

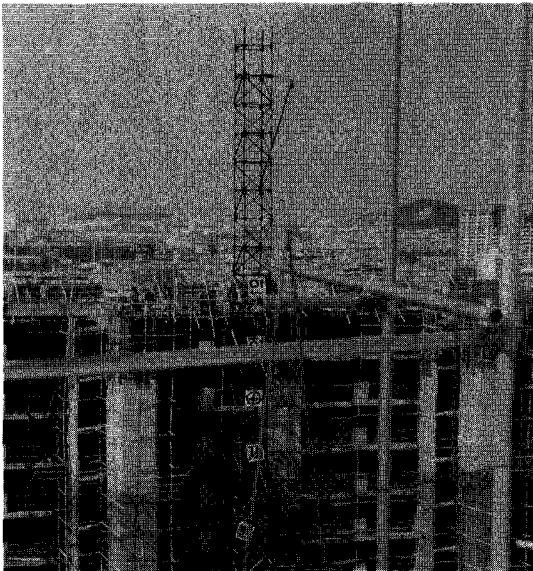
난방운전의  
최적제어방안 중심

# 공동주택의 열성능 향상 방안

이승언 / 한국건설기술연구원 선임연구원

안태경 / 한국건설기술연구원 연구원

강재식 / 한국건설기술연구원 연구원



## 연구요지

현재 범국가적 차원에서 지속적인 국가 경제 발전과 국제수지 개선을 위하여 추진되고 있는 정부의 에너지 절약사업에서 건물부문이 차지하는 에너지절약 효과는 막중하다. 특히 전체주택에서 공동주택이 차지하는 비율은 1990년에 32.1%, 서울시의 경우 51.3%로 전체 주택의 과반수를 넘어섰으며, 수도권에 대단위 아파트단지의 개발과 함께 공동주택의 증가추세는 당분간 지속될 전망이다.

본 연구는 공동주택의 최적난방 운전기법 개발을 위한 1차년도 연구로서 현행 공동주택의 난방운전 실태를 조사, 분석하고 각 난방법에 따른 문제점 및 최적제어 알고리즘의 개발을 위한 자료 도출을 주목적으로 진행되었다.

1차년도에 수행된 연구의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다.

공동주택의 난방에너지 소비현황은 단지에 따라 최대 3배이상의 열사용량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 열사용량의 차이는 건축의 기본 열성능, 설비시설의 수준 및 노후화정도에 영향을 받으나 동일 연대의 단지들에서도 최대 80%이상의 열사용량이 차이를 보이고 있었으며 이는 기계실 및 각 세대의 난방운전방법 및 제어수준에 따른 것으로 평가되었다. 세대의 층별, 위치별 열사용량 분석에 의하면 층별 열사용량차이가 큰 것으로 분석되었으며, 특히 최상층부와 최하층부의 열사용량이 뚜렷이 많이 나타나 단열성능의 강화가 요구되는 것으로 나타났다. 한편 샘플단지에 대한 측정 데이터를 통해 적정 열량공급시간대의 설정과 외기온의 변화에 따른 적정 온수공급온도의 설정조건 및 유량제어 효과등에 대한 분석 및 검토를 하였으며, 이를 통해 2차년도의 개발목표인 최적운전제어 방안의 제시를 위한 자료를 구축하였다. 또한 각 세대의 기밀성능이 공동주택의 열성능에 미치는 영향을 도출하기 위하여 샘플단지에 대해 트레스가스 측정법과 Blower Door법에 의하여 환기 및 기밀상태를 평가 하였으며 측정주호에 대한 환기를 예측할 수 있는 환기에측평가식을 제시하였다.

## 1. 서론

현재 범국가적 차원에서 지속적인 국가 경제 발전과 국제수지 개선을 위하여 추진되고 있는 정부의 에너지 절약 사업에서 건물부문이 차지하는 에너지 절약 효과는 막중하다. 최근들어 주택보급 확대를 위한 신규 주택의 건설은 지속적인 증가 추세에 있으며, 주택의 대량보급을 위한 아파트를 비롯한 공동주택의 건설이 정부의 주도하에 적극적으로 추진됨에 따라 전체 주택에서 공동주택이 차지하는 비율이 1990년 현재 32.1%에 달하고 있다. 특히 서울시의 경우, 공동주택의 구성비는 1990년 현재 51.3%로 전체주택의 과반수를 넘었으며 수도권의 대

단위 아파트단지의 개발과 함께 이러한 공동주택의 증가추세는 당분간 지속될 전망이다.

또한 우리나라 전체에너지 사용량 중 주거부분이 차지하는 비율은 약 36%에 이르고 있어, 열관리 및 보존방법의 개선에 의한 주거부분의 에너지 절약 효과는 매우 크다고 할 수 있으며, 에너지 자원의 부족으로 에너지 해외 의존도가 75%에 이르고 있는 국내 실정에서 주택의 에너지 절약을 위한 체계적인 연구가 절실히 요청되고 있는 실정이다.

이에, 본 연구는 공동주택의 최적난방운전 기법 개발을 위한 연구의 1차년도로써 공동주택을 대상으로 관리적 측면에서 건물의 열성능에 영향을 미치는 요소를 도출하고, 각 요소별로 에너지 성능을 분석·평가하며 현행 공동주택의 난방운전 실태를 조사·분석하여 각 난방방법에 따른 문제점 및 최적제어 알고리즘을 개발하기 위한 자료도출을 주 목적으로 진행되었다.

## 2. 공동주택의 난방

### 2.1 현행 공동주택의 난방운전 제어

공동주택의 난방제어는 1차 기계실에서의 열원제어, 2차 기계실에서의 열공급 제어, 세대에서의 실내온도조절기에 의한 제어의 3단계로 나눌 수 있다.

1차 기계실에서의 제어대상은 지역난방인 경우 지역난방공사의 열생산 및 열공급온도 및 공급유압이 되며, 중앙난방인 경우에는 중앙기계실의 보일러에서의 중온수 생산 및 중간기계실로의 온수분배가 제어대상이 된다.

2차측에서는 1차측에서 생산된 중온수를 열환기에 의하여 저온수로 변환시킨다. 온수를 제어하는 방법으로는 열교환기 자체에는 온수 온도제어 능력이 없으므로 실질적으로 2차측의 온수온도를 제어하는 것은 1차측에서 열교환기에 공급되는 유량을 전동밸브에 의해 조절함으로써 2차측에서 생산되는 온수 온도제어를 하는 방법이 많이 사용되고 있다.

최종적인 난방의 제어는 각 세대에서 행해지는 제어이다. 각 세대에서는 2차측에서 공급된 공급온수를 각세대에서 설정한 실내온도에 맞추어 실내온도조절기에 의해 주 밸브를 on-off 하는 방법에 의해서 목표 실온을 유지하게 된다.

### 3. 공동주택의 난방에너지 소비

#### 3.1 난방에너지 소비

1992년 10월부터 지역난방에 의하여 열을 공급받게된 강남지역의 55개소 아파트단지에 대하여 에너지소비량을 비교하기 위하여 1992년 12월부터 1993년 4월까지 단위 열사용량을 분석하였다.

분석에 의하면 동일한 지역난방 구역의 아파트에서도 단지별로 열사용량에 많은 차이를 나타내고 있다. 각 단지별 월별 단위열 사용량을 비교하면 단지에 따라 최대 3배이상의 열사용량이 차이가 나고 있는 것으로 나타났다.

준공연도별 아파트의 평균 단위열사용량의 비교하면, 70년에 건립된 아파트가 80년대 건립된 아파트에 비해 평균 단위열사용량이 12월에 약 12%, 1월에 27%, 2월에 14% 정도 많았다. 이와같이 준공연도별로 단위열사용량의 차이가 나는 원인으로는 70년대 아파트는 단열기준이 적용되지 않았으며, 80년대 아파트는 단열기준은 적용되었으나, 실내온도조절기 등이

설치되지 않았으며, 90년대의 아파트는 적산열량계설치 및 실내온도조절기가 설치됨으로써 점차 에너지절약형으로 아파트가 변한 것에 따른 것이라 할 수 있다. 그외에도 난방운전 및 관리방법, 시공정도, 건물의 구성재료의 우수성, 열배관방식의 차이, 노후화정도, 거주자의 생활방식 등 많은 요인이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 판단된다.

