

대규모 상수관망해석을 위한 확장기간모의 모형의 개발

○박재홍* · 한건연** · 이을래***

1. 서론

현대사회는 근대화와 산업화에 따라 산업구조가 농업위주에서 공업위주로 변화되고 급격한 경제성장을 이루면서 생활수준이 크게 향상되어 인구가 도시로 편중되어 도시의 비대화를 이루고 있다. 이러한 산업구조의 변화와 도시집중화는 상수 원수의 수질악화 및 부족을 초래하고 있고 급·배수시설을 비롯한 상수도시설의 확충과 개량, 시설의 합리적인 운영의 필요성을 증대시키는 등 여러 가지 형태로 상수관망 유지관리에 부담을 주고 있다. 상수도의 합리적인 운영은 상수도 수요량을 예측하고 이에 따라 취수에서부터 정수 및 급·배수에 이르기까지 상수도시설을 감시 제어하여 수량, 수압 및 수질 면에서 만족할 수 있도록 공급하는 것이다. 소비자가 안심하고 이용할 수 있는 수돗물을 안정적으로 공급하기 위하여 상수도 시설의 확충과 개량도 중요하지만, 이에 앞서 기존에 사용하고 있거나 기존의 확충되는 상수도 시설을 수요량에 맞추어서 질 높은 수돗물을 생산 공급할 수 있는 합리적인 운영방법을 개발하여 상수도 시설을 운영하는 것이 필요하다.

일반적인 대도시의 일 상수수요형태는 최대수요치와 최소수요치를 가지며 시간별로 변화하고 있다. 시간별로 변화하는 수요절점의 급수압력 및 관망내에 설치된 탱크의 물수지를 분석하기 위해서는 24~48 시간의 확장기간모의(Extended Period Simulation, EPS)가 필요하게 된다. 본 연구에서는 시간 변화적인 소비자의 물수요 패턴을 고려하여 상수관망을 모의할 수 있는 모형을 개발하여 해당도시의 산업구조와 주민의 소비특성, 도시의 지리적 위치, 기후 등에 좌우되는 시간별 급수수요량의 변화에 따라 효율적인 상수 공급 및 시설관리를 가능토록 하고자 한다.

* 세명대학교 건설공학부, 조교수

** 경북대학교 토목공학과, 교수

*** 경북대학교 대학원 토목공학과, 박사과정수료

2. 확장기간모의(EPS) 모형의 개발

상수관망시스템의 해석을 위해 어떤 주어진 한 순간의 모의를 위한 정상상태 모형들이 많이 이용되고 있지만 이런 모형들은 배수지나 탱크에서의 장기간의 수위변동과 탱크 내의 순간적인 수위변화에 따른 유출 및 유입을 해석할 수는 없다. 그러나 탱크나 배수지의 현재 수위 및 시간에 따른 수위변화율을 알 수 있다면 정상상태 모형을 이용하여 짧은 기간동안의 탱크수위 변화를 계산할 수 있다. 이제 새로운 계산된 탱크 수위를 이용하여 모형은 탱크 혹은 배수지 유량의 총만 및 고갈을 예측할 수 있으며 그러한 과정은 사용자에게 의해 주어진 기간동안 반복적으로 이루어 질 수 있다. 이러한 방법으로 주어진 시간동안 탱크나 배수지를 수위를 예측할 수 있는 모형들이 확장기간모의모형(Extended Period Simulation Model, EPS)이라고 한다.

확장기간모의의 기초가 되는 정상해석 방법은 선형화기법이 적용되었다. 정상상태 해석 기법은 여러 기법들이 개발되어 있으나 본 모형에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 방법인 선형화기법을 이용하였다. 선형화기법은 절점에서의 연속방정식과, 폐합회로에서 비선형방정식인 에너지방정식을 선형화하여 연립, 반복적으로 해석하는 기법이다.

확장기간모의시 저장탱크내 유량의 총만 혹은 고갈이 이루어질 경우 탱크로의 유입 및 배수가 발생하지 않고 탱크와 연결된 관로의 유량은 '0' 가 된다. 관로내 유량 '0' 의 값은 모형내의 여러 가지 수식연산과정에서 발산의 원인이 되어 관망해석에서 제외되어야 하며 마찬가지로 그 반대의 경우도 발생한다. 또한 선형화기법을 이용한 관로해석시 주어진 상수관망에 대하여 연속방정식의 적용을 위한 절점과 연결된 관로들의 정보와 에너지방정식을 위한 폐합회로를 구성하는 관로들의 정보가 요구된다.

