

연속바닥난방시스템에 대한 외기예측제어 적용 연구

태 춘 섭[†], 조 성 환, 이 충 구^{*}

한국에너지기술연구원 건물에너지연구팀, ^{*}충북대학교 기계공학과

Application Study on the Outdoor Air Temperature Prediction Control for Continuous Floor Heating System

Choon-Seob Tae[†], Sung-Hwan Cho, Chung-Gu Lee^{*}

Building Energy Research Team, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Chungbuk University, Cheongju 361-763, Korea

(Received May 4, 2001; revision received June 20, 2001)

ABSTRACT: For the radiant floor heating system, the possibility of suboptimal prediction control was investigated by computer simulation and experiment. For this study, TRNSYS program was used and an experimental facility consisting of two rooms (3×4.4×2.8 m) was built. The facility enabled simultaneous comparison of two different control strategies which implemented in a separate room. Results showed that outdoor air temperature prediction control was superior to the conventional outdoor air temperature compensation control for radiant floor heating system. However, more research for fine prediction of outside air temperature was required in the future.

Key words: Temperature control(온도제어), Continuous heating system(연속난방시스템), Outdoor air temperature prediction control(외기예측제어)

기 호 설 명

A : 면적 [m^2]
 C_p : 정압비열 [$kcal/kg \cdot K$]
 m : 비례계수 [-]
 \dot{m} : 유량 [kg]
 q : 열량 [$kcal/h$]
 T : 온도 [$^{\circ}C$]
 t : 시간 [h]

U : 구조체의 열관류율 [$kcal/m^2 \cdot h \cdot K$]

그리스 문자

τ : 24시간
 ω : 시간대의 radian

하첨자

out : 외부
 r : 환수
 room : 실내
 s : 공급
 set : 설정
 st : 기준
 w : 물

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3232; fax: +82-42-860-3202

E-mail address: cstae@kier.re.kr

1. 서 론

국내 대부분의 주거용 건물에서 적용하고 있는 바닥복사 난방방식은 세계적으로도 고유한 것이며 외국에서도 열적 쾌적성 및 에너지 절약성 등의 이유로 최근에 일부 채택되고 있다. 온돌난방 시스템과 관련된 기술들은 우리 나라 고유의 특성을 지니고 있기 때문에 독창적인 기술개발이 필요하다.

복사난방공간의 열적 쾌적성을 최대한 활용코자 난방공간의 제어와 관련하여 지금까지 많은 연구가 이루어졌다. Friedlander와 Adelman은 외기온도와 급수온도 사이에 선형관계가 있음에 착안해서 외기온도에 역비례로 공급온수온도를 제어하는 Outdoor reset control 방법을 제안했다.^(1,2)

MacCluer는 바닥구조체에 전달되는 열전달량을 제어할 수 있는 Flux modulation control 방법을 제안하였으며,⁽³⁾ Berglund 등은 복사난방 공간의 쾌적한 환경조성을 위해서는 실내 대류온도와 복사온도가 고려된 작용온도(O.T.)로 제어하는 것이 유리하다는 결과를 제시하였다.⁽⁴⁾

이승복은 proportional flux-modulation과 temperature-modulation을 비교 분석하여 바닥복사 난방시스템의 제어방식을 평가하였으며,⁽⁵⁾ 장효환 등은 공동주택용 온수난방시스템의 에너지 해석 및 펌프의 회전수제어에 의한 에너지 절약을 제시하였다.⁽⁶⁾

조성환 등은 실내 온도 및 바닥 표면온도를 모두 쾌적범위 내로 유지시키기 위하여 이들 양자를 제어대상으로 할 수 있는 다인자 제어방법(multi-parameter control)을 제안하고 이들 방법의 활용 가능성에 대한 타당성을 이론적으로 검토하고,⁽⁷⁾ 다인자 제어방법의 타당성에 관한 실험적 연구결과를 제시하였으며,⁽⁸⁾ 또한 연속난방을 하는 복사난방공간에 다단계 외기보상제어의 적용에 대한 실험적 연구결과를 제시하였다.⁽⁹⁾

본 연구는 외기예측제어방법이 연속난방을 하는 주택에 적용될 수 있는지를 이론적으로 규명하기 위하여, 건물의 동적 에너지 해석에 많이 이용되고 있는 TRNSYS 프로그램을 이용하였다. 이를 위하여 온수관이 설치된 바닥 슬라브의 동적 해석방법, 복사난방공간의 온도제어방법 및 외기온도를 예측할 수 있는 프로그램을 TRNSYS 프로그램의 한 모듈로 구성하였다. 그리고

복사난방공간에서 외기예측제어방법의 적용성을 검토한 후, 실제 복사난방공간에서 외기보상제어와 외기예측제어의 실증실험을 실시하여 그 결과를 비교함으로써 외기예측제어의 적용성을 이론적 및 실험적으로 규명하였다.