#### 3.2 적산열량계 설치 현황과 운전방법

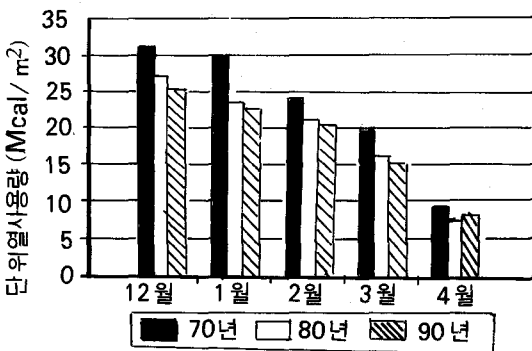
본 조사대상인 강남지역의 아파트는 90년대의 10개소 아파트와 80년대 준공된 F아파트를 제외한 나머지 아파트단지는 각 세대에 적산열량계가 부착되지 않았다. 따라서 세대별 적산열량계가 설치되지 않은 70년대, 80년대 준공된 아파트의 열사용량은 세대별 열조절방법이 없음에 따라 개인의 열조절 보다는 관리자측에 의한 난방운전방법과 아파트의 건물구조 상태, 건물설비 노후화 정도, 배관 방식 등에 영향을 받고 있는 것이라 할 수 있다.

난방운전측면에서 검토하며, 강남지역의 지역난방에 의한 열공급은 중앙집중식 간헐난방에서 지역난방으로 변경된 1992년 10월경부터 시작되었으며 지역난방에 의한 운전초기에는 관리자측과 사용자들이 열공급에 대한 기준과 관리방법을 명확히 하지 못하여 다소 혼란이 있었던 것으로 나타나고 있다. 지역난방아파트는 자동운전제어 시스템이 적용되고 있으나 관리자측은 경험에 의해 외기온 변동에 따른 열공급온도의 보정 및 2차측의 운전을 수동으로 제어하는 경우가 많다.

### 4. 공동주택의 열 및 환기성능 측정 및 평가

#### 4.1 측정 및 실태조사 개요

본 연구에서는 공동주택의 열성능 평가를 목적으로 서울시 소재의 F아파트대상으로 공동주택의 열성능 및 환기성능에 대한 실험을 수행하였다. 조사대상인 F아파트는 1988년에 준공된 아파트로서 연면적이 633,599m<sup>2</sup>이고 세대수는 4,494 세대로서 총 56개 동으로 구성되어



<그림 1 준공연도별 열사용량 비교>

있으며, 평면의 규모는 32평형에서 68평형까지 5개 유형으로 이루어져 있다. 또한, 조사대상인 F아파트는 준공 초기(1988년)에는 중앙집중 난방시스템에서 1992년 9월에 지역난방에 의한 연속운전 방식으로 교체되어 현재 연속난방이 동일공동주택에서 적용시행된 아파트이다.

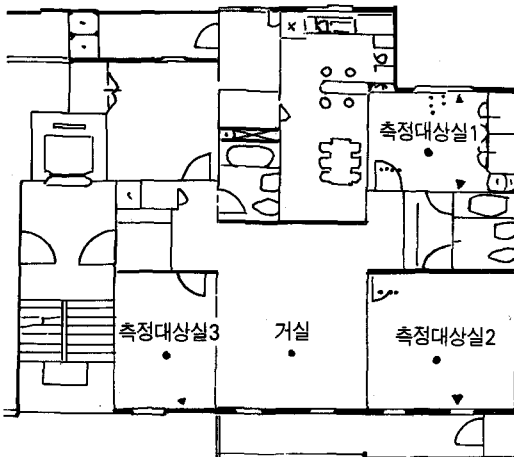
본 연구에서는 공동주택의 난방운전 및 제어의 실태와 이에 따른 세대의 실내 열환경 특성을 파악하기 위해서 먼저, F아파트 단위 세대를 대상으로 1992년 1월 부터 1993년 5월까지 약 1년 4개월에 걸쳐 장기 측정을 실시하였으며, 또한 공동주택의 난방에너지소비에 대한 실태 조사로서 F아파트의 전체 세대에 대한 난방에너지 사용 및 기계실에서의 난방운전 관련자료를 1992년 12월부터 1993년 4월까지 수집분석하였다.

공동주택의 열 및 환기성능 측정 개요

1) 측정 개요

공동주택의 열성능 및 환기성능에 대한 실험으로써 F아파트의 단위 세대를 대상으로 열성능에 관련된 항목에 대해 장기간(1992년 1월~1993년 5월) 실측실험을 실시하였고, 환기성능에 대해서는 F아파트를 비롯한 서울소재의 3개 아파트를 대상으로 실측을 하였다.

2) 측정항목 및 내용



<그림 2 측정대상 세대>

<표 1 측정항목 및 측정방법>

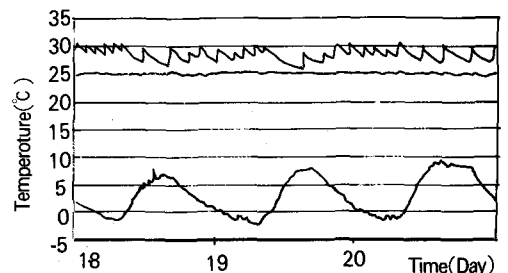
측정항목	측정점위치	측정수	측정기기 및 기록
1. 온수공급 및 환수온도	온수분배기 헤더표면 공기배출구 센서삽입	3점	° 측정 및 기록장치: - Digistrip IV Data Logger - IBM-PC(386DX) ° 온도: Thermocouple (Copper-Constantan φ 0.25) ° 습도: Asmann - 건-습구온도계 ° 기류: Anemometer (Kanomax) ° 환기측정 - Multi gas Monitor Type 1302 - Minneapolis Blower Door
2. 바닥표면온도	배관 직상부, 중앙부	17점	
3. 벽표면온도	벽체 중앙부	14점	
4. 천장표면온도	천장중앙부	3점	
5. 실내온도 (글로벌온도)	실중앙부 (바닥에서 1.5m 상부)	10점	
6. 창표면온도	창 중앙부	6점	
7. 외기온도	불측칭의 표면으로 1.5m	2점	
8. 발코니실온	각 발코니 내부온도	3점	
9. 환기성능	측정대상실 중앙부		

4.2 난방운전 방법별 실내 열환경 특성

연속난방과 간헐운전시의 실온비교

본 연구대상 세대인 F아파트에 대해 중앙난방 방식으로 운영되던 때와 지역난방에 의한 연속난방으로 교체된 후의 실온을 비교하였다.

각 난방방식에 따른 실온변동을 보면 간헐난방이 하루 중 실내온도의 변동폭은 0.8°C~3.3°C의 범위에 있으며, 연속난방이 하루 중 실내온도의 변동폭은 0.8°C~1.8°C의 범위로 연속난방이 뚜렷하게 안정된 실온을 보이고 있으나, 측정대상 세대만을 두고 평가할 때, 기존 간헐난방시의 실내온도의 변동폭도 문제가 될 만큼



-Floor Surface Temp-Indoor Temp-Outdoor Temp

<그림 3 연속난방시의 외기온변동에 따른 바닥표면 온도와 실내온도와와의 관계>

크지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 측정 대상 아파트가 삼중창에 의한 고기밀성능을 갖고 있어 구조체의 축열성능 보전에 유리한 면도 있어 효율적인 간헐운전일 경우, 쾌적감의 저하 없이 설정 실온 범위를 맞출 수 있다는 것을 보인다. 그러나 이를 위해서는 실온변동의 상하한치가 실온의 쾌적범위대를 벗어나지 않게 하기 위한 적정 온수공급주기의 설정이 반드시 필요하다.

### 4.3 환기 및 기밀성능 평가

공동주택의 열성능에 관련된 주요인자인 기밀성능을 트레스가스 측정법과 Blower Door법에 의하여 평가 하였다. 기밀성능에 영향을 미치는 공동주택의 부위는 창호, 무, 배기구 등이 있으며, 이와 함께 굴뚝 효과 및 풍압에 의한 층별 누기량의 차이가 예상되나 1차년도 실험에서는 창호를 주변수로 환기성능을 평가하였으며, 기타요인을 종합적으로 고려한 분석은 2차년도에서 진행될 예정이다.

#### 환기성능 평가

##### 1) 환기량 측정

본 측정에서는 대상건물의 환기 및 기밀상태를 측정하였으며 발코니창의 개폐여부 환기구 및 밀봉여부 등에 대한 평가를 하였다.

##### (1) 측정방법 및 내용

본 측정에서는 공동주택의 실내 환기상태를 평가하기 위하여 트레스가스 측정법과 Blower

Door법을 이용하였다.

##### (2) 측정 결과

가) 트레스가스 측정법에 의한 환기회수 1차 측정대상실의 환기 회수는 0.3회/시로 평가되었으며, F아파트의 2차 측정은 실내외 온도차 20~21℃, 외기풍속 0.7~1.2m/s 일 시, 실 1,2의 환기회수는 0.44회~0.48회/시, 실 3, 4의 경우 0.24회/시로 평가되었다.

