

지역난방 2차측 공급수 온도 제어방안(설정온도 제어, 외기온 보상제어, 외기온 예측제어)에 따른 에너지사용량 실증 비교

Actual Energy Consumption Analysis on Temperature Control Strategies (Set-point Control, Outdoor Temperature Reset Control and Outdoor Temperature Predictive Control) of Secondary Side Hot Water of District Heating System

조성환(Sung-Hwan Cho)¹, 홍성기(Seong-Ki Hong)^{2*}, 이상준(Sang-Jun Lee)²

¹전주대학교 기계자동차공학과, ²전주대학교 대학원,

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Jeonju, 560-759, Korea

²Graduate School, Jeonju University, Jeonju, 560-759, Korea

(Received September 24, 2013; revision received November 19, 2014; Accepted: January 12, 2015)

Abstract In this study, the actual energy consumption of the secondary side of District Heating System (DHS) with different hot water supply temperature control methods are compared. Three methods are Set-point Control, Outdoor Temperature Reset Control and Outdoor Temperature Prediction Control. While Outdoor Temperature Reset Control has been widely used for energy savings of the secondary side of the system, the results show that Outdoor Temperature Prediction Control method saves more energy. In general, Outdoor Temperature Prediction Control method lowers the supply temperature of hot water, and it reduces standby losses and increases overall heat transfer value of heated spaces due to more flow into the space. During actual energy consumption monitoring, Outdoor Temperature Prediction Control method saves about 7.1% in comparison to Outdoor Temperature Reset Control method and about 15.7% in comparison to Set-point Control method. Also, it is found that at when partial load condition, such as daytime, the fluctuation of hot water supply temperature with Set-point Control is more severe than Outdoor Temperature Prediction Control. Therefore, it proves that Outdoor Temperature Prediction Control is more stable even at the partial load conditions.

Key words District Heating System(지역난방 시스템), Outdoor Temperature Reset Control(외기온 보상제어), Outdoor Temperature Prediction Control(외기온 예측제어)

* Corresponding author, E-mail: baobab612@naver.com

기호설명

T : 온도 [°C]
 \dot{m} : 유량 [ℓ/m]
 C_p : 정압비열 [kJ/kg °C]
 \dot{Q} : 열전달량 [kW]
 t : 현재 시간
 T_o : 예측된 온도
 T : 현재 온도
 q_{pre} : 예측된 열량
 T_s : 2차측 공급온도
 T_r : 2차측 환수온도
 T_{high} : 외기온 최고온도

T_{low} : 외기온 최저온도
 T_v : 최고온도와 최저온도의 평균
 T_d : 최고온도와 최저온도의 편차
 t_{low} : 최저온도 시간
 t_{high} : 최고온도 시간
 θ : 외기온도 기울기
 η : 열량보정계수

하첨자

s : 공급측
 pre : 예측
 $high$: 최대
 low : 최소

1. 서론

북유럽을 중심으로 1990년대부터 발달한 집단에너지 공급 시스템인 지역난방 시스템은, 지난 2차례에 걸친 유류파동으로 인하여 에너지의 효율적 이용과 에너지원의 다각화에 대한 인식이 고조됨으로써 보급이 확대되기 시작하였다. 또한, 최근 환경에 대한 인식 고조와 더불어 선진국을 중심으로 점차 증가하고 있는 추세이다. 국내에서도 한국지역난방공사 외 22개 사업자들이 열병합발전소, 열전용보일러 및 자원회수시설 등을 통해 생산되는 에너지를 주거 및 상업지역 또는 산업단지에 집단에너지로써 공급하고 있으며, 2012년 기준 약 14.5%⁽¹⁾의 열에너지 공급 현황을 보이고 있다. 또한, 제 3차 집단에너지 공급기본 계획⁽²⁾에 의하면 2013년경에는 국내 총 주택 수 1,558만호 중 254만호에 달하는 주택에 지역난방을 공급하려는 계획을 가지고 있고, 이는 16.3%에 달한다. 그리고 이러한 집단에너지를 통한 열보급 추세는 계속 증가하리라고 판단된다.

이러한 상황에서, 1차측 에너지효율성 향상에 대하여 지역난방공사를 포함하는 에너지공급자 측에서 폭넓게 세계적으로 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 지역난방 공급 2차측 효율 향상에 대한 연구는 국내 실정을 살펴볼 때 적극적으로 진행되지 않았던 것이 사실이다. 따라서 2차측의 열에너지 효율향상에 관한 연구의 필요성은 그 어느 때보다 크다고 할 수 있겠다.

국내 지역난방 시스템 적용 공동주택의 난방에너지 효율 향상을 위해 보편적으로 적용되는 제어방법은 극히 제한적이다. 지역난방 시스템 2차측의 에너지효율을 연구될 수 있는 부분은 유량, 공급수 온도, 환수온도 및 시스템에 걸쳐 다양하지만 공급수 온도 제어에 대한 다음의 연구가 유일하다 할 것이다.

위에서 언급한대로 지역난방 2차측 효율 향상을 위해 공급수 온도 제어를 위한 연구들이 진행 되어 왔는데, Friedlander 등⁽³⁾은 외기온도와 난방공급온도 사이에 선형관계가 있음을 착안하여 외기온도에 선형적 역비례로 공급수의 온도를 제어하는 외기온 보상제어(Outdoor Temperature Reset Control, OTRC) 방안을 제안했으며, Cho 등⁽⁴⁾은 난방 당일의 외기온을 예측하고, 예측된 외기온에 따른 난방부하의 형태를 예측하여 최종적으로 공급온도를 결정하는 제어방법(Outdoor Temperature Prediction Control, OTPC)을 연구하였다.

