

# 한국온수온돌의 열효율 비교연구

공학박사 / 우 재 원  
現 美AMAKOR 컨설팅부사장

## I. 서론

### 1. 연구의 목적 및 필요성

한국의 주거용 건물의 난방 방식은 온돌을 이용한 바닥 복사 난방 방식을 사용해 왔다. 선사시대부터 이용하기 시작한 온돌은 그 사용 연료 및 주거 형태의 변화와 더불어 과거의 재래식 온돌 시스템으로부터 구공탄용 온돌을 거쳐 근래에 와서는 파이프 매설식 온수 온돌 시스템으로 발전하였다. 70년대 이후 아파트 건축이 대량 보급되면서 성능 평가 방법, 자재 및 공법에 관한 연구가 활발히 진행되었고, 1980년대에 들어서는 온돌을 이용한 난방 공간의 열 환경 실태와 열적 쾌적성에 대한 조사 연구가 연구소 및 학계를 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 그러나 한국의 경우 현재까지 건축기술에 대응할 수 있는 새로운 온돌 구조의 개발에 대한 연구는 미흡한 편이다. 특별히 현재 한국에 사용중인 온수 온돌의 열 성능(단위 면적당 열 사용량)에 대한 비교, 분석 및 열 성능 향상에 대한 연구는 많지 않은 편이다. 최근에 들어서도 주택 보급 확대를 위한 신규주택의 건설은 지속적인 증가 추세에 있으며, 주택의 대량 보급을 위하여 아파트를 비

롯한 공동주택의 건설이 정부의 주도하에 적극적으로 추진됨에 따라 전체 주택에서 공동주택이 차지하는 비율이 1990년 현재 32.1%에 달하고 있으며, 특히 서울시의 경우 공동주택의 구성비는 1990년도 현재 51.3%로 전체 주택의 과반수를 넘었으며, 수도권의 대단위 아파트단지의 개발과 함께 이러한 공동주택의 증가추세는 당분간 지속될 전망이다. 또한 한국의 전체 에너지 사용량중 주거 부분이 차지하는 비율은 약 36%에 이르고 있어, 열 관리 및 보존 방법의 개선에 의한 주거 부분의 에너지절약 효과는 매우 크다고 할 수 있으며, 에너지 자원의 부족으로 에너지 해외 의존도가 75%에 이르고 있는 한국 실정에서 주택의 에너지 절약을 위한 체계적인 연구가 절실히 요청되고 있는 실정이다.

외국에서도 Panel 복사 난방이 최근 각광을 받고 있으며 배관재 및 제어방법(Control System)에 대한 연구가 활발히 진행되어 효율이 좋은 난방 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 특별히 독일의 경우 신축 주택의 50% 이상이 온수 복사 난방시스템(Energy update 1992)을 이용하고 있으며, 미국의 경우도 복사 난방의 쾌적성과 난방비의 경제성으로 인하여 추운 북부지

역의 고급주택에 많이 이용되고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 한국 아파트의 에너지 사용량을 미국의 사용량과 비교 검토하고 분석하여 온수 온돌의 설계 및 관리적 측면에서 건물의 열 성능에 미치는 요소를 도출하고 실용적으로 적용 가능한 에너지절약 방법을 제시하는데 목적이 있다.

## 2. 연구내용 및 범위

본 연구에서는 한국의 공동주택에서 소비하고 있는 에너지중 난방 에너지를 이용하는 온수 온돌의 제반 열 성능의 향상을 위한 개선 방법을 제시하기 위하여 다음과 같은 연구의 내용, 범위 및 방법을 설정하였다.

1) 한국 공동주택 온수 온돌의 단위 면적당 열 사용량과 미국 주택의 사용량과 비교 분석함으로써 한국의 온수 시스템의 문제점을 도출한다.

2) 상기의 문제점을 토대로하여 열효율 향상을 위한 방안을 제시하여 열효율이 우수하며 공사비의 절감을 가져올 수 있는 온수온돌 시스템의 개발에 필요한 각종 연구의 필요성을 도출하는데 목적을 두고 있다.

## II. 난방에너지 소비량의 비교

### 1. 개요

한국의 공동주택에 적용되는 난방 시스템은 건축 및 설비 기술의 발달에 따라 다양하게 변화하여 왔다. 공동주택의 난방시스템은 아파트 보급 초기 방식인 개별적 연탄보일러 난방방식에서 유류 또는 가스를 에너지원으로 하는 대규모 중앙난방 및 지역난방 그리고 가스 또는 전기를 에너지원으로 하는 개별난방 방식등 매우 다양한 종류의 난방 시스템으로 발전되어 왔다. 70년대의 두차례에 걸친 에너지 파동은 우리에게 에너지에 대한 인식을 새로이 하는 계기가 되어서 에너지 절약에 대한 연구가 학계 및 연구소를 중

심으로 진행되어 왔다. 한국에서의 연구는 단열 시공 기술, 난방 방법별 비교연구, 단열계수, 건물 에너지 프로그램 개발, 단열 기준 작성 등의 연구 등에 치중하였고 실제로 현재 한국의 공동주택이 사용하고 있는 에너지 양의 비교 분석에 대한 연구는 부족한 실정이다. 한국과 외국의 난방 소비량의 비교를 위하여 한국의 데이터를 한국 건설 기술 연구소의 연구 보고서의 “공동주택의 열 성능 향상 방안에 대한 연구(1)”을 인용하였으며 미국의 경우는 서울과 기후조건이 유사한 필라델피아 근교의 개인 주택의 난방 에너지의 소비량을 비교하였다. 그리고 이 수치를 근거로 하여 미국에 온수 온돌을 사용한 경우와 비교 검토하였다.

### 2. 한국 공동주택의 난방 에너지 소비량

1992년 10월부터 1993년 4월까지의 단위면적량의 에너지 소비량은 <표 1>과 같다. (건기연 93-Ab-112-1 연구보고서) 월별 단위 열사용량을 비교하면 12월의 경우 최저 17.5Mcal/m<sup>2</sup>, 최고 44.1Mcal/m<sup>2</sup>, 평균 27.8Mcal/m<sup>2</sup>, 1월의 단위 사용량은 최저 14.6Mcal/m<sup>2</sup>, 최고 47.3Mcal/m<sup>2</sup>, 평균 25.2Mcal/m<sup>2</sup>의 분포를 보이고 있으며, 단지에 따라 최대 3배 이상의 열사용량의 차이가 나는 것으로 나타났다. 또한 준공 연도별 단위 열 사용량을 비교하여 보면, 연도별 단위 열사용량은 70년대의 아파트가 80년대, 90년대에 비해 많은 것으로 나타났으며, 1월의 열사용량을 기준으로 할 때에 80년도 아파트가 90년대에 준공된 아파트에 비하여 평균 27%, 2월에 14%정도 단위 열사용량이 많은 것으로 나타났다. 층별 열사용량은 1층(최하층)이 가장 많은 열을 사용하는 것으로 나타났으며, 다음이 최상층인 15층으로 나타났다. 또한 2층에서 14층까지의 중간층 세대에서는 층수에 비례하여 열사용량이 감소하는 경향을 보였으며 최하층인 1층과 12층-14층에 위치한 세대의 난방 사용열량의 차이는 최대 2배

