

공동주택 간헐난방시스템의 에너지 절감 및 열환경 개선방안 연구

안 병 천[†], 이 태 원^{*}

경원대학교 건축설비공학과, *건설기술연구원 화재 및 설비연구부

Strategy of Energy Saving and Thermal Environment Improvement for Intermittent Heating System in Apartment Buildings

Byung-Cheon Ahn[†], Tae-Won Lee^{*}

Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

^{*}Department of Fire & Engineering Services Research, KICT, 411-712, Korea

(Received October 15, 2004; revision received December 3, 2004)

ABSTRACT: In this study, the operational characteristics on heating performance and energy consumption for intermittent hot water heating system in apartment buildings were research by simulation. The effects of apartment inlet hot water temperature and operation time per day on energy consumption and indoor thermal environment are investigated. The strategy of energy saving and thermal environment improvement is suggested in comparison with the existing ones.

Key Words : Intermittent heating system(간헐난방시스템), Heating performances (난방성능), Indoor thermal environment (실내 열환경), Residential Buildings(공동 주택)

1. 서 론

국내 공동주택의 대부분은 온수에 의한 바닥 복사 난방시스템을 채택하고 있으며, 중앙난방의 경우는 계획된 시간동안 하루 2~4차례 간헐적으로 난방온수를 공급하는 방식을 채택하고 있기 때문에 일시적인 과다난방으로 실내온도의 큰 변화폭을 나타내어 쾌적한 실내열환경의 유지가 어렵고, 비난방시간이 길어서 보일러의 예열부하와 방바닥 및 벽체 등의 축열 부하 증대로 에너지 소모량이 증가하게 되는 문제점을 야기시키게 된다. 따라서 국내의 경우 많은 공동주택이 간헐적인 온수의 공급만이 이루어지는 중앙난방을 채택하고 있음을 고려해 볼 때 보다 쾌적한 실내

열환경의 유지 및 에너지의 절감을 위한 방안에 대한 연구의 필요성이 매우 크다 하겠다.

바닥 복사난방시스템에 관련된 연구로서 Friedlander⁽¹⁾와 Adelman⁽²⁾은 온수가 순환하고 있는 상태에서 외기 온도의 변화에 따라 공급온수온도를 반비례적으로 조절하는 outdoor reset control 방식을 제안하였는데, 특히 Adelman의 경우 바닥 복사난방시스템에서 실내로 유입되는 열량의 제어에 있어서는 서모스탯(thermostat)이 효과적이지 못하다고 하였다. MacCluer⁽³⁾는 공급온수로부터의 열전달량을 조절하고자 proportional flux modulation의 개념을 제안하였다.

이에 비해 국내에서는 안^(4, 5)등이 공동주택 바닥 난방시스템에 대해 순환펌프의 회전수제어에 의한 공급온수 유량제어방식을 도입하여 기존의 간헐난방 및 서모스탯을 이용한 단속난방방식들과의 실내 열환경 및 에너지 소모량 측면을 비교 연구하였다. 그리고, 조⁽⁷⁾등은 실내공기온도와 바

† Corresponding author

Tel:+82-31-750-5309; fax:+82-31-750-5314

E-mail address: bcahn@kyungwon.ac.kr

다표면온도를 동시에 제어대상으로 한 다인자 제어방법을 제안하였다.

그러나, 위의 국외 및 국내 연구들 대부분이 큰 용량의 온수탱크를 이용하거나, 혹은 지역난방과 같이 연속적인 온수의 공급이 이루어지도록 한 연속난방방식에 대한 연구들이며, 또한 안^(4, 5)의 연구를 제외한 대부분의 연구들은 단일세대만을 고려하였다. 국내의 경우 간헐적인 온수의 공급만이 이루어지는 중앙난방을 적용하고 있는 공동주택이 많은 부분을 차지하고 있고, 운전도 외 기온도를 기준으로 관리자의 난방운전경험에 의존하고 있는 실정임을 고려해 볼 때 이에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 중앙난방시스템에 대하여 운전조건으로서 공급온수의 온도, 열 공급주기 및 운전시간 등을 고려하여, 외기온도 등의 환경변화에 따라 세대별 실내 열환경을 개선하고, 소비 에너지를 절약하기 위한 최적의 운전방안을 제시하고자 하였다.

