

실시간 입력 자료를 이용한 울산공업용 수도 관망 관리 시스템

최 계운*, 이 무옥*, 안 창진**, 김 주환**

1. 서 론

상수도 계통에서 원수나 정수를 한 장소로부터 다른 곳으로 이송시키는 과정은 상당히 중요하다. 현재의 상수도체계를 살펴볼 때 호수나 하천 등의 수원으로부터 취수한 원수를, 도수로를 통하여 정수장까지 이송하고, 정수장에서 처리된 정수는 송수로를 통하여 배수지 또는 배수탑까지 이송되며, 이때 송수로의 길이가 너무나 길거나 통과되는 과정에 지반고가 높아 소요압력을 유지하기가 어려울 경우 등에는 중간에 가압장을 설치하기도 한다. 현행 상수도 시설기준에 의하면 배수지의 용량을 1일최대급수량의 8-12시간분을 표준으로 하고 적어도 6시간분 이상을 유지하도록 규정하고 있어 상수도 계통(특히 광역상수도계통)에는 적게는 몇 천 m^3 부터 많게는 몇 만 m^3 규모의 배수지가 설치되어 운영되고 있다. 이와 같은 배수지를 통과한 정수는 배수본관, 배수지관, 급수관망등을 거쳐 최종적으로 가정에 이르게 된다. 이와 같은 운송체계는 주로 관수로를 통하여 이루어지게 되며, 관수로내 적절한 압력유지와 수량확보는 수요자의 원활한 상수공급에 필수적이다. 현재, 관수로내 압력과 유량의 계산은 주로 컴퓨터 해석을 통하여 이루어지고 있으며, 취수원으로부터 수요자에 이르는 관로체계가 워낙 복잡하기 때문에 많은 경우에 있어 이를 단순화하여 계산하거나, 관로내 흐름을 정상류등으로 가정하여 해석하는 경우가 대부분이다. 그러나, 관로내 흐름은 최종 소비자의 수요에 의하여 지속적으로 변할 수 밖에 없어 이에 대한 고려가 필요한 실정이며, 특히나, 배수지를 여러 곳에 가지고 있는 용수공급체계에서는 배수지 하나하나의 운용여하에 따라 최종 수요자에 이르는 유량이나 수압은 상당한 차이가 있다. 그러나, 현재 국내에서 이용되고 있는 많은 컴퓨터 프로그램의 경우 이와 같은 상수도 공급 시스템을 일체로 해석하지 않거나 배수지를 고정절점이나 단순한 연결점으로 고려하여 계산을 실시하므로써 실제 운영과 상당히 다른 결과를 유도하기도 하고 배수지의 적절한 운용여하에 따라서는 용수 공급상 애로를 겪고 있는 여러지점에 용수공급의 원활화를 기할 수 있음에도 불구하고 이를 제대로 해석하지 않음으로서 실제 운영도 제대로 이루어지지 않고 있다. 또한 상수도 공급구역이 평지에 국한되지 않고 고지대나 높은 산을 넘는 지역까지 연장되므로 불가피하게 터널 등을 이용하게 되는데, 많은 경우에 있어 터널의 직경이 상수도 공급관의 관경보다 훨씬 크기 때문에 터널 속의 흐름은 흐름량에 따라 개수로 상태가 될 수도 있고, 관수로 상태로 흐르기도 한다. 국내의 경우 이와 같은 경우가 울산공업용 수도, 보령 광역 상수도등 여러 지역에 걸쳐 광범위하게 있지만 관로망의 해석상의 어려움 때문에 개수로 상태로 흐르는 경우라도 이를 관수로로 해석하고 있다. 그러나 이와 같은 해석결과는 실제 상태의 해석 결과의 신뢰성을 떨어뜨리고 있다. 따라서 본 프로그램에서는 일차적으로 울산공업용 수도 확장사업 계획 제어 시스템에 연결되는 개수로 부분을 관로망 해석 프로그램과 연결시켜 일체적으로 해석하도록 프로그램을 구성하였다. 이와 같은 프로그램을 실행함에 있어 관망내 설치되어 있는 7개의 유량관측 지점으로부터 일정시간마다 유량변화를 입력자료로 받아

* : 인천대학교 공과대학 토목공학과

** : 한국수자원공사 수자원 연구소

좀더 실시간 운영상태를 반영할 수 있도록 하였으며, 실시간 입력자료를 활용하여 계산된 유량 및 압력결과와, 검증을 위하여 설치된 8개지점(유량 3개, 압력 5개)으로부터의 실제 취득된 값과의 비교를 통하여 보다 합리적인 상수도 관리를 이룰수 있도록 시스템이 구성되었다.

