

# 수도요금의 가격탄력성을 고려한 생활용수 수요예측

안상진\* · ○최병만\*\* · 김이태\*\*\* · 김재윤\*\*\*\*

## 1. 서 론

장래 용수수요 예측은 효율적인 수자원개발 및 공급계획 수립에 있어서 가장 먼저 고려되는 요소로서 정확성과 신뢰성 있는 예측방법을 토대로 이루어져야 한다. 그 동안 장래 생활용수 수요 예측은 인구, 급수 보급율 및 1인1일급수량을 토대로 하는 원단위 방법이 이용되어 왔다. 그러나 최근에는 경제재로서의 물에 대한 인식과 가치가 높아짐에 따라 수도요금 등의 경제 변수를 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 개인소득 등 사회경제적 요인을 고려한 물수요 함수식을 개발하여 제시하고자 한다.

## 2. 물수요 함수식

### 2.1 수요예측 방법론

단순회귀모형은 일반회귀이론에 의해 종속변수를 수요량으로 놓고, 설명변수로 가격, 소득, 부가가치 산출량수준, 급수인구, 개별 기업수, 에너지 가격 등으로 설정하여 단순 회귀하는 방법론이다. 단순회귀모형은 추정이 상대적으로 쉽고 추정에 필요한 자료수도 상대적으로 적다는 장점을 가지지만, 연구자의 직관에 의해 설명변수를 설정하고, 자료가 한정되어 설명되어야만 할 변수가 부족할 때에는 그 수요모형을 정확하게 추정하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

시계열모형(Time Series Model)은 지금까지 경제모델에서 자료를 연별자료, 또는 계절별, 월별자료를 이용하기 때문에 자료의 취득이 쉬워 수요함수 추정에서 가장 많이 쓰이는 모형이다. 자료의 취득이 개별적 횡단면 자료보다 용이한 장점을 지니지만, 통합된 자료를 이용하기 때문에 횡단면이 가지는 개별적 특성을 반영하기 어렵다. 따라서 전체적 수요에 대한 분석에 주로 사용된다. 기타 변수로는 에너지가격, 환경정책변수, 지자체별 특성변수 등 여러 가지가 있으며, 이러한 설명변수는 연구자의 주관에 따라 설정, 사용된다.

---

\* 충북대학교 공과대학 교수  
\*\* 충북대학교 토목공학과 박사과정 수료  
\*\*\* 건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원  
\*\*\*\* 한국수자원공사 조사기획처

횡단면모형(Cross Section Model)은 시계열 분석에 비해 가계 행태와 사회, 경제적 특성을 고려하여 수요함수를 추정하는데 주로 사용된다. 이 모형은 소비자의 행태에 대해 관찰할 수 있다는 점에서 개별 수요자에 대한 미시적 파악으로 수요함수의 정책도입에 대한 효과를 예측하는데 도움이 되는 모형이다. 하지만, 공공부문에서 상수도를 공급시 가계별로 요금의 차이가 없는 경우는 가격변동이 개별 물 사용량에 미치는 효과를 파악한다는 것이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있다. 혼합모형(Time Series and Cross Section)은 상수도 사용량 시계열 자료와 소단위 지자체의 자료를 혼합하여 수요함수를 추정하는 모형이다. 이 모형은 횡단면 자료를 이용할 때의 단점과 시계열 자료를 이용할 때의 단점을 보완할 수 있으며, 소단위 지자체의 특성을 반영하여 광역지방자치단체의 상수도 수요를 분석할 수 있게 해준다. 구체적으로 이 모형은 개별가구의 횡단면 자료를 이용하는 방안이 가구의 미시적 행태를 반영할 수 있다는 장점은 있으나 전국적이고 장기적인 수도수요를 분석하고 예측함에 있어서 거시적 변화를 고려하지 못한다는 단점을 보완할 수 있다.

## 2.1 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 볼 때 생활용수 수요량은 한나라의 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 <그림 1>과 같다. 이와 같은 방법으로 우리나라도 GDP(95년 불변가격 기준)성장에 따른 용수수요 변화를 분석한 결과 <그림 2>에서와 같이 상당히 유의성이 높은 것을 알 수 있어 국가 전체의 거시적 생활용수 예측에 대한 대략적인 기본선을 그어볼 수 있다.

