

리기다소나무재의 수지 삼출성과 접착 특성¹

노 정 관^{2,†} · 김 윤 근³

Bonding Properties and Resin Exudation Characteristics of Pitch Pine¹

JeongKwan Roh^{2,†} · Yun Geun Kim³

요 약

리기다소나무를 구조용 집성재의 재료로 이용하기 위해 판면의 용이와 대패가공 후 방치시간에 따른 수지 삼출량이 레조르시놀수지로 접착한 판재의 접착성능에 미치는 영향을 검토하였다. 고온(120~95℃) 및 저온(65~50℃)에서 건조한 리기다소나무의 수지 삼출량은 판목면이 정목면 보다 저온건조재가 고온건조재보다 많았다. 방치시간별로는 저온건조재는 3일째 고온건조재는 7일째에 최고함량을 보였고, 이후부터는 서서히 감소하여 15~90일에는 거의 차이가 없었다. 접착성능은 수지의 삼출이 많은 2~3일까지는 낮았으나 15일 이후에는 큰 차이가 없었으며, 고온 및 저온 건조재 모두 방치시간에 관계없이 KS 기준의 접착성능을 만족하였다. 용이부가 포함된 적층 구성에서의 접착강도는 KS의 접착강도 기준 이상이었으나 목파율은 기준인 65% 이상을 만족하지 못하였다. 적층 단면구성(정목+정목, 판목+판목, 정목+판목)에 따른 접착성능은 고온 및 저온건조재 모두 모든 적층구성에서 KS의 기준을 크게 상회하였다.

ABSTRACT

In order to use Pitch pine (*Pinus rigida* Miller) as the material of the structural glued laminated timber, the effect of the amount of resin exudation due to storage time after the planing and the knot of the lamina were evaluated on the bonding properties of the glued board with resorcinol resin. For Pitch pine that was dried at high temperature (120~95 °C) and low temperature (65~50 °C), the flat sawn(tangential section) showed higher amount of resin exudation than the quarter sawn(radial section). And the low temperature drying wood showed higher resin exudation than the high temperature drying wood. The low and high temperature drying wood showed the highest amount of resin exudation on the 3rd day and 7th day, respectively and they were gradually decreased. However, there were no significant differences from 15 to 90 days. Adhesion performances were low until 2~3 days with high exudation of resin, but there were no significant differences after 15 days. Both high temperature and low temperature drying woods satisfied the Korean standard regardless of the storage time. The adhesive strengths of the laminating parts including knots were higher than those of KS criteria, but the wood failures were not satisfied the KS standard. Adhesive performances according to the laminating combinations (quarter sawn + quarter sawn, flat sawn + flat

¹ Date Received February 1, 2018, Date Accepted April 4, 2018

² 경남과학기술대학교 인테리어재료공학과. Department of Interior Materials Engineering, Gyeongnam National University of Science Technology, Jinju 52725, Republic of Korea

³ 경남한방약초연구소. Gyeongnam Oriental Medicinal Herb Institute, Sancheong-gun 52215, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 노정관(e-mail: arohjk@gntech.ac.kr, ORCID: 0000-0002-3146-951X)

sawn, quarter sawn + flat sawn) were better than those of KS criteria in all laminating combinations in both high temperature and low temperature drying woods.

Keywords: Pitch pine, resin exudation, resorcinol adhesive, bonding properties, knot

