Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 26, No. 12 (2014), pp.572-578
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.12.572

지역난방 아파트에 대한 난방에너지 실측 및 시뮬레이션

Measurement and Simulation of Heating Energy for Apartments with District Heating

이은주(Eun Ju Lee)[1], **이두영**(Doo Young Lee)[1], **홍희기**(Hiki Hong)[2†], **김영균**(Young Kyun Kim)[3]
[1]경희대학교 기계공학과 대학원, [2]경희대학교 기계공학과, [3]경동나비엔
[1]*Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea*
[2]*Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea*
[3]*KD Navien, seoul 153-803, Korea*

(Received December 30, 2013; revision received September 29, 2014; Accepted: September 30, 2014)

Abstract Heating energy was measured in an apartment housing unit with a district heating system, varying the kind of hot water distributors. Ondol coils passing through a living room raised the temperature of the room where the heating was turned off. Including this characteristic of Ondol heating into the modeling, we performed simulations and showed a verification by comparison with the results of measurements. As a result, a main flow control method, which changes hot water flow rate supplied to a housing unit according to the thermal load, can reduce the supplied flow rate and lower the return temperature, compared with a constant flow method. That can result in decreased heat loss in utility-pipe conduits even though the heating energy supplied is almost the same. An outdoor reset control that raises the temperature of the supplied hot water if the outdoor temperature falls has the effect of a quicker response in heating than the reduced flow rate and return temperature.

Key words Ondol(온돌), Heating(난방), District heating system(지역난방시스템), Outdoor reset control(외기보상제어), Flow control(유량제어)

† Corresponding author, E-mail: *hhong@khu.ac.kr*

기호설명

l	: 코일길이 [m]
T	: 온도 [℃]
Q	: 유량 [L/min]
VO	: 각방 밸브 개도
VO_m	: 메인 밸브 개도

하첨자

eqv	: 등가
max	: 최대
org	: 원래
i	: *i*번째
amb	: 외기
net	: 순
pass	: 거실 통과
gain	: 추가 획득
s	: 공급수
L	: 거실

1. 서 론

국가 총에너지의 약 30%를 건물에서 소비하고 있고, 총에너지의 97%를 해외에 의존하고 있는 현실에서, 건물 특히 공동주택에서의 에너지 절약 및 효율적 관리는 국가 총 에너지 저감에 지대한 효과를 가져온다.

이전 연구에서 아파트 개별난방 세대에 대해 가스보일러, 온돌 등의 설비를 포함한 동적 시뮬레이션의 방법론을 제시하고 그 타당성을 보였다.[1, 2] 이를 토대로 각 방으로 공급되는 온수의 양을 설정해주는 난방분배기의 개도 조정 방법을 검토해 보았다. 유량 쏠림으로 인한 과열, 과냉 및 소음 문제를 해결하기 위해서는 정유량 방식 중에서도 단순히 면적만을 고려하는 것보다 부하를 고려한 방식이 적절함을 보인 바 있다.[3]

한국의 난방 특성상 아파트 및 단독주택을 포함하여 대부분의 주거용 건물에서 온돌이 사용되고 있다. 난방방식은 주로 개별난방, 지역난방, 중앙난방의 세 가지 형태인데, 2008년 현재 각각의 비율은 64, 28, 8%

ⓒ SAREK

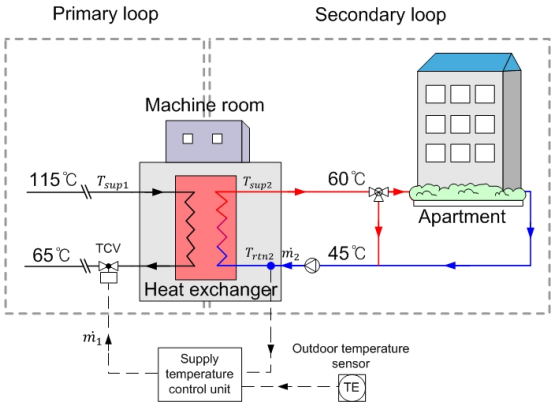


Fig. 1 Primary and secondary loop in district heating system.

