

배수구역별 누수관리를 위한 야간유량성분 특성연구

Study on the characteristics of night flow components for leakage management in district metered area

구자용^{1*} · 장광호² · 김민철¹

Koo, Ja-yong^{1*} · Jang, Kwang-Ho² · Kim, Min-Cheol¹

1 서울시립대학교 환경공학부, 2 한국종합기술 엔지니어링

(2009년 11월 23일 접수, 2009년 12월15일 채택)

Abstract

The Korea has high population density, so the precipitation per capita is only one tenth to world average. The water resource in Korea is insufficient. But the leakage in the water distribution system is about 25%, and it is lower than other countries where water utilities are managed well.

The pipelines' management also is getting worse because the leakage in the pipelines lower the ground density surrounding pipes. So, managing the leakage in the water distribution system is very important in the view of increasing the water resources and doing the efficient management of the pipeline system.

Accordingly this study aimed to conduct a cause-analysis with scientific approaches considering key local factor related to water loss of distribution system and derive better performance indicators which are able to evaluate the real state of water loss management reasonably. Also this research aimed to develop a methodology capable of judging condition of infrastructure of water distribution system

Key words :PI(performance indicator), minimum night flow, unavoidable night flow, leakage management

주 제 어 : 수행능력지표, 야간최소유량, 기준허용야간유량, 누수관리

1. 서 론

상수도시설은 국민의 생산 및 소비활동과 직결되는 필수적인 요소로서, 산업화 및 도시화와 더불어 그동안 양적인 면에서 많은 성장을 거듭하였다. 상수도시설의 생산량대비 요금 징수량인 유수율은 2007년 현재 81.1%로 선진외국에 비해 매우 낮은 실정으로 이것의 대부분은 배·급수관망에서의 누수(734백만³, 12.8%)에 기인한 것으로 보고되고

있다. 이러한 수자원 손실을 감소시키기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 세 가지 방법으로 구분하여 생각해 볼 수가 있다. 첫 번째는 누수 방지 측면으로 노후관 교체 및 갱생사업 등의 방법이고, 두 번째는 누수 저감 측면으로 수압조절 방법에 누수량을 저감시키는 방법이며, 세 번째는 유지 관리 측면으로 관망의 형태를 유입지점과 유출지점이 명확하게 구분될 수 있도록 구축하는 것이다. 이에 따라 정부에서는 상수도시설에 대한 실태조사를 실시하고, 누수량이 많은 구

* Corresponding author Tel:+82-, Fax:+82-, E-mail: jykoo@uos.ac.kr(Koo, J.Y.)

간 및 예산부담이 적은 부분부터 우선교체를 추진하는 등 유수율 제고를 위한 많은 정책을 추진하고 있다.

그러나 이와 같은 적용 가능한 누수방지 및 저감방법을 도입하기 위해 우선적으로 시행되어야 하는 작업으로는 대상 배·급수 구역의 특성을 과학적으로 파악하여 지역특성과 대상구역에서의 누수특성에 알맞은 맞춤형 누수방지 및 저감기법을 도입해야한다는 것이다. 하지만 국내실정은 상수도 전반에 관련 지표가 부족하여 막대한 물 손실에 대해 과학적이고 체계적으로 배·급수구역의 운영 상태를 판단하기에 부족한 면이 있어 국내 현실에 맞는 평가인자들을 개발하는 것이 시급하다. 따라서 본 연구에서는 선진외국의 상수도시스템에 대한 다양한 수행능력지표 개발과 같은 맥락에서, 특히 배·급수 시스템에서 과학적인 누수관리를 위해 배수블록별 공급유량과 사용량, 누수량 등을 선진국 기준과 동일한 수준으로 연구대상지역을 선정하여 기본 자료를 조사하였다.

국내에서 적용된 야간유량 측정법은 배수관 연장당 일정손실유량에 따른 단순판단으로 많은 문제점을 내포하고 있고, 특히 배수구역별 특성 및 영향인자가 무엇인지 제대로 검증될 수 없어 체계적인 누수관리에 한계가 존재하였다. 따라서 연구결과를 이용하여 야간유량 구성항목별 특성을 과학적으로 세분하여 확인 후 구성항목에 대한 영향인자를 도출하고 이를 이용하여 기준허용야간유량 관계식을 산정함으로써 배·급수구역 운영을 평가하는 지표를 개발하였다.

