

1일 상수도 급수량의 변화와 확률분산 모형에 관한 연구

A Study on the Variation of Daily Urban Water Use and the Probability Distribution Model

이경훈*, 이삼노**, 문병석***

1. 서 론

우리나라는 현재 산업구조가 농업위주에서 공업위주로 변화되고, 급격한 경제성장을 이루면서 국민의 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 수요를 충족시키지 못할 뿐만 아니라, 도시하수나 공장폐수, 또는 분뇨 등에 의하여 자연 수역이 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 비대한 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 필요성을 증대시키고 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 운영을 도모하여 수량면이나 수질면에서 사용자의 요구에 맞는 질 높은 수도 서비스를 제공하기 위하여 수요량을 예측하고 이에 따라서 상수도 시설을 유효 적절하게 운용하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 광주시를 대상으로 하여서 1일 급수량의 시간별

* 전남대학교 토목공학과 조교수

** 여수수산대학교 해양토목공학과 부교수

*** 전남대학교 토목공학과 박사과정

변화를 조사하고, 주어진 시간에 있어서의 급수량의 변화에 대한 확률분포형을 결정하고 이를 이용하여 통계적학적 이론에 의하여 수요량을 예측하여 상수도 시설을 합리적이고 과학적으로 운용할 수 있는 기초자료와 운영방식을 마련하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 상수도 시설을 과학적으로 운영하는데 필요한 1일 급수량의 시간별 수요수량을 산정하는 방식을 제안하고, 이를 급수량 자료에 적용하여 수요량의 시간적 변화 형태를 산정하고, 수요량의 시간적인 변화량에 통계학적 개념을 이용하여 수요량의 시간적 변화에 관한 확률적 분산모형에 관하여 검정 결정하였다. 급수량의 시간별 수요수량은 통제용적(Control volume)의 개념과 연속방정식을 급배수 관망시스템에 적용하여 생산량과 배수지의 수위의 관계로 부터 알아내는 일반식을 유도하고 이를 실제 측정된 자료에 적용하였다. 연구의 대상의 지역으로 광주시를 선정하고, 자료로는 2시간 간격으로 측정된 배수지의 수위와 1일 상수도 생산량을 이용하였다. 1일의 급수량 중에서 2시간별로 변화되는 수요량을 결정하고, 이를 매월 단위로 정리하여 수요수량의 변화를 알 수 있도록 하였으며, 1년의 평균적 수요수량의 변화도 계산하여 살펴보았다. 2시간별 수요수량은 1일 총 급수량에 대한 백분율로 환산하여 하루중 주어진 시간에 사용되는 급수량의 분량을 알 수 있도록 지수화 하여 시간별로 사용되는 형태를 조사하였다. 급수량의 자료는 1992년도에 광주시 상수도 본부에서 급배수시설을 관리한 자료로서, 광주시에 위치한 용연, 지원, 각화, 황룡, 송정 등 5개의 정수장으로 부터 해당일에 생산되는 정수장별 총생산량과 정수장의 정수지를 포함한 10개의 배수지로 부터 2시간 간격으로 관측된 수위의 변화에 대한 자료이다. 주어진 자료를 자료를 월별로 구분하고 급배수시설에 적용된 연속방정식을 사용하여 시간별 소요되는 급수량을 계산하였다.

주어진 시간에 변화되는 각각의 급수량이 통계학적으로 추론될 수 있는지 알수 있도록 급수량의 변화에 대한 분산모형에 관하여 검정을 하였다. 분산모형은 정규분포 모형을 사용하고 검정 방식은 χ^2 (Chi-Square) 방식과 K-S방식 (Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test)중에서 K-S방식을 채택하여 유의수준 0.05로 신뢰도 95%로서 검정하였다.

