

여러 가지 지표를 이용한 전국도시의 물손실관리 수행능 비교평가

정신호[†] · 유명진 · 구자용 · 이화경

서울시립대학교 환경공학부

(2005년 6월 20일 접수, 2006년 1월 24일 채택)

Performance Evaluation of Water Loss Management in Urban Areas Using Different Performance Indicators

Shin-Ho Chung[†] · Myong-Jin Yu · Ja-Yong Koo · Hwa-Kyoung Lee

Department of Environmental Engineering, University of Seoul

ABSTRACT : Recently International Water Association(IWA) has proposed new performance indicators for water supply services and their successful applications are being reported continually. According to the various reports, the percentage indicators were suggested not to be used for performance comparison, especially where the targeted areas have great difference in consumption per service connection. But unfortunately in Korea, the revenue water ratio, one of the percentage indicators is still being used to set up the goal of water-related administration and to compare the performances between systems. Therefore this study aimed to prove the inapplicability of the percentage indicators with nation-wide data and to suggest better performance indicators for more efficient water loss management. According to the result of the comparison of various performance indicators with conventional one, it is proved that percentage indicators can not evaluate the performance efficiently where the local situations are significantly different. It is suggested that the better performance indicators such as real losses per service connection or ILI should be used to benchmark the performances of water suppliers on water loss management so that the problems of water losses could be identified easily and recovered effectively.

Key Words : Water Loss Management, Leakage, Performance Indicator, Revenue Water Ratio, Benchmarking

요약 : 최근에 국제물협회(IWA)는 수도서비스분야에 대한 새로운 수행능지표를 제안하였고 이의 성공적인 적용사례가 연이어 보고되고 있다. 이들 보고에 따르면, 특히 급수전당의 물소비량이 크게 차이 나는 지역들 간에는 백분율을 이용한 지표를 이용하여 수행능을 비교하지 말아야 한다고 말하고 있다. 그러나 아직까지 한국에서는 백분율을 이용하는 지표들 중의 하나인 유수율이 수도행정의 목표를 수립하기 위해 가장 중점적으로 사용되고 있으며, 시스템간의 물손실관리 수행능을 비교평가 하는 데에 널리 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 전국적인 상수도 및 지역통계 자료를 이용하여 백분율지표의 비합리성을 밝히고 보다 효율적인 물손실관리를 위하여 어떤 것이 보다 바람직한 수행능지표인지를 제안하고자 하였다. 3년간의 상수도 및 지역통계 자료를 이용하여 전국의 도시지역에 대하여 유수율, 실손실율, 1인 당 실손실량, 급수전 당 실손실량, 및 IWA의 누수평가지표(ILI)를 산정하고, 각 대상지역을 비교평가한 결과에 따르면, 백분율을 이용한 지표 즉, 유수율 및 실손실율은 지역 조건이 크게 차이 나는 곳 간의 수행능을 제대로 비교하지 못하는 반면, 급수전 당 실손실량 및 누수평가지표는 수행능을 효율적으로 비교, 평가하는 것으로 나타났다. 또한 유수율이 높게 나타나는 지역에서도 하나의 급수전 당 손실되고 있는 물의 양이 매우 클 수 있다는 것을 보여주었다. 따라서 수도사업자의 물손실 관리에 대한 수행능을 보다 합리적으로 평가하여 물손실 문제에 쉽게 접근하고, 문제를 효율적으로 해결하기 위해서는 급수전 당 실손실량 혹은 누수평가지표를 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

주제어 : 물손실관리, 누수, 수행능지표, 유수율, 벤치마킹

1. 서 론

국내에서 배·급수시스템의 수량관리 평가지표는 유수율 단 한 가지라고 해도 무방하다. 누수량 혹은 누수율, 누수사고발생건수 등을 참고하기도 하지만 효율 향상을 위한 상수도행정목표는 유수율을 제고시키는 것으로 귀결되고 있다. 유수율 향상 실적으로 상수도 관련공무원들에게 포상을 하는 사례도

있다. 유수율이 낮은 경우에는 당연히 누수가 많기 때문에 유수율이 낮게 나타난 것으로 판단하여 누수의 원인을 찾아 복구하고자 하는 노력을 시행하고 있다. 유수율이 낮은 지역에 대하여 발견되지 않은 누수를 찾고자 누수탐사 노력을 수행하거나, 유수율이 낮다는 것 하나만으로 노후관로에서 누수가 있을 것이라 판단하고 관로교체 사업을 시행하기도 한다.

유수율의 장점은 공급한 양에 대해서 상수도세입으로 거두어들이는 양이 얼마나 되는 지에 대한 경제성을 평가할 수 있는 지표가 된다는 것이며, 상수도계획 상에서 사용량과 공

[†] Corresponding author

E-mail: shinho71@hotmail.com

Tel: 02-2210-2946

Fax: 02-2244-2245

급량의 관계를 설정할 때 이용될 수 있다는 것이다. 그러나 유수율은 상수도시스템 내에서 손실되는 물의 양을 합리적으로 평가하는 지표라 보기에는 미흡한 점이 있다. 유수율은 여러 가지 평가지표 중의 단 한 가지일 뿐이며, 지역의 여건 상 유수율이 높게 나올 수밖에 없는 지역이 있는가 하면 반대로 지역의 여건 상 유수율이 낮게 나올 수밖에 없는 지역이 있다.^{1,2)} 현재 상수도통계상에 발표하고 있는 누수율도 산정상의 문제로 많은 한계점을 드러내고 있다. 최근 IWA에서는 전통적인 백분율을 이용한 지표(실손실율, 유수율, 무수율 등)의 문제를 언급하면서 수자원의 효율적인 사용 혹은 상수도사업의 경제성을 나타내는 목적 외에는 사용하지 말아야 한다고 권고하였다.^{3~8)} 따라서 본 연구에서는 전국 도시지역 상수도통계자료를 분석하여 물손실관리를 위해서 어떤 지표를 이용하는 것이 더 바람직한 지를 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 자료수집 및 기초분석

본 연구를 위한 대상지역은 상수도사용의 밀집도가 높은 도시지역(2000년에는 79개 도시, 2001년 및 2002년에는 81개 도시)으로 하였고 상수도관련 자료는 매년 환경부에서 발행하는 2000년~2002년의 상수도통계⁹⁾를 이용하였다. 원인분석을 위하여 지역특성을 나타내는 자료로는 통계청에서 2000년에 시행한 인구·가구·주택총조사¹⁰⁾(5년 주기의 전수조사, 2005년 자료는 현재 조사 중) 자료를 이용하였다.

지역특성은 수도사용의 밀집도를 나타내는 인자들, 지역의 노후도를 나타내는 인자들, 주거유형을 나타내는 인자들, 주거의 수준을 나타내는 인자들, 계량기의 구경비를 나타내는 인자들, 배수유형을 나타내는 인자들로 하고 연구지역의 유수율 특성을 지역특성과 어떠한 관계가 있는지 상관계수(population correlation coefficient, ρ)를 이용하여 판단하고 영향정도를 분석하였다. 사용된 지역특성 인자와 그 인자가 나타내는 의미를 다음의 Table 1에 요약하였다.

