



수도사업자의 주요 운영지표와 ILI(Infrastructure Leakage Index)와의 상관관계 분석

Correlation analysis of key operating indicators of waterworks with the Infrastructure Leakage Index (ILI)

전승희·현인환·김두일*
Seunghui Jeon·Inhwan Hyun·Dooil Kim*

단국대학교 토목환경공학과
Civil and Environmental Engineerin, Dankook University

pp. 187-196

pp. 197-204

pp. 205-225

pp. 227-235

pp. 237-246

ABSTRACT

The ILI, developed by the IWA (International Water Association), has been used in many countries as an indicator of water leakage. In Korea, the revenue water has been used as a performance indicator for waterworks although there is an opinion to replace it with the ILI. Hence, it has been necessary to investigate whether the ILI can replace the revenue water in Korea. The four main operating indicators (i.e., water service population, profit-loss ratio, fiscal self-reliance, and aged pipe rate) of 162 Korean waterworks were compared with the ILI with the linear regression method. Local water authorities with more than 1 million water service population, with more than 60% profit-loss ratio, more than 40% and less than 60% fiscal self-reliance, and more than 20% aged pipe rate showed meaningful correlation between the four parameters and the ILI. In the remaining cases, their correlations were little or weak. This means that using the ILI may not be an efficient method to represent the performance of the water supply system in Korea because of the lack of UARL (Unavoidable Annual Real Losses) data accuracy. To use the ILI in Korea, it will be required to carry out an additional research to accumulate reliable CARL (Current Annual Real Losses) and UARL data in the future.

Key words: ILI, Water service population, Profit-loss ratio, Aged pipe rate, Fiscal self-reliance, Non revenue water

주제어: 관망 누수 지수, 급수인구, 요금현실화율, 관망 노후도, 재정자립도, 무수율

Received 11 June 2021, revised 15 June 2021, accepted 15 June 2021.
*Corresponding author: Dooil Kim (E-mail: dikim21@dankook.ac.kr)

- 전승희 (석사) / Inhwan Hyun (Master Student)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 현인환 (교수) / Seunghui Jeon (Professor)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 김두일 (교수) / Dooil Kim (Professor)
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

상수도 시스템의 가장 중요한 목표는 안정적인 ‘수량’, ‘수질’ 및 ‘수압’의 확보이다. 그 중에서 안정적인 수량의 확보는, 수도 및 수도교를 이용하여 수요지까지 물의 전달을 시작했던 고대 로마 시대부터 고도의 송수 및 배수관망을 통해 급수가 이루어지는 오늘날에 이르기까지, 시민들에게 가장 기본적이면서도 중요한 목표였다. 그러나 과거보다 고도화된 현대의 상수도시스템도 배·급수 과정 중 관의 손상, 파손 등 여러 가지 문제에 따른 수도관에서의 누수는 해결하지 못한 난제이고, 누수에 따른 물손실을 관리하기 위한 수행능을 평가하기 위한 지표에 대한 연구는 계속되고 있다 (Alegre et al., 2000; Chung, 2005a; Chung et al., 2006; Delgado, 2008; Lambert et al., 1999).

상수도 관망에서 누수 및 물손실 관리의 수행능에 대한 평가 지표로 사용되어온 개념이 누수율 및 유수율이다. 이 지표들은 전 세계적으로 누수에 대한 지표로 가장 오래 사용되고 왔고, 우리나라에서는 누수율을 상수도 수행능지표로 사용되고 있다. 그러나 누수율 및 유수율의 사용 적정성에 대한 논란은 지금도 이어지고 있다. 국제물협회(IWA)에 따르면, 급수전당 물소비량이 크게 차이 나는 지역들을 비교하기 위해 백분율을 이용한 지표를 이용한 수행능을 비교하는 방법은 사용하지 말 것을 권고하고 있다 (Lambert, 2000; Pearsons et al., 2002). 국제물협회(IWA)는 지자체의 여건에 따라 같은 노력을 하더라도 누수율에 차이가 발생할 수 있다는 대전제 하에 대상지역의 상황(관로 길이, 급수 인구, 평균 수압 등)에 따라 누수율의 기준 및 평가를 다르게 수행하는 새로운 지표인 ILI를 제시하였고, 현재 한국과 일본을 제외한 지역에서 광범위하게 이용되고 있다 (Lenzi et al., 2014; Liemberger, 2002; Liemberger et al., 2008; Winarni, 2009).

현재 우리나라에서는 상수도 시스템에서의 물손실 관리의 수행능을 평가하기 위해 백분율을 이용한 지표인 ‘유수율’ 및 ‘누수율’이 사용되고 있지만, 우리나라에도 이와 같은 지표를 도입하여 전국이 똑같은 유수율(누수율) 목표를 설정하기보다는 여건에 따라 유수율 목표를 감안하는 ILI를 도입하는 것을 검토할 필요가 있다는 의견도 있다 (Park et al., 2002). 그러나 ILI를 도입할 때, 이것이 국내 상수도를 잘 대변할 수

있는지에 대한 검토가 사전에 이루어 져야 한다 (Chung et al., 2005b; Lee, 2012). 따라서, 본 논문에서는 4개의 주요한 지자체의 여건(급수인구, 현실화율, 재정자립도, 경년관비율)을 이용하여 ILI 산정 결과의 상관관계를 분석함으로써, IWA에서 만든 ILI 공식에 의한 유수율의 차등 목표설정이 우리나라에 적용가능한지 검토하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 ILI 산정