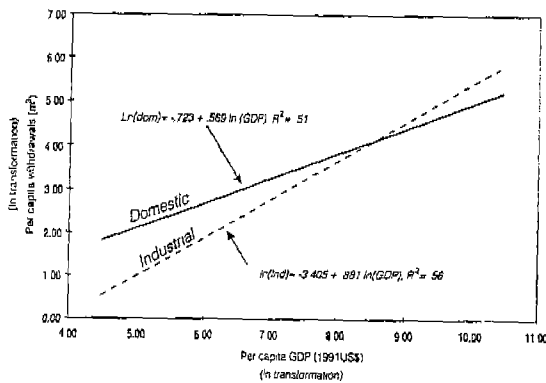


그림 1. 각국의 GDP와 용수수요 관계의 거시적 추정

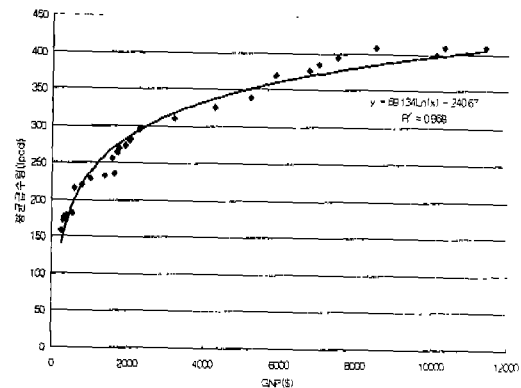


그림 2. 우리나라의 GNP와 용수수요 관계

함수식의 설명변수 선정을 위하여 1차적으로 <표 2>와 같이 가능한 한 모든 변수를 고려하여 수요에 대한 설명도를 분석하였고 계량 경제적 접근을 위하여 소득 및 요금항목은 필수적으로 반영하고 장래 추정치가 매우 불확실하거나 예측이 불가능한 변수는 제외시켰다. 또한, 서로 특성이

유사하여 변수간 다중상관성을 보이는 항목은 제외하고 가능한 한 함수식을 단순화시키고자 하였다.

표 2. 설명변수 선정기준

구 분	상관계수	설명변수 선정기준
급수인구	0.992431	· 소득, 수도요금만으로 추정식을 도출하기에는 과거의 기초자료가 안정되어 있지 못한 실정에서 급수인구가 가장 현실성 있는 자료로서 확보 가능하여 선택
1인당 소득(GRP)	0.977478	· 소득에 따른 소비패턴 분석에 필수적 요인으로 GRP로 적용
세대수	0.99088	· 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제 · 인구와 상관성이 높은 변수로 배제
수도요금	0.928608	· 가격변화에 따른 소비변동 패턴 분석에 필수요인으로 고려
소비자물가지수	0.985138	· 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제 · 수도요금 상승지표로 활용
농업인구비율	-0.98365	· 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제
에너지총수요	0.973995	· 지자체별 과거 및 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제 · 소득변수와 상관성이 높은 변수로 배제
주택보급율	0.855303	· 인위적인 지표로서 발표수치의 변동이 심하고 지자체별 장래치 전망자료 확보가 곤란하여 배제
상수도보급율	0.965638	· 수요가 아닌 인위적 공급요인이므로 배제
도시근로자가계소득	0.981517	· GRP로 대체
수도요금/가계소득	-0.89053	· 소득과 수도요금 변수로 대체
경기종합지수	0.98817	· 과거 및 장래의 지역별 자료가 없음

## 2.2 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 현실화를 및 가격에 대한 탄력도도 차이가 나기 때문에 과거와는 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 <표 6>에서 <표 8>의 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(GRP)를 이용하였으며 통계청의 '95년 기준 불변가격자료를, 급수인구는 시도별 통계연감과 상수도통계 자료를 각각 사용하였다.

표 6. 상수와 시간변수 모두 포함하지 않는 경우

변수	ADF Test		Phillips-Perron Test		단위근 존재유무
	t-statistic	p-value	t-statistic	p-value	
소득	-0.6809	0.3947	2.3793	0.9930	○
급수인구	0.3816	0.7735	5.2283	0.9990	○
가정용요금	0.8655	0.8803	0.4535	0.7990	○
비가정용요금	1.0260	0.9053	-0.7235	0.3850	○
가정용수량	-1.2833	0.1679	3.5588	0.9990	○
비가정용수량	2.1635	0.9855	4.8463	0.9990	○
log(소득)	-0.4800	0.4784	3.6176	0.9990	○
log(급수인구)	0.3710	0.7707	5.4449	0.9990	○
log(가정용요금)	0.7875	0.8661	0.4632	0.8010	○
log(비가정용요금)	0.9056	0.8868	-0.5098	0.4750	○
log(가정용수량)	-0.7576	0.3618	4.4445	0.9990	○
log(비가정용수량)	1.6340	0.9642	5.4994	0.9990	○

