

## 온수온도의 자동제어 현황

### The status of the automatic control systems for ONDOL

송 국 섭  
G. S. Song  
부천전문대학 건축과



- 1957년생
- 설비설계와 열성능 수치해석에 관심을 가지고 있다.

#### 1. 머리말

우리나라의 주거용 건물은 역사이래 바닥을 이용한 복사난방 방식을 이용하고 있다. 기술적 요구와 사회적 요구에 따라서 변형이 이루어져 오늘날 이용되는 온수온돌로 발전하였다. 임산 연료를 에너지원으로 할 때나 연탄을 사용할 때, 건물은 단열되어 있지 않아서 대부분 추위에 떨었고 바닥은 높은 온도로 유지되어야 추위로 부터겨우 보호 받을 수 있었다. 1970년대 2차례의 석유 파동 이후 건물의 단열이 의무화되었고, 대량의 공동 주택 보급과 함께 건물의 열성능은 전반적으로 향상되었으며 발코니에 알미늄 샷시를 설치함으로써 고단열 건물이 되어 바닥은 예전처럼 높은 온도가 아니어도 생활에 지장은 없게 되었으며, 오히려 과열현상이 발생하여 에너지가 낭비되고 있는 형편이다. 무조건 바닥의 온도가 높아야하는 온돌에서 에너지의 소모가 적고 쾌적성이 높은 온돌이 될 수 있도록 제어의 기술이 필요하게 되었다.

제어에 관한 기술은 구미 선진국에서 공조 시스템에 적용하기 위해 개발되었으며, 공기는 비열이 작고 온도의 변동이 심하여 아주 짧은 시간에 목표를 달성하여야 하는 특징을 갖고 있다.

반면에 온돌의 경우는 공기와는 달리 열용량이 크고 시간지연효과가 있기 때문에 부하에 순간 순간 대응하는 공기방식과 차이를 갖고있다. 또한 우리나라의 생활 문화는 바닥을 이용하는 좌식 생활이 이루어져 구미의 제어 방식을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 즉 구미의 생활은 입식이므로 인체가 공기에 주로 둘러 쌓여 있고 우리의 경우는 좌식 위주의 생활이므로 인체의 상당부분이 바닥표면에 접촉되어 있다. 따라서 제어 포인트와 적용온도의 범위도 구미와는 근본적으로 차이가 발생한다. 그러나 국내의 제어 기술은 외국의 기술을 받아들이고 있는 형편이고 시행착오를 많이 하고 있어서 올바른 접근이 이루어져야 우리의 생활문화와 특성을 반영한 제어 시스템을 구축할 수 있다.

본 고에서는 온돌 제어에 영향을 미치는 온열 쾌적감 평가 및 제어점의 결정, 설정 온도의 범위 등을 알아보고 국내의 온돌제어의 다양한 방법과 특성에 대하여 살펴보고자 한다.

#### 2. 인체의 열조절과 온열 쾌적감

제어의 목적은 사용자에게 쾌적한 온열환경을 조성하는 것이며 동시에 에너지의 소모를 줄이는

것이므로 온수온돌의 사용자 즉 인간의 온열쾌적감에 대한 올바른 이해로부터 출발하여야 제어의 목표를 달성할 수 있다. 인체 내부의 온도는  $36.5^{\circ}\text{C}$  이고 이 열은 신진대사(metabolism)에 의하여 생산된다. 인체로 부터의 열손실은 현열과 잠열로 구분되는데, 피부표면이나 의복 호흡에서 온도차이로 인하여 발생하는 것이 현열손실이고, 잠열손실은 땀에 의한 증발손실과 호흡에 의한 수증기 때문에 발생한다. 인체로 부터의 열손실은 인체와 접한 공기 또는 바닥의 온도와 평균 복사온도에 영향을 받으며 입고있는 옷에 닿는 기류의 속도에 따라 영향을 받는다. 수증기 분압은 적은 영향을 미치지만 여름철에는 습도의 영향이 중요한 요소로 작용한다. 그늘에 있는 나체 상태에서는 기온  $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 50% 내외에서 쾌적감을 느낀다. 공기의 온도가 이보다 높으면 많은 양의 피를 피부표면으로 보내어 피부의 온도를 높여 열손실을 일으키며, 땀을 증발시켜 열손실을 증가시킨다. 이 반응이 클 경우 인체는 불쾌감을 느낀다.

공기 또는 바닥 표면의 온도가 떨어지는 경우 피부표면으로 보내는 혈액의 양을 줄임으로서 피부의 온도를 낮추고 땀의 발생을 막아 열손실을 줄이려한다. 소름은 피부의 작은 근육이 수축하여 털을 곧추세우므로써 표면의 열손실을 줄이고 공기의 접촉을 줄인다. 몸에 털이 많았던 옛 조상들에게는 더욱 효과적이었다. 우리는 추위에 대응하기 위하여 의복을 이용하여 왔다. 옷을 입

고 있을 때 열손실을 제한하여 공기의 온도가  $20\sim 26^{\circ}\text{C}$  일 때 쾌적감을 느끼게 한다. 의복은 온도가 하강하면 더욱 많은 양을 요구하게 되며 일반적으로 쾌적하지 못한 것으로 평가된다. 의복을 통한 열손실이 지나치게 크면 온도조절을 위해 와들와들 떨므로서 많은 양의 열을 생산한다.

