

개별 난방방식에서의 배관 내 적정 유량 및 압력유지에 관한 연구

A Study on the Strategy to Maintain Optimal Flow-rate and Pressure of the Piping System for Individual Heating

홍석진* 류성룡** 석호태*** 여명석**** 김광우*****
Hong, Seok-jin Ryu, Seong-Ryong Seok, Ho-Tae Yeo, Myoung-Souk Kim, Kwang-Woo

Abstract

For the more comfortable thermal environment in residential buildings, it was necessary for variable components like as automatic flow limiting valves and/or balancing valves in hydronic system. And, these components had an effect on flow-rate and pressure inside pipe. In this case, the incompatibility between the design for the heating system and the selection of equipment was the causes of several problems in heating pipe network. In this study, we performed measurements and analyses of flow rate and pressure inside pipe for radiant floor heating in residential buildings through field surveys and experiments in order to find out the actual conditions and problems. On the basis of this, we suggested the approach for the optimal flow-rate and pressure maintaining inside pipe in individual heating system.

Keywords : Optimal flow-rate, Optimal pressure maintaining, Individual heating system

주요어 : 적정유량, 적정 압력 유지, 개별난방 시스템

I. 서론

주거건물에서 거주자의 생활수준이 향상되면서 실내의 쾌적한 열 환경에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 난방 시스템에 유량 밸런싱 밸브와 같은 다양한 장치가 추가되고 있으며, 이러한 장치는 난방 시스템의 유량 및 압력 유지에 영향을 미치는 요소로 작용하고 있다. 따라서 난방시스템의 적정 유량 및 압력 유지를 위해서는 시스템 성능향상을 위한 장치들에 대한 고려와 함께, 이들 장치를 포함한 시스템 전반에 대하여 좀더 세밀한 주의가 필요하다.

그러나 국내의 경우 난방 시스템 설계를 적절히 반영할 수 있는 기기 선정이 이루어지지 않고 있다. 이로 인해 난방 시스템의 유량 및 압력이 적정하게 유지되지 못하여 여러 가지 문제가 발생되고 있다. 그리고 이러한 문제들로 인하여 난방시스템의 성능향상을 위한 각종 장치들의 활용이 제한되고 있다. 본 연구에서는 최근 완공

된 주거건물에 대해 현장 조사를 수행하여 실제 현황을 파악하고, 현장 실험을 통해 문제가 발생하는 원인을 분석하였다. 이를 바탕으로 문제들에 대한 해결책 및 예방책으로써 개별난방 시스템의 적정 압력 및 유량 유지 방안을 제시하고자 한다.

II. 개별 난방방식의 구성

1. 난방 시스템의 구성

우리나라 공동주택의 개별 난방방식은 통상 열원, 펌프, 팽창탱크, 온수분배기, 온수공급코일 등으로 구성된다. 이러한 구성요소 중 열원, 펌프, 팽창탱크는 개별보일러와 같이 일체화된 패키지형 보일러로 생산되며, 일반적으로 <표 1>과 같이 부하조건에 의한 기기의 공급 열량에 의해 보일러가 선정되면서 펌프는 부하조건에 따른 별도의 유량 산정 없이 함께 고정된 규격으로 결정된다.

온수분배기는 각 실별로 온수를 분배하는 장치로, 최근 동일 주거에서 실간 부하차이를 극복하기 위해 난방 코일별 유량 조절 기능 및 실별 제어 기능을 도입하고 있다.

2. 난방 시스템 설계 현황

난방 시스템은 일반적으로 <그림 1>과 같은 과정에 의해 설계된다. 부하 계산 과정에서 각 주거의 기후 및 외피 조건이 반영되어 주거의 열량 및 유량이 결정된다.

※이 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도건설핵심기술연구개발사업 (03산학연 C04-01)에 의한 것임

*정회원(주저자), 서울대학교 건축학과 석사과정

**정회원, 서울대학교 건축학과 박사과정

***정회원, 영남대학교 건축학부 조교수, 공학박사

****정회원, 서울대학교 건축학과 조교수, 공학박사

*****정회원, 서울대학교 건축학과 교수, 건축학박사

표 1. 기기의 구성현황(개별보일러)

제조사	열량 (kcal/hr)	펌프양정	펌프유량	팽창탱크형식	온도조절방법
A사	13,000	7mAq at 5lpm	대기 개방형	대기 개방형	거주자 조절
	16,000				
	20,000				
	25,000	10mAq at 5lpm			
	30,000				
	35,000				
B사	13,000	6mAq at 5lpm	대기 개방형	대기 개방형	거주자조절 또는 80°C 고정
	16,000				
	20,000				
	25,000	8mAq at 5lpm			
	30,000				
	35,000				

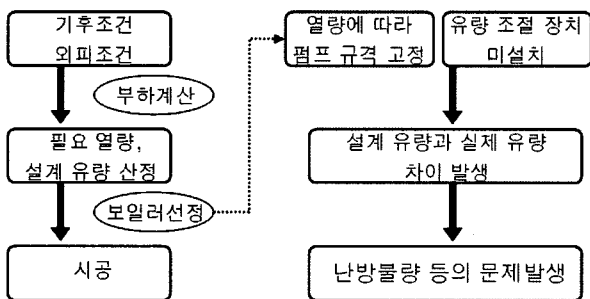


그림 1. 현재의 난방 시스템 설계 프로세스

적정 난방을 위해서는 부하 계산 과정에서 결정된 사항이 기기 선정 및 시공에 반영되어야 한다. 그러나 국내의 경우 <표 1>과 같이 기기의 공급열량에 의해 보일러가 선정되면서 펌프는 부하조건에 따른 별도의 유량 산정 없이 함께 고정된 규격으로 결정되기 때문에 각 주거마다 다른 유량 조건을 반영하지 못하고 있다.

