

## 온돌 난방분배기의 개도조정

홍 회 기<sup>†</sup>, 김 시 환<sup>\*</sup>  
경희대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>경동네트웍

### Adjustment of Valve Opening in Ondol Hot Water Distributor

Hiki Hong<sup>†</sup>, Sihwan Kim<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea  
<sup>\*</sup>R&D Center, KD Network, Seoul 153-803, Korea

(Received March 20, 2010; revision received April 20, 2010)

**ABSTRACT:** In housing units constructed recently in Korea, the length of ondol coil is different in each room, so the flow rate of hot water is adjusted by setting valve opening. If the flow rate is not appropriate for heating load, the room temperature seriously deviates from the set temperature range for comfort. In particular, too small valve opening can induce a noise by cavitation. In order to adjust the valve opening, two methods by zone area and a new method by return temperature rise were modelled and simulated using TRNSYS and EES. As a result, heating energy consumption during one week was the same on three methods, but the room temperature of the new method minimally deviated from the range of set temperature with a low possibility of noise.

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

#### 기 호 설 명

- |                             |                                  |        |
|-----------------------------|----------------------------------|--------|
| $d$ : 배관내경 [m]              | $\rho$ : 밀도 [kg/m <sup>3</sup> ] | 하첨자    |
| $f$ : 마찰계수                  |                                  |        |
| $l$ : 온수코일길이 [m]            | $coils$ : 온돌 온수코일                |        |
| $\dot{m}$ : 질량유량 [kg/s]     | $n$ : $n$ 번째 코일                  |        |
| $p$ : 압력 [kPa]              | $pump$ : 순환펌프                    |        |
| $\Delta T_r$ : 환수온도 상승값 [K] |                                  |        |
| $v$ : 유속 [m/s]              |                                  | 1. 서 론 |
| $VO$ : 밸브개도                 |                                  |        |

#### 그리스 문자

- $\gamma$  : 난방제어함수값

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

한국의 총 에너지의 13%는 주거용 난방과 급탕에 소요되고 있어 이에 대한 합리적인 사용 및 절약방안은 화석연료 사용억제, 이산화탄소 배출저감에 파급효과가 매우 크다. 한국의 난방 특성상 아파트 및 단독주택을 포함하여 대부분의 주거용 건물에서 온돌이 사용되고 있는 중요성에도 불구하고 이에 대한 연구는 상대적으로 미진한 편이었다.<sup>(1-4)</sup>

건물 및 건축설비에 대한 실험적인 연구는 비용, 기간, 재현성 등에 많은 제약이 따른다. 최종적인 실증실험은 필수적이거나, 개발과정에서 동일한 조건에서의 타 방식과 비교를 위해 실험을 통한 효과 입증 및 검증은 용이하지가 않다.

현재 국내에서는 많은 기업들로부터 각방온도제어기(실별 난방제어기)가 출시되고 있으나 효과를 검증하기는 어려운 상황이다. 이에 대한 보완이 시물레이션 기법이다. 온돌 난방에 대한 시물레이션은 건물 자체 및 온돌, 보일러, 펌프, 난방분배기와 배관 그리고 난방제어기를 모두 포함하여 적절한 모델링이 선행되어야만 가능하며 만족할 만한 결과를 도출하기가 쉽지 않았다.

저자들은 이전 연구<sup>(5)</sup>에서 온돌과 부대설비를 모두 포함한 시물레이션을 수행하고 온·오프 및 정유량제어 방식에 적용하여 타당성을 보인 바 있다. 온돌의 특징인 축열효과로 시스템응답이 지연되고 이로 인해 실내온도를 일정범위 내에 유지하는 제어가 매우 어렵다. 원래 대류식에 적합한 단순 온·오프제어로는 쾌적한 실내온도 유지가 어려우며 이를 개선하고 시공성을 용이하게 한 정유량제어 방식이 현재는 보편적으로 적용되고 있는 상황이다. 이전 연구에서 보인 바와 같이 정유량제어 방식에서 적절한 유량분배를 위한 개도조정이 필수적이며 성공적인 제어의 관건이라 할 수 있을 만큼 매우 중요하다.

