

## 바이패스용 3-Way 밸브를 장착한 온수 난방시스템의 압력 및 유량 특성 평가

허 전, 이 석 종, 성 재 용<sup>\*</sup>, 이 명 호<sup>\*</sup>, 윤 재 동<sup>\*\*</sup>

서울산업대학교 에너지환경대학원, <sup>\*</sup>서울산업대학교 기계공학과, <sup>\*\*</sup>서울산업대학교 산업대학원

### Performance Test of Pressure and Flow Rate in a Hot-Water Heating System with 3-Way Valves for Flow Bypass

Jurn Hur, Suk-Jong Lee, Jae-Yong Sung<sup>\*</sup>, Myeong Ho Lee<sup>\*</sup>, Jai Dong Yoon<sup>\*\*</sup>

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

*<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea*

*<sup>\*\*</sup>Graduate School, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea*

*(Received November 23, 2006; revision received February 1, 2007)*

**ABSTRACT:** A 3-way valve has been applied to a distributor in a hot-water heating system and the performance of the system was evaluated in view of the variations of pressure drop and flow rate. The 3-way valve has been designed to bypass overplus hot-water when a control valve is closed. Note that the flow goes through heating pipeline in normal operation. In the present study, the measured pressure drops in each part of the flow paths show that the contribution to the total pressure drop is in the order of the supply header with control valves, piping system of each room and return header of the distributor, even though the amount of it is different according to the flow paths. As a result of performance test by sequential closing of the control valves, the variations of pressure drop and flow rate in the distributor with 3-way valves is much lower than those with previous 2-way valves, which prevent noises induced by pressure fluctuations.

**Key words:** 3-Way valve(3-Way 밸브), Distributor(분배기), Pressure drop(압력강하), Hot-water heating system(온수 난방시스템)

#### 기 호 설 명

$D$  : 배관지름 [m]  
 $e$  : 조도 [mm]  
 $f$  : 관 마찰계수  
 $g$  : 중력가속도 [ $m/s^2$ ]

$h_L$  : 손실수두 [m]  
 $L$  : 배관길이 [m]  
 $P_L$  : 온수배관 후단압력 [bar]  
 $P_R$  : 분배기 출구압력 [bar]  
 $P_S$  : 분배기 입구압력 [bar]  
 $P_T$  : 분배기 시스템 전체 차압 [bar]  
 $P_X$  : 온도조절밸브 후단압력 [bar]  
 $Re$  : Reynolds 수,  $vD/\nu$   
 $v$  : 유체속도 [m/s]

† Corresponding author

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

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

## 그리스 문자

$\gamma$  : 비중량 [ $N/m^3$ ]  
 $\nu$  : 동점성계수 [ $m^2/s$ ]

## 1. 서 론

현재 공동주택의 난방방식은 사용자 생활수준의 향상과 실내의 쾌적성에 대한 요구 증가, 에너지 절약에 대한 관심 증가로 인하여 공동주택의 난방시스템도 점차 고급화되고 있다. 이에 따라 실내온도 제어와 정 유량의 개념이 중요한 문제가 되고, 세대별 제어에서 각실(room) 제어방식으로 발전하여 각실 온도제어, 각실 정 유량제어로 발전하게 되었다. 사용자의 필요에 의해 하나의 실에만 난방이 필요한 경우, 세대 전체에 공급되던 유량이 한 구역에 집중되는 현상이 발생하여 과도한 유량공급으로 소음이 발생하거나 기기의 내구성이 저하될 우려가 있다.<sup>(1)</sup>

또한 현재 보일러에서는 일반적으로 필요량보다 과잉의 유량을 공급하는 경우가 많아 과열로 인한 에너지낭비, 소음발생 등의 문제점이 있다. 따라서 공급과 환수측 사이에 과도유량을 바이패스(bypass)시키는 것이 필요하다. 이에 관련하여 차압밸브를 이용하여 분배기 시스템 전체 차압이 일정 압력 이상으로 증가할 때 공급측과 환수측 사이의 과잉유량을 바이패스시켜 적정유량 및 적정압력을 유지시키는 방법<sup>(1-3)</sup>이 많이 연구되었으며, 또한 Gerard<sup>(4)</sup>은 자동 정유량 밸브를 세대입구에 설치하여 층간, 세대간 유량 불균형 현상을 해소하는 방법을 제시하였다.

