

다양한 접착제로 제조한 단열재용 저밀도섬유판의 특성(I)¹ - 단열성능 및 물리적 성질 -

장재혁² · 이민^{2,†} · 강은창² · 이상민²

Characteristics of Low Density Fiberboards for Insulation Material with Different Adhesives (I)¹

- Thermal Insulation Performance and Physical Properties -

Jae-Hyuk Jang² · Min Lee^{2,†} · Eun-Chang Kang² · Sang-Min Lee²

요약

본 연구에서는 단열성능 및 물리적 성질이 우수한 친환경 목섬유 단열재의 제조 기술을 확립하기 위하여 멜라민·요소·폼알데하이드(MUF), 페놀·폼알데하이드(PF), emulsified MDI (eMDI) 및 라텍스계 수지 등 서로 다른 접착제로 제조한 저밀도섬유판의 특성을 비교하였다. 그 결과 MUF, PF, eMDI 수지 접착제로부터는 경질(硬質) 저밀도섬유판이, 라텍스계 수지 접착제로부터는 연질(軟質)의 저밀도섬유판이 각각 제조되었다. 모든 저밀도섬유판은 일반 중밀도섬유판에 비해 현저히 낮은 열전도율을 나타냈으며, 압출 발포 폴리스티렌과 유사한 단열 성능을 나타내는 것으로 조사되었다. 한편 본 연구에서 제조한 저밀도섬유판 중 eMDI를 사용한 것은 흡수 두께/길이 팽창률 및 휨 강도 등 물리적 성질이 가장 우수하였다.

ABSTRACT

This study was carried out to compare the characteristics of low density fiberboards (LDFs) manufactured with different adhesive types such as melamine·urea·formaldehyde (MUF), phenol·formaldehyde (PF), emulsified MDI (eMDI) and latexes resins. As results, hard LDFs were successfully manufactured by MUF, PF and eMDI resins. Thermal conductivities of all LDFs were significantly lower than commercial medium density fiberboard. Especially, all LDFs showed comparable thermal insulation performance with extruded polystyrene foam (XPS). LDF manufactured with eMDI resins showed the highest physical properties such as thickness/length swelling by water absorption and bending strength.

Keywords : low density fiberboard, eMDI, latex, thermal insulation, thermal conductivity

¹ Date Received March 29, 2017, Date Accepted May 8, 2017

² 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 이민(e-mail: mlee81@korea.kr)

1. 서 론

단열재는 열의 흐름, 즉 열의 이동이 높은 곳에서 낮은 방향으로 또는 그 반대로 이동하는 것을 방지하는 물질의 총칭으로써 어떤 물체로 대류가 일어나지 않는 공기층을 형성하여야 하며 단열성, 불연성, 흡음성 등의 성질이 기본적으로 요구된다. 단열재는 그 원료에 따라서 크게 천연재료와 합성재료를 사용한 것으로 구분되는데 현재 우리나라에서 사용되고 있는 단열재의 약 65%는 합성재료를 사용한 것, 즉 (압출)발포 폴리스티렌, 발포 폴리우레탄, 폴리에틸렌 등이 차지하고 있다(Park *et al.*, 2012). 그러나 최근 들어 전 세계적으로 친환경·저에너지 주거 공간 조성에 대한 관심이 급증함에 따라 이들을 천연재료로 대체하기 위한 연구가 절실한 실정이다. 현재까지 사용되고 있는 천연재료를 사용한 단열재들은 그 원료를 미네랄울, 유리섬유, 세라믹섬유, 실리카, 퍼라이트, 질석, 셀룰로오스 섬유 등으로 하고 있다(Al-Homoud, 2005; Zhou *et al.*, 2010). 그러나 기존에 개발되어 현재 사용되고 있는 천연재료를 사용한 단열재들이 최근의 제로에너지건물 및 패시브하우스 기준을 충족시키기 위해서는 원료의 투입량 및 최종제품의 두께 증가가 야기될 수 있으며, 이는 곧 실제 주거공간의 축소와 경제성 및 현장 작업성에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 천연재료를 사용하여 경제적이면서도 경량의 비교적 얇은 단열재를 제조하기 위한 방안 모색은 향후 녹색 건축 기술 개발의 확립에서 중요한 위치를 차지할 것이다.