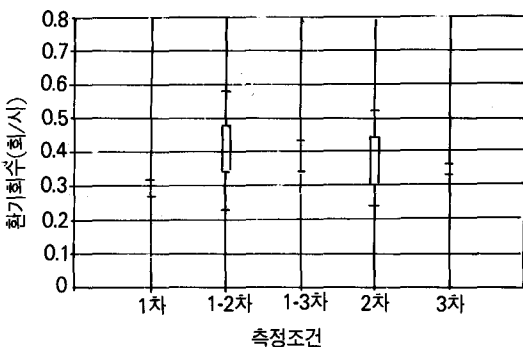
##### (가) 창문 개방정도에 따른 환기회수 변화

2차 측정대상 F아파트의 실 2의 경우 단창으로 창을 닫은 상태의 환기회수가 0.5회/시에서 창을 열림을 5mm, 10mm, 20mm, 30mm로 변화 시킴에 따라 0.92회/시, 1.10회/시, 1.40회/시, 1.89회/시로 변화하였다. 이와같은 환기회수변화에 따른 실내온도 하강은 외기풍속 1.5m/s, 외기온도 4℃인 경우 환기회수가 0.5회/시에서 1.0회/시~1.4회/시로 증가함에 따라 실내온도는 0.4℃~0.6℃ 하강하였으며, 1.8회/시를 증가할 시에는 약 1.0℃의 온도가 하강하였다. 이와같이 환기회수가 증가함에 따라 실온은 하강하게 되지만 그 하강폭은 그 시점의 외기온도에 따라 달라지는 것으로 나타났다.

(나) 발코니창 개폐 1차측정의 S아파트의 작은 방에서 발코니창의 개폐여부에 따른 환기회수 변화를 비교하면 발코니창을 닫은 후 측정된 환기회수는 0.34회/시에서 개방시에는 0.43회/시로 증가하였다. 그러나 본 연구의 대상인 F아파트이 실 2의 경우는 실 자체가 비교적 기밀하여 발코니창의 개폐에 따른 영향이 적었다. 이러한 결과는 실 자체가 기밀할 시 발코니창의 영향이 크지 않으나 실이 기밀치 못할시 발코니창의 개폐 및 유무에 따라 크게 영향을 받을 수 있음을 나타낸 것이다.

##### 다) Blower Door법에 의한 측정

본 연구에서는 주 측정대상인 F아파트에 대하여 Blower Door법을 이용한 기밀성능을 측정하여 압력차 10Pa일 시 측정대상에 대한 주호 전체의 바닥면적당 상당누기면적을 산출하였으며, 환기평가를 위한 간이식 적용방안을 위하여 4Pa일 시의 유효누기면적을 산출하였



<그림 4 측정대상실의 환기회수>

다.

(라) 측정결과 및 비교

측정대상 F아파트에 대하여 압력차법인 Blower Door법에 의한 측정결과 압력차 10Pa 일시의 바닥면적당 상당누기면적은 6.32cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>로 산출되었다. 또한 미국의 유효누기면적 규격인 4Pa에서의 유효누기 면적을 본 측정주호에 대하여 산출하면 3.75cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>로서 미국의 ASHRAE에서 제시된 평가치와 비교하면 적절하게 기밀한 것으로 평가되었다.

주호내의 환풍구의 밀봉상태와 발코니창의 유무에 대하여 비교하기 위하여 실시된 측정에 의하면 10Pa의 압력차에서 환풍구를 열린상태의 상당누기면적은 6.0cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>이며, 환풍구를 닫고 밀봉할시 5.53cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>로 약 12%의 상당누기면적의 감소를 나타내었다. 발코니의 경우에는 주호 전체의 발코니 창을 닫은 상태에서 압력차 10Pa에서의 상당누기면적은 5.53cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>이며, 발코니창을 열음에 따라 5.77cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>로 약 6% 정도 상당누기면적이 증가하였다.

2) 간이계산에 의한 환기평가

간이식의 적용방안으로 Blower Door시스템을 이용한 측정결과에 의하여 유효누기면적(ELA)을 추정 하였으며 이 수치를 LBL계산법에 적용하였다.

(1) 간이 계산법에 의한 환기상태 평가

본 연구대상인 F아파트에 대하여, 동계기간 11월 부터 3월까지의 5개월간의 평균적인 환기회수를 산출하기 위한 조건으로 그기간동안의 서울지역의 평균풍속을 2.4m/s, 외기온을 0.3℃, 실내온도는 24℃로 하였다. 유효누기면적(ELA)은 당 연구원이 보유하고 있는 Blower Door법에 의하여 실내의 압력차 60Pa~10Pa에서의 누기량을 측정하여 압력차 4Pa에서의 유효누기면적을 추정하였다. 본 측정 연구대상 주호인 F아파트에 대한 산출된 유효누기면적은 540cm<sup>2</sup>이었다.

가) 환기회수 산출

LBL 계산식의 요소는 바람과 연돌효과의 침기량에 의한 값이므로 크게 두 분류로 나뉘어

유도된다.

$$Q = (Q_{wind}^2 + Q_{stack}^2)^{1/2} \dots \dots \dots (식1)$$

대상주호에 대하여 동계 11월부터 3월까지에 산출된 평균 환기회수는 지형조건에 따라 0.59회/시~0.47회/시로 평가되었는데 측정 대상주호와 가까운 지형조건II에서는 환기회수가 0.56회/시로 평가되었다.

본 측정주호에 대한 환기에측 평가식을 산출하기 위해서는 Q<sub>wind</sub>, Q<sub>stack</sub>을 전체 침기량 Q에 대입하면 다음과 같다.

$$Q = A_0(f_w^2 V^2 + f_s^2 \times \Delta T)^{1/2} \dots \dots \dots [식 2]$$

여기서 f<sub>w</sub>=풍속계수, f<sub>s</sub>=연돌계수,  
V=풍속, ΔT=실내외온도차

전체 침기량 Q와 환기회수는 ACH(회/시) = Q X 360/Volume이며, 여기서 A<sub>0</sub>:0.054m<sup>2</sup>, f<sub>w</sub>:0.072, f<sub>s</sub>:0.032, Volume: 377m<sup>3</sup>이므로 변수를 대입하면 다음과 같다.

$$ACH(회/시) = 0.51(0.072V^2 + 0.32 \Delta T)^{1/2} \dots \dots [식 3]$$

이러한 대상주호의 환기에측 평가식은 풍속과 실내온도차를 알면 기후조건이 변화함에 따라 환기회수를 예측할 수 있다.

4. 4 F아파트의 난방운전 실태

<1> 난방운전 제어시스템

F아파트의 경우 각 부속 기계실에는 외기온 변동에 대해 자동적으로 온수공급온도가 결정되는 외기온 보상운전시스템이 설치되어 있으나 실제 운전에는 활용되지 않고 있었으며 자체적으로 작성된 외기온보상 운전표를 대체 적용하고 있었다.

<2> 난방운전 실태

난방운전에 영향을 미치는 인자는 다양하지만 실제로 공동주택의 난방운전에서 제어가 가능한 것은 각 세대로의 공급 온수온도와 공급유량이며 이것의 적정 제어량은 해당 시각의

난방부하에 의해 결정되고, 이때 난방부하에 직접적인 영향을 미치는 중요한 변수는 외기 기상조건의 변화가 주요인으로 작용한다.

1) 외기온도 및 실내온도 제어

외기온도와 실내온도는 F아파트 103동 건물의 단위 세대를 대상으로 측정한 실측치로서, 실내온도조절기의 온도감지와 이에 따른 자동 온수조절밸브의 제어에 의하여 연속난방을 실시하고 실측한 결과로서, 평균 실내온도는 25℃~26℃ 범위에서 유지되고 있다. 또한 실내온도의 표준편차는 2월의 경우 1.1℃, 3, 4월은 0.2℃, 0.3℃로 각각 나타나 현행 실내온도조절기의 온도감지 및 제어의 오차율을 고려할 때 측정 기간동안 실내온도는 거의 일정하게 유지되었다고 할 수 있다.

2) 1,2차측 온수 온도변화

(1) 1차측 (지역난방측) 온수 온도변화

공급 온수의 월평균 공급온도는 2월의 경우 99℃, 3월, 4월은 97℃로 나타나 월에 따른 공급온도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 특히 4월의 경우 월평균 외기온도가 2, 3월에 비해 3.1℃~7.4℃ 정도 상승하여 세대의 난방부하가 감소하고, 2차측 공급온수온도도 2, 3월에 비해 약 5℃ 정도 낮아짐에도 1차측 공급온수의 온도는 큰 변화가 없이 97℃내외에서 공급되고 있는 것으로 나타났다.