한국지역난방공사를 비롯한 SH공사 등 국내의 지역난방 공급 사업자들은 2차측 열원설비 및 난방제어 방법에 대하여 나름의 관리를 하고 있으며, 이들이 범용적으로 사용하는 공급수 온도 제어 방안이 외기온 보상제어 방안이다.

본 연구에서 2차측 열공급의 효율성을 보다 향상시키기 위하여 지역난방 집단에너지사용 공동주택 실증

단지에서 일반적으로 사용되고 있는 공급수 온도 제어 방법인 외기온 보상제어 방안, 외기온 예측제어 방안 및 기존 실증단지에서 실행되어지고 있는 설정온도 제어 방안을 각각 활용하여 2차측 공급수 온도를 각각 제어하였을 때 열부하 패턴, 에너지사용량 및 그 외의 변화에 대해 실증 데이터를 활용하여 비교 분석하였으며, 2차측 공급수 온도 제어에 있어서의 에너지 효율을 향상시키는 방안에 대해 연구해보았다.

지역난방 시스템 사용 실증단지에서 실증실험 결과, 설정온도 제어와 외기온 보상제어 그리고 외기온 예측제어에 의한 2차측 공급수 온도 제어 사이에 무시할 수 없는 에너지 소비량 절감과 시스템의 안정성을 보여줌을 확인할 수 있었다.

2. 실증단지 및 실증실험

2.1 실증단지

Fig. 1은 본 연구를 위하여 활용된 공동주택의 전경을 보여주고 있다. 본 실증단지는 서울시 서초구 잠원동에 위치하고 있으며, 지하 1층, 지상 15층, 7개동, 540세대의 규모로 준공일이 1992년인 지역난방 사용 아파트이다. 연면적은 58,033.8 m²이고, 세대별 평형은 33평이 주를 이루고 있다.

실증단지는 지역난방 열원을 사용한 난방설비, 급탕설비, 부스터 펌프 급수식 급수설비 및 압축기 부착형 팽창탱크 등의 기계설비를 갖추고 있다. 그리고, 난방 및 급탕 설비의 열교환기 2차측 출구 온도 제어로 이루어지는 자동제어 시스템을 갖추고 열량을 2차측 수용가 측에 사용용도별로 공급하고 있다. Fig. 2는 실증단지의 난방 시스템에 대한 개략도를 보여주고 있다. 본 실증단지에서의 난방 시스템은 보편적으로 공급관과 환수관 사이에 DPV(Differential Pressure Valve, 차압조절밸브)를 설치하여 공급관과 환수관 사이의 압력차를 어느 정도 일정하게 조절하고, 또한 자동 바이패스(By-Pass) 기능으로 사용하고 있다. 난방 열교환기는 각동에 하나의 열교환기를 두고 하나의 열교환기에서 동 전체의 난방을 담당하고 있다. 본 실증단지는 Fig. 2에서 DPV는 노후화되어 그 기능이 정지되어 있으며, 따라서 DPV는 완전히 밸브를 닫아둔 상태로 사용되고 있다. 처음에는 DPV의 밸브 개도를 5% 정도 개방한 상태로 사용하였으나 완전 난방 시 고층부에 난방수 공급이 잘 이루어지지 않는 이유로 DPV를 완전히 닫아 사용하고 있다. 이때에도 배관내 압력이 필요 이상으로 상승하여 세대에서 배관 내 소음이 발생하였다. 최종적으로 본 실증단지에서는 DPV는 닫아둔 상태로 사용하고, 소음 문제를 해결하기 위해 인버터 시스템을 설치하여 난방배관 내의 압력을 조절하였으며, 단지 인버터의 회전수는 수동으로 조절하여 사용하고 있다.

지역난방 2차측 공급수 온도 제어방안(설정온도 제어, 외기온 보상제어, 외기온 예측제어)에 따른 에너지사용량 실증 비교



Fig. 1 Apartment Complex for Experiment.

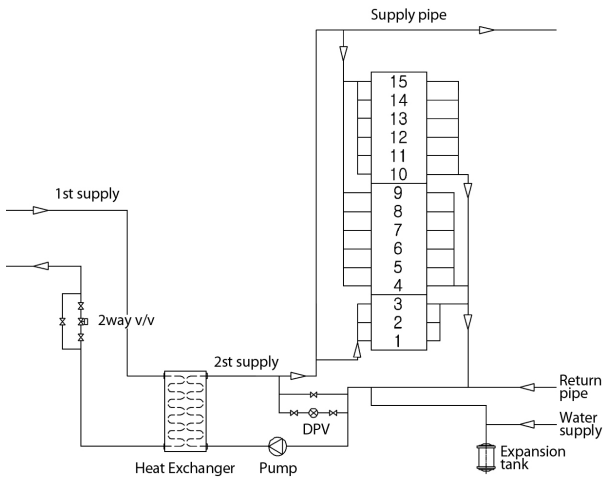


Fig. 2 Lay Out of DHS.

본 실증단지는 난방열교환기 7대, 급탕열교환기 2대를 사용하고 있으며, Table 1과 Table 2는 각각의 펌프와 열교환기 사양을 나타내고 있다.

2.2 실증실험

본 실증단지 실험에서 1차측 공급온도는 약 100℃로 한국지역난방공사에서 공급하고 있는 공급온도를 그대로 사용하였으며, 2차측 공급온도는 설정온도 제어 방법, 외기온 보상제어방법과 외기온 예측제어방법을 병행하여 사용하였다. 본 실험에서 에너지소비 형태에 관한 환경조건이 외기온도와 540세대의 사용자의 난방 형태 등에 따라 매일 매일 다르기 때문에 세 가지 제어 방법의 비교실험을 위한 객관성 확보가 쉽지 않았다. 처음에는 대한민국의 기온이 삼한사온 현상을 띄기 때문에 7일씩 교차제어를 시행하려 하였으나, 실제로 적용하여 실험을 실시한바 동절기(2012년 12월~2013년 2월)의 외기온도의 변화가 삼한사온과는 다른 형태의 기온을 보여, 자료의 객관성 확보가 어렵다고 판단하

Table 1 Summary of Pumps

Item	Form	Amount	Head (M)	Flow Rate (LPM)	Power (HP)
P-1	Volute	3	25.3	550	7.5
P-2	Volute	4	29.5	800	10

Table 2 Summary of Heat Exchangers

Item	Form	Note (Mcal/h)	Use
HE-1	Plate Type	260	1, Heating
HE-2	Plate Type	260	2, Heating
HE-3	Plate Type	390	3, Heating
HE-4	Plate Type	390	4, Heating
HE-5	Plate Type	260	5, Heating
HE-6	Plate Type	390	6, Heating
HE-7	Plate Type	390	7, Heating
HE-8	Plate Type	480	Hot water
HE-9	Plate Type	385	Hot water

였다. 결과적으로 본 실증실험에서는 설정온도 제어 방법, 외기온 보상제어방법과 외기온 예측제어방법의 비교 객관성을 위해 각각 1일씩 교차제어를 실행하였다. 즉 오전 9시를 기준으로 하루는 설정온도 제어방법을 또 하루는 외기보상 제어방법을 다른 하루는 외기온 예측 제어방법을 사용하여 번갈아가며 실험을 계속하였다. 본 연구에 사용된 측정 데이터는 외기온도의 변화가 비교적 상사한 1월 21일에서 2월 22일까지 약 32일간의 데이터이다.

2.2.1 설정치 온도 제어(Set-Point Temperature Control)

본 실증실험에 지역난방 시스템 사용 2차측 난방수 온도를 제어하기 위해 사용된 설정치 온도 제어방법이란 주위의 외기환경 온도에 상관없이 설비관리자에 의해 임의적으로 난방수 온도를 설정하여 설정된 온도 값으로 난방수 공급온도를 일정하게 제공하는 제어방법이다. 초기의 지역난방 공급자는 2차측 관리에 대한 에너지 절감의 기준이 없을 때 설정치 온도 제어방법을 권장하여 사용하였으나, 2차측 난방에너지 절감에 대한 연구와 필요성이 부각되면서 설정치 온도 제어방법 대신에 공급수 온도를 외기온도에 따라 반비례 선형제어하는 외기온 보상제어 방법을 보급하여 지금은 보편적으로 사용하고 있다. 따라서 지금은 지역난방 시스템에 있어서 중앙관제장치(CCMS)의 차압조절밸브(DPV) 시스템의 고장으로 정상적인 제어가 이루어지지 않는 경우 또는 설비관리자의 필요에 의해 설정치 온도 제어방법이 사용되고 있는 것으로 판단된다.

2.2.2 외기온 보상제어(Outdoor Temperature Reset Control)

본 실증실험에 지역난방 사용 2차측 난방 공급수 온도 설정을 제어하기 위한 방법으로 사용된 외기온 보상제어란 기상청에서 예보된 하루의 시간별 외기온도의 변화에 따라서 실내로 공급되는 난방 공급수의 온도를 비례적으로 변화시키는 제어법을 말하며, 실증단지 외부의 백엽상에 설치된 온도계에서 받아진 외기온도 측정 값에 따라 난방 공급온도가 비례적으로 변화되도록 하였다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 X축의 외기온의 변화에 따라 Y축의 난방 공급온도 사이의 역비례 관계를 나타내고 있다. 또한 이 방법은 지역난방 2차측 난방공급수 온도 설정을 위해 보편적으로 사용되고 있는 제어방법이다.

2.2.3 외기온 예측제어(Outdoor Temperature Predictive Control)

이 방안은 지역난방 사용 2차측 난방 공급수 온도 설정을 제어하기 위한 방법이다. 난방 공급수 온도 설정을 위해 제안된 외기온 예측제어란 일반적으로 실내에 전달되는 열량이 구조체의 축열현상에 의하여 지연되는 시간을 고려한 후 정확하게 실내에 맞는 적절한 열량을 예측된 외기온도에 의해 미리 계산하여 공급함으로써 열손실을 최소화시킬 수 있는 제어방법이 될 것이며, 이러한 외기예측상관 식은 식(1)과 같다.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_s - T_r) \quad (1)$$

where,

T_s : 난방수 공급온도
 T_r : 난방수 환수온도

또한, 예보된 기상데이터의 최고(t_{high}) 및 최저(t_{low}) 외기온도를 이용한 24시간 외기온 예측온도는 식(2)로부터 도출할 수 있다.