본 연구에서는 도학이론(Graph theory)을 이용하여 선형 독립적인 폐합회로를 찾고 찾아진 폐합회로를 이용하여 관로연결정보를 제공할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였고 이 알고리즘을 확장하여 모의 기간동안 관망내에서 제외 및 추가된 관로를 고려할 수 있도록 확장기간모의 모형에 도입하였다.

확장기간해석모형의 알고리즘은 그림 1 과 같다.

3. 확장기간모형의 상수관망 적용

3.1 모형의 가상관망의 적용

일반적인 상수관망시스템의 해석은 어느 순간 관망의 유입량과 절점에서의 유출량이 고정된 상태하에서 각 관로를 흐르는 유량을 모의하고 있다. 그러나 실제로 관로시스템은 어느 고정된 상태하에서 운영되는 것이 아니라 매 시간 변화하게 된다. 또한 관로 시스템

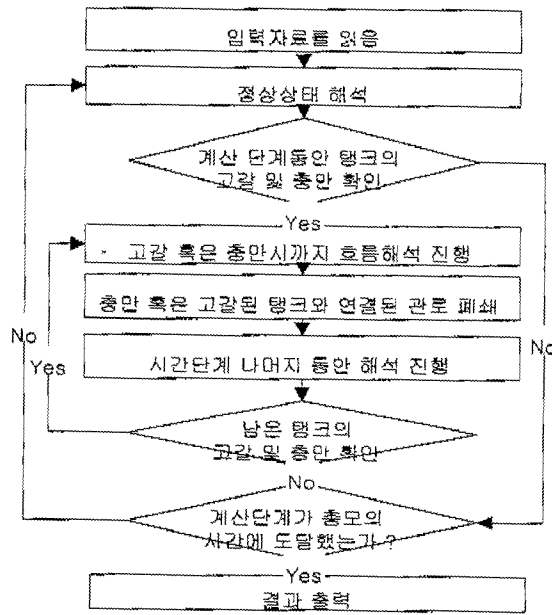


그림 1. 확장시간모의 모형의 알고리즘

의 중간마다 설치되어 있는 저장탱크의 경우도 탱크 유입량과 유출량에 따라 그 수위가 변화하게 된다. 이와 같은 시간에 따른 수요량의 변화와 혹은 저장탱크의 유출량 변화를 모의하기 위해 본 연구에서 개발된 모형을 이용하여 그림 2 와 같이 28 개 관로, 16 개 절점, 2 개 저수지 및 3 개의 탱크로 이루어진 상수관망에 적용하였다. 확장시간모의 기

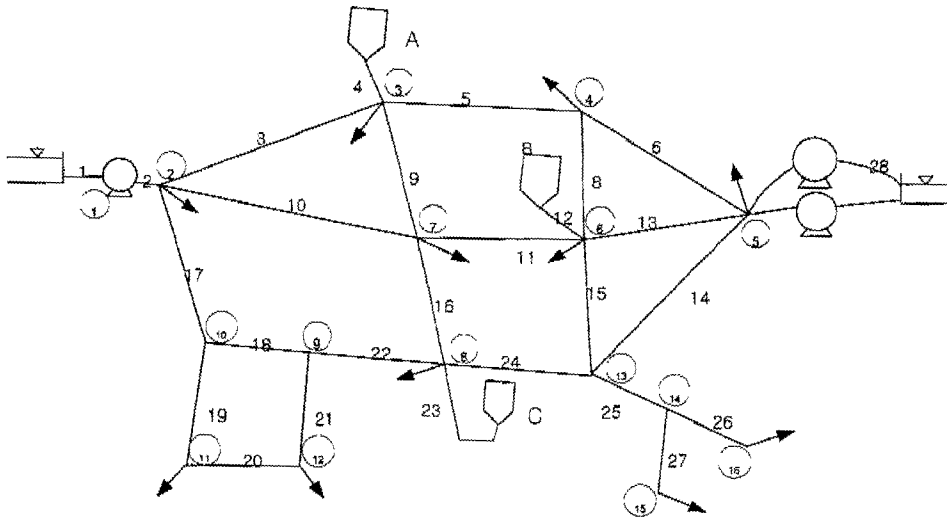


그림 2. 확장시간모의가 적용된 28개 관망

간은 일수요량의 변화를 해석하기 위해 24 시간으로 하였고 주어진 기간동안 일 수요량의 변화는 그림 3 과 같이 고려하였다.

