

# GPS 및 TotalStation을 이용한 PC용 개체지향 도시 기반 시설물 관리 시스템 구축

## Establishing PC-based Object-Oriented Urban Infrastructure Information System using GPS and TotalStation

유상근\* · 이규석\*\*

Yoo, Sang-Keun · Lee, Koo Seock

### 要 旨

본 연구는 PC 상에서 GPS와 TotalStation을 이용하여 도시 기반 시설물 관리 시스템을 구축함으로써 기존의 유닉스 기반 도시 기반 시설물 관리 시스템보다 적은 시간과 비용을 투자하여 시스템을 구축할 수 있었고, 대상지의 기준점을 DGPS 방식을 이용하여 좌표취득후, 이를 바탕으로 도면자료를 구축함으로써 기존 스캐닝 또는 디지털라이징을 사용한 것보다 정확도의 향상을 기하였다. 또 속성자료에 영상자료를 동시에 수록함으로써 텍스트 자료 외에 멀티미디어 데이터베이스의 구축 가능성을 시도하였다.

### ABSTRACT

This study was performed to establish PC-based Urban Infrastructure Information System(UIIS) using GPS and TotalStation as an alternative to UNIX-basedUIIS. After carryig out this study, the following conclusions were derived: PC-based UIIS costs less time and money than UNIX-based UIIS. The coordinates of the control point of the site were obtained using DGPS, then based on this point, locational data were obtained using RTK GPS and TotalStation in the site with realtime data capture to enhance the accuracy of locational data. And image data were also entered into database together with the text data. So, the multimedia database is possible in UIIS.

### 1. 서 론

과거 UNIX기반의 중·대형 workstation에서 이루어지던 도시 기반시설 관리는 소프트웨어의 구입, 유지, 보수 및 사용자의 시스템 숙달에 많은 시간과 비용이 소요되는 불편함을 가지고 있었으나 컴퓨터 하드웨어의 급격한 발전과 이에 반비례한 가격의 하락, 운영체제의 Windows 98, Windows NT로의 확장 등은 개인용 컴퓨터(Personal Computer, PC)에서도 도시기반시설관리의 운영가능성을 점진적으로 모색케 하고 있다. 이는 PC용 CAD와 database를 연결,<sup>6)</sup> PC용 CAD/GIS를 이용,<sup>5)</sup> 또는 독자적인 소프트웨어를 개발하여<sup>10)</sup> 이뤄졌다.

위치자료 입력 방법에서도 지금까지의 도시기반시설관

리는 도면을 그대로 스캐닝(Scanning)하여 벡터라이징(Vecterizing) 과정을 거쳐 수치지도(Digital Map)를 만들어 사용하였기 때문에,<sup>4)</sup> 재측량을 하지 않는 경우 원도면 좌표의 부정확성이 그대로 남아 있었으나 범지구 측위시스템(Global Positioning System, GPS)의 대중화는 기존의 도시 기반시설의 위치를 효율적으로 재측량해 정확한 위치자료를 입력해 데이터베이스를 구축하는 것을 가능하게 하고 있다. 특히 kinematic GPS 위치결정 방식은 지형도 작성 및 위치정보를 효율적으로 획득할 수 있고 시간과 비용의 절감과 static GPS, pseudo-static GPS 및 종래의 GPS 측량방법과 비교해 측정이 가능한 kinematic GPS의 효율성을 제시하였다. World Geodetic System 84(WGS84) 좌표계에 의한 수치도로지도 제작기법에 대한 연구가 있었으며 단독측위를 이용하였기 때문에 정확도가 떨어지는 단점이 있다.<sup>3)</sup> 종래에는 이러한 시스템을 구축하기 위해서는 국가기준삼각점에서 단지내

\*성균관대학교 대학원 GIS 석사

\*\*성균관대학교 조경학과

기준점의 절대좌표를 얻은 후, 이를 세부 측량하여 CAD data format으로 바꿔주는 번거로움과 관련 도시기반시설의 속성정보를 관계형 데이터베이스로 연결하여 영상정보 등 관련정보가 함께 다루지 못하는 불편함이 있었다.

그러므로, 본 연구의 목적은 정밀 DGPS측정망을 이용하여 단지내의 절대좌표를 구한 후, RTK DGPS와 totalstation을 이용 측정후 바로 CAD 자료 형태로 변환과 동시에 수치지도를 작성후, 측정된 시설물의 속성정보를 영상정보와 함께 개체지향형 데이터베이스로 구축하여 사용자가 PC상에서 손쉽게 시설물을 관리하는 시스템 개발에 그 목적이 있다..

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상지

본 연구는 경기도 수원시 장안구 천천동 300번지에 위치한 성균관대학교 자연과학 캠퍼스를 대상지로 하였다.