2. 대상 모델의 선정

본 연구에서는 중앙난방방식을 채택한 공동주택 바닥 복사난방시스템의 에너지 및 열환경 개선방안에 대한 연구를 위하여 대상 모델을 선정하였는데, 선정된 모델은 중앙기계실에 설치되어 있는 보일러에서 가열된 증온수가 순환펌프에 의해 순환되는 1차측 회로와, 1차측에서 공급된 증

온수와 각 세대로부터 환수된 저온수가 블리드-인(bleed-in) 방식에 의해 혼합되어 제어된 온도의 온수가 난방 순환펌프에 의해 각 세대로 다시 공급되는 2차측 회로로 구성되어 있다(Fig. 1 참조). 또한 블리드-인 방식에 의한 온수혼합은 중간기계실에서 이루어진다. 본 연구를 위해 선정된 대상 모델은 12개 동(1901동 - 1912동)으로 이루어졌는데 보일러의 해석을 위해서는 전체 유량을 고려하여 주었으나, 세대에 대한 해석은 1904동을 대상으로 이루어졌으며 에서중간기계실은 1903동과 1904동에 대해서만 구체적으로 나타나 있지만 기타 동들도 동일한 구조로 되어 있다.

본 연구에서는 배관망의 모델링을 위해 Fig. 1의 1904동을 대상으로 선정하였는데, 1904동(총 93세대, 33평형)은 11층과 15층으로 되어 있다(Fig. 2참조). 11층 아파트 건물은 총 33세대로 이루어져 있고 1층, 2층 - 5층, 6층 - 11층 등 3개의 난방구역으로 분할되어 있다. 15층 아파트 건물은 총 60세대로 이루어져 있고 1층, 2층 - 7층, 8층-15층 등 3개의 난방구역으로 분할되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 선정된 모델에 대해 전체시스템을 3개의 요소, 보일러, 배관망 및 전체 세대 등으로 나누어 열유동특성을 위한 수학적 모델(4, 5)을 수립하였다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서 사용된 기계실의 보일러는 하나의

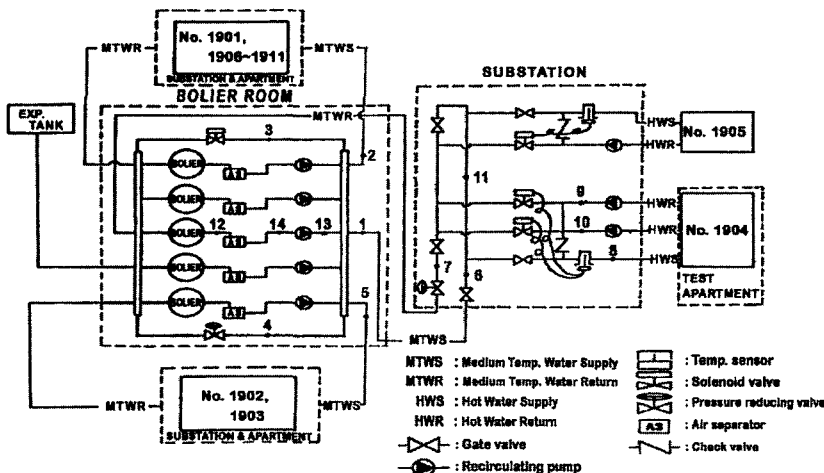


Fig. 1 Schematic diagram for intermittent heating system.