2. 외기온도 예측방법

일반적으로 기상을 예측하는 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 기존의 외기온도 데이터를 이용하는 방법과 이용하지 않는 두 가지 모드에 대하여 검토하였다. 모드 1은 하루 전에 예보된 익일의 최고 및 최저온도를 이용하는 경우이다. 실제 적용시 모드 1은 기상대에서 예보된 매일의 최고 및 최저온도를 전날에 입력하면 익일의 외기온도는 DOE-2 프로그램의 일간 최고 및 최저온도를 이용한 외기온도 주기함수를 적용하여 예측된다. 모드 2는 첫째 날에는 전날의 최고 및 최저온도를 이용하여 익일의 외기온도를 예측하고 2일째부터는 첫째 날에 측정된 외기온도를 기본으로 하여 지속적으로 예측한 경우이다. 모드 2에서는 외기온도가 시간에 따라서 주기적인 형태로 변화한다는 가정하에 아래와 같은 Fourier series를 이용해 외기온도를 예측하였다.

$$T_{out} = a_0 + \sum_{j=1}^{\infty} a_j \sin j\omega t + \sum_{j=1}^{\infty} b_j \cos j\omega t \quad (1)$$

$$a_j = \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} T \sin j\omega t dt$$

$$b_j = \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} T \cos j\omega t dt$$

$$a_0 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} T dt$$

여기서 T_{out} 은 시간대별 외기온도를 나타낸다.

모드 2방법이 적용되기 위해서는 전날의 24시간 외기온도 데이터를 이용하여 a_j , b_j , a_0 의 계수를 구한 후 그 다음날부터는 새로운 외기온도 데이터가 측정되면 그 값에 의해서 a_j , b_j , a_0 의 계수값이 보완되어 원하는 시각의 외기온도를 예측하는 방법이다. 모드 2의 경우 첫째 날에는 외기온도 데이터가 확보되어 있지 않으므로 기상대나 방송 등에서 예보한 익일의 최고 및 최저온도를 이용하여 구한 외기온도를 이용하였다.

3. 이론해석

3.1 이론해석방법

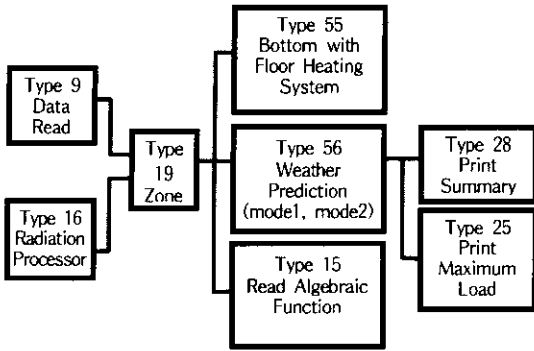


Fig. 1 Flow chart of modified TRNSYS Program.

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 TRNSYS 프로그램의 플로우 차트를 나타낸다. 그림에서 보면 복사난방공간의 동적 해석을 위한 수치해석모델은 3가지의 주요한 서브루틴으로 구성되어 있다.

- 실내공간의 해석모델
- 온수관이 설치된 바닥 슬라브의 해석모델
- 외기온도 예측모델

위의 3가지 중에서 첫 번째 부분의 해석모델은 TRNSYS 프로그램을 이용하였고, 두번째, 세번째 부분의 해석모델은 본 연구에서 새로 개발하여 첫번째 부분과 연계될 수 있도록 하였다.

3.2 이론해석 결과 및 고찰

Fig. 2는 예측된 외기온도가 실제 외기온도와 일치되는지를 규명하고 난방에 이용하기 위하여 사용한 3일간의 외기온도를 나타낸다. 그림에서

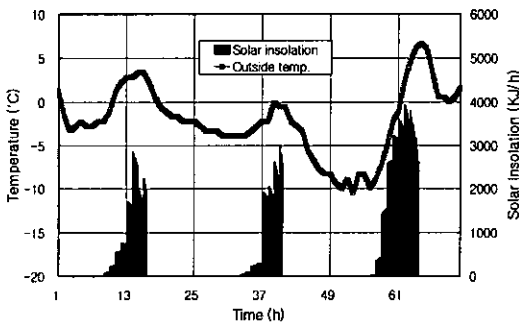


Fig. 2 Outdoor air temperature used in the simulation.

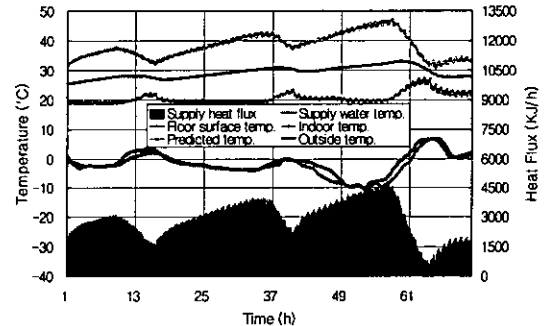


Fig. 4 Comparison of actual outdoor air temperature with predicted temperature (mode 1, predict time : 40minutes).

