

지하 시설물로서의 지하철 구조물 관리 방안에 관한 연구

A Study on the Management of Subway Structure as an Underground Facility

김충평* · 김감래**

Kim, Chung-Pyung* · Kim, Kam-Lea**

요 旨

사회의 발전 및 개인 소득 수준의 향상으로 인하여 증가하는 도시 교통 수요의 충족 및 교통난 해소 방안의 일환으로 1974년부터 지하철의 건설이 시작된 이래로 1기 및 2기 지하철의 건설이 완료되어 가고 3기 지하철의 건설이 추진되고 있다. 따라서 기존 건설된 지하철은 공용 년수의 증가로 인하여 구조물이 노후화 되고 있어 이로 인해 개·보수 물량이 지속적으로 증가하고 있고 도시가스, 전력, 상·하수도 등 여타 지하 시설물의 개량 및 신규 건설로 인해 지하 공간에서 잦은 문제가 발생하고 있어 이에 대한 안전 대책 마련이 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이미 건설되어 공용중에 있는 1기 지하철을 대상으로 지하철 구조물의 유지보수 상의 문제점을 분석하였다. 그리고 최근 여러 기관에서 시설물의 관리에 도입되고 있는 지형공간정보체계(GSIS) 개념을 응용하여 현행 문서 및 종이도면 위주의 구조물 유지관리 방법에서 수치화된 도형 요소와 이력 자료를 데이터베이스화 함으로써 지하 시설물로서의 토목 구조물을 보다 체계적이고 과학적으로 관리할수 있는 방안을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Since beginning of subway construction in 1974, for supplying the demand for increasing urban traffic and solving the traffic jam due to expansion of society and elevation of an individual income, the 1st and 2nd construction have been almost done and 3rd has been driving forward. However, according to an increment of common usage with the passage of time, structures are superannuated and the amount of improvement and repairs keeps on increasing continuous. And many problems are taking place at underground space because of new constructions for underground facilities such as urban gas, electric power, waterworks, and sewerage. In consequence, The consideration of a counterplan for safety is required deeply. This study analyzed problems on maintenance of structure about 1st class subway, and will present means that a manage civil structures scientifically and systematically by using GSIS concept that imported into several organizations for facility management recently as making digital graphic elements and historic data into a database rather than using an old method - documents and paper drawings.

1. 서 론

토목 분야의 건설 기술에 있어서 현재까지는 설계 및 시공 기술의 개발에 중점을 두어왔기 때문에 기존 구조물의 유지 관리 측면은 다분히 소홀이 되어 왔거나 초보적인 수준으로 매우 낙후되어 있는 실정이다. 지하철 구조물은 자체내에 궤도, 전기, 신호, 통신 등 선형 시설물들을 포함하고 있어 이들 시설물의 기능 유지 및

열차 안전에 기본이 되는 구조물 자체가 안전하게 보존되어야 한다.¹⁾

이에 따라 지하 공간에 대한 체계적인 관리의 필요성이 대두되고 있다.

현재까지는 구조물 유지 관리를 위해 수만매에 달하는 도면과 증가 추세에 있는 결함 개소 기록 대장 및 보수 현황을 단순 보관 및 수기 처리의 차원에서 관리하여 왔다.

따라서 구조물에 관련된 도면을 장기간 사용하면서 훼손 및 망실이 있어왔으며 원도 자체의 신축으로 인해

* 정회원 : 명지대학교 박사과정수료

** 정회원 : 명지대학교 토목·환경공학과 교수

정밀한 관리를 할수 없었고 점검 및 보수시마다 발생하는 이력 사항을 관리하는데 많은 인력과 시간이 소요되어 왔다. 또한 이력 사항 관리의 측면에서 발생 이력에 대한 표준화가 제대로 이루어져 있지 않음으로 인해 기록하는 사람마다 또는 전임자의 특성에 따라 하나의 대장 양식에 다양한 형태로 자료가 기록되어 여러 사람이 공동의 업무를 수행하는데 많은 문제점이 발생되었다.

