

공동주택에서 엔트로피에 의한 급수량에 관한 조사연구

안창환/대구공업대학 건축설비과 조교수

1. 서론

최근의 건축기술은 구조, 재료 및 시공법에서 눈부시게 발전하여 규모가 대형·고층화된 건축물이 현저하게 늘어나고 있다. 인구의 도시집중으로 인한 도시 지가의 폭등은 건축물의 형태가 고층화되고, 주거형태 또한 단독주택 보다 고층 아파트의 비중이 높아지고 있다. 이와 같은 건축문화의 변화로 인해 건축물 내부의 환경에 대한 요구도 의식수준의 향상과 더불어 높아지고 있으며, 이에 대응하기 위해 건축설비의 기술도 비약적인 발전을 계속하고 있다. 이와 같은 설비에 대한 요구는 특정한 건물에 국한되지 않고, 모든 분야의 건물로 확대·심화되고 있는 실정이다.

건축물에 있어서 급수설비는 주거자가 필요로 하는 충분한 양과 적절한 수압으로 물을 공급해 주기 위한 설비이며, 적절한 급수설비 설계를 위한 관련 기기의 용량 및 배관설계 산정은 중요한 설계 기준이 된다.

한편, 최근 위생기구의 자동화와 공동주택의 난방방식이 중앙난방에서 개별난방으로 변화되

면서 건축물에서 적정 급수압을 유지해야 한다.

현재까지의 급수관로 설계에 있어서 주로 시공경험으로 축적된 자료에 의존하는 경우가 대부분이기 때문에 시공 이전에 이 문제에 대한 객관적이고 합리적인 검토가 어려운 실정이다.

외국에서는 급수관로에서 물의 흐름을 엔트로피로 해석하여 각 수전별 특성을 연구하였다. 엔트로피의 변화량을 정확히 분석하여 공동주택에서 급수환경을 보다 정확히 해석하고자, 본 연구에서는 공동주택에서 급수사용량을 조사하여 각종인자에 따른 사용수량을 분석하고, 또한 급수사용량을 엔트로피로 분석하여 급수설계에 필요한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 급수량 산정 방법¹⁾

일반적으로 건축물의 급수량 산정은 건축물의 용도, 규모 등 그 건축물이 갖는 특성에 따라 산정방법이 다를 수 있다.

1) 安敎誌外2人, 衛生設備工學, 圖書出版世進社, 1997, pp94-113.

건축물에서의 급수량 산정은 크게 3가지로 나눌 수 있으며, 인원에 의한 방법, 면적에 의한 방법, 위생기구수에 의한 방법이다.

인원에 의한 방법은 사용인원에 1인 1일 사용수량을 곱한 것으로 급수량을 용이하게 추정할 수 있으나, 사용인원이 정확하지 않을 경우는 불가능하다.

사용인원이 불분명할 때에는 건축물의 연면적에 의하여 추정할 수 있다. 이 방법은 건축물의 연면적에 유효면적비를 곱하여 유효면적을 구한 다음 여기에 유효면적당 인원을 곱하여 인원수를 산출한다. 건축물의 유효면적은 건축물의 연면적에서 복도, 계단, 기계실, 변소 창고 등의 면적을 제외한 것을 말한다.

표 1²⁾에는 건축물의 종류별 1일 1인당 급수량, 유효면적비, 유효면적당 인원 등을 나타낸다.

표 1. 건물용도별 급수량

구분	1일1인당 급수량 q [ℓ/인·day]	유효면적비 [%]	유효면적당 인원 n [인/㎡]	평균 사용시간 T [hour/day]	사용자
사무소	100-200	55-60	0.2	8	재근자
주택	160-200	50-53	0.16	8-10	거주자
아파트	160-250	45-50	0.16	8	거주자
국민학교	40-50	58-60	0.25-0.14	5-6	학생수
병원(중급)	500이상	45-48	1병상당 3.5	10	
백화점	3	55-60	6	8	손님수

위생기구수에 의한 방법은 건축물에 설치되는 위생기구수를 가지고 산정하는 방법으로 위생기구의 사용수량은 위생기구의 종류, 압력, 이용상태 등에 따라 다르나 일정한 압력을 유지하고 사용횟수가 정확할 때는 표에 의하여 산출이 가능하다. 그러나 실제로 시간당 위생기구의 사용회수를 정확히 파악하기는 불가능하다. 이로 인하

여 위생기구별 1일 급수량을 이용하여 급수량을 산출하는데 각 위생기구의 사용수량 합에 기구동시 사용율을 곱하여 산출한다. 표3, 표4 에는 위생기구별 1일 급수량, 기구 동시 사용율을 나타내었다.

