

비례제어식 자동온도조절기의 온도감지방식별 난방제어 특성 비교

김 용 기*, 이 태 원, 강 성 주

한국건설기술연구원 화재및설비연구센터

A Comparison of Heating Control Characteristics by Temperature Sensing Methods for Thermostatic Valves with the Proportional Control Mode

Yong-Ki Kim[†], Tae-Won Lee, Sung-Ju Kang

Fire & Engineering Services Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

ABSTRACT: Various thermostatic valves have been used widely in Korea for conservation of heating energy and enhancement of thermal comfort in residential buildings. But heating control performances of thermostatic valves extensively vary with the design and operational conditions of the heating system, climate condition and others. An experimental method was carried out in this study to analyze heating control characteristics by temperature sensing methods of thermostatic valves for various parameters, such as supply temperatures and flow rate of hot water, the position of room thermostats and outdoor air temperatures. As a result, the heat flow rate per day of S-Valve(34°C-Type) of water temperature sensing method was liked that of C-Valve of indoor air temperature sensing method with stage 3.3 of room thermostat in case supply temperature of hot water was 45 °C, flow rate was 1.3 L/min and outdoor air temperature was 7.8 °C.

Key words: Thermostatic valves(자동온도조절기), Heating control(난방제어), Heating system(난방시스템), Temperature sensing method(온도감지방식)

1. 서 론

최근 국내 건축물이 공급자 중심으로부터 수요자 중심으로 변화함으로써 수요자의 다양한 요구에 부응하고, 생활수준의 향상에 따른 쾌적한 주거공간수요 증대에 따라 난방용 자동온도조절기에 대한 수요 및 기술향상의 필요성이 증가하게 되었다. 또한, 바닥복사 난방시스템을 채택하고 있는 국내의 주택에서 난방용 에너지를 효과적으로 절감하기 위해서는 자동온도조절기의 신뢰성이 확보되어야 한다. 이에 따라 최근에는 전통모

터를 이용한 기온감지 개폐식 자동온도조절기, 형상기억합금을 이용한 수온감지 비례제어식 자동온도조절기 및 유럽 등에서 주로 사용하고 있는 기온감지 비례제어식 자동온도조절기 등이 생산되어 유통되고 있으나 난방용 자동온도조절기의 제어특성 및 난방열량 제어효과, 에너지절약 성능에 대한 자료 및 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 들어 보급되기 시작하고 있는 형상기억합금 소자(스프링)를 이용한 수온감지 비례제어식 자동온도조절기와 모세관을 이용한 기온감지 비례제어식 자동온도조절기의 난방제어특성을 실험적으로 규명하고, 특성을 상호 비교함으로써, 비례제어식 자동온도조절기의 설계자료 및 난방시스템에 대한 효과적인 적용방안을 도출하고자 한다.

[†]Corresponding author
Tel.: +82-31-369-0513 ; fax: +82-31-369-0540
E-mail address: kimyk@kict.re.kr

2. 유량 제어특성 분석

S-밸브는 형상기억합금 소자(스프링)를 이용한 비전동식/수온감지식/비례제어식 자동온도조절밸브로서 형상기억합금 소자에 의해 난방 환수온도를 감지하여 환수온도의 상승에 따라 밸브의 개도를 자력으로 온도에 따라 비례적으로 닫아주고, 환수온도가 하강하게 되면 귀환스프링(bias spring)에 의하여 밸브의 개도를 열리게 하는 난방 제어기이다. 장점으로는 전원이 필요하지 않으며, 열팽창 이용 방식보다 응답속도가 빠르다. 또한 온도조절밸브만으로 이루어져 있어 전동식에 비하여 구조가 단순하고, 내구성이 우수하다. 본 실험에서 사용된 S-밸브는 형상기억합금 스프링의 종류에 따라 34°C-Type, 40°C-Type 및 45°C-Type으로 구분된다.

