

수돗물 사용특성과 경제적 요인에 따른 가정용수 소비 경향의 분석

Trend analysis of Domestic water Consumption Depending upon the characteristics of using tap water and economical parameters

최선희*, 김상현**

Sun Hee Choi, Sang Hyun Kim

요지

물 수요예측을 실시함에 있어서 사회·경제의 장래동향과 도시의 특성 및 발전 동향을 반영하여 수행해야 한다. 그러나 지금까지의 관행으로는 수도계획에서 사용할 수 있는 실사용량에 대한 조사와 통계가 이루어지지 않고 있다. 실제 현장에서 얻은 자료를 토대로 하여 수도계획 및 설계에 사용할 수 있는 신뢰성이 있는 설계인자의 도출이 필요하다. 본 연구에서는 급수지역의 각 조사 가정의 물 사용량을 실측 조사하여 얻어진 자료를 토대로 하여 물 수요 구조의 변화를 파악할 수 있는 수단의 하나로 가정의 수돗물 사용특성과 경제적 요인에 따른 가정용수의 사용특성 경향을 파악하고자 하였다. 가정에서 사용된 용수량의 조건별 경향성을 분석하기 위하여 한국수자원공사에서 2002년부터 2006년까지 3년여에 걸쳐 표본 집단이 되는 전국 140개 가구에 유량계를 설치하여 유량 자료를 획득하였고, 설문조사를 실시하여 각 가정의 물 사용 특성인자들을 조사하였다. 이 자료를 대상으로 비교적 자료의 신뢰성을 높이기 위한 자료의 선별과정을 거쳤다. 이렇게 선별된 자료들을 경향성 분석에 쓰이는 Mann-Kendall test 와 Spearman's Rho test를 이용하여 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 가정 용수 소비패턴의 증가·감소에 영향을 끼치는 인자들을 추출하였다. 실측자료를 분석을 통하여 나타난 결과들을 바탕으로 용수 수요처의 조건별 특성을 분석하고, 이를 활용한 생활용수 예측 모형을 개발함으로써 합리적인 수요예측에 의한 용수수요의 과다예측 우려를 해소하고, 경제적 수도시설계획을 수립하는 등 과학적 물 수요관리 정책 수립을 위한 의사결정도구가 제공될 수 있다.

핵심용어: 가정용수, 경향성분석, Mann-Kendall Test, Spearman's Rho

1. 서 론

상수도는 도시 생활을 영위하는 모든 사람들에게 이용되는 시설로서 일상생활과 도시의 제반활동을 유지하게 해준다. 국내의 상수도 계획 분야에서 수요특성 및 소요관리를 효과적으로 반영할 수 있는 연구가 미흡하여 도시의 상수도 시설에 대한 다양한 요청에 대응 가능한 실용적인 물 수요 예측과 그것을 근거로 한 상수도 운용계획에 관한 수법은 현재까지 확정되지 못 하고 있다. 따라서 실제 사용되는 물의 수요량을 적절하게 반영하는 신뢰성 있는 자료의 구축은 합리적인 물 수요 모델 개발에 필수적인 요소이다. 이 연구에서는 수요 구조의 변화를 파악할 수 있는 수단의 하나로서 급수 지역의 실측 자료를 토대로 하여 각 가정의 수돗물 사용특성과 경제적 요인에 따른 물 소비경향을 분석하여 가정용수 사용특성을 분석하고자 한다.

2. 자료획득 및 유효자료의 선별

본 연구는 한국 수자원 공사에서 2002년부터 2006년 2월까지 전국 총 145개 가구에 유량계를 설치하여 얻은 용도별 용수 사용량을 측정한 자료를 기반으로 이루어졌다. 자료의 측정 센서로는 유량계(전자식 수도

* 정회원 · 부산대학교 환경공학과 석사 · E-mail : vounalover15@nusian.ac.kr

** 정회원 · 부산대학교 환경공학과 부교수 · E-mail : kimsanoh@nusian.ac.kr

미터)를 사용하였으며, 자료 측정 주기는 1일과 1시간 주기로 두 가지 유형으로 측정하였다. 측정 대상 항목은 앞마당, 싱크대, 세탁기, 변기, 욕조샤워기, 세면기, 베란다 등으로 측정 가구마다 차이를 보인다.