Table 1. Effect factors supposed to affect revenue water ratio

Items	Symbol	Description
Resident population per length of distribution and service pipes	Z ₁	Indication of high density of water use
Ratio of residence aged over 20 years	Z ₂	Indication of age of the supply area
Ratio of condominium housing	Z ₃	Indication of residential type
Ratio of household living without bath facilities	Z ₄	Indication of poor residential level
Ratio of 13 mm customer meters	Z ₅	Indication of relatively many connection points on pipes
Total capacity of distribution reservoirs per length of distribution and service pipes	Z ₆	Indication of stability of water pressure

2.2. 실손실량 산정

상수도 배·급수시스템의 운전 및 유지관리 효율을 가장 직접적으로 나타낼 수 있는 것은 실손실량(Real losses)이라고 판단하고 이것을 수행능평가(Performance evaluation)를 위한 기초 자료로 이용하였다. IWA가 제시한 물수지분석에서 처음 사용된 ‘실손실량’이라는 용어는 수도사용자의 계측지점까지 실제로 발생하는 물리적인 손실을 의미하며, 미량누수, 파열 및 월류량을 포함한다. 이 값은 현재 상수도통계에서의 무효수량과 의미상 거의 동일하다. 그러나 상수도통계자료⁹⁾상의 각 지자체별 계량기불감율은 2000년 0~31.5%, 2001년 0~27.1%, 2002년 0.4~27.1%로 보고되어 너무 편차가 심하게 적용되었다. 수도계량기의 불감율은 1987년에 10%로 추정되었던 조사가 있었으나,¹¹⁾ 그 당시보다 현재에는 계량기제조 기술이 현격하게 증가되어 그 불감율이 많이 감소되었을 것이라 생각된다. 또한 최근 서울에서의 연구¹²⁾는 13 mm 수도계량기의 불감율(미감지율)이 1년차, 3년차 5년차에서 각각 1.46%, 2.77%, 2.26%로 평균 1.23%라고 보고하였고 7년차 계량기에서는 오히려 1.59% 과감지되었다고 보고하였다. 이에 비하면 20%도 넘는 상수도통계상의 계량기 불감수량은 너무 무리한 수치라고 보인다. 이러한 과도한 수치는 유수율이 낮은 원인을 수도사업자의 관리부족에 의한 누수량의 과다로 여기지 않고, 각 지자체별로 수도계량기의 실제 불감율을 조사하지 않은 채 수도사업자의 책임이 아닌 수도계량기 제조사의 책임으로 넘긴 것이다. 상수도통계 작성 지침¹³⁾에 의하면 “계량기불감수량을 2006년까지 단계적으로 4.5% 이하로 줄이고 줄어든 수치는 누수량에 산입(단, 현재 계량기불감수량이 4.5% 이하이거나 계량기 불감수량이 명확히 산정되는 경우에는 제외)”하라고 명시되어 있다. 이것은 누수량 즉 실손실량에 포함되어야 할 부분이 임의로 계량기불감수량에 포함되어 있다는 것을 반증한다. 또한 특정한 소구역에서의 불감율이 다른 구역과 크게 차이난다는 것은 이해할 수 있으나 지자체 전체의 불감율이 다른 지자체와 크게 차이난다는 것은 이해하기 어렵다. 만일 모든 지자체의 불감수량이 신뢰할 수 있는 근거를 가지고 산정되어서 위와 같이 보고되었다면 지자체별로 큰 편차를 가지고 있다고 하더라도 실손실량의 산정에 있어서 무효수량을 그대로 사용할 수 있다. 그러나 상수도통계상의 계량기불감수량이 비합리적인 수치라고 판단되었기 때문에 무효수량도 비합리적이며 실손실량의 산정을 위해서 사용할 수 없다고 판단되었다.

이 때문에 무효수량 대신에 무수수량을 이용하는 방법을 고려하였으나, 무수수량은 본 연구에서 지표의 유용성을 판단하기 위해 적극적 누수관리에 의한 회복가능 실손실량을 비교하는데 있어서 어려운 점이 있다고 판단되었다. 즉, 실손실량의 경우에는 누수되는 부분을 복구하면 누수절감량만큼 회복가능하다고 간주할 수 있지만, 무수수량의 경우에는 계량기불감수량을 포함하고 있으므로 일부수량은 누수복구에 의해서는 회복이 불가능하다. 따라서 본 연구에서 지표산정을 위한 손실수량으로 무수수량을 사용하는 것 또한 바람직하지 않다고 판단하였다.

이에 본 연구에서는 평균적인 계량기불감율은 지자체별로서의 비슷하다고 간주하는 것이 오히려 합리이며 과대하게 보고된 계량기불감수량을 유효수량에 대하여 일정한 값이 되도록 일괄적으로 조정하는 것이 공평하다고 판단하였다. 물론 일괄적으로 정한 수치가 정확한 값은 아니지만 대부분의 수도사업자가 계량기의 허용공차를 4%로 하고 있고 상수도 통계상의 계량기불감수량 목표치도 4.5%로 하고 있으므로, 이에 맞추어 수량을 재분배하면 비록 지자체별로 정확한 실손실량은 아니더라도 지자체별 상대적 비교에는 오히려 공평하다고 판단하였다. 이렇게 계량기불감수량을 4.5%로 가정하고 계산된 무효수량을 본 연구에서 제한적으로 실손실량이라고 간주하였다.

2.3. 축척 인자(Scaling factor)

효율이나 성능을 비교하기 위한 많은 지표들은 적절한 축척인자로 나누어져야 한다. 어떤 인자들은 분자의 단위와 분모의 단위가 동일하여 서로 상쇄되기도 하지만 많은 경우 분자에는 주관심대상이 되는 대상의 크기를 표현하는 단위가 들어가고, 분모에는 이 분자의 크기를 다른 값과 상대적으로 비교할 수 있도록 하는 축척 인자가 들어 있다. 축척 인자가 포함되지 않거나 잘못된 축척 인자가 포함될 경우에는 그 지표의 효율이 떨어지게 된다. 좋은 축척인자의 선택은 공정한 비교에 매우 중요한 역할을 한다.

수도사업자의 규모 혹은 업무량이 클수록 실손실량도 클 수밖에 없으므로, 물손실관리 수행능의 비교를 공평하게 만드는 축척인자는 수도사업자의 규모 혹은 업무부하에 관련된 것들로 하였다. 본 연구에서는 생산량, 급수인구, 급수전의 수를 축척인자로 선정하여 사용하였다.

