Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 25, No. 11 (2013), pp.585-594
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.11.585

외기온도 변화에 따른 지역난방 공동주택 다중 열공급제어 알고리즘 개발에 관한 해석적 연구

A Study on the Development of a Multi-Heat Supply Control Algorithm in a District Heating Apartment Building in Accordance with the Variation of Outdoor Air Temperature

변재기(Jae-Ki Byun)[1], **윤성호**(Sung-Ho Yun)[2], **남기훈**(Ki-Hoon Nam)[2],
최영돈(Young-Don Choi)[1†], **신종근**(Jong-Keun Shin)[3]
[1]고려대학교 기계공학부, [2]고려대학교 대학원 기계공학부, [3]한중대학교 기계자동차공학부
[1]*Division of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea*
[2]*Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea*
[3]*Division of Automotive Engineering, Hanzhong University, Gangwondo 240-713, Republic of Korea*

(Received October 18, 2013; revision received September 26 2013)

Abstract In this study, we developed a heat supply control algorithm that minimizes the heat loss in the heat distribution pipelines used for supplying heat energy to shared group housing. Controlling the temperature and flow rate of the hot water supplied to the heat exchanger for shared group housing enables us to develop a heat supply control technique that meets the heating load required by each household in a shared apartment building in accordance with changes in the outdoor air temperature, and that minimizes the heat loss occurring in the heat distribution pipeline. A one-year study in 2008 on a 1,473-household D-apartment building in Hwaseong, Gyeonggi-do, South Korea, compared the heat capacity used by each household, as well as the heat capacity supplied to the heat exchanger room of the apartment housing building, to calculate the amount of heat loss in the heat distribution pipeline. The results confirmed that 24.1% of the heat supplied was lost in the piping.

Key words District heating(지역난방), Apartment building(공동주택), Heating distribution pipeline(열분배 배관), Outdoor air temperature(외기온도), Heat loss(열손실), Heating load(난방부하), Heat supply(열공급), Household(세대)

† Corresponding author, E-mail: *ydchoi@korea.ac.kr*

기호설명

Cp	: 물의 비열 [kcal/kg℃]
T	: 온도 [℃]
$\dot{m}$	: 질량유량 [kg/hr]
$\dot{Q}$	: 열량 [kcal/hr]
A	: 총전열면적 [m^2]
U	: 총괄열전달계수 [kcal/m^2hr℃]
NTU	: 전달단위수

하첨자

air	: 외기온도
h	: 온수
h1	: 1차측 공급열량
h2	: 2차측 사용열량
S	: 공급배관
R	: 환수배관
j	: 공동주택의 동
loss	: 손실량
S2i	: 1차측 열교환기 출구
R2o	: 1차측 열교환기 입구
S2o	: 2차측 열교환기 입구
R2i	: 2차측 열교환기 출구

1. 서 론

우리나라는 총 에너지 수요의 약 96.5%를 해외수입에 의존하고 있을 뿐만 아니라 산업구조가 에너지 다소비형을 벗어나지 못하고 있다.(1) 에너지 수입비용은

총 수입액의 약 26%를 차지하며 에너지 소비량은 세계 9위, 온실가스 배출량은 세계 16위에 이르고 있다. 특히 가정과 산업부문의 에너지 소비량은 매년 크게 증가하고 있으므로 효율적인 에너지활용 노력이 절실히 필요한 실정이다.(2)

지역난방 시스템은 많은 국가에서 온실효과 및 에너지 사용으로 발생하는 오염원을 감소시키는데 상당한 공헌을 해오고 있다. 지역난방 열공급 시스템에 관련된 연구는 수십 년간 유럽을 중심으로 지속적으로 진행되어 왔으며 최근 미국과 일본에서도 활발하게 진행되고 있다. 그러나 한국의 지역난방 열공급 시스템 운용은 역사가 비교적 짧으므로 아직 외국기술에 대한 의존도가 높고 최적 열공급제어 기술이 확립되어 있지 않다. 지역난방 열공급 시스템의 최적제어를 위해서는 열생산 시스템, 열운송 배관망, 열분배 배관망을 함께 고려한 통합제어가 이루어져야 한다.(3) 특히 통합적 최적 열공급제어를 위해서는 요구되는 난방부하를 충족시키면서 운송 도중 배관망에서의 열손실을 최소로 하는 열공급 조건을 구현하는 제어가 이루어져야 한다. 이와 같은 최적 열공급 제어의 선행조건은 열운송 배관망에서 열손실을 정확히 측정한 자료를 확보하고(4) 열운송 배관망에서의 열손실률을 지배하는 인자를 규명하는데 있다.(5)

지역난방 열공급 시스템의 에너지 분석에 관련된 연구를 살펴보면 Yoo et al.(6)은 공동주택 단위난방부하 산정시 예상되는 단위세대법 해석의 약점을 개선하기 위하여 새로운 접근방법을 제안하였고, Chung and Kim(7)은 지역난방을 열원으로 사용하는 공동주택을 대상으로 동절기 난방열 사용 특성을 분석하고, 외기온도변화가 난방열 사용량에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며 Lee et al.(8)은 공동주택과 건물의 비율 변화에 따른 일일 및 연간 열사용 패턴의 변화를 분석하여 수요개발 가능범위를 예측하고, 열사용량을 제시하였다. Kim et al.(9)는 지역난방을 이용한 공동주택의 열공급 거리에 따른 지역난방 측 난방공급수온도 변화를 분석하여 열공급환경에 대한 이해와 설계의 적정기준을 제시하였다. 또한, Lee et al.(10)은 건축물 난방열 사용량의 에너지 절감효과를 분석하기 위하여 각기 다른 에너지 절약 설비기준이 적용된 공동주택의 난방열 사용량을 측정한 후, 열사용 데이터를 비교 및 분석하고 이를 통하여 에너지절약 설비기준을 예상하고 향후 에너지의 효율적인 사용을 위한 기초자료를 제시하였다.

