

## 착의량과 실내설정온도 관계에 따른 난방에너지 및 온실가스저감량 평가 연구

이철성\*, 윤종호\*\*

\*한밭대학교 건축공학과(aeerulab@gmail.com), \*\*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),

### A Study on the Estimation of Heating Energy and CO<sub>2</sub> Reduction depending on a Indoor Set Temperature and Clo value

Lee, Chul-Sung\* Yoon, Jong-HO\*\*

\* Dept. of Architecture, Graduate School, Hanbat National University(aeerulab@gmail.com)

\*\* Dept. of Architecture Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

#### Abstract

Most energy using in building part is mainly consumed for heating and cooling to meet occupancy's comfort temperature. Generally, heating energy consumption show high value than cooling energy in Korea because of high temperature difference in winter season as compared with summer in apartment building.

The efforts to develop mechanical performance have been studied to reduce energy consumption in building energy field until now. However, the energy consumption in building is impacted by not only system performance but also PMV particularly at temperature and Clo value. This means that energy consumption can be changed by occupancy's comfort setting temperature in apartment building.

This study investigated the possibility of overheating in apartment building by occupant's low Clo and its setting temperature from preceding research and then the heating energy consumption by setting temperature was calculated with ESP-r. The effects of heating energy and CO<sub>2</sub> reduction are also evaluated quantitatively with Clo value.

The results showed that keeping ISO-7730 standards can reduce heating energy up to 21% in compared with option 2; also, wearing underclothes with ISO-7730 standard can considerably reduce heating energy consumption up to 50%. As compared with option 2, the reduction of CO<sub>2</sub> emission for option 3 showed 0.63TCO<sub>2</sub> of kerosene, 0.49TCO<sub>2</sub> of LNG and 1.09TCO<sub>2</sub> of electricity. The option 4 can be reduced by 1.48TCO<sub>2</sub> of kerosene, 1.16TCO<sub>2</sub> of LNG and 2.57TCO<sub>2</sub> of electricity respectively.

Keywords : 쾌적지표(PMV), 착의량(Clo), 쾌적설정온도(Comfort setting temperature), 난방에너지소비량(Heating Energy consumption), 이산화탄소 절감량(CO<sub>2</sub> reduction)

투고일자 : 2010년 6월 29일, 심사일자 : 2010년 7월 10일, 게재확정일자 : 2010년 8월 17일  
교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

국내 총에너지 소비량의 1/4에 해당하는 24%의 에너지가 건물분야에 소비되고 있으며, 산업부문 에너지 소비증가율에 비해 건물분야 에너지 소비인 가정·상업부문의 에너지 성장률이 큰 증가를 보이고 있다. 또한 경제 성장과 함께 소득수준 및 생활수준이 높아짐에 따라 건물부문의 에너지 소비비중이 향후 더욱 높아질 전망이다.

한편, 건물부문에서의 에너지 절약을 위한 기존연구를 살펴보면 대부분 건물 구조체 및 열원설비의 성능을 개선하는 방안에 관하여 이루어져 왔다. 그러나 실제 거주자가 느끼는 열적 쾌적감은 설비 시스템에 의한 온도조절 외에 착의량과 같은 주관적인 지표가 큰 영향을 미친다. 결국 에너지소비형태는 건물에서 생활하는 재실자들의 착의행태 등과 같은 생활방식에 따라 달라진다.

이에 본 연구는 공동주택 거주자의 착의량에 따라 달라지는 열쾌적 상태를 분석하여 적정 열쾌적온도를 구하고 그에 따른 에너지 및 온실가스 절감가능성을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구방법

연구진행방법은 다음과 같다.

