

광역 상수도의 수리적 적정 노선 선정에 GIS의 응용

하성룡*, 안창진**, 신인호**, 최계운***

1. 서론

광역 상수도는 보다 광범위한 공간에 대한 구체적인 정보의 수집과 분석을 통해서만이 적정하고 경제적인 계획이 가능하나, 제한된 정보와 일부 전문가의 경험에 의존하는 현행 계획 방법은 현 시점에서는 한계를 나타내고 있다. 지금까지는 신규 상수도 개발이나 기존 시설의 확장 계획을 함에 있어 계획에 필요한 각종 정보가 서로 독립적으로 수집되고 있으며, 수집된 정보도 분산 관리됨으로써 자료의 운용체제면에서 효율성이 떨어지거나 정보 상호간의 유기적·결합과 분석의 활용 가치가 크게 제약됨으로써 비경제적인 시설 계획이나 기술적인 오류 등을 범할 우려가 있다.

이러한 관점에서 볼 때 보다 체계적이고 합리적인 광역 상수도를 계획할 수 있고 평가할 수 있는 의사 결정 지원 시스템을 구축하는 것은 매우 시급한 과제이다. 상수도 계획을 위한 의사 결정 지원 시스템의 구축은 요구되어지는 다량의 정보와 경제적·사회적 요인을 분석하여야 하므로 대용량의 고속 컴퓨터 시스템을 이용하여야만이 비로소 가능해지며, 특히 상수도 시설과 같이 대상 지역의 지형 및 토지이용 특성에 따른 영향이 계획의 성패 여부를 좌우하는 지배적인 인자인 사업에 있어서는 지리정보시스템(Geographic Information System ; GIS)의 활용이 필수적이라 하겠다.

따라서 본 연구는 상수도를 계획함에 있어 GIS를 이용하여 계획에 필요한 각종 정보를 종합적으로 분석하고 그 결과를 토대로 보다 합리적이고 효율적인 대안을 제공할 수 있는 의사 결정 지원 시스템을 개발함을 목적으로 실시하였다.

2. 상수도 시설계획에의 GIS 활용

2.1 GIS응용동향

최근들어 GIS 기법을 이용한 상수도 시설계획에 관한 연구는 커다란 진전을 보이고 있어, 구미의 Centrell(1992) 및 Tourand(1991) 등을 위시하여 일본의 Hasegawa(1991) 등은 상수도 정보시스템의 구축에 관한 연구의 대표적인 예라고 할 수 있다. 특히 Hasegawa는 일상적인 상수도 사업업무의 효율성 증대 및 비상시의 신속하고 적절한 대응을 위하여 Digital Mapping기법과 상수도 관망시스템의 수리학적 해석기법 및 수도 수질 분석기법을 통합한 종합적인 상수도관리 시스템 구축을 시도하였다. 국내의 유복모(1992) 등은 도시정보해석을 위한 지형공간 정보체계의 자료기반 구축에 관한 연구를 통하여 상수도 사업의 주요업무 지원 시스템의 구축을 시도하였고, 유재용(1993) 등은 도시정보체계의 기본자료인 지번을 기초로한 상수도 정보체계 구축 및 활용에 관한 연구를 통하여 도시지번을 Index로 한 외부의 기작성 속성자료와의 정보교환 가능성을 제공함으로써 상수도 공급시설물과 수용가를 통합관리 할 수 있는 시스템구축을 시도 하였다. 또한 상수도 관련 정보의 체계적인 관리를 위한 GIS기법의 응용 예로는 한국수자원공사(1992)가 일산

* 충북대학교 공과대학 도시공학과 부교수

** 한국수자원공사 수자원 연구소 상수도 연구실

*** 인천대학교 공과대학 토목공학과 조교수

신도시지역의 상수도 관련정보에 대하여 실시한 상수도 도형정보시스템 구축사업을 들수 있으며, 이사업을 통하여 상수도 시설물의 효율적인 운영과 타업무 및 기관과의 정보교환체계의 구축가능성을 실증하였다.

