

아파트 급수설비의 적정설계를 위한 급수량 산정

Estimating water demand in apartment buildings for the economic design of water supply system

김 성 식
S. S. Kim

대우건설기술연구소 설비연구팀

김 지 현
J. H. Kim

대우건설기술연구소 설비연구팀



- 1969년생
- 건축물의 급배수설비 등 설비 계획과 열환경·빛환경의 계획 및 평가에 관심을 갖고 있다.



- 1972년생
- 건축물의 급수설비시스템 개선 방안 및 건축물 내부환경을 쾌적하게 유지할 수 있는 설계방안을 마련하는데 관심을 갖고 있다.

1. 머리말

1960년 이후 급속한 경제성장과 산업화에 따라 도시의 인구 집중과 핵가족화 현상으로 주택에 대한 수요가 증가하자 공동주택을 짧은 기간에 대량으로 공급하지 않을 수 없게 되었다. 이 결과 1995년 국내 통계에 의하면 도시주택 유형중 아파트가 48.1%를 차지할 만큼 대표적인 공동주택 형태로 자리잡게 되었으며 가용택지의 부족은 이후로도 단독주택보다 아파트와 같은 공동주택 건설의 증대를 야기할 것으로 예상된다.

아파트는 단위주호를 기본으로 제한된 면적에 많은 가구들이 밀집되어 건축되는 구조이기 때문에 계획에 있어 공공의 편익을 위해 고려하여야 할 많은 요소들이 포함된다. 이러한 아파트의 건축계획에 있어 급수계획은 주요 설비계획으로 공공 및 개별가구의 이용상 문제를 야기시키지 않

도록 세심한 주의를 요한다. 급수설비는 건물의 각종 위생기구에서 필요한 물을 공급하기 위한 기기와 장치를 말하며 사람이 생활을 목적으로하여 거주, 근무, 노동을 하는 건물, 부지에는 건강에 적합한 깨끗한 물이 공급되어야 한다. 또한 보통의 상태에서는 하수대, 세면기, 변기 등의 위생기구 및 이들의 부속품에 그 기능을 수행하기 위한 충분한 물량과 적절한 수압이 제공되어야 한다. 급수설비는 이들을 목적으로 설계와 계획이 이루어진다.

급수설비계획에 있어서 가장 중요한 것은 우선 건물에서 필요로 하는 예상급수량을 추정하는 일이다. 급수량 DATA는 가장 기본적인 설계자료로서 이를 근간으로 예상급수량을 추정하며 급수 방식에 따른 고가수조 등의 수조 용량, 양수 및 급수 펌프의 용량, 배관 관경 등의 급수설비용량을 산정한다. 예상급수량을 추정하는 방법은 사용

인원수에 의한 산정 방법, 유효면적에 의한 방법, 세대규모에 의한 추정 방법, 급수기구의 종류와 개수 및 기구급수부하단위(FU)를 기준으로 산정하는 방법 등으로 분류될 수 있다. 급수 설비의 기본설계에서 기구의 용량산정에는 사용 인원수에 의하여 산정하는 방식이 용이하며 일반적으로 이용되고 있다. 사용인원이 불분명할 경우에는 유효면적당의 인원수에 의하여 급수량을 산정한다. 유효면적이란 바닥면적 전체에서 복도, 계단, 창고, 화장실 등을 제외한 주거부분을 의미하며 호텔이나 병원건물과 같은 경우에는 침대수와 같은 수 용인원을 파악할 수 있는 자료에 근거하여 산정하기도 한다. 아파트와 같은 공동주택의 경우 사용수량을 세대수에 기준하여 산정하기도 하는데 세대당 평균사용수량이 산출 기준이 된다. 기구급수부하단위를 기준으로 예상급수량을 산정하는 방식은 1941년 R.B. Hunter의 논문¹⁾에서 발표된 Hunter 곡선이라고 부르는 유량곡선을 이용한다. 이는 순시최대유량의 출현빈도를 확률적 방법으로 추측하여 공동주택 등 기구수가 다수가 될 경우 동시부하를 고려하여 계산할 수 있도록 고안된 방식으로서 현재까지도 유용하게 사용되고 있다.

공동주택에 관한 사용수량의 분석은 지금까지 설계상 및 수자원의 유효이용 등의 관점에서 많은 조사·연구가 되어 왔으며 용도별 사용수량 등의 실측으로부터 최근에는 수요의 제어를 목적으로한 절수기구의 개발과 사람들의 의식에 의한 사용수량의 차이 등이 연구되어졌다. 일본의 경우 각 기구의 사용빈도, 물사용시간, 토수량 등의 설비 설계상 중요한 요소들에 대한 실측을 통한 DATA의 축적이 村川²⁾, 紀谷 등에 의하여 이루어졌으며 일본공기조화·위생공학회는 1976년 HASS 206(급배수설비기준)을 발간하여 기준에 적용, 급수 설비설계의 기본자료로 이용되어 현재에 이르고 있다. 또한 TOTO사와 같은 위생기업체 등을 중심으로 회사 고유 급수량 산정기준을 보유하고 있다. 미국은 이미 1928년 Hoover Code에 의하여 급배수설비기술을 제정하였으며 1938년 Uni-form Plumbing Code를 위시하여 APHS, ASME, ASSE, BOCA, CSSE, NAPA, WPOA 등 7개

단체의 대표로 구성되는 National Plumbing Code 조정위원회에 의해 1955년 ASA40.8-1955(American Standard National Plumbing Code)가 등장 이를 기준으로 설계에 적용하고 있다.

국내에 있어서도 통계 및 실측을 통한 DATA 축적이 진행되어 왔으나 실사용 급수량 DATA를 기준으로 설계에 적용할 수 있도록 설정된 설계자료는 빈약한 실정이며 급수설비 설계시 일본 혹은 미국의 급수량 기준을 채택하여 적용하고 있다. 물사용 특성은 소비수준, 재택시간과 같은 생활 패턴에 많은 영향을 받으므로 그 문화의 차이에 따라 다르게 나타난다. 그러므로 현재 적용되고 있는 미국 혹은 일본의 기준은 국내의 물사용 특성과 차이가 있어 자칫 잘못된 장비 용량을 산정할 수 있는 위험성을 내포하고 있으며 특히 새로운 시스템의 적용시 문제점이 된다.

