

낙엽송 소경각재의 종접합 성능평가¹

이 인 환² · 박 주 현² · 송 다 빈² · 홍 순 일^{2,†}

Longitudinal Bonding Strength Performance Evaluation of Larch Lumber¹

In-Hwan Lee² · Ju-hyun Pack² · Da-bin Song² · Soon-Il Hong^{2,†}

요 약

소경각재를 이용한 소경각재 적층목을 기둥-보 목조건축 구조재로 이용하기 위해선 장대재 제작이 가능하여야 한다. 본 연구에서는 낙엽송 소경각재의 종접합 성능평가를 실시하였다. 시험편들은 종접합 방법에 따라 6가지 형상으로 제작하였으며 인장 및 휨 강도시험으로 종접합성능을 검토하였다. 종접합 접합부의 인장시험에서 Lap 시험편의 인장 강도는 Double Lap 시험편보다 양호하였으며, Scarf 시험편의 인장강도는 Hooked scarf 시험편보다 양호하였다. Rod 시험편의 인장강도는 3.6 MPa로 가장 양호하였다. 종접합 접합부의 휨 시험결과 봉형 GFRP를 삽입 접착한 시험편들은 평균 29 MPa의 휨 파괴계수가 측정되었으며, 타 접합부 시험편들은 11 MPa 이하의 휨 파괴계수 값이 관찰되었다. 봉형 GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic)를 삽입 접착한 시험편들은 인성파괴가 관찰되었고 나머지 시험편들은 취성파괴가 발생하였다. Rod + Lap 시험편의 평균 휨 파괴계수가 30.5 MPa로 종접합한 시험편 중 가장 양호한 성능을 발휘하였다. Rod + Lap 시험편의 휨 강도는 종접합하지 않은 대조군 시험편 휨 파괴계수의 66%에 해당되었다. 낙엽송 소경각재 종접합 방법으로 봉형 GFRP 삽입 접착이 가장 유효한 강도를 나타내는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In order to use glued built up timber beam as a structural member for post and beam construction, it must be possible to manufacture long-span lumber. In this study, the researchers conducted a performance evaluation for longitudinal bonding of lumber (cross-section 89 × 120 mm) made from larch. The specimens were prepared in six different forms using the longitudinal bonding method. The bonding strength of these specimens was tested through tensile strength tests and bending strength tests. The tensile strength test result of the longitudinally bonded parts was better than that of the double lap specimens. And, the tensile strength value of the scarf specimen was better than that of the hooked scarf specimen. The tensile strength of the GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) rod insertion bonding specimen was 3.6 MPa, which was the highest. As for the bending strength test result of the longitudinally bonded part, the average MOR (modulus of rupture) of the specimen where a GFRP rod was inserted and bonded measured 29 MPa, while the specimens of other bonded parts showed a MOR no more than 11 MPa. Toughness destruction was observed in specimens where a GFRP rod was insertion-bonded. The rest of the specimens showed brittle destruction. The average

¹ Date Received December 12, 2017, Date Accepted January 5, 2018

² 강원대학교 산림환경과학대학 산림응용공학부 산림바이오소재공학전공. Program of Forest Biomaterials Engineering, Division of Forest Material Science & Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9627-2208)

MOR strength of the Rod+Lap specimen was 30.5 MPa, which was the highest among all longitudinally bonded specimens. The bending strength of the Rod+Lap specimens showed an effective strength that was 66% of that of the control group which were not longitudinally bonded.

