

최 종
연구보고서

GOVP 12001234

국산재 이용 집성제품의 고효율 생산
기술 및 생산 공정 자동화 시스템
개발에 관한 연구

Studies on the Development of high Efficiency
Producing Technology and Process Automation
System of Gluing-up using Domestic Timbers

연구기관

전남대학교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산재 이용 집성제품의 고효율 생산 기술 및 생산공정 자동화시스템 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999 . 11 . .

주관연구기관명 : 전남대학교

총괄연구책임자 : 정 우 양

연 구 원 : 소 원 택

연 구 원 : 이 형 우

협동연구기관명 : 동남엔지니어링

협동연구책임자 : 강 선 행

요 약 문

I. 제 목

국산재 이용 집성제품의 고효율 생산기술 및 생산공정 자동화 시스템 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

국산재는 직경이 작고 형질이 열악하여 素材(solidwood)상태로 이용하기에는 그 용도에 많은 제한요소가 존재한다. 따라서 국산재를 제재하여 폭이 좁은 무결점 집성부재(laminar)로 재단, 접착을 통해 집성한다면 생산해 낼 수 있는 제품의 형태는 매우 다양하게 개발될 수 있으며, 대형의 건축용 재료부터 고급가구 및 소형 생활도구에 이르기까지 그 용도에도 제한이 없을 것이다. 따라서 본 연구개발의 궁극적인 목적은 국산재를 이용한 집성제품 관련기술을 개발하고 공정을 자동화함으로써 현재까지 제대로 취급받지 못하고 있는 국산재의 고부가가치적 활용방안을 모색하고 생산과 관련된 첨단기술을 바탕으로한 산업화를 위한 구체적 방법론을 제시함에 있다.

이에 본 연구에서는 우선 국산재를 이용한 집성제품의 고부가 가치적 제

폼디자인 및 시장조사를 통하여 제품의 생산규격을 설계, 표준화한 후 각 용도별 제품의 새로운 생산자동화시스템을 개발하였다. 또 각 공정별로 개발된 자동화시스템을 바탕으로 전체 공정을 설계하고, 컴퓨터시뮬레이션에 의해 분석한 후 실험적 공정을 실현, 시작품을 제작하고 그 품질을 평가하여 국산재의 고부가 가치적 이용의 가능성을 제시하였다.

본 연구개발을 통해 지금까지 저급재로 취급받아오던 국산재를 이용하여 부가가치가 높은 집성제품을 생산기술을 개발함으로써 국산재에 대한 상당한 수요를 창출할 수 있는 계기 및 국산재의 원활한 유통구조 구축을 가능하게 하고 이를 통해 농산촌의 새로운 소득원으로 부상할 수 있게 함으로써 산지자원화를 추구할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 집성제품의 생산에 수반되는 여러 가지 복잡한 생산기술을 개발하고 관련공정을 자동화함으로써 인건비 상승 및 자재가 仰騰등으로 어려움을 겪고있는 국내 목재가공업체들로 하여금 신제품개발에 대한 동기를 부여하고 집성제품 생산과 관련된 첨단기술력의 도입을 바탕으로 기업경쟁력 제고를 위한 새로운 활로를 모색할 수 있도록 할 수 있어 그 의의가 매우 크다고 판단된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

국산재의 고부가가치화를 위한 집성제품의 규격설계로부터 제재, 재단, 선별, 집성접착 및 포장에 이르는 각 공정에 컴퓨터시각, 화상처리 및 고주파이용 등과 같은 첨단기술을 응용한 공정자동화시스템을 설계하고, 전체 공정을 컴퓨터 모형화하여 컴퓨터 모의실험을 통해 공정분석을 함으로써 보다 완벽한 공정을 실현하고 시작품을 생산하여 국산재의 고부가 가치적 이용도를 증진하고자 하였으며 그 구체적 범위는 다음 표와 같다.