표 2. 위생기구별 급수량

기구종류	1회사용량 [ℓ]	1시간당 사용회수 [회]	순간최대유량 [ℓ/min]
대변기(세정밸브)	13.5-16.5	6-12	110-180
대변기(세정탱크)	15	6-12	10
소변기(세정밸브)	4-6	12-20	30-60
소변기(세정탱크)	9-18	12	8
세 면 기	10	6-12	10
싱크 (13 mm)	15	6-12	15
일 식 욕 조	크기에 따름	3	25-30
양 식 욕 조	125	6-12	25-30
샤 위	24-60	3	12-20

다음에 1일 급수량을 산정하는 (1), (2), (3)식을 나타낸다.

① 인원에 의한 방법

$$Q_{\text{day}} = N \cdot q \quad [\ell / \text{day}] \quad (1)$$

여기서,

N: 사용자수 [인]

q: 1인 1일 급수량 [ℓ/인·day]

② 면적에 의한 방법

$$Q_{\text{day}} = k \cdot A_o \cdot n \cdot q \quad [\ell / \text{day}] \quad (2)$$

여기서,

k: 유효면적비 [%]

A_o: 연면적 [㎡]

n: 유효면적당인원 [인/㎡]

q: 1인 1일 급수량 [ℓ/인·day]

③ 위생기구수에 의한 방법 (3)

$$Q_{\text{day}} = k \cdot A_o \cdot n \cdot q \quad [\ell / \text{day}]$$

여기서,

p: 기구동시사용율 [%]

2) 日本空氣調和・衛生工學會, 空氣調和・衛生工學會便覽 第12版4篇給排水衛生設備設計篇, pp90-92.

q': 위생기구별 1일 급수량 [ℓ/day]

f: 위생기구수 [개]

표 3. 위생기구별 1일 급수량

건물별 위생기구	사무소	학 교	병 원	아파트	극 장	공 장
대변기 (세정밸브)	900	600	750	200	750	750
대변기 (세정탱크)	1200	800	1000	240	1000	1000
소변기 (세정밸브)	400	240	480	150	480	420
소변기 (세정탱크)	400	240	480	150	480	420
세면기	960	900	400	200	3200	-
싱크	1200	720	600	550	-	-
욕조	-	-	-	760	-	-
청소용싱크	510	440	6100	270	-	-
수세기	240	140	180	120	300	-

표 4. 기구 동시 사용율

기구수	1-3	4-7	8-15	16-30	31-50	51-100	101-200	201-600
사용율 (%)	100	80	70	60	50	40-30	30-20	20

건축물에서 사용되는 급수량은 일반적으로 위에서 기술한 방법으로 구한 급수량과 냉방설비가 있는 건축물의 경우 냉각수량과 복합수량 그리고 소방설비가 있는 건축물의 경우 소방용수를 포함하여 1일급수량을 산출한다.

냉각탑의 냉각수량은 일반적으로 8~15 [ℓ/min·USRT] 이며, 냉각탑의 보급수량은 2% 정도이다. 다음은 냉각탑 보급수량을 산출하는 (4)식이다.

$$Q_c [\ell / \text{min}] = RT \cdot 8 \sim 15 \cdot 0.02 \quad (4)$$

여기서,

Qc: 냉각탑보급수량 [ℓ/min]

RT: 냉동기용량 [미냉동톤]

1일급수량의 계산은 일반적으로 건축물의 저수조 용량을 설계하는데 이용되며, 1일평균 사용시간으로 나눈 Qh [ℓ/h] 는 시간 평균 예상 급수량이라 하며, 고가수조용량을 설계하는데 사용된다. 하루 중 가장 많이 사용한다고 추정된 1시간 동안의 급수량을 시간 최대 예상급수량 (Qm [ℓ/h])이라 한다. 이는 시간 평균 예상급수량에 1.5~2를 곱한 것을 말하며, 양수펌프 설계시 펌프의 토출량을 구하는데 사용된다. 또한 하루 중 가장 많이 사용하는 순간을 추정하여 그 순간에 사용되는 수량을 순간최대 예상급수량 (Qp [ℓ/min])이라 한다.

