

# GIS에 의한 상하수도관망 계획, 설계 및 유지관리에 관한 연구

김형복<sup>1)</sup>, 김정민<sup>2)</sup>

상하수도관망의 계획, 설계 및 유지관리를 위한 시스템을 구축하기 위하여 GIS와 객체지향방법론에 의하여 상하수도관망 관련업무를 유기적으로 연계하여 분석하였다. 구축된 GIS에 의한 상하수도관망의 계획, 설계 및 유지관리시스템에 의하여 합리식, RRL, ILLUDAS, SWMM, Hardy Cross법에 의한 적정 상하수도관경 그리고 최적통제이론(Optimal control theory)이나 혼합정수비선형프로그래밍(Mixed Integer Nonlinear Programming: MINLP)에 의한 정적 혹은 동적최적상하수도관경이 결정되며, 상하수도 관경 및 관망대안이 생성되고, 관망의 유지관리기법이 작성되며, 상하수도관망의 계획, 설계 및 유지관리 각 단계가 유기적으로 연계되고 정보 교환이 가능하다.

## 1. 서론

주택 및 산업단지내에서의 상하수도관망의 계획, 설계 및 유지/관리는 GIS에 의한 전산화가 가능한 분야로서 각 단계별로 GIS에 의한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 실제업무 수행시 상수도과 하수도의 연계 미흡, 상하수도관경 및 관망대안의 부족, 상하수도관경의 최적화 방안의 부족, 관경결정 과정과 적산과정의 연계미흡 그리고 계획·설계단계와 관리단계의 연계미흡으로 효과적인 상하수도관망계획, 설계 및 유지관리가 이루어지지 않고 있으며 각 단계별로 정보의 전달이 이루어지지 않고 각 단계에서 다른 단계의 과정을 수행할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 GIS에 의한 상하수도관망 계획, 설계 및 유지관리시스템을 구축함으로써 상하수도관망 관련업무를 자동화와 고도화, 그리고 계획·설계에서 생성된 공간정보의 시설물관리에서의 활용과 관리단계에서의 계획·설계단계로의 환류(Feedback)를 도모하고자 한다. 즉 이러한 시스템을 구축함으로써 계획 단계에서 작성된 공간정보가 설계단계에서 활용되며, 설계 단계에서 작성된 공간정보가 유지관리단계에서 활용되고, 유지관리단계에서 토지이용계획의 변경 등으로 생긴 상하수도관거의 통수능력 점검이 필요시 계획·설계단계로 환류할 수 있다.

본 연구는 관련 GIS이론 고찰, GIS에 의한 단지계획, 설계 및 시설물관리 사례, 시설확장이론에 의한 상하수도관경 최적화 및 대안 생성, 상하수도관경결정모형 분석, GIS에 의한 상하수도관망관리시스템 원형(prototype) 설계 및 구축, GIS와 객체지향방법론에 의한 상하수도관망 계획, 설계 및 유지관리시스템 설계 및 구축, 구축된 시스템의 실무적용과 평가로 구성이 된다.

본 연구에서는 이와 같은 점을 고려하고 연구의 대상을 간단화시킴으로써 연구의 목적을 효과적으로 이루고자 가스, 전화, 전기를 제외한 상하수도관망의 계획, 설계 및 유지관리시스템 구축에 그 범위를 국한하고자 한다.

1) 한국토지공사 기술연구처 건설관리연구팀장

2) (주)우대칼스 대표이사

## 2. 관련 GIS이론 고찰

향후 GIS는 고가가 아닌 저가의 H/W, Stand alone이 아닌 Network방식을 그리고 데이터의 구축이 아닌 활용이 그 중심을 이룰 것으로 예상된다. 또한 전용개발언어 보다는 표준개발언어가 사용되어 GIS S/W에서 기본적으로 제공되는 기본 GUI 이상의 고차원적인 GUI가 몇몇 GIS S/W에 의하여 개발되고 있으며 대부분의 S/W가 개발하고 있는 실정이다. 또한 UNIX환경에서 Windows환경으로 그 환경이 변화되어 사용자가 좀더 용이하게 GIS에 접근할 수 있을 것으로 예상된다. 이는 본 연구에서 추진하고자 하는 상하수도관망 계획, 설계 및 유지/관리시스템 구축환경 선정에서 고가가 아닌 저가의 PC Windows 환경선정의 당위성을 시사하고 있다.