인체가 쾌적감을 느끼는지 불쾌적한지를 결정하는 인자로는 개인적변수(활동량, 착의량, 성별, 나이)와 물리적변수(기온, 습도, 기류, 복사온도)에 의하여 결정된다고 알려져 있다. 이중 가장 큰 영향을 미치는 것이 기온이므로, 대부분의 제어 포인트는 인체와 접한 실내 기온을 기준으로 삼는다. 우리나라의 좌식 주거 문화에서는 실내공기 뿐만 아니라 바닥 표면의 온도도 인체와 직접 전도에 의한 열교환이 이루어지므로 온열 쾌적감에 실내 공기 만큼 영향을 미친다.

입식 생활을 하는 구미에서는 공기와 인체와의 대류 열전달을 중심으로 많은 연구가 이루어졌다. Hill(1916), Houghton(1926), Vernon(1930), Hipent(1934), Winslow(1936~1941), Nelson(1947), Aikas(1963), Gagge(1965), Corrol(1966), Fanger(1967), Mitchell(1969), Timbal(1974) 등이 인체의 대류 열전달에 관여한 학자 들이다. 덴마크의 P. O. Fanger는 1970년에 PMV(예상평균 온열감)을 발표하였고 1977년에 Gagge는 신 유효 온도를 발표하였다. 이들은 모두 입식 생활이 이



그림 1 생활자세와 열전달

표 1 바닥 재료별 쾌감에 대한 온도의 한계 (맨발상태)

바닥재 (비표면마감)	접촉계수 Kcal/m <sup>2</sup> hr <sup>0.5</sup> °C	바닥온도의 쾌적범위	고 통 의 한 계	
			저 온 측	고 온 측
철 판	180	29-32	14	45
콘 크 리 트	25	27-34	4	54
리 놀 림, 고무	9	24-35	-12	67
참 나 무	7	22-35	-20	74
소 나 무	4	17-39	-53	84
코 르 크	2	5-42	-140	150

출처 : P.O. Fanger, Thermal Comfort, Danish Technical Press Copenhagen, 1970, p102

표 2 온도의 쾌적환경 범위

( ) 안은 최적인

연구자	쾌적기온 (°C)	쾌적바닥온도 (°C)	발표년월
공성훈, 손장열	혹구온 20.2-23.2 (21.9)	28.1 - 35.9 (31)	1988년 12월
박방열	기온 20 - 26	28 - 30	1990년 6월
이건영		25 - 29	1985년 10월
백용규, 손장열외	기온 16.5 - 20.9		1989년 6월
공성훈, 손장열외	기온(21.2)혹구(21.8)	(30.8)	1988년 6월
손장열, 전경배외	기온 17.5 - 19.4 (18.4)		1988년 6월
손장열, 곤성훈외	기온 17.5 - 24.5	30.6 - 38.8	1985년 9월

출처 : 이언구, 온도의 열환경, 건축에너지 위원회 1990년도 특별 강연회 온돌 세미나, 대한 건축학회, 1990.9.14, p68

루어 지는 구미 인을 대상으로 행한 실험이며 제어의 기준으로 활용하고 있다.

우리나라에서는 신체의 많은 부분이 바닥표면과 직접 접촉되어 생활하므로 전도에 의한 열전달이 대류에 의한 열전달 못지 않게 중요하다. 다음 표 1은 맨발에 접촉한 바닥 표면의 재료에 따른 쾌감 온도를 나타내고 있다. 입식 생활이 이루어지는 외국에서는 전도에 의한 열전달이 발바닥에서 이루어지므로 인체 접촉면에 관련된 연구가 소규모로 진행되었다.

한편 우리나라에서는 온돌난방에서 공기의 영향과 바닥의 표면온도가 온열 쾌적감에 영향을 크게 미치므로 이 분야의 연구가 꾸준히 진행되었다.

쾌적 기온은 ASHRAE 기준 20.1°C~23.5°C 범위와 크게 다르지 않음을 알 수 있고, 바닥 표

면온도는 표 1의 콘크리트 바닥이 27°C~34°C 범위이고 표 2에서는 25°C~38.8°C로 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 바닥온도는 25°C 이하로 낮아질 경우 좌식 생활을 하는 인체에서는 불쾌감이 생기므로 공기의 온도제어와 마찬가지로 바닥표면도 제어의 대상에 포함시켜야 한다.

입식생활을 하는 유럽의 경우 바닥의 최고 온도는 표3과 같이 규정하고 있다. 유럽의 경우는 우리와 같은 좌식 생활이 아니므로 바닥의 최고 온도만을 규정하여 이 온도보다 낮은 상태로 유지되도록 규정하고 있다.

온수 온돌 난방과 방열기를 이용한 난방방식과의 쾌적온도에 관한 연구에 의하면 방열기의 경

표 3 유럽의 바닥온도 제한

작업내용	최고 바닥온도
선자세에서 행해지는 작업공간	27°C 이하
거실과 사무실	29°C 이하
현관 복도 홀	30°C 이하
침실과 실내 수영장	33°C 이하
가끔사용하는 장소나 페리미터 존	35°C 이하

우는 바닥의 온도가 18~20°C에서도 쾌적한 것으로 나타나있다. 방열기를 이용한 입식 생활에서는 실내기온과 바닥표면의 쾌적온도 범위가 크게 다르지 않아서 제어 포인트를 실내기온만으로 설정하여도 무방하나, 콘크리트로 마감된 온수온도의 경우는 실내기온과 바닥온도의 쾌적 범위가 달라 제어 포인트를 실내 공기만으로 설정할 경우 만족한 쾌적감을 얻기 어렵다고 보인다. 따라서 실내공기와 바닥표면 온도가 동시에 제어되어야 한다.

