

바닥난방시스템용 자동온도조절기의 종류 및 특성



안 병 천
경원대학교
건축설비공학과 교수



송 재 엽
경원대학교
건축설비공학과 대학원
박사과정

본란은 자동제어설비협회의(위원장 최전남) 제공으로 이번 호부터 자동제어 시리즈를 게재한다. 그 첫 번째로, 실내의 과다난방을 줄임으로써 에너지 절감은 물론 쾌적성을 좋게 해주는 바닥난방시스템용 자동온도조절기의 종류와 특성이다.

자동온도조절기는 제어방식에 따라 기온감지식과 수온감지식이 있으며, 주거용 공동주택에서 많이 사용하고 있는 ‘바닥난방시스템용 자동온도조절기의 종류 및 특성’을 게재하오니 많은 관심을 바란다.[편집자 주]

I. 머리말

주거용 건물에 있어서 난방시스템은 건축 및 설비기술의 발달에 의해 다양하게 변천하여 왔으며, 지역별 기후특성, 건물 구조체의 열적특성, 생활방식, 난방설비 등이 난방시스템의 선택 및 운용에 중요한 영향을 미치는 인자로 작용하고 있다.

우리나라 주거용 공동주택의 난방시스템은 보급초기에 개별식 보일러(연탄)에 의한 난방방식을 위주로 발전하여 왔으며, 1970년대 이후에는 열원으로 온수를 사용하고 온수배관을 바닥구조체내에 매설하는 온수식 바닥난방 시스템이 주거용 건물의 일반적인 난방시스템으로 정착·보급되었다.

바닥복사 난방시스템은 단순하고, 가격이 저렴하며,

쾌적감이 좋고, 초기투자비용 및 유지비용이 적고, 정속하며, 반송동력이 적다. 그리고 방열면적이 넓기 때문에 복사바닥의 온도는 설정온도보다 단지 몇 도가 높을 뿐이므로 저온의 온수를 이용할 수 있고 다른 열원을 사용하는 난방시스템과 연결할 수도 있는 장점이 있다.

이에 따라 현재 국내 공동주택의 대부분은 온수에 의한 바닥복사 난방시스템을 채택하고 있으며, 열원의 생산방식에 따라 분류하면 세대별로 설치된 보일러에 의해 난방운전을 하는 개별난방방식과 각 단지별 중앙기계실에서 생산된 열원을 열교환기를 거쳐 각 세대에 공급하는 중앙난방방식, 그리고 열병합 발전이나 산업폐열을 이용하여 대단위 공동주택에 24시간 연속적으로 공급하는 지역난방방식 등으로 구분할 수 있다.

이러한 바닥복사 난방방식들에 대하여 실내의 공급유량 및 공급온도에 따라 실내온도를 쾌적한 범위로 유지하기 위한 연구들이 진행되고 있으나 여러 가지 난방방식에 따라 실내온도 변화의 동적 특성과 열량 변화가 각각 다르게 나타나고 있으며 이로 인하여 실내 공간의 에너지 해석에 대하여 더욱 세심한 주의가 필요하게 되었다.

이러한 에너지 절약기술의 한 방편으로써 1980년대 말 동력자원부에서는 건물부문의 에너지사용을 절감하고자 각 공동주택에 자동온도조절기를 의무적으로 설치하도록 법규를 정하였으나 국내의 여건상 자동온도조절기를 생산할 수 있는 기술이나 시설 등이 없어 외국에서 수입하게 되었다. 그러나 외국에서 사용하고 있는 자동온도조절기는 바닥복사 난방시스템을 하고 있는 국내의 실정에는 맞지 않게 되었다.

또한 최근 국내 건축물이 공급자 중심으로부터 수요자 중심으로 변화함으로써 수요자의 다양한 요구에 부응하고, 생활수준의 향상에 따른 쾌적 주거공간 수요 증대에 따라 난방용 자동온도조절기에 대한 수요 및 기술향상의 필요성이 증가하게 되었다. 이에 따라 최근에는 여러 가지 종류의 자동온도조절기 등이 생산되어 유통되고 있으나 자동온도조절기의 제어특성 및 난방열량 제어효과, 에너지절약 성능에 대한 자료 및 연구가 부족한 실정

이다.

