

공동주택단지 급수계통의 유량특성에 미치는 감압밸브의 영향

Influence of Pressure Reducing Valves on Flow Characteristics of the Water Supply System for an Apartment Complex

김 태 진* 차 동 진**
Kim, Tae Jin Cha, Dong Jin

Abstract

Pressure distribution in the water supply system of an apartment complex consisting of 12 buildings and 635 units in total have been investigated numerically. The complex incorporates two zone booster pump system, and around a half of units have pressure reducing valves (PRVs) in them. Calculated hydrostatic pressure without the water flow were compared with their designed and measured counterparts, and they agreed quite well with each other. Then, the pressure and volumetric water flow rate at all units were analyzed, indicating that there are noticeable differences in pressure and flow rate in one unit to another, although the aforementioned minimization technologies of pressure deviation were employed. In order to further reduce the difference in the water flow rate, it is suggested that all the units in the complex have PRVs installed in their water supply system. The effect of setting pressure of the PRVs on the non-uniformity of the flow in each unit and on the reduction of total water supply for the apartment complex have been studied. With the same PRV setting pressure of 3.952 bar (or the gauge pressure of 3.0 kgf/cm²), it has been estimated that the suggested system improves the non-uniformity (the coefficient of variation) of the flow rate of apartment complex over the current system, from 8.02% to 6.66%, and reduces the total water supply, from 0.02804 m³/s to 0.02766 m³/s.

키워드 : 공동주택단지, 급수 불균일도, 감압밸브, CFD 시뮬레이션

Keywords : Apartment complex, Non-uniformity of water supply, Pressure Reducing Valve, CFD simulation

1. 서 론

건축물 내 급수방식은, 상수도직결방식, 고가탱크방식, 압력탱크방식 및 펌프직송방식 등이 일반적으로 사용된다(1). 대부분의 공동주택에는 펌프직송방식이 채택되고 있다. 이 방식은 상수를 지하 저수탱크에 일시 저수한 후 저수된 물을 첨단 제어기술에 의한 급수가압펌프(부스터 펌프)로 필요한 장소 및 시간에 직송하게 된다. 급수관 내의 압력 또는 유량을 감지하여 펌프의 대수를 제어하거나 회전수를 제어하며, 또는 두 방법을 병용한다.

공동주택이 대형화, 고층화함에 따라 예상되는 계통내의 과도한 수압에 의한 제반 문제점을 해결하기 위해 급수계통을 조닝(zoning)하거나 감압밸브(PRV, pressure reducing valve)를 사용하여 급수압력을 적정히 유지하여야 한다. 그러나 경제성 확보를 위해 대개 저층부, 고층부의 두 개의 존으로 구획하고 있고 모든 층에 PRV를 설치하지 않고 있는 사례도 많기 때문에 동일 존에서도

저·고층 세대의 수압불균형 문제는 여전히 남게 된다.

본 연구에는 공동주택단지 내 전 세대를 대상으로 기계실을 기준으로 각동의 거리 및 고도차, 또한 동일 동내 상, 하층의 고도차, 평형별 급수계통의 유동저항 차이 등에 의한 수압 불균형 현상(파생적인 급수 불균일 현상)을 해석하였다. 선행연구(2)에서는 수압 불균형을 개선하기 위해 각 세대 급수계통 인입부에 설치되어 있는 앵글밸브의 개도를 유동밸런싱을 통하여 조정한 결과를 보고하였으나, 본 연구에서는 PRV를 일부 세대에 시공한 기존 급수계통 대신 전 세대의 급수배관에 PRV를 설치하여 각 세대 간의 수압불균형(급수 불균일) 문제를 해소하는 방안을 제시한다. 특히, PRV의 설정압력에 따라 각 세대의 수압 불균형에 따른 급수 불균일도의 변화 추이와 공동주택단지의 급수 총량의 변화 추이를 살펴보고자 한다.

