

상수공급시스템의 최적설계프로그램 개발

최계운¹⁾, 박용섭²⁾, 김동우³⁾, 이호선⁴⁾

1. 서론

우리는 물의 원활한 공급이 없이는 하루도 편안한 생활을 영위할 수가 없다. 새로이 단지가 조성되는 경우에도 각 지구의 조성 목적에 따라 생활용수나 공업용수가 관로시스템을 통하여 공급되고 있지만 이와 같은 관로시스템을 처음으로 설계하는 경우 상당한 어려움을 겪는다. 그 이유는 관로시스템에 사용되는 크고 작은 관로의 수가 수백 또는 수천개에 이르고 있어 관로 크기 결정이나 적절한 장소에 매설하도록 결정하는 일은 쉽지 않으며 정수장에서 처리된 물이 배수지를 통하여 수요자와 연결되는 경우 배수지의 설치 개수와 설치 위치는 이와 같이 복잡한 관로 시스템을 더욱 복잡하게 하기 때문이다. 특히, 배수지를 여러개 설치하는 경우 배수지가 단독으로 운영되지 않고 서로 연계되어 한 배수지 수위 변화가 다른 배수지에도 영향을 끼치게 되므로 이들 위치의 적절한 선정과 이들에 대한 적절한 해석이야말로 경제적인 관로시스템 결정에 크게 영향을 미칠 수밖에 없다. 지금까지의 관로시스템 설계는 설계자의 경험을 바탕으로 반복되는 수작업에 의한 설계가 이루어져 왔었고 배수지의 경우는 상수도 설계기준에서 요구하는 8~12시간분의 배수지를 설계자가 감각적으로 적절하다고 판단한 장소에 설치하는 것이 통례였다. 이와 같은 경우 선정된 배수본관이나 급수관로의 연결이 최적의 선택이었는지에 대한 평가와 배수지의 선정 결과가 경제적인 관로시스템설계를 하는데 어느정도 도움이 되었는지에 대한 판단은 거의 이루어지지 않았다. 따라서, 단시일 내에 조성되거나 몇 년간 지속적으로 조성되는 단지에 대하여 관로시스템의 선정이 최적으로 이루어지도록 하고 설치되는 배수지에 관한 각종 정보가 그래픽상에서 입력된 후 GIS개념에서 도입된 입력자료 구성 방법에 따라 해석 프로그램이 실행되어 최적의 노선이 선정된다면 관로시스템 설계가 훨씬 용이해질 수도 있을 것이다. 이때 배수지내 수위가 고려되는 이른바 부정류해석이 실시되어 보다 실제에 가까운 해석이 이루어진다면 지금까지의 정류해석 결과와 실제 현상과의 차이가 상당히 감소하여 거의 실제에 유사한 해석이 이루어져 관로시스템 운영상의 어려움이 크게 줄어들 것이다.

따라서, 본 연구에서는 GUI를 기반으로 하며 GIS 기법을 이용하여 프로그램 사용과 유지관리가 용이하고 준부정류 해석이 가능하며 유전자 알고리즘을 이용한 관망의 최적화를 이용하여 경제적인 설계가 가능한 프로그램의 개발을 목표로 하고 있다.

-
- 1) 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수·공학박사
 - 2) 인천대학교 토목환경시스템공학과 공학석사·박사과정
 - 3) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정
 - 4) 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

2. 기본 방정식 및 해석 알고리즘

관로내 절점에서 흐름의 연속성을 만족하기 위해서는 관로를 통하여 절점에 유입하는 유량과 관로를 통하여 다른 절점으로 유출되는 유량과의 차는 동일하여야 하며 이는 식 (1)과 같다.

$$(\Sigma Q_i)_i - (\Sigma Q_i)_o = P_i \quad (1)$$

식 (1)을 절점방정식이라 하며 이와 같은 절점방정식은 관로내 절점의 수만큼 존재한다. 폐합 관로내 에너지 방정식은 식 (2)와 (3)과 같으며 절점방정식과 함께 관로내 흐름 해석의 기본 방정식으로 이용된다.

