

시스템 다이내믹스법을 이용한 서울특별시의 장기 물수요예측

Forecasting the Long-term Water Demand Using System Dynamics in Seoul

김신걸 · 변신숙 · 김영상 · 구자용*

Kim, Shin-Geol · Pyon, Sin-Suk · Kim, Young-Sang · Koo, Ja-Yong*

서울시립대학교 환경공학부

(2005년 7월 11일 논문 접수; 2006년 4월 14일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Forecasting the long-term water demand is important in the plan of water supply system because the location and capacity of water facilities are decided according to it. To forecast the long-term water demand, the existing method based on lpcd and population has been usually used. But, these days the trend among the variation of water demand has been disappeared, so expressing other variation of it is needed to forecast correct water demand. To accomplish it, we introduced the System Dynamics method to consider total connections of water demand factor. Firstly, the factors connected with water demand were divided into three sectors(water demand, industry, and population sectors), and the connections of factors were set with multiple regression model. And it was compared to existing method. The results are as followings. The correlation coefficients are 0.330 in existing model and 0.960 in SD model and MAE are 3.96% in existing model and 1.68% in SD model. So, it is proved that SD model is superior to the existing model. To forecast the long-term water demand, scenarios were made with variations of employment condition, economic condition and consumer price indexes and forecasted water demands in 2012. After all scenarios were performed, the results showed that it was not needed to increase the water supply ability in Seoul.

Key words: Forecasting the long-term water demand, Lpcd method, System dynamics

주제어: 시스템 다이내믹스, 원단위법, 장기물수요예측

1. 서론

현대사회에서 상수도의 공급은 인간의 생존뿐만

아니라 문명사회의 지속이라는 관점에서 중요하며 만일 그 공급이 원활히 이루어지지 않는다면 다른 어떤 사회기반시설의 부재보다도 그 피해가 막심할 것이다. 이러한 상수도의 공급은 정수지 및 배수지, 가압

*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2624, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: jykoo@uos.ac.kr [Koo, J.Y.]

장 등의 시설물을 통하여 이루어지는데 이들 시설물의 위치, 규모를 결정하는 것은 바로 장기물수요 예측에 기초하여 이루어진다. 이들 사업들은 모두 막대한 자본이 투입되기 때문에 상수도 시설물들이 최대한 효과를 발휘하도록 정확하고 안정적으로 예측되어야 한다(Billings and James, 1996). 이에 대해 지금 현업에서는 아직도 많은 지역에서 원단위가 쓰이고 있는데 이 원단위는 1인당 1일 물수요량인 lpcd와 인구수의 시간에 따른 변화를 추정하는 방법으로서 과거 물수요량이 시간에 대한 일차함수로 계속 증가하였던 시절, 즉 시간변동중 추세성분이 우세하였던 시절에는 간단하면서도 비교적 정확한 방법으로 별 무리가 없었다(小泉明, 1998). 하지만 1990년대 중반을 기점으로 인구증가의 정체, 절수기기의 보급, 산업고도화에 따른 사회의 분화, 대체 수자원 등으로 인하여 물수요량을 단순히 원단위 하나에 의존하여 예측하기에는 힘든 상황이 되었다(건설교통부, 2003). 특히 원단위 모델은 다양한 사회·경제적인 인자들이 포함되지 않았기 때문에 지난 1997년의 IMF와 같은 급작스런 경기변동에 따른 물수요량의 변화를 예측할 수 없었으며 또한 장래의 물수요량을 예측하는 데 있어서도 단편적인 수치만 제공할 뿐 다양한 개발시나리오에 따른 예측량을 제공하여 주지 못하였다(서울시립대 도시과학연구원, 1998). 이에 많은 연구자들은 다른 인자들을 고려한 중회귀 모델 등으로 이를 대처하고자 하였다. 하지만 이 중회귀 모델은 물수요량과 관련이 있는 몇몇 인자를 추가하여 정확도와 안정도

를 다소 확보하였지만 물수요량이 결정되는 구조적인 문제까지는 다루지 않았다(서울시립대 도시과학연구원, 2003). 이에 본 연구에서는 시스템 다이내믹스(System dynamics) 방법을 도입하여 물수요량이 결정되는 구조를 총괄적으로 파악하여, 보다 정확하고 안정된 장기 물수요량예측을 이룩하고자 한다(小泉明, 1991). 이를 위해 물수요량과 관련된 시스템을 인구섹터와 산업섹터, 물수요량 섹터로 나누어 각 요소들을 결정된 후에 이들 요소들간의 상호작용을 중회귀 모델로서 정식화하여 관련 인자들이 물수요량에 미치는 영향을 총괄적으로 살펴보고자 한다. 또한, 이 결과를 기존의 원단위법과 비교하여 그 우수성에 대해서 검증한 후에 고용현황, 경기, 소비자 물가지수 중 물값과 같이 물수요량에 영향을 미치는 사회경제적인 변동요인에 대한 시나리오를 작성하여, 물수요량의 변화특성을 살펴보고자 한다.

