GIS 및 Simulation기법에 의한 하수도관거 대안 생성

(Generating Sewer Alternatives Based on GIS and Simulation Technique)

김형복[1)]

1. 서론

현행 하수도관경 결정은 다음과 같은 여러 가지 문제점을 포함하고 있다.

○ 도시계획가와 토목기술자간 의사소통의 부적절

하수도관경결정 과정에 도시계획가와 토목기술자가 공동으로 참여를 하여야 하나 각 단계는 도시계획가 혹은 토목기술자에 의하여 단독으로 수행이 되고 있다. 하수도관경 결정에 관련된 공공 또는 민간의 필요성에 부응하기 위하여 기본계획은 도시계획가에 의하여 수행되고 있고 기본설계는 토목기술자들의 전유물이 되어왔다. 기본설계에 참여하고자 하는 계획가들이 직면하고있는 문제점은 계산에 필요한 공학지식이 부족하다는 것이며 계획에 참여하고자하는 기술자 또한 지식의 부족으로 참여할 수 없다. 따라서 관경결정의 각 과정에서 계획가와 기술자의 의사소통상에 문제점이 도출되고 있다.

○ 1개의 대안생성

기존의 하수도관경 결정기법은 하수 발생유량 산정시 과도한 인력과 시간이 소요되며 인구밀도, 상수도급수량, 유출계수 등의 변경에 대한 신속한 하수도 발생유량 수정기능이 부족하다. 또한 기존의 하수도관경결정프로그램은 관거 결정과 종단도 작성이 분리되어 있어 관거 결정 후에 관련물량, 즉 관경별 관거의 연장, 맨홀 깊이별 맨홀의 개수, 터파기 및 되메우기량 등이 계상되고 이 물량에 의하여 공사비가 계산되고 있다. 일반적으로 단지의 하수도 관경은 단 1개의 대안에 의하여 결정이 되고 있는데 1개의 관경대안이 결정되고 상당시간이 경과된 후에 조사설계 기간이 거의 완료될 시점에 물량 및 공사비 산정이 완료되기 때문에 여러 개의 대안 생성은 현실적으로 불가능한 실정이다.

---

1. 한국토지공사 토지연구원 기술개발실장

○ **사용자 인터페이스 기능과 공간분석 기능의 부적합**

사용자 인터페이스(GUI: Graphic User Interface) 기능 부족으로 입력자료 작성을 인력에 의존하여 착오가 발생할 가능성이 크며, 수정 및 결과출력 또한 인력에 의존하고 공간적으로 분석하는데 장시간을 요하는 실정이다.

○ **계획, 설계단계와 관리단계 연계의 문제점**

하수도 계획, 설계단계에서 작성된 CAD 도형자료와 속성자료가 하수도시설물 관리단계에서 직접 활용될 수 없으며 시설물 관리단계에서 계획, 설계에 관련된 작업이 불가능하다. 즉 관리단계에서 계획, 설계를 위한 공간분석을 할 수 없다.

○ **인력에 의한 물량 산정**

수리계산결과에 의한 수량산정의 자동화에 관련되는 사항으로 기존의 수리계산은 결과와 종단도면의 연결과 종단도면 작성후 수량 산정은 인력에 의존하고 있는 실정이다.

○ **공사비 과다계상**

1개의 대안 생성은 비교할 대안이 없으므로 공사비 과다여부를 확인하기가 불가능하다.

2. 하수도관경 결정 관련이론 고찰

2.1 의사결정지원체계(DSS)

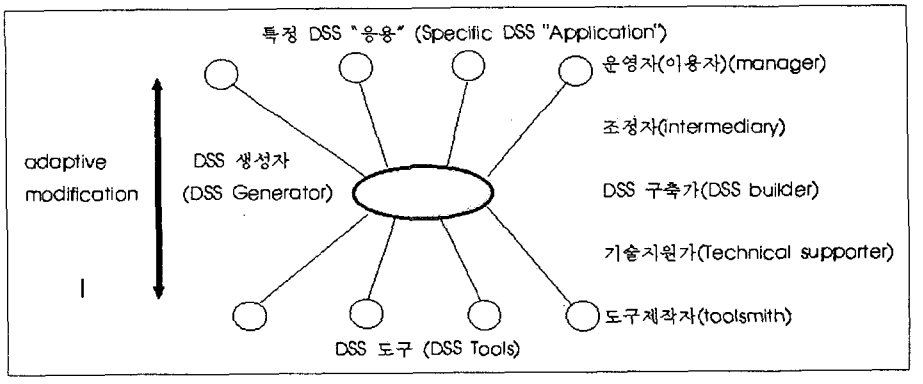
의사결정지원체계(DSS: Decision Support System)는 계획가들이 공간참조정보(spatially referenced information)들을 관리하고 표현할 수 있도록 도울뿐더러, 비구조적 계획문제(unstructured planning problem)들을 효과적으로 해결해준다. DSS는 의사결정 문제점의 변화, 관련상황의 변화 및 취득 가능한 정보의 변화에 대응할 수 있는 적응력을 갖춘 시스템이어야만 한다(Sprague and Carlson 1982). 동시에 DSS는 세분화된 특정한 작업을 수행할 수 있는 능력을 갖추어야만 한다.