2.2 엔트로피이론

사용수량을 엔트로피로 해석하기 위하여 급수관을 통하여 사용된 물의 양은 연속방정식에서 유입되는 양과 유출되는 양이 동일하다면 질량유동률은 (5)식으로 나타낼 수 있다. 이 질량유동률과 엔트로피의 정온해석식에 의하여 해석한다.

$$m = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \rho Q \quad (5)$$

[kg/sec]

여기서,

m = 질량유동률 [kg/sec]

ρ = 물의 밀도 [kg/m³]

3. 급수량 실태 조사

3.1 조사 개요

아파트의 사용수량을 분석하기 위하여 대구광역시 달서구에 위치한 P아파트단지 73세대를 대상으로 하였다. 조사 대상 아파트의 난방방식은 개별난방이다. 위생기구수는 33평형, 50평형에서

표 5. 조사 대상 아파트 개요

종류 지역	평형	동수	층수	세대수	전용면적 (㎡)	평균 거주인원	전용면적당 거주인 (인/㎡)
대구	33	405	15	45	85	3.8	0.045
	50	174	14	28	135	4.6	0.034

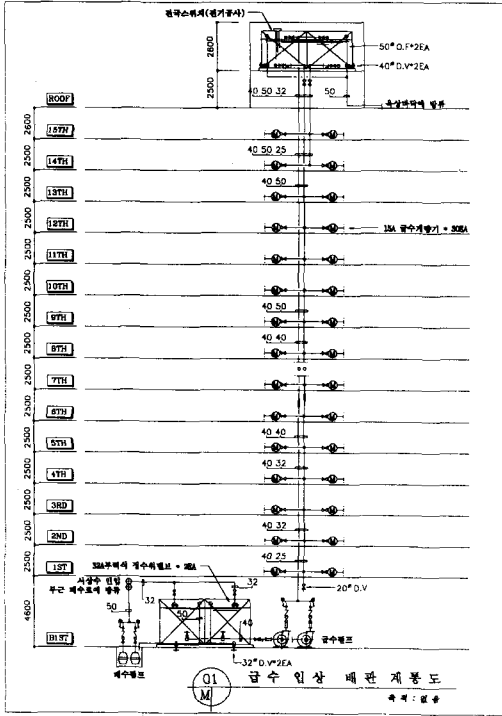


그림 1. 조사 대상 아파트의 급수계통도

동일하게 세면기 1개, 부엌수전, 욕조 2개, 대변기 2개, 일반수전 2개가 설치되어 있다. 그림은 조사 대상 아파트의 급수 계통도를 나타낸 것으로 고가수조방식을 택하고 있다. 또한 표5에는 아파트의 층수 세대수 등의 조사 개요를 나타내고 있다.

3.2 조사방법 및 내용

조사대상의 아파트 급수 사용량은 1998년 6월 1일부터 8월 31일까지 하절기 3개월 동안 일일 급수량을 동일시간에 방문하여 수도계량기를 검침 조사하였다.

또한, 설문 조사를 통해 세대별 거주인원수, 전용면적, 위생기구수, 물사용패턴, 세탁기용량, 식음료형태 등을 조사하였다.

4. 조사결과 및 분석

4.1 월별 급수사용량

조사 대상 아파트의 각 세대별 월 급수사용수

량은 그림 2에 나타난 것처럼 33평형의 경우 6월에 21.9 [$m^3/month \cdot family$] 이었고, 7, 8월에는 24.1 [$m^3/month \cdot family$]로 나타났다.