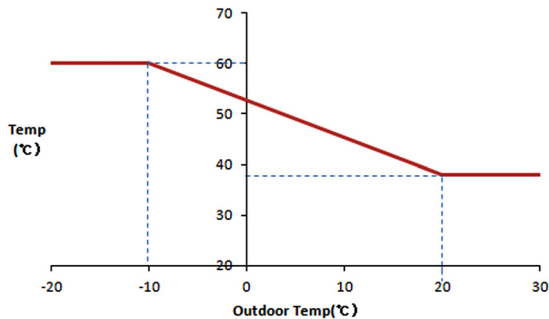


Fig. 3 Outdoor Temperature Reset Control.

$$at(t \leq t_{low}) \quad T_o = T_v - T_d \cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot (t - t_{low})}{24 - (t_{high} - t_{low})} \right]$$

$$at(t_{low} < t \leq t_{high}) \quad T_o = T_v - T_d \cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot (t - t_{low})}{(t_{high} - t_{low})} \right]$$

$$at(t_{high} < t) \quad T_o = T_v - T_d \cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot (t - t_{high})}{24 - (t_{high} - t_{low})} \right]$$

$$T_v = (T_{high} + T_{low})/2, \quad T_d = (T_{high} - T_{low})/2 \quad (2)$$

where,

t : 현재 시간
 T_o : 예측 온도
 T_{high} : 외기온 최고 온도
 T_{low} : 외기온 최저 온도

식(2)로부터 예측된 외기온도와 현재 온도를 활용하여 외기온도의 변화 기울기를 계산하여 예측공급열량을 도출한다.

$$at \theta = \frac{T_o - T}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{if } \theta > 0, q_{pre} &= q - \theta \cdot \eta \cdot q \\ \text{if } \theta < 0, q_{pre} &= q + \theta \cdot \eta \cdot q \end{aligned}$$

where, sincerely

η = Proportional Factor
 Δt = Time Delay

식(3)으로부터 도출된 외기온의 기울기가 0보다 큰 경우 외기온의 상승함을 예측하게 되고 그에 따른 예측공급열량이 도출되며, 0보다 작은 경우 외기온의 하강함을 예측하게 됨으로서 식(3)을 이용할 수 있다. 따라서, 예측된 공급열량을 통해 공급온도를 결정하는 것에 있어 식(4)를 이용하여 새롭게 설정된 공급온도 T_s 에 따른 열교환기 1차측 TCV(Temperature Control Valve, 온도제어밸브)의 개도를 조절하여 공급수 온도를 조절한다.

$$T_s = T_r + \frac{q_{pre}}{\dot{m} \cdot C_p} \quad (4)$$

where,

q_{pre} : 예측열량

3. 실험결과 및 분석

실증단지에는 기존 시스템의 오류와 차압유량조절 밸브(DPCV), 구동기(Actuator) 등의 낙후된 설비 때문에 설비관리인이 사용하여왔던 제어 방법은 설정온도 제어(Set-Point Temperature Control)방법이었다. 오랫동안 설비관리인이 지역난방 시스템에 대한 이해와 습관으로 유지되어온 설정온도 제어방법에 의한 제어는 지역난방 시스템 사용 난방에너지 패턴에 어떠한 영향이 있는지를 비교 분석하고자 하였다.

따라서 Fig. 4는 현 실증단지에 적용되고 있는 설정온도 제어방법에 의한 하루 동안의 공급온도, 환수온도 및 외기온도의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 하루 동안 공급온도는 일반적으로 사용이 많은 야간시간대와 상대적으로 사용이 적은 주간시간대에 영향이 아닌 동절기 날씨의 변동에 따라 설비관리인의 조작에 의해 일정하게 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

단지, 공급온도의 상세 변화를 보면 부하가 낮은 주간시간대에 사용 유량이 적음에도 불구하고 높은 온도를 맞추기 위해 공급온도를 제어하였기에 불규칙적인 헌팅(Hunting)이 많아짐을 확인할 수 있었다. 이는 유량을 고려하지 않고 공급수의 온도만을 제어하기 때문에 나타나는 현상이다. 특히 공급수 온도에 따라 환수온도도 비교적 일정하게 유지되는 특징을 보이고 있다.

Fig. 5는 지역난방 시스템의 난방 공급수 온도 제어에 있어서 국내에서 범용적으로 사용되어지는 외기온 보상제어(Outdoor Temperature Reset Control)방법에 의한 공급온도, 환수온도 및 외기온도의 하루 동안의 변화를 보여주는 그래프이다.

위에서 제시한 바대로 외기보상제어는 외기온에 따라 반비례 선형관계로 공급수의 온도를 제어되고 있으며, Fig. 5에서도 이를 확인할 수 있다. 특징적인 점은 주간시간대에 공급수의 온도변화가 설정온도 제어와 비슷하게 온도 헌팅(Hunting)을 보이고 있다는 점이다. 그러나 환수온도의 변화는 설정온도 제어방법 때와 다르게 더 낮고, 공급수 온도와 비례하여 변화한다는 사실이다.

Fig. 6은 외기온 예측제어방법에 의해 지역난방 시스템에 온도 제어 되었을 경우의 하루 동안의 공급온도, 환수온도 및 외기온도의 변화를 보여주는 그래프이다. 설정온도 제어방법 및 외기보상 제어방법과 비교하였을 때 주간시간대의 온도헌팅이 비교적 적은 것을 확인할 수 있다.

이는 외기온 예측제어의 경우 그 제어 알고리즘에서 공급되는 유량을 고려하기 때문으로 사료된다. 공급수 온도의 과도한 헌팅현상은 열교환기 및 구동기 등의 기구적 결함을 초래하거나 수명을 단축시킬 수 있다는 것은 알려진 사실이다. 이를 근거로 외기온 예

측제어방법에 의해 지역난방 시스템을 공급수 온도 제어 하였을 경우 설정온도 제어방법이나 외기온 보상제어방법 보다 더 시스템의 안정성을 높일 수 있겠다. 또, 공급수의 온도가 외기온 보상제어방법에 비해 주간시간대에 평균 3℃ ~5℃ 낮게 공급되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 난방에너지 절감에 영향이 있을 것으로 사료된다.

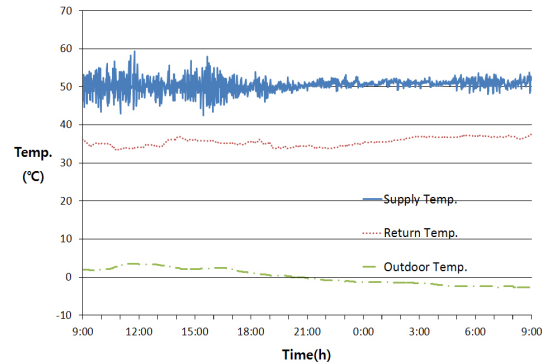


Fig. 4 Supply, Return and Outdoor Temp. Variation of SPTC (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

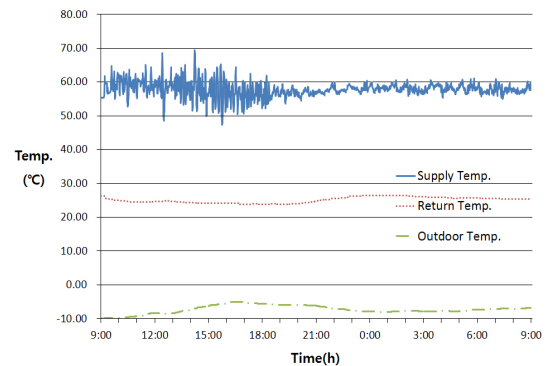


Fig. 5 Supply, Return and Outdoor Temp. Variation of OTRC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

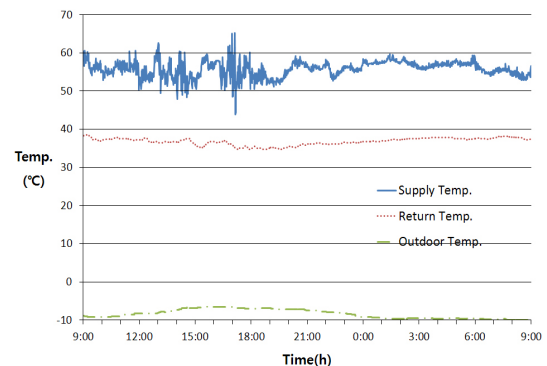


Fig. 6 Supply, Return and Outdoor Temp. Variation of OTPC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

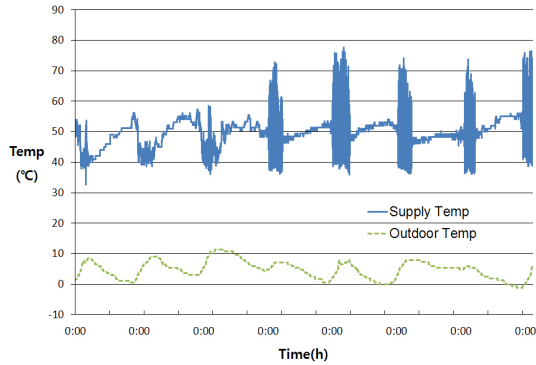


Fig. 7 Supply and Outdoor Temp. Variation of OTRC vs. OTRC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

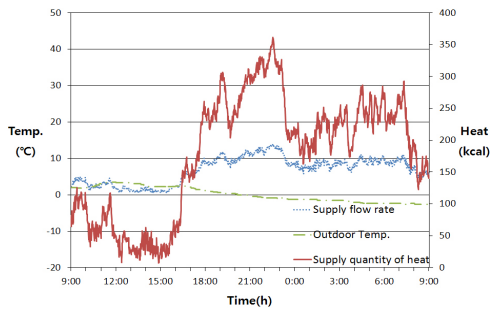


Fig. 8 Daily Energy Consumption Pattern of SPTC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

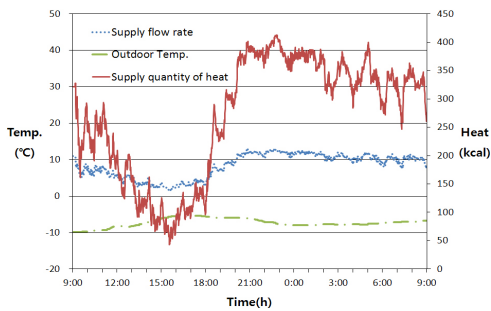


Fig. 9 Daily Energy Consumption Pattern of OTRC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

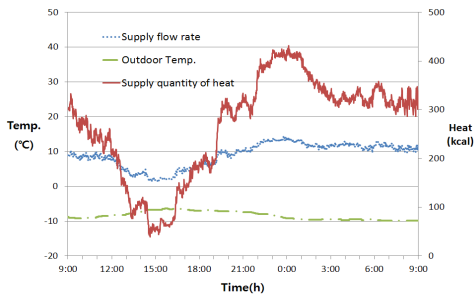


Fig. 10 Daily Energy Consumption Pattern of OTRC; (January 27 9:00 a.m.~January 28 9:00 a.m.).