아울러 대부분의 온수분배기에 유량 밸런싱 기기가 설치되어 있지 않아 실제 유량과 설계 유량이 일치하지 않는 경우가 발생하고 있다. 실제 유량이 설계 유량에 비해 부족하여 필요한 열량을 공급하지 못하거나, 과도한 유량이 공급될 경우 난방 시스템에 여러 가지 문제가 발생할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 세 곳의 공동주택을 대상으로 현장 측정을 수행하여 실제 난방 현황 및 난방 시스템의 특징을 분석하였으며, 현장 실험 및 시뮬레이션을 수행하여 적정 난방을 위한 유량 및 압력 유지 방안을 도출하였다.

III. 현장조사 및 시뮬레이션

1. 현장조사 대상

현장조사는 거주자가 생활하고 있는 세 곳의 공동주택에서 수행되었다.

A 아파트는 서울에 위치해 있는 55평형 공동주택으로, 유량 밸런싱 밸브가 설치되지 않은 2개의 온수분배기를 이용하여 온수를 분배하며, 거실에 있는 실온조절기에 의해(대표실 제어방식) 실온을 제어한다.

B 아파트는 서울에 위치해 있는 45평형 공동주택으로, 유량 밸런싱 밸브가 설치되지 않은 1개의 온수분배기를 이용하여 온수를 분배하며, 거실에 있는 실온조절기에 의해(대표실 제어방식) 실온을 제어한다.

C 아파트는 대전에 위치해 있는 33평형 공동주택으로, 유량 밸런싱 밸브가 설치되어 있는 1개의 온수분배기를 이용하여 온수를 분배하며, 각 방에 설치된 실온조절기에 의해(각실 제어) 실온을 제어한다.

조사대상 세대의 현황 및 기기 특징은 <표 2>, <표 3>, <표 4>와 같다.

2. 현장조사 계획

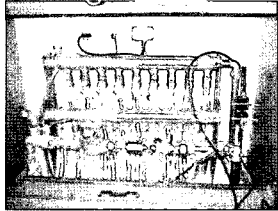
조사대상 세대에 대한 현장측정을 수행하여, 유량공급 및 유량분배 현황에 따른 난방 시스템의 특징 및 문제점을 분석하였다.

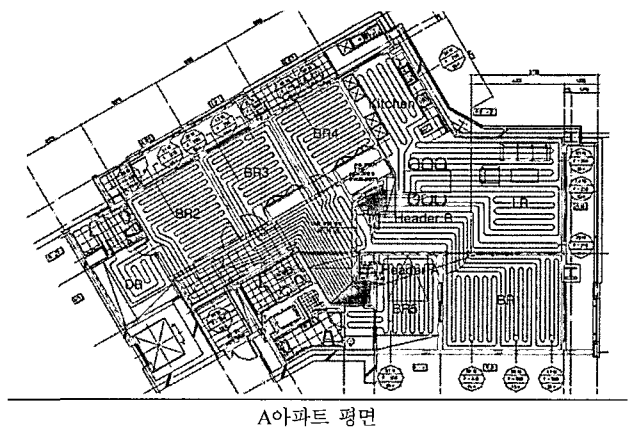
현장측정 결과 나타난 문제점에 대한 해결방안을 모색하기 위해 현장 실험을 수행하였으며, 현장조사 내용 및 사용기기 등은 <표 5>와 같다.

3. 시뮬레이션 개요

조사대상 세대의 문제점에 대한 해결 방안을 모색하기 위해 상용 관망해석 프로그램인 Flowmaster를 이용하여 온수공급코일별 적정 유량 분배 방안에 대한 시뮬레이션

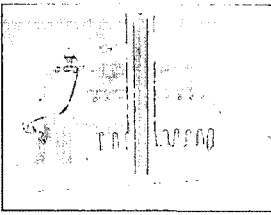
표 2. 조사대상 건물의 개요(A 아파트)

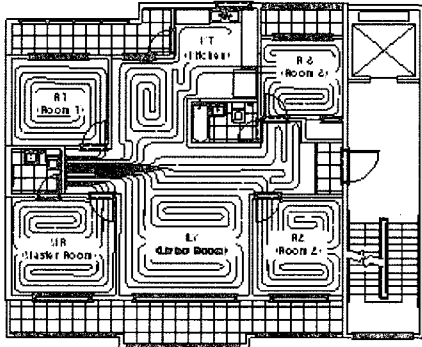
위치	서울시 강남구	
평수	55평	
건물 유형	고층 타워형	
온수분배기 특징	2개의 온수분배기 (실별유량밸런싱불가능)	
실온조절기 특징	대표실 제어 (거실)	
조사일시	2004년 11월	