본 모형의 결과 표 1에서 나타난 바와 같이 24 시간 모의 결과 전체 모의기간동안 모의의 수치적 발산없이 원활히 계산이 이루어지고 있었으며 탱크와 연결된 관로에서 탱크 내부의 유량의 고갈 및 증만으로 인해 탱크 A, B, C 와 연결된 관로 4, 12, 23에서 적절한 시간에 관로 폐쇄 및 개방이 일어나고 있었다. 또한 탱크와 연결된 관로의 폐쇄 및 개방시간, 관망내의 모든 관로의 유량도 KYPIPEⅡ의 결과와 일치하고 있어 모의의 결과를 신뢰할 수 있는 것으로 판단되었다.

3.2 모형의 실제 관망의 적용

본 모형을 대규모 상수관망을 가진 대도시 상수관로에 적용하였다. 여러 배수관망에 대해 선형화기법을 적용하여 본 결과 계수매트릭스의 이산성은 관로의 수가 증가할수록 증가하여 계수매트릭스 해석시 발산가능성이 컸으며 관로의 연결상태가 임의적으로 구성되어 있었다. 발산가능성이 크고 불규칙적인 관로연결상태에서 모형의 폐합회로 구성 알고리즘으로 인한 매트릭스 구성 효율성을 검증하고자 관로의 수가 많은 대규모 관망시스템에 본 모형을 적용하였다. 실제 적용대상 구역의 관망은 수차에 걸친 관망의 확장으로 인해 연결상태가 매우 임의적이었으며 절점 및 관로의 번호부여 또한 불규칙적이었다. 본 적용관망의 관로의 수는 241 개, 절점의 수가 193 개, 배수지가 10 개, 고정절점인 저수지가 6 개로 이루어져 있으며 매우 큰 상수관망 시스템이다. 241 관로를 가진 실제 관망의 적용 결과에서도 모형의 계산결과는 상용프로그램인 KYPIPEⅡ와 관로 유량 및 배수지와 연결된 관로의 폐쇄 및 개방 시간 등에서 일치된 결과를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 시간 변화적인 소비자의 물수요 패턴을 고려하여 상수관망의 비정상모의 모형을 개발하여 해당도시의 산업구조와 주민의 소비특성, 도시의 지리적 위치, 기후 등에 좌우되는 시간별 급수수요량의 변화에 따라 효율적인 상수공급 및 시설관리를 가능토록 하고자 하였다. 비정상해석을 위해 선형화기법과 폐합회로 발견기법을 도입하여 확장기간모의 모형을 개발하여 가상관로 및 241 개 관로를 가진 실제관로에 적용하였다.

본 모형을 가상 및 실제관망에 적용결과 본 모형은 관망내의 저장탱크 수위의 저하 및 상승으로 인한 발생되는 연결관로의 폐쇄 및 개방을 효과적으로 모의하고 있었으며 계산결과도 상용프로그램인 KYPIPEⅡ의 결과가 일치하는 것으로 나타났다.