2. 프로그램의 기본이론

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 동일하여야 한다. 이를 식으로 표시하면 식 (1)과 같다.

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

여기에서, $(\sum Q_i)_{in}$ = 관로를 통하여 절점 i로 유입되는 유량

$(\sum Q_i)_{out}$ = 절점 i로부터 관로를 통하여 다른 절점으로 유출되는 유량

P_i = 절점 i에서 관로 외부로의 유출 또는 유입량

식 (1)을 절점방정식이라 하며 이와 같은 절점방정식은 관로내 절점의 수(고정절점이나 이동수위 절점등의 경계조건으로 이용되는 절점제외) 만큼 존재하며 이는 2.2절에서 유도되는 폐합관로내 에너지방정식과 함께 관로시스템내 흐름을 해석하는 기본 방정식으로 사용된다.

2.2 폐합관로내 에너지 방정식

폐합관로내에서 펌프에 의한 에너지 공급이 없다면 폐합관로내 에너지 손실의 합은 0이다. 이를 식으로 표시하면 식 (2)와 같다.

$$\sum h_L = 0 \quad (2)$$

만약 펌프에 의한 에너지 공급이 있다면 식 (2)는 식 (3)으로 변하게 된다.

$$\sum h_L = \sum E_p \quad (3)$$

여기에서, $\sum h_L$ = 폐합관로내 각각의 관로에서의 에너지 손실의 합

$\sum E_p$ = 폐합관로내 펌프에 의한 총에너지 공급

또한, 고정수두 절점(취수장, 고정수두를 가진 배수지등과 같이 수두가 고정된 절점)간에 있어서 에너지 관계는 식 (4)와 같다.

$$\Delta E = \sum h_L - \sum E_p \quad (4)$$

여기에서, ΔE = 고정수두 절점간 수위차

식 (3)과 식 (4)를 살펴보면 식 (3)은 식 (4)의 특수한 경우($\Delta E = 0$)로 볼 수 있으므로 식 (3)은 식 (4)에 포함 될 수 있다. 식 (4)에서 손실수두 h_L 은 식 (5)와 같이 계산된다.

$$h_L = h_{Lp} + h_{Lm} = K_p Q^n + K_m Q^2 \quad (5)$$

h_{Lp} = 마찰손실

n = 지수 1.85 (Hazen - Williams 공식)

h_{Lm} = 소손실

K_m = 소손실 계수의 합으로 표시된 계수

K_p = 마찰손실계수

펌프에 의한 에너지 공급 E_p 는 식 (6) 또는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_p = A + BQ + CQ^2 \quad (6)$$

$$E_p = Z/Q \quad (7)$$

여기에서, $Z = 0.1020E(kw)/s$ (SI 단위)

E : 펌프의 사용에너지 (kw)

S : 유체(물)의 비중

식 (6) 또는 식 (7)을 식 (4)에 넣어 식 (8) 및 (9)를 도출할 수 있다.

$$\Delta E = \sum(K_p Q^n + K_m Q^2) - \sum(A + BQ + CQ^2) \quad (8)$$

$$\Delta E = \sum(K_p Q^n + K_m Q^2) - \sum Z/Q \quad (9)$$

식 (8)이나 식 (9)는 프로그램에서 사용되는 폐합관로내 에너지 방정식이며 식 (1)과 함께 관수로 부분의 흐름을 해석할 수 있는 기본 방정식으로 이용된다.

3. 프로그램 모의 실행 및 그래픽 출력

3.1. WLC-Net 프로그램

WLC-Net 프로그램은 2장의 기본방정식을 이용하여 X-windows환경하에서 관망시스템을 해석하고 관리할 수 있도록 구성된 프로그램이기 때문에 WLC-Net 실행 이전에 컴퓨터 시스템 내에 X-windows가 설치되어 있어야 한다. WLC-Net은 4가지의 중요한 기능으로 되어 있다. 자료를 입력, 수정을 하고 결과를 텍스트로 확인할 수 있는 Editor와 현재 open되어 있는 입력 자료를 계산하는 Calculate, 계산된 결과를 Graph로서 출력하여 보여주는 Graph, 5분 단위로 계속해서 계산을 하는 Simulation이다. 결과를 보여주는 그래프는 다음과 같이 5가지로 구분되어 있다.