○ **DSS의 개발구조**

DSS를 위한 구조(Sprague and Carlson 1982)는(그림2.1) 3단계에 이르는 DSS기술과 관리자 및 기술자를 위한 5가지 관련 역할간의 관계를 보여주고 있는데 이는 위에서 언급한 모순성을 잘 보여주고 있다. 3단계에 이르는 DSS기술 또는

DSS에 포함된 H/W 및 S/W는 특정 DSS, DSS 생성자 및 DSS 도구를 포함하고 있다.

DSS의 개발에 있어 가장 하급이면서 기초적인 단계의 기술은 도구제작자(toolsmith)에 의해 만들어진 DSS 도구들(일반적인 프로그램제작 언어, 데이터취득용 S/W, 서브루틴 프로그램 등과 같은 기본적인 H/W 및 S/W)이다. 두번째 단계의 기술은 DSS 생성자(DSS generator)라고 불리는 것이다. DSS 생성자는 특정 DSS의 개발 촉진 능력을 제공하는 관련 H/W 및 S/W 제품군을 말한다. 기술지원가는 관계형 데이터베이스, 분석모델 및 인터페이스 도구 등을 만들어냄으로써 DSS생성자를 개발한다. DSS구축가는 의사결정자 또는 그 중간자한에 의해 이용될 수 있도록 특정 DSS를 구축하는데 이과정은 DSS 생성자로부터 필요한 기술력을 지원 받아 이루어지게 된다.

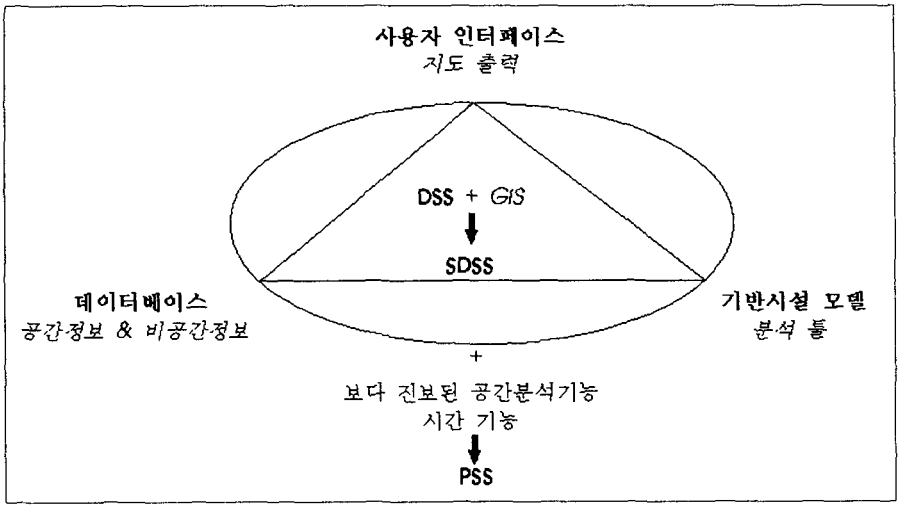


<그림 2.1> DSS의 개발구조 (자료: Spargue and Carlson 1982, p14)

2.2 계획지원체계(PSS)

<그림 2.2>는 CAD와 GIS의 복합체인 SDSS와 SDSS에 고차원적인 공간분석기능과 동적 기능을 추가한 계획지원체계(PSS: Planning Support System)를 나타내고 있다. DSS의 보다 확장된 개념인 공간의사결정지원시스템(SDSS: Spatial Decision Support System)은 DSS와 GIS기술을 통합한 구조를 지니는데 공간차원과 관련된 문제점을 해결해야하는 의사결정자들을 도울 수 있다(Walsh 1993). SDSS는 가능한 관리옵션들의 복합적인 결과물을 생성하고 분석할 수 있다. 지도출력기능, 분석기능 및 도형 및 속성정보의 조작기능과 같은 GIS의 본질적인 기능들은 그래픽 사용자 인터페이스, 모델 및 데이터베이스 기능들과 조화를 이루어 작업되고 있다. PSS(Harris and Batty 1993; Harris 1989)는 SDSS의 기능에 더 진보된 공간분석기능과 시간기능을 추가한다. PSS는 상하수도 관경의 동

적인 시설확장에 활용된 바가 있다(Kim and Hopkins 1996; Kim 1997).