1. 서 론

산림청 임업통계연보에 의하면 2016년도 국내의 산림면적은 6,326천ha로 1990년에 비해 2.3%정도 감소하였으나, 임목축적은 950.5백만m³으로 약 74% 증가하였다. 임목 축적 중 60.5%는 침엽수이고, 39.5%가 활엽수이며, 침엽수의 주요 수종으로는 소나무, 낙엽송, 리기다소나무 및 잣나무의 순이며, 활엽수는 참나무류, 밤나무, 아까시나무, 자작나무의 순으로 임목축적이 많다. 1991년부터 2016년간 조림본수 누계는 잣나무, 편백, 소나무, 낙엽송, 리기다소나무, 삼나무 순이며 활엽수는 상수리나무, 자작나무, 느티나무, 물푸레나무의 순으로 전체 13억 8천본이 조림되었다. 특히 1961년 이후 2016년까지 4,120 ha, 10,629천본 이상 조림된 리기다소나무는 북미가 원산인 상록침엽교목으로 국내에는 1906년에 도입된 후 전국 각 지역에서 국내 침엽수 중에서는 소나무와 낙엽송 다음으로 많은 약 26만 ha의 면적과 42.5백만m³의 축적을 가지고 있다(Korea Forest Service, 2017). 그러나 대부분이 1960년대 이전에 사방이나 연료용으로 식재된 것으로 간벌이나 가지치기 등의 무육작업이 거의 행해지지 않아 옹이가 많고 밀식 상태에서 성장하여 직경이 작아 현재는 비교적 저부가가치적 용도로 주로 이용되고 있다. 또한, 리기다소나무는 연륜이 뚜렷하고, 심재는 적갈색, 변재는 황백색으로 심변재의 구분이 뚜렷하나 수직수지구와 수평수지구를 가지고 있으며, 수지의 함량이 매우 높은 수종이다. 예전에는 리기다소나무로부터 송지를 채취하였으며, Wi *et al.* (1979)이 송지의 유출량을 조사한 결과에 의하면 12~15년생의 경우 지상 120cm 부분에서 가장 많이 유출되었으며, 직경이 증가할수록 유출량이 많았고, 시기적으로는 7월 중순에 최대로 유출된다고 하였다.

이와 같이 리기다소나무는 수지의 함량이 높고

옹이가 많아 접착성과 도장성이 불량하여 가공 이용에 많은 제약이 따른다. 따라서 리기다소나무를 보다 효율적으로 고부가가치적 용도로 이용하기 위해 다양한 연구가 행해지고 있다. 먼저 에너지화에 관한 연구로 Seo *et al.* (2015)은 목질 바이오매스 자원의 효율적 에너지화 방안의 일환으로 소나무와 리기다소나무에 대한 목재펠릿의 제조 특성을 검토한 결과, 두 수종 모두 발열량은 1급을 만족하였으나, 리기다소나무 목재 펠릿의 내구성은 품질규격을 만족하지 못하였으며, Yang *et al.* (2015)은 리기다소나무 펠릿의 내구성이 국립산림과학원 품질규격의 4등급 기준에도 미치지 못하여 펠릿원료로 사용하기 위해서는 다른 제조 조건에 대한 연구가 필요하다고 제시하였다. Kim *et al.* (2015)은 참나무류와 리기다소나무 간벌재 칩을 사용하여 증기 처리에 의해 조사료를 제조하고 사료적 가치를 평가한 결과 참나무가 리기다소나무 보다 높은 영양가와 건물소화율을 나타내어 사료용 수종으로도 리기다소나무는 적합하지 않은 것으로 생각된다. 반면 Yeo *et al.* (2004)은 리기다소나무를 구조용 집성재 제조용 라미나로 사용하기 위하여 고온건조에 관한 연구에서 고온건조 스케줄에 의해 건조는 가능하였으나, 저온건조에 비해 어둡고 진한 색으로 변색된다고 하였으며, Shim *et al.* (2004)은 집성재용 라미나 제재수율은 39.9%정도이나 옹이를 제거하여 핑거가공한 후의 수율은 15.3%로 낮아져, 옹이를 제거하지 않고 라미나로 이용하기 위한 검토가 필요하다고 하였다. Kim *et al.* (2007)은 국산 리기다소나무를 구조용 집성재의 제조에 이용하기 위하여 기계응력등급을 구분한 결과 대부분이 E7에서 E9등급에 해당되며, 휨탄성계수는 다소 기준에 미치지 못하나 낙엽송과 혼합구성하면 휨성능을 향상시킬 수 있어 구조용 집성재에 이용할 수 있을 가능성이 매우 크다고 하였다. 방부처리 국산 리기다소나무를