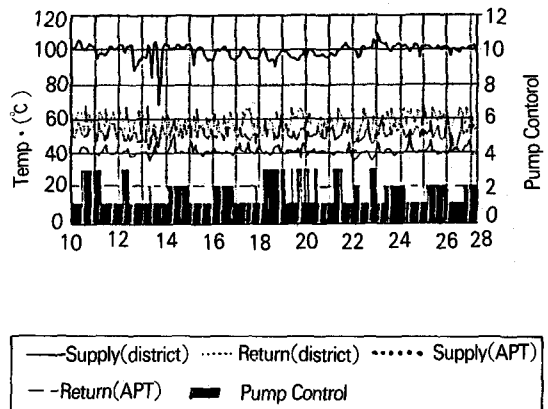
또한 기계실에서 열교환이 이루어진 후의 1차측 환수 온수온도는 2월~4월의 기간 중 월평균 58℃로 동일하게 나타났다. 한편, 지역난방에서의 공급온수와 기계실의 열교환기를 통과한 환수온수 사이에 온도차  $\Delta t$ 는 2월의 경우 월평균 42℃로 나타나 3, 4월의 40℃보다 2℃정도 높게 나타나고, 평균 40℃~42℃의 범위를 보이고 있어 한국지역난방공사에서 제시한 설계기준 온도차 ( $\Delta t$ ) 50℃보다는 약 10℃ 정도 적게 운전되고 있는 것으로 나타났으며 월에 따라 최대 53℃~58℃, 최소 21℃~26℃로 나타났다.

(2) 2차측 온수온도 변화

2차측 온수 공급온도와 환수온도의 월별 변화를 살펴보면, 먼저 환수온도의 경우, 2, 3월은 40℃를 중심으로 주기적인 변동의 양상을 보이고 있었다. 4월에는 39℃를 중심으로 주기적인 변동의 양상을 보이고 있었다. 또한 각 세대로 공급되는 온수의 온도는 일반적으로 40℃~65℃의 범위에서 공급되었고, 이때 월평균 공급온도는 2, 3월의 경우 51℃, 4월은 46℃로 나타나 난방중간기에 해당하는 4월의 경우에 각 세대로의 월평균 공급온도는 2, 3월에 비해 평균 5℃ 정도 낮게 공급되고 있으며, 전반적인 변동 범위도 하강하는 경향을 보였다.

(3) 펌프의 가동 댓수

월별 펌프 가동 댓수의 변화를 보면, 3월의 펌프 가동 댓수는 2, 4월에 비해 2대 또는 3대가 작동하는 시간이 상대적으로 적게 나타나고 있다. 이것은 앞에서 기술한 바와 같이 2, 4월의 경우에는 환수온도의 제어 기준이 40℃, 39℃로 각각 설정되어 이에 따라 펌프의 댓수제어가 이루어지기 때문이며, 3월은 2월에 비해 외기온도가 월평균 3.1℃정도 상승하고 주간 시간대의 난방부하가 상대적으로 감소함에도 환수온도의 제어기준을 2월과 동일한 40℃로 설정하여 운전하였기 때문에 그만큼 순환펌프 제어의 폭이 증가하여 펌프의 댓수제어가 이루어지



<그림5> 온수온도 변화 및 펌프가동 댓수 (2/10~2/28)

지 않았다.

3) 2차측 온수 온도제어

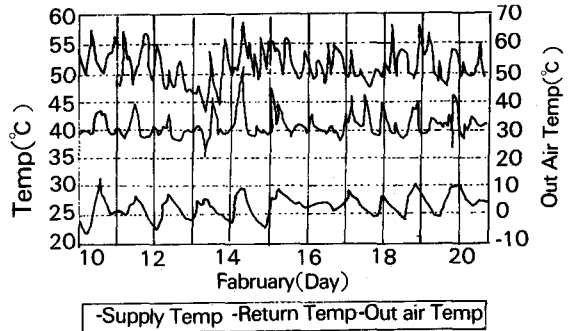
F아파트의 경우 기계실에서의 난방운전의 제어기준은 각 세대를 순환하고 회수된 온수의 평균온도를 기준으로 하고 이에 따라 공급 온수온도와 순환펌프를 제어하여 연속난방 운전을 시행하고 있다.

측정기간 동안의 외기온도는 하루 24시간을 주기로 변동하고 있으며, 이때의 변동 패턴은 각 세대를 순환하고 회수된 환수온수의 온도변화와 유사한 변동 패턴을 보이고 있다.

이와 같이 회수된 온수의 온도를 제어의 기준으로 설정하는 운전방식은 세대로부터 회수된 환수온도가 각 세대에서 요구하는 난방부하와 직접적으로 대응하고 있기 때문에 각 세대에서 실제로 발생하고 있는 부하의 평균치를 근거로 열량공급 및 제어가 가능하게 되며, 또한 세대에서의 난방부하는 외기온도의 변동에 일차적인 영향을 받고 있기 때문에 이때의 환수온도는 어느 정도 외기온도에 대한 보상을 포함하고 있다고 할 수 있다.

환수온도를 기준으로 열공급을 제어하는 경우, 환수온도는 한기계실이 담당하는 건물군에 대한 평균난방부하의 개념으로 생각할 수 있으며, 환수온도를 제어하므로써 부하의 변동에 대해 신속하게 공급 온수온도가 결정되고 이에 따른 열량공급이 이루어지게 되므로 실제 건물에서 발생하고 있는 난방부하에 따른 난방운전이 가능해짐으로써 실제부하 이상의 과도한 열량공급으로 인한 에너지 손실을 감소시킬 수 있게 된다. 따라서 F아파트는 환수온도에 의한 제어로 열공급자측과 수용가측의 만족할 만한 난방운전을 하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 열을 공급받는 각세대의 측면에서는 공급 온수온도의 변동폭이 발생하게 되고, 이에 따라 공급측의 저부하와 고부하시 각 세대의 개별조건에 따른 부하변동에 대처하기가 어렵다는 문제가 발생할 수도 있으며 추후 이같은 문

제점에 대한 면밀한 보상 제어기법의 개발이 뒤따라야 할 것이다. <그림 6>은 외기온과 2차측 온수온도 변화를 나타낸 것이다.

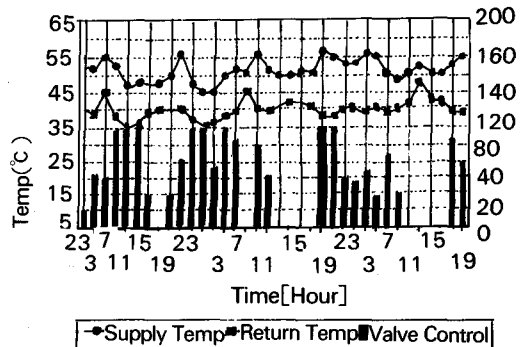


<그림 6 외기온과 2차측 온수온도변화 (2/10~2/20)>

4) 1차측 유량제어에 의한 2차측 온수 온도 제어

각 세대에서 요구하는 난방부하에 대처하기 위해서는 온수온도의 조절과 함께 1, 2차측의 공급유량을 제어함으로써 공급열량의 조절이 가능하다.

F아파트의 경우 난방제어의 주된 변수로써 부속기계실에서 세대부터의 환수온도에 따라 지역난방 1차측의 온수 공급배관의 밸브를 0%



<그림 7 1차측 온수공급 밸브제어와 2차측 온수온도 변화 (2/23~2/26)>



에서 100%까지 비례적으로 개폐함으로써 열교환기로 공급되는 유량 즉, 열교환량을 조절하여 2차측 온수온도를 제어하고있다.

〈그림 7〉은 2월중 1차측 온수공급 밸브제어와 2차측 온수온도 변화를 나타낸 것이다.

