

대도시 급배수관망의 수압변화 특성에 관한 연구

A Study on Hydraulic Pressure Change Characteristics of Water Distribution Networks in Large Cities

오창주¹ · 김태경^{1,*} · 이경훈²

Oh, Chang-Ju¹ · Kim, Tae-Kyoung^{1,*} · Rhee, Kyoung-Hoon²

1 전남과학대학 지리정보토목과

2 전남대학교 건설지구환경공학부

(2004년 12월 9일 논문접수; 2005년 6월 11일 최종 수정논문 채택)

Abstract

In this study, I suggest an effective operation of waterwork facilities in large cities and a scientific method for utilizing water in water distribution systems. To achieve this goal, my simulation were carried out on data from Kwangju City using PIPENET '98, a pipe-network program. From this simulation, I examine the possibilities of application the system in large cities, comparing data measured at 33 hydraulic pressure monitoring places from waterwork enterprises.

The result is coincident with that of waterwork enterprises, with about a 12.5% average error rate and 0.32kg/cm² average deviation. The method and program I use here can be helpful in cities where there is a need to extend the waterwork facilities, or where there is a need to suspend the water supply, and/or there is an accident. The simulation shows how to expand waterwork facilities effectively, how to prevent accidents, and how to estimate the hydraulic pressure even in the areas without monitoring places.

Key words: Hydraulic pressure, Water Distribution Networks, PIPENET '98

주제어: 수압, 급배수관망, PIPENET 98

1. 서 론

우리나라의 많은 대도시들은 도시가 성장함에 따라 급수구역이 광범위해지고 상수도 시설이 거대해지면서 복잡한 배수시설을 가지게 되어 관로의 수리

현상을 정확하게 판단하기가 곤란하다. 그러므로 상수도 시설을 효율적으로 유지관리 하기가 매우 어렵게 되고, 관로파손이나 시설개보수로 인하여 발생하는 단수 등의 운영상 발생하는 사고 등에 효과적으로 대처하기가 어렵다. 또한, 시설확장에 있어서 체계적이고 과학적인 분석이 선행되지 못하게 되면 상수도

*Corresponding author Tel: +82-61-360-5403, FAX : +82-61-360-5404, E-mail: ktk2028@hanmail.net (Kim, T.K.)

시설 및 급배수관망 전체적인 조화를 이루지 못하게 되므로 운영관리상 많은 문제점이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 줄이기 위해서는 가장 기본적으로 현재의 상수도 시설에 대한 수리상태를 파악하는 것이 선행되어야 한다. 관망이 다소 복잡한 대도시의 경우에 실제와 가까운 해석 결과가 나오기 위해서는 관망 해석에 필요한 입력 자료를 산출함에 있어서 자료선택에 대한 적절한 판단과 수치의 정확도가 절실히 요구된다.

그러므로 본 연구에서는 광주광역시에서 보유하고 있는 관망자료 및 지형도를 이용하여 관망을 구성하고 각 사업소별로 수도요금 징수를 위하여 집계된 실사용량으로 유출량을 산출하였고, 구성된 상수도관망에 대하여 관망해석 프로그램인 Pipenet '98을 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한, 그 결과를 실측된 수압과 비교·분석하여 본 연구에서 제시한 급배수관망해석을 위한 입력 자료와 프로그램의 적용성을 검토함으로써 상수도시설의 운영 및 장애 상수도 확장의 기본이 되는 관망해석에 대한 체계적인 방법을 제시하고자 한다.

2. 대상지역의 현황

광주광역시의 상수도시설은 1920년 제1수원지에서 통수를 시작으로 1998년 현재 시설용량은 1일 83만톤이며, 보급율은 94.8%, 1인당 급수량은 307이다.

2.1. 급수인구 및 급수수요 전망

광주광역시는 1998년 현재 4개구에 총 인구는 약 1,342,000명이고 급수인구는 1,272,000명이다. 한편, 최근 3년간의 평균 인구 증가율은 약 1.36%에 이르고 있으며, 2011년에는 약 1,900,000명에 이를 것으로 예상된다. 또한, 급수사용량의 용도별 구성비를 보면, 1997년 현재 가정용 69%, 업무용 12.9%, 영업용 11.7%, 공업용 4.2% 그리고 목욕탕 2.2%로 구성되어 있다.

2.2. 시설현황

2.2.1. 수원 및 취수 현황

광주광역시 상수도의 수원은 보성강 지류에 위치

한 동북 수원지, 제2수원지, 제4수원지(석곡수원지), 주암호, 비상용으로 관개용수댐인 광주호 취수시설과 황룡강에서 복류수를 취수하는 황룡취수장과 송정취수장이 있다.