이용한 구조용 집성재의 제조와 단계별 생산수율을 검토한 결과, 불균일한 방부약제의 흡수량으로 인하여 구조용 집성재 제조용으로 적합하지 않다고 하였다(Kim *et al.*, 2011). 또한 리기다소나무 집성재를 이용한 목교의 구조해석과 설계(Kim *et al.*, 2010), 차량용 목조교량의 전과정 평가에 의한 지구온난화에 미치는 영향(Son *et al.*, 2014) 등에 관한 연구가 수행되는 등 집성재료의 이용 가능성에 대해 다양하게 검토되고 있다. 그러나, 리기다소나무는 직경이 작고 웅이가 크고 많으며, 다량의 수지를 함유하고 있어서 목재 이용 시 수지가 재의 표면으로 삼출되어 표면을 오염시키고, 접착 이용 시 접착성을 저하시키는 등의 문제점이 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 리기다소나무를 구조용 집성재의 재료로 이용하기 위해 수지와 웅이가 집성 접착 시 접착성능에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

국내산 리기다소나무(*Pinus rigida* Miller)를 두께 20mm로 제재한 후 120~95℃의 고온과 50~65℃의 저온에서 건조하여 공시재료로 사용하였다. 접착

시험은 건조한 리기다소나무 판재를 다시 350×100×12mm로 재단한 후 정목재과 판목재를 구분하여 사용하였으며, 건조재의 접착 시 함수율은 고온건조재가 6.7~8.2%, 저온건조재는 8.8~10.1%였다.

리기다소나무 라미나의 접착성능을 평가하기 위한 접착제로는 구조용 집성재의 제조에 주로 사용되는 레조르시놀(RF, Resorcinol Formaldehyde)수지(Oshika Co. Ltd, Japan)와 경화제로는 *p*-formaldehyde를 사용하였으며, 공시한 수지의 고형분은 59.5%, pH 6.8 및 점도 529 mPa·s였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 리기다소나무 판재의 수지 삼출량 측정

고온 및 저온건조한 정목과 판목의 리기다소나무 판재(350×35×12mm)의 표면을 0.5, 1, 3, 5, 7, 15, 90 일 방치한 후 수압대패에 의해 0.7mm씩 절삭하여 수지(수지)함량 측정용 시료로 사용하였다. 수지 함량은 각각의 시료를 디에틸에테르로 6시간 속슬렛 추출하여 정량하였다.

2.2.2. 접착 및 성능평가

리기다소나무 적층면의 단면 구성별 접착성능은 Fig. 1과 같이 정목-정목, 정목-판목, 판목-판목, 추정

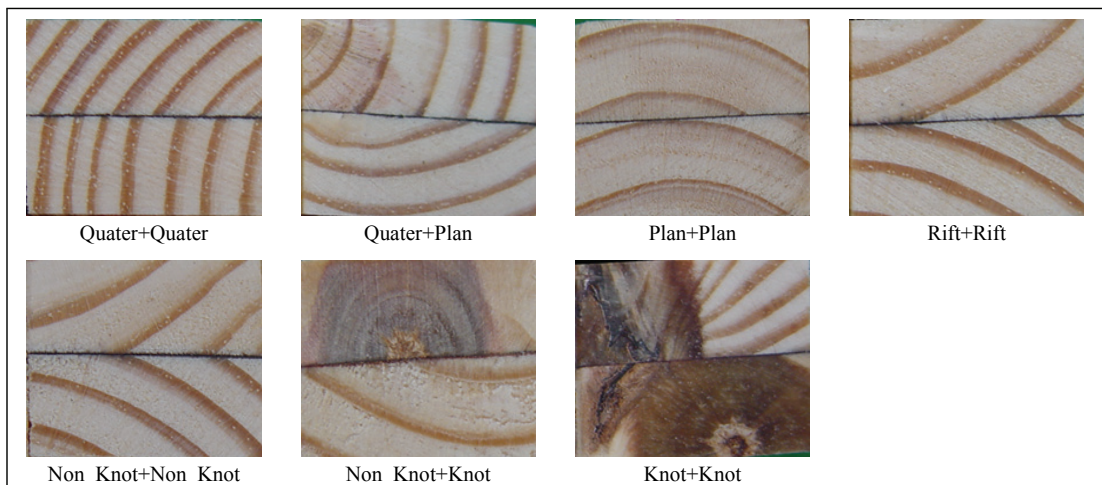


Fig. 1. Configurations of laminating sections and parts.