2. 연구방법 및 순서

본 연구는 서울지역을 연구대상지역으로 하였으며 자료는 서울시 통계연보와 상수도 통계연보(1990~2002년)를 참조하였으며 우선 물수요와 관련된 인자들을 물수요섹터, 산업섹터, 인구섹터로 구분하였다. 이들 인자들 간의 관계는 중회귀식을 이용하여 정식화되었으며, 물수요량을 추정한 후에 원단위 모델과 비교를 하였다. 이후 장래의 물수요량을 예측하기 위해 고용현황, 경기, 물가 등의 사회경제적인 변동에

Table 1. Main statistical data in seoul(between 1990 and 2002)

	Max. value	Min. value	Average variation every year
Population(person)	10,969,862	10,276,968	-25,816
House land area(m ²)	215,835,486	202,302,171	1,020,841
Admitted to colleges & universities rate(%)	75.96	30.34	3.51
Admitted to high school rate(%)	99.88	97.55	0.17
Social overhead capital & other services(person)	3,978,000	3,078,000	69,231
Mining & manufacturing(person)	1,345,000	784,000	-41,615
Monthly expenditure per household for all households(won)	2,230,600	814,700	117,992
School staffs & students	2,980,224	2,663,508	-17,249
Schools	2,791	2,645	-0.46
Classes	52,572	49,434	170
No. of workers in wholesale & retail trade	1,199,115	930,319	16,563
No. of workers in services	962,175	438,221	32,270
Water supply(m ³)	1,185,432,589	1,005,587,881	7,829,932
Consumer price indexes - water charge	544	100	37

대해 평균적인 변동과 고성장, 저성장 등의 시나리오 들을 구성하여 이 시나리오들에 따른 장래 물수요량을 추정하였다.

2.1 연구지역

본 연구의 대상지역은 서울시로 2003년 현재 총 25 개 자치구와 522개의 행정동으로 나누어져 있으며, 인구는 1,027만명이다.

현재 서울시의 상수도는 6개의 정수사업소와 11개의 수도사업소로 구성되며 2003년 현재 1일 생산 능력은 570만m³/일이다. **Table 1**은 1990년부터 현재 까지의 서울시 각종 통계지표들을 보여준다. 인구, 공업종업원수, 교직원 및 학생수의 경우 감소하는 경향이였으며, 택지면적, 진학률, 업무종사자수, 서비스업 종사자수 등은 증가하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 1997년 IMF시기에 통계값이 큰 폭으로 감소한 후에 다시 증가하는 모습을 보여주고 있다(서울특별시, 1990~2002).

2.2 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 복잡한 사회현상의 분석을 공학적인 기법을 이용하여 정량적으로 분석하자라는 시도에서 1950년대 말 MIT의 J. W. Forrester 교수에 의해 시작되었다. 이 방법은 몬테카를로 등의 기존 방법이 결국에는 각 요소에 대해서 개별적인 방법으로 접근할 수밖에 없다는 등의 문제점에 대해서 각 요소들간의 관계를 총괄적으로 파악하고자 한 방법이다(Forrester, 1968). 또한, 시스템 다이내믹스는 현상을 파악하고 의사를 결정할 때에 빠지기 쉬운 단선적 사고의 위험을 없애고 사회현상을 동적으로 파악하여 시간에 따른 정확한 예측을 가능하게 한다(김도훈외, 1999). 이와 같이 전체 시스템을 총괄적으로 파악할 수 있다는 우수성으로 인하여 환경정책, 생산관리, 증권시장의 분석 등 다양한 분야에 응용되어 왔다(Forrester, 1993; 문태훈외, 2000; 김동환, 2001; 박상현외, 2002).

2.3 중회귀 모델

중회귀 모델은 영향을 미치는 독립변수와 구하고자 하는 종속변수사이의 선형적인 인과관계를 구하는 방법으로서 식 (1)과 같이 정식화된다.

$$Y = A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_NX_N + \epsilon \quad (1)$$

여기에서, Y: 종속변수, X_i(i=1, 2, ... N): 독립변수, A_i(i=1, 2, ... N): 파라미터, ε: 오차

중회귀 모델은 최소자승법(Method of least square)을 통하여 파라미터를 추정하며 모델의 성립과정에서 세가지의 통계적인 검증을 거쳐 이루어진다. 첫째로는 독립변수로서 유효한가를 알아보기 위해 t-검정을 통하여 검증되며, 둘째로는 다중공선성(Multicollinearity)에 대해서 분산팽창인자(Variance inflation factor)를 통하여 검증한다. 셋째로는 오차발생의 상관성에 대한 것으로 더빈왓슨 통계량(Durbin-Watson statistics)을 이용하여 살펴본다(박유성의외, 1996). 통계적으로 검증을 하는 이유는 만약 이들이 조건을 만족시키지 못한다면 장래에 큰 오차를 유발시킬 수 있기 때문으로서 특히 본 연구와 같은 장기 물수요예측인 경우에는 더욱더 주의해야한다.

