



# 배급수관망에서의 누수복원량 산정방법

## Estimation method of natural rate of rise of leakage in water distribution system

진샘물<sup>1,3</sup>·김경필<sup>2</sup>·구자용<sup>1\*</sup>

Saemmul Jin<sup>1,3</sup>·Kyoungpil Kim<sup>2</sup>·Jayong Koo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 환경공학과, 서울시 동대문구 서울시립대로 163, 02504

<sup>2</sup>K-water 연구원 맑은물연구소, 대전시 유성구 유성대로 1689번길 125, 34045

<sup>3</sup>K-water 맑은물운영처, 대전시 대덕구 신탄진로 200, 34350

<sup>1</sup>Environmental engineering, University of Seoul, 163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02504, Republic of Korea

<sup>2</sup>K-water Research Institute, 125, Yuseong-daero 1689 beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34045, Republic of Korea

<sup>3</sup>K-water, 200, Sintanjin-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34350, Republic of Korea

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

### ABSTRACT

Waterworks facilities inevitably experience some amount of leakage even if there is a lot of investment or state-of-the-art technology that is applied such as DMA(District Metered Area) system construction, leakage detection, repair, pipe rehabilitation, etc. The primary reason is the leakage is naturally restored over time. In the UK, this restoration characteristic is defined as NRR(Natural rate of rise of leakage) and used to decision making for prioritizing active leakage control of DMAs. However, this restoration characteristic is well recognized, but researches on NRR in the water distribution system are insufficient in Korea. In this study, the estimation method of NRR was developed suitable for applying in Korea considering of SCADA data, water infrastructure, and water usage patterns by modification of the UK's NRR method. The proposed method was applied to 9 DMAs and verified it's applicability by comparing with the other water loss performance indicators. It is expected that the proposed method can be used to support decision making for sustainable NRW(Nor-revenue water) management in the water distribution system.

**Key words:** Active leakage control, District metered area(DMA), Natural rate of rise of leakage(NRR), Water distribution system, Water leakage

**주제어:** 적극적인 누수관리, 블록시스템, 누수복원량, 배급수관망, 누수

## 1. 서론

누수는 관로, 밸브류, 급수장치 등 모든 수도시설물에서 발생하며, 그 원인은 관로의 재료열화에 따른 강도저하, 수압 및 온도변화, 시공불량, 타공사에 의한 외부손상 등 다양하다. 누수는 특성에 따라 파열누수와 배경누수로 구분되며(Break and background estimates,

BABE) 각 형태별 특징에 따라 주기적인 관로순찰 및 누수탐사, 수압관리, 관로교체 등의 관리활동을 통해 제어된다. 파손부위를 복구하더라도 발견하지 못한 누수부위가 성장하거나 노후 등으로 인해 새로운 누수부위가 재생성 되는데, 이 때 지속적인 관리가 수반되지 않으면 다시 관리이전의 수준으로 되돌아가기도 한다. 이러한 누수의 복원성 때문에 지속적인 누수관리는 상수관망 운영에 필수적인 요소라고 할 수 있다.

Received 11 June 2019, revised 7 August 2019, accepted 9 August 2019.

\*Corresponding author: Jayong Koo (E-mail: [jykoo@uos.ac.kr](mailto:jykoo@uos.ac.kr))

그러나 국내의 사례를 보면, 막연하게 누수가 복원된다는 것은 알고 있지만 배급수관망의 관리 형태를 볼 때 비주기적으로 누수탐사 및 복구를 시행하고 있기 때문에 누수복원량을 평가할 기회가 없었던 것이 사실이다. 이로 인해 누수복원에 주로 영향을 미치는 인자가 무엇인지에 대해서도 명확히 알려져 있지 않다.

누수가 복원되는 크기를 정량화할 수 있다면 지역별 누수관리수준, 시설노후상태 등을 비교하고 누수관리 활동의 지속성을 평가할 수 있을 것이다.

또한, 누수복원의 영향요인까지 도출하게 된다면 이에 대한 선제적인 조치를 통해 누수가 복원되는 크기도 감소시킬 수 있을 것이다. 따라서 합리적인 관망관리를 위해서는 누수복원량의 산정방법을 정립할 필요가 있다.

영국에서는 주로 수압관리와 누수탐사 및 복구 위주로 누수관리를 해왔다. 그 결과, 경년변화에 따른 노후관로 증가로 누수저감 효과가 지속되지 못하고 누수복원성이 증가함에 따라 대규모 관로교체 필요성을 인식하게 되었다 (Grimshaw, 2009).

이에 영국수도연구소(United Kingdom Water Industry Research, UKWIR)에서는 경제적인 누수관리를 위해 의도적 개입이 없는 상태(Passive leakage control)에서의 누수증가량을 누수복원량(Natural rate of rise of leakage, NRR)이라고 정의하고, 이를 평가하기 위한 야간최소유량추세 분석(Nightline approach)과 파열빈도 분석(Burst frequency method)의 두 가지 산정방법을 제안하고 있다 (Butler and Grimshaw, 2009; Caroline, 2006). 각 분석방법별 특징에 따라 유량계측시 발생할 수 있는 데이터 오결측, 야간 사용량 변동 등의 오차요인을 제거하기 위한 데이터 품질 정제(Data quality filter)가 필요하고 Table 1과 같이 지역별 특성화된 수치로 누수량이 정의되어야 한다는 점을 언급하고 있다.

