

멀티존 온돌난방제어를 위한 필요공급온수온도 산출법에 관한 연구

최 정 민, 이 규 남, 류 성 룡, 김 용 이*, 여 명 석**, 김 광 우**
서울대학교 대학원 건축학과, *군산대학교 건축공학과, **서울대학교 건축학과

A Study on the Required Supply Water Temperature Calculating Method for the Control of Multizone Radiant Floor Heating System

Jeong-Min Choi, Kyu-Nam Lee, Seong-Ryong Ryu,
Yong-Yee Kim*, Myoung-Souk Yeo**, Kwang-Woo Kim**

Department of Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

*Department of Architecture, College of Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

**Department of Architecture, College of Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received September 20, 2006; Revision received December 4, 2006)

ABSTRACT: One of the most common approaches to achieve better thermal comfort with the radiant floor heating system is supply water temperature control, which is that supply water temperature is varied with outdoor air temperature. But the application of this control method was not easy, because there has been no way to determine the supply water temperature. So in this study, a comprehensive, yet simple calculation method to find out the required supply water temperature is suggested by combining the building heat loss equation and the heat emission model of hydronic radiant floor heating system for single zone. And then using this calculation method, the multizone control method is suggested and confirmed through the thermal simulation. It is shown that indoor air temperature is stably maintained around the set point.

Key words: Radiant floor heating system(온돌난방시스템), Supply water temperature control(공급온수온도제어), Required supply water temperature of single zone(단일존의 필요공급온수온도), Produced water temperature by heat source(열원생산온수온도), Multizone control method(멀티존 제어방안)

기 호 설 명

A : 면적 [m^2]
 $B \prod_i (a_i^{m_i})$: 온돌바닥의 열전달계수 [$W/m^2 \cdot K$]
 C_p : 정압비열 [$J/kg \cdot K$]

\dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 \dot{Q} : 열전달률 [W]
 RR : 외기보상률
 T : 온도 [K]
 ΔT_H : 실내공기와 온수의 대수평균온도차 [K]
 U : 열관류율 [$W/m^2 \cdot K$]
 \dot{V} : 환기횟수 [ACH : air change per hour]

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7353; fax: +82-2-871-5518

E-mail address: msyeo@snu.ac.kr

그리스 문자

- $-\lambda$: 난방곡선의 기울기
 μ : 난방곡선의 y 절편
 ρ : 밀도 [kg/m^3]
 σ : 온수온도강하 [K]

하첨자

- ad : 인접공간
 air : 공기
 env : 건물외피
 $load$: 난방부하
 out : 실외공기
 $panel$: 온수온돌
 ret : 환수
 $room$: 실내공기
 set : 설정실온
 sup : 공급온수
 w : 온수

1. 서 론

현재 국내의 온돌난방에 사용되는 공급온수온도는 설정실온유지를 위해 필요한 공급온수온도에 비해 과도하게 높은 편이며, 이는 바닥복사패널의 열적 관성과 맞물려 실온 오버슈팅(overshooting) 및 언더슈팅(undershooting) 현상을 초래하고 있다. 그로 인해 실내 온열환경적 불쾌적이 발생하고 있으며, 이를 개선하기 위한 적절한 공급온수온도의 산정이 요구되고 있다.

유럽의 경우, 부하조건 변화에 따라 공급온수온도를 달리하여 난방하는 방식이 이미 사용되고 있으며,⁽¹⁾ 이에 관한 규정⁽²⁾들이 마련되어 있다. 한편 국내에서는 주로 온수온도제어 적용시 실온제어 성능에 관한 연구가 진행되었다.⁽³⁾ 그러나 일부 외국제품이 있지만, 단일 열원을 이용한 멀티존 난방시, 각 존의 필요공급온수온도가 상이하기 때문에 발생하는 열원생산온수온도의 결정문제에 관한 연구 및 바닥복사난방 적용시의 필요공급온수온도 산정에 관한 체계적인 연구는 부족한 상태이다.

