환경영향평가 제19권 제3호(2010) pp.307~314

연구논문

상수관망 모형의 비교 분석 연구

김준현 · 나탈리아 야꾸니나
강원대학교 공과대학 환경공학과
(2010년 4월 25일 접수, 2010년 6월 13일 승인)

A Comparison Study on Water Network Models

Joon Hyun Kim · Natalia Yakunina
Department of Environmental Engineering, Gangwon National University
(Manuscript received 25 April 2010; accepted 13 June 2010)

Abstract

Brebbia's model has been analyzed to develop the appropriate waterworks management system in Korea, and compared with the conventional models such as EPANET, WaterCad, and InfoWorks. The hydraulic theory of the models was analyzed. Each model's numerical techniques, required parameters, input data and operational methodologies, restrictions, practical applicability and other aspects were investigated. In order to check the validity of Brebbia model, the comparative analysis with EPANET, WaterCAD, and InfoWorks models was performed for linear and nonlinear cases. To find out advantages and disadvantages of each model, the modeling was performed for a simple network and for more complicated A city waterworks system, and the three models applicability was examined. Finally, optimal modeling technique and a model suitable for the use in Korea was suggested, and the problems related to present projects of waterworks management system in Korea were analyzed.

Keywords : water network model, hydraulic theory, numerical technique, comparative analysis

I. 서 론

국내의 상수도 분야의 사업은 상수 관련 시설물을 효과적으로 관리하고, 누수를 최소화하기 위하여 지자체별로 막대한 예산을 투자하여 웹 기반 상수도 관리 시스템을 구축하여 지리정보시스템, 시설 정보 관리, 모델링 등의 사업을 수행하고 있으나, 사업 효과가 미미한 형편이다(김준현, 2009). 여러 원인이 있을 수 있으나, 대표적인 문제점은 모형 위주로 관리 시스템이 구축되어 있지 않고, 지리정보시스템 구축에 있어서 도면 정보가 실제 상황과 다르고, 상수도 시설 자료의 관리 시스템이 너무

Corresponding Author : Kim, Joon Hyun, Department of Environmental Engineering, Gangwon National University, 192-1 Hyoja 2 Dong, Chunchon, Kangwondo, 200-701, Korea Tel: 82-10-7274-6354 Fax : 82-33-254-6354 E-mail : joonhkim@kangwon.ac.kr

관료화되어 기존의 대장의 전산화에 치중하여 관리 시스템의 구축 및 운영에 있어서 불필요하게 너무 복잡하게 되어 있는 데 기인한다. 무엇보다 모든 시스템이 상수관망 모형을 중심으로 구축되어있지 않기 때문에, 상수관망 모형에 대한 연구를 통하여 상수관망을 관리 시스템의 중심 엔진으로 운영할 수 있는 방안 마련이 시급한 형편이며 이러한 모형을 GIS 자료와 연계 운영하여 상수도 시설의 복구 우선순위 결정, 누수 저감, 상수도 시설 설계 등에 적극 활용할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 국내의 실정에 적합한 상수관망 모형을 개발하기 위하여 Brebbia의 이론을 분석하여 모형을 개발하고, EPANET, WaterCAD, InfoWorks 등의 모형과 비교하였다. 이외에 국내외에서 많이 사용되는 모형의 이론 및 장단점을 비교 분석하였다.

II. 연구방법

1. 상수관망 해석의 수리학적 이론

상수관망 해석의 주 변수는 유량과 압력 혹은 수두의 2개의 변수이며, 이러한 2개의 미지수의 해를 구하기 위하여 각 절점별 질량평형에 대한 연속방정식과 각 관로에서의 에너지평형에 대한 수두손실식의 2개의 방정식을 사용한다. 유량을 주 변수로 해석하는 경우에는 반복법을 사용하여 근사해를 구하고, 수두를 주 변수로 해석하는 경우에는 전체 절점에 대한 수두손실식에 대한 행렬식의 해를 구하는 방법을 사용한다.

