

## 소나무 경사핑거접합재의 휨강도성능과 AE 특성<sup>\*1</sup>

변희섭<sup>\*2</sup> · 안삼근<sup>\*2</sup> · 김종만<sup>\*2</sup>

# The Bending Strength Properties and Acoustic Emissions to Sloped Finger-Jointed *Pinus densiflora* S. et Z.<sup>\*1</sup>

Hee-Seop Byeon<sup>\*2</sup>, Sam-Keun Ahn<sup>\*2</sup>, Jong-Man Kim<sup>\*2</sup>

### 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. *Pinus densiflora* pieces were cut in sloped-finger types and glued with four kinds of adhesives (polyvinyl acetate, polyvinyl-acryl, oilic urethane and resorcinol-phenol resin).

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 and oilic urethane resin adhesives. Therefore, the slope from load-AE cumulative event count curve was very steep. The AE event count for resorcinol-phenol resin adhesive obtained even from low load level was abundant. The AE event count continuously increased as load increased and the event count was much more than one in the other conditions. The slope from load-AE cumulative event count curve was very gentle compared with other conditions. 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, oilic urethane and resorcinol-phenol 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 specimens.

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

<sup>\*1</sup> 접수 1998년 12월 10일, Received December 10, 1998

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구과제(971-0607-049-1)연구비 지원에 의해 수행되었음.

<sup>\*2</sup> 경상대학교 농과대학 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-702, Korea.

- 요약 -

소나무를 재료로 경사핑거접합법으로 레소시놀계수지, 유용성 우레탄수지, 초산비닐수지, 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제를 사용하여 제작한 시험재의 휨강도 성능과 휨 시험시 발생하는 AE 특성에 대한 연구결과는 다음과 같다. 초산 비닐, 유용성 우레탄 수지접착제를 사용한 소나무경사 핑거접합재의 하중과 AE 사상총수는 휨 강도가 낮을수록 빠른 시기부터 AE가 발생하고 AE의 증가속도가 빨라 하중-AE 사상총수의 관계곡선의 기울기가 급격하게 나타났다. 레소시놀 수지 접착제로 제작한 시편은 아주 낮은 하중에서부터 하중이 증가함에 따라 연속적으로 AE가 발생하였고 발생수도 많았다. 경사 핑거접합재의 휨 하중과 AE 특성간에는 서로 잘 대응되어 휨강도 측정이나 보정은 휨 탄성계수로서는 예측이 어렵지만 하중과 AE사상총수의 초기 치료부터 얻어지는 AE지표 치로서 휨 강도의 예측이나 보증이 가능 할 것으로 판단된다.

1. 서 론

목재 또는 목질재료를 보다 신뢰성이 높은 재료로 사용하기 위해서는 개개의 결합 검출이나 강도성능을 보증할 수 있는 방법이 필요한데 최근 AE (acoustic emission)법이 비파괴강도성능 검사 혹은 강도보증법으로 주목받고 있다. 핑거접합재와 집성재 제조용 라미나의 강도 보증 법으로는 변위와 하중과의 관계를 이용하여 강도성능을 비파괴적으로 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 연료구조와 직접적으로 관계하며 충격파괴시험에서 총 AE계수와 강도가 높은 상관관계를 가졌다고 보고하였다. 또한 佐藤(1983)는 여러 가지 하중방식에서 돌발형AE와 카이저효과 등의 기초적 특성을 밝혔다. 中川(1989)는 용이가 있는 미국산 솔송나무, 전나무, 편백 등의 휨강도성능시험의 결과 발생된 AE와 강도 사이에는 높은 상관관계가 존재하기 때문에 응력 등급구분에 AE의 적용 가능성을 보고하였다. 핑거접합재에 대한 연구로는 Porter(1972)가 핑거접합재의 강도성능예측가능성을 밝혔으며 Dedhia(1979)는 미국산 전나무 핑거접합재를 4점 휨강도 성능시험의 결과 AE가 효과적이며 주파수 125kHz에서 최대의 진폭을 나타냈다고 보고해 핑거접합재의 강도성능 보증이나 품질관리를 위해 AE가 효과적이라고 보고하였다. 또한 변(1993)과 松藤(1996)도 경사핑거를 포함한 적층재의 강도성능평가에서 응력분포와 AE의 특성 사이에는 밀접한 관계가 있는 것을 밝혀 목

재 또는 목질재료의 강도성능과 AE특성은 매우 관계 깊은 것으로 평가되고 있다.

