

착의량에 따른 실내설정온도와 공동주택의 난방부하 및 온실가스 저감량 산정 연구

이 철 성

한밭대학교 건축공학과 대학원

e-mail : aeerulab@gmail.com

- 요약 문 -

에너지 수입비중이 큰 우리나라는 건물에서의 에너지 절약방법으로서 기계적인 시스템 성능향상을 통한 에너지 저감 연구가 많이 진행되어 왔다. 그러나 건물에서의 에너지 사용량은 시스템성능 외에 인간이 느끼는 열적 쾌적함을 유지하기 위해 조절되는 냉난방설정온도가 큰 영향을 미친다.

본 논문은 공동주택에서 가정된 착의량에 의한 실제 쾌적온도와 그에 따른 난방에너지 소비량을 시뮬레이션을 통해 평가하였고, 착의량별 이산화탄소 저감량을 계산하여 정량적으로 도출하였다.

연구 결과에 따르면 공동주택에서 국제 권고 기준(ISO 7730, ASHRAE STD 55)에 맞는 착의량을 유지할 경우 현재보다 약 23%의 난방에너지가 절감할 수 있으며, 정부의 권고에 따라 동내의를 착용할 경우 약 47.8% 까지 저감 가능한 것으로 나타났다. 즉 착의량을 증가시켜 실내온도를 낮추는 것이 어떤 값비싸고 효율 좋은 시스템을 도입하는 것보다 더 쉽고 효율적으로 에너지 및 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

2005년 2월 교토의정서가 발효됨으로써 선진국 중심으로 온실가스 감축량 할당분에 대한 감축목표를 달성해야 하는 절박함에 처해 있다. 현재 우리나라는 1차 의무감축 대상국에 포함되어 있지 않지만 에너지 소비량 세계 11위, CO2 배출량 세계 9위로 2차 공약 기간이 시작되는 2013년에는 의무감축 대상국에 포함될 것이 불가피한 실정이다.¹⁾ 따라서 부존자원이 거의 없고 에너지 다소비형 산업구조를 가진 우리로서는 대체 에너지 개발과 환경 친화적인 산업구조로의 전환이 시급한 상황이다. 여기에서 주목 할 부분은 주요 온실가스 물질인 이산화탄소의 발생이 대부분 화석에너지 소비에서 초래된다는 점이다. 결국 고유가의 극복과 온실가스 배출 문제 해결을 위해서는 에너지절약과 대체에너지 개발 외에는 명확한 해법이 없다.

한편 국내 총에너지 소비량의 1/4에 해당하는 24%의 에너지가 건물분야에 소비되고 있으며, 특히 IMF이후 산업부문 에너지 소비증가율에 비해 건물분야 에너지 소비인 가정·상업부문의 에너지 성장률이 큰 증가를 보이고 있다. 또한 선진국의 예와 같이 경제성장과 함께 소득수준 및 생활수준이 높아짐에 따라 국가 총에너지 소비량 중 건물부분의 소비 비중이 향후 더욱 높아질 전망이다.

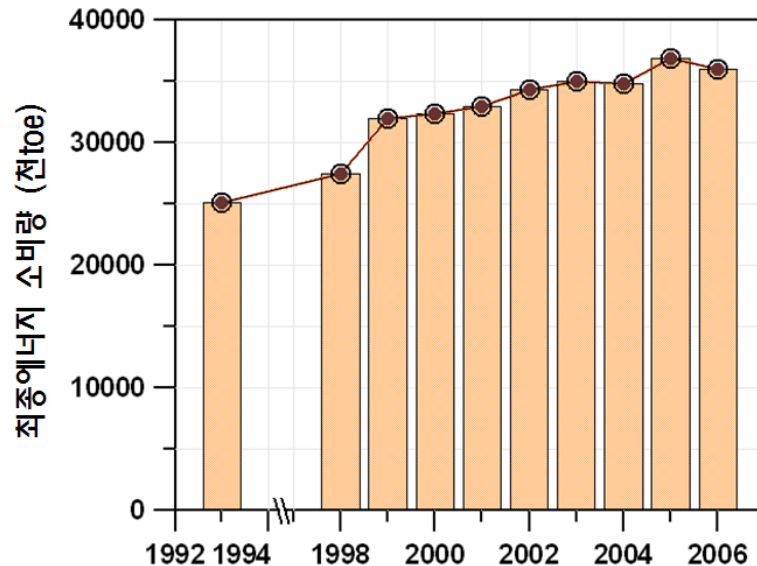
우리나라의 대표적인 주거형태인 공동주택의 대부분은 난방방식으로서 바닥보사난방방식을 채용하고 있으며, 바닥난방과 관련된 기존연구를 살펴보면 대부분 건물 구조체의 열적성능을 개선하는 방안에 관하여 이루어져 왔다. 사무소 건물도 마찬가지로 시스템 및 구조체 성능향상에 관한 연구가 대부분이다. 그러나 실제 주택에서 거주자가 느끼는 열적 쾌적감은 기계나 설비 시스템적용으로 인한 온도상승 외에 착의량과 같은 주관적인 지표가 큰 영향을 미친다. 결국 에너지를 절약하는 방법은 시스템의 성능을 향상시키는 것 외에 건물안에서 생활하는 재실자들의 생활방식에 따라 달라진다.

1980년대 초반에서 최근 2000년대 중반까지 약 25년에 걸친 연구 문헌을 조사한 결과, 우리나라 난방기 주택 실내온도는 시간의 흐름에 따라 상승하는 경향을 보이고 있다.²⁾ 이는 1980년대 이후 우리나라의 경제발전과 국민소득의 향상으로 건물 난방에너지의 사용량이 증가하였을 뿐 아니라 건축자재 및 건축기술의 발달로 고기밀·고단열 주택시공이 가능해졌고, 난방설비의 기능이 향상되는 등 복합적인 요인에 의한 것이다. 실제로 국내 건물부문(가정상업 및 공공기타)의 에너지 소비는 1997년 IMF 경제위기를 겪으면서 처음으로 떨어졌던 것을 제외하고 1980년 이후 계속해서 증가추세를 보이고 있으며 건축물 열손실방지와 관련된 규정 또한 제정된 이래 계속 강화되고 있다. 이에 따라 실제 거주자가 건물을

1) 에너지 관리공단 : <http://www.kemco.or.kr/> - 국가별 에너지 통계 2006

2) 건물에너지 절약을 위한 주거건물의 실내온도와 착의량에 관한 기초연구 (배누리 외) 2007.10.26

사용함에 있어 착의량과 같은 온열지표에 따른 실내열쾌적상태를 분석하여 실내 적정설정온도를 제시할 필요가 있다.



