

# 복사난방용 유량조절 밸브의 작동특성 연구

표진수\*, 장춘수, 최광석, 김윤제†

\*성균관대학교 대학원, †성균관대학교 기계공학부, (주)연우GST

## Operating Characteristics of the Flow Control Valve for the Radiant Heating System

Jin-Soo Pyo\*, Choon-Soo Jang, Kwang-Suk Choi, Youn-Jea Kim†

† School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

\* Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

Younwoo GST Company, Seoul 136-052, Korea

ABSTRACT: Due to the recent improvement of living standard of residential buildings, the requirements of the thermal comfort and energy saving in heating system have been raised. The radiant floor heating system has been widely used as a residential heating method, which has been modernized to use hot water running into the tubes embedded in the floor structure. The uniform flow distribution is very important factor for a radiant floor heating system such as a blood vessel system in human body. Therefore, it is necessary to investigate the operating characteristics to develop an optimal radiant floor heating system. In this study, numerical analyses were carried out, using a commercial CFD code, FLUENT, to obtain the velocity distribution under steady, three-dimensional, standard k-ε model and no-slip condition. Results are graphically depicted with various parameters.

**Key Words:** Flow control valve (유량조절밸브), Radiant floor heating system (바닥복사 난방시스템), Flow distribution system (유량분배 시스템)

### 1. 서론

유량분배 시스템은 인체의 혈관기능과 같이 패널 가열 및 냉각(panel heating and cooling)에 있어 가장 중요한 역할을 담당하는 부분으로서 주거용 건축물, 대공간 구조물, 그리고 사무실 등의 업무공간에서 생활하는 거주자의 욕구 및 쾌적한 난방환경을 구현하는 시스템이다.

Fig. 1에 도시한바와 같이 온수공급측에서 유입된 온수는 유량분배 시스템에 설치되어 있는

여러 개의 가지관(manifold)을 통하여 난방이 필요한 지역(zone)의 온돌층 내에 매설된 금속관이 나 합성수지관과 같은 코일 배관을 흐르게 되며, 온돌층의 온도를 상승시킨다. 이러한 온돌층으로부터 복사와 대류에 의해 실내로 열공급이 이루어진다. 이 때 공급되는 온수는 유량분배기를 통하여 방이나 거실 바닥면 내의 배관으로 분배된다.

유량분배기는 Fig. 2에서와 같이 공급측 가지관과 환수측 가지관을 한조로 구성하게 되는데, 배관에 T-이음 방식의 형태를 갖고 있는 여러 개의 가지관을 부착하여 제작하거나 청동이나 황동주물로 제작한다. 공급측과 환수측은 바닥에

† Corresponding author

Tel: +82-32-290-7448; Fax: +82-31-290-5889

E-mail address: yjkim@skku.edu

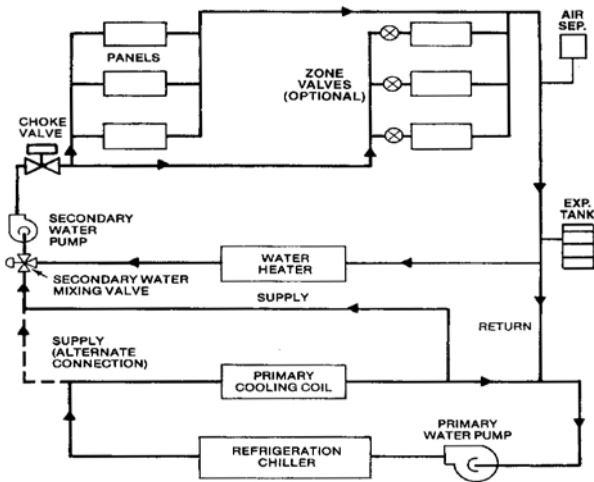


Fig. 1 Schematic diagram of the radiant floor heating system(ASHRAE Handbook, 2000)

