

생활용수 수요추정방법 개선에 의한 하수발생량 예측에 관한 연구

김 재 윤
한국수자원공사 수자원연구소
(2002년 8월 3일 접수; 2002년 12월 11일 채택)

A study on the prediction of the generation of domestic sewage by improvement of water demand estimation

Jae-Yun Kim

Korea Water Resources Corporation, Water Resources Research Institute, Daejeon 305-811, Korea
(Manuscript received 3 August, 2002; accepted 11 December, 2002)

This study was performed to improve water demand estimation and analyze correlation between generation of domestic sewage and domestic water use.

To improve the prediction of water demand estimation, new water demand equation was developed. The results is as follows.

$$\ln Q_t = \beta_0 + \beta_1 \ln P_t + \beta_2 \ln Y_t + \beta_3 \ln H_t + \varepsilon_t$$

By using the statistical analysis of the "generation of domestic sewage" and "domestic water use", the regression equation between them is formed.

The result is as follows.

$$\text{Generation of domestic sewage} = 0.8487 \times \text{Domestic water use} + 684.57 \quad (\bar{R}^2 = 0.972)$$

Key words : Generation of domestic sewage, Domestic water use, Regression equation, Water demand estimation

1. 서 론

우리나라는 연평균 강수량이 1,274mm로 비교적 풍부한 편이라고 할 수 있으나, 계절적으로 강수편차가 심하고 홍수시에 대부분 바다로 유출됨으로써 수량 확보에 매우 불리한 여건을 갖고 있다. 반면에 경제사회 발전에 따른 국민생활수준 향상과 도시화·산업화로 인한 특정지역의 용수수요가 대량화·집중화됨에 따라 용수수요는 지속적으로 증가할 전망이다.

이제까지 우리는 물부족 해소는 용수공급 확대만이 유일한 방법인 것으로 인식하여 왔다. 그러나 최근에 이르러 우리나라는 가용 수자원의 부족, 댐개발 적지의 고갈, 지역주민의 반발 등으로 용수원의 적기확보가 난관에 봉착하고 있다. 갈수록 어려워지

는 용수원 확보로, 급증하는 용수수요를 어떻게 충족시킬 것인가에 대한 진지한 논의가 있어야 한다.

용수수급의 효율화는 용수수요 측면과 용수공급 측면을 조화롭게 운용함으로써 가능해진다. 이제는 용수수요 측면을 고려하여야 할 시점에 와 있고, 효율적인 수자원관리 정책이 어느 때보다 절실히 요구되고 있다. 용수수요를 정확하고 신속하게 예측함은 용수공급능력의 확대와 동일한 효과가 발생할 것이다.

이러한 수자원정책과 상수도 장기계획에 있어서 수도시설규모를 결정하고 수도시설을 효율적이고 경제적으로 운용하기 위한 설계기준자료와 경영의 기본정보가 되는 장래 수요예측은 매우 중요하고 필수적인 과정이다. 용수수요는 인구, 생활양식, 문화수준, 산업구조, 용수요금, 소득, 기후조건 등 각종 요인의 영향을 받는다. 이러한 요인들의 장래 상황을 예측한다는 것은 매우 어려운 일이므로 장래의 용수수요예측을 한다는 것도 어려운 일이다.

장래 용수수요 예측은 효율적인 수자원개발 및

Corresponding Author : Jae-Yun Kim, Korea Water Resources Corporation, Water Resources Research Institute, Daejeon 305-811, Korea
Phone : +82-42-860-0377
E-mail : jykim@kowaco.or.kr