이러한 관점에서 목재로 제조된 단열재는 친환경·저에너지 주거 공간 조성에 있어서 하나의 중요한 건축재료가 될 수 있다. 나무를 원료로 사용하기 때문에 친환경적인 요소가 충분하고, 조습기능을 가지며 목재 자체의 열전도율은 금속, 시멘트, 콘크리트, 석재 등에 비해 월등하게 낮다(USDA Forest Service, 1968; Kim *et al.*, 2013; Kang *et al.*, 2017). 그중에서도 목섬유 단열재는 제조 조건에 따라 밀도와 두께를 자유롭게 조절할 수 있어 사용자의 기호에 맞게 모든 건축물 부위에 다양하게 적용할 수 있다. 목섬유 단열재는 크게 충전형(充填形, filling

type)과 경질형(硬質形, hard type)으로 구분되며 그 중에서도 충전형은 건축물의 스테드 사이에 목섬유를 분사하여 채워 넣는 방식으로 시공되는데(Ahn, 2015), 작업은 비교적 간편하나 스테드 내부에 목섬유가 고르게 충전되었는지를 확인할 수 없고, 화재 노출 시 대형화재로 변질 수 있는 위험이 있다. 한편 경질형 목섬유 단열재는 현재 독일, 영국, 스위스 등 유럽에서 주로 생산되고 있으며, 국내에서 사용되고 있는 것들은 전량 수입제품이다. 시판되고 있는 목섬유 단열재들의 밀도는 약 0.05~0.25 g/cm³ 범위로 주로 저밀도섬유판의 형태를 나타내며 두께는 20~240 mm, 열전도율은 0.037~0.046 W/m·K의 범위를 나타낸다. 일반적으로 목재와 섬유판을 비롯한 목질재료의 열전도율은 밀도가 증가할수록 직선적인 증가 경향을 나타내기 때문에 이들을 단열재로 활용하기 위해서는 밀도가 낮으면서도 건축물에 적용할 수 있는 수준의 물리적 성질이 요구된다(Sonderegger and Niemz, 2012).

한편, 목질재료의 단열성능 및 물리적 성질에 영향을 미치는 인자로는 최종 제품의 밀도, 함수율과 함께 접착제의 종류를 들 수 있다(Uysal *et al.*, 2009). 현재 목질판상제품 제조에 있어서 아미노계 접착제가 가장 많이 사용되고는 있으나 이들은 내수성이 약하고 폼알데하이드를 방출하는 등의 문제를 안고 있다. 그러나 페놀과 폼알데하이드를 혼합하여 제조되는 페놀·폼알데하이드(PF) 접착제는 매우 높은 접착 내구성과 낮은 폼알데하이드 방출성의 특징을 갖고 있어, 최근 들어 전 세계적으로 강화되고 있는 환경규제에 대응할 수 있는 비교적 친환경적인 접착제이다(Lee *et al.*, 2016). 한편, eMDI (emulsified methylene diphenyl diisocyanate)는 물에 쉽게 유화되도록 친수성 가용화 그룹을 첨가하여 제조된 이소시아네이트계(비폼알데하이드계) 접착제이다. eMDI를 접착제로 이용한 목질판상제품의 연구는 1980년대에 보고되기 시작하였으며, 폼알데하이드를 방출하지 않기 때문에 환경적인 측면을 고려하여 북미나 유럽에서는 현재 주로 PB, OSB 및 MDF의 제조에 활용되고 있다(Adams, 1980; Pizzi, 2014). 특히, 수분을 이미 함유하고 있어

Table 1. General information of resins

Sample codes	Resins	pH	Viscosity (mPas)	Solid content (%)
MUF	Melamine · urea · formaldehyde	8	106	61
PF	Phenol · formaldehyde	12	240	53
eMDI	Emulsified methylene diphenyl diisocyanate	10	275	50
Latex-433	Latex-LD433H	10~11	80	53
Latex-710	Latex-D710H	10~11	56	53
Latex-810	Latex-D810H	10~11	103	55

수분 함량이 높은 상태에서도 접착이 가능하기 때문에 생산적인 측면에서도 유리하다(Lee *et al.*, 2013). 또한, 수성 라텍스 접착제(water-based latex adhesive)는 천연고무와 스티렌 부타디엔고무 및 니트릴 고무 등과 같은 합성고무를 물에 유화 분산시킨 중합체이다(Lee and Chun, 2012). 이들은 피착재의 적용범위가 넓은 뿐만 아니라 배합방법에 따라 접착력, 접착유지시간, 내열성 등을 조절할 수 있는 장점을 갖는다. 현재는 주로 타이어, 벨트, 신발류 등의 제조에 사용되고 있으며, 건축분야에서는 콘크리트 내부의 공극구조를 라텍스 접착제로 채워 내구성, 투수저항성, 단열성 등을 향상시키기 위한 보강제로 이용되고 있다(Park *et al.*, 2008).