실측된 분석 자료들에서 문제점들이 발견되었는데 이것들은 크게 세 가지로 구분된다. 첫째, 유량계가 설치된 가정의 사용수량의 결측치가 많았다. 자료들 가운데 상당수 경우에서의 현장자료가 전기, 기온, 오차 및 관리부재의 원인이 있기 때문이다. 분석을 실시한 총 827일(일부850일)의 자료 중 연속된 결측 자료가 전체의 5% 이상을 초과하는 과다 결측이 나타나면 자료의 신뢰성이 결여되며 결과에 오류를 줄 수 있다고 판단되어 제외시켰으며, 5% 이내의 결측 자료는 내삽법을 이용하여 자료를 보정하였다. 시간 유량의 경우 결측치가 매우 많아 분석에서 제외시켰다. 둘째, 유량계가 설치된 날짜의 차이로 인하여 분석 하고자 하는 자료의 측정기간이 상이하다는 것이다. 이는 가구별 결과를 비교 분석하는 데에 어려움이 있으므로 적정 신뢰구간을 지정하여 분석하였다. 마지막으로, 비정상 자료의 출현이다. 1일 1가구 용수 사용량이 평균 0~1m³의 값을 가지는데 반해 수집 자료 중 일부 1일 용수 사용량이 10~100배 증가하거나, 음의 값을 가지는 자료가 다수 나타났다. 이는 잘못된 분석을 야기할 수 있으므로 이상치 자료 전후의 자료와 용수사용량의 합계를 비교, 분석하여 내삽법을 적용한 후 보정으로 대응하였다.

유량계 설치를 통해 얻어진 자료들을 대상으로 위와 같은 방법으로 신뢰성이 높이기 위 선별과정을 거친 후, 각 가정마다 가정용수의 소비경향에 영향을 줄 수 있는 인자라고 여겨지는 조건들을 조사하였다. 표 1은 실측 자료를 이용하여 경향성을 분석할 조건들을 나열한 것이다.

표 1. 경향성 분석을 위한 조건

구분		조건
소비 폐던 영향 인자	수돗물 소비 특성	주택 유형, 세대수, 유아·초등생 유무, 중·고·대학생 유무, 맞벌이 유무, 화장실 수, 비데기 설치 유무, 목욕탕 유무 및 목욕탕 수, 음용수 종류, 정수기 유무, 주당 세탁기 사용횟수, 일일 가정에서의 식사횟수
	경제적 요인	생활품 및 전기요금 대비 수도 요금에 대한 인식, 세대주 직업, 세대주 학력, 방의 개수, 건평별, 한 달 평균 외식 횟수, 월 수입

3. 통계적 분석방법론

실측자료를 기반으로 하여 가정에서 사용되는 용수의 수돗물 사용 특성과 경제적 요인에 따른 경향성을 분석하기 위해서 경향성 분석에 쓰이는 Mann-Kendall Test와 Spearman's Rho 시험법을 이용하여 분석하였다.

3.1 Mann-Kendall Test(non-parameteric)

시계열 데이터가 주어졌을 때, 데이터가 경향성을 지니는지를 판단하는 방법이다. n개의 시계열 자료(X₁, X₂, ..., X_n)가 주어졌을 때, 그 값들의 상대적인 서열(R₁, R₂, ..., R_n)을 도출하여 구하는 것이다. Mann-Kendall의 S통계치는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n sgn(R_j - R_i) \right] \quad (1)$$

여기서, $sgn(x) = 1$ for $x > 0$, $sgn(x) = 0$ for $x = 0$, $sgn(x) = -1$ for $x < 0$ 이다.

