

압력제어밸브를 통한 누수량의 추정과 활용

Leakage Control and Application Using the Pressure Reducing Valve

김신걸¹ · 김윤환² · 김경필¹ · 구자용^{1,*}

Kim, Shin-Geol¹ · Kim, Youn-Hwan² · Kim, Kyoung-Pil¹ · Koo, Ja-Yong^{1,*}

1 서울시립대학교 환경공학부

2 한국수자원공사

(2005년 7월 18일 논문 접수: 2006년 3월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The leakage in the water distribution system means both the loss of money and water resource. To minimize the leakage, we introduced the pressure control method using the pressure reducing valve and pump schedule. For the pressure control, the total leakage is needed to divide into each node. In this study, EPANET 2.0 was used to simulate the water networks in two selected blocks after the total leakage was distributed with each node by four ways. The leakage was allocated into each node as water measured by meter, water pressure, water faucets and Lpod and simulated by EPANET 2.0. Regardless of the leakage distribution ways, there was no significant difference between the measured water and the estimated water pressure. Thus, the leakage distribution way using water pressures estimated by simulation could be recommended. The scenarios controlling the pressure reducing valve and pump were made in two blocks(A and B). 86,713m³/year leakage in the A block and 11,442m³/year in the B block could be reduced as controlling the pressure reducing valve and pump schedule. It was shown that the fifty million won a year can be saved in the A block and 6.8 million won in the B block.

Key words: Leakage, Pressure control, Pressure Reducing valve

주제어: 감압밸브, 누수, 압력조정

1. 서 론

상수도사업에서 누수(漏水)는 비용을 들여 운반 및 정수 처리한 유효자원이 소실되는 것으로 자원적인 면뿐만 아니라 경제적인 면에서 모두 손해가 된다

(Farley et al, 2003; Ashton et al, 2001). 이러한 누수의 발생원인은 관의 부식에 의한 누출구의 발생, 관이음부의 헐거워짐, 누적 하중에 의한 파손 등이며 보통 수압의 0.5승에 비례하는 것으로 알려져 있다 (水道管路技術センター, 1990). 이러한 누수에 대처하는 방법으로 현재 사용되고 있는 방법은 소블록별

*Corresponding author: Tel: +82-2-2210-2624, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: jykoo@uos.ac.kr (Koo, J.Y.)

로 야간최소유량법을 이용하여 누수량을 추정하거나 누수시에 나타나는 현상 등으로 짐작하여 누수측정장비로 알아내는 것이 보통이다(이승철외, 2005). 하지만 배수구역 전체를 대상으로 이러한 방법을 이용하여 누수발생지점을 찾아내는 것은 대상개소수가 많아서 어렵기 때문에 압력이나 유량측정자료를 이용하여 확률적인 혹은 그 이외의 방법들로 대상개소를 줄이고자 연구하여 왔다(김덕현외 2003; 이승철외 2002; 하성룡외 2000; Steven et al. 2004). 하지만 이러한 연구들은 실제로 진행되고 있는 사례가 적기 때문에 아직 실제로 응용되기에는 다소 무리가 있어서 현재로서는 중단위 혹은 대단위 배수블록에 대해서는 수압관리를 통한 누수제어방안이 유용하다. 그 이유는 원래 배수블록의 조직화 할 때에는 원활한 공급과 관리를 위하여 균등한 수압이 유지되도록 표고차가 가능한 작게 하는 것이 이상적이지만, 현실에 있어서 이들 지역들이 적절히 분리되어 있지 않아서 불필요하게 과수압인 상태로 운영되는 경우가 많기 때문이다. 따라서 이런 지역을 대상으로 감압밸브를 설치하고 펌프의 운전조작을 변경하여 적절한 수압 관리를 하여 준다면 실제 누수지점을 탐색하여 복원시키지 않고서도 누수량을 줄일 수 있다(손광익외, 1995; Sakartya et al, 2000; Vairavamoorthy et al, 1998). 따라서 본 연구에서는 실제 배수구역의 자료를 이용한 관망시뮬레이션을 통하여 감압밸브와 펌프의 운전조작을 통해 얻을 수 있는 누수저감효과를 살펴보는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 본 연구에서는 두 가지의 목적을 가지고 연구를 진행하고자 한다. 첫 번째는 관망해석 프로그램의 시뮬레이션을 통하여 배수구역내에서 발생하는 누수량을 어떠한 방법으로 분배할 것인가에 대한 것이며 두 번째는 이 때 발생하는 누수량에 대해 감압밸브와 펌프의 운전조작에 대한 시나리오를 작성하여 감소되는 누수량과 경제성을 평가하는 것이다.

2. 연구방법

본 연구에서는 누수량의 배분이나 저감효과를 관망시뮬레이션 프로그램을 통하여 고찰하고자 하였으며, 이를 위해 미국 EPA에서 제작한 EPANET 2.0(EPA, 2000)을 이용하였다. 이 절에서는 관망해

석에 관한 기본적인 사항과 누수량의 산출방법, 연구대상지역과 누수저감 시나리오 및 경제성의 산출방법에 대해서 설명한다.

