

# 공동주택의 열性能 向上 方案에 關한 研究(II)

— 暖房運轉의 最適制御方案을 中心으로 —

안태경 / 한국건설기술연구원 선임연구원

이승언 / 한국건설기술연구원 선임연구원

강재식 / 한국건설기술연구원 연구원

## 1. 서론

최근들어 주택보급 확대를 위한 신규 주택의 건설은 지속적인 증가 추세에 있으며, 주택의 대량보급을 목적으로 아파트를 비롯한 공동주택의 건설이 정부의 주도하에 적극적으로 추진됨에 따라 전체주택에서 공동주택이 차지하는 비율은 상당 비율에 달하고 있다.

주거용 건물에서 에너지소비는 동계 난방에너지 사용이 대부분을 차지하고 있음에 따라, 공동주택의 에너지 절약을 위한 방안으로서는 건축계획적 측면에서 주택의 보온·단열성능의 향상과 사후관리적 측면에서 난방운전의 효율화 방안을 고려할 수 있다. 한편, 국내에서 공동주택의 본격적인 중앙난방 역사는 20년을 넘어서고 있으나 공동주택의 특성을 고려한 적절한 난방운전 방법에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 또한, 1980년 이후 건축법에 의한 단열성능의 강화로 외벽체의 열성능 향상을 실현하고 있으나, 실질적인 열적 성능의 규명 및 난방운전의 특성 등을 고려한 체계적인 공동주택

의 열성능 향상연구가 실시되어야 한다.

본 연구는 공동주택의 효율적인 난방운전 기법개발을 위한 연구로서 건축설계 및 관리적 측면에서 건물의 열성능에 영향을 미치는 요소를 도출하고, 현행 공동주택의 난방운전 실태를 조사하며, 현장 측정 및 모델을 이용한 실험을 통하여 효율적인 난방운전을 위하여 활용될 수 있는 공동주택의 운전방안을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

## 2. 공동주택의 난방운전 제어시스템

공동주택의 효율적인 난방운전제어란 설정된 실내온도를 유지하기 위해 온수의 온도 및 유량을 최적화하여 세대로 공급하는 것이다. 공동주택의 난방제어는 1차 기계실에서의 열원제어, 2차 기계실에서의 열공급제어, 세대에서의 실내 온도조절기에 의한 제어로서 3단계로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 단계별 난방운전 제어 시스템에 대한 검토를 실시하였다.

### 3. 공동주택의 난방에너지 소비실태

#### 3.1 실태조사 개요

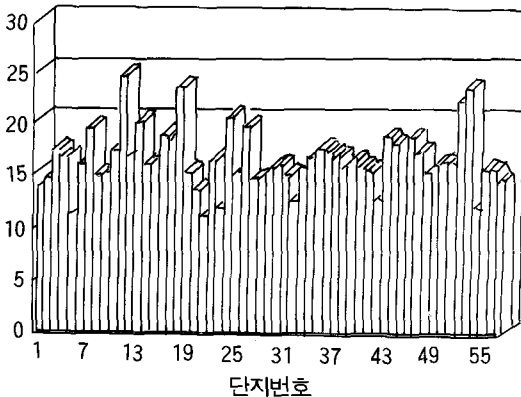
공동주택의 난방에너지 소비특성을 파악하기 위해 서울소재 57개 단지(지역난방)에 대해 93년 5월~94년 4월까지의 열사용량 실태를 분석하였다. 또한, 샘플 공동주택 4,500여 세대를 대상으로 92년 12월~ 93년 5월까지(1차년도), 93년 12월~94년 5월까지(2차년도) 세대별 난방에너지 사용량을 조사·분석하였다. 주요 내용은 1) 공동주택의 위치에 따른 난방에너지 소비특성, 2) 난방에너지소비의 불균일 현상요인 파악, 3) 규모 및 외기에 접한면에 따른 난방에너지 소비특성 등으로 이루어졌다.

#### 3.2 공동주택의 난방에너지 소비현황

〈그림 1〉은 57개소 단지의 단위 열사용량을 나타낸다. 분석결과, 동일 지역난방구역에서도 열사용량에 있어 단지간에 차이를 보였으며, 1차년도에는 단지에 따라 최대 3배 이상, 2차년도에는 최대 2배의 차이가 있는 것으로 나타났다.

〈그림 2〉는 년도별 단위 열사용량을 나타낸다. 준공년도별 열사용량 특징은 70년대에 비해 80년, 90년대가 적은 것으로 나타났다. 이러한

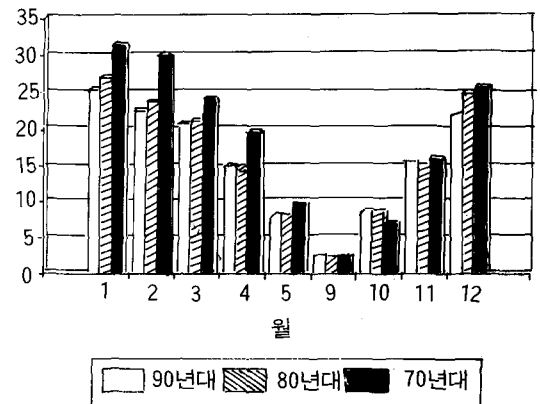
평균단위 열사용량 (Mcal / m<sup>2</sup>)



〈그림 1〉 단지별 단위 열사용량

원인은 준공년도에 따라 단열기준의 적용 및 실내온도조절기, 적산열량계의 사용유무에 기인한다고 할 수 있다. 그러나 동일 연대에서도 단지별 열사용량에 차이가 있는 것은 각 단지별 평면형태, 시공 및 구조, 설비상태, 난방운전 방법 등 여러 요인에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 건물의 규모에 따른 열사용량을 비교하면, 평형이 큰 단지가 평형이 작은 단지에 비해 단위 열사용량이 적게 나타났다. 이것은 단위 바닥면적당 외피면적의 비가 상대적으로 적은 큰 평형의 단지가 작은 평형의 단지에 비해 외피를 통한 열손실이 적기 때문으로 사료된다.

열사용량(Mcal / m<sup>2</sup>)



〈그림 2〉 년도별 단위 열사용량

#### 3.3 샘플 공동주택의 난방에너지 소비특성

현행 공동주택의 난방운전에서 가장 문제시 되는 점은 동일 건물에서도 발생하고 있는 세대의 위치에 따른 난방에너지 소비량의 특성을 파악하기 위해 샘플 공동주택 4,494세대, 56개동을 대상으로 세대별 난방에너지 사용량을 조사하였다. 〈표 1〉은 조사 대상 공동주택의 세대수와 규모를 나타낸다.

〈표 1〉 샘플 공동주택의 개요

면적 유형	세대 수	동 수
32평형 (84.7 m <sup>2</sup> )	1,500 세대	17개 동
43평형 (117.5 m <sup>2</sup> )	900 세대	13개 동
49평형 (136.3 m <sup>2</sup> )	1,416 세대	17개 동
56평형 (158.7 m <sup>2</sup> )	558 세대	7개 동
68평형 (192.2 m <sup>2</sup> )	120 세대	2개 동
합 계	4,494 세대	56개 동

3.3.1 위치(층별)에 따른 난방에너지 소비 특성

〈그림 3〉은 샘플 공동주택의 단위 면적당 월 평균 난방에너지 소비량을 층별로 나타낸 것이다. 그림에서 난방에너지 소비량을 면적규모에 관계없이 최하층이 가장 많은 난방에너지를 소비하는 것으로 나타났고, 최상층이 다른 층에 비해 상대적으로 많은 난방에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 특히 32평형에서 최하층의 경우, 난방에너지 소비는 23.9Mcal/m<sup>2</sup>月로 나타나 14층의 13.8Mcal/m<sup>2</sup>月에 비해 약 1.7배 많은 것으로 나타났다.