$$\Delta E = \Sigma(K_p Q^n + K_m Q^2) - \Sigma(A + BQ + CQ^2) \quad (2)$$

$$\Delta E = \Sigma(K_p Q^n + K_m Q^2) - \Sigma Z/Q \quad (3)$$

본 프로그램에서는 선형법을 사용하여 해석하였으며 식 (4)와 절점방정식을 일체로 해석한 후 오차의 한계에 이르기까지 반복계산을 실시한다.

$$\Sigma G_i Q = \Sigma(G_i Q_i - H_i) + \Sigma f(Q) \quad (4)$$

3. 프로그램의 개발

3.1 프로그램의 구성

개발중인 본 프로그램은 크게 3개의 기능으로 나누어진다. 첫 번째는 GIS를 활용한 관망노선 자료구축 기능으로 CAD의 DXF 파일, ArcView의 SHAPE 등의 GIS 파일, 지도 그림 파일 또는 본 프로그램에서 자체 제작된 GIS 파일 등의 4가지 파일을 이용한 평면도 위에 사용자가 관망을 구성하면 자동적으로 데이터베이스가 구축되어 관로 해석의 입력자료화가 되도록 하는 기능이다. 특히 x, y 좌표뿐만 아니라 z값인 표고까지 지리정보가 자동으로 구축되어지는 것이 특징이다. 두 번째는 구축된 데이터베이스를 입력자료로 하여 관망을 해석하는 기능이다. 세 번째는 해석결과를 토대로 관망을 최적화하는 기능이다. 그림 1과 그림 2는 현재까지 개발된 프로그램의 모습과 프로그램의 전체적인 흐름도를 나타내고 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 화면 구성은 메뉴바, 툴바 그리고 GIS를 이용하여 관망을 설계할 수 있는 작업창으로 구성되어 있다. 특히, 작업창의 경우는 관망을 그려 넣기 위한 관망 레이어, 관망을 설계하고자 하는 지역의 배경을 보이기 위한 바탕지도 레이어 그리고 기타 사항들을 참고하기 위한 참고 레이어로 구성되어 있다. 그림 2와 같이 프로그램 내에서 관망의 구성, 해석 그리고 최적화가 연동하여 작동한다.

