論　文

上水使用量의 確率分布 特性

Probability Distribution Characteristics of Water Supply Demand

목 동 우* · 현 인 환**

Mock, Dong-Woo · Hyun, In-Hwan

ABSTRACT

This study is to analyse probability distribution characteristics of water supply demand. Two cities located near Seoul were selected as study areas.

In this study, two probalility distribution types were tested using the K-S(Kolmogorov-Smirnov) method. The K-S method was used to prove the goodness of the selected distribution type. And also, the goodness of maximum day demand to average day demand ratio which was obtained by field data was tested.

Conclusions are as follows.

1. Both normal distribution type and lognormal distribution type are appropriate as the probalility distribution type for the water supply demand.

2. The probability distribution characteristics can be used to test the goodness of the maximum day to average day demand ratio.

1. 序　論

最近에 들어서 急激한 經濟 成長의 結果로 生活水準은 크게 向上되었으나 都市에의 人口集中, 都市의 肥大化 등은 현대사회에 많은 문제를 유발시키고 있다. 이러한 都市構造의 變化는 上水道 系統(water supply system)에도 많은 영향을 주어 水資源의 不足, 原水 水質의 惡化와 더불어 配水施設을 비롯한 上水道 全 施設의 規模 擴充과 施設改良의 必要性을 增大시키고 있다.

配水調節은 取水에서 給水까지의 모든 水道施設을 制御, 監視하여 水量, 水壓, 水質면으로 안전한 淨水를 效率的으로 供給하고자 하는 것이다. 首都圈 地域에서의 水道普及率이 90%가 넘는 지금, 上水 使用者에게 質 높은 水道 서비스를 제공하기 위해서라도 上水의 합리적 운용을 도모하는 配水調節이 중요하다. 현재 우리나라에서는 上水道 關聯施設들을 設計할 때에 사용되는 많은 자료들을 外國의 設計 例 또는 文獻上에 나타내는 代表的인 값을 그대로 사용하고 있어서 地域에 따라서는 크게 誤謬를 범할 우려가 있다. 이러한 자료들 중 상수사용량은 가장 기본적인 것이며 지역특성에 따라 변화가 심하여 우선적으로 檢討되어야 할 要素이다.

만일, 上水 需要量을 정확히 把握하지 못하여 過小 또는 過大한 시설을 하거나 上水道 關聯施設들을 부적절하게 運營할 때에는 결과적으로 過小設計나 過大設計가 되어 消費者의 需要를 충족시키지 못 하거나 또는 불필요한 經濟的 부담을 입게 될 가능성이 많아진다. 이러한 오류를 범하지 않기 위해서는 모든 都市마다 그 都

* 단국대학교 토목공학과 박사과정

** 단국대학교 토목공학과 교수

市의 上水需要特性을 調査 分析한 후 합리적으로 장래의 施設計劃을 설정하고, 적절한 統制나 運營計劃을 바탕으로 시설을 最適으로 운영할 필요가 있다.

本 研究에서는 두 개의 도시를 對象地域으로 선정하였으며 이 도시들의 資料를 이용하여 上水使用量에 대한 確率分布型을 결정하고 上水道關聯施設의 設計時 考慮되는 日最大給水量과 負荷率에 대해 檢討하였다.

2. 對象地域 및 基本資料

2.1. 對象地域의 選定

本 研究의 對象地域은 首都圈에 있는 계획도시인 A市와 旣存 都市인 B市로 하였다.

A市는 91년말 현재 人口가 약 74,000명, 面積이 약 35.81km²인 典型的인 住居都市이며 서울의 베드타운(bed town)으로써 上水使用量이 家庭用水를 中心으로 대폭 增加해 오고 있는 地域이며, 표 1에서 보듯이 家庭用水의 比率이 약 83%로서 國內의 他都市나 外國의 平均보다도 매우 높은 편이다. 특히 이 都市의 住居形態가 아파트 密集 居住形態이며, 水洗式 化粧室, 세탁기 등과 같은 文化施設 普及率과 自家用 保有率이 他 都市에 비해 크다. A市는 90년대에 건설되는 여러 新都市들의 대표적인 패턴을 띄고 있다.

B市는 人口가 91년말 현재 약 689,000명, 面積이 약 105.54km²인 都市로서 單獨住宅 密集地域인 舊市街地와 아파트 密集地域인 新市街地로 나뉘어진 典型的인 우리나라의 舊都市 形態를 가진 都市이다. B市는 꾸준히 人口가 增加하는 都市인데 주로 新市街地 쪽으로의 人口 流入이 많고, 家庭用水의 比率은 약 71%로서 물 消費傾向은 우리나라의 다른 旣存都市들과 비슷한 傾向을 가지고 있다.