따라서 이러한 바닥난방시스템에 대하여 자동온도조절기의 적용에 따른 기온감지식 및 수온감지식 밸브의 제어특성 및 열적특성에 대해서 살펴보고자 한다.

II. 자동온도조절기의 개요

바닥복사 난방시스템을 채택하고 있는 국내의 주택에서는 난방용 에너지를 효과적으로 절감하고 실내온도를 쾌적하게 하기 위한 방안으로써 난방용 온도조절기를 사용하고 있으며, 자동온도조절기는 열매체의 유량을 조절하여 방열량을 제어하고, 그 결과로서 실온을 간접적으로 조절하는 것이므로 밸브 자체의 기능은 일반적인 게이트 밸브나 글로브 밸브 등과 큰 차이가 없으나, 밸브 디스크를 움직여 주는 힘의 원천에 따라 전기와 같은 외부의 동력을 이용하는 전동식과 외부의 동력 없이 내부의 구동소자(형상기억합금 스프링 등)에 의한 비전동식으로 구분된다. 일반적으로 모터에 의하여 움직이는 전동식의 경우 실내 온도조절기, 제어기, 온도조절밸브로 이루어져 있으며, 형상기억합금을 이용한 비전동식의 경우 자동온도조절밸브만으로 구성되어 있다. 또한 자동온도조절기는 제어방법에 따라 개폐식과 비례제어식으로 구분할 수 있다. [그림 1]은 난방용 자동온도조절기의 종류를 보여주고 있으며, [표 1]은 난방용 자동온도조절기의 종류에 따른 특징을 보여주고 있다.

한국산업규격 KS B 6612에 의하면 자동온도조절밸브란 공급수 온도 120℃이하 상용압력 0.98MPa (10Kgf/cm²)이하인 온수를 사용하여 난방하는 방식에서 온수의 양을 자동으로 조절하여 선택한 온도를 유지하는 밸브를 말한다.

전동식 자동온도조절기는 실내온도조절기와 구동부, 제어기로 구성되며 세대내 각 실이나 실내의 공기온도를 감지하여 제어부에서 구동부(온도조절밸브)로 신호를 보내 밸브를 통과하는 난방 온수량을 조절한다. 실내온도

조절기에서 기온을 감지하기 위하여 사용되는 온도센서는 NTC 써미스터란 온도센서를 사용하며, 이는 열에 민감한 저항체라는 의미로 온도변화에 따라 저항값이 극단적으로 크게 변하는 감온 반도체이다. 사용온도범위가 -50~500℃로 일상적인 온도 조절을 필요로 하는 모든 범위에 응용되며, 소형으로 값이 저렴하고 고감도이므로 가전기구나 산업기구의 온도센서로 많이 이용된다. 자동온도조절기의 구동부로는 볼밸브를 이용하는 방식과 밸브 콘을 이용하는 방식, 솔레노이드를 이용하는 방식으로 나누어지며, 밸브 개폐시간은 솔레노이드 방식이 2초 이내로 가장 빠르고 볼밸브가 10초 이내로 그 다음이며, 밸브 콘을 이용하는 방식은 수십 초에서 수분으로 가장 느리다.

형상기억합금을 이용한 비전동식 자동온도조절기는 형상기억합금 소자에 의해 수온을 감지하여 난방 환수온도의 상승에 따라 밸브의 개도를 자력으로 온도에 따라 비례적으로 닫아주고, 환수온도가 하강하게 되면 귀환스프링에 의하여 밸브의 개도를 열리게 하는 방식이다. 장



[그림 1] 난방용 자동온도조절기의 종류

점으로서는 전원이 필요하지 않으며, 열팽창 이용 방식보다 응답속도가 빠르다. 또한 온도조절밸브만으로 이루어져 있어 구조가 단순하고, 작동소자로써 티타늄-니켈(Ti-Ni)계 형상기억합금 스프링을 이용함으로써 내구성이 우수하나 개인선호도에 따라 밸브개도를 조절할 수 있는 장치가 수동이며, 설치하고자 하는 난방시스템의 종류 및 특성에 따라 적절한 제어특성의 부품을 선택해야 한다. 현재 제조되고 있는 수온감지식 자동온도조절

