

단열 기준에 따른 기둥-보 목조주택의 단열 상세 및 에너지 성능¹

김 세 종^{2,†} · 박 주 생²

Insulation Details and Energy Performance of Post-Beam Timber House for Insulation Standards¹

Sejong Kim^{2,†} · Joo-Saeng Park²

요 약

국립산림과학원에서는 한옥의 전통건축기술을 바탕으로 한국형 기둥-보 목조주택인 혼그린 프로젝트를 2006년부터 진행해오고 있다. 최근에는 에너지 절약 기술요소를 적용하여 건물의 에너지성능을 개선하고자 하였다. 본 연구에서는 강화된 단열기준에 따른 기둥-보 목조벽체의 단열상세를 제시하고 그에 따른 건물 에너지 절감 효과를 평가하고자 하였다. 건물외피의 열관류율은 현행법 수준과 저에너지주택인 패시브하우스 수준인 두 단계로 나누었으며 건물에너지 성능을 평가하기 위하여 건물의 기밀성능은 국내 신축 목조주택 수준인 3.0 h⁻¹과 패시브하우스 수준이 0.6 h⁻¹ 두 단계로 나누어 열관류율과 기밀성능의 조합에 따라 4가지 경우에 대한 건물에너지 성능 평가가 이루어졌다. 대상건물은 서울에 위치하였으며 에너지 성능은 상용 건물에너지성능 평가 프로그램인 CE3가 사용되었다. 강화된 열관류율에 따라 시뮬레이션을 진행한 결과 연간 난방에너지 요구량은 14 kWh/(m² · a) 절감효과를 나타냈다.

ABSTRACT

Han-green project, which pursues Korean style post and beam timber house with traditional construction technique of Han-ok, has been carried out in KFRI (Korea Forest Research Institute) since 2006. Recently, the improvement of its building energy performance was studied with energy-saving elements. This study was conducted to provide the insulation details of building envelopes in a post-beam timber house for recent enhanced insulation standards and following effect on building energy performance. The level of thermal transmittance (U-value) values of building envelopes was composed of two stages: present Korean insulation standards and passive house. To evaluate building energy performance, the building airtightness values of two stages was ACH50 = 3 h⁻¹ for common domestic timber house constructed recently, and ACH50 = 0.6 h⁻¹ for passive house. Consequently, four cases of the building energy

¹ Date Received October 27, 2015, Date Accepted November 19, 2015

² 국립산림과학원 임산공학부 재료공학과. Division of Wood Engineering, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 김세종(e-mail: woodnol2@korea.kr)

performance according to the combination of U-value with airtightness were evaluated. The test house for evaluation was located in Seoul and its energy performance was evaluated with CE3 commercial building energy simulation program. The result showed that enhanced insulation from level I to II reduced 14 kWh/(m² · a) of annual heating energy demand regardless of airtightness.

Keywords : insulation detail, energy performance, thermal transmittance, airtightness, post-beam timber house

1. 서 론

1970년대 두 차례의 석유파동을 겪고 난 후 세계적으로 건물의 에너지 소비 효율에 대한 문제가 대두되었고 이후 건물 외피의 단열성능이 강화되면서 열손실에 비례하는 열관류율(thermal transmittance, 이하 U-value)에 대한 건축기준이 마련되기 시작했다. 우리나라는 중부지방을 기준으로 1979년 열관류율 1.04 W/m² · K로 시작하여 단계적으로 감소하다가 2013년 0.27 W/m² · K까지 강화되었다. 2009년 발표된 우리나라의 건축물 에너지 절감 정책에 나타난 에너지 절약 로드맵에 따르면 국내 건축물 에너지 수준을 2017년까지 독일 저에너지 주택인 패시브 하우스 수준으로 절감하고 2025년에는 건축물이 필요로 하는 1차 에너지 소요량이 제로인 제로에너지 하우스 수준까지 감축할 예정이다.

