

착의량별 실내설정온도에 따른 난방에너지 및 온실가스 저감량 산정 연구

윤중호*, 이철성**, 김효중**, 박재완***, 신우철****

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 건축공학과(aeerulab@gmail.com),
한밭대학교 건축공학과(khj8181@empas.com), *대전대학교 건축공학과(mil0516@hanmail.net)
****대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr)

A Study on Estimating Reduction of Heating Energy and CO₂ by Indoor Setting Temperature with Clo

Yoon, Jong-HO*, Lee, Chul-Sung**, Kim, Hyo-Jung**, Park, Jae-Wan***, Shin, U-Chul****

* Dept. of Architecture Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),
** Dept. of Architecture, Graduate School, Hanbat National University(aeerulab@gmail.com)
** Dept. of Architecture, Graduate School, Hanbat National University(khj8181@empas.com)
** Dept. of Architecture, Graduate School, Daejeon University(mil0516@hanmail.net)
*** Dept. of Architecture Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),

Abstract

The studies for mechanical performance development have been examined to reduce energy consumption in building construction field. However, The energy consumption using in building for heating is impacted by not only system performance but also PMV particularly at temperature and clo.

Most energy using in building part is mainly consumed for heating and cooling to keep comfort temperature. Heating energy consumption is bigger than cooling energy in Korea because of temperature difference in winter in comparison with summer at apartment building. This means that energy consumption can be changed by occupancy's comfort setting temperature in apartment building.

This study evaluate actual comfort temperature range by clo and examined heating energy consumption by Esp-r and CO₂ reduction possibility.

The results show that keeping ASHRAE standards can reduce heating energy up to 23%; also, wearing underclothes with ASHRAE standard can reduce heating energy up to 47.8%. Option 4 showing Maximum CO₂ emission reduction indicates that kerosene, LNG and electricity can reduce 1.5t, 1.7t, 2.46t respectively in comparison with option 2.

Keywords : 쾌적지표(PMV), 착의량(Clo), 쾌적설정온도(Comfort setting temperature), 에너지소비량(Energy consumption), 이산화탄소 저감(CO₂ reduction)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

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 바닥복사난방방식을 채용하고 있으며, 바닥난방과 관련된 기존연구를 살펴보면 대부분 건물 구조체의 열적성능을 개선하는 방안에 관하여 이루어져 왔다. 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 기존 연구사례를 보면, 우리나라 난방기 주택 실내온도는 시간의 흐름에 따라 상승하는 경향을 보이고 있다. 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.¹⁾

따라서 실제 거주자가 건물을 사용함에 있어 착의량과 같은 온열지표에 따른 실내열쾌적상태를 분석하여 건물에너지 절약을 위한

실내적정설정온도를 제시할 필요가 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

건물의 다른 온열환경에 관한 연구는 기존에 많이 진행되었으나, 착의량과 같은 주관적인 지표에 의해 조절되는 실내 쾌적온도와 그에 따른 에너지소비량에 관한 연구는 아직 부족한 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 연구는 공동주택의 착의량에 따른 쾌적온도별 난방에너지 저감과 이산화탄소 저감 가능성에 대하여 분석하였다.

2. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

2.1 쾌적지표(PMV)

PMV는 인체의 환경에 대한 감각을 정량화한 것으로, 1970년 Fanger에 의하여 제안되었다. 이를 기준으로 미국 냉동공조학회에서는 계절별 최적온도와 함께 수용 가능한 온도범위를 지정한 실내 온열환경기준 ASHRAE Standard 55 를 제시하였다.