본 연구에서는 지역난방 공동주택 열공급 시스템에서 외기온도 변화에 따라 각 세대에 필요한 난방부하를 예측하고 배관망 열손실을 최소로 하기 위해 공급수온도와 공급수유량 열공급제어를 통한 지역난방 공동주택 다중 열공급제어 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하였다.

Table 1 The specifications of the object building(11,12)

Item	Details
Object building	Apartment building
Number of households	1,473
Period	08.01.01～08.12.31
Location	Gyeonggi-do, Hwaseong city
Heating source	District heating

2. 지역난방 공동주택 선정

본 연구에서 선정한 지역난방 공동주택은 2005년 이후 건설된 공동주택으로 하였다. 난방 열공급 형태에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 고려하여 경기도 화성시 동탄지구 지역난방 공동주택 단지를 선정하여 연구를 수행하였다. 대상 공동주택의 위치, 열공급원 및 측정기간을 Table 1에 나타내었다. 분석을 위한 기초자료로 활용된 자료는 2008년 1월～2008년 12월 까지 1년 동안 외기온도 변화에 따라 공동주택의 난방 사용형태가 어떤 양상을 나타내는지 분석하였다.

2.1 기초자료 분석

Fig. 1은 지역난방 열공급 개념도를 나타내고 있으며 1차측(공급자측)에서 2차측(사용자측)으로 열원을 공급하게 된다.

Fig. 2는 지역난방 공동주택 기계실에서 측정한 분배 배관망에서의 공급열량과 공동주택의 각 세대에서 측정한 사용열량의 합을 비교하여 나타낸 그림이다. 여기서, 사용열량은 난방부하와 급탕부하의 합을 나타낸다. 이 그림에서 공급열량이 사용열량보다 년 평균 약 24.1% 이상 큼을 나타내고 있으며, 이는 2차측 배관망에서 온수가 공급되고 공동주택 건물로부터 기계실로 환수되는 동안 온수온도와 외기온도의 차에 의해서 발생한 열손실량을 나타내고, 외기온도가 낮을수록 열손실률이 크게 발생한다.(11,12)

Fig. 3은 외기온도 감소에 따라 열손실률이 직선적으로 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 2차측 배관망 열손실은 열교환기에서 각 세대로 열이 이송하는 도중 배관망에서 손실되었다는 것을 나타낸다. 2차측 열공급 배관망의 단열상태를 변화시키지 않은 상태에서 배관망 열손실을 최소화하기 위해서는 소요 난방부하를 만족시키며 2차측 배관망의 공급수온도와 환수온도를 최저로 낮게 열공급제어 하면 된다.

본 연구에서는 지역난방 공동주택에서 필요로 하는 열량을 충족하는 동시에 배관망 열손실을 최저로 하는 공급수온도와 공급유량을 찾는 것이 주된 내용이다.

ⓒ SAREK

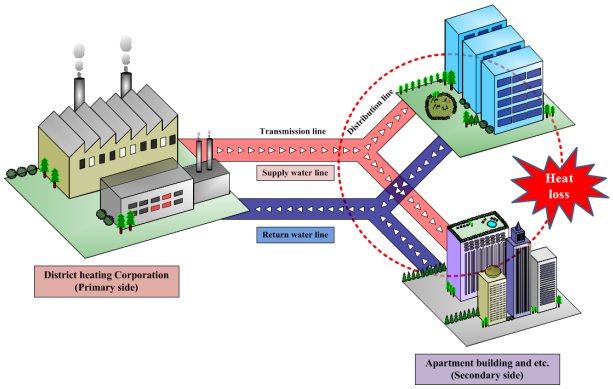


Fig. 1 Schematic diagram of district heating system.[11,12]

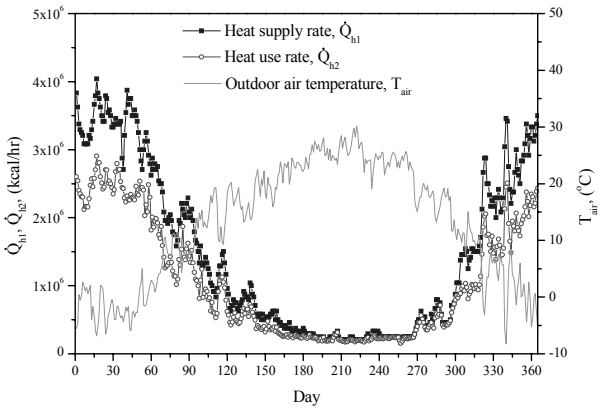


Fig. 2 Annual variation of heat supply and use rates variation of the model district heating supply apartment building.[11,12]

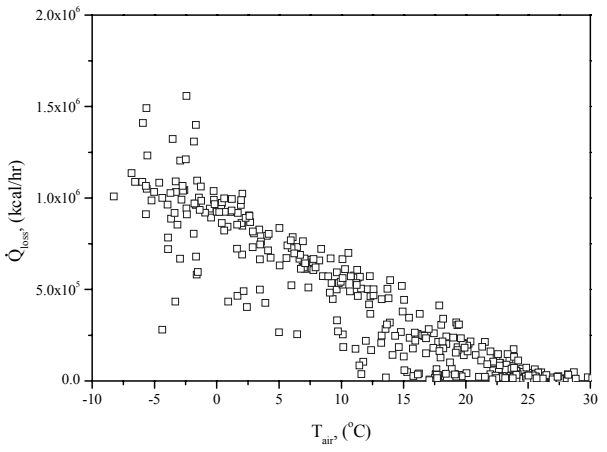


Fig. 3 Heat loss rate of the distribution line for the model district heating supply of the apartment building with respect to the outdoor air temperature.[11,12]

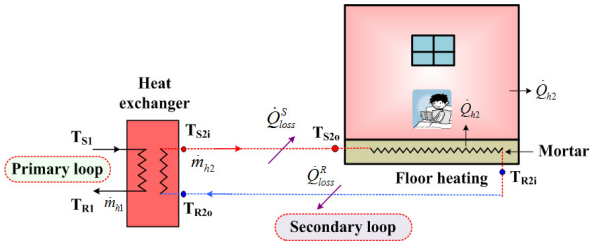


Fig. 4 Schematic diagram of the distribution line for the district heating supply system.[11,12]

2.2 연구 수행 방법

2.2.1 지역난방 공동주택 열공급제어 모델

Fig. 4는 지역난방 공동주택 열공급 시스템 2차측 개략도를 나타낸다. T_{S2i}는 2차측 열교환기 출구 공급수온도, T_{S2o}는 지역난방 공동주택 건물 입구 공급수온도, T_{R2i}는 공동주택 건물 출구 환수온도, T_{R2o}는 열교환기입구 환수온도를 나타낸다. 2차 계통 열공급 배관망에의 열손실률을 $\dot{Q}^S_{loss}$라고 하고 환수 배관망에서의 열손실률을 $\dot{Q}^R_{loss}$이라하면 난방부하는 방바닥 코일에서 실내로 유입되는 열량과 같고 이는 다시 실내에서 실외로 유출되는 열량과 같다.

난방부하량은[11,12]

$$\dot{Q}_{h2} = \dot{m}_{h2} C_p \left[T_{air} - T_{Room} + (T_{S2i} - T_{air}) e^{-NTU_S} \right] \left(1 - e^{-NTU_{Rm}}\right) \quad (1)$$

여기서, NTU_S와 NTU_{Rm}은

$$NTU_S = \frac{U_S A_S}{\dot{m}_{h2} C_p} \quad (2)$$

$$NTU_{Rm} = \frac{U_{Room} A_{Room}}{\dot{m}_{h2} C_p} \quad (3)$$

로 정의된다. U_S는 공급수 배관망과 외기 사이의 총괄열전달계수, A_S는 공급수 배관망 총전열면적, U_{Room}은 방바닥 코일의 총괄열전달계수, A_{Room}은 방바닥 코일의 총전열면적을 나타낸다.

식(1)을 공급수온도 T_{S2i}에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$T_{S2i} = \left[\frac{\dot{Q}_{h2}(T_{Room}, T_{air})}{\dot{m}_{h2} C_p \left(1 - e^{-NTU_{Rm}}\right)} + T_{Room} - T_{air} \right] / e^{-NTU_S} + T_{air} \quad (4)$$

실내 방바닥 전열을 해석하면 온돌출구의 온수온도 T_{R2i}는 다음과 같다.

$$T_{R2i} = T_{Room} + \left[T_{air} + (T_{S2i} - T_{air}) e^{-NTU_S} - T_{Room} \right] e^{-NTU_{Rm}} \quad (5)$$

배관망 열손실량 $\dot{Q}_{loss}$의 합은

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{m}_{h2} C_p \left[(T_{S2i} - T_{air})(1 - e^{-NTU_S}) + (T_{R2i} - T_{air})(1 - e^{NTU_R}) \right] \quad (6)$$

이다. 한편,

$$T_{S2o} = T_{air} + (T_{S2i} - T_{air}) e^{-NTU_S} \quad (7)$$

$$T_{R2o} = T_{air} + (T_{R2i} - T_{air}) e^{-NTU_R} \quad (8)$$

이고, 난방부하 $\dot{Q}_{h2}$는

$$\dot{Q}_{h2} = \dot{m}_{h2} C_p (T_{S2o} - T_{R2i}) \quad (9)$$

로 계산된다.

2.2.2 지역난방 공동주택 다중 열공급 제어 모델

본 연구에서는 하나의 기계실에서 다중 열공급이 이루어질 수 있도록 하는 지역난방 다중 열공급제어 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하였고 구역별 분류에 따른 자세한 사항은 Table 2에 나타내었다.

Fig. 5는 지역난방 공동주택 단지 내의 기계실에서 다중 열공급제어 개념도를 나타낸다. 지역난방 공동주택 단지의 기계실에서 다구역으로 열에너지를 공급하는 경우 각 배관망 전열특성을 나타내는 변수 $NTU_{S,j}$, $NTU_{R,j}$와 각 구역의 방바닥 전열특성을 나타내는 변수인 $NTU_{Rm,j}$는 각 구역마다 다르며 이를 이론적으로 계산하기는 대단히 어렵다. 따라서, 각 동에서 측정된 난방부하값 $\dot{Q}_{h2j}$, 기계실에서 j동 지역난방 공동주택의 공

Table 2 The classification of district heating apartment building

Item	Details
Region Ⅰ	T_{S2i1}, T_{R2o1}, $\dot{Q}_{h21}$
Region Ⅱ	T_{S2i2}, T_{R2o2}, $\dot{Q}_{h22}$
Region Ⅲ	T_{S2i3}, T_{R2o3}, $\dot{Q}_{h23}$
Region Ⅳ	T_{S2i4}, T_{R2o4}, $\dot{Q}_{h24}$

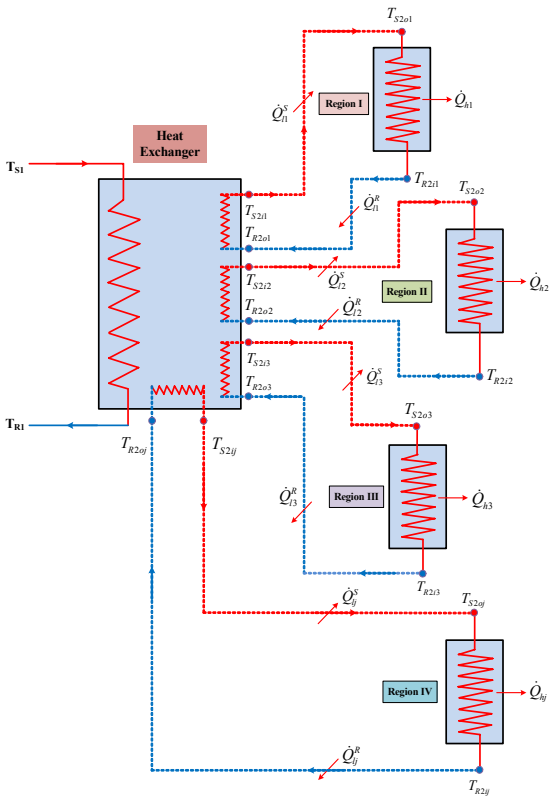


Fig. 5 Multi-thermal energy supply system composed by 4 regions of district heating apartment building.