따라서 본 연구에서는 전술한 바와 같은 MUF, PF, eMDI 및 라텍스계 수지 접착제들의 특징에 주목하여 친환경적이면서도 단열성 및 현장 시공시 작업성을 향상시키기 위한 단열재의 개발을 목적으로 목섬유로부터 경량 저밀도섬유판을 제조하고, 이들의 단열성능 및 물리적 특성을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

저밀도섬유판을 제조하기 위하여 함수율 약 5%의 라디에타파인 목섬유를 이용하였다. 수지는 총 6종을 선택하였으며, 이들의 기초특성은 Table 1에 나타났다. 이 중 MUF 및 PF 수지는 기존에 알려진 방법

(Lee *et al.*, 2012)에 의거하여 실험실에서 직접 제조하였으며, eMDI 및 라텍스계 수지는 Huntsman (Huntsman International LCC, TX, USA)과 명광화학공업(Myungkwang Chemical IND. CO., LTD, Busan, Korea)에서 각각 구입하여 사용하였다. 이때 라텍스계 수지는 점도가 서로 다른 것을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 저밀도섬유판 제조

섬유판의 크기는 가로 × 세로 350 mm, 두께 20 mm가 되면서 밀도는 0.10 g/cm³이 되도록 목표를 설정하여 투입 목섬유 및 수지 접착제의 양을 산출하였다. 이때 모든 수지 접착제의 함지율은 총 투입 목섬유의 전건무게 대비 35%가 되도록 고정하였고, 각 수지 접착제의 특성을 고려하여 경화제의 첨가량을 조절하였다(Table 2). 제조 과정은 먼저 원통형 회전 도포기에 목섬유를 투입하고 분사노즐을 통해 접착제를 도포하면서 혼합한 후, 이들을 350 mm³ 크기의 성형틀에 넣어 매트형태로 만들었다. 매트성형 후에는 온도 150℃, 압력 5 kgf/cm²의 조건 하에서 21 sec./mm로 열압하였는데, 열압 후 열판으로부터의 섬유판 분리가 용이하도록 이형제를 소량 사용하였으며, 전술한 방법으로 모든 접착제당 각 3매씩 섬유판을 제조하여 특성 분석에 사용하였다.

2.2.2. 단열성능 및 물리적 특성 분석

저밀도섬유판의 단열성능을 평가하기 위하여 열전

Table 2. Resin content and additives adding conditions with different adhesives

Sample codes	Resin content (%)	Additives	
		Hardener (%) [*]	Wax emulsion (%)
MUF	35	3	1
PF	35	3	1
eMDI	35	-	1
Latex-433	35	5	1
Latex-710	35	5	1
Latex-810	35	5	1

^{*} Hardener: MUF resin used NH₄Cl; PF and latexes resins used eMDI

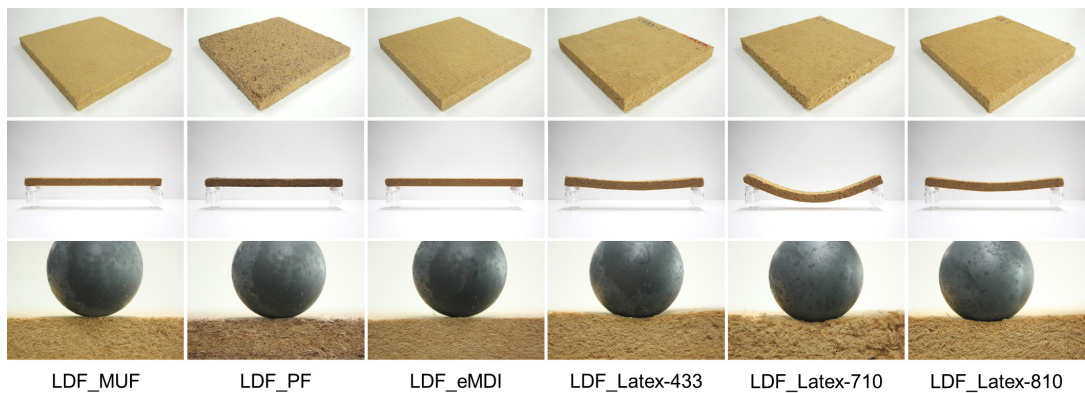


Fig. 1. Appearances of low density fiberboards (LDFs) with different adhesives. (upper: whole view, middle: side view, lower: indentation shaped by 360 g of iron ball)