개도조정이 적합하지 않은 경우 온도제어구간을 벗어나는 과열, 과냉현상이 심화되며, 쾌적성 저하와 더불어 설정온도를 높이는 경향을 보여 에너지 낭비로 직결될 수 있다. 이번 연구에서는 현재 주로 사용되고 있는, 방면적이 넓으면 유량이 커지도록 개도를 늘리는 개도조정방식과 더불어 새로운 개도조정 방식을 제시하고 이에 대한 적합성을 보이도록 한다.

## 2. 온돌 난방제어

### 2.1 난방분배기와 제어방식

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.

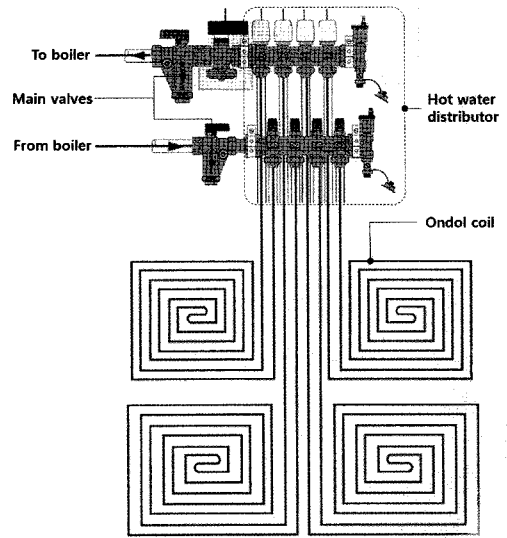


Fig. 1 Ondol coil with hot water distributor.

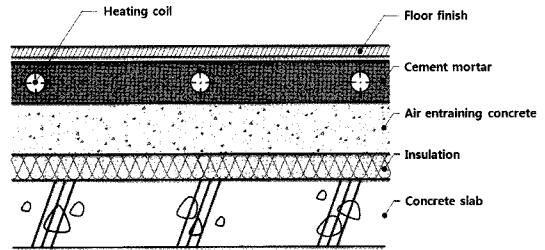


Fig. 2 Section of floor with ondol coil.

온돌 코일은 플라스틱관으로 Fig. 1과 같이 와선형 혹은 지그재그형으로 설치하게 된다. 온돌코일을 포함한 온돌의 구조는 Fig. 2와 같으며, 아파트의 경우 약 30 cm의 두께로 시공된다.

온·오프제어 방식에서는 Fig. 1에서 수동밸브만 있어 각 구획으로 공급되는 온수의 양을 조절할 수 있는 기능이 없기 때문에, 온돌 코일의 길이는 50 m를 넘기지 않게 한다. 따라서 넓은 방의 경우에는 온돌 코일이 두 모듈 이상 설치된다. 2000년대 중반 이후 보편화된 정유량제어 방식은 120 m 정도 이내에서는 하나의 온돌코일로 시공하게 되어 넓은 방에도 한 모듈로 처리할 수 있는 장점이 있다.<sup>(6)</sup> 적절한 유량분배를 위해 수동밸브 외에도 미세유량 조절밸브가 있어 이를 조정하여 유량을 설정하게 된다. 발코니 확장으로 난방부하가 증대하는 경우 온·오프 방식과 달리 대응하기가 용이한 편이다. 짧은 코일 하나에만 온수가 공급되는 경우 소음이

발생하여 민원이 제기되기도 하며 초기 미세유량조절밸브의 설정에 숙련이 요구된다. 정상적으로 유량조절이 이루어졌다면 온·오프제어방식과 마찬가지로 온·오프로만 제어가 이루어지게 된다. 이상적으로는 비례제어 방식이 가장 우수하나, 온도의 축열효과로 시스템 응답이 느려, 밸브의 개도조정이 매우 빈번하게 이루어지고 이 과정에서 저주파 소음이 발생하기도 하여 비교적 최근에 개발이 되었음에도 여전히 적용은 그다지 이루어지지 않고 있는 편이다.

## 2.2 유량제어

현재 대부분의 아파트에 설치되고 있는 정유량제어 방식에서 미세유량조절밸브의 개도조정에 의한 유량설정은 주로 시공단계에서 이루어진다. 각 방의 공급유량은 방의 부하에 비례해서 설정하는 것이 가장 바람직하나, 일반적으로 사용하고 있는 방식은 방면적에 비례하여 개도를 조정하는 것이다(이하 방식 2로 부름). 이전 연구<sup>(6)</sup>에서는 온돌코일 내의 권장유속인 0.25~0.3 m/s를 유지하되, 가장 넓은 방에 0.3 m/s, 가장 작은 방에 0.25 m/s로 흐르도록 개도를 조정하는 방식을 사용하였다(방식 1). 그러나 이러한 방식들은 난방부하가 방면적과 밀접한 관련이 있는 것만 고려한 것으로서 난방부하에 큰 영향을 주는 발코니 확장 여부, 창호의 종류, 면적 및 방향의 영향은 포함하고 있지 못하다.

온돌 난방의 정유량 및 온·오프제어는 실내온도 쾌적범위인 상한값과 하한값을 정해두고, 상한값을 벗어나면 난방차단을 하고 하한값 이하로 떨어지면 난방을 재개하는 방식을 취한다. 유량설정이 지나치게 작게 설정되면 원활한 난방이 이루어지지 못해 추위를 느끼게 된다. 즉 하한값 이하로 떨어져 난방이 재개되어도 쾌적범위에 들어오지 못하는 과냉구간이 길어지기도 하고 외기온도가 아주 낮으면 설정범위에 도달조차 할 수 없다. 반면에 유량설정이 지나치게 커지면 상한값을 벗어나기 쉬우며 과열 가능성이 높아져 에너지 낭비로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 각 방의 공급유량이 방의 부하에 비례해서 설정할 수 있는 방법을 강구하였다. 각 방의 부하를 정밀하게 구하는 방법은 현장 적용시 현실적이지 못하므로, 부하를 반영할 수 있는 인자를 찾도록 하였다.

모든 방의 미세유량조절밸브가 완전히 열린 상태(개도 100%)에서 운전이 시작되면, 코일의 길이

가 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 상승하는데 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 다음식(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 개도가 유지되도록 한 것이다. 이와 같은 방법으로 미세유량조절밸브의 개도를 구하는 것을 방식 3으로 부르기로 한다.

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시뮬레이션 방법

이전 연구에서 제시하였던 TRNSYS와 EES를 결합한 온돌난방 시뮬레이션을 사용하였으며, 정유량제어의 개도조정을 달리하였을 때의 결과를 분석하도록 한다. 상세한 내용은 관련문헌<sup>(6,7)</sup>을 참고하기로 하고, 여기서는 그 방법을 간단히 요약하도록 한다. 건물에너지 동적 해석 소프트웨어인 TRNSYS 16.1의 TYPE 56에는 복사냉난방을 모델링하기 위해 벽체에 활성층(active layer)을 포함시킬 수 있는 기능이 추가되었다. 활성층이 바닥에 설치된 것이 온돌이며, 온돌 코일의 루프수, 내경, 코일의 중심간 거리 등을 TRNSYS의 TRNBuild를 통해 입력하게 된다. 본 연구에서는 온돌 입구수온과 유량은 EES에서 계산한 결과를 입력하도록 한다.

EES, Matlab, Excel, FLUENT 등의 소프트웨어로 만든 프로그램을 통해 매 시각마다 수행된 결과를 WINDOWS의 동적데이터교환(DDE, Dynamic Data Exchange)을 통해 TRNSYS와 주고 받을 수 있다. TRNSYS에는 각각의 소프트웨어들과

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     |

데이터를 주고받을 수 있는 전용모듈이 포함되며 (EES의 경우 TYPE65), 매뉴얼에 상세한 사용법이 설명되어 있으니 참고 바란다. EES를 통해 펌프, 온돌코일 및 배관계통, 보일러 등의 성능함수를 연립하여 풀고, 각 방(구획)의 온수순환량, 입구수온을 결정하게 된다.

