

가변유량 밸런싱밸브를 적용한 온수 난방시스템의 유체역학적 성능 평가

허 전, 이 석 종, 성 재 용^{**}, 이 명 호^{*}
서울산업대학교 에너지환경대학원, ^{*}서울산업대학교 기계공학과

Fluid Dynamic Performance in a Hot-Water Heating System with a Variable-Flow-Rate Balancing Valve

Jurn Hur, Suk-Jong Lee, Jae-Yong Sung^{**}, Myeong Ho Lee^{*}

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received April 11, 2007; revision received July 19, 2007)

ABSTRACT: A variable-flow-rate balancing valve has been developed and optimized to apply to a distributor in a hot-water heating system. Fluid dynamic performance of the system was evaluated by comparing the results with the previous pressure difference control valve (PDCV) system. In view of the variations of pressure drop and flow rate according to the sequential closing of the control valves, the present system which is named "smart system distributor", is very stable without a certain flow rate concentration. The level of pressure drop variation is also low as compared with the previous system with a PDCV. In view of the occurrence of cavitation, the present system is quite superior to the previous system because the instantaneous pressures at all sections are much higher than the vapor pressure. On the other hand, the previous system has a possibility of cavitation when one or more control valves are closed.

Key words: Variable-flow-rate balancing valve(가변유량 밸런싱밸브), Distributor(분배기), Cavitation(캐비테이션), Hot-water heating system(온수 난방시스템)

기 호 설 명

P : 시간평균 압력 [bar]
 P_L : 온수배관 후단압력 [bar]
 P_R : 분배기 출구압력 [bar]
 P_{RMS} : 압력 섭동량 [bar]
 P_S : 분배기 입구압력 [bar]

P_T : 분배기 시스템 전체 차압 [bar]
 P_V : 포화증기압 [bar]
 P_X : 온수배관 입구압력 [bar]

그리스 문자

1. 서 론

국내 주거건물의 난방은 대부분 온돌난방 방식의 난방시스템을 적용하고 있다. 온돌난방 방식은 지속적으로 변화하는 외기조건에서 건물 및

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6398; fax: +82-2-949-1458

E-mail address: jysung@snut.ac.kr

열손실량에 적합한 난방을 공급함으로써 실내 환경을 쾌적하게 유지하는 것이 목표이다. 이를 위해서는 적절한 유량을 배분하는 온수 분배기가 필요하다. 하지만 기존의 온수 분배 시스템이 난방 배관의 길이에 따라 적정 유량분배가 이루어지지 않아 난방의 불균형을 초래하여 많은 문제점이 발생하고 있다.

초기의 온수분배기는 각 배관에 대한 미세유량 조절이 불가능하여 배관의 길이를 50 m 이내로 구획하고 각 배관간의 밸런싱을 유도하는 방법을 사용하였다. 전 배관을 길이가 비슷하게 설치할 경우 어느 정도의 밸런싱은 유지할 수 있으나 설치 위치별로 필요로 하는 온수 유량은 차이가 발생할 수 있으며, 이로 인한 실 온도에 대한 불균형이 발생한다. 이러한 단점을 개선한 것이 시스템 분배기이다. 공급관에 유량조절밸브를 설치하여 배관길이를 최대 150 m까지 늘려 각 실별로 필요한 유량을 공급하게 하고, 분배기 구 수가 줄어 설치공간을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

온수 난방방식을 유량제어 밸브 측면에서 분류하면 볼밸브, 글로브밸브 형태에 눈금을 표시하여 유량을 현장에서 제어하는 수동 유량조절밸브와 다이어프램 식으로 회로에 발생하는 부하변동을 감지하여 항상 일정한 유량을 유지시켜 주는 자동 유량조절밸브가 있다. 자동 유량조절밸브는 시스템 변경으로 설계유량이 바뀔 경우는 오리피스 카트리지를 교환하여야 하는 단점이 있다. 그래서 수동 유량조절밸브와 전체 시스템의 부하변