2.1. 관망해석법

관망해석의 기초방정식은 관망을 구성하는 관경 $D(m)$, 관로길이 $L(m)$, 내벽면상대 C , 유량 $Q(m^3/sec)$, 손실수두 $H(m)$ 로 이루어진다.

$$k = \left(f_c + f \frac{l}{D} \right) \frac{1}{2g} \left(\frac{4}{\pi D^2} \right)^2 \quad (1)$$

$$b_i' = k_i Q_i' \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

여기에서, f_c : 유입 국지마찰손실계수, f : 마찰손실계수, l : 관로의 길이(m), D : 관경(m), Q : 유량(m^3/sec), b : 마찰손실수두(m)

Hardy Cross법에서는 폐관망회로가 있을 때에 손실수두에 대해 식 (1) 및 (2)와 같이 구성하며, 식 (3)과 같이 보정값을 구하여 이를 모든 폐관로에 있어서 수렴이 될 때까지 반복한다(안수한, 1989).

$$\Delta Q_j = - \frac{\sum b_i}{2 \sum k_i Q_i} \quad (3)$$

2.2. 누수량 해석법

누수량은 수도 사업에 있어서 과거부터 계속된 주요한 문제로서 여기에서는 2.2.1절에서 누수량의 산정방법에 관한 내용을 다루고 2.2.2에서는 관망시뮬레이션에서 노드별 누수의 배분방식에 대해 다룬다.

2.2.1. 누수량 산정식

그중 1980년 영국 Technical Working Group(1980)에서는 야간유량을 누수지수로 환산하여 압력과의 상관관계에 대해서 연구를 하였으며 일본수도협회(1980)에서는 누수공에서의 누수량과 관내수압, 누수공의 면적, 형상과의 관계를 식 (4)와 (5)과 같이 두 가지의 식으로 제시하였다.

$$Q = c \cdot a \cdot P^{0.5} \quad (4)$$

$$Q = c \cdot a \cdot P^{1.5} \quad (5)$$

여기에서, Q : 누수량, P : 수압, c : 누수공의 형상에 의한 계수, a : 누수공의 면적

식 (4)의 경우는 누수공에서의 누수량을 오리피스로 고려한 경우이며 식 (5)은 관의 균열 또는 밸브류, 개폐장치의 이음부 틈에서 누수된 경우를 현장에서 구한 것이다. 또한 比企三藏(1982)은 실험을 통하여 누수량은 오리피스와 같은 형태로 수압의 0.5승에 비례한다는 가정하에서 누수공 단면적과 내부수압이외에 외부조건 즉 외부압력과 공극률 등도 고려하여 식 (6)을 제시하였다.

$$Q = 0.937 \cdot a^{0.945} \cdot P^{0.499} \cdot s^{0.0115} \cdot \epsilon^{0.749} \quad (6)$$

여기에서, s : 지반내 응력, ϵ : 공극률

본 연구에서는 누수량 산정식에 포함된 수압이외의 조건들에 대해 계수를 정한다는 것이 실상 어렵다는 점 등을 고려하여 간단하면서도 실용성이 높은 식 (4)를 사용하였다. 그리고 각 시나리오별 누수량의 산정은 관망해석 시뮬레이션 결과로 나온 각 노드점의 수압을 바탕으로 누수량 산정식의 미지수값을 구하고 다시 이 값을 이용하여 각 노드점의 수압을 누수량으로 환산하였다.

2.2.2 누수량의 배분

소블럭별 누수량의 배분방법에 대한 개념도는 Fig. 1과 같다.

실제 배수블록에서는 Fig. 1과 같이 상수도 유입하는 지점에 유량계가 그리고 각 수용가에는 수도요금기가 있어 해당 배수구역에 대한 총 공급량과 요금수량을 알 수 있다. 여기에서 누수량은 공급된 총 수량과 검침량과의 차이이며 각 노드지점의 수요량으로 환산되어 관망해석이 이루어진다. 그런데 이 누수량을 어떠한 방법으로 각 노드지점으로 분산시킬 것인가와 또한 이 분산시키는 방법에 대해 어떻게 판단할 것인가가 문제가 된다. 지금까지는 각 지역의 1인당 1일 공급량(이하, Lpcd라 한다.)에 비례하여 배분하는 방법을 사용하였지만 과거의 연구에서 실제 이 방

