

건물 부하계산 프로그램을 이용한 외단열 시공의 에너지 절감 효과 분석

Analysis of the Energy Saving Effect for the External Insulation Construction by Building Load Calculation Method

박재중(Jaejoong Park)¹, 명제민(Jemin Myeong)², 송두삼(Doosam Song)^{3*}

¹성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과, ²성균관대학교 건설환경시스템공학과, ³성균관대학교 건축토목공학부

¹Dept. of Global Construction Eng., Graduate school of Sungkyunkwan University, Suwon, 03063, Korea

²Dept. of Civil and Environmental System Eng., Graduate school of Sungkyunkwan University, Suwon, 03063, Korea

³School of Architectural, Civil and Environmental Eng., Sungkyunkwan University, Suwon, 03063, Korea

(Received October 20, 2016; revision received December 12, 2016; Accepted: December 15, 2016)

Abstract Reinforcement of insulation in apartment buildings reduces the heating and cooling energy consumption by lowering the heat transfer in the building envelope. There are differences between internal and external insulation methods in heat transmission properties. However, some building load calculation programs cannot analysis the differences between the two. This is because these programs do no account for the timelag or thermal storage effect of the wall according to the location of insulation. In this study, the heat transmission characteristics of internal and external insulation were analyzed by EnergyPlus, and heating and cooling energy demand was compared. The results showed that external insulation system had lower heating and cooling loads than internal insulation system. Also the heat transfer rate of external insulation is steadier than internal insulation. About 13.6% of heating and cooling energy demand decreased when the outdoor wall was finished with external insulation compared to the demand with internal insulation.

Key words External insulation(외단열), Internal insulation(내단열), 건물 부하계산 프로그램(Building load calculation program), Energy saving(에너지 절감)

† Corresponding author, E-mail: dssong@skku.edu

1. 서 론

최근 건축물의 에너지 사용량의 절감과 실내 재실자의 쾌적성에 대한 관심이 높아지면서 건물의 기밀성과 단열성능이 강화되고 있다. 정부는 건물에너지 절감을 위해 “제1차 녹색건축물 기본계획”을 작성하고 이를 통해 건물에너지 성능을 강화하여 2017년까지 신축건물의 에너지 소비량을 기존건물 대비 주거용은 60%, 비주거용은 30% 절감을 목표로 하고 있다. 아울러 2025년까지 모든 신축건물에 대하여 제로에너지 의무화를 목표로 하고 있다.⁽¹⁾ 이와 관련하여 독일은 패시브하우스협회(iPHA)를 중심으로 1990년에 패시브하우스 관련 기준을 정비하였으며, 1995년에는 기준을 더욱 강화하여 난방에너지 소비량을 15 kWh/m²/year로 제한하고 있다.⁽²⁾ 영국은 1994년 에너지절약설계기준인 ‘Building Regulation’을 정립하였다. 2008년부터는 모든 건물에 대해 에

너지소비량과 탄소배출량 평가를 의무화 하고, 2017년부터 모든 신축주택에 대해 탄소제로를 의무화할 예정이다.⁽³⁾ 이와 같이 전 세계적으로 주거건물에 대한 에너지 성능기준이 강화되고 있다. 국내에서도 주거건물에 대한 단열성능이 강화되고 있으며, 외단열 공법의 적용도 증가하고 있다.⁽⁴⁾

외단열 공법에 대한 종래의 연구로 Kolaitis⁽⁵⁾는 Transys Simulation을 이용하여 내/외단열의 에너지 소비량을 기후와 재실자 행동 등의 여러 변수를 고려하여 분석하였다. 그 결과, 외단열 시공이 내단열 시공에 비해 약 8% 정도의 에너지 절감 효과가 있다고 보고하였다. 국내 연구로 Ki⁽⁶⁾과 Koo⁽⁷⁾ 등은 내/외단열 시공을 비교하여 열교부위 및 축열체 위치에 따른 냉난방부하 차이를 분석하고 그에 따른 에너지 절감효과를 산출하였다. 그 결과, 외단열 시공이 내단열에 비해 약 3% 정도의 에너지가 절감된다고 보고하고 있다.

내단열과 외단열 시공에 따른 건물 냉난방부하의 차이는 벽체 내에서 축열 또는 열유동의 시간 차이에 기인한다. 하지만 현재 범용적으로 사용되는 건물 냉난방부하 해석 툴 중에는 벽체의 열유동을 단순히 열관류율만을 반영하여 해석을 하고 있어 내/외단열 시의 열유동 차이를 제대로 반영하지 못하는 경우도 있다. 열관류율($W/m^2 \cdot ^\circ C$)은 벽이나 창 구조체 내의 여러 재료들의 열전달인 전도, 대류, 복사의 요인들을 하나의 값으로 나타낸 것으로서 표면적이 $1 m^2$ 인 구조체를 사이에 두고 온도차가 $1^\circ C$ 일 때 구조체를 통한 열유동량을 말한다. 이 열관류율만을 반영하여 건물부하를 산출할 경우, 외단열과 내단열의 위치에 따른 축열성능, 열류의 시간차이 등을 표현하지 못한다. 즉 Fig. 1, Fig. 2와 같이 내단열과 외단열의 열관류율은 동일하여 그에 따른 냉난방부하의 차이를 표현하지 못하게 된다.

따라서 본 논문에서는 기존 범용적으로 사용되는 냉난방부하 계산프로그램인 RTS⁽⁸⁾와 EnergyPlus⁽⁹⁾에 대해 외단열 공법의 축열성능과 열류 시간지연(Time-lag) 효과를 적절하게 표현하고 있는지를 확인하고자 한다. 아울러 공동주택에 외단열 시공 시 냉난방부하 및 에너지 절감 효과를 분석하고자 한다.

2. 냉난방부하 산정 프로그램의 벽체 열유동 해석 방법

2.1 RTS-SAREK

RTS-SAREK은 냉난방 최대부하 계산 프로그램으로 2001년 ASHRAE에서 제시한 열평형법(Heat balance method)⁽¹⁰⁾에서 파생된 RTS(Radiant time series)법을 기본으로 부하계산을 수행하며 계산의 주요 가정으로는 설계일의 24시간의 조건이 설계일 전날의 조건과 동일하게 적용된다는 것이다. 그리고 열취득을 복사와 대류로 구분하여 부하 적용시간에 차등을 두어 최종부하는 대류에 의한 열취득과 시간지연후의 복사 열취득의 합으로 산출된다.

부하 변환 시 RTS와 CTS(Conduction time series)를 통해 부하의 시간지연을 표현한다. RTS-SAREK에서의 벽체 열유동 해석을 위한 계산 흐름도는 Fig. 3과 같다. 태양에 의한 전일사량을 계산하고 이것을 직달과 확산

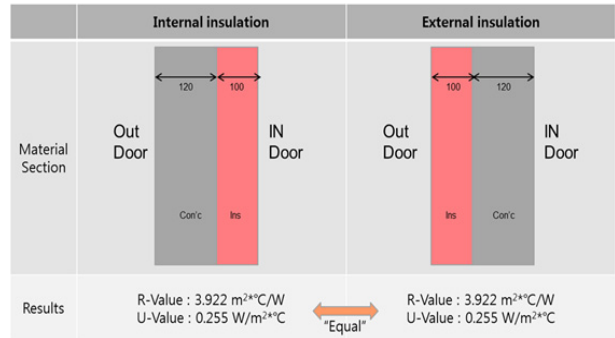


Fig. 1 U-Value with the insulation.

No.	Capacity	Cooling Load (BTU)						Heating					
		Dir	Ref	K	10	12	14		16	18	20	0.F	W
0001	외단열 1, 20 m², 2.9 m				RTS : 17 (BK)		Out (°C/X) : 31.2/69	-11.9/69					
					S.F : 10/10 X		In (°C/X) : 26/50	20/40					
R2	H	0	0.23	20.0	33	28	32	43	58	72	80	1.20	194
W4	N	90	0.25	14.5	-42	11	64	138	207	248	265	1.20	1,478
W4	S	90	0.25	14.5	-55	-19	103	273	393	398	324	1.05	1,293
W4	E	90	0.25	11.6	38	248	394	397	353	318	268	1.10	1,084
W4	W	90	0.25	11.6	-2	8	57	134	286	482	556	1.10	1,084
IF-S	C	0.5	ac/h,	29	-31	-4	28	48	48	30	5		374
IF-L	H	0.6	ac/h,	35	148	225	227	227	227	227	227		
	Sensible Load				-59	272	678	1,033	1,345	1,548	1,498		
	Total Load				89	497	905	1,260	1,572	1,775	1,725		5,507
0002	내단열 1, 20 m², 2.9 m				RTS : 17 (BK)		Out (°C/X) : 31.2/69	-11.9/69					
					S.F : 10/10 X		In (°C/X) : 26/50	20/40					
R2	H	0	0.23	20.0	33	28	32	43	58	72	80	1.20	194
W3	N	90	0.25	14.5	-42	11	64	138	207	248	265	1.20	1,478
W3	S	90	0.25	14.5	-55	-19	103	273	393	398	324	1.05	1,293
W3	E	90	0.25	11.6	38	248	394	397	353	318	268	1.10	1,084
W3	W	90	0.25	11.6	-2	8	57	134	286	482	556	1.10	1,084
IF-S	C	0.5	ac/h,	29	-31	-4	28	48	48	30	5		374
IF-L	H	0.6	ac/h,	35	148	225	227	227	227	227	227		
	Sensible Load				-59	272	678	1,033	1,345	1,548	1,498		
	Total Load				89	497	905	1,260	1,572	1,775	1,725		5,507

Fig. 2 RTS-SAREK output screen.

일사로 구분하여 벽체 표면에 대한 총 일사량을 산출한다. 이 산출값에 외기온도로 상당외기온도(sol-air temp.)를 계산하여 식(1)에 적용, 벽체에 대한 열유동률을 산출하게 된다. 이 산출값에 CTS 적용하여 시간별 대류와 복사를 구분 후 복사 열전달에는 RTS를 적용하여 최종 부하를 산출하게 된다.

$$q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

여기서,

- q : Heat flow(W), A : Area(m^2),
- U : Heat transmission coefficient($W/m^2 \cdot ^\circ C$),
- ΔT : Sol-Air temp.-Inside temp.($^\circ C$)

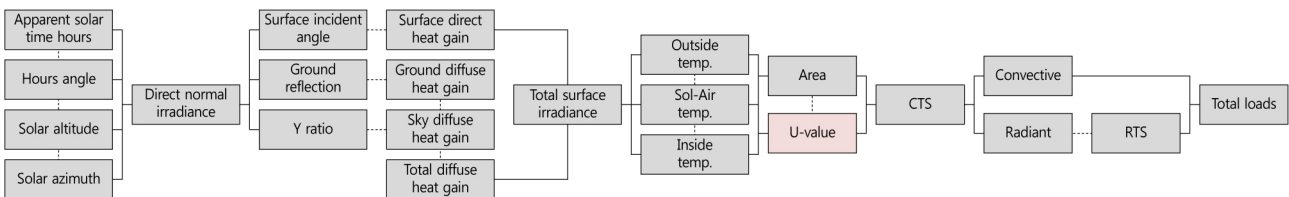


Fig. 3 RTS-SAREK loads calculation flow(Wall).

