

대학 건물의 중앙난방시스템의 실태와 개선 방안

김 묘 선, 김 영 일[†], 정 광 섭, 홍 희 기*

서울산업대학교 건축학부, *경희대학교 기계공학과

The Status and Improvement of Central Heating System of University Buildings

Myo Sun Kim, Youngil Kim[†], Kwang-Seop Chung, Hiki Hong*

**School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea*

School of Mechanical Industrial System Engineering, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

ABSTRACT : Most universities in Korea use central heating system which operates according to an preset intermittent schedule that is determined based on outdoor air temperature. In this research, problems with the current control system is studied by experiment and dynamic simulation. The measurement shows that the indoor temperature rises to an uncomfortable range during heating and falls below comfortable range when heating is off. To solve this situation, an on-off control is implemented and simulated using a dynamic simulation program. The results of experiment and simulation are in good agreement. The simulation shows that by implementing on-off control, the indoor space can be maintained within comfortable range using less energy.

Key words : Heating(난방), Preset intermittent schedule(설정된 간헐 일정), On-off control(off-off 제어), Dynamic simulation(동특성 모사)

기 호 설 명

- A : 방열기 면적 [m²]
- C_s : 실온 및 열매온도에 대한 보정계수 [-]
- n : 지수, n=1.3 (5세주형 주철방열기)
- N : 방열기의 섹션 수
- q : 방열기 1개당 방열량 [kW/EA]
- Q : 방열기 방열량 [kW]
- t_r : 방열기 입·출구 평균온도 [°C]
- t_s : 실내온도 [°C]

1. 서 론

우리나라는 사계절이 뚜렷하여, 봄, 가을의 날씨는 매우 쾌적하나, 여름과 겨울은 매우 덥거나

추운 기후 특성을 지니고 있다. 대학 건물의 경우 겨울방학 전후의 수업 기간 동안에는 난방이 효율적으로 이루어지지 않아 강의실의 열환경이 만족스럽지 못하다. 본 연구에서는 현재 대부분의 대학 건물에서 사용되어지고 있는 난방시스템의 실태와 문제점을 고찰한다. 이를 해결하기 위하여 제어시스템 도입을 통해서 현 난방시스템의 개선과 그에 따른 난방의 효율성 증대를 추구하고자 한다.

국내 대부분의 대학에서는 초기투자비가 낮고 신속한 난방이 가능한 증기난방 방식을 채택하고 있다. 대학의 건물은 중앙난방으로 외기의 온도에 따라 정해지는 일정에 의하여 하루에 2~4차례 간헐적으로 난방을 하고 있다. 그러나 일정에 따른 간헐적인 난방시스템은 일시적인 과다 난방을 하므로 실내온도가 쾌적범위 이상으로 급격히 상승하고, 비난방시에는 쾌적범위 이하로 감소하여 실내자에게 쾌적한 열환경을 제공하지 못한

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-970-6557; fax: +82-2-974-1480
E-mail address: yikim@snut.ac.kr

다. 또한 쾌적범위 이상으로 난방을 하므로 에너지 손실이 많다. 증기난방 방식은 방열기의 축열효과가 작기 때문에 난방시와 비난방시에 급격한 온도차가 발생한다.^(1,2)

따라서 본 연구에서는 외기 온도에 따라 정해진 일정에 의한 현재의 간헐적인 운전 방식과 실내온도를 제어하기 위하여 방열기에 공급하는 증기량 제어를 통한 운전방식을 비교, 검토하였다.

2. 연구 내용 및 측정

2.1 실내 공간 및 간헐 난방

본 연구에서는 중앙난방방식을 사용하고 있는 서울 소재 S대학의 한 개의 강의실을 연구 대상 모델로 선정하였다. 강의실의 크기는 W: 7.2 m, D: 7.8m, H: 3m이고, 창문의 면적은 W: 2.9 m, H: 2.1m이다(Fig. 1).