공동주택의 급수방식으로는 고가수조방식, 가압급수방식(펌프직송방식), 압력탱크방식 등이 적용되고 있으며 국내에 있어 고가수조 방식에 의한 급수방식이 일반적으로 적용되고 있다. 그러나 고가수조 방식은 고층부 세대의 수압부족, 고가수조의 수질오염, 건물 외관상의 문제 및 고정하중의 증가, 초기 건축비의 증가 등의 문제가 야기되고 있으며 이러한 고가수조 급수방식에 대하여 점차 가압급수방식을 적용한 공동주택이 들어오고 있다. 이러한 가압급수방식의 경우 시스템의 용량을 설정하기 위하여 적용된 예상급수량은 펌프의 효율 등 운전에너지와 직접적인 연관이 있게 되는데 본 연구소에서 가압펌프시스템을 적용한 아파트를 대상으로 실시한 조사결과³⁾에서는 실제 사용수량이 설계에 적용되는 여러 기준들에 비교하여 1/4~2/3 수준으로 계측되었으며 이에 따라 선정된 펌프의 효율이 설계 효율의 60% 수준에 지나지 않아 장비용량의 과대 산정이 실제로 운전에너지 및 초기 시설비 등의 낭비 요인이 되고 있는 것을 알 수 있었다.

따라서 국내 물사용 실태에 따른 예상급수량의 산정은 무엇보다 중요하며 본고에서는 급수량 산정을 위하여 (주)대우건설기술연구소에서 수행하였던 연구를 중심으로 현장계측을 통하여 수집된 급수량 DATA와 이를 분석하여 도출되어진 국

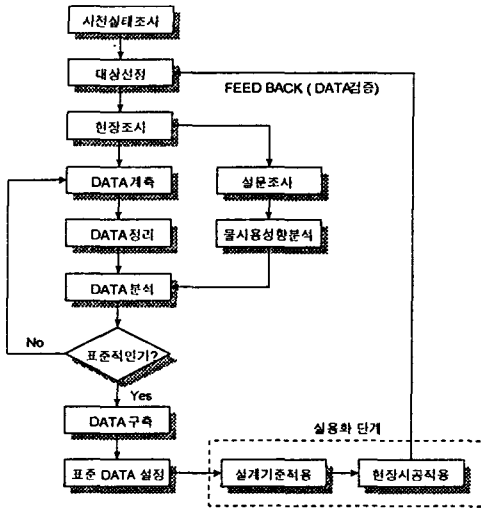


그림 1 급수량 산정연구 흐름도

내 공동주택 급수설비설계에 적용할 수 있는 적정 산정기준에 관하여 기술한다. 급수량조사는 그림 1과 같이 대표성을 갖는 각 유형의 공동주택(아파트)을 대상으로 순간급수량, 시간급수량, 일일급수량 및 이용률 등의 계측을 통한 물사용 실태조사를 실시하였고 소비성향 조사를 위하여 설문조사를 병행하였다. 수집된 DATA는 공동주택의 세대규모에 따른 동시사용량을 고려하여 통계기법을 이용, 설계적용이 용이한 표준화된 급수량 산정자료로 도출되었으며 순간최대이상급수량 산정을 중심으로 기술되었다.

2. 실태조사결과

일반적으로 건물의 사용수량은 급수량과 급탕량으로 구분되어지며 이러한 사용수량은 자연적인 요인, 사회적 요인, 건축적 요인 등에 의하여 차이를 보인다.⁴⁾ 연구계측에 있어서 급수량의 결정인자가 될 수 있는 이러한 제반 요소의 반영이 중요하며 이를 통한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 대상 선정에 이러한 요소들을 고려하였고 거주자의 물사용 특성 분석을 위해 설문조사를 병행하였다.

계측대상은 우선 사용특성이 대표화 될 수 있는 표본의 추출을 위해 1개월의 사전 선정 작업을

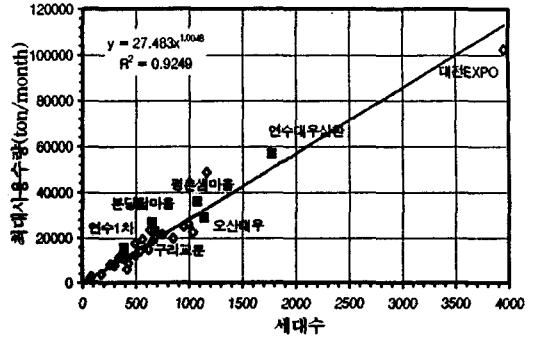


그림 2 아파트별 월간 최대급수량

표 1 사전조사 결과 (조사대상 평균)

조사대상 단지수	32단지
단지세대규모	754세대
세대당 거주인원	4.06명/세대
연사용수량	246,139ton/년
일일사용수량	0.768ton/일
1인당일일사용수량	0.196ton/인

표 2 대상 아파트 개요

아파트명	평형	구 성	세대수	인 원 (세대평균)	계측기간
구리 K	24	방2, 욕실1	68	232 (3.4)	6/12~6/23
연수 Y	46	방4, 욕실2	15	69 (4.6)	7/ 4~7/14
연수 S	35	방3, 욕실2	15	65 (4.1)	7/16~7/24
분당 H	23	방2, 욕실1	77	272 (3.4)	7/28~8/ 5
	28	방3, 욕실1	9	33 (3.3)	8/ 5~8/14
	33	방3, 욕실2	59	225 (3.8)	8/14~8/22
오산 K	24	방2, 욕실1	26	88 (3.4)	7/25~8/ 4
	28	방3, 욕실1	13	55 (4.2)	8/ 4~8/13
평촌 S	33	방3, 욕실2	10	40 (4.0)	8/13~8/22
	38	방4, 욕실2	15	69 (4.6)	8/22~9/ 1
분당 T	38	방4, 욕실2	28	105 (3.8)	8/22~9/ 1
	48	방4, 욕실2	30	109 (3.6)	9/11~9/21
	58	방5, 욕실2	29	115 (3.8)	9/ 1~9/11

실시하였다. (주)대우건설에서 기사공한 전국 51개의 아파트를 대상으로 96년 1월에서 97년 4월까지의 월별 사용수량 조사를 하여 32개 아파트의

데이터를 추출한 후, 이를 토대로 사용수량에 대한 일차분석을 실시하였다. 여기서 분석된 결과에 의해 사용수량이 크게 나타난 대표적 아파트들을 선정하였고 선정된 대상에 대하여 위치한 지역과, 침실, 욕실의 개수, 건축 평형과 같은 규모의 인자를 주요 구분요소로하여 계측 대상을 선정하였다. 사전조사 결과 및 조사대상 개요는 그림 2 및 표 1, 표 2와 같으며 월사용수량을 기준으로 산정한 값이므로 실제 일일사용수량은 1.2~2배 정도 클 것으로 예상된다.