이러한 현상은 일주일 동안 외기온 예측제어(초기 3일)와 외기온 보상제어(잔여 4일)를 실시한 결과를 보여주는 Fig. 7에 더욱 명확한 차이를 나타내고 있다.

Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10은 각각 설정온도 제어, 외기온 보상제어 및 외기온 예측제어에 따라 제어된 하루 동안의 2차측 공급열량을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이, 공급수 온도의 불안정한 헌팅현상이 2차측 공급열량에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

이는 공급수 온도의 헌팅이 2차측 공급 열량의 손실을 발생시킨다는 것이다. 또한 과도한 헌팅현상은 열교환기 및 구동기 등의 기구적 결함을 초래하거나 수명을 단축시킬 수 있다는 것이다.

Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10의 비교를 통해 알 수 있는 또 하나의 주지할만한 사실은 세대의 에너지사용이 일반적으로 오후 6시부터 시작되며 오후 9시부터 본격적으로 진행된다는 것이다. 또한 오전 9시부터 에너지사용이 현격히 줄어든다는 것이다. 이러한 부하형태에 대한 파악은 추 후 부하를 예측하여 열공급의 제어를 통한 스마트컨트롤의 기본이 되겠다.

Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10에서 보듯이, 외기온 예측제어의 경우 공급수의 온도가 낮아짐에 따라 유량이 증가한다는 사실이다. 공급수 온도의 저하는 배관 및 Standby 손실을 줄여 에너지를 절감하며, 유량의 증가 또한 세대 난방 시스템의 전반적인 열전달 효율을 향상시켜 에너지를 절감한다는 것이다.

각각의 제어방식에 따른 에너지사용량을 평가하기 위해 본 연구에 사용된 측정 데이터는 외기온도의 변화가 비교적 상사한 1월 21일에서 2월 22일까지 약 32일간에 걸쳐 측정된 데이터이다. Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14는 각각 설정온도 제어, 외기온 보상제어 및 외기온 예측제어에 의해 공급수의 온도를 제어한 32일간의 온도데이터를 시간당 평균을 구하고, 그 값을 32일 동안의 데이터를 모아 회귀분석(Regression Analysis)으로 정리하였다.

전체적인 추세에서 알 수 있듯이, 각각의 제어방식에 따른 공급온도의 차이는 명확하게 보인다. 또한 그 평균값은 Table 3에 정리되어 있다.

각각의 방법 비교에 있어서 Fig. 11과 Fig. 12, Fig. 13과 Fig. 14로 분리 한 것은 외기온도가 낮과 밤에 따라 차이가 존재하고, 공급온도 또한 세대의 필요에 따라 적지 않은 차이를 보이기 때문에 정확한 비교 분석을 위해 구분된 것이다.

Fig. 15와 Fig. 16는 설정온도 제어방법과 외기온 예측 제어방법에 따른 측정기간 동안의 에너지사용량을 회귀분석(Regression Analysis)한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 설정온도 제어방법에 의해 공급수가 제어되었을 경우에 측정기간 동안 난방에너지 사용이 현저히 많이 사용되었음을 확인할 수 있었다.

지역난방 2차측 공급수 온도 제어방안(설정온도 제어, 외기온 보상제어, 외기온 예측제어)에 따른 에너지사용량 실증 비교

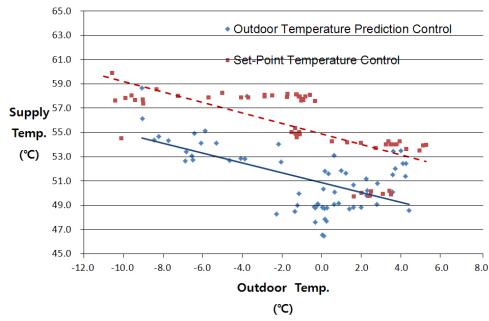


Fig. 11 Supply Temp. Regression; Daytime; SPTC & OTPC.

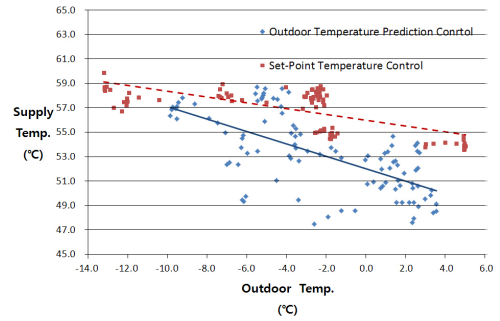


Fig. 12 Supply Temp. Regression; Nighttime; SPTC & OTPC.

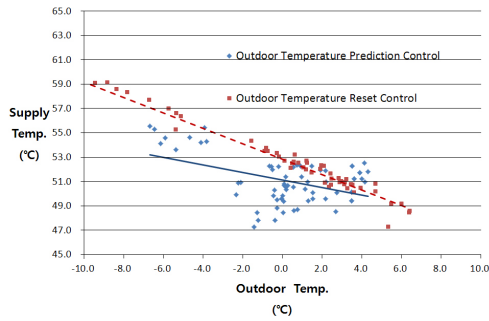


Fig. 13 Supply Temp. Regression; Daytime; OTRC & OTPC.