이에 본 연구에서는 온수온도제어시 선결되어야 하는 필요공급온수온도 산출식을 도출하였으며, 이를 이용하여 외기온 및 사용자에 의한 설

정실은 변경이 해당 존의 필요공급온수온도에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 또한 실험을 통해 도출된 필요공급온수온도 산출식 적용시 설정실온 유지 여부 및 실온변화 양상을 확인함으로써 도출된 필요공급온수온도 산출식의 타당성을 검토하였다. 한편 단일열원을 이용한 멀티존 난방시 도출된 필요공급온수온도 산출식을 이용하여 온수온도제어의 적용을 위한 열원생산온수온도 산정방안을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 각 존별 설정실온 유지 여부 및 실온 변동폭, 실온 변화의 특징 등을 확인하였다.

2. 단일존의 필요공급온수온도

2.1 기존의 온수온도 결정방법

공급온수온도제어(supply water temperature control)란 방열량제어를 위해 유량을 일정하게 유지하면서, 공급온수온도를 변화시키는 방법을 말한다. 이 중 외기온이 건물의 난방부하에 영향을 미치는 가장 큰 요소라는 점에 착안하여, 식(1) 및 Fig.1과 같은 난방곡선을 이용해 외기온에 따라 공급수 온도를 달리하여 공급하는 방식이 많이 적용되고 있으며, 이를 외기보상제어(outdoor reset control 또는 outdoor temperature compensation control)라고 한다.

$$T_{sup} = RR(T_{out} - T_{room}) + T_{room} \quad (1)$$

Adelman⁽⁴⁾은 난방이 시작되는 외기온에서의 공급온수온도와 설계최고 공급온수온도, 최저설계의

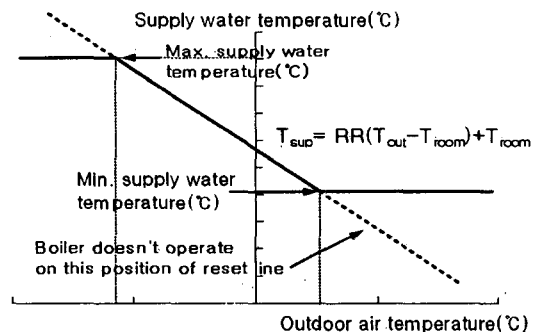


Fig. 1 Heating curve for supply water temperature control.

외기온을 식(1)에 대입하여 외기온에 따른 온수온도관계를 도출하는 방법을 제시하였지만, 설계최고 공급온수온도를 산출하는 방법을 제시하지는 않았으며, Liao⁽⁵⁾는 Adelman이 제시한 방법에서 설계최고 공급온수온도 대신 보일러의 생산가능 최대공급온수온도를 사용할 것을 제안하였지만, 이 방법을 적용한 실험결과 실온과열이 유발됨을 확인하여 설정실온 실온유지를 위한 외기온-공급온수온도 관계의 중요성을 지적하였다. 이에 현재 외국에서는 공급온수온도제어의 현장적용시 직접 난방운전을 한 후, 시행착오법(trial and error)에 의해 미세조정(fine tuning)하여 외기온에 따른 공급온수온도를 산정하고 있다.

단일열원에 의한 멀티존 난방시 실의 열적특성이나 사용자에 의한 설정실온의 변경에 따라 각 실별 필요공급온수온도는 시시각각 변하게 된다. 외국의 경우, 고정된 대표실을 기준으로 시행착오법에 의해 산출된 온도의 온수를 각 실로 공급하고 있다. 하지만 시행착오에 의한 필요공급온수온도의 산정은 건물이 바뀔 때마다 매번 다시 시행되어야 하므로 그 과정이 매우 번거롭다. 또한 대표실 제어방식의 적용은 사용자에 의한 설정실온의 변경이나 갑작스런 부하발생시, 존별 필요공급온수온도의 우선순위 변화를 반영하지 못하는 한계가 있다.

2.2 단일존의 공급온수온도 산출시 고려해야 할 요소

2.2.1 난방부하

난방부하는 외피전열에 의한 부하와 환기 및 침기에 의한 외기부하로 구성되며, 일반적으로 난방부하 산출시 연속난방으로 인해 건물이 정상상태(steady state)에 있다고 가정하므로 식(2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\dot{Q}_{load} = \left\{ \sum_{exterior} U_i A_i + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V} \right\} (T_{set} - T_{out}) + \sum_{interior} U_j A_j (T_{set} - T_{ad,j}) \quad (2)$$

