

주거용 건물의 난방 방식별 열적성능 및 실내환경 특성 평가를 위한 실험적 연구

조 성 환^{*}, 이 충 국^{*}

전주대학교 기계자동차공학과, ^{*}인하대학교 대학원 건축공학과

An Experimental Study on Thermal and Environmental Characteristics of Various Heating Systems in the Residential House

Sung-Hwan Cho^{*}, Choong-Kook Lee^{*}

Mechanical and Automotive Engineering Dept., JeonJu University, Jeonju 305-343, Korea

^{}Department of Architecture Engineering, Inhwa University, Incheon 133-791, Korea*

ABSTRACT: This is about experimental comparison study between convective heating and radiation heating system to use the design criteria for residential house. Experiment was done in EC(environment chamber) under simultaneous outdoor condition for 4 kinds of heating system such as CRHP(Ceiling Radiant Heating Panel), BEHC(Bottom Electric Heating Coil Mat), EFCU(Electric Fan Coil Unit) and CEHU(Convective Electric Heating Unit). Result show that CRHP ,which is radiation heating system, can consume more 23% energy than convective heating system when it is operated by dry bulb temperature but can save 1~10% when operated by glove temperature and 27% when operated by MRT.

Key words: Radiant heating(복사난방), Performance evaluation(성능 평가), Electric heater(전기 난방), Thermal Characteristic(열 특성), Energy consumption comparison(에너지소비량 비교)

1. 서 론

현대 산업사회에서 인간은 하루 중 약 80% 이상을 주택, 사무실, 학교 등과 같은 인공 환경속에서 생활하는 것으로 조사되어 쾌적한 실내 열 환경이 인간의 건강 및 작업능률 향상에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러므로 건물을 조성하는 설비요소들이 실내 열환경

측면에서 볼 때 적합하게 적용되어 조절되고 있는지를 검토할 필요가 있으며, 보다 쾌적한 실내 열 환경을 조성할 수 있는 냉난방시스템의 필요성은 더욱 커지고 있다.

특히 난방방식 중 복사난방방식은 벽면, 천장면, 바닥면 등의 표면온도를 높여서 복사열에 의한 난방효과를 얻는 것으로서, 대류식 난방에 비해 실내의 온도분포가 균등하고 비교적 낮은 실온에서도 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있으며, 인체의 쾌감도가 높은 난방방식으로 알려져 있다. ⁽¹⁾⁻⁽²⁾

현재 국내 주택의 대부분은 바닥에 설치된 온수관을 통한 복사난방방식을 이용하고 있다. ⁽³⁾

^{*} Corresponding Author
Tel.: +82-63-220-2663; Fax: +82-63-220-2095
E-mail address: shcho@jj.ac.kr

지금까지 이러한 바닥 복사난방과 관련하여 열적특성 분석 및 향상, 분배 및 제어방법의 개선, 시스템의 효율 등 많은 연구가 이루어져 왔다. 70년대에는 주로 온돌난방의 열효율 및 특성과 관련된 많은 연구가 이루어져 왔고 80-90년대에는 주택에 실제적인 적용을 통한 쾌적성 향상에 많은 연구가 이루어져 왔다. 2000년에 들어서면서 시스템 효율 향상을 위한 분배방식 및 제어와 관련된 연구들이 많이 이루어져 왔다.⁽⁴⁾⁻⁽⁵⁾ 그러나 이들 대부분은 바닥 난방 자체에 대한 연구이고 타 시스템과의 비교를 통한 성능분석연구는 거의 없는 실정이다.⁽⁶⁾⁻⁽⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 대류난방과 복사난방에 대한 열 환경적인 특성을 분석한 후 새로운 시스템 개발에 활용코자 천정복사난방, 바닥 난방방식, 팬 코일 유닛 및 전기난방방식 등에 대한 열 환경적 영향을 동일한 외기조건하에서 비교 평가실험을 수행하였다.

2. 난방방식별 열적특성

일반적으로 대류난방의 특징은 더워진 공기가 가벼워져 위로 올라가고, 찬 공기는 밑으로 이동하게 되어 건물의 천장 쪽은 온도가 높고, 바닥 쪽은 온도가 낮은 특성을 가지고 있다. 따라서 대류난방의 장점으로는 예열시간이 짧음으로 운전시간이 비교적 짧기 때문에 간헐적 사용이 이루어지는 건물에 유리한 것으로 알려져 있다. 그러나 단점으로는 송풍기의 소비전력이 커서 전기 동력비용이 많이 들며 설계에 유의하지 않으면 송풍에 의한 소음이 발생할 수 있다.