2. 이론적 배경

2.1 야간최소유량의 해석

야간최소유량(Minimum night flows; NFM)은 사용량이 최소인 야간시간대동안 어떤 배수관망(network) 혹은 구역(zone 혹은 block)으로 유입되는 유량으로, 구역 내 가정과 비가정(업무용, 영업용, 옥탕용 등)에서 야간최소유량이 발생할 때 일정시간동안 유입되는 유량을 실측함으로써 구할 수 있다.

한 고립관리구역(DMA)에서 오랜 시간동안에 대한 야간최소유량(NFM)의 변화는 다음의 Fig. 1과 Fig. 2와같이 구성되어있다고 볼 수 있다.

주간에는 측정대상구역(District metered area; DMA) 내의 사용자들이 물을 어떻게 얼마나 사용하는 지에 따라 구역 유입유량이 크게 변동하고 또한 모든 사용자들의 물사용 패턴이 다르므로 이를 정확히 측정 혹은 예측한다는 것이 불가능하다. 이 때문에 비교적 사용량이 적어서 구역 유입량이 가장 최소로 되는 시간에 유량을 측정하면 그 때에는 사용

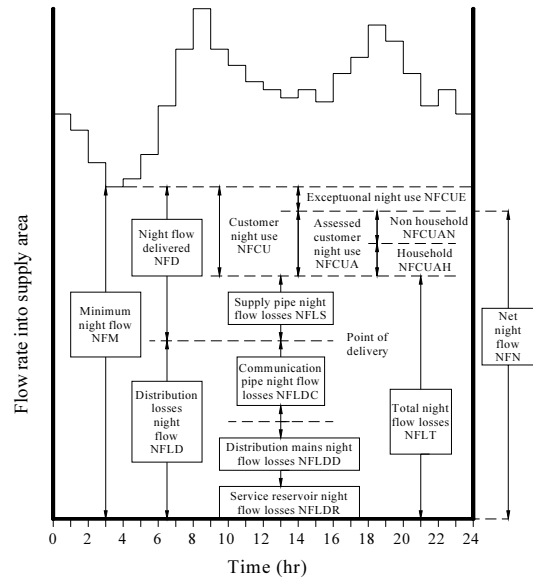


Fig. 1. Components of night flow(WRc,1994 e)

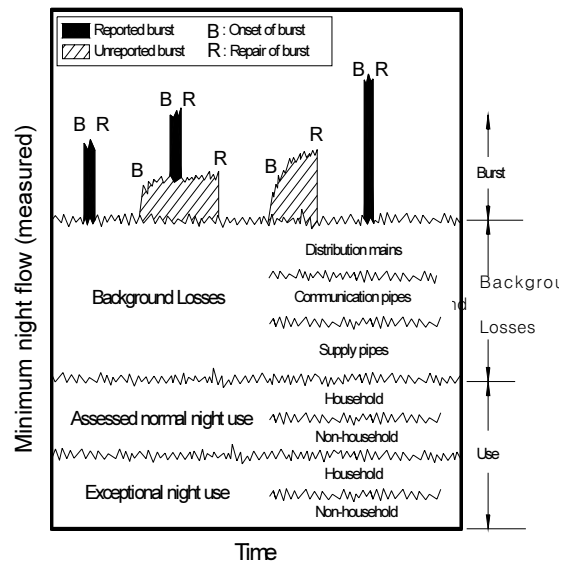


Fig. 2. Components of minimum night flow(WRc,1994a,e,f)

량에 의한 편차가 줄어들게 되고 구역 유입량에 대한 손실량의 비율이 가장 크게 나타난다.

2.2 야간최소유량의 이용

측정대상구역의 특성을 평가하고 개선을 실행할지를 판단하기 위해서 야간최소유량을 측정한다. 야간최소유량을 알기 위해서는 야간사용량과 기준허용야간손실량을 측정하

여야 한다. 어떤 적극적 누수관리의 방법에도 경제성 확보된 탐지방법이 선택되어지기에 비용과 효과의 관계가 중요한데, 기준허용야간유량의 경우 관련된 모든 지역적 특성들(배수관연장, 가정과 비가정의 수, 수압)을 가지고 각 고립된 배수구역의 특성을 설명할 수 있기에 구역을 담당하는 관리자에게 매우 중요한 가치를 지닌다. 야간유량 값은 해당 고립구역의 알려지지 않은 심각한 파열의 위치를 조사하기 위한 수행(인력 및 재원 등)을 하는 것보다 더 효율적이다. 즉, 배수구역에서 개별 파열들의 위치파악을 위한 Step test와 혼합적인 누수음을 탐지하기위한 청음조사보다 야간유량 측정기법을 이용하여 구역특성과 상태를 확인한 후 실시하는 것이 더 효과적이다.