2.4 시나리오의 설정

본 연구의 결과로서 작성된 물수요식을 대상으로 시나리오를 작성하여 장래 물수요량의 변동을 분석하고자 한다. 이를 위하여 **Table 1**에 표시된 것과 같은 모델기간(1990~2002년) 동안의 평균변화율을 표준값으로 설정하여, 영향인자와 시나리오별 장래값을 **Table 2**에 정리하였다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 시나리오는 고용환경, 경기변동, 소비자 물가지수중 물값에 대해 각각 고상승과 저상승을 고려하여 총 6가지의 변동을 가정한다.

2.4 연구순서

본 연구는 **Fig. 1**에 나타난 것과 같은 순서로 진행되었으며 크게 세부분으로 나누어진다.

이중 첫 번째 부분은 시스템 다이내믹스법에 의한 물수요량을 추정하는 부분으로서 시스템의 인자를 물 수요, 산업, 인구 섹터로 나누어 중회귀로 정식화한다. 이때에 각 중회귀 모델은 t-분석, 분산팽창인자, 더빈왓슨 통계량을 통하여 통계적으로 유의한 모델이 되도록 하며 결과로서 절대평균오차와 상관계수를 명기하였다. 두 번째 부분은 지금까지 사용하여왔던 원

Table 2. Organization of scenarios

Scenario items	Type	Factors		
		Social overhead capital & other services	Monthly expenditure per household for all households	Water charge
Standard		2%	8%	14%
Employment condition	low	3%	8%	14%
	high	1%	8%	14%
Economics condition	low	2%	10%	14%
	high	2%	6%	14%
Consumer price indexes	low	2%	8%	17%
	high	2%	8%	11%

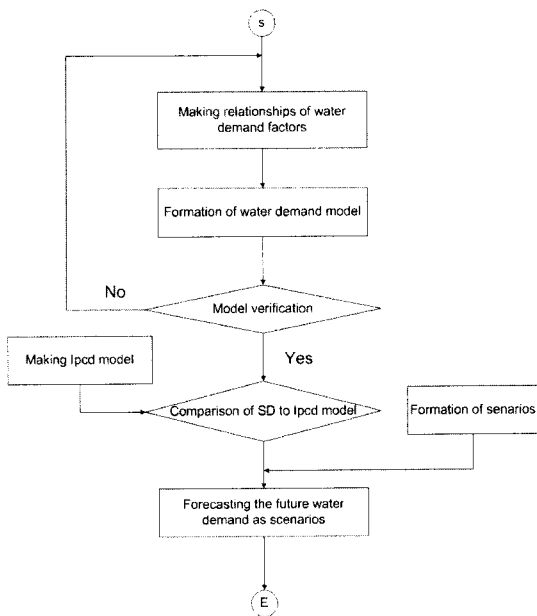


Fig. 1. Procedure of this study.

단위 모델에 의한 추정값과 시스템 다이내믹스 방법에 의한 추정값을 서로 비교하여, 우수성을 검증한다. 세번째는 장래의 시나리오를 작성하고 대입하여 장래 물수요량이 어떠한 변동특성을 갖는지에 대해 고찰한다.

3. 연구 결과 및 고찰

본 절에서는 본 연구에서 목적으로 한 3가지의 결과들을 보여준다. 우선 3.1절에서는 시스템 다이내믹스 방법을 이용한 물수요 추정결과를 보여주며 3.2절에서는 기존의 원단위 방법과 시스템 다이내믹스 방

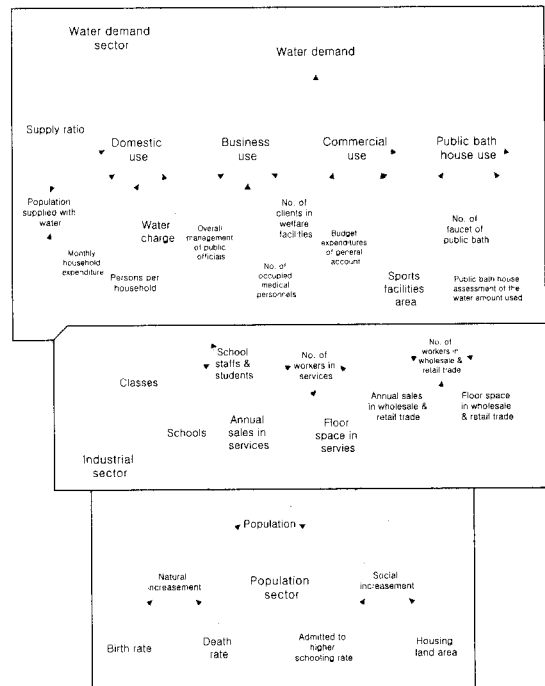


Fig. 2. Water demand system organized with system dynamics.