2.2. 資料의 收集과 整理

分析에 使用된 資料는 A市와 B市의 水量日報에 記載되어 있는 89년, 90년, 91년도의 資料와 88년~91년 까지의 人口資料이다. 資料 項目으로는 1日給水量과 住居人口를 기본 자료항목으로 하고 1989년부터 1991년까지 3년간의 記錄을 이용하였다.

1人 1日當 給水量을 算定하기 위해서는 해당자료 발생일에 대한 人口資料가 필요하나, 既存 발표된 人口資料는 각 年度의 末日을 기준으로 한 統計値만을 수록하고 있다. 따라서 B市와 같이 人口增加가 많은 都市나 年度에 있어서는

표 1. 他都市 및 外國의 물 消費傾向

도시별 / 용도별	A시 (1989)	B시 (1987)	성남시 (1988)	안양시 (1987)	부천시 (1987)	일본평균 (1969)	미국평균 (1979)
가 정 용 수	83.2%	70.9%	72.0%	75.1%	67.9%	65.0%	47.1%
공 업 용 수	—	—	—	—	—	9.9%	29.4%
영 업 용 수	7.8%	22.4%	22.0%	22.5%	28.3%	15.1%	17.6%
공 공 기 타	9.0%	6.7%	6.0%	2.4%	3.8%	10.0%	5.9%
계	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

표 2. 人口 增加

단위 : 명

구 분		1988년	1989년	1990년	1991년	비 고
년 말 자료인구	A시	60,597	64,301	64,864	66,524	자료에 의한 기준인구
	B시	469,845	536,467	581,791	636,924	
1 일 당 증가인구	A시	—	10.1	1.5	4.6	전년 $-\frac{(\text{해당년}-\text{전년})}{365}\times d$
	B시	—	182.5	124.2	151.0	

표 3. 使用 資料의 一部(A市)

자료 No.	년 월 일	총급수량 (m³)	1일 인구 (명)	1인 1인당 급수량 (리터)
1	890101	10,970	60,607	181.0
2	890102	10,940	60,617	180.5
3	890103	12,790	60,627	211.0
4	890104	10,750	60,637	177.3
5	890105	14,300	60,648	235.8
6	890106	14,560	60,658	240.0
7	890107	14,770	60,668	243.5
8	890108	13,970	60,678	230.2
9	890109	15,390	60,688	253.6
10	890110	14,880	60,698	245.2

[1989년 A시 수량일보와 인구통계 자료]

年初와 年末의 人口를 같게 보는 것은 무리가 있어서, 1년 중 인구의 증가는 등차급수법에 따른다고 가정하여 표 2와 같이 該當 日의 給水人口를 각 年度의 末日을 기준으로 한 자료로부터 推定하여 使用하였다.

本 硏究에서 使用된 資料의 일부를 표 3에 나타냈다.

3. 分析方法

3.1. 確率分布型

確率分布(probability distribution)라는 것은 確率變數 X의 分布狀態를 말하며, 連續型(continuous type)이건 離散型(discrete type)이건 간에 無作爲 變數(random variable)는 각 變數가 갖는 特定值의 確率分布에 의하여 그 특성이 표시된다. 本硏究에서는 1日 給水量에 대한 確率分布型의 검토 대상으로서 正規分布와 對數正規分布型을 選定하였고, Kolmogorov-Smirnov (K-S) 檢定方法을 이용하여 對象 確率模型의 適合性 與否를 判定하였다.

3.1.1. 正規 分布

正規分布(normal distribution)는 종 모양의 대칭인 연속 분포형으로서 어떤 寫像의 母集團(population) 혹은 標本(sample)의 平均值로부터의 誤差는 통상 이 分布型을 갖는 것으로 알려져 있으며 이를 Gauss의 誤差法則이라 부른다.[4,5,12]

正規分布의 確率密度函數의 일반형은 다음과 같다.

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,e^{-(1/2)((x-\mu)/\sigma)^2},\quad -\infty<x<\infty \qquad (1)$$

여기서, x : 變數

μ : 標本의 平均値

σ : 標本의 標準偏差

平均值 μ, 標準偏差 σ인 正規分布를 가지는 變量 X가 특정값 x보다 작거나 같은 累加確率(cumulative probability)은 식 (1)을 $-\infty$에서 x까지 積分하면 된다. 즉,

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

식 (2)는 解析的인 積分이 不可能하므로 近似積分에 의해 $F(x)$를 계산할 수 있으며, μ와 σ의 값에 따라 $F(x)$값이 변한다.