2.2.2. 정수시설 및 송배수시설

광주시에 용연, 지원, 각화, 남면, 덕남, 송정정수장이 있으며, 전체의 1일 평균급수량은 39만톤에 이르고 있으며, 현재 10개소에 총 용량 96,500m³의 정수지 및 배수지를 보유하고 있다. 또한, 광주시는 1998년 현재 총 연장 4,222,714km의 송배수 및 급수관을 보유하고 있으며, 이 중, 송수관은 86,575km, 배수관은 1,334,782km이며, 급수관은 2,801,357km에 달하고 있다.

3. 관망해석의 이론 및 방법

3.1. 개요

관망해석은 관내 물의 흐름현상을 해석하는 것으로, 다시 말하면 주어진 관경, 관길이, 관로 내벽면 상태(유속계수 또는 조도계수), 배수지의 수위 또는 다른 특정 절점의 수두와 각 절점의 유출량을 알고 있는 상태에서 관로내의 유량과 수압상태를 결정하는 것을 말한다. 본 논문에서는 관망해석 프로그램인 Pipenet '98을 이용하여 구성된 관망의 수리상태에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

3.2. 관망해석의 이론

3.2.1. 절점법

Node Method는 하나의 추측된 수두의 일련으로부터 시작되고 이 추측의 결과로써 각 관로의 유량이 계산된다. 관망에서 흐름에 대한 연속성을 만족시키기 위하여 개개의 절점에서 절점으로 유입되는 유량과 유출되는 유량의 합이 0이 된다.

$$\sum Q_i = 0 \quad (1)$$

Node Method는 마찰손실수두방정식과 연속방정식을 기본 방정식으로 하며 이를 통해 관에서의 유량, 손실수두, 속도, 절점에서의 압력 등을 구하는 것이

Table 1. 관로 특성에 따른 C값

관 재 료	C	관 재 료	C
주철 신품	130	아연	120
10년 경과	107~113	주식	130
20년 경과	89~100	청동	130~140
30년 경과	75~90	납	130~140
40년 경과	64~83	벽돌	100
콘크리트, 강철거푸집	140	흙	110
합판거푸집	130	나무	120
강철 신품	140~150	유리	140
리벳 강철	110	플라스틱	140~150
석면 시멘트	140	소방호스	110~140
구리	120		

3.2.2. 마찰손실수두 방정식

관로에서의 손실수두를 계산하기 위한 Hazen-Williams 마찰손실수두 방정식은 식 (2)와 같이 표시되며, 급배수관망 해석에 사용된 입력데이터 중에서 Hazen-Williams공식의 C값은 관의 재질, 매설 경과년수, 관경 등에 따라 다양한 값을 가지게 되는데 그 값은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 광주광역시 상수도 사업본부에서 보유하고 있는 상수관망 자료를 이용하여 관로의 특성을 각각 고려한 C값을 적용하였다.

$$b_i = c_i Q_i^{1.85} \tag{2}$$

여기서, b_i = 관로 i 의 마찰손실수두(m)
 c_i = 관로 i 의 특성계수(마찰손실계수)

$$c_i = \frac{10.666L_i}{C_i^{1.85} D_i^{4.87}}$$

여기서, L_i = 관로 i 의 길이(m),
 C_i = 관로 i 의 Hazen-Williams 계수,
 D_i = 관로 i 의 직경(mm)
 Q_i = 관로 i 의 유량(m^3/sec)

$$= 0.46Q_{i0} + 0.54 \frac{(H_i - H_k)}{c_i Q_{i0}^{0.85}} \tag{3}$$

여기서, Q_{i0} = 관로 i 에서의 유출량,
 H_i, H_k = 관로 i 의 시작절점, 끝절점의 총수두

3.2.3. 연속방정식 (Continuity Equation)

관로에서 흐름에 대한 연속성을 만족시키기 위하여 개개의 절점에서는 유입하는 유량과 유출되는 유량의 합이 동일하여야 하며 절점방정식이라고도 한다. 관망에서의 정상류 흐름의 질량보존법칙을 설명해 주는 연속방정식은 식 (4)와 같이 표시된다.

$$[\sum Q_n]_e - [\sum Q_n]_{out} - [\sum Q_{dn}]_{out} = 0 \tag{4}$$

여기서, $[\sum Q_n]_e$ = 절점 n 으로 유입되는 유량(m^3/sec)
 $[\sum Q_n]_{out}$ = 절점 n 에서 다른 절점으로 유출되는 유량(m^3/sec)
 $[\sum Q_{dn}]_{out}$ = 절점 n 에서 관로 외부로의 유출량(m^3/sec)

이와 같은 연속방정식은 관로내 절점의 수(고정절점(저수지)이나 이동 수위 절점(탱크) 등의 경계조건으로 이용되는 절점제외)만큼 존재하며 마찰손실방정식과 함께 관로내 흐름을 해석하는 기본방정식으로 사용된다.

