

바닥 난방공간의 다인자 제어에 관한 실험적 연구

An experimental study on the multiple parameter switching control for floor heating system

조 성 환*, 태 촌 섭*, 장 철 용**
S. H. Cho, C. S. Tae, C. Y. Jang

Key words : Temperature control(온도제어), Radiant floor heating system(바닥복사난방시스템), Two parameter on-off control(2인자 단속제어), Two parameter switching control(2인자 교체제어)

Abstract

An experimental facility consisting of two 3×4.4×3.8m rooms identical in construction is built. Each room has a control system and storage tank supplying hot water to the radiant floor heating system. The facility enables simultaneous comparison of two different control strategies each implemented in a separate room.

The operating performance of three kinds of flow control scheme is tested and compared in this study : (i) conventional on-off control based on feedback from room air temperature (ii) TPSC(two parameter switching control) (iii) TPOC(two parameter on-off control). Results show that TPSC and TPOC using room air and surface temperature sequentially as feedback signal to control hot water supply is the better temperature regulation scheme than conventional control based on feedback from only room air temperature. They are good candidates for the room with radiant floor heating system under continuous and intermittent heating mode.

1. 서 론

국내 주거용 건물의 대부분은 바닥에 매설된 온수관을 통하여 온수를 순환시킴으로써 바닥을 가열하는 바닥복사 난방방식을 이용하고 있다. 이 방식은 바닥을 통한 복사 및 대류열에 의하여 실내를

가열하기 때문에 실내의 온도분포가 균일하여 쾌적성이 우수한 난방방식으로 알려져 있다. 그러나 바닥구조체의 큰 열용량으로 인하여 바닥을 통한 열전달이 상당히 지연되기 때문에 실내온도 및 바닥 표면온도가 동시에 쾌적범위대에 유지되도록 제어되어야 하는 등 해결하여야 할 많은 문제점들이 남아 있다. 따라서 이러한 여러 문제점들을 보완한 후 바닥난방공간의 열적 쾌적성을 최대한 활용코자 난방공간의 제어와 관련하여 지금까지 많은 연구가

*정회원, 한국에너지기술연구소 건물에너지연구부

**한국에너지기술연구소 건물에너지연구부

이루어져 왔다.

Friedlander와 Adelman은 외기온과 공급온수온도 사이에 선형관계가 있음에 착안해서 외기온에 역비례로 공급온수온도를 제어하는 Outdoor reset control 방법을 제안했다.^(1, 2)

Fort는 바닥복사난방 방식을 채택한 각 실별로 온도조절기에 의하여 작동되는 개별 제어밸브의 사용을 제안하였다.⁽³⁾

MacCuler는 바닥구조체에 전달되는 열전달량을 제어할 수 있는 Flux modulation control 방법을 제안하였다.⁽⁴⁾

Berglund 등은 바닥난방공간의 쾌적한 환경조성을 위해서는 실내 대류온도와 복사온도가 고려된 작용온도(Operative temperature)로 제어하는 것이 유리하다는 결과를 제시하였다.⁽⁵⁾

지금까지 바닥난방공간의 제어관련 연구들은 실내온도 한가지만을 제어대상으로 하였다. 따라서 이러한 제어방법에 의해서는 실내공기온도 및 바닥표면온도가 모두 쾌적범위 내(실내공기온도 : $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 바닥표면온도 : $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$)로 유지될 때 쾌적감을 느끼는 온도에 의한 바닥난방공간의 경우에는 열적 특성상 실내의 쾌적환경유지에 문제가 있을 수 있다.

이러한 문제점들을 보완코자, 조성환 등은 실내공기온도 및 바닥표면온도를 제어대상으로 할 수 있는 다인자 제어방법(Multi-parameter control)을 제안한 후 이들 방법의 활용가능성에 대한 타당성을 이론적으로 검토하였다.⁽⁶⁾

따라서 본 연구에서는 연속 및 간헐난방을 하는 바닥 복사난방 공간에 적합한 다인자 제어방법의 타당성에 관한 실험적 연구결과를 제시함으로써 향후 바닥난방 공간의 효율적인 난방제어에 이용코자 한다.

2. 제어방법

본 연구에서는 아래의 3가지 제어방법에 대한 실험을 수행한 후 비교, 분석함으로써 다인자 제어방법의 적용가능성을 검토하였다.

- 1) 실내온도를 제어인자로 하는 On-off 제어
- 2) 실내온도 및 바닥표면온도를 동시에 제어인자

로 하면서 제어시간 개념이 포함된 Two Parameter Switching Control(TPSC 제어)

- 3) 실내온도 및 바닥표면온도를 동시에 제어인자로 하는 Two Parameter On-off Control(TPOC 제어)

위의 제어방법중에서 실내온도를 제어인자로 하는 On-off 제어는 일반적으로 많이 사용하는 기존의 제어방법이지만 TPOC 제어방법이나 TPSC 제어방법은 바닥난방공간의 제어를 위하여 새로 시도되는 방법이다.

TPSC 제어방법은 제어기에서 실내온도 및 바닥표면온도를 순차적으로 제어인자로 받으면서 설정된 시간동안 실내온도와 바닥표면온도를 번갈아(Switching)가면서 제어대상으로 선정하여 밸브를 제어함으로써 두가지 온도를 설정범위내에 만족시킬 수 있도록 On-off 제어하는 방법인데 이 제어방법은 연속난방을 하는 국내의 온수온돌주택에 잘 적용될 수 있을 것이다.⁽⁶⁾

반면에 TPOC 제어방법은 제어기에서 실내온도 및 바닥표면온도를 동시에 제어인자로 받은 후 실내온도 및 바닥표면온도의 설정범위를 벗어나는 곳을 제어대상으로 하여 On-off 제어하는 방법이다. 이 방법이 간헐난방을 하는 온돌주택에 적용되면 과잉난방을 줄여줄 수 있을 것이다.⁽⁶⁾

3. 실험주택

본 연구에서 시도하는 새로운 제어방법이 실제 온수온돌주택에서 효과적으로 이용될 수 있는지를 검토하기 위하여 온돌난방시스템과 자동제어 및 측정시스템을 갖는 실험실을 건립하였다.

건립된 실험실은 남향으로 위치하고 있는 총 14평 크기의 온돌주택으로서, 2개의 실험실과 1개의 장비실로 구성하였다. 두개의 실험실은 각각 3.0m(W)×4.4m(L)×3.8m(H)의 동일한 크기 및 재질로 구성함으로써, 양 실험실의 실내환경이 각기 다른 제어방식에 의하여 제어되었을 때의 결과를 상호 비교분석할 수 있도록 하였다.

Fig.1은 실험실의 전체평면도, Fig.2는 각 부위의 단면 상세도를 나타내며 Fig.3은 실험주택의 전경을 나타낸다.

건립된 실험주택의 벽체 및 지붕 등은 일반주택의 열관류율과 유사하게 0.5kcal/m²h°C 정도의 값을 갖도록 하였다. 그리고 실험실의 양측면에 일사차광판을 설치함으로써 일사량이 양 벽체에 투사될

때에 태양 위치의 변화에 따라서 발생하는 일사조건의 불균일성을 차단할 수 있도록 하였다. 또한 두 실험실의 초기조건을 빠른 시간내에 동일 조건으로 만들 수 있도록 하기 위하여 동일한 용량의 Fig.4와 같은 HVAC시스템을 양 실험실에 설치하여 실험전에 비 실험기간 동안 공조기를 가동함으로써 양 실험실이 동일한 조건에서 본 실험을 시작할 수 있도록 하였다.

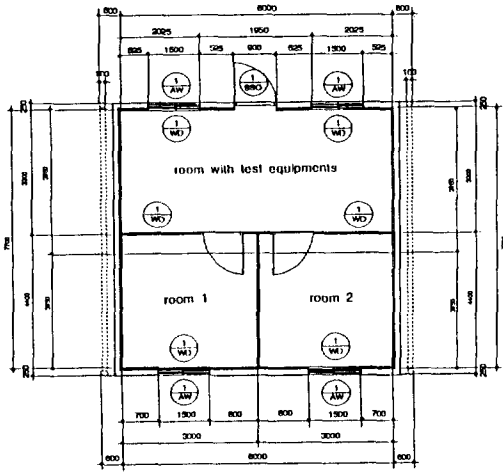


Fig.1 Floor plan of test room

4. 실험설비

Fig.5는 본 연구에서 구성된 온돌난방 설비시스템을 나타낸다. 본 시스템은 온수탱크, 펌프, 각종 밸브 및 덕트 등으로 구성되어 있는데 세부적인 사항은 아래와 같다.

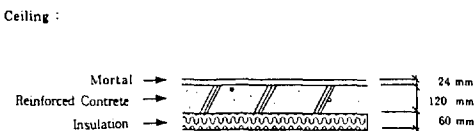
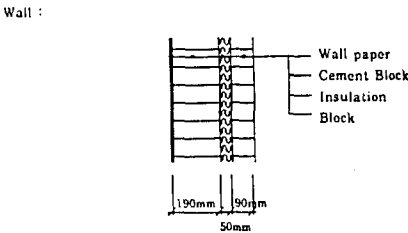
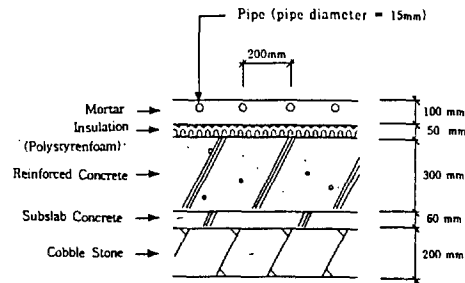


Fig.2 Cross sectional details of walls, ceiling and floor slab

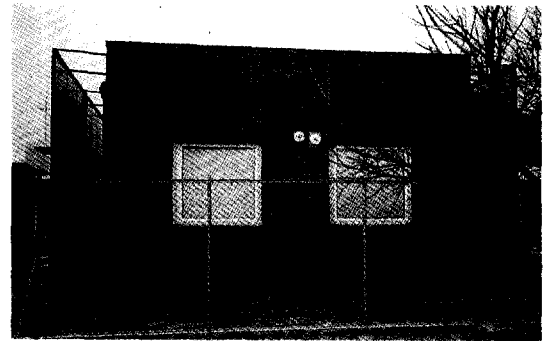


Fig.3 View of experimental house

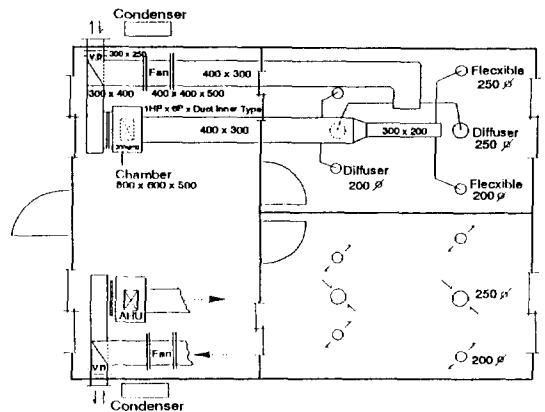


Fig.4 Schematic diagram of HVAC system

- 1) 온수탱크는 0.4m³의 용량으로서 20kW의 전열기에 의하여 열이 공급된다. 그리고 전열기는 HY-P100에 의한 PID제어방식에 의하여 원하는 온도로 제어된다.
- 2) 펌프는 양수량이 0.015m³/min인 온수순환 펌프로써 컴퓨터 제어기에 연결되어 On-off 및 비례제어 방식에 의한 유량제어가 가능하다.
- 3) 밸브는 코일밸브와 솔레노이드 밸브를 사용하였는데 액츄에이터에 연결되어 On-off 및 비례제어가 가능하다.

펌프 및 밸브는 HY-P100을 거쳐서 각종 제어 알고리즘을 가지는 개인용 컴퓨터와 연결시켜서 제어가 될 수 있도록 하였다.

Fig.5는 양 실험실을 짧은 기간내 동일조건으로 유지할 수 있도록 하기 위하여 설치한 HVAC 시스템의 전체 개요도를 나타낸다. 그림에서 보면 양 실험실에 각각 2RT용량의 항온패키지가 설치되어 있는데 이 항온패키지는 실내 온도조건을 ±1°C 범위 내에서 유지할 수 있다. 공조기를 통하여 실내로 공급되는 덕트는 250mm의 플렉시블 덕트로 구성하였다. 그리고 필요시 외부의 신선공기를 벽에 부착된 댐퍼의 각도조절에 의하여 유입할 수 있도록 하였다.

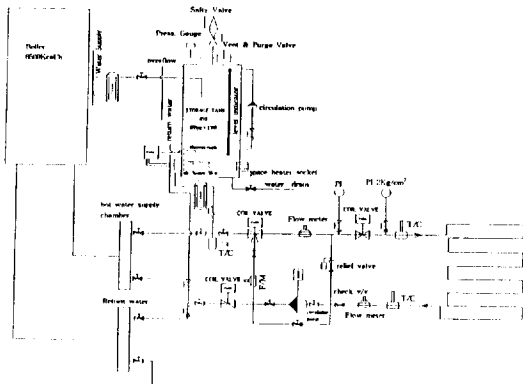


Fig.5 Schematic diagram of facility

5. 측정 및 제어시스템

5.1 측정시스템

본 시스템은 온돌주택의 실내환경 및 제어방법에 따른 열적특성을 평가하기 위하여, 여러가지 제어방식에 따른 실내온도의 제어 및 공급온수의 온도제어가 가능하도록 하였다. 그리고 제어와 동시에 실내의 온도, 급수 및 환수 온도와 공급유량이 측정될 수 있도록 하였다.

Fig.6은 TempScan/1000TM을 이용한 데이터 수집장치(Data aquisition system) 및 제어시스템을 나타낸다. 그림에서 보면 실내외 온도, 급수 및 환수 온도와 공급유량이 각 센서에 의하여 측정되면 이 측정된 신호는 TempScan/1000TM으로 보내진다. 이 때 TempScan/1000TM은 감지된 신호를 온도 및 유량으로 환산한 후 RS-232C를 통하여 PC로 보내면 PC에서는 이러한 데이터들을 보관한다. 그리고 제어인자로 채택한 채널에서의 데이터를 이용하여 제어 프로그램에서 연산한 후, 제어신호를 RS-232C를 통하여 HY-1000을 거친 후 유량을 제어할 밸브 및 펌프의 모타에 보내게 된다.

이와 같이 함으로써 HY-P100에서 밸브 및 모타가 제어되는 상황을 파악할 수가 있으며 또한 최종적인 온도 데이터를 Plot프로그램으로 보내서 분석

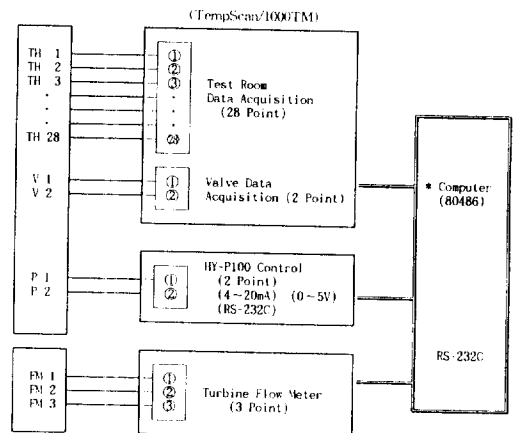


Fig.6 Schematic diagram of data aquisition and control system

할 수 있도록 하였다.

5.2 측정기기 및 센서

본 실험에서 온도의 측정을 위하여 사용된 열전대는 T type과 RTD type의 두가지 종류를 사용하였다. 급수온도, 환수온도, 온수탱크내의 수온 등은 RTD-type을 사용하였고 실내의 공기 및 벽체온도, 바닥표면 및 바닥내 온도는 T-type을 이용하였다.

실내로 공급되는 유량을 측정, 분석하기 위하여 급수 및 환수되는 온수관에 유량계(Turbine flow meter)를 각각 설치함으로써 실내로 공급되는 유량과 환수관으로 바이패스되는 유량을 측정할 수 있도록 하였다. 본 실험에서 사용된 유량계는 Omega사의 FTB 604로서 유량의 측정범위가 0.001~0.03m³/min이다.

5.3 제어시스템

본 제어시스템은 밸브 및 펌프의 제어에 필요한 정보를 획득하고 처리하는 기능을 담당하는데 구체적으로는 온도측정, 제어출력의 계산, 그리고 제어신호의 출력을 담당하고 있다. 이 시스템의 주 화면은 Fig.7과 같이 구성되어 있는데 주 화면에서는 제어기의 구동, 감시, 온도 측정장치의 보정과 같은 실질적인 작업을 수행할 수 있다.

본 시스템은 확장성을 고려하여 설계되었으며, 상품화된 기존 제품들을 이용하여 표준화된 통신방식인 RS-232C를 이용하여 시스템을 구성하였기 때문에 향후 유지, 보수, 관리를 용이하게 할 수 있

다. 온도측정은 TempScan/1000TM모듈을 이용하였고, 출력장치로는 온도제어장치인 HY-P100 제어기의 RS-232C 통신기능을 이용하여 제어가 가능하도록 하였다.

제어시스템은 건물의 설계도와 유사한 형태를 갖는 그림과 아이콘으로 구성되어 있다. 측정된 온도의 그래프를 보고 싶을 때나 유량을 알고 싶을 때, 사용자는 단지 설계도면상에서 클릭함으로써 원하는 정보를 얻을 수 있도록 되어 있다. 따라서 전체 시스템에 대해 쉽게 이해할 수 있고, 개략적인 감시 정보를 얻을 수 있도록 하였다.

제어시스템은 이러한 기능을 구현하기 위하여 아래와 같은 모듈들로 구현되어었다. 기본모듈을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 제어 및 측정치 자료관리 모듈
- 2) 제어기 구동 모듈
- 3) 제어기구성 조정 모듈
- 4) 제어감시 모듈
- 5) 입력장치 관리 모듈
- 6) 출력장치 관리 모듈
- 7) 제어 연산 모듈

이 시스템은 한글 MS-Window, Visual Basic 3.0과 Visual C++ 1.0을 이용하여 16M 메인메모리를 갖는 IBM-PC 486상에서 구현되었다.

6. 실험 방법

본 연구에서는 두 개의 동일한 실험실에서의 결과를 비교분석 할 수 있도록 하였다. 하나의 실험실은 기존의 제어방법에 의하여 실험을 하고 다른 하나의 실험실에서는 새로운 제어방법에 의하여 실험을 동시에 수행함으로써 동일한 외기조건하에서의 결과를 상호 비교분석할 수 있도록 하였다.

실험 측정을 수행할 때 양 실험실의 초기조건을 동일한 조건으로 유지시키는 것이 실제적으로 어려운 문제이다. 따라서 한 경우에 대한 본 실험이 끝나면 양 실험실의 바닥 표면온도와 실내온도를 본 실험에서의 설정온도보다 2°C 정도 낮게 유지시키도록 온도를 설정하여 놓고 온수공급 시스템과 HVAC시스템을 24시간 동안 가동시킴으로써 양 실험실의 바닥표면온도와 실내온도가 실험초기에

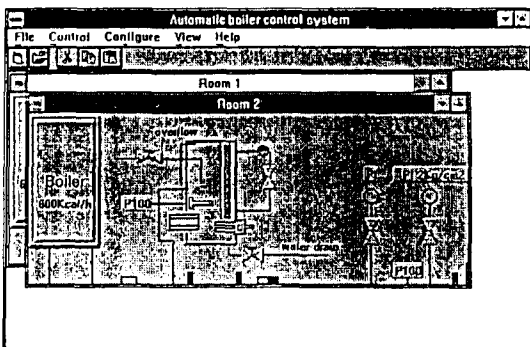


Fig.7 Main screen of control system

Table 1 Experimental conditions on TPSC control and TPOC control

Items		Applicable Heating Modes	Experimental conditions
TPSC Control	Switching Time(minute)	Continuous heating	10min, 20min, 30min, 40min, 60min
	Outside Temperature Condition	"	Cold, Warm
TPOC Control	Heat Supplying Time(hour)	Intermittent heating	6hour, 9hour, 12hour

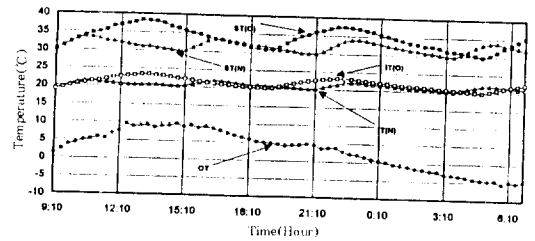
동일조건으로 유지될 수 있도록 하였다.

7. 실험결과 및 고찰

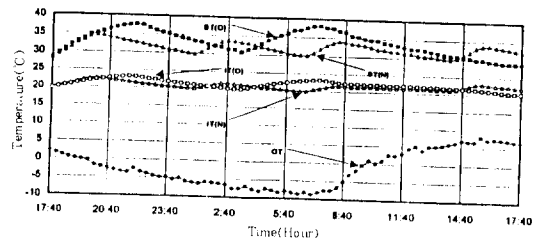
실내의 공기온도와 바닥표면온도가 모두 쾌적한 경의 대상이 되는 국내 바닥복사 난방공간의 특성상, 다인자 제어방식인 TPSC(Two Parameter Switching Control)제어는 연속난방을 하는 주택에, TPOC(Two Parameter On-off Control)제어는 간헐난방을 하는 온돌주택에 잘 적용될 수 있으리라 사료되므로 본 실험적 연구에서는 Table 1에서와 같은 여러 가지 경우에 대하여 실증실험을 수행하였다.

실증실험은 1996년 2월에서 1996년 4월까지 약 3개월간에 걸쳐서 수행되었는데 연속난방을 하는 바닥난방공간을 제어대상으로 하는 TPSC 제어에서는 Switching 시간간격을 10min, 20min, 30min, 40min, 60min으로 변경시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 외기온도 조건에 따라서 차가운 기상조건(2~3월)과 따뜻한 기상조건(4월)으로 구분하여 각 실험결과를 비교 검토하였다.

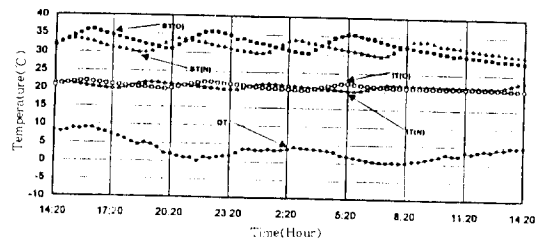
또한 간헐난방을 하는 바닥난방공간을 제어대상으로 하는 TPOC 제어에서는 열원공급시간을 6시간, 9시간, 12시간으로 변경시키면서 실험을 수행



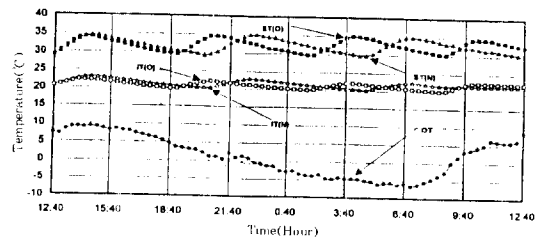
(b) 20 minute(1996.2.25)



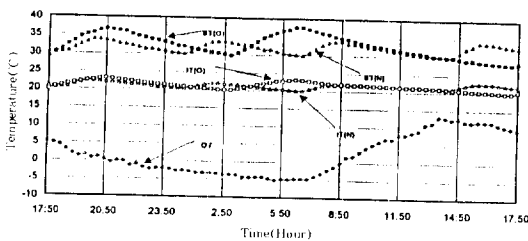
(c) 30 minute(1996.2.27)



(d) 40 minute(1996.2.29)



(e) 60 minute(1996.3.2)



(a) 10 minute(1996.3.13)

Fig.8 The variations of switching interval (continuous heating, cold weather)

한 후 이 결과를 비교분석하였다.

이 때 일정한 온도의 온수가 공급되는 온수탱크에서의 온수온도는 55°C로 일정하게 유지되도록 하였다. 그리고 실내온도만을 제어대상으로 기존의 On-off 제어방법에서는 실내온도의 설정온도를 $21 \pm 1^\circ\text{C}$, 실내온도 및 바닥 표면온도를 모두 제어대상으로 TPSC 제어 및 TPOC 제어에서는 실내온도를 $20 \sim 22^\circ\text{C}$, 바닥 표면온도 온도를 $30 \sim 32^\circ\text{C}$ 로 설정한 후 밸브의 개폐에 의하여 온수의 유량을 제어하였다.

7.1 TPSC(Two Parameter Switching Control)제어

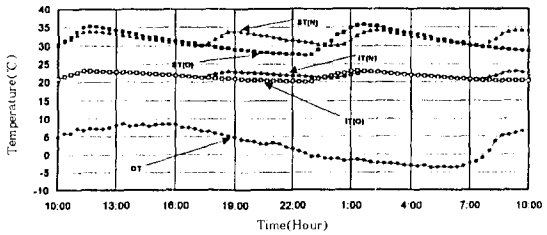
7.1.1 Switching 시간간격의 변화

TPSC제어에서 실내온도와 바닥표면온도를 입력값으로 하여 순차적으로 밸브제어를 할 경우에 각 부위 온도의 응답특성이 어떻게 되는지 그리고 어느 정도의 Switching 시간간격이 적정한지를 실험적으로 검토하기 위하여, Fig.8(a)~(e)는 외기온이 차가운 경우, 즉 2, 3월에 대하여 Switching 시간간격을 변경시키면서 실험한 경우이다. 그림에서 ST는 바닥표면온도(°C), IT는 실내공기온도(°C), O는 기존의 실내온도만에 의한 On-off 제어방법, N은 실내온도 및 바닥표면온도를 동시에 제어인자로 하는 TPSC 제어방법을 나타내며 OT는 외기온도(°C)를 나타낸다.

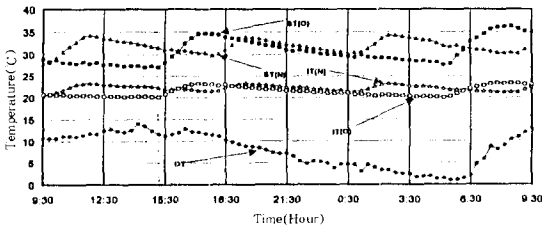
그림에서 보면 실험이 수행된 기간동안 전반적으로 야간에는 외기온이 0°C 이하를 나타내고 주간에는 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 정도를 나타내는 차가운 외기온 상태였다. 이중에서 외기온이 더욱 차가운 상태인 (a)~(c)에서는 기존의 실내온도만을 제어대상으로 하는 On-off 제어의 경우에 실내온도가 20°C 에서 23°C 까지 약 3°C 의 편차를 나타내었고 바닥 표면온도는 30°C 에서 38°C 까지 약 8°C 의 큰 편차를 나타내었다. 그러나 외기온이 전반적으로 높은 상태에 있는 (d)~(e)는 이러한 온도의 편차가 감소하여 실내온도는 20°C 에서 22.5°C 까지 약 2.5°C 의 편차를 나타내는 반면에 바닥표면온도는 30°C 에서 35°C 까지 약 5°C 의 편차를 나타내었다. 즉 외기온에 따라서 실내온도 보다는 바닥표면온도의 편차가 심하게 나타나는 경향을 나타내었다.

열원공급에 따른 실내온도 및 바닥표면온도의 Cycle은 외기온이 차가울 때는 1일(24시간) 동안에 2번, 즉 한번에 많은 열량공급이 2회에 걸쳐서 일어나는 반면에 외기온이 따뜻해지면 실내온도 및 바닥표면온도의 Cycle은 1일 동안에 3~4회, 즉 한번에 적은 열량이 자주 공급되는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 볼 때 실내온도만을 제어대상으로 기존의 On-off 제어의 경우에는 외기온이 낮아지면 1회에 공급되는 열량이 많아지기 때문에 실내온도 및 바닥표면온도 편차가 커지는 반면에 외기온이 높아지면 1회에 공급되는 열량이 적으면서 여러번의 열량공급이 이루어지기 때문에 온도편차가 작아지는 경향을 알 수 있다. Switching 시간간격을 변경시킨 TPSC제어 경우에서 실내온도(IT(N))나 바닥표면온도(ST(N))를 보면 Switching 시간간격이 10min~40min인 경우는 실내온도가 20°C 에서 22°C 까지 약 2°C 의 편차를 나타내는 반면에 바닥표면온도는 $30 \sim 34^\circ\text{C}$ 까지 약 4°C 의 편차를 나타내면서 외기온의 변화에 관계없이 1일동안에 4번 정도의 열량공급이 이루어짐으로써 실내온도 및 바닥 표면온도가 4Cycle의 변화가 있었다. 그러나 Switching 시간간격이 60min인 경우에는 실내온도가 20°C 에서 22°C 까지 약 2°C 의 편차를 나타내는 반면에 바닥표면온도를 30°C 에서 35°C 까지 약 5°C 의 편차를 나타내면서 1일 동안에 3번의 Cycle을 나타내었다. 즉 결과적으로 Switching 시간간격을 60min으로 하여 TPSC제어를 하면 외기온의 상태에 따라서 약간의 차이는 있겠지만 기존의 실내온도만을 제어대상으로 한 경우와 큰 차이를 보이지 않는 경향을 나타내었다.

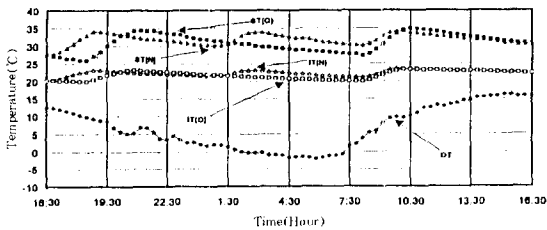
반면에 Switching 시간간격을 40min 이하로 하여 TPSC제어를 하면 실내온도의 편차는 약 2°C 로 기존의 제어방법과 거의 유사하게 나타내지만 바닥 표면온도의 편차는 기존의 실내온도만을 제어대상으로 하는 On-off 제어에서의 8°C 에서 4°C 로 50% 정도 줄일 수 있음을 나타내었다. 그러므로 시간간격 40min 이하에서는 TPSC제어를 할 경우 연속 난방을 하는 온돌주택에서는 실내온도 및 바닥 표면온도의 편차를 대폭 줄여 줌으로써 실내환경을 상당히 개선시킬 수 있음을 나타내었다. 그리고 Switching 시간간격이 40min 이하인 경우에는



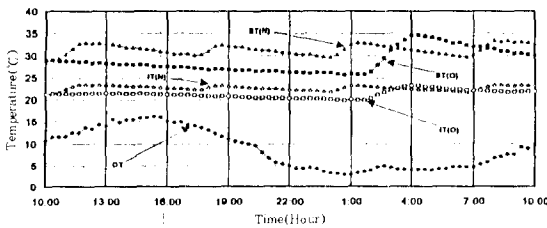
(a) 10 minute(1996.4.3)



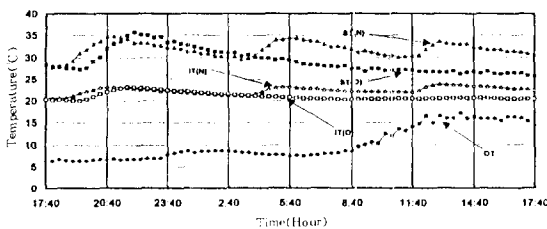
(b) 20 minute(1996.3.28)



(c) 30 minute(1996.4.13)



(d) 40 minute(1996.4.3)



(e) 60 minute(1996.4.6)

Fig.9 The variations of switching interval (continuous heating, warm weather)

Switching 시간간격이 변하더라도 그에 따른 실내 온도 및 바닥표면온도의 변화는 큰 차이를 보이지 않는 경향을 나타내었다.

7.1.2 외기온의 변화

TPSC제어를 할 경우 외기온의 변화가 어떠한 영향을 나타내는지를 규명하기 위하여 Fig.9는 외기온이 전반적으로 따뜻한 상태를 나타내는 1996년 4월에 Switching 시간간격을 10min~60min로 변화시키면서 실험한 결과이다. 그림에서 보면 외기온은 실험이 수행된 대부분의 경우에 0°C 이상으로써 상당히 따뜻한 상태를 나타내었다.

실내공기 온도만을 제어대상으로 하는 기존의 On-off 제어에서는 실내공기온도(IT(O))는 설정치 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 부근에서 잘 유지되었지만 바닥표면온도는 외기온이 차가운 앞에서의 경우보다 전반적으로 하향되는 경향을 나타내면서 전체적으로 25°C에서 35°C까지의 낮으면서도 큰 온도편차를 나타내었다. 그리고 1일 동안에 각 부위 온도가 1~2회의 cycle을 나타내어 열량공급이 하루에 1~2회만 일어나는 경향을 나타내었다.

그러나 TPSC제어에서는 Switching 시간간격이 60min인 경우를 제외하고는 외기온이 차가운 상태인 앞에서의 경우와 같이 1일 동안에 열량이 공급되는 회수가 3~4회로 많아지면서 바닥표면온도는 30°C~34°C까지 약 4°C, 실내공기온도는 20°C~23°C까지 약 3°C 정도의 범위 내에서 완만한 온도분포를 나타내었다. 그리고 Switching 시간간격이 40min 이하인 경우에는 외기온이 차가운 앞에서의 경우와 같이 시간간격이 변화하는데 따라서 큰 차이를 나타내지 않았다.

결과적으로 TPSC제어를 할 경우 Switching 시간간격을 40min 이하로 함으로써 기존의 실내온도만에 의한 제어보다 외기온이 따뜻하게 될 경우에도 바닥표면온도를 약 9°C의 편차에서 30~34°C의 약 4°C 편차로 50% 이상 줄일 수 있음을 나타내었다. 그렇지만 실내공기온도는 기존의 실내온도만에 의한 제어에서 보다 약 1°C 상승되는 경향을 나타냈는데 이것은 TPSC제어를 할 경우 실내온도의 설정치 보다는 바닥표면온도의 설정치에 더 지배를 받는다는 것을 의미한다. 따라서 외기온이 따뜻하게 될 경우에 실내온도의 상승분제는 실내공기

온도에 대한 바닥표면온도의 제어비를 조절하여서 실내공기의 설정치가 더욱 지배적으로 될 수 있도록 함으로써 개선이 가능할 것이라 사료된다.

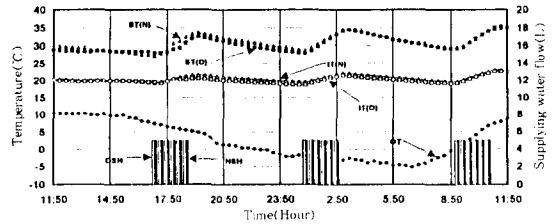
7.2 TPOC(Two Parameter On-off-Control) 제어

우리나라 공동주택의 약 90% 이상은 간헐난방방식을 채택하고 있으며 이들 주택의 대부분은 쾌적한 실내환경을 유지하기 위하여 유량제어방식의 Room controller를 채택하고 있다. 그러나 간헐난방방식의 특성상 열원이 공급될 때에 일정한 실내설정온도를 유지하기 위하여 Room controller가 작동된다면 열원이 공급되지 않을 때는 실내환경이 매우 차갑게 유지되어 불쾌한 환경이 조성될 소지가 있다. 이러한 여러 가지 불합리한 제어방식 때문에 간헐난방방식을 채택하고 있는 공동주택에 설치된 대부분의 Room controller는 완전 개방상태로 운영되어 거의 무용지물이 되고 있는 실정이다.

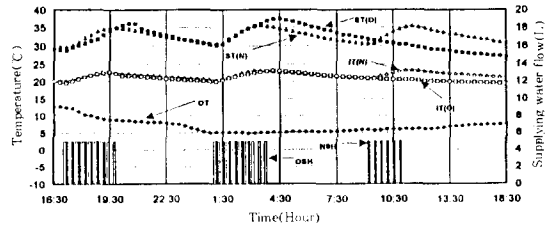
따라서 이러한 문제점을 보완해 줄 수 있는 방법의 하나로써 TPOC(Two Parameter On-off Control)를 생각할 수 있다. 즉 열원이 공급될 때에는 실내온도 및 바닥표면온도가 실내환경 쾌적범위의 상한치에 유지되고 열원이 공급되지 않을 때는 실내온도 및 바닥표면온도가 실내환경 쾌적범위의 하한치에 유지될 수 있도록 함으로써 현재 간헐난방방식의 주택에 사용되고 있는 Room controller를 보완시켜 줄 수 있을 것이다.

본 연구에서는 간헐난방방식의 공동주택에서 TPOC제어방법의 적용성을 검토코자 아래와 같이 열원공급을 6시간, 9시간, 12시간으로 변경시키면서 기존의 실내온도만에 의한 On-off 제어방식과 TPOC 제어방식에 대한 응답특성에 대하여 측정실험을 수행하였다.

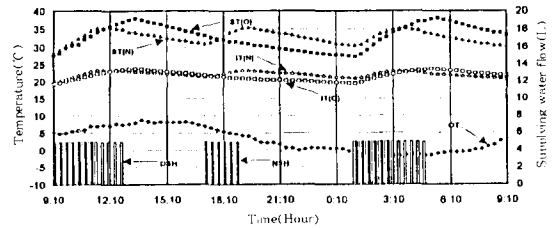
Fig.10(a)~(c)는 3월의 4일, 6일, 8일에 열량공급을 6시간(1시~3시, 9시~13시, 17시~19시), 9시간(1시~4시, 9시~12시, 17시~20시), 12시간(1시~5시, 9시~13시, 17시~21시)으로 변경시킨 경우에 대한 기존의 실내온도만에 의한 On-off제어와 TPOC제어에 대한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 ST는 바닥표면온도(°C), IT는 실내공기온도(°C), OT는 외기온도(°C)를 나타내며 O



(a) 6 hours(1996.3.4)



(b) 9 hours(1996.3.6)

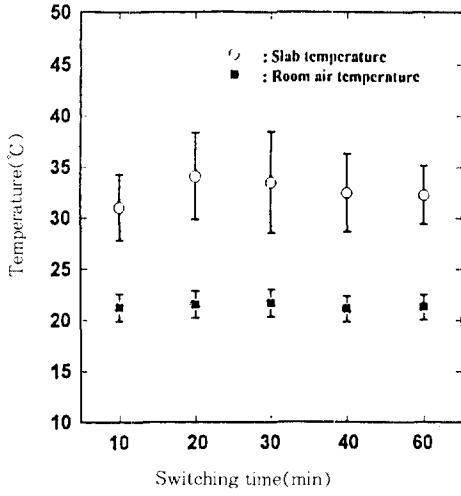


(c) 12 hours(1996.3.8)

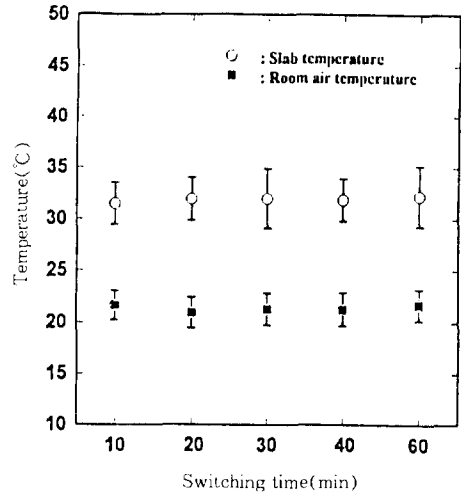
Fig.10 The variations of hot water supplying time(intermittent heating)

는 기존의 실내온도만에 의한 On-off제어, N은 TPOC제어를 나타낸다. 그리고 OSH는 기존의 실내온도만에 의한 ON-off 제어시 공급유량, NSH는 TPOC제어시 공급유량을 나타낸다. 실험이 수행된 날의 외기온은 0°C 근방으로써 아주 추운 날씨는 아니었다.

그림을 보면 열량공급이 6시간인 경우에는 실내온도가 설정치 22°C에 미치지 못하기 때문에 두 가지 제어방법 모두 공급된 모든 열량이 실내로 공급됨으로써 실내온도 및 바닥표면온도가 같은 온도분포를 나타내었다. 그러나 열량공급이 9시간, 12시간인 경우에는 기존의 실내공기온도만을 제어대상으로 하는 On-off제어의 경우에는 하루에 3회의 열량공급 중에서 2회의 열량공급이 이루어지면서 바닥표면온도가 27~37°C로 약 10°C의 편차를 나

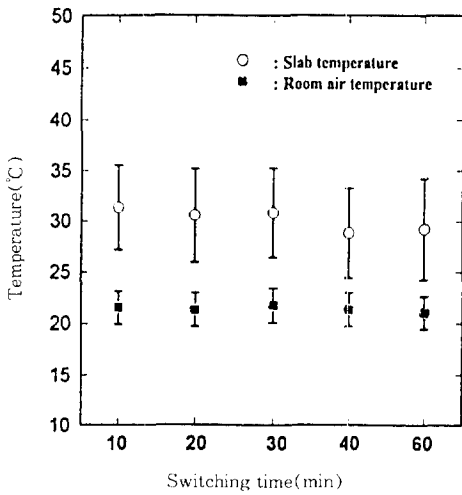


(a) On-off control

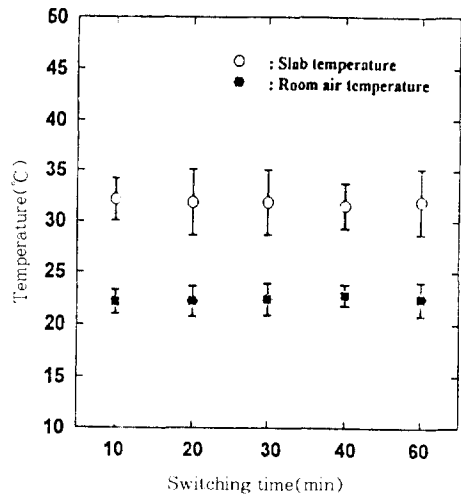


(b) TPSC control

Fig.11 Average temperature, maximum and minimum temperature difference of the indoor air and the slab(continuous heating, cold weather)



(a) On-off control



(b) TPSC control

Fig.12 Average temperature, maximum and minimum temperature difference of the indoor air and the slab(continuous heating, warm weather)

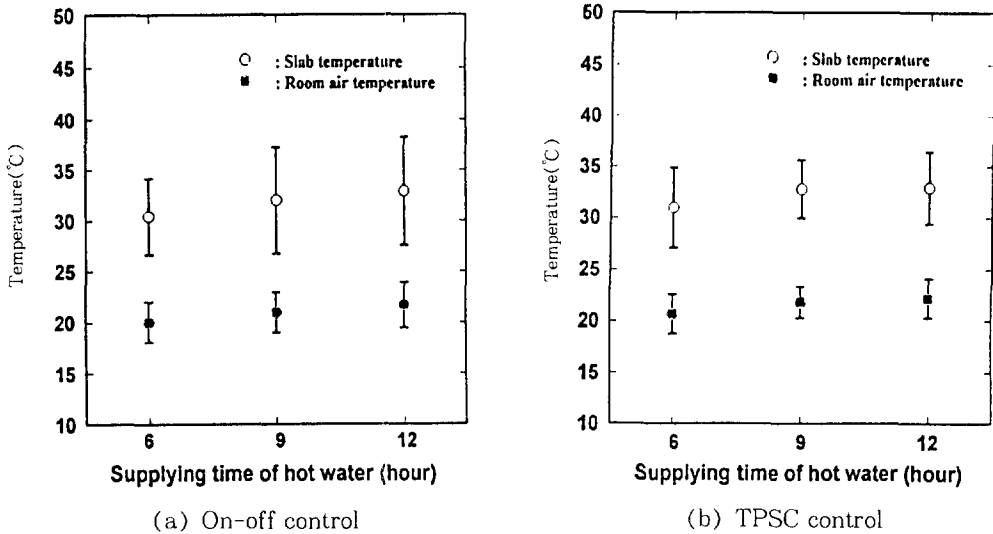


Fig.13 Average temperature, maximum and minimum temperature difference of the indoor air and the slab(intermittent heating, warm weather)

