

수리해석 모형과 GIS를 이용한 통합 용수배분 시스템

권재섭¹ · 조명희²

Integrated Water Distribution Network System using the Mathematical Analysis Model and GIS

Jae-Seop KWON¹ · Myung-Hee JO²

요 약

본 연구에서는 기존에 개발된 상수도 관련 GIS(geographic information system)에서 관로해석을 위한 자료를 자동으로 입력할 수 있고, 사용자를 위한 GUI(geographic user interface)를 제공하는 GNLP(GIS linked non-linear pipe network analysis program)프로그램을 개발하였다. 관로시스템의 수리해석은 Hazen-Williams의 손실수두방정식을 기초로 한 비선형 해석기법을 이용하여 시행하였으며, 데이터베이스 응용 프로그램을 작성하기 위해서 관계형 데이터베이스 관리시스템(RDBMS ; relational database management system)인 Microsoft사의 Microsoft Access를 사용하였다. 이 GNLP 프로그램은 실제 관망설계자가 관로시스템의 수리해석에 필요한 자료의 입력을 용이하게 할 수 있도록 시스템환경을 개선하였다. 그리고 압력 및 유량 등 관로시스템의 수리적 해석 결과를 표 및 차트 형태로 출력이 가능하고, Excel 파일로 변환이 가능하다. 또한 GIS의 중요 요소인 질의(query) 기능이나 분석된 자료를 확인하고자 할 때 이를 효과적으로 디스플레이가 가능하도록 개발되었다.

주요어: 용수배분 시스템, 상수관망, 지리정보시스템, 관로시스템

ABSTRACT

In this study, GNLP(GIS linked non-linear network analysis program) for pipeline system analysis has been developed. This GNLP gets the input data for pipeline analysis from existing GIS(geographic information system) data automatically, and has GUI(graphic user interface) for user. Non-Linear Method was used for hydraulic analysis of pipe network based on Hazen-Williams equation, and Microsoft Access of relational database management system(RDBMS) was used for the framework of database applied program. GNLP system environment program was improved so that a pipe network designer can input information data for hydraulic analysis of pipeline system more easily than that of existing models. Furthermore this model generate output such as pressure and water quantities

2001년 11월 21일 접수 Received on November 21, 2001

¹ 한국환경기술연구소 (kass24@hanmail.net) Korea Environmental Technology Institute, Taegu, Korea

² 경일대학교 도시정보지적공학과 (mhjo@bear.kyungil.ac.kr)

Department of Urban Information Cadastral Engineering, Kyungil University, Kyungsan

in the form of a table and a chart, and also produces output data in Excel file. This model is also able to display data effectively for analysed data confirmation and query function which is the core of GIS program.

KEYWORDS: Water Distribution Network System, GIS, Pipe line system

서 론

최근 도시 영역의 급격한 확장에 의해 용수 수요의 증가 및 상수도 시설물이 증가하여 상수도 행정 및 관리 업무의 효율적 수행에 한계를 나타내고 있다. 이 한계를 극복하기 위한 대안 중의 하나는 현재 일부에서 사용되고 있는 지리정보시스템(GIS ; geographic information system)과 데이터베이스 관리 시스템(DBMS ; database management system)을 이용하여 보다 효율적이고 체계적으로 관리하는 것이라 할 수 있다.