[표 1] 난방용 자동온도조절기의 종류 및 특징

구분	타 력 식			자 력 식	
	전기모터구동식	솔레노이드식	열팽창식	형상기억합금식	모세관식
제어방식	• 기온감지식 • 개폐식	• 기온감지식 • 개폐식	• 기온감지식 • 개폐식	• 수온감지식 • 비례제어식	• 기온감지식 • 비례제어식
작동원리	• 전기모터에 의한 구동	• 전원 Off시에는 스프링에 의해 닫혀 있다가 전기가 투입되면 전자석에 의하여 밸브가 열림	• 전기로 구동부의 히터를 가열하여 봉입된 액체를 열팽창시켜 밸브를 닫고, 냉각되면 열림	• 형상기억합금 소자(스프링)를 이용	• 봉입액체의 열팽창/수축에 의한 벨로우즈 구동
감지속도	수십초 이내	수초 이내	수분 이내	수초 이내	수십분 이내
장점	• 응답속도가 빠름 • 시공이 간편	• 응답속도가 가장 빠름 • 단순구조 • 저가		• 전원이 불필요함 • 빠른 응답속도 • 신뢰성 우수 • 비례제어식	• 전원이 불필요 • 비례제어식
단점	• 전원이 필요함 • 고가	• 수동이 불가능 • 유로가 협소해 압력손실이 크다 • 수압에 약하다.	• 수동이 불가능 • 응답속도가 느림	• 단계조절이 수동	• 왁스 및 파라핀의 재질변화로 인한 불량률이 높음 • 시공이 어려움

밸브의 경우 환수온도에 대한 작동소자로서 형상기억합금으로 만들어진 스프링을 주로 이용하고 있다.

III. 시뮬레이션 방법

바닥난방시스템에 적용되는 자동온도조절기 적용에 따른 열적특성을 살펴보기 위하여 다음과 같이 네 가지 방법으로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다.

먼저 공급온수온도, 공급유량, 외기온도 등의 변수의 변화가 가능한 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 기존 제어방식인 기온감지 On-Off방식과 수온비례제어 및 수온비례제어 방식에 대하여 실내공기온도와 바닥온도변화 특성을 살펴보았다. 그에 따른 제어방식별 특성은 다음 표 2에 표시하였으며, 기온비례제어방식과 수온비례제어방식에 관한 유량의 변화특성 곡선을 그림 2에 나타

내었다.

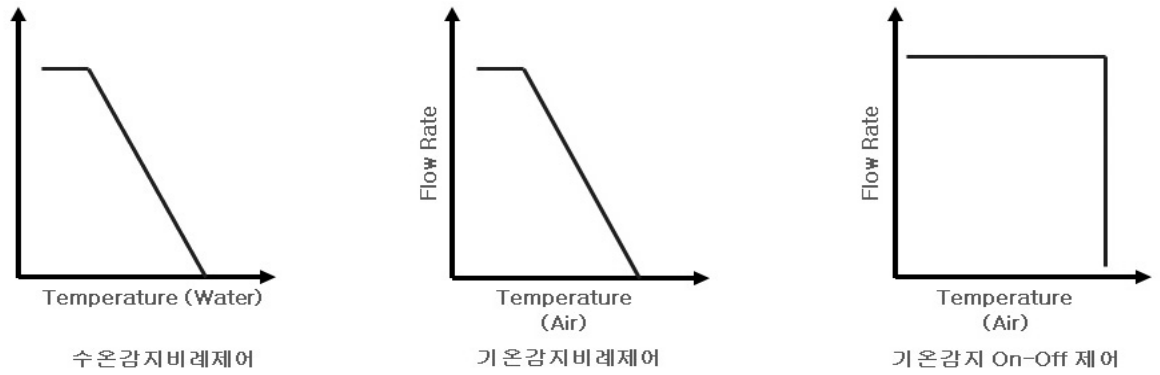
또한 네 가지 제어방식간의 실내 열환경을 비교하기 위한 시뮬레이션 운전조건은 다음과 같다. 외기온도 조건의 경우 1일간 sin그래프 형태로 변화하는 외기온도를 적용하였고, 그에 따른 1일 최고온도와 최저온도를 5℃와 -5℃로 하였으며, 겨울철 서울의 표준외기온도가 12월에 0.2℃임을 감안하여 선정하였다.

