

아파트의 온수공급배관망해석

Analysis on Heat Supply Piping Network for Apartment House

박윤철*
Park, Youn-Cheol

황광일**
Hwang, Kwang-il

Abstract

The purpose of this research is to analyze the characteristics of flow rate distribution in hot-water piping networks in the apartment building. A 14-story apartment house was selected as a sample building and analyzed numerically by Hardy-Cross method. Two different piping networks, one has three vertical zones and the other of a single zone with automatic balancing valves, were compared. Some of research results are as follows; As the temperature of supply hot-water increases, the flow rate of it does by buoyancy effect, but this effect is not found in the piping network with automatic balancing valves. Non-uniformity in hot-water flow distributions to all stories in the piping system of single vertical zone can be completely reformed by the installation of either manually operated or automatic balancing valves in every story.

Keywords : Automatic Balancing Valve, Pipe Network, Single Zone, Multi Zone, Direct Return, Reverse Return

기호 설명

- A : 단면적 [m^2]
- C : 비열 [kJ/kgK]
- D : 관경 [m]
- f : 마찰계수
- h_a : 공기의 대류열전달계수 [W/m^2K]
- h_w : 물의 대류열전달계수 [W/m^2K]
- h_f : 압력손실수두 [m]
- i : 루프번호
- j : i 번째 루프의 파이프번호
- \bar{l}_i : 관중심과 상패널표면까지의 평균거리 [m]
- K_1 : 관의 열전도계수 [W/mK]
- K_2 : 단열재의 열전도계수 [W/mK]
- β : 체적팽창계수 [$1/K$]
- ϵ : 절대조도 [0.00015]
- ν : 동점성계수 [m^2/s]
- τ : 시간 [sec]

I. 서 론

우리나라에서는 주택 보급률을 높이고 국토의 효율적인 이용을 위하여 대단위 공동주택 단지가 계속적으로 늘어나게 되었다. 그러나 공동주택의 고층화에 따른 각 층별 열공급의 편중문제가 발생하게 되어 정부에서는 이 열공급 편중을 막는 방법으로써 난방용 온수공급 주배관을 3개로 구분하는 수직구역화를 주택건설촉진법에 명시하여 이를 의무화하도록 하였다. 이 범규로 인하여 층별에 따른 열공급 편중의 문제는 어느 정도 해결되었으나 이러한 수직구역화는 건축비의 증가와 수직배관이 차지하는 건축면적의 증가를 야기하였다. 따라서 배관시공비 및 배관샤프트 단면적의 감축을 위하여 현재는 주택건설업계에서 단일구역방식으로서의 복귀를 희망하고 있으며, 이에 따라 건설업계와 유량밸브 공급 및 생산업계는 새로운 단일구역 배관방식과 자동유량조절밸브(Automatic Balancing Valve, ABV)에 의한 온수공급량의 균등화를 위해 각기 노력하고 있다.

본 연구에서는 단일구역방식의 온수배관망과 공사비가 큰 다구역 방식의 온수배관망의 층별 열유동특성

* 정희원, 제주대 기계에너지생산공학부, 공학박사
** 정희원, 삼성전자(주) 시스템가전사업부, 공학박사

과 수동 혹은 자동유량조절밸브로 유량을 제어할 때의 층별 열유동특성을 해석하고 현장실험과 비교하여 밸브의 유용성을 검토하고자 한다.

II. 이론 해석

1. 유량관계식

본 연구에서 14층 공동주택의 각 층에서의 유량분포는 직렬 및 평행류 배관망에서의 유동에서 유량분포 및 압력분포 등에 대한 정상상태의 해를 구하여 주는 반복계산법인 하디크로스법을 사용하였다. 이 반복계산법은 어떠한 유체 유동배관망에도 적용할 수 있고 초기에 가정하는 유량치가 해답에 가까울수록 빨리 수렴한다.

온수배관망 성능예측에 필요한 식을 유도하기 위해 임의의 배관망 중 일부분을 Fig. 1과 같이 가정한다. 여기서 a, b 및 c점들과 같이 관들이 만나는 점은 접점(node)이라 하고 임의의 한 접점에서 출발하여 여러 관들을 거쳐 다시 처음의 접점으로 돌아올 때 이 경로를 루프(loop)라 한다. 여기서는 1-3-2로 이루어지는 i번째 루프를 가정하며 반시계 방향으로의 경로를 양(+)으로 한다.

각 접점에서의 질량보존법칙과 한 접점을 기준으로 했을 때 그 점을 포함하는 루프의 전체압력손실이 0이라는 것을 이용해서 해답을 구하는 것으로 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sum Q_{ij} = 0 \tag{1}$$

$$\sum h_{f_{ij}} = 0 \tag{2}$$

초기에 가정하는 유량은 식 (1)의 질량보존의 법칙에 맞도록 결정되지만, 압력관계식은 식 (3)과 같이 전 루프에 걸쳐 0이 아닌 값을 가진다.

$$\sum h_{ij} \neq 0 \tag{3}$$

이 때 압력손실, h_f 는 유량에 대해서 다음의 관계를 가진다고 가정한다.

$$h_f = \begin{cases} KQ^n, & Q \geq 0 \\ -K(-Q)^n, & Q < 0 \end{cases}, K = f \frac{L}{D} \frac{1}{2gA^2} \tag{4}$$

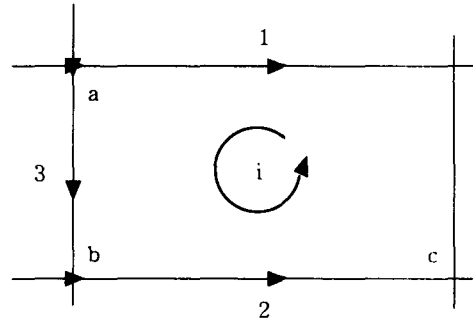


Fig. 1. Notation of model pipe network

식 (4)에서 양의 유량은 루프의 방향과 동일하게 유량이 흐를 때이고, 음의 유량은 루프의 방향과 반대 방향의 흐름이 있을 때이다. 식 (4)를 유량(Q)에 대해 미분하면 식 (5)와 같으며, 테일러급수로의 식을 전개하여 2차항 이하를 절사하면 압력손실은 표 1의 식(a)와 같다.