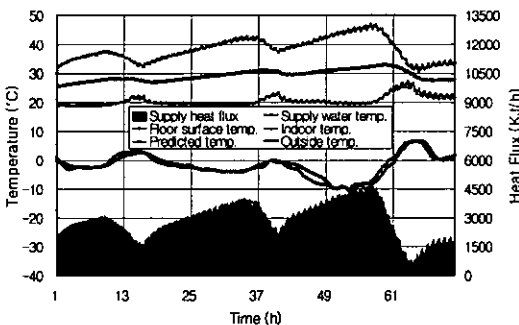


Fig. 3 Comparison of actual outdoor air temperature with predicted temperature (mode 1, predict time: 10 minutes).

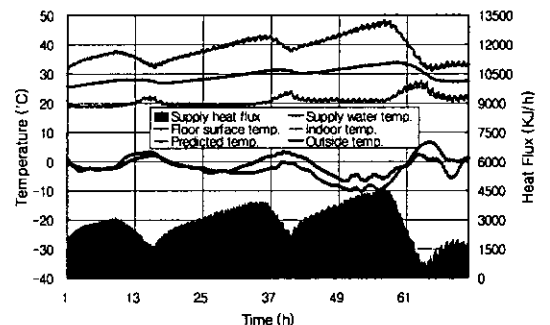


Fig. 5 Comparison of actual outdoor air temperature with predicted temperature (mode 2, predict time : 40minutes).

보면 초기 2일 동안은 일사량이 3,000 kJ/h 이하 이면서 외기온도가 각각 $-3\sim 4^{\circ}\text{C}$, $-8\sim 0^{\circ}\text{C}$ 이지만 셋째 날에는 일사량이 4,000 kJ/h까지 상승되면서 외기온도도 -10°C 부터 7°C 까지 상승되는 급격한 변화를 나타내고 있다. 즉, 3일간의 외기상태가 급격하게 변화하는 것을 나타내고 있다.

Fig. 3과 4는 모드 1 즉, 3일 동안 일별 최고 및 최저온도를 미리 입력한 후 각 시간대별 외기온도를 예측한 것으로서 10분 후나 40분 후의 외기온도를 예측하여 실내온도를 20°C 로 유지코자 공급수 온도를 제어한 경우이다. 그림에서 보면 일별 최고 및 최저온도를 미리 입력한 후 외기온도를 예측하는 모드 1은 전체적으로 실제 외기온도와 잘 일치하는 경향을 나타내지만 예측시간이 긴 경우는 짧은 경우보다 더 많은 오차를 나타내는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 실내온도 설정치를 20°C 로 하고 모드 2에 의하여 40분 후의 외기온도를 예측한 후 이 값에 의하여 공급수 온도를 제어한 것이다. 그림에서 보면 최고 및 최저온도를 첫째 날만 입력하고 그후에는 첫째 날의 예측된 데이터를 이용하였기 때문에 첫째 날은 예측된 외기온도가 실제 외기온도와 잘 일치하지만 둘째 날부터는 실제 외기온도와 예측된 외기온도가 잘 일치하지 않음을 알 수 있다. 그리고 실제 외기온도변화를 보면 3일 동안 큰 변화를 보이고 있지만 예측된 외기온도를 보면 3일 동안 약간씩 변하고 있을 뿐 큰 변화는 보이지 않고 있음을 볼 수 있다. 그러므로 모드 2 방법은 일별 외기온도의 변화가 큰 경우에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

전체적으로 볼 때 모드 2보다는 모드 1이 더 정확한 외기온도 예측이 가능하며, 장시간 이후의 외기온도 예측보다는 단시간 후의 외기온도 예측이 실제 외기온도와 더욱 잘 일치하는 경향을 나타내었다. 그러나, 모드 1에 의한 외기온도 예측 후의 열원공급이나 모드 2에 의한 외기온도 예측 후의 열원공급이 실내온도나 바닥표면온도 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 채택한 모델건물의 바닥구조체에 축열성이 있고 단일공간의 작은 규모이기 때문으로 판단되는데 향후 예측제어방법이 공동주택 등 큰 규모의 주택에 적용된다면 보다 효율적인 난방제어가 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 예측제어 실험

4.1 실험방법

일반적으로 국내의 주택은 많은 축열층을 가지고 있기 때문에 새로운 제어방법에 의해서 실시간(real time)제어를 할지라도 설정된 제어상태로 도달되는 데 상당한 시간이 소요될 수 있다.

특히 공동주택의 경우에는 이러한 시간지연효과가 더욱 크게 나타날 것이다. 따라서 본 연구에서는 이론적 연구에서 검토된 외기온도 예측방법의 적정성을 실험적으로 검토한 후 예측된 외기온도를 급수온도의 제어에 이용코자 하였다.

