

〈論 文〉

上水道의 1日 給水量의 時間的 變化의 特性에 관한 研究
 The Characteristics of the Urban Water Use Trend
 with Time for a Day

李 庚 焄*, 李 三 魯**, 文 炳 錫***

RHEE Kyoung Hoon, LEE Sam No and MOON Byoung Seok

Abstract□ The purpose of this study was to improve the understanding of the characteristics of the daily urban water use. The city of Kwangju in Korea was selected as a study area. The population of Kwangju in the end of 1993 was more than one million and two hundred thousand peoples. The average of daily water use in 1993 was about three hundred and fifty thousand tons a day.

The variation of the urban water demand trend with time for a day was studied. One day was divided into 12 divisions with a 2 hour increment. The water use demand for the given time interval of a day was observed. The water use index was defined in percentage that indicates the ratio of the amount of water use for a time interval to the amount of water use for a day. The water use index was found to be useful to manage and to operate the water supply systems. In addition to this, the probability distribution of the water use demand for each time interval was tested using the K-S(Komogorov-Smirnov) method. The normal distribution type was found to be appropriate as the probability distribution type for the variation of water demand for the given time interval of a day.

요 지 : 본 연구에서는 상수도 급수량의 시간적 변화형태를 조사하고, 수요량의 시간적인 변화량에 통계학적 개념을 이용하여 수요량의 시간적변화에 관한 확률적 분산모형에 관하여 검정 결정하였다. 연구대상의 지역으로 광주시를 선정하고, 자료로는 2시간 간격으로 측정된 배수지의 수위와 1일 상수도 생산량을 이용하였다. 급수계통의 모형에 통제용적과 연속방정식을 적용하여 2시간별로 변화되는 수요량을 결정하고, 매월 단위로 정리하여 수요수량의 변화를 알 수 있도록 하였다. 2시간별 수요수량은 1일 총 급수량에 대한 백분율로 환산하여 지수화 하였으며, 시간별로 변화되는 각각의 급수량은 통계학적으로 추론될 수 있는지 알 수 있도록 분산모형에 관하여 검정을 하였다. 검정결과를 이용하면 시간별 확률 급수량의 산정이나 급수량의 통계학적 해석을 통하여 상수도 시설의 운용에 이용할 수 있는 것으로 판단되었다.

1. 서 론

우리나라는 현재 산업구조가 농업위주에서 공업 위주로 변화되고, 급격한 경제성장을 이루면서 국

민의 생활 수준이 크게 향상되고, 인구가 도시에 편중되어 도시의 비대화를 이루고 있다. 이러한 현대사회는 현재 많은 문제점을 유발하고 있으며 물 수요량도 가정, 공업, 상업용 등 여러 방면에서 수요량이 증가하여, 종래의 용수로는 수량면에서 수

* 전남대학교 토목공학과 조교수
 ** 여수수산대학교 해양토목공학과 부교수
 *** 전남대학교 토목공학과 박사과정

요를 충족시키지 못할 뿐만 아니라, 도시하수나 공장폐수, 또는 분뇨 등에 의하여 자연수역이 오염되고, 그 결과 수질면에서도 1994년 1월 낙동강 하류 영남 및 부산의 일부지역 주민이 악취가 나는 수돗물 때문에 한동안 불편을 겪었던 것과 같이 보건위생상의 안전을 보장할 수 없는 상태를 초래하기에 이르렀다.

이렇듯 공업화에 따른 산업구조의 변화와 조밀한 인구밀도를 갖는 비대안 도시구조로의 변화는 상수도 계통에도 많은 영향을 주어 원수의 수질 악화와 상수원의 부족을 초래하고 있다. 그리고 급배수 시설을 비롯한 상수도 전시설의 확충과 개량, 상수도 시설의 합리적인 운영의 필요성 등이 증대되고 있다.

따라서 시민이나 국민이 안심하고 사용할 수 있는 음용수를 안정적으로 공급하기 위하여 상수도 시설의 확충과 개량도 중요하지만 이에 앞서서 기존에 사용하고 있거나 개량 또는 확충되는 상수도 시설을 수요량에 맞추어서 질 좋은 상수를 생산공급할 수 있는 합리적인 운용방법을 개발하고, 이에 따라서 상수도 시설을 운용하는 것이 시급한 일이 아닐 수 없다.