2.2.2 온수온도의 방열성능

온수온도의 방열성능을 해석하는 방법에는 유한요소법 및 유한차분법을 이용한 동적인 계산방법과 간이계산식을 이용한 정적인 계산방법, 그리고

실험에 의한 방법 등이 있으며, 이 중 간이계산식을 이용한 정적인 계산방법은 반복계산을 하지 않으면서 정확도가 비교적 높기 때문에 본 연구에서는 EN 1264 기준에 제시된 복사패널로부터 실내로 공급되는 방열량 산정에 관한 간이계산식인 식(3)을 이용한 정적인 계산방법을 이용하였다.

$$\dot{Q}_{panel} = A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right) \Delta T_H \quad (3)$$

이때 ΔT_H 는 실내공기와 온수의 대수평균온도차(LMTD)를 의미하며 식(4)와 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} \Delta T_H &= \frac{(T_{sup} - T_{ret})}{\ln \left(\frac{T_{sup} - T_{room}}{T_{ret} - T_{room}} \right)} \\ &= \frac{\sigma}{\ln \left(\frac{T_{sup} - T_{set}}{T_{sup} - \sigma - T_{set}} \right)} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $B \prod_i (a_i^{m_i})$ 는 바닥마감재의 종류, 온돌층의 물성치, 배관재료 및 매설깊이, 배관간격에 의해 결정되는 온돌바닥의 통합 열전달계수로서 실온과 온수온도의 LMTD(ΔT_H)가 1℃일 때, 단위면적의 온돌바닥으로부터 실내로 방열되는 열량을 의미한다. 또한 σ 는 온수온도 강하량으로 공급온수온도와 환수온도의 차이다.

2.3 단일존의 필요공급온수온도 산출식의 도출

실온이 일정하게 유지될 때 난방부하와 온수온도의 방열량, 온수에 의한 열공급량 사이에 열적평형관계가 성립되며, 이를 이용하면 단일존의 필요공급온수온도 T_{sup} 을 산출하는 식(5)를 도출할 수 있다.

$$T_{sup} = -\lambda T_{out} + \mu \quad (5)$$

여기서

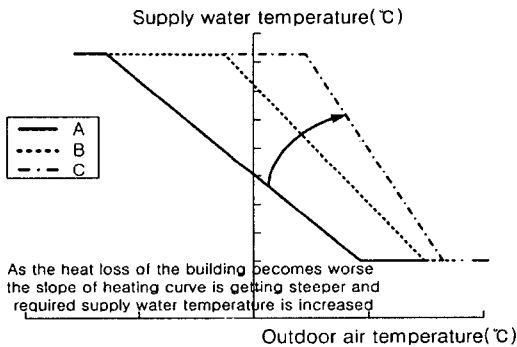
$$\lambda = \frac{\left(\sum_{exterior} U_i A_i \right) + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V}}{\dot{m}_w C_{p,w}} \quad (6)$$

$$1 - \exp \left\{ - \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right\}$$

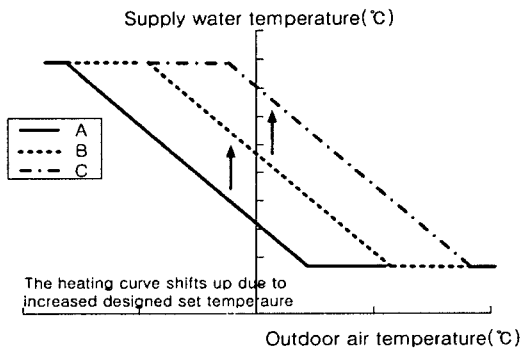
$$\mu = \left[1 + \frac{\left(\sum_{all} U_j A_j \right) + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V}}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right] T_{set} - \left[\frac{\sum_{interior} U_j A_j T_{ad,j}}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right] \left(\frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \quad (7)$$

여기서 λ는 외기온도변화 1℃에 대응하기 위해 필요한 온수온도의 조작량을 의미한다.

만일 설정실온이 일정하다면 식(6), (7)에 의해서 λ와 μ의 값은 거의 고정된 값을 가지게 되고 이 경우, 외기온과 필요공급온수온도는 Fig.1과



(a) The effect of heating load



(b) The effect of designed set temperature

Fig. 2 The trend of changing shape of heating curve to the differences of heating load.

