

최 중
연구보고서

소경·저급 목재를 사용한 집성재 문틀 제조 기술 개발

Development of manufacturing technique of glulam
doorframe using small diameter and low quality
woods

경 상 대 학 교
(전 북 대 학 교)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “소경·저급목재를 사용한 집성재 문틀 제조 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 10. 15

주관연구기관명 : 경 상 대 학 교

총괄연구책임자 : 변 희 섭

세부연구책임자 : 김 종 만

세부연구책임자 : 김 진 석

선 임 급 : 박 한 민, 류 현 수

연 구 원 : 안 상 열, 안 재 윤, 공 태 석, 신 준 욱,

오 현 욱, 박 용 현, 박 정 환, 송 권 현

협동연구기관명 : 전 북 대 학 교

협동연구책임자 : 오 승 원

연 구 원 : 최 창 윤, 황 정 우, 정 민 희, 온 두 훈

요 약 문

I. 제 목

소경-저급 목재를 사용한 집성재 문틀 제조 기술 개발
(Development of manufacturing technique of glulam doorframe using small diameter and low quality woods)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

전세계의 산림은 원목보유국들의 무분별한 벌채에 의한 우량 원목축적량의 현저한 감소 등에 따라 세계적인 환경보호운동과 원목 생산국은 자국 자원 보호정책 등으로 원목벌채량이 감소함과 동시에 원목가격인상으로 대경우량원목의 확보가 점점 어려워지고 있다. 이러한 원목품귀현상은 시간의 경과에 따라 더 심화될 것이고, 목재자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 목재산업에 막대한 지장을 초래할 것이 예상된다. 특히, 그 원료의 대부분을 열대우량재나 북미재를 사용해 제조되고 있는 국내문틀산업의 경우 그 경제적 피해는 대단할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 목재 자원의 경제적이고 효율적인 확보를 위해 저급, 저가의 소경목 및 결함재등을 용이 및 부후등의 결함을 제거하고 섬유방향을 서로 평행하게 길이, 폭 및 나비방향으로 집성접착한 집성재를 접합강도 유효율이 높고, 가공성이 뛰어난 핑거접합법을 이용하여 제조하였고, 경제적이고 효율적인 목질자원의 확보와 특히, 장기하중하의 목재의 역학적 거동을 밝혀, 저급, 저가의 소경목 및 결함재를 이용해 제조한 집성재를 문틀 원재료로써 제조사용에 대하여 검토하기 위하여 정적 휨 시험, 휨 크리프시험 및 좌굴시험등을 실시하였고, 핑거공차, 핑거피치, 핑거간 거리 및 접합접착제의 종류가 상기의 제 강도성능에 미치는 영향을 명확히 밝혀 저급-소경목의 국산재를 이용한 고부가가치의 집성재문틀을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 라미나의 평가 및 제조기술개발

- 가. 음향적, 기계적방법에 의한 라미나 평가방법 탐색
- 나. 라미나 접합부의 형상과 크기가 접합성능에 미치는 영향 구명

다. 라미나 건조방법이 접합성능에 미치는 영향평가

2. 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가

가. 수종별 라미나의 기계 가공성 평가

나. 수종별 라미나의 추출물, 미세구조가 가공성에 미치는 영향 평가

다. 정적 강도성능시험법에 의한 특성평가

3. 문틀용 집성재 제조기술 개발

가. 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 조건탐색

나. 라미나 접합부의 거리 및 위치에 대한 조건탐색

다. 집성재 제조시 최적의 접착조작 조건도출

4. 문틀용 집성재 개발을 위한 기계적 성능평가

가. 접착제종류가 집성재 강도성능에 미치는 영향

나. 정적 강도성능시험에 의한 평가

다. 온습도 변화조건하에서 크리프시험방법에 의한 특성평가

5. 집성재 문틀제작 및 평가

가. 집성재 문틀형상의 선호도 평가

나. 집성재 문틀색상과 문양에 대한 선호도 평가

다. 수분변화조건하의 집성재의 크리프 거동 평가

라. 집성재 문틀의 제조경비 및 경제성평가

6. 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가

가. 온습도 변화조건하에서 점탄성적 방법에 의한 성능평가

나. 환경변화에 따른 치수안정성 및 변형이나 결함 발생 평가

다. 도장처리가 치수안정 및 결함발생억제에 미치는 영향평가

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 라미나의 평가 및 제조기술개발

이 연구에서는 최적의 집성재를 제조하기 위하여 집성재 제조용 라미나의 등급을 구분하여 사용하고자 하였다. 등급구분 방법에는 기존에 이용하고 있는 신뢰성은 인정되지만 시간과 비용이 많이 드는 기계적인 방법과 최근에 그 사용

가능성이 인정되어 연구 검토되고 있는 Magnetic driver, Impact hammer 등에 의한 음향적 방법으로 공진주파수나 음파 전달 속도 등을 이용하는 방법을 이용하여 라미나를 평가하고자 하였다. 또한 집성재 제조에 기초가 되는 라미나 접합을 위한 라미나 접합부의 형상과 크기가 접합성능에 미치는 영향을 평가하였으며 라미나에 사용되는 목재의 건조방법에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 비파괴 강도성능 평가방법인 임팩트해머에 의한 휨 진동법으로 소재 및 핑거접합재의 휨강도 성능평가가 가능하였다.
- 2) 비파괴 강도성능 평가방법인 마그네틱 드라이버에 의한 휨 진동법으로 핑거접합재의 휨강도성능 평가가 가능하였다.
- 3) 비파괴 강도성능 평가방법인 미니웨이크법에 의한 휨 진동법으로 핑거접합재의 휨강도성능 평가가 가능하였다.
- 4) 집성재용 라미나 접합가공을 위한 핑거접합용 핑거형태에서 핑거 피치 3.4mm, 4.4mm가 비슷하였고 공차는 0.15mm가 적당하였다.
- 5) 건조결함을 가진 청변재 라미나는 건전재에 비하여 휨 및 인장 강도성능을 감소시켰다.

2. 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가

이 연구에서는 문틀용 집성재 제조를 위한 라미나의 제조를 위한 최적조건을 위하여 라미나 제조시 발생하는 문제점 및 해결방안을 제시하였다. 또한 라미나 접착가공을 위한 최적도출을 위하여 역학적(기계적) 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 스프루스재의 경우 대패절삭에서 약 15%정도의 절삭불량재가 나타났으나 다듬질대패 가공작업으로 해결되었다.
- 2) 스프루스재와 소나무재의 화학적 추출물의 양은 그 차이가 거의 인정되지 않았다.
- 3) 소나무재의 휨강도 유효율이 스프루스재의 그것보다 약간 낮았으며 공차 0.15와 0.2에서 최적의 조건이었으며 RPF가 AVU보다 높은 접착강도성능을 나타내었다.
- 4) 소나무재의 인장강도 유효율이 스프루스재의 그것보다 약간 낮았으며 공차 0.15와 0.2에서 최적의 조건이었으며 RPF가 AVU보다 높은 접착강도성능을 나타내었다.

3. 문틀용 집성재 제조기술 개발

이 연구에서는 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 최적조건을 탐색하기 위해 스프루스 및 소나무 엘리먼트를 유압프레스와 토크렌치 및 클램프에 의해 2가지 방식으로 횡접합을 행하였고, 휨 강도시험을 통해 양자간의 접착성능에 차이를 비교분석하였고, 또한, 핑거접합부의 거리 및 위치에 대한 최적조건을 찾기 위해, 스프루스 및 소나무를 공시재료로 핑거접합부의 위치를 하중점으로부터 시험편 두께의 0배, 1.5배, 2배, 2.5배, 3배의 5조건으로 한 핑거접합재를 제작하여 핑거접합부의 위치가 핑거접합재의 강도성능에 미치는 영향을 조사하였고, 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 유압프레스, 토크렌치와 나사클램프에 의한 2가지 가압방식 모두 접착층이 아닌 목질부의 파괴가 확인되어 핑거접합시의 압착 방법으로 사용가능한 것이 확인 되었다.
- 2) 토크렌치와 나사클램프에 의한 가압방식이 유압프레스에 비해 가압을 위한 작업시간이 길고, 작업이 복잡하지만 재료의 응력완화에 의해 압착압력이 감소했을 때 재료의 손상 없이 재 가압을 손쉽게 할 수 있고, 유압프레스와 같이 일정한 규격이 없기 때문에 재료의 치수에 관계없이 사용 가능한 것이 확인 되었다.
- 3) 핑거접합부의 거리와 정적 휨 강도성능과의 관계에서는 핑거간 거리가 멀어 질수록 강도성능이 증가하였으며 특히 시험편두께의 2.5배 이상에서는 핑거 부위의 파괴가 일어나지 않고 소재와 비슷한 값을 나타내어 최적조건인 핑 거간 거리는 핑거접합재두께의 2.5배인 것이 확인되었다.
- 4) 정적 휨 탄성계수에 대한 하중점에서 핑거위치까지의 거리의 영향은 거의 나타나지 않았다.
- 5) 정적 휨강도에 대한 하중점에서 핑거위치까지의 거리의 영향은 하중점으로부터 거리가 멀어질수록 강도가 증가하였으며 거리가 라미나 두께의 2.5 배 이상에서는 소재와 비슷한 값을 나타내며 핑거부에서 파괴가 거의 나타나지 않았다.
- 6) 핑거접합부의 위치를 하중점에서 이동시킨 핑거접합재의 휨 강도유효율은 휨 탄성계수의 그것보다 낮은 값을 나타내었으나, 양자간의 유효율은 핑거 접합부의 위치가 멀어질수록 증가하는 일치된 경향을 보였고, 상호간의 신뢰성이 확인되었다.

4. 문틀용 집성재 개발을 위한 기계적 성능평가

이 연구에서는 스프루스 및 소나무를 공시재료로 초산비닐수지(PVAc), 레조시놀 페놀 공축합 수지(RPF), 수성비닐우레탄(AVU)의 3종류의 접착제로 접착된 핑거접합재를 제작했고, 접착제의 종류가 집성재의 휨 강도, 좌굴강도 및 수분일정조건에서의 휨 크리프성능에 미치는 영향을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 휨 탄성계수유효율은 핑거피치의 증가에 PVAc로 접착된 핑거접합재에서는 양 수종 모두 그 값은 직선적으로 감소했지만, RPF와 AVU에서는 핑 거피치의 증가에 따른 휨 탄성계수 유효율의 변화는 적었고, 초산비닐 수지 와 달리 소재보다 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.
- 2) 휨 강도유효율과 핑거피치와의 관계는 수종과 접착제에 따라 현저한 차이를 나타내는 것이 확인되었다.
- 3) 최대변위 유효율은 휨 탄성계수유효율이나 휨 강도유효율에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었고, 핑거피치가 증가함에 따라 3종류의 접착제 모두 최대변위 유효율은 거의 직선적으로 감소했고, 그 감소의 비율은 AVU 이 더 큰 것이 확인되었다.
- 4) 좌굴강도 유효율은 휨 강도 유효율과 달리 핑거피치나 핑거공차의 변화에 따른 명확한 거동은 확인되지 않았다. 그러나 전체적으로 RPF로 접착된 핑거접합재가 AVU의 그것보다 더 높은 유효율을 나타내는 것이 확인되었다.

- 5) 최대좌굴변위 유효율은 압축변위 유효율에 비해 현저히 낮은 값을 나타내고, 핑거피치나 핑거공차의 영향이 적은 것이 확인되었다.
- 6) 초산비닐 수지접착제(PVAc)로 접착된 핑거접합재에서는 모든 타입에서 106시간 이전에 지연탄성변형을 넘어 변형이 급격히 증가해 크리프 파괴가 일어나 구조용으로 사용 불가능한 것이 확인되었다.
- 7) 레조시놀-페놀 공축합수지 접착제(RPF)와 수성 고분자 이소시아네이트계 수지 접착제(AVU)의 크리프 곡선의 기울기는 PVAc로 접착된 핑거접합재보다 월등히 낮았고, RPF와 AVU간의 차이는 크지 않아 시공 후 포르말린 발생이 없는 AVU의 이용에 대한 지침이 얻어졌다.
- 8) 핑거피치의 증가에 따라 상대크리프는 양 접착제 모두 현저히 감소했고, 그 감소비율은 RPF가 AVU보다 적은 것이 확인되었다.

5. 집성재 문틀제작 및 평가

이 연구에서는 집성재 문틀의 제조에 앞서 집성재 문틀의 형상, 색상 및 문양의 결정을 위한 사용자의 취향을 고려하여 설문지를 제작하였고, 집성재에 대한 선호도 및 경제성을 평가한 후 다양한 시제품 집성재 문틀을 제작하였다. 선호도조사에서는 어느 정도 목재에 대한 인지도가 있고, 색상 및 문양에 대해 관심이 높은 임산, 건축, 디자인 분야 전공자를 대상으로 실시하였고, 대부분이 실내 인테리어에 관심을 많이 가지는 젊은층의 남녀를 대상으로 실시하여, 집성재문틀의 실용적, 경제적, 예술적가치를 평가함과 동시에 국산 소경저급목재 효율적 이용 및 상업화에 따른 고부가가치를 창출에 대한 모델을 설정하는 것을 목적으로 하여 다음의 결과를 얻었다.

집성재문틀의 형상, 색상 및 문양 등에 대한 선호도 조사에 대한 결과, 인지도는 낮았으나, 많은 조사대상자가 집성재문틀 특히, 예술성 및 정서적 측면에서 만족감을 가진 집성재문틀을 가장 선호하였으며, 문양에서는 자연스러운 원목문양을 선호하는 것이 확인 되었다. 또한, 집성재문틀의 도장색상이나 무늬목의 색상은 체리색을 가장 선호하였으며, 국산재에 대한 관심도 높은 것이 확인되었다. 또한, 집성재 문틀은 보통원목문틀에 비해 원가의 70%정도로 생산이 가능한 것이 확인 되었고, 만족집성재 문틀도 사이 당 가격이 무절재보다 훨씬 저렴한 유절재를 사용할 경우 보통원목문틀에 크게 비싸지 않은 가격으로 집성재 문틀을 구입가능한 것이 확인되었다.

6. 집성문틀재의 물리적·기계적 성능평가

이 연구에서는 집성문틀재의 물리적·기계적성능을 평가하기 위해, 다양한 형상 및 접착제로 접합된 핑거접합재를 제작하였고, 정적 휨 시험 및 온습도변화 조건하의 휨 크리프시험 및 무처리재 및 도장처리재의 팽윤률 및 수축률을 측정하여, 휨 크리프 및 팽윤률, 수축률변화에 영향을 주는 습도 및 집성문틀재의 형상의 영향을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 크리프 곡선은 핑거형상 및 접착제의 종류에 따라 달랐고, 부하후, 30분~1시간 이후는 거의 직선적인 거동을 나타내는 것이 확인되었다.
- 2) 습도증가에 따라 집성문틀재의 초기변형 및 크리프변형은 현저하게 증가하였

- 고, 그 증가의 비율은 초기변형보다 크리프 변형이 훨씬 더 큰 것이 확인되었다.
- 3) 상대습도 80%의 집성문틀재의 크리프변형은 초기변형의 거의 62%~82%의 대단히 많이 크리프변형이 일어났으나, 그 양은 소재의 그것과 비슷한 것이 확인 되었고, 소나무핑거접합재가 스프루스핑거접합재보다 더 큰 변형량을 나타내는 것이 확인되었다.
 - 4) 수분일정조건과 같이 레조시놀-페놀 공축합수지와 수성비닐우레탄접착제사이의 명확한 크리프거동의 차이는 확인되지 않았다.
 - 5) 수분일정조건과 달리 핑거피치의 증가에 따른 집성문틀재의 명확한 거동은 확인되지 않았다.
 - 6) 소재 및 핑거접합재의 접선방향 및 방사방향의 팽윤률과 수축률은 흡습 및 방습시간의 증가에 따라 거의 직선적 증가하였고, 114시간이후부터 점차 그 증가의 비율은 감소하는 것이 확인되었다.
 - 7) 소재 및 핑거접합재의 팽윤률은 접선방향이 방사방향보다 1.8~2배정도 컸지만, 핑거접합재가 소재보다 약간 적은 팽윤률을 나타내었다.
 - 8) 소재 및 핑거접합재의 수축률은 접선방향이 방사방향보다 컸지만, 핑거형상에 따른 차이는 확인되지 않았다.
 - 9) 도장처리재의 팽윤 및 수축률은 흡습 및 방습시간의 증가에 따라 직선적으로 증가하였고, 접선방향이 방사방향보다 증가량이 작은 것이 확인되었고, 소재보다 적은 팽윤 및 수축률을 나타내는 것이 확인되었다.

SUMMARY

I . Title

Development of manufacturing technique of glulam doorframe using small diameter and low quality woods

II. Propose and Necessity of Project

As it is difficult to import logs due to the effect of exhaustion of the superior logs, the environmental protection movement and the resource conservation policy of the country of logs production, the wood industry of Korea will be affected, especially it is considered that the doorframe industry which manufactures it using superior logs imported from the South Seas and North America receives a severe blow. Therefore, in this study, to obtain the superior wood materials economically and efficiently, various glulam beams for doorframe were manufactured by reconstituting the longitudinal direction using finger joint with a good jointing efficiency after eliminating the defects such as the knots and decay from low quality and small diameter logs. Dynamic and static strength test, bending creep test under constant humidity and humidity changes were conducted, and the effects of finger pitches and distance between fingers for the end joint part of glulam, kinds of adhesives on dynamic behaviors, static strength, dimensional stability and bending creep behaviors were investigated to grasp dynamic and static behaviors for using as doorframe. Development of a high value added glulam-doorframe manufactured from domestic low quality and small diameter logs was the main purpose of this research.

III. Contents and Scope of project

1. Development of manufacturing technique and assessment of laminae

- A. Research of assessment method of laminae by acoustic and mechanical methods
- B. To clarify the effects of profile and size of joint part on jointing performances
- C. Assessment of effect of drying methods on jointing performances

2. Assessment of mechanical performances and manufacturing

properties

- A. Assessment of machine process properties of various species laminae
- B. Assessment of the effects extracts and microscopic structure of lamina with different species
- C. Assessment of properties by static strength test method

3. Development of manufacturing technique of glulam for doorframe

- A. Study on jointing technique of glulam for door frame
- B. Study on distance and location of jointing parts of laminae
- C. Study on optimum jointing condition for manufacturing glulam

4. Assessment of mechanical performances for developing glulam for doorframe

- A. Effect of kinds of adhesives on strength performance
- B. Assessment by static strength test
- C. Assessment of properties by creep test under humidity changes

5. Assessment and manufacturing of glulam-doorframe

- A. Assessment of preference for shape of glulam-doorframe
- B. Assessment of preference for color and pattern of glulam-doorframe
- C. Assessment of creep behavior of glulam under humidity changes
- D. Assessment of economical efficiency and manufacturing expense of glulam-doorframe

6. Assessment of physical and mechanical performances of glulam-doorframe

- A. Assessment of performance by viscoelastic method under temperature and humidity changes
- B. Assessment of dimensional stability and occurring deformation, defects caused by atmosphere condition changes
- C. Assessment of effect of painting on dimensional stability creep behavior

IV. Results of Project and Suggestion for

Application

1. Development of manufacturing technique and assessment of laminae

In this study, the grade of lamina for manufacturing glulams was classified to manufacture optimum glulam. The classification method of lamina grade used the mechanical method with reliance and acoustic methods such as inforced vibrations of magnetic driver and impact hammer. The effect of propile in jointing part of laminae on jointing performances and drying methods of laminae for manufacturing glulam were investigated, and the results were obtained as follows.

- 1) Bending strength performance for solid and finger-jointed woods was able to assess using flexural vibration of impact hammer.
- 2) Bending strength performance for solid and finger-jointed woods was able to assess using flexural vibration of magnetic driver.
- 3) Bending strength performance for solid and finger-jointed woods was able to assess using flexural vibration of mini shaker.
- 4) Jointing efficiency for 4.4mm finger pitch was similar to that of 3.4mm finger pitch, and most desirable distance between a tip and a root of finger was 0.15mm.
- 5) Bending and tensile strength performances of stain laminae with drying defects were lower than stain free laminae.

2. Assessment of mechanical performances and manufacturing properties

In this study, problems and the solutions of the problems for optimum condition of lamina manufacturing were given, the results of assessment of mechanical properties for jointing process of laminae were as follows

- 1) Inferior materials for cutting of about 15% occurred in planer process of spruce, and this problem was solved by finishing planer
- 2) It was not found that the difference for amout of chemical extracts between spruce and pine
- 3) Bending strength efficiency of pine wood was slightly lower than that of spruce, and the difference between tips and roots of finger had optimum conditions for 0.15 and 0.2mm. Also, Resocinol-phenol formaldehyde(RPF) resin had the higher jointing performance than in Aqueous vinyl urethane (AVU) resin.
- 4) Tensile strength effieency of pine wood was slightly lower than that of spruce, and the difference between tips and roots of finger had optimum conditions for 0.15 and 0.2mm. Also, RPF resin had the higher jointing performance than in AVU resin.

3. Development of manufacturing technique of glulam for doorframe

In this study, edge joints by pressing with oil press and torqwrench were conducted to find optimum condition of doorframe-glulam, and the effect of distances and locations of finger jointing part on jointing strength performance was investigated. The results were as follows.

- 1) Wood failure occurred for both pressing methods, and both methods were found to be able to use for finger jointing.
- 2) It was found that the method of pressing with torqwrench was easy to repress and was able to use regardless of dimension of materials.
- 3) The optimum condition for distance between finger jointing parts was 2.5 times of specimen thickness.
- 4) There was little effect of distance between finger jointing parts on bending MOE.
- 5) The effect of distance between finger jointing parts on bending MOE increased with increasing the distance and there was no rupture at finger jointing part. The bending strength for more than 2.5 times lamina thickness was similar to solid woods.
- 6) Bending MOR efficiency was higher than that of bending MOE, and both efficiency values tended to increase with increasing distance between finger jointing parts.

4. Assessment of mechanical performances for developing glulam for doorframe

In this study, finger-jointed woods glued with RPF, AVU and PVAc(Polyvinyl acetate) resin using spruce and pine woods as raw materials were manufactured, and the effect of adhesive kinds on bending strength, buckling strength and bending creep performances were investigated. The results were as follows.

- 1) For PVAc resin, bending MOE efficiency decreased with increasing finger pitch. However, the difference for that between RPF resin and AVU resin was small.
- 2) Bending MOR efficiency indicated a considerable difference with species and kinds of adhesives

- 3) Maximum deflection efficiency linearly decreased with increasing finger pitch, and the extent of decrease was higher in AVU resin than in RPF resin.
- 4) The difference of buckling strength efficiency by finger pitch and the difference between tips and roots was not found unlike bending strength efficiency.
- 5) Creep failure occurred in 106 hours for finger-jointed woods glued with PVAc resin, and it was not desirable for a structural material.
- 6) The slopes of creep curves of RPF resin and AVU resin were markedly lower than PVAc resin, and the difference between both resins was small.
- 7) Relative creep decreased with increasing finger pitch, and the extent of decrease was smaller in RPF resin than in AVU resin

5. Assessment and manufacturing of glulam-doorframe

In this study, a questionnaire was made in order to investigate preference of shapes, colors and patterns of doorframe made with glulam before manufacturing of glulam-doorframe, and the subject of investigation was someone who majored in forest products technology, building construction and clothes design. The results were as follows.

A lot of people preferred the glulam-doorframe with curved glulam arch in a view of art and feeling, and most of people selected cherry tree color for the color of glulam-doorframe. A lot of people have concerned about domestic woods. It was found that there was a good economical efficiency of glulam-doorframe, and its production expense was 70% of solid wood.

6. Assessment of physical and mechanical performances of glulam-doorframe

In this study, various finger jointed glulams and curved glulams were manufactured, in order to evaluate physical and mechanical performances of doorframe-glulam, the effect of humidity and jointing profile of doorframe-glulam on bending creep and dimensional stability was investigated. The results were as follows.

- 1) The shape of creep curves differed with humidity changes, finger profile and adhesive kinds, and it indicated a linear behavior beyond about one hour after the load was applied.
- 2) Initial and creep deformation markedly increased with increasing humidity,

and the extent was considerably higher in creep deformation than in initial deformation. For 80%RH, the creep compliances showed 62%~82% of initial compliacne, and it was similar to solid woods. the creep amount was found to be greater in pine solid wood than in spruce solid wood

- 3) The difference of creep behavior between RPF resin and AVU resin was not clear.
- 4) Swelling and shrinkage efficiency of radial and tangential directions linearly increased with increasing time, and the extent of increase decreased beyond 114 hours after humidity change.
- 5) Tangential direction swelling was 1.8~2.0 times higher than that of radial direction, and finger-jointed glulam showed the lower value than that of solid wood.
- 6) Tangential direction shrinkage was higher than that of radial direction, and There was no difference of jointing profile.
- 7) Swelling and shrinkage efficiency of solid and finger-jointed woods treated with the perilla oil and oil lacquer increased with increasing time until 114hours, and the vaues were lower than that of solid wood.

Contents

Presentation	
sentence.....	i
Summary.....	
ii	
I .	
Title.....	ii
II. Purpose and Necessity of	

Project.....	ii
III. Contents and Scope of Project.....	x
IV. Results of Project and Suggestion for Application.....	xi
Chapter 1. Outline of project.....	1
Chapter 2. Status of technology in domestic and abroad.....	7
Chapter 3. Content and result.....	10
Section 1. Development of manufacturing technique and assessment of laminae.....	15
Section 2. Assessment of mechanical performances and manufacturing properties.....	47
Section 3. Development of manufacturing technique of glulam for doorframe.....	6
Section 4. Assessment of mechanical performances for developing glulam for doorframe.....	98
Section 5. Assessment and manufacturing of glulam-doorframe.....	127
Section 6. Assessment of physical and mechanical performances of glulam-doorframe.....	158
Chapter 4.	
Reference.....	232

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	1
1. 기술적 측면	2
2. 경제·산업적 측면	3
3. 사회·문화적 측면	4
제 2 절 연구개발의 내용 및 범위	5
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	7
제 1 절 국내·외 기술개발 현황 및 전망	7
1. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	7
2. 앞으로의 전망	9
3. 기술도입의 타당성	9
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	10
제 1 절 연구개발 접근 방법	10
1. 연구개발 방법 및 설계	10
2. 연구개발 추진체계	11
제 2 절 연구개발 내용	11
1. 라미나의 평가 및 제조기술개발	11
2. 문틀용 집성재 제조기술 개발	11
3. 집성재 문틀제작 및 평가	11
4. 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가	11
5. 문틀용 집성재 개발을 위한 기계적 성능평가	15
6. 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가	15
제 3 절 연구개발 결과	15
I. 라미나의 평가 및 제조기술 개발	15
1. 음향적 기계적 방법에 의한 라미나의 평가방법 탐색	15
2. 최적의 핑거접합 조건 탐색	36
3. 라미나의 건조 방법과 청변재의 강도성능	40
결 론	47
II. 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가	47
1. 수종별 라미나의 기계 가공성 평가	47
결 론	64
III. 문틀용 집성재 제조기술 개발	65
1. 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 조건 탐색	65
2. 라미나 접합부의 거리 및 위치에 대한 조건탐색	76
3. 집성재 제조시 최적의 접착조작 조건 도출	87
결 론	96
IV. 문틀용 집성재개발을 위한 기계적 성능평가	98
1. 접착제의 종류가 집성재의 강도성능에 미치는 영향	98
2. 정적 강도성능시험에 의한 평가	105

3. 온습도 일정조건하에서 크리프시험방법에 의한 특성평가	111
결 론	125
V. 집성재 문틀 제작 및 평가	127
1. 집성재 문틀형상, 색상 및 문양에 대한 선호도 평가	127
2. 집성재 문틀의 제조경비 및 경제성평가	150
3. 집성재 문틀 시작용품 제작	154
VI. 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가	158
1. 온습도변화조건하에서점탄성적방법에의한 성능평가	158
2. 환경변화에 따른 치수안정성 및 변형이나 결함발생평가	203
3. 도장처리가 치수안정성에 미치는 영향평가	214
결 론	230
제 4 장 참고문헌	232

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

전세계의 산림은 원목보유국들의 무분별한 벌채에 의한 우량 원목축적량의 현저한 감소 등에 따라 세계적인 환경보호운동과 원목 생산국은 자국 자원 보호정책 등으로 원목벌채량이 감소함과 동시에 원목가격인상으로 대경우량원목의 확보가 점점 어려워지고 있다. 이러한 원목품귀현상은 시간의 경과에 따라 더 심화될 것이고, 목재자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리 나라의 목재산업에 막대한 지장을 초래할 것이 예상된다. 특히, 그 원료의 대부분을 열대우량재나 북미재를 사용해 제조되고 있는 문틀산업의 경우 그 경제적 피해는 대단할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 목재 자원의 경제적이고 효율적인 확보를 위해 저급, 저가의 소경목 및 결함재등을 용이 및 부후등의 결함을 제거하고 섬유방향을 서로 평행하게 길이, 폭 및 나비방향으로 집성접착한 집성재를 접합강도 유효율이 높고, 가공성이 뛰어난 핑거접합법을 이용하여 제조하여 경제적이고 효율적인 목질자원의 확보와 특히, 장기하중하의 목재의 역학적 거동을 밝혀, 저급, 저가의 소경목 및 결함재를 이용해 제조한 집성재를 문틀 원재료로서의 사용을 모색 검토하기 위해 정적 휨 시험, 휨 크리프시험 및 좌굴시험 등을 실시하여 핑거공차, 핑거피치, 핑거간 거리 및 접합접착제의 종류가 상기의 제 강도성능에 미치는 영향을 명확히 밝히는 것을 목적으로 하였다.

1. 기술적 측면

가. 집성재 제조로 재료이용의 극대화

집성재란 판재 또는 소각재의 섬유방향을 서로 평행하게 접착하여 길이, 폭, 나비 방향으로 집성접착하여 원하는 치수의 재료로 제조한 것을 말하는데, 목재의 섬유방향에 대하여 뛰어난 물리적 성질을 잘 살리면서도 저급원료를 아주 잘 이용하여 고품질의 재료로 만든 목질 재료이다.

나. 고급 목재자원의 수입한계 도달

목재자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 세계적인 환경보호운동과 원목 생산국의 자국 자원 보호정책으로 목재재료의 확보가 어렵게 되고 가격이 상승하게 되면 이러한 현상은 앞으로 더욱 심화될 것으로 판단된다.

다. 저급재 및 국산재의 효율적 이용측면

가공이나 강도적 측면에서 저급재로 취급되는 옹이 등의 결함을 포함한 목재와 단척재는 우량재에 비하여 가격이 훨씬 저렴하고, 또한 결함 부위를 제거하여 접합가공하여 집성재로 제조하면 원하는 치수의 재료로 제조하여 사용할 수 있다. 또한 국내산 소경재 등도 이용이 가능하다.

라. 접합가공으로 휨이나 틀어짐 등의 결함예방

목재의 결함을 제거하기 위하여 목재를 절단하면 변형이 일어날 부분은 변형된 후 다시 접합가공하면 휘거나 틀어지는 결함을 예방할 수 있다.

마. 문틀제조용 집성재 라미나 제조

라미나의 종접합법으로 이용되고 있는 벗, 스카프, 핑거 등의 접합법중에서 접합강도 유효율이 높고 가공성과 효율이 높아 많이 사용하고 있는 핑거접합법을 사용할 수 있지만 라미나의 핑거접합을 위해서는 핑거의 형상과 크기, 접착제, 압제압력 등에 대한 체계적인 연구를 하여 최적의 조건 도출이 필요하다.

바. 문틀용 집성재 개발

종접합된 라미나를 이용하여 문틀용 집성재 제조시 핑거접합부 상호간의 거리 및 위치와 접착제 종류에 대하여 검토하여 문틀용 집성재 제조를 위한 최적의 조건을 도출하고자 한다.

사. 집성재를 이용하여 문틀 제조

문틀의 제조에 수입산 저급재나 국산 소겨재를 이용하여 집성제조한 집성재를 이용함으로써 원가 절감 및 국산재 이용에 기여하고 틀어짐이나 굽음 등의 결함을 예방할 수 있다.

아. 집성재 문틀은 영구 보수가능

문틀재료로 시멘트복합재료나 플라스틱 성형물을 사용했을 경우는 문의 기능상의 문제가 발생하면 보수가 매우 어렵지만 저가의 집성재를 사용했을 경우, 용이하게 보수문제를 해결할 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

가. 목질재료의 고부가가치화

원재료로서는 경제적 가치가 매우 낮은 저가의 수입 옹이재, 단척재나 국내산 소경재를 이용하여 핑거접합을 활용하여 집성재를 제조한 후, 문틀 제조에 이용함으로써 고부가가치의 재료로 사용할 수 있다. 즉 유절재 및 단척재료의 가격

은 무절재 가격의 약 1/3, 장척 가격의 1/2에 해당하므로 이를 이용하여 집성재로 제조한 후 문틀용 재료로 이용함으로써 재료의 고부가가치화가 가능하다. 단, 절단, 핑거가공, 접착 등 가공공정에 추가비용은 들어도 전체 제조단가 면에서는 훨씬 적은 비용이 든다.

나. 주택건설비용 감소

오늘날 주택 및 기타공공시설에 사용되는 문틀 재료인 목재가 타 재료로 대체되는 가장 큰 이유는 재료의 가격면에서 다른 재료에 비해 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 따라서 저가의 목재집성재로 주택용 문틀을 제조하여 이용함으로써 주택건설에 필요한 경비를 절감할 수 있다.

다. 농가소득증대

국내산 소경재 및 기타재료를 이용하여 고가의 집성재 제조가 가능하게 되면 경제적 가치가 떨어지는 국내산 목재중에서 소경재, 간벌재, 용이재, 만곡재, 단척재 등을 많이 사용할 수 있기 때문에 농가 소득을 증대시킬 수 있다.

라. 집성재 문틀 제조산업의 탄생

새로운 목재가공분야의 개척으로 산업인력의 고용창출이 확대되어 목재산업의 활성화가 일어날 것이다.

3. 사회·문화적 측면

가. 인간의 정서적 생활향상

우리 나라에서 사용되고 있는 대부분의 목재는 수입에 의존하고 있기 때문에 그 재료의 구입이 어렵고 고가이다. 그리고 일부 아파트 및 공공시설의 문틀재료로서 시멘트복합재료나 플라스틱 성형물을 문틀 재료로 사용하고 있다. 이는 위생적으로나 정서적으로 매우 좋지 못하다. 이에 비하여 본 연구에서 목표로 하는 집성재 문틀은 목재의 결함도 방지하면서 또한, 저가이고 내구성이 뛰어나다. 목재 고유의 특성인 시각적, 정서적, 건강적인 측면에서 많은 효과를 거둘 수 있다. 또한 문틀의 보수도 쉬운 장점을 지니고 있다.

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
▲ 라미나의 평가 및 제조기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 음향적, 기계적방법에 의한 라미나 평가방법 탐색 • 라미나 접합부의 형상과 크기가 접합성능에 미치는 영향 구명 • 라미나 건조방법이 접합성능에 미치는 영향평가
▲ 문틀용 집성재 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 조건탐색 • 라미나 접합부의 거리 및 위치에 대한 조건탐색 • 집성재 제조시 최적의 접착조작 조건도출
▲ 집성재 문틀제작 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 집성재 문틀형상의 선호도 평가 • 집성재 문틀색상과 문양에 대한 선호도 평가 • 집성재 문틀의 제조경비 및 경제성 평가
▲ 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> • 수종별 라미나의 기계 가공성 평가 • 수종별 라미나의 추출물, 미세구조가 가공성에 미치는 영향 평가 • 정적 강도성능시험법에 의한 특성평가
▲ 문틀용 집성재 개발을 위한 기계적 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> • 접착제종류가 집성재 강도성능에 미치는 영향 • 정적 강도성능시험에 의한 평가 • 온습도 변화조건하에서 크리프시험방법에 의한 특성평가
▲ 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> • 온습도 변화조건하에서 점탄성적 방법에 의한 성능평가 • 환경변화에 따른 치수안정성 및 변형이나 결함 발생 평가 • 도장처리가 치수안정 및 결함발생억제에 미치는 영향평가

가. 국산 소경재나 저급재를 효율적으로 이용

국산 소경재나 옹이 등의 결함 부위를 포함한 수입 저급재 등을 효율적으로 이용할 수 있는 방법에 대하여 연구 및 검토를 하고자 한다.

나. 라미나의 핑거접합을 위한 최적의 조건도출

단척이나 저급의 재료를 이용하여 원하는 치수의 재료로 제조하기 위한 방법으로 집성재를 구성할 라미나를 중접합시켜야 하는데 이 접합법으로 핑거접합법을 시행하기 위한 핑거의 형상 및 크기와 접착제 등의 영향에 대하여 상세히 검토하여 최적의 조건을 도출한다.

다. 문틀용 집성재의 제조를 위한 최적의 조건도출

중접합된 라미나를 이용하여 문틀용 집성재 제조시 핑거접합부 상호간의 거리 및 위치와 접착제 종류에 대하여 검토하여 문틀용 집성재 제조를 위한 최적

의 조건을 도출하여야 한다.

라. 문틀사용에 필요한 강도성능평가

문틀용 집성재는 사용시 여러 가지의 하중을 복잡하게 받게 됨으로 이러한 조건에서의 사용을 위하여 미리 집성재의 강도성능을 평가하여 사용해보아야 한다.

마. 문틀사용에 필요한 환경조건에서 강도성능평가

문틀은 습도나 온도의 변화가 큰 조건에서도 사용하여야 하기 때문에 온·습도가 변화하는 조건에서도 집성재의 강도성능을 평가하여야 하는데 이러한 환경변화 평가법으로 널리 이용하고 있는 크리프 강도성능평가를 실시하고자 한다.

바. 집성재 문틀제조법 개발 및 평가

상기의 여러 가지 조건에서 제반 강도성능의 검정이 완료된 집성재를 이용하여 실제 문틀을 제조하여 틀어짐이나 기타 결함의 발생여부 등을 재차 평가 확인하여 검정하고자 한다. 또한 경제성 평가를 위한 제조경비도 분석하고자 한다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 기술개발 현황 및 전망

1. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

가. 현재 제조되고 있는 문틀은 고가의 수입재에 의존

현재 국내에서 제조, 사용되고 있는 문틀의 재료는 대부분이 나왕, 스프루스 등의 수종이 주류를 이루고 있으며 최근 목재가격의 상승으로 제조비용이 증가하게 되어 일부 아파트나 주택에서 가격면에서 유리한 시멘트복합재료나 플라스틱성형물을 사용하는 경우가 나타나게 되었다. 그러나 이러한 재료의 문틀은 인간의 위생적, 정서적인 면에서 좋지 못하다. 그래서 목재 문틀의 제조원가를 줄일 필요가 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유절재나 단척재 등은 무절재에 비하여 매우 저가이므로 이러한 재료를 접합시켜 원하는 치수의 집성재로 제조하여 문틀재료로 사용할 필요가 대두되었다. 이러한 문제를 해결

하기 위해서는 유절재나 단척재 등은 무절재에 비하여 매우 저가이므로 이러한 재료를 접합시켜 원하는 치수의 집성재로 제조하여 문틀재료로 사용할 필요가 나타났다.

나. 문틀용 집성재 제조를 위해서는 핑거접합이 적합

저급재를 이용하여 원하는 치수와 형상의 재료인 집성재를 제조하기 위해서는 각 구성요소를 접합시켜야 하는데 집성재용 재료의 종접합방법으로는 벗조인트(butt joint), 스카프조인트(scarf joint), 핑거조인트(finger joint), 베벨조인트(beveled joint), 랩조인트(lap joint) 등이 연구(大熊幹章, 1989)되어 사용되고 있다. 이 접합중에서 핑거접합법은 작업성이 좋고 수율이 높기 때문에 가구, 건구재 등의 집성재 라미나의 종접합법으로서 널리 연구(森 稔, 1963; 星 通, 1976, 1989 등 다수)되어 사용되고 있기 때문에 적당할 것으로 판단되지만 실제로 문틀용 집성재 제작에 적용한 예는 없었다.

다. 일부의 핑거형상에 대한 연구만 진행

일본의 수입규격(JETRO, 1992)은 핑거길이만으로 강도성능평가의 주요한 기준으로 설정하고 있으나 실제로 핑거접합의 강도성능을 좌우하는 요소는 핑거길이, 피치, 공차, 압체압력 등 여러 가지 요소가 복합적으로 관여하게 된다. 星通(1976)는 핑거조인트의 선단두께와 골폭과의 차는 압체압력과 관계한다. 일반적으로 0.1~0.3mm의 범위를 선택하지만 편백의 경우 0.27mm 가 최적의 조건으로 보고하였지만 그후 핑거형상에 대한 연구가 별로 이루어지지 않았지만 川原(1991)나 변(1997) 등은 경사핑거접합법을 사용함으로써 강도성능을 향상시켰다.

라. 일부의 핑거공차 대한 연구만 진행

변(2001)은 핑거접합법에서 휨 강도성능에 대한 몇 가지 수종의 최적 핑거공차 값을 밝혔으나, 인장이나 좌굴 등과 같은 강도성능까지는 연구하지 못했다. 또한 핑거경사각을 변화시켜 최적의 강도성능 및 작업경비절감 등을 가능하게 할 수 있는데 이에 대한 연구도 진행되어 있지 않다.

마. 라미나 접합을 위한 최적의 핑거 형상과 크기의 도출이 필요

라미나를 접합하기 위해서는 핑거의 길이, 경사각, 공차(핑거 선단과 골의 두께차) 압체 압력 등의 여러 가지 요인이 복합적으로 영향을 미치지만 이것들에 대해서 체계적인 연구가 이루어져 있지 않아 이들에 대한 연구가 필요하다.

바. 문틀용 집성재의 제조 조건 도출

종접합된 라미나를 이용하여 문틀용 집성재 제조시 핑거접합부 상호간의 거리 및 위치와 접착제 종류에 대한 조건을 검토하여 문틀용 집성재 제조를 위한 최적의 조건 도출이 필요하다.

사. 저가의 목재문틀이 필요

현재 국내에서 시공되고 있는 문틀의 대부분은 고가의 목재재료 문틀이거나

저가의 시멘트복합재료 혹은 플라스틱성형물을 사용하고 있다. 목재 문틀은 고가이고 시멘트나 플라스틱재료는 인간의 위생적, 정서적인 면에서 좋지 못하기 때문에 저가의 목질재료 문틀개발이 요구된다.

2. 앞으로의 전망

가. 문틀제조 비용절감

국내산 소경재나 옹이를 포함한 값싼 유절재나 단척재를 이용하여 집성가공한 집성재로 문틀제조가 가능하게 되어 문틀제조비용을 절감 할 수 있게 될 것이다.

나. 목재 문틀 이용증대

현재 일부 플라스틱이나 시멘트복합화와 같은 재료도 문틀제조에 이용하고 있지만 그러한 재료의 이용이 감소하고 목재재료의 문틀이용이 더욱 증대할 것이다.

다. 농가소득증대

밤나무재의 이용이 가능해져 많은 밤나무가 수령 30년생 정도로 수목 갱신기에 남부 지방의 밤나무재 이용이 가능하게 되어 밤 재배농가의 밤 수익 이외의 밤나무에서 수익을 올릴 수 있고 국산 소나무 소경재도 고급의 재료로 이용할 수 있기 때문에 농가소득의 증대를 가져올 것이다.

라. 집성재 문틀 제조산업 활성화

집성재 문틀 제조를 위한 새로운 목재가공분야의 탄생으로 목재관련 산업인력의 고용창출이 확대되고 목재산업이 활성화 될 것이다.

3. 기술도입의 타당성

본 연구에서 실시하고자 하는 문틀용 집성재 제조 및 강도성능평가에 대해서는 본 연구진이 많은 연구결과와 식견을 가지고 있으며, 문틀제조에 관련해서도 실제 제조에 오랜 경험과 knowhow를 겸비한 현장의 연구원이 참여하고 있기 때문에 충분히 본 연구를 수행할 수 있을 것으로 판단되기 때문에 비싼 로열티를 주고 해외에서 기술을 도입할 필요가 없을 것으로 판단됨.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 접근 방법

1. 연구개발 방법 및 설계

- 협동 연구자와 긴밀히 협조하면서 상호 정보교류와 개발과정에서 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하면서 연구를 추진한다.
- 본 연구와 관련된 선진국의 기술을 참고하여 연구가 활발히 진행될 수 있도록 한다.
- 본 기술개발과 관련된 집성재 및 상호 제조업체를 방문하여 기술개발후의 적용성 등을 검토하면서 추진한다.
- 기술상의 문제점에 대해서는 국내전문가와 협의하고 산업화를 목표로 생산성 및 실제 이용을 최대한으로 높이고자 한다.

가. 제 1 세부과제

문틀용 집성재 및 집성재 문틀제조기술 개발

- 종접합을 위한 라미나의 등급평가
- 라미나의 종접합을 위한 형상과 크기가 강도성능에 미치는 영향 구명
- 집성재 제조를 위한 접합 라미나의 배치 및 위치가 강도 성능에 미치는 영향
- 집성재 제조를 위한 최적의 접착조건
- 집성재 문틀의 소비자 선호도 및 경제성 평가

나. 제 2 협동과제

집성재 및 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가

- 수종별 라미나의 기계가공성 및 강도성능평가
- 문틀 제조용 집성재의 강도성능평가
- 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가
- 집성재 문틀의 도장처리가 치수안정 및 결함발생에 미치는 영향평가

2. 연구개발 추진체계

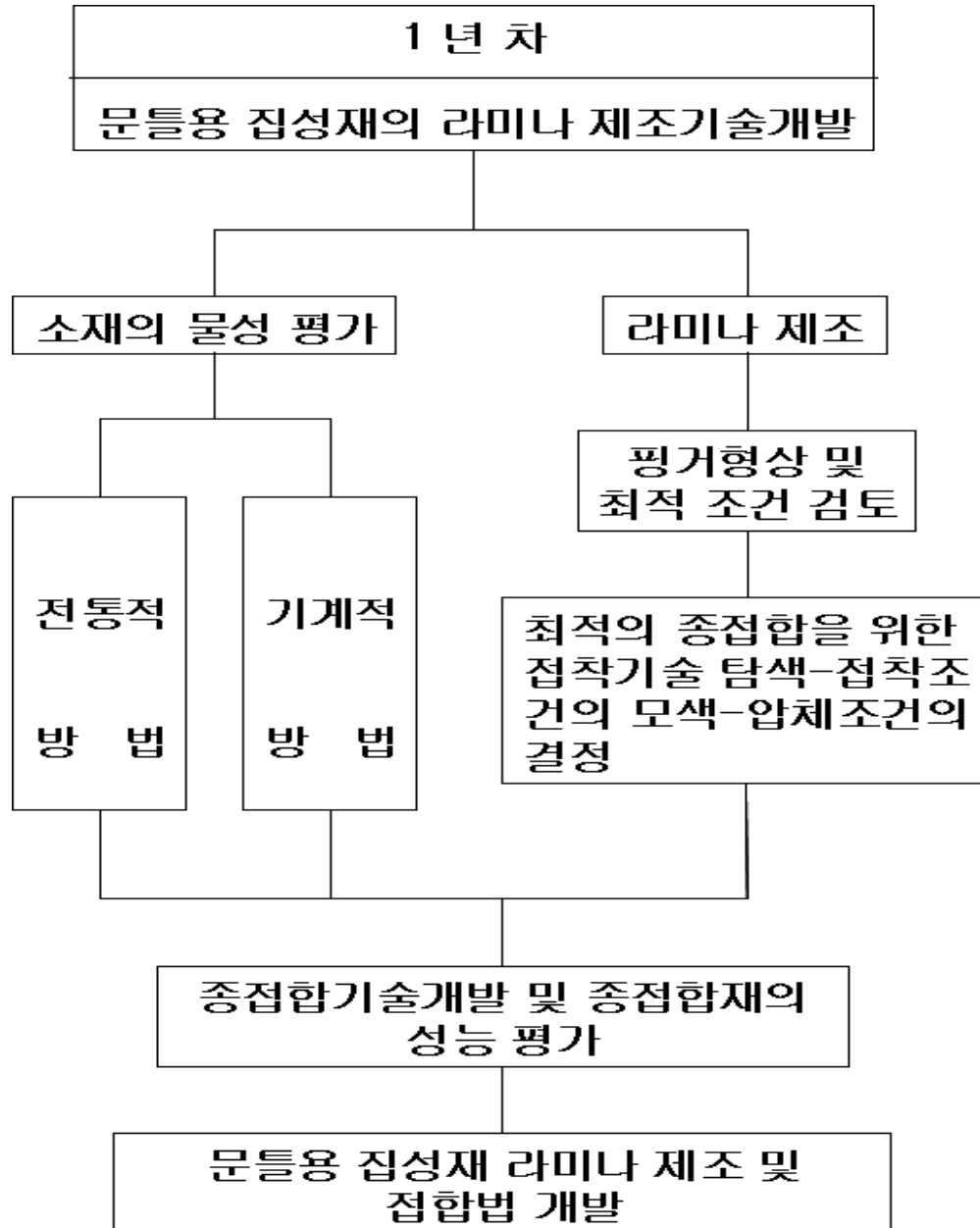
제 2 절 연구개발 내용

1. 세부1과제 : 라미나의 평가 및 제조기술개발

- 음향적, 기계적방법에 의한 라미나 평가방법 탐색
- 라미나 접합부의 형상과 크기가 접합성능에 미치는 영향 구명
- 라미나 건조방법이 접합성능에 미치는 영향평가

2. 세부2과제 : 문틀용 집성재 제조기술 개발

- 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 조건탐색
- 라미나 접합부의 거리 및 위치에 대한 조건탐색
- 집성재 제조시 최적의 접착조작 조건도출



3. 세부3과제 : 집성재 문틀제작 및 평가

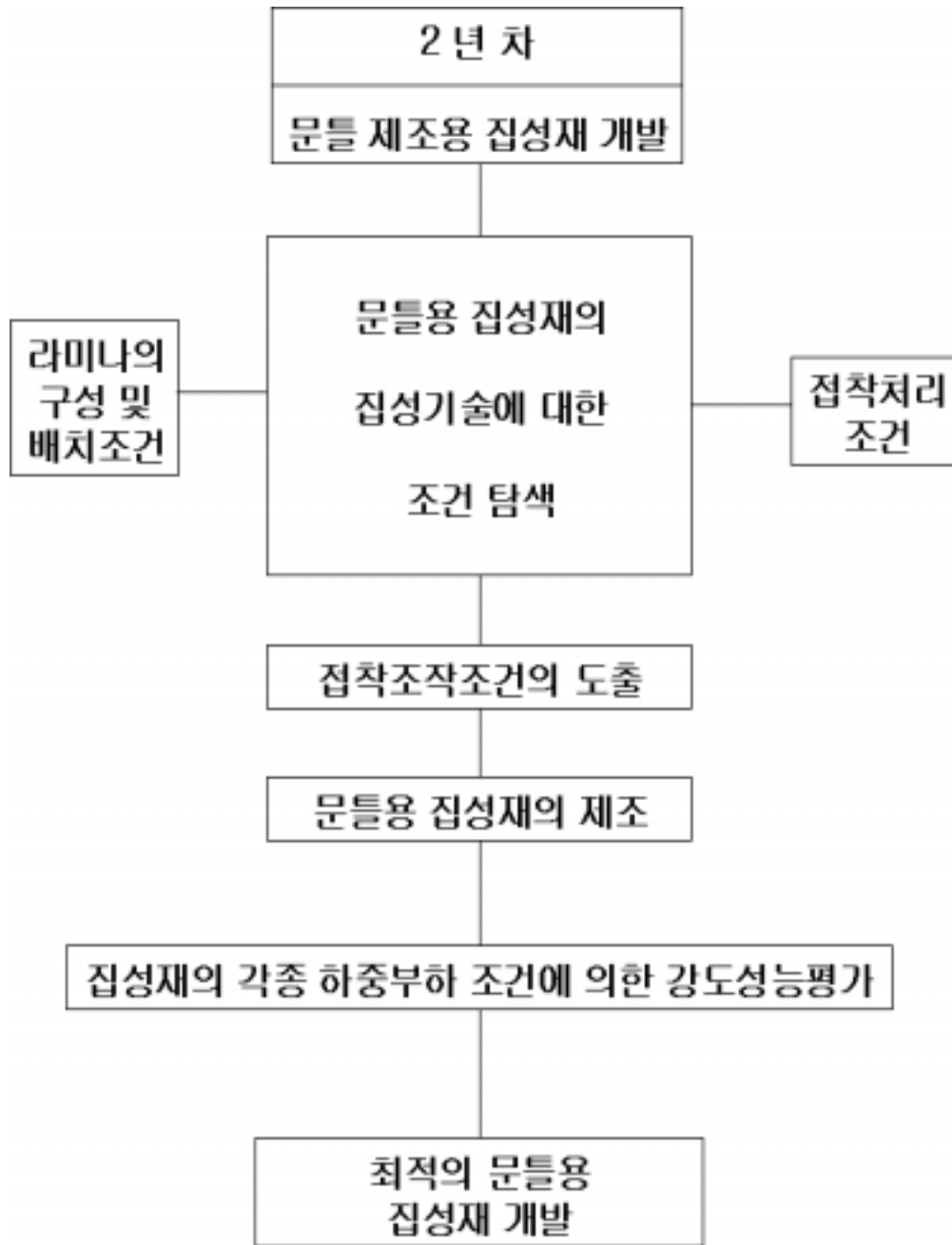
- 집성재 문틀형상의 선호도 평가
- 집성재 문틀색상과 문양에 대한 선호도 평가
- 수분변화조건하의 집성재의 크리프 거동 평가
- 집성재 문틀의 제조경비 및 경제성평가

4. 협동1과제 : 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가

- 수종별 라미나의 기계 가공성 평가
- 수종별 라미나의 추출물, 미세구조가 가공성에 미치는 영향 평가
- 정적 강도성능시험법에 의한 특성평가

5. 협동2과제 : 문틀용 집성재 개발을 위한 기계적 성능평가

- 접착제종류가 집성재 강도성능에 미치는 영향



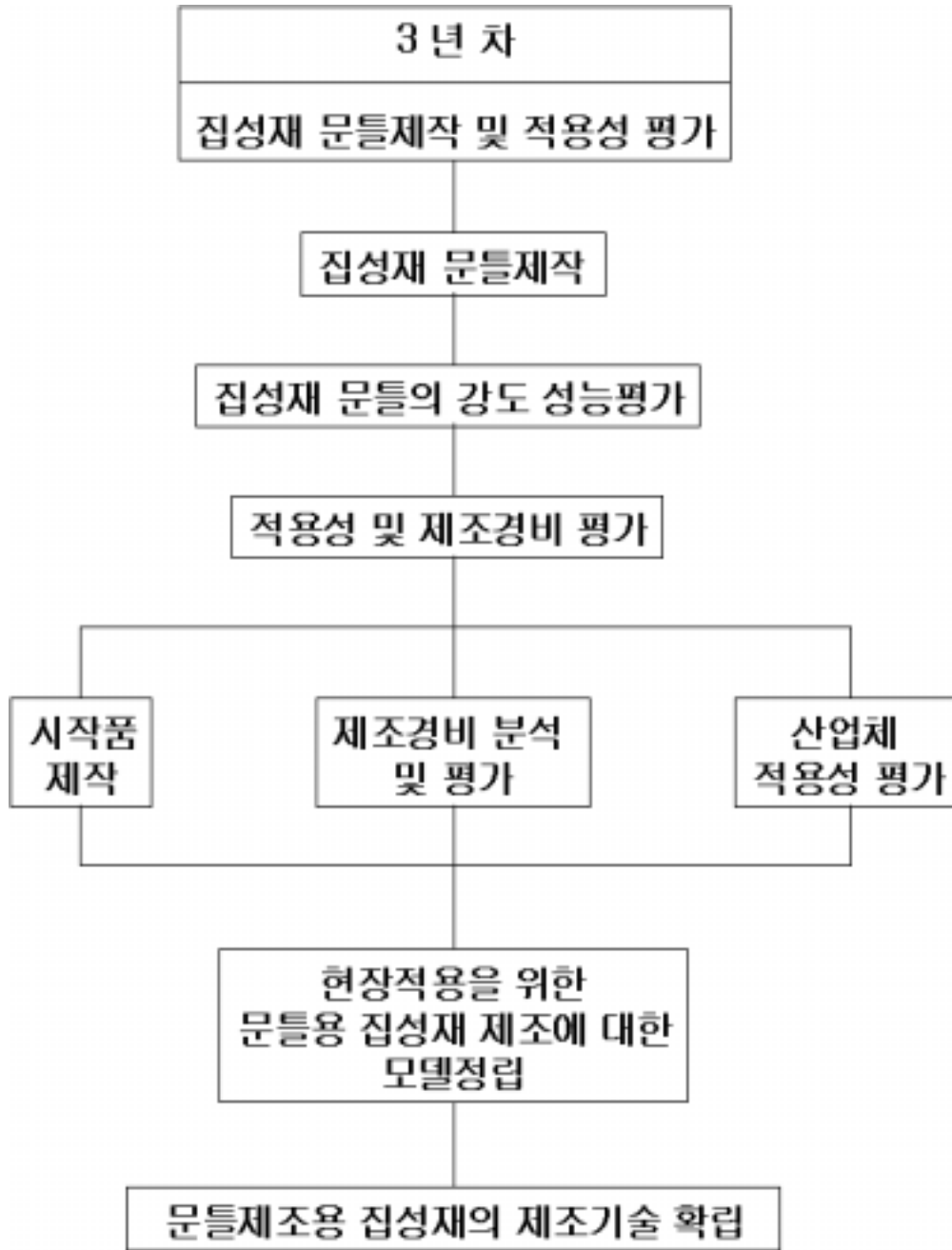
- 정적 강도성능시험에 의한 평가
- 온습도 변화조건하에서 크리프시험방법에 의한 특성평가

6. 협동3과제 : 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가

- 온습도 변화조건하에서 점탄성적 방법에 의한 성능평가
- 환경변화에 따른 치수안정성 및 변형이나 결함 발생 평가
- 도장처리가 치수안정 및 결함발생억제에 미치는 영향평가

제 3 절 연구개발 결과

I. 라미나의 평가 및 제조기술 개발



1. 음향적 기계적 방법에 의한 라미나의 평가방법 탐색

1.1 재료 및 방법

1.1.1 휨 시험재의 정적과 동적 탄성계수 측정

가. 정적 탄성계수 측정장치-만능강도시험기(Shimadzu, AGS-10KNG)

-스팬: 250mm, 하중속도: 분당 7 mm/min

나. 동적 탄성계수 측정장치

1) 진동법(해머탭핑)에 의한 소재와 핑거접합재의 성능평가법 개발

그림 1-1은 임팩트해머의 타격에 의한 소재 시험편의 횡(휨)진동과 종진동의 모식도를 나타낸다. 단, 휨진동의 경우 방사면과 접선면의 두 방향을 타격해서

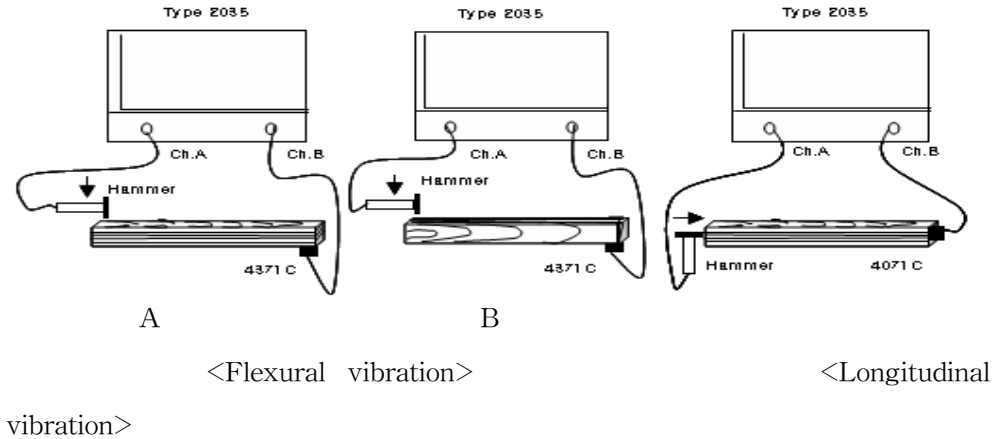


Fig. 1-1. Schematic diagram of the flexural vibration methods of radial and tangential planes and longitudinal vibration method by tapping of impact hammer.

공진주파수를 구하였고, 방향에 따른 동적탄성계수값을 비교하였다.

진동법(해머탭핑)에 의한 소재의 평가는 B&K사의 충격해머(Impact Hammer, Transducer Type 8203)로 시험편의 방사면, 접선면 및 횡단면에 타격을 가하고 타격반대편에 실리콘그리스를 이용하여 접촉시킨 Accelerometer (Type 4372V)와 Signal Analyzer Unit (Type 2035)를 이용하여 측정하였으며 Signal Analyzer Unit 에서 자동으로 평균된 값을 Frequency Domain System에서 공진주파수를 구하고 Time Domain System에서 신호전달 속도를 구하였다.

그림 1-2는 임팩트해머에 의한 핑거접합재의 휨(휨)진동 및 종진동의 모식도를 나타낸다. 휨진동은 핑거접합재의 핑거접합방향(수직 및 수평)을 구분하여 동적탄성계수를 구하였다.

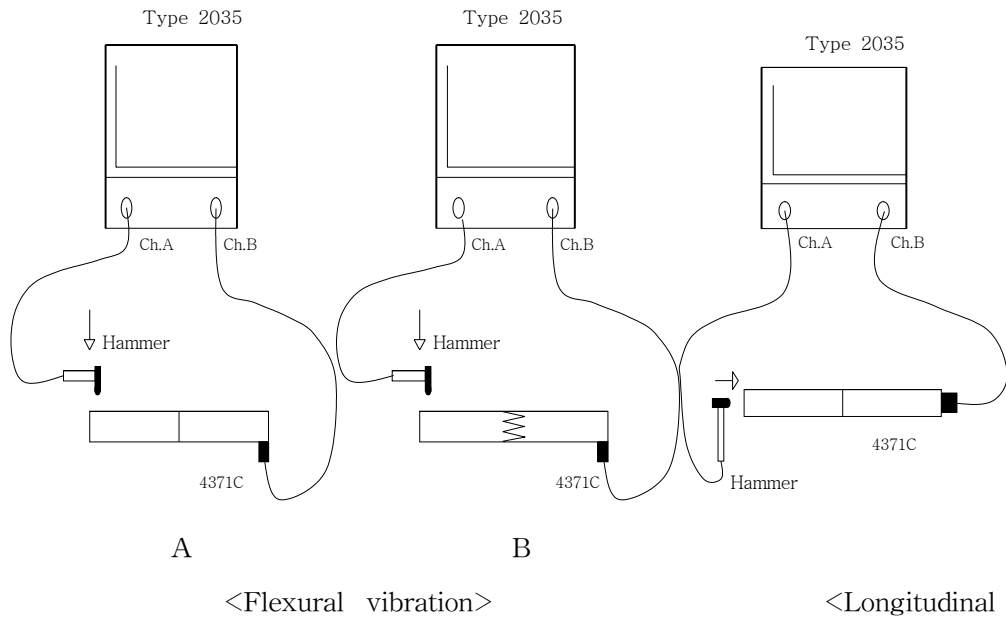


Fig. 1-2. Schematic diagram of the flexural vibration and longitudinal vibration methods of vertical fingerjoint and horizontal fingerjoint by tappy of impact hammer.

1.2 결과

1.2.1 진동법(해머탭핑)에 의한 소재의 강도성능평가

표 1-1은 소나무재와 스프루스재의 진동법에 의한 밀도 및 정적 MOE(MOE_s)와 동적MOE(MOE_{hRf}, MOE_{hTf}, MOE_{hRV}, MOE_{hTV}, MOE_{hLf}, MOE_{hLv})와의 회귀분석결과를 나타내었다.

Table 1-1. Summary of regression parameters for regression of density on MOEs and dynamic MOE(MOE_{hRf}, MOE_{hTf}, MOE_{hRV}, MOE_{hTV}, MOE_{hLf}, MOE_{hLv}) for spruce solid wood and pine solid wood by impact hammer.

Species	Regression model	Coefficient of determination(R^2)	Correlation coefficient(r)	
spruce	Density vs. MOE_s	$y=102247x+26859$	0.25	0.5
	MOE_s vs. MOE_{hRf}	$y=0.9897x+18991$	0.29	0.54
	MOE_s vs. MOE_{hTf}	$y=0.8912x+23397$	0.21	0.46
	MOE_s vs. MOE_{hRv}	$y=0.046x+971.92$	0.07	0.27
	MOE_s vs. MOE_{hTv}	$y=0.064x-530.68$	0.17	0.41
	MOE_s vs. MOE_{hLf}	$y=0.037x+7152.5$	0.01	0.07
	MOE_s vs. MOE_{hLv}	$y=0.1104x+87707$	0.00	0.02
	Density vs. MOE_{hRf}	$y=163367x+19073$	0.19	0.44
	Density vs. MOE_{hTf}	$y=146327x+23806$	0.14	0.88
	Density vs. MOE_{hRv}	$y=11818x-827.73$	0.17	0.58
	Density vs. MOE_{hTv}	$y=8542.9x+339.67$	0.07	0.27
	Density vs. MOE_{hLf}	$y=26414x-1498.1$	0.06	0.25
	Density vs. MOE_{hLv}	$y=61600x+21358$	0.05	0.22

Notes: MOE_{hRf} : Dynamic MOE calculated from resonance frequency induced by tapping of impact hammer for radial plane,

MOE_{hTf} : Dynamic MOE calculated from resonance frequency induced by tapping of impact hammer for tangential plane,

MOE_{hRv} : Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity by tapping of impact hammer for radial plane,

MOE_{hTv} : Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity by tapping of impact hammer for tangential plane,

MOE_{hLf} : Dynamic MOE calculated from resonance frequency induced by tapping with impact hammer,

MOE_{hLv} : Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity induced by tapping with impact hammer.