차압밸브에 의한 총 과잉유량의 바이패스 방법은 각 실별 밸브의 개폐조건에 따라 바이패스 유량의 변화가 심하고, 각 실에 들어가는 개별 유량을 한 개의 바이패스라인으로 제어하기에는 어려움이 많다. 또한 정유량 밸브는 공급측 또는 환수측 배관에 연결되어 설정된 유량 이상이 흐르지 못하도록 제어하는 것으로 밸브 개폐수에 따른 유량의 변동이 큰 경우는 효과가 미약하다.

따라서 본 연구에서는 과잉유량을 바이패스시키는 방법으로 3-Way 밸브를 이용한 온수 순환 분배기를 개발하고, 그 성능을 평가하고자 한다. 3-Way 밸브로 각 실에 들어가는 기존의 2-Way 밸브를 대체함으로써 각 실별 유량을 독립적으로

제어할 수 있는 장점이 있다. 개별 난방시스템에서 각 실별 제어시 기존의 2-Way 밸브를 이용한 온수 순환분배기의 압력 및 유량 변동특성과 본 연구에서 개발한 3-Way 밸브를 이용한 온수 순환분배기의 압력 및 유량 변동특성을 비교함으로써 그 성능을 평가한다.

## 2. 실험장치 및 방법

## 2.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치 개략도로서 온수탱크(hot-water tank), 펌프(pump), 분배기, 각 실별 온수배관으로 주요 부분을 구성하였다. 현재 개별 난방의 보일러 순환펌프 용량은 일반적인 주거건물의 설계유량인  $83.3 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6} m^3/s$ 을 상회하는  $316.6 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6} m^3/s$ 으로서 난방에 필요한 것보다 많은 유량이 공급되고 있다.<sup>(3)</sup> 본 실험에서는 개별난방조건으로 총 유량  $333.3 \times 10^{-6} m^3/s$ 을 공급하였고, 이를 위해 펌프 바이패스 라인에 일반적인 2-Way On-Off식 유량조절용 볼 밸브를 설치하였다. 온수의 온도는  $60^\circ C$ 로 일정하게 유지할 수 있도록 온수탱크를 설정하였다.

분배기 공급헤더(supply header)로 공급된 온수는 온도조절밸브를 통해 각 실로 분배된다. 밸브가 닫힌 경우 3-Way 온도조절밸브는 공급된 온수를 환수헤더(return header)로 바이패스시킨다. 이때 온도조절밸브는 온도조절판넬과 연결된 구동기에 의해 전기적으로 개폐되며, 각 실의 온수배관은 왼쪽(실 1)부터 80 m, 60 m, 50 m, 40 m 길이의 가교화 폴리에틸렌관(X-L pipe)을 사용하였다. 또한 가교화 폴리에틸렌관의 구경은 15 mm,

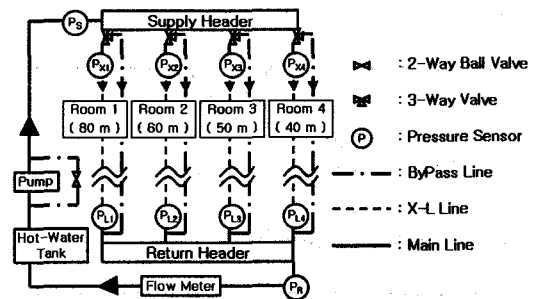


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

바이패스라인은 구경 5 mm이며, 주 배관은 구경 25 mm이다. 각 실을 순환하거나 바이패스된 온수는 환수헤더를 거쳐 온수탱크로 리턴되어 다시 공급될 수 있도록 온수 순환시스템을 구성하였다. 실제 실험된 3-Way 밸브를 이용한 분배기의 환수헤더에는 미세유량 조절밸브가 설치되어 있으나, 본 실험의 변수로는 고려하지 않았기 때문에 실험 중에는 최대로 개방한 상태로 유지하였다.

압력측정은 공급헤더 직전( $P_S$ ), 온도조절밸브 직후 각 4곳( $P_X$ ), 환수헤더 직전( $P_L$ ), 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.

$$P_T = P_S - P_R = (P_S - P_X) + (P_X - P_L) + (P_L - P_R) \quad (1)$$

우변의 첫번째 항( $P_S - P_X$ )은 공급헤더와 3-Way 온도조절밸브에서 압력손실, 두번째 항( $P_X - P_L$ )은 온수배관에서 압력손실이며, 세번째 항( $P_L - P_R$ )은 미세유량 조절밸브와 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.