열용량이 5,833 kW(5 Gcal/h)이고, 연료로서 벙커 C유를 사용하는 노통 연관식 증온수 보일러로서 총 5기중 4기는 병렬로 운전되며 1기는 예비로 설치되어 있다(Fig. 1 참조). 보일러에는 두 개의 바이패스(bypass)라인이 설치되어 있는데 그 중 하나는 보일러 환수헤더의 온수의 온도를 80℃로 유지시키기 위하여 보일러 출구에 위치한 공급헤더의 증온수 일부를 환수헤더쪽으로 바이패스 시키는 것이며, 환수헤더에 있는 온도센서와 바이패스 라인에 설치되어 있는 유량조절밸브에 의해 바이패스 유량이 조절된다. 또 하나의 바이패스 라인은 공급헤더와 환수헤더사이의 압력차를 일정하게 유지시켜주기 위한 것이며 차압밸브가 라인에 설치되어 있다. 보일러의 증온수를 각 동으로 공급해 주기 위하여 중앙기계실에 설치된 증온수 순환펌프는 1대의 출력이 25 HP로서 각 보일러출구에 한대씩 연결되어 있다. 보일러로부터 열량을 공급받은 온수가 120℃에 도달하면 증온수 순환펌프가 가동되어 공기분리기를 거쳐 공급헤더에서 합쳐지며 이 곳에서 3 군데의 중간기계실로 분리 공급되어진다.

중간기계실에서는 보일러실로부터 공급된 증온수를 세대로부터 환수된 저온수와 혼합시켜 아파트로 온수를 공급하며, 출력이 7.5 HP인 난방순환펌프를 환수관에 설치하여 각 세대로의 온수의 공급이 균일하도록 하였고 세대로부터 환수된 저온수의 일부는 보일러로 환수되어 재순환이 된

다. 여기서 공급온수의 온도는 설정된 온도의 출력치가 되도록 공급관에 심어져 있는 온도센서와 환수관에 설치되어 있는 유량조절밸브에 의해 혼합비율이 자동 조절된다.

시뮬레이션을 위한 외기온도의 변화는 DOE-2 프로그램에서 사용하고 있는 일 최고 및 최저온도에 의한 외기온도 함수식(6)을 이용하였다.

이상의 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서는 기존 운전방식에 따른 난방성능 및 에너지소모량 특성연구를 통해 문제점을 분석하고, 개선안을 도출하기 위해 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 먼저 연구대상으로는 중앙난방방식을 채택하고 있는 아파트로서 Fig. 1에서 설명하여 주었는데, 간헐운전방식으로 운전되고 있으며, 일간 최저 외기온도에 따라 난방운전횟수 및 공급온수온도를 Table 1과 같이 설정하여 운전하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 운전조건의 적절성을 검토하고, 전체세대별 일간 실내공기 평균온도 및 공급열량(에너지소모량) 등을 고찰하여, 난방 운전 횟수별 운전시간 및 공급온수온도 등에 있어서 기존운전방식에 대한 개선안을 도출하였다.

4. 결과 및 고찰

먼저, Table 1은 서울시 석관동 A 아파트의 외기온도변화에 따른 열공급 횟수별 운전시간에 대한 동입구 공급온수온도를 나타낸 것으로서 이 온도 조건을 본 연구에서는 기준운전조건으로 선정하여 운전조건변화에 따른 난방성능 및 에너지소모량 특성에 대한 해석을 수행하였다. 여기서, 기준운전조건에서는 일간 최저외기온도만을 제시하고 있으므로, 동일조건에서의 해석결과들의 비교 검토가 이루어질 수 있도록 일교차는 10℃로 가정하였다.

Fig. 3은 기준운전조건에 대해 전체세대별 운전 횟수에 의한 실내공기 평균온도의 분포를 나타낸 것으로서, 2회 운전의 경우는 외기온도가 10℃ ~ 20℃, 3회 운전의 경우는 -5℃ ~ 5℃일 때의 경우를 선정하여 비교하였다. 기준운전조건(Table 1)에서 볼 수 있듯이 외기온도가 높아짐에 따라 운전횟수를 줄이고는 있으나 일간 실내공기 평균온도는 운전횟수보다는 외기온도에 의한 영향이 크게 나타나 외기온도가 높아 운전횟수가 작은 경우의 실내공기온도가 상대적으로 높음을 알 수

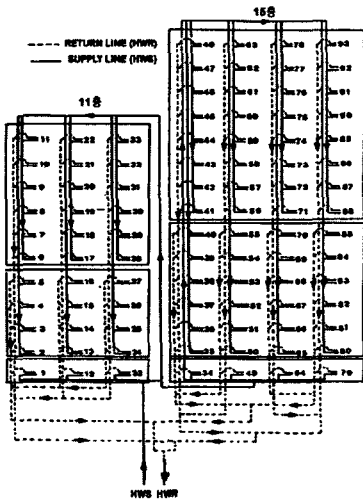


Fig. 2 Pipe networks for apartment No. 1904.