이다. Fig. 1의 지역난방은 열교환기에서 물은 섞이지 않고 열만 전달되는 방식으로 열생산을 대규모로 하며 열병합발전 배열, 쓰레기 소각열, 매립가스 등 다양한 열원을 사용하므로 효율적인 에너지 사용 및 절약을 할 수 있는 장점이 있다. 소비자가 난방 방식에 대해 가지고 있는 가치를 분석한 결과 지역난방 아파트의 선호도가 가장 높아 더욱 증가할 것으로 판단된다. 따라서 점유율이 지속적으로 증가하고 있는 지역난방 아파트에 대한 에너지 저감은 파급효과가 매우 크다.[4]

본 연구에서는 지역난방을 열원으로 하는 아파트 세대에 대해 난방에너지 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 또한, 실제 아파트에 적용한 실측 실험을 통해 해석의 신뢰도를 높이고자 하였다. Fig. 2의 각 세대에 항상 일정한 유량을 공급하는 정유량 제어방식과 부하에 비례하여 세대에 유량을 공급하는 메인유량조절방식을 적용하고 분석하고자 하였다. 그리고 일정온도 공급방식과 외기보상제어에 따른 공급수온도의 영향도 파악하였다.[5]

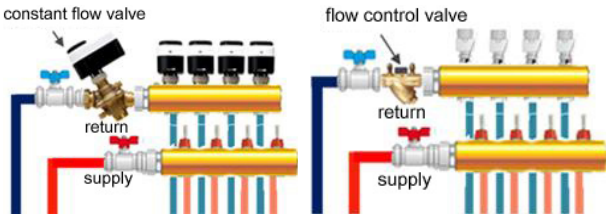
2. 온돌 난방시뮬레이션

2.1 대상공간

우리나라 아파트의 약 1/4을 차지하는 30평형대의 아파트(부천 소재)를 대상으로 하며, Fig. 3의 전용면적 119.7 m^2(천장 높이 2.45 m)를 발코니 미확장 상태로 모델링하였다. 초기 조건은 실내 및 벽체 온도 20℃, 각 방의 온도는 평균적으로 23.5℃(22.5~24.5℃)를 유지하도록 운전 조건을 설정하였다. 계산에 사용된 온돌 구조와 코일의 길이 등을 Fig. 4 및 Table 1에 정리하였다. 온돌 코일의 내경은 16 mm, 중심간 거리는 200 mm이다. 거실의 간격은 원래 230 mm이나 TRNSYS TYPE56 active layer의 제약조건인 '온돌 모델링시 온돌의 상하부의 층이 같은 재질이어야 하며, 온돌 상하부 층의 두께는 온돌 중심간 거리의 30% 이상'을 만족하기 위

Table 1 Ondol coil specifications

zone	area [m^2]	length of coil [m]	coil size [A]	coil spacing [mm]
room 1	11.8	96.5	15	200
room 2	11.3	73.4	15	200
room 3	9.7	38.7	15	200
living room	41.7	83.8	15	230



(a) constant flow method (b) main flow control method

Fig. 2 Hot water distributor used in district heating apartment.

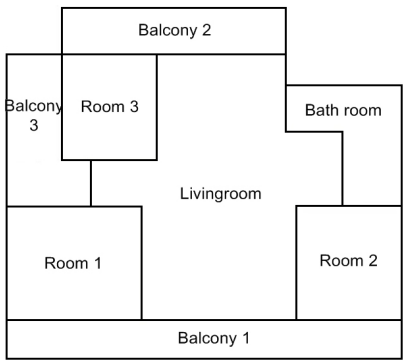


Fig. 3 Simplified plan of the apartment house used in simulation.

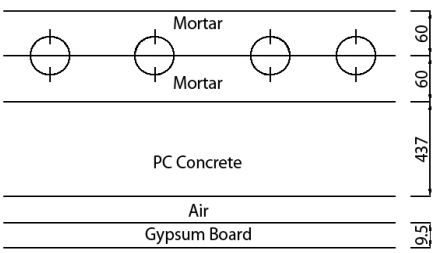


Fig. 4 Ondol model used in simulation.

해 200 mm로 온돌이 설치된 것으로 모델링한 것이다. Fig. 4의 단순화된 온돌모델 역시 이 조건을 만족하도록 두께, 열전도율, 비열을 조정하였다.[1]

건물에너지 시뮬레이션에서 결과에 큰 영향을 미치면서도 불확실성이 큰 변수는 환기횟수이다. 실측실험 결과와 비교하면서 적절한 환기횟수를 설정해주는 것으로 하였다.

