

**핑거접합방식에 의한 삼나무의  
고주파가열 집성판 제조에 관한 연구 (1)**

- 삼나무 판재의 초산비닐수지 접착특성 -

**Study on the manufacturing of high-frequency heating  
Japanese cedar laminated board by finger jointing method (1)**

Gluing characteristics of Japanese cedar board by PVAc emulsion adhesives -

蘇元澤 · 蔡正基

# 핑거접합방식에 의한 삼나무의 고주파가열 집성판 제조에 관한 연구 (1)\*

- 삼나무 판재의 초산비닐수지 접착특성 -

蘇元澤\*\* · 蔡正基\*\*\*

Study on the manufacturing of high-frequency heating  
Japanese cedar laminated board by finger jointing method (1)\*  
- Gluing characteristics of Japanese cedar board by PVAc emulsion adhesives -

Won-Tek So\*\* · Jyung-Ki Chai\*\*\*

## 목 차

- |            |         |
|------------|---------|
| 1. 서 론     | 4. 결 론  |
| 2. 재료 및 방법 | 5. 참고문헌 |
| 3. 결과 및 고찰 |         |

## ABSTRACT

This experiment was carried out to investigate the gluing characteristics of poly vinyl acetate emulsion adhesive(PVAc) on the *Cryptomeria japonica* laminated boards. This sample trees are major planting species and have been planted in southern district for a long time. The optimum gluing conditions for laminated board were summarized as follows; the amount of spreading glue, assembly time, clamping pressure, and clamping time for PVAc resin were 200g/m<sup>2</sup>, 10min., 5kg/cm<sup>2</sup>, and 6hrs., respectively, and the relative formulae between extension ratio(x) and block shear strength(y) was  $y=-9.6x+85.2(R^2=0.95^{**})$ .

*keywords* : *Cryptomeria japonica*, polyvinyl acetate resin, laminated board, block shear strength, extension ratio.

\* 이 논문은 2002년도 전남대학교 연구년교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

This study was financially supported by Chonnam National University in the program, 2002.

\*\* 전남대학교 임산공학과, 농업과학기술연구소 Insti. of Ag. Sci. and Tech., Dept. of Forest Products and Technology, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea

\*\*\* 전남대학교 임학과, 농업과학기술연구소 Insti. of Ag. Sci. and Tech., Dept. of Forestry, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea

## 1. 서론

삼나무는 수고 40m, 흉고직경 1~2m에 이르는 낙우송과 直幹性 상록침엽교목으로 우리나라 전라남도과 경상남도의 표고 300m 이하에서 자라고 있는 남부지방 주요조림수종이며<sup>13,14)</sup>, 현재 중소경급 간벌재 뿐만 아니라 대경목 생산이 가능한 영급에 도달하고 있다. 삼나무의 재료적 특성은 比重이 매우 낮고 강도적 성질이 취약하여 구조용재로는 제한이 있으나 切削, 접착 및 대패가공성이 매우 우수하고 乾燥속도가 빠르기 때문에 일본에서는 옛날부터 건축, 건구, 선박, 차량, 가구, 술통, 조각, 포장, 토목 등 그 用途가 대단히 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 이미 상당량의 林木蓄積量이 확보되어있고 벌채원목 생산량도 급증할 것으로 예상되고 있는 삼나무의 활용측면에서 매우 미흡한 수준에 머물고 있으며 특히 국내목재 소비량의 대부분을 수입외재에 의존하고 있는 국내 형편으로는 국산 목재자원의 적극적인 이용을 위한 노력이 매우 필요한 시점이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 삼나무를 대상으로 中小徑 간벌재, 임지폐잔재 및 소형 가공과생재 등을 원료로 활용함으로써 목재이용도를 높일 수 있기 때문에 최근 그 중요성이 재평가되고 있는 집성재로서의 효율적인 용도개발을 위하여 실시하였다. 1차적으로 집성판재 생산을 위한 몇가지 접착인자 별 접착성능을 조사하였으며 이를 종합하여 적합한 접착조

건을 구명하였다.

