

집성재의 핑거길이가 휨강도성능에 미치는 영향

홍병화 · 변희섭 · 김종만*¹

The Effect of Finger Length on Bending Strength Properties in Laminated Wood

Byung-Wha Hong · Hee-Seop Byeon · Jong-Man Kim*¹

ABSTRACT

This paper describes the bending strength properties of laminated woods which had three kinds of specimens according to finger length-12, 4.5 mm and butt joint and the acoustic emissions (AEs) generated during the test. 3-ply laminated wood beams were tension side layers (lower layers) composed of one middle lamina and two side-jointed laminae, with one butt joint (₁BJ), one finger joint (12mm, ₁FJ₁₂) or one finger joint (4.5mm, ₁FJ_{4.5}) in the middle lamina of tension side layer. And 3-ply laminated wood beams were tension side layers (lower layers) also composed of one lamina, with one butt joint (BJ), one finger joint (12mm, FJ₁₂) or one finger joint (4.5mm, FJ_{4.5}) in tension side layer. *Cryptomeria* pieces were cut for butt and two finger types and glued with resorcinol-phenol resin adhesive.

The results were as follows:

It was not effective in the bending modulus of elasticity (MOE) with 1FJL type and had no difference from finger length. The bending modulus of rupture (MOR) of laminated wood beams including finger joint was the same values as that including butt joint and had no difference from finger length.

It was effective in MOE with FJL type and had no difference from finger length. The effect of finger joint on MOR was much higher than that of butt joint but had no difference from finger length.

The AE generation time of 1FJL type was earlier than that of the control wood and the number of AE count was much more than that of the control wood. However, the AE generation time of FJL type was earlier than that of the control wood and the number of AE count was much fewer than that of the control wood.

Keywords : finger-joint, finger length, bending strength properties, acoustic emission.

*1 경상대학교 농과대학, 경상대학교 부속 농어촌개발연구소, College of Agriculture and the Institute of Agriculture and Fishery Development, Gyeongsang National University, Chinju 660-702, Korea

1. 서 론

목재가 가진 섬유방향에 대해 뛰어난 강도적 성능을 잘 이용하기 위해 집성재, 단판적층재(LVL)를 제조할 때 통상 구성요소(clement)를 종접합시키는데 이런 방법은 재료의 강도성능을 지배하는 가장 중요한 인자중의 하나이다. 목재의 종접합 방법으로서 벗접합(butt joint, 이하 BJ로 칭함), 스킨접합(scarf joint), 핑거접합(finger joint, 이하 FJ로 칭함), 베벨접합(beveled joint) 등이 연구(大熊, 1989)되어 사용되고 있다. 특히 이러한 접합 방법 중에서 핑거접합법은 작업성이 좋고 수율이 높기 때문에 가구, 건구재 등의 집성재 라미나의 종접합법으로서 널리 연구(森, 1963; 星, 1976, 1989)되어 사용되고 있다.

그런데, 최근 이러한 재료의 효율적 경제적 제조를 위해 핑거길이 종래의 것(喜多山 등, 1991)보다 짧으면서도 높은 강도성능을 가진 재료의 제조에 대한 관심이 일어나고 있다. Walford(2000)는 뉴질랜드의 여러가지 핑거접합재를 강도성능을 평가한 결과 단지 핑거길이만으로 강도성능에 관한 규정(JETRO, 1992)을 만드는 것은 불합리하다고 주장하고 있다.

변등(1992)은 레소시놀계 수지접착제를 이용하여 접착한 3층구성 집성재의 하중점 인장축층의 중앙라미나에 BJ를 가진 형과 그 자체를 가지지 않은 형의 휨강도 성능과 응력집중과의 관계에 대해서 검토했다. BJ를 가진 라미나는 휨 탄성계수에는 기여하지만 휨 강도에 대해서는 역효과가 있음을 광 탄성피막법에 의한 변형측정으로 BJ 양선단부분의 양측 라미나에 발생하는 응력집중의 영향에 의한 것을 밝혔다.