급수온도 T_{S2ij}, 환수온도 T_{R2oj}의 측정값을 이용하여 각 구역 배관망에서의 전열특성을 환산하였다.

지역난방 공동주택 j동에서 T_{S2ij}, T_{S2oj}, T_{R2ij}, T_{R2oj}가 모두 측정되는 경우 식(4)~식(8)에서 $NTU_{S,j}$, $NTU_{R,j}$, $NTU_{Rm,j}$는 간단히 계산할 수 있다. 그러나 T_{S2oj}, T_{R2oj}는 기계실에서 먼 곳에 위치한 각 세대로 진입 직전의 공급수온도와 환수온도이므로 측정하기가 매우 어렵다. 따라서, 기계실에서의 공급수온도 T_{S2ij}와 기계실로의 환수온도 T_{R2oj}의 측정된 자료와 각 동에서의 열공급량의 합인 $\dot{Q}_{h2j}$가 측정된 자료가 있을 때 T_{S2ij}와 $\dot{m}_{h2j}$를 최적화 하는 방법을 연구하였다.

매 $\triangle t$ 시간 간격으로 측정한 전 세대 공동주택 난방공급량의 합은 식(10)으로 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q}_{h2} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} \dot{Q}_{h2jk} \quad (10)$$

여기서, n은 공동주택단지 동의 수, m은 j동에서의 세대수, $\dot{Q}_{h2jk}$는 각 세대에서 매 $\triangle t$ 시간 간격으로 측정한 난방공급량을 나타낸다.

ⓒ SAREK

이 때 지역난방 공동주택 기계실 열교환기 1차측에서의 공급열량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q}_{h1} = \dot{m}_{h1} C_p (T_{S1} - T_{R1}) \tag{11}$$

시간당 총열손실률은

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{h1} - \dot{Q}_{h2} \tag{12}$$

j동의 난방부하는

$$\dot{Q}_{h2j} = \sum_{k=1}^{m} \dot{Q}_{h2jk} \tag{13}$$

j동의 공급열량은

$$\dot{Q}_{h1j} = \dot{Q}_{h2j} \times \frac{\dot{Q}_{h1}}{\dot{Q}_{h2}} \tag{14}$$

j동의 질량유량은

$$\dot{m}_{h2j} = \frac{\dot{Q}_{h1j}}{C_p (T_{S2ij} - T_{R2oj})} \tag{15}$$

j동의 손실열량은

$$\dot{Q}_{lj} = \dot{Q}_{h1j} - \dot{Q}_{h2j} \tag{16}$$

이고, 전체 열손실률은 다음과 같다.

$$\dot{Q}_{lj} = \dot{m}_{h2j} C_p (T_{S2ij} - T_{air})(1 - e^{-NTU_{Sj}}) + (T_{R2ij} - T_{air})(1 - e^{-NTU_{Rj}}) \tag{17}$$

여기서, $NTU_{S,j} = NTU_{R,j} = NTU_{SR,j}$라고 가정하면

$$\dot{Q}_{lj} = \dot{m}_{h2j} C_p (1 - e^{-NTU_{SR,j}}) [T_{S2ij} + T_{R2ij} - 2T_{air}] \tag{18}$$

로 나타낼 수 있다.

만약, $\dot{Q}_{h2}$, $\dot{Q}_{lj}$, $\dot{m}_{h2j}$가 0에 가까우면 윗 식에서 $NTU_{SR,j}$를 정확하게 계산할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 1월~3월, 11월~12월의 $NTU_{SR,j}$를 계산하여 사용하였다.

$$NTU_{Rm,j} = -\ln \frac{T_{R2oj} - T_{Room}}{T_{air} + (T_{S2ij} - T_{air}) e^{-NTU_{SR,j}} - T_{Room}} = -\ln \frac{(T_{R2oj} - T_{Room}) e^{NTU_{SR,j}}}{T_{air} + (T_{S2ij} - T_{air}) e^{-NTU_{SR,j}} - T_{Room}} \tag{19}$$

으로 계산된다. 위의 식들로부터 $(U_S A_S)_j$, $(U_R A_R)_j$와 $(U_{Room} A_{Room})_j$는 다음과 같다.

$$(U_{Room} A_{Room})_j = \dot{m}_{h2j} C_p NTU_{Rm,j} \tag{20}$$

$$(U_S A_S)_j = (U_R A_R)_j = \dot{m}_{h2j} C_p NTU_{SR,j} \tag{21}$$

최적화된 j동에서 공급수온도와 질량유량을 T_{S2ij}^{Opt}, $\dot{m}_{h2j}^{Opt}$라 하면 이 값을 이용하여 각 동의 공급수온도와 질량유량을 제어할 수 있다.

$$T_{S2ij}^{Opt} = \frac{1}{\dot{m}_{h2j}^{Opt}} \sum_{j=1}^{n} T_{S2ij}^{Opt} \dot{m}_{h2j}^{Opt} \tag{22}$$

$$\dot{m}_{h2j}^{Opt} = \sum_{j=1}^{n} \dot{m}_{h2j}^{Opt} \tag{23}$$

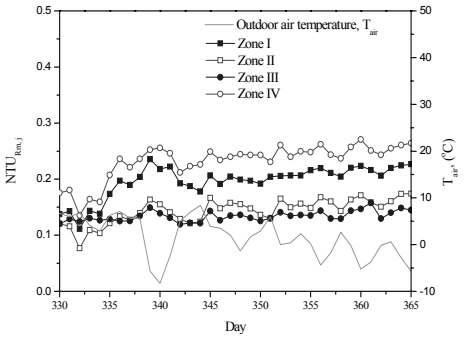
따라서, 지역난방 공동주택 다중 열공급 최적제어가 이루어지게 된다.