30평대 아파트에 사용되고 있는 대표적인 난방순환펌프의 특성곡선을 2차식으로 나타내면

$$\Delta p_{pump} = 87.6 - 22.8\dot{m} - 167.5\dot{m}^2 \quad (2)$$

과 같다. Fig. 1에 보인 각 온돌 코일의 입출구 양단, 즉 입출구헤더에 걸리는 압력 손실은 모두 같으며

$$\Delta p_{coils} = \Delta p_1 = \dots = \Delta p_5 = \Delta p_n = f \frac{l_n}{d} \frac{\rho v_n^2}{2} \quad (3)$$

$$\Delta p_{pump} = \Delta p_{coils} + \Delta p_{other} \quad (4)$$

을 동시에 만족하는  $v_n$ ,  $\dot{m}_n$ ,  $\Delta p$ , 즉 각 온돌 코일에서의 유속, 질량유량, 압력손실이 결정된다. 여기서 온돌일길이  $l_n$ 은 원래의 길이와 밸브의 부가저항에 의한 등가길이의 합이다.

보일러는 최대 15 kW의 열을 공급할 수 있는 것으로 하였다. 용량제어는 공급수온도를 기준으로 제어하는 것으로 하였으며, 62°C까지는 최대출력, 62~67°C 사이에는 40%~100%의 출력으로 비례제어, 67°C 이상에서는 보일러의 가동이 정지되는 것으로 하였다. 식(2-4) 및 보일러의 제어조건을 연립해서 풀게 된다.

TRNSYS로부터 각 방의 난방제어함수값  $\gamma$ (0이면 OFF, 1이면 ON)와 온돌 출구수온 값을 EES가 전달받고, EES에서 수행된 계산결과인 각 방으로의 유량, 공급수온도를 다시 TYPE 56으로 보내게 되며, 수렴할 때까지 계산은 반복된다.

### 3.2 대상건물 및 조건

Fig. 3에 본 연구에서 대상으로 한 아파트의 평면도를 보이며, Table 1에 각 방의 면적과 온돌 코일의 길이를 정리하였다. 오후 8시부터 오전 8시까지는 시간당 0.3회, 그 외의 시간대는 0.7회로 환기 횟수를 설정하였다. 남쪽 및 북쪽 방의 일부의 발코니는 확장한 것으로 하였으며, 모든 창호는 이중유리(4/16/4, 2.83 W/m<sup>2</sup>K)로 하였다.

온돌 바닥에 설치되는 온돌 코일은 내경 16 mm, 중심간 거리는 200 mm로 하였다. Fig. 2의 온돌의 구성을 Table 2에 상부층서부터 정리하였다. 온돌은 마감 모르타르와 경량 콘크리트 사이에 위치하는 것으로 하였다. 그런데 TRNSYS의 TYPE 56에 온돌을 입력하기 위해서는 온돌의 상하부의 층이 같은 재질이어야 하며, 온돌 상부층의 두께는 온돌 중심간 거리의 30% 이상이어야만 하는 제약이 따른다.<sup>(7)</sup> 따라서 설정된 온돌 간격 200 mm의 30%인 두께 60 mm의 가상의 모르타르를 입력하도록 하였다. 원래의 조건과 유사하게 하기 위해  $k/\Delta x$ 가

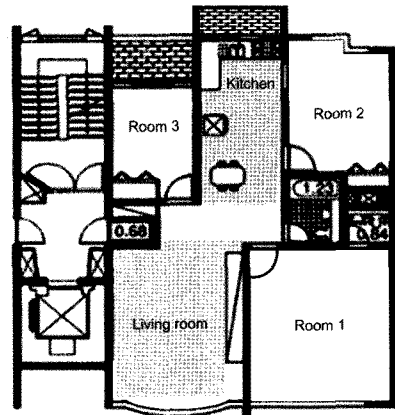


Fig. 3 The plan of an apartment house used in simulation.

Table 2 Thermophysical properties of floor

|                                    | thermal conductivity<br>(W/m · K) | specific heat<br>(kJ/kg · K) | density<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | thickness<br>(mm) |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| leveling mortar                    | 0.37                              | 0.79                         | 2000                            | 40                |
| → equivalent mortar                | 0.56                              | 0.53                         | 2000                            | 60                |
| autoclave light<br>weight concrete | 0.17                              | 1.09                         | 600                             | 50                |
| → equivalent mortar                | 0.56                              | 0.53                         | 2000                            | 30                |
| expanded<br>polystyrene            | 0.034                             | 1.25                         | 28                              | 30                |
| concrete                           | 1.62                              | 0.79                         | 2400                            | 150               |
| gypsum board                       | 0.21                              | 1.13                         | 910                             | 9                 |

같도록 열전도율을 계산하였다. 또한 축열량이 같도록, 즉  $\rho c \Delta x$ 가 동일하도록 비열의 값을 조정하였다. 온돌 하부층 역시 동일한 가상의 모르타르를 사용하되 원래의 축열량과 같도록 두께를 30 mm로 설정하였다.