### 3. 온수온도의 각종 제어 방식과 특성

제어에 관한 일반적인 방법에는 ① ON/OFF 제어, ② Step 제어, ③ 비례제어(propotional control), ④ 보상제어(compensated control), ⑤ PI 제어, ⑥ PID제어, ⑦ 최적제어(adaptive control) 등이 있다. 국내의 온도에 관한 제어 현황을 살펴보고 각각의 특성을 나타내고자 한다.

#### 3.1 국내현황

국내에서 온수온도는 공동주택과 단독주택의

주거용 건물에서 이용되는데, 공동주택에서 사용하는 열원방식은 단독보일러 설치에 의한 개별난방과, 중앙기계실에서 공급되는 중앙난방, 그리고 대규모 단지의 지역난방으로 구분할 수 있다. 온수온도의 제어 방식은 열원의 공급방식에 따라 1차 열원 공급시설에서의 제어, 2차 열교환기가 설치된 기계실에서의 제어와, 3차 최종 수용가에서의 제어로 분류될 수 있다.

① 1차 기계실에서의 제어 : 지역난방인 경우, 제어는 지역난방공사의 열생산 및 열공급 온도, 공급 유압이 되며 중앙난방인 경우 중온수 생산 및 중간 기계실의 온수 분배가 제어의 대상이 된다. 외기온 보상운전 시스템이 설치된 곳이 많으나 실제 운전해 활용되지 않는 곳이 많으며 자체적으로 작성된 외기온 보상운전프로그램으로 대체하고 있는 경우가 많다.

② 2차 기계실 : 1차측에서 생산된 중온수를 열교환기에 의하여 저온수로 변환 시킨다. 온수를 제어하는 방법은 열교환기 자체는 온수제어 능력이 없으므로 실질적으로는 1차측에서 열교환기에 공급되는 유량을 전동밸브에 의해 조절하므로써 2차측에서 생산되는 온수온도를 제어한다.

③ 세대내의 제어 : 각 세대에서는 2차측에서 공급된 공급온수를 각세대에 설치한 실내 온도 조절기에 의해 주 밸브를 ON/OFF 하는 방법으로 목표 실온을 유지한다.

④ 개별난방제어 : 실내에 설치된 온도 조절기는 보일러를 ON/OFF 한다. 설정온도에 미달하면 보일러에 점화되고(버너제어) 펌프가 작동된다(펌프제어).

국내에서 일반적으로 이용되는 보일러와 주 밸브의 ON/OFF제어는 온도가 시간지연효과(time

표 4 온돌난방과 방열기 난방의 쾌적온도 범위

난방방식	실내기온	바닥표면온도	비 고
온수온돌	18 - 22°C	27 - 33°C	리놀륨 장판 마감
방열기	18 - 20°C	18 - 20°C	카펫트 마감

출처 : 이연구외, 공동주택의 최적난방시스템 개발에 관한 연구, 1차년도 보고서, 중앙대학교 생산공학 연구소, 현대산업개발(주), 기술연구소, 1996년 3월

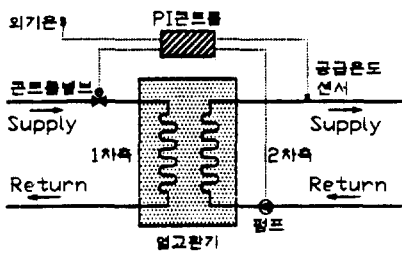


그림 2 2차 기계실의 열교환

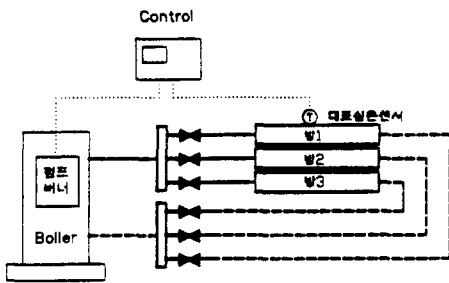
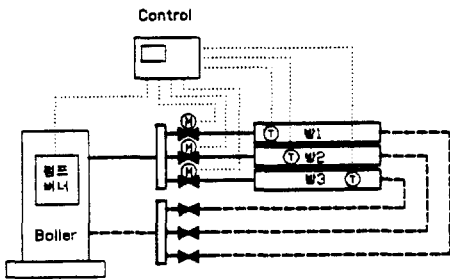
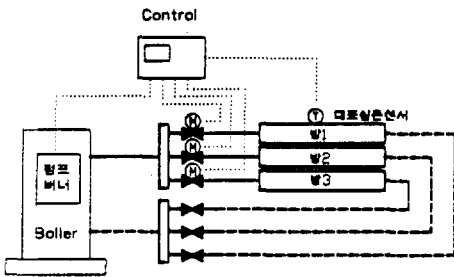


그림 3 개별난방의 보일러 제어



(a) 중앙제어



(b) 개별제어

그림 4 중소기업체에서 제안한 온돌제어 시스템

lag)가 발생하는 축열식이라는 점 때문에 온도진폭이 발생하고, 우리나라의 생활방식이 좌식인 점을 감안하지 않고 실내공기만을 제어 포인트로 정했기 때문에 쾌적한 상태를 유지할 수 없다. 또한 남측의 거실과 침실은 발코니의 알미늄 샤워 설치로 초단열 상태인 반면, 북측의 침실은 일사의 영향을 받지 못함에도 외기에 노출되어 실별 부하 평형이 이루어 지지 못하고 있다. 단지 헤더에 의하여 계통이 분리되어 있을 뿐 준별 자동제어는 되지 않는 실정이다.

