

간헐난방주택에 대한 외기온도 예측제어 적용 연구

태 춘 섭[†], 조 성 환, 이 충 구*

한국에너지기술연구원 건축설비연구팀, *충북대학교 기계공학과

Application of the Outdoor Air Temperature Prediction Control for Intermittent Heating Residences

Choon Seob Tae[†], Sung Hwan Cho, Chung Gu Lee*

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

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

(Received November 27, 2000 ; revision received May 18, 2001)

ABSTRACT: Most of radiant floor heating systems are operated in the intermittent heating mode in Korea. The application possibility of predictive suboptimal control for Korean residential house 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) identical in construction was built. The facility enabled simultaneous comparison of two different control method. And real multi residential house was investigated.

Results showed that outdoor air temperature prediction control was superior to the conventional control for radiant floor heating system operated in the intermittent heating mode. New control system resulted in good thermal environment and less energy consumption.

Key words: Intermittent heating(간헐난방), Outdoor air temperature prediction control(외기온도 예측제어)

1. 서 론

국내 주거용 건물의 대부분은 바닥 내에 매설된 온수관을 통하여 온수를 순환시킴으로써 바닥을 가열하는 바닥복사 난방방식을 이용하고 있는데 이러한 시스템은 세계적으로도 고유한 것이다.

이러한 복사난방공간의 열적 쾌적성을 최대한 활용코자 난방공간의 제어와 관련하여 지금까지 많은 연구가 이루어졌다.

Friedlander와 Adelman은 외기온도와 급수온도 사이에 선형관계가 있음에 착안해서 외기온도

에 역비례로 공급온수온도를 제어하는 외기온도 리셋제어(outdoor reset control) 방법을 제안했다.⁽¹⁻²⁾ MacCluer는 바닥구조체에 전달되는 열전달량을 제어할 수 있는 공급열량을 제어하는 방식(flux modulation control)을 제안하였다.⁽³⁾

이승복은 비례적으로 공급열량을 제어하는 방식(proportional flux-modulation)과 공급수온도를 제어하는 방식(temperature-modulation)을 비교하여 바닥복사 난방시스템의 제어방식을 평가하였다.⁽⁴⁾ 조성환 등은 실내 온도 및 바닥표면온도를 쾌적범위 내로 유지하기 위하여 이들 양자를 제어대상으로 할 수 있는 다인자제어방법(multi-parameter control)을 제안하고 이들 방법의 활용가능성에 대한 타당성을 이론적으로 검토하였으며,⁽⁵⁾ 또한 다인자제어방법의 타당성에 관한 실

[†] Corresponding author

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

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

험적 연구결과를 제시하였다.⁽⁶⁾ 그리고 장효환 등은 공동주택용 온수난방시스템의 에너지해석 및 펌프의 회전수제어에 의한 에너지절약을 제시하였다.⁽⁷⁾

국내의 공동주택에서는 일반적으로 연속난방보다는 간헐난방이 적용되고 있다. 간헐난방시의 난방가동시간은 각 공동주택단지별로 동일하지 않으며 외기온도에 따른 가동시간을 별도로 정하여 난방을 하고 있다.

본 연구는 외기온도 예측제어방법이 간헐난방을 하는 공동주택에 잘 적용될 수 있는지를 이론적으로 규명하기 위하여 건물의 동적 에너지해석에 많이 이용되고 있는 TRNSYS 프로그램을 이용하였다. 온수관이 설치된 바닥 슬라브에 대한 동적 해석방법, 복사난방공간의 온도제어방법 및 외기온도를 예측할 수 있는 방법을 프로그램화한 후 TRNSYS 프로그램의 한 모듈로 구성하였다.

이를 이용하여 간헐 복사난방공간에서 외기온도 예측제어방법의 적용성을 이론적으로 규명한 후, 본 연구를 위하여 건립된 난방공간과 실제 공동주택에서 외기온도 예측치에 따라 건물부하를 계산하여 난방가동시간을 결정하는 간헐난방 예측제어방법과 현재의 공동주택에 적용되고 있는 일별 최저외기온도에 따라 가동시간을 결정하는 기존제어방법에 대하여 실증실험을 실시하였다. 그리고 이 결과들을 검토함으로써 외기온도 예측제어의 적용성을 이론적 및 실험적으로 규명코자 한다.

2. 외기온도 예측 및 난방제어방법

외기온도를 예측하는 방법은 최소한 24시간 전의 기존 데이터를 이용하여 기본 데이터를 만든 후 푸리에 급수(Fourier series)를 이용하여 앞으로의 외기온도를 예측하는 방법과 기상대에서 예측한 최고 및 최저온도에 의하여 온도주기함수를 이용하는 두 가지 방법이 있는데 본 연구에서는 후자를 이용하였으며 적용방법은 다음과 같다.

일반적으로 DOE-2 등 건물해석 프로그램에서는 일 최고 및 최저온도가 주어지면 시간별 외기온도는 다음과 같은 3개의 함수식에 의하여 구분한 온도주기함수를 이용한다.

