[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 19, No. 3, 1999

비정상조건하의 온수배관의 온도분포에 관한 수치계산법 연구

최창호*, 서승직*

* 인하대학교 건축공학과

A Calculation Method for Temperature Distribution of Hot Water Pipe under Unsteady Condition

C. H. Choi*, S. J. Suh*

* *Department of Architectural Engineering, In-ha University*

ABSTRACT

Calculation method about the water temperature variable inside hot water pipe had proposed in the past does not correspond with branch pipe system, variable of water volume, variable of entrance water temperature, using and so on. A calculation method proposed in this paper can solve above problems, and calculate the kinds variation of the water temperature inside pipe in the real use state of the hot water pipe.

기호설명

c_p, c_i	:배관, 단열재의 비열[kg/m³]
h_w, h_a	:관내, 외면열전달계수[kcal/m²h℃]
R	:관 반경($r_1 \sim r_5$) [m]
U	:유속[m/s]
θ_a	:주변온도[℃]
λ_p, λ_i	:배관,단열재의 열전도율[kcal/mh℃]
ρ_p, ρ_i	:배관, 단열재의 밀도[kg/m³]

1 서론

1.1 연구배경

Mizuno 의 논문 [1]에서는, Fig1 같은 단순한 온수 배관 모델을 대상으로, 온수의 간헐적 사용에 있어서의 열손실에 관한 근사적인 계산법을 제시하고있다. 또한, 수치해석법의 타당성을 다루었으며 그 외에도 근사계산의 오차가 커지는 조건에 관해서 연구을 하였다.

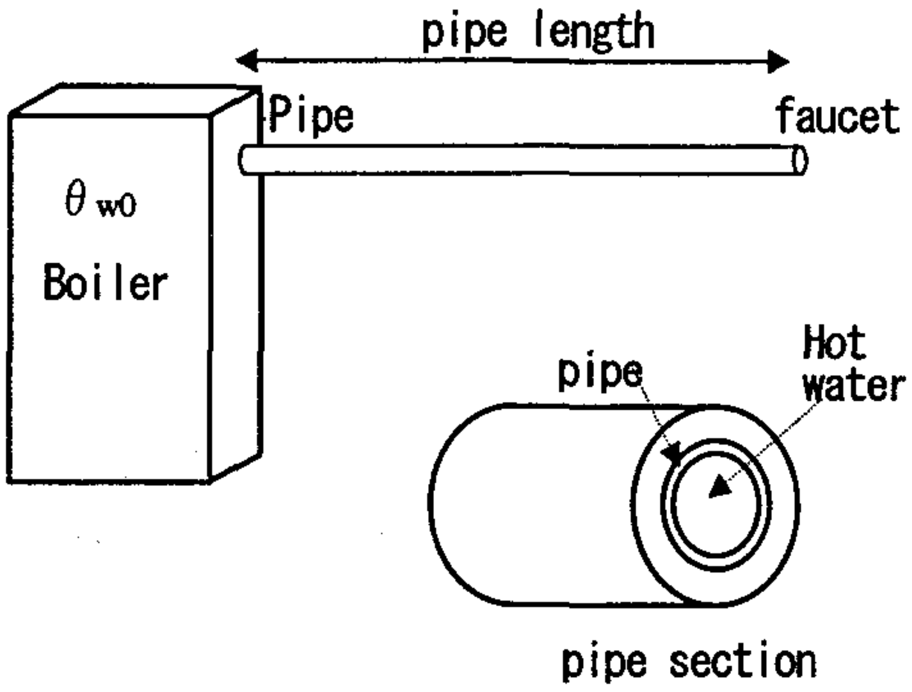

Fig.1. Mizuno 의 간이배관모델

그 결과, 일반적으로 Mizuno의 근사계산법은 다소 과다한 열손실율을 나타내지만, 2산모델(開栓, 閉栓, 開栓이라는 단순한 수전의 개폐)를 이용하여, 하루의total열손실율을 추정하기에는 실용적으로 유용함을 증명하고 있다. 본 논문에서는 Mizuno의 근사계산법의 알고리즘을 분석한 후, Mizuno의 근사계산법에서의 미해결된 부분들에 대한 계산법을 연구하였다.

1.2 Mizuno 의 근사계산법

Fig2과 같이 처음의 시간 스텝에서 순간적으로 다음 시간 스텝으로 물덩어리가 그 다음 공간 block 으로 이동하여, 정해진 시간 스텝동안 정지하고 그 정지 시간동안 배관의 열손실이 발생한다는 가정하에 열전도방정식을 이산화하고 있어, 이 계산방법을 「정지계산법」이라고 하고있다.