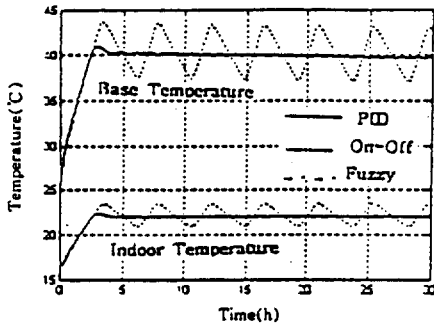
이와같은 문제를 해결하기 위하여 산업체와 연구소 학계에서는 연구와 실험을 진행하여 개선하려는 노력을 보여왔다.

그림 4는 중소 업체에서 제안한 준별 제어가 가능하도록 시스템을 구성한 것이다. 주제어장치에서 준별 제어가 가능하도록 유량 제어밸브를 설치하여 시스템을 구성한 것이다. 차압제어가 추가되면 더욱 좋을 것으로 사료된다. 유량밸브의 열리는 정도에 따라 정확히 유량이 통제되지 않고 유속과 압력이 변하여 원활한 제어효과를 얻기 어려울 수도 있다.

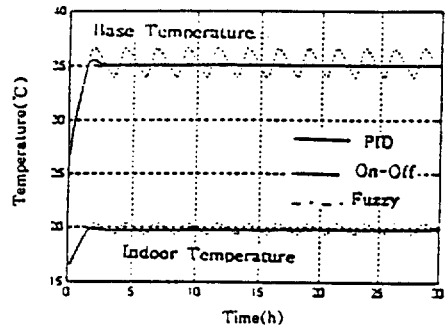
학계의 온돌 제어 연구로는 조성환, 신기식, 신찬배, 이재원, 이승복 등이 ON/OFF 제어, PI 제어, PID 제어, FUZZY 제어, 단위열량 제어, 공급온수 제어 등에 관하여 실험과 시뮬레이션 연구를 진행 하였다. ON/OFF 제어가 성능이 나쁘고 나머지 제어는 쾌적환경과 에너지 절약적이라는 연구 결과를 도출하였다. 대체적으로 단위 공간을 대상으로 실험하였으며 준별제어 방법과 바닥온도와 실내기온 동시 제어에 대해서는 뚜렷한 결론을 내리지 못하고 있다.

서항석등의 연구에 의하면 ON/OFF 제어와 PID 제어, 퍼지제어에 대하여 비교하였다. 연구 결과는 ON/OFF 제어가 바닥온도와 실내온도의 변동이 크며, PID 제어와 FUZZY 제어는 바닥과 기온이 안정된 상태로 비슷한 결과를 나타내었다. 제어점을 바닥과 실내기온으로 설정한 경우 특성이 다르게 나타나 동시 제어가 이루어져야 할것으로 결론짓고 있다.

이승복은 건물구조체는 외기에 대하여 Time-Lag (시간지연) 효과가 있고, 온돌은 공급 온

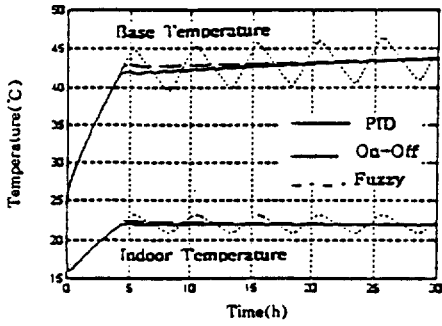


(a) 실내기온 제어

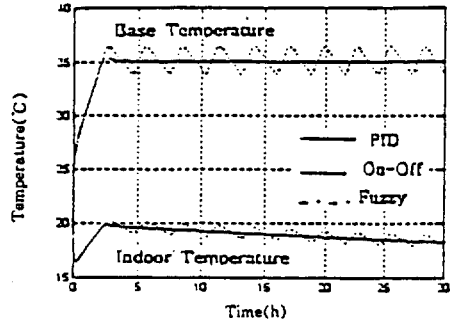


(b) 바닥온도 제어

그림 5 외기온이 일정한 경우의 온도분포(서항석 등의 연구)

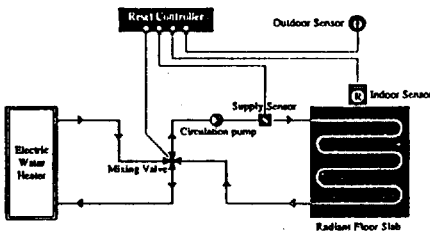


(a) 실내기온 제어

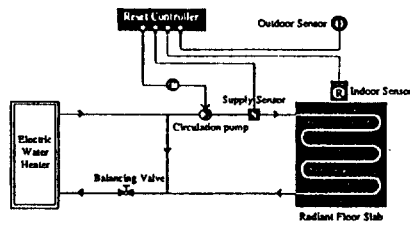


(b) 바닥온도 제어

그림 6 외기온이 변동할 경우의 온도분포(서항석 등의 연구)



(a) 공급온수 온도제어



(b) 단위열량제어

그림 7 이승복의 온돌의 외기보상 제어

수의 온도에 따른 시간지연효과가 있기 때문에 외기 보상제어와 실내기온을 제어 포인트로 설정한 실험 연구를 진행하였다.