동에 대응하기 위한 차압밸브를 공급관과 환수관 사이에 설치하는 경우가 많다. 차압밸브는 분배기 시스템 전체 차압이 일정 압력 이상으로 증가할 때 공급 측과 환수 측 사이의 과잉유량을 바이패스시켜 적정 유량 및 적정 압력을 유지시키는 방법⁽¹⁻³⁾이다. 최근에는 부하변동에 따른 과잉유량을 바이패스시키는 방법으로 3방향(3-Way) 밸브를 이용한 온수 순환 분배기도 개발되었다.⁽⁴⁾ 이 방법은 각 실에 들어가는 기존의 2방향(2-Way) 밸브를 3방향 밸브로 대체하여 각 실별 유량을 독립적으로 제어하는 것을 목적으로 한다. 한편, 온수 분배기에 적용하지는 않았지만 층간, 세대간 압력 및 유량의 불균형을 해소하기 위하여 Pollet⁽⁵⁾은 자동 정유량 밸브를 세대입구에 설치하는 방법을 제시하였고, Lee⁽⁶⁾는 정유량 또는 가변유량 밸런싱밸브를 고층 아파트 난방배관에 적용한 바 있다.

각 실 제어용 온수 분배 시스템이 개발되면서 또 하나의 문제점은 밸브 구조가 복잡해짐으로써 유동 소음이 발생한다는 점이다. 밸브를 지나면서 발생하는 유동소음은 크게 3가지로 분류된다. 첫 번째는 캐비테이션(cavitation)⁽⁷⁾에 의한 기포의 발생과 발생된 기포가 배관 내를 지나면서 터질 때 발생하는 소음이고, 두 번째는 밸브 내 좁고 복잡한 구조의 유로를 통과하면서 난류에 의한 와류현상이 심해지면서 나타나는 난류유동소음⁽⁸⁾, 그리고 세 번째로 밸브가 갑자기 닫히면서 짧은 시간에 유속의 급격한 변화를 유발하고 그

