

실별제어 온수분배기의 유량분배 특성

성 순 경[†]

경원대학교 건축설비공학과

A Flow Quantity Distribution Characteristics of the Hot Water Header for Individual Room Control System

Sun-Kyung Sung^{*}

Department of Architectural Equipment Engineering, Kyungwon University, Kyunggi-Do 463-829, Korea

(Received September 28, 2007; revision received January 18, 2008)

ABSTRACT: Flow quantity to supply to a coil in floor heating system is important to achieve comfortable indoor air condition in the winter season. The hot water header is used to distribute the water into the coil. Experimental study has been performed using the water header that have 5 branches consisted of flow control valves and automatic shut-off valves. Each branch line connected it with X-L pipe.

Experimental tests accomplished it to investigate the flow distribution characteristics of the hot water header. Experimental results show that the selection of the pump head and differential pressure are very important to save running energy of the system, and high differential pressure needs more friction loss in the case of suitable differential pressure for balancing of the header.

Key words: Hot water header(온수분배기), Individual room control(실별제어), Floor heating system(바닥 난방 시스템), Flow control valve(유량조절밸브)

1. 서 론

우리나라에서는 공동주택이나 주거용 복합건물에 대한 난방방식으로 바닥난방 방식이 주류를 이룬다. 이 바닥난방을 위하여 바닥에 배관재를 매립하고 온수를 순환시켜 필요한 열을 공급한다. 이때 세대에 공급되는 온수를 각 방으로 나누기 위하여 온수분배기를 사용한다. 각 방으로 연결된 배관재 즉 코일의 길이는 방의 바닥면적에 따라 길이가 다르게 되며, 난방코일의 길이 비에 따라 온수유량이 공급된다.⁽¹⁾ 실별로 코일의

길이가 다른 경우에는 설계 유량과 다르게 되어 어느 곳은 난방상태가 부족하고 어느 곳은 과열 현상이 발생하며,⁽²⁾ 과도한 유량으로 소음이 발생하기도 한다.⁽³⁾ 이때 과열로 인한 에너지의 손실을 줄이고, 온열환경의 불균형 문제점을 해소하고자 실내온도조절기에 의하여 개폐되는 자동밸브와 유량조절밸브가 부착된 시스템 온수분배기의 사용이 급증하고 있다. 이때 실별 온도조절기에 의한 제어만으로는 실온 조건을 유지하기 어려우므로 유량밸런싱이 선행되어야 한다.⁽⁴⁾ 이는 실내 온열환경을 폐적하게 유지하고, 에너지를 절약할 수 있는 바람직한 방향이라고 보여 진다. 이때 온수분배기에 부착 설치된 유량조절밸브는 설계상의 필요 유량이 흐르도록 조절하는 역할을 하며, 온수 분배 상태에 직접적인 영향을 미친다.

* Corresponding author

Tel.: +82-31-750-5883; fax: +82-31-750-8648

E-mail address: sksung@kyungwon.ac.kr

그러므로 설계유량과 잘 일치하도록 조절성능이 확실한지 확인하는 것도 중요하다. 또한 실내온도 조절을 위하여 온수분배기에 존별로 설치된 자동개폐밸브의 개폐상태는 수시로 변화하므로 이때에 존별로 어떠한 유량분배 특성이 나타나는지 파악하는 것도 중요한 사항이다.

여러 선행 연구에서는 온수분배기를 이용한 제어 시 실내 온열환경 변화에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 온수분배기 자체의 유량분배 특성에 대한 연구는 별로 없는 실정이다.

본 연구에서는 온수분배기에 설치된 유량조절밸브로 인하여 발생되는 분배특성과 온수 순환시스템에 미치는 영향에 대하여 실험을 통하여 파악하고 설계와 시공 시 고려하여야 할 사항을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구를 위하여 Fig. 1과 같이 온수분배기, 코일, 유량조절밸브, 자동개폐밸브, 유량측정조, 유량계, 저류조, 순환펌프, 마노미터로 구성하였으며, 주요 구성요소의 규격은 Table 1과 같다.