매립되어있는 코일형 배관재에 의해 연결된다. 유량분배기가 사용되는 복사 패널시스템은 복사부하와 이에 의한 공기흐름이 적당하여 쾌적수준 (comfort level)이 다른 공조시스템보다 좋고, 대부분의 기계구조물이 중앙에 위치하므로 유지보수와 작동이 간단하다. 또한 실내에 기계구조물을 설치할 필요가 없고 병원이나 높은 청정도가 요구되는 공간에 적합하며, 각 방마다 온도를 자동 조절할 수 있는 등 여러 가지 장점들이 많기 때문에 우리나라뿐만 아니라 세계적으로 고효율화 및 다양한 응용분야 창출 등에 활발한 연구개발이 진행되고 있다. 또한 중국에서는 기존의 실내 상층부 온도가 더 높던 것을 마루바닥 복사난방 방식을 채택함으로써 인체 생리학의 조절요구에 부합됨을 인식하고 신축 아파트 건설에 채택하고 있다.

하지만 복사패널 시스템은 배관의 매설, 크기 및 배열이 최적화되지 못하면 가열면의 온도가 불균일 할 수 있다. 또한 유량분배기는 다수의 가지관을 가지고 있으므로 각 가지관의 연결 길이 나 연결 위치가 다르므로 온수분배상태가 균일하지 못하게 된다. 따라서 배관 길이가 유사하더라도 각 구역으로 공급되는 온수유량이 다르기 때문에 각 난방공간의 난방상태가 불균일하게 되어 요구되는 실내온도 조건을 만족시키지 못하는 경우가 나타나게 된다.

온수분배 시스템이 설치되어 있는 공간의 거주자가 느끼는 쾌적함을 향상시키고 동시에 효율적

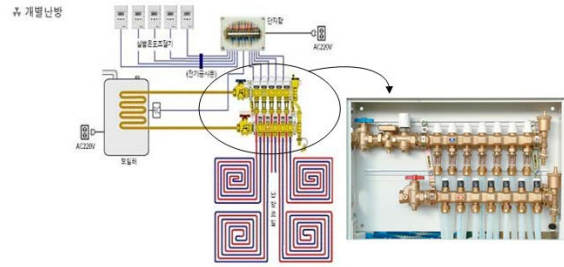


Fig. 2 Diagram of individual heating system.

인 온수분배를 통한 에너지 절감으로 난방비 절감을 실현할 수 있도록 유량분배 시스템의 성능 향상을 위해서는 우선적으로 유량조절밸브의 작동특성 분석이 필요하다.

본 연구에서는 상용코드인 FLUENT를 이용하여 3차원 유동해석을 수행하였으며, 국내 A사의 유량제어 밸브의 시트(seat) 길이 및 내경을 변화시키며 유동특성을 분석하여, 고효율의 유량분배 시스템 설계시 고려하여야 할 사항을 제시하고자 한다.

## 2. 수치적 연구

### 2.1 지배 방정식

유량분배 시스템의 밸브시트 길이 및 직경변화에 따른 유동특성을 고찰하기 위하여 수치해석에 사용된 지배 방정식은 3차원 정상상태 Navier-Stokes 방정식으로 다음과 같다.

연속방정식:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i) = 0 \quad (1)$$

운동량방정식:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \tilde{u}_j \tilde{u}_i - \tau_{ij}) = -\frac{dp}{dx_i} \quad (2)$$

여기서,  $x_i$ 는 직교 좌표계( $i=1,2,3$ ) 성분이고,  $u_i$ 는

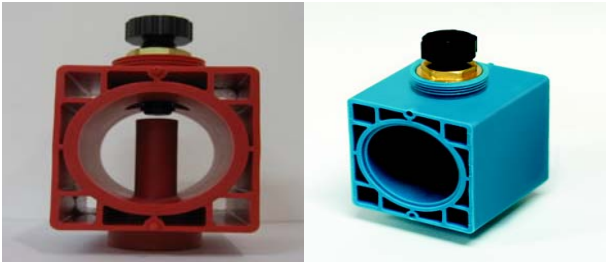


Fig. 3 Flow control valve module.