복사난방은 벽체 및 천장면의 표면온도를 높은 복사열에 의하여 난방을 하기 때문에 쾌적 환경 조성에 유리한 것으로 알려져 있다. 이때 열원의 온도에 따라서 150~650℃일 때 낮은 복사강도(low intensity), 650~980℃에 대하여는 중간 복사강도(medium intensity), 980~2760℃ 높은 복사강도(high intensity)로 구분하는데, 일반적으로 표면의 온도가 150℃ 이하이면 패널 난방(Panel heating), 표면 또는 열원의 온도가 150℃ 이상인 경우에는 적외선 난방(Infrared

heating)으로 분류한다.

3. 실험장치

3.1 인공기후실험동과 시험 주택

본 연구에서는 난방방식의 적용에 따른 열 및 환경특성을 분석코자 외기온도의 조절이 가능한 인공기후 실험동을 이용하였다. 인공기후 실험동은 실내 환경, 에너지소비량, 설비용량 등 건물 전체의 열성능 해석, 설비시스템의 종합적인 성능을 분석하고 평가하기 위해 외기조건을 인공적으로 재현시켜서 연구를 수행할 수 있는 실험장치이다.(Table 2) 인공기후 실험동 내부에 설치된 시험주택은 4개의 실험실로 구성되어 있으며 시험체 건물의 구조는 철근 콘크리트 라멘조로 구성되어 있고, 시험체 건물내에 있는 실험실의 명칭과 제원은 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

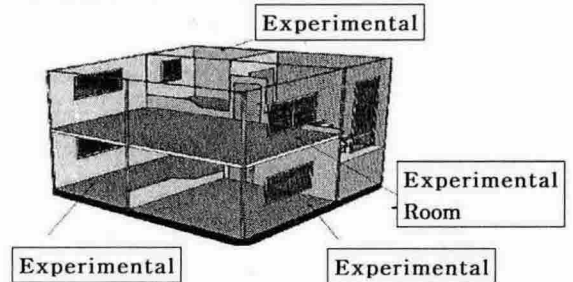



Fig. 1 Various experimental rooms in the EC(Environmental Chamber)

Table 1 Specification of rooms

Each experimental Room's size			
Area	total	70.38m ²	
	1floo	Experimental room for Ondol	3.0m × 5.1m = 15.3m ²
		Experimental room for equipment	3.9m × 3.0m = 11.7m ²
	2floo	Experimental room for environment	3.0m × 2.1m = 6.3m ²
		Experimental room for HVAC	6.9m × 3.0m = 20.7m ²

Table 2 Specification of the environment chamber

	Size	Chamber	136.08m ²	3 over ground (1~3 floor OPEN 13.6m)
		Attached facility	249.48m ²	3 over ground 1 floor : 4.5 m 2 floor : 3.6 m 3 floor : 3.6 m
Capacity		1,428.8 m ³		
Structure		Steel-frame, ferro-concrete		
Purpose		Research & experiment		
Air Conditioning		Central air conditioning		
Control method		Computer based automatic control		

3.1 난방방식의 모델

대류난방과 복사난방의 비교를 위하여 일반적인 온풍대류난방 시스템은 복사난방방식에 의한 전기히터와 팬을 통한 대류난방방식을 비교하였다. 각각 실험 모델의 사양은 다음과 같다.

이때 난방용량은 실험용 주택의 부하를 근거로 하여 4Kw용량을 기준으로 선정하였다.

● 천정 복사 난방패널

(CRHP: Ceiling Radiant Heating Panel)

전기가 On되면 4분 이내에 기판의 온도가 85-105℃까지 상승되는 원적외선 발생 코팅이 처리된 판넬은 통전면이 균일한 저항치를 가지는 탄소 기판에 붙여처리를 하고 이것을 단열재인 GLASS FIBER판에 고착시킨 구조로써 앞면으로는 복사열이 확산되기 용이하며 뒷면은 단열되어 있다. 1kw 용량의 패널 4장을 천정면에 부착하여 설치하였다.