한편, Acoustic emission(AE)은 재료내의 귀열 등의 형성과 진전, 마찰에 기인해서 발생하여 연속적으로 AE파로서 검출할 수 있기 때문에 재료내의 동적 구조변화를 알 수 있는 유효한 수단으로 기대되고 있다(大津, 1988).

그래서 본 연구에서는 일반적으로 이용하고 있는 핑거길이 12mm 및 그보다도 훨씬 짧게 한 4.5mm를 이용하여 3층구성 집성재의 인장축층 중앙라미나 및 3층구성 집성재 인장축층 전체에 사용

하여 휨강도성능에 핑거길이 미치는 영향을 평가하고자 한다. 또한 이때 발생하는 AE특성에 대해서도 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 라미나의 선별 및 집성재 제작

집성재를 구성하는 라미나(Lamina)는 삼나무(*Cryptomeria D. Don*) 심재부를 사용하였다. 제재 후 충분히 천연건조되고 용이, 경사목리 등의 결함이 없는 재료를 선별하였고 인장축층의 중앙 및 양측에 사용한 라미나는 비중 0.274~0.286, 휨 탄성계수 54,000~66,000 kgf/cm² 범위의 것을 사용하였으며 핑거접합을 위하여 치수 6(T)×10(R)×400(L)mm 재 중앙부를 횡절한 후 핑거절삭가공한 다음 접합시켰다. 압축축층, 층층 및 인장축층의 라미나는 0.290~0.31, 휨 탄성계수 65,000~74,000 kgf/cm² 범위의 것을 사용하였다. 인장축층의 핑거접합을 위해서는 인장 축층의 중앙라미나와 동일한 방법으로 치수 6(T)×30(R)×400(L)mm 재 중앙부를 횡절한 후 핑거절삭가공하여 접합시켰다. 핑거접합시에는 레소시놀(resorcinol)수지접착제를 사용하여 나무로 만든 얇은 주걱으로 양면도포하여 40 kgf/cm² 단면 압체압력으로 20초간 가하여 접합시켰다. 그리고 집성재 제조시에도 레소시놀수지접착제를 사용하여 압체압력 5.0 kgf/cm²으로 24시간 경과후 압력을 제거하였으며 최소 7일간의 양생 기간을 두었다.

집성재는 그림 1에 나타내는 바와 같이 네가지 형의 집성재를 제작하였다. 집성재는 비교를 위한 벗접합이나 핑거접합시키지 않은 형, 인장축층이 전부 핑거접합(Finger joint)된 형, 인장축층의 중앙라미나만 핑거접합된 형, 핑거접합 중에서도 핑거 길이 12mm 및 4.5mm의 두가지 형, 핑거접합과 비교를 위해 인장축층 및 인장축층의 중앙라미나에 벗접합(Butt joint)한 형등이 있다.

핑거의 형상 및 치수는 핑거선단두께 0.8mm, 핑거저부폭 0.6mm, 피치 4.0mm 핑거길이 12mm 및 핑거선단두께 0.8mm, 핑거저부폭 0.6mm, 피치 2.0mm 핑거길이 4.5mm 로 두가지 형으로 하

였다. 후자는 전자에 비해 2배의 핑거수이지만, 접촉 면적은 약간 적은 3/4배이다.

그리고 핑거접합과 집성재 제조 등 모든 실험은 항온 항습실(20℃, 65%)에서 실시하였으며 집성재를 구성하는 라미나는 선별을 위하여 비중과 휨탄성계수를 측정하여 각 조건별로 서로 편중되지 않도록 고려하여 실험하였다.