공급유량의 경우 보통 하나의 방에 일반적으로 0.6~1.2LPM의 유량이 공급되는 점과 자동온도조절기의 유량조절특성을 감안하여 3LPM으로 선정하였으며, 또한 운전시간은 총 하루 24시간이며 공급온수온도의 기준조건인 50℃는 일반적으로 바닥으로 공급되는 온수온도를 고려하여 선정하였다.

설정온도의 경우는 23℃로 선정하였으며, 수온비례제어방식의 경우 실내공기평균온도가 23℃가 되는 제어설정치를 적용하였다.

[표 2] 제어방식별 특징

구분	방법	설명
Case 1	On/Off 제어	어떠한 제어도 하지 않고 일정한 유량을 계속적으로 공급하는 방법이다.
Case 2	기온 비례제어	실내공기온도를 대상으로 하여 상한치와 하한치를 두어 온도가 상한치 이상이 되면 유량이 중단되고 하한치 이하일 때 최대유량이 공급되며 상한치와 하한치 사이에서는 일차방정식에 따라 유량이 제어되는 방법이다.
Case 3	수온 비례제어	환수온도를 대상으로 하여 상한치와 하한치를 두어 온도가 상한치 이상이 되면 유량이 중단되고 하한치 이하일 때 최대유량이 공급되며 상한치와 하한치 사이에서는 일차방정식에 따라 유량이 제어되는 방법이다.

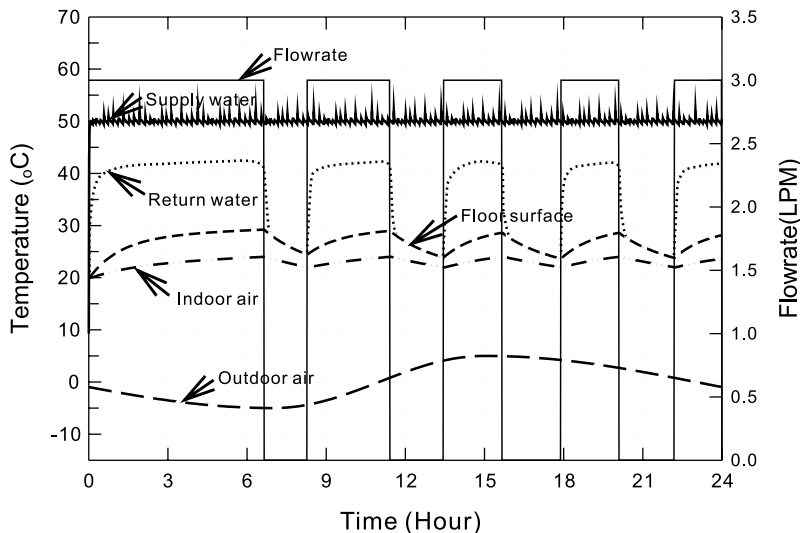


[그림 2] 자동온도조절기의 온도-유량 제어특성

IV. 자동온도조절기에 의한 열특성 분석

그림 3은 실내공기온도 22.5℃와 23.5℃에서 유량공급을 On-Off 시켜 24시간동안의 온도와 유량의 변화를 살펴본 그래프이다.

