

가정용수의 용도별 사용량 모니터링을 통한 물 수요 특성 분석

김주환 · 김화수 · 이두진 · 김기형

한국수자원공사 수자원연구원

Analysis of Water Use Characteristics by Household Demand Monitoring

Juhwan Kim · Hwasoo Kim · Doojin Lee · Geehyoung Kim

Korea Institute of Water and Environment, Kwater

1. 서론

생활용수의 수요는 생활양식, 도시특성, 기상조건, 용수공급방식 등 여러 가지 인자들에 의해 영향을 받는데, 특히 가정용수의 경우 거주민의 생활양식에 따른 의존도가 크다.

우리나라는 지난 30여년간 급속한 경제성장을 이루면서 다양한 사회, 문화적 변화를 겪고 있는데, 그중에서 가정의 물소비형태도 거주형태, 가족구성, 식생활 등 소위 도시화(Urbanization)라 큰 틀속에서 변화를 거듭하고 있다.¹⁾ 용수를 생산하고 공급하는 측면에서는 소비자의 이러한 소비패턴변화를 주목해야하고, 특히 한정된 수자원을 효율적으로 확보하고 배분하기 위해서는 향후의 변화까지 예측하는 것이 매우 중요하다.²⁾ 현재 용수사용량에 대한 경향과 특성을 분석하고 향후 필요한 양을 예측하기 위해서, 실측을 통한 사용량에 대한 기초자료의 확보가 선행되어야 한다.

우리나라에서는 용수사용량에 대한 통계자료는 월간 요금수량에 의존한 총량단위의 정보가 전부이다. 월간총사용량만으로는 다양한 소비인자에 대한 분석이 어렵고 단기적인 수요 변화에 대한 예측이 불가능하게 된다. 용수의 수요관리 관점에서 생활용수의 용도별 사용량과 사용패턴에 대한 기초자료는 절수가능용량의 산정, 수도용기자재의 적정설계 범위 등 수도 관련 정책뿐만 아니라 사회문화적 생활양식의 변화를 인식하고, 예측할 수 있는 기초통계자료를 제공하게 된다.²⁾ 이러한 이유로 선진국에서는 이미 오래전부터 국가적인 차원에서 실사용량에 대한 조사가 체계적으로 이루어지고 있으며 우리나라에서도 물수요관리 관점에서 수도물 사용량에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다.³⁾

본 연구는 실시간 유량측정이 가능한 유량계와 데이터의 저장 송, 수신에 가능한 통신시설 등을 활용하여 가정용수의 실사용량과 수요특성을 조사하고자 하였다. 이를 위하여 한 지역의 정수장으로부터 공급량 자료와 용도별 사용량 파악을 위해 설치된 유량계로부터 실사용량 자료를 획득하였으며, 실사용량에 대하여 시간대별, 일별, 월별 사용량 및 사용패턴, 각

용도별 사용량 및 특성 등을 분석하고자 하였다. 특히 국내에서는 최초로 시도된 가정내 각 용도별 용수사용량의 분석 결과는 가정용수 사용경향을 이해함으로써, 향후 수도시설 계획 등 과학적 물수요관리 정책수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 광역상수도를 중심으로 배수지로 공급되는 유량과 가정의 각 용도별로 사용하는 유량, 이 두가지의 유량데이터를 이용하여 용수수요 특성을 분석하였다.

공급량기준의 생활용수량 분석을 위한 대상지역은 성남이 매 분기점으로 분당 제2배수지와 분당 제1소배수지로 급수되며, 급수인구는 2001년 기준 분당 제2배수지 182,864인, 제1소배수지 20,825인으로 전체 203,689인이다.