2.3 기준허용야간유량의 산정

기준허용야간유량을 산정할 수 있는 기준허용야간유량 산정식을 도출하기 위하여 영국에서 개발된 Option A, B test를 사용할 수 있다(Managing leakage Report E).

2.3.1 야간사용량

조사대상지역에 수정 Option A test를 실시하여 가정 및 비가정의 정상적인 야간사용량과 예외적 야간사용량을 산정한다. 야간활동이 있는 수전의 비율은 사회적 관습에 의존하며 동일 주간에도 날이 다르면 바뀌는 경향이 있다. 하지만, 야간에 비고정적으로 심하게 많은 물을 사용하는 예외적 야간사용량의 발생은 구역내 총 수전수 중에 적은 비율만을 차지한다.

2.3.2 옥내급수관 배경손실량

옥내급수관 배경손실량은 수정 Option A test에 의해 산출된다. 여기서, 옥내급수관 손실량은 상수도사용가의 지하에 매설되어 있는 배관(Underground supply pipe)이나 건물내배관(Plumbing)에서의 누수뿐만 아니라 물탱크, 변기, 세탁기, 수도꼭지 등에서 새거나 월류하는 양 및 사용자가 수도꼭지를 제대로 잠그지 않아서 흘러버리는 양도 포함된다.

2.3.3 배수관 및 인입급수관 배경손실량

배수관 및 인입급수관에서의 배경손실량을 측정하기 위해서 Option B test를 사용한다. 측정대상구역 내에 파열이 존재하지 않을 경우 구역 내의 모든 급수전을 차단하고 유입부에 설치된 유량계를 통과하는 유량을 배수관 및 인입급수관에서의 배경손실량이라고 간주할 수 있다.

3. 연구방법

3.1 대상지역 및 자료수집

본 연구의 조사대상지역으로는 자료의 이용과 계속연구 가능성 등을 고려하여 구역이 고립되어 운전되고 있는 경기도의 S시 2개 구의 8개 배수블록을 선정하여 유량계, 상수도 관련 GIS 수치지도, 야간유량 현장조사 등을 통하여 모든 지역에 대하여 공급량, 검침량, 배수관연장, 급수관연장(인입급수관) 및 상수업종별 급수전 수, 평균수압을 조사하였다(Fig. 3).

측정된 수압에 대한 보정을 위해 수압보정인자를 그대로 사용하였고, 공급유량의 측정은 대상구역의 유입지점에서 전자식유량계로 5분 간격으로 측정하였다. 조사대상지역의 기본현황과 관로현황 분류는 Table 1에 나타내었다.

3.2 기준허용야간유량의 산정식

기준허용야간유량은 배수구역별로 크게 다를 수 있는 가정용, 비가정용의 급수전별 야간사용량과 배수관 및 급수관에서의 손실량을 별도로 고려하고 수압 및 측정시간을 보정하기 때문에 지역의 특성을 매우 정밀하게 고려한다. 기준허용야간유량은 다음과 같이 표현될 수 있다.

기준허용야간유량 =

$$[\text{예외적인 야간사용량} + \text{정상적인 야간사용량}] + [(\text{옥내급수관 배경손실량} + \text{배} \cdot \text{급수관 배경손실량}) \times \text{수압보정인자}]$$

Table 1. Characteristics of DMAs for basic analysis

DMAs		A	B	C	D	E	F	G	H	Total	
Service connections	Total (unit)	1,462	1,882	916	1,024	1,339	2,201	2,868	2,088	11,692	
	House hold	unit	1,302	1,631	748	930	1,087	1,736	2,513	1,556	9,947
		ratio	89.1%	86.7%	81.7%	90.8%	81.2%	78.9%	87.6%	74.5%	83.5%
	Non-house hold	unit	160	251	168	94	252	465	355	532	1,745
		ratio	10.9%	13.3%	18.3%	9.2%	18.8%	21.1%	12.4%	25.5%	16.5%

