

외기온 예측제어방법을 적용한 지역난방 2차측 난방 에너지 효율 향상 기술

홍성기

전주대학교 공학기술연구소 선임연구원
(baobab612@naver.com)

서론

공동주택에 집단에너지를 공급하는 데 있어서 공급 열에너지는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 집단에너지 공급 측에서 공동주택 단지 내 기계실 열교환기에 이르는 1차 측과 공동주택 단지 내 기계실 열교환기에서 실제 난방열을 이용하는 사용자 세대에 이르는 2차 측으로 나눌 수 있다. 따라서 공동주택에 집단에너지를 공급하는 데 있어서 난방에너지 열효율 향상을 위해서는 상기의 두 부분에 대한 열효율 향상 연구가 진행되어야 한다고 생각된다.

그러나 현재 상황으로 볼 때, 1차 측의 에너지 열효율 향상에 대하여는 지역난방공사를 포함하는 에너지공급자 측에서 폭넓게 체계적으로 꾸준히 진행되고 있지만, 집단에너지 사용을 사용하고 있는 공동주택에서 2차 측 열효율 향상에 대한 연구는 국내 실정을 살펴볼 때 적극적으로 진행되지 않았던 것이 사실이다. 따라서 2차 측의 열에너지 효율 향상에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

지역난방시스템 공급수 제어 방법

일반적으로 지역난방시스템 사용 집단에너지의 2차 측 열공급 및 에너지 절감을 연구하는 데 있어서 필요한 제어 인자를 함수로 표현하면 아래와 같이 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$Q = f(mc_p, \Delta T) \tag{1}$$

여기에서,

Q : 열량

mc_p : 유량

ΔT : 공급온도와 환수온도의 차이

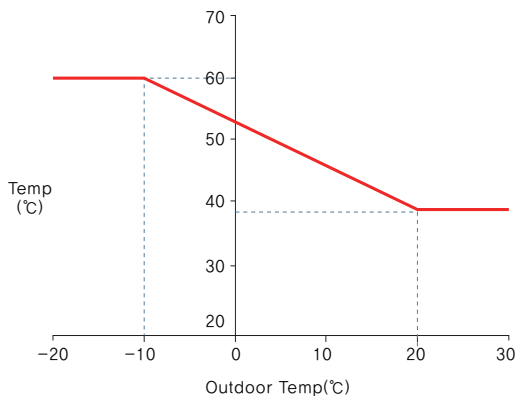
상기의 식 (1)에서 에너지 절감을 위해 제어 인자가 미치는 영향에 대해 연구한 사람은 Friedlander와 Cho 등이다. Friedlander 등은 외기온도와 난방 공급온도 사이에 선형관계가 있음을 착안하여 외기온도에 선형적 역비례로 공급수의 온도를 제어하는 외기온 보상제어(Outdoor Temperature Reset Control, OTRC) 방안을 제안했으며, Cho 등은 난방 당일의 외기온을 예측하고, 예측된 외기온에 따

른 난방부하의 형태를 예측하여 최종적으로 공급 온도를 결정하는 제어방법(Outdoor Temperature Predictive Control, OTPC)을 연구하여왔다.

외기온 보상제어

지역난방 사용 2차측 난방공급수 온도 설정을 제어하기 위한 방법으로 사용된 외기온 보상제어란 기상청에서 예보된 하루의 시간별 외기온도의 변화에 따라서 실내로 공급되는 난방공급수의 온도를 비례적으로 변화시키는 제어법을 말한다. 외기온과 공급수온도 온도의 함수를 외기보상률 혹은 난방곡선이라고 하며, 이는 외기온의 함수로서 건물에 따라 고유한 값으로, 설정단계에서 계산을 통해 산정하거나, 실제 적용 시 현장에서 난방운전을 통해 미세조정으로 구한다.

실증단지 외부의 백엽상에 설치된 온도계에서 받아들인 외기온도측정 값에 따라 난방공급온도가 비례적으로 변화되도록 하였다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 x축의 외기온의 변화에 따라 y축의 난방공급온도 사이의 역비례 관계를 나타내고 있다. 또한 이 방법은, 지역난방시스템 사용 공동주택 2차 측 난방공급수 온도 설정을 위해 보편적으로 사용되고 있는 제어방법이다.



