

관망해석시 절점별 누수량 배분 방안별 RMS 오차영향 분석



양 승 경 |

한국수자원공사 수도사업처 차장
skyang@kwater.or.kr



조 흥 영 |

한국수자원공사 안동권관리단 팀장
hycho@kwater.or.kr

1. 서론

노후된 상수관망에서 누수, 출수불량 등 제반 문제점을 효율적으로 개선하기 위해 신뢰도 높은 관망해석을 통한 현재상태의 정확한 분석이 필요하다.

관망해석은 관망의 배치, 길이, 관경 등의 기하학적 정보와 공급량과 사용량 등의 수리학적 정보 기초하여 해석을 수행한다. 따라서, 신뢰도 높은 관망해석을 위해서는 정확한 정보제공이 요구된다.

기하학적 특성은 도면과 지리정보시스템(GIS), 공급량은 첨단 유량계를 통해 정확한 자료 취득이 가능하다. 하지만, 관망해석상 절점별 사용량은 누수로 인해 신뢰성 있는 사용량 산정이 어려운 실정이다.

1) 누수량 산정 공식 $L(\text{누수})=C_d \times A \times (2gP)^{0.5}$

이번 연구에서는 사용량 구성인자를 세분하여 누수량을 산정하고 누수량의 배분 방법별민감도 분석을 통해 신뢰도 높은 관망해석방법을 제시하고자 한다.

2. 사용량 배분방법

과거에는 절점별 사용량을 유수수량에 유수율을 고려하여 절점별로 일괄 배분하였다. 이 경우 유수율이 낮은 지역은 절점별로 누수량이 과다 또는 과소 배분되어 관망해석 프로그램상의 오류가 많이 발생하였다.

각 절점에서 수압을 측정하여 누수량 산정공식¹⁾에 의거하여 각 절점별로압력에 비례하여 누수를 배분시 누수량 산정오차를 줄일 수 있으나 절점수가 많은 경우 각 절점에서 동일기간내 수압을 모니터링 한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

기존 절점별 누수량 배분 사례로는 검침자료를 기초로 관망해석 후 산출된 절점별 수압에 따라 누수량을 배분하고, 이 과정을 반복함으로써 계산된 수압과 실측수압에 가장 근접하는 누수량을 재배분하는 방법과 수도전수의 개수가 많을 수록 관의 연결부위가 늘어나고 이에 따라 연결부위 등에 누수량도 증가할 것이라 예상하여 수도전수에 따라 누

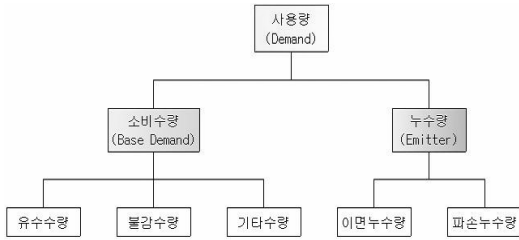


그림 1. 절점별 사용량 구분

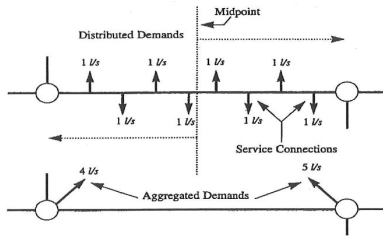


그림 2. 수요부하 단순화 모식도

수량을 배분하는 방법 등이 있었다.

이번 연구에서는 절점별 사용량을 그림1과 같이 소비수량과 누수량으로 세분하고 소비수량은 다시 유수량, 계량기 불감수량, 기타수량으로 구분 하였다. 또한, 누수량은 사용량에서 소비수량을 제외한 양을 누수량으로 산정하고, 이면누수량과 파손 누수량으로 다시 구분하였다.

유수량은 GIS D/B와 수용가 요금관리시스템의 자료를 이용하여 취득하였으며 절점 사이의 배수지관에서 발생하는 수요량에 대해서는 단순화를 위해 그림2와 같이 양절점에 동등 배분하는 방법을 사용하였다.