가정용수의 용도별 유량조사를 위한 표본조사는 수도권을 중심으로 전국의 인문, 사회적인 요인과 기술적인 측면을 고려하여 140개 가정을 선정하였다.⁴⁾ 표본 가구에 대해서는 각 용도별로 데이터 저장과 전송이 가능한 초음파 유량계를 이용하여 실시간으로 유량자료를 취득하였다(Fig. 1 참조). 결과분석에 앞서 오, 실측자료에 대하여 Filtering 작업을 수행하였으며, 특히 과대측정값에 대해서는 설문과 기초실험을 통하여 한계이상치를 설정하고, 이를 초과하는 자료에 대해서는 분석데이터에서 제외하였다.⁵⁾ 140개 가구에서 3~6개 정도의 용도별로 실측자료를 바탕으로 다양한 영향인자와 조건별 1인당1일물사용량, 용도별 사용량 등을 도출하였다.

3. 용수공급 및 사용량 분석

3.1. 시간, 주간, 월간 및 계절 사용량 분석

2000년부터 2003년까지 축적된 자료를 시간별, 일별, 월별로 정리함으로써 대상지역의 생활패턴변화가 용수공급량 변동에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 시간패턴의 전체적인 양상은 하루 중 낮과 저녁시간에 용수량이 증가하는 두 번

E-mail: djlee@kwater.or.kr

Tel: 042-870-7503

Fax: 042-870-7549

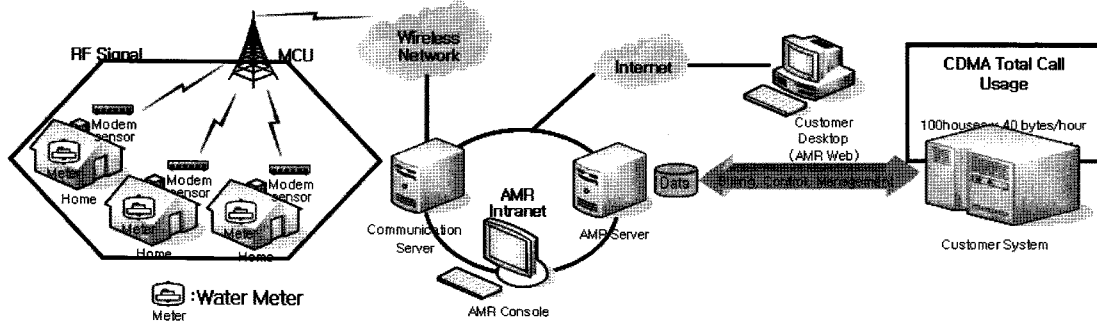


Fig. 1. Data collection process of water use in household.

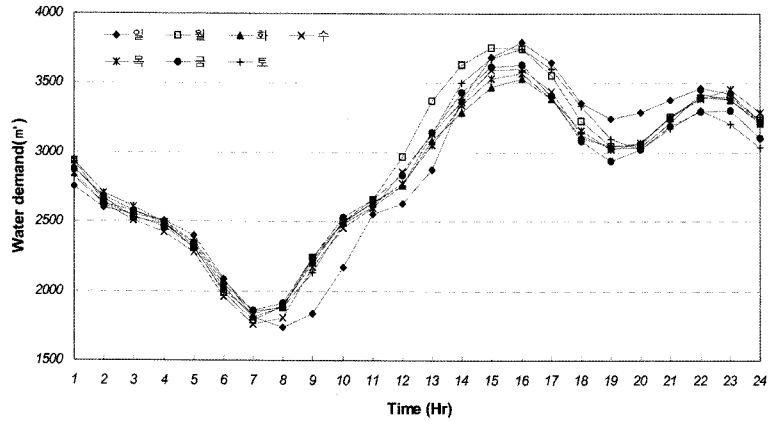


Fig. 2. Hourly variation of water supply.

의 침두값을 가지는 형태이다. 사람의 활동량이 많은 낮 4 시경에 물 사용량이 최대이며, 10시에 두 번째 피크를 보이는데, 이는 배수지로 공급되는 유량하므로 실제 가정에서 물을 사용하는 시간과는 다소간의 지체시간이 나타나는 것으로 사료된다. 요일별 비교에서 일요일의 경우 다른 요일과는 달리 휴일 아침의 여유로운 활동으로 인하여 아침시간 유량증가 시점이 늦춰지는 형태를 띠고 있었다.