2.2 상수도 계획을 위한 의사 결정 지원 시스템의 개발 방향

최근의 Expert 시스템 개발 경향은 시스템의 추론엔진, 데이터베이스 관리 시스템(DBMS), 이용자 인터페이스(User Interface)들은 모두 LISP 또는 Prolog등의 인공지능 언어를 이용하여 개발하는 것 보다는 상용의 시스템 구축용 Tool을 이용하여 개발이 이루어지고 있다. 또한 시스템 개발에 있어 매우 중요한 점의 하나는 시스템을 도입하는 주된 목적이 문제 해결에 있다는 점을 중시하여, 어떠한 형태의 의사결정 지원시스템(전면 해결, 부분적 해결, 전문가의 자문 상대역활 또는 단순한 편리함을 지닌 data-base수준 등)을 개발할 것인가에 대한 개발 주체간의 합의가 선행되어야 한다는 것이다. 즉 무한정한 개발목표의 상향 설정만이 사용 목적에 부합되는 최적의 시스템을 만들어 내는 것이 아니라, 주어진 개발환경과 목표에 상응한 시스템 구축이 이루어져야 한다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 상수도 노선 선정과정의 특성을 토대로 본 개발의 주된 목표인 광역상수도 노선선정을 위한 의사 결정 지원시스템의 개발방향을 정의할 필요가 있다.

광역 상수도 계획에 있어 가장 중요한 과정은 적절한 노선 통과경로를 선정하는 것이며, 이 선정 과정에는 대상 경로가 지나는 지리적인 특성에 따라 관로상의 수리특성이 큰 영향을 받게 됨으로 수리적으로 안정된 가운데 대상 용수요지까지 송·배수가 원활히 이루어질 수 있는 보다 경제적이고 안전한 노선의 선정방법이 요구된다. 따라서 본 연구가 지향하는 시스템의 개발 목표는 모든 계획과정에서의 의사결정을 전면해결하는 Expert 시스템의 개발보다는 지형적인 공간 특성 정보를 데이터 베이스로 하여 경로가 지나는 속성을 보다 합리적인 조합 및 분석을 통하여 노선통과의 적정조건을 도출할 수 있는 능력을 지닌 시스템으로의 개발이 바람직할 것으로 사료된다. 이러한 관점에서 지형정보의 수집, 정보의 표시 및 공간분석 기능을 지닌 지리정보시스템(Geographic Information System)의 지식 기반으로서는 이용은 매우 바람직한 것으로 판단된다.

3. 상수도용수공급계통계획 지원 시스템의 개념 설계

3.1 시스템의 정의 및 범위

본 시스템은 광역상수도 계획에 있어서 용수공급계통계획의 기본설계에 필요한 의사결정사항을 지원하는 정보처리 체계이다. 따라서, 본 의사결정지원시스템의 목표는 다음과 같다.

- (1) 광역상수도계획 노선 결정의 의사결정에 필요한 용수공급계통 설정을 위한 공간분석자료 제공.
- (2) 공간분석자료를 참조한 용수공급계통대체안의 설정 및 공간정보 취득환경 제공.
- (3) 설정된 용수공급계통 대체안에 대한 관로 수리학적 타당성 검토를 위한 정보의 제공.

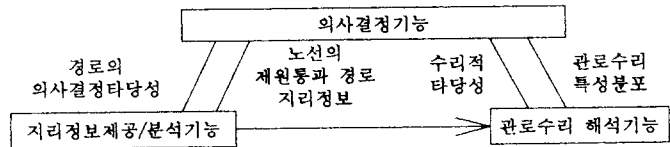


그림 1 상수도계획 의사결정 지원시스템의 기능적 상호관계

3.2 시스템의 전체 구성

상수도 계획과정에서 요구되어지는 용수공급계통계획의 의사결정문제를 지원함에 있어 본 시스템이 지니는 기능은 크게 세부분으로 구분된다. 첫째는 용수공급계통이 위치하여야 할 공간의 지형 및 지리학적 특성에 관한 정보를 제공하고 필요한 공간분석기능을 지닌 지리정보제공기능이다. 둘째는 용수공급계통의 관로수리학적 특성해석을 위한 수리해석기능이며, 셋째는 의사결정지원시스템의 결정엔진 기능에 해당하는 용수공급계통의 기술적 타당성의 평가이다. 이상의 세가지 기능의 상호관련성을