구 분	내 용
HGL	각 지점별 총수두 그래프와 전체 관망도를 보여준다.
Discharge	각 지점별 유량 그래프와 전체 관망도를 보여준다.
Velocity	각 지점별 유속 그래프와 전체 관망도를 보여준다.
Real-Discharge	실측 지점의 실제 유량 그래프와 전체 관망도를 보여준다.
Pipenet	전체 관망도를 보여준다.

또한, Simulation 메뉴는 이 WLC-Net 프로그램에서 핵심적인 부분이 되는데, 매시 5분단위로 주어진 실시간 유량자료와 최초로 주어진 관로길이, 절점 등의 기본자료를 이용하여 관망시스템을 해석하는 기능이다. 이 Simulation을 선택하게 되면 현재의 시간에서 5분, 10분, 15분등 5분단위

의 시간이 될 때까지 대기한후 Simulation을 시작하게 된다. 즉 현재 시간이 3분 20초라면 5분이 될 때까지 대기하다가 5분이 되면 Simulation을 시작한다. 이때 계산된 결과를 그래프로서 보여주게 되며 실측 데이터와 계산된 결과와 일정한(입력자료로 주어진) 오차가 있을 경우에는 경고음이 발생되어 누수등 시스템이 이상이 있음을 사용자에게 인식시켜 주게 된다.

3.2. 울산 공업용 수도 시스템 구성

프로그램을 모의실행하기 위하여 울산공업용수도 확장사업에서 신설되는 신관로시스템과 이에 연결되는 기존 관로시스템을 함께 고려한 관로 시스템을 이용하였다. 시스템 구성은 그림 1에서 보는 바와 같이 원동취수장에서 물을 취수하여 3개의 터널을 거친 후 회야댐과 덕하분기점으로 나누게 된다. 이때, 회야댐으로는 자연유하식으로 댐속으로 유입되게 되며 덕하분기점을 거친부분은 온산가압 부분과 선암제 부분으로 나뉘게 된다. 그림에서 보는바와 같이 온산가압장(11번 절점)까지는 신관로와 구관로 2개의 관로에 의하여 물이 공급하도록 구성되어 있으며 이에 13번 및 14번 절점을 통하여 2개의 침전지로 물이 유입되도록 구성되어 있다. 선암제 방향으로는 울산화력, 유공(2), 대암공단, 삼우화학, 상개가압장등을 거쳐 최종적으로는 선암제로 연결되어 있다. 이를 해석하기 위한 시스템으로 30개의 절점과 32개의 관로로 구성되어 있으며 실시간 모의를 위하여 7개의 유량관측지점(Q₁ - Q₇)과 계산후 유량 검증을 위하여 3개의 유량 검증 지점 (CQ₁ - CQ₃) 및 계산후 압력 검증을 위하여 5개의 압력검증지점(CP₁ - CP₅)이 있다.