Fig. 2(a)의 정유량 밸브는 세대 주배관에 공급되는 유량이 열린 방의 수와 상관없이 거의 일정하게 유지하는 역할을 한다. 반면에 각 방으로 공급하는 유량은 미세유량조절밸브를 사용하여 적절히 분배되도록 조정한다. 즉 Table 1과 같이 좁은 면적의 방에는 온수코일이 짧게 설치되며 적은 양의 온수를 공급하기 위해 미세유량조절밸브를 많이 닫게 된다. 이때 그 방의 밸브 개도 VO는 「해당 방의 코일길이/세대에서 가장 긴 코일길이」로 결정하게 된다.

메인유량조절방식은 세대에 공급되는 유량이 부하조건에 따라 변동하게 된다. 유량을 조절하기 위해 전체 온돌 코일 중 열려 있는 방들의 코일 길이의 비율로부터 메인유량밸브의 개도 VO_m를 결정한다. 정유량 제어방식과 유사하게 각 방으로의 분배는 미세유량 조절밸브의 개도 조정을 통해 이루어진다.

2.2 시뮬레이션 방법

건물에너지 동적 해석 소프트웨어인 TRNSYS 17을 사용하였다. TYPE 56에서 필요로 하는 건물정보는 TRNBuild에서 입력하며, 온돌에 공급되는 메인유량, 각 방의 온수공급량, 입구수온 등은 EES 프로그램에서 계산된 결과를 제공 받는다.[3] 제어방식에 대한 상세한 로직은 이전연구 결과를 참고하기 바란다.[3]

정유량 방식에서는 세대에 공급되는 유량이 일정하며 본 연구에서는 실증값 10.2 lpm을 사용하였다. 반면에 메인유량조절방식에서는 앞서 설명한 방식으로 개도 VO_m을 산출하고 이로부터 유량을 결정하는데, 통상 직선성이 매우 좋은 유량조절밸브를 사용하게 된다. 본 연구에 사용된 것을 Fig. 5에 나타내었으며 이를 회귀식으로 정리하면

$$Q = Q_{\max}[-4.9607(VO_m)^4 + 10.47(VO_m)^3 - 7.1839(VO_m)^2 + 2.6543(VO_m)] \quad (1)$$

여기서 Q_{max}는 7.7 lpm이며, 밸브가 전개되었을 때의 최대유량을 의미한다.

각 방으로 공급되는 유량 $\dot{m}_i$은, 모든 방의 온수 코일 입출구에 걸리는 압력강하량 $\Delta p = f\frac{l_i}{d}\frac{\rho v_i^2}{2}$은 동일하기 때문에 $\dot{m} = \Sigma\dot{m}_i$과 연립하여 v_i와 $\dot{m}_i$을 구하게 된다. 여기서 f는 마찰계수, d는 관경, v_i는 유속, ρ는 물의 밀도이며, $l_i = l_{org,i} + l_{equ,i}$로서 원래의 온수코일길이 $l_{org,i}$에 유량조절밸브의 개도에 따른 등가길이 $l_{equ,i}$의 합이다. Fig. 6에 미세유량조절밸브의 개도에 따른 등가길이의 관계를 보였으며, 이를 식으로 나타내면

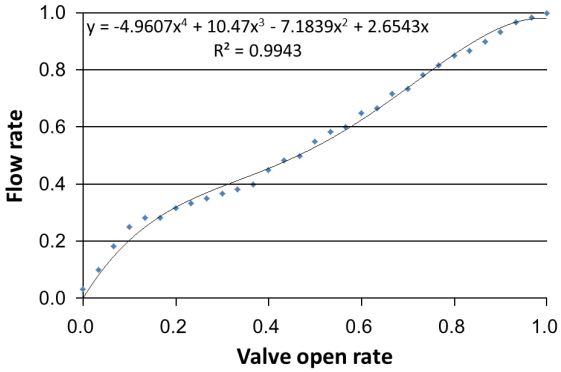


Fig. 5 Main valve open rate vs. flow rate.