$x_i$  방향 속도이며,  $p$  는 압력,  $\rho$  는 밀도이다.  $\tau_{ij}$  는 점성항으로, 다음과 같이 표현된다.

$$\tau_{ij} = \mu_i \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \rho \tilde{u}_i \tilde{u}_j \quad (3)$$

위 식에서,  $\mu_{ij}$  는  $x_j$  방향 속도의 섭동(perturbation) 성분이고,  $\mu$  는 점성계수,  $\delta_{ij}$  는(Kronecker delta) 함수이며,  $\mu_i$  는 난류 점성 계수이다.

## 2.2 해석모델 및 해석방법

Fig. 3은 국내 A사의 유량분배시스템 모듈이다. 관 안쪽의 긴 막대 모양이 주관에서 각 난방코일로 난방수가 공급되는 밸브시트이고 한 변의 길이가 60mm의 정육면체 모양이며, 밸브시트의 길이는 밑면으로부터 43mm, 내경은 9mm이다. 이러한 각각의 모듈을 연결하여 여러 가지관을 갖는 유량분배 시스템을 구성하는 방식이다.

Table 1 Dimensions of the modeled valve module.

Type No.	Length of valve seat(mm)	Diameter of valve seat(mm)
1	43	6
2	30	6
3	17	6
4	43	9
5	30	9
6	17	9
7	43	12
8	30	12
9	17	12

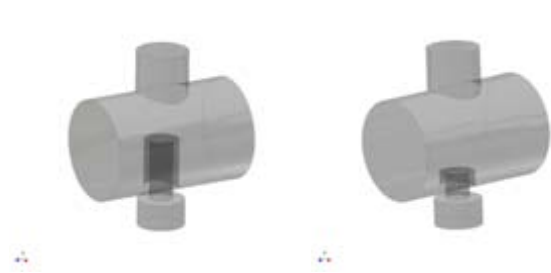


Fig. 4 Numerical models with different valve seat lengths.

본 연구에서는 밸브시트 길이와 직경을 변수로 두어 유동특성을 분석하였다. 밸브시트 길이는 기존의 43mm 외에 Fig. 4에 나타난 것과 같이 30mm, 17mm로 변화시키고, 직경을 12mm, 9mm, 6mm로 변화시킨 총 9가지 경우로 수치해석을 진행하였으며, 각각의 경우에 대해 Table 1에 나타내었다. 각각의 모듈을 5개로 이어서 1개의 주관과 5개의 가지관을 가지는 형태의 유량분배 시스템을 구성하였고, 100mm의 길이차를 두어 가지관을 연결하여 Fig. 5와 같은 한 세트의 수치해석 모델을 설정하였다.

해석에 사용된 3차원 격자계는 상용코드인 FLUENT의 전처리 프로그램인 Gambit을 이용하여 구성하였으며, 유체부분은 비정렬 격자 생성 기법 및 조밀 격자계를 적용하였다. 입구부와 출구부의 치수는 수력지름(hydraulic diameter)으로 표현하였고 각각 5 bar, 0 bar의 압력조건을 주었다. 유체 유동은 정상상태, 난류유동으로 가정하였고, standard k- $\epsilon$  모델을 사용하였다.

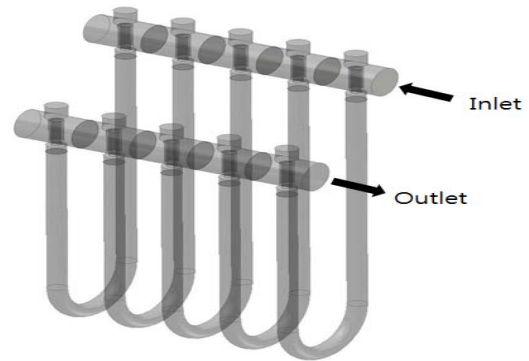


Fig. 5 Numerical model of the flow distribution system.