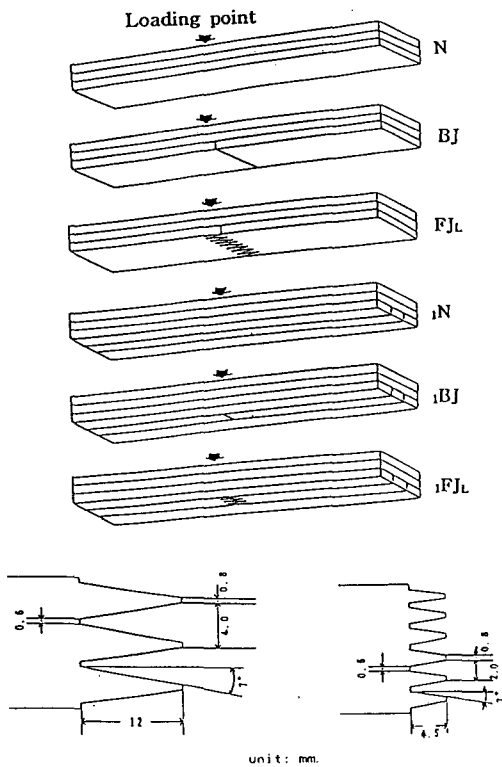


Fig. 1. Types of laminated woods tested.

Notes ; 1N, N: No joint (control), BJ: butt joint, FJ: finger joint, L: finger length, the values of L are 12 and 4.5mm.

2.2 휨강도성능 시험법 및 AE 측정법

휨강도성능 시험은 만능강도시험기(universal testing machine)를 사용하여 스패ن(span) 300 mm, 하중속도(cross head speed) 2.5 mm/min로 중앙집

중하중 방식으로 하여 휨탄성계수 및 휨강도를 측정하였다.

AE의 측정도 휨강도성능 시험과 동시에 실시하였으며 측정에는 PAC사제품인 3000, 3001형을 사용하였다. 센서(sensor, 變換子)는 광대역공진형(AE-900형, 주파수특성 200~1000 kHz)을 사용하였다. 센서의 위치는 보의 밑면 중앙 하중점에서 3cm 지점에 카플런트(couplant)로 실리콘그리스(silicon grease)를 사용하여 붙였다. AE파는 100 300 kHz의 밴드패스필터(band pass filter)를 통과시킨 후 프리앰프(preamplifier)로 60 dB, 메인 앰프(main amplifier) 20dB로 증폭시켜 55 dB의 한계 설정치(threshold level)를 설정하였다. 그리고 한계 설정치는 외부잡음을 차단하고 적당한 조건을 얻을 수 있도록 블랭크테스트(blank test)를 실시한 다음 그 결과를 참고로 하여 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 휨탄성계수

그림 2는 인장축중 중앙라미나에 핑거길이 12mm의 핑거로 접합시킨 1FJ₁₂ 형과 핑거길이 4.5mm의 핑거로 접합시킨 1FJ_{4.5}형 및 벗접합시킨 1BJ 형의 휨탄성비와의 관계를 나타내었다. 이때 휨탄성계수비(Rc)는 비교재의 휨탄성계수에 대한 각시험편의 비를 의미한다. 비교재에 대한 휨탄성계수 비는 0.92 (1BJ), 0.96 (1FJ_{4.5}), 1.0 (1FJ₁₂)로 매우 높은 값을 나타내어 인장축중의 중앙라미나의 접합형태에 따른 휨탄성계수에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

그림 3은 인장축중 라미나 전부를 핑거길이 12mm의 핑거로 접합시킨 FJ₁₂ 형과 핑거길이 4.5mm의 핑거로 접합시킨 FJ_{4.5} 형 및 벗접합시킨 BJ 형의 휨탄성비와의 관계를 나타내었다. 비교재에 대한 휨탄성계수 비는 0.58 (BJ), 0.97 (FJ_{4.5}), 1.0 (FJ₁₂)의 값을 나타내었다. 벗접합의 탄성계수 값은 낮게 나타났지만 핑거접합의 경우는 거의 1을 나타내어 휨탄성계수에 대한 접합의 영향은 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과는 집성재의 라미나를 핑거접합시킨 경우 휨탄성계수에는 거의 영향

을 미치지 않는다는 보고와 일치한다.

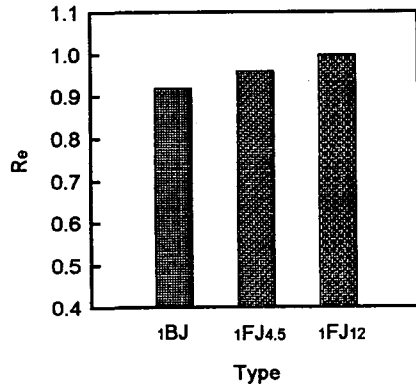


Fig. 2. Effect of joint in laminated wood on MOE.
Note ; Re: Ratio of MOE for each type of specimen to MOE for the 1N type of specimen.

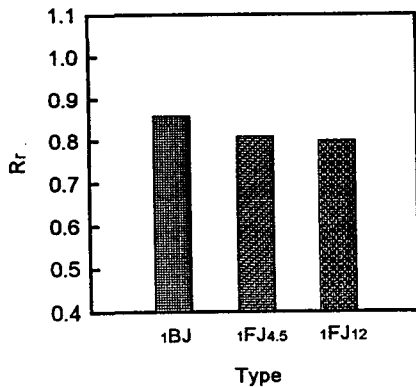


Fig. 3. Effect of joint in laminated wood on MOE.
Note ; Rr: Ratio of MOE for each type of specimen to MOE for the N type of specimen.

3.2 휨강도

그림 4는 인장축층의 중앙라미나에 접합시킨 1FJ₁₂ 형과 1FJ_{4.5} 형 및 1BJ 형의 휨 강도와와의 관계를

나타내었다. 이때 휨강도비(Rr)는 비교재의 휨강도에 대한 각시험편의 비를 의미한다. 비교재에 대한 휨강도비는 0.86(1BJ), 0.81 (1FJ_{4.5}), 0.80 (1FJ₁₂)의 값을 나타내었다. 벗접합의 경우 약간 높은 값을 나타내었으나 거의 인정할 수 없을 정도였으며 핑거접합의 경우에도 핑거길이에 관계없이 거의 같은 값을 나타내었다. 즉 인장축층의 중앙라미나에 핑거접합을 사용해도 강도성능을 개량할 수 없었다.

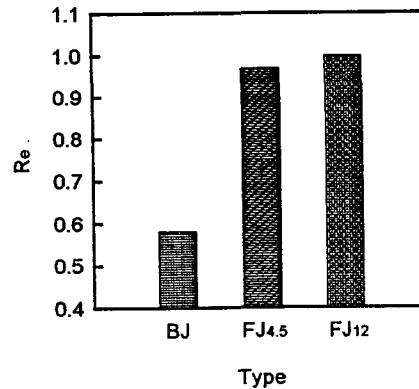


Fig. 4. Effect of joint in laminated wood on MOR.
Note ; Rr: Ratio of MOR for each type of specimen to MOR for the 1N type of specimen.

그림 5는 인장축층 라미나 전부를 접합시킨 FJ₁₂ 형과 FJ_{4.5} 형 및 BJ 형의 휨 강도와와의 관계를 나타내었다. 비교재의 휨강도에 대한 각각의 비는 0.42 (BJ), 0.71 (FJ_{4.5}), 0.65 (FJ₁₂)의 값을 나타내었다. 핑거접합의 경우 벗접합의 0.42에 비해서 훨씬 높은 값을 나타내어 인장축층을 핑거접합시킴으로써 강도성능의 향상이 가능하다고 말할 수 있다. 또한 핑거길이 12mm 및 4.5mm에 대한 값의 차이가 아주 적지만 오히려 핑거길이가 짧은 4.5mm의 경우가 약간 높은 값을 나타내었다. 이것은 Walford의 보고와 마찬가지로 핑거접합재의 강도성능은 길이 이외의 여러 가지 요소가 복잡하게 작용하므로 길이 이외의 여러가지 사항을 고려하