Keywords : bending test, glass fiber reinforced plastic rod, hooked scarf joint, lap joint, longitudinal bonding, tensile test, lumber

1. 서 론

국내산 낙엽송은 우리나라의 임목축적의 12%를 차지하며 소나무 다음으로 공급량이 많은 수종으로 제재목의 가격은 소나무보다 약 40% 저렴하다(Forestry Statistics Annual Report, 2017). 또한 국내산 낙엽송(0.61)은 소나무(0.47)와 잣나무(0.45)에 비해 비중이 높고, 휨 강도와 압축강도가 소나무와 잣나무에 비해 약 1.3배 높으며(Forest and forestry technology, 2012), 나이테의 간격이 조밀하고 단단하여 다른 수종들에 비해 병충해로부터 받는 피해가 적어 수명이 길다. 뿐만 아니라 국내산 낙엽송은 뛰어난 내구성과 내수성을 가지며 잔가지가 적고 수간이 통직하게 성장하여 장재 생산에 적합하고 그 용도와 쓰임이 건축용 재료에 적합하다.

건축용 구조용재는 제작 길이에 제한이 없고 대단면으로 제작이 가능하여야 여러 분야에 활용되고 자유로운 설계가 가능하다. 대표적 공학목재인 집성재는 층재를 종접합 한 후 적층하기 때문에 길이와 두께에 제한이 없어 그 활용도가 높다. 낙엽송 소경각재를 층재로 하는 소경 각재 적층목도 층재의 종접합으로 장대재의 휨 부재 제작이 가능해지면 적층시 집성재보다 접착제 사용량이 적고 심미성이 우수하고 부가가치의 공학목재로 활용될 것으로 기대된다.

HIRST 등(2008)은 Oak 각재를 사용하여 Scarf joint 등 4가지 시험편을 제작 후 접착제를 사용하지 않고 직경 19 mm Wood pin을 수직 또는 수평으로 삽입 후 휨 강도 실험을 실시하였다. 실험결과 Lap joint와 Hooked scarf joint 시험편이 가장 우수한 휨 성능을 보였다. 낙엽송 집성재에 봉형 GFRP를 삽입하고 접착제로 목재와 간극을 충전시켜 실시한 인발 시험에서는 폴리우레탄 접착제를 사용하였을 때보다 에폭시 접착제를 사용하였을 때 우수한 성능을 보였



Fig. 1. CNC-processing machines K2i 1259.

고, 에폭시 접착제를 사용하여 접착층 두께 2 mm, 선공깊이 7D로 제작하였을 때 가장 우수한 성능을 보였다(Jung 등, 2015). 그리고 Karastergiou 등(2005)이 European Spruce를 사용하여 실시한 Scarf joint의 각도에 따른 성능 비교 실험은 joint의 경사비 1.75/1일 때 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 보고되었다.

목재를 이용한 종접합 연구는 Finger joint와 Scarf joint 등 기본 구조에 한정되어 있다. 또한 판재, 층재 등의 비교적 작은 시험편을 사용한 연구들이 주로 진행되어 소경각재의 종접합에 대한 데이터가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소경각재의 종접합 방법으로 접합물을 사용하지 않은 스카프 조인트 등의 4가지 형상의 시험편과 봉형 GFRP를 삽입한 2가지 형상의 시험편을 제작하여 종접합 내력 성능을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시재료로는 평균 기건 비중 0.52, 평균 함수율 16%의 국내산 낙엽송 소경각재(89 (T) × 120 (W) × 3600 (L) mm)를 사용하였다. 소경각재는 혼데거사의 K2i 1259 프리컷 가공기계(CNC: Computer numerical control)로 종접합부를 정밀 가공하였다(Fig. 1).