법에 의한 추정결과를 서로 비교한다. 이후 3.3절에서는 시스템 다이내믹스 방법을 이용하여 다양한 시나리오에 따른 장래 물수요예측량을 보여준다.

3.1 시스템 다이내믹스 방법에 의한 물수요량

본 연구에서는 전체 사회시스템을 물수요량에 미치는 영향의 중요도에 따라 Fig. 2와 같이 인구, 산업, 물수요 섹터로 구분하였다. 각 섹터별로 물수요와 관련된 요소들을 배치하였으며, 이들 요소들간의 영향은 화살표로 표시되어 있다.

Table 3. Regression models' results in the population sector

Ages	Ages of regression models	R	MAE
0 ~ 14	$Y_1=1574622+1.26MME-0.202SSE$	0.983	1.82
15 ~ 19	$Y_2=1255819-7399.47RUE$	0.922	3.95
20 ~ 29	$Y_3=1439463+0.72MME$	0.933	2.08
30 ~ 44	$Y_4=1991219+0.29SSE-149.89EH$	0.440	2.09
45 ~ 64	$Y_5=2050938-0.76MME+0.19SSE$	0.941	2.66
over 65	$Y_6=530734-0.25MME+0.060SSE$	0.905	4.62
Total	$TP=Y_1+Y_2+Y_3+Y_4+Y_5+Y_6$	0.890	1.20
Factors	MME: Mining and manufacturing of employees(person) SSE: Social overhead capital & other services of employees(person) RUE: Rate of uni. entrance(%) EH: Monthly expenditure per household(thousand won)		

3.1.1 인구섹터

본 절에서는 전체 인구에 대해서 사회변동과 연령 비율을 고려하여 인구를 연령별로 6가지로 구분하여 모델화하였다. 모델화과정은 인자에 대한 분산팽창인자 및 더빈왓슨 통계값을 고려하여 모델을 통계적으로 타당하게 구성하였으며 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서의 각 모델의 상관계수와 절대평균오차는 전체적으로 양호한 값을 보여주고 있다. 하지만 30~44세의 인구추정에서는 0.440이라는 낮은 상관계수를 보여주었는데 실제 오차는 2.09%로 낮은 값을 보여주고 있다. 또한, 65세 이상의 인구에 있어서도 상관계수는 0.905인데 반해서 오차는 4.62%를 보여주고 있다. 이것은 상관계수가 변동폭에 영향을 받기 때문에 실제로 30~44세에서 낮은 상관계수를 보여준 원인은 인구변동의 기복이 낮기 때문이며 65세 이상에서 높게 나온 것은 인구변동의 기복이 크기 때문이다. 따라서 30~44세의 실제값과 예측값의 상

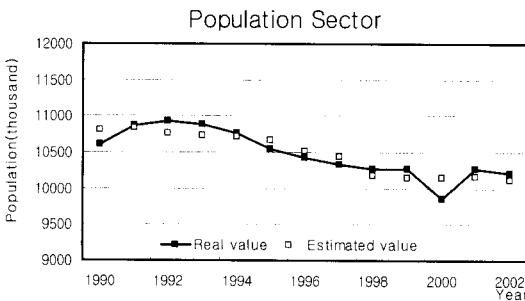


Fig. 3. Comparison between real and estimated values in population sector.

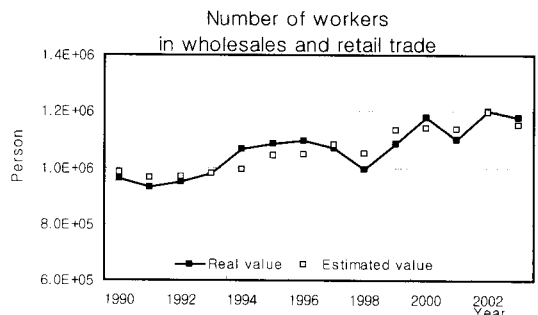
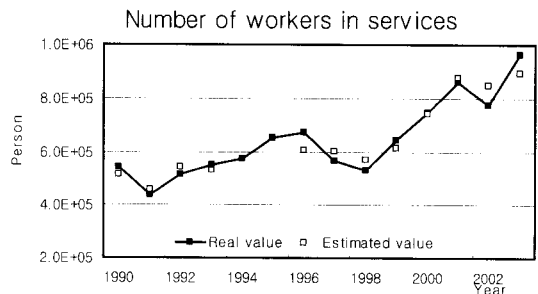
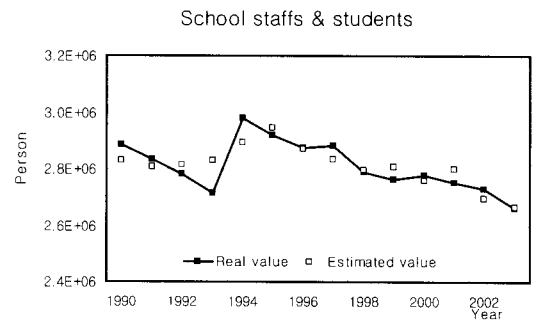


Fig. 4. Comparison between real and estimated values in the models of the industrial sector.

