

# 도시용수관리의 실용화 모델에 관한 연구

김수원\* · ○송수옥\*\*

## 1. 서 론

최근 도시화, 공업화 및 급속한 경제성장으로 장기적인 물수요는 지속적으로 증가하고 있는 반면 이상기후로 인한 빈번한 가뭄발생과 한정된 수자원, 지역이기주의로 인한 댐 개발적지감소 등으로 장래에 충분한 양의 물을 공급할 수 있을지 불투명하게 되었다. 따라서 기존의 공급위주의 용수관리와 함께 수요관리를 고려한 도시용수관리가 필요하게 되어 본 연구에서는 도시용수를 종합적으로 관리할 수 있는 도시용수 관리모델을 제시하고자 한다.

## 2. 도시용수관리모델 이론

### 2.1 IWR-MAIN

본 연구에서는 도시용수를 가정용, 영업용, 공업용, 공공용수로 구분하여 각 Sector에 대한 인구통계학적·사회경제적인 변수 및 일최대·일평균사용량, 주택의 형태, 산업표준분류에 의한 영업용 및 공업용수의 사용수량을 변수로 하여 각 용도별 사용수량을 바탕으로 장래 수요량을 추정하고, 절수교육 프로그램 및 요금체계 변환 등의 수요억제기법을 도입하여 용수를 수요관리하는 IWR-MAIN을 사용하였다.

### 2.2 각 Sector별 기본 이론

#### 1) 가정용

##### (1) 계량제 상수도 및 하수시설정비 모델

○ 평균사용량 :  $(Q_D)_{ms} = (234 + 1.451V/Fa - 45.9Pa - 2.59I_a)N_r$  ----- (2-1)

○ 최대사용량 :  $(Q_s)_{ms,w} = (0.48 * 58.777 * P_s^{-0.703} * (V/Fa)^{0.429})N_r * 2.0 * WF + (Q_D)_{ms}$  --- (2-2)

$(Q_s)_{ms,e} = (385.0 * 2.876V/Fa - 285.8P_s - 4.35I_s + 157.77 * B * MD)N_r$  -- (2-3)

##### (2) 정액제 상수도 및 하수시설정비 모델

○ 평균사용량 :  $(Q_D)_{fs} = (28.9 + 1.576V/Fa - 33.6D_p)N_r$  ----- (2-4)

○ 최대사용량 :  $(Q_s)_{fs} = (0.41 * 44.573 * (V/Fa)^{0.783})N_r * 2.0 + (Q_D)_{fs}$  ----- (2-5)

##### (3) 정액제 상수도 및 하수시설미정비 모델

○ 평균사용량 :  $(Q_D)_{fs} = (30.2 + 39.5D_p)N_r$  ----- (2-6)

○ 최대사용량 :  $(Q_s)_{ft} = (0.41 * 44.573 * (V/Fa)^{0.783})N_r * 2.0 + (Q_D)_{ft}$  ----- (2-7)

\* 계명대학교 토목공학과 교수 \*\* 계명대학교 토목공학과 석사 졸업

(4) 아파트형 모델

○ 평균사용량 :  $(Q_D)_{ap} = (28.9 + 1.576V/Fa + 33.6D_p)N_r$  ----- (2-8)

○ 최대사용량 :  $(Q_s)_{ap} = 1.433 * (Q_D)_{ap}$  ----- (2-9)

2) 영업용 및 공공단체 :  $(Q_a)_c = (C_a)_c * P_c * ADJ$  ----- (2-10)

3) 공업용 :  $(Q_a)_n = (C_a)_n * P_n * ADJ$  ----- (2-11)

4) 공공용 및 무수량 :  $(Q_a)_{pu} = (C_a)_{pu} * P_{pu}$  ----- (2-12)

3. 실용화 모델의 구축

3.1 장래용수수요량 추정

1) 가정용수

대상도시로 정한 대구광역시에서는 계량 및 체증제 요금부과방식을 사용하고 있으며, 선행된 연구로서 김수원)은 우리나라의 장래 용수수요모델을 유도하기위한 설명변수로 는 가구수를 변수로 하는 1변수 선형모델이 가장 적합하다고 발표하였다. 따라서 본 연구에서는 대상지역에 맞는 가정용수 수요추정 모델은 개별상수도 및 하수시설정비 모델을 기본으로 하고, 주택의 수를 설명변수로 하는 모델로 IWR-MAIN을 수정하였다.

(1) 평균사용량

가정용수의 평균사용량이란 실내사용수량을 뜻하며 주로 실내에서 용수가 소비되는 11월~2월 까지 가정용수량의 주택당 1일사용량을 구하여 이를 평균사용량으로 하였다.

