

생활특성과 착의량에 따른 바닥복사난방 공간의 열쾌적 범위 및 에너지 사용량에 관한 연구

김상훈·정광섭*†·김영일*

서울과학기술대학교 에너지환경대학원, *서울과학기술대학교 건축학부
(2015년 1월 22일 접수, 2015년 3월 3일 수정, 2015년 3월 5일 채택)

A Study on the Thermal Comfort Zone and Energy Use of Radiant Floor Heating by Residential Style and Clothing Level

Sang-Hun Kim, Kwang-Seop Chung*†, Young-Il Kim*

Graduate School of Energy Environment, Seoul National University of Science and Technology,

*School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

(Received 22 January 2015, Revised 3 March 2015, Accepted 5 March 2015)

요 약

바닥복사난방 공간에서 생활특성과 착의량에 따른 열쾌적 범위를 제시하고 각 조건별 에너지사용량 및 비용을 산출하여 비교하는 것을 목적으로 하였다. 좌식생활이 입식생활보다 낮은 온도에서 중립적 온도를 나타냈는데 바닥표면과 인체사이의 국부적인 열전달이 전신온열감에 영향을 주었기 때문에 판단된다. 착의량이 높을수록 낮은 온도에서 중립점 온도를 나타냈는데 착의량을 증가시키면 인체에서 방출되는 열손실이 감소하여 낮은 실내온도에서 동일한 열쾌적을 느낄 수 있기 때문에 판단된다. 좌식생활방식이 입식생활방식보다 평균 6.0%의 에너지 사용량이 절감되는 것으로 나타나 좌식생활이 경제적인 생활방식으로 분석되었다. 착의량 1.2 Clo 상태가 착의량 1.0 Clo 상태보다 평균 13.5%, 착의량 0.8 Clo상태보다 평균 18.0%의 에너지 사용량이 절감되는 것으로 나타나 동절기에 착의량을 증가시키는 생활습관의 변화만으로도 에너지 절감 효과가 큰 것으로 분석되었다.

주요어 : 생활특성, 착의량, 열쾌적 범위, 응답온열감, 예상평균온열감, 에너지 모델링, 에너지 비용

Abstract - The purpose of this study is to provide the thermal comfort range according to the residential style and clothing level at radiant floor heating space, and compare the annual energy consumption and energy cost for each condition. Lower neutral point temperature has been stood for floor sitting style than chair sitting style, which appears that the thermal sensation was affected by local heat transfer between floor surface and the human body. The result of research indicates that neutral point temperature was in inverse proportion with the clothing level. It is interpreted that the increasing of clothing level results decrement of heat loss from human body, and is available to achieve same thermal comfort at lower room temperature. It was analyzed that the floor sitting style is more economical residential style than the chair sitting style, because the energy consumption of the floor sitting style is saved by 6.0% in average to compare with that of the chair sitting style. It is analyzed that energy consumption has been decreased by 13.5% with the clothing level of 1.2 Clo than with that of 1.0 Clo, and decreased by 18.0% than with that of 0.8 Clo, which explains that the energy saving can be achieved with the variation in life habit to increase the clothing level.

Key words : Residential style, Clothing level, Thermal comfort range, Thermal sensation vote, Predicted mean vote, Energy modeling, Energy cost

†To whom corresponding should be addressed.
School of Architecture, Seoul National University of Science

and Technology
Tel : +82-2-970-6561 E-mail : kschung@seoultech.ac.kr

1. 서론

1-1. 연구배경

인체가 열적으로 쾌적한 상태를 유지하기 위해서는 온도와 습도 등의 환경적 요소와 착의량과 대사량 등의 인체측 요소를 고려하여 실내환경을 적절하게 조절해야하며, 주거공간에서는 실내환경 조절에 주로 설정온도 제어를 적용하고 있다. 이 과정에서 에너지를 사용하게 되는데 우리나라의 에너지 수입 의존율은 약 97%에 이르기 때문에 에너지 절약이 시대적 눈점이 되고 있다.

우리나라 주거공간의 난방방식은 좌식생활에 적합한 바닥복사난방을 주로 적용하고 있지만, 생활방식은 서구적 주택계획원리의 도입으로 입식생활이 보편화되어 생활특성에 대한 고려가 필요하다. 그리고, 착의량은 피부표면에서 착의 표면까지의 열저항값으로 의복 단열성능을 의미하므로 재실자의 착의상태에 따라 열쾌적 상태가 달라지므로 착의량에 대한 고려도 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 바닥복사난방 공간에서 생활특성과 착의량에 따른 열쾌적 범위를 제시하고 각 조건별 에너지사용량 및 비용을 산출하여 비교하는 것을 목적으로 하였다.