3.2.4. Coefficient Matrix

연속방정식을 일반화하면 H를 미지수로 하는 각 절점의 선형방정식이 나온다.

일반절점의 경우에는

$$-\sum_{i,j} \frac{1}{c_i Q_i^{0.85}} H_m + \sum_i \frac{1}{c_i Q_i^{0.85}} Q_{dn} \tag{5}$$

고정절점이나 이동수위절점의 경우에는

$$-\sum_{i,j} \frac{1}{c_i Q_i^{0.85}} H_m + A H_n = A H_m \quad (6)$$

여기서, $H_m(H_n)$ = 관로 $i(j)$ 와 연결된 절점의 총수두, H_n = 절점 n 에서 얻어진 수두

여기에서 $1/c_i Q_i^{0.85} = A_i$ 로 간소하게 하여 행렬로 나타내면 미지수를 H_n 으로 하고 대각선 행렬 인자들이 0이 아닌 대칭형(Symmetric) 차(절점이 개) 정방행렬인 계수행렬 (Coefficient Matrix)이 된다. 이 Coefficient Matrix는 Sparse Matrix를 구성하고 가우스 소거법을 이용하여 해를 구한다.

4. 급배수관망 및 입력자료

4.1. 급배수관망

급배수관망해석에 필요한 관망도는 광주광역시 상수도 시설관리소에서 보유하고 있는 「광주광역시 상수도 송배수관망도(축척:1/5000)」을 기준으로 하여 주요 급배수관망도를 구성하였으며, 구역별 급수구역도는 Fig. 1과 같다. 한편, 급배수관망의 규모가 작은 경우에는 관망해석이 비교적 용이하나 광주광역시와 같은 대도시의 경우 대단히 많은 관이 존재하기 때문에 주요 관로를 추출하여 관망도를 개략화 하였는데 그 기준사항은 다음과 같다.

가) 광주광역시에서 운용하는 급배수관망에 있어, 송수관은 대체적으로 600mm 이상이고 주요 배수관은 300mm 이상으로 나타나고 있으므로 본 연구에서는 해석 대상 관로의 최소 관경을 300mm로 하여 300mm 이상의 관로는 모두 포함하는 것으로 하였다. 또한, 300mm 이하의 관로에 대해서도 주요 연결 관로에 해당하면 관로구성상 중요한 관로이므로 관망해석 대상에 추가로 포함시켰으며, 절점은 관로의 교차점, 관경의 변화점, 수요량의 대표적 인출점, 관로의 말단에 설치하였다.

나) 계산의 효율성을 향상시키기 위하여 계산에 크게 영향을 미치지 않는다고 생각되는 배수간선에서 분기되거나 관말이 되는 관으로 관로연장이 짧은 관과 인접하는 절점과의 차이가 짧은 관은 생략하여 배수관망 계산에 필요한 관망도를 개략화하여 작성하였다.

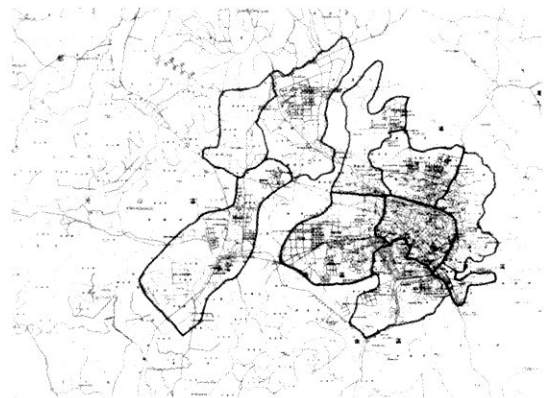


Fig. 1. 구역별 급수구역도

4.2. 입력자료

4.2.1. 관경, 관연장, 지반고

급배수관망의 수리상태를 해석하는데 사용된 관경, 관연장, 지반고는 광주광역시 상수도 시설관리소에서 보유하고 있는 축척 1/5000의 관망도를 근거로 하여 관연장과 관경을 산출하였고, 기존의 자료(TBM) 및 지형도상의 등고선을 이용하여 지반고를 산출하였다.