상수도의 합리적인 운용을 도모하여 수량면이나 수질면에서 사용자의 요구에 맞는 질 높은 수도 서비스를 제공하기 위하여 수요량을 예측하고 이에 따라서 상수도 시설을 유효 적절하게 운용하는 것이 중요하다. 상수도 급수량의 산정에 관한 연구는 미국이나 일본 등지에서 선행되어 왔다. Young (1973)은 년도별로 변화되는 급수량의 자료를 해당도시의 인구수, 세대의 평균수입, 수도요금, 강우량, 기온, 증발량과 연관시키려고 시도하였다. 이에 이어서 Agthe와 Bilings(1980)는 Young (1973)이 급수량의 변화에 영향을 주는 인자로 선택한 변수를 사용하여 월별로 변화하는 급수량을 계산하는 방식을 제안하였다. Caver와 Boland (1980)는 급수량의 기후의 변화에 대한 영향을 더욱 자세히 관찰하고자 1년을 여름과 겨울의 2계절로 크게 구분하여서 겨울철의 기본적인 급수량과 여름철에 필요로 하는 급수량을 구분하여 분석하고자 하였다. 또한 월별 평균급수량의 변화를 계절적 기후와 연관시키기 위하여 Yamauchi와 Huang (1977)은 계절적 순환관계를 0부터 11까지의 12

개의 순환지수로 나타내고, 이를 다변량으로 회귀 분석을 통하여 매달의 급수량 변화에 대한 관계를 연구하였다. Maidment와 Miaou 등(1985)은 월별 평균 급수량과 기후와의 상호 연관성을 조사하였다. 최근 목동우와 현인환(1994)은 2개의 도시의 대하여 일별로 변화되는 급수량과 최대 급수량에 대하여 조사 발표하였다.

지금까지 선행된 급수량에 관한 연구는 주로 급수량의 변화를 최소 일별단위, 또는 월별 단위로 조사한 것으로서 시간단위별 변화에 대한 연구는 미흡한 편이다. 일별 또는 월별 단위의 급수량 변화는 1일 생산량 또는 월별 평균 생산량을 예측하여 상수도시설의 시설운용을 계획 또는 설계하는데 도움이 되나, 상수도 시설을 실시간 최적조건으로 물 수지를 맞추어 운용 관리하는데 있어서는 일별, 월별 급수량과 더불어 시간별 급수량의 변화형태가 주요한 변수로 작용한다. 시간 단위별 1일 급수량의 변화와 이의 활용에 대한 연구가 미흡한 관계로 앞으로 이 분야에서의 연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 광주시를 대상으로 하여 시간별 급수량의 변화를 조사하고, 주어진 시간에 있어서의 발생되는 급수량의 변화에 대한 확률분포형과 평균 및 최대급수량을 결정하여 상수도 시설을 합리적이고 과학적으로 운용할 수 있는 기초자료를 마련하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 급수량 지수

본 연구에서는 상수도 시설을 실시간으로 운영하는데 필요한 1일 급수량의 시간별 급수량의 변화형태의 특성에 관하여 조사 연구하였다. 시간단위별 급수량의 수요수량은 급배수 관망시스템에 통제용적(Control volume)의 개념과 연속방정식을 적용하여 생산량과 배수지 수위의 관계로 부터 산정할 수 있는 식 (1)을 유도하였다.

$$Q_D = \sum_{i=1}^N Q_{Di} - \frac{1}{\Delta t} \sum_{j=1}^K A_j \Delta h_j \quad (1)$$

(1) 여기서 Q_b 는 급배수시설로 부터 시민에게 공 급되는 단위시간별 급수량이다. 우측변의 첫번째항 은 N개의 정수장에서 생산되어 급배수 시설에 공 급되는 유량이며, 두번째항은 급배수시설내의 용적 의 변화율을 급배수시설을 구성하는 k개 배수지에 서의 용적 변화율로 전환하여 표시한 것이다. 식 (1)에서 A는 배수지의 밀면적, Δh 는 Δt 시간 사 이에 변화된 배수지의 수심의 변화를 표시한다.

식 (1)에서 단위시간 Δt 는 2시간으로 하고, 단 위시간별로 소요되는 급수량을 계산한 다음 급수량 은 아래와 같이 1일 총 급수량에 대한 백분율로 나 타내는 급수량지수(water use index)를 정의하여 이용하였다.

$$\text{급수량 지수(\%)} = \frac{\text{시간 단위별 급수량}}{\text{1일 총 급수량}} \times 100 \quad (2)$$

일정기간동안 급수량의 자료로 부터 시간별 급수 량 지수를 계산하여 시간별 급수량의 형태를 요일 단위로 또는 월단위 등으로 조사하고 평균값, 최대 값, 최소값, 부하율을 조사하였다.

또한 주어진 시간에 변화되는 각각의 급수량이 통계학적으로 추론될 수 있는지 알 수 있도록 급수 량의 변화에 대한 확률 분산모형에 관하여 검정을 하고 그 결과를 이용할 수 있는가를 검토하였다.