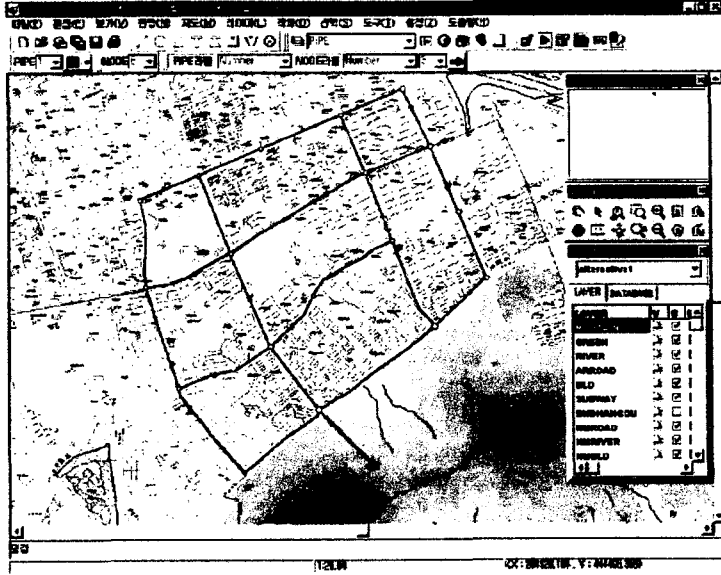


그림 1. 프로그램의 화면 구성

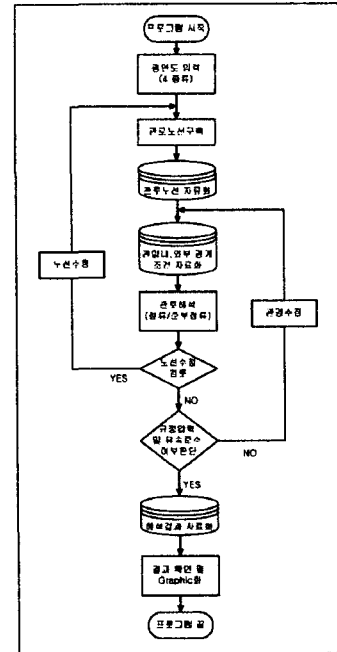


그림 2. 프로그램의 순서도

3.2 프로그램의 해석 기능

과거의 많은 관수로 시스템의 해석 프로그램은 어느 고정된 시간에 유입량과 절점에서의 유출량이 주어진 상태에서 각 관로내를 흐르는 유량을 모의하여 왔었다. 그러나, 실제로 관로시스템은 어느 고정된 상태에서 운영되는 것이 아니라 매 시간마다 그 상태가 변화하게 된다. 즉, 절점에서의 유입량이 되는 취수량이나 절점에서의 유출량이 되는 소비량은 일정한 양을 유지하지 못하고 시간에 따라 수요가 변화하게 된다. 또한, 관로시스템의 중간마다 설치되어 있는 배수지의 경우도 배수지 유입량과 배수지로부터의 유출량에 따라 그 수위가 변화하게 된다. 이와 같이 시간에 따른 수요량의 변화와 배수지 혹은 저장탱크의 유출량 변화를 고려하여 시간에 따른 관로내 유량변화를 모의하는 확장기간모의(Extended Period Simulation)가 가능하도록 하였다. 확장기간 모의 기간 중 각각의 계산시간에서의 배수지 유입량과 수위가 정상상태를 유지한 것에 대한 해석을 실시한 후 해석결과를 이용하여 배수지나 저장 탱크의 수위나 유량을 보정한 후 이를 다음 계산시간에서의 수위나 유량이 되도록 하였다.

관망의 최적화는 현재 개발중인 단계로, 최근 들어서 최적화 알고리즘으로 우수성을 나타내고 있는 유전자 알고리즘을 도입하였다.

4. 프로그램의 모의 실행

4.1 가상 관망도 구성

프로그램의 모의 실험을 위해 펌프와 밸브를 가지고 있는 관로시스템을 채택하였다. GIS 프로

젝트 파일을 새로 생성하고 관망 설계를 위한 관망 레이어를 생성한다. 작업창을 통하여 관망 레이어에 관망과 절점을 그려 넣고 펌프, 저수지 및 밸브 등을 추가한다. 그림 3은 가상 관망도의 구성을 나타내고 있다. 그림 4는 프로그램에 관망도를 작업해 넣은 모습이다.

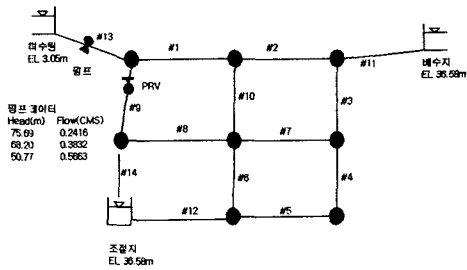


그림 3. 가상 관망도의 구성

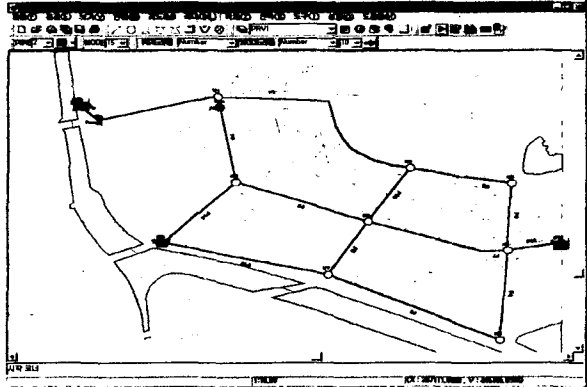


그림 4. 관망도의 입력

4.2 입력자료 데이터베이스 구축

관망을 구성한 후 관망 메뉴에서 자료입력기능을 이용하여 해석에 필요한 관망 요소 정보를 입력한다. 그림 5는 관망자료입력창 중 PIPE를 선택했을 때의 화면을 나타내며, 관로에 따른 시작 및 끝 절점 그리고 관로의 길이 등의 지리정보가 자동으로 입력되고 여기에 그 외에 필요한 정보를 입력한다. 동일한 방법으로 절점, 펌프, 압력조절밸브 그리고 역지변 등의 정보를 해당 창을 열어 입력하면 동시에 입력내용은 데이터베이스화 되어진다.