2. 급수계통 및 수치해석용 관로망

대전지역에 위치한 공동주택단지의 급수계통을 대상으로 연구를 수행하였다. 표 1에 표시된 바와 같이 12동

* 주저자: 한밭대학교 건축설비공학과 석사과정(tj2533@nate.com)

** 교신저자: 한밭대학교 설비공학과 교수(djcha@hanbat.ac.kr)

표 1. Architectural summary of a model apartment complex investigated in this study

Area, m ²	Lot	40,720
	Building	7,387
	Total floor	121,080
Location		Daejeon
No. of buildings		12
No. of units with different unit area	80 m ²	156
	125 m ²	177
	152 m ²	236
	204 m ²	66
Total no. of units		635

635세대로 구성되어 있고 급수방식은 부스터펌프 직송방식을 채택하였다. 기계실에서 12개동으로 연결되는 급수계통은 지하 1층 주차장에 설치된 횡주배관을 통해 각동의 급수계통으로 연결된다. 기계실에는 지하저수조(498톤 2대)와 저층용 및 고층용 부스터펌프시스템(각 4대)이 설치되어 있다.

각 동별로 층수, 세대수, 및 세대별 면적(평형)이 다르나, 지면 관계상 대표적으로 기계실에서 가장 가까운 1107동의 급수 계통을 예로 기술한다. <그림 1 참조> 1층에서 9층까지는 저층용 급수계통이, 10층에서 17층까지는 고층용 급수계통이 급수를 분담하며 각각 상향식으로 공급된다. 층별 정수두 차이를 보완하기 위해 상대적으로 높은 절대압력 3.952 bar(계기 압력 3 kg/cm²)가 예상되는 층에는 PRV(YPRC-8LI형)를 세대별 인입부에 설치하였다.

모델 공동주택단지의 기계실을 포함한 급수계통의 유동해석을 위해 상용해석 코드인 Flowmaster7(3) 관로망을 구성하였고, 대표적으로 1107동에 관한 관로망이 그림 1(a)이다.(잔여 11개동 및 각 동과 기계실을 연결하는 횡주배관계통은 지면관계상 미 표기). 그림 1(b) 및 (c)는 각각 PRV가 설치되거나(예, 17층(F) 우측세대), 설치되지 않은(예, 7층(F) 우측세대) 세대의 급수계통을 나타내고 있다.

관로망에서는 총 6,054개의 컴포넌트가 사용되었고 각 컴포넌트를 연결하는 노드(node)는 총 5,396개 이다. 주요한 컴포넌트를 설명하면 다음과 같다. 부스터펌프시스템의 펌프 컴포넌트를 저층용 및 고층용으로 사용하였고, 각 세대의 말단수전의 압력은 일정한 것으로 가정하여 압력원 컴포넌트를 각 세대마다(예, C, 그림 1) 설치하였다. 그림 1에는 관로망을 구성하는 기타 요소들도(예, 파이프(D 및 J), 앵글밸브(F), 티(K), 레듀샤(L), 플러그(M)) 상용코드의 표준 컴포넌트를 사용하고 있음을 보이고 있다. PRV는 표준 컴포넌트가 존재하지 않아 세 표준 컴포넌트 - 게이지(G), 컨트롤러(H), 그리고 버터플라이밸브(I)와 사용자 코드로 개발하여 사용하였다. PRV 설정압력은 컨트롤러 컴포넌트의 해당 파라미터를 이용하여 변경하였다. 추가적인 유동저항을 발생시키는 이산손실(Discrete Loss, DL) 컴포넌트(E, N 및 O)를 사용하여 수치해석 결과를 튜닝하였다.

3. 고찰

공동주택단지에 설치된 급수계통 내의 1차원 유동 해석을 위해 특성곡선법(method of characteristics)(4,5) 상용코드인 Flowmaster7을(3,6) 활용하였다. 기본적으로 질량 보존, 선형운동량 보존, 에너지 보존 방정식, 실제 유체의 상태방정식, 그리고 열역학적 관계식 등의 1차원 유동 지배방정식이 이용되었고, 경계조건으로는 전술한 바와 같이 펌프 양정 및 출구 정압 조건을 적용하였다.

