

# 저온 온돌 난방에 의한 제어특성과 온열쾌적성

홍희기<sup>†</sup>, 김영균<sup>\*</sup>

경희대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>경동나비엔

## Control and Thermal Comfort by Low Temperature Ondol Heating

Hiki Hong<sup>†</sup>, Young Kyun Kim<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

<sup>\*</sup>KD Navien, Seoul 153-803, Korea

**ABSTRACT:** Low temperature ondol heating has a lot of advantages; efficiency increase of condensing boiler, COP increase of heat pump and collection efficiency in solar thermal heating. We showed the possibility to apply a real situation of an apartment housing by simulation. As a result, heating energy consumption during one week was the same though the supply hot water temperatures are changed, but the elapsed time to a set room temperature becomes longer.

**Key words:** Ondol(온돌), Heating(난방), Building energy simulation(건물 에너지 시뮬레이션), TRNSYS, Constant-flow control(정유량제어)

### 1. 서론

우리나라 전체 에너지 소비의 30% 정도가 건축물에서 이루어지며 선진국화되면서 해마다 그 비율이 증가하는 추세이다. 이에 따라 선진국에서는 건축물 에너지 관련 정책을 경쟁적으로 선언하고 있으며, 우리나라도 2025년 건축물의 제로에너지 의무화를 선언한 상태에서 점진적으로 저감목표를 강화하고 있다.

온돌에 의한 복사난방은 비교적 저온의 열원에 의해 난방이 가능한 방식이나 통상 60℃ 이상의 온수를 생산하여 공급하는 것이 일반적이었다. 그러나 50℃ 이하의 비교적 낮은 온도의 온수를 온돌에 공급함으로써 얻을 수 있는 이득은 매우 크다.

지열히트펌프 등을 이용한 온돌난방에서는 응축기 온도를 낮추는 효과로 COP가 향상되고, 태양열 난방에서도 집열효율 향상으로 이어진다. 또한 최근에 보급이 증가하고 있는 콘덴싱보일러의 경우 출구온도가 낮아질수록 콘덴싱 효과의 향상으로 효율이 증가한다. 본 연구에서는 주거용 건물의 난방에너지 소비량을 저감시키는 방안으로서 저온 온돌 난방의 실효성을 파악하고자 한다. 즉 에너지 저감효과는 가능해도 실내 설정 온도 범위에 포함되는 시간이 심하게 지연되는 경우 쾌적성 저하로 이어지기 때문에 본격적인 적용 및 실험 전에 시뮬레이션을 통해 검토가 필요하다.

### 2. 온돌 난방과 개도 조정

선행연구<sup>(1,2)</sup>를 통해 온돌 및 관련되는 설비를 포함하여 건물에너지 동적 시뮬레이션을 수행하고 다양한 제어방식에 대해 적용한 바 있다. 특

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625  
E-mail address: hhong@khu.ac.kr

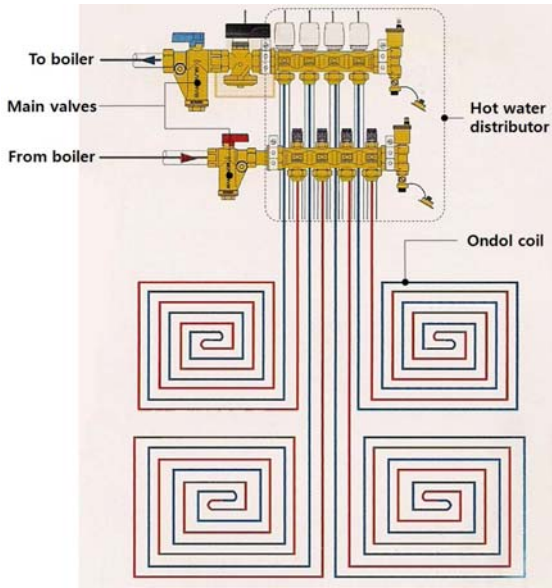


Fig. 1 Ondol coil with hot water distributor.