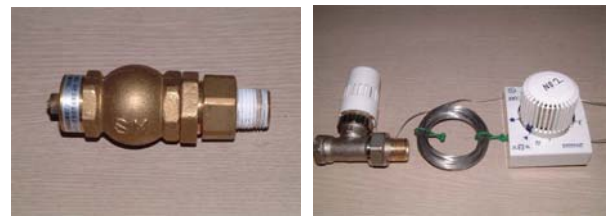
반면에 C-밸브는 모세관을 이용한 비전동식/기온감지식/비례제어식 자동온도조절기로서 실내온도를 감지하여 밸브를 작동하게 하는 방식으로 전원이 필요하지 않으나, 형상기억합금을 이용하는 방식보다 응답속도가 느리다. Fig. 1은 형상기억합금을 이용한 난방용 자동온도조절기(S-밸브) 및 모세관을 이용한 난방용 자동온도조절기(C-밸브)의 모습을 보여주고 있다.

본 연구에서 수행할 여러 가지 분석에 사용될 두 밸브의 수력학적, 열적 제어특성을 규명하기 위하여 간단히 순환수의 온도를 조절하기 위한 보일러와 저수조, 교반기, 순환펌프와 압력계, 유량계 등으로 실험 장치를 구성하여 두 밸브에 대한 유량제어특성을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2와 3에 도시하였다.

먼저, Fig. 2는 임의의 34°C-Type의 S-밸브 시료를 대상으로 하여 난방순환수의 온도를 저온으로부터 상승시킬 때 밸브 통과유량의 변화를 각종 밸브 양단의 압력차에 대하여 도시한 것으로, 각 밸브 양단의 압력차의 경우에는 전반적으로 순환수의 온도가 증가함에 따라 밸브 통과유량은 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 온도증가에 따른 유량의 감소율은 밸브 양단의 압력차에 따라 다소 차이는 있으나 대략 순환수 온도가 30~38 °C인 범위에서 특히 커서 대부분의 온도변화에 따른 유량제어가 이 영역에서 수행될 것임을 예상할 수 있다. 한편, 순환수 온도가 일정한 경우에는 앞에서와 같이 밸브 양단의 압력차가 증

가함에 따라 밸브 통과유량이 증가하는 경향을 보여주고 있다.

한편, Fig. 3은 앞에서 기술했던 C-밸브에 대한 제어특성곡선을 실내온도 및 실내온도설정기의 조절단계에 따른 밸브 통과유량의 변화를 각각의 밸브양단의 압력차에 대하여 도시한 것으로, 각각의 실내온도설정기의 조절단계 및 밸브



(a) S-Valve (b) C-Valve

Fig. 1 Photographs for S-Valve and C-Valve.

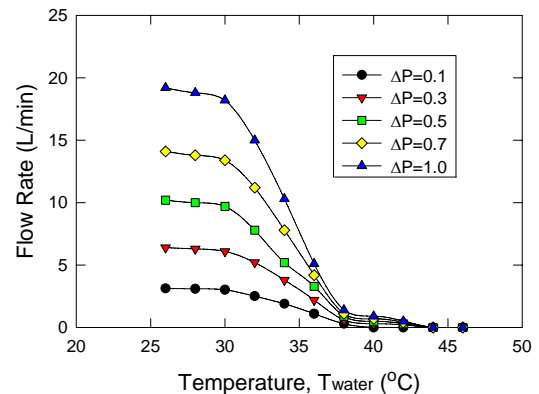


Fig. 2 Flow rate variations with water supply temperatures and pressure differences (S-Valve, 34°C-Type).

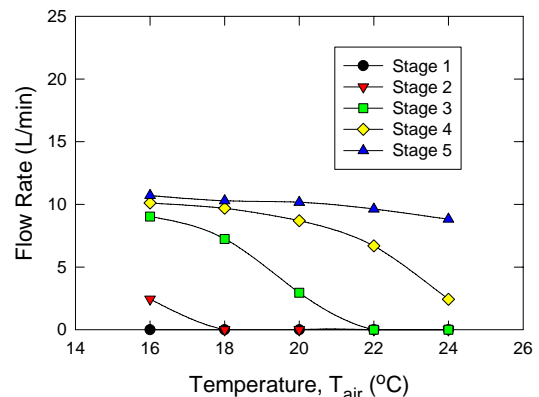


Fig. 3 Flow rate variations with indoor air temperatures and the position of room thermostat (C-Valve, $\Delta P = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$).