그래서 본 연구에서는 소나무(*Pinus densiflora* Siebold et Zuccarini)를 재료로 최근에 접합유효율이 높은 접합법으로 알려진 경사핑거접합법으로 일반적으로 사용되고 있으며 AE 특성에 미치는 영향이 다를 것으로 판단되는 레소시놀계수지, 유용성 우레탄수지, 초산비닐수지, 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제를 사용하여 제작한 시험재의 휨강도 성능과 휨 시험시 발생하는 AE 특성과의 관계를구명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험편의 선별 및 제작

공시재료는 경남 창녕군 남지읍 청단리에서 벌채한 수령 약 20-30 년생의 소나무(*Pinus densiflora* Siebold et Zuccarini)재를 사용하였다. 시편은 제작후 천연건조한 재를 사용하여 20(T)×20(R)×340mm(L)로 절삭 가공하여 용이, 경사목리 등의 결합이 없는 재료를 이용하여 시편을 제작하였다. 시편은 선별을 위하여 비중과 휨탄성계수를 측정하여 비중의 범위 0.50~0.58, 탄성계수 84,000~109,000 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위의 것을 사용하여 각 조건별로 편중되지 않도록 선별하였다.

실험용 시편은 기건 상태에서 충분히 건조된 상태에서 제작하였으며 항온항습실(온도 20℃, 습도 65%)에서 일주일 이상 조습시킨 후 실험하였다. 각 시편들은 전보(변, 1998)에서와 같이 비교목, 경사비(각도의 4조건-0(90°), 0.5(63°), 1.0(45°), 2.0(27°)-

으로 등근톱을 사용하여 길이방향의 중앙부를 횡절 한 후 핑거컷트기로 절삭하여 제작하였는데 핑거조인트기로 각도별 핑거를 각 시편당 핑거갯수가 5개 이상 들어가게 만들었다. 핑거의 형상은 그림1에서 나타내는 것과 같이 스카프경사비 1/10.2, 핑거선단 두께 1mm, 핑거저부폭 0.8mm, 핑거길이 13mm로 절삭가공하였으며 동일한 핑거절삭기를 사용하여 경사 핑거를 절삭가공하였다. 경사 핑거절삭에 대해서는 핑거기부를 경사지게 하여 그 비를 경사비로 나타내어 0.5, 1.0, 2.0 의 3 종류로 하였다. 그리고 핑거접합에 사용한 접착제는 초산비닐수지접착제(이하 초산비닐로 약칭), 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제(혼합비 2:1, 이하 초산비닐·아크릴로 약칭), 유용성 우레탄수지 접착제(이하 우레탄으로 약칭)와 레소시놀 페놀 공축합수지 접착제(이하 레소시놀로 약칭)를 사용하였는데 레소시놀 수지접착제의 경우는 경화제를 사용하였는데 첨가비율은 15부로 하였다. 그리고 시편의 핑거접합부는 핑거절삭부를 접착제로 양면도포하여 만능강도시험기를 사용하여 선단압제 압력을 40kgf/cm<sup>2</sup>로 해서 20초간 유지시켜 접착하였다. 이때 접착되는 시편이 경사방향으로 미끄러지는 것을 방지하기 위해 시편의 양 측면에 부목을 붙여 나사클램프를 사용하여 고정시켜 압제하였다. 그 다음 항온항습조건에서 1주일간 양생시킨 후 다시 18×18×280mm로 마무리 가공하여 제작하였다.

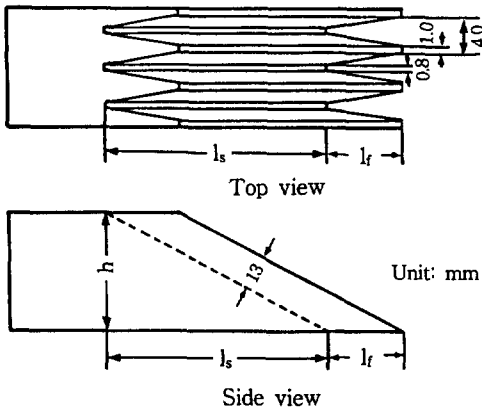


Fig. 1. Type of specimen with a sloped finger-joint to be tested.