1-2. 연구방법

바닥복사난방 공간에서 열쾌적에 영향을 미치는 환경적 요소에 대한 측정과 피험자에 대한 응답온열감 설문조사를 실시하였다. 그리고, 열환경 조절에 주로

사용되는 지표인 실내온도가 응답온열감에 미치는 영향에 대하여 회귀분석하여 열쾌적 범위 및 중립점 온도를 도출하였다.

에너지 분석을 위한 에너지모델링은 설계도서에 기준하여 외피, 시스템 및 열원조건을 입력하였고, 회귀분석을 통하여 도출된 열쾌적 범위의 하한값을 기준으로 설정온도 제어를 하여 연간 에너지사용량 및 비용을 도출하였다.

2. 실험조건 및 방법

2-1. 실험동 개요

연구에 사용된 실험동은 Fig. 1과 같이 가로 4.5m, 세로 3.0m, 높이 2.1m의 컨테이너 건축물로 실험준비와 데이터 수집을 위한 준비실과 열쾌적 실험을 위한 측정실로 구분되어 있다. 바닥에 외경 15.88mm의 동관을 200mm간격으로 매설하고 보일러에서 생산된 온수를 항온수조를 거쳐 바닥난방코일로 순환시키는 온수온돌 방식을 적용하였다.

2-2. 환경적 요소 측정

온열감에 영향을 미치는 환경적 요소는 Table 1에 나타낸 바와 같이 실내온도, 평균복사온도 및 예상평균온열감을 측정하였다. 실내온도와 평균복사온도는 열전대를 설치한 후 데이터로거에 연결하여 10분간격으로 측정하였고, 예상평균온열감은 Innova air Tech사의 Thermal Comfort 데이터로거 1221을 이용하여 10분 간격으로 측정하였다.

2-3. 응답온열감 설문조사

피험자는 20대 건강한 남녀 각 8명씩 총 16명을 대상으로 하였고, 남자의 평균신장은 173.75 cm, 평균체중은 65.87 kg이고, 여자의 평균신장은 163.50 cm, 평균체중은 52.62 kg였다.

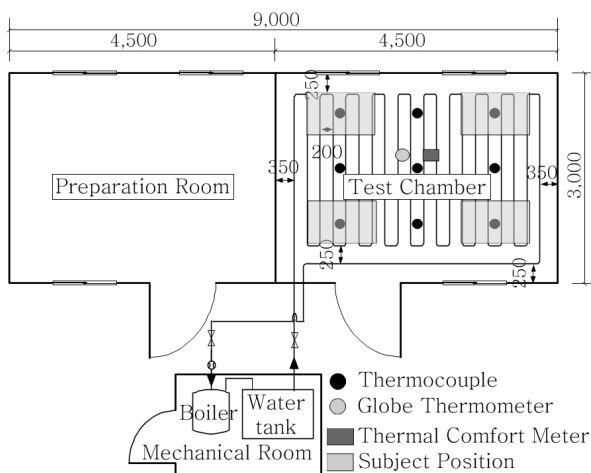


Fig. 1. Test chamber plan and measuring position of environmental factors

Table 1. Measuring items and equipment

Item	Position	Equipment
Room Air Temperature	9Points in the height of 1.1m above the floor	Thermocouple
Mean Radiant Temperature	1Points in the height of 1.1m above the floor	Globe Thermometer
Predicted Mean Vote	1Points in the height of 1.1m above the floor	Thermal Comfort Meter Module UA 1276

자세는 좌식생활방식인 바닥좌석 자세와 입식생활 방식인 의자좌석 자세로 변화시켰고, 대사량은 독서나 가벼운 대화만이 가능한 정적인 상태로 활동을 제한하여 1.0Met에 기준하였다. 착의량은 의복의 열저항 값을 합산하여 동절기 표준인 1.0 Clo를 기준으로 편차 ±0.2 Clo를 설정하여 0.8 Clo, 1.2 Clo에 맞추어 의복의 착용상태를 변화시켰다. Fig. 2에 응답온열감 평가조건을 나타냈다.

설문조사는 피험자에게 실험의 목적과 방법을 숙지시킨 후 측정실에 입실시켜 40분간 환경에 적응시키고 10분 단위로 7차례에 걸쳐 설문조사를 실시하였다. Fig. 3과 Fig. 4에 설문조사 절차와 온열감 설문지 양식을 각각 나타냈다.