나머지 불감수량, 기타수량(사용량의 3%) 등은 전체수량에서 차지하는 양이 소량으로 절점별 계량기의 수량비로 배분하였다.

$$\text{소비수량} = \text{유수량} \div (1 - \text{계량기불감율})$$

$$\text{유수량} = \text{소비수량} \div (1 - 0.03)$$

누수량은 야간최소유량을 측정한 후 기타수량(야간사용량 등) 비율을 제외하여 전체 누수량으로 산정하였다.

이면누수량은 UARL (Unavoidable Annual

Component of Infrastructure	Background Losses	Reported Bursts	Unreported Bursts	Total UARL	Units
Mains	9.6	5.8	2.6	18	l/km mains/d per m of pressure
Service connections to street/property line	0.60	0.4	0.16	0.8	l/conn/d/m of pressure
Unmetered Service connections after street/property line	16.0	1.9	7.1	25	l/km underground pipe/d/m of pressure

Main관의 Background Losses 계산 예

$$= 20\text{L/km/hr} \times 24\text{hr/day} \div 50\text{m} = 9.6\text{L/km/day per m of pressure}$$

$$\text{이면누수(L/d)} = (9.6 \times \text{Lm} + 0.6 \times \text{Nc} + 16 \times \text{Lp}) \times \text{P} \quad \text{UARL} = (18 \times \text{Lm} + 0.80 \times \text{Nc} + 25 \times \text{Lp}) \times \text{P}$$

- UARL = Unavoidable annual real losses (l/day)
- Lm = Length of mains (km)
- Nc = Number of service connections (main to meter)
- Lp = Length of unmetered underground pipe from street edge to customer meters (km)
- P = Average operating pressure at average zone point (metres)

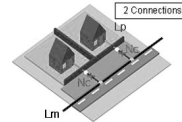


그림 3. 이면누수량 산출방법 및 사례

Real Losses) 산출 공식 중 Background Loss 공식을 이용하여 산정하고

파손 누수량은 전체누수량에서 이면누수량을 제외한 양을 파손누수량으로 간주하고 관로별로 수압, 관로길이, 매설년도 등을 고려한 가중치를 두어 관로별로 배분하였다.

$$\text{전체누수량} = \text{야간최소유량} - \text{기타수량}$$

$$\text{파손누수량} = \text{전체누수량} - \text{이면누수량}$$

소비수량의 경우는 관내 압력에 상관없이 사용자에 의해 결정되나 누수는 압력과 높은 상관관계가 있다. 즉, 관내 압력이 높아지면 누수량은 늘어나고 반면 압력이 줄어들면 누수량은 적어지게 된다.

이러한 특성으로 인해 누수량을 일반 소비수량과 같이 절점에 입력할 경우, 시간별 사용량의 변동 또는 감압밸브(PRV) 설치 등에 따라 수압이 변할 경우 관망해석의 오차를 더 유발하게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 파손누수량에 대해 EPANET 기능 중 절점에서 오리피스나 노즐 등을 통해 수압변동과 연계되어 유출량을 계산하는 Emitter 기능을 활용하였다. 이면누수량 역시 압력과 연동되나 파손누수량에 비해 그 양이 현격하게 적어 산정된 값을 각 절점에 사용량으로 적용하였다.

Emitter 공식(EPANET 프로그램)

$$q = K_e \times P^{Q_{exp}}$$

K_e : 유출계수

P : 절점에서의 압력

Q_{exp} : Emitter 지수

EPANET Emitter 공식은 오리피스 표준공식에 의거한 일반적인 누수량 산정공식²⁾과 동일 하다. 하지만, 누수량 산정공식의 유출계수(C_d)는 압력에 따라 변화하며 이에따라, 지수(0.5) 또한 일정하지 않다. 최근까지 지수에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 지수는 관중, 관경 및 매설환경에 따라 0.5~2.5 사이의 다양한 값을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이번 연구에서 누수량 산정공식에 따른 지수는 문헌상의 산정사례를 참고로 하여 평균 값인 1로 가정하였으며 Emitter 지수(Q_{exp}) 또한 동일한 것으로 간주하였다.