표 1에서 구한 주택당 1일사용량으로 식(2-1)을 식(3-1)과 같이 수정하였다.

$Q_{min} = 211.5981N_r$  ----- (3-1)

(2) 최대사용량

최대사용량은 실내사용수량과 실외사용수량을 합한 수량을 의미하며 실외 소비량이 많은 5월~10월까지 가정용수량의 주택당 1일사용량을 구하여 이를 최대사용량으로 하였다.

표 1에서 구한 주택당 1일사용량으로 식(2-3)을 식(3-2)와 같이 수정하였다.

$Q_{max} = 243.2160N_r$  ----- (3-2)

표 1. 대구광역시 평균 및 최대사용량(1994)

구 분	사용량(m <sup>3</sup> )	일일사용량 (ℓ/주택)	구 분	사용량(m <sup>3</sup> )	일일사용량 (ℓ/주택)
11월	12,945,642	956,4533	5월	10,777,764	770,5968
12월	11,941,212	853,7839	6월	11,288,580	834,0233
1월	10,248,914	732,7871	7월	12,204,808	872,6290
2월	10,350,454	819,3357	8월	13,464,809	962,7194
3월	10,130,862	724,3452	9월	14,747,772	1089,5967
4월	9,727,477	718,6867	10월	13,900,530	993,8710
평 균	-	800.8987 (211.5981gal/unit)	평 균	-	920.5727 (243.2160gal/unit)

비고) 1994년 주택수 : 451,169호

2) 영업용수

영업용수의 각 업종별 단위사용량은 한국표준산업분류(KSIC)에 따른 “1994년 사업체기초통계조사보고서(대구광역시)”에 의해 업종을 분류하여 각 업종별 사용수량과 IWR-MAIN에 의해 시뮬레이션(Simulation)된 용수량과 비교하여 IWR-MAIN에서 기본적으로 제공하는 단위사용량의 차이를 조정하였다.

표 2. 영업용수량의 대비

년 도	실 사용수량 (m <sup>3</sup> /일)	시뮬레이션 수량 (m <sup>3</sup> /일)	편차 (%)	조정계수
1994	328,407	129,689	-60.51	2.5323

표 2의 조정계수는 시뮬레이션 수량을 실제수량에 맞추기위한 계수이다.

$$(Q_a)_c = (C_a)_c * P_c \text{ ----- (3-3)}$$

여기서  $(Q_a)_c$ 는 영업용수의 일일사용량(gal/day),  $(C_a)_c$ 는 영업용수의 단위사용량(gal/person · day),  $P_c$ 는 물사용변수(person)이다.

3) 공업용수

공업용수의 단위사용량은 “1994년 사업체기초통계조사보고서(대구광역시)”에 의해 업종을 분류하고 실제 사용된 공업용수량과 시뮬레이트된 공업용수량을 비교하였다.

표 3. 공업용수량 대비

년 도	실 사용수량 (m <sup>3</sup> /일)	시뮬레이션 수량 (m <sup>3</sup> /일)	편차 (%)	조정계수
1994	79,270	222,331	+180.47	0.3565

표 3의 조정계수는 시뮬레이션 수량을 실제수량에 맞추기위한 계수이다.

$$(Q_a)_n = (C_a)_n * P_n \text{ ----- (3-4)}$$

여기서  $(Q_a)_n$ 은 공업용수의 일일사용량(gal/day),  $(C_a)_n$ 은 공업용수의 단위사용량(gal/person · day),  $P_n$ 은 물사용변수(person)을 나타낸다.

4) 무수량

1995년 상수도통계<sup>2)</sup>에 따르면 대구광역시의 1994년 무수율은 21.4%에 이르고, 대구광역시 1일 손실되는 무수량은 101.4 l/인 · 일에 이르고, 공공용수량은 0.72 l/인 · 일이다.

$$(Q_a)_{pu} = (C_a)_{pu} * P_{pu} \text{ ----- (3-5)}$$

여기서  $(C_a)_{pu}$ 는 공공용수량의 사용계수(gal/person · day),  $P_{pu}$ 는 사용변수(unit)를 나타낸다.