(그림 1.1) 가정 및 상업부문 에너지소비량

본 연구는 이와 같이 착의량에 따른 실내쾌적온도와 그에 따른 난방 부하를 산출·비교하고 이를 온실가스 저감량으로 환산하여 정량적으로 제시함으로서 착의량에 의한 에너지절감효과를 알리는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건물의 PMV에 따른 온열환경에 관한 연구는 기존에 많이 진행되었으나, 착의량과 같은 주관적인 지표에 의해 조절되는 실내 쾌적온도와 그에 따른 에너지소비량에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 건물내 착의량에 따른 설정온도별 에너지 절감량에 대한 정량적 데이터가 존재하지 않아 실제 착의량 증가시 절감 가능한 에너지양을 가늠하는데 어려움이 있다. 이에 따라 본 논문은 공동주택의 착의량에 따른 쾌적온도별 난방부하 저감과 이산화탄소 저감 가능성에 관하여 연구하였다.

연구 방법은 공동주택의 착의량에 의한 실내설정온도와 그에 따른 난방 부하를 산출·비교하고 이를 온실가스 저감량으로 환산함에 있어,

- 1) 선행연구 결과를 중심으로 평균착의량을 설정하였으며, 국제기준 및 동내의 착용에 따른 각 착의량 별 열적 쾌적감에 대한 적정실내온도를 산출하였다.
- 2) 착의량별 실내적정온도를 공동주택에 적용하여 겨울철 난방에너지를 평가하였다.
- 3) 난방에너지를 근거로 각 연료별 온실가스 발생량 및 저감량을 산정하였다.

2.착의량에 따른 실내적정온도 산정

재실자에게 에너지 소비량 저감을 유도하면서 동시에 실내 열쾌적상태를 높이는 방법은 주관적인 지표인 착의량을 증가 또는 감소시키는 것이다. 냉방시기의 경우 재실자들의 착의량을 감소시키고, 반대로 난방시기의 경우 착의량을 증가시켜 재실자로 하여금 열적으로 쾌적한 상태를 유도함으로써 냉난방에너지를 절약할 수 있을 것이다. 본 장에서는 열쾌적지표인 PMV에 대해 고찰하고, 착의량에 따른 난방기의 실내적정온도를 산출하였다.

2.1 열 쾌적 지표

2.1.1 쾌적온도

실내온열과정을 단일요소로 평가하기는 어려우며 인체와 환경사이의 열교환에 영향을 주는 온열환경요소에 의하여 종합적으로 평가되어야 한다. 객관적으로 표현되는 요소로서 공기온도, 상대습도, 기류속도, 평균복사온도가 있으며, 주관적인 요소로서 활동량과 착의량이 있다. 실내온열환경평가지표란 이러한 온열환경요소를 적절히 조합하여 표준화 한 후 재실자가 느끼는 온열감에 가장 가까운 평가를 얻기위해 만든 것으로서, 대표족인 지표로는 유효온도(ET), 신유효온도(ET*), 신표준유효온도(SET*), 작용온도(OT), 불쾌지수(DI), 평균예상온열감(PMV), 예상불만족도(PPD) 등이 있으며 그 내용을 정리하면 아래와 같다.³⁾

(표 2.1) 온열환경 평가지표

평가지표	단위	범위	객관적 요소				주관적 요소	
			공기온도	상대습도	기류속도	복사온도	활동량	착의량
ET	℃	$0 < ET < 45$ $v < 2.5\text{m/s}$	○	○	○			
ET*	℃	착의량: 0.6clo 활동량: 1met 기류속도: $\leq 0.2\text{m/s}$ 노출시간: 1시간	○	○				
SET*	℃	쾌적영역: $22.2 < SET^* < 25.6$	○	○	○	○	○	○
OT	℃	27℃ 이하	○		○	○		
DI	-	-	○	○				
PMV	-	쾌적영역: $-0.5 < PMV < +0.5$	○	○	○	○	○	○
PPD	%	쾌적영역: $PPD < 10\%$	○	○	○	○	○	○

3) 건물에너지 절약을 위한 주거건물의 실내온도와 착의량에 관한 기초연구 (배누리 외) 2007.10.26

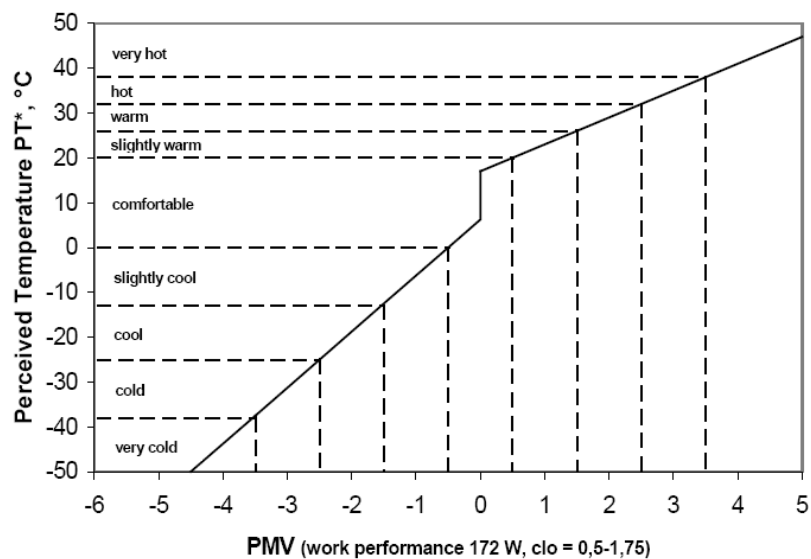
2.1.2 쾌적지표(PMV)

PMV는 인체의 환경에 대한 감각을 정량화한 것으로, 1970년 Fanger에 의하여 제안되었다. 이는 미국 냉동공조공학회(ASHRAE ; American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers) 의 7단계 열감척도를 기준으로 설정되었으며, -3에서 +3의 범위를 갖는다. 여기서 -3은 추운 경우, +3은 더운 경우를 나타내고 0은 열적으로 쾌적한 상태를 나타낸다. 일반적으로 사람이 열적으로 쾌적함을 느끼는 PMV 범위는 -0.5~+0.5 이다. PMV를 산정하기 위해서는 객관적요소인 건구온도, 평균 복사온도(MRT), 상대습도, 기류속도와 주관적요소인 활동량과 착의량에 대한 정보가 필요하다.

PPD는 주어진 열환경에 대하여 불만족을 느끼는 채실자의 예상비율을 말하며, 일반적으로 주어진 열환경에 대하여 그 값이 10% 이하이면 ‘쾌적하다’라고 평가할 수 있다.