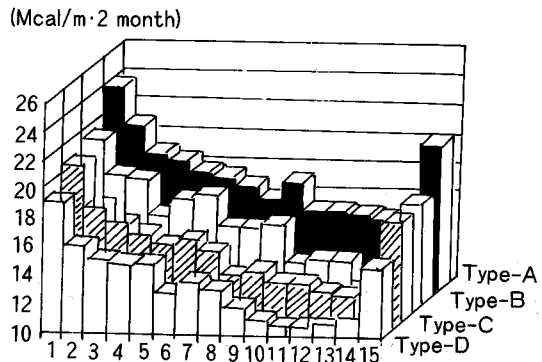
결국, 각 세대에서 일정 실내온도를 유지하는데 요구되는 열량은 동일한 것이 아니며 특히, 최대부하가 발생하는 세대(1층, 최상층)와 최소 부하가 발생하는 세대 사이에는 최대 2배 까지 난방에너지 소비의 차이가 발생하므로 확인할 수 있다. 따라서 현행 공동주택에서 세대위치에 기인한 난방부하의 차이에 따른 불합리성을 줄이기 위해서는 세대의 위치에 따른 비율에 대한 전반적인 재검토가 필요하고, 또한 그 비율에 근거한 열량 공급이 세대위치에 따라 구획된 준별로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

〈표 2〉는 최소부하 발생층을 기준으로 각 층의 난방에너지 사용량의 비를 나타낸다. 분석 결과를 1차년도와 비교하면, 난방에너지 소비량은 약간 감소하는 것으로 나타났으나 난방에너지 소비경향과 소비비율은 거의 유사하게 나타

〈표 2〉 세대 위치별 난방에너지 사용 비율

구분	면 적 규 모 (난방면적기준)			
	TYPE A (84.7 m <sup>2</sup> )	TYPE B (117.5 m <sup>2</sup> )	TYPE C (136.3 m <sup>2</sup> )	TYPE D (158.7 m <sup>2</sup> )
1	1.73	1.83	1.79	1.78
2	1.54	1.61	1.54	1.50
3	1.40	1.60	1.44	1.41
4	1.37	1.38	1.39	1.39
5	1.31	1.48	1.32	1.39
6	1.29	1.50	1.35	1.20
7	1.24	1.32	1.29	1.27
8	1.18	1.31	1.14	1.22
9	1.26	1.33	1.17	1.11
10	1.13	1.11	1.10	1.04
11	1.13	1.13	1.10	1.00
12	1.11	1.12	1.05	1.00
13	1.09	1.00	1.03	1.02
14	1.00	1.05	1.00	1.05
15	1.47	1.47	1.49	1.39

주) 통계처리기간 : 1993년 12월 ~ 1994년 2월



〈그림 3〉 세대 위치별 난방에너지 사용량

났다. 1차년도의 경우, 최소 난방에너지 사용층이 12~14층에 발생하고 있어 2차년도의 분석 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또한 최소층과 최대 발생층 사이의 비율은 1차년도의 경우 1.73~2.0, 2차년도의 경우는 1.73~1.83으로 분석되어 년평균 외기온의 변동과 연간 난방에너지 소비량의 변동에 관계없이 층별 난방에너지 사용량의 비율은 유사함을 알 수 있다. 이같은 소비특성은 건축년도가 동일하고 지역에 따른 국부적인 기후조건이 크게 작용하지 않으며, 평면 형태, 시공성, 외벽의 단열성능 등이 큰 차이 없이 건축된 샘플 공동주택에서 세

대의 층수에 따라 난방에너지 소비의 차이가 크게 발생함을 입증하고 있다. 세대의 위치에 따른 난방부하의 불균일 현상에 대한 원인을 공동주택의 부하요소측면에서 고려하여 정리하면 다음과 같다.

1) 일사(차폐)의 영향

대향 등에 의한 일사차폐 효과에 의해 하층 세대의 일조시간은 상층세대에 비해 상대적으로 감소하므로 유리창을 통한 일사취득의 절대량이 적게되고, 그에 따른 조기 난방개시와 난방시간의 증가로 하층세대는 상층세대에 비해 많은 에너지를 소비하게 된다. 또한 심리적인 생활패턴의 측면에서 세대내에 설치되어 있는 실내온도 조절기가 실내 난방운전의 제어기준으로서 작동되는 것이 아니라 단순히 난방운전의 on-off 스위치로서 역할을 담당한다는 측면도 하층세대의 난방에너지 소비를 상대적으로 증가시키는 원인 된다.

2) 최하층, 최상층 세대의 구조체를 통한 열손실

최하(상)층 세대는 중간층 세대에 비해 외기에 접한 면적이 증가하고, 외기에 접한 구조체를 통한 열손실이 중간층에 비해 현저히 불리하기 때문에 보다 많은 에너지소비를 초래할 수 있다. 특히, 바닥구조체의 하부가 외기에 직접 노출된 최하층의 경우에는 세대로 공급되는 난방에너지가 온돌바닥구조체의 하부로 직접 전열손실되므로써 그에 따른 난방부하가 크게 발생할 수 있다. 이같이 전열손실은 현행 공동주택의 부하계산시 충분히 고려되지 않고 있으며, 이를 현실적으로 개선하기 위해서는 최하층 바닥구조체와 최상층 상부구조체에 대한 단열 성능 강화가 요구된다고 할 수 있다.

3) 환기(굴뚝효과 등)에 의한 영향

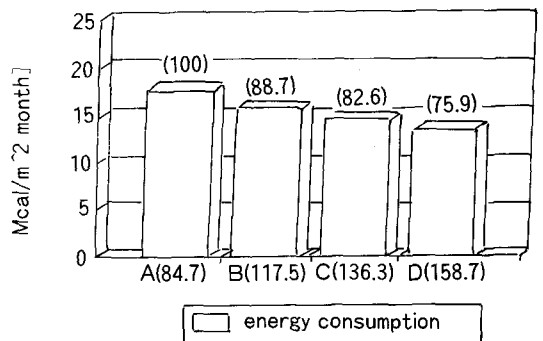
최하(상)층 세대는 환기에 의해 많은 에너지 손실이 발생할 수 있는 요인을 지닌 것으로 검토되었다.

