GIS, 가치공학, 그리고 생애주기비용에 의한 토지이용계획과 상수도계획의 동적인 연계

(Dynamic Combination of Land Use Planning and Water Planning using GIS, VE and LCC)

초록

GIS는 속성자료와 관련하여 공간자료를 다루는데 강력한 수단이다. 그러나 GIS는 동적인 계획문제(dynamic planning problems)를 다루는데 있어서 분석기능과 인터페이스기능이 부족하다. 의사결정지원체계(Decision Support Systems: DSS)는 그래픽사용자인터페이스(Graphic User Interface: GUI)기능, 모델링기능과 데이터베이스기능을 제공하여 GIS의 부족한 면을 보완한다. DSS의 새로운 분류인 공간의사결정지원체계(Spatial Decision Support Systems: SDSS)는 공간차원의 문제를 취급할 시 표현기능, 기본적인 분석기능, 그리고 공간, 비공간자료 취급기능과 같은 GIS의 기능과 그래픽사용자인터페이스기능, 모델링기능, 그리고 데이터베이스기능과 같은 DSS의 기능을 통합한다. 계획지원체계(Planning Support Systems: PSS)는 SDSS의 기능에 더 진보된 공간분석기능과 시간기능을 추가한다. 이 연구에서는 GIS, 가치공학(value engineering: VE), 그리고 생애주기비용(life cycle costing: LCC)에 의한 토지이용계획에 따른 상수도관망의 용량확장을 위한 PSS의 구축에 초점을 맞추고자 한다. 이러한 PSS는 토지이용계획에 따른 상수도 필요량을 공급하고 도시성장 규제를 위한 일련의 용량확장대안을 작성하고 도시성장에 연관되는 상수도관망의 투자에 관한 문제를 다룬다.

Abstract

GIS is a powerful toolbox in managing spatial data associated with attribute data. However GIS is short of spatial analysis function and graphic user interface(GUI) function in dealing with dynamic planning problems. Decision Support Systems(DSS) make up for the shortage of GIS by providing GUI function, modeling function and database function. Spatial Decision Support Systems(SDSS), a new kind of DSS, incorporate display function, basic spatial analysis function and manipulation function of spatial data and attribute data of GIS and GUI function, modeling function and database function of DSS in dealing with spatial planning problems. Planning Support Systems(PSS) add more advanced spatial analysis function and

intertemporal function to the functions of SDSS. This study focuses on the modeling of a PSS for capacity expansion of water-distribution network depending upon land use planning by using GIS, value engineering(VE) and life cycle costing(LCC). The PSS shows a guideline about the investment of water-distribution networks related to urban growth management through generating certain numbers of dynamic alternatives to supply the amount of water caused by land use planning.

키워드
동적계획문제, GIS, DSS, SDSS, PSS, VE, LCC, 용량확장

1. 서론

최근 도시성장관리의 경향은 전통적인 토지이용정책에서 기반시설 통제방법으로 바뀌고 있다. 성장관리수단으로서의 시설물은 시설물이 토지이용에 영향력을 행사할 수 있다는 사실을 뒷받침해주고 있다. 기반시설과 토지이용과의 관계의 중요성이 종종 강조되고있지만 그들의 상관관계, 즉 시설물이 토지이용에 얼마나 영향을 미치는지와 그 역으로 토지이용이 얼마나 시설물에 영향을 미치는가에 관한 연구가 미진한 실정이다 [1].

토지이용, 도시성장, 그리고 도시개발은 상수도 수요량을 창출하고 상수도관망은 토지가 개발되는 방법에 영향을 미친다. 일례로 미개발지에 부설된 상수도관은 개발자에게 상수도관망 설치의 필요성을 감해주므로 개발자는 더많은 이윤을 남길 수 있다. 즉 시설물 설치가 도시성장을 유발하는 결과를 만든다. 상수도계획은 정도의 차이는 있지만 동적으로 토지이용계획과 상호 연관관계가 있다. 잘 계획된 기반시설은 건전한 도시개발을 유도할 수 있다 [2]. 그러나 상수도 계획가는 토지이용에 미치는 영향을 간과하여 무계획한 토지이용계획 변화를 초래하곤 한다 [3].

토지이용에 대한 상수관망의 영향을 통제하는 2가지 요인인 규모의 경제(economies of scale)와 단계별 개발(phased development)이 있다. 전자의 방법이 관경을 확대하거나 축소하는 반면에 후자의 방법은 한 개의 용량확장사업을 여러 개발단계로 구분하는 것이다. 규모의 경제와 그리고 단계별 개발의 적정한 조화(trade-off)가 필요하다. 상수도계획에서 규모의 경제가 존재하는 2가지 이유가 있다 [4]. 첫 번째 이유는 상수도 수요가 아무리 작아도 최소관경에 의한 일정한 량의 상수도량이 공급이 된다. 두 번째 이유는 관경과 용량의 물리적인 관계이다. 관거의 경우 용량은 단면적에 의하여 결정이 되고 비용

은 관거의 원주에 의하여 결정이 된다. 그러므로 관경이 증가함에 따라 비용보다 용량이 더 급속하게 증가한다.