히 개도조정이 적합하지 않은 경우 설정온도 범위를 벗어나는 과열·과냉 현상이 심화되어 쾌적성 저하를 초래할 수 있다. 즉 유량이 매우 큰 경우 과열, 작은 경우 과냉이 심화되는 경향이며, 이와 유사하게 공급수 온도가 지나치게 낮으면 과냉현상이 나타나게 되며 설정온도범위에 도달하지 못하는 경우도 있다.

개별난방 보일러 혹은 지역난방의 경우 열교환기에서 만들어진 온수는 Fig. 1의 난방분배기의 공급헤더를 통해 각 방의 온돌코일로 분배되고 환수헤더로 귀환후 다시 가열되게 된다. 난방분배기의 분배관수는 난방구획의 수가 많아질수록 증가하며 시공도 어려워진다. 온돌코일은 플래스

틱관으로 Fig. 1과 같이 와선형 혹은 지그재그형으로 설치하게 된다.

현재 대부분의 아파트에 설치되고 있는 정유량 제어 방식에서 미세유량조절밸브의 개도조정에 의한 유량설정은 주로 시공단계에서 이루어진다. 각 방의 공급유량은 방의 부하에 비례해서 설정하는 것이 가장 바람직하며, 이전 연구<sup>(2)</sup>에서 각 방의 공급유량이 방의 부하에 비례해서 설정할 수 있는 방법을 강구하였다.

모든 방의 미세유량조절밸브가 완전히 열린 상태(개도 100%)에서 운전이 시작되면, 코일의 길이가 짧은 방, 즉 난방부하가 적게 걸리는 방의 온돌코일 출구온도(환수온도)가 빨리 상승하게 된다. 따라서 각 방의 환수온도 상승속도는 그 방의 난방부하를 반영하는 중요한 인자로 간주할 수 있다. 궁극적으로 환수온도가 일정 온도 상승하는 데 소요되는 시간이 짧은 방의 밸브개도를 줄여 균일하게 환수온도가 상승하도록 조정하고자 하는 것이다.

개도조정은 일단 모든 밸브를 100% 개도로 운전을 하고, 일정 시간 경과한 후의 각 방의 환수온도 상승값  $\Delta T_r$ 을 측정후, 각 밸브의 개도를 다음 식(1)과 같이 조정하게 된다.

$$VO = \max\left(\frac{\Delta T_{r,\min}}{\Delta T_r} \times 100(\%), 30\%\right) \quad (1)$$

여기서  $\Delta T_{r,\min}$ 은 각 방의 환수온도 상승값 중 최소값이다. 개도가 지나치게 작아지면 소음이 발생하게 되므로 이를 피하고자 30% 이상의 개

Table 1 Room area and ondol coil length

	room 1	room 2	room 3	livingroom	bathroom
area(m <sup>2</sup> )	20.7	10.9	8.1	41.2	4.9
area ratio(%)	100	52.7	39.1	99.5×2	23.7
length of coil(m)	104	55	41	103×2	25
valve-opened flow rate(kg/min)	2.55	3.50	4.06	2.56×2	5.20

Table 2 Valve opening, equivalent length and flow rate according to Methods

	room 1	room 2	room 3	livingroom	bathroom
valve opening(%)	100	64.6	58.7	99.5	53.4
equivalent length(m)	20	254	293	23	328
flow rate(kg/min)	3.95	2.50	2.40	3.88×2	2.34

Table 3 Average room and surface temperatures with over- and under-heating

		room 1	room 2	room 3	living	bath
control condition 1 62-67	air temp.(°C)	24.0	23.8	23.9	24.0	23.9
	surface temp.(°C)	26.8	27.2	25.5	26.8	25.0
	>24.5°C (%)	11.4	0.6	3.2	11.1	6.1
	<23.5°C (%)	2.6	11.8	2.4	0.4	0.8
control condition 2 52-57	air temp.(°C)	24.0	23.8	23.9	24.0	23.8
	surface temp.(°C)	26.8	27.2	25.5	26.7	24.9
	>24.5°C (%)	7.6	0	4.6	8.0	0
	<23.5°C (%)	0.6	7.8	0.3	0	0.4
control condition 3 47-52	air temp.(°C)	23.9	23.7	23.9	24.0	23.8
	surface temp.(°C)	26.5	27.2	25.5	26.7	24.8
	>24.5°C (%)	3.9	0	4.2	9.0	0
	<23.5°C (%)	2.5	5.0	0.4	0.4	0.4

도가 유지되도록 한 것이다.