1일 1인 평균 물 사용량의 경우 한주를 시작하는 월요일에 가장 높았으며, 주말인 토요일, 일요일 사용량이 그 뒤를 이었다.

월별 1일 공급량 변화를 조사한 결과, 공급량이 가장 많은 달은 7월이었으며, 2월에 공급량이 가장 적은 것으로 나타났다. 분석기간 중 일평균은 68,444 m³으로 전체 급수인구 (203,689명, 2001년기준)에 대해 0.336 m³, 즉 공급량기준 1인당 1일 사용량(LPCD)이 336 L이었다.

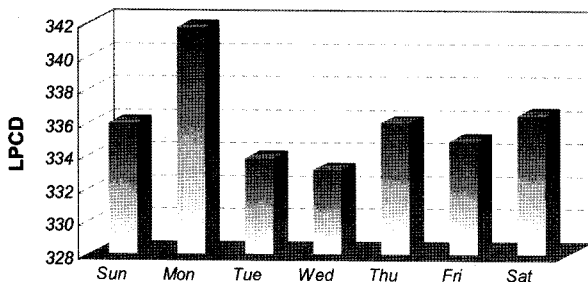


Fig. 3. Variation of weekly water supply.

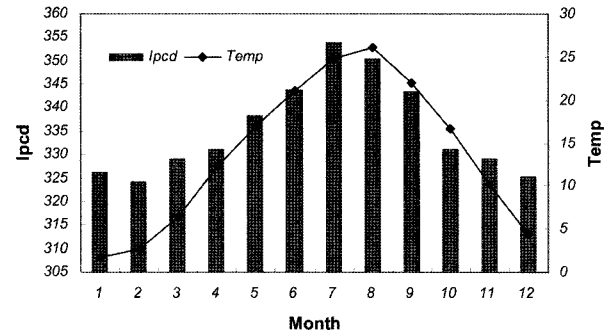


Fig. 4. Water temperature and monthly water supply.

월간 평간수온과 월별사용량을 비교한 결과 수온과 물사용량이 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 다만 8월의 경우 수온이 가장 높음에도 불구하고 7월에 비해 물사용량이 적은 것으로 나타났는데, 이는 여름휴가철 피서를 떠남에 따라 가정용수 사용량이 줄어들었기 때문으로 추측된다.

3.2. 날씨 및 온도에 따른 사용량분석

기후인자가 물 사용량에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 일별 날씨와 기온, 용수사용량의 상관관계를 조사하였다.

1,057개의 온도와 유량자료에서 월평균기온이 25℃ 이하인 달에 대해서는 일평균사용량이 65,000~70,000 m³ 수준이고, 25℃ 이상일 때 사용량이 75,000 m³까지 증가하였다. 평균기온이 낮은 달에 대해서는 물 사용량도 대체적으로 감소

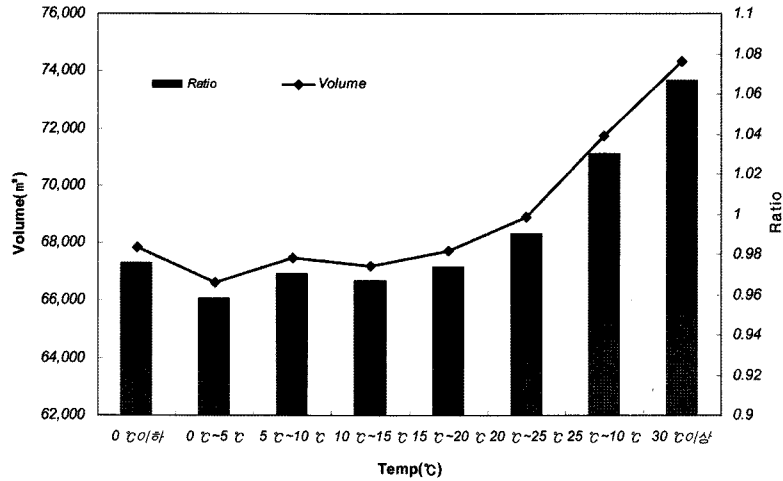


Fig. 5. Correlation between weather condition and water supply.