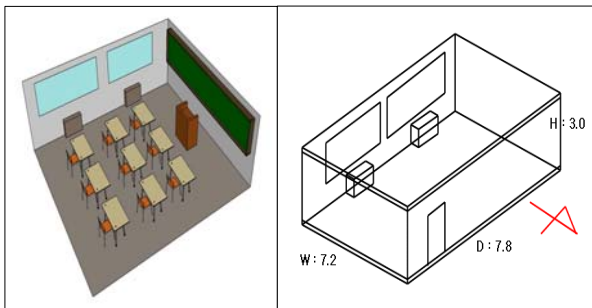


Fig. 1 Lecture room.

S대학의 기계실은 제1파워플랜트와 제2파워플랜트로 나누어져 있다. 제1파워플랜트는 전체 건물, 제2파워플랜트 일부 단과대학 건물의 난방을 담당하고 있다. 파워플랜트의 증기보일러에서 나오는 증기열원은 각 건물로 보내진다. 각각의 건물로 투입된 증기는 강의실, 실험실, 복도, 화장실에 설치된 방열기를 통해서 난방을 하며, 교수

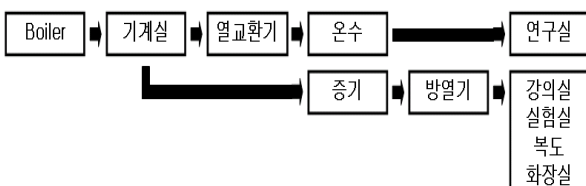


Fig. 2 Heat flow.

Table 1 Heating schedule

[Case number] Outdoor air temperature	Operating time	Total time (hour)
[Case 1] -1 ~ 5°C	08:00 ~ 10:00 13:00 ~ 14:30 18:00 ~ 20:00	5.5
[Case 2] -5 ~ -1°C	08:00 ~ 11:00 13:00 ~ 15:30 18:00 ~ 20:30	8.0
[Case 3] -10 ~ -6°C	08:00 ~ 11:30 13:00 ~ 16:00 18:00 ~ 21:00	9.5
[Case 4] -10°C 이하	08:00 ~ 11:30 13:00 ~ 16:00 18:00 ~ 21:30	10.0

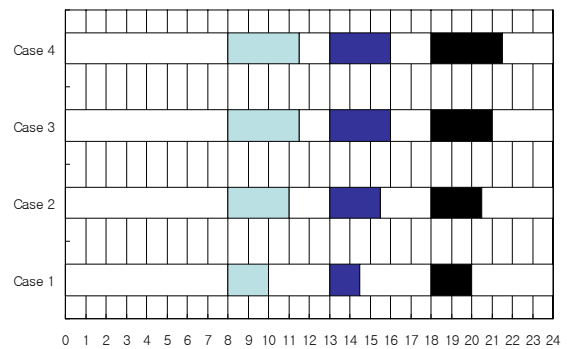


Fig. 3 Heating schedule.

연구실은 건물 내 기계실에서 열교환을 통해 변환된 온수로 FCU를 이용하여 온수난방을 하고 있다.

Table 1은 서울 소재의 S대학의 동절기 난방 가동 시간표를 나타내는 것이며, Fig. 3은 실제 S대학의 기준외기온도에 따른 난방가동 시간표를 도시한 것이다. 기준외기온도는 당일 7시, 12시 30분, 17시 30분에 측정된다. 주5일 수업으로 월 ~ 금요일 동안 정상 난방이 이루어지며, 토요일은 오후에만 난방이 된다. 방학기간 (12월 말 ~ 2월 말) 중에는 야간난방은 실시하지 않으며, 부득이하게 외기온도가 급감할 경우 새벽 4시 ~ 5시에 동파 예방 난방을 실시한다.