2.4. 도시별 수행능지표 산정 및 평가 비교

전국의 도시에 대하여 각각 재계산된 실손실량을 해당 도시의 축척인자로 나누어 실손실율(=해당도시의 연간실손실량/연간생산량), 1인 당 실손실량(=해당 도시의 실손실량/급수인구), 급수전 당 실손실량(=해당도시의 실손실량/급수전의 수)의 세 가지 지표를 생성하였고, 이와는 별도로 상수도통계 상의 '수도전 수(급수전 수)'를 IWA의 '급수연결의 수(Number of service connections)'와 동일하다고 간주하여 IWA의 누수평가지표(Infrastructure leakage index; ILI)를 계산하였다. IWA의 누수평가지표는 Lambert 등에 의하여 처음 제안되어 지금까지 여러 연구자에 의해서 지속적으로 연구되고 있다.^{3~6,14,15} 이 값은 현재의 연간실손실량(Current annual real losses; CARL)과 허용실손실량(Unavoidable annual real losses; UARL)의 비율로 정의된다. 허용실손실량은 잘 관리되고 있는 지역의 배수관 및 급수관에서 최소한도로 손실될 수 밖에 없는 양을 추정한 값이다. 이 값은 배수관에 대하여 총연장을 고려하며, 급수관에 대하여 급수연결의 수 및 수도계량기가 수도사용가의 대지경계 안으로 얼마나 들어가서 설치되었는지를 고려한다. 허용실손실량 및 누수평가지표(ILI)는 식 (1) 및 (2)와 같이 계산된다.

$$UARL = [18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p] \times P \tag{1}$$

여기서, UARL : 허용실손실량 (L/day)

L_m : 배수관길이 (km)

N_c : 급수전의 수 (connections)

L_p : 대지경계로부터 사유지 내 계량기까지의 급수관 총연장 (km)

P : 평균수압 (m)

CARL : 연간실손실량 (L/day)

$$ILI = CARL/UARL \tag{2}$$

연간물수지로부터 구한 실손실량이 기준이 되는 허용실손실량보다 클수록 누수복구활동, 시설물관리 등 수도사업자의 관리수행이 미흡함을 알려주며, 1에 가까울수록 유지관리를 잘하고 있다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 각 도시에서의 대지경계로부터 사유지 내 계량기까지의 급수관 총연장을 평균적으로 각 수도사용가에 대하여 4 m로 간주하여 적용하였다. 작은 배수구역 별로는 지형조건 등에 따라서 국부적으로 수압이 현저하게 크거나 작을 수 있으나 이러한 특별한 경우를 제외하면, 대부분 지역의 수압은 기준이내일 것이다. 따라서 도시전체의 평균수압을 일괄적으로 동일하게 적용하는 것이 도시별 비교에는 공평할 것으로 판단하고 상수도 시설기준¹⁶⁾ 상의 최대동수압 4 kg/cm²을 적용하였다. 이렇게 되면 누수평가지표(ILI)는 절대적인 값이라기보다는 대상지역끼리의 상대적인 비교에 의미가 있으며, 지역의 특성으로 배수관의 연장과 급수전의 수를 동시에 고려한다는 의미가 있다.

이와 같이 생성된 지표들을 이용하여 전국 도시지역 배·급수시스템의 물손실관리 수행능을 평가하고, 각 지표에 의한 평가 결과가 유수율로 평가했을 때와 어떻게 달라지는지를 비교하면서 지역특성을 나타내는 인구·가구·주택총조사 자료를 참조하여 원인을 분석하였다.

2.5. 회복가능한 실손실량 비교

급수관에서의 손실이 배수관에서의 손실보다 훨씬 크다는 것이 많은 실무자들의 공통된 견해이다.^{4,6,7,17~19} 배수관에서 급수관이 연결되는 분기점에서 물이 새는 경우, 실제로는 배수관에서 물이 새는 것이지만 원인은 급수관이라고 볼 수 있다. 급수관연결을 위한 배수관천공이 없었다면 그 위치에서 물이 새지 않았을 것이기 때문이다. 즉 배수관 자체가 원인이 되어 물이 손실되는 경우는 배수관 본체가 파손되거나 배수관끼리의 연결부에서 물이 새는 경우만 해당된다. 배수관에서 손실되는 물의 순간 유량은 크지만 이런 사고가 발생하는 경우가 적고, 발생하여도 대부분이 조기에 복구가 되기 때문에 총합에 있어서는 급수관에서의 손실이 더 커지게 된다.¹⁹⁾ 따라서 모든 실손실량이 급수관연결부(급수관 분기점으로부터 사용자계량기까지의 관로와 그 연결부위)에서 발생한다고 가정하고 파손부위를 복구할 때 절감되는 손실량을 회복가능한 실손실량이라고 간주하였다. 지역별 비교를 위하

여 각 지역의 수도사업자가 동일한 노력을 들여서 동일한 개수의 누수를 발견할 수 있으며, 1년에 1000개의 누수를 복구한다고 가정하였다. 1000개 지점에서 손실되고 있던 수량이 복구되지 않고 1년 동안 지속되었다면 손실되었을 양을 추정 회복가능 실손실량(Estimated recoverable real losses; ERRL)이라고 명하고 얼마나 더 많은 손실량을 절감할 수 있을지를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유수율과 지역특성 현황

3.1.1. 전국 도시의 유수율 특성

전국 79(2000년)~81개(2001,2002년) 도시의 유수율 분포를 Table 2에 나타내었다. 2000년도에는 의왕이 93.9%로 최고의 유수율을 나타내었고, 마산이 51.2%로 최저의 유수율을 나타내었다. 지역별 유수율의 산술평균은 75.3%였다. 2001년과 2002년에는 고양이가 각각 93%, 93.3%로 최고의 유수율을 나타내었으며, 태백이 각각 36.1%, 40.9%로 최저의 유수율을 나타내었다. 지역별 산술평균은 2001년과 2002년에 각각 73.2%, 73.9%였다. 그 분포는 Fig. 1에 보인 바와 같이 2000년에는 대체적으로 정규분포에 가깝게 나타났으나 2001년, 2002년에는 정규분포가 약간 흐트러지는 경향을 나타내었다.

Table 2. Distribution of revenue water ratio of the cities

Year	2000		2001		2002	
	RW% ^a	Cities	RW%	Cities	RW%	Cities
Max	93.9	Uiwang	93.0	Goyang	93.2	Goyang
Average ^b	75.3	Wonju ^c	73.2	Yangsan ^c	73.9	Incheon ^c
Median	75.9	Jecheon	74.6	Gimhae	75.0	Daejeon
Min	51.2	Masan	36.1	Taebaek	40.9	Taebaek
Stdevp ^d	9.2		11.4		11.4	

^a RW % : Revenue water ratio (% of system input)
^b Average : arithmetic mean (μ)
^c Wonju, Yangsan, Incheon : Nearest cities to the arithmetic mean
^d Stdevp : Standard deviation (σ)

3.1.2. 지역특성과 유수율의 상관성

지역특성을 나타내는 자료와 유수율과의 상관성을 분석한 결과(모집단 상관계수, ρ)를 다음의 Table 3에 요약하여 나타내었다. 상관성 분석결과에 의하면 물사용의 밀집도를 나타내는 배급수관 연장 당 인구수(Z_1), 주거유형을 나타내는 공동주택의 비율(Z_3) 및 급수압의 안정성을 나타내는 배급수관 연장 당 배수지시설용량(Z_6)이 유수율(R.W. ratio)과 양의 상관관계를 나타내었다. 반대로 급수지역의 노후도를 나타내는 20년을 초과하는 주택의 비율(Z_2), 급수지역의 주거수준이 낮음을 나타내는 목욕시설이 없이 사는 가구의 비율(Z_4) 및 상대적으로 관로에 많은 연결점이 존재함을 나타내는 13 mm 계량기 수의 비율(Z_5)이 유수율과 음의 상관관계를 나타내었다.