(표 2.2) 미국냉동공조학회(ASHRAE) 7단계 열감척도

PMV	Thermal sensation	PPD(%)
+3	Hot	100
+2	Warm	75
+1	Slightly warm	25
0	Neutral	5
-1	Slightly cool	25
-2	Cool	75
-3	Cold	100



(그림 2.1) PMV와 실내온도의 관계

2.1.3 열쾌적 국제기준

열쾌적을 나타내기위한 대표적인 지수로서 Fnager가 1300명이상의 피시험자에 의한 생리학적 반응을 지표로 나타낸 PMV가 국제적으로 가장 널리 이용되고 있다. PMV값을 구하는 방법은 여러 가지가 있으나 ISO 7730에서 제안한 다음식을 사용한다.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303 + e^{-0.036 \times M}) \times (M - W) \\
 & - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] \\
 & - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] \\
 & - 1.7 \times 10^5 M(5867 - P_a) - 0.0014 \times M(34 - t_a) \\
 & - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \\
 & - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned}$$

여기서, M : 대사율[Kcal/m²h], P_a : 수증기 분압 [mmHg], t_a : 건구온도[°C], t_r : 평균복사온도[°C], h_c : 대류열전달율[Kcal/m²h°C], W : 외부작업율[Kcal/m²h], f_{ci} : 착의 인체표면의 나체표면적에 대한 비율, t_{ci} : 착의 인체표면의 평균온도[°C]이다. 이 식을 바탕으로 미국 냉동공조학회에서는 (표 1.3)에서 보는바와 같이 계절별 최적온도와 함께 수용 가능한 온도범위를 지정한 실내 온열환경기준 ASHRAE Standard 55 를 제시하였다. ASHRAE기준에 따르면 상대습도 50%, 기류속도 0.15 m/s미만, MRT=공기온도, 활동량 1.2 로 가정했을 경우 겨울철 최적온도는 착의량 1.0clo 일 때 22°C이고, 여름철 착의량이 0.5clo일 경우 최적온도는 24.5°C인 것을 알 수 있다.

(표 2.3) 미국공조학회의 실내온열환경기준 (ASHRAE Standard 55)

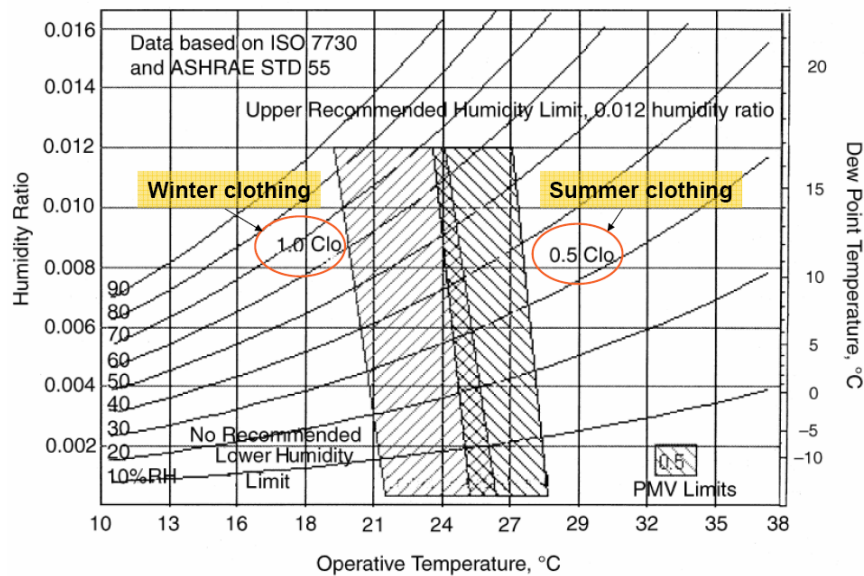
Season	Optimum Temperature	Acceptable Temperature Range	Assumption for other PMV inputs
Winter	22°C	20~23°C	-relative humidity : 50% -mean relative velocity : <0.15m/s -mean radiant temperature : equal to air temperature -metabolic rate : 1.2 met -clothing insulation : 1.0clo
Summer	24.5°C	23~26	-relative humidity : 50% -mean relative velocity : <0.15m/s -mean radiant temperature : equal to air temperature -metabolic rate : 1.2 met -clothing insulation : 0.5clo

또한 실내온열환경에 대한 대표적인 국제기준으로서 ISO EN 7730(2005)과 CR 1752 (1998)가 있다. 이 기준들은 온열환경 평가지표 중 PMV와 PPD를 이용하여 A, B, C 3개의 온열환경범주로 구분하였으며, 착의량(Clo)에 따른 계절별 적정작용온도와 기류속도를 정의하였다. 그 범위는 다음과 같다.

(표 2.4) 온열환경 국제기준 1 (ISO EN 7730,2005, CR 1752, 1998)

Category	Thermal state of the body as a whole		Operative temperature(℃)		Max. mean air velocity(m/s)	
	PPD(%)	PMV	Summer(0.5clo) Cooling	Winter(1clo) Heating	Summer(0.5clo) Cooling	Winter (1clo) Heating
A	<6	-0.2<PMV<+ 0.2	23.5~25.5	21.0~23.0	0.18	0.15
B	<10	-0.5<PMV<+ 0.5	23.0~26.0	20.0~24.0	0.22	0.18
C	<15	-0.7<PMV<+ 0.7	22.0~27.0	19.0~25.0	0.25	0.21

ISO 7730과 ADHRAE STD 55를 기준으로 미국 냉동공조학회에서는 다음과 같이 겨울철 기본 착의량 1.0clo, 여름철의 경우 0.5clo를 기준으로 온도와 습도에 따른 열적 쾌적범위를 나타내었다. 그래프의 빗금친 부분의 영역이 인체가 느끼는 쾌적범위의 온도와 습도이며, 이 영역을 벗어났을 경우 춥거나 덥게 느껴진다.



(그림 2.2) 여름과 겨울철의 열쾌적범위 (ASHRAE STD 55)

2.1.4 착의량

착의량은 의복을 몸에 착용함으로써 얻어지는 보온효과를 수치적으로 나타낸 것이며, 착의량이 크다는 것은 옷에 의한 단열성이 증가함으로써 신체의 열손실량이 적어진다는 것을 의미한다. 실제로 1clo는 $0.155\text{m}^2\text{°C/W}$ 의 열 저항성능을 가지며, 이를 열손실율로 나타내며 약 $6.5\text{ W/m}^2\text{°C}$ 에 해당한다.

의복의 종류에 따른 착의량은 일반적으로 다음과 같이 정의 된다.