NO	NUMBER	FROM NODE	TO NODE	LENGTH	DIAMETER	ROUGH	LOSS	PUMP NUMBER	INITIAL	GRAV	FEED
1	1	1	2	638.6	600	100	0		0		
2	2	3	2	914.4	500	100	0		0		
3	3	3	4	762	450	100	0		0		
4	4	4	5	635.4	400	100	0		0		
5	5	5	7	628.4	400	100	0		0		
6	6	6	7	457.2	350	100	0		0		
7	7	4	6	632.4	400	100	0		0		
8	8	6	8	914.4	400	100	0		0		
9	9	1	8	762	500	100	0		36		
10	2	6	6	638.4	400	100	0		0		
11	4	12	30.5	250	100	100	0		30.48		
12	7	13	61	200	100	100	0		33.53		
13	9	1	1524	800	100	100	5		3.05		
14	8	13	975	400	100	100	0		33.53		

그림 5. 관망 자료 입력

4.3 관망의 해석과 최적화

구성된 관망에 의하여 데이터베이스화된 입력자료를 이용하여 관망을 해석하면 그 결과도 데이터베이스화가 되며 결과보기메뉴를 통하여 확인할 수 있다. 또한 결과를 시각적인 그래프로 나

타낼 수 있으며 해석 결과의 데이터베이스를 분석하여 관망을 재구성하거나 관경 변경 등의 대책을 마련하여 최적관망을 수동으로 진행할 수 있다. 향후 최적화의 개발이 완료되면 관망의 최적화가 자동으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 그림 6은 관망 해석 후 관로 결과를 보여주고 있다. 그림 7은 절점의 해석결과를 그래프로 나타내고 있다.

PIPE	NUMBER	Q	H	HEADLOSS	Velocity	Friction	PROMINENCE	TURBOUR	LENGTH	COMMENT
1	1	0.55	8.53	5.28	1.58	0	1	2	808.6	650
7	2	-0.52	7.4	6.77	1.82	0	3	2	914.4	500
8	3	0.25	5.54	4.29	1.31	0	3	4	782	450
9	4	0.82	0.17	0.11	0.19	0	4	5	605.4	400
10	5	-0.04	0.4	0.24	0.29	0	5	7	508.4	400
11	6	0.12	6.48	2.06	1.21	0	6	7	457.2	350
12	7	-0.14	5.09	3.1	1.15	0	4	8	808.4	400
13	8	-0.88	0.13	0.12	0.18	0	6	8	914.4	400
16	9	0.2	1.29	0.59	0.71	0	1	8	782	500
17	10	0.54	13.05	7.05	1.91	0	2	6	605.4	400
18	11	0.22	108.71	3.32	4.47	0	4	12	30.5	250
19	12	0.88	3.51	0.22	0.82	0	7	13	61	200
20	13	0.85	2.13	3.26	1.11	62.2	8	1	1524	800
21	14	0.12	3.59	3.48	0.85	0	8	13	875	400