같은 선형관계가 있음을 식(5)를 통해 확인할 수 있다. 한편 식(5), (6), (7)을 통해 볼 때, 건물의 단열성능이나 외피의 기밀도가 떨어질수록 λ와 μ값이 증가해서 필요공급온수온도곡선이 Fig. 2의 (a)와 같이 A에서 B, C의 형태로 점차 바뀌어 가는 것을 볼 수 있다. 또 설정실온의 증가는 λ에는 영향을 미치지 않고, 오로지 μ값에만 영향을 미치므로 필요공급온수온도곡선이 Fig. 2의 (b)와 같이 A에서 B, C의 형태로 기울기의 변화 없이 수직상승하는 것으로 확인할 수 있다.

2.4 필요공급온수온도 산출식을 이용한 난방실험

2.4.1 실험모델 및 공급온수제어장치의 구성

도출한 필요공급온수온도 산출식을 단일존에 적용했을 때, 설정실온 유지 여부 및 실온변화양상을 분석하기 위해 난방실험을 수행하였다. 실험 모델 및 공급온수온도 제어장치는 Fig.3과 같이 구성했으며, 바닥구조체는 기존 공동주택에 적용된 것과 동일하게 하였다.

2.4.2 실험내용 및 방법

실험은 '06년 2월 8일 20시부터 '06년 2월 10일 13시까지 진행되었으며, 공급온수유량은 부하계산서상의 설계유량인 2LPM을 공급하였다. 또한 실내 설정온도는 23℃로 설정하였다.

2.4.3 실험결과 및 분석

앞에서 도출된 식(5)를 토대로 테스트 셀의 외기온-필요공급온수온도 관계를 산출한 결과, 테스트

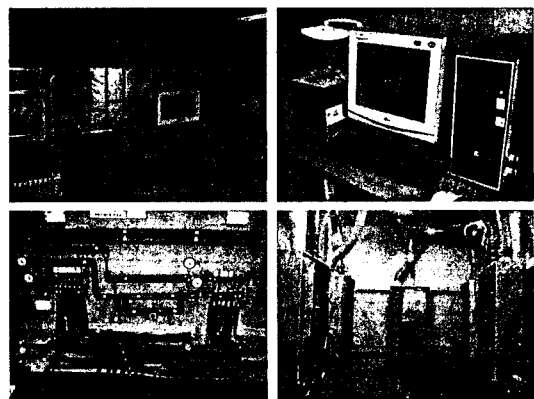


Fig. 3 The laboratory for heating system test.

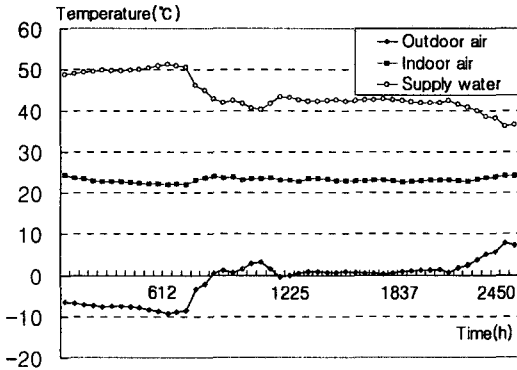


Fig. 4 Temperature profiles of the outdoor air, indoor air and supply water.

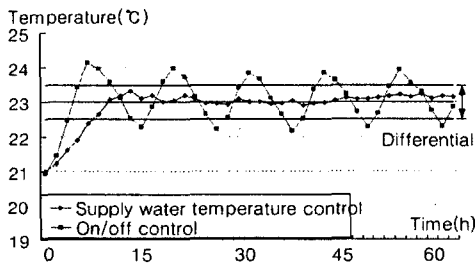


Fig. 5 Comparison of indoor air temperature profiles.

트 셀에 대한 λ 값 0.8867과 μ 값 43.0°C 를 얻을 수 있었다. 이를 근거로 외기온에 상응하는 온수를 실에 공급한 결과, Fig. 4와 같은 실온변화곡선을 얻을 수 있었으며, 이때 실온평균값은 23.1°C 로써 설정실온과 0.1°C 의 차이를 보였다. 동일 시간, 동일조건 하에서 공급수온도 80°C 의 On/off 제어를 적용하였을 때 얻어진 대조실험결과와 비교시, Fig. 5에서 보는 바와 같이 실온 변동폭이 작은 것으로 나타났다. 또한 실온 overshooting이나 undershooting 현상이 일어나지 않았고, 전반적으로 실온이 완만하게 유지되는 것을 관찰할 수 있었다.