실내온도의 초기값이 20℃로 설정되어 있어 초기의 운전시간이 길게 나타나나 이후로 On-Off 간격이 1℃로 인하여 운전시간이 짧아졌다. 또한 외기온도의 영향으로 인해 외기온도가 높을 경우보다 낮을 경우에 운전시간은 더 길게 나타나고 비운전시간은 상대적으로 짧게 나타났다. 실내공기온도는 제어에 따라 22.5℃~23.5℃를 진동하였으며 환수온도는 유량공급이 중단되었을 때 하강하여 바닥온도와 거의 비슷한 온도를 나타내었다. 이 경우 환수 및 실내공기의 평균온도값은 34.4℃와 22.8℃로 나타났다. On-Off제어의 경우 외기온도의 변화에 따라 온수공급시간과 중단시간의 차이가 나타났으며 실내공기온도에 따라 제어가 원활히 이루어졌다. 그러나 제어방법으로 인하여 실내공기온도가 일정하게 유지되지 못하고 변동이 나타나므로 실내를 쾌적하게 유지하기 위해서는 적당한 설정치와 차동값의 선정이 매우 중요함을 알 수 있다.



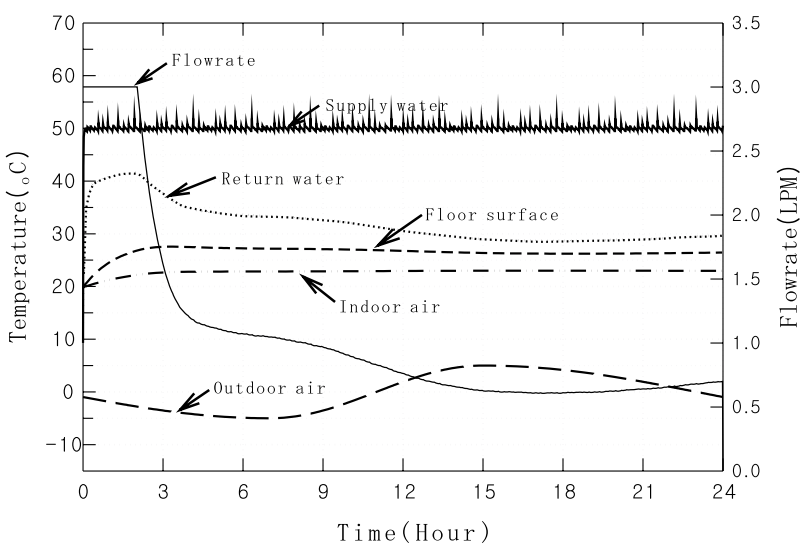
[그림 3] 기온On-Off방식을 적용했을 경우의 온도 및 유량변화 특성

그림 4는 바닥복사 난방시스템에 대하여 기온감지 비례제어식 밸브를 적용하였을 경우의 실내공기온도를 비례제어한 온도 및 유량의 변화를 24시간동안 나타낸 그래프이다. 실내공기온도가 초기 하한값 22.3℃가 되기 이전에는 최대유량이 공급된 후에 유량이 조절되어 실내공기온도를 23℃로 일정하게 유지하는 것을 알 수 있다. 또한 외기온도의 변화에도 유량의 변화를 통해 실내공기온도를 일정하게 유지하였다. 환수온도의 경우 제어에 따라 초기를 제외하고는 다소 완만한 동특성을 나타내며 변화하였고 바닥온도도 초기이후 27.9℃를 일정하게 유지하였다. 이 경우 환수 및 실내공기의 평균온도는 31.8℃, 22.8℃로 나타났다. 이러한 기온 비례제어방식의 경우 외기온도의 변화에도 불구하고 실내온도를 일정하게 유지시키는 제어특성을 나타내었다.