이에 본 연구에서는 공동주택의 층 위치에 따른 누기량 파악을 위한 실험으로서 1개 동을 대상으로 화장실의 배기구를 통한 누기량을 현장 측정하였다. 측정결과, 외기의 풍속이 동일한 조건하에서 최하(상)층의 배기구를 통한 누기량이 중간층에 비해 상대적으로 크게 발생하였다. 따라서 층위치에 따라 도입되는 환기량과 외기온이 다르기 때문에 공동주택에서 환기에 의해 층별 난방부하의 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 결국, 현행 공동주택의 대부분은 이러한 층별, 세대별 열적 불균형의 문제점을 지니고 있으며, 차후 효과적인 공동주택의 에너지 절약과 효율적인 난방제어를 위해서는 설계 초기부터 이러한 세대별 열적 불균형을 줄일 수 있도록 설계 되어야 하고, 또한 현재의 단열기준을 현실적으로 보완할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.3.2 외기에 접한면의 구성에 따른 에너지사용량

1) 면적 규모에 따른 난방에너지 사용량

<그림 4>는 면적규모에 따른 월평균 난방에너지 사용량을 나타낸다. 32평형인 경우, 단위 면적당 에너지소비량은 17.7mCAL/㎡月로 나타나 43평, 49평에 비해서는 약 11.3%, 17.4%, 56평형에 대해서는 약 24.1% 정도 많은 것으로 분석되었다. 이것은 면적규모에 따른 단위면

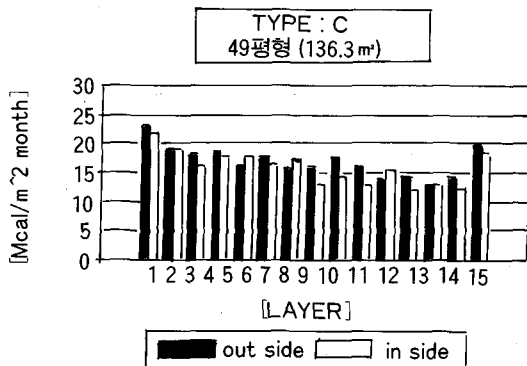


<그림 4> 면적규모에 따른 난방에너지 사용량

적당 외피면적의 차이에 기인한 것으로서 세대의 규모가 클수록 외피면적의 비가 감소하므로 외피를 통한 열손실이 상대적으로 감소하여 그에 따라 난방에너지 소비량이 적게 나타난 것으로 판단된다. 이같은 소비특성은 규모가 작을수록 그 경향이 뚜렷하게 나타날 것으로 사료되며, 실태조사 결과, 공동주택의 규모가 작을수록 단위면적당 에너지소비가 많은 것으로 나타났다. 따라서 면적규모가 작은 공동주택은 계획단계에서 이같은 열특성을 충분히 고려하여야 하고, 또한, 외피면적의 비에 기인한 난방부하의 비율을 고려하여 열량이 공급되어야 할 것이다.

2) 외기에 접한면에 따른 난방에너지 사용량

외기에 접한 면의 구성에 따른 난방에너지 소비량은 다음 <그림 5>와 같다. 그림에서 단위 세대중 동측 및 서측 끝단에 위치하여 측벽의 한면이 외기에 직접 접한 세대는 중앙부세대에 비해 단위 면적당 월평균 난방에너지 소비량이 평균 9% 정도 많은 것으로 나타나고, 층수 및 난방면적의 규모에 따라 3~28% 정도까지 차이를 보였다. 또한, 동서측의 외벽조건이 동일



<그림 5> 외주부와 중앙부 세대의 난방 에너지 사용량

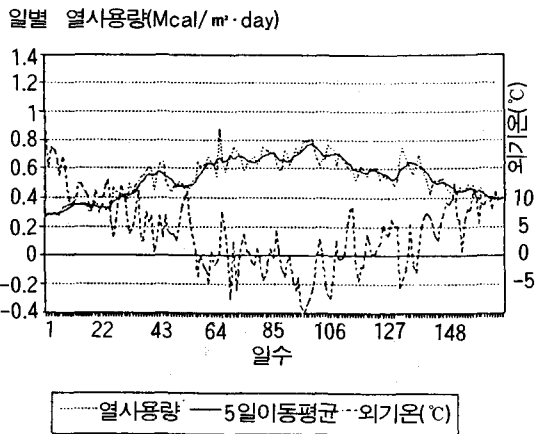
한 것으로 전제하여 최하층과 중간층, 최상층 세대로 구분하고, 다시 측벽 조건에 따라 6개 세대군으로 구획하여 소비량을 분석하면, 최하

층의 세대중 외기에 접한 측벽이 있는 세대는 중간층의 중앙부 세대에 비해 평균 45%~72% 까지 많은 에너지소비 경향을 보였다.

따라서 최하(상)층 및 측벽이 외기에 접한 세대에 대한 단일기준의 강화가 필요하고, 또한 각 세대로 공급되는 난방에너지는 실제 난방부하를 고려해서 적정열량으로 공급되어야 할 것으로 사료된다. 또한 공동주택의 규모나 위치에 따른 단위면적당 난방부하의 차이가 현저히 발생하고 있으므로 각 세대의 부하조건(규모, 평면형태, 외벽길이 등)에 따른 난방설계 및 운전기법에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3.3.3 샘플 공동주택의 외기온과 열사용량의 관계

<그림 6>은 외기온과 샘플 공동주택의 일별 열사용량의 관계를 나타낸다. 한편, 평균 외기온과 일별 열사용량 사이의 회귀분석 결과, 회귀모델식  $Y = -0.024X + 0.614$  ( $R^2 = 0.73$ )가 도출되었다.



<그림 6> 외기온과 일별 열사용량 변화

4. 샘플 공동주택의 난방운전 실태

4.1 개요

본 연구에서는 공동주택의 난방운전 실태와

그에 따른 열특성을 파악하기 위하여 난방운전의 제어가 이루어지고 있는 공동주택의 기계실을 대상으로 열성능 관련 자료에 대한 실태조사와 장기간의 측정을 실시하였다.

주요 분석내용으로는 1) 1, 2차측 온수온도, 2) 외기온도, 3) 1차측 공급유량의 제어현황, 4) 2차측 온수공급 펌프의 제어현황 등이며, 또한 일별 열량사용량에 대한 자료도 동일 기간에 걸쳐 분석하였다.

## 4.2 난방운전 실태

### 4.2.1 샘플 공동주택의 난방운전 현황

샘플공동 주택은 준공 초기에 1개소의 중앙기계실과 16개소의 부속 기계실로 구성된 중앙집중 난방시스템으로 설계되어 간헐운전에 의한 난방을 하였으나 1992년 9월부터는 지역난방에 의한 열원공급으로 연속운전 개념의 지역난방운전을 시행하고 있다.

샘플 공동주택의 난방운전은 지역난방으로의 전환이후, 94년도 3월까지 세대로부터 회수된 평균온수 온도를 제어의 주된 인자로 하여 열교환기의 1차측 공급유량과 2차측 공급온도 및 유량을 제어하고, 그에 따라 세대로 온수를 공급하였다. 세부적으로 세대의 난방부하 변동에 따른 공급열량의 증감은 먼저, 환수온도를 제어의 기준으로 지역난방 1차측 공급배관의 밸브 제어에 따라 열교환기로 공급되는 1차측 유량을 제어하므로써 세대로 공급되는 온수온도를 조절하며, 이와 함께 순환펌프의 댁수제어에 의해 세대로의 유량을 조절하게 된다. 이때 기준이 되는 환수온도는 난방기에 40℃, 난방중간기에는 39℃로 각각 설정되었다. 한편, 이같은 환수온도 제어방식은 환수온도가 각 세대에서 발생하는 난방부하의 평균치와 대응하기에 실제 난방부하에 근거한 운전이 이루어진다는 측면에서는 효율적인 운전방식이라 할 수 있다. 그러나 제어의 편차발생과 평균적인 난방제어라

는 측면에서 각 세대에서 발생할 수 있는 임의의 난방부하에 신속한 대응이 곤란하다는 문제점이 도출되었다.