집성접착용 접착제로는 일반 목공용 및 지류접착용<sup>10)</sup>으로 가장 많이 사용되고 있는 초산비닐 수지 에멀전을 사용하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1 재료의 준비

전남 장성에 위치한 전남대학교 부속 연습림에 식재되어 있는 삼나무(*Cryptomeria japonica* (L.fil) D. Don.) 중에서 수간이 통직하고 생장이 양호한 임목을 벌채하여 공시목으로 사용하였다. 벌채한 원목은 재장 2m로 횡절하고 다시 폭 2cm 간격으로 판목제제한 다음 3개월 이상 천연건조를 실시하여 함수율을 15% 이하로 기건시킨 후 접착조건 실험용 치수인 두께 10mm, 폭 50mm, 길이 30cm로 대패가공하여 시험편으로 사용하였다. 벌채한 공시원목의 形質은 Table 1과 같다.

### 2-2 집성접착 및 접착강도 측정

집성에 사용된 접착제는 일반 목공용으로 시판되고 있는 상온경화형 초산비닐수지 에멀전 접착제(polyvinyl acetate emulsion adhesives)를 시중에서 구입하여 사용하였다. PVAc접착제를 양면도포한 2ply 접착시험편을 집성가압(clamping)해서 경화시킨 후 해압하여 48시간 양생시킨 다음 KSF 3118(수장용 집성재)<sup>14)</sup>에 따라 시험편 제작 및 압축전단

Table 1. Characteristics of sample trees

Species	Age (yrs.)	Diameter (cm)	Sapwood (%)	Width of A.R. (mm)	Late wood (%)	Eccentricity (%)	Bark (%)	Sp.Gr. (12%)
Japanese cedar	30	34	49	6.3	53	3.2	12	0.45

접착강도를 측정하였다. 접착강도 시험편은 각각의 조건별로 10개씩 준비하고, 접착강도 측정에 사용된 기기는 미국 United Calibration Corporation의 용량 30,000lb인 만능재료시험기(UTM)를 사용하였으며 시험조건은 preload 2kg, prespeed 2mm/min, test speed 10mm/min을 적용하였다. 이때 적용된 항목별 기준접착조건은 도포량 300g/m<sup>2</sup>, 閉鎖된 적시간 30분, 압체압력 10kgf/cm<sup>2</sup>, 압체시간 24시간 및 증량비율 0%였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 도포량

삼나무 판재의 초산비닐수지 양면 도포량에 따른 압축전단 접착강도는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 도포량 200g/m<sup>2</sup>과 300g/m<sup>2</sup>에서 공히 최대치인 76kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈으나 접착제의 절약이라는 경제적 측면으로 볼 때 200g/m<sup>2</sup>이 접성판 제조시 적정도포량임을 알 수 있었다.

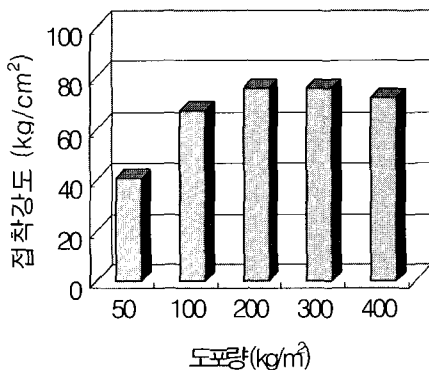


Fig. 1. Relation between the amount of spreading glue and block shear strength.

도포량 100g/m<sup>2</sup> 이하에서는 접착강도의 저하를 나타내는 것으로 보아 도포량 부족으로

인한 접착불량을 초래하는 것으로 생각된다. 한편 400g/m<sup>2</sup> 이상의 충분히 도포했을 때도 오히려 다소 접착강도가 감소하는 것으로 볼 때 도포량 증가에 따른 접착강도의 향상을 기대할 수 없으며 오히려 접착제의 과다 도포에서 나타날 수 있는 접착피막 두께의 증대로 인한 접착제와 목재간의 분자간 인력의 감소를 유발하고 계속해서 접착강도의 저하로 연결될 가능성이 있다고 판단된다. 따라서 적정량 이상의 접착제 도포는 접착성 향상과 무관할 뿐만 아니라 오히려 접착제의 낭비 등 경제적 손실을 초래한다고 생각된다.