● 바닥 전기 난방패널

(BEHC: Bottom Electric Heating Coil Mat)

바닥 난방방식으로서 전기난방코일패널을 선정하여 바닥에 설치하였다. 이때 바닥면 단열효과를 높이기 위하여 아이소핑크로 단열처리한 후 4Kw용량의 전기패널을 설치하였다.

● 전기 팬코일 유니트

(EFCU: Electric Fan Coil Unit)

전기온풍방식으로서 자체 제작된 2Kw용량의 히터 두 개를 제작하여 실험실 양편에 설치하여 운영하였다.

● 대류 전기 난방 유니트

(CEHU: Convective Electric Heating Unit)

공조기기를 모사하기 위하여 발열히터로부터 덕트를 연결하여 실내부로 난방열량이 공급될 수 있도록 구성하였다. 이때 발열체의 용량은 타 시스템과 같이 4Kw용량으로 하였다.

3.2 측정 및 평가 항목

난방시스템별 난방특성을 평가하기 위하여 4가지 항목, 즉 초기 응답 특성, 실내의 건구 및 복사 온도 분포, 전력소비량을 측정하였다.

이때 온도센서가 설치된 실험실의 평면도 및 단면도는 Fig 3, 4 과 같으며 측정 항목 및 장비는 Table 3과 같다.

그림에서 보면 실험실내는 3*5.1m의 장방형의 형태이며 1.5*1m크기의 창문이 2개가 설치되어 있다. 이때 각 단면을 기준으로 내부공간에 9개, 창문과 벽체에 5개의 센서가 설치되어 실내의 총 57곳에 건구용 온도센서가 설치되었으며 실내부 중심에 총 7개의 복사온도계가 설치되었다. 그리고 전력량계를 설치하여 공급되는 전력량을 실시간으로 측정하였다.

이때 실내 온열환경을 평가하는 지표로서 본 연구에서는 MRT를 사용하였으며 정의는 아래와 같다.

$$MRT = \frac{\sum (t_s A + t_p A_p)}{\sum (A + A_p)} = \frac{\sum (A_i \cdot T_i)}{\sum A_i}$$

여기서, A_i : 공간을 둘러싸고 있는 각 표면의 면적

T_i : 각표면의 온도

t_s : 실내 비가열면의 표면온도

t_p : 실내 가열면의 표면온도

A : 실내 비가열면의 표면적 (m²)

A_p : 실내가열면의 표면적

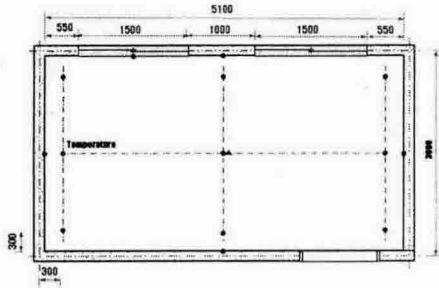


Fig 3 Plane of experimental room

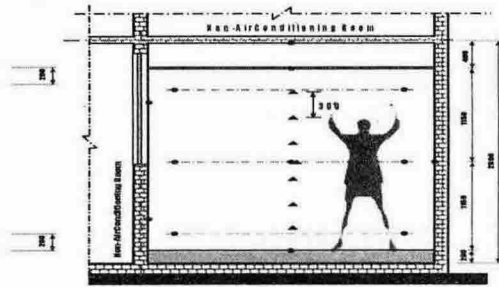


Fig 4 Cross section of experimental room

Table 3 Measurement items and apparatus

measurement items	measurement apparatus	measurement points
dry bulb temperature	thermocouple T-Type	57
electricity power	power meter	1
glove temperature	glove thermometer	7
relative humidity	relative humidity	1

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험조건

일반적으로 외기온은 상시 변하기 때문에 4가지 조건을 동시에 실험하지 않으면 동일한 조건으로 분석하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 인공 기후실험동의 외기조건을 5℃로 일정하게 유지하게 함으로써 시스템별 분석의 오류를 최대한으로 방지하였다.

이때 시스템별 온도패턴 및 에너지소비량을 분석하기 위하여 28시간동안 실험을 수행하였으며 온도 및 에너지사용량의 정확한 분석을 위하여 측정간격을 10초로 설정하여 측정값을 모두 이용하였다.

4.2 초기 응답 특성

Fig 5 및 Fig 6은 난방 시스템별로 실내의 설정온도 (26℃)로 도달하기까지의 실내 중앙의 건구 및 복사온도 분포를 시간별로 나타낸 것이다.

