

# 온수온돌난방 시스템의 제어방법

지금까지 국내외에서 제안되고 연구된 다양한 제어방법을 고찰하고 이를 제어인자에 따라 체계적으로 분류한 후 각 방법별 장단점을 파악하여 국내 공동주택에 대한 적용성을 평가하였다.

여 명 석/편집위원

서울대학교 건축학과(msyeo@snu.ac.kr)

류 성 룡

서울대학교 대학원 건축학과(archiryu@crimaili.net)

## 머리말

현재 국내 공동주택에 적용되고 있는 난방방식은 크게 개별난방, 중앙난방, 지역난방으로 분류할 수 있다. 최근 온돌난방 시스템에 적용되고 있는 최신의 제어방식은 실내 열환경 개선, 설비용량 감소, 에너지 절감 등의 이점이 있는 것으로 알려져 있지만 이러한 제어방식은 대부분 외국으로부터 도입된 시스템으로 국내에서는 아직까지 이에 대한 체계적인 분류 및 이해가 부족하고 적용성에 대한 검토가 없었다.

따라서 본고에서는 지금까지 국내외에서 제안되고 연구된 다양한 제어방법을 고찰하고 이를 제어인자에 따라 체계적으로 분류한 후 각 방법별 장단점을 파악하여 국내 공동주택에 대한 적용성을 평가하였다.

## 기존 제어방법 고찰

### Adlam(1949)의 제어방법 분류

온수를 제어하는 방식에 따라 개폐식 제어(on/off control)와 일정한 유량공급 제어(continuous flow control)로 나누고 2가지 방식을 결합시켜 온수온도를 변화시키면서 일정한 유량을 공급하고 존별로 개폐식 제어를 하는 것도 가능한 것으로 분류하였다.

### Bourne(1989)의 제어방법 분류

방열량의 제어를 유량제어와 공급 및 환수온도차인 온수온도제어로 나누고 일반적으로 펌프를 일정한 유량으로 계속 운전하며 온수온도를 변화시키는 공급온수온도보상(supply water temperature reset) 제어방식을 최적의 방법으로 제시하였다. 복합존(multi zone)의 제어는 수동 밸런싱밸브, 2방, 3방 및 4방 밸브, 존별 펌프를 이용한 방법 등으로 분류하였다.

### MacCluer(1991)의 제어방법 분류

기존의 방법을 실내피드백제어(indoor temperature feedback control), 외기보상제어(outdoor reset control), 외기보상+유량제어(outdoor reset with flow inhibition), 기울기변화(slope modulation), 평행이동(offset modulation) 등으로 구분하고 새로이 비례적인 플럭스 조절(proportional flux modulation)이라는 방법을 제안하였다.

### Leigh(1991)의 제어방법 분류

제어인자에 따라 온도조절과 플럭스 조절로 나누었고 기존에 일반적으로 사용되는 온도조절방법을 다음과 같이 구체적으로 분류하였다.

#### ① 혼합밸브를 이용한 온도조절 제어방식 :

외기보상제어, 기울기 조절에 의한 외기보상제어 등

- ② 유량제어에 의한 온도조절 제어방식 :  
외기온에 의한 온도조절, 실온-외기온에 의한 온도조절 등

**국내의 제어방법에 관한 연구**

안병천(1991)은 기존의 간헐난방제어, 세대별 개폐식 밸브에 의한 단속난방제어방법 이외에 변유량 순환펌프와 세대별 2방밸브를 통한 연속난방제어방법을 제안하였다.

건설기술연구원(1993)은 크게 1차 기계실 제어, 2차측 제어, 세대내 제어 등으로 제어단계를 구분하고 2차측 제어방법에 외기보상제어, 공급온수온도 제어, 환수온도제어, 유량제어, 복합제어 등으로 구분하였고, 세대 내 제어방법으로는 실온기준제어, 환수온도기준제어, 바닥구조체온도기준제어 등으로 구분하였다.

신찬배 등(1995)은 현재 세대별로 적용되고 있는 개폐식 제어 외에 PI, PID, 퍼지제어에 의한 변유량 방식을 제시하였다.

**국내 공동주택 난방방식의 현황**

국내 공동주택 난방방식은 크게 개별난방, 중앙난방, 지역난방방식으로 나눌 수 있으며, 중앙난방방식은 일정한 공급온수온도 및 유량으로 시간 스케줄에 의한 간헐적인 온수공급방식(간헐난방이라고 통칭)으로 제어되고, 지역난방은 중앙 플랜트에서 연속적으로 온수를 공급하고 세대 내 실온조절기에 의해 개폐식(on/off) 밸브를 제어하는 방식(연속난방

이라고 통칭)이 주로 적용되고 있다.