Kim등(1980)<sup>5)</sup>은 요소수지에 대한 스트로브 소나무의 적정도포량 200g/m<sup>2</sup>을 구명하였고 Park등 (1988)<sup>7)</sup>은 수성비닐우레탄수지에 대한 리기다소나무의 접착강도가 도포량 200~300g/m<sup>2</sup> 범위에서 도포량이 많을수록 증가한다고 발표한 바 있다.

#### 3-2 퇴적시간

삼나무의 퇴적시간별 최대접착강도(Fig. 2)는 퇴적시간 10분에서 72kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈으며 그 이상 퇴적시간이 증가하면 현저히 감소하였다. 한편 퇴적시간 0분 즉 도포 즉시 압체해도 65kgf/cm<sup>2</sup>의 상당한 접착강도를 나타내는 것은 초산비닐 수지의 고유특성으로 보이며 이는 필요시 퇴적시간을 생략함으로써 접성재 제조시간을 크게 단축시킬 수 있는 가능성을 보여주는 것으로 판단된다. 그 원인으로는 삼나무의 흡수성이 매우 커서 접착제 도포작업 중에도 용액중의 수분을 신속하게 흡수하여 접착제의 점도를 높임으로서 경화작용을 촉진하기 때문으로 추정된다.

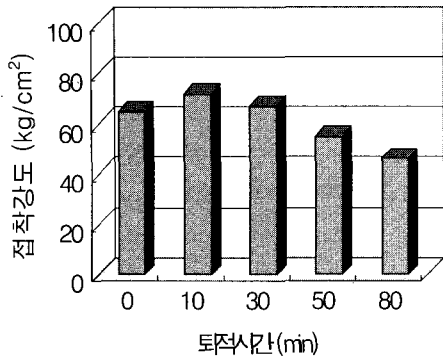


Fig. 2. Relation between the assembly time and block shear strength.

한편 80분 이상의 퇴적시간에서는 매우 낮은 접착강도인 46kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈는 바 지나친 퇴적시간은 접착제 중 함유수분이 목재내부로 과도하게 흡수되어 유동성을 잃고 접착제는 제면에서 독립적으로 건조되는 압체전假硬化 즉 dried joint 현상<sup>12)</sup>을 초래함으로써 압체의 효과를 저하시키는 것으로 확인되었다. 따라서 초산비닐 수지의 퇴적시간은 30분을 초과하지 않는 것이 중요하다고 보며 또한 경제적 측면에서도 가능한 퇴적시간을 단축하는 것이 생산성 향상을 가져오므로 퇴적시간은 10분 이내로 조절하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Nishihara(1962)<sup>6)</sup>는 소나무의 퇴적시간 安全許容限界가 카제인 5~90분, 레졸시놀수지 5~60분이며 그 이상 퇴적할 때는 약간 성능이 저하된다고 보고한 바 있으며 본 연구의 결과도 그 범위에 포함되고 있으나 그 한계범위가 너무 커서 다소 실용성이 떨어진다고 생각된다. 한편 Clark(1968)<sup>1)</sup>와 Gillespie(1978)<sup>2)</sup>는 PVAc 에멀전 계통의 접착제는 상온에서 대부분 30~90분 이내에 경화된다고 발표하였는데 따라서 퇴적시간의 안전허용한계는 적어도 30분 이내로 해야 할 것이며 수종 특성에

따라 적절한 퇴적시간을 적용하는 것은 매우 중요한 접착요인으로 생각된다.

### 3-3 압체압력

삼나무의 압체압력별 접착강도(Fig.3)는 5kgf/cm<sup>2</sup> 압력에서 최대치 75kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈다. 압체압력이 5kgf/cm<sup>2</sup> 이하에서 접착강도가 감소하는 것은 압체압력의 절대량 부족으로 여겨지나 다만 압체압력이 클 경우에도 접착강도 저하가 나타나고 있다.