즉, RTS-SAREK에서는 벽체의 부재에 대한 위치 구분 없이 벽체 부재의 총 U-value를 사용하여 열유동을 산출하게 된다. 이런 이유로 Fig. 1과 같이 단열재의 위치가 변하더라도 이 벽체에 대한 열저항은 동일한 것으로 간주되어 내단열과 외단열이 동일한 열유동을 ‘q’를 가지게 된다.

RTS-SAREK 프로그램의 입력상에서도 볼 수 있듯이 각 벽체 부재의 열전도율 값을 입력하여 벽체를 구성할 수 있지만 최종적으로 그 벽체 전체에 대한 총 열관류율값을 기준으로 계산이 이루어진다. 따라서 각 부재의 위치에 관계없이 동일한 벽체에 대해서는 Fig. 2와 같이 동일한 부하값을 산출하게 된다.

2.2 EnergyPlus

EnergyPlus는 미국 에너지성(DOE : Department of energy)에서 개발한 해석 툴로 ASHRAE에서 권장하는 열평형(Heat balance) 모델에 기초하여 부하해석을 수행한다. EnergyPlus의 벽체 열유동 해석은 RTS-SAREK의 해석 방식과 비교하여 더 자세한 계산 수행이 가능하며 사용자가 목적에 따라 열류해석 알고리즘을 선택할 수 있다. EnergyPlus의 벽체 열유동 해석 방법은 다음과 같다.

- Conduction Transfer Function(CTF)
- Conduction Finite Difference(ConFD)
- Moisture Penetration Depth Conduction Transfer Function
- Combined Heat and Moisture Finite Element

본 논문에서는 위 4가지 해석 방법 중에서 벽체 내 열유동에 집중하여 CTF와 ConFD Algorithm의 차이를 검토하고자 한다.

CTF Algorithm은 벽체 내외부 표면온도와 CTF 계수를 사용하여 Time-serise에 따른 열유동의 변화를 계산한다. 즉 각 부재에 대한 특성값을 계수로 산정하여, 이 부재의 시간의 흐름에 따른 내외부 공간의 영향을 고려한 표면온도 변화를 시간 순으로 계산해 나가는 것이다. CTF의 기본식은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 q''_{ki}(t) &= -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} \\
 &+ \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (2) \\
 q''_{ko}(t) &= -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} \\
 &+ \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta}
 \end{aligned}$$

여기서,

- X_j = Outside CTF coefficient, $j = 0, 1, \dots, nz$
- Y_j = Cross CTF coefficient, $j = 0, 1, \dots, nz$
- Z_j = Inside CTF coefficient, $j = 0, 1, \dots, nz$
- Φ_j = Flux CTF coefficient, $j = 0, 1, \dots, nz$
- T_i = Inside face temperature
- T_o = Outside face temperature
- q''_{ki} = Conduction heat flux on inside surface
- q''_{ko} = Conduction heat flux on outside surface

ConFD Algorithm은 CTF를 기반으로 각 부재를 차분하여 각 부재부분의 전도율의 변화를 시간별(Time serise)로 갱신하여 계산한다. 또한 차분, 즉 각 부재를 분절하여 분절된 각 부분을 Node로 인식, 각 부재 내부에서의 전도율의 변화를 반영하기 때문에 CTF보다 상변화 부재 또는 전도율이 실시간으로 변화하는 부재의 열유동을 해석하는데 적합한 Algorithm이라 할 수 있다. ConFD의 기본식은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} &= \frac{1}{2} \left[\left(k_w \frac{(T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} + k_E \frac{(T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} \right) \right. \\
 &\left. + \left(k_w \frac{(T_{i+1}^j - T_i^j)}{\Delta x} + k_E \frac{(T_{i-1}^j - T_i^j)}{\Delta x} \right) \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서,

- T = node temperature
- i = node being modeled
- $i+1$ = adjacent node to interior of construction
- $i-1$ = adjacent node to exterior of construction
- j = time step
- C_p = specific heat of material
- ρ = density of material
- Δx = finite difference layer thickness

CTF와 ConFD가 시간별 변화(Time-series)의 개념을 사용하여 내외부 열유동을 계산해 나가는 것은 동일하지만 CTF는 각 부재의 특성을 상수로 확정하여 계산을 수행하고 ConFD는 각 부재의 열특성 변화 또한 시간 변화에 따라 재설정하여 계산하는 것에 차이가 있다. CTF와 ConFD의 벽체 열유동 해석의 차이를 분석하기 위해 단위공간에 대한 분석을 실시하였다. 시뮬레이션 분석조건은 Table 1, Fig. 4와 같다.

