

시스템분배기 소음방지 및 성능개선방안 연구

김 용 기[†], 이 태 원, 한 태 수, 유 선 학^{*}

한국건설기술연구원 설비플랜트연구실, *신한콘트롤밸브(주) 기술부

A Study on the Noise Reduction and Performance Improvement of the Hot Water Distributing System

Yong-Ki Kim[†], Tae-Won Lee, Tae-Su Han and Sun-Hak Yoo^{*}

Plant Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

^{*}Engineering Dept., Shin Han Control Valve Co., Ltd., Incheon 404-170, Korea

ABSTRACT: Noise is one of the major environmental problems in human life. But hot water distributors with the flow rate control valve bring about often noise according to the heating control condition in residential buildings. The sound power level increased as the flow rate and pressure difference increased. And thus, experimental analyses for the flow rate control and the pressure difference control were carried out in this study to reduce the noise emitted from the flow rate control valve. As the results, the flow rate control method using a SMA(Shape Memory Alloy)-valve and the flow rate control system using a pressure difference sensor can be expected to control noise in the region of below 50 dB of sound power level.

Key words: Hot water distributor(온수분배기), Noise reduction(소음감소), Shape memory alloy(형상기억합금), Pressure difference sensor(차압센서), Flow control valve(유량조절밸브)

1. 서 론

최근 들어 중앙집중 난방방식 공동주택에 시스템 온수분배기가 많이 보급되고 있으나 적절한 유량제어를 수행하지 못하여 미세유량조절밸브 등에서 소음이 발생하여 거주민에게 불편을 초래하고, 민원도 제기되고 있는 실정이다. 중앙집중 난방방식 공동주택의 경우 각 세대별 유량제어를 위하여 세대 정유량밸브가 설치되어 있는데, 이는 각 세대 내 전체 난방배관에 설정되는 차압 범위 내에서 설정 유량을 유지할 뿐, 설정 유량

이하의 유량제어는 수행하지 않으며, 각 세대 내에서 구획된 각각의 난방공간(방)에 대한 유량 밸런싱 제어는 각각의 난방공간 별로 설치되어 있는 미세유량조절밸브를 이용하게 된다. 이때, 난방조건에 따라 미세유량조절밸브에서 소음이 발생할 수 있다.

이러한 미세유량조절밸브는 각 난방공간 별 난방코일의 길이 차이에 따른 열량 불균형을 해소(유량 밸런싱)하기 위한 장치로서 난방코일의 길이에 따른 각 난방공간 별 최대유량을 설정하는 기능을 가지는데, 이러한 미세유량조절밸브는 TAB(Testing Adjusting and Balancing) 과정에서 개도가 설정되며, 난방용 자동온도조절기와는 달리 온수의 양을 자동으로 조절하지는 않는다. 미세유량조절밸브에 소음이 발생하는 조건은 현

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0490 ; fax: +82-31-910-0491

E-mail address: kimyk@kict.re.kr

장 및 제품에 따라 달라지나 일반적으로 난방이 시작되어 어느 정도 난방운전시간이 경과한 다음, 각 난방공간(방)별 난방용 자동온도조절기가 하나씩 닫히게 되어, 결국 하나의 난방공간에 대한 난방용 자동온도조절기만 열린 상태가 되면, 난방공간별 설계유량보다 많은 유량이 일시에 흐르게 되어 미세유량조절밸브에서 소음이 발생하게 된다. 따라서 이러한 시스템 분배기에서 발생할 수 있는 소음을 유량제어를 통하여 미연에 방지할 수 있는 새로운 기술의 도입이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 시스템 분배기에서 발생할 수 있는 소음원인을 분석함으로써 소음방지를 위한 기존 분배기 개선방안 및 차압센서를 이용한 소음방지용 제어장치를 제안하고자 한다.