<표> 연구개발의 주요내용 및 범위

연구개발 내용	연구개발의 범위
국산재 이용 집성제품의 용도 설계 및 건조자동화시스템 개발	1. 국산재 이용 집성제품의 시장조사를 통한 제품디자인(試作品 製作) 2. 국산재의 재질 및 가공성 조사를 통한 집성제품 용도별 경제수종 결정(데이터베이스 構築) 3. 국산재의 건조효율 향상을 위한 건조자동화 시스템 개발
고효율 집성제품 생산체제 구축을 위한 재단자동화시스템 및 공정기술개발	1. 국산재 이용 집성제품 생산을 위한 최적 집성기술의 개발 2. 국산재 이용 집성제품의 고품위 표면처리 기술 개발 3. 수율 극대화를 위한 국산재 재단자동화시스템 개발
국산재 집성가공산업의 기술 향상 및 경쟁력 확보를 위한 자동화 기술개발	1. 용도별 집성제품의 총합품질관리(TQC) 시스템 구축 및 省力化 연구 2. 집성제품 量産체제 구축을 위한 고효율 집성 접착 기술개발 3. 집성·접착 공정 자동화 및 시스템 분석 (산업화를 위한 SIMULATION)

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발의 주요결과는 다음과 같이 요약, 열거할 수 있다.

- (1) 국산재의 재질, 재색 및 가공성 등에 관한 종합 데이터베이스 구축
- (2) 집성재를 활용한 제품디자인 및 용도별 유용 국산재(경제수종) 결정

- (3) 주요 국산재에 대한 고효율 건조자동화 시스템 개발
- (4) 국산재 이용 집성제품을 생산을 위한 최적 집성 기술의 개발
- (5) 주요 국산재에 대한 고품위 표면처리(표백) 기술개발
- (6) 수율 극대화를 위한 국산재 재단자동화시스템 개발
- (7) 집성제품 量産체제 구축을 위한 고효율 집성·접착 기술개발
- (8) 집성·접착 공정 자동화(산업화)를 위한 시스템 분석기법 개발

* 본 연구개발의 결과를 효과적으로 활용하기 위한 건의 및 제안

- (1) 국내 집성재 제조업체를 대상으로한 기술지도 및 교육 프로그램 개발
- (2) 국산재 사용 목재가공업체의 신제품 개발 프로젝트 공동참여
- (3) 국가연구기관과의 협의로 국산재에 대한 공식 품질인증 시스템 구축
- (4) 임산물 유통센터의 공정 개선 및 생산성 향상을 위한 기술교육 실시
- (5) 신규 임산물 유통센터 시스템설계를 위한 기술자료로서의 활용방안
- (6) 집성기술 관련 벤처창업을 위한 기술자료(internet 활용)
- (7) 집성관련 설비제조업체의 PE(product engineering)을 위한 자료로 활용
- (8) 고부가가치형 제품(예: 악기 및 공예품) 생산업체의 기술지도 및 신규 창업을 위한 기술자료로서의 활용
- (9) 산촌형 농공단지 및 목재공업단지의 신규설계 자료(입지 및 생산아이템)
- (10) 21C 국산재 고부가가치화를 위한 연구 및 기술개발을 위한 기초자료

SUMMARY

(영문요약문)

This research project has been carried out to implement the technical database of the useful Korean domestic timbers which have small diameter with inferior characteristics and to develop the technology for the manufacturing of glued-up panel and for the automatized process for the glued-up panel production industry to perform highly efficient utilization of domestic timbers and to offer the methodology for highly value-additive industrialization using those timbers.

Major accomplishments from this project are summarized as follows:

- 1) Anatomical characteristics, physical and mechanical properties as well as chemical characteristics of major Korean domestic species were investigated and analyzed to implement the technical database for the production of glued-up panel using domestic timber.
- 2) Several product items of glued-up panel were designed using the timber color data and three dimensional graphic technique and the optimum domestic timbers for specific products were matched to satisfy the specific service condition.

3) Optimal drying schedule and drying technology were prepared for some useful domestic timbers and drying characteristics of those timbers were investigated. And finally Automated highly efficient drying system was developed.

