

핑거공차에 따른 휨강도 성능과 AE 특성*1

류현수*2 · 안상열*2 · 이균필*2 · 박한민*3 · 변희섭*4†

The Bending Strength Properties and Acoustic Emissions to the Difference of Finger Widths*1

Hyun-Soo Ryu*2 · Sang-Yawl Ahn*2 · Gyun-Pil Lee*2 · Han-Min Park*3 · Hee-Seop Byeon*4

요 약

본 연구에서는 3 수종(이태리 포플러, 소나무, 굴참나무재)을 공차별(0, 0.15, 0.3, 0.45 mm)로 초산비닐 수지와 레소시놀-페놀 공축합 수지를 이용하여 접합 제작하였다. 휨시험에서 핑거공차에 따라서 검출되는 AE와 휨강도 성능 특성을 살펴본 결과는 다음과 같았다.

레소시놀재의 AE와 발생시기가 초산재보다 빨랐으며, 레소시놀재의 AE와 사상총수는 하중의 증가와 함께 계속적으로 증가하였으며 총발생 사상총수도 초산재보다 훨씬 많이 나타났다. 또한, 레소시놀재의 AE와 사상총수는 낮은 하중에서도 많은 개수가 발생하였다. 비례한도 내에서도 레소시놀 접착제를 사용한 경우에는 많은 AE가 검출되었다. 따라서 레소시놀 접착제로 접착한 핑거 접합재의 휨시험으로부터 얻은 AE 신호는 핑거공차에 따른 접합재의 강도 예측이나 보증에 이용 가능할 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

In this study, the three species (*Populus euramericana*, *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis*) were cut to difference (0, 0.15, 0.3, 0.45 mm) between the size of tip and that of root of the finger (DSTR) and jointed with poly vinyl acetate (PVA) and resorcinol-phenol resin (RPR). We described the relationship between the bending strength properties of finger DSTR and the acoustic emission (AE) generated during the bending test. The results were as follows:

*1 접수 2002년 7월 25일, 채택 2002년 9월 13일

*2 경상대학교 농과대학 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Jinju 660-702, Korea.

*3 東京農工大學農學部 Faculty of Agriculture, Tokyo university of Agriculture and Technology, Fuchu 183-0054, Japan.

*4 경상대학교 농과대학, 농업생명과학연구원 College of Agriculture, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-702, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 변희섭(e-mail: hsbyeon@gshp.gsnu.ac.kr)

The AE generation time of finger-jointed specimens with RPR adhesive was earlier than that with PVA adhesive. The AE cumulative event count of finger-jointed specimens with RPR adhesive continuously increased with increasing load and the event count was much more than that with PVA adhesive. Also, the AE cumulative event count for resorcinol-phenol resin adhesive obtained from low load level was abundant. The AE wave in finger-jointed specimens with RPR adhesive could be detected in the below proportional limit load. Therefore, AE signals from bending test are useful for the estimation of strength in finger DSTR specimens.

Keywords: bending strength, AE cumulative event count, proportional limit load, the size of finger

1. 서 론

인류는 생활을 시작하면서부터 오늘날까지 목재자원을 이용하면서 역사를 이룩하여 왔다. 그러나, 오늘날 천연재료인 목재의 수요가 급격히 증가하여 목재 자원의 고갈로 인해 100% 순수 소재만을 사용하기에는 한계가 있다.

목재가 가진 섬유방향에 대하여 뛰어난 강도적 성능을 잘 이용하기 위해 집성재, 단판적층재(laminated veneer lumber, LVL)를 제조할 때 통상 구성요소(element)를 종접합시키는데 이런 방법은 재료의 강도성능을 결정짓는 가장 중요한 인자 중의 하나이다.

목재의 종접합 방법으로서 벗접합(butt joint), 스퀘어접합(scarf joint), 핑거접합(finger joint), 베벨접합(beveled joint) 등(大熊, 1989)이 사용되고 있다. 이러한 다양한 접합 방법 중에서 특히, 핑거접합법은 수율이 높고 작업성이 좋으며, 높은 강도성능을 나타내기 때문에 가구, 건구재 등의 집성재 라미나의 종접합법으로서 널리 연구(森, 1963; 星, 1976, 1989)되어 사용되고 있다.

목재 또는 목질재료를 보다 신뢰성이 높은 재료로 사용하기 위해서는 개개의 결함 검출이나 강도성능을 보증할 수 있는 방법이 필요한데 최근 Acoustic emission (AE)법이 비파괴강도성능 검사 혹은 강도 보증법으로 주목받고 있다.

