

주택단지내 적정상수량 산정에 관한 연구

글 유명진 · 구자용 · 정신호 · 이화경 · 최종수 · 최태용 · 윤여천
서울시립대학교 환경공학부, 한국토지공사, 한국상수도협회



※ 본고는 2002년 12월부터 2004년 8월까지 환경부와 함께 한국토지공사에서 연구용역을 발주하고 한국상수도협회에서 용역을 수주, 전국 9개 대학과 공동으로 수행한 “주택단지내 적정상수량 산정에 관한 연구 - 우수율과 침투부하율을 중심으로”의 연구결과 보고입니다.

1. 서론

통계청 자료에 의하면 2003년 12월 기준으로 우리나라의 인구는 4천 8백 8십만 명을 넘어섰다. 인구증가율은 1990년 0.99%에서 2003년 0.57%로 완화되었지만 여전히 증가하는 인구 및 핵가족화는 주택단지의 새로운 조성을 필요로 하고 있다. 우리나라 주택보급률은 최근 크게 높아졌다고는 하지만 구미 선진국들은 이미 90년대 초에 인구 1,000명당 400~470호의 주택을 보유하고 있는데 반해 우리나라의 경우에는 아직 255호(2002년) 정도이다. 앞으로 선진국수준으로 핵가족화 할 것임을 감안하면 한국의 주택보급수준은 아직 선진국의 절반에 불과하여 신규 주택단지 조성의 필요성은 계속 제기될 것이다.

상수도 시설은 신규 주택단지 조성시 도시 기반시설로서 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 상수도 시설을 설계할 때 상수용량을 적절하게 결정하는 것은 경제적인 이유에서 뿐만 아니라 수도공급의 양과 질을 위해서도 매우 중요한 요인이다. 상수도 시설을 설계하기 위해서는 일반적으로 계획년도 설정, 계획급수면적 설정, 계획인구 산정, 계획1인당급수량의 산정의 순으로 계획급수량을 결정한다. 그리고 이 계획급수량을 산정하는 과정에서 사용량과 급수량의 관계를 설정하기 위해서 유효율 혹은 우수율을 고려하게 되고, 평균급수량과 최대급수량의 관계를 위해서 침투부하율과 시간계수의 개념을 도입하게 된다.

그러나 이런 설계를 하는데 중요하게 사용되는 우수율, 침투부하율, 시간계수는 주택단지조성시에 합리적으로 사용할 수 있는 확립된 기준이나 축적된 자료가 국내에 존재하지 않는다. 현재 설계 우수율은 오래전에 조성된 행정구역별 자료를 이용하거나 막연히 적절하다고 여겨지는 값을 이용하고 있어 합리적이지 못하다. 침투부하율도 지역의 특성별로 매우 다름에도 불구하고

이에 대한 신뢰성 있는 통계자료의 부족으로 과거의 기준이 검증 없이 사용되고 있는 것도 문제이다. 이 때문에 전국적 규모로 침투부하율을 주거형태 및 도시발달 정도, 시간대별로 측정하여, 신도시 개발 및 상수도 관련 기반 시설 구축시 유용하게 사용하게 될 것이다.

본고는 먼저 연구의 구성과 개요, 침투부하율과 시간계수에 대해서 그리고 상수량원단위와 우수율에 대해서 언급하도록 한다.

2. 연구개요

(1) 컨소시엄 구성

전국을 포괄하는 자료를 수집하기 위하여 전국의 각 도를 포함하도록 서울시립대학교(서울, 성남), 단국대학교(의정부), 강릉영동대학(강릉), 한밭대학교(대전), 청주과학대학(청주), 부산대학교(부산, 울산), 대구한의대학교(대구), 전남대학교(나주), 전북대학교(전주)의 9개 학교가 컨소시엄을 구성하고 11개 지자체를 담당하였다.

(2) 연구대상지역 선정

당초에는 단독주택, 연립주택, 아파트의 주거유형별로 구분하여 조사할 것을 계획하였으나 순수한 하나의 주거유형별로 독립된 급수구역이 존재하는 곳을 찾을 수 없었으므로 주거유형이 혼재된 상태에서의 주거유형의 비율과 지역의 특성을 조사하기로 하였다. 그리고 급수유량조사 및 사용량조사 가능여부를 확인하여 11개 지자체 중에서 서울 3개 지역, 성남 2개 지역, 의정부 1개 지역, 강릉 1개 지역, 대전 2개 지역, 청주 1개 지역, 부산 1개 지역, 울산 1개 지역, 대구 1개 지역, 나주 1개 지역, 전주 1개 지역 총 16개 연구대상지역이 최종 선정되었다.

연구제목	주택단지내 적정상수량 산정에 관한 연구 - 유수율과 침투부하율을 중심으로
연구기간	2002년 12월~2004년 8월
발주기관	한국토지공사
수행기관	한국상하수도협회
주관연구기관	서울시립대학교(연구책임자:유명진, 선임연구원:구자용)
공동연구기관	단국대학교(현인환), 강릉영동대학(정태명), 한밭대학교(방기웅), 청주과학교(이준호), 부산대학교(김상현), 대구한의대학교(박종웅), 전남대학교(이용운), 전북대학교(원찬희)

표 1) 연구개요

(3) 기초자료 수집

연구대상지역의 지역특성을 나타낼 수 있는 인구수, 급수전수, 세대수, 구역면적(토지면적), 평균수압, 배수관연장, 배수관평균매설년도, 배수관평균관경, 급수관연장, 급수관평균관경, 건축물 조사를 실시하고 기초 자료로부터 계산하여 인구밀도, 급수전밀도(배수관연장당 급수전수), 면적당 급수전수 등의 영향인자를 산출하였다. 또한 상수도, 인구, 가구, 주택 통계자료 조사하여 회귀모델의 영향인자로 사용하였다.

(4) 급수량 조사

지역별로 2003년 3월부터 2004년 5월까지 13개월~15개월 동안 일별, 시간별 급수량을 실측하여 1일평균급수량, 1일최대급수량, 침투부하율, 시간계수를 산정하였다.

(5) 사용량 조사

연구대상 급수구역에 해당하는 번지만을 추출하여 합계를 산출하고 검침기간별 사용량을 급수량과 비교하여 유수율을 산정하였다.

(6) 원단위 조사

상기에 조사한 급수량과 사용량을 인구수로 나누어 원단위를 산정하였다.

(7) 통계분석 및 회귀모델 구축

침투부하율과 시간계수의 합리적인 산정을 위해 통계처리를 실시하고 조사된 지역특성 자료 및 실측자료, 통계처리 자료를 이용하여 침투부하율과 시간계수의 회귀모델 구축하고 유수율에 대해서는 실측자료만을 가지고는 해석에 어려움이 있어 통계자료를 보완하여 회귀모델 구축하였다.

3. 적정상수량 계획

상수도 시설용량 설계를 위한 적정상수량의 계획은 일반적으로 그림 1)에 나타낸 바와 같이 계획년도 설정, 급수면적 설정, 급수인구 추정, 1인당 급수량 산정을 거쳐 계획급수량을 산정하는 순으로 진행된다. 그러나 급수구역내의 비거주인구에 의해 사용되는 영업용수 등은 계획1인당급수량에 거주인구만을 고려하여 계획급수량을 산정하는 총량적인 방법으로는 제대로 표현되지 않는다. 주거지역과 영업지역의 특성이 매우 다르며, 영업지역 내에서도 각 영업소들의 물사용 특성이 서로 차이가 많아서 용도별 사용수량을 별도로 고려해야 한다는 주장이 힘을 얻고 있다.