양단의 압력차에 대하여 실내온도가 증가함에 따라 밸브 통과유량은 감소하는 반면, 각각의 실내온도에 대해서는 실내온도설정기의 조절단계가 증가함에 따라 또 밸브양단의 압력차가 증가함에 따라 밸브 통과유량은 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한, 양단의 압력차가 0.3 kgf/cm²일 때, C-밸브는 통과유량이 10 L/min(실내온도가 충분히 낮고 실내온도설정기의 설정온도가 높아서 최대의 개도를 유지하는 5단계의 경우) 정도이며, 동일한 압력차에서 S-밸브는 6 L/min의 통과유량을 보여주었다.

3. 실험장치 및 방법

먼저 국내 공동주택 설계시 보편적으로 채택하고 있는 단위 난방구획의 면적과 체적을 가지는 바닥패널 복사난방공간을 구성하였다. 바닥패널에 매설된 배관에 설정한 온도의 난방수를 공급하기 위하여 난방부하를 고려한 적절한 용량의 보일러(유류보일러, 가열능력: 30,000 kcal/h)를 사용하였고, 난방부하나 순간 열량공급의 변동에 따른 난방수의 온도변화를 방지하기 위하여 실험의 수행에 충분한 용량의 축열조(용량: 300 L)를 설치함으로써 저장온수는 설정된 온도로서 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 축열조의 물은 순환펌프에 의하여 난방패널로 공급되는데, 이때 공급되는 난방수의 온도와 유량을 측정하기 위하여 배관계통에 순간유량계(전자기식 유량계, Promag30, 정밀도: ±0.5 % of F.S.) 및 온도계(열전대 T-type)를 설치하였다. 바닥패널을 순환하면서 열교환된 물은 다시 축열조로 회수되는데 이 때 패널 출구이 수온을 측정하기 위하여 온도계를 설치하였고 난방유량 및 열량의 제어를 위하여 난방온도조절기도 제조자가 제시한 시방에 따라 설치하였다.

한편, 실내공기의 온도를 측정하기 위하여 각각의 지정된 위치에 열전대를 설치하였으며, 실내온도의 측정을 위해서는 공간의 평면 중앙, 지상으로부터 1.5m의 위치에 온도센서를 설치하였으며, 데이터로거는 요꼬가와사의 DA100(50ch)를 사용하였다.

실험공간을 둘러싸고 있는 외부 공간을 향온·향습 공간으로 만들기 위하여 저온용 냉방기(센츄리 PA-A10GL1, 냉방능력: 17,000 kcal/h) 및 가

습기를 설치하였다. 이들 장치에 의해 외부 향온·향습 공간은 외부의 기후조건에 관계없이 실험조건으로 설정한 온도 및 습도로 항상 일정하게 유지될 수 있으며, 태양일사에 의한 영향도 배제되도록 하였다. 이상과 같은 자동온도조절기 난방 제어성능 실험장치의 개략도를 Fig. 4에 보였다.

실험시에는 미리 설정한 온도 및 유량으로 난방수를 공급하였고, 각 변수의 변화가 직후의 실험결과에 미치는 영향을 배제하기 위하여 각각의 변수에 대한 실험 사이에는 공통으로 적용되는 동일한 방법으로 표준의 난방을 수행하였다.

비례제어식 자동온도조절기의 난방 에너지절약 성능분석을 위한 현장 적용실험의 수행을 위하여 설정한 변수로는 주로 난방계통에서의 운전변수로서 난방수 공급온도와 공급유량, 밸브조절단계(C-밸브의 경우) 및 외기온도를 채택하였다. 이들 실험변수의 구체적인 변화범위는 Table 1에 보인 바와 같다. 외기온도가 변수가 아닐 경우에는 모든 실험에서 향온실 온도는 7.8±0.5 °C로 유지하였다.