2. 미세유량조절밸브의 소음 발생 특성

밸브에서의 소음발생 원인으로는 캐비테이션(cavitation)에 의한 기포 발생과 발생된 기포가 배관을 지나면서 터질 때 발생하는 소음, 밸브 내 좁고 복잡한 구조의 유로를 통과 하면서 난류에 의한 와류 현상이 심해지면서 나타나는 난류유동 소음, 밸브가 급격히 닫히면서 짧은 시간에 유속의 급격한 변화를 유발하고 그에 따라 액체 내 큰 비정상 압력변화가 발생하여 나타나는 수격(water hammer)현상에 의한 소음이 있다⁽¹⁾. 이중 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음은 밸브 내 좁고 복잡한 구조에 의한 난류유동에 의하여 발생하는 것으로 생각되며, 본 절에서는 미세유량조절밸브에서의 소음발생 조건을 규명하고자 한다. 한편, 밸브 소음에 대한 측정방법은 IEC 534-8-2⁽²⁾, IEC 534-8-4⁽³⁾ 및 이 등⁽⁴⁾의 문헌을 참고하였다. Fig. 1은 다양한 종류의 미세유량조절밸브를 보여주고 있다.

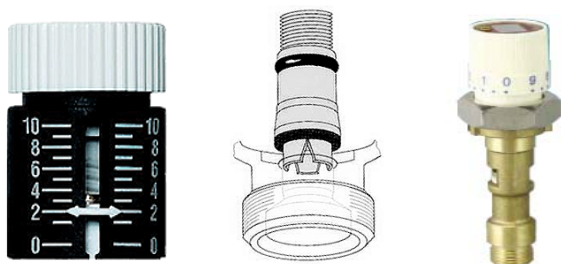


Fig. 1 Shapes of various flow control valves.

먼저, Fig. 2와 같은 간단한 실험장치를 통하여 밸브에서의 각 조절단계별 통과유량에 따른 발생 소음을 측정하였다. 소음계는 ONO SOKKI사의 LA-2110을 사용하였으며, 소음측정은 미세유량조절밸브로부터 5 cm 떨어진 곳에서 측정하였다. 먼저 암소음을 측정하여 식 (1)에 의하여 밸브소음 측정값과 데시벨 합산(상쇄간섭) 하였으며, 여기서 L_3 는 데시벨 합산 소음값, L_1 은 밸브소음 측정값, L_2 는 암소음 측정값을 나타낸다.

$$L_3 = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} - 10^{L_2/10}) \quad \text{식 (1)}$$

Fig. 3은 미세유량조절밸브에서의 통과유량에 따른 단계별 소음발생 특성을 도시하고 있다. 예상되는 바와 같이 유량이 증가할수록 소음의 크기도 증가하는 것을 볼 수 있으며, 특히, 유량의 일정구간에서는 소음이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 각 밸브 단계에서 소음을 기준

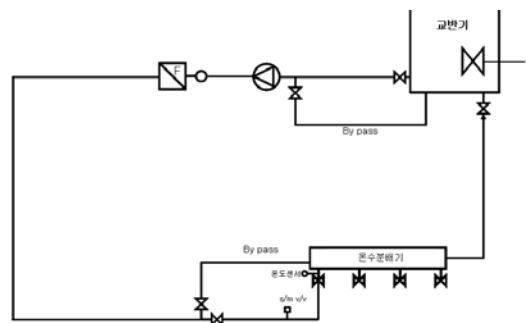


Fig. 2 A schematic diagram for noise experiments.

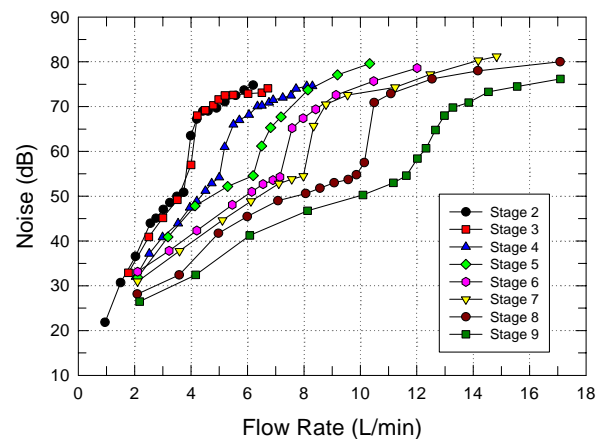


Fig. 3 Variations of noise with the flow rate and stages of a valve.

