

이론 곡선법에 있어서 포화량 결정의 영향

현인환* · 김우종** · 이제인***

본 연구는 서로 특성이 다른 8개의 도시를 검토 대상지역으로 선정하여 사용수량의 추정방법 중 이론 곡선법을 이용하는 경우의 포화값K의 영향을 비교 검토한 것이다. 이 연구결과는 상수사용량을 예측할 때 일어날 수 있는 오류를 최소한으로 줄이고 해당도시의 예측값을 결정할 때 보다 합리적으로 접근하는데 기초자료가 될 수 있을 것이다.

1. 대상지역의 선정

대상 도시를 선정함에 있어서 각기 도시 특성을 충분히 살리며 인위적인 인구증가가 적고 결측치가 없으며 자료의 연수가 많고 사용수량이 많은 도시들 위주로 8개의 도시를 선정하였다. 이들 도시는 지리적으로도 떨어져 있을 뿐 아니라 자료년수도 비교적 풍부하며 행정구역의 변화도 적은 도시들이다. 인구수나 수도 보급률은 대도시로서의 특성을 갖추고 있으나 사용수량의 추세는 크게 2가지의 패턴을 보임을 그림-1을 통해 알 수 있다. 그림-1은 대상지역으로 선정한 도시들의 1인 1일당 유수수량(lpcd)의 추이를 나타낸 것이다.

이러한 도시별로 상이한 사용수량 추세의 패턴을 구분하여 A그룹과 B그룹으로 구분하였다. A그룹은 사용수량이 최근까지도 지속적인 상승을 보이고 있는 도시이다. 반면 B그룹의 도시들은 사용수량의 추이가 포화치에 거의 도달한 형태를 띄고 있으며 완만한 상승을 이루고 있는 것이 A그룹의 도시들과 현격한 차이를 보임을 알 수 있다.

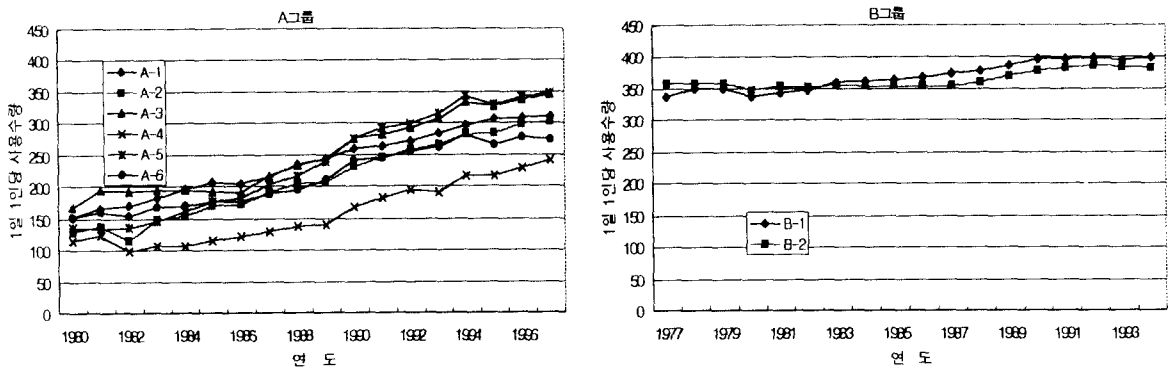


그림-1 대상지역 A그룹과 B그룹의 도시들의 사용수량 추이

* : 단국대학교 토목환경공학과 교수

** : (주)도시와 사람

*** : 단국대학교 대학원 토목공학과 박사과정

그림-2에서 알 수 있듯이 A그룹의 경우 가장 두드러진 특징으로 연평균증가율이 3%이상으로 급격한 증가를 보이고 있으며 B그룹의 경우 1%이하의 완만한 증가율을 보이고 있다.