〈표 1〉 강남지역 아파트의 단위 열사용량

(단위 : Mcal/m<sup>2</sup>)

단지번호	12월	1월	2월	3월	4월	단지번호	12월	1월	2월	3월	4월
1	21.5	21.1	17.7	15.3	8.3	30	27.2	25.8	20.0	18.5	8.4
2	25.6	20.6	22.2	11.9	6.3	31	23.8	25.5	24.2	15.9	7.7
3	32.6	22	22.4	14.2	8.2	32	34.6	1.6	17.9	14.5	7.6
4	28.9	22.6	22.2	14.4	8.6	33	25.8	25.0	19.6	16.3	8.6
5	18.8	14.6	15	9.8	5.3	34	32.1	28.2	21.2	17.5	8.6
6	26.3	27.6	22.4	18.6	5.6	35	29.3	27.5	24.0	20.5	8.2
7	30.7	26.3	25.1	17.2	11.1	36	29.8	29.8	22.2	19.2	9.6
8	25.7	24.8	20	17.2	9.3	37	30.2	27.1	23.5	19.1	7.9
9	17.5	23	19.2	16.7	8.8	38	25.7	24.2	18.4	14.0	11.4
10	27.7	24.9	20.3	16.7	7.7	39	29.0	27.7	22.9	18.2	8.9
11	44.1	47.3	36.8	26.5	14.4	40	27.9	22.7	18.0	17.5	7.9
12	29.6	23.7	21.1	14.6	7.2	41	24.5	24.4	19.4	15.3	17.4
13	36	32.7	26.6	22.1	10.7	42	21.6	20.8	16.5	14.0	5.7
14	26.5	22.3	20.3	13.3	7	43	30.6	29.5	24.6	20.5	9.5
15	27.7	25.9	19.5	16.2	7.1	44	27.7	26.7	22.7	19.7	9.9
16	32.4	25.3	32.3	14.5	8	45	28.8	25.0	21.1	16.6	7.8
17	31.8	24.1	24.3	15.9	8.9	46	32.2	30.2	24.6	18.2	8.8
18	34.7	36	30.4	24.2	11	47	28.7	28.7	22.4	18.7	8.4
19	24.4	23.6	19.7	16.2	6.5	48	25.8	20.0	21.5	12.4	6.2
20	24.9	23.9	19.2	-	7	49	33.2	24.9	22.1	13.3	6.3
21	20.3	19.2	16.3	-	-	50	24.5	23.3	19.5	18.1	9.8
22	29.7	28.2	22.8	-	7.2	51	28.2	28.2	22.5	18.6	8.2
23	21.9	16.7	14.8	10.5	4.7	52	37.0	32.6	22.2	22.8	13.6
24	30.1	31.2	30.7	21.4	11.5	53	40.5	36.7	31.3	24.6	13.8
25	23.3	23.2	19.1	15.9	8.7	54	20.6	18.0	15.6	13.6	6.8
26	29.6	30.4	24.1	23	12.8	55	26.2	25.5	22.0	17.4	7.8
27	24.5	25.7	19.1	16.3	8.9	56	25.8	21.2	13.0	13.0	6.0
28	29.6	23	22.3	-	6.4	57	25.6	19.1	12.5	12.5	5.8
29	25.4	29	21.3	20.4	8.6						

에 이르는 것으로 나타났다. 1층의 열사용량이 가장 크게 나타나는 이유는 부하 자체는 최상층 보다 적으나 바닥 하부로의 열 손실이 크기 때문인 것으로 추정하고 있다.

압구정동 현대 아파트의 1994년 11월의 난방 열소요량을 관리비 정산 내역서에서 발췌한 데이터를 근거로 하여 계산해 본 결과 월간 소비량이 m<sup>2</sup>당 10.62Mcal로서 건설 기술 연구소의 결과와 비슷한 것으로 나타났다.

그러나 급탕비는 별도로 실제 난방 면적은 아파트의 평수보다 상당히 적기 때문에 실제 난방면적량의 열 소비량은 이것보다 높아질 것으로 예상된다.

### 3. 미국의 난방 에너지 소비량과의 비교

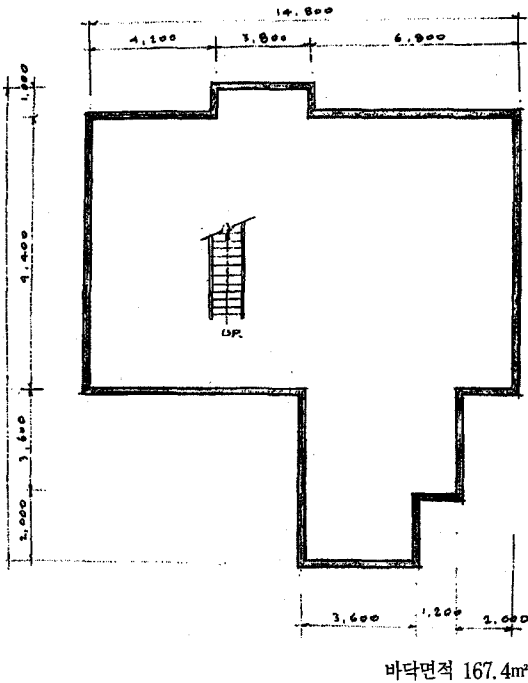
난방 에너지 소비량의 비교를 위하여는 한국의 경우와 같은 고층 아파트의 온수 바닥 난방과



비교하는 것이 바람직 하지만 에너지 소비량의 수치를 용이하게 얻을 수 있는 필라델피아 온풍 난방 시스템을 설치한 개인 주택의 에너지 소비량과 비교하였으며, 이 수치를 근거로 하여 미국의 온수 온돌을 사용한 여러 경우와 비교하였다. <그림 1>은 측정 대상 주택의 정면도이며, <그림 2>는 지하실 평면도이며 난방시설이 되어 있지