연구의 결과 외기보상제어의 원리가 온돌시스템에 적용될 수 있었으며, 보상비율이 건물의 특성에 적합하게 설정되어야 함을 지적하였다. 또한 외기보상 자체만으로 구성된 Forward System 제어는 과열이나 저열 현상을 나타내므로 실내기온에 대한 Feedback 기능이 추가되어야 한다고 결론짓고 있다.

### 3.2 외국의 현황

외국에서는 대부분의 주거용 건물이 방열기나 베이스보드 히터, 또는 온풍기 등의 공기를 이용한 대류 난방이 주류를 이루고 있으며 국내와 같이 바닥 복사난방이 일반적으로 널리 보급되어 있지 못하다. 북미 지역과 유럽의 일부 국가에서 제한적으로 사용되고 있으나 보급은 조금씩 증가되고 있는 추세이다. 공기를 난방매체로 이용하는 경우에는 비열이 작아서 제어는 정밀하게 이루어져야 하기 때문에 선진외국에서는 일찍부터 이분야의 기술이 발달하였다. 미국의 ASHRAE에 발표된 온돌 제어에 관한 연구와 독일의 업체에서 생산되고 있는 바닥 난방제어에 관하여 국내의 경우와 비교 기술하였다.

ASHRAE에 발표된 복사난방의 제어에 관한 연구는 대부분 외기보상제어 방식을 일반적으로 택하고 있다. C.R. MacCluer와 D.R. Gibbs등이 외기보상제어에 관한 알고리즘을 개발하여 실험에 이용하고 Simulation하여 논리적체계를 완성하였다. Gibbs는 여러 존이 설치된 바닥 난방의 제어를 Simulation 하였는데, 우리나라의 경우 부하조건이 다른 여러실을 제어하는 방법으로 참고하면 좋을 것이다.

#### (1) 존밸브를 이용한 온수량제어

존별로 유량을 제어하는 밸브를 설치하여 부하에 대응하는 시스템이다. 특징을 기술하면 다음과 같다.

##### ① 장점

- 배관과 배선이 용이하고 경제적이다.
- 존이 적고 바닥이 한종류의 재료로 마감되면 배관의 균형을 잡아줄 필요가 없다. 바

닥 마감이 바뀌는 경우에도 자동으로 조절된다.

- 비사용공간은 사용공간보다 낮은 온도로 유지될 수 있다.
- 실온과 바닥온도는 잘 조절된다.
- 존이 적은 경우 제어에 사용되는 초기 투자비는 적다.

##### ② 단점

- 환수되는 물의 온도가 낮기 때문에 보일러 작동에 무리가 생기고 부식이 발생하여 약 20% 정도 수명을 단축시킬 수 있다.
- 하나의 존밸브만 열린 경우와 모든밸브가 열린 경우 유량차이가 크게 발생한다. 이와같은 현상은 펌프에 부담을 주고, 소음의 발생, 부품의 파손이 생길 수 있다.
- 베이스보드 방열기나 급탕설비, 또는 다른 기구가 설치된 경우, 바닥난방에서 요구하는 것보다 더 높은 온도로 공급하여야 한다. 높은 온수의 공급은 기기에 무리를 주고, 존밸브가 짧은시간만 열리도록 한다. 결과적으로 온도분포가 양호하지 못하다.
- 열공급은 실내기온에 의한 온도조절기 조건만 만족시킨다. 실생활에서 외기에 면한 창호가 개방되면 에너지 낭비가 생기고 바닥온도가 높게 된다. 이는 건강하지 못한 건물이 된다.

#### (2) 혼합밸브를 이용한 외기보상제어

외기의 변동에 따라 혼합밸브를 이용하여 온수의 온도를 조절하는 Forward 제어 시스템이다.

##### ① 장점

- 단순한 비례제어임에도, 외기보상비율이 적절하면, 실내기온과 온도차이가 적은 온수의 공급으로 충분하다. 실온의 피드백(feedback) 기능이 추가되면 보상비율이 잘못되어도 수정이 용이하다.
- 보일러는 차가운 환수온도로 부터 보호되어 작동에 지장을 받지 않는다. 보일러 작동온도는 열교환기에 가스연소의 응축을 방지할 수 있는 충분한 온도가 될 수 있다. 급탕과 그 이외의 온수공급장치에도 더운 물을 공급할 수 있다.
- 온수는 일정한 비율로 지속적으로 순환되

어, 존을 통한 열의 공급은 충분하다. 따라서 펌프에 주는 충격을 최소로 하고 소음을 줄일 수 있으며 밸브와 배관의 고장을 줄일 수 있다.