3. 비교 고찰

급수량의 시간별 수요량을 매월 단위로 분석한 다음 이를 산술평균하여 1달분의 급수량의 시간별 수요량의 형태로 결정하였다. 그림1은 분석된 결과를 나타내는 그림으로서 급수량의 변화 형태를 시간에 따라 표시한 것이다 그림1에서 검은색으로 표시된 데이터는 주어진 2시간의 시

간격 사이에 사용된 급수량의 1개월 평균치를 나타낸 것으로서, 도표의 종거는 주어진 2시간에 사용된 급수량을 하루에 사용된 총급수량에 대한 백분율로 환산하여 표시한 것이다.

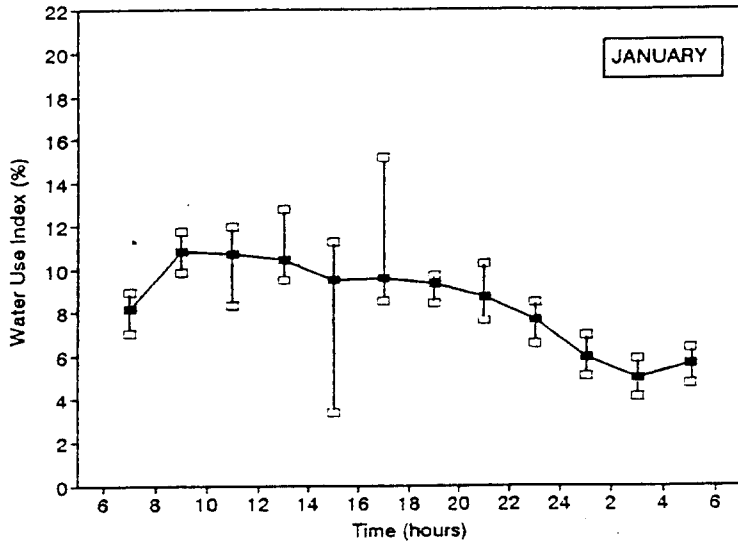


그림 1 1월달 급수량의 시간적 변화 (1992년 1월 광주직할시)

시간별 급수량의 추세는 오전 6시부터 8시 사이에 1일 급수량의 약 8%의 급수량을 필요로 하는 것을 시점으로 하여 오전과 오후 2시까지 2시간별 사용량이 10% 이상을 유지하다가 오후 2시에 감소하기 시작하여 새벽 2시와 4시 사이에 최소급수량에 머물게 된다. 시간별 사용되어지는 급수량의 소모형태가 특정한 시간대역에 치우치지 않고 시간별로 비교적 균등하게 배분되어 있다는 사실은 무척 바람직한 일이다. 만일 급수량의 사용형태가 특정한 시간대역에 치우치면 그에 대비하여 많은 물을 비축하여야 하기 때문에 상수도 시설의 운영에 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 영향을 받지 않도록 설계되어 있다. 이러한 저수조에 상수가 공급되는 것은 주민이나 시민이 생활용수를 사용하는 직접적인 시간과 시간차를 두고 일어날 수 있기 때문이다. 두번째 원인은 급배수 관망에 누수가 있어서 누수량이 급수량으로 나타날 수 있는 경우를 배제할 수 없다. 야간에는 일반 생활용수의 사용이 끊기므로 일반적으로 급배수 관망내의 정수압은 증가된다. 누수량은 정수압의 증가의 제공승에 비례하므로 누수가 발생한다면 야간에 특히 급수량이 없어 수압이 올라 갈 수 있는 시간에 누수량이 제일 크게 발생한다는 사실이다. 이러한 원인은 규명해야 될 과제로 생각된다.

또한 그림1에서 보면 최대급수량과 최소급수량과의 차이가 크게 나타난 것이 확인될수 있는데 이는 단수와 같은 영향을 받아 강제적으로 급수량이 제한되어 급수량이 줄거나 단수에 의한 급수량의 제한 때문에 단수를 준비하기 위한 가수요가 늘어서 급수량이 증가할 수 있다고 사료된다.