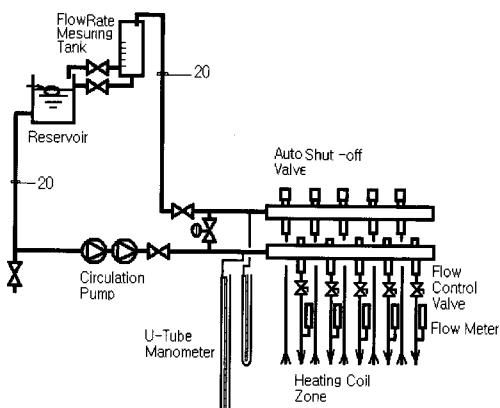


Fig. 1 Schematic Diagram of the Experimental Apparatus.

실험장치의 제일 상부에는 온수분배기를 거쳐 나오는 총 유량을 측정하기 위하여 투시형 유량측정조를 설치하였으며, 유량측정조 내부에는 눈금자를 설치하였다. 유량측정조의 하부를 나온 물

Table 1 Specification of the experimental apparatus

Nomenclature	Specification	Manufacturer
Hot Water Header	5 Zone	Sindong Tech.
Circulation Pump	PB-40D	Han-il Electric Co.
Flow Rate Measuring Tank	W0.1×L0.2 ×H0.5 m	Self-Made
Reservoir	W0.3×L0.4×H0.5 m	Self-Made
Flow Rate Meter	Flow cell Type 0~4 ℓ/min	Tongyang

은 저류조로 회수되도록 하였다. 저류조에는 측정 시 나가는 물로 인하여 수두의 변화가 일어나므로 수위 유지를 위하여 볼트을 통하여 자동보급되도록 하였다. 순환펌프는 필요한 양정을 확보하기 위하여 직렬로 2대를 설치하였고, 온수분배기에서 필요한 수두는 펌프 토출 측에 있는 밸브를 이용하여 조절하였다. 온수분배기에 작용하는 차압을 측정하기 위하여 입구와 출구에는 압력 측정구멍을 설치하고 이에 U자형 수은 액주계를 튜브로 연결하였다. 입구배관과 출구배관 사이에는 바이패스 배관으로 차압밸브를 설치하여 입구배관에 과대한 압력이 작용하는 경우 통과 여부를 확인하였다.

유량조절밸브의 유량특성을 파악하기 위한 실험에서는 코일을 연결하지 않고 유량조절밸브와 자동개폐밸브 사이를 가능한 짧은 관으로 연결하여 공급헤더, 유량조절밸브, 자동개폐밸브, 환수헤더의 경로를 거치도록 하여 분배기에서의 유효특성으로 측정하였다.

온수분배기의 분배특성 실험을 위하여 각 존별로 길이가 다르게 입구에서부터 50m, 80m, 130m, 100m, 80m의 직경16 mm인 X-L관을 연결하였으며, 코일에 흐르는 유량을 확인하기 위하여 유량조절밸브 출구쪽에 압력손실이 아주 작은 후로우 셀형 유량계를 보정한 후 설치하였다.

2.2 실험 방법

순환펌프를 이용하여 물을 분배기로 공급하여 순환시킨다. 이때 물의 온도에 따라 순환상태에

미치는 영향은 그다지 크지 않을 것으로 예상되어 상온의 물을 이용하였다. 그리고 온수분배기의 각 존별로 설치한 후로우셀 형 유량계는 설치 전에 분배기와는 별도의 순환회로를 구성하여 통과한 물의 양을 측정하고, 유량계의 지시값과 실제값을 확인하였으며, 입구와 출구의 압력차를 측정하여 유량계로 인한 손실수두를 측정하였다.

분배기에 부착된 유량조절밸브의 특성을 파악하기 위하여 온수분배기의 2번째와 3번째에 부착되어 있는 것을 대상으로 실험하였다. 이는 온수분배기에 부착된 위치에 따라 조절밸브 자체의 특성이 아닌 분배기의 분배 특성에 영향을 받을 수 있으므로 비교실험을 위하여 2개소의 밸브를 선택하였다. 실험을 위하여 유량조절밸브의 출구를 환수해더의 자동개폐밸브와 가능한 짧게 연결하여 배관 저항으로 인한 영향을 최소화 하였다. 유량조절밸브의 열림 정도와 차압 변화에 따라 밸브를 통과하는 유량은 변화하므로 밸브의 개도를 핸들의 번호별로 설정한 후 차압을 변화시키고 통과유량을 측정하였다. 이때 유량의 측정은 유량측정조에서 나온 물을 용기로 받은 후 메스실린더를 이용하여 체적유량으로 구하였다. 온수분배기의 입구압력과 출구압력은 입출구 배관에 설치된 압력 측정 구멍을 이용하여 U자형 수은 액주제의 높이 변화로 측정하였다. 이때 온수분배기의 입출구 높이가 다르지만 유량조절밸브가 달려있는 분배기의 입구 높이를 기준으로 보정하여 차압을 계산하였다.

온수분배기의 분배특성을 파악하기 위하여 존별로 길이가 다른 경우와 길이가 같은 두 가지 경우에 대하여 수행하였다. 코일을 흐르는 설계유량은 코일 길이에 관계되므로 50m일 때 1.4 l/min를 기준으로 하여 선정하였다. 실험은 온수분배기에서 필요한 설계 총 유량을 공급할 수 있는 최소 차압조건을 선정하여 전개한 상태에서 유량의 분배상태를 측정하고, 각 존별로 설계 유량이 흐르도록 유량조절밸브를 조정한 후 분배기 입출구의 압력상태를 측정한다. 분배기의 입출구 차압 조건에 따라 유량은 변화하므로 차압조건은 유량조절밸브 전개 시를 기준으로 하여 변화시키며 분배기의 분배특성이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 이때 온수분배기를 거치는 총 유량은 유량측정조를 이용하여 측정하였다. 그 다음 존별로 길이가 같은 조건에서의 분배특성을 위와 동일한 방법으로 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조절밸브의 유량특성

온수분배기에 설치하는 유량조절밸브의 주된 목적은 분배기에 연결된 각 존에서 필요한 설계유량을 가시적으로 조절할 수 있어야 하며 조절 후에는 선정된 유량이 흐르는 거의 신뢰성을 갖는 것이다. 이를 위하여 밸브 손잡이에 표시된 눈금을 기준으로 개도 상태에 따른 유량조절밸브의 유량특성을 파악하였다.

유량조절밸브의 유량특성은 밸브 자체만의 특성인 고유특성보다는 온수분배기에 설치하여 사용하는 조건이 실제 적용 시 더 적합하므로 이에 대한 유효특성을 기준으로 하였다. 실험 결과 차압상태에 따른 밸브개도와 유량과의 관계를 Fig. 2와 같이 로그선도로 나타내었다. 이 선도에 따르면 밸브의 개도 눈금이 0에서 1.5사이에서는 유량의 변화가 급격히 커지므로 급속개방의 특성을 나타내고 있다. 눈금 1.5이후에서는 비교적 균등한 간격의 선형적인 유량변화를 보이고 있다. 온수분배기에서 각 존의 유량조절밸브를 흐르는 유량은 3.5 l/min를 넘는 경우는 많지 않으므로 이 때 유량조절밸브에서의 전개시 압력손실은 16 kPa정도임을 알 수 있다.

3.2 분배기의 유량분배 특성

온수분배기는 설계상의 유량이 흐르도록 유량조절밸브를 이용하여 조절하며 이때 조절된 유량이 설계유량과 일치하는지 확인하는 것도 중요하

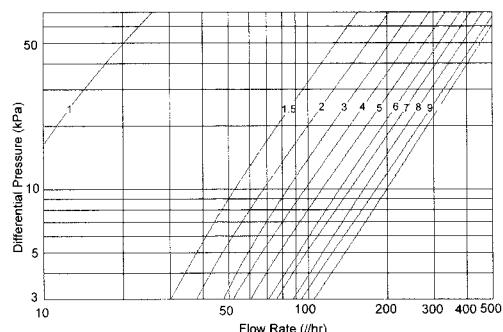


Fig. 2 Flow Rate Diagram of the Flow Control Valve.

다. 또한 실내온도 조절을 위하여 온수분배기에 설치된 자동개폐밸브가 동작하는 경우 온수분배기에서는 각 존별의 개폐상태가 수시로 변화한다. 이때 존별로 어떠한 분배특성으로 변화하는지 살펴보았다. 각 존에서 순환온수는 유량조절밸브, 코일배관, 유량계, 자동개폐밸브를 통과하며 마찰저항이 발생한다.⁽⁵⁾ 이때 유량계에서 발생하는 마찰저항은 배관에서 발생하는 마찰저항보다 아주 작으므로 분배상태에 미치는 영향은 적다.

온수분배기에 연결된 코일의 길이가 다른 경우인 케이스 1에서 각 존에 설치된 유량조절밸브를 전개하고 분배기에 작용하는 차압을 변화시켰을 때 각 존에 흐르는 유량 변화는 Fig. 3과 같고, 코일의 길이가 같은 케이스 2는 Fig. 4와 같다.

Fig. 3에서와 같이 유량조절밸브가 전개된 상태에서 코일에 흐르는 유량은 코일 길이에 직접적인 영향을 받으므로 코일 길이가 가장 짧은 1

번 존으로 가장 많이 흐르고 코일길이가 가장 긴 3번 존으로 가장 적게 흐르는 것을 알 수 있다. 이때 차압이 큰 50 kPa인 경우에는 각 존에 흐르는 유량 차이의 비가 18 kPa인 경우보다 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 즉 작용하는 차압이 작을수록 유량차이는 줄어들고 차압이 크면 유량차이가 크게 되는 것을 알 수 있다.

각 존의 코일 길이가 같은 경우인 케이스 2에서는 코일의 길이가 같음에도 Fig. 4와 같이 분배기 내의 특성으로 입구에서 두 번째 존과 말단의 존이 다른 존에 비하여 약간 적은 유량이 흐름을 알 수 있다. 이 경우에도 차압이 크면 케이스 1과 같이 유량 분배의 차이가 커짐을 알 수 있다.

Fig. 5는 전개 시의 차압이 40 kPa일 때 유량조절밸브로 설계유량을 맞춘 후 각 존에 흐르는 유량의 변화를 나타내고, Fig. 6은 전개 시의 차

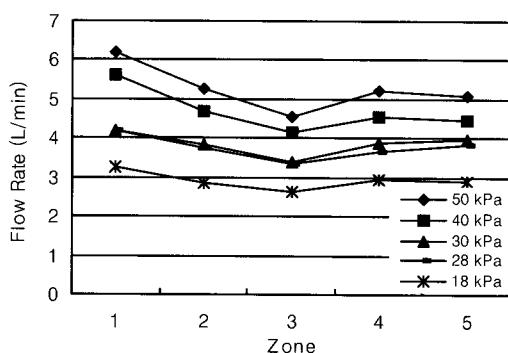


Fig. 3 Flow rate at the zones for different differential Pressures (Case 1).

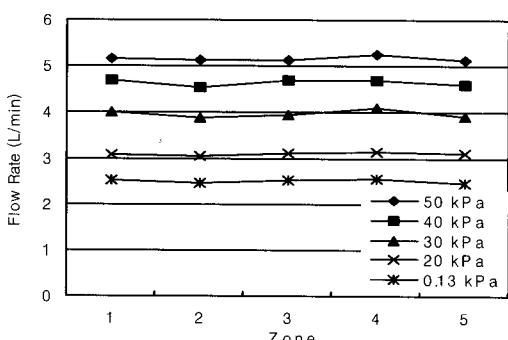


Fig. 4 Flow rate at the zones for different differential pressures (Case 2).

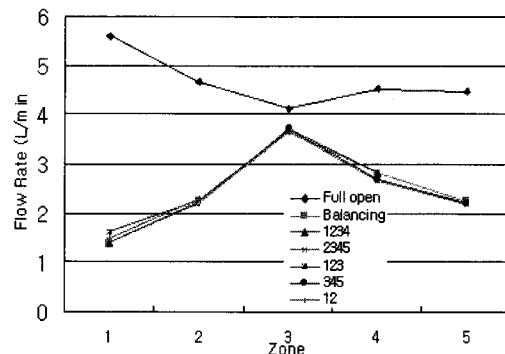


Fig. 5 Flow rate at the zones after balancing (40 kPa, Case 1).

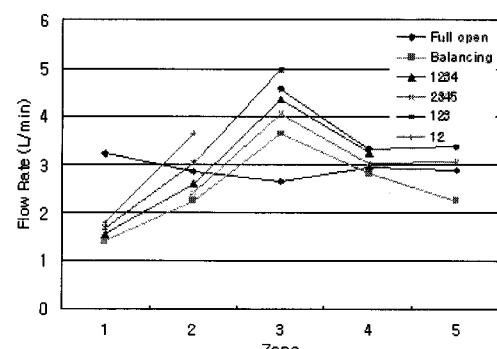


Fig. 6 Flow rate at the zones after balancing (18 kPa, Case 1).

압이 18 kPa일 때를 나타낸다. 존 3에서 설계유량을 맞추기 위하여 Fig. 5의 경우는 유량조절밸브의 눈금을 3.7까지 조정하였으나 Fig. 6의 경우는 전개인 상태이다.

자동개폐밸브의 영향을 살펴보면 40 kPa일 때 어떤 존의 밸브가 닫히더라도 다른 존으로 흐르는 유량이 크게 증가하지 않으나, 18 kPa일 때는 어떤 존의 밸브가 닫히면 다른 존으로 흐르는 유량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 초기의 차압 조건에 따라 유량조절밸브를 조절함으로 개도 상태의 차이로 인한 영향으로 보인다.

3.3 분배기의 압력손실

Fig. 7은 유량조절밸브 전개 시 차압이 18 kPa 일 때 유량조절밸브로 벨런싱을 한 이후 각 부분에 작용하는 압력손실을 나타낸 것으로 총 손실

은 3220 mmAq이고 존에 따라 각 부분에서 발생하는 손실은 크게 다름을 볼 수 있다. 존 3의 경우 코일의 길이가 가장 길고 흐르는 유량이 가장 많으므로 코일에서의 압력손실이 가장 크게 나타나고, 헤더와 밸브에서 발생하는 압력손실은 많은 유량이 흐르지만 조절밸브가 다 열려 있는 상태이므로 가장 작게 나타났다. Fig. 8은 전개 시 차압이 40 kPa인 경우로 벨런싱 후 총 압력손실은 7480 mmAq로서 앞의 경우보다 4260 mmAq의 압력손실이 더 발생함을 알 수 있다. Fig. 9는 코일의 길이가 같은 케이스 2인 경우로 전개 시 차압이 13 kPa일 때 각 부분에서 발생하는 마찰손실을 나타내며, 이 경우도 역시 헤더와 유량조절밸브에서 가장 큰 마찰손실이 발생하였다. 이 경우에는 유량조절밸브의 조절이 거의 필요하지 않게 된다.

Fig. 10과 Fig. 11은 유량조절밸브 전개 시의 차압조건에 따라 유량조절밸브 조절시 발생하는

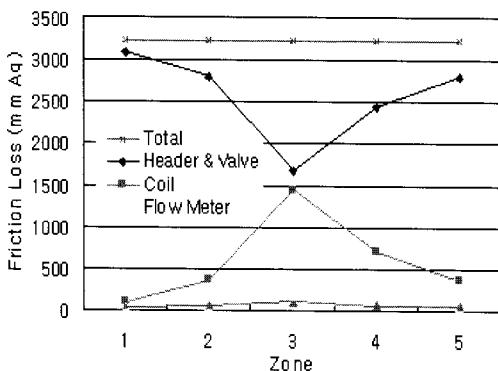


Fig. 7 Friction losses for each parts at 18 kPa (Case 1).

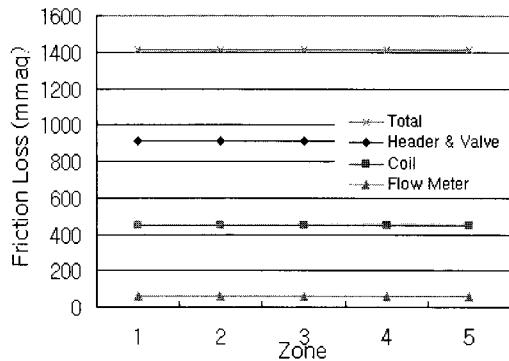


Fig. 9 Friction losses for each parts at 13 kPa (Case 2).

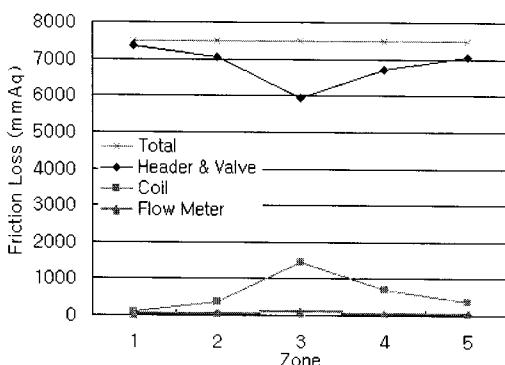


Fig. 8 Friction losses for each parts at 40 kPa (Case 1).

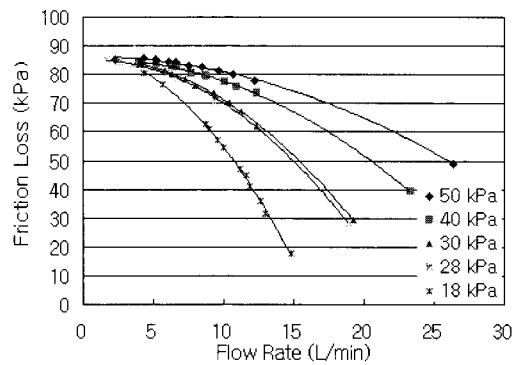


Fig. 10 Friction loss vs flow rate for different differential pressures (Case 1).

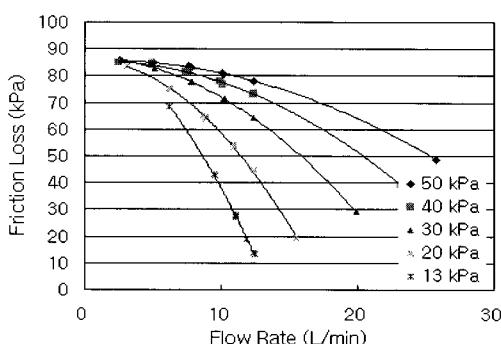


Fig. 11 Friction loss vs flow rate for different differential pressures (Case 2).

압력손실과 유량과의 관계를 나타낸 것으로, 케이스 1의 경우 전개 시 차압이 40 kPa일 때 설계유량을 맞추기 위하여 유량조절밸브를 조절한 후에는 73.4 kPa로 33.4 kPa이 높아짐을 알 수 있고, 초기차압이 18 kPa일 때에는 조절 후에 31.6 kPa로 13.6 kPa이 높아짐을 알 수 있다. 이와 같이 초기의 차압이 높은 경우에는 설계유량으로 조절하기 위하여 더 큰 압력손실이 발생함을 볼 수 있다. 케이스 2의 경우도 차압이 높은 경우에는 케이스 1과 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 그러므로 설계유량을 만족시키기 위하여 코일의 길이가 다른 경우에는 초기 차압 조건이 높아야 할 뿐 아니라 압력손실이 커 가장 낮은 경우에도 31.6 kPa의 압력손실이 발생하지만 코일의 길이가 같은 케이스 2의 경우에는 순환에 필요한 차압이 13.6 kPa이므로 낮은 펌프동력으로 순환이 가능하여 순환에너지 절약이 가능하다.

4. 결 론

실별 제어 온수분배기의 유량분배 특성 실험을 통하여 얻은 결과는 아래와 같다.

(1) 온수분배기에서 필요로 하는 적정 차압 조건보다 필요 이상의 차압이 작용하는 경우 설계유량을 맞추기 위하여 큰 압력손실이 발생한다.

(2) 코일길이가 가장 긴 존(130m)의 경우에도 코일에서 발생하는 압력손실보다 분배기와 조절밸브에서 발생하는 압력 손실이 상대적으로 더 크다.

(3) 존별 코일 길이의 차가 클 경우에는 유량조절밸브에서 조절에 따른 손실저항이 커지므로 가능한 균등하게 코일길이를 선정하는 것이 순환에

너지 절약 측면에서 유리하다.

(4) 순환펌프의 에너지 절약을 위하여 코일길이의 조정도 중요하지만 필요 이상의 과대한 펌프 양정을 선정하지 않는 것이 중요하다.

(5) 온수분배기의 과도한 압력 상승을 방지하기 위하여 분배기 입구와 출구 사이에 차압밸브를 부착시킬 때 바이패스 설정압력은 분배기 필요유량을 만족시킬 수 있는 최저압력을 고려하여 선정한다.

(6) 유량조절밸브의 밸런싱 후 밸브개도가 큰 경우에는 어떤 존의 자동개폐밸브의 밸브가 닫히면 열려있는 존으로 통과하는 유량의 변화는 크게 일어나지만, 개도가 작은 경우에는 어떤 존의 밸브가 닫히더라도 열려있는 존으로 통과하는 유량의 변화는 그다지 크지 않다.

참고문헌

- Hoon-Chul Yang, Choon-seob Tae, Seong-Hee Hong, Sung-Hwan Cho, Hyung-Ho Jung, 2005, An Experimental Study of One Header Heating System, Proceeding of the SAREK, pp. 20-25,
- Oh-Bong Kim, Joo-Hwan Oh, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim., 2004, Heating Performance of Individual Room Control System by Balancing Flow ratio in Radiant Floor Heating, Proceeding of the SAREK, pp. 1127-1131.
- Jurn Hur Suk-Jong Lee, Jae-Yong Sung, Myeong-Ho Lee, Jai-Dong Yoon, 2007, Performance Test of Pressure and Flow Rate in a Hot-Water Heating System with 3-Way Valves for Flow Bypass, Journal of SAREK, Vol. 19, No. 3, pp. 269-274.
- Wu-Feng Jin, Mi-Kyeong Rhie, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim 2004, A Study on the Individual Room Control of Radiant Floor Heating in Apartment Buildings, Journal of SAREK, Vol. 16, No. 5, pp. 421-429.
- Seok-Jin Hong, Seong-Ryong Ryu, Ho-Tae Seok, Myoung-Souk Yeo, Kwang-Woo Kim, 2005, A Study on the Approach for the Optimal Flow-rate and Pressure maintaining inside Pipe in Individual Heating System, Proceeding of the SAREK, pp. 9-13.