

건축물 에너지 시뮬레이션 적용을 위한 목재 열전도율 데이터베이스 구축

서 정 기^{1,2}, 강 유 진¹, 김 수 민^{1,†}

¹송실대학교 건축학부 건축환경재료연구실, ²한국건설생활환경시험연구원 건축유해성평가센터

Wood Thermal Conductivity Database Construction for the Application of Building Energy Simulation

Jungki Seo^{1,2}, Yujin Kang¹, Sumin Kim^{1,†}

¹Building Environment and Materials Lab, School of Architecture, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

²IAQ Center, Korea Conformity Laboratories, Gunpo 15849, Korea

Abstract: The increasing interest in the environment and climate change around the globe, while the importance of building energy saving is increasing. The building energy simulation program is used for evaluating of energy performance of buildings. However, an input value of wood thermal conductivity in the programs is different from each other. Therefore, in this study, wood thermal conductivity was measured according to species. Through construction database by species of wood, the error of simulation program are able be decreased. In addition, if used as a structural and interior of buildings, the thermal conductivity and moisture of the wood is difficult to apply to the program because they were changed according to the occupant's lifestyle. In this paper, thermal conductivity and moisture content of wood confirmed changes in the constant temperature and relative humidity (25°C, 50% R.H.) condition.

Keywords: wood species, thermal conductivity, thermo-hygrostat, water content

1. 서 론

전 세계적으로 환경문제와 기후변화에 대한 관심이 증가함에 따라 건축물 에너지에 대한 관심도 증가하고 있다. 국내에서의 건축물 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 약 25%를 차지하고 있으며, 건축물 공급확대 및 산업시설의 감소와 선진국의 에너지 소비 패턴에 의하면 장기적으로 보았을 때 40%까지 증가할 것으로 예상된다(에너지관리공단 2012). 이에 국내 정부에서는 건축물 에너지

소비 절감을 위하여 에너지절약 정책 및 신축에 대한 규정을 강화하고 있다.

최근에는 에너지 절약형 건축물에 대한 관심이 증가함에 따라 북미와 유럽에서의 주거용 목조주택이 국내에 도입되어 많은 수의 목조주택이 신축되고 있다. 목재는 건축 재료로서 지속가능한 자원이며 에너지 효율적인 자재 중 하나로 주목받고 있다. 또한 현재까지 폭넓고 다양한 구조재 및 실내·외 마감재로 사용되고 있으며 목재가 가지고 있는 다양한 장점으로 그 활용도는 높아져가고 있다(장 2003). 목재의 열적 특성을 타 건축 재료와 비교하면 목재(편백)의 열전도율은 0.082 W/mK로 콘크리트의 열전도율 1.3 W/mK에 비하여 약 10배의

2016년 3월 21일 접수; 2016년 4월 12일 수정; 2016년 4월 25일 게재확정

† 교신저자 : 김 수 민 (skim@ssu.ac.kr)

Table 1. Thermal conductivity of wood by species

Species	Thermal conductivity (W/mK)	Species	Thermal conductivity (W/mK)	Species	Thermal conductivity (W/mK)	Species	Thermal conductivity (W/mK)
Paulownia	* S 0.072	Batu	S 0.107	Pinus rigida	H 0.126	Picrasma	S 0.150
Spruce	H 0.083	Douglas fir	H 0.107	Birch	S 0.127	Oak	S 0.150
Ipe	S 0.089	Juglans mandshurica	S 0.110	Kalopanax	S 0.130	Huckberry	S 0.150
Larch	H 0.090	Pine radiata	H 0.110	Toona sinensis	S 0.130	Ovangkol	S 0.151
Populus maximowiczii	S 0.090	Maple1	S 0.110	Muackia amurensis	S 0.130	Balsa	S 0.154
Cedar	H 0.090	Yellow pine	H 0.111	Pyrifolia	S 0.130	Red oak	S 0.155
Ponderosa pine	H 0.090	Red cedar	H 0.114	Maple2	S 0.137	Zebra	S 0.158
Pine	H 0.094	Walnut	S 0.117	Teak	S 0.138	Black locust	S 0.160
Lauan	H 0.094	Bubinga	S 0.119	Cherry	S 0.138	Schimidt birch	S 0.160
Prunus takesimensis	S 0.094	Willow	S 0.120	Elm	S 0.139	Merbau	S 0.160
Canada pine	H 0.094	Afzelia	S 0.120	Zelkova	S 0.140	Ash	S 0.163
Hinoki	H 0.096	Red pine	H 0.120	Water gum	S 0.140	Schmit's birch	S 0.170
Mahogany	S 0.096	Chestnut	S 0.121	Alder	S 0.143	Beech	S 0.175
Picea sitchensis	H 0.097	Pinus desiflora	H 0.122	Ebony	S 0.148	White oak	S 0.180
Aspen	S 0.101	Swamp ash	S 0.122	Puple heart	S 0.149	Bankiral	H 0.180
Nut pine	H 0.101	Ginkgo	H 0.125	Dao	S 0.150		