따라서 본 연구에서도 일 최고 및 최저온도는 기상대 등의 예보에 의하여 미리 알 수 있으므로 다음과 같은 3가지 형태의 주기함수에 의하여 구

해진 시간별 외기온도를 이용하였다.

$$t \leq t_l$$

$$T = T_v - T_d \cdot \cos \left[\left(\frac{\pi}{24 - (t_h - t_l)} \right) (t - t_l) \right] \quad (1)$$

$$t_l < t \leq t_h$$

$$T = T_v - T_d \cdot \cos \left[\left(\frac{\pi}{t_h - t_l} \right) (t - t_l) \right] \quad (2)$$

$$t_h < t$$

$$T = T_v + T_d \cdot \cos \left[\left(\frac{\pi}{24 - (t_h - t_l)} \right) (t - t_h) \right] \quad (3)$$

여기서, $T_v = (T_h + T_l)/2$

$$T_d = (T_h - T_l)/2$$

t_h : 최고온도(T_h) 발생 시각

t_l : 최저온도(T_l) 발생 시각

본 연구에서 사용한 간헐난방용 외기온도 예측제어 모듈을 단계별로 나타내면 아래와 같다.

단계 1 : 외기온도 및 부하예측

미리 예측된 최고 및 최저 외기온도에 의하여 24시간 동안의 시간별 외기온도를 예측한다. 그리고 예측된 최저온도에 따라서 Table 1을 이용하여 난방가동회수를 결정한다.

단계 2 : 건물의 최대공급열량을 식(4)에 의해 계산

$$\dot{q}_{boiler} = \eta * Capacity \quad (4)$$

여기서, η 는 보일러의 효율을 나타내며 Capacity는 보일러의 최대 공급열량이나 건물로 공급될 수 있는 최대열량, 즉 $\dot{m}C_p(T_s - T_r)_{max}$ 이다. 여기서 \dot{m} 는 공급유량, T_s 는 공급수온도, T_r 은 환수온도이다.

단계 3 : 식(5)에 의해 첫번째의 보일러 가동시간(T_{ON1})을 구한 후 보일러를 가동

보일러 가동개시시각은 Table 1, Operating Time의 가동시작시각과 동일하다.

$$T_{ON1} = \int_0^{t_1} \dot{q}_{load}(t) dt / \dot{q}_{boiler} \quad (5)$$

Table 1 Heating schedule according to outdoor air temperature

Minimum outdoor air temperature	Operating time	Total (hour)
$T \leq -10^{\circ}\text{C}$	3 : 00~7 : 00, 10 : 00~12 : 00, 17 : 30~21 : 30	10.0
$-10^{\circ}\text{C} < T \leq -5^{\circ}\text{C}$	3 : 00~6 : 00, 10 : 00~12 : 00, 17 : 30~20 : 30	8.0
$-5^{\circ}\text{C} < T \leq 0^{\circ}\text{C}$	3 : 00~5 : 30, 10 : 00~11 : 30, 17 : 30~20 : 00	6.5
$0^{\circ}\text{C} < T \leq 5^{\circ}\text{C}$	3 : 00~5 : 30, 17 : 30~20 : 00	5.0
$5^{\circ}\text{C} < T \leq 10^{\circ}\text{C}$	3 : 00~5 : 00, 17 : 30~19 : 00	3.5
$10^{\circ}\text{C} < T \leq 15^{\circ}\text{C}$	3 : 00~5 : 00	2.0
$15^{\circ}\text{C} > T$	-	-

여기서, t_1 은 난방이 가동되는 시간의 마지막 시간을 나타내며 건물의 동적 부하($\dot{q}_{bldg}(t)$)는 TRNSYS 프로그램에 의하여 구해진 외기 온도별 부하계산결과를 이용한다.

단계 4 : 다음 보일러 가동시각이 되면 단계 2부터 시작하여 가동시간(T_{ON2}, T_{ON3}, \dots) 결정

즉, 위와 같이 예측된 최저외기온도에 따라서 정해진 난방가동회수에 맞춰서 난방가동시간을 결정하면 건물 유형이나 외기조건을 크게 고려하지 않고 가동시간을 결정하는 기존의 난방가동방법에 비하여 난방가동시간이 적정화됨으로써 주택에서 상당량의 에너지절약이 예상될 수 있다.

3. 이론적 연구

3.1 간헐난방시스템의 난방스케줄

기존제어방식과 예측제어방식의 적용에 따른 차이를 비교하기 위하여 기존의 공동주택에서의 난방가동시간을 조사한 결과 Table 1과 같은 외

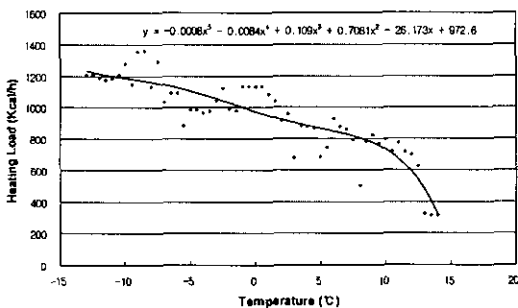


Fig. 1 Heating load for model building.