여기서, 20년을 초과하는 주택의 비율(Z_2), 공동주택(아파트 + 연립주택 + 다세대주택)의 비율(Z_3) 및 목욕시설이 없이 사는 가구의 비율(Z_4)은 서로의 상관성이 매우 높아서 주택의 노후도가 높은 지역일수록 공동주택이 적고, 목욕시설이 없이 사는 가구의 비율이 높음을 알 수 있고, 오래된 주택이 적은 지역일수록 목욕시설을 갖추고 있는 공동주택이 많음을 알 수 있다. 즉, 이 세 인자를 합하여 지역의 특성과 결부하여 설명하면 아파트 위주의 신도시일수록 유수율이 높고, 단독주택 위주의 구도시일수록 유수율이 낮은 현상을 보여주는 것이다. 또한 배수지의 총용량이 많을수록, 그리고 13 mm 계량기의 비율이 작을수록 유수율이 높은 경향을 보였다. 이러한 경향은 경험적, 직관적으로도 예상할 수 있는 것으로 통계적으로 확인되었다는 데에 의미가 있다.

Table 3. Similarity matrix of each effect factor

	R.W. ratio	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
R.W. ratio	1.000	0.548	-0.584	0.494	-0.611	-0.594	0.468
Z_1	0.548	1.000	-0.735	0.708	-0.661	-0.635	0.699
Z_2	-0.584	-0.735	1.000	-0.932	0.902	0.589	-0.595
Z_3	0.494	0.708	-0.932	1.000	-0.857	-0.569	0.531
Z_4	-0.611	-0.661	0.902	-0.857	1.000	0.606	-0.515
Z_5	-0.594	-0.635	0.589	-0.569	0.606	1.000	-0.340
Z_6	0.468	0.699	-0.595	0.531	-0.515	-0.340	1.000

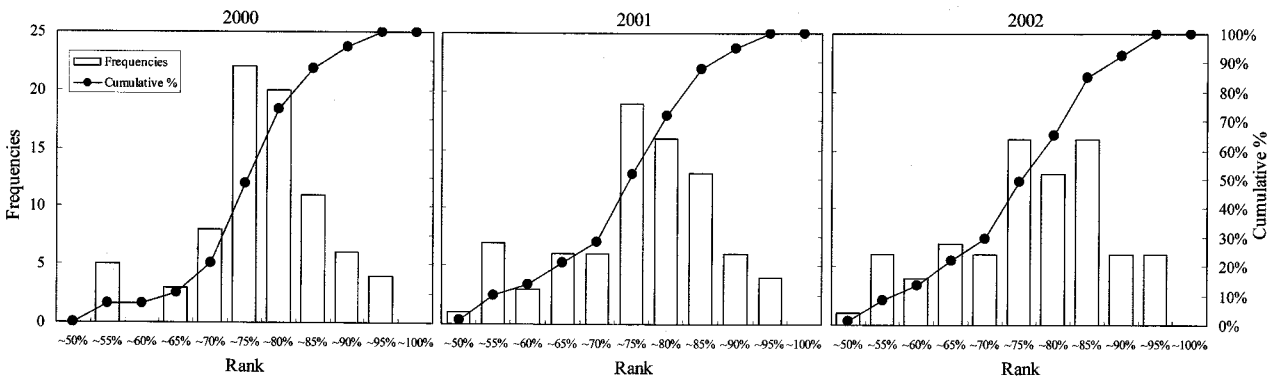


Fig. 1. Distributional histogram of revenue water ratio.

3.2. 각 지표에 의한 평가결과 비교

3.2.1. 실손실율

Fig. 2에 우수율로 평가한 순위(X축)에 대하여 실손실율로 평가했을 때의 순위(Y축)를 사각형 마크로 표시하였다. □ 표시는 우수율로 평가했을 때보다 실손실율로 평가했을 때 순위가 많이 올라간 10개의 도시를 나타내며, ⊠ 표시는 순위가 많이 내려간 10개의 도시를 나타낸다. 대각선 방향의 직선은 우수율로 평가한 순위와 실손실율로 평가한 순위가 동일할 때를 의미하며 점선은 순위상승 및 하강의 10개 도시를 구분하는 순위변동의 폭을 의미한다. Fig. 2에서 보듯이

대체적으로 우수율로 평가한 순위가 낮을수록 실손실율로 평가한 순위도 낮았고 우수율로 평가한 순위가 높을수록 실손실율로 평가한 순위도 높았다.

일부 우수율로 평가한 순위에 비교하여 순위가 가장 많이 상승한 도시들과 가장 많이 내려간 도시들을 Table 4에 나타내었다. 이러한 변동의 주된 이유는 수도사업용수량과 공공수량의 차이 때문이다. 우수율 산정시 수도사업용수량과 공공수량이 많은 지역에서는 우수수량이 작아지므로 우수율이 낮게 나타나지만, 우수수량에 음의 영향을 주었던 수도사업용수량과 공공수량이 실손실량에는 포함되지 않기 때문에 실손실율

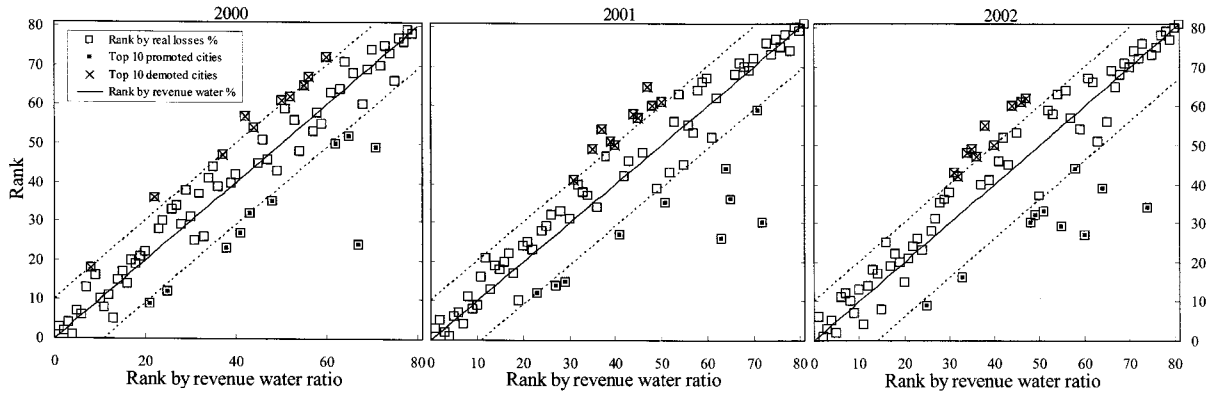


Fig. 2. Comparison of the ranks by real losses ratio and by RW%.