A아파트 평면

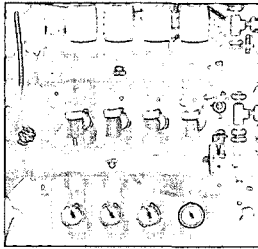
표 3. 조사대상 건물의 개요(B 아파트)

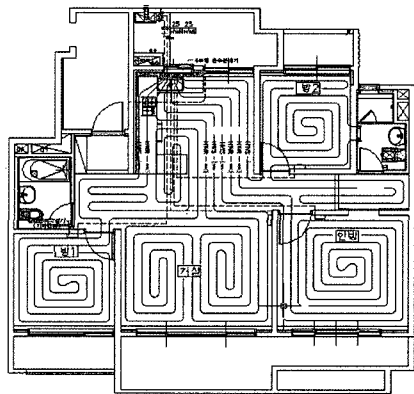
위치	서울시 은평구	
평수	45평	
건물 유형	중층 판상형	
온수분배기 특징	1개의 온수분배기 (실별유량밸런싱 불가능)	
실온조절기 특징	대표실 제어 (거실)	
조사일시	2004년 2월	



B아파트 평면

표 4. 조사대상 건물의 개요(C 아파트)

위치	서울시 은평구	
평수	45평	
건물 유형	중층 판상형	
온수분배기 특징	1개의 온수분배기 (실별유량 밸런싱가능)	
실온조절기 특징	각실 제어	
조사일시	2004년 2월	



B아파트 평면

을 수행하였다.

이와 함께 온수 및 실온 조절 방식별 난방 성능을 평가하기 위해 상용 열해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 조사 대상 세대 중 B 아파트를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 동절기 중 외기온이 가장 낮은 3일간을 대상으로 난방 성능을 평가하였다.

표 5. 현장조사 및 시뮬레이션 내용

방법	현장 조사 및 시뮬레이션 내용	사용기기 및 프로그램
현장조사 (현장측정 및 실험)	난방 온수분배기 및 실온조절기 설치 현황 조사	
	난방 시스템의 전체 순환 유량 측정	초음파 유량계
	온수분배기 온수공급코일별순환 유량 측정	초음파 유량계
	난방 시스템의 위치별 압력 측정	압력계
	유량 및 압력 변화에 따른 난방 시스템 성능 평가	초음파 유량계
	실별 바닥 온도 측정	열화상 촬영기
	실별 실온 측정	온습도 측정기
시뮬레이션	밸런싱 장치 설치에 따른유량 분배 현황 분석	Flowmaster
	온수 및 실온 조절 방식별 난방 성능 평가	TRNSYS

IV. 문제점 분석

1. 온수공급 코일별 유량 불균등

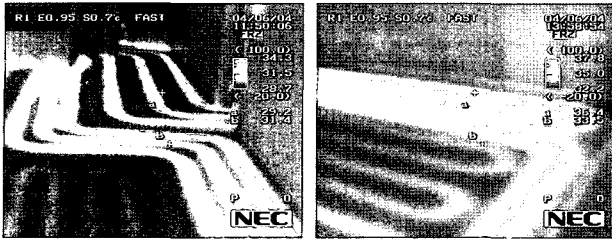
A, B 아파트의 온수분배기 및 온수공급코일별 공급 유량을 측정한 결과, <표 6>, <표 7>과 같이 각 온수공급 코일로 공급되는 실제 공급 유량이 설계 유량과 일치하지 않는 것으로 나타났다.

표 6. 대상 세대 유량측정 결과 (A 아파트)

실 (온수분배기)	방위	코일별길이 (m)	코일별설계 유량(lpm)	코일별 실제 순환 유량(lpm)		편차 (lpm)[%]
				실제	순환	
온수분배기 (A)	침실2 (BR2)	북	58/57	1.5	1.0	-0.5[31%]
	침실3 (BR3)	북	38/44/22	1.1	1.4	+0.3[34%]
	침실4 (BR4)	북	48/38	2.3	0.7	-1.6[69%]
	침실5 (BR5)	남동	51	0.3	0.4	+0.1[22%]
	온수분배기(A)합계				5.1	3.5
온수분배기(B)합계				3.0	2.9	-0.1[4%]
합계(A+B)				8.2	6.4	-1.8[22%]

표 7. 대상 세대 유량측정 결과 (B 아파트)

실	방위	코일별길이 (m)	코일별설계 유량(lpm)	코일별실제 순환 유량 (lpm)	편차 (lpm)[%]
방1(R1)	북	59	1.1	0.6	-0.5[45%]
방3(R3)	북	35/37	0.8	1.4	+0.6[75%]
부엌(KT)	북	58	1.2	0.6	-0.6[50%]
거실(LV)	남	31/40	1.5	1.4	-0.1[7%]
방2(R2)	남	36/38	1.1	1.4	+0.3[27%]
안방(MR)	남	32/33	1.1	1.4	+0.3[27%]
합계			6.80	6.80	0.0[0%]



a) 침실2 (BR2) b) 침실3 (BR3)