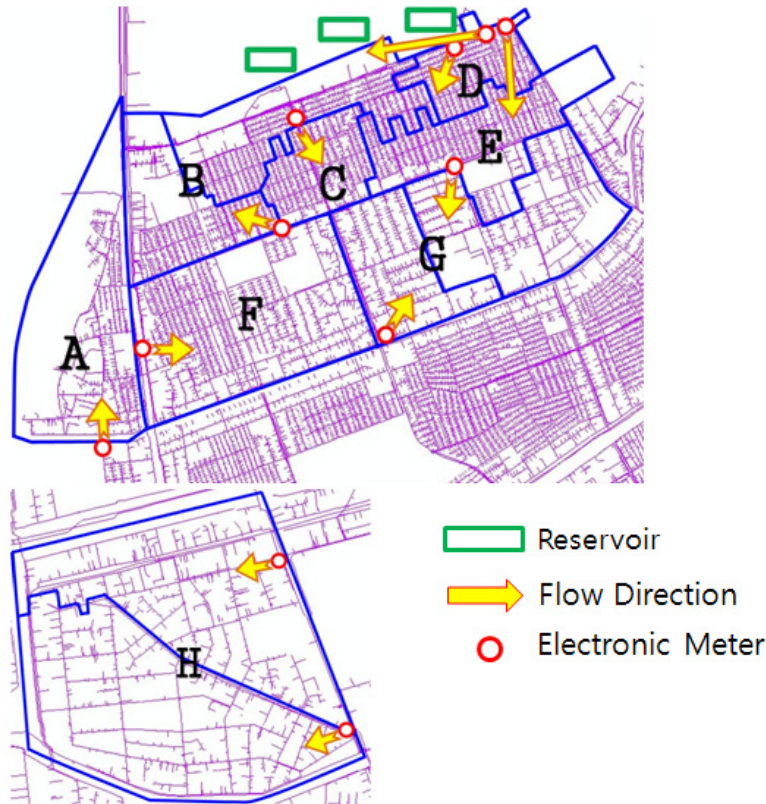


Fig. 3. Target area for survey

상기 기준허용야간유량의 각 부분에 대하여 다음 방법으로 산정하였다.

3.2.1 수정 Option A test

영국의 Option A test 방법을 일부 수정하여 수정 Option A test 방법을 개발하여 사용한다. 수정된 내용은 크게 두 가지로 Option A test의 측정 시간대와 계량기 해석방법이다. 측정 시각을 새벽 2시~4시 사이에서 야간최소유량의 일반적 발생시각인 새벽 3시 반~4시로 수정하였다. 계량기 해석방법으로는 기존에 Option A test는 단순히 변화할 때에는 사용 혹은 누수로 분류하였으나, 수정 Option A test 방법은 계량기의 회전바늘이 정지하여 있으면 x 표시, 빠르게 회전하고 있으면 ◎ 표시, 천천히 회전하고 있으면 ○ 표시를 하고 1회 전 당 회전시간을 초시계로 측정하여 기록하였다.

수정 Option A test는 물을 거의 사용하지 않으리라고 생각되는 심야시간에 대문밖에 있는 계량기를 2회에 걸쳐 측정하며, 결과를 이용하여 평균적인 야간사용량 및 옥내급수관 배경손실량을 산정하고, 측정대상구역 전체의 야간사용량 및 야간옥내급수관손실량을 추정하게 된다.

3.2.2 Option B test

Option B test는 주민들에게 미리 공고를 한 후 일시적으로 심야시간에 개별 지수전(Stop-tap)을 닫아서 각 상수도사용가에 급수되는 것을 차단하고 구역유량계를 통해 유입된 양과의 차이량을 배수관, 배수지(구역내에 배수지가 있다면) 및 인입급수관에서의 손실된 총량으로 간주하는 방법이다.

○ Option B test 수행결과에 의한 산정방법

- 조사대상지역 중 C, D, E 3개 지역에서 Option B test를 1~2회씩 실시하여 배수관, 인입급수관 배경손실량을 측정하고자 하였다. 수도사업소의 협조 하에 주민들에게 사전에 공고한다.
- 다음, 야간 3시간동안 측정대상구역내의 모든 계량기 전단의 지수전 3279전(916, 1024, 1339전)을 차단한다.
- 지수전이 고장 나거나 밸브개폐가 불가능하여 차단되지 않는 경우에는 소수점 3째 자리까지 계량기 지침을 읽고 동일시간 동안 계량기를 통과한 양을 전체 유입량에서 차감한다.