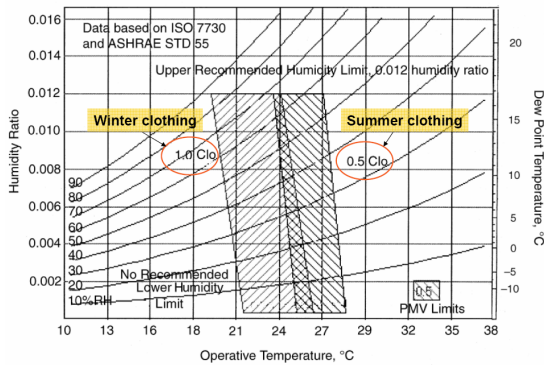
(표 2.1) 실내온열환경기준 (ASHRAE Standard 55)

	최적 온도	수용가능 온도	PMV input 값
겨울	22℃	20~23℃	-상대습도 : 50% -평균풍속 : <0.15m/s -MRT: 공기온도와 동일 -활동량 : 1.2 met -착의량 : 1.0 clo
여름	24.5℃	23~26℃	-상대습도 : 50% -평균풍속 : <0.15m/s -MRT: 공기온도와 동일 -활동량 : 1.2 met -착의량 : 0.5 clo

또한 겨울철 기본 착의량 1.0clo, 여름철

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

0.5clo를 기준으로 온도와 습도에 따른 열적 쾌적범위를 나타내었다. 다음 표의 빗금친 부분의 영역이 인체가 느끼는 쾌적범위의 온도와 습도이며, 이 영역을 벗어났을 경우 춥거나 덥게 느껴진다.



(그림 3.1) 계절별 열쾌적범위 (ASHRAE STD 55)

2.2 선행연구 고찰

본 연구는 선행사례를 중심으로 국내와 국외의 경우 실내온도와 착의량이 어떻게 유지되며 그에 따른 실내 설정온도를 고찰하였다.

김호진 외²⁾는 각 나라별 실내 환경비교를 통한 온열환경적응 연구에서 한국, 미국, 일본의 외기조건에 따른 각 나라 재실자의 실내공간의 설정온도를 비교 분석하였다. 분석결과 일본의 실내기온이 외기온의 변화에 따라 가장 민감하게 변동되었으며, 한국의 실

내공간이 난방시기에 같은 외기조건에서 미국보다 더 따뜻하게 조절되고 있었다.

거실의 온열환경과 거주자의 온도조절행위에 관한 전정윤 외³⁾의 연구에서 겨울철 평균 실내온도는 24.66 의복량은 0.51clo(반팔 셔츠+얇은 긴바지)로 ASHRAE 55-2004와 ISO 7730의 쾌적 열환경 조건에서의 동계의 복량인 1clo에 비해 낮은 의복량을 보이는 것으로 나타났다.

선행연구에서 도출된 결과로부터 겨울철 실내에서 착의량을 낮게 유지하면서 실내온도를 높임으로서 쾌적감을 조절하려는 재실자들의 생활 습관에 의한 과다난방의 가능성을 확인하였다.

3. 착의량에 따른 열쾌적온도

착의량에 따른 실내 쾌적온도범위를 산정하기 위해 착의량을 (표 3.2)와 같이 가정하였다.

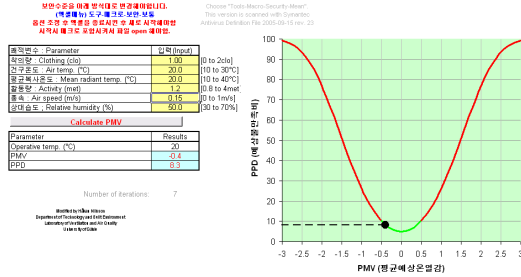
옵션1은 착의량에 따른 열쾌적상태를 비교하기 위한 대조군으로서 낮은 clo값을 가정하였으며 옵션2는 선행연구에서 도출된 우리나라 겨울철 평균 clo값과 근사하여 가정하였다. 또한 옵션3은 미국 냉동공조학회(ASHRAE)에서 제시한 겨울철 기준착의량을 가정하였으며, 옵션4는 옵션3에 동내의 착용시 clo값을 산정하였다.