Diekmam 등(1989)은 기존의 상수도 계획 및 설계과정이 지도의 판독과 계산기 입력자료 정리, 그리고 프로그램 수행과 결과분석 등으로 인한 소모를 개선하기 위해서 새로운 고도정보화 계획시스템의 필요성을 역설하였으며, Saud와 John 등(1996)은 GIS 프로그램인 Arc/Info와 상수도 관망 수리해석 모델을 통합한 WADSOP(Water Distribution System Optimization Program) 시스템을 구축하여 격자형 관망의 최적화를 실행하였다. 한편 일본의 Hasegawa(1991)는 상수도 업무의 효율성 증대 및 비상시의 신속하고 적절한 대응을 위하여 디지털 매핑 기법과 상수도 관망시스템의 수리학적 해석기법 및 수도 수질분석기법을 통합한 종합적인 상수도 관리시스템을 구축하였다. Huang 등(1995)은 관로계획과정에서 복잡한 지형적 조건을 고려하기 위하여 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 관로의 수리해석 및 노선선정을 위한 WADISO(Water Distribution System Analysis and Optimization)를 개발하였다. 그러나 이러한 연구들은 관망해석을 선형방식으로 수리해석하였으며, 사용자의 편의에 따른 파일전환 등의 문제가 해결되지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 관로의 수리적 해석방법을 박노삼 등(1999)이 제시한 비선형해석 방법인 NLM(non-linear analysis) 방법과 GIS 시스템을 인터페이스 모듈화 하여 상수도 관로의 공간 및 속성정보를 수동 및 자동으로 입력이 가능하고, 관로의 비선형 수리해석 및 Excel 파일로 전환이 가능하며, 상수도 관로의 파손이나 사고 및 비상시에 상수도 관망설계자로 하여금 관로설계의 근거를 정확하고 신속하게 제시하는 것이 연구의 목적이다.

관로 해석의 기본이론

관로시스템의 해석을 위해서는 관로의 길이, 연장 및 부속물의 수치적인 자료화가 필요하며, 주된 요소는 관의 단면과 관련된 사항이다. 관로 시스템에서 관의 연결점을 절점(node)이라고 하며, 절점은 2개 이상의 관이 연결된 접합절점(junction node)과 압력수두와 표고가 기지의 값으로 주어지는 고정수두절점(fixed grade node)으로 구분할 수 있다.

관로 시스템에서 관단면의 수(p)는 다음 식(1)에서 나타낸 바와 같이 접합절점의 수(j)와 폐합회로(primary loop)의 수(l), 고정수두절점의 수(f) 및 독립지역(separate zone)의 수(z)로 정의할 수 있다.

$$p = j + l + f - z \quad (1)$$

또한, 관로의 요소(elements)가 개별적으로 고려될 때, 각 절점에 연결된 관로요소들이 관로시스템 내의 어느 곳에서나 유입유량이나 사용수량이 서로 평형을 이루어야 하므로 정

확한 해석을 위해서는 각 요소와 요소들 사이의 상호작용을 고려해야 한다. 즉, 관로시스템에 대한 해석은 식 (2)~(4)에서 나타낸 바와 같이 유량(Q)방정식, 절점(H)방정식 및 회로(ΔQ)방정식과 같은 비선형 연립방정식을 수립하여 해석하는 과정으로서, 해석방법에 따라서 선형해석기법과 비선형해석기법으로 구분된다.

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_e \quad (j \text{ Equations}) \quad (2)$$

$$\sum H_L = 0 \quad ; \quad = \sum E_P \quad (l \text{ Equations}) \quad (3)$$

$$\Delta E = \sum H_L - \sum E_P \quad (f-1 \text{ Equations}) \quad (4)$$

여기서, Q_{in} 과 Q_{out} 는 관로의 유입 및 유출량, Q_e 는 외부유입량이나 수요량(external inflow or demand), H_L 은 손실수두의 총화, $\sum E_P$ 는 양정고(pumping head), ΔE 는 동수경사선(HGL ; hydraulic grade line)과 고정수두절점(FGN ; fixed grade node)의 차이를 나타낸다.

따라서, 본 연구에서는 관로 시스템의 비선형해석모형을 수립하기 위하여 비선형관망의 거동을 나타내는 전체 시스템 방정식은 Hazen-Williams 공식을 사용하였으며, 식 (5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K(H)H = Q_{out} \quad (5)$$

식 (1)에서 K는 관망의 특성행렬로써 미지의 절점수두에 의존하고, H는 관로시스템의 수두벡터이며, Q_{out} 는 관로시스템의 사용수량이다. 비선형시스템 해석을 위한 단계는 절점수두의 초기치 가정단계, 방정식의 시스템과 절점수두를 이용한 행렬 K의 계수계산단계, 절점수두의 새로운 조합에 따른 시스템 방정식의 해석단계 및 각 단계에서의 사전 절점수두의 비교단계와 같이 개략적으로 4단계로 구분할 수 있으며, 계산결과와의 비교에서 오차가 발생하면 행렬계산 단계부터 반복하여 연산을 수행하게 된다.