Table 4. Regression models' results in the industrial sector

Section	Models	R	MAE
School staffs & students	SSS=5655978+347.105S-74.36C	0.815	1.38
No. of workers in services	NS=241125+0.0073ARS+0.0048FSS	0.962	5.51
No. of workers in wholesale & retail trade	NWR=1558705+0.0028FSW+0.0006ARW-0.062TP	0.893	3.07
Factors	SSS : Students & school staffs(person) S : Schools(unit), C : Classes(unit) NS : No. of workers in services(person) ARS : Annual receipts of services(million won) FSS : Floor space of services(m ²) TP : Total population(person) NWR : No. of workers in wholesale and retail trade(person) ARW : Annual receipts of wholesale and retail trade(million won) FSW : Floor space of wholesale and retail trade(m ²)		

Table 5. Regression models' results in the water demand sector

Section	Models	R	MAE
Domestic use	lpcd=160.27-2.38PH-0.11WC+0.05EH DU=lpcd × PS × SR	0.963	1.46
	PH : Person per household(person) WC : Water charge of consumer price indexes EH : Monthly expenditure per household(thousand won) PS : Population supplied with water (person) SR : Supply ratio		
Business use	BU=-16340578-217.77NM-324.79CWF+48.846SSS	0.804	3.39
	NM : No. of occupied medical personnels(person) CWF : No. of clients in welfare facilities(person) SSS : Students & school staffs(person)		
Commercial use	CU=22564864+176.74NWR	0.741	5.23
	NWR : No. of workers in wholesale and retail trade(person)		
Public bath house use	PBU=-226921841+21612BF+1099.98PW+20.55TP	0.894	4.70
	BF : Public bath house of number of faucet(unit) PW : Public bath house of the water amount used(thousand won) TP : Total population(person)		
Total water supply	TS=DU+BU+CU+PBU	0.960	1.68

관계수가 낮게 나온 것이지 실제로 오차가 커서 그러한 것이 아니며 Fig. 3을 통하여 전체적으로 양호하게 예측됨을 알 수 있다.

3.1.2 산업섹터

산업섹터는 교직원 및 학생수, 서비스업 종사자수, 도소매업 종사자수의 예측모델로 구성되어 있으며, 이들도 통계적인 지표를 이용한 모델화과정을 거쳤

다. 결과는 Table 4 및 Fig. 4와 같다. 단, 서비스업 종사자수는 1995년과 1996년의 분류집계방식이 이전·이후와 다르므로 산정에서 제외하였다.

이들 지표들은 모두 상관계수 0.8 이상이며, 오차율도 최대가 5%대로서 양호한 결과를 보여주었다. 실제로 Fig. 4을 통해서 보더라도 교직원 및 학생의 경우에는 1990년대 증반을 기점으로 하강을 보여주었으며 공무원, 서비스업 종사자 모두 1990년대 후반