- 열의 공급은 외기온에 따라 결정된다. 외기에 면한 창호를 열어두면 존은 창호가 닫힌 곳보다 많은 열을 받을 수 없다.
- 실온과 바닥온도의 조절은 그림 8 모델보다 조금 우수하다.

② 단점

- 한개의 존으로 처리되어, 사용되지 않는 존은 사용되는 존보다 낮은 온도로 유지될 수 없다.
- 배관 코일은 균형(balance)을 잡을 필요가 있다. 또한 바닥마감이 바뀌면 변화에 대한 보상을 위해서 설정된 값을 다시 재조정할 필요가 있을 것이다.
- 제어장치와 펌프의 추가로 인하여 그림 8 시스템보다 초기 투자비가 비싸다.

(3) 혼합밸브와 존밸브를 이용한 외기보상 제어 존별로 유량을 제어하는 밸브와 혼합밸브를 이용한 시스템이다.

① 장점

- 사용되지 않는 존은 사용공간보다 낮은 온도로 유지될 수 있다.
- 실온에 대한 피드백(feedback) 기능이 있을 때 실온과 바닥온도의 조절은 어떤 시스템보다도 우수하다.

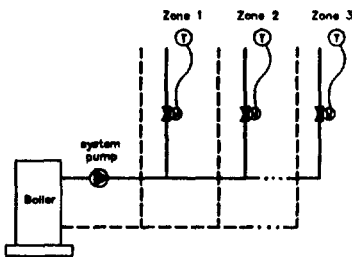


그림 8 존밸브를 이용한 공급온수량 제어

- 존밸브는 그림 8 시스템보다 오래 열린다. 따라서 물의 순환은 더욱 지속되고 각 존을 통한 열의 분배는 그림 8 시스템보다 좋지만 그림 9 시스템보다는 좋지 않다.
- 코일 배관은 첫번째 시스템보다 밸런스를 잡을 필요가 없다. 또한 바닥마감이 바뀌면 변화에 대하여 자동적으로 조절될 수 있다. 필요하면 공급온수를 높여서 가능하다.
- 열의 공급은 외기온에 따라 결정된다. 외기에 면한 창호가 열려있으면, 창호가 닫혀있는 존보다 더 열을 공급받지 못한다.
- 보일러는 차가운 환수로 부터 보호되어 작동에 지장이 없다. 보일러 작동온도는 열교환기에 공급되는 가스연소의 응축 온도보다 충분히 높게 된다. 베이스보드 히터나 급탕 기타 기구에도 충분히 더운물을 공급할 수 있다. 동시에 바닥난방에 공급되는 물은 필요로 하는 것 만큼 더운 온도로 될 수 있다.

② 단점

다른 시스템에 비하여 투자비가 높다.

(4) 독일의 R사에서 제안한 시스템

다음 그림 10은 독일의 R 사에서 개발하여 보급되고 있는 바닥 난방의 제어 시스템이다. 이 방식은 ASHRAE에 발표된 논문에서 제안했던 외기 보상제어를 기본으로하고 있으며 공급온수 온도를 제어하고 있다. 열량의 제어는 3방향 혼합

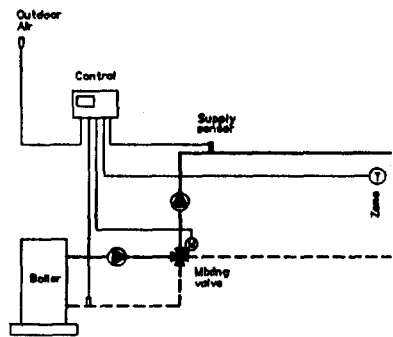


그림 9 외기보상에 의한 혼합밸브 이용 공급온수의 제어



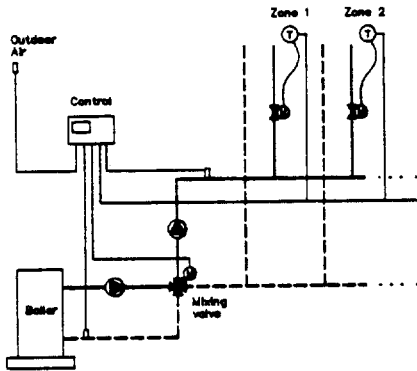


그림 10 존밸브를 이용한 외기보상 제어

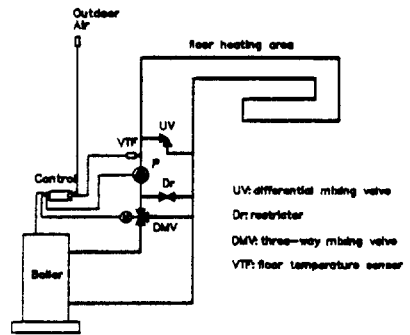


그림 11 독일의 R사에서 제안한 바닥난방 제어 시스템

밸브를 이용하고 있으며 외기의 조건에 따른 보상비율에 따라 밸브에 의하여 공급온도를 결정하게 된다. 차압이 발생하는 경우 보일러와 배관에 무리를 주어 수명을 단축 시키고 소음을 발생하는 원인을 제공하므로 이를 해결하기 위하여 차압제어 밸브를 설치하였다.