$$\frac{dh}{dQ} = \begin{cases} nKQ^{n-1}, & Q \geq 0 \\ nK(-Q)^{n-1}, & Q < 0 \end{cases} \tag{5}$$

$h_{f,ij}^1 = h_{f,ij}^0(Q + \Delta Q)$ 라하고 표 1의 식(a)로부터 정리한 (6)식을 i'번째 루프의 임의의 파이프 개수 j 까지 확장해서 나타내면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & -K_{i1}(-Q_{i1})^n + nK_{i1}(-Q_{i1})^{n-1} \cdot \Delta Q_i \\ & + K_{i2}Q_{i2}^n + nK_{i2}Q_{i2}^{n-1} \cdot \Delta Q_i \\ & + K_{i3}Q_{i3}^n + nK_{i3}Q_{i3}^{n-1} \cdot \Delta Q_i = 0 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\Delta Q_i = - \frac{\sum_{j=1}^J K_{ij}Q_{ij}|Q_{ij}|^{n-1}}{n \sum_{j=1}^J K_{ij}|Q_{ij}|^{n-1}} \tag{7}$$

2. 펌프에 의한 유량변화

배관망에서 압력손실을 주는 다른 요인은 부차손실을 발생시키는 부차손실요소와 일의 출입이 있는 펌프 등이 있다. 펌프의 경우 유량이 양(+)인 경우 압력손실은 항상 음(-)이며 유량이 음(-)인 경우는 반

Table 1. Equations used in developed program

| No. | Equations |
|-----|--|
| a | $h_f(Q + \Delta Q) = \begin{cases} KQ^n + nKQ^{n-1} \cdot \Delta Q & Q \geq 0 \\ -K(-Q)^n + nK(-Q)^{n-1} \cdot \Delta Q, & Q < 0 \end{cases}$ |
| b | $\Delta Q_i = \frac{\sum_{j=1}^J K_{ij} Q_{ij} Q_{ij} ^{n-1} + SGN(Q_{ij}) A_{ij} + \sum_{m=1}^M B_{ijm} Q_{ij} Q_{ij} ^{m-1}}{n \sum_{j=1}^J K_{ij} Q_{ij} ^{n-1} + \sum_{m=1}^M m B_{ijm} Q_{ij} ^{m-1}}$ |
| c | $\Delta Q_i = \frac{\sum_{j=1}^J K_{ij} Q_{ij} Q_{ij} ^{n-1} + SGN(Q_{ij}) A_{ij} + \sum_{m=1}^M B_{ijm} Q_{ij} Q_{ij} ^{m-1} + C_i}{n \sum_{j=1}^J K_{ij} Q_{ij} ^{n-1} + \sum_{m=1}^M (m \cdot B_{ijm} Q_{ij} ^{m-1})}$ |
| d | $\Delta Q_i = \frac{\sum_{j=1}^J f_{ij} \frac{L_{ij} Q_{ij} Q_{ij} }{D_{ij} 2g A_{ij}^2} + SGN(Q_{ij}) A_{ij} + \sum_{m=1}^M B_{ijm} Q_{ij} Q_{ij} ^{m-1} + C_i}{\sum_{j=1}^J f_{ij} \frac{L_{ij} Q_{ij} }{D_{ij} A_{ij}^2} + \sum_{m=1}^M (m \cdot B_{ijm} Q_{ij} ^{m-1})}$ |
| e | $U_m = \frac{1}{\frac{1}{h_w} + \frac{r_1}{K_1} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{K_2} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{r_1}{r_3 \cdot h_a}}$ |
| f | $U_m = \frac{1}{\frac{1}{h_a} + \frac{r_1}{k_s} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \cosh^{-1}(D_1/r_1) \frac{r_1}{k_b} + \frac{r_1}{h_a \cdot l_t}}$ |

대이다. 부차손실을 다음의 식 (8)과 같이 표시할 수 있으며, (7)식으로부터 표 1의 식(b)을 얻을 수 있다.

$$h_f = SGN(Q_{ij}) A_{ij} + \sum_{m=1}^M B_{ijm} Q_{ij} |Q_{ij}|^{m-1} \quad (8)$$

$$\text{단, } \begin{cases} SGN(Q_{ij}) = 1, & Q_{ij} \geq 0 \\ SGN(Q_{ij}) = -1, & Q_{ij} < 0 \end{cases}$$

3. 부력에 의한 유량변화

온수공급 배관망내에서 유동이 있는 경우 유체의 온도가 루프전체에 걸쳐 일정하지 않고 열출입으로 인하여 온도의 차이가 발생하여 온도차이에 따른 밀

도차이가 부력을 발생시키는 경우 밀도 차에 의한 압력손실은 다음과 같다.

$$\Delta P = -rdz \quad (9)$$

$$\Delta P_i = \sum_{j=1}^J (\gamma_{hj} - \gamma_{cj}) h_j \cdot SGN(Q_{ij}) \quad (10)$$

이 압력손실을 압력수두로 바꾸어 유량변화 ΔQ 를 계산하는 식에 상수항 C_i 로 추가하면 유량을 수정하기 위한 ΔQ 는 표 1의 식(c)와 같다.

4. 배관손실

주압력손실은 식 (11)과 같은 Darcy- Weisbach의

식을 사용한다. 이중 마찰계수는 직경에 따른 레이놀즈수의 크기에 따라 식 (12)와 (13)을 사용하여 계산한다.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (11)$$

$$f = \frac{64}{Re_d} \quad (Re_d \leq 2300) \quad (12)$$

$$f = \frac{1.63617}{\left\{ \ln \left[\frac{6.9}{Re_d} + \left(\frac{\epsilon}{3.7D} \right)^{1.11} \right] \right\}^2} \quad (Re_d > 2300) \quad (13)$$

부차손실 h_f 는 다음의 식을 사용한다. 여기서 k 는 각종 밸브에 따라 결정되어있는 손실계수값이다.

$$h_f = k \frac{1}{2gA^2} \cdot Q^2 \quad (14)$$

위의 주손실과 부차손실을 대입하여 유량의 수정식을 최종적으로 정리하면 표 1의 식(d)와 같다.