2.2 실험값의 측정 및 비교

본 연구에서는 동절기 방학기간 동안 강의실

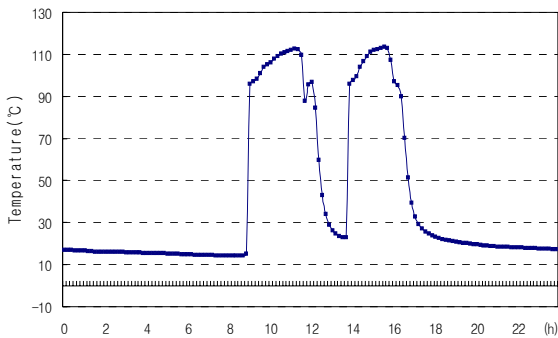


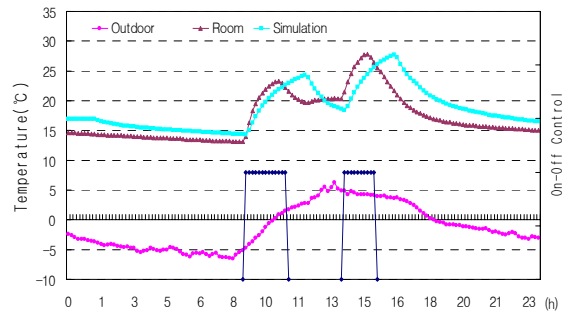
Fig. 4 Temperature of supply steam.

방열기 내의 증기 온도와 실내 온도 및 습도, 실외 온도 및 습도를 측정하였다. 학기 중에는 사람들의 출입이 빈번하여 실내온도를 정밀하게 측정하기가 어려워 강의실의 출입을 금지할 수 있는 방학기간을 이용하여 측정이 이루어졌다. 방열기로 공급되는 증기의 온도는 방열기 입구 배관 표면에 온도 센서를 부착한 후 센서 주변을 단열하여 측정하였고, 외기 및 실내의 온도 및 습도는 간이 데이터로거를 이용하여 측정하였다.

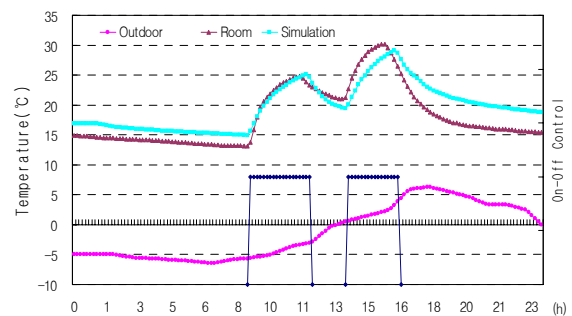
Fig. 4는 2007년 2월 1일에 측정한 강의실 방열기에 공급되는 증기의 입구 온도를 보여주고 있다. 이 때 외기온도의 최저값은 -9.8°C 로 측정되었으며, 측정 기간 중 가장 낮은 값을 나타내었다.

Fig. 5의 그래프는 동절기 기간 중, 각 조건별로 외기 온도에 따른 난방운전 시간에 대한 강의실의 온도 측정값과 시뮬레이션값을 나타내고 있다. 동절기 방학 중이기 때문에 일정표와는 달리 18시 이후에 실시하는 야간난방은 실시되지 않았다. 실내 열환경에 영향을 미치는 재실자의 현열 및 잠열 부하, 형광등 등의 조명기기, 기타 실내 기기에서의 발열, 침입외기에 의한 부하는 고려하지 않았다.