2-4. 열쾌적 범위 산정방법

열환경 조절에 주로 사용되는 지표인 실내온도가 응답온열감에 미치는 영향에 대하여 단순선형회귀분석을 실시하여 $y=ax+b$ 의 회귀방정식과 $R^2=c$ 의 결정계수를 도출하였다. 도출된 회귀방정식의 종속변수 y 에 쾌적범위 ±0.5를 대입하여 독립변수인 x 를 산출하여 쾌적 실내온도 범위를 결정하였다. 또한, 종속변수

Residential Style	Sex	Metabolic Rate	Clothing Level
Floor Sitting	Male	1.0 Met	0.8 Clo
Chair Sitting	Female		1.2 Clo

Fig. 2. Thermal sensation vote evaluation condition



- (1) Laboratory environmental adaptation
- (2) Thermal sensation vote survey
- 7times : 10 minutes interval

Fig. 3. Thermal sensation vote survey procedure

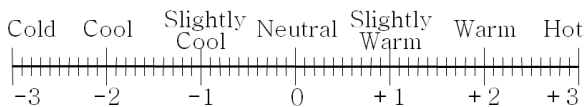


Fig. 4. Thermal sensation vote scale survey form

y 에 인체가 가장 쾌적함을 느끼는 계수인 0을 대입하여 쾌적 실내온도인 중립점 온도 x 를 산출하였다.

3. 온열감 평가

3-1. 생활특성과 열쾌적 범위

착의량 0.8 Clo 상태에서 생활특성 변화에 따른 실내온도와 온열감의 상관관계를 Fig. 5와 Table 2에 나타냈다. 회귀방정식의 기울기는 좌식생활과 입식생활에서 각각 0.4052, 0.3883으로 나타나 좌식생활에서의 민감도가 높았고, 결정계수는 0.7671, 0.6574로 비교적 높은 상관성을 보였다. 좌식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 21.90~24.37 °C였고, 중립점 온도는 23.13 °C로 나타났다. 입식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 22.19~24.77 °C였고, 중립점 온도는 23.48 °C로 나타났다. 그리고, 예상평균온열감의 열쾌적 범위는 23.00~26.16 °C였고, 중립점 온도는 24.58 °C로 나타났다. 좌식생활방식이 입식생활방식에 비하여 중립점 온도가 0.35 °C 낮게 나타났고, 예상평균온열감

Table 2. Correlation of room air temperature and thermal sensation(clothing level=0.8)

Thermal Sensation	Residential Style	Regression Formulas	Comfort Range[°C] (Neutral Point[°C])
Thermal Sensation Vote	Floor Sitting	$y=0.4052x-9.3730$ $R^2=0.7671$	$21.90 < x < 24.37$ ($x = 23.13$)
	Chair Sitting	$y=0.3883x-9.1172$ $R^2=0.6574$	$22.19 < x < 24.77$ ($x = 23.48$)
Predicted Mean Vote		$y=0.3172x-7.7967$ $R^2=0.9939$	$23.00 < x < 26.16$ ($x = 24.58$)

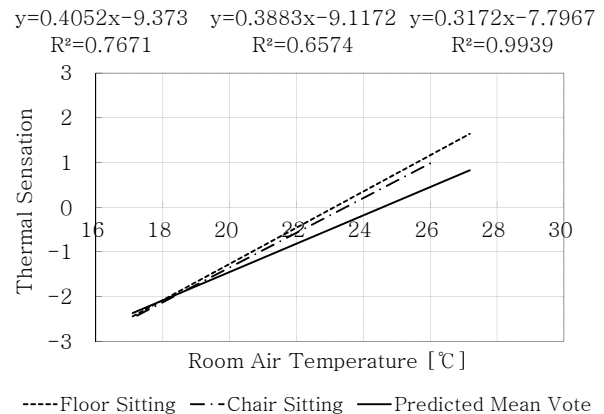


Fig. 5. Room air temperature & thermal sensation by residential style(clothing level=0.8)

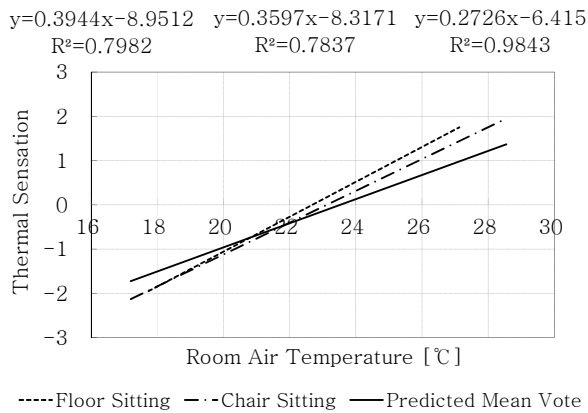


Fig. 6. Room air temperature & thermal sensation by residential style(clothing level=1.0)