현재 본 연구와 관련된 국.내외의 기술 동향을 보면 국내에서는 구조물의 유지 관리를 위해서 1995년부터 지하철 공사에서 도형 요소 기반의 구조물 유지 관리 시스템 개발을 진행중에 있으며 사업의 계획 단계부터 준공까지 발생된 모든 서류 및 도면 요소를 컴퓨터 데이터화하여 납품하도록 법제화 함으로서 유지 관리의 발판을 마련하고 있다.

국외의 경우 이미 지하철 구조물의 유지 관리를 위해 제반 이력 자료를 데이터베이스화 하여 유지 관리에 활용하고 있으며 점차로 도형 요소 기반의 자료 구축으로 발전해 가고있는 추세이다.

본 연구는 도형 및 속성 자료 구축을 위한 S/W로 Microstation, MGE(Modular GIS Environment) 및 DM/DB Access, RIS 그리고 Oracle S/W를 사용하고 개발 언어로 C언어 및 Microstation제공 MDL(Micro-station Development Language)를 이용하여 도형자료 입력 및 이력자료의 데이터베이스를 구축하여 지하철 구조물을 체계적으로 관리하기 위한 사용자 중심의 응용 프로그램을 개발하는 것이다.

2. 구조물 유지관리 체계

본 연구의 목적인 지하철 구조물의 유지 관리는 기존 구조물의 사용 목적과 기능에 지장이 없도록 유지, 보존하고 안전 운행을 확보하여 대민 서비스의 질적 향상을 기하기 위하여 실시하는 것으로 계획, 설계 단계뿐만 아니라 전 공용 기간에 걸친 유지 관리의 상호 연계 및 흐름을 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

지하철 구조물의 대부분은 지하의 열악한 환경하에서 공용되고 있어 준공 단계부터 구조물의 유지 관리에 관심을 기울이지 않으면 공용 기간 중 만족할만한 기능의 유지 및 확보는 불가능하다. 또한 공용중에 변형 등과 같은 열화 손상을 조기에 발견하여 기능상의 장애나 사고를 미연에 방지하기 위해서는 점검 주기 및 점검 사항 등에 대

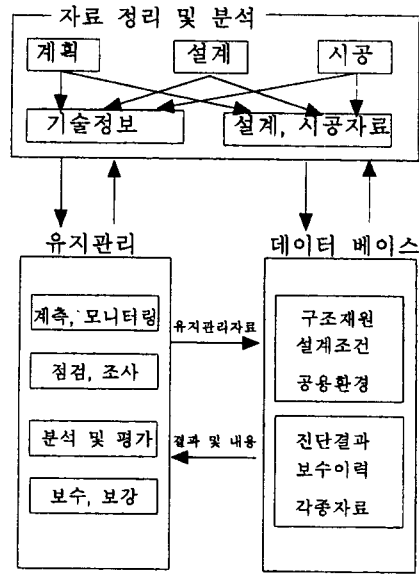


그림 1. 구조물 유지관리 흐름

한 지침을 마련하여 유지 관리를 실시하는 것이 바람직하다. 그러나 지금까지 구조물의 유지 관리가 체계적으로 실시되지 못하고 미비했던 이유는 다음과 같다.

- 1) 공용 기간중 구조물의 노후화는 장기적으로 진행되며 단기간에 장애가 발생하지 않기때문에 설계, 시공 기술에 비하여 상대적으로 관심이 부족했다.
- 2) 초기 균열, 누수 등의 결함을 노후 손상으로 보다는 구조물 자체의 결함으로 인식
- 3) 노후화는 표면의 상태만으로는 발견하기 어렵기 때문에 전문가가 아니면 구체적인 유지 관리의 필요성을 인식하지 못한다.
- 4) 구체 구조물은 영구적이라고 하는 관념의 보편화
- 5) 대량으로 발생하는 도면과 관련 이력 자료의 비체계적인 관리 및 비표준화

따라서 구조물의 체계적인 유지 관리를 실시하기 위해서는 최초의 준공 도면 및 구조 계산, 지질 상태 등과 함께 준공 이후 발생하는 점검 내용, 결함 및 보수 사항 등을 데이터베이스화하여 관리하여야 한다.