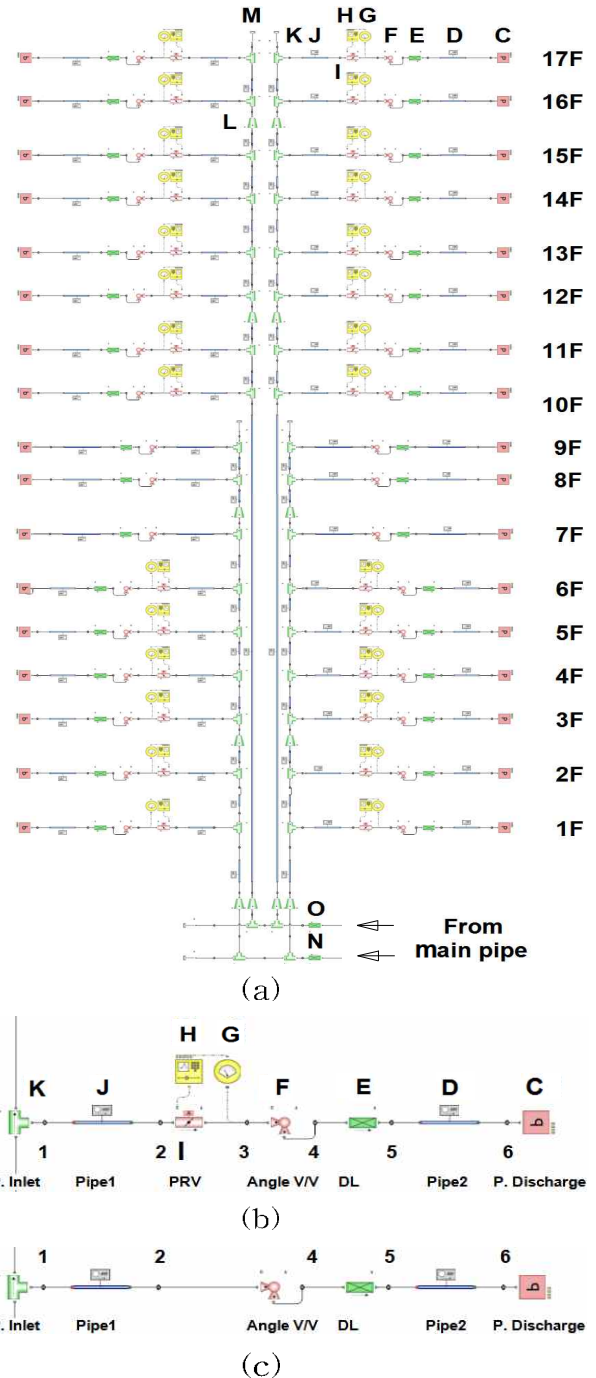


그림 1. Flowmaster7 network (a) for Bldg. 1107, (b) for a unit with PRV (at 17F), and (c) for a unit without PRV (at 7F).

표 2. Comparison of designed and calculated hydrostatic pressures for Bldg. 1107.

Zone	Floor	Pressure, bar			
		P _{de} ^(*)	P _{ca}	ΔP(=P _{de} -P _{ca})	ΔP/P _{de} , %
Lower	1	6.16	5.93	0.23	3.71
	2	5.89	5.68	0.21	3.63
	3	5.63	5.42	0.21	3.71
	4	5.36	5.16	0.20	3.81
	5	5.10	4.91	0.19	3.72
	6	4.83	4.65	0.18	3.82
	7	4.57	4.40	0.17	3.72
	8	4.31	4.14	0.17	3.84
	9	4.04	3.89	0.15	3.72
Upper	10	5.27	5.07	0.20	3.73
	11	5.00	4.81	0.19	3.83
	12	4.74	4.56	0.18	3.73
	13	4.47	4.30	0.17	3.84
	14	4.21	4.05	0.16	3.73
	15	3.94	3.79	0.15	3.86
	16	3.66	3.52	0.14	3.77
	17	3.37	3.24	0.13	3.96
P _{avg}		4.74	4.56	-	-
P _{std}		0.78	0.75	-	-
P _{std} /P _{avg} , %		0.16	0.17	-	-

*) Designed values at a few units were compared with their corresponding measured ones, and both of them agree with the average difference of about 7%.

저층용 부스터펌프시스템에 연결된 입구측은 펌프의 운전조건인 양정 80.34 m, 그리고 고층부는 96.44 m로, 출구측압력은 대기압인 1.01 bar를 입력하였다. 여타 입력 데이터는 각 컴포넌트의 입력데이터(예, 관경, 관 길이, 조도 등 - 실제 데이터 입력), 노드 점 수직높이, 급수온도(20°C) 등이다. 각 노드의 고도는 기계실 바닥면을 기준으로 한 수직높이를 입력하였다.

우선 전 635세대의 인입부 앵글밸브를 닫아 유동이 전혀 없도록 하고 각 동 of 이산손실 컴포넌트(N 및 O, 그림 1(a))의 손실계수를 조정하여 각 세대의 인입부에서의 정수두를 계산하고 해당 설계치와 비교하였다. 설계치는 대상 공동주택단지 시공 시 일부 세대에서 측정된 정수두와 비교하였을 때 평균 7% 정도로 일치하였다. 지면 관계상 1107동의 결과만 살펴본다.

표 2는 1107동 전 층 우측세대에서의 정수두를 - 설계치(P_{de}) 및 계산치(P_{ca}) - 나타내고 있다. 표의 설계치를 살펴보면, 조닝을 실시하였으나 여전히 층별 수두차가 존재하고 최대 정수두는 6.16 bar(1F), 최소 정수두는 3.37 bar(17F)로 나타났다. 참고로 전 단지에 대해서는 동별 고도차 효과가 가중되어 최고 정수두는 6.16 bar(1107동 1F), 최소 정수두는 2.11 bar(1102동 18F)로 나타났다. (주: 정수두가 3.952 bar 이상 예상되는 세대는 PRV 시공(총 635세대 중 321세대).

표에서 보는 바와 같이, 계산치(P_{ca})는 설계치와 동일한 경향을 보인다. 1107동은 설계치와 계산치의 차이가 비교적 양호하며(저층부 최대 3.84%, 고층부 최대 3.96%), 전 단지에서의 차이도 평균 4.73% 정도로 일치된 결과로 보이고 있어 계산 결과가 타당한 것을 알 수 있

다. 그리고 각 동별 모든 세대의 사용수량의 합이 모델 공동주택단지의 총 공급수량과 일치하는 지, 각 층별 좌우 세대의 사용수량이 동일한 지를 확인하여 본 연구의 수치실험이 해석된 내용에서는 타당하다는 것을 확인하였다.

3.1 기존 급수계통의 유동 특성

평형별로 다른 세대 내 급수계통으로 인해 유동저항이 다르고 이로 인해 평형별 공급수량의 차가 존재한다. 또한 각 동별, 층별 정수두 차에 의해 동일 평형 세대일지라도 공급수량은 다르게 나타날 수 있다. 이를 확인하기 위해 모든 세대의 인입부 앵글밸브를 동일하게 전개하여 주로 동별, 층별 압력 차이와 PRV 유무에 따른 각 세대의 유동 특성을 해석하였다.

우선, 대상 공동주택단지의 최근 3년간 사용 수량을 해석하여 활용하였다. 연간 총 사용 수량은 152,196 t/yr로 일일 평균사용량은 약 417 t/d가 되며 환산하면 약 0.0048 m³/s이 된다. 그리고 하루 24시간 중 사용시간을 4시간 30분 정도로 가정하여 이 사용시간 중의 총수량을 해석된 일일 평균 사용량의 약 5.5배인 0.0267 m³/s로 가정하였다. 따라서 세대별 평균 급수사용량은 약 0.420×10⁻⁴ m³/s이 된다.

전술한 정수두 검증용 수치해석의 조건에서 각 세대의 앵글밸브를 모사하는 "F" 컴포넌트(그림 1)의 개도를 1로 완전 개방하고, 각 세대의 이산손실 컴포넌트(E, 그림 1)의 손실계수를 조정하여 해당 세대의 평균 급수사용량이 전술한 값과 유사하도록 하였다. 이 때 총수량은 약 0.02804 m³/s이 되었다. 저층부 및 고층부의 총수량은 각각 0.01640 및 0.01164 m³/s이다. 이 운전 조건에서 급수계통의 유동장을 수치 해석하였다.

표 3은 각 세대의 계산된 급수량을 나타낸 결과로 모든 동에서 층별로 (하나 또는 그 이상) 좌우 세대의 결과가 동일하여 층별로 대표적인 세대(총 185 세대)의 급수량을 정리하였다. 저층부(1-9F)와 고층부(10-18F)를 구분하여 정리하였고, 하단 3행은 각 동 of 층별 평균 수량, 수량 표준편차, 급수 불균일도(분산계수(the coefficient of variation), Q_{std}/Q_{avg}, %)를, 우측 3열은 각 층 of 동별 동등한 자료를 나타내고 있다. 우측 하단에는 대각선 방향으로 전 세대의 동등한 결과를 표시하였다.