**제어인자의 분류**

기존의 제어방법들은 매우 종류가 다양하며 복잡하게 보이지만 실상 동일한 방법으로 명칭을 달리하는 경우도 많으며 분류기준이 불확실한 경우도 있다. 그러므로 본 고에서는 이를 체계적으로 분류하기 위해 먼저 온수온도에서 가능한 제어인자를 분류하고 이에 따라 제어방법을 분류하였다.

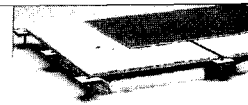
온수온도의 제어인자 역시 일반적으로 제어에 필요한 입력변수, 제어 대상공간을 쾌적하게 유지하기 위한 제어변수, 제어변수를 유지하기 위해 실제 기기를 조절하는 대상인 조절변수로 나눌 수 있다. 이에 따라 기존의 제어방법에 적용된 온수온도 제어인자와 사용/조절된 장치를 분류하면 표 1과 같다.

기존의 제어방법들은 대부분 제어변수와 사용/조절되는 장치가 혼재된 상태로 분류되었지만 Adlam(1949), Bourne(1989) 등은 현재 이용변수인 조절변수의 관점에서 분류하였으며, 이러한 조절변수의 측면에서 분류할 경우 더 효율적이고 체계적으로 분류가 가능할 것으로 판단된다.

특히 온수온도 바닥표면에서의 방열량은 식 (1)과 같이 온수온도와 유량에 의해 결정되므로 제어방법 역시 이러한 방열량의 조절변수인 온수온도와 유량으로 크게 분류하는 것이 합리적이며, 플렉스 조절 방법은 방열량(Q<sub>output</sub>)을 제어하는 방법으로 분류될 수 있다.

<표 1> 온수온도 난방 제어인자의 분류

제어인자	현재 이용되고 있는 변수	사용/조절 장치	이용가능 변수
입력변수	외기온, 실온, 공급환수온도	측정센서 및 조절기 일체형 제어기기	바닥온도, 풍속, 일사량 등
제어변수	실온	센서 및 조절기 일체형 제어기기	바닥온도, 공급온수온도, 환수온도, 단위열량, OT, MRT 등
조절변수	공급온수온도	보일러 온수온도조절기, 온도조절 밸브, 3방/4방 혼합밸브	-
	공급온수유량	개폐식 밸브, 펄스제어밸브, 2방 조절밸브, 변유량 펌프	-
	단위열량	일정출력의 보일러	-
	열원운전 및 온수공급의 시간	개폐식 밸브, 정속 펌프의 운전/정지	-



온수온돌 난방시스템에서 온수온도와 방열량 사이에는 그림 1과 같이 선형적인 관계가 있고, 유량과 방열량 사이에는 그림 2와 같이 비선형적인 관계가 있다.

$$Q_{\text{output}} = M_{\text{flow}} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

여기서,

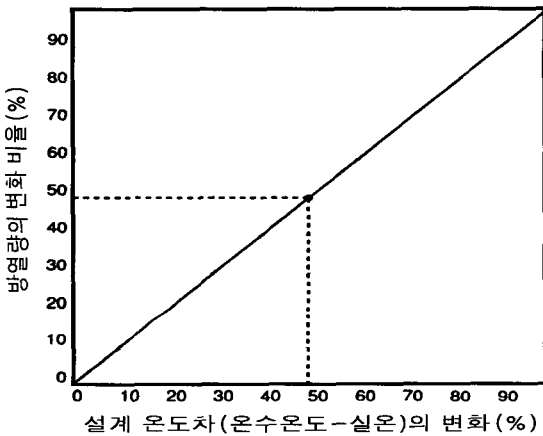
$Q_{\text{output}}$  : 온돌바닥표면에서의 방열량 [W]

$M_{\text{flow}}$  : 온수의 유량 [kg/sec]

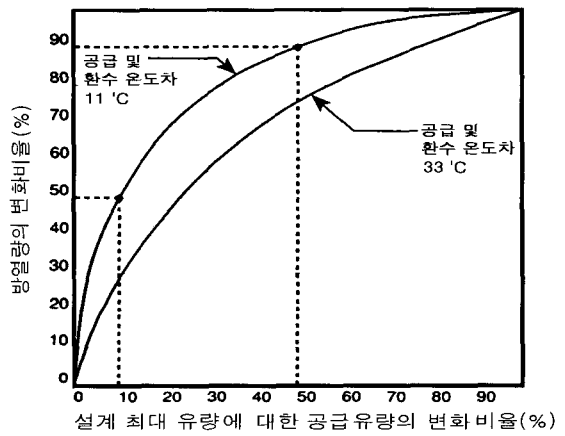
$C_p$  : 온수의 비열 [J/kg]