분석한 것이 그림 1이다. 소프트웨어의 구성은 1)의사결정지원용 프로그램, 2)지리정보의 제공 및 공간분석용 프로그램, 3)용수공급계통의 수리해석 프로그램으로 이루어진다. 먼저, 의사결정지원용 프로그램의 개발방법은 여러가지 경로로 개발될 수 있으나, 본 연구에서는 기존의 전문가시스템개발 Tool을 사용하여 개발하지 아니하고 용수공급계통이 지니는 지리 및 지형학적 특성을 보다 효율적으로 제공하며, 이들 공간이 이루는 특성을 분석하는 공간분석 기능을 지닌 지리정보 시스템(GIS)의 상용 S/W를 선정하여 의사결정 엔진으로 사용함으로써 시스템 개발의 효율성과 운영상의 간편성을 확보할 수 있도록 하였다. 본 시스템이 선택한 GIS용 상용 S/W는 국내에 가장 많은 이용자를 지니며, 대단히 효율적인 공간분석 기능을 지닌 미국의 ESRI사가 개발한 PC ARC/INFO를 의사결정지원 프로그램으로 선정하고, 이 프로그램이 지닌 자료의 입출력과 관리기능을 지리정보 DBMS구축용 Tool로 이용한다. 특히 PC ARC/INFO는 본 시스템과 같이 프로트 타입의 시스템 개발환경에서의 가장 큰 문제인 S/W 및 H/W 구성상의 간편성, 경비의 절감 측면과 개발 시스템의 향후 확장시 외부 작성 자료와의 호환 및 상위 시스템으로의 확장 가능성 측면을 고려할 때 타당한 선택으로

사료된다. 용수공급계통의 수리적 특성을 해석하기위한 프로그램은 '수자원연구소'가 개발한 '관로시스템내 해석 프로그램 'SAPID 2.0'(1993)을 사용한다. SAPID 2.0에 소요되는 관로의 지형학적 요소 및 관로 제원에 관한 정보는 PC ARC/INFO의도형처리 Module로 부터의 처리 결과를 이용한다. 이와같이 분석된 선정 관로노선의 수리 평가 결과의 화상출력에 의한 의사결정 지원

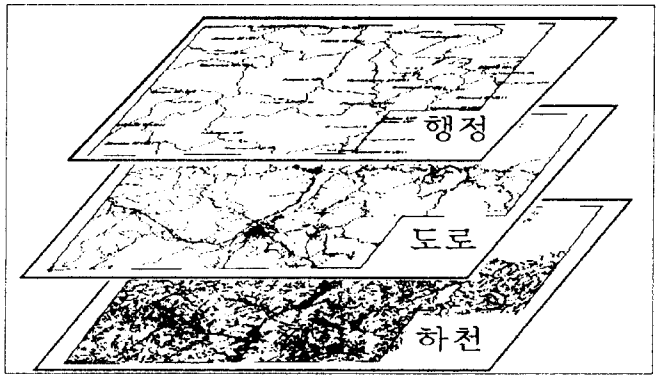


그림 2 수치정보 데이터베이스 구축 성과의 주요 예

환경의 제공은 PC ARC/INFO 를 이용한 화상출력 프로그램에 의하여 제공된다.

4. 수치정보데이터베이스 구축

본 데이터 베이스가 구축하고자 하는 수치정보의 대상지역은 한국수자원공사의 광역상수도 사업 권역중의 하나인 "포항권 광역상수도"로 한정하였다. 지리정보 데이터 베이스 구축 대상지역의 지도정보를 얻기위한 지도는 1/25,000 축척의 다음에 열거하는 포항, 경주지역 11개 도엽(NJ-52-14-27-3, NJ-52-14-27-4, NJ-52-14-28-3, NJ-52-14-28-4, NI-52-2-06-1, NI-52-2-06-2, NI-52-2-06-3, NI-52-2-06-4, NI-52-2-07-1, NI-52-2-07-2, NI-52-2-07-3) 으로 하며, 하천망과 등고선등의 입력은 1/50,000축척의 지도를 기준으로 한다. 또한, 작성하고자 하는 수치지도의 종류는 1) 도로 및 철로도, 2) 하천및 제방도, 3) 건물 및 주요 문화제도, 4) 등고선도, 5) 행정구역 및 지역경계도 로 구분한다. 수치지도 작성 방법은 건설부령 제 500호 '수치지도 작성 작업 규칙' (5)에 의거하였다.