우선 전 세대의 평균 사용수량이 0.442×10⁻⁴ m³/s으로 나타나 가정된 수량 0.420×10⁻⁴ m³/s과 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있고 이 전 단지의 급수 불균일도(분산계수)는 8.02%로 평가된다. 동별 평균수량은 0.419×10⁻⁴ m³/s(1102동) - 0.455×10⁻⁴ m³/s(1108동)의 범위에 있고, 수량 편차는 0.013×10⁻⁴ m³/s(1107동) - 0.063×10⁻⁴ m³/s(1102동)의 범위에 있었다. 각 동별 급수 불균일도는 2.99%(1107동) 14.97%(1102동)의 범위로 동별로 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 18층, 80 m² 세대로 구성된 1102동이 가장 낮은 평균 급수량(0.419×10⁻⁴ m³/s)과 높은 급수량 편차(0.063×10⁻⁴ m³/s)를 보임을 알 수 있었다.

표 3. Estimated water flow rates of 185 units of the apartment complex investigated.

Zone	Building Floor	Volume flow rate($\times 10^{-4}$ m ³ /s)													Q _{avg} Q _{std}	Q _{std} /Q _{avg} %
		1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112			
Lower	1			0.450		0.450		0.451	0.451	0.450	0.450	0.450	0.451	0.450	0.000	0.11
	2	0.450	0.450	0.450	0.451	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.450	0.451	0.451	0.450	0.000	0.11
	3	0.501	0.515	0.450	0.451	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.506	0.469	0.027	5.84
	4	0.483	0.498	0.494	0.522	0.450	0.522	0.451	0.451	0.451	0.500	0.503	0.448	0.480	0.026	5.33
	5	0.465	0.480	0.476	0.505	0.499	0.505	0.451	0.506	0.499	0.482	0.485	0.470	0.484	0.017	3.43
	6	0.446	0.461	0.457	0.487	0.481	0.487	0.451	0.488	0.481	0.464	0.467	0.451	0.467	0.016	3.49
	7	0.425	0.442	0.437	0.469	0.463	0.469	0.450	0.470	0.463	0.444	0.448	0.431	0.448	0.016	3.60
	8	0.404	0.421	0.416	0.449	0.443	0.449	0.482	0.450	0.443	0.426	0.427	0.410	0.431	0.020	4.75
	9	0.382	0.400	0.395	0.429	0.423	0.429	0.463	0.430	0.423	0.403	0.406	0.388	0.410	0.021	5.21
Upper	10	0.451	0.451	0.451	0.450	0.450	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.000	0.10
	11	0.450	0.448	0.451	0.450	0.450	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.450	0.001	0.20
	12	0.437	0.431	0.446	0.450	0.450	0.450	0.451	0.451	0.451	0.450	0.451	0.438	0.445	0.007	1.61
	13	0.417	0.410	0.428	0.450	0.449	0.450	0.451	0.451	0.451	0.437	0.445	0.418	0.435	0.016	3.66
	14	0.395	0.388	0.407	0.439	0.434	0.439	0.450	0.445	0.440	0.417	0.427	0.396	0.419	0.022	5.17
	15	0.372	0.365	0.385	0.419	0.413	0.419	0.450	0.426	0.420	0.395		0.374	0.398	0.026	6.43
	16		0.381		0.396		0.396	0.434						0.377	0.035	9.25
	17		0.308		0.372		0.372	0.412						0.355	0.045	12.65
	18		0.276											0.276	0.000	
Q _{avg}		0.434	0.419	0.440	0.449	0.450	0.449	0.450	0.455	0.452	0.445	0.451	0.436	0.442		
Q _{std}		0.037	0.063	0.029	0.037	0.021	0.037	0.013	0.020	0.019	0.027	0.024	0.034		0.035	
Q _{std} /Q _{avg} %		8.61	14.97	6.65	8.22	4.57	8.22	2.99	4.42	4.30	6.13	5.27	7.79			8.02

^{*)} Data obtained from units of a single line of each building.

급수 불균일도가 비교적 높고 그 편차가 큰 것은 2 존 급수계통 구획을 채택하였으나 여전히 층별 정수두 차이가 상대적으로 크고 일부 세대에만 PRV를 채용하였기 때문으로 분석된다.

3.2 급수계통 개선

전절에서 설명한 바와 같이, 각 동에서 2 존으로 급수계통을 분할하고 총 635세대 중 321세대에 PRV를 설치하는 등 동별, 층별 압력 차를 저감하려 하였으나 여전히 적지 않은 압력차를 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 일부세대에 PRV를 설치하고 있는 현재의 급수계통에 전 세대에 PRV를 설치하는 것을 가정하여 급수계통의 유동특성을 개선하는 방안을 해석하였다.