가. 종진동에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와의 관계

	Density vs. MOE_s	$y=97329x+25161$	0.16	0.39
	MOE_s vs. MOE_{hrf}	$y=1.2928x-204.87$	0.46	0.68
	MOE_s vs. MOE_{hTr}	$y=1.3909x-8769$	0.40	0.63
	MOE_s vs. MOE_{hRv}	$y=0.0694x+171.74$	0.26	0.51
	MOE_s vs. MOE_{hTv}	$y=0.0439x+2368$	0.10	0.32
	MOE_s vs. MOE_{hLf}	$y=-0.0696x+15027$	0.03	0.17
pine	MOE_s vs. MOE_{hLv}	$y=1.2213x+5907.9$	0.11	0.33
	Density vs. MOE_{hrf}	$y=255244x-37506$	0.29	0.54
	Density vs. MOE_{hTr}	$y=332332x-80049$	0.38	0.61
	Density vs. MOE_{hRv}	$y=10740x-234.57$	0.10	0.32
	Density vs. MOE_{hTv}	$y=12574x-1003.6$	0.14	0.37
	Density vs. MOE_{hLf}	$y=2702.9x+8162.3$	0.00	0.03
	Density vs. MOE_{hLv}	$y=209429x-45265$	0.11	0.33

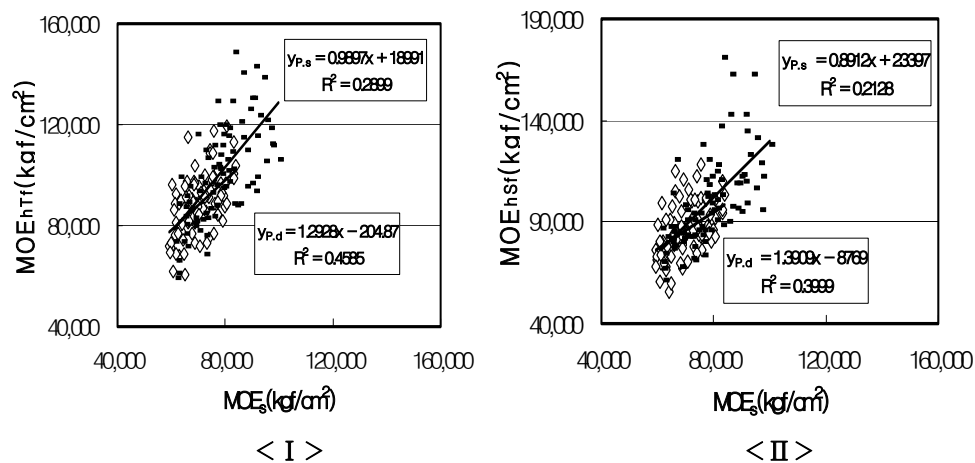


Fig. 1-3. The relationship between MOE_s and MOE_{hrf} (I) and MOE_{hTr} (II) for solid wood of spruce and pine.

Notes; $y_{p,s}$: Regression model of spruce, $y_{p,d}$: Regression model of pine.

방사면 및 접선면의 충격햄머법에 의한 동적 탄성계수와 휨탄성계수간에는 1%수준에서 유의성이 인정되며 매우 높은 상관관계가 나타났다. 그 상관계수는

소나무재가 스프루스재보다 높게 나타났다.

임팩트헤머에 의해 발생된 응력파를 이용하여 FFT(Fast Fourier transform)로 분석된 공진주파수를 이용한 방법도 목재의 특성평가법으로 이용 가능하다.

나. 종진동에 의한 응력파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와 의 관계

소나무와 스프루스재의 수종에 관계없이 방사면의 응력파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수는 1%수준에서, 접선면의 응력파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수는 5%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

다. 종진동에 의한 공진주파수로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와 의 관계

소나무와 스프루스재 두 수종의 종진동에 의한 공진주파수로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수 사이에는 5%수준에서도 유의성이 인정되지 않았다.

라. 종진동에 의한 음파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와 의 관계

소나무와 스프루스재 두 수종 모두 음파전달속도로부터 구한 공진주파수에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와 의 사이에는 공진주파수로부터 구한 양자간의 관계와 마찬가지로 유의성이 인정되지 않았다.

본 연구에서는 기존의 연구와 달리 종진동에 의한 공진주파수나 전달속도를 이용하는 비파괴적인 방법으로는 강도성능예측이나 등급구분은 불가능하였다.

1.2.2 진동법에 의한 핑거접합재의 강도성능평가

표 1-2는 소나무와 스프루스 핑거접합재의 밀도 및 정적MOE(MOE_s)와 동적 MOE(MOE_{hVf}, MOE_{hHf}, MOE_{hVv}, MOE_{hHv}, MOE_{hLf}, MOE_{hLv})간의 회귀분석결과를 나타내었다.

Table 1-2. Summary of regression parameters for regression of density on MOE_s and dynamic MOE (MOE_{hVf} , MOE_{hHf} , MOE_{hVv} , MOE_{hHv} , MOE_{hLf} , MOE_{hLv}) for spruce and pine finger-jointed woods by impact hammer.

Species	Regression model	Coefficient of determination(R^2)	Correlation coefficient(r)	
	MOE_s vs. MOE_{hVf}	$y=0.9328x+6046.9$	0.54	0.74
	MOE_s vs. MOE_{hHf}	$y=0.8609x+13156$	0.51	0.71
	MOE_s vs. MOE_{hVv}	$y=0.2942x+1246.1$	0.05	0.23
	MOE_s vs. MOE_{hHv}	$y=0.1512x+14506$	0.02	0.13
	MOE_s vs. MOE_{hLf}	$y=0.0536x+16785$	0.15	0.40
	MOE_s vs. MOE_{hLv}	$y=1.007x+20672$	0.03	0.18
	MOR vs. MOE_{hVf}	$y=0.0031x+317.41$	0.29	0.53
	MOR vs. MOE_{hHf}	$y=0.0029x+328.54$	0.23	0.48
	MOR vs. MOE_{hVv}	$y=0.0003x+561.04$	0.00	0.02
	MOR vs. MOE_{hHv}	$y=-0.0001x+571.4$	0.00	0.02
spruce	MOR vs. MOE_{hLf}	$y=-0.0025x+621.18$	0.02	0.15
	MOR vs. MOE_{hLv}	$y=0.0002+549.78$	0.02	0.14
	MOE_{hVf} vs. Density	$y=215149x-11911$	0.40	0.63
	MOE_{hHf} vs. Density	$y=171677x+8042.9$	0.28	0.53
	MOE_{hVf} vs. Density	$y=23347x+14551$	0.00	0.07
	MOE_{hHv} vs. Density	$y=-62673x+53171$	0.04	0.19
	MOE_{hLf} vs. Density	$y=18971x+12939$	0.03	0.16
	MOE_{hLv} vs. Density	$y=280906x-19448$	0.03	0.18
	Density vs. MOE_s	$y=107313x+33313$	0.16	0.40
	Density vs. MOR	$y=951.47x+162.39$	0.23	0.48
	MOR vs. MOE_s	$y=0.0048x+182.55$	0.36	0.60

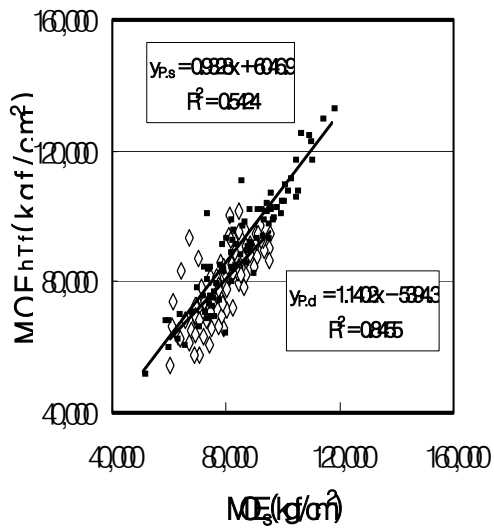
	MOE _s vs. MOE _{hVf}	$y=1.1402x-5394.3$	0.85	0.92
	MOE _s vs. MOE _{hHf}	$y=1.1476x-6527$	0.82	0.90
	MOE _s vs. MOE _{hVv}	$y=0.3051x-922.11$	0.22	0.47
	MOE _s vs. MOE _{hHv}	$y=0.3117x-1362.6$	0.23	0.48
	MOE _s vs. MOE _{hLf}	$y=0.0536x+16785$	0.15	0.40
	MOE _s vs. MOE _{hLv}	$y=0.3456x+71424$	0.02	0.15
	MOR vs. MOE _{hVf}	$y=0.004x+276.67$	0.47	0.69
	MOR vs. MOE _{hHf}	$y=0.0039x+281.25$	0.48	0.70
	MOR vs. MOE _{hVv}	$y=0.0022x+580.72$	0.04	0.20
	MOR vs. MOE _{hHv}	$y=0.0038x+541.94$	0.12	0.34
pine	MOR vs. MOE _{hLf}	$y=-0.0028x+700.09$	0.03	0.17
	MOR vs. MOE _{hLv}	$y=0.0011x+522.46$	0.13	0.37
	MOE _{hVf} vs. Density	$y=222342x-29220$	0.28	0.53
	MOE _{hHf} vs. Density	$y=226309x-31875$	0.28	0.53
	MOE _{hVv} vs. Density	$y=38415x+4077$	0.03	0.17
	MOE _{hHv} vs. Density	$y=12676x+18084$	0.00	0.06
	MOE _{hLf} vs. Density	$y=38002x+2170.2$	0.07	0.26
	MOE _{hLv} vs. Density	$y=95447x+49062$	0.02	0.12
	Density vs. MOE _s	$y=157220x-513.45$	0.22	0.47
	Density vs. MOR	$y=1242.9x-34.215$	0.27	0.51
	MOR vs. MOE _s	$y=0.0051x+207.92$	0.50	0.71

Notes: MOE_{hVf}: Dynamic MOE calculated from resonance frequency for vertical finger joint,
MOE_{hHf}: Dynamic MOE calculated from resonance frequency for horizontal finger joint,
MOE_{hVv}: Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity for vertical finger joint,
MOE_{hHv}: Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity for horizontal finger joint,
MOE_{hLf}: Dynamic MOE calculated from resonance frequency for longitudinal axis,
MOE_{hLv}: Dynamic MOE calculated from acoustic propagation velocity for longitudinal axis.

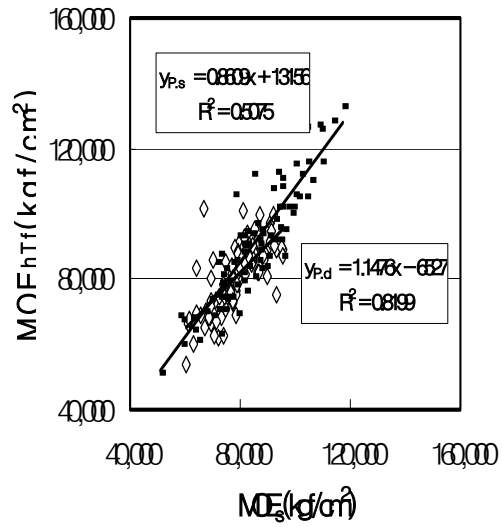
가. 밀도와 휨강도와의 관계

소나무 및 스프루스재의 밀도 및 휨강도는 양 수종 모두 1%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

나. 종진동에 의한 공진주파수로부터 구한 핑거접합재의 동적 탄성계수와 휨강도와의 관계



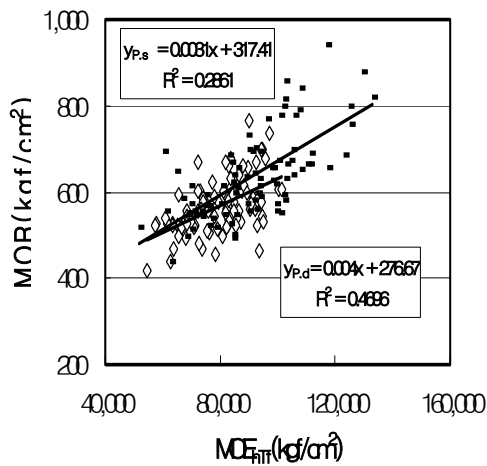
< I >



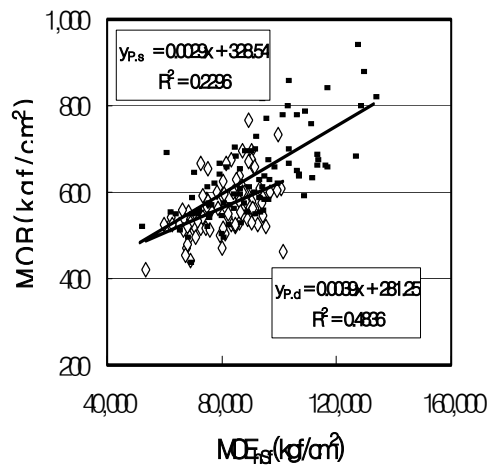
< II >

Fig. 1-4. Relationship between MOE_S and MOE_{hVf} (I) and MOE_{hHf} (II) for spruce and pine finger-jointed woods.

Notes; $y_{p,s}$: Regression model of spruce, $y_{p,d}$: Regression model of pine.



< I >



< II >

Fig. 1-5. Relationship between MOR and MOE_{hVf} (I) and MOE_{hHf} (II) for spruce and pine solid wood.

Notes; $y_{p,s}$: Regression model of spruce, $y_{p,d}$: Regression model of pine.

소나무재 수직형핑거접합면 및 수평형핑거접합면의 임팩트해머의 휨진동에 의한 동적 탄성계수와 휨강도 사이에는 1%수준에서 유의성이 인정되는 매우 높은 상관관계를 나타내어 수직형핑거접합면 임팩트해머법이 휨강도 평가에 적합하였다.

스프루스재 수직형핑거접합면에서는 양자간에 1%수준, 수평형핑거접합면에서는 양자간에 5% 수준에서 유의성이 인정되었다.

다. 종진동에 의한 음파전달속도로부터 구한 핑거접합재의 동적 탄성계수와 휨강도와의 관계

소나무와 스프루스재의 수중에 관계없이 수직형핑거접합면의 임팩트해머의 휨진동에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수는1%수준에서, 수평형핑거접합면의 임팩트해머에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수는5%수준에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다. 이결과로부터 임팩트해머에 의한 응력파를 이용하여 구조재용 목재의 성질을 평가하기 위해서는 임팩트해머에 의한 응력파의 주파수분석법이 응력파의 음파전달속도에 의한 방법보다도 신뢰성이 높을 것으로 판단된다.

라. 종진동에 의한 공진주파수로부터 구한 핑거접합재의 동적 탄성계수와 휨강도와의 관계

소나무와 스프루스 핑거접합재 모두 임팩트해머에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수는 유의성이 인정되지 않았다.

마. 종진동에 의한 음파전달속도로부터 구한 핑거접합재의 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와의 관계

소나무와 스프루스재 양자 모두 임팩트해머의 휨진동에 의한 음파전달속도에 의한 동적 탄성계수와 휨강도 사이에는 공진주파수에 의한 동적탄성계수의 경우와 같이 유의성이 인정되지 않았다.

이 결과 핑거접합재 역시 소재와 마찬가지로 공진주파수나 전달속도를 이용하는 비파괴적인 방법으로는 강도성능측정이 불가능하였다.

1.2.3 진동법에 의한 소재와 핑거접합재의 강도성능 평가법 개발

가. 재료 및 방법

그림 1-6과 1-7은 2면에 대하여 마그네틱드라이버를 이용한 휨 진동과 미니셰이크를 이용한 휨 진동에 의한 비파괴적 강도 성능 평가를 위한 장치의 모식도를 나타내었다.

1) 마그네틱드라이버에 의한 휨 진동법(양단 자유 휨 진동법) - Signal Analyzer unit(Type 2035), Sine Generator(B&K, 1023), oscilloscope(HP,

1740A), Universal Counter Timer(GSP, 5001)

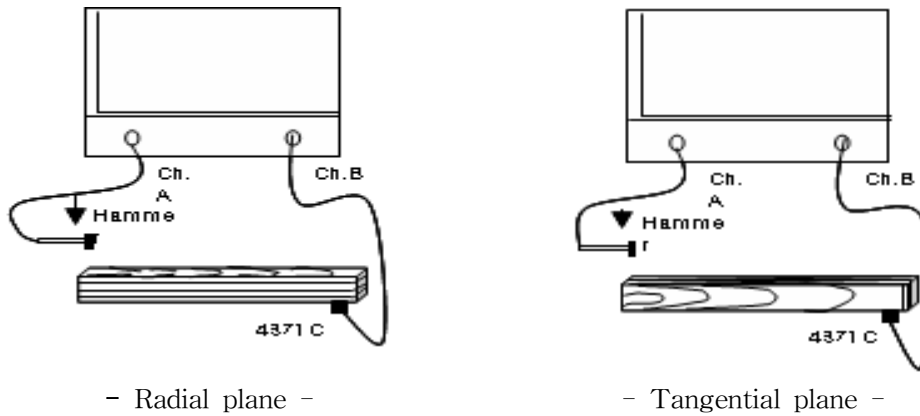


Fig. 1-6. Schematic diagram of flexural vibration by magnetic driver for radial and tangential planes.

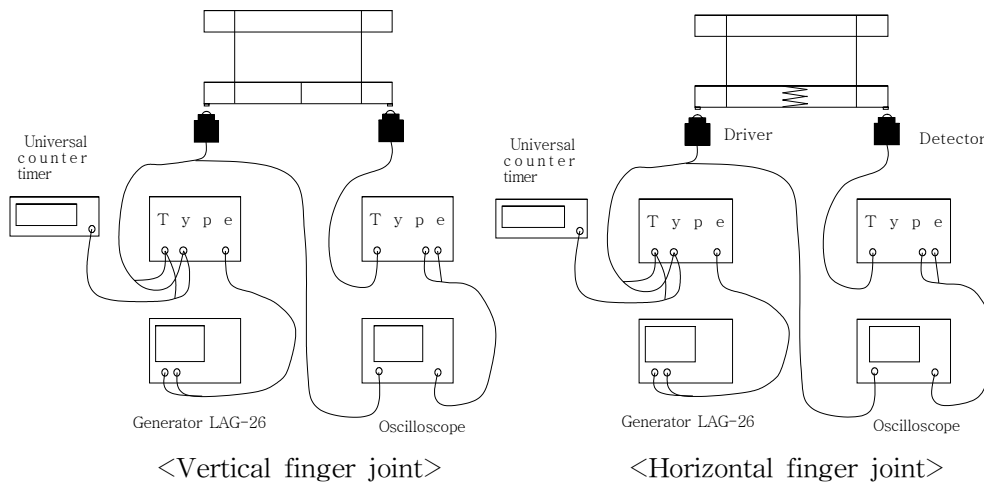


Fig. 1-7. Schematic diagram of flexural vibration by magnetic driver for vertical finger joint and horizontal finger joint.

2) 미니셰이크에 의한 휨 진동법-Signal Analyzer unit(Type 2035), Power amplifier(Type 4372V), Accelerometer(Type 4372V), Mini shaker(Type 4810)

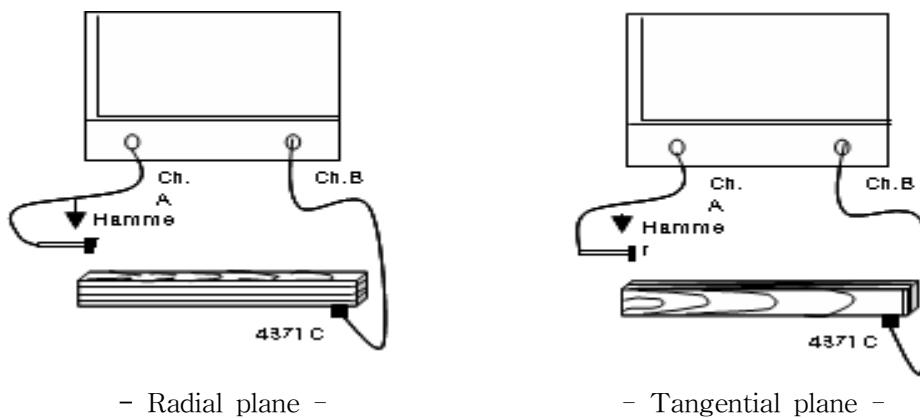


Fig. 1-8. Schematic diagram of flexural vibration by mini shaker for radial and tangential planes.

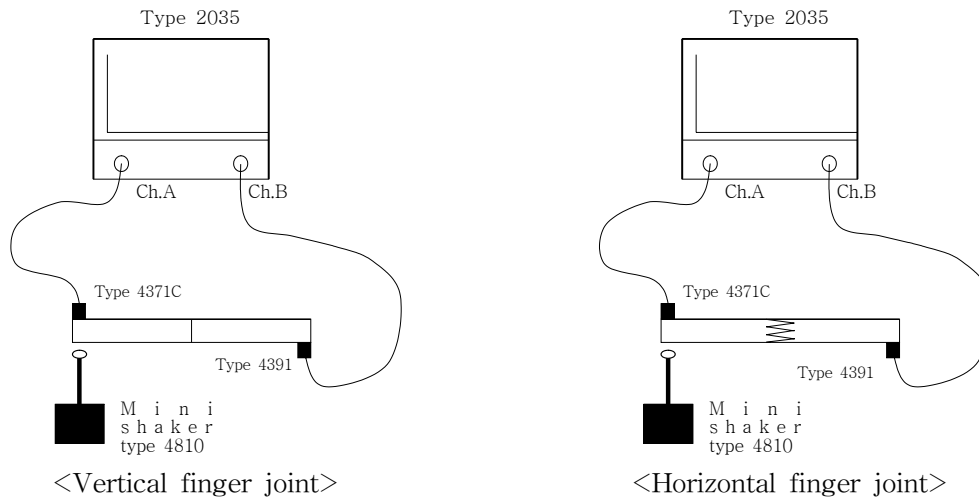


Fig. 1-9. Schematic diagram of flexural vibration by mini shaker for vertical finger joint and horizontal finger joint.

나. 결과

1) 마그네틱드라이버 및 미니셰이크를 이용한 휨 진동법에 의한 소재의 강도성능평가

표 1-3은 소나무재와 스프루스 소재의 마그네틱드라이버 및 미니셰이크를 이용한 휨 진동법에 의한 밀도, 정적MOE(MOE_s) 및 동적MOE(MOE_{viRf} , MOE_{viTf} , MOE_{viRv} , MOE_{viTv})간의 회귀분석결과를 나타내었다.

Table 1-3. Summary of regression parameters for regression of density on MOE_s and dynamic $MOE(MOE_{viRf}$, MOE_{viTf} , MOE_{viRv} , $MOE_{viTv})$ calculated from resonance frequency by flexural vibration for spruce and pine solid woods.

Species	Regression model	Coefficient of determination(R^2)	Correlation coefficient(r)
	Density vs. MOE_s	$y=102247x+26859$	0.25
	MOE_s vs. MOE_{viRf}	$y=0.9247x+23612$	0.60
	MOE_s vs. MOE_{viTf}	$y=0.9565x+21007$	0.63
	MOE_s vs. MOE_{viRf}	$y=0.4958x+12614$	0.46
	MOE_s vs. MOE_{viTf}	$y=0.3915x+20039$	0.29
	MOE_s vs. MOE_{viRv}	$y=0.0353x+953.51$	0.17
<i>P.sitchensis</i>	MOE_s vs. MOE_{viTv}	$y=0.0109x+2548.4$	0.08
	Density vs. MOE_{viRf}	$y=168864x+16774$	0.29
	Density vs. MOE_{viTf}	$y=178337x+12370$	0.58
	Density vs. MOE_{viRf}	$y=102977x+3647.2$	0.22
	Density vs. MOE_{viTf}	$y=61600x+21358$	0.05
	Density vs. MOE_{viRv}	$y=5254.1x+1202.3$	0.01
	Density vs. MOE_{viTv}	$y=3798x+1697.5$	0.02
	Density vs. MOE_s	$y=97329x+25161$	0.16
	MOE_s vs. MOE_{viRf}	$y=1.246x+1082.5$	0.54
	MOE_s vs. MOE_{viTf}	$y=1.3598x-7182.8$	0.57
	MOE_s vs. MOE_{viRf}	$y=0.5928x+18802$	0.07
	MOE_s vs. MOE_{viTf}	$y=0.8832x-866.32$	0.12
	MOE_s vs. MOE_{viRv}	$y=0.0519x-422.04$	0.14
<i>P.densiflora</i>	MOE_s vs. MOE_{viTv}	$y=0.043x+835.61$	0.07
	Density vs. MOE_{viRf}	$y=233348x-28042$	0.31
	Density vs. MOE_{viTf}	$y=243465x-32926$	0.30
	Density vs. MOE_{viRf}	$y=193577x-39604$	0.13
	Density vs. MOE_{viTf}	$y=209429x-45265$	0.11
	Density vs. MOE_{viRv}	$y=13471x-3661.6$	0.16
	Density vs. MOE_{viTv}	$y=5421.4x+1249.8$	0.02

Notes: MOE_{viRf} : dynamic MOE by resonance frequency of magnetic driver for radial plane,

MOE_{vITf} : dynamic MOE by resonance frequency of magnetic driver for tangential plane,
 MOE_{vIRf} : dynamic MOE by resonance frequency of minishaker for radial plane,
 MOE_{vITf} : dynamic MOE by resonance frequency of minishaker for tangential plane,
 MOE_{vIRv} : dynamic MOE by acoustic propagation velocity of minishaker for radial plane,
 MOE_{vITv} : dynamic MOE by acoustic propagation velocity of minishaker for tangential plane.

가) 마그네틱드라이버의 휨 진동에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와의 관계

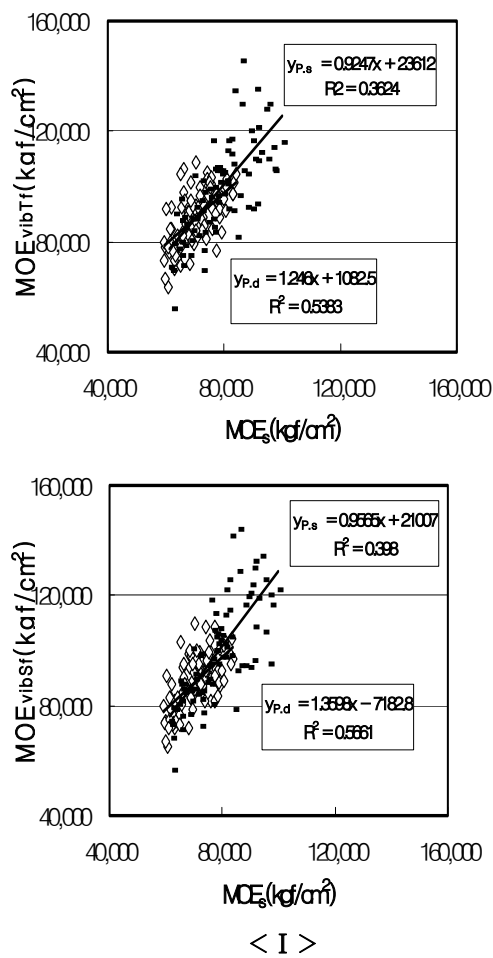


Fig. 10. Relationship between MOE_S and MOE_{vIRf} (I) and MOE_{vITf} (II) for spruce and pine solid woods.

Notes; $y_{p.s}$: Regression model of spruce, $y_{p.d}$: Regression model of pine.

방사면 및 접선면에 대한 마그네틱드라이버를 이용한 휨 진동법에 의한 동적 탄성계수와 휨탄성계수 사이에는 1%수준에서 유의성이 인정되었으며, 매우 높은 상관관계가 나타났다.

양자간의 상관계수는 소나무재가 스프루스재보다 높았다.

마그네틱드라이버의 휨 진동법은 구조용 목재의 휨 성질 평가를 위해서도 적용이 가능하였다.

나) 미니쉐이크의 휨 진동에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와와의 관계

소나무와 스프루스재의 수종에 관계없이 미니쉐이크의 휨 진동법에 의한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수간에는 5%수준의 유의성이 인정되었다.

구조재용 목재의 강도성능 평가를 위해서 미니쉐이크의 휨 진동에 의한 공진 주파수로부터 구한 동적 탄성계수의 적용가능성은 있지만 보다 정확한 측정 방법의 개발이 필요 할 것으로 판단된다.

다) 미니쉐이크의 휨 진동에 의한 음파진달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수와와의 관계

미니쉐이크 휨진동법에 의한 음파진달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 정적 탄성계수간에는 상관관계가 나타나지 않았다.

2) 마그네틱드라이버 및 미니쉐이크의 휨 진동법에 의한 핑거접합재의 강도 성능평가

표 1-4는 소나무재와 스프루스 핑거재의 밀도, 정적MOE(MOE) 및 동적 MOE(MOE_{hVf}, MOE_{hHf}, MOE_{hVv}, MOE_{hHv}, MOE_{hLf}, MOE_{hLv})간의 회귀분석결과를 나타내었다.

Table 1-4. Summary of regression parameters for regression of density on MOEs and dynamic MOE(MOE_{viVf}, MOE_{viHf}, MOE_{viVv}, MOE_{viHv}, MOE_{viVv}, MOE_{viHv}) for spruce and pine finger-jointed woods calculated from resonance frequency by flexural vibration.

Species	Regression model	Coefficient of determination(R ²)	Correlation coefficient(r)
MOE _s vs. MOE _{viVf}	y=0.9254x+22544	0.36	0.60
MOE _s vs. MOE _{viHf}	y=0.9315x+22211	0.36	0.60
MOE _s vs. MOE _{viVv}	y=0.3839x+13174	0.09	0.30
MOE _s vs. MOE _{viHv}	y=0.7665x+21111	0.08	0.28
MOE _s vs. MOE _{viVv}	y=0.0324x+1168.6	0.02	0.12
MOE _s vs. MOE _{viHv}	y=0.0131x+2457.9	0.00	0.06

	MOR vs. MOE _{viVf}	$y=0.0027x+305.11$	0.33	0.57
	MOR vs. MOE _{viHf}	$y=0.0028x+303.75$	0.33	0.58
	MOR vs. MOE _{viVf}	$y=0.0028x+446.18$	0.23	0.48
	MOR vs. MOE _{viHf}	$y=0.0007x+507.16$	0.07	0.27
	MOR vs. MOE _{viVv}	$y=0.0022x+559.65$	0.01	0.08
	MOR vs. MOE _{viHv}	$y=-0.001x+571.59$	0.00	0.03
	MOE _{viVf} vs. Density	$y=176547x+20452$	0.18	0.42
spruce	MOE _{viHf} vs. Density	$y=162267x+26689$	0.15	0.39
	MOE _{viVf} vs. Density	$y=115228x-5587.3$	0.11	0.34
	MOE _{viHf} vs. Density	$y=73731x+50278$	0.01	0.10
	MOE _{viVv} vs. Density	$y=10137x-587.59$	0.02	0.14
	MOE _{viHv} vs. Density	$y=2793.6x-2303.3$	0.00	0.05
	Density vs. MOE _s	$y=107313x+33313$	0.16	0.40
	Density vs. MOR	$y=951.47x+162.39$	0.23	0.48
	MOR vs. MOE _s	$y=0.0048x+182.55$	0.37	0.60
	MOE _s vs. MOE _{viVf}	$y=1.1675x+7225.7$	0.83	0.91
	MOE _s vs. MOE _{viHf}	$y=1.2218x+2168.1$	0.83	0.91
	MOE _s vs. MOE _{viVf}	$y=0.5865x-3125.3$	0.61	0.78
pine	MOE _s vs. MOE _{viHf}	$y=1.0312x-1874.5$	0.50	0.71
	MOE _s vs. MOE _{viVv}	$y=0.0218x+1532.5$	0.04	0.20
	MOE _s vs. MOE _{viHv}	$y=0.0331x+456$	0.33	0.57

	MOR vs. MOE _{viVf}	$y=0.004x+217.7$	0.50	0.70
	MOR vs. MOE _{viHf}	$y=0.0038x+240.51$	0.50	0.70
	MOR vs. MOE _{viVf}	$y=0.0046x+423.22$	0.23	0.48
	MOR vs. MOE _{viHf}	$y=0.0026x+418.85$	0.27	0.52
	MOR vs. MOE _{viVv}	$y=0.005x+619.62$	0.01	0.08
	MOR vs. MOE _{viHv}	$y=0.0491x+476.98$	0.16	0.39
	MOE _{viVf} vs. Density	$y=236806x-22106$	0.30	0.55
pine	MOE _{viHf} vs. Density	$y=245252x-27143$	0.29	0.54
	MOE _{viVf} vs. Density	$y=103051x-9273.3$	0.17	0.41
	MOE _{viHf} vs. Density	$y=216537x-31763$	0.20	0.44
	MOE _{viVv} vs. Density	$y=8178.2x-1038$	0.05	0.22
	MOE _{viHv} vs. Density	$y=8040.7x-1089.3$	0.18	0.41
	Density vs. MOE _s	$y=157220x-513.45$	0.22	0.47
	Density vs. MOR	$y=1242.9x-34.215$	0.27	0.51
	MOR vs. MOE _s	$y=0.0051x+207.92$	0.50	0.71

Notes: MOE_{viVf}: dynamic MOE by resonance frequency at both ends for vertical finger joint,
MOE_{viHf}: dynamic MOE by resonance frequency at both ends for horizontal finger joint,
MOE_{viVf}: dynamic MOE by flexural vibration resonance frequency at one end for vertical finger joint,
MOE_{viHf}: dynamic MOE by flexural vibration resonance frequency at one end for horizontal finger joint,

MOE_{viVv}: dynamic MOE by velocity at one end for vertical finger joint,

MOE_{viHv}: dynamic MOE by velocity at one end for horizontal finger joint.

가) 마그네틱드라이버의 휨 진동에 의한 동적 탄성계수와 휨강도와의 관계

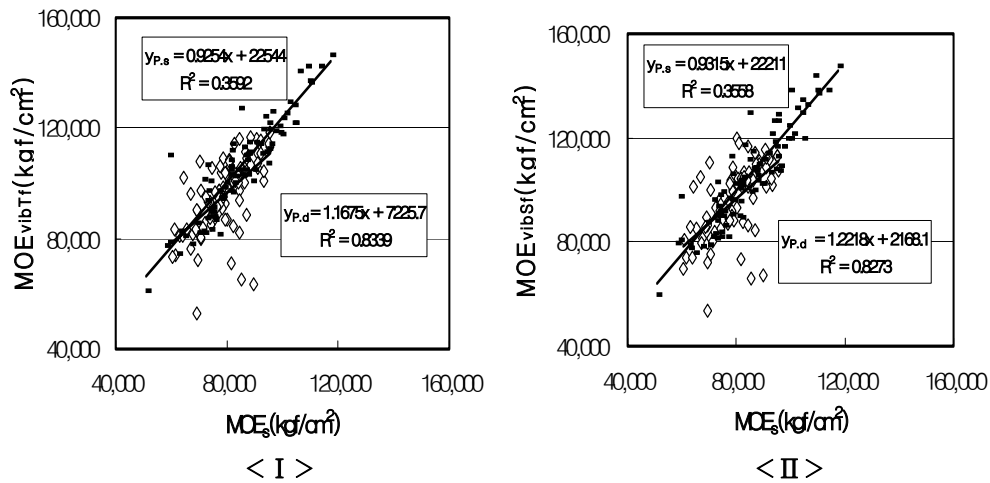


Fig. 1-11. Relationship between MOEs and MOE_{vibTr}(I) and MOE_{vibHf}(II) for spruce and pine finger-jointed wood.

Notes; $y_{p,s}$: Regression model of spruce, $y_{p,d}$: Regression model of pine.

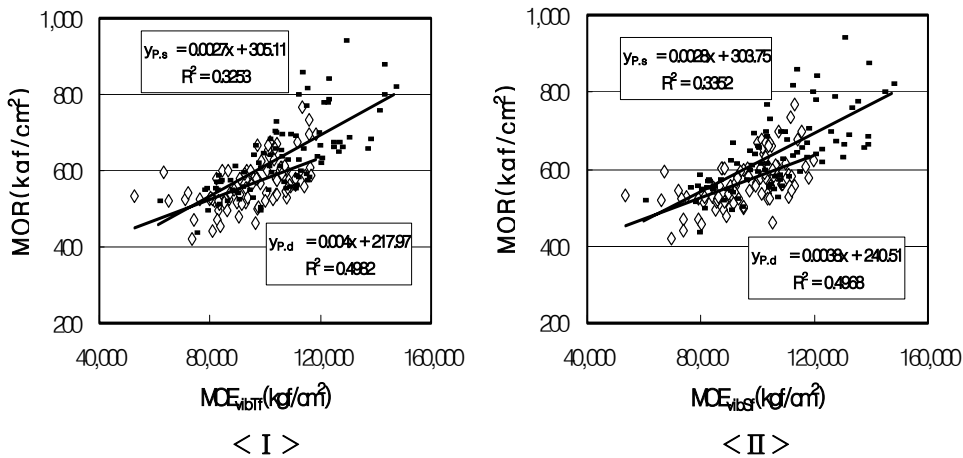


Fig. 1-12. Relationship between MOR and MOE_{vibTr}(I) and MOE_{vibHf}(II) for spruce and pine finger-jointed woods.

Notes; $y_{p,s}$: Regression model of spruce, $y_{p,d}$: Regression model of pine.

양 수종 모두 1%수준에서 유의성이 인정되는 높은 상관관계를 나타내었다.

방사면 및 접선면의 양단 휨 진동법에 의한 동적 탄성계수와 휨강도 간에는 1%수준에서 유의성이 인정되며 매우 높은 상관관계가 나타나 양단 휨 진동법에 의하여 비파괴적으로 휨강도의 예측이 가능하였다.

나) 미니웨이크의 휨 진동에 의한 공진주파수로부터 구한 동적 탄성계수와 휨강도와의 관계

방사면에서는 소나무와 스프루스재의 2수종 다 미니웨이크의 휨 진동법에 의한 동적 탄성계수와 휨강도 간에는 위험을 5%수준에서 유의성이 인정되었으나 접선면에서는 소나무에만 5%수준에서 유의성이 인정되었다.

구조재용 목재의 휨 강도평가를 위해서 미니쉐이크의 휨 진동법에 의한 동적 탄성계수의 적용가능성은 있지만 보다 정확한 측정 방법의 개발이 필요하다.

다) 미니쉐이크의 휨 진동에 의한 음파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 휨 강도와의 관계

미니쉐이크의 휨 진동법에 의한 음파전달속도로부터 구한 동적 탄성계수와 휨 강도 간의 회귀에서는 유의성이 확인되지 않았다.

2. 최적의 핑거접합 조건 탐색

표 1-5는 공차와 핑거피치에 따른 핑거 형태와 치수를 나타내었으며, 그림 1-10은 소나무재를 이용하여 최적의 핑거접합 도출을 위하여 핑거피치의 주 피치(pitch) 3.6, 4.4, 6.8mm를 이용하여 공차 0, 0.3, 0.5로 레조시놀-페놀 공축합 수지와 초산비닐수지로 접합한 시험재의 예비실험 결과를 나타내었다.

Table 1-5. Type and dimension of finger profiles. (units: mm)

	Type 3.6mm			Type 4.4mm			Type 6.8mm		
t₁-t₂	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5
L	17.3			17.3			17.3		
t₁	0.8	1.0	1.2	0.9	1.1	1.3	1.0	1.2	1.4
tanθ	1/7.57			1/13.48			1/17.59		
t₂	0.7			0.8			0.9		
P	3.4	3.6	3.8	4.3	4.5	4.7	6.7	6.9	7.1

Legend ; P: Pitch, L: Length of finger, t₁: Tip width t₂: Root width, θ: Slope angle of finger.

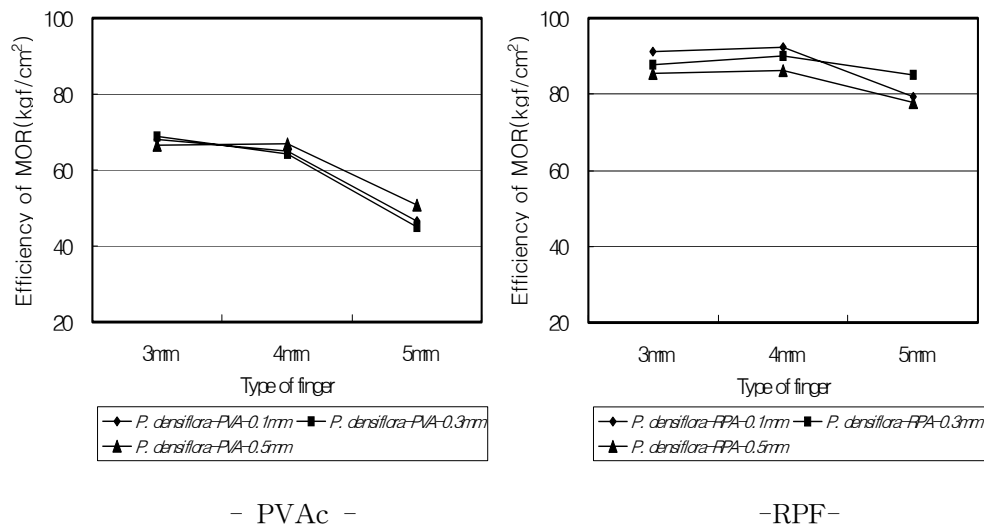


Fig 1-13. Effect of type of finger on the efficiency of MOR for pine jointed with PVAc(I, polyvinyl acetate resin) and RPF(II, resorcinol-phenol formaldehyde resin).

PVAc와 RPF의 접착제 종류에 따른 휨강도 유효율은 AVU가 47-69%를 나타내었으며, RPF가 78-92%로 나타내어 AVU에 비해 레조시놀을 사용한 조건에서 높게 나타났는데 이는 AVU의 경우, 목부파괴가 일어나지 않고 접착층이 미끄러져 나타난 결과였다.

2접착제 모두에서 핑거피치 3.6mm와 4.4mm에서 6.8mm보다 높게 나타났으며, 핑거피치 3mm와 4.4mm에 대해서는 거의 차이가 없었다.

공차에 따른 조건에서 AVU의 경우 영향이 나타나지 않았지만, RPF의 경우 공차0.1이 가장 높은 유효율을 나타내었으며, 다음으로 0.3, 0.5순으로 나타났다.

이상의 결론으로 3.6mm와 4.4mm의 차이가 없어 작업성과 경제성을 고려하여 본 연구에서는 4.4mm와 6.8mm를 사용하였으며, 접착제의 선정에 있어서는 PVAc를 수성비닐우레탄으로 대체하였으며 공차 조건을 더욱 세분화하여 0, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3으로 하였다.

2.1 최적의 핑거접합 조건 도출

가. 재료 및 방법

- 1) 공시재료 : 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*)
- 2) 핑거제조 접합 및 분류

: 스프루스재와 소나무재의 무결점 시험편 20×20×320mm으로 가공 → 밀도와 정적 탄성계수 측정 → 공차와 핑거피치, 접착제에 따른 조건에 알맞게 한

조건당 7개씩 편중되지 않도록 분류 → 동적 탄성계수(임팩트 햄머법, 양단 휨 진동법, 일단 휨 진동법) 측정 → 핑거제작 → 압체압력 40kgf/cm²으로(20초 유지) 접합 → 20×20×320mm으로 마무리 가공 → 조습 후 동적 탄성계수(임팩트 햄머, 양단 자유 휨 진동, 중진동법) 측정 → 휨, 인장 시험 실시

3) 핑거절삭기와 핑거 형상

그림 1-14는 핑거기계와 핑거 형상 및 치수에 대하여 나타낸다.

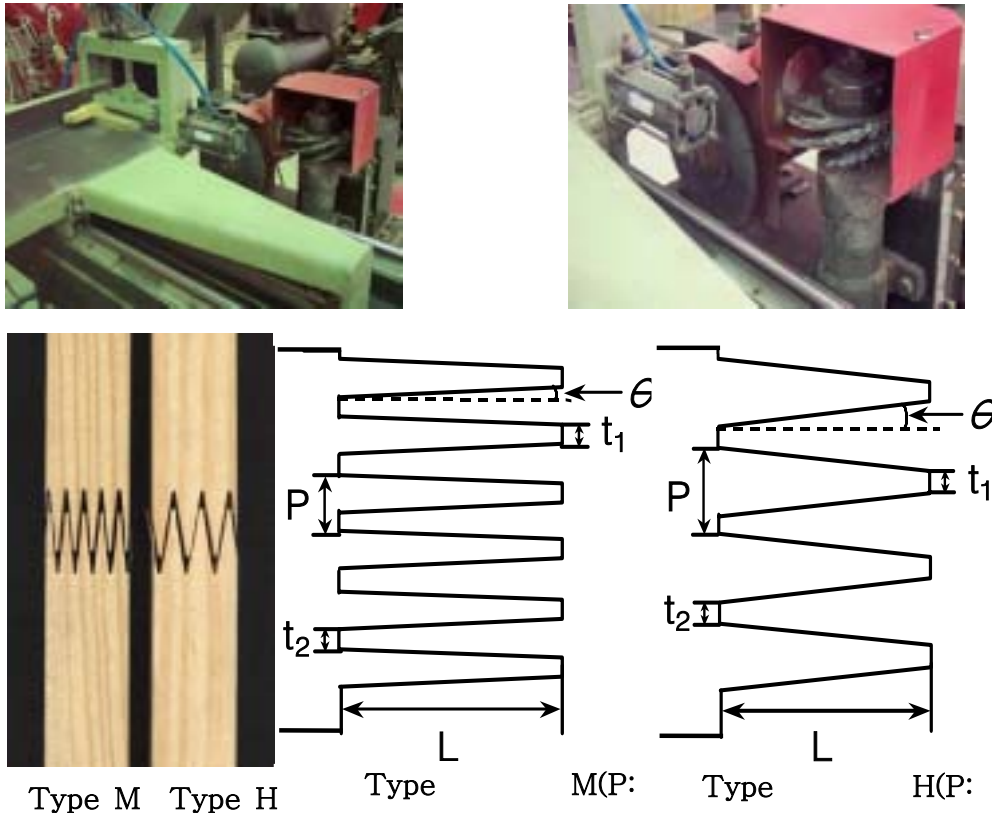


Fig. 1-14. The machine of making finger-joint and profiles of finger-jointed specimens.

Notes; P : Pitch, L : Length of finger, t_1 : Tip width, t_2 : Root width, θ : Slope angle of finger.

표 1-6은 핑거피치, 공차에 따른 핑거의 피치와 길이, 경사각을 나타내었다.

Table 1-6. Type and dimension of finger.

(units: mm)

Type M(4.4mm)						Type H(6.8mm)				
t_1-t_2	0	0.1	0.15	0.2	0.3	0	0.1	0.15	0.2	0.3
L	17.3					17.3				
t_1	0.8	0.9	0.95	1.0	1.1	0.9	1.0	1.05	1.2	1.3
$\tan\theta$	1/7.57					1/17.59				
t_2	0.8					0.9				
P	4.2	4.3	4.35	4.4	4.5	6.6	6.7	6.75	6.8	6.9

Legend ; P: Pitch, L: Length of finger, t_1 : Tip width t_2 : Root width, θ : Slope angle of finger.

3. 라미나의 건조 방법과 청변재의 강도성능

3.1 라미나의 건조방법

가. 열기건조에 의한 건조스케줄

1) 재료 및 방법

(1) 공시수종- 소나무(*Pinus densiflora*), 리기다소나무(*Pinus rigida*)의 무결점 판재

(2) 실험방법 - 드라이 오븐(100℃)으로 급속 건조

(3) 寺澤이 제시한 건조특성의 조사방법

: 20mm×100mm×200mm의 판재 제작 → 100℃의 건조기에 넣고 1-3시간 사이에 나타나는 표면할렬과 횡단면할렬을 관찰 → 건조결함이 최대가 될 때의 값 산출 후 초기할렬 단계를 결정 → 전건 후 시험재의 중량을 거단 → 사권상의 변형을 측정된 다음 변형의 단계 결정 → 거단한 단면의 내부할렬 단계 결정 → 이상 3종류의 손상에 대한 단계에서 각 손상에 대한 건조초기의 온도, 건습구온도차 및 건조말기의 온도를 조사하여 그 중에서 가장 약한 온도와 건습구온도차를 선정하여 미국 임산물 연구소의 온습도스케줄을 적용하였다.

2) 결과

그림 1-15는 100℃ 건조기에서 건조한 시험재의 시간에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이며, 표 1-7은 寺澤이 제시한 조사방법에 의해 조사한 결과를 나타내

었다.

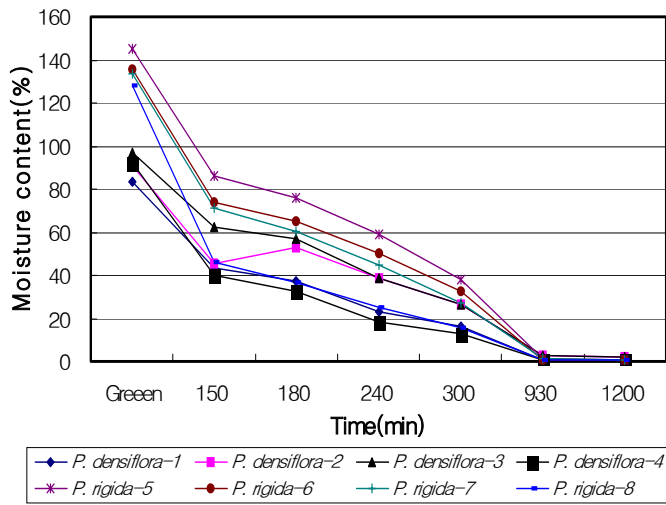


Fig. 1-15. The change of MC during drying period for pine and rigida.

(1) 초기 함수율은 소나무재가 91%, 리기다 소나무재가 137%로 나타났으며 10 0℃의 건조기에서 최초 150분까지 급격히 감소하다가 점차적으로 감소하였으며, 930분에 이르러 2수종 모두 2%내의 함수율을 나타내었다.

(2) 930분까지는 리기다 소나무의 함수율이 소나무재에 비해 높은 함수율을 나타내며 건조가 이루어졌다.

Table 1-7. The results of drying characteristics for pine and rigida by Terazawa.

	Initial MC(%)	Early check	Deformation of cross section	Inner check	
<i>P. densiflora</i>	91	No. 5	No. 3	No. 1	D₃-T₆
<i>P. rigida</i>	136	No. 6	No. 3	No. 1	F₂-T₆

Table 1-8. The kinds and steps of defects and the relationship of drying condition. (units: °C)

Kinds of defects	Drying conditions	Steps of defects							
		NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	NO. 5	NO. 6	NO. 7	NO. 8
Early check	Early drying temp.	70	65	60	55	53	50	47	45
	Different temp. of dry and wet bulbs	6.5	5.5	4.3	3.6	3.0	2.3	2.0	1.8
	Later drying temp.	95	90	85	83	82	81	80	79
Deformation of cross section	Early drying temp.	70	66	58	54	50	49	48	47
	Different temp. of dry and wet bulbs	6.5	6.0	4.7	4.0	3.6	3.3	2.8	2.5
	Later drying temp.	95	88	83	83	77	75	73	70
Inner check	Early drying temp.	70	55	50	50	48	45	-	-
	Different temp. of dry and wet bulbs	6.5	4.5	3.8	3.8	3.0	2.5	-	-
	Later drying temp.	95	83	77	77	71	70	-	-

(3) 소나무재의 건조스케줄은 초기 함수율이 91%에 대하여 초기할렬 No. 5, 단면변형 No. 3, 내부할렬 No. 1로 구하는 건조조건은 초기온도 45℃, 건습구 온도차 2℃, 말기온도 80℃이다. 이 결과로부터 온도 스케줄에서 **D₃**, 침엽수의 습도 스케줄에서 **T₆**로 나타났다.

(4) 리기다 소나무재의 건조스케줄은 초기 함수율이 136%에 대하여 초기할렬 No. 6, 단면변형 No. 3, 내부할렬 No. 1로 구하는 건조조건은 초기온도 50℃, 건습구 온도차 2.3℃, 말기온도 81℃이다. 이 결과로부터 온도 스케줄에서 **F₂**, 침엽수의 습도 스케줄에서 **T₆**로 나타났다.

(5) 리기다 소나무재의 건조스케줄이 소나무재에 비해 더 온화한 조건으로 나타났다.

(6) 두께 2.5cm인 소나무재에 대하여 아시아 및 대양주산 미국의 건조 스케줄은 D₄-T₁₁인데 비하여 본 연구의 결과에서는 D₃-T₆으로 더욱 강한 건조조건을 적용할수 있는 스케줄로 나타났다.

나. 천연건조

1) 재료 및 방법

육내와 육외로 구분하고 재간 간격 5cm, 잔목의 두께는 가로와 세로가 2.0cm인 것을 사용하여 5일 간격으로 무게를 측정하여 기건상태와 평행에 이루어졌을 때 전진하여 함수율 변화를 관찰하였다. 이때 데이터는 각 조건당 10분을 평

균화하여 나타내었다.

2) 결과

그림 1-16은 판재의 크기 6mm(두께)×100mm(폭)×1000mm(길이)와 20mm(두께)×100mm(폭)×1000mm(길이)를 실내와 실외로 구분하여 건조한 특성을 함수율의 변화로 나타내었다.

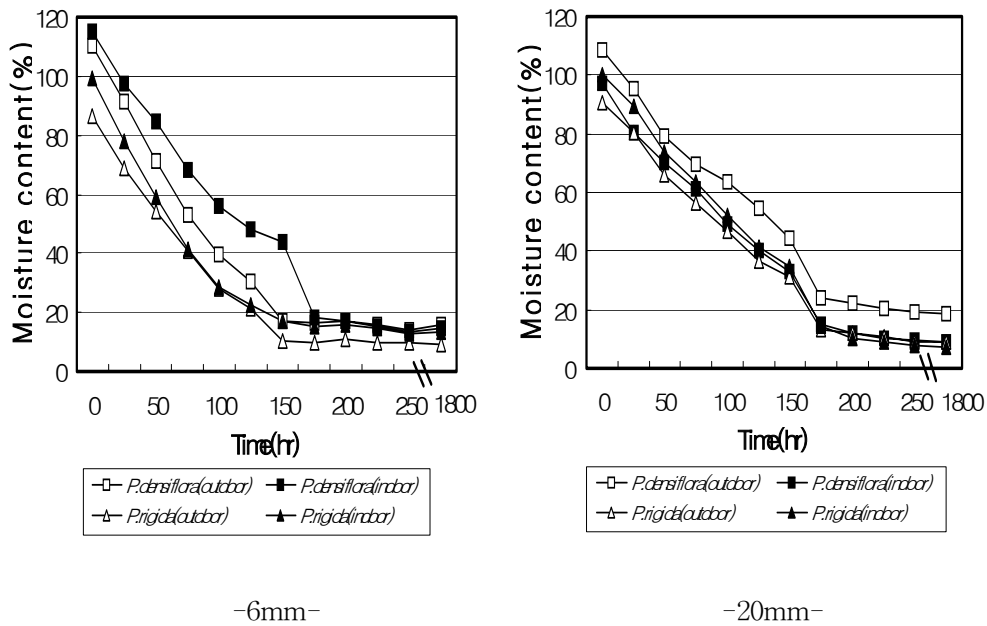


Fig. 1-16. The change of MC during air drying for indoor and outdoor.

(1) 6mm와 20mm 판재의 건조에서 실내와 실외에 따른 영향은 거의 나타나지 않았으며, 최초 함수율의 경향과 동일한 경향을 유지하면서 감소하였다.

(2) 6mm의 경우 170시간까지 급속한 건조를 보이다가 그 이후부터 함수율 15%정도까지 떨어져 큰 함수율의 변화는 크지 않았다.

(3) 20mm의 경우는 250시간 이후부터 6mm의 경우와 비슷한 양상을 나타내었다.

3.2 소나무 청변재의 정적 강도 성능

가. 소나무 청변재의 휨강도 성능

1) 그림 1-17는 청변된 소나무재를 이용하여 핑거 피치 4.4mm와 공차 0.2의 조건으로 AVU와 RPF를 이용하여 접합한 핑거재의 휨 탄성계수와 휨강도를 무결점 소나무재와 스프루스재를 함께 나타내었다.

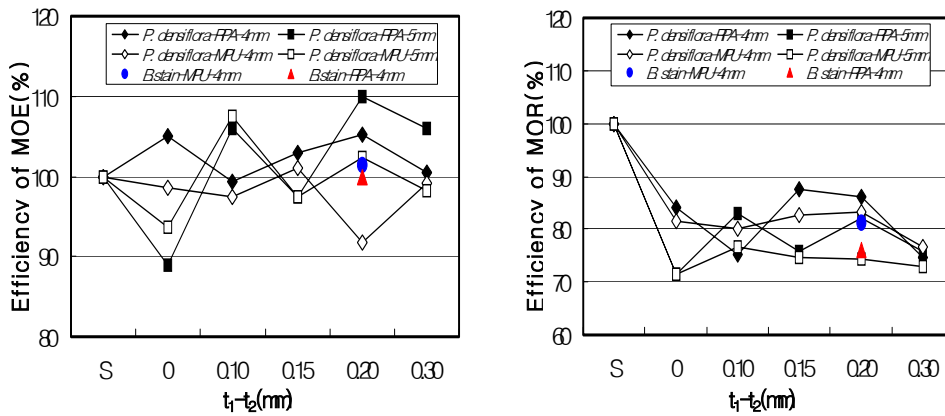


Fig. 1-17. Effect of blue stain on the MOE and MOR of pine finger-jointed with RPF and AVU adhesive.

휨탄성계수 유효율에서 보면 AVU가 RPF보다 높은 값을 나타내었으며, 무결점재보다 낮은 유효율을 나타내어 큰 영향은 아니지만 청변이 휨탄성계수의 유효율에 영향을 미쳤다.

휨강도에서 살펴보면 AVU를 사용했을 때 무결점 시험재에 비해 약간 낮은 휨강도 유효율을 나타내었으며, RPF를 사용했을 때 무결점 시험재에 비해 상당히 낮은 휨강도 유효율을 나타내어 청변이 휨강도에 영향을 미쳤다..

AVU의 최대 처짐 유효율이 RPF보다 높은 유효율을 나타냈으며, 또한 AVU가 RPF보다 높은 유효율을 나타내었다.

나. 소나무 청변재의 인장강도 성능

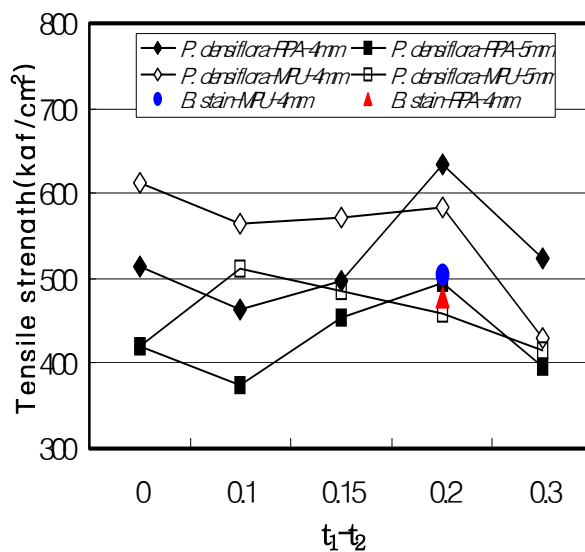


Fig. 1-18. Effect of blue stain on the tensile strength of pine finger-jointed

woods glued with RPF and AVU resin.

1) 접착제의 종류에 있어서 공차 0.2에서 무결점 시험재와 마찬가지로 청변재에서도 AVU가 RPF보다 높게 나타났으며 동일 조건에서 청변재가 무결점 시험재보다 낮은 인장강도를 나타내어 청변에 의한 인장강도의 영향이 나타났다.

결 론

이 연구에서는 최적의 집성재를 제조하기 위하여 집성재 제조용 라미나의 등급을 구분하여 사용하고자 하였다. 등급구분 방법에는 기존에 이용하고 있는 신뢰성은 인정되지만 시간과 비용이 많이 드는 기계적인 방법과 최근에 그 사용가능성이 인정되어 연구 검토되고 있는 Magnetic driver, Impact hammer 등에 의한 음향적 방법으로 공진주파수나 음파 전달 속도 등을 이용하는 방법을 이용하여 라미나를 평가하고자 하였다. 또한 집성재 제조에 기초가 되는 라미나 접합을 위한 라미나 접합부의 형상과 크기가 접합성능에 미치는 영향을 평가하였으며 라미나에 사용되는 목재의 건조방법에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 비파괴 강도성능 평가방법인 임팩트해머에 의한 휨 진동법으로 소재 및 핑거접합재의 휨강도 성능평가가 가능하였다.
- 2) 비파괴 강도성능 평가방법인 마그네틱 드라이버에 의한 휨 진동법으로 핑거접합재의 휨강도성능 평가가 가능하였다.
- 3) 비파괴 강도성능 평가방법인 미니웨이크법에 의한 휨 진동법으로 핑거접합재의 휨강도성능 평가가 가능하였다.
- 4) 집성재용 라미나 접합가공을 위한 핑거접합용 핑거형태에서 핑거 피치 3.4mm, 4.4mm가 비슷하였고 공차는 0.1mm가 적당하였다.
- 5) 건조결합을 가진 청변재 라미나는 건전재에 비하여 휨 및 인장 강도성능을 감소시켰다.

II. 라미나의 제조가공 특성 및 기계적 성능평가

1. 수종별 라미나의 기계 가공성 평가

1.1 재료 및 방법

1.1.1 공시수종

- 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*), 청변된 소나무재(*P. densiflora*)

1.1.2 가공에 사용된 대패

- 자동일면대패, 다듬질 대패

1.1.3 조사항목

- 상기 1.1.2에서 언급한 두 종류의 대패로 가공한 재료의 육안적 평가

1.2 결과

1.2.1 스프루스재와 소나무재의 절삭가공성

사진 2-1은 Makita사의 자동일면대패(8 m feed rate/min, RPM 8,000)를 사용하여 시험편의 표면에 나타난 절삭가공성을 나타낸 것으로 방사면과 접선면으로 구분하여 나타내었다.



-spruce- -pine-

<Radial plane>



-spruce- -pine-

<Tangential plane>

Photo. 2-1. Surface condition of spruce and pine after planer work.

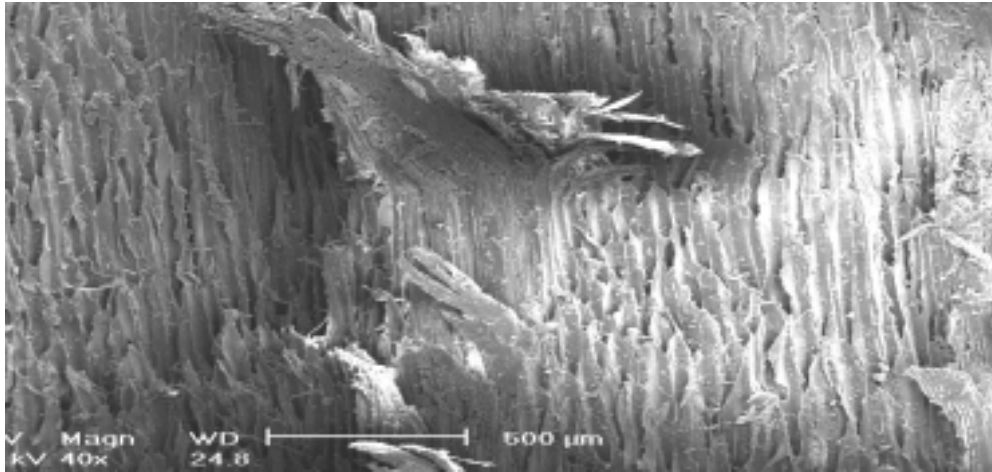
가. 스프루스재가 소나무재에 비해 2면(Radial plane, Tangential plane) 모두 나쁜 절삭성능을 나타내었다.

나. 스프루스재의 대패 작업에서 약 15% 정도가 나쁜 절삭성을 보인 반면, 소나무재의 경우 2%내외로 아주 좋은 절삭성을 보였다. 대체적으로 목리가 곧지 않고 웅이가 있는 부분에서 절삭성이 나쁜 절삭성을 나타내었다.

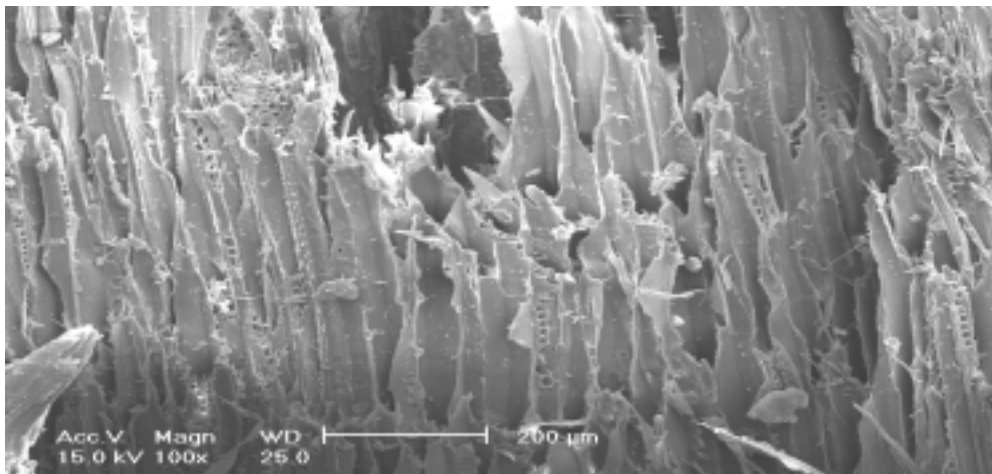
다. 다듬질 대패를 사용한 결과 스프루스재는 나쁜 표면상태가 소나무재의 표면상태와 동일한 약 2%정도로 표면상태가 좋아져 스프루스재의 마무리 표면가공시에는 다듬질대패 작업이 적합하였다.