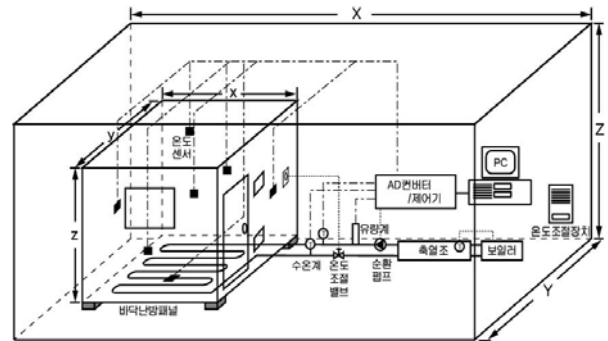


Fig. 4 A schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Experimental parameters and its variation range.

Type of thermostatic valves	Supply water temp. (°C)	Supply flow rate (L/min)	
No control	45, 50, 60	1.3	
	45	0.8, 1.3, 3.0	
C-Valve	Stage 3, 4, 5	1.3	
S-Valve	45°C-Type	45	
	40°C-Type	45, 50, 60	1.3
		45	0.8, 1.3, 3.0
	34°C-Type	45, 50, 60	1.3
45		0.8, 1.3, 3.0	

이때, C-밸브의 경우에는 앞에서 수행된 제어 특성시험 결과를 검토하여 1단계 및 2단계에서는 유량이 전혀 흐르지 않으므로 실험범위에서 배제하였고, 난방순환수 공급온도와 공급유량을 각각 45 °C 및 1.3 L/min으로 설정하였다. S-밸브의 경우에는 온도조절기의 제어특성을 결정하는 형상기억합금 스프링을 변경시키면서 실험을 수행하였고, 예비실험 수행결과 45°C-Type의 경우에는 온도조절기의 제어범위에 비해 난방순환수의 공급온도가 낮다는 점을 고려하여 배제하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 난방운전특성

Fig. 5는 난방순환수 공급온도가 45 °C이고, 순환유량이 1.3 L/min으로 공급될 때, 난방을 개시한 이후로부터 난방순환수의 공급 및 환수온도, 실내공기 및 외기의 온도, 난방순환수의 공급유량의 시간에 따른 변화를 34°C-type의 S-밸브와 실내온도설정기가 3단계인 C-밸브에 대하여 도시한 것이다. 난방순환수의 공급온도 및 외기온도는 설정값으로 잘 유지되고 있음을 볼 수 있다. 난방순환수 귀환온도는 가열초기에 급격히 상승하였다가 일정기간 동안 감소(C-밸브) 및 완만한 증가(S-밸브) 후에 정상상태의 온도값으로 수렴해가는 것을 볼 수 있으며, 실내온도는 가열초기의 설정온도로부터 꾸준히 증가하다가 일정시간이 경과한 후에는 정상상태의 온도값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 또한, 난방순환수 공급유량도 초기에는 설정값으로 유지되다가 난방이 진행되어 실내온도 및 환수온도가 상승함에 따라 밸브가 작동함으로써 감소하며, 일정 시간이 경과하면 정상상태의 값으로 수렴하는 경향을 보여 주고 있다.

4.2 난방제어특성(No control 경우와의 비교)

Fig. 6은 난방순환수를 1.3 L/min으로 공급하고 각종의 형상기억합금 스프링을 탑재한 S-밸브를 설치했을 때, 난방순환수 공급온도에 따른 일간 난방공급열량의 변화 및 에너지절감율을 난방제어를 수행하지 않은 경우와 비교, 도시한 것이다.

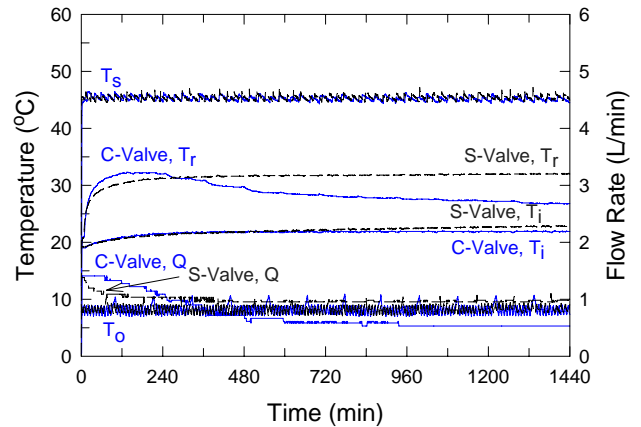


Fig. 5 Time variations of heating characteristic of panel(supply water temperature: 45 °C, flow rate: 1.3 L/min).