한계비용은 증가되는 시설용량에 따라 감소한다는 규모의 경제는 미래사용량에 대응하여 초과용량(excess capacity)을 생산하는데 적정한 논리를 제공해주고 있다. 필요용량을 초과해 설치된 시설물용량은 도시성장에 의한 지방세의 증가를 선호하는 지방자치단체장에 의하여 선호되고 있다. 비록 규모의 경제가 대형사업이 한계비용을 감소시킨다는 정당성이 있지만 할인율이 높을 때에는 단계별 개발이 더 바람직하다. 상수도계획가는 초기의 대규모 잉여용량을 회피하기 위하여 단계별 개발을 선호할 수도 있다. 용량확장에서의 일반적인 문제는 순현가의 기준에 의하여 장래토지이용에 의하여 유발되는 상수도수요량을 만족시키는 용량확장의 크기를 동적으로 결정하는 기존 시설물에 시설용량을 추가로 설치하기 위한 사회적 그리고 경제적 최적안을 찾아내는 것이다 [4].

문제점은 적은 수의 초기의 대규모 시설 혹은 여러 단계의 소규모 시설 중 어느 것을 선정하느냐이다. 초기의 대규모 시설은 규모의 경제의 이점을 보여주고 있는 반면에 단계별 시설은 적은 초기 지출을 요구한다. 규모의 경제와 단계개발이 조화를 이룬다는 것은 수요량을 충족하는데 최소의 현가를 소요하는 일련의 확장 계획을 선정하는 것을 의미한다.

상수도계획이 토지이용계획에 미치는 영향은 여러 연구에서 다루어진바 있어 본고에서는 토지이용계획에 의한 상수도계획의 동적인 연관관계 정립시의 문제점을 분석하고 문제해결을 위한 관련이론을 살펴보며 상호연관관계를 파악하기 위한 해결방안을 모색하기 위하여 관련이론을 기반으로 GIS를 활용한 상수도계획지원체계를 위한 모델링을 한다.

2. 토지이용계획에 따른 상수도계획 수립시 문제점

이 연구는 토지이용과 개발은 상수도관망시설의 수요를 유발한다는 전제하에 시작된다. 장래를 목표로 수립이 되는 토지이용계획을 위한 상수도계획은 일반적으로 규모의 경제가 최선의 방안이라는 전제하에 결정이 되는데 할인율 등 여러 가지 여건의 변화에 따라 단계별 개발이 최선의 방안이 될 수도 있다. 또한 계량화 또는 현금화하기 곤란한 인자에 의하여 최적화한 대안을 작성하기가 곤란하므로 여러 가지의 대안을 작성해야 한다. 이에 같은 토지이용계획의 수립에 따른 상수도계획 수립은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

● 토지이용계획에 의한 동적인 상수관망

계획수립기능 미흡

토지이용계획은 상수도관망계획에 영향을 미친다. 특히 토지이용계획 수립 또는 변경시 상수도관망계획은 동적인 관경대안을 작성해야 한다.

- LCC 분석 제도와 설계VE 도입 지난에 의한 상수도관망 계획 수립시 대안생성 기법의 부족

상수도관망의 계획에서 VE와 LCC의 검토가 없어 초기공사비는 저렴하나 유지/관리 비용이 높아 타당성이 없는 대안이 결정될 수 있으므로 경제적인 대안 생성을 위해서는 VE와 LCC분석 절차 그리고 대안생성기법의 개발이 필요하다.

- VE와 LCC의 분리 시행

일반적으로 VE는 상수도관망 대안생성의 단계에서 활용되며 LCC는 다음 단계인 경제성 분석단계에서 활용된다 [5]. 이와 마찬가지로 우리 나라에서도 일부 시행이 되고있는 설계VE에서도 VE에 의하여 대안을 생성한 후에 대안비교단계에서 LCC를 고려하거나 VE에 의하여 대안을 결정하는데 그치고 있다. 이와 같이 VE와 LCC의 단계는 분리되어 대안결정에 생애주기비용이 고려될 수 없어 최선의 대안이 결정되지 못함에 따라 VE에 의한 대안 결정시 LCC가 고려될 수 있는 방안을 수립하여야 한다.