2.2.3 지역난방 공동주택 구역별 전열특성 변화

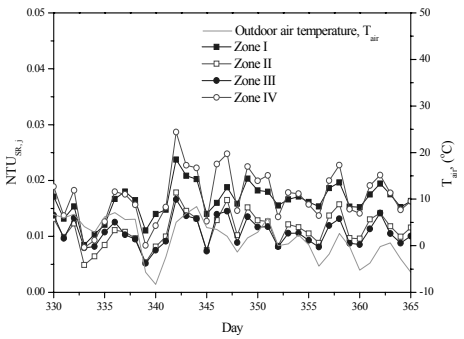
지역난방 공동주택 구열별 다중 열공급 시스템의 전열특성 $(U_S A_S)_j$, $(U_R A_R)_j$, $(U_{Room} A_{Room})_j$을 식(20), 식(21)으로부터 계산하였다. 3월~11월 사이에는 질량유량 $\dot{m}_{h2j}$가 적으므로 $NTU_{Rm,j}$와 $NTU_{SR,j}$의 계산이 부정확해짐에 따라서 본 연구에서는 질량유량 $\dot{m}_{h2j}$가 가장 큰 겨울철(12월, 1월, 2월)의 $(U_S A_S)_j$, $(U_R A_R)_j$, $(U_{Room} A_{Room})_j$값을 평균하여 사용하였고 $NTU_{Rm,j}$와 $NTU_{SR,j}$에 대한 계산결과를 Fig. 6에 나타내었고 계산된 평균값은 Table 3에 나타내었다.

Table 3 $(U_S A_S)_j$, $(U_R A_R)_j$, $(U_{Room} A_{Room})_j$ values for the regions of apartment building

Items	$(U_S A_S)_j$, $(U_R A_R)_j$ [kcal/℃・hr]	$(U_{Room} A_{Room})_j$ [kcal/℃・hr]
Region Ⅰ	984	12,377
Region Ⅱ	993	13,963
Region Ⅲ	776	10,313
Region Ⅳ	981	14,217
Region Total	3,734	50,870



(a) $NTU_{Rm,j}$



(b) $NTU_{SR,j}$

Fig. 6 Variation of calculated $NTU_{Rm,j}$ and $NTU_{SR,j}$ in december, 2008.

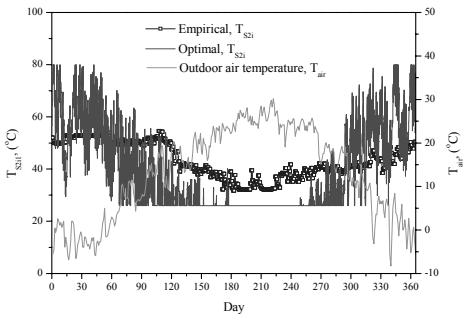
3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 지역난방 공동주택 다중 열공급제어 시스템의 2차측 공급수온도 T_{S2i}와 질량유량 $\dot{m}_{h2}$을 변화시키며 각 세대에 필요로 하는 난방부하 $\dot{Q}_{h2}$를 만족하는 동시에 열분배 배관망에서의 열손실을 최소로 감축시키는 열공급제어 알고리즘에 관한 연구를 수행하였다.

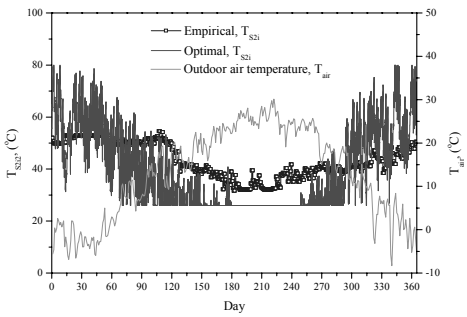
Fig. 7은 기존 기계실 열교환기로 공급되는 공급수온도 T_{S2ij}를 나타내고 있다. 기존 열공급제어 시스템에서는 외기온도의 변화에 따라 실내 요구조건을 적절히 공급하지 못하였다. 본 연구에서 개발한 가변 공급수온도 다중 열공급제어 시스템의 특징은 외기온도의 변화에 따라 공급수온도가 변화되며 열공급 제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 공급수온도가 높게 나타나는 것은 외기온도 변화에 따라 열공급을 적절히 하는 능력이 향상된 것을 의미한다.

Fig. 8은 기존 기계실 열교환기로 환수되는 환수온도 T_{R2oj}를 나타낸다. 본 연구에서 개발한 가변 공급온도 다중 열공급 최적제어 알고리즘 시스템의 특징은 외기온도 변화에 따라서 환수온도가 변화되며 열공급제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

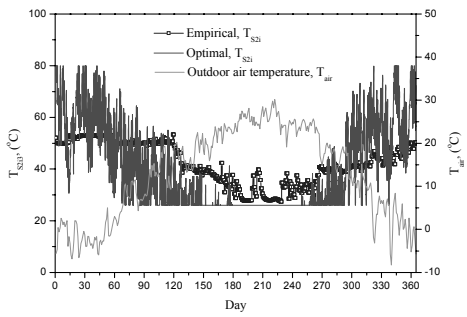
Fig. 9는 기존 기계실 열교환기로 공급되는 질량유량 $\dot{m}_{h2j}$을 나타낸다. 본 연구에서 개발한 가변 공급수온도 다중 열공급 최적제어 알고리즘 시스템의 특징은 외기온도의 변화에 따라서 질량유량이 변화되며 열공급제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다.