Newton-Raphson 해석법을 이용한 해석 과정은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 먼저 초기해 H^1 을 가정한 후 이 값을 사용하여 C_1 을 계산한다. 이때 계산과정 중의 계산값과 실제값의 차이 ΔC_1 는 식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta C_1 = C - C^2 \quad (6)$$

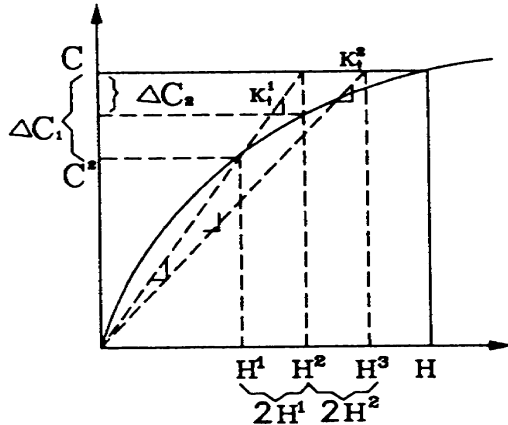


FIGURE 1. Newton-Raphson procedure

식 (6)과 같은 차이를 수정하기 위하여 식 (7)과 같이 시스템을 해석하여 수정된 수두는 식 (8)와 같다.

$$k_t^1 \cdot \Delta H^1 = \Delta C_1 \quad (7)$$

$$H^2 = H^1 + \Delta H^1 \quad (8)$$

식 (8)에 의해 계산된 수두는 접선계수(tangent coefficient) k_t^2 를 계산할 때 사용되며, 이러한 과정은 허용오차 내로 수렴할 때까지 반복 계산한다.

비선형해석(NLM)기법에 의한 복잡한 실제 관로시스템의 수리학적 해석을 위하여 주어진 방정식을 비선형으로 고려하여 수치해석기법을 이용하여 해석하였다. 모델의 해석 알고리즘과 컴퓨터 프로그램은 Brebbia와 Ferrante(1983)에 의해 제안된 이론과 FORTRAN 언어를 사용하였다.

연구대상 지역의 특성

본 연구에서는 대구광역시의 고산정수장계통의 대구역 관로를 대상으로 수리적 해석을 하였다. 고산정수장계통의 시설현황을 살펴보면, 1999년말 현재 시설용량이 하루 35만 m^3 으로서 일 평균 149,340 m^3 의 정수를 생산하고 있으며, 특히 급수구역으로는 대구광역시 동구, 수성구 및 북구일원의 3개구 16개동 전역과 2개동 일부지역에 약 17만5천세대의 55만9천명에게 급수를 하고 있다.

한편 관로의 수리적해석은 선형 및 비선형 해석기법을 이용한 관로의 최적설계를 위하여 비교적 배수계통이 명확히 규명되어 있고, 매설관로의 재원과 경과년 등의 자료가 비교적 정확하게 제시되고 있는 '대구광역시 수도정비 기본계획'(대구광역시, 2000)에서 조사된 자료를 이용하였으며, 고산정수장계통의 관로 시스

템을 구성하면 그림 2에서 나타낸 바와 같이 75개의 절점과 80개의 관로로 구성된 격자식과 수지상식이 혼합된 복합형 관로시스템으로서, 고산정수장(R-1)을 기준으로 할 때 계산에 사용된 절점은 74개, 관로의 수는 80개를 나타낸 것이다.

GIS-모형간 인터페이스모듈 개발

본 연구에서 개발된 GNLP 프로그램은 Fortran 언어로 구성된 NLM 방법과 효율적인 인터페이스를 위하여 그림 3과 같이 application system 도구는 Visual BASIC 6.0을 사용하였으며, GIS 기능의 연동을 위해서 MapObject 2.0을 사용하였다. 또한 DBMS을 일반 사용자도 쉽게 이용할 수 있는 MS사의 Access2000을 사용하여 ODBC(object data base connectivity)를 통해서 데이터베이스 자료와 연결하였다.

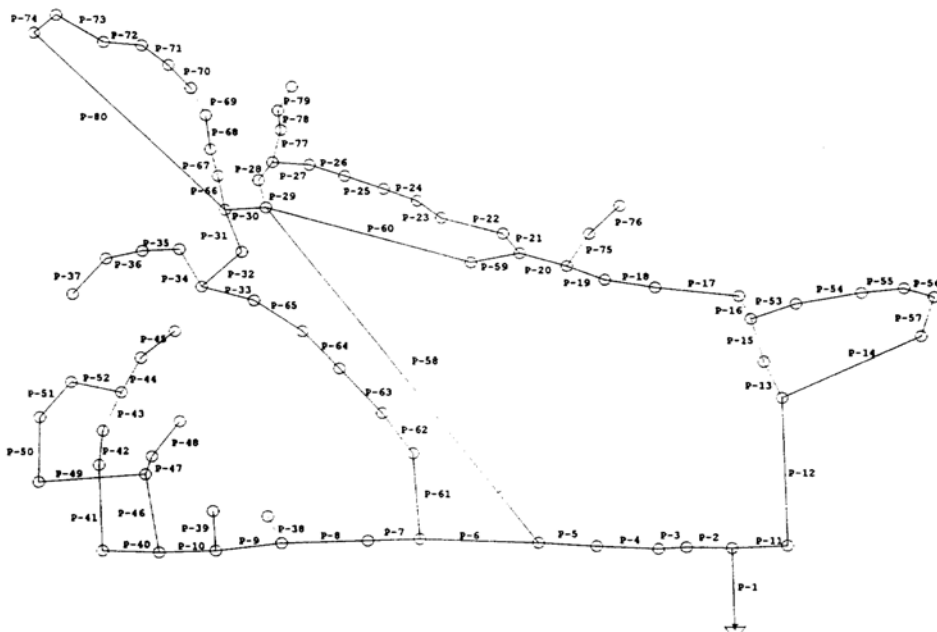


FIGURE 2. Schematic diagram of pipe network system(GOSAN Water Supply System)

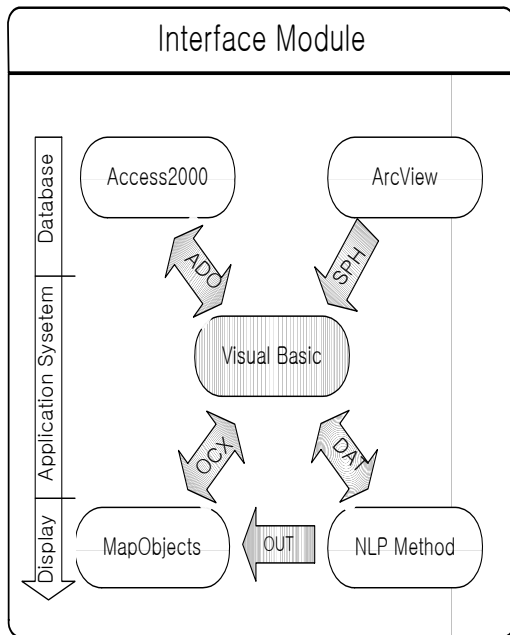


FIGURE 3. Flow chart of GNLP program construction

본 연구에서 개발된 GNLP 프로그램에서 공간자료 및 속성자료의 변환과정은 먼저 공간정보인 관로의 도면은 AutoCAD에서 *.dxf 파일로 전환하여 ArcView에서 속성자료는 *.dbf 파일로, 공간자료는 *.shp 파일로 저장하였다. 이렇게 생성된 *.dbf 파일과 *.shp 파일은 수정되지 않으며, 관망해석시의 수동입력에서는 *.mdb 파일만이 자동으로 수정 및 저장된다. 그리고 이 저장된 *.mdb 파일은 다시 NLM 방법의 입력파일인 *.dat로 ASCII 파일로 저장된다. 파일의 변환과정에서 NLM 방법의 입력파일인 ASCII 형태의 자료구조를 가지게 되는 것은 상수도 관로의 관경, 길이, Hazen-Williams의 C값과 절점의 유출량 그리고 관로와 연결된 절점의 번호들이다. ASCII 형태의 자료구조와 공간정보와의 결합을 위해서는 다시 *.dbf 파일 형태로 변환해야 하는데, 본 연구에서는 이러한 자료구조의 변환을 Visual BASIC을 이용하여 실행하였다.

