PMV지표를 이용한 공동주택의 난방제어에 따른 온열환경 및 에너지소비량 시뮬레이션

An Approach of Indoor thermal Environment Control and Energy Saving Using the PMV Index

성남철[1] · 윤동원[2]

Nam-Chul Seong[1] and Dong-Won Yoon[2]

(Received August 31, 2010 / Revised October 5, 2010 / Accepted October 13, 2010)

요 약

최근 에너지 절약을 화두로 건물에서의 에너지 절약기술들이 크게 요구되어 지는 반면 재실자의 온열쾌적환경은 비교적 비중 있게 다루어지지 않고 있다. 실내공간의 쾌적성은 재실자의 만족감과 더불어 생산성을 향상시키는 등의 역할을 하며, 최근 삶의 질 향상 등에 따라 그 필요성이 크게 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 겨울철 난방 시 쾌적지표를 통한 실내 온열환경 제어의 타당성을 검토하고자 시뮬레이션을 수행하였으며, 주거건물에서의 일상적인 실내온도와 에너지 절약 설계기준에서 제시한 실내 설정온도, 그리고 쾌적지표를 설정으로 한 각 제어조건의 온열환경과 에너지 소비량을 비교 분석 및 검토하였다. 본 연구결과에 따르면, 쾌적지표인 PMV로 실내환경을 제어했을 때 에너지 절약설계기준인 22℃로 실내온도를 설정하였을 때보다 에너지 소비량은 29% 증가하지만 주거용 건물에서 일반적으로 유지되는 실내온도인 24℃ 보다는 에너지소비량은 11% 정도 감소하며, 온열쾌적감도 각 제어조건 중 가장 우수하게 나타났다. 따라서 여러 가지 제어변수들을 통한 연구가 지속된다면 주거용 건물에서도 쾌적지표를 활용한 실내 공간의 제어방법은 건물의 에너지를 절약하고 실내 환경의 쾌적성을 증대시키는 주요기술이 될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 실내온열환경, 온열쾌적지표, PMV, 에너지시뮬레이션

ABSTRACT

Thermal comfort provide satisfaction of thermal environment and affects productivity of occupants in residential building. However, temperature control can not provide the thermal comfort at all the time. because thermal comfort is influenced by many environmental variables such as temperature, relative humidity, air velocity, radiation temperature, activity level and clothing insulation. The purpose of this study is that predicted mean vote(PMV) index is used as control. And, Thermal comfort is evaluated both PMV control and temperature control by simulation. Each other cases were compared, in which set-point temperatures of 22℃ and 24℃ and, set-point PMV index through the respective heating season in the simulation. The results show that PMV control is better to maintain comfort state and save energy than temperature control.

Key words Thermal indoor environment Thermal comfort Index, PMV(Predict Mean Vote), EnergyPlus Simulation.

1. 건축물의 에너지절약과 실내 환경

최근 유가상승과 정부의 저탄소 녹색성장 정책 등으로 에너지 절약에 대한 관심이 폭발적으로 높아지면서 신재생 에너지, 자원절약, 쾌적한 실내 환경 조성 등 친환경 건축기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 대부분 적용되는 기술들은 에너지 절감에 그 초점이 맞추어져 있다.

우리나라의 전체에너지 소비량 중 약 24% 정도가 건물부분에서 소비되고 있으며, 이에 따라 정부는 2030년까지 매년 평균 2.6%씩 에너지효율을 절감하여 43%까지 개선하겠다고 밝힘으로써 건물의 에너지 절약과 실내 환경의 질에 있어 열성능 향상을 위한 노력이 절실히 필요하다. 그런 가운데 건물

1) 경원대학교 건축설비공학과 박사과정(inamchul@gmail.com)
2) 경원대학교 건축설비공학과 교수(교신저자: dwyoon@kyungwon.ac.kr)

에서 소비되는 에너지의 77%가 실내 환경조절을 위한 냉난방에너지로 소비됨을 감안 할 때에 이런 냉난방에너지의 절약은 매우 중요하다고 할 수 있다.[1)]

또한 건축물의 유형와 용도들이 매우 다변화하면서 요구되어지는 실내 환경의 수준의 향상과 더불어 거주자의 생활환경에 대한 요구조건도 매우 다양화 되고 있어, 건물 공간 특히 최근에는 주거 공간 내 의 쾌적성을 강조하는 경향이 점차 뚜렷해지고 있다.

이러한 건축물의 에너지 절약과 실내 환경의 개선이라는 두 가지 관점에서 살펴 볼 때 건출물에서의 에너지소비를 최소화하면서 쾌적한 실내 환경을 조성하려는 노력이 매우 필요한 시기라 할 수 있다.

에너지 절약설계기준에 따르면 겨울철 난방시의 설정온도는 20~22℃이나 일부 선행 연구결과들[2)3)]에 따르면 공동주택의 겨울철 실내 평균 온도는 24℃또는 그 이상으로 나타나고 있다. 또한 온도조절 행위도 자주 일어나고 있지 않아 실제 공동주택에서 재실자의 설정실온에 따른 온열환경과 그에 대한 에너지 소비량분석은 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 설정실온에 따른 공동주택에서의 온열환경 시뮬레이션을 통해 그 결과를 도출하고, 제어방안 등을 설정하여 공동주택에서 쾌적한 온열환경을 유지 하면서 에너지 절약을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 저에너지 실내 환경 진단 제어기술

미국이나 유럽 등과 같은 선진국에서는 유비쿼터스(Ubiquitous), USN(Ubiquitous Sensor Network)과 같은 기술을 건축물에 적용시킴으로서, 실내 환경을 제어하는 여러 설비기기들에 효과적으로 접목시키면서 직접 실내 환경을 모니터링(monitoring)하고 이에 수반되어지는 정보의 수집 등을 활용하여 실내 환경정보의 데이터베이스(DB)화, 정보제공, 홈 게이트웨이와 같은 통신망을 이용한 중앙관리, 환기시스템 및 여러 설비와의 연동 등 다양한 연구는 물론, 사용자 친화적인(User friendly) 제품 및 기술들이 상용화 되고 있다.

“실내 환경의 진단 제어”라는 측면에서는 실내 환경과 건축설비시스템, IT분야인 유비쿼터스 환경과 센서기술을 포함, NT, ET 분야의 다학제간 기술요소를 포함하고 있으며, 연구개발을 통하여 상기의 콘텐츠들을 실현함으로써 주거공간을 보다 더 Comfort(쾌적)하고 Convenience(편리)하며 Cleanness(청정)하고 Safety(안전)한 상태로 만들려는 목표를 달성하는 기술을 구현하고자 한다.

경원대학교 친환경 시스템 연구센터에서는 이미 2007년부터 실내 환경의 진단시스템과 통합관리 시스템 개발 및 구축 등을 목표로 연구를 진행해오고 있으며 다음과 같은 기술에 관한 연구를 수행하여 이에 대한 시스템을 구현하였다.

첫 번째는 일반적인 실내 환경의 정보 뿐 아니라 흑구온도와 같은 다양한 실내 환경 요소들을 수집할 수 있는 실내 환경 모니터링 장치를 개발하여 실시간으로 실내 환경을 감시하여 진단하는 시스템을 구축하였다. 다른 하나는 환경모니터링 기술을 기반으로 실내 환경과 관련된 환기설비 및 냉난방설비 등의 설비시스템을 최적 제어하는 통합관리 시스템의 구성이다. 기존의 제어 방식과 차별화 된 실내 환경 통합관리 시스템은 기존의 냉난방 시스템에서 문제 시 되었던 과열/과냉 방지의 실현으로 에너지의 낭비를 억제하고 실내 환경에 대한 거주자의 쾌적도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 기술의 정립은 실내 환경을 감시하고 진단하여 제어함으로써 쾌적하고 건강한 실내 환경을 구현하여 삶의 질 향상뿐 아니라 건축물의 에너지 절감기술의 핵심 분야가 될 것으로 기대된다.

3. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 공동주택에서 난방 시 쾌적한 실내 온열환경을 조성하기 위한 방안으로 설정실온제어와 대표적인 쾌적지표인 PMV(Predict Mean Vote)를 이용한 제어에 대해 각각 실내 온열환경의 특성을 비교하고 그에 대한 에너지 소비량에 대하여 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 각 설정온도별 온열환경 특성을 파악하고, 그 상황에 맞추어 열원설비 운전에 따른 에너지소비량을 도출하였다. 주거건물의 설정실온별 온열환경 및 에너지 소비량을 비교 분석하기 위해 EnergyPlus 프로그램을 이용하여 검토하였으며, 연구의 주요 절차는 다음과 같다.

(1) 겨울철 공동주택의 설정실온 및 현황과 관련하여 관련기준과 선행연구 문헌을 고찰한다.
(2) 공동주택의 표준세대에 대하여 각각의 설정실온 케이스를 선정한다.
(3) 설정실온으로 난방을 하였을 경우와 쾌적지표(PMV)로 난방 제어시의 실내의 온열환경과 에너지소비량을 분석한다.

표 1은 본 연구에 적용된 시뮬레이션 해석 Case를 나타낸

표 1. 시뮬레이션 해석 케이스(Case) 설정

Case	Heating Set Point
Case1	22℃
Case2	23℃
Case3	24℃
Case4	PMV=0

1) 패시브 요소기술을 적용한 에너지 절약형 아파트의 냉난방에너지 평가·대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 2010. 06(김영민 외)
2) 아파트의 겨울철 실내온열환경 실태와 생활요인 분석·한국주거학회 학술발표대회 논문집·2008. 04 최윤정 외
3) 공동주택 거시온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 대한 연구·대한건축학회 논문집 2005. 08·전정윤 외

다. 해석 Case는 앞서 언급한 바와 같이 겨울철 에너지 절약 설계기준인 22℃와 선행연구에서 보여진 주거용 건물의 겨울철 평균온도인 24℃사이로 설정하였고 쾌적지표를 통한 제어는 PMV 제어를 각 Case로 설정하였다.

3.1 해석 대상세대의 개요

본 연구에서 사용된 해석대상세대는 공동주택의 표준모델인 전용면적 84 m^2(33평형)세대를 대상으로 하였으며 4인 가족이 재실 하는 것으로 그림 1과 같이 가정하였다. 주말과 평일의 스케줄 구분은 없는 것으로 가정하였다. 대상세대의 평면도는 그림 2와 같으며, 해석 대상세대의 구체적인 정보는 아래의 표 2에 나타내었다.

구조체 중에서 측벽과 외벽은 건축물에너지절약 설계기준에 맞추어 에너지 설계기준 해설서의 지역별 건축물 부위의 열관류율표를 참고하여 중부지방의 최소 열관류인 외기에 직접 면하는 외벽은 0.47 [W/[m^2]·K] 이하, 외기에 간접 면하는 경우는 0.64 [W/[m^2]·K] 이하에 맞도록 설계조건을 반영하여

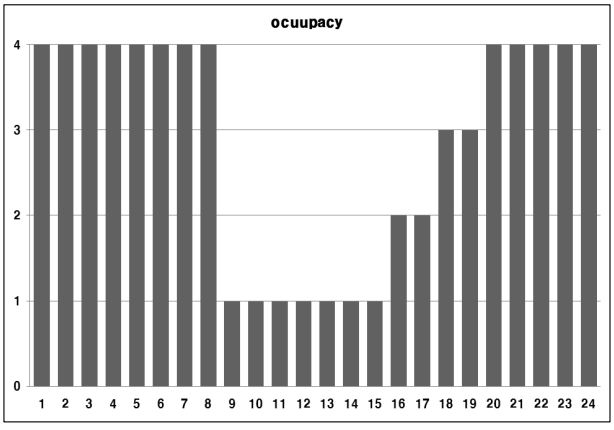


그림 1. 재실자 Schedule

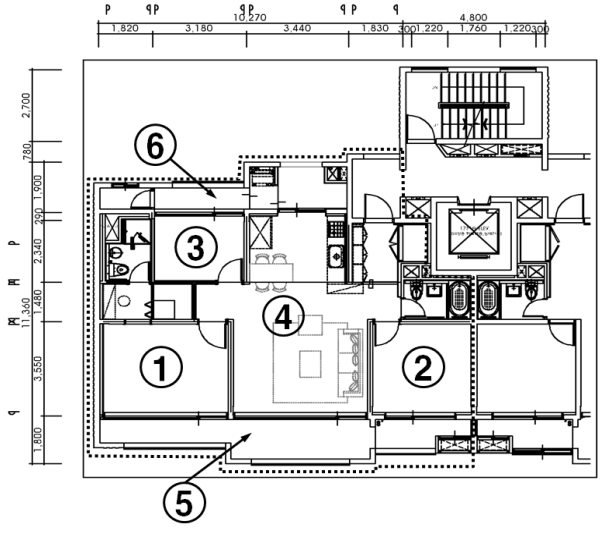
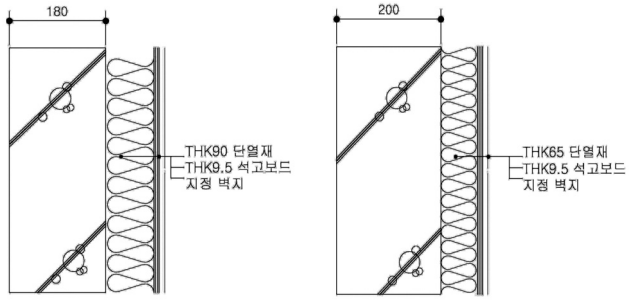


그림 2. 해석단위세대 평면도(84 m^2, 33평형)

표 2. Modeling Zone 별 입력정보

No.	Name	Zoning	Conditioned (Y/N)	Area [m^2]	Volume [m^3]	Infiltration [ach]
①	Bedroom	ZONE1	Yes	18.95	45.48	0.15
②	Room 1	ZONE2	Yes	13.97	33.52	0.15
③	Room 2	ZONE3	Yes	9.02	21.66	0.15
④	Living Room	ZONE4	Yes	37.29	89.50	0.15
⑤	Balcony 1	ZONE5	No	17.50	41.99	2.0
⑥	Balcony 2	ZONE6	No	11.03	26.47	2.0
⑦	Bath1	ZONE7	No	5.84	14.01	
⑧	Bath2	ZONE8	No	4.43	10.63	
-	-	Total	-	118.03	283.28	



측벽 U-value = 0.38 [W/[m^2]·K]

외벽 U-value = 0.412 [W/[m^2]·K]

그림 3. 대상세대의 측벽 및 외벽 마감상세도 및 열관류율

입력하였다. 열원은 LNG를 연료로 사용하는 가정용 가스보일러이고, 기계환기장치는 전열교환효율 75%의 폐열회수형 환기장치로 250 m^3/h(CMH) 규격이 설치된 세대이다.

대상세대의 열원기기 및 환기장치의 규격은 3개의 제조업체를 표본으로 기본세대에 적용되는 제품 규격을 참고하여, 평균 수준의 규격을 입력 값으로 사용하였다.

3.2 EnergyPlus 시뮬레이션

본 연구에서 해석대상세대의 온열환경 특성과 실제 사용되는 에너지 소비량을 구하기 위해 EnergyPlus를 사용하였다.

구조체 Modeling은 우선 각 구조체를 이루는 재질의 물성치를 입력하고, 도면에서 대상세대의 치수를 EnergyPlus에 입력하기 위하여 Addon 프로그램인 Openstudio를 이용하여 Modeling에 활용하였다. 그림 4은 건물 모델링이 완료된 모습이며, 구조체의 축열을 고려하여 해석을 위한 존(Zone)의 상하부의 같은 세대를 그림 5와 같이 모델링하여 구조체의 축열요소를 고려하였다.

기상자료는 TRNSYS16에서 제공하는 서울지역의 TMY2 (Typical Metronome Year) file을 Energyplus에서 제공하는 Wheather Converter 프로그램을 사용하여 Energyplus에 적용가능한 *epw file로 변환하여 사용하였다.

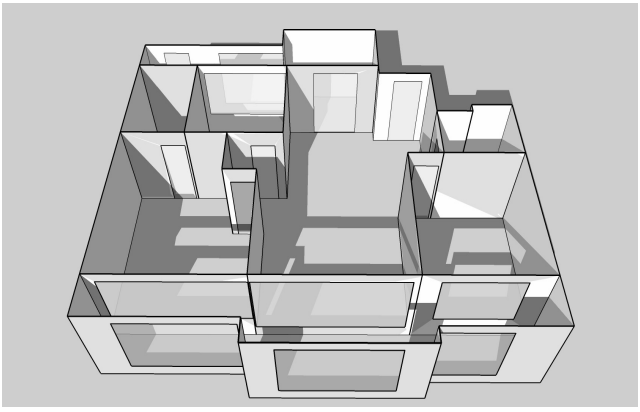


그림 4. Open Studio를 이용한 Rendering

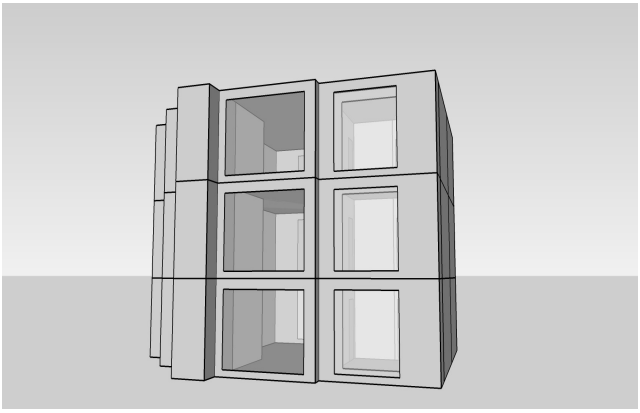


그림 5. 건물의 축열을 고려한 상하부 존(Zone)의 구성

3.3 PMV 계산을 위한 설정조건

PMV 계산을 위해서는 실내온도, 평균복사온도(MRT), 기류속도, 인체 대사량(Metabolic Rate), 착의량(Clothing Insulation) 등과 같은 여러 가지 제어변수들이 존재한다. EnergyPlus에서 PMV 제어설정 및 실온제어 해석 Case에서의 PMV를 계산하기 위한 기본조건으로 표 3과 같은 설정 값들을 입력 변수로 활용하였다.

그림 6은 시뮬에이션에 사용된 대사량 스케줄을 나타내고 있다. 대사량 스케줄은 취침시간인 23시부터 6시 까지는 0.7 met(40 W/m^2), 일반적인 낮시간에는 1 met(60 W/m^2), 저녁시간인 18시부터 22시까지에는 편안한 휴식을 나타내는 0.8 met(47 W/m^2)으로 기존의 연구문헌과 Standard[4]들을 참고하여 임의적으로 가정하였다.

그림 7은 시뮬에이션에 사용된 착의량 스케줄을 나타내고 있다. 착의량 스케줄은 ASHRAE Standrad 55 참고하여 동절기 보통 0.9 정도에 취침시간인 23시부터 6시까지는 침구류를 사용한다는 가정을 더하여 2clo 로 오전시간에는 1clo, 12시 이후 낮에 활동하는 점을 감안하여 0.8clo, 저녁시간에는

4) ASHRAE Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2004

표 3. PMV 계산을 위한 설정조건

입력 변수	입력값	참고
기류속도	0.12 m/s	-
인체의 대사량(met)	스케줄로 입력	[그림 6]
착의량(clo)	스케줄로 입력	[그림 7]
MRT 계산조건	Zone Average	EnergyPlus에서 자동 계산

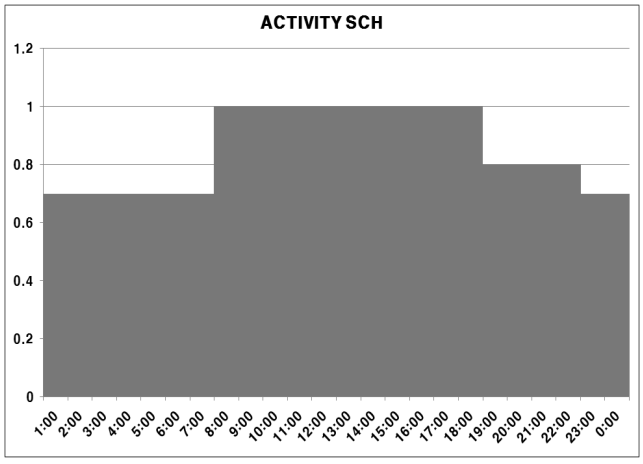


그림 6. 대사량(met)값 스케줄

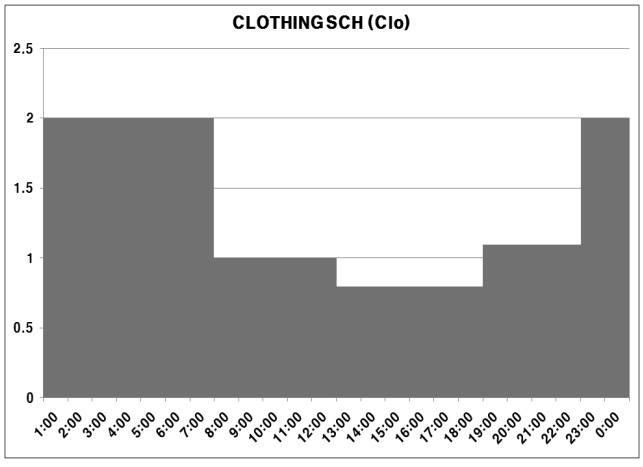


그림 7. 착의량(clo)값 스케줄

약 1.1clo로 계산된 값을 입력하였는데, 이는 기존의 연구문헌 등을 참고하여 임의적으로 가정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 해석케이스 별 설정실온변화

실온제어(Case1~3)와 PMV제어(Case4) 시뮬레이션 결과는 아래그림과 같다.

아래 그림 8부터 그림 11은 각 설정케이스별 난방공간인 Zone1~Zone4의 실내 평균 온도를 나타낸다. 실내 평균온도는 각실의 온도를 모두 더하여 나눈 값으로 실별로 창문 크

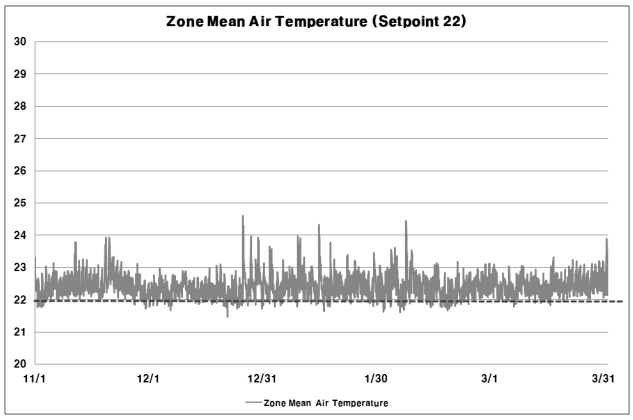


그림 8. 설정온도 22℃에서 평균온도변화

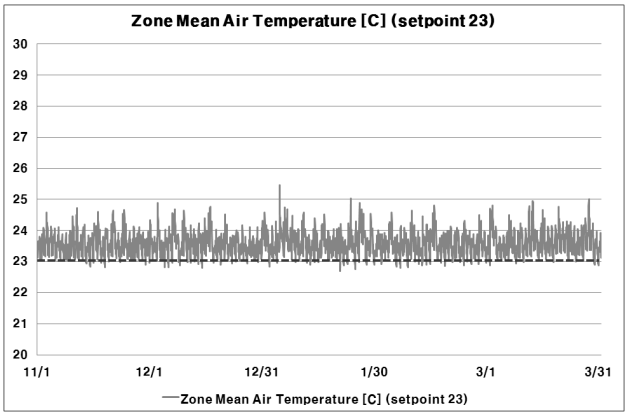


그림 9. 설정온도 23℃에서 평균온도변화

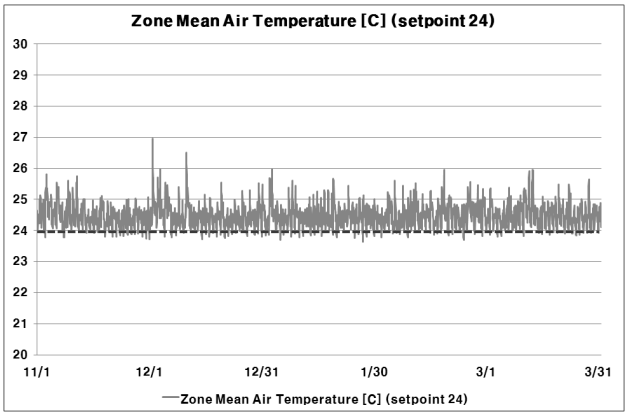


그림 10. 설정온도 24℃에서 평균온도변화

기 외주부에 접하는 면적등 약간의 차이가 발생함으로 온도 패턴을 간편하게 살펴보기 위해 평균값 그래프로 나타낸 것이다. 실온제어(설정온도제어)의 결과를 보면 각 설정온도를 기준으로 대략 +1℃ 범위 내에서 일정온도를 유지하며 제어되고 있다. 이는 설정실온은 실내발열, 외기조건, 일사량 등에 의해 재계산 되는 값이다. 따라서 간헐적으로 온도가 상승하는 것은 바닥 난방의 특성상 과열, 축열 등으로 인하여 온

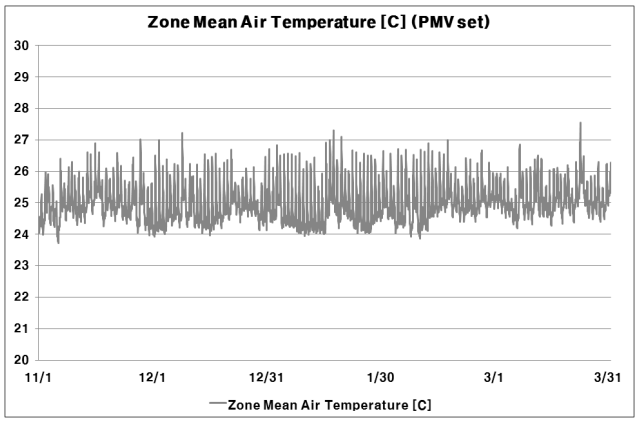


그림 11. PMV set 에서 평균온도변화

도가 적절하게 제어되지 못하여 발생되는 시뮬레이션 상의 오류로 판단된다.

설정온도제어와 다르게 PMV 제어 시에는 온도의 변화 폭이 실온설정제어보다 더 크게 나타나는데 이는 PMV값을 설정 값으로 제어할 경우 온도 이외의 다른 제어변수들이 PMV 값을 결정하는데 많은 비중을 차지하기 때문으로 판단된다.

4.2 해석케이스 별 PMV변화

그림 12부터 그림 15는 각 설정케이스별 난방공간인 Zone1~Zone4의 평균 PMV 값을 나타낸다.

설정온도가 22℃의 경우 대부분의 시간에서 -0.5 이하로 내려가는 불쾌적 구간이 발생하였다. 총 시뮬레이션 기간 동안의 평균 PMV 값은 -0.67로 나타났다. 이는 보통 사람이 춥다라고 느끼는 정도이다.

실의 설정온도가 23℃의 경우에도 PMV 값이 -0.5 정도의 구간에서 대부분 분포하여 불쾌적구간이 발생하는 것으로 나타났다. 이 때의 PMV 평균값은 -0.43으로 나타나지만 -0.5 이하로 나타나는 기간이 3,624 시간 중 1,528시간으로 난방기간의 약 42%의 기간 동안 한랭감을 느끼는 것으로 나타났다.

실의 설정온도가 24℃의 경우에는 실의 설정온도 상승으로 PMV 값이 -0.5 이상에서 대부분 분포하며, 이때의 평균 PMV 값은 -0.18정도로 양호한 것으로 보이나, 마찬가지로 전체 시뮬레이션 기간 동안 -0.5 이하로 분포되는 시간은 490 시간으로 나타났다.

그림 15에서 보는 바와같이, PMV 제어 시에는 -0.5 이하로 벗어나는 불쾌적 구간은 없었으며, PMV 평균값은 0.12였고 +0.5 이상으로 벗어나는 구간은 약 322시간정도이며, 설정실온으로 제어되는 경우보다 설정하였을 때보다 PMV의 편차가 심하지 않음을 알 수 있다.

PMV값의 선형그래프의 편차가 계속해서 발생하는 것은 실내온도의 변화와 대사량, 착의량, 외기온도 및, 일사 등에 의해 하루에 각 조건들이 일정하게 변화하기 때문이다.

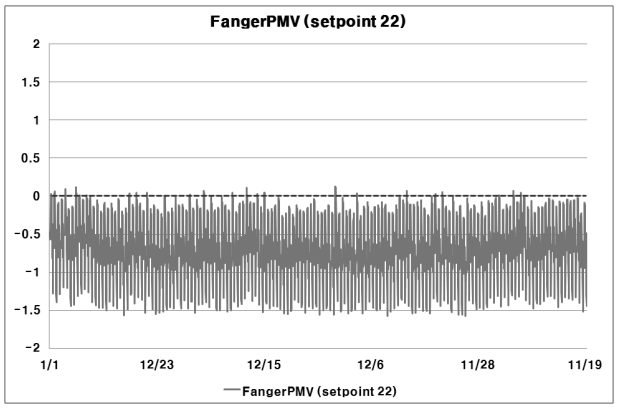


그림 12. 설정온도 22℃에서 PMV변화

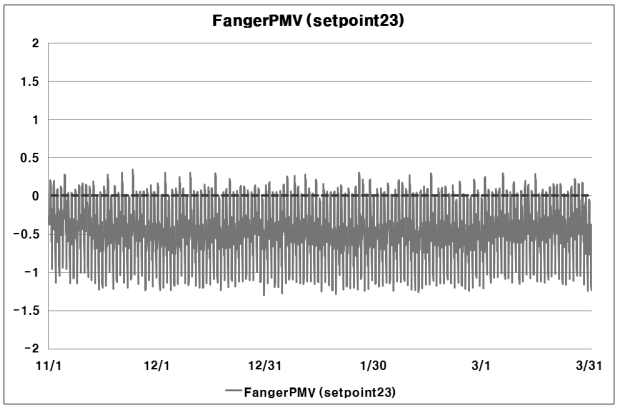


그림 13. 설정온도 23℃에서 PMV변화

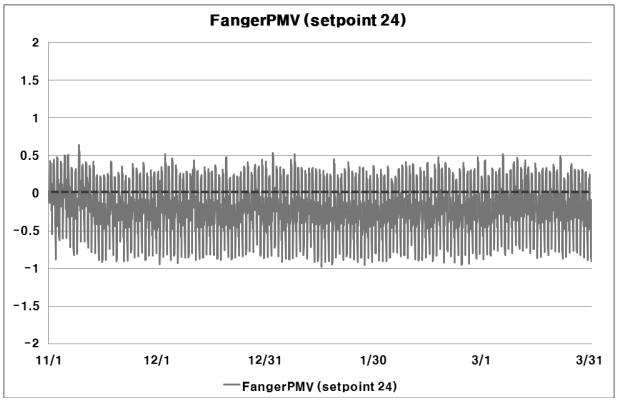


그림 14. 설정온도 24℃에서 PMV변화

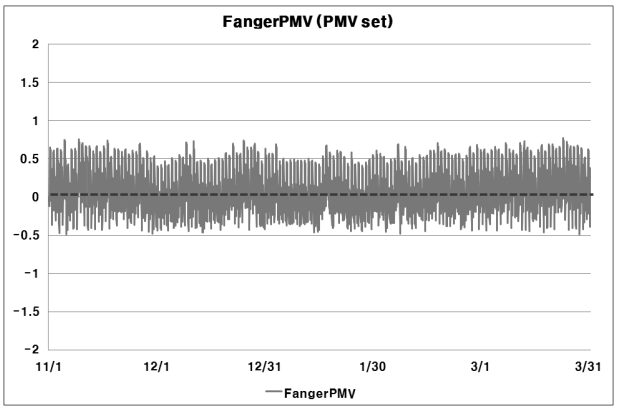


그림 15. PMV set 에서 PMV변화

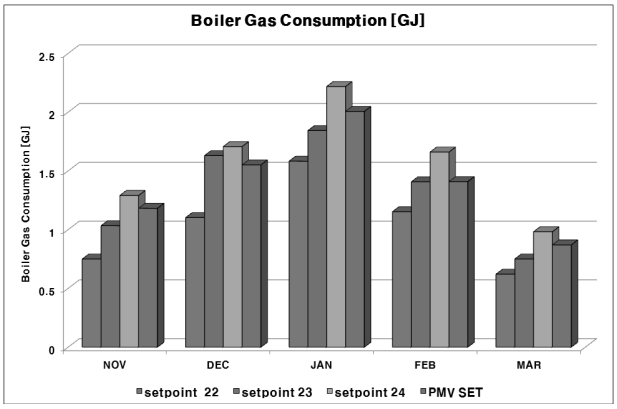


그림 16. 각 설정케이스에서 월별 보일러가스소비량 비교

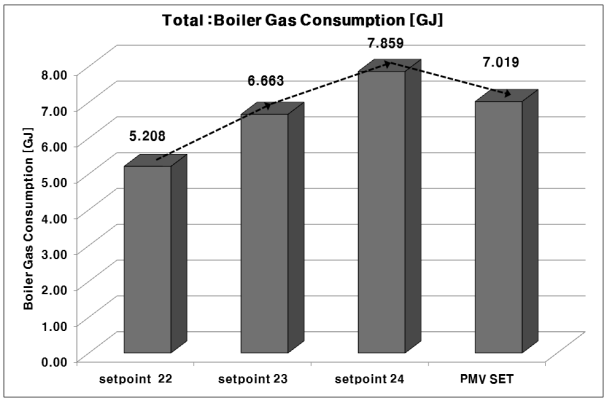


그림 17. 각 설정케이스에서 총 보일러가스소비량 비교

4.3 설정케이스 별 에너지소비량 비교 평가

각 설정케이스에 대한 에너지 소비량은 해석대상 세대내의 열원 설비인 가스보일러의 가스소비량을 통하여 비교하였다. 그림 16과 표 4는 각 설정케이스에서의 월별 가스소비량을 나타내며, 그림 17은 총 보일러의 가스소비량을 나타내고 있다. 월별 소비량을 비교한 결과를 살펴보면, 12월과 2월에는 오히려 설정실온이 23℃일 때 보다 에너지 소비량이 더 적게 나타났다.

표 4. 각 설정케이스에서 총 보일러가스소비량 [GJ]

Case / Month	Case1	Case2	Case3	Case4
	setpoint 22	setpoint 23	setpoint 24	PMV SET
NOV	0.749	1.033	1.291	1.182
DEC	1.102	1.630	1.707	1.551
JAN	1.583	1.843	2.218	2.007
FEB	1.153	1.407	1.661	1.409
MAR	0.621	0.750	0.982	0.870
TOT	5.208	6.663	7.859	7.019

그림 17에서 보는 바와 같이 외기온도가 가장 낮은 1월이 전체적으로 에너지소비량이 가장 크게 나타났으며, 총 에너지 소비량은 setpoint 22℃, setpoint 23℃, PMV SET, setpoint 24℃ 의 순서로 크게 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 주거공간에서 쾌적지표를 활용한 냉난방제어의 기초 연구로서, 일반 주거용 세대를 대상공간으로 하여 기존 일반적인 설정온도로 제어할 때의 온열쾌적성과 에너지소비 특성을 PMV 제어 시와 비교분석하였다.

연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. 일반적인 에너지 절약을 위한 난방설정온도인 22℃로 실온을 설정하였을 때, 각 설정케이스 중 가장 에너지 소비량이 적었으나, 온열쾌적감을 나타내는 지표인 PMV 값은 대부분의 시간에서 -0.5이하로 전체적으로 한랭감을 느끼는 환경임을 알 수 있다. 따라서 설정온도를 높이는 것 뿐 아니라 재실자의 착의 상태나 활동 상태 등을 고려하여 에너지 절약을 위한 거주자의 패턴을 추출해 볼 필요성도 요구된다.
2. 실온설정을 통한 난방제어 시에는 24℃를 설정온도로 하였을 때가 온열환경적인 측면에서는 가장 쾌적한 설정실온이라고 판단되나 PMV 제어보다는 에너지소비량이 더 높게 나타나 에너지 소비적인 측면에서는 오히려 PMV 제어가 더 유리함을 알 수 있다.
3. 전체 난방 에너지소비량은 PMV 제어 시 일반적인 에너지 절약을 위한 난방설정온도인 22℃로 실온을 설정하였을 때 보다 에너지 소비량은 약 29% 증가 하지만 전체적인 거주자의 온열쾌적감은 가장 양호하다.
4. PMV를 통한 제어는 온도이외에도 평균복사온도 등과 같은 다른 제어변수들이 많이 존재하므로 쾌적지표에 의한 제어 시에는 이러한 여러 제어변수를 고려한 제어방안이 필요하다고 판단되며, 거주자의 온열쾌적성을 고려하면서도 건물의 사용되는 에너지를 줄일 수 있는 요소기술이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 동절기 주거용건물의 온열환경 특성과 난방에너지를 중심으로 평가하였으나, 향후 냉방기간, 중간기에도 적용될 수 있는 평가도 필요하며, 다른 용도와 유형의 건물들에 대해서도 적용하여 정량적이고 다양한 평가가 필요하다.

참고문헌

1. 김영민 외(2010), 패시브 요소기술을 적용한 에너지 절약형 아파트의 냉난방에너지 평가 ,대한설비공학회 하계학술발표회 논문집.
2. 전정윤 외(2008), 공동주택 거시온열환경의 측정 및 거주자의 온도조절행위에 대한 연구, 대한건축학회 논문집.
3. 최윤정 외(2008) 아파트의 겨울철 실내온열환경 실태와 생활요인 분석, 한국주거학회 학술발표대회 논문집.
4. 윤종호, 이철성, 김효중, 박재완, 신우철(2009), 착의량별 실내설정온도에 따른 난방에너지 및 온실가스 저감량 산정연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집.
5. 모백현, 강동화, 최동희, 선종명, 여명석, 김광우(2008), PMV 제어공간의 온열 쾌적 및 에너지 소비 특성에 관한 연구.
6. 윤정숙, 최윤정, 이성하(1992), 겨울철 실내 온열환경의 쾌적범위설정에 관한 실험연구, 대한가정학회지.
7. 최윤정, 정연홍(2008), 아파트의 겨울철 실내 온열환경실태와 생활분석 요인 분석.
8. Nam Chul Seong, Sung Min Hong, Dong Won Yoon, Hyeun Jun Moon, Godfried Augenbro e(2010), ENERGY REQUIREMENTS OF A MULTI-SENSOR BASED DEMAND CONTROL VENTILATION SYSTEM IN RESIDENTIAL BUILDINGS, e-Sim 2010.
9. G.Ye, G.Yang, Y. Chen, Y, Li (2003) A new approach for measuring predict mean vote and standard effective temperature(SET*), Building and Environment.
10. K.H Yang, C H SU, (1996) An Approach of Building Energy Saving Using PMV Index, Building and Environment.
11. ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
12. EnergyPlus Inputout Reference 5.0, (2010).
13. 통계청 http://kostat.go.kr/