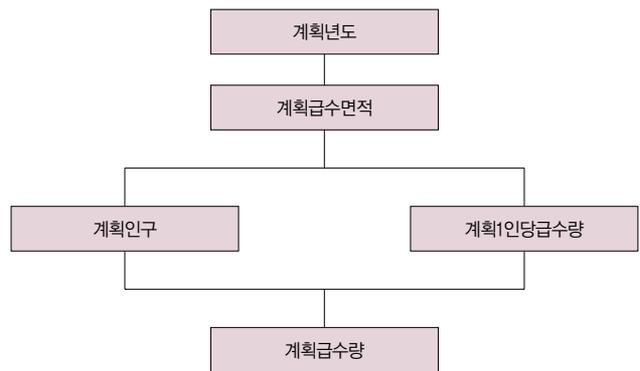


그림 1) 계획급수량 산정 절차

따라서 계획급수량을 용도별 사용수량 산정을 통해서 계획급수량을 산정하는 절차를 요약하면 그림 2)와 같다. 유효수량을 사용량이라고 정의하면 유효무수수량까지 고려해야 하지만 상수도사업용 수량, 수도계량기 불감수량, 소화용 수량 및 부정사용량 등은 근거를 명확하게 밝히기 어렵다. 이 때문에 수도요금부



그림 2) 용도별 사용량으로부터의 계획급수량 산정절차

과량을 사용량이라고 정의하게 되면 유수율을 적용하여 평균급수량을 산정할 수 있다. 그리고 첨두부하율 혹은 부하율을 적용하여 각종 상수도시설용량의 기준이 되는 최대급수량을 산정하게 된다. 그리고 관경결정시에 순간적인 최대 사용수량을 충족시키기 위해서 시간계수를 고려하게 된다.

이 부분에서 계획 유수율과 첨두부하율, 시간계수를 체계적인 자료 구축을 통해서 우리나라의 현실에 맞는 합리적인 값을 도출하고자 하는 것이 연구의 목적이다.

4. 첨두부하율, 시간계수의 이론적 고찰

(1) 첨두부하율

우리나라에서는 공식적으로 첨두부하율이라는 용어를 정의하고 있지 않다. 단지 상수도시설기준에서는 “계획1일평균급수량은 계획1일최대급수량의 70~85%를 표준으로 한다”고 규정하고 있다. 이러한 부하율의 개념은 설계시 계획한 최대급수량에 대하여 실제 상황에서 평균적으로 어느 정도 통수도도록 하는 것이 적합한가, 즉 어느 정도 여유를 두는 것이 안전한가를 표현하는 정의라고 볼 수 있다. 그러나 상수도시설기준은 구체적인 적용기준을 제시하고 있지 않다. 한편, 동일한 내용을 반대로 계산하여 부하율의 역수를 첨두부하율 혹은 첨두율로 정의하고 사용하기도 한다.

식 1) $\text{부하율} = \text{1일평균급수량} \div \text{1일최대급수량}$

식 2) $\text{첨두부하율} = \text{1일최대급수량} \div \text{1일평균급수량}$

식 3) $\text{계획1일최대급수량} = \text{계획1일평균급수량} \div \text{부하율}$
 $= \text{계획1일평균급수량} \times \text{첨두부하율}$

따라서 70~85%로 제시된 부하율은 1.429~1.176의 첨두부하율이 되며 80%부하율은 1.25의 첨두부하율이 된다. 첨두부하율의 개념은 평균적인 급수량 실적에 대하여 극단적인 값이 얼마나 크게 나타나는가에 관한 위험도를 표현하는 정의로 볼 수 있다. 전국수도종합계획(환경부, 1998)에서는 첨두부하율이라는 용어를 사용하지 않고 1일최대급수량과 1일평균급수량의 비라고 표현하고 있으며 인구규모에 따라 다음과 같이 나타난다고 하였다.

일본에서는 일평균급수량과 일최대급수량의 관계를 부하율의 개념으로 정의하여 1일평균급수량/1일최대급수량으로 계산하고 있다. 그리고 인구규모가 커질수록 부하율이 크게 나타난다고 말하고 있다. 인구규모가 작아질수록 첨두부하율 값이 커지는 것과 동일한 의미이다. 또한 일본 수도시설설계지침은 1970년부터 1997년까지의 부하율추이를 제시하면서 부하율이 지속적으로 증가(첨두부하율이 감소)하고 있음을 보여주고 있다. 일본의 제시값은 첨두부하율로 보았을 때 전반적으로 우리나라에서 제시한 값보다 다소 낮은 경향을 보이고 있다.

한편 미국의 경우는 Peak Factor 혹은 Peaking Coefficient 라는 용어를 사용하여 일평균급수량에 대한 일최대급수량의 비를 제시하고 있다. 일본과 같은 부하율의 개념으로 제시한 문헌은 발견하지 못하였고 모두가 첨두부하율의 개념으로 제시하고 있다. 인구 혹은 급수량규모에 따라 다른 값을 제시하고 있지 않고 일반적으로 나타나는 범위로만 제시하고 있다. 미국수도협회에서는 1.2~2.5의 값을 제시하고 있고 가장 큰 값을 나타낸 Water Distribution Systems Handbook에서는 1.5~3.5까지 나타날 수 있다고 제시하고 있다. 이러한 범위는 국내 혹은 일본에서 제시한 값보다는 매우 높은 값에 해당한다.

이렇듯 국내의 기준은 모호하며 충분한 조사 실적이 없고, 일본

인구규모	300만 이상	100만~300만	50만~100만	25만~50만	10만~25만	5만~10만	2만~5만	1만~2만	1만 미만
일최대/일평균	1.15	1.17	1.2	1.22	1.25	1.3	1.3	1.3	1.3

표 2) 전국수도종합계획의 인구규모별 일최대/일평균급수량 비

인구규모	100만 이상	50만~100만	25만~50만	10만~25만	5만~10만	3만~5만	2만~3만	1만~2만	5천~1만	5천 미만
부하율	84	86.7	84.8	84.5	83	80.7	80	78.6	74.9	69.2
첨두부하율*	1.190	1.153	1.179	1.183	1.205	1.239	1.250	1.272	1.335	1.445

* 부하율의 역수로 계산

표 3) 일본 수도시설설계지침의 1997년 인구규모별 부하율 제시값

이나 미국의 예도 어떤 것을 사용하여야 할지 막연하여 합리적으로 사용하기에는 부족하다.

출 처	제 시
Distribution Network Analysis for Water Utilities, AWWA M32	Peak factor = Maximum-day demand / Average-day demand : 1.2~2.5
Water Works Engineering, Planning Design and Operation, Prentice Hall PTR	Maximum day in a year (Percent of Annual Average Day) : 160~220%
Water Distribution Systems Handbook, McGraw Hill	Peaking Coefficient, Maximum day to average day : 1.5~3.5 (US), 1.8~2.8 (Common)
Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, John Wiley & Sons	The maximum daily demand is usually 150% of the average annual rate
기초 상하수도, 신광문화사	계획1일최대급수량과 계획1일평균급수량과의 비율은 대략 60~90% (1.67~1.11)

표 4) 미국 및 한국 문헌에서의 첨두부하율

(2) 시간계수

상수도시설기준에서 시간계수는 시간최대배수량의 시간평균배수량에 대한 비율로 정의하고 있고 급수구역내의 주야간 인구의 변동, 공장, 사업소 등에 의한 사용형태, 관광지 등의 계절적 인구이동 등의 성격에 따라 변화하며 1일 최대급수량이 클수록 작고, 작을수록 커지는 경향이 있다고 언급하고 있다. 이의 계산식은 아래와 같다.

$$\text{식 4)} \quad \frac{\text{계획1일최대급수량}}{(\text{m}^3/\text{일})} = \frac{\text{계획시간최대배수량}(\text{m}^3/\text{시})}{24} \times K$$

K로 정리하고, 계획값을 실측값으로 대치하고 배수량을 급수량과 같은 의미로 정의하면, 식 4-5와 같이 된다.

$$\text{식 5)} \quad K = \frac{\text{실측시간최대급수량}(\text{m}^3/\text{시})}{\text{실측1일최대급수량}(\text{m}^3/\text{일}) / 24}$$

K값은 대도시와 공업도시에서는 1.3, 중도시에서는 1.5, 소도시 또는 특수지역에서는 2.0이 보통이라고 제시하고 있다. 그러나

구체적인 적용기준은 존재하지 않으며, 아직까지 적용하기에 따라 1.3~2.0에 이르는 큰 차이를 합리적으로 설명할 수 있는 검증된 국내자료가 전무한 실정이다.