4) Standardized and optimal gluing-up technology was developed to manufacture the glue-up panel products for the panel industry using domestic timbers

5) High-dignity surface treatment technologies including especially bleaching of the domestic timber were developed to prepare the base ground for coating the glued-up panel.

6) According to the database of dimension and defects of domestic timbers, automated dimensioning(cutting to specific size) system was developed for the high-yield utilization of raw timbers.

7) Highly efficient adhesion and gluing-up technology was developed and standardized to implement the mass-production system using domestic timbers.

8) System analyzing techniques for the dimensioning and arranging of strips and gluing-up e.g. modeling and simulation were introduced and verified for the glued-up panel manufacturing industry.

As a result, the accomplishments from this projects are strongly recommended to be utilized as follows and are expected to enhance the competitiveness of glued-up panel industry eventually:

- 1) To develop the technological training program for the glued-up panel manufacturing industry.
- 2) To engage in new product development project of the wood processing industry using domestic timbers.
- 3) To implement the quality certifying system for domestic timbers with national institute.
- 4) To improve the process and productivity of the FPSC(Forest products Supply Center) in Yeosu city.
- 5) To serve as technological data for the designing of system of new FPSC project.
- 6) To use as technological information for venture industry creation based on glued-up technology(on internet).
- 7) To serve as product engineering information of the gluing-up equipment manufacturer.
- 8) To utilize as the information for the design of forest on-site plant and aggregated wood industries.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	13
Section 1.1. Background and purpose of the project	13
1. Background	13
2. Purposes of project	23
Section 1.2. Research range and subjects	30
1. Research range	30
2. Research subjects	30
Chapter 2. Product design using glued-up panel and development of automated system for drying the domestic lumber	39
Section 2.1. Market survey and design of glued-up panel products	39
1. Survey of domestic glued-up panels market	40
2. Selection of useful domestic species and optimum usage	41
3. Product design using glued-up panel of domestic lumbers	44
4. Design of panel furniture using domestic lumber database	46
Section 2.2. Fundamental properties and workability of domestic lumber	94
1. Physical, mechanical and chemical properties of domestic lumber	94
2. Workability and Processing characteristics of domestic lumber	97
3. Analysis of the economical species for each product	100
4. Test of the material properties of domestic lumber	104
Section 2.3. Automated system for drying of domestic lumbers	118
1. Improvement of existing drying schedule for domestic lumbers	120
2. New drying technology for low energy consumption	122
3. Drying schedule for lumber package of mixed species	139
4. Development of automated lumber drying system	142

Chapter 3. Development of automated strip-cutting system and related processing technologies	150
Section 3.1. Development of gluing-up technology for domestic lumbers	150
1. Technology for straight glued-up products	150
2. Technology for curved glued-up products	203
Section 3.2. Surface treatment technology for domestic lumbers	219
1. Preparation of wood as ground for surface treatment	219
2. Coating technology for glued-up panels	247
Section 3.3. Automated strip-cutting system for domestic lumbers	255
1. Defects detecting technology by computerized visual system	256
2. Automated defect detecting system by computer vision	262
3. High yield strip-cutting system with gang-rip-saw	276
Chapter 4. Process automatizing for gluing-up industry with domestic lumbers	290
Section 4.1. Implementation of TQC system in gluing-up industry	290
1. Quality characteristics for raw materials	291
2. Quality characteristics for material-in-process	293
3. Quality characteristics for panel products	295
Section 4.2. High efficiency gluing-up technology for mass production	318
1. Glues and gluing technology for panel products	318
2. Fancy veneer overlaying for glued-up panels	335
Section 4.3. Automatizing of gluing-up process and system analysis	355
1. Automatizing of strip arrangement system	355
2. System analysis with computer simulation	358
3. Process simulation	374
Appendix	387