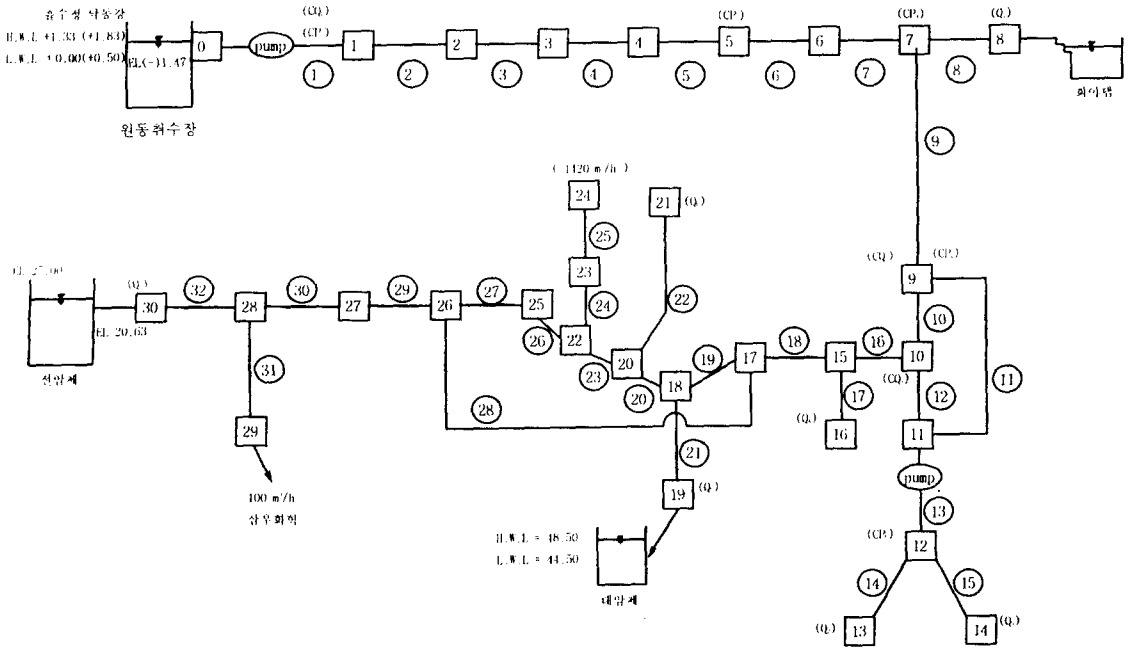


그림 1. 울산 공업용 수도의 관망도

3.3. 실험 결과

simulation을 실행하면 매시 5분마다 계산을 다시하고 검증을 위한 실측 데이터와 비교를 통하여 일정한 오차를 나타내는 지점을 붉은 선으로 표시하여 누수등 시스템내 이상이 있음을 예고하는데, 그림 2에서는 이를 보여주고 있다.

그림 2에서 좌측의 유량 또는 우측의 압력의 각 검증지점에서 상하로 줄이 그어진 지점은 계산결과와 실측결과가 일정 이상의 오차가 나타나고 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 이상이 있을 때는 WLC-Net 프로그램을 이용하여 그림 3 - 6 의 4개 형태의 그래프를 차례대로 살펴볼 수 있도록 되어 있다. 그 첫째로는 각 지점별 총수두 그래프, 둘째로는 각 지점별 유량 그래프, 셋째로는 각 지점별 유속 그래프, 넷째로는 실측 지점의 실제 유량 그래프로써 이들 그래프를 살펴보아 이상이 있는 부분을 추정할 수 있다.