설비공학회의 서울에 대한 표준기상 데이터를 사용하여 1월 1일부터 7일까지 1주일에 걸쳐 0.2시간 간격으로 Fig. 3의 아파트에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 초기온도는 20°C로 하였으며, 각 방의 온도가 23.5°C 이하에서 난방이 시작되고 24.5°C를 넘기면 다시 23.5°C 이하가 될 때까지 그 방의 난방이 차단되도록 제어하였다.

Table 1에 모든 방의 미세유량조절 밸브가 완전히 열렸을 때의 유량을, Table 3에 개도조정 후의 유량을 정리하였다. 모든 밸브가 전개되었을 때 코일 길이가 짧을수록 유동저항이 작아져 유량이 커지며, 부하가 작은 방에 오히려 많은 열이 전달되어 반드시 유량조정이 필요함을 알 수 있다.

거실은 방 1 면적의 약 2배로서, 두 구획으로 나눠 103 m 온돌 코일이 두 모듈 설치되는 것으로 하였다. 방식 2에서의 유량조절은 면적이 가장 넓은 구획인 방 1을 기준으로 방 면적에 비례하여 미세유량조절 밸브의 개도를 줄이는 방식을 취했으며 이 경우 방 2의 개도는 52.7%가 된다. 미세유량조절 밸브 외에 배관자체 자체의 유동저항이 포함되어 밸브의 개도에 따라 유량이 비례하는 것은 아니므로, 유량 산정을 위해서는 밸브의 특성을 적용해야 한다. 일반적으로 사용되고 있는 미세유량조절 밸브의 개도와 유량은 직선성이 매우 좋은 편으로서, 전개시에 약 20 kPa의 압력손실이 발생하며, 등가길이는 20 m 정도가 되고, 유량이 50%로 감소

하였을 때의 등가길이는 350 m이다. 이로부터 개도에 따른 등가길이는

$$l_e = -660 VO + 680, 0 < VO < 1 \quad (5)$$

로 구한 후 식(3)에 대입한다.

방식 3에서는 앞서 설명한 바와 같이 모든 밸브를 전개한 상태에서 일정시간 경과후의 환수온도 상승값을 구하고 식(1)로 개도를 구하게 된다. 초기온도 20°C에서 난방이 시작되면 환수온도는 방에 따라 다른 속도로 상승하기 시작한다. 시뮬레이션 결과 1시간 경과 후 각방의 환수온도 상승값은 방 1이 최소로서 18.4°C이며, 방 2 : 28.6°C, 방 3 : 31.5°C, 거실 : 18.6°C, 욕실 : 34.6°C이다. 이를 식(1)을 통해 개도를 구하고 식(5)에서 등가길이를 산출한 후 식(2-4)를 EES로 풀어 유량을 구했으며, 그 결과를 Table 3에 정리한 것이다.

#### 4. 결과 및 고찰

개도조정 방식을 달리하면서 1월 1일 0시부터 1주일에 걸쳐 시뮬레이션을 수행하였으며, 1일 단위의 난방에너지 소비량을 나타낸 것이 Fig. 4이다.

Table 3과 같이 각 방에 공급되는 유량의 차이가 있었음에도 전반적인 경향은 대단히 유사함을 알 수 있다. 난방 첫째날은 초기온도가 20°C로 낮기 때문에 난방 목표 값인 24°C까지 상승하는 데 많은 열을 필요로 한다. 1일 단위로는 다소 차이를 보여도 1주일 간의 적산값은 2.1 GJ로 동일하다. 상대적으로 적은 유량이 공급되면 보다 긴 시간 동안 난방이 지속되기 때문에 거의 동일한 값을 보였다. 따

라서 유량 조정을 달리함으로써 현격한 에너지 저감이 이루어진다는 일부에서의 주장은 설득력이 없는 것으로 결론지을 수 있다.