5) 순환펌프에 의한 2차측 공급유량 제어

F아파트에서는 펌프의 가동 댓수에 대한 제어의 기준은 환수온도를 기준으로 하고 있으며 환수온도가 37℃~50℃이면 1대, 37℃미만이면 2대, 25℃미만인 경우에는 3대를 가동하는 것으로 운전시스템이 설정되어 있으나 실제적인 작동은 측정기간 중 40℃이상에서는 대부분 1대가 가동되었고, 환수측 온도가 39℃이하의 범위에서는 2대 또는 3대가 가동하고 38℃이하에서는 대부분 3대가 가동되는 것으로 나타났다. 즉, 각 세대의 평균 난방부하가 증가하여 2차측 환수 온도가 설정 기준온도 40℃보다 낮아지면, 제어실의 PI콘트롤러에 의해 병렬로 설치된 순환펌프의 가동 댓수를 1대에서 2대 또는 3대로 단계적으로 가동하여 열교환기로 공급되는 2차측 유량을 변화시킴으로써 온수 공급량을 증가시켜 세대의 난방부하 변화에 대응하게 된다. 그러나 현행 펌프의 댓수제어는 환수온도의 순간적인 변동에 대해서 신속한 대응이 이루어지고 있지 않는 것으로 나타났다. 즉, 외기온도가 낮은 2, 3월의 경우에는 순환펌프의 가동 댓수에 의한 공급유량의 증가만으로는 공급 온수온도의 상승속도가 신속하게 나타나지 않고 있어 난방부하의 변동에 즉각적인 대응이 곤란하다는 것을 알 수 있으며, 따라서 펌프의 댓수제어에 의한 공급열량의 제어는 1차측 공급유량의 밸브제어에 의한 온수온도제어에 대해 보조적인 변수로 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

4.5 세대 위치별 난방에너지 소비 특성

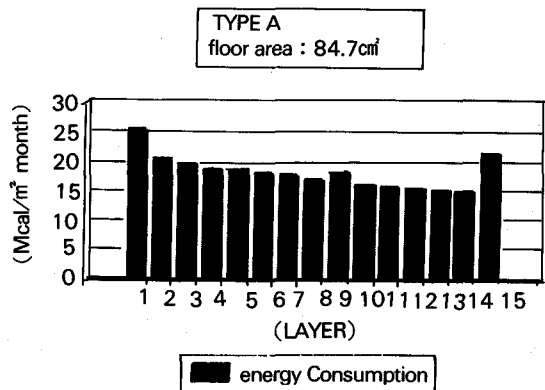
현행 공동주택의 난방운전에서 가장 문제시 되는점은 동일 건물에서도 발생하고 있는 세대의 위치에 따른 열적 불균형이다. 현재 공동주택의 난방운전은 중간층을 위주로 하여 난방운전을 하고 있는 경우가 대부분이며 이에 입주

자의 관점에서는 1층과 최상층의 경우 일반적으로 추운것이 당연한 것으로 인식되고 있다. 따라서 지역난방에 의해 연속적으로 온수가 공급되고, 세대에는 실내온도조절기와 열량계가 설치되어 개별 난방제어를 할 수 있는 경우에 실내온도를 쾌적하게 유지한다는 측면에서는 큰 문제가 없으나 여전히 난방에너지 사용량과 비용의 징수방법에는 문제점이 제기될 수 있으며 이에 대한 합리적인 해결방안은 현재 미흡한 실정이다.

〈1〉 높이(층수)에 따른 난방에너지 사용량

난방면적이 84.7㎡ (32평형)인 주호의 단위면적당 월평균 난방에너지 소비를 주호의 층수(높이)에 따라 나타낸 것이다. 최하층인 1층이 가장 많은 난방에너지를 소비하는 것으로 나타났으며, 이와 함께 최상층인 15층이 다른 층에 비해 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 또한, 하나의 온수공급 배관 존으로 구성된 2층에서 7층까지는 상부에 위치한 세대가 하부에 위치한 세대에 비해 층수에 비례하여 에너지 사용량이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 8층에서 14층까지의 세대에서도 층수에 비례하여 에너지 사용량이 감소하는 경향이 나타났다.

특히, 최하층인 1층의 경우 월평균 난방에너지 소비는 25.6Mcal/㎡월로 나타나 14층에 위치



〈그림 8 세대위치별 난방에너지 사용량〉

한 주호의 평균 에너지소비량 14.2Mcal/m<sup>2</sup>월 에 비해 약 1.8배 많은 에너지소비가 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 이같은 최하층 주호의 에너지 다소비 경향은 기존의 연구에서 최대부하의 발생층을 최상층으로 설정한 연구결과와는 상당한 차이를 보이고 있다.

〈그림 8〉은 세대위차별 난방에너지 사용량을 나타낸 것이다.

난방면적이 43평형, 49평형, 56평인 세대에서도 층수에 따른 난방에너지 사용량은 난방면적의 규모에 관계없이 1층 주호의 평균 난방에너지 소비량은 13층, 14층 주호의 월평균 소비량에 비해 각각 1.6~2.0배 정도 많은 것으로 나타났고, 2층에서 14층까지는 층수에 비례하여 감소하는 경향이 나타나고 있다.

이같은 에너지 소비경향은 건축년도가 동일하고 지역에 따른 국부적인 기후조건이 크게 작용하지 않으며, 평면의 형태, 시공성, 외벽의 단열성능 등이 큰 차이 없이 건축된 공동주택에서 세대의 층수(높이)에 따라 난방에너지 소비의 차이가 거의 100%까지 발생하고 있음을 입증하고 있다.

이상의 세대의 위치에 따른 공동주택의 난방에너지 소비의 불균일 현상을 공동주택의 난방부하 요소의 특성을 고려하여 정리하면 다음과 같다.

1) 일사(차폐)의 영향

대향 등에 의한 일사차폐 효과에 의해 난방기간동안 하층 주호의 일조시간은 상층 주호에 비해 상대적으로 감소함으로 유리창을 통한 일사취득량이 적게 되고 이에 따른 심리적인 생활 패턴에 기인한 조기난방개시와 난방시간의 증가로 인해 하층 주호는 상층 주호에 비해 보다 많은 에너지를 소비하게 된다.

2) 최하층, 최상층 주호의 구조체를 통한 열손실

최하층 및 최상층 주호의 경우 외기에 접하는 면적이 증가하고, 외기에 직접 접한 상하부 구조체를 통한 열손실이 중간층에 비해 현저히 불리하기 때문에 보다 많은 에너지 소비를 초

래한다. 특히, 바닥구조체의 하부가 외기에 직접 노출된 최하층의 경우에는 온돌바닥구조체의 배관을 통해 세대로 공급되는 난방에너지가 세대로 전달되지 않고 온돌바닥구조체의 하부로 직접 전열 손실됨으로써 이에 따른 열손실이 크게 발생하게 된다. 한편 이와같이 최하층 세대에서 발생하는 난방시스템의 열손실은 현행 공동주택의 부하계산시 충분하게 고려되지 않고 있으며, 이같은 요소를 현실적으로 개선하기 위해서는 최하층 바닥구조체의 온돌하부 단열층의 강화를 포함한 최상층 상부구조체에 대한 열관류율의 강화 또는 단열재 두께의 증가 등과 같은 단열성능에 대한 관련 법규의 제도적 강화가 요구된다고 할 수 있다.

3) 환기(굴뚝효과 등)에 의한 영향

최하층은 출입구에 접하고 있으므로 현관 출입구의 개폐에 따른 많은 에너지손실이 난방기간에 발생할 수 있는 요인을 지니며, 코아(계단실, 승강기 등)를 통한 굴뚝효과(자연환기) 및 주방, 화장실 등에 설치된 배기 덕트 등의 환기(강제 또는 자연환기)에 따른 열손실이 중앙부층에 비해 크게 발생할 수 있는 요소를 지닌다. 또한 최상부층의 경우에는 옥상 배기팬의 배기압이 직접 세대에 영향을 미치게 되므로 누기량이 중간층에 비해 커지게 될 수도 있다.

현재 공동주택의 대부분은 이러한 층별, 세대별 열적 불균형의 문제점을 갖고 있으며 차후 효과적인 난방제어를 위해서는 설계초기부터 이러한 세대별 열적불균형을 줄일 수 있도록 설계가 되어야 하고 또한 현재의 단열기준이 현실적으로 보완될 필요가 있는 것으로 판단된다.

〈2〉 외기에 접한 면의 구성에 따른 난방에너지 사용량

1) 면적 규모에 따른 난방에너지 사용량

면적규모에 따른 난방에너지 사용량을 나타낸 것으로서 32평형인 경우, 난방기주(12월~2월)에 단위 바닥면적(난방면적 기준)당 월평균 에너지소비량은 18.4Mcal/m<sup>2</sup>월로 나타나 43평형, 49평형에 비해서는 약 13%, 56평형에 대

해서는 약 24% 정도 많은 에너지를 소비하는 것으로 분석되었다.