그의 계산조건에서는 관의 축방향의 열이동을 무시하고있기 때문에, 배관및 단열재내의 열전도방정식은 일차원문제로 된다. 계산의 안정성으로부터 시간에 대하여 후퇴차분을 채택하였고, TDMA 에 의해 풀 수 있었다. 그러나, 정지계산법은 시간 스텝과 공간스텝을 자유롭게 선택할 수 없고(1)식의 관계를 항상 만족하여야 한다.

$$\Delta x = u_w \Delta t \qquad (1)$$

(Δx:분할폭, u_w:유속, Δt:시간폭)

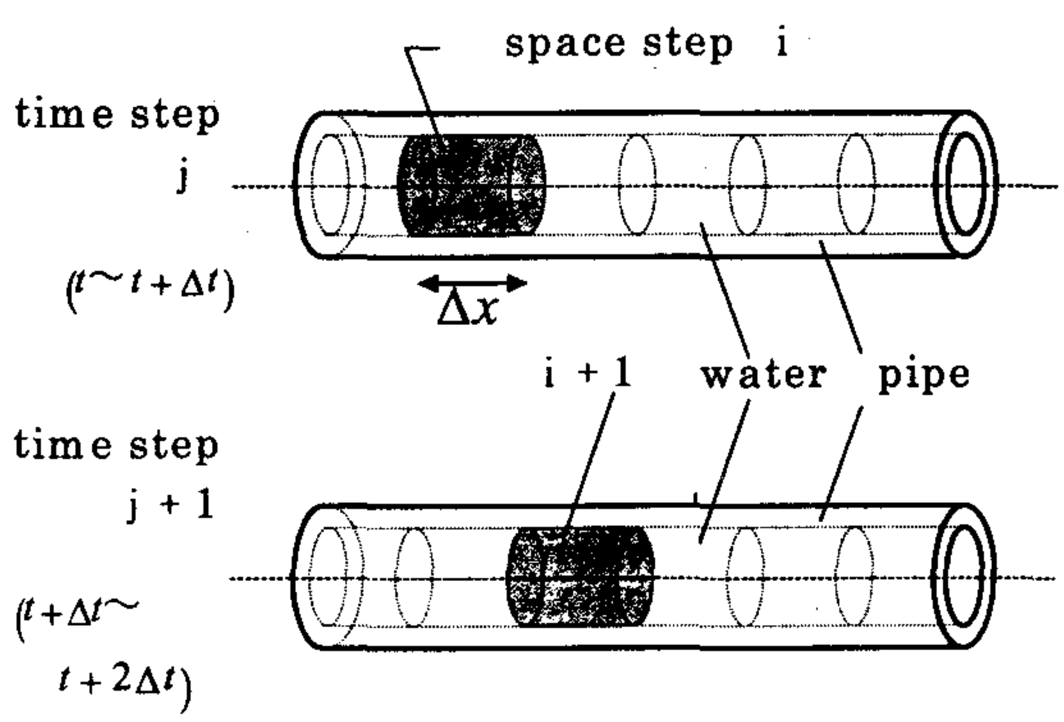

Fig.2. 수온계산의 설명

따라서 유량과 공간스텝을 정하면 시간 스텝은 고정되어버린다. 마찬가지로 공간스텝, 시간 스텝를 결정하면 유량이 고정된다. 따라서 Mizuno 의 정지계산법으로는 실제 주택에서의 온수사용과같은 단속적이고 유량이 변화하는 경우의 열손실을 구하는 계산에는 적용 할 수 없다. 또한 관축방향의 열손실을 고려하고 있지 않기때문에 온수배관에 수전과 같은 부속물등이 있는 경우와같이 관축방향의 열류가 바뀌는 경우에도 대처할수가 없게된다.

위와 같은 배경으로 본 논문은 「정지계산법」의 문제점인 유량변화에 의한 계산상의 시간 스텝과 공간스텝의 자유도를 선택할 수 있도록 정유량(유량이 일정)의 경우와 변유량(유량이 변화하는)의 경우 그리고 관축방향의 열손실을 구하는 계산방법을 제시한다.

2 계산방법

2. 1 계산조건

본 연구의 계산 조건및 특징을 Mizuno 의 것과 비교하여 Table1 에 제시함.

2. 2 관반경, 관축의 2 방향의 열이동

Mizuno 의 연구에서는 배관이 무한히 길다고 가정하여 관축에의 열이동은 무시하여 관반경방향만의 열이동을 고려한 1차원 해법인데 반해 본 연구의 2차원해법을 이하와 같이 제시한다.

(1) 기초방정식에의한 계산모델

관내의 유량흐름에서 관축방향의 공간스텝을 Δx, 시간 스텝을 Δt, 유량을 u_w 로하면 $\Delta x = u_w \Delta t$ 과 같은 관계가 항상 성립한다(u_w 는 송수때의 유량이고, 폐전시에는 이러한 제약은 존재하지않음).

그리고 관내온수의 기초방정식은 다음과 같이 된다. 기초방정식상의 기호는 표시한다.

Table 1. 설정조건의 비교

항목	Mizuno 의 조건	본 연구의 조건
배관 시스템	단독배관	관경변경, 보온재 등의 복수배관
공급수온	일정	가변
열류방향	관반경만의 1 방향	관반경과 관축방향 2 방향
유체흐름	일률적(압력고려안함)	좌동
폐전시의 열대류	관축방향으로의 대류고려안함	좌동
구속도	$\Delta x = u_w \Delta t$ Δx: 계산분할길이 Δt: 계산분할시간 u_w: 유속 $\Delta x, u_w, \Delta t$:고정	$\Delta t = \Delta x / u_w$ 좌동 $\Delta x, u_w, \Delta t$:가변

유수시의 관내온수에의한 원통내부의 열전달율은 Dittus-Boelter 의 식 [4]을 이용한다 ($Nu=0.023Re^{0.8}P_r^{0.4}$).