GIS S/W로는 국내에서 개발된 GEOBase 그리고 외국에서 개발된 AutoCAD Map, MapGuide, ArcView 그리고 Gothic등이 있다. 각 제품은 나름대로의 고유한 특성을 지니고 있는데 이 연구에서는 국내에서 CAD용으로 많이 사용되고 있는 AutoCAD에 GIS의 기능이 추가된 AutoCAD Map을 선정하였다. 선정된 이유는 우선 비용/편익분석 결과에 의한이다. AutoCAD Map은 다른 S/W에 비하여 GIS 고유의 기능인 공간분석기능이 부족한 점은 부인할 수 없으나 시스템구축을 위한 추가비용이 전혀 필요치 않다는 비용측면에서 제일 유리하다. 두 번째 이유는 AutoCAD의 자매제품인 AutoCAD Map은 단지계획 및 설계에 우리 나라나 외국에서 일반적으로 많이 사용되는 AutoCAD와 자료 호환에 문제가 없다는 점으로 한 단계에 구축된 정보가 다음단계로 자연스럽게 사용될 수 있다는 점이다.

## 3. 시설확장이론에 의한 상하수도관경 최적화 및 대안 생성

최적통제이론에 의한 상수도관경 최적화모형은 6 가지 장점이 있다: 1) GIS에 의한 노드별 사용수량 산정 및 가상상수관망 생성; 2) 사용자, 최적화모델, 혹은 MGA에 의한 대안의 작성; 3) 관망해석 모델에 의한 상하수관망의 분석; 4) 시설확장모델에 의한 시설확장의 순서와 시기 결정; 5) GIS에 의한 결과 표시; 6) 잘 정의되어있는 이론적인 배경을 가진 최적통제이론 최적화의 수단으로서 1개 혹은 그 이상 통제변수의 사용.

최적통제이론의 목적은 통제변수의 최적시간 경로를 결정하는 것으로 특히 비용, 가격, 그리고 수요량간의 동적 관계를 사용자가 파악할 수 있게 한다. 이러한 장점에도 불구하고 5 가지 한계가 있다: 1) 시설확장모델과 관망해석모델간의 빈번한 자료교환; 2) 상태변수의 시뮬레이션, 공급량의 사전정의, 그리고 시설확장 모델에서의 많은 가정; 3) 상수도관망에서 각개의 관로의 크기를 결정하는데 있어서의 한계; 4) 상태 변수에서의 도약(jump)을 요하는 시설확장에 최적통제이론을 적용하는데 있어서의 한계점(kamien and Schwartz 1991, pp.240-247); 5) 궁극적으로 시설확장모델에서 오직 시설확장시기 밖에는 결정할 수 없는 한계점.

MINLP방법에 의한 동적상수도관경 결정은 이러한 5 가지 한계를 극복할 수 있다. 이러한 5 가지 외에 MINLP방법이 선택되는 다른 중요한 이유는 상태변수가 외생변수인 인구증가추세에 의하여 영향을 받아 최적 통제이론의 필요성이 감소되기 때문이다. MINLP방법이 상태변수를 통제하고 수요, 비용, 그리고 가격의 상관관계를 다룰 수 없다는 단점에도 불구하고 시설확장의 크기와 시기를 결정하기 위하여 이 연구에서는 MINLP방법이 사용되었다.

상하수도관경 및 관망대안 생성 방법은 모형에 의한 방법, 매개변수 조정이나 MGA에 의한 방법, 사용자 정의에 의한 방법으로 구분될 수 있다. GIS를 활용하지 않고 매개변수의 조정에 의한 방법은 대안 생성의 당위성을 제공하였고 GIS를 활용할 경우 대안 생성기법을 설명하였

다. 추후에 연구되어야 할 분야는 각 매개변수가 어떤 형태로 대안의 생성에 영향이다. 한 개 혹은 다른 여러 매개 변수와 연합에 의한 영향을 면밀하게 분석할 필요성이 제기되고 있다.

#### 4. 상하수도 관경결정모형 분석

정보의 공간적 위치, 지형정보(면적, 경사도, 길이), 관망도, 토지이용도 등과 같은 광범위한 공간자료의 공간적 관계와 속성을 입력, 저장, 갱신, 해석 그리고 이의 표현에 유용한 기능을 제공해 주는 지리정보시스템(GIS)을 광범위하고 다양한 정보를 요구하는 상하수도 관망의 계획, 설계 및 유지관리에 이용하는 것은 매우 당연한 일이다.