그림 2. 온수공급코일별 길이 차이에 따른 실별 온도 불균형

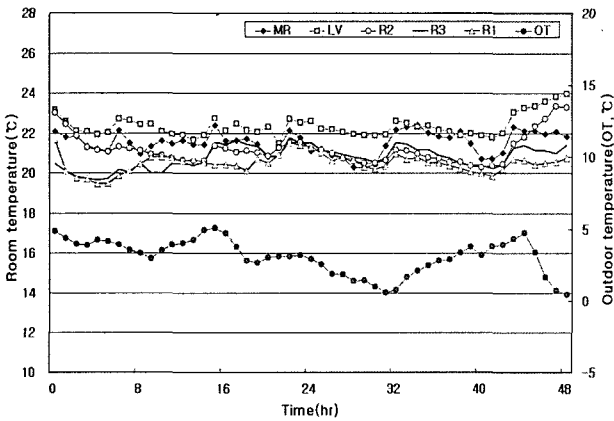


그림 3. 유량 밸런싱 없는 난방 시스템(대표실 제어 시스템)의 실온 유지 성능(B 아파트)

표 8. 대상 세대 유량측정 결과 (C 아파트)

실	방위	코일별길이 (m)	코일별설계 유량(lpm)	코일별실제 순환 유량 (lpm)	편차(lpm)[%]
거실	남	71	1.9	6.2	+4.3[226%]
안방	남	75	1.3	4.2	+2.9[223%]
방 1	남	71	0.9	4.1	+3.2[355%]
방 2	북	63	0.8	2.6	+1.8[225%]
합계			4.9	17.1	+12.2[249%]

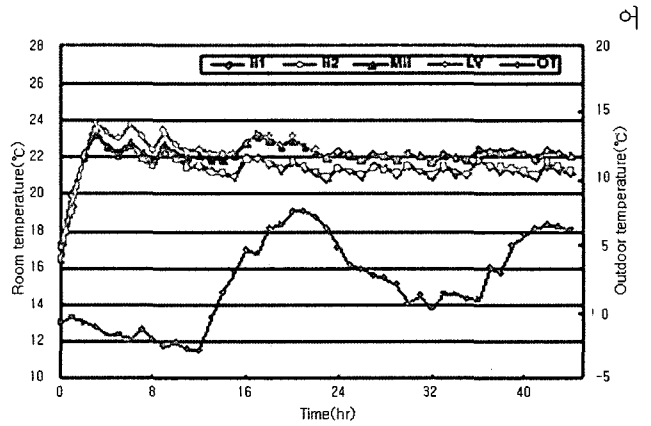


그림 4. 유량 밸런싱 적용한 난방 시스템(실별 제어 시스템)의 실온 유지 성능(C 아파트)

A 아파트의 경우 이와 같은 온수공급코일별 유량 불균등으로 인해 <그림 2>와 같이 두 개의 온수공급코일로 구성된 동일실 내에서 6°C 이상의 바닥 온도 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

B 아파트의 실온 측정 결과 온수공급코일별 유량 불균등으로 인한 실별 실온 차이가 발생하였으며, <그림 3>과 같이 특정 실이 적정 실온을 유지하지 못하는 것으로 나타났다.

이와 같은 유량 불균등은 코일구획 회로의 길이 차이에 따른 코일별 압력손실 차이에 의한 것으로, 각 코일 구획 회로별로 유량을 조절할 수 있는 기기가 설치되어 있지 않아 발생하는 현상이다. 이러한 현상을 통해 각 세대의 부하계산 결과를 실제 난방 시스템에 적절히 반영하기 위해서는 각 실별로 공급되는 유량을 조절할 수 있는 장치가 필요한 것으로 판단할 수 있다.

2. 과도한 순환 유량

C 아파트의 순환유량을 조사한 결과 <표 8>과 같이 실제 공급 유량이 설계 유량에 비해 과도하게 많은 것으로 나타났다.

이와 같이 난방 시스템에 과도한 유량이 순환하는 이유는 개별 보일러의 펌프가 열원의 용량에 따라 고정되어 과용량의 펌프가 설치되기 때문이다. 이와 함께 난방 시스템 설계 시 실제 공급 유량을 설계 유량에 따라 제

할 수 있는 차압밸브 등이 설계에 반영되지 않아 난방 시스템 구성 이후, 유량을 조절할 수 있는 방안이 없기 때문이다. 난방 시스템에 과도한 유량이 순환할 경우 <그림 4>와 같이 실온유지에는 문제가 발생하지 않으나 유속의 증가로 인해 배관 내에서의 압력 손실이 증가하며, 이로 인해 밸브나 펌프 흡입구에서 캐비테이션¹⁾이 발생할 가능성이 높아진다.