- 또한 차량이나 적재물 등에 의해 혹은 옥내에 수전이 위치하여 계량기 지침도 읽을 수 없을 때는 수정 Option A test로 산정한 평균야간사용량을 차감한다.
- 그리고 계산된 유입량을 배수관과 인입급수관에서의 손실되고 있는 수량으로 간주한다.

4. 결과 및 해석

4.1 새로운 기준허용야간유량 산정식 개발을 위한 모색

4.1.1 야간사용량 산정

S시의 8개 전 구역을 수정 Modified Option A test를 이용하여 측정된 결과로는 전체 구역을 대상으로 가정용 예외적 야간사용량(NFCUEH : Exceptional Night Use Household)은 847수전 측정 중 15번 발생하였고 비가정용 예외적 야간사용량(NFCUEH : Exceptional Night Use Non-household)는 558 수전의 측정 중 각각 21번의 예외적 야간수량이 발생했다. 이를 통계적으로 환산하면

1.8%와 3.8%의 발생확률을 나타냈다. 가정용에서 발생량은 504.29-1424.25 (l/conn/hr)이며 비가정용에서는 504.20-1753.24 (l/conn/hr)의 범위를 갖는다. 이는 UK 보고서에 의한 예외적 사용량의 기준을 500 l/conn/hr 이상으로 분류하였기에 나온 결과이다.

정상적 야간사용량에 대하여 산정한 결과를 **Table 2**에 나타내었다. 평균적인 주택의 배경손실량을 산정하기 위해서는 전체자료를 종합하여 평균을 산출하는 것이 바람직하다고 판단하고 가중평균으로써 정상적 야간사용량을 산출하였다.

4.1.2 옥내급수관배경손실량 산정

옥내급수관에서의 배경손실량을 산정한 결과를 **Table 3**에 나타내었다. 평균적인 옥내급수관 배경손실량을 산정하기 위해서는 전체자료를 종합하여 평균을 산출하는 것이 바람직하다고 판단하고 가중평균으로써 옥내급수관 배경 손실량을 산출하였다.

Table 2. Estimation of assessed customer night use

DMAs		Total conn.		Sample size (connections)			NFLS (L/conn/hr)	
		Household	Non household	Total	Household	Non household	Household	Non household
DMA-A	Oct.	1462		46	34	12	9.03	14.57
	Nov.	1302	160	47	34	13	8.74	0.18
DMA-B	Aug.	1882		83	57	26	5.50	17.79
	Oct.	1631		81	55	26	6.40	11.86
DMA-C	Nov.	748	168	76	53	23	3.53	4.91
	Aug.	1024		40	32	8	12.01	4.32
DMA-D	Oct.	930		40	32	8	10.20	20.63
	Nov.	1087	252	41	24	17	4.77	7.24
DMA-E	Aug.	1339		40	23	17	15.42	17.30
	Nov.	1087	252	41	24	17	4.77	7.24
DMA-F	Aug.	2201		79	39	40	10.11	10.41
	Oct.	1736		77	38	39	7.61	17.18
DMA-G	Nov.	1736	465	75	38	37	13.07	10.93
	Aug.	2868		79	44	35	22.66	17.32
DMA-H	Oct.	2513		79	45	34	11.01	8.56
	Nov.	2088	355	76	42	34	6.63	2.95
DMA-H	Aug.	2088		86	33	53	17.23	18.74
	Nov.	1556	532	84	32	52	7.47	11.05
Weighted average							10.20	2.85

NFCUA : Assessed customer night use

4.1.3 배수관, 인입급수관 배경손실량 산정

배수관과 인입급수관 배경손실량을 측정하기 위한 방법으로는 Option B test가 가장 확실하지만 수행하는데 있어 많은 어려움이 따르므로 현실적으로 실행하기 힘든 방법이다. 배·급수관 배경손실량을 구하기 위해 연구대상구역 중

3개의 배수구역을 선정하여 1-2회씩의 Option B test를 실시하였다. 그 결과는 다음 Fig. 4와 같다.

$$Q_{DCL} = Q_{Area}^B - (q_{Mb} + q_{Mi} + q_{APT}) \quad [식 1]$$

식 1에서 언급했듯이 보정값을 이용하여 계산하여 얻어진 배·급수관 배경손실량값은 다음 Table 4와 같다.