本 硏究에서 確率密度函數에 이용되는 非超過確率(non-exceedance probabilty)값은 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 Thomas方法을 사용하였다.[5,9,10,12] 式은 다음과 같다.

$$P(X_i)=\frac{i}{N+1}$$

여기서, $P(X_i)$: 非超過確率

N : 資料의 數

i : 資料의 順位

3.1.2. 對數正規 分布

일반적으로 많은 수의 變量들은 오른쪽으로 歪曲된 分布를 가지는 것으로 알려져 있다. 이렇게 오른쪽으로 歪曲된 分布型은 正規分布처럼 平均值를 中心으로 했을 때는 對稱이 되지 않으나 이들 變數의 對數值를 취하면 正規分布의 特性을 갖게 되므로 解析이 용이하게 된다.

對數正規 分布(logarithmic normal distribution)는 變數의 對數值를 취하여 歪曲된 분포를 正規分布化한 것으로서 Galton의 法則이라고도 부르며 2변수와 3변수 분포의 두 가지가 있다.[4,5,13] 2변수 對數正規 分布를 가지는 변수 X의 確率密度函數는 다음과 같다.

$$f(x)=\frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\ \frac{1}{x}\exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right],\quad 0<x<\infty \quad (4)$$

여기서, y : $\ln x$

μ_y : y의 평균치

σ_y : y의 표준편차

對數正規分布의 경우에도 非超過確率의 算定은 Thomas公式을 이용하였다.

3.2. 確率 分布型의 檢定

觀測된 資料集團이 假定한 理論 確率分布型에 齒合한가를 판단하는, 이른바 分布型의 適合性 檢定(goodness of fit test)에는 일반적으로 두 가지 방법이 있다. 첫번째 방법은 觀測値와 그 累加確率을 直線的으로 圖示할 수 있도록 만든 특수방안지인 確率紙(probability paper)를 사용하는 방법이다.[10,12] 이 방법에서는 資料値의 크기별 累加發生確率을 계산하고 특수한 確率紙상에 圖示한 후, 이들 관계가 직선에 가깝게 나타나는가를 判別하여 그 分布型의 適合性을 검정하는 것이다. 두번째 방법은 資料集團의 階級 區間別 頻度를 계산하여 相對度數分布表를 작성한 후 理論 確率分布의 密度函數와 定量的으로 比較하는 方法이다.[10,12] 定量的 方法중에서 가장 잘 알려져 있는 것은 χ^2(chi-square) 檢定과 K S 檢定이다. 本 研究에서는 適正 確率分布型의 檢定 方法으로 K-S 檢定을 택하였다.

K-S 檢定은 理論的 相對頻度曲線과 觀測資料의 相對頻度曲線, 즉 假定된 理論分布函數($F(x)$)와 累加度數의 實驗値($S_n(x)$)를 비교하여 양자의 差($|F(x)-S_n(x)|$)가 주어진 標本크기로부터 구한 일반적 限界値(D_n^α) 보다 작으면 有意水準 α로서 가정된 確率分布型을 받아들이는 것이다.[12] 이 방법은 기본적으로 표본자료의 누가확률분포와 가정된 이론 확률분포의 누가확률분포를 비교하는 것으로서 兩者의 최대편차가 표본의 크기와 유의수준 α에 따라 결정되는 한계편차보다 크면 분포는 기각된다. 검정하기 위해서는, 우선 資料를 크기순으로 再配列한 다음 자료치의 누가확률 $S_n(x)$와 이론확률분포의 累加分布函數($F(x)$)를 계산한 후, 검정하고자 하는 有意水準 α를 결정하고 이 α에 대한 限界偏差 D_n^α와 전 구간에서의 最大偏差 $D_n(=\max|F(x)-S_n(x)|)$을 비교하여 假定된 確率分布型의 適正 與否를 檢定한다.[9] 일반적으로 有意水準 α의 값으로는 0.05가 이용되고 있다.