이에 94년 3월에 공급온도기준 제어방식으로 운전방식을 전환하여 시험운전을 실시하였다. 운전방식의 전환에 따른 제어로서 세대로의 공급온도를 결정하는 1차측 유량의 제어기준을 세대로의 공급온도로 설정하였다. 또한 세대로의 공급유량을 결정하는 순환펌프의 댁수제어는 기존의 방법과 동일하게 댁수제어가 이루어지게 하였다.

### 4.2.3 난방운전방식에 따른 난방운전 실태분석

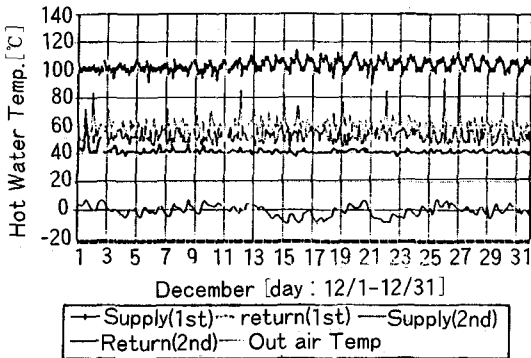
<표 3>과 <그림 7>~<그림 9>는 샘플 공동주택의 기계실에서 측정된 월별(93년 12월, 94년 3월, 12월) 1, 2차측 온수온도 변화를 외기온도와 함께 나타낸다.

- 1) 1, 2차측 온수온도 변화
- (1) 1차측(지역난방측) 온수온도 변화

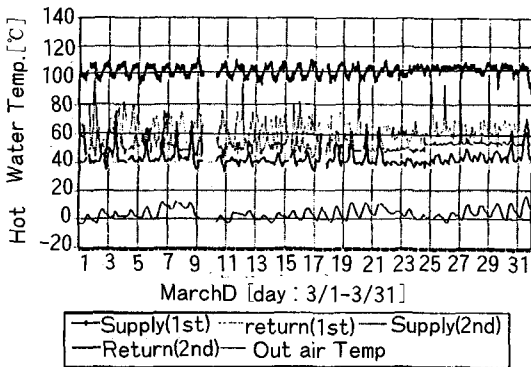
1차측 온수온도의 월별 변화는 <그림 7>~<그림 9>의 상단에 나타난 바와 같이 90~110℃의 범위에서 외기온의 변동과 유사한 변동패턴을 보이고 있다. 1차측 공급온도는 난방

<표 4> 월별 1, 2차측 온수온도 및 외기온 [단위: ℃]

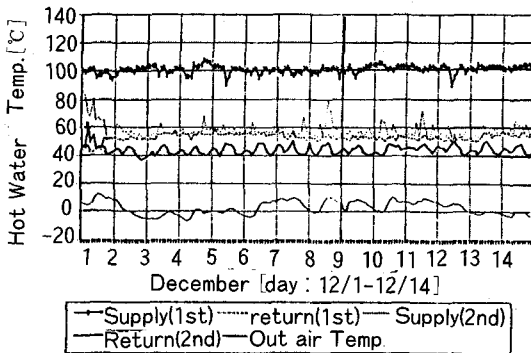
구 분	1차측 공급 온도	1차측 환수 온도	온도 차 (Δt)	2차측 공급 온도	2차측 환수 온도	온도 차 (Δt)	외기 온	
평 균	11월	99	66	31	51	45	6	8.3
	12월	103	59	44	53	42	11	-0.4
	1월	104	60	44	53	41	12	-1.1
	2월	104	62	42	52	41	11	0.25
	3월	103	63	40	53	43	10	3.7
표 준 편 차	4월	96	59	37	55	49	6	14
	5월	94	58	36	60	55	5	17.1
	11월	3.7	9.2	9.1	7.3	5.3	10.1	4.2
	12월	3.6	7.1	7.6	4.0	2.2	4.6	3.9
	1월	3.6	8.0	8.4	3.6	2.6	4.1	4.3
2월	3.0	9.1	9.2	5.8	4.5	6.3	3.8	
3월	3.6	8.7	9.3	4.9	4.6	3.8	4.0	
4월	3.0	10.8	10.4	8.9	9.5	2.5	5.3	
5월	2.4	8.8	10.0	9.2	9.7	2.8	4.8	



〈그림 7〉 1, 2차측 온수온도 및 외기온도 변화 I  
(측정기간 : 93년 12월 1일~12월 31일)



〈그림 8〉 1, 2차측 온수온도 및 외기온도 변화 II  
(측정기간 : 93년 3월 1일~3월 31일)



〈그림 9〉 1, 2차측 온수온도 및 외기온도 변화 III  
(측정기간 : 93년 12월 1일~12월 14일)

기의 경우 103~104°C로 공급되고, 난방중간기에는 94~99°C로 나타나 약간의 온도차는 발생하나 월에 따른 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다. 특히, 4, 5월의 경우 외기온도가 12~3월에 비해 11.3~18.2°C 정도 상승하여 세대의 난방부하가 감소함에도 1차측 공급온도는 큰 변화가 없이 95°C 내외에서 공급되고 있는 것으로 나타났다. 열교환후의 1차측 환수온도는 12~5월의 기간 중 대체적으로 50~70°C의 범위에서 변동하고 있으나 주간에는 일시적으로 80~100°C의 온도상승을 보이고 있다. 이것은 세대에서 일시적으로 난방 무부하가 발생하여 1차측 공급배관의 개폐율이 0%가 되는 시점으로 실제로 밸브가 완전히 차단되지 못함으로 인해 발생하는 현상으로 판단된다.

(2) 2차측 온수온도 변화

① 2차측 환수온수온도

〈그림 7〉은 환수온도를 기준으로 2차측 온수온도를 제어하였을 경우에 온수온도 변화를 나타낸다. 그림에서 환수온도를 기준으로 공급열량을 결정하기 때문에 월변화에 따라 환수온도는 큰 변화 없이 40°C를 기준으로 일정한 변동패턴을 보이고 있으나 공급온수온도는 비교적 큰 변동패턴을 보이고 있다. 〈그림 8〉에서 3월 20일 이후와 〈그림 9〉는 공급온도 기준제어로 전환한 후의 온수온도변화를 보여준다.

운전방식에 따른 2차측 환수온도의 변화를 살펴보면, 12월에서 3월 중순(환수온도 기준 운전방식)까지의 환수온도는 35~50°C의 변동범위에서 월평균 41°C를 중심으로 주기적이면서 안정적인 변동패턴의 양상을 보이고 있고, 운전방식의 전환 이후에는 〈그림 9〉에 나타난 바와 같이 40~50°C의 범위에서 비교적 큰 편차를 보이며 변동하고 있다. 월평균 환수온도는 93년 12월~2월까지 41~42°C로 나타났고, 3월은 43°C, 4, 5월은 49, 55°C로 나타났다. 한편, 〈그

림 9)에서 온수공급온도가 50℃와 55℃일 경우에는 40℃(22~24일), 43℃(25~27일)로 나타났다.