수치정보 데이터 베이스 구축 성과의 주요 예는 그림2 와 같다.

5. 공간지리정보와 수리해석 시스템의 통합

대상지역에 대한 공간분석 결과를 토대로 상수도 노선의 통과 가능지에 관한 화상정보제공과 임의 선정된 노선 대안정보의 추출과정을 나타낸 것이 그림 3 이다. 또한 그림 4 는 GIS시스

템에 의하여 제공되는 가능노선에 관한 정보를 토대로 수리해석 시스템인 SAPID의 수리해석에 필요한 입력정보를 작성제공하고 계산결과와 화상출력과정을 나타낸 것이다.

6. 관로통과 적지 선정 및 시험노선 평가

6.1 노선선정 기준의 설정

본 연구는 의사결정 시스템의 주요 기능을 지형공간을 중심으로 한 분석능력에 두고 구축되는 만큼 관로가 통과해야할 경로의 지리·지형학적 특성을 보다 잘 고려할 수 있는 장점을 지닐 것으로 기대되므로, 노선선정 기준은 지형적 요소를 위주로 설정하고자 한다. 먼저 고려되어지는 것이 기설 도로로부터의 이격거리로서 통상 노선으로부터 2m 이상을 이격하여야 한다. 다음이 노선이 통과하는 지점의 고도로서, 이는 경제적인 측면뿐만 아니라 펌프의 양정고와도 매우 깊은 관련성을 지닌 요소이다. 물론 노선은 가능한 직선으로 설치되어야 하고 교량이 설치 되지 않은 하천은 직접 통과 보다는 우회하는 것이 원칙이겠으나, 공사기관중의 하천유량 즉 수심이 낮은 경우에는 직접 하상도하도 가능하다. 그러나 호수 또는 저수지를 직접 횡단하는 것은 거의 불가하며 가능한 우회하는 것이 원칙이라 하겠다. 이상 언급된 통과노선의 적지선정 뿐만 아니라, 정수장, 가압장 및 배수지 설치를 위한 적지선정 역시 매우 중요한 사항이다. 여기서 고려되어야할 것은 배수 대상지역과의 관계로부터 고도·도심으로부터의 이격거리 및 도로로부터의 이격거리 등이 주요 고려사항이다. 본장에서는 광역상수도 적정 노선선정에 개발시스템의 적용가능성을 평가하고자 한다. 먼저 개발된 통합환경에서 PC ARC/INFO가 지닌 각종 공간분석기능을 활용한 통과적지선정을 위한 분석결과를 검토하고, 여기서 분석된 내용을 토대로 다수의 가능 노선대체안을 설정한 다음 각 대안에대한 수리학적 및 경제적 타당성을 평가함으로써 적정 대안의 도출을 시도하였다.

6.2 시험노선 통과 가능 노선 결정

먼저, 취수장은 영천댐을 취수원으로하여 기존의 취수시설과 다른 댐 인근 지점(취수 1)과 저수지 유입 지점(취수)의 2개소를 가능지점으로 설정하였고, 정수장은 포항시내에서 가까운 안계댐 인근지점(정수1)과 옥상리 노고기 인근(정수2)을 가능지점으로 선정한다. 배수지 대안은 2011년 기준 용수요량을 토대로 8개 지점을 선정하고 상세 수리량을 결정하였다.