일반적으로, 데이터들이 연속적으로 증가하거나, 감소하는 경향을 나타낸다면, Trend S는 각각 양의 값을 가지거나 음의 값을 가지고 있으며, 많은 양의 데이터들이 나타내는 경향은 그 동향과 더욱 일치하게 된다. sgn 함수를 이용하여, 알고리즘이 크거나 작은 증가 단계의 특징을 나타낼 수 있다. 시계열 데이터에서의 경향이 없다고 정의된 귀무가설 아래에서, S의 분포는 zero평균과 분산을 가지는 것으로 기대된다.

Z통계치는 식 (2)와 같이 구해진다.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

유의 수준은 정규 확률 분포표로부터 얻는다.

3.2 Spearman's Rho(non-parameteric)

Spearman's Rho 방법은 두 변수의 선후관계가 명백하지 않아 종속관계를 정의할 수 없는 경우에 상호의존도를 직선적으로 정량화하는 방법이다. 상관을 구하려고 하는 변수가 서열척도인 경우에는 Spearman 상관계수를 산출하는 것이 적합하다. Spearman상관계수는 두 변수 X, Y 각각의 순위 간에 직선적 관계가 있는지 여부를 확인하는 방법이다. 경향분석에서 한 데이터는 시계열 데이터이고, 다른 하나는 시간 데이터이다. Mann-Kendall 방법과 같이 시계열 데이터는 데이터들의 서열로 대체된다.

Test statistic ρ_s 는 상관계수로서 식 (3)과 같이,

$$\rho_s = S_{xy}/(S_x S_y)^{0.5} \quad (3)$$

여기서, $S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, $S_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$, $S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})^2$ 이다. 비교를 위한 유의 수준은 정규 확률 분포표로부터 얻을 수 있다.

4. 결과 및 토의

각 가정에 세면, 취사, 세탁, 화장실, 목욕, 일 합산 등으로 구분하여 유량계를 설치하여 얻어진 유량 자료를 기반으로 하여 수돗물 사용특성과 경제적 요인에 따른 가정용수의 소비경향을 알아보았다.

표 2. 통계적 분석 방법론을 통한 서울 13과 서울 32 가정의 가정용수의 소비경향

M : Mann-Kendall Test, S : Spearman's rho Test

	세면기1		세면기2		세탁기		변기		욕조샤워기		싱크대		일 합산
	온수	냉수	온수	냉수	온수	냉수	1	2	1	2	냉수	온수	
서울13	S	19974	45545		193504	-39813	-66238		24795	-1777	9680	275777	
	M	z	2.517	5.740		24.387	5.018	8.348		3.125	0.224	1.220	34.756
	S	rs*√n-1	2.282	5.632		22.463	3.428	9.416		3.247	0.070	1.189	3.761
서울32	S	115754	-13238	-12294	33777	-11830	21795	-26587	48465	-31203	58178		156156
	M	z	14.001	1.601	1.487	4.085	1.431	2.636	3.216	5.862	3.774	7.037	18.887
	S	rs*√n-1	13.738	1.705	1.679	6.306	1.942	3.075	3.159	5.764	3.921	6.642	18.128

경향성을 분석하는 방법인 Mann-Kendall Test와 Spearman's Rho에 의한 통계치 값이 유의 수준(significant level) 0.01(신뢰수준 0.99)하에서 2.576이상인 값이 경향성이 있음을 나타내고, 경향성이 있다고 분석된 자료들 중에서 Mann-Kendall Test의 S값으로 가정용수의 소비경향의 증가, 감소에 대해서 알 수 있다. 각 가정에서 용도별 측정된 자료들을 기준으로 하여 각각의 조건에 맞는 자료들의 비율을 구하여 경향성의 유무를 판단하였다. 표 2는 서울 13가정과 서울 32가정의 경향성을 통계적 분석 방법론을 이용하여 얻어진 결과를 통해 나타난 가정용수 소비패턴의 통계분석 예를 보여주고 있다.