목-추정목과 비옹이-비옹이, 옹이-비옹이, 옹이-옹이 부 및 대패가공 후 방치시간에 따른 접착성능(경과 일수 0.5, 1, 2, 3, 7, 15, 30 및 60일)을 평가하기 위하여 RF수지를 사용하여 각각 3매의 접착판재를 제조하였다. 접착강도는 각각의 접착판재로부터 각 5개의 접착강도 시험편을 제작하여 15매의 평균값으로 평가하였다. 접착은 RF 수지 100부에 경화제 15부를 잘 혼합한 후, 도포량 280g/m², 상온에서 압력 10 kgf/cm²로 24시간 가압하여 실시하였다.

두께 12mm 라미나를 2매 접착한 판재의 접착성능은 상태(KS F 3021) 및 끓임 반복 압축인장 전단 접착강도와 목과골 그리고 침지 및 삶음 박리시험에 의한 박리율로 평가하였다. 끓임 반복은 접착면적이 25×25mm인 시험편을 물에서 4시간 끓이고, 60 °C의 건조기에서 20시간 건조한 후 다시 물에서 4시간 끓인 후 상온의 물로 냉각한 후 젖은 상태에서 측정하였다. 침지 박리 시험은 75×75mm 시험편을 상온의 물속에 24시간 침지시킨 후 70±3 °C에서 24시간 건조시킨 후 시험편의 양쪽 횡단면에 나타나는 접착층의 박리 중에서 3 mm 이상인 것의 길이를 측정하였으며, 삶음 박리는 시험편을 끓는 물속에 4시간 동안 침지시키고 다시 상온에서 물속에 1시간 침지시킨 후 70±3 °C에서 24시간 건조시키는

것을 1 Cycle로 하여 7 Cycle처리 후 박리 길이를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 리기다소나무의 가공 후 방치시간에 따른 수지의 용출량

고온과 저온에서 건조한 리기다소나무를 정목과 판목으로 구분하여 방치시간별로 표면으로 삼출하는 수지의 양을 디에틸에테르로 6시간 추출하여 정량한 결과는 Fig. 2와 같다. 정목제재목과 판목제재목의 수지 삼출량은 저온 및 고온 건조재 모두 판목면이 정목면 보다 많았다.

또한 고온과 저온건조 리기다소나무재의 정목과 판목의 평균값으로 비교한 방치시간별 수지 삼출량을 Fig. 3에 나타내었다. 방치시간별 삼출되는 수지양은 저온건조재가 2.2~4.3%로서 고온건조재보다 약 0.5% 높아 저온 건조재에서의 수지 삼출이 많았다. 방치시간별로는 저온건조재는 3일째 고온건조재는 7일째에 최고함량을 보였고, 이후부터는 서서히 감소하여 15일째 이후 90일까지는 비슷하였다.

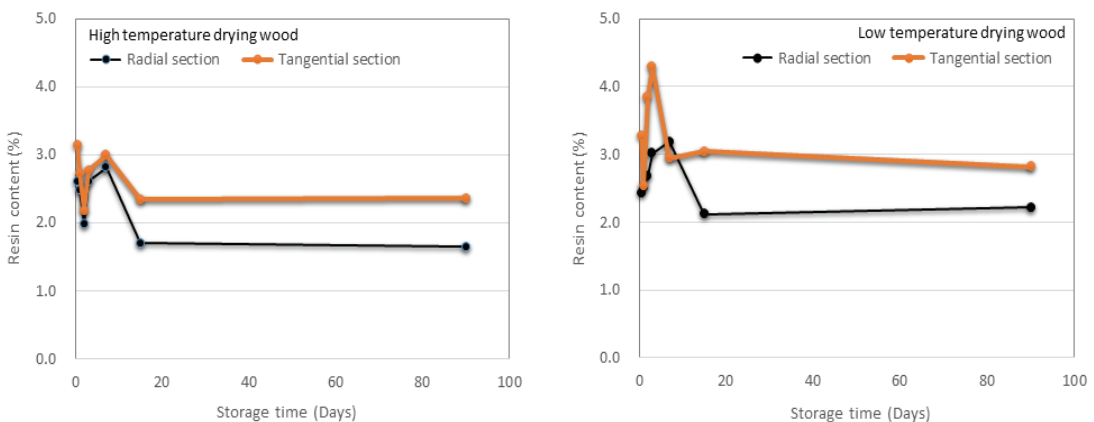


Fig. 2. Comparison of exuded resin content between radial and tangential sections according to storage time of Pitch pine lamina.