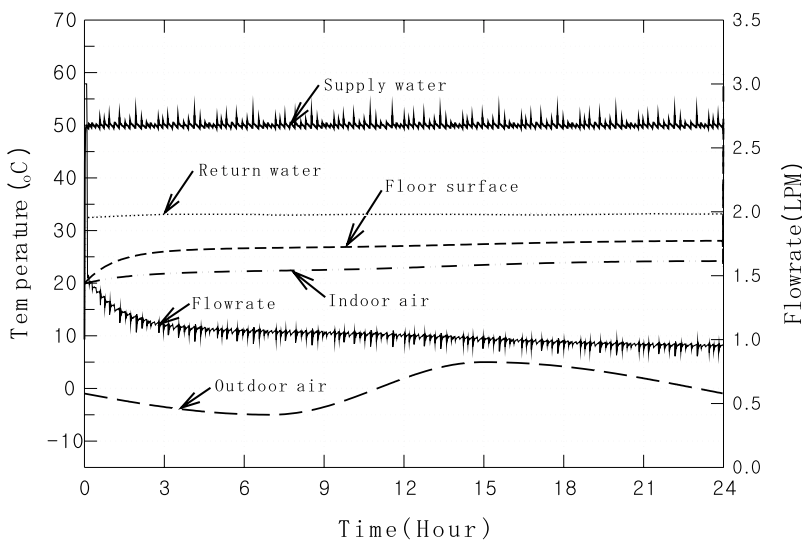
그림 5는 앞의 기온비례제어 방식에서 구해낸 실내평균온도를 22.8℃로 유지하기 위하여 환수온도 설정치의 하한치(30.5℃)와 상한치(34.5℃)를 결정하여 환수온도를 비례제어한 온도 및 유량의 변화를 24시간동안 나타낸 그래프이다. 기온 비례제어 방식과는 달리 실내공기온도는 꾸준한 증가세를 보이며 24.1℃까지 증가하나 환수온도의 경우 초기동특성을 제외하고는 33.1℃로 일정

하게 유지되는 것을 알 수 있다. 또한 유량의 경우 초기동특성을 제외하고는 꾸준히 감소세를 나타내고 있으나 감소폭이 점차 줄어들음을 알 수 있다. 이 경우 환수와 실내공기의 평균온도값은 33℃와 22.8℃로 나타났다.

수온 비례제어의 경우 실내공기온도의 변화에 대응하지 못하나 환수온도를 일정하게 유지시켰으며, 실내공기온도를 쾌적조건으로 생각해 볼 때 실내공기온도를 일정하게 유지시키는 환수온도 설정치의 하한치와 상한치를 찾아내기가 매우 어렵다.



[그림 4] 기온비례제어방식을 적용했을 경우의 온도 및 유량변화 특성



[그림 5] 수온비례제어방식을 적용했을 경우의 온도 및 유량변화 특성

VI. 맺음말

자동온도조절기에 의한 바닥난방 시스템의 열특성은 자동온도조절기의 제어방식에 따라 많은 차이가 나타나

게 된다. 현재 국내에서는 실내공기온도를 감지하여 밸브를 제어하는 기온감지 On/Off 제어방식이 가장 많이 사용되고 있으나 실내 쾌적성 및 에너지 절약 측면에 있어 보다 나은 제어방식을 도입하기 위하여 여러가지 종류의 자동온도조절기들이 계속적으로 보급되고 있다.

일반적인 기온감지식은 실내공기온도를 통해 유량을 제어하기 때문에 외기온도 변화에도 불구하고 실내공기온도를 쾌적한 범위로 유지하기가 수월한 장점이 있으나 실내온도조절기와 구동부, 제어부로 나누어져 있어 설치가 불리하다. 이에 반해 수온감지식은 설치의 간편성을 가지고 있으나 환수온도를 통해 유량을 제어한다는 특성에 따라 외기부하나 여러 다른 변수들의 변화에 대해 실내공기온도를 일정하게 유지시키기 어려운 단점이 있다.

On/Off 제어방식의 경우 기온감지식의 대부분이며, 실내공기온도를 일정하게 유지시킬 수는 있으나 밸브수명을 고려한 차동값의 설정으로 인하여 바닥표면이나 실내공기온도의 최대 최소온도차가 크게 나타나 실내쾌적성을 저해하는 특성을 지니고 있다.

바닥난방시스템용 자동온도조절기는 실내온도의 과다난방을 줄여주어 에너지를 절감할 수 있고 실내쾌적성을

을 좋게 해준다는 점에서 고효율 기자재로서 많은 종류의 온도조절기가 개발되고 있으나 각 제어방식의 장단점을 확실히 고찰하고 지속적인 연구를 통해 더욱 효율적인 자동온도조절기의 제어방식을 개발하는 것이 중요한 사안이 될 것이다. ●