② 2차측 공급온수온도

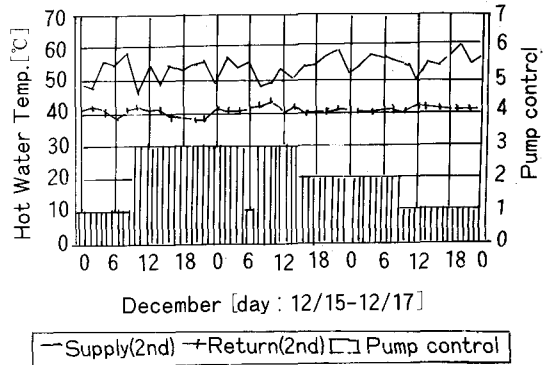
2차측 공급온도는 40~65℃의 범위에서 공급되는 것으로 나타났다. 월평균 공급온도는 12~3월의 경우, 51~53℃로 나타났고, 난방 중간기에 해당하는 4, 5월의 경우에는 12~3월에 비해 평균 4~9℃ 정도 높은 55℃~60℃로 공급된 것으로 나타났다.

③ 2차측 온수온도의 변동편차

앞의 <표 3>에서 환수온도 기준제어 운전시(12월~2월)환수온도의 표준편차는 2.2~4.5℃ 정도 발생하고 있으나, <그림 8>에 나타난 바와 같이 3월 중순에 실시한 공급온도 기준제어시의 표준편차는 1.8, 2.7℃로 나타나 상대적으로 가장 낮은 변동편차를 보였고, <그림 9>의 경우에는 2.9℃로 나타났다. 따라서 94년 3월 중순에 공급온도 50℃로 제어한 경우가 세대측의 부하변동에 대해 가장 신속하고 안정된 난방운전이 이루어짐을 알 수 있다. 분석기간 동안 공급온도의 변동편차는 환수온도 제어기준일 경우(93년 12월~94년 2월)에 3.6~5.8℃로 나타났고, 공급온도 제어기준일 경우(94년 3월 중순, 94년 12월)에는 1.1~2.6℃로 적게 나타났다. 따라서 편차만을 고려할 경우, 환수온도 제어 보다 공급온도 제어시 세대측에서 보다 안정적인 열량공급이 가능함을 알 수 있다.

이상 난방방식에 따른 운전실태 분석결과, 환수온도 제어방식은 공급온도의 변동편차에 대한 제어기법이 필요한 것으로 사료되며, 공급온도 제어방식은 세대 측면에서 보다 안정적인 열량공급이 이루어질 수 있는 것으로 사료되나, 이 경우에 제어의 기준온도에 대한 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4.3 난방운전제어에 따른 성능평가



<그림 10> 2차측 온수온도 및 펌프 가동 대수

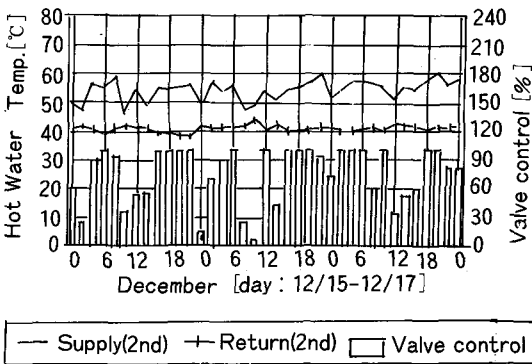
4.3.1 순환펌프에 의한 2차측 공급유량 제어

<그림 10>은 온수공급을 위해 병렬로 설치된 순환펌프의 가동댓수를 나타낸다. 그림에서 기호(□)는 펌프의 가동댓수를 나타낸 것으로서 세대의 부하변동에 따라 1대~3대까지 단계적으로 펌프의 댓수제어가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 펌프의 댓수제어로는 급격한 환수온도의 변동에 대해 신속한 대응이 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

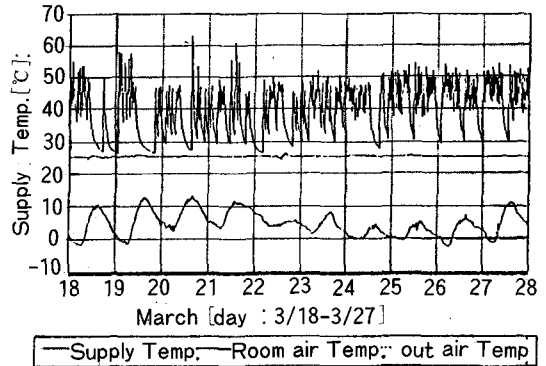
4.3.2 1차측 유량제어에 의한 2차측 온수온도제어

샘플 공동주택은 난방제어의 주된 변수로서 기계실에서 온수온도를 기준으로 지역난방측 공급배관의 밸브를 0~100%까지 개폐함으로써 열교환기로 공급되는 유량 즉, 열교환량을 조절하여 2차측 온수온도를 제어한다. <그림 11>은 환수온도 기준시 1차측 배관의 밸브 개폐율을 2차측 온수온도를 함께 나타낸다. 제어기준에 따른 밸브개폐 현황을 비교하면 공급온도 기준제어가 환수온도 기준보다 신속하게 제어되는 것으로 나타났다. 또한, 공급온도 제어기준시에는 난방 시간대와 비난방 시간대의 구분이 명확하게 나타내고 있어 일일 중 난방중단 시간대에 1차측과의 열교환 없이 온수가 공급되므로 지역난방으로 부터 건물 전체에 공급되는 열량을 보다 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 사료된다





<그림 11> 1차측 온수공급 밸브제어



<그림 13> 온수공급제어방식에 따른 온수온도변화

## 5. 열·환기성능 평가 및 컴퓨터시뮬레이션

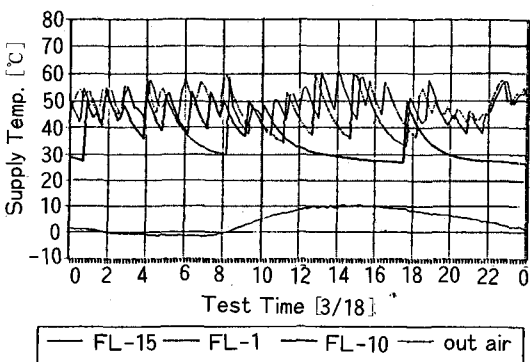
### 5.1 열성능 실험

#### 5.1.1 공동주택의 위치에 따른 열성능 실험

본 절에서는 샘플 공동주택의 최상층, 최하층 및 중간층 3개 세대를 대상으로 실내온도를 25℃로 유지시키면서 각 세대의 온수온도, 난방시간, 바닥표면온도 및 실내온도 등을 실측하였다.

#### 1) 온수온도변화

<그림 12>는 최하층, 중간층 및 최상층 세대의 공급온도변화를 나타낸다. 그림에서 중간층(10층)의 경우, 오전 1시부터 오전 10시까지 연속난방이 이루어지고 있으나, 주간 시간대(10시~18시)에는 온수공급 없이 실내온도가 유지하



<그림 12> 층별 공급온수온도 변화

는 것으로 나타났다. 한편, 최하층과 최상층 세대의 경우에는 일일중 온수가 연속적으로 공급되는 것으로 나타났다. 온수공급 횟수를 살펴보면 중간층은 일11회의 온수공급이 이루어졌으나 최하층은 20회, 최상층 세대는 일 18회의 온수가 공급된 것으로 나타났다. 따라서 동일 실내온도 조건에서 세대로의 공급열량을 외기온의 변동에 따른 난방부하의 변동으로 전제한다면 외벽체의 단열성능, 바닥구조체의 축열성능 및 시공성능이 동일한 건물에서 층 위치에 따른 난방부하의 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다.