한편 우리나라의 목조주택은 1980년대 북미의 경골목조시스템을 위주로 도입되었으나 설계 및 시공에서의 전문성 결여와 기술 숙련도 부족 등으로 초기 도입되었던 건물에서 많은 문제점들이 발생하였고, 그 결과 국내 주택 시장 내 목조주택 보급에 어려움을 겪었다. 하지만, 최근 소득증대와 함께 삶의 질에 대한 국민들의 관심이 커지면서 인체 친화적 주거환경을 제공하는 목조주택에 대한 수요가 다시 증가하고 있다. 2004년까지 한해 2,000여 건에 불과하던 목조주택 건축허가건수가 2006년부터 급속히 증가하여 2014년에는 13,000건에 이르러 10년 사이 5배가량 목조주택 수요가 증가하였다.

최근 시공되는 목조주택은 과거 많이 시공되었던 경골목조를 벗어나 기동-보 목조주택 등 구조적으로 다양한 형태로 지어지고 있다. 특히 자연과의 어울림을 중시하던 옛 한옥의 정서를 담아낼 수 있는 기동-

보 구조의 목조주택이 각광을 받고 있는데 이러한 구조는 넓은 공간을 확보할 수 있어 설계가 좀 더 자유로워질 수 있는 장점이 있다.

국립산림과학원에서는 전통 한옥 건축기술을 현대화한 기동-보 구조의 한국형 목조주택인 ‘흐그린’ 연구를 수행해오고 있으며 여기에 에너지 절감 요소기술들을 적용하여 건물에너지 성능을 향상하고자 하였다. 기동-보 목조주택은 경골목조주택과 달리 목재 기동-보가 건물외피에 일정부분을 차지하면서 벽체의 열관류율에 영향을 미치는 정도가 크다. 따라서 기동-보 목조주택의 경우 외피의 열관류율 계산 시 목재-기동보에 의한 영향을 고려할 필요가 있다.

건물 외피의 단열성능을 규정하는 ‘건축물의 에너지절약설계기준’[1]에 따르면 중부, 남부, 제주도 이상 3개 지역에 따른 지역별 건축물 부위의 열관류율 기준을 제시하고 있다. 또한 시공편의를 위하여 단열재의 단열성능을 기준으로 등급을 나누고 그에 따른 단열재 시공 두께를 함께 제시하고 있다. 그러나 기동-보 목조벽체의 경우 벽체 구성이 2차원으로 구성되어 기존 열관류율 기준을 그대로 적용하는데 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 강화된 열관류율 기준에 따른 기동-보 목조주택의 외피 단열시공 상세를 제시하고 이에 따른 건물에너지 성능에 대한 영향을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 단열성능에 따른 단열상세 제시

2.1.1. 단열성능 구분

저에너지 주택 중 독일에서 시작된 패시브하우스

Table 1. U-value for building components [$W/m^2 \cdot K$]

Level	Present			Passive house	
	Region	Central	Southern	Jeju island	Nationwide
building components	wall faced outdoor air	0.270 or less	0.340 or less	0.440 or less	0.150 or less
	roof faced outdoor air	0.180 or less	0.220 or less	0.280 or less	

가 국내에 많이 알려져 있다. 녹색건축물 인증제도의 주거용 주택 1등급 기준도 패시브하우스의 조건과 일치한다. 따라서 패시브하우스 기준을 최종 목표로 단열성능을 선정하였다. 단열성능은 2단계로 나누어 벽체 열관류율을 기준으로 1단계 현행 건축 법규, 2단계 패시브하우스 수준으로 나누어 구분하였다.

1단계 현행 건축 법규는 2013년 10월에 개정 고시된 ‘건축물의 에너지절약설계기준’의 지역별 건축물 부위의 열관류율표를 적용하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015). 단열성능 구분에 따른 열관류율(thermal transmittance, U-value) 설정은 다음 Table 1과 같다.

2.1.2. 건물 외피 조건

대상 주택은 한국형 공업화 목조주택으로 지어진 기둥-보 목조건축을 기준으로 외기에 직접 접한 벽체와 지붕의 상세를 나타내었다. 해당 건물은 180 mm × 180 mm 제재목 기둥을 사용하였고 3,600 mm 기둥 간격이 적용되었다. 기둥 간 벽체는 600 mm 간격의 셋기둥을 적용한 경골목구조벽체로 구성되었으며 벽체의 두께가 기둥 크기를 넘어설 때 기둥은 실내측으로 노출되도록 설계하였다. 해당 외피의 상세는 다음 Fig. 1과 같다.