- (1) 선행연구를 통해 공동주택 재실자의 겨울철 착의상태를 고찰하였으며, 선행연구 결과와 ISO 7730 기준을 중심으로 동절기 착의량 옵션을 가정하였다.
- (2) Fanger가 제안하고 ISO-7730에 의해 국제 규격화된 예상평균온열감(PMV) 모델식을 이용하여 공동주택에서 재실자의 착의량에 따른 최적 열쾌적온도를 구하고, 시뮬레이션을 통해 열쾌적설정온도에 따른 겨울철 난방에너지 소비량을 도출하였다.
- (3) 난방에너지소비량을 중심으로 겨울철 난방용으로 주로 사용되는 연료 종류별 온

실가스 발생량을 산정하고 절감가능성을 평가하였다.

## 2. 선행연구 고찰

선행연구를 중심으로 겨울철 국내 및 국외 공동주택의 착의량과 실내설정온도가 어떻게 유지되고 있는지 고찰하였다.

김효진 외<sup>1)</sup>는 각 나라별 실내 환경비교를 통한 온열환경적응 연구에서 한국, 미국, 일본의 외기조건에 따른 각 나라 재실자의 실내공간의 설정온도를 비교 분석하였다. 분석 결과 일본의 실내기온이 외기온의 변화에 따라 가장 민감하게 변동되었으며, 한국의 실내공간이 난방시기에 같은 외기조건에서 미국보다 더 따뜻하게 조절되고 있었다.

거실의 온열환경과 거주자의 온도조절행위에 관한 전정운 외<sup>2)</sup>의 연구에서 겨울철 평균 실내온도는 24.66 의복량은 0.51clo(반팔 셔츠+얇은 긴바지)로 ISO 7730 쾌적 열환경 조건에서의 동계의복량인 1clo에 비해 낮은 의복량을 보이는 것으로 나타났다.

선행연구로부터 겨울철 실내에서 착의량을 낮게 유지하면서 실내온도를 높임으로서 쾌적감을 조절하려는 재실자들의 생활 습관에 의한 과다난방의 가능성을 확인 할 수 있다.

## 3. 착의량에 따른 열쾌적온도

우리나라의 대표적인 주거형태인 공동주택은 대부분 저온 바닥복사난방방식을 채용하고 있으므로 입식생활위주의 대류식 난방방식을 중심으로 구해진 PMV 쾌적범위를 복사식 난방방식의 쾌적범위로 적용하는 것은 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 국내

1) 다양한 나라의 실내온열환경 비교를 통한 인간의 열적 적응상태의 비교연구 (김효진 외), 대한건축학회 논문집, 2006.10

2) 공동주택 거실온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구 (전정운 외), 대한건축학회 논문집

연구사례 중 실제 실험으로 도출된 결론을 회귀분석을 통해 ISO-7730의 온열환경 국제기준을 한국의 저온복사난방에서의 쾌적범위로 산출한 이용철 외<sup>3)</sup>의 연구결과를 참고하였다. 연구결과는 국외연구결과와 달리 실내에서 신발을 벗고 생활하는 우리나라의 실정에 맞게 연구되어 한국식 복사난방방식의 쾌적범위를 가장 적합하게 반영한 것으로 사료된다. 연구결과에 의하면 한국식 저온복사난방의 쾌적범위는 의자착석 시  $-0.58 < PMV < +0.20$ 로 조사되었다.

공동주택 재실자의 착의상태에 따른 쾌적온도를 산출하기 위해 선행연구결과 및 ISO-7730을 참고해 (표1)과 같이 착의량을 가정하였다.

옵션1은 착의량에 따른 열쾌적상태를 비교하기 위한 대조군으로서 낮은 clo값을 가정하였으며 옵션2는 선행연구에서 도출된 우리나라 겨울철 평균 clo값을 가정하였다. 옵션3은 ISO-7730에서 제시한 겨울철 기준착의량을 가정하였으며, 옵션4는 ISO-7730에 동내의 착용시의 clo값을 산정하였다.

착의량에 따라 재실자가 쾌적감을 느낄 수 있는 실내 적정온도를 산정하기 위해 Fanger가 제안하고 ISO-7730에 의해 국제 규격화

된 예상평균온열감 모델식을 이용하였다.