#### 2) 바닥표면온도 변화

바닥표면온도는 최하층 세대가 가장 높게 나타났다고, 다음은 최상층 세대로 나타났으며, 중간층인 10층은 가장 낮은 온도분포를 보였다. 따라서 동일 실내온도를 유지하기 위해서 최하층 세대의 바닥표면온도가 다른 층에 비해 상대적으로 높게 유지되어야 함을 확인할 수 있다.

#### 3) 천정 대표면온도 변화

천정 대표면온도의 변동을 측정된 결과, 15층 세대의 천정 대표면온도가 다른 층에 비해 상당히 낮은 것으로 나타났으며, 특히 외기온도의

변동에 따라 직접적으로 영향을 받고 있는 것으로 나타나 최상층에서는 천정구조체를 통한 전열손실이 하부층에 비해 상대적으로 크게 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 난방부하를 최소로 하기 위해서는 지붕의 단열 성능에 대한 강화가 필요한 것으로 판단된다.

2) 바닥표면온도 변화

공급온도 제어방식으로서의 전환 후, 실내온도를 25℃로 유지하는 데에 따른 바닥표면온도의 변동특성으로는 환수온도를 기준시 발생하는 일시적인 바닥표면온도의 상승이 감소함을 확인할 수 있으며, 또한 바닥표면온도의 변동 폭이 기존의 제어방식에 비해 짧게 이루어짐으로서 세대층에서의 부하변동에 대해 보다 신속하고 안정된 난방운전이 이루어진 것으로 판단된다.

5.2 공동주택의 적산열량계에 대한 검토

5.2.1 개요

샘플 공동주택에서 공급열량과 검침열량은 난방기(12~2월)의 경우 9.7~19.4% 열량차이가 발생하나 난방 중간기(4,5월)에는 28.8, 52.3%로 차이가 발생하였다. 이에 적산열량계에 대한 열량계량 검증실험을 한국산업규격(KS B 5304)의 시험기준에 근거하여 실시하였다.

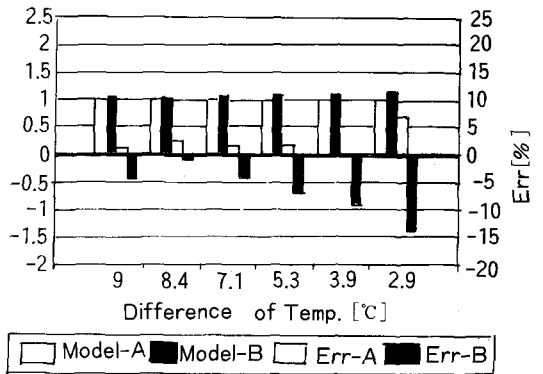
5.2.2 공급 및 환수온도 온도차 실험 결과

〈그림 14〉는 온도차( $\Delta t$ )에 따른 열량계량 실험결과를 나타낸다. 모델A의 경우, 온도차가 9~3.9℃까지 5단계로 변화할 때 감지 오차율은 0.7~2.3%로 적게 나타났으나 온도차가 2.9℃일 경우에는 6.7%로 나타났다. 한편, 모델 B는 온도차가 9~5.3℃일 경우에 1.3~7.3%까지의 오차율을 보였으나 온도차가 3.9, 2.9℃인 경우에는 9.5, 14%로 나타나 실제 공급열량과 검침열량 사이에 차이를 보였다.

5.2.3 유속(LPM) 실험 결과

유속의 변화에 따른 적산열량계의 열량감지

Energy consumption [kwh]



〈그림 14〉 온도차에 따른 열량계량 실험결과

오차정도를 측정하기 위해 유속을 1~6LPM까지 약 1LPM의 차이를 두고 6단계로 유속을 조정하여 실험한 결과, 모델A는 실제 공급된 열량과 검침 열량사이의 3% 이내의 오차를 보였으나 모델B의 경우에는 저유속인 1LPM에서 감지 오차율이 발생하였다.

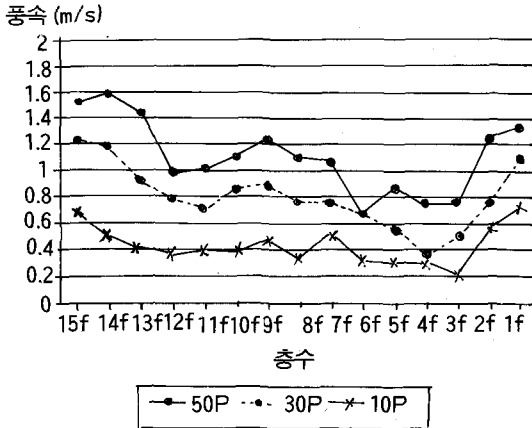
이같은 분석결과로부터 지역난방에 의해 연속적으로 열원이 공급되는 공동주택에 있어서 세대내 실내온도를 높게 유지하기 위해 연속적으로 난방을 실시하여 공급온수와 환수온수 사이에 온도차가 적게 될 경우에는 정확한 열량 검침이 곤란할 것으로 사료된다.

5.3 기밀성능 및 총별 환기성능 평가

5.3.1 기밀성능 측정

트레스가스 측정법에 의한 측정실의 환기회수는 0.3~0.7회/時이며, 세대의 환기상태는 0.4~0.8회/時로 나타났다. 한편 Blower Door법에 의한 측정결과, 압력차 10Pa일 때 면적당 상당누기면적은 3.8~6.3cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>으로 산출되어 이를 미국 ASHRAE의 평가치와 비교하면 '적절하게 기밀~보통'으로 평가되었다.

한편, 세대내 배기구의 밀봉상태에 따른 환기성능은 배기구를 열린 상태가 밀봉할 경우 보다 상당누기 면적이 약 12%~30%이상 증가하



〈그림 15〉 압력차에 따른 층별 풍속

였다. 이와 같은 결과는 화장실 혹은 주방 등의 배기구를 통하여 상당량의 실내공기가 배출될 수 있음을 의미한다.

5.3.2 층별 환기성능 평가

본 연구에서는 덕트내 압력차를 일정하게 유지시킬 수 있는 조절부(팬)와 실내의 공기의 흐름을 평가하는 측정기기로 누기량 측정시스템을 구성하여 덕트내 압력차를 -50Pa, -30Pa, -15Pa로 3단계 변화할 때 덕트내의 풍속을 나타낸다. 그림에서 1층과 최상층이 다른 층에 비해 5~40% 정도 풍속이 큰 것으로 나타나 동일 조건에서 다른 층에 비하여 실내 배기구를 통한 누기량이 큰 것으로 판단된다.

5.3.3 층간 환기회수 산출

샘플 공동주택의 층간 환기회수를 산출하기 위해 1차년도에 제시되었던 환기회수식을 기본 모델로 하여, 샘플 공동주택의 층간 환기회수식을 도출하면 다음식과 같다.

$$\text{환기회수} = 0.054(0.072V^2 + 0.032\Delta T)^{1/2} \times 3600 / 377 \text{ (식 1)}$$

한편, 압력차 10Pa에서 유사한 패턴을 보인 3~13층의 누기량비를 1로 추정된 후, 측정된 누기량에 의해 층별 누기량비를 산출하고 (식

1)의 환기회수식에 의해 외기풍속을 2.4m/s, 실내외 온도차를 24.7℃로 가정하면 샘플 공동주택의 환기회수는 〈표 4〉와 같이 예측할 수 있다.