### 2.2 연구 진행방법

연구의 진행 방법으로는 목표설정 뒤 관련 연구와 이론적 배경을 조사한 후, 도면자료와 속성자료를 구축하였다. 도면자료 구축을 위해서는 두 가지 방법이 사용되었다. 첫 번째로는 GPS 측량을 통해 선정된 기지점을 이용하여 실시간 이동(Realtime Kinematic, RTK) GPS 측량을 실시, 도시 기반시설물을 측량하였다. 두 번째로 이와 병행하여 GPS측량이 어려운 부분에 대해서는 TotalStation으로 측량하였다. 이렇게 측량한 대상지와 도시 기반시설물의 위치를 중첩하여 기본도를 완성하고 속성자료들은 개체지향데이터베이스로 구축한 뒤 위치자료

와 속성자료들을 연결하여 시스템을 구축하고 실제 적용 후 평가하여 결론을 도출하였다.

### 2.3 연구사용장비

본 연구에서 사용한 측량 장비 및 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어는 표 1과 같다.

## 3. 데이터 베이스 구축

### 3.1 도면 데이터 베이스 구축

대상지 도면의 정확한 위치좌표를 입력하기 위해서 GPS와 TotalStation을 사용하였다. 대상지내에 한 점 이상 기준점의 절대좌표 선정을 위해 대전의 한국 천문연구원의 IGS상시 관측점과 대상지 내의 한 점을 Differential GPS(DGPS) 방식으로 동시 측량하여 정확한 절대좌표를 구한 후 이를 기준점으로 RTK GPS측량을 사용, 현장에서 측량 결과를 확인하는 방식으로 오류를

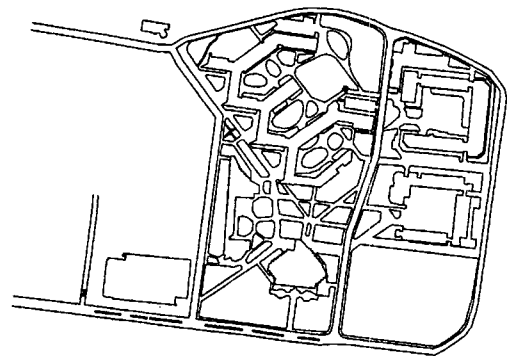


그림 1. GPS 기준점

표 1. 사용 장비

	사용장비	용도
하드웨어	Ashtech Z-Surveyor(GPS)	기준점 및 대상지 측량
	PenMap Notebook computer	기준점 및 대상지 측량
	Carl Zeiss Elta 40R(TotalStation)	대상지 측량
	PC(CPU 400MHz, RAM 128MB, HDD 10GB)	자료 입력 및 관리
소프트웨어	Ashtech Office Suite(AOS)	좌표 변환
	PenMap for Windows 3.0	측량 위치 표시
	AutoCAD R14	도면 자료 입력 및 편집
	Autodesk World 2.0	도면 관리
	Visual Basic for Application(VBA)	사용자화
	Access 7.0	속성자료 관리

바로 수정하였고 정확도를 높이기 위해 DGPS 방식을 사용하였다. 측량하는 대상지내의 측점의 위치는 그림 1과 같으며 이 점의 좌표값은 WGS84좌표로서 다음과 같다.

위도 = N 37.2955°

경도 = E 126.9754°

고도 = 75.6937 m

GPS 측량의 경우 지구궤도를 선회하는 위성으로부터 전파를 수신받아 측량하는 방식이므로 GPS 기계 주변에 전파의 수신을 방해하는 나무나 건물이 있을 경우 정확도가 현저히 떨어진다. 연구 대상지인 성균관대학교 캠퍼스의 경우 특히 수목이 많이 우거져 있어 GPS 측량의 성과가 떨어지는 지역이 많이 분포한다. 도로나 녹지등 비교적 GPS 측량이 쉬운 부분을 측량하여 얻은 대상지내 GPS 측정 좌표를 기준으로 TotalStation 측량을 하였으며 이는 전시를 한 다음 후시를 했던 기존의 측량 방식보다 오차를 줄일 수 있었다.

### 3.2 속성 데이터 베이스 구축

입력 관료가 정해지면 각 관료에 대한 입력 속성을 결정한다. 본 연구에서는 도시기반시설업무를 효과적으로 수행할 수 있도록 담당자와의 면담을 통해 요구사항을 듣고, 필요한 자료를 수집하여 데이터베이스를 구축하도록 하였다. 담당자와의 면담 결과 초기 설계 이후 설계 변경과정과 시공시의 여러 제약조건으로 속성이 바뀌었으며 관리 부실로 속성을 기록한 대장이 거의 전무한 실정이다. 담당자와의 면담을 통해 얻어온 자료를 바탕으로 우수와 폐수를 포함한 우수에 관한 자료를 먼저 입력하였다. 상수 관료는 현재 보유하고 있는 자료가 전무한 실정이므로 입력하지 못하였다. 본 연구에서 얻을 수 있었던 속성 정보는 다음 표 2와 같다.