3. 단일열원 멀티존의 열원생산온수온도

3.1 멀티존 제어방안

3.1.1 열원생산온수온도 산정방안

여러 개의 존으로 구성된 멀티존의 경우, 각 존

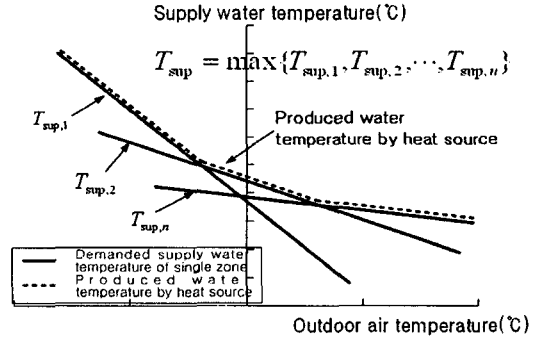


Fig. 6 The method to determine the water temperature produced by heat source.

의 필요공급온수온도 값에 차이가 발생하는데, 하나의 열원은 단일존도의 온수만을 생산할 수 있기 때문에, 모든 존에 그 존이 필요로 하는 온도의 온수를 공급하는 것은 불가능하다. 따라서 열원생산온수온도 산정시, 각 존별 필요공급온수온도를 어떻게 반영할 것인가에 대한 문제가 발생하게 된다. 만일 열원생산온수온도가 각 존의 필요공급온수온도값들 중 어느 하나보다 낮다면, 그 존은 난방이 제대로 이루어지지 않게 되므로 본 연구에서는 열원생산온수온도를 다음 식(8) 및 Fig. 6에서 보는 바와 같이 각 존의 필요공급온수온도들 중 최대값으로 제시하였다.

$$T_{sup} = \max \{ T_{sup,1}, T_{sup,2}, \dots, T_{sup,n} \} \quad (8)$$

여기서

$$\begin{aligned} T_{sup,1} &= -\lambda_1 T_{out} + \mu_1, \\ T_{sup,2} &= -\lambda_2 T_{out} + \mu_2, \\ T_{sup,n} &= -\lambda_n T_{out} + \mu_n \end{aligned} \quad (9)$$

3.1.2 실온과열 방지를 위한 보조 제어방안

앞서 제시된 바와 같이 최대 필요공급온수온도를 열원생산온수온도로 산정할 경우, 필요공급온수온도 값이 가장 높은 존을 제외한 나머지 존들은 그 존의 필요공급온수온도보다 고온의 온수가 공급되므로 실온과열 발생이 예상되기 때문에 온수온도제어와 병행하여 이에 대한 보조적인 열량 제어방안이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 방법에는 PID, PWM, On/off 제어방식 등의 여러 가지 대안이 있으며,⁽⁶⁾ 본 연구에서는 이 중 간단하

면서도 성능이 우수한 On/off 제어를 과열방지를 위한 보조적인 제어방안으로 적용하였다.

3.2 멀티존 제어방안을 적용한 시뮬레이션

3.2.1 시뮬레이션 모델 및 조건

도출한 멀티존 제어방안 적용시 각 존별 설정실온 유지 여부 및 실온변화 양상을 살펴보기 위해, 상용 열해석 프로그램인 TRNSYS 15를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 결과비교를 목적으로 동일조건 하에서 공급온수온도 80℃의 On/off 제어를 적용한 시뮬레이션도 병행하였다. 시뮬레이션을 위한 단위세대는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 현재 국내의 공동주택 규모 중 가장 일반

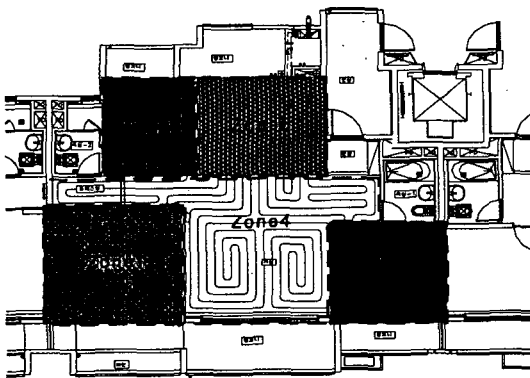


Fig. 7 The plan of simulation model for multi zone heating system.