주택의 사용수량은 세대의 가족구성 등의 특성, 가사 등에 의한 기구의 사용빈도, 물의 사용방법 등 여러 요인이 관여되고, 세대에 있어서 1인당 사용수량에 차이가 생기게 되므로 계속되어진 사용수량의 정량적인 분석과 함께 물의 사용특성을 파악하기 위해서는 세대의 일반적 물사용 패턴의 파악이 필요하다. 이러한 필요에 의해 평촌 33평형, 연수 35평형, 분당 48평형 및 분당 58평형의 4개 단지 50세대에 대하여 물의 사용 성향 및 이용 빈도수를 분석하였다. 각 단위세대에서 일어나는 구체적인 물의 사용 행동을 설치되어 있는 급수기기와 연관하여 세면, 샤워, 목욕, 화장실의 이용, 물청소, 식사준비, 설거지, 물세탁의 8개 사용행태로 분류하여 조사를 실시하였으며 세대에서 물의 이용을 시간에 대하여 빈도율로서의 파악을 위해 설문조사로부터 용도별로 시간대에 대해서 정리한 것이 그림 3이다. 총세대에 대하여 설문결과를 토대로 총도수의 빈도율을 산정하였으며 각 행태별로 일반적 시간대에 따라 평일과 토요일,

일요일로 나누어서 기입하였다.

건물에 있어서 사용수량은 충분한 용량상의 변동을 허용하는 한계 내에서 실제 그 건물에서 필요로 하는 적절한 요구수량이며 이의 계측을 통하여 같은 용도의 건물에 적용할 수 있는 적절한 예상급수량을 산정할 수 있다

급수량은 계절적, 시간적 요인과 관련하여 변화되는데 수요량의 증가에 따라 급수량이 최대를 나타내는 6월에서 9월 사이를 계측기간으로 선정하고 각 대상별로 일주일 단위로 계측하였다. 아울러 일일 기온변화를 계측하여 일일 최대사용수량과 상관성 검토자료로 활용하였다.

급수설비설계를 위한 급수량 산정에 이용되는 계측자료는 계측되어지는 시간간격에 따라 그 용도가 각기 달라 시간단위로 계측된 시간급수부하의 경우 저수조, 고가수조 등의 설계에 적용되며 일분 이하의 단위로 계측된 순간급수부하는 가압펌프의 용량, 관경 등의 결정에 이용된다. 물사용 실태조사는 선정된 아파트에 대하여 이러한 용도에 따라 초음파유량계와 터빈유량계 및 data logger를 각 세대로 물을 공급하는 급수주관에 설치하여 1분 단위의 적산유량 및 순간유량의 계측으로 일일급수량, 시간급수량, 분당급수량, 이용 빈도 등의 자료를 구축하였다. 또한 측정의 정확성을 기하기 위하여 각 세대에 설치된 양수기함의 수치를 목측하여 급수 및 급탕량을 기록하고 초음파유량계의 계측수치와 비교하였다. 급수량의 주요관련 인자로는 인원수, 세대수 및 건물의 연면적, 급수기구의 개수 등이었으며 단위세대의 평

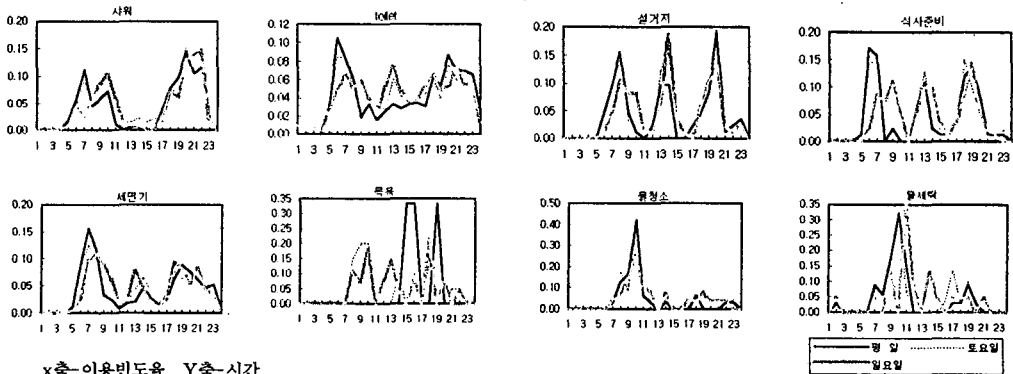


그림 3 용도별 이용빈도율

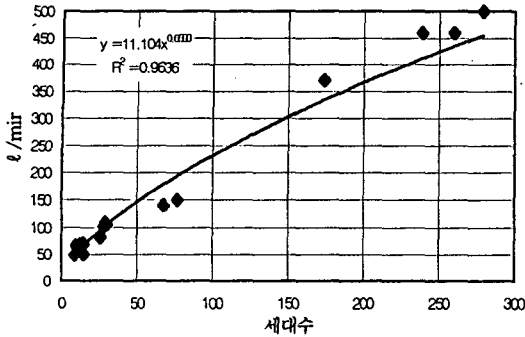


그림 4 순간최대급수량과 세대수

표 3 아파트별 계측급수량

아파트명	순간최대급수량 (l/min)			일일최대급수량 (l/day)		
	세대당	인원당	연면적당	세대당	인원당	연면적당
분당23	1.96	0.57	0.026	0.793	0.231	0.0105
구리24	2.06	0.60	0.026	0.782	0.229	0.0099
오산24	3.12	0.92	0.039	0.964	0.285	0.0122
분당28	5.44	1.63	0.059	1.257	0.377	0.0136
오산28	5.31	1.25	0.057	1.178	0.278	0.0127
분당33	1.54	0.40	0.014	0.943	0.247	0.0087
평촌33	6.60	1.65	0.061	1.198	0.300	0.0110
연수35	4.67	1.13	0.040	0.953	0.231	0.0083
분당38	3.64	0.97	0.029	1.281	0.342	0.0102
평촌38	4.53	0.99	0.036	1.125	0.245	0.0090
연수46	3.33	0.72	0.022	1.003	0.218	0.0066
분당48	3.50	0.96	0.022	1.251	0.344	0.0079
분당58	3.76	0.96	0.020	1.303	0.335	0.0068