(표 2.5) 의복에 따른 착의량

남성		여성	
의복의 종류	clo	의복의 종류	clo
내 의	소매 없는 것	속옷 (상하의)	0.04
	T 셔츠	하프 슬립	0.13
	긴소매셔츠	홀 슬립	0.19
	긴 속바지	긴소매셔츠	0.35
		긴 속바지	0.35
와이셔츠	긴소매(얇은 것)	브라우스	얇은 것
	(두꺼운 것)		두꺼운 것
조끼	얇은 것	드레스	얇은 것
	두꺼운 것		두꺼운 것
바지	얇은 것	스커트	얇은 것
	두꺼운 것		두꺼운 것
스웨터	얇은 것	슬랙스	얇은 것
	두꺼운 것		두꺼운 것
겉옷	얇은 것	스웨터	얇은 것
	두꺼운 것		두꺼운 것
양말	짧은 것	스타킹	일반적인 것
	긴 것		팬티 스타킹
구두	단화	구두	단화
	부츠		부츠

2.1.5 온열환경 사례분석

본 연구는 분석을 수행하기 앞서 선행사례를 중심으로 국내와 국외의 경우 실내온도와 착의량이 어떻게 유지되며 그에 따른 실내 열쾌적온도가 어떻게 유지되고 있는지 고찰하였다.

김효진 외⁴⁾는 각 나라별 실내 환경비교를 통한 온열환경적응 연구에서 한국, 미국, 일본의 외기조건에 따른 각 나라 채실자의 실내공간의 설정온도를 비교 분석하였다. 분석결과 일본의 실내기온이 외기온의 변화에 따라 가장 민감하게 변

4) 다양한 나라의 실내온열환경 비교를 통한 인간의 열적 적응상태의 비교연구 (김효진 외), 대한건축학회 논문집, 2006.10.26

동되었으며, 한국의 실내공간이 난방시기에 같은 외기조건에서 미국보다 더 따뜻하게 조절되고 있었다. 거실의 온열환경과 거주자의 온도조절행위에 관한 전정윤 외⁵⁾의 연구에서 겨울철 평균 실내온도는 24.66 의복량은 0.51clo(반팔 셔츠+얇은 긴바지)로 ASHRAE 55-2004⁶⁾와 ISO 7730의 쾌적 열환경 조건에서의 동계의복량인 1clo⁷⁾에 비해 낮은 의복량을 보이는 것으로 나타났다.

따라서 이는 겨울철 실내에서 착의량을 낮게 유지하면서 실내온도를 높임으로써 쾌적감을 조절하려는 재실자들의 생활 습관에 의해 과다난방의 가능성을 보여주고 있다.

3. 착의량에 따른 공동주택 난방에너지 소비량 평가

3.1 개요

본 장에서는 재실자의 착의량에 의한 실내 쾌적온도범위를 산정하여 난방에너지 소비량을 평가하고자 한다. 먼저 재실자가 착용한 의복에 따른 clo값을 산정하였고, 그 착의량에 따른 실내 쾌적온도 범위를 산정하였다. 또한 난방에너지소비량을 평가하기 위해 난방위주의 건물로서 공동주택을 선정하여 착의량에 의한 설정온도별 건물에너지 소비량을 평가하였다.

3.2 공동주택의 착의량에 따른 실내 적정온도 산정

착의량에 의한 실내적정온도를 산정하기 위해 먼저 재실자의 착의량을 가정하였으며, 그에 따른 실내적정온도의 범위를 산정하였다.

3.2.1 착의량 가정

(표 2.5)를 참고하여 실내에서의 착의량을 다음의 4가지 옵션으로 가정하였다. 옵션1은 착의량에 따른 열쾌적상태를 비교하기위한 대조군으로서 낮은 clo값을 가정하였으며 옵션2는 선행연구에서 도출된 우리나라 겨울철 평균 clo값과 근사하여 가정하였다. 또한 옵션3은 미국 냉동공조학회(ASHRAE)에서 제시한 겨울철 기준착의량을 가정하였으며, 옵션4는 옵션3에 동내의 착용시 clo값을 산정하여 겨울철 열쾌적온도를 산출하기위해 가정하였다.

5) 공동주택 거실온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구 (전정윤 외), 대한건축학회 논문집

6) ANSI/ASHRAE 55-2004, 전계서

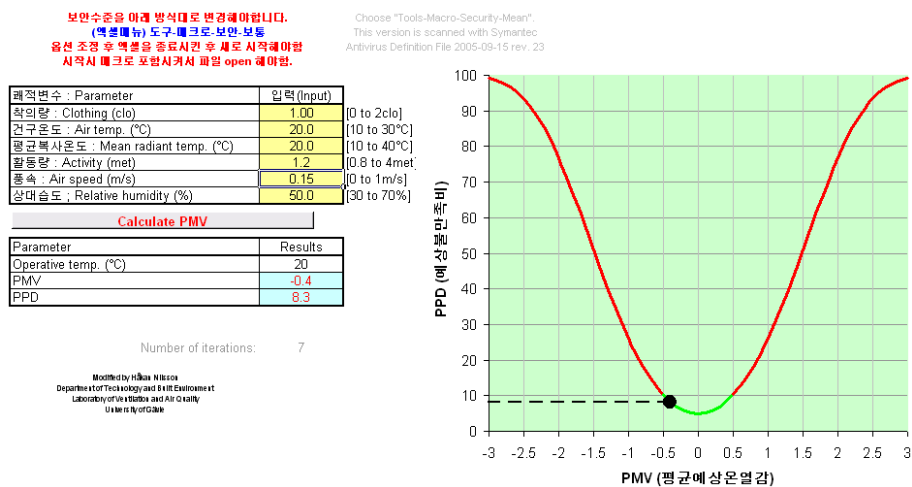
7) ISO 7730, Moderate Thermal Environment-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Condition for Thermal Comfort, ISO, 1994

(표 3.1) 의복에 따른 가정 착의량

옵션1			옵션2			옵션3			옵션4		
의복의 종류		clo	의복의 종류		clo	의복의 종류		clo	의복의 종류		clo
속	옷	0.04	속	옷	0.04	속	옷	0.04	속	옷	0.04
T 셔츠		0.11	와이셔츠 (얇은것)		0.22	T 셔츠		0.09	T 셔츠		0.09
반바지		0.20	바지 (얇은 것)		0.26	와이셔츠(두꺼운것)		0.29	긴 소매 내의		0.35
						바지 (두꺼운것)		0.32	긴 속바지		0.35
						겉옷 (얇은 것)		0.22	와이셔츠(두꺼운것)		0.29
						양말 (짧은 것)		0.04	바지 (두꺼운것)		0.32
									겉옷 (얇은 것)		0.22
									양말 (짧은 것)		0.04
총 clo 값		0.35	총 clo 값		0.52	총 clo 값		1.00	총 clo 값		1.70

3.2.2 착의량에 따른 실내 열쾌적온도

착의량에 따라 재실자가 쾌적감을 느낄 수 있는 실내 적정온도를 산정하기 위해 복잡한 PMV방정식을 풀어 제작한 Excel Sheet⁸⁾를 사용하여 실내온도를 분석하였다.