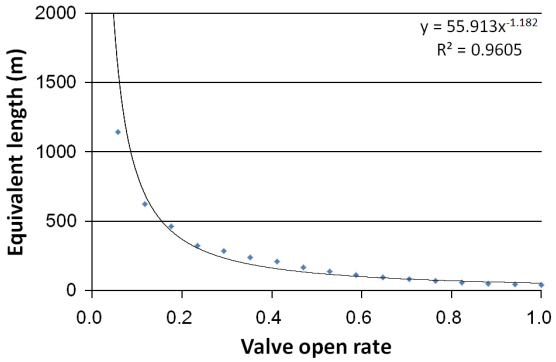


Fig. 6 Valve open rate vs. equivalent length.

$$l_{eqv} = 55.913\,VO^{-1.182} \quad (2)$$

최근 지역난방 아파트 단지에서는 외기온도에 따라 공급수 온도를 달리하는 외기보상제어를 사용하기도 하는데 이는 시간별 외기 온도의 변화에 따라서 실내로 공급되는 공급수 온도를 반비례적으로 변화시키는 제어법이다.[6] Fig. 1의 1차측 밸브의 개도를 조절하여 2차측 공급수 온도를 설정하게 된다. 실험 대상 아파트 단지에서 각 세대에 공급되는 공급수 온도는 외기온도에 따른 식(3)에 의해 결정된다.

$$T_s = -\frac{2}{3}\cdot T_{amb} + \frac{160}{3} \quad (3)$$

반면에 일정온도 공급방식에서는 53℃로 상수값을 취하였다.

3. 실증실험과 비교 검증

시뮬레이션 대상공간인 30평형대 아파트에 열전대(K-type)와 유량계(SeaMetrics, S-series) 및 일사계(EKO, MS-602) 등을 설치하여 각 방식별로 3일간 난방실험

ⓒ SAREK

후 바꾸어가며 실험을 진행하였다. 가장 중요한 공급열량을 정확히 측정하기 위해 세대 입출구 배관에서 공급수온도와 환수온도를 계측하였다. 온도센서는 기존 주택을 대상으로 하였으므로 삽입형 대신 배관표면에 부착하고 단열을 강화하여 오차를 최소화하였다. 이는 적산열량계를 통해 측정한 결과와 5% 이내에서 일치하는 것을 확인하였다. 거실에 설치된 온도제어기는 온도조절 최소단위가 1℃로서, 24±1℃로 설정하여 실험을 수행하였다.

이를 통해 실제로 공급된 열량값을 시뮬레이션 값과 비교하도록 하였다. 데이터로거(Agilent 34970A)를 통해 0.01시간 간격으로 데이터를 수집하였다. 본 검증실험은 2012년 3월 9일부터 11일까지 메인유량제어방식과 3월 14일부터 16일까지 정유량 조절방식으로 진행하였다.

기상청에서 제공하는 기상데이터 중 측정 지점인 부천에 가장 가깝게 위치한 인천의 2012년 기상데이터를 사용하여 실증 실험과 동일하게 0.01시간 간격으로 시뮬레이션을 수행하였다. 실제 아파트에서 외기보상제어를 통해 공급수 온도를 조절하고 있어 시뮬레이션에서도 식(3)을 적용하였다.

선행연구[7]에서 기존 아파트의 난방에너지 소비에 가장 큰 영향을 주는 요인은 실내 설정온도와 환기횟수로서 1℃ 낮추는 효과와 0.1회/시간 환기횟수 줄이는 효과가 난방에너지 저감 8.5%로서 비슷한 것으로 나왔다. 하지만 자연환기에 의존하는 경우 환기횟수는 풍속 등의 외기조건, 건물의 기밀성, 거주자의 행동패턴에 따라 달라지며 정확한 실측이 쉽지 않다. 실험대상의 아파트는 준공후 10년 정도 경과된 건물(2002년 준공)로서 실내와 발코니의 환기횟수를 각각 0.7, 1.1회/시간로 설정하였으며, 비교적 실험과 비슷한 경향을 보였다.[8]

실증 실험은 계속해서 난방이 이루어지고 있는 건물을 대상으로 하였기 때문에 시뮬레이션은 동일한 날부터 계산하지 않고 24시간 전부터 계산하여 초기조건의 영향이 배제되도록 하였다.

