

# 단지내 상수도관망의 최적설계프로그램 개발

최계운\*, 박용섭\*\*, ○김동우\*\*\*

## 1. 서론

경제성장에 따른 산업화, 도시인구의 집중 및 국민생활의 향상 등으로 인하여 용수수요량 증가가 가속화되고 있어 충분한 용수의 확보와 적절한 배분이 주요과제로 대두되고 있다. 특히 우리나라는 물 부족 국가로 분류되어 용수부족의 위험성을 크게 내포하고 있는 현실에서 용수 수급을 위한 관로 총연장은 10만여 km에 이르고 있으나 전국 평균 무수율이 35%에 이르고 있어 많은 용수의 손실을 감수하고 있다. 이와 같은 용수손실을 최소화하고 보다 경제적인 상수도 관망을 설치하기 위한 각종 노력이 요망되고 있으며, 이를 위한 프로그램 개발이 필요하다고 하겠다. 또한 국민생활에 필수적인 상수도 관로는 대도시는 물론 지방의 소도시까지 거의 지하에 매설되어있어 유지보수를 위한 현황파악이 용이하지 않은 실정이다. 이러한 시설물은 도시의 중요한 생명선과도 같은 역할을 하고 있으므로 시설물의 확충과 공급체계를 원활히 유지관리하기 위한 프로그램의 개발도 필요하다고 하겠다.

상수도관망의 최적설계프로그램은 기존 노선보다는 신설 계획되는 관망에 있어서 합리적인 건설비로 효율적인 관망 설계를 함으로써 소비자에게 경제적인 가격으로 풍부한 물 공급이 가능하도록 하게 될 것이다. 또한 도시내 설치되는 대부분의 관로는 지하에 매설되게 되나, 관로의 유지보수를 위한 현황파악이 용이하지 않고, 사전 예방차원의 계획적인 유지보수가 제대로 이루어지지 못하고 있는 현재실정을 감안할 때 GIS의 각종 기능을 갖추고 있는 관망의 최적설계프로그램은 향후 시설의 유지관리 업무에도 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

따라서, 본 논문에서는 신규 수요 증가에 따른 관로 신설시 사용자 하여금 해당지역에 대한 평면도등 기본자료의 자동입력이 가능토록 하여 여러 형태의 관망 설계가 이루어지고 설계후 관망해석을 위한 입력자료가 쉽게 도출되어, 관망해석프로그램의 운용을 통한 최적노선선정이 가능하고 관망해석 결과를 그래픽으로 확인이 가능토록 하는 설계프로그램을 개발하고자한다.

## 2. 지베방정식 및 해석 알고리즘

### 2.1. 절점방정식

관로내 절점에서 흐름의 연속성을 만족하기 위하여는 관로를 통하여 절점에 유입하는 유량과 관로를 통하여 다른 절점으로 유출되는 유량과의 차는 절점에서 외부로의 유출량이나 유입량과

---

\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

\*\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정

\*\*\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

동일하여야 한다. 이를 식으로 표시하면 식 (1)과 같다.

$$(\sum Q_i)_{in} - (\sum Q_i)_{out} = P_i \quad (1)$$

여기서  $(\sum Q_i)_{in}$  는 관로를 통하여 절점 i로 유입되는 유량,  $(\sum Q_i)_{out}$  는 절점 i로부터 관로를 통하여 다른 절점으로 유출되는 유량,  $P_i$  는 절점 i에서 관로 외부로의 유출 또는 유입량을 의미한다.

## 2.2. 폐합관로내 에너지 방정식

폐합관로내에서 펌프에 의한 에너지 공급이 없다면 폐합관로내 에너지 손실의 합은 0이다. 또한, 펌프에 의한 에너지 공급이 있고 고정수두 절점(취수장, 고정수두를 가진 배수지등과 같이 수두가 고정된 절점)이 있는 경우의 에너지 관계는 식 (2)와 같다.

$$\Delta E = \sum h_L - \sum E_p \quad (2)$$

여기에서,  $\sum h_L$  = 폐합관로내 각각의 관로에서의 에너지 손실의 합,  $\sum E_p$  = 폐합관로내 펌프에 의한 총에너지 공급  $\Delta E$  = 고정수두 절점간 수위차를 나타낸다.