목 차

제 1 장 서 론	13
제 1 절 연구개발의 배경 및 목적	13
1. 연구개발의 배경	13
2. 연구개발의 목적	23
제 2 절 연구개발의 범위 및 내용	30
1. 연구개발의 범위	30
2. 연구개발의 내용	30
제 2 장 국산재 이용 집성제품의 용도설계 및 건조자동화시스템 개발분야	39
제 1 절 국산재 이용 집성제품의 시장조사 및 디자인	39
1. 국내 집성제품에 대한 마케팅 연구	40
2. 유용 수종 선정 및 용도설계	41
3. 집성제품 용도별 제품디자인	44
4. 국산재 데이터베이스에 의한 집성가구 설계	46
제 2 절 국산재의 재질 및 가공성 조사를 통한 용도별 경제수종 결정	94
1. 국산재의 해부, 물리, 기계 및 화학적 기초재질 특성조사	94
2. 국산재의 절삭, 건조, 접착 및 기타 물리화학적 가공특성 조사	97
3. 집성제품 용도별 경제수종 분석	100
4. 공시수종의 재질 특성 시험	104
제 3 절 국산재의 건조효율 향상을 위한 건조자동화 시스템 개발	118
1. 기존 국산재 건조스케줄의 데이터베이스화와 개량	120
2. 에너지절약형 건조기술개발	122
3. 혼합 수종용 건조스케줄의 개발	139
4. 건조자동화시스템의 개발	142

제 3 장	재단자동화시스템 및 공정기술 개발분야	150
제 1 절	국산재 이용 집성제품 생산을 위한 최적 집성기술 개발	150
1.	통직형 집성재 제조기술 개발	150
2.	만곡형 집성재 제조기술 개발	203
제 2 절	국산재 이용 집성제품의 고품위 표면처리기술 개발	219
1.	素地 調整기술 개발	219
2.	집성제품용 도장기술 개발	247
제 3 절	수율 극대화를 위한 국산재 재단자동화시스템 개발	255
1.	컴퓨터시각에 의한 목재 표면결함 자동검출시스템 개발	256
2.	컴퓨터 시각에 의한 목재 표면 결함 자동검출시스템 개발	262
3.	고효율 다중중절(gang-rip-sawing) 재단 자동화시스템 개발	276
제 4 장	국산재 집성가공산업의 생산공정 자동화 기술 개발분야	290
제 1 절	집성제품의 총합품질관리 시스템구축 및 省力化 연구	290
1.	원자재에 대한 품질특성 선정	291
2.	在工品에 대한 품질특성 선정	293
3.	완제품에 대한 품질특성 선정	295
제 2 절	집성제품 量産체제 구축을 위한 고효율 집성·접착 기술개발	318
1.	집성제품 접착기술 개발	318
2.	표면화장판 접착기술 개발	335
제 3 절	집성·접착 공정 자동화 및 시스템 분석(Simulation)	355
1.	집성부재 배치자동화시스템 개발	355
2.	컴퓨터시뮬레이션을 통한 시스템 분석	358
3.	공정 모의 실험	374
부 록		387

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 배경 및 목적

1. 연구개발의 배경

우리 나라 통계상 총立木地는 648만 ha에 달하고 있으나 '90년 현재 전체 산림중 65%가 수령 20년이하인 정도로 유령림이 차지하는 비율이 매우 크기 때문에 간벌재를 포함한 연간 소경제 생산량은 약 46만 m³에 달하고 있으며 수종별 생산량은 아래 표 1과 같다.