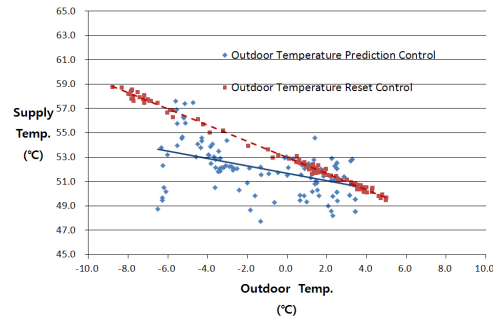


Fig. 14 Supply Temp. Regression; Nighttime; OTRC & OTPC.

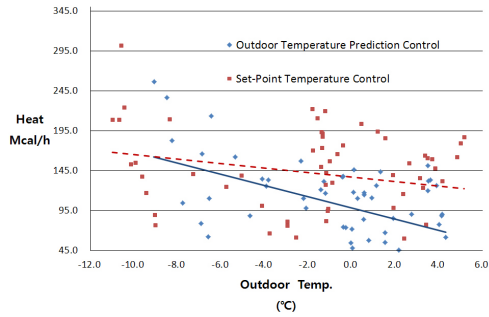


Fig. 15 Energy Consumption Regression; Daytime; SPTC & OTPC.

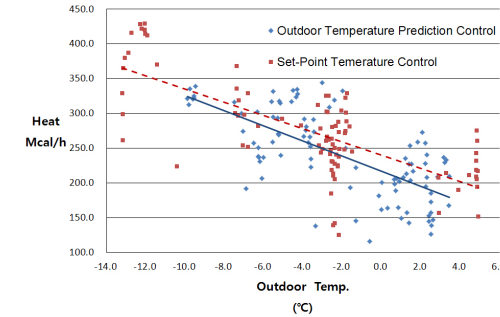


Fig. 16 Energy Consumption Regression; Nighttime; SPTC & OTPC.

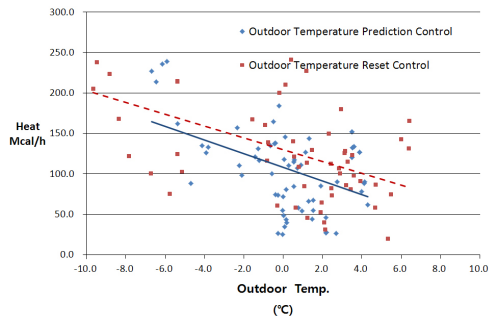


Fig. 17 Energy Consumption Regression; Daytime; OTRC & OTPC.

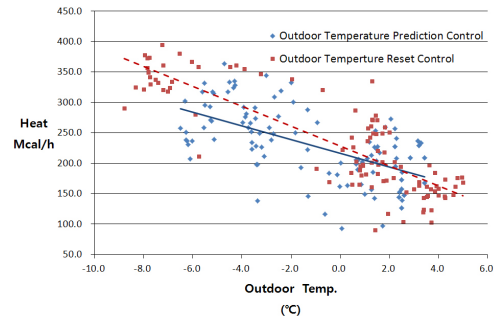


Fig. 18 Energy Consumption Regression; Nighttime; OTRC & OTPC.

또한, Fig. 17과 Fig. 18은 외기온 보상 제어방법과 외기온 예측 제어방법에 따른 측정기간 동안의 에너지 사용량을 회귀분석한 결과를 그래프로 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 외기온 보상제어의 경우가 측정기간 동안 에너지를 더 많이 사용하였다는 사실을 확인하였고, 특히 주간 시간 동안에 다양한 에너지 손실이 많았음을 확인할 수 있었다.

Fig. 15와 Fig. 16의 비교를 통해 알 수 있는 사실은 설정온도 제어방법과 외기온 보상 제어방법에 따른 지역난방 시스템의 공급수 제어방법을 비교하였을 경우 설정온도 제어방법이 외기온 보상 제어방법보다 더 많은 에너지를 소비하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히

난방 사용이 비교적 적은 주간시간 대에 이러한 현상이 더욱 크게 나타난다는 사실이다. 이는 각각의 제어방법에 따라 주간시간대에 에너지 손실이 크게 발생한다는 것을 보여주는 것으로써 높은 공급온도 일 때 크다는 에너지 손실이 크다는 사실을 확인할 수 있는 자료라고 사료된다.

Table 3는 측정기간 중 설정온도 제어와 외기온 예측제어에 의해 제어되었을 때 2차측 공급수 온도, 에너지사용량의 평균값을 나타내고 있다. 또한 표에서의 에너지절감량은 설정온도 제어 대비 외기온 예측제어 방법에 의해 온도 제어를 하였을 때 식(5)에 의해 주간

에 26%, 야간에 12%를 절약됨을 나타내고 있다. Table 4는 측정기간 중 외기온 보상제어와 외기온 예측제어에 의해 제어되었을 때 2차측 공급수 온도, 에너지사용량의 평균값을 나타내고 있다. 또한 표에서의 에너지절감량은 외기온 보상제어 대비 외기온 예측제어 방법에 의해 온도 제어를 하였을 때 식(6)에 의해 주간

$$\text{절감율} = \frac{\text{에너지소모량}(SPTC) - \text{에너지소모량}(OTPC)}{\text{에너지소모량}(SPTC)} \quad (5)$$

$$\text{절감율} = \frac{\text{에너지소모량}(OTRC) - \text{에너지소모량}(OTPC)}{\text{에너지소모량}(OTRC)} \quad (6)$$