본 실험에서 외기온도 예측방법은 이론적 연구에서 검토된 Fourier Series를 이용하는 방법을 사용하였다. 그러나 최적제어방법은 실제 구현이 어렵기 때문에 다음과 같은 간접 최적제어방법을 이용하였다. 본 연구에서 구축된 실험장치의 경우에 급수온도나 유량을 최적제어하기 위해서 식 (2)를 적용하였다.

$$T_s = T_r + \frac{q_s}{m_w C_{pw}} \quad (2)$$

$$q_s = U \cdot A (T_{room} - T_{out})$$

일반적으로 실내에 전달되는 열량이 구조체의 축열현상에 의하여 지연되는 시간을 고려한 후 정확하게 실내에 맞는 적정한 열량을 예측된 외기온도에 의해 미리 계산하여 공급한다면 과잉난방이나 온수수송에 발생하는 열손실을 최소화시킬 수 있는 최적의 제어방법이 될 것이다.

그러나 실제 주택의 경우에는 외기온도의 변화에 따라서 정확하게 얼마만큼의 열량을 공급하여야 할지 결정하기 위해서는 $U \cdot A$ 값을 추정하여야 하는데 이 값을 결정하기는 쉽지 않다.

본 실험에서는 기존의 실험결과⁽¹⁰⁾로부터 도출된 $U \cdot A$ 값인 $38 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$ 를 이용하는 간접 최적제어방법을 사용하였다.

4.2 실험설비

공동주택에 적합한 여러 가지 제어방법 중 외기온도를 예측하여 급수온도의 설정치를 변경시키는 제어방법이 실제 건물에서 적용되었을 때의

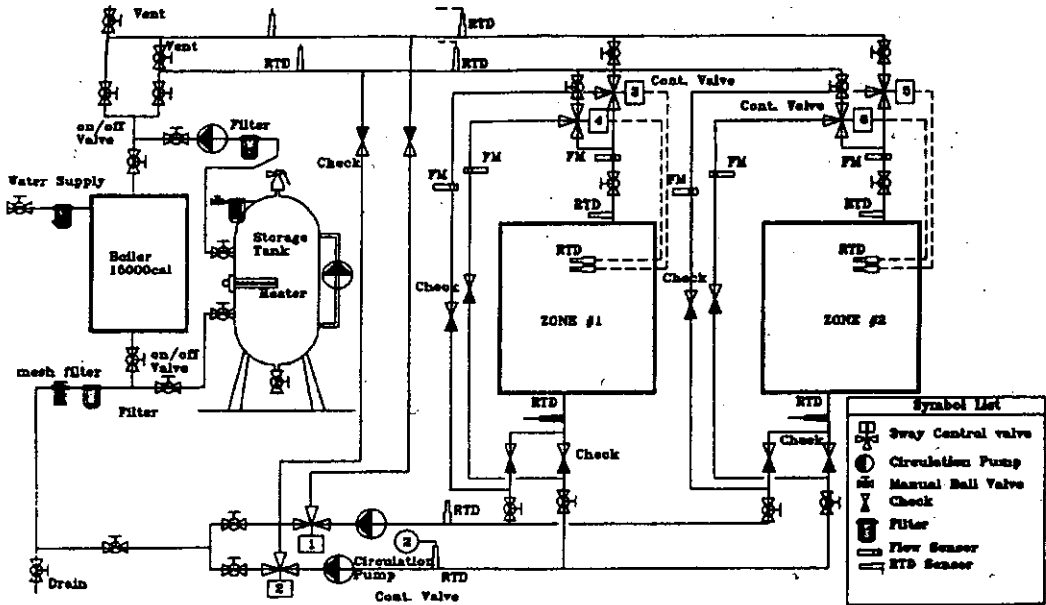


Fig. 6 Schematic of the experimental system.

실내 환경에 미치는 영향을 검토하기 위하여 온돌난방시스템과 자동제어 및 측정시스템을 갖춘 실험실에서 실험을 수행하였다.

실험실은 남향으로 위치하고 있는 총 14평 크기로서, 2개의 실험실과 1개의 장비실로 구성하였다. 두 개의 실험실은 각각 3.0m(W)×4.4m(L)×2.8m(H)로 동일한 크기로 구성함으로써, 양 실험실이 각기 다른 제어방법에 의하여 제어되었을 때의 결과를 동일한 외기온도 하에서 상호 비교 검토할 수 있다.

본 실험실의 특징은 실험실의 양측면에 일사차 단판을 설치하여, 일사량이 양 벽체에 투사될 때 태양위치의 변화에 따라서 발생하는 일사조건의 불균등성을 차단할 수 있도록 하였다.

Fig. 6은 본 연구에서 구성된 온돌난방 설비시스템을 나타낸다. 본 시스템은 보일러, 온수탱크, 펌프, 각종 밸브 등으로 구성되어 있고, 전기로 가열되는 온수탱크에 의해서 난방함으로써 연속 난방시스템을 모사할 수 있도록 하였다.