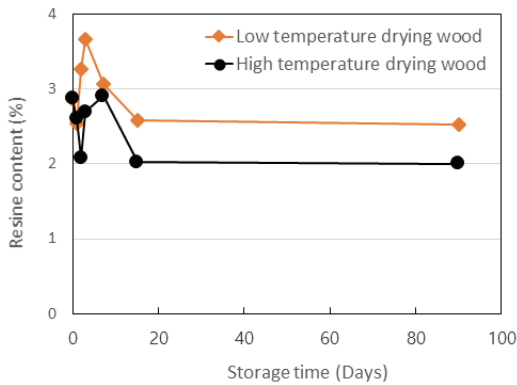


Fig. 3. Variation of average exuded resin content according to storage time of high and low temperature drying Pitch pine lamina.

3.2. 리기다소나무재의 적층단면 구성에 따른 접착성능

리기다소나무는 KS의 구조용 집성재 제조를 위한 층재의 수종군 구분에서 편백나무, 북미 전나무와 같은 B군에 해당되는 수종이다. 그러나, 구조용 집성재로 이용하기 위해 조사한 제재수율은 약 40%

였으나 용이 등을 제거하면 수율이 현격히 저하된다고 하였다(Shim *et al.*, 2004). 또한 잘 무육되지 않은 리기다소나무재에는 용이가 상당히 많은 것으로 알려져 있어, 제재단면별과 용이부의 접착성능에 대한 평가가 요구되고 있다.

리기다소나무 판재를 정목과 판목 및 추정목이 되도록 제재한 후 고온과 저온에서 건조한 판재의 각 적층단면을 정목+정목, 판목+판목, 추정목+추정목 및 정목+판목으로 조합하여 RF수지로 접착한 상태 및 끓임 반복 압축전단 접착강도는 Fig. 4와 같다. 60일이 경과한 리기다소나무 판재의 적층 단면별 접착성능은 고온건조재의 경우 정목과 판목의 적층에서만 저온건조재 보다 우수하였으나 다른 적층면에서는 고온건조재와 저온건조재와의 간에는 큰 차이가 없었다. 저온건조재의 경우에는 정목과 정목의 적층이 상태 접착 강도는 다소 우수하였으나 목파울의 정도를 고려하면 다른 적층면과 크게 차이가 없었으며, 모든 단면의 조합에서 모두 KS의 구조용 집성재의 기준인 7.1 MPa의 접착강도를 크게 상회하였으며, 목파울도 고온건조재의 정목과 정목(63%), 저온건조재의 정목과 판목(58%)을 제외하고는 A, B 수종군의 65%를 모두 상회하였다. 또한

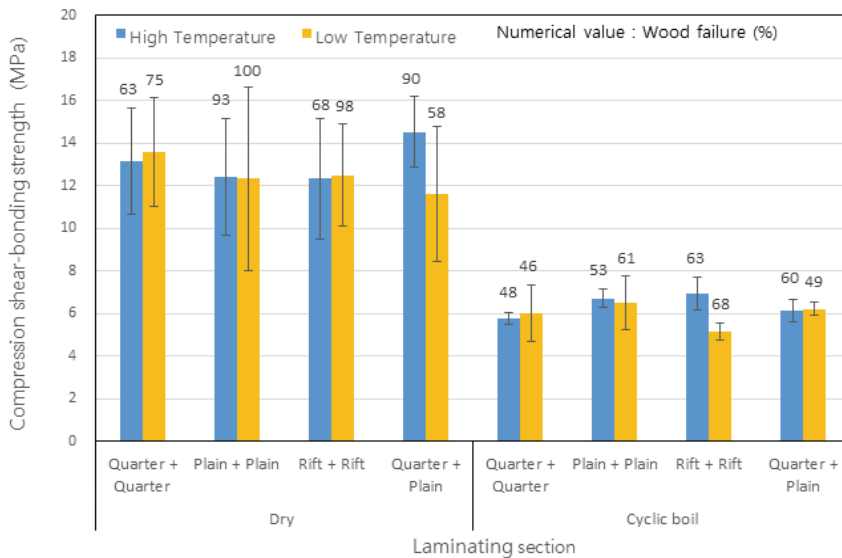


Fig. 4. Comparison of compression shear bonding strengths according to laminating sections.