Table 1 Resultant parameters of heating curve

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
λ	1.1819	1.1811	1.1799	1.1673	1.1892
μ	47.3	47.3	47.3	41.1	37.5

적인 평수인 32평형 공동주택, 중간층, 중간세대의 5개의 존으로 구성된 모델로 선정하였다. 기상조건은 서울지역 설비공학회 표준 기상데이터를 이용하였으며 시뮬레이션 기간은 가장 추운 기간인 1월 29일부터 2월 8일까지 총 11일간으로 하였다.

3.2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

앞에서 도출된 단일존의 필요공급온수온도 산출과 관련된 식(5)를 이용하여 대상공간을 구성하고 있는 각 존의 외기온에 따른 필요공급온수온도 산출식을 Table 1과 같이 도출하였다. 여기에 앞서 제시된 식(8)을 이용하여 외기온에 따른 열원생산온수온도를 산출 후, 이를 각 존에 공급하였다. 한편 실온과열 방지를 위한 보조적인 제어방안으로써 On/off 제어를 적용하였으며, 이때의 실온 허용편차(differential)는 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 설정하였다. 그 결과 평균 53°C 의 온도로 온수를 공급하였음에도 Table 2에서 보는 바와 같이 난방 초기를 제외할 때, 본 연구에서 제시된 멀티존 제어방안 적용시 설정실온이 상이한 존들의 실온이 설정실온에 근접하게 유지됨을 Fig. 8에서 확인할

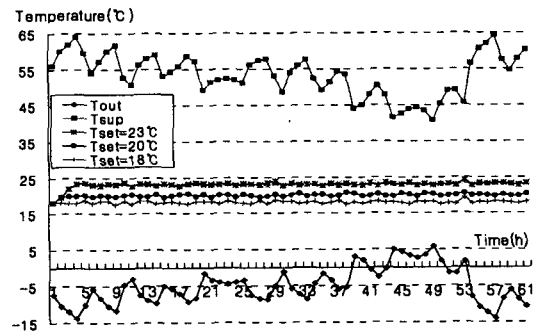


Fig. 8 Temperature profiles of multizone control simulation.

Table 2 Temperature profile comparison: supply water temperature control and on/off control

Zone	Supply water temperature control					On/off control				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Design flow rate (LPM)	1.37	0.88	0.80	1.65	1.57	1.37	0.88	0.80	1.65	1.57
Designed set temperature (°C)	23	23	23	20	18	23	23	23	20	18
Temperature mean value (°C)	23.01	23	23.03	20	17.99	23.2	23.09	23.15	20.19	18.12
Error (°C)	0.01	0	0.03	0	0.01	0.2	0.09	0.15	0.19	0.12
Standard deviation (°C)	0.26	0.25	0.29	0.32	0.33	0.52	0.45	0.45	0.54	0.44
Maximum deviation (°C)	1.08	0.99	1.92	1.41	1.44	1.59	1.45	1.7	1.92	1.99

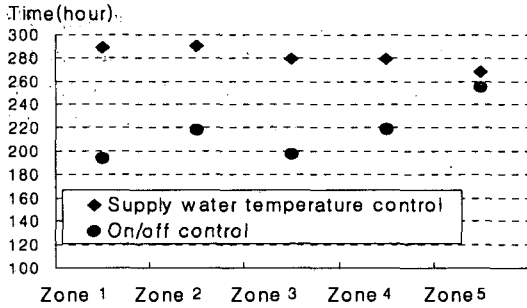


Fig. 9 Comparison of the period of time which indoor air temperature stays within the temperature differential.

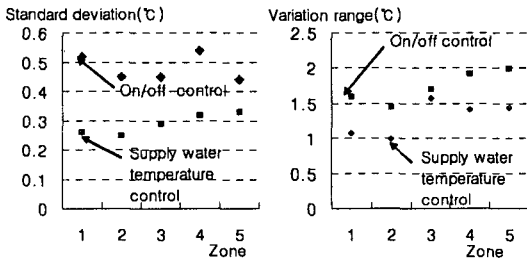


Fig. 10 Comparison of supply water temperature control and on/off control.