Fig. 5는 벽체의 열유동 해석 알고리즘으로 ConFD와 CTF를 적용한 결과이다. 외기온도 변화에 따른 실내온도는 CTF 대비 ConFD가 다소 높게 산출되는 결과를 보였으며 ConFD와 CTF의 온도편차는 평균 약 0.2°C 정도

Table 1 Comparison simulation with CTF and ConFD (Summer(08/11), Non-inner loads)

No.	Compared items
1	Indoor temperature(°C)
2	Wall heat flow rate(W)

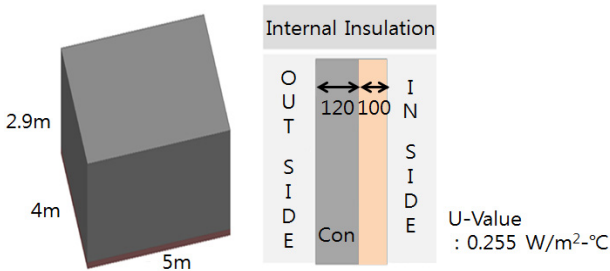


Fig. 4 Analyzed model.

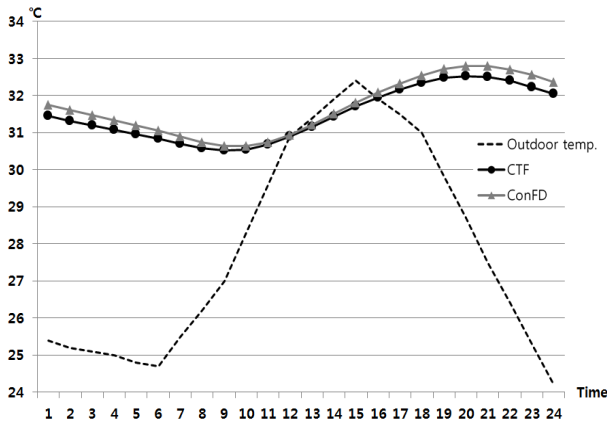


Fig. 5 Indoor temperature changes according to the conduction calculation algorithm.

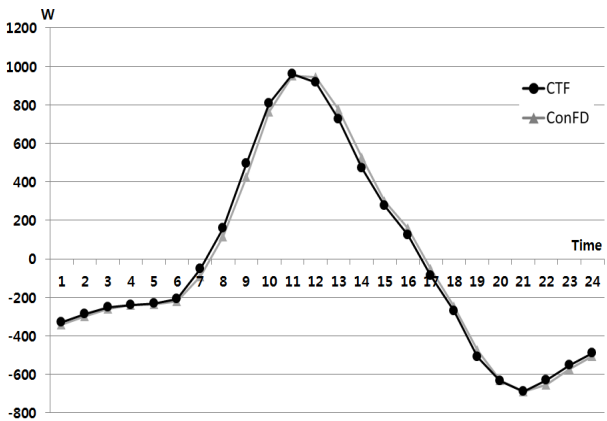


Fig. 6 Wall heat flow rate changes according to the conduction calculation algorithm.

이었다. 벽체(남측)의 시간별 평균 전도 열유동량을 Fig. 6에 나타내고 있다. 그 결과를 보면 ConFD가 CTF 대비 열류특성에서 다소 시간지연을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 즉 ConFD는 시간변화에 따른 변수를 변경 계산하여 CTF 대비 시간에 따른 열류가 지연되어 나타났다. 양자 간의 열류의 전체 총 변화량은 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 장기간(Monthly or Annually) 계산결과에는 큰 차이를 보이지 않지만 단기간(Hourly or Daily)의 계산결과에는 ConFD가 CTF보다 더 민감한 결과를 도출할 수 있을 것이라 판단된다. 그러나 각 알고리즘별 계산시간(cpu time)은 ConFD가 CTF 대비 평균 10배 정도의 계산시간이 소요되기 때문에 자세한 분석이 필요하지 않고 부재가 내의 변화가 급격하게 일어나지 않는다면 CTF Algorithm을 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

2.3 EnergyPlus와 RTS-SAREK의 차이점

EnergyPlus와 RTS-SAREK의 차이점은 크게 해석 알고리즘과 시간지연(Time-lag) 효과를 표현하는 방식으로 정의할 수 있다. EnergyPlus는 사용자가 목적에 따라 열류해석 모델을 지정할 수 있도록 해석 알고리즘을 제공하고 있다. 아울러 사용자가 벽체의 특성인 거칠기(Roughness)나 축열량 등을 반영할 수 있도록 하고 있다. 따라서 벽체의 특성을 반영하여 매시간별로 각 내외부의 영향을 반영하여 계산을 진행하게 된다. 즉 내외부의 영향이 고정되어 있지 않고 변화하며 이 변화는 즉시 계산에 반영된다. 이것은 동일한 외기조건에서도 벽체 표면의 거칠기나 부재구성(Layer) 순서 등의 조건에 따른 열유동의 변화를 반영할 수 있다는 것을 의미한다. 내부로 전달된 열유동은 전부 공기에 전달되는 것이 아니라 일부는 내부부재(천정, 바닥 등)에 상호방사, 흡수, 재방사하는 것을 반영하고 있다.

RTS-SAREK은 각 시간별 고정된 내/외부 조건에 의해 일방향적으로 계산이 수행되고 정해진 조건에 시계열만을 적용하여 계산되기 때문에 EnergyPlus에 비해 열유동을 표현하는데 있어 다소 정확도는 떨어진다.

시계열에 있어서 RTS-SAREK는 EnergyPlus와 다른 방식을 사용한다. 먼저 전도계산에 있어서 RTS-SAREK은 CTS라는 정해진 계수값을 사용하여 시간지연을 표현하지만 EnergyPlus는 앞서 언급한 것처럼 부재의 열유동 흐름을 시간별로 직접 계산하여 전도에 대한 시간지연을 표현한다. 즉 RTS-SAREK은 한정된 계수값을 적용하여 부재의 열유동을 산출하지만 EnergyPlus는 부재간의 열유동을 변화되는 외/내부의 조건을 반영하여 시간별로 직접 계산, 부재의 실시간 열유동을 산출한다.

복사계산에 있어서 RTS-SAREK은 CTS로 계산된 열유동량을 대류와 복사로 구분하고, 복사인자에 대해서는 ASHRAE에서 제공하는 매시간별 RTS 계수에 따른 복사값을 산출한다. EnergyPlus의 경우는 벽체의 열류를 대류와 복사인자로 구분하는 것은 RTS-SAREK과 동일하지만 표준화된 RTS 계수를 사용하지 않고 각 부재별 Decay curve를 적용하여 복사열을 계산한다.

EnergyPlus가 Decay curve를 이용하여 복사의 시간지연을 표현한다는 것은 RTS와 유사하지만 각 부재에 대해 직접 계산을 통해 지연 계수를 산출함으로써 RTS보다 더욱 정확한 시간지연을 표현할 수 있다.

Fig. 7은 ASHRAE ‘RTS representative zone construction’의 Exterior wall-medium을 기준으로 RTS와 Decay curve의 시간별 감소계수를 비교 한 것이다. RTS는 넓은 범위의 부재가 한정된 계수값을 이용, 세부 성능이 다른 부재라도 가장 근접한 값을 찾는 이유로 동일한 계수값이 사용되지만 Decay curve는 동일한 종류 부재에 대해서도 표면 거칠기나 축열용량의 변화에 따라 직접 Decay curve 계산을 함으로서 계수값이 달라질 수 있다.

내단열과 외단열에 따른 부하계산에서 부재 위치에 따른 열유동 변화가 반영되어야 한다. 특히 외단열의 열적 성능의 표현은 변화되는 외기조건의 차단과 내부 구성부재의 축열능력이 가장 중요한 요소이다.

RTS-SAREK은 부재의 위치에 따른 열류특성의 변화를 표현하지 못하고 기존에 한정되어있는 계수들을 사용함으로써 동적인 부하계산 수행에는 한계를 가지고 있다. EnergyPlus는 각 부재를 layer별로 구분하여 매 시간별 열류를 직접 계산하고, 계산에 적용되는 계수 또한 각 부재와 조건에 따라 다르게 적용됨으로써 건물의 동적 열부하 특성을 잘 표현할 수 있다. 따라서 내단열과 외단열에 따른 벽체 열류 특성, 내부 온열환경에의 영향을 분석은 EnergyPlus와 같은 동적 열부하계산 프로그램을 사용하는 것이 적절하다.

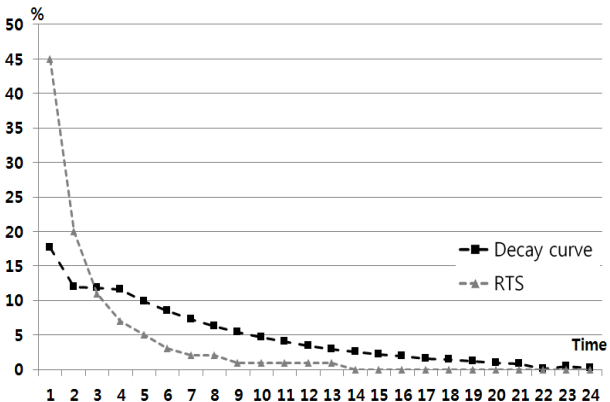


Fig. 7 Comparison of decay curve(EnergyPlus) and RTS.

3. 내/외단열 특성 비교 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 대상건물 개요

본 절에서는 EnergyPlus를 이용하여 내단열과 외단열로 마감된 공동주택의 열환경, 냉난방부하, 에너지 소비량을 분석하고자 한다. 시뮬레이션 대상건물은 Fig. 8과 같은 타워형 공동주택으로 층고 2.9 m, 각 세대의 면적은 130 m²이며 1~2층 3개 세대, 3~20층 4개 세대의 총 78세대로 이루어져 있다. 건물의 주방향은 남동향이다.

3.2 시뮬레이션 조건 및 분석 케이스

본 연구의 목적은 내단열과 외단열 시공의 열적 특성의 차이를 분석하기 위한 것으로 시뮬레이션 조건은 Table 2와 같다. 분석을 위한 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 인천 데이터를 사용하였다. 실내 냉방, 난방 설정온도는 각각 24℃, 20℃로 하였다. 이것은 내단열과 외단열 시공에 따른 냉방과 난방부하 특성을 비교하기 위한 목적으로 설정온도에 따른 쾌적성이나 에너지 절감효과를 염두한 것은 아니다. 채실, 장비, 냉난방 스케줄은 Table 3과 같이 DOE 데이터⁽¹¹⁾를 바탕으로 설정하여 주거건물의 사용패턴과 유사하도록 설정하였다.



Fig. 8 Elevation and plan of simulation model.

Table 2 Simulation input conditions

Density	0.039 person/m ²	Metabolic	60 W/person
Equipment	2 W/m ²	Internal gain	4.34 W/m ²
Heating COP	0.88	Cooling COP	3.5
Heating set-point temp.	20℃	Heating set-back temp.	12℃
Cooling set-point temp.	24℃	Cooling set-back temp.	28℃

내/외단열 공법의 차이는 단열재 위치로 제한하고 다른 모든 조건은 동일하게 설정하였다. 실제 외단열 시공 시 위치와 마감에 따라 단열재의 크기가 내단열재의 크기와 상이할 수 있지만 시뮬레이션에서는 순수한 단열재 위치 차이에 따른 차이를 분석하기 위해 Table 4와 같이 단열재와 콘크리트의 위치 차이만을 반영하였다. 또한 각 세대별 공조공간(방, 거실, 주방)과 비공조공간(화장실, 발코니, 층별코어)에 대한 구분은 실제 주거 건물의 상황과 동일하게 설정하였으며 분석내용은 Table 5와 같다.

Table 3 Schedules

			~06 : 0.10
	~06 : 0.10		~07 : 0.30
	~09 : 0.30		~08 : 0.90
Light Schedule	~15 : 0.10	Equipment Schedule	~09 : 0.70
	~18 : 0.30		~15 : 0.10
	~21 : 0.80		~17 : 0.20
	~24 : 0.70		~18 : 0.50
			~20 : 0.80
			~24 : 0.40
Heating Schedule	~07 : 1.00	Cooling Schedule	~06 : 0.00
	~19 : 0.50		~19 : 0.50
	~24 : 1.00		~24 : 1.00
	~08 : 1.00		
Occupancy Schedule	~16 : 0.25		
	~20 : 0.75		
	~24 : 1.00		

Table 4 Structure composition

Wall(Inside → Outside)	
Position : internal insulation	Position : external insulation
Gypsum board : 19 mm	Gypsum board : 19 mm
Insulation : 20, 55, 65 mm	
- Conductivity : 0.027 W/m-K	Concrete : 150, 200, 250 mm
- Specific heat : 1218 J/kg-K	
- Density : 35 kg/m ³	
	Insulation : 20, 55, 65 mm
Concrete : 150, 200, 250 mm	- Conductivity : 0.027 W/m-K
	- Specific heat : 1,218 J/kg-K
	- Density : 35 kg/m ³

※ Other components are same(Roof, Floor etc.)

Table 5 Analysis items according to the internal and external insulation

No	Items(One dwelling unit)
1	Wall heat Transfer Rate in living room
2	Heating loads(12/16)
3	Cooling loads(08/11)
4	Monthly total loads
5	Heating and Cooling energy demand

시뮬레이션 결과 비교를 보다 명확히 하기 위해 시뮬레이션은 전체 세대에 대해 실시하였으나, 결과의 분석은 Fig. 9와 같이 기준층 한 세대에 대한 결과값을 추출하여 비교, 분석하였다. 결과는 연간/월간에 대한 부하총량을 비교하여 직관적으로 외단열의 효과를 확인할 수 있도록 하였으며 최대 냉/난방부하일자에 대해서는 시간별 변화를 분석하였다. 그리고 일부 벽체(남측벽)에 대하여 벽체의 열유동 흐름에 대해 산출함으로써 내/외단열의 열유동 특성을 상세히 분석하였다.

Fig. 10은 벽체를 외단열, 내단열로 시공한 경우의 벽체를 통한 열유동 특성을 나타낸다. 검정 실선과 점선이 여름과 겨울의 외단열 열유동 흐름을 나타내고 있다. 외단열 시공의 경우 벽체의 열류는 시간에 따른 변화가 없이 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 내단열을 나타내는 회색 실선과 점선의 결과를 보면 일출이 시작되는 5~6시를 기점으로 열류는 손실에서 취득으로 변화하고 있다. 낮 12시경에 실내로의 열취득이 최대 되었다가 점차 줄어드는 결과를 보였다. 이것은 외단열의 경우, 내부에 위치한 콘크리트에 축열되어 외기의 영향을 별로 받지 않지만 내단열의 경우는 외기(일사 포함)의 변화에 따라 열류가 변화하기 때문이다.



Fig. 9 No.202 external wall composition.

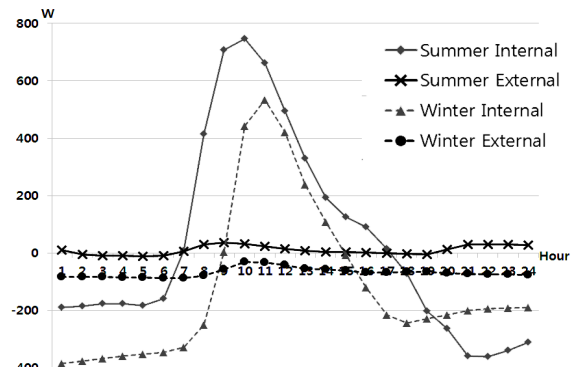


Fig. 10 Wall heat Transfer Rate in living room.