분석 수행방법은 가정 착의량을 중심으로 ISO-7730 조건에서 옵션별 수용 가능한 온도범위와 최적의 온도를 도출하였다. 여기서 수용 가능한 온도범위란 선행연구에서 도출된 복사난방의 쾌적범위인  $-0.58 < PMV < +0.20$ 를 만족시키는 온도이다.

분석결과 착의량의 가장 낮은 옵션1 (0.35clo) 일 경우 요구되는 최적의 쾌적온도는 25.3°C인 것으로 나타났으며, 수용 가능한 온도범위는 24.3~26.7°C로 분석되었다. 우리나라 겨울철 평균 착의량인 옵션2(0.52clo)의 경우 최적온도는 24.0°C이며, 수용가능온도범위는 23.3~25.7°C인 것으로 나타났다. ISO-7730 기준인 옵션3(1.0clo)의 경우 최적온도 20.7°C, 수용가능온도범위 19.5~22.7°C로 나타났으며, ISO-7730 기준에 동내의를 착용한 경우 최적온도가 16.1°C, 수용가능온도범위는 14.0~19.0°C로 나타났다.

표 2. 착의량별 최적온도 및 수용가능온도

| 열쾌적 온도 | 옵션1 (0.35clo) | 옵션2 (0.52clo) | 옵션3 (1.0clo) | 옵션4 (1.7clo) |
|--------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 최적온도   | 25.3          | 24.0          | 20.7         | 16.1         |
| 최소온도   | 24.3          | 23.3          | 19.5         | 14.0         |
| 최대온도   | 26.7          | 25.7          | 22.7         | 19.0         |

표 1. 겨울철 공동주택 재실자의 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 | 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 |

3) 바닥난방에서의 온열환경지표 설정범위에 관한 실험적연구 (이용철 외), 대한건축학회 논문집, 2002.03

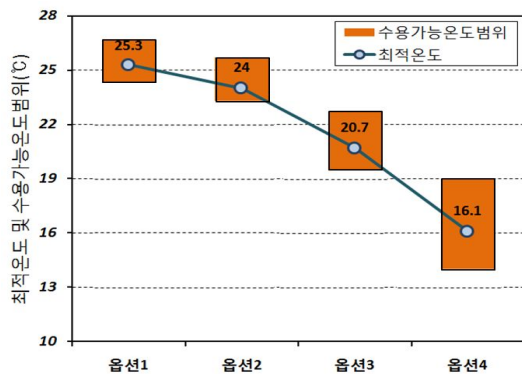


그림 2. 최적온도 및 수용가능온도범위

따라서 우리나라의 겨울철 평균 착의량을 ISO-7730 기준으로 끌어올린다면 쾌적온도는 약 3.3°C가량 낮아질 수 있으며, 동내의까지 착용했을 경우 실내 쾌적온도는 최대 7.9°C까지 낮아질 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 현재 우리나라 공동주택 재실자의 겨울철 낮은 착의량에서 쾌적함을 느끼기 위한 온도인 3.3°C를 높이기 위해 난방에너지가 더 소비되어야 한다는 것을 나타낸다. 동내의 착용했을 경우 실내 쾌적온도는 16.1°C로 더욱 낮아지며, 난방에너지가 상당히 절약될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 난방에너지소비량 평가

착의량 옵션별 쾌적설정온도에 따른 난방에너지 소비량을 평가하기 위해 동적건물 시뮬레이션 해석프로그램인 Esp-r을 사용하였다. 해석모델로서 현재 가장 많이 시공되고 있는 발코니 확장형의 33평(약 110m<sup>2</sup>)의 공동주택 1세대를 선정하여 서울지역을 대상으로 분석을 수행하였다. 해석모델의 외피물성치는 (표3)에 나타난 바와 같으며, 남측창면적비 70%(SHGC 0.7), 재실인원 4인(현열:64W, 잠열42W), 조명발열 5.5W/m<sup>2</sup>(복사50%, 대류50%), 기기발열 580W(복사50%, 대류50%)를 적용하였다.