착의량에 따라 재실자가 쾌적감을 느낄 수 있는 실내 적정온도를 산정하기 위해 복잡한

(표 3.2) 해석을 위한 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 (얇은 것)	0.22	T 셔츠	0.09	T 셔츠	0.09
반 바지	0.20	바지 (얇은 것)	0.26	와이셔츠(두꺼운 것)	0.29	긴 소매 내의	0.35
				바지 (두꺼운 것)	0.32	긴 속 바지	0.35
				겉 옷 (얇은 것)	0.22	와이셔츠(두꺼운 것)	0.29
				양 말 (짧은 것)	0.04	바지 (두꺼운 것)	0.32
						겉 옷 (얇은 것)	0.22
						양 말 (짧은 것)	0.04
총 clo 값	0.35	총 clo 값	0.52	총 clo 값	1.00	총 clo 값	1.70

PMV방정식을 풀어 제작한 Excel Sheet⁴⁾를 이용해 분석을 수행하였다.



(그림 3.4) PMV Excel 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.

(표 3.3) 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

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 분석되었다. 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 최적온도 22℃, 수용가능온도범위 19.8~24℃로 나타났으며, ASHRAE 기준에 동내의를 착용한 경우 최적온도가 17.5℃, 수용가능온도범위는 14.5~20.5℃로 나타났다.

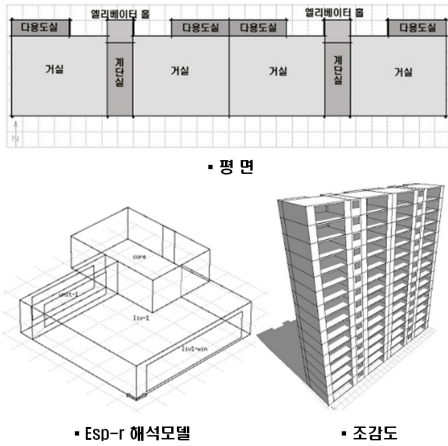
따라서 우리나라의 겨울철 평균 착의량을 ASHRAE기준으로 끌어올린다면 쾌적온도는 약 3℃가량 낮아질 수 있으며, 동내의까지 착용했을 경우 실내 쾌적온도는 최대 7.5℃까지 낮아질 수 있음을 알 수 있다. 이는 현재 우리나라 겨울철 실내의 낮은 착의량으로부터 쾌적함을 느끼기 위한 온도인 3℃를 높이기 위해 난방에너지가 더 소비되어야한다는 것을 나타낸다. 동내의 착용했을 경우 실내 쾌적온도는 17.5℃로 더욱 낮아지며 난방에너지가 상당히 절약될 수 있음을 알 수 있다.

4. 옵션별 난방에너지 저감량

옵션별 난방에너지 소비량을 평가하기 위한 해석도구로서 유럽 참조 건물 시뮬레이션 프로그램인 Esp-r을 사용하였으며, 해석모델로서 현재 가장 많이 시공되고 있는 발코니 확장형의 33평(약 110m²)의 공동주택 1세대를 선정하여 서울지역을 대상으로 분석을 수행하였다. 해석모델은 설계, 시공, 난방스케줄, 사용에너지, 실의 온도, 재실인원, 실내의 내부발열 조건들을 실측조사를 통해 얻은 데이터를 비교하여 선정하였으며, 지역별 수백세대의 난방에너지 소비량, 내부발열조건, 실내의 온도를 조사한 후 평균값을 제시한 선행연구 결과⁵⁾를 이용하여 해석모델을 제시하였다.

공동주택은 에너지 성능평가 시 1동내 각 세대는 위치별로 난방에너지가 다르게 나타나므로, 1동내에 지면과 접한 세대, 층벽과 접한 세대, 옥상에 접한 세대를 제외한 세대와 세대가 접한 내측 세대를 기준 모델로 선정하여 평가를 수행하였다.