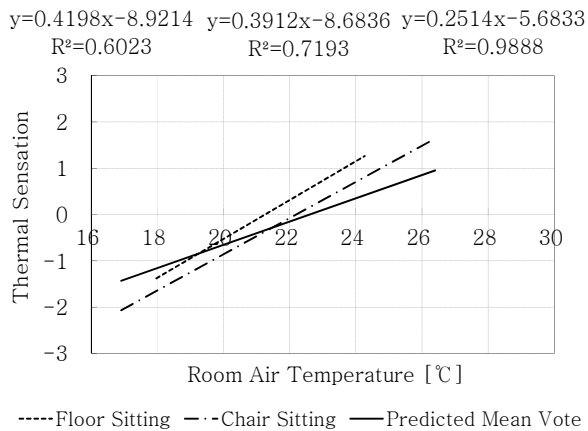


Fig. 7. Room air temperature & thermal sensation by residential style(clothing level=1.2)

의 중립점 온도는 좌식생활과 입식생활보다 각각 1.45 °C, 1.10 °C 높게 나타났다.

착의량 1.0 Clo 상태에서 생활특성 변화에 따른 실내온도와 온열감의 상관관계를 Fig. 6과 Table 3에 나타냈다. 회귀방정식의 기울기는 좌식생활과 입식생활에서 각각 0.3944, 0.3597로 나타나 좌식생활에서의 민감도가 높았고, 결정계수는 0.7982, 0.7837로 높은 상관성을 보였다. 좌식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 21.41~23.96 °C였고, 중립점 온도는 22.70 °C로 나타났다. 입식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 21.73~24.51 °C였고, 중립점 온도는 23.12 °C로 나타났다. 그리고, 예상평균온열감의 열쾌적 범위는 21.70~25.37 °C였고, 중립점 온도는 23.53 °C로 나타났다. 좌식생활방식이 입식생활방식에 비하여 중립점 온도가 0.42 °C 낮게 나타났고 예상평균온열감의 중립점 온도는 좌식

Table 3. Correlation of room air temperature and thermal sensation(clothing level=1.0)

Thermal Sensation	Residential Style	Regression Formulas	Comfort Range[°C] (Neutral Point[°C])
Thermal Sensation Vote	Floor Sitting	y=0.3944x-8.9512 R²=0.7982	21.41<x <23.96 (x =22.70)
	Chair Sitting	y=0.3597x-8.3171 R²=0.7837	21.73<x <24.51 (x =23.12)
Predicted Mean Vote		y=0.2726x-6.4150 R²=0.9843	21.70<x <25.37 (x =23.53)

Table 4. Correlation of room temperature and thermal sensation(clothing level=1.2)

Thermal Sensation	Residential Style	Regression Formulas	Comfort Range[°C] (Neutral Point[°C])
Thermal Sensation Vote	Floor Sitting	y=0.4198x-8.9214 R²=0.6023	20.06<x <22.44 (x =21.25)
	Chair Sitting	y=0.3912x-8.6836 R²=0.7193	20.92<x <23.48 (x =22.20)
Predicted Mean Vote		y=0.2514x-5.6833 R²=0.9888	20.62<x <24.60 (x =22.61)

생활과 입식생활보다 각각 0.83 °C, 0.41 °C 높게 나타났다.

착의량 1.2 Clo 상태에서 생활특성 변화에 따른 실내온도와 온열감의 상관관계를 Fig. 7과 Table 4에 나타냈다. 회귀방정식의 기울기는 좌식생활과 입식생활에서 각각 0.4198, 0.3912로 나타나 좌식생활에서의 민감도가 높았고, 결정계수는 0.6023, 0.7193로 비교적 높은 상관성을 보였다. 좌식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 20.06~22.44 °C였고, 중립점 온도는 21.25 °C로 나타났다. 입식생활에서의 열쾌적 실내온도 범위는 20.92~23.48 °C였고, 중립점 온도는 22.20 °C로 나타났다. 그리고, 예상평균온열감의 열쾌적 범위는 20.62~24.60 °C였고, 중립점 온도는 22.61 °C로 나타났다. 좌식생활방식이 입식생활방식에 비하여 중립점 온도가 0.95 °C 낮게 나타났고, 예상평균온열감의 중립점 온도는 좌식생활과 입식생활보다 각각 1.36 °C, 0.41 °C 높게 나타났다.

실험에서 변수로 선정한 모든 착의상태에서 좌식생활이 입식생활보다 중립적 온도가 낮게 나타났다. 이것은 바닥표면과 인체사이의 국부적인 열전달이 전신온열감에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

3-2. 착의량과 열쾌적 범위

좌식생활에서 착의량 변화에 따른 실내온도 쾌적범위를 Fig. 8에 나타냈다. 착의량 0.8 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 21.90~24.37 °C였고 중립점 온도는 23.13 °C였다. 착의량 1.0 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 21.43~23.96 °C였고 중립점 온도는 22.70 °C였다. 착의량 1.2 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 20.06~22.44 °C였고 중립점 온도는 21.25 °C였다. 따라서, 좌식생활에서 착의량 1.2 Clo 상태의 중립점 온도는 착의량 0.8 Clo 상태와 1.0 Clo 상태보다 각각 1.88 °C, 1.45 °C 낮게 나타났다.