보일러 및 온수탱크는 각자의 제어기에 의하여 설정온도로 제어되는 데 비하여 펌프나 밸브는 HY-P100을 거쳐서 PC와 연결되어 PC에 의하여 주어진 알고리즘으로 제어될 수 있도록 하였다.

5. 실험결과 및 고찰

본 연구는 두 개의 동일한 실험실에서의 결과를 비교 분석할 수 있도록 하였으며 실험은 1998년 2월 21일~1998년 3월 17일에 걸쳐서 수행되었다. 외기온도 예측방법으로 기상대에서 하루 전에 예보된 일별 최고 및 최저온도를 이용하는 모드 1 방법과 하루 전날의 실제 외기온도를 기본데이터로 이용하는 모드 2 방법을 적용하였다. 그리고 예측시간의 변경에 따른 영향을 알아보기 위하여 3가지 예측시간에 대하여 실험하면서 실내 환경과 에너지사용량을 비교 분석하였다.

5.1 외기온도 예측

모드 1 방법과 모드 2 방법을 이용하여 예측한 2일간의 외기온도 예측데이터에서 2번째 날의 데이터를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 양 방법에서 외기온도 예측시간은 1.0시간이었다.

Fig. 7에서 입력된 최저 및 최고온도는 각각 -1℃, 11℃로서 지방기상청의 일기예보 데이터를 이용하였다. 예측외기온도와 실측외기온도를 비교해 보면 최저온도는 약 -1℃로 거의 일치하였지만 최고온도는 예측값이 약 11℃, 측정값이 약 10℃로서 예측값이 약 1℃ 높게 나타났으며 평균 온도는 각각 4.39℃, 3.44℃로서 예측값이 약 1℃ 높게 나타내었다. 15:00시 이전에는 양

온도의 차이가 대부분 1℃ 이내를 나타내고 있지만 그 이후에는 큰 편차를 나타내고 있다. 실제적으로 기상청의 기후측정지점과 예측제어를 적용하고자 하는 지점은 지역적인 차이가 있게 마련이므로 일기예보는 특정지역에 대해서는 잘 맞지 않는 경우가 있다. 이 경우도 최고온도 예보값이 실제 온도와 같은 10℃였다면 실제 외기온도와 더욱 근접한 값으로 예측하였을 것이다. 그러므로 모드 1 방법의 적용시에는 기상청의 일기예보자료와 특정지역의 기상자료를 비교하여 판단하여야 할 것이라 사료된다.

Fig. 8은 전날의 외기온도를 기초로 하고 10분간격으로 실측된 외기온도를 적용하여 외기온도를 예측한 것이다. 예측외기온도와 실측외기온도를 비교해 보면 일교차는 각각 5.86℃, 7.15℃로서 실측외기온도가 약 1.3℃ 큰 값을 나타내고 있지만 평균 온도는 각각 4.46℃, 4.45℃로서 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 양 온도간의 차이는 대부분 1.5℃ 이내를 나타내고 있으므로 외기온도가 비교적 양호하게 예측되었다고 할 수 있다.

이론적 및 실험적 연구를 종합하여 두 방법을 비교해 보면 경우에 따라서 우열이 달라지기 때문 어느 모드가 더 정확하다고 말하기는 쉽지 않다. 즉, 일기예보값이 정확하고 날마다 외기온도가 크게 변화된다면 모드 1 방법이 모드 2 방법보다 더 정확한 예측결과를 나타낼 수 있지만 그렇지 않다면 반대의 결과를 나타낼 수 있다.

5.2 외기온도 예측시간에 따른 변화

외기온도 예측시간의 변경에 따른 영향을 알아보기 위하여 각각 2일 동안 외기예측제어 및 외기보상제어에 의한 결과를 측정하였다. 이때 예측제어시간을 0.5시간, 1.0시간, 2.0시간의 3가지에 대하여 실험을 수행하였는데 외기온도 예측방법은 모드 2를 적용하였다. 여기서 예측제어시간이 2.0시간이라는 것은 2시간 후의 예측된 외기데이터를 이용하여 제어를 수행하는 것이므로 2시간 미리 제어하는 효과를 가진다.

각 경우에 대해서 양 실험실 중에서 한쪽에는 외기온도 예측제어, 다른 한쪽에는 외기보상제어를 적용하여 제어한 결과를 비교함으로써 외기온도 예측제어의 적용성을 검토하였다. 이때 실내

공간의 실내 온도를 개별제어하지 않은 상태에서 각 제어방법의 적용에 따른 급수온도, 환수온도, 바닥 표면온도, 실내 온도변화와 공급열량을 조사하였다. 외기온도 보상제어시 급수온도 설정치는 식(3)에 의해 결정하였는데 본 실험에서는 $T_{sst}=38, m=1, T_{ost}=0$ 을 적용하였다.