## 3. 프로그램의 구성

### 3.1. 프로그램의 흐름도

최적 관망설계프로그램은 크게 네 기능으로 나누어져있다. 첫 번째로는 GIS를 활용한 관망노선 자료구축 기능으로 제공된 GIS 프로그램을 이용하여 사용자가 작업창에 바탕지도를 불러와 화면에 평면도를 나타낸 후 사용자가 마우스로 관망을 구성하고 구성된 자료가 자동적으로 DB가 구축되어 관로해석 프로그램의 자료화가 되도록 하는 기능이다. 두 번째로는 앞에서 구축된 DB에 입력창을 활용하여 관로해석을 위한 필요한 자료를 입력하는 입력 데이터베이스 구축기능이 있다. 세 번째로는 구축된 자료를 입력자료로하여 관로해석프로그램의 관망을 해석하고 해석결과를 그래픽으로 확인하기 위한 그래픽 기능이다. 네 번째로는 세 번째 해석결과를 토대로 최소 및 최대 압력등의 경계조건을 바탕으로 관로의 폭등을 조정하게 되는데 이때에는 사용자가 수동으로 관망을 조정하는 경우와 자동으로 최적화방법을 활용하여 최적관망을 찾아가는 기능이다. 현재 네 번째 기능은 개발되지 않은 상태에 있다. 이와 같은 네 번째 기능을 통하여 수정된 관망은 세 번째의 기능을 활용하여 최종결과를 도출하게 된다.

입력데이터베이스구축에는 GIS프로그램과 VISUAL BASIC을 이용하여 기존의 프로그램과는 다르게 완벽한 그래픽 사용자 인터페이스로 관망을 구현할 수 있도록 하여 사용자의 편의를 도모하고 있다. 시스템해석 기능은 C언어를 사용하여 프로그램을 구성하였다. 해석에서는 정상류해석과 준부정류해석인 확장기간모의가 가능하도록 프로그래밍 하였다.

그림 1은 본 최적 관망설계프로그램의 단면결정 및 결과해석을 위한 흐름도를 보여주고 있다.

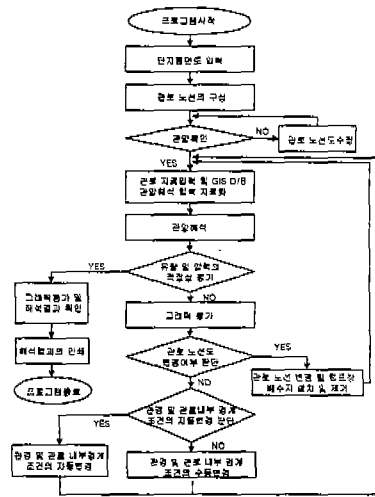


그림 1. 시스템설계 및 해석 프로그램의 흐름도

### 3.2. 프로그램의 화면구성

그림 2에서 보는바와 같이 본 프로그램의 화면구성은 메뉴바와 툴바, 그리고 관망을 설계할 수 있는 GIS 프로그램을 이용한 작업창으로 구성 되어 있다. 특히 작업창의 경우는 관망을 그려 넣기 위한 관망레이어, 관망을 설계하고자 하는 지역의 지도를 보이기 위한 바탕지도 레이어, 그리고 기타 사항들을 참고하기 위한 참고 레이어로 구성되어 있다.

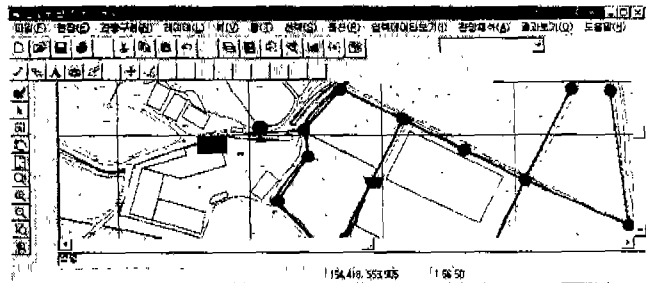


그림 2. 최적 관망설계프로그램의 평면도 입력 화면구성

## 4. 프로그램의 모의 실행

### 4.1. 가상 관망도 구성

프로그램의 모의 실험을 위해 펌프와 벨브를 가지고 있는 관로시스템을 채택하였다. 새 파일을 열어 GIS 프로젝트 파일을 새로 만들고 그 프로젝트에 관망 설계를 위한 관망레이어를 생성한다. 작업창을 통해 관망레이어에 관망과 절점을 그려 넣고 펌프, 저수지, 벨브 등을 추가한다. 그림 3은 본 연구에서 모의된 관망을 보여주고 있다.