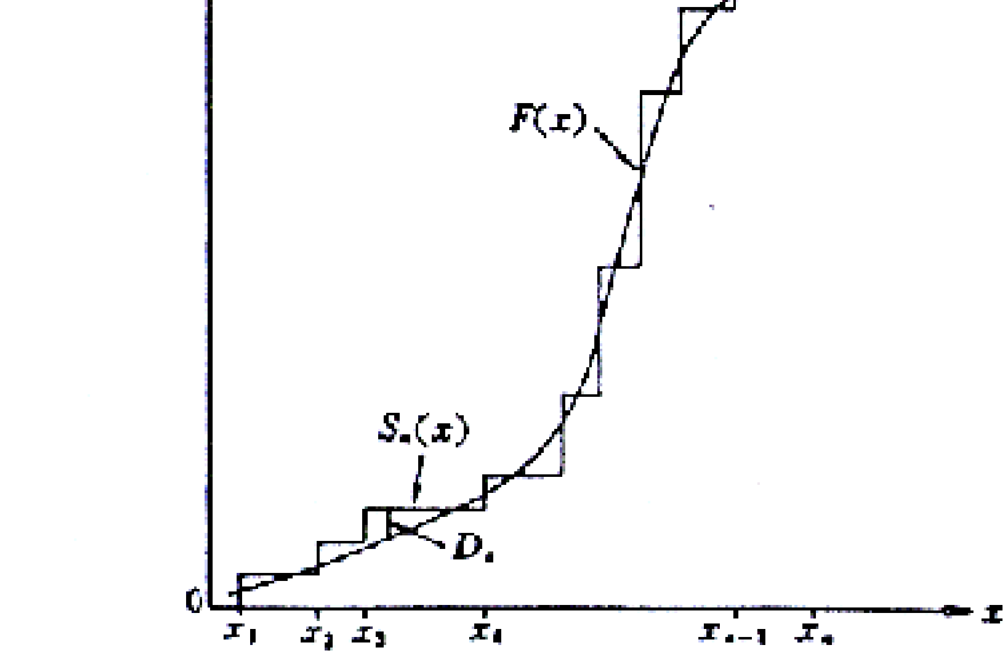

그림 1, 經驗的 및 理論的 累加確率分布曲線

4. 分析 및 考察

4.1. 適正 確率分布型

本 研究에서는 給水量의 確率分布型으로써 正規分布型과 對數正規分布型 두 가지를 검토 대상으로 하였으며, 검토 대상인 確率模型의 適合性 與否의 判定에는 K-S 檢定法을 사용하였다. 또한 사용 자료로는 全體資料 系列과 週最大値 系列 및 月最大値 系列에 대하여 검토하였다.

그림 2에 A市 90년 1人 1日 給水量의 全體資料 系列에 대한 柱狀圖와 頻度曲線을 나타냈고, 그림 3에는 A市 90년 1人 1日 給水量의 代數값에 대한 全體資料 系列의 柱狀圖와 頻度曲線을 나타냈다. 그림 2와 3에서 보면 1人 1日 給水量의 確率分布型이 두 경우 모두 正規分布型에 가까운 것이라고 판단된다.

표 4에는 週最大値 資料系列을 선정한 경우에 正規分布와 對數正規分布에 대한 K-S 檢定 결과를 수록하였고, 표 5에는 月最大値 系列을 선정한 경우에 正規分布와 對數正規分布에 대한 K-S 檢定 결과를 수록하였다.