$$T_{s-set} = T_{s-st} + m(T_{out-st} - T_{out}) \quad (3)$$

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11은 예측제어시간을 각각 0.5시간, 1.0시간, 2.0시간으로 한 경우이다. 그림에서 L과 R은 각각 외기보상제어와 외기예측제어를 나타내며 Supply Temp., Return Temp., Floor Temp., Room Temp., Outdoor Temp., Predicted O.T., Heat Flux는 각각 급수온도(℃), 환수온도(℃), 바닥 표면온도(℃), 실내 공기온도

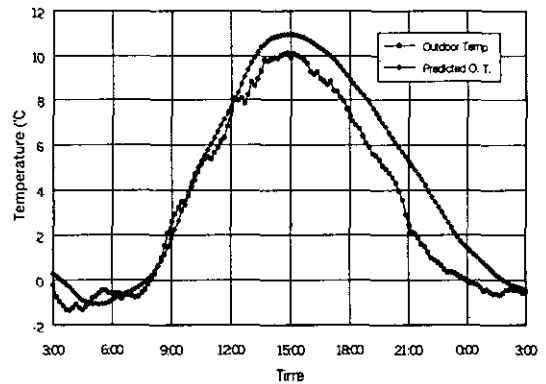


Fig. 7 Outdoor air temperature prediction using mode 1 method.

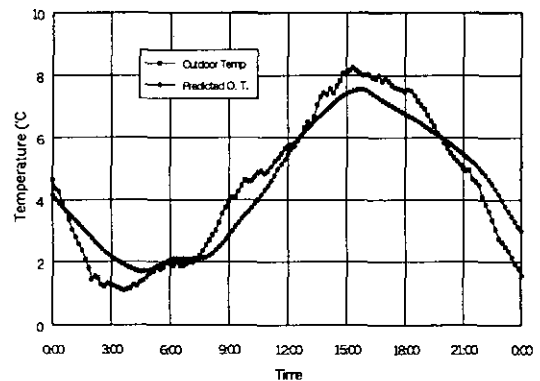


Fig. 8 Outdoor air temperature prediction using mode 2 method.

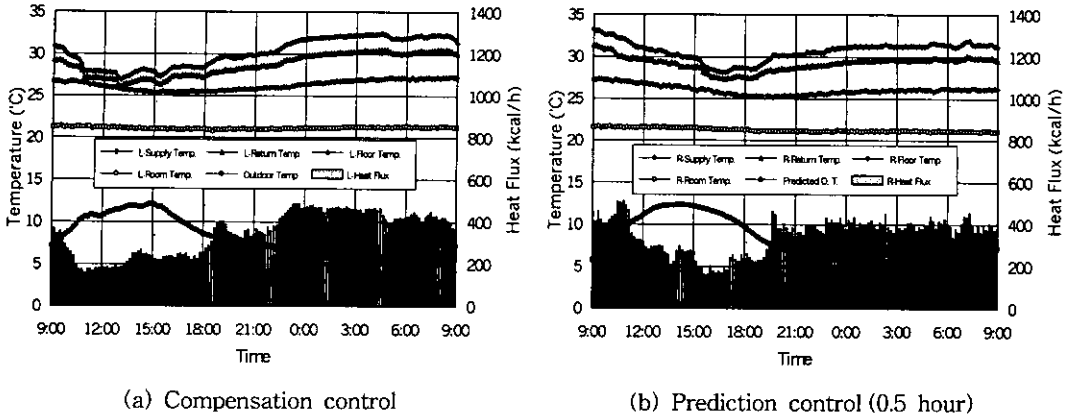


Fig. 9 Comparison of outdoor air temperature compensation control with prediction control (prediction time: 0.5 hour).

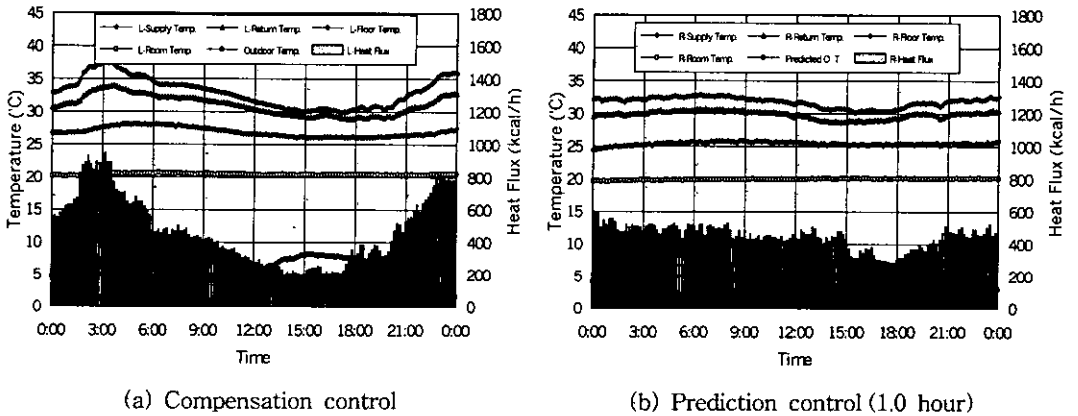


Fig. 10 Comparison of outdoor air temperature compensation control with prediction control (prediction time: 1.0 hour).