①관내수온(θ_w)

$$u_w \frac{\partial \theta_w}{\partial x} + \frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{2h_w}{c_w \rho_w r_1}\left(\theta_p - \theta_w\right) \qquad (2)$$

·초기조건: $t = 0 \;\rightarrow\; \theta_w = \theta_a$

·경계조건: $x = 0 \;\rightarrow\; \theta_w = \theta_{w0}$

(첨자 w:물, p:동관, i:단열재, a:외기)

관내 온수온도가 배관, 단열재를 경유하여

외기에 달하는 과정은 다음의 기초방정식이 된다.

②배관벽온도(θ_p), 단열재온도(θ_i)

$$c_{pi}\rho_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial y}\right) \qquad (3)$$

위의 방정식의 우항을 $x=r\cos\theta$, $y=r\sin\theta$ (θ :방위각, r:관반경방향거리)를 써 원통좌표로 변환하면

$$c_{pi}\rho_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial r}\right) \qquad (4)$$

·초기조건: $t=0$ → $\theta_p=\theta_a, \theta_i=\theta_a$

·경계조건: 이하와 같이 3부분으로 나누어 설정한다.

Ⅰ. 관과 관내온수가 접촉하는 부분

관내온수로부터 받아들이는 열량:

$$r=r_1 \ \Rightarrow\ \frac{\partial\theta_p}{\partial r}=\frac{h_w}{\lambda_p}\left(\theta_p-\theta_w\right) \qquad (5)$$

Ⅱ. 관과 단열재가 접촉하는 부분

$$r=r_3 \ \rightarrow\ \theta_p=\theta_i$$

$$\lambda_p\frac{\partial\theta_p}{\partial r}=\lambda_i\frac{\partial\theta_i}{\partial r} \qquad (6)$$

Ⅲ. 단열재와 외기가 접촉하는 부분

주위공기로 손실되는 열량:

$$r=r_5 \ \Rightarrow\ \lambda_i\frac{\partial\theta_i}{\partial r}=h_a\left(\theta_a-\theta_i\right) \qquad (7)$$

(4)식으로부터 관축방향변수를 x, 관반경방향변수를 r 로 하고, 온도를 θ 로 하면,

$$rc_{pi}\rho_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial t}=r\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda_{pi}\frac{\partial\theta}{\partial r}\right) \qquad (8)$$

가 얻어진다.

위에서 ①과정은 개전시에 필요한 식이고, 폐전시에는 정지하고있는 물로부터의 방열로서 ②과정의 열전도식만을 푼다.

여기에서 ①과정은 수온의 변화과정을 lagrange 적으로 푼다. 즉, 하나의시간 스텝 Δt 만 이동하여, 그 시간 스텝동안 정지한다고 하는 근사로 ②과정의 열전도식을 이산화 한다.

2.3 control volume 에의한 방정식의 이산화

계산조건에서 열확산을 관반경방향및 관축방향의 2 방향이라고 하고있기 때문에, 배관벽및 단열재내의 열전도방정식의 이산화모델의 설정사항을 다음과 같이 설명한다.

(1) 관반경방향의 변수배치

본 연구에서는 관반경, 관축방향에 대하여 배관, 단열재의 이산화방정식을 구하기위해서 control volume 를 이용하였다. 우선, Fig3 와 같이 배관벽, 단열재의 관반경 방향 단면을 각각 4 분할하고 그 분할폭을 배관은 $\Delta r(1)$, 단열재는 $\Delta r(2)$ 로 하였다. 분할에의한 일련의 격자점 a,b,c,d,e 을 설정하였다.