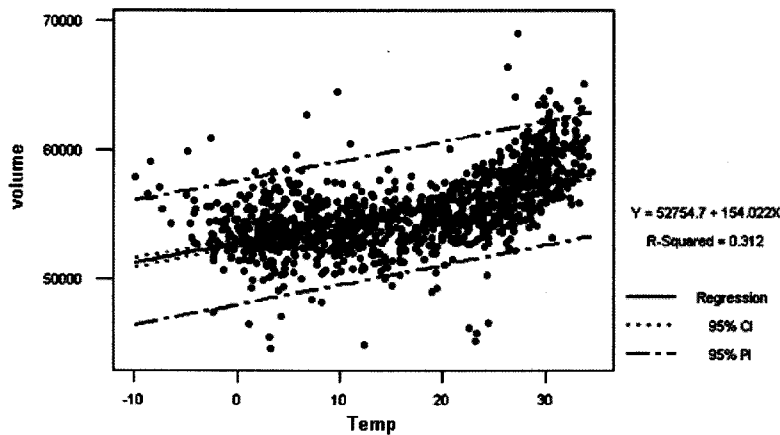


Fig. 6. Correlation between temperature and water supply.

하는 경향을 보였으며, 평균기온이 가장 높은 달에는 물 사용량이 가장 많았다(Fig. 5).

온도와 용수사용량의 선형상관계를 분석한 결과 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다.

대상기간동안 수집된 기상자료에 대하여 ‘구름조금’, ‘구름 많음’, ‘눈’, ‘맑음’, ‘비’, ‘소나기’, ‘흐림’으로 분류하여 각 날씨에 해당하는 날들에 대하여 일평균사용량의 시간패턴을 구하고, 날씨에 따른 사용량 변동을 조사한 결과 소나기가 온 날에 대하여 물사용량이 71,659 m³으로 전체적으로 가장 높았으며, 눈오는 날의 경우 물사용량이 66,046 m³으로 가장 적었다. 일반적으로 소나기가 자주 발생하는 계절이 여름임을 감안할 때 습하고 무더운 기후가 물사용량이 증가하는 원인이며, 눈오는 날의 경우 기온이 영하로 떨어짐으로써 물의 사용이 줄어드는 것으로 판단된다.

3.3. 용도별 실측 사용량 분석

전체 140가구 중 2002년에 44개 가구, 2003년에 96개 가구에 유량계를 설치하고 ‘03년 12월을 기준으로 데이터를 수집하였다. 가정에서 물을 사용하는 용도로는 욕조, 세면대, 변기, 싱크대, 세탁기, 베란다 등으로 구분하였다. 본 조사대상

가구에 대한 설문조사 결과, 베란다에 설치된 수도꼭지를 일년에 사용하는 횟수가 1회 이하인 가구가 대부분이었기 때문에 베란다 용수의 경우 급변 실측조사에서 제외하였다. 따라서 본 조사에서는 욕조, 세면대, 변기, 싱크대, 세탁기, 기타, 총량 등 7개 항목을 측정항목으로 선정하였다.

결측항목이 없는 자료의 용도별 사용량에 대해 자료선별을 위한 한계치로 각 항목별 최대값을 선정하고 이보다 큰 값은 통계분석에서 제외하였다. 이상치의 판별기준은 설문조사와 수도시설규격 등을 고려하여 용도별 일 최대 사용 가능량을 설정하여 그보다 큰 사용량은 극한사용량으로 간주하여 분석에서 제외하였다.^{2,5)} 자료선별 과정에서 세탁용수(Laundry) 사용량의 변화가 가장 크게 나타났는데, 대부분의 가정에서 세탁기를 이용하기 때문에 매일 빨래를 하지 않고 세탁물의 양에 따라 물 사용량의 변동도 심하기 때문으로 추측된다.