강도성능과 관련된 AE의 사용에 관한 소재연구로는 Ansell(1982)이 침엽수 3수종의 인장시험에서 AE-변형도 곡선의 형태는 연륜구조와 밀접한 관련이 있으며, 충격파괴시험에서 총AE계수와 강도가 높은

상관관계를 나타내었다고 보고하였다.

中川 등(1989)은 용이가 있는 미국산 솔송나무, 전나무, 편백 등의 휨강도 성능시험의 결과 발생한 AE와 강도사이에는 높은 상관관계가 존재하기 때문에 응력등급 구분에 AE의 적용 가능성을 보고하였다.

Porter(1972)는 Douglas-fir의 핑거접합재의 휨강도 시험에 있어서 AE사상총수와 하중과의 관계식을 구하여 파괴하중 70%까지 부하하면 그 식으로부터 신뢰할 수 있는 파괴하중의 측정이 가능하다고 보고하였다. 또한, Dedhia(1980)는 Douglas-fir의 핑거접합재의 휨강도 시험에서 AE신호가 센스에 도달되는 시간차에 따라 AE발생지점의 추정이 가능하다고 보고하였다.

변(1993)과 松藤 등(1996)도 경사핑거를 포함한 적층재의 강도성능평가에서 응력분포와 AE의 특성 사이에는 밀접한 관계가 있는 것을 밝혀 목재 또는 목질재료의 강도성능과 AE특성은 매우 관계 깊은 것으로 평가하고 있다.

또한 변 등(1999)은 소나무 접합재의 휨 강도성능과 AE특성 사이에는 매우 높은 상관관계가 존재하여 AE특성에 의한 소나무 핑거접합재의 강도성능 측정 가능성을 밝혔다. 핑거접합재와 집성재 제조용 라미나의 강도 보증법으로는 변위와 하중과의 관계를 이용하여 강도성능을 비파괴적이며 연속적으로 평가할 수 있는 방법에 대해서 보고(Eby, 1981; 橋爪, 1997)하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라에서 널리 분포하고 있는 소나무재, 굴참나무재, 이태리 포플러재를 재료로 하여 공차 0, 0.15, 0.3, 0.45 mm를 이용하여 초

산 비닐 수지 접착제(poly vinyl acetate adhesive, 이하 PVA)208형과 레소시놀-페놀 공축합 수지 접착제(resorcinol-phenol resin, 이하 RPR)를 이용하여 핑거 공차가 수종 및 접착제 종류에 따라 휨강도 성능과 AE 특성에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

본 연구에서는 경남 진주시 판문동 진양호 주변에서 벌채한 생육이 양호한 수령 약 25~30년생 이태리 포플러(*Populus euramericana* GUNIER)재, 소나무(*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.)재, 굴참나무(*Quercus variabilis* BL.)재를 공시재료로 사용하였다.

2.2. 시험편의 선별 및 제작

시험편은 1년 이상 충분히 천연 건조된 목재를 이용하여 시험편 규격 350(L) × 22(R) × 22 mm(T)으로 각 수종별로 무결점 시험편을 가공하여 항온항습실(20±1℃, 65%±5℃)에서 2주간 조습한 후 밀도와 만능강도시험기(universal testing machine, UTM)를 사용하여 정적 휨 탄성계수를 측정하여 소나무재, 굴참나무재 및 이태리 포플러재의 범위를 각각 0.47~0.50 g/cm³, 65,000~89,200 kgf/cm², 0.84~0.97 g/cm³, 92,100~135,000 kgf/cm², 0.34~0.39 g/cm³, 50,900~67,800 kgf/cm²의 것을 사용하여 각 조건별로 편중되지 않도록 선별하였다. 선별한 시험편을 공차(0, 0.15, 0.3, 0.4 5mm)에 따라 핑거 절삭가공 및 핑거 접합 작업하여 다시 항온항습실에서 2주간 조습한 후 본 실험에 사용하였다. 핑거절삭가공은 길이방향의 중앙부를 횡절한 후 칼날두께 4 mm인 핑거컷트기로 핑거 길이 17 mm, 핑거 저부폭(골) 0.8 mm로 동일하게 하고 핑거 선단 두께를 각각 0.8(공차 0), 0.95(공차 0.15), 1.1(공차 0.3), 1.25 mm(공차 0.45)로 시험편을 제작하였다. 이때 칼날과 칼날 사이의 높이를 조절하여 공차를 변화시켰다.