상수도관망을 해석하는 일반적 기법으로 Hardy Cross법을 들 수 있고, 상수도관망을 계획하고 설계하는 모델로 KYPIPE 등이 있다. 하수도관망을 계획 설계하는 것은 발생하는 하수량을 산정하는 것과 산정된 발생량을 흘려 보내기 위한 규격을 결정하는 것으로 구분할 수 있으며, 이를 동시에 해결하는 방법도 있다. 이러한 모델로는 지금까지 여러 기관에서 많은 모델들을 발표하였고 또한 많이 활용하고 있다. 그러한 모델 중에서 최근에 와서 많이 이용되고 활용성이 높은 모델을 연구의 대상으로 선정하면 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area System)와 SWMM(Storm Water Management Model)을 들 수 있다. 특히 SWMM의 경우는 모형 자체는 매우 정밀하나 입력자료의 복잡성 및 방대한 양의 자료를 요구하고 있어 이의 활용이 국내에서는 아직까지 미미한 실정이다. 그러나 지리정보시스템을 이용하여 모델에 필요한 입력정보를 제공하고 출력자료를 체계적으로 분석하여 사용자에게 제공한다면 활용성이 많이 제고되어 좋은 결과를 나타낼 것으로 판단된다.

SWMM과 합리식에 의한 관경결정의 상호보완에 관한 연구가 필요하다. SWMM에서는 각 관로의 경사도를 입력해야 하는데 이는 상당한 시간과 노력을 필요로 하는 작업으로 합리식에 의한 관경결정방법으로 보완할 시 상당한 효과가 기대된다.

#### 5. GIS와 객체지향방법론에 의한 상하수도관망 계획, 설계 및 유지관리시스템 설계 및 구축

객체지향적 소프트웨어개발 방법론은 궁극적으로 소프트웨어로 전공정의 생명주기를 통해 시스템을 개발하기 위한 소프트웨어 개발 방법이다. 본 연구에서 적용되는 소프트웨어개발 방법론은 Grady Booch(1993)가 소개한 방법론을 바탕으로 Ivar Jacobson(1986)의 사용사례(use case) 기법을 추가하여 프로젝트에 적용할 수 있도록 재정의한 것이다. 이 연구에서 사용된 객체지향적 소프트웨어개발 방법론 구현을 위한 S/W인 Rational Rose는 Rose Model내의 각 Component들을 생성, 수정, 확인할 수 있는 기능을 제공하는 객체지향 모델링 도구이다. 이 소프트웨어개발 방법론은 요구분석단계와 개발단계로 구분된다.

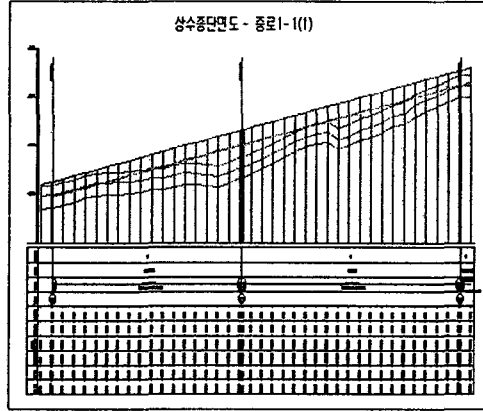
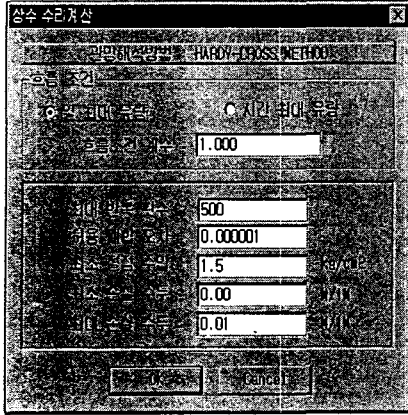
요구분석단계는 사용사례 작성, 객체상호작용 작성, 클래스 및 관계정의 그리고 클래스 사양 작성의 순서로 진행된다.

구조설계단계는 요구분석단계에서 정의된 기능을 수행하고 데이터를 저장하기 위한 효과적이고, 효율적이며 경제적인 시스템을 구현하기 위하여 시스템의 전체적인 구조(Architecture)를 결정짓는 과정이다. 그리고 구현을 위한 새로운 클래스의 추가 및 삭제가 이루어지며 사용자 인터페이스를 결정짓는다. 요구분석에서 만들어진 다소 이상적이고 논리적인 결과에서 이들 클래스가 구현되고 실행될 수 있도록 실질적인 구조를 만들어 낸다. 즉 보다 구현에 종속적인 형태로

나아감으로서 구현시의 사용언어 및 환경등을 충분히 감안하여 설계해 나간다.

## 6. 구축된 시스템의 실무적용

가. 상수관망 모의 해석.