치(50 dB 또는 그 이상) 이하로 감소시키기 위해서는 해당 단계에서의 유량 기준치 이하로 적절한 장치를 통하여 유량을 감소시켜야 함을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 유량제어 방안으로 SM-밸브 및 차압센서를 이용하는 방안을 제안하였다.

3. SM-밸브를 이용한 소음저감 방안

3.1 기본개념 및 실험방법

SM-밸브는 형상기억합금 소자(스프링)에 의해 난방 환수온도를 감지하여 환수온도의 상승에 따라 밸브의 개도를 자력으로 온도에 따라 비례적으로 닫아주고, 환수온도가 하강하게 되면 귀환 스프링에 의하여 밸브의 개도를 열리게 하는 자동온도조절밸브(자동유량조절밸브)로써 유량제어 특성은 Fig. 4와 같다.

Fig. 5는 SM-밸브를 이용한 시스템 분배기 소음 저감 방안 개념도를 도시하고 있다. 형상기억합금 이용 자동유량조절밸브를 기존의 온수분배시스템에 추가 설치함으로써 적절한 유량제어를 이용하여 온수분배시스템에서 발생하는 소음을 방지할 수 있다. 즉, 형상기억합금 이용 자동유량조절밸브는 세대 난방이 운전되어 난방 환수온도가 상승하게 되면 환수온도에 따라 세대 난방수에 대한 유량제어를 수행하게 되어, 난방운전시간이 일정기간 경과한 하나의 방만이 난방되고 있는 상태일지라도 방별 과다유량이 흐르는 것을 방지하여 미세 유량조절밸브에서 발생하는 소음을 미연에 방지할 수 있다. SM-밸브의 설치 방법은 온수분배기와 분리되어 정유량밸브 전단에 별도로 설치되는 방식과 온수분배기 환수구부에 일체형으로 삽입되는 방식이 있을 수 있다.

SM-밸브를 이용하여 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음을 방지할 수 있는지를 검증하기 위하여 Fig. 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 순환수의 온도를 조절하기 위한 보일러(전기히터)와 저수조, 저수조 내의 수온을 균일하게 유지시켜 주기 위한 교반기, 온수를 순환시키기 위한 순환펌프와 압력계 및 유량계 등의 계측장치들을 배관에 설치하였다. 보일러는 온수공급 온도를 만족시킬 수 있도록 충분한 용량을 가지도록 하였으며, 소음 실험의 특성 상 순환펌프와

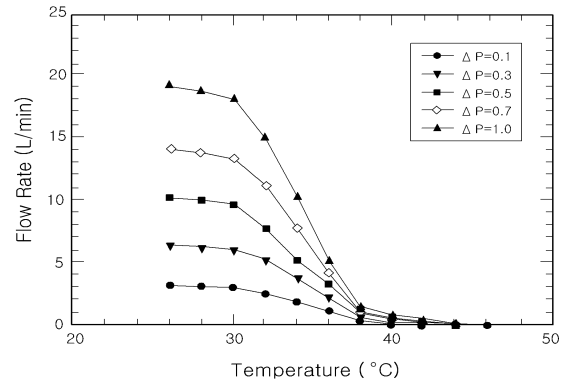


Fig. 4 Variations of the flow rate with the temp. and the pressure difference for a SM-valve.

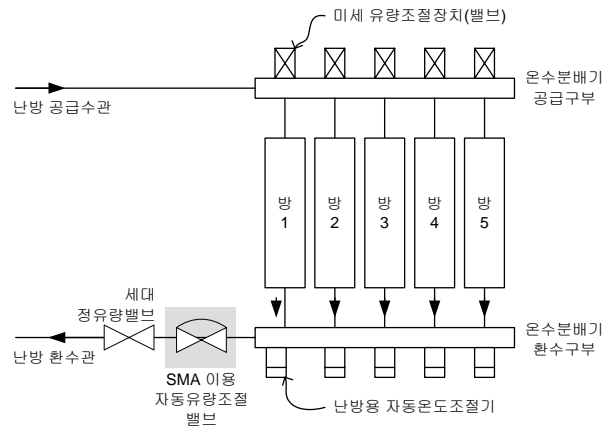


Fig. 5 A schematic diagram of the noise reduction method using a SM-valve.