형, 기후적인 요소 등은 관련성이 크게 나타나지 않았다. 즉, 물의 소비성향은 물의 사용자인 재실자에 관련하여 발생하며 공동주택의 경우 인원, 기구의 개수 등이 단위세대에 대하여 평균적인 관련을 가지고 있기 때문에 이러한 요소들과의 상관성이 가장 크게 나타났으며 계측결과는 그림 4 및 표 3과 같다.⁵⁾

3. 최대예상급수량의 산정

3.1 확률론적 해석

초기조건이 결정될 경우 그 후의 과정 및 결과

가 예측되어질 수 있는 현상들을 확정현상이라고 하고 그렇지 않은 경우를 불확정현상이라고 한다. 확률 통계는 확정현상을 대상으로 하는 학문으로서 주위의 일반적인 현상들을 이러한 범주에서 해석하고 결과를 예측한다. 통계론은 엄밀하게는 경험적, 수학적 체계가 잡힌 연장선상에 존재하며 과학적 분석에 의한 결과의 예측과 진행을 위해 주위의 현상들을 확률론이 적용되는 확정현상으로 취급하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

물의 사용에 대한 행태는 이러한 확률론적 현상으로 유추될 수 있다. 다수의 사용자가 존재할 때 그중의 누군가가 언제 어떠한 급수기기에 도달하고 물을 사용하는가, 또는 어느 정도의 시간에 그것을 이용하는가 하고 말하는 것은 개개에 대하여 예측할 수는 없다. 그러나 임의의 시간에 있어 전체의 추이를 관찰하면 어느 종류의 규칙성을 볼 수 있고 확률통계론으로 현상을 얻을 수 있다. 이러한 특성으로 Roy. B. Hunter는 그의 논문¹⁾에서 이항분포확률을 적용하여 기구급수부하단위(Fixture Unit) 합산에 의한 순간최대유량의 예측방법을 제안하였다. 어떤 시행(trial)이나 실험(experiment)을 할 때 그 결과는 '성공' 또는 '실패' 중의 하나로 나타나며 '성공'일 확률이 p 라 할 때, 그 결과가 성공이면 변수 X 가 1의 값을 가지고 실패이면 0의 값을 가진다면 이러한 확률변수 X 를 베르누이(Bernoulli) 확률변수라 부른다.

확률변수 $X_i (i=1,2,\dots,n)$ 가 성공할 확률이 p 이며 서로 독립인 베르누이시행(즉 $P(X_i=1)=P, P(X_i=0)=1-P$)으로부터 얻어진 것일 때, 그들의 합으로 나타내어지는 $X = \sum_{i=1}^n X_i$ 를 이항(binomial) 확률변수라 한다.

물의 사용시간 T 를 상정하여 관찰할 경우 각 기구를 통해 이용되는 시간을 1의 값으로 이용되지 않는 시간은 0으로 가정된다. 또한 도착자나 기구의 개수와 같은 임의적(random) 사항에 대해서는 정상성, 정렬성과 잔류효과가 나타나지 않는 3가지 조건이 존재하는 것으로 해석된다.⁶⁾ 정상성이란 임의의 실수 $h > 0$ 에 대하여 시간간격($t, t+h$) 사이에 k 회 도착 또는 물의 사용이 있을 경우 확률 $P_k(h)$ 는 시간 t 에 관계없이 h 와

k 의 값에 의해서 결정됨을 의미한다. 여기에서 $P_k(h) > 0$, 및 $\sum_{k=0}^{\infty} P_k(h) = 1$ 이다. 정렬성은 h 가 충분히 작다면 시간간격($t, t+h$) 사이에 2회이상 도착 또는 물의 사용이 생기는 확률은 무시할 수가 있음을 의미하며 잔류효과가 없다는 것은 $P_k(h)$ 가 시간 t 까지로 앞서의 발생에 대하여 무관한 다시 말하여 발생횟수가 서로 독립임을 의미한다.

그러므로 어떤 특정한 1개의 급수기구에 대하여 임의의 시간에 사용이 된다면 이것은 식 (1)과 같이 정의될 수 있다.

$$P = \frac{t}{T} \tag{1}$$

P = 사용확률
 t = 기구사용시간
 T = 기구별 대상 시간

또한 두 개의 기구에 대하여 임의의 시간에 동시에 사용될 경우의 사용확률(P')는 두 개의 개별적 확률의 곱으로 표현되며 이용률 P 에 대하여 급수기구가 사용되지 않을 비사용확률(P^{-1})은 확률론에 의하여 다음의 식 (3)과 같은 값을 갖는다.

$$P' = P^2 = \left(\frac{t}{T}\right)^2 \tag{2}$$

$$P^{-1} = 1 - P = 1 - \frac{t}{T} \tag{3}$$

만약 n 개의 급수기구가 있다고 가정하면, 이중 임의의 r 개의 기구가 임의의 시간에 이용되고 있으며 다른 어떤 기구도 이용되고 있지 않을 확률 ${}_n P_r$ 을 다음의 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$${}_n P_r = {}_n C_r P^r (1 - P)^{n-r} \tag{4}$$

이때 r 개 혹은 그 이상의 기구가 동시에 사용되고 있을 상당이용률(corresponding probability)은 ${}_n P_r$ 의 합산에 의하여 구할 수 있으며 식 (5)와 같이 정리될 수 있다. 여기서 m 은 기구의 설계개수를 의미한다.

$$\sum_{r=0}^m {}_n P_r = \sum_{r=0}^m {}_n C_r P^r (1 - P)^{n-r} \tag{5}$$

적절한 설계의 기준은 n 개의 기구 중에서 m 개의 기구가 동시에 사용되고자 하는 부하가 있을 때 이를 적절한 비율로서 만족할만하게 작동될 수 있는 범위이며 m 개 이상의 기구가 동시에 작동될 확률이 1% 이하로 산정되는 기구의 수 m 이다. 즉 다음의 식 (6)과 같이 표현되는 범위의 m 이 적절한 기구의 개수를 결정할 수 있다.

$$\sum_{r=0}^m [{}_n C_r P^r (1 - P)^{n-r}] \geq 0.99 \quad (m < n) \tag{6}$$

3.2 사용확률 산정

확률론적 해석에 있어 사용확률 계산을 위한 두가지 인자, 즉, 각 기구의 이용빈도와 사용시간이 중요한 척도가 된다. Hunter는 임의의 시간에 동시사용하는 기구의 개수를 결정하였으며 다른 종류의 급수기구에 대하여 동등한 기구의 수로 환산할 수 있는 등가 방법을 효과적으로 이용하였다. 이러한 시도 이후 Webster⁷⁾, Konen, Monihan, Chan, 村川, 紀谷 등에 의해 Poisson 확률 분포해석, Monte-Carlo Method 등 새로운 방법론이 제시되었고, 실측을 통하여 개별기구의 이용률 조사도 병행되었다.