1) 반복법(유량법, Hardy Cross 방법)

Hardy Cross 방법은 반복근사해법으로 유량을 가정한 후 반복하여 구하는 방법이다. Darcy-Weisbach 등의 수두손실식은 지수식으로 아래와 같이 표현된다.

$$h_l = k\,Q^n = k(Q' + \Delta Q)^n \qquad (1)$$

여기서, Q'은 초기유량이고 $\Delta Q'$는 반복에 있어서 보정량이다. 위의 식을 이항정리에 의해 전개하면 다음과 같다.

$$h_l = \begin{bmatrix} k\,Q'^{\,n} + n\,Q'^{\,n-1}(\Delta Q) \\ + \frac{1}{2}n(n-1)Q'^{\,n-2}(\Delta Q)^2 + \ldots\ldots \end{bmatrix} \qquad (2)$$

여기서, $\Delta Q'$는 Q'에 비해서 대단히 작으므로 전개식의 두 번째 항 이후부터는 무시할 수 있다. 각 회로에서의 수두손실의 대수합은 0이어야 한다.

$$\Sigma h_l =$$

$$\Sigma kQ^n = \Sigma kQ'^{\,n} + \Delta Q(\Sigma knQ'^{\,n-1}) = 0 \qquad (3)$$

따라서, 보정량 ΔQ는 다음과 같다.

$$\Delta Q = -\frac{\Sigma kQ'^{\,n}}{\Sigma knQ'^{\,n-1}} = -\frac{\Sigma h_l'}{\Sigma knQ'^{\,n-1}} \qquad (4)$$

본 방법에서는 전체 관망에 대하여 유량을 가정한 후, 보정량이 오차 허용 한계치에 도달할 때까지 반복하여 유량을 계산한다.

2) 행렬법(수두법)

(1) 선형 관망 모형

마찰에 의하여 압력이 감소된다는 힘 평형관계로부터 층류 영역에 대하여 Poiseuille의 공식을 유도할 수 있다. 이러한 수두손실식으로부터 유량을 나타내면 다음과 같다.

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho q} = \frac{8\mu V}{\rho q R^2}L = \frac{32\mu V}{\rho q D^2}L, \Delta H = \frac{32\mu L}{\rho q D^2}V \qquad (5)$$

$$Q^i = \left(\frac{\pi\rho D^4}{128L\mu}\right)\Delta H^i = k^i\Delta H^i \qquad (6)$$

여기서, k^i 계수는 유체(점성계수)와 관의 특성(길이, 내경)에 따라 결정된다. 위의 식을 i 관로에 대하여 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} Q_k^i \\ Q_j^i \end{Bmatrix} = k^i \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_k^i \\ H_j^i \end{Bmatrix} \qquad (7)$$

관망내의 모든 절점에 대해서 위의 방정식을 적용하여 수두에 대한 연립방정식을 풀어준다. 즉, 선형연립방정식을 풀어서 절점의 수두를 구한 다음 각 절점의 유량 및 관의 유량을 계산한다.

(2) 비선형 관망 모형

천이 영역이나 난류 영역에 대해서는 마찰의 원

인이 점성이외에 벽면의 조도가 있고, 수두손실이 유속의 선형에 비례하는 것이 아니라, 실험식으로부터 구한 유속의 n승에 비례한다. 여러 공식(Manning, Chezy의 식 등)이 있는 데, 이중 Hazen-Williams 공식을 사용하면 다음과 같다.

$$V = 0.3545cD^{0.63}\frac{h_j^{0.54}}{L^{0.54}}, \tag{8}$$

$$Q = \left(0.2784\frac{cD^{2.63}}{L^{0.54}}\right)\Delta H^{0.54} = k\Delta H^{0.54} \tag{9}$$

다음과 같이 선형화한다.

$$Q^i = \frac{k^i}{(\Delta H^i)^{0.46}}\Delta H^i \tag{10}$$

$$\begin{Bmatrix} Q_1^i \\ Q_2^i \end{Bmatrix} = \frac{k^i}{\Delta H^{0.46}}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} H_1^i \\ H_2^i \end{Bmatrix} \tag{11}$$

위의 비선형 연립방정식의 해를 구하기 위하여 Newton법을 적용하면 다음과 같다.