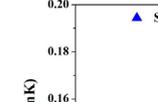
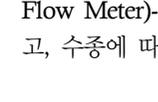
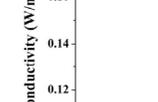
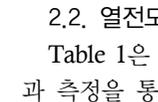
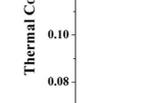
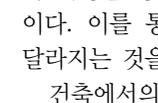
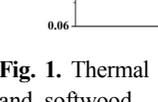
* S: Softwood / H: Hardwood

단열성능을 지니고 있다. 목재를 실내 마감재로 사용하였을 경우, 건축물 에너지 소요량이 최대 7% 이상 감소하므로 에너지적인 측면으로 우수하다고 볼 수 있다(김 외 2013). 또한 목재의 탄소 저장량은 250 kg/m³으로 건축에 활용할 경우 탄소고정 효과로 건축물 시공 및 재료의 생산에서 발생하는 탄소를 효과적으로 저감할 수 있고 더불어 건축물 에너지 절감이 가능하다(김 2013).

다양한 목질 건축 자재를 적용한 건축물의 열적 성능 및 에너지 평가를 위하여 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용하고 있다. 이때 목재의 열전

도율은 프로그램에 따라 각각 다른 값을 가지고 있으며, 수종에 따른 원목의 열전도율 데이터베이스가 구축되어 있지 않음을 확인하였다. 따라서 본 논문은 국내에서 사용되고 있는 다양한 원목을 수급하여 건물 에너지 시뮬레이션에 적용할 수 있는 열전도율을 측정하였다. 그러나 건축물의 구조재 및 내장재로 쓰이는 경우에는 재실자의 생활방식에 따라 목재의 열전도율과 함수율의 변화가 나타나므로 프로그램 적용이 어렵기 때문에 본 연구는 재실자가 쾌적하다고 느낄 수 있는 기준 온도 25°C, 상대습도 50% 조건에서의 열전도율을 측정하였다.

Table 2. Samples of thermal conductivity measurement in a thermo-hygrostat

Surface	Species	avg. Thickness (mm)	Surface	Species	avg. Thickness (mm)
	Spruce 1	11.93		Nut pine 1	24.80
	Spruce 2			Nut pine 2	
	Larch 1	13.05		Douglas fir 1	24.88
	Larch 2			Douglas fir 2	
	Cedar 1	24.69		Pine radiata 1	24.67
	Cedar 2			Pine radiata 2	
	Ponderosa pine 1	19.03		Yellow pine 1	20.81
	Ponderosa pine 2			Yellow pine 2	
	Canada pine 1	24.77		Pinus desiflora	24.86
	Canada pine 2			Pitch pine	
	Hinoki	22.70			

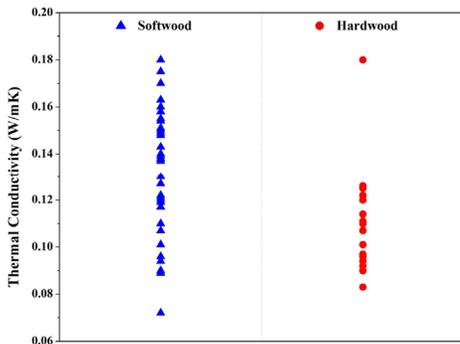


Fig. 1. Thermal conductivity according to hardwood and softwood.

2. 수종에 따른 열전도율 측정

2.1. 수급 원목 및 측정 방법

본 논문은 시뮬레이션에 적용 가능한 원목의 열전도율 데이터베이스를 구축하기 위하여 다양한 수종의 원목을 수급하였다. 총 56종을 수급하였다. 수급한 원목의 열전도율은 실온 조건에서 HFM (HEat

Flow Meter)-436을 이용하여 열전도율을 측정하였고, 수종에 따른 열전도율 경향성을 확인하였다.

2.2. 열전도율 측정 결과

Table 1은 실온 조건에서 수급한 56종의 수종명과 측정을 통하여 얻은 열전도율 값을 기입한 표이다. 이를 통하여 수종에 따른 열전도율의 값이 달라지는 것을 확인하였다.

건축에서의 원목은 크게 고비중재(softwood)와 저비중재(hardwood)로 분류할 수 있다. 따라서 수종에 따라 측정된 열전도율 값을 고비중재와 저비중재로 정리하여 열전도율의 경향성을 파악하고자 Fig. 1과 같이 나타내었다. Fig. 1의 좌측은 고비중재이며, 우측은 저비중재를 나타내었다. 고비중재의 열전도율은 0.07 W/mK부터 최대 0.18 W/mK까지 고르게 분포되어 있는 것을 확인하였다. 저비중재의 경우에는 대부분 0.13 W/mK 이하에 위치하고 있으며 에너지 시뮬레이션에 주로 적용되는 목재의 열전도율 값인 0.15 W/mK보다 낮은 것으로 확인하였다.

Table 3. Weight of samples during 16 days in a thermo-hygrostat

Species	Weight (g)						Rate (%)
	0	1	2	5	9	16	
Spruce 1	30.66	32.14	32.62	33.05	33.10	33.11	7.98
Spruce 2	32.77	34.17	34.66	35.10	35.18	35.21	7.45
Larch 1	37.94	38.68	38.93	39.39	39.65	39.85	5.04
Larch 2	39.09	39.82	40.07	40.58	40.89	41.09	5.12
Cedar 1	61.02	63.08	63.67	64.65	65.00	63.90	4.72
Cedar 2	60.18	62.14	62.85	63.80	64.16	64.28	6.81
Ponderosa pine 1	41.37	43.43	43.93	44.36	44.40	44.39	7.31
Ponderosa pine 2	40.59	42.90	43.33	43.67	43.68	43.68	7.61
Canada pine 1	70.48	73.69	75.32	76.63	76.58	76.51	8.56
Canada pine 2	67.07	69.94	71.61	73.02	73.05	72.92	8.72
Hinoki	54.27	57.10	57.74	59.15	59.05	58.91	8.54
Nut pine 1	58.64	61.23	62.06	62.87	63.04	63.11	7.62
Nut pine 2	58.41	60.97	61.85	62.67	62.81	62.88	7.65
Douglas fir 1	51.41	54.24	55.30	55.65	55.48	55.45	7.86
Douglas fir 2	50.71	55.04	56.28	56.67	56.42	56.36	11.15
Pine radiata 1	69.03	72.02	73.03	74.09	74.33	74.38	7.75
Pine radiata 2	67.85	70.98	72.09	73.04	73.18	73.21	7.90
Yellow pine 1	59.98	63.01	63.58	63.93	63.94	63.92	6.57
Yellow pine 2	60.90	63.96	64.92	64.93	64.95	64.94	6.64
Pinus desiflora	74.89	77.00	78.17	79.62	79.99	79.92	6.72
Pitch pine	69.88	73.80	75.05	76.06	76.08	75.98	8.73

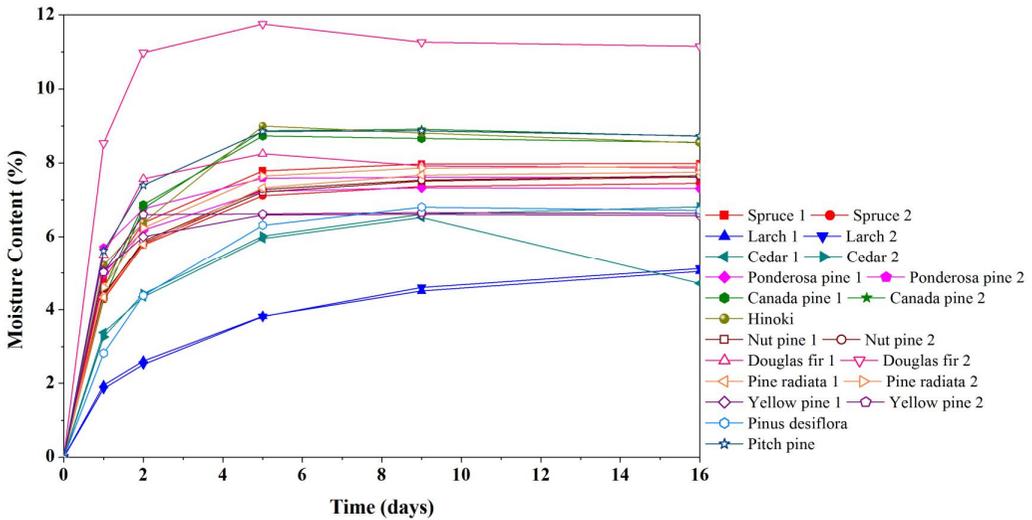


Fig. 2. Moisture content according to the species during 16 days.

Table 4. Thermal conductivity by in indoor and thermo-hygrostat conditions

Species	Thermal conductivity (W/mK)		Rate (%)
	Indoor	thermo-hygrostat	
Spruce	0.083	0.153	84.337
Larch	0.090	0.140	55.556
Cedar	0.090	0.126	40.000
Ponderosa pine	0.092	0.124	34.783
Canada pine	0.094	0.137	45.745
Hinoki	0.096	0.129	34.375
Nut pine	0.101	0.125	23.762
Douglas fir	0.107	0.130	21.495
Pine radiata	0.110	0.127	15.455
Yellow pine	0.111	0.106	(4.505)
Pinus desiflora	0.122	0.136	11.475
Pitch pine	0.126	0.121	(3.968)

(): Minus

3. 동일 온습도에서의 열전도율

3.1. 측정 원목 및 측정 방법

수급한 56종의 원목 중에서 건축물의 구조재 및 내장재로 주로 쓰이는 저비중재 12종을 선정하여 동일한 온습도 기준에서의 열전도율을 측정하였다. 측정을 위하여 목재를 75 mm × 75 mm의 일정한 크기로 재단한 목재 샘플을 건조기에 향량에 도달할 때까지 건조를 시킨 뒤 향온향습기를 통하여 재실자가 쾌적하다고 느낄 수 있는 온도 25°C, 상대습도 50% 조건으로 설정하여 향온습 조건을 유지시켜 주었다. 그리고 무게 변화에 대한 안정화를 위하여 16일간의 무게 측정을 실시하여 안정화를 시킨 뒤 TCi 기기를 이용하여 열전도율을 측정하였다. 이때 측정 샘플의 수종과 두께는 Table 2와 같다.

3.2. 측정 결과 및 고찰

3.2.1. 함수율 변화

일정한 크기로 재단한 목재 샘플이 향온향습한 조건(온도 25°C, 상대습도 50%)에서 목재의 시간 경과에 따른 무게 변화는 Table 3과 같고, 그에 따른 함수율은 Fig. 2와 같다. 모든 측정 샘플의 무게 변화에 대해 안정화가 되기까지 16일이 소요되

었고, 대부분은 측정 5일이 경과한 시점부터 일정한 함수율 변화를 보였다. 목재는 흡습하는 성질을 가지고 있으나 낙엽송(Larch)의 경우 송진이 목재 샘플의 표면을 코팅하는 역할을 하여 습기가 목재 안으로 잘 들어가지 못하고 겉표면에 남아있어 다른 수종들에 비하여 함수율 변화가 늦게 일어나며 함수율 값이 낮게 나타나는 것으로 판단하였다.

3.2.2. 열전도율

향온습 조건에서 16일간의 함수율 변화 측정을 통하여 수분에 대해 안정화되었음을 판단하여 각 목재의 열전도율을 측정하였다. Table 4와 Fig. 3은 실온에서의 기존 열전도율과 향온습도에서의 열전도율을 나타냈다. 대부분의 수종은 기존 열전도율보다 적게는 11%에서 많게는 84%까지 증가한 것으로 확인되었다. 이는 향온향습기의 습도 조절을 통해 목재보다 더 높은 열전도율을 지닌 수분이 목재 내로 흡습됨으로 인해 열전도율이 증가한 것으로 판단하였다. 따라서 목재의 열전도율은 함수율에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 향후 에너지 시뮬레이션에 적용한다면 더 정확한 시뮬레이션 결과 값을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

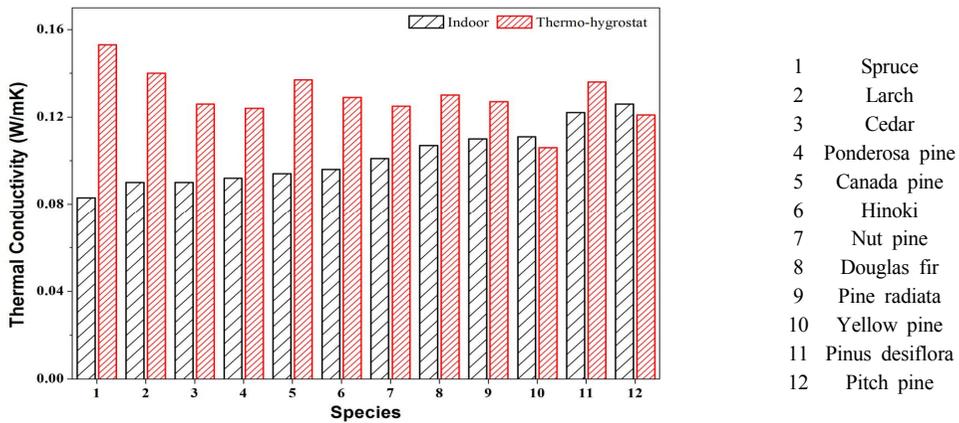


Fig. 3. Thermal conductivity of 12 kinds wood in condition of indoor and thermal-hygrostat.

4. 결 론

건축물 에너지 평가를 위한 에너지 시뮬레이션 프로그램에서의 목재 열전도율 값은 각각의 연구에 인용된 값을 입력하거나 프로그램에 따라 다르게 입력되고 있어 실제 에너지 부하와의 차이가 발생하고 있다. 목재의 열전도율은 다른 건축 재료에 비하여 낮은 값을 지니고 있으며 일반적으로 공장에서 생산되는 재료들과 달리 측정 위치, 측정 장치에 따라 차이를 보이고 있다. 이에 본 연구는 에너지 시뮬레이션 프로그램의 열전도율 값 입력에 대한 오차를 줄이고자 연구를 진행하였다.

본 연구를 통해 수집된 총 56종의 목재를 실온에서의 열전도율을 측정하여 수종에 따른 열전도율 차이와 고비중재와 저비중재에 따른 차이를 확인하였다. 그러나 목재 기반 건축의 구조재 및 내장재로 쓰이는 목재는 재실자의 생활환경에 따른 온·습도 조건에 영향을 받기 때문에 저비중재 중 12종을 선정하여 25°C, 50% RH.의 항온항습 조건에서 함수율 및 열전도율을 측정하였다. 시뮬레이션에서 실제 조건을 쾌적 조건에 고정시킬 경우, 오차를 더욱 줄일 수 있을 것으로 판단하였다.

연구를 통하여 얻어진 수종에 따른 목재 열전도율 데이터베이스를 기존 프로그램에 없었던 수종 또는 프로그램별로 차이가 발생한 수종에 적용할 경우 시뮬레이션 값의 오차를 줄일 수 있으며, 국내의 목조주택이 증가하고 있는 실정에서 국내산

목재를 적용할 경우에 건축물의 에너지 성능을 평가하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 추후 연구를 통하여 국내 및 국외의 다양한 수종을 수집하여 항온항습에서의 함수율 및 열전도율 변화를 확인하고 이를 통하여 더 많은 데이터베이스를 구축하고자 한 뒤, 구축된 데이터베이스를 적용한 건축물 에너지 평가 사례를 통하여 기존의 평가와의 오차를 확인하는 연구를 진행하고자 한다.

사 사

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

참 고 문 헌

김석환, 유슬기, 서정기, 김수민. 2013. 목조건축물 구조 부재의 열전도율에 따른 건물외피의 단열 성능. 목재공학 41(6): 515-527.
 김수민. 2013. 건물에너지 절감을 위한 목재 및 목조건축의 활용. 건축(대한건축학회) 57(4): 13-16.
 서정기. 2015. 목질 건축재료의 열적 특성과 열전도율 데이터베이스 구축에 대한 연구. 숭실대학교 박사학위논문.
 에너지관리공단. 2012. 통계핸드북.
 장극관. 2003. 친환경친화적인 목조주택. 대한건축학회 47(5): 33-36.