표 4에서 살펴보면 週最大値 系列인 경우, 정규분포형에서는 최대편차가 0.1009에서 0.1503

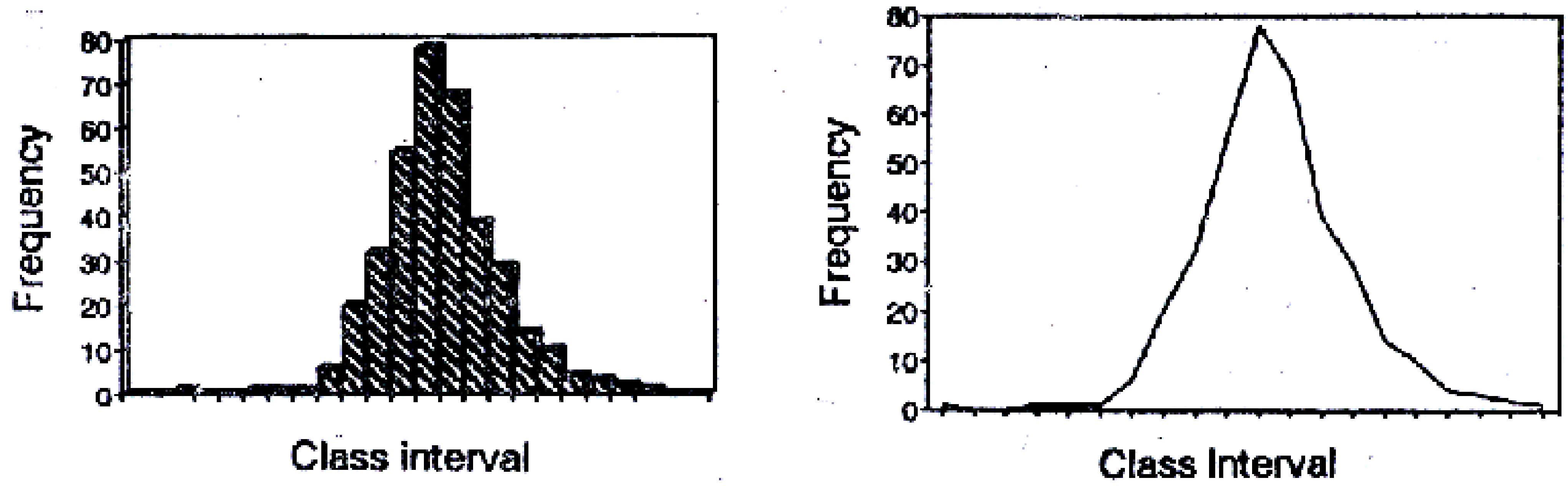

그림 2. 給水量 資料의 柱狀圖와 頻度曲線
(A市 90년 1일 1일 給水量)

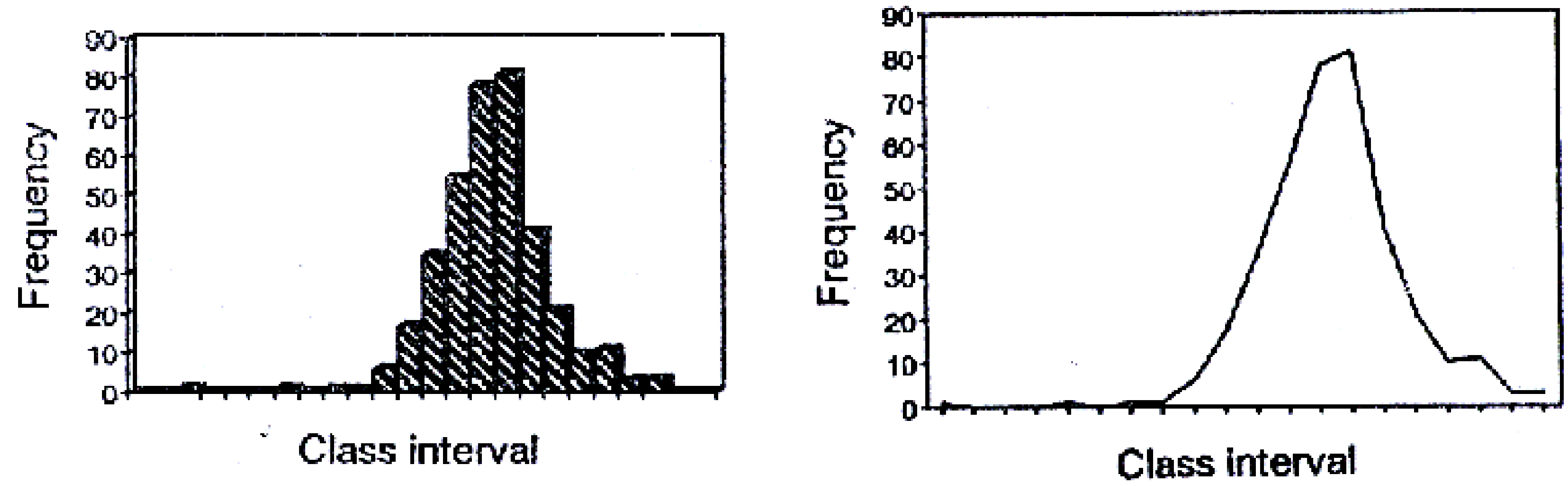

그림 3. 對數化한 給水量 資料의 柱狀圖와 頻度曲線
(A市 90년 1일 1일 給水量)

의 범위에 있고 對數正規分布형에서는 0.0893에서 0.1386의 범위에 있어서 양쪽 모두 有意水準 5%의 한계치인 0.19보다 작기 때문에 週最大値 系列의 분포형으로서 正規分布型과 對數正規分布型이 모두 다 適合하다고 할 수 있다. 표 5에서 보듯이 月最大値 系列인 경우에는 정규분포형에서는 최대편차가 0.1327에서 0.2141의 범위에 있고 對數正規分布형에서는 0.1203에서 0.2129의 범위에 있어서 이 경우 또한 양쪽 모두 有意水準 5%의 한계치인 0.375보다 작기 때문에 週最大値 系列의 분포형으로서 正規分布型과 對數正規分布型이 모두 다 適合하다고 판정된다.