[그림 1] 외기온 보상제어

외기온 예측제어

외기온 예측제어는 일반적으로 실내에 전달되는 열량이 구조체의 축열 현상에 의하여 지연되는 시간을 고려한 후 정확하게 실내에 맞는 적정한 열량을 예측된 외기온도에 의해 미리 계산하여 공급함으로써 과잉난방이나 온수 수송에 발생하는 열손실을 최소화시킬 수 있는 제어방법 중의 하나이다.

이러한 외기예측상관 식은 식 (2)와 같다.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_s - T_r) \tag{2}$$

여기에서,

T_s : 난방수 공급온도

T_r : 난방수 환수온도

또한, 예보된 기상데이터의 최고(T_{high}) 및 최저(t_{low})외기온도를 이용한 24시간 외기온 예측온도는 식 (3)으로부터 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 at(t \leq t_{low}) \quad T_o &= T_v - T_d \\
 &\cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot (t - t_{low})}{24 - (t_{high} - t_{low})} \right] \\
 at(t_{low} < t \leq t_{high}) \quad T_o &= T_v - T_d \\
 &\cdot \cos \left[\frac{\pi \cdot (t - t_{low})}{(t_{high} - t_{low})} \right] \tag{3}
 \end{aligned}$$

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

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

여기에서,

t : 현재 시간

t_{high} : 최고 외기온도 시간

- t_{low} : 최저 외기온도 시간
- T_o : 예측 외기온도
- T_{high} : 외기온 최고온도
- T_{low} : 외기온 최저온도

실증단지

실증단지는 서울시 노원구 중계동에 위치하고 있으며, 지하 1층, 지상 15층, 8개 동, 568세대의 규모로 준공일이 1993년 7월인 지역난방 사용 아파트이다. 연면적은 95,848.65 m²이고, 세대별 평형은 42평이 주를 이루고 있다.

실증단지는 지역난방 열원을 사용한 난방설비, 난방 환수를 이용한 예열 급탕설비, 부스터 펌프 급수식 급수설비 및 압축기 부착형 팽창탱크 등의 기계설비를 갖추고 있다. 그리고 차압에 의해 제어되는 인버터 시스템과 난방 및 급탕 설비의 열교환기, 2차 측 출구 온도제어로 이루어지는 자동제어시스템을 갖추고 열량을 수용가 측에 사용용도별로 공급하고 있다. **그림 2**는 실증단지의 난방시스템에 대한 계통도를 보여주

고 있다. 지역난방시스템은 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.

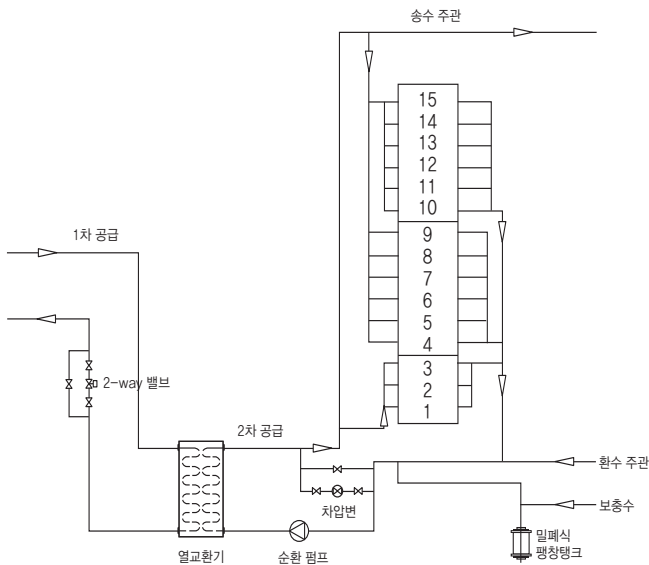
실증단지는 차압에 의한 인버터시스템을 사용하고 있는 것이 특징이다. 이는 인버터시스템에 의한 배송압력을 조절하여 공급관과 환수관 사이의 압력을 어느 정도 일정하게 유지하고, 난방수 수송펌프의 동력을 절감시킬 목적으로 사용하고 있는 시스템이다.

실증 실험

실증단지 실험에서 1차측 공급온도는 약 100℃로 SH지역난방에서 공급하고 있는 공급온도를 그대로 사용하였으며, 2차측 공급온도는 외기온 보상제어 방법과 외기온 보상제어 방법을 병행하여 사용하였다. 본 실험에서 에너지 소비 형태에 관한 환경조건이 외기온도와 568세대의 사용자의 난방형태 등에

따라 매일 매일 다르기 때문에 두 가지 제어방법의 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 판단하였다.

