

EnergyPlus를 이용한 건물 부위별 목질제품 적용에 따른 건축물 에너지 절감 기여도 평가¹

서 정 기^{2,3} · 위 승 환² · 김 수 민^{2,†}

Evaluation and Analysis of The Building Energy Saving Performance by Component of Wood Products Using EnergyPlus¹

Jungki Seo^{2,3} · Seunghwan Wi² · Sumin Kim^{2,†}

요 약

최근, 전 세계적으로 온실 가스 증가에 따른 기후 변화에 대한 문제가 논의되고 있다. 그중, 건축물에서의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 40%까지 증가할 것으로 예상된다. 따라서 건축물에서의 에너지 소비량 절감에 대한 노력이 필요한 실정이다. 본 연구에서는, 건물에너지 절감에 효과적으로 기여하는 재료 중 하나인 목재를 이용하여, 목질 제품 구성에 따른 중부지방과 남부지방의 난방에너지 요구량에 대하여 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 도구는 미국 에너지부(Department of Energy)가 BLAST와 DOE-2의 장점을 결합해 만든 동적 에너지 해석 엔진인 EnergyPlus를 이용하였다. EnergyPlus는 다양한 건물 및 HVAC 시스템 구성요소(Object)에 대한 입력항목(Field)을 가지고 있으며, 특히 건물, 공조시스템, 열원기기 사이의 피드백을 통해 통합된 동시계산을 수행하며, ASHRAE Standard 140-2007 표준에 따라 상용 프로그램 간의 비교를 통해 검증된 프로그램이다. 시뮬레이션을 위한 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 IWEC 인천 지역과 광주 지역의 epw 형식 기상데이터를 이용하였다. 대상 모델은 한국농어촌공사에서 제시한 2012년 농·어촌주택 표준설계도면 중 '농림-12-26-가' 유형을 이용하였으며 총 10개의 실로 구성되어 있다. 시뮬레이션 분석 결과, 중부지방과 남부지방 별 목질 제품의 적용 범위를 실내마감재, 실외마감재, 창호, 목구조로 단계적으로 변경해 지역에 따라 각각 16 Case의 시뮬레이션을 수행한 결과 실내외의 마감재로 목재를 사용한 것만으로도 에너지 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Increasing green house gas and it consequent climate change problems are discussed as a global issue. Accordingly, future local green house gas emission will increase up to 40% of the entire local green house gas emission and therefore, efforts to reduce the emission in construction industry is urgently required. Therefore, in this study, heating

¹ Date Received March 29, 2016, Date Accepted May 28, 2016

² 송실대학교 건축학부 건축환경재료연구실, Building Environment and Materials Lab, School of Architecture, Soongsil University, Seoul 06978, Republic of Korea

³ 한국건설생활환경시험연구원 건축유해성평가센터, IAQ Center, Korea Conformity Laboratories, Gunpo 15849, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 김수민(e-mail: skim@ssu.ac.kr)

energy demand was analyzed by using the EnergyPlus simulation according to wood material finishes configuration. EnergyPlus has the entry for a variety of buildings and heating, ventilation, air conditioning (HAVC) system components, in particular buildings, air conditioning systems, and performs simultaneous integrated calculated through the feedback between the heat source unit, a verification program according to the ASHRAE Standard 140-2007 to be. The climate data for the simulation we used the data IWEC in Incheon and Gwangju provided by EnergyPlus. The analysis of simulation model was farm and fishing house standard design drawings: 2012, presented at the Korea Rural Community Corporation. The results of simulation of central region and southern region were effected by wood products of simulation model into the interior finish, exterior finish, windows, wooden structure. Also, it was confirmed that the reduced heating energy demand.

Keywords : simulation analysis, building energy saving, EnergyPlus, wood products, Korea region