도율 분석장치(λ -Meter EP500e, Messtechnik GmbH, Germany)로 열전도율을 측정하였다. 물리적 성질을 조사하기 위해서는 한국산업규격의 섬유판(KS F 3200, 2016) 기준에 명시된 시편의 치수와 개수 및 시험방법을 준용하여 밀도, 함수율, 흡수 두께/길이 팽창률 및 휨강도 등을 측정하였다. 이때 모든 성능 평가에 이용된 시편은 저밀도섬유판 제조 후 항온항습 조건에서 2주 이상 보관한 것을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저밀도섬유판의 외형

Fig. 1은 서로 다른 접착제로 제조한 저밀도섬유판의 외형을 나타낸 결과이다. MUF, PF, eMDI로 제조

한 저밀도섬유판은 경질(硬質, hard)의 형태를 나타냈으나, 라텍스계로 제조한 경우에는 모두 경질(軟質, soft)의 형태를 나타냈다. 그중에서도 56 mPas의 낮은 점도를 보인 Latex-710의 경우는 다른 라텍스를 사용한 저밀도섬유판에 비해 그 굴곡의 정도가 매우 심하게 나타났다. 이러한 경향은 약 360 g의 무게를 갖는 쇠구슬이 섬유판 표면을 압입하는 사진에서도 확인할 수 있었으며, 점도가 각각 80 mPas와 103 mPas로 큰 차이를 나타내지 않은 Latex-433과 -810간의 굴곡 차이는 거의 없었다. 현재 사용되고 있는 경질형태의 단열재는 발포 폴리스티렌(스티로폼), 압출 발포 폴리스티렌, 폴리에틸렌 등이 있고, 연질형태의 것은 미네랄울, 유리면, 세라믹섬유, 실리카, 발포 폴리우레탄 등이 있다. 이들은 설치 부위 및 사용 목적에 따라 선택적으로 사용되고 있는데,

현장에서는 작업의 용이함을 이유로 유연성이 높은 연질의 것을 선호하기도 한다. 수성 라텍스 접착제는 일반적으로 반투명 상태의 우유빛을 띠는 액체상태이고, 콜로이드와 같은 작은 구형(직경 0.5~5 μm)의 유기체 폴리머 입자가 물속에 분산되어 있으며 유연성, 내수성, 접착력 등이 우수하고, 가격이 저렴하며 인체에 무해한 것으로 알려져 있다(Yun *et al.*, 2002). 한편 PF 수지를 사용한 저밀도섬유판의 표면에는 검은 반점이 관찰되었는데, 이는 다른 수지에 비해 점도가 높았기 때문에 수지의 도포가 원활하게 이루어지지 않아 접착제가 상호간 응집한 것으로 생각된다.

3.2. 저밀도섬유판의 단열성능

Fig. 2는 접착제의 종류에 따른 저밀도섬유판의 열전도율을 나타낸 결과이다. 대조군으로는 건축물의 단열재로 널리 이용되고 있는 압출 발포 폴리스티렌(XPS, 밀도 0.03 g/cm³)과 일반 중밀도섬유판(두께 20 mm, 밀도 0.61 g/cm³)을 선정하여 동일한 장비 및 조건하에서 열전도율을 측정하였다. 그 결과, 일반 중밀도섬유판은 0.082 W/m·K의 높은 열전도율을 나타낸 반면, 본 연구에서 제조한 저밀도섬유판(두께 약 20 mm, 밀도 약 0.10 g/cm³)은 0.036~0.039 W/m·K의 낮은 수치를 나타내었으며, 특히 현재 건축물에 실제 이용되고 있는 가장 대표적인 합성재료 사용 단열재인 XPS와 동등한 열전도율을 나타내는 것으로 조사되었다. Sonderegger and Niemz (2012)는 폴리올레핀, 폴리우레탄 및 라텍스 등과 같은 접착제로 제조한 섬유판의 열전도율을 분석한 결과, 밀도 약 0.40~0.10 g/cm³의 범위에서는 본 연구결과와 유사한 0.036~0.039 W/m·K의 수치를 나타내는 것으로 보고하고 있다. 또한 Kawasaki *et al.* (1998)은 라디에타파인 목섬유에 30%의 함지율로 pMDI를 첨가한 밀도 약 0.10 g/cm³ 이하 저밀도섬유판의 열전도율은 약 0.035 W/m·K 라 보고하고 있다. 목질재료의 열전도율에 영향을 미치는 인자로는 최종 제품의 밀도, 함수율과 함께 접착제를 포함한 사용원료의 종류 등을 들 수 있다