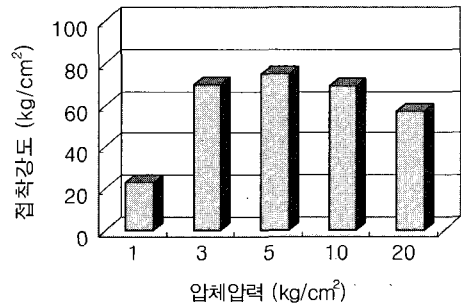


Fig. 3. Relation between the clamping pressure and block shear strength.

일반적으로 압체는 접착제 경화시 체적의 수축을 보완하고 기포의 발생을 방지하며 얇고 연속적인 접착층을 형성시키기 위하여 행하는 접착공정<sup>11)</sup>으로, 삼나무와 같이 비중이 작은 수종의 접착시 과도한 압력으로 접착성분의 목재조직 내 침투량이 증가하여 접착피막이 극단으로 얇아지고 접착액의 과다한 유출손실과 함께 缺膠(starved joint)를 일으키거나 취약한 저비중 목재조직의 부분적 파괴로 인한 접착력 저하작용에 기인한다고 생각된다. 따라서 불필요한 과다압력을 가하지 않는 것이 접착성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다. 다만 접착압에 불과한 3kgf/cm<sup>2</sup>에서도 최대치에 가까운 70kgf/cm<sup>2</sup>의 높은 접착강도를 보이는 것은 초산비닐수지의 장점으로 여겨지며 따라서 반드시 고가의 고압 압체장

치를 이용하지 않아도 충분한 접착효과를 얻을 수 있는 유리함이 보인다.

Nishihara(1962)<sup>5)</sup>는 소나무의 리졸시놀 수지접착시 압체압력은 압력이 균등하게 가해질 경우 2.5~20kgf/cm<sup>2</sup> 범위에서 양호한 접착성을 얻을 수 있다고 하였는데 본 연구에서는 압체압력 1kgf/cm<sup>2</sup>에서도 매우 양호한 접착효과가 인정되었으나 최적의 압체압력은 5kgf/cm<sup>2</sup>인 것으로 나타났다.

### 3-4 압체시간

Fig.4에서 보는 바와 같이 압체 24시간에서 최대접착강도 75kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈으나 6시간의 경우 73kgf/cm<sup>2</sup>로서 최대강도의 97%에 이르는 높은 접착성을 보이고 있으며 통계적 유의차도 없는 것으로 나타났다.

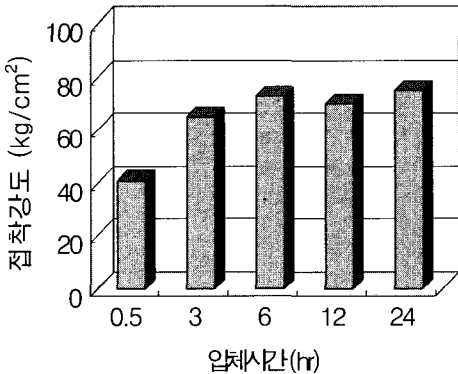


Fig. 4. Relation between the clamping time and block shear strength.

또한 24시간 이상 장시간 압체는 클램프 압체 시 塑性을 지닌 목재의 압력흡수로 인한 이완작용으로 지속적인 압력유지가 어려우므로 중간압체를 반복해야하는 공정상의 문제점이 있을 뿐만 아니라 더 이상의 접착성 증대를 기대하기도 어렵다는 연구결과가 발표된 바 있다. 따라서 삼나무의 적정 압체시간은 6시간이면 충분할 것으로 판단되며 대량생산시 공정기간단축을 위해서도 바람직하다고 볼

수 있다. 압체시간 0.5시간일 때가 최저의 접착강도 41kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈으나 압체시간 3시간일 때는 비교적 높은 접착강도인 65kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내어 실용상 적용 가능한 압체시간으로 볼 수 있으며 전체적인 경향으로 볼 때 압체시간이 접착강도에 미치는 영향은 다른 인자에 비해 심하지 않다고 판단된다. So(1988, 1991)<sup>8,9)</sup>는 리기다 소나무와 소나무의 요소수지 접착시 퇴적시간은 모두 12시간이 적당하다고 발표한 바 있다.