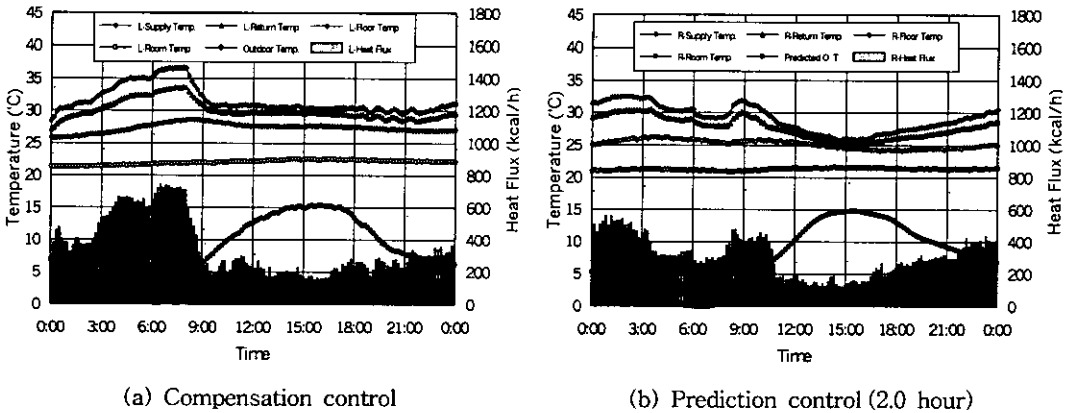


Fig. 11 Comparison of outdoor air temperature compensation control with prediction control (prediction time: 2.0 hour).

Table 1 Summary of experimental results

Predict time	Item		Outdoor air temp. (°C)	Indoor air temp. (°C)	Supply water temp. (°C)	Return water temp. (°C)	Floor surface temp. (°C)	Supply energy (kcal/h)	Daily supply energy (kcal/day)	
0.5 hour	Compensation control	high	11.90	21.39	32.46	30.54	27.31	498	8,380	
		low	5.03	20.79	26.87	26.10	25.28	182		
		avg.	8.00	21.15	30.19	28.72	26.28	349		
	Prediction control	high	12.31	21.69	33.25	31.32	27.23	502		8,498
		low	5.40	21.01	28.12	27.34	25.15	171		
		avg.	7.90	21.26	30.70	29.22	26.05	354		
1.0 hour	Compensation control	high	8.24	20.77	37.48	33.99	28.16	949	11,623	
		low	1.09	20.08	29.79	28.97	26.05	199		
		avg.	4.45	20.44	32.99	31.07	26.91	484		
	Prediction control	high	7.55	20.22	32.86	30.74	25.89	594		10,944
		low	1.70	19.65	30.12	28.69	24.36	275		
		avg.	4.46	20.00	31.78	29.88	25.41	456		
2.0 hour	Compensation control	high	15.40	22.57	36.56	33.62	28.61	743	8,660	
		low	0.19	21.26	29.67	27.10	25.75	153		
		avg.	8.18	22.00	31.56	30.05	27.34	361		
	Prediction control	high	14.80	21.41	32.42	30.43	26.27	542		7,612
		low	-0.11	20.87	25.81	25.16	24.12	121		
		avg.	7.23	21.12	29.07	27.74	25.18	317		

Outdoor air temp. : Measured outdoor air temperature for compensation control

Predicted outdoor air temperature for prediction control

(°C), 실제외기온도(°C), 예측외기온도(°C), 공급열량(kcal/h)을 나타낸다. 또한 주요 측정치의 분석 결과는 Table 1과 같다.

이 그림들을 보면 급수온도, 환수온도, 바닥 표면온도는 외기예측제어를 하는 경우가 외기보상제어를 하는 경우보다 변화폭이 감소하였지만 실내 온도는 외기보상제어를 하는 경우나 외기예측제어를 하는 경우 모두 외기온도에 무관하게 거의 동일한 온도를 나타내고 있다.

시험을 수행한 양 제어에서 실내 온도는 20~22°C로 유지되고 있는데 이는 이들 제어방법에서 계수들이 적정하게 선정된 때문이라고 할 수 있다. 계수를 선정할 때 외기보상제어를 하는 경우는 두 개의 계수 (T_{sr} 및 m)를 선정하여야 하고 외기예측제어를 하는 경우 하나의 계수 ($U \cdot A$)를 선정하므로 외기예측제어를 하는 경우에 더욱 손쉽게 계수를 선정할 수 있다. 또한 외기보상제어시의 계수는 실험에 의한 경험적인 방법으로 선정하는 반면에 외기예측제어시의 계수는 경험적인 방법뿐만 아니라 이론적인 부하계산방법으

로도 산출할 수 있는 장점이 있다.