50평형의 경우 24.5 [$m^3/month \cdot family$], 7월에는 31.0 [$m^3/month \cdot family$]이었다.

8월에는 29.5 [$m^3/month \cdot family$] 로 평균 4.9 [$m^3/month \cdot family$] 정도가 50평형이 많이 사용한 것으로 나타났다. 특히 7월의 경우 50평형과 33평형의 사용수량은 6.9 [$m^3/month \cdot family$]의 차이를 나타내고 있다.

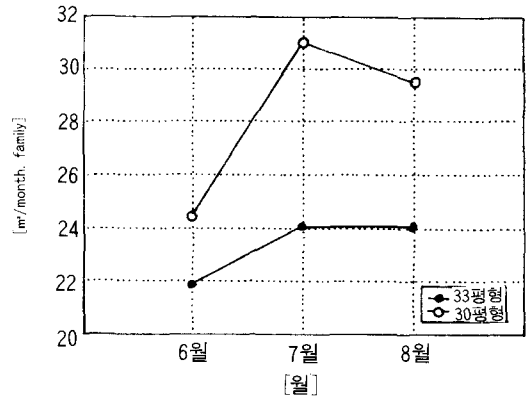


그림 2 세대별 월 사용수량

그림 3은 33평형의 월별·세대별 하절기 물 사용량을 3개층의 존으로 나누어 나타내는 것으로 하부층으로 갈수록 물사용량이 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이것은 수압에 따른 영향으로 사료된다.

1~3층과 13~15층과의 차이는 월별·세대별로 5.8~6.7 [$m^3/month \cdot family$] 정도로 나타났다.

그림 4는 50평형의 하절기 급수 사용량을 존별로 나타낸 것이다. 월별·세대별 평균 사용량이 21.5~34.5 [$m^3/month \cdot Family$] 으로 나타났으며, 최대 1~3층 존으로 34.5 [$m^3/month \cdot family$]이었다.

그러나 조사대상 아파트의 50평형에서 13~15층의 존에서 물 사용량이 30.1 [$m^3/month \cdot$

family]으로 많이 사용하는 것으로 나타났는데, 이는 설문지를 통한 조사결과 일일 목욕횟수 항목에서 전체 평균횟수 3.75회보다 상회하는 4.5회로 나타났고, 일일 세탁횟수 항목에서도 평균 횟수 0.71회를 상회하는 1.25회로 나타났다. 따라서 조사대상 아파트에서 13~15층에 거주자의 물 사용 패턴이 다른 층에 비해 많이 사용하는 것이 다음과 같은 결과에 영향을 미친 것 같다.

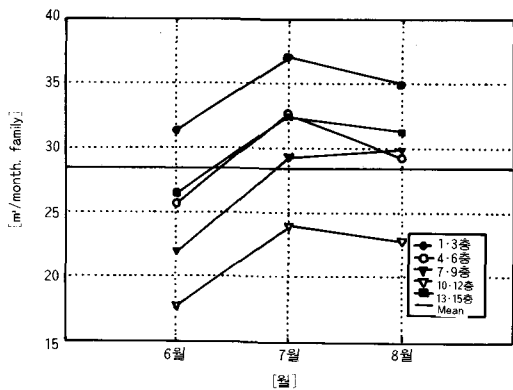


그림 3. 월별 평균 사용수량(33평형)

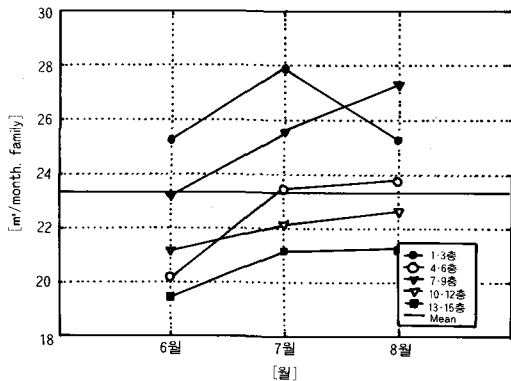


그림 4. 월별 평균 사용수량(50평형)

4.2 요일별 급수사용량

그림 5는 요일별 평균 급수사용량을 나타내는 것으로 50평형과 33평형의 값이 각각 0.923 [m³/day·family], 0.774 [m³/day·family]로 나타났다. 월요일의 사용수량이 요일 중에서 가장 높게

나타났으며, 그때의 값은 각각 50평형과 33평형이 0.96 [m³/day·family], 0.85 [m³/day·family]으로 나타났다. 일요일에 외출 등으로 인하여 월요일에 가사 일을 집중적으로 하기 때문으로 판단된다.