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 소비에 대한 관심이 증가하고 있다. 그중, 건축물에서의 에너지 소비량은 가정 부문과 상업공공기타의 값을 합한 값으로 산업, 수송과 함께 에너지 소비 및 온실가스 배출의 3대 요인 중 하나이다. Fig. 1은 주요 국가별 최종에너지 소비율(2010년)을 나타낸 것이다. 국내에서는 전체 에너지 소비량의 약 25%를 차지하는 건축물의 에너지 소비량 또한 건축물 공급확대 및 산업시설의 감소, 그리고 선진국의 에너지 소비 패턴을 확인해 볼 때 장기적으로는 40%까지 증가할 것으로 예상된다(Yu 등, 2013). 최근 국내에서 건축물 에너지 소비 절감을 위해 에너지융합리화법 개정을 통하여 에너지절약 정책이 강화되었고, 2017년부터 에너지 관련 기준이 패시브하우스 수준으로 강화되며, 2025년부터는 제로에너지하우스 수준으로 의무화할 것을 규정하였다(Kang과 Kim, 2016). 에너지절약 정책에 따라, 건물에너지 절감에 기여하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 본 논문에서는 건축물 에너지 절감에 효과적으로 기여하는 재료 중 하나인 목재를 이용하였다. 목재는 인류 역사와 함께 사용되어 왔으며 인간생활을 위한 필수적인 건축재료로서 초고층 건물의 건축이 가능한 현대까지 폭넓고 다양한 구조재 및 실내·외 마감재로 사용되고 있다(Chang, 2003). 건축재료로서 목재는 기존 재료의 개선 또는 새로운 재료의 개발에 의해 도태되지 않고 현재까지 이용되고 있으며 특히, 국내에서는 목재가 가지는

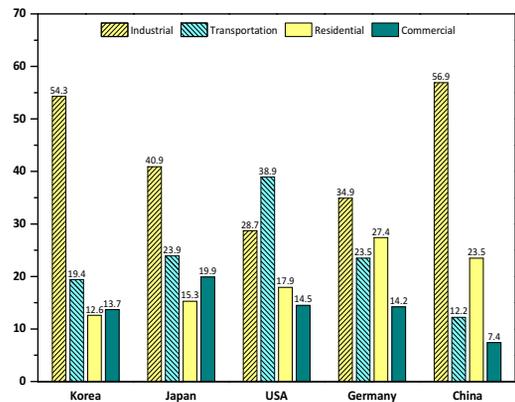


Fig. 1. Total energy consumption.

다양한 장점으로 인하여 그 활용도를 점점 높여가고 있다(Kim 등, 2013). 구조재 및 마감재로 건축물의 전범위에 걸쳐 목재가 다양하게 사용되고 있는 이유로는 목재가 가진 다양한 장점 때문으로 볼 수 있다. 목재의 열적 특성을 살펴보면 Table 1과 같이 타 건축재료와 비교하였을 때 철의 약 500배, 콘크리트의 약 10배의 단열성능을 가지고 있어 구조재 및 마감재로 우수한 단열성능을 가진다. 또한, 타 재료와 비교하여 화석연료 저감과 대기 중 온실 가스 안정화에 기여할 수 있다. 따라서 건축물의 에너지 절약 성능을 살펴보기 위하여 건축물 에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus를 이용하여 목질 건축자재를 건물의 내장재, 외장재, 창호, 현관문, 구조재에 적용하였을 때의 에너지 절감성능을 분석하였다.

Table 1. Thermal conductivity of various materials

Materials	Thermal conductivity (W/m · K)
Wood (Hinoki Cypress)	0.082
Plywood	0.12~0.14
Hardboard	0.11~0.13
Particle board	0.13~0.14
Wood-cement particleboard	0.35
Concrete	1.3
Copper	400
Aluminium	201

2. 시뮬레이션

2.1. 시뮬레이션 개요

목질기반 고단열 실내마감재의 실내 적용 시 에너지 절감 효과의 비교를 위해 목재 마감재의 사용이 많은 주거용 건물(단독주택)을 대상으로 건물 에너지 동적 해석 시뮬레이션을 수행해, 마감재의 종류에 따른 냉·난방 및 총에너지 요구량을 분석하였다. 시뮬레이션 도구는 미국 에너지부(Department of Energy)가 BLAST와 DOE-2의 장점을 결합해 만든 동적 에너지 해석 엔진인 EnergyPlus를 이용하였다. EnergyPlus는 다양한 건물 및 HVAC 시스템 구성 요소(Object)에 대한 입력항목(Field)을 가지고 있으며, 특히 건물, 공조시스템, 열원기기 사이의 피드백을 통해 통합된 동시계산을 수행하며, ASHRAE Standard 140-2007 표준에 따라 상용 프로그램 간의 비교를 통해 검증된 프로그램이다.

2.2 기상데이터

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 IWEC 인천 지역과 광주 지역의 epw 형식 기상데이터를 이용하였으며 각 데이터의 기온, 노점 온도, 직달 일사량의 월 평균값을 Fig. 2와 3에 나타내었다.

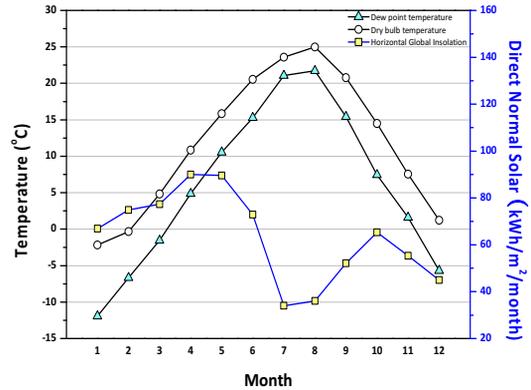


Fig. 2. Mainly climate data of central region of Korea.

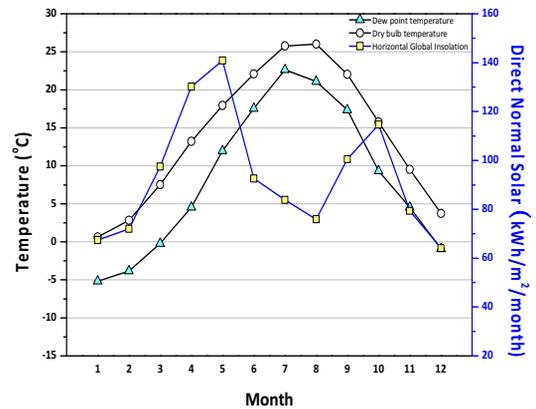


Fig. 3. Mainly climate data of southern region of Korea.

2.3 시뮬레이션 입력조건

시뮬레이션을 위한 기본 입력 조건은 Table 2와 같다. 해석 모델의 HVAC 시스템은 시스템 관련 변수에 의한 간섭을 최대한 배제하기 위해 ‘Ideal Load Air System (이상적인 공조 시스템)’을 적용하였다. ‘Ideal Load Air System’은 존에서 요구된 냉·난방 부하가 무한 용량의 가상 공조 시스템(시스템 효율 100%)에 의해 처리되는 것으로 가정하며, 지정된 공급 공기와 혼합(환기+외기)공기의 엔탈피 차에 의해서만 부하 계산을 수행한다. 대상 건물의 설정 온·습도는 에너지절약설계기준에 따라 설정하였으며, 내부 열취득은 ASHRAE Handbook

Table 2. Simulation input data

Input data	Value
Interior temperature condition	Heating: 20℃, Relative humidity: 50%
	Cooling: 26℃, Relative humidity: 50%
Occupancy schedule	00:00~08:00, 18:00~24:00 100%
	08:00~18:00 30%
Heat gain from occupants	117 W/person
Heat gain from lightning	5.4 W/m ²
Heat gain from equipment	3.0 W/m ²
Number of occupants	3 person/unit
Infiltration rate	0.2 ac/h ^{a,c}
Ventilation rate	10 L / sec · person ^c
HVAC ^b	Ideal Loads Air System
Climate data	Central region: Incheon, Korea
	Southern region: Gwangju, Korea

a : The default option where infiltration is defined in air changes per hour

b : Heating, ventilation, and air conditioning

c : Based on the ASHRAE standard 140-2007

Fundamentals (2009)의 기준을 참조하였다. 국·내외 신뢰성이 확보된 기준이 없는 주거용 건물의 재실 밀도 및 스케줄은 국내 선행 연구 및 법 기준을 참조하여 입력하였다. 환기 및 조명 발열은 재실 스케줄과 동일하게 입력하였으며, 침기와 기기발열은 시간대별로 변동 없이 일정한 것으로 가정하였으며, EnergyPlus에서 따르는 ASHRAE Standard 140-2007의 기준으로 입력하였다. 단열재와 각재가 혼합된 목구조 건물의 정확한 열전도율을 입력하기 위해 상당열관류율 계산 프로그램을 활용하여 해당 층의 열전도율을 계산하였다. 벽체 전체의 상당열관류율을 계산한 후 역산하여 단열재+각재 혼합층의 열전도율을 계산하여 시뮬레이션 프로그램에 입력하였다.