$\Delta T$  : 온수의 공급 및 환수 온도차 [°C]

공급온수온도, 공급온수유량, 단위열량, 열원 및 온수공급시간 등의 조절변수의 관점에서 기존 제어방법을 분류하면 표 2와 같이 체계적으로 분류되어 질 수 있다. 온수온돌 바닥복사난방의 제어방법들은 크게 온수온도제어, 유량제어, 플럭스 제어(단위열량 및 방열량 제어) 등으로 구분할 수 있으며, 온수온도와 유량이 동시에 제어되는 방식(외기보상+개



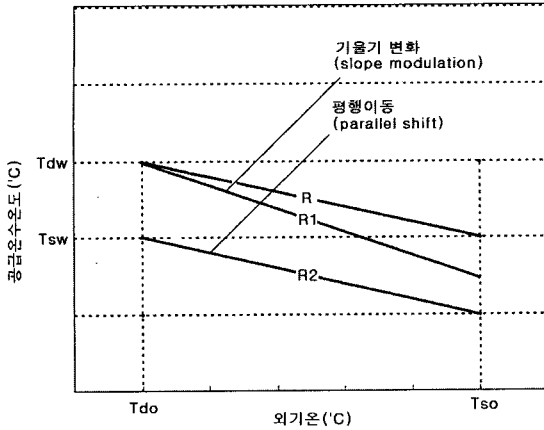
[그림 1] 온수온돌 바닥복사난방의 온수온도-방열량 관계



[그림 2] 온수온돌 바닥복사난방의 유량-방열량 관계

<표 2> 제어방법의 분류

제어인자 (Control parameters)		온수온도(Water temperature)		단위열량 (Heat flux)	
		온수온도 일정 (Constant temperature)	온수온도 변화 (Variable temperature)		
온수유량 (Water flow rate)	유량연속공급 (Continuous flow)	정유량 (Constant flow)	-	외기보상 제어 (Outdoor reset control)	플럭스 제어 (Flux modulation)
		변유량 (Variable flow)	변유량 제어 (P, PI, PID, 퍼지제어 등)	실온피드백 외기보상 제어 (Outdoor reset with indoor temperature feedback)	
	일정유량 간헐공급 (Intermittent flow)	뱅뱅 제어 (Bang-Bang control)	개폐식 뱅뱅 제어 (On/off Bang-Bang control)	외기보상 + 개폐식 뱅뱅제어 (Outdoor reset + Bang-Bang control)	개별 및 간헐난방
		펄스 제어 (Pulse-width modulation)	개폐식 펄스 제어 (On/off pulse-width modulation)	외기보상 + 개폐식 펄스제어 (Outdoor reset + On/off pulse-width modulation)	-



[그림 3] 외기보상율의 설정과 미세조정

폐식 뱅뱅제어, 외기보상+개폐식 펄스제어) 등을 복합된 제어방법으로 분류할 수 있다.

### 제어방법별 특성

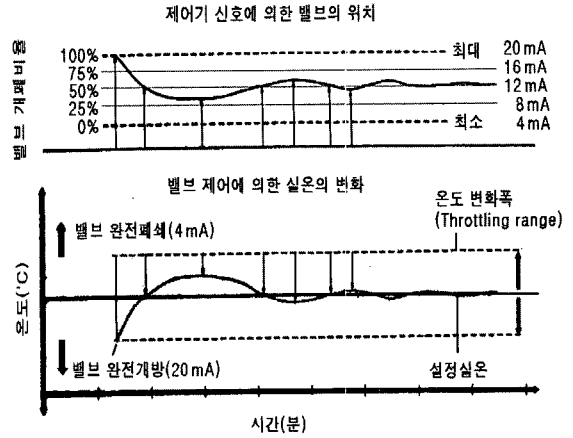
#### 온수온도 제어방법

##### 1) 외기보상제어(Outdoor reset control)

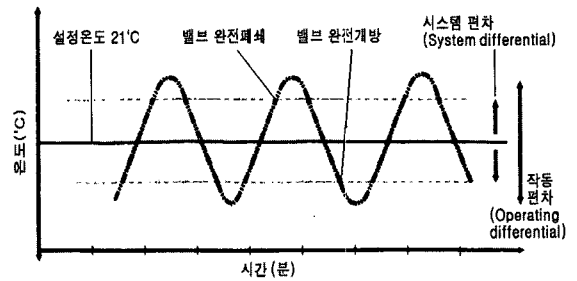
외기온-공급온수온도의 함수를 외기보상율(reset ratio) 혹은 난방곡선(heating curve)이라고 하며, 이는 외기온의 함수로서 건물에 따라 고유한 값으로 (건물의 위치, 디자인, 외피의 열적 특성 등에 따라 달라짐), 설계 단계에서 계산을 통해 산정하거나, 실제 적용시 현장에서 난방운전을 통해 그림 3과 같이 미세조정(fine tuning)으로 구한다(Twintran, 1989).