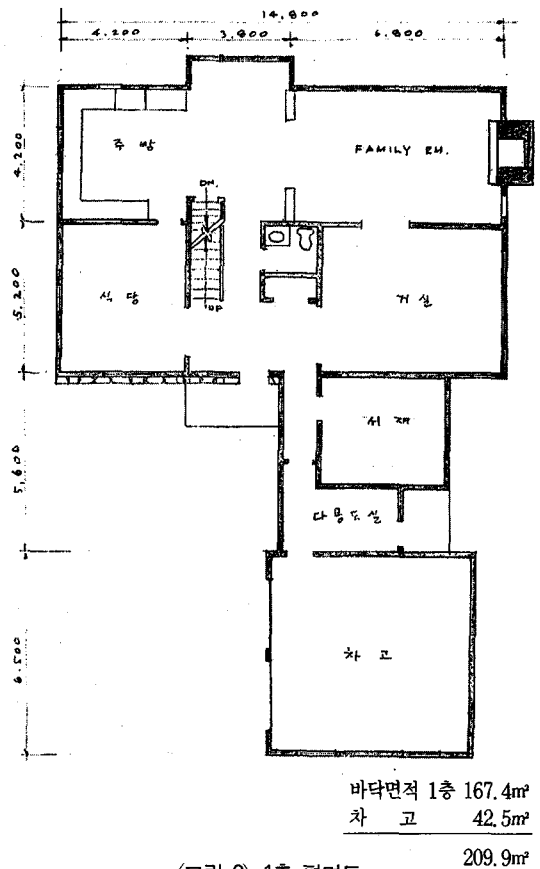
면 난방 기간은 10월부터 5월까지 8개월간이며, 6월부터 9월까지 4개월간은 매월 급탕에 필요한 0.6ccF(100FT<sup>3</sup>)의 가스를 사용하였으며 최대 사용월은 평균기온이 -2.2℃였던 1월의 경우 1.6ccF의 가스를 사용한 것으로 나타났다. 이 데이터를 토대로 하여 <표 2>를 작성하였다. 연간 총 난방 및 급탕에 소요된 가스는 평방휘트(FT<sup>2</sup>)당 0.293ccF로서 미국의 온수 온돌을 사용한 경우와 비교하여 보면 다음과 같다.

미국 중북부에 위치한 Appleton시에 위치한 연립 주택의 1988년 11월부터 1989년 3월까지의 에너지 소비량을 비교한 보고서에 의하면 평방휘트당 0.2ccF로서 필라델피아 주택의 경우보다 현저하게 적게 소비한 것으로 나타났다. 12동으로 되어있는 이 연립주택은 동당 1020FT<sup>2</sup>(약

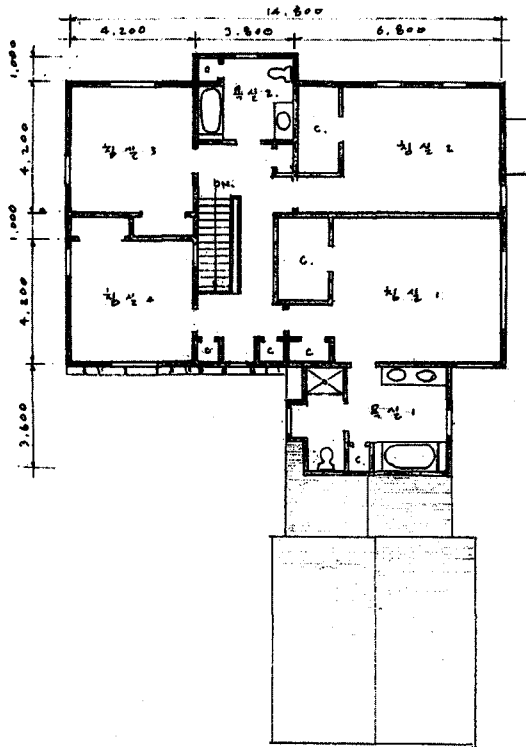


<그림 2> 지하층 평면도

않다. <그림 3>은 일층 평면도로서 주거 면적이 167.4m<sup>2</sup>로서 주방, 식당, 가족실, 거실, 서재 및 다용도실로 평면이 구성되어 있다. 차고는 44.25m<sup>2</sup>로서 난방이 되어 있지 않다. <그림 4>는 2층 평면도로서 4개의 침실과 2개의 욕실로 구성되어 있으며 주거면적은 160.2m<sup>2</sup>이며 총난방면적은 327.6m<sup>2</sup>이다. <그림 5>는 1993년 6월부터 1994년 6월까지 일 평균 가스 소비량을 보여 주고 있다. 이 도표는 가스회사에서 에너지 절약을 유도하기 위하여 매월 가스비 청구서에 첨부하여 소비자에게 보내 주고 있다. 이 도표에 의하



<그림 3> 1층 평면도

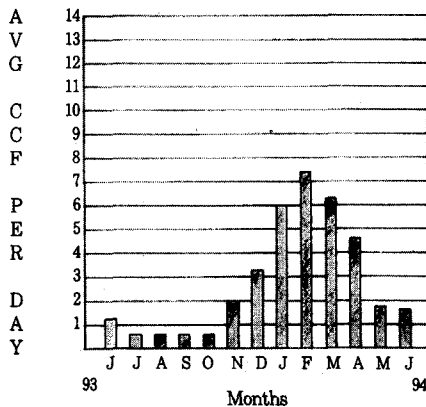


바닥면적 160.2m<sup>2</sup>

〈그림 4〉 2층 평면도

Your Gas Use Pattern

	Last Year	Current
CCF per day	1.2	1.6
Meter Rdg.	Actual	Actual
Avg. Temp	66°	66°



〈그림 5〉 월별 Gas 사용량

28.3평)으로 되어 있어서 한국의 아파트와 비슷한 조건을 가지고 있다고 볼 수 있다.

세계 최대의 온수 온돌(Radiant Heating System)업체인 Wirsbo에서 Case Study를 한 결과인데 요약하면 다음과 같다. Wisconsin주 Lakeville에 있는 단독주택의 경우인데 연간 가스 사용량이 0.27ccF/FT<sup>2</sup>로서 필라델피아의 경우보다는 10%정도 적게 사용하였다. 그리고 이곳의 추운 겨울 온도를 감안한다면 에너지 효율이 아주 우수한 것을 볼 수 있다. 따라서 필라델피아의 경우도 온수온돌을 사용하였다면 에너지 사용량을 더 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