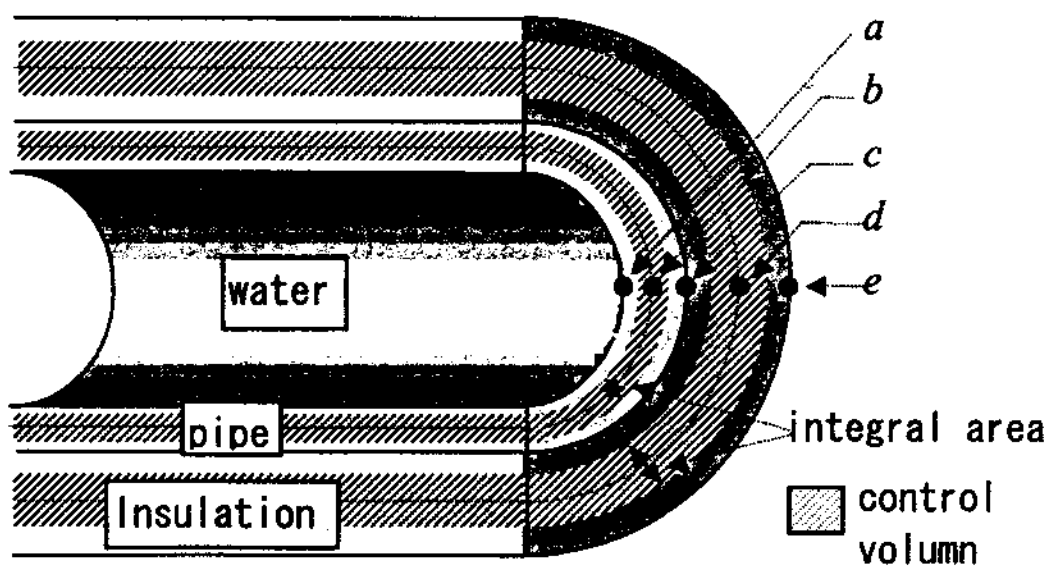

Fig.3. 관반경방향의 변수배치

배관의 중심에서 각 격자점까지의 거리를 $r(1)$, $r(2)$, $r(3)$, $r(4)$, $r(5)$로 하여 이하의 방법으로 격자점 a,b,c,d,e의 이산화방정식을 이끌어 내었다. 관반경방향의 분할수를 j 로 한다.

특히 관내 온수와 배관 내벽이 접하고있는 격자점 a, 배관과 단열재가 접하고있는 격자점 c, 단열재와 외기가 접하고있는 격자점 e을 경계격자점이라고 부른다. 그 이외의 격자점 b,d 는 내부점이라고 부르며 그것들의 격자점의 주위에는 control volume(그림중 사선부분)이 존재한다. 거기서 내부 격자점에 관한 기초방정식(8)식의 이산화방정식을 이끌 수있어, 미지의 온도에 관한 필요한 방정식은 전부 얻어진다.

그러나 a,c,e 의 경계 격자점은 관내수,동관,단열재중에서 각각 성질이 다른 두 물질이 접하여 같은 control volume 안에 존재하기문에 이대로는 이산화방정식을 이끌 수 없다. 여기에서 만약 격자점의 경계온도가 주어진다면(a,c,e 의 값이 기지라면), 특별한 문제는 발생하지 않고, 이외의 부가방정식을 필요로 하지 않는다. 그러나, 경계온도가 주여지고 있지 않으면, a,c,e에 관한 방정식을 추가할 필요가 있다. 그래서 경계조건, 경계점 a 에서의 유수로부터 받아들이는 열량(5)식, 경계점 e 에서의주위공기로 손실되는 열량 (7)식을 써서 Fig3 의 경계에 인접한 각기 성질이 다른 반쪽 부분의 control volume(이후, half control volume 로 칭합)에 관해서 따로 분리해서 미분방정식을 적분하면 된다. 이렇게하여, 미지의 온도에 대하여 필요한 수의 방정식을 세울수 있다.

단열재가 없는 경우에서는, 격자점이 외기와 접하게 되어 주위공기에 손실하는 열량 (7)식을 써 half control volume에 관해서 미분방정식을 적분하면 된다. 그 이외의 격자점은 단열재가 있을 때와 같이 미분방정식을 적분한다.

(2) 관축방향의 변수배치

관축방향을 x 축으로 하고 배관길이를 분할폭Δx 로 등분비율한다. 분할수를 i 로 하여, 그 인접하는 점 i-1 방향을 w, i+1 방향을 e 로 한다. Fig3, Fig4 와 같이 일반의 θ_{ij} 에 관해서(8)식을 시간에 대하여 $t=t\sim t+\Delta t$, 관 반경에대하여 $r=r-\Delta r_j \sim r+\Delta r_{j+1}$, 관축 방향에 대하여 $x=w\sim e$ 까지 control volume 를 적분한다.

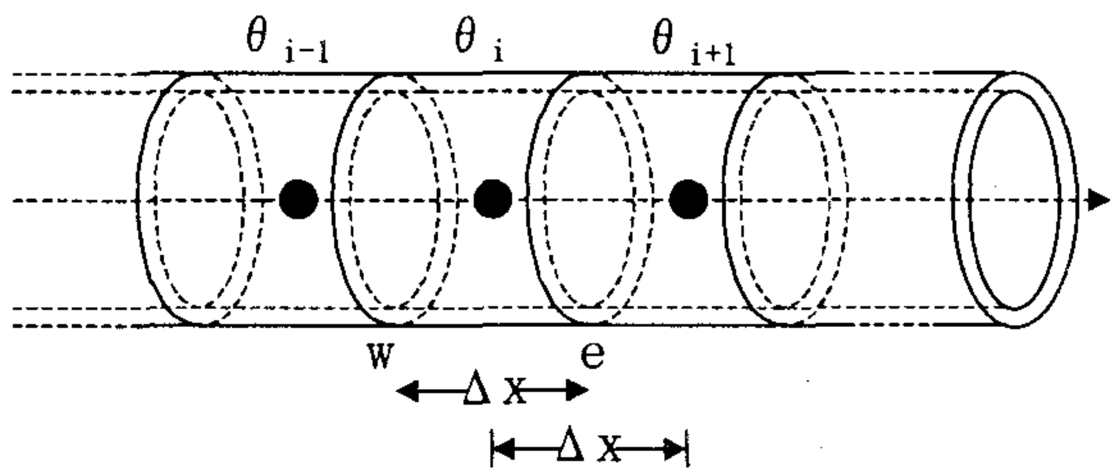

Fig.4. 관축방향의 변수배치

Δr 는 배관 종류에 있어서 동일하다면 하첨자 j 를 써 Fig5 과 같이 표기한다. 또한 θ_{ij} 를 끼고 r 의 양쪽 배관재료가 같을 때는 $\lambda_{j+1}=\lambda_j$, $\Delta r_{j+1}=\Delta r_j$ 처럼 대입하면 된다.따라서 (8)식은 다음과 같이 된다.