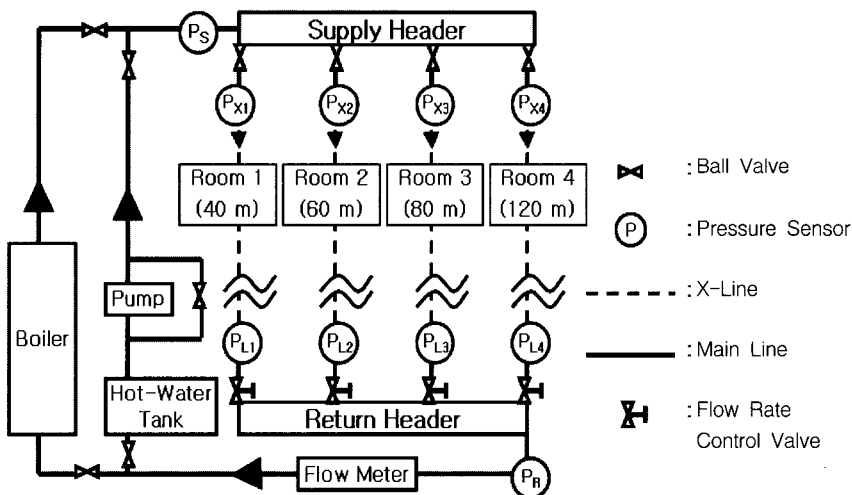


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

에 따라 액체 내 큰 비정상 압력변화가 발생하여 나타나는 수격(water hammering)현상⁽⁹⁾이다. 이 중 가장 문제가 되는 것은 캐비테이션 현상으로서 유체 내 국소압력이 포화증기압 이하로 내려가면 발생하고 배관내부를 흐르면서 기포가 터질 경우 배관의 손상을 초래할 수 있다. 따라서 새로운 시스템 분배기를 개발함에 있어 캐비테이션 발생 가능성을 평가하는 것이 매우 중요하다. 그러나 아직까지 이에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 온수순환시스템에 최적화된 가변유량 밸런싱밸브(variable-flow-rate balancing valve)를 개발하고, 현재 사용되고 있는 시스템 분배기에 장착하여 그 성능을 평가하고자 한다. 본 연구에서 개발된 새로운 형태의 시스템 분배기를 스마트(smart) 시스템 분배기로 명명하였으며, 기존의 차압밸브를 장착한 시스템 분배기와 비교평가 하고자 한다. 유체역학적 성능으로서 우선 실제 난방시스템의 조건에서 각 실 밸브의 순차적 개폐에 따른 압력 및 유량의 변동 특성을 고찰하고, 각 위치별 압력의 동적 특성을 측정하여 캐비테이션 발생 가능성이 있는지를 알아본다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도이다. 전체 시스템은 온수탱크(hot-water tank), 펌프(pump), 보일러, 분배기, 각 실별 온수배관으로 주요 부분을 구성하였다. 본 실험장치는 실제 주거 건물의 난방시스템과 동일하게 하기 위한 실제 보일러 운전조건과 분배기 성능 및 각 순환 요소별 압력 손실을 측정하기 위한 펌프 운전조건을 변환할 수 있도록 설계되었다. 펌프 운전조건에서는 바이패스용 볼밸브를 설치하여 난방용 온수의 공급 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 온수탱크와 보일러에는 각각 온도조절 스위치가 부착되어 있고 이를 통해 온도를 제어하였으며, 온수탱크와 보일러 모두 60℃로 온도를 설정하였다. 분배기 공급헤더(supply header)로 공급된 온수는 온도조절밸브를 통해 각 실로 분배되며, 각 실은 왼쪽부터 실 1, 실 2, 실 3, 실 4라 하였다. 각 실의 온수배관은 실 1부터 실 4까지 40 m, 60 m, 80 m, 120 m길이의 가교화 폴리에틸렌관(X-L pipe)을 사용하였다. 가교화 폴리에틸렌관의 구경은 15 mm,

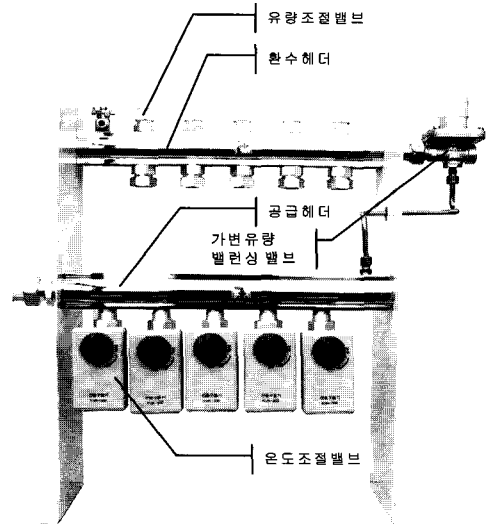


Fig. 2 Smart system distributor.

주 배관의 구경은 25 mm이다. 각 방을 순환한 온수는 환수헤더(return header)를 거쳐 보일러 또는 온수탱크로 환수된다.

본 실험에 사용된 분배기는 기존의 널리 사용되어 온 일반 시스템 분배기와 본 연구를 위해 개발된 Fig. 2의 스마트 시스템 분배기 두 가지이다. 일반 시스템 분배기의 경우 공급헤더에 유량조절밸브, 환수헤더에 온도조절밸브가 설치되었으며, 보일러 및 부분 공급관과 환수관 사이에 차압밸브(PDCV, pressure difference control valve)가 설치되어 있다. 스마트 시스템 분배기의 경우 환수헤더에 유량조절밸브, 공급헤더에 온도조절밸브가 설치되어 있으며, Fig. 2와 같이 환수헤더 직후에 가변유량 밸런싱밸브(variable-flow-rate balancing valve)가 설치되어 있다. 이 밸브는 스마트 시스템 분배기를 위해 특별히 개발된 것으로 공급관과 환수관의 압력차에 따라 밸브 내부의 유로면적을 변화시켜 일정 차압을 유지하는 역할을 하며, 본 연구에서는 OBV(optimum balancing valve)로 명명하였다. 온도조절밸브는 각 실에 설치된 온도조절용 리모콘에 의해 자동으로 ON/OFF 방식으로 개폐되며, 유량조절밸브는 사용자가 수동으로 각 실에 공급되는 유량을 미세하게 조절하도록 설치된 것이다. 이에 반해, 차압밸브 또는 가변유량 밸런싱밸브는 난방조건 변화에 따른 부하변동에 대응하기 위해 설치된다.