표 3. 구조체 물성치

| 구조체  | 구성 | 재료     | 두께  | 열전도율  | 밀도                | 비열     |
|------|----|--------|-----|-------|-------------------|--------|
|      |    |        | mm  | W/m-k | kg/m <sup>3</sup> | J/kg-k |
| 외벽   | 1  | 중량콘크리트 | 200 | 1.4   | 2100              | 653    |
|      | 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    |
|      | 2  | 합성보드   | 120 | 0.18  | 800               | 837    |
| 층간바닥 | 1  | 중량콘크리트 | 120 | 1.4   | 2100              | 653    |
|      | 2  | 경량콘크리트 | 10  | 0.38  | 1200              | 653    |
|      | 3  | 단열재    | 20  | 0.04  | 12                | 840    |
|      | 4  | 경량콘크리트 | 10  | 0.38  | 1200              | 653    |

공동주택 에너지 성능평가 시 1동내 각 세대는 위치별로 냉난방에너지가 다르게 나타나므로, 1동내에 지면과 접한 세대, 측벽과 접한 세대, 옥상에 접한 세대를 제외한 세대와 세대간 접한 내측 세대를 기준 모델로 선정하였다.

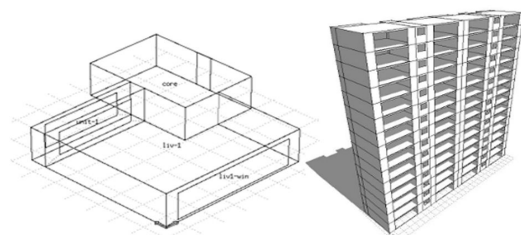


그림 3. 시뮬레이션 해석모델

시뮬레이션 해석시 적용된 기상데이터는 서울 30년 TMY 표준기상자료를 사용하였으며, 주요항목의 월별 통계치는 (표4)와 같다.

분석결과 착의량에 따른 설정온도별 연간난방에너지소비량은 옵션1의 경우 104.4kWh/m<sup>2</sup>, 옵션2 96.6kWh/m<sup>2</sup>, 옵션3 76.1kWh/m<sup>2</sup>, 옵션4 48.4kWh/m<sup>2</sup> 로 각각 나타났다. 우리나라 동절기 평균 착의량을 기준으로 에너지소비비를 살펴보면 낮은 착의량을 가정한 옵션1의 경우 약 8%의 난방에너지가 더 필요한 것으로 나타났으나, 착의량이 옵션3, 옵션4로 증가할 경우 각각 79%, 50%까지 에너지소비

량이 감소되는 것으로 나타났다.

표 4. 서울지역 표준기상자료 월별 통계치

| 월  | 온도 (°C) |      |       | 상대 습도 (%) | 풍속 (km/h) | 수평면 전일사량 (kWh/m²) |
|----|---------|------|-------|-----------|-----------|-------------------|
|    | 평균      | 최대   | 최소    |           |           |                   |
| 1  | -2.8    | 8.9  | -12.8 | 57.9      | 6.1       | 1.748             |
| 2  | -0.6    | 10.0 | -11.1 | 66.8      | 7.7       | 2.645             |
| 3  | 6.0     | 16.1 | -0.6  | 64.0      | 7.0       | 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  | 80.0      | 5.8       | 3.430             |
| 8  | 25.2    | 34.4 | 17.2  | 72.6      | 7.0       | 3.809             |
| 9  | 20.8    | 30.6 | 10.6  | 70.4      | 4.4       | 3.070             |
| 10 | 14.6    | 25.0 | 2.2   | 58.5      | 5.6       | 3.121             |
| 11 | 6.8     | 16.7 | -6.1  | 65.0      | 7.1       | 1.645             |
| 12 | -0.1    | 13.3 | -12.8 | 54.6      | 7.3       | 1.470             |
| 계  | 12.0    | 34.4 | -12.8 | 66.1      | 6.5       | 3.115             |