산정된 누수복원량은 누수탐사 최적주기를 설정하고 자산상태 수준 평가(Asset PI), 적극적 누수관리(Active leakage control, ALC) 시행과 예산투입 규모 결정 등을 위한 판단기준으로의 활용방안이 제안되었다 (Fantozzi and Lambert, 2005; Grimshaw, 2006). 이탈리아의 DEWI사(社)에서는 세계 각지에서 시행한 누수관리 프로젝트를 자료로 기반으로 누수복원량의 크기가 커질수록 관리비용도 증가하는 커브곡선을 도출하기도

Table 1. Average leakage flow rate in UK

| Leak type (detected and reported) | Median flow rate (m <sup>3</sup> /hr) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Mains                             | 3.0                                   |
| Mains fitting                     | 0.15                                  |
| Communication                     | 0.4                                   |
| Supply                            | 0.4                                   |
| Communication and Supply fitting  | 0.1                                   |

했다 (Rogers et al., 2007). 영국의 Welsh water사(社)에서는 2007년도부터 연차별 누수복원량을 분석하고 있으며 누수관리 비용에 미치는 영향 등을 분석하는데 활용하고 있다 (Welsh Water, 2018).

국내의 경우, 발견된 누수는 즉시 복구공사를 시행하는 적극적인 관리형태를 보이고 있으며 고유의 누수량 원단위가 미정립된 상황으로, 앞서 설명한 영국의 누수복원량 분석방법을 바로 적용할 수는 없는 상황이다.

따라서 별도의 분석 프로세스를 정립해야만 누수복원량을 산정할 수 있으므로 이에 본 연구에서는 국내 배급수관망 운영여건을 고려한 누수복원량 산정방법을 개발하고 이에 대한 합리성을 검증하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 누수복원량 산정절차

국내에서는 배급수관망의 누수저감을 위해 블록시스템(District metered area, DMA)을 구축하고 활동량이 가장 적은 시간대에 발생하는 야간최소유량(Minimum night flow, MNF)의 지속적인 분석을 통해 일 누수량 감시를 수행중이며, 매일의 누수복구 실적을 관리중이다. 이러한 운영여건을 고려하여 이번 연구에서는 Fig. 1, 2와 같이 누수복원량(NRR)을 산정하는 절차를 제안한다. 누수복구 공사 시행 전·후 일주일간의 야간최소유량 평균값의 차이로 누수방지량을 추정하고 누수복구를 시행하지 않았을 경우의 야간최소유량을 재산정한 후 누수복원량을 계산하는 방법이다. 여기서, 누수복원량은 누수복구활동에 의한 누수방지량(A)과 발견되지 않았거나 복구되지 않은 잔존누수 변화량(B)으로 구성된다.

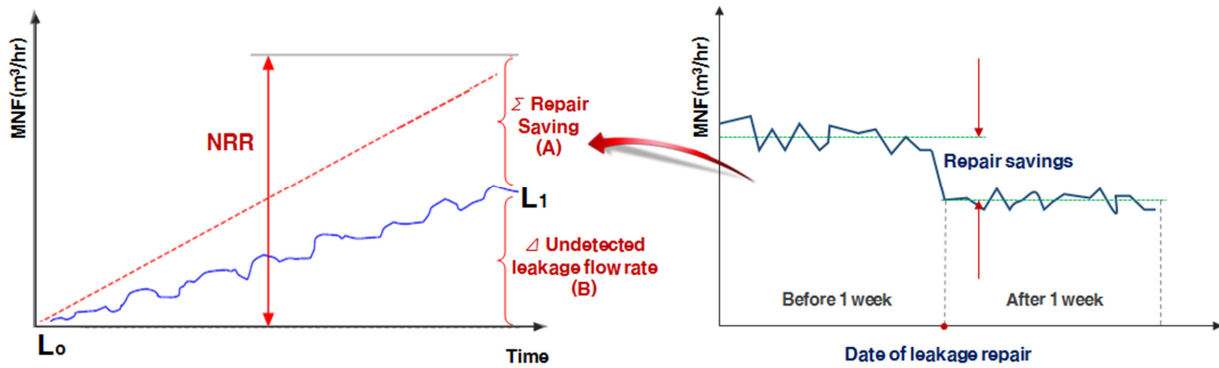


Fig. 1. Illustration of proposed method for estimating NRR.

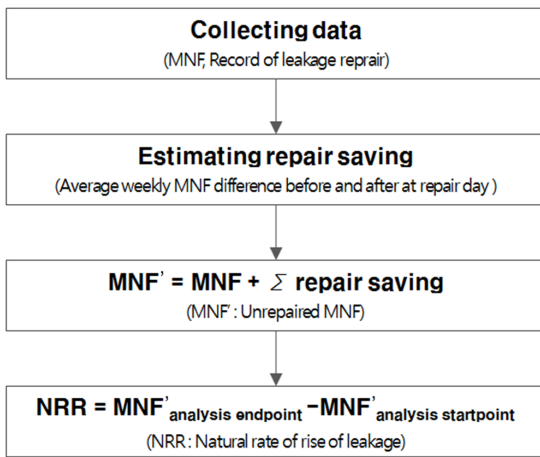


Fig. 2. Flow chart for estimating NRR.

## 2.2 적용대상

앞서 제안한 누수복원량 산정방법의 합리성을 검증하기 위해 다음의 두 가지 조건을 만족하는 소블록을

적용대상으로 삼았다.

첫 번째는 소블록의 야간최소유량이 누수량으로만 구성된 유량은 아니기 때문에 누수량 이외의 유량변동 영향을 최소화할 수 있도록 야간사용량 등이 비교적 일정하게 유지되는 지역을 선정하였다. 이를 위해 수용가 규모 변동에 따른 야간사용량 증감 영향을 배제할 수 있도록 전년대비 시설증가율이 크지 않은 곳을 선택하였다. 이번 연구에 사용된 소블록의 시설현황은 Table 2에 정리하였으며 급수전수 및 가구수 현황 중 괄호안의 수치는 전년대비 시설증가율을 의미한다. 대부분 4% 이하의 증가율을 보였으나, 소블록 B, F의 급수전 증가율은 나머지 블록에 비해 다소 높게 나타났다. 그러나 Fig. 3을 보면 사용량과 매우 높은 연관성을 가지는 가구수는 비교적 일정한 것으로 나타났기 때문에 해당 소블록도 대상에 포함하여 연구를 진행하였다.