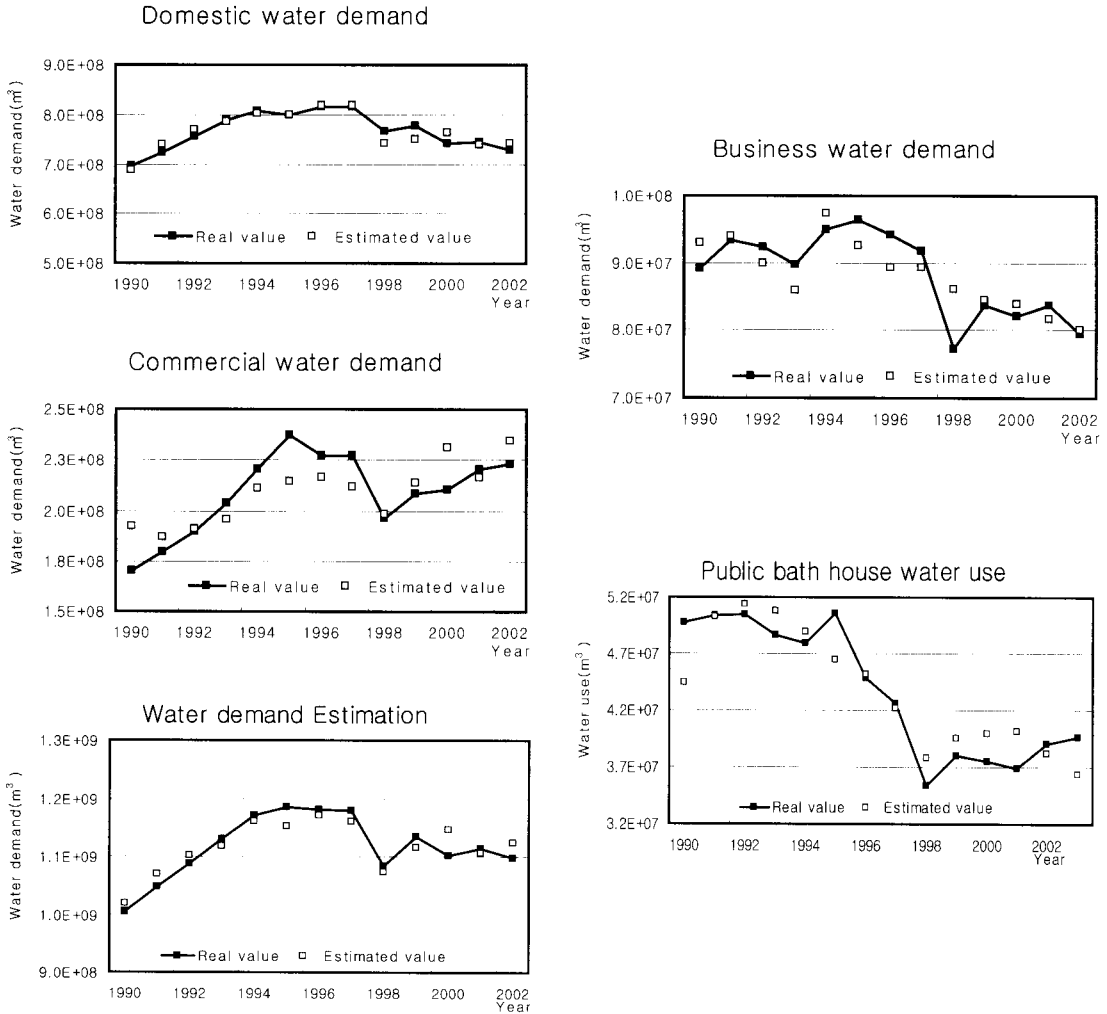


Fig. 5. Comparison between real and estimated values in the industrial sector.

부터 증가하는 모습을 보여주고 있다. 따라서 이 세 가지의 변동은 상승 및 하강의 기복을 가지고 있음에도 실제 값의 변동 및 경향을 양호하게 추정한다는 것을 알 수 있다.

3.1.3 물수요색터

물수요색터는 전체 물사용량을 용도별로 나누어, 가정용, 업무용, 영업용, 대중목욕탕용으로 나누어 구성하였으며, 결과는 Fig. 5와 Table 5와 같다.

전체적인 결과는 상관계수 0.741~0.963, 평균오차 1.46~5.23%로서 매우 만족스럽다. 이것은 기존의 원단위 모델에서는 평균적인 추세만으로 표현할 수밖

에 없었던 변동들에 대해 적절한 지표를 이용하여 잘 묘사하였기 때문이다. 특히 영업용수, 대중 목욕탕수에 있어서는 전체적으로는 증가경향이지만 중간에 다른 사회, 경제적인 변동에 의해 기복을 보여주었다. 이전의 원단위 모델에서는 이러한 경우에 이들 기복을 표현하지 못하고 평균적인 추정을 하여 실제값과 크게 동떨어진 결과를 낼 수밖에 없었지만 본 연구방법에 의해서는 이러한 기복들도 잘 근사되었다. 전체 물수요량을 추정한 Fig. 5를 보면 실제값에 거의 근접되었음을 알 수 있다.

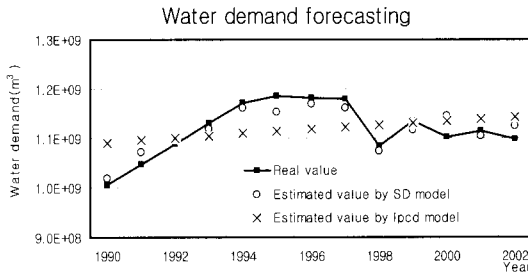


Fig. 6. Comparison between system dynamics and lpcd model.

Table 6. The results of existing lpcd model

	Model	R	MAE
Lpcd	$lpcd=271.52+2.63t$	0.608	3.97
Population	$P=10948238-54300t$	0.877	0.97

t: Year(it is started at 1990)

Table 7. The statistical results of system dynamics and lpcd method

Section	R	MAE(%)
Existing lpcd	0.330	3.96
System dynamics	0.960	1.68

3.2 원단위 모델과의 비교

본 절에서는 이번 연구에서 사용된 시스템 다이내믹스 방법과 기존 원단위 모델과의 비교를 보여주고자 한다. 원단위 모형은 인구수를 대상으로 하는 원단위 이외에도 가정용, 비가정용 혹은 건축물의 단위 면적당 사용량 등의 다양한 방법이 있지만 여기에서는 Table 6과 같이 인구와 lpcd 모두가 시간에 대한 일차함수로 표현된 모델이다. 따라서 계속 증가 혹은

감소하는 하나의 경향만을 보여주게 된다.