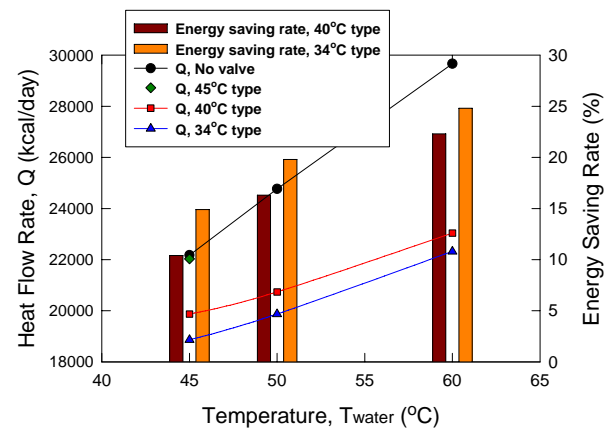


Fig. 6 Variations of heat flow rate and heating energy saving rate with supply heating water temperatures(S-Valve, flow rate: 1.3 L/min).

먼저 난방제어를 수행하지 않는 경우와 각종 형식의 S-밸브를 설치한 경우 모두 난방순환수의 공급온도가 증가함에 따라 일간 공급열량은 선형적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한, S-밸브를 설치하면 난방제어를 수행하지 않는 경우에 비해 일간 공급열량이 감소하며, S-밸브에 탑재되는 형상기억합금 스프링의 변태온도 범위가 낮을수록 상대적으로 적은 열량을 공급하고 있음을 볼 수 있다. 각각의 운전조건(난방순환수 공급온도 및 공급열량) 하에서는 전반적으로 형상기억합금 스프링의 변태온도 범위가 낮을수록 예를 들면 40°C-Type의 경우에 비해 34°C-Type의 공급열량 감소율이 크고, 각각의 형상

기억합금 스프링 형식에 대해서는 난방순환수 공급온도 및 공급유량이 증가함에 따라 공급열량의 감소율이 증가함을 보여주고 있다. 결국, 34℃-Type의 S-밸브를 설치할 경우 난방제어를 수행하지 않을 경우보다 순환유량이 1.3 L/min이고, 난방수 공급온도가 45, 50, 60 ℃일 경우 난방에너지를 15%, 20%, 25% 절감할 수 있다.

4.3 난방제어특성(S-밸브와 C-밸브의 비교)

Fig. 7은 S-밸브 채택시의 난방순환수의 공급온도 및 공급유량에 따른 일간 공급열량의 변화를 C-밸브의 조절단계에 따라 비교, 도시한 것으로, 먼저 C-밸브의 경우 조절단계가 2단 이하에서는 난방이 수행되지 않으나, 2단부터 방출열량이 선형적으로 증가하다가 조절단계가 증가하면서 방출열량의 증가율이 감소되는 경향을 보여주고 있다. 전반적으로 S-밸브를 채택하는 경우의 일간 방출열량이 C-밸브 설치시의 방출열량에 비해 크게 유지되고 있음을 볼 수 있는데, 이는 C-밸브와 달리 S-밸브의 경우 수동의 조절장치가 없기 때문이며, 형상기억합금 스프링에 의한 제어와는 별도로 추가적인 제어를 수행하기 위해서는 유량조절장치 등이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 난방순환수의 공급온도가 증가함에 따라 전반적으로 공급열량은 증가하며, 공급온도 45 ℃인 경우를 보면 S-밸브의 40℃-Type 및 34℃-Type의 일간 방출열량은 각각 기존 C-밸브 단계를 3.7 및 3.3 정도로 유지할 때의 방출열량과 비슷한 수준을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 C-밸브를 사용하여 실내온도설정기를 이 수준 이상으로 조절단계를 유지하는 세대에서는 S-밸브에 비하여 일정량의 공급열량의 감소가 기대된다 하겠다.