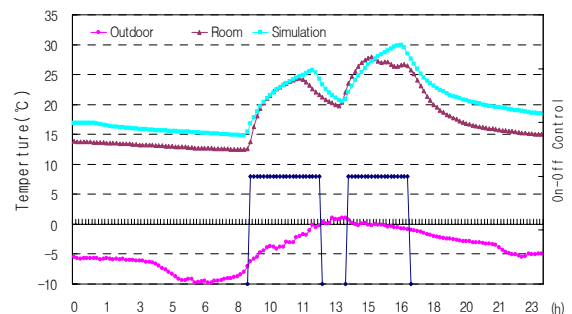
Fig. 5의 그래프를 살펴보면, 난방을 가동시킨 시점에서부터 강의실의 온도가 급격하게 상승하고 있음을 알 수 있다. 오전 난방 기간 동안에는 실내온도가 쾌적범위 이하이나 외기온도와 일사량의 증가로 열손실이 감소하는 오후 난방 기간에는 실내온도가 과도하게 상승하고 있다. 이는 에너지 측면에서도 손실이다. 난방시 최대온도와 비난방시 최저온도의 차는 약 15°C 로 실내의 온도는 시간에 따라 급격하게 변화하고 있다. 심야



(a) Case 1 (Outdoor T: $-1 \sim 5^{\circ}\text{C}$)



(b) Case 2 (Outdoor T: $-5 \sim -1^{\circ}\text{C}$)



(c) Case 3 (Outdoor T: $-10 \sim -6^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 Temperature variation.

부터 새벽까지 실의 온도는 약 $13 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 로 매우 낮으며, 낮의 난방시에는 약 30°C 까지 온도가 상승함을 알 수 있다.

Fig. 5의 그래프에서 나타난 바와 같이 측정값과 시뮬레이션값이 비교적 잘 일치하고 있어 시뮬레이션에 의한 해석이 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

3. 동특성 시뮬레이션

S대학에서 실행되고 있는 현재의 간헐 난방시

스텝과 실내 온도값에 따라 on-off 제어를 적용한 방식을 비교하기 위하여 TRNSYS 동특성 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 각각에 대하여 온도 제어 범위와 에너지 소비량을 비교한다.

3.1 시뮬레이션의 개요

On-off 제어 시뮬레이션에서는 실제의 난방 일정표와 같이 작동시키면서 실내의 온도가 상한값인 22°C가 되면 난방을 중지하고, 하한값인 20°C 되면 난방을 시작하였다. 시뮬레이션은 2006년 동절기 서울 지역의 기상데이터 중에서 난방 일정표에서 정한 바와 같이 외기온도가 -1~5°C, -1~-6°C, -5~-10°C, -10°C 이하 일 때의 4가지 경우에 대하여 하루 24시간 동안 모사하였다.

3.2 발열량 산출

강의실의 실제 조건과 동일하게 TRNBuild를 이용하여 실의 구조체를 Table 2와 같이 구성하여 모델링하였다. 벽체에서의 열손실은 외기에 면한 외벽에서만 일어난다고 가정하였다.

측정 및 모사 대상 공간인 강의실에는 5세주형 주철방열기 2대가 설치되어 있다. 일반적인 주철방열기의 표준 조건은 열매(증기)온도 102°C, 실내온도 18.5°C일 때 방열면적 1 m² 당 방열량은 650 kcal/h이다. 측정된 데이터에 의하면 공급

되는 증기의 평균온도는 120°C이고, 실내의 평균온도는 20°C이다. 방열량을 계산하기 위한 방법은 다음과 같다.

실온 및 열매온도에 대한 보정계수 C_s

$$C_s = \left(\frac{t_s - t_r}{102 - 18.5} \right)^n = \left(\frac{120 - 20}{102 - 18.5} \right)^{1.3} = 1.264 \quad (1)$$

방열기 1개의 방열 면적 A

$$A = a \times N = 0.26\text{m}^2/\text{EA} \times 20\text{EA} = 5.2\text{m}^2 \quad (2)$$

방열기 1개의 방열량 q

$$q = 650\text{kcal}/\text{m}^2\text{h} \times C_s \times A = 650\text{kcal}/\text{m}^2\text{h} \times 1.264 \times 5.2\text{m}^2 = 17,884\text{kJ}/\text{h} \quad (3)$$

방열기는 2대이므로 총 방열량 Q

$$Q = q \times 2 = 17884\text{kJ}/\text{h} \times 2 = 35768\text{kJ}/\text{h} \quad (4)$$