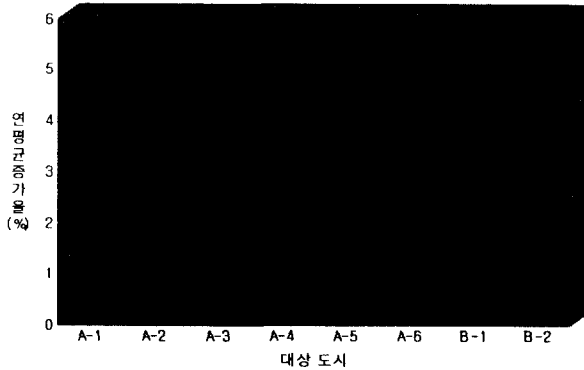


그림-2 대상지역 도시의 연평균 증가율

2. K값 예측방법

이론 곡선법의 포화치 K를 결정하는 방법에는 여러 가지가 있으며 일반적으로 최소자승법과 삼군법을 많이 사용하고 있다. 일본 수도시설설계지침·해설에는 K값의 결정법중의 하나로 삼군법을 제시하고 있으나 그 특성과 적용한계는 밝히지 않고 있다.

삼군법은 이론곡선식 $y = \frac{K}{1 + e^{-(a-bx)}}$ 을 변형, 치환하여 $Y = C + ABx$ 의 형태로 나타낸 다음, 자료를 n개의 단위로 3개의 군으로 나누어, 각군의 합계를 구하여 각각 $\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$ 라 하여 이들 값을 사용하여 이론곡선법의 K값을 산출하는 방법이다.

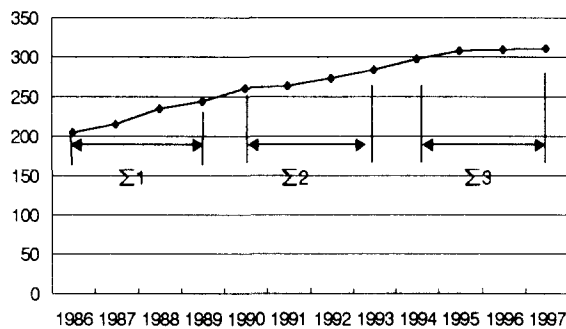


그림-3 삼군법의 적용방법

이론곡선식에서의 최소자승법의 사용은 $y = \frac{K}{1 + e^{-(a-bx)}}$ 을 변형, 치환하여 $Y = aX - b$ 의 형태로 나타낸 다음, 정수 a, b의 예측을 최소자승법을 이용하여 산출하여 K값을 산출하는 방법이다.

이외의 K값의 추정방법에는 타도시와의 비교나 기존의 사용수량의 추이 상위의 계획 목표를 고려하여 설계자가 결정하는 경우가 있다.

3. 분석 및 고찰

① 삼군법의 적용한계

삼군법으로 대상도시 8개의 각 자료년수에 대해 K값을 산출한 결과를 그림-4에 나타내었다. 포화값K를 결정하는데 삼군법을 이용하기 위해서는 자료의 $\Sigma 1, \Sigma 2, \Sigma 3$ 의 값이 점차적으로 줄어들어야 하며 Bn값이 K값을 추정하기에 가능한 어떤 범위 내에 있어야 한다. 그렇지 않은 경우에는 포화값K가 음수로 나오거나 사용수량으로 쓰기에는 너무 큰 값이 산출된다.

삼군법을 8개 도시에 적용하여 본 결과, A그룹의 도시에서는 대부분의 자료년수에 따른 K값을 산출할 수가 있었지만, B그룹의 경우에는 대부분의 자료년수에서 K값을 산출할 수 없었다. 본 연구결과를 통하여 본 삼군법의 적용시의 한계로는 대상도시의 추이가 어느 정도 상승추세를 가지고 있어야만 추정하기에 적합하며, 또한, 그러한 상승추세가 있다고 하더라도 자료의 변동폭이 적어야만 삼군법을 사용하여 K값을 산출함이 가능하다는 것이다.

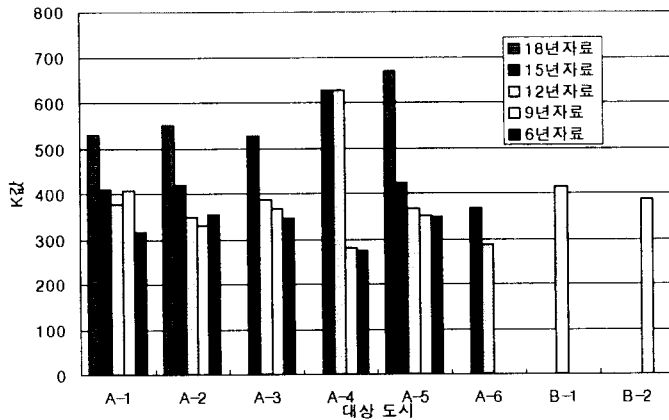


그림-4 삼군법의 적용에 의한 K값의 산출

② 삼군법과 최소자승법의 차이

위의 그림-4의 A-1과 A-2의 결과와 이 도시의 자료년수에 따른 K값을 최소자승법으로 구한 것을 같이 나타낸 것이 그림-5이다. 자료길이에 따른 삼군법과 최소자승법으로 구한 포화값 K를 비교해보면 삼군법으로 구한 포화값K가 대부분 최소자승법으로 구한 포화값 K보다 크고 최소자승법이 큰 경우에도 그 차이가 매우 적다는 것을 알 수 있다. 또한 자료의 년수에 따라 산출된 K값의 최소값과 최대값의 차이가 최소자승법으로 산출한 경우보다 삼군법의 경우가 더 크다.

따라서, 이러한 K값을 이용하여 사용수량을 예측하면 삼군법의 경우는 최소자승법으로 예측한 경우보다 10년 후의 예측값에서 최대값과 최소값의 차이가 크게 되어 과대추정의 우려가 있다.

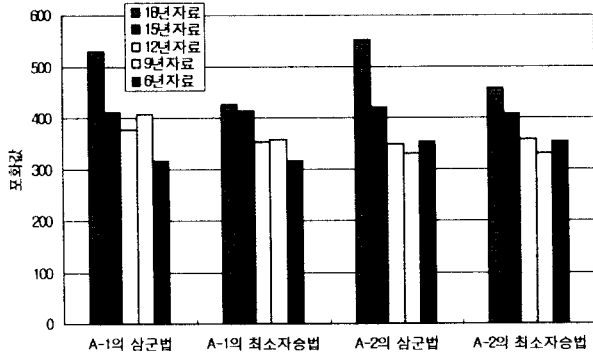


그림-5 최소자승법과 삼군법의 K값(A-1, A-2)

③ 도시의 사용수량 추세에 따른 영향

포화치에 거의 도달한 B그룹 도시의 사용수량은 이론곡선에서 포화값에 거의 도달해서 완만한 직선의 형태를 띠고 있다. 따라서 포화값K를 삼군법과 최소자승법으로 예측하거나 또는 포화값 K를 임의로 400, 500, 600, 1000과 그 이상으로 하여도 그래프에서 포화값 별로 예측하는 미래 사용수량은 그 차이가 크게 나타나지 않는다. B-2는 15년 자료를 이용해 포화값K를 임의로 정해서 이론곡선법에 이용하였다.

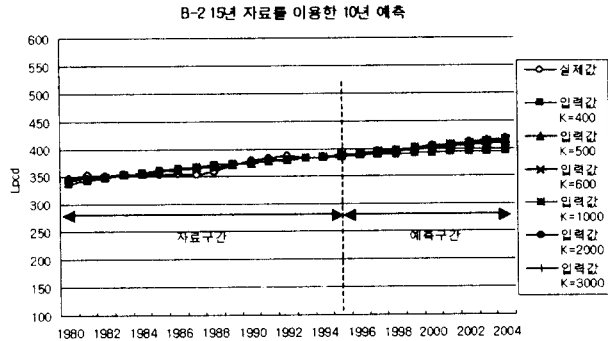


그림-6 B-2의 K값에 따른 10년 예측

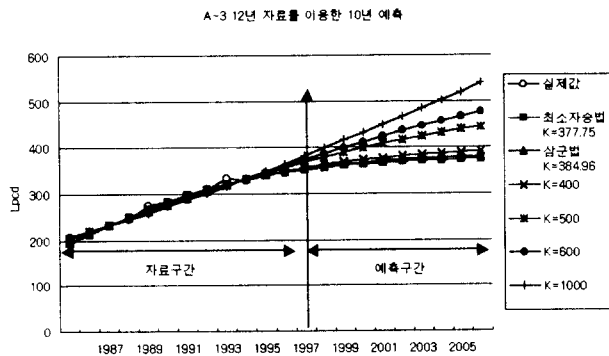


그림-7 A-3의 K값에 따른 10년 예측

급속한 성장단계에 있는 A그룹 도시들의 사용수량은 아직 포화치에 도달하지 않았기 때문에 포화값K를 삼군법과 최소자승법으로 구하거나 또는 임의로 400, 500, 600, 1000으로 하면 전체 이론곡선법 그래프에서 예측하는 미래 사용수량의 차이가 매우 크다.