표 7. 상수만 포함하는 경우

변수	ADF Test		Phillips-Perron Test		단위근 존재유무
	t-statistic	p-value	t-statistic	p-value	
소득	-0.5028	0.8530	-1.4155	0.5440	○
급수인구	-3.260	0.0473	-2.6309	0.1110	○
가정용요금	-0.7299	0.7955	-0.8200	0.7820	○
비가정용요금	-1.6318	0.4328	-1.6580	0.4300	○
가정용수량	-6.2372	0.0009	-1.4081	0.5470	○
비가정용수량	-0.6602	0.8146	0.5294	0.9810	○
log(소득)	-1.8367	0.3456	-2.5170	0.1330	○
log(급수인구)	-3.5378	0.0315	-3.7455	0.0170	X
log(가정용요금)	-0.8887	0.7475	-0.8613	0.7690	○
log(비가정용요금)	-2.1693	0.2279	-1.6729	0.4230	○
log(가정용수량)	-6.5431	0.0006	-2.5948	0.1180	○
log(비가정용수량)	-2.3566	0.1765	-1.1283	0.6730	○

표 8. 상수와 시간변수 모두 포함하는 경우

변수	ADF Test		Phillips-Perron Test		단위근 존재유무
	t-statistic	p-value	t-statistic	p-value	
소득	-2.0074	0.5307	-1.0578	0.9000	○
급수인구	-1.8929	0.5853	-0.8407	0.9360	○
가정용요금	-1.7128	0.6679	-0.2599	0.9830	○
비가정용요금	-3.5334	0.0903	-1.0050	0.9100	○
가정용수량	-0.3856	0.9683	0.0127	0.9920	○
비가정용수량	-1.0546	0.8823	-3.0785	0.1480	○
log(소득)	1.1321	0.9992	0.9980	0.9990	○
log(급수인구)	-2.7006	0.2542	-0.8491	0.9340	○
log(가정용요금)	-1.7696	0.6425	-0.3451	0.9790	○
log(비가정용요금)	-3.8626	0.0595	-0.9204	0.9240	○
log(가정용수량)	-1.8721	0.5951	0.7635	0.9990	○
log(비가정용수량)	-0.7797	0.9295	-1.4450	0.7980	○

상기와 같이 단위근 검정 결과 가격과 소득, 급수인구 모든 변수들이 임계치보다 큰 것으로 나와 단위근을 가지는 것으로 나왔다. 따라서 단위근을 가진다는 것은 이 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.

### 2.3 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 <표 10>와 같다. 함수를 도출하기 위해서는 수요량과 설명변수간에 공적분 관계가 성립되어야 하는데, ADF 검정결과 공적분 관계가 없는 것으로 나타나 이 함수관계에는 자기상관뿐만 아니라 이분산(Heteroskedasticity)이 존재하는 것으로 판단되어 필립스-페론(Pillips-Perron) 검정결과를 적용하였다.

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

여기서,  $Q_t$  : 상수수요량(가정용, 비가정용),  $P_t$  : 수돗물가격(가정용, 비가정용),  $Y_t$  : 소득(GRP),  $H_t$  : 급수인구

표 10. 탄력성 추정 및 공적분 검정결과

구분	가 격 탄력성	소 득 탄력성	급수인구 탄력성	ADF 검정		Phillips-Perron 검정		R <sup>2</sup>	공적분 존재 유무
				t-statistic	p-value	t-statistic	p-value		
가정용수	-0.1838 (-1.210)	0.5246 (3.015)	1.3244 (3.621)	-1.6425	0.4280	-3.8257	0.0150	0.99	○
비가정용수 (I)	0.1228 (0.800)	0.1546 (0.454)	2.4118 (3.172)	-2.8943	0.0811	-3.9996	0.0110	0.98	○
비가정용수 (II)	-0.1161 (-0.643)	1.2111 (12.938)	-	-1.2367	0.6129	-2.8941	0.072	0.97	○

필립스-페론(Pillips-Perron) 검정법을 적용한 결과 가정용수와 비가정용수(I), 급수인구를 제외한 비가정용수(II)등 모두가 공적분 관계가 있는 것으로 나타났으며 비가정용수(I)의 경우 급수인구가 가격변수의 설명력을 빼앗아 가격 탄력성이 비정상적인 양의 부호를 갖게 하므로 급수인구를 제외한 비가정용수(II)를 이용하였다. 이에 따라 물수요함수식은 가정용과 비가정용으로 사용량을 구분하여 지자체별로 별도의 함수식을 제시하였다. <표 5>는 대표적인 광역시와 지자체에 대한 장래 가정용수 수요산정을 위한 물수요함수식의 예를 나타낸 것이다.