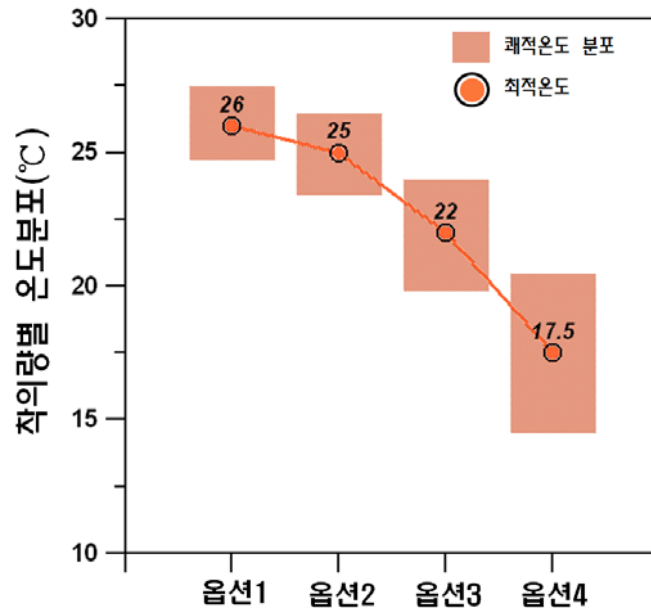
(그림 3.1) PMV Excle Sheet

분석 수행방법은 ASHRAE Standard 55의 기준에 따라 Excel Sheet의 입력변수 중 상대습도 50%, 기류속도 0.15 m/s미만, MRT = 공기온도, 활동량 1.2 로 고정시켰으며, 변수인 착의량을 가정한 옵션 1~4를 적용하여 수용가능한 온도범위와 최적의 온도를 도출하였다. 여기서 수용 가능한 온도범위란 PMV 쾌적범위 (PPD 10%이하)인 -0.5~+0.5 사이의 온도이다.

8) Department of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality University of Gävle

(표 3.2) 착의량별 최적온도 및 수용 가능한 온도

	옵션1(0.35clo)	옵션2(0.52clo)	옵션3(1.0clo)	옵션4(1.7clo)
최적온도(℃)	26	25	22	17.5
최소온도(℃)	24.7	23.4	19.8	14.5
최대온도(℃)	27.5	26.5	24	20.5



(그림 3.2) 착의량별 쾌적온도 분포

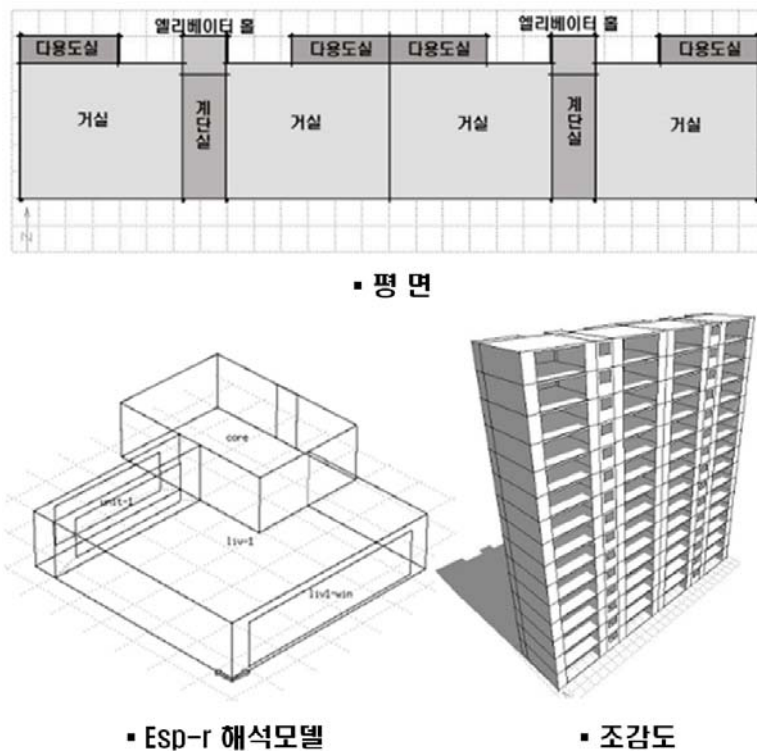
위 그래프는 옵션별 수용가능 온도범위를 막대그래프로 나타낸 것이며, 주기된 선그래프는 최적온도를 나타낸다. 분석결과 착의량의 가장 낮은 옵션1(0.35clo)일 경우 인체가 느끼는 최적의 쾌적온도는 26℃인 것으로 나타났으며, 수용 가능한 온도범위는 24.7~27.5℃로 나타났다. 우리나라 평균 착의량인 옵션2(0.52clo)의 경우 최적온도는 25℃이며, 수용가능온도범위는 23.4~26.5℃인 것으로 나타났다. ASHRAE 기준인 옵션3(1.0clo)의 경우 최적온도는 22℃, 수용가능온도범위 19.8~24℃로 나타났으며, ASHRAE 기준에 동내의를 착용한 경우 최적온도가 17.5℃, 수용가능온도범위는 14.5~20.5℃로 나타났다.

따라서 우리나라의 겨울철 평균 착의량을 ASHRAE기준으로 끌어올린다면 쾌적온도는 약 3℃가량 낮아질수 있으며, 동내의까지 착용할 경우 실내 쾌적온도는 최대 7.5℃까지 낮아질 수 있음을 알 수 있다. 이는 현재 우리나라 겨울철 실내의 낮은 착의량으로부터 쾌적함을 느끼기 위한 온도인 3℃를 높이기 위해 난방 에너지가 더 소비되어야한다는 것을 나타낸다. 또한 동내의 착용했을 경우 실내 쾌적온도는 17.5℃로 더욱 낮아지며 난방에너지가 상당히 절약될 수 있음을 나타낸다.

3.2.3 공동주택의 착의량에 따른 실내온도별 난방에너지 평가방법

(1) 해석모델의 선정

착의량에 따른 실내온도별 난방부하를 평가하기 위해 현재 일반적으로 건축되고있는 공동주택을 선정하여 서울지역을 대상으로 시뮬레이션 해석모델을 제작하였다. 시뮬레이션의 해석모델을 제작하기 위해서는 실제 공동주택을 선정한 후 건물의 설계, 시공, 난방스케줄, 사용에너지, 실의 온도, 재실인원, 실내의 내부발열조건들을 실측조사를 통해 얻은 데이터를 비교하여 선정한다. 본 연구에서는 지역별 수백세대의 냉난방에너지 소비량, 내부발열조건, 실내의 온도를 조사한 후 평균값을 제시한 선행연구의 결과⁹⁾를 이용하여 해석모델을 제시하였다.



(그림 3.3) 시뮬레이션 해석모델

해석모델은 현재 가장 많이 시공되고 있는 발코니 확장형의 33평형(약 110m²) 공동주택을 선정하였다. 공동주택의 냉난방에너지 평가 시 1동내 각각의 세대는 위치별로 냉난방에너지가 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 1동내에 지면과 접한 세대, 측벽과 접한 세대, 옥상에 접한 세대를 제외한 세대와 세대가 접한 내측 세대를 기준 모델로 선정하여 냉난방에너지를 분석하였다.