이를 위해 구축한 Flowmaster7 배관망에서 잔여 세대에도 PRV 컴포넌트(H, G 및 I 컴포넌트 조합)를 설치하여 (그림 1(b) 참조) 전세대에 PRV 설치하고, 그 외의 해석 조건은 전절의 기존 급수계통의 해석과 동일하게 적용하여 유동 특성을 해석하였다.

우선 기존 급수계통에서의 PRV 설정압력인 (절대)압력 3.952 bar(계기압력 3 kg/cm²)의 동일 조건으로 개선된 급수계통의 급수유동 특성을 해석하였다. 표 4는 이 때의 각 세대의 계산된 급수량을 표 3과 같은 형식으로 나타낸 결과이다. 기존 급수계통 시스템에서의 평균수량은 0.442 $\times 10^{-4}$ m³/s로, 급수 불균일도는 8.02 %를 보였던 것에 반해 전 세대에 PRV를 설치하여 급수 계통을 개선한 경우의 급수량을 파악한 결과가 표 4이다. 모든 세대의 평균 급수량은 0.436 $\times 10^{-4}$ m³/s로 기존 급수계통의 평균 급수량인 0.442 $\times 10^{-4}$ m³/s 보다 다소 감소하였고 세대별 수량 편차 또한 0.035 $\times 10^{-4}$ m³/s에서 0.029 $\times 10^{-4}$ m³/s로 편차가 감소

하여 급수 불균일도는 8.02%에서 6.66%로 1.36% 감소하는 것으로 나타났다.

동별 평균 급수량은 기존 급수계통의 결과(표 3)와 마찬가지로 1102동에서 최소값이, 1108동에서 최대값이 나타났고, 각각 0.409 $\times 10^{-4}$ m³/s 및 0.448 $\times 10^{-4}$ m³/s이었다. 동별 급수량 편차는 0.057 $\times 10^{-4}$ m³/s(1102동) - 0.005 $\times 10^{-4}$ m³/s(1108동)으로 모두 감소하였고 급수 불균일도로는 각각 13.85% 및 1.21%이었다.

이 해석 조건에서 저층부, 고층부, 그리고 전 단지의 총 수량은 각각, 0.01606, 0.01160, 그리고 0.02766 m³/s로 조사되어 기존 급수계통에 비해 총 수량이 약 0.00038 m³/s 절감된다.

해석한 개선된 급수계통에서 PRV 설정압력이 변경되었을 때, 공동주택단지의 급수 불균일도와 총 급수량의 변화 추이를 해석하여 보았다. PRV 설정압력의 해석 범위는 3.363bar(계기압력 2.4 kg/cm²)에서 5.913 bar(계기압력 5.0 kg/cm²)까지이다. 여기서 해석 범위는 채용한 PRV(YPRC-8LI형)의 실제 작동범위는 아니며, 수치 예측이 가능한 범위인 5.913 bar(계기압력 5.0 kg/cm²)까지로 정하였다.

먼저 그림 2는 PRV 설정압력에 따른 전 단지의 급수 불균일도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 해석한 본 공동주택의 경우, 해석범위에서 PRV 설정압력이 증가할수록 급수 불균일도는 선형적으로 증가하다가 약 4.5 bar에서 완만하게 증가하는 경향을 띠고 있다. 해석한 최소 설정압력인 3.363 bar에서 가장 좋은 급수 불균일도를 보이며 설정압력이 증가할수록 급수 불균일도는 증가하는 것으로 나타났다. 전술한대로 3.952 bar에서 약 6.66%의 급수 불균일도를 보이며, 4.148 bar(계기압력 3.2 kg/cm²)에서 기존 급수계통의 불균일도인 8.02%와 유사한 값을 보였다.

표 4. Predicted water flow rates in a proposed water supply system of the apartment complex.