입식생활에서 착의량 변화에 따른 실내온도 쾌적범위를 Fig. 9에 나타냈다. 착의량 0.8 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 22.19~24.77 °C였고 중립점 온도는 23.48 °C였다. 착의량 1.0 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 21.73~24.51 °C였고 중립점 온도는 23.12 °C였다. 착의량 1.2 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 20.92~23.48 °C였고 중립점 온도는 22.20 °C였다. 따라서, 입식생활에서 착의량 1.2 Clo 상태의 중립점 온도는 착의량 0.8 Clo 상태와 1.0 Clo 상태보다 각각 1.28 °C, 0.92 °C 낮게 나타났다.

예상평균온열감의 착의량 변화에 따른 실내온도 쾌적범위를 Fig. 10에 나타냈다. 착의량 0.8 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 23.00~26.16 °C였고 중립점 온도는 24.58 °C였다. 착의량 1.0 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 21.70~25.37 °C였고 중립점 온도는 23.53 °C였다. 착의량 1.2 Clo 상태의 열쾌적 실내온도 범위는 20.62~24.60 °C였고 중립점 온도는 22.61 °C였다. 따라서, 착의량 1.2 Clo 상태의 예상평균온열감 중립점 온도는 착의량 0.8 Clo 상태와 1.0 Clo 상태보다 각각 1.97 °C, 0.92 °C 낮게 나타났다.

실험에서 변수로 선정한 좌식생활, 입식생활 및 예상평균온열감 모두 착의량이 높을수록 중립점 온도가 낮게 나타났다. 이것은 착의량을 증가시키면 인체에서 방출되는 열손실이 감소하여 낮은 실내온도에서 동일한 열쾌적을 느낄 수 있기 때문이다.

4. 에너지모델링 조건 및 방법

4-1. 에너지모델링 대상공간

생활특성과 착의량에 따른 난방에너지 사용량의 정량적 비교를 위하여 건축물을 선정하여 에너지모델링을 수행하였다.

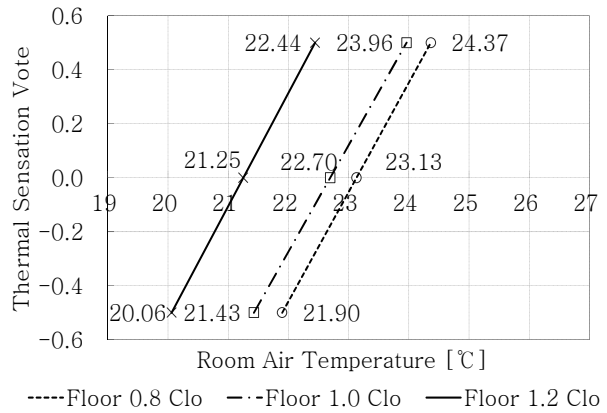


Fig. 8. Room air temperature & thermal sensation by clothing level(residential style-floor sitting)

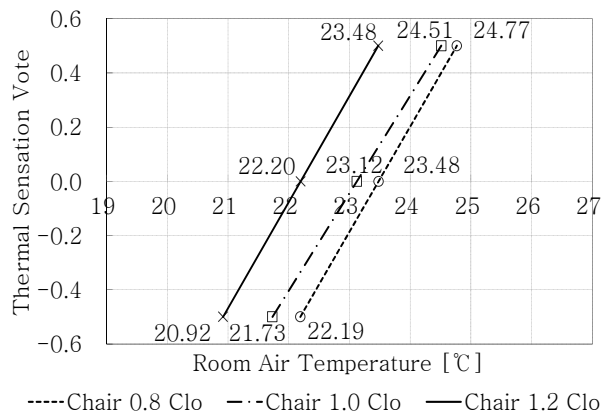


Fig. 9. Room air temperature & thermal sensation by clothing level(residential style-chair sitting)

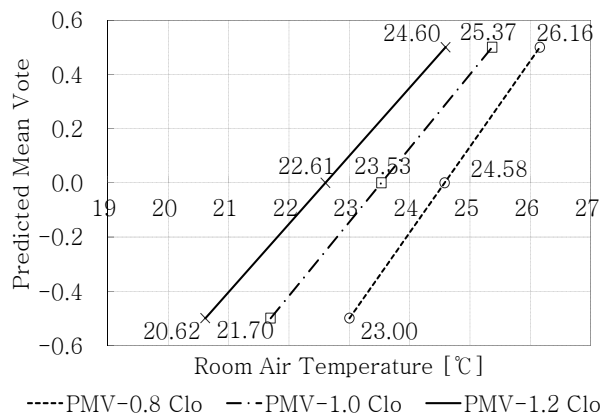


Fig. 10. Room air temperature & thermal sensation by clothing level(predicted mean vote)