##### 2) 실온 피드백 외기보상제어(Outdoor reset with indoor temperature feedback)

외기보상제어 자체는 외기온을 피드백하므로, 일사·외부풍속 등의 외부 부하요소와 실내 발열 등의 내부 부하요소 변화를 반영하기 위해, 1차적으로 외기보상율에 따라 공급온수온도를 정하고 2차적으로 실온을 피드백하여 공급온수온도를 조절하는 방법이다. 그림 3과 같이 외기보상율의 조절은 제어시간 단위로 외기보상율을 평행이동 시키는 방법(Gibbs, 1994)과 외기보상율 기울기를 변화시키는



[그림 4] 변유량 제어방법



[그림 5] 개폐식 뱅뱅제어방법

방법(MacCluer, 1991)이 있다.

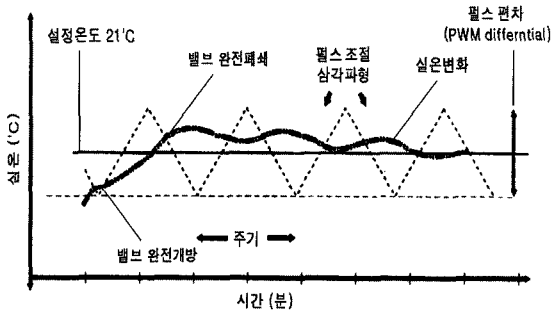
#### 온수유량 제어방법

##### 1) 변유량 제어(Variable flow control)

공조기나 팬코일 유닛에서와 같이 온수온도 난방에서도 변유량 제어를 통해 유량을 실온에 따라 준별 2방 밸브로 연속적으로 변화시키며 제어하는 방법이다.

##### 2) 개폐식 뱅뱅제어(On/off Bang-Bang control)

일정한 공급온수온도 조건에서 일정한 유량으로 설정실온을 중심으로 제어에 일정한 편차(differential)를 설정하고 2-위치 뱅뱅(2-position Bang-Bang)제어를 통해 개폐식 밸브를 조절하는 방법이다.



[그림 6] 개폐식 펄스제어방법

### 3) 개폐식 펄스제어(On/off pulse-width modulation)

뱅뱅제어와 같이 공급온수온도가 일정한 조건에서 개폐식 밸브를 개폐시켜 제어하는 방법으로 펄스 편차와 주기로 밸브의 개폐시간을 펄스 조절하는 방법이다(Tekmar, 1996).

### 온수온도와 유량 동시 제어방법

#### 1) 외기보상+개폐식 뱅뱅제어(Outdoor reset + on/off Bang-Bang control)

중앙 열원에 1개의 혼합밸브를 설치하여 부하가 가장 큰 존을 기준으로 외기보상을 설정한 후, 온수온도를 제어한다(이 경우 부하가 가장 큰 존은 실온 피드백에 의해 온수온도를 2차적으로 조절). 동일한 온도의 온수를 다른 모든 존에 공급하고 이들 존은 각각의 실온조절기와 개폐식 밸브에 의한 실온 피드백 뱅뱅제어를 실시하는 방법이다.

#### 2) 외기보상+개폐식 펄스제어(Outdoor reset + on/off pulse-width modulation)

외기보상+개폐식 뱅뱅제어의 단점인 오버슈팅을 줄이기 위해 온수온도는 외기보상+개폐식 뱅뱅제어와 동일하게 설정하여 제어하지만 존별 제어에 개폐식 뱅뱅제어 대신 펄스제어를 적용하는 방법이다.

### 플럭스 조절

MacCluer(1989)가 제안한 방법으로 온수가 계속적으로 흐르는 가운데 일정한 출력의 보일러(전기 보일러에 해당)를 가동/정지시키는 방식으로 펄스 편

차와 주기로 보일러 가동시간비율을 펄스 조절하는 방식이다.

## 제어방법의 장단점 비교

### 온수온도 제어방법

온수온도제어는 외기온만을 피드백하는 외기보상 제어와, 외기온 뿐만 아니라 다른 외부부하요소와 내부부하요소의 변화를 피드백하는 실온피드백 외기보상제어로 나눌 수 있다. 지금까지 연구결과로는 온수온도제어의 경우 외기온을 피드백하여 제어하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.

외기보상제어는 예측제어(predictive control)와 외부기상변화의 반영(weather response) 기능까지 있다. 또한 온돌바닥온도의 조절에 있어서도 온돌의 축열효과 때문에, 온수온도제어가 유량제어에 비해 더 효과적이다.