기존의 방식은 개별적 기구에 대한 이용빈도 및 사용시간 조사에 의해 산출된 개별기구의 이용률을 multinomial method로 조합하여 이중기구가 혼재할 경우의 사용수량을 예측하였다. 이는 불특정한 일반적인 용도의 건물에 대하여 사용자 의 행태 특성에 관련한 확률적 예측 방법으로 복합확률에 따라 계산을 하여 특정 용도에 적용할 경우 예상 급수량이 다소 크게 산정될 소지를 안고 있다. 본 연구에서는 이러한 방식과 달리 설계에 적용의 용이성과 간편성을 위해 공동주택의 급수설계 1개 용도로서 대상을 단순화하였으며 앞서서 살펴보았듯 사용수량의 증가와 상관도가 가장 크게 나타난 세대수를 단일 분석 인자로 선택하여 최대순시급수량을 산정할 수 있도록 하였다.

공동주택의 경우 실내에 설치되는 급수기구는

사용자의 생활패턴과 관련하여 어느 정도 확정적이며 단위세대당의 기기 구성도 기본성을 갖는다. 즉 1일을 기준으로하여 오전과 오후 두 번의 최대사용수량 집중 형태를 보이는 M자형 사용수량 패턴의 주기성과 각 용도 이용 빈도의 세대별 유사성 등에 의해 개별세대를 하나의 물사용 행태 단위 n 으로의 가정이 가능하며 이에 따라 계측 결과를 이용하여 물의 사용확률을 산정할 수 있다.

본 연구에서는 계측의 시간 단위인 1분을 사용대상 시간으로 설정하고 단위시간의 이용을 물의 이용과 이용이 없는 베르누이확률변수로 해석하였으며 이에 의해 세대수 n 과의 이항분포확률을 적용하여 분석한다. 물의 사용은 1일의 사용변화를 기준으로 해석하며 사용자의 활동이 발생되고 물의 이용이 발생하는 주사용 시간대인 아침 6시부터 오후 12시까지의 18시간에 대하여 계측한 결과로부터 물의 사용이 일어나지 않는 빈도에 의해 상당비이용률($\gamma_{meas.}$)을 산정하였다. 그리고 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 다음과 같은 과정으로 사용확률(P)을 계산하였다.

$$P = \frac{t}{T}, P^{-1} = 1 - \frac{t}{T}$$

$${}_n P_r = {}_n C_r P^r (1 - P)^{n-r}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{meas.} &= {}_n C_0 P^0 (1 - P)^{n-0} \\ &= {}_n C_0 (1 - P)^n \end{aligned}$$

$$(1 - P)^n = \frac{\gamma_{meas.}}{{}_n C_0}$$

$$(P^{-1})^n = \frac{\gamma_{meas.}}{{}_n C_0}$$

$$\ln(P^{-1}) = \frac{\ln\left(\frac{\gamma_{meas.}}{{}_n C_0}\right)}{n}$$

$$P^{-1} = e^{\frac{\ln\left(\frac{\gamma_{meas.}}{{}_n C_0}\right)}{n}}$$

$$P = 1 - e^{\frac{\ln\left(\frac{\gamma_{meas.}}{{}_n C_0}\right)}{n}} \quad (7)$$

이를 전체 주시간단위에 대한 확률로 계산하여

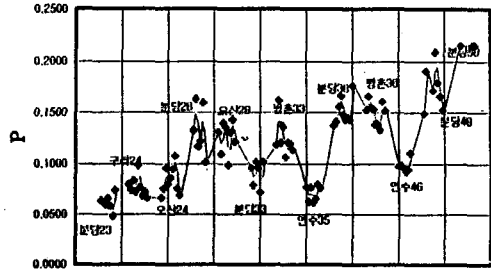


그림 5 대상별 계측 이용률

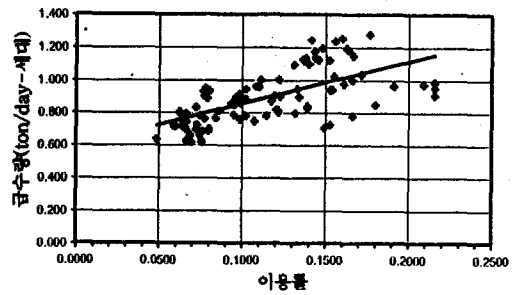


그림 6 이용률과 세대당 일일급수량

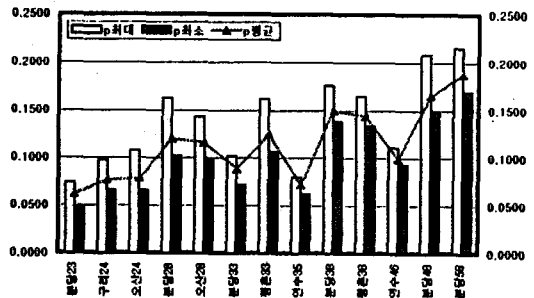


그림 7 평균 이용률

측정일간 평균 분포를 각 계측 대상별로 살펴 보았다. 그림 5는 대상 아파트의 사용 시간대의 이용률을 계측일별로 따라 표시한 분포도이다. 동일한 아파트의 경우 전반적으로 측정일간 유사한 이용률을 보이고 있는 것으로 나타났는데 오산 K 24평형, 분당 H 28평형, 오산 K 28평형의 경우 계측일간의 이용률 변동이 다소 크게 나타났다. 이에 의하여 대상이 되는 아파트의 물사용이 대상가구의 사용특성에 따라 일정 패턴에 따라 소비되고 있음을 알 수 있으며 물의 이용빈도는 일정 이용률로 산출 가능함을 유추할 수 있다.