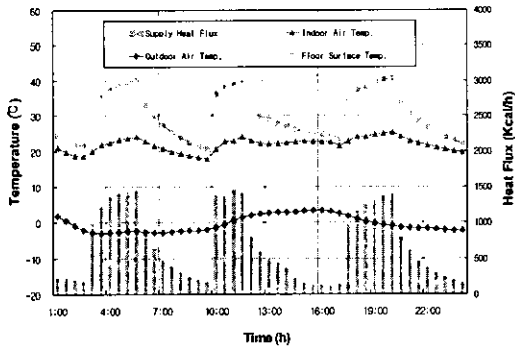
기온도별 난방스케줄을 작성하였다. 이 표는 이론적 및 실험적 연구에서 기존제어방법으로 가동된 경우의 값으로 적용되어 예측제어방법과의 비교에 사용될 것이다.

3.2 결과 및 고찰

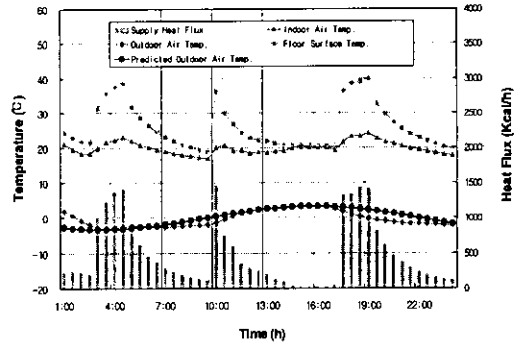
외기온도 예측에 의하여 간헐난방시간을 조절하는 것이 기존의 제어방법과 비교하여 에너지절약이 가능한지를 비교하기 위하여 본 연구에서는 3가지 외기온도(평균온도 : 9.6°C , -0.4°C , -10.4°C)에 대하여 실험주택을 대상으로 수치해석을 수행하였다. 이때 외기온도에 따른 건물부하를 예측하기 위하여 TRNSYS로 계산하여 미리 확보한 부하곡선($\dot{q}_{boiler}(t)$)은 Fig. 1과 같다.

Table 1에 나타나 있는 기존의 공동주택에서 사용하는 외기온도별 난방스케줄에 따라서 난방한 결과는 Fig. 2(a)와 같고 기존의 난방방법과 에너지사용량 및 실내 환경을 비교하기 위하여 본 연구에서 개발한 외기온도 예측제어방법에 의하여 난방공급을 한 경우는 Fig. 2(b)와 같다. 이 그림은 실제 및 예측된 외기온도($^{\circ}\text{C}$), 실내 온도($^{\circ}\text{C}$), 바닥표면온도($^{\circ}\text{C}$) 및 공급열량(kcal/h)을 나타내고 있다. 공급열량은 $h \cdot A \cdot (T_f - T_i)$ 로 계산되는데 여기에서 h 는 표면 열전달계수, A 는 바닥면적, T_f 는 바닥표면온도, T_i 는 실내 온도를 나타낸다.

그림에서 보면 최저외기온도가 0°C 이하로서 하루에 3회의 난방공급이 이루어지고 있으며, 바닥표면온도는 $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 까지 변화가 심한 반면 실내 온도는 $18 \sim 22^{\circ}\text{C}$ 정도로 유지되고 있다. 최고 및 최저온도를 미리 알고 있다는 가정하에서 예측된 24시간 동안의 매 시간별 외기온도는 실제



(a) Traditional control strategy



(b) Prediction control strategy

Fig. 2 Comparison of control strategy.

외기온도와 비교하여 큰 차이를 나타내지 않고 1~2℃ 범위 내에서 잘 일치함을 알 수 있다. 즉 최고 및 최저온도만 정확하게 예측된다면 시간별 외기온도는 실제 경우와 큰 차이 없이 예측할 수 있음을 알 수 있다. 결과적으로 외기온도의 예측 결과에 의하여 제어하는 경우는 기존의 제어방법과 비교하여 난방열량 공급시간이 감소되는 결과를 나타내고 있다. 그러나 이에 따른 실내 및 바닥표면의 온도변화는 기존방법에 의한 결과와 비교하여 크게 하향되지 않음을 나타내었다.

Fig. 3은 앞에서와 같이 외기온도에 따른 양 제어방법의 결과에 대하여 24시간 동안의 총공급 열량(kcal/h)을 나타낸 것이다. 그림에서 Old type은 기존의 제어방법, New type은 외기온도 예측 제어의 결과를 나타내는데 외기온도가 낮은 경우에 외기온도 예측제어방법을 이용하면 기존의 방법에 비하여 약 13%의 공급열량이 절약되며 이러한 경향은 외기온도가 높아질수록 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

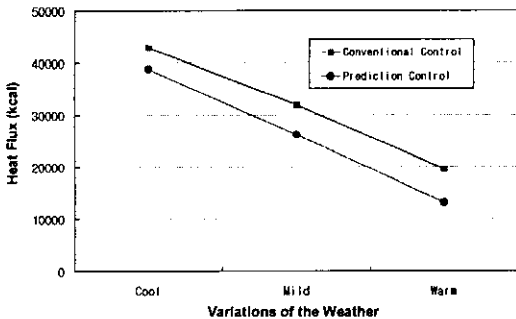


Fig. 3 Heat flux with respect to outdoor air temperature.