9) 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구 (홍성희 외), 대한건축학회 논문집, 2001

(2) 해석조건

본 연구의 시뮬레이션에 사용된 기상데이터는 서울의 30년 시간별 표준기상데이터로 외기온도, 상대습도, 수평면전일사량, 풍속 등의 월별 및 연간 평균값을 적용하였다.

(표 3.3) 서울지역의 시간별 표준기상자료 월별 통계치

월	온도 (℃)			상대습도 (%)	풍속 (km/h)	수평면 전일사량 (kWh/m ²)
	평균	최대	최소			
1	-2.8	8.9	-12.8	57.9	6.1	1.748
2	-0.6	10	-11.1	66.8	7.7	2.645
3	6	16.1	-0.6	64	7	2.814
4	11.3	23.9	2.2	62.2	7.6	4.105
5	16.6	27.8	5.6	65.6	7.1	5.271
6	21.7	31.7	13.9	75.2	5.7	4.247
7	24.2	32.8	17.2	80	5.8	3.43
8	25.2	34.4	17.2	72.6	7	3.809
9	20.8	30.6	10.6	70.4	4.4	3.07
10	14.6	25	2.2	58.5	5.6	3.121
11	6.8	16.7	-6.1	65	7.1	1.645
12	-0.1	13.3	-12.8	54.6	7.3	1.47
Year	12.0	34.4	-12.8	66.1	6.5	3.115

실내조건은 주택 내 재실자는 3인으로 가정하였고, 조명 및 기기부하는 65W로 설정하였다. 공조면적(거실)은 120m²이며, 연간 총에너지 소비량을 공조면적으로 나누어 단위면적당 에너지 소비량을 평가하였다. 여기서 연간 총에너지 소비량은 설비시스템의 효율, 배관손실 등은 제외한 값이다. 또한 해석시 재실자들의 재실시간은 오후 18시부터 다음날 오전 8시까지 실내에 재실하는 것으로 가정하였다.

(표 3.4) 재실자 및 조명, 기기의 발열부하

Zone \ 항목	재실자 (인)	조명 및 기기부하(W)	난방설정 온도(℃)	냉방설정 온도(℃)
거실	3	65	24	26
기타 존	-	-	-	-

해석에 적용된 외피의 물성치는 (표 4.5)와 같고 세대를 이루는 구조체는 외벽, 내벽 및 층간 바닥(천정)으로 구성하였다. 열관류율은 외벽이 0.494W/m²k, 내벽 0.298W/m²k, 층간바닥 0.256W/m²k로 나타났다.

(표 3.5) 해석에 적용된 외피의 열물성치

구조체	구성	재료	두께	열전도율	밀도	비열	열관류율
			mm	W/m-k	kg/m³	J/kg-k	W/m²-k
외벽	1	중량콘크리트	200	1.4	2100	653	0.494
	2	단열재	60	0.04	12	840	
	3	공기층	50				
	4	하드보드	10	0.08	600	2000	
내벽	1	벽돌	100	0.04	1500	650	0.298
	2	합성보드	120	0.18	800	837	
층간바닥	1	중량콘크리트	120	1.4	2100	653	0.256
	2	경량콘크리트	10	0.38	1200	653	
	3	단열재	20	0.04	12	840	
	4	경량콘크리트	10	0.38	1200	653	

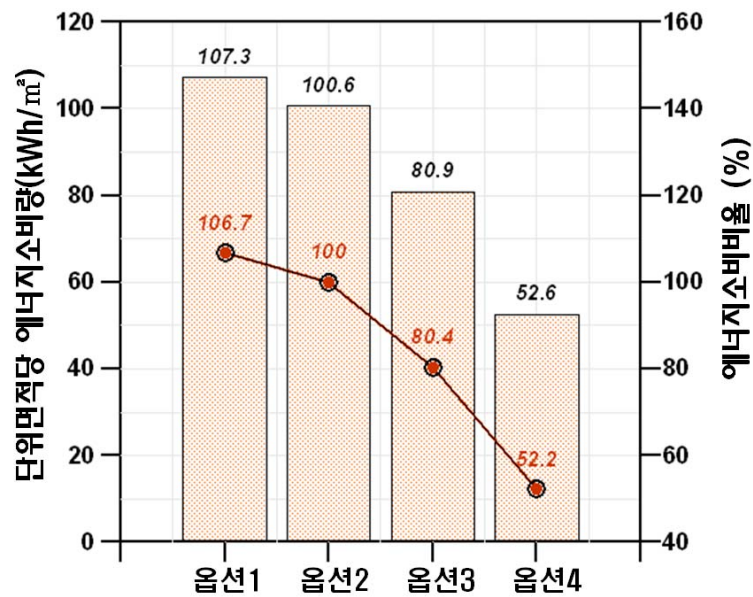
(3) 시뮬레이션 평가도구

시뮬레이션 분석프로그램으로는 영국의 스트라스클라이드대학의 ESRU(Energy Systems Research Unit)에서 개발한 Esp-r(Environmental Systems Performance Research)을 사용하였다. Esp-r은 유럽 참조 건물 시뮬레이션 프로그램(European Reference Building Simulation Program)으로 개발하였으며, 현재 세계적으로 60여개 이상의 대학, 연구소, 컨설팅회사에서 사용되고 있다. 또한 유럽연합에서 자연형태양열 시스템 해석을 위한 유럽내 표준프로그램으로 지정된 바 있으며, BEST TEST를 통해 신뢰성에 대한 세부적 검증도 실시하였다. 따라서 공동주택의 설정온도별 난방부하를 평가하기 위한 해석도구로서 Esp-r이 가장 적합한 것으로 판단된다.

3.2.4 공동주택의 착의량에 따른 실내온도별 난방에너지 평가결과

(표 3.6) 실내온도별 난방에너지 평가결과

	옵션 1	옵션 2	옵션 3	옵션 4
설정온도(℃)	26	25	22	17.5
연간에너지소비량(kWh)	12877	12074	9704	6307
단위면적당에너지소비량(kWh/m²)	107.3	100.6	80.9	52.6
에너지 소비비율(%)	106.7	100	80.4	52.2



(그림 3.4) 실내온도별 난방에너지 평가결과

분석결과 공동주택의 단위면적당 난방 에너지 소비량은 옵션 1의 경우 107.3kWh/m², 옵션2 100.6kWh/m², 옵션3 80.4kWh/m², 옵션4 52.6kWh/m² 로 각각 나타났다. 이를 우리나라 동절기 평균 착의량을 100%로 했을 경우 에너지 소비비율을 나타내면 옵션1의 낮은 착의량의 경우 약 6.7%의 난방에너지가 더 필요한 것으로 나타났으나, 옵션3, 옵션4 로 착의량이 증가할 경우 각각 19.6%, 47.8%정도 에너지 소비량이 감소하는 것으로 나타났다.