압체시간은 접착제의 충분히 경화할 때까지 지속적인 압력을 가해주기 위하여 실시되는 공정이므로 접착제의 경화시간에 좌우되는 조건인자라고 볼 수 있다. 다만 PVAc 접착제의 경화시간이 통상 1시간 이내라고 하지만 접착제의 단순경화 후에도 고비중 활엽수, 두꺼운 라미나, 굽음이 심한 만곡집성재 등의 경우에는 접착층에 관계하는 내부응력이 크기 때문에 압체시간을 충분히 주기 위하여 압체 후 다음날 해압하는 over-night 경화법을 적용하거나<sup>3)</sup> 또한 해압 후에도 접착층이 최대강도에 도달할 때까지 하루정도 양생기간을 주는 것도 효율적인 접착공정이라고 할 수 있다. 따라서 압체시간은 접착목적과 제품의 용도에 따라 조절되어야 하며 작업생산성이나 경제성 등도 고려해서 결정해야 한다고 판단된다.

### 3-5 증량비율

삼나무 판재의 초산비닐수지 증량비율에 따른 압축전단 접착강도는 Fig. 5에서와 같이 증량비율 0% 즉 원액을 그대로 사용하여 접착했을 때 최대치인 73kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈으며 증량비율을 높일수록 현저하게 감소하는 경향을 나타냈다.

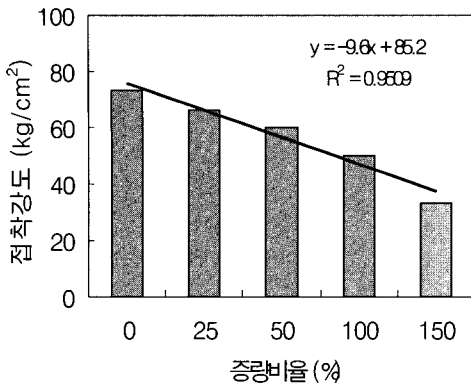


Fig. 5. Relation between the extension ratio and block shear strength.

증량에 따른 감소정도는 25% 증량시 -10%에서 150% 증량시 -55%까지 감소하고 있다. 증량비율(x)과 집착강도(y)의 관계를 나타내는 상관관계수(R<sup>2</sup>)는 0.95\*\*로서 고도의 유의적인 상관관계가 인정되고 두 변량간 관계식은  $y = -9.6x + 85.2$ 의 직선회귀식으로 나타났다. 증량의 정도는 집착목적 또는 집착제품의 용도에 따라 요구되는 집착강도의 수준에 맞추어 실시하는 것이 바람직하다. 구조용재의 집착은 높은 집착강도를 요구하므로 증량을 하지 않은 원액을 사용해야 하겠으나 일반 내장용재의 집착은 비교적 낮은 집착강도를 요구하므로 적당히 증량할 필요가 있으며 벽지도 배와 같은 최저의 집착강도를 요구하는 경우는 고비율 증량을 실시하는 것이 집착제의 효율적 이용과 집착제 절약이라는 경제적 측면에서 매우 중요한 요인이라고 생각된다.