그림 6은 계측되어진 세대당 일일 급수량과 산정된 이용률의 관계를 분석한 그래프이다. 이용률은 당일의 이용빈도가 커질수록 큰 값을 갖게 되는데 물사용량과 일정한 상관관계가 있다. 사용수량은 각 이용빈도와 사용시의 이용량의 곱으로 표현될 수 있으며 본 연구의 대상이 되었던 아파트에서는 그래프와 같이 이용률이 클수록 사용수량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이로부터 물의 사용량이 평균적으로 대상에 따라 유사하게 사용되고 있음을 파악할 수 있으며 평균사용유량(m_a)을 산정할 수 있다.

3.3 국내 아파트의 세대규모별 최대순간급수량

3.3.1 DICT 유량곡선의 산정

단일 세대 단위에 대하여 급수부하는 물의 동시사용수의 확률분포를 이용하여 계산할 수 있는데 확률변수 X 가 x_{ai} 인 동시사용수의 값을 취할 때의 확률은 식 (8)과 같다.

$$P_A(X=x_{ai})=p_A(i) \quad (8)$$

여기서 $x_{ai}=0,1,2,\dots$ 의 이산값을 취하면 $p_A(i)$ 는 확률함수이다. 이로부터 동종기구의 최대동시사용수는 초과확률 K_p 로서 식 (9)를 만족하는 세대수 m_a 로 정한다.

$$\sum_{x_{ai}=m_a+1}^{\infty} P_A(X=x_{ai}) \leq K_p \quad (9)$$

초과확률 K_p 는 확률변수 X 가 임의로 정해지는 최대동시사용수를 넘어 취한 확률값으로, 설비설계상 0.01~0.001 정도의 범위에서 고려하는 것이 타당하다고 생각되며 이로부터 최대사용수량(Q_{Amax})은 기준으로하는 평균사용수량을 Q_A 라고 하고 식 (10)에 의하여 산정할 수 있다.

$$Q_{Amax}=m_a \cdot Q_A \quad (10)$$

본 연구에서는 초과확률을 0.01로 산정하였으며 계산에 사용되는 이용률을 계측을 통하여 설정하였다. 계측된 대상 아파트별 최대 사용확률, 최소 사용확률 및 평균 사용확률을 정리한 것은 다음의 표 4와 같다. 물의 사용확률은 계측일 전

체에 대한 사용빈도 상정 및 사용특성에 대하여 일반화된 기준 패턴을 표현하기 위해 전체 계측값의 평균으로 설정하였고 이에 따라 산정된 각 사용확률의 평균값을 구하였다. 전체에 대한 평균사용확률은 0.1144로 이에 준하여 초과확률을 만족하는 m_a 를 계산하였다. 그림 8은 기준 사용확률로 세대수의 변화에 따른 동시사용률 변화를 10세대에서 50세대로 세대수를 변화시켜 도시한 그래프이다. 동시사용률은 이항분포를 따라서 점차 1개

표 4 대상 아파트별 계측 사용확률

아파트명	세대수	분당최대급수량	최대 사용확률	최소 사용확률	평균 사용확률
분당 H 23	77	151	0.074	0.048	0.062
구리 S 24	68	140	0.098	0.066	0.077
오산 K 24	26	81	0.108	0.066	0.079
분당 H 28	9	49	0.163	0.102	0.120
오산 K 28	13	69	0.143	0.099	0.116
분당 H 33	59	91	0.102	0.072	0.089
평촌 S 33	10	66	0.162	0.107	0.125
연수 Y 35	15	70	0.080	0.062	0.072
분당 T 38	28	102	0.176	0.138	0.150
평촌 S 38	15	68	0.166	0.134	0.144
연수 Y 46	15	50	0.111	0.093	0.099
분당 T 48	30	105	0.209	0.149	0.166
분당 T 58	29	109	0.216	0.170	0.188
최대 값		151	0.216	0.170	0.188
최소 값		50	0.074	0.048	0.062
평균 값		89	0.139	0.101	0.1144

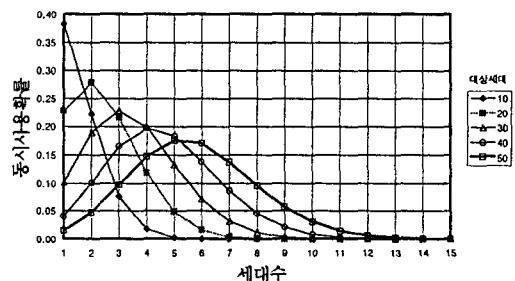


그림 8 세대수별 동시사용확률

의 최대 중심값에 수렴하며 초과확률 0.01을 만족하는 세대수 m_a 를 구할 수 있다. 대상세대수 증가에 따라 점차 초과확률을 만족시키는 m_a 도 증가하고 있으며 이는 1개의 선형 그래프로 표현되어진다.

세대의 평균사용수량(Q_A)은 대상 아파트별로 계측되어진 단위 시간 1분간 사용수량의 평균값(Q_{ave})을 기준으로 산정되었다. 각 대상 아파트별 계측 평균사용수량은 표 5와 같고 이들의 평균값으로 평균사용수량 $Q_A=12.23 \text{ l/min}$ 을 구하였다.

이렇게 각기 구하여진 m_a 및 Q_A 에 의하여 식 (10)을 이용하여 동시 사용률을 고려한 최대순간급수량 Q_{Amax} 를 구할 수 있으며 이를 이용하여 세대수 변화에 따른 적정 예상급수량을 추정할 수 있다. 그러나 이렇게 산정된 값은 계측이 허용하는 오차내에서만 안전하며 이를 벗어난 범위에서 가정할 경우 장치용량의 부족이 우려된다. 특히 소득수준의 향상 혹은 기타 사회적 요인에 따른 사용수량의 증가를 고려할 경우 현재의 계측급수량을 기준으로 산정된 그래프는 보다 위험성이 크다. 이에 따라 적절한 안전률을 두어 예상급수량을 산정하는 것이 바람직하다. 일본 공기조화·위생공학회⁸⁾에 의하면 약 5.4%의 사용수량

증가의 경년변화가 예측되며 본 조사의 계측에 포함될 수 있는 오차율 5%를 감안, 안전률을 20%로 설정하였다.