핑거 접합시에는 RPR(경화제 첨가비 15部) 접착제

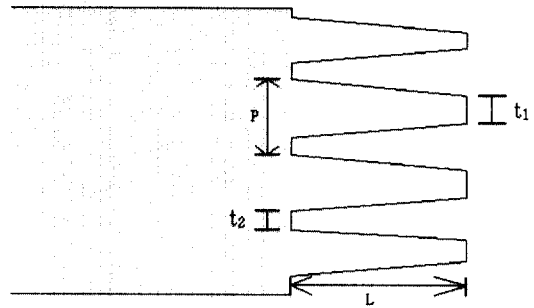


Fig. 1. The dimension of finger. Notes; P: Pitch, L: Length of finger, t₁: tip width, t₂: root width.

와 PVA 접착제를 사용 양면 도포하여 압제 압력 40 kggf/cm²으로 20초간 유지하여 접합시켰다. 그리고 시험편의 크기를 340(L) × 20(R) × 20 mm(T)로 마무리 가공하여 조습한 후 휨강도성능과 AE특성 실험을 하였다.

2.3. 휨강도 성능시험법

휨강도 성능시험은 UTM을 사용하여 스펠(span) 280 mm, 하중속도(cross head speed) 2.0 mm/min로 핑거접합형태의 수직방향으로 3점의 중앙집중하중 방식으로 하여 각 조건당 6개의 시험편을 사용 휨강도 시험을 하였다.

2.4. AE파 측정법

AE파의 측정은 휨강도성능시험과 동시에 실시하였으며 측정에는 PAC사 MISTRAS-2001형을 사용하였다. 센서(sensor)는 PZT공진형(주파수특성 150 kHz) R30형을 사용하였다. 센서의 위치는 시험편의 중앙 하중점 밑면에서 2 cm 지점에 카플런트(couplant)로서 실리콘그리스(silicon grease)를 사용하여 테이프로 압착하여 붙였다. AE파는 100~400 kHz의 밴드패스필터(band pass filter)를 통과시킨 후 프리앰프(Preamplifier)로 60 dB, 메인앰프(main ampilifier)로 20 dB을 증폭시켜 55 dB의 한계 설정치(threshold level)를 설정하였다. 그리고

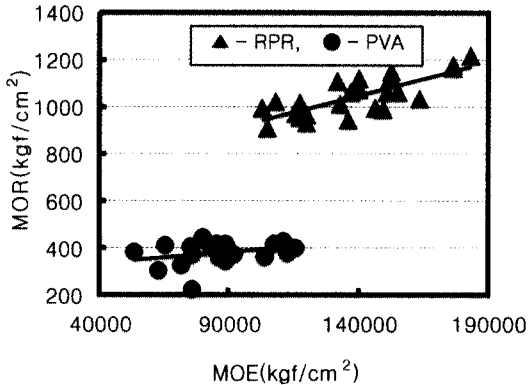


Fig. 2. The relationship between MOE and MOR in *Quercus variabilis*. Notes; ●: MOR = 0.0009MOE+301.86, r=0.298 and no significant at 5% level, ▲: MOR = 0.0028MOE+648.99, r=0.772** and significant at 1% level.

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. 휨강도 성능

Fig. 2는 굴참나무재의 휨강도 시험에서 구한 휨탄성계수(MOE)와 휨강도(MOR)와의 상관관계를 나타낸 것이다. 초산 비닐 접착제의 경우 상관관계 0.298로 5% 수준에서도 유의성이 인정되지 않는 값을 나타내었으나, 레소시놀의 경우 상관관계 0.772로 1% 수준에서 높은 유의성을 나타내었다. 이것은 레소시놀 페놀 공축합 수지 접착제의 경우 접착상태가 양호하여 높은 강도값을 나타내므로 상관관계가 높아진 것으로 판단된다. 나머지의 수종에서는 유의성이 나타나지 않았다. 또한 Fig. 3, 4, 5는 각각 이태리 포플러재, 소나무재, 굴참나무재의 AE측정에 이용한 공차별에 따른 최대 하중을 나타내었다. PVA의 경우 세 수종 모두 목질부가 파괴되지 않고 접착층이 파괴되어 핑거공차에 대한 영향이 거의 나타나지 않았으