나. 관로 토공 산출 근거

상수관로 토공 산출 근거 (표사구간)

노선명	관로번호	관경	관두	관두높이	관두지점	노선경	노선	관망	관망(노선)	관망	관망(노선)	관망	거리		지체거리(m)		비고
													노선	노선	노선	노선	
상수-1-1	1	300	9.0	0.75	11.44	0.60	2.00	0	2.19	25.34	0.00	1.47	23.84	0.18			
	2	300	9.0	0.75	134.60	0.60	2.00	0	2.19	224.53	0.00	1.47	223.06	1.47			
	21	300	9.0	0.75	147.06	0.60	2.00	0	2.19	222.08	0.00	1.47	220.61	1.47			
상수-1-4	30	40	9.0	0.666	44.19	0.60	2.00	0	2.12	68.73	0.00	1.42	67.31	0.39			
	4	300	9.0	0.75	39.50	0.60	2.00	0	2.19	79.92	0.00	1.47	78.45	0.40			
	10	300	9.0	0.75	97.66	0.60	2.00	0	2.19	118.82	0.00	1.47	117.35	0.37			
	12	300	9.0	0.75	87.04	0.60	2.00	0	2.19	41.30	0.00	1.47	39.83	0.41			
	18	300	9.0	0.75	46.04	0.60	2.00	0	2.19	98.82	0.00	1.47	97.35	0.40			
	20	300	10.0	0.70	52.51	0.60	2.00	0	2.27	77.19	0.00	1.59	75.72	0.36			
상수-1-3	21	300	9.0	0.75	39.04	0.60	2.00	0	2.19	78.82	0.00	1.47	77.35	0.39			
	2	300	9.0	0.75	40.00	0.60	2.00	0	2.19	47.70	0.00	1.47	46.23	0.46			
	6	300	9.0	0.75	83.08	0.60	2.00	0	2.19	141.82	0.00	1.47	140.35	0.38			
	7	300	9.0	0.75	66.52	0.60	2.00	0	2.19	160.05	0.00	1.47	158.58	0.36			
상수-1-7	4	300	9.0	0.75	28.00	0.60	2.00	0	2.19	42.22	0.00	1.47	40.75	0.42			
	9	300	9.0	0.75	46.00	0.60	2.00	0	2.19	98.66	0.00	1.47	97.19	0.40			
	16	300	9.0	0.75	66.50	0.60	2.00	0	2.19	160.01	0.00	1.47	158.54	0.36			
	20	300	9.0	0.75	139.01	0.60	2.00	0	2.19	429.22	0.00	1.47	427.75	0.34			
상수-1-8	14	300	9.0	0.75	122.76	0.60	2.00	0	2.19	225.01	0.00	1.47	223.54	0.35			
	27	40	9.0	0.666	14.37	0.60	2.00	0	2.12	41.30	0.00	1.42	39.83	0.29			
	28	40	9.0	0.666	90.34	0.60	2.00	0	2.12	130.72	0.00	1.42	129.25	0.36			

## 7. 결론

상하수도를 유기적으로 연계하여 상하수도관망의 계획, 설계 및 유지관리를 위한 시스템을 구축하여 계획가와 기술자간의 의사소통을 용이하게 하고자 하였다.

본 연구는 GIS에 의한 단지계획, 설계, 시공 및 유지관리를 위한 계획지원시스템을 구축하기

위한 예비단계의 연구과제로서 2차년도 연구과제이다. 1차년도에는 『GIS 및 Simulation 기법에 의한 적정 하수도관경 결정에 관한 연구』로 하수도관경 및 관망의 대안의 결정에 관하여 연구하였다. 2차년도인 올해에는 상수도관경 및 관망의 대안생성, 상하수도의 연계, 상하수도관경의 최적화를 실제 사용할 수 있는 시스템으로 구현하고자 하였다. 3차년도인 내년에는 본 연구의 추후 연구과제로 상하수도관망에 토공량 산정과 운반, NGIS에 의하여 생성된 수치지적도의 실제 활용방안을 포함할 수 있는 GIS에 의한 단지계획, 설계, 시공 및 유지관리를 위한 계획지원 시스템의 기반을 구축하고자 한다.

## 참고문헌

Booch, Grady. 1993. **Object-oriented Analysis and Design with Applications**, 2nd edition. Menlo Park, CA, Addison-Wesley Publishing Company.

Jacobson, I. November. 1986, Language Support for Changeable , Large, Real-Time Systems. **SIGPLAN Notices**, 21(11).

Kamien, Morton I. and Nancy L. Schwartz. 1991. **Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management**. Amsterdam, North Holland.