3. 관련이론 고찰

토지이용계획에 상수계획과의 연관 관계를 파악하기 위해서는 GIS, DSS, SDSS, PSS 그리고 VE(value engineering) 및 LCC(life cycle costing) 개념을 도입하여야 한다. GIS는 상수도관경 및 관망 대안결정시 사용자에 의한 대안결정, 상수량 산정 그리고 결정된 대안의 도시에 유용한 도구가 될 수 있다. VE 및 LCC 이론은 대안을 생성하기 위한 기법을 제시한다.

3.1 GIS관련 이론

3.1.1 GIS

GIS는 공간정보를 취득, 저장, 검색, 분석 및 출력하는 컴퓨터화된 데이터베이스 관리시스템을 말한다 [6]. Burrough는 GIS는 특정목적을 위하여 실세계로부터 공간정보를 수집하고, 정리하고, 검색하고, 변환하며 출력하는 일련의 강력한 도구라고 정의하고 있다 [7].

최근 GIS의 한가지 도전 받는 요소는 GIS가 실세계의 모델이라는 지도제작에만 의존하도록 강요되고 있다는 점이다. 반면에 시간요소가 그 변수가 되는 4차원 GIS의 경우 최근에 가장 많은 개발 필요성을 느끼는 GIS라고 할 수 있다. 보통의 GIS 도구의 개발은 GIS가 "실세계 모델링" 시스템이 되기를 요구한다. 2차원 GIS 및 3

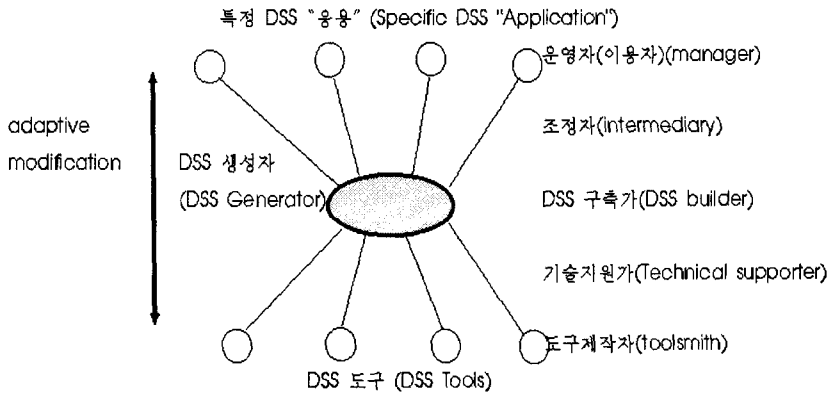
차원 GIS의 경우 미래에 대한 시나리오를 작성하고 분석하는데 한계성을 지니고 있다. 공간과 시간을 그 변수로 이용하는 동적시스템의 경우 동적 모델링과 GIS의 통합으로 이해될 수 있는데, 이는 도시기반시설의 계획에 있어서 다양한 관리선택사항들의 결과를 모델링하는데 이용될 수 있다. 그 결과가 곧 "4차원GIS"라 불리는 것이다.

3.1.2 의사결정지원체계(DSS)

의사결정지원체계(DSS: Decision Support Systems)는 공간참조정보(spatially referenced information)를 관리하고 표현할 수 있도록 도울뿐더러, 비구조적 계획문제(unstructured planning problem)를 효과적으로 해결하는데 도움을 준다. DSS는 의사결정 문제점의 변화, 관련상황의 변화 및 취득 가능한 정보의 변화에 대응할 수 있는 적응력을 갖춘 시스템이어야만 한다 [8]. 동시에 DSS는 세분화된 특정한 작업을 수행할 수 있는 능력을 갖추어야만 한다.

DSS는 의사결정과정을 손쉽게 하거나 개선시키는 컴퓨터 기반의 정보시스템을 말하는 것으로 의사결정자들을 지원한다. 전문가시스템(Expert System)과 달리 DSS는 상황에 대해 단정짓지 않으며 의사결정자들이 결정을 내리는데 도움을 주는 역할을 한다. DSS는 비구조적인 의사결정을 조정하여 그러한 의사결정이 보다 구조적일 수 있도록 지원한다. 이에 부가하여, DSS는 변수가 너무 많아서 수작업으로 계산하기 어려운 경우에도 구조화된 의사결정을 내릴 수 있도록 하는데 이용된다 [9].

DSS를 위한 Spargue의 구조는 3단계에 이르는 DSS기술과 관리자 및 기술자를 위한 5가지 관련 역할간의 관계를 보여주고 있다 [10] <그림 1>. 3단계에 이르는 DSS 기술 또는 DSS에 포함된 H/W 및 S/W는 특정 DSS, DSS 생성자 및 DSS 도구를 포함하고 있다.