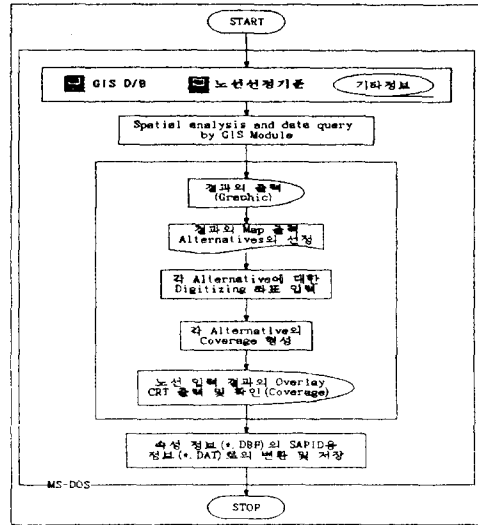


그림 3 PC ARC/INFO 부시스템에 의한 노선정보의 입력 과정

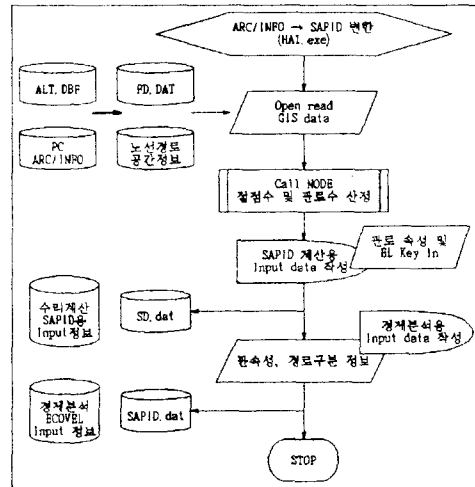


그림 4 ARC/INFO → SAPID 인터페이스 프로그램 흐름도

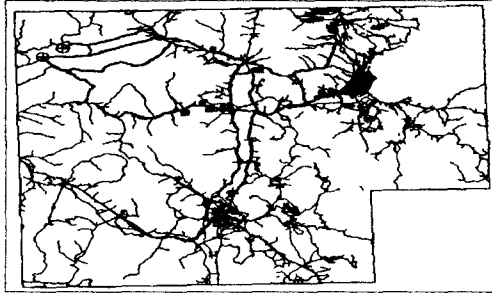


그림 4는 도로망과 가능 노선대안과의 중첩



그림 5는 주요 장애물 분포와의 중첩

계통요소별 대안을 이용한 상수도 통과 가능 노선 대안을 도수대안 4개, 송수관로 대안 3을 설정 양자를 조합함으로써 총 7개의 종합대안을 설정하였다. 그림 4는 도로망과 가능 노선대안과의 중첩 결과를, 그림 5는 주요 장애물 분포(건물, 지물, 저수지 및 하천망 Buffer)와의 중첩결과를 나타낸 것이다.

6.3 대체안별 수리해석결과의 화상출력

설정된 노선 대안에 관한 공간분석 결과를 토대로 수리해석 시스템 SAPID가 계산한 유속과 수압의 분포를 표 1의 등급으로 구분하여 절점을 따라 구분, 화면 출력한 결과의 대표적 예가 그림 6, 7, 8, 9이다.

표 1 관로유속별 절점 수압의 구분

	등급	MIN	MAX	색깔	평가기준
유속 (m/s)	1	-∞	0.0	빨강	저속
	2	0.0	0.3	주황	저속
	3	0.3	1.0	녹색	적정
	4	1.0	2.0	파랑	적정
	5	2.0	5.0	남색	고속
	6	5.0	∞	검정	고속
수압 (m)	1	-∞	1.0	빨강	부압
	2	1.0	3.0	주황	저압
	3	3.0	5.0	녹색	저압
	4	5.0	50.0	파랑	저압
	5	50.0	100.0	남색	고압
	6	100.0	1,000.0	검정	고압

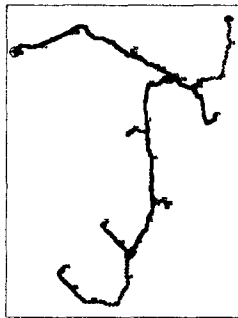


그림 6 대안 1의 관로유속 분포

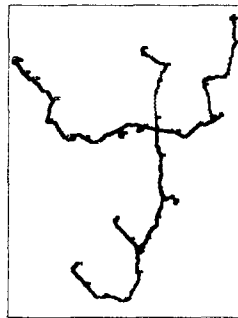


그림 7 대안7의 관로유속 분포

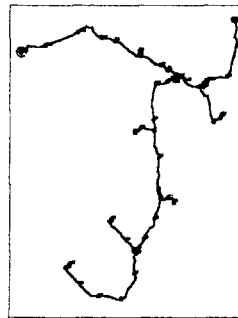


그림 8 대안 1의 절점수압분포

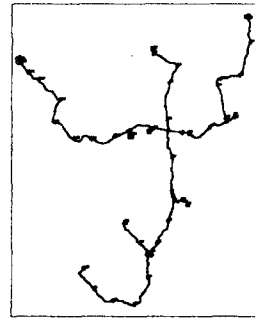


그림 9 대안 7의 절점수압분포

6.4 노선대안의 수리안정성 비교

설정된 7개의 노선 대안에 대한 수리해석 결과의 등급화에 따른 수리적 안정성에 관한 분석결과를 정리한 것이 표 2이다. 이 결과를 토대로 선정된 적정노선은 종합대안 5이다.