표 5. 실내온도별 난방에너지소비량 평가결과

|                    | 옵션 1  | 옵션 2  | 옵션 3 | 옵션 4 |
|--------------------|-------|-------|------|------|
| 설정온도(°C)           | 25.3  | 24    | 20.7 | 16.1 |
| 에너지소비량 (kWh/yr)    | 12530 | 11591 | 9131 | 5802 |
| 에너지소비량 (kWh/m²,yr) | 104.4 | 96.6  | 76.1 | 48.4 |
| 비율 (%)             | 108%  | 100%  | 79%  | 50%  |

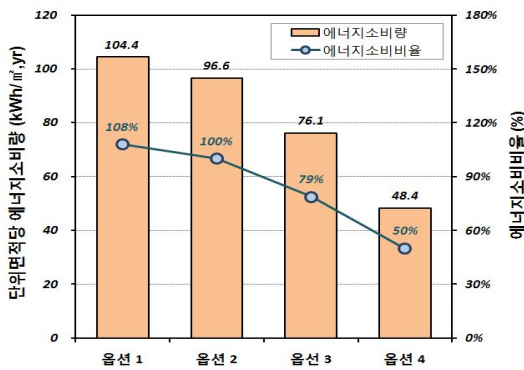


그림 4. 설정온도별 난방에너지소비량 평가결과

즉, 평균 착의량에서 ISO-7730 기준으로 착의량을 증가시킬 경우 현재의 에너지소비량을 21% 감소시킬 수 있으며, 동내까지 착용시 50% 까지 감소시킬 수 있음을 의미한다.

## 5. 이산화탄소배출량 평가

시뮬레이션을 통해 도출된 실내설정온도에 따른 에너지 소비량을 연료종류별 이산화탄소배출량으로 환산하여 이산화탄소저감량을 분석하였다. 이에 난방용으로 사용되는 대표연료로 등유, 도시가스(LNG), 전력을 선정하였으며 연료종류별 이산화탄소배출량을 분석결과는 (표6)과 (그림5)에 나타난 바와 같다. 여기서 이산화탄소 배출량은 에너지소비량을 석유환산톤(TOE ; Ton of Oil Equivalent)으로 환산 후 순발열량을 기준으로 IPCC에서 만든 탄소배출계수를 곱해 계산하였다.

표 6. 난방연료종류에 따른 옵션별 이산화탄소배출량

| 연료  | 착의량 옵션 | 난방에너지 소비량 (kWh/yr) | TOE  | TC   | TCO2 | 저감량   |
|-----|--------|--------------------|------|------|------|-------|
| 등유  | 옵션1    | 12530              | 1.08 | 0.87 | 3.21 | 0.24  |
|     | 옵션2    | 11591              | 1.00 | 0.81 | 2.97 | -     |
|     | 옵션3    | 9131               | 0.79 | 0.64 | 2.34 | -0.63 |
|     | 옵션4    | 5802               | 0.50 | 0.41 | 1.49 | -1.48 |
| LNG | 옵션1    | 12530              | 1.08 | 0.69 | 2.52 | 0.19  |
|     | 옵션2    | 11591              | 1.00 | 0.63 | 2.33 | -     |
|     | 옵션3    | 9131               | 0.79 | 0.50 | 1.83 | -0.49 |
|     | 옵션4    | 5802               | 0.50 | 0.32 | 1.17 | -1.16 |
| 전력  | 옵션1    | 12530              | -    | 1.52 | 5.57 | 0.42  |
|     | 옵션2    | 11591              | -    | 1.41 | 5.16 | -     |
|     | 옵션3    | 9131               | -    | 1.11 | 4.06 | -1.09 |
|     | 옵션4    | 5802               | -    | 0.70 | 2.58 | -2.57 |

각 연료의 옵션별 이산화탄소 배출량 분포를 살펴보면 실내 쾌적설정온도가 높아 에너지소비량이 큰 옵션1에서 이산화탄소배출량이 가장 많이 나타났고, 에너지소비량크기에 따라 옵션2, 옵션3, 옵션4 순으로 나타났다. 에너지원별 이산화탄소배출량은 전력, 등유, LNG 순으로 나타났으며, 전력을 난방에너지로 사용하였을 경우 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석되었다. 이는 전기에너지를 생산하는 과정에서의 효율이 탄소배출계수에 반영되었기 때문이며, 따라서 연료선

택 시 연료생산과정에서의 에너지 손실이 적은 연료를 에너지원으로 선택함으로써 이산화탄소배출량을 저감시킬 수 있다.