<그림 1> DSS의 개발구조

3.1.3 계획지원체계(PSS)

그림 2는 CAD와 GIS의 복합체인 공간의사결정지원체계(SDSS: Spatial Decision Support System)와 SDSS에 고차원적인 공간분석기능과 동적 기능을 추가한 계획지원체계(PSS: Planning Support Systems)를 나타내고 있다. DSS의 보다 확장된 개념인 SDSS는 DSS와 GIS기술을 통합한 구조를 지니는데 공간차원과 관련된 문제점을 해결해야하는 의사결정자들을 도울 수 있다 [11].

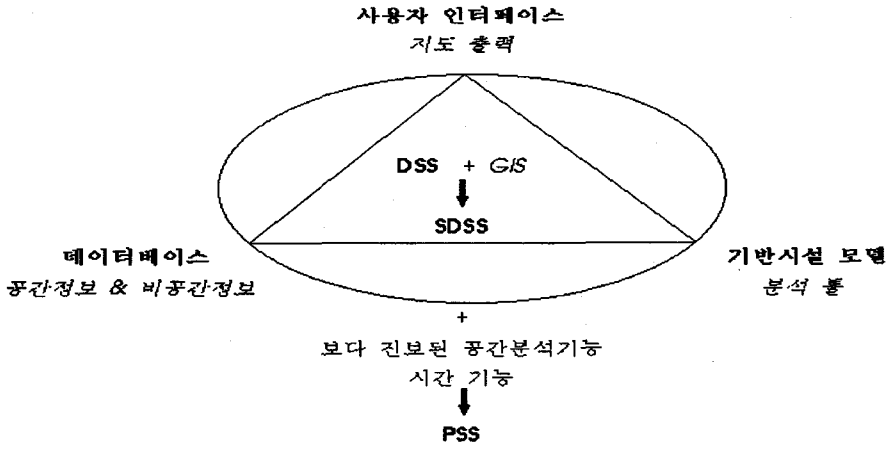
SDSS는 가능한 관리옵션들의 복합적인 결과물을 생성하고 분석할 수 있다. 지도출력기능, 분석기능 및 도형 및 속성정보의 조작기능과 같은 GIS의 본질적인 기능들은 그래픽 사용자 인터페이스, 모델 및 데이터베이스 기능들과 조화를 이루어 작업되고 있다. PSS는 SDSS의 기능에 더 진보된 공간분석기능과 시간기능을 추가한다 [12].

3.2. VE 및 LCC

3.2.1 VE

VE란 최적의 생애주기비용으로 필요한 기능을 확보하기 위해 제품이나 서비스의 기능적 연구에 투자하는 노력으로, 각 기반시설을 최소의 비용으로 실행할 수 있도록 조직적, 계획적인 개선을 도모하는 실천적 활동을 의미한다. 우리 나라의 경우, 1985년에 VE가 처음으로 민간 부문에 도입되었으나 공공사업에는 활용된 바가 없다.

VE의 기본형태는 다음과 같은 4 가지 종류가 있는데, 비용(Cost: C) 절감(↓)이나 기능(Function: F) 향상(↑)을 별개로 또는 종합적으로 적용하여 가치(Value: V)를 증진시킬 수 있다. 여기에서의 비용은 LCC에 의하여 결정된 생애주기비용으로 각 대안별로 현재가치 또는 평균가치로 환산하여야 한다. 일반적으로 비용절감에 의한 가치향상이 이루



<그림 2> GIS와 DSS의 조합을 통한 PSS의 도식화 [13]

*굵은 글씨와 이탤릭체 글씨는 각각 DSS와 CAD의 특징을 나타낸다.

어지고 있는데 비용절감과 기능향상에 의한 가치향상이 가장 바람직한 가치향상의 방안이다.

- V↑ = F/C↓ 비용절감에 의한 가치향상
- V↑ = F↑/C 기능향상에 의한 가치향상
- V↑ = F↑/C↓ 비용절감과 기능향상에 의한 가치향상
- V↑ = F↑/C↑ 비용상승을 통한 기능향상에 의한 가치향상

3.2.2 LCC

LCC는 기반시설의 초기공사비와 생애주기 전체에 걸친 유지, 보수비용까지 포함하는 개념으로 LCC에 포함되는 비용은 「공공건설사업효율화방안」의 예비타당성조사비, 타당성조사비, 설계비, 용지비, 공사비, 재설계비, 관리비, 잔존가치, 운영비등이다. LCC는 예비타당성조사비용부터 기반시설의 유지관리비용까지 포함하므로 가장 경제적인 대안선정을 하는데 기여할 수 있는 기반을 구축한다. 미국, 영국 등 선진외국의 경우 1950년부터 건설사업에 적용되기 시작하여, 1978년부터 신축되는 미국연방건물은 생애주기비용개념을 도입하여야 하며 우리 나라의 경우 일부 민간부문의 건축분야에서만 활용되고 있다.