따라서, 정규분포형이나 대수정규분포형을 이용하면 일부 기간의 급수량자료로도 해당 급수량의 발생빈도, 확률급수량의 산정 등 급수량의 통계적 해석이 가능하다고 할 수 있다.

4.2. 確率分布型을 利用한 日最大 負荷率의 檢定

將來의 日最大給水量에 대한 負荷率은 해당 도시에서 기록된 過去의 資料를 이용하여 推定하는 것이 일반적인 방법이다. 즉, 각 도시에서는

표 4. 週最大値 系列에 대한 K-S 검정 결과

구 분	Max. |F(x)−Sn(x)|						$Dn^{0.05}$
	A 시			B 시			
	1989년	1990년	1991년	1989년	1990년	1991년	
정 규 분 포	0.1503	0.1500	0.1397	0.1455	0.1009	0.1445	0.19
대수정규분포	0.1267	0.1386	0.1197	0.1585	0.0893	0.1366	

표 5. 月最大値 系列에 대한 K-S 검정 결과

구 분	Max. |F(x)−Sn(x)|						$Dn^{0.05}$
	A 시			B 시			
	1989년	1990년	1991년	1989년	1990년	1991년	
정 규 분 포	0.2141	0.2133	0.1326	0.2049	0.1829	0.1785	0.375
대수정규분포	0.1986	0.2129	0.1203	0.2085	0.1711	0.1813	

통상적으로 해마다 그 해의 日最大給水量을 기록으로 정리해 두고 있으며, 이들 자료를 이용하여 장래의 日最大給水量에 대한 負荷率을 추정하는 것이다. 이 때, 資料의 記錄年數가 많은 경우에는 이 日最大負荷率 자료들의 평균값으로 장래의 負荷率을 결정한다. 그리고 資料의 記錄年數가 적은 경우에는 통상 최근 2년 또는 3년 동안의 負荷率 중에서 가장 큰 값을 장래의 負荷率로 정하고 있다. 그러나 이렇게 資料의 記錄年數가 적은 경우에는 그 2~3년 사이에 나타나는 負荷率이 항상 재현할 가능성이 있는 그 도시의 대표성을 가진 負荷率들이라고 인정하기는 어렵다. 이러한 경우에는 대규모 단수예고, 異常 高溫 등의 수요증가 要因들이 동시에 작용하여 過大한 값을 나타낼 수도 있고, 또는 그 반대로 過小한 값만을 나타내는 資料의 集合일 수도 있다.

평상적인 대표성이 없는 아주 큰 값을 나타내거나 또는 아주 작은 값을 나타낼 수가 있다. 따라서 이러한 경우를 대비하여 자료의 기록년수가 적은 경우에는, 이들 자료의 적합성 여부를 검정하지 않고 그대로 장래의 負荷率을 추정한다는 것은 過大 또는 過小 推定의 憂慮가 있다. 이러한 경우에 給水量의 確率分布 特性을 이용하여 해당 負荷率의 적정 여부를 검정할 수 있다.

본 연구에서 검토한 A市와 B市의 경우에서도 이러한 상대적인 특이성을 발견할 수가 있었다. 두 도시 모두 3년간의 자료를 검토하였는데 B市의 경우에는 3년간의 負荷率이 1.178, 1.190, 1.18로 나타나 年度에 관계없이 거의 비슷한 값을 보이고 있으나, A市의 경우에는 3년간에 負荷率이 각각 1.653, 1.324, 1.452로 나타나 年度마다 값이 심하게 변동하여 偏差가 큼을 알 수가 있다. 따라서 이 경우에 3년 중 最大値인 1.653으로 장래의 日最大 負荷率을 결정하면 過大推定의 우려가 있다는 것은 어렵지 않게 짐작할 수가 있다. 이와 같은 상황을 고려하여 해당 負荷率이, 그 해의 전체적인 급수량의 변동상황을 고려할 때, 1년에 한번의 확률로 발생할 가능성이 있는 것인가 하는 發生確率의 적정 여부를 검정해야 한다. 이러한 경우에 給水量의 確率分布 特性을 이용하여 해당 負荷率의 적정 여부를 결정할 수 있다.