표 1. 국산 중소경제의 수종별 생산량 비율

수종	비율(%)	수종	비율(%)
침엽수	83	활엽수	17
소나무	72	참나무	13
낙엽송	6	이태리포플러	2
리기다소나무	3	오리나무	1
잣나무	1	오동나무	<1
해송	1	아까시나무	<1
편백	<1	기타	1
삼나무	<1		
기타	17		

(자료: 산림청<1986>)

그러나 목재생산 대상임지가 대부분 급한 경사지에 소규모로 분산되어 있어 국산재 생산에 많은 비용이 소요되고 국산재 시장마저 빈약한 실정이

다. 또한, 국산재의 열악한 원목형질로 인하여 가공과 비용에 많은 어려움이 따르고 용도가 극히 제한되어 경제적 가치가 낮으므로 국산재의 적극적인 활용이 이루어지지 못하고 있다. 게다가 전체 임야면적중 소유규모가 영세한 사유림이 70%이상을 점하고 있어 국산재의 효율적 이용을 통한 합리적 산림경영은 농산촌 소득원 개발 및 소득증대를 위해 필수적이라 할 수 있을 것이다.

국산재의 활용 촉진을 위해서는 우선 국산재를 고부가가치의 제품으로 이용할 수 있는 용도개발이 무엇보다 시급하다. 그러나 국산재는 직경이 작고 형질이 열악하여 素材(solid wood)상태로 이용하기에는 그 용도에 많은 제한요소가 존재한다는 것이 사실이다. 그러나 국산재를 제재하여 폭이 좁은 무결점 집성부재(laminar)로 재단, 접착을 통해 집성한다면 생산해낼 수 있는 제품의 형태는 매우 다양하게 개발될 수 있으며, 건축용재로부터 고급가구에 이르기까지 그 용도에도 제한이 없을 것이다. 따라서 국산재를 이용하여 부가가치가 높은 집성제품을 생산할 수 있다면 국산재에 대한 상당한 수요를 창출, 국산재의 원활한 유통이 가능하게 되므로써 농산촌의 새로운 소득원으로 부상할 수 있음은 물론 산지자원화에도 커다란 도움이 될 것이다.

국산재를 이용한 집성제품의 생산에는 여러 가지 복잡한 공정이 수반된다. 그러나 국산재의 형질이 매우 열악하므로 기존의 공정을 그대로 적용할 경우에는 그 공정효율이 매우 낮을 것은 자명한 일이다. 그러므로 기존의 공정을 개선하거나 새로운 공정의 개발이 요구된다. 특히, 국산재의 형질이 불규칙하고 중소경재인 까닭에 공정에 투입될 개체의 수가 증가하게 되고, 따라서 생산될 집성부재의 수도 기하급수적으로 늘어나 전체 공정 상에서 취급해야할 개체의 수가 상당히 많으므로 생산공정의 자동화가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 우선 국산재를 이용한 집성제품의 고부가 가치적 제품디자인 및 시장조사를 통하여 제품의 생산규격을 설계, 표준화한 후 각 용도별 제품의 새로운 생산자동화시스템을 개발하고자 하였다. 한편, 각 공정별로 개발된 자동화시스템을 바탕으로 전체 공정을 설계하고, 컴퓨터시뮬레이션에 의해 분석한 후 실험적 공정을 실현, 시작품을 제작하고 그 품질을 평가하여 국산재의 고부가 가치적 이용의 가능성을 구명하고자 하였다.

가. 國産材 활용분야

우리 나라 국산재 이용에 관한 관심은 1980년대 중반 이후 산림정책기조가 산지자원화정책(1988-1997)을 기점으로 녹화정책으로부터 자원화정책으로 전환하면서 집중되었으며, 이후 이와 같은 정책의 방향전환에 힘입어 산림청 산하 임업연구원을 중심으로 국산 유용활엽수재의 재질시험(1983-1988)을 통하여 국산재 이용을 위한 기초연구를 수행한 바 있다. 이후 임업연구원에서는 1990년도부터 간벌소경재의 이용도증진을 위한 연구를 본격적으로 수행해왔다.