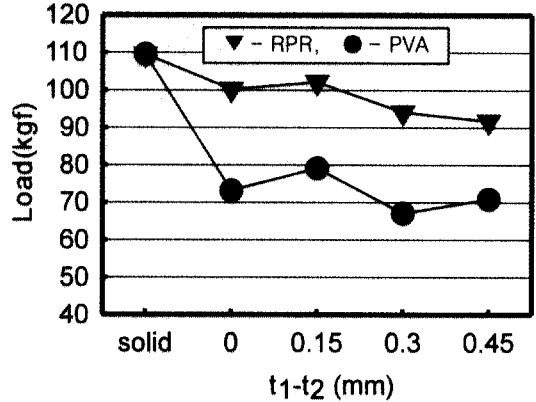


Fig. 3. The effect of t_1-t_2 on load in *Populus euramericana*. Notes; t_1 : Tip width, t_2 : Root width.

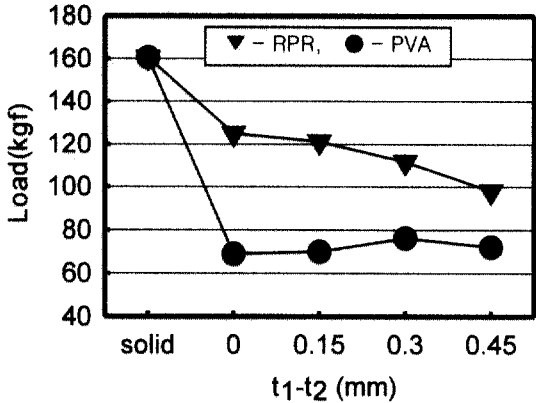


Fig. 4. The effect of t_1-t_2 on load in *Pinus densiflora*. Notes; The same as shown in Fig. 3.

나, RPR을 사용한 3수종 모두가 공차 0이나 0.15에서 최대 하중값을 나타내었으며, 공차가 증가할수록 강도가 떨어지는 경향을 나타내어 이태리 포플러재는 공차 0.15, 소나무재 및 굴참나무재의 공차가 0이나 0.15가 적당하였다.

3.2. 최대하중과 AE파 사상총수와 의 관계

AE파의 사상총수는 발생한 AE 카운트를 누적한 것이다.

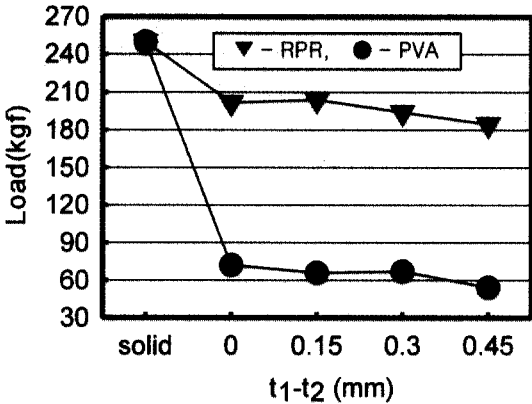


Fig. 5. The effect of t_1-t_2 on load in *Quercus variabilis*. Notes; The same as shown in Fig. 3.

Fig. 6, 7, 8은 PVA와 RPR로 접착한 이태리 포플러재, 소나무재, 굴참나무재의 휨강도 시험으로부터 얻은 하중과 AE파 사상총수(AE cumulative event count)와의 관계를 나타내었다.

Fig. 6의 이태리 포플러재의 경우 PVA와 RPR 모두 Fig. 3에서 나타난 최대하중과 AE파의 발생시기 및 발생수가 잘 대응하였다. 즉 최대하중이 크면 클수록 AE 신호가 늦게 나타났으며, RPR에 비해 PVA의 AE파 사상총수가 적게 발생하였고 경사가 급하였다. 또한 발생한 하중 범위도 좁았다. 이것은 PVA의 경우 여기서는 그림으로 나타내지는 않았지만 하중-편향 곡선에서 거의 직선적으로 증가하다가 그대로 파괴되어 비례한도 하중과 최대하중이 거의 일치하는 형태를 나타내었고, 파괴시에도 일정 편향 이상에서 목질부가 파괴되지 않고 접착층이 미끄러지면서 급하게 파괴되어 파괴하중까지 접착층이나 목질부 자체의 파괴가 적게 일어나 AE파가 적게 발생한 것으로 생각된다. 특히 비교목인 소재의 경우 AE파의 발생이 늦게 일어났으며 사상총수도 적었고 기울기가 가장 완만하였다.