공급계획 수립에 있어서 가장 먼저 고려되는 요소로서 정확성과 신뢰성 있는 예측방법을 토대로 이루어져야 한다. 그 동안 장래 생활용수 수요예측은 인구, 급수보급을 및 1인1일급수량을 토대로 하는 원단위 방법이 이용되어 왔다. 그러나 최근에는 경제제로써의 물에 대한 인식과 가치가 높아짐에 따라 수도요금 등의 경제변수를 고려하고 아울러 절수기기 설치, 노후관로 교체, 중수도 설치 등 수요관리 대책에 추진에 의한 물 사용량의 감소를 반영하여 장래 용수수요를 예측해야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 단순히 과거의 물 사용량 추이를 기준으로 하는 원단위에 의한 수요예측 방법을 개선하여 물의 가격과 소득 등 사회경제적 요인을 고려한 물수요 함수식을 개발하고 하수발생량과의 관계를 분석하여 수요량과 하수발생량에 대한 회귀식을 구성함으로써 장래 하수발생량에 따른 처리시설 계획시 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 자료는 환경부에서 발간하고 있는 환경통계와 상수도통계 자료를 이용하여 새로운 물수요 함수식 개발과 하수발생량을 예측하였다.

상수도수요량 자료는 1988년부터 1998년까지의 시도별 통계년감과 환경부의 상수도통계 자료를 이용하였으며, 급수인구 자료는 환경부의 상수도통계 자료를 이용하였다. 소득은 통계청 자료분석과에서 발표한 지역내총생산(Gross regional domestic product : GRDP) 자료(통계청의 '95년 기준 실질소득 자료)를 이용하였으며, 수도요금은 환경부의 상수도통계를 이용하여 '95년기준 소비자 물가지수로 나누어 실질가격으로 변환하여 사용하였다.

하수발생량은 1980년부터 1994년까지 환경부의 환경통계 자료를 이용하였다.

이들 자료를 이용하여 새로운 물수요 함수식을

개발하여 통계적 분석을 통해 하수발생량과의 회귀식을 구성하였다.

3. 분석결과 및 고찰

3.1. 물수요 함수식 개발을 위한 설명변수 선정 및 상관도 분석

생활용수 수요는 수자원특성, 상수도요금, 생활양식 등과 같은 많은 지리적, 사회적, 경제적 환경에 영향을 받게 된다. 우리나라는 '80년대 후반에 접어들면서 생활수준이 향상됨에 따라 생활양식이 서구화되어 물을 많이 쓰게되는 패턴으로 변화해 왔다. 이렇게 될 때 생활용수 수요량은 한 나라의 경제수준을 나타내는 간접지표인 GNP나 GDP와 연관시켜 거시적으로 추측해 볼 수 있다. IWMI(International Water Management Institute)에서 1990년에서 2025까지 세계 용수수요와 공급에 관한 시나리오를 설정한 결과에서도 각 나라의 GDP와 용수수요를 추계하였으며, 그 관계는 (Fig. 1)과 같다.

이와 같은 방법으로 우리나라도 GDP(1995년 불변가격 기준)성장에 따른 용수수요 변화를 분석한 결과 (Fig. 2)에서와 같이 상당히 유의성이 높은 것을 알 수 있어 국가 전체의 거시적 생활용수 예측에 대한 대략적인 기본선을 그어볼 수 있다.

함수식의 설명변수 선정에 위하여 1차적으로 급수인구, 지역내총생산(Gross regional domestic product : GRDP), 세대수, 수도요금, 소비자물가지수, 농업인구비율, 에너지총수요, 주택보급율, 상수도보급율, 도시근로자가계소득, 수도요금/가계소득, 경기종합지수 등 가능한 한 모든 변수를 고려하여 수요에 대한 설명도를 분석하였고, 계량경제적 접근을 위하여 소득 및 요금항목은 필수적으로 반영하였다.

분석결과, 급수인구는 소득, 수도요금만으로 추정식을 도출하기에는 과거의 기초자료가 안정되지 못

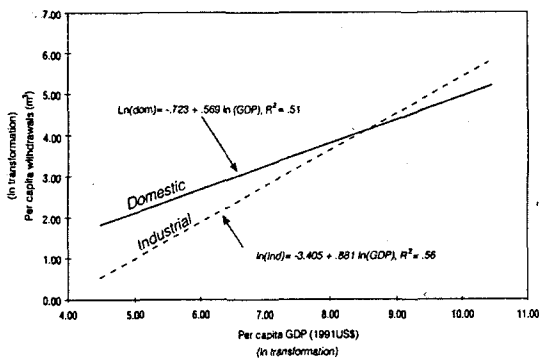


Fig. 1. Relation of GDP and water demand.