이는 외기온 보상제어의 경우 주간시간대에 필요 이상의 높은 공급수 온도로 인하여 배관 시스템의 대기손실(Standby Loss)이 크기 때문이라 사료된다. 특히 외기온 예측제어에 의해 지역난방 시스템의 공급수 온도를 제어했을 경우 다른 제어방법에 의해 공급수 온도를 제어하였을 때보다 측정기간 동안의 에너지절감량은 크게 나타났다는 사실이다. 설정온도 제어 및 외기온 보상제어의 경우에 비해 각각 15.7%, 7.1%의 에너지 절감을 보이고 있다. 설정온도 제어와 외기온 예측제어 비교 시 평균 외기온도는 설정온도 제어의 경우 -1.31℃, 외기온 예측제어의 경우는 -2.82℃였으며, 외기온 보상제어와

Table 3 Energy Saving Rate

	Control Method	Sup. Temp (°C)	Energy (Mcal/hr)	Savings (%)
Daytime	SPTC	55.4	141.6	26
	OTPC	51.5	103.4	
Nighttime	SPTC	56.6	273.3	12
	OTPC	52.4	240.0	

Table 4 Energy Saving Rate

	Control Method	Sup. Temp (°C)	Energy (Mcal/hr)	Savings (%)
Daytime	OTRC	52.8	130.9	20
	OTPC	51.0	105.9	
Nighttime	OTRC	53.2	233.8	3
	OTPC	51.9	226.6	

외기온 예측제어 비교 시 평균 외기온도는 외기온 보상제어의 경우는 -0.26℃, 외기온 예측제어의 경우는 -0.44℃이었다. 외기온 예측제어에 있어서 외기온의 평균에 차이가 있는 것은 각각의 비교를 위해 외기온도가 상사한 기간에서 데이터를 추렴하였기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 지역난방 시스템에서 공급수 온도 설정 방법으로 사용되고 있는 설정온도 제어방법, 외기온 보상제어방법 및 외기온 예측제어 방법을 적용하여 실증단지의 2차측 공급수 온도를 제어하였을 때 보이는 에너지사용 패턴, 에너지사용량 및 그 외의 변수에 대해 비교 분석해 보았다. 각각의 제어 방법에 따른 실증단지의 에너지 절감율을 비교하기 위해서는 외기온도 및 각 세대의 에너지 사용량의 합이 동일해야 하지만 실증실험의 한계임을 고려하였다. 단지, 실험 결과의 객관성을 높이기 위하여 실증실험 기간 중 평균 외기온도는 외기온 예측 실험의 평균 외기온도가 낮을 때를 비교하였으며, 각각의 제어에 따른 세대의 에너지 사용량이 동일하다는 가정은 실험 기간 동안 일일 교차제어의 실행과 각 세대에 대한 실증실험 후의 설문조사에서 실증실험 기간 동안 난방 충족감의 차이가 없다는 결과로 대신하였다.

본 실증실험으로 파악된 결과는 아래와 같다.

- 1) 외기온 예측제어 방법을 적용하였을 때, 2차측 공급온도가 실증기간 동안 설정치 온도 제어 대비 낮시간 평균 3.9℃ 낮아지고, 밤시간 평균 3.8℃ 낮아지는 현상이 나타났다. 또한, 외기온 보상제어 비교하였을 때 낮시간 평균 1.8℃ 낮아지고, 밤시간 평균

1.3℃ 낮아지는 현상이 나타났다.

- 2) 특히 설정온도 제어 방법과 외기온 보상제어 방법을 비교하였을 경우 외기온 보상제어 방법에 의해 지역난방 시스템 2차측 공급수 온도가 제어되었을 때 세대 사용 에너지소비량이 감소한다는 것을 파악할 수 있었다.
- 3) 외기온 예측제어 방법을 적용하여 1월 21일에서 2월 22일까지 약 32일간 실증실험을 진행하였을 때 외기온 예측제어 방법이 설정치 온도 제어 방법에 비해 낮시간 평균 35.7Mcal/h 적게 소모하고, 밤시간 평균 46.7Mcal/h 적게 소모하는 것으로 나타났다. 또한, 외기온 보상제어 방법에 비해 낮시간 평균 25Mcal/h 적게 소모하고, 밤시간 평균 7.2Mcal/h 적게 소모하는 것으로 나타났다.
- 4) 따라서, 외기온 예측제어 방법으로 2차측 공급수 온도를 제어하였을 경우, 배관 시스템 수송손실 및 대기손실(Standby Loss)의 감소와 유량 증가에 따른 열전달 효율의 상승에 따른 에너지의 효율적 이용에 의해 총 난방 사용에너지는 설정온도 제어 대비 약 15.7%, 외기온 보상온도 제어 대비 약 7.1%를 절감

할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2014년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20122010100060).

References

1. The Ministry of Knowledge and Economics of Korea, 2009, Notification No. 2009-439.
2. KEMCO, 2012, “2012 District Energy Use Handbook”, Korea Energy Management Corporation,
3. Friedlander, M., 1986, “Premium Heating with Radiant Slabs”, Solar Age.
4. Cho, S. H., 2012, “An Optimal Predictive Control Strategy for Radiant Floor District Heating Systems : Simulation and Experimental Study”, SAGE.