두 번째는 복합적인 관망관리 활동이 이뤄지는 경우, 관리활동별 누수저감 효과를 구분하는 것은 거의

Table 2. State of DMA facility

| DMA name | Average flow rate (m <sup>3</sup> /day) | Pipe length (m) | Property      |               | Household     |               |
|----------|---|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|          |   |                 | Number        | Density (/km) | Number        | Density (/km) |
| A        | 1,798                                   | 56,555          | 1,788 (3.1%)  | 31.6          | 3,190 (2.0%)  | 56.4          |
| B        | 2,541                                   | 15,158          | 437 (36.6%)   | 28.8          | 3,904 (4.4%)  | 257.6         |
| C        | 1,763                                   | 35,221          | 1,821 (0.3%)  | 51.7          | 2,416 (0.2%)  | 68.6          |
| D        | 1,409                                   | 28,737          | 1,429 (2.8%)  | 49.7          | 2,308 (1.7%)  | 80.3          |
| E        | 1,943                                   | 26,220          | 1,664 (0.4%)  | 63.5          | 3,080 (0.2%)  | 117.5         |
| F        | 5,865                                   | 19,349          | 576 (9.7%)    | 29.8          | 8,412 (1.0%)  | 434.8         |
| G        | 2,359                                   | 37,613          | 1,105 (3.4%)  | 29.4          | 2,644 (3.9%)  | 70.3          |
| H        | 3,408                                   | 32,541          | 1,141 (2.2%)  | 35.1          | 5,037 (1.0%)  | 154.8         |
| I        | 1,094                                   | 21,531          | 1,078 (-0.1%) | 50.1          | 1,663 (-0.1%) | 77.2          |

\* ( ): Year on year growth rate

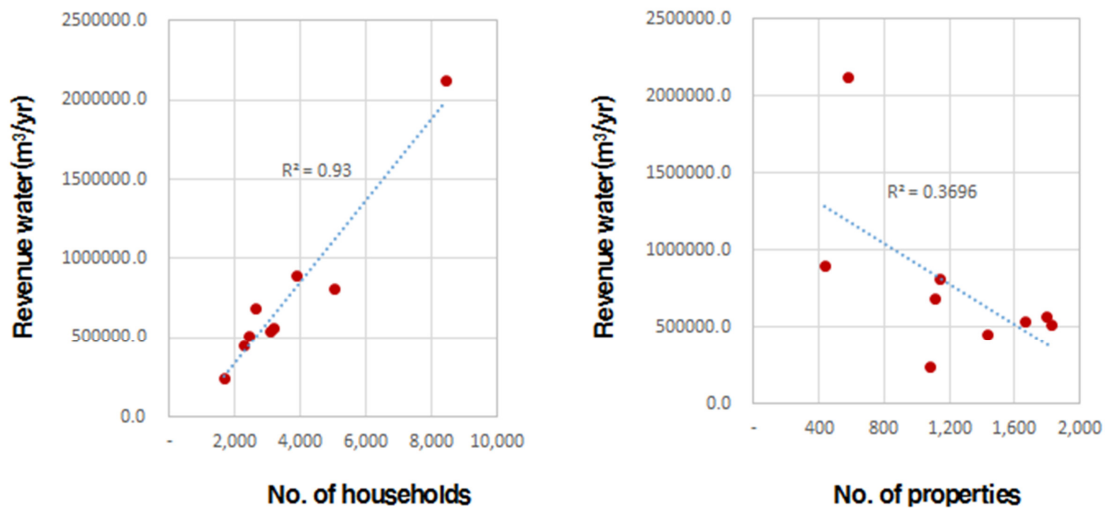


Fig. 3. Scatter plot of revenue water vs. number of households, properties.

불가능하므로 대규모 관로 개대체, 수압관리 등이 완료되고 누수탐사 위주로 관리활동이 수행되는 지역을 선별하였다. 최종적으로 이 두 가지 조건을 모두 만족하는 2개 지역 9개 소블록을 대상으로 연구를 수행하였다.

상수관망 최적관리 기술안내서에 따르면, 소블록의 급수전수는 500~1,500전, 공급량은 700~3,500 m³/일 정도가 적정하다고 제시하고 있다 (MOE, 2010). 이번 연구에서 사용한 소블록의 급수전수 및 공급량 규모는 소블록 F를 제외하고는 모두 이 수준을 만족하는 것으로 분석되었다. 다만, 소블록 B, F는 400~500전 정도의 급수전수를 보이고 있어 적정 규모 하한선 미달수준인 것으로 판단할 수 있으나, 일 평균 공급량 및 가구수 등을 감안하면 아파트, 연립 등의 공동주택을 단일 급수전으로 관리함에 따라 급수전수가 작은 것으로 판단된다.

대부분의 소블록은 40 km 미만의 관로연장을 보였으나 소블록 A는 다소 긴 관로연장을 가지는 것으로 나타났다. 그러나 타 소블록과 가구수 밀도, 일 평균 공급량 규모를 비교하면 수용가가 산발적으로 분포함에 따라 시설규모가 큰 것으로 분석된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 누수복구 현황 및 평균 누수량 분석

이번 누수복원량 분석에 사용된 소블록별 누수복구

횟수 및 누수발생 관종 현황은 Table 3에 정리하였다. 9개 소블록에서 1년 동안 총 60건의 누수복구가 이뤄졌으며 PE 및 STS 에서의 누수복구 비중이 높은 것으로 나타났다. 이는 주로 급수관로에 사용되는 관종으로 대부분의 누수가 급수관로에서 발생한다는 일반적인 누수발생 현황과 일치하는 결과를 보였다. 다만, 이 중 4건에 대한 누수복구 상세정보가 누락되어 관종, 발생부위 등에 대한 정보들을 확인할 수 없었다.