4.2.2. 절점유출량 산출

본 연구에서는 전체 수요량에 대한 각 절점의 배분 비율을 결정하고 일생산량을 이 비율에 의하여 일생산량을 각 절점에 배분하여 절점유출량을 산출하였다. 각 절점의 배분 비율을 결정하기 위한 각 절점의 유출량은 동단위로 산출하였으며, 동별 수요수량은 각 상수도사업소 (북부사업소, 서남부사업소, 동부사업소, 광산사업소)에서 집계된 동별 월별 상수도 사용량자료를 사용하였다. 또한 생활용수와 업무용수, 상업용수, 공업용수를 구분하여 절점유출량을 산출하였다.

한편, 집계된 동별 수요수량은 그 중에 관계되는 절점의 면적, 주택의 밀집상태 등을 감안하여 각 절점에 배분하였다. 각 절점은 배수관망계산에서 한 동에 포함되는 한개 이상일 수도 있기 때문에 이 경우에는 면적배분 방법으로 각 절점의 수요량을 배분하였다.

4.2.3. 시간별 급수량

상수도의 사용량은 1일중 시간별로 변화하며, 년간을 통해서 볼 때 일평균과 일최대의 비는 대도시이

Table 2. 광주광역시 상수도사용량의 시간적 변화

시 간 대	1일급수량에 대한 시간별 급수량의 비(%)	시 간 대	1일급수량에 대한 시간별 급수량의 비(%)
06 ~ 08	8.285	18 ~ 20	9.373
08 ~ 10	10.583	20 ~ 22	8.859
10 ~ 12	10.716	22 ~ 24	7.664
12 ~ 14	9.96	24 ~ 02	5.712
14 ~ 16	9.343	02 ~ 04	4.806
16 ~ 18	9.082	04 ~ 06	5.395

OFFSET NO.	FROM	TO	TYPE	D	L	C	OFFSET NO.	TYPE	G.L	OUTPUT	STATE	
1	1	354	350	PIPE	500	6818.3	100	3	5	NODE 65	859.6434145	0
1	3	1241	350	BUTT	500	1	100	3	6	NODE 60.5	687.6769409	0
1	4	349	347	PIPE	300	470.1	100	3	7	NODE 65	1552.119771	0
1	5	347	348	PIPE	350	854.1	100	3	8	NODE 70	1697.235969	0
1	8	346	355	PIPE	700	867.7	100	3	9	NODE 65	0	0
1	9	355	348	PIPE	700	538.9	100	3	10	NODE 60	738.5242962	0
1	10	346	358	PIPE	700	73.1	100	3	11	NODE 55	860.7015534	0
1	11	358	357	PIPE	300	136.5	100	3	12	NODE 65	1247.678081	0
1	12	357	356	PIPE	300	311	100	3	13	NODE 63	512.8194806	0
1	13	356	345	PIPE	300	415.2	100	3	14	NODE 69	1913.228581	0

Fig. 2. 대상지역 관망해석 입력자료

며, 공업용수가 차지하는 비율이 높을수록 작아진다. 소비자가 물을 사용하는 양은 하루를 기준으로 볼 때 시간적으로 집중하는 경향을 가지고 있는데 아침, 저녁, 식사시간을 전후해서 최대량을 나타내며 심야에는 사용량이 최저가 된다. 상수도 시설을 계획할 때 급수의 안정성을 검토하거나 배수 관경을 결정함에 있어서 시간최대급수량과 시간최소급수량을 산정하게 된다. 이러한 시간별 급수량산정은 일반적으로 널리 사용되는 다음 (7)식을 사용한다. 본 연구에서는 관망해석시 **Table 2**와 같이 분석된 시간별 급수량을 고려하여 사용량에 반영하였으며, 관경 및 관 길이 등의 입력자료의 일부분은 그림 2와 같다.

$$\text{계획시간최대급수량(m}^3\text{/h)} = \frac{\text{계획 1일최대급수량(m}^3\text{/day)}}{24} \times k \quad (7)$$

$k = 1.3$ (대도시와 공업도시), 1.5 (중도시), 2.0 (소도시 또는 특수지역)

4. 3. 관망해석 프로그램의 구성

본 연구에서 사용된 관망해석 프로그램 Pipenet '98의 구성도는 **Fig. 3, 4(a, b)**와 같다.

5. 결과 및 분석

5. 1. 프로그램 적용 결과

광주광역시 상수도 사업본부에서 운영하고 있는 수압 측정점은 가압장 15개소, 전동밸브지점 14개소, 기타 4개소의 총 33개소로서 수초간격으로 수압이 원격 측정되고 있다. 이러한 실측자료와 Simulation 결과를 비교하기 위해서 본 논문에서는 2시간 간격으로 시간별 유출량을 고려하였기 때문에 실측자료도 2시간 간격으로 평균치를 산출하여 비교분석 하였다. 이와 같은 수압측정의 지점은 **Table 3**과 같다.

또한, 상수 사용량이 가장 많은 오전 09시와 상수 사용량이 가장 적은 새벽 03시를 비교시점으로 선택하고 1999년 7월21과 8월 28일 사이의 5일에 걸쳐 Simulation을 실시하였고, 그 결과는 아래의 **Fig. 5, 6**과 같이 각 지점별로 나타내었다. 여기에서 중측은 실측치와 해석치를 비교한 시점이고 횡측은 각 지점

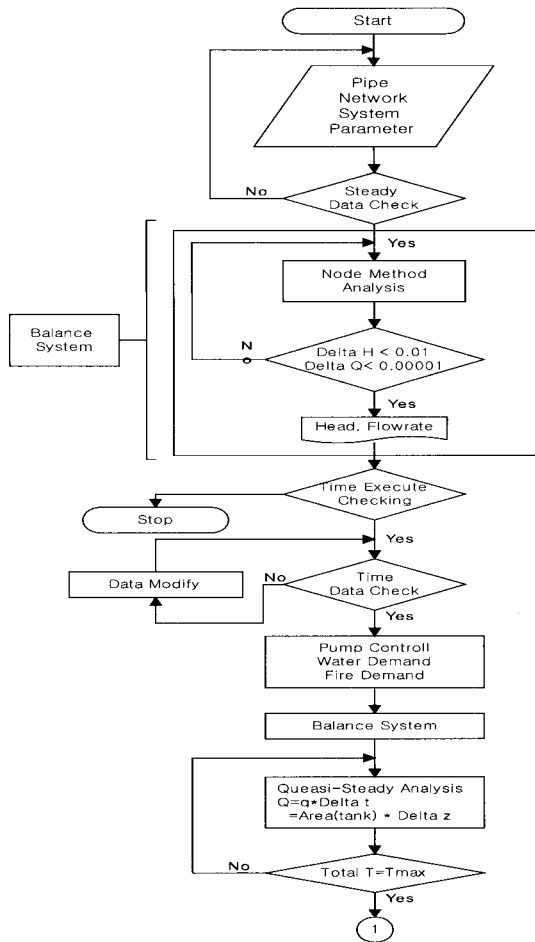


Fig. 3. 프로그램 순서도(a).

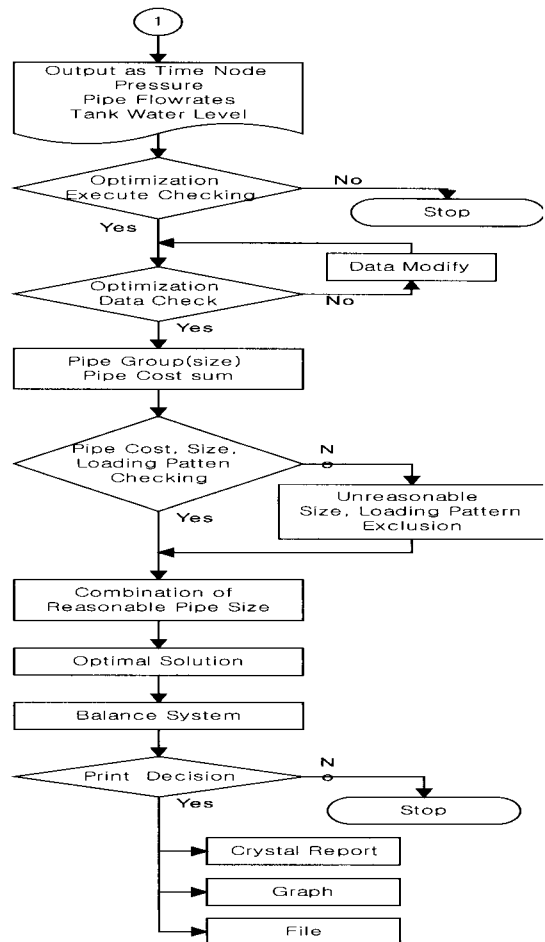


Fig. 4. 프로그램 순서도(b).

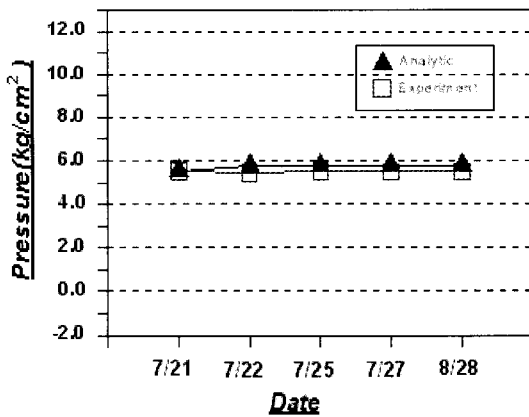


Fig. 5. 백운광장 지점의 수압분포(03시).

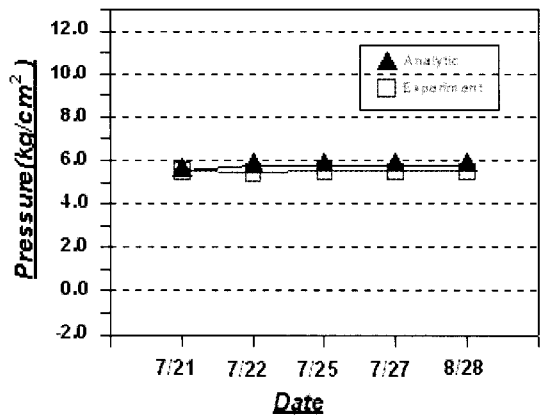


Fig. 6. 백운광장 지점의 수압분포(09시).

Table 3. 수압측정 지점

구 분	수압측정점 위치
가압장	일곡지구, 노대마을, 중심사, 부영맨션, 월산초등학교, 양지마을, 운정동, 두암신흥맨션, 월산동 덕림사, 산수가압장, 지산동, 두암 4단지, 문흥지구, 원제마을
전동밸브	학림교(3개 지점), 신역 뒤, 백운광장(3개 지점), 구상무대버스승강장, 흑석사거리, 운암동 하남입구(2개 지점), 주월 신흥아파트
기 타	봉선초등학교, 월산동 남부소방서, 쌍촌동 화정아파트, 무등도서관

의 압력을 나타내고 있다.

5.2. 결과 분석

본 연구에서는 상수 사용량이 가장 많은 오전 09시와 상수사용량이 가장 적은 새벽 03시를 비교시점으로 선택하고, 5일간에 걸쳐 Simulation을 실시하여 실측된 수압과 해석된 수압을 비교한 결과 Table 4와 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. 전체 개소수에 대하여 10% 미만의 오차율을 보인 개소수는 56%에 해당하고, 20% 이하의 오차율을 나타낸 개소수는 73%를 차지하고 있고 30% 이하는 전체의 83%로 나타났다. 그리고 비교적 높은 40% 이상의 오차율을 나타낸 곳의 개소수는 전체의 약 4.5%에 불과한 것으로 나타나고 있다.

또한, 03시에는 수압이 비교적 사용량이 많은 09시에 비해 전체적으로 수압이 높은 것으로 나타난다. 그러나 일부 절점에서는 오히려 압력이 상승하고 있는데 이는 낮은 수압으로 인한 출수불량을 방지하고자 가압을 실시하는데 그 원인이 있으므로 가압을 하지 않는 경우에는 이보다 더 수압이 낮아질 것이다. 여기에서, 각 시간대별로 실측치와 해석치가 약간의 차이를 보이는 이유는 시간대별로 사용량이 유동적이기 때문이며 기타 누수나 관로의 연결 상태 등 현실적으로 파악하기가 곤란한 원인에 기인한다고 판단된다. 그리고 편차가 비교적 큰 부분들은 대부분 펌프에 해당하는 곳으로 나타나는데, 이 원인은 펌프 가동시간이 다소의 유동성을 가지고 있기 때문이다. Fig. 8과 Fig. 9를 살펴보면, Fig. 8의 7월 27일과 Fig. 9의 8월 28일이 편차가 크게 나타나고 있는데, 그림 8의 경우에는 03시대로서 상수사용량이 적어서 모의시에는 펌프를 가동하지 않은 것으로 예상되나 7월 27일에는 편차가 비교적 크게 나타나 이 날을 제외하고 다른 날에는 편차가 적게 나타나고 있는 것으로

Table 4. 실측치와 모의치의 편차

오차율(%)	개소수	비고
10 미만	187	일반절점
11~19	56	일반절점
20~29	31	일반 및 펌프절점
30~39	15	펌프절점
40 이상	15	펌프절점
최대 오차율		72%
최소 오차율		0%
평균 오차율		12.5%

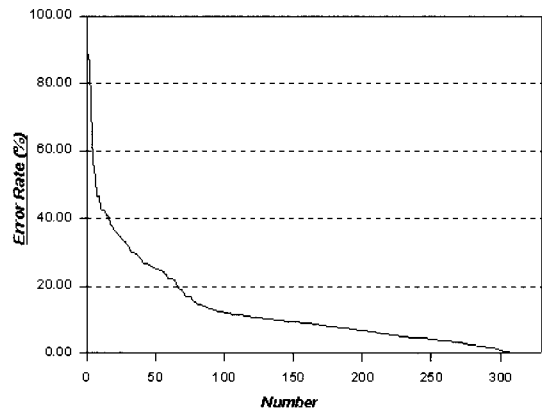


Fig. 7. 오차율 분포도.

보아 7월 27일은 펌프를 가동한 것으로 판단된다. 한편, Fig. 9의 경우에는 09시의 경우로 이 시간대에는 상수 사용량이 많은 시간대이므로 대부분 펌프를 가동하는 시간대에 해당한다. 이 시간대에는 8월 28에 편차가 크게 나타나고 있는데, 이 지역이 급수가구가 32가구에 불과한 소규모 지역이고 시기적으로 여름철인 관계로 실제 상수사용량이 부분적으로 평소와는 다르게 나타났기 때문에 해석치보다 실측치가 크게 나타났을 것으로 판단된다. 그러므로 특별한 경우 외에는 펌프가동 여부를 실시간으로 정확하게 고려하면

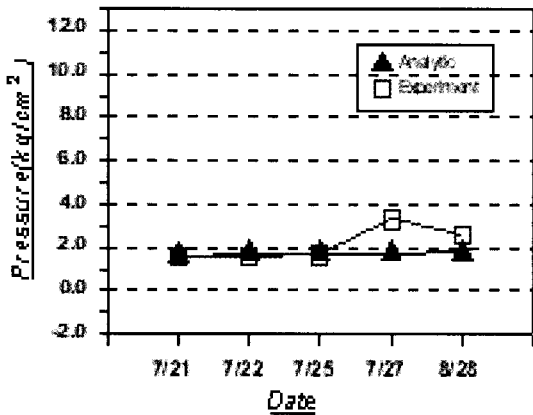


Fig. 8. 원재마을 지점의 수압분포(03시).

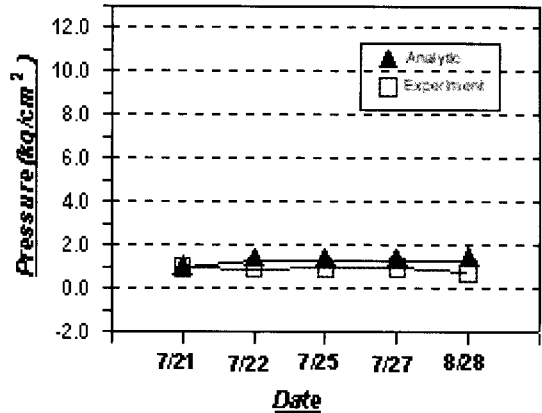


Fig. 10. 노대마을 지점의 수압분포(03시).

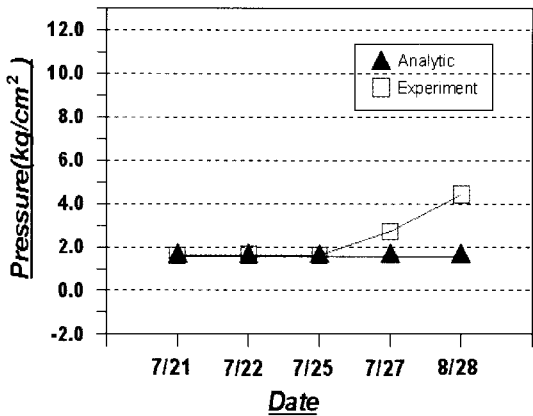


Fig. 9. 원재마을 지점의 수압분포(09시).

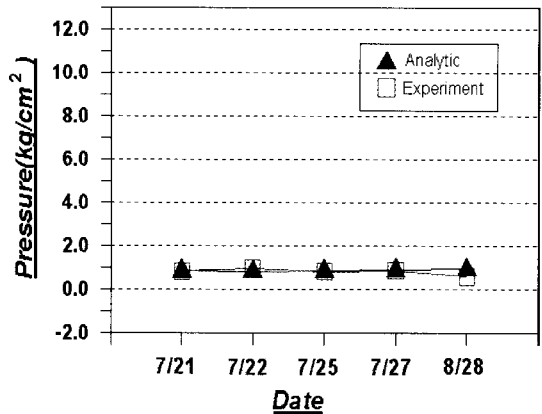


Fig. 11. 노대마을 지점의 수압분포(09시).

이와 같은 편차는 상당부분 줄일 수 있을 것이다.

한편, 수압의 절대편차를 분석해 보면 최대 편차는 약 2.8kg/cm^2 으로서 1개소로 백분율은 0.3%에 해당하며, 최소편차는 0kg/cm^2 , 평균편차는 0.32kg/cm^2 으로 나타났다. 그리고 $1.56\sim 2.8\text{kg/cm}^2$ 범위의 편차는 나타나지 않았으며 $1.0\sim 1.5\text{kg/cm}^2$ 범위는 4.54%이고, $0.55\sim 0.99\text{kg/cm}^2$ 범위는 17%, 0.3kg/cm^2 이하의 편차는 77.8%로 나타났으므로 전체의 94%가 0.99kg/cm^2 이하의 편차를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 수치를 오차율과 비교하여 보면 오차율이 비교적 크게 나타난 절점이라 할지라도 실제 수압의 편차는 그리 크지 않음을 보여주고 있다. 그 예는 Fig. 10, 11에서 볼 수가 있는데 여기에서 오차율은 72%에 이르지만 수압의 편차는 0.6kg/cm^2 에 지나지 않음을 볼 수 있다. 또한, 본 연구에서 실제수압과 해

석수압을 비교한 시점이 시간별 상수사용량의 변동이 큰 여름철임을 감안한다면 상수사용량의 변화가 이보다 작게 나타나는 계절에는 보다 더 실제에 가까운 결과를 얻을 수 있을 것이라고 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 대도시의 상수관로내 수압변화의 특성에 대한 연구로서 대상지역인 광주광역시에 대하여 수압의 수리특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 모의 결과, 03시에는 수압이 비교적 사용량이 많은 09시에 비해 전체적으로 수압이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 일부 절점에서는 오히려 압력이 상승하고 있는데 이는 낮은 수압으로 인한 출수불량을

방지하고자 가압을 실시하는데 그 원인이 있으므로 가압을 하지 않는 경우에는 이보다 더 수압이 낮아질 것으로 판단된다.

(2) 모의한 수압과 실측치를 비교한 결과, 전체의 평균오차율은 약 12.5%로 나타났다. 이 중 오차율이 20% 미만을 보인 자료는 자료의 73%에 해당하고, 오차율이 30% 미만은 전체 자료수의 83%이며, 40% 이상은 전체자료의 4.5%로 나타났다. 또한, 실측치와 모의치의 수압편차는 평균편차는 0.32kg/cm^2 로 나타났으며, 0.3kg/cm^2 이하의 편차가 발생한 지점은 전체의 77.8%, 0.9kg/cm^2 이하는 94%로 나타났다.

(3) 모의한 수압과 실측된 수압과의 오차가 크게 나타나는 지역은 대부분 현재 관망에서 펌프가 가동되고 있는 지역에 해당하며, 펌프 가동시간을 반영한 경우는 오차가 적게 나타났고 펌프가 사용되지 않은 지역은 큰 오차가 나타나지 않았다. 또한, 본 연구의 연중 비교시점이 상수사용량의 시간별 변동폭이 큰

여름철임을 감안하면 변동폭이 비교적 안정된 계절에는 정확도가 더 높아질 것으로 판단된다.

(4) 본 연구에서 이용된 프로그램 및 입력자료 산출 방법을 대도시 상수도 관망에 적용할 경우, 상수도시설 계획 및 확장, 단수 등의 사고시 상황을 가상으로 설정하여 모의함으로써 효과적인 시설확장과 사고대비에 도움을 줄 것으로 판단되며, 수압 측정점이 없는 지점의 수압상태를 예측함으로써 시설의 효율적 운영에도 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 한국수자원공사(1996), *최적화기법을 이용한 경제적 관망설계 연구*, pp. 26-27.
- 한국수문학회(1995) *제3회 수공학 워크숍 교재*, pp. 10-17.
- 건설부(1992) *상수도시설기준*, pp. 79-109.
- Tomas M. Walski and Johannes Gessler (1990) *Water distribution Systems*, pp. 81-87, Lewis Publishers, Michigan.