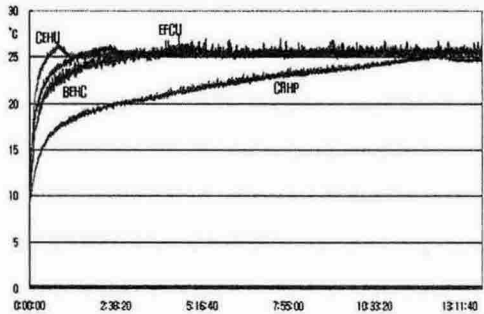


Fig 5 initial dry bulb room temperature

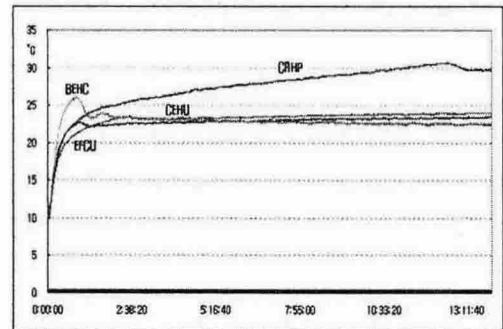


Fig 6 initial glove room temperature

그림에서 보면 건구온도에 대한 설정온도 도달 시간은 CEHU, EFCU, BEHC, CRHP 순으로 나타나지만 복사온도에 대한 도달시간은 BEHC, CRHP, CEHU, EFCU 순으로 나타났다. 즉 건구온도가 설정온도에 도달하는 시간은 대류 난방방식이 유리하며 대류 난방식에서는 급기구의 위치가 절대적으로 영향을 미침을 알 수 있다. 복사온도는 복사난방식이 평형상태에 빨리 도달하지만 천정복사방식의 경우에는 복사의 영향이 크기 때문에 시간이 흐르면서 복사온도가 계속적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

4.3 시간별 온도변화 분석

4.3.1 수직온도 분포

아래 그림은 실내 중앙에서 바닥으로부터 0.2m 떨어진 위치에서부터 2.6m 높이 까지의 건구 및 복사온도 분포를 나타낸 것이다.

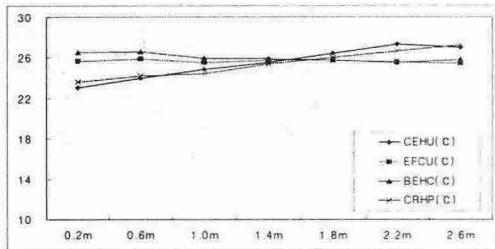


Fig 7 vertical dry bulb temperature

그림에서 보면 수직건구온도는 EFCU, BEHC, CRHP는 3°C 이내에서 균일한 온도분포를 나타내는 반면에 대류난방방식인 CEHU만 8°C 정도의 큰 차이를 나타내고 있다.

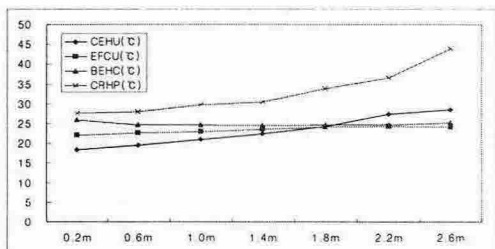


Fig 8 vertical glove temperature

이때 복사온도분포는 건구온도보다 큰 온도차이

를 나타내면서 높이에 따라서 복사난방방식인 CRHP가 EFCU, BEHC, CEHU 보다 5°C 이상의 온도가 높게 유지되는 것으로 나타났다. 즉 위와 같은 결과로 볼 때 건구온도의 수직온도 분포는 실내로 유입되는 풍량의 크기가 온도분포에 미치는 영향이 크게 되며 복사온도분포는 원적외선 코팅처리가 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.3.2 수평온도 분포

아래 그림은 바닥에서 120cm높이에서의 온도 분포를 나타내고 있다. 그림에서 보면 CEHU, EFCU 및 BEHC는 급기구 및 히터가 실내의 양쪽에 위치하기 때문에 이를 중심으로 27-28°C의 높은 온도 분포를 나타내는 반면에 벽체 주변으로는 17-19°C 정도의 낮은 온도 분포를 나타내고 있다.