5. 열유동 관계식

열전달이 있는 배관의 열출입을 결정하기 위해서는 관의 반경방향(r)으로의 총체열전달계수 U_m 을 구하여 이를 이용해서 반경방향으로의 열출입량을 정하고 이 값을 관의 길이 방향으로 계산하여 한 배관 전체의 출입 열량을 결정한다. 온수공급 배관망의 배관단면을 나타낸 Fig. 2에서 관내부반경을 기준으로 한 총열전달계수 U_m 은 표 1의 식(e)와 같다. 식(e)에서 온수 측의 열전달계수, h_w 는 다음과 같다.

$$\frac{h_w \cdot D_1}{k_w} = 4.364 \quad (Re_d < 2300) \quad (15)$$

$$\frac{h_w \cdot D_1}{k_w} = 0.023 Re_d^{0.8} Pr^{0.3} \quad (Re_d > 2300) \quad (16)$$

여기서 v , k 및 C_p 등은 관내의 체적평균온도에서의 값이다.

관표면에서 공기측의 열전달계수, 는 수직관과 수평관으로 나누어서 자연대류라고 가정하고 구한다. 먼저 수직관의 자연대류에 대해서는 Bayley의 실험

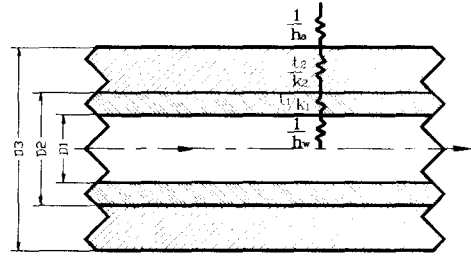


Fig. 2 Schematic of insulated pipe and 4 components of thermal resistances

식인 식 (17)을 사용한다.

$$h_a = \frac{0.1(Gr_L \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} \cdot k_a}{L} \quad (17)$$

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2}$$

여기서, ΔT 는 $\Delta T = T_a - T_{ws}$ 이며 T_{ws} 는 관표면에서의 온도이다. 수평관의 경우, 공기의 대류열전달계수는 식 (18)을 사용하여 구한다.

$$h_a = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad 10^4 < GrPr < 10^9 \quad (18)$$

$$h_a = 1.24 (\Delta T)^{\frac{1}{3}}, \quad 10^9 < GrPr$$

외기와 접하는 관외부 공기 측의 열전달계수를 결정하기 위해서 관벽의 온도 T_{ws} 를 알아야 한다. 열량손실이 일정하다고 가정할 때 T_{ws} 와 U_m 그리고 열전달율의 초기 치로 적당한 온도(여기서는, $(T_{water} + T_{air})/2$)로 가정한 후 다시 열전달율을 구하여 이 값으로 다시 U_m 와 T_{ws} 를 구하여 수렴시키는 반복법을 써서 구한다.

Fig. 3과 같이 관이 상패널 내에 묻혀있는 경우에는 위의 수평관에서의 관계식을 이용하여 등가열전달계수를 구할 수 없다. 이런 경우의 등가열전달계수 U_m 은 표 1의 식(f)를 사용한다.

방의 온도는 20°C로 가정했고 일정열량손실의 조건에서 수평관과 마찬가지로 상패널표면에서의 온도 T_s 를 구하기 위해 동일한 과정의 반복법을 써서 U_m 을 구한다. 배관에서의 열손실과 상패널에서의 열

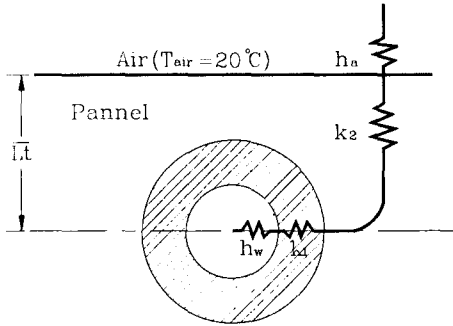


Fig. 3. Vertical section of pipe buried in the panel.

전달에 의한 공급온수의 온도강하는 대류에 의한 열 손실은 공급되는 온수의 내부에너지의 감소이므로 식 (19)를 사용하여 관의 길이방향에 따른 온도강하를 4차의 Runge- Kutta법 사용하여 계산한다.

$$U_m A(T - T_a) = -C\rho V \frac{dT}{d\tau} \quad (19)$$

6. 자동유량조절밸브의 특성

일반적인 밸브의 유량 및 압력강하특성은 아래의 식(20)과 같은 관계가 있다.

$$\Delta P = K \cdot Q^2 \quad (20)$$

자동유량조절밸브의 기능은 이 밸브의 전후에 걸리는 압력차의 크기에 관계없이 항상 일정한 유량만을 통과시키도록 하는 것이므로 Fig. 4에서와 같이 압력차 \$\Delta P\$가 \$\Delta P_{min}\$보다 크고 \$\Delta P_{max}\$보다 작은 범

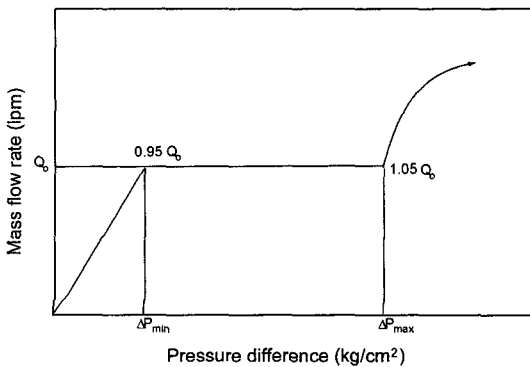


Fig. 4. Pressure difference vs. flow rate curve of automatic balancing valve.

위에서는 이 자동유량조절밸브는 항상 정유량 \$Q_o\$만을 통과시키는 기능을 갖는다. 따라서 유량조절능력의 크기를 나타내는 \$\Delta P_{min}\$과 \$\Delta P_{max}\$의 차가 클수록 성능이 좋은 밸브라 할 수 있다. 또한 이 압력차의 구간에서 유량곡선이 수평선에 가까울수록 특성이 좋은 밸브라고 할 수 있다.

배관망시스템의 유량을 조절하기 위해 자동유량조절밸브를 부착한 경우 이 밸브의 특성, 즉 정유량조절밸브의 압력손실과 유량과의 관계를 파악해서 이 압력손실을 부차손실로 생각해서 원식에 첨가해야 한다.