4. 토지이용계획을 고려한 상수도 계획지원체계 모델링

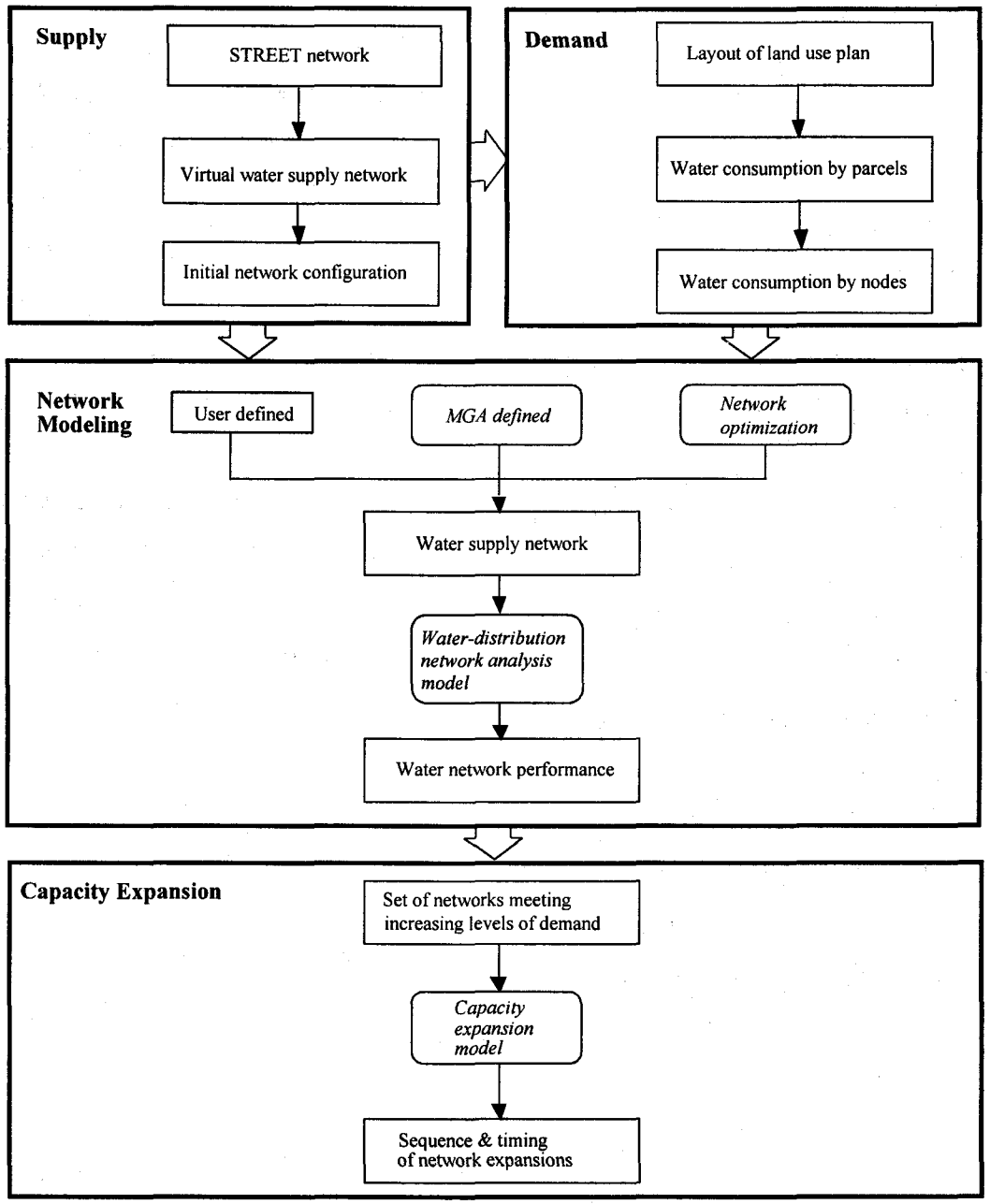
토지이용계획을 고려한 상수도계획지원체계 모델링은 시간에 따라 변화하는 수용량을 충족하기 위하여 상수도관망을 어떻게 확장할지에 관한 정보를 제공해준다. 이 정보에는 확장크기(sizing), 확장시기(timing), 확장장소(expansion location), 그리고 확장시설 종류(expansion types)가 포함이 된다 [14]. 상수도관로의 설계기간은 할인율, 예상 상수도 수요량, 공사비와 관리비, 그리고 시설확장의 용이성에 달려있다.