3. 구조물 유지관리를 위한 자료 현황

3.1 도형 자료

구조물 유지관리를 위하여 건설 당시에 발생한 모든 준공 도면과 구조계산서 및 지질조사서 그리고 건설 이

표 1. 사용 도면의 종류

사용도면	세부도면	축척
준공도	중평면도	1/600
	상세도	1/600
역사평면도		
지형현황도		1/1200
지변약도		1/3000
환기구일람약도		
교량단면도	구간별 교량평면도	
고가 단면도	종류별 빔 전개도	
	교각 단면도	
사용도면	이용분야	비고
준공도	인접공사 협의	위치참조
	설계서 작성	구조현황
	구조물 유지보수	파악
역사평면도	구조물 유지보수	위치 및 형태참조
지형현황도	인접공사	위치도 작성
지변약도	인접공사	위치 참조
환기구 일람약도	환기구 유지보수	현황 파악 위치 참조
교량단면도	교량 유지보수	현황파악
고가 단면도	고가 유지보수	현황파악

력 등 건설 관련 자료가 있으며 주변 현황의 파악 및 지하철 구조물 상부 또는 인근 30m 이내에서 발생하는 지하굴착 공사의 점검 관리를 위하여 지형현황도 및 지변약도가 사용되어지며²⁾ 표 1은 사용도면을 종류별로 구분한 것이다.

3.2 문서 자료

지하철 구조물의 결함을 파악하여 이력을 관리하고 이를 보수한 사항에 대한 관리를 위하여 점검 기록부 및 하자보수 관리대장을 기록 유지한다. 또한 지하철 주변 지하 굴착공사의 진행 사항을 점검 관리하기 위하여 인접공사 점검 현황철 및 10m 이내의 중요 굴착공사를 관리하기 위한 안전 관리 이력카드를 작성 유지한다. 표 2는 발생 자료를 종류별로 구분한 것이다.

3.3 현 보유 자료의 특성

준공 당시 도면중 중평면도의 내용은 지형 평면 위에

작성되어야 하며 정확한 축척과 위치 관계를 파악할수 있어야 한다. 그러나 작성된 도면은 설계업체의 특성에 따라 평판축량에 의한 지형도를 사용하거나 구청보유 지적도를 이용하였기 때문에 두 부분의 인접 부분이 일치하지 않고 필름 및 도면의 보관상태가 불량하여 신축이 생겼으며 작도된 지형이나 지적의 상당 부분이 변경되었다.

따라서 도면은¹⁰⁾ 축척이 각축에 대하여 동일하게 작성되지 않았고 작도된 축척도 신축으로 인해 변형되었으며 구간별로 분할하여 일직선상에 펼쳐 놓아 회전 변위가 발생되어 있다.

또한 실제 평면직각좌표나 경위도 좌표를 사용하지 않았으므로 기준 좌표가 실제 위치에 있지 않아 평행변위가 발생되어 있다.

문서자료의 경우 표 2의 자료에 나타나 있는 점검 기록 및 하자보수 관리자료는 특히 지하철 구조물의 유지관리에 직접 이용되는 자료로서 점검보수의 위치가 일치되게 관리하여야 하지만 과학적인 관리의 미흡으로

표 2. 발생 자료의 종류

발생자료	내용
점검 기록부	결함부위별 이력자료
하자보수 관리대장	보수부위별 이력자료
인접공사 점검현황	공사개요 및 점검현황
안전관리 이력카드	점검, 결과의 상세현황
환기구 이력카드	이력 및 중요사항관리
제반 문서	공사진행 관련서류
발생자료	이용분야
점검 기록부	측점별 결함부위 관리
하자보수 관리대장	공사별 보수사항 관리
인접공사 점검현황	인접공사 점검이력관리
안전관리 이력카드	10m이내의 굴착공사관리
환기구 이력카드	환기구 중요이력관리
제반 문서	공사 및 행정관련서류
발생자료	비고
점검 기록부	수량산출서 작성
하자보수 관리대장	재보수물량 산출
인접공사 점검현황	
안전관리 이력카드	특별관리
환기구 이력카드	
제반 문서	

자료의 불일치를 초래하게 되었다. 이러한 원인으로 인하여 담당자는 점점 및 보수의 내용을 파악할수 있으나 담당자 부재시 업무의 공백이 생기는 비효율적인 인력 운영을 유지하게 되었다.