〈표 4〉 층별 환기회수 예측치

층 위치	환기회수(회/층)
1 층	0.62
2 층	0.58
3층~13층	0.56
14 층	0.59
15 층	0.62

5.4 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 평가

5.4.1 샘플 공동주택의 난방부하

샘플 공동주택의 최상층, 최하층 및 기준층의 난방부하에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 분석결과, 최상층이 기준층에 비해 약 70~80%, 최하층이 기준층에 비해 약 80~100% 정도 난방부하가 많은 것으로 평가되었다. 한편, 샘플 공동주택에서 환기부하가 전체 난방부하에 차지하는 비율은 약 17~30%로 분석되었고, 최상층의 지붕을 통한 열손실은 전체 난방부하의 29%, 최하층의 바닥을 통한 열손실은 약 33% 정도로 나타나 이들 요소가 난방부하에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

5.4.2 단열 및 기밀성능 강화에 따른 난방부하 비교

〈표 5〉는 최상층 지붕과 최하층의 바닥 열성능을 강화함에 따른 난방부하의 변화를 나타낸다. 지붕의 단열성능을 20~60% 강화시킴에 따라 난방부하는 약 5~12%정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 최하층 바닥의 단열성능을 20~80% 강화시킴에 따라 난방부하는 5~15% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 환기회수에 따른 난방부하의 변동을 살펴보면 최하(상)층의 환기회수를 현행보다 10~50%정도 감소시킴에 따라 난방부하는 2~10%정도 감소되는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 단열강화에 따른 난방부하비율 변화

구 분	증가율	난방부하
최상층지붕 단열강화시 난방부하	기 존	- 12.88 (1.71)
	20%	- 12.319 (1.64)
	40%	- 11.869 (1.58)
	60%	- 11.50 & (1.53)
최하층바닥 단열강화시 난방부하	기 존	- 14.098 (1.87)
	20%	- 13.453 (1.79)
	40%	- 12.926 (1.72)
	60%	- 12.489 (1.66)
	80%	- 12.119 (1.61)

6. 공동주택 난방제어를 위한 기본모델의 설정

6.1 온수공급조건에 따른 바닥표면온도 변동 모델

6.1.1 외기온 변동과 요구 바닥표면온도

외기온과 요구 바닥표면온도 사이의 관계는 회귀모델의 선형관계식에서 상관도 분석 결과, (식 2)와 같이 2차식을 이용한 모델이 설정되었다.

$$RT = 0.432 \times 0.513 \times FT - 0.013 \times OT \times FT + 10.46 \dots (\text{식 } 2)$$

여기서, RT : 실내 설정온도, OT : 일평균 외기온도 FT : 일평균 바닥표면온도

한편, (식 2)로 부터 실내설정온도와 외기온이 주어질 때 요구 바닥표면온도를 산출하기 위한 식은 다음 (식 3)과 같다.

$$FT = \frac{RT - 0.0432 \times OT - 10.46}{(0.513 - 0.013 \times OT)} \dots (\text{식 } 3)$$

6.1.2 온수공급조건과 바닥표면온도와외의 관계

온수공급온도와 공급시간의 함수로서 요구 바닥표면 온도를 생성하기 위한 관계식은 다음 (식 4)와 같다.

$$FT = 0.908 \times RT + 0.551 \times T + 0.093 \times ST - 1.43 \dots (\text{식 } 4) (R^2=0.93)$$

한편, 실내온도가 설정되고 외기온도에 대응

하여 요구되는 바닥표면온도가 (식 3)에 의해서 결정될 경우, (식 4)를 이용하여 요구되는 바닥표면온도를 생성하기 위한 온수공급온도 및 온수공급시간을 도출할 수 있다.

7. 공동주택의 효율적인 난방운전 기법

7.1 외기온 보상운전표

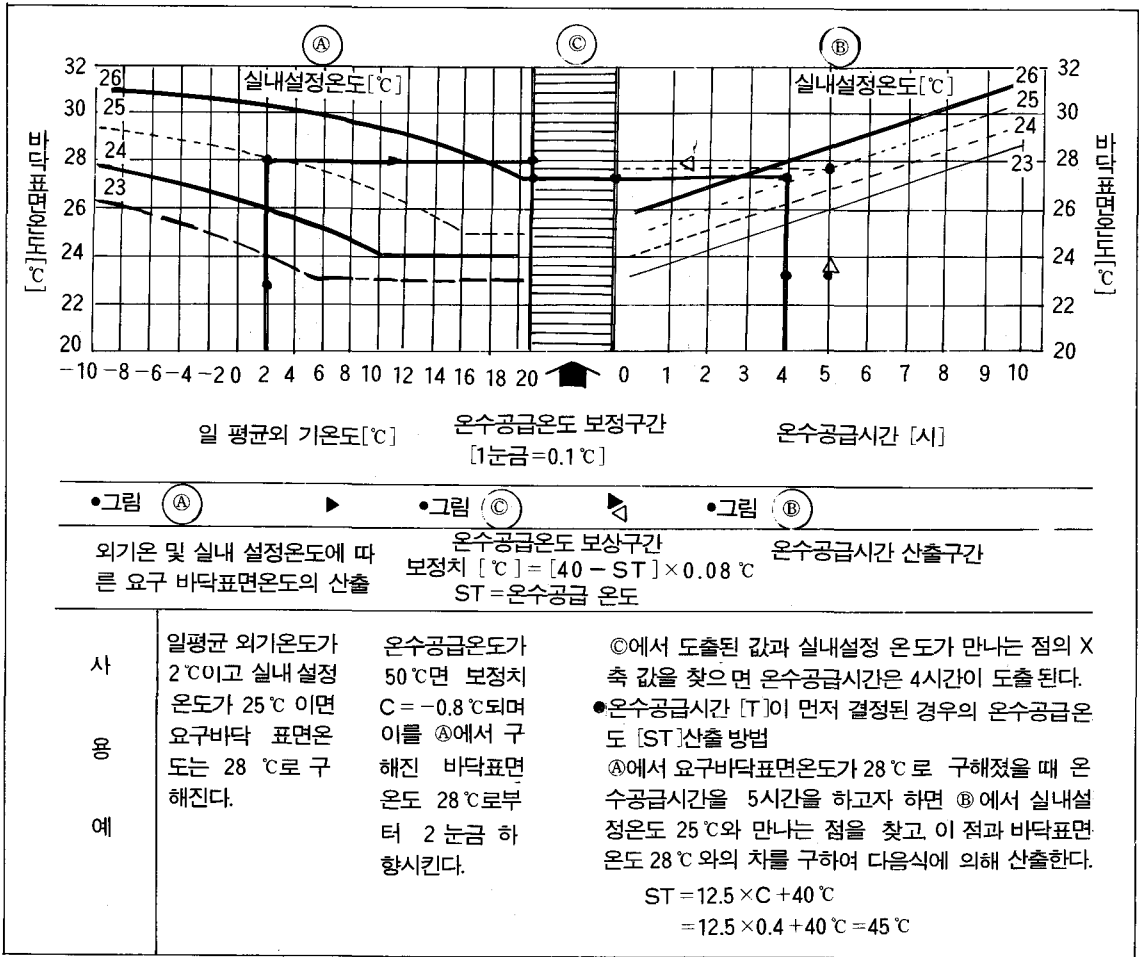
앞의 6장에서 검토된 외기온도, 바닥표면온도, 실내온도, 온수공급온도 및 공급시간 사이의 관계식을 이용하여 본 샘플 세대를 기준으로 한 외기온 보상운전표의 작성 예는 〈그림 16〉과 같다. 본 외기온 보상운전표는 동계 2~5월까지 일일중 실온을 23~26℃의 범위로 변화시키면서 그때 공급된 온수온도와 세대의 온수공급시간, 평균 바닥표면온도 등을 근거로 산출된 것으로서 샘플 공동주택의 단위 세대를 중심으로 작성한 것이며, 따라서 대상 공동주택의 효율적인 난방운전제어를 위한 관리자의 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