ILI는 Eq. 1로 나타내어지며, CARL(Current Annual Real Losses)에 대한 UARL(Unavoidable Annual Real Losses)의 비로 계산된다.

$$ILI = CARL / UARL \quad (1)$$

CARL은 모든 종류의 누수, 파손, 수도관에서의 월류, 급수관, 급수 연결점과 계량기 지점으로 부터의 손실량을 의미한다. CARL은 새로운 누수와 파손 발생, 그리고 배수시스템의 연대에 따른 노후화에 따라서 증가되는 경향을 보이지만, 이것은 압력의 관리와 누수복구의 속도와 기술수준, 적극적인 누수관리, 관로와 자산관리의 적절한 조합에 의해 저감이 가능하다. UARL은 현재의 시설여건과 수압 하에서 더이상 감소시킬 수 없는 물손실량의 수준이며, 관로 접합부나 구조물 틈새에서 미량으로 새는 누수량, 신고된 누수와 파열, 미신고된 누수와 파열, 수압과 누수의 관계를 고려하여 산출한다. 본 연구에서는 IWA에서 제시한 Eq. 2를 이용하여 UARL을 산정하였다. CARL 및 UARL은 상수도통계의 자료를 이용하였다 (MOE, 2012).

$$UARL(L/d) = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P \quad (2)$$

여기서, L_m : Length of water main (km)

N_c : Number of connections

L_p : Length of private pipe (m)

P : Average Pressure (m)

국내 지자체의 UARL 및 ILI 산정시 배수관로의 길이 (L_m) 및 급수전의 수(N_c)는 환경부의 상수도통계자료를 이용하였으며(MOE, 2012), 계량기까지 관로의 길이 및



Table 1. Grouping criteria for four operational parameters of a water authority

Group	Service Population(P)	Profit-loss Ratio(R)	Fiscal Self-reliance(F)	Aged Pipe Rate(A)
I	$1 \times 10^6 \leq P$	$100\% \leq R$	$60\% \leq F$	$20\% \leq A$
II	$0.5 \times 10^6 \leq P < 1 \times 10^6$	$70\% \leq R < 100\%$	$40\% \leq F < 60\%$	$10\% \leq A < 20\%$
III	$0.1 \times 10^6 \leq P < 0.5 \times 10^6$	$40\% \leq R < 70\%$	$20\% \leq F < 40\%$	$5\% \leq A < 10\%$
IV	$P < 0.1 \times 10^6$	$R < 40\%$	$F < 20\%$	$0\% \leq A < 5\%$

구역 내 평균 수압은 우리나라 상수도시스템을 고려하여 일괄적으로 6 m, 30 m의 가정 값을 사용하였다.

2.2 지자체의 특성별 그룹화

전국 162개 지자체의 특성인자 중에서 유의성이 있다고 판단한 주요 운영지표인, 급수인구, 요금 현실화율, 재정자립도 및 경년관비율을 선정하여, ILI의 상관관계를 검토하였다. 4가지 인자와 ILI의 상관관계를 분석하기 위해 급수인구(Service Population, P), 요금현실화율(Profit-loss Ratio, R), 재정자립도(Fiscal Self-reliance, F), 관망경년화도(Aged Pipe Rate, A) 규모별로 Table 1처럼 4개의 그룹으로 나누었다. 요금 현실화율은 수도사업 비용대비 적정 상수도 요금을 받는지를 나타내는 지표이다. 재정자립도는 지자체의 재정자립도이다. 관망경년화도는 관망의 내용연수를 초과한 관의 비율이다.

2.3 상관관계 분석

상관분석(Correlation Analysis)이란 두 변수 간에 상관관계가 존재하는지를 파악하고, 상관관계의 정도를 측정하는 것이다. 상관관계의 분석을 위해 회귀분석을 이용하였다. 회귀식의 적합도를 추정하는 방법으

로는 결정계수(Coefficient of Determination), 추정값의 표준오차(Standard Error of the Estimate) 등의 값이 사용되지만, 본 논문에서는 결정계수를 사용하였다. 결정계수(R^2)는 종속변수의 SST(Sum of Squares Total) 중에서 회귀식에 의한 SSR(Sum of Squares Regression)의 비율을 의미한다.

3. 결과 및 토론

3.1 수도사업자의 4대 지표와 ILI의 관계 분석

3.1.1 급수인구와 ILI 분포

지자체 급수인구에 따른 ILI와의 상관성 검토를 위해 전국 지자체를 급수인구 규모에 따라 4개의 그룹으로 분류하였으며, Fig. 1에 나타난 급수인구와 ILI 분포를 토대로 상관성을 분석한 결과와 1차 회귀식을 Table 2에 정리하였다. 급수인구에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 급수인구 100만 이상인 Group I에서 결정계수가 0.5119로 급수인구와 ILI에 상관을 나타냈지만, 나머지 세 개의 그룹은 결정계수가 0.0061~0.0265로 급수인구와 ILI 사이에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Group I의 경우, 지자체 개수가 적고, 급수인구가 최대