3.2 용수수요관리를 고려한 실용화 모델

용수수요관리를 고려한 실용화 모델을 구축하기 위해서 수요억제효과로서 감소요소(Reduction

Factors)와 각 수요관리인자의 적용년도에 따른 보급효과로서 보급요소(Coverage Factors)를 사용한다.

$$E = R * C * Q \text{ ----- (3-6)}$$

여기서 R은 감소요소, C는 보급요소, Q는 수요관리를 고려하지 않은 경우의 장래 수요량(gal/day), E는 수요관리를 했을 때 요소별 단위수요억제량(gal/day)을 나타낸다. 한편 본 실용화 모델의 용수수요관리(수요억제)인자들로써 절수교육 프로그램, 절수형 요금체계, 중수도 시스템, 누수방지, 절수형 급수장치 설치 등을 대상으로 하였다.

#### 1) 절수교육 프로그램

절수 홍보 및 교육 프로그램은 매스컴 및 반사회를 통한 홍보강화, 여성사회단체 및 부녀회 등과 연계한 절약 실천운동 전개, 물절약 유공자에 대한 표창 실시, 물절약 스티커 및 홍보책자 배포 등의 방법이 있다. 본 실용화 모델에 적용한 감소요소는 표 4와 같이 가정용, 영업용, 공업용 모두 0.089를 적용하였으며 보급요소는 0.75를 적용하였다.<sup>3)</sup> 절수교육 프로그램의 시작시기는 2001년부터 적용하였다.

#### 2) 절수형 요금체계

대구광역시의 상수도 요금체계는 「기본요금제+체증요금제」 형태로 구성되어 있으며 1996년말 기준 상수도의 생산원가는 395.75원/m<sup>3</sup>이나 요금은 310.02원/m<sup>3</sup>으로 원가의 78.3% 수준에 불과하다. 이에 대구광역시에서는 상수도요금을 2000년초까지 단계적으로 원가수준까지 인상시킬 계획이며 이를 위하여 현행 기본요금제도를 폐지하고 수도관 구경별 정액요금체제로 변경하여, 현행 요금구간을 세분화하여 단계별로 높은 누진율을 적용하는 상수도요금 변경안으로 절수를 유도할 방침이다.<sup>4)</sup> 한편 절수형 요금체계는 2001년부터 적용하는 것으로 하고, 감소요소는 표 5와 같이 가정용은 0.02, 영업용은 0.277을 사용하였고, 보급요소는 1.0을 사용하였다.<sup>3)</sup>

#### 3) 중수도 시스템

1996년말 현재 우리나라에는 빌딩 및 공장등 30개소(138,000m<sup>3</sup>/일)에 설치<sup>5)</sup>되어 있으며 공공건물 신축시에는 중수도시설 설치를 권장하고 있다. 그러나 정부는 2000년부터 대형 공공건축물에 우선적으로 중수도 설치를 의무화하고 점차적으로 민간분야로 확대 보급할 방침이다. 한편 중수도의 수요억제효과는 20%로 나타나있어<sup>6)</sup> 대상지역에 대한 감소요소는 표 6과 같이 영업용 및 공업용 0.20를 적용하고, 보급요소는 0.33을 적용하였다.<sup>3)</sup>

#### 4) 누수방지

대구광역시는 1991년 무수량에 대한 조사를 실시한 결과 누수는 약 17.6%에 이르렀으나<sup>7)</sup> 지속적인 누수탐사와 수리를 통하여 1994년에는 11.7%에 이르게 되었다.<sup>2)</sup> 한편 대상도시에 적용한 감소요소는 표 7과 같이 0.1을 적용하고, 보급요소는 1.0으로 적용하였다.<sup>3)</sup>

#### 5) 절수형 급수장치

절수형 급수장치는 물 사용의 효율성을 높이기 위해 제작된 급수장치로서 토수량을 줄여주는 장치를 말한다. 한편 대상지역에 적용하는 감소요소는 표 8과 같이 0.144를 적용하고, 보급요소는 0.95를 적용하였다.<sup>3)</sup>

표 4. 절수교육 프로그램의 감소요소 및 보급요소

구 분	가정용	영업용	공업용
감소요소(R)	0.089	0.089	0.089
보급요소(C)	0.750	0.750	0.750

표 5. 절수형 요금체계의 감소요소 및 보급요소

구 분	가정용	영업용
감소요소(R)	0.02	0.277
보급요소(C)	1.0	1.0

표 6. 중수도 시스템의 감소요소 및 보급요소

구 분	영업용	공업용
감소요소(R)	0.20	0.20
보급요소(C)	0.33	0.33

표 7. 누수방지에 의한 감소요소 및 보급요소

구 분	가정용	영업용	공업용	공공용
감소요소(R)	0.10	0.10	0.10	0.10
보급요소(C)	1.0	1.0	1.0	1.0

표 8. 절수형 급수장치의 감소요소 및 보급요소

구 분	가정용	영업용
감소요소(R)	0.144	0.144
보급요소(C)	0.95	0.95

#### 4. 모델의 적용 및 고찰

수정된 수요예측모델을 이용하여 2001년부터 5년간격으로 2016년까지 대구광역시의 장래 용수 수요량을 예측하여 표 9와 같은 결과를 얻었다.