Zone	Building Floor	Volume flow rate($\times 10^{-4}$ m ³ /s)														Q _{std} /Q _{avg} %
		1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	Q _{avg}	Q _{std}	
Lower	1			0.451		0.451		0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.000	0.06
	2	0.451	0.451	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.000	0.08
	3	0.451	0.451	0.450	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.000	0.08
	4	0.451	0.451	0.450	0.450	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.450	0.001	0.11
	5	0.450	0.451	0.450	0.450	0.451	0.451	0.451	0.450	0.451	0.450	0.450	0.451	0.450	0.001	0.11
	6	0.446	0.450	0.450	0.450	0.451	0.450	0.450	0.450	0.451	0.450	0.450	0.451	0.450	0.001	0.33
	7	0.431	0.447	0.441	0.442	0.450	0.450	0.451	0.450	0.450	0.452	0.450	0.447	0.446	0.007	1.55
	8	0.410	0.432	0.421	0.422	0.444	0.449	0.451	0.450	0.452	0.442	0.445	0.427	0.435	0.015	3.40
	9	0.388	0.411	0.400	0.401	0.428	0.438	0.451	0.447	0.439	0.422	0.425	0.406	0.418	0.020	4.90
Upper	10	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.000	0.10
	11	0.449	0.448	0.450	0.451	0.451	0.450	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.451	0.450	0.001	0.23
	12	0.434	0.429	0.449	0.446	0.450	0.450	0.451	0.450	0.451	0.451	0.451	0.440	0.445	0.008	1.77
	13	0.414	0.408	0.434	0.427	0.447	0.449	0.451	0.450	0.451	0.439	0.448	0.420	0.434	0.016	3.69
	14	0.392	0.386	0.413	0.406	0.431	0.437	0.451	0.448	0.443	0.419	0.429	0.398	0.418	0.022	5.35
	15	0.369	0.363	0.391	0.384	0.410	0.416	0.451	0.429	0.423	0.397		0.375	0.397	0.026	6.61
	16		0.336		0.358		0.393	0.436						0.364	0.038	10.35
	17		0.306		0.331		0.368	0.414						0.345	0.046	13.32
	18		0.274											0.274	0.000	
Q _{avg}		0.428	0.409	0.437	0.423	0.444	0.438	0.448	0.448	0.448	0.442	0.447	0.435	0.436		
Q _{std}		0.028	0.057	0.021	0.038	0.012	0.025	0.009	0.005	0.008	0.016	0.009	0.024		0.029	
Q _{std} /Q _{avg} %		6.57	13.85	4.71	8.88	2.71	5.62	2.11	1.21	1.73	3.79	1.91	5.61			6.66

*) Data obtained from units of a single line of each building.

이 때 공동주택단지의 총 급수량의 변화를 정리한 결과가 표 5이다. PRV 설정압력의 변화에 따라 저층부의 급수량, 고층부의 급수량, 두 량을 합한 총 급수량, 그리고 기존 급수시스템의 총 급수량으로부터의 절감량을 비교하였다. 최소 설정압력에서 절감량이 가장 큰 것을 알 수 있고, 설정압력이 증가할수록 절감량이 줄어들어 약 4.344 bar(계기압력 3.5 kg/cm²)에서 기존 급수시스템의 총 급수량과 유사하여 절감량이 무시할 정도인 것을 알 수 있고, 이후 설정압력의 증가에 따라 절감량은 (-)이 된다.

4. 결 언

2 존 부스터펌프 급수방식을 채택하고 일부 세대(635 세대 중 321 세대)에 PRV를 시공한 공동주택단지 급수시스템의 급수 특성을 Flowmaster7 상용코드를 사용하여 해석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

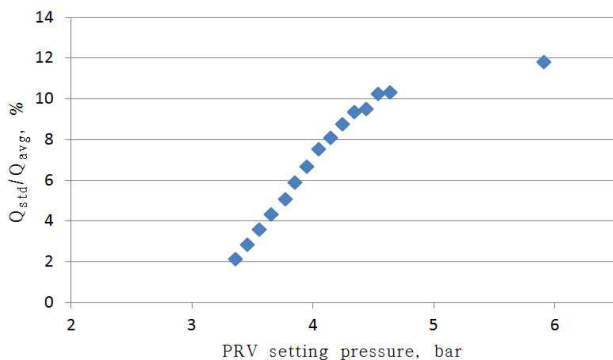


그림 2. Effect of PRV setting pressure on the non-uniformity of water flow rate of the apartment complex with the proposed system.

· 본 연구의 수치해석을 검증하기 위해 전 635 세대 입부의 정수두를 계산하여 설계치 및 현장 측정치와 비교하였다. 일부 현장 측정치와 비교하여 검증된 설계치와 계산치를 비교하였을 때 전 단지에서 두 값의 차이는 평균 4.73% 정도인 것을 확인하였다.

· 해석된 공동주택단지 급수시스템의 제원 및 운전조건을 입력하여 기존 급수시스템의 급수 특성을 해석하였을 때 모든 세대의 평균 급수량은 0.442 $\times 10^{-4}$ m³/s, 세대별 수량 편차는 0.035 $\times 10^{-4}$ m³/s로 나타나 급수 불균일도(분산계수)는 8.02%로 파악되었다.