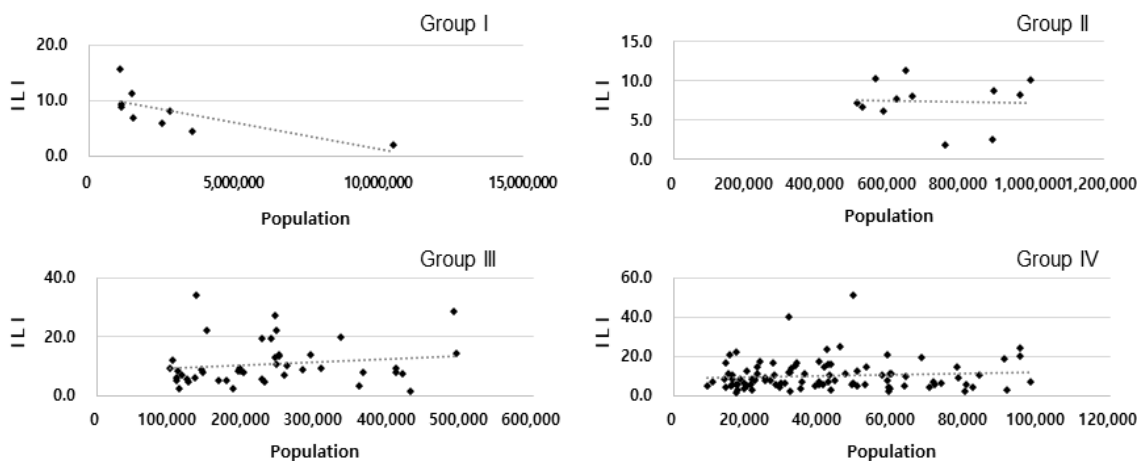


Fig. 1. Service population group and the ILI distribution.

Table 2. Linear regression for service population and the ILI

Group	No. of cities	Linear Fitting Formula	R ²
I	9	$y = -9E-07x + 10.756$	0.5119
II	12	$y = -8E-07x + 8.023$	0.0023
III	45	$y = 1E-05x + 8.2611$	0.0265
IV	96	$y = 3E-05x + 9.2353$	0.0061

인 한 개의 지자체가 가장 낮은 값을 보여 준 것이 영향을 미친 것으로 보인다. 특히, 급수인구가 많은 지자체는 상수도의 관리가 소규모 지자체보다 체계적으로 이루어졌다는 것도 한 원인으로 보인다.

3.1.2 지자체의 요금 현실화율과 ILI 분포

지자체의 요금 현실화율을 4개 그룹으로 나누어 ILI 상관성을 검토하였다. Fig. 2에 나타난 현실화율과 ILI의 분포를 토대로 상관성을 분석한 결과이며, Table 3에는 상관도와 1차 회귀식을 정리하였다.

현실화율에 따라 나눈 네 개의 그룹 모두 현실화율과 ILI 분포의 결정계수(R²)가 0.00006-0.1374로 낮아, 현실화율과 ILI에 거의 상관관계가 적은 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 Group I(현실화율 100% 이상)에서 결정계수는 0.1374로 상대적으로

로 높아, 현실화율이 높으면 ILI가 높아질 수도 있다는 것을 알 수 있다. 여기서 주목할 만한 것은 ILI 값이 높다는 것이다. IWA의 ILI 등급기준에 따르면 대부분 C 등급으로 해당 지자체는 수량이 풍부하거나 물값이 아주 싼 경우를 제외하고, 누수절감을 위해 노력을 하여야 한다 (Lambert, 2000). Group I에 속하는 지자체는 전체의 약 13%였다. Group II, III 그룹은 요금 현실화율이 40%에서 100% 사이이다. 우리나라의 많은 지자체가 속하는 그룹이며, 지자체 수도사업자의 누수관리 향상 의지에 따라 다양한 ILI 값을 가지기 때문에, 상관성 결정계수는 0.00006으로 매우 낮았다.

3.1.3 지자체 재정자립도와 ILI 분포

지자체 재정자립도에 따른 ILI 상관성 검토를 위해 전국 지자체를 재정자립도 정도에 따라 4개의 그룹으

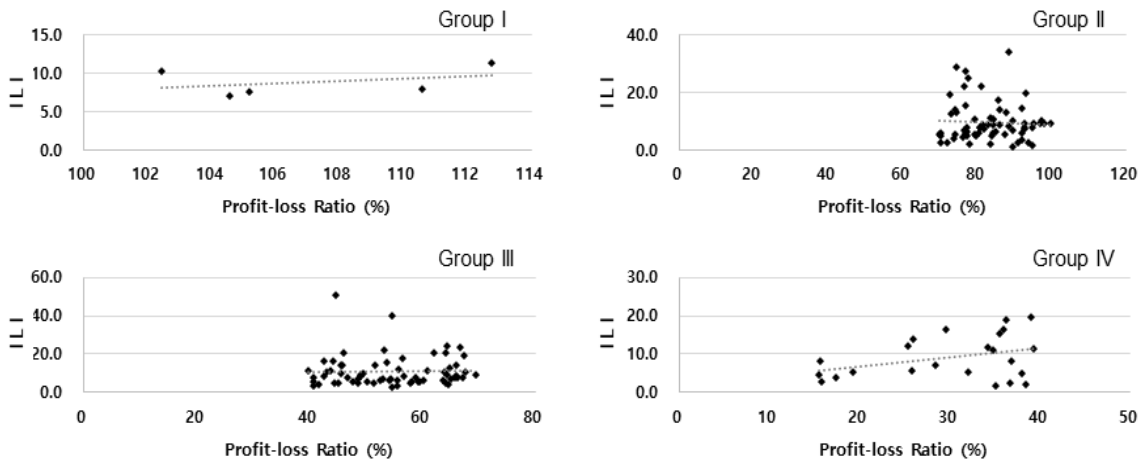


Fig. 2. Profit-loss Ratio(R) and the ILI distribution.