### 3. 시뮬레이션 및 결과

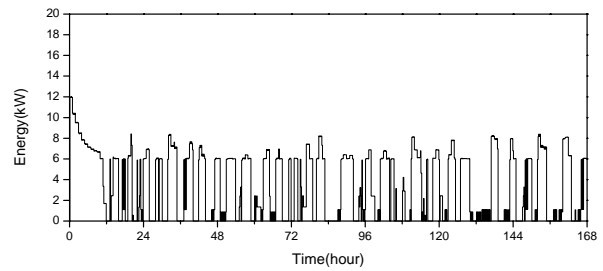
이전 연구에서 제시하였던 TRNSYS<sup>(3)</sup>와 EES를 결합한 온돌난방 시뮬레이션을 사용하였으며, 대상 아파트의 방과 온돌 코일 길이를 Table 1에 나타내었다. 앞에서 설명하였던 부하에 비례하는 방법으로 정유량제어의 개도조정을 하였으며, Table 2에 밸브개도, 등가코일길이, 유량을 정리하였다. 상세한 내용은 관련문헌<sup>(2)</sup>을 참고하기로 한다. 실내설정온도는 24±0.5°C로 하였다.

이전 연구에서 보일러(최대용량 15 kW)의 용량제어는 공급수온도를 기준으로 62°C까지는 최대출력을, 62~67°C 사이에는 40%~100%의 출력으로 비례제어, 67°C 이상에서는 보일러의 가동이 정지되는 것으로 하였다. 본 연구에서는 비례제어 구간을 이보다 낮은 52~57°C와 47~52°C로 하여 온도변화를 살펴보았다. 또한 히트펌프의 사용을 전제로 일정온도의 온수를 온돌코일에 공급하는 것도 상정하여, 비례제어 구간의 중간온도인 65°C, 55°C, 50°C로 입구온도를 고정시켜 보았다.

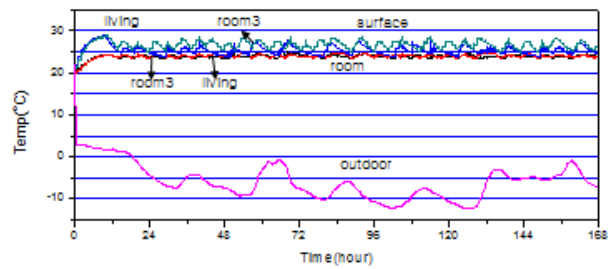
시뮬레이션 결과 비례제어 구간 47~52°C와 일정온도 50°C는 유사한 결과를 보였으며, 대표로 47~52°C의 결과를 Fig. 2에 정리하였다. 온도범위 62~67°C의 결과(Fig. 3)와 비교하면 온·오프 빈도수가 다소 감소한 반면 온수가 순환될 때 지속시간 및 공급되는 열량은 줄어드는 것을 알 수 있다. 그러나 1월1일부터 1주일간 수행한 시뮬레이션한 결과 총 공급열량은 방식과 상관없이 2.1

GJ를 나타내었다.

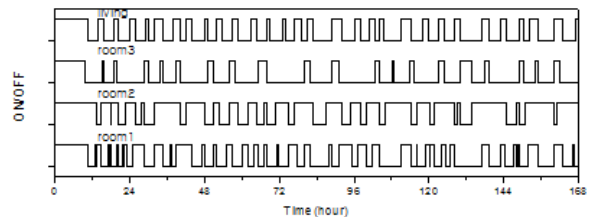
온도 제어조건에 따른 실내온도, 바닥표면온도 및 과열, 과냉 빈도율을 Table 3에 정리하였다.