2.1.3. 열관류율 계산

건물 외피의 열관류율 계산은 parallel-path method와 isothermal-plane method로 나뉜다(ASHRAE, 2013). 전자의 경우 열전달이 외피를 투과하는 방향의 수직면에 평행한 방향으로 열전달이 발생하지 않는 경우이며 후자 경우는 열전달이 일어날 때 적용하는 방법으로 실제 물리적인 값은 이 두 계산치 사

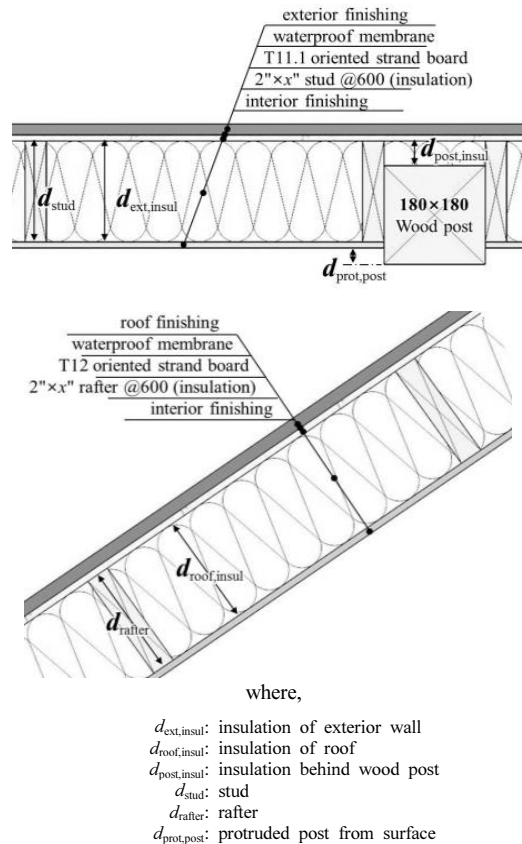


Fig. 1. Details of exterior wall (top) and roof (bottom).

이에 존재한다. 현재 국내 건축법규에서 사용되는 평균열관류율 계산은 전자의 parallel-path method를 사용하고 있어 본 연구에서도 동일 방법을 적용하였다. 열관류율 계산은 그에 대응하는 전기회로도도 표현할 수 있으며 목조벽체에 대한 parallel-path method의 적용과 그에 따른 전기회로도도 다음 Fig. 2에 나

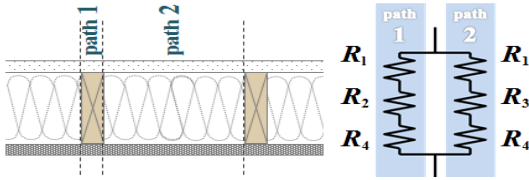


Fig. 2. Concept and electrical schematics of parallel-path method.

타내었다.

벽체의 열관류율 계산은 다음 식 (1)을 통해 계산된다.

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_{path1}} + \frac{1}{R_{path2}} = \frac{1}{\sum_{path1} R_i} + \frac{1}{\sum_{path2} R_i} \dots\dots (1)$$

where, U = thermal transmittance ($W/m^2 \cdot K$)
 R = thermal resistance ($m^2 \cdot K/W$)
 i = wall materials

2.1.4. 단열상세

‘건축물의 에너지절약설계기준’에 따르면 건물 외피의 단열 시공 기준은 등급별 단열재에 따른 시공 두께로 제시되어 있다. 따라서 기동-보 목조건축에서 등급별 단열재에 따른 단열재 시공 두께 및 그에 따른 부재 치수를 기준으로 벽체 단열상세를 제시하였다.

2.2. 건물 에너지 성능 평가

현재의 목조주택 에너지 성능과 향후 확보하게 될 에너지 성능을 비교하기 위하여 제시된 단열성능 및 국내 목조주택 기밀성능을 고려하여 기동-보 목조주택에 대해 건물 에너지 성능 평가를 진행하였다.