압력측정은 공급헤더 직전(P_S), 각 온수 배관 입구 4곳(P_X)과 온수 배관 출구 4곳(P_L), 환수헤더 직후(P_R)에 각각 측정하였고, 유량측정은 환수헤더에서 온수탱크로 리턴되기 전에 측정하였다. 따라서 분배기 시스템 전체 차압(P_T)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_T = P_S - P_R \quad (1)$$

$$= (P_S - P_X) + (P_X - P_L) + (P_L - P_R)$$

우변의 첫 번째 항($P_S - P_X$)은 공급헤더에서의 압력손실, 두 번째 항($P_X - P_L$)은 온수배관에서 압력손실이며, 세 번째 항($P_L - P_R$)은 환수헤더에서의 압력손실에 해당한다. 본 연구에 사용된 유량계는 Rosemount사의 8711 Magnetic Flowtube이며, 압력센서는 Sensys사의 PSHB-3BGAG 모델 (accuracy 0.1%)을 사용하여 초당 100개의 압력 데이터를 60초간 획득하였다.

본 실험은 전용면적 112 m^2 (34평형)인 국내 공동주택에 평균적으로 설치되는 온수배관의 길이를 채택하였으며, 개별난방조건에서 일반적인 주거 건물의 설계유량이 $83.33 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (5~9 lpm)임을 감안하여 전실 난방시 총유량 $133.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (8 lpm)일 때를 시험조건으로 설정하였다. 각 실에 연결된 온수배관의 길이가 다르기 때문에 공급되는 유량도 각 실별로 차등화된다. 본 연구에서는 유량조절밸브를 이용하여 각 실에 공급되는 유량이 온수배관의 길이에 비례하도록 설정하였다. 즉, 모든 실의 온수배관의 길이의 합이 300 m이므로 각 실의 유량배분을 실 1부터 실 4까지 40/300(13.33%), 60/300(20%), 80/300 (26.67%), 120/300(40%)으로 조절하였다. 이때 유량조절밸브의 세팅은 본 실험 이전에 밸브개

도에 따른 유량을 파악한 후 설정하였다. 실제 온수순환 시스템에서 임의의 한 실이 온도조절 리모컨에서 설정한 온도에 도달한 경우 자동적으로 그 실에 공급되는 온수는 차단된다. 이때 그 실에 공급되던 유량은 가동되고 있는 다른 실에 더해지게 된다. 본 실험에서는 온수가 모든 실에 공급되는 상태에서 시작하여 실 4(120 m)부터 실 2(60 m)까지 순차적으로 밸브를 닫아가며 분배기 전후의 차압의 변화와 전체 유량의 변화를 측정하였다. 실 4부터 닫아간 이유는 실 1의 유량이 가장 작고 유량조절밸브의 개구가 가장 좁아 동적변동 특성이 가장 크게 나타나므로 실 1에 대한 모니터링을 주된 목적으로 하였기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력 및 유량 특성 평가

최근의 온수 난방시스템은 각 실에 설치된 온도조절기의 세팅에 따라 자동으로 개폐운전되는 각 실 제어 시스템이므로 이에 대한 유체역학적 특성을 평가함에 있어 부하 변동에 따른 압력 및 유량의 변화를 고찰하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 각 실 온도조절밸브의 개폐에 따른 실별 유량변동을 엄밀하게 측정하여야 한다. 그러나 현재 사용되는 대부분의 유량계는 유동 경로상에 설치하면 유동 저항으로 인해 큰 압력강하가 발생한다. 따라서 각 실별로 유량계를 설치하여 실별 유량을 계측하면 부하변동에 따른 실 별 유량이 유량계에 의해 영향을 받게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 연구의 이전연구⁽⁴⁾에서는 보일러 대신 유량조절이 가능한 펌프를 사용하여 각 실별 차압-유량 특성곡선을 획득한

Table 1 Flow rate distribution ratio at each room according to the sequential valve closing

Operating Conditions		Room 1 (%)	Room 2 (%)	Room 3 (%)	Room 4 (%)	Total (%)
Previous System	All Opened	13.0	18.9	30.8	37.3	100
	Room 4 Closed	16.1	22.9	33.1	-	72.1
	Room 3 Closed	18.5	26.5	-	-	45.0
	Room 2 Closed	19.7	-	-	-	19.7
Smart System	All Opened	9.6	20.9	27.0	42.5	100
	Room 4 Closed	9.8	21.4	27.6	-	58.8
	Room 3 Closed	9.7	21.1	-	-	30.8
	Room 2 Closed	10.1	-	-	-	10.1

후 실제 운전조건에서 측정된 차압으로부터 실별 유량을 산출하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 본 연구의 일반 시스템 분배기와 스마트 시스템 분배기에 대해 적용하였으며 이때, 차압밸브는 보일러 바로 밑 부분에 설치되어 펌프운전조건에서는 사용이 불가능하기 때문에 차압밸브를 적용한 시스템은 제외하였다.

각 실 중 한 실만을 개방하여 그 실을 통해 순환하는 유량을 펌프 직후 바이패스 밸브의 조절을 통해 $0 \sim 250 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ($0 \sim 15 \text{ lpm}$)까지 조절했을 때, 공급헤드, 밸브, 온수배관, 리턴헤드 등 각 요소별 차압과 분배기 전후의 차압을 측정하여 실별 손실계수 특성곡선을 획득하였다. 실 4부터 실 2까지 순차적으로 닫아가면서 측정된 차압을 바탕으로 특성곡선으로부터 계산된 실별 유량변화는 Table 1과 같이 나타났다. Table 1에서는 전실 난방 시(all opened) 총 유량을 100으로 하였을 때, 각 실에 공급되는 유량을 %로 표시하였다. 이때 각 실에 분배되는 유량은 온수배관 길이에 비례하여 설정한 유량배분과 4% 이내에서 크게 차이나지 않는다. 이후 실 4부터 실 2까지 순차적으로 닫아간 결과 기존의 일반 시스템 분배기는 실 1의 유량이 전실 난방 시 13%에서 실 1만 난방 시 19.7%로 증가하였다. 반면, 스마트 시스템 분배기는 실 1의 경우 총 유량 대비 9.6%에서 10.1%로 거의 증가가 없는 것으로 나타났다. 따라서 스마트 시스템 분배기는 밸브가 순차적으로 닫힘에 따라 닫힌 실의 유량이 개방된 실에 재분배되는 유량집중현상이 훨씬 적어 전체적인 시스템이 안정적으로 작동함을 확인할 수 있다.

이상의 펌프 운전조건에서의 결과를 바탕으로 실제 사용조건인 보일러 운전조건으로 분배기의 전체 차압 및 총 유량 변화를 실험하였다. 전실 난방 시 유량이 $133.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 압력변동 시험의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 분배기는 가변유량 밸런싱밸브를 적용한 스마트 시스템 분배기와 차압밸브를 적용한 일반 시스템 분배기, 그리고 차압밸브가 없는 일반 시스템 분배기를 비교하였다. 전실 난방 시 전체 차압(P_t)은 스마트 시스템 분배기가 약 0.28 bar로 일반 시스템 분배기의 0.43 bar보다 작다. 각 실을 순차적으로 닫아갔을 때 전체차압 변화는 스마트 시스템 분배기가 약 0.05 bar 정도의 변화폭을 가지며, 차압

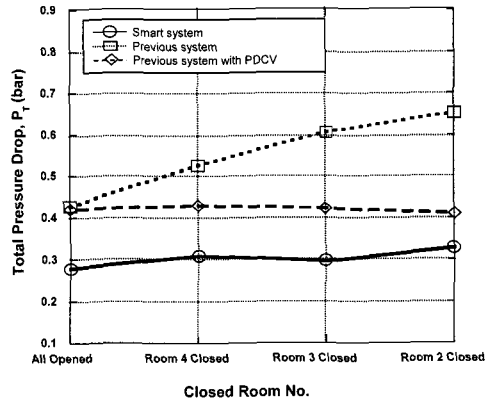


Fig. 3 Variations of the pressure drop by closing sequence of the control valves.

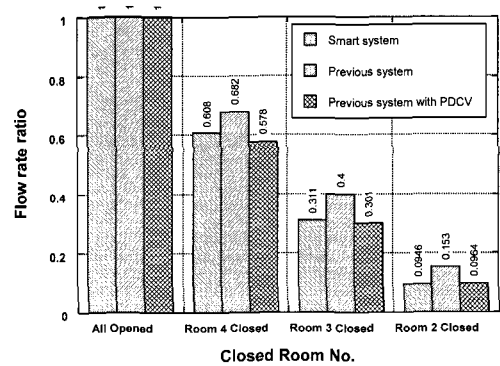


Fig. 4 Variations of the flow rate by closing sequence of the control valves.