#### 1) 외기보상제어

시간지연(time lag)으로 인해 실온 변동폭이 커지는 등 반응속도가 느린 온수온돌 난방시스템에서는 효과적이지만 오픈루프(open loop)제어이므로 실제 적용시 완전한 제어가 어렵다.

#### 2) 실온피드백 외기보상제어

오픈루프(open loop)제어인 외기보상제어의 단점을 보완할 수 있지만 복합존에 적용할 경우에는 고가의 혼합밸브를 설치하여야 하므로 비경제적이다.

### 온수유량 제어방법

실온을 피드백하여 on/off 밸브 혹은 비례적으로 움직이는 변유량 밸브를 사용하여 온수유량을 조절하는 변유량 제어가 있다. 특히 최근에는 기존 on/off 밸브를 사용한 펄스제어(PWM)도 적용되고 있다.

#### 1) 변유량 제어

유량 조절밸브 특성상 저발열대에서는 정밀한 제어가 어려우며 공급온수온도가 높게 설정된 경우 이러한 문제점이 심화되므로 실제 적용이 불가능할 것으로 판단된다. 이러한 이유로 국외에서는 온수온돌

에 적용된 사례가 없다.

2) 개폐식 뱅뱅제어

개폐식 뱅뱅제어는 밸브 개방시 100% 열량이 공급되고 밸브 폐쇄시 열량 차단으로 실온의 오버슈팅(over shooting)이 커져서 제어성능이 떨어지지만 시스템이 간단하고 설치비가 저렴한 장점 때문에 많이 적용되고 있다(Twintran, 1989). 온수온도제어와 병용되어 사용될 경우 실온의 오버슈팅을 줄일 수 있다.

3) 개폐식 펄스제어

개폐식 밸브를 사용하여 뱅뱅제어의 단점인 오버슈팅(over shooting)을 줄이는 방식이다.

온수온도와 유량 동시 제어방법

1) 외기보상+개폐식 뱅뱅제어

모든 존에 고가의 혼합밸브(mixing valve)를 설치하는 실온피드백 외기보상제어를 실시할 경우 초기 투자비가 증가하므로, 전체 존에 공급되는 온수온도를 1차적으로 조절하고 각 존별 개폐식 밸브를 사용하는 방식으로, 복합존 제어에 보편적으로 적용되는 방법이다.

2) 외기보상+개폐식 펄스제어

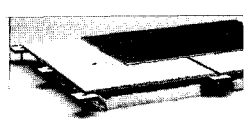
복합존에서 존별 부하차이가 클수록 부하가 가장 큰 존을 제외한 다른 존은 상대적으로 필요 이상으로 온수온도가 높아 존별 개폐식 뱅뱅제어에서는 오버

<표 3> 외기보상에 의한 온수온도 제어방법의 장단점

제어방법		특징
외기보상제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>실온 및 바닥온도의 변동폭이 작음</li> <li>공급온수온도-방열량이 선형적인 관계이므로 제어가 용이함</li> <li>배관열손실, 기기의 평창소음이 적고 배관 및 기기의 부식방지, 보일러의 저온부식, 열적충격 방지에 유리</li> <li>부하에 따라 온수온도를 조절하므로 열원에서의 에너지 절감</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기보상제어만으로는 오픈루프의 제어방식이므로 내부발열 등의 부하 변동을 반영할 수 있는 실온 피드백 제어와 병용되어야 함</li> <li>외기보상을 변동시에는 미세조정이 필요함</li> </ul>
실온피드백 외기보상제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기보상제어의 장점을 동일하게 가짐</li> <li>Closed loop제어로 실온피드백 제어의 단점을 극복</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기보상을 변동시에는 미세조정 필요함</li> <li>복합존 적용시에는 초기투자비가 증가하고 시공이 복잡함</li> </ul>

<표 4> 온수유량 제어방법의 장단점

제어방법		특징
변유량 제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>밸브 및 펌프로 유량을 정밀하게 제어할 수 있다면 실온 및 바닥온도 변동폭이 상당히 양호함</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>유량-방열량이 비선형적이므로 실제 적용시 방열량의 50% 미만 저유량 범위에서는 밸브 등의 유량 정밀제어가 어려움</li> <li>복합 존 적용시에는 각 존별 유량 밸런싱이 쉽지 않으며 초기투자비가 역시 증가</li> </ul>
개폐식 뱅뱅제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기투자비가 작고 시스템 설치 후 미세조정과정이 불필요</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>실온 및 바닥온도 변동폭 증가</li> <li>온수중단시 불균등 복사로 불쾌적 유발</li> <li>단속적인 작동으로 배관부식, 바닥구조체 및 기기 열팽창수축으로 소음발생과 내구성 저하</li> </ul>
개폐식 펄스제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>개폐식 밸브를 사용하여 시스템이 간단하고 초기투자비가 적음</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 on/off 제어를 사용할 수 없음</li> </ul>



슈팅이 발생하므로 이러한 단점을 해소할 수 있다.