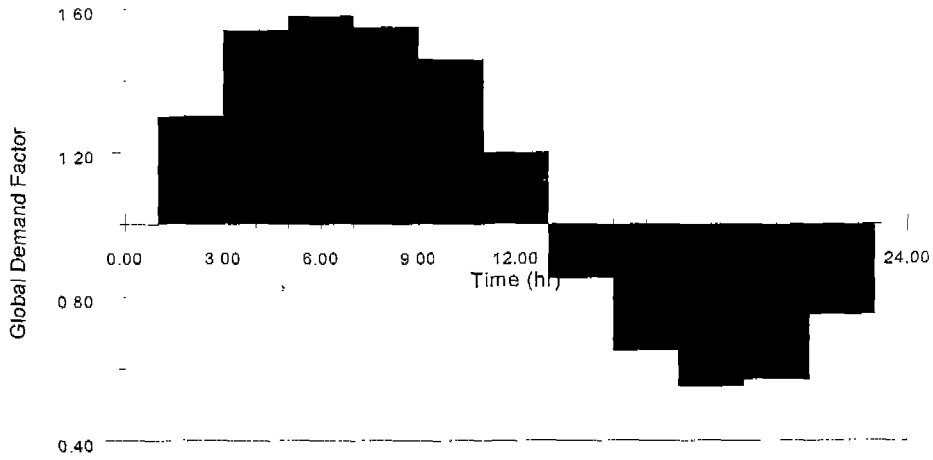


그림 3. 확장기간모의를 위한 일 상수 수요량의 변화율

표 1. 가상관로의 확장기간모의 부분결과

시 간		관로 10 (유량:lit/s)		관로 20 (유량:lit/s)		탱크 A (수위, m)		탱크 B (수위, m)	
본 모형	KY II	본 모형	KY II	본 모형	KY II	본 모형	KY II	본 모형	KY II
0.00	0.00	122.73	122.74	2.24	2.24	82.30	82.30	82.30	82.30
1.00	1.00	122.73	122.74	2.24	2.24	82.30	82.30	82.30	82.30
2.00	2.00	132.06	132.06	1.88	1.88	82.30	82.30	82.30	82.30
3.00	3.00	132.89	132.88	1.93	1.93	81.83	81.83	81.19	81.19
4.00	4.00	149.07	149.07	1.87	1.87	81.37	81.37	80.13	80.13
5.00	5.00	149.74	149.74	1.91	1.91	80.13	80.12	78.48	78.48
6.00	6.00	153.06	153.05	1.95	1.95	78.92	78.92	76.88	76.88
7.00	7.00	153.71	153.70	1.99	1.99	77.63	77.63	75.22	75.22
8.00	8.00	152.41	152.40	2.05	2.05	76.38	76.38	73.62	73.62
8.28	8.28	152.59	152.58	2.06	2.06	76.07	76.07	73.20	73.20
8.28	8.28	171.72	171.73	3.27	3.27	76.07	76.07	73.2	73.20
9.00	9.00	171.77	171.78	3.27	3.27	74.89	74.89	73.20	73.20
10.00	10.00	163.21	163.22	3.08	3.08	73.30	73.30	73.20	73.20
10.09	10.09	163.23	163.23	3.08	3.08	73.20	73.20	73.20	73.20
10.09	10.09	159.75	159.79	2.93	2.93	73.20	73.20	73.20	73.20
11.00	11.00	160.15	160.16	2.94	2.94	73.20	73.20	73.20	73.20
11.12	11.12	160.20	160.21	2.94	2.94	73.20	73.20	73.20	73.20
11.12	11.12	179.68	180.43	3.28	3.30	73.20	73.20	73.20	73.20
12.00	12.00	149.04	149.05	2.73	2.73	73.20	73.20	73.20	73.20

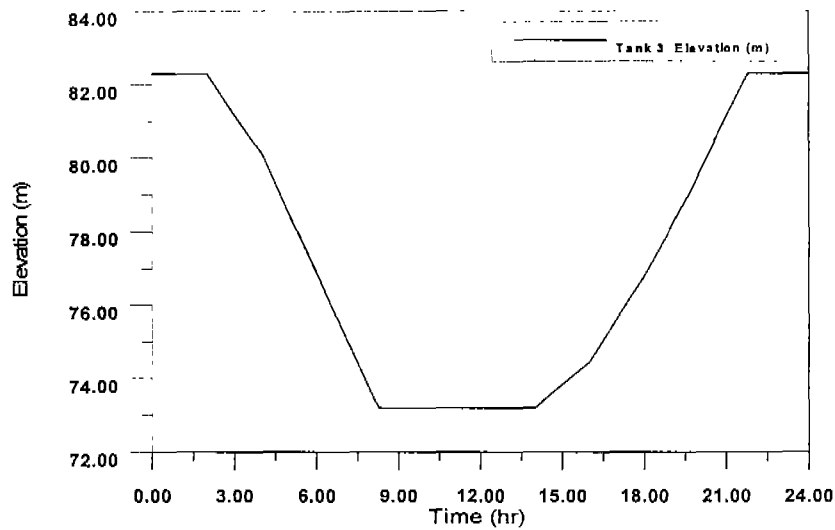


그림 4. 탱크 4 에서의 수위변화

5. 참고문헌

- 이경훈.(1998). "상수도의 시간별 급수량 변화 분석." *상수도공학의 이론과 적용*, 한국수자원학회, No. 5, pp. 121-135
- 박재홍, 김상현, 한건연. (1996). "상수관망의 수리학적 지배인자 결정기법.", *한국수자원학회지*, Vol. 29, No. 6, pp. 217-224.
- 박재홍, 한건연. (1996). "Frontal 기법을 이용한 상수관망의 흐름해석 모형." *한국수자원학회지*, Vol. 29, No. 1, pp. 129-139.
- 박재홍, 한건연, 김상호. (1998). "다단계 반복기법을 이용한 관로시스템의 최적관경 결정." *한국수자원학회지*, Vol. 31, No. 3, pp. 327-335.
- 박재홍, 한건연. (1998). "상수관망해석을 위한 도학의 적용." *한국수자원학회지*, Vol. 31, No. 4, pp. 439-448.
- Alan, D., and Aldous, J. (1993). *Networks and Algorithms : an introductory approach based on The Open University course Graphs, Networks and Design*, John Wiley & Sons.
- KYPIPE2 Version 1.0 User's Guide., (1993), HAESTAD methods
- Osiadacz, A. J. (1987). *Simulation and Analysis of Gas Network*, E. & F.N. SPON. pp. 35-82.