특기할 사항으로, 실증 실험에서 거실측으로는 전혀 온수가 공급되지 않아 난방이 이루어지지 않았음에도 불구하고 실내 온도 24℃를 유지하였다. 그 이유는 Fig. 7, Table 2와 같이 온돌코일은 온수분배기에서 거실을 지나 각 방으로 이어지기 때문에 거실에 난방효과를 주게 된다. 이를 고려하여 시뮬레이션에서는 방 1의 경우 총 길이 l_1 = 96.5 m가 방 1에만 설치된 것으로 단순화시켰다. 그리고 방 1의 순 코일길이 l_{net1}, 거실을 지나는 길이 l_{pass1}이라면 l_1에서 방 1로 방출되는 열량 Q_1 중 l_{pass1}/l_1은 거실의 획득열량으로 모델링하였다. 즉 방 1의 온수코일로 인하여 거실이 추가로 획득한 열량은

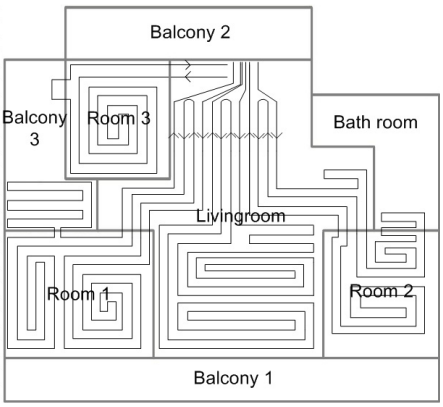


Fig. 7 Hot water coils placed in the apartment.

Table 2 Coil length passing living room[m]

	total coil length	coil length in the room	passing living room
room 1	96.5	83.8	12.7
room 2	73.4	56.3	17.1
room 3	38.7	30.9	7.8

$$Q_{gain1} = Q_1 \cdot \frac{l_{pass1}}{l_1} \tag{4}$$

이 되며, 방 1에 순수하게 공급되는 열량은

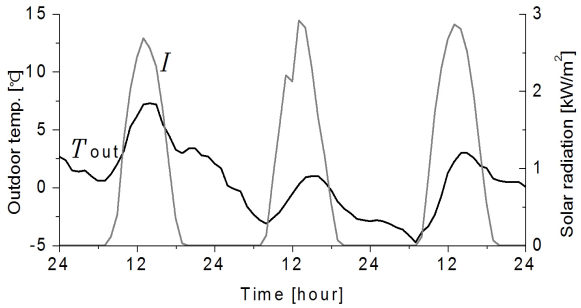
$$Q_{net1} = Q_1 - Q_{gain1} \tag{5}$$

다른 방도 동일하며, 거실에 공급되는 순 열량은 거실 온수코일에 의한 공급열 Q_L에 추가 획득열량의 합

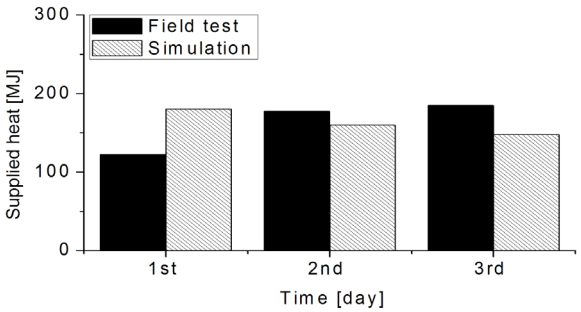
$$Q_{netL} = Q_L + Q_{gain1} + Q_{gain2} + Q_{gain3} \tag{6}$$

으로 나타낼 수 있다. 실측실험에서 측정한 값은 Q_1, Q_2, Q_3, Q_L에 해당되는 값이므로 이들을 비교하기로 한다.