Table 1 Existing conditions for apartment inlet supply water temperature

Outdoor temp.(°C)		-15	-10	-5	-0	5	10	15	18
1 time	03:30~06:30	47	47	44	42	41	41	41	41
2 times	10:00~12:30	44	44	43	41	40	40	37	
3 times	17:30~20:30	44	44	42	38				
4 times	23:00~24:00	42							

있다.

또한 그림에서 볼 수 있듯이 외기온도가 -5°C~5°C의 3회 운전의 경우 실내온도 분포가 겨울철 쾌적한 실내공기온도인 21°C~25°C내에 유지되는 양호한 상태이며, 그 외의 경우는 실내공기의 평균온도가 부적절함을 볼 수 있다.

Fig. 4는 3회 운전시의 전체 세대별 실내공기 평균온도를 21°C이상 25°C이하의 환경 조건 내에 유지되도록 하기 위해 기준운전조건의 공급온수온도를 변화시켜 주었

을 때에 대한 전체세대별 실내공기 평균 온도의 분포변화특성을 나타낸 그림이다. 기준운전조건에 있어서 외기온도가 -5°C~5°C인 경우의 실내공기 평균온도의 크기분포가 22°C~24°C로서 쾌적한 열환경을 유지한다고 판단되어, 이를 기준으로 하여 외기온도 변화에 따라 공급온수온도를 변화시켜 주었다. 그림에서 볼 수 있듯이 외기온도가 0°C~10°C와 -10°C~0°C의 경우 각각 공급온수온도를 기준온도에 대해 5°C를 낮추거나 5°C를 높여줌으로써 전체세대별 실내공기 평균온도가 21°C~25°C에 유지할 수 있음을 알 수 있다. 또한 공급온수온도의 변화를 좀더 크게 하여 외기온도변화에 따른 실내공기 평균온도의 변화 폭을 줄일 수 있겠으나, 본 연구에서는 세대별 실내공기 평균온도를 21°C~25°C내에 유지하는 것을 쾌적한 열 환경의 기준조건으로 하였기 때문에 공급온수온도의 변화크기를 5°C로 하였다.

Fig. 5는 하루 4회 운전시 열 공급을 위한 총 운전시간의 길이에 따른 전체 세대별 실내공기 평균온도의 변화 특성을 나타낸 그림이다. 기준 운전조건은 총 운전시간이 9.5 Hours(9시간 30분) 인 경우이며, 외기온도는 -15°C~-5°C이다. 기준운전조건에서의 전체세대별 실내공기 평균온

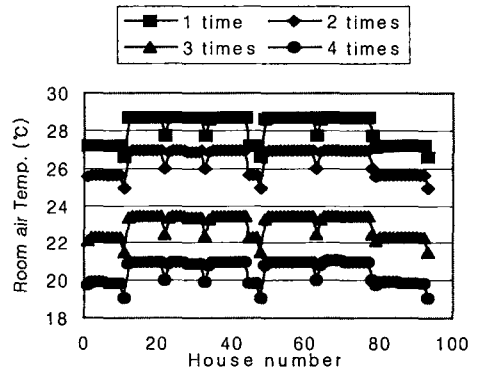


Fig 3 Room air temperature distribution house by house for operation times in a day.