배수구역 구분	시간계수 산정식
250개 배수구역 전체	식 6) $K = 2.6002 \cdot (Q/24)^{-0.0628}$
주로 주택 위주의 134개 배수구역	식 7) $K = 2.7445 \cdot (Q/24)^{-0.0726}$
중고층아파트를 포함한 주택 위주의 30개 배수구역	식 8) $K = 2.6119 \cdot (Q/24)^{-0.0557}$
주택과 상공업이 혼재된 68개 배수구역	식 9) $K = 1.9778 \cdot (Q/24)^{-0.0277}$
주로 상공업 위주의 18개 배수구역	식 10) $K = 1.6595 \cdot (Q/24)^{-0.0106}$

표 5) 일본 수도시설설계지침의 배수구역별 시간계수 산정식

식 4), 5)는 일본의 수도시설설계지침에서 그대로 인용한 것이다. 일본에서는 이 식에 추가로 35개 도시 250개 배수구역에 대한 자료를 가지고 시간계수 산정식을 만들어 제시하고 있다. 또한 상기 250개 배수구역을 주로 주택 위주의 배수구역, 중고층아파트를 포함한 주택 위주의 배수구역, 주택과 상공업이 혼재된 배수구역, 주로 상공업 위주의 배수구역으로 구분하여 별도로 시간계수산정식을 제시하고 있다. 이 식에 의하면 일최대급수량이 커질수록 시간계수가 작아지는 경향을 분명히 알 수 있다.

한편 미국의 경우는 첨두부하율과 구분된 별도의 용어 없이 Peak Factor 혹은 Peaking Coefficient 라는 용어를 사용하여 시간최대급수량의 비를 제시하고 있다. 이 것도 마찬가지로 인구 혹은 급수규모에 따라 다른 값을 제시하고 있지 않고 일반적으로 나타나는 범위로만 제시하고 있다. 미국수도협회에서는 1.3~2.0의 값을 제시하고 있어서 상수도시설기준에서 제시한 범위와 일치한다. 그러나 Water Works Engineering, Planning Design and Operation, Water Distribution Systems Handbook에서는 시간최대급수량을 일최대급수량과 비교한 것이 아니라 일평균급수량과 비교하여 매우 큰 값을 나타내었다. 이 두 문헌에서 2.0을 초과하여 7.0에 까지 이르는 큰 값은 첨두부하율을 포함하고 있기 때문에 크게 나타난 것이므로 사용에 주의를 해야 한다.

외국의 값을 그대로 사용하거나 검증 없는 기준값을 사용하는 것은 불합리하며 국내에서 실측자료를 충분히 축적하여 일본과 같이 국내 배수구역의 특징별로 시간계수의 경향을 분명히 알

출 처	제 시
Distribution Network Analysis for Water Utilities, AWWA M32	Peak factor = Peak-hour demand / Maximum-day demand : 1.3~2.0
Water Works Engineering, Planning Design and Operation, Prentice Hall PTR	Peak hour within a day (Percent of Annual Average Day) : 225~320%
Water Distribution Systems Handbook, McGraw Hill	Peaking Coefficient, Peak hour to average day : 2.0~7.0 (US), 2.5~4.0 (Common)
기초 상하수도, 신광문화사	시간변화의 최대는 그날 시간평균의 1.5배, 일최대와 겹치면 2.25배

표 6) 미국 및 한국 문헌에서의 시간계수

수 있는 산정식을 구축하는 것이 필요함을 알 수 있다.

5. 연구대상지역

국내의 실측자료를 통해서 지역의 특성별로 합리적인 첨두부하율과 시간계수를 산정하고자 전국적으로 16개 연구대상지역을 선정하여 13~15개월 동안 자료를 수집하고 분석하였다. 연구대상지역의 개요를 표 7)에 나타내었다. 각 지역의 13~15개월 동안의 총사용량을 기준으로 각 상수업종별 백분율을 구하여 가정용수의 비율이 50%를 넘는 경우를 주거지역으로 분류하였고 미만인 곳을 영업지역을 분류하였다. 가정용수의 사용비율이 가장 높은 지역은 C지역이었고 A, K, F, L, Q, B순으로 가정용수 비율이 높았다. F지역의 기타 9.5%는 혼합용수로 이 값도 대부분이 가정용에 해당한다고 간주하면 C지역과 거의 비슷한

기 호	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
지역구분	주거			영업	주거			준주거	영업		주거		영업	주거	영업	주거	
소속지자체	서울	서울	서울	성남	성남	의정부	강릉	대전	대전	청주	부산	울산	대구	대구	나주	전주	
가정용수 백분율	%	89.0	71.4	90.5	47.0	81.8	79.5	58.3	45.5	27.8	83.9	78.4	38.6	64.8	48.8	66.0	77.9
수전수	전	1270	1682	5133	1027	895	4916	7152	734	447	15090	1253	721	243	854	6056	29915
세대수	세대	3310	2573	8502	2379	2639	11824	10713	1145	996	17100	4451	3416	387	1309	12906	35215
인구수	인	8426	6961	22163	5617	6618	35032	28089	3192	2134	51306	10506	10910	993	3401	36332	115774
구역면적	km ²	0.177	1.217	0.873	0.153	0.093	1.554	333.94	0.428	0.141	1.534	0.228	0.588	0.040	0.154	60.21	47.33
인구밀도	인/km ²	475889	5720	25387	36712	71161	22543	84	7458	15135	33452	46079	18554	24579	22084	603	2446
면적당수전수	전/km ²	7172.8	1382.1	5879.7	6712.4	9623.7	3163.4	21.4	1715.0	3170.2	9839.0	5495.6	1226.2	6163.4	5519.5	100.6	632.1
주인입관관경	mm	300	300	500	250	300	700	367	200	150	800	300	300	200	900	700	700
평균수압	kg/cm ²	6.2	5.1	4.4	7.4	3.7	5.5	4.7	3.4	5.7	4.2	6.4	4.0	3.5	3.2	5.5	4.7
배수관연장	km	8.031	13.272	32.891	11.326	9.745	29.1	59.163	8.839	7.332	31.7	11.584	20	2.324	7.344	219.4	72.27
배수관 평균관경	mm	122	154	143	281	125	150	151	100	150	-	300	300	123	216	100	250
배수관 매설년도	year	1992	1995	1989	1990	1990	1993	-	1988	1987	-	1992	2000	1994	1970	1995	1991
급수전밀도	전/km	158.1	126.7	156.1	90.7	91.8	168.9	120.9	83.0	61.0	476.0	108.2	36.1	104.6	116.3	27.2	414.2
급수관연장	km	4.631	-	11.766	3.776	5.241	29.240	87.650	3.733	5.051	-	19.869	4.740	0.805	2.527	163.1	-
급수관 평균관경	mm	19.4	-	22.3	29.1	24.6	13	21.9	14.8	14.8	-	13.96	20.39	41.7	40.19	20	-
25mm 이상 가정용수	%	2.36	7.95	13.8	9.05	0.27	19.6	21.0	6.56	3.68	74.8	25.4	26.8	16.4	10.5	-	-

표 7) 연구대상지역 특성 요약

수준으로 볼 수 있다. H지역은 50%를 넘어서 주거지역으로 분류하였으나 그 특성이 보통의 주거지역보다 영업용수가 높고 실제로 해변가에 관광객이 많이 몰리는 지역이어서 준주거로 표시하였다.

급수전수, 세대수, 인구수로 보았을 때 Q지역이 가장 크고 N지역이 가장 작았다. 인구밀도는 A지역이 가장 크고 H지역이 가장 작았으며, 배수관연장이 가장 큰 지역은 P지역이었고, 가장 작은 지역은 N지역이었다.

거의 대부분의 단독주택은 13mm 혹은 20mm의 인입급수관(계량기)으로 물을 공급받는다. 따라서 수도사업소에서 호별검침을 하는 오래된 아파트나 작은 다세대 주택 등을 제외하면, 25mm 이상의 대구경으로 급수받는 가정용수 사용량을 대략적으로 공동주택에서의 사용량이라고 간주할 수 있다. 이 값으로 볼 때, K지역의 공동주택 비율이 월등히 높고 그 다음으로는 M, L, H, G의 순이다. 25mm 이상의 대구경으로 급수 받는 단독주택이 존재하는 경우 및 아파트이지만 호별검침을 시행하는 경우에는 이 값에

+/- 오차를 내게 되나 그 차이는 무시할 수 있다고 간주하였다.

6. 침투부하율과 시간계수 조사결과 및 해석

(1) 침투부하율

전국 11개 지자체의 16개 대상지역에서 실측조사를 바탕으로 침투부하율을 산정하였다. 매월기준의 침투부하율은 매월 그 달의 일최대급수량과 일평균급수량으로 계산한 것이며 전체기간 기준은 전체 조사기간의 일최대급수량과 일평균급수량으로 계산한 것이다. 월별로 산정된 침투부하율은 지역별로 13~15회의 측정값을 가지고 있으며 그 값들의 평균값 및 최대, 최소값을 표 8)에 종합하여 정리하였다. 앞서 언급하였듯이 확인된 문제들은 모두 제외하였으나 분명한 사고나 기기오류로 확인되지 않은 값들은 갑자기 튀는 것으로 나타나더라도 실측값 그대로를 반영하기 위해 제외하지 않고 그대로 계산하였다.