<그림 2.2> GIS와 DSS의 조합을 통한 SDSS의 도식화 (자료: Walsh 1993)
(굵은 글씨와 이탤릭체 글씨는 각각 DSS와 CAD의 특징을 나타낸다.)

2.3 GIS에 의한 하수도관경결정

최근 하수도계획과 관련된 분야에서의 GIS응용기법에 대한 연구가 시작되고 있다. Shamsi 와 Schnider(1993)는 토지이용, 인구수조사, 유역의 수리학적 조건, 기상조건 및 수송/처리특성에 기초하여 오수 및 우수유출을 모의 실험해 보았다. 이 작업을 위하여 장래의 개발가능성을 고려한 GIS기법을 응용하였다. 위의 모의실험 결과를 바탕으로 미국 환경보호국은 우수관리모델(SWMM)을 이용하여 합류식 우수유출량과 수질을 예측하였다.

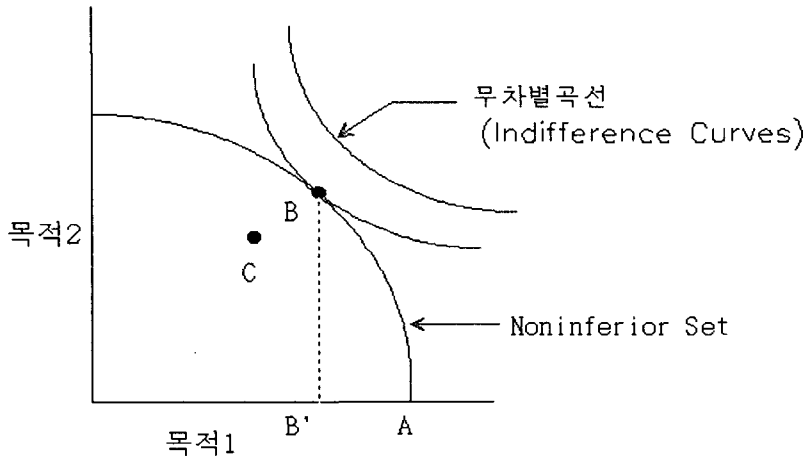
제한적인 지구선정은 개발대상지를 도심상업시설만으로 제한하는 결과를 가져오게 되었는데 이 지역은 우수시스템이 그 용량한계에 거의 근접한 정도로 조절되고 있다. 이것은 강우시에 빈번한 홍수 또는 우수의 역류사고의 원인이 되고 있다. 전산화된 우수시스템 모델링 프로그램인 Lexington-Fayette 우수모델링시스템(LFSMS)은 GIS기법의 보다 확장된 응용을 통해 우수시스템의 잠재부하량을 정확히 예측할 목적으로 개발되었다(Przybyla and Zumwald 1991).

2.4 MGA에 의한 대안생성

하수도관경 결정과 같은 공공부문의 계획에 있어서 수학모델을 사용하는 경우에 모든 목적을 동시에 고려하기는 불가능하다(Brill 1979). <그림 2.3>은 이러한 현

상을 잘 나타내 주고 있다.

목적이 1개만 고려되었을 경우 최적해는 A점이다. 만일 2번째 목적이 추가로 고려되어 2차원 분석을 시행하면 최적해는 B점이다. B점의 가로좌표에 대한 투영점은 B'인데 이 점은 당초의 일차원 분석 시에는 inferior 지역에 포함된다. 이와 같은 방법으로 3차원 분석을 시행하면 최적해는 C점에 투영될 수 있다. 이처럼 당초 고려치 못했던 목적이 추가될 경우 최적해는 전해의 inferior지역에 투영될 수 있다. 이상의 예에서 최적화모델이 의사결정자에게 대안을 결정해주는 도구가 될 수 있다는 점을 알 수 있다.



<그림 2.3> 다목적분석시 inferior지역 내에서의 최적해 (자료: Brill 1979)

대안생성기법(MGA: Modeling-to-Generate-Alternatives)은 수학모델이 비구조적 계획문제에 대하여 다양한 대안을 제시할 수 있는 기법이다(Brill, Flach, Hopkins, and Ranjithan 1990). MGA는 다음과 같은 2가지 기본적인 가정에서 출발한다: 첫째, 수학모델은 복잡한 실세계 문제를 해결할 수 없다; 둘째, 모델에서 얻은 정보를 다른 정보와 통합하는 것은 3-10개의 대안이 최적이라는 점과 대안의 차이 정도가 클 때 최상이라는 점에 의하여 영향을 받는다.

대안을 생성하기 위한 MGA의 한 기법인 Hop, Skip, Jump(HSJ)방법은 Brill(1979)에 의하여 이론적으로 제의되었고 다른 학자들에 의하여 발전되어왔다 (Chang S-Y 1981; Hopkins 외 1982; Chang 외 1982; Chang and Liaw 1984; Brill 외 1990).