4. 단독주택에 대한 실험적 연구

4.1 실험설비

간헐난방을 하는 공동주택에 대한 제어방법 중 최저외기온도에 따라 난방가동시간을 설정하는 기존의 제어방법과 최저 및 최고외기온도를 입력하여 난방가동시간을 설정하는 새로운 제어방법이 실제 건물에서 적용되었을 때의 실내 환경에 미치는 영향을 검토하기 위하여 자동제어 및 측정시스템을 갖춘 실험실에서 실험을 수행하였다.

실험실은 남향으로 위치한 총 14평 크기로서, 2개의 실험실과 1개의 장비실로 구성하였다. 두 개의 실험실은 각각 3.0m(W)×4.4m(L)×3.8m(H)의 동일한 크기로 구성함으로써, 양 실험실이 각기 다른 제어방법에 의하여 제어되었을 때의 결과를 동일한 외기온도 하에서 상호 비교, 검토할 수 있다. 본 실험실은 실험실의 양측면에 일사차단판을 설치하여, 태양 위치의 변화에 따라서 발생하는 일사조건의 불균등성을 차단할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 구성된 온돌난방 설비시스템은 보일러, 온수탱크, 펌프, 각종 밸브 등으로 구성되어 있고, 온수탱크 또는 보일러에 의해서 난방함으로써 중앙공급식 난방시스템을 모사할 수 있도록 하였다. 보일러 및 온수탱크는 각자의 제어기에 의하여 설정온도로 제어되는데 비하여 펌프나 밸브는 HY-P100을 거쳐서 PC와 연결되어 제어될 수 있도록 하였다.

측정 및 제어시스템은 기상청의 일기예보를 바탕으로 하여 다음날의 온도를 미리 파악함으로써

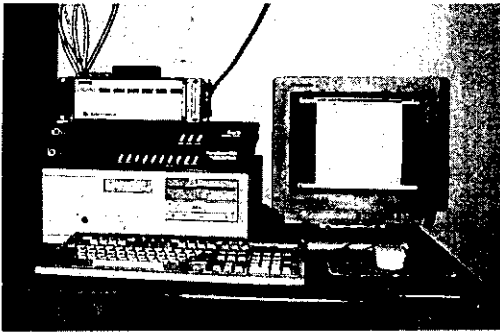


Fig. 4 View of control and measurement system.

예측제어를 실행한다. 예측제어는 정해진 알고리즘에 따라 최적의 제어변수를 만드는데 이 데이터는 기존 수작업에 의존하던 하루의 제어스케줄을 예측할 수 있다. 최적제어는 난방의 효율을 극대화시켜 에너지 절약을 실현할 수 있다.

제어 및 측정 시스템의 외관은 Fig. 4와 같다.

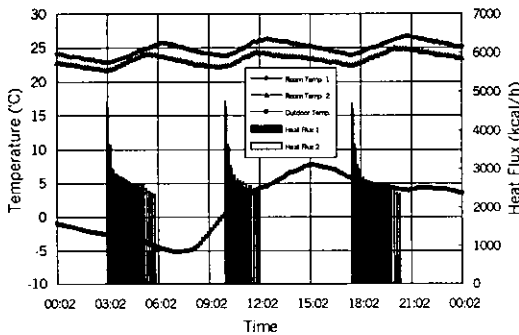
4.2 실험결과 및 고찰

본 실험은 1998년 10월 31일~11월 30일에 걸쳐서 낮은 외기온도, 중간 외기온도, 그리고 높은 외기온도에 대하여 각각 2회씩 수행하였다. 실내 온도를 설정하지 않은 상태에서 한 실은 Table 1에 나타난 바와 같이 최저외기온도에 따른 기존의 난방가동시간으로 제어하고 다른 한 실은 외기온도에 따라 간이계산방법으로 난방부하를 계산하여 난방가동시간이 결정되는 예측제어를 수행하면서 실내 환경과 에너지사용량을 분석하였다.

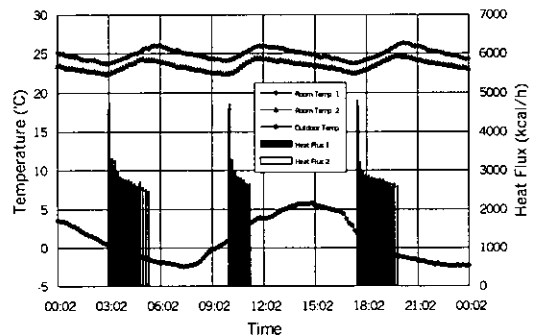
그 중에서 외기온도가 낮은 경우에 대하여 기

존제어방법과 예측제어방법을 적용하여 비교하여 Fig. 5에 나타났다. 예측최저온도가 case 1은 -6°C 로서 $-10^{\circ}\text{C} < T \leq -5^{\circ}\text{C}$ 의 범위에 속하고 case 2는 -4°C 로서 $-5^{\circ}\text{C} < T \leq 0^{\circ}\text{C}$ 의 범위에 속하므로 난방가동시간은 달라지지만, 외기온도의 평균치가 비슷하여 난방부하는 큰 차이가 없다고 할 수 있는 두 경우를 비교하고 있다. 실내 온도는 설정하지 않았고 순환모터를 On-off 방식으로 제어하여 각 실험실의 온도 및 공급열량의 변화를 나타내고 있다. 여기에서 Room Temp. 1과 Heat Flux 1은 기존제어방식을 적용한 경우이고, Room Temp. 2와 Heat Flux 2는 예측제어방식을 적용한 경우이며, Outdoor Temp.는 외기온도를 나타낸다. 공급열량(Heat Flux)은 $\dot{m}C_p(T_s - T_r)$ 라는 식을 이용하여 계산하는데 여기서 \dot{m} 는 공급유량, T_s 는 공급수온도, T_r 은 환수온도이다.

이 그림을 보면 최저외기온도가 다르므로 기존 제어방법으로 제어하면 두 경우의 난방가동시간은 각각 8시간, 6시간 30분이므로 90분의 차이가 있지만 예측제어방법으로 제어하면 두 경우의 난방가동시간은 각각 5시간 50분, 5시간 20분이므로 30분의 차이가 있을 뿐이다. 즉, case 1과 case 2와 같이 최저온도가 난방가동시간이 변경되는 부근이면 그 차이가 그리 크지 않아도 난방가동시간은 90분의 차이가 있으므로 그에 따라 난방공급열량도 큰 차이가 발생하는 문제점이 있다. 그러나 예측제어방법은 매 시간별 외기온도에 따라 난방부하를 구하고 이에 근거하여 난방가동시간이 결정되어 이러한 문제점이 발생되지 않으므로 더욱 유리하다는 것을 알 수 있다.



(a) Low outdoor air temperature (case 1)



(b) Low outdoor air temperature (case 2)

Fig. 5 Comparison of traditional and temperature prediction control method for intermittent heating.

Table 2 Experimental results of various outdoor air temperature for single residence

Outdoor air temp.	Case	Predicted outdoor air temp. (°C)	Measured outdoor air temp. (°C)	Traditional control method (Room 1)			Prediction control method (Room 2)		
				Indoor air temp. (°C)	Heating time (hour)	Energy consumption (kcal/day)	Indoor air temp. (°C)	Heating time (hour)	Energy consumption (kcal/day)
Low	1	low: -6 high: 5	low: -5.1 high: 7.7 avg.: 1.6	start: 24.1 end: 25.3 avg.: 24.8	8.0	22,960	start: 22.8 end: 23.5 avg.: 23.3	5.83	17,460
	2	low: -4 high: 6	low: -2.4 high: 5.7 avg.: 0.9	start: 25.1 end: 24.3 avg.: 24.9	6.5	18,300	start: 23.5 end: 23.0 avg.: 23.5	5.33	15,870
Medium	1	low: 1 high: 9	low: -0.5 high: 14.1 avg.: 5.0	start: 22.4 end: 22.7 avg.: 22.6	5.0	15,290	start: 20.8 end: 21.0 avg.: 21.3	3.83	11,600
	2	low: 5 high: 11	low: 3.9 high: 10.0 avg.: 6.3	start: 22.7 end: 22.7 avg.: 22.8	5.0	15,190	start: 21.0 end: 20.5 avg.: 21.1	3.33	10,080
High	1	low: 6 high: 18	low: 3.7 high: 19.9 avg.: 12.3	start: 23.3 end: 25.3 avg.: 24.6	3.5	11,750	start: 22.8 end: 24.2 avg.: 23.7	2.33	7,590
	2	low: 9 high: 19	low: 7.7 high: 22.4 avg.: 14.1	start: 20.3 end: 23.1 avg.: 22.3	3.5	11,810	start: 19.7 end: 21.4 avg.: 20.9	1.83	6,350

실험결과 중에서 외기온도에 따라 두 경우씩 선정하여 요약하면 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 표에서 볼 수 있듯이 외기온도에 무관하게 예측제어방법을 적용하는 경우는 기존제어방법을 적용하는 경우보다 에너지사용량이 감소하고 있으며 또한 실내 온도도 적정하게 유지되고 있음을 나타냈다.

5. 공동주택에 대한 실제적용 연구

앞에서는 간헐난방주택의 제어에 대하여 실험실을 대상으로 하여 연구를 수행하였다. 여기에서는 공동주택에 실제로 적용하였을 경우의 제어 성능을 검토하기 위하여 실험대상 건물을 선정하고 그 건물의 단위면적당의 난방부하를 간이계산 방법으로 산정하였으며 측정 및 제어시스템을 설치하고 기존제어방법과 예측제어방법을 적용한 경우에 대하여 에너지사용량 및 실내 환경을 분석하였다.

5.1 실험대상 공동주택

본 연구에서 새로 개발된 알고리즘으로 구성된 간헐난방제어 프로그램을 실제로 적용하기 위한 실험대상 건물로는 한국에너지기술연구소 내에 위치한 기숙사와 연립주택으로 선정하였다.

기숙사와 연립주택은 하나의 보일러로 동일한 스케줄에 의해서 난방을 하고 있으므로 일반공동주택 2동에 해당된다고 할 수 있다. 보일러의 용량은 130,000 kcal/h이고 보일러의 가동시간은 타 이머에 의해 일정시각에 on-off 제어를 하고 있다.

그러나, 기숙사와 연립주택의 난방방식은 같지 않다. 즉, 기숙사는 라디에이터에 의한 난방을 하고 있지만 연립주택은 온돌난방을 하고 있다.