이렇게 비정상적으로 큰 負荷率이 나타나는 이유로는 해당일에 비정상적인 需要 原因 즉 斷水, 大規模 漏水, 異狀 氣溫 등이 발생하는 것으로 볼 수 있기 때문에 이에 대해 分析을 실시하였다. 따라서, 우선, 자료의 신뢰성을 확인하기 위하여 두 도시의 각 年度마다 日最大 給水量이 나타났던 날을 전후하여 특이한 상황이 발생하였는 가를 水量日報, 斷水日報, 氣溫, 氣候, 運轉日誌 등을 이용하여 조사하였다. 이 조사결과 A市의 89년도를 제외하고는 별다른 상황이 발견되지 않았다. 다만, A市의 경우 89년의 日最大 給水量은 8월 19일에 발생하였는데, 그 다음 날에 長時間 斷水가 있다고 미리 公告를 하였기 때문에 斷水日 전날인 19일에 다음날의 斷水에 대비하여 많은 양의 물을 備蓄해서 給水量의 非正常的인 增加가 招來되었다고 判明되었다. 이 경우처럼 給水使用量이 가장 많은 여름날에 長時間의 斷水가 같이 발생할 確率은 아주 작기 때문에 이 값이 1년에 1회 발생하는 負荷率이라고 인정하기는 어렵다.

본 연구에서는 이렇게 자료년수가 적은 경우에 각각의 負荷率의 적정여부를 검토하기 위한

방법으로서 給水量의 確率分布 特性을 이용하는 가능성에 대하여 검토하였다.

두 도시에 대해 각각 全體資料 系列과 週最大值 系列 그리고 月最大值 系列을 사용하여 급수량의 확률분포형으로부터 각 년도마다 1년에 1회 발생한 확률을 가진 負荷率을 구하고 그 결과를 표 6과 표 7에 나타내었다. 표 6과 표 7에서 살펴보면, A市의 89년도의 경우를 제외하면, 전체자료 계열을 이용하여 급수량의 확률분포형으로부터 구한 예측 負荷率과 실제 자료에 의한 負荷率의 誤差가 0.4%에서 8.5%까지 나타나고 있다. 그리고 週最大值 계열을 이용했을 때에는 오차가 0.0%에서 5.3%까지 변화하였고 月最大值 계열을 이용했을 때에는 오차가 0.0%에서 2.8%까지 변화하여, 경우마다 조금씩은 차이가 있으나, 일반적으로 日最大 給水量에 대한 負荷率을 검정할 때에 이용되는 자료로는 全體資料 系列, 週最大值 系列, 月最大值 系列 순으로 誤差가 작아짐을 알 수가 있다. 따라서 본 연구의 결과에 의하면 月最大值 계열을 이용하여 년 1회 발생할 확률의 負荷率을 구하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났으나, 月最大值를 이용할 경우에는 자료수가 1년에 12개 밖에 되지 않아 다른 특이한 경우에도 같은 결과를 보일지는 의문이 된다. 그러나 週最大值 계열을 이용할 경우에는 오차율이 비록 月最大值 계열보다는 조금 상회하나, 하나의 경우를 제외하고는 오차가 모두 5%이내에 들고 있고 자료수도 각 년도마다 52개를 이용할 수 있어 결과의 신뢰성은 더 크다고 할 수 있다.

또한 표 6, 표 7에서 보면 正規分布로 가정해서 계산한 값과 對數正規分布로 가정해서 계산한 값과의 차이는 아주 작게 나타나며, 이는 앞에서도 검토한 바와 같이 두 模型이 給水量의 確率分布를 잘 나타내고 있음을 확인해 주는 것이라고 볼 수 있다.

그리고 89년 A市의 경우에는 實際 資料上의 負荷率에 대한 誤差가 12~18%(표 6의 89년—a)로서 다른 해의 경우보다 아주 크다는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 대규모 斷水豫報에 의한 非正常的인 수요 때문이며, 두번째 순위의 負荷率인 1.407(표 6의 89년—b)과 비교했을 때는 오차가 0.2%에서 3.1%로 훨씬 줄어듬을 볼 수 있다. 따라서 A市의 89년 負荷率로는 두번째 값인 1.407을 사용하거나, 또는 確率分布로부터 구한 1.402에서 1.447사이의 값을 이용하는 것이 합리적이라고 생각된다.