표 8)에서 보듯이 매월의 침투부하율은 평균값으로 보았을 때

지역	지역구분	인구	매월기준 침투부하율					전체기간기준
			최소	평균	최대	자료수	표준편차	침투부하율
A	주거	8,426	1.119	1.180	1.318	13	0.067	1.493
B	주거	6,961	1.068	1.166	1.455	14	0.097	1.577
C	주거	22,163	1.058	1.134	1.326	15	0.076	1.292
E	영업	5,617	1.051	1.076	1.129	15	0.021	1.171
F	주거	6,618	1.078	1.114	1.153	15	0.021	1.208
G	주거	35,032	1.036	1.079	1.233	14	0.049	1.231
H	준주거	28,089	1.039	1.135	1.245	15	0.063	1.259
I	영업	3,192	1.060	1.129	1.222	13	0.052	1.305
J	영업	2,134	1.085	1.196	1.343	13	0.093	1.384
K	주거	51,306	1.090	1.181	1.356	15	0.096	1.502
L	주거	10,506	1.078	1.149	1.289	15	0.055	1.325
M	영업	10,910	1.044	1.163	1.461	15	0.121	1.549
N	주거	993	1.001	1.066	1.150	14	0.048	1.253
O	영업	3,401	1.013	1.064	1.111	14	0.029	1.152
P	주거	36,332	1.036	1.094	1.211	15	0.054	1.238
Q	주거	115,774	1.109	1.216	1.758	15	0.160	1.582
전체지역통합			1.001	1.134	1.758	230	0.089	1.345
주거지역통합			1.001	1.138	1.758	145	0.089	1.361
영업지역통합			1.013	1.126	1.461	70	0.088	1.312

표 8) 연구대상지역의 침투부하율 조사결과

모든 지역이 1.25 이하로 나타났으며 지역통합평균값은 1.134로 나타났다. 최대값으로 보았을 때에는 B, M, Q지역을 제외하고는 모두 1.429 이하로 나타났다. 전체기간을 기준으로 한 침투부하율은 전반적으로 다 값들이 커서 지역통합 평균값은 1.364이었으나 A, B, K, M, Q지역에서는 1.429를 초과하였다. 주로 설계에 사용하게 되는 상수도시설기준 상의 침투부하율 1.176(85%부하율), 1.25(80%부하율), 1.429(70%부하율)와 비교한 그래프를 그림 3)에 나타내었다.

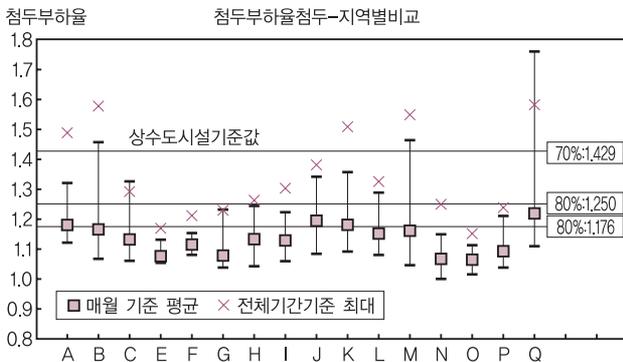


그림 3) 상수도시설기준에 비교한 연구대상지역의 침투부하율

전국수도종합계획(환경부, 1984)에 의하면 침투부하율(1일최대 급수량과 1일평균급수량의 비)은 인구규모에 따라 1.15~1.3을 나타내며 일본은 약 1.23이라고 제시하고 있다.

연구대상지역의 인구규모별로 전국수도종합계획의 침투부하율 제시값에 비교하여 보면 A~P지역은 모두 인구 10만 미만으로 적용 침투부하율은 1.3으로 볼 수 있으며 Q지역은 인구 10만~25만에 해당하므로 적용 침투부하율은 1.25로 볼 수 있다. 그림 4)에서 보면 평균값은 모두가 전국수도종합계획의 인구수 기준에 의한 침투부하율 제시값인 1.25 및 1.3 이하로 나타났으나 최대값을 기준으로 보면 J, B, A, M, C, K, P지역에서 제시된 값을 초과하였다. 전체기간기준의 침투부하율 최대값으로 보면 J,

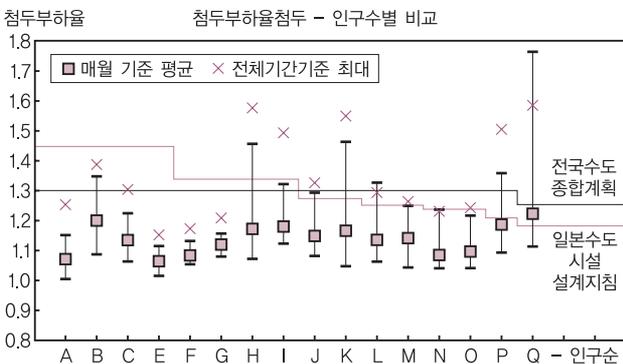


그림 4) 전국수도종합계획에 비교한 연구대상지역의 침투부하율

인구수구분	매월기준 침투부하율			전체기간기준 침투부하율
	최소값	평균	최대값	
1만 미만	1.001	1.124	1.455	1.318
1~2만	1.044	1.156	1.461	1.437
2~5만	1.036	1.110	1.326	1.255
5~10만	1.090	1.181	1.356	1.511
10~20만	1.109	1.216	1.758	1.582

표 9) 인구규모에 따른 침투부하율 평균값

I, B, A, L, M, K, Q지역에서 제시된 값을 초과하였다.

표 2)에 의한 인구 그룹으로 연구대상지역을 분류하여 그룹별 평균값을 표 9)에 나타내었다. 일반적으로 인구증가에 따라 침투부하율이 감소한다고 언급하고 있으나 그런 경향을 발견할 수 없었다.

조사대상지역의 수를 더 많이 확보하여서 통계적으로 신뢰할 수 있는 정도의 지역에서 자료를 수집하여야 하겠지만, 본 연구에 의한 실측자료에 의해서 제한적으로 말하면 다음과 같다.

매월기준으로 산정한 침투부하율에 의하면 평균값으로 설계값을 사용하기 위해서는 전 연구대상지역에서 1.25 이하로 나타났으므로 1.25 이하의 값을 사용할 수 있을 것으로 보이나 안전을 고려하기 위해 최대값을 사용하여 설계를 한다면 1.3 이상의 값을 사용하여야 할 것으로 보인다. 그리고 인구가 많을수록 침투부하율이 낮아지는 것이 통례라고 하나 본 연구에서는 인구가 많은 지역에서 더 높은 침투부하율이 나타났는데 이 것은 대상 지역의 수가 부족한 것이 원인으로 판단된다. 지역의 분류별 조금 더 신뢰도가 높은 상관성을 찾기 위해서는 더 많은 지역에서 조사를 수행해야 할 것이다.

(2) 시간계수(K)

전국 11개 지자체의 16개 대상지역에서 실측조사를 바탕으로 시간계수(K)를 산정하였다. 매월기준으로 산정된 시간계수는 지역별로 13~15회의 측정값을 가지고 있으며 그 값들의 평균값 및 최대, 최소값을 표 10)에 종합하여 정리하였다. 앞서 언급하였듯이 확인된 문제들은 모두 제외하였으나 분명한 사고나 기기오류로 확인되지 않은 값들은 갑자기 튀는 것으로 나타나더라도 실측값 그대로를 반영하기 위해 제외하지 않고 그대로 계산하였다. 시간최대급수량이 발생하는 날이 일최대급수량이 발생하는 날과 다를 수 있다는 가정하에 무조건 해당기간 중 최대값 기준으로 매월기준의 시간계수와 전체기간기준의 시간계수를 구하였

다. 그리고 시간최대급수량이 발생하는 날이 일최대급수량이 발생하는 날과 다르더라도 동일하게 일최대급수량이 발생한 날의 시간최대급수량 값을 사용하여 일최대급수일의 시간계수를 구하였다. 매월의 1일최대급수량이 전체 조사기간의 최대급수량보다 항상 작거나 같으므로 전체기간기준의 시간계수는 매월기준으로 산출한 시간계수 계산값보다 항상 작거나 같다. 마찬가지로 일최대급수일의 시간최대급수량은 실제 전체기간 중의 시간최대급수량과 작거나 같으므로 일최대급수일의 시간계수는 전체기간 기준의 시간계수보다 항상 작거나 같다.