1인당 물사용량에 대한 실측조사결과 Table 2와 같이 아파트(164 L), 다세대주택(162 L), 연립주택(162 L), 단독주택(141 L) 순으로 나타났다. 주택 유형별 LPCD를 검토한 결과 단독주택이 다른 주거형태에 비하여 낮게 나타난 것은 단독주택의 옥외에 설치된 간이수도꼭지의 물사용량이 누락

Table 1. Statistical characteristics by housing types and purpose

	Item	N	Mean	Median	TrMean	StDev	SEMean	Min	Max
Apartment house	Toilet	25253	39.445	35.000	37.360	26.456	0.166	0.000	150.000
	Washbowl	24497	16.156	13.330	14.940	13.786	0.088	0.000	76.670
	Bathtub	24915	28.057	20.000	24.786	28.383	0.180	0.000	215.000
	Laundry	22504	35.244	2.500	27.777	54.623	0.364	0.000	330.000
	Kitchen	18566	33.072	27.500	30.268	27.536	0.202	0.000	220.000
	etc	8932	12.505	1.670	6.249	34.193	0.362	0.000	385.000
	total	16515	168.29	152.50	159.40	121.11	0.94	0.00	880.00
	Σsum		164.48						
Multi-households	Toilet	5747	40.219	35.000	38.263	25.422	0.335	0.000	206.670
	Washbowl	5082	19.981	15.000	18.173	17.853	0.250	0.000	250.000
	Bathtub	5284	25.938	20.000	23.149	27.109	0.373	0.000	320.000
	Laundry	4554	31.222	3.330	25.184	46.922	0.695	0.000	436.670
	Kitchen	5119	29.289	20.000	25.756	30.495	0.426	0.000	490.000
	etc	268	16.21	9.00	12.54	25.31	1.55	0.00	225.00
	total	*	*	*	*	*	*	*	*
	Σsum		162.86						
Tenement house	Toilet	7777	40.137	32.500	37.275	30.882	0.350	0.000	315.000
	Washbowl	5631	20.940	7.500	14.910	40.407	0.538	0.000	566.670
	Bathtub	4871	28.967	22.500	25.586	31.644	0.453	0.000	417.500
	Laundry	6073	32.272	2.500	21.870	62.781	0.806	0.000	610.000
	Kitchen	7275	32.751	27.500	30.126	26.807	0.314	0.000	273.330
	etc	510	7.059	5.000	4.181	15.683	0.694	0.000	145.00
	total	837	146.51	142.50	143.57	81.02	2.80	0.00	473.33
	Σsum		162.13						
Single house	Toilet	13604	33.723	30.000	31.126	27.770	0.238	0.000	467.500
	Washbowl	10916	13.390	8.000	10.729	18.290	0.175	0.000	363.330
	Bathtub	11696	21.600	13.330	18.269	26.517	0.245	0.000	227.500
	Laundry	12525	31.225	2.500	24.662	49.113	0.439	0.000	583.330
	Kitchen	10609	27.670	22.500	25.050	25.127	0.244	0.000	353.330
	etc	1361	12.600	2.500	9.402	21.710	0.588	0.000	150.000
	total	948	142.60	125.00	136.49	99.69	3.24	0.00	495.00
	Σsum		140.21						

Apartment house : 아파트, Multi-households : 다세대, Tenement house : 연립주택, Single house : 단독주택

Table 2. Water use(LPCD) by each housing type and purpose

	Toilet	Washbowl	Bathtub	Laundry	Kitchen	etc	ΣSum
Apartment house	39	16	28	35	33	13	164
Multi-households	40	20	26	31	29	16	162
Tenement house	40	21	29	32	33	7	162
Single house	34	13	22	31	28	13	141
Average	38	18	26	32	31	12	157

되었기 때문에 추측된다. 전체 실측데이터의 평균값은 157 LPCD를 보이고 있었다.