$$f_1(H_1, H_2) = k(H_1 - H_2)^{0.54} - C_1 = 0 \tag{12}$$

$$f_2(H_1, H_2) = k(H_2 - H_1)^{0.54} - C_2 = 0 \tag{13}$$

여기서, C는 절점에서의 공급유량이다. 위의 연립방정식의 Jacobian 행렬은 수두의 변화에 대한 방정식의 변화를 나타내는 예민도 행렬로서 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial H_1} & \frac{\partial f_1}{\partial H_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial H_1} & \frac{\partial f_2}{\partial H_2} \end{pmatrix} = \frac{0.54\,k^i}{\Delta H^{0.46}}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{14}$$

각 방정식의 증가분은 다음의 행렬식으로 평가된다.

$$\begin{Bmatrix} \Delta f_1^i \\ \Delta f_2^i \end{Bmatrix} = \frac{0.54\,k^i}{\Delta H^{0.46}}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Delta H_1^i \\ \Delta H_2^i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta Q_1^i \\ \Delta Q_2^i \end{Bmatrix} \tag{15}$$

위의 절점별 증가 유량 행렬을 모두 요소에 대하여 더해주면 다음과 같다.

$$[K_t]\Delta\vec{H} = \Delta\vec{C} \tag{16}$$

위의 행렬식에서 구해진 수두의 증가분을 다음 반복 단계의 수두에 더하여 오차의 한계 조건을 만족할 때까지 반복한다. 선형인 경우와 마찬가지로 관망내 모든 절점에 대하여 위의 식을 적용하여 비선형 연립 방정식의 해인 절점 수두를 구하여 절점별 유량과 관로별 유량을 계산한다.

2. 상수관망 모형의 비교 분석

국내외에서 가장 많이 사용되는 상수관망 해석 모형은 미국 EPA에서 개발한 EPANET, 미국 Bentley사가 판매하고 있는 WaterCad, 영국 Willingford사에서 개발하여 시판되고 있는 InfoWorks 등을 들 수 있다. 이외에 국내에서는 MikeNET, Dr.Pipe, H2ONET, KYPipe 등도 사용하고 있다. 본 연구에서는 이러한 모형들에 대하여 수리, 수질학적 이론, 수치해석 기법, 파라미터 및 입력 자료, 운영 방법, 장단점 및 제한 요소 등을 분석하였다.

1) Brebbia 모형

Brebbia 모형은 수두를 주변수로 해석하며 흐름의 종류에 따라 층류인 경우에는 수두손실식으로 Poiseuille 식을 사용하여 선형모형이 되고, 난류인 경우에는 Hazen-Williams 식을 사용하여 비선형 모형이 된다. 비선형모형인 경우에는 Newton법을 사용하여 반복해를 구한다. 절점과 관로의 연결도를 유한요소법적인 방법으로 구성한다. 이러한 부분을 고려하여 모형의 프로그램을 작성하였다.

2) EPANET 모형

미국 EPA에서 개발한 모형으로 관망의 물리적 특성이나 관경, 관의 길이, 조도계수, 용수량을 이용하여 절점별, 시간별 수리적 특성이나 유량과 압력을 계산하고, 계산된 수리학적 조건에 따른 수질 변화를 모의한다.

3) WaterCAD 모형

미국 Bentley사에서 시판하고 있는 모형으로 관망모형 중 개발 역사가 가장 오래되었으며, 부정류에 대한 해석을 위한 노력을 경주하여 WaterHammer 등의 제품을 출시하였고, 지리정보시스템과의 연계 운영을 위하여 WaterGEM을 출시하였다. 상수관망의 수에 따라서 가격이 비싸지며, 비교적 고가의 비용을 지불하여야 하는 단점을 가지고 있다.

4) InfoWorks 모형

InfoWorks는 영국에서 개발된 모형으로 누수에 대한 분석을 위하여 수용가의 용수특성 분석 등 다른 모형보다 누수에 대한 추정 작업을 할 수 있도록 개발하고 있으나, 아직까지는 실용성이 있는 누수 추정 모형을 제시하고 있지는 못하며, 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다.