이는 ASHRAE 기준으로 착의량을 증가시킬 경우 현재의 에너지소비량을 23% 감소시킬 수 있으며, 옵션3에 동내의 착용시 47.8% 까지 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 여기서 동내의 보온효과로서 ASHRAE 기준에서 약 35% 난방에너지 절감이 가능한 것으로 확인되었다.

4. 이산화탄소 저감량 산정

본장에서는 실내설정온도에 따른 에너지 절감량을 이산화탄소 배출량으로 환산하여 이산화탄소 저감량을 분석하였다.

4.1 이산화탄소 배출량 계산

이산화탄소 배출량은 에너지소비량을 석유환산톤(TOE ; Ton of Oil Equivalent)으로 환산 후 순발열량을 기준으로 IPCC에서 만든 탄소배출계수를 곱하여 계산한다. 본 연구에서는 난방용으로 사용되는 대표연료로서 등유, 도시가스(LNG), 전력을 선정하여 난방에너지 소비량을 이산화탄소배출량으로 환산한 후 비교분석하였다. 다음은 표는 주요 난방연료의 순발열량 및 탄소배출계수를

나열한 것이다.¹⁰⁾

(표 4.7) 난방연료의 순발열량 및 탄소배출계수

연료	단위	순발열량		석유환산 계수	탄소배출계수	
		kcal	MJ		(KgC/GJ)	Ton C/TOE
등유	ℓ	8,350	35.0	0.835	19.60	0.812
LNG	Nm ³	9,550	40.0	0.955	15.30	0.637
전력	kWh	2,150	9.0	0.215	0.1156 TC/MWh(0.424 TCO ₂ /MWh)	

1)석유환산톤(TOE) = 연료발열량(kcal)/(10⁷kcal)

2)에너지관리공단, 에너지 열량환산기준(기본법 제5조 제1항 관련)

3)에너지관리공단, IPCC의 탄소배출계수

계산 방법은 우선 해당연료를 순발열량을 기준으로 석유환산계수를 이용하여 TOE로 환산한다. 환산한 TOE는 탄소배출계수에 곱하여 TC를 구한 후 이를 TCO₂로 변환하기 위해 (이산화탄소분자량)/(탄소원자량)=44/12 를 곱하여 이산화탄소 배출량을 산출한다. 그 식은 다음과 같다.

$$TCO_2 = (\text{해당연료의 TOE} \times \text{탄소배출계수}) \times 44/12$$

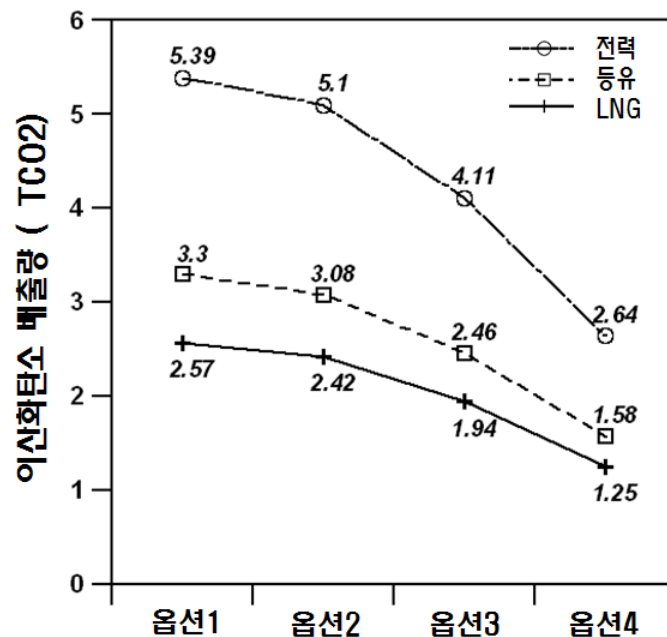
4.2 이산화탄소 저감량 산정결과

제 3장의 시뮬레이션결과에 의한 실내 설정온도에 따른 연간난방에너지 소비량을 연료별 이산화탄소 배출량으로 환산하면 다음과 같다.

(표 4.8) 각 연료의 이산화탄소배출량

연료	착의량 옵션	연간 난방에너지 소비량 (kWh)	TOE	TC	TCO ₂	저감량
등유	옵션1	12877	1.11	0.90	3.30	+0.22
	옵션2	12074	1.04	0.84	3.08	-
	옵션3	9704	0.83	0.67	2.46	-0.62
	옵션4	6307	0.54	0.43	1.58	-1.5
LNG	옵션1	12877	1.11	0.70	2.57	+0.15
	옵션2	12074	1.04	0.66	2.42	-
	옵션3	9704	0.83	0.53	1.94	-0.48
	옵션4	6307	0.54	0.34	1.25	-1.17
전력	옵션1	12877	-	1.47	5.39	+0.29
	옵션2	12074	-	1.39	5.10	-
	옵션3	9704	-	1.12	4.11	-0.99
	옵션4	6307	-	0.72	2.64	-2.46

10) 에너지관리공단 : <http://www.kemco.or.kr>



(그림 4.5) 옵션별 이산화탄소배출량

각 연료의 옵션별 이산화탄소 배출량 분포를 보면 옵션1의 높은 실내설정온도에서 이산화탄소배출량이 가장 큰 것으로 나타났고, 설정온도에 따라 옵션2, 옵션3, 옵션4 순으로 나타났다. 에너지원별로 보면 전력, 등유, LNG 순으로 나타났는데, 전력을 난방에너지로 사용하였을 경우 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석된 이유는 전기에너지를 생산하는 과정에서 저효율성으로 인한 에너지손실이 크기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 같은 크기의 부하를 제거하기 위한 에너지 선택시 가공의 과정을 가능한 적게 거친 연료를 에너지원으로 선택함으로써 이산화탄소배출량을 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

우리나라 동절기 평균 착의량(옵션2)을 기준으로 이산화탄소 배출량 저감량을 주연료별로 살펴보면 착의량이 낮은 옵션1의 경우 등유 사용시 0.22t, LNG 0.15t, 전력 0.29t 정도 증가하는 것으로 나타났다. 반면, ASHRAE 기준(옵션3)으로 착의량 증가시 등유를 사용하였을 경우 0.62t, LNG 0.48t, 전력 0.99t 정도 저감가능하며, 동내의 착용시(옵션4) 등유 1.5t, LNG 1.17t, 전력 2.46t 까지 이산화탄소 배출량을 더욱 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 연료별 이산화탄소 저감량은 같은 에너지생산량 대비 이산화탄소 배출량이 많은 전력이 가장 높게 나타났으며, 등유, LNG 순으로 나타났다.