Notes;  $l_f$ : Length of finger,  $l_s$ : Length of slope part,  $h$ : Height of specimen. The values of slope ratio ( $l_s/h$ ) were 0.5, 1.0 and 2.0.

## 2.2 휨 강도성능시험법 및 AE 측정법

휨 강도성능시험은 만능강도시험기(universal testing machine)를 사용하여 스패ن(span) 250mm, 하중 속도(cross head speed) 1mm/min로 핑거접합형태를 수직방향으로 3점의 중앙집중방식으로 하중을 가하여 휨 탄성계수, 휨강도를 측정하였다. 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(preamp)로 60dB, 메인 앰프(main amp) 20dB로 증폭시켜 55dB의 한계 설정치(threshold level)를 설정하였다. 그리고 한계 설정치는 외부잡음을 차단하고 적당한 조건을 얻을수 있도록 블랭크테스트(blank test)를 실시한 다음 그 결과를 참고로 하여 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 휨탄성계수와 휨강도와의 관계

그림2에 레소시놀, 우레탄, 초산비닐, 초산·아크릴 수지접착제를 사용하여 접착제작한 시편체의 휨탄성계수와 휨강도와의 관계를 나타냈다. 일반 소재(中井; 1982, 1984)의 경우 휨 탄성계수를 이용한 강도측정은 신뢰성이 높기 때문에 비파괴적 방법으로 비례한 도내에서 낮은 하중으로 휨탄성계수를 측정하여 강도측정이나 등급구분 등에 이용할 수 있다. 그러나 본 실험의 경사핑거접합체의 휨탄성계수와 강도간의 상관관계를 보면 상관계수가 0.142로 5% 수준에서도 유의성이 인정되지 않아 휨탄성계수와 휨강도 사이의 상관관계가 인정되지 않기 때문에 경사핑거 접합체의 경우 일반 소재와는 달리 휨탄성계수를 이용한 휨강도의 측정은 어려울 것으로 판단된다. 또한 초산·아크릴 수지접착제를 제외한 경우도 0.171로 낮은 상관관계를 나타내기 때문에 전체의 경우와 동일할 것으로 판단된다. 이것은 핑거 접합체의 경우 접합부분이 그 재료에서 결함과 같은 작용을 하며 접합부와 그것의 형상이 휨탄성계수와 휨강도에 미치는 영향이 서로 다르기 때문으로 생각된다. 변(1990,

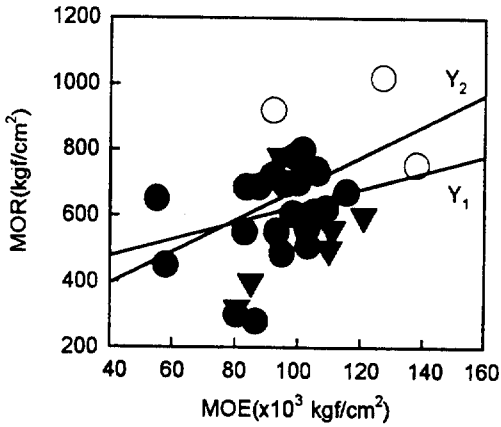


Fig. 2. Relationship between MOE and MOR.  
 Legend: ○: Solid wood, ▼: specimens bonded with polyvinyl-acryl acetate resin adhesive, ●: specimens glued with polyvinyl acetate, oilic urethane and resorcinol-phenol resin adhesive.  
 Notes:  $MOR(Y_1)=0.00359MOE+279$ ,  $r=0.142$  (all specimens),  $MOR(Y_2)=0.00415 MOE+226$ ,  $r=0.171$  (all the specimens except those on which polyvinyl-acryl acetate resin adhesive was used) and no significant at 5 % level.

1993)은 적층재의 강도성능시험에서 휨탄성계수와 강도에 미치는 접합부의 영향이 서로 다른 것을 상세히 밝힌 바 있다. 이러한 결과로부터 경사핑거 접합재의 휨 탄성계수를 이용한 강도측정이나 보충은 어려울 것으로 판단된다.