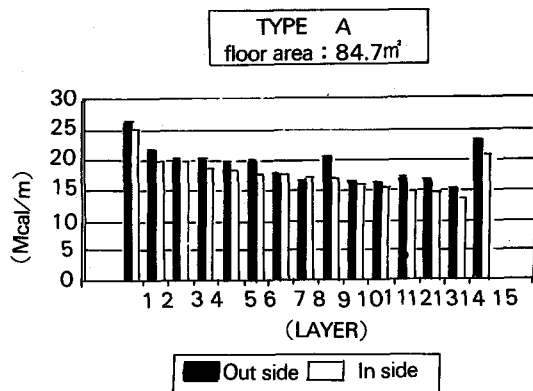
이것은 면적규모에 따른 단위 바닥면적(난방면적)당 외피면적의 차이에 기인하는 것으로서 세대의 규모가 클수록 외피면적의 비가 감소함으로 외피를 통한 열손실이 상대적으로 감소하여 이에 따라 난방에너지 소비량이 감소하는 것으로 판단된다.

결국 공동주택의 규모에 따른 단위 바닥면적당 난방부하의 차이가 현재 24%까지 공동주택에서 발생하고 있으며 따라서 각 세대로 공급되는 열량은 외피면적의 비에 기인한 난방부하의 비율을 고려하여 적정열량으로 공급되어야 할 것이다.

2) 외기에 접한 면 구성에 따른 난방에너지 사용량

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 나타났으며 층수 및 난방면적의 규모에 따라 3%에서 28% 정도까지 큰 차이를 보이고 있다.

<그림 9 외주부와 중앙부 세대의 난방에너지 사용량 (32평형)>



<그림 9>는 32평형에 대한 외주부와 중앙부 세대의 난방에너지의 사용량을 비교한 것이다.

한편 측정 아파트의 동서측의 외벽조건이 동

일한 것으로 전제하여 세대를 최하층과 중간층, 최상층으로 구분하고 측벽이 외기에 접한 세대와 접하지 않는 세대로써 6개의 세대군으로 구획하여 이때의 난방에너지 소비를 분석하면 앞에서의 분석결과에서 난방에너지 소비가 가장 크게 나타난 최하층의 세대중 외기에 접한 측벽이 있는 세대는 중간층의 중앙부 세대에 비해 평균 45%~72%까지 많은 에너지소비 경향을 보이고 있다.

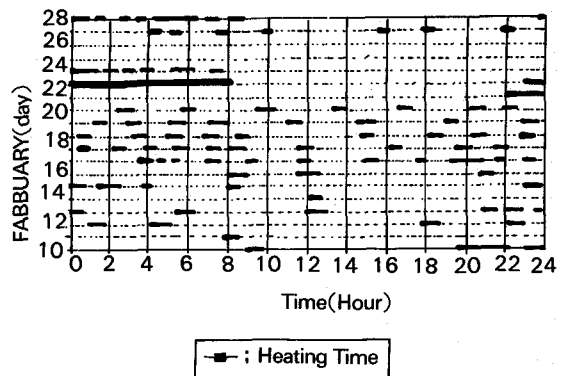
#### 4.6 최적 난방시간대의 평가

##### <1> 난방공급 시간대의 변화

외기온 변동에 대한 적정 공급온수 공급주기의 설정을 위한 기초자료의 마련을 위하여, 실온을 일정하게 고정한 조건에서, 2월부터 5월까지의 실제 온수공급시간대를 측정 분석하였다.

2월의 경우 일일 온수공급의 시간은 30분에서 1간 이내로 연속 공급되고 중단되는 경향이 주기적으로 나타나며, 이때 온수공급이 집중되는 시간대는 난방부하가 주로 발생하는 저녁시간대와 오전 시간대로 나타나고, 온수공급과 중단의 주기는 비교적 짧게 나타났다. 반면에 주간 시간대에서는 온수공급 시간대가 야간 및 새벽에 비해 적게 나타나고, 온수중단 후 공급까지 긴 주기성을 보이고 있다.

<그림 10>은 2월의 일별 난방에너지 공급시간을 나타낸 것이다.



<그림 10 일별난방에너지 공급시간(2월)>

3월의 일별 온수공급 시간대는 2월의 변동패턴과 유사한 경향을 보이고 있지만, 야간과 오전에는 공급중단 시간이 단축되고 공급시간도 증가하는 경향이 나타나며, 주간의 경우에 온수공급과 중단 사이에 시간 간격은 2월보다 넓어지는 경향이 보인다. 이같은 경향은 외기온도가 상대적으로 상승한 4월달에는 더욱 뚜렷하게 나타나고 있어 부하가 집중되는 0시~09시까지는 온수공급시간이 2, 3월 보다 증가하고 중단시간은 감소하며, 10시~16시까지의 주간 시간대에서도 난방시간은 증가하는 경향이 나타난다. 또한 일평균 외기온도가 충분히 상승한 5월의 경우에는 난방시간대와 비난방 시간대가 분명하게 구분되고 있으며 온수공급은 18시에서 개시되고 23시에서 중단하여 다음날 새벽 시간대에 다시 온수가 공급되고 있는 것으로 나타났다. 4월 15일 이후와 5월달의 일별 온수공급 시간은 하루 중 난방시간대와 비난방 시간대의 구분이 뚜렷하게 나타나고 있으며 11시부터 17시까지의 주간 시간대에서는 온수공급 없이도 실온이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 4월 중순 이후 난방이 요구되지 않는 무부하 시간대에 대해서는 2차측의 온수공급 중단이 어느 정도 타당성을 가지게 되며 따라서 이 기간에도 24시간 연속적으로 온수를 공급하는 현행의 운전방식에서 온수공급이 필요한 특정 시간대에 대한 집중적인 온수공급으로 세대의 부하에 대응하는 운전이 바람직할 것으로 판단된다.

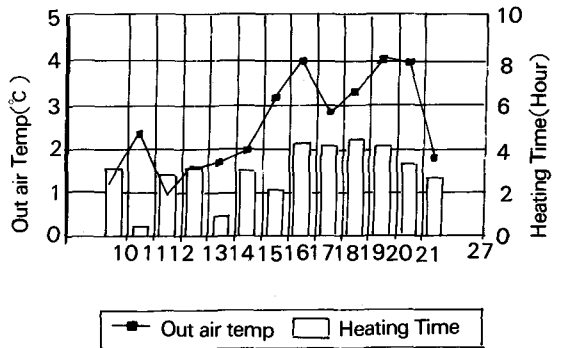
〈2〉 외기온도와 난방공급 시간

2월에서 5월까지의 월평균 온수 공급시간의 변화는 외기온도의 변동에 역비례하고 있으며 일평균 외기온도가 하강하면 이와 반대로 난방시간이 증가하고 외기온도가 높아지면 난방시간은 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히, 4월의 경우에 일평균 외기온도가 12℃ 이상에서는 일일 난방공급 시간이 2시간 내외로 짧게 나타났고, 5월에서는 외기온도가 18℃ 이상에서 난방용 온수의 공급없이 실내온도가 유지되는 것으로 나타났다.

〈그림 11〉은 일평균 외기온도와 난방시간 사이의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서 외기온도의 변동은 세대의 난방시간에 직접적인 영향을 미치며, 세대의 난방부하에 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 확인할 수 있다.

한편 〈그림 11〉에서 동일한 일평균 외기온도에서도 온수공급 시간의 편차가 발생하는 것은 2차측 기계실에서의 온수 온도제어와 밀접한 관련이 있다. 즉, 외기온도와 낮은 난방기간(2, 3월)의 경우 2차측온수 공급온도는 앞절에서 분석된 바와 같이 51℃로 공급되고 있으나 난방 중간기(4, 5월)에는 이보다 5℃정도 낮은 46℃ 내외의 저온수가 공급되고 있기 때문에 세대내에서 난방 부하가 발생할 경우 낮은 온도의 온수로는 실내온도의 상승속도가 늦어지게 되고, 이에 따라 온수공급시간도 증가하기 때문인 것과, 측정목적에 따라 실내설정온도를 의도적으로 변동된 경우의 데이터를 포함하고 있기 때문이다.

〈그림 11 일평균 외기온도와 난방시간 사이의 상관 관계 (2월)〉



4.7 외기온 변동에 따른 난방 운전시간

월별 외기온도의 변동과 난방 운전시간

2, 3, 4, 5월달의 일평균 외기온도와 최저 외기온도 및 난방 공급시간의 변동을 함께 나타낸 것이다. 평균 외기온도와 최적 외기온도의 변동은 유사한 변동패턴을 보이며 월변화에 따라 전반적으로 상승하고, 이에 따라 난방시간

은 점차 감소하는 경향을 보인다.

세대에서의 1일 평균 온수 공급시간은 2월, 3월에 약 4시간 정도, 4월 중순까지는 약 3시간 정도로 나타났으며, 4월 중순 이후 5월의 경우에는 일평균 외기의 온도가 15 내외로 유지되는 기간에 대해 2시간 내외의 온수공급이 이루어졌고, 1일중 온수공급없이 실온이 유지된 날도 나타났다.