정유량조절밸브에서 밸브 양단간의 압력차 \$\Delta P\$와 유량과의 관계는 일반적으로 다음과 같다.

(1) \$\Delta P < \Delta P_{min}\$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P_{min} Q}{0.95\gamma Q_o} \quad (21)$$

(2) \$P_{min} \le P \le P_{max}\$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P_{max} - \Delta P_{min}}{0.1 Q_o \gamma} \times \left(Q - Q_o \left(0.95 - 0.1 \frac{\Delta P_{min}}{\Delta P_{max} - \Delta P_{min}} \right) \right) \quad (22)$$

(3) \$P > P_{max}\$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{\Delta P_{max}}{\gamma} \left(\frac{Q}{1.05 Q_o} \right)^2 \quad (23)$$

본 연구에서는 실험을 통해 정유량조절밸브 양단에 걸리는 압력차 \$\Delta P\$와 유량 \$Q\$와의 관계를 구해서 윗식에 필요한 \$\Delta P_{min}\$, \$\Delta P_{max}\$ 등을 결정하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 모델이 된 공동주택은 Fig. 5에서와 같이 6개의 공동주택 중에서 세 번째(riser 3)이며 이 공동주택단지는 펌프실에서 6개의 동에 온수를 공급하는 방식을 취하고 있다. 층고는 2.6 m이며 14층 전체의 공급배관은 수직방향으로 3구역으로 분할되어 있고 환수관은 역환수식이며, 각 세대 유입관의 관경은 1층과 14층만이 실내열부하를 고려하여 32 mm이며 나머지 층의 관경은 25 mm이다. 실내난

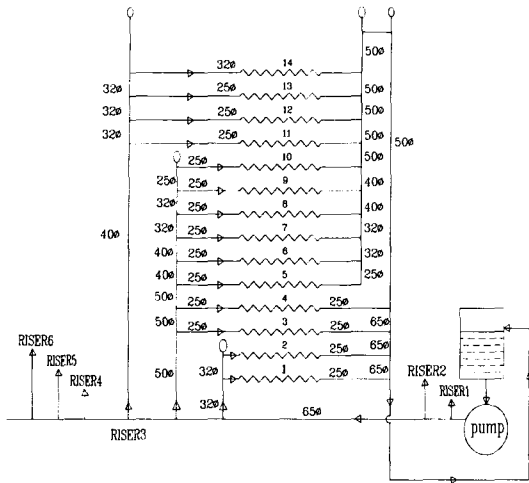


Fig. 5. Schematic of hot water circulation piping network with three vertical zones.

방방식은 바닥패널방식이며 평균길이 48.9 m, 직경 13.9 m인 동관이 층별로 6개씩 병렬로 구성되어 있다. 환수관은 5~14층이 역환수방식이고 1~4층은 직 환수방식이다.

이는 이러한 공동주택을 대상으로 선정하여 자동 유량밸브의 사용유무에 따른 각층의 유량분포를 측정하기 위한 실험을 수행하였으며, 이 실험에서는 실험수행 후에도 공동주택의 입주자가 불편 없이 사용하도록 기존의 다구역배관망을 원상태로 복구할 수 있는 범위에서 Fig. 6과 같이 하나의 수직공급관(밸런싱 밸브 A가 있는 65φ 수직관)을 추가로 설치하였다.

본 연구에서는 위와 같은 수직 3구역 역환수방식의 배관망과 자동유량밸브를 설치하기 위하여 수정된 배관망의 두가지 배관형식에 대하여 자동유량밸브와 일반밸브를 사용하였을 때의 유동분포특성을 구하여 실험결과와 비교한 후 배관비나 배관샤프트 올라가는 공간이 적게 드는 Fig. 7의 단구역 직환수방식의 온수공급 배관망을 고려하여 이에 대한 유량분포특성을 구하였다.

수치계산으로 배관망의 열유동해석을 하는데 필요한 배관망내의 손실수두를 계산하기 위해서는 배관의 주손실 뿐만 아니라 이음쇠들에 대한 부차적 손실을 측정하여야 한다. 여러가지 이음쇠들에 대한 부차적 손실은 여러 문헌에서 찾아볼 수 있으나, 공동

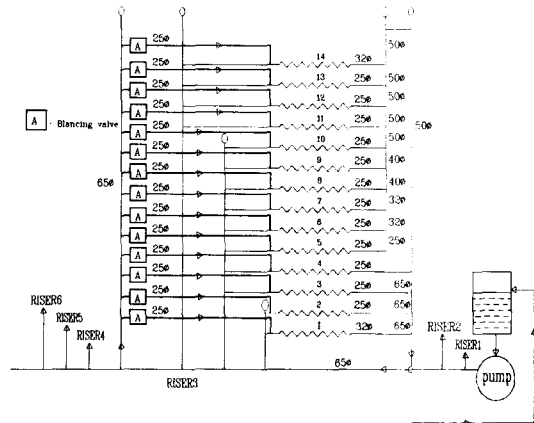


Fig. 6. Schematic of hot water circulation piping network with single supply pipe.

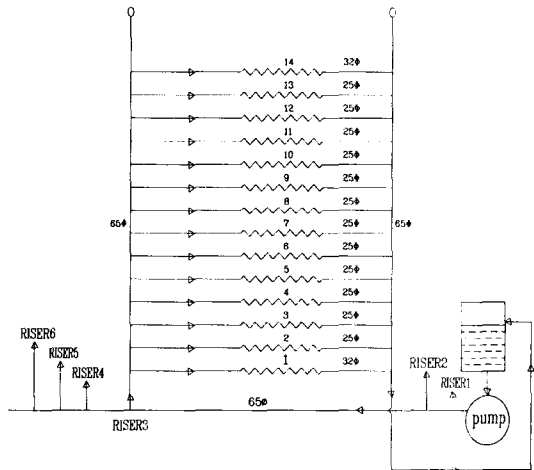


Fig. 7. Schematic of hot water circulation piping network for single zone system.