Table 3. Linear regression for Profit-loss Ratio(R) and the ILI

Group	No. of cities	Linear Fitting Formula	R ²
I	5	$y = 0.1564x - 7.8519$	0.1374
II	67	$y = -0.0573x + 14.5$	0.0045
III	67	$y = 0.0071x + 10.559$	6E-05
IV	23	$y = 0.23x + 2.218$	0.1135

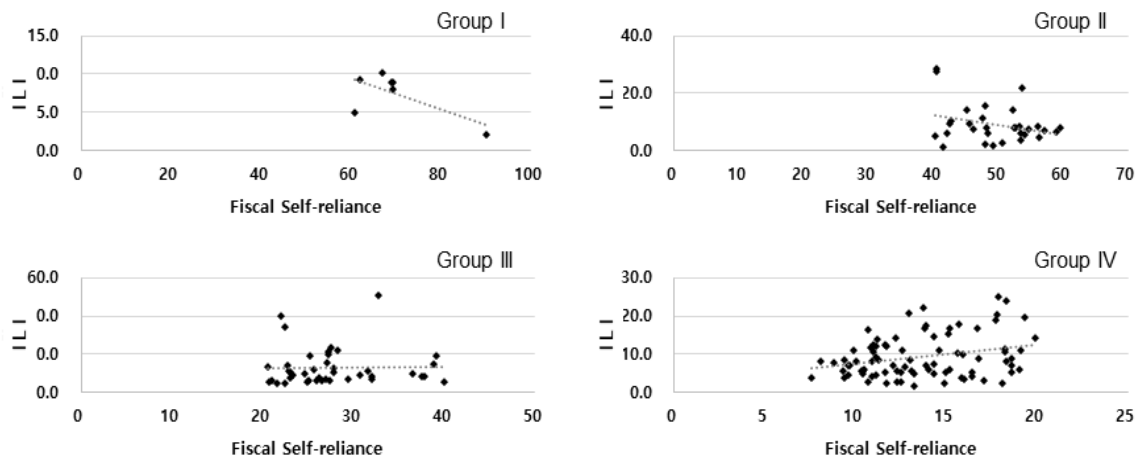


Fig. 3. Fiscal Self-reliance(F) and the ILI distribution.

Table 4. Linear regression for Fiscal Self-reliance Ratio(F) and the ILI

Group	No. of cities	Linear Fitting Formula	R ²
I	7	$y = -0.1964x + 21.124$	0.4299
II	31	$y = -0.3375x + 25.865$	0.0863
III	41	$y = 0.0278x + 12.233$	0.0002
IV	83	$y = 0.5173x + 2.2512$	0.0866

로 분류하였으며, Fig. 3에 나타난 재정자립도와 ILI 분포를 토대로 상관도 분석과 1차 회귀식을 Table 4에 정리하였다.

재정자립도에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 재정자립도 60% 이상인 하나의 그룹에서 결정계수가 0.4299로 재정자립도와 ILI가 어느 정도 상관된 결과를 나타냈지만, 나머지 세 개의 그룹은 결정계수는 0.0002~0.0866으로 재정자립도와 ILI 사이에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 재정자립도 60% 이상인 그룹의 경우, 지자체의 수가 적지만 높은 재정자립도의 한 지자체가 가장 낮은 값을 가졌기 때문으로 판단된다.

3.1.4 지자체 경년관 비율에 따른 ILI 분포

지자체 경년관 비율에 따른 ILI와 상관성 검토를 위해 전국 지자체를 경년관비율 정도에 따라 4개의 그룹으로 분류하였으며, Fig. 4에 나타난 경년관비율과 ILI 분포를 토대로 상관성을 분석한 결과를 Table 5에 정리하였다. 경년관비율과 ILI의 상관도 결정계수가 0.0064~0.2049로 낮게 나왔다. 이를 통해 경년관 비율은 ILI와 크게 상관이 없으며, 노후도와 같은 관망의 물리적인 상태가 중요한 것을 유추할 수 있다.

3.2 급수인구 그룹별 3대 주요 인자와 ILI의 상관관계

지자체의 급수인구 그룹별로 요금 현실화율, 재정자립도 및 경년관비율과 ILI가 어떠한 상관관계를 갖는지 알아보았다. 각각의 인자와 ILI의 상관도 결정계수와 1차 회귀식 분석 결과를 Table 6에 정리하였다.

지자체의 현실화율과 ILI의 상관관계를 검토하였다. 급수인구 4개 그룹에서 요금 현실화율과 ILI 분포의 결정계수는 0.0006~0.1018로 현실화율과 ILI가 상관관계가 낮은 것으로 보인다. 네 개의 그룹 중 급수인구 Group II(50만 이상~100만 미만)에서 결정계수는 0.1018로 가장 높았다. 급수인구 Group III(10만 이상~50만 미만)에서 결정계수는 0.0006으로 가장 낮았다.

재정자립도와 ILI의 상관관계를 검토하였다. 급수인구 4개 그룹에서 Group I(급수인구 100만 이상)에서 결정계수가 0.4198로 재정자립도와 ILI가 상대적으로 상관도가 높았지만, 나머지 그룹은 결정계수가 0.00007~0.0752로 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 급수인구 Group I의 경우, 지자체 개수가 적으며, 재정자립도가 90%로 가장 높은 한 지자체가 가장 낮은 ILI 값을 가진 것이 영향을 미쳤다.