난방순환수의 공급유량이 증가함에 따라 S-밸브 적용시의 공급열량은 증가하고, 공급유량이 0.8 L/min인 경우의 방출열량은 S-밸브의 형식에 관계없이 기존 난방온도조절기의 단계를 3.2 정도로 유지할 때의 방출열량과 비슷한 수준을 유지함을 볼 수 있다. 따라서 난방순환수의 공급유량이 1.3 L/min일 경우에는 S-밸브에 탑재되는 형상기억합금 스프링의 형식에 따라 C-밸브의 실내온도설정기의 단계를 3.7(S-밸브의 40℃-Type) 또는 3.3(S-밸브의 34℃-Type) 이상

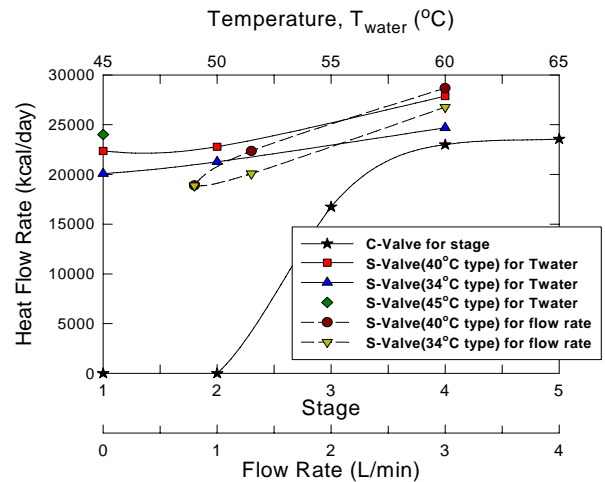


Fig. 7 Variations of heat flow rate with supply heating water temperatures, flow rate and the stage of C-Valve.

으로 유지하는 세대에서만 일정량의 절약효과를 기대할 수 있고, 순환유량을 0.8 L/min으로 감소시켰을 경우에는 S-밸브의 형식에 관계없이 C-밸브의 단계를 3.2 이상으로 유지하는 세대에서만 일정량의 절약효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 외기온도는 난방공간 및 난방시스템에 영향을 미치는 가장 기본적이고 중요한 인자 중의 하나로서, 공급온도 및 공급유량 등의 운전변수와 달리 설계변수에 해당된다. 즉, 동일한 운전 조건 하에서 외기온도에 따라 난방부하가 변화하면 난방공급수의 환수온도 및 실내온도가 변하게 되고, 이에 따라 실내온도를 감지하여 난방제어를 수행하는 C-밸브의 난방운전특성 및 환수온도를 감지하여 난방제어를 수행하는 S-밸브의 난방운전특성도 변화하게 된다.

Fig. 8은 난방순환수의 공급온도가 45 ℃이고, 공급유량이 1.3 L/min일 경우 C-밸브와 S-밸브(34℃-Type) 채택시 외기온도에 따른 일간 공급열량의 변화를 도시한 것이다. 쉽게 예측할 수 있는 바와 같이 C-밸브의 실내온도조절기 조절 단계에 대해서는 외기온도가 감소함에 따라 일간 공급열량은 전반적으로 증가하는 경향을 보여주며, 실험범위 내에서는 조절단계가 5단인 경우에 비해 3단인 경우의 일간 공급열량의 증가율이 큰 경향을 보여주고 있다. 다만 조절단계가 5단인 경우에는 외기온도의 감소에 따라 일간 공급열량은 선형적으로 증가하는 반면, 조절단계가 3단인

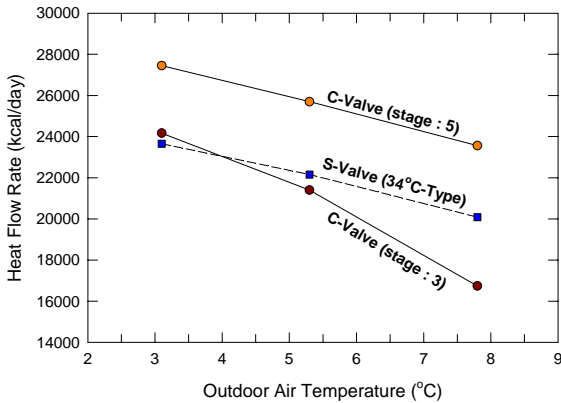


Fig. 8 Variations of heat flow rate with outdoor air temperatures(supply water temperature : 45 °C, flow rate: 1.3 L/min)

경우에는 외기온도의 감소에 따라 일간 공급열량의 증가율이 감소함을 알 수 있다.