표 5. 광역시 및 지자체별 물수요함수식 예(가정용수)

구분	물수요함수식			
서울	1.303652 $\ln H_t$	+ 0.526523 $\ln Y_t$	+ 0.00377 $\ln P_t$	- 3.24118
부산	4.063320 $\ln H_t$	+ 0.559633 $\ln Y_t$	- 0.86214 $\ln P_t$	- 21.4253
경기	0.822073 $\ln H_t$	+ 1.266786 $\ln Y_t$	- 0.26336 $\ln P_t$	- 4.24144
강원	1.504651 $\ln H_t$	+ 0.702401 $\ln Y_t$	- 0.37290 $\ln P_t$	- 3.70393
충남	0.513562 $\ln H_t$	+ 0.826603 $\ln Y_t$	- 0.52189 $\ln P_t$	+ 2.54267
전남	0.692053 $\ln H_t$	+ 0.761101 $\ln Y_t$	- 0.19653 $\ln P_t$	+ 0.24171
경북	1.242475 $\ln H_t$	+ 0.575572 $\ln Y_t$	- 0.10263 $\ln P_t$	- 2.47731

## 2.4 물수요함수식 검증

금번 서울에서 제시된 물수요함수식에 대한 적정성 검토를 위하여 <표 5>의 서울, 부산, 경기도, 충청남도, 경상북도를 대상으로 과거 '88~'98년간의 실제 물 사용량과 금번 연구에서 제시한 물수요함수식을 이용한 산정량과 비교해 보았다. 그 결과 <그림 5>와 같이 실사용량과 예측량간에 잘 부합되어 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

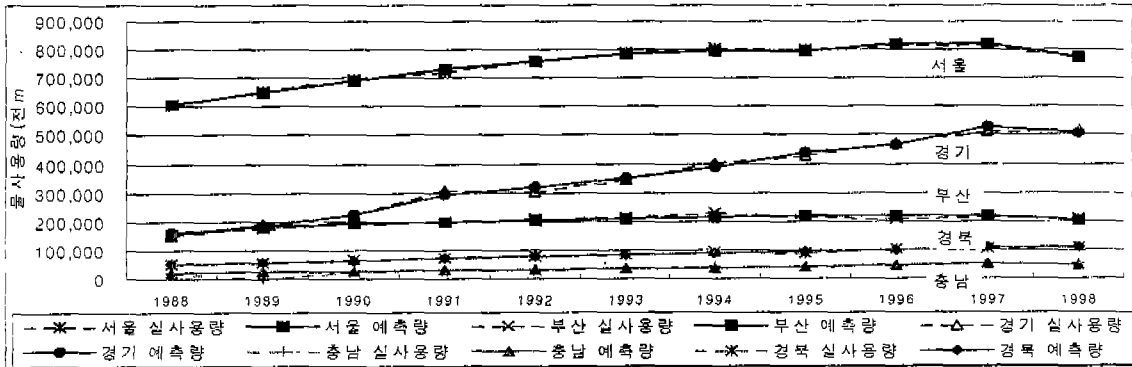


그림 5. 물수요함수식을 이용한 실사용량과 예측량 비교 결과

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

## 4. 참고문헌

1. 건설교통부, 수자원계획의 최적화 연구, 건설교통부, 1997.3
2. 한국수자원공사, 물관리 최적화를 위한 수도요금 정책방향에 관한 연구, 1998.8
4. 김광임, 상수 수요모형 개발, 한국환경정책평가연구원, 1996
5. 김추운, 서울시 생활용수 수요에 관한 연구, 건국대학교 대학원 박사학위 논문, 1991
6. 민동기, 생활용수 수요변화 추이와 전망-다가오는 물위기 어떻게 극복할 것인가 -정책 심포지움 자료, 1999.10.20.
8. 구자용, 새로운 물수요추정식, 수자원환경, 제125호, 1999.5월
7. Dune D. Baumann, John J. Boland, W. Michael Hanemann, Urban Water Demand Management and Planning, McGraw-Hill, Inc. 1997
8. Johnston. J, Econometric Methods, 3rd ed. MacGraw-Hill, 1984.