대상 건축물은 서울지역에 신축되는 남동향의 탐상형 공동주택으로 본 연구에서는 기준층인 4층을 에너지모델링 대상공간으로 하였다. 대상공간은 Fig. 11과

같이 3침실형 4세대, 4침실형 2세대로 구성되어 있고, 각 세대는 침실, 드레스룸, 욕실, 거실, 가족실, 주방, 다용도실, 발코니 및 실외기실로 구성되어 있다.

4-2. 에너지모델링 입력조건

에너지모델링은 동적시뮬레이션 프로그램인 TRACE 700 Version 6.3.1을 사용하였고, 설비용량 계산을 위한 설계 외기온습도기준은 -11.3 °C를 적용하였으며, 에너지 사용량을 산출하기 위한 기상데이터는 서울지역 자료를 사용하였다.

입력된 외피 물성치, 내부부하 환기량 및 침입외기 조건을 Table 5에 나타냈다. 외벽의 열관류율은 0.263 W/m²·K, 내벽의 열관류율은 0.367 W/m²·K를 입력하였다. 유리창과 프레임의 열관류율은 1.5 W/m²·K, 태양열취득계수는 0.4를 입력하였으며, 외벽면적에 대한 창면적비는 25.3% 였다. 재실인원은 3침실형에 4명, 4침실형에 5명을 입력하였고, 조명부하는 3침실형에 1,130W, 4침실형에 1,192W를 입력하였으며, 기기 부하는 3침실형 및 4침실형에 5.0 W/m²를 입력하였다. 환기량과 침입외기량은 3침실형 및 4침실형에 실내 체적당 0.5회와 0.2회를 입력하였다. 내부부하, 환기량 및 침입외기 스케줄은 TRACE 700 라이브러리에서 기본적으로 제공되는 Apartment Complex를 적용하였다.

Table 5. Room modeling input parameter

Classification		Input Parameter
Building Envelope	External Wall U-factor	0.263 W/m ² K
	Internal Wall U-factor	0.367 W/m ² K
	Glazing U-factor	1.5 W/m ² K
	Glazing SHGC	0.40
	Fenestration Area	25.3%
Internal Load	People	3Bed Type 4 People (Sensible:72W,Latent:31W)
		4Bed Type 5 People (Sensible:72W,Latent:31W)
	Lighting	3Bed Type 1,130 W (8.0 W/m ²)
		4Bed Type 1,192 W (7.4 W/m ²)
	Misc.	3Bed Type 5.0 W/m ²
		4Bed Type 5.0 W/m ²
Air Flow	Ventilation	0.5 ACH
	Infiltration	0.2 ACH

입력된 시스템 및 열원 조건을 Table 6에 나타냈다. 난방은 각 세대의 침실, 드레스룸, 욕실, 거실, 가족실, 주방 및 다용도실을 존(Zone)별로 나누어 복사난방 시스템으로 입력하였고, 환기는 외기 100%를 실내로 직접 도입하되 전열교환기에 의하여 열회수하는 시스템으로 입력하였다. 열원은 난방부하의 125%에 해당하는 난방능력을 가지는 효율 91%의 가스 온수보일러

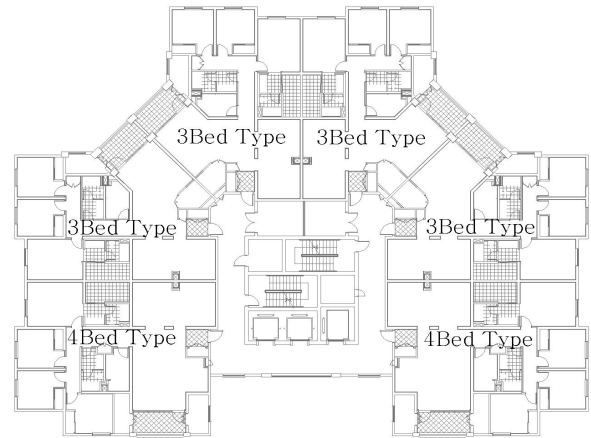


Fig. 11. plan of energy modeling object area

Table 6. System and plant modeling input parameter

Classification		Input Parameter
Heating	System Type	Radiant Heating
Ventilation	System Type	Outdoor Air 100%, Room Direct
	Exhaust Air Energy Recovery	Sensible Effectiveness at 100% Airflow : 61%, Sensible Effectiveness at 75% Airflow : 65%, Latent Effectiveness at 100% Airflow : 38%, Latent Effectiveness at 75% Airflow : 40%
	Type	Gas Fired Hot Water Boiler
Plant	Heating Capacity	Oversizing 25% for Heating Load
	Energy Efficiency	91%