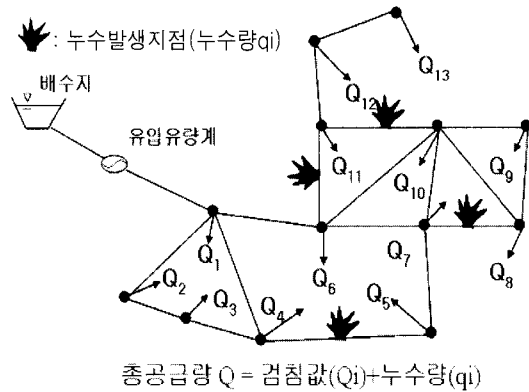


Fig. 1. 누수량에 대한 개념도

법을 이용하기 위해서는 더욱 세분될 필요가 있다는 지적이 있었다(최재호, 2000). 따라서, 본 연구에서는 이 방법 이외에도 절점별로 사용량, 평균수압, 수도전수에 비례하여 누수량을 배분하는 방법을 고안하였다. 그런데 이 방법들중 평균수압은 200군데 이상인 절점으로 모두 실측하는 것이 사실상 불가능하였기 때문에 검침량 자료를 사용한 관망시뮬레이션을 구하고 이때의 수압을 사용하여 누수량을 산정하고 이를 다시 검침량자료에 더한 값을 가지고 시뮬레이션을 반복하여 수렴하는 값을 이용하였다. 평균 Lpcd 법은 현재 가구별 인구수 자료를 얻는 것이 행정업무상 보안관계로 불가능하였기 때문에 대신 연구대상지역 전체의 인구수를 수도전 당 인구수로 환산하여 구하였다. 나머지 절점별 사용량, 수도전수는 관련 자료를 모두 분석하여 직접 각 노드별로 분산하였다.

또한 위의 네 가지 방법중에 어떠한 방법이 우수함을 판단하는 것에 대해 본 연구에서는 직접 대상지역의 수압을 측정 한 후에 관망시뮬레이션으로 구한 압력값과 비교하여 구한 상관계수에 따라 판단하였다.

2.3. 감압밸브 비용산정

본 연구에서 사용된 감압밸브는 내구연수 15년으로 가정되어 있는 제품으로서, 본 연구에서는 경제성 비교기준의 한 방법인 연기준법(Annual base comparison)에 의거하여 실시하였다. 연기준법이란 초기비용을 내용연수 동안 균등배분하여 연간비용화하는 개념으로 식 (7)을 따른다.

$$A = PR = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (7)$$

여기에서, A : 연간환산비용, P : 초기비용, R : 균등부금 자본환원계수, i : 연이율, n : 분석기간

본 연구에서는 초기비용은 감압밸브의 가격과 공사비를 합한 것으로 하며, 공사비는 백호우를 포함한 1일 공사로서 50만원으로 가정한다. 연이율은 현재 시중금리인 콜금리로서 4%(2006년 2월 현재 한국은행 기준)로 하며, 분석기간은 감압밸브의 내구연수인 15년으로 한다. 초기비용을 연간비용화 한 후에 순수연간비용을 더해서 대상물의 균등연산환산비용을 구하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{균등연간환산비용} = \\ (\text{초기비용} - \text{잔존가치의 현가}) \times \\ \text{균등부금 자본환원계수} + \text{순수연간비용} \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 잔존가치의 현가는 세법상 유형고정자산에 대해 10%로 정하고 있으므로, 여기에 따른다. 또한 순수연간비용은 매년 들어가는 고정관리비로서 본 연구에서는 연간환산비용의 10%로 한다. 따라서, 이에 따른 계산을 하게 되면, A구역의 감압밸브는 15년의 내구연수와 잔존가치의 현가인 10%를 고려하여 0.9를 계수로 하면,

$$\begin{aligned} A = (3,800,000 + 500,000) \times 0.9 \\ \times \left[\frac{0.04 \times (1.04)^{15}}{(1.04)^{15} - 1} \right] = 348,072 \text{원} (A \text{구역}) \end{aligned}$$

이며, 이를 매년 유지보수비용 10%와 15년의 합계분으로 하면, 약 5,743천원이 된다. B구역의 경우에는

$$\begin{aligned} A = (2,200,000 + 500,000) \times 0.9 \\ \times \left[\frac{0.04 \times (1.04)^{15}}{(1.04)^{15} - 1} \right] = 218,556 \end{aligned}$$

이며, 이를 매년 유지보수비용 10%와 15년의 합계분으로 하면, 약 3,606천원이 된다.

2.4. 연구대상지역

본 연구는 대상지역의 선정을 위하여 관련 지자체의 상수도 담당부서를 방문하여 본 방법에 의해 누수저감효과를 얻을 수 있도록 다음과 같이 3가지의 기준을 가지고 두 개의 대상지역을 선정하였다.

- 1) 지형적으로 평지보다는 수압차이로 누수량이 많을 것으로 예상되는 지역일 것
 - 2) 누수량 수치분석의 정확성을 위해 대상지역에 상수가 유입되는 지점이 1개소로 고립되어 있으며 유량계가 설치된 지역일 것
 - 3) 대상지역의 크기는 수전수가 1,000전에서 2,000전 사이로서 어느정도 규모를 가지는 중블록일 것
- 이러한 기준을 대상으로 하여 해당 배수구역으로 두 지역을 선정하였다.