지금까지 초산비닐수지를 이용하여 삼나무를 집성접착할 경우 전단집착강도는 대체로  $70\text{kgf/cm}^2$ 를 상회하는 우수한 집착성능을 보였으며 이는 KS F3118<sup>15)</sup>(구조용 집성재) 규격에 규정하고 있는 침엽수 A그룹의 기준에 해당하는 높은 수준이다. 삼나무는 재질이 침엽수 중에서도 매우 약한 수종에 포함되므로

우수한 강도적 성질 특히 휨강도 성능을 요구하는 구조용 집성재로 사용하기에는 미흡하지만 수장용 집성재(KS F311816))의 침엽수 기준집착력  $41\text{kgf/cm}^2$ 를 초과하는 양호한 집착성능과 건조 및 가공성이 좋아서 일반 가구 부재, 포장재, 및 실내장식 등에 사용되는 수장용 집성판재로는 충분히 개발할 수 있는 국산자원이라 평가된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 우리나라 남부지방의 주요 조림 수종으로서 현재 상당량의 임목축적을 보유하고 있으며 소경 간벌재 뿐만 아니라 대경급의 원목생산량이 점차 증가하고 있는 삼나무의 용도개발을 위한 연구의 일환으로 실시되었다. 1차적으로 최근 그 중요성이 재평가되고 있는 집성판재 원료재로서의 이용을 위하여 일반 목공용으로 가장 많이 사용되고 있는 초산비닐 수지 에멀전 집착제에 대한 몇가지 집착인자별 판재집착특성을 조사하고 적합한 집착조건을 구명하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

초산비닐수지 에멀전 집착제를 이용한 삼나무 집성접착을 위한 적정조건은 도포량  $200\text{g/m}^2$ , 퇴적시간 10분, 압체압력  $5\text{kgf/cm}^2$  및 압체시간 6시간이었고 증량비율(x)에 의한 집착강도(y)의 감소경향은 Fig.5와 같이 고도의 유의적인 직선비례관계( $R^2=0.95^{**}$ )를 보이며 두 변량간 관계식은  $y = -9.6x + 85.2$ 의 직선회귀식을 나타냈다.

## 5. 참고문헌

1. Clark, L.E. Jr. 1968. Measurement of 'speed of set' of room temperature setting wood adhesives. For. Prod, J. 18:52-53.
2. Gillespie, R.H., Countryman, D., and Blomquist, R.F. 1978. Adhesives in building construction. USDA Agr. Handb. No.516: 73-83.
3. Horioka, K. 1956. Research for the improvement of wood (Rep. No. 6). Study on the properties of wood with special reference to its adhesion. Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 89: 105-150.
4. Jo, J.M. et al. 1972. Studies on the manufacturing of the laminated wood with poplar and larch. Forest Research Institute. 19: 91-106.
5. Kim, J.C. and Kim, S.C. 1980. Study on the gluing properties and gluing conditions of *Pinus strobus* laminated wood. J. For. Prods. & Tech. 3: 41-46.
6. Nishihara, M. and Sugano, M. 1962. Studies on laminated wood (VII). Gluing conditions of AKAMATSU (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) laminated wood. Bull. Gov. For. Exp. Sta. No.144:113-122.
7. Park, S.B., Kong, Y.T., and Jo, J.M. 1988. Effects of adhesion conditions on bonding strength of pitch pine woods for glued-laminated wood. *Mogjae Gonghak* 16(4): 48-53.
8. So, W.T. 1988. Gluing characteristics of urea and phenol-resorcinol resin adhesives on the pitch pine lumber. eTheses Collection of Chonnam University. Vol. 36:85-91.
9. So, W.T. 1991. Gluing characteristics of urea and phenol-resorcinol resin adhesives on *Pinus densiflora* lumber. *Rural Development Review* Vol.23:27-32.
10. 金在弘. 1976. 醋酸비닐수지. 大光書林: 10-16.
11. 李台鎬. 1979. 接着技術의 實際. 大光書林: 55-58.
12. 半井勇三. 1977. 木材의 接着と 接着 制. 三北出版: 86-103.
13. 趙在明 외3인. 1988. 原色世界木材圖 鑑. 선진문화사: 21.
14. 趙武衍. 1989. 原色木材樹木圖鑑. 아카 데미서적: 45.
15. 한국공업규격 KSF 3021. 구조용 집성재. 2003.
16. 한국공업규격 KSF 3118. 수장용 집성재. 2002.