또한 혼합 밸브의 제어 성능을 높이기 위하여 고정된 바이패스 밸브(Dr)를 설치하여 혼합밸브의 능력을 충분히 발휘할 수 있도록 하였다.

이상 살펴본 외국의 바닥 난방 제어 방식은 대부분 외기 보상제어를 일반적으로 적용하고 있었다. 보상 비율도 각 국가의 외기상태와 건물조건에 따라 원칙이 제시되고 실내 기온이 피드백 제어되어 입식 생활을 하고 있는 서구의 생활에 적절한 방식으로 접근되어 있다. 우리나라에 적용할 경우에는 우리 실정에 적합한 보상비율을 찾아야 할 것이며, 바닥의 쾌적온도 조건을 수용할 수 있는 제어 시스템이 추가되어야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 온수온돌 제어 시뮬레이션

우리나라에서 온수온돌의 해석은 열성능 평가 위주로 진행되어 온돌의 성능을 개선하는 데에 활용되었다. 온수온돌의 제어 내용을 포함한 해석은 시작 단계에 이르고 있으며, 외국의 경우에

도 자동제어에 따른 에너지해석 시뮬레이션 연구는 몇몇 연구자들에 의하여 최근에 와서야 활발히 논의되고 있다.

온수온돌의 경우는 구조체에 열을 축열하는 복사 난방방식이어서 구미에서 이용되는 공기식 난방에 적용된 기술을 그대로 이용할 수 없는 형편이다. 온돌에서 소모되는 에너지량을 실질적으로 해석하기 위해서는 제어 특성이 고려된 해석 기법이 필요하다. 건물에서 소모되는 에너지량을 해석하는 일반적인 방법은 매시간마다 기상조건에 따라 발생하는 건물부하(loads model)를 계산하고 이에 필요한 시스템 부하(system models), 열원부하(plant model)를 순차적으로 계산하여 일정기간동안의 소요 부하를 산정한다. 대표적인 에너지 해석 프로그램인 미국의 DOE 시리즈나 일본의 HASP/ACLD 시리즈 등은 응답계수법을 기본으로하여 에너지 소모량을 해석하였다. 응답계수법은 계산의 단위시간을 1시간 간격(hour-by-hour)으로 정하고 있기 때문에 실제의 상황과는 다른 결과를 나타낸다. 시간단위의 해석은 기존의 정상상태 해석과 크게 다를 바 없다는 비판이 제기되고 새로운 해석법을 요구하게 되었다. 설비기기의 제어동작은 한시간 동안에도 수십번씩 동작과 정지를 반복하며, 공급에너지량을 수시로 바꾸고 있다. 또한 운전자의 운전 습관과 설비기기에 부가되는 에너지 절

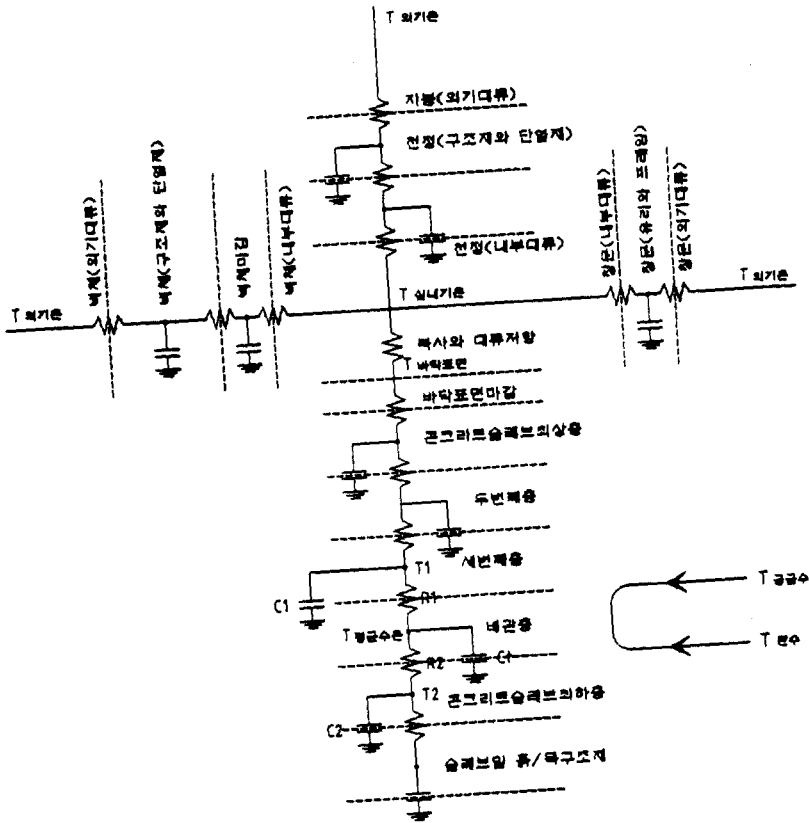


그림 12 바닥난방의 해석에 이용된 건물 열회로망

약도구들의 종류와 특징에도 영향을 받는 것으로 파악되었다. 이와같은 실질적인 에너지 소모상태를 파악하고 제어하는 기술이 EMCS(energy management control system)인 것이다. EMCS 기술을 뒷받침할 수 있는 해석법은 매 시간단위의 해석(hour-by-hour)이 아니라 아주 짧은 단위시간 즉 분단위(minute-by-minute) 해석 또는 초단위(second-by-second) 해석이 필요하다. 이와같은 해석법을 미소시간단위 해석법(small time step simulation) 이라고 한다.