경년관비율과 ILI의 상관관계를 비교하였다. 급수인

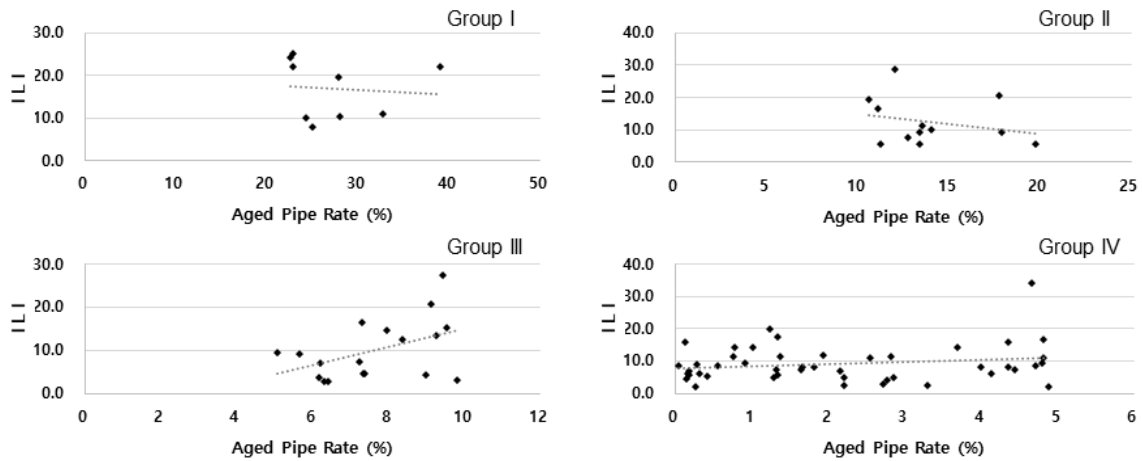


Fig. 4. Aged Pipe Rate(A) and the ILI distribution.

Table 5. Linear regression for Aged Pipe Rate(A) and the ILI

Group	No. of cities	Linear Fitting Formula	R ²
I	9	$y = -0.1x + 19.629$	0.0064
II	12	$y = -0.602x + 20.893$	0.0595
III	18	$y = 2.1303x - 6.3439$	0.2049
IV	46	$y = 0.6167x + 7.8458$	0.0308

Table 6. Linear regression for Service Population and the ILI

Service Population Group	Linear Fitting Formula: ILI (as y axis) vs. R, F, and A (as x axis)		
	Profit-loss Ratio(R)	Fiscal Self-reliance Ratio(F)	Aged Pipe Rate(A)
I	$y = -0.0813x + 15.057$	$y = -0.1924x + 19.883$	$y = 0.1448x + 7.6484$
	R ² = 0.0224	R ² = 0.4198	R ² = 0.0083
II	$y = 0.071x + 0.8881$	$y = 0.0017x + 7.3697$	$y = 0.1885x + 7.0023$
	R ² = 0.1018	R ² = 0.0000005	R ² = 0.0770
III	$y = 0.0139x + 9.7196$	$y = -0.0355x + 12.099$	$y = 0.3491x + 8.9677$
	R ² = 0.0006	R ² = 0.0039	R ² = 0.1772
IV	$y = 0.0164x + 9.458$	$y = 0.3079x + 5.4067$	$y = 0.1060x + 9.9233$
	R ² = 0.0015	R ² = 0.0752	R ² = 0.0089

구 4개 그룹에서 모두 경년관비율과 ILI의 결정계수가 0.0083~0.1772로 약한 상관성이 있거나, 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 Group III(급수인구 10만 이상~50만 미만)에서 결정계수는 0.1772로 가장 높은 상관성이 나왔다. 가장 낮은 상관성을 나타낸 급수인구 Group I(100만 이상)에서 결정계수는 0.008이었다.

3.3 요금 현실화율 그룹별 3대 주요 인자와 ILI의 상관관계

동일 요금 현실화율 그룹에 속하는 지자체가 급수

인구, 재정자립도 및 경년관 비율에 따른 ILI 값의 상관성을 검토하였다. 각각의 인자와 ILI 상관도 결정계수와 1차회귀식 분석 결과를 Table 7에 정리하였다.

요금 현실화율 그룹별 급수인구와 ILI 상관관계 검토한 결과, 현실화율에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 현실화율 100% 이상인 Group I에서 결정계수가 0.4252로 상대적으로 높은 상관관계를 나타냈지만, 나머지 그룹은 결정계수가 0.0092~0.1246으로 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 요금 현실화율 100% 이상인 그룹의 경우, 지자체 개수가 5개로 적어 높은 상관성이 나타난 것으로 판단된다.

**Table 7.** Linear regression for Profit-loss Ratio(R) and the ILI

Profit-loss Ratio (R)	Linear Fitting Formula: ILI (as y axis) vs. R, F, and A (as x axis)		
	Profit-loss Ratio(R)	Fiscal Self-reliance Ratio(F)	Aged Pipe Rate(A)
I	$y = 5E-06x + 6.3388$	$y = -0.0587x + 11.228$	$y = 0.1857x + 8.0670$
	$R^2 = 0.4252$	$R^2 = 0.0913$	$R^2 = 0.3112$
II	$y = -9E-07x + 10.255$	$y = -0.0361x + 11.083$	$y = 0.45141x + 7.7158$
	$R^2 = 0.0317$	$R^2 = 0.0104$	$R^2 = 0.2509$
III	$y = -1E-05x + 11.623$	$y = 0.1864x + 7.4536$	$y = -0.0905x + 11.290$
	$R^2 = 0.0092$	$R^2 = 0.0383$	$R^2 = 0.0058$
IV	$y = 9E-05x + 5.9396$	$y = 0.2004x + 6.4171$	$y = 0.3138x + 8.3859$
	$R^2 = 0.1246$	$R^2 = 0.0156$	$R^2 = 0.0433$