Table 3. Estimation of supply pipe losses night flow

DMAs		Total conn.		Sample size (connections)			NFLS (L/conn/hr)	
		Household	Non household	Total	Household	Non household	Household	Non household
DMA-A	Oct.	1462		46	34	12	36.35	56.10
	Nov.	1302	160	47	34	13	34.58	50.61
DMA-B	Aug.	1882		83	57	26	23.97	3.32
	Oct.			81	55	26	18.81	4.36
DMA-B	Nov.	1631	251	81	51	30	20.75	8.40
	Aug.	916		78	55	23	33.48	17.07
DMA-C	Oct.			77	54	23	18.44	25.47
	Nov.	748	168	76	53	23	22.09	20.15
DMA-D	Aug.	1024		40	32	8	17.07	12.04
	Oct.			40	32	8	12.96	19.17
DMA-D	Nov.	930	94	40	32	8	13.88	13.72
	Aug.	1339		40	23	17	27.98	17.24
DMA-E	Nov.	1087	252	41	24	17	31.00	11.80
	Aug.	2201		79	39	40	29.43	44.09
DMA-F	Oct.			77	38	39	23.24	18.17
	Nov.	1736	465	75	38	37	29.93	29.75
DMA-G	Aug.	2868		79	44	35	26.64	27.47
	Oct.			79	45	34	22.63	20.48
DMA-G	Nov.	2513	355	76	42	34	22.22	25.65
	Aug.	2088		86	33	53	21.04	40.88
DMA-H	Nov.	1556	532	84	32	52	32.64	46.17
	Weighted average						30.22	37.45

NFLS : Supply pipe losses night flow

Table 4. Correction of distribution main and communication pipe background night flow losses

	Measured Value (m ³ /hr)	Correction Factor (m ³ /hr)			Corrected Value (m ³ /hr)
		q _{Mb}	q _{Mi}	q _{th}	
DMA-C	22	-	-	-	22.0
	19	1.647	0.793		16.56
DMA-D	29	2.286	1.122	7.692	17.9
	20	1.060	0.170	-	18.77
DMA-E	41	10.744	2.955	-	27.3