Fig. 7의 소나무재의 경우 이것 역시 PVA와 RPR 모두 Fig. 4에서 나타난 파괴하중이 크면 클수록 AE파가 늦게 발생하였으며, RPR에 비해 PVA의 AE파 사상총수가 적게 발생하였다. RPR에 비해 PVA의 AE파의 경사가 급하고 발생수가 적은 것은 전술한 이

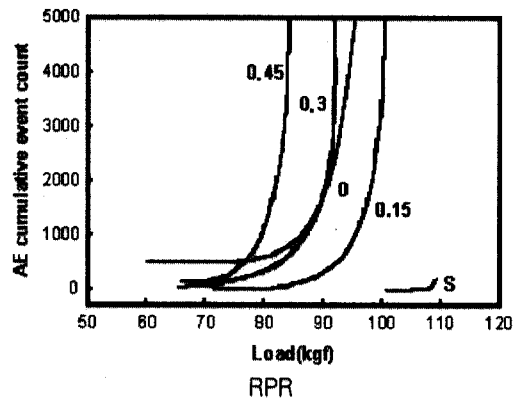
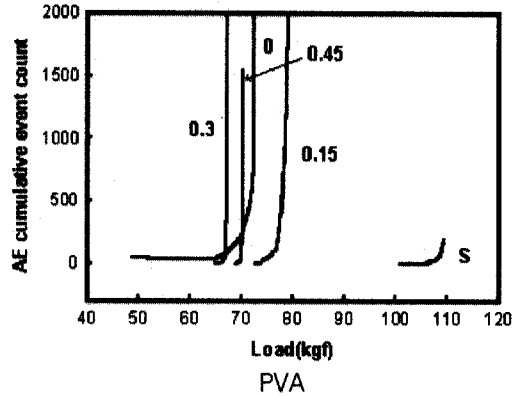


Fig. 6. Load-AE cumulative event count in *Populus euramericana*. Notes; 0, 0.15, 0.3 and 0.45 are t_1-t_2 , S is solid wood, PVA: poly vinyl acetate adhesive, RPR: resorcinol-phenol resin adhesive.

태리 포플러재와 같은 것으로 생각된다.

Fig. 8 굴참나무재의 AE파 발생수가 다른 소나무재나 이태리 포플러재의 그것보다 많았다. 이것은 소재 자체의 성질로써 비중이나 탄성계수가 높아 변형이 잘 되지 않는 것에 의한 것으로 판단된다. 또한 이것 역시 이태리 포플러나 소나무 접합재와 같은 경향을 나타내었으나 RPR의 경우 다른 수종에 비해 완만한 경사를 나타내었다. 이것은 본 보고에는 설명하지 않았지만 소나무 및 굴참나무 접합재의 최대편향은 각각 6, 8 mm 정도로 굴참나무재가 소나무재보다도 최대하중까지의 편향이 크기 때문으로 생각된다.

Figs. 6, 7, 8을 통하여 살펴보면 모든 수종에서 초

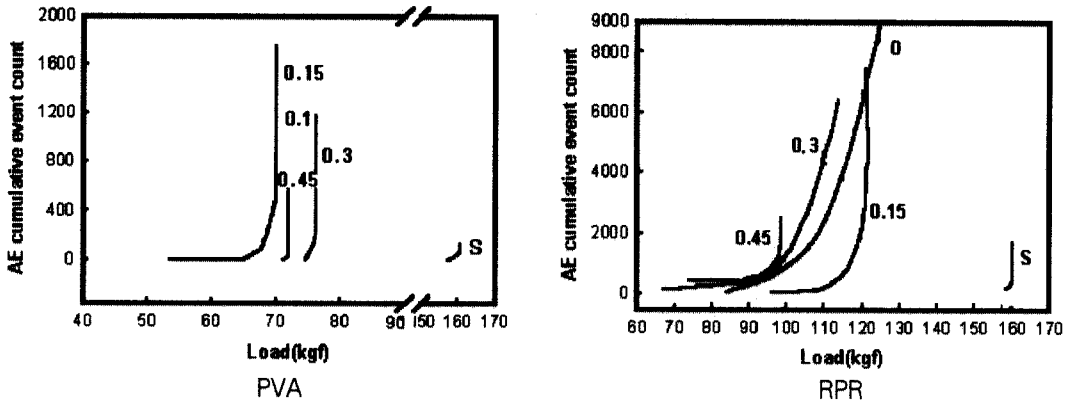


Fig. 7. Load-AE cumulative event count in *Pinus densiflora*. Note; The same as shown in Fig. 6.