A市의 89년도에 실제로 발생한 負荷率 1.653이 어느 정도의 확률을 가진 것인가를 確率分布曲線을 이용하여 구해 본 결과 再現期間이 14년이었다. 즉 이와 같은 비정상적인 급수수요가 발생할 確率은 14년에 1번 정도이며, 자료가 적은 도시에서 이와 같은 값을 그대로 그 해의 日最大 負荷率로 인정하여 다른 해의 자료와 그

표 6. A市 경우의 實際 負荷率과 豫測값과의 비교

구분		1989년—a	1989년—b	1990년	1991년
실 자료의 負荷率		1.653*	1.407**	1.324	1.452
정규 분포	全體資料系列	1.378(16.6%)	1.378(2.1%)	1.239(6.4%)	1.343(7.5%)
	週最大值系列	1.402(15.2%)	1.402(0.4%)	1.276(3.6%)	1.381(4.9%)
	月最大值系列	1.447(12.5%)	1.447(2.8%)	1.307(1.3%)	1.448(2.8%)
대수 정규 분포	全體資料系列	1.451(15.3%)	1.451(3.1%)	1.272(3.9%)	1.418(2.3%)
	週最大值系列	1.410(18.4%)	1.410(0.2%)	1.282(3.2%)	1.396(3.9%)
	月最大值系列	1.437(16.3%)	1.437(1.4%)	1.310(1.1%)	1.461(0.6%)

*: 實際 日最大 給水量에 대한 負荷率

**: 두번째 順位의 給水量에 대한 負荷率

괄호안에 숫자는 실제 負荷率에 대한 추정된 負荷率의 誤差率이다.

$$\text{誤差率} = \left| \frac{(\text{實際 負荷率} - \text{推定 負荷率})}{\text{實際 負荷率}} \right| \times 100\%$$

表 7. B市 경우의 實際 負荷率과 豫測값과의 비교

구 분		1989년	1990년	1991년
실 자료의 負荷率		1.178	1.190	1.180
정규분포	全體資料系列	1.243(5.5%)	1.195(0.4%)	1.194(1.2%)
	週最大値系列	1.224(3.9%)	1.182(0.7%)	1.176(3.4%)
	月最大値系列	1.197(1.6%)	1.170(1.7%)	1.180(0.0%)
대수정규분포	全體資料系列	1.278(8.5%)	1.214(2.0%)	1.221(3.5%)
	週最大値系列	1.240(5.3%)	1.187(0.3%)	1.180(0.0%)
	月最大値系列	1.202(2.0%)	1.170(1.7%)	1.182(0.2%)

比重을 같이 하여 장래의 負荷率을 추정하면 過大設計가 될 수 있음을 암시하고 있다. 그러나 자료가 많은 도시에서는 일반적인 경우에는 이와 같은 한 두가지의 특이한 값들이 전체에 큰 영향을 주지는 않는다. 왜냐하면 資料數가 많을 경우, 예를 들어, 30년의 자료를 갖고 있을 경우에는 이러한 특이한 해의 자료는 30개 중의 하나이고 평균에 의하여도 자료의 특이성은 많이 상쇄되기 때문이다.

5. 結 論

本 硏究는 首圖圈內에 위치한 두 都市를 對象으로 1日 給水量에 대한 適正 確率分布型을 제시하였고, 日最大 負荷率에 대한 檢定方法을 제시하였다.

1. 正規分布型과 對數正規分布型 모두 1日 給水量의 確率分布型으로서 適切하다고 判斷된다.
2. 給水量의 確率分布 特性을 이용하여 日最大 給水量에 대한 負荷率의 適合性 與否를 判定할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Ang, Alfredo H-S. and Tang, Wilson H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, John Wiley & Sons Inc., 1975, pp. 261-285.
2. Coulbeck, Bryan et al., Computer Applications in Water Supply, John Wiley & Sons Inc., 1988, pp. 268-288.
3. Haan, Charles T. Statistical Methods in HYDROLOGY, The Iowa University Press, 1979.
4. Irwin, Miller and Freund, John E., Probability and Statistics for Engineers, Prentice-Hall, Inc., 1985, pp. 5-241.
5. Larsen, Richard J., An Introduction to Probability and its Applications, Prentice-Hall, Inc., 1985, pp. 305-346.
6. Siegmund, Brandt, Statistical and Computational Methods in Data Analysis(Second), North-Holland Publishing Company, 1976.
7. Walski, Thomas M. et al., Water Distribution Systems, Lewis Publishers Inc., 1990, pp. 3-40.
8. Walter, Ledermann et al., Handbook of Applicable Mathematics, Volume VI: Statistics, John Wiley & Sons Inc., 1984, pp. 783-845.
9. 石居進, 生物統計學入門, 培風館出版株式會社, 1975.
10. 岩井重久 外, 水質データの統計的 解析, 森北出版株式會社, 1980.
11. 日本水道協會, 水道施設設計指針・解說, 日本水道協會, 1990.
12. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1991.