33평형의 경우 급수사용량이 하루 건너씩 증가하고 감소하는 현상을 보이고 있었다. 이는 세탁을 모아서 하기 때문으로 판단된다. 그러나 50평형의 경우 급수사용량의 변화가 거의 일정한 것으로 나타났다. 이는 33평형보다 생활수준 및 의식수준이 높기 때문으로 사료된다.

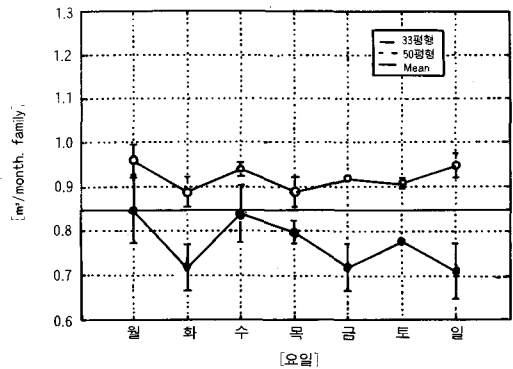


그림 5. 세대별 요일 사용수량

4.3 층별 급수사용량

그림 6은 조사 대상 아파트의 33평형, 50평형에 한 층별 일일 물 사용량을 나타낸 것이다.

33평형의 경우 0.52~1.08 [m³/day·family], 평균 0.76 [m³/day·family]으로 나타났고, 50평형의 경우 0.64~1.31 [m³/day·family], 평균 0.92 [m³/day·family] 정도로 나타내고 있다. 또한 50평형이 평균 0.16 [m³/day·family] 정도 많이 사용하는 것으로 나타났다.

층별 급수사용량은 대체적으로 아래층으로 내려올수록 급수량이 증가하는 것으로 나타났으며 이는 급수압력이 증가하기 때문으로 판단된다.

2층에서 급수사용량이 50평형과 33평형에서

최대로 1.26 [m³/day·family], 1.08 [m³/day·family] 로 나타났다. 1층보다 오히려 2층에서 높게 나타난 것은 1층 세대의 경우 수전을 인위적으로 압력을 조절하여 사용하는 세대가 많았다.

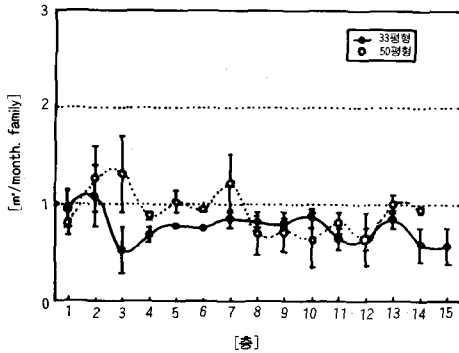


그림 6. 층별 평균 사용수량

그림 7은 조사대상 아파트의 각 존별 단일 세대당 일일 평균 사용량을 나타낸 것이다. 전체적으로 상층부에 비해 하층부의 물 사용량이 많은 것으로 나타나고 있다. 한편, 50평형의 경우 13~15층에서 높게 나타난 것은 이 존에서 일일 목욕횟수와 일일 세탁횟수가 조사 대상 아파트의 다른 존에 비해 많이 사용하는 것으로 분석되었다.