3.3 시뮬레이션 모델링

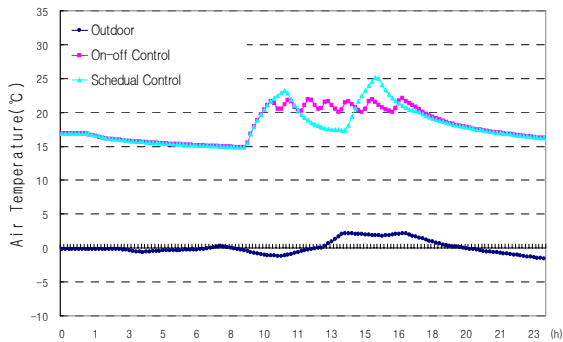
Fig. 6의 그래프는 야간난방과 실내발열이 없다고 가정하여 시뮬레이션한 결과이다. 기존 일정표에 의한 난방 방식을 보면, (a)에서는 실의 온도가 17~25°C, (b)에서는 18~27°C, 외기온도 범위가 -5~-10°C인 그래프 (c) 역시 실의 온도가 20~28°C로 시간에 따라 큰 변화를 보인다. 기존 방식으로는 쾌적한 온도 범위 내로 실내 열환경이 제어될 수 없음을 알 수 있다. 이에 반하여 on-off 제어 방식에서는 실내 온도가 쾌적범위인 20~22°C로 잘 제어됨을 알 수 있다.

Fig. 7의 그래프는 Table 1에 제시된 일정표와 같이 야간난방을 포함하고, 실내 발열과 외기 침입도 실제와 유사하게 가정하여 시뮬레이션하였다. 사람에 의한 발열량과 형광등의 발열량이 포함되었다. 사람의 수는 30명으로 가정하였고, 인체의 발열로는 ISO 기준인 앉아있는 사람의 간단한 작업에 해당하는 발열량인 120 W/m²값을 사용하였고, 형광등 발열은 30 W/m²으로 가정하였다.

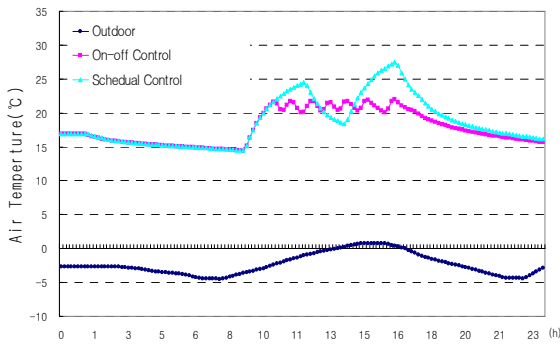
Fig. 7에서 현재의 일정표에 의한 난방 방식

Table 2 Construction of wall, ceiling and floor

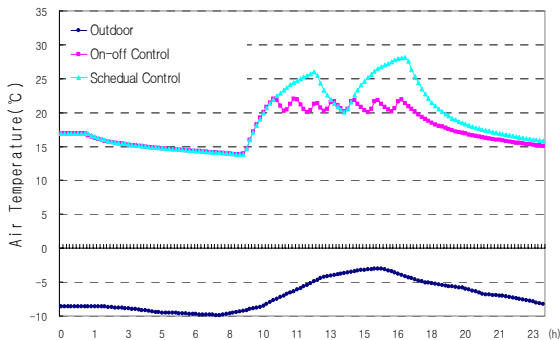
Structure	Construction	U-value (W/m ² K)
Exterior wall	Mortar(20mm) Concrete(400mm) Insulation(50mm) Mortar(20mm)	2.405
Interior wall	Mortar(20mm) Cement brick(180mm) Mortar(20mm)	5.813
Floor	Mortar(20mm) Concrete(300mm) Insulation(50mm) Lean concrete(60mm) Gravel(50mm)	0.539
Ceiling	Concrete(150mm) Mortar(27mm) Air(400mm) Veneer(60mm)	3.792