5. 결 론

건물에서 소비되는 에너지의 대부분은 실내를 쾌적하게 유지시키기 위한 냉방이나 난방을 하는데 주로 사용된다. 우리나라는 기후특성상 여름보다 실내의 온도차가 큰 겨울철 난방에너지 소비비중이 크며, 공동주택이 대표적인 난방위주의 건물이다. 이는 곧 공동주택 내 재실자의 착의상태에 의한 실내 설정온도에 따라 에너지사용량이 크게 변한다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구는 겨울철 우리나라 공동주택 재실자의 낮은 착의량에 의한 과다난방의 가능성을 재조명하고, 착의량에 따른 실내설정온도가 실내 난방부하 및 온실가스 저감량을 산출함으로써 공동주택내 착의량 조절에 따른 에너지절감효과와 이산화탄소 저감량을 정량적으로 제시하였다. 이에 따라 우선 우리나라 공동주택의 겨울철 평균 착의량을 중심으로 4개의 착의량 옵션을 가정하였으며, 난방에너지 및 이산화탄소 저감량을 산출하였다.

연구결과 우리나라의 겨울철 평균착의량을 ASHRAE 기준으로 끌어올린다면 실내 쾌적온도는 약 3℃가량 낮아질 수 있으며, 동내까지 적용했을 경우 약 7.5℃까지 더 낮아질 수 있는 것으로 나타났다.

가정옵션별 쾌적온도를 공동주택에 적용하여 시뮬레이션 한 결과 우리나라 평균착의량을 기준으로 옵션3의 경우 23% 에너지소비량을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 옵션 3에 동내의 적용시 47.8% 까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타나 실내 착의량이 증가함에 따라 난방에너지 절감량이 상당히 커지는 것을 알 수 있다.

실내 설정온도에 따른 난방에너지 사용량을 이산화탄소 배출량으로 환산했을 경우 난방에너지원에 따라 배출량이 전력 > 등유 > LNG 순으로 나타났다. 겨울철 우리나라 평균 실내 착의량을 기준으로 연료별 이산화탄소 저감량을 살펴보면 옵션3의 경우 등유 0.62t, LNG 0.48t, 전력 0.99t 정도 저감되는 것으로 나타났다. 옵션4의 동내의 적용시 등유 1.5t, LNG 1.7t, 전력 2.46t 정도 저감되는 것으로 나타났다.

에너지 수입 비중이 96.6%('07년 기준)¹¹⁾에 달하는 우리나라 실정상 에너지 절약은 정부와 국민 모두의 주요관심사이다. 정부는 이러한 에너지 절약을 위한 방법으로 겨울철 동내의를 착용할 것을 적극 권장하고 있으나 우리나라의 평균 착의량은 아직도 다른 선진국에 비해 낮은 수준이며 국제 착의량 권고기준에도 미치지 못하고 있다. 본 연구 결과에 따르면 가정 내에서 국제 권고 기준에 맞는 착의량을 유지할 경우 현재보다 23%에너지가 절감될 수 있으며, 정부의 권고에 따라 동내의를 착용할 경우 47.8% 까지 저감가능하다. 즉 실내온도를 낮추는 것

11) 에너지관리공단 : <http://www.kemco.or.kr>

이 어떤 값비싸고 효율 좋은 시스템을 도입하는 것보다 더 효율적으로 에너지 및 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있다 것이다. 따라서 정량화된 착의량에 의한 에너지 절감량의 적극적인 홍보를 통해 주택내 재실자들의 의식을 개선함으로써 에너지 및 이산화탄소 저감을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Guodong Yea , Changzhi Yang, Youming Chea, Yuguo Lib “A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*)” 7 February 2001
2. Andreas Matzarakis "Assessing climate for tourism purposes: Existing methods and tools for the thermal complex"
3. Charles, K.E. "Fanger's Thermal Comfort and Draught Models" October 10, 2003
4. Richard Aynsley, B.Arch, MS (Arch.Eng), Ph.D. "How air movement saves energy in indoor environments"
5. Gerd Jendritzky, Abdel Maarouf, Henning Staiger, "Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications" April 5-8, 2001
6. Emerson Donaisky., Gustavo H. C. Oliveira., Roberto Z. Freire and Nathan Mendes "PMV-Based Predictive Algorithms for Controlling Thermal Comfort in Building Plants" 1-3 October 2007
7. Dr. Lorenzo Pagliano, Dr. Fritz Unterpertinger "Sustainable summer comfort: Comfort models"
8. G. Jendritzky, H. Staiger, K. Bucher , A. Graetz, G. Laschewski, Deutscher Wetterdienst "The Perceived Temperature: The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body"
9. Ashfaq Ahmed Chowdhury , M.G. Rasul, M.M.K. Khan "Thermal-comfort analysis and simulation for various low-energy cooling-technologies applied to an office building in a subtropical climate" 3 December 2007
10. Kenneth C. Parsons "Human Thermal Environment"
11. 김두성, 조영진, 김경환, 이재현 “대공간 열환경 검토사례” 설비저널, 2001.04
12. 배누리, 정영선, 간재식, 이승연 “건물에너지 절약을 위한 주거건물의 실내온도와 착의량에 관한 기초연구” 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2007.10
13. 전정윤, 김효진, 배누리 “공동주택 거실 온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구” 대한건축학회 논문집
14. 김효진, 권서현, 전정윤, 콕엘리슨, Oota Atsushi, Tamura Akihiro “다양한 나라의 실내온열환경의 비교를 통한 인간의 열적 적응상태 비교연구
15. 김효진, 배누리, 전정윤 “바닥난방을 사용하는 집합주택의 거실온열환경의 측정 및 거주자 난방조절행위에 관한 연구” 대한건축학회 논문집, 2004.04
16. 윤종호, 안영섭, 김병수 “공동주택 발코니 창호종류에 따른 결로 및 열쾌적성 평가연구” 대한건축학회 논문집

17. 손장열, 백영규, 서기숙 “PMV지표에 의한 건물에서의 온열환경 특성에 관한 연구” 대한건축학회 논문집
18. 홍성희, 장문석, 박효순, 양관섭 “공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구” 대한 건축학회 논문집, 2001
19. 최원기, 김현중, 이현근, 서승직 “공동주택 세대별 냉난방에 따른 온도변화 및 열부하 양상에 관한 이론적 연구” 대한건축학회 논문집
20. 김영탁 “공동주택의 에너지 소비량을 예측하기 위한 대표일 난방부하 모델개발에 관한 연구” 대한건축학회 논문집
21. 박효순, 홍성희, 김지연, 서승직 “공동주택의 발코니 개조가 건물에너지 효율등급에 미치는 영향에 관한 연구” 대한건축학회 논문집
22. 에너지관리공단 : <http://www.kemco.or.kr>