외기보상제어시의 급수온도 설정치는 외기온도에 따라 즉각적으로 결정되어 제어하는 반면에 외기예측제어시의 급수온도설정치는 환수온도에 부하를 고려한 만큼의 ΔT 를 더한 값으로 결정되어 제어를 수행하므로 외기보상제어만큼 외기온도에 민감하게 대응하여 급수온도를 변화시키지 못하고 있지만 실내 온도는 거의 일정하게 유지되고 있음을 볼 수 있다.

그리고 단위시간당 공급되는 열량의 변화폭은 외기예측제어를 하는 경우 더욱 작아짐을 나타내고 있다. 따라서 실내 온도와 더불어 인체의 쾌적감을 좌우하는 2가지 요소 중의 하나인 바닥 표면온도의 변화가 외기예측제어를 하는 경우 더욱 작으므로 쾌적감의 측면에서도 더 양호하다 할 수 있다.

외기온도 예측시간에 따른 바닥온도나 실내 온도의 변화폭은 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 이는 외기예측제어시 급수온도가 시간의 경과에 따라 크게 변화하지 않으며 또한 온도의 특성상

구조체의 축열용량이 크기 때문에 약간의 급수온도변화가 실내 온도 등에 큰 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

6. 결 론

외기예측제어 방식이 복사난방공간에 효과적으로 적용될 수 있는지를 이론적 및 실험적으로 규명하기 위하여 연구한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 외기온도를 예측하기 위하여 기상청 일기예보 등을 통하여 사전에 미리 알고 있는 일별 최고 및 최저온도를 이용하여 익일의 외기온도를 예측하는 모드 1과 전날의 실제 외기온도를 기본 데이터로 이용하여 익일의 외기온도를 예측하는 모드 2 방법을 이론적 및 실험적으로 적용하여 두 방법을 비교 한 결과, 경우에 따라서 우열이 달라지기 때문에 어느 모드가 더 정확하다고 말하기는 쉽지 않다. 즉, 일기예보값이 정확하고 날마다 외기온도의 변화가 심하다면 모드 1 방법이 모드 2 방법보다 더 정확한 예측결과를 나타내지만 그렇지 않다면 반대의 결과를 나타낼 수 있다.

(2) 제어방법의 적용시, 제어식에 사용된 계수들이 적절하게 선정되어야 실내 환경을 쾌적하게 유지할 수 있는데 외기예측 제어방식은 선정할 계수의 수가 작고 또한 이론적인 방법으로 산출할 수 있으므로 더욱 손쉽게 계수를 선정할 수 있다.

(3) 외기예측 제어방식은 외기보상 제어방식만큼 외기온도에 민감하게 대응하여 급수온도를 변화시키지 못하고 있지만 실내 온도는 24시간 동안 거의 일정하게 유지되고 있으며, 바닥 표면온도의 변화는 외기예측제어를 하는 경우에 더욱 작으므로 쾌적감의 측면에서도 더 양호하다고 할 수 있다.

(4) 외기온도 예측시간에 따른 바닥온도나 실내온도의 변화폭은 큰 차이를 나타내고 있지 않지만 이 값은 건물외피의 상태에 따라 달라지므로 이에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시된 제어방법은 실내 온도를 제어하지 않는 연속난방주택에서 실내 환경의 개선은 물론 에너지 절약적인 제어방법으로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Adelman, D., 1988.3, Some control strategies for radiant floor heating, Radiant Times, pp. 4-5.
2. Friedlander, M., 1986, Premium heating with radiant slabs, Solar Age, April, pp. 66-71.
3. MacCluer, C. R., 1989, Temperature variations of flux-modulated radiant slab system, ASHRAE Trans., 1989a, pp. 1010-1014.
4. Berglund, L., Rascati, R. and Markel, L. M., 1982, Radiant heating and control for comfort during transient conditions, ASHRAE Trans., Vol. 86, pp. 765-775.
5. Lee, S. B., 1993, Study on the control for radiant floor heating system, 8th Energy Conservation Technique Workshop, KIER, pp. IV.1-IV.11.
6. Chang, H. W. and Ahn, B. C., 1996, The energy analysis and control characteristic of a hot water heating system for apartment houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 76-87.
7. Cho, S. H., 1995, Thermal circumstance characteristics of the house with a floor heating system on the variations of heating control method, Proceedings of the SAREK '95 Summer Annual Conference, pp. 455-461.
8. Cho, S. H. and Tae, C. S., 1996, The effective heating control method of the radiant floor heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 3, pp. 317-329.
9. Cho, S. H., Tae, C. S. and Park, S. D., 1997, Experimental Study on the multi-step outdoor air temperature compensation control of the radiant floor heating space, Proceedings of the SAREK '97 Summer Annual Conference, pp. 458-464.
10. Cho, S. H. et al., 1997, Development of the automatic control technology for Indoor circumstance improvement, KIER Report, KIER-972114, pp. 51-90.