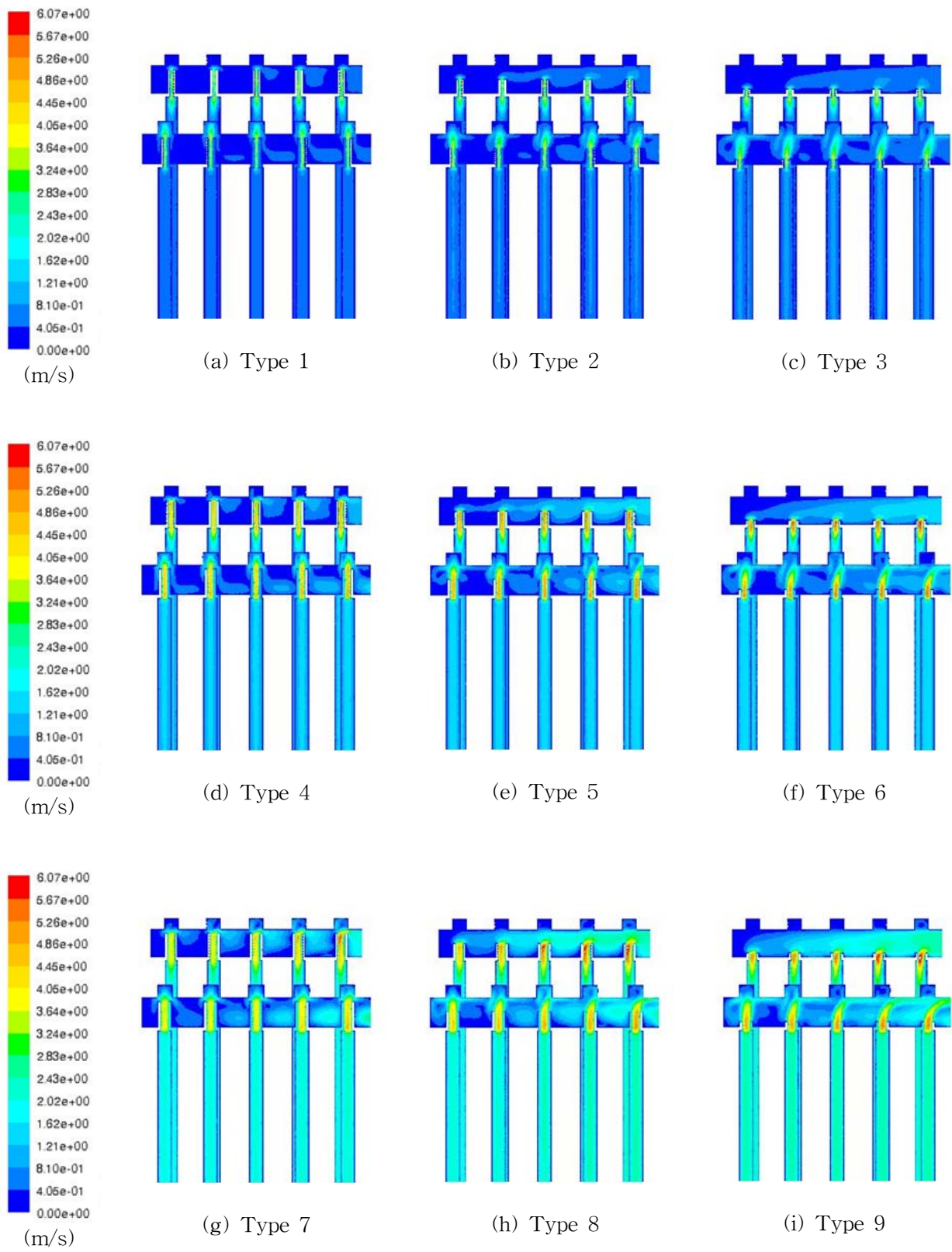


Fig. 6 Velocity distributions with various values of the valve seat length and diameter.