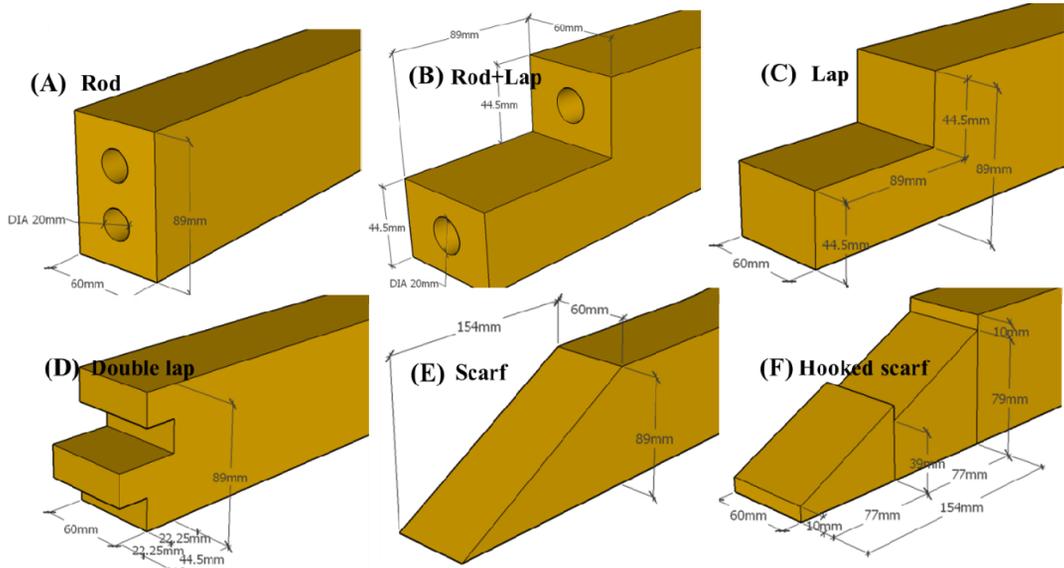


Fig. 2. Shape of end joint specimens.

2.2. 인장시험편 제작 및 시험방법

인장시험편은 길이 1200 mm, 표점거리 780 mm 표점부 단면적 60×89 mm가 되도록 가공하였다. 종접합 형상은 Fig. 2와 같이 6가지 종류로 각 유형별 5개씩 총 30개의 시험편들을 제작하였다(Fig. 2).

Rod 시험편의 횡단면은 단거리와 연단거리의 길이를 동일하도록 선공을 하였으며, 목질부와 봉형 GFRP (glass fiber reinforced plastic) 사이의 간극이 1 mm가 되도록 가공하였다(접착층 1 mm). 구멍의 깊이는 봉형 GFRP 직경의 7배가 되도록 가공하였다. 직경 18 mm, 길이 252 mm의 봉형 GFRP를 에폭시 접착제를 사용하여 선공된 횡단면에 삽입 접착하였다(Fig. 2-A). Rod + Lap 시험편은 Fig. 2-B와 같이 Lap 접합부 형상으로 가공한 후 각 횡단면 정중앙에 선공을 하였다. 선공 및 접착조건은 Rod 시험편과 동일하게 하였다. Lap 시험편은 두께대비 2배 길이의 턱을 가공하였다(Fig. 2-C). Double Lap 시험편은 Lap 접합부 형상이 연속으로 가공된 형상이다. 첫 번째 Lap 형상은 22.25 mm로 가공하였고 두 번째 Lap 형상은 44.5 mm 깊이에 22.25 mm 턱을 더 가공하였

다(Fig. 2-D). Scarf 시험편은 경사비 1.73 : 1로 가공하였다(Fig. 2-E). Hooked scarf 시험편은 Scarf 시험편과 같은 경사비로 제작한 후 Hooked의 깊이를 15 mm로 가공하였다(Fig. 2-F). 봉형 GFRP를 삽입하지 않은 시험편들은 PRF (Phenol Resorcinol Formaldehyde) 접착제를 사용하여 종접합하였다. 모든 시험편은 일정한 압체압력으로 24시간 상온경화하였다. Fig. 3은 프리컷 가공된 인장시험편의 횡단면 사진과 종접합된 인장시험편의 모식도이다.