III. 연구결과

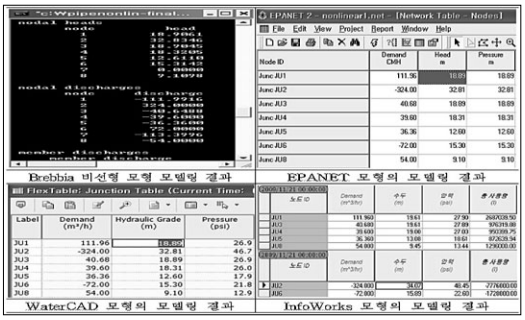
1. Brebbia 모형의 비교 검증

상수관망 모형의 기본 이론을 분석하기 위하여 Brebbia 의 모형을 분석하였다(Brebbia, 1983). 본 모형은 선형 모형과 비선형 모형으로 구분되어 있다. 본 모형의 타당성을 검증하기 위하여 다음과 같이 국내외에서 인지도가 가장 높은 EPANET, WaterCAD, InfoWorks의 3개의 모형과 비교 분석하였다.

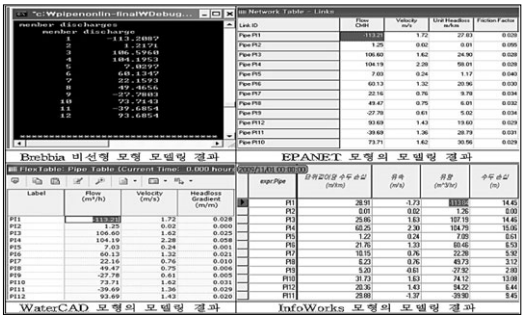
Brebbia가 제안한 모형은 선형모형과 비선형모형인데, 관망의 대부분의 문제는 난류를 해석하여야 하는 비선형문제이므로 Brebbia가 제안한 예제의 비선형 문제에 대하여 모델링을 우선 수행하였다. 모델링을 수행한 결과 InfoWorks의 모델링 결과는 절점별 수두에 있어서 다른 모형과 다소 상이한 결과를 나타내었으며, 관로별 유량도 조금 다른 것을 알 수 있었다. Brebbia, EPANET, WaterCAD 3개의 모형은 동일한 결과를 나타내었고 이러한 문제점을 좀 더 분석하기 위하여 Brebbia가 제안한 선형 문제에 대하여 모델링을 수행하였다.

비선형 모형의 경우 절점에서의 물수요량 계산 결과는 모두 동일한 결과를 나타내었다. Brebbia 모형의 결과가 EPANET 모형의 결과에 비하여 부호가 반대인 것은 Brebbia 모형에서는 각 절점별로 물공급량이 (+)값으로 정의되었고, EPANET, WaterCAD, InfoWorks 모형에서는 물소비량을 (+)값으로 정의되었기 때문이다.

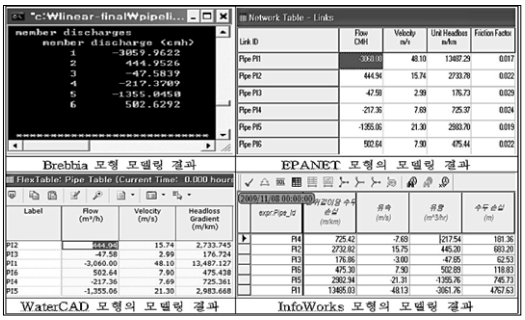
절점별 수두의 계산 결과는 InfoWorks 모형의 경우 다소 다른 값을 보이고 있는 데, 그 원인으로



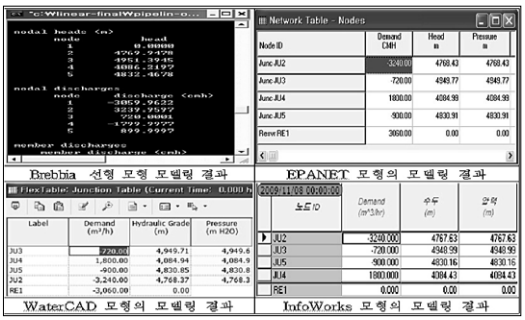
비선형 모형의 각 모형별 절점에서의 총 수두와 물수요량의 모델링 결과 비교



비선형 모형의 각 모형별 관로에서의 유량, 유속 및 수두손실 모델링 결과 비교



선형 모형의 각 모형별 관로에서의 유량, 유속 및 수두손실 모델링 결과 비교



선형모형의 각 모형별 절점에서의 총 수두와 물수요량의 모델링 결과 비교

그림 1. 비선형, 선형 모형의 모델링 결과 비교

는 EPANET, WaterCAD 모형은 수치해석 알고리즘으로 Gradient Method를 사용하고, Brebbia 모형은 행렬법 혹은 수두법에 의한 수두 행렬에 대하여 Newton 알고리즘을 적용하는 Gradient Method와 비슷한 알고리즘을 사용한 반면, InfoWorks에서는 유량 중심의 단순 반복 알고리즘을 사용한 결과에 기인한다고 추정된다.