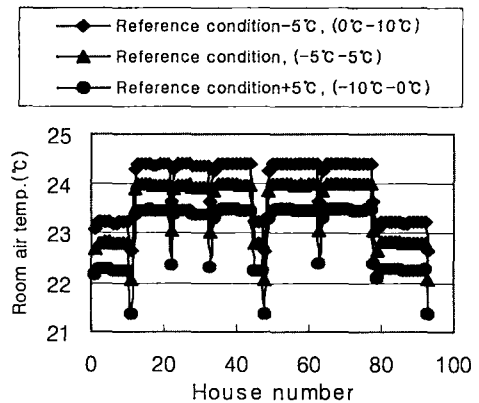


Fig. 4 Room air temperature distribution house by house for different outdoor and supplied hot water temperatures.

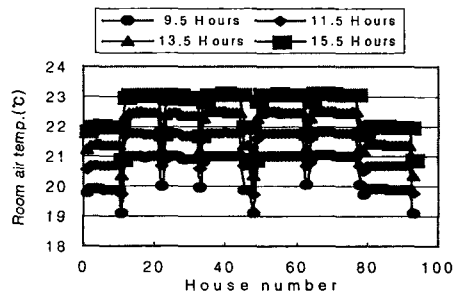


Fig. 5 Room air temperature distribution house by house for different total operation time in a day.

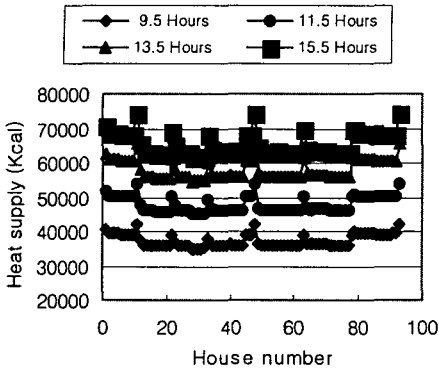


Fig. 6 Heat supply distribution house by house for different total operation time in a day.

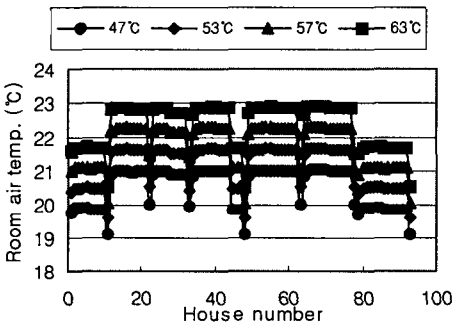


Fig. 7 Room air temperature distribution house by house for different supply hot water temperatures.

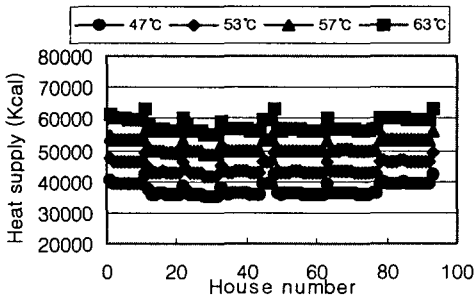


Fig. 8 Heat supply distribution house by house for different supply hot water temperatures.

Table 2 Suggested operational conditions for operation time and apartment inlet supply water temperature with different outdoor temperature.

Outdoor temp.(°C)		-15
1 time	03:30~07:00	57
2 times	10:00~13:00	54
3 times	17:30~21:00	54
4 times	23:00~01:30	52

Outdoor temp.(°C)		-10	-5	0
1 time	03:30~06:30	52	44	37
2 times	10:00~12:30	49	43	36
3 times	17:30~20:30	49	42	33