GNLP 프로그램 사용자는 원래의 공간 및 속성정보의 자료를 수정할 수 없을 뿐만 아니라, 관로 시스템 해석의 결과로 설계변경이나 수리적인 관계로 인하여 데이터를 수정하려면 ArcView 상에서 공간정보 및 속성정보를 수정하여야 한다. 이는 장래의 인터넷 GIS를 도입한다면 많은 문제점들의 해결 방안이 될 것이며, 상수도 관망의 자료를 중앙에서 집중적으로 관리할 수 있다. 그러므로 상수도 관로의 설계변경 및 기타 수정사항에 대하여 실제 사용자가 GIS 시스템관리자에게 통보만 하면 된다.

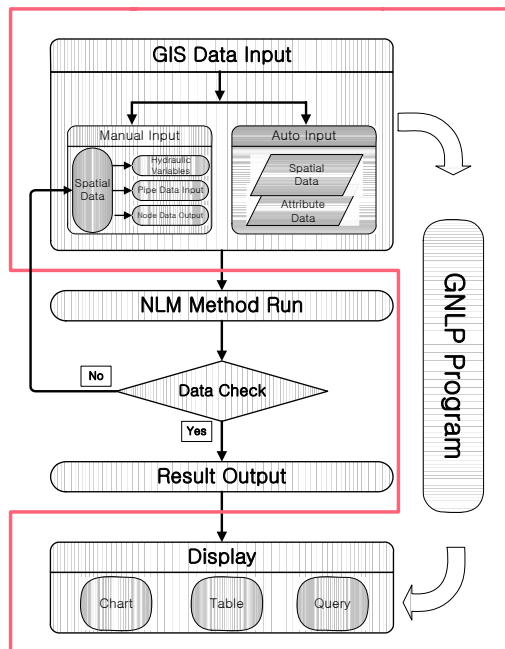


FIGURE 4. Linking type of GIS and NLM method

앞서 소개된 관로의 비선형해석 기법인 NLM 방법과 GIS 프로그램과 연계시켜 주는 GNLP 프로그램의 특징을 소개하면 다음과 같다. GNLP 프로그램은 크게 3가지 기능으로 구성되는데, 먼저 초기화면과 메뉴 등 프로그램 지원기능이라 할 수 있다. 기존에 구축되어진 GIS 시스템의 도면을 확대, 축소, pan 등의 기

능이 포함되어 있으며, 각종 주제도(지형도, 수계도, 도로망, 지하매설물 등) 등을 살펴볼 수 있고, 또한 관로 해석을 위해서 상수도 관로의 주제도만을 불러와서 사용할 수도 있다.

둘째로 시스템의 해석기능을 들 수 있다. 이는 GIS 시스템에서의 문제점인 공학적 계산의 어려움을 해소한 것이라 할 수 있는데, 본 연구에서 개발된 GNLP 프로그램은 관로의 비선형 해석기법인 NLM 방법과 사용자 인터페

이스를 구축하여 관로의 수리적 해석이 가능하도록 개발되었다.

세째로 자료의 입력 및 출력결과를 기존에 구축되어진 GIS 시스템의 공간정보와 속성정보를 자동 및 수동으로 입력하여 관망해석이 가능하도록 개발되었으며, 출력문제에 있어서 보고서 형식으로 출력을 할 수 있을 뿐만 아니라 엑셀파일로의 전환이 가능하다.