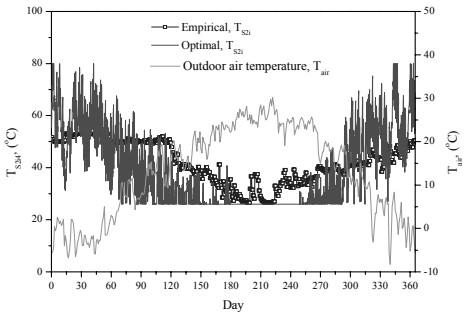
(a) Zone Ⅰ



(b) Zone Ⅱ



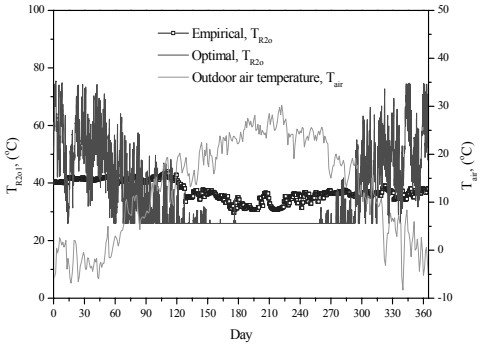
(c) Zone Ⅲ



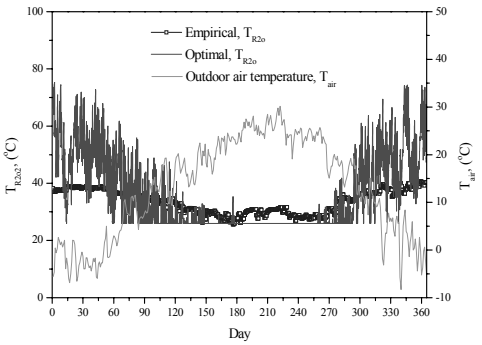
(d) Zone Ⅳ

Fig. 7 Annual variation of supply temperature of the original and present heat supply control algorithms.

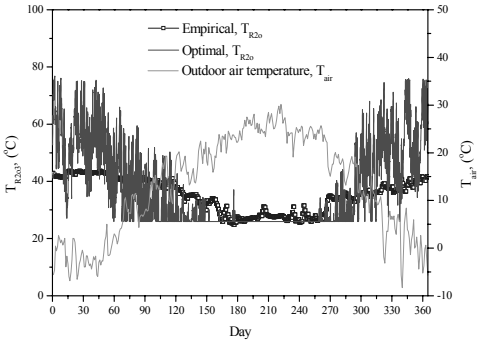
ⓒ SAREK



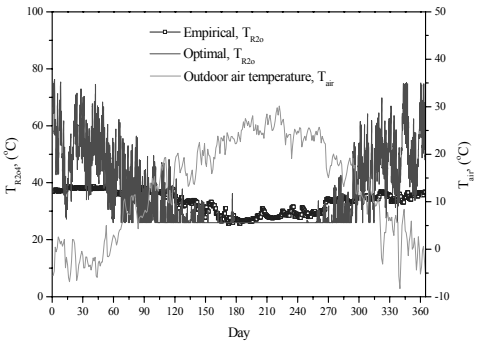
(a) Zone Ⅰ



(b) Zone Ⅱ

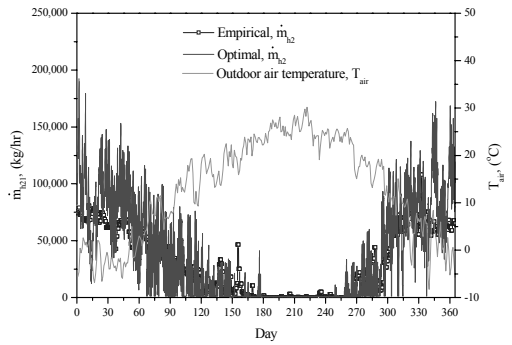


(c) Zone Ⅲ

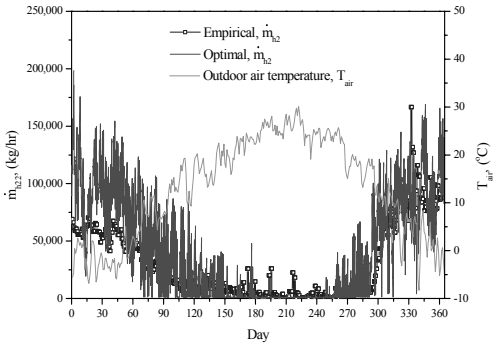


(d) Zone Ⅳ

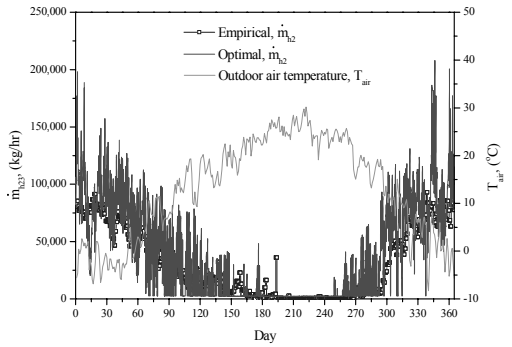
Fig. 8 Annual variation of return hot water temperature of the for original and present heat supply control algorithms.