## 2.2 실험방법

공급헤더를 통해 각 실로 공급되고, 환수헤더를 거쳐 순환하는 동안 밸브 전후, 실 입·출구의 위치에서의 압력을 측정하여 각 요소별 차압이 분배기 전후의 차압 중에서 차지하는 비중을 알아보았다. 또한 각 실의 순환을 한 실만 작동시킨 상태에서 정상적인 순환과 바이패스될 때의 순환을 분배기 시스템 전체 차압을 통해 비교해 보았다. 이때 정상순환상태의 유량을  $33.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  (2 lpm)에서  $166.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  (10 lpm)까지 조절해 가며 각각의 경우 차압을 측정하였다.

길이  $L$ , 직경  $D$ 인 난방용 X-L 배관에서 속도  $v$ 로 온수가 흐를 경우, 실제 측정된 압력손실( $P_X - P_L$ )과 계산된 압력손실( $\Delta P$ )을 비교했는데 이때 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$h_L = \frac{P_X - P_L}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

$$\Delta P = P_X - P_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma \quad (3)$$

$$f \cong 0.0055 \left\{ 1 + \left( 20000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \quad (4)$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (5)$$

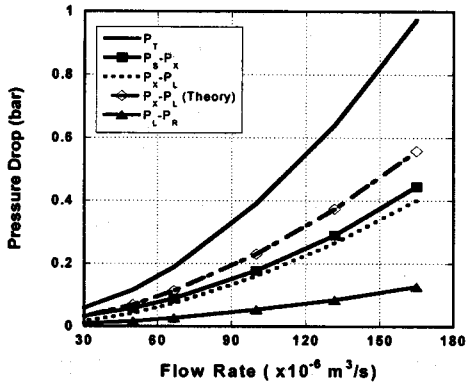
이때,  $h_L$ 은 손실수두,  $f$ 는 손실계수,  $\text{Re}$ 는 레이놀드 수 그리고  $e$ 는 조도계수를 각각 의미한다. 식(2)와 식(3)에서 손실계수  $f$ 는 난방배관에서  $\text{Re}$ 가 2000 미만일 경우( $11.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  이하)에는 식(5)을 사용했으며, 2000 이상인 경우( $11.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  이상)에는 식(4)을 사용했다. 또한 난방배관의 조도는 0.005를 사용하였다.

실제 온수순환시스템에서 임의의 한 실이 온도 조절 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 1(80 m)부터 실 4(40 m)까지 순차적으로 밸브를 닫아 가며 이때 분배기 전후의 차압의 변화와 전체 유량의 변화를 측정하였다.

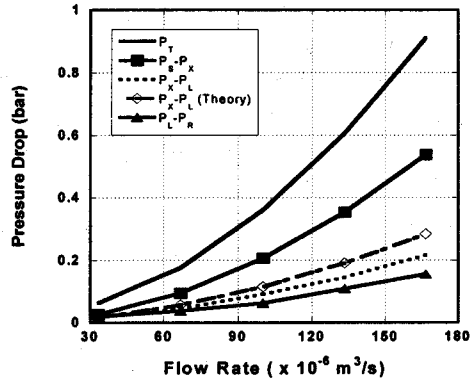
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 각 요소별 압력손실 및 바이패스 특성

Fig. 2는 한 실만 순환시킬 경우 측정된 분배기 내 각 요소별 차압이다. 실험은 4개의 실에 대해 했지만 실 1에서 실 3 사이의 경향에 비해 실 4의 경향이 달라, 실 1과 실 4 두 개의 실만 나타내었다. Fig. 2(a)는 실 1에서의 결과이고, Fig. 2(b)는 실 4에서의 결과이다. 분배기 전후의 차압 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 공급헤더 및 3-Way 온도조절밸브 부분에서의 압력손실( $P_S - P_X$ )이 가장 큰 것으로 나타났다. 그 다음으로 난방용 배관에서의 압력손실( $P_X - P_L$ ), 미세유량 조절밸브 및 리턴헤더에서의 압력손실( $P_L - P_R$ ) 순서로 나타났다. 난방용 배관에서의 압력손실은 배관길이가 클수록 압력손실이 크게 나타났



(a) Room 1 (80 m)



(b) Room 4 (40 m)

Fig. 2 Variation of the pressure drop at each part of the distributor according to the change of flow rate.