2.2 확률 분포형의 검정

관측된 자료가 가정한 확률분포형에 적합한가를 검정하는 방법은 두가지가 있다. 첫번째 방법은 관 측치와 누가확률을 직선적으로 도시할 수 있도록 만든 확률지를 사용하는 방법이다. 이 방법에서는 자료치의 크기별 누가발생확률을 계산하고 특수한 확률지상에 도시한 후, 이들 관계가 직선에 가깝게 나타나는가를 판별하여 그 분포형의 적합성을 검정 하는 것이다. 두번째 방법은 자료집단의 계급구간 별 빈도를 계산하여 상대대수분포지를 작성한 후 이론확률분포의 밀도함수와 정량적으로 비교하는 방법이다.

본 연구에서는 단위시간별 급수량 변화의 확률적

분포형을 정규분포로 가정한 후 정량적 방법으로 알려진 K-S검정(Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test)방식을 이용하여 유의수준 0.05 로 신뢰도 95%로서 확률모형의 적합성을 여부를 판정하였다.

평균치 μ 와 표준편차 σ 인 정규분포를 가지는 변 량 x 가 특정값 x 보다 작거나 같을 누가확률(cumulative probability)은 식(3)에서 주어진 바와 같이 이론적인 확률분포곡선을 $-\infty$ 에서 x 까지 적 분하면 된다. 즉,

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(1/2)((x-\mu)/\sigma)^2} dx \quad (3)$$

식 (3)의 $F(x)$ 는 근사적분을 이용하여 계산할 수 있다.

K-S 검정의 기본적인 절차는 가정한 이론확률 분포의 누가확률분포와 표본자료의 누가확률분포 를 비교하는 것으로서 양자의 최대편차가 표본의 크기와 유의수준에 따라 결정되는 한계편차보다 크 면 가정된 분포는 기각된다.

표본자료의 누가확률분포 $S_n(x)$ 를 구하기 위해 서는 우선 n개의 자료를 크기 순으로 재배열하여 다음식에 의해 자료치의 누가확률을 계산한다. 즉,

$$S_n(x) = \frac{k}{n}, x_k \leq x < x_{k+1} \quad (4)$$

여기서 $S_n(x)$ 는 크기 순으로 재 배열했을 때의 k번째 자료치의 누가발생확률이며, n은 자료의 총 수이다. 식 (3)과 (4)의 변수로 사용된 x의 전 구 간에 있어서의 $S_n(x)$ 와 $F(x)$ 의 最大偏差는 다음 과 같이 표시된다.

$$D_n = \text{Max} | F(x) - S(x) | \quad (5)$$

여기서 D_n 은 n의 크기에 따라 좌우되는 확률변 수로서 주어진 유의수준 α 로서 적합성을 검정하고 자 할때 D_n 은 다음식으로 정의되는 한계치 D_n^α 와

비교하게 된다. 즉,

$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha \quad (6)$$

식 (6)은 최대편차 D_n 이 한계치 D_n^α 보다 작으면 가정된 분포는 유의수준 α 로서 그 적합성이 인정된다. 유의수준 α 에 따른 한계치 D_n^α 는 n 의 크기에 따라서 변하는 값이다.

3. 대상지역 및 급수량자료

연구대상의 지역으로 광주직할시를 선정하였다. 광주직할시의 1993년말의 인구는 125만명에 이르고 있으며 상수도 1일 급수량은 35만톤 규모이다. 1993년도의 평균 급수량을 용도별로 보면 가사용이 69.78%, 공업용이 4.32%, 공동목욕탕을 포함한 영업용이 21.12%, 공공 및 기타용이 4.78%이다. 광주시는 산업구조상 공업용의 급수량이 차지하는 비율이 타 용도에 비하여 작은 것이 특징이다. 표 1은 1988년 부터 현재까지 용도별 급배수량을 정리하여 놓았다.

광주시의 주요 상수도시설로 취수장 3, 정수장 5, 가압장 1개소를 운영하고 있으며, 배수지로는 정수지를 포함하여 10개소를 운영하고 있다. 이러한 상수도 시설은 수원별로 동북, 석곡(제 4 수원지), 장성, 송정, 광주호 등 5개의 계통으로 분류된다. 동북계통의 주요시설로는 동북호와 동북호로부터 취수하는 동북취수장, 1일 최대 8만톤 생산 규모인 지원정수장, 22만톤 생산규모의 용연정수장이 있다. 석곡계통의 시설은 석곡수원지와 수원지로 부터 자연유하식으로 취수하여 1일 최대 3만톤을 처리할 수 있는 각화정수장이 있으며, 장성계통은 장성군 황룡강의 복류수를 취수하여 1일 최대 3만톤을 생산할 수 있는 남면취수장과 남면정수장을 갖추고 있으며, 송정계통은 광주시 광산구 송정동을 통과하는 황룡강으로 부터 취수하여 1일 3만톤을 생산할 수 있는 송정취수장과 송정정수장이 있다. 광주호계통은 1일 최대 2.5만톤 생산 규모의 정수시설을 갖추고 있으나 농업용수 공급원인

광주호를 상수원으로 하고 있는 관계로 평상시에는 사용하지 않고 비상시에만 사용할 수 있도록 조치하고 있다.