○ 매개변수(Parameter) 조정에 의한 하수도관경대안 생성

서론에서 언급된 문제점을 해결하기 위하여 필자는 하수도관경결정프로그램과

적산프로그램(한국토지개발공사 1983) 그리고 Foxbase+2.10에 의한 수량산정프로그램을 사용하였다(김형복 1990). 수량산정프로그램은 하수도관경결정프로그램에 의한 각 관로의 관저고, 맨홀의 깊이, 맨홀의 유형이 명시된 파일을 이용하여 하수관거 수량을 산정하였고 하수도프로그램과 적산프로그램을 연계하였다.

사례대상지구로 한국토지공사에서 기시행한 온양용화택지개발사업지구(한국토지개발공사 1980)를 선정하여 적용하였다. 모의(Simulation)를 위한 대상으로 시스템 내에서의 관로의 초기경사를 조정하였다. 시점과 종점의 최대토피고와 최소토피고와의 차이를 20등분한 후 5번째의 관로 경사를 대안 1로 선정하고 6번째를 대안 2, 이와 같은 방법으로 10개의 대안을 생성하였다.

사례연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 물량산정프로그램에 의하여 기존 하수도관경결정프로그램과 적산프로그램을 연계하여 하수도관거수량 산정을 자동화할 수 있으며 이에 의하여 하수도 관거의 경사를 모의하여 대안을 생성하고 이에 따른 공사비를 산정할 수 있다.
- 경사를 조금씩 급하게 함으로써 공사비 절감효과를 얻을 수 있었다. 이는 하수도 관거 단면의 결정시 경제성 검토를 위한 대안 생성의 필요성을 제기하고 있다.
- 관로의 초기경사와 관경 그리고 맨홀개수와의 관계에 의하면 관로의 초기경사가 완만할수록 관경이 커지고 대형 맨홀의 개수가 증가하며 이에 따라 토공량과 공사비가 증가한다.
- 물량산정프로그램, 관경결정프로그램, 그리고 적산프로그램을 활용하여 대안을 생성하였는데 사용자인터페이스와 GIS를 사용할 때에는 더많은 다양한 대안을 생성할 수 있다는 점을 시사하고 있다.
- 본 사례연구를 통해서 관로의 초기경사를 모의하여 10개의 대안을 생성하고 그 공사비와 물량을 비교하였다. 조정의 대상이 되는 2개 이상의 매개변수 조합에 의한 대안생성기법의 필요성이 제기된다.

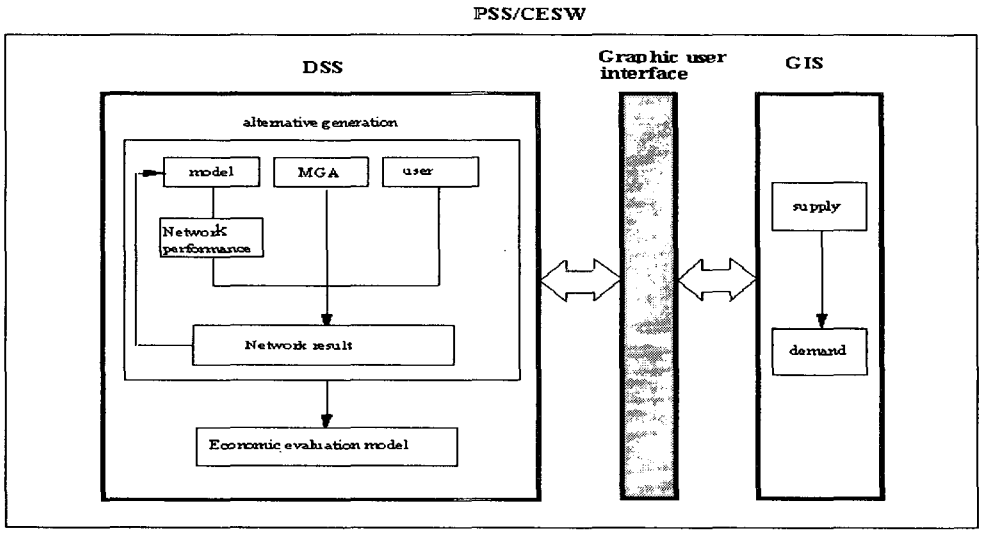
3. 하수도관경결정을 위한 계획지원체계 구성

3.1 PSS/CESW 개념설계

3.1.1 PSS/CESW 구성

하수도관경결정을 위한 계획지원체계(PSS/CESW: Planning Support System for Capacity Expansion of Stormwater and Wastewater)에서의 DSS와 GIS의 통합은 "공통골격에 의한 깊은 결합(Deeper integration by deep coupling through