이러한 특성은 모든 자료구간에 대하여 일정한 것은 아니다. 그림-8은 A-5의 17년 자료를 이용하여 과거 12년을 자료구간으로 하여 10년 후를 이론곡선법으로 예측한 결과이다. 이 결과를 보면 과거의 추세가 이론곡선법의 추세를 보이지 않고 오히려 근년에 보다 급격한 상승을 보이는 경우에는 어떠한 K값에도 예측곡선은 비슷한 결과를 보이지만 실제값과의 차이가 상당한 차이가 있게 된다. 때문에 매우 급격한 상승을 보이는 경우에는 최소자승법의 경우에는 오히려 과소추정의 우려가 있다.

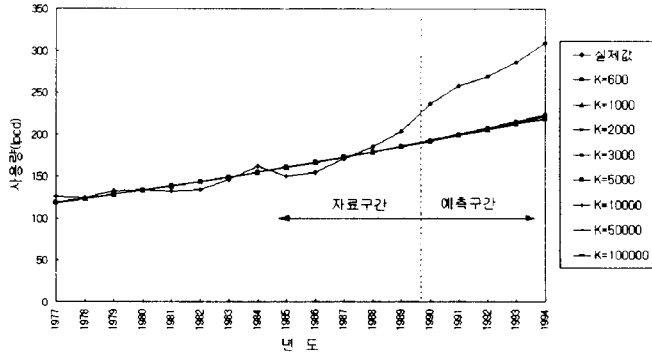


그림-8 이론곡선식의 k값 변화에 따른 예측치의 변화

따라서, 사용수량의 추세가 급격한 도시의 경우, 이론곡선법을 적용하여 예측값을 구할 때에는 K값 산정에 신중하여야 하며, 이론곡선법외의 방법을 고려할 필요가 있을 수 있다. 이론곡선법은 등비급수와 등차급수가 통합한 사용수량 증가형태를 나타낼 수 있는 방법으로 이러한 특성이 나타나는 도시에 적용해야 한다.

4. 결론

1. 포화값K를 결정하는데 삼군법을 이용하기 위해서는 자료의 $\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$ 의 값이 점차적으로 줄어들어야 하며 Bn값이 어떤 범위 내에 있어야 한다. 그렇지 않은 경우에는 포화값K가 음수로 나오거나 사용수량으로 쓰기에는 너무 큰 값이 산출된다.
2. 삼군법을 이용한 경우가 최소자승법을 이용한 경우보다도 산출된 포화값(K)이 일반적으로 더 크게 나타났다.
3. 사용수량의 증가율이 아주 작은 도시인 경우에는 포화값의 사용수량 예측에 미치는 영향은 작으나, 사용수량이 현저하게 증가하고 있는 도시의 경우에는 포화값의 결정이 장래의 예측에 미치는 영향이 클 수 있다. 합리적인 예측을 위해서는 해당 도시의 특성을 고려하여 적절한 자료의 길이를 결정하여야 하며, 이론곡선법외의 방법을 고려할 필요가 있다.

참고문헌

1. 小泉明 外, "都市における水需要變動の統計的分析" 日本水道協會雜誌, 第65卷 第5號, 1996. 5, pp. 32~41
2. 현인환·목동우, "상수급수량의 단기예측", 대한상하수도학회지, 제9권, 1995. 1, pp. 17~47
3. 김광임, "상수도 수요예측을 반영한 공급정책 방안연구 상수도 수요 모형 개발", 한국환경기술개발원, 1996. 12, pp. 34-35
4. 각시도, 각시도통계연보, 1970~1995년
5. 일본총리부통계국, 일본통계연감, 1978~1997년, 20권