3. 시스템의 낮은 압력

난방 시스템이 정상적으로 가동하기 위해서는 배관 시스템 각 부분의 압력이 일정 압력 이상으로 유지되어야 한다. 난방 시스템의 압력은 팽창탱크의 구조 및 설치 조건에 따라 결정된다. C 아파트의 경우 <그림 5>와 같이 보일러에 설치된 팽창탱크가 배관 시스템에 충분한 가압을 하지 못하여 난방 시스템이 낮은 압력 조건에서 운전되며, 특정 위치에서 부압이 형성되는 것으로 나타났다.

이와 같이 부적절한 압력 조건에서는 외부로부터의 공기 유입, 배관 내에 잔류되어 있는 공기의 배출 불량, 낮은 정압으로 인해 난방 시스템의 특정 위치에서 캐비테이션이 발생할 가능성이 높아진다.

1) 유체의 압력이 유체의 증기압 이하로 감소하여 유체가 기포화하는 현상(Vapor cavitation)을 말한다. 이와 같은 현상은 매우 급속하게 발생하며, 소음, 진동 및 재료 손상의 주원인이 된다.

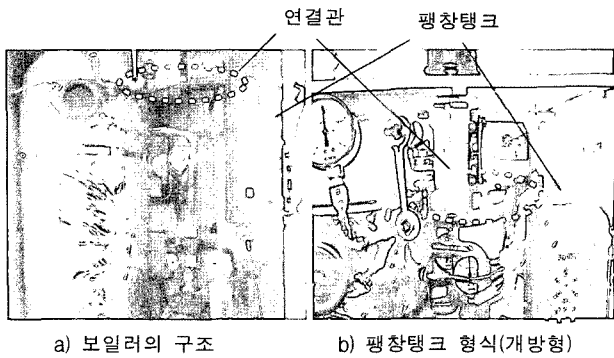


그림 5. C 아파트의 보일러 내부

4. 높은 온수온도

난방 시스템의 온수온도는 외기 및 부하 조건에 따라 조절되는 것이 적절하다. 그러나 국내에서 사용되는 보일러의 경우 <표 1>과 같이 대부분 사용자가 임의로 온수온도를 조절하거나 80°C의 높은 온수온도로 고정되어 있으며, 비교적 높은 온수온도로 난방을 가동하는 경우가 많다.

보일러가 높은 온수온도에서 가동될 경우 온수의 포화 증기압이 높아져 캐비테이션이 발생할 위험이 증가하며, 보일러의 효율이 저하되어 에너지 손실이 발생할 것으로 판단된다.

V. 적정 난방을 위한 방안

1. 적정 유량 유지 방안

개별 난방방식에서 적정 난방을 유지하기 위해서는 난방 시스템으로 공급되는 전체 유량과 온수공급코일로 공급되는 유량에 대한 조절 방안이 필요하다.

C 아파트의 경우, 과도한 용량의 펌프가 선정되어 난방 시스템에 과도한 유량이 순환한다. 특히 C 아파트와 같이 각 코일구획회로가 독립적으로 제어되는 실별 제어 시스템에서는 코일구획회로의 개폐에 따라 <그림 6>과 같이 특정코일로 유량이 집중되며, 빠른 유속으로 인한 소음 및 캐비테이션 발생 위험이 증가한다.

이와 같은 문제를 방지하기 위해서는 난방 시스템 설계시 결정된 필요 열량과 유량에 따라 펌프의 규격을 개별적으로 결정하여 기기를 구성하는 것이 바람직하다.

또한 부하 변동 및 운전 조건 변동으로 인한 유량의 집중을 방지하기 위해 <그림 7>과 같이 다단 펌프 또는 변유량 펌프 등을 통하여 유량을 제어하거나 차압밸브를 설치하여 유량을 제어해야 한다.

이와 함께 온수공급코일의 압력손실 차이로 인해 설계 유량과 공급 유량이 일치하지 않아 발생하는 난방불량 현상을 해결하기 위한 밸런싱 장치가 필요하다. 난방불량 현상을 해소하기 위해서는 밸런싱 밸브를 통한 유량 밸런싱이 필요할 것으로 판단된다. B 아파트를 대상으로 Flowmaster 프로그램을 이용하여 <그림 8>과 같이 배관