끓임 반복 접착성능도 저온과 고온 건조조건과 접착단면별간에 큰 차이가 없었다.

3.3. 리기다소나무재 옹이부의 접착성능

국산 리기다소나무는 옹이로 인해 이용에 많은 제약이 따른다. 특히 제재 시 옹이부를 피하게 되면 제재 수율이 현격히 저하된다는 연구 결과도 있어 이들 옹이 없이 구조용 집성재를 제조하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이들 옹이부분이 접착성능에 미치는 영향을 검토하였다. RF수지를 사용하여 고온 및 저온에서 건조한 리기다소나무재에 대해 목질부와 목질부의 적층, 목질부와 옹이부 및 옹이부와 옹이부의 적층 구성에 따른 상태 및 끓임 반복 압축전단 접착성능은 Fig. 5와 같다.

각각의 적층 단면별 상태접착강도의 평균값으로 비교한 비옹이부 즉 목질부의 압축전단 접착강도는 고온건조재가 12.5 MPa, 목파율 79%, 저온건조재가 13.1 MPa, 목파율 83%로 저온건조재가 약간 우수하나 큰 차이는 없었다. 그러나 옹이부와 목질부 적층 구성에서는 저온건조재의 압축전단 접착강도와 목파율은 고온건조재가 10.9 MPa, 62%, 저온건조재가

15.5 MPa, 45%로 강도는 저온건조재가, 목파율은 고온건조재가 높았다. 그러나 옹이부와 옹이부의 접착성능은 고온건조재가 15.2 MPa, 24%, 저온건조재가 10.1 MPa, 9%로 강도와 목파율 모두 고온건조재가 저온건조재보다 높아 옹이부의 접착에는 고온건조재가 우수한 접착성능을 나타내었으며 이것은 고온건조 시 옹이의 수지분이 경화되었기 때문으로 생각된다.

그러나 목파율은 비옹이부와 적층되었을 때보다 매우 낮았다. 또한 옹이부가 포함된 적층 구성에서의 접착강도는 옹이-비옹이에 관계없이 KS의 구조용 집성재 압축전단 접착강도 기준 이상이었으나 목파율은 옹이가 포함된 적층구성에서는 기준인 65% 이상을 만족하지 못하였다. KS의 규격에도 비고로 접착층에 옹이, 수지구 등의 결점이 존재하는 시험편은 시험에서 제외할 수 있다고 규정되어 있다. 이것은 옹이부의 강도가 목질부에 비해 매우 높기 때문에 목파율만에 의한 성능 평가는 곤란할 것으로 생각된다. 또한 옹이부가 포함된 적층구성의 내수성은 저온건조재나 고온건조재 모두 목질부간의 적층 구성 보다 우수한 접착성능을 나타내고 있어 특별히 옹이로 인해 수분에 의한 접착성능의 저하는 고려하지 않아도 될 것으로 생각된다.

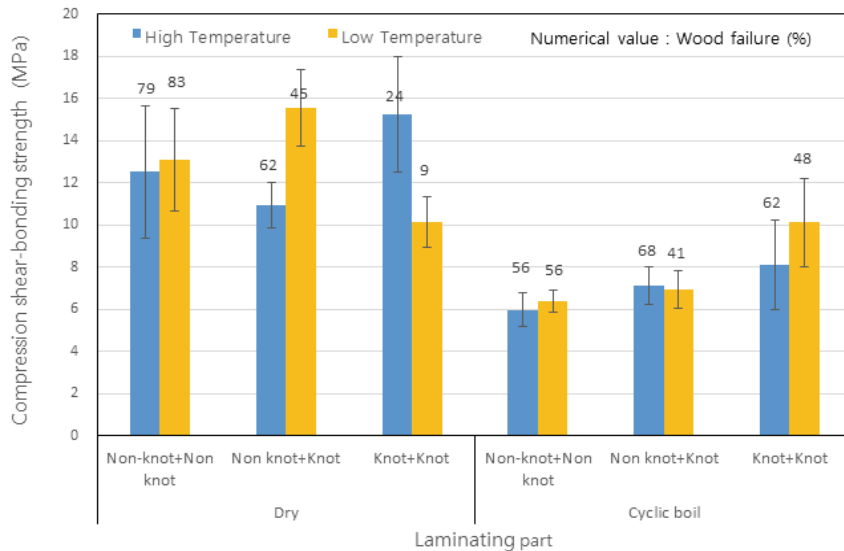


Fig. 5. Comparison of compression shear bonding strengths according to laminating parts.