저수조 부분은 격리된 공간에 설치하여 암소음의 발생을 최대한 억제하였다.

실험변수로는 미세유량조절밸브의 개도, 형상기억합금 스프링의 종류, SM-밸브 유량조절기 개도, 순환수의 온도 및 통과유량 또는 전·후단의 압력차이며, 실험에 사용된 소음계 및 소음측정방법은 앞 절과 동일하다.

3.2 실험결과 및 고찰

Fig. 6은 SM-밸브가 적용된 배관에서 밸브 양단의 압력차를 0.05 kgf/cm²로 유지한 상태 및 미세유량조절밸브의 개도가 3단일 경우의 소음발생 특성을 보여주고 있다. 미세유량조절밸브의 개도가 3단이고, SM-밸브 단계가 M일 경우, 24 °C에서의 순환유량은 5 L/min 정도로 Fig. 3의 미세

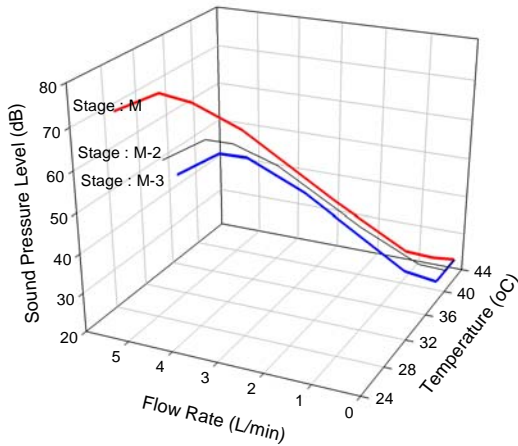


Fig. 6 Variations of the sound pressure level with the flow rate and the return water temperature.

유량조절밸브 소음 발생 조건에 보인 바와 같이 소음이 최대 70 dB 이상으로 크게 발생하였으나, 난방 순환수 온도가 증가하게 되면, SM-밸브의 작용에 의하여 밸브 통과 유량이 점차 감소하게 되고, 이에 따라 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음도 감소하게 되는 것을 볼 수 있다. 또한, SM-밸브의 유량조절기 개도를 감소시키면, 밸브 통과유량 또한 감소하기 때문에 전반적으로 소음의 발생도 크게 감소함을 알 수 있다.

미세유량조절밸브의 개도가 6단과 9단의 경우에도 Fig. 6과 유사하게 SM-밸브 적용에 따라 환수온도가 상승하게 되면, 유량이 감소하게 되어 소음이 감소하게 되는 것을 확인하였다.

4. 차압조절장치를 이용한 소음저감 방안

4.1 기본개념 및 실험방법

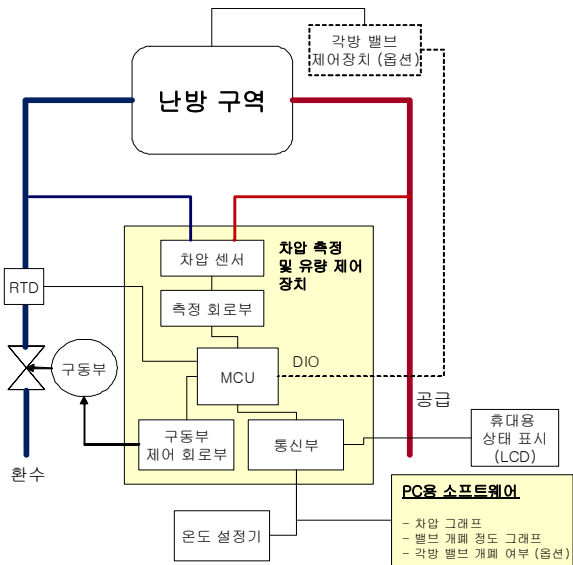
시스템 분배기 구성요소의 하나인 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음을 감소시키기 위해서는 세대 내 통과유량을 감소시켜야 한다. 따라서 본 절에서는 세대 내 통과유량 제어를 위하여 개발한 차압센서를 이용한 유량제어시스템의 구성 및 기능을 기술하고, 성능실험을 통하여 시스템 적용방안을 검토하고자 한다.

먼저 난방 시 발생할 수 있는 유속 증가에 의한 소음을 방지하기 위하여 간단하고, 경제적으로 차압을 측정할 수 있는 센서를 조사하였다.

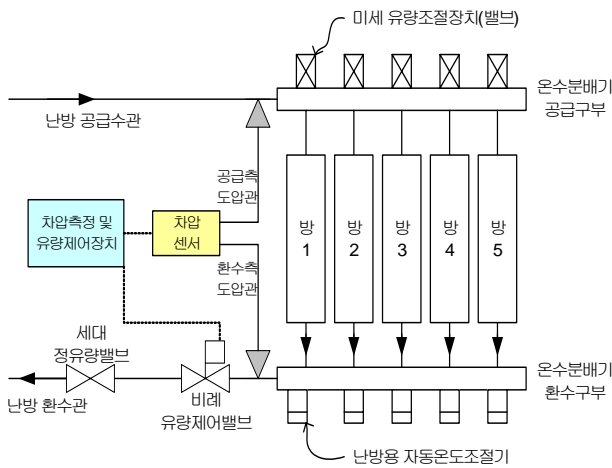
여러 가지 방식의 차압 또는 압력센서가 존재하는데, 그 중에서 필요 사양을 만족하는 센서는, 특히 경제적인 측면을 만족하는 센서는 반도체 압력센서와 다이어프램을 이용한 정전용량(capacitance)식 압력 센서로 판단된다. 반도체 압력센서의 경우에는 기성품 사용 및 맞춤 제작이 가능하고, 가격은 대량 구매 시 수 천원부터이며, 정전용량식 압력센서의 경우에는 사양에 맞추어 맞춤 제작하여 사용할 수 있고, 가격은 대량 구매 시 1천 원부터이다. 본 연구에서의 유량제어시스템에 사용될 차압측정센서는 차압범위가 0~50 kPa인 한 모델을 사용하였다. 채택된 차압센서의 최대 차압은 400 kPa이며, 작동온도는 -40~+125 °C이다.

Fig. 7은 차압측정을 이용한 세대별 유량제어시스템의 개념도를 보여주고 있다. 유량제어시스템은 차압센서, 신호측정 회로부, MCU(Micro-Controller Unit), 구동부 제어 회로부, 통신부로 이루어져 있으며, PC용 소프트웨어를 이용하여 차압측정특성 및 제어특성을 분석할 수 있도록 구성하였다. 각 방 밸브 제어장치는 옵션으로 선택할 수 있으며, 휴대용 상태 표시장치를 이용하여 현재 차압을 표시할 수 있도록 구성하였다. 유량제어시스템은 환수온도 또는 실내 온도를 기준으로 난방을 제어하되, 공급-환수 사이의 차압을 일정 차압 이하로 유지하는 기능을 가지며, 차압측정 기능을 이용하여, 난방구획별 밸런싱(balancing)을 수행할 수 있다. 선택사항으로 각 방 개별 제어가 가능하다. 최대 차압의 설정은 보드의 선택스위치를 통하여 조절할 수 있다. 유량제어시스템의 성능특성을 파악하기 위한 기본적인 실험장치 및 실험구간의 구성은 KS B 2101(밸브의 용량계수 시험방법)⁽⁵⁾에 따라 구성하였다. 작동유체는 물로 하고, 그 온도는 원칙적으로 상온으로 유지하였다.

난방코일의 종류는 X-L 파이프(15A)를 사용하였으며, 온수분배기에 장착되는 정유량밸브는 지역난방용을 사용하였다. 유량제어밸브(시편밸브)는 시스템 분배기 환수구와 정유량밸브 사이에 설치하였으며, 압력측정은 공급구부, 환수구부, 시편밸브와 정유량밸브의 사이, 정유량밸브 후단에서 실시하였다. 실험변수는 난방코일 개방조건, 분배기 통과유량, 정유량밸브 설치 여부 및 정유량밸브의 Size (설정유량), 정유량 차압조건으로



(a) The composition of a control system



(b) The position of sensor

Fig. 7 A schematic diagram of the flow control system using a pressure difference sensor.

설정하였으며, Table 1은 4구 기준 총길이 240 m의 난방코일에 대한 각 Case별로 개방 조건을 나타낸 것이다.

4.2 실험결과 및 고찰

Fig. 8은 온수분배기 4구 기준으로 방별 온수 코일 개폐여부 및 차압정보를 이용한 비례유량조절시스템 가동여부에 따른 압력차 변화 및 유량 변화를 보여주고 있다. 기존의 온수분배시스템

Table 1 The case of experiment.

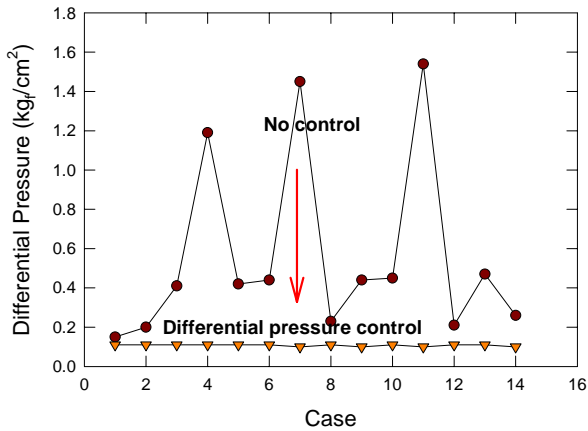
①; 90 m coil ②; 70 m coil
③; 50 m coil ④; 30 m coil

Case	Contents	Case	Contents
1	①②③④ Open	8	② Closed
2	① Closed	9	②③ Closed
3	①② Closed	10	②④ Closed
4	①②③ Closed	11	②③④ Closed
5	①③ Closed	12	③ Closed
6	①④ Closed	13	③④ Closed
7	①③④ Closed	14	④ Closed

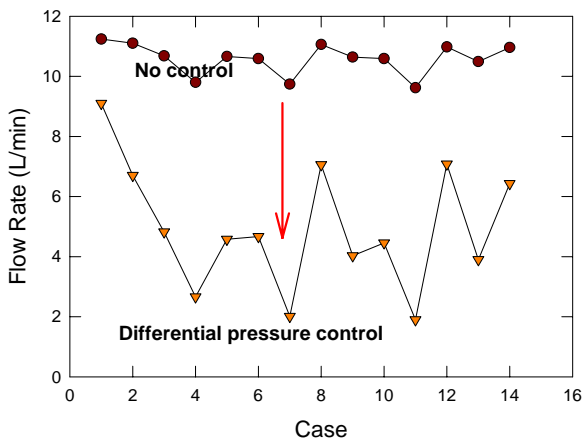
(No control의 경우)에서는 방별 온수코일 개폐여부(Case)에 따라 압력차는 크게 변하며(Fig. 8(a) 참조), 세대를 통과하는 유량은 세대 정유량밸브의 영향으로 일정한 범위(9~12 L/min) 내에서 유지되는 것(Fig. 8(b) 참조)을 알 수 있다. 이러한 경우 난방이 어느 정도 진행 된 후(4구 기준으로 3구의 밸브가 닫혀있고, 1구의 밸브만이 열려 있는 경우)에는 1구의 밸브를 통과하는 유량이 과도하게 되어 미세유량조절밸브에서 소음이 발생할 가능성이 있게 된다.

반면에 차압조절시스템이 적용된 온수분배시스템(Differential pressure control의 경우)에서는 방별 온수코일 개폐여부(Case)에 따라 압력차는 설정 압력차로 일정하게 유지되고(Fig. 8(a) 참조), 세대를 통과하는 유량은 개폐조건에 따라 크게 감소하는 것(Fig. 8(b) 참조)을 알 수 있다. 예를 들어 Case 11(②③④ Closed)의 경우, 기존의 온수분배시스템(No control의 경우)에서는 1.6 kg/cm²의 차압이 발생하였으나, 차압제어를 통해 차압이 0.1 kg/cm²로 감소하였고, 이에 따라 밸브 통과유량이 10 L/min 정도에서 2 L/min 정도로 감소되어 소음이 70 dB 정도에서 40 dB 정도로 현저하게 감소하였다.

따라서 차압정보를 이용한 유량제어시스템이 시스템 분배기에 적용될 경우, 난방코일 개방조건에 상관없이 분배기 전후단 차압이 일정하게 설정차압으로 제어되어, 각각의 코일에서 초기의 밸런싱 유량으로 유지됨에 따라 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음을 미연에 방지할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Variations of the differential pressure



(b) Variations of the flow rate

Fig. 8 Variations of the differential pressure and the flow rate with each case.

5. 결론

최근 들어 중앙집중 난방방식 공동주택에 시스템 온수분배기가 많이 보급되고 있으나 적절한 유량제어를 수행하지 못하여 미세유량조절밸브 등에서 소음이 발생하여 거주민에게 불편을 초래하고 민원도 제기되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 시스템 분배기에서 발생할 수 있는 소음을 유량제어를 통하여 미연에 방지할 수 있는 새로운 기술의 도입이 요구되고 있다. 본 연구에서는 시스템 분배기 내의 미세유량조절밸브에서 발생할 수 있는 소음 발생 조건을 분석함으로써 소음 방지를 위한 기존 분배기 개선방안 도출 및 차압 센서를 이용한 세대별 유량제어장치를 개발하였으며, 이에 대한 실험적 연구를 수행한 결과 다

음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 시스템 분배기에 장착되는 미세유량조절밸브에서의 유량조절 단계별 통과유량에 따른 소음 발생 정도를 측정된 결과, 각 조절단계별로 작은 유량변화에도 소음이 50 dB 이상으로 크게 변화하는 구간이 있었으며, 이를 통하여 소음이 크게 증가하는 일종의 한계유량이 존재함을 알 수 있었다.

(2) 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음 방지를 위하여 수온감지 비례제어식 자동온도조절밸브(SM-밸브)를 시스템 분배기 환수구부에 설치함으로써 난방이 일정기간 진행된 후 난방순환수 온도가 증가하게 되면, SM-밸브가 작동하게 되어 유량감소를 유발시키게 되고, 이에 따라 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음도 크게 저감시킬 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

(3) 차압정보를 이용한 유량제어시스템이 시스템 분배기에 적용될 경우, 난방코일 개방조건에 상관없이 분배기 전후단 차압이 일정하게 설정차압으로 제어되어, 각각의 코일에서 초기의 밸런싱 유량으로 유지됨에 따라 미세유량조절밸브에서 발생하는 소음을 미연에 방지할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- Philip L. S., 2006, Valve Handbook(Second edition), McGraw-Hill Handbooks, pp. 346-373.
- IEC 534-8-2 : 1993, Industrial process control valves-Part 8 : Noise considerations -Section 2 : Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control valves, International Electrotechnical Commission standards.
- IEC 534-8-4 : 1994, Industrial process control valves-Part 8 : Noise considerations -Section 4 : Prediction of noise generated by hydrodynamic flow, International Electrotechnical Commission standards.
- Lee, Y. B., et al., 2001, Measurement method for valve noise, Proceedings of Korean Fluid Machinery Association, pp. 433-438.
- KS B 2101 : 1999, Test procedures for flow coefficient valves, Korea Standards.