으며, 식(2)~(5)에 의해 이론적으로 계산한 값보다는 작게 나타났다. 온도조절밸브에서의 압력손실은 실의 위치에 관계없이 그 값이 크게 변하지 않으며, 실 4에서만 약 0.1 bar 정도 상승하였다. 미세유량 조절밸브에서의 압력손실은 가장 작은 손실을 가지며 실의 위치에 관계없이 일정하다.

Fig. 3은 유량을  $33.3 \times 10^{-6} \sim 166.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 변화시키면서 정상순환(normal operation) 상태일 때 분배기 시스템 전체 차압( $P_T$ )과 바이패스시(bypass status)의 분배기 시스템 전체 차압( $P_T$ )을 나타낸 것이다. 정상순환상태일 때 각 실별 분배기 전후차압을 살펴보면, 실 1에서 실 3으로 갈수록 동일유량에서 분배기 시스템 전체 차압은 감소하며 실 4에서 다시 증가하였다. 온수배관 길이에 의한 영향을 제거하기 위하여 Fig. 4에 분

배기 시스템 전체 차압에서 온수배관에서의 압력손실을 빼준 결과를 나타내었다. 그 결과, 실 1에서 실 3까지는 동일유량에서 분배기 시스템 전체 차압은 거의 비슷하지만 실 4의 분배기 전후차압은 가장 큰 값을 가진다. 이는 분배기 공급헤더와 3-Way 밸브를 지나면서 각 유동경로, 즉 공급헤더 입구에서 각 실의 X-L 배관 입구로 흐르는 유동의 경로에 따라 손실저항이 달라짐을 의미한다.

정상순환과 바이패스 상태에서의 분배기 시스템 전체 차압을 비교해 보면, 전체적으로 바이패스시의 차압(점선)이 정상상태의 차압(실선)보다 크게 나타났다. 차압이 증가하면 유량이 감소하므로 이는 바이패스시의 유량이 정상순환상태의 유량보다 작다는 것을 의미한다. 이를 확인하기 위하여 Fig. 5에서 정상순환 상태에서 밸브를 단

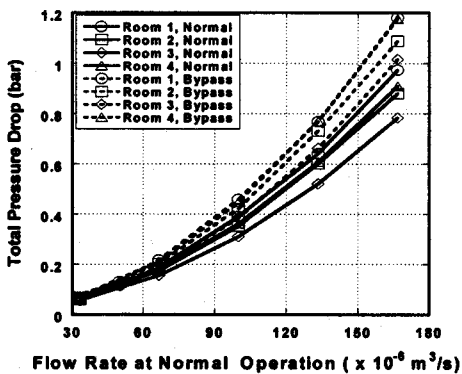


Fig. 3 Comparison of the total pressure drop at normal operation and bypass status.

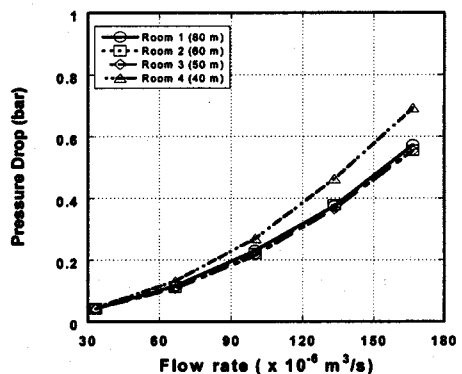


Fig. 4 Total pressure drop by elimination of the pipe length effect.

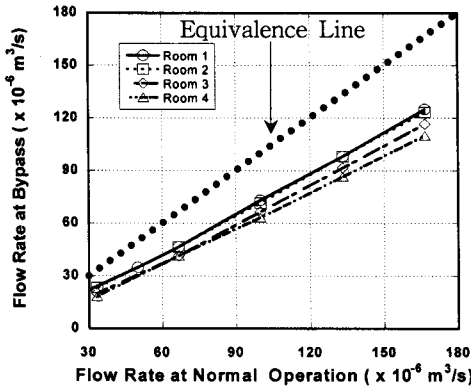


Fig. 5 Comparison of flow rates at normal operation and bypass status.