본 연구의 대상지역은 급수인구로 볼 때 소도시(문헌에 따라 10만명이하를 소도시로 취급하기도 하고 20만명 이하를 소도시로 취급하기도 한다)의 값과 비교할 수 있다. 표 10)에서 보듯이 매월의 시간계수는 평균값으로 보았을 때 그 범위가 1.31~1.947로 모든 지역에서 상수도 시설기준상의 소도시 및 특수지역의 제시값인 2.0 이하로 나타났다. A, C, E, H, I, J, K, O지역은 그 중에서도 낮게 나온 지역들로 1.3 ~1.5 사이의 값을 나타내었다. 최대값으로 보면 L, N, P, Q지역에서 2.0을 조금 상회하였

고 B지역은 3.0이상의 값이 나타났다. 전체기간 기준의 시간계수값으로 보면 B지역을 제외한 모든 지역에서 2.0 이하였으며 C, E, F, J, K, O지역은 1.5 이하의 값을 보였다. 일최대급수일의 시간계수는 전체기간기준의 시간계수와 비슷한 경향으로 같거나 작게 나타났다.

또한 일본의 수도시설설계지침(일본수도협회, 2000)의 시간계수와 1일배수량과의 관계식을 이용하여 본 연구의 16개 대상지역의 시간계수를 계산하여 본 연구에서 조사된 값과 비교하여 나타내었다. 평균값으로 볼 때에는 일본의 시간계수 계산값보다 P, Q 두 지역만 초과하였고, 전체기간기준 최대값으로 볼 때에는 B, L, P, Q지역에서, 일최대급수일의 시간계수 값으로 볼 때에는 B, L, Q지역만이 일본의 시간계수 계산값보다 높게 나타났다.

일본 수도시설설계지침에 의하면 급수규모가 커질수록 시간계수가 낮아지는 경향이 있다고 언급하고 있으나 본 연구에서의

지역	지역구분	인구	매월기준의 시간계수					전체기간기준 시간계수	일최대급수 일시간계수
			최소	평균	최대	자료수	표준편차		
A	주거	8,426	1.297	1.431	1.643	13	0.115	1.534	1.430
B	주거	6,961	1.311	1.800	3.007	14	0.431	3.007	2.763
C	주거	22,163	1.358	1.440	1.514	15	0.051	1.385	1.268
E	영업	5,617	1.325	1.372	1.487	15	0.047	1.349	1.349
F	주거	6,618	1.368	1.499	1.633	15	0.065	1.503	1.503
G	주거	35,032	1.341	1.538	1.621	14	0.086	1.559	1.262
H	주거	28,089	1.206	1.338	1.790	15	0.133	1.507	1.213
I	영업	3,192	1.304	1.420	1.684	13	0.112	1.569	1.373
J	영업	2,134	1.225	1.319	1.493	13	0.082	1.279	1.279
K	주거	51,306	1.187	1.310	1.464	15	0.081	1.229	1.229
L	주거	10,506	1.435	1.730	2.088	15	0.224	1.902	1.902
M	영업	10,910	1.251	1.704	1.961	15	0.188	1.524	1.380
N	주거	993	1.367	1.590	2.058	14	0.180	1.782	1.163
O	영업	3,401	1.288	1.404	1.480	14	0.052	1.480	1.480
P	주거	36,332	1.611	1.876	2.018	15	0.101	1.803	1.477
Q	주거	115,774	1.847	1.947	2.077	13	0.071	1.869	1.869
전체지역통합			1.187	1.545	3.007	228	0.250	1.643	1.535
주거지역통합			1.187	1.591	3.007	158	0.267	1.735	1.585
영업지역통합			1.225	1.444	1.961	70	0.175	1.440	1.372

표 10) 연구대상지역의 시간계수 조사결과

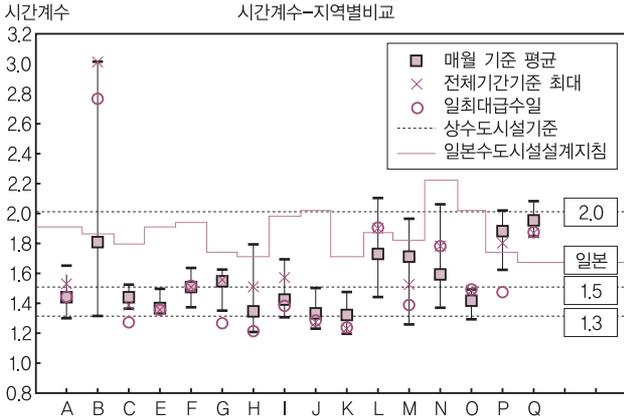


그림 5) 상수도시설기준 및 일본 수도시설설계지침과 비교한 시간계수

결과는 그런 관계를 찾을 수 없었다. 그림 6)에 보인 것과 같이 본 연구에서의 급수규모 범위는 일본의 데이터의 범위와 비교해보면 매우 제한적이어서 더 많은 지역의 데이터를 확보하지 않으면 충분한 상관관계를 파악할 수 없을 것으로 판단된다. 또한 인구 그룹으로 연구대상지역을 분류하여 그룹별 평균값을 표 11)에 나타내었다. 침두부하율에서와 마찬가지로 조사된 시간계수 실측값은 지역의 구분에 따라 혹은 인구의 규모에 따라 확실한 상관성을 발견할 수 없었다.

조사결과를 바탕으로 제한적으로 말하면 실측에 의해 전국 16개

인구구분	매월기준의 시간계수			전체기간기준 시간계수	일최대급수일 시간계수
	최소값	평균	최대값		
1만미만	1,225	1,479	3,007	1,688	1,620
1~2만	1,251	1,717	2,088	1,713	1,641
2~5만	1,206	1,548	2,018	1,564	1,305
5~10만	1,187	1,310	1,464	1,229	1,229
10~20만	1,847	1,947	2,077	1,869	1,869

표 11) 인구규모에 따른 시간계수 평균값

지역에서 산출된 시간계수의 평균값이 1.545였으므로 상수도시설기준상의 제시값 이하로 설계할 수 있을 것으로 보이지만 최대값을 수용하여 안전위주로 설계한다면 2.0보다도 높은 값을 사용해야 할 것으로 보인다. 그리고 일반적으로 급수규모에 반비례해야 하는 시간계수값이 반비례로 나타나지 않은 것은 조사 지역의 수가 부족한 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 이 결과들은 제한된 대상지역에서의 결과이므로 확실한 값으로 사용되기에는 무리가 있으며 더 많은 지역을 포괄하여 연구를 진행해야 할 필요가 있다.