$$\int_t^{t+\Delta t}\int_{r-\Delta r_j}^{r+\Delta r_{j+1}}\int_w^e rc\rho\frac{\partial\theta}{\partial t}dxdrdt$$
$$=\int_t^{t+\Delta t}\int_{r-\Delta r_j}^{r+\Delta r_{j+1}}\int_w^e r\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)$$
$$+\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial\theta}{\partial r}\right)dxdrdt \qquad (9)$$

2.4 각변수에 대한 적분화

(1)x 방향 에대한 적분

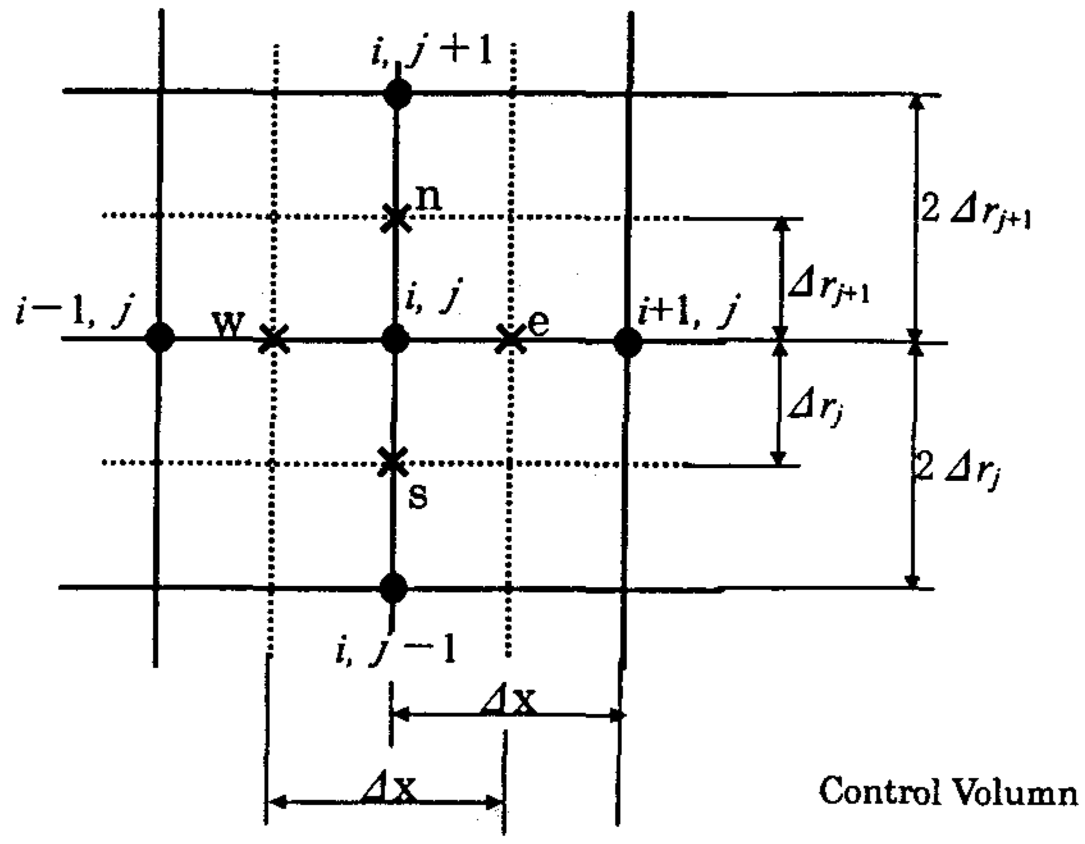

Fig.5. 관반경방향과 관축방향의 적분

(9)식을 계산영역(Control Volumn)에서 x 방향으로 적분하면

좌항:

$$rc\,\rho\,\frac{\partial\theta}{\partial t}\int_w^e dx = \Delta\, xrc\,\rho\,\frac{\partial\theta}{\partial t} \tag{10}$$

우항:

$$r\left[\lambda\,\frac{\partial\theta}{\partial x}\right]_w^e + \frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\,\frac{\partial\theta}{\partial r}\right)\int_w^e dx$$

$$= r\left\{\left(\lambda\,\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_e - \left(\lambda\,\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_w\right\}$$

$$+\Delta\, x\,\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\,\frac{\partial\theta}{\partial r}\right) \tag{11}$$

(2)관반경방향 r에대한 적분

식(11) (12)를 $r-\Delta r_j \sim r$ 와 $r \sim r+\Delta r_{j+1}$ 로 나눠 적분한다.