주택의 유량을 조절하기 위하여 사용되는 밸런싱밸브의 손실수두에 대한 자료는 극히 미비하여 정확한 성능곡선을 구하기 위하여 밸런싱 밸브의 교정작업 (calibration) 실험을 수치계산에 앞서서 수행하였다. 실험은 몇 가지 자동유량조절(자동밸런싱)밸브 및 글로우브 밸브 등에 대하여 수행하였으며, 그 중 유량 조절밸브에 있어서는 ΔP_{min} 과 ΔP_{max} 의 차가 가장 큰, 즉 성능이 가장 좋은 경우에 대하여 압력차에 따른 유량의 특성을 Fig. 8에 나타내었다. 이때 구한 ΔP_{min} 은 0.204 kg/cm^2 , 는 1.390 kg/cm^2 이고 작동유량 Q_0 는 13.115 lpm 이다. $\Delta P = 0.204 \text{ kg/cm}^2$ 부근에

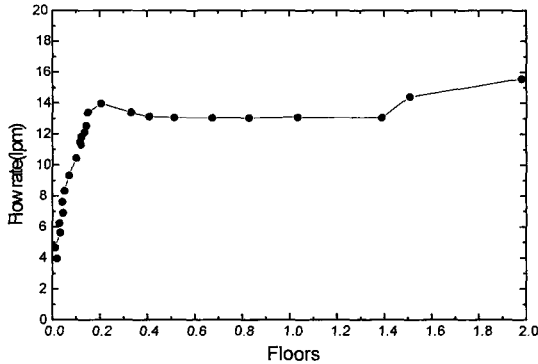


Fig. 8. Characteristic curve for ABV.

약간의 오버슈트(Overshoot)가 있으나 $0.332 \text{ kg/cm}^2 \leq \Delta P \leq 1.390 \text{ kg/cm}^2$ 에서는 유량은 설정유량 $Q_m \text{ lpm}$ 을 잘 유지하고 있어서 우수한 특성곡선을 보이고 있다.

1. 수직 3구역 온수공급배관망에 대한 고찰

Fig. 9는 기존배관에서 냉수를 순환시켜 부력의 영향이 없는 경우의 유량분포를 나타내고 있다. Fig. 9에서 아래의 유량분포곡선은 일반문헌에서 구할 수 있는 이론적인 부차적 손실계수의 값을 사용해서 계산한 결과이며, 위의 곡선은 수직 3구역 배관망에 대한 현장실험에서 얻어진 유량분포와 같아지도록 손실계수의 값을 수정해서 얻은 것이다.

이것은 이론적인 손실수두와 실제 설치된 각 밸브류 및 이음쇠류 등의 손실수두가 설치상의 여러 가지 요인으로 인하여 실제적으로는 정확히 일치하지

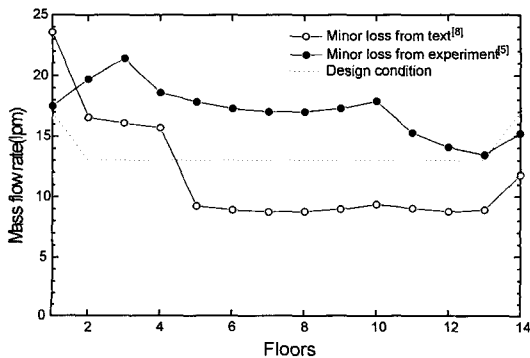


Fig. 9. Flow rate distribution at supply water temperature 25°C.

않고, Fig. 6에서와 같이 실제 배관망에서는 부가적으로 각 세대의 유량을 측정하기 위한 각 세대 환수관에 온수유량계가 있으며 공급배관에도 유량계가 설치되어 있다. 본 이론적 해석에서는 손실수두 값을 계산식으로 구하는 방법대신에 모델로 삼은 배관망에 대한 실험결과가 있으므로 이를 활용하여 실험에서 구한 유량분포로부터 부차적 손실계수 값을 역으로 계산하여 이후의 수직 3구역 배관망의 모든 계산에서 부차적 손실값으로 사용하였다.

수치계산결과 유량분포의 경향은 1~4층에서는 층수의 증가에 따라 일반적으로 유량이 감소하는 단구역 직환수 배관망의 유량분포 경향을 나타내며 4~10층은 단구역 역환수배관이기 때문에 유량이 대체로 고르게 나타나고 있으며 이때 1~4층의 유량이 설계치 보다 많이 흐르는 것을 알 수 있다. 여기서 1층에서 4층까지의 유량이 설계유량보다 많이 흐르는 것은 배관형식이 부력에 의한 유량감소를 방지하기 위하여 직환수 방식을 택하였기 때문이며, 모델로 삼은 공동주택의 경우 부력의 영향을 과대평가 하였다고 볼 수 있다.

Fig. 10은 자동유량조절밸브를 사용하지 않았을 때 온수공급온도가 53°C 및 25°C인 두 경우에 부력에 의한 유량의 변동을 파악하기 위하여 각 층별의 유량분포의 실험자료와 수치계산 결과를 비교한 그림이다. 수치계산결과에서 보면 1층에서 4층사이의 저층부에서의 유량은 공급온수의 온도에 관계없이 거의 비슷한 유량을 나타내고 있으나 5층부터 10층까지는 53°C의 온수를 공급한 경우의 유량이 25°C의

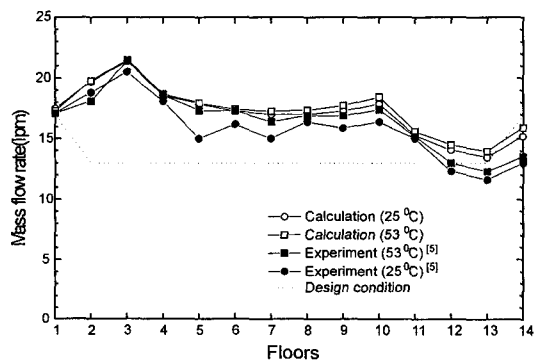


Fig. 10. Flow rate distributions in the three vertical pipe network without ABV.

냉수를 공급한 유량보다 많으며 층수가 올라갈수록 유량차가 커지고 있다.