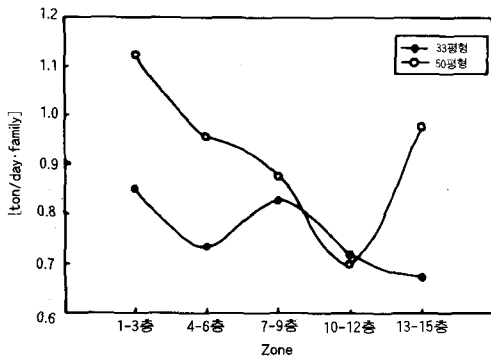


그림 7. 세대당 일일 평균 사용량

4.4 이론적 급수량과 사용량의 비교 분석

본 연구에서는 조사 대상 아파트의 급수사용

량 자료의 분석결과를 토대로 아파트의 전용면적별 평균 거주인원수와 전용면적별 1인 평균 1일 급수량을 분석하였다.

표 6은 조사 대상 아파트의 1세대 1일 실제 급수사용량과 2절에서 설명한 기존의 예상급수량 산정방법에 의한 결과를 비교하고 있다.

표 6에서 인원수에 의한 방법은 (1)식을 사용하여 하였다. 기구수에 의한 방법은 (3)식을 사용하여 실제 설치되어 있는 33평형, 50평형 각각 8개의 기구를 근거하여, 기구 동시 사용율은 표 4를 통해 70 [%]로 하여 산출하였다. 전용면적에 의한 방법은 (2)식을 사용하여 연면적과 유효면적의 비율 48 [%]로 하고 유효면적당 인원수를 0.16 [capita/m²], 1인 1일당 급수량은 200 [ℓ/capita·day] 으로 산출하였다.

표 6에 나타난 것처럼 기존에 사용되고 있는 산정 방법들은 실제 사용수량과 많은 차이를 보이고 있다. 전용면적에 의한 방법은 33평형, 50평형 모두 과대 설계되어 있으며, 특히 전용면적이 클수록 그 차이가 매우 커짐을 알 수 있다.

표 6. 조사 대상 아파트 급수량 내역

종류 지역	평형	전용면적 (m ²)	(1)식	(2)식	(3)식	실제사용수량 [ℓ/day]
			[ℓ/day]	[ℓ/day]	[ℓ/day]	
대구	33	85	950	1,305	1,675	760
	50	135	1,150	2,073	1,675	920

기구 수에 의한 산정방법은 실제 사용수량과 비교해 볼 때 역시 과대 설계되어 있으며, 이는 각 세대에 설치된 설치기구의 1회 사용수량과 1일 사용횟수의 정확한 자료가 요구됨을 알 수 있다. 인원수에 의한 산정방법 또한 전용면적이 클수록 차이가 커지는 것으로 나타나고 있다.

인원수에 의한 산정 방법과 면적에 의한 방법에서 사용되는 1인 1일당 급수량과 실제 사용 수량을 비교 분석하면 유사하게 나타났다.

그림 8은 조사 대상 아파트의 1인 1일 물 사용량을 나타낸 것이다. 2절의 표 1에 제시된 자료에서 1인 1일당 급수량은 160~250 [ℓ /capita·day] 으로 나타나 있다. 실제 사용 수량은 전체 분포 범위에서도 이론적 자료의 범위를 대부분 만족시키고 있고, 평균 사용량도 201 [ℓ /capita·day] 정도로 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그림 9는 조사 대상 아파트의 단위 면적당 평균 거주인원과 평균 물 사용량을 나타낸 것이다. 전용 면적당 거주인원에서 실제 33평형의 경우 0.045 [capita/ m^2], 50평형의 경우 0.034 [capita/ m^2]로 나타났다. 면적에 의한 산정 방법에서 유효면적당 인원(n)의 경우 2절에서 제시된 기준의 자료에서는 0.16 [capita/ m^2]으로 실제 평균 거주인원의 약 4~5배정도 과대 설계되어 있다는 것을 알 수 있다.

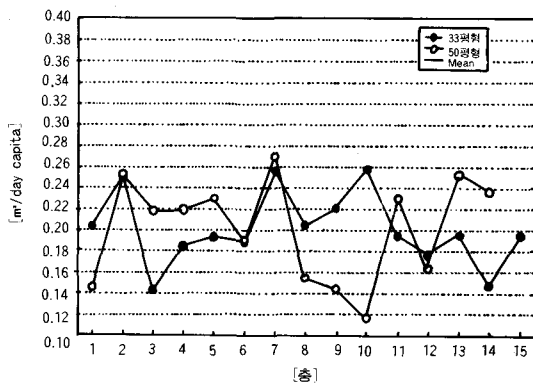


그림 8. 1인 1일 평균 사용수량

따라서, 거주인원수의 예측방법이 합리적이지 못함을 알 수 있다. 특히 전용면적이 큰 아파트일수록 거주 인원수가 크게 산정되어 예상 급수량이 과대 설계 될 수 있음을 알 수 있다.

실제 급수 사용량과 면적에 의한 방법을 비교해 보면 실제 33평형의 경우 760 [ℓ /day], 50평형의 경우 920 [ℓ /day] 으로 나타난 반면, 기준

의 산정 방법에서는 33평형의 경우 1,305 [ℓ /day], 50평형의 경우 2,073 [ℓ /day] 으로 각 1.7배, 2.3배로 과대 설계되어 있다.

그림 9에 나타나 있는 것과 같이 전용면적이 커질수록 실제 급수량도 증가하지만, 전용면적당 일일 급수량은 감소하는 것으로 나타났다.

그림 10은 각 준별 수압율을 나타낸 것이다. 전체적으로 보면 '수압이 세다'가 34.2%, '보통이다'가 47.9%, '약하다'가 16.4%, '아주 약하다'가 1.4%로 나타났다. 준별로 살펴보면 상부층으로 갈수록 만족도가 떨어지는 것으로 나타났다. 1~3층의 경우 '수압이 세다'가 66.7%, 13~15층의 경우 '아주 약하다'가 53.8%로 상반된 결과를 나타내고 있다.

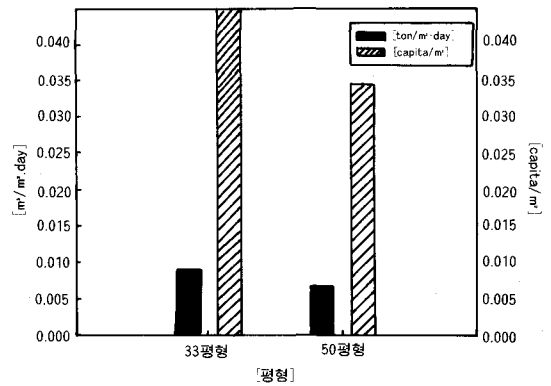


그림 9. 면적당 평균 거주인원과 평균 물 사용량

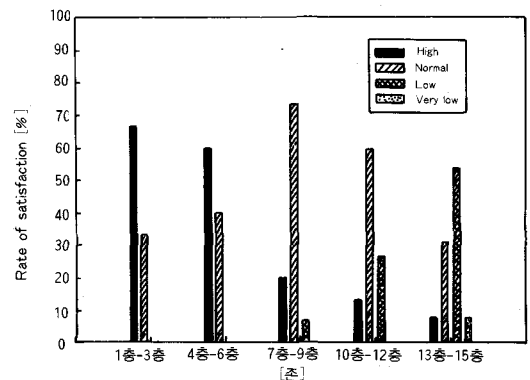


그림 10. 수압 만족도

5. 사용수량과 엔트로피

엔트로피의 해석을 위하여 물의 비중은 4℃로 하였으며, 압력수두는 고가수조의 수면에서부터 수직거리로 하였다. 그리고 위생기구의 필요압력은 0.7[kg/cm²]으로 하였다.

그림 11은 사용수량에 따른 엔트로피를 나타낸 것으로 일반적으로 아래층으로 내려가면서 엔트로피는 증가하는 것으로 나타났다. 특히 사용량은 50평형의 경우 상층부에서 높게 나타났으나 엔트로피의 경우 상층부에서 하층부로 갈수록 압력의 영향으로 증가하는 것으로 나타났다. 특히 중간층에서 엔트로피가 일정하게 나타나고 있었다.

2층과 저층부에서 사용수량에서 보다 엔트로피 값이 더욱 크게 나타난 것은 압력에너지의 변화폭의 증가가 크기 때문으로 판단된다.