(a) Energy supplied by boiler

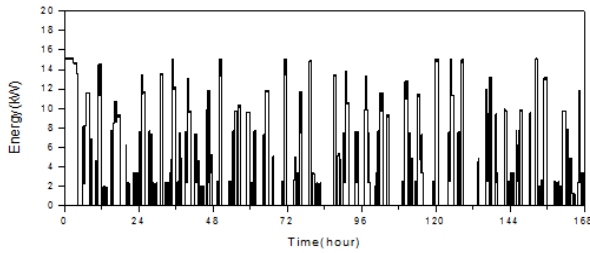


(b) Indoor, outdoor, and ondol surface temperature

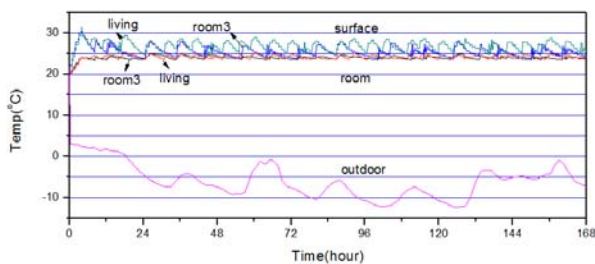


(c) On/off status of each room

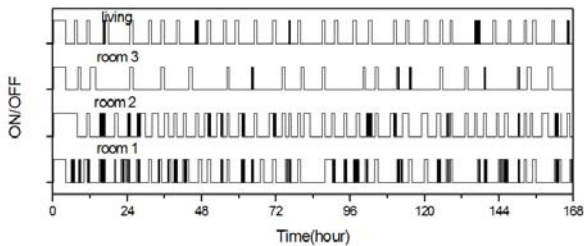
Fig. 2 Simulation results for 47~52°C



(a) Energy supplied by boiler



(b) Indoor, outdoor, and ondol surface temperature



(c) On/off status of each room

Fig. 3 Simulation results for 62~67°C

온도가 낮아질수록 과열비율이 감소하는 경향을 보이며, 일정온도로 공급한 경우에도 유사한 결과를 나타내었다. 한편 초기온도 20°C에서 실내 설정온도 하한값인 23.5°C에 도달하는 시간을 정리한 것이 Table 4이며, 온수온도가 낮아질수록 현격히 길어지는 것을 알 수 있다. 따라서 저온 온돌 난방의 가장 큰 단점은 초기온도가 매우 낮은 경우 쾌적 온도 범위에 도달하는 데 적지 않은 시간이 소요된다는 것을 확인할 수 있으며, 급속난방 기능의 보완이 필요하다. 40°C로 낮은 온도를 공급하는 경우에는 시뮬레이션 결과가 불

Table 4 Control condition and elapsed time

	set temp(°C)	elapsed time(hour)
1	62-67	3.2
2	52-57	4.2
3	47-52	6.2
4	65	3.0
5	55	4.0
6	50	5.0

안정하여 향후 보완을 통해 발표할 계획이다.

#### 4. 결론

50°C 정도의 낮은 공급수온도에도 비교적 원활한 난방이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 콘덴싱보일러에서는 효율증가 및 가스 사용량 저감으로 이어질 수 있다. 또한 지열히트펌프에서는 응축수온도의 저하로 COP가 향상되며, 전기 소비량 저감으로 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다. 향후 보급이 확대될 것으로 기대되는 태양열난방의 경우에도 집열효율 및 태양열 획득 증가로 이어질 수 있다. 다만 저온난방의 경우 장기간 난방 중단후 재개시 쾌적 범위에 도달하는 시간이 길어질 수 있어 급속난방기능의 보완이 요구된다.

#### 참고문헌

1. Hong, H., Kim, S., 2010, Method and analysis of dynamic simulation for ondol heating, Journal of SAREK, Vol. 22, No. 6, pp. 375-382.
2. Hong, H., Kim, S., 2010, Adjustment of valve opening in ondol hot water distribution, Journal of SAREK 2010, Vol. 22, No.6, pp. 460-467.
3. Solar Energy Lab., 2005, TRNSYS 16.1 reference manual, University of Wisconsin-Madison.