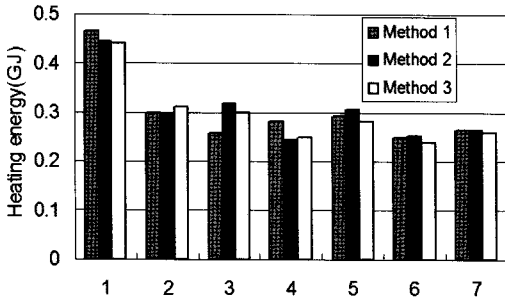


Fig. 4 Daily heating energy consumption.

전술한 바와 같이 유량조정의 관건은 과열, 과냉을 최소화시키는 데 있다. 유량이 지나치게 크면 과열이, 작으면 과냉이 심화된다. 특히 과냉이 심한 경우에는 난방 재개시 쾌적한 범주에 들어오는 데 까지 많은 시간이 소요되어 거주자의 불만을 야기하게 된다.

Table 4에 방식에 따른 과열, 과냉의 빈도율과 실내 및 방표면 평균온도를 나타내었다. 실내온도는 세 방식 모두 평균 24℃를 보이며, 바닥 표면온도도 거의 동일하다.

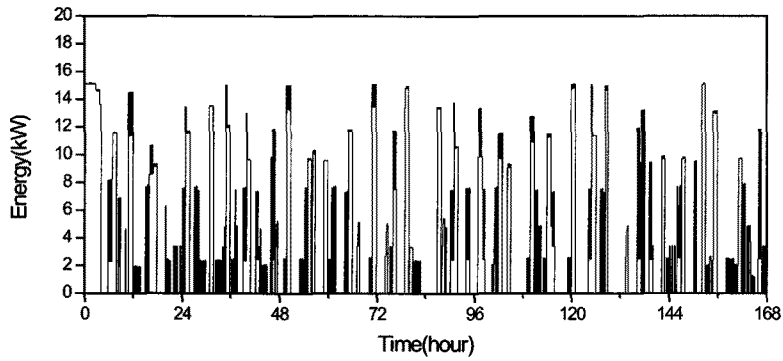
방식 1은 온돌 코일 내의 권장유속인 0.25~0.3 m/s를 유지하되, 가장 넓은 방에 0.3 m/s, 가장 작은 방에 0.25 m/s로 흐르도록 개도를 조정하였기 때문에 캐비테이션으로 인한 소음 문제에 대해서는 비교적 안전

Table 3 Valve opening, equivalent length and flow rate according to Methods

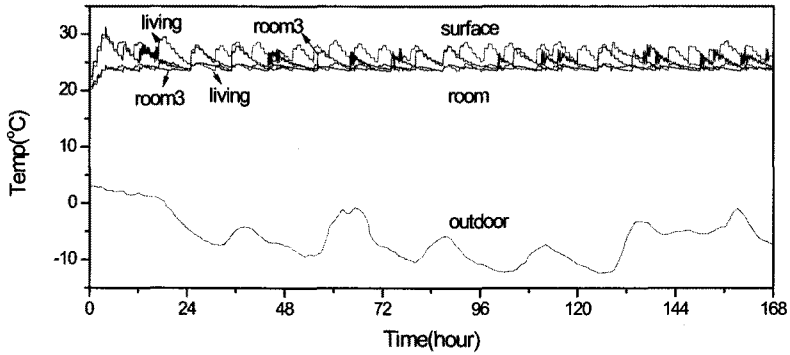
|                      |          | room 1 | room 2 | room 3 | livingroom | bathroom |
|----------------------|----------|--------|--------|--------|------------|----------|
| valve opening(%)     | Method 1 | 100    | 90.9   | 87.9   | 100        | 75.8     |
|                      | Method 2 | 100    | 52.7   | 39.1   | 99.5       | 23.7     |
|                      | Method 3 | 100    | 64.6   | 58.7   | 99.5       | 53.4     |
| equivalent length(m) | Method 1 | 0      | 80     | 100    | 0          | 130      |
|                      | Method 2 | 20     | 332    | 22     | 23         | 524      |
|                      | Method 3 | 20     | 254    | 293    | 23         | 328      |
| flow rate (kg/min)   | Method 1 | 3.54   | 3.11   | 3.04   | 3.56×2     | 2.90     |
|                      | Method 2 | 4.13   | 2.34   | 2.14   | 4.09×2     | 1.96     |
|                      | Method 3 | 3.95   | 2.50   | 2.40   | 3.88×2     | 2.34     |