Table 4. Promoted and demoted cities in real losses ratio compared to RW% rank

Year	Promoted Cities	Rank by RW% ^a	Rank by RL% ^b	Promoted rank	Used by supplier+ public(%)	Demoted Cities	Rank by RW%	Rank by RL%	Demoted rank	Used by supplier+ public(%)
2000	Asan	67	24	43	14.0%	Geoje	42	57	-15	0.0%
	Jeongeup	71	49	22	11.7%	Yeongju	22	36	-14	1.2%
	Gimhae	38	23	15	4.3%	Incheon	60	72	-12	0.1%
	Wonju	41	27	14	5.5%	Pyeongtaek	50	61	-11	0.9%
	Boryeong	25	12	13	5.9%	Seoul	56	67	-11	0.1%
	Sangju	48	35	13	4.7%	Gumi	8	18	-10	0.7%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2001	Nonsan	72	30	42	22.8%	Incheon	47	65	-18	0.3%
	Asan	63	26	37	14.0%	Seoul	37	54	-17	0.2%
	Wonju	65	36	29	14.7%	Busan	35	49	-14	0.9%
	Jeongeup	64	44	20	11.4%	Andong	44	58	-14	0.6%
	Jinju	51	35	16	7.3%	Paju	39	51	-12	1.8%
	Gwangju	29	15	14	6.4%	Daejeon	45	57	-12	1.0%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2002	Nonsan	74	34	40	22.8%	Yeongju	38	55	-17	0.1%
	Asan	60	27	33	13.8%	Incheon	44	60	-16	0.4%
	Seosan	55	29	26	10.5%	Paju	46	61	-15	1.4%
	Wonju	64	39	25	16.0%	Gumi	47	62	-15	1.7%
	Gimhae	48	30	18	8.7%	Busan	34	48	-14	0.1%
	Naju	51	33	18	9.1%	Andong	35	49	-14	0.3%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

^a RW % : Revenue water ratio (%)

^b RL % : Real losses ratio (%)

을 이용한 평가에서는 상대적으로 순위상승효과가 나타난 것이다. 반대로 수도사업용수량과 공공수량이 거의 없는 지역에서는 계량기불감수량을 제외한 무수수량의 전체가 무효수량이며 이것이 실손실율로 그대로 표현되었기 때문에 상대적으로는 순위의 강등 효과가 나타난 것이다.

아산 및 논산과 같이 수도사업용수량+공공수량이 큰 도시는 우수율로 평가한 순위가 60~70위대였으나 실손실율로 평가했을 때에는 30~40위대로 크게 순위가 상승하는 것을 볼 수 있다. 전체도시를 전반적으로 보았을 때에는 우수율에 의한 평가와 큰 차이는 없으나, 수도사업용수량과 공공수량의 차이가 있는 경우 평가순위가 바뀌게 됨을 알 수 있었다.

따라서 수도사업용수량과 공공수량의 평가도 정확한 산정방법의 제시 혹은 표준화가 필요할 것으로 여겨진다.

3.2.2. 1인 당 실손실량

Fig. 3에 1인당 실손실량으로 평가했을 경우, 우수율로 평가했을 때와 비교하여 얼마나 순위가 달라지는 지를 나타내었다. 대체적인 경향은 우수율로 평가한 순위가 낮을수록 실손실율로 평가한 순위도 낮으며 우수율로 평가한 순위가 높을수록 실손실율로 평가한 순위도 높게 나타났다. 그러나 Fig. 2와 비교해 보면 2000년~2002년 모두 순위변동의 폭이 실손실율로 평가했을 때보다 컸음을 알 수 있다.

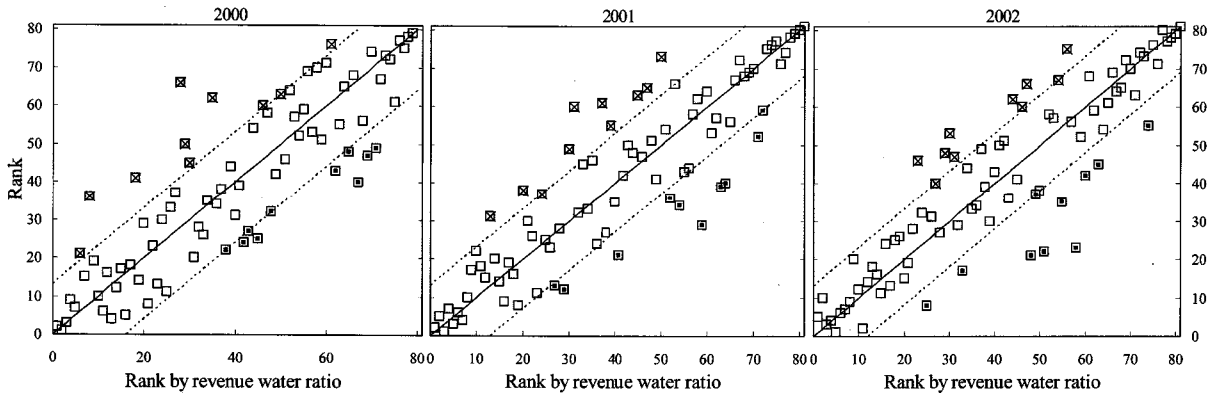


Fig. 3. Comparison of the ranks by real losses per capita and by RW%.

Table 5. Promoted and demoted cities in real losses per capita compared to RW% rank

Year	Promoted Cities	Rank by RW% ^a	Rank by RL/capita ^b	Promoted rank	Used by household	Demoted Cities	Rank by RW%	Rank by RL/capita	Demoted rank	Used by household
2000	Asan	67	40	27	57.2%	Dongducheon	28	66	-38	35.9%
	Jinhae	69	47	22	69.7%	Gumi	8	36	-28	48.6%
	Jeongeup	71	49	22	66.0%	Daegu	35	62	-27	46.5%
	Miryang	45	25	20	66.1%	Yongin	18	41	-23	46.7%
	Jeju	62	43	19	66.2%	Cheongju	29	50	-21	62.0%
	Geoje	42	24	18	69.5%	Siheung	6	21	-15	39.4%
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
2001	Geoje	59	29	30	69.6%	Daegu	31	60	-29	47.1%
	Asan	63	39	24	59.2%	Seoul	37	61	-24	66.9%
	Jeongeup	64	40	24	66.7%	Dongducheon	50	73	-23	36.5%
	Gimhae	41	21	20	67.8%	Iksan	30	49	-19	49.7%
	Gimje	54	34	20	70.0%	Siheung	13	31	-18	40.9%
	Naju	71	52	19	65.3%	Cheongju	20	38	-18	61.0%
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
2002	Gimje	58	23	35	68.7%	Hwaseong	23	46	-23	45.7%
	Naju	51	22	29	62.6%	Daegu	30	53	-23	47.6%
	Gimhae	48	21	27	67.8%	Cheongju	29	48	-19	58.7%
	Seosan	55	35	20	62.2%	Gumi	47	66	-19	50.7%
	Nonsan	74	55	19	46.5%	Dongducheon	56	75	-19	36.5%
	Asan	60	42	18	58.5%	Incheon	44	62	-18	57.6%
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

^a RW % : Revenue water ratio (%)

^b RL/capita : Real losses per capita

유수율로 평가한 순위에 비교하여 순위가 가장 많이 상승한 도시들과 가장 많이 내려간 도시들을 Table 5에 나타내었다. 아산, 진해, 거제, 김제 등은 유수율로 보았을 때 각각 50~60위 대였으나 1인 당 실손실량으로 보았을 때에는 20~40위 대로 크게 순위가 올라갔고, 구미시는 유수율로 평가했을 때 8위였으나 1인당 실손실량으로 평가했을 때에는 크게 순위가 낮아져 36위로 나타났다. 순위가 크게 떨어진 도시의 대부분은 거주인구에 의하지 않는 물사용 즉, 영업 혹은 공업용수 사용처가 많아서 가정용수 사용량 비율이 낮은 지역들이었다. 가정용수 사용량의 비율이 큰 곳은 거주인구가 상대적으로 많으므로 분모가 커져서 1인당 실손실량이 작