사진 2-3 및 2-4는 소나무 및 스프루스재의 방사면 및 접선면에 대한 SEM결과를 나타낸다. (설명추가)

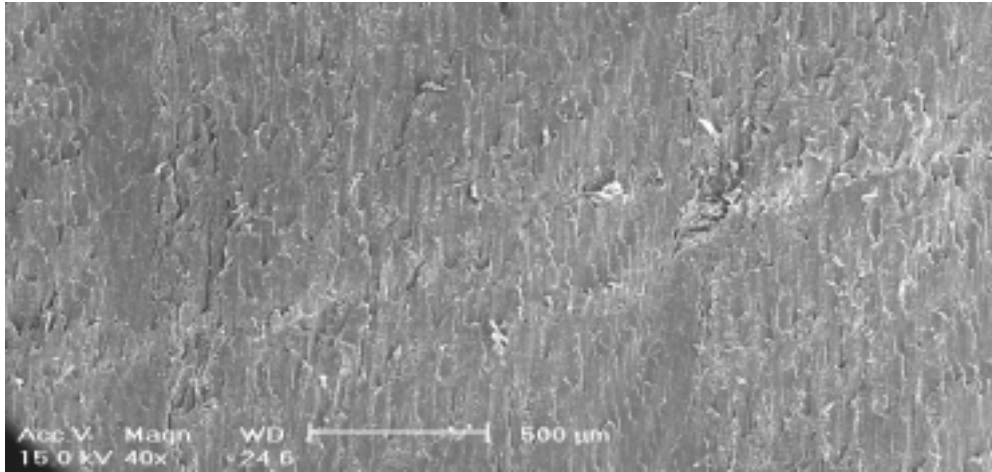
스프루스 거친면 X40(방사단면)



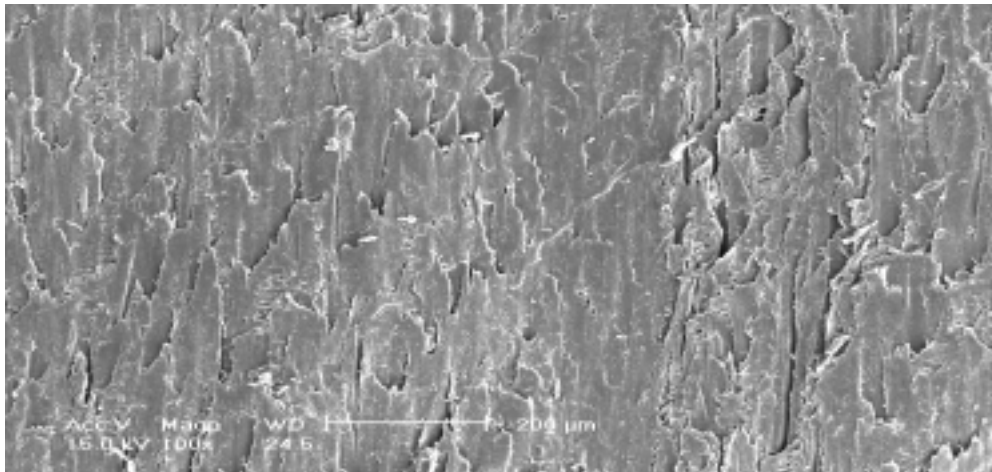
스프루스 거친면 X100(방사단면)



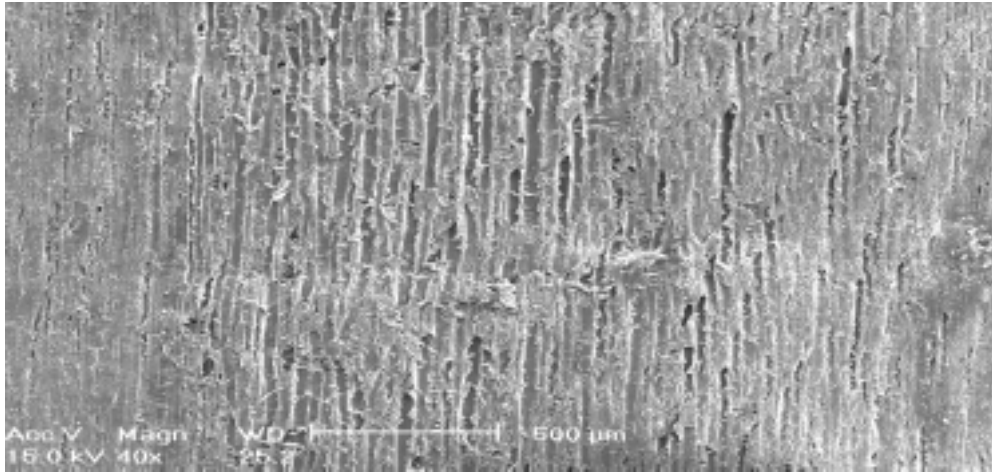
스프루스 깨끗한 면 X40(접선단면)



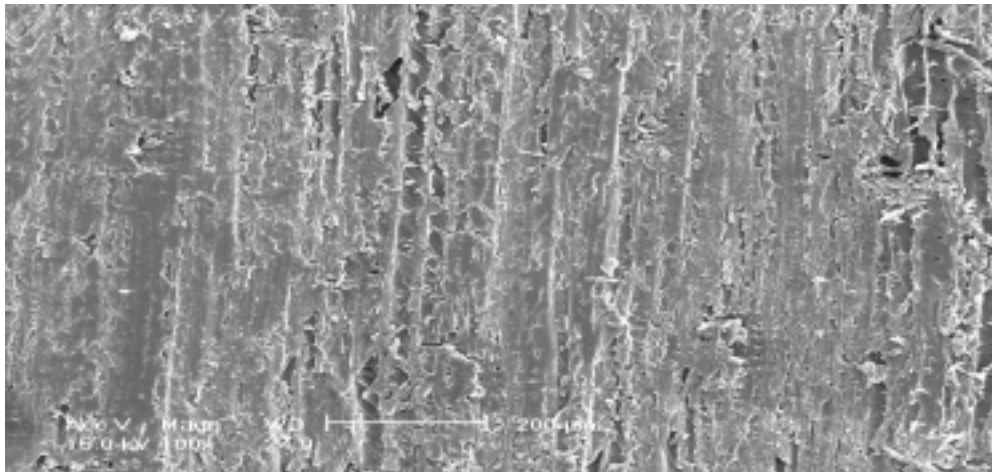
스프루스 깨긋한 면X100(접선단면)



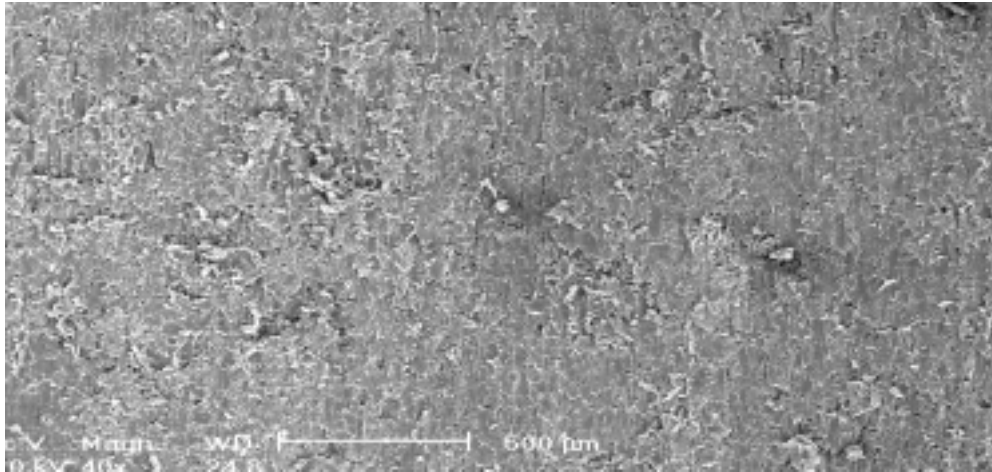
소나무 X40(방사단면)



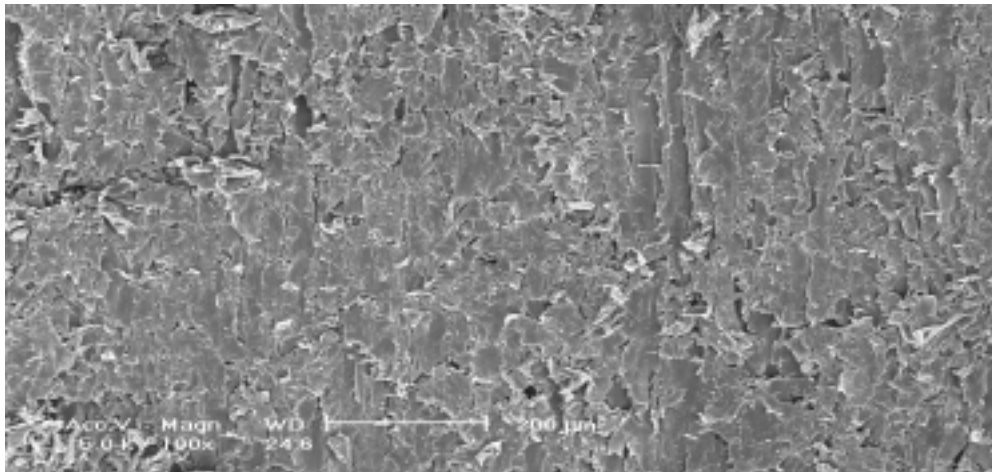
소나무 X100(방사단면)



소나무 X40(접선단면)



소나무 X100(접선단면)



1.2.2 소나무 청변재의 절삭 가공성

사진 2-5는 청변균이 발생한 소나무재를 대패 작업 후 표면상태를 나타낸 것이다.

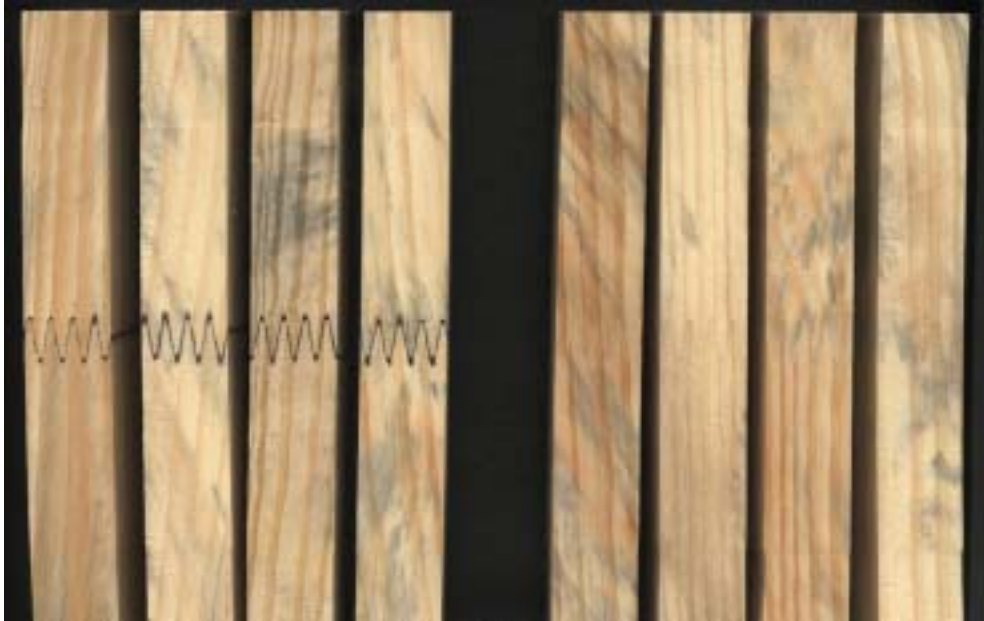


Photo 2-5. Surface condition of pine with blue stain after planer work.

가. 무결점 시험편(Photo 1. 참고)의 소나무재에 비해 청변균이 있는 소나무에서 절삭상태가 좋지 않게 나타났다. 이 역시 다듬질 대패 작업을 하였을때 표면상태가 좋아졌다.

1.2.3 스프루스재와 소나무재의 화학적 분석

스프루스재와 소나무재의 화학조성의 차이점을 확인하기 위하여 윌리 mill을 이용하여 60-80mesh의 목분을 사용하여 에탄올, 열수, Klason lignin, 홀로셀룰로오스의 양을 정량하였다. 이때 사용된 스프루스재와 소나무재의 생재 함수율은 11.93%와 13.24%였으며 Klason lignin과 홀로셀룰로오스의 분석을 위한 탈지 목분 함수율은 4.88%와 6.54%의 것을 사용하였다. 데이터는 3반복하여 평균값과 표준편차를 표 2-1에 나타내었으며, 그림 2-1은 표 2-1의 평균값을 이용하여 나타내었다.

Table 2-1. The result of chemical analysis for *P. sitchensis* and *P.densifolra*.

		Et-OH	Hot-water	Klason lignin	Holocellulose
spruce	Average(%)	4.99	5.50	29.82	84.94
	S.D	0.66	0.05	0.73	0.21
pine	Average(%)	5.59	3.90	30.82	81.87
	S.D	0.50	0.11	0.16	6.16

S.D : standard deviation

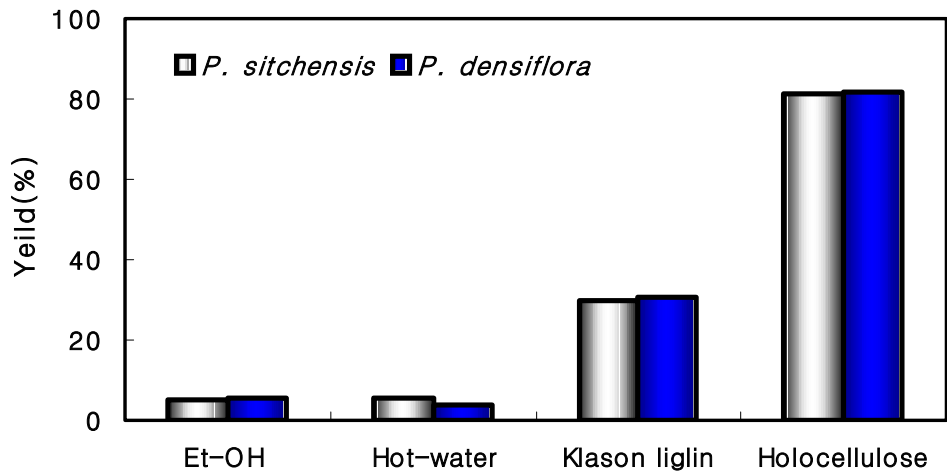


Fig. 2-1. Yield of chemical analysis for spruce and pine.

가. 두 수종의 에탄올, 열수, Klason 리그닌, 홀로셀룰로오스의 추출 결과 열수를 제외하고는 소나무가 스프루스재보다 조금 높게 나타났으나, 차이가 크지 않아 화학적 조성은 거의 동일하게 나타났다.

1.2.4 핑거접합재의 휨강도 성능

가. 스프루스 핑거재의 휨강도 성능

표 2-2는 각각 스프루스와 핑거재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각, 공차에 따른 밀도와 휨탄성계수, 휨강도 및 최대처짐의 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것으로 각 조건 당 시험편 7개의 평균값으로 작성하였다.

Table 2-2. The bending strength properties of finger-jointed spruce.

FJP	Den sity	MOE				MOR(kgf/cm ²)				Deflection(mm)							
		Mean	Min	Max	Mean	S.D	E(%)	Min	Max	Mean	S.DE(%)	Min	Max	Mean	S.D	E(%)	
Solid wood (control)	0.44	64,470	93,700	77,090	8,843	100	467	767	609	72	100	0.69	1.00	0.84	0.10	100	
RPF	0 ¹	0.42	65,510	79,780	72,280	5,571	94	463	660	548	72	90	0.55	0.79	0.67	0.08	80
	0.10 ²	0.42	70,140	90,560	78,710	8,691	102	474	689	581	82	95	0.60	0.72	0.65	0.06	78
	4.35 mm 0.15 ³	0.42	61,000	90,520	78,350	9,634	102	513	698	592	59	97	0.57	0.80	0.68	0.07	81
	0.20 ⁴	0.43	41,750	89,490	74,390	16,390	97	439	658	581	74	96	0.36	0.72	0.58	0.12	69
	0.30 ⁵	0.42	71,960	93,270	81,400	6,539	106	524	656	573	46	94	0.50	0.65	0.59	0.05	71
	0 ¹	0.42	38,880	93,100	71,570	18,553	93	470	677	596	80	98	0.47	0.67	0.57	0.07	69
	0.10 ²	0.44	41,830	98,540	77,040	17,980	100	487	729	591	81	98	0.55	0.68	0.60	0.05	71
	6.75 mm 0.15 ³	0.41	72,540	95,130	81,800	8,625	106	496	610	553	47	91	0.48	0.60	0.53	0.05	63
	0.20 ⁴	0.41	78,310	98,830	86,190	6,820	112	517	663	596	45	98	0.53	0.61	0.55	0.03	66
	0.30 ⁵	0.42	60,430	92,340	81,940	11,610	106	419	613	549	64	90	0.50	0.63	0.55	0.04	66
A V	0 ¹	0.43	67,120	80,900	75,360	5,170	98	525	600	555	27	93	0.54	0.70	0.64	0.05	76
	0.10 ²	0.43	43,350	92,800	78,670	18,650	102	315	659	569	115	94	0.47	0.75	0.59	0.09	70
	4.35 mm 0.15 ³	0.43	74,020	95,468	84,920	7,386	110	538	735	625	77	103	0.56	0.73	0.65	0.06	77
	0.20 ⁴	0.41	61,220	98,930	81,500	15,030	106	463	694	575	85	95	0.49	0.64	0.59	0.06	71
	0.30 ⁵	0.42	69,200	91,210	80,140	9,911	104	470	573	528	40	87	0.52	0.64	0.57	0.05	68
U	0 ¹	0.43	69,360	89,780	78,250	7,139	102	515	602	552	34	91	0.47	0.61	0.54	0.05	64
	0.10 ²	0.43	69,010	92,890	83,390	8,532	108	486	625	559	49	92	0.46	0.62	0.53	0.05	64
	6.75 mm 0.15 ³	0.43	70,710	84,030	79,720	5,124	103	512	599	537	31	88	0.45	0.53	0.50	0.03	60
	0.20 ⁴	0.44	69,980	89,540	77,030	6,600	100	485	662	552	68	91	0.48	0.64	0.54	0.06	64
	0.30 ⁵	0.44	64,010	86,950	78,320	8,335	102	441	590	521	55	86	0.46	0.60	0.52	0.06	63

Notes: FJP: finger joint profile, Min: minimum, Max: maximum, S.D: standard deviation,

E(%): efficiency of each condition

*1: Tip width - root width = 0, *2: Tip width - root width = 0.1, *3: Tip width - root width = 0.15,

*4: Tip width - root width = 0.2, *5: Tip width - root width = 0.3

1) 휨탄성계수

그림 2-2(I)은 스프루스 핑거접합재의 휨탄성계수의 유효율을 나타낸 것으로 소재에 비해 공차 0일때 모든 조건에서 약간 낮은 탄성계수를 나타내었으며 공차 0.20까지 공차가 증가하면 할수록 점차적으로 증가하다가 0.30에서 다시 낮아지는 경향을 나타내었다. 그러나, 소재보다 비교적 높은 휨탄성계수를 나타내었다.

접착재의 종류와 핑거 피치의 크기에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다.

2) 휨강도

그림 2-3(II)은 스프루스 핑거재의 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 87%이상으로 상당히 높은 값을 나타내고 있는데 공차 0.30을 제외하면 90%이상으로 매우 높은 유효율을 나타내었다.

핑거 피치 4.4mm의 경우 공차 0.15에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 공차 0.30을 제외하고는 공차에 의한 영향은 나타나지 않았다.

핑거 피치에 따라서는 영향이 없었으나, 접착제에 있어서는 RPF수지가 AVU수지보다 약간 높은 유효율을 나타내었다.

3) 최대처짐

스프루스의 경우 60-80%의 유효율을 나타내었으며, 핑거 피치 4.4mm가 6.8mm에 비해 최대처짐 유효율이 높게 나타났다.

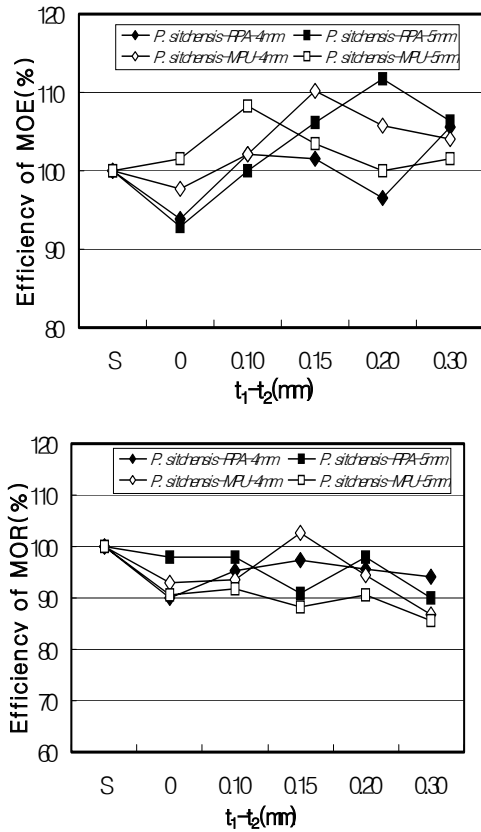


Fig. 2-2. Effect of $t_1 - t_2$ on MOE and MOR of spruce finger-jointed with RPF and AVU adhesive.

2.4.2 소나무 핑거접합재의 강도성능

표 2-3은 소나무 핑거접합재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각, 공차에

따른 밀도와 휨탄성계수, 휨강도 및 최대처짐의 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것으로 각 조건 당 시험편 7개의 평균값으로 작성하였다.

Table 2-3. The bending strength properties of pine finger-jointed woods.

FJP	Density	MOE					MOR(kgf/cm ²)					Deflection(mm)					
	Mean	Min	Max	Mean	S.D	E(%)	Min	Max	Mean	S.DE(%)	Min	Max	Mean	S.D	E(%)		
Solid wood (control)	0.54	53,070	104,300	84,240	16,270	100	683	940	795	76	100	0.77	1.19	0.97	0.14	100	
4.4 mm	0 ¹	0.53	62,230	103,770	88,540	15,210	105	438	779	668	117	84	0.43	0.59	0.52	0.06	54
	0.10 ²	0.53	64,770	106,000	83,610	16,090	99	407	757	597	135	75	0.32	0.70	0.50	0.13	52
	0.15 ³	0.54	70,880	113,490	86,660	14,340	103	569	878	697	112	88	0.51	0.73	0.57	0.08	59
	0.20 ⁴	0.55	74,720	104,740	88,660	11,800	105	569	790	685	92	86	0.46	0.65	0.56	0.07	58
	0.30 ⁵	0.54	59,010	109,560	84,630	17,430	101	497	664	594	64	75	0.43	0.71	0.54	0.10	56
RPF	0 ¹	0.53	62,910	93,380	74,870	11,210	89	513	675	568	62	72	0.47	0.55	0.52	0.04	54
	0.10 ²	0.55	72,640	119,370	89,310	17,290	106	570	729	659	54	83	0.37	0.57	0.49	0.07	51
	0.15 ³	0.53	64,440	95,900	82,010	12,040	97	552	675	603	48	76	0.43	0.62	0.49	0.06	51
	0.20 ⁴	0.56	77,540	114,820	92,560	12,950	110	599	718	652	43	82	0.40	0.54	0.48	0.05	49
	0.30 ⁵	0.52	73,810	109,180	89,220	13,250	106	541	685	602	55	76	0.40	0.56	0.45	0.06	47
AVU	0 ¹	0.51	73,390	82,250	78,990	3,700	94	524	608	567	36	71	0.45	0.63	0.55	0.08	57
	0.10 ²	0.55	79,020	103,450	90,500	10,080	107	509	734	609	80	77	0.42	0.52	0.50	0.05	51
	0.15 ³	0.54	78,130	98,730	85,090	8,290	101	495	731	658	94	83	0.54	0.71	0.62	0.08	64
	0.20 ⁴	0.56	65,060	100,210	86,270	13,350	102	546	641	591	41	74	0.40	0.62	0.48	0.08	50
	0.30 ⁵	0.55	68,930	99,730	82,810	11,260	98	520	664	579	48	73	0.41	0.55	0.48	0.05	50
6.8 mm	0 ¹	0.51	73,390	82,250	78,990	3,700	94	524	608	567	36	71	0.45	0.63	0.55	0.08	57
	0.10 ²	0.55	79,020	103,450	90,500	10,080	107	509	734	609	80	77	0.42	0.52	0.50	0.05	51
	0.15 ³	0.55	56,180	107,790	82,160	18,590	98	520	687	593	69	75	0.43	0.71	0.52	0.10	54
	0.20 ⁴	0.56	65,060	100,210	86,270	13,350	102	546	641	591	41	74	0.40	0.62	0.48	0.08	50
	0.30 ⁵	0.55	68,930	99,730	82,810	11,260	98	520	664	579	48	73	0.41	0.55	0.48	0.05	50

Notes: FJP: finger joint profile, Min: minimum, Max: maximum, S.D: standard deviation, E(%): efficiency of each condition

*1: Tip width - root width = 0, *2: Tip width - root width = 0.1, *3: Tip width - root width = 0.15,

*4: Tip width - root width = 0.2, *5: Tip width - root width = 0.3

1) 휨탄성계수

그림 2-3(I)은 소나무 핑거재의 휨탄성계수 유효율을 나타낸 것으로 그림 2-2(I)의 스프루스 핑거재에 비해서 낮은 휨탄성계수 유효율 89-110%를 나타내었다.

소나무 핑거재 역시 스프루스 핑거재와 마찬가지로 공차 0일때 낮은 유효율을 나타내었으며, 특히 레소시놀-페놀 공축합 접착제를 이용했을때 공차 0.20에서 가장 높은 값을 나타내었다.

접착제의 종류와 핑거 피치의 크기에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다.

2) 휨강도

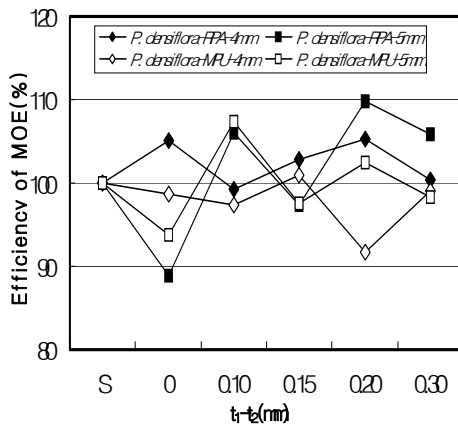
그림 2-3(II)은 소나무 핑거접합재의 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 71-88%로 스프루스 핑거접합재에 비해 낮은 유효율을 나타내었다.

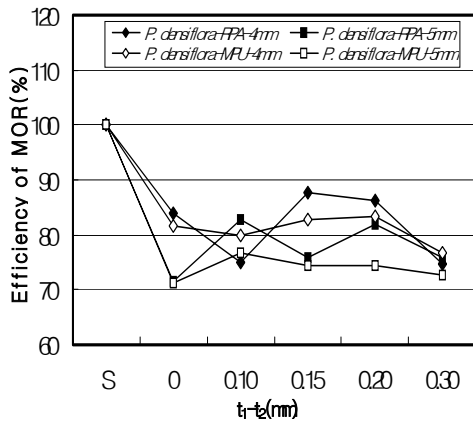
소나무 핑거접합재의 경우 공차 0.3에서는 다른 공차에 비해 낮은 휨강도 유효율을 나타내었으며, 핑거 피치 4.4mm의 경우 공차 0.15와 0.2에서 높은 유효율을 나타냈으며, 핑거 피치 6.8mm 경우 뚜렷한 특징을 나타내지 않았다.

접착제에 따라서는 탄성계수 유효율에서는 큰 차이를 나타내지 않았으나 휨강도 유효율에서는 동일 조건에서 RPF가 AVU보다 높은 유효율을 나타내었다.

3) 최대처짐

소나무 핑거접합재의 경우 47-67%의 유효율을 나타내었으며 핑거 피치 4.4mm가 6.8mm에 비해 최대처짐 유효율이 높게 나타났다.





< I >

< II >

Fig. 2-3. Effect of t_1-t_2 on MOE and MOR of pine finger-jointed woods with RPF and AVU resin.

본 실험에 사용된 수성비닐우레탄(AVU)를 사용하여 강도성능을 평가한 결과 레소시놀-페놀 공축합 접착제와 비슷한 경향을 나타내어 구조용 핑거재의 접착 용에도 사용이 가능하리라 생각된다.

다. 인장강도

1) 실험조건

휨시험편과 동일한 조건으로 핑거제작 → 핑거접합재에 밀도가 0.85-1.00(g/cm³)인 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 핑거접합재와 단차가 0.4mm가 되게 덧댄목(17.6mm×17.6mm×95mm)을 제작하여 순간접착제(Loctite e 401)로 접착 → 1.5mm의 드릴날로 덧댄목과 핑거재에 미리 구멍을 뚫은 후 2mm의 못을 이용하여 한쪽당 4개의 못을 박음 → 하중속도 0.5m m/min의 속도로 실시하여 인장영률과 인장강도, 최대변위를 측정

2) 스프루스재의 인장강도 성능

표 2-4는 스프루스재와 소나무재의 각 조건에 대하여 나타난 인장강도를 나타내었다.

Table 2-4 Tensile strength properties of pine and spruce finger-jointed woods.

FJP	spruce					<i>pine</i>						
	Density	Tensile strength(kgf/cm ²)				Density	Tensile strength(kgf/cm ²)					
	Mean	Min	Max	Mean	S.D	Mean	Min	Max	Mean	S.D		
RPF	0 ^{*1}	0.43	458	693	548	81	0.54	456	678	557	85	
	0.10 ^{*2}	0.43	472	656	575	71	0.52	497	576	535	28	
	4.4 mm	0.15 ^{*3}	0.42	472	759	582	102	0.54	390	597	496	74
	0.20 ^{*4}	0.42	502	675	603	64	0.57	521	720	634	71	
	0.30 ^{*5}	0.44	449	699	558	80	0.56	396	629	523	95	
	0 ^{*1}	0.41	350	550	444	84	0.54	395	579	466	91	
	0.10 ^{*2}	0.42	486	689	556	84	0.52	240	562	374	116	
	6.8 mm	0.15 ^{*3}	0.43	373	695	567	121	0.53	389	581	477	78
	0.20 ^{*4}	0.43	461	659	568	78	0.53	400	617	494	77	
	0.30 ^{*5}	0.44	370	624	518	103	0.43	77	577	416	195	
AVU	0 ^{*1}	0.42	389	702	553	125	0.55	538	666	613	44	
	0.10 ^{*2}	0.42	458	657	545	66	0.55	349	766	564	128	
	4.4 mm	0.15 ^{*3}	0.43	454	664	566	77	0.52	522	675	584	54
	0.20 ^{*4}	0.42	423	742	578	121	0.53	507	713	584	79	
	0.30 ^{*5}	0.41	415	537	471	46	0.53	289	554	430	103	
	0 ^{*1}	0.42	324	441	386	46	0.54	338	498	426	55	
	0.10 ^{*2}	0.43	328	530	448	73	0.54	403	633	512	75	
	6.8 mm	0.15 ^{*3}	0.45	327	607	454	97	0.53	436	557	485	41
	0.20 ^{*4}	0.44	381	637	489	82	0.53	419	557	492	53	
	0.30 ^{*5}	0.44	303	608	477	100	0.57	431	478	455	22	

Notes: FJP: finger joint profile, Min: minimum, Max: maximum, S.D; standard deviation.

*1: Tip width - root width = 0, *2: Tip width - root width = 0.1, *3: Tip width - root width = 0.15,

*4: Tip width - root width = 0.2, *5: Tip width - root width = 0.3

그림 2-4는 스프루스재의 접착제와 핑거 피치 공차에 따른 인장강도를 나타내었다.

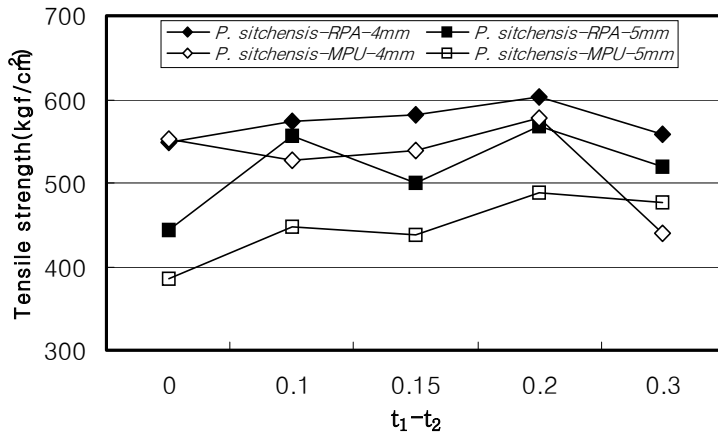


Fig. 2-4. Effect of t_1-t_2 on tensile strength of spruce finger-jointed woods with RPF and AVU resin.

핑거 피치 4.4mm가 6.8mm에 비해 약간 높은 인장강도 성능을 나타내었으며, 공차 0에서 0.20까지 점차적으로 증가하다가 공차 0.3에서 인장강도가 급격히 감소하였다.

접착제에 따른 인장강도는 RPF가 AVU에 비하여 높은 인장강도를 나타내었다.

공차에 따라서는 0.2에서 가장 높은 인장강도를 나타내었고 특히, 핑거 피치 4.4mm로 RPF로 접착한 조건에서 가장 높게 나타났다.

다. 소나무재의 인장강도 성능

그림 2-5는 소나무재의 인장강도를 나타내었다.

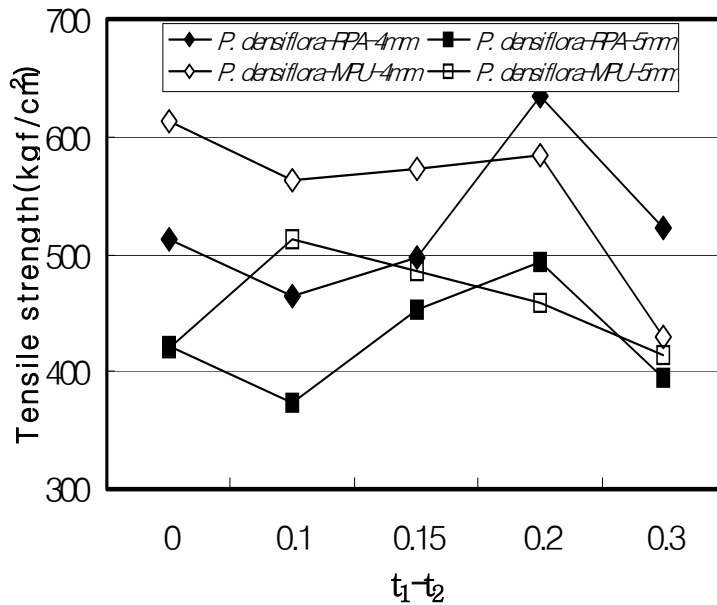


Fig. 2-5. The effect of t_1-t_2 on tensile strength of pine finger-jointed with RPF and AVU resin.

핑거 피치 4.4mm에서는 비교적 공차 0과 0.2에서 높은 인장강도를 나타내었다. 핑거 피치 4.4mm가 핑거 피치 6.8mm에 비해 높은 인장강도를 나타내었다.

접착제의 종류에 따라서는 스프루스재의 경향과는 달리 큰 영향을 미치지 않았다. 공차별에 따라서는 스프루스재와 유사한 공차 0.2에서 상대적으로 높은 강도를 나타내었다.

결 론

이 연구에서는 문틀용 집성재 제조를 위한 라미나의 제조를 위한 최적조건을 위하여 라미나 제조시 발생하는 문제점 및 해결방안을 제시하였다. 또한 라미나 접착가공을 위한 최적도출을 위하여 역학적(기계적) 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 스프루스재의 경우 대패절삭에서 약 15%정도의 절삭불량재가 나타났으나 다듬달대패 가공작업으로 해결되었다.
- 2) 스프루스재와 소나무재의 화학적 추출물의 양은 그 차이가 거의 인정되지 않았다.
- 3) 소나무재의 휨강도 유효율이 스프루스재의 그것보다 약간 낮았으며 공차 0.15와 0.2에서 최적의 조건이었으며 RPF가 AVU보다 높은 접착강도성능을 나타내었다.
- 4) 소나무재의 인장강도 유효율이 스프루스재의 그것보다 약간 낮았으며 공차 0.15와 0.2에서 최적의 조건이었으며 RPF가 AVU보다 높은 접착강도성능을 나타내었다.

타내었다.

Ⅲ. 문틀용 집성재 제조기술 개발

1. 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 조건 탐색

1.1 핑거간 거리를 변화시킨 핑거접합재의 접합기술개발

1.1.1 재료 및 방법

가. 공시재료

국산재인 소나무(*P. densiflora*)와 수입재인 스프루스(*P. sitchensis*)를 사용하였다.

나. 실험방법

1) 라미나 가공조건

전년도의 연구결과를 참고로 하여 시험재의 치수 22×22×320mm가공하여 육안에 의하여 결점재를 제거후 밀도와 탄성계수 평가를 하여 각조건별로 고루 분포하도록 분류한 후 핑거 피치의 크기는 4.5mm(M) 및 6.8mm(L), 핑거공차는 0.15mm, 접착제는레소시놀-페놀 공축합(resocinol-phenol adhesive, RPA) 및 수성고분자 이소시아네이트(aqueous vinyl polymer solution-isocyanate, MPU-500) 로 중 접합 하였다. 중접합은 전년도와 동일하게 강도시험기를 이용하여 압력: 3.92Mpa(20초간 유지)으로 제작 양생한 후 20×20×320mm로 절삭가공하여 횡접합하였는데 이것은 1)유압프레스 및 2)토크렌치와 클램프를 이용하여 실시하였다. 횡접합시에는 중접된 2분의 라미나를 핑거와 핑거사이의 거리를 두었는데 이 거리는 라미나 두께가 많은 영향을 미치기 때문에 이를 기준으로 0, 1.5, 2, 2.5, 3배의 5조건으로 하였다.

2) 유압프레스에 의한 횡접합

유압프레스에 의한 횡 접합은 최대하중 30,000 kgf(Carver Inc, 2696)을 이

용하여 RPA와 MPU-500를 도포한 후 Fig. 3-1과 같이 압체하였다. 이때 압체압력은 0.981MPa로 조정하였으며 압체 기간은 24시간이었다. 그리고 소나무 및 스프루스 재 각 10 본씩 접합시킨 후 강도성능시험을 실시하였다.

3) 토크렌치와 클램프에 의한 횡 접합법

토크렌치(Tonichi DB3, 900 kgf·cm)에 의한 횡 접합은 나사 클램프(피치-2.28mm, 직경-19.5mm)를 이용하였으며 접착제의 도포 및 압체방압력 등의 조건은 유압프레스의 경우와 동일하게 실시하였으며 압체압력은 다음 식을 이용하여 계산하였다. 그리고 유압프레스의 경우와 동일하게 소나무 및 스프루스 재 각 10 본씩 접합시킨 후 강도성능시험을 실시하였다.

$$FL = WR \frac{(\pi f D + k)}{\pi D - f k} = \frac{WD}{2} \times \frac{(\pi f D + k)}{\pi D - f k}$$

式에서, F=level에 걸리는 힘(kg)

L=level arm의 길이(cm)

R=나사의 평균반경(cm)

D=나사의 평균직경(cm)

1.1.2 결과

가. 강도시험기를 이용한 종접합법 - 만능강도시험기(Shimadzu, AGS-10KNG) 스핀: 300mm, 하중속도: 7 mm/min

나. 유압프레스에 의한 횡 접합법

소나무 및 스프루스재 20×20×320mm 2분을 피치 4.5mm 및 6.8mm, 공차 조건: 0.15, RPA 및 MPU-500접착제로 종접합 및 유압프레스로 횡접합한 재(그림) 각각 10 본씩을 강도시험 한 후 강도 및 파괴 형태를 관찰한 결과 접착층에서는 전혀 파괴가 나타나지 않고 목부에서만 파괴가 일어나 유압프레스로 양호한 횡접합이 가능하였다.

다. 토크렌치에 의한 횡 접합법

소나무 및 스프루스재 20×20×320mm 2분을 피치 4.5mm 및 6.8mm, 공차 조건: 0.15, RPA 및 MPU-500접착제로 종접합 및 유압프레스와 동일한 압력으로 토크렌치 및 클램프로 횡접합한 재(그림) 각각 10 본씩을 강도시험 한 후 강도 및 파괴 형태를 관찰한 결과 접착층에서는 전혀 파괴가 나타나지 않고 목부에서만 파괴가 일어나 토크렌치 및 클램프로도 양호한 횡접합이 가능하였다.



Fig. 3-1. Apparatus for edge joint by press.

1.2 핑거간 거리를 변화시킨 핑거접합재의 정적 휨 강도성능평가

1.2.1 재료 및 방법

가. 공시수종

- 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*)

나. 실험방법

1) 시험편 조건 및 제작

가) 핑거간거리는 시험편두께에 따른 비로 그 비는 0, 1.5, 2, 2.5, 3의 5조건

나) 종 접합

(1) 접착제종류 - 레소시놀-페놀 공축합수지(resorcinol-phnol formaldehyde resin, RPF), 수성비닐우레탄(aqueous vinyl urethane, AVU)

(2) 압체압력 - 3.92MPa (20초 유지)

(3) 핑거피치의 크기 - 4.4mm, 6.8mm

(4) 핑거공차 - 0.15mm

2) 정적 휨 시험

가) 시험기 - 만능강도시험기(형식 : 유압식 서버펄스형(EHF-ED10-20L)).

나) 시험조건 - 스펠 30cm의 3점하중방식(중앙집중식).

다. 조사항목

- 1) 핑거접합재의 휨 강도성능에 미치는 핑거간거리의 영향 조사

- 2) 핑거접합재의 휨 강도성능에 미치는 핑거간 거리와 수종과의 관계규명
- 3) 핑거접합재의 휨 강도성능에 미치는 핑거간거리와 핑거피치와의 관계규명

1.2.2 결과

가. 소나무재의 정적 휨강도성능

1) 휨 탄성계수

Table 3-1은 각각 핑거공차 0.15mm를 사용하여 소나무 핑거접합재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각에 따른 밀도와 휨 탄성계수, 휨 강도 및 최대변위(처짐)를 각 조건 당 시험편 4개를 사용하여 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 3-1. Results of static bending test for pine finger-jointed wood.

A _k	P	R _t	ρ		E _b			σ _b				D						
			(Mg/m ³)		(GPa)			(MPa)				(mm)						
		Mean		Min	Max	Mean	S.D	E _{be} (%)	Min	Max	Mean	S.D	σ _b e(%)	Min	Max	Mean	S.D	E _b e(%)
Solid			0.499	6.22	12.2	8.30	1.89	100	63.7	70.3	76.5	2.77	100	0.752	0.963	0.885	0.088	100
4.4	0	0.551	8.36	8.39	8.38	3.74	101	63.0	64.6	63.8	35.2	83.4	0.538	0.611	0.575	0.283	60.2	
	1	0.572	4.32	12.6	8.15	3.47	98.2	37.5	90.1	67.5	23.8	88.3	0.547	0.835	0.676	0.215	70.8	
	2	0.505	6.95	8.76	7.77	1.10	93.6	60.7	78.9	66.6	21.1	87.1	0.798	0.849	0.822	0.429	86.2	
	2.5	0.556	5.24	11.4	8.06	3.83	97.0	61.5	107	83.0	32.2	109	0.878	1.19	1.06	0.304	111	
	3	0.562	5.67	12.4	8.64	3.67	104	57.8	109	81.4	32.5	106	0.811	1.02	0.920	0.320	96.4	
RPF	0	0.544	5.76	10.4	8.44	2.90	102	44.3	88.7	61.7	21.2	80.7	0.417	0.721	0.538	0.149	56.4	
	1	0.567	6.12	11.0	8.39	3.02	101	57.8	73.3	65.5	20.6	85.7	0.580	1.18	0.757	0.367	79.4	
	2	0.594	6.02	12.2	8.97	3.47	108	69.7	104	83.6	31.3	109	0.752	1.28	0.951	0.327	99.7	
	2.5	0.581	5.88	8.86	7.42	2.08	89.3	52.7	86.1	73.7	23.4	96.3	0.491	1.16	0.879	0.354	92.1	
	3	0.527	7.08	9.83	8.48	3.05	102	70.1	85.3	77.2	24.7	101	0.826	1.02	0.932	0.267	97.6	
Solid			0.555	5.29	9.65	7.88	1.90	100	76.5	87.7	81.4	11.8	100	0.815	1.02	0.907	0.093	100
4	0	0.541	6.20	10.8	8.13	2.84	103	54.6	82.2	66.4	20.1	81.5	0.586	0.681	0.633	0.101	64.3	
	1	0.523	6.52	9.82	8.07	2.68	102	59.9	74.5	67.1	21.9	82.5	0.614	0.758	0.685	0.267	69.5	
	2	0.499	7.93	9.69	9.14	2.97	116	63.4	80.0	71.9	23.4	88.3	0.708	0.970	0.864	0.285	87.7	
	2.5	0.547	6.75	9.15	7.99	2.43	101	67.4	81.2	74.0	23.5	90.9	0.786	0.966	0.891	0.280	90.5	
	3	0.540	6.18	9.89	8.26	3.02	105	70.2	87.9	78.1	25.5	96.0	0.920	1.179	1.061	0.368	108	
AVU	0	0.552	6.76	9.52	8.10	2.97	103	55.5	63.3	59.6	21.6	73.2	0.451	0.674	0.559	0.227	56.8	
	1	0.540	6.91	9.93	8.12	2.63	103	53.6	89.1	71.5	26.0	87.9	0.664	0.973	0.845	0.299	85.8	
	2	0.520	6.74	10.5	8.45	3.05	107	58.7	83.9	73.4	23.1	90.1	0.694	1.07	0.811	0.278	82.3	
	2.5	0.527	6.44	9.09	7.81	2.39	99.1	61.2	81.5	72.6	23.7	89.2	0.774	1.03	0.875	0.284	88.7	
	3	0.530	6.72	9.77	8.32	3.22	106	74.5	89.5	82.1	29.9	101	0.990	1.25	1.11	0.427	113	

Notes; A_k: Kind of adhesive, P: Pitch R_t: Ratio of specimen thickness, ρ: Density, E_b: Bending modulus of elasticity(MOE), σ_b: Modulus of rupture(MOR), D: Deflection, E_be: Efficiency of MOE, σ_be: Efficiency of MOR, D_be: Efficiency of deflection, RPF: Resorcinol-phenol formaldehyde resin, AVU: Aqueous vinyl urethane, Min: Minimum, Max: Maximum, S.D: Standard deviation.

핑거접합부는 결합과 같은 역할을 하므로 이에 대한 영향평가를 위해서는 재료의 두께와 거리에 따라 큰 영향을 받으므로 두께 비 및 거리에 대하여 검토하였다. 또한 압체압력 방법에서는 프레스와 토크렌치와 클램프를 이용한 결과가 동일하였으므로 이하의 시험편제작시의 압체에는 프레스를 이용하였다.

Fig. 3-2는 유압프레스를 이용하여 횡 접합한 핑거위치이동재의 휨탄성계수의 유효율을 나타낸 것이다. 휨 탄성계수의 유효율의 범위는 접착제에 따라 RPF의 핑거접합재의 경우 핑거피치4.4mm(S)에서 93.6%-104%, 핑거피치6.8mm(L)에서 89.3%-108%의 높은 접합유효율을 나타내었고, AVU의 핑거접합재의 경우 핑거피치4.4mm(S)에서 101%-106%, 핑거피치6.8mm(L)에서 99.1%-107%의 접합유효율을 나타내었다. 소재와 핑거접합재 사이의 차이가 거의 나타나지 않았으며 오히려 접착제의 영향으로 소재보다도 높은 경우도 나타났다.

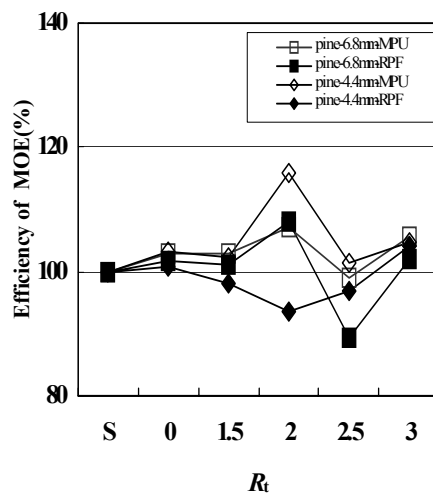
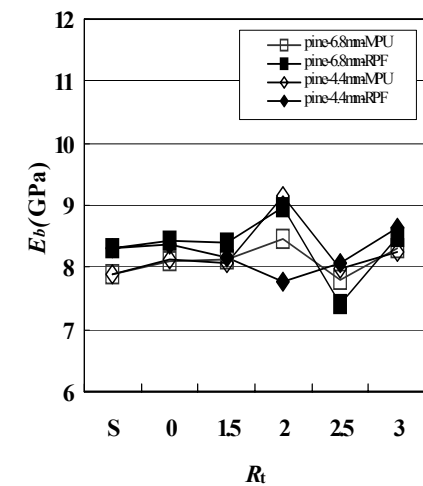


Fig. 3-2. Effect of finger position on modulus of elasticity.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Eb: Bending modulus of elasticity(MOE)

2) 휨강도

Fig. 3-3은 소나무 횡접 핑거위치이동재 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 핑거 위치가 하중점중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소재두께의 2.5배 이상에서는 소재와 거의 동일한 유효율을 나타내었다. 접착제에 있어서는 레소시놀과 AVU에서 거의 차가 나타나지 않았다.

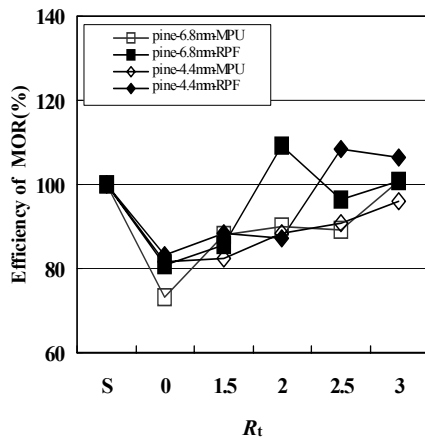
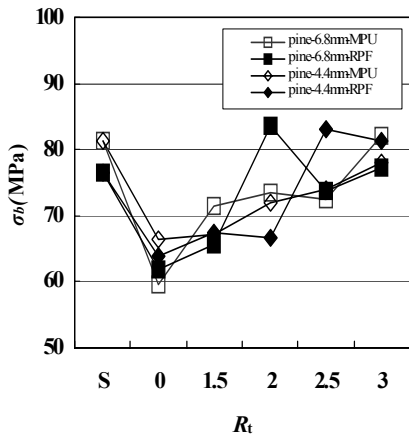


Fig. 3-3. Effect of finger position on modulus of rupture.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, σb: Bending modulus of rupture(MOR)

3) 최대처짐

Fig. 3-4는 소나무 횡접 핑거위치이동재의 최대변위유효율을 나타낸 것으로 휨강도의 경우와 마찬가지로 핑거 위치가 하중점 중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소재두께의 2.5배 이상에서는 소재와 거의 동일한 유효율을 나타내었다. 접착제에 있어서는 레소시놀과 AVU에서 거의 차가 나타나지 않았다.

따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다.

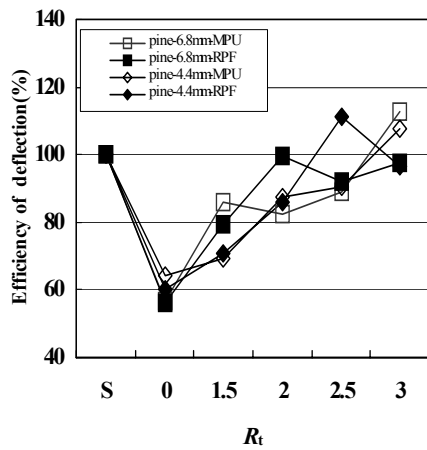
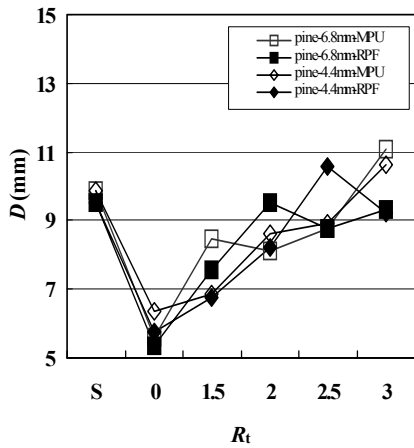


Fig. 3-4. Effect of finger position on deflection.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, D: Deflection.

4) 파괴위치

하중점에서의 거리가 0 및 1.5배인 경우는 핑거부에서 모두 파괴가 일어났지만 거리가 2 및 2.5 배에서는 핑거부에서의 파괴는 핑거피치가 큰 경우에 일부 나타났고 작은 경우에는 1분만이 핑거부에서 파괴가 일어났다.

나. 스프루스재의 정적 휨강도성능

1) 휨 탄성계수

Table 3-2는 각각 핑거공차 0.15mm를 사용하여 스프루스 핑거접합재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각에 따른 밀도와 휨 탄성계수, 휨 강도 및 최대 변위(처짐)를 각 조건 당 시험편 4개를 사용하여 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 3-2. Results of static bending test for spruce finger-jointed woods.

A_k	P	Rt	ρ	E_b				σ_b				D						
				(mm)		(Mg/m ³)		(GPa)		(MPa)		(mm)		E _{be} (%)				
			Mean	Min	Max	Mean	S.D	E _{be} (%)	Min	Max	Mean	S.D	σ_{be} (%)	Min	Max	Mean	S.D	E _{be} (%)
Solid			0.464	7.56	10.9	9.00	1.31	100	62.3	94.8	78.1	11.5	100	0.779	1.17	0.966	0.143	100
4.4	0	0.465	5.07	11.3	8.73	4.03	97.0	55.5	80.5	68.5	27.7	87.8	0.541	0.861	0.670	0.267	69.3	
	1	0.475	5.35	11.3	8.87	3.08	98.6	47.4	88.4	90.4	24.3	90.2	0.643	0.965	0.761	0.254	78.7	
	2	0.471	9.87	9.87	9.87	4.80	110	76.8	76.8	76.8	37.3	98.4	0.927	0.927	0.927	0.476	95.9	
	2.5	0.468	5.45	12.3	8.90	2.35	98.8	48.1	101	74.2	18.7	95.1	0.714	1.16	0.999	0.206	103	
	3	0.489	6.54	12.3	9.56	3.82	106	65.4	102	79.0	30.5	101	0.789	1.03	0.897	0.325	92.8	
RPF	0	0.504	7.34	11.2	9.37	2.84	104	65.3	74.9	70.4	18.2	90.2	0.505	0.885	0.609	0.204	63.0	
	1	0.463	7.37	11.0	9.24	3.15	103	63.8	87.9	74.1	26.5	94.9	0.785	0.887	0.844	0.289	87.3	
	2	0.482	7.06	11.2	9.40	3.18	104	61.1	91.5	76.1	24.8	97.4	0.691	1.05	0.905	0.305	93.7	
	2.5	0.465	9.08	11.3	9.78	3.09	109	60.4	87.9	71.3	23.1	91.3	0.723	0.941	0.808	0.240	83.6	
	3	0.474	6.73	11.5	9.34	3.27	104	57.7	89.0	73.5	25.2	94.2	0.602	1.02	0.840	0.322	87.0	
Solid			0.457	5.96	11.2	9.21	2.48	100	6.35	91.4	75.7	19.9	100	0.668	1.35	1.05	0.291	100
4.4	0	0.462	8.05	11.2	9.48	3.42	103	57.7	78.9	66.9	25.3	88.3	0.560	0.704	0.650	0.170	61.6	
	1	0.485	8.25	10.4	9.35	2.83	101	64.4	85.0	78.6	25.2	104	0.684	0.957	0.837	0.315	79.4	
	2	0.440	8.29	9.18	8.61	2.91	93.4	54.3	72.9	63.8	20.7	84.3	0.496	0.906	0.734	0.272	69.6	
	2.5	0.472	8.32	10.6	9.13	2.91	99.1	66.4	88.8	75.1	26.0	99.1	0.685	1.20	1.03	0.394	97.5	
	3	0.448	8.16	9.60	9.05	3.13	98.3	67.2	74.7	72.1	23.3	95.3	0.733	1.09	0.923	0.303	87.5	
AVU	0	0.455	6.94	10.3	8.82	2.82	95.7	53.1	67.5	61.2	17.7	80.8	0.330	0.639	0.515	0.149	48.9	
	1	0.508	7.62	11.1	9.52	3.39	103	67.7	82.9	73.3	25.6	96.8	0.758	0.946	0.860	0.325	81.6	
	2	0.472	9.30	10.0	9.76	3.20	106	64.0	74.8	70.1	22.7	92.7	0.585	0.704	0.636	0.163	60.3	
	2.5	0.469	7.34	10.8	9.23	3.27	100	67.4	89.7	74.9	28.1	99.0	0.848	1.34	1.15	0.541	109	
	3	0.474	7.86	10.8	9.41	2.96	102	69.9	82.5	75.7	21.8	100	0.743	1.12	0.908	0.211	86.1	

Notes; A_k : Kind of adhesive, P: Pitch Rt: Ratio of specimen thickness, ρ : Density, E_b : Bending modulus of elasticity(MOE), σ_b : Bending modulus of rupture(MOR), D : Deflection, E_{be} : Efficiency of MOE, σ_{be} : Efficiency of MOR, D_{be} : Efficiency of deflection, RPF: Resorcinol-phenol formaldehyde resin, AVU: Aqueous vinyl polymer solution isocyanate, Min: Minimum, Max: Maximum, S.D: Standard deviation.

핑거접합부는 결함과 같은 역할을 하므로 이에 대한 영향평가를 위해서는 재료의 두께와 거리에 따라 큰 영향을 받으므로 두께비 및 거리에 대하여 검토하였다. 또한 압착압력 방법에서는 프레스와 토크렌치와 클램프를 이용한 결과가 동일하였으므로 이하의 시험편제작시의 압착에는 소나무재에서와 같이 프레스를 이용하였다.

Fig. 3-5는 프레스를 이용하여 횡접 핑거위치이동재의 휨탄성계수의 유효율을 나타낸 것 유효율의 범위가 접착제에 따라 RPF의 핑거접합재의 경우 핑거피치

4.4mm(S)에서 97%-110%, 핑거피치6.8mm(L)에서 103%-109%의 높은 접합유효율을 나타내었고, AVU의 핑거접합재의 경우 핑거피치4.4mm(S)에서 93.4%-103%, 핑거피치6.8mm(L)에서 95.7%-106%의 접합유효율을 나타내었다. 소재와 접합재의 차이가 거의 나타나지 않았으며 오히려 접착제의 영향으로 소재보다도 높은 경우도 나타났다.

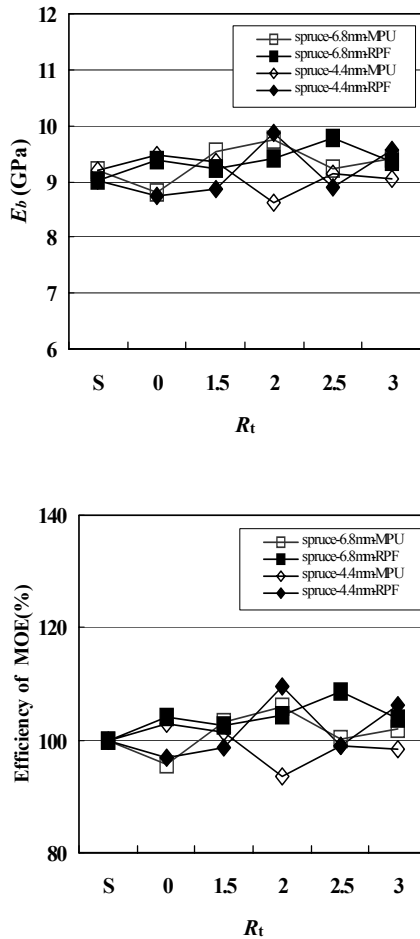


Fig. 3-5. Effect of finger position on modulus of elasticity.
Notes; R_t : Ratio of specimen thickness, E_b : Bending modulus of elasticity(MOE)

2) 휨강도

Fig. 3-6은 소나무 횡접 핑거위치이동재 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 핑거 위치가 하중점중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소재두께의 2.5배 이상에서는 소재와 거의 동일한 유효율을 나타내었다. 접착제에 있어서는 레소시놀과 AVU에서 거의 차가 나타나지 않았다.

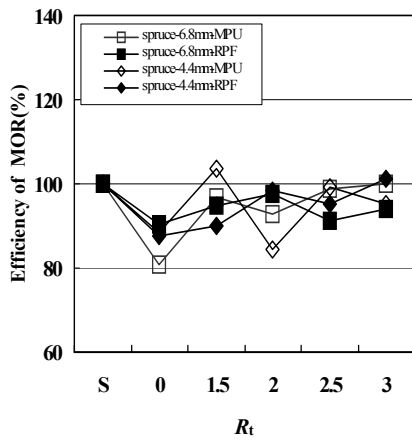
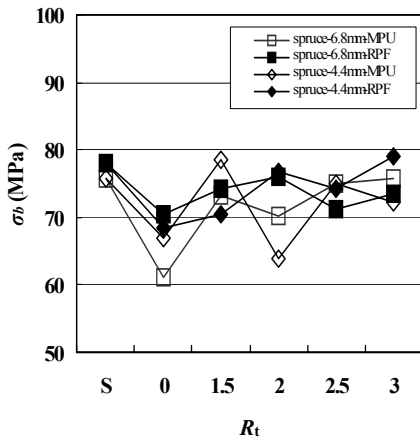


Fig. 3-6. Effect of finger position on modulus of rupture.
 Notes; R_t: Ratio of specimen thickness, σ_b: Bending modulus of rupture(MOR)

3) 최대처짐

Fig. 3-7은 스프루스 횡집 핑거위치이동재의 최대편향유효율을 나타낸 것으로 휨강도의 경우에서와 같이 핑거위치가 하중점 중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다.

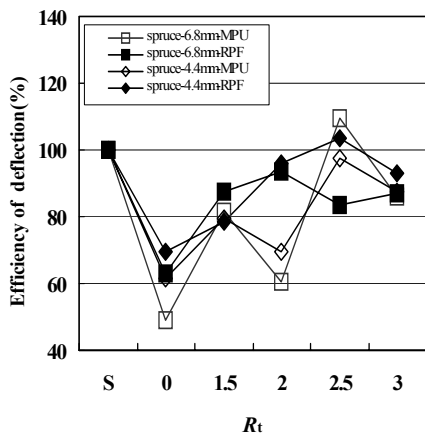
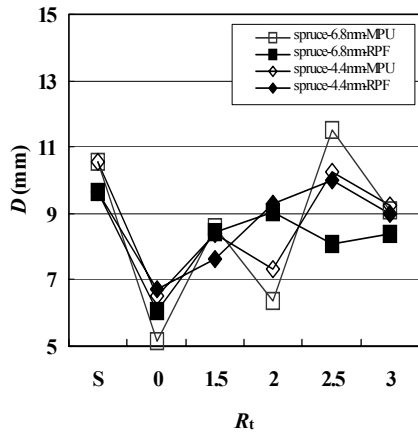


Fig. 3-7. Effect of finger position on deflection.
Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Db: Deflection.

4) 파괴위치

하중점에서의 거리가 0 및 1.5배인 경우는 핑거부에서 모두 파괴가 일어났지만 거리가 2 및 2.5 배에서는 핑거부에서의 파괴는 핑거피치가 큰 경우에 일부 나타났지만 작은 경우에는 1본 만이 나타났다.

2. 라미나 접합부의 거리 및 위치에 대한 조건탐색

2.1 하중점으로부터 핑거접합부의 위치를 변화시킨 핑거접합재의 휨 강도 성능평가

2.1.1 재료 및 방법

가. 공시수종

- 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*)

나. 조사항목

- 가. 핑거접합부의 핑거접합부의 위치가 휨 강도성능에 미치는 영향
- 나. 핑거접합부의 위치와 핑거피치의 크기와의 관계 조사
- 다. 핑거접합부의 위치와 접착제의 종류와의 관계조사

다. 실험방법

1) 시험편 조건 및 제작

라미나 가공조건은 시험재의 치수 22×22×320mm로 가공하여 육안에 의하여 결점재를 제거후 밀도와 탄성계수 평가를 하여 각조건별로 고루 분포하도록 분류한 후 핑거 피치의 크기: 4.5mm 및 6.8mm, 공차 조건: 0.15, 접착제: RPA와 AVU로 3.92MPa(20초간 유지)의 압력을 가하여 중접합하였다. 또한 이 중접합된 라미나는 휨 강도시험시 하중점에서 핑거위치까지의 거리를 달리하였는데 이 거리는 라미나 두께가 많은 영향을 미치기 때문에 이 거리는 라미나 두께의 0, 1.5, 2, 2.5, 3배의 5조건으로 하였다.

2) 정적 휨 시험

- 가) 시험기 - 만능강도시험기(형식: 유압식 서버펄스형(EHF-ED10-20L)).
- 나) 시험조건 - 스펠 30cm의 3점하중방식(중앙집중식).

2.1.2 결과

가. 소나무재의 정적 휨강도성능

1) 휨 탄성계수

Table 3-3은 각각 핑거공차 0.15mm를 사용하여 소나무 핑거접합재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각에 따른 밀도와 휨탄성계수, 휨강도 및 최대편향을 각 조건 당 시험편 4개를 사용하여 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다. 핑거접합부는 결함과 같은 역할을 하므로 이에 대한 영향평가를 위해서는 재료의 두께와 거리에 따라 큰 영향을 받으므로 두께비 및 거리에 대하여 검토하였다. 또한 압체압력 방법에서는 프레스와 토크렌치와 클램프를 이용한 결과가 동일하였으므로 이하의 시험편제작시의 압체에는 프레스를 이용하였다.

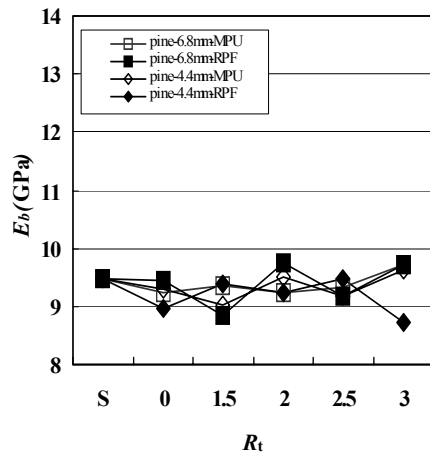
Fig. 3-8은 프레스를 이용하여 제조한 핑거위치이동재의 휨탄성계수의 유효율을 나타낸 것 유효율의 범위가 접착제에 따라 RPF의 핑거접합재의 경우 핑거

피치4.4mm(S)에서 92.3%-100%, 핑거피치6.8mm(L)에서 93.4%-103%의 높은 접합유효율을 나타내었고, AVU의 핑거접합재의 경우 핑거피치4.4mm(S)에서 95.4%-102%, 핑거피치6.8mm(L)에서 97.6%-103%의 접합유효율을 나타내었다. 소재와 접합재의 차이가 거의 나타나지 않았으며 오히려 접착제의 영향으로 소재보다도 높은 경우도 나타났다.

Table 3-3. Results of static bending test for pine finger-jointed woods.

A_k	P (mm)	R_t (mm)	ρ (Mg/m^3)	E_b (GPa)				σ_b (MPa)				D (mm)						
				Mean	Min	Max	S.D	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	Min	Max	Mean	S.D	
Solid			0.507	5.72	11.0	9.47	2.11	100	57.5	86.6	79.4	10.7	100	0.83	1.58	1.13	0.28	100
	4.4	0	0.512	6.51	10.5	8.96	1.75	94.6	55.3	66.5	61.5	5.32	77.4	0.490	0.776	0.621	0.119	54.9
		1.5	0.498	8.09	10.7	9.38	1.05	99.1	64.7	80.6	70.2	7.34	88.3	0.689	1.09	0.860	0.174	76.0
		2	0.541	6.42	11.47	9.24	2.09	97.6	70.1	98.1	81.1	12.1	102	1.13	1.40	1.23	0.117	109
		2.5	0.547	8.29	10.7	9.42	0.97	100	77.8	83.6	79.7	2.69	104	0.913	1.33	1.12	0.172	98.9
		3	0.507	8.36	10.3	9.48	0.89	92.3	77.1	85.6	82.8	3.86	91.9	0.930	1.28	1.13	0.159	100
	RPF	0	0.540	7.34	11.3	9.43	1.61	99.7	54.4	66.6	61.2	5.47	77.0	0.481	0.673	0.588	0.079	52.0
		1.5	0.521	6.99	10.0	8.85	1.37	93.4	49.3	68.1	59.0	8.48	74.3	0.392	0.761	0.628	0.162	55.5
		2	0.535	7.91	11.7	9.75	1.68	103	70.4	83.0	76.0	5.82	95.7	0.641	1.08	0.860	0.181	76.1
		2.5	0.556	7.70	10.3	9.18	1.28	97.0	64.2	73.7	71.0	4.53	89.4	0.654	1.24	0.824	0.277	72.9
		3	0.549	8.40	10.6	9.71	1.17	103	72.5	95.2	85.6	11.8	108	0.865	1.37	1.11	0.255	98.1
	4.4	0	0.540	7.33	10.5	9.31	1.48	98.3	56.9	67.0	61.0	4.29	76.8	0.556	0.770	0.665	0.100	58.8
		1.5	0.548	6.95	10.8	9.04	1.92	95.4	57.7	86.1	74.0	14.6	93.1	0.750	0.861	0.812	0.057	71.8
		2	0.559	8.53	10.5	9.50	0.81	100	71.1	88.2	79.6	7.58	100	0.881	1.23	1.02	0.154	90.6
		2.5	0.515	7.86	9.90	9.18	0.92	97.0	69.1	79.8	75.2	5.28	94.7	0.885	1.13	1.03	0.114	91.4
3		0.514	8.24	11.5	9.63	1.37	102	71.4	93.7	81.3	9.22	102	1.10	1.27	1.16	0.077	103	
A V U	0	0.545	6.99	10.6	9.24	1.58	97.6	46.0	66.1	58.3	8.79	73.4	0.523	0.639	0.571	0.06	50.5	
	1.5	0.521	7.06	11.3	9.37	1.83	98.9	59.3	70.8	65.0	4.70	81.9	0.537	0.859	0.685	0.140	60.5	
	2	0.554	7.95	10.5	9.25	1.04	97.7	62.7	79.0	70.8	11.5	89.1	0.624	0.827	0.726	0.144	64.1	
	2.5	0.538	7.83	10.2	9.32	1.06	98.4	72.7	80.0	76.6	3.37	96.5	0.710	1.20	0.970	0.212	85.7	
	3	0.537	8.18	10.8	9.70	1.10	103	76.1	87.6	81.0	4.84	102	0.868	1.06	1.01	0.073	89.0	

Notes: A_k : Kind of adhesive, P : Pitch R_t : Ratio of specimen thickness, ρ : Density, E_b : Bending modulus of elasticity(MOE), σ_b : Modulus of rupture(MOR), D : Deflection, E_{be} : Efficiency of MOE, σ_{be} : Efficiency of MOR, D_{be} : Efficiency of deflection, RPF: Resorcinol-phenol formaldehyde resin, AVU: Aqueous vinyl urethane, Min: Minimum, Max: Maximum, S.D: Standard deviation.



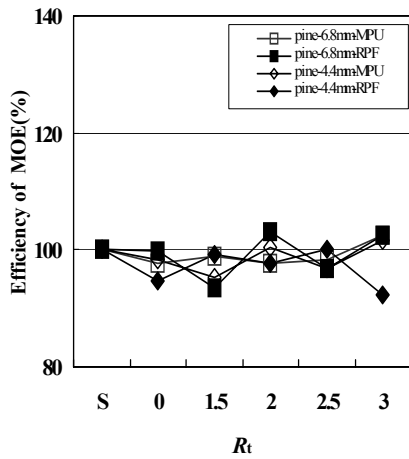
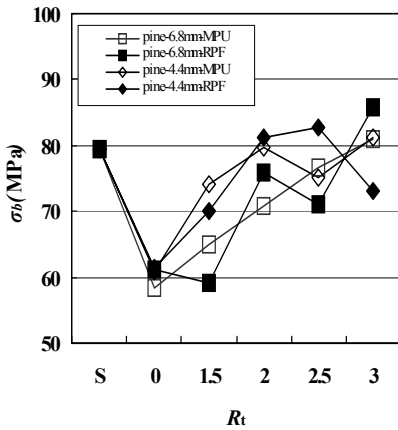


Fig. 3-8. Effect of finger position on modulus of elasticity.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Eb: Bending modulus of elasticity(MOE)

2) 휨강도

Fig. 3-9는 소나무 핑거위치이동재 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 핑거위치가 하중점중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소재두께의 2.5배 이상에서는 소재와 거의 동일한 유효율을 나타내었다. 접착제에 있어서는 레소시놀과 AVU에서 거의 차가 나타나지 않았다.



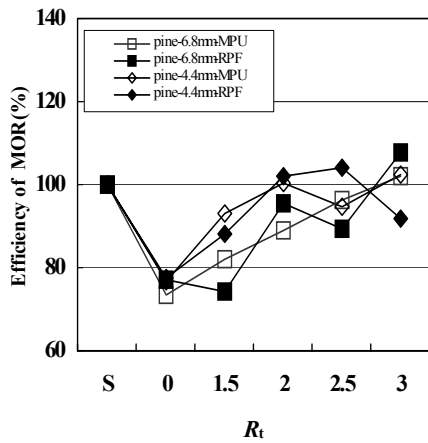
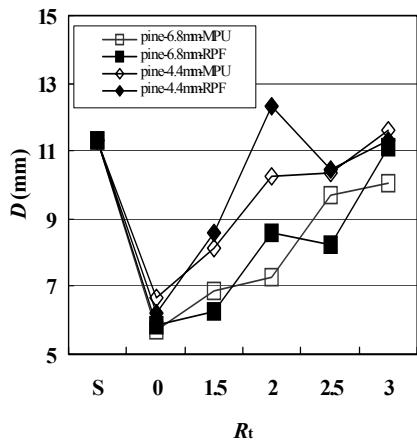


Fig. 3-9. Effect of finger position on modulus of rupture.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, σ_b : Bending modulus of rupture(MOR)

3) 최대처짐

Fig. 3-10은 소나무 핑거위치이동제의 최대편향유효율을 나타낸 것으로 휨강도의 경우에서와 같이 핑거위치가 하중점중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다.



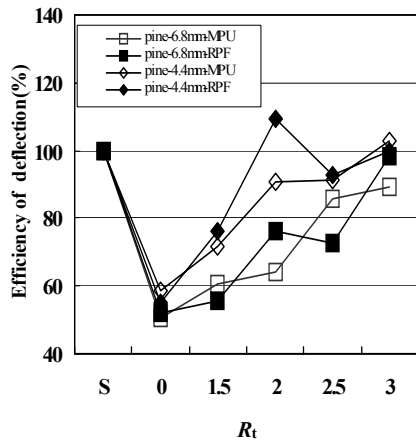


Fig. 3-10. Effect of finger position on deflection.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Db: Deflection.

4) 파괴위치

하중점에서의 거리가 0 및 1.5배인 경우는 핑거부에서 모두 파괴가 일어났지만 거리가 2 및 2.5 배에서는 핑거부에서의 파괴는 핑거피치가 큰 경우에 일부 나타났지만 작은 경우에는 1본 많이 나타났다.

나. 스프루스재의 정적 휨강도성능

1) 휨 탄성계수

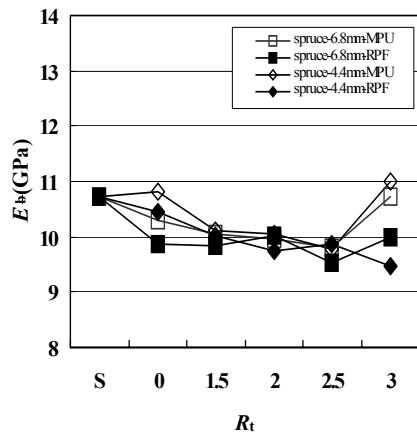
Table 3-4는 소나무재에서와 같이 각각 핑거공차 0.15mm를 사용하여 스프루스 핑거접합재에 사용된 접착제와 핑거 피치의 경사각에 따른 밀도와 휨 탄성계수, 휨 강도 및 최대편향을 각 조건 당 시험편 4개를 사용하여 최소, 최대, 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다. 핑거접합부는 결함과 같은 역할을 하므로 이에 대한 영향평가를 위해서는 재료의 두께와 거리에 따라 큰 영향을 받으므로 두께비 및 거리에 대하여 검토하였다. 또한 압채압력 방법에서는 프레스와 토크렌치와 클램프를 이용한 결과가 동일하였으므로 이하의 시험편제작시의 압채에는 소나무재에서와 같이 프레스를 이용하였다.

Fig. 3-11은 프레스를 이용하여 제조한 핑거위치이동재의 휨탄성계수의 유효율을 나타낸 것이다. 유효율의 범위가 접착제에 따라 RPF의 핑거접합재의 경우 핑거피치4.4mm(S)에서 91.0%-101%, 핑거피치6.8mm(L)에서 88.8%-93.9%의 높은 접합유효율을 나타내었고, MPU의 핑거접합재의 경우 핑거피치 4.4mm(S)에서 91.3%-103%, 핑거피치6.8mm(L)에서 91.4%-100%의 접합유효율을 나타내었다. 소재와 접합재의 차이가 거의 나타나지 않았으며 오히려 접착제의 영향으로 소재보다도 높은 경우도 나타났다.

Table 3-4. Results of static bending test for spruce finger-jointed woods.

A_k	P (mm)	R_t (mm)	ρ (Mg/m^3)	E_b (GPa)				σ_b (MPa)				D (mm)						
				Mean	Min	Max	S.D	$E_{be}(\%)$	Mean	Min	Max	S.D	$\sigma_{be}(\%)$	Min	Max	Mean	S.D	$D_{be}(\%)$
Solid			0.433	6.12	10.4	10.7	1.88	100	48.7	71.6	68.8	10.2	100	0.939	1.16	1.07	0.102	100
		0	0.473	7.72	12.8	10.5	2.11	97.5	33.9	81.9	62.2	20.2	97.5	0.391	0.678	0.529	0.120	49.3
		1.5	0.512	7.86	11.8	10.0	1.83	93.4	55.1	88.4	72.2	13.6	104	0.626	1.27	0.973	0.314	90.7
		2	0.446	7.93	11.6	9.75	2.58	91.0	52.7	67.4	62.3	10.4	90.5	0.453	1.10	0.910	0.457	84.9
		2.5	0.481	8.21	11.0	9.88	1.31	92.2	66.8	85.2	72.5	8.56	105	0.703	1.27	0.958	0.232	89.3
		3	0.526	8.31	12.6	10.8	1.98	101	65.2	87.8	80.2	10.3	118	0.804	1.23	0.991	0.211	92.4
RPF		0	0.476	6.12	12.4	9.85	2.70	91.9	51.7	66.4	60.4	7.29	87.8	3.425	0.879	0.590	0.199	55.0
		1.5	0.458	7.44	11.6	9.84	1.77	91.8	58.0	84.3	69.0	12.7	100	0.850	0.992	0.917	0.058	85.6
		2	0.479	8.03	12.8	10.0	2.01	93.5	65.2	68.8	66.3	1.65	96.4	0.397	1.10	0.843	0.310	78.6
		2.5	0.473	8.32	11.0	9.52	1.11	88.8	66.0	78.9	73.7	6.08	107	1.03	1.44	1.25	0.172	117
		3	0.450	9.28	11.3	10.0	0.94	93.3	62.9	78.6	71.2	5.15	103	1.12	1.30	1.22	0.077	114
		0	0.482	7.35	12.2	10.8	2.32	101	55.4	66.6	62.4	6.11	90.7	0.471	0.843	0.617	0.198	57.6
		1.5	0.415	7.37	12.3	10.1	2.32	94.2	51.0	67.3	61.9	7.58	89.9	0.856	1.08	0.969	0.139	90.3
		2	0.476	8.04	12.2	10.1	1.68	93.9	63.4	87.7	72.1	11.4	104	0.974	1.32	1.17	0.155	109
		2.5	0.476	8.70	12.0	9.79	1.53	91.3	58.5	91.1	75.3	13.5	109	0.955	1.36	1.13	0.187	105
		3	0.493	10.8	11.2	11.0	0.28	103	76.9	84.2	80.6	5.13	117	1.09	1.18	1.14	0.064	106
AVU		0	0.510	6.98	11.7	10.3	2.23	96.2	51.5	65.6	59.1	6.88	85.8	0.463	0.702	0.543	0.108	50.7
		1.5	0.472	7.89	11.9	10.1	1.96	93.9	53.7	57.7	66.2	9.46	96.2	0.604	0.911	0.734	0.132	68.5
		2	0.455	8.82	12.1	9.95	1.53	92.9	58.7	82.3	66.3	10.9	96.4	0.745	0.854	0.815	0.050	76.0
		2.5	0.475	8.54	11.1	9.8	1.06	91.4	60.1	74.9	69.7	6.84	99.8	0.875	1.64	1.20	0.321	112
		3	0.494	9.01	12.1	10.7	1.31	100	73.0	83.3	78.0	4.67	113	0.979	1.22	1.13	0.104	105

Notes: A_k : Kind of adhesive, P : Pitch R_t : Ratio of specimen thickness, ρ : Density, E_b : Bending modulus of elasticity(MOE), σ_b : Modulus of rupture(MOR), D : Deflection, E_{be} : Efficiency of MOE, σ_{be} : Efficiency of MOR, D_{be} : Efficiency of deflection, RPF: Resorcinol-phenol formaldehyde resin, AVU: Aqueous vinyl urethane, Min: Minimum, Max: Maximum, S.D: Standard deviation.



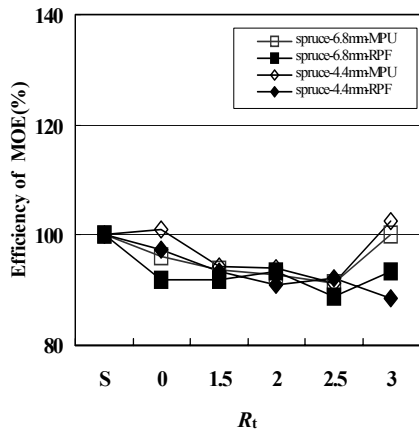


Fig. 3-11. Effect of finger position on modulus of elasticity.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Eb: Bending modulus of elasticity(MOE)

2) 휨강도

Fig. 3-12는 소나무 핑거위치이동재 휨강도 유효율을 나타낸 것으로 핑거위치가 하중점중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라 거의 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다. 소재두께의 2.5배 이상에서는 소재와 거의 동일한 유효율을 나타내었다. 접촉제에 있어서는 RPF와 AVU에서 거의 차가 나타나지 않았다.

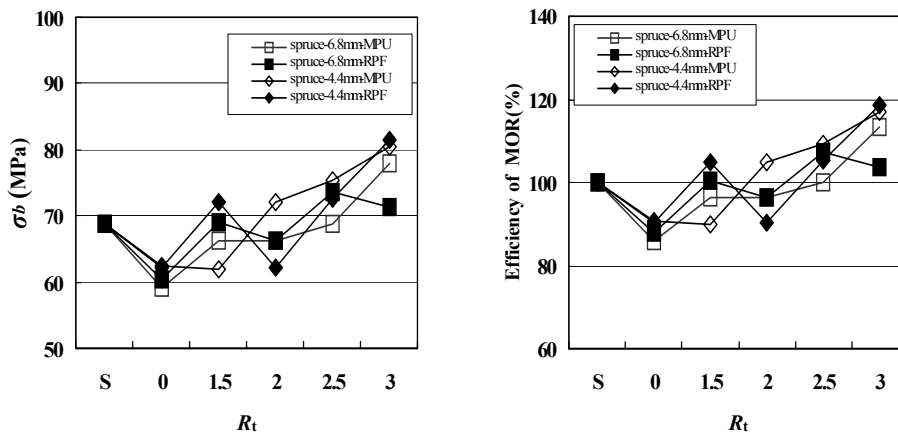


Fig. 3-12. Effect of finger position on modulus of rupture.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, σb: Bending modulus of rupture(MOR)

3) 최대처짐

Fig. 3-13은 소나무 핑거위치이동재의 최대편향유효율을 나타낸 것으로 휨강도의 경우에서와 같이 핑거위치가 하중점 중앙에서 바깥쪽으로 이동함에 따라

거리 직선적으로 유효율이 증가하는 경향을 나타내었다.

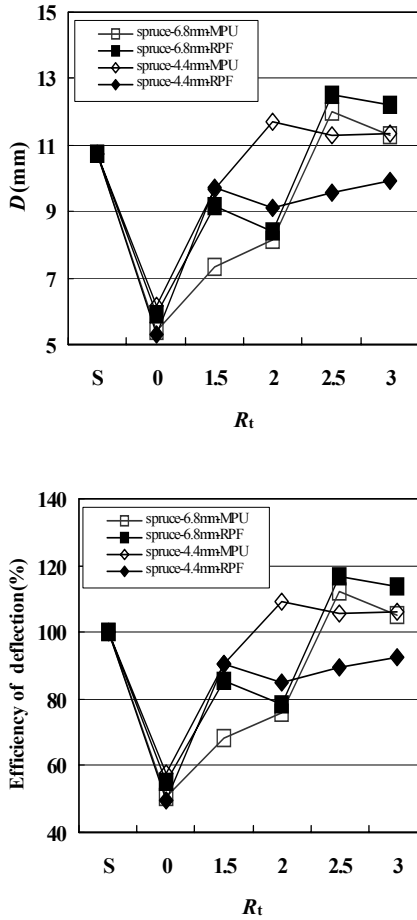


Fig. 3-13. Effect of finger position

on deflection.

Notes; Rt: Ratio of specimen thickness, Db: Deflection.

4) 파괴위치

하중점에서의 거리가 0 및 1.5배인 경우는 핑거부에서 모두 파괴가 일어났지만 거리가 2 및 2.5 배에서는 핑거부에서의 파괴는 핑거피치가 큰 경우에 일부 나타났지만 작은 경우에는 1본 만이 나타났다.

3. 집성재 제조시 최적의 집착조작 조건 도출

집성재 제조시 최적의 집착조작조건도출을 위해서 전년도의 힘, 인장강도성능 평가이외에 문틀강도에 영향을 미칠것으로 예상되는 좌굴강도에 대하여 검토하였다.

3.1 핑거공차를 달리한 핑거접합재의 좌굴강도성능평가

3.1.1 재료 및 방법

가. 조사항목

- 1) 핑거접합재의 좌굴 강도성능에 미치는 핑거피치의 영향 조사
- 2) 핑거접합재의 좌굴 강도성능에 미치는 핑거공차의 영향 조사
- 3) 핑거접합재의 좌굴 강도성능에 미치는 접착제종류의 영향

나. 수종채택 및 채택수종의 성질

본 연구에 사용된 공시재료로는 본 프로젝트의 1년차 연구 결과에 근거하여 수입산 저급 스프루스(*P. sitchensis*)와 경남 진주시 관문동 진양호 주변에서 채취한 생육이 양호한 평균수령 약 25-30년생 적송(*P. densiflora*)을 공시재료로 채택했고, 양수종간의 비교 및 저급 수입산과 국산소경재의 효율적인 이용을 위해 문틀용 집성재로서의 이용을 모색했다.

다. 시험편 선별 및 제작

시험편은 Fig. 3-14에 나타난 것 같이 1년이상 천연건조된 스프루스 및 소나무로부터 20(T) × 20(W) × 380(L)크기의 섬유방향 엘리먼트 각각 500개를 제작하여 조습한 후 밀도를 측정하였다. 그리고, 육안적으로 무결합재와 결합재를 대별해서 만능강도시험기 및 하중과 다이얼 게이지를 이용한 수작업을 통해 두 종류의 정적 휨 탄성계수를 구하였다. 밀도와 휨 영률이 측정된 엘리먼트는 각 그룹에 대해 비교목을 선별하기 위해 다시 4그룹으로 나누었고, 비교목 선별 후, 다시 핑거공차, 핑거피치, 접착제 및 핑거접합부의 거리등의 조건별로 영률의 치우침이 적도록 나눈 후, 각 조건당 4개씩 선별했다. 선별한 시험편을 각 조건에 따라 핑거절삭가공 및 핑거 접합 작업을 실시한 후 항온항습실에서 2주간 조습하였다. 핑거절삭가공은 길이방향의 중앙부를 횡절한 후 칼날크기 4.4mm와 6.8mm의 핑거컷트기로 Table 3-5와 Fig. 3-15에서 나타난 것과 같이 핑거길이 17mm, 핑거 골폭 0.8mm로 일정하게 하였고, 핑거공차는 1년차 휨 시험결과와 비교검토하기 위해 0mm, 0.15mm, 0.3mm로 1년차와 동일하게 하였다. 그리고 핑거피치는 1년차의 결과, S(3.5mm)사이즈와 M(4.4mm) 사이즈가 비슷한 값을 나타내어 경제적인면에서 우수한 M사이즈를 선택하여 L(6.8mm)사이즈와 비교 검토했다.



Fig. 3-14. Selection of elements for finger-cutting of each species.

Table 3-5. Types and dimensions of fingers. (unit: mm)

	Type M(4.4mm)					Type H(6.8mm)				
t_1-t_2	0	0.1	0.15	0.2	0.3	0	0.1	0.15	0.2	0.3
L	17.3					17.3				
t_1	0.8	0.95			1.1	0.9	1.05			1.3
tanθ	1/7.57					1/17.59				
t_2	0.8					0.9				
P	4.2	4.4			4.5	6.6	6.8			6.9

Notes; P: Pitch, L: Length of finger, t_1 : Tip width t_2 : Root width, θ : Slope angle of finger.

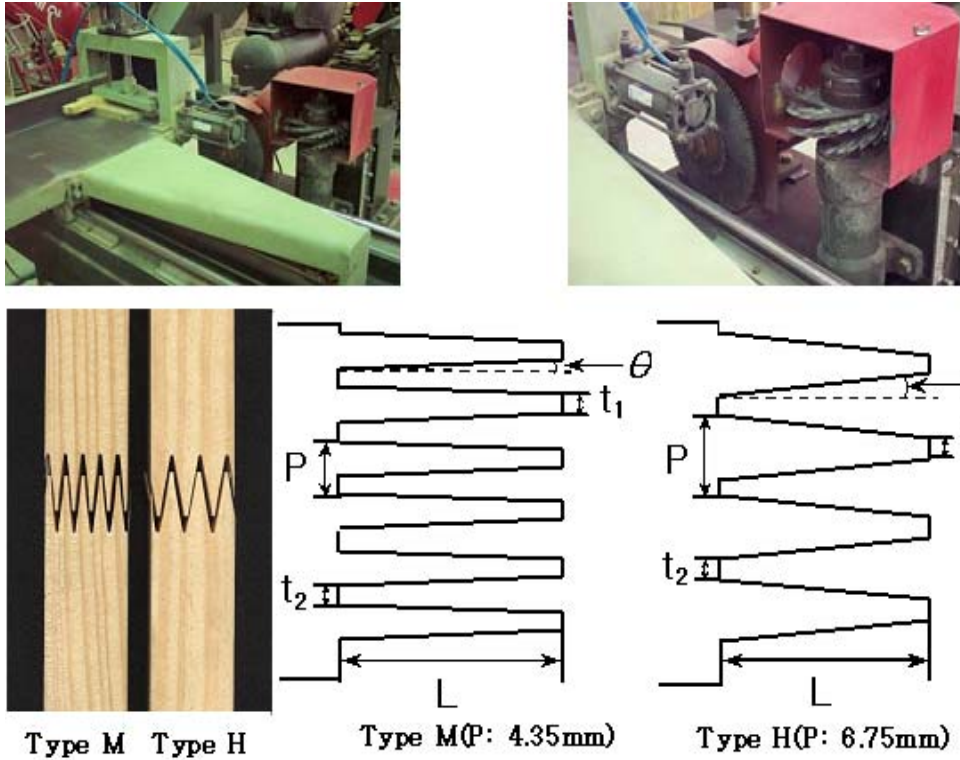


Fig. 3-15. The machine of making finger-joint and profiles of finger-jointed specimens.

Notes; P : Pitch, L : Length of finger, t1 : Tip width, t2 : Root width, θ : Slope angle of finger.

라. 좌굴시험

좌굴시험은 shimadzu, AGS-10KNG를 이용하여 시험편 길이 350mm, 하중속도 1mm/min로, 하중 시험편의 축방향에 평행하게 하중을 부하하였고, 좌굴강도는 다음의 식으로 구하였다.

$$\sigma = P/A(\text{MPa}) \quad (6)$$

여기서, P : 최대좌굴하중 (N), A : 단면적(mm²)

그리고, 다음의 오일러 식으로 하중을 구해 강도를 구한 것과 비교한다.

$$P = n \pi^2 E I / l^2 \quad (7)$$

여기서, n : 시험편 양단의 지지조건에 의한 계수, E : 영률.

오일러 식의 n값과 지지조건은 다음의 Fig.7과 같다.

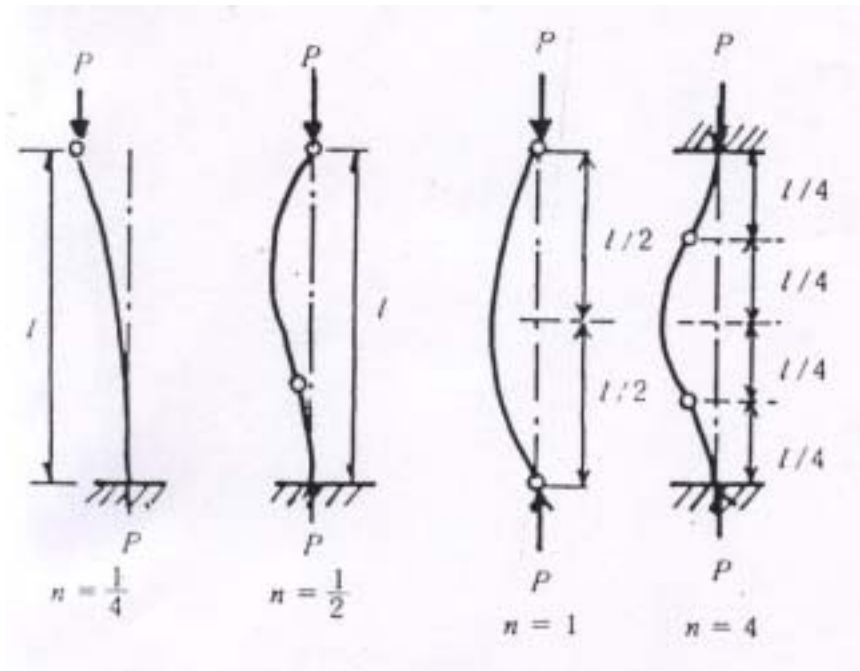


Fig. 3-16. n-values and supported conditions of beam.

3.1.2 결 과

가. 좌굴 강도

소나무 및 스프루스 핑거접합재의 좌굴시험의 결과를 Table 3-6~3-7에 나타낸다.

좌굴강도유효율을 Fig. 3-17에 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 경우, 좌굴강도유효율은 RPF로 접착한 핑거접합재에서는 그 값이 84%~124%의 아주 높은 값을 나타내었고, 핑거공차 0에서는 핑거피치의 증가에 따른 유효율의 감소가 나타났으나, 핑거공차 0.15와 0.3에서는 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 AVU로 접착된 핑거접합재에서는 강도유효율이 94.4%~115%를 나타내어,

A_k	P (mm)	δ	ρ (Mg/m ³)	σ_b (MPa)				σ_{be} (%)	D_k (mm)			
				Min	Max	Mean	S.D		Min	Max	Mean	S.D
Solid wood			0.546	29.3	41.5	35.6	4.23	100	1.01	1.83	1.39	0.281
		0	0.531	27.8	40.3	35.1	4.10	98.6	1.12	1.58	1.35	0.161
RPF	4.4mm	0.15	0.543	32.5	44.8	38.9	4.54	109	1.30	1.76	1.45	0.171
		0.3	0.523	31.4	42.7	35.8	3.93	101	1.08	1.54	1.28	0.152
		0	0.543	34.8	43.6	38.1	2.95	107	1.18	1.56	1.35	0.133
	6.8mm	0.15	0.504	29.3	42.1	35.5	5.21	99.7	1.12	1.54	1.28	0.134
MPU-500		0.3	0.561	28.0	43.0	35.5	4.88	99.7	1.04	1.59	1.27	0.221
		0	0.553	27.7	45.9	38.3	7.03	108	1.20	1.58	1.39	0.131
	4.4mm	0.15	0.522	26.6	41.4	35.0	5.05	98.3	1.17	1.49	1.29	0.134
		0.3	0.489	32.7	41.6	35.3	3.05	99.2	0.990	1.44	1.22	0.171
500		0	0.546	25.4	37.1	31.5	4.23	88.5	1.08	1.59	1.42	0.223
	6.8mm	0.15	0.534	25.7	37.3	31.7	4.23	89.0	1.07	1.71	1.25	0.220
		0.3	0.520	26.9	36.6	31.8	2.84	89.3	0.970	1.51	1.17	0.190

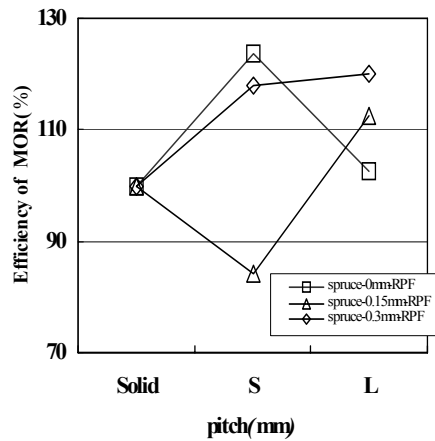
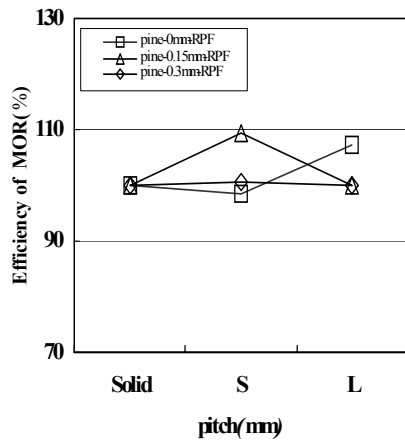
Notes : A_k : Kind of adhesive, P : Pitch, δ : Fitness of a tip and a root width(t_1-t_2), ρ : Density, σ_k : Buckling strength, σ_{ke} : Efficiency of σ_k , D_k : Buckling displacement, D_{ke} : Efficiency of D_k .

RPF의 그것과 유사한 결과를 나타냈다. 핑거피치의 증가에 따라 그 강도유효율은 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 스프루스로 접착된 핑거접합재의 좌굴강도 유효율은 RPF로 접착된 핑거접합재에서는 93.2%~111%, AVU로 접착된 핑거접합재에서는 88.5%~108%를 나타내어 양자 모두 높은 유효율을 나타내었으나, 그 값은 RPF보다는 약간 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 핑거피치의 증가에 따라 RPF로 접착된 핑거접합재의 핑거공차 0과 0.3에서는 그 값이 증가했고, 핑거공차 0.15에서는 그 값이 감소했다. 그러나 AVU로 접착된 핑거접합재에서는 핑거피치의 증가에 따라 공차에 관계없이 강도유효율은 큰 폭으로 감소하는 것이 확인되었다.

Table 7. Results of buckling test of spruce finger-jointed timber.

A_k	P (mm)	δ	ρ (Mg/m ³)	σ_k (MPa)				σ_{ke} (%)	D_k (mm)				D_{ke} (%)	
				Min	Max	Mean	S.D		Min	Max	Mean	S.D		
				Solid wood		0.41	23.7		27.7	25.3	1.33	100		1.26
RPF	4.4	0	0.435	25.9	38.4	31.3	4.59	124	1.27	1.66	1.41	0.141	97.2	
		0.15	0.377	19.3	22.9	21.3	1.51	84.2	0.72	1.83	1.15	0.423	79.3	
		0.3	0.432	27.3	35.4	29.8	2.98	118	0.942	1.62	1.33	0.242	91.7	
		0	0.421	22.1	29.8	26	3.37	103	0.911	1.91	1.51	0.331	104.1	
		6.8	0.15	0.45	11.9	35.5	28.4	8.35	112	0.824	1.51	1.25	0.237	86.2
		0.3	0.441	25.6	39.1	30.4	4.63	120	1.19	1.41	1.31	0.098	90.3	
MPU-500		0	0.428	22.7	35.2	27.4	4.34	108	0.96	1.4	1.2	0.17	82.8	
		0.15	0.375	21.3	26.4	23.9	1.8	94.5	0.66	1.54	1.26	0.281	86.9	
		0.3	0.435	18.1	33.8	28.2	5.06	111	1.050	1.53	1.28	0.153	88.3	
		0	0.444	22.3	33.9	28.5	4.6	113	0.9	1.32	1.17	0.145	80.7	
		6.8	0.15	0.411	26.2	31.9	29.1	2.3	115	1.16	1.31	1.24	0.064	85.5
		0.3	0.422	24.4	32.6	27.9	3.17	110	1.040	1.55	1.59	0.573	110	

Notes : A_k : Kind of adhesive, P : Pitch, δ : Fitness of a tip and a root width (t_1-t_2), ρ : Density, σ_k : Buckling strength, σ_{ke} : Efficiency of σ_k , D_k : Buckling displacement, D_{ke} : Efficiency of D_k .



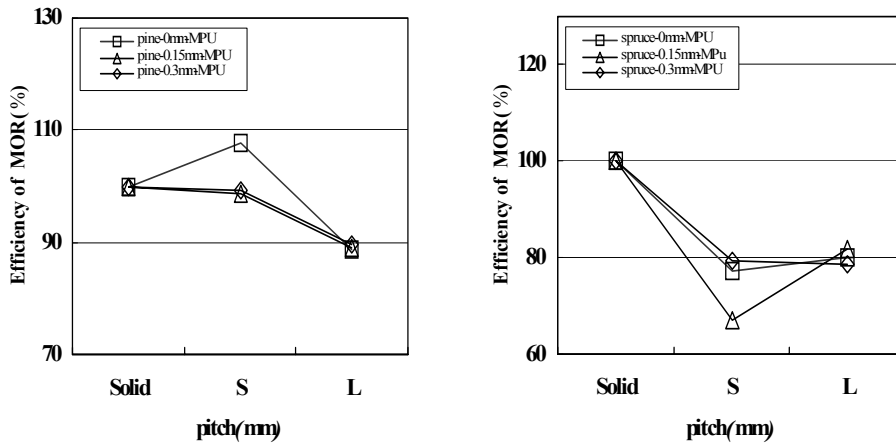
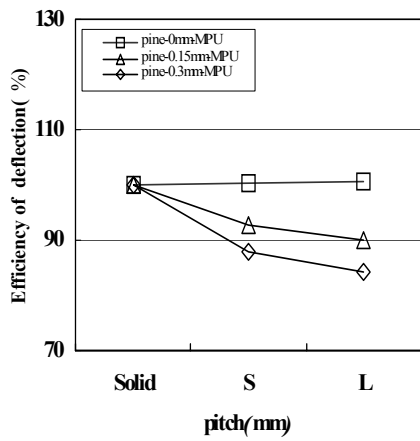
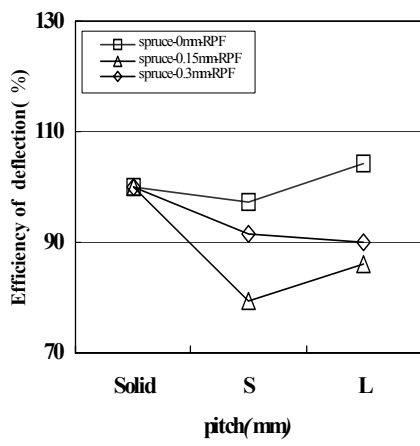
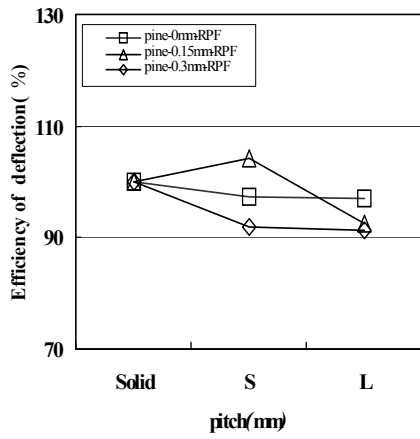


Fig. 3-17. Effect of finger pitch on buckling strength.

나. 좌굴 변위

소나무 및 스프루스 핑거접합재의 좌굴변위 유효율을 Fig. 3-18에 나타낸다.

소나무 핑거접합재의 경우, 좌굴변위 유효율은 RPF로 접착된 핑거접합재에서는 그 값이 79.3%~104%의 값을 나타내었고, 핑거공차 0에서는 가장 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 핑거피치의 증가에 따라 핑거공차 0과 0.15에서는 좌굴변위 유효율이 증가하는 것이 확인 되었다. 그리고 AVU로 접착된 핑거접합재에서는 변위 유효율은 핑거공차 0.3의 핑거피치 6.8mm(L)에서 109%를 나타낸 것 이외는 대부분 80%대의 유효율을 나타내어 전보의 압축변위 유효율보다 현저히 낮은 유효율을 나타내었다. 한편, 스프루스 핑거접합재의 경우는, RPF로 접착된 핑거접합재에서는 그 유효율이 91.2%~104%의 높은 유효율을 나타내었고, 핑거피치의 증가에 따라 그 유효율은 공차에 관계없이 감소하는 것이 확인 되었다. 그리고, MPU-500으로 접착된 핑거접합재에서는 그 유효율이 84.4%~101%의 값을 나타내었고, RPF와 달리 핑거피치의 증가에 따라 그 유효율은 약간 증가하는 것이 확인 되었다. 그리고 핑거공차는 양 접착제 모두 0과 0.15에서 높은 변위 유효율을 나타내는 것이 확인 되었다.



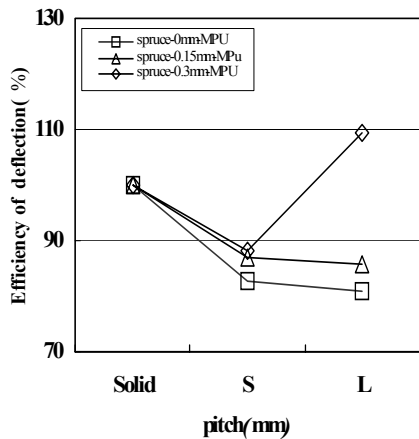


Fig. 3-19. Effect of finger pitch on efficiency of buckling deflection.

결 론

이 연구에서는 문틀용 집성재의 접합기술에 대한 최적조건을 탐색하기 위해 스프루스 및 소나무 엘리먼트를 유압프레스와 토크렌치 및 클램프에 의해 2가지 방식으로 횡접합을 행하였고, 휨 강도시험을 통해 양자간의 접착성능에 차이를 비교분석하였고, 또한, 핑거접합부의 거리 및 위치에 대한 최적조건을 찾기 위해, 스프루스 및 소나무를 공시재료로 핑거접합부의 위치를 하중점으로부터 시험편 두께의 0배, 1.5배, 2배, 2.5배, 3배의 5조건으로한 핑거접합재를 제작하여 핑거접합부의 위치가 핑거접합재의 강도성능에 미치는 영향을 조사하였고, 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 유압프레스, 토크렌치와 나사클램프에 의한 2가지 가압방식 모두 접착층이 아닌 목질부의 파괴가 확인되어 핑거접합시의 압착 방법으로 사용가능한 것이 확인 되었다.
- 2) 토크렌치와 나사클램프에 의한 가압방식이 유압프레스에 비해 가압을 위한 작업시간이 길고, 작업이 복잡하지만 재료의 응력완화에 의해 압착압력이 감소했을 때 재료의 손상 없이 재 가압을 손쉽게 할 수 있고, 유압프레스와 같이 일정한 규격이 없기 때문에 재료의 치수에 관계없이 사용 가능한 것이 확인 되었다.
- 3) 핑거접합부의 거리와 정적 휨 강도성능과의 관계에서는 핑거간 거리가 멀어 질수록 강도성능이 증가하였으며 특히 시험편두께의 2.5배 이상에서는 핑거 부위의 파괴가 일어나지 않고 소재와 비슷한 값을 나타내어 최적조건인 핑 거간 거리는 핑거접합재두께의 2.5배인 것이 확인되었다.
- 4) 정적 휨 탄성계수에 대한 하중점에서 핑거위치까지의 거리의 영향은 거의 나타나지 않았다.
- 5) 정적 휨강도에 대한 하중점에서 핑거위치까지의 거리의 영향은 하중점으로부터 거리가 멀어질수록 강도가 증가하였으며 거리가 라미나 두께의 2.5 배 이상에서는 소재와 비슷한 값을 나타내며 핑거부에서 파괴가 거의 나타나지 않았다.

- 6) 핑거접합부의 위치를 하중점에서 이동시킨 핑거접합재의 휨 강도유효율은 휨 탄성계수의 그것보다 낮은 값을 나타내었으나, 양자간의 유효율은 핑거 접합부의 위치가 멀어질수록 증가하는 일치된 경향을 보였고, 상호간의 신뢰성이 확인되었다.

IV. 문틀용 집성재개발을 위한 기계적 성능평가

1. 접착제의 종류가 집성재의 강도성능에 미치는 영향

1.1 재료 및 방법

1.1.1 조사항목

가. 핑거접합재의 휨 강도성능에 미치는 접착제의 종류와 수종과의 관계 규명

나. 핑거접합재의 휨 강도성능에 미치는 접착제의 종류와 핑거피치와의 관계 규명

1.2.1 공시수종

- 스프루스(*P.sitchensis*), 소나무(*P.densiflora*)

1.2.2 시험편 선별 및 제작

시험편은 1년 이상 천연 건조된 재료를 사용하여 규격 22mm(T)×22mm(R)×350mm(L)으로 각 수종당 무결점 시편 600개를 가공하여 항온항습실(20℃±1℃, 65%±5%)에 2주간 조습한 후 유압식 만능강도시험기(EHF-ED10-20L)를 사용하여 밀도 및 휨 영률을 측정하였다. 이때 각 조건별로 편중되지 않도록 각 수종별로 비교목 1그룹과 접착제 별로 2그룹, 핑거공차에 따라 4그룹으로 총 9개 그룹(각 그룹 당 시험편 6개)으로 나누었고, 선별한 시험편을 각 조건에 따라 핑거절삭가공 및 핑거 접합 작업을 실시한 후 항온항습실에서 2주간 조습하였다. 핑거절삭가공은 길이방향의 중앙부를 횡절한 후 칼날크기 4.4mm와 6.8mm의 핑거컷트기

로 골과 핑거길이는 동일하게 하고 핑거공차는 1년차 결과 중 가장 뛰어난 유효율을 나타낸 0.15mm로 시험편을 제작하였다. 이 때 핑거의 치수는 핑거길이 17mm, 핑거 골폭 0.8mm로 일정하게 하였다. 핑거접합시에는 레소시놀-페놀 공축합 수지 접착제(RPF, 주제에 대한 경화제 첨가비 15部)와 수성비닐우레탄(AVU)을 사용하여 양면 도포하였고 선단 압착 압력은 3.92MPa로 20초간 가압한 후 압력을 제거하고 항온항습실에서 1주일 이상 양생한 후 17.5mm(T)×17.5mm(R)×60mm(L)의 크기로 마무리 가공하였다. 그 다음에 다시 항온항습실에서 1주일 이상 조습을 행하였고, 휨 강도시험을 실시하였다.

1.2.3 정적 휨강도시험

만능강도시험기를 통한 휨 시험의 사진을 Fig. 4-1에 나타낸다. 만능강도시험기에 의한 정적 휨 시험은 스펠300mm, 하중속도 5mm/min의 3점 하중방식(중앙 집중식)으로 실시했다. 하중은 시험편의 축방향(섬유방향)에 직교하게 부하했으며, 시험편중앙부의 처짐(변위량)을 컴퓨터 모니터를 통해 구했고, 하중-처짐 곡선으로부터 탄성한도내의 상한하중 및 하한하중의 차 및 그때의 변위로 부터 다음식(1)을 이용해 휨 탄성계수를 구했다.

$$P l^3 / 4 b h^3 y \quad (1)$$

여기서, P : 하중, l : 스펠, b : 시험편의 폭, h : 두께, y : 처짐.



Fig. 4-1. Static bending test for spruce and pine elements by UTM.

1.2 결 과

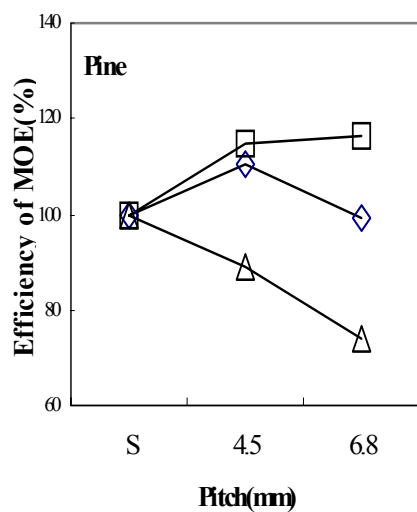
1.2.1 핑거 접합재의 휨 탄성계수

접착제의 종류를 달리한 핑거접합재의 휨 강도시험의 결과를 Table 4-1에 나타낸다. 소나무 및 스프루스 핑거접합재의 휨 탄성계수 유효율을 Fig. 4-2에 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 경우, 휨 탄성계수 유효율은 수성비닐우레탄 (AVU)이 115-116%로 가장 높은 유효율은 나타내었고, 초산비닐수지접착제(PVAc)는 평균 73.7%-88.8%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그리고 스프루스 핑거접합재의 경우는 그 유효율이 레조시놀-페놀수지접착제(RPF)가 가장 높은 값을 나타내었고, PVAc로 접착된 핑거접합재에서 가장 적은 값을 나타내어 수종에 따른 차이를 나타내었으나, 그 값의 차이는 적은 것이 확인되었다.

Table 4-1. Results of static bending test for finger-jointed timbers glued with three adhesives

Species	A_k	Pitch (mm)	ρ (Mg/m ³)	E_b (GPa)	E_{be} (%)	σ_b (MPa)	σ_{be} (%)
Pine	Solid		0.508	11.3	100	78.9	100
	RPF	4.4(S)	0.550	12.5	110	64.0	81.1
		6.8(L)	0.530	11.2	99.3	53.1	67.3
	MPU	4.4(S)	0.523	13.0	115	62.3	79.0
		6.8(L)	0.530	13.2	116	60.0	76.0
	PVAc	4.4(S)	0.539	10.0	88.8	53.9	68.3
6.8(L)		0.527	8.33	73.7	42.6	54.0	
Spruce	Solid		0.466	14.2	100	78.5	100
	RPF	4.4(S)	0.504	13.8	96.9	71.5	91.1
		6.8(L)	0.482	13.8	97.1	65.5	83.4
	MPU	4.4(S)	0.480	13.7	96.2	69.3	88.2
		6.8(L)	0.477	13.5	94.9	57.4	73.2
	PVAc	4.4(S)	0.490	10.2	71.9	52.0	66.2
6.8(L)		0.457	8.54	60.1	42.0	53.5	

Notes; A_k : Kind of adhesives, ρ : Density, E_b : Bending modulus of elasticity, E_{be} : Efficiency of E_b , σ_b : Bending modulus of rupture, σ_{be} : Efficiency of σ_b , D_b : Bending deflection, D_{be} : Efficiency of D_b , MPU: AVU.



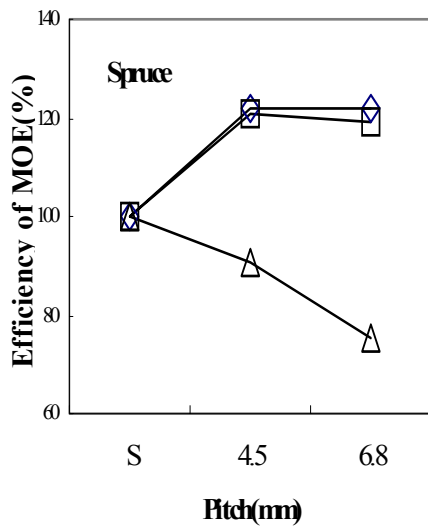


Fig. 4-2. Effect of finger pitch on efficiency of MOE(%)
 Legend : □ : RPF, ◇ : AVU, △: PVAc.

핑거피치에 따른 휨 탄성계수유효율 변화를 보면, 핑거피치가 증가함에 따라 PVAc로 접착된 핑거접합재에서는 양 수종 모두 휨 탄성계수유효율이 직선적으로 감소했지만, RPF와 AVU에서는 핑거피치의 증가에 따른 휨 탄성계수 유효율의 변화는 적은 것이 확인되었다. 그리고 그들의 휨 탄성계수 유효율은 초산 비닐수지와 달리 소재보다 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.

1.2.2 핑거 접합재의 휨 강도

Fig. 4-3에 소나무 및 스프루스 핑거접합재의 휨강도 유효률을 나타낸다. 휨 강도 유효율은 RPF로 접착된 핑거접합재에서 67.3%-81.1%, AVU으로 접착된 핑거접합재에서 76.0%-79.0%, PVAc로 접착된 핑거접합재에서 54%-68.3%의 값을 나타내었다.

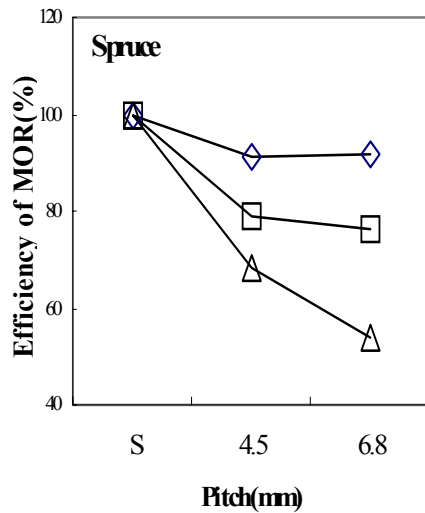
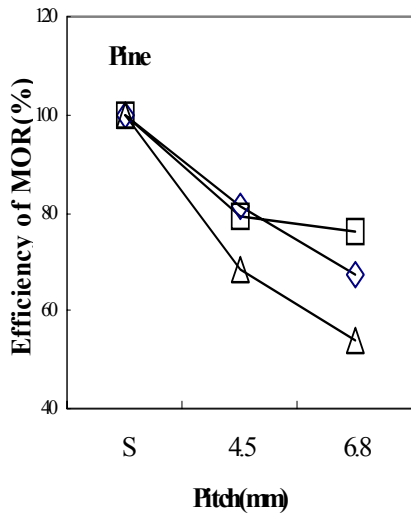


Fig. 4-3. Effect of finger pitch on efficiency of MOR(%)
 Legend : See legend in Fig. 4-2.

휨 탄성계수와 마찬가지로 RPF와 AVU으로 접착된 핑거접합재에서는 양자간의 차이가 적은 것이 확인 되었다. 그리고 스프루스 핑거접합재의 경우는 그 유효율이 RPF가 가장 높은 83.4%-91.9%의 값을 나타내었고, 그다음은 AVU으로 접착된 핑거접합재가 73.2%-88.2%, 그리고 PVAc로 접착된 핑거접합재에서 53.5%-66.2%를 나타내었다. 핑거피치에 따른 유효율의 변화는 소나무재의 경우, 핑거피치가 증가함에 따라 휨 강도유효율은 PVAc 및 RPF로 접착된 핑거접합재에서는 현저하게 감소하는 경향을 나타내었으나, AVU으로 접착된 핑거접합재에서는 핑거피치의 증가에 따른 변화가 거의 없었다. 그

감소비율은 PVAc로 접착된 핑거접합재에서 가장 큰 것이 확인되었다. 한편, 스프루스 핑거접합재에서는 핑거피치의 증가에 따라 PVAc로 접착된 핑거접합재는 소나무 핑거접합재와 같이 급격히 감소했지만, RPF와 AVU으로 접착된 핑거접합재에서는 핑거피치에 따른 변화가 거의 없는 것이 확인되었다.

1.2.3 핑거 접합재의 최대처짐

소나무 및 스프루스 핑거접합재의 최대변위 유효율을 Fig. 4-4에 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 경우, 최대변위 유효율은 PVAc로 접착된 핑거접합재가 휨 탄성계수와 휨 강도와 달리 57.9%~68.1%로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음이 51.1%~65.5%의 AVU로 접착된 핑거접합재였고, RPF로 접착된 핑거접합재가 48.4%~58.4%로 가장 낮은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 그러나 접착제종류에 따른 접합유효율의 차는 휨 탄성계수나 휨 강도보다 적은 것이 확인 되었다. 그리고 스프루스 핑거접합재의 경우에는 핑거피치 4.4mm(S)에서는 AVU로 접착된 핑거접합재에서 78.6%로 가장 높았고, 그 다음이 69.0%의 RPF로 접착된 핑거접합재, 그리고 PVAc로 접착된 핑거접합재의 60.2%였다. 그러나 핑거피치가 큰 6.8mm(L)에서는 RPF, AVU, PVAc의 순으로 그 값은 각각 55.9%, 49.1%, 45.6%를 나타내 피치에 따른 차이를 나타내었으나, 그들 상호간의 차이는 적은 것이 확인 되었다.

핑거피치에 따른 휨 탄성계수유효율 변화를 보면, 핑거피치가 증가함에 따라 3종류의 접착제 모두 최대변위 유효율은 거의 직선적으로 감소했고, 그 감소의 비율은 AVU이 더 큰 것이 확인되었다.

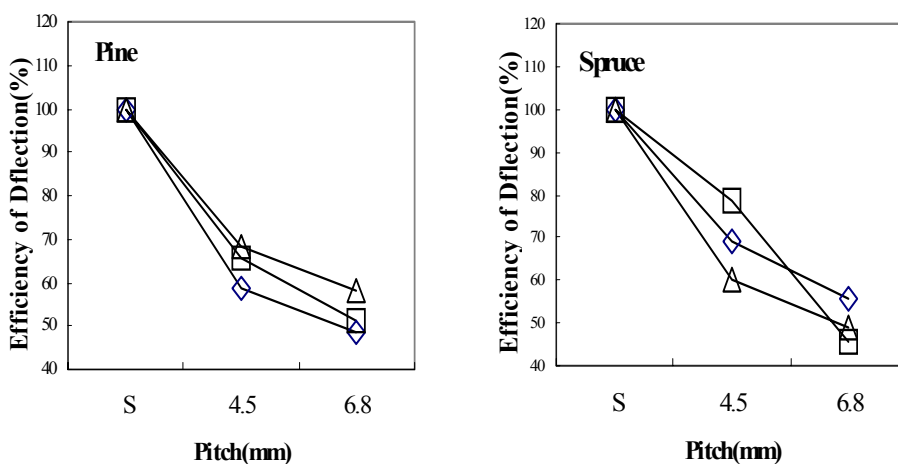


Fig. 4-4. Effect of finger pitch on efficiency of deflection(%)
Legend : See legend in Fig. 4-2.

2. 정적 강도성능시험에 의한 평가

2.1 만능강도시험기에 의한 휨 시험

2.1.1 재료 및 방법

가. 공시수종

- 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*)

나. 실험방법

만능강도시험기를 통한 휨 시험의 사진을 Fig. 4-5에 나타낸다. 만능강도시험기에 의한 정적 휨 시험은 스펠 300mm, 하중속도 2.5mm/min의 3점 하중방식(중앙 집중식)으로 실시했다. 하중은 시험편의 축방향(섬유방향)에 직교하게 부하했으며, 시험편중앙부의 처짐(변위량)을 컴퓨터 모니터를 통해 구했고, 하중-처짐 곡선으로부터 탄성한도내의 상한하중 및 하한하중의 차 및 그때의 변위로 부터 다음식(1)을 이용해 휨 탄성계수를 구했다.

$$P l^3 / 4 b h^3 y \quad (2)$$

여기서, P : 하중, l : 스펠, b : 시험편의 폭, h : 두께, y : 처짐.



Fig. 4-5. Static bending test for spruce and pine elements by UTM.

2.2 하중 및 다이얼계지를 이용한 간이측정에 의한 휨 시험

2.2.1 재료 및 방법

가. 공시수종

- 스프루스(*P. sitchensis*), 소나무(*P. densiflora*)

나. 실험방법

간이측정에 의한 휨 시험은 Fig. 4-6과 같이 시험편을 놓을 수 있는 적당한 프레임 위에 시험편을 놓고 시험편 중앙부에 다이얼 계지를 설치하고, 하중을 달아 내릴 수 있는 장치를 사진과 같이 만들어 부하에 따른 다이얼 계지의 변위(처짐)를 기록한다. 스패น 및 하중방식은 만능강도시험기의 그것과 동일하게 하였고, 식(1)을 통해 휨 영률을 구했다.

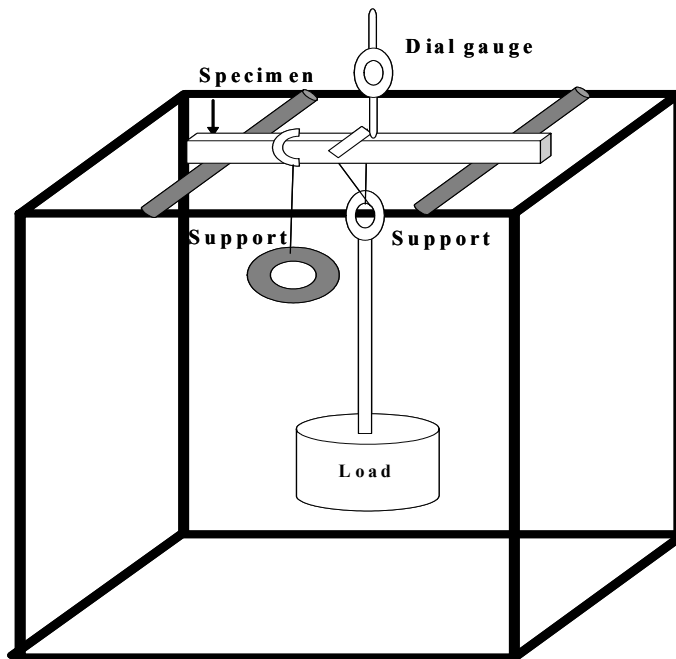


Fig. 4-6. Static bending test of the elements for spruce and pine wood by a manual method.

2.3 결과

2.3.1 밀도 와 만능강도 시험기 및 간이측정에 의한 정적 휨 영률

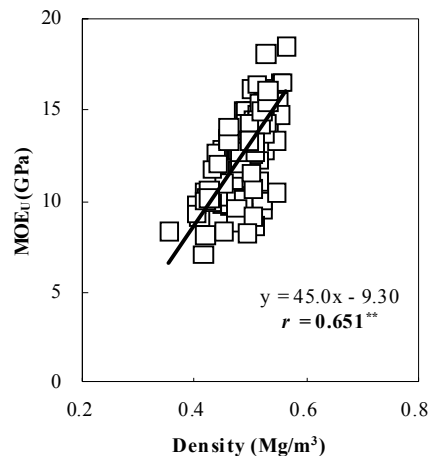
핑거접합진 양수종 엘리먼트의 밀도와 휨 영률의 평균값을 Table 4-2에 나타낸다. 그리고 만능강도 시험기 및 간이측정에 의해 구한 스프루스와

소나무의 밀도와 정적 휨 영률사이의 관계를 Figs. 4-7~4-8에 나타낸다. 밀도의 범위는 스프루스가 $0.404 \sim 0.555 \text{ Mg/m}^3$, 소나무가 $0.400 \sim 0.666 \text{ Mg/m}^3$ 으로, 소나무의 밀도의 범위가 약간 넓은 것이 확인되었다. 그리고, 정적 휨 영률은 스프루스가 만능강도 시험기로 측정한 경우 $8.98 \sim 16.5 \text{ GPa}$, 소나무가 $6.76 \sim 15.6 \text{ GPa}$ 으로 스프루스가 소나무보다 약간 더 높은 영률을 나타내었다. 그리고, 간이측정의 경우에는 스프루스가 $6.06 \sim 18.4 \text{ GPa}$, 소나무가 $5.07 \sim 17.2 \text{ GPa}$ 로 그 범위의 폭은 만능강도 시험기와는 달리 양수종 모두 넓어져 편차가 커지는 것이 확인되었다. 영률은 두 수종 모두 밀도와 휨 영률사이에 유의수준 1%의 유의성이 확인되었으나, 스프루스가 소나무보다 그 상관계수는 더 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 그리고 여기서 구해진 상관회귀 방정식을 이용해 밀도만으로 영률을 예측가능하나 시험편 수가 적고 편차를 고려하면 더 정확한 상관방정식을 유도할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 4-2. Results of bending test of elements for finger-jointing.

Species		Density (Mg/m ³)	MOE _U (GPa)	MOE _M (GPa)
Spruce	Min	0.404	8.98	6.06
	Max	0.555	16.5	18.4
	AVE	0.488	13.0	12.8
Pine	Min	0.400	6.76	5.07
	Max	0.666	15.6	17.2
	AVE	0.538	11.5	11.1

Notes; MOE_U : MOE obtained by UTM, MOE_M : MOE obtained by a manual method, AVE : Average value.



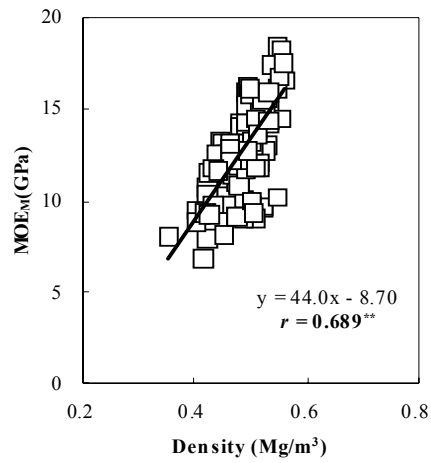
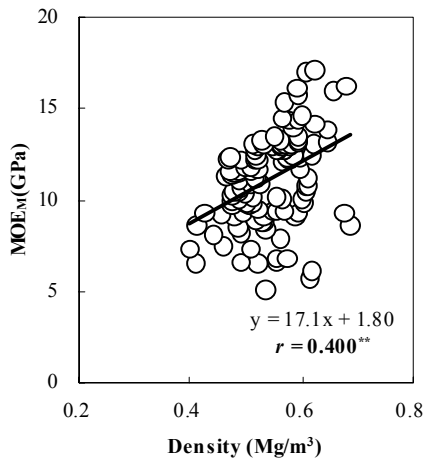


Fig. 4-7. Relationships between density and MOEU, MOEM of spruce elements for finger-jointing.

Notes ; MOEU : MOE obtained by UTM, MOEM : MOE obtained by a manual method. ** : significant at 1% level



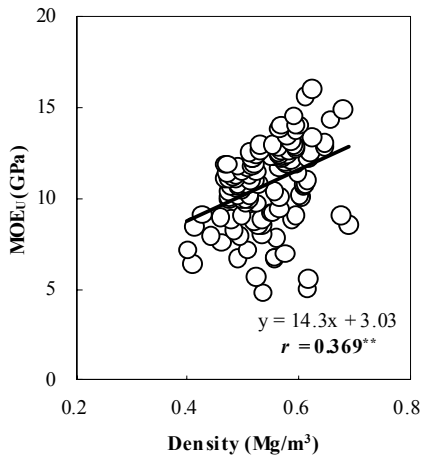


Fig. 4-8. Relationships between density and MOE_U, MOE_M of pine elements for finger-jointing.

Notes ; MOE_U, MOE_M, ** : See note in Fig. 4-7.

2.3.2 만능강도 시험기로부터 구한 휨 영률과 간이측정에 의한 휨 영률의 관계

스프루스, 소나무에 대한 만능강도시험기에 의한 휨 영률과 간이측정에 의한 휨 영률사이의 관계를 Fig. 4-9에 나타낸다. 스프루스의 경우 양자간의 상관계수는 0.861을 나타내었고, 소나무의 경우 0.992를 나타내어 두 수종 모두 유의수준 1%의 극히 높은 유의성을 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 이들 값은 밀도 와 영률 사이의 회귀에서는 다소 편차가 나타났으나, 양 영률사이에는 거의 편차가 없었고, 특히 소나무의 경우 거의 직선에 가까운 분포를 보여 간이측정의 유효성을 입증했다. 그리고 여기서 구한 상관회귀 방정식을 이용해 만능강도 시험기에 의한 시험을 못할 경우에도 만능강도 시험기에 의한 정적 강도 성능을 예측하는 것이 가능해 벌목현장이나 제재소, 건축현장 등 만능강도 시험기에 의한 시험이 어려운 곳에서의 이용이 가능할 것으로 생각된다. 그러나 간이측정의 경우 만능강도시험기와는 달리 하중속도를 조절하지 못하는 단점이 있어 시험편 두께에 따른 영률측정을 할 경우에는 두께에 상응하는 일정한 계수를 곱해 보다 정확한 데이터를 얻는 것이 중요할 것으로 생각된다. 그리고 하중속도 조절이 불가능해 순간적인 충격이 예상되므로 너무 많은 양의 하중을 가하는 것은 하중점 부위의 응력집중 및 시험편의 손상 등이 예상되기 때문에 특히 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

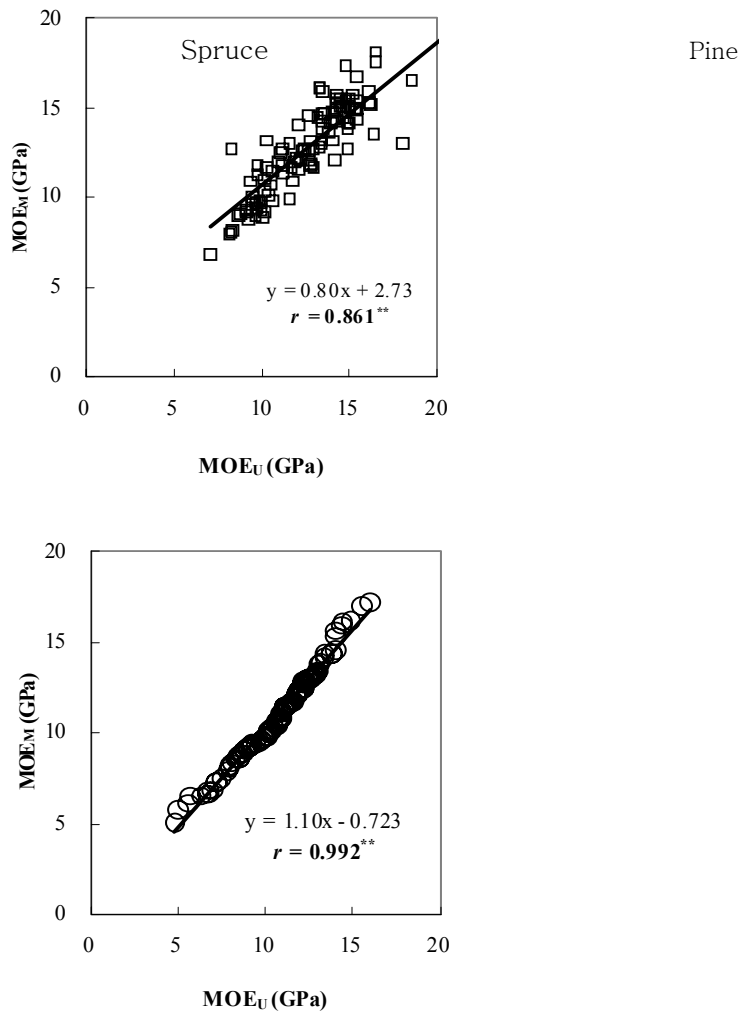


Fig. 4-9. Relationships between MOE_U and MOE_M of spruce and pine elements for finger-jointing.

Notes; MOE_U , MOE_M and $**$: See note in Fig. 4-7.

3. 온습도 일정조건하에서 크리프시험방법에 의한 특성평가

3.1 재료 및 방법

3.1.1 시험편

가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료로는 본 프로젝트의 1년차 연구 결과에 근거하여 수입산 저급 스프루스(*P. sitchensis*)와 생육이 양호한 평균수령 약25-30년생 소경목 적송(*P. densiflora*)을 공시재료로 채택했다.

나. 시험편 제작

1) 시험편용 엘리먼트 선별

시험편은 1년이상 천연건조된 스프루스 및 소나무로부터 20(T) x 20(W) x 380(L)크기의 섬유방향 엘리먼트 각각 600개를 제작하여 조습한 후 밀도를 측정하였다. 그리고 육안적으로 무결합재와 결합재를 대별해서 만능강도시험기 및 하중과 다이얼 게이지를 이용한 간이측정을 통해 두 종류의 정적 휨 탄성계수를 구하였다. 밀도와 휨 영률이 측정된 엘리먼트는 크게 휨 시험용, 수분 평형상태 에서의 휨 크리프 시험용, 수분 비평형 상태에서의 휨 크리프 시험용 및 좌굴시험용의 4그룹으로 나누었고, 각 그룹에 대해 비교목을 선별하기 위해 다시 4그룹으로 나누었고, 비교목선별 후, 다시 핑거공차, 핑거피치, 접착제 및 핑거접합부의 거리등의 조건별로 영률의 치우침이 적도록 나눈 후, 각 조건 당 4개의 시험편이 될 수 있도록 선별했다. 단 크리프 시험편은 시험기간이 긴 관계로 핑거공차에 대한 조건은 앞선 시험 결과로부터 가장 적합한 0.15mm의 한 조건으로 했다.

2) 접착제 선별

본 프로젝트에 대한 1년차 연구결과, 휨 영률은 양 수종모두 접착제의 종류에 따른 큰 차이를 나타내지 않았지만, 휨 강도는 레조시놀 페놀 공축합(RPF)수지가 수성비닐우레탄(AVU)보다 양 수종 모두 더 높은 휨 강도 유효율을 나타내는 것이 확인되었다. 이에 근거하여 본 연구에서는 레조시놀·페놀 공축합수지(RW-204, 주제 100부에 대해 경화제 15부 첨가)와 수성비닐우레탄에 초산비닐 수지 접착제를 추가했는데 이것은 집성재의 크리프 거동에 대한 접착제의 영향을 명확히 조사해, 집성재의 접착안정성을 확보하기 위함이다. 일반적인 3종류의 접착제에 대한 정적 휨 성질은 레조시놀 페놀 공축합수지가 가장 높은 강도성능을 나타내고, 초산비닐 수지가 가장 낮은 강도성능을 나타내나, 크리프 거동에 대한 자료는 거의 찾아보기 어렵다.

다. 휨 크리프 시험

휨 크리프 시험은 스패ن 300mm, 하중점간 거리 100mm의 3등분점에 의한 4점 하중방식으로 실시한다. 정적 휨 시험으로부터 얻은 휨강도의 25%에 상당하는 일정응력을 시험편에 가해, 20°C, 65%RH의 항온항습실에서 10일간 실시한다. 시험편 중앙부의 처짐을 다이얼게이지를 통해 측정하고, 각시간의 처짐으로부터 다음의 식들을 통해 크리프 컴플라이언스($D(t)$)와 크리프 양($Dc(t)$)을 구한다.

$$D(t) = 4bh^3y(t)/Pa(3l^2-4a^2) \quad (3)$$

여기서, P : 하중, l : 스패, b : 시험편의 폭, h : 두께, $y(t)$: 시간 t 에 있어서의 처짐.

$$D_c(t) = D(t) - D(0.008) \quad (4)$$

여기서, $D(0.008)$: 시간 $t = 0.008\text{hr}(30\text{s})$ 에 있어서의 크리프 컴플라이언스.

3.2 결 과

3.2.1 핑거접합재의 크리프 곡선

핑거접합재의 휨 크리프 시험의 결과를 Table 4-3~4-4에 나타내고, 그 대표적인 크리프 곡선을 Figs. 4-10~4-12에 나타낸다.

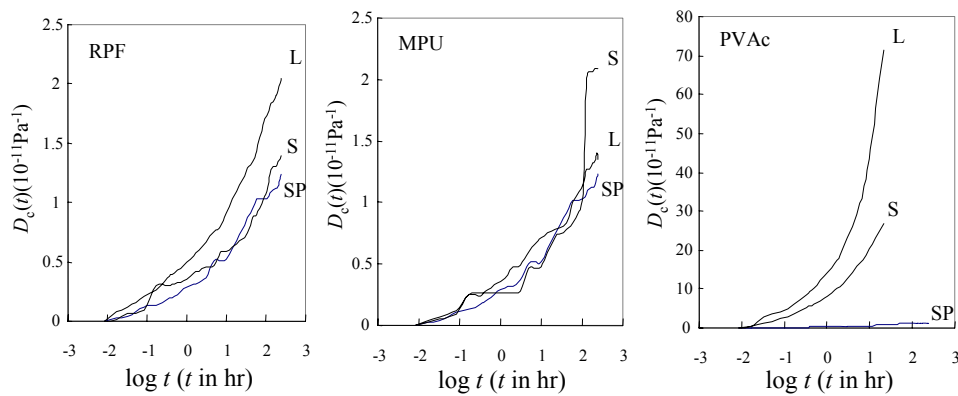


Fig. 4-10. Typical examples of creep curves for pine finger-jointed woods.
Notes: SP : Solid pine wood, S : 4.4mm of finger pitch, L : 6.8mm of finger pitch.

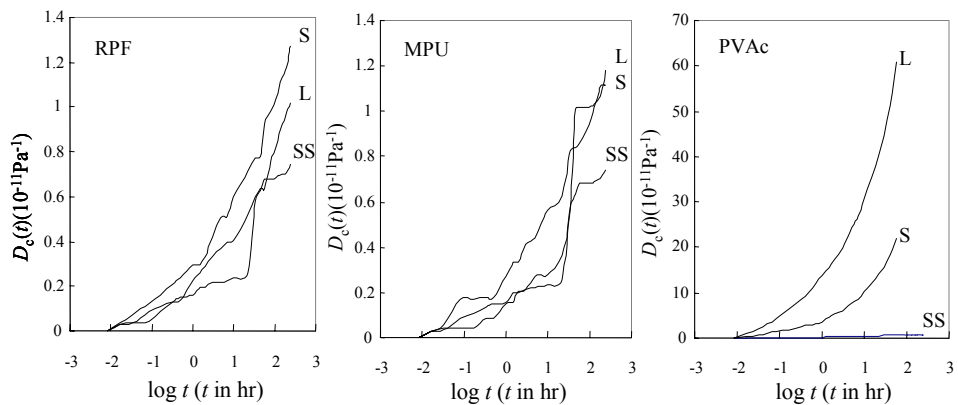


Fig. 4-11. Typical examples of creep curves for spruce finger-jointed woods.
Notes: SS : Solid spruce wood, S : 4.4mm of finger pitch, L : 6.8mm of finger pitch.

소나무 핑거접합재의 크리프 곡선은 Fig. 4-10에 나타난 것처럼 레조시놀-페놀

Table 4-3. Results for bending creep performances of pine finger-jointed woods.

Type	No	Density (Mg/m ³)	$D(0.008)$ (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	$Dc(240)$ (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
Solid	1	0.451	9.70	2.20	22.7
	3	0.547	7.99	1.23	15.4
	4	0.569	6.60	1.10	16.7
	AVE	0.518	8.10	1.51	18.3
SR	1	0.528	10.9	3.34	30.6
	2	0.568	8.04	1.43	17.8
	3	0.555	7.82	1.40	17.8
	4	0.580	7.81	1.18	15.1
AVE	0.558	8.65	1.84	20.3	
SM	1	0.518	9.88	2.84	28.7
	3	0.573	6.81	2.09	30.7
	4	0.584	6.76	0.971	14.4
	AVE	0.541	7.82	1.97	24.6
LR	1	0.574	12.0	3.17	26.4
	2	0.494	10.3	2.04	19.9
	3	0.516	8.99	1.15	12.8
	4	0.561	7.66	1.06	13.8
AVE	0.537	9.73	1.85	18.2	
LM	1	0.546	12.1	2.55	21.1
	2	0.492	10.8	1.80	16.6
	3	0.505	9.54	1.35	14.2
	4	0.663	8.57	1.12	13.1
AVE	0.552	10.3	1.71	16.3	
SCH	1	0.455	11.6	creep failure	creep failure
	2	0.527	9.86		
	3	0.490	10.4		
	4	0.608	8.06		
AVE	0.520	9.98			
PLCH	1	0.562	12.5		
	2	0.593	11.7		
	3	0.493	15.9		
	4	0.649	10.4		
AVE	0.574	12.6			

Notes : S : 4.4mm of finger pitch, L : 6.8mm of finger pitch, R : RPF,

M : MPU-500(AVU), CH : PVAc, $D(0.008)$: Initial compliance at 0.008hr,

$Dc(240)$: Creep compliance at 240hr($D(240)-D(0.008)$).

공축합수지 접착제(RPF), 수성고분자 이소시아네이트계 접착제(AVU) 및 초산비닐수지접착제(PVAc)로 접착된 핑거접합재 모두 전형적인 우측상변이 증가하는 포물선

형을 나타내었고, RPF 및 PVAc접착제의 경우, 핑거피치가 4.4mm에서 6.8mm로 증가함에 따라 그 값이 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 수성고분자 이소시아네이트계 접착제 (AVU)로 접착된 핑거 접합재에서는 핑거피치 6.8mm가 4.4mm보다 적은 크리프변형을 나타내었다.

Table 4-4. Results for bending creep performances of spruce finger-jointed woods.

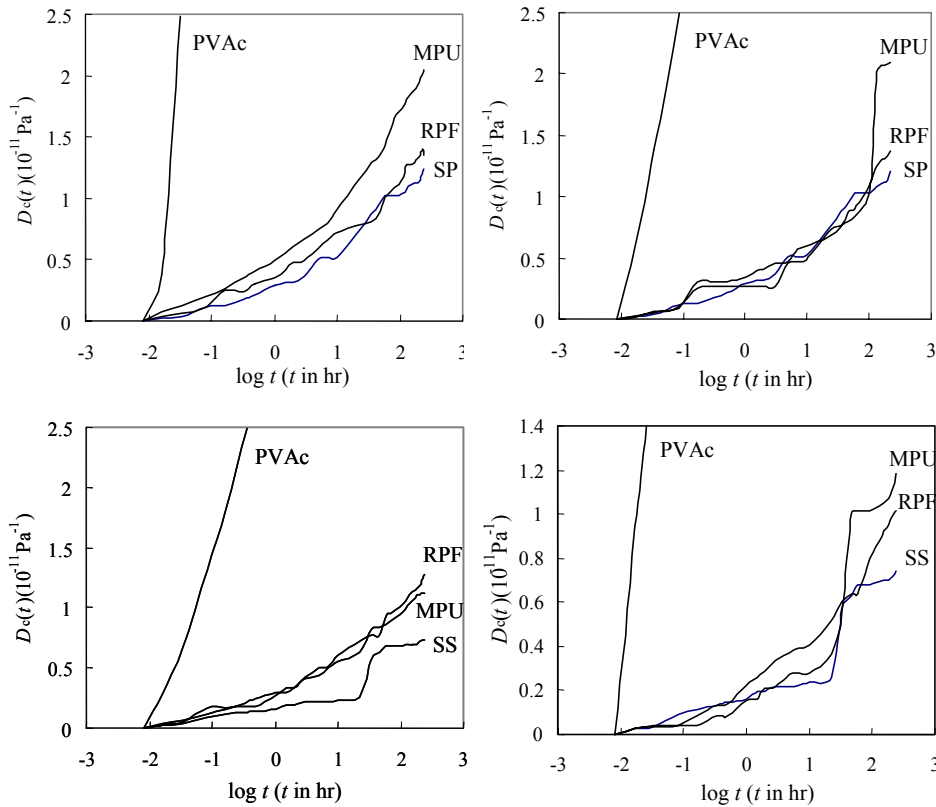
Type	No	ρ (Mg/m ³)	D (0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D_c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
SS	1	0.419	9.34	2.24	23.9
	2	0.449	7.97	0.995	12.5
	3	0.521	6.36	0.741	11.6
	4	0.519	6.55	0.766	11.7
	AVE	0.477	7.56	1.18	14.9
SR	1	0.415	10.6	3.57	33.7
	2	0.502	6.92	1.27	18.4
	3	0.497	6.47	1.07	16.6
	4	0.500	6.73	0.84	12.5
	AVE	0.478	7.68	1.69	20.3
SM	1	0.452	8.66	2.81	32.5
	2	0.473	7.50	1.12	14.9
	3	0.527	7.36	1.30	17.7
	4	0.508	6.43	0.84	13.1
	AVE	0.490	7.49	1.52	19.6
LR	1	0.476	9.20	2.18	23.7
	2	0.499	7.53	1.02	13.5
	3	0.499	7.01	0.647	9.23
	AVE	0.491	7.91	1.28	15.5
LM	1	0.502	10.9	3.16	29.1
	2	0.503	8.94	1.44	16.1
	3	0.511	7.50	1.18	15.7
	4	0.529	6.66	0.683	10.3
	AVE	0.511	8.49	1.62	17.8
SCH	1	0.501	9.63	creep failure	creep failure
	2	0.451	9.54		-
	3	0.515	9.80		
	4	0.529	8.24		
	AVE	0.499	9.30		
LCH	1	0.452	10.2		
	2	0.450	8.79		
	3	0.513	10.7		
	4	0.496	9.60		
	AVE	0.478	9.82		

Notes ; S, L, R, M, D (0.008), D_c (240) : See note in Table 4-5.

Fig. 4-12. Typical examples of creep curves for finger-jointed timbers glued with different kinds of adhesives .

Notes; SP : Solid pine wood, SS : Solid spruce wood, RPF : Resorcinol-phenol formaldehyde, MPU(AVU) : Aqueous vinly urethane, PVAc : Polyvinyl acetate.

한편, 스프루스 핑거접합재의 크리프 곡선도 모든 핑거접합타입에서 Fig. 4-11와 같이 우측상변이 증가하는 포물선형을 나타내었으나, AVU과 PVAc로 접착된 핑거접합재에서는 핑거접합재의 핑거피치가 증가함에 따라 크리프 컴플라이언스는



증가했지만, RPF로 접착된 핑거접합재에서는 핑거피치의 증가에 따라 크리프 컴플라이언스는 감소하여 수종에 따른 차이를 나타내었다.

접착제의 종류에 따른 크리프 곡선의 형태는 Fig. 4-12에서 나타내는 것처럼 PVAc로 접착된 핑거접합재의 경우 다른 두 접착제와는 달리 양수종 모두 오른쪽이 상변이 급격히 증가하는 크리프 곡선을 나타내었고, PVAc로 접착된 핑거접합재에서는 모든 타입에서 106시간 이전에 지연탄성변형을 넘어 변형이 급격히 증가해 크리프 파괴가 일어났다. 그러나 RPF와 AVU의 크리프 곡선의 기울기는 PVAc로 접착된 핑거접합재보다 월등히 낮았고, 휨 강도성능의 결과에서 나타난 것과 같이 양자간의 차이는 크지 않은 것이 확인 되었다.

Fig. 4-13는 시간과 크리프 컴플라이언스를 양 대수로 취해 타입간의 비교를 행한 것이다. 소나무 핑거접합재의 경우, 피치 4.4mm에 RPF로 접착된 핑거접합재(PSR)와 핑거피치 6.8mm에 AVU로 접착된 핑거접합재(PLA)는 거의 차이가 없었고, 소나무 소재(SP)와 거의 같은 값을 나타내었다.

스프루스의 경우, 핑거피치 4.4mm에 RPF로 접착된 핑거접합재(SSR)와 같은 핑거피치에 AVU로 접착된 핑거접합재(SSA)와의 차이가 거의 확인 되지 않았다. 게다가 초기변형후 30분~1시간까지는 곡선적인 거동이 지배적이지만, 그 이후는 몇몇 타입을 제외한 거의 대부분의 타입에서 직선에 가까운 거동을 나타내는 것이 확인되었다. 최소이승법에 의해 1시간에서 240시간까지의 크리프 곡선 $D_c(t)$ 를 At^N 에

적합시켜, N 및 A 값을 나타내고, 그들 값을 Table 4-5와 4-6에 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가함에 따라 RPF와 AVU로 접착된 핑거접합재 타입은 N 값이 감소했고, 핑거피치 6.8mm에 AVU로 접착된 핑거접합재는 소나무소재

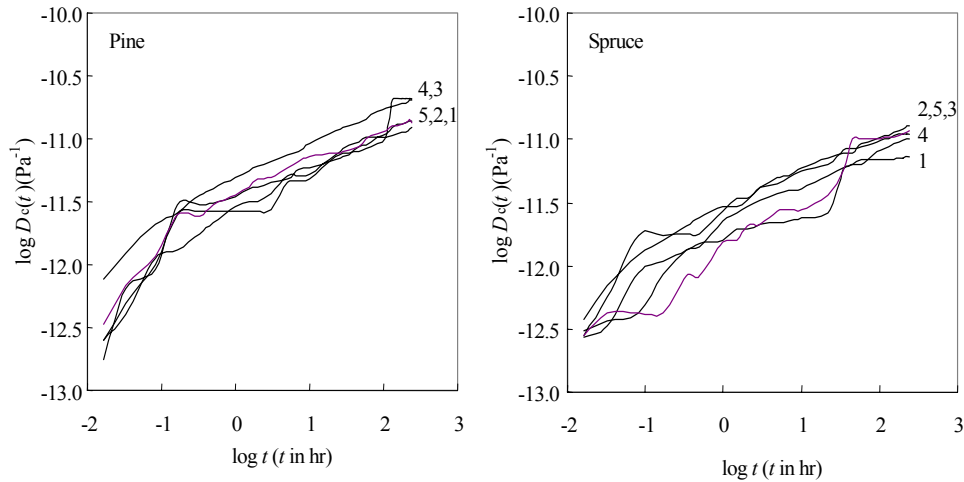


Fig. 4-12. Double logarithm plots of creep deformation and time for typical examples of each types of finger-jointed woods glued with different kinds of adhesives .

Notes: 1 : Solid wood, 2: 4.4mm(S)- RPF, 3 : 4.4mm(S)-MPU(AVU), 4 : 6.8mm(L)-RPF, 5 : 6.8mm(L)-MPU(AVU).

와 거의 같은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 A 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 N 값과 같이 그 값이 증가하는 것이 확인되었다. 같은 핑거피치에서 접착제의 종류에 따른 N 값의 변화는 명확하지 않았지만, A 값은 RPF로 접착된 핑거접합재가 AVU로 접착된 핑거접합재보다 더 큰 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 게다가 상관계수는 0.824~0.998로 1%의 수준에서 유의성이 인정되었다.

스프루스 핑거접합재의 경우, N 값은 핑거피치의 증가에 따라 양 접착제로 접착한 핑거접합재 모두 증가하는 경향을 나타내었고, 같은 핑거피치에서는 RPF로 접착된 핑거접합재보다 AVU로 접착된 핑거접합재가 더 큰 N 값을 나타내는 것이

Table 4-5. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep deformation and time ($D_c(t) = At^N$) for pine finger-jointed woods.

Type	No	N	$A(10^{-11} \text{Pa}^{-1})$	R^2	r
Solid	1	0.281	0.460	0.998	0.999
	2	0.309	0.520	0.962	0.981
	3	0.353	0.219	0.949	0.974
	4	0.343	0.197	0.949	0.974
	AVE	0.322	0.349	0.965	0.982
SR	1	0.366	0.515	0.969	0.984
	2	0.344	0.253	0.956	0.978
	3	0.334	0.258	0.878	0.937
	4	0.361	0.185	0.914	0.956
	AVE	0.351	0.303	0.929	0.964
SM	1	0.364	0.494	0.960	0.980
	2	0.384	0.235	0.932	0.966
	3	0.344	0.165	0.921	0.960
	AVE	0.364	0.298	0.938	0.968
LR	1	0.365	0.488	0.979	0.989
	2	0.306	0.425	0.978	0.989
	3	0.281	0.226	0.679	0.824
	4	0.383	0.151	0.898	0.947
	AVE	0.334	0.322	0.883	0.937
LM	1	0.303	0.499	0.992	0.996
	2	0.318	0.286	0.930	0.964
	3	0.318	0.286	0.930	0.964
	4	0.344	0.205	0.933	0.966
	AVE	0.321	0.319	0.946	0.973

Notes ; S, L, R, M : See note in Fig.4-12.

Table 4-6. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep deformation and time($D_c(t)=At^N$) for spruce finger-jointed woods.

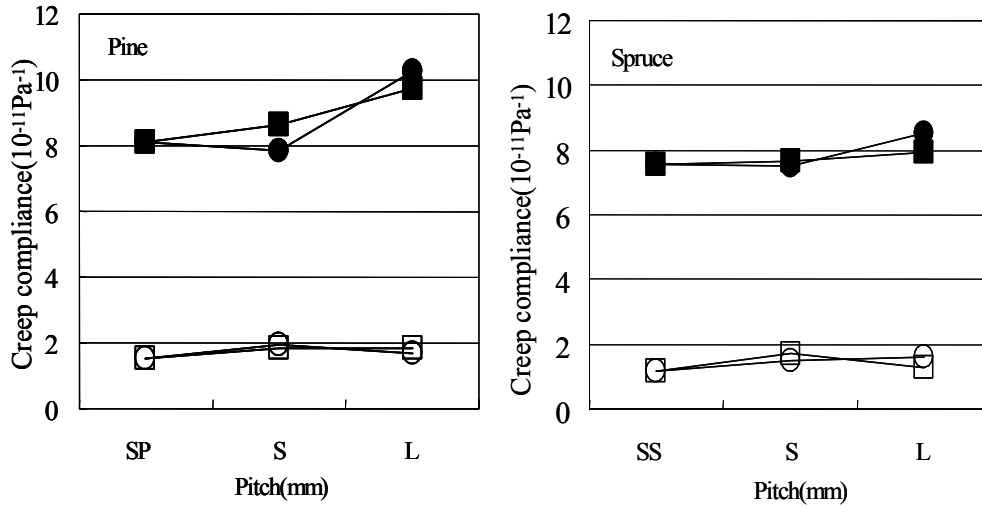
Type	No	N	$A(10^{-11}\text{Pa}^{-1})$	R^2	r
Solid	1	0.445	0.115	0.943	0.971
	2	0.318	0.147	0.949	0.974
	3	0.472	0.074	0.964	0.982
	4	0.347	0.412	0.976	0.988
	AVE	0.395	0.187	0.958	0.979
SR	1	0.445	0.308	0.984	0.992
	2	0.318	0.249	0.969	0.984
	3	0.328	0.194	0.963	0.981
	4	0.377	0.123	0.969	0.984
	AVE	0.367	0.218	0.971	0.986
SM	1	0.357	0.384	0.960	0.980
	2	0.319	0.235	0.938	0.968
	3	0.471	0.104	0.906	0.952
	4	0.389	0.122	0.935	0.967
	AVE	0.384	0.211	0.935	0.967
LR	1	0.330	0.347	0.936	0.967
	2	0.358	0.166	0.966	0.983
	3	0.413	0.081	0.963	0.981
	AVE	0.367	0.206	0.955	0.977
LM	1	0.403	0.390	0.976	0.988
	2	0.337	0.265	0.946	0.973
	3	0.418	0.133	0.977	0.988
	4	0.447	0.099	0.882	0.939
	AVE	0.401	0.222	0.945	0.972

Notes ; S, L, R, M : See note in Table 4-5.

확인되었다. 그리고, 그 값들은 핑거피치 6.8mm에 AVU로 접착된 핑거접합재(SLA)를 제외하고, 소나무 핑거접합재와 달리 스프루스 소재보다 더 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 반면에 A 값은 스프루스 소재보다 현저히 큰 값을 나타내었고, 핑거피치나 접착제의 종류에 따른 영향은 적은 것이 확인되었다. 그리고, 상관계수는 0.939~0.992의 1%의 수준에서 유의성이 인정되는 범위에 있었다.

3.2.2 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형

핑거접합재의 초기변형($D(0.008)$): $t=0.008\text{hr}(30\text{s})$ 에서의 크리프 컴플라이언스)과



크리프변형 ($D_c(240)$): $t = 240\text{hr}$ 에서의 크리프 컴플라이언스에서 $t = 0.008(30\text{s})$ 의 크리프

Fig. 4-14. Effect of finger pitch on initial and creep compliance.

Legend : ■ : Initial creep compliance at 0.008hr($D(0.008)$)-RPA(RPF)
 ● : Initial creep compliance at 0.008hr($D(0.008)$)-MPU(AVU),
 □ : Creep compliance except for initial creep compliance at 240hr($D_c(240)(D(240)-D(0.008))$)-RPF,
 ○ : Creep compliance except for initial creep compliance at 240hr($D_c(240)(D(240)-D(0.008))$)-AVU.

컴플라이언스를 뺀 값($D(240)-D(0.008)$)을 Fig. 4-14에 나타내고, 비교목에 대한 비를 Fig. 4-15에 나타낸다.

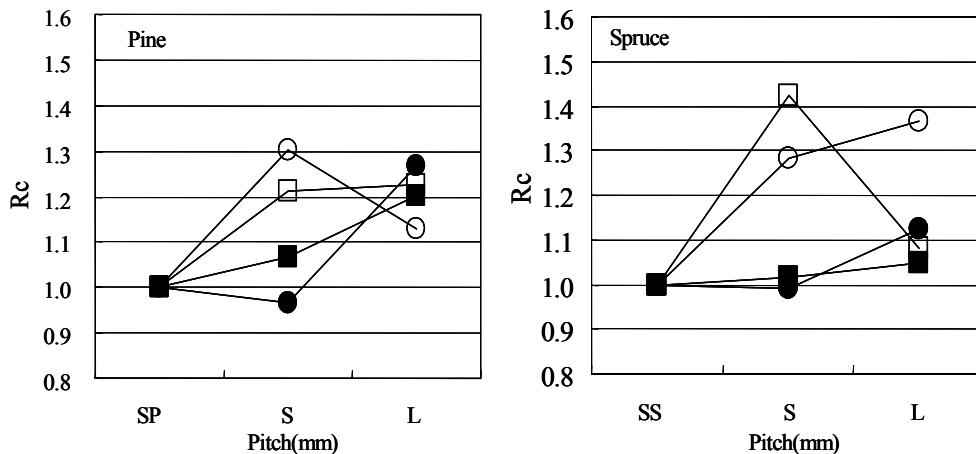


Fig. 4-15. Ratio of creep compliance of finger-jointed woods versus solid woods.

Legend : See legend in Fig. 4-14.

Fig. 4-14에 나타난 것과 같이 소나무재의 경우, RPF로 접착된 핑거접합재에서는 핑거피치가 증가함에 따라 초기변형과 크리프변형 모두 증가하는 경향을 나타냈고, 그 증가비율은 초기변형이 더 컸다. 그러나 AVU로 접착된 핑거접합재는 초기변형은 RPF와 같이 핑거피치의 증가에 따라 변형량이 증가했으나, 크리프변형은 핑거피치에 따른 영향이 적은 것이 확인 되었다. 그러나 양변형사이의 차이는 핑거피치가 증가함에 따라 감소하는 것이 확인되었다.

한편, 스프루스재의 경우는 핑거피치의 증가에 따라 RPF로 접착된 핑거접합재에서는 초기변형에서는 약간 증가하였으나, 크리프변형에서는 감소했고, 그 증감의 비율은 크리프 변형쪽이 더 큰 것이 확인 되었다. 그리고 AVU로 접착된 핑거접합재에서는 양변형 모두 핑거피치의 증가에 따라 크리프 양은 증가하였고, 그 증가비율은 양변형간의 차이를 나타내지 않았다. 같은 핑거피치에서의 접착제의 종류에 따른 변화를 보면, 소나무 핑거접합재의 경우 핑거피치 4.4mm(S)에서는 RPF로 접착된 핑거접합재가 초기변형은 AVU로 접착된 핑거접합재보다 더 큰 크리프 컴플라이언스를 나타냈지만, 크리프 변형은 RPF로 접착된 핑거접합재가 더 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내는 것이 확인 되었다. 그러나 핑거피치 6.8mm에서는 초기변형은 AVU로 접착된 핑거접합재가 RPF보다 더 큰 크리프 컴플라이언스를 나타내었지만, 크리프 변형에서는 그와 반대로 AVU가 더 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 그러나 양 접착제간의 크리프 변형에 대한 차이는 매우 적었으며, AVU의 구조용 접착제로서의 사용가능할 것으로 판단된다. 그러나 PVAc로 접착된 핑거 접합재의 경우, Table 4-3에 나타난 것처럼 초기변형은 RPF나 AVU에 비해 많은 차이를 나타내지 않았지만, PVAc로 접착한 모든 타입에서 106시간이전에 크리프파괴가 일어나 구조용으로 사용할 수 없는 것이 확인되었다.

3.2.3 핑거접합재의 상대크리프

Fig. 4-16은 핑거접합재의 초기변형에 대한 크리프변형의 비의 백분율로 나타내어지는 상대크리프를 나타낸다.

소나무 핑거접합재의 경우, AVU가 RPF로 접착된 핑거접합재보다 핑거피치가 적은 4.4mm(S)에서는 상대크리프가 컸지만, 핑거피치 6.8mm(S)에서는 RPF로 접착된 핑거접합재가 상대크리프가 더 큰 것이 확인되었다. 그리고, 핑거피치의 증가에 따라 RPF 및 AVU로 접착된 핑거접합재의 상대크리프는 현저히 감소하는 경향을 나타냈고, 그 감소비율은 AVU에서 더 큰 것이 확인되었다.

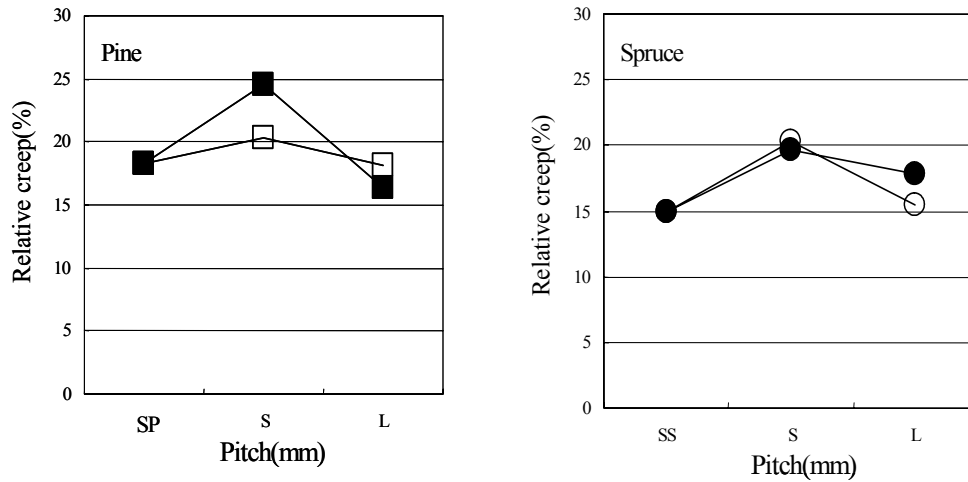


Fig. 4-16. Relation between relative creep and finger pitch.

Legend : ■ : AVU, □ : RPF, ● : RPF, ○ : AVU.

한편, 스프루스재의 경우는 핑거피치가 6.8mm(L)에서는 AVU로 접착된 핑거접합재가 RPF로 접착된 핑거접합재에 비해 상대크리프가 더 큰 값을 나타내었지만, 4.4mm(S)에서는 양 접착제 사이에 거의 비슷한 값을 나타내었다. 핑거피치의 증가에 따른 상대크리프의 변화는 소나무 핑거접합재와 같이 핑거피치의 증가에 따라 그 값이 감소하였고, 그 감소비율은 RPF가 더 큰 것이 확인되었다.

결 론

이 연구에서는 스프루스 및 소나무를 공시재료로 초산비닐수지(PVAc), 레조시놀 페놀 공축합 수지(RPF), 수성비닐우레탄(AVU)의 3종류의 접착제로 접착된 핑거접합재를 제작했고, 접착제의 종류가 집성재의 휨 강도, 좌굴강도 및 수분일정조건의 휨 크리프성능에 미치는 영향을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 휨 탄성계수유효율은 핑거피치의 증가에 PVAc로 접착된 핑거접합재에서는 양 수종 모두 그 값은 직선적으로 감소했지만, RPF와 MPU-500에서는 핑거피치의 증가에 따른 휨 탄성계수 유효율의 변화는 적었고, 초산비닐수지와 달리 소재보다 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.
- 2) 휨 강도유효율과 핑거피치와의 관계는 수종과 접착제에 따라 현저한 차이를 나타내는 것이 확인되었다.
- 3) 최대변위 유효율은 휨 탄성계수유효율이나 휨 강도유효율에 비해 상당히 낮은 값을 나타내었고, 핑거피치가 증가함에 따라 3종류의 접착제 모두

최대 변위 유효율은 거의 직선적으로 감소했고, 그 감소의 비율은 AVU 이 더 큰 것이 확인되었다.

- 4) 좌굴강도 유효율은 휨 강도 유효율과 달리 핑거피치나 핑거공차의 변화에 따른 명확한 거동은 확인되지 않았다. 그러나 전체적으로 RPF로 접착된 핑거접합재가 AVU의 그것보다 더 높은 유효율을 나타내는 것이 확인되었다.
- 5) 최대좌굴변위 유효율은 압축변위 유효율에 비해 현저히 낮은 값을 나타내고, 핑거피치나 핑거공차의 영향이 적은 것이 확인되었다.
- 6) 초산비닐 수지접착제(PVAc)로 접착된 핑거접합재에서는 모든 타입에서 106시간 이전에 지연탄성변형을 넘어 변형이 급격히 증가해 크리프 파괴가 일어나 구조용으로 사용 불가능한 것이 확인되었다.
- 7) 레조시놀-페놀 공축합수지 접착제(RPF)와 수성 고분자 이소시아네이트계 수지 접착제(AVU)의 크리프 곡선의 기울기는 PVAc로 접착된 핑거접합재보다 월등히 낮았고, RPF와 AVU간의 차이는 크지 않아 시공 후 포르말린 발생이 없는 AVU의 이용에 대한 지침이 얻어졌다.
- 8) 핑거피치의 증가에 따라 상대크리프는 양 접착제 모두 현저히 감소했고, 그 감소비율은 RPF가 AVU보다 적은 것이 확인되었다.

V. 집성재 문틀 제작 및 평가

1. 집성재 문틀형상, 색상 및 문양에 대한 선호도 평가

1.1 서 언

본 절에서는 집성재 문틀의 제조에 앞서 집성재 문틀의 형상, 색상 및 문양의 결정을 위한 사용자의 취향을 고려하여 설문지를 제작하였고, 집성재에 대한 선호도를 조사하였다. 본 설문에서는 어느 정도 목재에 대한 인지도가 있고, 색상 및 문양에 대해 관심이 높은 임산, 건축, 디자인 분야 전공자를 대상으로 실시하였고, 대부분이 실내인테리어에 관심을 많이 가지는 젊은층의 남녀를 대상으로 실시하여, 집성재문틀의 실용적, 경제적, 예술적가치를 평가함과 동시에 국산 소경저급목재 효율적 이용 및 상업화에 따른 고부가가치를 창출에 대한 모델을 설정하는 것을 목적으로 하였다.

1.2 조사방법

본 조사에서는 집성재문틀의 시각적인 이미지를 높이기 위해 빔 프로젝트로 실물크기와 비슷하게 일반문틀 및 집성재문틀의 가상형상을 띄웠고, 집성재문틀의 장단점을 충분히 설명하고 이해를 득한 후에 설문조사를 실시하였다. 대부분이 이 실제의 건축 및 디자인에 관심을 가졌기 때문에 보다 현실적이고 적절한 조사가 이루어졌다.

1.3. 결과

Fig. 5-1은 집성재문들의 인지도를 조사한 항목으로 70%이상이 실질적으로 집성재문들에 대한 인지도가 없는 것이 확인되었고, 성비에 따른 비율은 남성이 인지도가 약간 높은 것으로 나타났다.

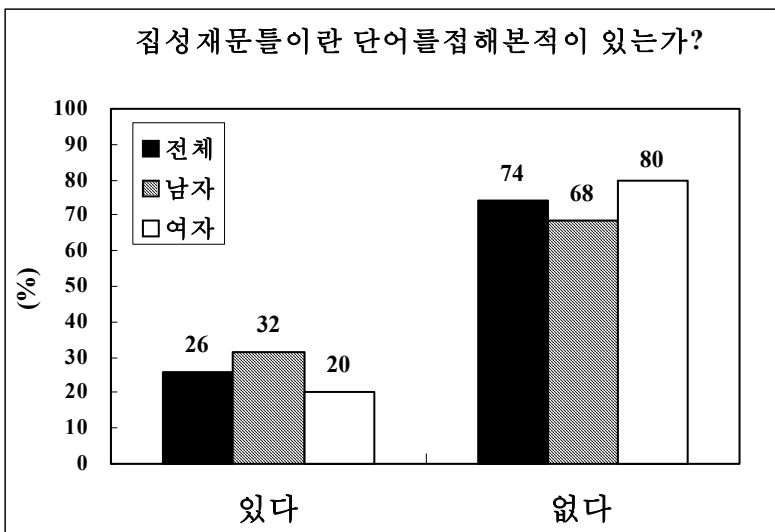


Fig. 5-1. 집성재문들에 대한 인지도평가

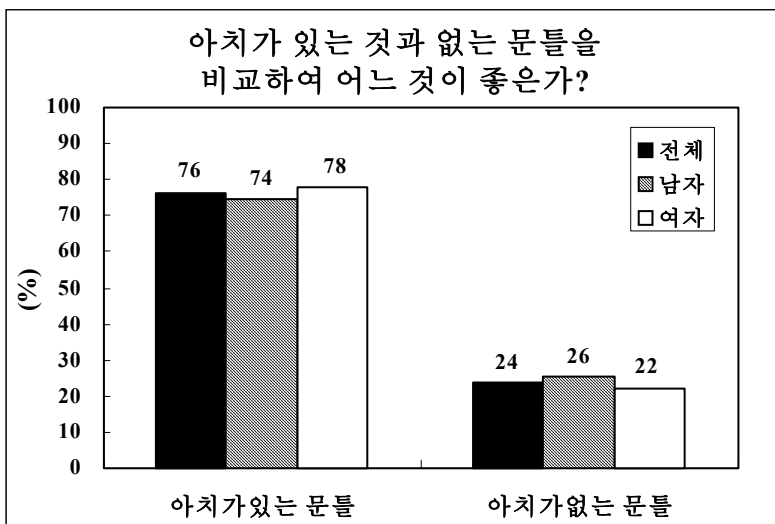


Fig. 5-2. 집성재문들의 형상에 대한 선호도

Fig. 5-2는 집성재문들의 형상에 대한 선호도로서 조사대상자의 76%가 아치가

있는 집성재문틀을 선호하는 것이 확인되었다.

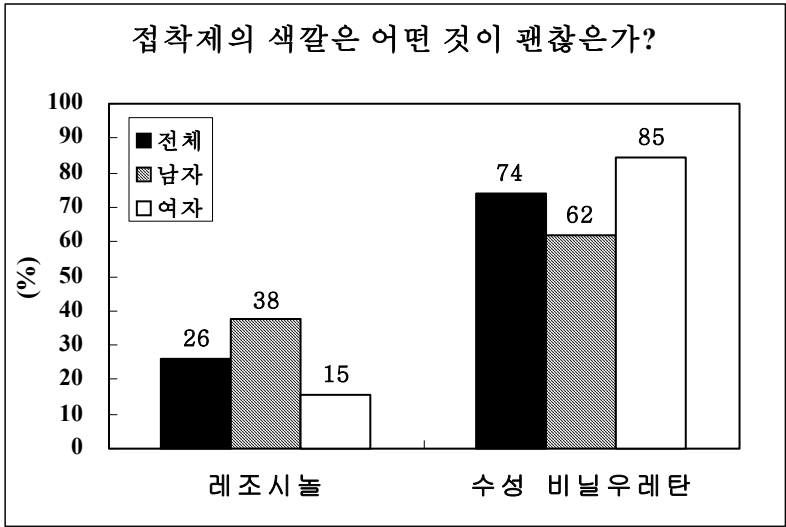


Fig. 5-3. 집성재 문틀의 표면문양에 대한 선호도

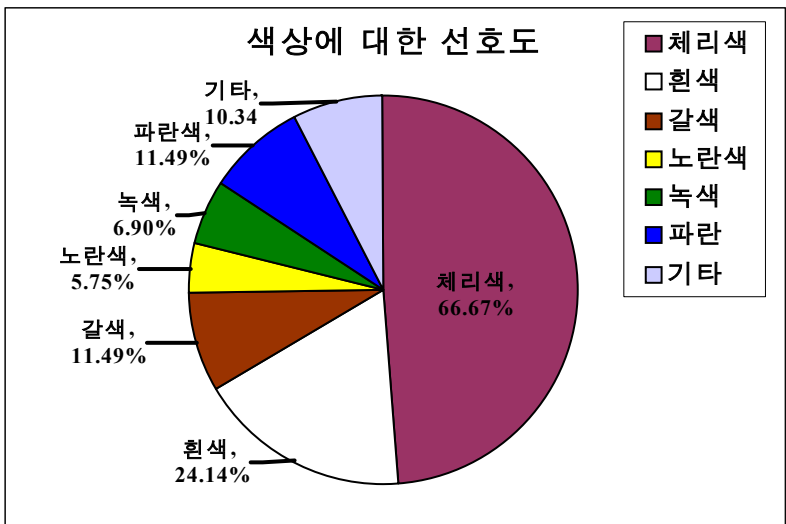


Fig. 5-4. 집성재 문틀의 색깔에 대한 선호도

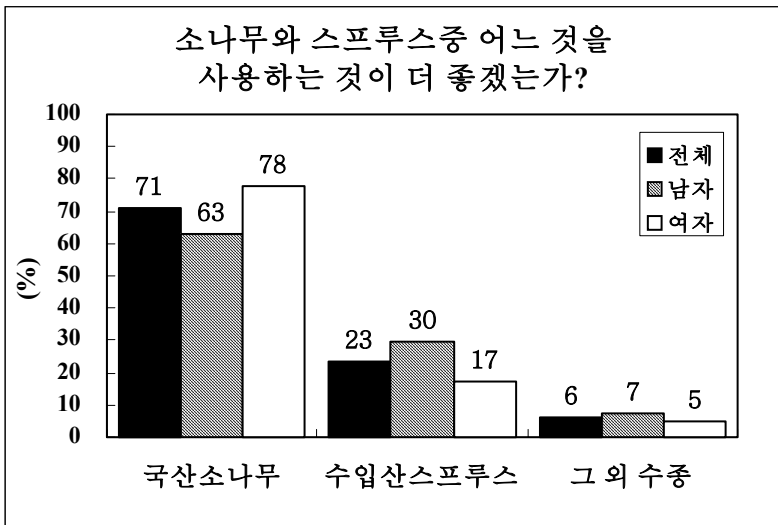


Fig. 5-5. 집성재 문틀용 수종에 대한 선호도 I

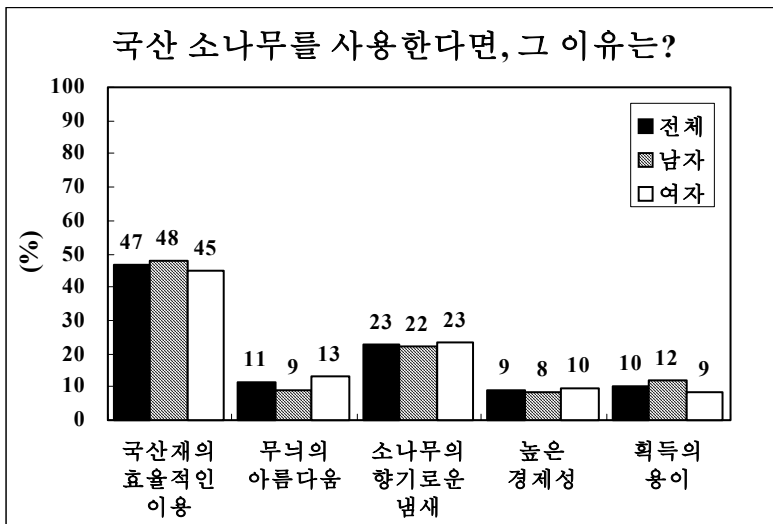


Fig. 5-6. 집성재 문틀용 수종에 대한 선호도 II

Fig. 5-3는 집성재 문틀의 표면문양, Fig. 5-4는 집성재문틀의 도장색깔 및 무늬목색깔 등의 색상에 대한 선호도조사결과로서, 집성재 문틀의 표면에 집착제

의 색갈이 없는 것이 있는 것에 비해 월등히 높은 비율을 차지하였고, 마스크의 영향 및 국민의 의식수준향상에 따라 집착제에 대해 좋지 않은 이미지를 가지고 있는 것이 확인 되었다. 또한 집성재문틀에 무늬목을 붙일 경우 천연무늬목이 인조무늬목보다 월등히 높은 비율을 차지하였고, 집성재문틀의 도장색상 및 무늬목색상은 체리색을 가장 선호하는 것이 확인 되었다.

Fig. 5-5 및 5-6는 집성재 문틀용 수종에 대한 선호도평가결과로서 집성재 문틀용 수종은 국산소나무가 수입산 스프루스에 비해 월등히 높았는데, 그것은 국산소나무의 효율적인 이용면에 많은 관심을 보였기 때문이고, 최근 웰빙시대를 맞이하여 건강에 대한 관심이 높아져 스트레스 해소에 도움을 주고, 삼림욕 등에서 얻을 수 있는 피톤치드와 같은 대한 것에 대한 관심이 높아졌기 때문으로

생각된다.

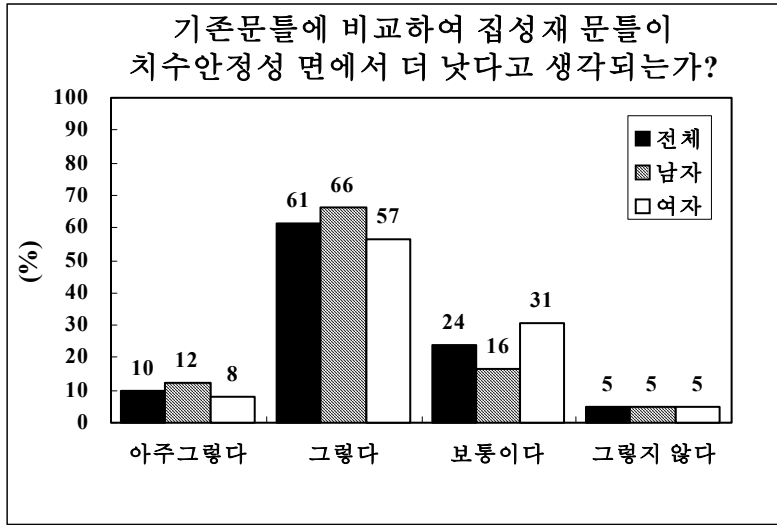


Fig. 5-7. 집성재 문들의 내구성에 대한 선호도 I

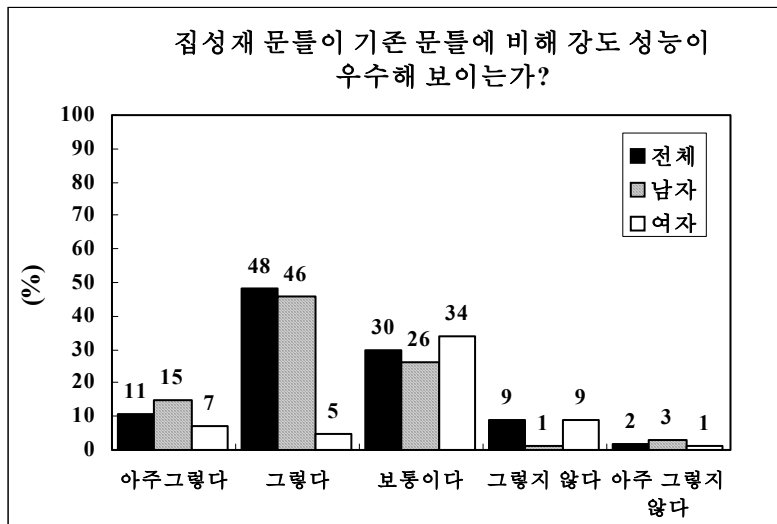


Fig. 5-8. 집성재 문들의 내구성에 대한 선호도 II

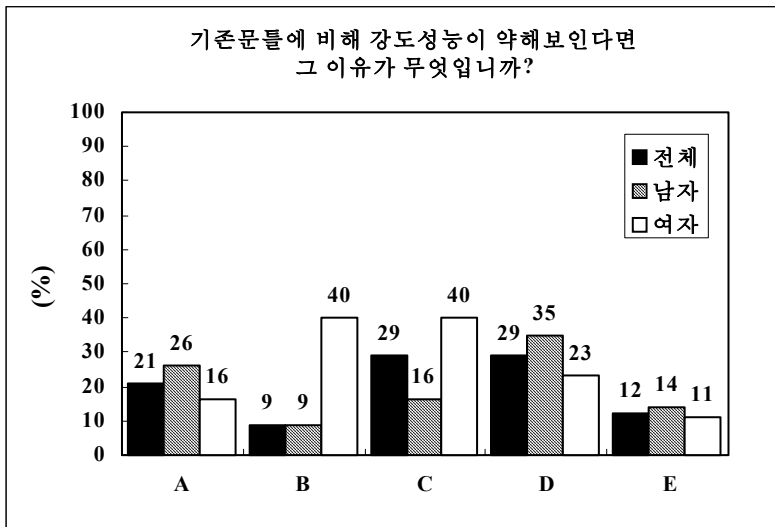


Fig. 5-9. 집성재 문틀의 내구성에 대한 선호도 III

Notes: A: 평거집합, B: 접착불량, C: 접착내구성, D: 만곡집성재 연결부위 결함, E: 접착재종류

Fig. 5-7에서 Fig. 5-9에서는 집성재 문틀의 내구성에 대한 평가로서 치수안정성면에서는 조사대상자의 70%이상에서 일반문틀보다 우수하다는 인식을 갖고 있는 것이 확인 되었고, 강도성능면에서는 약 60%정도가 일반문틀에 비해 강도성능이 더 우수하다는 인식을 갖고 있었으나, 대부분이 남성이었고, 여성의 경우는 일반문틀보다 강도성능면에서 우수하지 못할 것이다가 10%내외의 낮은 비율을 나타내었다. 집성재문틀이 보통문틀보다 강도성능이 열등한 이유로는 여러 가지 원인이 거론 되었었는데 만곡집성재의 연결부위의 결함발생을 남녀모두 그 원인으로 높게 생각하고 있었고, 여성의 경우 접착불량과 접착내구성이 약할 것이라는 생각이 지배적이었다.

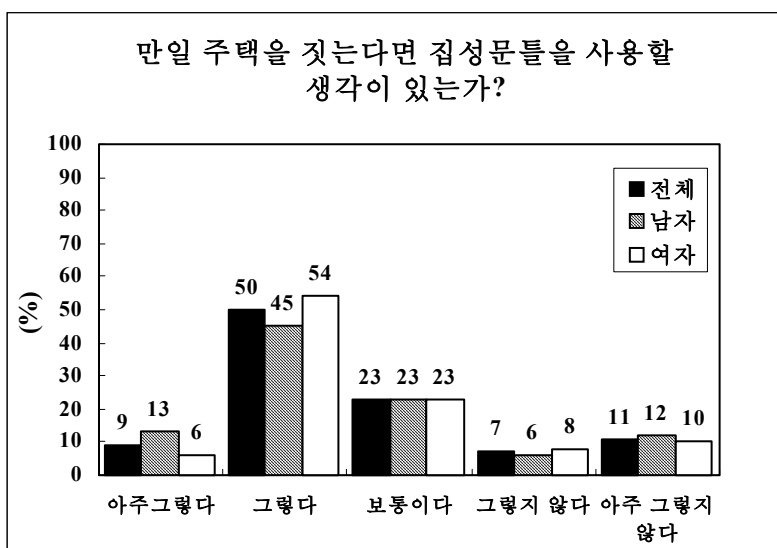


Fig. 5-10. 집성재 문틀의 이용가능성 평가 I

Fig. 5-10은 집성재 문틀의 산업화 및 이용가능성에 대한 평가로서 앞으로 자택에 지을 경우 집성재문틀을 사용할 생각을 가진 사람이 전체 조사대상자의 60%정도가 되었으며, 특히, 사용할 이유로는 Fig. 5-11에 나타낸 것과 같이 만곡집성재의 예술성과 정서적안정성을 높이 평가하는 것이 확인 되었다.

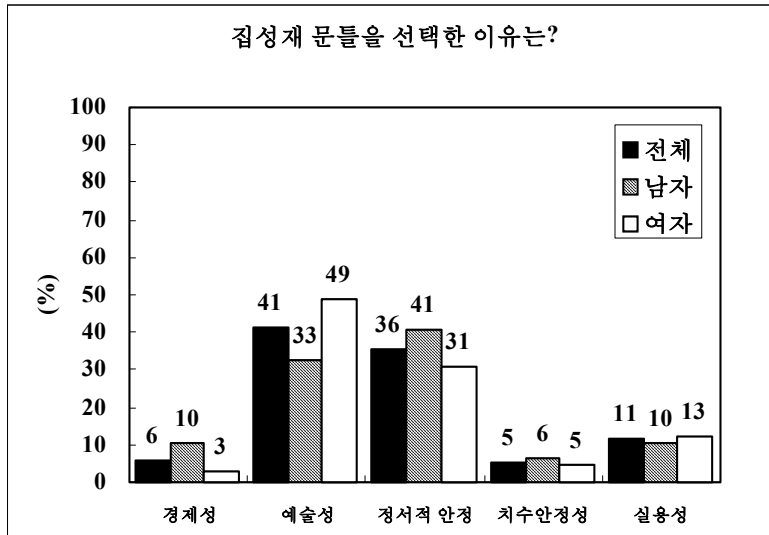
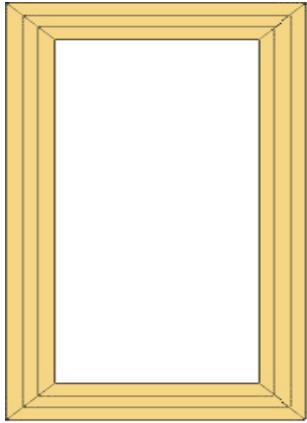


Fig. 5-10. 집성재 문틀의 이용가능성 평가 I

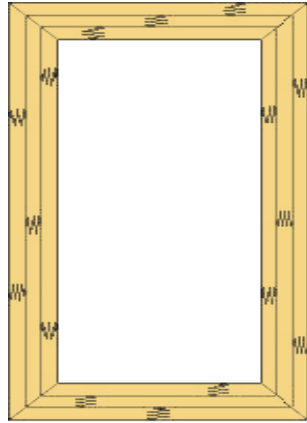
1.4. 결론

집성재문틀의 형상, 색상 및 문양 등에 대한 선호도 조사에 대한 결과, 인지도는 낮았으나, 많은 조사대상자가 집성재문틀 특히, 예술성 및 정서적 측면에서 만곡아치를 가진 집성재문틀을 가장 선호하였으며, 문양에서는 자연스러운 원목문양을 선호하는 것이 확인 되었다. 또한, 집성재문틀의 도장색상이나 무늬목의 색상은 체리색을 가장 선호하였으며, 국산재에 대한 관심도 높은 것이 확인되었다.

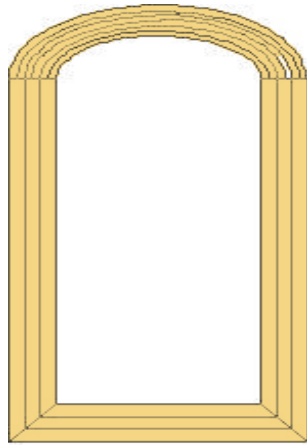
집성재를 이용한 문틀 개발 설문지



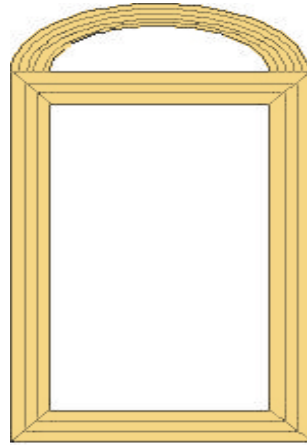
보통문틀
(스프루스 소재)



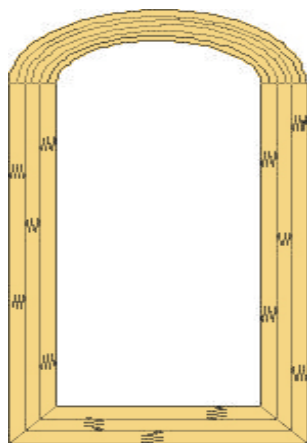
집성재문틀
(스프루스 집성재)



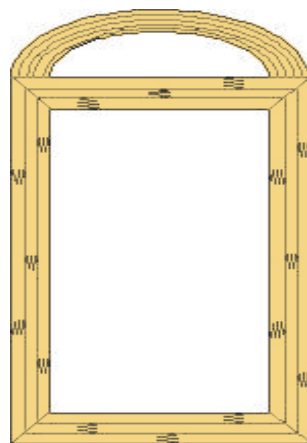
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



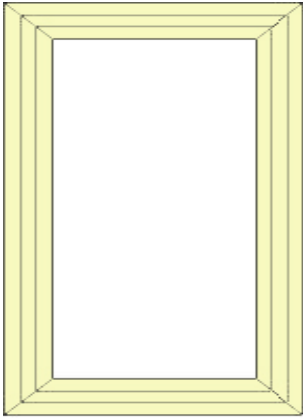
보통문틀 +
만곡집성재 아치 II



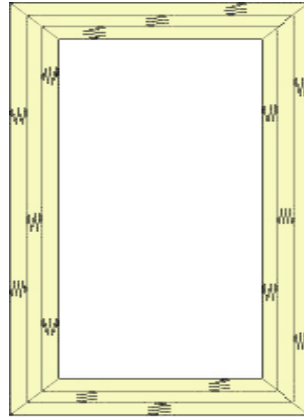
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 I



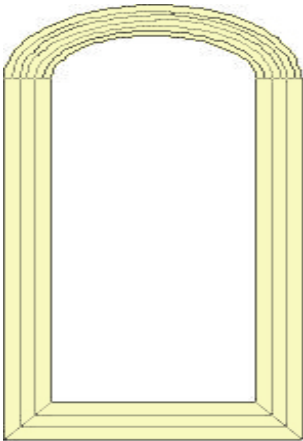
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



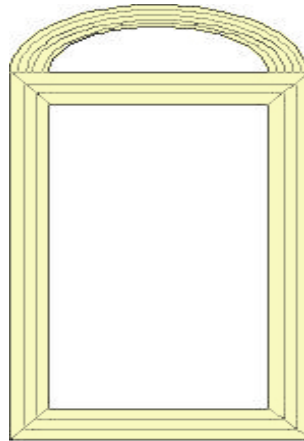
보통문틀
(소나무 소재)



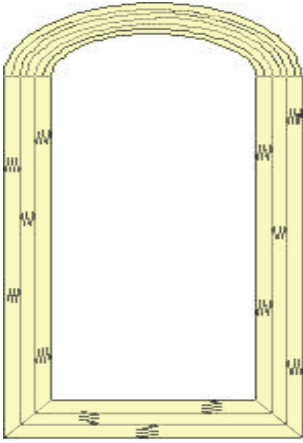
집성재문틀
(소나무 집성재)



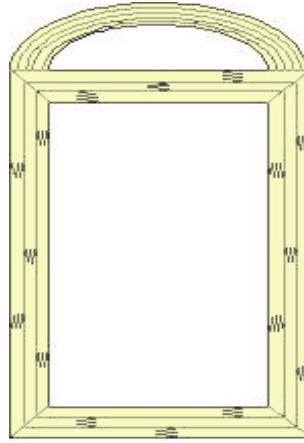
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



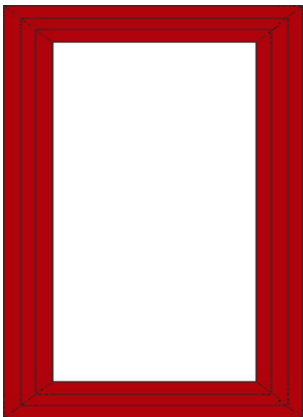
보통문틀 +
만곡집성재 아치 II



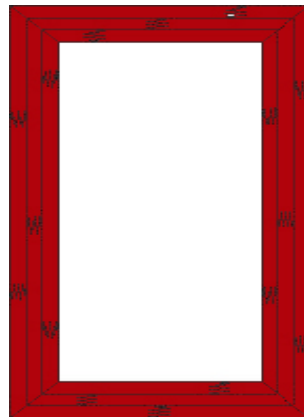
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 I



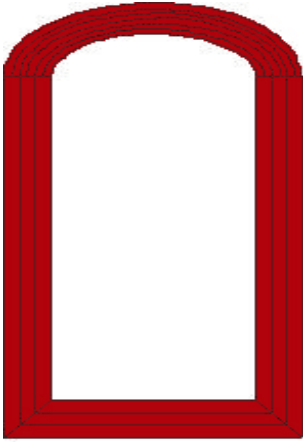
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



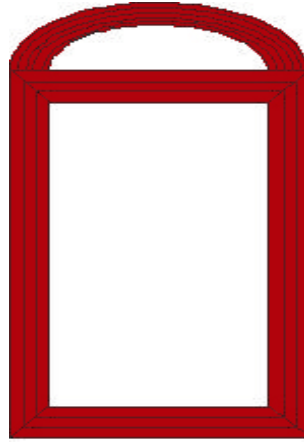
보통문틀
(체리색)



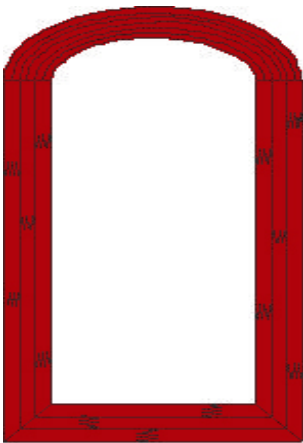
집성재문틀
(체리색 집성재)



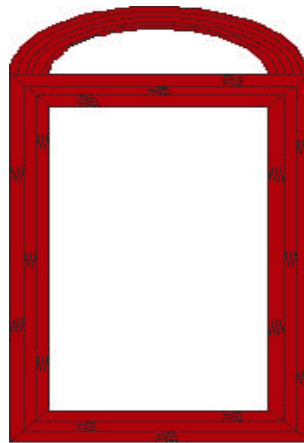
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



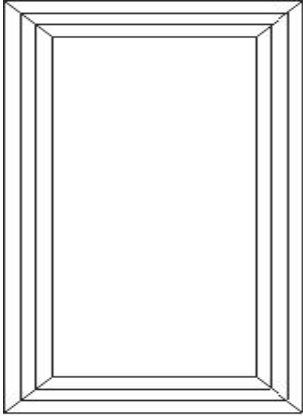
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



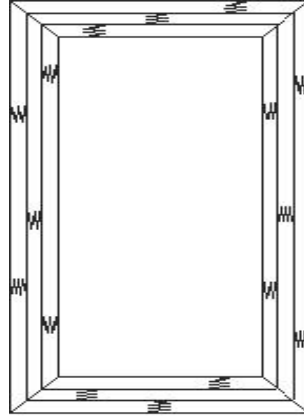
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



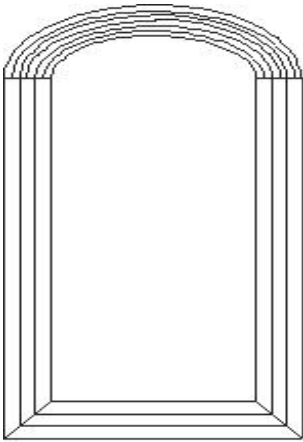
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



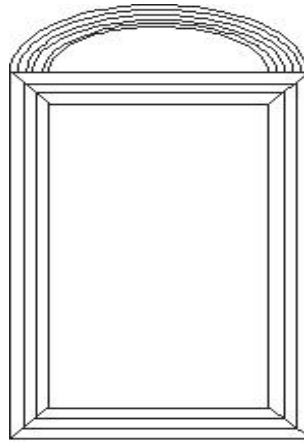
보통문틀
(흰색)



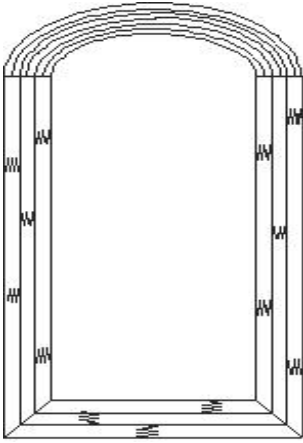
집성재문틀
(흰색 집성재)



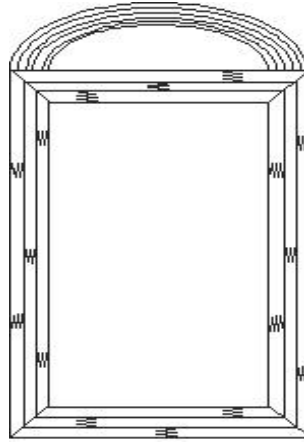
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



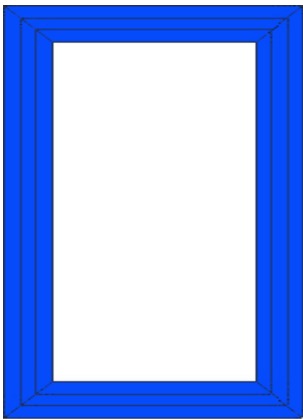
보통문틀 +
만곡집성재 아치 II



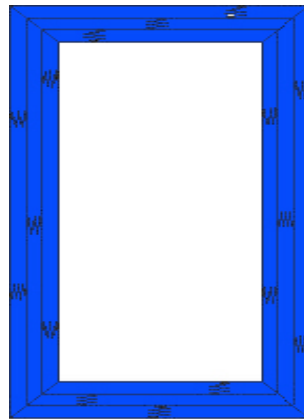
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 I



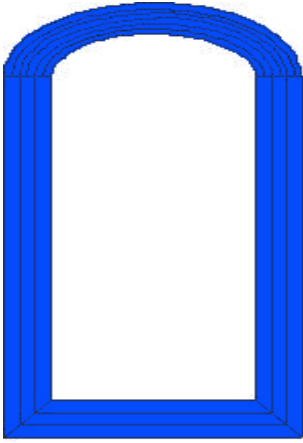
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



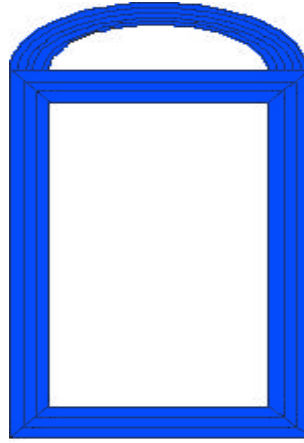
보통문틀
(파란색)



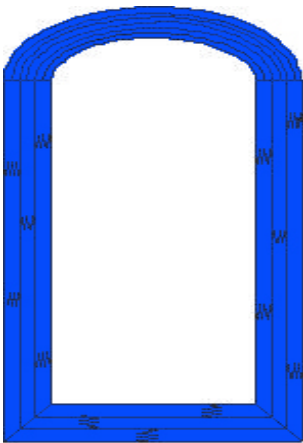
집성재문틀
(파란색 집성재)



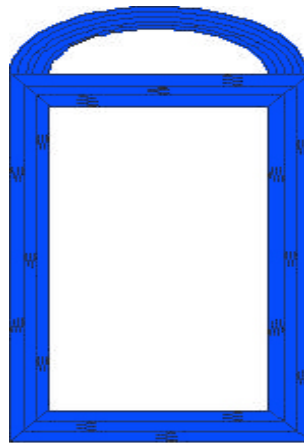
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



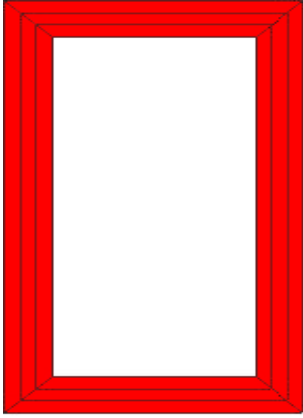
보통문틀 +
만곡집성재 아치 II



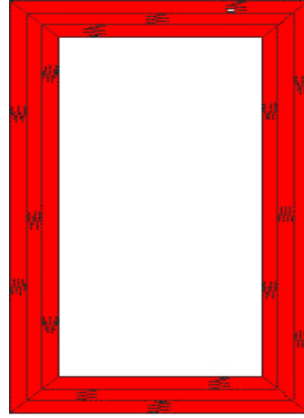
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 I



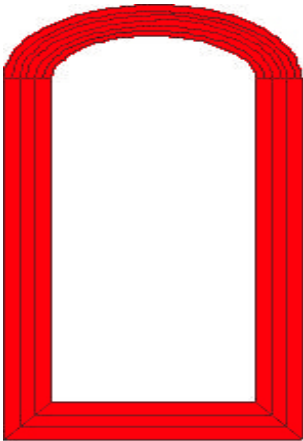
집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



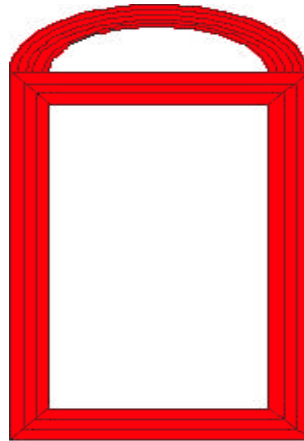
보통문틀
(빨간색)



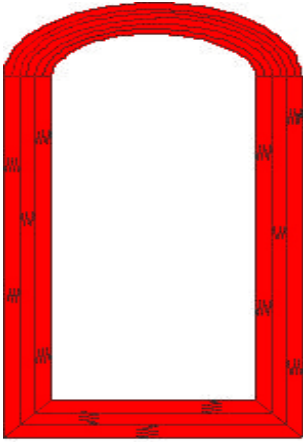
집성재문틀
(빨간색 집성재)



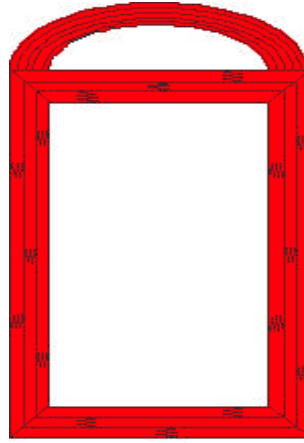
보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II



보통문틀 +
만곡집성재 아치 I



집성재문틀 +
만곡집성재 아치 II

1. 집성재 문틀이란 단어를 접해 본적이 있는가?
 - ① 있다.
 - ② 없다.
2. 문틀 상부에 만곡집성재 아치가 있는 것과 없는 문틀을 비교하여 어느 것이 좋은가?
 - ① 만곡집성재 아치가 있는 문틀
 - ② 만곡집성재 아치가 없는 문틀
3. 핑거문양이 있는 것이 좋은가?
 - ① 아주 좋다
 - ② 좋다
 - ③ 보통이다
 - ④ 좋지 않다
 - ⑤ 아주 좋지 않다
4. 접착제의 색깔은 어떤 것이 괜찮은가?
 - ① 레조시놀 • 페놀 공축합수지
 - ② 수성 비닐우레탄
5. 집성재문틀에 도장을 하는 것이 좋은가?
 - ① 좋다
 - ② 좋지 않다
6. 만약 집성재문틀에 무색도장(락카, 니스)을 한다면, 시각적 이미지는 어떠한가?
 - ① 아주 좋다
 - ② 좋다

- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

7. 만약 집성재문뜰에 유색도장을 한다면, 체리색 도장의 시각적 이미지는 어떠한가?

- ① 아주 좋다
- ② 좋다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

8. 흰색 도장의 시각적 이미지는 어떠한가?

- ① 아주 좋다
- ② 좋다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

9. 파란색 도장의 시각적 이미지는 어떠한가?

- ① 아주 좋다
- ② 좋다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

10. 빨간색 도장의 시각적 이미지는 어떠한가?

- ① 아주 좋다
- ② 좋다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

11. 집성재에 무늬목을 붙이는 것이 어떠한가?

- ① 아주 좋다
- ② 좋다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 좋지 않다.
- ⑤ 아주 좋지 않다

12. 만약 무늬목을 붙이는 것이 좋다면 천연무늬목이 좋겠는가? 인조무늬목이 좋겠는가?

- ① 천연무늬목
- ② 인조무늬목

13. 만약 천연무늬목을 붙이는 것이 좋다면 어느 수종이 좋겠는가?

- ① 참나무
- ② 단풍나무
- ③ 삼나무
- ④ 향나무
- ⑤ 은행나무

14. 만약 인조무늬목을 붙인다면 어느 색깔이 좋겠는가?

- ① 체리색
- ② 빨간색
- ③ 흰 색
- ④ 파란색
- ⑤ 주황색

15. 집성재 문틀을 만졌을 때 표면의 느낌은 어떠한가?

- ① 부드럽다
- ② 거칠다
- ③ 딱딱하다
- ④ 따뜻하다
- ⑤ 차갑다

16. 국산 소나무와 현재 상용되고 있는 수입산 스프루스로 제작된 집성재 중 어느 것을 사용하는 것이 더 좋겠는가?

- ① 소나무
- ② 스프루스
- ③ 그 외 수종

17. 만약 국산 소나무를 사용한다면, 그 이유는?

- ① 국산재의 효율적인 이용
- ② 무늬의 아름다움
- ③ 소나무의 향기로운 냄새
- ④ 높은 경제성
- ⑤ 획득이 용이

18. 기존문틀과 비교하여 집성재 문틀이 고급스러워 보이는가?

- ① 매우 그렇다
- ② 그렇다
- ③ 보통이다.
- ④ 그렇지 않다
- ⑤ 매우 그렇지 않다

19. 기존의 문틀과 비교하여 집성재 문틀이 치수안정성 면에서 더 낫다고 생각되는가?

- ① 아주 그렇다
- ② 그렇다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 그렇지 않다
- ⑤ 아주 그렇지 않다

20. 집성재 문틀이 기존 문틀에 비해 강도성능이 우수해 보이는가?

- ① 아주 그렇다
- ② 그렇다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 그렇지 않다
- ⑤ 아주 그렇지 않다

21. 기존 문틀에 비해 강도성능이 약해보인다면 그 이유가 무엇입니까?

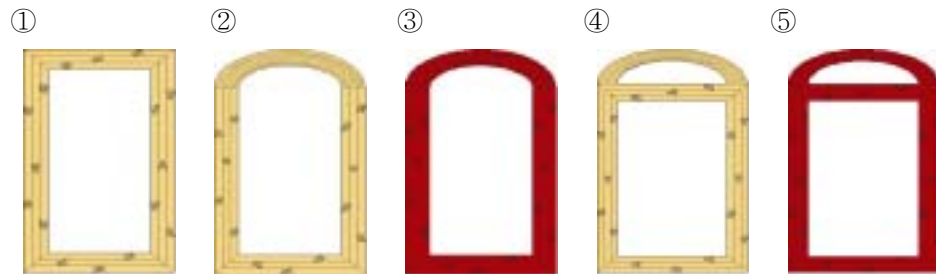
- ① 핑거접합부분이 약해 보인다
- ② 접착이 잘 안될 것 같다
- ③ 접착내구성이 약할 것 같다
- ④ 만곡집성재의 하중을 받는 부분에 결함이 있을 것 같다
- ⑤ 접착제의 접착력을 신뢰하기 힘들 것 같다

22. 만일 주택을 짓는다면 집성문틀을 사용할 생각이 있는가?

- ① 아주 그렇다
- ② 그렇다
- ③ 그저 그렇다
- ④ 그렇지 않다
- ⑤ 잘 모르겠다

23. 만약 집성재 문틀을 사용한다면 어떤 종류의 문틀을 사용하겠는가?

(단 ③과 ⑤을 선택할 경우 본인이 원하는 색을 기입해주세요 색:)



24. 23번의 집성재문틀을 선택한 이유는?

- ① 경제성
- ② 예술성
- ③ 정서적 안정

- ④ 치수안정성
- ⑤ 실용성

2. 집성재 문틀의 제조경비 및 경제성평가

2.1 서 언

일반적으로 사용되고 있는 수입산 목재를 사용한 문틀에 비해 집성재문틀의 경우 유절재, 단척재 및 결합재의 사용이 가능하여, 경제적으로 저 비용의 문틀제작이 가능하고, 부가가치가 높은 문틀생산이 가능할 것으로 생각된다. 따라서 본 항에서는 일반문틀과 집성재문틀, 화장집성재문틀의 제조비용을 계산하고, 상호간의 차이를 비교분석하여 집성재문틀의 경제성을 검토하였다.

2.2 결 과

각종 문틀의 생산예상 가격을 표 5-1~5-6에 나타내었다.

현재 소규모 건구 공장에서 생산되고 있는 문틀제조가격은 1틀 당 74,000원 정도이다. 또한 소비자의 취향에 따라 표면을 얇은 무늬단판으로 접착한 화장문틀의 경우 제작비가 재료비 및 인건비 등을 포함하여 생산비의 20%인 16,500정도가 더 소요되어 89,500원이 된다. 집성재문틀 생산가격은 52,000원 정도로 기존의 원목문틀생산비의에 비하여 70% 정도인 52,200의 가격으로 생산이 가능하다. 집성재화장문틀 생산가격은 인건비 및 재료비 등을 포함하여 74,700원이 소요되어 원목문틀생산가격으로 생산이 가능하여 소재원목문틀 생산가격으로 집성재 화장문틀의 선택이 가능하다. 따라서 원목문틀과 동일수준의 가격으로 소비자가 원하는 취향에 따라 표면색상이나 화장단판의 종류를 마음대로 선택이 가능하게 된다. 그리고 만곡 집성재문틀의 생산가격은 원목문틀가격의 118% 인 87,400원이다. 현재는 특수한 경우만 만곡문틀을 생산하는데 그 가격이 매우 높고 강도성능에 문제가 있지만 87,400원 정도로 생산이 가능하게 되어 소비자 취향에 따라서 선택의 폭이 많이 넓어질 것이다. 또한 만곡집성재화장문틀 생산가격은 108,400원이다.

Table 5-1 원목문틀 생산가격(1틀)

(단위 : 원)

원)

◦ 재료비(원목) 3200원/사이× 15사이	48,000
◦ 인건비 : 7000원/시간×2	14,000
◦ 전기료 :	2,000
◦ 감가상각비 :	500
◦ 부대경비 :	1,500
◦ 순이익	8,000
합 계	74,000

-Note: 규격 : 2100mm(H) × 900mm(W)× 150mm(T), (원목두께 54mm)

Table 5-2 원목화장문틀 생산가격(1틀)

(단위 : 원)

◦ 원목문틀생산원가	66,000
◦ 재료비	
· 화장단판 :	3,000
· 접착제 :	1,000
◦ 전기료 :	1,000
◦ 인건비 : 7000원/시간×1.5	10,500
◦ 순이익 :	8,000
합 계	89,500

Table 5-3 집성문틀 생산가격(1틀)

(단위 :

원)

◦ 재료비	
- 원목(유절) 1000원/사이 ×17	17,000
- 접착제 2700	2,700
◦ 인건비 : 7000원/시간×2.5	17,500
◦ 전기료 :	4,000
◦ 부대경비 :	1,500
◦ 감가상각비 :	1,500
◦ 순이익 :	8,000
합 계	52,200

Table 5-4 집성화장문틀 생산가격(1틀)

(단위 : 원)

◦ 집성문틀가격	44,200
◦ 재료비	
- 화장단판	3,000
- 접착제	1,000
◦ 인건비 : 7000원/시간×1.5	10,500
◦ 전기료 :	5,000
◦ 부대경비 :	1,500
◦ 감가상각비 :	1,500
◦ 순이익 :	8,000
합 계	74,700

Table 5-5 만곡집성문틀 생산가격(1틀)

(단위 : 원)

◦ 집성문틀가격	44,200
◦ 재료비	
- 원목(무절) 3200원/사이 × 4	12,800
- 접착제 2700/kg × 2	5,400
◦ 인건비 : 7000원/시간×2	14,000
◦ 전기료 :	1,000
◦ 감가상각비 :	2,000
◦ 순이익 :	8,000
합 계	87,400

Table 5-6 만곡집성화장문틀 생산가격(1틀)

(단위 : 원)

◦ 만곡집성문틀 생산 단가	79,400
◦ 재료비	
- 화장단판	4,000
- 접착제	1,500
◦ 인건비 : 7000원/시간×2	14,000
◦ 전기료 :	15,00
◦ 순이익 :	8,000
합 계	108,400

2.3 결 론

집성재 문틀은 보통원목문틀에 비해 원가의 70%정도로 생산이 가능한 것이 확인되었고, 만곡집성재 문틀도 사이 당 가격이 무절재보다 훨씬 저렴한 유절재를 사용할 경우 보통원목문틀에 크게 비싸지 않은 가격으로 집성재 문틀을 구입가능한 것이 확인되었다.

3. 집성재 문틀 시작품 제작

집성재 문틀의 시작품을 각 제작순서에 맞추어 사진으로 나타낸다.



Photo 5-1 핑거제작

Photo 5-2 핑거제작

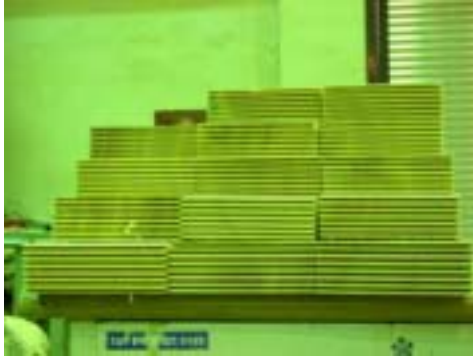


Photo 5-3 제작된 핑거

Photo 5-4 제작된 핑거



Photo 5-5 제작된 핑거

Photo 5-6 핑거 집합



Photo 5-7 핑거 집합

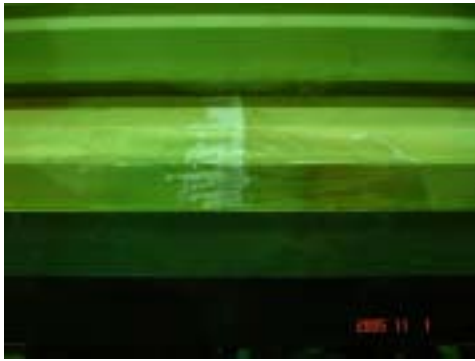


Photo 5-8 핑거 집합



Photo 5-9 핑거 집합



Photo 5-10 핑거 집합



Photo 5-11 핑거조인트 양생과정

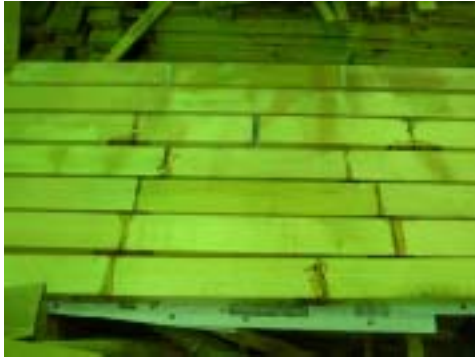


Photo 5-12 핑거조인트 양생과정



Photo 5-13 만곡집성재



Photo 5-14 만곡집성재



Photo 5-15 만곡 집성재를 이용한 문틀의 제작(수성비닐우레탄 사용)



Photo 5-16 만곡 집성재를 이용한 문틀의 제작(레조시놀-페놀공축합수지 사용)



Photo 5-17 제작된 만곡집성재 문틀의 도장 과정 및 도장처리된 문틀

VI. 집성재 문틀의 물리적·기계적 성능평가

1. 온습도변화조건하에서 점탄성적 방법에 의한 성능평가

1.1 재료 및 방법

1.1.1 시험편

가. 공시재료

본 연구에 사용된 공시재료로는 본 프로젝트의 1, 2년차 연구 결과에 근거하여 수입산 저급 스프루스(*P. sitchensis*)와 생육이 양호한 평균수령 약25-30년생 소경목 적송(*P. densiflora*)을 공시재료로 채택하였다.

1.1.2 시험편 제작

가. 접착제 선별

본 프로젝트에 대한 전년도 연구결과, 휨 탄성계수는 양 수종모두 접착제의 종류에 따른 큰 차이를 나타내지 않았지만, 휨 강도는 레조시놀 페놀 공축합수지가 수성비닐우레탄보다 양 수종 모두 더 높은 휨 강도 유효율을 나타내는 것이 확인되었다. 그러나 휨 크리프 성능은 양 접착제사이에 뚜렷한 차이가 확인되지 않았고, 이 연구에서는 레조시놀·페놀 공축합수지(RPF, RW-204, 주제 100부에 대해 경화제 15부 첨가)와 수성비닐우레탄(AVU)을 선택하였고, 수분변화조건에서 양자의 휨 크리프 거동에 대한 영향을 명확히 조사해, 집성재의 수분변화조건에서의 접착안정성을 확보하는 것을 목적으로 하였다. 일반적인 3종류의 접착제에 대한 정적 휨 성질은 레조시놀 페놀 공축합수지가 가장 높은 강도성능을 나타내고, 초산비닐 수지가 가장 낮은 강도성능을 나타내나, 앞서 언급한 바와 같이 크리프 거동에 대한 자료는 거의 찾아보기 어렵다.

나. 시험편용 엘리먼트 및 핑거접합 시험편 제작

시험편은 1, 2년차와 동일하게 1년 이상 천연 건조된 수입산 스프루스 및 국내산 소나무로부터 22mm(T) x 22mm(W) x 380mm(L)크기의 섬유방향 엘리먼트 각각 600개를 제작하여 20℃, 65%RH의 항온항습실에서 2주 이상 조습한 후, 밀도를 측정하였고, 휨 시험을 실시해 휨 탄성계수를 측정하였다. 밀도와 휨 탄성계수가 측정된 엘리먼트는 크게 크리프 부하하중을 정하기 위한 휨 시험용 및 30%RH, 65%RH, 85%RH의 3타입의 수분변화조건으로

분류하였다. 그리고 각 수분조건에 대한 비교목을 선별하기 위해 다시 3그룹으로 나누어 비교목을 선별한 후, 다시 핑거피치 및 접착제종류에 따른 조건별로 휨 탄성계수의 치우침이 적도록 나누었다. 각 조건별 휨 시험편은 각 조건 당 4개, 휨 크리프시험편은 각 조건 당 3개가 되도록 분류하였다. 각 시험편용 엘리먼트는 전년도 연구와 같이 엘리먼트의 중앙부를 횡절한 후 핑거조인트에서 핑거피치 4.4mm(S)와 6.8mm(L)로 두 종류의 핑거를 제작하였다. 단, 핑거공차는 전년도 연구결과로부터 구해진 최적조건 0.15mm로 제작하였다. 핑거제작 후, 레조시놀-페놀 공축합수지 및 수성비닐우레탄수지를 이용하여, 면적당 40kgf/cm²의 압력으로 20초간 접합하였고, 1주일이상 양생한 후, 각 습도조건별로 20mm(T) x 20mm(W) x 340mm(L)크기의 8종류의 핑거접합재 130개를 제작하였다.

1.1.3 휨 크리프 시험

휨 크리프 시험은 스패 300mm, 하중점간 거리 100mm의 3등분점에 의한 4점 하중방식으로 실시하였다. 휨 크리프 시험편과 동일한 조건으로 제작한 각 조건 당 4개의 핑거접합재를 4점 하중방식으로 정적 휨 시험을 행하였고, 그 정적 휨 시험으로부터 얻은 휨강도의 25%에 상당하는 일정응력을 시험편에 가해, 20°C, 30%RH, 65%RH 및 85%RH의 수분조건을 변화시킨 항온항습실에서 각 조건 및 각 시험편당 240시간 (10일간)동안 실시하였다. 각 조건별 시험편이 같은 습도조건에서 동일하게 시험 가능하도록, 항온항습실의 습도를 전체적으로 조절하여 시험하였다. 시험편 중앙부의 처짐을 다이얼게이지를 통해 측정하였고, 각시간의 처짐으로부터 제4절에서 설명한 식(4-3) 및 식(4-4)을 통해 크리프 컴플라이언스($D(t)$)와 크리프 양($D_c(t)$)을 구하였다.

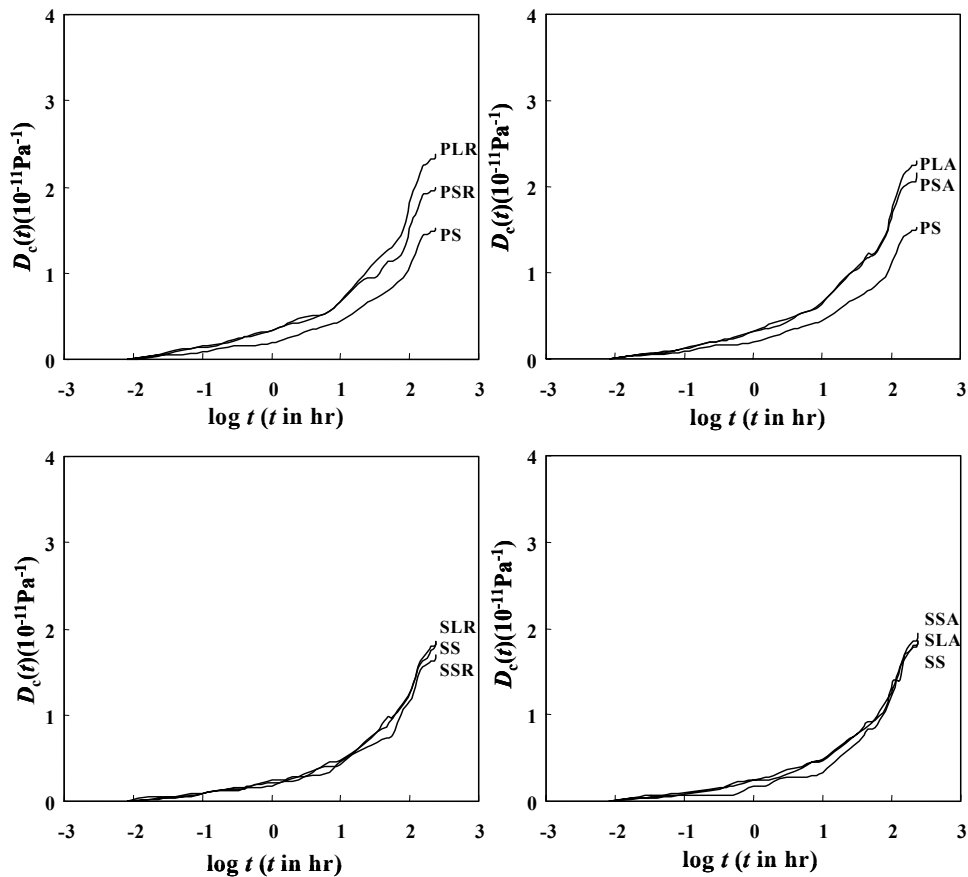
2. 결 과

가. 핑거접합재의 크리프 곡선

소재 및 핑거접합재의 휨 크리프 시험의 대표적인 크리프 곡선을 핑거피치별, 접착제 종류별, 습도변화조건별로 나누어 Figs.6-1~6-11에 나타낸다.

Fig.6-1~Fig.6-3에 나타낸 핑거접합재의 핑거피치에 따른 크리프곡선의 형상을 보면, 핑거피치에 관계없이 우측상변이 증가하는 지수함수의 그래프를 나타내었고, 상대습도 30%의 저습도 조건에서는 핑거피치가 4.4mm(S)에서 6.8mm(L)로 증가함에 따른 곡선의 변화는 우측상변의 기울기가 증가하는 형태를 나타내었지만, 상대습도 85%의 고습도 조건에서는 역으로 핑거피치가 적은 4.4mm(S)가 6.8mm보다

우축상변의 기울기가 증가하는 형태의 크리프곡선을 나타냈다. 그리고, Fig.6-4~Fig.6-6에 나타난 것 같이, 핑거접합제의 접착제의 종류에 따른 크리프곡선의 변화를 보면, 변화시킨 습도조건에 관계없이 레조시놀-페놀공축합수지(RPF) 및 수성비닐우레탄(AVU)사이의 차이는 확인 되지 않았고, 양 접착제모두 소재의 크리프곡선과 비슷한 형태를 나타내는 것이 확인 되었다. 또한, Fig.6-7~Fig.6-11의 습도조건에 따른 핑거접합제의 크리프곡선의 형태는 상대습도 65%조건에서 크리프곡선의 우축상변의 증가폭이 가장 적었고, 그 다음이 상대습도 30%의 저습도 조건하에서의 그 증가폭 적었고, 상대습도 85%의 고습도조건하에서는 상대습도65% 및 30%보다 그 증가폭이 월등히 큰 것이 확인되었다. 그러나 상대습도 65%와 30%의 크리프곡선의 차이는 아주 적은 것이



확인되었다.

Fig. 6-1. Typical examples of creep compliance of finger-jointed woods with different finger pitches under 30%RH.

Notes; PS: Pine solid wood, PSR: Pine-4.4mm(S)-RPF, PLR: Pine-6.8mm(L)-RPF, PSA: Pine-4.4mm(S)-AVU, PLA: Pine-6.8mm(L)-AVU, SS: Spruce solid wood, SSR: Spruce-4.4mm(S)-RPF, SLR: Spruce-6.8mm(L)-RPF, SSA: Spruce-

4.4mm(S)-AVU, SLA: Spruce-6.8mm(L)-AVU.

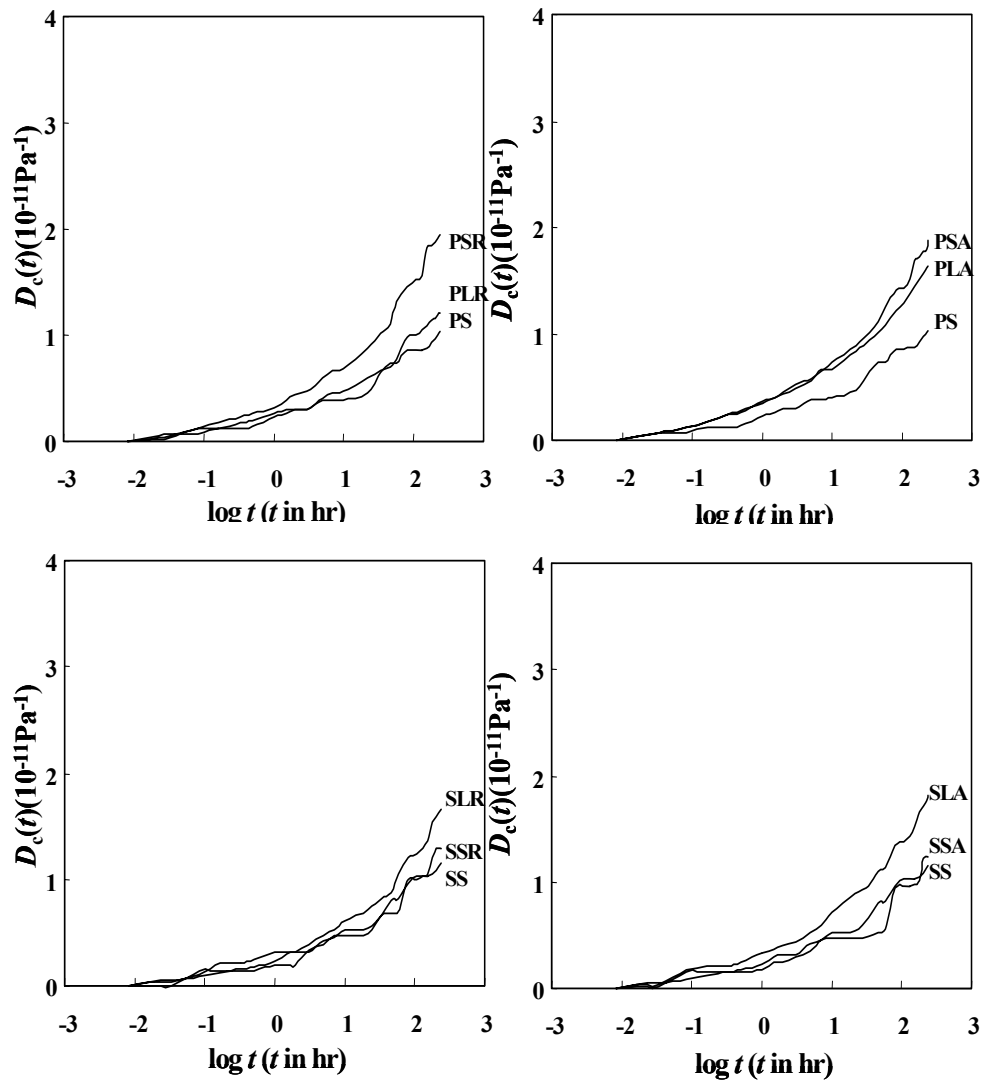
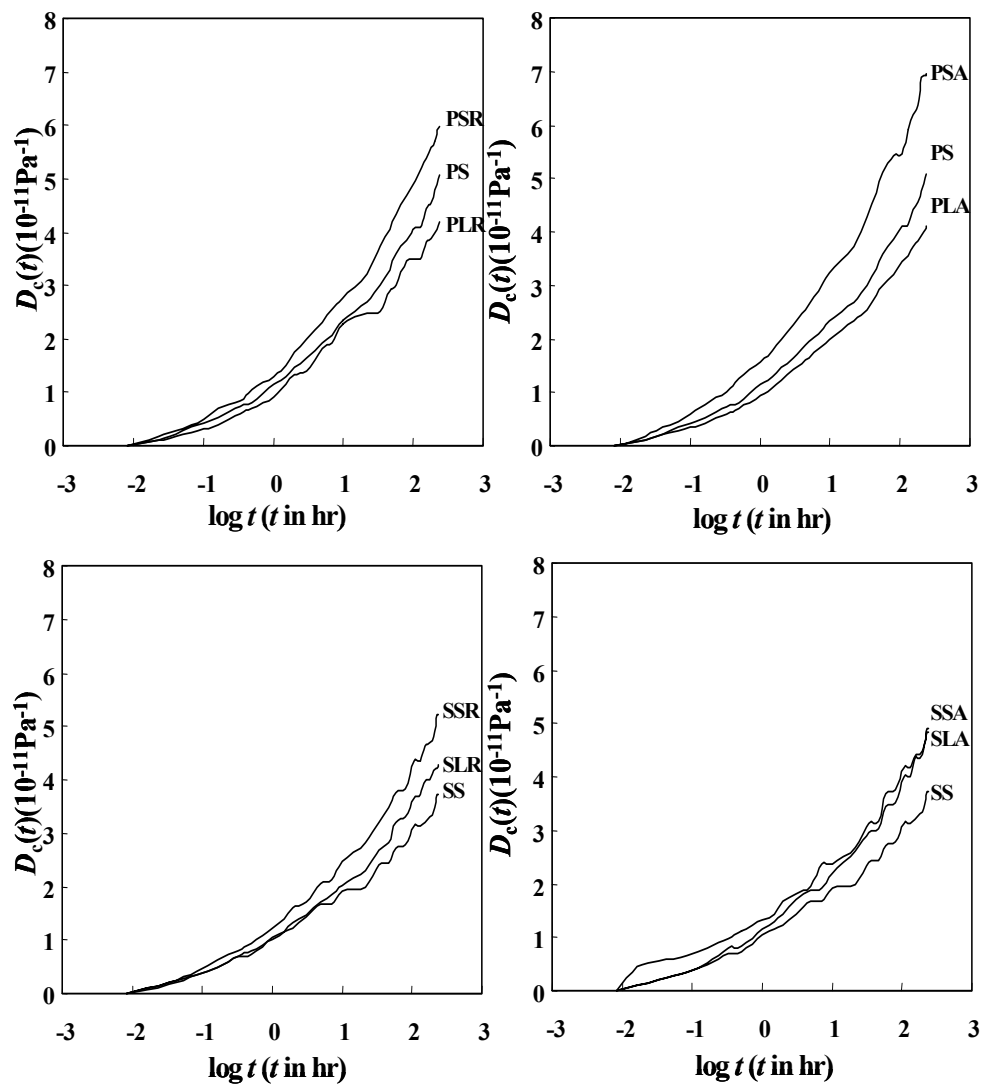


Fig. 6-2. Typical examples of creep compliance of finger-jointed woods with different finger pitches under 65% RH. Notes; PS, PSR, PLR, PSA, PLA, SS, SSR, SLR, SSA and SLA: See note in Fig. 6-1.

Fig. 6-3. Typical examples of creep compliance of finger-jointed woods with different finger pitches under 85%RH. Notes; PS, PSR, PSA, PLR, PLA, SS, SSR, SSA, SLR and SLA: See note in Fig. 6-1.

Fig. 6-4. Typical examples of creep compliance of finger-jointed



woods with different adhesives under 30%RH.
 Notes; PS, PSR, PSA, PLR, PLA, SS, SSR, SSA, SLR and SLA: See note in Fig. 6-1.

Fig. 6-5. Typical examples of creep compliance of finger-jointed woods with different adhesives under 65%RH.
 Notes; PS, PSR, PLR, PSA, PLA, SS, SSR, SLR, SSA and SLA: See note in Fig. 6-1.

Fig. 6-6. Typical examples of creep compliance of finger-jointed woods with different adhesives under 85%RH.
 Notes; PS, PSR, PLR, PSA, PLA, SS, SSR, SLR, SSA and SLA: See note in Fig. 6-1.

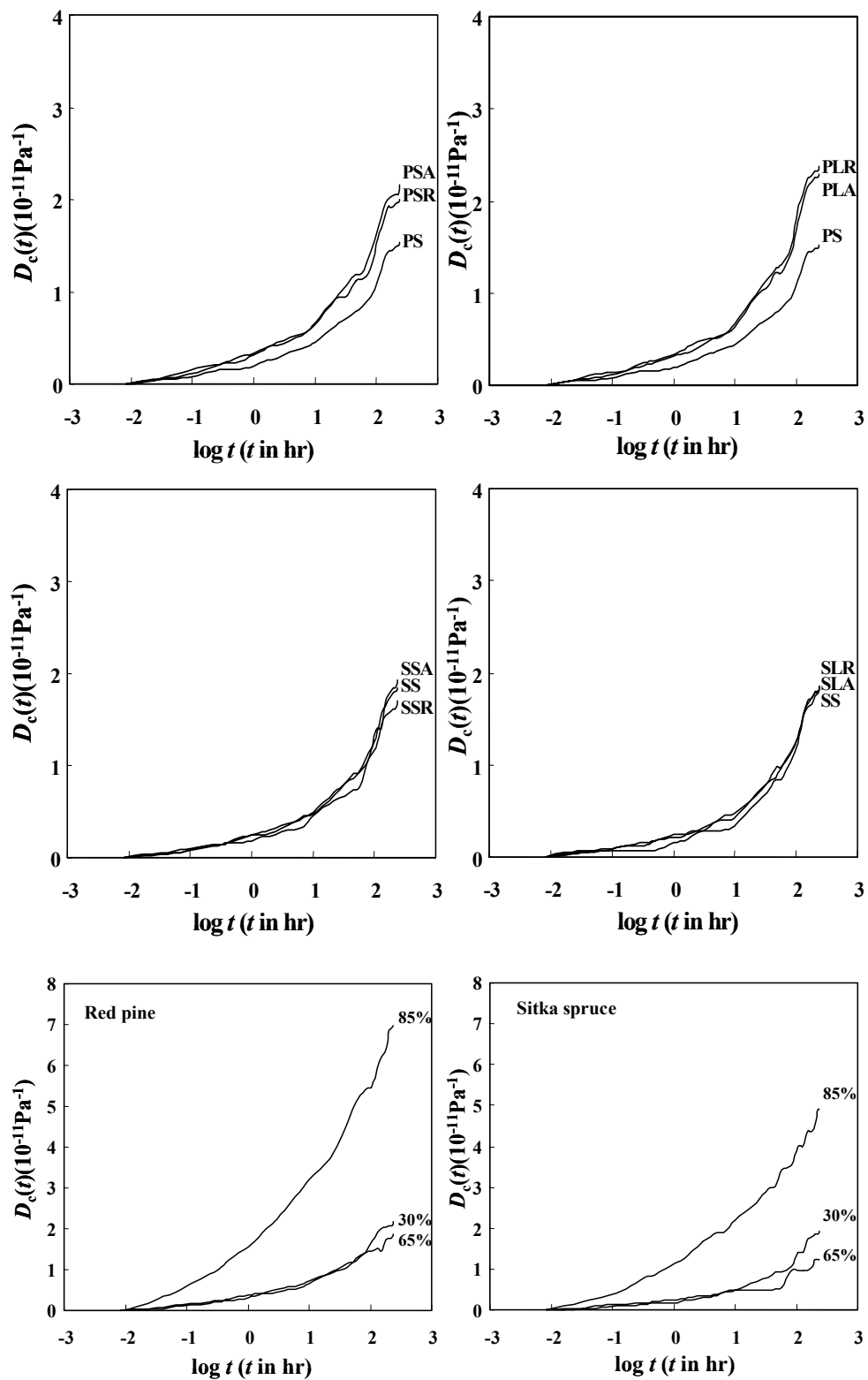


Fig. 6-7. Typical examples of creep curves of pine and spruce solid woods under humidity changes.

Notes; 30%, 65% and 80% mean relative humidity during creep test.

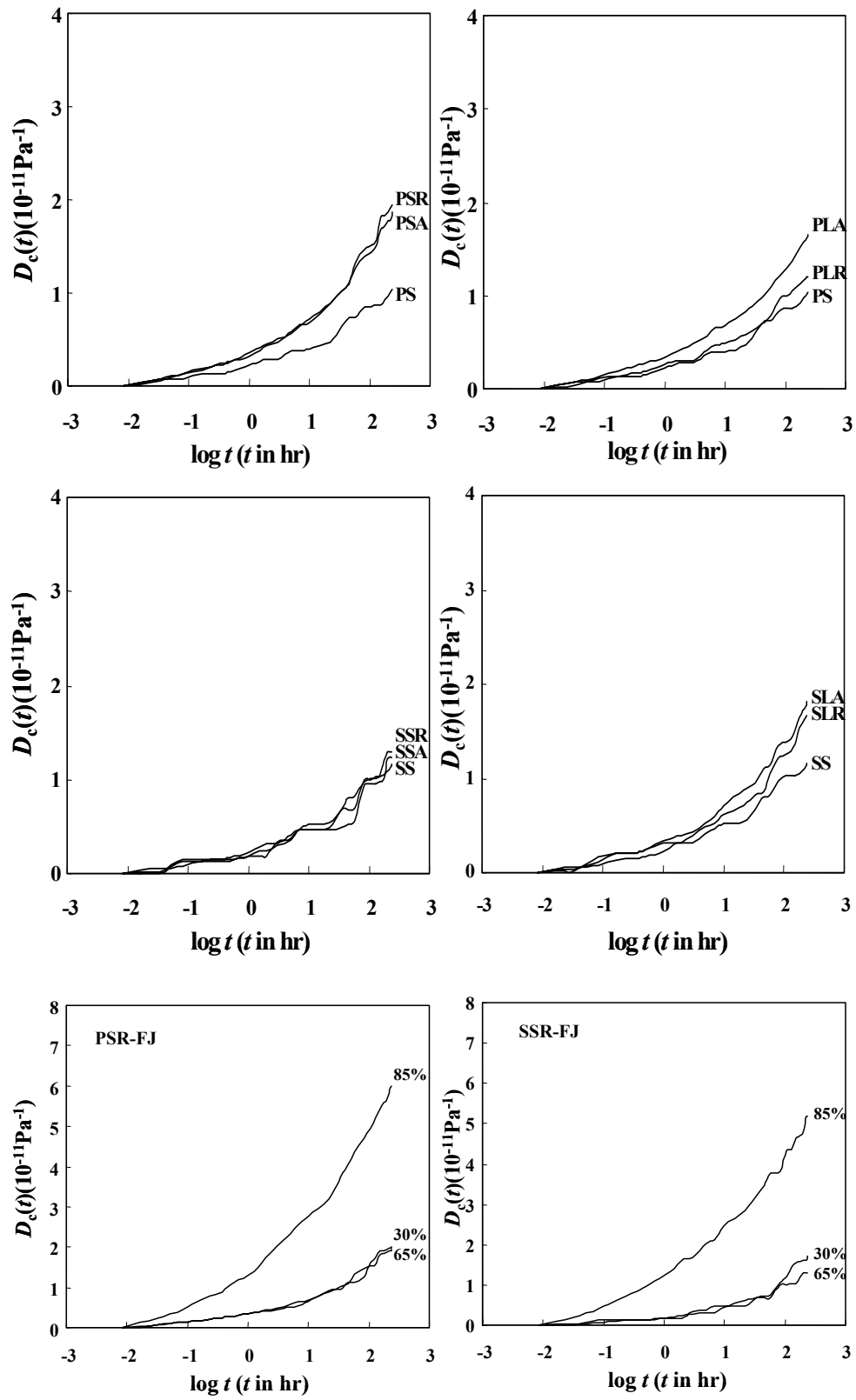


Fig. 6-8. Typical examples of creep curves of PSR and SSR finger-jointed woods under humidity changes.

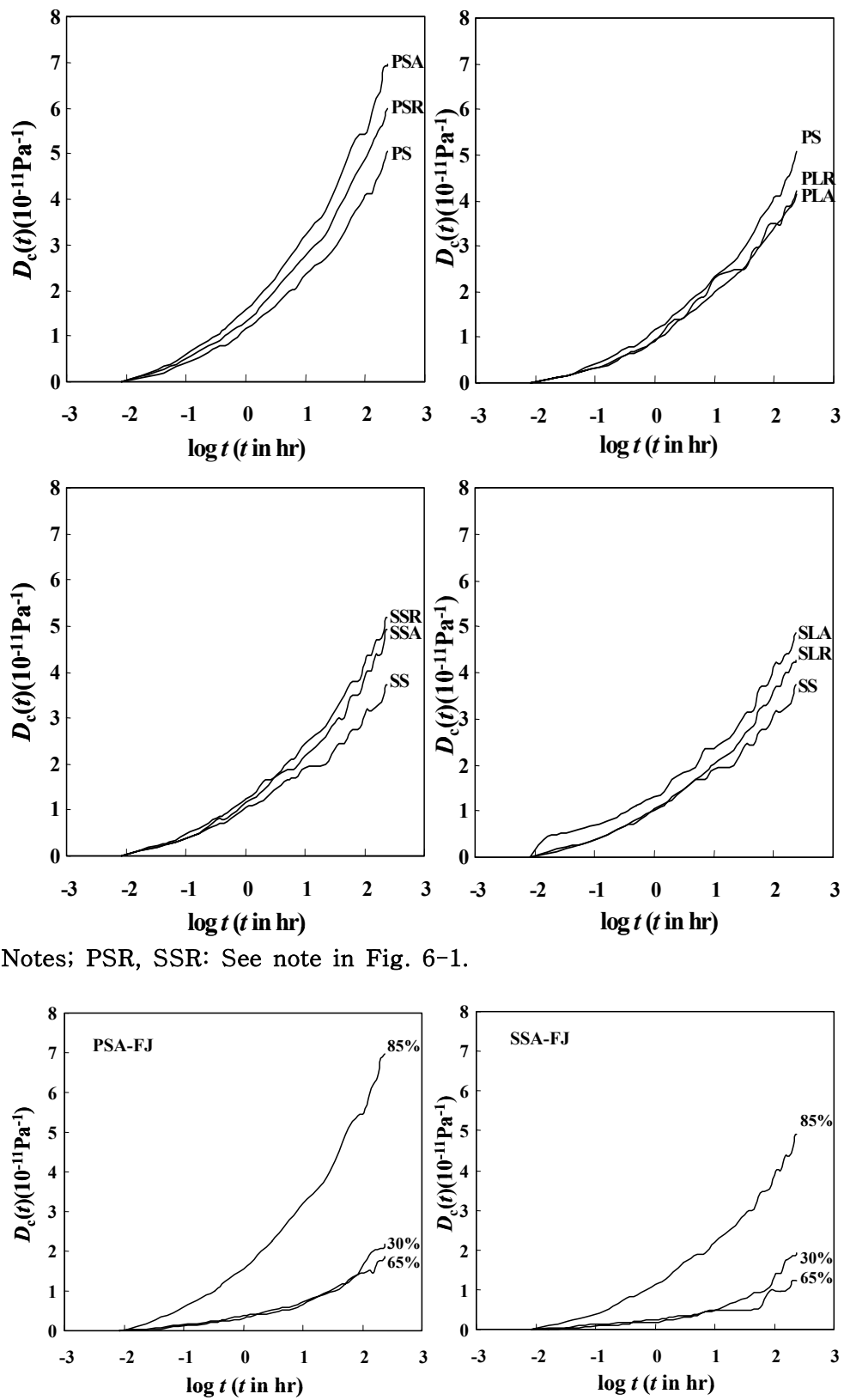


Fig. 6-9. Typical examples of creep curves of PSA and SSA finger-jointed woods under humidity changes.

Notes; PSA, SSA: See note in Fig. 6-1.

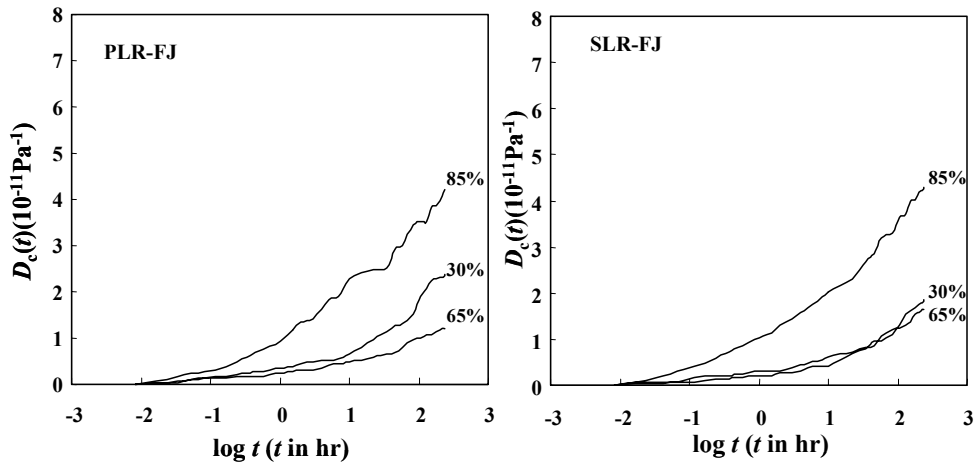


Fig. 6-10. Typical examples of creep curves of PLR and SLR finger-jointed woods under humidity changes.
Notes; PLR, SLR : See note in Fig. 6-1.

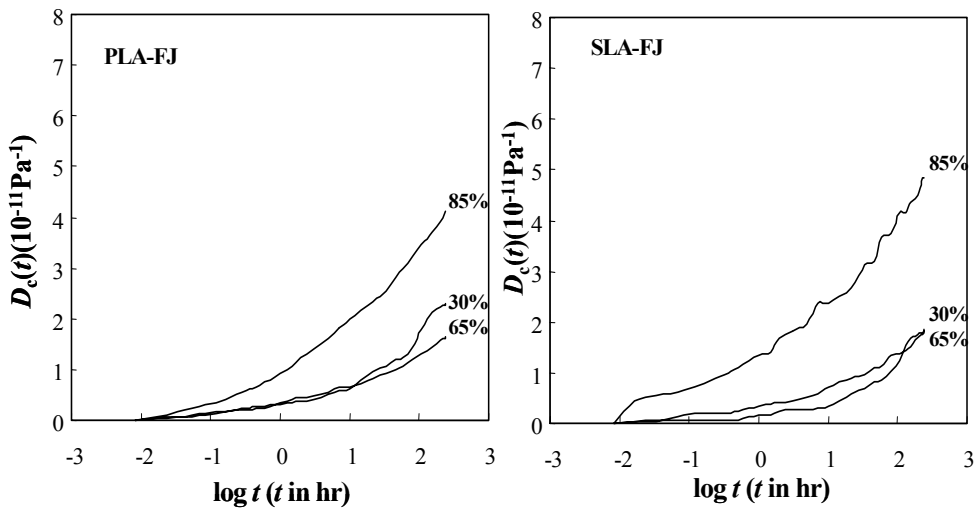


Fig. 6-11. Typical examples of creep curves of PLA and SLA finger-jointed woods under humidity changes.
Notes; PLA, SLA: See note in Fig. 6-1.

Fig. 6-12는 상대습도 30%의 저습도조건하에서의 시간과 크리프 컴플라이언스량 대수로 취해 각 타입간의 비교를 행한 것이다. 소나무 및 스프루스 핑거접합재모두 초기변형이후부터 약30분에서 1시간까지는 기울기가 급격히 증가했다가 완만하게 되는 곡선적인 거동이 지배적이었으나, 1시간이후에는 크리프곡선의 형태는 거의 직선적인 거동을 나타내었다. 핑거피치가 4.4mm(S)에서

6.8mm(L)로 증가함에 따라 AVU수지로 접착된 스프루스 핑거접합재를 제외하고 그 크리프 컴플라이언스는 증가했지만, 그 차이는 극히 미소한 것이 확인되었다. 그리고 AVU수지로 접착된 스프루스 핑거접합재를 제외하고 레조시놀-페놀공축합수지가 수성비닐우레탄수지로 접착된 핑거접합재보다 약간 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었으나, 그 차이도 아주 미소한 것이 확인되었다. 최소자승법에 의해 1시간에서

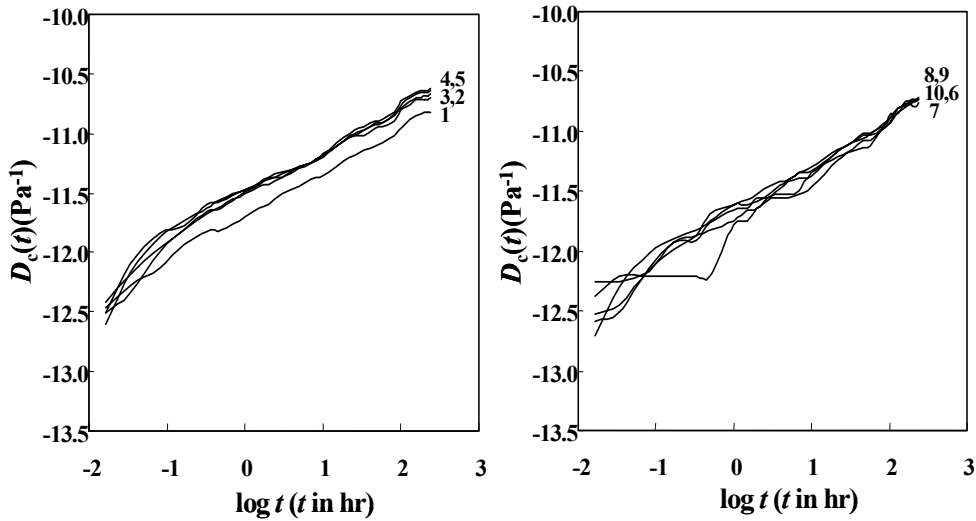


Fig. 6-12. Double logarithm plot of creep deformation and time for typical examples of each type of finger-jointed woods under 30% RH
Notes; 1: PS, 2: PSR, 3: PSA, 4: PLR, 5: PLA, 6: SS, 7: SSR, 8: SLR, 9: SLR, 10: SLA.

240시간까지의 크리프곡선 $D_c(t)$ 를 At^N 에 적합시켜, N 및 A 값을 구하였고, 그 때의 상관계수 및 각 핑거접합재사이의 표준편차 및 변동계수를 계산하여 N 및 A 값과 함께 Table 1과 2에 나타낸다. Table 1에 나타낸 소나무 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지와 AVU수지로 접착된 핑거접합재모두 N 값은 증가하는 것이 확인 되었고, 소재의 1~1.2배의 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 시험편상호간의 변동계수는 10%미만이였다. 한편, A 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 N 값과 달리 그 값이 감소하였다. 접착제의 종류에 따른 N 값은 AVU로 접착된 핑거접합재에서 더 큰 값을 나타내었다. 이 값은 소재의 1~1.2배의 값을 나타내었고, 시간과 크리프 컴플라이언스의 양 대수에

Table 6-1. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for pine

finger-jointed woods under 30% relative humidity.

Type	NO	N	$A (10^{-11} \text{Pa}^{-1})$	R^2	r
PS	1	0.418	0.545	0.995	0.998
	2	0.377	0.196	0.996	0.998
	3	0.367	0.132	0.991	0.996
	AVE	0.387	0.291	0.994	0.997
	SD	0.0	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	5.8	62.4	0.2	0.1
PSR	1	0.405	0.450	0.997	0.998
	2	0.341	0.311	0.990	0.995
	3	0.358	0.175	0.996	0.998
	AVE	0.368	0.312	0.994	0.997
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	7.4	36.0	0.3	0.2
PSA	1	0.417	0.372	0.995	0.997
	2	0.358	0.306	0.994	0.997
	3	0.368	0.169	0.994	0.997
	AVE	0.381	0.282	0.994	0.997
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	6.8	29.9	0.0	0.0
PLR	1	0.424	0.407	0.995	0.997
	2	0.377	0.307	0.99	0.995
	3	0.369	0.212	0.990	0.995
	AVE	0.390	0.309	0.991	0.996
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	6.3	25.9	0.2	0.1
PLA	1	0.430	0.385	0.992	0.996
	2	0.384	0.285	0.994	0.997
	3	0.408	0.168	0.995	0.997
	AVE	0.407	0.279	0.994	0.997
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	4.7	31.8	0.1	0.1

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-2. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for spruce finger-jointed woods under 30% relative humidity.

Type	NO	<i>N</i>	<i>A</i> (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	<i>R</i> ²	<i>r</i>
SS	1	0.408	0.224	0.997	0.999
	2	0.400	0.145	0.992	0.996
	3	0.362	0.225	0.993	0.996
	AVE	0.390	0.198	0.994	0.997
	SD	0.0	0.0	0.0	0.0
	CV(%)	5.1	18.9	0.2	0.1
SSR	1	0.425	0.313	0.997	0.998
	2	0.422	0.167	0.986	0.993
	3	0.362	0.233	0.996	0.998
	AVE	0.403	0.238	0.993	0.997
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	7.1	25.0	0.5	0.2
SSA	1	0.485	0.238	0.993	0.997
	2	0.386	0.221	0.989	0.995
	3	0.379	0.222	0.996	0.998
	AVE	0.416	0.227	0.993	0.996
	SD	0.0	0.0	0.0	0.0
	CV(%)	11.7	3.3	0.3	0.1
SLR	1	0.461	0.316	0.995	0.997
	2	0.412	0.192	0.993	0.996
	3	0.411	0.191	0.996	0.998
	AVE	0.428	0.233	0.994	0.997
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	5.5	25.1	0.1	0.1
SLA	1	0.523	0.224	0.994	0.997
	2	0.462	0.145	0.986	0.993
	3	0.397	0.225	0.990	0.995
	AVE	0.461	0.198	0.990	0.995
	SD	0.1	0.0	0.0	0.0
	CV(%)	11.2	18.9	0.4	0.2

Note; SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

대한 상관계수는 0.996~0.997의 범위에 있었다. 한편, Table 2에 나타낸 스프루스 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지와 AVU수지로 접착된 핑거접합재모두 *N*값은 증가하는 것이 확인 되었고, 시험편상호간의 변동계수는 10%미만이였다. 한편, *A* 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 양 접착제로 접착된 핑거접합재모두 *N*값과 같이 그 값이 감소하였다. 이 값들은 스프루스 소재의 0~1.2배의 값을 나타내었고, 소나무 핑거접합재의 0.88~0.99배의 낮은 값을 나타내었다. 시간과 크리프 컴플라이언스의 양 대수에 대한 상관계수는 0.994~0.999의 범위에 있었다.

Fig. 6-13은 상대습도 65%의 습도조건하에서의 시간과 크리프 컴플라이언스를 양 대수로 취해 각 타입간의 비교를 행한 것이다. 소나무 및 스프루스 핑거접합재모두 초기변형이후부터 약30분에서 1시간까지는 상대습도 30%의 그것과 같이 기울기가

급격히 증가했다가 완만하게 되는 곡선적인 거동이 지배적이었으나, 1시간이후에는 크리프곡선의 형태는 거의 모든 타입에서 거의 직선적인 거동을 나타내었다. 핑거피치가 증가함에 따라 스프루스 핑거접합재에서는 그 크리프컴플라이언스가 증가하였지만, 소나무 핑거접합재에서는 감소하였다. 그러나 그 감소량은 극히 미소한 것이 확인되었다. 그리고 양수종의 양 접착제 사이의 뚜렷한 차이는 확인되지 않았다. 그러나 크리프곡선의 기울기는 상대습도 30%의 그것보다 전체적으로 낮은 것이 확인 되었다. 최소자승법에 의해 1시간에서 240시간까지의 크리프 곡선 $D_c(t)$ 를 At^N 에 적합 시켜서 구한 N , A 값, 결정계수 및 상관계수를 Table 3과 4에 나타낸다. Table 3의 소나무 핑거접합재의 경우, 상대습도 30%에서와 같이 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지와 AVU수지로 접착된 핑거접합재모두 N 값은 증가하는 것이 확인 되었고, 이 값은 소재의 1.1~1.2배의 높은 값을 나타내었고, 상대습도 30%의 소나무 핑거접합재의 0.71배~0.83배의 낮은 값을 나타내었고, 시험편상호간의 변동계수는 10%미만이였다. 한편, A 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 RPF로 접착된 핑거접합재에서는 그 값이 감소되었고,

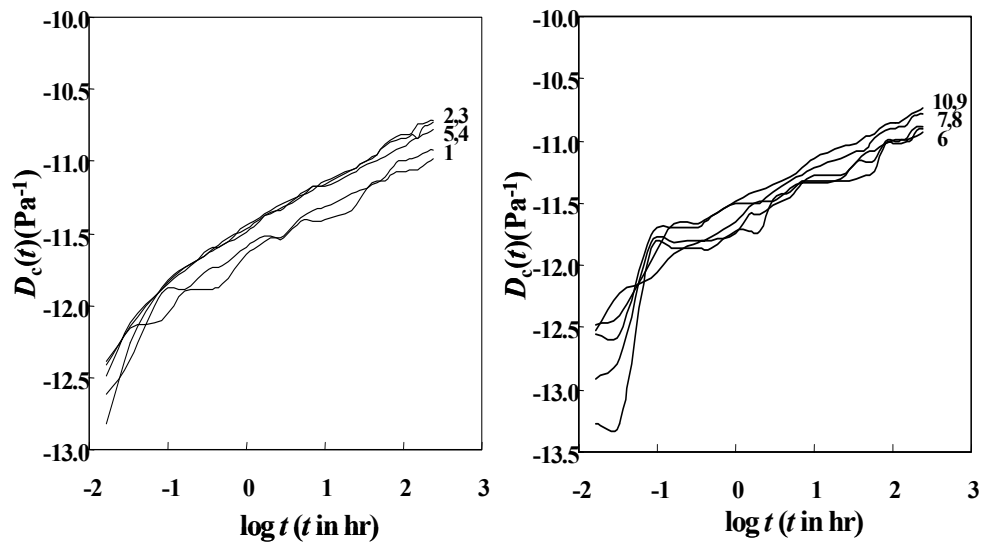


Fig. 6-13. Double logarithm plot of creep deformation and time for typical examples of each type of finger-jointed woods under 65% RH.

Notes; 1: PS, 2: PSR, 3: PSA, 4: PLR, 5: PLA, 6: SS, 7: SSR, 8: SLR, 9: SLR, 10: SLA.

AVU로 접착된 핑거접합재에서는 그 값이 증가 되어 핑거피치의 영향은 명확하지 않

았다. 그 값은 소나무소재에 비해 0.9배~1.4배의 값을 나타내었다. 시간과 크리프

컴플라이언스의 양 대수에 대한 상관계수는 0.988~0.998의 범위에 있었다. Table 4의 스프루스 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지 및 AVU수지모두 N값은 감소하는 경향을 나타내었고, 이 값은 스프루스 소재의 1.14배~1.19배의 값을 나타내었다. 시험편 상호간의 변동계수는 4.4%~13.2%의 범위였다. 한편, A값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화 되었고, 양 접착제모두 핑거피치의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 그 값은 스프루스 소재의 0.79배~1.03배의 값을 나타내었다. 시간과 크리프 컴플라이언스의 양 대수에 대한 상관계수는 0.984~

Table 6-3. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for pine finger-jointed woods under 65% relative humidity.

Type	NO	N	$A (10^{-11} \text{Pa}^{-1})$	R^2	r
PS	1	0.264	0.469	0.997	0.998
	2	0.277	0.229	0.985	0.992
	3	0.252	0.221	0.994	0.997
	AVE	0.264	0.306	0.992	0.996
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	3.8	37.6	0.5	0.3
PSR	1	0.313	0.679	0.999	0.999
	2	0.323	0.337	0.996	0.998
	3	0.283	0.225	0.994	0.997
	AVE	0.306	0.414	0.996	0.998
	SD	0.0	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	5.5	46.6	0.2	0.1
PSA	1	0.302	0.372	0.997	0.998
	2	0.295	0.306	0.996	0.998
	3	0.244	0.169	0.999	1.000
	AVE	0.280	0.282	0.997	0.999
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	9.2	29.9	0.1	0.1
PLR	1	0.320	0.504	0.986	0.993
	2	0.292	0.247	0.993	0.996
	3	0.309	0.195	0.986	0.993
	AVE	0.307	0.315	0.988	0.994
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	3.7	42.8	0.3	0.2
PLA	1	0.295	0.615	0.997	0.999
	2	0.279	0.356	0.998	0.999
	3	0.295	0.220	0.998	0.999
	AVE	0.290	0.397	0.998	0.999
	SD	0.0	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	2.7	41.3	0.0	0.0

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-4. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for spruce

finger-jointed woods under 65% relative humidity.

Type	NO	N	$A (10^{-11}\text{Pa}^{-1})$	R^2	r
SS	1	0.296	0.422	0.994	0.997
	2	0.285	0.252	0.985	0.993
	3	0.217	0.372	0.978	0.989
	AVE	0.266	0.349	0.986	0.993
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	13.2	20.5	0.7	0.3
SSR	1	0.314	0.379	0.991	0.995
	2	0.354	0.189	0.968	0.984
	3	0.280	0.255	0.980	0.990
	AVE	0.316	0.274	0.980	0.990
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	9.6	28.8	1.0	0.5
SSA	1	0.282	0.490	0.985	0.992
	2	0.317	0.202	0.949	0.974
	3	0.351	0.158	0.972	0.986
	AVE	0.317	0.283	0.969	0.984
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	8.8	51.9	1.5	0.8
SLR	1	0.315	0.497	0.986	0.993
	2	0.321	0.279	0.992	0.996
	3	0.290	0.243	0.994	0.997
	AVE	0.309	0.340	0.991	0.995
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	4.4	32.9	0.4	0.2
SLA	1	0.315	0.465	0.988	0.994
	2	0.313	0.324	0.997	0.999
	3	0.282	0.286	0.987	0.994
	AVE	0.304	0.358	0.991	0.995
	SD	0.0	0.1	0.0	0.0
	CV(%)	5.0	21.5	0.5	0.2

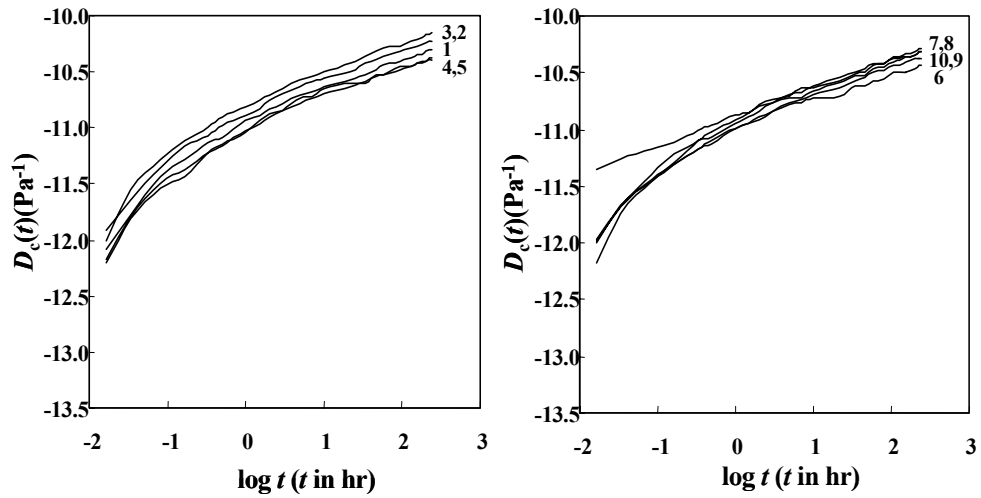
Note: SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

0.995의 범위에 있었다.

Fig. 6-14. Double logarithm plot of creep deformation and time for typical examples of each type of finger-jointed woods under 85%RH.

Notes; 1: PS, 2: PSR, 3: PSA, 4: PLR, 5: PLA, 6: SS, 7: SSR, 8: SLR, 9: SLR, 10: SLA.

Fig. 6-14는 상대습도 85%의 고습도조건하에서 시간과 크리프 컴플라이언스를 양 대수로 취해 각 타입간의 비교를 행한 것이다. 소나무 및 스프루스 핑거접합재모두 초기변형이후부터 약30분에서 1시간까지는 상대습도 30% 및



60%와 같이 기율기가 급격히 증가했다가 완만하게 되는 곡선적인 거동이 지배적이었으나, 1시간이후에는 크리프곡선의 형태는 거의 모든 타입에서 거의 직선적인 거동을 나타내었다. 핑거피치가 증가함에 따라 저습도 조건과 달리 소나무 및 스프루스 핑거접합재모두 크리프컴플라이언스는 증가하였다. 그리고 양수종의 양 접착제 사이의 뚜렷한 차이는 확인되지 않았다. 그러나 크리프곡선의 기율기는 30% 및 65%보다 높은 것이 확인 되었다. 최소자승법에 의해 1시간에서 240시간까지의 크리프 곡선 $D_c(t)$ 를 At^N 에 적합

Table 6-5. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for red pine finger-jointed woods under 85% relative humidity.

Type	NO	N	$A (10^{-11} \text{Pa}^{-1})$	R^2	r
PS	1	0.385	2.64	0.941	0.970
	2	0.259	1.22	0.996	0.998
	3	0.372	0.706	0.997	0.999
	AVE	0.339	1.52	0.978	0.989
	SD	0.06	0.82	0.03	0.01
	CV(%)	16.65	53.85	2.68	1.35
PSR	1	0.368	1.91	0.951	0.975
	2	0.266	1.43	0.993	0.997
	3	0.331	0.809	0.998	0.999
	AVE	0.322	1.38	0.981	0.990
	SD	0.04	0.45	0.02	0.01
	CV(%)	13.08	32.50	2.17	1.09
PSA	1	0.368	1.87	0.955	0.977
	2	0.265	1.66	0.996	0.998
	3	0.330	0.723	0.998	0.999
	AVE	0.321	1.42	0.983	0.991
	SD	0.04	0.50	0.02	0.01
	CV(%)	13.28	35.20	1.99	1.00
PLR	1	0.376	1.57	0.952	0.976
	2	0.249	1.10	0.978	0.989
	3	0.341	0.619	0.995	0.998
	AVE	0.322	1.10	0.975	0.987
	SD	0.05	0.39	0.02	0.01
	CV(%)	16.59	35.41	1.83	0.91
PLA	1	0.365	1.82	0.949	0.974
	2	0.257	1.03	0.993	0.996
	3	0.335	0.543	0.993	0.996
	AVE	0.319	1.13	0.978	0.989
	SD	0.05	0.53	0.02	0.01
	CV(%)	14.25	46.50	2.11	1.06

Notes; R^2 : Determination coefficient, r : correlation coefficient, PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-6. Values of constants N and A in the exponential regression equation between creep compliance and time ($D_c(t)=At^N$) for spruce finger-jointed woods under 85% relative humidity.

Type	NO	N	A (10^{-11}Pa^{-1})	R^2	r
SS	1	0.377	1.11	0.940	0.970
	2	0.222	1.08	0.990	0.995
	3	0.400	0.467	0.988	0.994
	AVE	0.333	0.886	0.973	0.986
	SD	0.1	0.3	0.0	0.0
	CV(%)	23.8	33.5	2.4	1.2
SSR	1	0.380	1.11	0.932	0.965
	2	0.253	1.30	0.996	0.998
	3	0.380	0.729	0.996	0.998
	AVE	0.338	1.05	0.975	0.987
	SD	0.1	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	17.8	22.7	3.1	1.6
SSA	1	0.394	0.991	0.941	0.970
	2	0.254	1.20	0.995	0.998
	3	0.392	0.444	0.990	0.995
	AVE	0.346	0.877	0.975	0.987
	SD	0.1	0.3	0.0	0.0
	CV(%)	18.9	36.2	2.5	1.3
SLR	1	0.382	1.14	0.944	0.972
	2	0.256	1.08	0.996	0.998
	3	0.346	0.723	0.993	0.996
	AVE	0.328	0.978	0.978	0.989
	SD	0.1	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	16.1	18.6	2.4	1.2
SLA	1	0.380	1.01	0.955	0.977
	2	0.231	1.37	0.993	0.996
	3	0.338	0.935	0.993	0.996
	AVE	0.316	1.11	0.980	0.990
	SD	0.1	0.2	0.0	0.0
	CV(%)	19.9	17.2	1.8	0.9

Notes; R^2 : Determination coefficient, r : correlation coefficient, SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

시커서 구한 N , A 값, 결정계수 및 상관계수를 Table 6-5와 6-6에 나타낸다. Table 6-5의 소나무 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지와 AVU수지로 접착된 핑거접합재모두 N 값은 거의 변화가 없었고, 이 값들은 소재보다 약간 적은 0.94배~0.95배의 값을 나타내었다. 이 값은 상대습도 30%의 소나무 핑거접합재의 N 값의 0.78배~0.88배의 낮은 값을 나타내었고, 상대습도 65%의 N 값의 1.05배~1.15배의 높은 값을 나타내었다. 시험편상호간의 변동계수는 13%~16.7%의 값을 나타내었다. 한편, A 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 RPF 및 AVU로 접착된 핑거접합재모두 그 값은 감소하였다. 그 값은 소나무소재의 0.72배~0.93배의 낮은 값을 나타내었고, 상대습도 30%의 그것에 3.56배~5.04배의 높은 값을 나타내었고, 상대습도 65%의 그것보다 2.85배~5.04배의 값을 나타내었다. 시간과 크리프 컴플라이언스의 양

대수에 대한 상관계수는 0.987~0.991의 범위에 있었다. Table 6-6의 스프루스 핑거접합재의 경우, 핑거피치의 증가에 따라 RPF수지와 AVU수지로 접착된 핑거접합재모두 N값은 감소하였고, 이 값들은 소재의 0.95배~1.02배의 값을 나타내었다. 이 값은 상대습도 30%의 소나무 핑거접합재의 N값의 0.69배~0.84배의 낮은 값을 나타내었고, 상대습도 65%의 N값의 1.04배~1.09배의 높은 값을 나타내었다. 시험편상호간의 변동계수는 16.1%~19.9%의 값을 나타내었다. 한편, A 값은 핑거접합재의 크리프 양의 변화에 따라 변화되었고, 핑거피치가 증가함에 따라 RPF로 접착된 핑거접합재는 감소하였고, AVU로 접착된 핑거접합재는 그 값이 증가하는 등 핑거피치에 따른 명확한 경향은 나타나지 않았다. 그 값은 스프루스소재의 0.99배~1.25배의 값을 나타내었고, 상대습도 30%의 그것에 3.86배~5.61배의 높은 값을 나타내었고, 상대습도 65%의 그것보다 2.88배~3.83배의 값을 나타내었다. 시간과 크리프 컴플라이언스의 양 대수에 대한 상관계수는 0.986~0.990의 범위에 있었다.

나. 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형

소나무 및 스프루스 핑거접합재의 휨 크리프시험의 결과를 핑거피치, 접착제종류 및 습도변화조건으로 구분하여 Table 6-7~6-12에 나타낸다.

그리고 핑거접합재의 초기변형($D(0.008)$: $t=0.008\text{hr}(30\text{s})$ 에서의 크리프 컴플라이언스)과 크리프변형($D_c(240)$: $t=240\text{hr}$ 에서의 총 크리프 컴플라이언스에서 $t=0.008(30\text{s})$ 의 크리프 컴플라이언스를 뺀 값($D(240)-D(0.008)$))를 습도의 함수로 Figs.6-15~6-20에 나타낸다.

Fig. 6-15는 소나무 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형에 대한 핑거피치의 영향을 상대습도의 함수로서 나타낸 것이다. RPF수지로 접착된 소나무핑거접합재의 초기 변형의 경우, 핑거 피치에 관계없이 상대 습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 상대습도30%에서는 핑거피치간의 차이가 거의 없었으나, 상대습도 65%에서는 핑거피치 6.8mm(L)타입이 4.4mm(S)타입보다 더 적은 값을 나타내어 양자 간의 차이가 확인 되었다. 모든 습도조건에서 핑거피치가 큰 6.8mm(L)에서 4.4mm(S)보다 큰 초기컴플라이언스를 나타내었고, 핑거피치가 작은 4.4mm(S)타입의 경우 습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스가 증가하는 상대습도 의존성을 보였지만, 핑거피치6.8mm(L) 타입에서는 상대습도 65%에서 상대습도30%보다 초기컴플라이언스가 소폭감소한 후 상대습도 85%까지 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 상대습도에 따른 초기컴플라이언스의 차이는 미소한

것이 확인되었다. 한편, RPF수지로 접착된 핑거접합재의 크리프변형에서도 초기변형과 같이 상대습도 85%조건에서 가장 큰 크리프 컴플라이언스를 나타냈고, 그 다음이 상대습도 30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 낮은 크리프 컴플라이언스를 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 상대습도 30%를 제외한 나머지 습도조건에서는 초기변형과 같이 피치가 큰 6.8mm(L)타입이 더 작은 크리프변형을 나타내었고, 양 피치간의 차이는 습도가 증가할수록 커지는 것이 확인 되었다. 초기변형과 달리 상대습도의 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었고, 크리프컴플라이언스는 상대습도

Table 6-7. Results of bending creep test for pine finger-jointed woods under 30% relative humidity

Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
PS	1	0.541	10.2	5.09	50.0
	2	0.589	6.39	1.52	23.9
	3	0.631	5.64	0.943	16.7
	AVE	0.587	7.41	2.52	34.0
	SD	0.0	1.7	1.6	12.5
	CV	6.3	23.3	63.1	36.7
PSR	1	0.510	9.54	3.95	41.4
	2	0.516	8.67	2.00	23.0
	3	0.597	6.76	1.19	17.6
	AVE	0.541	8.32	2.38	28.6
	SD	0.0	1.0	1.0	8.8
	CV	7.4	12.1	42.2	30.9
PSA	1	0.498	8.39	3.46	41.3
	2	0.499	8.77	2.16	24.7
	3	0.628	7.05	1.22	17.3
	AVE	0.541	8.07	2.28	28.3
	SD	0.1	0.6	0.8	8.7
	CV	11.3	7.9	34.9	30.7
PLR	1	0.513	8.96	3.96	44.1
	2	0.513	8.34	2.38	28.5
	3	0.578	7.16	1.52	21.2
	AVE	0.534	8.16	2.62	32.1
	SD	0.0	0.6	0.9	8.3
	CV	5.7	7.9	33.4	25.9
PLA	1	0.514	8.30	3.80	45.8
	2	0.516	8.43	2.30	27.3
	3	0.573	6.91	1.48	21.4
	AVE	0.534	7.88	2.53	32.1
	SD	0.0	0.6	0.8	9.0
	CV	5.1	7.5	33.0	28.1

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-8. Results of bending creep test for spruce finger-jointed woods

under 30% relative humidity.

Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
SS	1	0.431	7.22	3.19	44.1
	2	0.424	7.42	1.85	24.9
	3	0.427	7.96	1.75	22.0
	AVE	0.427	7.54	2.26	30.0
	SD	0.0	0.3	0.6	8.5
	CV(%)	0.6	3.6	25.1	28.3
SSR	1	0.423	8.12	3.06	37.7
	2	0.433	7.17	1.70	23.7
	3	0.465	7.64	1.61	21.0
	AVE	0.440	7.64	2.12	27.8
	SD	0.0	0.3	0.6	6.3
	CV	4.1	4.4	27.1	22.8
SSA	1	0.418	7.82	3.09	39.5
	2	0.452	7.12	1.93	27.1
	3	0.443	8.46	1.77	21.0
	AVE	0.438	7.80	2.27	29.0
	SD	0.0	0.5	0.5	6.7
	CV	3.3	6.1	22.5	23.0
SLR	1	0.439	8.19	3.71	45.4
	2	0.427	7.66	1.86	24.3
	3	0.414	8.30	1.74	21.0
	AVE	0.427	8.05	2.44	30.3
	SD	0.0	0.2	0.8	9.3
	CV	2.4	3.0	32.1	30.9
SLA	1	0.426	7.93	3.65	46.0
	2	0.450	7.38	1.85	25.0
	3	0.427	8.06	1.90	23.6
	AVE	0.434	7.79	2.46	31.6
	SD	0.0	0.3	0.7	8.9
	CV	2.5	3.2	29.4	28.1

Note: SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-9. Results of bending creep test for pine finger-jointed woods under 65% relative humidity.

Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
PS	1	0.490	8.90	1.91	21.5
	2	0.535	7.32	1.03	14.1
	3	0.643	5.55	0.86	15.6
	AVE	0.556	7.26	1.27	17.5
	SD	0.1	1.2	0.4	2.8
	CV	11.6	16.4	31.3	15.7
PSR	1	0.477	10.58	3.71	35.1
	2	0.516	8.98	1.94	21.6
	3	0.532	6.75	1.05	15.5
	AVE	0.508	8.77	2.24	25.5
	SD	0.0	1.4	1.0	7.1
	CV	4.6	15.5	42.9	27.9
PSA	1	0.523	9.05	2.33	25.8
	2	0.530	8.95	1.88	21.0
	3	0.601	8.22	1.83	22.2
	AVE	0.551	8.74	2.01	23.0
	SD	0.0	0.3	0.2	1.8
	CV	6.4	3.7	9.8	7.6
PLR	1	0.491	8.59	2.70	31.4
	2	0.523	7.85	1.21	15.4
	3	0.583	7.12	1.05	14.7
	AVE	0.533	7.85	1.65	21.0
	SD	0.0	0.5	0.6	6.7
	CV	7.2	6.6	38.9	31.8
PLA	1	0.519	9.80	2.94	30.1
	2	0.542	8.64	1.64	19.0
	3	0.558	7.12	1.10	15.5
	AVE	0.539	8.52	1.90	22.3
	SD	0.0	0.9	0.7	5.4
	CV	3.0	11.1	35.3	24.2

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-10. Results of bending creep test for spruce finger-jointed woods under 65% relative humidity.

Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
SS	1	0.423	8.38	3.19	38.0
	2	0.419	7.53	1.85	24.5
	3	0.445	7.09	1.75	24.7
	AVE	0.429	7.67	2.26	29.5
	SD	0.0	0.5	0.6	5.5
	CV	2.7	6.0	25.1	18.5
SSR	1	0.442	7.53	1.99	26.4
	2	0.436	7.10	1.29	18.2
	3	0.455	7.50	1.20	15.9
	AVE	0.444	7.38	1.49	20.2
	SD	0.0	0.2	0.3	3.9
	CV	1.7	2.3	20.4	19.2
SSA	1	0.441	7.68	2.11	27.5
	2	0.444	7.31	1.23	16.9
	3	0.443	7.60	1.05	13.8
	AVE	0.443	7.53	1.46	19.4
	SD	0.0	0.1	0.4	5.1
	CV	0.3	1.8	27.4	26.1
SLR	1	0.437	9.11	2.52	27.7
	2	0.444	8.16	1.66	20.3
	3	0.430	8.20	1.16	14.2
	AVE	0.437	8.49	1.78	21.0
	SD	0.0	0.4	0.5	4.8
	CV	1.3	4.5	27.3	22.8
SLA	1	0.446	8.71	2.39	27.5
	2	0.419	8.53	1.81	21.2
	3	0.428	8.14	1.33	16.4
	AVE	0.431	8.46	1.84	21.8
	SD	0.0	0.2	0.4	3.9
	CV	2.6	2.4	20.3	18.0

Note: SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-11. Results of bending creep test for pine finger-jointed woods under 85% relative humidity.

Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
PS	1	0.487	11.67	17.62	151.0
	2	0.475	8.09	5.06	62.6
	3	0.485	6.33	5.40	85.3
	AVE	0.482	8.70	9.36	107.6
	SD	0.0	1.9	5.1	32.7
	CV	1.1	22.1	54.1	30.4
PSR	1	0.529	11.10	11.87	106.9
	2	0.514	9.48	5.99	63.2
	3	0.611	7.30	5.10	69.8
	AVE	0.551	9.30	7.65	82.3
	SD	0.0	1.3	2.6	16.7
	CV	7.8	14.5	34.0	20.3
PSA	1	0.562	10.84	11.59	107.0
	2	0.531	10.79	6.96	64.5
	3	0.608	6.74	4.48	66.5
	AVE	0.567	9.46	7.68	81.2
	SD	0.0	1.7	2.6	17.0
	CV	5.6	17.6	33.3	20.9
PLR	1	0.495	10.33	10.20	98.8
	2	0.549	8.91	4.21	47.2
	3	0.626	6.94	4.24	61.1
	AVE	0.557	8.73	6.22	71.3
	SD	0.1	1.2	2.4	18.9
	CV	9.7	13.8	39.2	26.5
PLA	1	0.517	10.64	11.18	105.1
	2	0.539	8.41	4.11	48.9
	3	0.602	7.05	3.71	52.6
	AVE	0.553	8.70	6.33	72.8
	SD	0.0	1.3	3.0	22.3
	CV	6.5	14.7	46.9	30.6

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

Table 6-12. Results of bending creep test for spruce finger-jointed woods under 85% relative humidity.

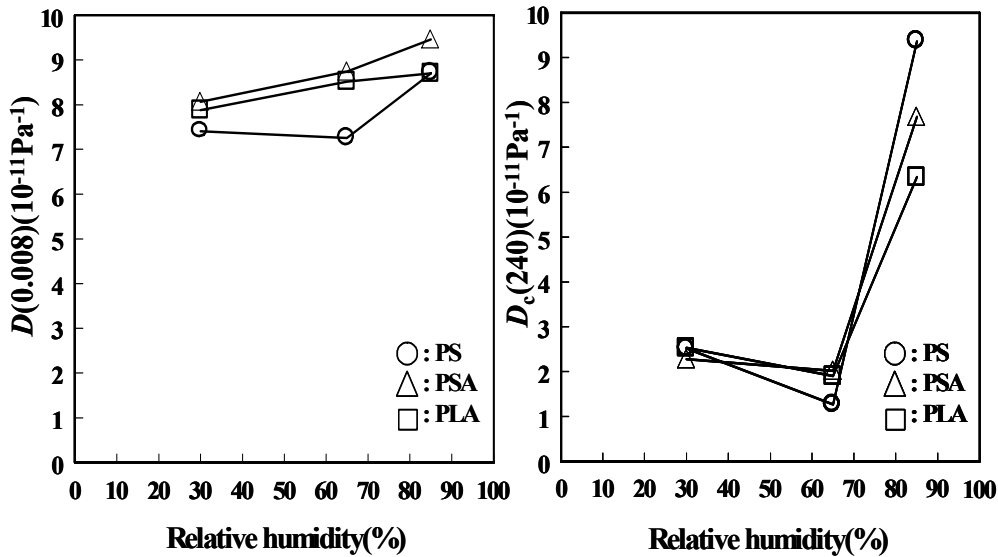
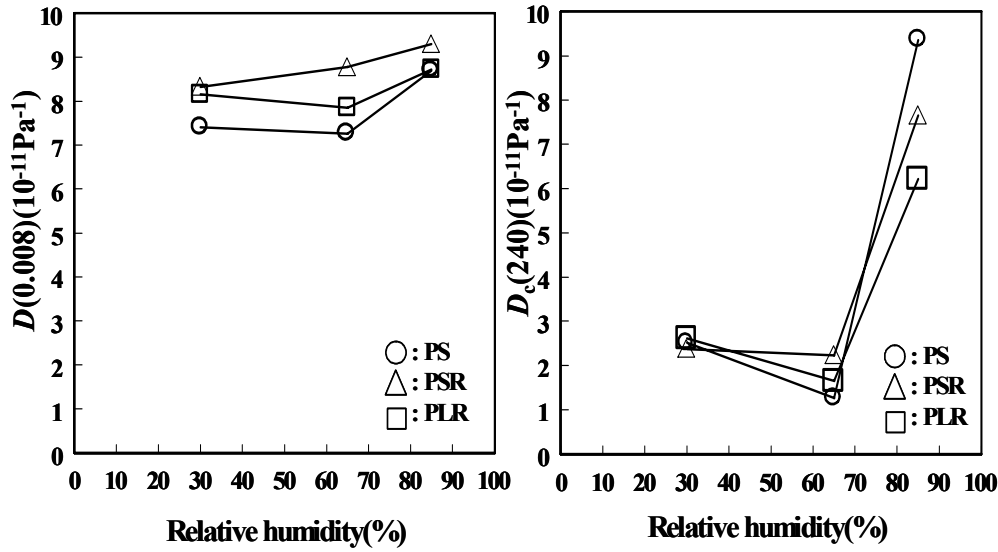
Type	No	Density (Mg/m ³)	D(0.008) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	D _c (240) (10 ⁻¹¹ Pa ⁻¹)	Relative creep (%)
SS	1	0.531	9.07	7.23	79.7
	2	0.516	8.15	3.72	45.6
	3	0.586	7.80	4.66	59.7
	AVE	0.545	8.34	5.20	62.4
	SD	0.0	0.5	1.3	12.1
	CV	5.5	5.6	24.7	19.4
SSR	1	0.440	8.71	7.34	84.3
	2	0.433	8.84	5.20	58.8
	3	0.416	8.10	5.90	72.9
	AVE	0.430	8.55	6.15	71.9
	SD	0.0	0.3	0.8	9.0
	CV	2.4	3.3	12.6	12.6
SSA	1	0.457	9.09	7.14	78.6
	2	0.438	9.01	4.91	54.6
	3	0.442	7.86	4.09	52.0
	AVE	0.446	8.65	5.38	62.2
	SD	0.0	0.5	1.1	10.4
	CV	1.8	5.6	20.8	16.7
SLR	1	0.438	9.31	7.58	81.4
	2	0.432	9.16	4.28	46.7
	3	0.424	8.24	5.17	62.8
	AVE	0.431	8.90	5.67	63.7
	SD	0.0	0.4	1.2	12.3
	CV	1.4	4.6	21.3	19.3
SLA	1	0.436	9.13	6.83	74.9
	2	0.439	8.36	4.84	58.0
	3	0.438	9.15	6.30	68.8
	AVE	0.438	8.88	5.99	67.5
	SD	0.0	0.3	0.7	6.0
	CV	0.3	3.6	12.1	9.0

Note; SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

Fig. 6-15. Effect of finger pitches on creep compliance of each type of pine finger-jointed woods under various relative humidity.

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1.

65%에서 30%보다 핑거피치에 관계없이 감소한 후 상대습도 85%까지 급격히 증가하였고, 그 크리프 양은 상대습도 65%나 30%에서는 초기변형의 21.0%~25.5%의 적은 값을 나타내었으나, 상대습도 80%에서는 초기변형의 71.3%~82.3%의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. AVU수지로 접착된 소나무핑거접합재의 초기변형의 경우, RPF수지로 접착된 핑거접합재와 같이 핑거피치에 관계없이



상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 상대습도30%, 65%에서는 핑거피치간의 차이가 거의 없었으나, 상대습도 85%에서는 핑거피치 6.8mm(L)타입이 4.4mm(S)타입보다 더 적은 값을 나타내어 양자 간의 차이를 나타내는 것이 확인 되었다. 모든 습도조건에서 핑거피치가 큰 6.8mm(L)에서 4.4mm(S)보다 큰 초기컴플라이언스를 나타내었고, 양 핑거피치 타입모두 습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스가 증가하는 상대습도 의존성을 보였다. 그러나 상대습도에 따른 초기컴플라이언스의 차이는 RPF로 접착된 핑거접합재와 같이 미소한 것이 확인되었다. 한편, RPF수지로 접착된 핑거접합재의 크리프변형은 초기변형과 같이 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%조건에서 가장 큰 크리프 컴플라이언스를 나타냈고, 그 다음이 상대습도 30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 낮은 크리프 컴플라이언스를 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 상대습도 30%를 제외한 나머지 습도조건에서는 초기변형과 같이 피치가 큰 6.8mm(L)타입이 더 작은 크리프변형을

나타내었고, 양 피치간의 차이는 습도가 증가할수록 커지는 것이 확인 되었다. 초기변형과 달리 상대습도의 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었고, 크리프컴플라이언스는 상대습도 65%에서 30%보다 핑거피치에 관계없이 감소한 후 상대습도 85%까지 급격히 증가하였고, 그 크리프 양은 상대습도 65%나 30%에서는 초기변형의 22.3%~32.1%의 적은 값을 나타내었으나, 상대습도 80%에서는 초기변형의 72.8%~81.2%의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.

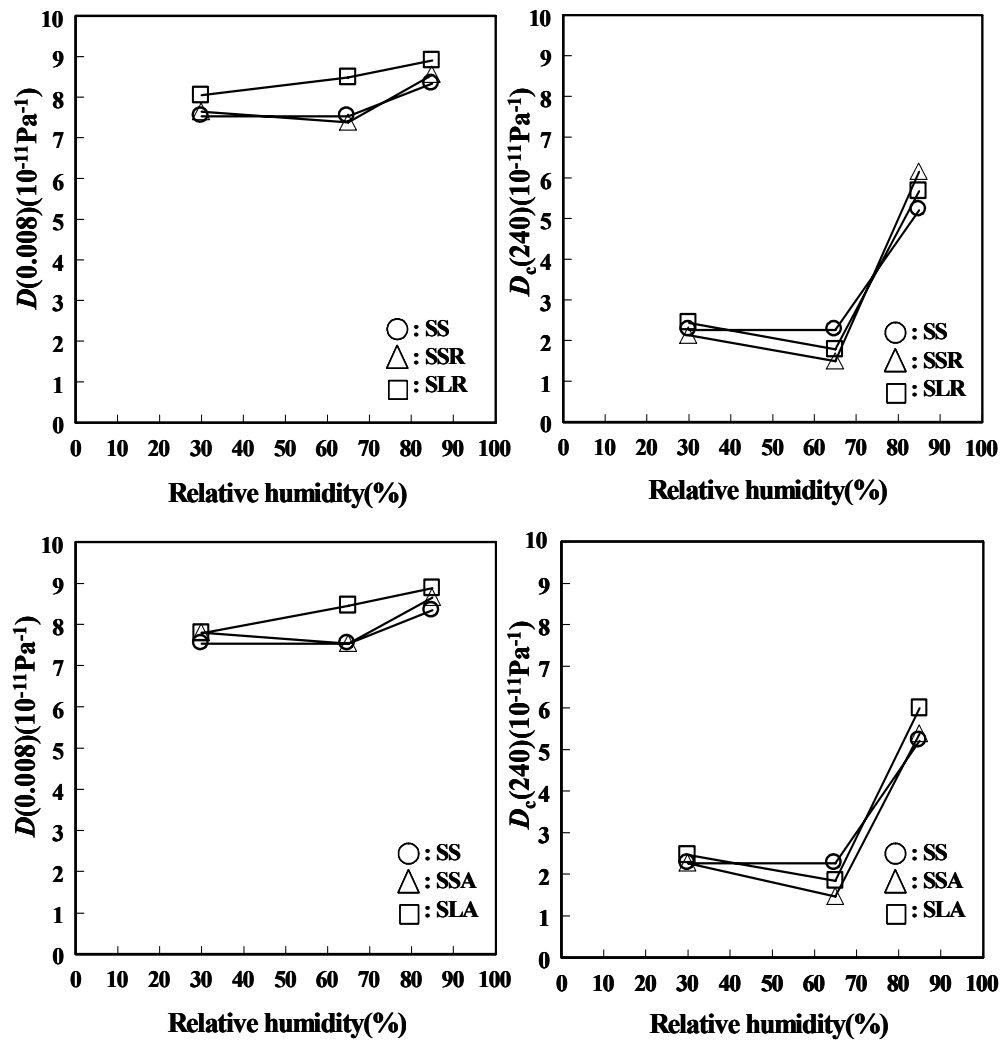


Fig. 6-16. Effect of finger pitches on creep compliance of each type of spruce finger-jointed woods under various relative humidity.

Notes; SS, SSR, SLR, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

Fig. 6-16는 스프루스 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형에 대한 핑거피치의 영

향을 상대습도의 함수로서 나타낸 것이다. RPF수지로 접착된 스프루스 핑거접합재의 초기변형의 경우, 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 모든 습도조건에서 핑거피치가 큰 6.8mm(L)에서 4.4mm(S)보다 큰 초기컴플라이언스를 나타내었고, 핑거피치간의 차이는 상대습도65%에서 가장 큰 것이 확인 되었다. 핑거피치가 큰 6.8mm(L)타입의 경우, 습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스가 증가하는 상대습도 의존성을 보였지만, 핑거피치4.4mm(S) 타입에서는 상대습도 65%에서 상대습도30%보다 초기컴플라이언스가 소폭감소한 후 상대습도 85%까지 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 상대습도에 따른 초기컴플라이언스의 차이는 소나무 핑거접합재와 같이 미소한 것이 확인되었다. 한편, RPF수지로 접착된 핑거접합재의 크리프변형에서도 초기변형과 같이 상대습도 85%조건에서 가장 큰 크리프 컴플라이언스를 나타냈고, 그 다음이 상대습도 30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 낮은 크리프 컴플라이언스를 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 상대습도 65%를 제외한 나머지 습도조건에서는 초기변형과 같이 피치가 큰 6.8mm(L)타입이 더 작은 크리프변형을 나타내었고, 양 피치간의 차이는 65%에서 가장 컸지만, 상대습도와의 명확한 관계는 확인 되지 않았다. 초기변형과 달리 상대습도의 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었고, 크리프컴플라이언스는 상대습도 65%에서 핑거피치에 관계없이 30%보다 감소한 후 상대습도 85%까지 급격히 증가하였고, 그 크리프 양은 상대습도 65%나 30%에서는 초기변형의 21.0%~30.3%의 적은 값을 나타내었으나, 상대습도 85%에서는 초기변형의 63.7%~71.9%의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 그러나 이 값은 RPF로 접착된 소나무 핑거접합재보다는 적은 것이 확인되었다.

AVU수지로 접착된 스프루스 핑거접합재의 초기변형의 경우, AVU수지로 접착된 스프루스 핑거접합재의 초기변형의 경우, 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 모든 습도조건에서 핑거피치가 큰 6.8mm(L)에서 4.4mm(S)보다 큰 초기컴플라이언스를 나타내었고, 핑거피치간의 차이는 상대습도65%에서 가장 큰 것이 확인 되었다. 핑거피치가 큰 6.8mm(L)타입의 경우, 습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스가 증가하는 상대습도 의존성을 보였지만, 핑거피치4.4mm(S) 타입에서는 상대습도 65%에서 상대습도 30%보다 초기컴플라이언스가 소폭감소한 후 상대습도 85%까지 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 상대습도에 따른 초기컴플라이언스의 차이는 RPF수지로 접착된 핑거접합재와 같이 미소한 것이 확인되었다. 한편, AVU수지로 접착된 핑거접합재의 크리프변형에서도 초기변형과 같이 상대습도 85%조건에서 가장 큰 크리프 컴플라이언스를 나타냈고, 그 다음이 상대습도 30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 낮은 크리프 컴플라이언스를 나타내는 것이 확인 되었다. 그리고 모든

습도조건에서 피치가 큰 6.8mm(L)타입이 더 4.4mm(S)보다 작은 크리프변형을 나타내었고, 양 피치간의 차이는 상대습도가 증가할수록 증가하는 것이 확인되었다. 이 핑거접합재타입에서도 초기변형과 달리 상대습도의 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었고, 크리프컴플라이언스는 상대습도 65%에서 핑거피치에 관계없이 30%보다 감소한 후 상대습도 85%까지 급격히 증가하였고, 그 크리프 양은 상대습도 65%나 30%에서는 초기변형의 19.4%~31.6%의 적은 값을 나타내었으나, 상대습도 85%에서는 초기변형의 62.2%~67.5%의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 그러나 이 값은 AVU로 접착된 소나무 핑거접합재보다는 적은 것이 확인되었다.

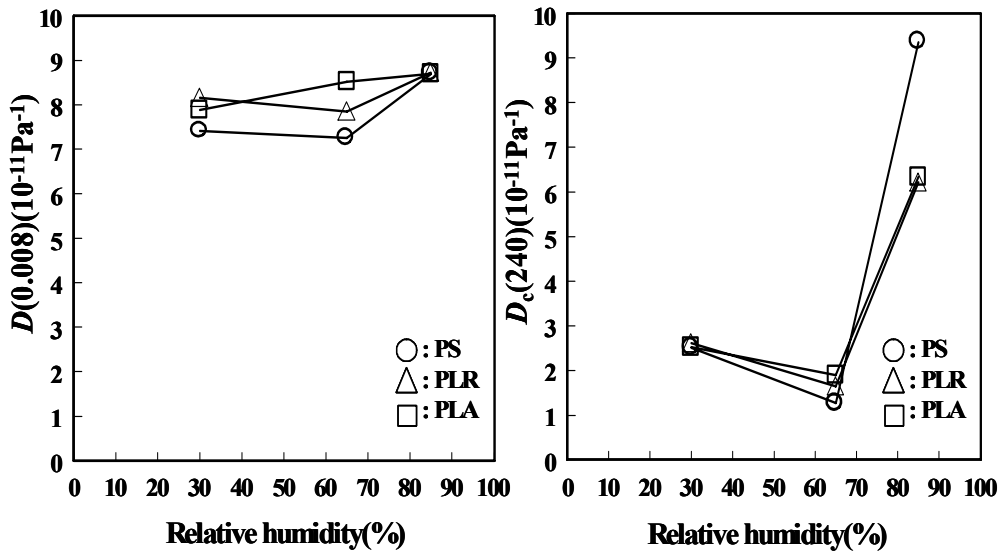
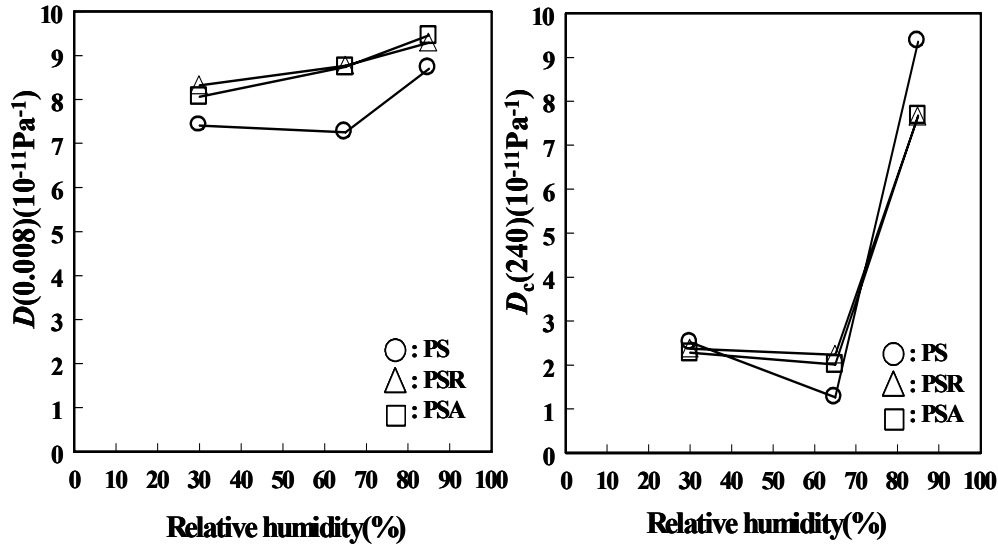
Fig. 6-17는 소나무 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형에 대한 접착제의 영향을 상대습도의 함수로서 나타낸 것이다. 핑거피치 4.4mm(S)의 소나무 핑거접합재의 초기변형의 경우, 사용한 접착제에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 상대습도의 증가에 따라 RPF 및 AVU수지의 양 접착제 모두 초기컴플라이언스는 거의 직선적으로 증가하였고, 양 접착제사이의 차이는 거의 없었다. 이 값은 소재의 초기 컴플라이언스에 비해 RPF수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.07배~1.21배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었고, AVU수지로 접착된 핑거접합재

Fig. 6-17. Effect of adhesives on creep compliance of each type of pine finger-jointed woods under various relative humidity.

Notes; PS, PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-1

에서는 1.09배~1.20배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었다. 한편 핑거피치 4.4mm(S)의 소나무 핑거접합재의 크리프변형에서는 양접착제 모두 초기변형과 같이 상대습도 85%에서 크리프컴플라이언스가 가장 컸고, 그 다음은 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 초기변형과 달리 상대습도 65%에서 양 접착제 모두 상대습도 30%에서보다 감소한 후 상대습도 80%까지 급격히 증가하는 양상을 나타내었고, 그 크리프양은 상대습도 30%에서는 소재의 0.91배(AVU)~0.94배(RPF)의 값을 나타내어 소재와 별 차이가 없었고, 상대습도 65%에서는 소재의 1.59배(AVU)~1.76배(RPF)의 값을 나타내어 소재보다 많은 양의 크리프 양을 나타내었다. 그러나 상대습도 85%에서는 양 접착제 모두 0.82배의 낮은 값을 나타내어 소재보다 크리프양이 감소하는 경향을 나타내는 것이 확인 되었다.

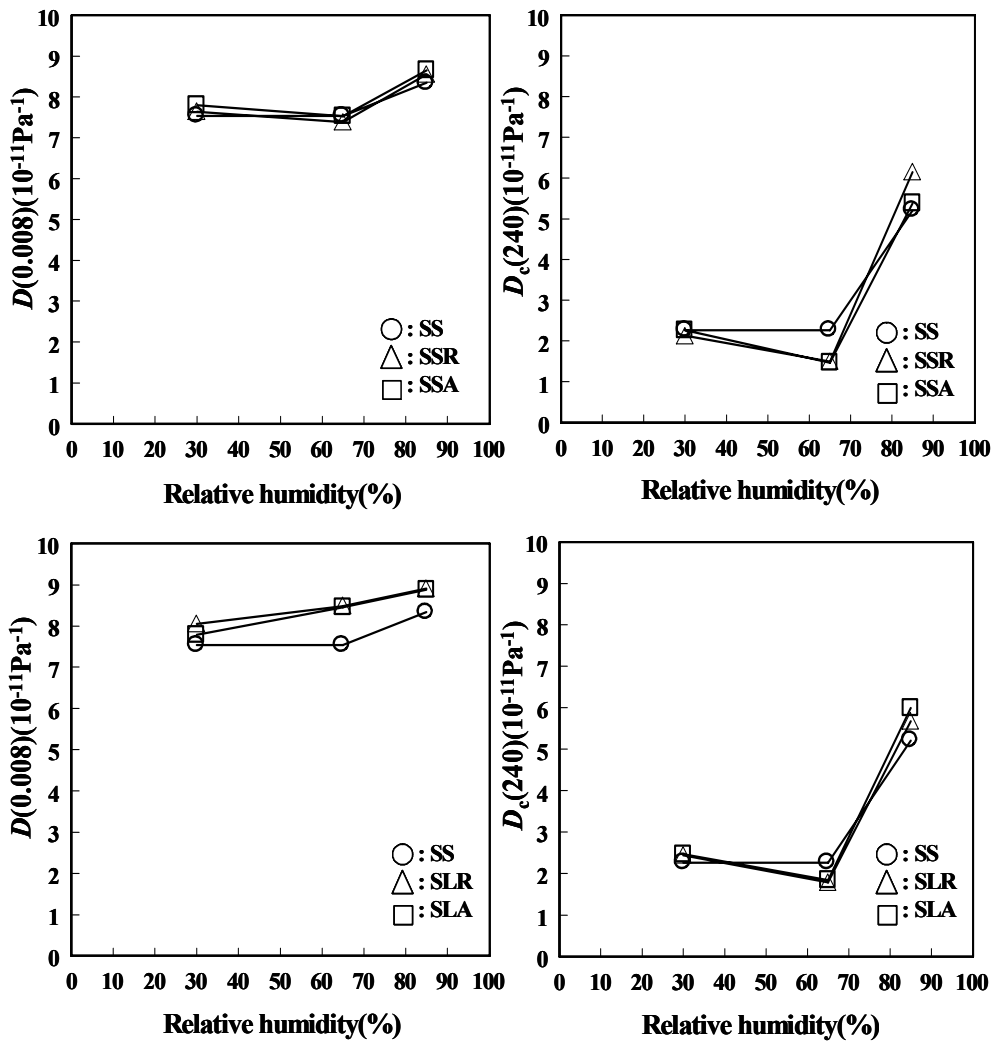
핑거피치 6.8mm(L)의 소나무 핑거접합재의 초기변형의 경우, 사용한 접착제에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, AVU수지로



접착된 핑거접합재의 경우 상대습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스는 거의 직선적으로 증가하였지만, RPF수지로 접착된 핑거접합재에서는 소재와 같이 상대습도 65%에서 상대습도 30%보다 약간 감소한 뒤 상대습도 85%까지 증가하였다. 상대습도 65%의 양 접착제사이에 다소 차이를 나타내었으나, 다른 습도조건에서는 양 접착제사의 차이는 거의 확인되지 않았고, 상대습도에 따른 초기변형의 차이는 적은 것이 확인 되었다. 이 값은 소재의 초기 컴플라이언스에 비해 RPF수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.00배~1.10배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었고, AVU수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.00배~1.17배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었다. 한편 핑거피치 4.4mm(S)의 소나무 핑거접합재의 240시간에서의 크리프변형에서는 양 접착제 모두 초기변형과 같이 상대습도 85%에서 크리프컴플라이언스가 가장 컸고, 그 다음은 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 이

핑거접합재에서도 초기변형과 달리 상대습도 65%에서 양 접착제모두 상대습도 30%에서보다 감소한 후 상대습도 80%까지 급격히 증가하는 양상을 나타내었고, 그 크리프양은 상대습도 30%에서는 소재의 1.00배(AVU)~1.04배(RPF)의 값을 나타내어 소재와 별 차이가 없었고, 상대습도 65%에서는 소재의 1.30배(RPF)~1.49배(AVU)의 값을 나타내어 소재보다 많은 양의 크리프 양을 나타내었다. 그러나 상대습도 85%에서는 0.66배(RPF)~0.68(AVU)배의 아주 낮은 값을 나타내어 소재보다 크리프양이 현저히 감소하는 경향을 나타내는 것이 확인되었다.

Fig. 6-18은 스프루스 핑거접합재의 초기변형과 크리프변형에 대한 접착제의 영



향을 상대습도의 함수로서 나타낸 것이다.

핑거피치 4.4mm(S)의 스프루스 핑거접합재의 초기변형의 경우, 사용한 접착제에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, 상대습도의 증

가에 따라 RPF 및 AVU수지의 양 접착제모두 초기컴플라이언스는 상대습도 65%에서 상대습도 30%보다 초기컴플라이언스가 감소한 후 상대습도 85%까지 증가하였다. 양 접착제사이의 차이는 아주 미미하였고, 이 값은 소재의 초기 컴플라이언스에 비해 RPF수지로 접착된 핑거접합재에서는 0.98배~1.02배의 초기컴플라이언스를 나타내었고, AVU수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.07배~1.13배의 초기컴플라이언스를 나타내어 소재와 비슷한 거동을 나타내었다. 한편 핑거피치 4.4mm(S)의 스프루스 핑거접합재의 크리프변형에서는 양 접착제 모두 초기변형과 같이 상대습도 85%에서 가장 큰 크리프컴플라이언스를 나타내었고, 그 다음은 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 초기변형과 같이 상대습도 65%에서 양 접착제모두 상대습도 30%에서보다 초기컴플라이언스가 감소한 후 상대습도 80%까지 급격히 증가하는 양상을 나타내었고, 크리프양은 상대습도 30%에서는 소재의 0.94배(RPF)~ 1.08배(AVU)의 값을 나타내어 소재와의 차이가 적었고, 상대습도 65%에서는 소재의 0.66배(RPF)~0.79배(AVU)의 값을 나타내어 소재보다 상당히 낮은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 상대습도 85%에서는 소재의 1.09배(AVU)~1.18배(RPF)의 값을 나타내었다.

Fig. 6-18. Effect of adhesives on creep compliance of each type of Spruce finger-jointed woods under various relative humidity.

Notes; SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

핑거피치 6.8mm(L)의 스프루스 핑거접합재의 초기변형의 경우, 사용한 접착제에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 초기컴플라이언스를 나타냈고, AVU수지로 접착된 핑거접합재의 경우 상대습도의 증가에 따라 초기컴플라이언스는 거의 직선적으로 증가하였지만, 그 양은 적었고, 습도조건에 따른 양 접착제사의 차이는 거의 확인되지 않았다. 이 값은 소재의 초기 컴플라이언스에 비해 RPF수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.00배~1.04배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었고, AVU수지로 접착된 핑거접합재에서는 1.03배~1.12배의 초기컴플라이언스의 증가를 나타내었다. 한편 핑거피치 6.8mm(L)의 스프루스 핑거접합재의 240시간에서의 크리프변형에서는 양 접착제 모두 초기변형과 같이 상대습도 85%에서 크리프컴플라이언스가 가장 컸고, 그 다음은 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%가 가장 적은 크리프 컴플라이언스를 나타내었다. 이 핑거접합재에서도 초기변형과 달리 상대습도 65%에서 양 접착제모두 상대습도 30%에서보다 감소한 후 상대습도 80%까지 급격히 증가하는 양상을 나타내었고, 크리프양은 상대습도 30%에서는 소재의 1.00배(AVU)~1.09배(RPF)의 값을 나타내어 소재와 차이가 적었고, 상대습도

65%에서는 소재의 0.65배(RPF)~0.82배(AVU)의 값을 나타내어 소재보다 상당히 적은 크리프 양을 나타내었다. 그러나 상대습도 85%에서는 1.03배(RPF)~1.15배(AVU)의 값을 나타내어 소재보다 크리프양이 증가하는 것이 확인 되었다.

다. 핑거접합재의 상대크리프

Fig. 6-19는 핑거접합재의 초기변형에 대한 크리프변형의 비의 백분율로 나타내어지는 상대크리프에 대한 핑거피치의 영향을 상대습도의 함수로 나타낸다. RPF수지로 접착된 소나무핑거접합재의 상대크리프는 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 값을 나타내었고, 그 다음이 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%의 순이었다. 상대습도 30%에서는 핑거피치가 큰 6.8mm(L) 타입이

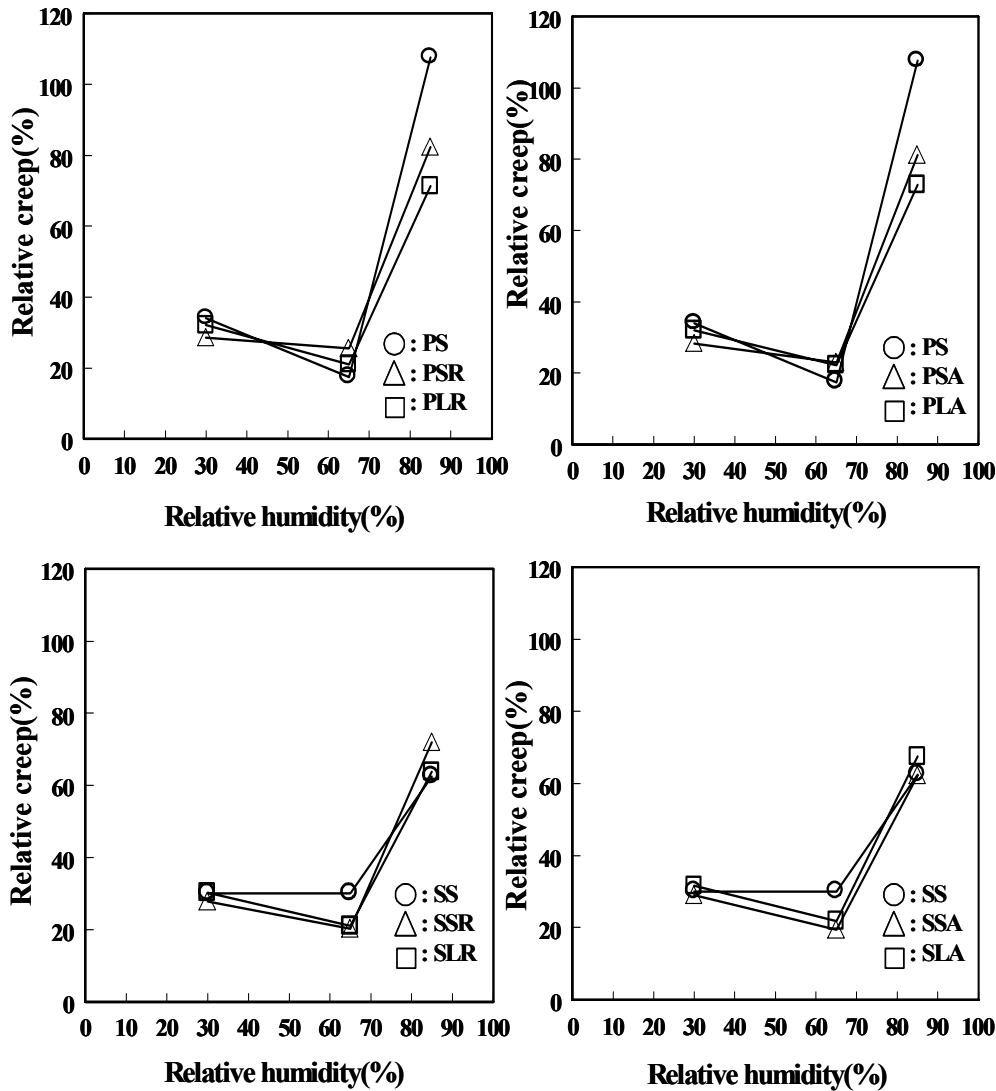


Fig. 6-19. Effect of finger pitches on relative creep of each type of red pine finger-jointed woods under various relative humidity.

Notes; PS, PSR, PSA, PLR, PLA, SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

4.4mm(S)타입보다 상대크리프가 컸으며, 상대습도 65%와 85%에서는 그 값이 역으로 핑거피치가 작은 4.4mm(S)타입이 더 큰 값을 나타내었다. 상대습도 85%의 상대크리프 값은 소나무 소재의 상대크리프 값보다는 적은 값을 나타내었으나, 같은 조건의 상대습도 30%의 핑거접합재의 2.22배~2.87배, 상대습도 65%의 핑거접합재의 3.23배~3.40배의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 한편, AVU수지로 접착된 소나무 핑거접합재에서도 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 높은 상대크리프 값을 나타내었고, 그 다음이 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%의

순이었다. 상대습도30%에서는 핑거피치가 큰 6.8mm(L)타입이 4.4mm(S)타입보다 상대크리프가 컸으나, 상대습도 65%에서는 양자의 차이가 거의 없었고, 상대습도 85%에서는 그 값이 역으로 핑거피치가 작은 4.4mm(S)타입이 더 큰 값을 나타내었다. 상대습도 85%의 상대크리프 값은 소나무 소재의 상대크리프 값보다는 적은 값을 나타내었으나, 같은 조건의 상대습도 30%의 핑거접합재의 2.27배~2.87배, 상대습도 65%의 핑거접합재의 3.26배~3.53배의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.

RPF수지로 접착된 스프루스 핑거접합재의 상대크리프는 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 큰 값을 나타내었고, 그 다음이 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%의 순이었다. 상대습도30%에서는 핑거피치가 큰 6.8mm(L)타입이 4.4mm(S)타입보다 상대크리프가 컸으며, 상대습도 65%에서는 양자 간의 차이가 거의 없었으며, 상대습도 85%에서는 그 값이 역으로 핑거피치가 작은 4.4mm(S)타입이 더 큰 값을 나타내었다. 상대습도 85%의 상대크리프 값은 스프루스 소재의 상대크리프 값보다 약간 높은 값을 나타내었으나, 같은 조건의 상대습도 30%의 핑거접합재의 2.10배~2.59배, 상대습도 65%의 핑거접합재의 3.03배~3.56배의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다. 한편, AVU수지로 접착된 소나무 핑거접합재에서도 핑거피치에 관계없이 상대습도 85%에서 가장 높은 상대크리프 값을 나타내었고, 그 다음이 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%의 순이었다. 모든 상대습도 조건에서 핑거피치가 큰 6.8mm(L)타입이 4.4mm(S)타입보다 상대크리프가 큰 것이 확인되었다.

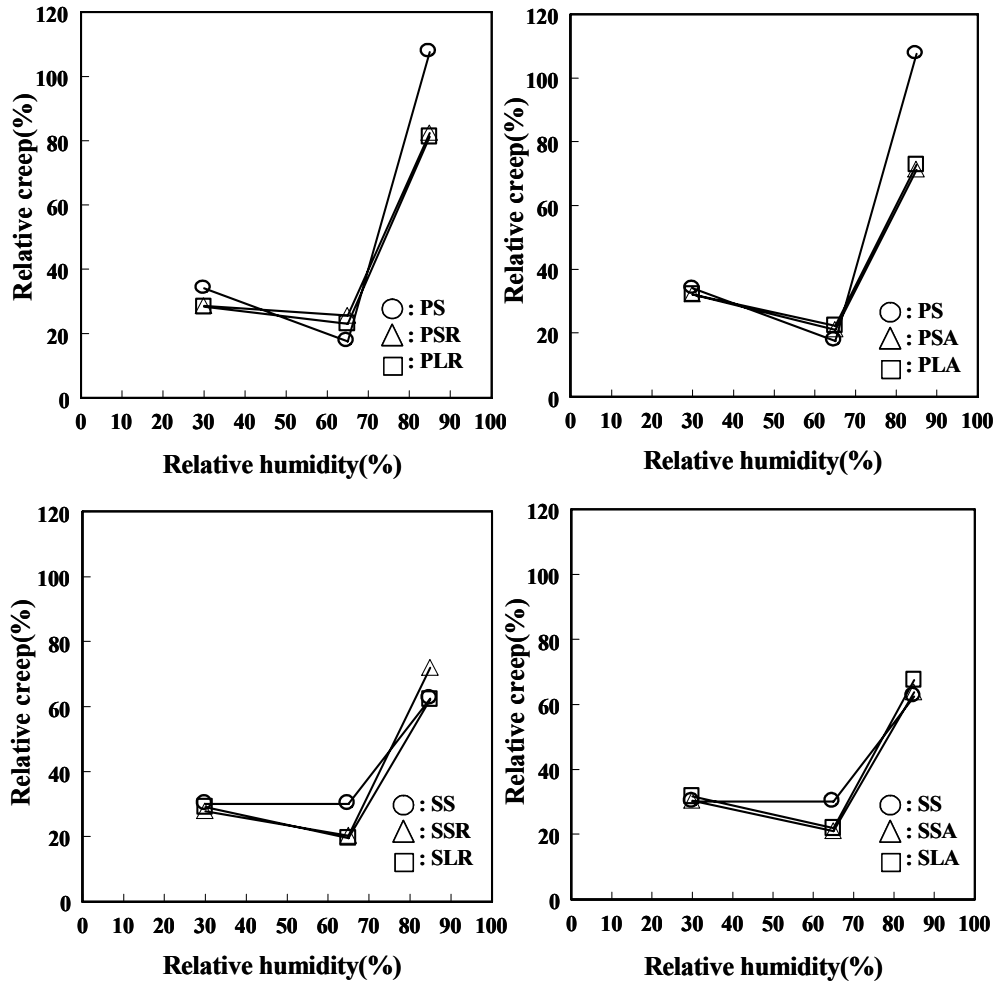


Fig. 6-20. Effect of adhesives on relative creep of each type of red pine finger-jointed woods under various relative humidity. Notes; PS, PSR, PSA, PLR, PLA, SS, SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-1.

상대습도 85%의 상대크리프 값은 스프루스 소재의 상대크리프 값과 거의 비슷한 값을 나타내었으나, 같은 조건의 상대습도 30%의 핑거접합재의 2.14배, 상대습도 65%의 핑거접합재의 3.10배~3.21배의 아주 높은 값을 나타내는 것이 확인 되었다.

Fig.6-20은 핑거접합재의 상대크리프에 대한 접착제의 종류의 영향을 상대습도의 함수로 나타낸다. 접착제의 종류에 관계없이 모든 타입에서 상대습도 85%에서 가장 큰 값을 나타내었고, 그 다음이 상대습도30%, 그리고 상대습도 65%의 순이었다. 모든 상대습도조건에서 양 접착제 상호간에 상대습도의 차이의 거의 없는 것이 확인 되었다.

2. 환경변화에 따른 치수안정성 및 변형이나 결합발생평가

2.1 재료 및 방법

2.1.1 공시재료

문틀용 집성재 제조에 사용된 국내산 소나무와 수입산 스프루스를 공시재료로 채택하였다.

2.1.2 실험방법

가. 시험편

시험편은 소나무와 스프루스를 이용하여 핑거피치 4.4mm(S) 및 6.8mm(L)의 핑거를 제작하였고, 레조시놀-페놀 공축합(RPF)수지 및 수성비닐우레탄(AVU)수지를 사용하여 압체압력 40kgf/cm²로 20초간 가압하여 접합하였고, 1주일이상 양생하여, 20mm(R) x 20mm(T) x 20mm(L)로 제작하였다.

나. 팽윤률 측정

팽윤률 측정은 온도 20±1℃, 상대습도65±3%에서 1주일이상 안정된 소재 및 핑거접합시험편을 온도 20±1℃ 상대습도85±3%조건에서 174시간동안 측정하

였다. 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $65\pm 3\%$ 에서 평형함수율에 도달한 시험편의 접선방향 및 방사방향 치수를 측정하였고, 습도변화전의 원래치수에 대한 습도조건변화 후 변화한 치수비의 백분율을 계산하여 방사방향 및 접선방향의 팽윤률로 나타내었다. 측정시간은 최초 습도변화조건에 넣은 후부터 1시간, 2시간, 3시간, 4시간간격으로 측정 한 후, 12시간간격으로 2일, 그 후 174시간까지 24시간 간격으로 측정하였다.

다. 수축률 측정

수축률측정은 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $85\pm 3\%$ 에서 1주일이상 안정된 소재 및 팽거접합재를 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 상대습도 $85\pm 3\%$ 조건에서 174시간동안 측정하였다. 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $85\pm 3\%$ 에서 평형함수율에 도달한 시험편의 접선방향 및 방사방향의 치수를 측정하였고, 습도변화전의 원래치수에 대한 습도조건변화 후 변화한 치수비의 백분율을 계산하여 방사방향 및 접선방향의 수축률로 나타내었다. 측정시간은 최초 습도변화조건에 넣은 후부터 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 간격으로 측정 한 후, 12시간간격으로 2일, 그 후 174시간까지 24시간 간격으로 측정하였다.

2.2 결과

2.2.1 85%RH에서 소나무 및 스프루스 소재의 시간경과에 따른 팽윤률변화

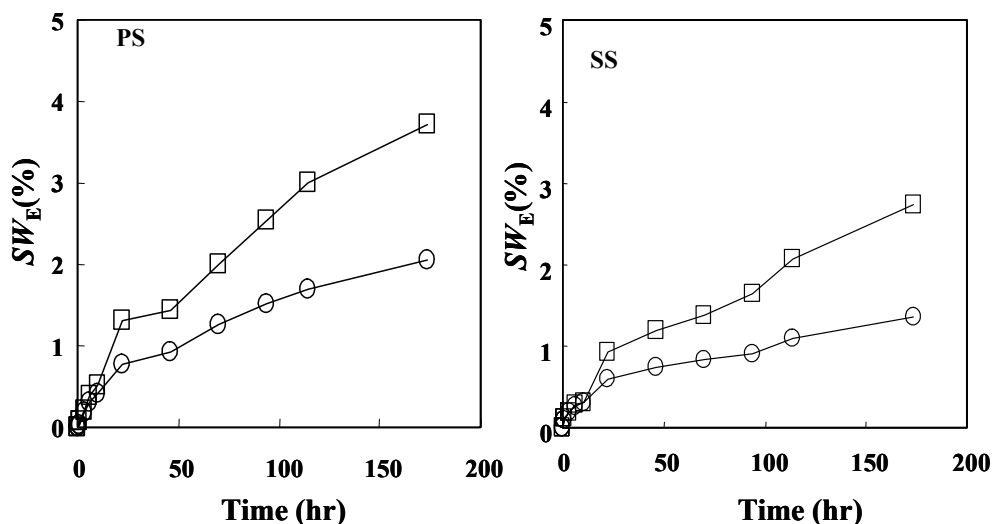


Fig. 6-21. Swelling efficient (SW_E) changes of pine and spruce solid woods under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-21 및 Table 6-13에 소나무 및 스프루스 소재의 팽윤률을 나타낸다. 길이 방향의 팽윤률은 무시할 정도로 적은 수치를 나타내었으므로 그 결과는 생략하였다. 소나무 및 스프루스 소재는 65%RH에서 85%RH로 습도변화 후 174시간 까지 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 습도변화 후 174시간에서 소나무재의 접선방향 및 방사방향의 팽윤률은 각각 3.7%, 2.1%로 접선방향의 그것이 방사방향의 그것 보다 약1.8배 정도 높은 것이 확인되었다. 한편, 습도변화 후 174시간에서 스프루스 소재의 접선방향 및 방사방향의 팽윤률은 각각 2.8%, 1.4% 로 접선방향의 그것이 방사방향의 그것 보다 약2배 정도 높았다. 이 값은 소나무재의 팽윤률보다 다소 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

Table 6-13. Swelling efficient of non treated solid and finger-jointed woods under 85%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SW_E(\%)$		$SW_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	1.92	3.53	1.71	3.11
	2	1.87	3.74	1.45	2.69
	3	2.39	3.89	0.93	2.44
	AVE	2.06	3.72	1.37	2.75
	SD	0.2	0.1	0.3	0.3
	CV	11.3	4.0	23.8	10.1
	SR	1	1.93	2.61	1.47
2		1.77	2.71	1.77	2.29
3		2.45	2.86	1.47	2.19
AVE		2.05	2.73	1.57	2.35
SD		0.3	0.1	0.1	0.2
CV		14.2	3.9	9.1	6.6
SA		1	1.20	3.22	1.93
	2	2.62	3.08	2.04	2.49
	3	2.25	3.38	1.82	2.50
	AVE	2.03	3.23	1.93	2.68
	SD	0.6	0.1	0.1	0.3
	CV	29.7	3.7	4.7	1.3
	LR	1	1.41	2.87	1.42
2		1.63	2.24	1.61	2.51
3		1.80	2.46	1.44	2.09
AVE		1.61	2.52	1.49	2.38
SD		0.2	0.3	0.1	0.2
CV		9.9	10.3	5.8	8.9
LA		1	1.77	2.93	1.88
	2	1.41	2.76	1.16	2.91
	3	1.35	2.38	1.88	3.08
	AVE	1.51	2.69	1.64	2.97
	SD	0.2	0.2	0.3	0.1
	CV	12.3	8.5	20.6	2.7

Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

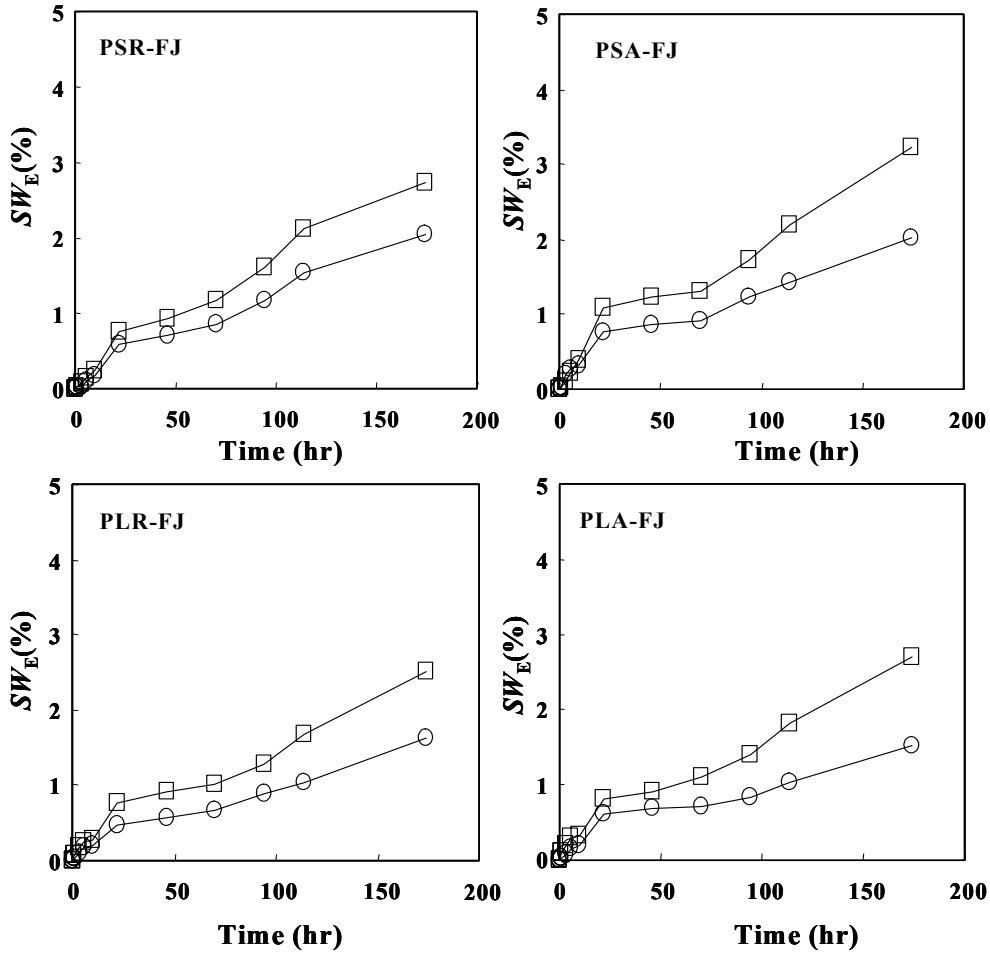
2.2.2 85%RH에서 소나무 및 스프루스 핑거접합재의 시간경과에 따른 팽윤률 변화

Fig. 6-22. Swelling efficient (SW_E) changes of PSR, PSA, PLR, and PLA finger-jointed woods under 85%RH.