결과적으로 본 실증실험에서는 외기온 보상제어 방법과 외기온 보상제어 방법의 비교 객관성을 위해 1일 교차제어를 실행하였다. 즉 오전 9시를 기준으로 하루는 외기온 보상제어 방법을 다른



[그림 2] 지역난방시스템 개요도

하루는 외기온 보상제어 방법을 사용하여 번갈아가며 실험을 계속하였다. 본 연구에 사용된 측정 데이터는 외기온도의 변화가 비교적 상사한 1월 17일에서 2월 26일까지 약 40일간의 데이터이다.

실증실험 및 분석

그림 3은 본 실증단계에 적용되고 있고, 일반적으로 지역난방 공급수의 온도를 제어하는 외기온 보상제어 시 하루 동안의 공급온도, 환수온도 및 외기온도의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 공급온도의 변화를 보면 부하가 낮은 주간시간 대에 공급온도의 불규칙적인 헌팅이 많아짐을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 제어방법이 유량을 고려하지 않고 공급수의 온도만을 제어하기 때문에 나타나는 현상이다.

그림 4는 외기온 보상제어 방법의 경우를 보여주고 있는데 유량을 고려하는 제어 알고리즘으로 구성되었기 때문에 공급온도의 헌팅이 현격히 줄어드는 모습을 보여주고 있다. 헌팅뿐만 아니라 외기온 예측제어로 제어되는 공급온도는 저녁 6시에 공급온도가 충분히 높게 공급되다가 다시 일정하게 공급되고, 밤 11시에 공급온도가 다시 상승하는 변화를 보여주고 있다. 이는 외기온 보상제어에 의한 공급온도 변화와는 다소 차이를 보여주는 부분으로 외기

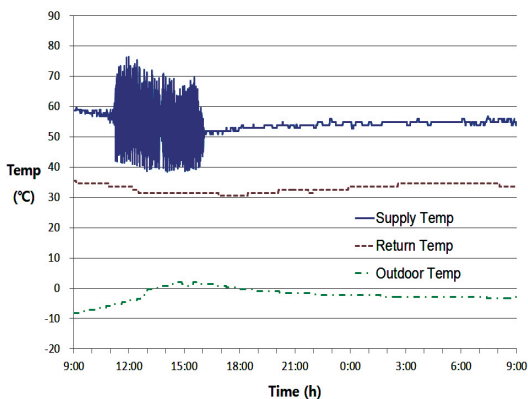
온 보상제어는 외기온에 따른 온도만의 함수이기에 일정하게 증가하거나 감소하는 데 반하여 외기온 보상제어는 사용자의 사용 유량과의 관계도 고려되기 때문이다. 이로써 알 수 있는 것은 실증단계의 사용자의 열부하 패턴을 예측할 수 있다는 것으로 판단된다.

각각의 제어방식에 따른 에너지사용량을 평가하기 위해 본 연구에 사용된 측정 데이터는 외기온도의 변화가 비교적 상사한 1월 17일에서 2월 26일까지 약 40일간에 걸쳐 측정된 데이터이다. 그림 5와 그림 6은 외기온 보상제어와 외기온 예측제어에 의해 공급수의 온도를 제어한 40일간의 온도데이터를 시간당 평균을 구하고, 그 값을 40일 동안의 데이터를 모아 회귀분석으로 정리하였다.

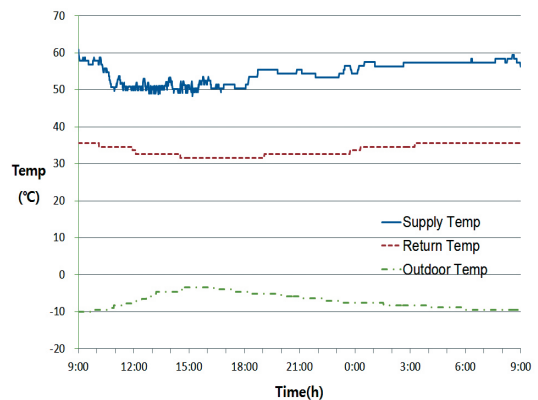
전체적인 추세에서 알 수 있듯이, 각각의 제어방식에 따른 공급온도의 차이는 명확하게 보인다. 또한 그 평균값은 표 1에 정리되어 있다. 측정기간의 평균

(표 1) 제어방법에 따른 온도 및 에너지 비교

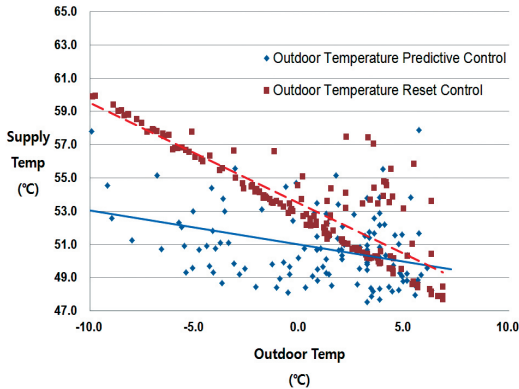
	Control Method	Sup. Temp (°C)	Energy (Mcal/h)	Savings (%)
Daytime	OTRC	53.2	273.6	10
	OTPC	50.8	240.8	
Nighttime	OTRC	53.9	593.8	4
	OTPC	52.5	571.0	



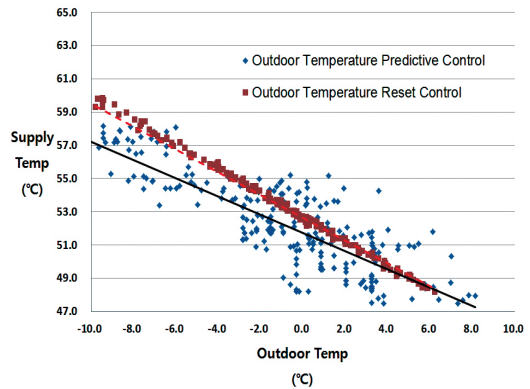
[그림 3] 외기온 보상제어 시 온도변화



[그림 4] 외기온 예측제어 시 온도변화



[그림 5] 공급온도 회귀분석: 주간시간, OTPC vs. OTRC



[그림 6] 공급온도 회귀분석: 야간시간, OTPC vs. OTRC

외기온도는 외기온 보상제어의 경우는 -1.8°C 그리고 외기온 예측제어의 경우는 -1.9°C 이었다.

결론

현재 보편적으로 사용되는 공급수 온도제어 방법인 외기온 보상제어와 외기온 예측제어 방법을 적용하여 실증단지의 2차 측 공급수 온도를 제어하였을 때 보이는 난방에너지 사용 패턴, 에너지 사용량 및 그 외의 변수에 대해 비교 분석해 보았다. 본 실증실험으로 파악된 결과는 아래와 같다.

- 1) 최적제어로서 제안한 외기온 예측제어 방법을 적용하였을 때, 2차 측 공급온도가 실증기간 동안 주간시간 평균 2.4°C 낮아지고, 야간시간 평균 1.4°C 낮아지는 현상이 나타났다.
- 2) 외기온 예측제어 방법을 적용하여 1월 17일에서 2월 26일까지 약 40일간 실증실험을 진행하였을 때 외기온 예측제어 방법이 외기온 보상제어 방법에 비해 주간시간 평균 32.8 Mcal/h 적게 소모하고, 야간시간 평균 22.8 Mcal/h 적게 소모하는 것으로 나타났다.
- 3) 외기온 예측제어 방법으로 2차 측 공급수 온도를 제어하였을 경우, 배관시스템 수송손실

및 대기 열손실의 감소와 유량 증가에 따른 열전달 효율의 상승에 따른 에너지의 효율적 이용에 의해 총 난방 사용에너지의 약 6.6%를 절감할 수 있었다.

참고문헌

1. 서병선, 2012, 지역난방 열에너지 수요예측, 에너지경제연구, Vol. 11, No. 12, pp. 27-55
2. Notification The Ministry of Knowledge and Economics of Korea, 2009, 지식경제 보고서, No. 2009-439.
3. 선호, 2012, Heating Energy Consumption Analysis of the Apartment Applied District Heating System, 한국태양에너지학회, Vol 32, No. 1, pp. 293-298.
4. 산업자원부 에너지관리과, 2006, 집단에너지사업의 현황과 향후 과제, pp. 152-159.
5. 김주완, 2011, 지역난방시스템에 의한 공동주택의 외기보상제어 적용에 관한 실험적 연구, 모아진 에너지설비관리, pp. 78-85.
6. KEMCO, 2012, 2012 District Energy Use Handbook, Korea Energy Management Corporation.
7. Radiantec, <http://www.radiantec.com>.

8. Fridander, M., 1986, Premium Heating With Radiant Slabs, Solar Age Magazine, 1983.4., pp. 66-71.
9. Cho, S.H, 2013, An optimal predictive control strategy for radiant floor district heating system : Simulation and experimental study, Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 34, No. 3, pp. 295-315. 