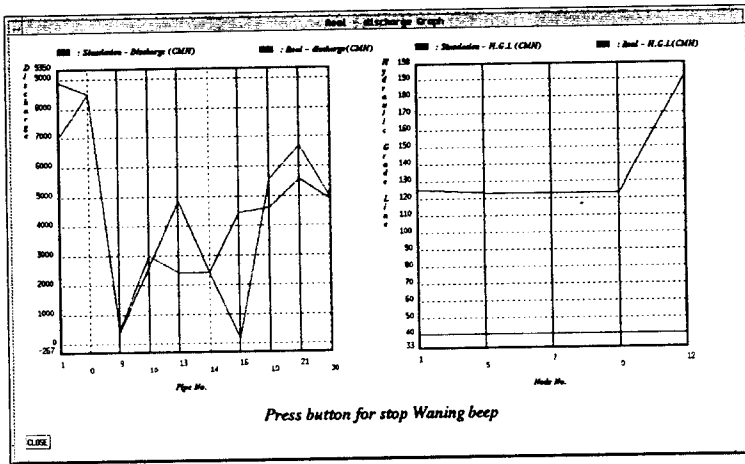


그림 2. 계산된 결과와 검증용 유량 입력자료와의 비교 그래프

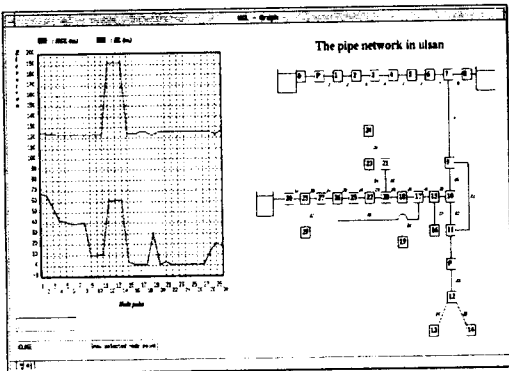


그림 3. 각 지점별 총 수두 그래프

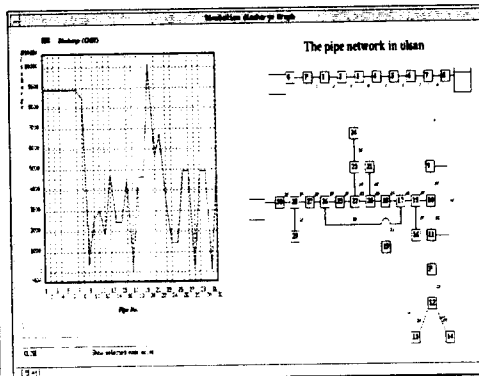


그림 4. 각 지점별 유량 그래프

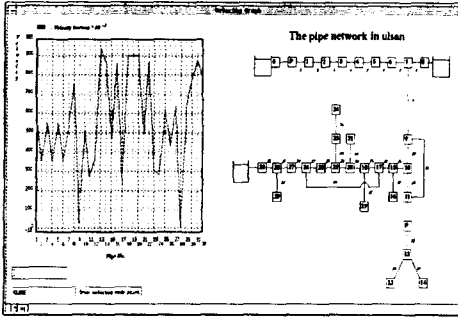


그림 6. 각 지점별 유속 그래프

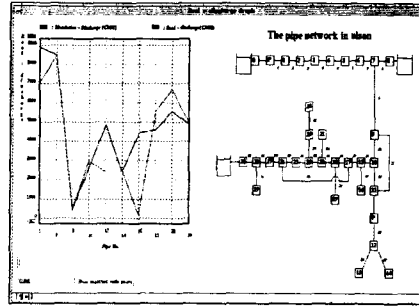


그림 5. 계산된 유량자료와 검증용 유량자료의 비교

4. 결론

본 논문에서 실시간 입력자료를 이용하여 상수도 관망 관리 프로그램인 WLC-Net 프로그램을 작성하였다. 본 프로그램은 관로내 흐름의 기본방정식인 절점 방정식, 폐합관로내 에너지 방정식, 개수로흐름 방정식을 이용하여 프로그램이 작성되었으며 이를 울산공업용수도 관망에 적용하였다. 울산공업용수도 관망에서는 7개의 실시간 유량입력자료를 이용하였으며, 프로그램 계산결과를 검증하기 위하여 3개의 유량자료 및 5개의 압력자료를 이용하였다. 이와 같이 WLC-Net 프로그램을 이용하면 실시간으로 계속해서 주어지는 입력자료를 통하여 설치되어 있는 관망을 해석하여 검증하므로써 관망 시스템의 누수등 여러 가지 이상 유무를 확인하고 이에 대하여 신속한 조치를 취할 수 있도록 상수도 관망 관리자에게 큰 도움을 줄수 있을 것이라 생각된다.

5. 참고문헌

1. Abbott, M. B. (1980) "Computational Hydraulics," 18th Edition, Pitman Advanced Publishing Program.
2. Amein, M. (1968) "An Implicit Method for Numerical Flood Routing," Water Resources Research, No. 4, pp. 719-726.
3. Balloffet, A. (1969) "One-Dimensional Analysis of Floods and Tides in Open Channels," Journal of Hydraulics Division, Vol. 95, No. HY4, ASCE, pp. 1429-1451.
4. 건설부, "상수도시설기준", 1992
5. 윤용남, "수리학(기초와 응용)", 청문각, 1990
6. 이영규 "수질변화를 고려한 배수관망의 최적설계", 국민대학교 공업총론 제8집, 1985
7. 최영박, 임원탁, "상수도학", 형설출판사, 1984
8. 한국수자원공사, "관수로흐름해석 프로그램 사용자지침서", 1990
9. 한국수자원공사, "상수관로의 최적관경결정시스템 전산화 보고서", 1990
10. 한국수자원공사, "관로 시스템내 정상류해석 프로그램 SAPID 사용자 지침서", 1992
11. 高桑哲男, "배수관망의 해석과 설계", 삼북출판사, 일본, 1978
12. 高桑哲男, "에너지위법에 의한 관로유출형 관망의 해석", 일본수도협회잡지, 제60권 제3호, 1991