게 나타나지만, 가정용수 사용량의 비율이 작은 곳은 거주인구가 상대적으로 적으므로 1인당 손실량이 크게 나타나는 것이다. 즉, 비가정용수사용량이 많은 곳일수록 1인당 실손실량이 과대하게 산정되고 있어서 전체지역을 총괄하여 상수도 시스템을 비교 평가하는 지표로는 다소 미흡한 것으로 판단된다. 하지만 1인당 실손실량은 쉽게 이해될 수 있는 단위이기 때문에 절수교육이나 주민홍보를 할 때에는 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

3.2.3. 급수전 당 실손실량

급수전 당 실손실량으로 전국 도시들을 평가한 순위를 유

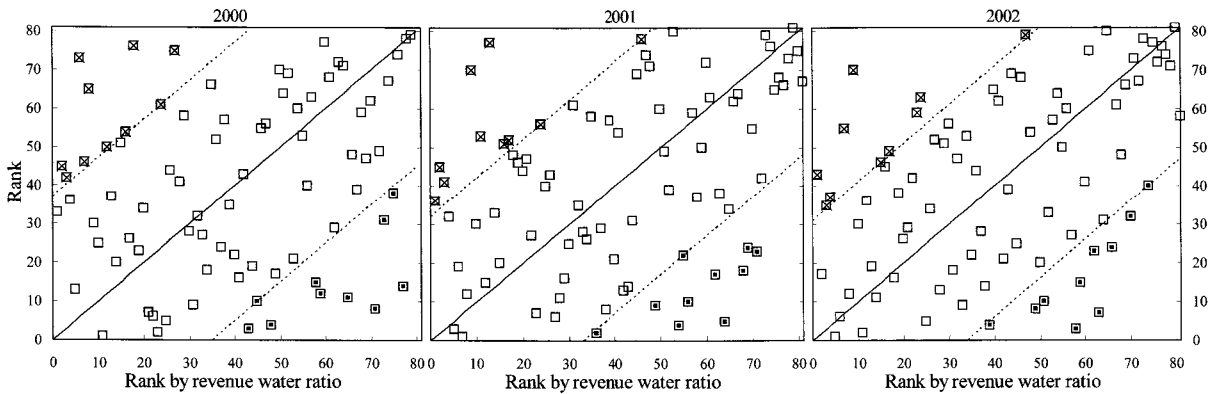


Fig. 4. Comparison of the ranks by real losses per service connection and by RW%.

Table 6. Promoted and demoted cities in real losses per service connection compared to RW% rank

Year	Promoted Cities	Rank by RW% ^a	Rank by RL/conn ^b	Promoted rank	13 mm meter%	Demoted Cities	Rank by RW%	Rank by RL/conn	Demoted rank	13 mm meter%
2000	Jeongeup	71	8	63	96.0%	Siheung	6	73	-67	31.4%
	Taebaek	77	14	63	97.0%	Yongin	18	76	-58	46.2%
	Seogwipo	65	11	54	94.8%	Gumi	8	65	-57	45.2%
	Namwon	59	12	47	94.2%	Yongsan	27	75	-48	80.2%
	Sangju	48	4	44	91.2%	Gunpo	2	45	-43	50.9%
	Jeonju	58	15	43	95.9%	Goyang	3	42	-39	26.8%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2001	Jeongeup	64	5	59	95.9%	Siheung	13	77	-64	30.0%
	Gimje	54	4	50	94.8%	Yongin	9	70	-61	46.4%
	Jeonju	68	18	50	95.9%	Uiwang	2	45	-43	38.5%
	Naju	71	23	48	93.5%	Osan	11	53	-42	56.9%
	Sangju	56	10	46	91.2%	Gunpo	3	41	-38	50.2%
	Namwon	62	17	45	93.7%	Goyang	1	36	-35	28.2%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2002	Jeongeup	63	7	56	95.9%	Siheung	9	70	-61	29.4%
	Gimje	58	3	55	95.0%	Uiwang	7	55	-48	36.7%
	Namwon	59	15	44	93.6%	Goyang	1	43	-42	29.1%
	Jeonju	66	24	42	94.7%	Osan	24	63	-39	56.1%
	Seogwipo	49	8	41	94.2%	Hwaseong	23	59	-36	69.0%
	Naju	51	10	41	93.3%	Gunpo	4	37	-33	53.1%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

^a RW % : Revenue water ratio (%)

^b RL/conn : Real losses per service connection

수율로 평가했을 때의 순위와 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림에 보인 것과 같이 순위변동의 폭이 매우 크며, 유수율로 평가한 순위와는 거의 상관없이 매우 다른 평가결과를 나타내고 있다. 앞서 비교했던 실손실율과 1인당 실손실량으로 평가했을 때에는 유수율로 평가한 순위와 대체적으로 비슷하였으나, 여기에서는 전체적으로 크게 다른 결과를 보이고 있다. 정읍, 김제, 남원 등은 유수율로 평가했을 때 순위가 50~70위 대였으나 급수전 당 실손실량으로 평가했을 때에는 심지어 3~17위까지 순위가 상승하였다.

반대로 고양, 시흥, 용인 등은 유수율로 평가했을 때 1~18위였으나 40~70위 대까지 심하게 순위가 하락하였다. Table

6에 나타낸 바와 같이 유수율로 평가했을 때보다 순위가 많이 상승한 지역은 대체로 단독주택이 많고 13 mm 계량기에 의해 급수받는 수도사용가가 많은 지역들이었다. 반면 순위가 많이 내려간 지역은 대체로 대규모 아파트 단지 위주여서 대구경 계량기를 통해 급수받는 수도사용가가 많은 지역들이었다.

실제로 손실되고 있는 양에 급수전의 수를 고려하였을 때 평가의 결과가 이렇게 크게 달라지는 것은 유수율이라는 하나의 지표로만 해당 지역의 물손실관리 상태를 평가하는 것이 불합리하다는 것을 보여주는 것이다. 물소비량에 비해서 관리해야할 급수전의 수가 현격하게 적은 지역 즉, 시흥, 용

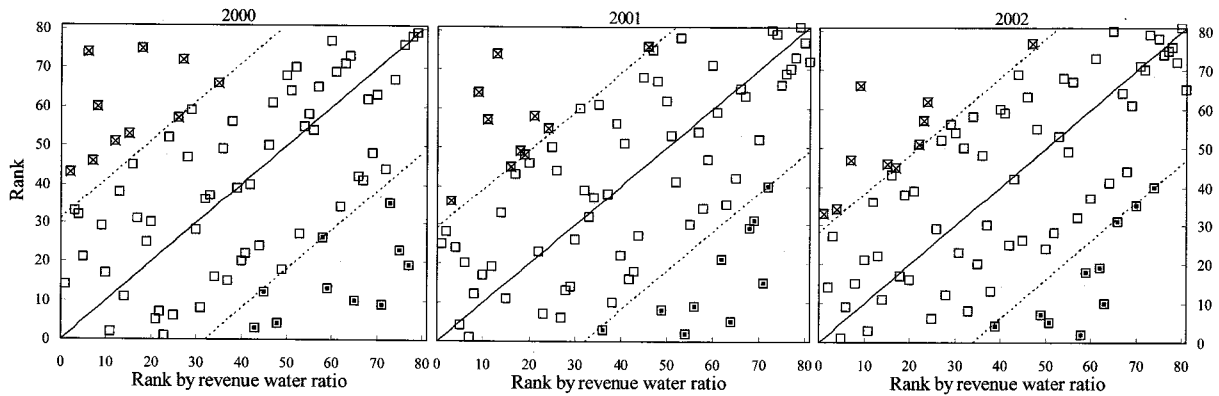


Fig. 5. Comparison of the ranks by infrastructure leakage index and by RW%.