7. 침두부하율과 시간계수의 통계분석

(1) 침두부하율의 통계처리

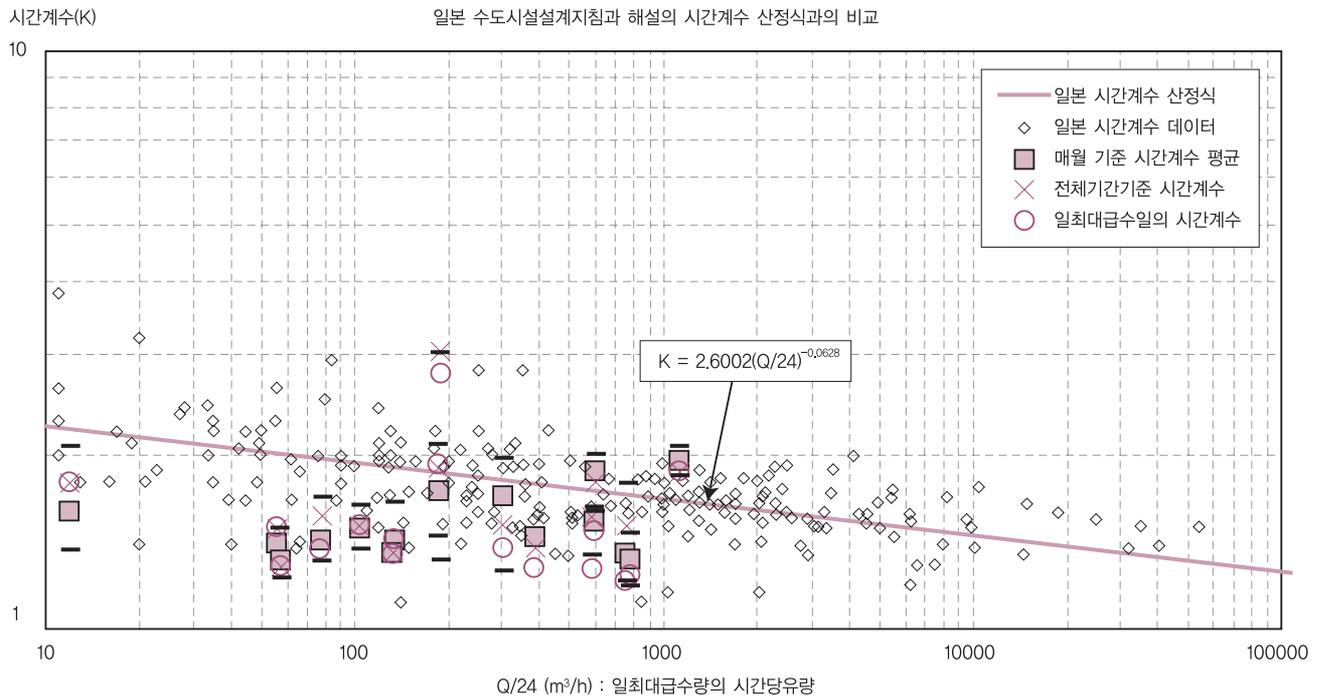


그림 6) 일본 시간계수 산정식에 비교한 연구대상지역의 시간계수

앞서 나타난 조사결과는 실측값을 그대로 수용한 것이며 이 값들은 현실세계의 수많은 영향, 즉 자연적인 영향과 인위적인 영향이 모두 반영되어 나타난 결과값들이므로 기기상의 오차도 포함되어 있을 수 있다. 이 결과 값 모두를 신뢰할 만한 것으로 판단하고 100% 반영을 할 것인지, 아니면 이상치(Outlier)에 의한 왜곡 여부를 판단하여 그 값의 영향을 삭제할 것인지를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 실측 데이터(a)를 통계처리하여 이상치에 의한 영향을 감소시키기 위해 상위10순위 평균(b), 월별 최대급수량 평균(c), 주별 최대급수량 평균(d), 99백분위수(e), 95백분위수(f)를 적용하고 그 값들을 비교하였다.

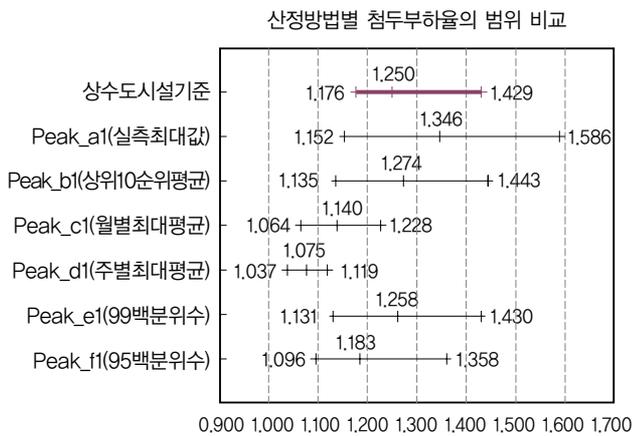


그림 7) 전체지역에 대한 산정방법별 침투부하율의 범위 비교

산정결과를 상수도설계기준의 범위 1.176~1.429에 비교하면 전체 연구대상지역의 99백분위수 값 및 상위 10순위 평균값에 의한 침투부하율은 거의 비슷한 수준이며 95백분위수 값에 의한 침투부하율은 조금 작은 값을 나타내었다. 월별 및 주별 최대값 평균으로 계산한 침투부하율은 실제보다 심하게 감소하며 상관성도 좋지 않게 나타났다.

설계시 99백분위수값을 이용한 침투부하율을 계획값으로 사용

하게 되면 실제 발생 침투부하율이 계획값을 초과할 확률은 1%가 되며 1년으로 환산하면 4일이내에 해당한다. 99백분위수 값을 이용했을 때 연구대상지역의 침투부하율은 1.131~1.420범위이며 평균값은 1.257이었다. 95백분위수 값을 이용한 침투부하율을 계획값으로 사용하게 되면 계획값을 초과할 확률은 5%로 1년으로 환산하면 18일이내에 해당한다. 95백분위수 값을 이용했을 때 연구대상지역의 침투부하율은 1.096~1.345범위이며 평균값은 1.182이었다. 결론적으로 99백분위수 및 95백분위수를 적용하는 방법이 실측결과를 침투부하율 계획에 사용할 때 이상치의 효과를 줄이는 좋은 방법 중에 하나가 될 수 있다고 판단되었다.

(2) 침투부하율의 회귀모델

대상지역을 주거지역과 영업지역으로 분류한 후 지역별 특징을 영향인자로 하여 회귀모델을 구축하였다. 주거지역에서는 평균 수압과 배수관연장당 급수전수, 1인당급수량을 영향인자로 하여 다음과 같은 양호한 회귀모델을 구축하였다.

표준화된 회귀계수를 보면 세 가지 영향인자 중에서 가장 영향이 큰 것은 배수관연장당 급수전수로 생활패턴이 유사하여 동시에 물을 사용하는 주거지역의 경우 물사용자(가정)의 밀집도가 높을수록 침투부하율이 높아지는 것으로 분석되었다. 또한 수압이 높은 지역일수록 짧은 시간에 많은 양의 물을 사용하게 되므로 침투부하율이 높게 나타났다. 1인당급수량에는 음의 상관관계로 나타났는데 이것은 영업용수사용의 증가에 크게 영향을 받는 1인당 급수량의 증가는 일반 가정과 물사용의 패턴이 다른 영업소의 증가를 뜻하므로 주거지역의 물사용 집중도를 낮추기 때문이다.

결정계수 등의 통계량으로 볼 때 상위 10분위수를 이용한 침투부하율과 99백분위수를 이용한 침투부하율의 중회귀모델식이 95백분위수를 이용한 침투부하율 모델식보다 다소 양호한 것으로 나타났다.

지역	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
산정	Peak_a1	1.493	1.576	1.292	1.171	1.208	1.231	1.259	1.305	1.384	1.502	1.325	1.549	1.253	1.152	1.238	1.583
	Peak_b1	1.405	1.263	1.258	1.135	1.146	1.212	1.220	1.226	1.330	1.383	1.209	1.433	-	-	1.164	1.438
방법별	Peak_c1	1.216	1.161	1.147	1.079	1.116	1.077	1.134	1.132	1.193	1.203	1.149	1.178	1.067	1.064	1.100	1.235
	침투	Peak_d1	1.087	1.080	1.065	1.048	1.082	1.037	1.067	1.067	1.119	1.095	1.078	1.074	-	-	1.044
부하율	Peak_e1	1.391	1.212	1.251	1.131	1.138	1.210	1.216	1.221	1.321	1.356	1.185	1.405	-	-	1.141	1.420
	Peak_f1	1.257	1.132	1.196	1.096	1.106	1.185	1.136	1.170	1.257	1.156	1.136	1.272	-	-	1.105	1.345

표 12) 전체지역에 대한 실측침투부하율과 통계적으로 산정한 침투부하율

첨두부하율구분	통계량	값	변수	회귀계수	표준화 회귀계수	분산팽창인자
Peak_b1	다중 상관계수	0.844	Y 절편	1.119463	0	0
	결정계수(r_2)	0.713	X_8	0.025559	0.24648	1.04441
	수정결정계수	0.590	X_{12}	0.000512	0.72414	1.43047
	표준 오차	0.063	X_{15}	-0.21836	-0.21751	1.39887
	절대평균오차(%)	3.51%				
	중회귀 모델식	$Y = 0.025559 X_8 + 0.000512 X_{12} - 0.21836 X_{15} + 1.119463$				
Peak_e1	다중 상관계수	0.830	Y 절편	1.148953	0	0
	결정계수(r_2)	0.689	X_8	0.020097	0.19717	1.04441
	수정결정계수	0.555	X_{12}	0.000472	0.67967	1.43047
	표준 오차	0.064	X_{15}	-0.2569	-0.26035	1.39887
	절대평균오차(%)	3.56%				
	중회귀 모델식	$Y = 0.020097 X_8 + 0.000472 X_{12} - 0.2569 X_{15} + 1.148953$				
Peak_f1	다중 상관계수	0.747	Y 절편	0.991497	0	0
	결정계수(r_2)	0.559	X_8	0.03625	0.43462	1.04441
	수정결정계수	0.369	X_{12}	0.000312	0.54832	1.43047
	표준 오차	0.063	X_{15}	-0.19112	-0.23670	1.39887
	절대평균오차(%)	3.52%				
	중회귀 모델식	$Y = 0.03625 X_8 + 0.000312 X_{12} - 0.19112 X_{15} + 0.991497$				