### 3.2 하중과 AE파 사상총수와의 관계

그림3에 초산비닐 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻은 하중과 AE파 사상총수(AE cumulative event count)와의 관계를 나타냈다. 핑거접합시키지 않은 시험편은 AE파의 발생시기가 늦고 발생수가 적어 완만한 곡선을 나타냈으나 핑거기부의 경사비가 0이고 휨강도가 517 kgf/cm<sup>2</sup> 인 시험편의 휨하중과 AE파 사상총수와의 관계를 보면 핑거접합시키지 않은 시험편에 비해 AE파의 발생시기가 빠르고 아주 급격히 증가하는 경향을 보였다. 핑거기부의 경사비가 증가하여 휨강도가 높아질수록 AE파의 발생시기가 늦어지고 발생수도 적어져 완만하게 AE파가 증가하였다. 휨강도

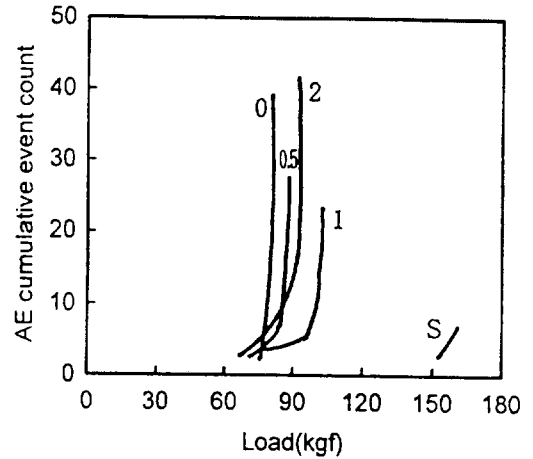


Fig. 3. Load-AE cumulative count for polyvinyl acetate resin adhesive.  
 Notes; 0, 0.5, 1 and 2 are slope ratio, S is solid wood.

가 가장 높게 나타난 경사비가 1인 경우 AE파의 발생시기가 늦고 발생수도 적어 가장 완만한 증가곡선을 나타내었다.

그림4에 유용성 우레탄 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도 시험결과로 부터 얻어진 하중과 AE파 사상총수와의 관계를 나타냈다. 핑거기부의 경사비가 0이고 휨강도가 440 kgf/cm<sup>2</sup>으로 하중과 AE파사상총수의 관계에 나타난 시험편 중에서 제일 낮은 휨강도를 나타낸 시험편은 AE파의 발생시기가 빨랐지만 발생수는 적었다. 이것은 시험편의 파괴가 갑자기 진행된 것 때문으로 생각된다. 핑거기부의 경사비가 증가하여 0.5 및 1.0으로 증가함에 따라 AE파의 발생시기가 약간 늦어지고 발생수도 증가하였다. 핑거기부 경사비는 더욱 증가하여 2.0이고 휨강도가 643 kgf/cm<sup>2</sup>으로 증가한 시험편은 AE파의 발생시기가 늦어지고 속도가 느려져 완만히 증가하였다. 우레탄을 사용한 경우도 핑거기부 경사비가 커지고 휨강도가 증가할수록 하중과 AE파사상총수와의 관계에서 AE파의 발생시기가 늦어지고 증가속도가 느려져 완만한 곡선을 나타냈다.

그림5에 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻어진 하중과 AE파 사상총수와의 관계를 나타냈다. 핑거경사비가 낮은 0.5 및 1인 경우에는 낮은 하중에서부터 AE파가 발생하여 서서히 증가하다가 일정하중을 경과하면서 급격히 증가하는 현상을 나타냈다.

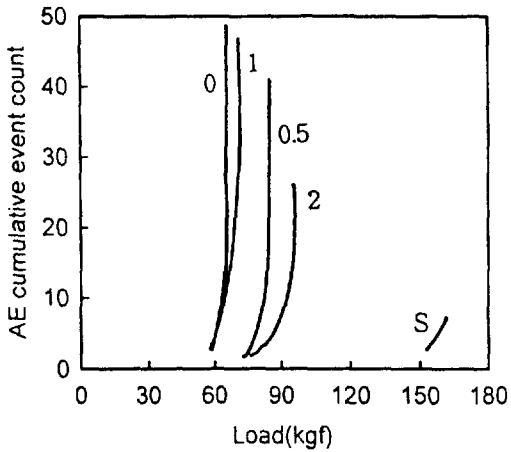


Fig. 4. Load-AE cumulative count for oilic urethane resin adhesive.

Note; The same as shown in Fig. 3.

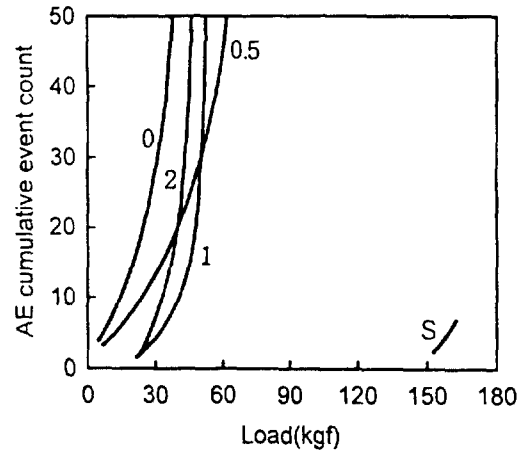


Fig. 6. Load-AE cumulative count for resorcinol-phenol resin adhesive.

Note; The same as shown in Fig. 3.

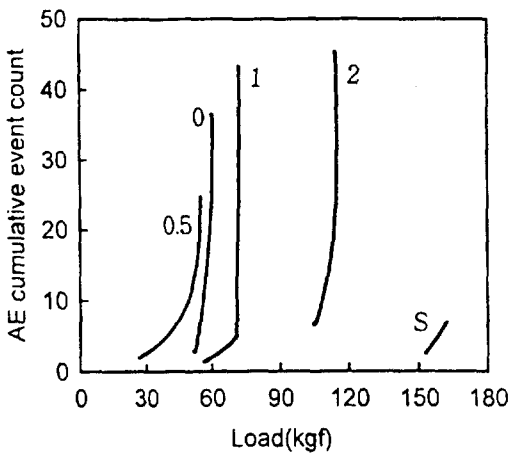


Fig. 5. Load-AE cumulative count for polyvinyl-acryl resin adhesive.

Note; The same as shown in Fig. 3.

그러나 경사비 0과 2인 경우에는 AE파가 발생하자마자 급격히 증가하여 파괴직전에 AE파가 발생한 것으로 생각된다. 이것은 초산·아크릴 수지접착제의 접착력과 관계하는 것으로 하중-변위관계도에서 변위의 증가에 의한 하중의 증가가 직선적으로 나타나다가 순간적으로 파괴되어 최대강도가 비례한다

또는 탄성한도와 거의 일치하는 것과 실험관찰결과 접착부위의 목재부위에서는 파괴가 일어나지 않고 접착층에서 파괴가 일어나 핑거접합부가 미끄러지듯이 빠지면서 순간적으로 파괴가 일어났기 때문으로 생각된다. 초산비닐과 아크릴을 혼합한 수지접착제로 접착한 시험재의 경우에도 낮은 하중에서부터 AE파 신호를 더 많이 획득할 수 있는 방법에 대해서 연구해야 할 것으로 생각된다.

그림6에 레소시놀 페놀 공축합수지접착제로 접착한 시험재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻어진 하중과 AE파 사상총수와의 관계를 나타냈다. 초산비닐, 우레탄 수지접착제의 AE파의 발생형태에서는 매우 낮은 하중에서부터 AE파가 발생하지 않았고 AE파 발생후에는 하중의 증가에 따라 급격히 증가하였지만, 레소시놀 핑거접합재의 AE파의 발생시기는 하중이 가해진후 낮은 하중에서부터 AE파가 발생하여 연속적으로 증가하는 특징을 나타냈다. 또한 AE파 발생수도 제일 많았다. 이것은 레소시놀 수지접착제는 유연성이 낮은 성질(森, 1986)을 가지고 있기 때문에 시편이 휘어짐에 따라 파괴와는 상관없이 저하중에서부터 접착층에서 미세한 파괴나 변형에 의해서 AE파가 발생하는 것으로 생각된다. 본 실험에서의 하중과 AE파 사이에서 나타나는 특징은 Dedhia (1980)의 미국산 솔송나무를 사용하여 핑거접합시킨 것과 유사한 결과를 나타냈다.

3.3 하중과 AE파 계수총수와와의 관계

그림7에 초산비닐·아크릴혼합수지접착제로 접착한 경사핑거접합재의 휨강도성능 시험결과로부터 얻은 하중과 AE파의 계수총수(AE cumulative count)와의 관계를 나타냈으며 그림8에 레소시놀수지접착제로 접착한 경사핑거접합재의 강도성능 시험결과로부터 얻은 하중과 AE파의 계수총수와의 관계를 나타냈다. 접착제 및 핑거경사에 의한 하중

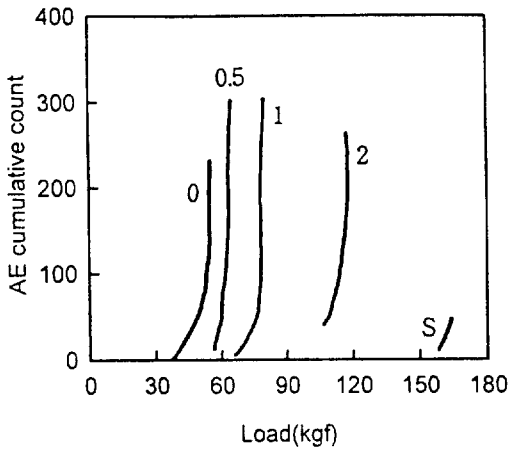


Fig. 7. Load-AE cumulative count for polyvinyl-acryl resin adhesive.  
Note; The same as shown in Fig. 3.

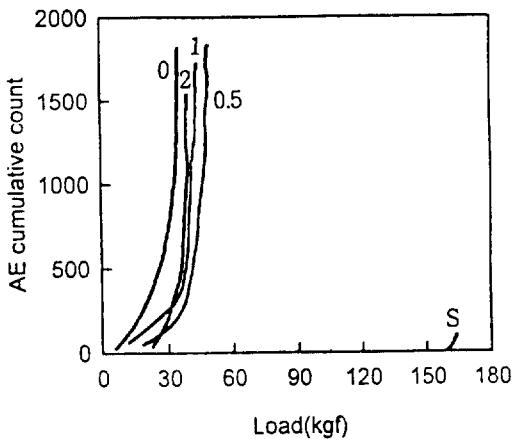


Fig. 8. Load-AE cumulative count for resorcinol-phenol resin adhesive.  
Note; The same as shown in Fig. 3.

의 경과에 의한 AE파의 발생시기 및 발생수는 AE파 사상총수에서의 하중과 AE파발생과 매우 유사한 특성을 나타냈지만 AE파의 숫자만 훨씬 많이 발생하였다.

3.3 AE특성의 지표치와 휨강도

하중과 AE 사상곡선에서 초기부분의 하중과 AE 사상총수의 관계를 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$N = AP^2 + B \dots\dots\dots (1)$$

여기서, N은 AE 사상총수,  
P는 하중,  
A는 AE 지표치로 사용하는 회귀계수,  
B는 카이저효과와 관계하는 계수.

그림 9에 레소시놀, 우레탄, 초산비닐, 초산비닐·아크릴 수지접착제를 사용하여 제작한 시험재의 휨강도와 초기의 AE 사상총수와 하중과의 관계로부터 얻어진 지표치와의 관계를 나타냈다. 경사핑거접합재의 탄성계수와 휨강도간에는 소재의 경우와는

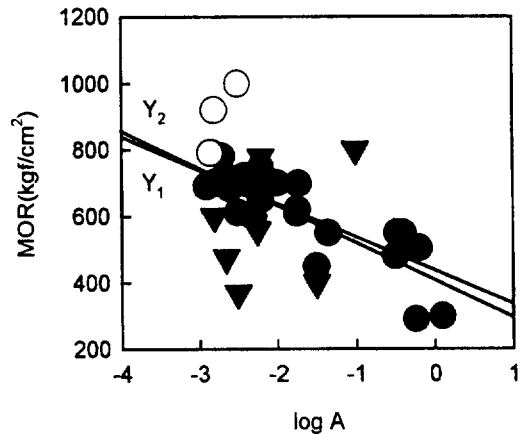


Fig. 9. Relationship between the logarithm of regression coefficient A as a AE parameter and MOR.