2.4 해석 모델

현재 국내의 경우 건물 에너지 시뮬레이션을 위한 표준 건물에 대한 기준이 없어, 국내 주거문화의 변화를 반영해 다양한 단독주택의 설계를 지속적으로

로 갱신하고 있는 농어촌주택 표준설계도서의 유형 중 하나를 선정하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 해석 대상 모델은 한국농어촌공사에서 제시한 2012년 농·어촌주택 표준설계도면 중 ‘농림-12-26-가’ 유형을 이용하였으며 총 10개의 실로 구성된 84.64m² (25평형)인 단층 주택으로 실 구성 및 면적은 Table 3과 같다. Fig. 4는 대상건물의 평면도를 보여주고 있으며 벽체의 구성은 표준설계도에서 제시하고 있는 콘크리트 구조를 대조군으로 설정하였다. 시뮬레이션 결과값의 비교를 위해, 적용 부위별로 16 Case를 선정하였으며, Table 5에 나타내었다. 구조재, 실내마감재, 실외마감재, 및 창호를 목질제품과 비목질제품으로 적용하였을 때의 연간 에너지 요구량에 대한 분석을 실시하였으며, 이때 목구조의 벽체 구성은 일반적으로 많이 사용되는 목구조 벽체로 구성하였다. 자세한 벽체 구성 및 물성값은 Table 4에 제시하였다. 또한 중부지방과 남부지방의 기후조건에 따른 에너지 요구량에 대한 분석을 실시하였다.

Table 3. Configuration of a simulation model

Room	Area (m ²)	Floor height (m)	Ceiling height (m)	Heating condition
Main room	13.69	4.8	2.4	Heating
Living room	20.04	4.8	Variety	Heating
Room 1	9.36	4.2	2.4	Heating
Room 2	8.64	4.2	2.4	Heating
Kitchen	12.58	4.8	2.4	Heating
Toilet	2.89	4.8	2.4	Heating
Bathroom	4.90	4.8	2.4	Heating
Entrance	3.96	4.8	2.4	Unheating
Boiler room	2.54	4.8	2.4	Unheating
Utility room	6.04	4.8	2.4	Unheating
Total	84.64	-	-	Heating: 7 Unheating: 3

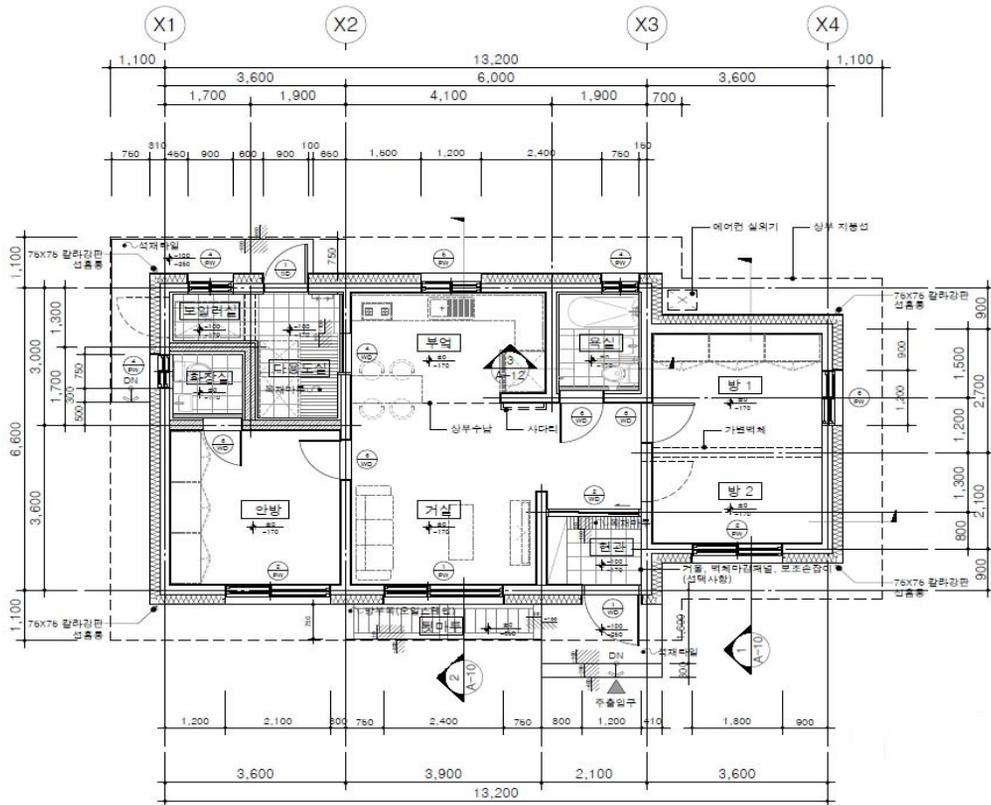


Fig. 4. Floor plan of simulation model.