### 3.3 도시기반시설물 관리시스템 구축

속성 데이터 베이스는 MicroSoft(MS)사의 Access를 이용하여 구축하였으며 이를 Autodesk사의 Autodesk

표 2. 속성자료

종류	속성 항목
우수 맨홀	맨홀 번호, 맨홀 직경, 매설 깊이, 형태
우수관	우수관 번호, 시작 맨홀, 끝 맨홀, 관 직경, 관 길이
우수 맨홀	맨홀 번호, 맨홀 직경, 매설 깊이, 형태
우수관	우수관 번호, 시작 맨홀, 끝 맨홀, 관 직경, 관 길이

World를 이용하여 Access의 속성 데이터베이스와 GPS와 TotalStation으로 입력한 도면좌표 자료를 연결시켜 시스템 구축의 편의성을 위하여 사용자로 하여금, 객체지향적 속성자료인 문자, 영상정보를 조회, 수정, 편집, 검색할 수 있도록 하였다.

영상정보는 모든 맨홀을 디지털 카메라로 촬영한 후 컴퓨터에 다운로드 받아 입력, 저장하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 GPS 측량에 의한 도면제작

본 연구에서 GPS를 이용하여 측량한 것은 도로, 건물과 인접해 있지 않은 녹지, 우수맨홀 그리고 오수맨홀이다. GPS 측량의 경우는 전파의 수신을 방해하는 건물이

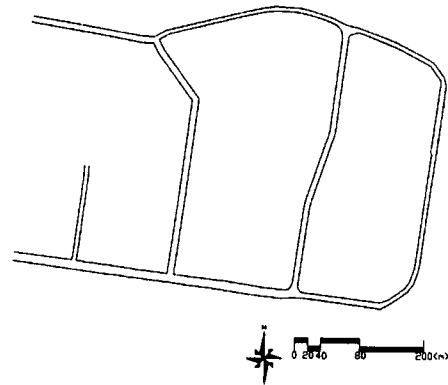


그림 2. 도로 도면

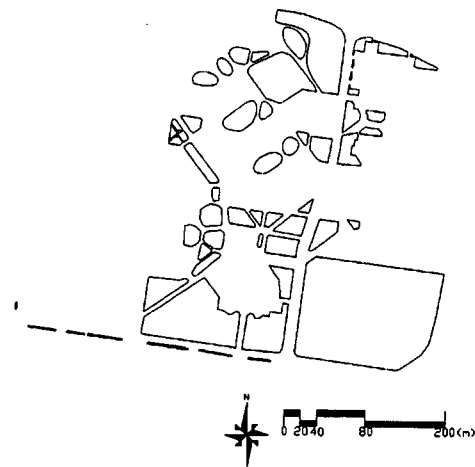


그림 3. 녹지도면

나 나무 등이 없는 비교적 열린 공간을 위주로 수행하였다. 그림 2는 도로의 도면이다. 도로는 도로의 중심선을 먼저 측량한 후 도로의 폭을 측량하여 캐드의 오프셋(offset) 기능을 이용하여 구축하였다.

녹지는 건물과 인접한 녹지와 떨어진 녹지로 구분해 건물과 인접한 녹지는 건물의 높이로 인해 전파의 방해가 예상돼, GPS 측량대신 TotalStation 측량을 하였다.

GPS를 이용하여 측량한 녹지의 포인트들과 이를 이용한 녹지의 모습은 그림 3과 같다.

우수맨홀은 성균관대학교 시설과에서 1985년도에 제작된 도면을 참고하여 맨홀의 위치를 찾아 측량하였다. 건물신축과 녹지변경등으로 도면과 맞지 않는 맨홀이 있어 확인에 적지 않은 시간이 소요되었다. 시스템 구성

시에는 확인된 맨홀과 확인되지 않은 맨홀을 CAD상에서 색을 다르게 지정해 주어 구분하였다. 그림 4는 확인된 맨홀의 포인트와 이를 이용한 도면이다.

그림 5와 6은 확인되지 않은 우수맨홀의 포인트와 이를 이용한 도면이다.

그림 7은 완성된 우수관로도이다.

오수관 역시 성균관대학교 시설과에 보관되어 있던 오수관로 준공도를 참고하여 맨홀을 찾고 측량하였다. GPS를 이용하여 측량한 오수맨홀의 포인트와 이를 이용한 도면은 그림 8에 나타나 있다.