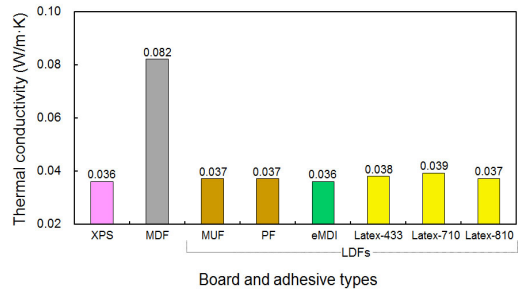


Fig. 2. Thermal conductivity of low density fiberboards (LDFs) with different adhesives.

(Uysal *et al.*, 2009). 그중 밀도와 함수율의 증가는 열전도율의 증가를 수반하고, 이러한 경향은 섬유판을 비롯하여 합판, 파티클보드, OSB 등 모든 종류의 목질재료에서 동일하게 나타나는 것으로 알려져 있다(Sonderegger and Niemz 2009; 2012; Troppová *et al.*, 2015). 그러나 아직까지 서로 다른 접착제로 제조한 섬유판의 열전도율을 동일한 조건에서 비교한 연구결과는 보고되어 있지 않은 것으로 파악되지만, 전술한 바와 같은 기존의 연구결과 및 본 연구에서 도출된 결과를 종합하면 섬유판의 열전도율에 수지 접착제의 종류는 큰 영향을 주지 않는 것으로 생각된다. 한편 열전도율을 재료의 두께로 나눈 값인 열저항(R-value)은 단열성능을 평가하기 위한 하나의 중요한 지표로 이용되고 있다. 한국산업표준의 섬유판(KS F 3200, 2016)에서는 두께가 20 mm인 저밀도섬유판의 열저항값은 0.361 m²·K/W 이상이어야 하는 것으로 명시되어 있는데, 본 연구에서 제조한 동일 두께의 저밀도섬유판은 이 기준을 크게 상회하는 0.535~0.547 m²·K/W 범위의 높은 열저항값을 나타내었다.

3.3. 저밀도섬유판의 물리적 특성

Table 3은 각 접착제별로 제조한 저밀도섬유판의 물리적 특성을 나타낸 결과이다. 모든 저밀도섬유판들은 목표 두께 및 밀도인 20 mm와 0.10 g/cm³의 범위를 크게 벗어나지 않았다. 또한 섬유판 제조 후 항온항습 조건에서 2주 이상 보관한 각 섬유판의 함

Table 3. Physical properties of low density fiberboards with different adhesives

LDFs	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Thickness swelling (%)	Length swelling (%)	Bending strength* (MPa)
MUF	19.9 ± 0.1	0.11 ± 0.01	2.0 ± 0.4	2.57 ± 0.37	0.86 ± 0.39	0.06 ± 0.03
PF	19.4 ± 0.2	0.10 ± 0.01	2.9 ± 0.9	4.53 ± 0.75	0.61 ± 0.44	0.08 ± 0.03
eMDI	19.7 ± 0.1	0.10 ± 0.00	2.9 ± 0.3	1.66 ± 0.39	0.25 ± 0.14	0.47 ± 0.01
Latex-433	21.0 ± 0.3	0.09 ± 0.00	2.2 ± 0.9	11.38 ± 3.73	1.90 ± 0.35	-
Latex-710	20.0 ± 0.2	0.10 ± 0.01	1.0 ± 0.5	8.19 ± 1.45	2.48 ± 0.92	-
Latex-810	19.9 ± 0.5	0.10 ± 0.01	1.4 ± 0.7	5.39 ± 1.18	1.53 ± 0.57	-

* LDFs manufactured by latex adhesives cannot be measured the bending strength because of their flexibility