좌항:

$$\Delta\, x\,\frac{\partial\theta}{\partial t}\int_{r-\Delta r_j}^{r+\Delta r_{j+1}} rc\,\rho\, dr$$

$$= \Delta\, x\,\frac{\partial\theta}{\partial t}\left\{\left[\frac{r^2}{2}\right]_{r-\Delta r_j}^{r} + \left[\frac{r^2}{2}\right]_{r}^{r+\Delta r_{j+1}}\right\}c\rho$$

$$= \frac{1}{2}\Big[(c\rho)_j\left\{2r\Delta r_j - (\Delta r_j)^2\right\}$$

$$+ (c\rho)_{j+1}\left\{2r\Delta r_{j+1} + (\Delta r_{j+1})^2\right\}\Big]\Delta\, x\,\frac{\partial\theta}{\partial t}$$

(12)

우항:

$$\left[\frac{r^2}{2}\left\{\left(\lambda\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_e - \left(\lambda\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)_w\right\}\right]_{r-\Delta r_j}^{r+\Delta_{j+1}}$$

$$+\Delta\, x\left[r\lambda\frac{\partial\theta}{\partial r}\right]_{r-\Delta r_j}^{r+\Delta r_{j+1}}$$

$$= \left\{r\Delta r_j - \frac{(\Delta r_j)^2}{2}\right\}\frac{\lambda_j}{\Delta x}(\theta_{i+1} - 2\theta + \theta_{i-1})$$

$$+ \left\{r\Delta r_{j+1} + \frac{(\Delta r_{j+1})^2}{2}\right\}\frac{\lambda_{j+1}}{\Delta x}(\theta_{i+1} - 2\theta + \theta_{i-1})$$

$$+\Delta\, x\left\{\frac{(r+\Delta r_{j+1})\lambda_{j+1}}{2\Delta r_{j+1}}(\theta_{j+1} - \theta)\right.$$

$$\left. - \frac{(r-\Delta r_j)\lambda_j}{2\Delta r_j}(\theta - \theta_{j-1})\right\} \tag{13}$$

(3)시간 t 에 관하는 적분 :완전음해법이용. 위식에서

$$\frac{1}{2}\Delta x\Big[(c\rho_j)\left\{2r\Delta r_j - (\Delta r_j)^2\right\} \tag{14}$$

$$+ (c\rho_j)\left\{2r\Delta r_{j+1} + (\Delta r_{j+1})^2\right\}\Big] = A$$

로 놓으면

좌항:

$$\int A\,\frac{\partial\theta}{\partial t} = A\,[\theta]_t^{t+\Delta t} = A\left(\theta - \theta^{OLD}\right) \tag{15}$$

우항:(13)식에 Δt 을 곱해주는 것만으로 족하다. 이후 식중의 $\theta_{i-1} \sim \theta_{j+1}$ 는 모두 미래의 값 θ 이며 첨자 i, j가 없는 경우에는 i, j가 생략되어 있는 것으로 한다.

2.5 연립방정식의 작성

이상으로부터 θ_{ij} 에 관하는 다음의 연립일차 방정식이 얻어진다.

$$\frac{1}{2}\Delta x\Big[(c\rho)_j\{2r\Delta r_j-(\Delta r_j)^2\}$$
$$+(c\rho)_j\{2r\Delta r_{j+1}+(\Delta r_{j+1})^2\}\Big]\frac{(\theta-\theta^{OLD})}{\Delta t}$$
$$=\left[\left\{r\Delta r_j-\frac{(\Delta r_j)^2}{2}\right\}\frac{\lambda_j}{\Delta x}\right.$$
$$\left.+\left\{r\Delta r_{j+1}+\frac{(\Delta r_{j+1})^2}{2}\right\}\frac{\lambda_{j+1}}{\Delta x}\right]\times(\theta_{i+1}-2\theta+\theta_{i-1})$$
$$+\Delta x\frac{(r+\Delta r_{j+1})\lambda_{j+1}}{2\Delta r_{j+1}}(\theta_{j+1}-\theta)$$
$$+\Delta x\frac{(r-\Delta r_j)\lambda_j}{2\Delta r_j}(\theta_{j-1}-\theta) \qquad (16)$$

여기에서

$$\left[\left\{r\Delta r_j-\frac{(\Delta r_j)^2}{2}\right\}\frac{\lambda_j}{\Delta x}+\left\{r\Delta r_{j+1}+\frac{(\Delta r_j)^2}{2}\right\}\frac{\lambda_{j+1}}{\Delta x}\right]=B$$

$$ae=aw=B$$

$$an=\frac{\Delta x\times\lambda_{j+1}(r+\Delta r_{j+1})}{2\Delta r_{j+1}},\ as=\frac{\Delta x\times\lambda_j(r-\Delta r_j)}{2\Delta r_j} \qquad (17)$$

로하고, 정리하면

$$a\,\theta_{i,j}=ae\,\theta_{i+1}+aw\,\theta_{i-1}+an\,\theta_{j+1}+as\,\theta_{j-1}+ac \qquad (18)$$

$$cc=\frac{A}{\Delta t}$$
$$a=ae+aw+an+as+cc$$
$$ac=cc*\theta^{old}$$

위 식에 경계조건을 포함해서, $i=1\sim$imax, $j=1\sim$jmax 까지 풀면 된다. 이것들의 계수는 이차원 TDMA 에 대입하여 풀수있다.