정수장 및 배수지 운영은 동북계통에서 취수된 원수가 용연정수장, 지원정수장에서 정수되어 용연정수지 및 지원 1 정수지 및 지원 2 정수지에서 직접 광주시 일원에 급수되거나, 또는 산수배수지, 월산 1 배수지 및 월산 2 배수지에 의해 광주시 일원에 급수되고 있다. 산수배수지는 가압펌프 250HP 2대에 의해 정점표고 152m로 가압되어 고지대(산수동, 지산동, 풍향동 등)에 급수하고 있다. 그리고 제 4 수원지, 황룡취수장, 송정취수장에서 취수된 원수는 각각 각화정수장, 남면정수장 및 송정정수장에서 정수되고 각화정수지, 남면정수지 및 송정정수지에서 직접 광주시 일원에 급수되거나, 동운배수지를 통하여 광주시의 일원에 급수되고 있다. 배수지의 현황은 표 2와 같으며, 배수지 총 용량은 96,500 m^3 로서 약 6시간분의 급수량에 해당한다.

표 1. 광주시 상수도의 용도별 급수량

구분 년도	가사용	공업용	영업용	공공 및 기타
1988	68.65	4.17	22.65	4.53
1989	69.57	3.87	21.76	4.80
1990	69.04	4.17	21.52	5.27
1991	66.92	5.68	22.02	5.38
1992	68.35	3.75	22.54	5.36
1993	69.78	4.32	21.12	4.78

표 2. 광주시 배수지 현황

명 칭	용량(m^3)	H.W.L(m)	L.W.L(m)	비 고
계 (10 개 소)	96,500			
산수 배수지	10,000	94.50	89.50	
월산 1 배수지	1,500	80.00	76.00	
월산 2 배수지	10,000	96.50	91.50	
동운 배수지	10,000	86.40	81.40	
각 화 배수지	15,000	88.70	84.70	정수지
용 연 배수지	20,000	125.25	120.03	정수지
지 원 1 배수지	9,000	87.03	83.03	정수지
지 원 2 배수지	10,000	87.03	83.03	정수지
남 면 배수지	5,000	93.90	89.90	정수지
송 정 배수지	6,000	65.00	61.00	정수지

본 연구는 광주시의 1992년도 상수도 시설의 운영자료를 인용하였다. 이 자료는 광주시에서 운영되고 있는 5개의 정수장에서의 생산량을 측정 한 값과, 정수지를 포함한 10개의 배수지에서 2시간 간격으로 측정된 수위의 변화를 기록하고 있다. 광주시 상수도의 시간별 생산량과 배수지 수위의 변화를 이용하여 유도된 식 (1)을 이용하여 2시간의 단위시간별 급수량과 단위시간별 급수량지수를 계산하고 분석에 이용하였다.

4. 비교 고찰

단위 시간별 급수량을 분석하여 월 단위로 급수량의 시간별 수요량의 형태로 결정하였다. 그림 1은 분석된 결과를 나타내는 그림으로서 1992년 1월의 시간에 따른 급수량의 변화 형태를 급수량지수(water use index) 단위로 표시한 것으로 도표에서 검은색으로 표시된 데이터는 주어진 2시간 단위시간별 급수량 지수의 1개월 평균치를 나타낸 것이다.

시간별 급수량의 수요추세는 오전 6시부터 8시 사이에 1일 급수량의 약 8%의 급수량을 필요로 하는 것을 시점으로 하여 오전과 오후 2시까지 2시간별로 사용량이 10% 정도를 유지하다가 오후 2시에 감소하기 시작하여 새벽 2시와 4시 사이에 최소급수량에 머물게 된다. 시간별로 사용되어지는 급수량의 소모형태가 특정한 시간에 치우치지 않고 시간별로 비교적 균등하게 배분되어 있다는 사실은 무척 바람직한 일이다. 만일 급수량의 사용형태가

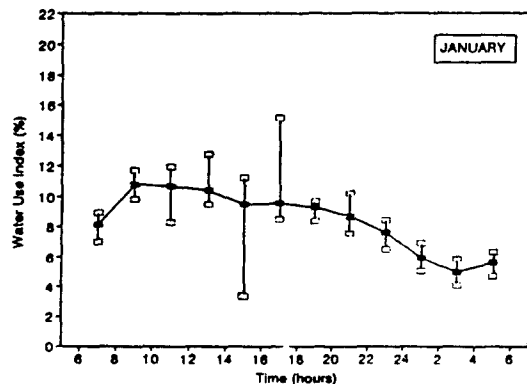


그림 1. 1월 급수량의 시간적 변화(1992년 광주직할시)