표 9. 수정된 수요예측모델에 의한 장래 용수수요량 전망(대구광역시)

년 도	장래 용수수요량 (m <sup>3</sup> /일)
1994	1,014,883
2001	1,703,212
2006	1,974,214
2011	2,221,371
2016	2,454,005

한편 각각의 수요관리인자에 의한 장래 용수수요억제량은 다음 표 10과 같이 예측할 수 있다.

표 10. 수요관리인자에 의한 용수수요억제량 비교

년 도	각 수요관리인자에 의한 수요억제량 (m <sup>3</sup> /일)					전체 수요억제량 (m <sup>3</sup> /일)	수요억제 효과(%)
	절수교육	절수형요금	중수도	누수방지	급수장치		
2001	89,360	213,773	44,315	133,875	143,856	625,179	36.71
2006	103,576	250,340	51,688	155,173	167,035	727,812	36.87
2011	116,544	280,404	57,441	174,598	189,087	818,074	36.83
2016	128,751	310,533	63,229	192,888	209,731	905,132	36.89

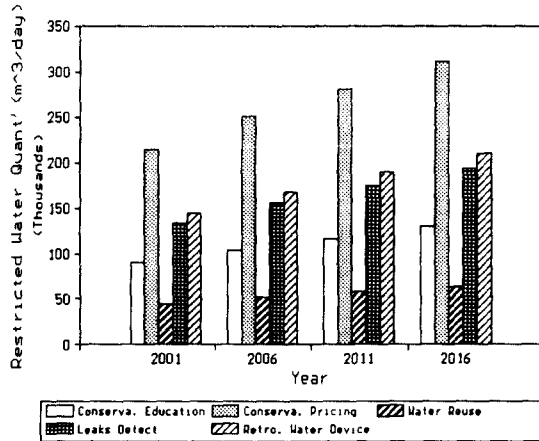


그림 1. 각 수요관리인자에 의한 수요억제량 대비

## 5. 결 론

수요와 공급의 복합적인 도시용수 관리모델을 개발하고자 한 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 실용화 모델의 중요 수요관리(수요억제)인자로서는 절수교육 프로그램, 절수형 요금체계, 중수도 시스템, 누수방지 프로그램 및 절수형 급수장치의 설치 등을 대상으로 하였다.
- 2) 본 실용화 모델은 각 수요관리인자의 설명변수로서 감소요소와 보급요소를 가지며, 감소요소의 최소 및 최대값은 각각 0.02 및 0.2로 나타났으며, 보급요소의 최소 및 최대값은 각각 0.33 및 1.0으로 나타났다.
- 3) 이들 수요관리인자로부터 구한 전체 용수수요량에 대한 총 수요억제효율은 36.83%로 최대 수요억제효율은 절수형 요금체계로서 12.63%로 나타났으며 최소 수요억제효율은 중수도 시스템으로서 2.60%로 나타났다.
- 4) 본 모델을 이용하여 대구광역시의 장래 도시용수 수요량을 대비하여 보면 2016년의 경우 총 도시용수 수요량이 2,454천m<sup>3</sup>/일에서 36.89%가 감소된 1,549천m<sup>3</sup>/일로 나타났으므로 용수개발비의 감소는 물론 용수원 개발억제에 따른 환경오염 저감효과도 기할 수 있다.

## 6. 참고문헌

- 1) 김수원 : “도시용수 계획을 위한 물 수요예측에 관한 연구”, 영남대학교 박사학위논문, 1985, pp.70
- 2) 환경부 : 1995년도 상수도통계, 환경부, 1995, pp.532
- 3) William Y. Davis의 5 : IWR-MAIN Water use forecasting system, version 5.1(User’s manual and system description), Planning and Management Consultants Ltd., USACE, 1988, B-1,2,II-90,69,70,71,72,73.
- 4) 상수도사업본부 : 제63회 시의회(임시회) 시정질문답변서, 상수도사업본부, 1997.
- 5) 환경부 : 물 수요관리 종합대책, 환경부, 1997, pp.14.
- 6) 건설부 : 중수도 기술개발 방안 연구, 건설부, 1994, pp.95.
- 7) 김수원, “우리나라도시상수도의 무수율저감대책”, 수도, 제61호, 1993. 5., pp.27.