(a) Case 1 (Outdoor T: $-1 \sim 5^{\circ}\text{C}$)



(b) Case 2 (Outdoor T: $-5 \sim -1^{\circ}\text{C}$)

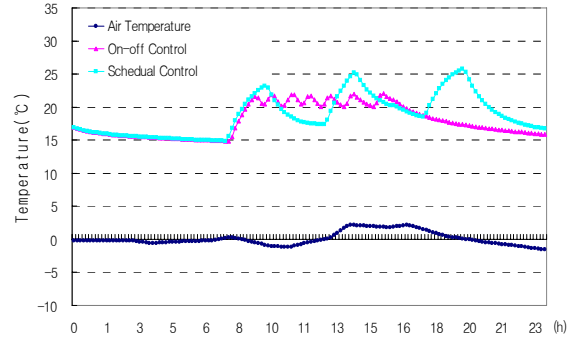


(c) Case 3 (Outdoor T: $-10 \sim -6^{\circ}\text{C}$)

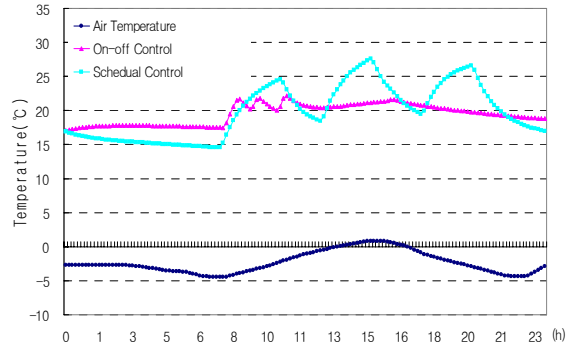
Fig. 6 Temperature variation (Simulation without internal load).

을 보면, (a)에서는 실의 온도가 $17 \sim 26^{\circ}\text{C}$, (b)에서는 $18 \sim 28^{\circ}\text{C}$, (c)에서는 $20 \sim 29^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 시간에 따라 큰 변화를 보인다. 내부발열을 무시한 Fig. 6에 비하여 최대 실내온도가 약 1°C 증가함을 알 수 있다. 실의 온도는 실의 쾌적 온도인 21°C 와 비교하였을 경우 많은 시간 동안 이 범위를 벗어났음을 알 수 있다.

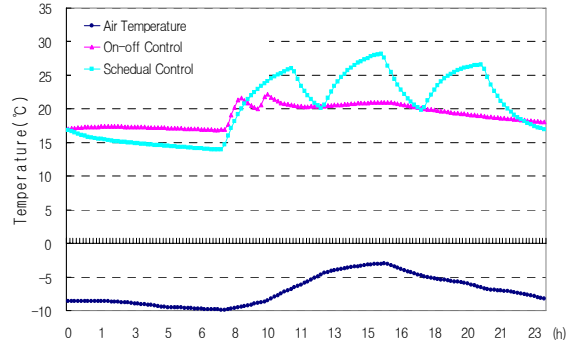
Fig. 8은 3가지 조건에 대하여 현재의 일정표



(a) Case 1 (Outdoor T: $-1 \sim 5^{\circ}\text{C}$)



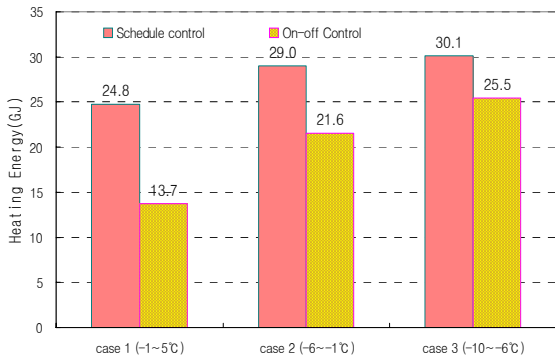
(b) Case 2 (Outdoor T: $-5 \sim -1^{\circ}\text{C}$)