4. 구조물 유지관리 시스템 구축

4.1 위치참조 기준으로서의 선로 거리표

선로거리표의 사전적 의미는³⁾ 열차 운전의 안전과 선로보수 및 구조물 유지관리의 편의를 도모하기 위해 선로의 기점으로부터 종점 방향으로 세운 거리를 표시하는 표이며 이는 종평면도상의 상,하선 또는 구조물의 가상 중심선에 100 m단위로 표시한다. 선로거리표가 상,하선에 표시되는 것은 직선부 구간은 좌우의 거리가 일치하지만 구배가 있는 구간은 좌우의 거리가 구배로 인하여 차이가 생기기 때문이며 파장을 두어 보정하게 된다.

지하철 구조물의 준공 평면도는 도면상에서 구조물 위치 참조의 기준으로서 지형상의 평면좌표 대신에 선로거리표를 사용한다. 또한 구조물 유지보수 요원이 구조물 관리를 위한 제반 활동중 모든 위치의 기준으로 삼는다.

구조물 관리 측면에서의 선로거리는 구조물의 좌,우 외벽을 기준으로하는 선로거리표이며 선로관리 측면에서의 선로거리는 궤도를 기준으로 측정한 거리이기 때문에 양자간에 약간의 차이가 발생하며 전체 구조물의 가상 중심선을 두어 차후 구조물과 각종 시설물과의 상

호 관계를 정의하는데 사용한다.

본 연구에서 제반 요소 위치 참조의 기준으로서 선로 거리표를 구조물의 좌우측 선로에 연결된 속성항목으로 구축하여 유지관리에 활용하며 1차원적 표현의 선로 거리표로 해당 위치를 찾기 위한 방법으로 그림 2의 흐름도와 같은 프로그램을 작성하였다.

4.2 도형 및 속성자료 구축

본 연구에서는 구조물의 유지관리를 위하여 도형정보 데이터베이스를 3개의 범주(Category)로 구분한다. 범주(Category)의 구분은 도면의 이용목적에 따라 구분하는 것이며 필요시마다 중첩하여 화면 표시할 수 있도록 하며 이는 다시 개개의 레이어(Layer) 및 요소(feature)로 구분한다. 표 3은 본 연구에서 구분된 범주(Category)이다.

향측현황도는 서울시 보유 1/1,200지형도를 디지털 이미지를 이용하여 입력하였으며 입력 범위는 구조물 외곽선으로부터 좌우50m까지 입력하였으며 지형도 내의 제반 사상은 칼라, 선 형태, 선 두께, 층(Layer)으로 구분하여 각 요소간의 중복을 피했다.⁵⁾

지적도는 1/5,000지적도 중 각 구역별 본번을 문자(TEXT) 형태로 입력하고 이의 속성 요소로 본번과 동명을 구축하였으며 지적은 구조물의 유지관리 차원에서 관리하는 인접공사의 협의 및 점검과 해당 위치를 신속하게 입력 및 조회할수 있도록 하며 지형 요소와 중첩하여 사용하도록 구축 하였다.