표 5. Effect of PRV setting pressure on the total water flow rate of the apartment complex with the proposed system.

PRV setting pres. bar	Water flow rate, $\times 10^{-4}$ m ³ /s			
	Lower zone	Upper zone	Total	Reduced
3.363	145.6	109.3	254.9	25.5
3.461	148.6	111.0	259.6	20.8
3.559	151.7	112.5	264.2	16.2
3.657	154.3	113.7	268.0	12.3
3.775	156.9	114.7	271.6	8.8
3.854	159.0	115.4	274.4	6.0
3.952	160.6	116.0	276.6	3.8
4.050	161.9	116.3	278.2	2.1
4.148	163.0	116.7	279.7	0.7
4.246	163.9	116.9	280.8	-0.4
4.344	164.6	117.1	281.7	-1.2
4.442	165.7	117.4	283.1	-2.7
4.540	165.6	117.2	282.8	-2.5
4.638	166.6	117.5	284.1	-3.7
4.736	167.8	117.7	285.5	-5.0

*) The total water supply of the current system is assumed to be 0.02804 m³/s.

기존 급수계통의 급수 불균일도를 향상시키기 위해 공동주택단지 전 세대에 PRV를 설치하는 개선안을 제시하였고, PRV 설정압력에 따른 개선된 급수계통의 유량특성을 해석하여 다음의 결과를 얻었다.

- 기존 급수계통에 설치된 PRV의 설정압력인 3.952 bar (계기압력 3.0 kgf/cm²)을 동일하게 개선된 급수계통에 적용하여 급수 불균일도를 평가한 결과, 기존의 8.02%에서 6.66%로 향상됨을 알 수 있었다. 또한, 공동주택단지에 공급되는 총 수량은 기존 값 0.02804 m³/s 에서 0.02766 m³/s로 약 1.4% 저감된 결과를 보였다.

- 해석한 개선된 급수계통에서 PRV 설정압력에 따른 공동주택단지의 급수 불균일도와 총 급수량의 변화 추이를 해석한 결과, 해석한 최소 PRV 설정압력인 3.363 bar (계기압력 2.4 kgf/cm²)에서 각 세대별 급수 불균일도는 약 2.13%이었고, 설정압력이 증가할수록 급수 불균일도는 커졌으며, 약 4.344 bar(계기압력 3.4 kgf/cm²)에서 기존 급수계통의 값과 유사한 결과를 보였다. 이 설정압력 이상에서는 공동주택단지 총 급수량의 절감을 기대할 수 없는 것으로 파악되었다.

- 공동주택단지 급수계통의 급수 불균일도를 저감하기 위해 각 세대에 PRV를 설치하는 시공법은 타당하다는 것을 확인하였다. PRV 설정압력을 낮출수록 전 단지의 급수 불균일도는 개선되고 총 급수량도 저감되는 것을 알 수 있었다. 해석한 PRV 설정압력에 따른 급수계통의 특성은 시공 시 최적 설정압력을 결정하는데 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안한 전 세대에 PRV를 설치하는 개선안은 조사한 기존 급수계통에 비해 추가 초기비용이 발생하나, 총 급수량의 감소 등으로 장기적으로 유의미한 경제성이 확보될 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 한밭대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 설비공학과 송태희 및 류태희군이 일부 데이터를 분석하였고 이에 감사한다.

참고문헌

1. 대한설비공학회, 2001, “급배수 위생설비계획 (급수설비), 설비공학 편람 제4권 위생·소방 및 환경.
2. 오양균, 공동주택 부스터펌프 급수방식의 유동특성에 관한 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 2008.
3. Flowmaster International Ltd., 2007, Flowmaster7, Version 7.5 England.
4. Wylie, E. B. and Streeter, V. L., 1993, *Fluid Transients in System*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, Chap. 3.
5. Thorley, A. R. D. and Tiley, C. H., 1987, Unsteady and transient flow of compressible fluids in pipelines - a review of theoretical and some experimental studies, *Int. J. Heat & Fluid Flow*, Vol. 8, No. 1, pp. 3-14.
6. Miller, D. S. 1990, *Internal Flow Systems*, 2nd Ed., BHRA

(Information Services), England.

투고(접수)일자: 2012년 11월 2일

수정일자: (1차) 2012년 11월 24일

게재 확정일자: 2012년 11월 26일