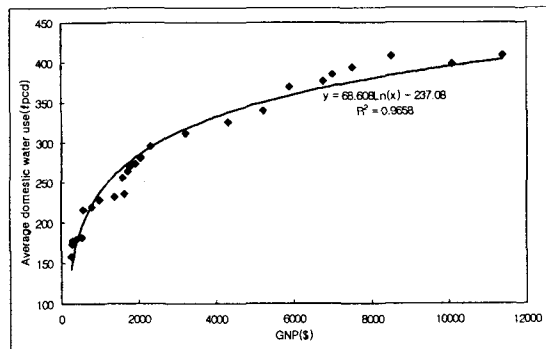


Fig. 2. Relation of GNP and water demand in each Country in Korea.

한 실정에서 급수인구가 가장 현실성 있는 자료로 확보가능하여 선택하였으며, 세대수는 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하고 인구와 상관성이 높은 변수로 배제하였다. 소비자물가지수는 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제하고 수도요금 상승지표로 활용하였으며, 농업인구비율은 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제하였고, 에너지 총수요는 지자체별 과거 및 장래치 전망자료 확보가 곤란하고 소득변수와 상관성이 높은 변수로 배제하였다.

그리고 주택보급율은 인위적인 지표로서 발표수치의 변동이 심하고 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제하였으며, 상수도보급율은 수요가 아닌 인위적 공급요인이므로 배제하였고, 도시근로자 가계소득은 지역내총생산으로 대체하였다. 또한 수도요금/가계소득은 소득과 수도요금 변수로 대체하였고 경기종합지수는 과거 및 장래의 지역별 자료가 없어 설명변수에서 제외하였다.

따라서 장래 추정치가 매우 불확실하거나 예측이 불가능한 변수는 제외시켰으며, 또한 서로 특성이 유사하여 변수간 다중상관성을 보이는 항목은 제외하고 가능한 한 함수식을 단순화시키고자 하였다.

상기 방법에 의해 채택된 변수는 수도요금, 급수인구, 지역내총생산(Gross regional domestic product : GRDP)을 설명변수로 물수요 함수식을 구성하였다.

3.2. 시계열 자료에 대한 안정성 검정

물수요 함수식의 가용성 여부는 장기적인 설명변수의 취득 가능 여부가 관건이 된다. 장래 수요예측을 위해서는 각 수요함수의 독립변수에 대한 장기적인 예측치가 필요한데 이때 용수수요 추정을 위한 설명변수의 예측이 가장 어려운 과정이다. 본 연구에서는 정확한 자료가 확보 가능한 설명변수 위주로 상관성을 분석하여 추정식을 제시하고자 한다. 지금까지는 가정용과 비가정용을 통칭하여 평균요금을 적용하였으나 실제적으로 가정용과 비가정용의 사용패턴은 다르게 나타나며 현실화와 및 가격에 대한 탄력도도 차이가 나기 때문에 과거와

는 다르게 가정용과 비가정용으로 사용량을 구분하고 가격도 각각 적용하였다.

개별 변수들의 시계열 자료에 대한 안정성 검정은 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정과 필립스-페론(Pillips-Perron) 검정법을 이용하였다. 각 검정법에 대해서는 설명변수가 일정한 기준치나 시간추세를 가질 수 있기 때문에 이러한 추세를 고려하여 상수와 시간변수를 포함하였고, 상수와 시간변수의 포함여부에 따라 상수와 시간변수 모두 포함하지 않는 경우, 상수만 포함하는 경우, 상수와 시간변수 모두 포함하는 경우 등 3가지 모형을 설정하여 각각 검정하였다. 검정식은 귀무가설이 단위근이 있다면, 만약 검정 통계량이 임계치보다 크면 단위근이 존재하는 것이다. 이때 사용한 자료는 1985년부터 1998년까지의 연평균 자료로서 상수수요량, 수도요금은 시도별 통계연감, 상수도통계를 이용하였으며, 수도요금은 '95년기준 소비자 물가지수로 나누어 실질가격으로 변환하여 사용하였다. 소득은 지역내 총생산지수(GRDP)를 이용하였으며 통계청의 '95년 기준 불변가격자료를, 급수인구는 시도별 통계연감과 상수도통계 자료를 각각 사용하였다.