2.6 경계조건

①온수에 접하는 half control volume(j=1)

이 때 $\Delta r_j=\Delta r_1=0$ 이기때문에,

$$A=\frac{1}{2}(c\rho)_1\{2r_1\Delta r_1+(\Delta r_1)^2\}\Delta x \qquad (19)$$

이고, $B=\left\{r_1\Delta r_1+\frac{(\Delta r_1)^2}{2}\right\}\frac{\lambda_2}{\Delta x}$ (20)

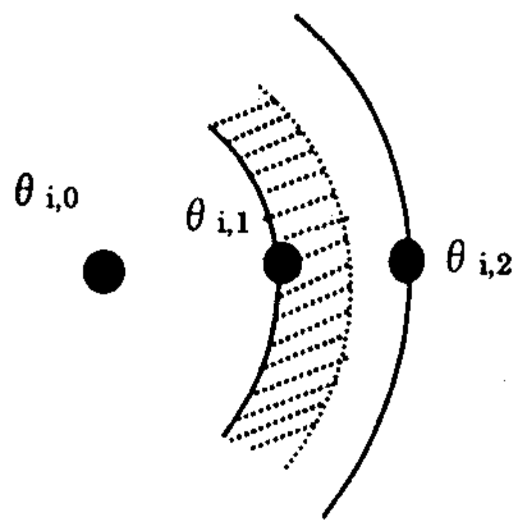

Fig.6. 관내면의 half control volume

이므로 $as=2\Delta x\cdot h_w\cdot r(1)$ (21)

가 경계조건으로 된다.

②외기에 접하는 half control volume (j=jmax)

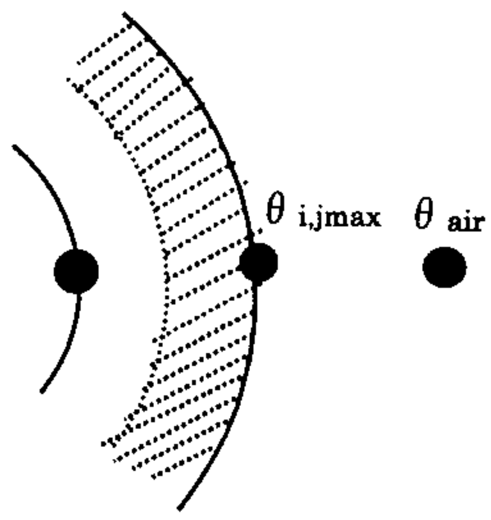

Fig.7. 외기에 접하는 half control volume

관내면과 같은 개념으로

$$A=\frac{1}{2}(c\rho)_{j\max}\{2r_{j\max}\Delta r_{j\max}-(\Delta r_{j\max})^2\}\Delta x \qquad (22)$$

$$B=\left\{r_{j\max}\Delta r_{j\max}-\frac{(\Delta r_{j\max})^2}{2}\right\}\frac{\lambda_{j\max}}{\Delta x} \qquad (23)$$

이므로 $an=2\Delta x\cdot h_w\cdot r(j\max)$ (24)

가 경계조건으로 된다.

③관말단 부분의 경계조건

배관의 양쪽 말단은

$$ae(i\max)=aw(i\min)=\frac{1}{2}h_a\{2\times r(j)\times\Delta r\}\times T_a \qquad (25)$$

의 경계조건이 주어진다.

여기서 관의 양쪽 말단부분인 배관입구와 온수수전에서의 x 축방향으로의 열이동을 고려하지않은 경우에는

$ae(i\max) = aw(i\min) = 0$

으로되어 관반경방향만의 1 차원문제와 동일한 계산이 된다.

2.7 Crank-Nicholson 법에의 변환

상기의 이산화방정식을 Crank-Nicholson 법에 의해서 다음과 같이 변환한다.

$$\begin{aligned}\frac{A}{\Delta t}(\theta^{new} - \theta^{old}) &= \frac{1}{2}B(\theta_{i+1}^{new} - 2\theta^{new} + \theta_{i-1}^{new}) \\ &+ \frac{1}{2}an(\theta_{j+1}^{new} - \theta^{new}) + \frac{1}{2}as(\theta_{j-1}^{new} - \theta^{new}) \\ &= \frac{1}{2}B(\theta_{i+1}^{old} - 2\theta^{old} + \theta_{i-1}^{old}) \\ &+ \frac{1}{2}an(\theta_{j+1}^{old} - \theta^{old}) + \frac{1}{2}as(\theta_{j-1}^{old} - \theta^{old})\end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}&\underbrace{\left(ac + B + \frac{1}{2}an + \frac{1}{2}as\right)}_{a}\theta^{new} = \\ &\underbrace{\frac{1}{2}B}_{ae}\theta_{i+1}^{new} + \underbrace{\frac{1}{2}B}_{aw}\theta_{i-1}^{new} + \underbrace{\frac{1}{2}an}_{an}\theta_{j+1}^{new} + \underbrace{\frac{1}{2}as}_{as}\theta_{j-1}^{new} \\ &\underbrace{+\underbrace{\left(ac - B - \frac{1}{2}an - \frac{1}{2}as\right)}_{a}\theta^{old} + \underbrace{\frac{1}{2}B}_{ae}\theta_{i+1}^{old} + \underbrace{\frac{1}{2}B}_{aw}\theta_{i-1}^{old} + \underbrace{\frac{1}{2}an}_{an}\theta_{j+1}^{old} + \underbrace{\frac{1}{2}as}_{as}\theta_{j-1}^{old}}_{ac}\end{aligned} \tag{27}$$