여 규격을 정해야 할 것으로 판단된다. 파괴 형상을 살펴보면 인장측층의 중앙라미나에 핑거접합이 있을 때 길이가 4.5mm인 경우에는 접합부의 양 선단에서 귀열이 나타났으며, 접합부의 길이가 12mm인 경우에는 접합부의 양 선단 중 한 곳에서만 귀열이 나타났지만 다른 한 접합부의 선단에서는 귀열이 나타나지 않았다. 그러나 인장측층 전체가 핑거접합된 경우에는 접합부의 길이가 4.5mm 및 12mm 둘다 핑거선단부에서 파괴가 일어났다. 핑거길이가 짧은 4.5mm를 사용하여 핑거길이 12mm와 동일하거나 높은 강도의 집성재를 생산할 수 있다면 경제적으로도 유리하며 재료의 자원 이용효율도 높일 수 있을 것으로 판단되므로 보다 많은 수종과 조건에서도 연구가 필요할 것으로 생각된다.

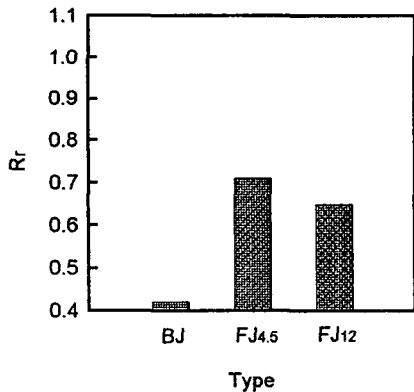


Fig. 5. Effect of joint in laminated wood on MOR.
Note ; Rr : Ratio of MOR for each type of specimen to MOR for the N type of specimen.

3.3 하중과 AE 사상총수와의 관계

그림 6은 인장측층의 중앙 라미나에 핑거접합시킨 $1FJ_{12}$ 형과 $1FJ_{4.5}$ 형의 하중과 AE 사상총수와의 관계를 나타내었다.

비교재에 비하여 두가지형 모두 AE의 발생시기가 빠르고 발생수도 많았다. 하중-AE 사상총수기울기를 보면 AE 발생한 후부터 어느 정도까지는 천천히 증가하지만, 일정 하중을 넘어서면서부터

급격히 증가하였다. 핑거접합을 포함한 집성재의 경우에 AE발생은 초기부터 서서히 조금씩 발생하는 것은 하중과 변형과의 관계이며, 하중 초기부터 최대하중 부근까지는 거의 직선적으로 증가하는 구간이며, 급격히 증가하는 것은 핑거접합 선단부에 파괴가 일어나 변형이 급격히 증가하여 최대하중에 달하기 때문으로 생각된다.

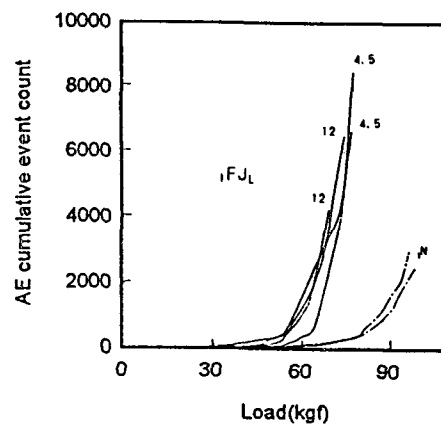


Fig. 6. Relationship between load and AE cumulative event count for specimens having a finger joint in the middle lamina of tension side layer in comparison with IN type.

Note ; Numbers of 12 and 4.5 express the finger length.

그림 7에 비교재와 인장측층을 핑거접합시킨 FJ_{12} 형과 $FJ_{4.5}$ 형의 하중과 AE 사상총수와의 관계를 나타내었다. 비교재에 비하여 두가지형 모두 AE의 발생시기가 빨랐지만 발생수는 적었다. 휨강도가 낮았던 FJ_{12} 형은 AE의 발생시기가 조금 빨랐지만 발생수는 거의 차이가 없었다. 핑거접합시키지 않은 비교재에 비해 핑거접합이 있는 두가지형의 집성재에서 AE의 발생시기가 빠르고 발생수가 적은 결과는 인장측층의 중앙라미나가 핑거접합된 집성재의 경우와 다른 결과이다. 이 결과는 인장측층 전체가 핑거접합되어 있기 문에 하중-변위곡선은 하중의 초기에서부터 파괴하중까지 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타내어 비례한

도내에서의 AE 발생수는 적고 비례한도를 경과한 직후 파괴가 순간적으로 나타나기 문에 AE도 순간적으로 많이 발생하는 것으로 생각되지만 전체적으로 보면 발생수가 적은 것으로 생각된다.

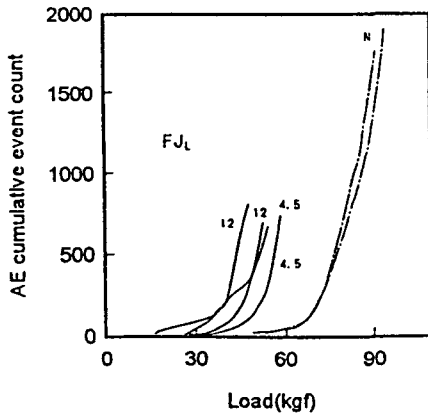


Fig. 7. Relationship between load and AE cumulative event count for specimens having a finger joint in the middle lamina of tension side layer in comparison with N type.

Note ; The same as shown in Fig. 6.

4. 결 론

3층구성 집성재의 인장측층 중앙라미나 및 3층구성 집성재 인장측층 전체에 핑거접합을 사용하여 휨강도성능에 미치는 핑거길이 12mm와 4.5mm의 영향 및 AE특성에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

인장측층 중앙라미나 핑거접합이 휨탄성계수에 미치는 영향은 거의 없었으며 핑거길이에 의한 차이도 거의 없었고, 휨강도에 대해서는 벗접합의 유효율과 거의 같은 값을 나타내었으며 핑거길이의 영향은 인정되지 않았다.

인장측층에 있어서 전체 핑거접합의 휨탄성계수 및 휨강도는 벗접합의 경우보다 높은 값을 나타내었으며, 이때 핑거길이 차이에 따르는 휨탄성계수 및 휨강도는 차이를 나타나지 않았다.

인장측층의 중앙라미나에 핑거접합을 내포한 집성재는 비교재에 비하여 AE의 발생시기가 빨랐으며 발생수도 많았지만, 인장측층 전체가 핑거접합을 내포한 집성재는 비교재에 비하여 AE의 발생시기는 빨랐지만 발생수는 적었다.

사 사

본 연구를 수행하는데 협조해준 경상대학교 부속 농어촌개발연구소에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. 森 稔, 星 通. 1963. フィンガ-ジョイントの接着有効率. 日本木材工業. 18(3): 123-129.
2. 堀江秀夫, 倉田久敬. 1981. フィンガ-ジョイント材の強度性能. 林産試月報. No. 356: 5-16.
3. 星 通. 1976. 集成加工における縦つぎ技術. 日本木材工業. 31(11): 484-490.
4. 星 通. 1989. フィンガ-接合部強さの経時變化. 日本木材工業. 44(5): 219-220.
5. 大熊幹章. 1989. 構造用LVLの曲げ性能に及ぼす單板縦繼ぎ方法に関する一考察. 日本木材工業. 44(6): 269-272.
6. 喜多山繁 외 7인. 1991. 木材の加工. 文永堂出版. P177-178.
7. 大津政康. 1988. アコースティックエミッション特性と理論. 森北出版株式會社 P1-4.
8. Byeon Hee-Scop 외 3인. 1992. Effects of stress concentration on the bending strength properties and acoustic emissions of laminated wood beams having butt joints. Mokuzai gakkashi. 38(4): 357-363.
9. JETRO. 1992. Finger jointed structural lumber for wood frame construction, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Notification No. 701 JETRO. publication SIS-22. Japan.
10. Walford, G. Bryan. 2000. Effect of finger length on fingerjoint strength in radiata pine. World Conference Timber Engineering, Whistler, Canada.