이러한 공급온수의 온도증가 따른 유량증가는 10층에서 최대가 되지만 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 수직방향으로 세 구역으로 나누어 온수를 공급하는 온수공급배관망 중 온수공급배관이 세 번째의 온수공급배관으로 바뀌는 11층에서는 냉수와 온수의 유량차가 약간 감소한다. 그리고 12층부터 유량차가 다시 커지기 시작하여 14층에서 최대가 된다. 따라서 부력에 의하여 고층부의 유량이 증가하는 현상은 4층에서부터 10층사이의 유량분포에서 알 수 있는 바와 같이 각 세대에 온수를 공급하는 온수공급관이 하나로 연결된 경우에는 층수가 올라 갈수록 부력에 의한 유량증가가 많아지는 것을 알 수 있다. 여기서 부력에 의한 유량증가는 다음의 식 (24)에 나타낸 바와 같이 공급온수와 환수되는 온수의 온도차에 의한 비중량의 차이와 높이에 관계되는 정수압력차에 따라서 달라지므로 고층부로 갈수록 유량이 증가한다.

$$\Delta P = (\gamma_c - \gamma_h) \cdot h \quad (24)$$

실험결과에서도 부력에 의한 유량분포의 경향은 마찬가지로이며 특이한 점은 수치계산과는 달리 수직공급 배관이 바뀌는 11층에서의 유량이 공급수의 온도가 25°C인 경우와 53°C인 경우의 유량이 거의 같고 냉수인 경우에 각 층에서의 유량변화가 심한 것을 알 수 있다.

이론적인 해석결과를 실험결과와 비교하였을 때 5층에서 10층까지의 온수를 공급하는 하나의 수직 온수공급배관에서 고층부로 갈수록 실험결과보다 이론적인 계산에서 얻어진 유량이 크게 나타나고 11층에서는 거의 차이가 없으며 12층과 13층 및 14층에서 유량차이가 다시 커진다. 따라서 이론적인 계산의 결과를 보면 층고가 올라갈수록 유량이 증가하는 부력의 영향을 약간 크게 평가하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 9와 Fig. 10을 살펴보면 모든 경우에 있어서 유량분포특성은 점선으로 나타낸 설계유량과 많은 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 온수공급유량의 균등화를 가져오기 위하여 수직 3구역 형태의 배관망을 적용하더라도 정확한 밸런싱 작업을 하지 않는 한은 어떠한 형태로도 각 세대별의 유량 불균형을 해결할 수 없을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 제시하고 하는 해결책의 하나로 기존의 온수배관망에 대하여 자동유량조절밸브를 사용한 경우 각층의 유량분포는 Fig. 11에 나타내었다. 계산결과 설계치와 일치하고 있음을 알 수 있다. 이때 1층과 14층에서의 유량은 설계유량과 같은 17 lpm, 그 외의 층에서는 모두 13 lpm의 유량으로 흐르며 설계치와의 차이가 가장 큰 층에서의 유량차이는 0.25 lpm으로서 무시할 만한 값이므로 자동유량조절밸브를 사용한 경우 기존배관의 설계시의 유량과 실제유량이 일치되고 있다. 이러한 이유는 자동유량조절밸브의 압력조절기능이 부력에 의해 나타나는 고층부와 저층부의 정수압력의 차이를 극복하여 부력이 유량변동에 영향을 미치지 않기 때문이다.

따라서 자동유량조절밸브를 설치하였을 때 부력에 의한 유량분포특성을 파악하기 위하여 온수공급온도를 53°C로 올린 경우에 대하여 계산한 결과에 따르면 25°C의 냉수를 공급한 경우와 유량분포특성이 완전히 일치함을 알 수 있다.

위의 이론적 계산에서 예측한 바와 같이 자동유량조절밸브를 사용하면 각층의 유량이 설정유량대로 얻을 수 있음을 알 수 있는데, 기존 구배관에서 자동유량조절밸브가 설치되지 않는 경우에도 과연 정확한 밸런싱작업을 통하여 유량의 조정이 가능할 것인가 알아보기 위하여 각 세대의 유입구에 설치된 밸브의 개도를 조정하여 냉수공급시 유량분포를 구한 Fig. 12의 실험결과가 있다. 실험결과를 보면 2차조정으로써 층별 유량 균등화를 얻을 수 있음을 알 수 있는데 이것으로 미루어 짐작하건대 다른 형태의 배

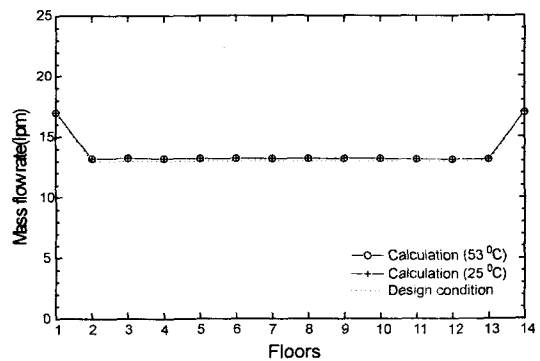


Fig. 11. Flow rate distributions in the three vertical pipe network with ABV

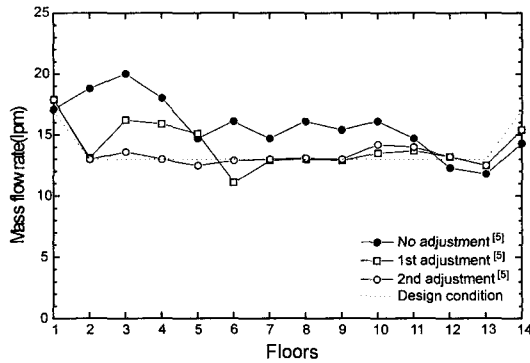


Fig. 12. Flow rate variations in the three vertical pipe network according to the glove valve opening control (balancing work).

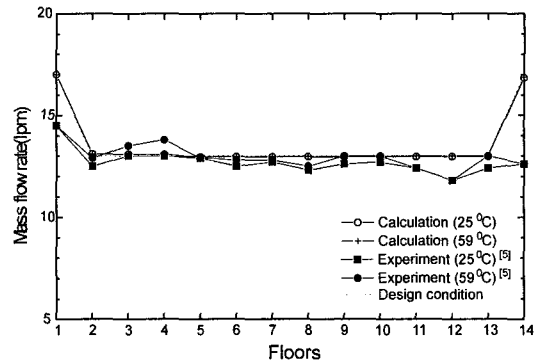


Fig. 14. Flow rate distributions in the three zone pipe net work with single supply pipe and ABV installed to consider the buoyancy effect.

관망에서도 보다 정밀한 밸브조정작업(배런싱작업)이 수행된다면 층별 유량의 균등화가 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 배관망을 Fig. 6과 같이 수정하여 자동유량조절밸브를 설치하였을 때 유동특성의 변화에 대하여 이론적인 계산과 실험결과를 비교하여 Fig. 13에 나타내었다. 실험자료를 살펴보면 2~13층에서 유량이 설계유량보다 평균적으로 0.5 lpm 정도 적게 흐르며 1층과 14층은 각각 14.5 lpm 및 12.5 lpm으로 설계유량(17 lpm)보다 적게 흐르는 것으로 나타나고 있으므로 현장실험에 있어서 1층과 14층에 사용된 자동유량조절밸브가 설정유량인 17 lpm에서 제대로 작동하지 않는다고 판단할 수 있다. 이론적인 계산에서는 본 연구에 앞서 17으로 설정한 자동유량조절

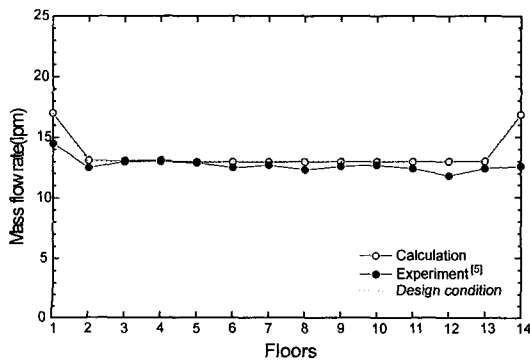


Fig. 13. Flow rate distributions in the three zone pipe network with single supply pipe and ABV installed.

밸브의 특성곡선을 구하는 보정실험을 수행하지 못 하였으므로 13 lpm으로 설정한 밸브의 특성곡선을 사용하였다. 이때 13 lpm용 밸브의 설계유량 13 lpm (보정실험결과 13.1544 lpm)을 17 lpm으로 이동시키고 이때의 ΔP_{min} , ΔP_{max} 는 13 lpm에서의 값을 사용 하였다. 계산결과 모든 층에서 유량분포가 설계 조건을 만족함을 알 수 있다.

Fig. 14는 부력의 영향을 살펴보기 위한 결과이다. 자동유량조절밸브를 사용하는 경우 이론적인 계산과 실험에서 모두 부력에 의한 유동특성은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 5의 배관망에서의 마찬가지로 Fig. 6의 수직공급배관이 하나인 경우에도 자동유량조절밸브가 공급관과 환수관의 온도차에 의한 부력의 효과를 상쇄하여 부력으로 인한 공급온수의 공급불균일이 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

따라서 배관망의 형식이 수직 3구역 배관망이 아니더라도 자동유량조절밸브를 설치하면 공동주택의 각 층간의 유량분포의 불균형을 방지할 수 있을 것으로 판단하여 아래와 같은 배관망 형태에 대한 계산을 수행하였다.

2. 자동유량조절밸브분이 단구역 직환수 배관망에 대한 고찰

지금까지 고찰한 역환수식 수직 3구역 배관망은 배관의 설치비용이 단구역 직환수식 배관망보다 증대되고 또한 주공급관 및 주환수관 들을 감추는 배

관사프트의 면적이 커져서 공동주택에서 실제로 사용 가능한 주거면적이 축소된다. 따라서 배관비와 수직사프트의 단면적을 줄일 수 있는 Fig. 7과 같은 단구역 직환수방식에 대하여 자동유량밸브를 설치하였을 때 유량분포를 살펴보고자 한다.

해석한 배관의 치수를 수직공급관과 환수관은 65φ로 일정하게 하고 1층과 14층의 수평관을 32φ, 나머지는 25φ로 정하여 계산하였다. 이때의 문제점은 이러한 관경으로는 우리가 얻고자 하는 유량인 13 lpm 및 17 lpm을 정확하게 얻을 수 없으며 이들 유량을 얻기 위해서는 이 배관망의 설계유량을 먼저 13 및 17 lpm으로 결정한 후 이 설계유량을 기초로 각층에서의 공급관, 환수관의 관경을 선정하는 배관망 설계를 먼저 수행하여야 한다.

Fig. 15는 자동유량밸브를 사용하지 않고 일반 글로브 밸브를 사용하였을 때 냉수(25°C)와 공급온수가 70°C인 온수를 공급하였을 때의 유량분포에 대한 결과이다. 이 결과에서 유량분포는 전형적인 단구역 직환수방식의 유량분포와 같이 저층부에서 많은 유량이 흐르고 고층부로 갈수록 유량이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 70°C의 온수를 공급하였을 때 부력의 영향으로 고층부로 갈수록 유량이 증가함을 알 수 있다. 이때 각 세대에 공급되는 유량을 합한 총공급유량이 171.6 lpm으로써 각 세대에 균등하게 공급될 때의 설정유량인 190 lpm 보다 약 19 lpm 정도 적게 나타나며, 공급온수의 온도를 70°C로 올리면 총 공급유량이 182.7 lpm으로 증가되어 부력에 의한 유량증가가 10 lpm 정도 나타남을 알 수 있다.

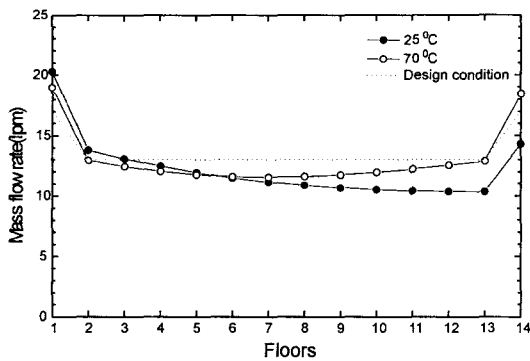


Fig. 15. Flow rate distributions in the single zone pipe network without ABV.

단일직환수방식의 배관에 자동유량조절밸브를 설치하여 공급수의 온도가 냉수인 25°C와 온수인 70°C인 경우에 대하여 계산한 결과를 Fig. 16에 나타내었다. 이 결과에서 단구역 직환수방식에서도 자동유량조절밸브를 장착한 경우 각층에서 유량의 균등화를 가져올 수 있음을 알 수 있으며, 따라서 기존의 다구역방식은 자동유량조절밸브를 사용한 단구역방식으로 전환이 가능하다고 할 수 있다.

만약 기존의 글로브 밸브를 사용하던 배관망에 자동유량조절밸브를 설치할 경우에 자동유량조절밸브는 자체의 압력강하($\Delta P = 0.2 \text{ kg/cm}^2 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ 정도)가 크므로 펌프의 용량이 그만큼 커져야 한다는 것을 유념하여야 한다.

Fig. 17은 공급수의 온도가 25°C이고 자동유량조

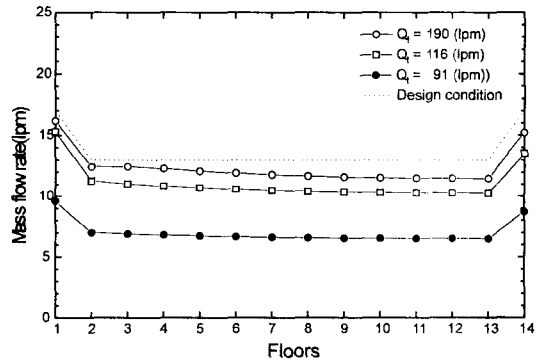


Fig. 16. Flow rate distributions in the single zone pipe network employed ABV to consider the pump capacity.

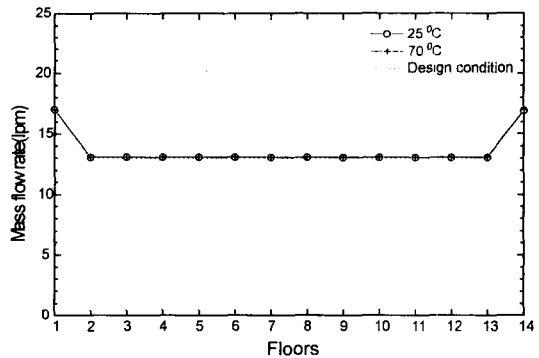


Fig. 17. Flow rate distribution in the single zone pipe network employed ABV to consider the buoyancy effect.

절밸브를 설치할 때 펌프용량이 어느 정도 증가해야 하는지를 살펴보기 위한 그림이다. 만약 이 배관망에 자동유량조절밸브를 사용하지 않은 경우인 Fig. 15의 계산에서 적용한 펌프를 그대로 사용한다면 총 공급유량이 91 *lpm*으로써 설계유량인 190 *lpm*보다 100 *lpm* 정도 적게 공급됨을 알 수 있다.

펌프의 정격수두를 2배로 키운 경우 총 공급유량은 155.64 *lpm*이며 설계조건인 190 *lpm*을 맞추기 위해서는 약 2.35배의 정격수두를 갖는 순환펌프를 선정하여야 한다. 여기서 주의할 점은 본 연구에서 적용한 펌프는 여러 동으로 구성되어 있는 공동주택 단지 중에 1개의 동에만 난방온수를 공급할 수 있는 펌프로써 중간기계실로부터 1층을 포함하는 루프에 190 *lpm*의 유량을 흐르게 하기 위한 펌프이다.

따라서 실제적으로는 배관망모델에서 설명한 바와 같이 하나의 펌프가 공동주택 6개동의 온수를 공급하므로 6개동 전체에 자동유량조절밸브를 사용할 때는 밸브 자체에 의한 수두손실을 추가로 고려하여 적정용량의 펌프를 선정하여야 한다.

IV. 결 론

본 연구에서 공동주택 온수공급배관망에 대하여 기존의 3구역 역환수방식의 배관망 및 단구역 직환수방식의 배관망에 대하여 자동유량조절밸브의 사용 유무에 따른 각 층의 유량분포 특성을 이론적인 계산을 통하여 해석한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 자동유량조절밸브를 사용하지 않는 경우에는 공급온수의 온도가 올라갈수록 부력의 영향으로 고층부의 유량이 증가하는 경향이 나타나나 자동유량조절밸브를 사용하는 경우 부력의 영향으로 인한 유

량의 증가는 해소된다.

(2) 온수공급배관망에 자동유량 조절밸브를 설치하는 경우 수직 3구역형 아니면 단구역형 그리고 부분 역환수식 혹은 직환수식 등의 배관망형식에 관계없이 각층에서의 유량분포는 설계한 유량과 같은 균등한 유량분포를 얻을 수 있으므로 모든 층에서 균등한 열공급을 기대할 수 있다.

(3) 수직 3구역 역환수 온수공급배관망에서 각 층의 세대 유입구에 있는 글로브밸브의 개도조정에 의한 TAB작업으로 층별 유량의 균등화를 기할 수 있으며 따라서 수직단일구역 온수공급배관망에서도 TAB작업에 의한 층별 유량의 균등화를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 자동유량조절밸브를 사용할 경우에 온수공급펌프의 용량을 증가시켜야 한다.

참 고 문 헌

1. 장동찬(1989), "요약해설 건축법규", 기문당, pp.783-784.
2. B. K. Hodge(1990), "Analysis and Design of Energy System", Prentice-Hall, Inc..
3. J. P. Holman(1986), "Heat Transfer", McGraw- Hill Book Co., pp.249-275.
4. 김주용, 민만기, 최영돈(1993), "공동주택 온수난방 시스템의 적정 열공급을 위한 배관망 시뮬레이션", 공기조화 냉동공학회 논문집, 제5권, 제3호, pp.157-168.
5. 이재현(1993), "정유량밸런싱 밸브와 가변유량밸런싱 밸브를 적용한 아파트 난방실험", 공기조화 냉동공학회 '93 위생부문 강연회, pp.73-93.
6. 민만기의 6인(1993), "공동주택의 난방용 온수 배관망구역화에 관한 열유동특성 연구", 공기조화 냉동공학회.
7. Philip M. Gerhart, Richard J. Gross, and Jhon I. Hochstein(1992), "Fundamentals of fluid mechanics", Addison-Wesley Publishing Company.
8. ASHRAE Handbook of Fundamentals(1985), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, New York, Chapter 34.