평면도는 향측현황도와 함께 구조물 유지관리를 위한 구조물의 기본도로서 도형 요소로 구조물의 외곽선, 중심선, 레일 중심선, 각종 교각, 환기구, 기타 시설을⁶⁾ 대화형(반자동) 득취방법으로 입력하였다. 이 중에서 구조물의 가상 중심선은 차후 구조물 내의 시설물인 선

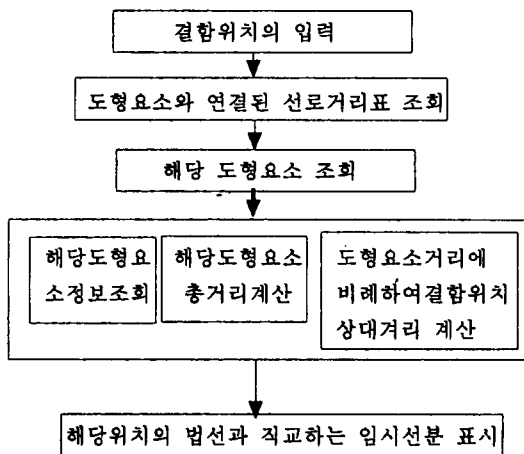


그림 2. 해당위치 조회 프로그램 흐름도

표 3. 범주(CATEGORY) 분류

CATEGORY명	사용도면	이용목적	비 고
BASE	향측현황도 (지형)	현황분석 및 인접공사	
PARCEL	지적도	인접공사 및 위치참조	위치참조를 위한 table
CONSTRUCT	준공도면(평면)	점검/보수이력 의 유지	유지관리를 위한 table

로, 신호, 통신, 전기 분야의 확장시 사용할 자료가 되며 좌,우측 케도 위치에 입력한 선로 중심선은 역의 시점,중점 및 노선의 시점, 중점부에⁴⁾ 노드를 두고 좌,우측 위치 참조의 기준으로서 중요한 속성 요소로 선로거리의 시점과 중점, 확장FIELD를 두도록 하였다. 또한 준공 평면도는 3.3절에서 표현한 것과 같은 특성을 가지고 있으므로 입력자료의 기준점 분포 현황과 입력방법을 고려하고 입력자료의 형태가 노선을 따라 일정한 선형을 유지하며 X,Y축의 거리비가 다르다는 점을 고려하고 기준점 수 대 소요시간 비용 등을 고려할때 affine 변환이 적합하다고 판단되어 본 고에서 도형요소 좌표변환 방법으로 채택하였다

각종 도형 요소와 연결되는 데이터베이스 상의 표와 시스템이 제공하는 13개 표중에서 사용자의 활동과 연관된 중요한 표간의 연결관계는 그림 3과 같으며 그림 4는 실제 정의된 도형 요소와 사용자 정의⁵⁾ 표간의 관계를 도식적으로 표현한 것이다.

표의 항목중 mslink항목은 도형 자료와 연결을 위한 속성 표의 고유 번호로서 표내에서는 유일한 값을 갖으

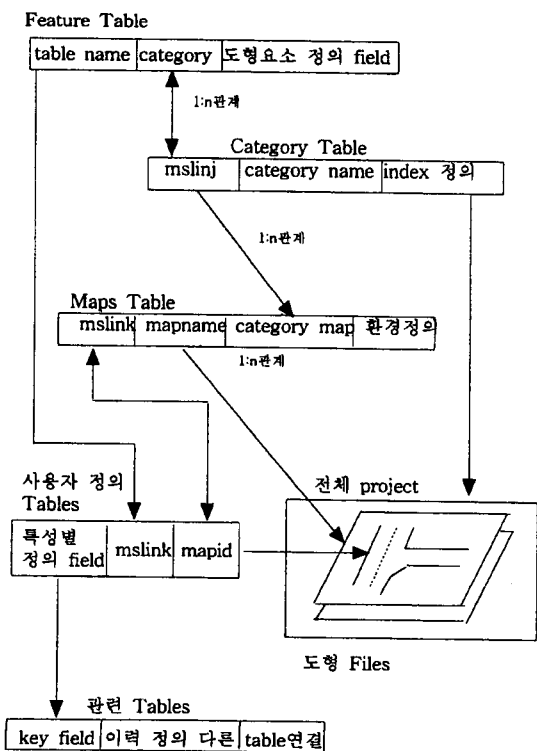


그림 3. 도형요소와 Table간의 연결 관계

며 나머지 항목은 개발자가 정의한 항목으로 도형 자료의 특성을 나타내는 값들이다.

4.3 응용 프로그램 개발

본 연구에서 개발된 응용 프로그램은 기본적으로 소프트웨어에서 제공하는 기능들은 별도의 개발없이 프로그램 모듈로 바로 적용하였으며 개발에 중점을 둔 부분은 건설 당시의 이력인 건설 자료 관리, 구조물 유지 관리를 위한 결함 이력 관리, 구조물에 영향을 미치는 인접 공사 점점 이력, 구조물 결함 부분의 계측 사항 관리이다.

이중 도형(VECTOR)요소와 연동하여 이력을 관리하는 부분은 구조물 유지 관리 부분과 인접공사 관리 부분이며 건설자료 관리 부분은 SCANNING된 도면 및 각종 이력 사항에 대한 관리로 기존의 도면 관리분야와 유사 하지만 구조물의 특성에 맞게 프로그램화 되었다.

계측 사항의 관리는 계측 후 측정된 값으로 변화량과 누계량을 계산하고 GRAPH를 작성하여 결함의 진행 정도를 파악하며 진행 이력을 관리하도록 프로그램화 되었다.

도형 요소와 연동된 이력을 처리하는 부분에서 입력/수정 기능은 소프트웨어 제공 기능을 프로그램 모듈중에 포함시켰으며 삭제와 조회 기능을 개발하였다. 소프트웨어가 제공하는 삭제 기능은 도형 요소와 속성 요소를 별도로 삭제하게 되어있어 사용자가 불편을 느끼게 되어 있으므로 두 요소를 함께 지울수 있도록 프로그램 되었고 조회 기능은 도형 요소로부터 속성 자료 조회, 속성 자료로부터 도형 요소를 조회하여 해당 도형 요소를 확대하고 강조하는 양방향 조회 방법을 개발하였다.⁶⁾

속성정보 처리부분은 속성자료의 입력과 수정, 삭제, 조회, 검색기능을 개발하였으며 검색보고서 출력 기능과 통계 작성 부분을 개발하여 호선, 년도, 구간별로 출력력을 가능하게 하였다. 그림 5는 개발된 응용 프로그램의 구조도이다.

4.4 비교 고찰

서울시의 지하철 건설 현황은 1974년 1호선의 건설을 시작으로하여 현재 3기 지하철이 건설되고 있는 시점에서 1기 지하철중 1호선의 경우 공용기간이 약 20년이 넘었고 3,4호선이 약 10여년으로 구조물의 체계