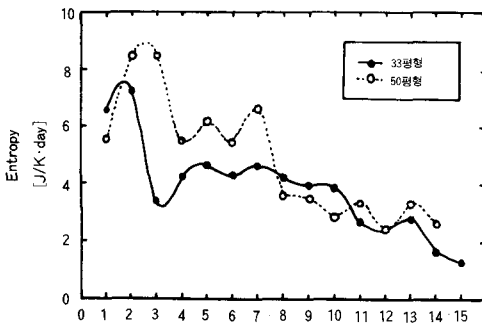


그림 11. 사용수량에 따른 엔트로피

6. 결론

본 연구에서는 공동주택의 급수설비 설계에 있어서 정확한 급수량 산정과 쾌적한 급수환경을 확보하기 위하여 사용수량과 이론적 급수량 및 사용량에 따른 엔트로피로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일일 급수사용수량은 50평형과 33평형에서 920 [ℓ/day], 760 [ℓ/day]로 나타났으며, 이는 1일 급수량 분석결과 예상 급수량 산정 방법(인

원, 면적, 위생기구 의한 방법)이 모두 과대 설계된 것으로 나타났다. 인원수에 의한 산정방법이 50평형과 33평형에서 1,150 [ℓ/day], 950 [ℓ/day]로 실제 급수사용량과 가장 유사하게 나타났으며, 특히 전용면적에 의한 산정 방법은 전용면적이 클수록 그 차이가 매우 커짐을 알 수 있다.

2. 조사 대상 아파트의 급수사용량을 3개층으로 준별화 한 결과 하층부의 물 사용량이 50평형과 33평형에서 1.12 [m³/day·family], 0.85 [m³/day·family]로 나타났으며, 이는 상층부보다 많이 사용하는 것으로 나타났으며, 급수압의 영향으로 판단된다.

3. 엔트로피의 변화는 아래층으로 갈수록 높아졌으며, 2층에서 최대로 50평형과 33평형에서 8.46 [J/K·day], 7.25 [J/K·day] 이었다. 특히 중간층에서 거의 변화가 없는 것은 일정한 급수압을 확보하기 때문으로 판단된다.

추후 쾌적한 급수환경을 위한 적정 급수량과 급수압을 산정하기 위하여 각종의 인자별 엔트로피를 산출하고자 한다.

■ 참고문헌 ■

1. 손병진, 조강래 공역, 유체역학, 회중당, 1998.
2. 조강래, 유정렬, 강신형 공역, 유체역학, 회중당, 1995.
3. 윤용남 저, 수리학, 청문각, 1997.
4. 김광선, 배명환, 이성로, 이세균, 이재호 공역, 공업역역학, 법한서적주식회사, 1995.
5. 안창환 외 2인, 표준배관공학, 세진사, 1995.
6. 안창환 외 2인, 위생설비공학, 세진사, 1997.
7. 강우형, 엄정인, 김인묵 공역, 홍중배 열 및 통계물리학, 도서출판 한동, 1998.
8. 김재환, 안동환, 박창수공역, 통계 및 열물리, 도서출판대웅, 1997.
9. 김명자, 김건 옮김, 엔트로피, 두산동아, 1998.
10. 안창환, 아파트에서 適正給水量算定을 위한 使用水量에 관한 調査研究, 한국주거학회논문집, 제15권제1호, 1994.
11. 安昌煥 給水負荷設計의 基礎理論에 關한 研究, 大邱工業大學産業技術研究論文集, 第3輯, 1998, p.p.384-402.
12. 김명식, 건축물의 적정 급수량 산정을 위한 사용 수량 조사연구, 한양대학교, 1990.
13. 김성남, 공동주택의 적정 급수·급탕량 산정모델, 공기조화 냉동공학회 '98학계학술발표회 논문집, pp. 653658
14. 紀谷文樹, 村川三郎 共著, 給水設備の負荷設計, 井上書院, 1980.
15. 有本卓 著, 確率·情報·エントロピー, 森北出版株式會社, 1994.
16. 안창환, 공성훈, 엔트로피에 의한 수평급수관로 해석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제15권3호(통권125호), 1999.3, p.p. 111-118.