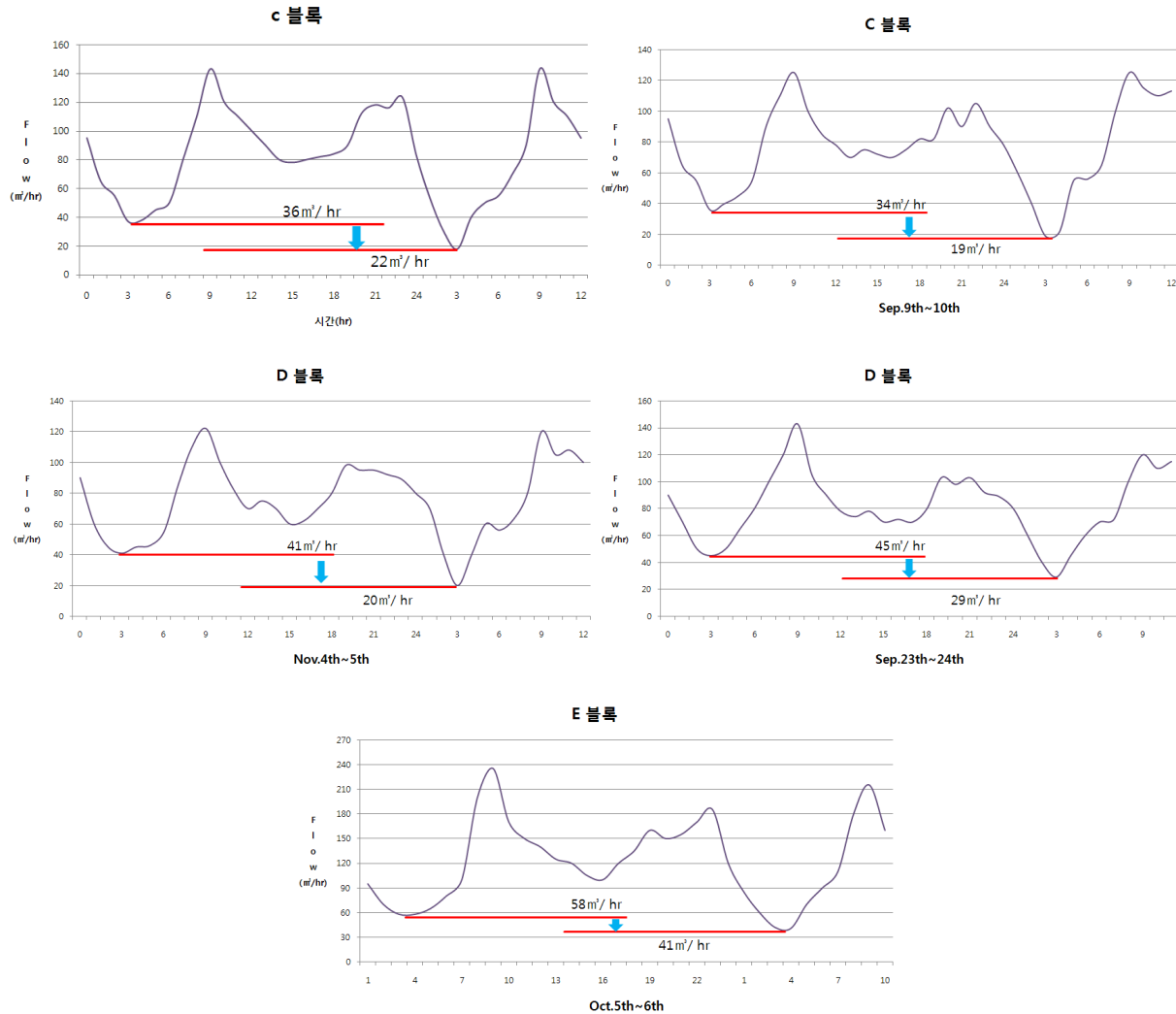


Fig. 4. Result of Option B test

측정된 Option B test의 결과를 이용하여 배·급수관 배경손실량을 구하고자 중회귀 분석을 실시하여 Table 5와 같은 결과를 얻었다.

4.2 새로운 기준허용야간유량 산정식 도출

앞에서 도출된 계수들을 이용하여 기준허용야간유량 산정식을 산정하면 다음과 같다.

기준허용야간유량 = 야간사용량 + 배경야간손실량 × 수압보정인자

$$= [NFCUE + C_1 N_h + C_2 N_{non-h}] + [(C_5 N_h + C_6 N_{non-h} + C_3 L + C_4 N)] \times PCF \quad [식2]$$

- C₁ : 가정용 야간사용량 계수 (L/conn/hr)
- C₂ : 비가정용 야간사용량 계수 (L/conn/hr)
- C₃ : 가정용 예외적인 야간사용량 (L/conn/hr)
- C₄ : 비가정용 예외적인 야간사용량 (L/conn/hr)
- C₅ : 가정용 옥내급수관 배경손실량 계수 (L/conn/hr)
- C₆ : 비가정용 옥내급수관 배경손실량 계수 (L/conn/hr)
- C₇ : 배수관 배경손실량 계수 (L/km/hr)
- C₈ : 인입급수관 배경손실량 계수 (L/conn/hr)
- L : 배수관 연장 (km)
- N = N_h + N_{non-h} : 급수전 수 (connections)
- N_h : 가정용 급수전 수 (connections)
- N_{non-h} : 비가정용 급수전 수 (connections)
- PCF : 수압보정인자
- NFCUE : 예외적인 야간 사용량(L/conn/hr)

Table 5. Result of regression analysis (Option B test)

statistics		Values
Coefficient of Determination (r^2)		0.794
F value		3.861
Pr > F		0.206
Pr > t	X1_main.	0.358
	X2_conn.	0.357
Coefficient	coeff. of main.(L/conn.)	-4537
	coeff. of conn.(L/km)	37507

Table 6. Methods for development of new unavoidable night flow equation

Category		Method 1 (Option B test)	Method 2 (Water Balance)			
			main+conn.	main	conn.	
Customer night uses	Household(C_1)		10.2			
	Non-household(C_2)		12.6			
Back- ground losses	Supply pipe	Household(C_3)	24.3			
		Non-household(C_4)	27.0			
	Distribution main(C_5)		X	5217.5	2762	X
	Communication pipe(C_6)		X	-23.97	X	27.6

5. 결론

① 예외적 사용량은 하나하나의 사용량은 많으나 그 발생 확률이 1.8%와 3.8%로 낮아서 통계적 인자로서 사용하기 힘들지만 야간최소유량의 변동 안정폭을 산정하는데 참고가 될 것이다.

② 정상적 야간사용량은 가정용 수전에서 10.1L/conn/hr 가 비가정용 수전에서 12.6L/conn/hr 인 것으로 조사되었다. 이것은 물사용 패턴을 볼 수 있는 지표가 되며 야간최소 유량이 발생하는 시각 부근으로 측정시간을 수정하였을 시 사용량이 큰 폭으로 줄어들어 구역특성을 파악하는데 더 효율적인 것으로 판단된다.