한국과 미국의 단위면적당 에너지 소비량을 비교하여 볼때 12월의 평균 소비량을 비교하였을 경우 미국의 소비량이 절반수준에도 못미치는 40%정도밖에 되지 않으며, 최저 소비량과 비교하여도 현저하게 적게 소모하고 있는 것으로 나타났다. 한국건설기술원의 보고서에 의하면 12월의 열사용량이 비정상적으로 많았던 것은 10월부터 공급되기 시작한 열 공급에 대하여 관리자측과 사용자들이 적절한 운전제어를 하지 못하였기 때문이라고 설명하고 있다. 1월부터 4월까지의 경우도 한국의 평균소비량이 미국의 경우보다 2배 가까이 사용하는 것으로 나타났으며, 최저의 경우에도 미국의 사용량보다 평균 25%정도 많이 사용하는 것으로 나타났다. 물론 에너지 사용량의 비교를 위하여는 동일한 외부 조건이 필요하지만 한국의 소비량과 일대일로 비교할 수 있는 12월부터 4월까지의 평균기온이 거의 비슷하였고 미국의 경우는 단독주택으로 인하여 외기와 접촉면적이 한국에 경우에 비하여 거의 2배에 가까우며, 창문 면적도 미국의 경우가 많은 것을 감안한다면 한국의 아파트가 미국의 경우보다 2배 이상의 에너지를 소비하고 있으므로 이것의 원인을 분석하여 에너지 소비량을 감소시킬 수 있는 방안에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

〈표 2〉 월별 에너지 소비량의 비교

월	미 국				한 국			
	평균기온		일 일 가 사 용 스 량 100FT <sup>3</sup>	월 간 에 너 지 사 용 량 Mcal/m <sup>2</sup>	월간 에너지 사용량 Mcal/m <sup>2</sup>			온도 °C
	°F	°C			평 균	최 고	최 저	
10	49	9.4	2.0	3.69				
11	44	6.7	3.2	5.91	10.62*			
12	37	2.8	6.0	11.08	27.8	44.1	17.5	
1	28	-2.2	7.4	13.67	25.2	47.3	14.6	-2
2	31	-0.6	6.2	11.45	21.9	36.8	14.8	0.9
3	43	6.1	4.6	8.50	16.9	26.5	9.8	5.8
4	51	10.6	1.8	3.33	8.5	14.4	4.7	10.2
5	56	13.3	1.6	2.96				
6-9	-	-	2.4					
계			35.2					

〈표 3〉 건축법 시행규칙 제19조의 각 부위별 단열기준

구분	구분	기준	기타재료: 열전도 저항이 다음값에 적합하는 재질두께일것( m <sup>2</sup> h °C/kcal)	
			압면, 유리면, 난연성 발포폴리에틸렌 , 요스발포보온재, 폴리우레탄폼(단 위 mm)	기타재료: 열전도 저항이 다음값에 적합하는 재질두께일것( m <sup>2</sup> h °C/kcal)
거실외벽, 화장실 거실 및 지붕, 최하층 거실바닥(외기에 면하는 바닥 포함)	제주도의 전지역	0.5이하	50이상	1.6이상
	제주도	1.0이하	30이상	1.0이상
공동주택의 층벽	제주도의 전지역	0.4이하	70이상	2.2이상
	제주도	0.8이하	40이상	1.2이상

### III. 문제점과 개선방안

#### 1. 개요

한국 공동주택의 난방용 에너지 소비량은 단지에 따라서는 3배이상의 차이가 있으며, 가장 에너지를 적게 소비하는 경우에도 미국의 경우보다 평균 25%이상 소모하는 것으로 나타났다. 미국의 경우는 단독주택이며 온풍 난방 시스템(Forced Hot Air System)인 관계로 한국에서와 같은 고층 공동 주택에 온수 온돌 시스템을 사용한다면 더 많은 에너지가 절약될 것으로 기대된다. 온수 온돌 난방 시스템의 열효율은 온수 온돌의 구조 및 외벽, 바닥, 천정 및 창틀의 단열상태, 보일러의 열효율 등의 Hardware적인 요소와 제어 기능 및 방법과 난방 운전 방식 등의 Software적인 요소로 나눌 수가 있으며 왜 한국

온수 온돌의 평균열 소비량이 미국의 2배이상인가를 각 요소별로 검토하여 보기로 한다.

#### 2. Hardware적 요소

##### (1) 온수 온돌의 구조

현재 한국에서 시공하고 있는 온수 온돌의 구조체는 특정한 형태를 취하지 않고 매우 다양하게 시공되고 있다. 더욱이 건축법규상의 해석 차이로 인하여 바닥구조체의 각 부위별 재료 및 치수는 각 시공업체별로 큰 차이를 나타내고 있다. 현재 한국에서 시공되고 있는 사례 중에서 대표적인 모델을 축열층과 배관의 관계를 중심으로 볼 때 크게 6가지로 분류할 수 있으며 이들의 구조를 살펴보면 〈그림 6〉과 같다.

이들의 구조는 일반적으로 단열층, 축열층, 배관부와 마감층으로 구성된다. 일반적으로 온돌 구성층의 두께가 120mm~150mm로 설계되고 있어서 건물 자중의 증가와 층고가 높아지므로 인하여 건축비의 상승요인이 되는 것으로 지적할 수 있다. 또한 시공 절차상 3단계 내지는 4단계는 공정이 소요됨으로 인하여 공사기간이 길어지는 중요한 원인이 된다. 한국의 경우 단열층은 일반적으로 많이 사용하지 않았으나 최근에 와서 이에 중요성이 크게 인식됨과 동시에 차음의 효과가 매우 크다는 것이 증명이 되어 공동주택의 중

<b>슬렘 위 단열재 설치</b>	 모르타르 24 자갈 66 스티로폴 30	 모르타르 40 자갈 90 누름몰탈 30 스티로폴 20
	자갈층에 배관 후 모르타르 마감 (A 모델) 목동시영선경, 목동시영유원	모르타르 내 배관 (B 모델) 대한주택공사
<b>슬렘 위 고름 모르타르 위 단열재 설치</b>	 모르타르 30 자갈 30 스티로폴 30 모르타르 30	 모르타르 30 왕모래 30 스티로폴 50 고름몰탈 30
	자갈층에 배관 후 모르타르 마감 (C 모델) 삼익, 한양	왕모래층에 배관 후 모르타르 마감 (D 모델) 건설부
<b>슬렘 위 경량 기포 콘크리트 설치</b>	 모르타르 40 자갈 30 경량기포 콘크리트 50	 모르타르 24 모르타르 16 경량기포 콘크리트 70
	자갈층에 배관 후 모르타르 마감 (E 모델) 우성, 목동시영극동	모르타르 내 배관 (F 모델) 렉키