Mann-Kendall test의 Z 통계치 값과 Spearman's rho의 $\rho_s \sqrt{n-1}$ 의 값을 보면 서울 13에서 세면기1에서의 냉수, 세탁기의 냉·온수, 변기1, 욕조·샤워기1, 일 합산의 부분에서와 서울 23에서 세면기1의 냉수, 세면기2의 온수, 세탁기 냉수, 변기 1과 2, 욕조샤워기1, 싱크대 냉수, 일 합산의 경우에서 2.576보다 높

은 값을 가지므로 경향성이 있음을 알 수 있다. 또한 서울 13의 세면기1의 냉수, 세탁기1에서의 온수, 욕조 샤워기1, 일 합산에서와 서울 32의 세면기1의 온수와 세면기2의 냉수, 세탁기의 냉수, 변기2, 싱크대의 온수, 일 합산에서의 S의 값이 각각 45545, 193504, 24795, 275777, 115754, 33777, 21795, 48465, 58178, 156156의 양의 값을 나타내므로 증가하는 경향성을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 이와 반대로 서울 13의 세탁기의 냉수, 변기1과 서울 32의 변기1, 욕조샤워기1에서의 S 값이 각각 -39813, -66238, -26587, -31203으로 음의 값을 나타내므로 감소하는 경향성을 가지는 것으로 판단할 수 있다. 동일한 통계 분석 기법을 이용하여 조사대상인 모든 가정의 경향성을 분석하였다.