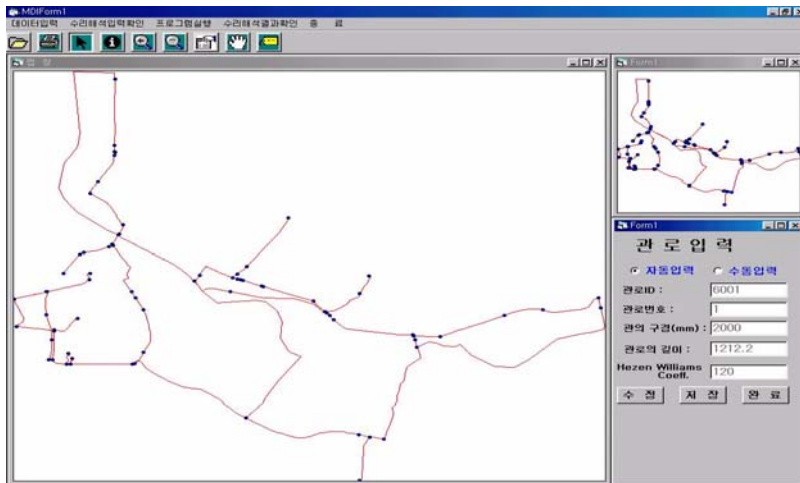


FIGURE 5. Spatial Data and Attribute Data of Pipe Network

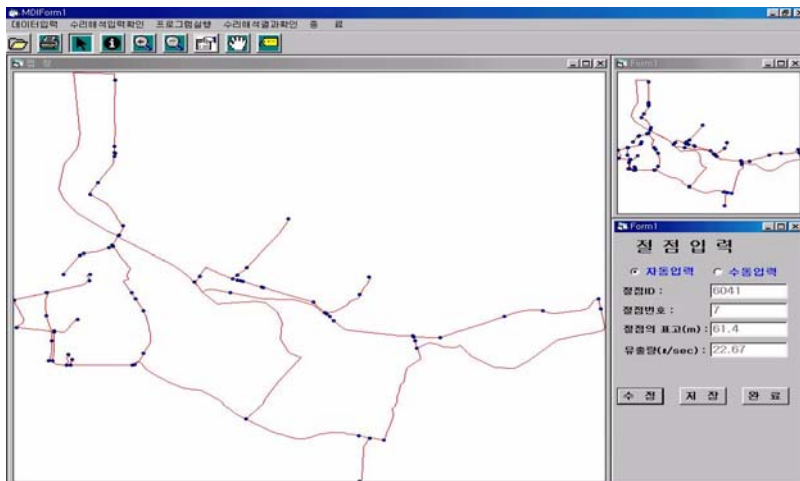


FIGURE 6. Spatial Data and Attribute Data of Node

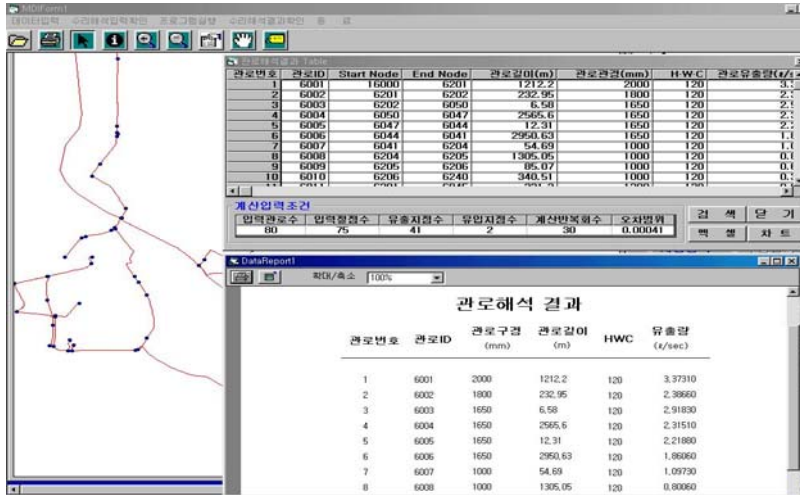


FIGURE 7. Output of GNLP Program

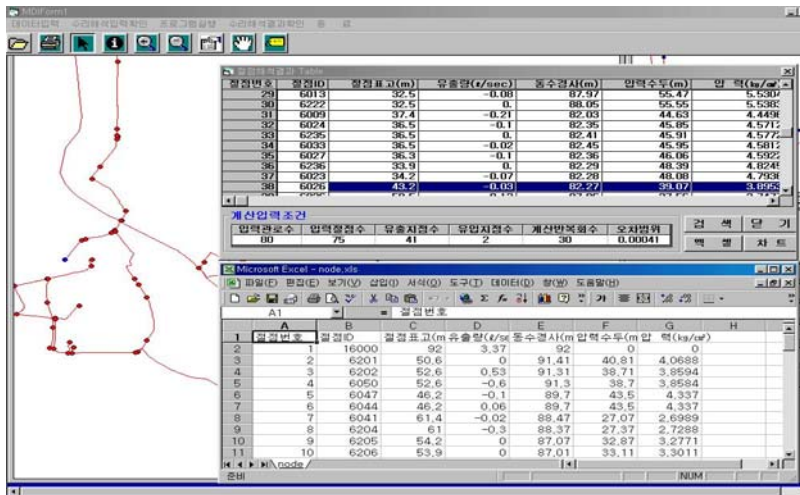


FIGURE 8. Change of Pipe Network Output File Analysed by GNLP Program

결론

현재 GIS를 이용한 상수도 시설물 관리가 이루어지고 있거나 구축중에 있다. 그러나 실제 상수도 관로의 설계나 비상시 그리고 사고시에 설계근거를 위한 관로의 수리적 해석에 있어서 GIS 시스템의 이용은 극히 미진한 상태이다. 이는 많은 경비와 인력을 투입한 GIS 시스템의 활용성을 이용하지 못하고 있는 실

정이다.

따라서 본 연구에서는 구축되어진 GIS 시스템의 활용성을 극대화 하기 위해서 누구나 쉽게 배수관망의 수리적 해석이 가능하도록 연구되었으며, 주요 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 관로의 비선형 해석모형인 NLM 방법과 GIS 시스템과의 인터페이스를 구축하여 관

로의 수리적 해석결과를 그래픽 출력 및 파일저장 등을 위한 GNLP 프로그램을 개발하였다.

2. GNLP 프로그램은 실제 상수도 관로의 설계자가 아니더라도 구축되어진 GIS 시스템을 이용하여 누구나 쉽게 배수관망의 수리적 해석을 할 수 있다는 장점이 있으며, 관로의 속성정보나 절점의 속성정보를 사용자의 임의 수정에 의해서도 배수관망의 수리적 해석이 가능하다.
3. GNLP 프로그램 사용자는 원래의 공간 및 속성정보를 관로의 수리해석에 이용할 수 있지만, 관로 시스템 해석의 결과로 설계변경이나 수리적인 관계로 인하여 데이터를 수정하려면 ArcView상에서 공간정보 및 속성정보를 수정하여야 한다. 따라서 상수도 관로의 설계변경 및 기타 수정사항은 GNLP 프로그램 사용자가 GIS 시스템 관리자를 통하여 수정이나 변경이 가능하다.