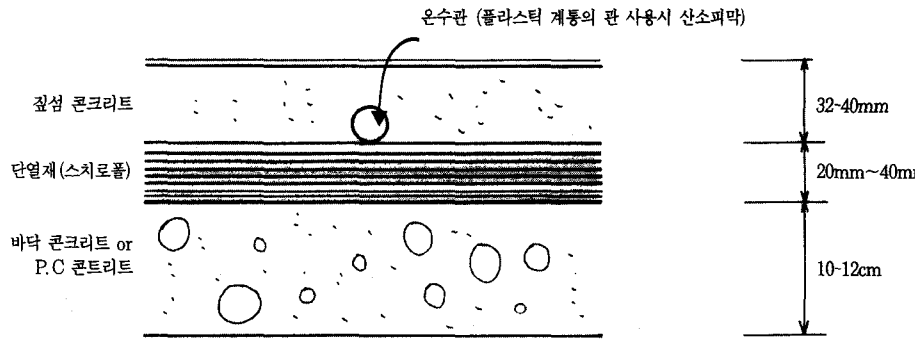
〈그림 6〉 파이프 매설 온수 온돌 시스템의 유형

〈표 4〉 지역별, 부위별 열관류율(단위:Kcal/mh℃)

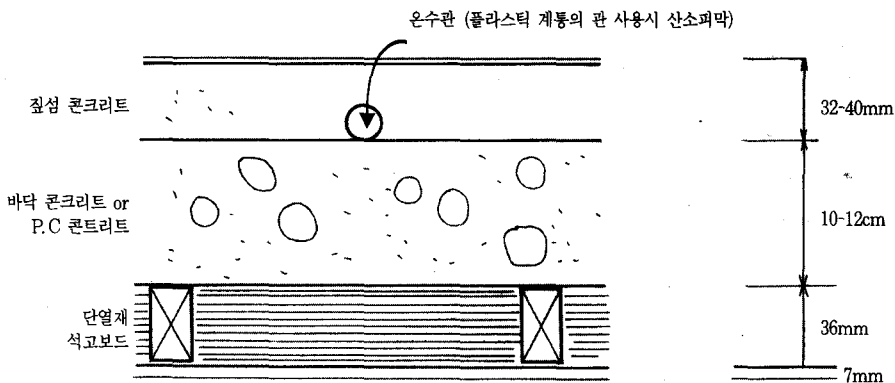
지역 부위	I (서울)	II (부산)	III (제주)
개구부	2.86	3.12	5.80
벽	0.44	0.57	0.70
지붕	0.33	0.43	0.52
바닥	0.55	0.67	1.00
Ko	0.64	0.77	1.15

간층에도 설치되고 있으며 스티로폴과 경량 기포 콘크리트가 많이 사용되고 있다. 축열층은 간

헐난방의 경우에 난방 온수 공급의 중간 시에 필요한 열량을 저장하기 위하여 필요하였지만 근래에 들어오면서 지역난방이 널리 보급되었고 중앙난방식의 경우도 보일러의 자동화로 인하여 필요한 온수를 항시 공급할 수 있으므로 축열층의 필요성에 대한 검토가 필요하다. 건설부 고시 제396호(1978년 8월 19일) “온수 온돌의 시공기준”에 의하면 40mm에서 70mm의 축열층을 두는 것을 의무화하고 있지만 축열층의 경우 열공급



(a) 연속 난방시



(b) 간헐 난방시

〈그림 7〉 짙섬온수온돌

〈표 5〉 정부 및 유관기관의 에너지 절약기법 도입예정

년도	정부추진상황
79~'83 '84 '85년 이후	· 신축건물 단열 의무화 · 단열 강화 · 건축물의 부위별 성능 및 설비기준 제정
년도	주택공사추진상황
76이전 77 78 79~81 84 85	· 배관재 단열시공 · 중앙 난방 아파트 외벽 보온 및 이중창 설치 · 전주택에 단열시공 · 단열 강화 · 에너지절약대책위원회 설치 · 단열 강화 · 결로방지 설계개선(전평형) · 창문틀 방풍턱 설치(18명 이상 목재문틀 사용) · 축새대 방바닥 보온 보강(벽과 밀착설치-전평형)

시 반응이 늦음으로 인하여 제어(Control)하기가 어려우며 온수공급시 과열현상을 초래하게

〈표 6〉 한국과 미국의 단열기준 비교

	한 국		미 국	
	표 6	표 7	R	열관류율K
거실의 외벽	0.5	0.44	19	0.27
최상층 거실 및 지붕	0.5	0.33	30	0.16
최하층 거실 및 바닥 (외기에 면하는 바닥)	0.5	0.55	-	-
공동주택의 축벽	0.5	0.44	19	0.27
개구부(창)	3.0	2.86	3.2-4	1.525-1.22
개구부(문)	3.0	2.86	5	0.96

되어 열효율을 현저하게 감소되는 것으로 추측이 된다. 외국의 경우 축열층을 전혀 사용하고 있지 않다. 또한 간헐난방의 경우와 같이 축열기능이 반드시 필요한 경우는 바닥 콘크리트를 축열체로 사용할 수도 있을 것이다. 배관재로는 강관과 동관을 많이 사용하였으나 강관과 동관에



〈표 7〉 세대 위치별 난방에너지 사용 비율

층	면적규모(난방면적기준)			
	TYPE A (84.7㎡)	TYPE B (117.5㎡)	TYPE C (136.3㎡)	TYPE D (158.7㎡)
1	1.81	2.00	1.76	1.73
2	1.46	1.49	1.51	1.35
3	1.42	1.56	1.33	1.43
4	1.36	1.35	1.43	1.33
5	1.34	1.36	1.35	1.34
6	1.31	1.36	1.33	1.30
7	1.25	1.25	1.31	1.27
8	1.20	1.29	1.11	1.26
9	1.30	1.22	1.22	1.11
10	1.15	1.14	1.09	1.02
11	1.12	1.14	1.17	1.03
12	1.11	1.06	1.00	1.00
13	1.09	1.00	1.02	1.08
14	1.00	1.01	1.01	1.07
15	1.53	1.43	1.50	1.38

서 나타나는 부식이나 스케일 등의 결함을 보완한 가교화 폴리에틸렌(X-L 파이프)관이나 폴리부틸렌관 또는 폴리프로필렌 공중합체관(pp-c) 등이 사용되고 있다. 플라스틱 계통의 관은 산소침투량(Oxygen Diffusion)이 40℃ 경우 5g/㎡일 이나 되기 때문에 독일의 경우 온수 온돌용 배관재로 사용시 산소침투량을 10g/㎡일로 줄여야만 사용할 수 있게 되어 있다(DIN 4726). 산소침투량을 줄이기 위하여 관 외부에 산소 침투막을 설치하는 것을 의무화하고 있다. 온수 난방 시스템에는 보일러, 팽창 탱크 순환펌프 등의 부식하기 쉬운 금속으로 되어 있

기 때문에 산소 피막이 없는 관을 사용하였을 경우에 보일러나 펌프의 수명을 현저하게 단축시키기 때문이다. 한국의 경우도 이것에 대한 연구가 필요하다. 마감층은 두께 3cm 정도의 모르타르를 사용하고 있다. 균열을 방지하기 위하여 섬유보강(Fiber) 모르타르를 사용하거나 와이어 메쉬를 설치하여 온돌 마감면의 보강과 동시에 열전달을 촉진시키기로 한다. 이러한 모든 결점을 보완하기 위하여 중량이 가벼우며, 균열이 가지 않은 쥘섬 콘크리트를 마감재로 사용한다면

열효율 증가와 함께 공사비 절감에 많은 효과를 가져올 것이다. 〈그림 7〉은 쥘섬콘크리트는 자기 수평기능도 가지고 있어서 공기 단축에도 많은 효과가 있을 것으로 기대된다.