X_8 : 평균수입(kg/cm²) X_{12} : 배수관연장당 급수전수(전/km) X_{15} : 1인당급수량(m³/인·일)

표 16) 시간계수 중회귀분석결과 - 주거지역

영향인자구분	통계량	Peak_b1	Peak_e1	Peak_f1
배수관연장당 급수전수 : X_{12} (전/km) 이용	다중 상관계수	0.939	0.933	0.949
	결정계수	0.882	0.871	0.901
	수정결정계수	0.843	0.828	0.868
	표준오차	0.050	0.048	0.034
	절대평균오차	2.56%	2.46%	1.93%
	절편	1.5566	1.5211	1.3971
	기울기	-0.0038943	-0.0035554	-0.0029105
	회귀식	$Y = -0.0038943 X_{12} + 1.5566$	$Y = -0.0035554 X_{12} + 1.5211$	$Y = -0.0029105 X_{12} + 1.3971$
비가정용수 사용량 백분율: X_{22} 이용	다중 상관계수	0.734	0.757	0.846
	결정계수	0.539	0.573	0.716
	수정결정계수	0.385	0.430	0.621
	표준오차	0.099	0.087	0.057
	절대평균오차	4.62%	4.19%	3.37%
	절편	0.6576	0.6800	0.6625
	기울기	0.0102869	0.0097424	0.0087679
	회귀식	$Y = 0.0102869 X_{22} + 0.6576$	$Y = 0.0097424 X_{22} + 0.6800$	$Y = 0.0087679 X_{22} + 0.6625$

표 14) 첨두부하율 단순회귀분석결과 - 영업지역

영업지역에서는 지역의 수가 5개 밖에 되지 않아 단순회귀분석을 수행하였다. 양의 상관관계를 나타내는 비가정용수 사용량 그리고 음의 상관관계를 나타내는 배수관연장당 급수전수를 이용한 회귀모델식을 각각 작성하였다. 배수관연장당 급수전수를 이용하면 단 하나의 독립변수를 사용함에도 불구하고 양호한 예측이 이루어지는 것을 볼 수 있고 비가정용수 백분율을 이용하게 되면 상관도가 조금 떨어지기는 하지만 비교적 양호한 예측이 이루어지는 것을 알 수 있다. 데이터의 수가 더 많으면 좀 더 신뢰도가 높은 결과를 산출할 수 있을 것이다.

(3) 시간계수의 통계처리

실측에 의해 구한 데이터(K_a1)를 통계처리를 통해 상위 10순위 평균(K_b2), 월별최대급수량 평균(K_c3), 주별 최대급수량 평균(K_d4), 99백분위수(K_e5), 95백분위수(K_f6)를 적용한 시간계수 및 일최대급수일의 시간계수(K_g1), 99백분위 급수일에 해당하는 날의 시간계수(K_h5)를 산정하였다. 실측최대값에 의한 시간계수를 발생한 값 그대로 사용하는 것은 첨두부하율에서 설명한 것과 마찬가지로 기기상의 오차나 급수구역내의 다른 문제들 즉 화재나 누수사고, 가압장 운영 변경 혹은 관리차원에서 제수변 조작 등에 의한 불안정요소를 그대로 내포할 수 있으므로 바람직하지 않다고 여겨진다. 상위 10순위 평균 및 실측일최대급수일의 시간최대급수량을 이용한 시간계수는 이상치의 영향을 제대로 감소시키지 못하고 있고, 월별 및 주별최대급수량평균은 보통, 99백분위수 및 95백분위수에 의한 시간계수는 다소 크게 감소하였다.

상수도시설기준과의 비슷한 범위를 이용하려면 월별최대급수량의 평균 혹은 주별최대급수량의 평균값을 이용하여 시간계수를 산정할 수 있으며 1% 혹은 5% 초과확률을 감안하면 99백분위수 혹은 95백분위수를 이용한 시간계수를 산정하여 사용할 수 있을

것으로 판단된다. 또한 99백분위 급수일의 시간최대급수량을 이용한 시간계수도 이상치의 영향을 효과적으로 없애면서 상수도 시설기준 상의 제시범위와 비슷하게 나타났다. B지역과 같은 특정지역에서 99백분위 급수일의 시간계수가 일최대급수일의 시간계수보다 상당히 작게 나타났는데 이것은 자료의 유실로 인한 것이라기보다 지역의 심한 불안정요소를 효과적으로 삭제한 것이라고 판단된다.

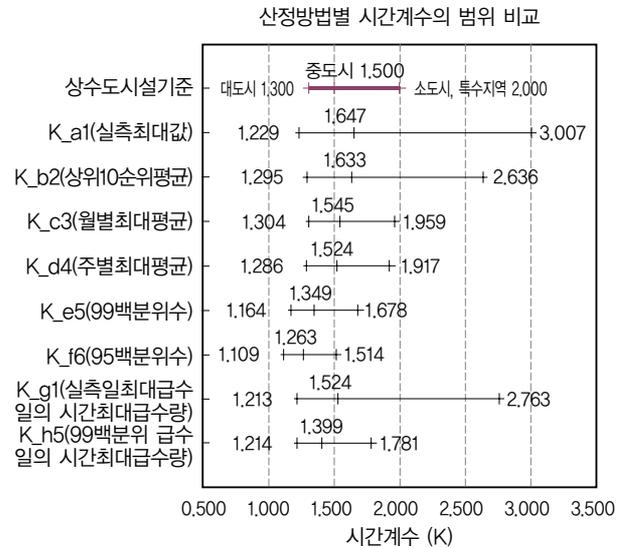


그림 8) 전체지역에 대한 산정방법별 시간계수(K)의 범위 비교

(4) 시간계수의 회귀모델

대상지역을 주거지역과 영업지역으로 분류한 후 이상치의 영향을 효과적으로 감소시키는 것으로 여겨지는 99%백분위수를 이용한 시간계수 및 일최대급수일의 시간최대급수량을 이용한 시간계수에 대하여 회귀모델을 구축하였다. 주거지역에서는 수압, 배수관연장당수전수, 1인당급수량을 이용하여 중회귀분석수행하였다. 99백분위 급수일의 시간계수(K_h5)는 양호한 예측이

지역	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
산정 방법별 시간 계수(K)	K_a1	1.534	3.007	1.385	1.349	1.503	1.559	1.507	1.569	1.279	1.229	1.902	1.524	1.782	1.480	1.803	1.869
	K_b2	1.515	2.636	1.397	1.354	1.529	1.510	1.429	1.387	1.295	-	1.818	1.517	-	-	1.842	1.958
	K_c3	1.422	1.845	1.443	1.372	1.510	1.430	1.360	1.415	1.318	1.304	1.741	1.677	1.591	1.405	1.871	1.959
	K_d4	1.410	1.685	1.448	1.346	1.488	1.392	1.303	1.405	1.286	-	1.613	1.672	-	-	1.823	1.917
	K_e5	1.170	1.584	1.302	1.233	1.411	1.264	1.164	1.246	1.173	-	1.449	1.281	-	-	1.583	1.678
	K_f6	1.151	1.431	1.239	1.200	1.305	1.153	1.140	1.220	1.109	-	1.337	1.203	-	-	1.415	1.514
	K_g1	1.430	2.763	1.268	1.349	1.503	1.262	1.213	1.373	1.279	-	1.902	1.380	1.613	1.480	1.477	1.869
	K_h5	1.453	1.283	1.401	1.287	1.409	1.290	1.214	1.334	1.278	-	1.555	1.426	-	-	1.478	1.781

표 15) 실측시간계수와 통계적인 방법을 적용한 시간계수

이루어졌고, 일최대급수량과 시간최대급수량이 다른 날에 발생할 수 있다고 가정하고 계산한 99백분위수에 의한 시간계수(K_e5)는 상관도가 매우 낮게 나타났다.