**플렉스 조절방법**

보일러와 연동시킬 수 있는 간단한 원형 실온조절기(round thermostat)만 필요하므로 시스템이 간단하지만 복합존에 대한 제어가 어려운 것이 단점이다.

**제어방법의 적용성 평가**

지금까지 검토된 제어방법들에 대해 온도유지, 시

스템 구성의 복잡성, 초기투자비, 시공 및 유지 관리성 등을 국내 공동주택에 대해 평가하면 표 7과 같이 요약될 수 있다.

**온수온도 제어방법**

외기보상제어는 오픈루프로 실제 적용은 불가능하지만 기존 간헐난방 운전방식에서 외기온에 따라 온수온도를 중앙에서 조절하여 공급할 경우 실온변동폭 등을 줄일 수 있다.

실온피드백 외기보상 제어방법은 부하가 다른 존

<표 5> 온수온도와 유량 동시 제어방법의 장단점

제어방법		특징
외기보상 + 개폐식 뱅뱅제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기보상제어 적용시 복합존에 작은 초기투자비로 적용이 가능함</li> <li>개폐식 뱅뱅제어에 비해 실온변동폭이 작아짐</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>바닥마감재, 외피 등의 부하변동에 따라 외기보상율이 보정되어야 함</li> </ul>
외기보상 + 개폐식 펄스제어	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>외기보상+개폐식 뱅뱅제어의 장점을 가짐</li> <li>존별로 부하차이가 클 경우 개폐식 제어보다 실온 변동폭이 줄어듦</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 on/off 제어기와는 다른 별도 제어기 필요</li> </ul>

<표 6> 플렉스 조절방법의 장단점

제어방법		특징
플렉스조절방식	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>혼합밸브, 외기온 센서 등이 필요없어 시스템이 간단하고 초기투자비가 작음</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>복합존에 대한 제어가 어려움</li> <li>축열효과가 없는 일정한 출력의 보일러를 사용하여야 함</li> <li>보일러의 축열효과가 작아야 제어가 양호</li> </ul>

<표 7> 제어방법별 공동주택에 대한 적용성 평가

제어방법	적용성 평가							
	온도유지	시스템 구성	초기투자비	시공 및 유지 관리	소요면적	세대별 적용 가능 여부		
						중앙난방	지역난방	개별난방
외기보상제어	□	□	□	□	■	×	×	×
실온피드백 외기보상제어	◎	■	■	■	■	△	△	△
변유량 제어	●	□	□	□	□	×	×	×
개폐식 뱅뱅제어	■	◎	◎	◎	◎	△	△	○
개폐식 펄스제어	▲	●	●	◎	◎	△	△	○
외기보상+개폐식 뱅뱅제어	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○
외기보상+개폐식 펄스제어	●	▲	▲	▲	▲	○	○	○
플렉스 조절	●	◎	◎	◎	◎	×	×	○

주) 1. ◎는 매우 우수함, ●는 우수함, ▲는 보통임, □는 불리함, ■는 매우 불리함을 의미함  
 2. ○는 적용 가능, ×는 적용 불가능, △는 적용은 가능하지만 비효과적임

(세대 혹은 단위공간)별로 혼합밸브가 필요하므로 국내 공동주택에 적용하는 것은 설치공간을 많이 차지하고 경제성이 떨어지므로 설치공간이 충분하고 분양가가 높은 고급형 공동주택을 중심으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

**변유량 제어방법**

그림 7은 공급온수온도를 53℃, 60℃의 2가지 경우로 설정하고 서울지역기준 동계 1월 한달 동안 변유량 제어방식으로 열성능 해석프로그램 시뮬레이션을 실시한 결과로서, 설계 최대유량에 대한 제어 시간별 유량비율의 빈도를 합산한 분포도이다. 여기서 보면 변유량 제어에서는 온수온도가 높을수록 저유량의 공급빈도가 증가하여 대부분 밸브는 저유량 범위에서 작동한다. 일반적으로 유량 조절밸브는 저유량 범위에서 제어성능이 떨어지고 특히 변유량 펌프를 사용하지 않을 경우 펌프동력 손실도 증가한다.