수 있었다. 또한 제어방식의 차이에 따라 실온이 허용편차(differential) 범위 내에 머무르는 시간을 비교한 결과, Fig.9에서 보는 바와 같이 On/off 제어방식을 적용한 경우보다, 온수온도제어방식을 적용한 경우의 실온이 허용편차(differential) 범위 내 머무르는 시간이 더 긴 것을 확인할 수 있었다. 한편 Fig.10에서 보는 바와 같이 온수온도제어를 적용할 경우, On/off 제어방식 적용시보다 작은 실온변동폭(maximum deviation) 및 표준편차를 얻을 수 있었는데, 이는 각 존이 필요로 하는 만큼의 열량이 공급되었기 때문으로 해석된다. 하지만 저온수사용으로 인하여 난방 초기 실온상승시간이 길어지는 것으로 나타나 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

온수온도 바닥복사 난방시스템에서 공급온수온도는 방열량을 결정하는 가장 중요한 요소로서, 건물의 열손실에 비해 과다하게 높은 공급온수온

도는 실온과열 및 에너지낭비를 유발하여 실내온도 열환경의 불쾌적을 일으키는 주요 원인으로 작용한다. 이에 본 연구에서는 단일존의 필요공급온수온도 산출법을 도출하였으며, 이를 바탕으로 멀티존 제어방안을 제시하였다.

(1) 단일존에서 외기온에 따른 필요공급온수온도의 산출은 존의 난방부하와 온수온도로부터 실내로 방열되는 열량 간의 열적 평형관계를 토대로, EN 1264 기준에서 제시된 복사패널의 방열량 산출에 관한 식(3)을 이용하여, 식(5)와 같은 형태로 유도되었다. 그리고 이를 토대로 건물의 단열성능 및 기밀도, 설정실온의 변경에 의한 필요공급온수온도 곡선의 형태변화를 관찰하였고 식(5)를 적용한 난방실험 결과, 실온평균값이 설정실온에 매우 근접하는 것을 확인할 수 있었다. 한편 기존 On/off 제어와의 비교시 실온이 완만하게 유지되는 실온변화양상을 확인하였다.

(2) 단일열원을 이용한 멀티존 제어시의 열원 생산온수온도는, 앞서 도출된 식(5)에 의해 계산된 각 존의 필요공급온수온도값들 중에서 최대값으로 하였으며(식(8)), 이 경우 일부 존에 필요공급온수온도보다 높은 온도의 온수가 공급되어 실온과열이 예상되므로, 이에 대한 보조적인 열량제어방안이 필요함을 살펴보았다. 한편 본 연구에서는 선택 가능한 여러 가지 보조제어 방안들 중 간단하면서도 제어성능이 우수한 On/off 제어를 적용하였다.

(3) 제시된 멀티존 제어방안을 적용하여 난방시뮬레이션을 실시한 결과, 기존 개별난방에 비해 낮은 온도의 온수를 공급하였음에도 불구하고 설정실온이 유지됨을 확인할 수 있었다. 아울러 이를 동일 조건하에서 온수온도 80℃의 On/off 제어 시뮬레이션 결과와 비교하여, 온수온도제어방식 적용시의 실온이 허용편차범위 내 오래 머무르는 것을 확인할 수 있었으며, 실온변동폭(maximum deviation)과 표준편차도 On/off 제어방식 적용시의 실온변동폭과 표준편차보다 작음을 확인하였다.

하지만 저온수의 사용으로 인해 난방 초기의 실온상승시간이 길어질 것으로 예상되므로, 이에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되며, 또한 On/off 제어 이외의 실온피드백을 통한 보조적인 열량제어방안에 관한 연구 및 온수온도제어를 통한 저온수의 사용이 난방에너지

소비량에 어떤 영향을 미치는지에 관한 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C 03A1040001-03A 0204-00310)에 의한 것임.

참고문헌

1. Twintran, 1989, Twintran Application Manual, Heatway System, p. 40.
2. EN1264-2, 1999, Floor heating: System and components, Parts 2: Determination of thermal output.
3. Yeo, M. S., Seok, H. T. and Kim, K. W., 1998, A study on the water temperature control method of radiant floor heating system in apartment buildings, Proceedings of AIK, Vol. 14, pp. 203-210.
4. Adelman, T. N., 1949, Radiant Heating, The Industrial Press, pp. 163-171.
5. Liao, Z. and Dexter, A. L., 2005, An experimental study on an inferential control scheme for optimizing the control of boilers in multizone heating system, Energy and Buildings, 37, pp. 55-63.
6. Jin, W. F., Rhie, M. K., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2004, A study on the individual room control of radiant floor heating system in apartment building, Proceedings of SAREK, Vol. 16, pp. 421-429.