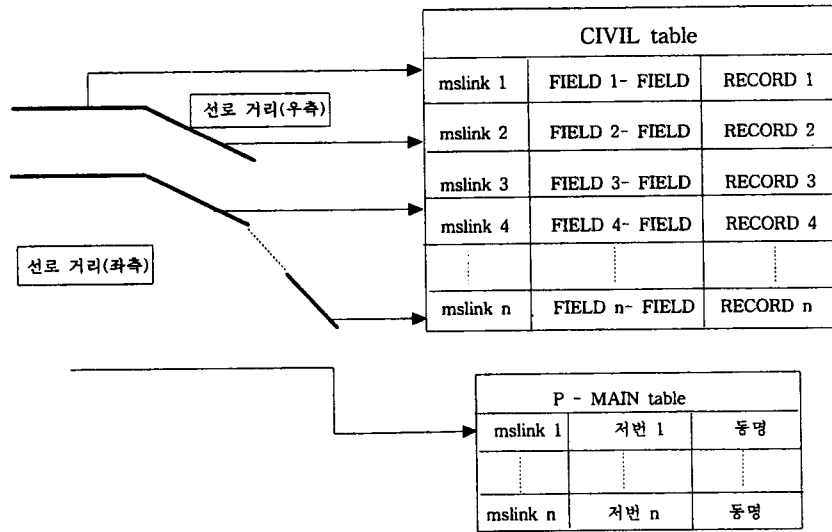


그림 4. 도형 요소와 표의 연결 관계

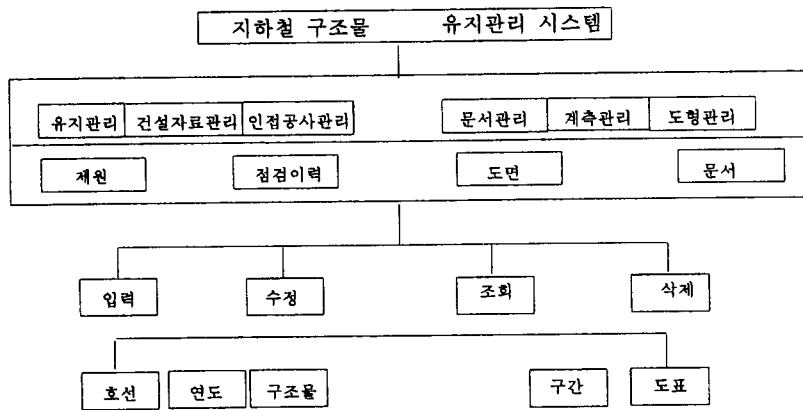


그림 5. 응용 프로그램 구조도

적인 유지관리에 관심을 기울이고 있어 1기 지하철을 연구대상 지역으로 선정하였다.

현재 1기 지하철의 관리 주체인 지하철 공사는 구조물 자체의 유지관리를 위하여 2차 3사무소를 두고 있으며 일상 및 정기 점검 등 각종 점검 시기를 정하여 구조물을 점검하고 자료를 각종 대장에 기록하여 보관한다. 구조물은 공용기간이 증가함에 따라 해마다 결함 부위가 증가하고 있어 이의 보수를 위해 수량을 산출할 때마다 많은 시간을 필요로 하고 산출된 물량의 내용을 알수는 있지만 그 지역의 위치가 정확하지 않아 잦은 설계변경 요인이 된다. 또한 도면이나 필름의 관리상태가 부실하여 적시에 필요 도면을 찾을수 없는 불편함이 있었다.

그러나 본 연구에서 개발된 응용 프로그램을 적용함으로써 정확한 물량을 빠른 시간에 산출할수 있고 정확한 위치와 해당 도면을 조회할수 있게 된다. 외국의 구축 사례와 비교해 보면 본 개발 응용 프로그램은 도형 요소를 기반으로 하기 때문에 현장을 가보지 않아도 현황을 파악할수 있고 SCANNING된 현장 사진을 조회함으로써 정확한 발생 현황 및 이력사항을 찾을 수 있게 된다.

또한 발생 지점으로부터 일정거리의 영향 구역을 설정하여 결함 요소를 발견 할 수있으므로 유지관리 업무에 있어서 아주 실용성이 있다. 또한 개발된 시스템을 통하여 체계화된 이력 및 점검 자료를 제공함으로써 구조물의 안전도를 판단함에 있어 구조 해석 결과와 함께

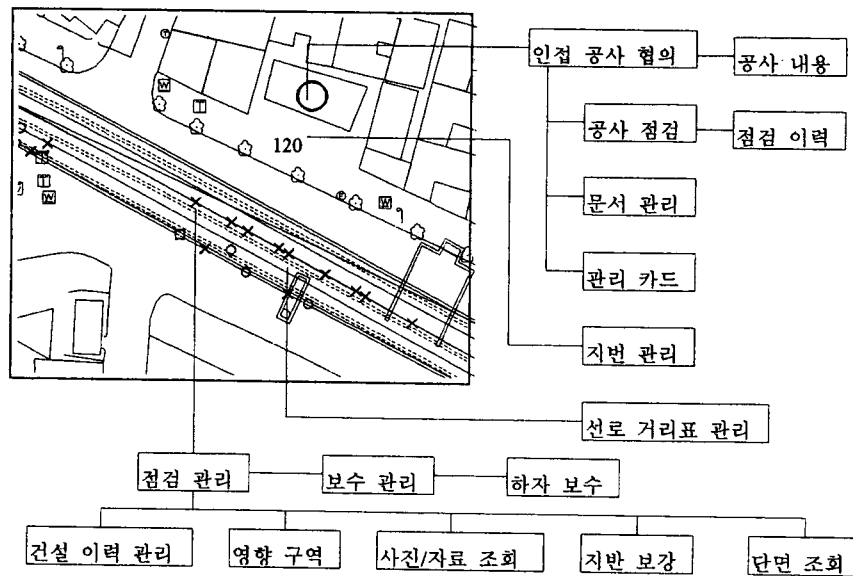


그림 6. 유지 관리 시스템 체계(도형 요소와 이력자료 연동부분)