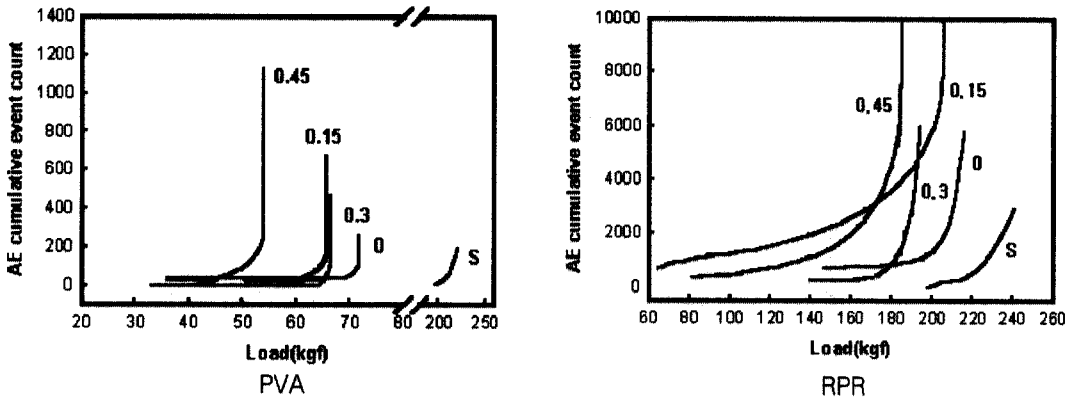


Fig. 8. Load-AE cumulative event count in *Quercus variabilis*. Note; The same as shown in Fig. 6.

산의 AE와 검출이 레소시놀에 비해 늦게 검출되었으며 기울기가 급하였다. 이것은 초산의 경우 접착층이 미끄러질 때 검출되고 레소시놀의 경우는 처음부터 서서히 목질부가 파괴되면서 AE 신호를 발생하였기 때문으로 생각된다. 레소시놀을 사용한 수종별에서 하중과 AE와 사상충수와의 기울기는 이태리 포플러재, 소나무재, 굴참나무재 순으로 완만하였다.

위의 결과는 변 등(1999)이 초산비닐, 혼합 초산비닐-아크릴, 유용성 우레탄 수지접착제를 사용한 옷나무경사 평거접합재의 하중과 AE 사상충수는 휨 강도는 잘 대응한다고 하였는데 본 연구의 RPR의 경우도 비슷한 결과로 나타났다.

3.3. 비례한도내에서의 하중과 AE와 사상충수와의 관계

Table 1은 최대 하중과 비례한도 하중, 그리고 비례한도내에서의 AE와 사상충수와 AE가 처음 발생할 때의 하중과 비례하중에 대한 %를 나타내었다.

소재의 경우 비례한도까지 AE파가 전혀 발생되지 않았다.

PVA 사용 접합재의 비례한도까지의 AE파 발생 사상충수 및 최초 발생 하중관계를 살펴보면 이태리 포플러재에서는 공차 0, 소나무재에서는 공차 0.15에서 각각 비례한도 하중의 77%, 91%에서만 발생되었고 발생수도 적었다. 또한 굴참나무재는 모든 공차 조건

Table 1. Relationship between below proportional limit load and AE cumulative event count.

Species	Solid wood				0(t ₁ -t ₂)				0.15(t ₁ -t ₂)				0.3(t ₁ -t ₂)				0.45(t ₁ -t ₂)			
	L _u (L _i)	AE _{CCEC}	L _{AEg}	%	L _u (L _p)	AE _{CCEC}	L _{AEg}	%	L _u (L _p)	AE _{CCEC}	L _{AEg}	%	L _u (L _p)	AE _{CCEC}	L _{AEg}	%	L _u (L _p)	AE _{CCEC}	L _{AEg}	%
<i>Populus euramericana</i>	PVA	110 (77)	.	.	73 (63)	42	49	77	79 (67)	.	.	.	67 (55)	.	.	.	71 (56)	.	.	.
	RPR				100 (66)	39	34	51	102 (73)	21	72	98	94 (73)	601	16	22	92 (64)	52	64	100
<i>Pinus densiflora</i>	PVA	161 (117)	.	.	69 (58)	.	.	.	70 (59)	1	54	91	76 (64)	.	.	.	72 (63)	.	.	.
	RPR				125 (98)	673	35	36	121 (94)	102	52	55	112 (82)	56	45	55	98 (80)	334	48	60
<i>Quercus variabilis</i>	PVA	250 (185)	.	.	72 (65)	25	41	63	66 (57)	29	36	63	67 (50)	3	49	98	54 (45)	32	33	73
	RPR				202 (163)	703	40	25	204 (140)	2031	29	21	194 (137)	197	57	42	185 (111)	450	61	55

Notes; PVA: Poly vinyl acetate adhesive, RPR: Resocinol-phenol resin adhesive, L_u: Ultimate load, L_p: Proportional limit load, L_{AEg}: Load at AE begin to generate, AE_{CCEC}: AE cumulative event count, %: Percentage of L_{AEg} to proportional limit load, .: no signal.

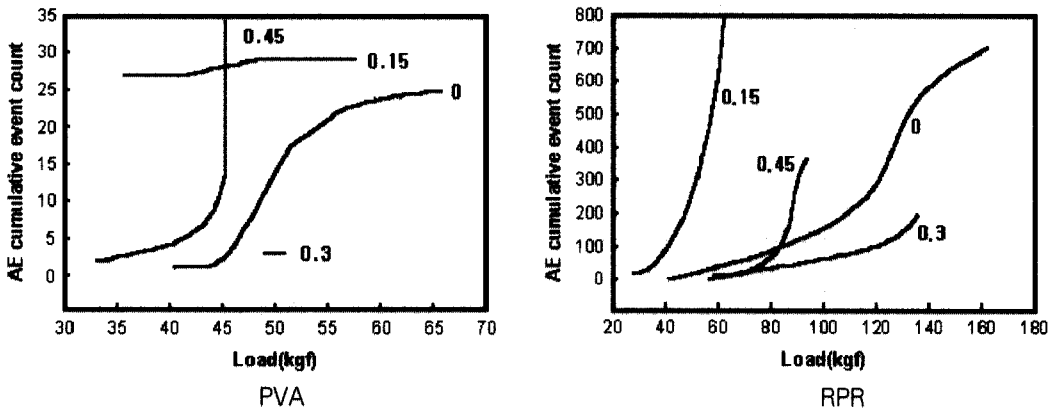


Fig. 9. Load-AE cumulative event count below proportional limit in *Quercus variabilis*. Note; The same as shown in Fig. 6.

(0, 0.15, 0.3, 0.45)에서 발생되었으며 각각 비례한도 하중의 63%, 63%, 98%, 73%에서 최초로 발생하였고, 이태리 포플러 및 소나무재보다는 발생수가 많았다. 그리고 RPR 사용 접합재의 비례한도까지의 AE파 발생 사상총수 및 최초 발생 하중관계를 살펴보면 공차 0.3의 이태리 포플러재를 제외한 모든 조건에서 이태리 포플러재, 소나무재, 굴참나무재 순으로 최초 AE파 발생시의 비례한도 하중비율이 높았고, 비례한도내에서의 AE파 발생총수는 굴참나무재, 소나무재, 이태리 포플러재 순이었다. 이것은 앞서 설명한 굴참나무 소재의 AE파 발생수가 많은 것과 관계되

는 것으로 생각된다. Porter(1972)는 일반소재의 경우 적어도 최대하중의 95%전에 AE파가 발생한다고 밝혔는데 본 연구의 공차에 있어서 비교목에 비해 훨씬 일찍 AE가 발생하였기 때문에 AE파를 통한 접합재 강도의 예측이나 보증이 가능할 것으로 판단된다. 또한 변 등(1999)은 소나무 경사 핑거접합재의 휨강도 성능과 AE특성에서 RPR로 제작한 경사 핑거 시험편은 아주 낮은 하중에서부터 하중이 증가함에 따라 연속적으로 AE가 발생하였고 발생수도 초산비닐, 유용성 우레탄 수지 접착제의 경우보다 훨씬 많았다고 밝혔다. 본 연구에서도 같은 양상의 결과가 나타

났다. 따라서 경사핑거 접합재와 공차별에 따른 접합재에서 AE신호로 비파괴적인 평가가 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 9는 비례한도내에서 두 접착제에 대해서 AE의 발생이 모두 일어난 굴참나무재를 하중과 AE과 사상총수로 나타내었다.