따라서 본 연구의 결과로서 세대수변화에 따라 산출된 이용률 0.1144에 의한 예상순간최대급수량과 이에 설정 안전률 20%를 계상한 값을 DICT (DAEWOO Institute of Construction Technology) 유량곡선으로 명명하였으며 그림 9와 같다. DICT 유량곡선은 공동주택에 대하여 산정된 기준이며 단위세대를 기준으로 동시사용유량을 산정한다. 공동주택의 경우 단일한 급수주관으로부터 공급을 받는 세대의 수는 펌프직송방식과 같이 zoning을 하지 않는 경우에는 300세대 이상 넘어서지 않을 것으로 예상되며 대우에서 시공한 조사 대상 아파트들의 경우 1개의 급수주관으로부터 60세대를 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 본 유량곡선의 최대 세대수를 300세대로 산정하였으며 이 범위 내에서 공동주택을 구성하는 단위세대의 규모에 따라 순간최대급수량(기준 단위 l/min)을 간단히 추정할 수 있다.

3.3.2 DICT 유량곡선의 비교·분석

그림 10은 세대수 변화에 대하여 계측되어진 최대순간급수량과 계측 회귀식에 의한 변화, 사용

표 5 평균토수량

아파트	분당H23	구리K24	오산K24	오산K28	분당H28	평촌S33	연수Y35	분당T38	평촌S38	연수Y46	분당T48	분당T58
Q_{ave}	9.70	9.88	10.61	12.25	13.80	15.53	12.85	12.75	12.48	11.80	12.60	13.35
Q_A	12.23 l/min											

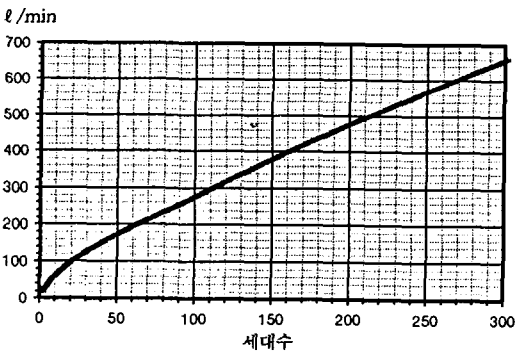


그림 9 DICT 유량곡선

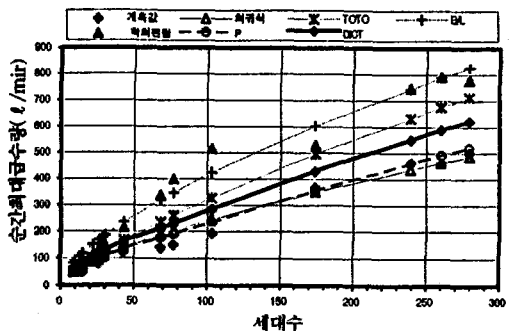


그림 10 세대변화에 따른 순간급수량 비교

확률에 의하여 산정된 값, 기존의 기준에 의한 예상최대급수량을 함께 도시하여 나타낸 것이다. 현장 계측 대상이 되었던 아파트와 동시유량 변화를 파악하기 위하여 동시에 계측을 실시한 동평형의 아파트의 유량 변화를 비교하였으며 아울러 지속적으로 계측을 하고 있는 창동아파트의 급수량 변화도 비교 대상으로써 함께 분석하였다. 비교의 기준으로는 국내의 펌프회사에서 급수량의 산정 기준으로 적용이 많은 일본의 B/L 기준과 TOTO사의 기준 급수량 산정식, 그리고 공기조화·냉동공학회의 급수량 산정식을 선정하였다. 이 방법들은 Hunter나 Murakawa의 추정방식 보다 사용수량이 작게 산정되며 기준산정을 계측에 의하여 산출하였기 때문에 비교의 대상으로써 적절하다. 회귀식으로 표현된 곡선은 데이터의 값을 기준으로 작성된 회귀식의 값으로 세대수 변화에 대하여 결정계수(R^2)는 0.9143이다.

각 기준별로 계측값과 차이를 나타내고 있는데 회귀식과 이용률기준 산정값의 경우 계측값보다 다소 작은 값을 보이는 구간이 많다. 그러므로 순간최대급수량의 산정식으로 적용하기에는 다소의 위험이 있으며 적절한 안전률을 감안하여 산정하는 것이 안전하다. 회귀식과 이용률기준(P)의 산정값이 유사하며 30세대를 기준으로 세대수가 작은 구간에서는 이용률기준곡선이 세대수가 큰 구간에서는 회귀식의 값이 더 작은 값을 보이고 있다. TOTO 방식과 편람의 최소기준에 의한 산정 방식은 세대수가 작을 경우 두 값이 유사한 값을 보이고 있으며 TOTO의 기준이 보다 작은 값을 보인다. 추정 방식 중에서 B/L기준이 가장 큰 값을 보이며 편람의 경우 세대의 인원을 이용하여 산정하였기 때문에 세대수가 커지면 다소 불규칙한 형태를 보인다. 평촌 S 33평형, 오산 K 28평형에서는 B/L 기준과 DICT 곡선을 제외한 모든 추정방식이 계측값보다 작은 값을 보이고 있으며 이에 따라 예상급수량 추정시 다소 위험성을 갖고 있는 것으로 판단된다. 그러나 세대수가 증가할 경우 추정값은 계측값과 상당한 차이를 보여 세대수가 증가할 경우 추정값의 보정이 필요한 것으로 나타났다. 이는 전체적인 수량을 일률적으로 비례관계를 적용하여 산정한 결과로 판단되며

세대수가 많은 경우는 경험에 의하여 다소 값을 낮추어 산정하는 방법이 효율적 설계가 될 것으로 생각된다. DICT 곡선은 모든 구간에서 계측값보다 큰 예상수량이 산정되며 TOTO 및 B/L 기준보다 계측된 순간최대급수량에 일치하고 안정된 값을 보이고 있다.