위험도 판단을 위한 기초자료를 제공하여 유사시 신속하게 대처할수 있고 의사 결정을 위한 과학적 근거를 제시할수 있다.

그림 6은 개발된 유지관리 시스템 내용중 도형 요소와 연동한 이력관리 체계이다.

5. 결 론

본 연구는 도시내의 지하공간이 점차 복잡해지고 체계적인 유지관리의 필요성이 대두됨에 따라 현재 활발히 연구되고 있는 GIS를 이용하여 지하철 구조물을 상수, 하수 및 도시가스 등과 같은 시설물처럼 유지 관리하기 위한 것으로 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 본 개발 프로그램을 지하철 유지관리에 적용할 경우 도형요소 기반의 이력을 관리하므로 시간적으로 우수하여 현장 상황을 신속히 파악하여 업무의 효율화를 기할수 있었다.

둘째, 임의 지점으로부터 영향 구역(BUFFER-RING ZONE)을 설정하여 결함의 종류 및 내역 조회를 통해 중점 관리 지역을 선정하여 점검 관리하고 즉시 보수를 요하는 지점을 정확하게 파악할수 있다.

셋째, 데이터베이스화된 각종 이력 자료와 점검 자료를 이용하여 구조물의 안전도를 판단할수 있는 근거를 제공하여 신속하게 대처할수 있게 한다.

네째, 기존 도면의 관리 방식에 있어서는 도면의 손상과 분실의 위험이 있어 관리에 많은 어려움이 있었다. 그러나 도면 및 각종 자료의 전산화를 통한 구조물의 관리시에는 필요 도면 및 문서를 필요시마다 출력할수 있으므로 자료의 훼손 및 분실의 위험이 없이 구조물을 관리할수 있게 한다.

본 연구에서는 구조해석 부분과의 연동 및 관련성을 배제하였는데 향후 구조물 유지관리의 이력 및 계측 자료를 구조해석 부분과 연동시킬수 있다면 업무의 효율성뿐만 아니라 구조물의 안전도 확보에 크게 기여할수 있을 것이다.

참고문헌

1. (주)한국 항공 "지하철 구조물 전산화 제안서," 1권, 1995, pp1-2
2. (주)한국 항공 "지하철공사 업무분석 및 개략설계 보고서," 1권, 1996, pp1-2
3. 전인식, "건설용어 대사전," 건설연구사, 1992, pp402
4. 김충평, 이강원, 김경희, "도로관리 종합 정보 시스템을 위한 도로망 데이터베이스 구축 방안," 한국 GIS학회지, 제3권, 제1호, 1995, pp58
5. 이태식, 조영준, "범국가 전산망 구축을 위한 GIS 추진 방향," 한국 GIS학회지, 제1권, 제1호, 1995, pp30
6. 박운용, 차성렬, 신상철, "도시시설물 관리를 위한 자료 기반 설계에 관한 연구," 한국측지학회지, 제13권, 제

- 1호, 1995 pp22-23
7. 강인준, 장용구, 박기태, "토지정보시스템에 있어서 토지
대장 데이터 베이스 구축," 한국측지학회지, 제12권, 제
2호, 1994, pp145
8. 황국웅, 이규석, "개인용 컴퓨터를 이용 한 상수도 시설
물 관리 정보 체계 개발," 한국측지학회지, 제12권, 제
2호, 1995, pp192
9. Intergraph, "MGE Basic Nucleus(MG-NUC) User's
Guide," 1994, pp3-7
10. 유복모, "사진측정학," 문운당, 1996, pp 181