타내었으며 실내공기온도는 19.5~24.5°C까지 약 5°C의 편차를 나타내었다. 그리고 TPOC제어의 경우에는 공급된 3회의 열량이 고르게 공급되면서 균일한 실내온도 및 바닥표면온도의 온도분포를 나타내어 실내공기온도는 19°C에서 23°C까지 약 4°C의 편차, 바닥표면온도는 30°C에서 35°C까지 약 5°C의 편차를 나타내었다. 따라서 TPOC제어를 적용할 경우 기존의 실내공기온도만에 의한 제어보다 실내온도 및 바닥표면온도의 변화폭이 약 10°C에서 4~5°C 정도로 되어 50% 정도 줄일 수 있음을 나타내었다.

이러한 결과로 볼 때 TPOC제어를 간헐난방방식을 적용하고 있는 공동주택에 이용할 경우 실내환경을 개선시키면서도 과잉난방을 줄이는 효과가 있으리라 사료된다.

7.3 각 부위의 평균, 최고 및 최저온도

각 제어방식의 특성을 종합적으로 분석코자 실험이 실시된 전 구간에 대하여 각 부위의 평균온도, 최고 및 최저온도를 Switching 시간간격에 대하여 나타내었다. Fig.11과 Fig.12는 실내온도만에 의한 On-off 제어, TPSC제어의 결과를 나타낸 것이다.

그림에서 보면 실내온도만에 의하여 On-off제어를 할 경우에는 외기온의 변화에 대하여 실내온도의 최고 및 최저온도편차는 고른 분포를 나타내지만 바닥표면의 온도편차는 외기온의 상당한 영향을 받아서 전반적으로 변화가 심한 것을 알 수 있다. 그러나 TPSC제어를 할 경우에는 Switching 시간간격의 변화에 대하여 약간의 차이는 있지만 전반적으로 온도편차가 적으면서도 고른 온도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 볼 때 TPSC제어를 할 경우 기존의 제어방법보다 외기온의 변화에 영향을 받지 않고 실내환경을 설정범위에 유지시킨다는 것을 알 수 있다.

Fig.13은 실내온도만에 의한 기존의 On-off 제어와 TPOC 제어의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 기존의 제어방법에서는 열량공급을 증가시키는 것에 따라서 각 부위의 온도편차가 증가하는 경향을 나타내지만 TPOC 제어에서는 열량공급시간에 관계없이 거의 일정한 편차를 나타내는 것을 알 수 있다.

따라서 TPOC제어를 간헐난방을 하는 복식난방 공간에 적용함으로써 열량이 과잉공급될 경우 과잉공급되는 열량을 차단시키면서도 실내환경을 상당

히 개선시킬 수 있음을 나타내었다.

8. 결 론

다인자 제어방식(TPSC, TPOC)이 바닥난방공간에 효과적으로 적용될 수 있는지를 실험적으로 규명하기 위하여 기존의 실내온도만에 의한 On-off 제어와 비교실험을 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

첫째, TPSC 제어에서 Switching 시간간격을 60min 이상으로 할 경우 기존의 제어방법에서의 결과와 큰 차이를 나타내지 않았기 때문에 40min 이하로 설정하는 것이 좋다.

둘째, 연속난방을 하는 바닥난방공간에 TPSC 제어를 적용한 결과 실내환경을 설정범위내에 유지시키면서도 바닥표면온도의 변화를 기존의 제어방법보다 50% 이상 감소시킬 수 있어서 실내환경 개선에 효율적임을 나타내었다.

셋째, 간헐난방을 하는 바닥난방공간에 TPOC 제어를 적용할 경우 실내온도 및 바닥표면온도의 변화폭을 50% 이상 감소시키면서 과잉공급되는 열량을 차단시킬 수 있었다.

위와 같이 TPSC제어나 TPOC제어는 바닥복사 난방을 하는 국내의 주택에 적용함으로써 실내환경을 크게 개선시킬 수 있음을 나타내었지만 본 연구에서 제시된 새로운 제어방법은 실내환경의 개선은 물론 에너지 절약적인 제어방법이 되기 위해서는 설정온도를 어떻게 유지하느냐 하는 것이 문제일 것이다. 따라서 향후 환경개선은 물론 에너지 절약

적인 제어방법이 되기 위한 설정범위에 관한 연구가 필요하다 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Adelman, D., 1988, "Some control strategies for radiant floor heating", Radiant Times, March, pp.4~5.
2. Friedlander, M., 1986, "Premium heating with radiant slabs", Solar Age, April, pp.66~71.
3. Fort, K., 1987, "Untersuchung des amicchen verhaltens von fussbodenheizungen", Klima Kaelte Heizung, December, pp.549~552.
4. MacCluer, C. R., 1989, "Temperature variations of flux-modulated radiant slab system", ASHRAE Trans 1989 a, pp.1010~1014.
5. Berglund, L., R. Rascati, and L. M. Markel, 1982, "Radiant heating and control for comfort during transient conditions." ASHRAE Transactions, Vol.86, pp.765~775.
6. 조성환, 1995, "온돌 주택의 난방제어 방식에 따른 실내환경 특성", 공기조화냉동공학회 '95하계학술발표회, pp.455~461.
7. University of Wisconsin-Madison, 1983, "TRNSYS(Transient system simulation program)."
8. 박상동, 홍성희 외, 1992, "신주택 기술개발-저가 고효율 난방시스템 개발연구(II)", KIER 보고서, pp.49~59.