7.2 공동주택의 난방비 부가방법에 대한 검토

공동주택의 난방비 부가방법에 대한 관련 연구보고서와 문헌자료를 분석하고 실태조사를 실시하여 사례별로 검토하였다. 또한 현행 난방비 보정계수와 실태조사에서 분석된 실제 난방에너지 소비비율과의 비교·검토 결과, 현행 산정법은 일반적인 난방비 산정의 자료로 이용될 수 있으나, 각 공동주택의 열적특성을 반영하고, 세대의 위치에 따른 난방부하의 차이에 기인한 열적 불균형을 합리적으로 해결하기에는 다소 미흡한 것으로 나타났다.

8. 결론

본 연구에서는 공동주택의 난방에너지 소비 실태, 현장측정 및 모델을 이용한 실험, 컴퓨터 시뮬레이션 등을 통하여 관련 연구분야와 공동주택의 난방운전에 활용될 수 있는 방안을 제시하였다.



<그림 16> 샘플공동주택의 외기온 보상운전표

### 1) 공동주택의 난방에너지 소비실태

(1) 지역난방을 실시하는 서울소재 57개소 공동주택 단지에 대한 난방에너지 소비실태를 분석한 결과, 단지별 난방에너지 사용량은 단지에 따라서 최대 2배이상 차이가 있는 것으로 나타났고, 동일한 구역에서도 에너지 사용량에 많은 차이를 보였다. 이같은 분석결과는 관련 단열기준의 적용상태나 관련 설비기기 및 운전방식의 차이에 기인한다고 판단된다.

(2) 세대별 열성능 및 기계실의 난방운전 특성평가

① 샘플 공동주택 4,500여 세대의 난방에너지

사용량을 분석한 결과, 1층(최하층)이 가장 많은 난방에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 다음이 최상층인 15층으로 나타났다. 또한 2층에서 14층까지의 중간층 세대에서는 층수에 비례하여 난방에너지 사용량이 감소하는 경향을 보였으며, 12~14층에 위치한 세대에서 가장 적은 난방에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 특히, 최하층과 12~14층에 위치한 세대에서 난방에너지 사용량의 차이는 최대 2배에 이르는 것으로 나타나 이들 세대의 열적 불균형을 감소시킬 수 있는 방안이 요구된다.

② 난방운전 실태를 분석하기 위해 난방제어

가 이루어지는 기계실을 중심으로 온수온도, 1차측 공급유량 제어상태, 2차측 순환펌프의 가동상태 등을 분석하여 난방운전에 따른 열특성을 파악함으로써 관리자측면에서 실제 활용될 수 있는 운전관리 자료를 제시하였다.

③ 공동주택의 난방에너지 사용량과 외기온 사이에 회귀분석을 실시하여 외기온에 따른 공동주택의 난방에너지 사용량 간에 예측식을 제시하였다.

**2) 공동주택의 열·환기성능 현장측정 및 모델 실험**

(1) 공동주택의 세대 위치에 따른 열적 불균형 현상을 평가하기 위해 최상층, 최하층 및 중간층 세대를 대상으로 동시 열성능 실험을 실시하였다. 실험 결과, 최상층과 최하층의 난방에너지 사용량이 중간층보다 많은 것으로 분석되어 공동주택의 층별 난방부하의 차이가 발생함을 확인하였다.

(2) 온수공급 제어방식에 따른 열성능 평가로서 환수 온도 제어방식은 세대층의 평균 부하변동에 따른 난방운전이 가능하다는 측면에서 효율적인 운전 방식이라 할 수 있겠으나 공급온도의 변동편차에 대한 제어기법이 필요하며, 세대층의 난방을 고려한 공급온도의 하한치 설정이 필요한 것으로 판단된다. 한편, 공급온도 제어방식은 세대 측면에서 보다 안정적인 열량공급이 이루어질 수 있는 것으로 사료되며, 제어의 기준이 되는 공급온도에 대해 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 현행 공동주택에서 층위치에 따른 열성능 차이의 주요 요인으로서 환기 및 기밀성능에 의한 영향이 클 것으로 사료되며, 화장실 배기구를 통한 누기량을 비교·분석한 결과, 최상층과 최하층세대의 누기량이 다른 층에 비해 약 10% 정도 크게 발생하는 것으로 나타났다.

(4) 공동주택의 공급열량과 검침열량 사이에 열량차이가 발생하는 것으로 분석되었으며, 이에 적산열량계에 대한 검증실험 결과, 저유속과 공급 및 환수의 온도차가 적을 경우 오차가 발생하는 것

으로 나타나 보다 정확한 열량검침에 대한 고려가 있어야 할 것으로 사료된다.

**3) 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 열성능 평가**

공동주택의 열성능에 미치는 요소에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 검토 결과, 공동주택의 층간 열사용량 차이의 원인으로 단열 및 환기성능이 크게 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

**4) 샘플 공동주택의 기본운전 모델**

본 연구에서는 샘플 공동주택의 난방운전 기본모델을 설정하여 각 요소간의 상관 관계를 정립하였으며, 1, 2차년도에 측정된 자료에 의하여 제시된 운전 모델식의 타당성을 검토하였다.

**5) 관리방안 및 단열성능 평가**

(1) 최상층 및 최하층 세대의 단열성능 강화

최하(상)층 세대는 다른 층에 비해 난방부하가 크게 발생하였으며, 이의 보완으로 이들 세대의 단열성능을 강화시킴에 따라 난방부하를 감소시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

(2) 최상층, 최하층세대의 환기를 통한 열손실 방지

최하(상)층 세대는 다른 층에 비하여 환기량이 많은 것으로 평가됨에 따라 기밀성 확보 및 배기구에 대한 적정 환기성능을 유지시킬 수 있는 환기시스템의 적용이 필요할 것으로 판단되며 이를 통해 현행의 환기회수를 10~50% 정도 감소시킴으로써 난방부하는 2~10% 정도 감소하는 것으로 평가되었다.

(3) 난방운전 관리방안

① 샘플 공동주택의 난방에너지절약과 효율적인 난방운전에 활용될 수 있는 외기온보상운전표를 제시하였다.

② 샘플 공동주택을 대상으로 난방운전 방식에 따른 1, 2차측 및 3차측의 운전특성을 분석하였고, 공급온도제어방식과 환수온도 제어방식에 따른 열특성을 파악하므로써 실제 난방운전을 위한 운전자료를 제시하였다.