99백분위 급수일의 시간계수의 회귀모델식을 보면 침투부하율의 회귀모델에서와 비슷하게 수압이 높은 지역일수록, 배수관연장당 급수전수가 클수록(물사용자의 밀집도가 높을수록) 시간계수가 높은 것으로 분석되었다.

1인당급수량에는 음의 상관관계로 나타났는데 이것은 영업용수 사용의 증가에 크게 영향을 받는 1인당 급수량의 증가는 일반 가정과 물사용의 패턴이 다른 영업소의 증가를 뜻하므로 주거지역의 물사용 집중도를 낮추기 때문이다. 영업지역에서는 여러 가지 방법으로 분석을 시도하였으나 양호한 상관성을 찾을 수 없었다. 지역의 수가 더 많아야 지역의 특성을 고려한 신뢰도가 높은 결과를 산출할 수 있으리라 사료된다.

8. 결론 및 제언

(1) 침투부하율과 시간계수에 대한 결론

① 16개 연구대상지역의 상수공급량 계측자료를 근거로 침투부하율과 시간계수를 산출하여 제시하였다. 실측값을 그대로 수용한 침투부하율은 1.001~1.758의 범위로 나타났고 지역

별 최대값은 일부지역에서 상수도시설기준의 1.429를 초과하였으며 일본의 수도시설설계지침의 인구규모별 제시값보다 높게 나타났다. 그러나 미국의 제시범위보다는 모두 낮게 나타났다. 실측값을 그대로 수용한 시간계수는 1.187~3.007의 범위로 나타났고 지역별 최대값은 일부지역에서 상수도시설기준의 소도시 제시값 2.0을 초과하였으나 평균값이나 99백분위 급수일의 시간계수는 모두 2.0 이하였으며 일본의 수도시설설계지침에서 제시한 시간계수 산정식보다 대부분 낮게 나타났다.

② 데이터의 신뢰성을 고려하여 통계처리한 결과, 실측결과를 그대로 사용하기 보다는 이상치의 영향을 효과적으로 제거하면서 초과확률 1%를 감안하여 정상적인 자료의 유실이 적은 99백분위수에 의해 구한 침투부하율과 시간계수 값을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다.

③ 순히 정수장별 침투부하율이 아니라 지역의 특성을 고려한 침투부하율, 시간계수 회귀모델을 구축하였다. 결과에 의하면 침투부하율(99백분위수)은 주거지역에서 상관계수 0.836, 절대평균오차 3.59%로 중회귀 모델이 개발되었고 영업지역에서는 상관계수 0.934, 절대평균오차 2.41%로 단순회귀 모델이 개발되었다. 시간계수(99백분위 급수일)는 주거지역에서 상관계수 0.863, 절대평균오차 4.69%로 중회귀모델이 개발되었다.

시간 계수 구분	통계량	값	변수	회귀계수	표준화 회귀계수	분산팽창인자
99백분위수에 의한 시간계수(K_e5)	다중 상관계수	0.445	Y절편	1.57474	0	0
	결정계수(r ²)	0.198	X ₈	-0.02311	-0.14582	1.07811
	수정결정계수	-0.284	X ₁₂	0.00008	0.06318	1.75005
	표준 오차	0.155	X ₁₅	-0.52307	-0.38663	1.72858
	절대평균오차(%)	8.20%				
	중회귀 모델식	Y = - 0.02311 X ₈ + 0.00008 X ₁₂ - 0.52307 X ₁₅ + 1.57474				
99백분위 급수일의 시간계수(K_h5)	다중 상관계수	0.863	Y절편	1.70372	0	0
	결정계수(r ²)	0.745	X ₈	0.01646	0.08376	1.07811
	수정결정계수	0.591	X ₁₂	0.00028	0.17428	1.75005
	표준 오차	0.109	X ₁₅	-1.23287	-0.73522	1.72858
	절대평균오차(%)	4.69%				
	중회귀 모델식	Y = 0.01646 X ₈ + 0.00028 X ₁₂ - 1.23287 X ₁₅ + 1.70372				

X₈ : 평균수압(kg/cm²) X₁₂ : 배수관연장당 급수전수(전/km) X₁₅ : 1인당급수량(m³/인·일)

표 16) 시간계수 중회귀분석결과 - 주거지역

(2) 향후 연구 제언

일반적으로 침투부하율이 급수인구 규모에 따라 감소한다고 말하고 있으나 본 연구의 결과에 의하면 급수인구보다는 배수관연장당 급수전수에 매우 강한 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 인구규모는 침투부하율의 직접적인 영향인자라기 보다는, 급수 규모가 클수록 지역내 배수지나, 대형건물 내 저수조 등의 버퍼 능력이 커지기 때문에 인구규모 영향을 받는 것처럼 보일 수 있다. 상수도통계상에서 정수장별 일평균급수량과 일최대급수량을 인구 규모와 함께 정리하여 발표하고 있으나 정수장별 급수 구역의 배수관연장이나 급수전수, 평균수압 등은 발표하지 않고 있다.

시간계수는 최대급수량에 반비례한다고 알려져 있으나 본 연구에서는 일본의 데이터보다 지역의 수에서 현저히 못 미쳐서 분명한 관계를 찾지 못하였다. 지금은 자료구축의 시작단계로 시작부터 완전한 결과를 산출할 수는 없었으며 일본과 같이 수백 개의 지역의 자료를 이용하여 지역의 주거유형별 합리적인 모델을 구축하려면 많은 연구가 지속되어야 할 것이다. 환경부 차원에서 이러한 자료의 구축에 적극적으로 나서고 자체적으로 주택단지를 개발하는 공사 등에서 적극적인 협력연구가 필요할 것이다.

지역의 수가 많지는 않아서 완벽하지는 않으나 본 연구에서의 결과로 판단하면 향후의 자료구축에 있어서 각 지자체나 수도사업자가 정수장 급수구역 혹은 배수구역별 자료를 정리할 때 일 최대급수량과 일평균급수량 및 시간최대급수량을 배수관연장, 급수전수, 수압, 배수지 등 완충능력이 있는 시설과 최대급수량에 좀 더 직접적으로 영향을 줄 수 있는 자료를 더 정리하여 구축하면 일본의 산정식보다도 더 좋은 합리적이고 실용적인 모델을 개발할 수 있으리라고 사료된다. ㉞

2004 WATER KOREA 「상·하수도 세미나」 안내

우리 협회에서는 2004 WATER KOREA 기간 중 학계, 지자체 및 업계 관계자 등이 상호간 기술, 정보, 경험 교류를 통한 상하수도 분야 발전을 도모하기 위한 학술 세미나 등을 대덕 컨벤션타운에서 개최합니다.

이번 세미나에는 대한상하수도학회와 한국물환경학회가 공동 주최하는 2004년 추계 공동학술 발표회를 포함, 우리 협회 주관의 상·하수도 업무 개선 사례발표회 등 최신의 상·하수도 관련 정보와 기술을 습득할 수 있는 알찬 교육의 장이 될 것으로 예상됩니다. 회원 여러분의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

1. 기간 : 2004년 11월 2일(화) ~ 11월 4일(목) / 3일간

2. 장소 : 대덕 컨벤션타운

3. 세미나 일정

일시	시간	행사명	주관기관
2일(화)	13:00~18:00	상수도연구 검사기관 협의회 발표회	상수도 연구 검사기관 협의회
		상·하수도 업무개선 사례발표회	한국상하수도협회
		수도운영간실기술 발표회	한국수자원공사
3일(수)	8:30~18:00	2004년 추계 공동학술 발표회	대한상하수도학회,
4일(목)	8:30~18:00	2004년 추계 공동학술 발표회 및 상하수도 포럼	한국물환경학회

교육
훈련

정보

행사

시험

www.kwwa.or.kr

물은 생명 그리고 미래입니다

☎ 문의처 : 상수도팀 윤여천 (Tel : 02-384-8151~4)

※ 보다 자세한 사항은 WATER KOREA 공식 홈페이지(www.wakoex.co.kr) 참조 및 협회로 문의 요망