요금 현실화율 그룹별 재정자립도와 ILI 상관관계 검토한 결과, 현실화율에 따라 나눈 네 개의 그룹에서 재정자립도와 ILI 분포의 결정계수가 0.0104~0.0913으로 나와, 재정자립도와 ILI에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 요금 현실화율 100% 이상인 Group I에서 결정계수는 0.0913였고, 가장 낮은 상관성을 나타낸 현실화율 70% 이상~100% 미만인 Group II에서 결정계수는 0.0104 이었다.

요금 현실화율 그룹별 재정년관비율과 ILI 상관관계 검토한 결과, 현실화율에 따라 나눈 네 개의 그룹 모두 재정년관비율과 ILI 분포의 결정계수가 0.0058~0.3112로 재정년관비율과 ILI에 약한 상관이 있거나, 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 현실화율 100% 이상인 Group I에서 결정계수는 0.3112로 가장 높았고, 가장 낮은 상관성을 나타낸 현실화율 40% 이상~70% 미만인 Group III에서 결정계수가 0.0058이었다.

3.4 재정자립도 그룹별 3대 주요 인자와 ILI의 상관관계

동일 재정자립도 그룹에 속하는 지자체가 급수인

구, 재정자립도 및 경년관비율에 따른 ILI 상관성 검토를 하였다. 각각의 인자와 ILI간의 상관도 결정계수와 1차 회귀식 분석 결과를 Table 8에 정리하였다.

재정자립도 그룹별 급수인구와 ILI 상관관계 검토한 결과, 재정자립도에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 재정자립도 60% 이상인 하나의 Group I에서 결정계수가 0.5919로 급수인구가 ILI에 상관을 나타냈지만, 나머지 세 개의 그룹은 결정계수가 0.0026~0.0266으로 급수인구와 ILI 사이에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 재정자립도 60% 이상인 Group I의 경우, 지자체 개수가 적은 반면 급수인구가 최대인 한 지자체가 가장 낮은 값을 가졌기 때문으로 판단된다.

재정자립도 그룹별 요금 현실화율과 ILI 상관관계 검토한 결과, 재정자립도에 따라 나눈 네 개의 그룹 모두 현실화율과 ILI의 분포의 결정계수가 0.0002~0.2045로 현실화율과 ILI에 약한 상관이 있거나, 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 재정자립도 60% 이상인 Group I에서 결정계수는 0.2045였다. 가장 낮은 상관성을 나타낸 재정자립도 20% 미만인 Group IV에서 결정계수는 0.0002였다.

Table 8. Linear regression for Fiscal Self-reliance and the ILI

Fiscal Self-reliance (F)	Linear Fitting Formula: ILI (as y axis) vs. R, F, and A (as x axis)		
	Profit-loss Ratio(R)	Fiscal Self-reliance Ratio(F)	Aged Pipe Rate(A)
I	$y = -6E-07x + 8.9931$	$y = 0.2295x - 12.726$	$y = -0.6727x + 8.908$
	$R^2 = 0.5919$	$R^2 = 0.2045$	$R^2 = 0.2927$
II	$y = -1E-06x + 10.091$	$y = -0.1025x + 17.777$	$y = 0.9363x + 6.7353$
	$R^2 = 0.0266$	$R^2 = 0.0313$	$R^2 = 0.4790$
III	$y = -9E-06x + 14.694$	$y = -0.0549x + 16.929$	$y = 0.1526x + 12.248$
	$R^2 = 0.0224$	$R^2 = 0.0113$	$R^2 = 0.0185$
IV	$y = 1E-05x + 8.8656$	$y = 0.0043x + 9.0566$	$y = 0.1446x + 8.6738$
	$R^2 = 0.0026$	$R^2 = 0.0002$	$R^2 = 0.0347$

재정자립도 그룹별 경년관 비율과 ILI 상관관계 검토한 결과, 재정자립도에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 재정자립도 40% 이상~60% 미만인 하나의 Group II에서 결정계수가 0.4790으로 경년관비율이 ILI에 상관을 나타냈지만, 나머지 세 개의 그룹은 결정계수가 0.0185~0.2927로 경년관비율과 ILI 사이에 약한 상관이 있거나 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 재정자립도 40% 이상 ~60% 미만인 Group II에서 결정계수는 0.4790이었다. 가장 낮은 상관성을 나타낸 재정자립도 20% 이상~40% 미만인 Group III에서 결정계수는 0.0185이었다.

3.5 경년관 비율 그룹별 3대 주요 인자와 ILI의 상관관계

동일 경년관비율 그룹에 속하는 지자체가 급수인구, 재정자립도 및 경년관 비율에 따른 ILI 상관성 검토를 하였다. 각각의 인자와 ILI간의 상관도 결정계수와 1차 회귀식 분석 결과를 Table 9에 정리하였다.

경년관 비율 그룹별 급수인구와 ILI 상관관계 검토한 결과, 경년관비율에 따라 나눈 네 개의 그룹 모두 급수인구와 ILI 분포의 결정계수가 0.0010~0.1039로 급수인구와 ILI에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 경년관 비율 10% 이상~20% 미만인 Group II에서 결정계수는 0.1039로 가장 높았다. 가장 낮은 상관성을 나타낸 경년관비율 5% 이상~10% 미만인 Group III에서 결정계수는 0.0010으로 가장 낮았다.