한편 34°C-Type S-밸브의 경우에는 외기온도가 감소함에 따라 일간 공급열량은 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있으며, C-밸브의 조절단계가 5단인 경우에 비해서는 일간 공급열량이 훨씬 작고, 조절단계가 3단인 경우에 비해서는 외기온도가 약 4 °C를 기준으로 외기온도가 이보다 높은 경우에는 공급열량이 더 많지만 그 이하의 경우에는 상대적으로 적은 열량을 공급함을 볼 수 있다. 즉, 조절단계 3단일 때 C-밸브의 일간 공급열량은 조절단계 5단일 때의 C-밸브와 34°C-Type의 S-밸브의 경우보다 외기온도에 따른 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 결국 외기온도가 7.8 °C일 때 C-밸브 3단계의 일간 공급열량은 34°C-Type의 S-밸브의 일간 공급열량의 83%에 불과하였으나 외기온도가 감소함에 따라 C-밸브 3단계의 일간 공급열량 증가율이 S-밸브의 공급열량 증가율을 상회하여 외기온도 약 4 °C 이하에서는 S-밸브의 일간 공급열량이 3단계의 C-밸브의 일간 공급열량보다 감소하였음을 알 수 있다.

결과적으로 난방순환수의 공급온도가 45°C이고 공급유량이 1.3 L/min일 때, 34°C-Type의 S-밸브를 채택한 세대는 C-밸브를 설치하고 조절단계를 4단과 5단으로 설정하는 세대보다 모든 외기온도 범위에서 약 15%의 난방에너지 소비를 줄일 수 있는 반면, 조절단계를 2단과 4단의 사이로 설정하는 경우에는 외기온도의 변화에 따라 난방에너지 소비량이 달라지나, 난방에너지의 절

대적인 소비량이 상대적으로 큰 외기온도가 낮은 경우에는 S-밸브의 난방에너지소비가 작아서 결국 에너지 소비절약의 관점에서는 S-밸브를 설치한 경우가 유리할 것으로 판단된다.

5. 결론

난방용 자동온도조절기의 온도감지방식별 난방 제어특성을 규명하기 위하여 외기온도와 난방순환수의 공급온도 및 유량, 실내온도조절기의 조절단계를 주요 변수로 하여 난방실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수온감지 비례제어식 S-밸브(34°C-Type)를 바닥난방시스템에 적용할 경우, 난방제어를 수행하지 않을 경우보다 난방에너지를 최대 25% 절감할 수 있다(외기온도가 7.8 °C이고, 난방수 공급온도가 60 °C, 순환유량이 1.3 L/min일 경우).

(2) 난방순환수의 공급온도가 45°C이고 공급유량이 1.3 L/min일 때, 34°C-Type의 S-밸브를 채택한 세대는 C-밸브를 설치하고 조절단계를 4단과 5단으로 설정하는 세대보다 모든 외기온도 범위에서 약 15%의 난방에너지 소비를 줄일 수 있는 반면, 조절단계를 2단과 4단의 사이로 설정하는 경우에는 외기온도의 변화에 따라 난방에너지 소비량이 달라지나, 난방에너지의 절대적인 소비량이 상대적으로 큰 외기온도가 낮은 경우에는 S-밸브의 난방에너지소비가 작아서 결국 에너지 소비절약의 관점에서는 S-밸브(34°C-Type)를 설치한 경우가 유리할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 에너지·자원기술개발사업(과제번호: 2004-E-BD02-P-03)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, T. W., et al., 2004, A Study on the Optimal Operating Conditions for the Continuous Heating System with SM-Valves in Residential Buildings, Report of Korea Institute of Construction Technology, KICT 2004-023, pp. 37~132.