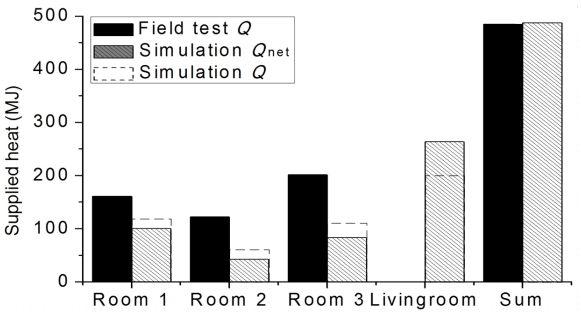
메인유량제어방식을 실험한 3월 9일부터 11일까지 3일간의 일사량과 외기온도를 Fig. 8(a)에, 일별 난방에너지 공급량을 Fig. 8(b)에 나타내었다. 실험과 계산의 난방에너지 공급량 총합의 차이는 0.6%이다. Fig. 8(c)는 각 방의 에너지 소비량을 나타낸 것이다. 방 3의 경우에는 코일 길이가 가장 짧은데 비해 에너지 소비량이 큰 이유는 북쪽에 위치하고 있어 남향에 있는 방 1과 방 2에 비해 일사를 적게 받기 때문이다. 이러한 사실로부터 각 방의 미세유량조절밸브의 개도를 조정할 때 단순히 방의 면적 혹은 코일 길이만으로 결정하는 것보다 북쪽 방 같은 경우에는 더 많은 온수가 공급될



(a) Outdoor temperature and solar radiation

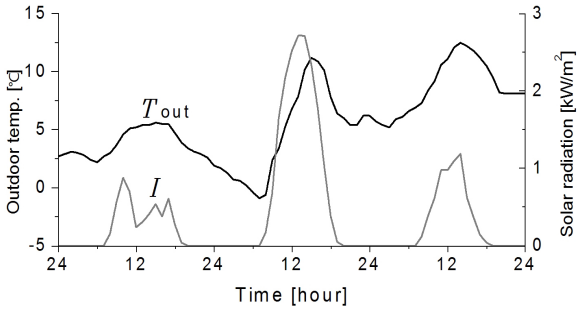


(b) Daily supplied heat

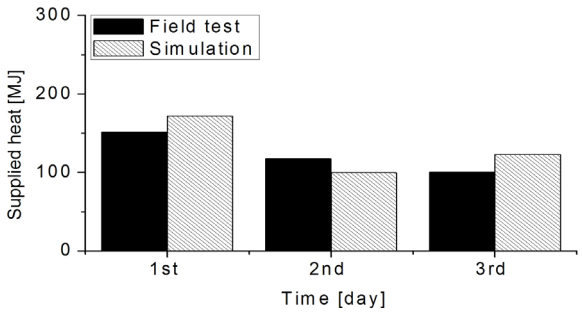


(c) Total supplied heat per each room

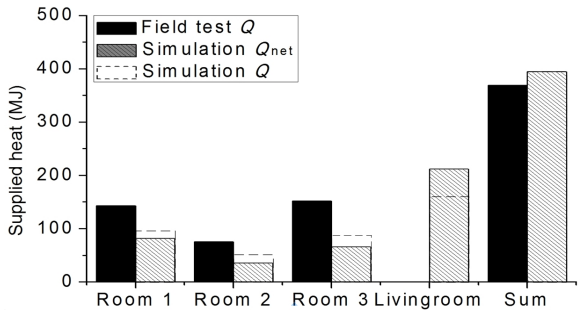
Fig. 8 Result for main flow control method.



(a) Outdoor temperature and solar radiation



(b) Daily supplied heat



(c) Total supplied heat per each room

Fig. 9 Result for constant flow method.

수 있도록 개도를 보다 크게 설정하는 알고리즘을 도입할 필요가 있다.

총합의 차이에 비해 각 방의 에너지량의 차이가 큰 것은 계산에서 거실에 추가 열량을 공급하였음에도 실제로는 거실에 더 많은 열이 공급된 것으로 보인다. 앞서 언급한 바와 같이 실측실험에서는 거실의 온도가 24℃ 근방을 유지하였으나 온수 공급이 이루어진 적이 없다. 코일 길이 비율로써 추가열량을 산정하였으나 그 이상의 영향을 끼쳤던 것으로 간주할 수 있다.

정유량 제어방식은 3월 14일부터 16일까지 실측이 이루어졌으며 결과를 Fig. 9에 정리하였다. 이 방식에서 실측과 계산의 열에너지 공급량 총합의 차이는 6%이나 전반적인 경향은 메인유량방식과 유사하다. 특히 첫째 날 일사상태가 좋지 않고 외기온도도 비교적 낮은 조건에서 실험과 계산 모두 다른 날에 비해 다소나마 크게 나온 것은 결과의 신뢰를 높여준다. 방별 비교에서의 적지 않은 차이는 실측 대상 건물의 특성 및 불확실성을 시뮬레이션 모델링에 충분히 반영하지 못한 한계로 판단된다.