## (2) 부위별 단열 성능의 문제점

세계적인 에너지 절약 추세에 부응하여 한국에서는 1975년 12월 건축법 제23조 4항의 “건축물에 있어서의 에너지절약” 조항을 제정하고, 동법 시행령 제16조의 “건축물에 있어서의 열손실방지” 조항을 76년 4월에 신설하였다. 이어 1979년 5월에 동법 시행령 제25조를 신설하여 주거용 건물의 열관류율(K)값을 규정하였다. 1980년 12월에는 건설부령 제279호에 건축물의 열손실방지 조치를 개정하였고, 1982년 10월에는 건축법 시행규칙 제19조에 제주도 및 기타 지역으로 구분하여 열관류율(K), 단열재 두께기준 및 시공에 대해 〈표 3〉과 같이 규정하였다.

그러나 위에서 언급한 정도의 기준만으로 에너지 절약을 유도하기에는 문제가 있었다. 따라서 보다 효율적인 에너지 절감을 위해서는 세부적인 지역 구분에 따른 각 부위별 단열기준이 요망되어 동력자원연구소(현 한국에너지기술연구소)에서 “건물의 부위별 성능 및 설계 기준안(1986)”을 제시하였다.

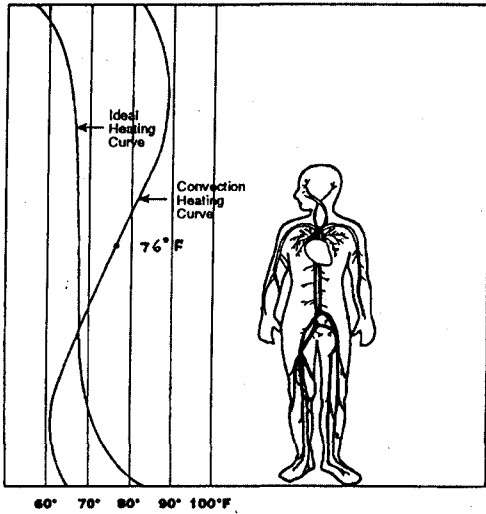
이 안은 우리나라 전 지역을 3개로 구분하여 설계기준을 세분화시킨 것으로 지역별, 부위별로 다른 열관류율(K) 값은 〈표 4〉와 같으며, 참고로 정부 및 유관기관에서 에너지 절약을 위하여 추진한 에너지 절약기법 추진현황은 〈표 5〉와 같다.

한국의 부위별 단열 기준을 기후 조건이 비슷한 미국 동북부 지방의 기준과 비교하였을 때 〈표 6〉, 경우에 따라서는 30% 정도밖에는 되지 않은 것으로 나타났다. 난방열 소모량에 제일 큰 영향을 미치는 것은 건물 외벽의 단열성인 것을 감안한다면 단열 기준에 대한 재검토가 필요하다.

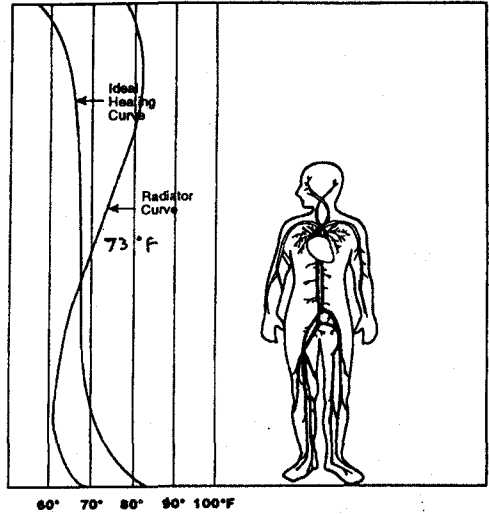
〈표 7〉은 한국 건설기술연구원의 층별 에너지

소비량을 비교한 표이다. 최상층의 지붕의 경우 건축법의 시행령의 단열기준은 미국 규정의 1/3에도 못미치는 수준이고 에너지기술연구소의 기준도 1/2정도에 그치고 있어서 한국 아파트의 최상층 에너지 소비량이 중간층에 비하여 38%~58% 되는 이유를 설명하고 있다. 최하층의 경

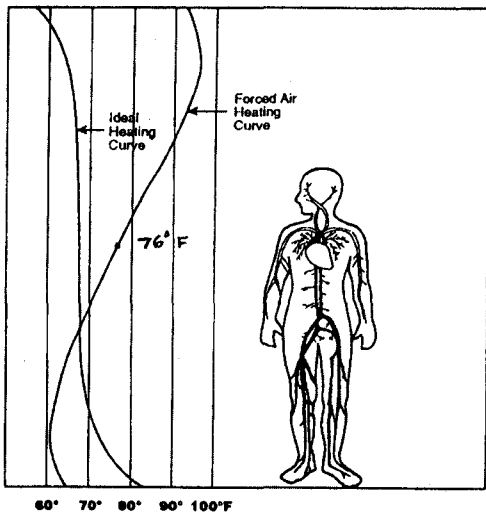
우도 온수온돌 난방방식의 특정상 하부로의 열 손실량이 상부로의 손실량보다 많음으로 인하여 단열치가 큰 재료를 사용하여야 함에도 불구하고 단열기준이 최상층 지붕의 경우보다 적게 되어 있어서 에너지 소비량이 73%에서 거의 두배까지 사용된 것으로 나타났다. 따라서 에너지를



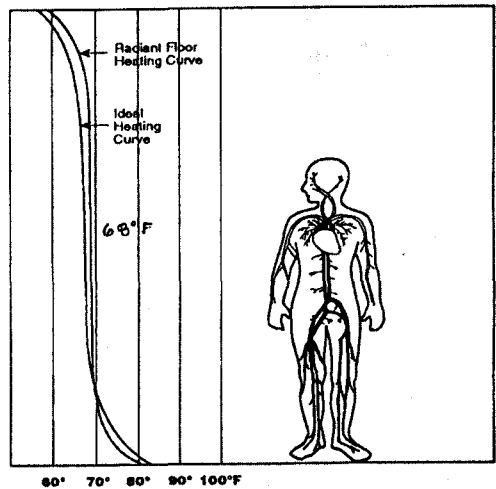
(a) Baseboard 난방



(b) Radiator 난방



(c) 온풍난방



(d) 온수온돌

〈그림 8〉 난방종류에 따른 실내온도 분포도

절약할 수 있는 새로운 단열 기준이 한국의 설정에 적합하도록 설계되어야 한다. 미국 규정에 유사하게 최상층 0.15~0.20 정도로 최하층 바닥은 외기에 접할 경우 0.15, 외벽의 경우 0.3 정도로 강화하여야 하며 이에 대한 구체적인 연구 검토가 필요하다.