2.4.1 A 배수지역

이 지역은 북악터널배수지에서부터 가압되어 올라오는 물이 부암배수지를 거쳐 자연유하식으로 배수가 이루어지는 지역이다. 대상지역은 지역을 관통하는 도로가 있으며 도로의 양측면으로 경사진 협곡형태의 지형을 가지고 있다. 대부분 주거지역으로 구성되어 있으며, 지역의 주요특징을 정리하면 **Table 1**과 같다.

이 지역에 대해서 2003년 4월부터 2004년 2월까지의 검침자료와 유량자료를 분석한 결과는 **Fig. 2**와 같다. 상수도의 공급 중에 전체 수량은 유효수량과 무효수량, 유효수량은 다시 유수수량과 무수수량으로 나누어진다. 이 중에서 본 연구에서 누수량으로 집계

Table 1. A 배수구역의 특징

배수방식	인구(인)	표고(m)		수전수	평균공급량 (m ³ /day)	배수관종	관로매설연도(연)		설치감압 밸브구경
		최고	최저				최대	최소	
직접 수방식	6,961	179	59	1,835	3,000	DCIP	1983	2001	300mm

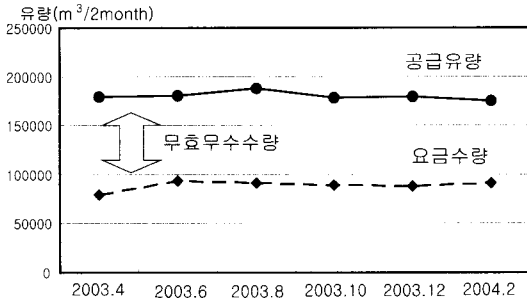


Fig. 2. A배수구역의 배수자료분석

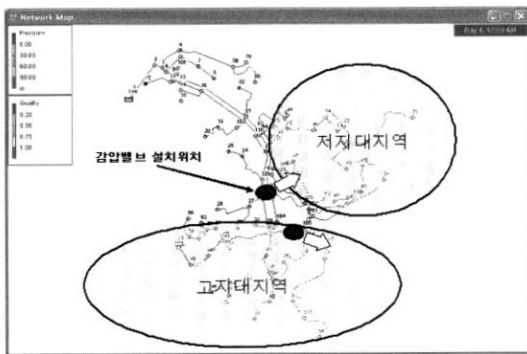


Fig. 3. A 배수구역의 개략도 (EPANET 화면)

한 것은 요금수량 이외의 것이기 때문에 여기에서는 이 수량을 무효무수수량이라고 한다. 이 지역의 무효무수수량은 평균적으로 약 50.6%로서 하루에 약 1,494톤가량의 물이 손실되고 있다.

Fig. 3은 A배수구역의 개략도이며, 우측상단지역이 저지대지역으로 고수압지역이다. 따라서 이 유입지점에 감압밸브를 설치하는 것으로 하였다. 그리고 아래쪽에 있는 지역도 펌프의 가압을 받고 있는 지역으로 이곳도 마찬가지로 고수압으로 운영되고 있다. 따라서 본 연구에서는 모든 지역에서 최소동수압 1.5kg/cm²을 고려하여 어느 곳에서도 수압이 20m이하로 내려가지 않도록 하는 범위에서 Table 2와 같이 감압밸브와 펌프의 조작 시나리오를 구성하였다.

2.4.2. B 배수지역

이 지역은 금호배수지에서부터 나온 배수관중 하나가 무인가압장에서 가압되어 일부 고지대를 급수하고 다른 한 배수관(300mm)를 통하여 나머지 지역이 급수가 이루어지는 지역이다. 대상지역에 큰 고층빌딩은 없으며 대부분이 2~3층 내외의 다세대 주택과 도로변에 복합상가건물로 이루어져 있다. 지역의 주요특징을 정리하면 Table 3과 같다.

Fig. 4를 참조하면 B지역에 대한 공급유량은 분석

Table 2. A 배수구역의 누수저감 시나리오

시나리오	변동요인		펌프의 토출양정		감압밸브의 운전조건	
	주간	야간	주간	야간	주간	야간
시나리오 1	50m	50m	없음	없음	없음	없음
시나리오 2	50m	40m	없음	없음	없음	없음
시나리오 3	40m	40m	없음	없음	없음	없음
시나리오 4	35m	35m	없음	없음	없음	없음
시나리오 5	50m	50m	20m	20m	없음	없음
시나리오 6	50m	50m	20m	30m	없음	없음
시나리오 7	50m	50m	30m	30m	없음	없음
시나리오 8	35m	35m	30m	30m	없음	없음

Table 3. B 배수구역의 특징

배수방식	인구(인)	표고(m)		수전수	평균공급량 (m ³ /day)	배수관종	관로매설연도(연)		설치감압 밸브구경
		최고	최저				최대	최소	
간접배수 수방식	8,425	89	38	1,239	1,966	DCIP	1980	2002	200mm