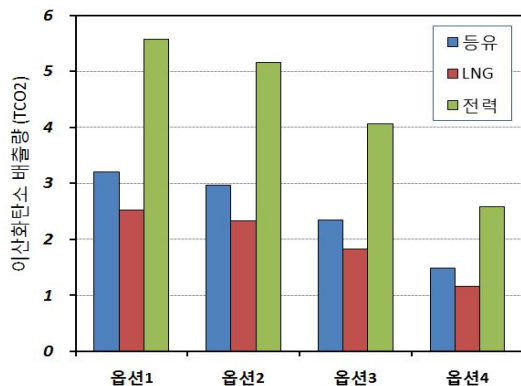


그림 5. 연료 종류별 이산화탄소배출량

우리나라 동절기 평균 착의량(옵션2)을 기준으로 이산화탄소 배출량 저감량을 연료별로 살펴보면 착의량이 낮은 옵션1의 경우 등유 사용 시 0.24t, LNG 0.19t, 전력 0.42t이 증가하는 것으로 나타났다. 반면, ISO-7730 기준(옵션3)으로 착의량을 증가시켰을 때 등유의 경우 0.63t, LNG 0.49t, 전력 1.09t 저감가능하며, 동내의 착용시(옵션4) 등유 1.48t, LNG 1.16t, 전력 2.57t 까지 탄소 배출량을 저감 할 수 있는 것으로 나타났다. 연료별 이산화탄소 저감량은 에너지 소비량 대비 이산화탄소 배출량이 많은 전력이 가장 높게 나타났으며, 등유, LNG 순으로 나타났다.

## 6. 결 론

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 도출하였다.

연구결과 우리나라의 겨울철 평균착의량을

ISO-7730 기준으로 끌어올린다면 실내 쾌적 온도는 약 3.3℃가량 낮아질 수 있으며, 동내 의까지 착용했을 경우 약 7.9℃까지 낮아질 수 있는 것으로 나타났다.

공동주택에 가정옵션별 열쾌적온도를 설정 온도로 적용하여 시뮬레이션 한 결과 우리나라 평균착의량을 기준으로 옵션3의 경우 21% 난방에너지소비량을 저감시킬 수 있으며, 동내의 착용시 50% 까지 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

실내 설정온도에 따른 난방에너지소비량을 연료종류별 이산화탄소 배출량으로 환산했을 경우 겨울철 우리나라 평균 실내 착의량을 기준으로 이산화탄소 저감량은 옵션3의 경우 등유 0.63t, LNG 0.49t, 전력 1.09t 저감되는 것으로 나타났으며, 옵션4의 동내의 착용시 등유 1.48t, LNG 1.16t, 전력 2.57t 까지 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 배누리 외, 건물에너지 절약을 위한 주거건물의 실내온도와 착의량에 관한 기초연구, 대한건축학회 논문집, 2007.10.
2. 김효진 외, 다양한 나라의 실내온열환경 비교를 통한 인간의 열적 적응상태의 비교 연구, 대한건축학회 논문집, 2006.10.
3. 전정운 외, 공동주택 거실온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2005.08.
4. 이용철 외, 바닥난방에서의 온열환경지표 설정범위에 관한 실험적연구, 대한건축학회 논문집, 2002.03
5. 윤종호 외, 공동주택 발코니 창호종류에 따른 결로 및 열쾌적성 평가연구, 대한건축학회 논문집, 2007.03.
6. 홍성희 외, 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구 대한건축학회 논문집, 2001.01.
7. 에너지관리공단: <http://www.kemco.or.kr>