일반 건물의 제어 특성을 고려한 해석에 관련한 사람들은 Kelly(1984), Shavit(1977), Hacker(1985), Benton(1982), May(1985), Wise(1984) 등으로 건축물의 열특성과 설비기기의 제어특성을 포함한 해석 기술을 발표하였다. 온도의 제어 특성을 고려한 해석에 관련한 학

자로는 MacCluer, Gibbs 등으로 온도의 열해석 시뮬레이션을 통하여 성능향상을 위하여 노력하였는데 Transfer Function을 이용하였고, 건물의 열회로망을 이용하여 바닥 난방을 시뮬레이션 하였다.

5. 맺음말

우리나라에서 오랜 역사 동안 사용된 온돌은 주거용 건물의 대표적 난방방식으로서 사회적 요구와 기술적 변화에 따라서 조금씩 변형되어 온돌의 온수온돌로 발전하였다. 본 고에서는 온돌제어에 영향을 미치는 좌식생활에서의 온열쾌적적 영향 인자와 쾌적 범위에 대하여 살펴 보았고 국내의 바닥난방의 제어 시스템에 대하여 각 특성을 살펴보았으며, 제어 상태에 따른 에너지

모실태와 온열감을 평가할 수 있는 해석방법에 대하여 살펴 보았다. 본 고의 내용을 정리하면 다음과 같다.

### 참 고 문 헌

- ① 우리나라의 경우 좌식 생활이 이루어지고 있어서 인체와 바닥면에 의한 전도 효과는 실내공기의 대류에 의한 효과 만큼 온열 쾌적감에 영향을 미치는 중요한 요소가 되어 제어 대상에 포함 시켜야 하며 최소 25℃ 이상 유지될 수 있어야 한다. 실내 기온은 ASHRAE에서 규정하고 있는 20℃~24℃ 범위를 유지시키면 무리가 없을 것으로 사료된다.
- ② 현재의 주거용 건물에 보급된 제어 방식은 ON/OFF 제어방식으로 보일러나 공급 주밸브를 제어하여 온도로 조절이 되지 않으며, 에너지의 낭비가 발생하고 온열 쾌적감을 높일 수 없어서 추가적인 제어 시스템의 설치가 요구된다. PID제어, FUZZY 제어, 열량제어 등은 온수 온돌의 성능을 높이고 ON/OFF 제어의 문제점 해결이 가능하며, 성능상에서 상호간 뚜렷한 차이가 없으므로 온수온돌의 제어 이론은 특정한 방법을 고집할 필요는 없다.
- ③ 외기 보상제어는 건물 조건에 맞는 보상비율이 결정되어야 하며, 실내 온도 피드백 제어 기능이 추가되는 것이 안전하다.
- ④ 부하 조건과 사용조건이 다른실을 별도로 조닝하여 각각 제어하여야 에너지 소모와 쾌적감을 높일 수 있다. 이 때 차압제어를 하여야 배관과 보일러 펌프의 수명을 연장시키고 소음을 줄일 수 있다.
- ⑤ 온수온돌의 제어에 따른 성능을 해석하는데에는 기존의 시간단위(hour by hour) 해석법을 적용할 수 없고 분단위(minute by minute) 또는 초단위(second by second)의 해석법을 적용하여 순간 순간 기기의 동작에 따른 공급열량의 제어 내용을 포함시켜 해석하여야 한다.

1. 조성환, 신기식, 원승호, 1995 “온돌 주택에서 난방제어 방법 개선에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 11권9호,
2. 최영식, 1995, “바닥 난방공간에서 책상다리 자세 인체의 대류열전달에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 11권8호.
3. 이승복, 1995, “온수온돌 난방 시스템의 제어 성능에 관한 실험적 연구 -공급온수온도 제어와 단위열량제어의 제어성능 비교-”, 대한건축학회 논문집 11권12호.
4. 박병일, 석호태, 김광우, 1995, “온돌의 시대적 변천과 현황”, 공기조화 냉동공학 제 24권 제6호.
5. 이승언, 안태경, 강재식, 1994, “공동주택의 열성능 향상방안 (난방운전의 최적제어 방안 중심)”, 월간설비공사.
6. 한울엔지니어링, 자동볼밸브안내, 1995. 10.
7. 신찬배, 이재원, 사종엽, 이상천, 조성환, 서항석, 1995, “온돌실내공간의 온도제어,” 공기조화 냉동공학 논문집 제7권 제3호.
8. REHAU AG+CO., 1989, Warm water underfloor heating, June.
9. D.R. Gibbs., 1994, CONTROL OF MULTI-ZONE HYDRONIC RADIANT FLOOR HEATING SYSTEMS, ASHRAE Transaction: Symposium Paper.
10. C.R. MacCluer., 1991, THE RESPONSE OF RADIANT HEATING SYSTEMS CONTROLLED BY OUTDOOR RESET WITH FEEDBACK, ASHRAE Transaction: Technical Paper Part II.
11. C.R. MacCluer., 1990, ANALYSIS AND SIMULATION OF OUTDOOR RESET CONTROL OF RADIANT SLAB HEATING SYSTEMS, ASHRAE Transaction: Symposium Paper.