수율은 약 3% 이하의 범위를 나타냈다. 한편, 본 연구에서 제조한 저밀도섬유판들은 모두 20% 이하의 흡수두께팽창률을 나타냈다. 라텍스계 접착제로 제조된 연질의 것은 흡수두께팽창률이 모두 5%를 초과하였으나 경질의 것은 모두 5% 이하를 나타냈으며, 그중에서도 eMDI로 제조된 것은 2% 이하의 매우 안정적인 치수변화를 보였다. 한국산업표준에 의거하면 저밀도섬유판의 흡수두께팽창률은 물속 침지 2시간 전·후의 값으로부터 산출하는데, 그 값이 20% 이하일 경우는 A급(일반용), 10% 이하는 T급(2층 마루용), 5% 이하는 내수(외벽 하부 마무리용)로 구분하고 있다. 한편, 물속 침지 24시간 전·후의 값으로 계산하는 저밀도섬유판의 흡수길이변화율 또한 eMDI로부터 제조한 것이 0.25%로 가장 안정적인 치수 변화를 나타냈으며, 연질의 정도가 가장 큰 Latex-710로 제조된 섬유판은 2.48%의 높은 치수 변화를 나타냈다. 휨 강도는 경질의 저밀도섬유판만 측정이 가능하였는데 MUF와 PF 접착제로 제조된 것은 0.1 MPa 이하의 값을 나타낸 반면, eMDI로 제조된 것은 0.47 MPa의 상대적으로 높은 휨 강도를 나타냈다. Kawasaki *et al.* (1998)은 라디에타파인 목섬유에 30%의 함지율로 pMDI 접착제를 첨가하여 밀도가 서로 다른 섬유판을 제조하고 이들의 휨 강도를 비교하였는데, 약 0.10 g/cm³의 밀도 범위에서는 휨 강도가 0.2 MPa 이하인 것으로 보고하고 있다. 또 다른 연구에서는 eMDI로 제조된 목질판상제품은 아미노계 수지 접착제뿐만 아니라 MDI의 또 다른 종류 중 하나인 pMDI (polymeric MDI)로 제조된 것

보다 강도적인 성질이 우수한 것으로 보고하고 있다 (Papadopoulos *et al.*, 2002; Hwang *et al.*, 2013). 이는 이소시아네이트계 접착제인 eMDI의 -NCO기가 목섬유의 -OH기 또는 수분과 반응함으로써 강고한 결합상태를 형성하였기 때문으로 생각할 수 있다 (Kang *et al.*, 2005).

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 종류의 접착제를 사용하여 저밀도섬유판을 제조하고 이들의 단열 및 물리적 특성을 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. MUF, PF, eMDI 접착제로는 경질(硬質)의 저밀도섬유판이, 라텍스계 접착제로는 연질(軟質)의 저밀도섬유판의 제조되었다.
2. 두께 약 20 mm, 밀도 약 0.10 g/cm³의 제원을 갖는 저밀도섬유판은 접착제의 종류 및 경질-연질 여부와 상관없이 우수한 단열성능을 나타내었다.
3. 모든 저밀도섬유판들은 국내 기준을 만족시키는 밀도, 함수율, 흡수 두께/길이 팽창률 등의 물리적 성질을 나타내었다.
4. eMDI 접착제로 제조된 저밀도섬유판은 본 연구에서 제조한 것들 중 가장 우수한 단열성능 및 물리적 성질을 나타내었다.