유출계수(K_e)는 앞서 산정된 절점별 누수량에 절점에서의 평균수압(P)과 Emitter 지수로 역산하여 계산하였다.

3. CASE별 누수량 배분결과 비교

3.1 대상지역 선정 및 현황

신뢰성 있는 관망도 작성과 적정성 검토 등을 위해 대상지역을 비교적 자료관리가 잘 되어 있고, 최근 GIS구축으로 자료의 활용성이 뛰어난 지역을 선정하였다. 해당지역은 광역상수도 유입점 1개를 통해 전량 광역상수도에 의존하고 있는 지역이다.

해당지역은 광역상수도에서 공급받는 배수지 1개소에서 운영되고 있고 수용가는 1,276개이며, 이중 10m³/일이상 대형수용가는 총 31개, 최대수용가는 354m³/일의 아파트단지이다. 계통내 공급현황은 공급량 6,289m³/일, 유수수량 3,370m³/일로 유수율은 53.6% 정도이며, 지역내 신시가지의 유수

율은 90%로 상당히 높은 반면, 구시가지는 유수율이 각각 22%로 상당히 낮아 물손실 관리가 절실한 상황이다.

3.2 누수량 배분방안별 결과 비교

구축된 관망도 및 취득한 자료를 이용하여 Case 별 정상유동해석을 실시하여 관측치와 실측치의 RMS오차를 비교하였다.

관망해석 결과 RMS오차는 표1과 표2로 나타났는데 Case I의 경우 수압 RMS = 4.579이었으나 Emitter를 이용해 절점별 파손누수량을 절점별 압력을 이용해 구하는 방법(Case IV)으로 분석을 한 결과 RMS = 3.140으로 향상되었으며, 유수율이 낮은 구도시지역의 48번과 136번 절점의 경우에는 RMS가 8.906 → 3.722, 5.238 → 1.938로 상당히 향상되었는데 누수량이 수압에 비례함을 잘 보여주고 있다.

- (Case I) 절점별 사용량을 유수수량에 해당 지역 유수율을 적용하여 절점별로 누수량 등 나머지 수량을 배분
- (Case II) 유수수량을 제외한 수량을 누수량으로 간주하여 이를 절점별 수압비율로 배분하고 배분된 누수수량과 유수수량을 해당절점의 사용량으로 간주
- (Case III) Case II에서 이번누수량을 UARL에 의해 산정하고 절점별로 배분하고 나머지를

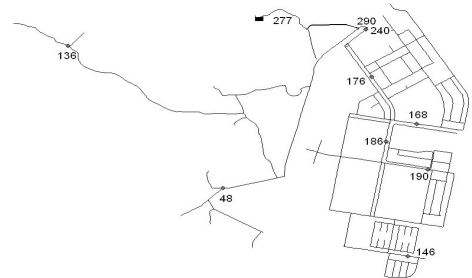


그림 4. 해당지역 관망해석 결과

2) $L(누수) = C_d \times A \times (2gP)^{0.5}$

표 1. Case별 수압 RMS 오차

절 점	RMS오차			
	Case I	Case II	Case III	Case IV
168	1,806	1,806	1,807	1,811
176	0,540	0,539	0,539	0,543
186	1,333	1,334	1,339	1,349
240	0,195	0,194	0,193	0,193
146	7,072	7,069	7,071	7,082
48	8,906	8,781	5,842	3,722
190	2,372	2,372	2,375	2,388
136	5,238	4,627	5,484	1,938
Network	4,579	4,465	3,956	3,140
Correlation	0,949	0,953	0,963	0,979

표 2. Case별 유량 RMS 오차

절 점	RMS오차			
	Case I	Case II	Case III	Case IV
277	133,304	133,304	133,300	259,417
290	7,613	7,608	7,607	68,813
Network	94,414	94,414	94,410	189,780
Correlation	1,000	1,000	1,000	1,000

파손누수로 간주하고 이를 절점별 수압비율로 배분 후 배분된 파손누수량, 유수량 및 이면누수량을 해당절점의 사용량으로 간주

- (Case IV) Case III 파손누수에 대해 절점 Emitter를 사용

Emitter 기능을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우와 공급량 차이를 비교해 보았다.

