

난방부하예측 및 외기보상 지역난방제어 시뮬레이션

이 성 욱, 홍 희 기^{*†}, 조 성 환^{**}

경희대학교 기계공학과 대학원, ^{*}경희대학교 기계공학과, ^{**}전주대학교 기계자동차공학과

Predicted heating load and Outdoor reset control simulation of district heating

Sung-Wook Lee, Hiki Hong^{*†}, Sung-Hwan Cho^{**}

Graduate student, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

^{*}Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea

^{**}Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea

ABSTRACT: The objective of this study is to compare three controls method such as Setting temp. control, Outdoor reset control and Predicted heating load control. Especially Predicted heating load control has a advantage in terms of figuring out required heat load of the secondary loop. It has carried out by using dynamic analysis program TRNSYS. Base model is the area of 119.7 m² apartment housing which accounts for 25% in Korea. Heat consumption pattern for simulation is included. Results show that lower supply temperature at secondary loop and higher temperature difference at primary loop were calculated by using Predicted heating load control.

Key words: District heating system(지역난방 시스템), Heating control(난방제어), Outdoor reset control(외기보상제어), Setting temperature control(설정온도제어), Predicted heating load control(난방부하예측제어), Indoor air temperature control(실내온도제어), Heat consumption pattern(난방부하패턴)

기 호 설 명

T : 온도 [°C]
 \dot{m} : 유량 [kg/hr]
 \dot{Q} : 열전달량 [kJ/hr]
 A : 면적 [m²]
 k : 열관류율 [kJ/hrm²°C]
 C_{water} : 물의 비열[kJ/kg°C]

C_{wall} : 벽체의 비열[kJ/kg°C]

하첨자

amb : 외기온도
 req : 2차측 예상 필요열량
 sup : 공급수온도
 rtn : 환수온도

† Corresponding author

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

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

1. 서 론

건물에너지의 효율적 이용이 중요시되는 시점에서 지역난방시스템은 다양한 에너지원으로 열

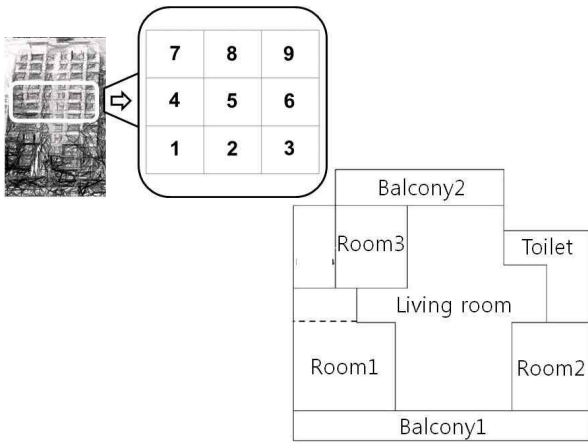


Fig. 1 Object spaces in building simulation

을 얻을 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 보급률은 선진국 중심으로 점차 증가하고 있는 추세이며, 국내에서도 총 난방방식의 28%가 지역난방 시스템을 적용하고 있다.⁽¹⁾ 건물에너지의 효율적 이용과 더불어 열적 쾌적성에 대한 요구가 증가하고 있어 난방제어가 지속적으로 개발되고 있다. 선행연구의 대표로 Friedlander와 Adelman은 외기온도별 공급수온도를 반비례적으로 변화하여 제어하는 외기보상제어를 제안하였다.^(2,3) 또한 스웨덴의 NordIQ에서는 수용가측 필요부하를 예측하여 2차측의 순환유량과 환수온도를 바탕으로 공급수온도를 재환산하는 방법을 제시한 바 있다.⁽⁴⁾

따라서 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 설정온도제어와 최근에 많이 쓰이는 외기보상제어, 그리고 스웨덴의 난방부하예측제어로부터 1차측과 2차측의 에너지 사용량 특성에 대해 알아보도록 하였다. 건물의 동적 에너지 해석에 많이 이용되고 있는 TRNSYS를 사용하여 분석하였다.