2.2. 인장 시험 방법

시험편은 Fig. 4와 같이 하단부 끝 단면부터 표점부까지를 Stopper로 바닥과 고정하고, 상단부 끝 단면부터 표점부까지 감싸는 치구를 설치하였다. 완성된 치구는 30T 수직제하장치를 사용하여 분당 5 mm의 하중속도로 시험을 실시하였다. 인장강도는 다음 식으로 산출하였다.

$$\sigma_{\max} = P_{\max} / A (N/mm^2) \quad \text{식(1)}$$

σ_{\max} : 인장 강도(N), P_{\max} : 최대 하중(N), A: 접착 단면적(mm^2)

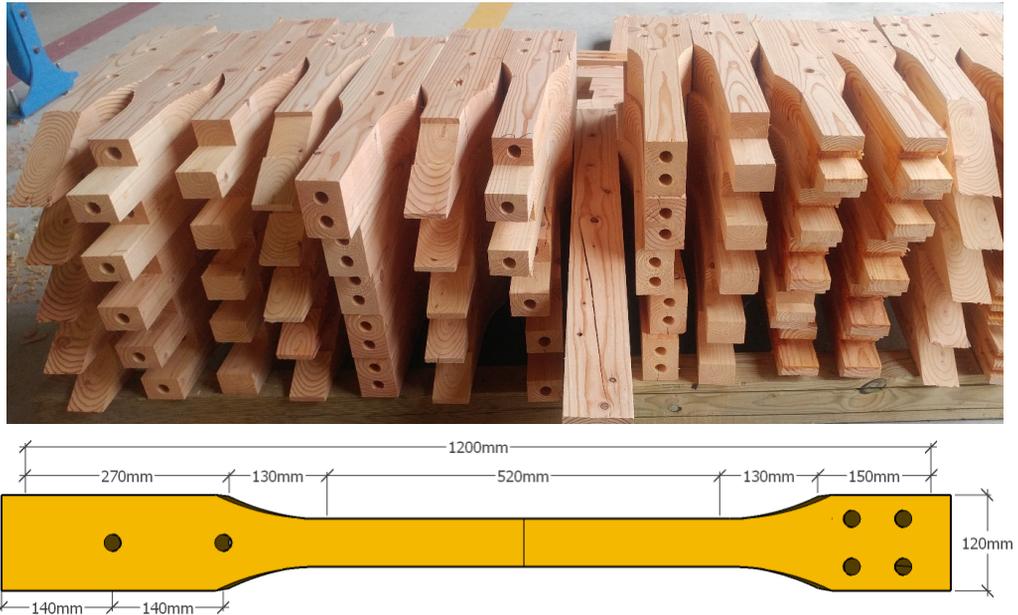


Fig. 3. Photograph of CNC-processed specimens and shape of tensile strength specimen.



Fig. 4. Photograph of tensile strength test.

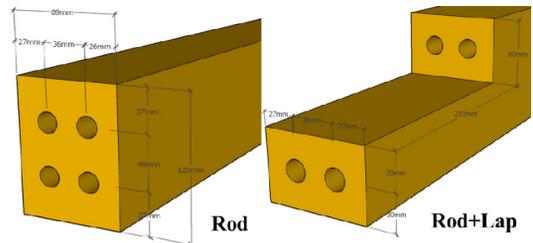


Fig. 5. Shape of bending strength specimens (Rod and Rod + Lap).

2.3. 힘 시험편 제작 및 시험방법

힘 시험편들의 종접합 형상은 6가지로 각 유형별 3개씩 총 18개의 시험편을 제작하여, 대조군인 무종접합 소경각재와 힘 강도 성능을 비교 검토하였다. 모든 시험편의 종접합 유형은 인장시험편과 동일하며, Rod 시험편과 Rod + Lap 시험편은 단면적을 고려하여 횡단면에 4개의 구멍을 가공하였다(Fig. 5). Lap 시험편과 Rod + Lap 시험편은 두께대비 3.5배의 길이로 턱을 가공하였다.



Fig. 6. Photograph of bending strength test.