실제의 물사용량은 1990년대 중반까지 증가하다가 1997년의 IMF로 큰 감소를 맞게 되고 다시 회복하는 모습을 보여주고 있다. 기존의 원단위 모델은 이러한 증가와 감소가 동시에 있는 변동일 경우에 정반의 함으로 더 큰 값을 가지는 쪽으로 평균적인 변동을 하도록 되어 있기 때문에 정확하지 못한 예측을 이루게 된다. 이 모델에 있어서도 실제 물수요량은 증가 혹은 감소의 변동을 보여주는 데에 반해서 원단위 모델은 계속 증가하는 모습만을 보여준다. 이에 대해 SD법은 인구 및 산업섹터의 변동이 물수요량에 반영되어 있기 때문에 1997년 IMF의 급격한 변동을 예측할 수가 있었다. 전체적인 통계지표에 있어서도 상관계수 0.960, 절대평균오차 1.68%로 더 나은 결과를 보여주고 있다.

3.3 시나리오에 따른 결과

본 연구에서는 2.4절의 Table 2에 따라 장래의 물수요량을 예측하고자 한다. 구하는 방법은 Table 2의 변화량이 인구섹터인 Table 3에 있는 식에 반영이 되며, 이 인구변화는 다시 Table 4의 산업섹터에 영향을 준다. 다시 변화된 산업섹터의 변화량은 물수요섹터인 Table 5에 반영되어 최종 물수요량이 결정된다. 이러한 장기 물수요예측은 장래의 경기변동, 고용상황의 변화, 소비자 물가지수중 물값 등에 따라 어떻게 변하는가를 파악하여 장래 상수도 시설물의 유지관리계획을 수립하는 데 있어 밑바탕이 된다.

분석 결과는 Table 8 및 Fig. 7과 같다. 일반적인 경향은 2012년까지 소량 감소하는 것으로 나왔다. 이것은 1990년대 중후반부터 이어져 온 정체 혹은 소량

Table 8. Future water demand estimated by SD model as scenarios

Items	Type	Yearly average water demand change	Water demand in 2012
Model period (1990 ~ 2002)		7,677,677	-
Standard		-4,748,219	1,081,935,585
Employment condition	high	-3,254,513	1,096,472,454
	low	-5,669,225	1,072,553,029
Economics condition	high	10,639,156	1,227,451,993
	low	-18,066,583	955,030,206
Consumer price indexes	high	-27,727,004	868,581,353
	low	7,677,677	1,245,513,714

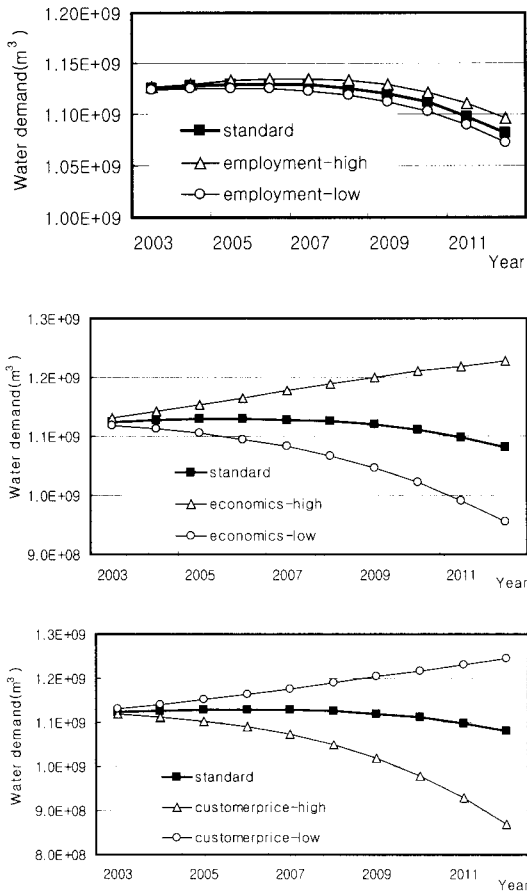


Fig. 7. Forecasting the water demand as scenarios

감소가 계속 이어진다는 것을 보여준다. 서울시의 통계값을 살펴보다라도 지표들이 1990년대 후반부터 이미 성장기조가 정체되었고 물수요량에 있어서도 절수기기의 보급, 대체수자원, 유수율의 향상 등으로 인해 전체적으로는 서울시의 물수요량이 안정권이 들었다고 할 수 있다. 또한 고용상황, 경기, 물가지수 변동에 따른 시나리오 결과를 볼 때에 물가지수와 경기는 큰 영향을 미치는 것으로 나왔지만 고용환경은 상대적으로 적은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 고용환경이 이미 포화상태에 도달하여서 상대적으로 적은 변동을 보이기 때문이다. 전반적으로 경기, 소비자 물가지수중 물값 등의 영향요인이 장래의 물수요량에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 전반적으로 분석하면 2012년도의 일반적인 물수요량은 시설기준일 최대생산량으로 전환하면 1일 최대 물