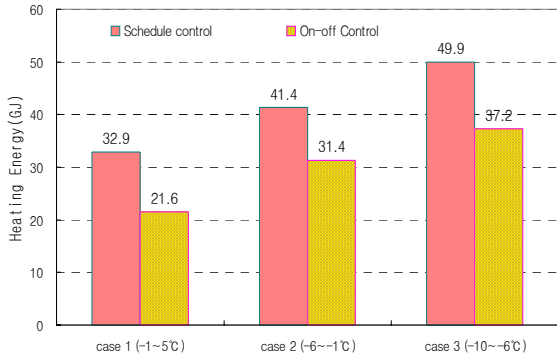
(c) Case 3 (Outdoor T: $-10 \sim -6^{\circ}\text{C}$)

Fig. 7 Temperature variation (Simulation with internal load).

에 의한 난방방식과 on-off 제어 방식에 대한 에너지 소비량 비교 결과이다. 각 조건은 외기 온도가 $-1 \sim 5^{\circ}\text{C}$, $-1 \sim -6^{\circ}\text{C}$, $-5 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 일 때이며, 동절기 12월에서 차기년도 2월까지 3개월 동안의 방열량의 총합을 비교한 것이다. 그래프 (a)는 실제 방학기간에 측정된 방열량을 기준으로 야간난방을 제외한 경우이고, (b)는 야간난방, 실내 방열 그리고 침입외기를 포함하여 계산한 방열량을



(a) Without internal load



(b) With internal load

Fig. 8 Heating energy consumption.

나타낸다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 실내 온도에 따라 방열기의 증기유입량을 제어하는 경우에는 외기의 온도가 변동하여도 실내의 온도를 더 적절하게 조절할 수 있고, 에너지도 20~40% 절약됨을 알 수 있다. 두 방식의 에너지 소비량 차이는 외기의 온도가 높을수록 더 크게 나타난다. 이는 현재 간헐 난방방식은 외기의 온도에 따라 일정표에 따른 방열기 운전을 간헐적으로 하고 있지만, 실질적으로 실내 온도를 적절하게 제어하고 있지 못하고 에너지 소비량도 많음을 알 수 있다.

4. 결론

대학 건물에서 사용되어지고 있는 중앙집중식 간헐 난방시스템의 현실과 문제점을 파악하고, 제어시스템 도입을 통한 현재의 난방시스템의 개선에 관한 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 대학 건물에서 널리 채용되고 있는 실외온도에 따라 일정표에 의해 난방을 시행하는 간헐 난방방식으로는 실내 온도를 쾌적범위 내로 제어하기 어렵다.

(2) 방열기의 증기공급량을 실외 적정온도인 20°C ~ 22°C로 일정하게 유지할 수 있도록 on-off 제어하면 실외 온도가 쾌적범위 내로 일정하게 유지되었다.

(3) 현재 일정표에 의한 간헐 난방방식과 on-off 제어방식을 비교하면, on-off 제어방식의 총 에너지 소비량이 20%~40% 적다. 두 방식의 에너지 소비량 차이는 외기의 온도가 높을수록 더 크게 나타난다.

(4) 본 연구에서 제안하고 있는 on-off 제어방식을 대학 건물에 적용하면, 적은 비용으로 실내 열환경 개선이 이루어지고, 에너지 소비량도 절감된다.

참고 문헌

1. Lim, D. H., Lee, G. N., Ryu, S. R., Yeo, M. S., Kim, K. W 2005, A Study on Estimation of Intermittent Operating Schedule of the Radiant Floor Heating for the Military Barracks, Architectural Institute of Korea, Vol. 25, pp. 367-370.
2. Lee, T. W., Kim, Y. K., 2003, A Calculation Method on Heating Operating Schedule of the Intermittent Heating System in Residential Buildings, Proceedings of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 634-639.