2. 시뮬레이션 모델링 및 방법

2.1 대상공간 및 시뮬레이션 조건

대상공간은 국내 아파트의 약 25%를 차지하는 30평대의 아파트로 Fig. 1과 같이 전용면적 119.7 m²(천장 높이 2.45 m)이며, 층벽세대를 포함한 중간층세대 9개를 지정하여 모델링하였다. 본 연구에서는 지역난방 열공급 시스템에서 설정온도 제어운전과 외기보상제어운전 그리고 난방부하에

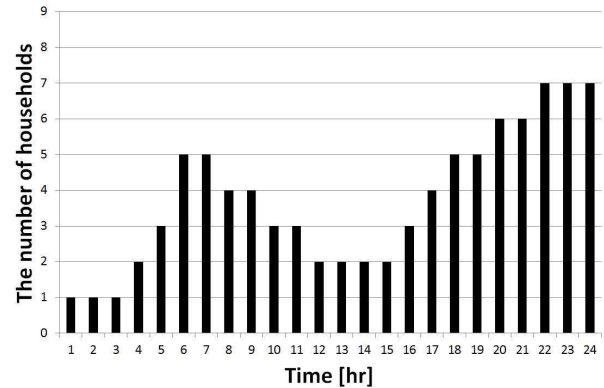


Fig. 2 Hourly heat consumption pattern.

측제어운전의 시뮬레이션을 위해 일반 가정에서 쓰이는 온돌난방방식을 모델링하였다. 난방이 적용되는 방1, 방2, 방3 그리고 거실의 온도를 21℃ (20~22℃)로 유지하도록 운전 조건을 설정하였다. 또한 각 방으로 공급되는 유량은 전체 온돌코일 중 열려 있는 방의 코일 길이의 비율로부터 메인유량밸브의 개도를 조정하여 적절한 유량으로 공급된다.⁽⁵⁾ 환기횟수는 신축공동주택 환기설비 설치기준에 따라 시간당 0.7회로 설정하였다.

집단에너지 난방시뮬레이션을 모사하기 위해 공동 주택의 열부하 패턴을 고려하였다. Fig. 2와 같이 밤 12시 이후로 새벽까지 난방부하가 점차적으로 감소하는 추세에서 아침시간에 급격히 상승을 한 후 다시 낮 시간대에는 크게 낮아진다. 일반인들이 하루의 일과를 마치고 귀가하는 저녁시간이 되면 열소비가 급증하게 되고 대개 22시 전후에서 열소비 피크를 기록하였다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 서울지역 표준기상데이터를 사용하여 한겨울 날씨인 영하권의 1월 1일부터 2주일간 시뮬레이션을 진행하였으며, 계산결과 분석을 위해 제어가 충분히 안정되는 5일부터 9일까지 5일간의 데이터를 바탕으로 정리하였다.

지역난방제어 시뮬레이션을 위해 난방 열교환기는 지역난방측(이하 1차측)과 사용자측(이하 2차측)의 열매체로서 중온수를 사용하며 열교환 방식은 물 대 물의 간접방식을 사용한다. 유량을 제어하는 방법은 1차측 공급온도가 일정할 때 2차측 공급온도에 따라 1차측 유량을 제어하는 정온도 변유량 방식이다. 1차측 공급온도는 지역난방 표준설비 기준인 115℃로 설정하였으며, 2차측은 일정한 유량에 의해 공급온도를 조절하는 정유량 변온도 방식을 적용하였다. 즉, 사용자가

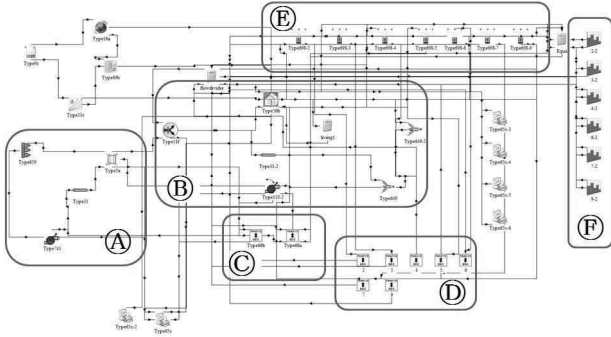


Fig. 3 Composition in simulation studio.

원하는 공급 온도를 입력하면 설정 온도를 맞추기 위해 실제 공급온도와 비교한 후, 측정치와 설정치의 차이만큼 1차측의 유량을 제어한다.