Fig. 11, Fig. 12는 각각 가장 높은 난방, 냉방부하를 보이는 08/11과 12/16일의 하루 중 부하변동 그래프이다. Fig. 11에서 겨울철 난방부하가 두드러진 야간 시간대에 외단열 시공이 내단열 시공에 비해 낮은 난방부하 결과를 보였다. 주간 시간대에는 내/외단열 모두 난방부하가 거의 발생하지 않는데 이것은 주간에는 외출모드로 난방 setback 운전을 실시하기 때문이다. 본 연구에서 설정한 난방 setback 설정온도는 12°C이었으며, 주간에는 실내온도가 12°C 이상으로 유지되어 난방부하가 발생하지 않았다.

Fig. 12의 냉방부하 결과를 보면 19시에 실내 설정온도가 Setback 온도(28°C)에서 설정온도인 24°C로 변경되면서 냉방이 가동되어 부하가 급격히 증가하였다. 24시 Set-point 운전이 종료되기까지 내부에 축열체인 콘크리트가 위치한 외단열 시공의 경우, 축열(냉)으로 인해 22시부터 24시까지는 외단열이 내단열에 비해 다소 높은 냉방부하를 나타내었다. 이 결과는 주간 외출모드로 Setback 운전을 하기 때문에 나타나는 현상으로, 만일 24시간 연속 냉방을 실시한다면 냉기가 내부 축열체인 콘크리트에 축적되어 외단열이 내단열에 비해 낮은 냉방부하를 나타낼 것으로 판단된다. 이 결과는 실내 온도 운전스케줄과 공조방식이 실제 부하결과에도 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있다. 본 시뮬레이션의 결과는 실제적인 차이를 보기위해 운영 스케줄을 적용하여 계산한 결과이다. 그러나 주택에서 Set-

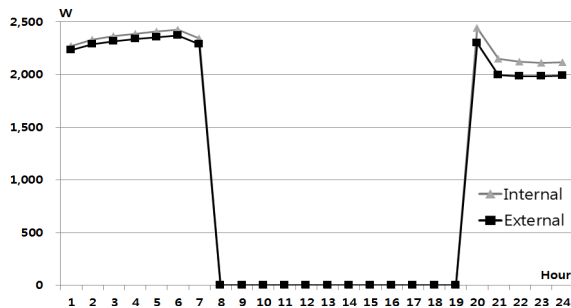


Fig. 11 Heating loads(12/16).

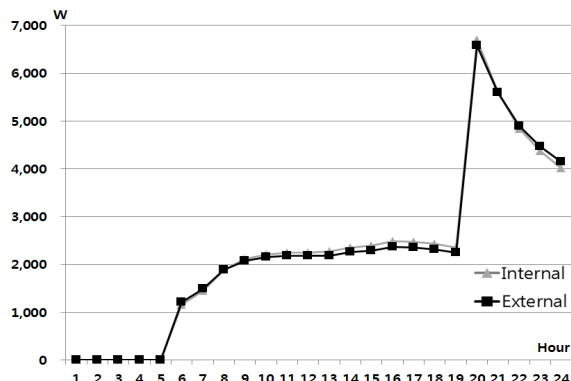


Fig. 12 Cooling loads(08/11).

back 운전을 하는 냉난방 스케줄을 적용하지 않고 단순히 Setpoint 운전만을 적용한다면 내/외단열의 냉방부하의 차이는 더 극명하게 벌어질 것으로 판단된다.

Fig. 13에서 각 월별 내/외단열 시공에 따른 냉난방부하 변화를 나타내고 있다. 여름과 겨울철에는 내단열과 외단열 시공에 따른 난방, 난방부하의 차이는 현저하지 않지만 중간기에는 외단열이 낮은 부하량을 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 외단열이 외기온도 변화에 대해 실내 온도변화가 적어 내외부 온도차가 크지 않은 경우에는 내단열에 비해 부하가 적게 요구된다는 것을 나타내고 있다. 여름철의 냉방부하의 막대 그래프를 보면 8월의 경우, 외단열이 오히려 높은 부하량을 보이는데 이것은 Fig. 11에서 언급한 것과 같이 간헐운전에 따른 결과로 판단된다. 또한 Fig. 13의 각 월별 총부하량을 합산하였을 때 내단열 대비 외단열이 난방부하의 경우 3.7%, 냉방부하의 경우 0.6%를 감소시켜 연간 총 4.3%의 부하 절감효과를 나타냈다.

Fig. 14는 월별 냉난방에너지 소요량이다. 냉방기의 기효율이 난방기에 비해 약 4배 정도 높아 부하에 비교하여 외단열의 에너지 절감량은 더욱 증가하는 결과를 나타냈다. 즉 난방부하 절감효과가 큰 외단열이 연간 에너지 소비량 측면에서 보면 그 절감효과 크게 나타나게 된다.

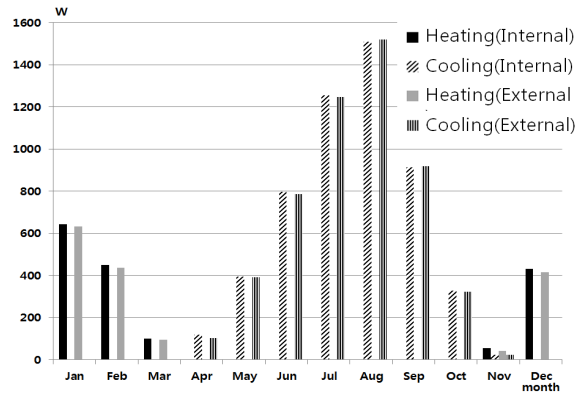


Fig. 13 Heating and cooling loads by month.