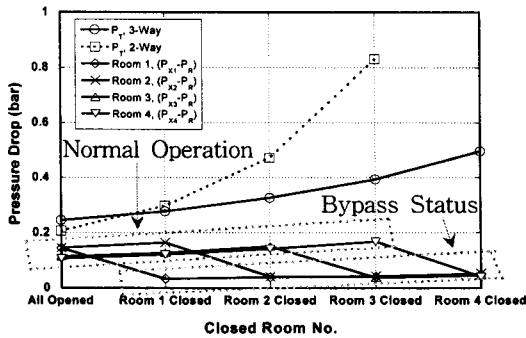


Fig. 6 Variation of the pressure drop by closing sequence of the control valve.

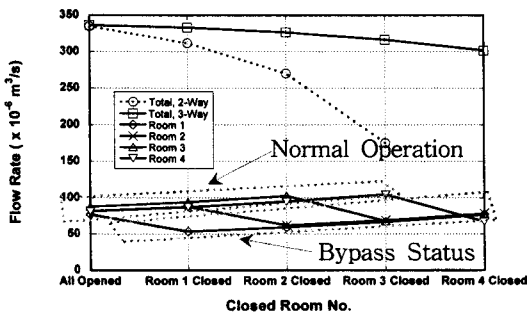


Fig. 7 Variation of the flow rate by closing sequence of the control valve.

이 유동을 바이패스시켰을 때 측정된 유량을 비교하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 바이패스시의 유량이 정상순환 상태보다 작게 나타났다.

이상의 결과에서 확인할 수 있는 것은 밸브의 개

폐에 따른 압력 및 유량 변동량이 분배기의 유로 형상, 각 실에 공급되는 배관의 길이 등에 의해 달라지며, 적절한 열량을 공급하기 위한 최적의 유량 설정은 리턴헤더 직전에 설치된 미세유량 조절밸브를 이용해야 한다는 것이다. 또한 바이패스의 목적이 밸브 개폐에 따른 과도한 압력 및 유량변동을 흡수하는 것이므로 바이패스시 부하 변동폭이 크지 않은 범위에서 유량이 약간 감소하는 것은 3-Way 분배기의 개발목적에 부합한다고 볼 수 있다.

### 3.2 밸브 개폐 수에 따른 압력 및 유량 변동

Fig. 6은 모든 구역을 정상적으로 순환시킨 상태(all opened)에서 실 1부터 순차적으로 구역을 닫아 가며 분배기 전후의 차압을 측정한 결과이다. 점선은 기존의 2-Way 밸브를 이용한 분배기를 통해 측정한 결과이고, 실선은 3-Way 밸브를 이용한 분배기를 통해 측정한 결과이다. 이 그림에서 Normal Operation은 온수가 X-L 배관을 통해 흘러 해당 실에 난방을 공급하는 상태이며, Bypass Status는 해당 실이 온도조건을 만족하여 3-Way 밸브가 바이패스 상태로 전환한 경우를 말한다. 모든 실이 열린 상태에서 분배기 전후의 차압( $P_T$ )은 각각 0.2 bar, 0.25 bar로 3-Way 밸브를 이용한 분배기 시스템의 전체 차압( $P_T$ )이 약간 크게 나타난다. 그 이유는 2-Way 밸브에 비해 3-Way 밸브의 유로구조가 좀더 복잡하기 때문이다. 계속해서 순차적으로 각 실을 닫아가 최대한 닫았을 때 분배기 시스템 전체 차압은 2-Way에서 약 0.85 bar, 3-Way에서 약 0.5 bar로써 각 실별 제어시스템에서 3-Way 밸브를 이용한 분배기의 압력변화가 월등하게 작았다. 또한 그때의 유량변화는 Fig. 7에 나타내었으며, 기존의 2-Way 밸브를 이용한 분배기에서 약  $166.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ , 3-Way 밸브를 이용한 분배기에서 약  $33.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 유량변화 역시 3-Way 밸브를 이용한 분배기가 월등히 작았다. Fig. 6에서는 각 실별로 밸브 개폐에 따른 3-Way 밸브 직후의 압력변화를 함께 나타내었다. 밸브가 순차적으로 닫히면서 닫힌 실의 밸브 직후 압력은 환수측 압력과 비슷한 수준으로 떨어지고, 열린 실의 밸브 직후 압력은 조금씩 증가해 간다.