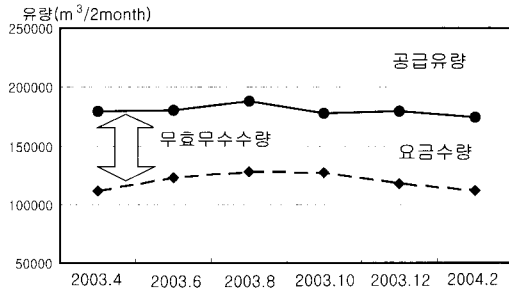


Fig. 4. B배수구역의 배수자료분석

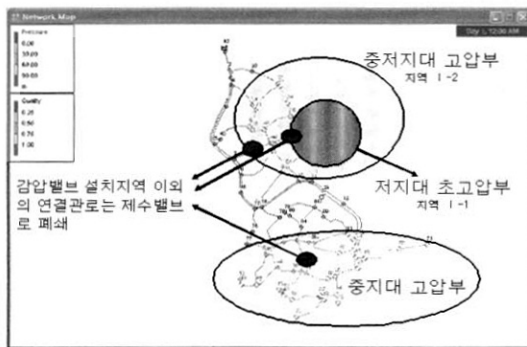


Fig. 5. B 배수구역의 개략도(EPANET 화면)

기간동안 변화율이 10.9%로서 비교적 일정하게 유입되었다는 것을 알 수 있다. 대상지역의 무효무수수량은 평균적으로 13.5%로서 하루에 약 306톤가량의 물이 손실되고 있는 것으로 조사되었다.

B 배수구역은 Fig. 5와 같다. 배수구역 B에서는 해당 배수구역이 크게 중저지대 고압부, 중저지대 고압부, 저지대 초고압부로 3개의 부분으로 나누어 시나

Table 4. B 배수구역의 누수저감 시나리오

시나리오	감압대상지역	감압밸브 운전조건
시나리오 1	없음	없음
시나리오 2	제 I -1구역 감압	① 10m감압 ② 20m감압 ③ 30m감압 ④ 40m감압
시나리오 3	제 I -2구역 감압	① 10m감압 ② 20m감압 ③ 30m감압
시나리오 4	제 II 구역 감압	① 10m감압 ② 20m감압

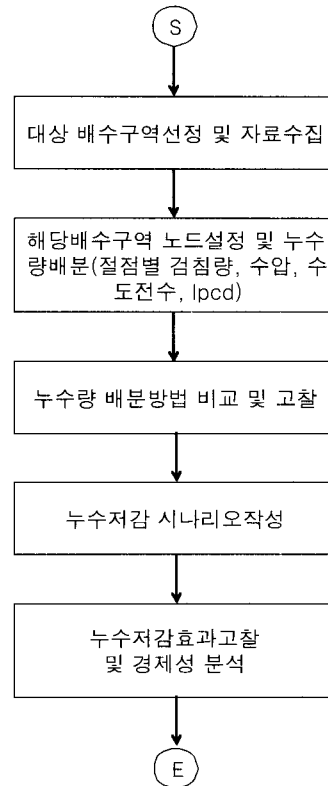


Fig. 6. 본 연구의 진행순서

리오가 작성되었으며 모든 대상지역에서 최소동수압을 만족시키도록 하였다. 시나리오의 세부사항은 Table 4와 같다.

2.5. 연구의 순서

본 연구는 중단위 혹은 대단위 배수블록을 대상으로 수압조정을 통한 누수저감을 목적으로 하여 Fig. 6과 같은 순서로 연구가 진행된다.

본 연구는 우선 2.4절의 조건들에 따라 배수구역을 선정하고 관망시물레이션에 필요한 자료를 수집한다. 이후 해당 지도를 이용하여 각 지번별로 적절히 노드 점을 구성하고 검침량 자료를 이용하여 각 노드별 누수량을 구한다. 이후 2.2절과 같이 누수량을 절점별 검침량, 수압, 수도전수, Lpcd에 비례하게 산정하고 각 노드의 검침량 자료에 더하여 각 노드별 전체 누수량으로 한다. 이후 관망 시물레이션 결과로 나온 수압과 실제 지점에서 측정한 수압과의 비교를 통하여 분배방법에 대해 고찰한다. 이후 2.4절에서 각 배

Table 5. 각 배분방법별로 계산된 수압과 실제 수압과의 상관계수

배수구역	누수량 배분방법	계산수압과 실측수압의 상관계수
A배수구역	검침량에 의한 방법	0.929
	수압에 의한 방법	0.936
	수도전수에 의한 방법	0.928
	Lpcd에 의한 방법	0.931
B배수구역	검침량에 의한 방법	0.935
	수압에 의한 방법	0.935
	수도전수에 의한 방법	0.941
	Lpcd에 의한 방법	0.941

수지역별의 누수저감 시나리오에 따른 관망시물레이션을 통하여 누수저감효과와 경제성을 고찰한다.

3. 연구결과

본 연구의 목적은 두가지이다. 하나는 각 노드지점별로 누수량을 어떻게 배분하여야 하는가와 다른 하나는 누수저감 시나리오에 따른 누수저감효과에 대한 고찰과 경제성분석이다. 전자에 대해서는 3.1절에서 후자에 대해서는 3.2절에서 각각 그 결과를 보여준다.

3.1. 누수량 분배 결과

A, B 두 배수지역에 대해서 모두 13번의 관망수압을 측정하였으며 실제 관망시물레이션을 통하여 계산된 결과와 비교하였다. 우선 A배수구역과 B배수구역에 대한 결과는 Table 5와 같다.

연구결과 각 배분방법별로 큰 차이가 거의 없으므로 나왔으며 모두 양호한 결과를 보여주고 있다. 이것은 실제로 네 방법에 의한 누수량의 배분방식이 실제 관망해석결과에는 큰 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 다른 이와같이 비슷한 사례가 있을 시에는 네가지의 방법 모두 거의 차이가 없으므로 자료의 취득 용이성에 따라 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 특히 위에서 제시한 방법중 Lpcd에 의한 방법은 지금까지 상수도 운영 및 계획을 시물레이션하는데 사용되어 왔던 방법으로서 꼭 지금까지와 같이 Lpcd에 의한 방법을 사용할 필요는 없다는 것을 의미한다. 이 중에 두 배수구역에서 누수량과의 상관성이 높다고 증명되고 추가자료가 필요하지 않는다는 이점을 가지고 있는 수압에 따른 방법을 채택하였다.

3.2. 시나리오별 누수저감 및 경제성

3.2.1. A배수구역

A배수구역을 대상으로 감압밸브와 펌프를 이용한 운전시나리오에 따른 결과는 Table 6과 같다. 여기에서 시나리오 1은 감압밸브와 펌프가 기존의 방식으로 운전되는 경우로서 비교의 대상이 된다.

시나리오별로 살펴보면 펌프의 토출양정을 제어한 시나리오 2~4보다 감압밸브를 이용한 시나리오 5~7이 보다 효과가 있는 것으로 나타났다. 가장 좋은 방법은 시나리오 8로서 연간 약 5천만원의 경제적 인 효과(수돗물 생산원가 환산)가 있는 것으로 나타났다. 이 경우에 대상 관로의 유입부에 설치되는 감압밸브(구경 300mm, 재질 닥타일)의 비용이 5,743천원인 것을 고려하면 약 2개월 내에 비용을 회수할 수 있다는 결론을 얻었다.

3.2.2 B 배수구역

배수구역 B의 경우에는 배수구역의 위치에 따라 시나리오가 작성되었으며 관망해석 시물레이션을 통하여 Table 7과 같은 결과를 얻었다.

배수구역 A와 마찬가지로 시나리오 1은 아무런 조치를 취하지 않는 경우로서 비교의 대상이 된다. 각 결과를 보면 초고압부를 대상으로 하는 시나리오 2가 시나리오 3과 4에 비해 누수저감효과가 가장 적었다. 원금회수의 측면에서 보면 구경 200mm 감압밸브의 가격이 대략 3,606천원으로 원금회수 기간이 시나리오 2-④가 2년 1개월, 시나리오 3-③이 약 9개월, 시나리오 4-②가 약 1년 8개월이었다. 위의 시나리오중 시나리오 3을 적용하는 경우에 있어서는 시나리오 2도 포함되어 중복되어 있다. 따라서, 전체 이익금을

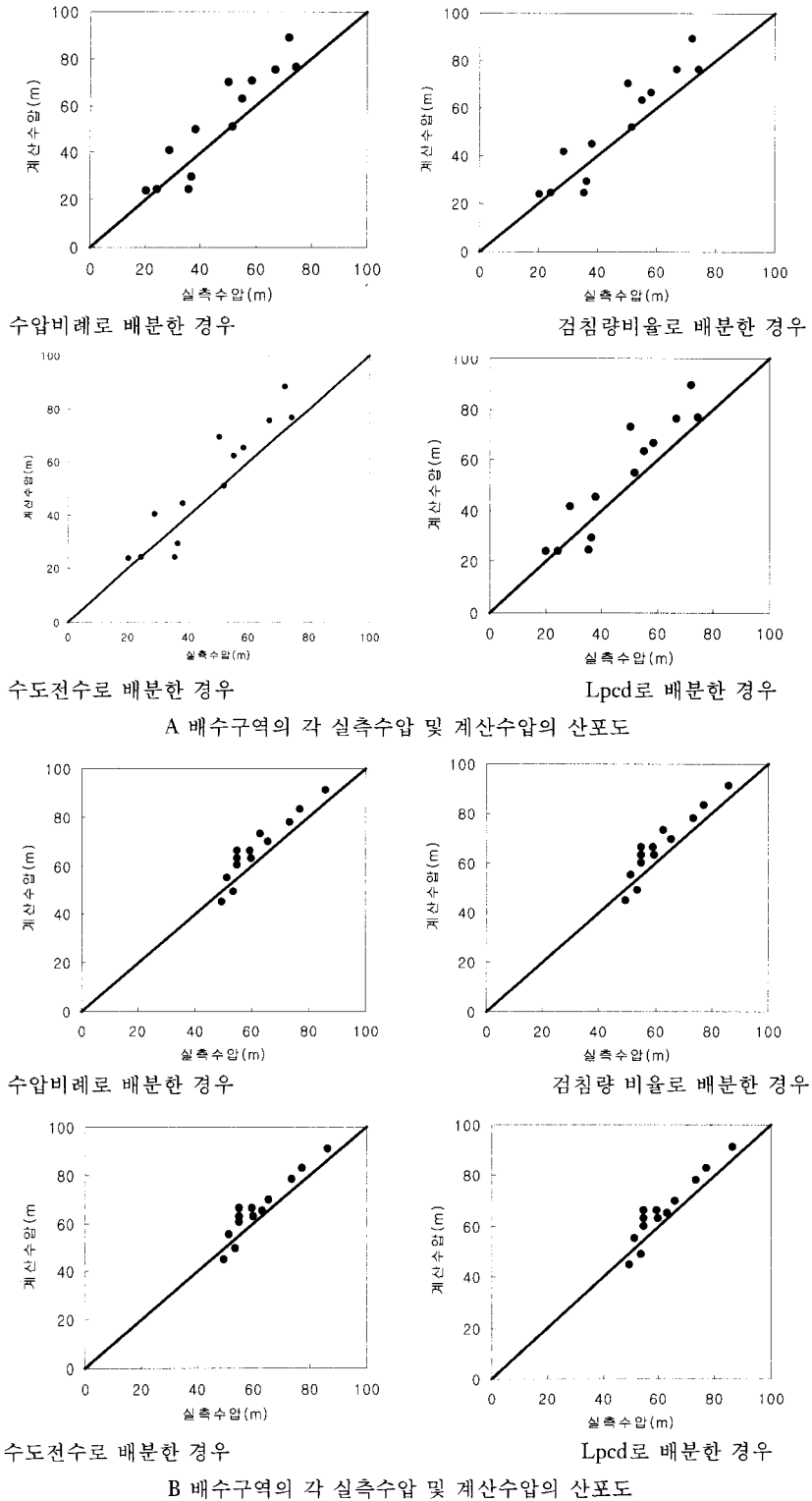


Fig. 7. A 및 B 배수구역의 실측수압 및 계산수압의 산포도

Table 6. A배수구역에서의 각 시나리오별 누수저감효과

	누수량(톤/년)	시나리오 1대비 저감효과(톤/년)	시나리오 1대비 저감금액(천원/년)	감압밸브가격 (천원)
시나리오1	547,500	-	-	
시나리오2	545,572	1,928	1,145	
시나리오3	523,718	23,782	14,130	
시나리오4	510,517	36,983	22,000	5,743
시나리오5	517,322	30,178	18,000	(구경 300mm)
시나리오6	511,642	35,858	21,300	
시나리오7	497,770	49,730	29,540	
시나리오8	460,787	86,713	51,500	

수돗물의 생산원가 = 594원/톤(2002년기준, 2003 환경백서), 감압밸브의 가격 2.3참조.

Table 7. B배수구역에서의 각 시나리오별 누수저감효과

	누수량(톤/년)	시나리오 1대비 저감효과(톤/년)	시나리오 1대비 저감금액(천원/년)	감압밸브비용 (천원)
시나리오 1	104,718	-	-	
시나리오 2	①	104,268	450	267
	②	103,859	859	510
	③	102,919	1,799	1,069
	④	101,860	2,857	1,697
시나리오 3	①	102,882	1,836	1,090
	②	100,059	4,659	2,767
	③	96,905	7,813	4,641
시나리오 4	①	102,934	1,784	1,059
	②	101,088	3,629	2,156

수돗물의 생산원가= 594원/톤(2002년기준, 2003 환경백서), 감압밸브의 가격 2.3참조.

구하는 것은 경제적 효과가 큰 시나리오 3과 시나리오 4를 동시에 이용하는 것으로 하였으며 전체 이익금은 연간 680만원이며 7개월만에 원금을 회수할 수 있는 것으로 나타났다.

시나리오 2의 결과가 그다지 효과적이지 못하였다. 그 이유는 대상구역이 좁았기 때문으로 시나리오 2가 대상으로 하는 지역 I-1의 수전수는 131개로 지역 I-2의 429개, 지역 II-1의 349개에 비해 적었다. 그리고 감압밸브의 가격은 관경에 따라 큰 차이를 보여 구경 1,000mm의 경우에는 가격이 5천만원에 상당하고 있다. 따라서, 감압밸브를 이용하는 방법을 사용할 때에는 감압밸브에 의한 경제적인 효과와 감압밸브의 가격을 살펴본 이후에 결정하여야 한다.