그림 6. 해석 결과

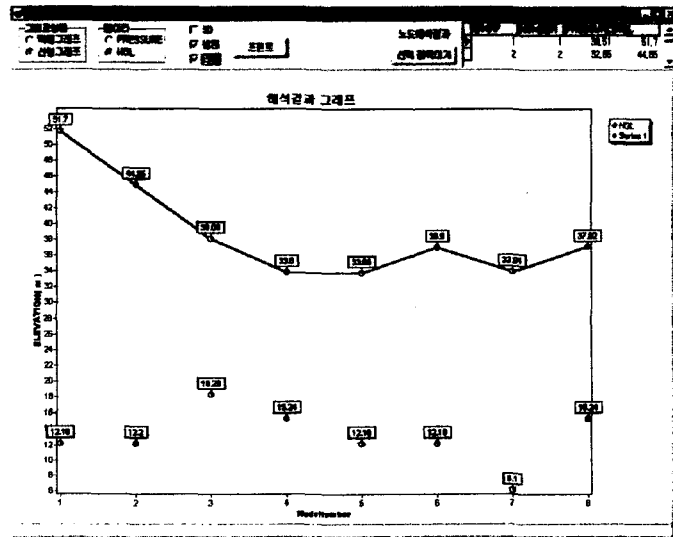


그림 7. 해석 결과 그래프

5. 결 론

현재 개발중인 상수도 관망의 최적설계 프로그램은 GUI를 기반으로 사용자의 편의를 증진시키도록 하고 지리 관련 정보를 효율적으로 관리하고 이용하기 위하여 GIS가 가지는 기능을 도입하여 대상 공간의 방대한 지형 및 지리학적 특성정보의 종합적인 관리와 분석 및 시각적인 표현이 가능하도록 하였다. 특히 설계하고자 하는 지역의 CAD 파일 등을 이용한 전처리를 통해 관망 요소들의 평면적인 정보뿐만 아니라 요소의 표고까지 자동으로 분석되도록 하였다.

관망 해석은 정류 및 시간에 따른 수요량의 변화와 배수지 혹은 저장탱크의 유출량 변화를 고려하여 시간에 따른 관로내 유량변화를 모의하는 확장기간모의 해석이 가능한 단계까지 개발이 완료되었다.

최적관망을 찾아내기 위해 현재는 사용자가 여러 대안을 만들어 각각의 대안들을 지형자료 및 해석결과의 데이터가 일체로 관리되도록 하여 그래픽하게 비교 검토하여 최적관망을 분석하는데 용이함을 두었으나 향후에는 더 나아가 만족할 만한 경계조건을 주고 여러 가지 대안을 컴퓨터 스스로 찾아내 비교하여 최적관망을 찾아내는 알고리즘을 개발하여야겠다. 이에 유전자 알고리즘을 이용한 관망의 최적화가 완료되면 관경의 변경, 관망의 재구성 등을 사용자가 직접 결정하거나 프로그램 내에서 자동적으로 결정하는 선택적인 방법으로 이루어지도록 개발될 것이다.

이러한 프로그램은 새로운 단지의 신설이나 기존 도시확장 등의 경우 상수도 관망의 설계에 매우 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Thomas M. Walski, Donald V. Chase, Dragan A. Savic (2001) *Water Distribution Modeling*, Haestad Press
2. Larry W. Mays (2000) *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill, New York, N.Y.
3. 권영식 (1999) 배수지를 포함한 관로시스템의 해석, 석사학위논문, 인천대학교,
4. 김주환 등 (1996) 최적화기법을 이용한 경제적 관망설계 연구(1차년도), 수자원연구소, pp. 40~65
5. 김주환 등 (1997) 최적화기법을 이용한 경제적 관망설계 연구(2차년도), 수자원연구소, pp. 37~54
6. 박선명 (1995) 상수도 송배수관로의 설계법과 계산예, 신기술
7. 신현곤, 박희경 (1998) Genetic Algorithm을 이용한 상수관망의 최적설계:(1)-비용 최적화를 중심으로, *대한상하수도학회지*, 대한상하수도학회, 제12권 제1호, pp. 70~80
8. 하성룡, 성노성, 이병호 (2000) 유전자 알고리즘을 이용한 광역상수도 관로노선 선정기법 개발, *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제20권, 제3-B호, pp. 429~438
9. 한국수자원학회 (1998) *상수도 공학의 이론과 적용*, 한국수자원학회, pp. 87~117
10. 한국수자원학회 (1995) 제3회 수공학웍샵 교재, 한국수자원학회, pp. 10~17