누수 발생부위에 대한 현황은 Table 4와 같다. 누수 복구 이력자료에서 관종에 대한 정보는 비교적 충실하게 관리하고 있었지만 발생부위에 대한 정보가 등록된 경우는 28개소에 불과했다. 특히, 소블록 G, H, I에서는 누수 발생부위에 대한 정보관리를 전혀 하고 있지 않은 것으로 나타났다. 누수 저감을 위해 다양한 관리활동들을 진행하고 있으나 이에 대한 정보들이 축적되지 않고 있는 것을 확인하였다. 그럼에도 가용한 누수복구 정보를 최대한 활용하여 발생부위별 평균 누수량을 산정하였고 그 결과는 Table 5에 정리하였다.

배수관로 직관부에서의 평균 누수량이 가장 크게 나타났으며 뒤를 이어 관로간 연결부, 계량기 연결부, 급수관로 직관부 순서의 크기를 보였다. 이는 영국의 평균 누수량과 많은 차이를 보이는 결과로 UKWIR의 연구에서도 이미 언급했듯이, 국내 상수관망의 누수 복원에 대한 분석을 위해서는 우리 여건에 적합한 평균 누수량 산정이 필요함을 확인할 수 있었다.



**Table 3.** State of number of repair, pipe material of leakage

[Unit : EA.]

| DMA name | DCIP | PE | PVC | SP | STS | Unknown | Total |
|----------|------|----|-----|----|-----|---------|-------|
| A        | 1    |    |     |    | 3   |         | 4     |
| B        | 1    |    |     |    | 2   |         | 3     |
| C        | 2    |    |     |    | 5   |         | 7     |
| D        | 1    |    |     |    | 4   | 4       | 9     |
| E        | 1    | 1  |     | 1  | 5   |         | 8     |
| F        |      |    |     |    | 1   |         | 1     |
| G        |      | 8  | 2   |    |     |         | 10    |
| H        |      | 8  |     |    |     |         | 8     |
| I        |      | 8  | 2   |    |     |         | 10    |
| Total    | 6    | 25 | 4   | 1  | 21  | 4       | 60    |

**Table 4.** State of location of leakage

[Unit : EA.]

| DMA name | Customer meter | Joint and fitting | Communication pipe | Distribution mains pipe | Unknown | Total |
|----------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|---------|-------|
| A        | 2              |                   | 1                  | 1                       |         | 4     |
| B        |                | 1                 | 2                  |                         |         | 3     |
| C        | 3              | 1                 | 2                  | 1                       |         | 7     |
| D        |                | 3                 | 1                  | 1                       | 4       | 9     |
| E        | 1              | 4                 | 1                  | 2                       |         | 8     |
| F        |                | 1                 |                    |                         |         | 1     |
| G        |                |                   |                    |                         | 10      | 10    |
| H        |                |                   |                    |                         | 8       | 8     |
| I        |                |                   |                    |                         | 10      | 10    |
| Total    | 6              | 10                | 7                  | 5                       | 32      | 60    |

**Table 5.** Average leakage flow rate by location type

| Location type of leakage | Mean (m <sup>3</sup> /hr) | Std. deviation (m <sup>3</sup> /hr) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Customer meter           | 1.23                      | 0.25                                |
| Joint and fitting        | 1.79                      | 0.73                                |
| Communication pipe       | 0.40                      | 0.14                                |
| Distribution main pipe   | 2.35                      | 0.71                                |
| Unknown                  | 2.40                      | 2.56                                |

각 부위별 누수량 표준편차도 다소 큰 것으로 나타났는데, 특히 발생부위를 알 수 없는 경우(Unknown)는 여러 부위에서 발생한 누수량을 단일한 그룹으로 묶어 통계분석을 수행함에 따라 표준편차가 평균값보다도 큰 값을 보였다. 이번 평균 누수량 분석에 사용된 자료는 28개로, 제한적인 자료를 활용한 것이 큰

표준편차가 발생한 원인으로 판단된다.

앞선 분석결과에 따르면, 그간의 관망운영 이력관리가 불충분함에 따라 현재수준에서는 대표성을 갖는 부위별 누수량의 정의가 어려우므로 이번 연구에서 제안하는 분석절차를 통해 누수복원량 산정이 필요하다.

### 3.2 누수복원량 산정 결과

2개 지역 9개 소블록을 대상으로 Fig. 2의 절차에 따라 누수복원량을 산정하였다. Fig. 4는 소블록 G의 연간 야간최소유량 변화를 나타낸 그래프이다, 여기서 회색으로 표기된 선은 실운영 데이터를 표기한 것이며, 검은색으로 표시된 선은 누수복구를 시행하지 않았을 경우의 가상 야간최소유량을 의미한다. 여기서, 복구를 시행하지 않은 경우의 야간최소유량 연간