Table 7. Promoted and demoted cities in ILI compared to RW% rank

Year	Promoted Cities	Rank by RW% ^a	Rank by ILI ^b	Promoted rank	13 mm meter%	Demoted Cities	Rank by RW%	Rank by ILI	Demoted rank	13 mm meter%
2000	Jeongeup	71	9	62	96.0%	Siheung	6	74	-68	31.4%
	Taebaek	77	19	58	97.0%	Yongin	18	75	-57	46.2%
	Seogwipo	65	10	55	94.8%	Gumi	8	60	-52	45.2%
	Naju	75	23	52	93.5%	Yangsan	27	72	-45	80.2%
	Namwon	59	13	46	94.2%	Gunpo	2	43	-41	50.9%
	Sangju	48	4	44	91.2%	Bucheon	7	46	-39	76.7%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2001	Jeongeup	64	5	59	95.9%	Siheung	13	74	-61	30.0%
	Naju	71	15	56	93.5%	Yongin	9	64	-55	46.4%
	Gimje	54	2	52	94.8%	Osan	11	57	-46	56.9%
	Sangju	56	9	47	91.2%	Seongnam	21	58	-37	87.3%
	Seogwipo	49	8	41	94.6%	Gunpo	3	36	-33	50.2%
	Namwon	62	21	41	93.7%	Suwon	18	49	-31	63.2%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
2002	Gimje	58	2	56	95.0%	Siheung	9	66	-57	29.4%
	Jeongeup	63	10	53	95.9%	Uiwang	7	47	-40	36.7%
	Naju	51	5	46	93.3%	Osan	24	62	-38	56.1%
	Sangju	62	19	43	91.3%	Hwaseong	23	57	-34	69.0%
	Seogwipo	49	7	42	94.2%	Goyang	1	33	-32	29.1%
	Namwon	59	18	41	93.6%	Anyang	15	46	-31	52.6%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

^a RW % : Revenue water ratio (%)

^b ILI : Infrastructure leakage index

인, 의왕, 군포, 고양 등의 대구경 계랑기로 대량의 물을 급수 받는 아파트단지 위주의 지역은 유수율이 높더라도 하나의 급수전 당 손실되는 수량은 매우 کم을 알 수 있다. 2001년과 2002년에 유수율로 1위를 기록한 고양은 급수전 당 실손실량으로는 각각 36위, 43위로 평가된 것이 주목할 만하다.

3.2.4. 누수평가지표

실손실량에 급수전의 수와 배수관의 길이를 고려한 IWA의 누수평가지표를 이용했을 때의 평가순위를 유수율로 평가했을 때의 순위와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 급수전 당 실손실량으로 평가했을 때와 마찬가지로 순위변동의 폭이 매우 크며, 유수율로 평가한 것과는 크게 다른 결과를 보이고 있다.

Table 7에 나타난 바와 같이 유수율로 평가했을 때보다 순위가 많이 상승한 지역은 대체로 단독주택이 많고 13 mm 계랑기에 의해 급수받는 수도사용자가 많은 지역들이었다.

유수율로 평가한 것과 매우 다른 평가결과를 나타내고 있는 이런 현상은 어느 한 지역이나 특정 시기에 국한된 것이 아니라 3년 동안 전국적으로 나타나는 현상으로 우연이 아님을 알 수 있다.

3.3. 회복가능 실손실량 비교

2000년~2002년에 유수율로는 나쁜 평가를 받았지만 급수전 당 실손실량과 누수평가지표로는 좋은 평가를 받은 10개 도시(promoted)의 추정 회복가능 실손실량(ERRL)을 유수율로는 좋은 평가를 받았지만 급수전 당 실손실량과 누수평가지표로는 나쁜 평가를 받은 10개 도시(demoted)의 추정 회복가능 실손실량과 비교하여 다음의 Fig. 6에 나타내었다. 비교 결과에 의하면 유수율로 좋은 평가를 받은 지역에서도 적극적인 누수관리활동(Active leakage control)에 의하여 회복가능한 손실량이 매우 클 수 있으며, 어떤 지역에서는 유수율이 매우 나쁘게 나타나더라도 누수복구에 의해 회복가능한 손실량이 미미할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 급수전 당 실손실량 혹은 누수평가지표를 이용하여야 유수율이 높은 지역에서 많은 양의 손실이 발생하는 경우의 문제를 발견할 수 있다는 것을 뜻한다.

현재 대부분의 지자체는 자신의 유수율 값을 타지자체와 비교하면서 벤치마킹을 하며 얼마나 관리를 잘(혹은 못)하고 있는지 평가한다. 한 지자체 내에서도 여러 개 배수구역들의 유수율을 비교하면서 어느 구역이 관리가 잘되고 있는지 아니면 문제가 있는지를 판단하곤 한다. 그러나 본 연구의 결과에 의하면 지역의 특성을 무시한 채 유수율을 비교하게 되면 공정한 평가가 될 수 없다는 것을 알 수 있다. 이것은 3.1.2절에서 설명한바와 같이 유수율은 해당지역이 대규모 아파트 단지 위주로 구성되어 있는지 아니면 단독주택 위주로 구성되어 있는지에 따라서 크게 영향을 받기 때문이다.²⁾ 유수율을 이용한 비교평가는 동일한 시스템 내에서 물사용 특성의 변화가 급격하지 않은 경우에, 관로교체, 개량 혹은 적극적인 누수관리 등의 사업을 시행한 전후의 개선효과 비교에 이용할 수 있으며, 주거유형의 구성비율이 서로 비슷한 지역끼리는 비교가 가능할 수 있다. 그러나 위에서 언급한 것처럼 주거유형이 매우 상이한 별개의 지역과의 비교는 불합리하고, 하나의 지역 내에서도 수도사업자의 사업이 아닌 물사용특성에 크게 영향을 주는 변화가 있을 경우, 예를 들어 배수구역의 일부분에서 단독주택을 철거하고 신규 아파트를 건축한 경우 그 지역의 관리를 특별히 더 잘하거나 특별한 노력을 들이지 않아도 유수율이 증가할 수 있다. 이것은 물사용량의 증가 때문에 유수율이 증가한 것이지, 수도사업자의 관리 혹은 수도시설물이 개선되지 않아도 유수율이 증가할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 내용은 Liemberger에 의해서 주장된 바 있다.⁸⁾