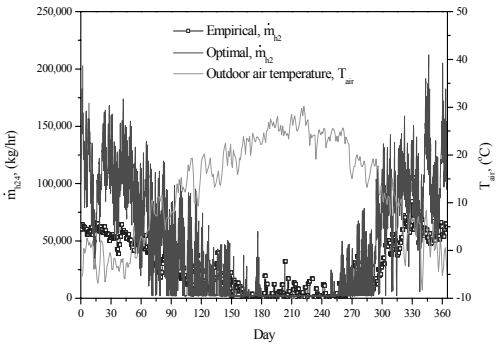
(a) Zone Ⅰ



(b) Zone Ⅱ

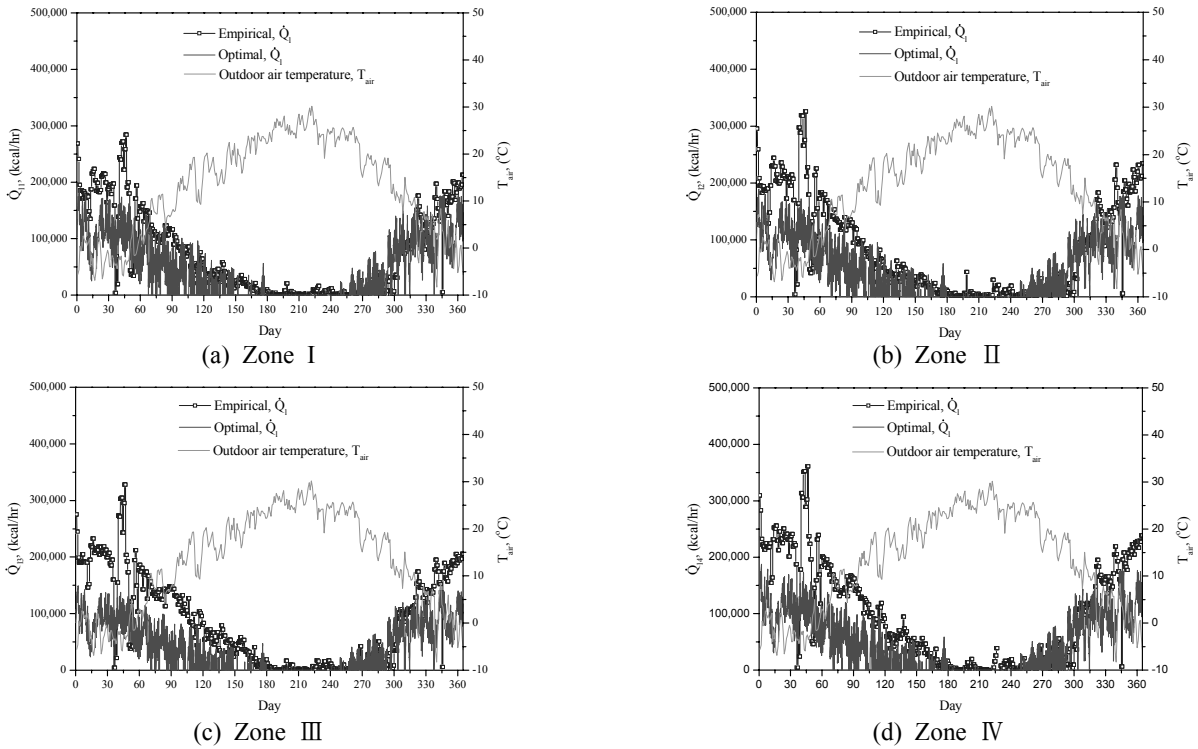


(c) Zone Ⅲ



(d) Zone Ⅳ

Fig. 9 Annual variation of mass flow rate for original and present heat supply control algorithms.



(a) Zone Ⅰ (b) Zone Ⅱ

(c) Zone Ⅲ (d) Zone Ⅳ

Fig. 10 Annual variation of heat loss rate of the original and present heat supply control algorithms.

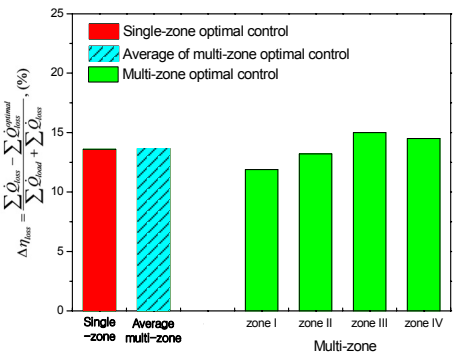


Fig. 11 Reduction of heat loss rates for single-zone and multi-zone heat supply control algorithm.

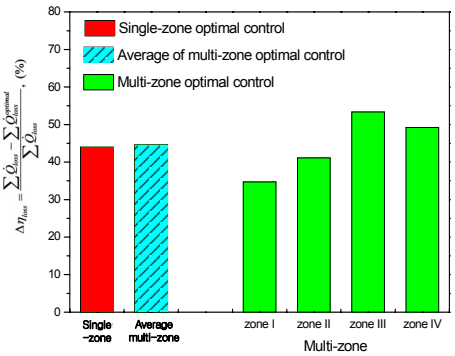


Fig. 12 Reduction of heat loss rates for single-zone and multi-zone heat supply control algorithm.

Fig. 10은 기존 열공급제어 시스템과 본 연구에서의 가변 공급수온도, 가변 공급수유량 열공급제어 시스템에서의 열손실률 $\dot{Q}_{lj}$의 변화를 보여준다. 모든 구역에서 본 열공급제어 시스템의 열손실률이 감축되는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 식(24)로 정의되는 열분배 배관망 열손실 감축률을 나타낸다.

$$\triangle\eta_{loss} = \frac{\Sigma \dot{Q}_{loss} - \Sigma \dot{Q}_{loss}^{optimal}}{\Sigma \dot{Q}_{load} - \Sigma \dot{Q}_{loss}} \qquad (24)$$

전체 공동주택을 단일구역으로 하여 총괄 열공급제어를 할 경우 열손실률 감축률은 13.6%이고 전체 공동주택을 4구역으로 나누어 다중 열공급제어를 할 경우 열손실률 감축률은 구역 Ⅰ 11.9%, 구역 Ⅱ 13.2%, 구역 Ⅲ 15.0%, 구역 Ⅳ 14.5%로써 이를 평균하면 13.7%이다. 따라서, 공동주택을 4구역으로 나누어 다중 열공급제어를 하는 경우 열손실률 감축률이 단일구역으로 제어할 경우와 비교했을 때 큰 차이가 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 식(25)로 정의되는 열분배 배관망 열손실 감축률을 나타낸다.