특정한 시간에 치우치게 되면 일시에 많은량이 필요하게 되어서 상수도 시설의 운용에 부담을 주기 때문이다. 또 다른 특이점은 새벽 2시와 4시 사이의 최소 급수량도 1일 총 급수량의 4% 정도에 이른다는 것이다. 새벽 2시와 4시 사이에 4%의 급수 수요량이 필요로 한다는 것은 2가지 요인이 있는 것으로 분석된다. 첫번째 원인은 최근 많이 건설된 대단지 아파트에 부설된 저수조에 공급될 수 있는 경우이다. 아파트는 현재 대규모 지하 저수조와 각 동별로 옥상 저수조를 갖고 있어서 보통 1일 내지 2일의 단수에도 별 영향을 받지 않도록 설계되어 있다. 이러한 저수조에 상수가 공급되는 시간은 주민이나 시민이 생활용수를 직접 사용하는 시간과 시간차를 두고 일어날 수 있기 때문이다.

두번째 원인으로서는 급배수 관망에 누수가 있어서 누수량이 급수량으로 나타날 수 있는 경우를 배제할 수 없다. 광주시의 1992년도 평균 누수량은 약 19.21%로, 심야시간인 2시부터 4시 사이는 주로 생활용수의 사용이 끊기는 시간이므로 일반적으로 급배수 관망내의 정수압은 증가된다. 누수량은 정수압의 증가의 제곱승에 비례하므로 누수가 발생한다면 주간보다 급수량이 없어 급배수관망의 정수압이 증가되는 심야에 누수량이 증가한다. 심야시간에 소용되는 급수량의 수요처에 대한 원인규명은 상수도 급배수관망의 구획관리등을 통하여 면밀히 조사하여야 할 과제로 생각된다. 하지만 본 연구에서는 누수량을 고려하지 않은 급수량으로 계산한 것이다. 또한 그림 1에서 보면 최대급수량과 최소급수량과의 차이가 크게 나타난 것이 확인될 수 있는데 이는 단수와 같은 영향을 받아 강제적으로 급수량이 제한되어 급수량이 줄거나, 단수에 의한 급수량의 제한 때문에 단수에 대비하여 급수량이 증가할 수 있다고 사료된다.

그림 2는 7월의 급수량에 관한 것이다. 7월의 급수량의 형태도 1월과 대동소이 하다. 단위시간별 최대급수량은 오전 8시에서 12시 사이이며 급수량지수는 11%로 나타나고 최소급수량은 새벽 2시와 4시 사이로 급수량지수는 약 4.5% 정도이다.

그림 3은 1992년 1년간의 자료로 부터 얻어진 시간별로 필요로 하는 평균 급수량과 1년동안 주어진 시간대역에서 최대 또는 최소로 필요로 하는

급수량을 기록한 것이다. 최대급수량의 시간대역은 오전 8시와 12시 사이로서 4시간에 소요되는 급수량은 1일 급수량의 약 22%에 달한다. 최소급수량을 필요로 하는 시간대역은 1월과 7월의 자료와 마찬가지로 새벽 2시와 4시 사이로서 1일 급수량의 약 4.5%를 필요로 하고 있다. 1992년도에 최대 부하가 걸리는 시간으로 기록된 시간은 오전 8시에서 10시 사이로 급수량지수가 20%에 달한 적이 있다. 이와 같이 광주시의 1992년도 1일 단위 시간별 평균 급수량지수와 최소 급수량지수는 상당한 차이가 있어 적게는 2%에서 크게는 8%까지 변하고 있으며, 1일 단위시간별 평균 급수량과 최대 시간 급수량과의 차이는 약 2%에서 10%까지 변하고 있다. 단위시간별로 산정한 1일 최대급수량을 평균급수량과의 비율로 나타낼 때 최대급수량은 평균급수량의 100%에 이르고 있다. 타 도시의 용수이용 분석 [수자원공사, 1992]과 비교하여 볼 때, 전주, 이리의 30%와 50%에 크게 웃돌고 있으며 광역 상수도권인 성남시와 하남시의 100%와 85% 값과 유사함을 발견하였다. 일회성 이기는 하지만 이처럼 평소의 사용량의 2배에 가까운 급수량지수 20%에 해당하는 분량이 필요하다는 것은 상수도 운용에 많은 부담을 주게 되므로 이처럼 급수량이 급상승하지 않게 상수도 배수지를 적절하게 운용을 하는 것이 바람직하다.

1992년 1년간의 급수량 자료를 요일별로 구분하여 시간별 급수량을 정리하였다. 그림 4는 일요일에 사용되는 급수량의 시간별 수요형태를 도표화한 것이다. 일요일의 급수량 수요형태는 1992년 1년 동안의 시간별 평균 수요량과 대동소이 하다. 일요일에 최대 수요량이 발생하는 시간은 오전 8시와 10시 사이이며 이를 기점으로 하여 시간이 지나감에 따라서 수요량이 완만히 감소한다. 최소급수량은 새벽 2시에서 4시 사이에 발생하며 이 시간을 지나면 급수량은 증가하기 시작한다. 그림 5와 그림 6은 각각 월요일과 수요일의 시간별 급수량의 수요형태이다. 평일의 급수량 형태도 일요일과 대동소이 함을 알 수 있다.

광주시의 요일별 급수량 소모형태를 타도시의 요일별 용수이용 분석[수자원공사, 1992]과 비교하여 볼 때, 성남시, 하남시, 전주시와 이리시의 경우

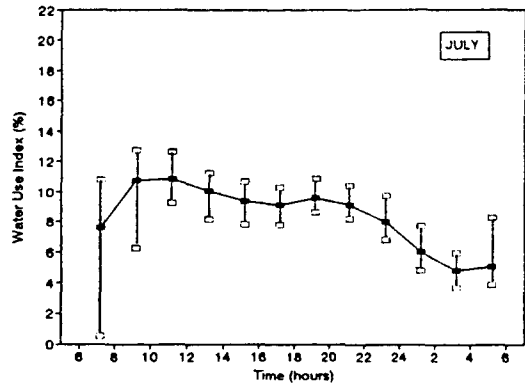


그림 2. 7월 급수량의 시간적 변화(1992년 광주직할시)

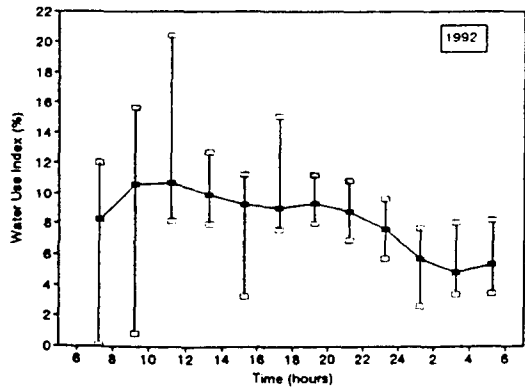


그림 3. 1992년도 급수량의 시간적 변화(광주직할시)

와 마찬가지로 요일에 따라서 크게 변화되지 않고 있다. 이는 상수도 1일 급수량 중에서 가정용수 용도로 사용되는 비율이 높기(광주시는 약 70%) 때문이라고 생각된다. 그러나 구미시의 경우는 급수량의 소모형태가 월요일에서 금요일까지는 변화되지 않으나 토요일 오후와 일요일에는 큰 변화를 보이고 있다. 이는 구미시의 상수도 공업용수의 사용량의 비율이 공장의 가동율에 따라 급수량이 현저하게 변하기 때문이라고 사료된다.

상수도시설을 운용하는데 있어서 1일 최대급수량이나 시간별 최대급수량은 관심의 대상이 아닐 수 없다. 본 연구에서는 1일 급수량이 정하여진 다음 정해진 급수량이 시간별로 어떠한 형태로 소요되는가를 분석하는 것이므로 얻어진 분석자료에 의하여 시간별 최대급수량에 대하여 논하기로 한다.

시간별 최대급수량은 시간별로 발생한 최대급수량을 기록한 것으로서 빈번하게 발생은 하지 않지

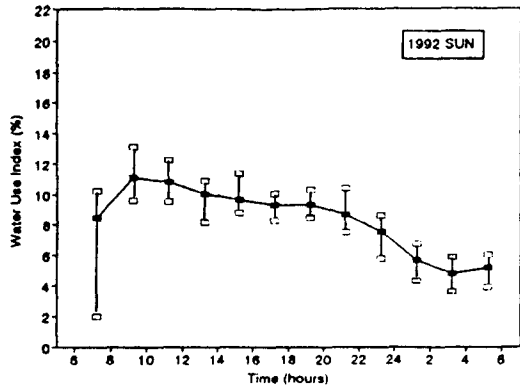


그림 4. 일요일 급수량의 시간적 변화(1992년 광주직할시)

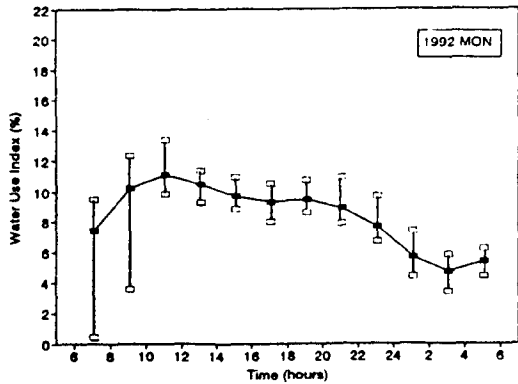


그림 5. 월요일 급수량의 시간적 변화(1992년 광주직할시)

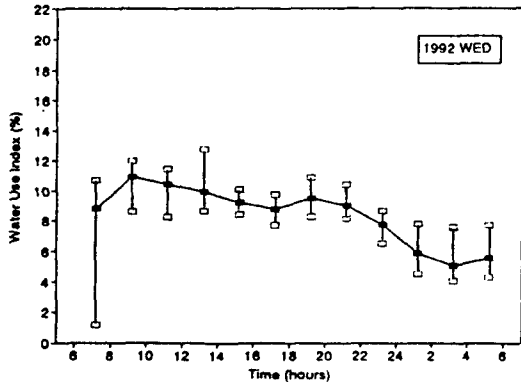


그림 6. 수요일 급수량의 시간적 변화(1992년 광주직할시)

만 수요량이 기록된 형태로 사용될 가능성이 있기 때문에 상수도 시설의 운용이나 설계시 이를 수용할 수 있도록 하여야 한다. 최대급수량을 정량화하기 위하여 최대급수량과 평균값과의 차이를 평균값에 대한 비율로 표시하는 부하율을 다음과 같이

정의하기로 한다.

$$\text{부하율} = \frac{\text{최대급수량} - \text{평균급수량}}{\text{평균급수량}} \quad (7)$$

여기서 평균값과 부하율을 알면 최대값이 평균값보다 얼마나 더 많은량인지 쉽게 계산할 수 있다. 표 3은 1992년도 전체에 대한 시간별 급수량에 대하여 평균값, 최소값, 최대값과 표준편차, 그리고 부하율을 정리하여 놓았다. 1992년도 매월 발생한 시간별 급수량에 대한 평균적인 부하율은 0.22 정도로 나타나고 있다. 이는 평균 급수량의 22% 정도에 해당하는 수요량이 더 발생할 수 있는 확률이 있다는 것을 의미하나 어느 정도의 확률인지를 알게끔 이를 통계학적 기법으로 처리하여야 정확도를 기할 수 있다. 따라서 시간별 급수량의 변화에 대한 확률모형을 검정하는 것이 바람직하다.

1일을 2시간 단위로 나누어 12개의 시간대역으로 구분하고 각 시간대역별로 급수량 지수의 변화에 대한 확률적 분산분포형을 결정하고자 기대치로 정규분포 모형을 가정하고 이에 대하여 검정을 하여서 급수량의 분포가 기대치의 확률적 분포모형에 의하여 모의될 수 있는지의 타당성에 대하여 조사하였다.

먼저 시간대역별 급수량의 변화가 정규분포에 가까운지를 검정을 하였다. 검정방식은 앞에서 인용

표 3. 단위 시간별 급수량지수의 평균, 표준편차 및 부하율(1992년)

시 간	평 균	최대값	최소값	표준편차	과부하율
6- 8	8.285	12.030	0.100	2.296	0.452
8-20	10.583	15.670	0.810	1.805	0.481
10-12	10.716	20.450	8.200	0.951	0.908
12-14	9.960	12.750	8.030	0.661	0.280
14-16	9.343	11.310	3.280	0.686	0.211
16-18	9.082	15.060	7.650	0.701	0.658
18-20	9.373	11.270	8.070	0.517	0.202
20-22	8.859	10.900	6.980	0.575	0.230
22-24	7.664	9.690	5.760	0.521	0.264
24- 2	5.712	7.710	2.640	0.584	0.350
2- 4	4.860	8.130	3.420	0.610	0.673
4- 6	6.395	8.290	3.500	0.600	0.537

한 KS검정 방식을 이용하였다. 먼저 실측된 급수량을 계급별로 나누어 분류 하여 해당 계급에서의 빈도수로 나타내고, 이를 해당 계급의 범위에서 나타날 수 있는 확률로 계산하였다. 계급별로 계산된 확률로부터 누가확률을 환산하였다. 다음에는 정규분포 확률분포곡선을 이용하여 해당계급에서 나타날 수 있는 기대치의 확률을 얻고 난 후 실측치와 기대치의 확률의 차이를 계산하고 이들 중에서 제일 큰값을 구하여 유의수준 0.05로 K-S 검정을 하였다.