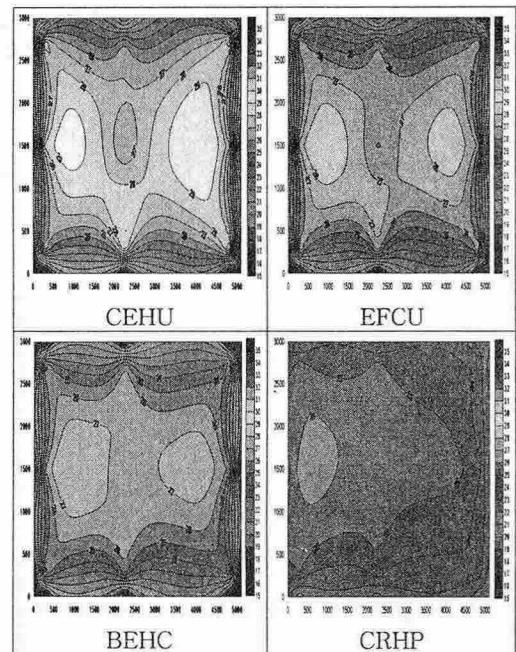


Fig 9 horizontal dry bulb temperature distribution(120cm from bottom)

그러나 CRHP는 25.5°C 정도의 온도장을 형성하며 편차가 5°C 미만으로 균일한 온도 분포를 형성하고 있어서 천정복사방식의 경우 복사영향이 적지 않음을 알 수 있다.

4.3.3 MRT온도 분포

아래 그림은 난방시간 동안 시스템별 실내 MRT분포를 나타낸 것이다.

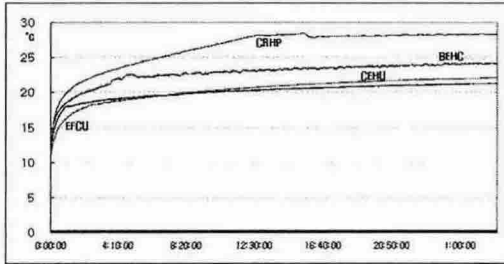


Fig 9 MRT of each heating system

그림에서 보면 천정복사난방식인 CRHP가 초기 상태부터 MRT를 높게 나타내어 정상상태에서는 28.3°C 정도를 나타내고 있다. 그리고 바닥 난방 방식인 BEHC가 정상상태에서 24.2°C를 나타내었으며 대류난방방식인 CEHU나 EFCU는 22.1°C 이하로 낮은 MRT온도를 나타내었다. 이것은 복사난방방식 중 원적외선 방식처리를 한 천정복사난방식은 표면온도와 가열면의 온도가 상대적으로 높게 나타나기 때문이라 사료된다.

4.4 에너지소비량 분석

4가지 시스템에 대한 에너지소모량을 비교분석하기 위하여 설정온도로서 건구온도, 복사온도 및 MRT를 기준으로 하여 운전한 후 에너지소모량을 정상상태에서의 시간당 에너지소모량과 전체 운영시간에 대한 에너지소모량으로 나누어서 비교하고자 하였다. 그러나 실제 운전시 복사온도 및 MRT를 제어인자로 하여서 운전하는 것은 쉽지 않으므로 본 연구에서는 다양한 건구온도를 제어인자로 설정하여 운전한 후 유사한 MRT온도가 되는 상태에서 부터 에너지소모량을 비교분석함으로써 복사온도 및 MRT를 제어인자로 한 것과 같은 상태가 되도록 하였다.

4.4.1 정상상태에서의 에너지소모량

Fig 10은 실내온도를 26°C 건구온도(DT)로 설정하고 운전하였을 경우에 대한 정상상태에서의 실험결과이다, Fig 10은 24.5°C의 복사온도(RT)로 설정하고 운전하였을 경우, 즉 복사 난방방식인 CRHP는 24°C 건구온도로 설정한 경우이고 타

시스템은 26°C로 설정한 경우, Fig 11은 24°C의 MRT로 설정하고 운전하였을 경우, 즉 복사난방방식인 CRHP는 22°C 건구온도로 설정하고 타 시스템은 26°C로 설정한 경우에 대하여 정상상태에서의 각 시스템에 대한 전력소비량을 나타낸 것이다.