2.2 제어방법

2.2.1 설정온도제어

설정온도제어는 2차측 공급온도를 일정하게 유지하는 방법이다. 세대 난방온도는 계절별, 지역별, 단지 특성에 따라 다소 차이가 날 수 있으나, 대체로 동절기에는 60℃ 내외로 운용한다. 본 시뮬레이션에서의 설정치는 60℃이다.

2.2.2 외기보상제어

현재 외기 온도에 따른 난방공급수의 온도 T_{sup} 를 반비례적으로 변화시키는 제어방법을 말한다. 본 연구에서의 공급수온도는 외기온도 T_{amb} 에 따른 식(1)에 의해 결정된다.

$$T_{sup} = -\frac{2}{3} \cdot T_{amb} + \frac{160}{3} \quad (1)$$

2.2.3 난방부하예측제어

스웨덴 NordIQ사의 특허로서 벽체의 온도변화를 바탕으로 식(2)를 통해 난방부하를 산출한다.⁽⁴⁾ 환수온도와 공급유량 그리고 예측된 난방부하를 바탕으로 식(3)을 통해 2차측 공급수온도를 결정한다. 수용가측 필요부하량을 예측하기 힘든 기존의 외기보상제어와 설정온도제어의 단점을 보완한 제어방법이다.

$$\dot{Q}_{req} = M_{wall} \cdot C_{wall} \cdot \frac{dT_{wall}}{dt} = \dot{Q}_1 - \dot{Q}_2$$

$$= 2 \cdot k \cdot A \cdot [(T_{room_sp} - T_{wall}) - (T_{wall} - T_{amb})] \quad (2)$$

$$= 4 \cdot k \cdot A \cdot \left[\frac{(T_{room_sp} + T_{amb})}{2} - T_{wall} \right]$$

$$\text{where, } T_{wall} = T_{wall(t=0)} + \int_0^t \frac{dT_{wall}}{dt} dt$$

$$= T_{wall(t=0)} + 4 \cdot \frac{kA}{M_{wall} \cdot C_p} \cdot \int_0^t \left[\frac{(T_{wall} + T_{amb})}{2} - T_{wall} \right] dt$$

$$T_{sup} = T_{rtn} + \frac{\dot{Q}_{req}}{C_{water} \cdot \dot{m}} \quad (3)$$

2.3 시뮬레이션 모델링

건물에너지 동적 해석 소프트웨어인 TRNSYS 17을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3은 지역난방제어방법을 적용한 시뮬레이션 스튜디오의 모습이다. 1차측 열원구성을 나타내는 ①과 대상건물의 정보를 입력한 TYPE56이 포함된 2차측을 나타내는 ②, 그리고 1차측의 밸브개도 제어를 나타내는 ③과 2차측의 유량제어를 나타내는 ④로 구성되어 있다. TYPE698을 사용하여 각 세대별 온도를 제어하는 ⑤와 TYPE14h를 통해 난방부하패턴을 모사한 ⑥가 있다. ③과 ④는 1차측 밸브개도제어와 2차측 유량제어를 구현하기 위해 EES(Engineering Equation Solver)를 사용하였으며, TYPE66을 사용하여 TRYSYS와 연동하였다.

3. 계산결과 및 분석

Fig. 4에서 Fig. 6까지는 각 제어별 계산된 설정온도, 2차측 공급수온도, 환수온도와 공급유량을 나타낸 그래프이며, Fig. 7은 9세대의 5일간의 난방부하량을 각 제어별로 나타낸 그래프이다.

난방부하예측제어의 평균 공급수온도는 타 제어들에 비해 7~9℃ 정도 낮은 50.16℃이며, 난방부하가 높은 시간대에는 타 시간대보다 낮은 환수온도와 순환유량을 바탕으로 2차측 공급온도를 재환산하기 때문에 단력적으로 높은 공급온도를 보내지 못하여 2차측 유량이 28% 정도 증가하는 결과가 나왔다. Fig. 6에서 난방부하량이 높은 시간대의 공급수온도가 상승하지 못한 채 보내지면서 환수온도만 내려가는 것을 알 수 있었다. 또

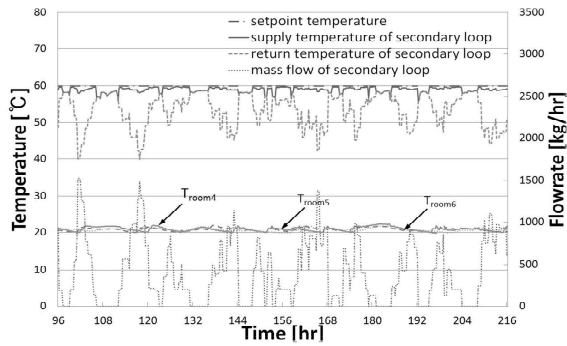


Fig.4 The result of setting temperature control at secondary loop.

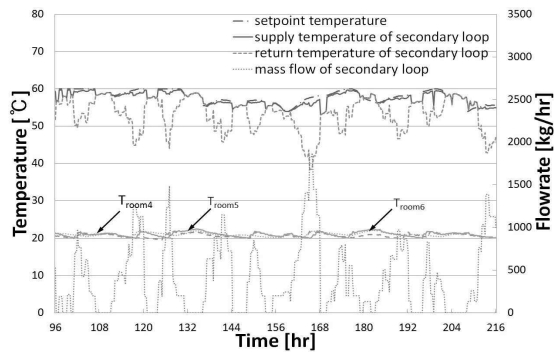


Fig. 5 The result of outdoor reset control at secondary loop.

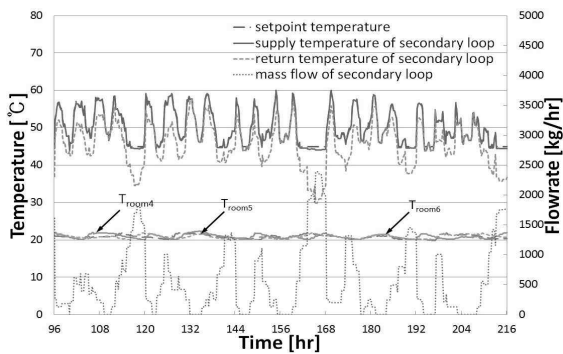


Fig.6 The result of predicted heat load control at secondary loop.

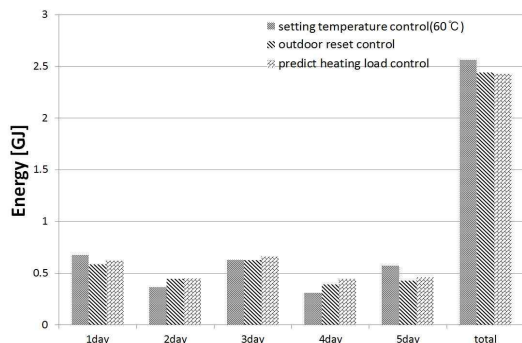


Fig.7 Daily and total energy consumption

한 1차측 차온을 타 제어와 비교하였을 때 9 ~ 11°C 정도 증가하였다.

4. 결론

본 연구에서는 지역난방 시스템에 대한 설정온도제어, 외기보상제어, 난방부하예측제어 시뮬레이션을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 난방부하예측제어를 시뮬레이션 한 결과, 타 제어에 비해 낮은 공급수온도를 보내며 1차측의 차온이 9 ~ 11°C로 증가하였다.

(2) 식(2)로부터 계산된 난방부하예측제어의 부하와 실제 건물에서 계산된 부하를 비교한 결과 14% 정도 낮게 예측이 되었다. 높은 예측율과 난방부하가 많을 때 탄력적으로 공급수온도가 상승되도록 최적제어가 보완이 된다면 2차측의 펌프 소요동력 감소의 결과를 얻을 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 에너지·자원기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Woon, D. H., and Kim, H. G., 2008, Korean Energy Economic Review, Vol. 7, No. 2, pp. 75-101.
2. Friedlander M, 1986, Premium Heating with Radiant Slabs, Solar Age, pp. 66-71.
3. Adelman D, 1983, Some control Strategies for Radiant Floor heating, Radiant Times, pp. 4-5.
4. Matis L, Peter G, 2011, Heating System Control Based on Required Heating Power, US 8086353 B2.
5. Lee, E. J., Lee, D. Y., Hong, H. and Kim, Y. K., 2012, Ondol Heating Simulation for District Heating Household, SAREK 2012 Winter Conf., pp. 105-108.
6. Lee, H., 2010, Heat Consumption Pattern Analysis and Heat Load Forecasting by the Component Ratio of District Heating Users, Ph.D thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea.