

옻나무 경사핑거접합재의 휨강도와 AE 특성

변희섭*¹ · 김사익*²

The Bending Strength and Acoustic Emissions Properties of Sloped Finger-Jointed *Rhus Verniciflua*

Hee-Seop Byeon*¹ · Sa-Ick Kim*²

ABSTRACT

This paper describes the relationship between the bending strength properties of sloped finger-jointed woods and the acoustic emissions (AEs) generated during the test. *Rhus verniciflua* pieces were cut in sloped-finger types and glued with three kinds of adhesives (polyvinyl acetate, polyvinyl-acryl acetate and oilic urethane resin). The slope ratios of finger joints were 0, 1.0, 1.5, and 2.0. The AE cumulative event count and cumulative count were measured during the bending test.

The results were as follows:

The lower the bending strength(load) was, the earlier the generation time of AE event count got and the higher the increasing rate of AE event count became in the sloped finger-jointed specimens bonded with polyvinyl acetate, polyvinyl-acryl acetate and oilic urethane resin adhesives. Therefore, the slope from load-AE cumulative event count curve was very steep.

The patterns of AE event count and count were very similar.

The relationship between the MOR and the AE parameter from load and AE cumulative event count in the early stage of the sloped finger-jointed specimens bonded with polyvinyl acetate, polyvinyl-acryl and oilic urethane resin adhesives was much greater than that between the MOE and the MOR. Therefore, the AE signals obtained during bending test are useful for estimating the strength of sloped finger-jointed *Rhus verniciflua* specimens.

Keywords: AE event count, AE count, bending strength properties, sloped finger-joint, kind of adhesive, *Rhus verniciflua*.

*1 경상대학교 농과대학, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-702, Korea.

*2 진주산업대학교 임산공학과, Department of Forest Products Engineering, Chinju National University, Chinju 660-758, Korea

1. 서 론

목재 또는 목질재료를 보다 신뢰성이 높은 재료로 사용하기 위해서는 개개의 결합 검출이나 강도 성능을 보증할 수 있는 방법이 필요한데 최근 AE (acoustic emission)법이 비파괴강도성능 검사 혹은 강도보증법으로 주목받고 있다. 핑거접합재와 짐성재 제조용 라미나의 강도 보증법으로는 변위와 하중과의 관계를 이용하여 강도성능을 비파괴적이며 연속적으로 평가할 수 있는 방법에 대해서 보고(Eby, 1981; 橋爪, 1997)하고 있다. 강도성능과 관련된 AE의 사용에 관한 소재연구로는 Ansell(1982)이 침엽수 3수종의 인장시험에서 AE-변형도 곡선의 형태는 연륜구조와 직접적으로 관계하며 충격파괴시험에서 총AE계수와 강도가 높은 상관관계를 가졌다고 보고하였다. 또한 佐藤(1983)는 여러 가지 하중방식에서 돌발형AE와 카이저 효과 등의 기초적 특성을 밝혔다. 中川(1989)은 웅이가 있는 미국산 솔송나무, 전나무, 편백 등의 휨강도 성능시험의 결과 발생된 AE와 강도 사이에는 높은 상관관계가 존재하기 때문에 응력등급 구분에 AE의 적용 가능성을 보고하였다. 핑거접합재에 대한 연구로는 Porter(1972)가 핑거접합재의 강도성능에추가가능성을 밝혔으며 Dedhia(1979)는 미국산 전나무 핑거접합재를 4점 휨강도 성능시험의 결과 AE가 효과적이며 주파수 125 kHz에서 최대의 진폭을 나타냈다고 보고해 핑거접합재의 강도성능 보증이나 품질관리를 위해 AE가 효과적이라고 보고하였다. 변(1993)과 松藤(1996)도 경사핑거를 포함한 적층재의 강도 성능평가에서 응력분포와 AE의 특성 사이에는 밀접한 관계가 있는 것을 밝혀 목재 또는 목질재료의 강도성능과 AE특성은 매우 관계 깊은것으로 평가되고 있다. 또한 변(1999)은 소나무접합재의 휨 강도성능과 AE특성 사이에는 매우 높은 상관관계가 존재하여 AE에 의한 소나무 핑거접합재의 강도성능 측정가능성을 밝혔다.

그래서 본 연구에서는 우리 나라 산간지역에 널리 분포되어 약용 및 도장용으로 주로 사용되고 있는 옷나무재를 재료로 최근 접합유효율이 높은 것으로 알려져 많이 연구되고 있는 경사핑거 접합법

으로 접합시켜, AE 특성에 미치는 영향이 다를 것으로 판단되는 초산비닐수지, 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제, 유용성 우레탄수지접착제를 사용하여 제작한 시험재의 휨강도 성능과 휨 시험시 발생하는 AE 특성과의 관계를 규명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험편의 선별 및 제작

공시재료는 경남 함양군 마천면에서 벌채한 수령 약 7~8년생의 옷나무(*Rhus verniciflua*)를 사용하였다. 수년간 생질을 채취한 옷나무를 생재 상태에서 불을 가해 옷을 채취(화칠) 하고난 원목을 천연건조 후 심재를 이용하여 14(T)×14(R)×250mm(L)로 절삭 가공하여 결합이 없는 재료를 이용하여 시험편을 제작하였다. 시험편은 선별을 위하여 비중과 휨탄성계수를 측정하여 비중 0.474 0.508, 탄성계수 95, 800 109,500 kgf/cm² 범위의 것을 사용하여 각 조건 별로 치우치지 않도록 선별하였다.

실험용 시험편은 기건 상태에서 충분히 건조된 상태에서 시험편을 제작하였으며 항온항습실(온도 20℃, 습도 65%)에서 일주일 이상 조습시킨 후 실험하였다. 각 시험편들은 무절삭재, 경사비(각도)의 4조건-0(90°), 1.0(45°), 1.5(34°), 2.0(27°)-으로 등근툽을 사용하여 길이방향의 중앙부를 횡절한 후 핑거컷트기로 절삭하여 제작하였다. 핑거의 형상은 스카프경사비 1/10.2, 핑거선단(끝) 두께 1mm, 핑거골(저부) 폭 0.8mm, 핑거길이 13mm 로 절삭가공을 하였으며 동일한 핑거절삭기를 사용하여 그림 1에 나타내는 바와 같이 경사핑거를 절삭 가공하였다. 경사 핑거절삭에 대해서는 핑거 기부를 경사시켜 그 비를 경사비로 나타내어 1.0, 1.5, 2.0의 3 종류로 하였다. 그리고 핑거 접합에 사용한 접착제는 초산비닐수지접착제(이하 초산비닐로 약칭), 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제(혼합비2:1, 이하 초산아크릴로 약칭), 유용성 우레탄수지 접착제(이하 우레탄으로 약칭)를 사용하였다. 그리고 각시험편의 핑거접착은 핑거절삭부를 각 접착제로 양면도포하여 만능강도시험기를 사용하여 선단압체압력을 40 kgf/cm²로 해서 20초간 유지

시켜 행하였다. 이때 접착되는 시편이 경사방향으로 미끄러지는 것을 방지하기 위해 시편의 양 측면에 부목을 붙이고 나사클램프를 이용하여 고정시켜 압채하였다. 그 다음 항온항습조건에서 1주일간 양생시킨 후 다시 12(T)×12(R)×190mm(L)로 마무리 가공하여 제작하였다.

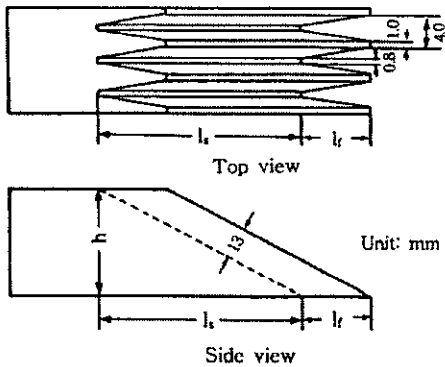


Fig. 1. Type of specimen with a sloped finger-joint to be tested.

Notes : l_f : Length of finger, l_s : Length of slope part, h : Height specimen. The values of slope ratio (l_s/h) were 0, 1.0, 1.5 and 2.0.

2.2. 휨 강도성능시험 및 AE 측정법

휨 강도성능시험은 만능강도시험기 (universal testing machine)를 사용하여 스팬 (span) 170mm, 크로스헤드속도 (cross head speed) 1 mm/min 로 평거접합의 수직방향으로 3점 중앙집중방식으로 실시하였다. AE의 측정도 휨 강도성능시험과 동시에 실시하였으며 측정에는 PAC사제품인 MISTRAS-2001 형을 사용하였다. 센서(sensor, 變換子)는 PZT공진형(주파수특성 150 kHz)을 사용하였다. 센서의 위치는 보의 밑면 중앙 하중점에서 3cm 지점에 카플런트로서 실리콘그리스 (silicon grease)사용하여 고무밴드로 압착하여 붙였다. AE파는 100~400kHz의 밴드패스필터(band pass filter)를 통과시킨 후 프리앰프(preamplifier)로 60dB, 메인 앰프(main amplifier) 20dB로 증폭시

켜 55dB의 한계 설정치(threshold level)를 설정하였다. 그리고 한계 설정치는 외부잡음을 차단하고 적당한 조건에서 신호를 얻을 수 있도록 블랭크테스트(blank test)를 실시한 다음 그 결과를 참고로 하여 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 휨탄성계수와 휨강도와와의 관계

그림2에 우레탄, 초산비닐, 초산·아크릴 수지 접착제를 사용하여 접착제착한 시험재의 휨탄성계수와 휨강도와와의 관계를 나타내었다. 일반 소재(中井; 1982, 1984)의 경우 휨탄성계수를 이용한 강도측정은 신뢰성이 높기 때문에 비파괴적 방법으로 비례한도 내에서 낮은 하중으로 휨탄성계수를 측정하여 강도측정이나 등급구분 등에 이용할 수 있다. 그러나 본 실험의 옷나무 경사평거접합재의 휨탄성계수와 강도간의 상관관계도 소나무 경사평거접합재의 경우(변, 1999)와 마찬가지로 상관계수 0.008로 전혀 상관관계가 인정되지 않았다.

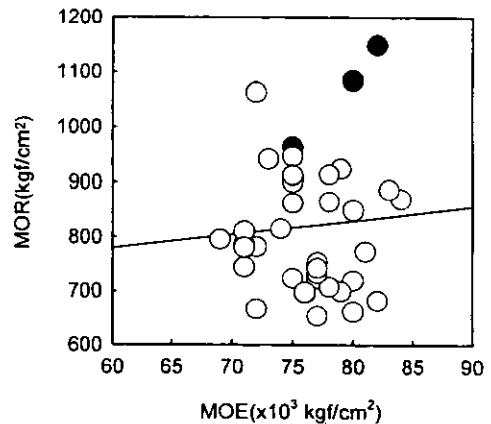


Fig. 2. Relationship between MOE and MOR.

Legend: ●: Solid wood, ○: specimens glued with polyvinyl acetate, polyvinyl-acryl acetate and oilic urethane resin adhesives.

Notes : $MOR=0.00255MOE+626$, $r=0.008$, and no significant.

이것은 핑거 접합재의 경우 접합부분이 그 재료에서 결합과 같은 작용을 하며 접합부와 그것의 형상이 휨탄성계수와 휨강도에 미치는 영향이 서로 다르기 때문으로 생각된다. 변(1990, 1993)은 적층재의 강도성능시험에서 휨탄성계수와 강도에 미치는 접합부의 영향이 서로 다른 것을 상세히 밝힌 바 있다. 이러한 결과로부터 경사핑거 접합재의 휨탄성계수를 이용한 강도측정이나 보증은 어려울 것으로 판단된다.

3.2 하중-AE파 사상총수

그림3에 유용성 우레탄 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도 시험결과로부터 얻어진 하중과 AE파 사상총수(AE cumulative event count)와의 관계를 나타내었다.

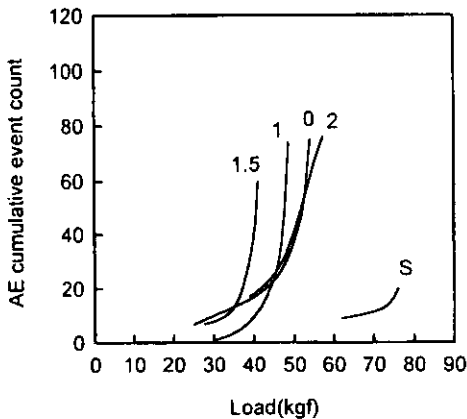


Fig. 3. Load-AE cumulative event count for oilic urethane resin adhesive.

Notes : 0, 1, 1.5 and 2 are slope ratio, S is solid wood.

핑거접합을 하지 않은 소재의 하중증가에 따른 AE사상총수 특성을 보면 AE파의 발생시기가 늦고 총발생수도 적어 완만한 곡선을 나타내었다. 그러나 휨 강도가 제일 낮은 경사비 0의 경우 AE 발생이 제일 빨랐고 우레탄 중에서 강도가 제일 높았던 경사비 2의 경우 AE발생이 제일 늦었다. 휨 강도가 거의 비슷하게 나타난 경사비 0, 1, 1.5의 경우 AE의 발생시기는 거의 일치하였다.

그림4에 초산비닐 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻은 하중과 AE파 사상총수와의 관계를 나타내었다.

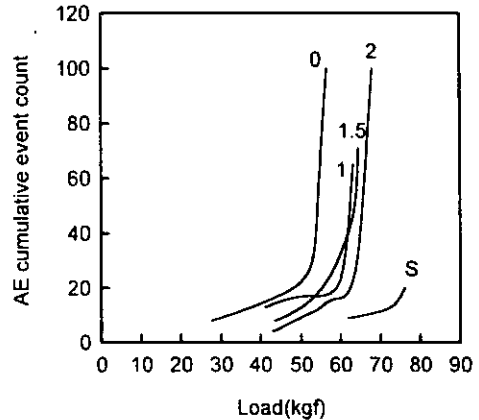


Fig. 4. Load-AE cumulative event count for polyvinyl acetate resin adhesive.

Note : The same as shown in Fig. 3.

초산비닐 중에서 휨강도가 가장 낮았던 경사비 0의 AE발생시기가 가장 빨랐지만 총발생수도 가장 많았다. 휨강도가 가장 높았던 경사비 2의 AE 발생시기가 가장 늦었다. 핑거경사비가 증가할수록 휨강도가 증가하였는데 AE의 발생시기는 강도가 증가할수록 늦었지만 총발생수는 경사비와 반드시 일치하지는 않았다

그림5에 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻어진 하중과 AE파 사상총수와의 관계를 나타내었다.

핑거경사비증가에 의한 휨강도의 증가는 인정되었지만(변, 1999) AE 특성에서 보면 경사비 1의 경우에 AE의 발생시기가 경사비 0의 경우보다도 오히려 빨랐지만 그 이외는 휨강도가 증가할수록 AE의 발생시기가 늦어지는 경향을 나타내었다. 초산비닐과 아크릴을 혼합하여 접착한 소나무 경사핑거접합재의 경우에는 AE의 발생수가 적었지만(변, 1999) 옷나무접합재의 경우 AE의 발생수는 많았지만 휨강도와 AE발생시기 및 발생수가

매우 작은 대응하지 않아 이에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다.

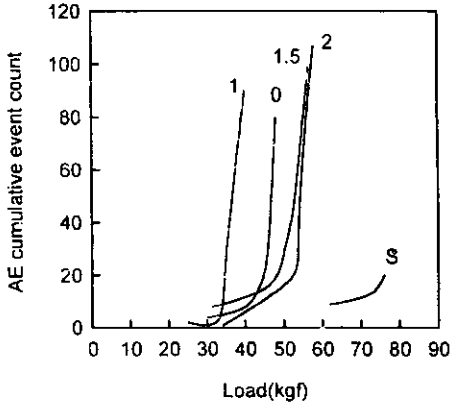


Fig. 5. Load-AE cumulative event count for polyvinyl-acryl resin adhesive.

Note : The same as shown in Fig. 3.

이상의 하중-AE파 사상총수 관계에서 대부분의 경우 휨강도와 AE의 발생시기 및 총발생수는 깊은 관계를 나타내었다.

3.3 하중-AE파 계수총수

그림 6에 우레탄수지접착제로 접착한 옷나무 경사핑거접합재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻은 하중-AE파 계수총수(AE cumulative count)와의 관계를 나타내었다.

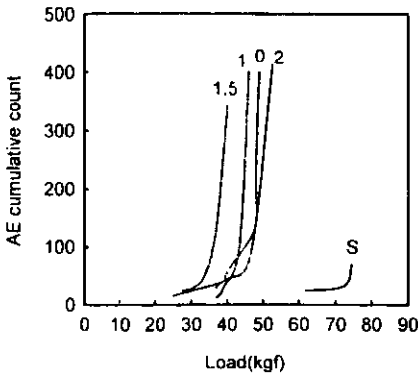


Fig. 6. Load-AE cumulative count for oilic urethane resin adhesive.

Note : The same as shown in Fig. 3.

핑거접합을 하지 않은 소재의 하중증가에 따른 하중-AE계수총수 특성을 보면 하중-AE사상총수의 경우에서와 마찬가지로 AE파의 발생시기가 늦고 총발생수도 적어 완만한 곡선을 나타내었다. 휨 강도가 제일 낮은 경사비 0의 경우 하중-AE사상총수의 경우에서와 같이 하중-AE파 계수총수의 발생이 제일 빨랐다. 휨강도가 제일 높았던 경사비 2의 경우 하중-AE사상총수의 경우에서와 마찬가지로 AE파의 발생시기가 제일 늦었다.

하중-AE파 계수총수의 발생시기 및 총 발생수도 하중-AE사상총수의 경우에서와 마찬가지로 휨강도와 잘 대응하여 밀접한 관계를 나타내었다.

3.3 AE특성의 지표치와 휨강도

하중-AE 사상총수곡선에서 초기부분의 하중과 AE 사상총수의 관계를 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$N = AP^2 + B \text{ -----(1)}$$

여기서, N은 AE 사상총수,

P는 하중,

A는 AE 지표치로 사용하는 회귀계수,

B는 카이저효과와 관계하는 계수.

그림 7에 우레탄, 초산비닐, 초산비닐·아크릴 혼합 수지접착제를 사용하여 제작한 옷나무 시험재의 휨강도와 초기의 AE 사상총수와 하중과의 관계로부터 얻어진 지표치와의 관계를 나타내었다.

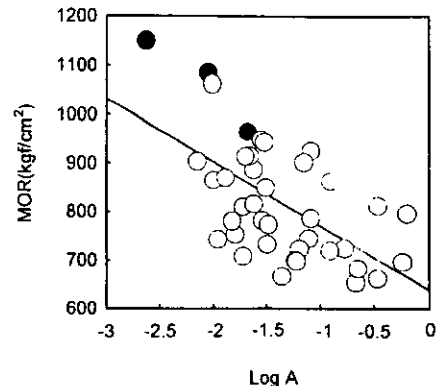


Fig. 7. Relationship between the logarithm of regression coefficient A as an AE parameter and MOR.

Legend : The same as shown in Fig. 2.

Notes : $MOR = -138 \log A + 631$, $r = 0.608^{**}$ and significant at 1% level.

경사핑거접합재의 탄성계수와 휨강도간에는 소재의 경우와는 달리 상관관계가 존재하지 않았지만(변, 1999) 경사핑거접합재의 휨강도와 AE-하중으로부터 구한 AE지표치 간에는 상관관계수가 0.608을 나타내어 1% 수준에서 유의성이 인정되는 높은 상관관계가 인정되었다. 그래서 접합부가 휨탄성계수 및 휨강도에 미치는 영향이 서로 다르기 때문에 휨탄성계수로부터 강도의 측정이 어려울 것으로 판단되는 옷나무 경사핑거접합재의 경우에도 하중과 AE와의 관계로부터 구한 AE 지표치로서 강도 보증 및 강도의 측정이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

초산 비닐, 혼합 초산비닐-아크릴, 유용성 우레탄 수지접착제를 사용한 옷나무경사 핑거접합재의 하중과 AE 사상총수는 휨 강도가 낮을수록 빠른 시기부터 AE가 발생하고 AE의 증가속도가 빨라 하중-AE 사상총수의 관계곡선의 기울기가 급격하게 나타났다.

하중-AE사상총수의 특징은 하중-AE계수총수의 그것과 비슷한 성질을 나타내었다.

옷나무 경사핑거접착제의 휨 하중과 AE 특성간에는 서로 잘 대응되어 휨강도 측정이나 보장은 휨탄성계수로서는 어렵지만 하중-AE사상총수의 초기치로부터 얻어지는 AE지표 치로서 휨 강도의 예측이나 보증이 가능할 것으로 판단된다.

5. 참 고 문 헌

1. Ansell, M. P. 1982. Acoustic emission from softwoods intension. Wood Sci. Technol. 16. 35-58.
2. Dedhia, D. D. 1980. Acoustic emission analysis of Douglas fir finger joints. Material Evaluation. 38(11): 28-32.
3. Eby, R. E. 1981. Proofloading of finger-joints

- for glulam timber. Forest Prod. J. 31(1): 37-41.
4. Porter, A. W. 1972. Prediction of failure of finger joints using acoustic emissions. Forest Prod. J. 22: 74-82.
5. 변희섭. 1993. 벗조인트를 포함한 적층재의 휨강도성능과 Acoustic Emission 특성. 한국가공학회지. 4(1): 14-20.
6. 변희섭, 박한민, 김종만. 1997. 경사핑거접합법에 의한 소나무재의 휨강도성능 개량. 한국목재공학회지. 25(4): 61-67.
7. 변희섭, 안삼근, 김종만. 1999. 소나무 경사핑거접합법재의 휨강도성능과 AE 특성. 한국목재공학회지. 27(10): 31-36.
8. 변희섭, 이원희, 홍병화. 1999. 옷나무 경사핑거접합법재의 휨강도성능. 한국가공학회지. 10(1): 65-71.
9. 卞熙燮, 伏谷賢美, 左藤敬一. 1990. 바트조인트를持つ積層材의 曲げ強度性能과 아코스틱·에미션特性. 木材學會誌. 36(11): 944-951.
10. 松藤 剛의 5인. 1996. 縦繼ぎ를持つ積層材의 曲げ強度性能의 슬로프트·フィンガー-ジョイントによる改良. 日本接着學會誌. 32(9): 329-339.
11. 中井 孝, 山井良三郎. 1982. 日本産主要35樹種 强度的의性質. 林試研報. No. 319:13-46.
12. 中井 孝. 1984. 國産造林木の材質. 木材工業. 39(11): 552-556.
13. 左藤敬一, 野口昌巳, 伏谷賢美. 1983. 數種の荷重様式において發生する木材의 아코스틱·에미션特性. 木材學會誌. 29(6): 409-414.
14. 橋爪丈夫의 3인. 1997. 連續送り式 그레이딩마신의特性とその調整. 木材學會誌. 43(2): 141-148.