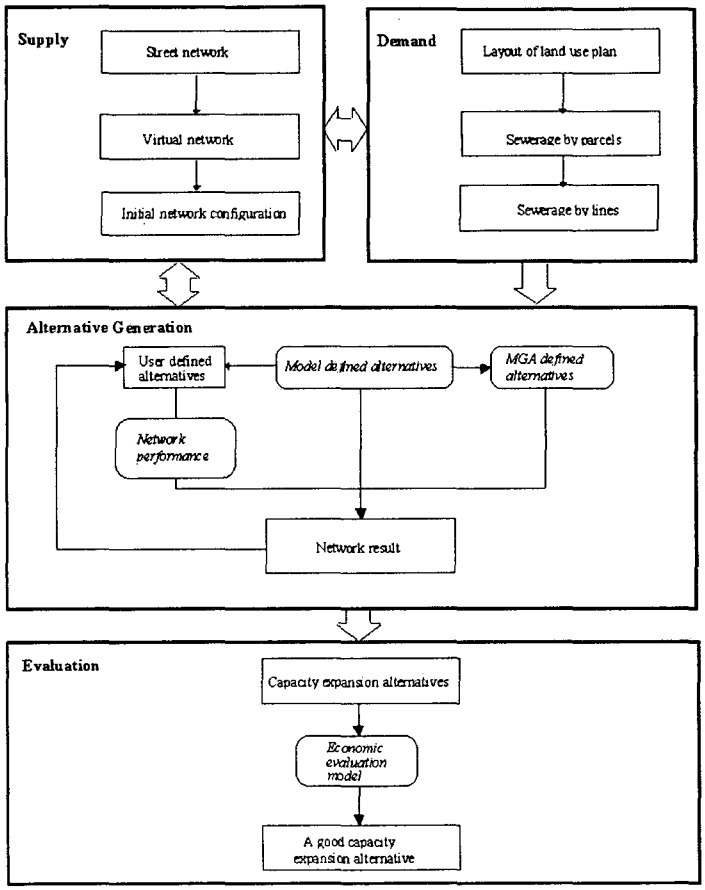
common files)"(Kurt 1993)을 기초로 한다. 이 연구에서의 PSS는 세 가지 모델을 포함한다 (그림 3.1): 1) 하수도관경결정모델; 2) 관경결정MGA(Dickey, Leone, and Schwarte 1993); 그리고 3) 경제성평가모델. 사용자는 GIS를 이용하여 관거에서의 하수 발생량을 산정하고 초기하수관망(initial network)을 생성한다. 하수도관경결정모델, 사용자, 그리고 관경결정MGA는 관망 대안을 생성하고 경제성평가모델은 만족할만한 관경결정대안을 판별해낸다.



<그림 3.1> PSS/CESW의 개념설계

3.1.2 하수도관경결정모델링

하수도관경결정모델링은 4개 주요단계로 구성되어 있다(그림 3.2). 첫 번째는 "공급(Supply)"이다. 이 단계에서 모든 가능한 관로를 포함한 가상상수도관망(virtual network)이 도로중심선을 근거로 생성이 된다. 사용자는 가상하수도관망을 근거로 초기관망(initial networks)을 결정한다. 두 번째는 "수요(Demand)"이다. 이 단계에서 GIS를 이용하여 각 필지별로 발생하는 하수량을 계산하고 각 관거별로 집계를 낸다. 세 번째는 "대안생성(Alternative generation)"이다. 하수도관경 대안이 하수도관경결정모델, 사용자, 그리고 관경결정 MGA(Dickey, Leone, and Schwarte 1973)에 의하여 결정이 된다. 사용자는 관경대안이 만족스럽고 설계기준에 적합할 때까지 관경을 수정할 수 있다. 네 번째는 "평가(Evaluation)"이다. 표준화기법(normalization technique)에 의한 경제성평가모델을 사용하여 사용자는 "대안생성(Alternative generation)"에서 생성된 대안중 1개 혹은 2개 이상을 선정할 수 있다.



<그림 3.2> 하수도관경결정모델링

3.2 하수도관경대안 생성

본 연구에서 관경대안 생성을 위하여 3가지 기법을 사용하였다: 1) 하수도관경결정모델에 의한 대안생성; 2) 하수도관경결정MGA에 의한 대안생성; 3) 사용자정의에 의한 대안생성.

첫 번째는 하수도관경결정모델에 의한 대안생성으로 MGA기법에서의 초기화에 해당된다. 두 번째는 하수도 관경결정 MGA에 의한 대안 생성으로 매개변수 조정에 의한 대안 생성을 시도하였다. 조정할 수 있는 매개변수는 최소 토피고, 최대 토피고, 맨홀 설치 필요 높이이다. 본 연구에서 MGA기법에서의 대안 생성의 목적에 부합되기 위하여 최소 토피고, 맨홀 설치 필요 높이를 조절하여 대안을

생성하였다. 마지막으로 사용자 정의에 의하여 대안을 생성하였다. 사용자는 하수도관경결정모델에 의한 결과에서 실제유속을 보고 판단하여 입력자료에서 구배를 조정한 후 하수도 관경결정 모델에서 수행하여 확인하였다.