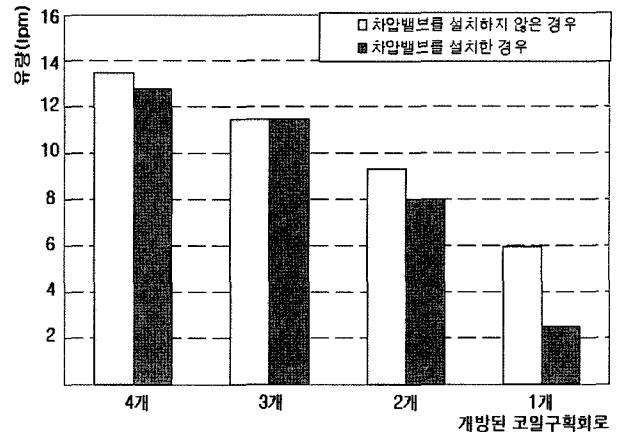


그림 6. C 아파트에서 차압밸브의 적용에 따른 각 코일구획 회로별 공급 유량 차이

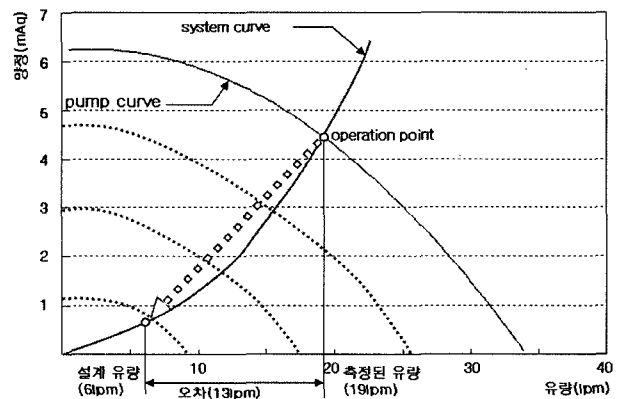


그림 7. 다단 펌프 또는 변유량 펌프 적용을 통한 난방 시스템 순환 유량 조절

망을 구성하고 <그림 9>와 같은 구동 특성을 갖는 밸런싱 밸브를 온수분배기에 설치하여 시뮬레이션을 수행한 결과, <표 9>와 같이 각 실로 공급되는 유량이 설계 유량과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

그러나 B 아파트에 유량 밸런싱을 하였어도, 대표실 제어 방식을 할 경우 TRNSYS 시뮬레이션을 수행한 결과 <그림 10>과 같이 단순히 실별 공급 유량을 설계 유량으로 밸런싱하는 방식만으로는 실온을 균등하게 유지하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 실의 방위 및 최대 부하 발생시간의 차이에 의한 것으로, 모든 실에 열량 공급 시간이 동일한 경우에는 여전히 난방불량 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 각 실의 부하에 따라 공급 유량을 제어하는 실별 제어 방식을 적용하여야 할 것으로 판단된다. B 아파트의 실별 공급 유량을 설계 유량으로 밸런싱 한 뒤 실별 온도조절기에 의해 공급 유량을 제어하여 시뮬레이션을 수행한 결과, <그림 11>과 같이 주거 내 모든 실들이 설정실온(23°C)을 근접하게 유지하는 것으로 나타났다.

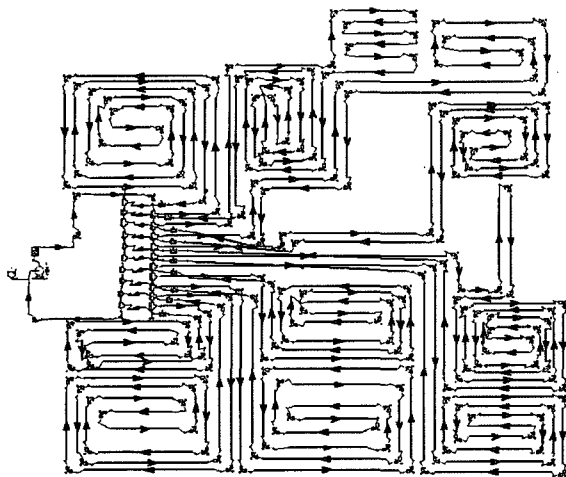


그림 8. flowmaster 관망 모델링(B 아파트)

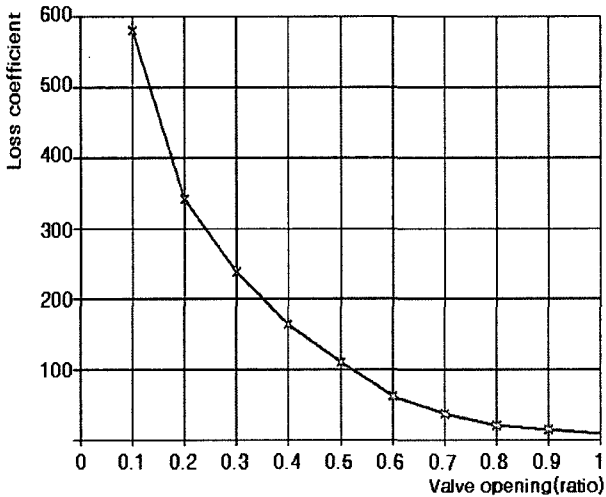


그림 9. 밸런싱 밸브의 구동 특성

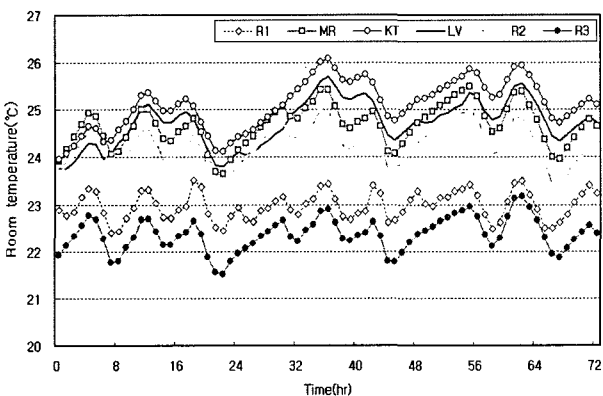


그림 10. 유량 밸런싱을 통한 기존 시스템 (대표실 제어 시스템)의 실온 유지 성능(시뮬레이션)

이를 통해 기존 시스템의 난방불량 현상을 해결하기 위해서는 각 코일의 공급 유량을 조절할 수 있는 밸런싱 밸브 및 실별 온도조절기를 설치해야 할 것으로 판

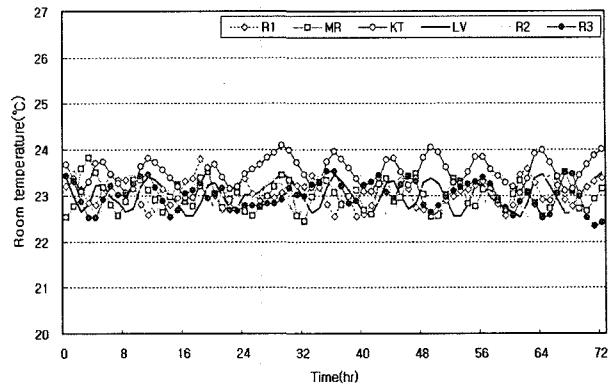


그림 11. 유량 밸런싱을 통한 실별 제어 시스템의 실온 유지 성능 (시뮬레이션)

표 9. 밸런싱 밸브 설치 시 유량 변화(B 아파트)

실	코일별 길이 (m)	코일별 설계유량 (lpm)	코일별 순환유량 (lpm, 시뮬레이션)	편차 (lpm)	밸브 개도율
방1(R1)	59	1.1	0.9	-0.2(-18%)	1
방3(R3)	35/37	0.8	0.9	+0.1(+11%)	0.2/0.2
부엌(KT)	58	1.2	1.0	-0.2(-16%)	1
거실(LV)	31/40	1.5	1.6	+0.1(+6%)	0.5/0.5
방2(R2)	36/38	1.1	1.2	+0.1(+9%)	0.3/0.3
안방(MR)	32/33	1.1	1.2	+0.1(+9%)	0.3/0.3
합계		6.8		0(0%)	

단할 수 있다.

2. 적정 압력 유지

국내의 보일러는 대부분 대기 개방형 팽창탱크를 적용하고 있어 비교적 운전압력이 낮으며, 난방 시스템의 구성 조건에 따라 낮은 운전압력으로 인한 문제가 발생하는 것으로 나타났다

이와 같은 문제를 방지하기 위해 C 아파트의 보일러에 설치된 기존의 개방형 팽창탱크(case1) 대신 밀폐형 팽창탱크(case2)를 설치하여 난방 시스템을 구성한 결과, <그림 12>와 같이 난방 시스템의 압력이 상승하여 외부 공기 유입 및 캐비테이션에 의한 문제가 발생하지 않는 것으로 나타났다.

이를 통해 기존의 보일러에 주로 사용하는 개방형 팽창탱크 대신 밀폐형 팽창탱크를 사용하여 시스템의 압력을 높게 유지하는 것이 적절하다고 판단할 수 있다.

3. 적정 온수온도 유지

기존 연구²⁾에 따르면 중량 구조체인 공동주택에서 일정한 설정실온을 유지하기 위해서는 바닥온도가 외기온

2) 여명석, 석호태, 김광우(1998), 공동주택 온수온도 바닥복사 난방 시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권, 12호, pp. 203-210

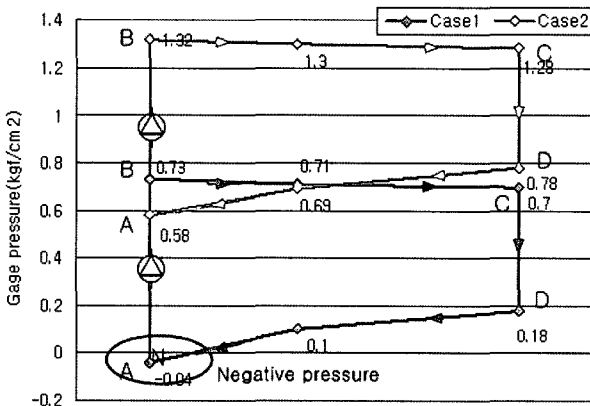
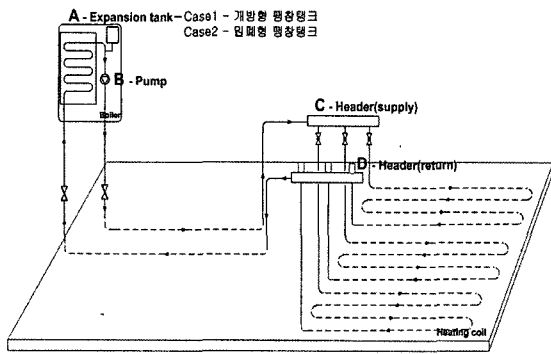


그림 12. 팽창탱크 형식에 따른 난방 시스템 위치별 운전압력 변화 (C 아파트)

에 따라 변해야 하며, 이는 외기 및 부하 조건에 따라 온수 온도를 연속적으로 변화시킴으로서 가능한 것으로 확인되었다. 이를 위해서 개별 난방시스템 혹은 개별보일러에 외기보상 제어 체계를 적용하는 것이 바람직하다. 아울러 에너지 소비 절감 및 캐비테이션 발생 방지를 위해서는 난방 온수의 온도를 높게 유지하지 않아야 할 것으로 판단된다.

VI. 결 론

개별 난방방식의 설계와 난방 시스템 기기 구성의 불일치로 인해 순환 유량 및 압력을 적절하게 유지하지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이로 인해 난방 시스템에 발생할 수 있는 문제점은 다음과 같다.

- (1) 난방 시스템을 순환하는 유량 및 각 온수공급코일로 공급되는 유량이 설계 유량과 일치하지 않아 동일 주거 내에서 적정 난방을 유지 하지 못하는 실이 발생한다.
- (2) 보일러를 구성하는 버너, 펌프, 팽창탱크가 일체화 되어 생산되기 때문에 각 주거의 난방 시스템에 적합한 유량을 공급하지 못하는 문제가 발생한다. 난방 시스템을 순환하는 유량에 대한 조절 장치가 설치되지 않아 과도한 유량이 순환할 경우, 과도한 유량으로 인해 캐비테이션이 발생할 가능성이 증가한다.
- (3) 배관 시스템이 낮은 압력 조건에서 운전될 경우 공

기의 유입 및 배관 내의 공기 배출 불량으로 인해 캐비테이션이 발생할 가능성이 증가한다.

(4) 높은 온수온도로 난방이 가동되는 경우가 많으며, 이로 인한 캐비테이션 발생 및 에너지 손실의 우려가 있다.

이와 같은 문제를 방지하고 적절한 난방을 유지하기 위한 방안은 다음과 같다.

- (1) 각 주거의 부하 조건에 적합한 열량의 버너와 펌프를 개별적으로 선정하여 보일러를 구성하여야 한다.
- (2) 난방 시스템의 운전 조건이 변화하여 특정 코일로 유량이 공급되는 것을 막기 위해 차압 밸브를 설치하여야 하며, 다단 펌프 또는 변유량 펌프를 설치하여 운전 조건에 적합한 유량을 공급하여야 한다.
- (3) 코일별 유량 밸런싱 및 실별 실온조절기 설치를 통해 주거 내 실온을 제어하여야 한다.
- (4) 적정 난방을 위해 추가되는 부속장치가 압력을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있으므로, 밀폐형 팽창탱크를 설치하여 난방 시스템의 전체적인 압력을 높게 유지하여야 한다.
- (5) 난방 시스템을 순환하는 온수의 온도는 대상 세대의 부하 조건에 따라 결정되어야 하며, 각 실로 온수가 공급될 때는 실별 온도조절기를 이용하여 각 실의 부하에 맞는 온수 온도를 공급하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 김오봉·오주환·여명석·김광우(2004), 바닥복사 난방에서 유량밸런싱을 통한 실별 제어시스템의 열성능, 설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 1127-1131.
2. 김오봉·이미경·여명석·김광우(2004), 공동주택에서 바닥복사 난방시스템의 실별 제어에 관한 연구, 설비공학회 논문집, 16권 5호, pp. 421-429.
3. 여명석·김광우(1999), 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 15권 3호, pp. 119-117.
4. 여명석·석호태·김광우(1998), 공동주택 온수온돌 바닥복사 난방시스템의 온수온도 제어방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 14권 12호, pp. 203-210.
5. 조영흠·김오봉·여명석·김광우(2002), 공동주택 현장시험을 통한 존별제어시스템의 열성능에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계), 22권 2호 pp. 773-776.
6. 홍석진·류성룡·여명석·김광우(2004), 복사난방시스템의 적정 유량분배 방안에 관한 연구, 생활환경학회 논문집, 11권 3호, pp. 153-159.
7. ASHRAE(2001), 2001 ASHRAE Handbook-Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
8. E. Hansen(2001), Hydronic System Design & Operation, McGraw-Hill Book Company.
9. F. Golestan(1996), Automatic Balancing Valve in Distribution networks today, ASHRAE Transaction, 102(2), pp. 439-444.
10. Flowmaster International Ltd(2004), Flowmaster

- Program Manual, Flowmaster International Ltd.
11. J. Rishel(2003), Control of Variable Speed Pumps for HVAC Water Systems, ASHRAE Transaction, 109(1), pp. 380-389.
 12. J. Rishel(2001), HVAC Pump Handbook Design, McGraw-Hill Book Company.
 13. J. Siegenthaler(2001), Modern Hydronic heating for Residential and Light Commercial Building, Thomson Delmar Learning.
 14. R. Ahlgren(1998), Selection of Hydronic Balancing Valves, ASHRAE Transaction, 104(1), pp. 1630-1635.
 15. Ryu, S. R., Lim, J. H., Yeo, M. S., Kim, K. W.(2004), A Study on the Control Methods for Radiant Floor Heating and Cooling System in Residential Building. ASHRAE Transaction, 110(2), pp. 106-116.

(接受: 2005. 7. 13)