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

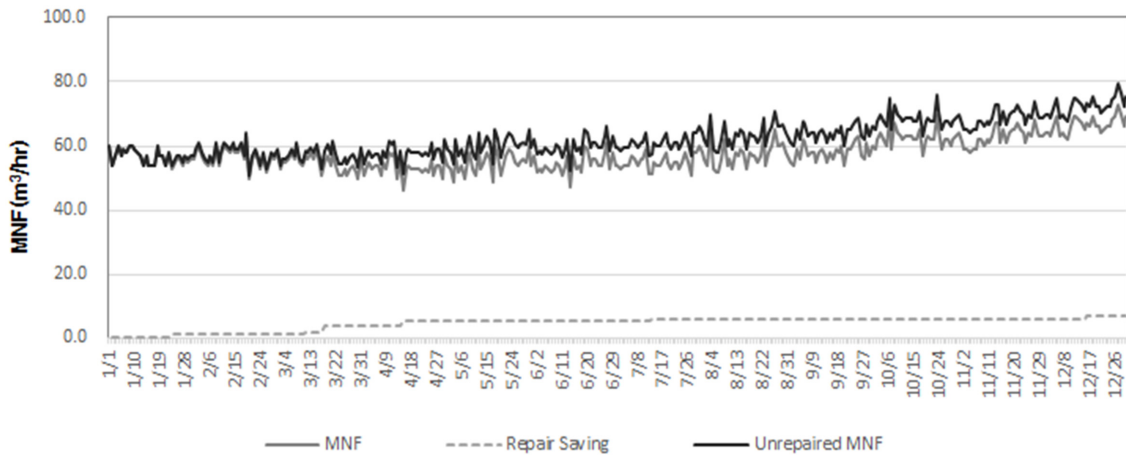


Fig. 4. MNF of DMA G.

Table 6. Estimate result of NRR

| DMA name | NRR (m³/day) | NRR (l/p/d) | NRR (m³/km/d) |
|----------|--------------|-------------|---------------|
| A        | 192.0        | 107         | 3.4           |
| B        | 235.6        | 539         | 15.5          |
| C        | 66.4         | 36          | 1.9           |
| D        | 418.3        | 293         | 14.6          |
| E        | 0.0          | 0           | 0.0           |
| F        | 290.8        | 505         | 15.0          |
| G        | 369.6        | 335         | 9.8           |
| H        | 133.9        | 117         | 4.1           |
| I        | 272.4        | 253         | 12.7          |

Table 7. DMA operation data

| DMA name | ΔNRW (m³/yr) | ΔRWR (%p/yr) | AZP (kgf/cm²) |
|----------|--------------|--------------|---------------|
| A        | -10,420      | +1.4         | 4.74          |
| B        | -15,834      | +1.8         | 3.96          |
| C        | -34,745      | +3.5         | 4.27          |
| D        | 52,251       | -9.9         | 4.15          |
| E        | -5,286       | -1.2         | 4.40          |
| F        | 52,536       | -2.5         | 4.37          |
| G        | 60,140       | -4.3         | 4.62          |
| H        | 35,884       | -2.7         | 3.40          |
| I        | 20,447       | -4.9         | 4.54          |

변동량을 누수복원량으로 산정하였다. 단, 산정된 값을 일 단위 유량으로 환산하기 위하여 야간-일 보정계수(Night-Day Factor, NDF)를 곱해주었다.

야간-일 보정계수(NDF)는 야간최소유량으로부터 일 평균 누수량을 추정할 때 곱해주는 계수로 하루 동안의 수압변화에 따른 누수량 변화를 고려하기 위하여 사용한다. 일반적으로 야간최소유량시의 수압이 주간보다 높기 때문에 자연유하시스템에서는 24이하의 값을 보이며, 인위적인 수압관리가 있는 급수구역에서는 24보다 큰 값이 나타난다 (Morrison et al., 2007).

본 연구에서는 소블록 유입수압을 활용하여 야간-일 보정계수를 계산했으며 산출된 값의 범위는 22~24였다. 산정된 소블록별 누수복원량은 Table 6에 정리하였으며 연간 누수복원량은 0~418.3 m³/day 인 것으로 나타났다. 여기서 누수복원량 “0”의 의미는 누수량이

없다는 것을 의미하는 것이 아니라 분석기간 동안 누수량 변화가 없음을 의미한다.

누수복원 현상이 가장 크게 발생한 소블록 D는 전년과 비교하여 약 10% 차이의 유수율 하락이 발생한 것으로 나타났으며 전년과 무수수량 차이가 가장 작았던 소블록 E는 분석 기간 동안 일정한 수준의 누수량을 유지한 것으로 분석되었다.

이번에 제안하는 누수복원량 산정법은 누수복구활동에 의한 누수방지량과 발견되지 않았거나 복구되지 않은 잔존 누수의 변화량을 합산하는 방식이므로 구성요소에 따라 Table 8과 같이 정리하였다. 다만, 잔존 누수 변화량의 계산방식에 따라 야간최소유량이 감소 추세를 보이는 지역은 음(-)의 값이 산출된다.

누수방지량과 잔존누수 변화량 간에는 반비례 관계를 가지는데, 이는 관망관리 활동이 증가할수록 복구

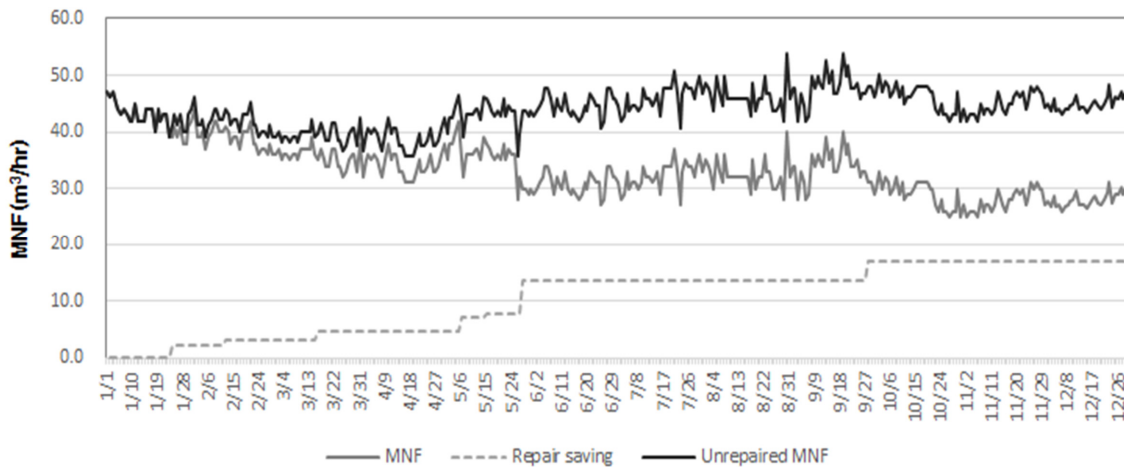


Fig. 5. MNF of DMA E.

Table 8. Component analysis of NRR

[Unit : m<sup>3</sup>/day]

| DMA name | NRR   | Repair saving | ΔUndetected leakage flow rate |
|----------|-------|---------------|-------------------------------|
| A        | 192.0 | 72            | 120.0                         |
| B        | 235.6 | 68.3          | 167.3                         |
| C        | 66.4  | 136.1         | -69.7                         |
| D        | 418.3 | 371.1         | 47.2                          |
| E        | 0.0   | 408.2         | -408.2                        |
| F        | 290.8 | 0.0           | 290.8                         |
| G        | 369.6 | 155.0         | 214.6                         |
| H        | 133.9 | 569.9         | -436.0                        |
| I        | 288.7 | 402.2         | -113.5                        |

되지 않은 누수량이 감소한다는 의미로 해석할 수 있다. Fig. 5를 보면, 큰 폭으로 잔존누수가 감소한 소블록 E의 경우 누수복구 시기마다 야간최소유량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 관로노후도(간접평가) vs. 누수복원량간 상관관계 분석

이번 연구에서 제안하는 누수복원량 산정방법의 유효성을 검증하기 위해서는 산정된 값이 합리적인 값인지 확인할 필요가 있다. 가장 이상적인 것은 산정된 누수복원량과 소블록별 연간 누수량 변화값을 비교하는 것이다. 그러나 일반적으로 총괄수량수지분석은 지자체 단위로 시행하고 있고, 이번 분석에 사용된 지

자체에서도 유효무수량인 수도사업용수, 공공수량 등을 블록별로 구분하여 관리하지 않고 있으므로 소블록별 정확한 누수량은 알 수 없는 상황이다.

일반적으로 복원되는 누수량이 커질수록 관로의 노후화 정도가 큰 것으로 이해할 수 있을 것이다. 이 점에 착안하여 연구에서 제안한 방법을 통해 산정한 누수복원량과 노후도간의 상관관계를 확인하고자 했다.

소블록별 노후도를 평가하기 위해 관망내 모든 관로를 직접 조사하는 것은 현실적으로 불가능하므로 관망도에 기재된 시설 및 운영정보를 기반으로 하는 간접평가법을 활용하여 노후도를 산정하기로 하였다. 상수관의 상태와 수명을 예측하는 대표적인 방법으로는 관종별 점수평가법, 물리적 모델, 손익분기 분석법, 파손확률과 회귀방법 등이 있다. 이중 국내에서는 장기간의 관망이력에 대한 정보가 부재하기 때문에 주로 관종별 점수평가법을 사용하고 있는데, 미국(Denver, Louisville)의 평가 모형을 바탕으로 K-water에서 연구한 수도관 개량을 위한 의사결정 시스템을 시작으로 한다. 2002년부터 2008년에 걸친 다수의 개선 연구를 통해 현재의 관상태 평가기법을 정립하였는데 이번 연구에서는 이 평가기법을 활용하여 노후도를 산정하였다. 노후도 점수를 산정하는 방법은 다음과 같다 (K-water, 2010).

$$\left( \frac{\sum f_{p,c_j} \times w_{p,c_j}}{\sum w_{p,c_j}} \right) \times DP_{\max,i} \tag{1}$$

-  $f_{p,c_j}$  : Score of pipe i by evaluation criteria j

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

- $w_{p,c_i}$  : Weight factors of pipe i by evaluation criteria j
- $DP_{max_i}$  : Correction factor by pipe age

소블록별로 산정된 노후도 점수는 관로연장에 따른 가중치를 고려하여 산정된 값이므로 시설규모와 무관하게 상호 비교할 수 있는 수치로, 관망정비 계획 수립시 지역간 노후도 수준을 비교하는 지표로 활용되기도 한다.

계산에 사용되는 관상태 수정계수, 관종별 평가항목 및 가중치는 Table 9~11과 같으며 관종별로 최대 7~10개의 평가항목으로 구성된다. 간접평가 수행시 평가항목의 가중치가 0.8 이상이 되도록 평가항목 자료를 수집하여야 한다. 이번 연구에서 부식환경 및 외부충격에 대한 정보는 수집되지 않아 평가항목에서 제외하였다.

소블록별 노후도 평가 점수는 Table 12에 정리하였다. 노후도 점수 및 누수복원량간 상관관계를 파악하기 위해 Fig. 6에 산포도를 작성하였다. 그 결과, 우상향 추세를 보이는 두 개의 그룹이 형성되는 것을 확인할

수 있었다. 이 두 개의 군집을 형성하는 가장 큰 특징은 평균 매설기간 차이인 것으로 파악되었다. 다만, 소블록 D는 매설기간과 다른 군집에 포함된 것으로 나타났는데 발생위치를 알 수 없는 일부 누수정보가 반영되지 않은 노후도 점수 산정이 그 원인으로 판단된다.

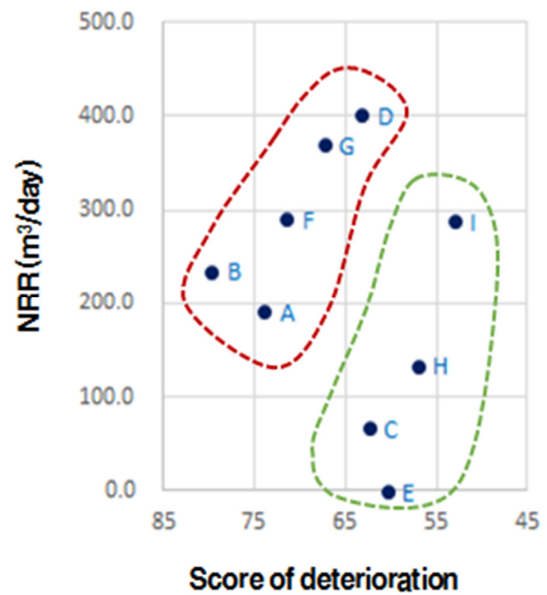
그룹별로 산정된 노후도 점수 및 누수복원량간 Pearson 상관계수는 Table 13에 정리하였으며, 각 그룹별로 매우 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

**Table 9.** Correction factor( $DP_{max_i}$ ) according to pipe age

| Pipe age           | Correction factor |
|--------------------|-------------------|
| under 10 years     | 100               |
| 11~20 years        | 90                |
| 21~30 years        | 80                |
| more than 31 years | 75                |

**Table 10.** Weight factors for pipes condition assessment

| Evaluation criterion        | Weight factors according to pipe material |         |         |              |
|-----------------------------|---|---------|---------|--------------|
|                             | Steel                                     | CML-DIP | CIP/DIP | Non-metallic |
| (1) Pipe diameter           | 0.098                                     | 0.052   | 0.065   | -            |
| (2) Pipe laying years       | 0.255                                     | 0.236   | 0.234   | 0.050        |
| (3) Water quality corrosion | 0.041                                     | 0.034   | 0.085   | -            |
| (4) Soil corrosiveness      | 0.059                                     | 0.071   | 0.098   | -            |
| (5) Cathodic protection     | 0.118                                     | -       | -       | -            |
| (6) Type of soil            | -   | -       | -       | 0.160        |
| (7) Depth of pipe laying    | 0.028                                     | 0.038   | 0.032   | 0.047        |
| (8) Type of road            | 0.037                                     | 0.039   | 0.039   | 0.055        |
| (9) Max. of pressure        | 0.083                                     | 0.125   | 0.103   | 0.187        |
| (10) No. of failure         | 0.194                                     | 0.249   | 0.227   | 0.323        |
| (11) No. of connection      | 0.087                                     | 0.156   | 0.117   | 0.178        |
| Sum of weight               | 1.000                                     | 1.000   | 1.000   | 1.000        |



**Fig. 6.** Scatter plot of deterioration score vs. NRR.





**Table 11.** Scoring method for pipes condition assessment

| Evaluation criterion     | Unit                                  | Benchmark     | Score of $f_{p,c_j}$ | Pipe type         |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| Pipe diameter            | mm                                    | < 500         | 0.00                 | SP                |
|                          |                                       | 500~700       | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | 800~1,200     | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | 1,200 ≥       | 1.00                 |                   |
|                          |                                       | < 300         | 0.00                 | DCIP<br>DIP       |
|                          |                                       | 300~500       | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | 500~800       | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | 800 ≥         | 1.00                 |                   |
| Pipe laying years        | years                                 | 30years >     | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | 20~30         | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | 10~20         | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 10years     | 1.00                 |                   |
| Water quality corrosion  | L.I.<br>(Langelier Index)             | LI≤-2         | 0.00                 | SP<br>DCIP<br>DIP |
|                          |                                       | -2<LI≤-1      | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | -1<LI≤0       | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | 0<LI          | 1.00                 |                   |
| Soil corrosiveness       | Ω-cm                                  | ≤ 1,000       | 0.00                 | SP                |
|                          |                                       | 1,000~2,000   | 0.20                 |                   |
|                          |                                       | 2,000~5,000   | 0.50                 |                   |
|                          |                                       | 5,000~10,000  | 0.80                 |                   |
|                          |                                       | 10,000 >      | 1.00                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 700         | 0.00                 | DCIP<br>DIP       |
|                          |                                       | 700~1,000     | 0.20                 |                   |
|                          |                                       | 1,000~1,200   | 0.50                 |                   |
|                          |                                       | 1,200~1,500   | 0.80                 |                   |
|                          |                                       | 1,500~2,000   | 0.90                 |                   |
|                          |                                       | 2,000 >       | 1.00                 |                   |
| Cathodic protection      | Electric potential<br>(-850~-2,500mV) | ×             | 0.00                 | SP                |
|                          |                                       | ○             | 1.00                 |                   |
| Type of soil             | -                                     | Gravel        | 0.00                 | PVC               |
|                          |                                       | Gravel + soil | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | Soil          | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | Sand          | 1.00                 |                   |
| Depth of pipe laying     | m                                     | 3.0 >         | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | 2.0~3.0       | 0.75                 |                   |
|                          |                                       | 1.0~2.0       | 1.00                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 1.0         | 0.10                 |                   |
| Type of road             | -                                     | Highway       | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | Two way lane  | 0.50                 |                   |
|                          |                                       | One way lane  | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | Backroad      | 1.00                 |                   |
| Max. of pressure         | kgf/cm2                               | 7.0 >         | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | 5.0~7.0       | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | 3.0~5.0       | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 3.0         | 1.00                 |                   |
| No. of failure           | EA./km/years<br>(in recent 3years)    | 0.1 >         | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | 0.075~0.1     | 0.25                 |                   |
|                          |                                       | 0.05~0.075    | 0.50                 |                   |
|                          |                                       | 0.025~0.05    | 0.75                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 0.025       | 1.00                 |                   |
| No. of valve, connection | EA./km                                | 5.0 >         | 0.00                 | Commonness        |
|                          |                                       | 3.0~5.0       | 0.35                 |                   |
|                          |                                       | 1.0~3.0       | 0.70                 |                   |
|                          |                                       | ≤ 1.0         | 1.00                 |                   |

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

**Table 12.** Score of deterioration by DMA

| DMA name | Score of deterioration | Average of pipe age | Group |
|----------|------------------------|---------------------|-------|
| A        | 74.0                   | 10.5                | i     |
| B        | 79.7                   | 9.9                 | i     |
| C        | 62.4                   | 18.2                | ii    |
| D        | 63.2                   | 19.5                | ii    |
| E        | 60.4                   | 19.9                | ii    |
| F        | 71.5                   | 11.2                | i     |
| G        | 67.4                   | 12.7                | i     |
| H        | 57.0                   | 21.7                | ii    |
| I        | 53.1                   | 26.3                | ii    |

**Table 13.** Pearson correlation coefficient by group

| Group | Pearson correlation coefficient |
|-------|---------------------------------|
| i     | 0.759                           |
| ii    | 0.904                           |

이는 관로의 노후도가 증가할수록 누수복원량도 증가하는 것으로 해석할 수 있으며, 이번 연구에서 제안하는 누수복원량 산정방법이 합리적인 것으로 이해할 수 있다.

다만, 상대적으로 평균매설기간이 짧고 노후도가 양호한 그룹의 누수복원량이 더 큰 경향을 보였는데, 이것은 누수복원량의 많고 적음은 노후도 이외 인자의 영향을 더 강하게 받는 것이 원인일 것으로 추정된다. 향후 누수복원량에 대한 영향인자 연구를 통해 누수복원량 증가요인에 대한 분석이 필요해 보인다.

## 4. 결 론

상수관망에서의 누수는 다양한 요인들에 의해 다양한 부위에서 발생하며, 누수를 적출하고 복구했다 할 지라도 다시 원래의 누수수준으로 돌아가는 복원특성을 가진다. 이러한 누수의 복원성에 관해서는 많은 수도사업자들이 이미 인지하고 있으나 국내 배급수관망의 운영방식 및 자료관리 한계 등으로 인해 이를 정량적으로 관리하지 못하고 있다.

누수복원량을 수치적으로 분석할 수 있게 된다면, 관망관리 사업 효과의 지속성을 평가하고 적용 중인 누수관리 방법의 실효성 분석을 통해 후속대책 수립을 위한 의사결정에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

이를 위해 본 연구에서는 야간최소유량 및 누수복구 자료를 활용한 누수복원량 산정방법을 개발하고, 제안한 방법의 유효성을 검증하기 위하여 2개 지역 9개 소블록에 적용하여 다음과 같은 사실을 확인하였다.

1) 검증을 위해 사용된 소블록별 연간 누수복원량은 0~418.3 m<sup>3</sup>/day 인 것으로 나타났다. 이 중 가장 큰 누수복원량을 보인 소블록 D는 전년대비 유수율이 약 10%p 하락한 것으로 나타났으며 전년도 무수수량과 거의 같은 값을 보인 소블록 E는 분석기간 동안 일정한 수준의 누수량을 보이는 것으로 분석되었다.

2) 누수복원량은 누수방지량과 잔존누수 변화량으로 구성되는데, 이 구성성분 간에는 반비례 관계를 갖는 것으로 나타났다. 즉, 복구활동이 증가할수록 잔존누수량은 감소하는 것으로 나타났다.

3) 관상태 평가기법에 따라 산정된 노후도 평가 점수와 누수복원량을 비교한 결과, 유사한 매설기간을 가진 그룹 내에서 노후도가 높아질수록 누수복원량도 증가하는 것으로 나타났다. 누수복원량과 관로 노후도 간 상관성을 확인함으로써 배급수관망의 자산상태 수준을 비교하고 개체 의사결정을 위한 판단지표로의 적용가능성을 확인할 수 있었다.

4) 다만, 노후도가 양호한 그룹의 누수복원량이 더 큰 경향을 보인 점은 누수의 복원을 증가시키는 주된 요인은 관로 노후 이외의 작용이 있을 것으로 판단되는 점이므로 추후 진행되는 연구를 통해 이에 대한 원인분석이 필요하다.

## References

- Butler, M. and Grimshaw, D. (2009). Factors affecting the natural rate of rise of leakage, No. 09/WM/08/40, 22-46.
- Caroline, M. (2006). Natural rate of rise in leakage, UK Water Ind. Res., 6-18.
- Fantozzi, M. and Lambert, A. (2005). Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels, Water Sci. Technol. Water Supply, 2005, 5, 263-271.
- Grimshaw, D. (2009). "NRR-The key to leakage driven mains renewal", *IWA International Specialised Conference: Water Loss*, 26-30 April, 2009, Capetown, South Africa.
- Grimshaw, D. (2006). "Leakage-driven main renewal", *Proceeding of joint ICE/CIWEM conference: infrastructure*



*asset maintenance and management*, Birmingham, UK.  
 Morrison, J. Tooms, S. and Rogers, D. (2007). "District metered areas guidance note", IWA Water Loss Task Force: Specialist Group Efficient Operation and Management, 11-12.  
 K-water. (2010). *Guidebook for technical diagnosis of water transmission line*, 151-160.

MOE. (2010). *Guidebook for optimal management of water distribution system*, 91-111.  
 Rogers, D., Gastaldi, M. and Figliolini, A. (2007). "Managing leakage economically" *IWA International Specialised Conference: Water Loss*, 23-26 September, 2007, Bucharest, Romania.  
 Welsh Water. (2018). *Ref 3.5: PR19 Leakage strategy*, 13-39.

|                    |          |
|--------------------|----------|
| pp. 243-250        |          |
| pp. 251-258        |          |
| pp. 259-268        |          |
| pp. 269-279        |          |
| pp. 281-289        |          |
| pp. 291-297        |          |
| <b>pp. 299-309</b> | <b>○</b> |
| pp. 311-319        |          |