관로에서의 유량 계산 결과는 Brebbia, EPANET, WaterCAD, InfoWorks 모형은 모두 비슷한 결과를 나타내는 반면, InfoWorks 모형에서는 다소 다른 결과를 나타내고 있다.

선형 모형의 경우 절점에서의 물수요량은 모든 모형이 동일한 계산 결과는 보였다. 다만, 절점에서의 수두 계산 결과는 InfoWorks 모형만 다른 결과를 나타내고 있다.

2. EPANET, WaterCAD, InfoWorks 모형 비교

1) 소규모 관망의 모델링

(1) 입력 자료 구축

작은 도시의 상수원수를 공급하기 위하여 직경 50ft의 저류조가 설치되었다. 저류조의 높이는 20ft이고 도시의 기준면으로부터 400ft 상부에 위치하고 있으며 초기수위는 10ft, 최저수위는 0 ft, 최대수위는 20 ft이다. 격자망의 모든 절점은 0ft 표고에 위치한다. 관의 모든 조도 계수는 C=100이다. Hazen-Williams 공식을 사용하여 수두손실이 계산되었으며, 미소손실은 무시되었다. 상수관망의 격자망, 절점별 물수요량, 관로의 내경, 시간대별 물수요량의 변화 패턴, 모형의 입력 자료를 다음에 나타내었다.

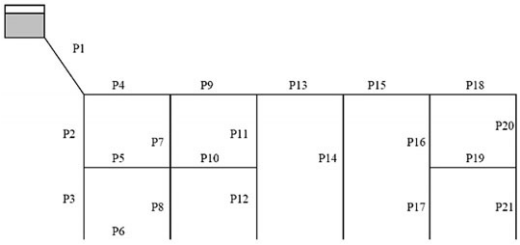


그림 2. 상수관망의 격자망도

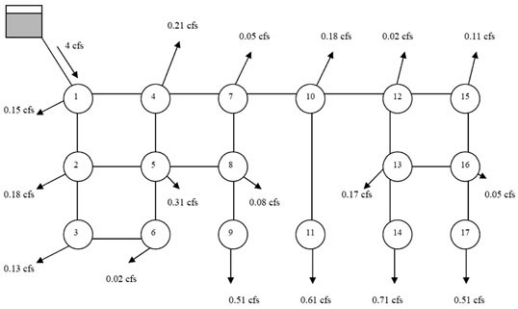


그림 3. 절점별 상수 수요량 및 공급량

표 1. 관로의 내경

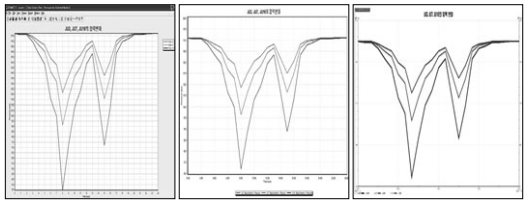
관로번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
관직경	12	8	8	12	8	8	8	8	12	8	8
관로번호	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
관직경	8	12	10	12	12	12	10	8	10	10	

표 2. 시간대별 물 수요량 패턴

시간(hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
패턴	1	2	2	5	8	10	15	17	24	20	16	14
시간(hr)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
패턴	10	8	15	20	16	8	5	4	2	2	1.5	1

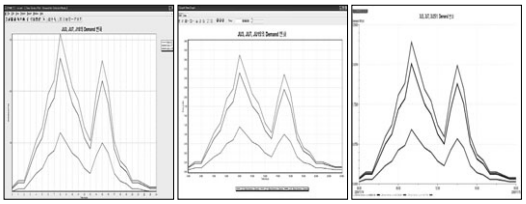
표 3. 모형의 입력 자료

입 력 자 료	값
관로의 수 관로의 길이 관로의 직경 관로의 거침도	21 50 8 100
탱크의 수 탱크의 직경 탱크의 높이	1 50 20
절점의 수	17
수두손실식	Hazen-Williams
수리해석 간격 시간변화 패턴 시뮬레이션 시간	1 hrs 1 hrs 24 hrs
조도 계수 C	100
비선형의 반복 오차 한계	0.001



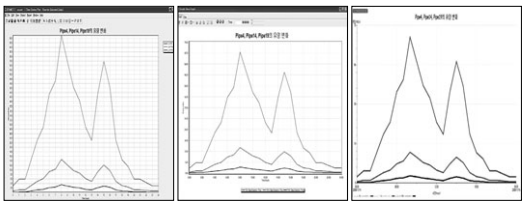
EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 4. 시간별 압력(psi) 변화 (3, 7, 16 절점)



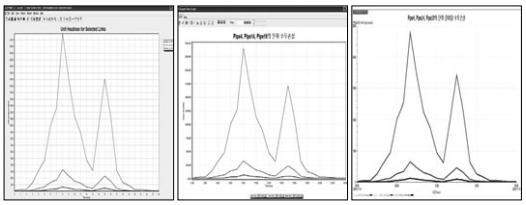
EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 5. 시간별 수요량 변화 (3, 7, 15 절점)



EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 6. 시간별 유량(cfs) 변화 (4, 14, 19 관로)



EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 7. 단일 수두 손실(ft/Kft) 변화 (4, 14, 19 관로)

EPANET 모형의 입력자료를 WaterCAD 및 InfoWorks 입력 자료 구축시 쉽게 불러오기할 수 있어서 모형간의 자료는 상호 호환성이 유지되었다.

(2) 모델링 결과 분석

3개 모형의 모델링 결과를 검토하기 위하여 압력, 유량, 수요량, 손실수두 등에 대하여 분석하였다.

2) A시의 관망 해석

상수 관망 모형의 실용성을 검토하기 위하여 A시의 상수관망에 대해서 EPANET, WaterCAD, InfoWorks 모형의 3개 모형에 대하여 모델링을 수행하였다. 모델링은 정적인 경우와 시간에 대하여 변하는 경우의 2가지 방식으로 해석을 수행하였다. 해석하려는 기간이 짧을 경우 정적인 해석을 수행하게 된다. 본 방법은 시간에 따른 사용량, 수위변동을 고려하지 않고 주어진 한 시점의 정적 자료만을 이용한다. 시간 변동적 해석은 관망내의 시간 변화적 운영 조건을 고려한 해석이며 시간에 따른 각 절점에서의 소비량의 변화를 해석하는 방법으로 A시에 대해서 총 모델링 시간을 24시간으로 하여 시간간격을 1시간으로 설정하였다.

(1) 입력자료 구성

A시 관망에 대하여 절점과 관로에 대한 입력 자료를 절점에서의 표고(m)와 물소비량(m^3/day)을 관로의 시작절점과 끝 절점의 번호와 함께 관로번호, 관의 길이, 내경, 조도계수, 미소소실, 관상태 등에 대하여 구축하였다. 관망은 173개의 절점, 188개의 관로, 1개의 저류조, 2개의 유량제어밸브로 구성되어 있으며, 절점별 번호, 표고, 물수요량, 관로별 번호, 시점, 종점, 길이, 내경, 조도계수, 미소수두손실 계수, 시간대별 물수요량 변화 패턴 등의 입력자료를 구성하였다.

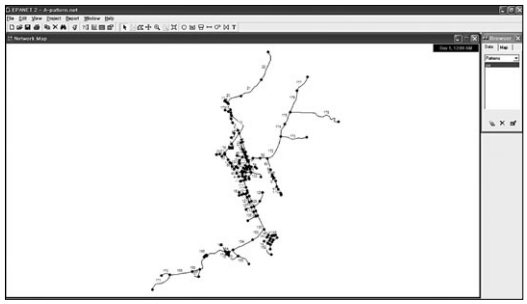
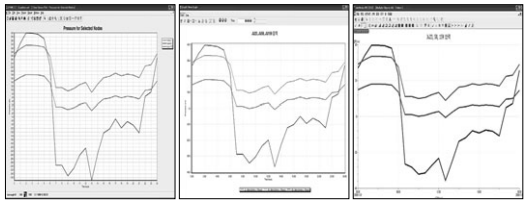


그림 8. EPANET 모형에 구축된 A시의 관망도

(2) 모델링 결과의 비교 분석

정적 모델링 대해서는 절점별 물수요량, 총수두, 압력 수두에 대한 모델링 결과는 유사한 결과를 나타내었으나, 관로별 유량, 유속, 단위수두손실, 마찰계수 등은 InfoWorks 모형의 결과가 미미하게 다른 결과를 나타내었다. 동적 모델링 결과는 다음과 같다.

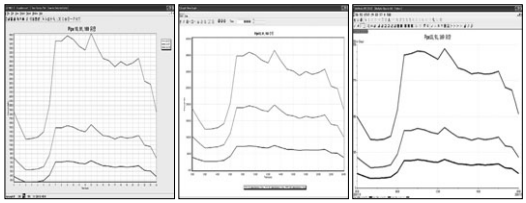


EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 9. 압력 수두 변화 (단위: m)

압력수두의 모델링 결과는 대부분 비슷한 모델링 결과값이 나왔지만 23 절점에서 9시간 후에 EPANET모형과 WaterCAD모형에서는 (-)값이 나오고 InfoWorks 모형에서는 (+)값이 나왔다. 또, 159 절점에서는 7, 11, 12시간 후에 결과값이 큰 차이를 보이는 등 전체적으로 InfoWorks 모형에서 다른 결과를 보였다. 물수요량은 3가지 모형 모두 유사한 결과를 나타내었다. 총수두는 EPANET와 WaterCAD 모형에서는 비슷한 결과값을 얻을 수 있었으나, InfoWorks모형에서는 JU159에서 11, 12시간 후의 총 수두의 변화가 나머지 2개 모형과 비교해서 큰 차이를 보이는 등 전체적으로 InfoWorks 모형에서 다소 차이를 보였다. 관로 10에서의 유량 모델링 결과값이 InfoWorks모형에서 큰 차이를 보였다. 유속은 유량과 동일한 패턴을 보였다.

단위수두손실 또한 관로 10에서 9, 12, 18, 21시간 후에 결과값이 큰 차이를 보이는 등 전체적으로 InfoWorks 모형에서 다른 결과를 보였다.



EPANET WaterCAD InfoWorks

그림 10. 시간대별 유량 변화

IV. 결 론

1. 연구 결과 분석

상수관망 모형의 기본 이론을 검토하고 국내외에서 많이 사용되고 있는 EPANET, WaterCAD, InfoWorks의 3개 모형을 비교 분석하였다. 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Brebbia 모형 연구를 통하여 층류 및 난류인 경우에 모형을 개발하는 방법을 도출할 수 있었다.
- 4개 모형의 수리학적 이론은 크게 다르지 않았다. 모두 에너지 방정식과 연속방정식을 결합하여 해석하는 모형으로서 관망모형 해석에 있어서 일반적인 방법을 따르고 있었다.
- 네트워크 형식으로 결합되는 관망 모형이기 때문에 절점 혹은 연결점에서는 연속방정식을 적용하고 절점사이의 관로에서는 에너지방정식 대신에 수두손실식을 적용하고 있다.
- 관망해석 발전방법에 있어서 초기에는 관로내 유량을 가정하여 단순하게 시행착오법으로 해를 반복적으로 구한 방법(Hardy Cross 방법)이 사용되었으나, 수치해석적 기법을 적용하면서 절점별 수두에 대한 행렬의 해를 구하는 방법으로 발전하였고, 최근에는 수두와 유량의 해를 동시에 구하는 구배도 방법으로 발전하였다.
- 3개 모형 공히 수리현상이외에 수질현상도 모의할 수 있는 기능을 제공하고 있으며 수치해석 기법으로서 입자추적 기법을 사용하고 있다.
- InfoWorks 모형에서는 누수에 대한 분석을 수행하기 위한 노력으로서 수용가 용수 수요량 분석을 수행할 수 있는 기능을 제공하고 있으나, 모델링 결과가 타 모형과 달라서 관로의 경우 계산 결과에 대한 신뢰성의 검토가 필요하다.
- EPANET 모형의 WaterCAD와 InfoWorks 모형과 쉽게 공유할 수 있었으며, 격자망의 도시를 통하여 자료의 적정성을 검토할 수 있었다.
- 입력 자료 구축에 있어서도 마찰손실계수만 고려해주면 되었기 때문에 수질모델링보다는 용이하게 작업을 수행할 수 있었으나, 실측치와 모니터링 자료와 검증 및 운영을 통하여 누수 등의 영향을 고려한 모델링이 가능할 것으로 판단된다.
- 3개의 모형을 Brebbia의 자료, 본 연구에서 만든 간단한 관망 자료, A시의 자료 등에 대하여 적용한 결과 InfoWorks 모형의 결과는 절점별 수두 및 관로의 유량에 있어서 다소 다른 결과를 나타내었다.
- A시에 Brebbia 모형을 적용한 결과 수치해석적 불안정성을 나타내어 관로의 길이를 여러 가지로 바꾸어 가면서 즉 격자망의 크기를 줄