예상순간최대급수량과 계측값의 구체적인 차이를 살펴보기 위하여 계측값을 기준으로 각 방식별 오차의 제곱 및 편차를 계산하였다. 세대수가 같은 경우 계측된 값의 평균을 계측값으로 산정하였으며 표 6에서 보듯 각 방식에 따라 다르게 나타나고 있다. 편차의 값이 작을수록 계측값과 잘 일치함을 나타낸다. 이에 의한 산정 결과, 계측값과 가장 잘 일치하는 곡선은 이용률기준 추정방식으로 편차가 19.11로서 회귀식에 의한 편차 24.58보다 계측값의 추정에 근접해 있다. 10% 이내의 편차값은 23.86으로 회귀식 및 이용률 추

표 6 산정방식별 계측값과의 오차

세대수	계측값	회귀식	TOTO	B/L	학회편람	P	DICT
9	49	1	0	1,143	1	8	174
10	66	215	164	523	169	114	0
13	69	59	14	1,365	16	18	77
15	63	306	25	2,363	49	7	282
22	91	13	529	4,437	625	428	1,211
26	81	283	9	2,172	100	0	219
28	102	1	55	23,567	361	4	256
29	109	14	968	7,669	2,401	310	1,399
30	105	7	282	5,648	1,444	1	475
43	122	235	171	5,237	1,681	13	306
68	140	2213	414	6,486	2,025	7	581
77	151	2745	1,935	13,029	8,649	139	1,490
103	192	3077	9,469	32,769	40,000	1,347	5,184
174	370	309	12,204	39,165	62,001	1,632	6,194
239	460	550	18,517	53,819	104,329	2,007	8,501
260	460	4	15,337	54,033	25,281	166	3,422
279	500	239	29,782	81,346	83,059	3	8,118
오차제곱합		10270	89,873	314,771	332,191	6,206	37,890
편 차		24.58	72.71	136.07	139.79	19.11	47.21

정방식이 계측값에 잘 일치하고 있는 것으로 판정되며 20%이내의 편차는 47.72로 DICT 곡선이 이 범위에서 일치하고 있다. 편람과 B/L 기준은 136으로 다소 계측값의 추정에는 거리가 있으며 앞서 그래프에서 살펴보았듯 과대하게 추정값이 산정되는 것으로 나타났다. 편람은 일일사용수량을 기준으로 인원수에 따라 기준값을 배승하는 방식으로 추정하기 때문에 동시사용률이 고려되지 않으며 특히 세대수가 커질 경우 예측의 정도가 낮아진다. B/L은 일본의 사용수량을 기준으로 산정되었으며 일정 안전률을 둔 값이므로 국내의 실정과 다소의 차이를 보이고 있으며 TOTO의 경우 비교적 국내 사용수량 실태와 유사하게 추정할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 TOTO 기준은 세대수가 작을 경우 오히려 추정값이 계측값보다 작게 산정되므로 세대수가 작은 경우에는 여유율을 곱하는 것이 안전할 것이다. 세대수가 커질 경우에는 회귀식과 이용률산정 방식을 제외한 모든 산정방식의 오차가 커지는 것을 살펴볼 수 있다. 오차의 증가율은 세대수의 증가에 따라 비례적으로 증가하는데 이는 모두 안전률을 감안하여 산정되었기 때문이다. 세대수가 커질 경우 급수량의 절대적 크기는 다소 과대하게 산정될 소지가 있으나 발생할 수 있는 상대적 범위내에서는 유효하다 할 수 있다.

이상의 분석결과를 살펴볼 때 국내 사용실태에 기준한 순간최대급수량의 추정방식으로서 DICT 유량곡선이 유효함을 알 수 있으며 이를 급수설비 설계에 적용할 경우 장비의 용량을 보다 경제적으로 산정할 수 있다. B/L 산정 기준과 비교하여 DICT 유량산정곡선은 장비의 용량산정에 있어 시스템의 종류에 따라 24% 이상 절감이 가능하며 Hunter 및 Murakawa 산정 방식에 비교하여서는 50% 이상의 절감이 가능하다. 이를 실용화하여 설계 및 현장에 적용할 경우 국내의 공동주택 급수설비 설계에 있어 초기 설비비의 절약, 장비운전효율의 향상, 운전에너지 및 유지 비용의 절감 등에 기여할 것으로 예상된다.

4. 맺음말

급수설비의 설계 및 장비용량의 산정 기준이 되는 것은 급수량 DATA로서 이를 근간으로 예상급수량 추정을 한다. 그러나 국내 실정과 부합하는 설계자료의 DATA 구축이 충분하지 못해 지금까지 일본과 미국의 기준을 설계에 적용하여 왔으며 이에 따라 장치용량의 과대 산정과 같은 설계상 낭비요소가 포함되어 왔다. 본고에서는 이러한 폐단을 보완하기 위하여 국내의 공동주택을 대상으로 실시된 물사용 실태조사와 이에 대한 분석을 기술하였다.

선정된 아파트를 대상으로 시간별, 일별, 주간 단위별 급수량의 순간최대피크 및 최대사용수량을 실측하였으며 설문조사를 실시하여 대상 아파트의 세대수, 구성인원, 용도별 물사용 성향을 조사하였다. 이렇게 수집된 DATA를 기준으로 사용확률을 적용하여 이항분포확률에 의한 최대 동시사용유량을 산정하였고 국내 공동주택에 있어, 급수주관에 연결된 세대수 변화에 따라 적절한 순간최대급수량(l/min)을 산정할 수 있는 기준으로 DICT 유량곡선(그림 9)이 도출되었다. 이를 이용하여 단지의 세대규모에 따른 순간최대급수량을 간단히 추정할 수 있으며 종래 산정 방식에 비교하여 24% 이상의 절감된 최대순간급수량 값을 구할 수 있다.

향후 이러한 연구결과를 바탕으로 구축된 DATA를 실제 설계 및 시공에 적용한 후 적용된 대상에 대하여 모니터링을 실시, DATA의 유용성 및 타당성을 검증하고 국내 급수설비 설계의 기초자료화와 산정기준 적용이 이루어지도록 하고자 한다.

참고문헌

1. Hunter.R.B., 1940, "Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems", NBS Building Materials and Structures Rept. BMS 65, US Dept. of Commerce, Washington.

2. 村川三郎, 山手利博, 1982.10, “集合住宅における水使用と給水負荷算定法の検討”, 空氣調和・衛生工學會論文集, No. 20.
3. 김성식·김지현, 1997.6, “가압급수방식을 적용한 공동주택의 급수사용량 조사연구”, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표논문집.
4. 村川三郎 外, 1982.6, “湧水による住宅の水利用實態の分析”, 建築環境工學論文集 第4號.
5. 김지현·김성식 외, 1997.10, “공동주택의 급수설비 시스템 계획을 위한 사용수량 조사 연구”, 대한건축학회 학술발표회논문집, 제17권 제28호.
6. 紀谷文樹·村川三郎, 1978, 給水設備の負荷設計, 東京, 井上書院.
7. Webster, C.J.D., Jan.1972, “An Investigation of the Use of Water Outlets in Multistory Flats”, The Building Services Engineer(JIHVE), Vol 39.
8. 공기조화 위생공학회 편, 1996, “공기조화·위생설비의 알기쉬운 지식”, 7판, 태림문화사.