이러한 결과는 지역난방에 의한 연속난방인 경우에도 외기온도에 의한 부하발생 및 거주특성을 고려한 제한적 연속난방이 가능하다는 것을 시사하므로 이를 이용한 적극적인 에너지 절약적 난방운전 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이 경우, 외기온에 따른 확정적 부하패턴이 아닌 장기 외출후 귀가시의 난방요구와 같은 임의(random)적 부하 발생에 대한 고려가 있어야 할 것이며, 이를 위해서는 난방시간의 분할 설정을 포함하여 온수공급에 대한 실의 열응답성을 높이기 위한 상대적으로 높은 온도의 온수공급이 필요하다고 판단된다.

### 5. 공동주택난방제어를 위한 기본모델의 설정

본 장에서는 공동주택 난방제어의 각 단계에서 요구되는 제어량의 결정을 위한 관계식을 실적 데이터에 의해서 통계적으로 추출하는 방법을 검토하였다. 난방운전의 제어를 위해서는 난방운전 알고리즘에 대한 단순 모델화가 필요하며, 실제의 제어 시스템의 적용될 수 있도록 구성되어져야 한다. 또한 제어 프로세스는 입력 대 출력의 개념에 의해 설정되며 이의 모델링에는 통계적인 접근이 효과적으로 적용될 수 있기 때문이다. 1차년도에서는 샘플 공동주택의 측정 및 운전실적 데이터를 토대로 각 세대에 대한 온수공급의 조건과 실내온도와의 관계식을 도출하였다.

2차년도에서 진행될 사항은 일별 온수공급 분배 시간의 기본모델 설정과 일별, 시간별 요구 온수의 생산 및 공급을 위한 2차 기계실(substation)의 제어 기법에 대해서 제어 알고

리즘을 설정할 예정이다.

#### 5.1 온수공급조건에 따른 바닥표면온도 변동모델

본 절에서는 난방운전의 변수 중, 외기온도, 온수공급온도, 온수공급시간, 바닥표면온도 등의 상호관계식을 1일 24시간 평균 데이터에 의해서 설정하였다. 상호관계식의 도출방법은 1차적으로 실내설정온도 및 외기온도의 변동에 따른 바닥표면온도의 요구치를 도출하고 다음에 요구되는 바닥표면온도를 제공하기 위한 온수공급온도 및 공급시간의 관계식을 산출하는 것에 의하였다.

##### <1> 외기온 변동과 요구바닥표면온도와의 관계

실내온도는 외기온도, 일사, 풍속 등의 외부 기상조건과 바닥으로 부터의 공급열량에 직접적인 상관관계를 갖고 있으나 본 분석에서는 외부기상조건 중 외기온도 및 바닥표면온도를 변수로 설정하고 측정데이터를 근거로 일평균 외기온도 및 일평균 바닥표면온도를 독립변수로, 일평균 실내온도를 종속변수로 하여 상관식을 도출하였다. 이때 사용되는 회귀모델은 상관도 분석결과, 설명력이 높게 발생하는 2차식을 이용한 모델을 이용하였다.

외기온도, 바닥표면온도를 독립변수로 하고 실내온도를 종속변수로 하였을 때의 비선형 2차 회귀식을 도출하기 위한 기본 모델이 설정되며, 설정된 식을 변형하여 실내설정온도 및 외기온이 주어질 때 요구되는 바닥표면온도를 산출하기 위한 식을 도출하면 다음과 같다.

$$FT = \frac{RT - 0.432 * OT - 10.46}{(0.513 - 0.013 * OT)} \dots\dots\dots(식 4)$$

여기서 RT : 실내설정온도(℃)  
 OT : 일평균 외기온도(℃)  
 FT : 일평균 바닥표면온도(℃)

##### <2> 온수공급조건과 바닥표면온도와의 관계

<1>에서는 외기온 변동과 실내설정온도에 따른 바닥표면온도의 요구치를 산출하는 회귀식을 도출하였다.

본절에서는 요구바닥표면온도를 설정하기 위한 관계식을 도출할 수 있다. 실내유지온도가 설정되고 외기온도와 대응하여 요구되는 바닥표면온도가 결정될 경우, 요구되는 바닥표면온도를 생성하기 위한 온수 공급온도 및 온수 공급시간을 도출하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{FT - 0.908 * RT - 0.093 * ST + 1.43}{0.551} \dots\dots (식 5)$$

- 여기서 FT : 바닥표면온도(°C)
- RT : 실내설정온도(°C)
- T : 온수공급시간(Hour)
- ST : 온수공급온도(°C)

<3> 외기온 보상운전표의 작성

<1> 과 <2> 에서 도출된 외기온도, 바닥표면온도, 실내온도, 온수공급온도 및 공급시간과의 관계식을 이용하여 본 측정세대를 샘플로한 외기온보상운전표를 작성한 예를<그림 12>에 나타낸다. 본 연구에서 제시된 외기온 보상운전표는 동계 2월 부터 5월까지 일일중 실온을 23°C~26°C의 범위에서 변화시키면서 공급된

온수온도와 실에 실제로 온수가 공급된 시간, 바닥평균표면온도를 근거로 산출된 것이다.

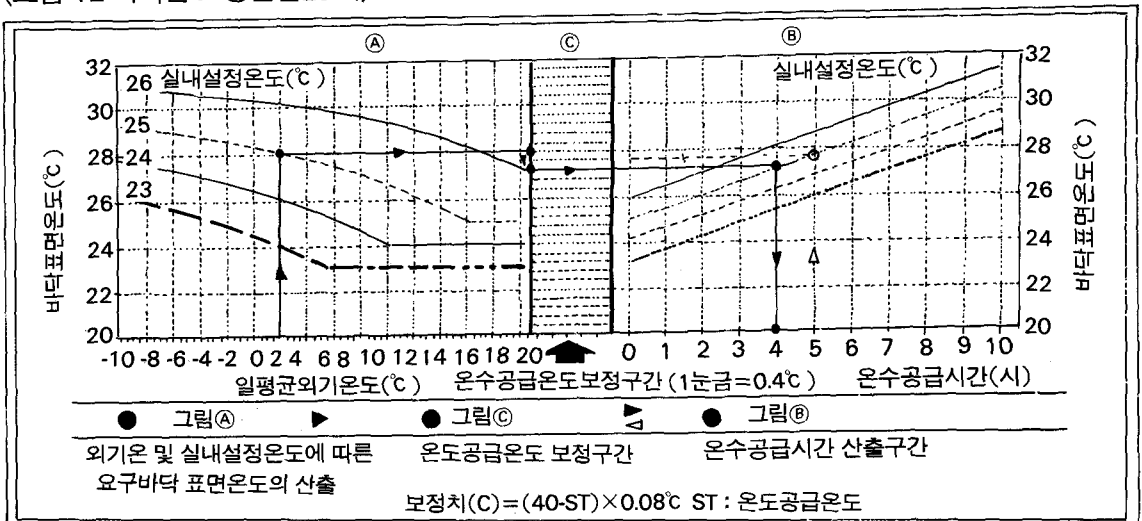
본 외기온보상운전표는 측정대상 아파트의 한 세대를 중심으로 작성한 것이며, 현재 국내 공동주택은 층별, 위치별 많은 부하차이가 발생함에 따라 어떤 세대의 어떤 실을 대상으로 난방을 할 것인가에 따라 온수공급조건은 달라지게 된다. 본 연구에서 제시된 외기온 보상운전표의 작성방법은 간헐난방의 효과적 운전 제어에 부분적인 해결책을 제시할 수 있으며, 연속난방운전에 적용할 경우에는 적정 온수공급온도의 산출법으로 활용될 수 있으므로써 과도한 온수공급에서 발생하는 에너지낭비를 줄일 수 있는방안이 될 것이다.

당해년도에서 제시된 방안은 1일 평균 데이타에 의한 결과이며, 1일 중의 시간대에 따른 적정 온수공급시간대의 결정 방안, 공급 온수온도의 1일 시간별 변화화에 따른 영향, 유량제어가 방열속도에 미치는 영향 등은 2차년도에서 분석, 제시될 예정이다.

6. 결론

본 연구는 공동주택의 최적 난방운전 기법개

<그림 12 외기온 보상운전표 예>



발을 위한 연구의 1차년도로서 현행 공동주택의 난방운전 실태를 조사·분석하고, 각 난방방법에 따른 문제점 파악 및 개선안 제시와 최적 제어 알고리즘을 개발하기 위한 자료도출을 주목적으로 진행되었다.