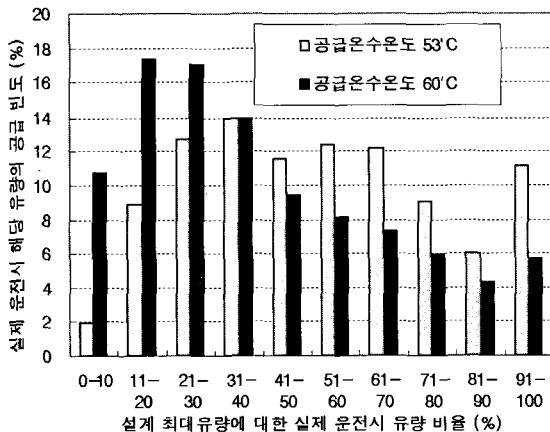
변유량 제어의 경우 2방 밸브는 유량에 따른 밸브의 압력손실인 유량계수(Cv)와 시스템에서의 압력손실비(authority)에 따라 유량특성이 달라지며, 그림 8과 같이 압력손실비 값이 0.5 이상을 유지해야만 등비율특성(equal percentage)에 의하여 밸브 스템(stem)의 위치와 방열량 사이에 선형관계가 나타난다. 실제 배관시스템에 밸브 설치시 압력손실비 값이 그림 8의 실험 A(실제 주거용 배관에 설치한

사례) 경우와 같이 작게 되면 밸브 스템과 유량곡선의 왜곡(distortion)이 심하며, 이에 따라 밸브 스템의 위치와 방열량 사이에 선형관계가 이루어지지 않는다. 이 경우 변유량 제어는 공급유량의 변화특성이 개폐식 뱁뱁 제어와 비슷하게 나타난다.

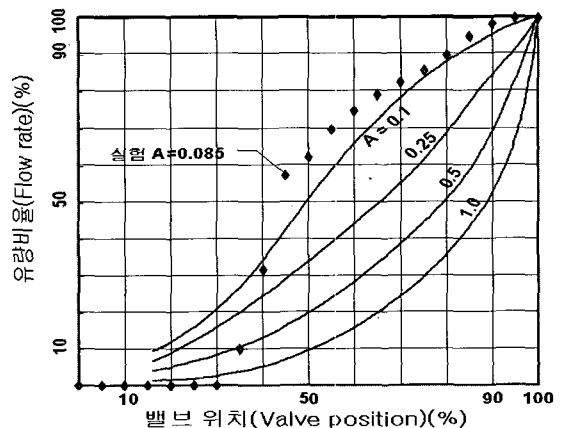
일반적으로 변유량 제어는 저유량 범위에서 제어 성능이 떨어지기 때문에 공급온수온도가 과도하게 높으면 제어성능에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이를 위해 레인지어빌리티(rangeability)가 큰 밸브를 사용하면 저유량 범위에서도 제어성능이 좋아지지만 가격 상승과 밸브제작의 어려움 때문에 이에 따른 고려가 필요할 것이다.

그러므로 변유량 제어에서는 공급온수온도를 정확하게 선정해야하며, 밸브의 레인지어빌리티, 압력손실비와 유량계수를 시스템의 특성에 맞게 선정하는 것이 올바른 제어성능을 발휘하도록 하기 위해 중요할 것으로 판단된다.

이외에도 분배기에서 각 존별 변유량 밸브 적용시 각 존별 유량밸런싱도 쉽지 않으므로, 변유량 제어보다는 개폐식 뱁뱁제어를 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 실온변동폭 등을 줄이기 위해서는 단순한 개폐식 뱁뱁제어보다는 개폐식 펄스제어를 향후 적용하도록 하는 것이 바람직하며, 이러한 유량제어는 반드시 외기보상에 의한 온수온도제어와 결합시켜 실온 변동폭을 줄일 수 있도록 하는 것이 좋다.



[그림 7] 변유량 제어방법에서 온수온도에 따른 유량 변화



[그림 8] 변유량 제어방법에서 온수온도에 따른 유량 변화





향후 개별난방 방식에서도 외기온에 따라 온수온도를 조절할 수 있도록 하고 세대 내 난방헤더에도 각 방별로 개폐식 밸브를 설치하여 제어성능을 향상시킬 수 있도록 하는 것이 바람직할 것이다.

**온수온도와 유량 동시 제어방법**

외기보상+개폐식 뱅뱅제어는 현재 국내 일부 지역 난방 공동주택의 경우 적용되고 있기도 하지만 외기보상율의 미세조정 과정 없이 임의로 외기보상율을 설정하여 운전하고 있으므로 향후 이에 대한 국내 지역, 향, 건물구조체별 외기보상율의 적정값 설정작업이 필요할 것이다. 그리고 뱅뱅제어는 실온변동폭이 크므로 현재 지역난방 세대별로 적용된 개폐식 뱅뱅제어보다는 개폐식 펄스제어를 적용하는 것이 바람직할 것이다. 아울러 개별 보일러를 사용하는 경우에도 보일러 자체 외기보상에 의해 온수온도조절과 분배기에서 각 존별 개폐식 뱅뱅제어를 적용하는 것이 바람직하다.