Emitter를 사용하지 않은 경우의 사용량은 수요량 및 시간별 승수에 의해 유량이 변동되나 수압변동에 따른 누수량 변동은 고려되지 않는다. 반면 Emitter를 사용한 경우는 소비수량 및 누수량으로 구분하여 사용량이 산정되어 수압의 변동에 따른 누수량의 변동이 고려됨으로 물 사용량이 적고 수압이 높은 야간시간대는 누수량이 많아지고 반대로 물사용량이 많고 수압이 낮은 주간시간대는 상대적

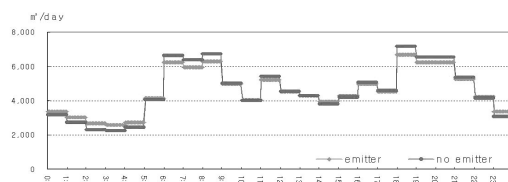


그림 5. Emitter 사용 전·후 공급량 비교(oo배수지)

으로 누수량이 적어지는 합리적인 공급량 패턴이 생성되었다.

4. 결론

이번 연구에서는 사용량 구성인자를 세분하여 누수량을 산정하고 누수량의 배분 방안별 EPANET RMS 오차에 대한 민감도 분석을 시행한 결과

- 1) 누수량을 유수율 비율로 배분했을 때 보다 절점별 수압비율로 배분한 경우
- 2) 누수량을 다시 이면누수량과 파손누수량으로 구분하여 산정하고 파손누수를 절점별 수압비율로 배분한 경우
- 3) 파손누수를 절점별로 EPANET Emitter 기능을 활용하여 배분한 경우

순으로 RMS 오차가 줄어 드는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서 신뢰도 높은 관망해석을 위해서는 사용량 구성인자를 세분화하여 누수량을 산정하고 산정된 누수량은 Emitter 기능도입을 활용한 누수배분이 필요한 것으로 나타났다.

하지만, 정확한 Emitter 지수를 산정하지 못한 점과 이면누수량 또한 압력과 연계되나 Emitter 기능을 적용하지 못한 부분은 개선되어야 할 것으로 판단된다.

이면누수량의 경우는 이번 연구에서와 같이 Emitter 지수가 1인 경우, 누수량은 압력과 단순 비례관계로 이면누수량에 대해서도 Emitter 기능의 적용이 가능하나 실제 Emitter 지수가 1이 아닌 경우는 적용이 불가하다.

만약 정확한 Emitter 지수산정과 Emitter 기능에 압력과 상관관계에 의한 이면누수량을 고려할 수 있는 기능이 추가 된다면 보다 신뢰성있는 관망해석이 될 수 있을 것으로 판단된다. ☺

참고문헌

1. 유수율제고를 위한 관망해석 및 진단(2009, 홍릉과학출판사, 김성환외 3인)
2. 지방자치단체의 도로 및 상.하수도의 시설물 관리를 위한 응용 프로그램의 기본설계서 및 품질인증기준 (건교부 2003년)
3. 배수관망 해석시 누수량 산정 및 누수제어에 관한 연구, 2004, 서울시립대학교 석사학위논문 김윤환
4. 배수관망해석에 수요량 적용방법이 미치는 영향(한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집, 최계운 외 3명)
5. BENCHMARKING OF LEAKAGE FOR WATER SUPPLIERS IN SOUTH AFRICA User Guide For the BENCHLEAK Model developed through SOUTH AFRICAN WATER RESEARCH COMMISSION by RS McKenzie, AO Lambert, JE Kock and W Mtshweni Report TT 159/01 January 2002
6. Progress in practical prediction of pressure : leakage, pressure : burst frequency and pressure : consumption relationships(Leakage 2005-Conference Proceedings, J Thornton, A Lambert)
7. "Calibration Guidelines for Water Distribution System Modeling by Engineering Computer Application Committee"(Reprinted from Proceedings of AWWA 1999 ImTech Conference, by permission.