밸브를 적용한 일반 시스템 분배기가 약 0.02 bar 정도의 변화를 가진다. 반면, 일반 시스템 분배기의 차압은 점차 증가하여 약 0.23 bar로 높게 나타났다. 결론적으로 부하변동 측면에서 일반 시스템 분배기는 많은 문제점을 가지고 있으며, 차압밸브를 적용하거나 가변유량 밸런싱밸브를 채택하면 안정적인 시스템이 된다.

Fig. 4에서는 이상의 세 가지 경우에 대하여 실을 닫아가면서 총 유량의 변화를 살펴보았다. 전실 난방 시 유량을 1로 하였을 때, 스마트 시스템 분배기와 차압밸브를 적용한 일반 시스템 분배기의 경우 실 하나를 닫으면 유량이 각각 0.608, 0.578로 설계 유량과 거의 동일하다. 그러나 차압밸브가 없는 일반 시스템 분배기는 0.682로 잉여 유량이 발생한다. 이 잉여유량은 계속해서 실을 닫아 가더라도 그대로 남아 있어 작동중인 실의 유

량을 증가시킨다. 따라서 이러한 유량집중현상을 해소하기 위해서는 가변유량 밸런싱밸브 또는 차압밸브와 같은 분배기 시스템의 안정화를 위한 특별한 장치가 필요하다. 또한 유량계를 통해 측정된 Fig. 4의 결과와 실 별 손실계수 특성곡선으로부터 계산된 Table 1의 전체유량을 비교해보면, 기존시스템 분배기는 4~5% 정도의 차이를 보이며 스마트 시스템 분배기는 1~2% 정도의 차이를 보인다.

3.2 캐비테이션의 발생 평가

유동 소음의 주 원인이 되는 캐비테이션은 국소압력(P)이 포화증기압(P_v)보다 낮아질 때 발생한다. 분배기 시스템 내에서 압력은 정상상태에서도 큰 맥동성분을 가지고 있으며, Fig. 5와 같이 평균압력이 포화증기압보다 높다 하더라도 순간압력이 포화증기압보다 낮아질 경우 캐비테이션이 발생할 수 있다. 압력의 섭동량을 RMS(root mean square)값 P_{RMS}으로 정의하면, 캐비테이션 발생 여부는 다음 식으로 평가한다.

$$\bar{P} - P_{RMS} < P_v \quad (2)$$

전실 난방 시 133.33×10⁻⁶ m³/s를 공급할 때 차압밸브를 장착한 일반 시스템 분배기와 가변유량 밸런싱밸브를 장착한 스마트 시스템 분배기에 대한 위치별 압력 맥동량을 Fig. 6~Fig. 7에 나타내었다. 차압밸브가 없는 경우 압력 맥동량은 차압밸브를 설치한 경우와 비슷한 결과를 얻었으

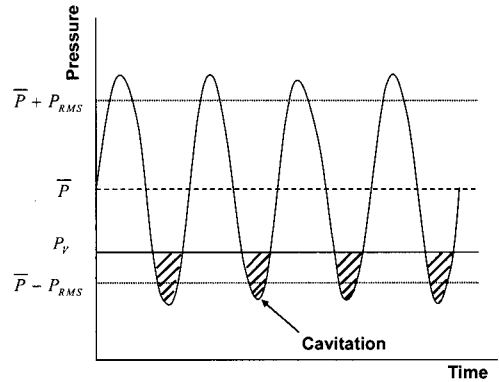


Fig. 5 Characteristics of pressure fluctuations and the occurrence of cavitation.

며, 별도의 그림으로 나타내지는 않았다. 전실 난방 시 두 시스템 모두 가장 큰 맥동량을 갖는 부분은 실 4의 배관 입구(P_{X4})이며, 실 2의 배관 입구(P_{X2})에서 맥동이 가장 작다. 스마트 시스템 분배기는 밸브가 순차적으로 닫혀도 전체적으로 맥동량이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 반면, 일반 시스템 분배기는 각 실을 순차적으로 닫아갈 경우 닫힌 실의 배관 입구(P_X)에서 맥동량이 감소하며, 분배기 입구(P_S)의 맥동은 일정하게 유지되나 환수헤더 직후(P_R)는 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다.