Outdoor temp.(°C)		5	10
1 time	03:30~05:30	36	36
2 times	10:00~11:30	35	35

Outdoor temp.(°C)		15	18
1 time	03:30~05:00	36	36
2 times	10:00~11:00	35	

도는 아파트의 중간에 위치한 기준세대를 제외한 옥상층 및 외벽세대들은 20°C이하를 나타내고 있음을 알 수 있다. 일간 총 운전시간을 2시간씩 증가시켜줌에 따라 전체세대별로 약 1°C 정도씩의 상승을 보이고 있으며, 기준운전조건의 공급온수온도에 의한 운전의 경우 15.5 Hours(15시간 30분)인 경우가 전체세대의 실내공기 평균온도가 21°C~24°C내에 분포됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5의 운전조건과 동일한 상태에서 세대별 일간 총 공급열량의 분포특성을 나타낸 것으로서 중간에 위치한 세대들에 비해 건물 외측세대들에서 열손실이 크게 나타남을 알 수 있으며, 기준조건에 비해 총 운전 시간을 2시간씩 증가시켜 주었을 경우는 공급열량이 세대별로 약 10,000 Kcal 정도씩 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 기준운전조건인 Table 1의 외기온도는 -15°C인 경우에 대해 공급온수온도를 5°C씩 증가시켜 주었을 경우에 대한 일간 전체세대의 실내공기 평균온도의 분포특성을 나타낸 것이다. 공급온수온도가 63°C인 경우 전체세대의 실내공기 평균온도가 21°C~23°C내에 분포됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7과 동일한 운전조건에서의 전체

세대별 일간 총 공급열량의 분포특성을 나타낸 것으로서 공급온수온도를 증가시켜줌에 따라 세대별 총 공급열량의 크기가 증가됨을 알 수 있다. Fig. 7의 공급온수온도가 63℃인 경우와 Fig. 5에서 하루 총 운전시간이 15.5 Hours (15시간 30분)인 경우와 비교하였을 때 전체세대의 실내 공기 평균온도의 분포는 유사하게 나타나고 있으나 공급열량 측면에서는 총 운전시간을 증가시킨 경우(Fig. 6 참조)에 비해 공급온수온도를 증가시켜 준 경우가 세대별 공급열량의 크기가 작게 나타남을 알 수 있다.

Table 2는 앞의 해석 결과를 토대로 실내 환경의 쾌적성을 고려하여 전체세대가 일간 실내공기 평균온도가 21℃~25℃내에 분포될 수 있도록 하기 위해 서울 석관동 A아파트의 운전조건을 개선시켰을 때의 운전조건으로 외기온도에 따른 운전횟수에 대한 운전시간 및 공급온수온도 등에 대한 결과를 나타낸 것이다.

5. 결론

공동주택 간헐난방시스템에 대한 실내 열 환경의 개선 및 소모되는 에너지의 절감을 위하여 운전조건의 변화특성을 고찰하고, 이를 기초로 하여 최적의 운전조건의 선정을 위한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실내의 열 환경을 개선시켜 주기 위해서는 하루 총 운전시간의 조절방식과 공급온수온도의 조절방식이 있으며, 여기서 총 운전시간을 조절하는 방식에 비해 공급온수의 온도를 조절하는 방식이 공급열량을 상대적으로 적게 함을 알 수 있다.

(2) 외기온도에 따른 운전 횟수별 운전시간의 길이 및 공급온수온도의 크기에 대해 기존의 운전조건으로는 쾌적한 실내 열환경을 확보하기가 어려우며, 전체세대의 실내 열환경을 쾌적한 조건에서 유지시키기 위해서 제안된 운전조건인 경우는 전체세대의 실내공기 평균온도를 21℃~25℃내에 유지가 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Friedlander, M., 1986, Premium heating with radiant slabs, Solar Age Magazine, April, pp. 66-71.
2. Adelman, D., 1988, Some control strategies for radiant floor heating, Radiant Times, pp. 4-5
3. MacCluer, C.R., 1989, The control of radiant slabs, ASHRAE J., September, pp. 28-33.
4. Ahn, B. C. and Park, D. J. 1997, Energy Dynamic Analysis of Control Methods on Floor Radiant Heating by Hot Water Circulating Pump System for Apartment Houses, Journal of Japan Institute for Condominium Living, pp. 81-94.
5. Ahn, B. C. and Chang H. W. 1996, The Energy Analysis and Control Characteristics of a Hot Water Heating System for Apartment Houses, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, pp. 76-87.
6. Ahn, B. C., Fuzzy Control System for Intermittent Heating in Large Residential Buildings, Journal of Industrial Technology Research Institute, Kyungwon University, Vol. 5, pp. 205-213.