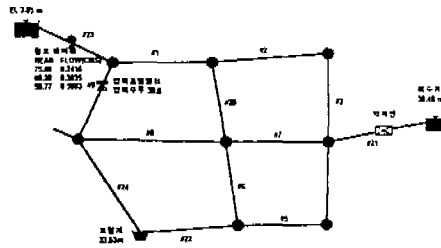


그림 3. Pump와 Valve를 가진 관로시스템 해석을 위한 관망망도

#### 4.2. 입력자료 데이터베이스 구축

관망을 모두 그린 후 입력데이터보기 메뉴에서 입력자료창을 연다. 그림 4의 A에서 보는바와 같이 전체 시스템정보를 볼 수 있는 창이 열리며 해석에 필요한 사항을 선택해야 한다. 그림 4의 B에서 보는 바와 같이 관로 입력정보 창을 열면 관로에 따른 관로의 시작 및 끝 절점, 그리고 관로의 길이가 이미 그려진 관망을 통해 자동으로 입력된다. 여기에 그 외에 필요한 정보를 입력한다. 입력과 동시에 입력내용은 데이터베이스화 되어진다. 그림 4의 C와 같은 절점 정보 창을 열어 해석에 필요한 노드 정보를 입력한다. 그림 4의 D~F의 펌프 입력창, 압력조절밸브, 역지변 자료입력창의 경우는 관망에 이러한 요소가 있을 경우 입력을 한다.

A. 일반 자료

pipe id	from node	to node	length	diam	material	roughness	status
1	1	2	100.0	100	0.0	0	0
2	2	3	12.0	100	0.0	0	0
3	3	4	75.0	100	0.0	0	0
4	4	7	100.0	100	0.0	0	0
5	5	6	100.0	100	0.0	0	0
6	6	7	100.0	100	0.0	0	0
7	7	4	100.0	100	0.0	0	0
8	8	9	100.0	100	0.0	0	0
9	9	10	100.0	100	0.0	0	0
10	10	20	100.0	100	0.0	0	0
11	20	21	100.0	100	0.0	0	0
12	21	14	100.0	100	0.0	0	0
13	14	12	100.0	100	0.0	0	0
14	12	7	100.0	100	0.0	0	0
15	7	10	100.0	100	0.0	0	0

B. 관로 자료

node number	elev	demand
1	12.19	0.00
2	12.20	0.00
3	13.25	0.11
4	15.24	0.11
5	12.19	0.05
6	12.19	0.00
7	5.10	0.05
10	15.24	0.05

C. 절점 입력 자료

D. 펌프 자료

E. 압력조절밸브 자료

F. 역지변 자료

그림 4. 관망해석자료구축을 위한 자료 입력 창

### 결과자료 데이터베이스 구축

입력데이터베이스를 통해 해석프로그램을 실행시키면 그림 5와 그림 6과 같이 각 관로의 해석결과와 각 절점의 해석결과가 데이터베이스화되며 결과보기메뉴를 통해 결과를 볼 수 있다. 이 결과를 토대로 그래프를 생성할 수 있다.

결과데이터베이스를 분석하여 관망을 재구성하거나 관망의 변경 또는 여러 가지 대책을 마련하여 최적관망을 수동으로 찾아갈 수 있다.

PIPE NO	FROM NODE ID	TO NODE ID	DIAMETER	LENGTH
1	1	2	7.5	4.3
2	2	3	4.5	3.0
3	3	4	4.5	2.7
4	4	5	4.5	0.0
5	5	7	4.5	1.0
6	6	7	4.5	2.0
7	4	8	4.5	3.0
8	6	8	4.5	1.0
9	8	18	3.25	1.8
10	2	5	4.5	3.0
11	4	0	4.5	1.0
12	7	0	4.5	0.0
13	8	0	4.5	1.0
14	0	0	2.0	1.0
15	0	0	2.0	0.5

그림 5. 관로 결과 창

NODE NO	ELEVATION	DEMAND	IN PRESS
1	12.19	0.0	29.4
2	12.00	0.0	25.6
3	12.25	0.1	16.4
4	15.04	0.1	14.6
5	12.19	0.0	15.4
6	12.19	0.0	22.6
7	5.19	0.0	26.7
8	15.24	0.0	27.4

그림 6. 절점 결과 창

### 4.4. 프로그램의 적용

설계프로그램의 적용을 위한 대상지역으로 연희배수권역을 선택하였으며 그림 7은 연희 배수지를 중심으로 연희배수권역의 관망도를 보여주고 있다. 연희배수권역의 배수관망도는 프로그램의 적용을 위한 것으로 관망의 생략, 합성 및 분리등의 작업을 거친 것으로 실제와는 다소 차이가 있다.

연희 배수지의 고수위는 60m이며, 저수위는 56m이고 일최대 공급량은 2011년의 계획공급량인 55,589m<sup>3</sup> /day 으로 하였다.

시간변화모의를 하기 위한 수요량의 변화는 그림 8과 같이 수요량의 시간별 변화의 예와 같은 비율로 변화하는 것으로 가정하였으며, 그림 9는 8개의 절점에서 수요량의 변화를 보여주고 있다.

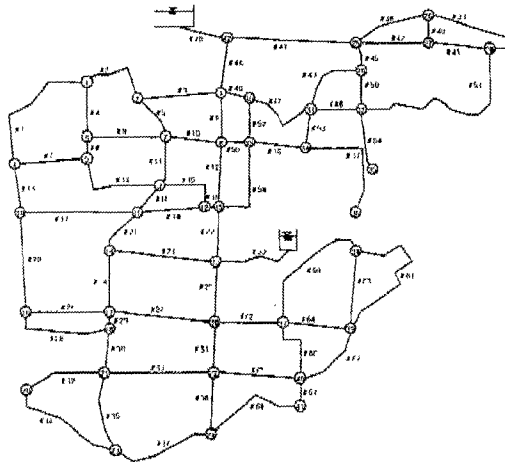


그림 7. 연희배수구역의 배수관망도

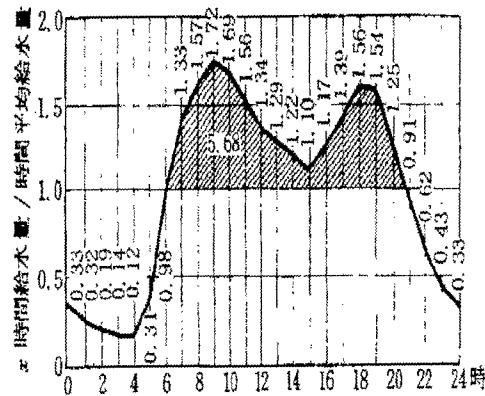


그림 8. 수요량의 시간별 변화량

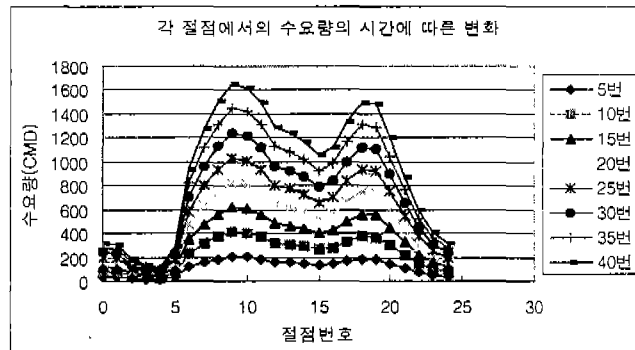


그림 9. 각 절점에서의 시간에 따른 수요량의 변화

## 5. 결론

본 프로그램은 윈도우용 프로그램으로써 사용자 인터페이스를 그래픽 사용자 인터페이스로 구축하여 사용자의 편의를 증진시키도록 하였다. 사용자의 관망 설계 편의를 위해 작업창의 바탕화면으로 CAD의 DXF 파일 및 ArcView의 SHAPE 파일 등을 사용함으로써 이 파일들의 지리정보를 프로그램과 호환시켜 사용할 수 있도록 하였으며 관망 설계 결과를 GIS파일 형태로 저장하여 관망해석시 지리정보와 관망 속성 데이터를 사용할 수 있도록 하였다. 또한 기존 텍스트 형식의 데이터입력방법도 사용할 수 있도록 하였다. 해석결과물의 경우 사용자의 분석을 용이하게 하기 위해 각 데이터를 테이블과 그래프 등을 이용하여 표현하였다. 관망의 해석은 정류 및 준부정류 상태의 해석이 가능한 프로그램을 사용하였다.

본 프로그램은 현재 4개 기능중 4번째 기능을 개발 중에 있으며 최적관망 결정을 사용자가 직접 결정하거나 프로그램 내에서 자동적으로 결정하는 두 가지 방법으로 이루어지도록 작업 중에 있다. 본 프로그램은 새로운 단지의 신설이나 기존 도시확장등의 경우 상수도 관망 설계에 매우 유용하게 사용될 것이다.

## 6. 참고 문헌

1. 권영식, 1999, 배수지를 포함한 관로시스템의 해석, 석사학위논문, 인천대학교
2. 환경부, 1997, "상수도시설기준", 한국수도협회.
3. 한국수자원공사, 1996, "최적화기법을 이용한 경제적 관망설계 연구 (1차년도)".
4. 한국수자원공사, 1997, "최적화기법을 이용한 경제적 관망설계 연구 (2차년도)".
5. 한국수자원학회, 1988, "상수도 공학의 이론과 적용", pp.373~570.