토지이용계획에 따른 상수도계획의 상수도용량확장문제는 두 가지 방법으로 해결될 수 있다: 1) 최적통제이론(optimal control theory) [15]; 2) 혼합정수비선형프로그래밍(mixed integer nonlinear programming: MINLP) [16]. 첫 번째 방법은 수요에 대한 가격의 영향을 포함시킬 수 있으나 사전 정의된 관망에 의하여 결정이 된다. 두 번째 방법은 용량확장 크기와 시간을 동시에 결정할 수 있으나 수요에 대한 가격의 영향을 포함할 수 없다.

4.1 최적함수이론의 활용

최적함수이론에 의한 상수관망용량확장 모델링은 5개 주요단계로 구성되어 있다 <그림 3>. 첫 번째는 "공급"이다. 이 단계

에서 모든 가능한 링크(link)를 전부 포함하는 가상의 상수도관망이 도로망을 기초로 생성이 된다. 두 번째는 "수요"이다. 이 단계에서 GIS를 이용하여 각 필지별로 필요로 하는 상수도량을 계산하고 각 노드별로 필요수요량을 집계한다. 세 번째는 "관망모델링"이다. 주어진 상수도 수요량에 대한 관망대안이 사용자, MGA, 혹은 관망최적화모델에 의해서 생성이 된다. 네 번째는 "용량확장"이다. 용량확장모델은 변화하는



<그림 3> 최적통제이론에 의한 상수도계획지원체계 모델링

수요량을 만족시키기 위하여 상수도 관망 크기의 순서와 설치시기를 결정하는 대안을 생성한다. 다섯 번째는 "평가"이다. 경제평가 모델은 표준화기법(normalization technique) [17]에 의하여 대안 중에서 1개 혹은 2개 이상의 대안을 고르는데 도움을 준다. 정적상수도관망최적화모델 [18], 관망해석모델 [19], 그리고 최적통제이론에 의한 용량확장모델은 GIS에 연결이 되어있다.

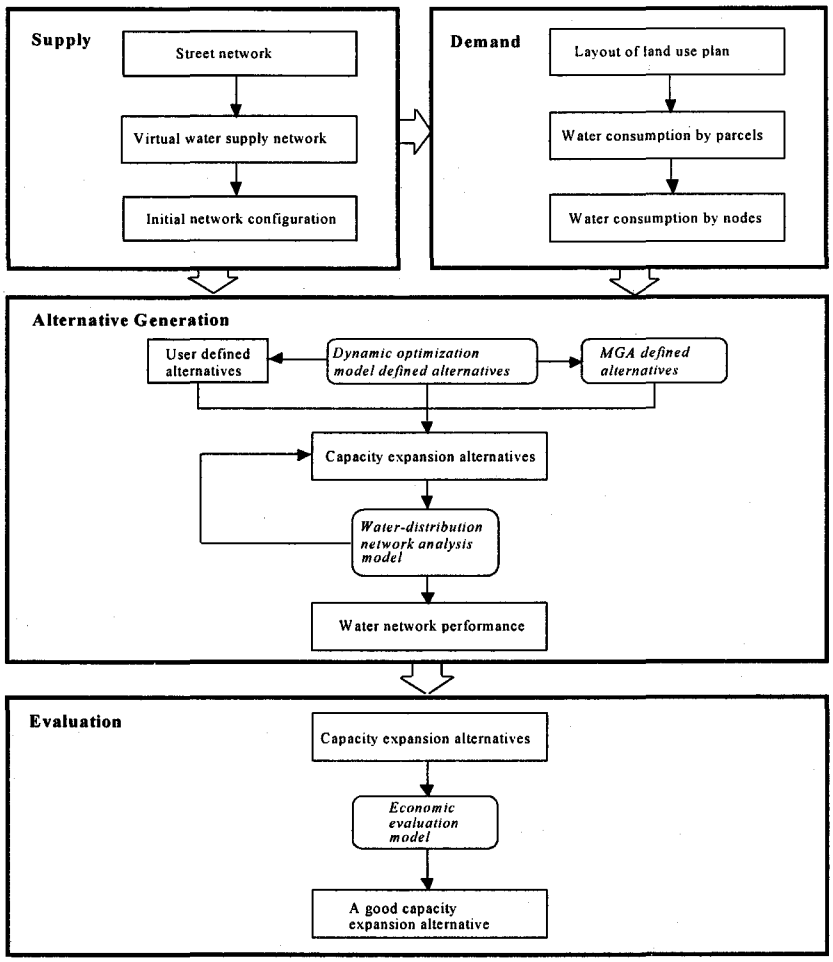
최적통제이론에 의한 계획지원체계의 모델링은 사용자에게 상수도계획수립시 여러가지 수단을 제공하여준다: 1) GIS에 의한 노드별 사용수량 산정 및 가상상수관망 생성; 2) 사용자, 최적화모델, 혹은 MGA에 의한 대안의 작성; 3) 관망해석모델에 의한 상수관망의 분석; 4) 용량확장모델에 의한 용량확장의 순서와 시기결정; 5) GIS에 의한 결과 표시.