였으나 계속 불안정적인 해를 나타내어 수치해석상의 안정적인 해를 구하기 위한 기법을 다른 3개의 모형에서는 적용한 것으로 판단된다.

- Brebbia 모형에서는 격자망의 크기이외에 형상도 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 3개의 모형에서는 격자망의 크기나 형상이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 네트워크 모형의 특성인 1차원적인 연결도에만 의존하기 때문에 절점의 번호 등은 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.
- 상수관망의 격자망의 크기 및 형상에 대한 예민도 분석 작업이 수행되어야만 3개 모형이 항상 적절한 모델링 결과를 도출하는지 판단할 수 있을 것이다.
- 실측자료와 모델링 결과를 비교하여 입력 자료의 적절성 및 모형의 타당성을 검토할 수 있을 것이다.
- 4개의 모형 공히 모델링시 단위에 주의하여야 한다. 초, 시간, 일, 미터, 미국식 단위계 등을 적절하게 잘 선택하여 일관되게 입력 자료를 구성하여야 한다.

2. 상수관망 사업의 문제점 및 향후 연구 과제

본 연구를 통하여 다음과 같이 국내의 상수관망 정보화의 문제점 및 향후 연구 과제를 도출할 수 있었다.

- 현재 사용하고 있고 과거에 사용되었던 관망 모형의 신뢰성에 대한 연구가 필요하다. 이러한 신뢰성을 검토하기 위해서는 입력자료 및 파라미터에 대한 예민도 분석, 실측치에 대한 보정 및 검증 작업 등에 규정이 마련되어야 할 것이다.
- 누수 추적을 위하여 중블록 이상의 관망에 대한 모형 비교를 수행하여 최근 상수도운영의 관심분야인 에너지 저감, 위험 요소 판단 및 적정운영조건 결정 등에 대한 결과 비교가 필요하다.
- 세계 최고의 정보 통신 인프라를 이용한 국내 실정에 적합한 관망 모형의 개발이 절실히 필요하다. 이러한 국내에 적절한 관망 모형은 다음의 기능을 가지고 있어야 한다.
  - 인터넷 기반의 지리정보시스템, 인공위성자료 및 수치 지도 등을 활용할 수 있어야 한다.
  - 스마트폰 등 모바일 환경에서 웹 GIS 기반으로 운영되어 실시간으로 현장에서 모델링 결과의 적절성이 확인되어야 한다.
  - 각 수용가 및 상수관망 관리 시설의 자료가 시공간에 제약 없이 스마트폰에 입력 관리될 수 있는 웹 서버 기능을 가져야 한다.
  - 전산 모형은 수량 이외에 수질해석 기능을 포함하여 이러한 모델링 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 각종 계측장비와 모바일 장비와 연계될 수 있는 소프트웨어를 개발하여야 한다.

사 사

본 연구는 강원대학교 부속 환경연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

김준현, 2008, 시계열 모형과 지리정보시스템을 결합한 상수도 누수 추적 시스템의 개발 및 적용, 한국영향평가학회 추계학술발표대회 초록집, pp. 247-253.

김준현, 2009, 상수관망의 모델링 기술 (관류 수리학 및 EPANET 운영 기법), 강원대학교 환경복원 및 청정 기술 인력양성 사업단.

김준현, 2009, 상수도 관리 및 누수의 통합적 관리 시스템의 개발 및 적용, 연구 보고서.

Brebbia, C. A. and A. J. Ferrante, 1983, Computational Hydraulics. Butterworths.

최종원고채택 10. 06. 15