Fig 10에서 보면 CRHP를 제외한 타 시스템은 0.5°C 이내에서 온도 편차를 나타내며 운전되는 경향을 나타내었다. 이때 에너지소비량은 CRHP가 타 시스템에 비하여 25%정도 많은 에너지소모량은 나타내고 있다. 이것은 복사난방방식의 특성상 동일한 실내 건구온도를 유지하기 위해서는 벽면 등 비 가열면의 가열정도가 클 수 있음을 나타내고 있다.

Fig 11은 복사온도(GT)를 운전인자로 설정하고 운전하였을 경우에 대한 결과를 분석하기 위한 경우이다.

결과적으로 복사온도를 기준으로 운전할 경우 복사의 영향이 크게 나타나는 CRHP는 복사의 영향이 적은 타 시스템에 비하여 14%정도의 에너지 소모량이 적은 것으로 나타났다.

Fig 12는 MRT를 운전인자로 설정하고 운전하였을 경우에 대한 결과를 분석하기 위한 경우이다. 이때 CRHP를 제외한 난방시스템은 26°C로 설정하고 CRHP는 20°C로 설정하여 실내의 온도가 정상상태가 되었을 경우에 대한 결과를 비교한 것이다. 그림에서 보면 CRHP를 제외한 난방시스템들은 MRT가 20°C미만으로 나타나지만 바닥패널인 경우는 24°C로 유지되는 것으로 나타났다. 이때 MRT를 기준으로 운전하면 CRHP는 타 시스템과 비교하여 2°C이상 설정온도가 차이가 있더라도 20%이상 에너지소모량이 적을 수 있음을 나타내었다.

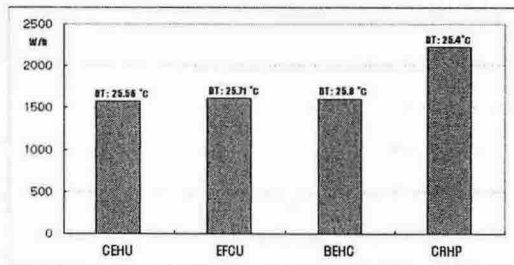


Fig 10 energy consumption on operation based on dry bulb temperature

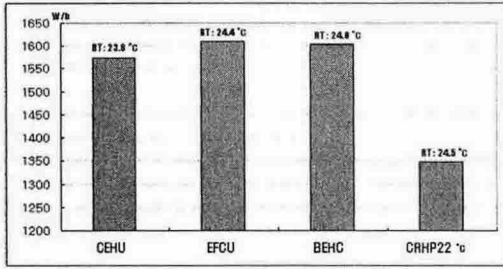


Fig 11 energy consumption on operation based on glove temperature

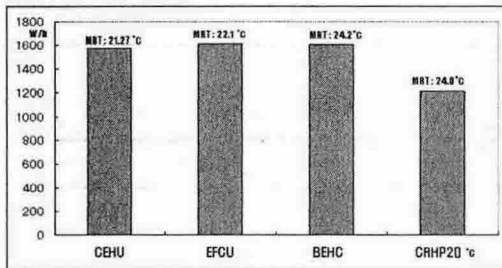


Fig 12 energy consumption on operation based on MRT

4.4.2 총 에너지소모량

아래 그림은 각 난방 시스템 실험 기간(약 28 시간)동안의 총 에너지 소비량을 나타내는 그래프이다.

난방 설정온도 26°C의 CRHP 시스템이 가장 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났으며 그 다음으로 BEHC 등의 순으로 나타났다. 즉 복사온도를 무시하고 건구온도기준으로 난방시스템을 운영하면 천정복사난방방식(CRHP)이 대류난방방식인 CEHU 대비 약 23% 정도의 에너지를 더 소모하였으며, 복사온도를 기준으로 운전(대류난방: 26°C, 복사난방: 22°C 건구온도로 설정)하면 대류난방방식과 대비하여 1~10% 정도 적은 에너지소모를 나타내었다. 그리고 MRT를 기준(대류난방 26°C, 복사난방 20°C로 건구온도 설정)으로 하면 복사난방방식이 3°C 정도 높게 유지하면서도 약 27% 정도 적게 소모량을 나타내었다.