4. 결과 및 고찰

2012년 기상청의 인천 기상데이터를 사용하여 1월 1일부터 7일까지 1주일에 걸쳐 계산을 수행하였다. 0.01시간과 0.1시간 간격으로 시뮬레이션 했을 때의 에너지 소비량이 거의 동일하기 때문에 계산의 편의상 0.1시간 간격으로 시뮬레이션을 수행하였다. 외기보상 유무 및 유량조절 방식에 따른 결과를 Table 3에 정리하였다.

ⓒ SAREK

Table 3 Daily heating energy consumption[GJ] and supplied flow rate[m^3]

	nth day	1	2	3	4	5	6	7	total
Constant supply temperature	Constant flow, CC	0.604	0.228	0.246	0.221	0.220	0.217	0.221	1.957 GJ
		11.07	5.68	6.17	5.74	4.96	5.26	5.62	44.50 m^3
	Main flow control, CM	0.609	0.201	0.258	0.263	0.194	0.215	0.214	1.956 GJ
		8.02	2.65	3.27	3.41	2.45	2.70	2.72	25.22 m^3
Outdoor reset control	Constant flow, OC	0.606	0.215	0.260	0.230	0.201	0.228	0.212	1.952 GJ
		10.76	4.90	5.87	4.90	3.99	5.26	4.60	40.27 m^3
	Main flow control, OM	0.597	0.216	0.254	0.246	0.206	0.212	0.247	1.977 GJ
		7.36	2.53	2.49	2.70	2.28	2.47	2.78	22.97 m^3

Table 4 Monthly mean heating energy consumption, flow rate, supply and return temperature

	heating energy consumption [GJ]				supplied flow rate [m^3]				supply temp. [℃]				return temp. [℃]			
	1	2	3	avg.	1	2	3	avg.	1	2	3	avg.	1	2	3	avg.
CC	7.084	5.918	4.988	5.996	167.0	144.8	119.4	143.7	53.0	53.0	53.0	53.0	47.5	47.7	47.5	47.6
CM	7.087	5.958	4.987	6.011	80.0	74.4	56.0	74.5	53.0	53.0	53.0	53.0	41.5	41.4	40.7	41.2
OC	7.075	5.937	4.963	5.992	160.4	133.8	127.1	140.5	54.9	54.7	50.4	53.5	49.2	48.9	45.2	47.9
OM	7.070	5.979	4.980	6.010	82.5	69.3	65.7	72.5	54.9	54.7	50.4	53.5	42.5	42.2	39.2	41.4

Table 3과 같이 각 세대의 에너지 소비량 관점에서는 방식과 상관없이 그 차이는 1.3% 이내로서 거의 동일하다. 설정된 실내온도와 환기횟수가 같으면 에너지 소비량은 방식과 무관하다는 이전 연구결과와 일치한다.[9]

같은 공급수 온도를 전제로 했을 때 정유량 제어방식과 메인유량조절방식을 비교해보면 후자의 공급유량이 현격히 감소했음을 알 수 있다. 1월 1일에서 3월 31일까지의 3개월에 대한 계산결과를 Table 4에 나타냈는데 월별 평균값을 나타낸 것으로 Table 3과 마찬가지로 방식에 상관없이 에너지 소비량은 거의 동일하다. 유량의 경우 메인유량조절방식이 거의 절반 수준으로 유량이 작게 나타나는데 이는 정유량 제어방식이 방의 개구수에 상관없이 일정 유량을 공급하는데 반해 메인유량조절방식에서는 방의 개구수에 따라 적절히 유량을 줄여주기 때문이다.[10] 이는 펌프 소비 동력을 줄일 수 있고 환수온도가 낮아져 공동구에서의 에너지 손실량 감소로 이어질 수 있다.

정유량 제어에서는 전체 혹은 일부 방만의 난방과 상관없이 각 세대에 유입되는 공급 유량이 일정하게 되므로 동일한 공급수 온도라면 일부 방만 난방이 되는 경우 환수 온도가 상승하게 된다. 이는 공동구에서의 열손실로 이어지므로 결코 바람직하지 않으며 공통비용으로 지불하게 된다.