PVA의 경우 비례한도내에서 발생은 있었으나, 개수가 적었으며 개수도 공차 0.3은 1개, 0.15는 2개밖에 일어나지 않았으며, 다른 수종인 이태리 포플러재, 소나무재에서는 AE가 거의 발생되지 않아, PVA를 사용한 경우 비례한도 내에서 하중과 AE과 사상총수로의 예측이 불가능하였다. 이것은 접착제의 접착성에 따른 결과라 생각된다.

그러나 굴참나무재의 RPR의 경우 개수나 AE과 사상총수 모두 많이 나타나 일정한 기울기를 가진 형태로 나타났다. 그래서 공차를 포함한 굴참나무 RPR로 접착된 핑거 접합재의 휨 강도성능은 AE과로서 강도 보증이나 평가가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

이태리 포플러재, 소나무재, 굴참나무재에 PVA 접착제와 RPR 접착제를 이용하여 접합한 핑거재의 공차에 따른 휨강도와 AE특성에서 나타난 결과는 다음과 같다.

1) 공차에 따른 최대하중과 AE과의 발생시기 및 발생수는 매우 잘 대응하였다.

2) 최대하중까지 PVA의 AE사상총수보다 RPR의 AE사상총수가 많이 나타났으며, 이것은 비례한도 내에서도 같은 경향을 나타내었다. 수종별 AE 사상총수는 굴참나무재, 소나무재, 이태리 포플러재 순으로 나타났다.

3) PVA 접착제의 경우 비례한도 내에서는 굴참나무재를 제외하고는 거의 발생하지 않았으며, RPR 접착제는 포플러재를 제외한 수종에서 비례한도보다 훨씬 낮은 하중부터 최초 AE가 각 공차별로 발생(포플러-51%, 98%, 22%, 100%, 소나무재-36%, 55%, 55%, 60%, 굴참나무재-25%, 21%, 42%, 55%)하여 폭넓은 하중범위에서 완만한 경사를 이루며 나타났

다. 특히, 굴참나무재는 비례한도 내에서 많은 AE과가 나타났으며 비례한도 내에서 최초 AE과 발생은 굴참나무재, 소나무재, 이태리 포플러재 순으로 나타났다.

따라서 RPR 접착제로 접착한 핑거 접합재의 휨시험으로부터 얻는 AE 신호는 핑거공차에 따른 접합재의 강도 예측이나 보증에 이용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 변희섭. 1993. 벗조인트를 포함한 적층재의 휨 강도성능과 Acoustic Emission 특성. 한국가공학회지. 4(1): 14~20.
2. 변희섭, 김사익. 1999. 소나무 경사핑거접합재의 휨강도와 AE 특성. 한국가공학회지. 10(2): 74~78.
3. 변희섭, 안삼근, 김종만. 1999. 소나무 경사핑거접합재의 휨강도성능과 AE 특성. 목재공학. 27(10): 31~36.
4. Ansell, M. P. 1982. Acoustic emission from softwoods in tension. *Wood Sci. Technol.* 16: 35~58.
5. Eby, R. E. 1981. Proofloading of finger-joints for glulam timber. *Forest Prod. J.* 31(1): 37~41.
6. Dedhia, D. D. 1980. Acoustic emission analysis of Douglas fir finger joints. *Material Evaluation.* 38(11): 28~32.
7. Porter, A. W. 1972. Prediction of failure of finger joints using acoustic emissions. *Forest Prod. J.* 22: 74~82.
8. 橋爪丈夫의 3인. 1997. 連續送りグレーディングマシンの特性とその調整. *木材學會誌.* 43(2): 141~148.
9. 星 通. 1976. 集成加工における縦つき技術. *木材工業.* 31(11): 484~490.
10. 星 通. 1989. フィンガ-接合部強さの経時變化. *木材工業.* 44(5): 219~220.
11. 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-ジョイントによる改良. *日本接着學會誌.* 32(9): 329~339.
12. 森 稔, 星 通. 1963. フィンガ-ジョイントの接着有効率. *木材工業.* 18(3): 123~129.
13. 中川雅博, 増田 稔, 野口昌巳. 1989. 有節の構造用材の曲げにおけるアコ-スティック・エミッション. *木材學會誌.* 35(3): 190~196.
14. 大熊幹章. 1989. 構造用LVLの曲げ性能に及ぼす單板縦継ぎ方法に関する一考察. *木材工業* 44(6): 269~272.