Table 1. The results of tensile strength performance evaluation test

Specimen	P _{max} Ave. (kN)	Strength Ave. (MPa)	COV (%)
Rod	22.8	4.3	23.9
Rod + Lap	32.5	6.1	18.6
Lab	17.2	3.2	19.4
Double lap	12.6	2.4	17.5
Scarf	37.8	7.1	28.5
Hooked scarf	29.1	5.4	30.8

* COV: coefficient of variation

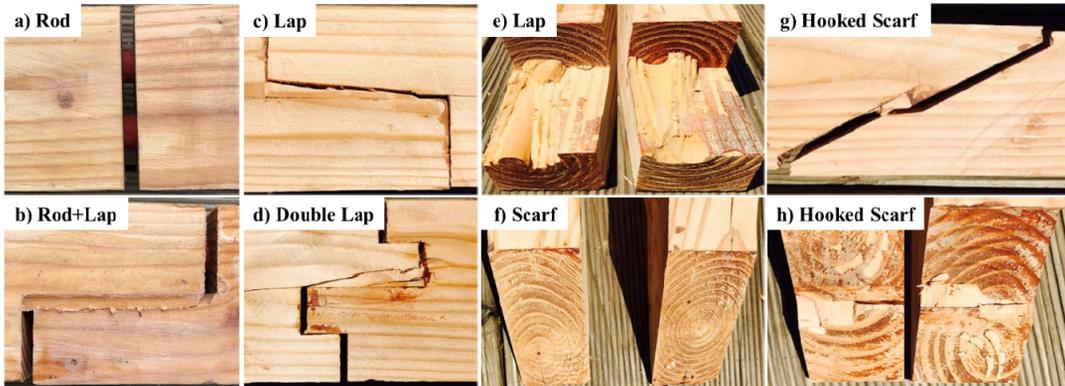


Fig. 7. Failure mode of end joint specimens after tests.

2.4. 휨 강도 시험 방법

완성된 낙엽송 각재 종-접합 시험편은 Fig. 6과 같이 3등분 4점 휨 강도 시험을 실시하였다. 경간은 2100 mm, 하중점간 거리는 700 mm로 하중 속도는 분당 10 mm로 실시하였다. 휨 파괴계수(MOR)는 다음 식으로 산출하였다.

$$MOR = \frac{3P_{max}(l-s)}{2bh^2} \quad \text{식(2)}$$

P_{max} : 최대하중(N), L: 경간(mm), S: 하중 간 거리(mm), b: 시험편의 폭(mm), h: 시험편의 두께(mm)

3. 결과 및 고찰

3.2. 인장접합 성능

Table 1은 인장시험편들의 평균 최대접합내력 및 인장강도이며, Fig. 7는 시험편 형상별 파괴모드 사진이다. Scarf 시험편은 접착층과 목질부 사이에서 계면파괴가 관찰되었다(Fig. 7-f). Hooked scarf 시험편은 턱을 가공한 부분에서 목부파단이 발생하였다(Fig. 7-g, 7-h). Lap 시험편은 Double Lap 시험편보다 인장강도가 양호하였으며, Lap 시험편의 횡단면을 제외한 접착면에서 95% 이상의 목부파단율이 관찰되었다(Fig. 7-c, 7-e). Rod 시험편은 접착면의 계면파괴 직전에 최대 인장강도가 측정되었다. Rod + Lap 시험편은 Rod 시험편보다 접착면적이 더 넓은 것에 기인하여 양호한 인장강도를 나타냈다. Scarf

Table 2. The results of bending strength performance evaluation test

Specimens	P_{max} Ave. (kN)	MOR Ave. (MPa)	COV (%)	Stiffness Ave. (N/mm)	COV (%)
CON	20.2	50	7.4	544	8.8
Rod	10.3	25	10.7	581	14.6
Rod + Lap	13.3	33	11.2	600	7.7
Scarf	4.1	10	53.8	774	1.9
Hooked Scarf	4.2	10	74	550	34.8
Lab	4.4	11	20	467	59.2
Double Lab	4.1	10	11.7	481	14.6