#### 4.2 TotalStation을 이용한 도면제작

TotalStation을 이용하여 측량한 것은 건물과 인접한 녹

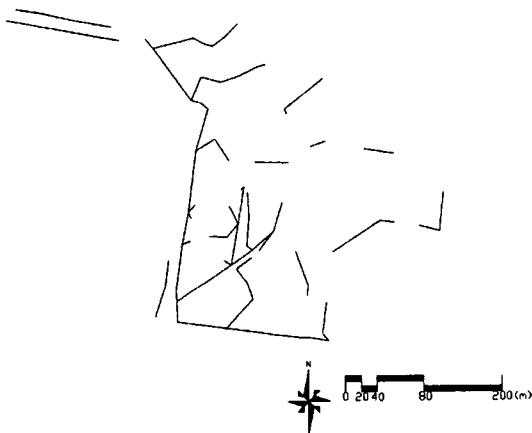


그림 4. 확인된 우수맨홀 도면

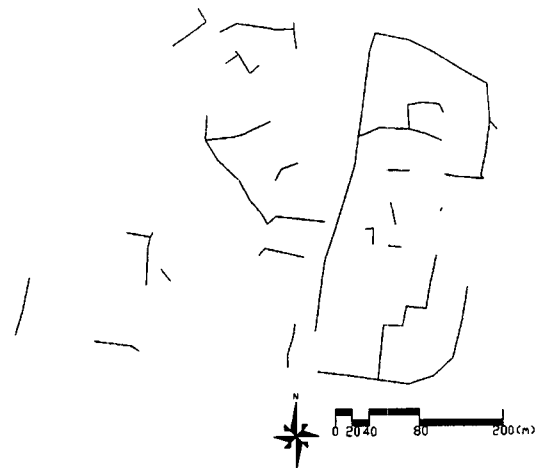


그림 6. 확인되지 않은 우수맨홀 도면

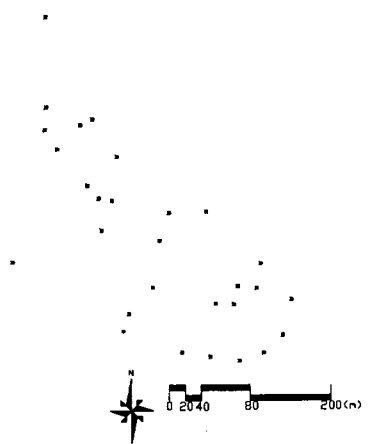


그림 5. 확인되지 않은 우수맨홀 측량점

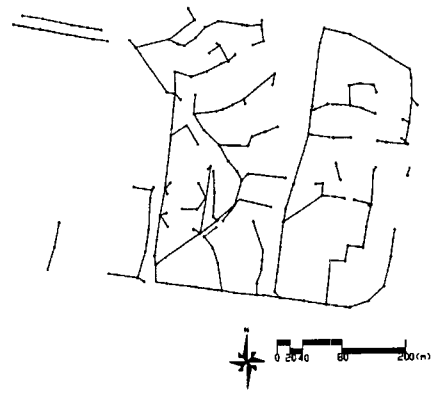


그림 7. 우수관로도 완성도면

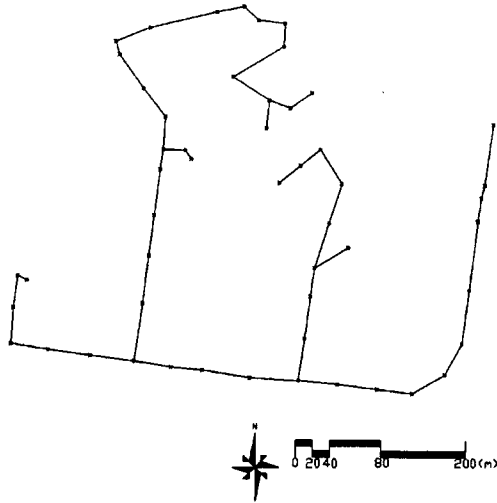


그림 8. 우수관로도

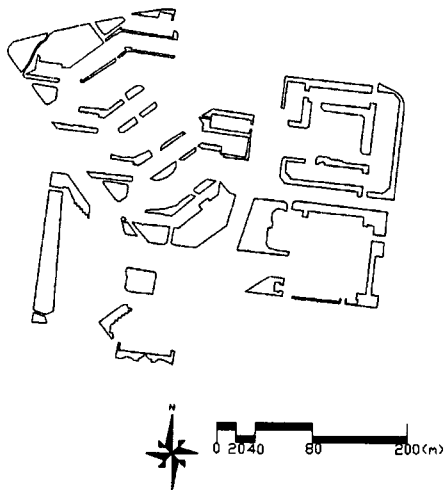


그림 9. TotalStation을 이용한 녹지도면

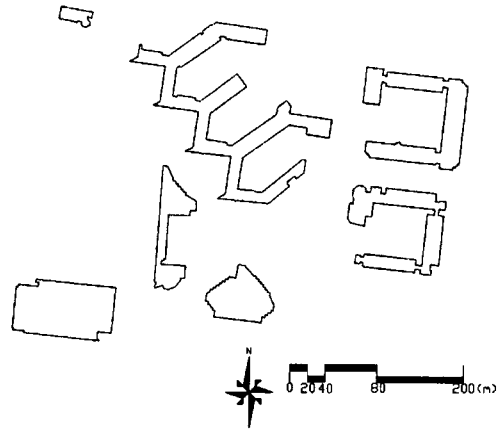


그림 10. TotalStation을 이용한 건물도면

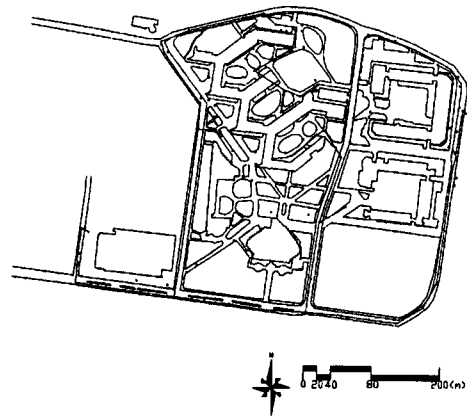


그림 11. 대상지의 완성도면

지, 건물 등 GPS 이용시 측량성도가 떨어졌던 부분이다. 건물과 연결된 녹지의 경우 GPS를 이용하여 측량이 가능한 부분도 있지만 도면 구축과정에서의 혼란을 막기 위해 TotalStation을 이용하여 한번에 측량하였다.

그림 9는 TotalStation을 이용하여 측량한 건물에 접해 있는 녹지의 포인트와 이를 이용한 도면이다.

그림 10은 TotalStation을 이용하여 측량한 건물의 포인트와 이를 이용하여 만든 도면이다.

이상과 같이 여러 부분으로 나누어 측량한 것을 하나로 합치면 대상지의 완성도면이 된다. 그림 11은 대상지

표 3. 속성의 기본키

Attribute data	Primary key
Sewage manhole	OM00
Sewage pipe	OK00
Rainwater manhole	UM00
Rainwater pipe	UK00

의 완성도면이다.

#### 4.3 속성 데이터베이스 구축

속성자료는 시설물 관리 담당자로부터 얻은 자료를 기본으로 하여 입력하였다. 현재 속성자료 관리는 대장이 따로 갖추어져 있는 것이 아니라 각 도면에 적혀 있기 때문에 이를 관독자가 읽어 컴퓨터에 입력하였다. 속성 데이터베이스 구축 시 추후 시스템에서 도면자료와의

연결을 위해 기본키를 설정하였고 이는 속성자료와 도면 자료에서 공통으로 사용된다. 각 속성의 기본 키는 표 3 과 같다.

#### 4.4 시스템 구축

시설물 관리 시스템은 도형 자료의 입력, 출력, 수정을 포함한 도형 자료와 속성자료의 일체적 관리, 도형자료로부터 속성자료의 검색, 속성자료로부터 도형자료의 검색 등을 할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 본 연구에서 구축한 시설물 관리 시스템은 자료의 입력, 수정, 편집의 기능으로 나눌 수 있다. 도면자료의 경우는 자료의 변경이 있을 경우 해당 자료를 재측량하여 바로 캐드상에 입력한 뒤 갱신해 주고, 속성자료의 생성이나 변경시는 시스템 자체적으로 생성, 변경할 수 있다. 또 기존 연구에서는 수행하기 힘들었던 영상자료를 연결시킴으로써 좀 더 효과적인 시설물 관리 시스템을 구축하였다.

##### 4.4.1 시스템 구축 소프트웨어

본 연구에서 시스템 구축시 사용된 Autodesk사의 Autodesk World는 AutoCAD의 dwg 포맷을 기본으로 MS사의 윈도우 환경에서 운영되는 GIS 도구이다. 개발 도구로는 VBA, C++, Delphi 등을 제공하며 본 연구에서는 VBA를 이용하여 영상 자료를 연결하였다.

##### 4.4.2 활용

시설물을 관리하는 해당 부서에서는 연차적인 개량사업이나 소규모의 보수작업을 주로 수행하며 본 연구에서 구축한 시스템을 이용하면 이러한 업무를 효율적으로 수행할 수 있다.

현재 연구 대상지인 성균관대학교 자연과학 캠퍼스의

경우 의과대학을 비롯하여 지금 신축중인 종합 강의동등 오수를 배출하는 건물이 늘어나고 있는 실정이다. 이를 대비하여 오수관의 교체 및 신설이 예상된다. 그림 12는 오수관과 함께 오수맨홀이 신설되어 새롭게 측량이 되어 도면자료는 갱신이 되었다는 가정 하에 오수맨홀의 속성정보를 추가하는 것을 보여주고 있다.

속성정보의 검색과 수정으로는 오수의 처리량 증가로 인해 오수관을 교체할 경우를 가정하여 구축된 시스템 활용을 설명하면 현재 대상지의 오수관경은 일일저수지로 나가는 관로를 제외하고 모두 300밀리미터이다. 이 중에서 관의 길이가 50미터 이상인 것을 검색하여 이것의 관경을 450밀리미터로 바꾸는 가정 하에 작업을 수행하면,

- 1) 먼저 화면상에서 검색할 오수관만을 남기고 다른 레이어는 안보이게 하기 위해 해당 레이어만 체크한 후 뷰

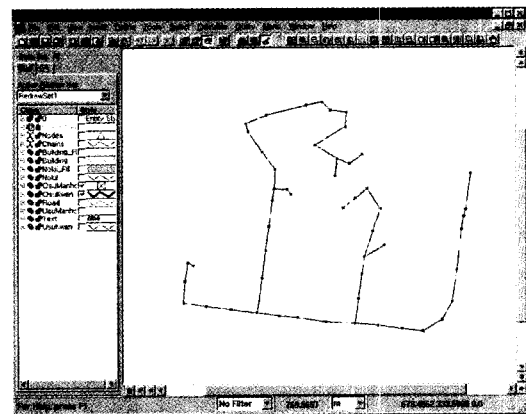


그림 13. 화면 갱신

CA41	1.2	4.21	1.2
CA42	1.2	2.64	1.2
CA43	1.2	4.56	1.2
CA45	1.2	2.87	1.2
CA46	1.2	2.15	1.2
CA47	1.2	2.15	1.2
CA48	1.2	1.15	1.2
CA49	1.2	5.45	1.2
CA40	1.2	3.35	1.2
CA41	1.2	2.46	1.2
CA42	1.2	1.64	1.2
CA43	1.2	2.52	1.2
CA44	1.2	3.52	1.2
CA45	1.2	1.55	1.2
CA46	1.2	1.05	1.2
CA47	1.2	1.05	1.2
CA48	1.2	2.02	1.2
CA49	1.2	2.36	1.2
CA50	1.2	1.95	1.2
CA51	1.2	2.55	1.2
CA52	1.2	1.05	1.2
CA53	1.2	1.91	1.2
CA54	1.2	2.40	1.2
CA55	1.2	4.46	1.2
CA56	1.2	3.25	1.2
CA57	1.2	3.25	1.2
CA58	1.2	3.25	1.2
CA59	1.2	1.95	1.2
CA60	1.2	4.25	1.2
CA61	1.2	1.36	1.2
CA62	1.2	2.15	1.2
CA63	1.2	4.25	1.2
CA64	1.2	2.15	1.2
CA65	1.2	0.26	1.2
CA66	1.2	4.42	1.2

그림 12. 속성자료의 추가

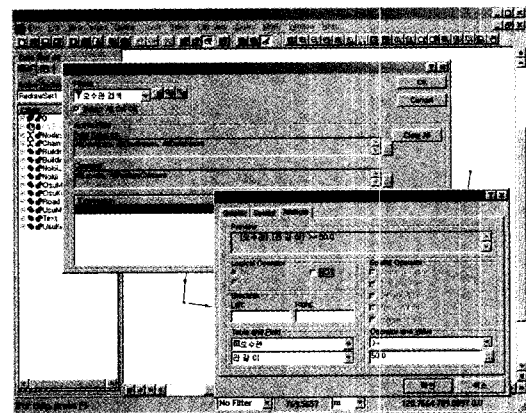


그림 14. 검색어 입력

(view)를 갱신하였다(그림 13).

2) 오수관을 검색하기 위해 필터를 선택하고 조건식을 입력하였다(그림 14).

3) 조건에 맞는 해당 오수관의 색깔이 바뀌어 표시된다(그림 15).

4) 해당 오수관을 선택하여 오수관 번호를 확인 후 속성을 변경하였다(그림 16).

영상자료의 연결을 위해서는 VBA를 이용하여 매크로를 작성하고 이를 실행시켜 외부에 저장되어 있는 영상 자료를 불러와야 한다. 그림 17과 같이 영상자료를 불러올 수 있는 매크로를 실행시키고 영상을 보고자 하는 맨홀을 선택하면, 선택된 맨홀의 색깔이 바뀌면서 영상자료가 화면상에 보여진다.

#### 4.4.3 사용자화

기존의 도시기반 시설물 관리시스템의 경우에는 관리

시스템 운영시 거의 사용하지 않는 기능을 나열하여 전문적인 지식을 가지지 못한 사용자가 시스템을 운영할

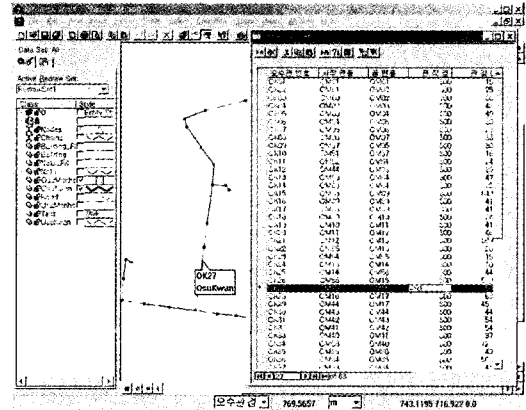


그림 16. 속성 변경

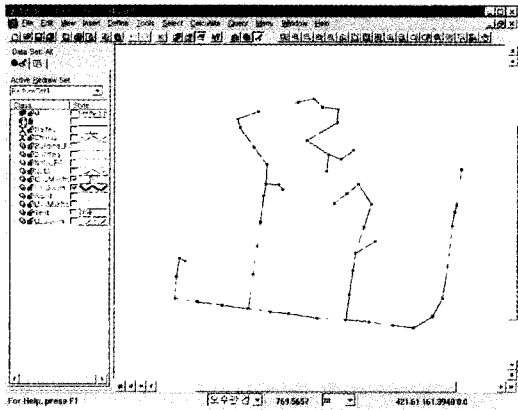


그림 15. 검색결과 표시

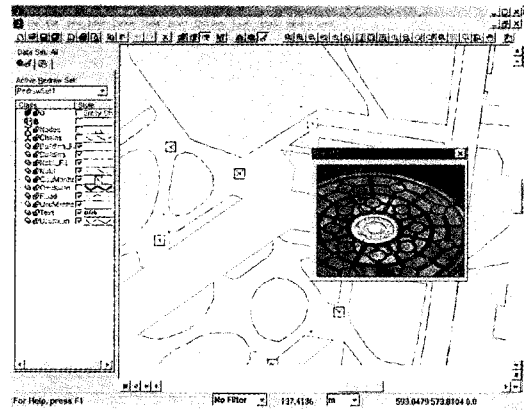


그림 17. 선택된 맨홀 영상 보기

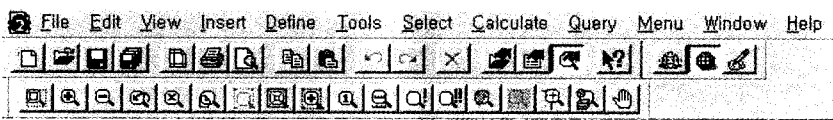


그림 18. 기본메뉴

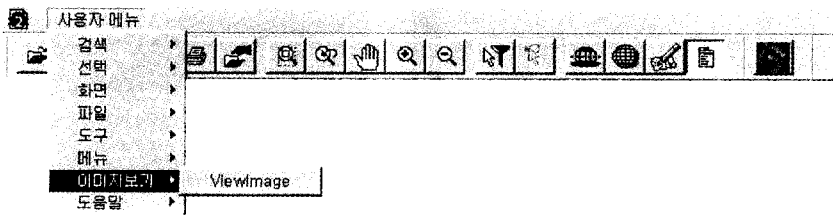


그림 19. 사용자화된 메뉴

경우 시스템 숙달에 많은 어려움을 겪었다. 본 연구에서는 시스템의 메뉴와 단축 아이콘을 사용자가 시설물을 관리하는데 필요한 것만 선택하여 구성함으로써 사용자의 편의성을 최대화하였다.

기본값으로 설정된 메뉴와 단축아이콘들은 그림 18과 같다. 위와 같이 구성된 메뉴와 단축 아이콘들을 사용자의 편의성을 고려하여 시설물 관리시 필요한 메뉴와 단축 아이콘으로만 구축하여 새롭게 만들었다. 사용자화된 메뉴와 단축 아이콘은 그림 19와 같다.

#### 4.5 고 찰

본 연구에서는 과거 워크스테이션을 이용한 도시기반 시설 관리 시스템 구축이 많은 비용과 시간이 소요되는 점을 고려하여 PC용 도시기반시설정보체계 구축을 시도하였다. 아울러 위치좌표의 정확성을 위해 현장에서 직접 GPS와 TotalStation으로 측량한 결과를 노트북컴퓨터에서 바로 데이터베이스를 구축하는 방법을 사용하였다.

본 연구 수행중 GPS와 TotalStation을 이용하여 측량을 하는 과정에서 GPS 측량시 주변에 가로수 등 전파수신을 방해하는 물체가 있을 경우 위치 정확도가 떨어져 GPS 측량을 할 수 없는 곳에서는 TotalStation측량을 이용하였다. 따라서 GPS를 활용할 수 있는 공간의 선택 파악이 중요하다. 사용자의 숙달정도에 의해 측량에 소요되는 시간이나 정밀도는 GPS측량보다는 TotalStation 측량이 더 요구되었다.

본 연구의 제약점으로서는 속성 자료 구축 과정에서 경사, 관저고, 유속, 설치 년도 등 시설 관리에 중요한 역할을 하는 속성들이 더 있으나 이에 대한 기존 자료의 부족으로 시스템을 제대로 구축하기에는 미흡하였고 시설물의 위치 확인에 생각보다 많은 시간이 소요되었다. 향후 시스템 구축에서는 공사 후 정리된 자료를 잘 보존하여 시설물에 대한 변경 사항이 있을 경우 속성 자료를 편집, 수정하여 정확한 데이터베이스를 기반으로 한 보다 발전된 시스템을 구축해야 할 것이다.

### 5. 결 론

이와 같이 구축된 도면 자료와 속성 자료를 연결하여 도시기반시설 정보체계의 활용방안을 모색한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. PC상에서 도시기반시설 관리 시스템을 구축함으로

써 기존에 중대형 워크스테이션을 사용하여 시스템을 구축했을 때 보다 적은 비용으로 도시기반시설 관리 시스템을 구축하였다.

2. 본 대상지의 기준점을 확보하기 위해 한국 천문대의 International GPS and Geodynamics Service(IGS) 기준점과 대상지의 기준점을 DGPS 방식으로 측량 정확한 WGS84 좌표값을 취득 후 이를 후처리하여 Bessel 타원체의 경위도 좌표로 변환하였다. 이 점을 이용하여 대상지내에서 RTK GPS와 TotalStation을 이용하여 도면 자료를 구축함으로써 기존의 도면 자료 구축방법인 scanning·digitizing을 사용하는 것보다 정확도가 향상하였다.

3. 속성자료에 영상자료를 동시에 수록함으로써 텍스트 자료 외에 멀티미디어 데이터베이스의 구축 가능성을 보여주었다.

본 연구의 제약점으로서는 우수, 오수, 폐수만이 입력되었고 관련자료의 부족으로 상수, 전화, 전기 시설은 입력되지 않았으며 이는 추후 입력 보완해야 된다고 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 자유공모과제연구(과제번호 :1998-001-E01984)의 지원에 의해 수행되었으며 저자들은 이에 심심한 사의를 표합니다.

### 참고문헌

1. 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목, "GPS 측지 기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 9(1), 37-45, 1991.
2. 박필호, 한인우, 이용창, 강준목, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환(I)", 한국측지학회지, 10(1), 41-50, 1992.
3. 배상진, 최철웅, 강인준, "WGS84 좌표계에 수치지도 작성", 한국측지학회지, 15(2), 269-275, 1997.
4. 안기원, 이효성, 신석효, "대학 시설물관리시스템 구축에 관한 기초적 연구", 한국측지학회지, 15(2), 277-286, 1997.
5. 이규석, 안승만, 탁형렬, "PC용 CAD를 이용한 단지기반시설 정보화", 한국 측지학회지, 15(2), 141-148, 1997.
6. 이동연, 이규석, "PC를 이용한 도시하수시설 정보체계 구축 및 활용", 대한 국토 및 도시계획학회지, 28(2), 169-182, 1993.



7. 이형석, “kinematic GPS에 의한 3차원 위치결정의 정확도 분석”, 충남대학교 대학원 석사학위논문, 1993.
8. 정재형, “도로설계에서 GPS 측량활용에 관한 연구”, 영남대학교 산업기술대학원 석사학위논문, 1998.
9. 최기주, 박인철, 신혜숙, “A Development of GIS-based Transformation Management System: A Field-level Desktop GIS”, 한국지형공간정보학회, 4(1), 75-81, 1996.
10. 황국웅, 이규석, “개인용 컴퓨터를 이용한 상수도시설물 관리정보체계”, 한국측지학회지, 12(2), 187-197, 1994.
11. Autodesk, “Learning Autodesk World”, Autodesk World Release 1.
12. Carl Zeiss, Elta R User's Manual.