다음은 시간별 급수량의 변화가 정규분포에 가까운지 검정을 하였다. 검정방식은 K-S검정방식을 이용하였다. 먼저 실측된 급수량을 계급별로 나누어 분류를 하여서 해당 계급에서의 빈도수로 나타내고, 이를 해당 계급의 범위에서 나타날 수 있는 확률로 계산한다. 계급별로 계산된 확률에 대한 누가확률 또는 비초과확률로 환산을 한다. 다음에는 정규분포 확률분포곡선을 이용하여 해당계급에서 나타날 수 있는 기대치의 확률을 얻고 난 뒤에 실측치와 기대치의 확률의 차이를 계산하고 이들 중에서 제일 큰값을 구하여 유의수준 0.05로 K-S 검정을 한다.

표1은 1992년 1월을 대상으로 정규분포모형에 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.

이러한 K-S 검정을 1월 이외의 92년도 자료에 대하여 수행한 결과 계산된 실측치와 기대치의 최대가 K-S 검정에 허용하는 허용한계오차보다 훨씬 작은 값이므로 1월과 마찬가지로 정규확률 분포 검정을 만족하였다. 이로서 급수량에 대한 확률적 기대치는 정규분포에 의하여 통계적으로 계산할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표1. 1월달 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
Max=0.03880		$D_n^a=0.24$	$D_n = \text{Max} F(x)-S(x) < D_n^a$			

4. 결 론

1. 시간에 따라 필요로 하는 급수량의 변화에 관한 확률분포 모형은 K-S 검정 결과 정규분포에 의한 것으로 판단 되었다. 따라서 확률분포 모형을 이용한 통계확적인 기법에 의하여 급수량의 부하율과 생산량을 등을 결정하여 상수도 시설의 운영에 도움이 되게 하였다.

2. 급수량지수는 시간에 따라 소요되는 급수량을 1일 급수량에 대한 백분율로 나타내는 지수이며, 급배수 시설의 상태를 예측 및 운영하는 데 중요한 인자로 판단되었다.
3. 하루중 최대 급수량이 발생하는 시기는 오전 8시에서 10시 또는 오전 10시에서 12시 사이이며 이 시간(2시간)에 필요로 하는 급수량은 1일 급수량의 약 10.5% - 11%가 필요하며 하루중 최소 급수량은 새벽 2시에서 4시 사이에 발생하며 이시간에 1일 급수량의 약 4.5%가 요구된다.
4. 시간에 변화되는 급수량의 형태는 계절이나 월별에 따라 크게 변화되지 않으며 월별에 따라 변화되는 정도도 최대 10% 미만으로 나타난다.

참고문헌

1. 광주직할시 상수도 사업본부, *광주시 상수도시설 운영 및 수질관리의 현대화사업 기본계획서* (종합통제소 기본계획서), 1992, 200 Pages.
2. 목동우, 현인환, “상수사용량의 확률분포특성”, 대한상하수도학회, 제2권 제2호, 1994, pp.35-42.
3. 이익훈, 전영호, *공업통계학*, 박영사, 1988, 440 420pages.
4. 최영박, 엄원택, *상수도학*, 형설출판사, 1993, 407pages.
5. R.J. Frankel and P. Shouvanavirakul, “Water Consumption in small Communities of Northeast Thailand,” *Water Resources Research*, Vol.9., No.5, 1973, pp.1196-1207.
6. H. Yamauchi and W. Huang, “Alternative Models for Estimating the Time Series Components of Water Consumption Data,” *Water Resources Bulletin*, Vol.13, No.3, 1977, pp.599-610.
7. A.H. Ang and W.H. Tang, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume 1, Basic Principles*, John Wiley & Sons, Inc., 1978, pp. 261-285.
8. D.R. Maidment and E. Parzen, “Cascade Model of Monthly Municipal Water Use,” *Water Resourch*, Vol.20. No.1, 1984, pp.15-23.
9. D.R. Maidment, S.P. Miaou and M.M. Crawford, “Transfer Function Models of Daily Urban Water Use,” *Water Resources Research*, Vol.21, No.4, 1985, pp.425-432.
10. D.N. Nvule and D.R. Maidment, “Water Use Forecasting and Evaluating the Effects of Conservation Measures,” ASCE, *Proceedings of the Specialty Conference*, Buffalo, New York, June 10-12, 1985, pp. 401-411.