잘 정의되어있는 이론적인 배경을 가진 최적통제이론 최적화의 수단으로서 1개 혹은 그 이상의 통제변수를 사용한다. 최적통제이론의 목적은 통제변수의 최적시간 경로를 결정하는 것이다. 특히 최적통제이론은 비용, 가격, 그리고 수요량간의 동적 관계를 사용자가 파악할 수 있게 해준다. 이러한 장점에도 불구하고 몇 가지 한계가 있다: 1) 용량확장모델과 관망해석모델간의 빈번한 자료교환; 2) 상태변수의 시뮬레이션, 공급량의 사전정의, 그리고 용량확장모델에서의 많은 가정; 3) 상수도관망에서 각개의 관로의 크기를 결정하는데 있어서의 한계; 4) 상태변수에서의 도약(jump)을 요하는 용량확장에 최적통제이론을 적용하는데 있어서의 한계점 [20], 그리고 5) 궁극적으로 용량확장모델에서 오직 용량확장시기 밖에는 결정할 수 없는 한계점.

4.2.2 MINLP에 의한 방법

MINLP에 의한 계획지원체계는 4개 주요단계로 구성되어 있다 <그림 4>. 첫 번째는 "공급"이다. 이 단계에서 모든 가능한 관로를 포함한 가상의 상수도관망이 도로중심선을 근거로 생성이 된다. 사용자는 가상 상수도관망을 근거로 초기관망을 결정한다. 두 번째는 "수요"이다. 이 단계에서 GIS를 이용하여 각 필지별로 필요로 하는 상수도량을 계산하고 각 노드별로 필요수요량을 집계를 낸다. 세 번째는 "대안생성"이다. 시간에 따른 상수도 수요량을 공급하기 위한 상수도관망 대안이 동적상수도관망최적화모델, 사용자, 그리고 시설확장 MGA [21]에 의하여 결정이 된다. 사용자는 관망이 만족스럽고 설계기준에 적합할 때까지 관경을 수정할 수 있다. 네 번째는 "평가"이다. 표준화기법(normalization technique)에 의한 경제성평가모델을 사용하여 사용자는 대안중 1개 혹은 2개 이상의 대안을 선정할 수 있다.

MINLP에 의한 상수도계획지원체계의 모



<그림 4> MINLP에 의한 계획지원체계 모델링

델링에서는 상수도 수요량은 외생적으로 그리고 용량확장과는 별개로 증가된다고 가정하였다. 특히 가격의 수요량에 대한 영향(pricing effects)은 고려되지 않고 있다. 동적상수도관경최적화모델은 최적통제이론에 의한 용량확장보다 4 가지 이점을 가지고 있다.

▪ 장래시설확장 시기, 크기, 장소, 그리고 관종류를 포함하는 확장대안이 결정이 된다.

▪ 각 링크의 시설확장이 시간적으로 가능하다.

▪ 최적통제이론에 의한 계획지원체계와는 달리 모델간 자료의 교환이 적어진다.

▪ VE와 LCC 개념을 동적상수도최적화모델내에 포함하여 LCC에 포함되는 모든 비용을 대안 생성시 고려할 수 있다.

MINLP방법은 앞에서 언급한 최적통제이론에 의한 5가지 한계를 극복할 수 있다. MINLP방법이 선택되는 다른 중요한 이유

는 상태변수(state variable)가 외생변수(exogenous variable)인 인구증가추세에 의하여 영향을 받아 최적 통제이론의 필요성이 감소되기 때문이다. MINLP방법이 상태변수를 통제하고 수요, 비용, 그리고 가격의 상관관계를 다룰 수 없지만 용량확장의 크기와 시기를 결정할 수 있다. 각 방법의 장단점은 최적함수이론과 MINLP방법을 연계하면 상수관망의 각 링크별로 시설의 크기, 시기와 수요량을 조정할 수 있다는 사실을 우리에게 시사해주고 있다.

4. 결론 및 향후 연구계획

최적통제이론에 의한 상수도계획지원체계 모델링은 사용자에게 다음과 같은 5가지 수단을 제공하여준다: 1) GIS에 의한 노드별 사용수량 산정 및 가상상수관망 생성; 2) 사용자, 최적화모델, 혹은 MGA에 의한 대안의 작성; 3) 관망해석 모델에 의한 상수관망의 분석; 4) 용량확장모델에 의한 용량확장의 순서와 시기결정; 5) GIS에 의한 결과 표시, 잘 정의되어있는 이론적인 배경을 가진 최적통제이론은 최적화의 수단으로서 1개 혹은 그 이상의 통제변수를 사용한다. 최적통제이론의 목적은 통제변수의 최적시간 경로를 결정하는 것이다. 특히 최적통제이론은 비용, 가격, 그리고 수요량 간의 동적 관계를 사용자가 파악할 수 있게 해준다. 이러한 장점에도 불구하고 몇 가지 한계가 있다.