유수율로는 나쁜 평가를 받았지만 급수전 당 실손실량과 누수평가지표로는 좋은 평가를 받은 정읍, 김제, 남원, 전주, 서귀포, 나주, 태백 등의 도시들의 추정 회복가능 실손실량이 상대적으로 매우 작다는 것은 이 도시들에서 적극적인 누수탐사 및 복구활동을 아무리 열심히 해도 저감시킬 수 있는 손실량은 미미하며 유수율의 제고에는 한계가 있다는 것을 뜻한다. 즉 전면적인 관로교체 등의 사업이 없이 누수지점의 복구만으로는 전반적인 개선효과를 기대하기 어렵다는 것을 예측할 수 있다. 반대로 유수율로 좋은 평가를 받았지만 급수전 당 실손실량과 누수평가지표로는 나쁜 평가를 받은 시흥, 의왕, 고양, 오산, 화성, 군포, 용인 등의 도시들의

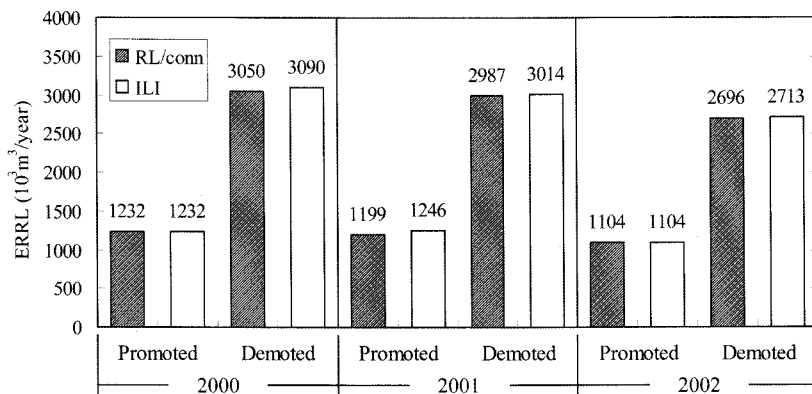


Fig. 6. Comparison of estimated recoverable real losses from top 10 promoted and demoted cities evaluated by RL/conn and ILI.

추정 회복가능 실손실량이 상대적으로 매우 크다는 것은 유수율이 만족할 만한 수준이더라도 손실되고 있는 수량이 매우 커서 적극적인 누수탐사 및 복구활동에 의해서 상당량의 손실량을 저감시킬 수 있음을 알 수 있다. 대체로 어느 구역의 유수율이 90%를 넘게 되면 그 구역에 대해서는 관리가 소홀해 지게 된다. 그러나 본 연구의 결과에 의하면, 유수율이 높게 나온 지역들 대부분은 급수전 당 실손실량 혹은 누수평가지표를 산정하여 평가했을 때 안심할 수준이 아니며 오히려 더 큰 문제가 있을 수 있다고 나타났다. 따라서 이러한 새로운 수행능 지표들을 이용하여 보다 합리적인 평가를 수행하게 되면, 각 지자체의 수도사업자가 해당 지역의 물손실관리를 위한 대책을 좀 더 적절하게 수립하는데 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 도시별 비교를 수행하였으나 자료가 준비된다면 배수구역별 비교도 가능하다. 위에서 일괄적인 값을 적용한 평균수압과 계량기의 위치 등을 배수구역별로 적절한 값을 조사한 후, 이 값을 적용하여 평가를 수행하면, 보다 정확한 결과를 획득함으로써 보다 효율적으로 물손실저감 계획을 수립할 수 있을 것이다.

4. 결론

1) 상수도통계와 지역특성자료의 분석결과, 아파트 위주의 신도시일수록 유수율이 높고, 단독주택 위주의 구도시일수록 유수율이 낮으며, 배수지의 총용량이 많을수록, 그리고 13 mm 계량기의 비율이 작을수록 유수율이 높게 나타나는 경향을 통계적으로 확인하였다. 유수율은 지역의 특성에 크게 영향을 받으므로 지역의 특성을 무시한 채 유수율을 비교하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

2) 유수율을 이용하여 평가한 결과에 대비하여 급수인구를 고려한 1인당 실손실량, 급수전의 수를 고려한 급수전 당 실손실량 및 배수관의 연장과 급수전의 수를 고려한 누수평가지표를 이용해서 평가했을 때, 평가 결과가 크게 달라져서 유수율만을 사용할 것이 아니라 사용목적에 맞는 지표를 사용해야 바람직할 것으로 판단된다.

3) 급수전 당 실손실량 및 누수평가지표를 사용했을 때에 높은 유수율 때문에 가려워져 있던 실손실량이 많이 발견되었고, 동일한 건수의 누수복구를 수행하였을 때 회복가능한 실손실량이 훨씬 큰 것으로 나타남으로써 급수전 당 실손실량 및 누수평가지표의 효율성이 증명되었다. 따라서 급수전 당 실손실량 혹은 누수평가지표를 물손실관리를 위한 중점적인 수행능지표로 책정할 필요가 있으며, 기존의 유수율 제고 중심의 목표를 실손실량 저감 중심으로 전환하여야 명확하고 분명한 목표를 제시할 수 있고 문제의 발견 및 해결에 용이할 것으로 판단된다.

사 사

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

해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Chung, S. H., Lee, H. K., Yu, M. J., Koo, J. Y., Hyun, I. H., and Lee, H. D., "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(2005).
2. 정신희, "배·급수시스템 물손실관리 수행능의 전략적 평가방법 개발," 서울시립대학교 박사학위 논문(2005).
3. Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., and Parena, R., Performance indicators for water supply services, IWA publishing 'Manuals of best practice' series(2000).
4. Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., and Weimer, D., "A review of performance indicators for real losses from water supply systems," *J. Water SRT-Aqua*, **48**(6), 227~237(1999).
5. Lambert, A. O. and Hirner, W. H., "Losses from water supply system: Standard terminology and performance measure," IWA the Blue Pages(2000).
6. Lambert, A. O., "International report on water losses management and techniques," *Water Science and Technology: Water Supply*, **2**(4), 1~20(2002).
7. Liemberger, R., "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(2002).
8. Liemberger, R. and Fanner, P., "The water topic of the 21st century: Non-revenue water reduction," *Asian water magazine*(2002).
9. 환경부, 2000~2002년 상수도통계, <http://www.me.go.kr> (2001~2003).
10. 통계청, 2000년도 인구·가구총조사 및 주택총조사, <http://kosis.nso.go.kr>(2001).
11. 내무부, 상수도 누수방지사업 종합보고서(1987).
12. 안재찬, 하성호, 정판식, 최정섭, 구자용, 가정용 13 mm 수도계량기 미감지율 조사연구, *상하수도학회지*, **19**(4), 506~514(2005).
13. 환경부, 2003년 상수도통계 작성지침(2004).
14. Lambert, A. O. and McKenzie, R. S., "Practical experience in using the infrastructure leakage index," *Proceedings of the IWA Conference on Leakage management : A practical approach*, Cyprus(2002).
15. Pearsons, D., "Testing the UARL & ILI approach using a large UK data set," *Proceedings of the IWA Conference on Leakage management : A practical approach*, Cyprus

- (2002).
16. 환경부, 상수도시설기준, 한국상하수도협회(1997).
 17. 서울특별시, 2003년 종로구 누수발생접수 및 복구처리 대장, 서울특별시 중부수도사업소(2003a).
 18. 서울특별시, 2003년 중구 누수발생접수 및 복구처리대 장, 서울특별시 중부수도사업소(2003b).
 19. Water Research Centre, Managing leakage series, Engineering and operations committee, UK(1994).