Fig. 8은 주택유형에 따른 용도별 물사용 경향을 나타낸 것이다. 욕조, 세탁기, 싱크대에서 사용하는 물은 아파트에서 사용량이 가장 많았다. 아파트의 경우 대부분의 활동이 실내에

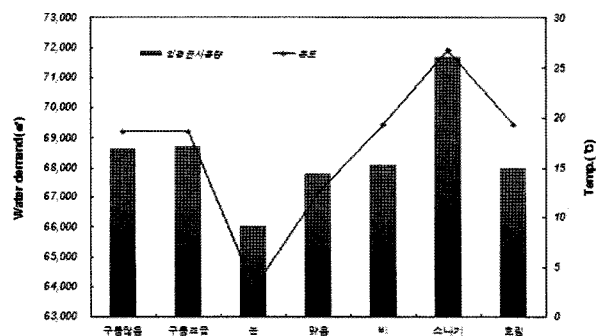


Fig. 7. Water use by housing type.

서 이루어지므로 세탁이나 주방 및 목욕용수로 사용되어지는 생활용수가 다른 주거형태에 비교하여 상대적으로 높은

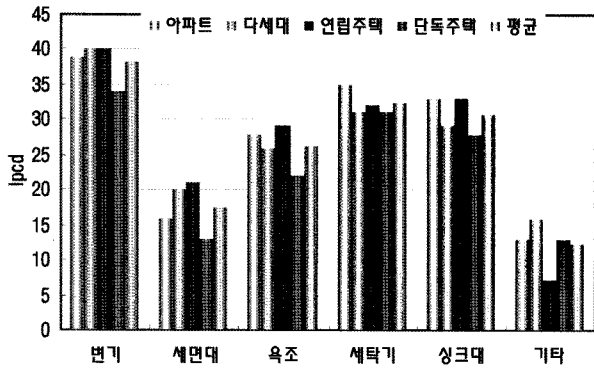


Fig. 8. Water use by each housing type and purpose.

것으로 추정된다. 변기용수의 경우 단독주택을 제외하고는 비교적 비슷한 수준을 나타내었는데, 단독주택은 대부분 항목에서 다른 주거형태보다 물을 적게 사용하는 것으로 제시되었다. 이에 대해서 표본집단의 사회·경제적 인자조사와 충분한 사용량자료가 축적된 이후에 추가적인 요인분석이 수행되어야 할 것이다.

가정용수 중 용도별 물사용비율을 Fig. 9에 나타내었다. 가정용수 사용량 가운데 변기용수가 가장 많은 양을 차지하였고, 세탁기에서 사용되는 세탁용수와 식사·음용수로 이용되는 주방용수가 그 다음으로 많았다. 욕조와 세면대에서의 사용량을 합친 목욕용수가 변기용수보다 많게 조사되는데, 이는 생활환경이 점차 서구화되면서 샤워인구가 늘어났기 때문으로 판단된다.

Table 3에는 미국, 영국 및 우리나라 가정의 용도별 물 사용량을 비교한 결과이다. 참고적으로 욕외용수나 기타용수를 제외하였고, 조사시점에 다소간의 차이가 있지만, 미국

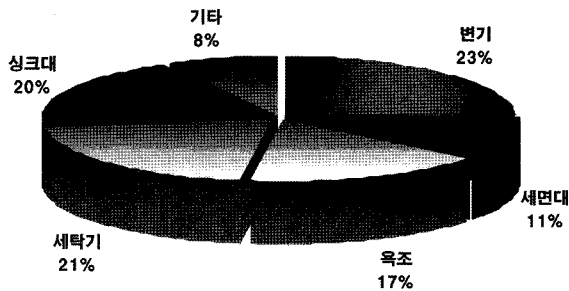


Fig. 9. Water use ratio for each purpose.

Table 3. Comparison of household water use

Use	U.K*		U.S.**		Korea	
	LPCD	Use ratio(%)	LPCD	Use ratio(%)	LPCD	Use ratio(%)
Bathing	33	26	43	30	44	30
Toilet	44	34	30	21	38	26
Laundry	15	12	35	24	32	22
Kitchen	36	28	35	25	31	21
Total	128	100	143	100	145	100

* by Hodges(1998)

** by De Oreo et al.(2001)

Table 4. Comparison of the change of water uses patterns

Use	Bradley(1985)		This study(2004)	
	LPCD	Use ratio(%)	LPCD	Use ratio(%)
Bathing	27	23	44	30
Toilet	52	45	38	26
Laundry	13	11	32	22
Kitchen	23	20	31	21
Total	115	100	145	100

의 용도별 물 사용량과 사용비율이 본 조사결과⁶⁾와 높은 유사성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 미국에서는 기존에 1회 변기세척에 16 L를 사용하는 low-tank bowl toilet을 high-tank squat toilet으로 교체한 후 세척수량을 6 L로 저감시킴에 따라 변기용수 절감에 크게 기여한 것으로 보고되었다.⁷⁾ 영국은 미국이나 우리나라와 달리 세탁용수 사용량이 적고, 변기용수 사용량이 목욕용수보다 많은 특징을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 1인당 물사용량 추정 근거자료로 활용하기 위하여 표본가정에 설치된 용도별 용수사용량의 실측자료 배수지로 공급되는 유량자료를 분석하였다. 공급량의 최저부하 발생은 오전 7시(1,816 m³), 최대 피크는 오후 4시경과 10시에 관측되었으며, 월요일에 물 공급량이 가장 많았고 월간공급량은 7월이 가장 많았다. 또한, 온도, 날씨 등 기후인자와 물 사용량 사이에 높은 상관관계가 있음을 보여주었다.

가정용수의 용도별 물 사용비율을 산정한 결과, 변기용이 23%(38 L), 세탁기용이 21%(32 L), 싱크대용이 20%(31 L), 욕조용이 17%(26 L), 세면기용이 11%(18 L)순으로 변기용수가 가장 많이 사용되고 있어 절수계획 수립시 이를 통한 절수효과가 가장 높을 것으로 추정된다.

주거형태별 물 사용량에서는 특징적인 차이가 발생하였고 판단하기는 어려우나, 주택유형별 LPCD는 아파트의 경우 164 L로서 가장 많은 소비를 보였으며, 그 다음으로 다세대주택, 연립주택, 단독주택의 순으로 나타났다. 본 조사결과와 1985년에 조사된 용도별 물 사용량을 비교한 결과, 기타용수를 제외하고 총량은 약 30 L 정도 증가하였으며 용도별 사용량이 차지하는 비율은 경제성장과 생활패턴의 서구화 등으로 인하여 선진 외국의 물 사용패턴과 유사하게 변화되고 있는 경향을 보여주었다.

누수탐사 및 복구, 압력제어, 노후관개대체 등의 적극적인 누수저감 대책뿐만 아니라 가구별, 배수유역별 유량 및 압력을 모니터링하고 이러한 기초자료의 축적과 분석이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김종원, 물 수요 분석을 통한 합리적 정책수립에 관한 연구(2001).

2. 한국수자원공사 수자원연구원, 실측을 통한 생활용수의 예측모델 개발 연구(2003).
3. 김갑수, 양지희, 황성환, "서울시 가정에서의 수도물 사용량과 거주인구증가에 따른 1인 1일 시공량의 감소변화에 관한 연구," 대한환경공학회지, **29(1)**, 89~97(2007).
4. 한국수자원공사, 용도별 유량계 설치를 위한 표본선정수립(2001).
5. 한국수자원공사, 가정용수의 수요량 예측모델 개발 연구(2006).
6. Bradley, R. M., "Forecasting Domestic Water Use in Rapidly Urbanizing Areas in Asia," *J. Environ. Eng.*, **130(4)**, 465~471(2004).
7. De Oreo, W. B., Diemann, A., Skeel, T., Mayer, P. W., Lewis, D. M., and Smith, J., "Retrofit realities," *J. Am. Water Works Assoc.*, **93(3)**, 58~72(2001).
8. Hodges, D., "Water conservation—a need but how do we achieve it?," *Water Environ. Manage.*, **3(2)**, 2~3(1998).