Fig. 3의 분배기 전후차압( $P_T$ ) 곡선을 이용해 분배기 전후차압에 대한 유량변화의 보간식을 각 실

Table 1 Calculated flow rate at each room in the hot-water heating system with 3-Way valves

Case	Flow rate	Room 1 (80 m)	Room 2 (60 m)	Room 3 (50 m)	Room 4 (40 m)	Total ( $\times 10^6$ m <sup>3</sup> /s)		
All Opened		77	23.5	81.6	88	81.5	328.16	
Room 1 Closed		53.5	23.5	87.5	94	87.16	322.16	
Room 2 Closed		59.1	62.16	25.3	102.6	35	94.83	318.83
Room 3 Closed		66.6	69	67.6	104.6		308.0	
Room 4 Closed		77	78.5	77.6	67	37.6	300.16	

별로 만들었고, 여기에 Fig. 6의 압력변동 시험에서 측정된 분배기 전후의 차압데이터를 보간식에 대입하여 각 실별 유량을 예측할 수 있다. 각 실의 유량을 직접 측정하지 않고 계산을 통해 예측한 이유는 온수배관에 유량계를 설치하면 유량계에서의 압력손실이 포함되어 실제 온수 순환시스템의 조건과 달라지기 때문이다. Table 1은 spline 보간법을 이용하여 각 실별 유량을 예측한 결과이다. 계산된 결과에서 진하게 표시된 부분이 바이패스되는 유량이며, 이외의 부분은 정상순환상태의 유량이다. 계산된 각 실별 유량을 합한 총 유량은 측정된 총 유량과 평균적으로 약 1.93% 정도의 오차가 있었다.

모든 실을 열었을 때 각 실별 유량을 보면 실 1에서 실 3으로 갈수록 증가하며 실 3에서 최대 유량을 가지며, 실 4에서 약간 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 3에서의 차압데이터와 같은 경향을 보인다. Table 1에서 계산된 각 실별 유량 변화를 바탕으로 Fig. 7에 총 유량의 변화곡선과 비교하였다. 밸브를 순차적으로 닫아 갈수록 정상순환하는 실의 유량은 증가하지만 닫힌 실의 유량이 바이패스 유량으로 떨어져 전체 유량은 작아진다. 또한 정상순환상태에서 바이패스로 바뀔 때, 즉 실별 밸브가 닫힐 때 실 4로 갈수록 유량이 감소하는 정도가 커진다. 다시 말해 전체 유량의 감소에도 불구하고 다른 실의 정상순환되는 유량은 약간 증가하여 난방효율은 감소하지 않는다.

#### 4. 결 론

3-Way 밸브를 이용한 분배기를 개발하여 온수순환 난방시스템에 적용시키고 그 성능을 평가하였다. 본 실험에서 적용한 분배기는 공급된 유량이 4개의 실로 분배되며, 전체 차압 중에서 차지하는 각 요소별 압력손실은 온도조절밸브, 온수배관, 미세유량 조절밸브 순이다. 또한 동일 유량이 흐를 경우 배관길이에 따른 손실을 제거하고 전체 차압을 측정된 결과 위치별로 압력손실

양의 차이가 존재한다.

밸브 개폐에 따른 압력 및 유량 변동시험을 통하여 정상 순환상태의 유량이 바이패스 상태의 유량보다 약간 많음을 확인하였고, 3-Way 밸브를 이용한 분배기를 사용하여 난방시스템을 가동할 경우 각 실별 제어를 하더라도 분배기 시스템 전체 차압의 변화나 전체 유량의 변화가 기존의 2-Way 밸브를 이용한 분배기보다 매우 작았다. 따라서 밸브 개폐에 따른 시스템의 압력 및 유량 변동을 흡수하기에 충분하다고 평가된다.

#### 후 기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업과 서울시 산학연 협력사업(과제번호 10583)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Jung, W. H., 2005, Necessity of differential by-pass valve in heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 58-62.
2. Yoon, W. K., 2005, Flow rate balancing method in variable flow system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 31, No. 9, pp. 39-45.
3. Kim, K. W. and Lee, G. N., 2005, Configuration and key technology in floor heating-system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 16-27.
4. Pollet, G., 1993, Balancing heating systems -design and operation-, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 193-206.