Table 4 Average room and surface temperatures with over- and under-heating frequency

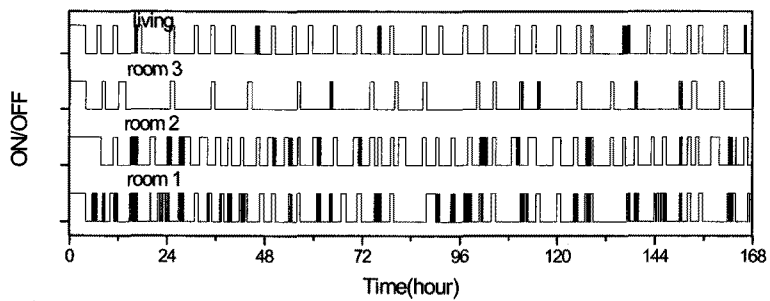
|          |                  | room 1 | room 2 | room 3 | livingroom | bathroom |
|----------|------------------|--------|--------|--------|------------|----------|
| Method 1 | air temp.(℃)     | 23.9   | 24.0   | 24.0   | 24.1       | 23.9     |
|          | surface temp.(℃) | 26.5   | 27.2   | 25.4   | 26.6       | 24.9     |
|          | >24.5℃ (%)       | 8.3    | 7.2    | 12.1   | 23.2       | 4.4      |
|          | <23.5℃ (%)       | 3.6    | 0.8    | 0.6    | 0          | 0        |
| Method 2 | air temp.(℃)     | 24.0   | 23.9   | 24.0   | 24.1       | 23.9     |
|          | surface temp.(℃) | 26.8   | 27.2   | 25.4   | 26.7       | 24.9     |
|          | >24.5℃ (%)       | 10.0   | 3.6    | 7.8    | 21.9       | 5.7      |
|          | <23.5℃ (%)       | 3.5    | 3.1    | 1.5    | 0          | 0.3      |
| Method 3 | air temp.(℃)     | 24.0   | 23.9   | 23.9   | 24.1       | 23.9     |
|          | surface temp.(℃) | 26.6   | 27.2   | 25.4   | 26.6       | 25.0     |
|          | >24.5℃ (%)       | 9.8    | 1.1    | 7.9    | 19.8       | 7.2      |
|          | <23.5℃ (%)       | 3.7    | 2.6    | 1.0    | 0.1        | 0        |



(a) Energy supplied by boiler



(b) Indoor, outdoor and ondol surface temperature



(c) On/off status of each room

Fig. 5 Simulation results for Method 3.

하다. 실제로 가장 작은 방에만 난방이 이루어지고 이 때 개도가 지나치게 작게 설정되어 있으면 소음이 발생하는 경우가 빈번하여 정유량방식의 문제점으로 지적되어 왔다. 그러나 방식 1은 넓은 방과 작은 방의 유량 차이가 상대적으로 작아지며, 타 방식에 비해 방 2, 3에 많은 유량이 공급되어 과열현상이 큰 편이다. 방식 2는 개도를 단순히 면적에 비례시켰기 때문

에 방에 따른 유량 차이가 가장 크다. 과열 측면에서는 방식 1에 비해 다소 개선되었음을 알 수 있다. 하지만 Table 3에 보인 바와 같이 가장 작은 구획의 개도가 23.7%로서 방에 따라 유량 차이가 2배 이상 나기 때문에 캐비테이션에 의한 소음 발생의 가능성이 높아진다.

방식 3의 유량설정은 방식 2와 유사한 경향을 보

이나 유량 차이는 상대적으로 줄어들고 가장 작은 방의 유량도 방식 2보다는 커져 소음발생 가능성은 적어진다. 과열, 과냉 역시 방식 1, 2에 비해 현격하지는 않지만 개선된 것을 알 수 있다. 환수온도 상승 값이 각 방의 부하의 크기를 비교적 잘 반영한 것을 확인할 수 있다. 그러나 방식 3에서도 거실의 과열 빈도율은 여전히 큰 편으로 개도조정만으로 과열, 과냉을 대폭 감소시키는 것은 어렵다고 판단된다.