이러한 확률분포모형에 대한 K-S 검정을 월별로 정리된 자료에 대하여 수행하였다. 표 4는 1992년 1월을 대상으로 정규분포 모형에 대한 검정을 수행한 결과를 보여주고 있다. 실측치와 기대치의 차이중에서 최대가 되는 값은 0.0388이며 유의수준 0.05, 신뢰도 95%인 K-S 검정치는 0.24 이므로 실측된 급수량의 확률적 분포모형은 정규분포를 따른다고 할 수 있다. 1월을 포함한 나머지 달들에 대한 K-S 검정도 만족 하였다. 이로서 급수량에 대한 확률적 기대치는 정규분포에 의하여 통계적으로 계산할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 4. 1월 급수량의 확률적 분포에 대한 K-S 검정 (1992년 광주직할시)

계급	t-range	빈도수	확률	누가확률 S(x)	기대치 F(x)	F(x) -S(x)
4.5	-3.041	0	0.000	0.000	0.00135	0.00135
5.0	-1.504	1	0.032	0.032	0.06680	0.03480
5.5	0.034	15	0.484	0.516	0.51200	0.00400
6.0	1.571	12	0.387	0.903	0.94180	0.03880
6.5	3.108	3	0.097	1.000	0.99906	0.00094
7.0	4.646	0	0.000	1.000	1.00000	0.00000

$D_n = 0.03880$ $D_n^\alpha = 0.24$ $D_n = \text{Max} |F(x) - S(x)| < D_n^\alpha$

5. 결 론

1. 시간에 따라 필요로 하는 급수량의 변화에 관한 확률분포 모형은 K-S 검정 결과 정규분포에 따른 것으로 판단되었다. 따라서 확률분포 모형을 이용한 통계학적인 기법에 의하여 급수량의 부하율과

생산량 등을 추정하여 상수도 시설의 운용에 도움이 되게 하였다.

2. 시간별 급수량의 변화형태를 단순한 시간별 급수량이나 누가급수량으로 표시하는 것보다는 1일 총급수량과 단위시간별 급수량지수로 변환하여 표시하는 것이 급배수시설의 상태를 분석하고 예측 및 운용하는 데 보다 유용하게 활용할 수 있다고 판단되었다.

3. 광주시의 경우 1일 급수량의 단위 시간별 소요되는 급수량은 계절이나 월별 또는 요일별로 따라 크게 변화되지 않으며 월별로 따라 변화되는 정도도 최대 5% 미만으로 안정되게 나타난다. 이는 가정용도의 급수량이 공업용수 등의 타 용도의 급수량보다 월등하게 높기 때문 이라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 목동우, 현인환 (1994) 상수사용량의 확률분포특성, 대한상하수도학회지 2권, 2호, pp.35-42.
2. 최의소, 조광명 (1994) 환경공학, 청문각, 서울, pp.82-130.
3. 윤용남 (1994), 공업수문학, 청문각, pp.420-488.
4. 한국수자원공사 (1992) Peak 용수수요 분산을 고려한 광역상수도 용수요금 체계의 개선, pp. 47-95.
5. Young, A. (1973) Price elasticity of demand for municipal water: a case study of Tuscon, Arizona, Water Resources Research Vol.9, No. 4, pp.1068-1072.
6. Yamauchi, H. and W. Huang (1977) Alternative models for estimating the time series components of water consumption data, Water Resources Bulletin Vol.13, No.3, pp.599-610.
7. Ang, A.H. and W.H. Tang (1978) Probability concepts in engineering planning and design Vol.1, Basic Principles, John Wiley & Sons, Inc., pp. 261-285.
8. Agthe, D.E. and R.B. Buildings (1980) Dynamic models of residential water demand, Water Resources Research Vol.16, No.3, pp.

- 476-480.
9. Carver, P.H. and J.J. Boland (1980) Short- and long-run effects of price on municipal water use, *Water Resources Research* Vol.16, No.4, pp.609-616.
 10. Loucks, D.P, J.R., Stedinger and D.A. Haith (1981) *Water resource system planning and analysis*, Prentice-Hall, Inc., 559 pages.
 11. Maidment, D.R. and E. Parzen (1984) Cascade model of monthly municipal water use, *Water Resources Research* Vol.20., No.1, pp. 15-23.
 12. Maidment, D.R., S.P. Miaou and M.M. Crawford (1985) Transfer function models of daily urban water use, *Water Resources Research* Vol.21, No.4, pp.425-432.
 13. Cronauer, J.A. (1985) Time series analysis of hourly domestic water demand, *ASCE, Proceedings of the Specialty Conference, Buffalo, New York, June 10-12*, pp.391-400.
 14. DeGroot, M.H. (1986) *Probability and Statistics, Second Edition*, Addison-Wesley Publishing Co., 1986, 723 Pages.
 15. Maidment D.R. and S.P. Miaou (1986) Daily water use in nine cities, *Water Resources Research* Vol.22, No.6, pp.845-851.

(접수 : 7.1)