5.2 실제 적용실험

5.2.1. 측정 및 제어시스템

측정시스템은 앞의 간헐난방 예측제어실험에서

Table 3 Measuring sensors for multi residence

Item	Type	Number
Supply water temperature	RTD	1
Return water temperature	RTD	1
Room temperature	Portable data logger	3
Outdoor temperature	RTD	1
Total		7

사용하던 것과 동일하다. 본 실험에서 온도의 측정부위 및 측정지점은 Table 3과 같다. 표에서 보면 모두 7지점의 온도를 측정하였으며 환수관 1지점에서 유량을 측정하였다. 출력제어변수로는 순환수모터(AC 220 V)를 제어 프로그램에 따라 on-off 제어를 하였다.

제어시스템도 앞의 간헐난방 예측제어실험에서 사용하던 것과 동일하다. 다만, 제어시스템의 소프트웨어의 메뉴화면 중에서 실험실 제어용 화면이 Fig. 6과 같은 공동주택 제어용 화면으로 대체되는데 그 내용은 다음과 같다.

- 최저 및 최고외기온도 입력
- 최저온도 및 최고온도 발생시각 입력
- 보일러용량 입력
- 데이터 저장시간간격 입력
- 데이터 변화율 입력
- 보일러 및 펌프 제어현황 출력
- 측정된 온도 및 유량의 출력
- 보일러1과 펌프1은 기존제어방식으로 제어하고, 보일러2와 펌프2는 난방가동시간을 계산하는 외기예측 제어방식으로 제어
- 층수, 세대수, 방위, 면적, 계단종류, 지리적 위치 등을 고려하여 난방부하 계산

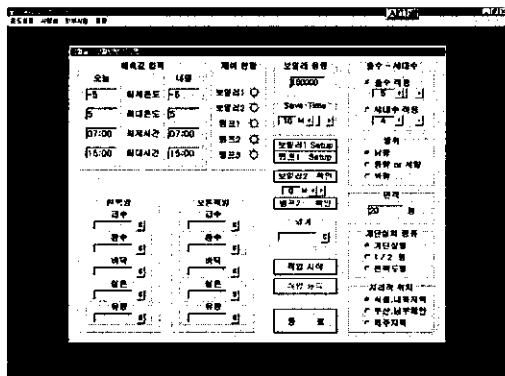


Fig. 6 Control display for multi residence.

5.2.2. 실험결과 및 고찰

본 실험은 1998년 12월에 낮은 외기온도와 높은 외기온도에 대하여 수행하였다. 실내 온도를 설정하지 않은 상태에서 전반부(12월 7일~12월 15일)에는 예측된 외기온도에 따라 난방부하를 계산하고 그 값에 따라 난방시간이 변화되도록 하는 예측제어방법을 수행하고 후반부(12월 19일~12월 24일)에는 최저외기온도에 따라 난방시간이 결정되는 기존제어방법으로 제어하였다.

따라서 양 제어방법의 비교는 동일한 외기온도 하에서 수행한 것이 아니므로 직접적인 비교는 어렵겠지만 외기온도가 유사한 날을 선정하여 이러한 제어방법의 변경에 따른 실내 환경과 에너지사용량을 비교 분석하였다.

(1) 낮은 외기온도

외기온도가 낮은 경우에 대하여 제어방법의 차이에 따른 에너지사용량 및 실내 환경변화를 알아보기 위하여 기존제어방법과 예측제어방법을 적용하여 실험을 수행하였다. 실내 온도는 설정하지 않았고 모터를 on-off 방식으로 제어한 경우에 각실의 실내 온도변화와 공급열량을 조사하였다.

외기온도의 평균치가 유사한 2일에 대하여 각 실험실의 온도변화와 공급열량을 나타내면 각각 Fig. 7 및 Fig. 8과 같고 이 결과를 요약하면 Table 4와 같다. 그림에서 실온1, 실온2, 실온3은 각각 연립주택 101호(연립주택의 측면에 위치한 세대)의 실내 온도(°C), 연립주택 103호(연립주택의 중앙에 위치한 세대)의 실내 온도(°C), 그리고 기숙사 208호(2층, 남향 중간 위치)의 실내 온도(°C)이다. Heat Flux는 전체의 주택으로 공급된 열량(kcal/h)을 나타낸다.

이 그림에서 실내 온도분포를 살펴보면 실온3(기숙사, 라디에이터 난방 시행)의 온도변화폭이 실온1, 실온2(연립주택, 온돌난방 시행)에 비하여 매우 심한 것을 볼 수 있다. 이는 축열성이 있는 온돌난방과 축열성이 없는 라디에이터 난방의 차

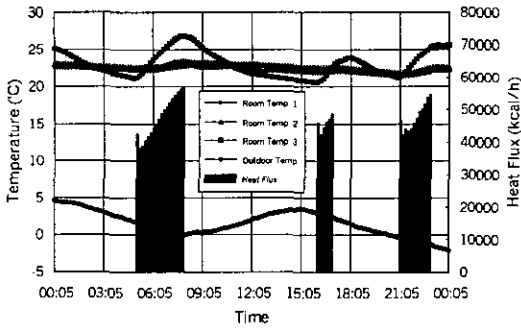


Fig. 7 Variation of energy consumption and temperature using prediction control method for multi residence (low outdoor air temperature).