Table 7. Set point temperature by residential style & clothing level

Residential Style	Set Point Temperature[°C]		
	0.8clo	1.0clo	1.2clo
Floor Sitting	21.90	21.43	20.06
Chair Sitting	22.19	21.73	20.92

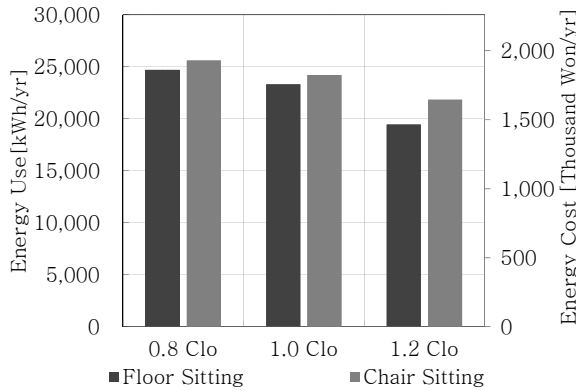


Fig. 12. Energy use & cost by residential style

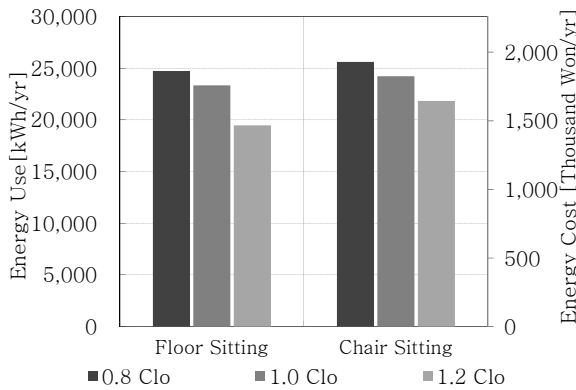


Fig. 13. Energy use & cost by clothing level

리로 입력하였다.

실내 설정온도 조건은 Table 7에 나타난 것과 같이 회귀분석을 통하여 도출된 열쾌적 범위의 하한값을 기준으로 6가지 경우를 설정하여 에너지모델링 하였다.

에너지비용을 산출하기 위한 도시가스 단가는 2015년 1월 1일 서울도시가스 주택용 난방요금인 75.3원/kWh을 적용하였다.

5. 에너지사용량 분석

5-1. 생활특성과 에너지사용량

생활특성에 따른 에너지 사용량과 비용을 Fig. 12와 Table 8에 나타냈다. 착의량 0.8 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 3%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 착의량 1.0 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 4%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 착의량 1.2 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 11%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타

Table 8. Energy use and cost by residential style & clothing level

Residential Style	Energy Use [kWh/yr]			Energy Cost [thousand won/yr]		
	0.8clo	1.0clo	1.2clo	0.8clo	1.0clo	1.2clo
Floor Sitting	24,714	23,306	19,449	1,862	1,756	1,465
Chair Sitting	25,603	24,201	21,823	1,929	1,823	1,644

났다. 좌식생활방식이 입식생활방식보다 에너지사용량 및 비용이 낮아 에너지 측면에서는 경제적인 것으로 분석되었다.

5-2. 착의량과 에너지사용량

착의량에 따른 에너지 사용량과 비용을 Fig. 13과 Table 8에 나타냈다. 좌식생활방식에서는 착의량 1.2 Clo 상태가 착의량 1.0 Clo 상태보다 17%, 착의량 0.8 Clo 상태보다 21%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 입식생활방식에서는 착의량 1.2 Clo 상태가 착의량 1.0 Clo 상태보다 10%, 착의량 0.8 Clo 상태보다 15%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 따라서, 동절기에 착의량을 증가시키는 생활습관의 변화만으로도 에너지 절감 효과가 큰 것으로 분석되었다.

6. 결론

본 연구에서는 생활특성과 착의량에 따른 열쾌적 실내온도 범위를 파악하기 위하여 실험동에서 환경적 요소를 측정하고, 피험자를 대상으로 응답온열감 설문 조사를 실시하였다. 그리고, 실험을 통하여 산출된 열쾌적 실내온도를 기준으로 에너지모델링에 설정온도 제어를 반영하여 에너지 사용량 및 비용에 미치는 영향을 분석하였다. 열쾌적 실내온도 범위와 에너지 사용량에 대하여 도출된 결론은 아래와 같다.