3.4. 대패가공 후 시간경과에 따른 리기다소나무의 접착성능

리기다소나무는 수지의 함량이 높고 대패가공 후 수지분이 표면으로 삼출되므로 인해 접착성능에 미치는 영향을 검토하였다. 고온과 저온에서 건조한 리기다소나무재를 대패가공 후 방치시간에 따른 압축전단 접착성능을 검토한 결과는 Fig. 6과 같다.

고온건조재의 경우는 대패가공 후 수지의 삼출이 많은 7일 까지는 상태접착성능이 다소 낮았으나 15일 이후에는 큰 차이가 없었으며, 저온건조재는 고온건조재에 비해 수지 삼출량은 많았으나 목파울을 동시에 고려한 접착성능에는 큰 차이가 없었다. 또한, 대패가공 후 초기인 약 7일 까지는 저온건조재의 접착성능이 양호하였으나, 15일 이후에는 고온건조재가 우수하였으나 크게 차이가 없었다. RF수지 접착제에 의해 접착한 리기다소나무재의 고온 및 저온 건조재 모두 상태 압축전단 접착강도는 11~15 MPa, 목파울 81~91%의 범위로 제재 후 방치시간에 관계없이 KS 기준인 7.1 MPa, 65%를 크게 상회하는 접착성능을 나타내었다. 또한 끓임 반복 처리한 후의 내수 접착성능도 고온이나 저온 건

조재 및 방치시간에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 침지나 삶음 박리 시험은 7 Cycle 실시하여도 목재층의 할렬은 관찰되었으나 접착층에서의 박리는 전혀 발생하지 않았다.

4. 결 론

리기다소나무를 구조용 집성재의 재료로 이용하기 위해 대패가공 후 방치시간에 따른 수지 삼출량과 RF수지에 의한 접착성능, 적층시의 단면 구성 및 용이부가 접착성능에 미치는 영향을 검토한 주요 결과는 다음과 같다.

표면으로의 수지 삼출량은 저온건조재가 고온건조재보다 약 0.5% 높았으며, 방치시간별로는 저온건조재는 3일째 고온건조재는 7일째에 최고함량을 보였고, 이후부터는 서서히 감소하여 15일째 이후 90일까지는 거의 차이가 없었다. 정목제재목과 판목제재면의 수지 삼출량은 저온 및 고온 건조재 모두 판목면이 정목면 보다 많았다. 단면구성별 접착성능은 저온건조재의 경우에는 정목과 정목의 적층이 상태 접착 강도는 다소 우수하였으나 목파울의 정도를 고려하면 다른 적층면과 크게 차이가 없었으며, 거의 모

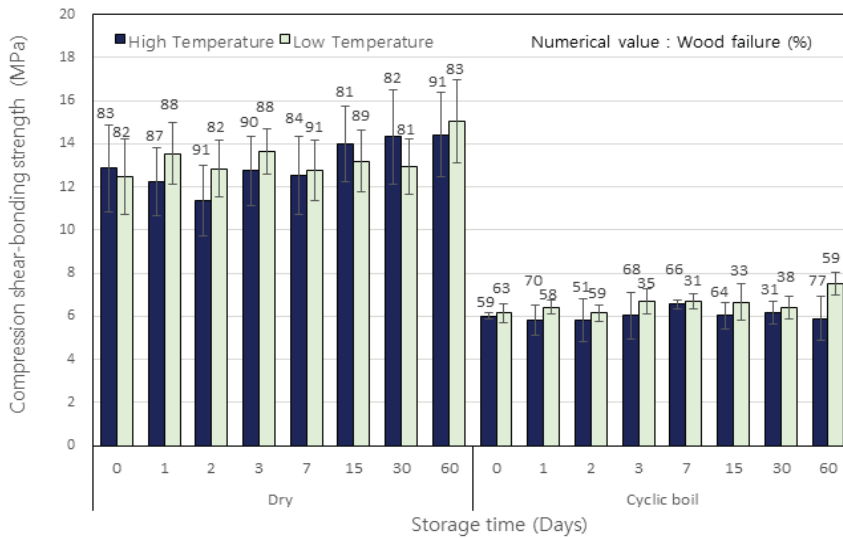


Fig. 6. Comparison of shear bonding strengths according to storage time after planing between high and low temperature drying wood.