단위근 검정 결과 가격과 소득, 급수인구 모든 변수들이 임계치보다 큰 것으로 나와 단위근을 가지는 것으로 나왔다. 따라서 단위근을 가진다는 것이 시계열을 가지고 단순회귀 모형에 의한 방법론으로 추정시는 가성회귀를 일으킬 수 있다는 것을 의미한다. 즉 추정치의 편의(bias)가 존재하고 비효율적인 추정치이므로 수요함수에 대한 공적분 관계에 대한 검정이 필요하다.

3.3. 물수요함수의 탄력성 추정 및 공적분 검정 결과

물수요함수의 공적분 검정은 잔차항을 이용하는 방법(Residual Based Method)을 사용하여 분석하였으며 공적분 검정과 탄력성 추정을 위한 방정식은 (1)식과 같다. 이때 탄력성 추정 및 공적분 검정결과는 (Table 1)과 같다. 함수를 도출하기 위해서는 수요량과 설명변수간에 공적분 관계가 성립되어야 하는데, ADF 검정결과 공적분 관계가 없는 것으로 나

Table 1. Deduction of elasticity and result of covariance test

	elasticity of price	elasticity of income	elasticity of population served by water supply system	ADF Test		Phillips-Perron Test		R ²
				t-statistic	p-value	t-statistic	p-value	
Domestic water use	-0.1838 (-1.210)	0.5246 (3.015)	1.3244 (3.621)	-1.6425	0.4280	-3.8257	0.0150	0.99
Non domestic water use(I)	0.1228 (0.800)	0.1546 (0.454)	2.4118 (3.172)	-2.8943	0.0811	-3.9996	0.0110	0.98
Non domestic water use(II)	-0.1161 (-0.643)	1.2111 (12.938)	-	-1.2367	0.6129	-2.8941	0.072	0.97

타나 이 함수관계에는 자기상관뿐만 아니라 이분산(Heteroskedasticity)이 존재하는 것으로 판단되어 필립스-페론(Pillips-Perron) 검정결과를 적용하였다.

$$\ln Q_t = \beta_0 + \beta_1 \ln P_t + \beta_2 \ln Y_t + \beta_3 \ln H_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

여기서, Q_t : 상수수요량(가정용, 비가정용), P_t : 수도물가격(가정용, 비가정용), Y_t : 소득(GRDP), H_t : 급수인구

필립스-페론(Pillips-Perron) 검정법을 적용한 결과 가정용수와 비가정용수, 급수인구를 제외한 비가정용수 등 모두가 공적분 관계가 있는 것으로 나타났으며 비가정용수의 경우 급수인구가 가격변수의 설명력을 빼앗아 가격 탄력성이 비정상적인 양의 부호를 갖게 하므로 급수인구를 제외한 비가정용수를 이용하였다. 이에 따라 물수요함수식은 가정용과 비가정용으로 사용량을 구분하여 지자체별로 별도의 함수식을 제시하였다. (Table 2)는 대표적인 광역시와 지자체에 대한 장래 가정용수 수요산정을 위한 물수요 함수식을 나타낸 것이다.

3.4. 물수요 함수식에 의한 수요량과 하수발생량의 회귀식 구성

우리 나라의 하수발생량은 연도별로 계속 증가 추세에 있으며, 이를 연도별로 살펴보면 (Fig. 3)과 같다.

(Fig. 3)에서 보는 바와 같이 하수발생량이 상수 사용량보다 크게 나타나고 있는데, 이는 우리나라의 하수관거가 대부분이 합류식관거로 우수 등의 유입과 관거의 오접이나 파손으로 인한 불명수량 등이 유입됨에 기인한 것으로 판단된다.