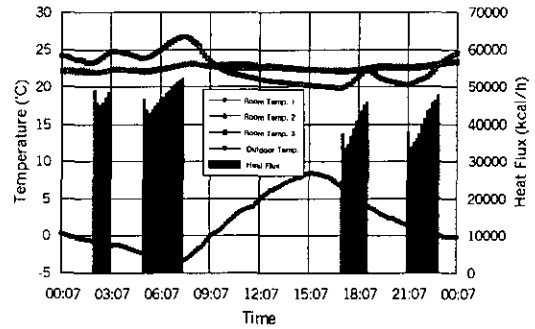


Fig. 8 Variation of energy consumption and temperature using traditional control method for multi residence (low outdoor air temperature).

이를 극명하게 나타낸 것이다. 즉, 온돌난방에서는 간헐난방을 하여도 쾌적성에 문제가 거의 없지만 축열성이 없는 방열기를 채용한 주거용 건물에서는 간헐난방을 하면 쾌적성에 문제가 발생할 수 있으므로 연속난방을 하거나 간헐난방의 가동횟수를 증가시키는 편이 좋다는 것을 보이고 있다.

두 그룹에서 외기온도는 예측제어방법이 적용된 날은 $-0.4 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$, 평균 1.5°C 이고 기존제어방법이 적용된 날은 $-3.6 \sim 8.4^{\circ}\text{C}$, 평균 1.8°C 를 나타내고 있다. 하루중의 외기온도는 다르지만 평균 외기온도는 유사하므로 개략적인 상호 비교가 가능할 것으로 판단된다.

예측제어방법을 시행한 날은 3회의 난방가동을 하고 있지만 기존제어방법을 시행한 날은 4회의 난방가동을 하고 있는데 이는 라디에이터 난방을 하고 있는 기숙사를 위한 조치로 사료된다. 즉 4회의 난방가동을 실시하고 있는 경우의 새벽의 실온이 더 높게 유지되는 것을 볼 수 있다.

실내 온도를 보면 연립주택의 경우는 일간의

변화가 거의 없이 일정한 편이고, 기숙사의 경우는 일간의 변화가 매우 크지만 평균 온도는 연립주택과 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 평균 실내 온도는 예측제어를 한 경우는 22.7°C , 기존제어를 한 경우는 22.5°C 로 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나 난방개시 및 종료시의 온도를 비교하여 보면 예측제어를 하는 경우는 평균 0.2°C 낮아진 반면에 기존제어를 하는 경우는 평균 0.8°C 높아진 것을 나타내고 있다. 즉, 이와 같은 상태로 에너지가 계속 공급된다면 예측제어를 하는 경우는 현재의 실내 온도보다 약간 더 하강하고 또한 기존제어를 하는 경우는 현재의 실내 온도보다는 약간 더 상승할 것을 알 수 있다.

하루중 열량공급시간과 공급열량은 예측제어를 실시한 날은 6시간 20분, 284,000 kcal/day이고 기존제어를 실시한 날은 하루에 7시간, 314,000 kcal/day이다. 따라서 양 일의 난방가동시간의 차이는 40분이고, 공급열량의 차이는 약 30,000 kcal/day로서 약 10%의 에너지가 감소되는 것으로 나타났다.

Table 4 Experimental results for multi residence in low outdoor air temperature

Control method	Predicted outdoor air temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Measured outdoor air temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Average indoor air temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Heating time (hour)	Energy consumption (kcal/day)
Prediction control	low: -4 high: 5	low: -0.4 high: 3.5 avg.: 1.5	start: 23.6 end: 23.4 avg.: 22.7	6.33	284,088
Traditional control	low: -3 high: 10	low: -3.6 high: 8.4 avg.: 1.8	start: 22.9 end: 23.7 avg.: 22.5	7.0	314,130

(2) 높은 외기온도

외기온도가 높은 경우에 대해서도 제어방법의 차이에 따른 에너지사용량 및 실내 환경변화를 알아보기 위하여 기존제어방법과 예측제어방법을 적용하여 실험을 수행하였다.

외기온도의 평균치가 유사한 2일에 대하여 각 실험실의 온도변화와 공급열량을 나타내면 각각 Fig. 9 및 Fig. 10과 같고 이 결과를 요약하면 Table 5와 같다.

두 그림에서 외기온도는 예측제어방법이 적용된 날은 -0.7~9.0℃, 평균 4.6℃이고 기존제어방법이 적용된 날은 -0.1~8.9℃, 평균 4.2℃를 나타내고 있다. 하루중의 외기온도가 유사하고 또한 평균 외기온도도 거의 같으므로 상호간의 비교가 가능할 것이다.

실내 온도를 보면 연립주택의 경우는 일간의 변화가 거의 없고, 기숙사의 경우는 일간의 변화가 매우 크지만 평균 온도는 유사함을 알 수 있다. 평균 실내 온도는 예측제어를 한 경우 22.2℃, 기존제어를 한 경우 21.9℃로 유사한 값을 나

타내고 있다. 그러나 난방개시 및 종료시의 온도를 비교하여 보면 예측제어를 하는 경우는 평균 0.1℃ 높아진 반면에 기존제어를 하는 경우는 평균 0.9℃ 높아진 것을 나타내고 있다. 즉, 이와 같은 상태로 에너지가 계속 공급된다면 예측제어를 하는 경우는 현재와 유사한 실내 온도를 유지하지만 기존제어를 하는 경우는 실내 온도가 더욱 상승될 것을 알 수 있다.