(1) 착의량 0.8 Clo 상태에서 열쾌적 실내온도 범위 [중립점 온도]는 좌식생활 21.90~24.37 °C[23.13 °C], 입식생활 22.19~24.77 °C[23.48 °C], 예상평균온열감 23.00~26.16 °C[24.58 °C]로 나타났다. 착의량 1.0 Clo 상태에서 열쾌적 실내온도 범위[중립점 온도]는 좌식생활 21.41~23.96 °C[22.70 °C], 입식생활 21.73~24.51 °C[23.12 °C], 예상평균온열감 21.70~25.37 °C[23.53 °C]로 나타났다. 착의량 1.2 Clo 상태에서 열쾌적 실내

온도 범위[중립점 온도]는 좌식생활 20.06~22.44 °C [21.25 °C], 입식생활 20.92~23.48 °C [22.20 °C], 예상 평균온열감 20.62~24.60 °C [22.61 °C]로 나타났다. 변수로 선정된 모든 착의상태에서 좌식생활이 입식생활보다 중립적 온도가 낮게 나타났다. 이것은 바닥표면과 인체사이의 국부적인 열전달이 전신온열감에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

(2) 좌식생활에서 열쾌적 실내온도 범위[중립점 온도]는 착의량 0.8 Clo 상태에서 21.90~24.37 °C [23.13 °C], 착의량 1.0 Clo 상태에서 21.43~23.96 °C [22.70 °C], 착의량 1.2 Clo 상태에서 20.06~22.44 °C [21.25 °C]로 나타났다. 입식생활에서 열쾌적 실내온도 범위[중립점 온도]는 착의량 0.8 Clo 상태에서 22.19~24.77 °C [23.48 °C], 착의량 1.0 Clo 상태에서 21.73~24.51 °C [23.12 °C], 착의량 1.2 Clo 상태에서 20.92~23.48 °C [22.20 °C]로 나타났다. 예상평균온열감의 열쾌적 실내온도 범위[중립점 온도]는 착의량 0.8 Clo 상태에서 23.00~26.16 °C [24.58 °C], 착의량 1.0 Clo 상태에서 21.70~25.37 °C [23.53 °C], 착의량 1.2 Clo 상태에서 20.62~24.60 °C [22.61 °C]로 나타났다. 응답온열감 설문조사를 실시한 좌식생활 및 입식생활과 예측된 예상평균온열감 모두 착의량이 높을수록 중립점 온도가 낮게 나타났다. 이것은 착의량을 증가시키면 인체에서 방출되는 열손실이 감소하여 낮은 실내온도에서 동일한 열쾌적을 느낄 수 있기 때문으로 판단된다.

(3) 착의량 0.8 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 3%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 착의량 1.0 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 4%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 착의량 1.2 Clo 상태에서는 좌식생활방식이 입식생활방식보다 11%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 따라서, 좌식생활방식이 입식생활방식보다 에너지 측면에서는 경제적인 것으로 분석되었다.

(4) 좌식생활방식에서는 착의량 1.2 Clo 상태가 착의량 1.0 Clo 상태보다 17%, 착의량 0.8 Clo 상태보다 21%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 입식생활방식에서는 착의량 1.2 Clo 상태가 착의량 1.0 Clo 상태보다 10%, 착의량 0.8 Clo 상태보다 15%의 에너지사용량 및 비용이 절감되는 것으로 나타났다. 따

라서, 동절기에 착의량을 증가시키는 생활습관의 변화만으로도 에너지 절감 효과가 큰 것으로 분석되었다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

Reference

1. 이용철, 정광섭, 바닥난방에서의 온열환경지표 설정 범위에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 2002. 3, 18권 3호, 137-143
2. 최윤정, 심현숙, 정연홍, 바닥난방 복사열에 의한 온열감 차이에 대한 실험연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2007. 10, 7권 5호, 65-71
3. 이철성, 윤종호, 착의량과 실내설정온도 관계에 따른 난방에너지 및 온실가스저감량 평가 연구, 태양에너지학회 논문집, 2010. 8, 30권 4호, 49-54
4. 김동규, 김세환, 바닥 복사 난방시 바닥온도와 거주자 자세변화에 따른 인체 반응에 관한 연구, 대한설비공학회, 2010. 12, 24권 12호, 8466-851
5. 남도현, 이용철, 백용규, 정광섭, 바닥난방공간의 적정 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 2001. 4, 21권 1호, 557-560
6. Fanger, P. O., 1982, Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Company
7. ISO, 1994, ISO 7730:1994 Moderate thermal environmental-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions for Thermal Comfort, International Organization for Standardization
8. TRANE, 2005, TRACE 700 Building Energy and Economic Analysis version 6
9. ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
10. ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2013 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers