EnergyPlus와 eQUEST를 이용한 공동주택의 난방에너지소비량 비교분석에 관한 연구

박두용*, 윤갑천**, 김강수***

*고려대학교 대학원 건축학과(pdy0528@korea.ac.kr),
**고려대학교 대학원 건축학과(kapchun@korea.ac.kr),
***고려대학교 건축학과(kskim@korea.ac.kr)

A Comparative Study on Heating Energy Consumption of Multi-Family Apartment using EnergyPlus and eQUEST

Park, Doo-Yong* Yoon, Kap-Chun** Kim, Kang-Soo***

*Dept. of Architecture, Graduate School, Korea University(pdy0528@korea.ac.kr),
**Dept. of Architecture, Graduate School, Korea University(kapchun@korea.ac.kr),
***Dept. of Architecture, Korea University(kskim@korea.ac.kr)

Abstract

Energy consumption analysis of multi-family apartment is an important area of research for the design of energy-saving housing. In this study, we selected a universal type of Flat-type apartments and analyzed the heating energy consumption of variables such as U-value, G-value, infiltration rate, heating setpoint and boiler efficiency with EnergyPlus and eQUEST. With these results, we identify the characteristics of EnergyPlus and eQUEST and provided base data for the design of energy-saving housing. The results indicate that infiltration rate is the most important factors to consider. And eQUEST heating energy consumption is approximately 10% higher compared to the EnergyPlus under same condition.

Keywords : Multi-family Apartment(공동주택), Heating energy consumption(난방에너지소비량), EnergyPlus(에너지플러스), eQUEST(이퀘스트)

기 호 설 명

기 호 설 명		T_{in}	: Indoor temperature [$^{\circ}C$]
		$h_{c,in}$	: Interior convective coefficient
q_{in} =	Convective heat transfer rate [W]	Nu	: Nusselt number
$T_{s,in}$	: Interior surface temperature [$^{\circ}C$]	λ	: Thermal conductivity of air [W/mK]

Submit date : 2012. 9. 13. Judgment date : 2012. 9. 24. Publication decide date : 2013. 2. 15
Communication author : Kim, Kang-Soo(kskim@korea.ac.kr)

- H : Window height [m]
 I : Design infiltration rate [1/h]
 F : schedule fraction
 T_{zone} : Zone Temperature [$^{\circ}\text{C}$]
 T_{odb} : Outside dry bulb temperature [$^{\circ}\text{C}$]
 A : Constant Coefficient
 B : Temperature Coefficient
 C : WindSpeed Coefficient(Linear term)
 D : WindSpeed Coefficient(Quadratic term)

1. 서 론

최근 실시된 2010년 인구주택 총조사 잠정집계결과에 따르면 주택형태별분류에서 아파트가 58.3%를 차지하고 있다. 이는 공동주택이 갖는 에너지절감의 필요성을 말해준다. 공동주택의 난방에너지소비량을 절감하기 위한 방법으로는 벽체의 단열, 창호나 문의 성능향상 등이 있다. 본 연구에서는 동적에너지 시뮬레이션 프로그램으로 널리 사용되고 있는 EnergyPlus, eQUEST를 활용한다. 공동주택 단위세대의 난방에너지소비량 시뮬레이션 결과비교를 통해 평가도구의 특성을 파악하고 난방에너지소비량에 영향을 미치는 요소들을 분석하여 공동주택 건축 시 이를 반영한 에너지 절감 설계를 할 수 있는 자료를 제공하고자 하는데 목적이 있다.

2. 연구배경

국외에서 동적에너지 시뮬레이션 프로그램을 활용한 공동주택 부하에 관한 연구는 주로 건물외피 등의 건축적인 요소에 관한 연구가 주로 진행되어 왔다. C.K. Cheung 외²⁾(2005)는 홍콩의 아파트를 대상으로 방위, 유리 성능 및 종류 등의 건축적 요소와 냉방부하간의 상관관계를 시뮬레이션을 통해 비교분석하였다. Yusuf Yildiz 외³⁾(2011)는 터키의 아

파트를 대상으로 민감도 변수에 따른 상층, 중층, 하층 위치별 난방부하 및 냉방부하를 몬테카를로 방법으로 연구하였다. 국내연구로서 EnergyPlus와 eQUEST를 동시에 이용해서 비교분석한 연구는 현재까지 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 EnergyPlus, eQUEST를 이용한 실제 공동주택 단위세대의 난방에너지소비량 시뮬레이션을 통하여 평가도구 간 차이의 원인이 어떠한 수식차이에 따른 것인지 알아보고, 모델링 방식과 조건변화에 따른 난방에너지 절감효과에 대하여 정량적인 평가를 하고자 한다.

3. 평가대상 공동주택 개요

3.1 평가대상 공동주택 개요

평가대상 건물은 실시설계의 공동주택 단지에서 가장 보편적인 타입인 판상형(一형) 단위 공동주택을 설정하였으며 평면도는 Fig 1과 같다. 평가대상 공동주택의 특성은 Table 1, 외피구성은 Table2와 같다.

Table. 1 Overview of Multi-family apartment

Weather Data	Seoul(2010)
Area	Conditioned area(120.2m ²)
	Unconditioned area(49.8m ²)
Height	Floor height 2.9m, ceiling height 2.4m
Volume	Conditioned volume(288.5m ³)
	Unconditioned volume(60.1m ³)
Number of stories	12
Direction	Southeast(-58.3 $^{\circ}$)

Fig. 1 Floor plan of selected apartment building

Table. 2 Properties of Walls

Material	Thickness [mm]	Cond [W/mk]	U-value [W/m ² K]
Con'c	300	1.600	0.37
Insulation board	65	0.027	
Gypsom Borad	12.5	0.180	

3.2 에너지해석 조건

EnergyPlus의 경우 모든 공조존과 비공조존의 내벽 및 간벽이 실제와 똑같이 상세하게 입력이 가능하지만, eQUEST는 공조존과 비공조존을 함께 모델링한 경우 간접벽에 있는 현관문 및 창호의 입력이 불가능해 실제상황을 100% 구현하기에 어려움이 있다. 그 때문에 본 연구에서는 건축물의에너지절약설계기준(국토해양부고시 제2010-1031호)을 참고하여 비공조존을 모델링하지 않고 비공조존과 면한 외기간접벽의 열관류율 값에 보정계수 0.7을 곱한 값을 입력하여 분석하였다. EnergyPlus와 eQUEST의 특성 비교를 위해 실제와 똑같이 상세 모델링한 EnergyPlus-1(E+1)과 비공조존을 모델링하지 않고 외기간접벽의 열관류율 값을 보정하여 EnergyPlus로 분석한 EnergyPlus-2(E+2)와 E+2와 같은 입력조건을 사용하여 eQUEST로 분석한 세 가지 경우를 각각 분석하였다. 주변동에 의한 일사량의 영향을 고려하기 위해 주변동을 포함한 모델링은 Fig2와 같다.

Fig. 2 Each Simulation Modeling Image

평가대상 공동주택의 에너지절약계획서와 건물에너지효율등급인증제도 운영규정(2011. 4)을 참고하여 결정된 각 케이스별 에너지해석조건은 Table3과 같다.

Table. 3 Simulation Condition

Program	Energy Plus-1	Energy Plus-2	eQUEST
Set Point	20℃		
Infiltration (ACH)	Heating Space (0.7) Non Heating Space (2.0)		
Wall U-value (Direct)	0.37W/m ² ·K		
Wall U-value (indirect)	0.52 W/m ² ·K	0.36 (0.52x0.7) W/m ² ·K	0.36 (0.52x0.7) W/m ² ·K
Roof, Floor	Adiabatic		
Window (Direct)	U-value : 1.2W/m ² ·K (Recent level of green home) G-value : 0.3		
Window (Indirect)	U-value : 2.8W/m ² ·K G-value : 0.6		

Table. 4 Internal Heat gain and Operation Schedule

Occupancy	Sensible Heat 65W, Latent Heat 55W(ISO 7730)
Lighting	7.53W/m ² (ASHRAE Standard 90.1)
Equipment	8.07W/m ² (ASHRAE Standard 90.1)
People	4
Occupancy Schedule	 (ASHRAE Standard 90.1)
Lighting Schedule	 (ASHRAE Standard 90.1)
Equipment Schedule	 (ASHRAE Standard 90.1)

대상건물의 내부발열 조건은 Table4와 같이 인체 발열량, 조명 밀도, 및 기기밀도로 구분하였다. 인체 발열량은 ISO 7730기준을 참고하였고 조명기기 및 기기 밀도의 경우 ASHRAE

Standard 90.1을 참고하였다. 또한 인체, 조명, 기기의 스케줄은 eQUEST 3.64프로그램에서 제공하는 공동주택 건물의 기본값을 반영하였다. Table5와 같이 보일러는 문헌조사를 통해 공동주택에 주로 사용되는 20,000Kcal/h 용량의 온수보일러를 기본모델로 선정하였으며 에너지소비효율등급 1등급을 만족하는 최소기준 87%를 소비효율로 결정하였다.

Table. 5 Boiler Condition

	eQUEST	EnergyPlus
Model	HW Boiler (Natural Draft)	
Type	Hot Water boiler	
Capacity	20,000(Kcal/h)	
Heat Source	Natural Gas	
Efficiency	87%	

시뮬레이션에 사용되는 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 인천 기상데이터를 기본으로 하여 난방에너지 사용량에 영향을 줄 수 있는 외기온도, 이슬점온도, 상대습도, 풍향, 풍속, 해면기압을 기상청 2010년 자료를 사용하여 수정하였다. 또한 eQUEST의 경우 수정된 weather file을 eQUEST Weather Format Convertor를 통해 BIN파일로 변환하여 EnergyPlus와 동일한 weather file을 사용하였다.

4. 시뮬레이션

시뮬레이션은 판상형 단위세대의 기준층인 6층 대상으로 진행하였다. 변수는 총 6가지로 벽체의 열관류율, 창호의 열관류율, 창호의 G-value, 세대내 환기횟수, 난방설정온도, 보일러효율에 대하여 난방에너지소비량 시뮬레이션을 하였고 E+1, E+2, eQUEST간의 결과를 비교하였다.

4.1 벽체의 열관류율에 따른 난방에너지 소비량

대상건물의 실시설계 에너지절약 계획서에 제시된 외벽열관류율 $0.37\text{W/m}^2\text{K}$ 과 패시브

하우스 최고기준인 $0.15\text{W/m}^2\text{K}$ 를 기준으로 최고치와 최저치를 다섯구간으로 나눠 시뮬레이션을 진행하였다. Fig5는 E+1, E+2, eQUEST의 외벽 열관류율에 따른 난방에너지소비량 비교분석 결과이다. 분석결과 벽체 열관류율이 감소함에 따라 연간 단위면적당 난방에너지소비량이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5. Annual heating energy consumption for different U-value of wall.

난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 $39.7\text{kWh/m}^2\text{a}$ (BASE대비 16.1%절감), E+2는 $45.5\text{kWh/m}^2\text{a}$ (12.5% 절감), eQUEST는 $50.1\text{kWh/m}^2\text{a}$ (12.2% 절감)로 대체로 유사하지만 코어와 대피공간을 모델링 한 E+1의 절감율이 다소높게 나타났다. Wall_U_0.37(BASE)조건에서 eQUEST에 비해 E+1의 경우 18%, E+2의 경우 10% annual heating energy consumption값이 낮게 분석되었다. eQUEST는 내부벽체온도와 존의온도를 같다고 가정하여 시뮬레이션을 진행한다. 반면에 EnergyPlus의 경우 내부벽체온도는 각 time step에 따라 외피의 전도, 대류, 복사효과를 포함한 열균형을 계산한다. 즉 EnergyPlus의 경우 eQUEST에서는 고려하지 않는 내부벽체의 열저항을 고려하기 때문에 이 같은 결과가 나타난 것으로 평가되었다.⁴⁾⁵⁾

4.2 창호의 열관류율에 따른 난방에너지 소비량

대상건물의 창호는 22mm 복층 Low-e유리

이중창을 사용하였고 창호의 열관류율 원안은 $1.18\text{W/m}^2\text{K}$ 이다. 최고성능수준은 독일의 패시브하우스 기준인 $0.8\text{W/m}^2\text{K}$ 을 사용하였고 원안과 최고성능수준을 네 구간으로 나누어 창호의 G-value는 외기직접창호 0.3, 외기간접 창호 0.6으로 고정한 채 시뮬레이션을 진행 하였다. Fig6는 E+1, E+2, eQUEST의

Fig. 6. Annual heating energy consumption for different U-value of window.

창호 열관류율에 따른 난방에너지소비량 비교분석 결과이다. 분석결과 창호 열관류율이 감소함에 따라 난방에너지소비량이 감소함을 알 수 있다. 난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 $42.2\text{kwh/m}^2\text{a}$ (BASE대비 10.8% 절감), E+2는 $47.0\text{kwh/m}^2\text{a}$ (9.6% 절감), eQUEST는 $53.7\text{kwh/m}^2\text{a}$ (7.2% 절감)로 절대값은 E+1, E+2, eQUEST로 갈수록 증가하고 대체로 유사한 경향을 보인다.

4.3 창호의 G-value에 따른 난방에너지소비량

대상건물의 외기직접면한 창호 G-value는 0.3을 원안으로 사용하였다. 최고성능수준은 패시브하우스 기준에서 권장하는 $G\text{-value} \geq 0.5$ 를 참고하여 세 구간으로 나눴다. 창호의 U-value는 외기직접 $1.2\text{W/m}^2\text{K}$, 외기간접 $2.8\text{W/m}^2\text{K}$ 로 고정한 채 시뮬레이션을 진행 하였다. Fig7은 E+1, E+2, eQUEST의 창호 G-value에 따른 연간 단위면적당 난방에너지

소비량 비교분석 결과이다. 분석결과 창호 G-value가 증가함에 따라 난방에너지소비량이 감소함을 알 수 있다. 난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 $39.7\text{kwh/m}^2\text{a}$ (BASE대비 16.1% 절감), E+2는 $44.3\text{kwh/m}^2\text{a}$ (14.8% 절감), eQUEST는 $45.4\text{kwh/m}^2\text{a}$ (21.4% 절감)로 eQUEST의 절감률이 다소 높게 평가되었다.

Fig. 7. Annual heating energy consumption for different G-value of window.

두 시뮬레이션 틀에 의한 Window Heat Gain 분석 시 Direct Transmittance, Conduction에 의해 발생하는 Heat Gain분석은 동일하나 Convection에 의해 발생하는 Heat Gain에서 차이가 발생된다.

Convection에 의해 발생하는 2차 열전달은 eQUEST와 EnergyPlus 모두 다음과 같은식을 통해 계산되나 사용되는 대류열전달계수 $h_{c,in}$ 값을 계산하는 방법이 다르다.

$$q_{in} = h_{c,in} \times (T_{s,in} - T_{in})$$

eQUEST의 경우 창면과 실내의 온도차만을 고려한 $h_{c,in} = 1.77 \Delta T^{1/4}$ 식⁴⁾에 의해 대류열전달계수가 계산되지만, EnergyPlus의 경우 온도차 외에 Reyleigh의 수에 관한 응답함수인 Nu와 공기의 열전도도(λ), 유리면의 높이(H) 까지도 고려하여 대류열전달계수가 $h_{c,in} = Nu \times \frac{\lambda}{H}$ 식⁵⁾에 의해 계산된다. 이 대류열전달계수를 산정하는 방법에 따라 시뮬레이션 결과값이 달라지게 되며, 온도차를 포함

한 다른 인자까지 고려하는 EnergyPlus의 계산식이 실제 값과 더 가깝다고 볼 수 있다.

4.4 세대내 환기횟수에 따른 난방에너지 소비량

환기횟수 원안은 건물에너지효율등급 인증제도 운영규정에서 제시된 기준인 0.7회/h를 기준으로 기계환기 도입 시 일반적인 최소 환기횟수인 0.5회/h를 최고수준으로 두고 시뮬레이션을 진행하였다. Fig8은 E+1, E+2, eQUEST의 세대내 환기횟수에 따른 난방에너지 소비량 비교분석 결과이다.

Fig. 8. Annual heating energy consumption for different infiltration rate.

분석결과 세대내 환기횟수가 감소함에 따라 난방에너지소비량이 감소한다. 난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용시 32.8kwh/m².a(BASE대비 30.7% 절감), E+2는 37.2kwh/m².a(28.5% 절감), eQUEST는 39.7kwh/m².a(31.3% 절감)로 대체로 유사한 경향을 보인다. EnergyPlus와 eQUEST의 환기량 예측에는 Coblenz and Achenbach⁴⁾⁵⁾가 제안한 방정식이 사용된다.

$$\text{환기량} = I \times F$$

$$[A + B|(T_{zone} - T_{odb})| + C(Windspeed) + D(Windspeed^2)]$$

두 경우 수식은 같지만 환기량을 계산하기 위해 필요한 coefficients를 적용하는 방식에서 두 분석 툴의 차이가 있다. EnergyPlus의 경우 Constant Term만을 고려한 A=1, B=0, C=0, D=0이 default로 설정되어 있으며, eQUEST

T(DOE-2)의 경우 Wind speed(Linear) Term만을 고려한 A=0, B=0, C=0.224, D=0, reference wind speed 4.47m/s가 default로 설정되어 있다. 계수를 입력하였을 때 결과값이 $[A + B|(T_{zone} - T_{odb})| + C + D^2] = 1$ 로 같으므로 환기에 의한 부하는 같은 값을 가지게 되며, EnergyPlus와 eQUEST의 난방에너지소비량 절감률 또한 유사한 경향을 보인다.

4.5 세대내 난방설정온도에 따른 난방에너지소비량

대상건물의 난방설정온도 원안을 22℃로 설정하였을 때 난방에너지소비량은 E+1의 경우, 57.7kwh/m².a, E+2의 경우 62.9kwh/m².a, eQUEST의 경우 70.1kwh/m².a이다. 난방설정온도의 최고수준을 건물에너지효율등급 인증제도 운영규정에 제시된 20℃로 설정하였고 원안에서 1℃씩 낮췄을 때의 난방에너지 소비량 절감률을 분석하였다.

Fig. 9. Annual heating energy consumption for different heating setpoint.

Fig9에서 난방설정온도가 1℃씩 낮아짐에 따라 난방에너지소비량이 감소함을 알 수 있다. 난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용시 47.3kwh/m².a(BASE대비 18.0% 절감), E+2는 52.0kwh/m².a(17.3% 절감), eQUEST는 57.8kwh/m².a(17.5% 절감)로 절대값은 E+1, E+2, eQUEST로 갈수록 증가하고 절감률은 eQUEST와 EnergyPlus가 대체로 유사한 경향을 보인다.

4.6 보일러 효율에 따른 난방 에너지 소비량

대상건물의 보일러효율 원안을 80%로 설정하였을 때 난방에너지소비량은 E+1의 경우 51.4kwh/m².a, E+2는 56.6kwh/m².a, eQUEST는 62.9kwh/m².a이다. 보일러효율 변수는 원안인 80%에 대해 에너지소비효율등급제도 1등급 수준인 87%와 더 높은 수준인 90%로 난방에너지소비량 절감률을 분석하였다.

Fig. 10. Annual heating energy consumption for different boiler efficiency.

Fig10에서 보일러효율이 증가함에 따라 난방에너지소비량이 감소함을 알 수 있다. 난방에너지소비량과 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 45.7kwh/m².a(BASE대비 11.1% 절감), E+2는 50.3kwh/m².a(11.1% 절감), eQUEST는 55.9kwh/m².a(11.1% 절감)로 절감률은 eQUEST와 EnergyPlus가 대체로 유사한 경향을 보인다.

감), eQUEST는 55.9kwh/m².a(11.1% 절감)로 절감률은 eQUEST와 EnergyPlus가 대체로 유사한 경향을 보인다.

4.7 결과 평가

E+1, E+2, eQUEST의 6가지 변수에 대한 난방에너지소비량 및 절감률의 종합적인 평가는 Fig11과 같다. 각 변수별로 현재의 강화된 그린홈 수준을 기본으로 하고 패시브하우스 기준을 최고수준으로 할 때 에너지해석조건 설정변수 변동에 따른 절감률 평균이 큰 순서는 세대내 환기횟수(0.2ACH 감소 시 / 30.2%), 난방설정온도(2℃ 낮출 시 / 17.6%), 창호 G-value(0.2 향상 시 17.4%), 벽체 열관류율(0.22W/m²K 향상 시 / 13.6%), 보일러효율(10% 향상 시 / 11.1%), 창호 열관류율(0.38 W/m²K 향상 시 / 9.2%)로 평가되었다.

본 연구에서 E+1과 E+2는 모델링 방식에 따른 차이로 annual heating energy consumption 값이 E+2가 E+1보다 9% 높게 평가되었다. 실제와 동일하게 상세 모델링한 E+1이 비공조존을 모델링하지 않고 간접벽의 열관류율 값에 보정계수 0.7을 곱한 값을 입력하여 분석한 E+2보다 실제와 더 가깝다고 판단된다. 모델링방식이 같고 알고리즘 차이가 있는 eQUEST와 E+2의 경우 eQUEST가 E+2보다

Fig. 11. Annual heating energy consumption and energy saving rate with different strategies.

10% annual heating energy consumption 값이 높게 분석 되었는데 그 이유는 다음과 같이 평가되었다.

첫째, eQUEST는 내부벽체온도와 존의온도를 같다고 가정하여 시뮬레이션을 진행하는 반면에 EnergyPlus의 경우 eQUEST에서는 고려하지 않는 내부벽체의 열저항을 고려하기 때문에 EnergyPlus의 벽체손실량이 적게 평가되었다.

둘째, Convection에 의해 발생하는 2차 열전달은 eQUEST와 EnergyPlus 모두 같은식을 통해 계산되나 사용되는 대류열전달계수 $h_{c,in}$ 값을 계산하는 방법이 다르다.

eQUEST의 경우 창면과 실내의 온도차만을 고려한 대류열전달계수 $h_{c,in}$ 가 계산되지만, EnergyPlus의 경우 온도차 외에 Reyleigh의 수에 관한 응답함수인 Nu와 공기의 열전도도(λ), 유리면의 높이(H) 까지도 고려하여 $h_{c,in}$ 가 계산된다. 이 대류열전달계수를 산정하는 방법에 따라 시뮬레이션 결과값이 달라지게 되며, 온도차를 포함한 다른 인자까지 고려하는 EnergyPlus의 계산식이 실제 값과 더 가깝다고 볼 수 있다.

셋째, EnergyPlus와 eQUEST의 Infiltration 예측에는 Coblenz and Achenbach가 제안한 방정식이 사용된다. 두 분석 툴 간에 침기량을 계산하는 계수에는 차이가 있지만 수식에 따른 결과값에는 차이가 없기 때문에 침기에 의한 부하는 같은 값을 가지게 되며, EnergyPlus와 eQUEST의 난방에너지소비량 절감률 또한 유사한 경향을 보인다

5. 결 론

본 연구에서는 동적에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus, eQUEST를 이용한 실제 공동주택 단위세대의 난방에너지소비량 시뮬레이션을 통하여 평가도구의 특성을 알아보았다. 이상의 연구내용 및 결과를 정리하

면 다음과 같다.

- (1) E+1과 E+2는 모델링 방식에 따른 차이로 annual heating energy consumption 값이 E+2가 E+1보다 9% 높게 평가되었다.
- (2) 모델링방식이 같고 알고리즘 차이가 있는 eQUEST와 E+2의 경우 eQUEST가 E+2보다 10% annual heating energy consumption 값이 높게 평가 되었다.
- (3) 벽체 열관류율이 감소함에 따라 연간단위면적당 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 BASE대비 16.1%절감, E+2는 12.5%절감, eQUEST는 12.2%절감되어 코어와 대피공간을 모델링한 E+1의 절감률이 다소 높게 평가되었다.
- (4) 창호 열관류율이 감소함에 따라 연간 단위면적당 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용시 BASE 대비 10.8% 절감, E+2는 9.6% 절감, eQUEST는 7.2% 절감되어 대체로 유사하다.
- (5) 창호 G-value가 증가함에 따라 연간 단위면적당 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 BASE대비 16.1% 절감, E+2는 14.8% 절감, eQUEST는 21.4% 절감평가 되었으며 eQUEST가 다소 높게 평가 되었다.
- (6) 세대내 환기횟수가 감소함에 따라 연간 단위면적당 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 BASE대비 30.7% 절감, E+2는 28.5% 절감, eQUEST는 31.3% 절감평가 되었다.
- (7) 난방설정온도가 1℃씩 낮아짐에 따라 연간 단위면적당 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1의 경우 최고수준 적용 시 BASE대비 18.0% 절감, E+2는 17.3% 절감, eQUEST는 17.5% 절감되어 3가지 조건의 절감률이 유사한 것으로 평가되었다.
- (8) 보일러효율 향상에 따라 연간 단위면적당

- 난방에너지소비량이 감소하고 절감률은 E+1, E+2, eQUEST의 경우 최고수준 적용시 BASE 대비 11.1% 절감 3가지 조건의 절감률이 유사한 것으로 평가되었다.
- (9) 실제 적용된 공동주택과 가장 동일한 조건의 E+1을 기준으로 E+2, eQUEST간의 최고수준 적용시 절감률 평균오차는 벽체열관류율의 경우 3.8%, 창호열관류율의 2.4%, 창호G-value 3.3%, 세대내 환기횟수에서 1.4%, 세대내 난방설정온도 0.6%로 평가되었다. 전체오차는 0.1~3.8%로 평가되어 유의성이 있는 결과로 사료된다. 본 연구는 에너지절감요소의 적용방안을 동적에너지 시뮬레이션 프로그램간의 비교를 통해 제시함으로써 패시브하우스나 친환경주택 건설에 대한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

이 연구는 고려대학교 특별 연구비에 의하여 수행되었음 (Supported by a Korea University Grant).

References

1. Yun KC, Kim KS, An Evaluation of Energy Performance in an office with Venetian Blinds in Summer, Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 285~292, 2012. 1
2. C.K. Cheung, R.J. Fuller, M.B. Luther, Energy-efficient envelope design for high-rise apartments, Energy and Building, 2005
3. Yusuf Yıldız, Zeynep Durmus Arsan, Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates, Energy, 2011
4. United States Department of Energy, EnergyPlus Manual Engineering Reference, Version 3.0
5. United States Department of Energy, DOE-2 Engineers Manual, version 2.1A