ⓒ SAREK

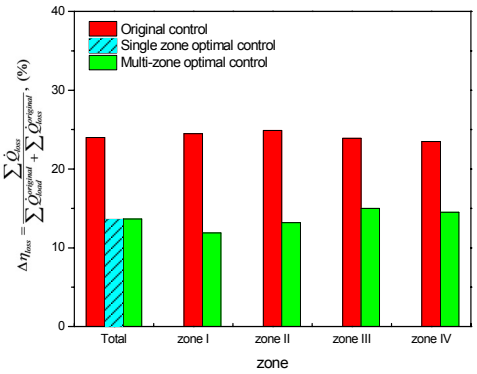


Fig. 13 Heat loss rate of original, single-zone and multi-zone heat supply control algorithms.

$$\triangle\eta_{loss} = \frac{\Sigma\dot{Q}_{loss} - \Sigma\dot{Q}_{loss}^{optimal}}{\Sigma\dot{Q}_{loss}} \tag{25}$$

단일구역 열공급제어를 할 경우 $\triangle\eta_{loss}$가 44.0%, 다중 열공급제어를 할 경우 구역 I 34.7%, 구역 II 41.1%, 구역 III 53.4%, 구역 IV 49.2%로 평균 열손실률 감축률은 44.6%이다. 따라서, 단일구역 열공급제어와 다중 열공급제어의 경우 그 변화는 크지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 식(26)으로 정의되는 열분배 배관망 열손실률을 나타낸다.

$$\triangle\eta_{loss} = \frac{\Sigma\dot{Q}_{loss}}{\Sigma\dot{Q}_{load} + \Sigma\dot{Q}_{loss}} \tag{26}$$

본 연구에서 단일구역 열공급제어 시스템과 다중 열공급제어 시스템을 비교한 결과 에너지 열손실률이 큰 차이를 나타내지 않으므로 상황에 따라 단일구역 열공급제어 시스템 또는 다중 열공급제어 시스템을 선택적으로 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 지역난방 공동주택 최적 열공급제어 알고리즘 개발하기 위하여 에너지 손실량을 비교·분석하고, 외기온도 변화에 따른 열공급량을 최적제어하는 알고리즘을 개발하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구의 경우 2008년 대상 공동주택의 열사용 자료를 수집하여 분석한 결과에 바탕을 두고 있다. 1차측에서 공급하는 열원이 2차측으로 운송되는 도중에 에너지 손실량이 약 24.1% 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 본 연구에서는 기존 지역난방 공동주택에서 공급수온도, 공급수유량을 계절 별로 조절하는 열공급제어 방식과 달리 외기온도 변화에 따라 순간순간 공급수온도와 공급수유량을 변화시키며, 각 세대가 필요로 하는 열량을 공급하는 동시에 공급수온도와 환수온도를 최저로 낮춤으로써 열공급 배관망에서의 열손실률을 감축시키는 열공급제어 알고리즘을 사용함으로써 열손실률을 기존 열공급제어 방식보다 약 13.6% 감축시킬 수 있었다.

(3) 본 연구에서는 지역난방 공동주택을 4개 구역으로 나누어 열공급제어하는 다구역 열공급제어 알고리즘을 적용한 결과 열손실률 감축 비율이 구역 I 11.9%, 구역 II 13.2%, 구역 III 15.0%, 구역 IV 14.5%로 평균 13.7%를 나타내었다. 따라서, 단일구역 열공급제어 열손실률 감축비율과 비교했을 다구역 열공급제어 알고리즘의 우월성을 확인하지 못하였다.

(4) 본 연구의 분석 자료는 사용자의 열사용량 패턴 변화를 분석함으로써 향후 발생할 외기온도에 대한 기초자료를 제공함으로써 평가도구로서의 활용이 가능하다.

(5) 본 연구에서는 특정 아파트 단지만을 대상으로 연구하였기 때문에 광범위한 적용은 할 수 없는 한계성을 가지고 있다. 따라서 향후 다양한 대상 아파트를 선정하여 에너지 소비량을 측정한 경우 본 연구에서 개발한 알고리즘을 적용할 경우 효율적인 에너지 절약을 위한 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 2008EBD11P081000)와 연구 과제(No. 20124010203250) 그리고 고려대학교에서 지원된 연구비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

1. Korea Energy Economics Institute, http://www.keei.re.kr.
2. Korea Energy Statistics Information System, http://www.kesis.net.
3. Sandou, G., Font, S., Tebbani, S., Hiret, A., and Mondon, C., 2005, Predictive control of a complex district heating network, Decision and Control, Vol. 44, pp. 7372-7377.
4. Jović, F., Rajković, V., Jagnjić, Ž., and Vuksanović, D., 2001, Predictive model of the distributed heating, Information Technology Interfaces, Vol. 1, pp. 325-329.

5. Çomaklı, K., Yükse, B., and Çomaklı, Ö., 2004, Predictive model of the distributed heating, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, No. 7, pp. 1400-1408.
6. Yoo, H. S., Chung, J. H., Moon, J. H., and Lee, J. H., 2007, Proposal of unit building method for calculating unit heating load of apartment houses, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 19, No. 1, pp. 68-76.
7. Chung, K. S. and Kim, S. M., 2009, Temperature upon heating load pattern in apartment housings with district heating System, The Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 2, pp. 233-240.
8. Lee, H., Lee, Y. P., and Kim, L. H., 2010, Analysis on the heating load pattern according to ratio of the heat consumers in district heating, The Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, Vol. 22, No. 3, pp. 123-129.
9. Kim, S. M., Chung, K. S., Kim, L. H., and Lee, H., 2010, Effect of heat transport distance upon the supply temperature variation in apartment housings with district heating system, The Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 7, pp. 285-292.
10. Lee, S. W., Chung, K. S., and Kim, Y. I., 2011, Analysis of heating energy consumption of district heated apartment with respect to reinforcement of building energy-saving design criteria, Transactions of the Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 7, No. 2, pp. 16-22.
11. Byun, J. K., Lee, K. H., Choi, Y. D., and Shin, J. K., 2011, Study on the development of optimal heat supply control algorithm in group energy apartment building according to the variation of outdoor air temperature, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 23, No. 4, pp. 334-341.
12. Byun, J. K., Choi, Y. D., Shin, J. K., Park, M. H., and Kwak, D. K., 2012, Study on the development of an optimal heat supply control algorithm for group energy apartment buildings according to the variation of outdoor air temperature, Energies, Vol. 5, No. 5, pp. 1686-1704.

ⓒ SAREK