이것을 new 에 관해서 정리하면 ae,aw,an, as,ac,a 을 써 일반식은 다음과 같이 된다.

$$a\theta = ae\,\theta_{i+1} + aw\,\theta_{i-1} + an\,\theta_{j+1} + as\,\theta_{j-1} + ac$$

$$ae = aw = \frac{1}{2}B\,, \quad an = \frac{1}{2}\frac{\Delta x \times \lambda_{j+1}(r + \Delta r_{j+1})}{2\Delta r_{j+1}}$$

$$as = \frac{1}{2}\frac{\Delta x \times \lambda_j(r - \Delta r_j)}{2\Delta r_j}, \quad ac = \frac{A}{\Delta t}$$

$$a = ae + aw + an + as + ac$$

$$\begin{aligned}ac &= (ac - ae - aw - an - as) \times \theta^{old} \\ &+ an\,\theta_{j+1}^{old} + as\,\theta_{j-1}^{old} + ae\,\theta_{i+1}^{old} + aw\,\theta_{i-1}^{old}\end{aligned} \tag{28}$$

2.8 TDMA 의 계수

Crank-Nicholson 법에 의해서 각 격자점(r_1 ~r_5 즉 j=1~5)에서의각 ae(j),aw(j), an(j),as(j),ac(j), a(j) 를 정하여 연립방정식의 계수를 정하여준다.

(1) 물의 부분(j=0)

(2)물과 관이 접하는 부분(j=1)

(3)관내(j=2)

(4)관과 단열재가 접하는 부분(j=3)

(5)단열재내(j=4)

(6)단열재와 외기가 접하는 부분(j=5)

예로서 (2)물과 관이 접하는 부분(j=1)에 대한 TDMA 계수만을 다음에서 기입한다.

$$ae(1) = \frac{1}{2} \times \frac{\lambda_p}{\Delta x} \times \left\{r(1) \times \Delta rp + 0.5 \times (\Delta rp)^2\right\}$$

$$aw(1) = \frac{1}{2} \times \frac{\lambda_p}{\Delta x} \times \left\{r(1) \times \Delta rp + 0.5 \times (\Delta rp)^2\right\}$$

$$\begin{aligned}ae(1) &= \frac{1}{2} \times \frac{\lambda_p}{\Delta x} \times \left\{r(1) \times \Delta rp + 0.5 \times (\Delta rp)^2\right\} \\ aw(1) &= \frac{1}{2} \times \frac{\lambda_p}{\Delta x} \times \left\{r(1) \times \Delta rp + 0.5 \times (\Delta rp)^2\right\} \\ an(1) &= \frac{1}{2} \times \Delta x \times \lambda_p \times \frac{r(1) + \Delta rp}{2\Delta rp} \\ as(1) &= \frac{1}{2} \times 2.0 \times \Delta x \times \lambda_w \times r(1)\end{aligned} \tag{29}$$

$$ac(1) = \frac{1}{2} \times (c\rho)_p \times \frac{\Delta x}{\Delta t} \times \left\{2.0 \times r(1) \times \Delta rp + 0.5 \times (\Delta rp)^2\right\}$$

$$a(1) = ae(1) + aw(1) + an(1) + as(1) + ac(1)$$

$$ac(1) = \left(ac(1) - ae(1) - aw(1) - an(1) - as(1)\right) \times \theta^{old}$$
$$+ ae(1) \times \theta^{old}_{i+1} + aw(1) \times \theta^{old}_{i-1} + an(1) \times \theta^{old}_{j+1} + as(1) \times \theta^{old}_{j-1}$$

위의 j=1～j=5 까지의 TDMA 의 계수를 모두 정한뒤 i=1～imax, j=1～jmax 까지의 연립방정식을 풀면된다.

3. 결론

종래 제안되어 오던 온수배관내의 수온변화에관한 계산방법은 분기관시스템, 유량의 변화, 입구수온의 변화등에 대응할 수 없다. 또한 열류의 방향을 관반경 방향만 고려 하고 있기때문에, 관단부에 설치되는 수전등의 부속기기로부터의 방열을 고려할 수가 없는 계산수법이다.

본 논문이 제안한 계산법은 위의 문제점들을 모두 해결할수 있고, 온수배관의 실제사용 상태에서의 배관내수온의 변화등을 계산할 수 있다.

참고문헌

1. 水野 稔·内藤 和夫: 非定常温水供給管の熱計算法、空気調和·衛生工学会、講演集、1984、44～50
2. 長谷川、吉野 : 住宅用給湯設備の省エネルギー手法に関する研究、その 1、配管からの熱損失に及ぼす因子の影響度について、空気調和·衛生工学会、昭和 56. 10
3. S. V. Patankar, 熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 1985, P. 54
4. 日本機械学会, 機械工学便覧(A6 熱工学) P. 119