하루중 열량공급시간과 공급열량은 예측제어를 하는 날은 5시간 30분, 243,000 kcal/day이고 기존제어를 하는 날은 하루에 7시간, 313,000 kcal/day이다. 따라서 양 일의 난방가동시간의 차이는 90분이고, 공급열량의 차이는 약 70,000 kcal/day로서 약 22%의 에너지가 감소되는 것으로 나타났다.

6. 결 론

중앙집중식 공동주택 전용 예측제어시스템을 개발코자 동적 해석방법을 개발한 후 이의 타당성을 검증하고, 전용 제어시스템을 설계 및 제작

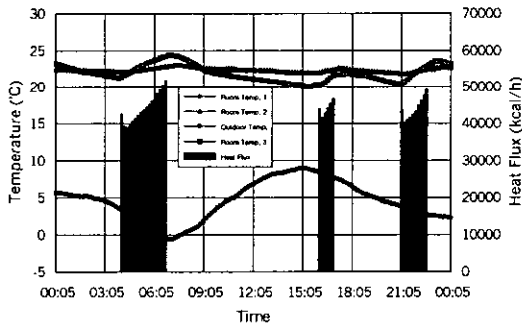


Fig. 9 Variation of energy consumption and temperature using prediction control method for multi residence (high outdoor air temperature).

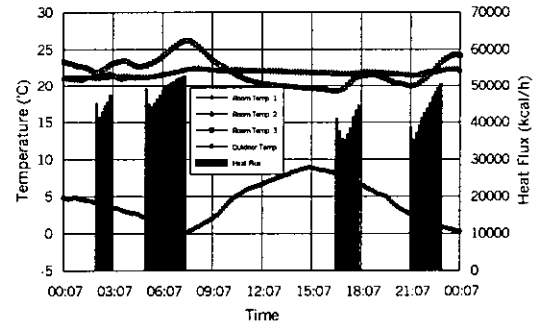


Fig. 10 Variation of energy consumption and temperature using traditional control method for multi residence (high outdoor air temperature).

Table 5 Experimental results for multi residence in high outdoor air temperature

Control method	Predicted outdoor air temp. (°C)	Measured outdoor air temp. (°C)	Average indoor air temp. (°C)	Heating time (hour)	Energy consumption (kcal/day)
Prediction control	low: -1 high: 6	low: -0.7 high: 9.0 avg.: 4.5	start: 22.7 end: 22.8 avg.: 22.2	5.5	243,395
Traditional control	low: 0 high: 6	low: -0.1 high: 8.9 avg.: 4.2	start: 21.9 end: 22.8 avg.: 21.9	7.0	313,193

후 실험주택 및 공동주택에서 실증실험한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 간헐난방주택의 경우

- 기존제어방법은 일별 최저외기온도를 이용하여 난방가동시간이 결정되고 예측제어방법은 최저온도뿐만 아니라 최고온도도 고려하여 난방가동시간이 결정되므로 예측제어방법을 적용하는 것이 에너지사용량의 절감 측면에서 매우 유리하다.

- 최저온도가 난방가동시간이 변경되는 부근에 있으면 그 온도 차이가 크지 않아도 난방가동시간이 변경되어 그에 따른 난방공급열량도 큰 차이가 발생하는 문제점이 있지만 예측제어방법은 매 시간별 외기온도에 따라 난방부하를 구하고 이에 근거하여 난방가동시간이 결정되므로 이러한 문제점을 해결할 수 있다.

- 외기온도예측에 의한 새로운 간헐난방 제어 방법은 기존의 방법에 비하여 과도한 난방을 방지하고 적절한 실내 온도를 유지함으로써 에너지를 절약하는 것으로 나타났는데 이러한 경향은 외기온도가 높아질수록 더욱 크게 나타났다.

(2) 중앙집중식 공동주택의 실증실험 결과

- 예측제어방법을 적용하는 경우는 약 22℃의 실내 온도를 유지시키기에 적절한 열량이 공급된 반면에 기존제어방법을 적용하는 경우는 약 22℃의 실온을 유지시키기에는 많은 열량이 공급되었다. 그 결과 예측제어방법을 적용하는 경우 외기온도에 따라 10~22%의 에너지사용량이 감소되고 있음을 나타냈다.

- 예측제어방법을 적용하여도 실내 온도는 약 22℃를 유지하고 있으므로 쾌적성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

전체적으로 예측제어시스템을 국내 주택에 적용할 경우 실내 쾌적도에 큰 문제점을 나타내지 않으면서 기존의 제어방법에 비해서 에너지절약 효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구를 통하여 개발된 국내 공동주택전용 예측제어시스템은 향후 국내 공동주택의 실내환경개선은 물론 에너지 절약적으로 유효하게 활용될 수 있으리라 사료된다.

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. Lee, S. B., 1993, Study on the control for radiant floor heating system, 8th Energy Conservation Technique Workshop, KIER, pp. IV.1-IV.11.
5. 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.
6. 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.
7. 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.