**플렉스 조절방법**

복합존에 대한 적용이 어려우므로 지역난방에는 현재로서 적용이 불가능하지만, 축열효과가 없는 일정한 출력의 보일러를 사용하고 정밀한 제어를 이용할 경우 경제적으로 개별난방세대에 적용할 수 있을 것이다.

**맺음말**

본고에서는 지금까지 국내외에서 제안되고 연구된 다양한 제어방법을 고찰하고 이를 제어인자에 따라 체계적으로 분류한 후 각 방법별 장단점을 파악하여 국내 공동주택에 대한 적용성을 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 실온피드백 외기보상 제어방법은 제어의 정밀성 측면에서 유리하지만 경제성과 설치공간 측면에서 적용시 고려가 필요하다.
- 2) 온수온돌난방에서 변유량 제어는 실제 적용시 압력손실비, 온수온도, 밸런싱 등의 측면에서 문제 발생 가능성을 검토해야 한다.
- 3) 개폐식 뱅뱅제어보다는 개폐식 펄스제어를 적용하는 것이 실온 변동폭을 줄일 수 있으며, 이

러한 유량제어는 반드시 외기보상에 의한 온수온도제어와 결합시키는 것이 유리하다.

- 4) 개별난방 방식에서도 외기온에 따라 온수온도를 조절할 수 있도록 하고 세대 내 난방헤더에도 각 방별로 개폐식 밸브를 설치하여 제어성능을 향상시킬 수 있도록 하는 것이 바람직할 것이다.
- 5) 현재 국내공동주택에 적용되고 있는 외기보상+개폐식 뱅뱅제어는 향후 지역, 향, 건물구조체별 외기 보상율의 적정값 설정작업이 필요하며, 세대별로는 개폐식 뱅뱅제어보다는 개폐식 펄스제어를 적용하는 것이 바람직할 것이다.
- 6) 플렉스 제어는 일정한 출력의 보일러를 사용하고 정밀한 제어를 이용할 경우 경제적으로 개별난방세대에 적용할 수 있을 것이다.

**참고 문헌**

- 1. 건설기술연구원, 1993, 공동주택 열성능향상방안에 관한 연구(I), 한국건설기술연구원.
- 2. 신찬배, 이종원, 사중엽, 1995, 온돌 실내공간 의 온도제어. 공기조화냉동공학 논문집, 제7권 제3호.
- 3. 안병천, 1991, 온수난방 시스템의 제어특성 및 디지털 제어구현에 관한 연구, 고려대학교 대학원 기계공학과 박사학위논문.
- 4. 안병천, 장효환, 1996, 공동주택용 온수난방 시스템의 에너지 해석 및 제어특성. 공기조화냉동공학 논문집, 제8권 제1호.
- 5. 여명석, 석호태, 김광우, 1998, 공동주택 온수 온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 제14권 제12호.
- 6. 여명석, 김광우, 1999, 공동주택 온수온돌 바닥 복사 난방시스템의 제어방법에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 제15권 제3호.
- 7. Adlam, T. N., 1949, Radiant Heating, The Industrial Press.
- 8. ASHRAE, 1996, HVAC Systems and Equipment Handbook, ASHRAE
- 9. Banhidi, L. J., 1991, Radiant Heating Systems, Pergamon Press.

10. Bourne, R. C., 1989, Hydronic Radiant Heating Handbook, Hydronic Radiant Heating Workshop Notes, Davis Energy Group.
11. Gibbs, D. R., 1994, Control of Multi Zone Hydronic Radiant Floor Heating Systems, ASHRAE Transactions, NO-94-13-1.
12. Larkin, D. J., 1988, Engineering Manual of Automatic Control, Honeywell.
13. Leigh, S. B., 1991, An Experimental Approach for Evaluating Control Strategies of Hydronic Radiant Floor Heating Systems. Doctoral Dissertation, The University of Michigan, Ann Arbor.
14. MacCluer, C. R., 1989, The Temperature Stability of a Radiant Slab-on-grade, ASHRAE Transactions, CH-89-17-1.
15. MacCluer, C. R., 1991, The Response of radiant heating systems controlled by outdoor reset with feedback, ASHRAE Transactions, IN-91-10-2.
16. Shavit, G. and Wruck, R. A., 1997, Understanding the Control Loop, Practical Guide to Building Controls, Supplement to ASHRAE Journal.
17. Tekmar, 1996, Control Strategies for Building Space Heating, Tekmar-Essays.
18. Twintran, 1989, Twintran Application Manual, Heatway Systems. (㉔)