밸브를 닫아갈 때 순간적인 압력의 맥동에 의한 캐비테이션 발생 가능성을 평가하기 위하여 Fig. 8~Fig. 9에서 압력의 평균값에 RMS값을 막대로 표시하여 포화증기압과 비교하였다. Fig. 8은 유량조절밸브의 개도가 가장 좁고 맥동이 커서 캐비테이션 발생 가능성이 가장 높은 실 1의

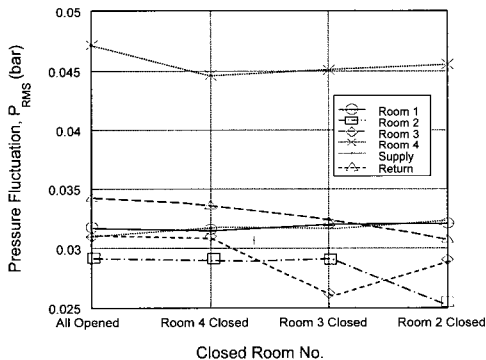


Fig. 6 Pressure fluctuations at various positions in the previous system distributor.

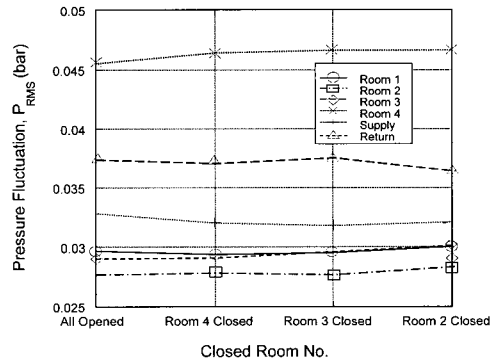


Fig. 7 Pressure fluctuations at various positions in the smart system distributor.

배관 입구에서의 결과이며, Fig. 9는 평균압력이 가장 낮은 환수헤드 직후의 결과이다. 두 지점의 결과로부터 분배기 시스템 내부도 어느 정도 예측 가능하다. 실 1의 배관 입구의 포화증기압은 공급수 온도인 60 °C에서의 값 P_{V60} 을 사용하였으며, 환수헤드 직후에서는 일반적인 설계온도차($\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)를 고려하여 50 °C에 해당하는 포화증기압(P_{V50})과 비교하였다.

Fig. 8의 실 1에 대한 결과에서 스마트 시스템 분배기의 경우 포화증기압과는 차이가 크며 각 실을 닫아갈 경우 평균압력이 증가하여 캐비테이션 발생 가능성은 희박하다고 볼 수 있다. 반면, 일반 시스템 분배기와 차압밸브를 장착한 일반 시스템 분배기의 경우 전실 난방 시 포화증기압 (0.199 bar)보다 높은 0.25 bar 정도의 평균압력에서 작동한다. 하지만 각 실을 닫아갈 경우 평균압력이 점차 감소하여 일반 시스템 분배기는 실 하나를 닫았을 때, 그리고 차압밸브를 장착한 일반 시스템 분배기는 실 두 개를 닫았을 때 맥동하는 압력의 최저치($P-P_{RMS}$)가 포화증기압 이하로 떨어져 높은 캐비테이션 발생 가능성을 가진다. Fig. 9의 환수헤드 직후의 결과에서는 스마트 시스템 분배기의 경우 실 1의 결과와 마찬가지로 포화증기압과는 차이가 크며, 각 실을 닫아갈 경우 평균압력이 증가하여 캐비테이션 발생 가능성은 희박하다고 볼 수 있다. 일반 시스템 분배기와 차압밸브를 장착한 일반 시스템 분배기의 경우 전실 난방시 포화증기압(0.123 bar)보다 높은 0.2 bar 정도의 평균압력에서 작동한다. 하지만 각

실을 닫아갈 경우 평균압력이 점차 감소하여 실 하나 또는 세 개를 닫았을 때 순간압력의 최저치가 포화증기압 이하로 내려간다. 결과적으로 본 연구에서 실험한 일반 시스템 분배기는 차압밸브의 설치 여부와 관계없이 온수 배관 내 캐비테이션 발생 조건이 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 개별난방 시스템에서 각 실 제어 시 부하변동에 안정적이며 캐비테이션 발생을 저감할 수 있는 가변유량 밸런싱밸브를 적용한 스마트 시스템 분배기를 개발하였고, 기존의 일반 시스템 분배기와 부하변동에 대응하기 위해 차압밸브를 설치한 경우와 유체역학적 성능을 비교 평가하였다.