### 3. Software적 요소

#### (1) 온수 온도의 적정 실내온도

인간에게 가장 안락한 실내 온도 분포는 미국의 F.A.CENKO의 “The Warmth factor in comfort at work” 논문에 의하면 <그림 8>과 같다. P.O Fanger의 “The effect of the temperature of floor surface and the air on thermal sensation and the skin temperature of the feet”에서도 비슷한 결과를 제시하였으며 바닥의 온도는 82°F(27.7°C), 우리의 심장 높이에서는 68°F(20°C)가 가장 이상적인 온도라는 결론을 내렸으며, 바닥 복사 난방의 일종인 온수 온돌이 이상적인 온도 분포와 가장 근사한 것이라 나타났다. 따라서 온수 온돌난방이 에너지 효율적인 측면에서 우리에게 꼭 필요한 부분만을 난방하게 되므로 가장 경제적인 난방 방법인 것이다. 그러나 한국에서의 설정 실내 온도는 24°C로서 미국의 기준보다 높다. 물론 체질적인 차이와 온돌 바닥은 딱딱딱딱하여야 한다는 심리적인 요인이 작용하겠지만 실내 설정 온도에 대한 재검토가 필요하다. 또한 실내 설정 온도는 24°C로 하기 위하여는 바닥 온도가 35°C 이상으로 가열한 경우가 발생한다. 바닥 복사 난방의 경우 표면 온도가 87.5°F(30.83°C)가 초과하면 대류열전달(Convection heat transfer)이 현저하게 증가함으로써 미국의 경우 최대 표면 온도를 87.5°F로 제한하고 있으며, 더 높은 온도가 요구되는 경우는 천정 복사난방을 사용하거나 보조 난방방법을 사용하는 것을 권장하고 있다.

#### (2) 제어기능(Control System)

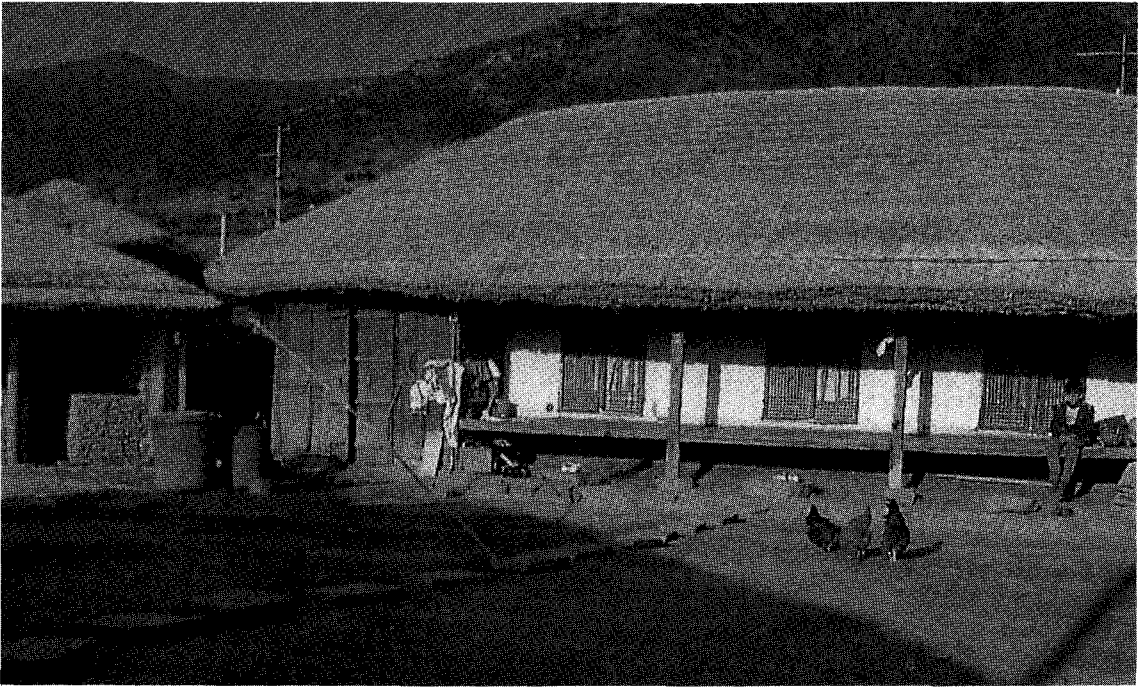
난방의 열효율에 영향을 미치는 요소중에 제어 기능이 미치는 영향은 막대하다고 볼 수 있다. 현재 한국에서의 공동 주택의 난방 제어는 건설 기술 연구원의 보고서(건기원 93-AD-112-1)의 의하여 다음과 같다.

한국의 아파트 난방 제어는 1차 기계실에서의 열원제어, 2차 기계실에서의 열공급 제어, 세대에서의 실내온도 조절기에 의한 제어의 3단계로 나눌 수 있다.

1차 기계실에서의 제어 대상은 지역난방인 경우 지역난방 공사의 열생산 및 열공급온도 및 공급 유압이 되며 중앙난방인 경우에는 중앙 기계실의 보일러에서의 증온수 생산 및 중간 기계실로의 온수 분배가 제어 대상이 된다. 서울지역의 경우, 1차측에서 생산 분배되는 온수 공급온도는 일반적으로 100°C에서 120°C 정도의 범위에서 생산, 공급되며 계절별, 외기 온별로 공급 온수의 제어가 가능하다.

2차측에서는 1차측에서 생산된 증온수를 열교환기에 의하여 저온수로 변화시킨다. 저온수로 변환시키는 원리는 1차측에대한 2차측의 저온수로 변환된다. 이때의 유량비는 1차측 대 2차측의 비가 대략 1:3 정도 내외에서 설계된다. 2차측에서는 온수 온도의 제어가 필요한데 2차측의 공급 온도를 기준으로하는 방법과 환구 온도를 기준으로 하는 2가지 방법이 있다. 온수온도를 제어하는 방법으로는 열교환기 자체에는 온수 온도 제어 능력이 없으므로 실질적으로 2차측의 온수 온도를 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 온수를 각 세대에서 설정한 실내 온도에 맞추어 자동 온도 조절기에 의해 주밸브를 ON-OFF하는 방법에 의해서 목표 실온을 유지하게



된다. 이때 실내 온도의 변동 및 편차에 영향을 주는 것은 실내 온도 조절기의 감도 및 조절 밸브의 반응속도가 된다.