MINLP에 의한 상수도계획지원체계는 이러한 한계를 극복할 수 있으며 MINLP방법이 선택되는 다른 중요한 이유는 상태변수가 외생변수인 인구증가추세에 의하여 영향을 받아 최적 통제이론의 필요성이 감소되고 VE 및 LCC 개념을 대안생성시에 동시에 고려할 수 있다는 점이다.

토지이용계획에 의한 상수도계획의 관계에서 향후에 연구해야 할 과제는

1) 최적통제이론과 MINLP이론을 연계하면 서로의 장점만을 살린 새로운 계획지원체계 모델링이 생성되어 비용, 가격, 수요의 관계를 다룰 뿐만 아니라 용량확장 크기, 시기, 장소, 종류를 동시에 결정할 수 있을 것으로 예상된다.

2) 상수도계획이 토지이용계획에 미치는 영향은 계획지원체계의 모델링과 아울러 현장조사에 의하여 결과가 확인될 필요가 있다.

3) 상수도계획과 하수도계획은 직접적인 연관관계가 있기 때문에 상수도계획과 하수도계획기능을 포함하는 계획지원체계를 구축하는 방안을 수립해야 한다.

참고문헌

[1] Binkley Clark et al, *Interceptor Sewers and Urban Sprawl*, MA.

Lexington, Lexington Books, 1995.

[2] Davidson, Jonathan M., 1986. "Plan-based Land Development and Infrastructure Controls: New Directives for Growth Management," *Journal of Land Use & Environmental Law*, 2(2), 1986, pp.151-175.

[3] Council on Environmental Quality, *The Growth Shapers: The Land Use Impacts of Infrastructure Investments,* Prepared by Urban Systems Research & Engineering, Inc., 1976.

[4] Tabors, D. R., M. H. Shapiro, and P. P. Rogers, *Land Use and the Pipe*, MA. Lexington, Lexington Books, 1976, p.48.

[5] Kirk, S.J., Dell'Isola, A.J,. 1995, *Life Cycle Costing for Design Professional.* McGraw -Hill, Inc., New York, p.16.

[6] Huxhold, William E., *An Introduction to Urban Geographic Information System*, Oxford University Press, 1991, p.29.

[7] Burrough, P. A., *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford, Claredon Press, 1986, p.6.

[8] Sprague, Ralph H. "A Framework for the Development of Decision Support Systems." *MIS Quarterly*, 4(4), 1980, pp.1-26.

[9] Davis-Stemp Susan, Joshua E. Minkin, John Thomopoulos, Morris W. Stemp. *Decision Support Systems,* HJ, Montvale, National Association of Accountants, 1986.

[10] Sprague, Ralph H., "A Framework for the Development of Decision Support Systems." *MIS Quarterly*, 4(4), 1980, pp.1-26.

[11] Walsh, Michael R., "Toward Spatial Decision Support Systems in Water Resources." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 119(2), 1993.

[12] Harris, Britton and Michael Batty, "Locational Models, Geographic Information and Planning Support System." *Journal of Planning Education and Research*, 12(3), 1993. pp.184-198.

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

[14] Luss, Hanan, "Operations Research and Capacity Expansion Problems: A Survey." *Operations Research*, 30(5), 1982, pp.907-947.

[15] Wymer, C. R, *APREDIC Computer Program, Manual, and Supplements, 1994.*

[16] Brooke, Anthony, David Kendrick, and Alexander Meeraus. *GAMS*, Release 2.25. MA, Danvers, Eloyd & Fraser Publishing Company, 1992.

[17] Mishan, E. J., *Cost-Benefit Analysis: An Informal Introduction.* Fourth edition. London, Unwin Hyman, 1988.

[18] Brooke, A., A. Drud, and Alexander Meeraus, "Modeling Systems and Nonlinear Programming in a Research Environment," Compueter in Engineering, 1985.

[19] Cross, Hardy, *Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors.* Bulletin 285. University of Illinois Experiment Station, 1936.

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

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

필자약력

1977년 고려대학교 토목공학과 졸업(공학사)

1990년 서울대학교 환경대학원 졸업(도시계획학석사)

1995년 마국 일리노이주립대학교 졸업(지역계획학석사)

관심분야: GIS에 의한 통합단지개발시스템 구축, 토지이용계획에 따른 지하기반시설의 용량확장계획