2.2.1. 대상 건물

서울 국립산림과학원 내 위치한 테스트 하우스의 숙박동 일부를 대상으로 에너지 성능 평가를 진행하였다(Fig. 3). 테스트하우스는 2층으로 되어 있으며

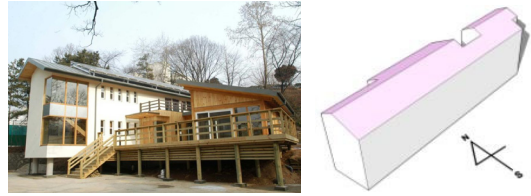


Fig. 3. Test house for energy performance evaluation.

구조는 기동-보 목구조의 골조와 경골 목조벽체가 함께 사용되었다. 연면적은 $158 m^2$ 이며 전체 외피면적 대비 창호비율은 9.94%였다.

2.2.2. 건물에너지성능 시뮬레이션

건물에너지성능 평가프로그램을 사용하여 단열성능 향상에 따른 에너지 성능 향상을 확인하고자 하였다. 건물에너지성능 평가프로그램은 EnergyPlus, WUFI@plus, HOT2000, PHPP 등 사용 목적에 따라 다양한 종류가 알려져 있다. 본 연구에 사용된 웹 기반 프로그램인 CE3는 국내 건물 에너지성능 인증에 적합하도록 국내 업체가 개발한 프로그램이다. 국내 실정에 맞게 건축자재 물성자료를 제공하고 동일 건물에 대해 프로그램 사용자가 다르더라도 결과 차이가 크게 발생하지 않도록 사용자의 입력오류를 최소화한 프로그램이다. 이는 국제규격인 ISO 13790 Calculation of energy use for space heating and cooling을 기반으로 구성되었다(ISO, 2008). 시뮬레이션에 사용된 용도프로필은 주거용으로 설정하여 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 창호는 실제 테스트하우스에 적용된 고단열 창호로서 프로그램에서 제공하는 열관류율 및 태양에너지투과율(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient)을 다음 Table 2에 나타내었다. 패시브하우스의 경우 열관류율 $1 W/m^2 \cdot K$ 이하의 창호를 사용하도록 권장한다.

시뮬레이션을 수행한 시나리오는 다음 Table 3과 같이 중부지역을 대상으로 건물 외피의 단열성능 2단계와 기밀성능 2단계로 나누어 진행하였다. 기밀성능은 최근 3년 이내에 측정된 실측결과를 기반으로 설정하였다(Kim and Park, 2015).

Table 2. U-value and SHGC (solar heat gain coefficient) of windows and doors

openings		U-value [W/(m ² · K)]	SHGC
window	triple glazed pvc windows	1.4	0.65
door	common door	1.7	-

Table 3. Conditions of building envelopes for simulation

Case	U-value [W/(m ² · K)]		airtightness [ACH50*, h ⁻¹]
	exterior wall	roof	
1	0.270	0.180	3.0**
2			0.6***
3	0.150	0.150	3.0
4			0.6

* air change per hour under air pressure difference 50 Pa
 ** new constructed timber house in Korea
 *** passive house

3. 결과 및 고찰

3.1. 단열성능 구분에 따른 외피 단열 상세

현행 건축법규에 제시된 표준단열재의 등급에 따라 단열성능 구분에 따른 벽체 단열 두께 및 외피 상세치수를 다음 Table 4에 제시하였다. 벽체 목재 부재의 치수는 상용 구조용 제재목 크기를 기준으로 제시하였다. ‘라’등급(Table 4에서 4등급)의 단열재는 중부지역에 사용할 수 없고 패시브하우스의 경우에는 ‘가’등급(= 1등급)의 단열재만 단열기준을 만족시킬 수 있다. 따라서 패시브하우스의 단열기준을 맞추려면 기존 상용 구조용 제재목 크기로 맞출 수 없고 벽체를 겹쳐서 사용하거나 폭 285 mm 이상의 구조용 제재목을 별도로 제작하여야 한다.

국내 목조주택에 실제 사용되는 단열재를 대상으로 상용제품의 단열 기준 및 목재부재 크기를 다음 Table 5에 제시하였다. 기존 목조주택에 많이 사용되어진 유리섬유로는 상용 285 mm 두께의 목재부재를 단독으로 사용해서는 패시브하우스 기준을 맞추기

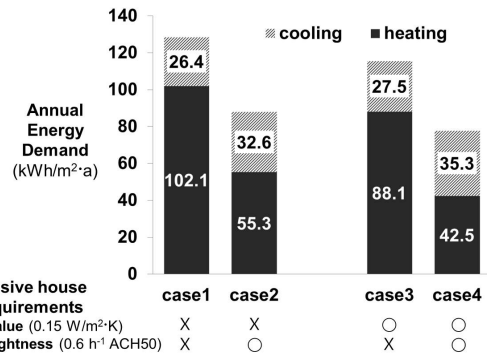


Fig. 4. Annual energy demands for simulation result.

힘든 것으로 나타났다. 최근 시공편의성 및 기밀성능 확보를 위해 사용되는 폼 형태의 단열폼은 단열성능 확보에도 유리한 것으로 나타나 패시브하우스의 단열성능 기준을 만족할 수 있었다. 국내 목조주택의 기밀성능 연구(Kim and Park, 2015)에 따르면 실제 국내에 시공된 목조주택 중 단열폼을 사용한 목조주택의 기밀성능이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 현재 단열폼의 경우 화재 시 유독가스가 발생하는 것으로 알려져 있어 실제 저에너지 주택 시공에는 유독가스가 발생하지 않는 새로운 폼형 단열재 또는 기밀막 시공 등을 고려해야 할 것이다(Lee and Son, 2001).

3.2. 단열성능 향상에 따른 건물 에너지 절감효과

Fig. 4의 시뮬레이션 조건에 따른 중부지역의 연간 난방에너지요구량을 살펴보면 최대 42 kWh/m² · a 까지 개선 잠재력을 가진 것으로 나타났다. 건물에너지 성능을 패시브하우스 수준인 연간 난방에너지 요구량 15 kWh/m² · a까지 확보하려면 건물외피의 경우 고성능 창호 적용 및 건물형태의 단순화 등 다양한 에너지절약기술요소를 도입해야 할 것이다. 또한 외피의 단열성능에 의한 건물에너지성능 개선효과보다 기밀성능에 의한 개선효과가 훨씬 큰 것으로 나타나 저에너지 주택으로 갈수록 기밀성능의 영향이 커지는 기존 연구(Kim et al., 2013)의 연구결과와 일

Table 4. Details of insulation and wooden wall with standard insulation

Level	Region	U-value [W/(m ² · K)]		insulation rating	insulation thickness [mm]			dimensions [mm]		
		exterior wall	roof		d _{ext. insul}	d _{roof. insul}	d _{post. insul}	d _{stud}	d _{rafter}	d _{prot. post}
Present	middle	0.270	0.180	1	144	208	25	184	235	10
				2	170	236	25	184	285	10
				3	178	271	76	235	285	10
				4	198	-	76	235	-	10
	southern	0.340	0.220	1	118	170	0	140	184	29
				2	140	190	1	140	235	30
				3	142	219	25	184	235	10
				4	158	235	25	184	285	10
	Jeju island	0.440	0.280	1	81	132	0	140	140	29
				2	95	147	0	140	184	29
				3	109	169	0	140	184	29
				4	121	180	0	140	235	29
Passive house	nationwide	0.150	0.150	1	271	252	126	285	285	10
				2	-	-	-	-	-	-
				3	-	-	-	-	-	-
				4	-	-	-	-	-	-

Table 5. Details of insulation and wooden wall with commercial insulation products for timber house

Level	Region	U-value [W/(m ² · K)]		insulation	insulation thickness [mm]			dimensions [mm]		
		exterior wall	roof		commercial products			d _{stud}	d _{rafter}	d _{prot. post}
					d _{ext. insul}	d _{roof. insul}	d _{post. insul}			
Present	middle	0.270	0.180	glass fiber	140	195	10	140	235	39
					R-15	R-21	-			
				polyurethane form	125	163	0	140	184	29
	southern	0.340	0.220	glass fiber	140	195	10	140	235	39
					R-15	R-21	-			
				polyurethane form	87	134	0	140	140	29
	Jeju island	0.440	0.280	glass fiber	97	150	0	140	184	29
					R-11	R-19	-			
				polyurethane form	65	97	0	90	140	79
passive house	nationwide	0.150	0.150	glass fiber	-	-	-	-	-	-
					-	-	-			
				polyurethane form	216	194	76	235	235	10

치하였으며 이를 바탕으로 목조주택에서 기밀성능 관리의 중요성을 알 수 있었다. 열관류율을 현행 상태로 유지하여도 기밀성능을 확보하는 것만으로 저에너지 주택수준인 $55 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ 의 연간 난방에너지 요구량을 나타내었다. 열관류율을 확보하는 것은 별도의 단열층 시공이 필요한 반면 기밀성능 확보는 기밀성능 저하요인을 제거하는 것으로 가능하기 때문에 향후 기존 목조주택의 에너지성능 개선에 도움이 될 수 있다. 또한 건물외피의 단열성능이 좋아지고 기밀성능이 개선될수록 열에너지가 실내에 유지되어 냉방 에너지요구량은 늘어나는 것으로 나타났다. 지역에 따른 건물 에너지성능에 대한 연구(Ahn *et al.*, 2009)에서 창호의 열관류율 개선에 따른 지역별 에너지 절감효과가 남부지역으로 갈수록 커지는 것을 고려하였을 때 단열기준이 강화될수록 난방에너지 절감효과가 남부지역에서 더 크게 나타날 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 최근 목조주택 시장에서 수요가 늘고 있는 기동-보 목구조의 벽체 구성을 대상으로 현재의 열관류율 기준과 향후 도입될 저에너지 주택 수준의 열관류율 기준을 맞추기 위한 벽체 상세를 제시하였다. 이후 건물에너지 성능 평가를 통해 열관류율 개선과 기밀성능 확보에 따른 건물 에너지 절감효과를 확인하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 나~라 등급의 단열재를 이용하여 2인치 단위의 상용 구조용 제재목로 패시브하우스의 열관류율을 맞출 수 없다. 이를 위해서는 폭 285 mm 이상의 구조용 제재목을 별도로 제작하거나 이중으로 벽체를 겹쳐 단열두께를 확보하여야 한다.
- 2) 현재 목조주택에서 많이 사용되는 유리섬유로 패시브하우스 열관류율을 맞추려면 셋기둥의 폭이 285 mm 보다 더 크게 만들어야 한다. 폼 형태의 단열폼 제품이 기밀성능과 단열성능에

유리한 것으로 나타났으나 화재 시 유독가스 문제는 보완되어야 한다.

- 3) 기동-보 목조주택을 대상으로 패시브하우스 수준의 단열성능과 기밀성능을 확보할 경우 연간 난방에너지요구량이 최대 $42 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ 까지 낮아진 것으로 나타났다. 패시브하우스 수준의 에너지 성능을 확보하려면 창호나 건물형태 변화 등 다른 에너지절약 기술 요소를 적용해야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 최근 수요가 늘고 있는 기동-보 목조벽체의 단열상세를 제시하였다. 기동-보 목조벽체의 열관류율 계산방법을 제시하였고 이를 바탕으로 실제 목조벽체의 상세치수를 결정하였다. 이러한 일련의 과정은 기동-보 목조주택의 단열성능 확보를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Ahn, B.L., Kim, C.H., Kim, J.Y., Jang, C.Y. 2009. A Study on the Analysis of Building Energy Rating considering the Region, Journal of The Korean Solar Energy Society 29(5): 53-58.
- ASHRAE. 2013. ASHRAE Handbook - Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ISBN 978-1-933742-55-7.
- ISO 13790: 2008. Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling.
- 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., Park, J.S. 2015. Airtightness defect factors of wooden houses built in Korea. Proceeding of annual meeting of the Korean Society of Wood Science Technology: 256-257.
- Lee, K.W., Son, D.I. 2001. Fire Risk Characteristics

단열 기준에 따른 기동-보 목조주택의 단열 상세 및 에너지 성능

of Insulating Materials by Plastics Form
Manufactured. Proceeding of annual meeting of
Korean Institute of Fire Science & Engineering:

48-53.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2015.
Building Energy Conservation Design Standards.