③ 옥내급수관 배경손실량은 가정용 수전에서 24.3L/conn/hr가 비가정용 수전에서 27.0L/conn/hr인 것으로 조사되었다. 발생량 변화는 시기적으로나 측정시각의 수정으로나 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나 압력과의 영향성 평가에서 압력이 발생확률을 증가시킨다는 영향성을 보이는 않았지만 옥내급수관 배경손실량이 발생한 수전에서

의 발생량과 수압과의 분석에서 수압이 손실량을 증가시키는 경향을 발견할 수 있었다.

④ 배수관과 인입급수관 배경손실량을 산정하기 위해 Option B test를 실시하여 배수관 연장과 수전수를 이용한 분석에서 배수관과 인입급수관 배경손실량과 상관성이 높음을 확인할 수 있었다.

⑤ 기준허용야간유량 산정식으로 산출된 각 구성요소들로부터 주거지역과 영업지역 특성을 가지고 있는 측정대상 구역의 상수도 기반시설의 상태를 지역 특성으로 고려한 새로운 기준허용야간유량 산정식을 개발하였다. 기준허용야간유량 산정식을 최소야간유량 모니터링에 이용한다면 배·급수시스템의 상태가 양호하다는 것을 판단할 수 있을 거라 생각된다. 따라서 새롭게 산정된 기준허용야간유량 및 평균 야간최소유량과 기준허용야간유량의 비율을 배·급수시스템의 수행능지표로 사용할 수 있을 것이라 판단된다.

현재 실시한 지역의 자료에서는 배수관과 인입급수관에 서의 배경손실량에 누수 및 파열이 포함되어 있었으며 이는 유량과 검침량으로 알아낸 구역의 상태와도 상관성이 있어

이를 이용하면 야간최소유량조사를 통하여 구역의 상태를 판단하고 적절한 조치를 취해야 할지를 알 수 있을 것이라 생각한다.

또한 도출된 산정식은 정량적 평가기준은 없지만, 전국 지자체들의 배급수구역에 대한 통계비교를 통해서 조사구역이 속한 그룹의 기준값으로 활용할 수 있을 것이라 고려된다.

더불어 향후 배급수구역이 양호한 지역에서부터 불량한 지역까지 순차적 실험이 행해지고 그 기준자료를 모을 수 있다면 야간최소유량측정으로 인하여 배급수구역의 상태를 판정하기 위한 폭넓은 수행평가지표를 산정할 수 있을 것이라 판단된다. 이를 위해서는 Option A, B test와 같은 측정 방법들의 수행방법을 국내사정에 맞게 개량을 거듭한다면 더 좋은 자료를 얻을 수 있을 것이라 고려된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구지원(과제번호 : 4-3-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. American Water Works Association, 1990, "Water Audits and Leak Detection", **AWWA MANUAL M36**, ISBN 0 89867 485 9
2. Environmental protection agency(queensland) & Wide Bay Water, 2002, Managing and Reducing

Losses from Water Distribution Systems, **Manual 2 Water Audits**, ISBN 0 7242 9492 9

3. Lambert, A.O., 2002, "International report on water losses management and techniques", **Water Science and Technology: Water Supply, Vol2**, No.4, pp.1~20
4. Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M. and Weimer, D., 1999, "A review of performance indicators for real losses from water supply systems", **Journal of Water SRT-Aqua, Vol.48**, No.6, pp.227~237
5. Leimberger, R., 2002b, "Performance target based non-revenue water reduction contract: a new concept successfully implemented in southeast Asia", **Water Science and Technology: Water Supply, Vol.2**, No.4, pp.21~29
6. 김덕현, 문영일, 조성진, 오태석, 2002, "상수도 유수율 향상을 위한 무선 영상원격검침시스템 적용 분석", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(1)**, pp.413~418
7. 이준채, 2005, "상수도 블록화사업의 현주소", **월간 환경미디어 6월호**, pp.34~45
8. 정신호, 2005, "배·급수시스템 물손실관리 수행능의 전략적 평가방법 개발", 서울시립대학교 박사학위논문, pp.21~48
9. 황상윤, 2003, "상수도 유수율 분석방법에 대하여 - 수도계량기(유량계)의 측정 불확도를 중심으로", **월간 제어계측 8월호**, pp.96~100