표 2 종합 대안별 수리 안정성

(단위 : 발생개소 / 총개소)

구분 대안	유속분포				수압분포				수리학적 우선순위
	미속 관로비	고속 관로비	*적정 관로비	순위	고압발생 절점비	부압발생 절점비	*적정 수압 절점비	순위	
ALT 1	3/51	-	48/51	③	13/53	4/53	15/53	①	③
ALT 2	2/53	-	51/53	②	17/55	3/55	14/55	③	⑤
ALT 3	3/53	-	50/53	④	13/55	4/55	15/55	②	⑦
ALT 4	2/55	-	53/55	①	17/57	3/57	14/57	④	④
ALT 5	3/55	-	52/55	②	13/57	4/57	15/57	①	①
ALT 6	2/57	-	55/57	①	17/59	3/59	14/59	②	②
ALT 7	7/50	-	42/50	③	23/52	1/52	10/52	③	⑥

* 적정 유속 및 수압은 등급 구분 3, 4로 하였다.

7. 결론

본 논문은 상수도 계획에 따른 각종 기술 및 사회·경제적 요인을 종합적으로 분석하고 그 결과를 토대로 보다 합리적이고 효율적인 계획 대안을 제공할 수 있는 의사결정 지원시스템을 도입한 상수도 계획 기법을 개발하기 위하여 실시한 연구의 성과이다.

- 1) 광역 상수도 시설 계획이 이루어지고 있는 1/25,000 지형 정보에 관한 공간 수치 정보 D/B를 구축하였다. 수치화는 PC ARC/INFO를 이용하여 1/25,000지형도를 근간으로 실시되었다.
- 2) 예상 상수도 시설에 대한 수리 해석은 기개발한 SAPID 2.0을 이용하였으며, 이에 소요되는 각종 지리 및 수리 정보의 제공은 구축된 공간 D/B와 관계형 D/B로서 제공하였다.
- 3) 관망 수리 해석 프로그램 SAPID 2.0과 GIS S/W인 PC ARC/INFO와의 정보 통합 및 공유를 위한 인터페이스 프로그램이 개발되었으며, 이를 이용하여 PC ARC/INFO에 의한 공간 분석 결과는 입력 파일의 형태로 SAPID 2.0에 제공되었다.
- 4) PC ARC/INFO에 의한 관로통과 가능지를 대상으로 한 광역상수도망의 대안에 대한 수치 Simulation의 결과로부터 각 대안의 수리적 타당성(절점 수압, 관로 유속)을 평가함으로써, 적정 노선의 선정 가능성을 확인하였다.
- 5) 수리 해석 결과의 수치 정보를 대안별 관로 공간상에 화상 정보로써 제공하는 GUI를 설계·구현함으로써 각 대안별 문제점 파악의 시각화를 실현하였다.

참고문헌

1. Cantrell, C. J., D. M. Nloesing, and E. H. Burgess, "Intergration of a water distribution management system with a geographic information system for Newport, Kenturky", Urban & Regional information system association 1992 annual comf. proceedings, (4) pp.109~119, 1991
2. Hasegawa, K., "Utilization of Computer Mapping System in Water Work", Proc. AM/FM Inter'l '91 Conf., (14) pp.43~54, 1991
3. Tourland, T. C., "Atlanta Water Bureau's AM/FM/GIS", Proc. AM/FM Inter'l '91 Conf., (14) pp. 523~534, 1991
4. 수자원연구소, 관로시스템내 해석프로그램 SAPID 2.0 사용자 지침서
5. 유복모, 윤경철, 최순철, "도시정보해석을 위한 지형공간정보 체계의 자료 기반부 구축에 관한 연구(상수도 시설물관리 중심으로), 한국 측지학회지, 10(2), pp.31~36, 1992
6. 유재용, 이규석, 지번을 기초로 한 상수도 정보체계 구축 및 활용, The 4th GIS Workshop, pp. 340~342, 1993
7. 한국수자원공사, 일산상수도 도형정보시스템구축 보고서, 1992