Table 4. Assembly and thermal properties of simulation model

	Material	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m · K)	Thermal transmittance (W/m ² · K)		
Concrete structure	Finishing mortar	12.5	0.720	Central, Gypsum: 0.461		
	Concrete	200	1.950			
	Exterior wall	EPS	Central: 65 Southern: 50	0.036	Central, Wood: 0.459	
		Wood board ^a / Gypsum board ^a	12.5	0.150 / 0.180	Southern, Gypsum: 0.567	
		Korean paper ^b	1		Southern, Wood: 0.565	
	Roof	Asphalt single	3	0.040	Central, Gypsum: 0.419	
		Asphalt roofing ^b	2	0.190		
		Mortar	30	1.400	Central, Wood: 0.417	
		Concrete	200	1.950		
		EPS	Central: 70 Southern: 90	0.036	Southern, Gypsum: 0.340	
		Wood board ^a / Gypsum board ^a	12.5	0.150 / 0.180	Southern, Wood: 0.338	
		Korean paper ^b	1			
	Floor	Leveling concrete	50	1.950	0.342	
		PE film ^b	2	0.210		
		EPS	70	0.036		
		Concrete	200	1.950		
		cellular concrete	110	0.200		
		Protective mortar	30	1.400		
		Linoleum	3	0.072		
Interior wall	Mortar	18	1.400	2.745		
	Concrete	200	1.950			
	Mortar	18	1.400			
Ceiling	Gypsum board	12.5	0.160	4.828		
	Korean paper ^b	1	0.170			
Door	Wood door	45	0.150	2.331		
Window	PVC+Low-e double layer	Central	Thermal transmittance (W/m ² · K): 3.0 SHGC ^c : 0.56	Thermal transmittance (W/m ² · K): 3.3, SHGC ^c : 0.56		
		Southern				
Wooden structure	Exterior wall	Wood siding ^a	12.5	0.120	0.321	
		OSB	11.3	1.950		
		Glass fiber insulation	89	0.047		
	Wood stud	38	0.050			
	Urethane foam ^a	12.5	0.160			
	Gypsum board	12.5	0.160			
	Wood louver	12.5	0.120			
	Roof	Wood siding	12.5	0.120		0.238
		OSB	11.3	1.950		
		Glass fiber insulation	140	0.047		
		Wood stud	38	0.050		
		Urethane foam ^a	12.5	0.160		
		Gypsum board	12.5	0.160		
	Floor	Wood louver	12.5	0.120	Same as concrete structure	
		OSB	11.3	1.950		
		Glass fiber insulation	140	0.047		
	Interior wall	Wood stud	11.3	1.950	0.297	
		OSB	11.3	1.950		
		Wood louver	12.5	0.120		
Ceiling	Gypsum board	12.5	0.160	4.828		
	Korean paper ^b	1	0.170			
Door	Wood door	45	0.150	2.331		
Window	Wood window	Central	Thermal transmittance (W/m ² · K): 2.2, SHGC ^c : 0.56	Thermal transmittance (W/m ² · K): 2.4, SHGC ^c : 0.56		
		Southern				

a: Change materials according to the Case

b: Excluding when calculate U-value

c: Solar heat gain coefficient

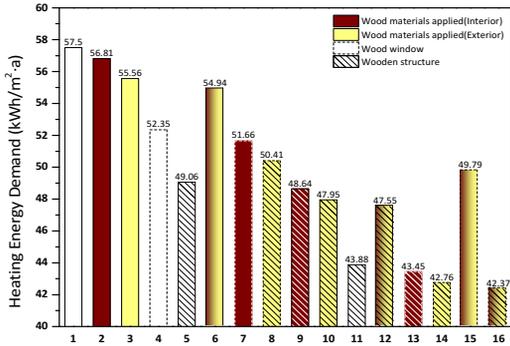


Fig. 5. Heating energy demand according to wood materials of central region of Korea.

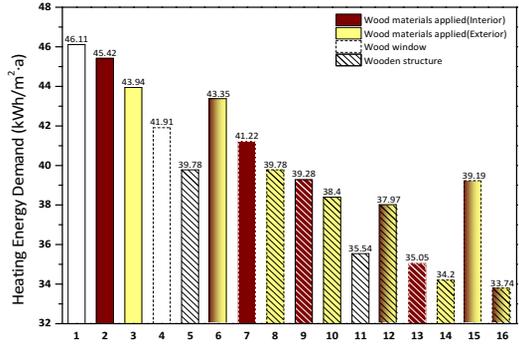


Fig. 6. Heating energy demand according to wood materials of southern region of Korea.

3. 시뮬레이션 분석 결과

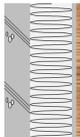
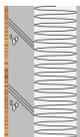
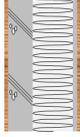
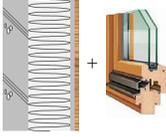
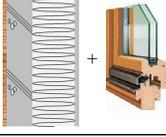
3.1. 목질 제품의 적용 범위에 따른 에너지 절감률

목재를 건물 부위별로 적용 시 절감되는 에너지 절감량을 비교하기 위해 비목질 구조재(콘크리트) + 비목질 마감재가 적용된 기준 모델(Case 1)에 실내 마감재, 실외 마감재, 창호, 구조재를 목재의 적용 범위로 변경해 시뮬레이션을 수행하였다. 총 16 Case에 대해 시뮬레이션을 수행했으며, 그 결과는 다음 Table 5, Fig. 5와 같다. 중부지방의 경우, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.2% 난방 에너지가 절감되었으며, 실외 마감재를 적용 시에는 3.4%, 내·외부 동시 적용 시에는 4.5%의 난방 에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호 적용 시에는 9.0% 난방 에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용할 경우 10.2% 에너지가 절감되었고, 외부 마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 12.3% 난방 에너지가 절감되었다. 목구조를 적용했을 경우 14.7%의 난방 에너지가 절감되었으며 벽체의 두께 또한 콘크리트 구조에 비해 얇아질 수 있었다. 목구조에 실내 마감재까지 적용 시에는 15.4%, 외부 마감재까지 적용했을 시에는 16.6%의 난방 에너지가 절감되었다. 실내·외 마감재, 창호, 구조재를 전부 교체했을 경우에는 26.3%의 난방 에너지 절

감이 가능했으나, 냉방 에너지는 다소 상승하는 것으로 분석되었다. 총 에너지 요구량은 냉방 에너지 요구량 증가폭에 비해 난방 에너지 요구량의 감소폭이 커 16.8% 감소하는 것으로 나타났다.

남부지방의 경우에도 중부지방과 동일하게 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’의 평가기준 주택의 부위별 열관류율을 적용한 비목질 구조재(콘크리트) + 비목질 마감재인 기준 모델(Case 1)에 목재의 적용 범위를 실내 마감재, 실외 마감재, 창호, 목구조로 단계적으로 변경해 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과는 다음 Table 5, Fig. 6과 같다. 남부지방의 경우도 중부지방과 유사하게, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.5% 난방 에너지가 절감되었으며, 실외 마감재를 적용 시에는 4.7%, 내·외부 동시 적용 시에는 6.0%의 난방 에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호의 적용 시에는 9.1%의 난방 에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용할 경우에는 약 10.6% 에너지가 절감되었고, 외부 마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 13.7% 난방 에너지가 절감되었다. 목구조를 적용했을 경우 13.7%의 난방 에너지가 절감되었고, 실내 마감재까지 적용 시에는 14.8%, 외부 마감재까지 적용했을 시에는 16.7%의 난방 에너지가 절감되었다. 실내·외 마감재, 창호, 구조재를 전부 교체했을 경우에는 26.8%의 난방 에너지 절감이 가능했으며, 냉방 에너지는 다소 상승하는 것으로 분석되었다. 총 에너지 요구량은 난방 에

Table 5. Heating energy demand according to wood materials of each region of Korea

Case	Region	Heating energy demand		Ratio (%)	Case	Region	Heating energy demand	
		(kWh/m ² · a)	(%)				(kWh/m ² · a)	(%)
1	Base model	Central	57.50	100		Central	48.64	84.6
		Southern	46.11					
2	IF	Central	56.81	98.8		Central	47.95	83.4
		Southern	45.42					
3	OF	Central	55.56	96.6		Central	43.88	76.3
		Southern	43.94					
4	WD	Central	52.35	91.0		Central	47.55	82.7
		Southern	41.91					
5	ST	Central	49.06	85.3		Central	43.45	75.6
		Southern	39.78					
6	IF + OF	Central	54.94	95.5		Central	42.76	74.2
		Southern	43.35					
7	IF + WD	Central	51.66	89.8		Central	49.79	86.6
		Southern	41.22					
8	OF + WD	Central	50.41	87.7		Central	42.37	73.7
		Southern	39.78					

IF: Wood materials applied (interior), OF: Wood materials applied (exterior), WD: Wood window, ST: Wooden structure

너지 요구량 증가폭에 비해 난방 에너지 요구량의 감소폭이 커 13.7% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

시뮬레이션 모델의 중부지방과 남부지방별 목재의 적용 범위를 실내마감재, 실외마감재, 창호, 목구조로 단계적으로 변경해 지역에 따라 각각 16 Case의 시뮬레이션을 수행한 결과 실내외의 마감재로 목재를 사용한 것만으로도 에너지 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 중부지방의 경우, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.2% 난방에너지가 절감되었으며, 실외 마감재를 적용 시에는 3.4%, 내·외부 동시 적용 시에는 4.5%의 난방에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호 적용 시에는 9.0% 난방에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용할 경우 10.2% 에너지가 절감되었고, 외부마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 12.3% 난방에너지가 절감되었다. 남부지방의 경우도 중부지방과 유사하게, 콘크리트 구조에 실내 목재 마감재를 적용 시에는 1.5% 난방에너지가 절감되었으며, 실외 마감재 적용 시에는 4.7%, 내·외부 동시 적용 시에는 6.0%의 난방에너지가 절감되는 것으로 나타났다. 목재 창호의 적용 시에는 9.1%의 난방에너지 절감이 가능했으며, 실내 마감재와 창호를 같이 적용할 경우에는 약 10.6% 에너지가 절감되었고, 외부마감재와 창호를 같이 적용한 경우에는 13.7% 난방에너지가 절감되었다. 또한 마감재와 더불어 구조재, 창호를 목재로 변경하였을 경우에는 중부지방은 16.8%, 남부지방은 13.7%의 난방에너지 요구량의 절감을 확인할 수 있었으며 더불어 목구조를 사용함에 따라 벽체 두께의 감소 또한 확인할 수 있었다. 건축물 에너지 사용량에 큰 비중을 차지하는 난방에너지 사용량의 절감은 건축물 에너지 절감에 큰 기여를 할 것으로 판단되며, 궁극적으로 건물 에너지 사용량에서 큰 절감효과를 기대할 수 있을 것이다. 또한, 목재를 이용한 에너지 절감 방안에 대한 연구가 더욱 더 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A1058448).

REFERENCES

- Chang, K.-K. 2003. Environment-friendly Wood House Architectural Institute of Korea, Review of Architecture and Building Science 47(5): 33-36.
- Kang, Y., Kim, S. 2016. Evaluation of The Hydrothermal Performance by Wall Layer Component of Wooden Houses Using WUFI Simulation Program Journal of the Korean Wood Science and Technology 44(1): 75-84.
- Kim, S., Park, J.-S., Lee, J.-J. 2013. Improvement of Energy Efficiency in Wood Frame House with Energy Efficient Methods, Journal of the Korean Wood Science and Technology 41(1): 77-86.
- Kim, S., Yu, S., Seo, J., Kim, S. 2013. Thermal Performance of Wooden Building Envelope by Thermal Conductivity of Structural Members, Journal of the Korean Wood Science and Technology 41(6): 515-527.
- Kim, S. 2013. Application of Wood and Wooden Architecture in Order to Save Construction Energy, Architectural Institute of Korea, Review of Architecture and Building Science 57(4): 13-16.
- Yu, S.-G., Kim, S., Seo, J., Kim, S. 2013. Analysis of Energy Efficiency of Light-Weight Wood Frame House and Wooden Passive House Using PHPP, Journal of the Architectural Institute of Korea 29(8): 199-207.