4. 결 론

본 연구는 감압밸브와 펌프의 운전조작을 통한 수압관리로서 누수량을 저감하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 우선 각 노드점별로 누수량을 어떻게 배분할 것인가에 대해 검침량, 수압, 수전수, Lpcd 등에 비례하여 배분하여 그 결과를 고찰하였으며 수압관리를 통한 효과를 알아보고자 A와 B 두 배수구역에 대해 최소동수압을 유지하면서 감압이 이루어지도록 다양한 시나리오를 작성하여 누수저감효과와 경제성을 파악하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) A배수구역과 B배수구역 모두 각 노드별로 누수량을 배분할 때에 검침량, 수압, 수전수, Lpcd 네가지 모두 큰 차이가 없었다. 따라서, 지금까지 이용되

어은 Lpcd에 의한 방법외에도 다른 방법들도 이용될 수 있다는 것을 보여주었다. 이중 수압에 의한 방법은 별다른 추가자료나 자료가 필요 없고, 또한 누수량이 수압에 비례하여 발생한다는 것이기 때문에 누수량은 수압에 따라 배분하는 것으로 하였다.

(2) A배수구역에 대해서 펌프와 밸브를 이용하여 다양한 시나리오를 통하여 누수저감효과를 알아보았다. 결과적으로 감압밸브를 설치하여 펌프와 함께 감압운전을 하는 경우에 약 2개월 내에 원금을 회수할 수 있고, 연간 약 5,000만 원의 경제적인 이익을 실현할 수 있다는 결론을 얻었다.

(3) B 배수구역을 대상으로 감압밸브를 설치하고 운전을 하면 약 7개월만에 원금을 환수할 수 있고, 연간 약 680만 원의 경제적인 이익을 실현할 수 있다는 결론을 얻었다.

(4) B배수구역의 I-1지역의 경우에는 대상지역이 좁아서 원금을 회수하는 데 상당한 시간이 소요되는 것으로 나타나며 감압밸브의 가격도 구경에 따라 기하급수적으로 증가한다. 따라서 본 연구에 의한 방법을 사용하기 전에는 경제적인 효과를 확인하여야 한다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 4-2-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김덕현, 현인환, 윤여송(2003) 수압계를 이용한 상수도관의 누수관리와 유수율 분석에 대한 연구, *대한상하수도학회 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집*.
2. 손광익, 지흥기, 이순탁(1995) 압력조절에 의한 누수절감효과, *대한토목학회 학술발표회*, pp. 49-52.
3. 안수환(1989) *수리학*, 동명사.
4. 이승철, 이상일(2005) 누수탐사에 의한 유량분석 및 보수의 경제적효과, *상하수도학회지*, **19**(1), pp. 8-15.
5. 이승철, 이상일(2002) 누수탐사에 의한 유량측정자료 분석, *대한토목학회 학술발표회*, pp. 208.
6. 이필상(2004) *재무학*, 박영사, 서울.
7. 최재호(2000) 상수도 시스템의 시설계획과 운영의 최적화, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문.
8. 하성룡, 류연희(2000) 확률적 신경망을 기반으로 한 수도관 누수예측, *대한상하수도학회 추계학술발표회*, pp. 19-22.
9. 환경부(2004) 2003 환경백서.
10. Sakartya, A. B. and Mays, L. W.(2000) Optimal operation of water distribution system pumps with water quality considerations, *Journal of water resources planning and management*, **126**(4), pp. 210-220.
11. Ashton, C. H. and Hope, V. S.(2001), 'Environmental valuation and the economic level of leakage', *Urban Water*, **3**, pp. 261-270.
12. EPA United States Environmental Protection Agency(2000) EPANET2 USERS MANUAL, EPA, 2000.
13. Vairavamoorthy, K. and Lumbers, J.(1998) Leakage reduction in water distribution systems: optimal valve control, *Journal of hydraulic engineering*, **124**, pp. 1146-1154.
14. Farley, M. and Trow, S.(2003), 'Losses in Water Distribution Networks', IWA Publishing.
15. Steven, G. B. and Nadimpalli, G.(2004) Leak estimation in water distribution systems by statistical analysis of flow readings, *Journal of water resources planning and management*, **130**(4), pp. 321-329.
16. Technical Working Group on Waste of Water(1980), 'Leakage control policy and practice', National Water Council, London, UK.
17. 日本水道協會(1980)日本漏水防止指針.
18. 水道管路技術センター(1990)水道管路の漏水防止.
19. 比企三藏(1982) '漏水量と壓力との關係', *日本水道協會雜誌*, **51**(5), pp. 50-54.