경년관 비율 그룹별 현실화율과 ILI 상관관계 검토한 결과, 경년관 비율에 따라 나눈 네 개의 그룹 중 경년관 비율 20% 이상인 하나의 Group I에서 결정계

수가 0.5711로 현실화율과 ILI가 서로 상대적으로 높은 상관도를 나타냈지만, 나머지 세 개의 그룹은 결정계수가 0.0041~0.0392로 현실화율과 ILI 사이에 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 경년관 비율 20% 이상인 Group I에서 결정계수는 0.5711로 가장 높았다. 경년관 비율 5% 미만인 Group IV에서 결정계수는 0.0041로 가장 낮은 상관성을 나타냈다.

경년관 비율 그룹별 재정자립도와 ILI 상관관계 검토한 결과, 경년관 비율에 따라 나눈 네 개의 그룹 모두 재정자립도와 ILI 분포의 결정계수가 0.0237~0.2782로 재정자립도와 ILI에 약한 상관이 있거나, 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 네 개의 그룹 중 가장 높은 상관성을 나타낸 경년관 비율 10% 이상~20% 미만인 Group II에서 결정계수는 0.2782로 가장 높았다. 경년관 비율 5% 이상~10% 미만인 Group III에서 결정계수는 0.0237로 가장 낮은 상관성을 나타냈다.

3.6 ILI와 4개 지표의 상관성 검토

급수인구, 현실화율, 재정자립도 및 경년관 비율에 따라 같은 여건을 가지는 지자체를 4개의 그룹으로 나누어 결정인자와 ILI 사이의 상관성을 검토하였다. 총 48개의 경우의 수 중에서 급수인구 100만 이상인 지자체의 재정자립도와 ILI 분포, 현실화율 100% 이상인 지자체의 급수인구와 ILI 분포, 재정자립도 60% 이상인 지자체의 급수인구, 현실화율과 ILI 분포, 재정자립도 40% 이상~60% 미만인 지자체의 경년관 비율과 ILI 분포, 경년관 비율 20% 이상인 지자체의 현실화율과 ILI분포 6개에서만 상관을 갖는 것으로 나타났으며, 나머지 42개의 경우에는 결정계수 0.16 미만

Table 9. Linear regression for Aged Pipe Rate and the ILI

Aged Pipe Rate (A)	Linear Fitting Formula: ILI (as y axis) vs. R, F, and A (as x axis)		
	Profit-loss Ratio(R)	Fiscal Self-reliance Ratio(F)	Aged Pipe Rate(A)
I	$y = 2E-05x + 14.820$	$y = 0.3432x - 4.9598$	$y = 0.2120x + 11.574$
	$R^2 = 0.0451$	$R^2 = 0.5711$	$R^2 = 0.1652$
II	$y = 1E-05x + 10.405$	$y = -0.0546x + 16.344$	$y = 0.4356x + 3.3538$
	$R^2 = 0.1039$	$R^2 = 0.0392$	$R^2 = 0.2782$
III	$y = -5E-07x + 10.077$	$y = 0.0345x + 7.7007$	$y = 0.0601x + 8.4119$
	$R^2 = 0.0010$	$R^2 = 0.0150$	$R^2 = 0.0237$
IV	$y = -8E-07x + 9.6863$	$y = -0.0167x + 10.299$	$y = -0.0682x + 11.237$
	$R^2 = 0.0569$	$R^2 = 0.0041$	$R^2 = 0.0550$



혹은 0.36 미만으로 거의 상관을 나타내지 않거나 약한 상관을 나타내었다.

영국, 미국, 캐나다 등의 경우 관망분야의 우수율과 같은 '비율' 개념의 검토지표는 사용하지 않고 있으며 '양'적 개념의 지표를 사용하고 있다 (Delgado, 2008). IWA에서는 관로 길이당 누수량, 급수전당 누수량을 누수 수행지표(Performance Indicators for Real Loss Management)로 활용하도록 권고하고 있으며, 우수율 제고를 위한 계획수립시 초기단계에서 생산량 분석(Water Balance)을 시행하도록 하고 있다 (Lambert and Hirner, 2000). 그뿐만 아니라 단기누수관리를 위해서는 구역별 야간최소유량을 측정하여 감시하도록 하고 있다.

본 연구에서 계산된 우리나라 지자체별 ILI 분포와 지자체특성에 따른 상관관계를 파악하기 위해 사용한 급수인구, 현실화율, 재정자립도, 관망 경년화 비율과 같은 인자가 ILI와 상관도가 낮아, 우리나라의 지자체 특성을 잘 반영하지 못하는 것으로 보인다. 특히 관망경년화도는 우수율과는 상관성이 어느 정도 있다는 연구 결과가 있는데, ILI와 관련성은 낮은 것으로 분석되었다. 이것은 여러 가지 원인이 있을 수 있으나, 이것은 ILI 계산에 들어가는 UARL을 정확히 산정하기 연구와 데이터의 부족에서 기인하는 것도 크다고 생각된다. 이러한 현실적인 조건들을 고려할 때, 우리나라에 설계 및 상수관망의 수행능 지표로서 ILI를 도입하는 것은 앞으로도 많은 추가적인 연구와 자료가 축적되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 향후 블록시스템의 구축을 통한 블록고립, 블록유입유량 모니터링, 원격검침 등에 따른 신뢰도 있는 CARL 및 UARL 관련 연구 및 자료의 확보를 통해 국내 도입을 위한 제도적 준비가 가능하다. 이러한 것들이 갖추어졌을 때, 해외에서 통용되는 상수관망 수행능 지표인 ILI의 국내 적용이 가능할 것으로 판단된다. 아쉽게도, 이 연구에서 사용된 자료는 2011년 상수도 통계의 자료를 이용하였다. 거의 10년이 지난 자료이기 때문에 최근의 자료를 이용하였을 때는 결과가 다소 차이가 날 수도 있다. 향후 최신 데이터를 사용하여 다시 분석하고, 비교하면 새로운 흥미로운 사실이 밝혀질 수도 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 국제적인 상수도 시스템 수행능의 평가 지표로 사용되고 있는 ILI와 우리나라 162