3.3 사용자 인터페이스 설계

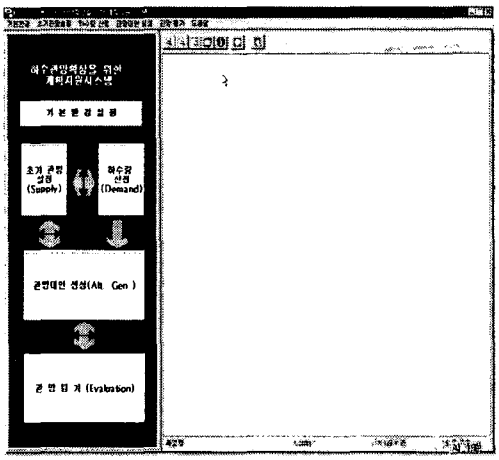
PSS/CESW의 사용자인터페이스는 5단계로 구성된다 : 1) 기본환경 설정; 2) 공급; 3) 수요; 4) 대안생성; 5) 평가. 화살표는 정보나 과정의 흐름을 나타낸다. 사용자는 어느 과정에서나 시작하여 가능한 방향으로 작업을 수행할 수 있다.

3.3.1 인터페이스 구축 시스템 사양

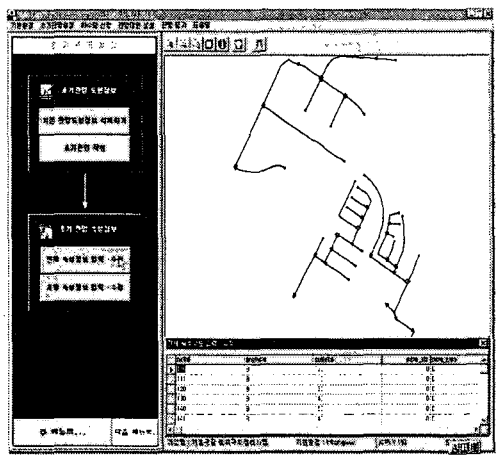
1) H/W SPEC.
   - IBM PC Compatible(CPU: 586 Pentium, RAM: 32MB, HDD: 2GB)
   - A0 size HP750C Plotter

2) S/W SPEC.
   - Operating System : Windows95
   - 시범데이터 입력 및 구축 : Arc/Info 7.0.4, ArcView 3.0
   - GIS에 의한 사용자인터페이스구축 : VisualBasic4.0, MapObjects1.1

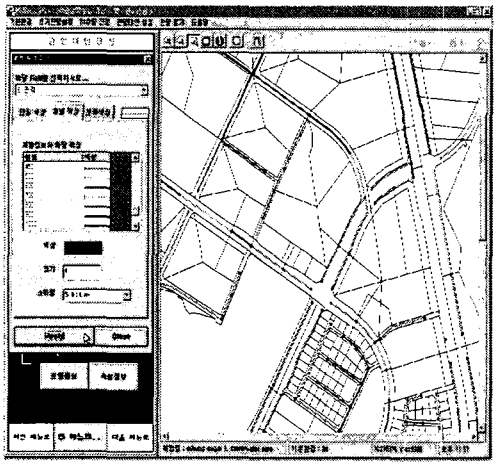
3.3.2 사용자인터페이스 상세설계 예



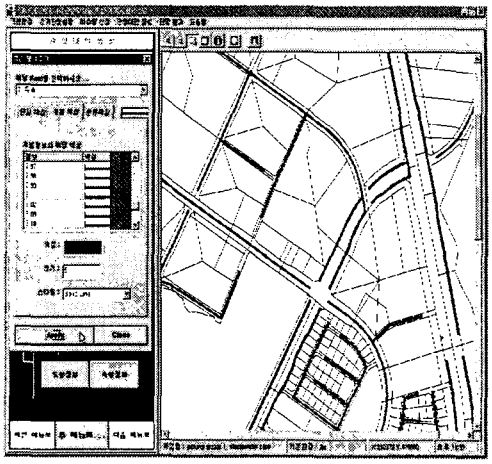
<그림 3.3> 계획지원체계 인터페이스



<그림 3.3> 속성정보 입력 • 수정



<그림 3.5> 관로별 관경 결과



<그림 3.3> 관로별 유속 결과

4. 사례적용

시범사업지구에서의 우오수관경 결정에 있어서 대안 생성의 3대 기법인 하수도 관경결정모델, 관경결정MGA 기법, 그리고 사용자에 의한 대안 생성 기법이 시범사업지구인 기흥구갈2지구 택지개발사업(한국토지공사 1996)에 적용되었다. 하수는 분류식으로 처리되고 유역면적은 지구내 64.33ha 그리고 지구외 201.81ha이다. 계획 우수량산정 공식은 합리식, 강우강도공식은 Talbot식, 사용빈도는 주간선 20년 간선 10년을 적용하였다.

