성도가 높아지면 주기적이고 반복적인 조사가 가능해지며, Markov chain 을 이용하여 완성도 높은 변환 행렬을 완성시킬 수 있다. 여기에는 안정적이고 정확한 상태평가기술이 필요하다. 즉 앞서 설명된 자동화된 상태 평가기의 중요성이 여기에 있다.

6. 결론 및 토의

본 연구에서는 지금까지 발전되어온 여러 첨단 시스템을 조사하고 현재 진행되고 있는 리서치들을 공부하였다. 갈수록 환경문제에 대한 관심이 커가고 환경문제는 시민들의 생활에 더욱 직접적으로 영향을 끼치고 있으며 asset management 에 대한 관심의 증가에 따라 이 논문을 통하여 그 동안 간과되었던 분야인 하수 관망의 전략적 유지관리를 위한 좋은 예이다.

본 연구에서 보아온 자동화된 상태 평가 시스템을 이용할 때 가장 큰 효과를 볼 수 있는 분야는 GIS(Geographic Information System)이다. GIS 시스템의 구축은 통상 많은 양의 데이터를 입력하는데에 있다. 그 작업은 흔히 매우 반복적인 수작업으로써 항상 실수의 요소를 포함하고 있다. 데이터수집 및 GIS 데이터로의 변환이 전산화되고 자동화될 때는 시간 절약 효과 및 노력의 절감과 정확성의 향상은 굳이 정량화 할 필요가 없을 것이다. GIS 와 연계한 전략적 하수관망관리는 (1) 발전된 시각효과, (2) 다양한 출처를 가진 데이터의 통합, (3) 더 나은 의사결정 시스템, (4) 데이터베이스와의 연계 등의 잇점을 예상할 수 있다.

노화 예측 모델, GIS 그리고 전략적 관리방침인 asset management 에 까지 이르는 포괄적인 인프라 관리는 토목/환경 공학이 앞으로 나아가야할 큰 방침이라고 저자는 생각한다.

6. 참고문헌

- Abraham, D. M., Iseley, T., Prasanth, R. K., and Wirahadikusumah, R. (1997) "Integrating Sensing Technologies for Underground Utility Assessment," *ASCE Conference on Infrastructure Condition Assessment: Art, Science, Practice, Boston, Massachusetts, August 1997*, ASCE, 316-325.
- Bow, S. (1992) *Pattern Recognition and Image Preprocessing*, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Chae M. J., Abraham, D. M. (2001) "Neuro-fuzzy Approaches for Sanitary Sewer PipelineCondition Assessment", *Computing in Civil Engineering*, ASCE, 15 (1), 4-14
- Moselhi O. and Shehab-Eldeen T. (1999) "An AI-Based System for Detection and Classification of Defects in Sewers," *Infra99 International Nov. 1999, Montreal, Canada*, Center for Expertise and Research on Infrastructures in Urban Areas (CERIU), Section 3B.

- Sharpe, R., Gibert, J., and Stephen, O. (1995) "Expert Systems and Artificial Intelligence Applications in Engineering Design and Inspection," *8th Int Conf on Industrial & Eng. Apps of AI & Expert Systems*, 6-8th June, Melbourne, Australia, 99-109.
- Sinha, S. K. (2000) Automated Underground Pipe Inspection Using a Unified Image Processing and Artificial Intelligence Methodology, Ph. D. thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.