하수발생량과 급수량과는 매우 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 이들 변수 사이의 회귀식은 다

Table 2. The Regression equation of water demand at each city

	Regression equation of water demand
Seoul	$Q_t = 1.304 H_t + 0.527 Y_t + 0.004 P_t - 3.241$
Busan	$Q_t = 4.063 H_t + 0.560 Y_t - 0.862 P_t - 21.425$
Daegu	$Q_t = 1.820 H_t + 0.651 Y_t - 0.848 P_t - 3.445$
Incheon	$Q_t = 1.547 H_t + 0.325 Y_t - 0.715 P_t + 0.632$
Gwangju	$Q_t = 1.187 H_t + 0.421 Y_t - 0.974 P_t + 4.277$
Daejeon	$Q_t = 2.079 H_t + 0.937 Y_t - 0.307 P_t - 10.109$
Gyeonggi	$Q_t = 0.822 H_t + 1.267 Y_t - 0.263 P_t - 4.241$
Gangwon	$Q_t = 1.505 H_t + 0.702 Y_t - 0.373 P_t - 3.704$
Chungbuk	$Q_t = 0.437 H_t + 1.015 Y_t - 0.488 P_t + 1.309$
Chungnam	$Q_t = 0.514 H_t + 0.827 Y_t - 0.522 P_t + 2.543$
Jeonbuk	$Q_t = 1.771 H_t + 0.487 Y_t - 0.250 P_t - 4.508$
Jeonnam	$Q_t = 0.692 H_t + 0.761 Y_t - 0.197 P_t + 0.242$
Gyeongbuk	$Q_t = 1.242 H_t + 0.576 Y_t - 0.103 P_t - 2.477$
Gyeongnam	$Q_t = 0.543 H_t + 0.597 Y_t - 1.142 P_t + 8.306$
Jeju	$Q_t = 1.076 H_t + 0.877 Y_t - 0.222 P_t - 3.039$

음과 같이 구성되었다.

$$\text{하수발생량} = 0.8487 \times \text{급수량} + 684.57 \quad (2)$$

$$(\overline{R^2} = 0.972)$$

4. 결 론

지금까지의 장래 생활용수 수요 예측시에는 주로 과거의 1인1일 평균급수량 추이를 그대로 반영하여 왔다. 그러나 이와 같은 방법은 최근 수요관리 위주의 물질약 정책과 수도요금, 소득수준, 산업구조 등 사회·경제적 변화를 반영하는데 어려움이 있다.

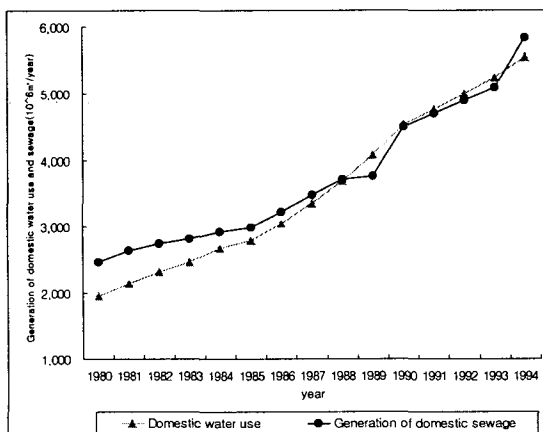


Fig. 3. Variation of annual generation of domestic sewage and domestic water use.

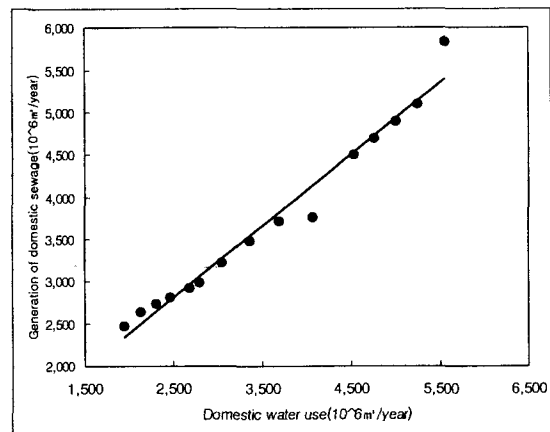


Fig. 4. Correlation diagram between generation of domestic sewage and domestic water use.