4.1 분류식 우수관거 생성

최소토피고와 맨홀설치 필요높이(맨홀의 낙차허용한도)를 조정하여 아래와 같이 분류식 우수관경 결정의 4가지 경우에 적용하였다.

1) 하수도관경결정모델에 의한 대안 1

   최소토피고 1.0M, 맨홀설치 필요높이 1.5M

2) 하수도관경결정MGA에 의한 대안 2

   최소토피고 1.5M, 맨홀설치 필요높이 1.0M

3) 하수도관경결정MGA에 의한 대안 3

   최소토피고 1.0M, 맨홀설치 필요높이 1.0M

4) 사용자정의에 의한 대안 4

   대안 1의 결과를 보고 사용자가 판단하여 실제유속이 설계기준을 초과하는 관로의 경사를 완만하게 조정하였다.

	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
공사비 (백만원)	2,140	2,302	2,144	2,657
토공(m³)	25,244	26,947	24,398	24,325
맨홀수(개)	206	241	240	207

<표 4.1> 분류식 우수관거 대안별 집계표

4.2 하수도관경 결정을 위한 계획지원체계 평가

시범사업지구에 우오수관경 결정에 대안 생성의 3대 기법인 하수도관경결정모델, 관경결정MGA 기법, 그리고 사용자에 의한 대안 생성 기법이 적용되었다. 시스템 완성후 사용자는 도형정보를 직접 수정함으로써, 즉 관로의 시종점을 바꿈으로써, 대안을 생성할 수 있다. 사용자가 손쉽게 사용하게 하기 위해서는 본 연구의 결과인 대안 생성을 위한 시스템인 PSS/CESW를 구축한 후 사용자가 입력하는 매개변수의 값이 어느 상황에서 어느 정도의 값일 때 적정한지에 대한 연구가 별도로 필요하다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 GIS의 공간분석기능(spatial analysis function)과 사용자 인터페이스(graphic user interface: GUI)를 하수도관경 결정에 활용하는 시도로서 연구결과는 하수도 시설확장분야의 후속 연구과제에 연계될 수 있다. PSS/CESW의 수행으로 아래와 같은 단기적·장기적 효과를 이룰 수 있었다.

- 계획가와 토목기술자의 의사소통 : 계획가와 토목기술자는 하수도 시설물의 cycle인 기본계획, 기본설계, 실시설계, 시공, 관리의 전과정에서 협조하며 의사소통을 할 수 있다.
- 하수관거 수량산정의 자동화 : 하수도관경결정프로그램에 의한 수량산정용 파일을 수량집계모델을 이용하여 공사비 산정에 필요한 하수관거, 맨홀, 터파기량 등 수량을 자동 산정할 수 있다.
- 하수관거 공사비 산정의 자동화 : 관경결정모델에 의하여 하수관거 수량을 적산모듈과 연계하여 공사비를 자동산정한다.
- 합리적인 하수관거 대안 작성의 자동화 : 하수관거 토피고, 맨홀설치 필요높이 등의 모의를 통하여 인력으로 할 수 없는 계산을 반복해 봄으로써 만족스럽고 적정한 하수관경 대안을 작성할 수 있다.
- GIS의 토지이용계획 수립 및 변경에 따른 하수관거 결정에의 활용 : 토지이

용계획 수립 및 변경에 따른 입력자료의 수정, 발생 우오수량의 신속한 산정, 그리고 출력결과인 대안별 관경과 맨홀에 관한 자료를 출력할 수 있다.

- 조사설계기간 단축, 인력절감, 공사비용의 절감 : 하수관거물량 산정의 자동화, 관련 물량산정의 자동화, 공사비 산정의 자동화를 이룸으로써 조사설계기간의 단축, 인력절감을 이룰 수 있으며 생성된 대안 중 경제성있는 대안을 선정함으로써 공사비용을 절감 할 수 있다.
- GIS에 의한 단지설계 기반 구축 : GIS를 하수관거 결정에 사용함으로써 단지설계분야에서 GIS 활용의 효시를 이룰 수 있다.
- GIS에 의한 시설물 관리 전산화와의 연계 : GIS에 의한 하수도관거 결정의 결과물인 관경, 맨홀의 깊이 및 형태 등은 GIS에 의한 시설물 관리 전산화와 직접적으로 연계될 수 있다.