부하변동에 따른 압력 및 유량변동 특성 시험을 통하여 밸브가 순차적으로 닫힐 때 기존 실의 유량이 증가하는 유량집중현상을 정량적으로 평가한 결과 스마트 시스템 분배기가 매우 안정적임을 확인하였다. 일반 시스템 분배기에 차압밸브를 적용해도 압력 및 유량 변동이 매우 적었으며, 스마트 시스템 분배기도 거의 동일한 수준의 성능을 나타내었다.

위치별 순간압력 변동 테스트에서는 일반 시스템 분배기의 경우 전실 난방 시는 캐비테이션이 발생하지 않았으나 밸브가 닫혀 가면서 평균압력이 떨어져 캐비테이션 조건이 발생한다. 그러나 스마트 시스템 분배기는 전실 난방 시 포화증기

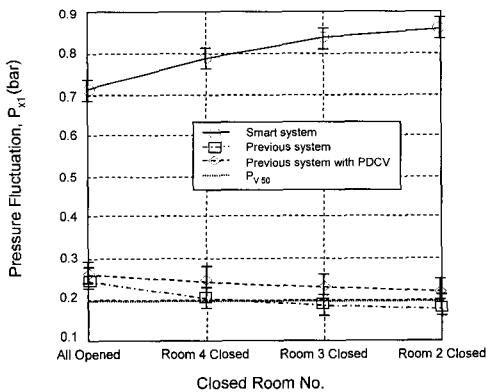


Fig. 8 Unsteady pressure and the assessment of the cavitation occurrence at the entrance of Room 1.

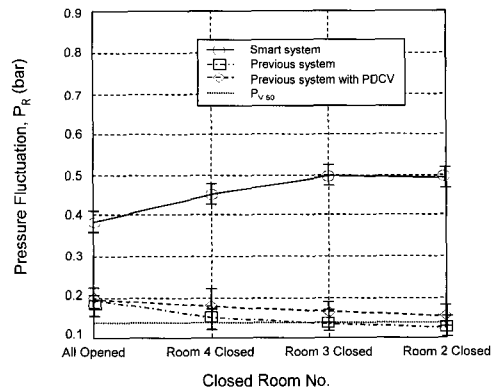


Fig. 9 Unsteady pressure and the assessment of the cavitation occurrence at the exit of return header.

압보다 훨씬 높은 압력이 유지되었으며, 밸브가 닫혀 가면서 평균압력이 오히려 높아져 캐비테이션 발생 가능성이 거의 없는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업과 서울시산학연협력사업(과제번호10583)의 지원으로 수행되었으며, 산학협력과제에 참여해 주신 (주)신우공업에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jung, W. H., 2005, Necessity of differential by-pass valve in heating system, Magazine of the SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 58-62.
2. Yoon, W. K., 2005, Flow rate balancing method in variable flow system, Magazine of the SAREK, Vol. 31, No. 9, pp. 39-45.
3. Kim, K. W., Lee, G. N., 2005, Configuration and key technology in floor heating-system, Magazine of the SAREK, Vol. 34, No. 8, pp. 16-27.
4. Hur, J., Lee S., Sung, J., Lee, M. H. and Yoon, J. D., 2006, Performance test of pressure and flow rate in a hot-water heating system with 3-way valves for flow bypass, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 193-206.
5. Pollet, G., 1993, Balancing heating systems -design and operation-, Magazine of the SAREK, Vol. 22, No. 3, pp. 193-206.
6. Lee, J.-H., 1993, An experiment for apartment heating with water system equipped with the constant-flow-rate or variable-flow-rate balancing valve, Proc. of the SAREK Lecture Meeting, pp. 73-93.
7. Brennen, C. E., 1995, Cavitation and bubble dynamics, Oxford University Press, New York.
8. Yoon, G. and Choi, H., 2003, Characteristics of flow-induced noise around a sphere, Proc. of the KSME 2003 Autumn Annual Meeting, pp. 810-815.
9. Han, H. T. Kim, J. M. and Kim, J. P., 1994, A study on water hammer phenomena in piping systems of buildings, Journal of KSME, Vol. 18, No. 9, pp. 2251-2256.