든 단면의 조합에서 모두 KS의 기준을 만족하였다. 용이부의 적층 구성에 따른 압축전단 접착강도는 모두 KS 기준을 만족하나 용이부가 포함되면 목파울은 현저히 낮아져 기준을 만족하지 못하였으나(KS 규정에 용이부는 제외하도록 되어 있음) 용이로 인한 내수성능의 큰 저하는 초래하지 않았다. 고온건조제의 접착성능은 대패가공 후 수지의 삼출이 많은 7일까지는 상태접착성능이 다소 낮았으나 15일 이후에는 큰 차이가 없었으며, 저온건조제는 고온건조제에 비해 수지 삼출량은 많았으나 목파울과 같이 고려한 접착성능에는 큰 차이가 없었다.

이상의 결과로부터 목재의 접착강도는 표면의 수지분에 의해서도 영향 받지만 목재내부로의 접착제의 침투성에 의해서도 크게 좌우되며, 특히 사용하는 접착제와 접착조건 등에 의한 영향도 매우 큼으로 종합적인 판단에 의해 접착해야 할 것으로 생각되며, 리기다소나무의 경우 적절한 접착제의 선정과 접착조작이 이루어진다면 수지분으로 인한 접착불량은 크게 우려하지 않아도 될 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Kim, K.M., Eom, C.D., Lee, S.J. 2011. Performance of structural glulam laminated with CuAz-3 preservative treated lumber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 39(6): 521-530.
- Kim, K.M., Shim, K.B., Kim, B.N. 2010. Bending behavior of preservative treated Pitch pine stress-laminated timber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 38(4): 306-315.
- Kim, K.M., Shim, K.B., Park, J.S., Kim, W.S., Lim, J.A., Yeo, H.M. 2007. Development of Pitch pine glued laminated timber for structural use. - Improvement of bending capacity of Pitch pine glulam by using domestic larch laminars-. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 35(6): 13-22.
- Kim, S.J., Lee, S.S., Baek, Y.C., Kim, Y.S., Park, M.J., Ahn, B.J., Cho, S.T., Choi, D.H. 2015. Manufacturing and feed value evaluation of wood-based roughage using lumber from thinning of Oak and Pitch Pine. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(6): 851-860.
- Korea Forest Service. 2017. Statistical yearbook of forestry 2017. Vol. 47.
- KS F 3021. 2013. Structural glued laminated timber. Korean Agency for Technology and Standards.
- Seo, J.W., Lee, E.S., Kang, C.Y., Kim, S.B., Yoon, Y.H., Park, H. 2015. Comparison of quality characteristics of woodpellet manufactured from *Pinus densiflora* S. et Z. and *Pinus rigida* Mill. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 43(3): 374-380.
- Shim, S.R., Yeo, H.M. 2004. Visual log grading and evaluation of lamina yield for manufacturing structural glued laminated timber of Pitch pine. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 32(2): 90-95.
- Son, W.L., Park, J.S., Kim, K.M. 2014. Life Cycle Assessment of Timber Arch-Truss Bridge by Using Domestic *Pinus rigida* Glued-Laminated Timber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(1): 1-12.
- Wi, H., Seo, B.S. 1979. Study on oleoresin exudation in *Pinus rigida*(I). *Theses Collection of the Agricultural College* 10: 49-55. 1981. 12:41-45.
- Yang, I., Kim, S.H., Han, G.S. 2015. Effects of moisture content and particle size of sawdust and operating time of flat-die pelletizer on the fuel characteristics of wood pellets fabricated with Mongolian oak and *Rigida* pine sawdust. *New & Renewable Energy* 11(3): 11-20.
- Yeo, H.M., Shim, S.R. 2004. High temperature drying of Pitch pine lumber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 32(4): 46-51.