따라서 본 연구에서는 수도요금 등의 경제변수와 수요관리 정책 추진에 따른 물질약 등 상수도 사용량의 변화를 적절하게 고려할 수 있는 수요예측 기법을 제시하였으며, 새로운 기법의 적정성 검증 결과도 만족한 것으로 나타났다.

새로운 물수요 함수식은 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$\ln Q_t = \beta_0 + \beta_1 \ln P_t + \beta_2 \ln Y_t + \beta_3 \ln H_t + \varepsilon_t$$

여기서, Q_t : 상수수요량(가정용, 비가정용), P_t : 수도물가격(가정용, 비가정용), Y_t : 소득(GRDP), H_t : 급수인구.

그러나 동 기법에 반영하는 수도요금이나 소득 등의 변수들은 사회·경제적 여건에 따라 변동이 매우 크므로 이에 대한 보완 및 개선을 위한 지속적인 연구를 수행할 필요가 있다.

또한 장래 급수량 산정시에는 환경부에서 발표한 「물질약종합대책」에서의 중수도, 수도요금 현실화, 절수기기 및 노후관개량 즉 유수율 향상에 의한 절감량 등 수요관리에 의한 절감량을 고려하여 급수량을 산정되어야 한다.

본 연구에서는 광역시 및 지자체 전체를 대상으로 공통의 설명변수를 선택하여 회귀식을 구성하였기 때문에 국가적 차원에서의 장기 급수량 추정시에는 어느 정도 설득력이 있을 수 있으나 각 지자체의 급수량 추정 계획에는 한계가 있으므로, 지역별로 물 수요량에 크게 영향을 미치는 설명변수를 선택하여 지역별로 회귀식을 구성할 필요가 있다.

따라서 지역특성을 충분히 고려한 지역별 물수요 함수식 개발 및 이에 대한 연구가 필요하다.

개선된 물수요 함수식에 의해 장래 생활용수 수요량을 예측하고, 하수발생량과의 관계는 다음과 같은 회귀식을 구성하였다.

$$\text{하수발생량} = 0.8487 \times \text{급수량} + 684.57 \quad (R^2 = 0.972)$$

급수량만으로 하수발생량을 추정한다는 것은 한계는 있지만 하수발생량에 가장 큰 영향을 미치는 것이 급수량인 점을 감안한다면 급수량에 의한 하수발생량의 추정은 의미가 있을 것이다.

따라서 장래 하수발생량을 예측할 때 정확한 생활용수 사용량을 추정하고 이에 따른 하수발생량을 예측함으로써 하수처리시설 계획시 기초자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 1997, 수자원계획의 최적화 연구, 건설교통부.
- 2) 한국수자원공사, 1998, 물관리 최적화를 위한 수도요금 정책방향에 관한 연구.
- 3) 김광임, 1996, 상수 수요모형 개발, 한국환경정책평가연구원.
- 4) 김추운, 1991, 서울시 생활용수 수요에 관한 연구, 건국대학교 대학원 박사학위 논문.
- 5) 민동기, 1999, 생활용수 수요변화 추이와 전망 - 다가오는 물위기 어떻게 극복할 것인가 - 정책 심포지움 자료.
- 6) 구자용, 1999, 새로운 물수요추정식, 수자원환경, 제125호.
- 7) 환경통계, 환경통계, 각년도.
- 8) 환경부, 상수도통계, 각년도.
- 9) Baumann D. D., J. J. Boland, W. M. Hane-mann, 1997, Urban Water Demand Management and Planning, McGraw-Hill, Inc.
- 10) Johnston, J., 1984, Econometric Methods, 3rd ed. MacGraw-Hill.