수요량은 약 440만m³/일이 된다(유수율 85%, 일최대 지수 1.25로 가정). 또한, 최대 증가량을 보이는 소비자 물가지수중 물값이 낮을 때의 영향을 살펴보면 약 500만m³/일까지 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 현재 서울시의 인구 및 전반적인 경제상황이 정체 혹은 감소를 보이고 있기 때문에 지금보다 더 감소하거나 지금과 같은 증가를 보이는 시나리오들이 더욱 현실성이 있다. 또한, 장래에는 수자원 및 수공급 기술이 더욱 향상되어 유수율 향상, 절수기구, 대체수자원 등으로 물공급 능력이 충분히 보낼 것으로 보인다. 따라서, 2003년도 현재 전체 570만m³/일의 생산능력을 가진 서울시의 입장에서는 취수장, 도수관로, 정수장 등의 취수시설을 더욱 늘릴 필요가 없다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 1990년대 중반부터 실질적인 물수요량의 증가가 정체된 이후에 원단위 모델의 예측능력이 크게 감소되었다. 이에 물수요량이 결정되는 데에 영향을 미치는 인자들을 물수요섹터, 산업섹터, 인구섹터로 구분한 시스템 다이내믹스 방법을 이용하여 장래의 물수요량을 예측하였다. 또한 본 연구의 방법을 기존의 원단위 방법과 비교하였다. 이후 고용, 경기, 물가지수의 변동에 따른 장래의 물수요량을 고찰하였으며 다음과 같은 결과들을 얻었다.

첫째, 물수요량 섹터의 경우 7개의 연령대별로 모델화가 되었으며, 30~44세의 연령대에서만 0.440이었으며 나머지는 모두 0.890~0.983의 높은 값을 보여주었다. 또한 절대평균오차는 1.20~4.62%로서 양호한 결과를 얻었다. 30~44세의 연령대의 상관계수가 낮은 이유는 변동폭이 좁았기 때문이다.

둘째, 산업섹터의 경우 교직원 및 학생수, 서비스업 종사자수, 도소매업 종사자수를 대상으로 상관계수 0.815~0.962, 절대평균오차 1.38~5.51%를 얻었다.

셋째, 물수요섹터에서는 가정용, 업무용, 영업용, 대중목욕탕용으로 나누어 모델을 구성하였으며 상관계수 0.741~0.963, 절대평균오차 1.46~5.23%를 얻었다.

넷째, 시스템 다이내믹스 방법에 의한 물수요량의 예측은 상관계수 0.960, 절대평균오차 1.68%로서 상

관계수 0.330, 절대평균오차 3.96%를 보여준 원단위 방법보다 더 좋은 결과를 얻었다. 기존의 방법인 원단위법보다 다양한 사회변동특성을 고려한 결과로서 특히 IMF시기의 물수요량의 급감을 잘 추정하였다.

다섯째, 장래의 물수요량을 예측한 결과 경기, 물가지수의 변동에 따라서는 큰 변동을 보여주었지만, 고용환경의 변화에 있어서는 상대적으로 적은 변동을 보여주었다.

여섯째, 장래 예측결과 2012년도에 서울시의 물공급시설의 보완은 필요없을 것으로 예측된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 4-2-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2000). 수자원 장기 종합계획.
2. 김도훈, 문태훈, 김동환 (1999) 시스템 다이내믹스, 대영문화사.
3. 김동환 (2001) 정책평론과 시스템 다이내믹스. 한국시스템 다이내믹스 연구, 2(2), pp. 5-23.
4. 문태훈, 서원석 (2000) 시스템 다이내믹스를 이용한 폐기물 관리정책에 관한 연구, 한국시스템 다이내믹스 연구, 1(2), pp. 113~148.
5. 박유성, 허명회 (1996) 시계열 자료분석, 자유아카데미.
6. 박상현, 연승준, 김상욱 (2002) 시장전략 수립을 위한 시스템 다이내믹스의 적용, 한국시스템 다이내믹스 연구, 3(2), pp. 29~48.
7. 서울시립대학교 도시과학연구원(2003). 도심부 및 청계천 주변지역 하부기반시설 수용용량분석.
8. 서울시립대학교 도시과학연구원(1998). 서울 도심부 하부기반시설의 수용용량분석.
9. 小泉明, 稲員とよの, 和田孝一, 川口土郎 (1996) 都市における水需要變動の統計的分析, 水道協會誌, 57(12), pp. 13~20.
10. 小泉明 (1991) 水道計劃のための水需要豫測の實際, (財)水道技術管路センター.
11. 서울특별시 (1990~2005) 서울통계연보, 1990~2005.
12. Forrester, J. W. (1993) System Dynamics as an Organizing Framework for Pre-College Education, *System Dynamics Review*, 9(2), pp. 183-194.
13. Forrester, J. W. (1968) *Principles of Systems*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press.
14. R. Bruce Billings, C. Vaughan James (1996) *Forecasting Urban Water Demand*, American Water Work Association.