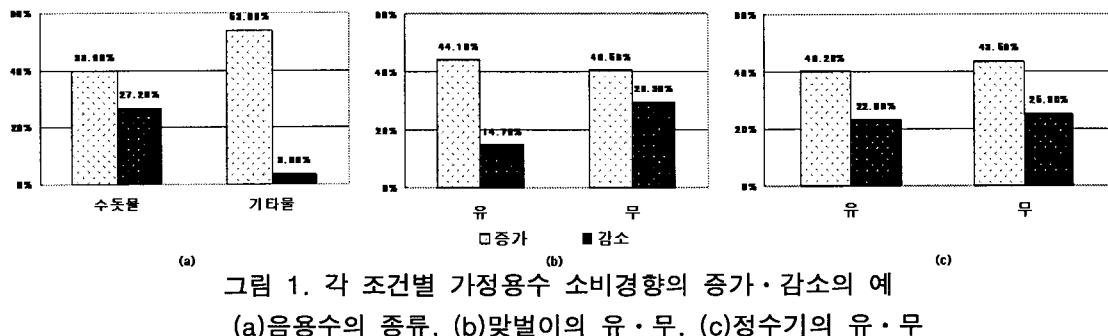


그림 1. 각 조건별 가정용수 소비경향의 증가·감소의 예
(a)음용수의 종류, (b)맞벌이의 유·무, (c)정수기의 유·무

통계분석 방법들을 이용하여 수돗물 사용 특성과 경제적 요인에 따른 가정용수의 경향성에 대해서 알아보았다. 그림 1은 경향성을 조사한 각 항목들이 보이는 경향성의 일부를 예로 들어 나타낸 것이다. 그림5-(a)는 수돗물 사용특성 중에서 음용수의 종류를 수돗물로 하느냐 기타물(약수물, 정수기 물 등)로 하느냐에 따른 가정용수 소비경향을 나타낸 것이다. 기타물을 음용수로 사용하는 경우가 수돗물을 음용수로 사용하는 경우보다 가정용수의 증가하는 경향이 강하며, 수돗물을 음용수로 사용하는 가정의 가정용수 소비경향이 감소하는 경향이 우세하다고 판단할 수 있다. 이로 각 가정의 음용수의 종류가 가정용수의 소비경향에의 영향인 자라고 판단할 수 있을 것이라고 여겨진다. 그림5-(b)는 수돗물 사용특성 중에서 각 가정의 맞벌이의 여부에 따른 가정용수 소비경향을 나타낸 것이다. 맞벌이를 하는 가정의 경우가 맞벌이를 하지 않는 경우의 가정보다 가정용수 소비경향이 약간 우세함을 보이고, 반대로 맞벌이를 하지 않는 경우의 가정의 가정용수 소비경향이 감소하는 정도가 우세함을 보인다. 따라서 맞벌이의 유·무 또한 가정용수 소비경향에의 영향인자라 될 수 있을 것이라고 판단할 수 있다. 그림5-(c)에서도 역시 수돗물 사용특성 중에서의 정수기의 유·무에 따른 가정용수 소비경향을 나타낸 것이다. 정수기가 없는 가정이 정수기가 있는 가정보다 가정용수의 소비 경향이 증가가 약간 우세함을 보이고, 또 정수기가 없는 가정의 가정용수 소비경향이 감소하는 경우가 우세한 것으로 나타나 정수기가 있는 가정에서의 경우에 가정용수의 증가하는 경향에 정수기가 영향인자라고 판단 할 수 있으며, 정수기 없는 가정의 경우에는 가정용수 소비경향에 영향을 끼치는 인자라고 여겨지지 않을 것이라고 판단했다. 이와 같은 방법들을 이용하여 표1에 나타낸 경향성을 분석할 조건들 중에서 가정에서 수돗물 사용특성과 경제적 요인에 따른 가정용수 소비경향에의 영향인자라고 판단되는 인자들을 표 3에 나타내었다.

표 3. 가정용수의 소비패턴에 영향을 끼치는 조건

구분		조건
소비 증가	수돗물 사용 특성	유아·초등학생의 유(有), 목욕탕의 유(有), 음용수 종류(기타물), 세대수(多)
	경제적 요인	가정의 입주형태(전세), 세대주의 학력(高), 건평 수(大), 월 평균 외식 수(多), 월 수입(高)
소비 감소	수돗물 사용 특성	중·고·대학생의 무(無), 맞벌이 무(無), 목욕탕의 유(有), 음용수 종류(수돗물), 세대주 학력(低)
	경제적 요인	세대주 학력(低), 세대수(少), 건평 수(小), 월 평균 외식 수(少)

5. 결 론

경향성 분석을 통해 가정용수 소비경향이 증가하는데 영향을 끼지는 조건 중 수돗물 사용특성으로는 유아·초등생의 유(有), 목욕탕의 유(有), 음용수를 수돗물을 사용하지 않는 경우, 세대수가 많아질수록이며, 경제적 요인으로는 입주형태가 전세인 경우, 세대주의 학력이 높을수록, 건물 평수가 클수록, 월 평균 외식수가 잦을수록, 월 수입이 높을수록 등이었다. 가정용수 소비경향이 감소하는데 영향을 끼지는 조건 중 수돗물 사용특성으로는 중·고·대학생이 없고, 맞벌이를 하지 않고, 목욕탕이 있으며, 음용수로 수돗물 사용하는 경우, 세대수가 작아질수록이며, 경제적 요인으로는 세대주의 학력이 낮을수록, 세대수가 작을수록, 건평수가 작을수록, 월 평균 외식수가 적을수록 이었다. 이 실측조사를 분석하여 나타난 결과들을 바탕으로 용수 수요 층의 조건별 특성을 분석하고, 이를 활용한 생활용수 예측 모형을 개발함으로써 합리적인 수요예측에 의한 용수수요의 과다 예측 오해 해소와 경제적 수도시설계획 등 과학적 물 수요관리 정책수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

감 사 의 글

이 논문은 2007년도 제 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음“

참 고 문 헌

1. 환경부, “물 수요관리 종합 대책 수립연구”, 2002
2. 환경부, “가계부문 물 소비 패턴 시범조사”, 2003
3. 한국수자원공사, “가정용수의 수요량 예측모델개발 연구”, 2006
4. Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, J. of Hyd. 259(1-4), 254-271.
5. Kendall, M. G. (1975), Rank Correlation Methods, Griffin, London.
6. Mann, H. B.(1945), Nonparametric test against trend, Econom. 13, 245-259.