즉 이것으로 볼 때 복사영향이 큰 난방방식은 기존의 건구온도를 기준으로 운영하는 것은 문

제가 있으며 실제 운영 시 실내환경 영향을 고려한 적절한 설정온도를 이용하지 못하면 에너지소모량이 증가할 수 있으나, 반면 복사난방식에 적합한 실내 환경인자인 복사온도나 MRT 등을 고려한 적절한 운전을 하면 에너지소모량을 타 시스템 대비 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

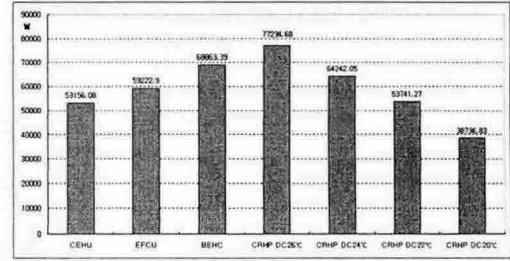


Fig 13 total energy consumption during 28 hours operation

5. 결론

대류난방과 복사난방의 성능 및 에너지소모량을 비교분석하여 향후 주거용 건물을 위한 설계기준으로 활용하고자 복사난방방식으로써 천정 복사난방패널방식(CRHP: Ceiling Radiant Heating Panel)과 바닥전기난방패널방식(BEHC: Bottom Electric Heating Coil Mat), 대류난방방식으로서 전기 팬코일 유닛(EFCU: Electric Fan Coil Unit) 과 대류 전기난방 유닛 방식(CEHU: Convective Electric Heating Unit)에 대한 열성능을 환경챔버를 이용하여 운전한 후 성능을 비교분석 한 결과는 아래와 같다.

첫째, 건구온도에 대한 설정온도 도달시간은 CEHU, EFCU, BEHC, CRHP 순으로 나타나지만 복사온도에 대한 도달시간은 BEHC, CRHP, CEHU, EFCU 순으로 나타났다. 즉 건구온도가 설정온도에 도달하는 시간은 대류난방방식이 유리하며 복사온도는 복사난방방식이 평형상태에 빨리 도달하였다.

둘째, 온도분포 측면에서는 건구 수직온도분포가 대류난방방식에서 8°C 정도의 큰 온도차이를

나타내며 복사온도 분포에서는 복사난방방식이 타 방식에 비해 5°C 정도의 높은 온도 분포를 나타내었다. MRT 온도분포는 천정복사방식이 바닥 난방방식보다는 4°C, 대류난방방식보다는 6°C 정도 높게 나타났다.

셋째, 복사의 영향이 적은 CEHU, EFCU 및 BEHC 방식은 비교적 유사한 에너지 사용량의 분포를 나타내고 있었으며 복사의 영향을 무시하고 CRHP 시스템을 동일한 난방설정온도로 운전하면 23% 정도의 많은 에너지 소비량 분포를 보이고 있다. 반면, 동일한 복사온도를 기준으로 운전하면 천정복사방식인 CRHP 방식이 대류난방방식에 비하여 약 1~10% 정도, MRT를 기준으로 하여 운전하면 CRHP이 타 시스템 대비 27% 정도의 적은 에너지를 소비하는 것으로 분석되었다.

즉 위와 같은 결과로 볼 때 복사영향이 큰 난방방식은 기존의 건구온도를 기준으로 운영하는 것은 문제가 있으며 실제 운영 시 복사영향을 고려한 적절한 설정온도를 이용하지 못하면 에너지소모량이 증가할 수 있으나, 반면 복사온도나 MRT 등 복사난방방식에 적합한 환경 인자의 영향을 고려한 적절한 운전을 하면 에너지소모량을 타 시스템 대비 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. An evaluation of thermal comfort and energy consumption for the energy radiant panel heating system, NAHB research center, 1994, pp. 1-41.
2. Richard D. Watson, Kirby S. Chapman and Jeanne M. DeGreef, 1998, Case Study: seven-system analysis of thermal comfort and energy use for a fast-acting radiant heating system, ASHRAE Transaction V.104
3. 박상동 외, 1992, 신주택기술개발(II). 과학기술부 보고서
4. 조성환 외, 1996, 신주택기술개발(II-3), 과학기술부 보고서
5. 이재원, 신찬배 외, 1995, 온돌 실내공간의 온도제어, 공기조화냉동공학회 논문집, Vo.7,

No.3, pp538-545

6. Chen. Qingyan, 1990, comfort and energy consumption analysis in building with radiant panels Energy and Buildings, V.14, pp 287-297
7. Peter A. Yost, C. Edward Barbour and Richard Watson, 1995, An evaluation of thermal comfort and energy consumption for a surface mounted ceiling radiant panel heating system, ASHRAE Transaction V 101