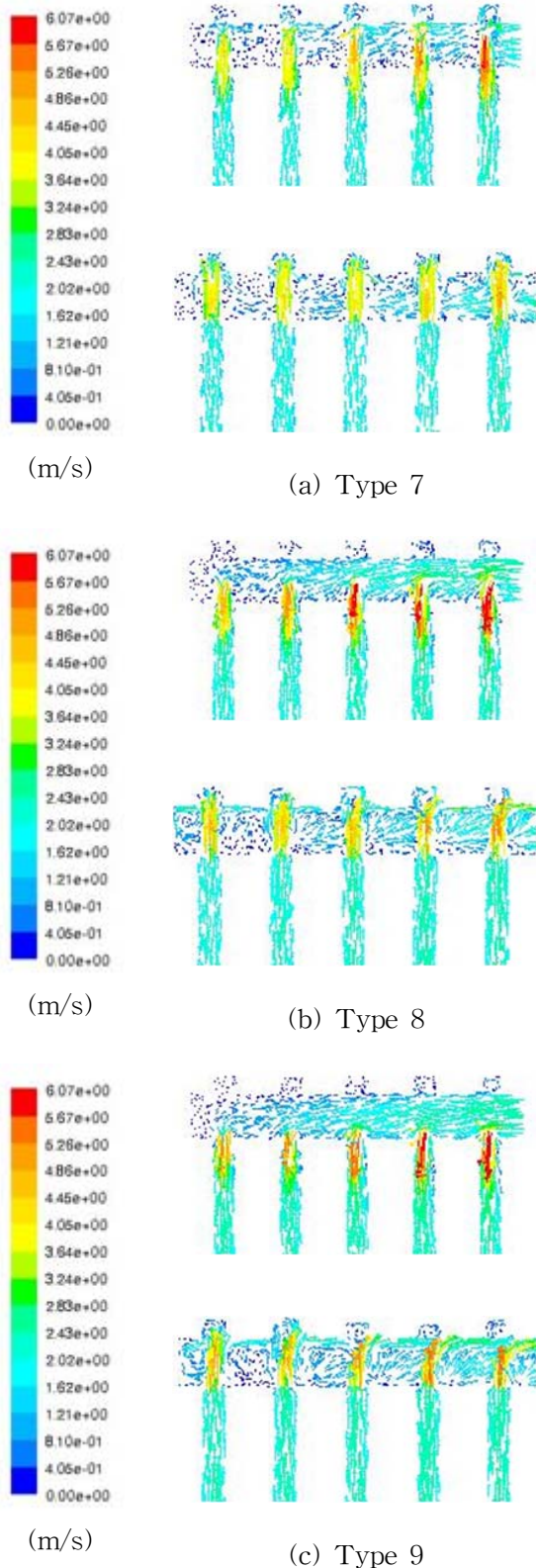


Fig. 7 Velocity vector distributions with three different valve seat lengths.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 6은 Table 1에 표시한 밸브시트 길이 및 직경 변화에 따른 수직단면에서의 내부유동 속도 분포를 나타낸 것이다. 밸브시트 직경 및 길이에 상관없이 모든 형태에서 입구부에 가까운 가지관 근처의 속도가 크고, 멀수록 속도가 작게 나타났다.

밸브시트 직경은 9mm로 같고 길이가 다른 Type 1, 2, 3의 경우를 비교해보면, 밸브시트 길이가 길어질수록 유량흐름에 저항을 받아 각 가지관 입구근처에서의 속도차이가 상대적으로 크게 나타났다. Type 4, 5, 6의 경우와 Type 7, 8, 9의 경우 또한 밸브시트 직경 차이에 의한 속도 및 유량차이는 존재하였으나, 속도분포 패턴은 유사하게 나타났다. 밸브시트 길이는 17mm로 같고 직경이 다른 Type 3, 6, 9의 경우를 보면 밸브시트 직경이 클수록 각 가지관 입구근처의 속도분포가 균일하게 나타났다. Type 1, 4, 7의 경우와 Type 2, 5, 8의 경우도 비슷한 패턴을 나타냈다. 따라서 밸브시트 직경이 커짐에 따라 유량이 증가하여 상대적으로 적은 유량에 비해 각 가지관에 유량이 균일하게 유입됨을 알 수 있다.

각 가지관의 유량을 직접 알 수 있도록 가지관 수평단면에 격자를 생성하여 유량을 계산하였다. 입구부에 가까운 가지관일수록 더 많은 유량이 유입되는 것을 확인할 수 있었으나, 그 양이 매우 적어서 밸브시트 길이나 직경에 따른 각 가지관에 흐르는 유량의 균일함을 설명하기에는 부족하였다.

Fig. 7은 상대적으로 밸브시트 직경이 큰 경우인 Type 7, 8, 9의 내부 유동을 속도 벡터로 나타낸 것이다. 입구부에서 가지관으로 유입되는 부분의 속도벡터를 살펴보면 각 가지관에서 입구부로부터 먼 쪽으로 편중됨을 알 수 있다. 또한 밸브시트 직경은 크고 길이가 상대적으로 짧은 Type 9의 경우를 살펴보면, 출구부에 가까운 가지관 근처에서 출구부쪽으로 유동이 편중되었고, 먼 쪽의 가지관 출구 근처에서 와류가 발생하여 유동을 방해하고, 사공간이 발생됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 유량분배 시스템의 밸브시트 직경 및 길이 변화에 따른 내부 유동 특성에 대하여 수치적으로 모사하였으며 얻어진 결과들을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 모든 형태의 경우 입구부에서 가까운 가지관일수록 가지관 입구주위의 속도가 증가하여 많은 유량이 유입된다는 것을 알 수 있다.

(2) 밸브시트 직경이 같은 경우, 밸브시트 길이가 짧을수록 유량흐름에 저항을 덜받아 상대적으로 각 가지관의 유량분포가 일정함을 알 수 있다. 즉, 밸브시트 길이가 같은 경우, 밸브시트 직경이 커짐에 따라 유량이 증가하여 각 가지관에 유량이 균일하게 유입됨을 뜻한다.

(3) 각 가지관의 수평단면에 격자를 생성하여 유량을 측정하였으나, 그 양이 매우 적어서 밸브시트 길이나 직경에 따른 각 가지관에 흐르는 유량의 균일함을 설명하기에는 부족하였다. 따라서 해석모델의 변수 및 경계조건에 변화를 준 추가적인 연구가 필요하다.

(4) 밸브시트 직경이 큰 경우의 속도분포를 벡터로 나타내면, 각 가지관 입구에서 먼쪽부분에 편중됨을 알 수 있다. 따라서 각 가지관의 밸브시트마다 입구부에서 먼 쪽으로 경사를 주어, 유로의 갑작스런 수직변화에 따른 유동편중을 해소하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

(5) 밸브시트 직경이 커짐에 따라 입구부가 있는 주관에서 각 가지관으로의 균일한 유량분배에는 유리하나, 출구부가 있는 주관에서 와류를 발생시켜 유동을 방해하고 사공간을 발생시킨다. 따라서 최적화된 밸브시트의 직경을 얻기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

1. Robert A. Parsons, 1989, "1989 ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineering, Inc.
2. Won-Ho Jung and In-Young Cho, 2007, "A Study of Differential Pressure Valve in Individual Heating System(*in Korean*)", Proceeding of the SAREK, pp. 1108-1112.
3. Sun-Kyung Sung and Hee-Dong Suh, 2007, "A Flow Quantity Distribution Characteristics of the Hot Water Header for Individual Room Control System(*in Korean*)", Proceeding of the SAREK, pp. 1025-1030.
4. 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(*in Korean*)", Proceeding of the SAREK, pp. 9-13.