지역난방제어방식인 외기보상제어는 앞서 언급한 바와 같이 외기온도가 올라가면 공급수 온도를 낮추는 방식인데 Table 4와 같이 1, 2월에는 각각 54.9℃, 54.7℃로서 일정온도공급방식의 53℃보다 높아 보다 짧은 시간에 난방이 가능하게 하고, 3월에는 거의 같은 온도를, 4월 이후에는 낮은 온도를 공급하게 된다. 참고로 2012년 1, 2, 3월의 평균기온은 각각 -1.8, -1.2, 5.2℃이다. 공급유량을 줄이거나 환수온도를 낮추는 효과보다는 외기온도에 맞추어 적당한 공급수를 보냄으로써 원활한 난방이 가능토록 도모한 방식이라 할 수 있다.

과거에 정유량 제어방식의 단지에 지역난방의 난방비 책정을 위해 세대에 공급되는 유량만 검침하는 방식이 허용된 적이 있으나 같은 에너지 소비에도 많은 유량 공급이 이루어져 매우 비합리적임을 알 수 있다. 또한 환수온도 상승으로 열손실이 커져 분배되는 공통비용의 상승으로 이어질 수 있으므로 기존 아파트에도 열량계 방식으로의 교체가 바람직하다.

한편 2000년대 중반 이전까지 안방 등 한군데에만 온도센서와 온도조절기를 설치하고 모든 방의 난방이 동시에 켜지고 꺼지는 방식이 적용되었다. 앞서 검토한 바와 같이 거실에는 다른 방의 온수코일이 지나가므로 어느 정도 난방이 이루어진다. 따라서 에너지 절약을 위해서는 심야시간대에 거실 온수코일을 수동 혹은 제어기로 차단하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

지역난방 세대에 대해 난방에너지량을 실측하였고, 외기보상 유무와 유량제어 방식에 따른 시뮬레이션을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 실증 실험과 시뮬레이션의 비교를 통해 시뮬레이션 및 모델링 타당성을 검토해 보았다. 거실에서의 추가열량 획득 등을 정확히 예측하기 어려웠으나 실험과 시뮬레이션의 차이는 6% 이내이다.

(2) 외기보상 유무와 유량제어 방식과 상관없이 세대에 공급되는 난방에너지 소비량 차이는 1.3% 이내로 거의 차이가 없다.

(3) 메인유량조절방식은 정유량 제어방식에 비해 공급유량이 절반 정도로 감소한다. 이는 펌프 소비 동력을 줄일 수 있고 환수온도가 낮아져 공동구에서의 에너지 손실량 감소로 이어질 것으로 판단된다.

References

1. Hong, H. K. and Kim, S. W., 2010, Method and analysis of dynamic simulation for Ondol heating, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 375-382.
2. Kim, S. K., Hong, H. K., Kim, S. W., and Kim, J. T., 2010, Method and analysis of a dynamic simulation of Ondol heating, Indoor and Built Environment, Vol. 20, No. 1, pp. 112-119.
3. Hong, H. K. and Kim, S. W., 2010, Adjustment of valve opening in Ondol hot water distributor, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 460-467.
4. Won, D. H. and Kim, H. G., 2008, The economics value of residential heating systems in house price, Korean Energy Economic Review, Vol. 7, No. 2, pp. 75-101.
5. Kim, J. W., Ryu, J. S., Cho, S. H., and Lee, Y. S., 2011, An experimental study on application of outdoor reset control for apartment house by district heating system, Proceedings of the SAREK 2010 Summer Conference, pp. 221-226.
6. Hong, S. K., Kim, J. W., Lyu, S. B., and Cho, S. H., 2011, An experimental study of predictive optimal control for apartment house, Proceedings of the SAREK 2011 Summer Conference, pp. 1343-1348.
7. Park, Y. W., Yoo, H. S., and Hong, H. K., 2005, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 3 : The effect of room condition settings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 722-728.
8. Jang, H. J., 2009, Study on the optimum air change rate in residences, Korean Journal of the KARSE, Vol. 26, No. 2, pp. 73-76.
9. Lee, B. J., Chung, D. Y. and Hong, H. K., 2004, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 2 : the difference according to heating type, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 5, pp. 459-466.
10. Jin, H. G., Yoo, M. H., Jeong, C. H., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2013, Analysis of water supply characteristics of the heating system in an apartment house complex using district heating source, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 4, pp. 267-274.

ⓒ SAREK