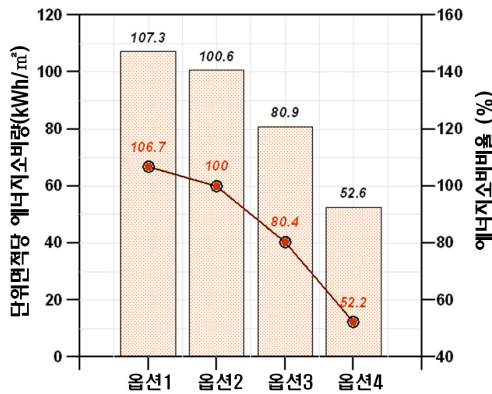
2) 다양한 나라의 실내온도환경 비교를 통한 인간의 열적 적응상태의 비교연구 (김효진 외), 대한건축학회 논문집, 2006.10.26
 3) 공동주택 거실온도환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구 (전정운 외), 대한건축학회 논문집
 4) Department of Technology and Built Environment Laboratory of Ventilation and Air Quality University of Gävle
 5) 공동주택의 에너지소비원단의 설정 연구 (홍성희 외), 대한건축학회 논문집, 2001



(그림 3.5) 시뮬레이션 해석모델

(표 3.4) 실내온도별 난방에너지소비량 평가결과

	옵션 1	옵션 2	옵션 3	옵션 4
설정온도(℃)	26	25	22	17.5
에너지소비량 (kWh/yr)	12877	12074	9704	6307
에너지소비량 (kWh/m ² .yr)	107.3	100.6	80.9	52.6
비율 (%)	106.7	100	80.4	52.2



(그림 3.6) 실내온도별 난방에너지소비량 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% 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.

4. 옵션별 이산화탄소 저감량

본 절에서는 실내설정온도에 따른 에너지 절감량을 이산화탄소 배출량으로 환산하여 이산화탄소 저감량을 분석하였다.

이산화탄소 배출량은 에너지소비량을 석유 환산톤(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.

(표 4.5) 연료별의 이산화탄소배출량

연료	착의량 옵션	난방에너지 소비량 (kWh/yr)	TOE	TC	TCO2	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

각 연료의 옵션별 이산화탄소 배출량 분포를 보면 옵션1의 높은 실내설정온도에서 이산화탄소배출량이 가장 큰 것으로 나타났고, 설정온도에 따라 옵션2, 옵션3, 옵션4 순으로 나타났다. 에너지원별 이산화탄소배출량은 전력, 등유, LNG 순으로 나타났으며, 전력을 난방에너지로 사용하였을 경우 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석된 이유는 전기에너지를 생산하는 과정에서 저효율성으로 인한 에너지손실이 크기 때문이다. 따라서 난방 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 착의량을 증가시켰을 때 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. 결론

본 연구는 겨울철 우리나라 공동주택 재실자의 낮은 착의량에 의한 과다난방의 가능성을 재조명하고, 착의량에 따른 실내설정온도가 실내 난방부하 및 온실가스 저감량에 미치는 영향을 연구하여 공동주택내 착의량 조절에 따른 에너지절감효과와 이산화탄소 저감량을 정량적으로 제시하였다.

연구결과 우리나라의 겨울철 평균착의량을 ASHRAE 기준으로 끌어올린다면 실내 쾌적

온도는 약 3℃가량 낮아질 수 있으며, 동내의까지 착용했을 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 착용시 47.8% 까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타나 실내 착의량이 증가함에 따라 난방에너지를 상당히 절감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

실내 설정온도에 따른 난방에너지 사용량을 이산화탄소 배출량으로 환산했을 경우 겨울철 우리나라 평균 실내 착의량을 기준으로 연료별 이산화탄소 저감량은 옵션3의 경우 등유 0.62t, LNG 0.48t, 전력 0.99t 정도 저감되는 것으로 나타났으며, 옵션4의 동내의 착용시 등유 1.5t, LNG 1.7t, 전력 2.46t 까지 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 건물에너지 절약을 위한 주거건물의 실내온도와 착의량에 관한 기초연구 (배누리 외), 대한건축학회 논문집
2. 다양한 나라의 실내온열환경 비교를 통한 인간의 열적 적응상태의 비교연구 (김효진 외), 대한건축학회 논문집
3. 공동주택 거실온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구 (전정윤 외), 대한건축학회 논문집
4. 윤종호, 안영섭, 김병수 “공동주택 발코니 창호종류에 따른 결로 및 열쾌적성 평가연구” 대한건축학회 논문집
5. 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구 (홍성희 외), 대한건축학회 논문집, 2001
6. 에너지관리공단: <http://www.kemco.or.kr>