부 록

연속난방시 건물이 정상상태로 운전될 경우 공급온수가 방출한 열량과 온수온도의 실내 방열량, 건물의 난방부하 사이에 식(10)과 같은 열적 평형관계가 성립하며, 식(10)의 각 항에 식(2), 식(3), 식(4)를 각각 대입하면 식(11)과 식(12)가 얻어진다.

$$\dot{Q}_{panel} = \dot{Q}_w = \dot{Q}_{load} \quad (10)$$

여기서 공동주택 중간층의 경우, 상부세대의 하부방열량과 해당세대의 하부방열량이 서로 같다고 가정할 수 있으므로, 배관 하부방열량은 무시한다. 다만 이에 대한 고려가 필요할 경우 EN 1264에 의거 상부방열량의 10%를 하부방열량으로 가정한다.

$$A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right) \frac{\sigma}{\ln \left(\frac{T_{sup} - T_{set}}{T_{sup} - T_{set} - \sigma} \right)} = \dot{m}_w C_{p,w} \sigma \quad (11)$$

$$\left\{ \sum_{exterior} U_i A_i + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V} \right\} (T_{set} - T_{out}) + \sum_{interior} U_j A_j (T_{ad,j} - T_{out}) = \dot{m}_w C_{p,w} \sigma \quad (12)$$

이때, 식(11)과 식(12)를 정리하여 식(13) 및 식(14)와 같은 공급온수온도와 온수온도강하에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$T_{sup} = T_{set} + \frac{\sigma}{\left\{ 1 - \exp \left(- \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \right\}} \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{\left\{ \sum_{exterior} U_i A_i + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V} \right\} (T_{set} - T_{out}) + \sum_{interior} U_j A_j (T_{ad,j} - T_{out})}{\dot{m}_w C_{p,w}} \quad (14)$$

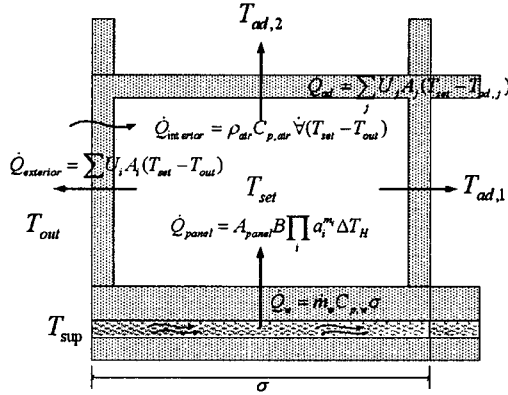


Fig. 11 The terms in a load calculation.

식(14)의 우변을 식(13)의 σ 에 대입하면 식(15)가 나오는데, 이를 외기온에 관해 정리하면, 외기온에 따른 필요공급온수온도를 산정하는 식(16), 식(17), 식(18)이 유도된다.

$$T_{sup} = T_{set} + \frac{\left\{ \sum_{exterior} U_i A_i + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V} \right\} (T_{set} - T_{out}) + \sum_{interior} U_j A_j (T_{ad,j} - T_{out})}{\dot{m}_w C_{p,w} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \right\}} \quad (15)$$

$$T_{sup} = -\lambda T_{out} + \mu \quad (16)$$

여기서

$$\lambda = \frac{\left(\sum_{exterior} U_i A_i \right) + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V}}{\dot{m}_w C_{p,w} \left(1 - \exp \left(- \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \right)} \quad (17)$$

$$\mu = \left[1 + \frac{\left(\sum_{all} U_j A_j \right) + \rho_{air} C_{p,air} \dot{V}}{\dot{m}_w C_{p,w} \left(1 - \exp \left(- \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \right)} \right] T_{set} - \left[\frac{\sum_{interior} U_j A_j T_{ad,j}}{\dot{m}_w C_{p,w} \left(1 - \exp \left(- \frac{A_{panel} B \left(\prod_i a_i^{m_i} \right)}{\dot{m}_w C_{p,w}} \right) \right)} \right] \quad (18)$$