방식 3의 계산결과를 정리한 것이 Fig. 5이다. 본 연구에서 대상으로 한 보일러는 과거 가장 많이 보급된 제어방식을 사용하였기 때문에, 실내온도가 24.5℃를 넘기지 않은 상태에서도 보일러의 출구온도가 67℃를 초과하면 작동이 멈춰 난방이 이루어지지 않는 특성을 갖는다. 각 방의 1주일 간의 난방에너지 소비량은 방식 3의 경우 각각 0.528, 0.364, 0.118, 1.031, 0.055 GJ로서, 특히 발코니가 있어 난방부하가 작은 방 3의 온·오프 빈도는 확실히 다른 방에 비해 작은 편이다.

Fig. 5(c)에서 방 1의 온·오프 빈도가 큰 편이며 연이어서 온·오프되는 현상은 부하 크기 및 보일러 제어 특성과 관련이 있음을 알 수 있다. 따라서 과열, 과냉의 빈도율을 줄이기 위해서 적절한 개도조정 및 유량분배로서 어느 정도 개선이 가능하나 부하가 큰 방에서 연속으로 온·오프가 반복되는 현상은 보일러 제어방식의 개선을 필요로 한다. 단순히 공급수 온도로써 용량제어를 하는 것으로는 한계가 있으며, 보다 지능적인 제어방식의 개발이 바람직하다.

## 5. 결 론

가장 일반적으로 사용되고 있는 온돌난방의 정유량 제어 방식에서 적절한 유량분배는 원활한 난방을 위해 매우 중요하다. 이를 위해 미세유량조절 밸브의 개도조정이 이루어지며, 본 연구에서는 세 가지 방안에 대해 검토하였고 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 극단적으로 유량이 크거나 작게 설정되지 않는 한 유량조정이 달라져도 난방에너지 소비량의 차이는 거의 없다.
- (2) 적정 유속 분배의 방식 1은 소음 문제에서는 안전한 편이나, 과열 면에서는 세 방식 중 가장 불리하였다.
- (3) 가장 널리 사용되고 있는, 방면적에 비례해 개도조정을 하는 방식 2는 방식 1에 비해 과열 현상은 다소 개선되었으나, 작은 방의 개도가 지나치게 작아질 수 있어 캐비테이션에

의한 소음 발생에 주의를 요한다.

- (4) 본 연구에서 제안하는 환수온도 상승속도에 의한 방식 3은 방식 1, 2에 비해 과열 현상이 다소 감소하였으며, 소음 발생 가능성도 방식 2에 비해 줄어들게 된다. 환수온도 상승속도가 부하의 크기를 비교적 잘 반영한 것으로 간주된다.

과열, 과냉의 빈도율을 줄이기 위해서는 적절한 유량의 분배와 더불어 보일러의 지능형 제어의 뒷받침이 필수적이며, 향후 이에 대한 연구개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Lee, K. N., Ryu, S. R., Kim, Y. Y., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2004, A study on the energy simulation considering the response time of radiant floor heating system, Proceeding of the SAREK 2004 Summer Conf., pp. 620-625.
2. Choi, J. M., Lee, K. N., Ryu, S. R., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2005, A study for flow-rate balancing when the system resistance changes in the control of the radiant floor heating system, Proceeding of the SAREK 2005 Winter Conf., pp. 129-134.
3. Choi, J. M., Lee, K. N., Ryu, S. R., Kim, Y. Y., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2007, A study on the required supply water temperature calculating method for the control of multizone radiant floor heating system, Korean J. of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 77-85.
4. Hong, H., Kim, S., and Yoo, H., 2009, An energy saving using ondol heating schedule control of housing units, Proceeding of the SAREK 2009 Winter Conf., pp. 139-144.
5. Hong, H. and Kim, S., 2009, Method of dynamic simulation for ondol heating, Proceeding of the SAREK 2009 Winter Conf., pp. 145-150.
6. Samyang Valve, 2003, Design for Ondol Hot water Heating and Header.
7. Solar Energy Lab., 2005, TRNSYS 16.1 reference manual, University of Wisconsin-Madison.