추후 연구되어야할 과제는 다음과 같은 3가지가 있다. 첫 번째는 기존 시스템의 모의기법을 효율적으로 수정하는 방법이며 나머지 2가지는 모의기법의 문제점을 근본적으로 해결하기 위하여 최적화기법을 사용하는 방법으로 첫 번째 방법의 실현이 보다 현실성이 있으나 궁극적으로 최적화기법을 사용하여야 한다.

- 적정 하수도관경 결정을 위한 보다 발전된 모의모델(simulation model)의 개발 : 본 연구에서는 관경대안 생성을 위하여 MGA기법을 사용하였으나 진보된 모의모델 기법의 효율성에 따라 앞으로 보다 정확한 관경을 산정할 수 있을 것으로 전망된다.
- 적정 하수도관경 결정을 위한 정적최적화모델(static optimization model)의 개발 : 본 연구에서 보다시피 어느 정도의 대안이 최적안인지를 파악하기가 곤란한 실정이다. 궁극적으로 모의모델은 정적최적화모델로 발전되어 최적화한 관경이 결정되어야 하나 하수도관경 최적화 시 엄청난 시간과 인력의 소요가 예상되며 관경의 최적화를 넘어서 관망생성의 최적화를 구하고자 할 경우 더많은 변수가 포함된다.
- 시간개념을 고려한 동적 하수도관경 시설확장모델(dynamic network optimization model) 개발 : 이는 시간개념을 고려한 4차원적 동적 하수도관경 시설확장(capacity expansion) 모델로서 규모의 경제(economies of scale)를 이용한 시설확장 방법과 또다른 확장 방법인 단계별개발(phased development)을 혼합한 방법이다.

- 참고문헌 -

Brill, E, D., JR. 1979. "The Use of Optimization Models in Public-Sector Planning." Management Science, 25(5): 413-422.

J. M. Flach, Lewis D. Hopkins, and S. Ranjithan. 1990. "MGA. A Decision Support System for Complex, Incompletely Defined Problems." Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 20(4): 745-757.

Chang, S-Y. 1981. Methods for Generating Alternative Solutions for Environmental Planning Problems. Doctoral dissertation, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

E. D. Brill, and Lewis D. Hopkins. 1982. "Efficient Random Generation of Feasible Alternatives: A Land Use Example." Journal of Regional Science, 22(3): 303-314.

Dickey, John W., Philip A. Leone, and Alan R. Schwarte. 1973. "Use of TOPAZ for Generating Alternate Land Use Plan." Highway Research Record, 422, Highway Research Board, Washington D.C.

Harris, Britton. 1989. "Beyond Geographic Information System: Computers and the Planning Professional." Journal of the American Planning Association, 55(1): 85-90.

Michael Batty. 1993. "Locational Models, Geographic Information and Planning Support System." Journal of Planning Education and Research, 12(3): 184-198.

Hopkins, L. D., E. D. Brill, and B. Wong. 1982. "Generating Alternative Solutions for Dynamic Programming Models for Water Resources Problems." Water Resources Research, 18(4): 782-790.

Kim, Hyong-Bok. 1997. "GIS based Planning Support System for Capacity Expansion of Water Supply." GIS Asia Pacific Conference, Seoul.

Kim, Hyong-Bok and Lewis D. Hopkins, 1996. "Capacity Expansion Modeling of Water Supply in a Planning Support System For Urban Growth Management." Journal of The Urban and Regional Information Systems Association, 8(1): 58-66.

Kurt, Fedra. 1993. "Distributed Models and Embedded GIS: Strategies and Case Studies of Integration." Second International Conference/Workstation on Integrating GIS and Environmental Modeling. Colorado, Brikenridge.

Przybyla, John and Teresa Zumwald. 1991. "Extending GIS Capabilities for Enhanced Sewer System Modeling." Geo Info Systems, 1(2): 16-18.

Shamsi, Uzar M. and Albert A. Schneider. 1993. "GIS Forecasts Sewer Flows." GIS World, 6(3):60-64

Silver, M. S. 1991. Systems that Support Decision Makers : Description and Analysis. New York, John Willey & Sons.

Sprague, Ralph H. and Eric D Carlson. 1982. Building Effective Decision Support Systems. Englewood Cliff, Prentice Hall.

Walsh, Michael R. 1993. "Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 119(2): 158-169.

김형복. 1990. "하수관거 물량산정의 자동화에 의한 합리적인 하수관거 결정." 1990년도 우수제안. 한국토지개발공사, 1-53.

한국토지공사. 1996. 기흥구갈2지구 택지개발사업 수리계산서.

한국토지공사. 1990. 온양용화지구 택지개발사업 수리계산서.

한국토지공사. 1983. 전산업무개발용역(기술업무)사용자지침서.