4. 본 연구결과를 토대로 상수도계획 및 상수도 배관설계시에 신속하고 정확한 관로의 수리적 해석이 가능하다. 또한 기존에 구축되어진 GIS 시스템의 활용도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

앞으로의 연구방향은 본 연구를 기반으로 하여 상수도 시설물인 가압장의 가압펌프와 각종 밸브 등을 고려하여 상수도 관로의 수리적 해석이 이루어져야 할 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 대구광역시 상수도사업본부. 2000. 대구광역시 수도정비 기본계획 보고서.
- 박노삼, 안승섭, 권재섭, 정봉교. 1999. 비선형 해석기법을 이용한 배수관망의 최적해석. 상하수도학회지 13(4):111-122.
- Brebbia, C.A. and A.J. Ferrante. 1983. Computational Hydraulics. Butterworth & Co(Publishers) Ltd.
- Diekmann, J., P. Hung, M. Bessler, P. Kyburz, T. Rawlings and A. Streifel. 1989. Preliminary report of the pipeline study.
- Hasegawa, K. 1991. Utilization of Computer Mapping System in Water Work. Proc. AM/FM Int'l '91 conf. 4:43-54.
- Huang, P., J. Diekmann and S. Fenis. 1995. Pipeline Planning System. Journal of Computing in Civil Engineering 9(2):134-140.
- Saud, A.T. and W.L. John. 1996. Optimal Design of Water-Distribution Networks with GIS. Journal of Resources Planning and Management 122(4):301-311. **KAGIS**