*COV: coefficient of variation

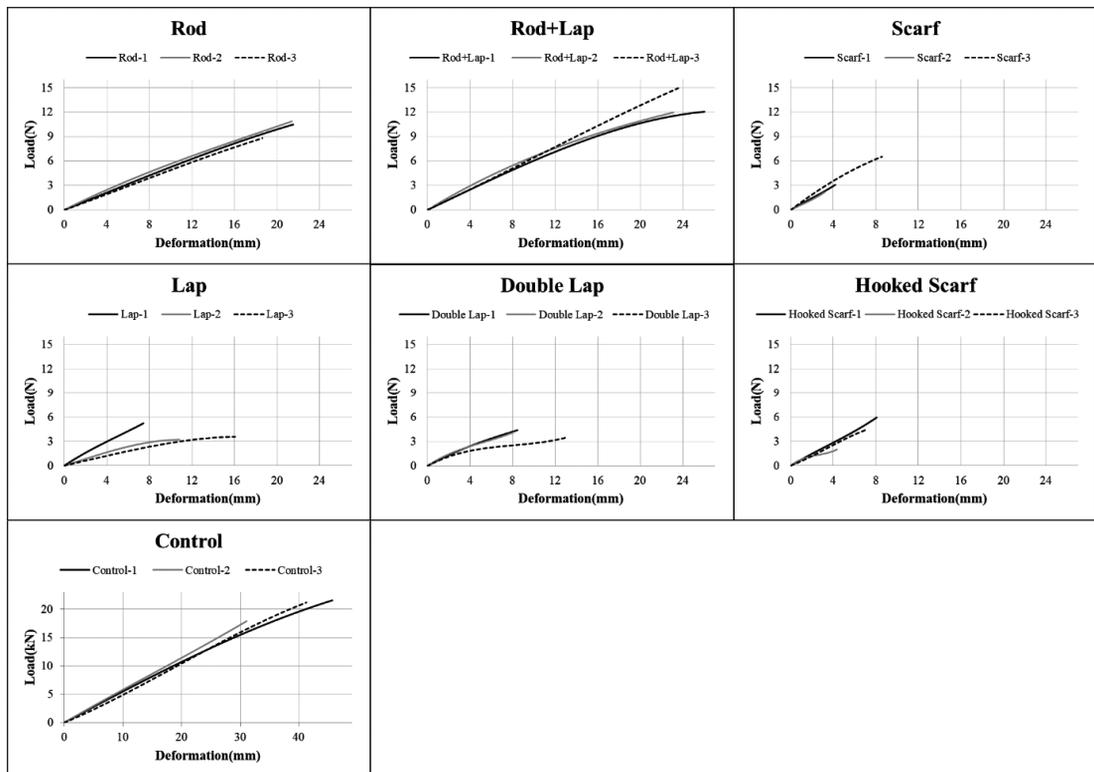


Fig. 8. Load-deformation relationship of end joint specimens.

시험편의 평균 인장강도가 7.1 MPa로 가장 양호하였다.

3.1. 힘 접합 성능

중첩합된 소경각재의 힘 강도 하중-변형 곡선은

Rod + Lap 시험편을 제외한 모든 시험편이 하중초기부터 파괴될 때까지 소성역이 거의 나타나지 않고 탄성역이 주를 이루었다(Fig. 8). 중첩합이 없는 대조군 시험편의 평균 힘 파괴계수는 50 MPa, 평균 초기 강성은 544 N/mm로 측정되었다. GFRP rod를 횡단

면에 삽입한 시험편들이 비교적 우수한 휨 파괴계수 값이 측정되었다. Rod 시험편의 휨 파괴계수는 27 MPa로 대조군 시험편의 59% 강도 값이 측정되었다. Rod + Lap 시험편의 휨 파괴계수는 30.5 MPa로 대조군 시험편의 66% 강도 값이 측정되어 모든 시험편 중 가장 양호하였다. Rod를 삽입하지 않고 접착제로만 종접합한 시험편들은 대조군 시험편 강도비 0.20~0.22의 휨 파괴계수 값이 측정되었다.

휨 강도 시험편들의 파괴형상은 다음과 같다. 대조군 시험편은 최외각 인장부위에서 초기파단이 발생하였고 섬유방향으로 할렬이 진행되었으며, 일부 시험편은 압축부위까지 파괴가 진행되었다. 모든 시험편들의 횡단면과 횡단면 접착부위는 접착층과 목질부 사이에서 계면파괴가 발생하였다. Rod 시험편은 횡단면 접착부위의 계면파괴 발생 후 봉형 GFRP가 서서히 인발되었다. Rod + Lap 시험편은 중앙 접착면의 목파와 봉형 GFRP의 인발이 동시에 진행되었다. Scarf 시험편 경우 접착면의 접착층과 목질부 사이에서 계면파괴가 발생하였다. Hooked scarf 시험편은 후크 부분에서 목파가 발생하였다. Lap 시험편의 접선단면이 접착된 부분은 높은 목파율이 측정되었다. Double lap 시험편의 경우 최외각 인장부의 접착층이 파괴된 후 할렬이 진행되었다.

4. 결 론

낙엽송 소경각재를 이용하여 신뢰성 높은 대단면 장대재의 휨 구조재를 제작하기 위한 일환으로 층재로 사용할 소경각재의 종접합 형상 및 접합성능 평가를 실시하였다. 6가지 종접합 형상의 시험편을 제작하여 인장 및 휨 강도로 성능을 검토하였다.

인장강도로 봉형 GFRP를 삽입 접착한 Rod 시험편이 가장 양호하였다. 휨 강도 성능은 봉형 GFRP를 삽입 접착한 Rod + Lap 시험편이 가장 양호한 성능을 보였으며, 이는 무 종접합 각재의 강도비 0.66에 해당하였다. 봉형 GFRP를 삽입 접착하는 종접합 방법은 균일한 접착 성능을 나타내고 있으나 Scarf 및 Hooked scarf 종접합 방법은 접착 접합 정밀도에 따라 접합 내력의 변동이 크고 접착작업의 용이성이

크게 떨어지는 것을 확인하였다. 또한 경사비를 크게 하는 가공이 용이하지 않으며 수율이 저하되어 소경각재 종접합 방법으로는 부적합 하였다. 소경각재 종접합 방법으로는 봉형 GFRP를 삽입 접착하는 방법의 접합 내력 및 작업의 용이성이 양호한 것을 확인하였다.

사 사

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-016R1D1A1B0101116).

REFERENCES

- Danawade, B.A., Malagi, R.R., Patil, B.S., Hanamapure, N.S. 2014. Effect of finger joint on flexural strength of teak wood. *International Journal of Engineering and Technology* 5(6): 4929-4937.
- Dansoh, A.B., Koizumi, A., Hirai, T. 2003. Compressive and tensile properties of a butt-jointed lamination model. *Journal of wood science* 49(5): 405-410.
- Freas, A.D. 1957. January. Factors affecting strength and design principles of glued laminated construction. In *Design and Tests of Building Structures: Symposiums on Seismic and Shock Loading Glued Laminated and Other Constructions*. ASTM International.
- Hirst, E., Brett, A., Thomson, A., Walker, P., Harris, R. 2008. The structural performance of traditional oak tension and scarf joints. In *10th World Conference on Timber Engineering*. University of Bath.
- Jung, H.J., Song, Y.J., Lee, I.H., Hong, S.I. 2016. Moment Resistance Performance Evaluation of Larch Glulam Joints using GFRP-reinforced Laminated Plate and GFRP Rod. *Journal of the*

- Korean Wood Science and Technology 44(1): 40-47.
- Karastergiou, S., Ntalos, G. 2005. Bending strength properties of scarf jointed European spruce wood (*Picea excelsa*). In Proceedings of International Scientific Conference Engineering Design “Interior and furniture design”. October pp. 15-17.
- Korea forest service, 2012. Forest and forestry technology.
- Korea forest service, 2017. Forestry Statistics Annual Report.
- Lee, I.H., Song, Y.J., Jung, H.J., Hong, S.I. 2015. Moment Resistance Performance Evaluation of Larch Glulam Joint Bonded in Glass Fiber Reinforced Plastic Rods. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(1): 60-67.