Legend; The same as shown in Fig. 2.

Notes;  $MOR(Y_1) = -105 \log A + 423$ ,  $r = 0.359^*$  and significant at 5% level (all specimens).  $MOR(Y_2) = -116 \log A + 406$ ,  $r = 0.734^{**}$  and significant at 1% level (all the specimens except those on which polyvinyl-acryl acetate resin adhesive was used).

달리 상관관계가 존재하지 않았지만(변, 1998) 초산 비닐·아크릴 수지접착제로 제작한 시편을 제외한 경사핑거접합재의 휨강도와 AE-하중으로부터 구한 AE지표치간에는 상관계수가 0.734를 나타내어 1% 수준에서 유의성이 인정되는 높은 상관관계가 인정되었다. 그래서 휨탄성계수와 휨강도에 미치는 영향이 다르기 때문에 휨탄성계수로부터 강도의 측정이 어려울 것으로 판단되는 경사 핑거접합재의 경우에도 초산 아크릴 수지 접착제를 제외한 경사핑거접합재의 경우 하중과 AE와의 관계로부터 강도 보증 및 강도의 측정이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

초산 비닐, 유용성 우레탄 수지접착제를 사용한 소나무경사 핑거접합재의 하중과 AE 사상총수는 휨강도가 낮을수록 빠른 시기부터 AE가 발생하고 AE의 증가속도가 빨라 하중-AE 사상총수의 관계곡선의 기울기가 급격하게 나타났다. 레소시놀 수지 접착제로 제작한 시편은 아주 낮은 하중에서부터 하중이 증가함에 따라 연속적으로 AE가 발생하였고 발생수도 본 실험에 사용된 다른 접착제의 경우보다 훨씬 많았다. 초산과 아크릴을 혼합한 수지 접착제로 제작한 시편은 AE의 발생수가 적고 AE발생 후부터 곧 파괴되기 때문에 보다 빠른 시기에 AE파를 획득 할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

초산 및 아크릴을 혼합한 수지 접착제를 제외한 경사 핑거접합재의 휨 하중과 AE 특성간에는 서로 잘 대응되어 휨강도 측정이나 보정은 휨 탄성계수로서는 예측이 어렵지만 하중과 AE사상총수의 초기치로부터 얻어지는 AE지표 치로서 휨 강도의 예측이나 보증이 가능 할 것으로 판단된다.

사사 본 연구를 수행하는데 협조해준 경상대학교 부속 농어촌개발연구소에 감사드립니다.

#### 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 휨 강도성능과 Acoustic Emission 특성. 한국가공학 회지. 4(1): 14-20.
6. 변희섭, 박한민, 김종만. 1997. 경사핑거접합법에 의한 소나무재의 휨강도성능 개량. 한국목재공학 회지. 25(4): 61-67.
7. 卞熙燮, 伏谷賢美, 左藤敬一. 1990. バットジョイントを持つ積層材の曲げ強度 性能とアコースティック・エミッション特性. 木材學會誌. 36(11): 944-951.
8. 松藤 剛의 5인. 1996. 縦継ぎを持つ積層材の曲げ強度性能のスロ-プト・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.
9. 森 光正의 3인. 1986. フィンガー-ジョイント材の接合性能に及ぼす接着層のフレキシビリティーの影響. 木材工業. 41. 513-517.
10. 中井 孝, 山井良三郎. 1982. 日本産主要35樹種強度的性質. 林試研報. No. 319: 13-46.
11. 中井 孝. 1984. 國産造林木の材質. 木材工業. 39(11): 552-556.
12. 中川雅博, 増田 捻, 野口昌巳. 1989. 有節の構造用材の曲げにおけるアコースティック・エミッション. 木材學會誌. 35(3): 190-196.
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のアコースティック・エミッション特性. 木材學會誌. 29(6): 409-414.
14. 橋爪丈夫의 3인. 1997. 連續送り式グレ-ディングマシンの特性とその調整. 木材學會誌. 43(2): 141-148.