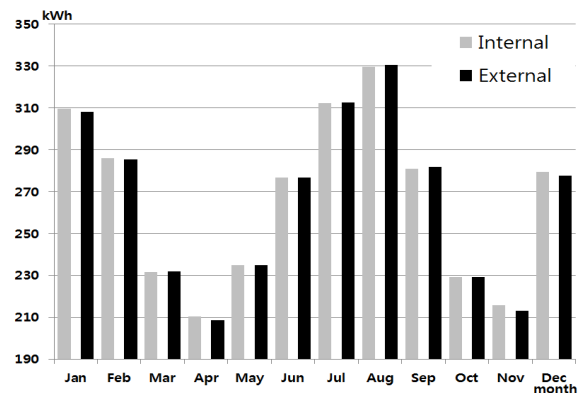


Fig. 14 Heating and cooling energy demand by month.

결과적으로 외단열 시공 시 내단열 시공에 비해 연간 냉/난방부하는 4.3%를 절감되었지만 에너지 소비량은 약 13.6%의 절감효과를 나타냈다.

4. 결 론

본 논문에서는 외단열의 벽체 열류 특성을 국내에서 냉/난방 부하계산에 범용적으로 사용하고 있는 RTS-SAREK과 EnergyPlus를 통해 검토하였으며 외단열의 내단열 대비 에너지 절감효과를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) RTS-SAREK은 벽체 열류의 차이를 열관류율만을 적용하여 표현하는 한계점으로 내단열과 외단열 시공에 따른 벽체의 축열, 열류 시간지연 효과 등을 표현하지 못하는 것으로 나타났다.
- (2) EnergyPlus는 벽체의 열류해석을 위한 다양한 해석알고리즘을 가지고 있으며, 벽체 내 열류의 시간지연효과를 직접적 계산함으로써 외단열의 열류특성을 효과적으로 표현할 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) EnergyPlus를 이용한 내단열, 외단열 시공에 따른 벽체 내 열류특성을 분석한 결과, 내단열은 외부온도의 변화에 따른 벽체 내 열류변화가 현저한 반면 외단열은 외부온도 변화에도 일정한 열류를 나타냈다.
- (4) 냉난방부하 측면에서도 외단열은 내단열 시공과 비교하여 연간에 걸쳐 약 4.3%의 낮은 부하량을 나타냈다.
- (5) 연간 냉난방에너지 소비량도 외단열 시공이 내단열 시공에 비해 약 13.6% 정도 절감되는 결과를 보였다.
- (6) 본 연구는 공동주택에서 내단열 시공과 외단열 시공에 따른 열류, 부하, 에너지 소요량을 상대적으로 비교한 것으로 추후 연구로는 실제 공동주택의 에너지 소비량을 조사하여 보다 객관적으로 외단열 시공의 에너지 절감효과를 분석하고자 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비 지원(16AUDP-B100343-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. MOLIT, 1st basic planning of green building.
2. iPHA, <http://www.passivehouse-international.org>.

3. BRE, <http://www.bre.co.uk>.
4. I-SH, Study of a apartment house application of thermal insulation and performance assessment.
5. Kolaitis, D., 2013, Comparative assessment of initial and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings, Energy and buildings, Vol. 64, pp. 123-131.
6. Ki, H. Y., 2013, An analysis on the effects of applying interior insulation and external insulation in buildings.
7. Koo, B. K., 2010, Comparison of annual heating and cooling loads of internally and externally insulated apartment buildings according to the location mass, Journal of KSES, Vol. 30, No. 1, pp. 42-49.
8. SAREK, RTS manual.
9. U.S. Department of Energy EnergyPlus : Energy Simulation Software; 2012, Available from : <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>(accessed 1.05.12).
10. ASHRAE Handbook Fundamentals.
11. U.S. department of energy. Residential Building Reference Model(https://www.energycodes.gov/development/residential/iecc_models) (accessed on 5 January 2016), Yoon, Y. B., 2014, Annual building energy simulation software-EnergyPlus, Journal of SAREK, Vol. 43, No. 9, pp. 30-37.
12. An, S. H., 2014, A comparison of RTS with EnergyPlus as peak cooling and hating load calculation method, Proceeding of SAREK, pp. 122-125.
13. Kim, K. C., 2011, Improve directionality of apartment building remodeling, Journal of GIAPA, Vol. 11, pp. 27-52.
14. Park, C. Y., 2014, A Case Analysis for Applying External Insulation System on Residential Buildings, ssyenc, Journal of AIK, pp. 60-65.
15. Han, S. W., 2013, The Outside Insulation Performance of the Building Vegetation System for Energy Savings, Journal of AIK, Vol. 3, No. 2, pp. 419-420.
16. Kang, H. M., 2012, A Suggestion on the Design-build Integrated Management for Revitalization of Exterior Insulation and Finishing System(EIFS), Journal of AIK, Vol. 28, No. 11, pp. 157-166.
17. Cui, J. L., 2014, A Preliminary Study to Develop the Construction Method for Working Exterior Simultaneously with Vertical Structural work, Journal of KIC, Vol. 14, No. 2, pp. 73-74.