본 연구를 통하여 도출된 주요 연구결과는 다음과 같다.

### 1) 공동주택의 난방에너지 소비

난방에너지 소비량은 지역난방을 실시하고 있는 서울소재의 강남지역 55개소 공동주택 단지에 대하여 단위 열사용량을 조사·분석하였으며, 이에 도출한 결과는 다음과 같다.

가) 각 단지별 바닥 면적당 월별 사용량을 비교하면 단지에 따라서 최대 3배이상 단위 열사용량의 차이가 있는 것으로 나타났고, 동일한 지역난방 구역의 아파트에서도 열사용량에 많은 차이를 보이고 있다.

나) 공동주택의 준공년도별로 단위 열사용량을 비교하면, 연도별 평균 단위 열사용량은 70년대의 아파트가 80년대, 90년대에 비해 많은 것으로 나타났다. 70년대에 준공된 아파트가 80년대에 준공된 아파트에 비해 평균 1월에 27%, 2월에 14%정도 단위열사용량이 많은 것으로 나타났다.

### 2) 세대별 열성능의 평가

단지의 규모가 4500여 세대를 통계적으로 유효한 데이터를 확보할 수 있으며 열사용량 및 운전 실적 자료가 충실한 F아파트를 대상으로 세대의 위치별, 층별 난방에너지 소비량 및 소비특성을 분석하였다.

가) 분석결과, 1층(최하층)이 가장 많은 열을 소비하는것으로 나타났으며 다음이 최상층인 15층으로 나타났다. 또한 2층에서 14층까지의 중간층 세대에서는 층수에 비례하여 열사용량이 감소하는 경향을 보였으며, 12~14층에 위치한 세대에서 가장 적은 난방열이 사용되는 것으로 나타났다. 특히, 최하층 1층과 12~14층에 위치한 세대의 난방 사용열량의 차이는 최대 2배에 이르는 것으로 나타났다.

1층의 열사용량이 가장 크게 나타나는 또 다

른 이유로는 부하 자체는 최상층보다 적으나 배관으로 부터 1층 바닥하부의 열손실의 가장 큰 원인으로 판단됨으로 현행 건축법의 최하층 거실바닥에서의 단열성능의 적합성에 대한 재검토가 필요하다고 사료된다.

나) 지역난방의 확대로 인하여 세대별 자동 온도조절기 및 적산열량계가 설치된 공동주택이 늘어나고 있으며, 이 경우 세대별 난방비 차등적용이 입주자의 적극적인 에너지절약을 유도하는 방안이 될 수 있으므로, 이를 위해서는 새로운 난방비 보정계수에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 3) 열량 공급 시간대의 설정

가) 지역난방에 의한 연속난방시에 설정 실온을 유지하기 위하여 세대로 온수가 공급되는 시간을 중앙집중식에 의한 간헐난방시의 온수 공급 시간과 비교한 결과, 연속난방이 간헐난방보다 온수공급시간이 단축되는 것으로 나타났다.

나) 난방방법의 변화는 온돌 바닥의 표면온도 변동 양상에도 영향을 주게 될 뿐만 아니라, 온수공급 온도의 설정에 따라 총 온수공급시간도 변하게 되므로, 기존의 간헐난방 및 실온조절 기능이 없는 지역난방 공동주택의 효율적인 난방운전을 위해서는 계절별 적정 온수공급온도에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 4) 연속난방의 계절별 운전 조건의 변화

가) 연속난방을 실시하는 F아파트를 대상으로 시간대별 온수공급이 발생하는 시간을 도출한 결과, 특정 시간대를 중심으로 온수공급이 발생하는 빈도가 높은 것이 확인되었다. 특히, 4월 중순 이후 1일 난방공급 시간은 최대 3시간을 넘지 않는 것으로 나타났으며, 현행 24시간 연속 온수공급으로 운영되는 공동주택의 경우, 무부하 시간대의 펌프 동력 및 온수순환에 따른 배관열량 손실을 줄이는 방안이 필요한 것으로 판단된다.

### 5) 외기온에 따른 온수공급조건

가) 간헐난방이 적용되는 공동주택의 경우, 과거의 난방운전 경험에 따라 외기온에 따른

난방운전조건표를 작성하고 이에 따라 난방운전을 하고 있다. 그러나 신설 공동주택에서 외기에 따른 난방운전조건을 경험에 의해 최적화하기에는 몇년간의 시행착오가 필요하므로 운전 초기년도 부터 이를 정량적으로 작성할 수 있도록 공동주택의 열성능 변수설정을 위한 측정방법이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

나) 대상 아파트에 대한 열제어 시스템에 대한 분석 결과, 1차측 공급온수의 제어를 2차측의 환수온도를 기준으로 하고 있었으며 이는 세대의 평균부하에 효과적으로 대응이 가능한 방법으로 평가된다. 그러나 이 경우, 세대의 온수공급온도 편차가 크게 발생하는 문제점이 도출되었다. 따라서 자동외기온 보상운전법의 적용 및 중간기 이후의 제한적 연속운전 등 개선된 제어알고리즘을 적용하기 위해서는 각 세대의 온수공급온도를 시간별 설정조건대로 일정하게 유지 하는 것이 필요하며 이를 위해서는 현재의 2차측 환수온도기준 제어를 공급온도 기준에 의한 제어방식으로 교체하는 것에 대한 검토가 필요한 것으로 나타났다.

**6) 환기 및 기밀성능 평가**

공동주택의 열성능에 관련된 주요인자인 기밀성능을 트레스가스 측정법과 Blower Door법에 의하여 평가 하였다. 기밀성능에 영향을 미치는 공동주택의 부위는 창호, 문, 배기구 등이 있으며, 이와 함께 굴뚝효과 및 풍압에 의한 층별 누기량의 차이가 예상되나 1차년도의 실험에서는 창호를 주변수로 환기성능을 평가하였다.

가) 트레가스 측정법을 이용한 환기회수 측정에 있어 서울소재의 2개소 공동주택을 대상으로한 측정결과, 대상실의 환기회수는 0.24회/時 0.7회/時로 평가되었으며, 대부분 0.5회/時 이하로 평가됨으로 측정대상실의 환기회수는 비교적 기밀한 것으로 평가되었다.

나) 창문 개방에 따른 환기회수는 2차 측정대상인 F아파트의 경우, 측정실1에서 단일창을 닫은 상태에서의 환기회수가 0.5회/時로 나타났고, 창의 개방을 5mm~30mm로 변화시킴

에 따라 0.92회/時~1.89회/時로 변화하였다. 환기회수의 변화에 따른 실내온도의 변화는 외기온 4℃ 일시 환기회수가 0.5회/時에서 1.0회/時~1.4회/時로 증가할 때 실내온도는 0.4℃~0.6℃로 하강하였으며, 1.8회/時로 증가할 경우에는 약 1.0℃의 온도가 하강하였다.

다) 발코니창 개폐에 따른 환기회수를 평가하기위해 S아파트의 측정실1에서 발코니창을 닫은 후 측정된 환기회수는 0.34회/時로평가되었으며 개방시에는 0.43회/時로 증가하였다. 그러나 F아파트의 측정실2의 경우는 비교적 기밀하여 발코니의 개폐에 따른 영향이 적은 것으로 평가되었다.

라) 압력차법에 의한 측정결과, 측정대상 아파트에 대하여 압력차 10Pa일 경우 상당누기면적(EqLA)은 6.32cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, 4Pa일 경우 유효누기면적(ELA)은 3.75cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>로, 미국의 ASHRAE 기준에 대해 적절한 기밀상태를 나타내었다.

**마) 환기에측 평가식 제시**

압력차법에 의하여 산정된 유효누기면적(ELA)을 적용하여 LBL 계산법에 의한 환기상태를 평가하였으며, 또한 대상주호의 환기를 예측할 수 있는 평가식을 제시하였다. 이 환기예측식은 외기의 풍속과 실내,외온도차를 알면 기후조건이 변환함에 따른 대상주호의 환기회수를 예측할 수 있다.

**참고문헌**

1. 한국건설기술연구원, 공동주택의 환경성능향상연구, 연구보고서, 1991년
2. 민경애, 지역난방 아파트의 개별난방조절방식과 온열환경, 연세대학교 주생활학과 박사학위 논문, 1992년 12월
3. 한국지역난방공사, 열사용시설기준, 1992년 7월
4. 한국에너지기술연구소, 지역난방 공급 아파트의 수용가 시설효과 검증연구, 1992년 12월
5. 에너지 관리공단, 공동주택의 열량계 설치 및 관리운영, 1991년 10월