1차측과 2차측에 대한 문제점에 대하여는 건설기술 연구원의 보고서에 상세하게 지적되고 있음으로 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

3차측인 세대별 난방 제어의 문제점으로는 실내 온도 조절기를 실온 제어기로 사용하지 않고 단순발브의 ON-OFF장치로 사용하는 점을 지적하고 있다.

현재 한국에서 사용하고 있는 실내 온도 조절기는 기계식으로 설정 실온이 온도로 표시되어 있지 않고 1, 2, 3, 4, 5와 같은 단순 숫자로 표시되어 있기 때문에 입주자는 설정온도를 입주자의 개별적 온도 감각에 의존할 수 밖에 없기 때문에 난방열 공급량을 증가시키는 원인이 되고 있다. 그러므로 온도로써 조정할 수 있는 온도조절기(Thermostat)를 사용하는 것이 바람직하다.

한편 2차측이나 각 세대에서 3방향 또는 4방

향 믹싱밸브를 사용함으로써 회수된 온수를 재 사용함으로써 열사용량을 절약할 수 있다. 50℃의 온수 공급시 회수온도는 40℃ 정도이므로 40℃의 온수가 2차측으로 순환되어야 함으로 이에 따른 열손실이 발생하는 것을 방지할 수 있다.

현재 외국에서는 하이텍(High Tech)을 이용한 각종 컨트롤 시스템이 개발되어 온수 온돌에도 사용하고 있으므로 이것을 비교 검토하여 한국 실정에 적합한 시스템을 개발하여야 할 것이다.

#### IV. 결론

본 연구는 한국의 온수 온돌의 열효율을 평가하기 위하여 한국 아파트의 한국 아파트의 단위면적당 난방 에너지 소비량을 미국의 소비량과 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

한국의 공동주택의 난방용 에너지 사용량은 아파트 단지별로 최고 3배이상의 차이가 있으며 같은 단지안에서도 최상층과 최하층이 중간층에

비하여 최대 2배의 에너지를 사용하고 있다. 한국의 사용량을 미국의 단독주택의 경우와 비교하였을 경우 한국의 평균 소비량은 미국의 소비량의 2배에 달하며 최고 소비량과 비교하였을 때는 최고 4배 이상의 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 미국의 경우는 외부와 접촉 면적이 공동주택에 비하여 현저하게 많은 단독주택이고 또한 열효율이 복사 난방 방식에 비하여 열등한 온풍 난방 방식이어서 한국의 공동주택과 동일한 조건에서 비교한다면 더 많은 에너지의 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

이와 같이 한국의 공동주택의 열사용량이 크게 나타나는 이유를 규명하기 위하여는 보일러에서 온수생산 과정부터 온수 온도의 배관을 통하여 방열할 때까지의 구조와 제어방법, 각 세대의 단열 상태등 복합적인 요인을 분석, 연구하여야 한다. 그러나 일차적으로 현재 알고 있는 데이터를 근거로 하여 추정하여 본다면 다음과 같은 이유를 들 수 있으며, 이것에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

1) 한국 공동주택의 열사용량이 크게 나타나는 가장 큰 원인은 외기와 접촉한 면의 단열 성능이 외국의 기준에 비하여 미약하다는 점을 들 수 있다. 외기와 접촉하고 있는 외벽의 경우 미국 규정의 1/2 정도에 그치고 있으며 최상층 천정과 최하층의 바닥의 1/3에도 못미치는 수준이다. 따라서 에너지를 절약할 수 있는 새로운 단열기준이 한국의 실정에 적합하도록 재검토되어야 한다.

2) 두번째의 원인으로는 한국 온수 온도의 구조체를 들 수 있다. 그중에 축열층에 대한 문제점을 지적할 수 있다. 간헐난방의 경우에 필요한 열량을 저장하기 위하여 필요하였지만 근래에 들어와서 지역 난방이 널리 보급되었으며 중앙 난방방식의 경우도 보일러의 자동화로 인하여 필요한 온수를 항상 공급할 수 있으므로 축열층에 대한 검토가 필요하다. 건설부 고시 제396호

“온수 온도의 시공기준”에 40mm~70mm의 축열층을 두는 것을 의무화하고 있지만 창문을 열게되는 등으로 인하여 에너지를 낭비하는 현상을 초래하고 있다. 외국의 경우 축열층을 두지 않고 있으며 축열층으로 인하여 건물의 자중의 증가와 층고의 증가를 초래함으로 건축비 상승요인이 되고 있다. 질섬 콘크리트를 이용한 경량 온수 온도를 사용한다면 이러한 결점을 보완할 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

3) 한국에서 보편적으로 사용하고 있는 실내 설정온도는 24℃이다. 미국의 경우는 20℃(68°F)를 권장하고 야간 취침시에는 18.3℃(65°F)를 사용하도록 계몽하고 있다. 실내 온도를 24℃를 유지하기 위하여는 바닥 온도가 35℃ 이상으로 가열하여야 하며 이 경우 대류에 의한 열 전달이 현저하게 증가하여 복사열 난방 시스템의 열효율이 감소한다. 이러한 이유와 난방 온도가 4℃ 높음으로 인하여 열사용량이 많아지는 원인이 되는 것이다.

4) 현재 한국의 온수 난방의 제어방법은 자동 운전 제어 시스템이 적용되고 있으나 실제로 관리자측에서 경험에 의하여 수동으로 제어하는 경우가 많다고 보고되고 있다. 또한 지역난방의 확대로 세대별 자동 온도조절기 및 적산 열량계가 설치된 공동 주택이 늘어남으로 에너지 절약을 유도하는 방안이 되고 있다. 그러나 대부분의 경우 실내 온도 조절기도 기계식으로 설정온도로 표시되어 있지 않고 1, 2, 3, 4, 5와 같은 단순 숫자로 표시되어 있기 때문에 입주자는 설정 온도를 입주자의 개별적 온도 감각에 의지할 수 밖에 없기 때문에 난방열 소비를 증가시키는 원인이 된다. 따라서 온도로 조절할 수 있는 온도조절기(Thermostat)를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 외국에서는 High Tech을 이용한 여러 가지 Control System이 개발되어 사용되고 있으므로 이것을 검토하여 한국 실정에 적합한 시스템을 개발하여야 할 것이다. 🌐