Notes; PSR: Pine-4.4mm(S)-RPF, PSA: Pine-4.4mm(S)-AVU,

PLR: Pine-6.8mm(L)-RPF, PLA: Pine-6.8mm(L)-AVU.

그림 6-22 및 Table 6-13에 소나무 핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다. 소나무 핑거접합재는 습도변화 후 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에



관계없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 소재와 같이 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 큰 것이 확인되었다. 그리고 소나무 핑거 접합재의 팽윤률은 핑거의 크기 및 접착제에 따른 차이는 나타나지 않았지만 소재 보다는 약간 낮은 값을 나타내어 접착제의 사용이 치수변화억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

그림 6-23에 스프루스 핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다.

스프루스재의 경우도 소나무재의 경우와 마찬가지로 스프루스 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간이 증가할수록 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였고, 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률 보다 높은 값을 나타내었다. 그러나 스프루스 핑거 접합재의 팽윤률은 핑거의 크기 및 접착제에 따른 차이는 나타나지 않았지만 소재 보다는 약간 낮은 값을 나타내어 접착제의 사용이 치수변화억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

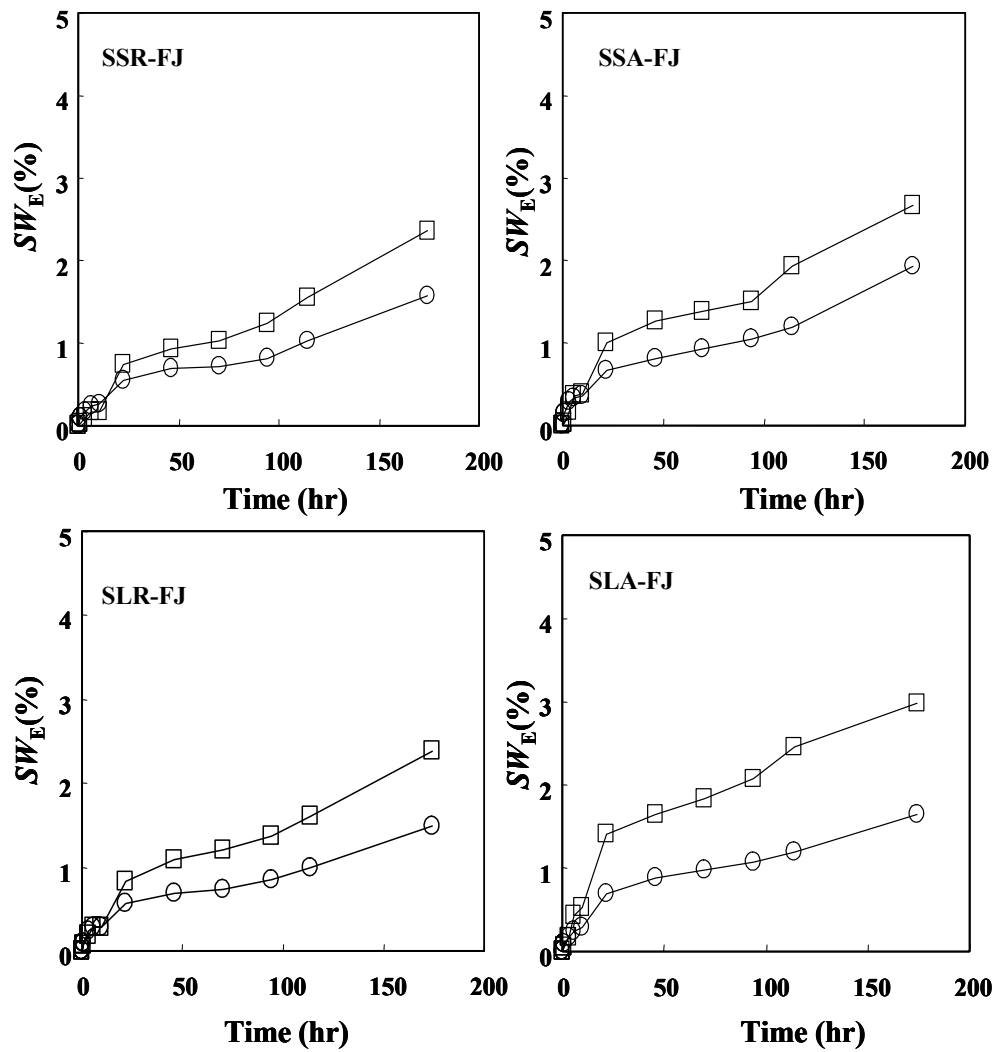


Fig. 6-23. Swelling efficient (SW_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods under 85%RH.

Notes; SSR: Spruce-4.4mm(S)-RPF, SSA: Spruce-4.4mm(S)-AVU,
 SLR: Spruce-6.8mm(L)-RPF, SLA: Spruce-6.8mm(L)-AVU.

2.2.3 85%RH에서 소나무 및 스프루스 소재의 시간경과에 따른 수축률변화

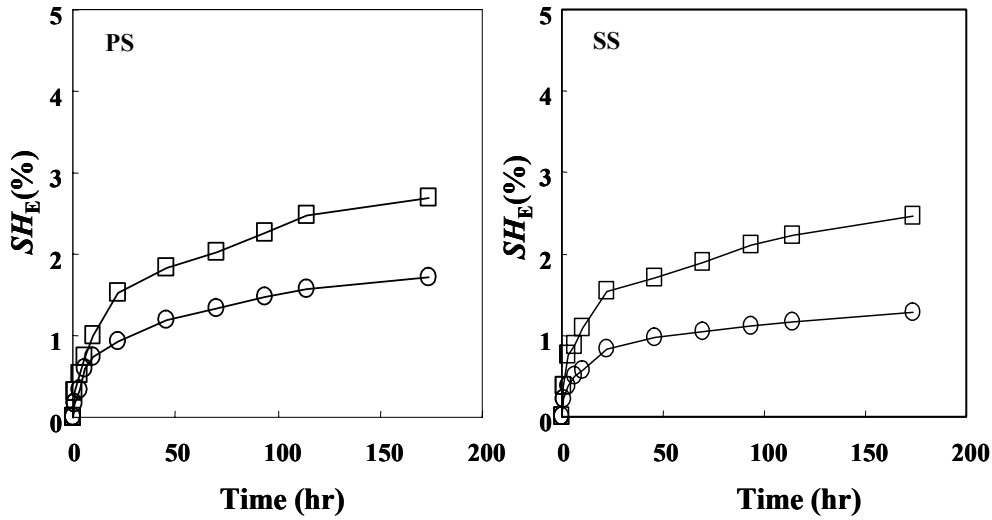


Fig. 6-24. Shrinkage efficient (SH_E) changes of pine and spruce solid woods under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-24 및 Table 6-14에 소나무 및 스프루스 소재의 수축률을 나타낸다. 길이 방향의 팽윤률은 무시할 정도로 적은 수치를 나타내었으므로 그 결과는 생략하였다. 소나무 및 스프루스 소재는 85%RH에서 65%RH로 습도변화 후 174시간 까지 탈습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 습도변화 후 174시간에서 소나무재의 접선방향 및 방사방향의 수축률은 각각 2.7%, 1.7%로 접선방향의 그것이 방사방향의 그것 보다 약1.6배 정도 높은 것이 확인되었다. 한편, 습도변화 후 174시간에서 스프루스 소재의 접선방향 및 방사 방향의 수축률은 각각 2.5%, 1.3% 로 접선방향의 그것이 방사방향의 그것 보다 약1.9배 정도 높았다. 이 값은 소나무재의 수축률보다 다소 낮은 값을 나타내는 것이 확인되었다.

Table 6-14. Shrinkage efficient (SH_E) of non treated solid and finger-jointed woods under 65%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SH_E(\%)$		$SH_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	1.42	2.36	1.22	2.40
	2	1.63	2.65	1.27	2.69
	3	2.11	3.08	1.37	2.31
	AVE	1.72	2.70	1.29	2.47
	SD	0.3	0.3	0.1	0.2
	CV	17.4	11.1	7.76	8.11
	SR	1	1.98	2.57	1.38
2		1.58	2.22	1.49	2.14
3		2.02	2.66	1.58	2.77
AVE		1.86	2.48	1.48	2.36
SD		0.2	0.2	0.1	0.3
CV		10.8	8.05	6.75	12.7
SA		1	1.53	2.56	1.58
	2	1.69	2.26	1.49	2.61
	3	2.52	3.25	1.78	2.97
	AVE	1.91	2.69	1.62	2.68
	SD	0.4	0.4	0.1	0.2
	CV	20.9	14.9	6.19	1.05
	LR	1	1.63	2.41	1.38
2		1.49	3.29	1.49	2.02
3		1.97	2.90	1.71	2.13
AVE		1.70	2.87	1.53	2.45
SD		0.2	0.4	0.1	0.5
CV		11.8	13.9	6.54	20.4
LA		1	1.53	2.61	1.48
	2	1.78	2.72	1.59	2.26
	3	1.99	3.44	1.55	2.93
	AVE	1.77	2.93	1.54	2.54
	SD	0.2	0.4	0.0	0.3
	CV	11.3	13.7	0.00	11.8

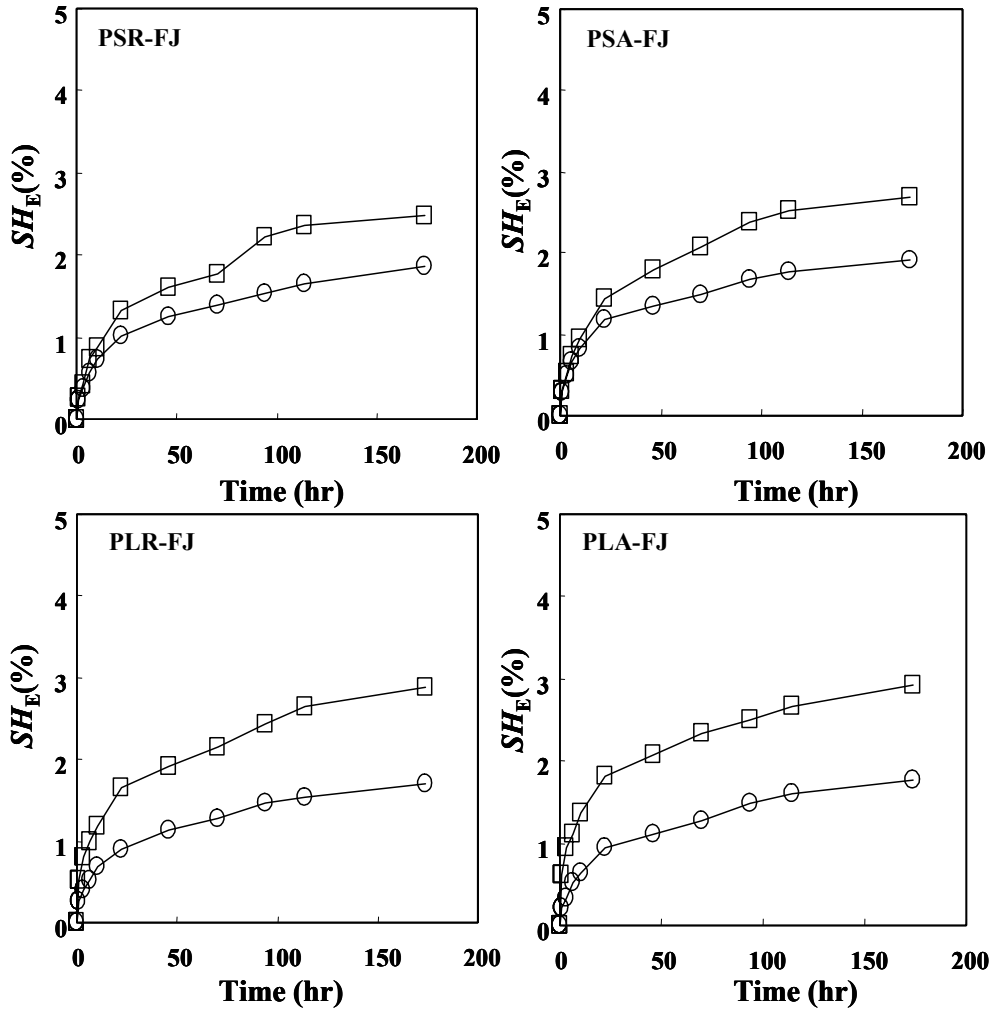
Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

2.2.4 85%RH에서 소나무 및 스프루스 핑거접합재의 시간경과에 따른 수축률 변화

Fig. 6-25. Shrinkage efficient (SH_E) changes of PSR, PSA, PLR and PLA finger-jointed woods under 85%RH.

Notes; PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig.6-22.

그림 6-25 및 Table 6-14에 소나무 핑거접합재의 수축률을 나타낸다. 소나무 핑거접합재는 습도변화 후 174시간까지 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 소재와 같이 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 큰 것이



확인되었다. 그리고 소나무 핑거 접합재의 수축률은 핑거의 크기 및 접착제에 따른 차이는 나타나지 않았다.

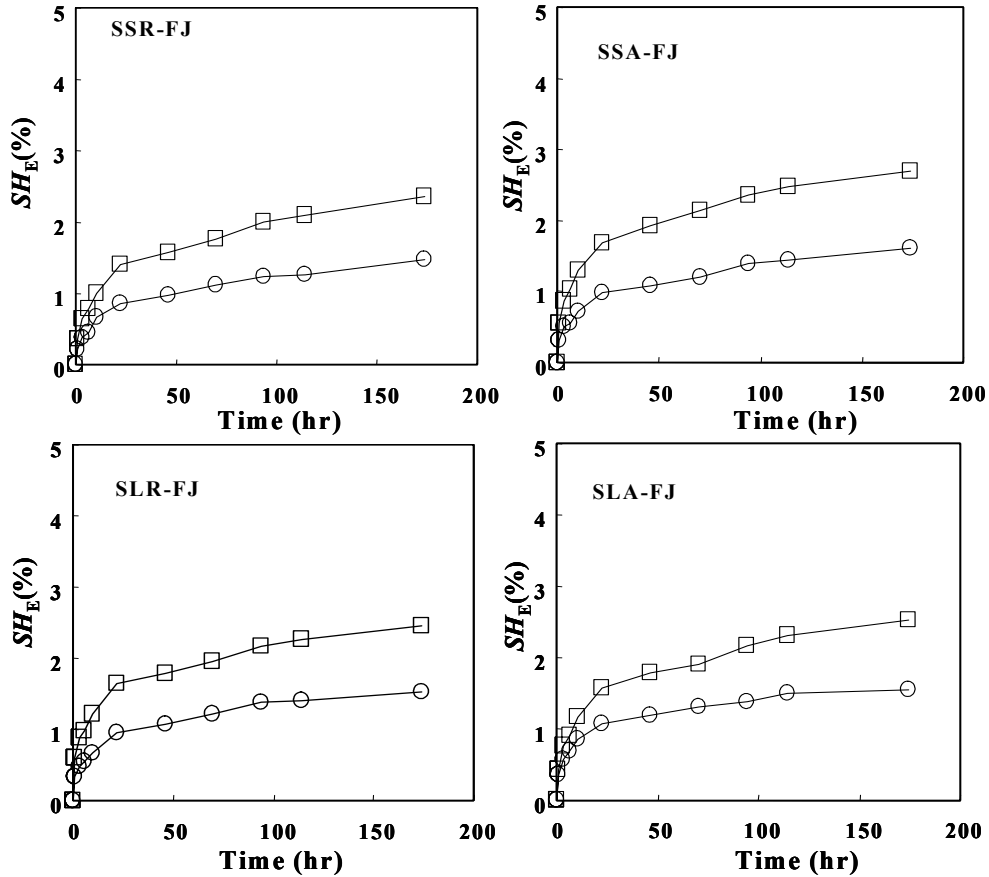
Fig. 6-26. Shrinkage efficient (SH_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods under 85%RH.

Notes; SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-23.

그림 6-26에 스프루스 핑거접합재의 수축률을 나타낸다.

스프루스재의 경우도 소나무재의 경우와 마찬가지로 스프루스 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간이 증가할수록 수축률은 거의 직선적으로 증가하였고, 접선방향 수축률이 방사방향 수축률 보다 높은 값을 나타내었다. 그러나 스프루스 핑거 접합재의 수축률은 핑거의 크기 및 접착제에 따른 차이는 나타나지 않았다.

3. 도장처리가 치수안정 및 결함발생억제에 미치는 영향평가



3.1 재료 및 방법

3.1.1 공시재료

문틀용 집성재 제조에 사용된 국내산 소나무와 수입산 스프루스를 공시재료로 채택하여 현재 문틀도장에 사용되고 있는 락카도장 및 친환경측면에서 사용가능성이 부각되고 있는 들기름도장을 실시하였다.

3.1.2 실험방법

가. 시험편

시험편은 소나무 및 스프루스재료로부터 핑거피치 4.4mm(S) 및 6.8mm(L)의 핑거를 제작하였고, 레조시놀-페놀 공축합(RPF)수지 및 수성비닐우레탄(AVU) 수지를 사용하여 압체압력 40kgf/cm²로 20초간 가압하여 접합하였고, 1주일이상 양생하여, 20mm(R) x 20mm(T) x 20mm(L)로 제작하였다. 제작된 핑거접합재는 락카 및 들기름으로 도장처리를 실시하였고, 무처리 소재 및 도장처리소재, 무처리 집성재 및 도장처리집성재 상호간의 팽윤률 및 수축률을 비교 검토하였다. 각 시험편은 1회에 한해서 락카 및 들기름으로 도장처리 되었고, 그늘에서 완전히 건조 시킨 후 측정에 사용되었다.

나. 팽윤률 측정

팽윤률측정은 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $65\pm 3\%$ 에서 1주일이상 안정된 소재 및 핑거접합시험편을 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 상대습도 $85\pm 3\%$ 조건에서 174시간동안 측정하였다. 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $65\pm 3\%$ 에서 평형함수율에 도달한 시험편의 접선방향 및 방사방향 치수를 측정하였고, 습도변화전의 원래치수에 대한 습도조건변화 후 변화한 치수비의 백분율을 계산하여 방사방향 및 접선방향의 팽윤률로 나타내었다. 측정시간은 최초 습도변화조건에 넣은 후부터 1시간, 2시간, 3시간, 4시간간격으로 측정한 후, 12시간간격으로 2일, 그 후 174시간까지 24시간 간격으로 측정하였다.

다. 수축률 측정

수축률측정은 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $85\pm 3\%$ 에서 1주일이상 안정된 소재 및 핑거접합재를 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 상대습도 $85\pm 3\%$ 조건에서 174시간동안 측정하였다. 온도 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $85\pm 3\%$ 에서 평형함수율에 도달한 시험편의 접선방향 및 방사방향 치수를 측정하였고, 습도변화전의 원래치수에 대한 습도조건변화 후 변화한 치수비의 백분율을 계산하여 방사방향 및 접선방향의 수축률로 나타내었다. 측정시간은 최초 습도변화조건에 넣은 후부터 1시간, 2시간, 3시간, 4시간간격으로 측정한 후, 12시간간격으로 2일, 그 후 174시간까지 24시간 간격으로 측정하였다.

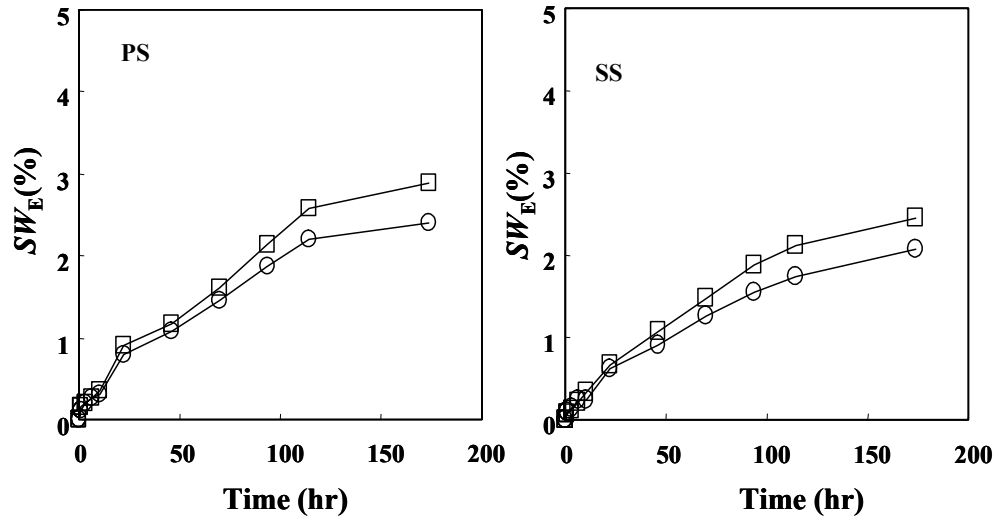
3.2 결과

3.2.1 85%RH에서 들기름도장처리 소재 및 핑거접합재의 시간경과에 따른 팽윤율변화

Fig. 6-27. Swelling efficient (SW_E) changes of pine and spruce solid woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-27 및 Table 6-15에 들기름도장처리 소나무 및 스프루스 소재의 팽윤률을 나타낸다. 들기름 도장처리 소나무 및 스프루스소재는 수분변화 후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였다. 접선방



향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 약간 높게 나타났으며 무처리 소재와 비교하여 접선방향과 방사방향사이의 팽윤률차이가 감소하였다. 그리고 들기름도장처리 소나무재의 팽윤률이 스프루스재의 그것보다 약간 높아 무처리 소재와 마찬가지로 수종에 따른 차이가 확인되었다.

Table 6-15. Swelling efficient (SW_E) of solid and finger-jointed woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SW_E(\%)$		$SW_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	2.59	2.58	2.06	3.07
	2	2.44	2.68	2.01	2.66
	3	2.17	3.37	2.14	1.66
	AVE	2.40	2.88	2.07	2.46
	SD	0.2	0.3	0.1	0.6
	CV	8.3	10.4	4.8	24.4
SR	1	1.06	2.01	2.06	2.49
	2	2.10	2.55	2.35	3.02
	3	1.48	3.00	2.07	2.58
	AVE	1.55	2.52	2.30	2.56
	SD	0.4	0.4	0.1	0.2
	CV	25.9	15.9	4.3	7.8
SA	1	2.38	1.98	2.14	2.69
	2	1.79	2.88	2.17	2.95
	3	1.21	2.90	2.34	2.95
	AVE	1.79	2.58	2.21	2.86
	SD	0.5	0.4	0.1	0.1
	CV	27.9	15.5	4.5	0.5
LR	1	1.72	2.23	1.56	2.34
	2	1.67	3.10	2.18	2.65
	3	1.56	2.54	1.92	2.80
	AVE	1.65	2.62	1.89	2.60
	SD	0.1	0.4	0.3	0.2
	CV	6.1	15.3	15.9	7.7
LA	1	1.09	1.76	1.72	3.21
	2	2.43	2.01	2.22	2.95
	3	1.82	2.99	2.41	2.43
	AVE	1.78	2.25	2.12	2.87
	SD	0.5	0.5	0.3	0.3
	CV	28.1	22.2	14.2	10.5

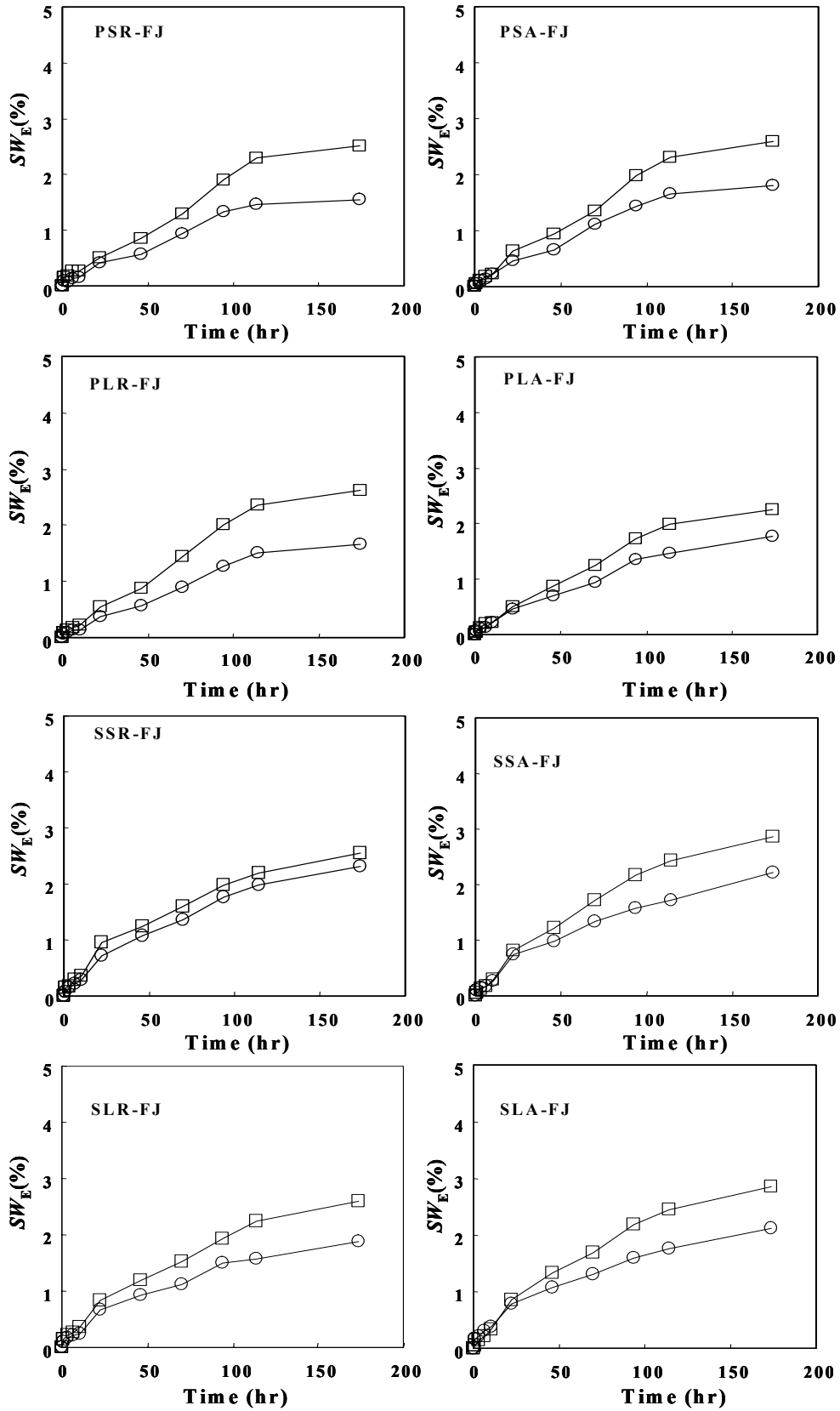
Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

그림 6-28에 들기름도장처리 소나무핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다. 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 습도변화 후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 소재와 마찬가지로 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 약간 높게 나타났다. 무도장처리 소재 및 핑거접합재와 비교하여 들기름도장처리 소나무핑거접합재의 팽윤률이 약간 낮게 나타나 들기름도장 핑거접합재의 접착제 등이 흡습저해에 약간 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 6-28. Swelling efficient (SW_E) changes of PSR, PSA, PLR and PLA finger-jointed woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; PSR, SPA, PLR and PLA are the same as in Fig.6-22.

그림 6-29에 들기름도장처리 스프루스 핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다. 스프



루스 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접

선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 약간 높게 나타났다. 무도장 및 무 접합 처리 재와 비교하여 스프루스 핑거접합재의 팽윤률이 소나무재에서와 동일하게 낮게 나타나 들기름도장 및 핑거접합시의 접착제 등이 흡습저해에 약간 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 6-29. Swelling efficient (SW_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-23.

3.2.2 85%RH에서 락카도장처리 소재 및 핑거접합재의 시간경과에 따른 팽윤률변화

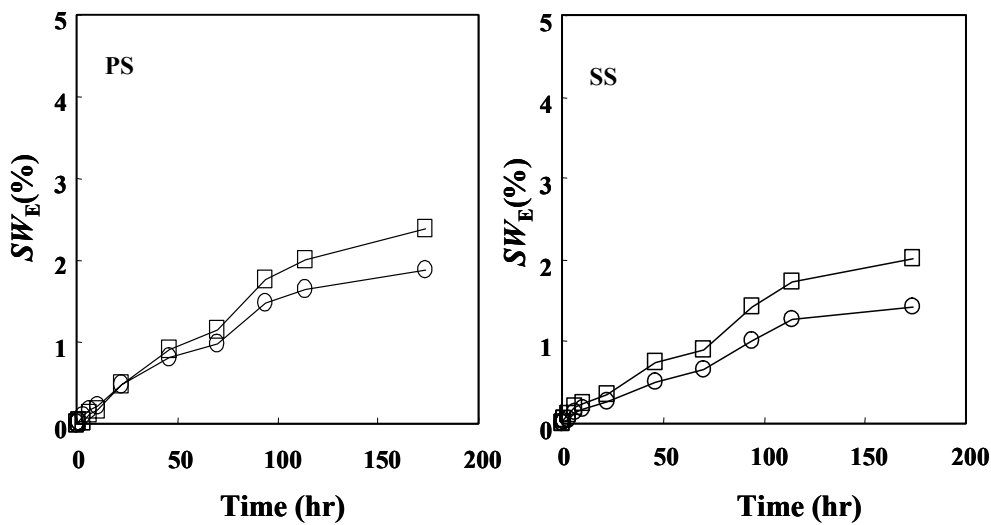


Fig. 6-30. Swelling efficient (SW_E) changes of pine and spruce solid woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-30 및 Table 6-16에 락카도장처리 소나무 및 스프루스소재의 팽윤률을 나타낸다. 소나무 및 스프루스소재는 수분변화후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 약간 높게 나타났다. 락카도장처리 소나무 소재의 경우 174시간 경과후의 접선방향 및 방사방향 팽윤율은 각각 2.4%, 1.9%로 무처리소재 보다 낮은 값을 나타내었고, 락카도장처리 스프루스 소재의 경우도 각각 무처리재 보다 낮은 2.0%, 1.4%를 나타내어 락카도장처리가 소재의 팽윤률 억제하는 효과가 있는 것이 확인되었다.

Table 6-16. Shrinkage efficient (SW_E) of solid and finger-jointed woods treated with a perilla oil under 65%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SH_E(\%)$		$SH_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	2.11	1.90	1.45	2.10
	2	1.76	1.80	1.29	1.89
	3	1.30	2.20	1.29	0.819
	AVE	1.72	1.97	1.34	1.60
	SD	0.3	0.3	0.1	0.6
	CV	17.4	15.3	7.4	37.5
SR	1	0.785	1.45	1.60	1.87
	2	1.79	1.72	1.53	2.23
	3	1.09	2.00	1.42	1.65
	AVE	1.22	1.72	1.61	1.83
	SD	0.4	0.2	0.1	0.2
	CV	32.7	11.6	6.2	11.0
SA	1	1.43	1.67	1.23	1.77
	2	1.44	2.55	1.35	1.97
	3	1.53	1.91	1.47	1.96
	AVE	1.47	2.04	1.35	1.90
	SD	0.0	0.4	0.1	0.1
	CV	0.0	19.6	7.4	0.5
LR	1	0.768	0.969	0.974	1.58
	2	1.36	1.42	1.37	1.77
	3	1.22	1.61	1.22	1.87
	AVE	1.12	1.33	1.19	1.74
	SD	0.3	0.3	0.2	0.1
	CV	26.8	22.5	16.8	5.8
LA	1	0.618	1.27	1.33	2.36
	2	1.55	1.24	1.57	2.16
	3	1.12	2.15	1.69	1.72
	AVE	1.10	1.56	1.53	2.08
	SD	0.4	0.4	0.1	0.3
	CV	36.5	25.7	6.5	14.4

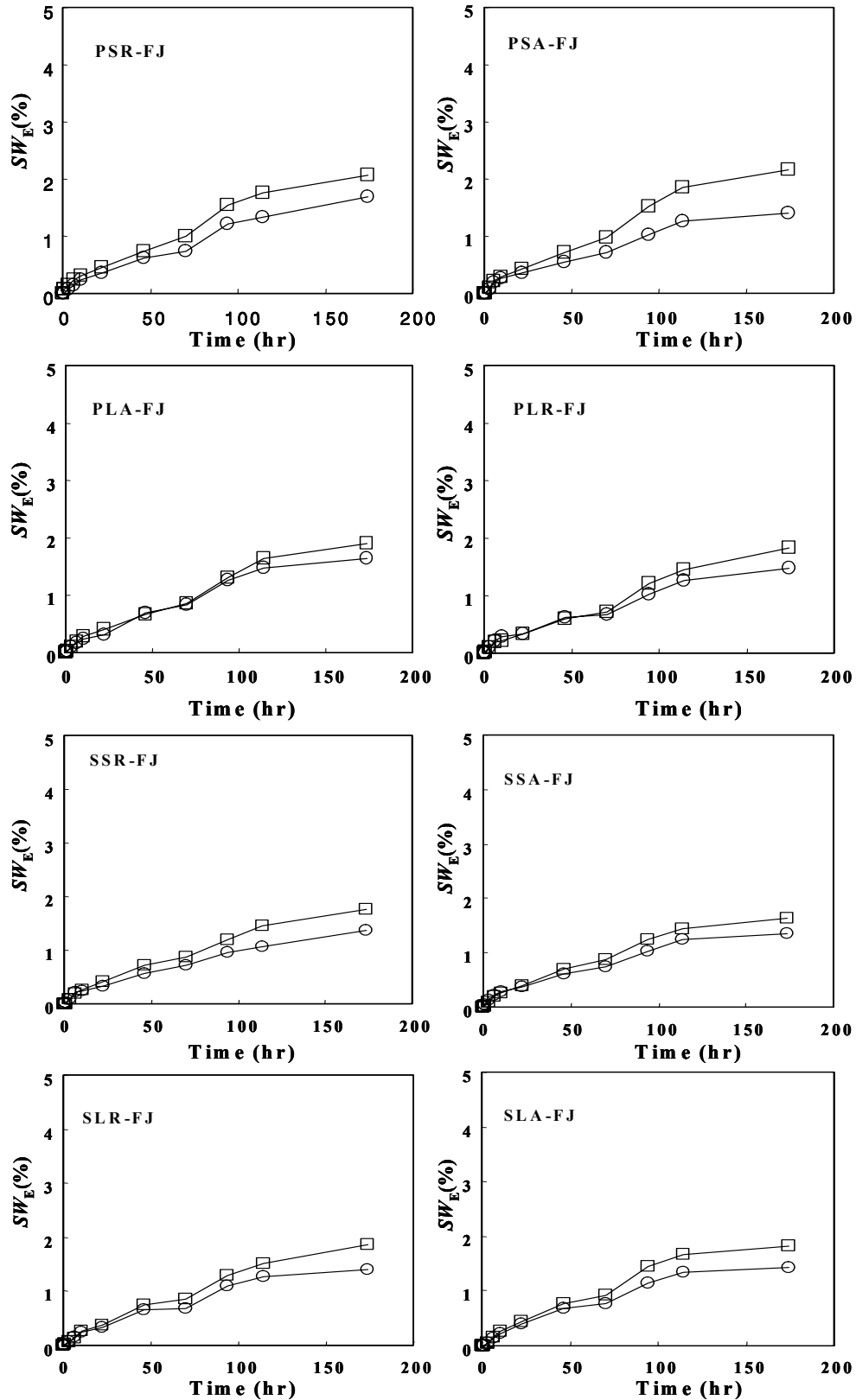
Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

그림 6-31 및 Table 6-16에 락카도장처리 소나무핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계 없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다 약간 높게 나타났다. 그리고 핑거접합재의 경우 핑거접합조건(핑거크기 및 접착제)에 따른 팽윤률의 차이는 나타나지 않았지만 무도장 소재 보다는 낮은 팽윤률을 나타내어 락카도장 및 핑거접합 처리가 재의 팽윤을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6-31. Swelling efficient (SW_E) changes of PSR, PSA, PLR and PLA finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig.6-22.

그림 6-32에 락카도장처리 스프루스 핑거접합재의 팽윤률을 나타낸다. 락카도



장처리 스프루스 소재 및 핑거접합체의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 습도변화 후 174시간까지 모든 조건에서 함수율 증가에 따라 팽윤률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 팽윤률이 방사방향 팽윤률보다

약간 높게 나타났다. 그리고 핑거접합재의 경우 핑거접합조건(핑거크기 및 접착제)에 따른 팽윤률의 차이는 나타나지 않았지만 무도장 및 무접합 처리 재 보다는 낮은 팽윤률을 나타내어 스프루스재의 락카도장처리 및 핑거접합처리가 팽윤을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6-32. Swelling efficient (SW_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; SSR,SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-23.

3.2.3 85%RH에서 들기름도장처리 소재 및 핑거접합재의 시간경과에 따른 수축률변화

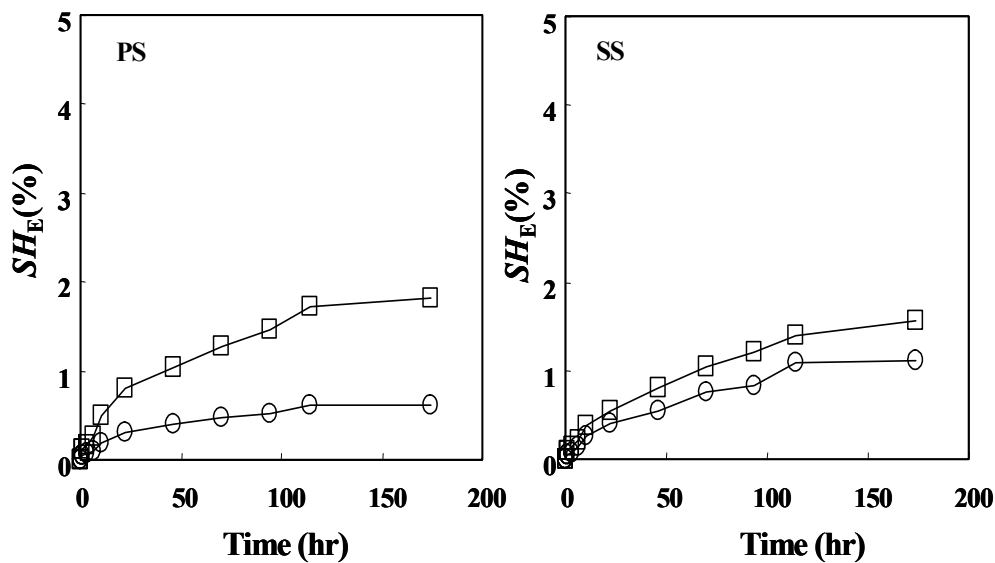
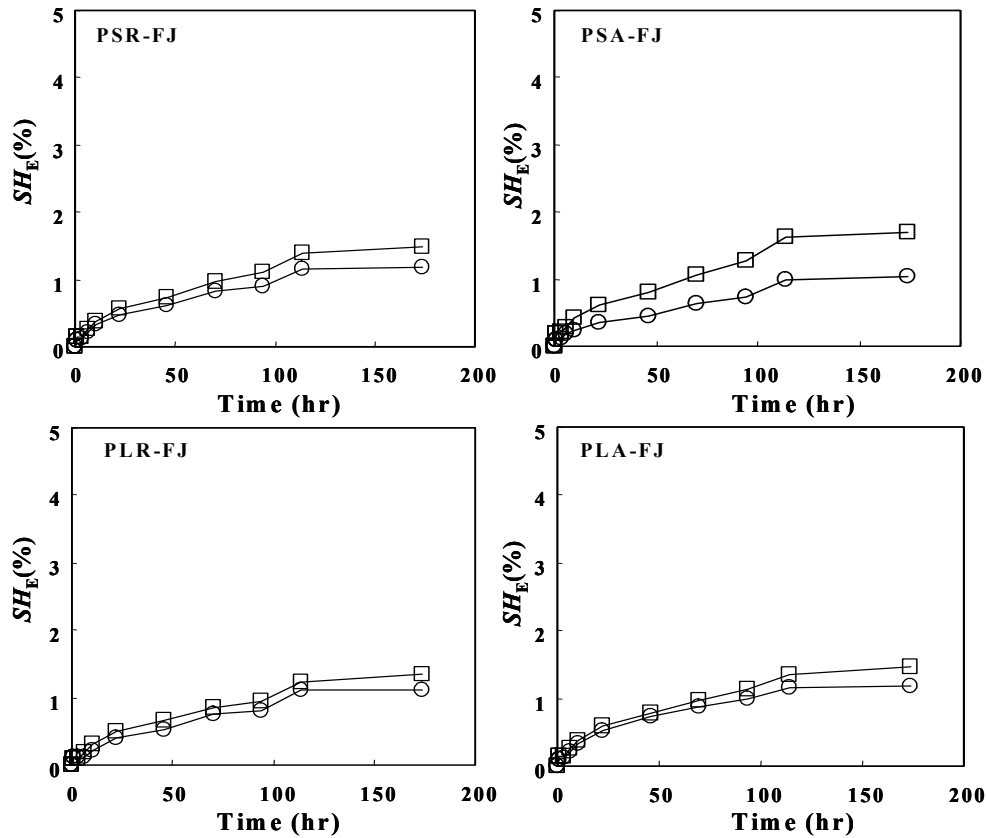


Fig. 6-33. Swelling efficient (SH_E) changes of pine and spruce solid woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-33 및 Table 6-17에 들기름도장처리 소나무 및 스프루스 소재의 수축률을 나타낸다. 들기름 도장처리 소나무 및 스프루스소재는 수분변화 후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였다. 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 약간 높게 나타났으며 무처리 소재와 비교하여 접선방향과 방사방향사이의 수축률차이가 감소하였다. 그리고 들기름도장처리 소나무재의 수축률이 스프루스재의 그것보다 약간 높아 무처리 소재와 마찬가지로 수중에 따른 차이가 확인되었다.

그림 6-34 및 Table 6-17에 들기름도장처리 소나무핑거접합재의 수축률을 나타낸다. 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이



모든 조건에서 습도변화 후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 소재와 마찬가지로 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 약간 높게 나타났다. 무도장처리 소재 및 핑거접합재와 비교하여 들기름도장처리 소나무핑거접합재의 수축률이 약간 낮게 나타나 들기름도장 핑거접합재의 접착제 등이 흡습저해에 약간 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 6-34. Swelling efficient (SH_E) changes of PSR, PSA, PLR and PLA finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig. 6-22.

그림 6-35 및 Table 6-17에 들기름도장처리 스프루스 핑거접합재의 수축률을 나타낸다. 스프루스 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 약간 높게 나타났다. 무도장 및 무 접합처리 재와 비교하여 스프루스 핑거접합재의 수축률이 소나무재에서와 동일하게 낮게 나타나 들기름도장 및 핑거접합시의 접착제 등이 흡습저해에 약간 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 6-35. Swelling efficient (SH_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Notes; SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-23.

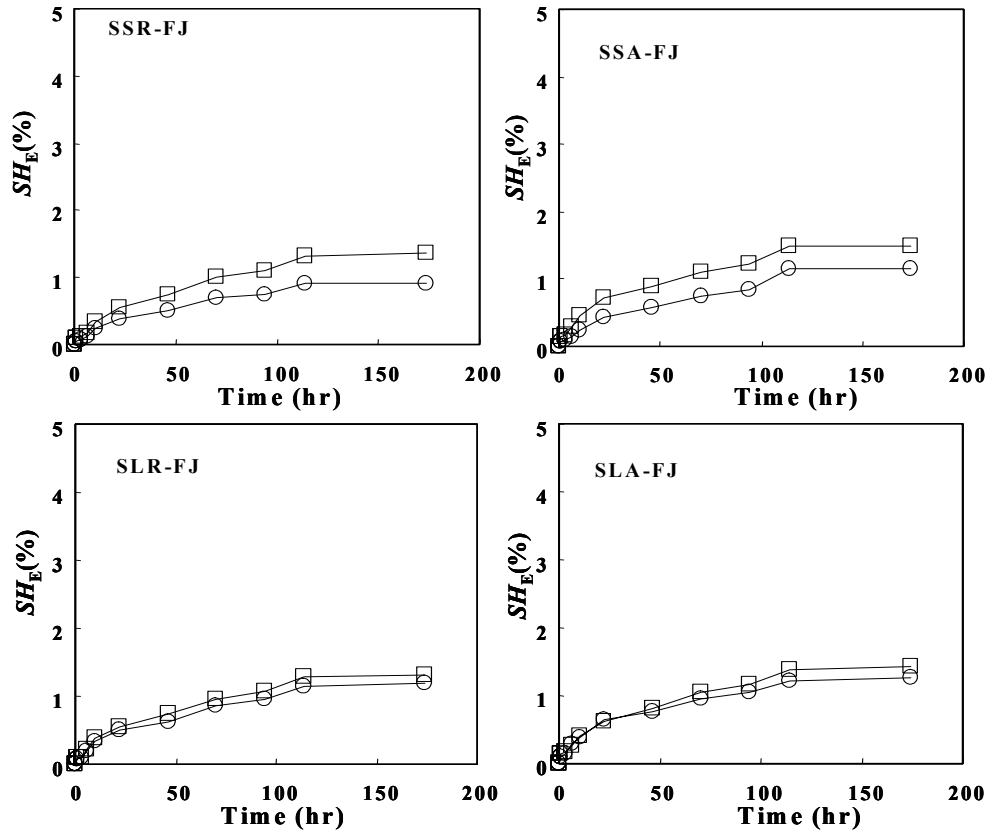


Table 6-17. Swelling efficient (SW_E) of solid and finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 85%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SW_E(\%)$		$SW_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	2.00	2.67	1.05	1.78
	2	2.00	2.10	1.79	2.26
	3	1.64	2.37	1.45	2.01
	AVE	1.88	2.38	1.43	2.02
	SD	0.2	0.2	0.3	0.2
	CV	10.7	8.4	21.0	9.9
	SR	1	1.68	1.45	1.19
2		1.16	2.48	1.23	1.72
3		2.23	2.28	1.71	2.09
AVE		1.69	2.07	1.38	1.75
SD		0.4	0.4	0.2	0.3
CV		23.7	19.3	14.5	17.1
SA		1	1.38	2.16	1.40
	2	1.50	2.12	1.08	1.09
	3	1.35	2.22	1.55	1.97
	AVE	1.41	2.17	1.34	1.64
	SD	0.1	0.0	0.2	0.4
	CV	7.1	0.0	14.9	24.4
	LR	1	1.09	1.29	1.35
2		1.65	1.92	1.19	1.61
3		1.66	2.27	1.66	2.24
AVE		1.47	1.83	1.40	1.87
SD		0.3	0.4	0.2	0.3
CV		20.5	21.9	14.3	16.1
LA		1	1.56	1.92	1.62
	2	1.40	2.17	1.04	1.75
	3	1.96	1.66	1.61	2.17
	AVE	1.64	1.92	1.42	1.82
	SD	0.2	0.2	0.3	0.3
	CV	12.2	10.4	21.1	16.5

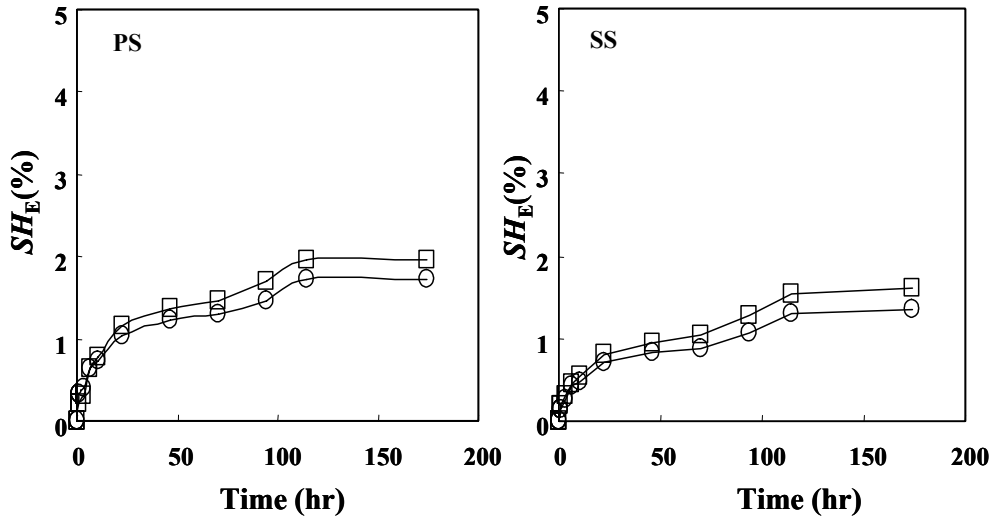
Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

3.2.4 85%RH에서 락카도장처리 소재 및 핑거접합재의 시간경과에 따른 수축률변화

Fig. 6-36. Swelling efficient (SH_E) changes of pine and spruce solid woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; PS : Pine solid wood, SS: Spruce solid wood.

그림 6-36 및 Table 6-18에 락카도장처리 소나무 및 스프루스소재의 수축률을 나타낸다. 소나무 및 스프루스소재는 수분변화 후 174시간까지 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 수축률이 방사



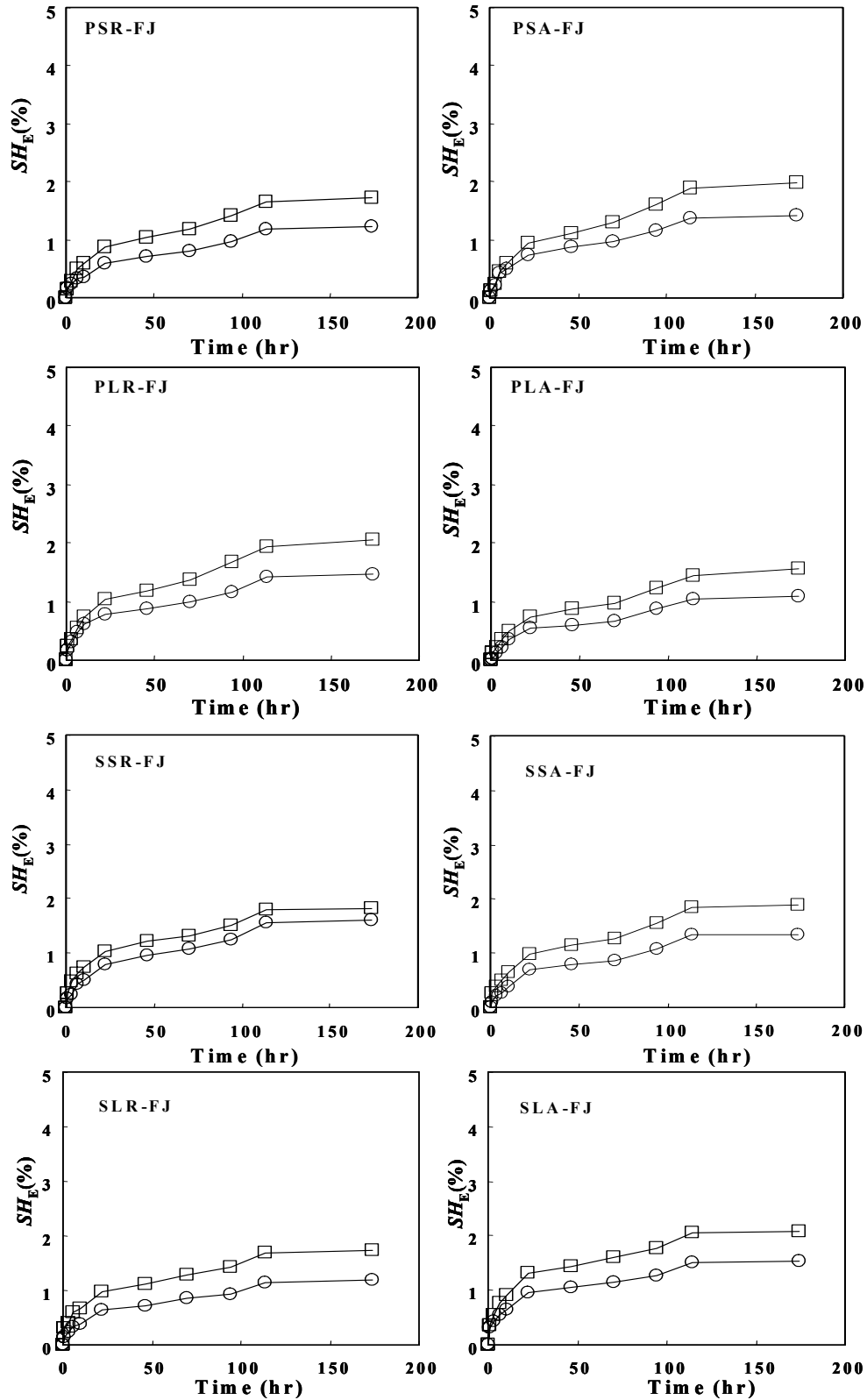
방향 수축률보다 약간 높게 나타났다. 락카도장처리 소나무 소재의 경우 174시간 경과후의 접선방향 및 방사방향 수축률은 각각 1.8%, 1.4%로 무처리소재 보다 낮은 값을 나타내었고, 락카도장처리 스프루스 소재의 경우도 각각 무처리재 및 들기름도장처리보다 낮은 1.6%, 1.1%를 나타내어 락카도장처리가 소재의 수축률 억제하는 효과가 있는 것이 확인되었다.

그림 6-37 및 Table 6-18에 락카도장처리 소나무핑거접합재의 수축률을 나타낸다. 소나무 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 모든 조건에서 흡습시간의 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 약간 높게 나타났다. 그리고 핑거접합재의 경우 핑거접합조건(핑거크기 및 접착제)에 따른 수축률의 차이는 나타나지 않았지만 무도장 및 들기름도장처리 소재보다 낮은 수축률을 나타내어 락카도장 및 핑거접합 처리가 재의 수축을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6-37. Swelling efficient (SH_E) changes of PSR, PSA, PLR and PLA finger-jointed woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; PSR, PSA, PLR and PLA are the same as in Fig.6-22.

그림 6-38 및 Table 6-18에 락카도장처리 스프루스 핑거접합재의 수축률을 나타낸다. 락카도장처리 스프루스 소재 및 핑거접합재의 핑거접합조건(핑거의 크기 및 접착제 종류)에 관계없이 습도변화 후 174시간까지 모든 조건에서 흡수율 증가에 따라 수축률은 거의 직선적으로 증가하였으며, 접선방향 수축률이 방사방향 수축률보다 약간 높게 나타났다. 그리고 핑거접합재의 경우 핑거접합조건(핑거크기 및 접착제)에 따른 수축률의 차이는 나타나지 않았지만 무도장 및 들기름도장처리 및 무접합 처리 재 보다는 낮은 수축률을 나타내어 스프루스재의 락카도장처리 및 핑거접합처리가 수축을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타



났다.

Fig. 6-38. Swelling efficient (SH_E) changes of SSR, SSA, SLR and SLA finger-jointed woods treated with a perilla oil under 85%RH.

Notes; SSR, SSA, SLR and SLA are the same as in Fig. 6-23.

Table 6-18. Shrinkage efficient (SW_E) of solid and finger-jointed woods treated with an oil lacquer under 65%RH.

Type	No	Pine		Spruce	
		$SH_E(\%)$		$SH_E(\%)$	
		R	T	R	T
Solid wood	1	1.55	2.04	0.928	1.58
	2	1.44	1.65	1.43	1.59
	3	1.14	1.73	1.00	1.50
	AVE	1.38	1.80	1.12	1.56
	SD	0.2	0.2	0.2	0.0
	CV	14.5	11.08	17.9	0.0
	SR	1	1.19	1.28	0.768
2		0.885	1.71	1.02	1.47
3		1.47	1.47	0.969	1.48
AVE		1.18	1.48	0.919	1.37
SD		0.2	0.2	0.1	0.1
CV		17.0	13.5	10.9	7.3
SA		1	1.04	1.66	1.07
	2	1.02	1.71	1.12	1.12
	3	1.02	1.70	1.32	1.82
	AVE	1.03	1.69	1.17	1.50
	SD	0.0	0.0	0.1	0.3
	CV	0.0	0.0	8.6	1.6
	LR	1	0.768	0.969	1.07
2		1.36	1.42	1.11	1.37
3		1.22	1.61	1.37	1.32
AVE		1.12	1.33	1.18	1.32
SD		0.3	0.3	0.1	0.0
CV		26.8	22.5	8.4	0.0
LA		1	1.23	1.53	1.54
	2	1.12	1.56	0.967	1.51
	3	1.20	1.27	1.27	1.61
	AVE	1.18	1.45	1.26	1.43
	SD	0.0	0.1	0.2	0.2
	CV	0.0	6.9	15.9	14.0

Note : R : Radial direction, T : Tangential direction.

결 론

이 연구에서는 집성문틀재의 물리적·기계적성능을 평가하기 위해, 다양한 형상 및 접착제로 접합된 핑거접합재를 제작하였고, 정적 휨 시험 및 온습도변화 조건하의 휨 크리프시험 및 무처리재 및 도장처리재의 팽윤률 및 수축률을 측정하여, 휨 크리프 및 팽윤률, 수축률변화에 영향을 미치는 습도 및 집성문틀재의 형상의 영향을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 크리프 곡선은 핑거형상 및 접착제의 종류에 따라 달랐고, 부하후, 30분~1시간 이후는 거의 직선적인 거동을 나타내는 것이 확인되었다.
- 2) 습도증가에 따라 집성문틀재의 초기변형 및 크리프변형은 현저하게 증가하

였 고, 그 증가의 비율은 초기변형보다 크리프 변형이 훨씬 더 큰 것이 확인되었 다.

- 3) 상대습도 80%의 집성문틀재의 크리프변형은 초기변형의 거의 62%~82%의 대단히 많이 크리프변형이 일어났으나, 그 양은 소재의 그것과 비슷한 것이 확인 되었고, 소나무핑거접합재가 스프루스핑거접합재보다 더 큰 변형량을 나타내는 것이 확인되었다.
- 4) 수분일정조건과 같이 레조시놀-페놀 공축합수지와 수성비닐우레탄접착제사이 의 명확한 크리프거동의 차이는 확인되지 않았다.
- 5) 수분일정조건과 달리 핑거피치의 증가에 따른 집성문틀재의 명확한 거동은 확인되지 않았다.
- 6) 소재 및 핑거접합재의 접선방향 및 방사방향의 팽윤률과 수축률은 흡습 및 방습시간의 증가에 따라 거의 직선적 증가하였고, 114시간이후부터 점차 그 증가의 비율은 감소하는 것이 확인되었다.
- 7) 소재 및 핑거접합재의 팽윤률은 접선방향이 방사방향보다 1.8~2배정도 컸지만, 핑거접합재가 소재보다 약간 적은 팽윤률을 나타내었다.
- 8) 소재 및 핑거접합재의 수축률은 접선방향이 방사방향보다 컸지만, 핑거형상에 따른 차이는 확인되지 않았다.
- 9) 도장처리재의 팽윤 및 수축률은 흡습 및 방습시간의 증가에 따라 직선적으로 증가하였고, 접선방향이 방사방향보다 증가량이 작은 것이 확인되었고, 소재보다 적은 팽윤 및 수축률을 나타내는 것이 확인되었다.

5. 참고자료 및 문헌

1. 변희섭, 박한민, 김종만. 1997. 경사핑거접합법에 의한 소나무재의 휨강도성능 개량. 한국목재공학회지. 25(4): 61-67.
2. 변희섭, 안삼근, 김종만. 1999. 소나무 경사핑거접합재의 휨강도성능과 AE특성. 한국목재공학회지 27(1): 30-36.
3. 변희섭, 홍병화, 김종만. 2000. 집성재의 핑거길이가 휨강도성능에 미치는 영향. 한국가구학회지. 11(2): 7-12.
4. 星 通. 1976. 미니フィンガー-ジョイントの形状と性能. 木材工業. 31(8): 343-345.
5. 星 通. 1976. 集成加工における縦つぎ技術. 木材工業. 31(11): 484-490.
6. 星 通. 1989. フィンガー-接合部強さの経時變化. 木材工業. 44(5): 219-220.
7. 川原重明외 7인. 1991. 슬로-프트·フィンガー-ジョイント材의衝擊曲げ強度性能에及ぼす슬로-프比および接着劑の影響. 木材工業. 6(4): 165-170.
8. 森 稔, 星 通. 1963. フィンガー-ジョイントの接着有効率. 18(3): 123-129.
9. 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關する一考察. 木材工業. 44(6): 269-272.
10. Ayarkwa, J., Y. Hirashima and Y. Sasaki. 2001. Predicting modulus of rupture of solid and finger-jointed tropical African hardwoods using longitudinal vibration. Forest Prod. J. 51(1):85-92.
11. Aratake, S., T. Arima, T. Sakoda and Y. Nakamura 1992. Estimation of modulus of rupture of solid wood and modulus of elasticity of lumber using higher natural frequency of log in pile of logs: Possibility of application for sugi scaffolding board. J. of the Japan Wood Res. Soc. 38(11): 995-1001.
12. Akitsu, H., M. Norimoto and T. Morooka 1991. Vibrational properties of chemically modified wood. Mokuzai gakkaiishi 37(7): 590-597.

13. Bender, D. A. 1990. Predicting localized MOE and tensile strength in solid and finger-jointed laminating lumber using longitudinal stress waves. *Forest Prod. J.* 40(3):45-47.
14. Bendtsen, B. A. and R. L. Young 1981. Machine stress rating of wood: An overview, 17 IUFRO world congress report: 21-34.
15. Bodig, J. and B. A. Jayne. 1982. *Mechanics of wood and wood composites.* Van Nostrand Reinhold company, New York. pp. 247-269, 645-650.
16. Bruce, A., Janice K. W., and Robert J. Ross. 1997. Nondestructive evaluation
for detection of honeycomb in the sawmill: An economic analysis. *Forest Prod. J.* 47(6): 53-59.
17. Bucur, V. 1995. *Acoustics of wood.* CRC Press, Boca Raton, Fla.. pp. 105-106.
18. Byeon, H.-S. and B.-H. Hong 1997. The dynamic mechanical properties of *Agathis Alba* used for piano soundboards. *J. of Korean Society of furniture technology.* 8(1/2):9-16.
19. Cha, J.-K. 1996. Study on stress waves for development of glulam from domestic small diameter log(1). *Mokchae Konghak* 24(3): 90-100.
20. Christine, B., Caroline, V., Christine, G., and Marcel, S. 1997. Experimental assessment of the effect of length on the tensile strength of structural fingerjoined lumber. *Forest Prod. J.* 47(10): 94-99.
21. Gerhards, C. C. 1975. Stress wave speed and MOE of sweetgum ranging from 150 to 15 percent MC. *Forest Prod. J.* 25(4): 51-57.
22. Hong, B.-H. 1985. The dynamic mechanical properties of *paulownia coreana* used for sounding boards. *Mokchae Konghak* 13(3): 34-40.
23. Hong, B.-H. 1990. Studies on the improvement for GAYAGUM sounding boards. *Mokchae Konghak* 18(4): 65-78.
24. Jang, S.-S. 2000. Effects of moisture content and slope grain on ultrasonic transmission speed of wood. *Mokchae Konghak* 28(2): 10-18.
25. Jang Sang Sik. 2000. evaluation of lumber properties by applying stress waves to Lach logs grown in Korea. *Forest Prod. J.* 50(3): 44-48.
26. Janowiak, J.J., Labosky, Jr. R. Blankenhorn, and H. B. Manbeck. 1993.

- Fingerjoint strength evaluation of three Northern hardwoods. *Forest Prod. J.* 43(9): 23-28.
27. JETRO. 1992. Finger jointed structural lumber for wood frame construction, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Notification No. 701 JETRO. publication SIS-22. Japan.
28. Kataoka, A. and T. Ono 1976. The dynamic mechanical properties of sitka spruce used for sounding boards. *Mokuzai gakkaiishi* 22(8): 436-443.
29. Komatsu, H. 1988. Direction and problem for structural utilization of sugi wood. *The material collection of wood structure society*: 16-17.
30. Lemaster, R.L. 1987. Preliminary Investigation of the Feasibility of Using Acousto-Ultrasonics to Measure Defects in Lumber. *Journal of Acoustic Emission* Volume 6, Number 3: 157-164.
31. Markku, T., Frank C. B., and Jacek M. B. 1998. Acousto-ultrasonic assessment of internal decay in glulam beams. *Wood and Fiber Science.* 30(3): 259-272.
32. Matsumoto T. and J. Tsutsumi 1968. Elastic properties of plywood in dynamic test 1. Relation between static Young's modulus and dynamic Young's modulus. *Mokuzai gakkaiishi* 14(2): 65-69.
33. Murakami, R., H. Yamada and K. Mori 1971a. The dynamic viscoelasticity of hardboard pulp sheets I. Relation between hot pressing temperature and dynamic viscoelasticity. *Mokuzai gakkaiishi* 17(6): 243-248.
34. Murakami, R., H. Yamada and K. Mori 1971b. The dynamic viscoelasticity of hardboard pulp sheets II. Interactions between pulp sheets and organic solvents. *Mokuzai gakkaiishi* 17(6): 249-254.
35. Nakayama, Y. 1975. Non-destructive test of wooden beam by vibrational method. Estimation of modulus of rupture in bending of beam containing an artificial circular hole. *Mokuzai gakkaiishi* 21(7): 402-409.
36. Norimoto, M. 1982. Structure and properties of wood used for musical instruments 1. *Mokuzai gakkaiishi* 28(7): 407-413.
37. Paul R. Fissette. 1988. An Analysis of Structural Finger-joints made from two Northeastern species. *Forest Prod. J.* 38(9): 40-44.
38. Robert J. R., Rodney C. D., William J. N., and Patricia K. L. 1997. The relationship between stress wave transmission characteristics and the compressive strength of biologically degraded wood. *Forest Prod. J.* 47(5):

89-93.

39. Ross, R. J., R. C. Degroot, W. J. Nelson and P. K. Lebow 1997. The relationships between stress wave transmission characteristics and the compressive strength of biologically degraded wood. *Forest Prod. J.* 47(5): 89-93.

40. Sobue, N., H. Nakano and I. Asano 1984. Vibrational properties of spruce plywood for musical instruments. *Mokuzai gakkaiishi* 31(1):93-97. (1)

41. Tonosaki, M., T. Okano and I. Asano 1983. Vibration properties of sitka spruce with longitudinal vibration and flexural vibration. *Mokuzai gakkaiishi* 29(9): 547-552.

42. Walford, G. Bryan. 2000. Effect of finger length on fingerjoint strength in *radiata pine*. world conference on timber engineering 2000.

43. Yano, H., M. Norimoto and T. Yamada 1986a. Changes in acoustical properties of sitka spruce due to acetylation. *Mokuzai gakkaiishi* 32(12): 990-995.

44. Yano, H., T. Yamada and K. Minato 1986b. Changes in acoustical properties of sitka spruce due to reaction with formaldehyde. *Mokuzai gakkaiishi* 32(12): 984-989.