개 지자체의 급수인구, 재정자립도, 관망경년화도, 요금현실화율과의 상관관계를 분석하였다. 지자체를 급수인구, 요금 현실화율, 재정자립도 및 경년관비율에 따라 4개의 그룹으로 나누어 ILI 상관성을 검토한 결과, 분석한 총 48개의 경우의 수 중에서 급수인구 100만 이상인 지자체의 재정자립도와 ILI 분포, 현실화율 100% 이상인 지자체의 급수인구와 ILI 분포, 재정자립도 60% 이상인 지자체의 급수인구, 요금현실화율과 ILI 분포, 재정자립도 40% 이상~60% 미만인 지자체의 경년관 비율과 ILI 분포, 경년관 비율 20% 이상인 지자체의 현실화율과 ILI 분포 6개에서만 상관을 가졌으며, 나머지 42개의 경우에는 결정계수 0.16 미만 혹은 0.36 미만으로 거의 상관을 나타내지 않거나 약한 상관을 나타내었다. 이것은 기존에 우수율과의 비교 결과와는 약간 다른 경향을 보이는데, ILI 계산에 필요한 UARL 값을 얻기 위한 정확한 자료의 부족에서 기인하는 것으로 사료된다. 우리나라에서 ILI를 사용하기 위해서는 앞으로 UARL에 대한 많은 추가적인 연구와 자료가 축적되어야 할 것으로 생각한다. 즉, 신뢰도 있는 CARL 및 UARL 자료의 확보와 국내 도입을 위한 제도적 준비가 되었을 때, 해외에서 많이 통용되는 상수관망 수행능 지표인 ILI의 국내 적용이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 Global Top Project (20160021 20006)의 지원으로 이루어졌습니다.

References

- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J.M., and Parena, R. (2000). Performance indicators for water supply services, IWA publishing 'Manuals of best practice' series.
- Chung, S.H., Yu, M.J., Koo, J.Y. and Lee, H.K. (2006). Performance Evaluation of Water Loss Management in Urban Areas Using Different Performance Indicators, J. Korean Soc. Environ. Eng., 28(2), 117-127.
- Chung, S.H. (2005). Development of strategic evaluation methodology for performance of water losses management in water distribution system, Ph.D Thesis, University of Seoul.
- Chung, S.H., Lee, H.K., Yu, M.J., Koo, J.Y., Hyun, I.H., and

- Lee, H.D. (2005). "Identification of key local factors influencing revenue water ratio of Korean cities using principal component analysis and clustering analysis", *Proceedings of the IWA's 3rd International Conference on Efficient Use and Management of Water in Urban Areas*, Santiago, Chile.
- Delgado, D.H. (2008). Infrastructure Leakage Index(ILI) as a Regulatory and Provider Tool, Ph.D., thesis, University of Arizona.
- Jeon, S.H. (2014). A Study on ILI's Characteristics & Applicability for local cities in Korea, Master Thesis, Dankook University
- Lee, K.H. (2012). Method to determine the average water pressure for the calculation of the minimum allowable leakage, Master's Thesis, Dankook University.
- Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M., and Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems, *J. Water SRT-Aqua*, 48(6), 227-237
- Lambert, A.O., and Hirner, W.H. (2000). Losses from water supply system: Standard terminology and performance measure, IWA the Blue Pages.
- Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi, A. and Fortini, M. (2014). Infrastructure leakage index assessment in large water systems, *Procedia Eng.*, 70, 1017-1026.
- Liemberger, R. (2002). "Do you know how misleading the use of wrong performance indicators can be?", *Proceedings of the IWA Conference on Leakage management: A practical approach*, Cyprus.
- Liemberger, R. and Lambert A. (2008). *Benchmarking of Water Losses in New Zealand Manual*. NZWWA, Appendix G.
- MOE. (2010). Waterworks's design guideline, KWWA, Seoul.
- MOE. (2012). Waterwork's Statistics, 2011.
- Ociepa, E., Mrowiec M., and Deska, I. (2019). Analysis of water losses and assessment of initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems, *Water*, 11, 1037.
- Park N.S., Bae, J.Y., Hyun, I.H., Kim, H.Y., and Yoon, J.H. (2002). "Review On Minimum Allowable Leakage And Leakage Rate Data", *KSWW Annual Conference*, KSWW, Chungju, Korea, 55-58.
- Pearsons, D. (2002). "Testing the UARL & ILI approach using a large UK data set", *Proceedings of the IWA Conference on Leakage management : A practical approach*, Cyprus.
- Winarni, W. (2009). Infrastructure leakage index(ILI) as water losses indicator, *Civ. Eng. Dimens.*, 11(2), 126-134.