상기와 같은 단열성능 및 물리적 특성의 분석 결과들을 종합하여 국내 기준과 비교하면, 본 연구에서 제조한 연질 저밀도섬유판 중 Latex-433로 제조된 것은 A급, Latex-710 및 -810은 T급으로 분류되며 MUF, PF, eMDI 등 경질의 것들은 모두 내수 저밀도섬유판으로 각각 분류될 수 있을 것으로 생각한다. 따라서 천연재료를 사용한 즉, 우수한 단열성능을 갖는 목섬유 단열재의 제조 가능성이 시사되었으며, 향후 단열재용 저밀도섬유판 제조 기술의 확립과 국산화를 위해서는 난연성 및 폼알데하이드 방출특성 분석 등 안전성에 대한 후속 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원 석·박사연구원십의 지원에 의해 이루어진 것입니다. 실험에 도움을 주신 임창득 연구사와 한연중, 박주형, 이슬기, 권오륜 연구원에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Adams, A.D. 1980. EMDI binder for particleboard and waferboard. Proceedings of the 14th international particleboard symposium. Washington State University, Pullman, WA, USA. pp. 195-205.
- Ahn, D.-H. 2015. Experimental research on the thermal storage, humidity and heat bridge control performance of wood fiber insulation. Master Thesis. The Graduate School of Ajou University, Republic of Korea.
- Al-Homoud, M.S. 2005. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* 40: 353-366.
- Hwang, J.-T., Pi, D.-W., Kang, S.-G. 2013. Properties of particleboard using byproduct of plywood manufacture- Evaluation on the elements of surface layer and pre-treatment of particles. *Journal of Korean Wood Science and Technology* 41(1): 33-41.
- Kang, E.-C., Park, B.-D., Park, H. 2005. Effective uses of isocyanate adhesive using waste oil. Gyeonju, Republic of Korea. 2005 Proc. of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting. pp. 421-424.
- Kang, Y.-J., Lee, J.-H., Lee, H.-Y., Kim, S.-M. 2017. Heating and cooling energy demand evaluating of standard houses according to layer component of masonry, concrete and wood frame using PHPP. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 45(1): 1-11.
- Kawasaki, T., Zhang, M., Kawai, S. 1998. Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard. *Journal of Wood Science* 44: 354-360.
- Kim, S.-H., Yu, S.-G., Seo, J.-K., Kim, S.-M. 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.
- Korea Standard KS F 3200, Fiberboards, 2016. Korea Standards Association, Seoul, Republic of Korea.
- Lee, J.-H., Kim, J.-H., Kim, S.-M., Kim, J.-T. 2013. Characteristics of particleboards using tannin resin as novel environment-friendly adhesion system. *Indoor and Built Environment* 22(1): 61-67.
- Lee, S.-M., Kang, E.-C., Lee, M., Park, S.-B. 2016. Phenolic resin adhesives for wood. Report No. 691. National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea (ISBN: 979-11-6019-071-7).
- Lee, S.-M., Park, S.-B., Park, J.-Y. 2012. Characteristics of urea resin modified by melamine or phenol. Daegu, Republic of Korea. 2012 Proc. of the Korean Society of Wood Science

- and Technology Annual Meeting. pp. 220-221.
- Lee, W.-K., Chun, J.-H. 2012. Trend of nonsolvent adhesive. *Journal of Adhesion and Interface* 13(4): 193-196.
- Papadopoulos, A.N., Hill, C. A. S., Traboulay, E., Hague, J. R. B. 2002. Isocyanate resins for particleboard: PMDI vs EMDI. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60: 81-83.
- Park, J.-M., Kim, D.-H., Suh, D.-J. 2012. Recent research trends for green building thermal insulation materials. *Clean Technology* 18(1): 14-21.
- Park, S.-K., Won, J.-P., Park, C.-G., Kim, J.-O. 2008. Prediction of corrosion threshold reached at steel reinforcement embedded in latex modified concrete with mix proportion factor. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(6): 49-60.
- Pizzi, A. 2014. Synthetic adhesives for wood panels. *Reviews of Adhesion and Adhesives* 1: 85-126 (DOI: 10.7569/RAA.2013.097317).
- Sonderegger, W., Niemz, P. 2009. Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 313-321.
- Sonderegger, W., Niemz, P. 2012. Thermal and moisture flux in soft fibreboards. *European Journal of Wood and Wood Products* 70: 25-35.
- Troppová, E., Švehlík, M., Tippner, J., Wimmer, R. 2015. Influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of wood-based fibreboards. *Materials and Structures* 48: 4077-4083.
- USDA Forest Service. 1968. Thermal insulation from wood for buildings: Effect of moisture and its control. Research Paper. U.S. Department of Agriculture Forest Service, WI, USA.
- Uysal, B., Kurt, Ş., Özcan, C. 2009. Thermal conductivity of laminated veneer lumbers bonded with various adhesives and impregnated with various chemicals. *BioResources* 4(2): 756-770.
- Yun, K.-K., Hong, C.-W., Lee, J.-H., Choi, S.-L. 2002. Strength development and permeability of latex-modified concrete with rapid-setting cement. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(3): 299-306.
- Zhou, X.-Y., Zheng, F., Li, H.-G., Lu, C.-L. 2010. An environmental-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings* 42: 1070-1074.