우선 간벌재 수확작업의 효율을 위한 벌채, 집재 및 운재시스템의 기계화가 추진되었고, 간벌소경재를 건축용재로 활용하기 위한 다양한 연구도 진행되었다.(임업연구원(1990)) 특히, 전량 해외로부터 수입되고 있는 목조 건축용 자재의 대체를 위한 역학적 설계가 이루어졌다. 간벌소경 통나무에 대한 건조특성의 구명에도 약간의 연구가 진행되어 진공건조의 가능성을 제시하기도 하였으며(임업연구원(1992)), 최근에는 간벌소경재만을 이용한 조립식 통나무주택을 개발하기에 이르렀다.(임업연구원(1993)) 그러나 대부분의 연구가 간벌소경재를 건축용재로 이용하기 위한 방법에 집중되어 부가가치가 높은 제품으로 활용할 수 있는 용도개발에 대한 연구는 매우 미흡한

실정이며, 특히 국산재의 가공상 요구되는 공정의 자동화에 대한 연구는 전무한 상황이다.

1970년대부터 이미 소경재의 이용에 대해 많은 관심을 기울여 왔던 일본에서는 특히, 간벌소경재의 이용방법과 용도의 개발에 주력하여 통나무로부터 제재목, 집성재 및 톱밥이나 수피의 이용에 이르기까지 다양한 용도를 개발하고자 하였다. 한편, 소경재를 원재료로 한 집성재를 가구용 부재 및 지붕널, 마루판 등 고부가 가치적 용도에 사용할 수 있는 가능성을 제시한 바 있다. 그러나 소경재를 대상으로 한 제품생산의 공정자동화에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

한편, 저급 소경 활엽수 재의 활용에 고심하고 있던 미국의 경우에는 1970년대 중반부터 직경 18cm - 30cm 범위의 저질 활엽수원목의 고부가가치화를 위하여 많은 연구를 거듭한 결과, 1980년대 초반 'System 6'라 명명한 새로운 개념의 공정을 개발하기에 이르렀다.(Araman등(1982)). 본 공정은 소경 활엽수원목을 이용, 제재, 건조 및 집성접착공정등을 통해 가구용재로 사용할 수 있는 집성판상제품(blank)을 생산해내기 위한 것으로 원목가 대비 200%이상의 부가가치 향상효과가 예측된 바 있다(Gatchell등(1986)). 이처럼 공정의 경제성 분석에 따른 타당성이 입증되자 실제 공정실현에 필요한 제품규격표준화 및 생산규격 설계 등에 대한 연구가 진행되어 개인용 컴퓨터를 이용한 자재수급 및 생산계획과 관련한 software들을 개발하기 시작하였다(Reynolds등(1986)).

또한, 제조공정중 발생하는 가공폐재들을 칩(chip)화하여 수익을 높일 수 있는 가능성도 타진되기도 하였으나(Reynolds(1985)) 본 연구에서도 각 제조공정의 자동화시스템 개발은 시도되지 않았다. 따라서 그들이 활용한 미국산 소경재보다 형질 면에서 열악한 국산재를 대상으로 하는 한편, 고임금에 부심하고 있는 우리의 현 상황에 비추어 볼 때 가공수율의 혁신적 향

상과 동시에 노동력의 절감을 보장할 수 있는 공정자동화시스템은 우리나라 목재산업의 경쟁력 제고에 필수적인 것이다.

나. 목재가공 공정 자동화시스템 개발 및 컴퓨터시뮬레이션 분야

급변하는 세계 산업환경에서 생존하기 위해서는 생산성 향상 등 효율의 극대화를 위한 끝없는 노력이 요구되며, 그에 따라 기존 공정의 개선이나 새로운 자동화 공정의 설계 및 투입은 항상 필요하게 되었다. 그러나 공정의 개선이나 신 공정의 투입에 의한 효과를 예측할 수 없다면, 의사결정시 상당한 위험부담을 감수해야하므로 산업 각분야에서는 실제 상황을 모델링(modeling)하여 모의실험함으로써 불확실한 미래에 대한 위험을 해소하려 노력하고 있다.

모델링과 모의실험이란 실제 시스템(real system)에 관한 모델을 구성하고, 이것들을 컴퓨터 상에서 실험하기 위한 제반 행위를 의미하며, 이 정의에 따르면 모델링과 모의실험은 세 가지 주요 요소, 즉 실제시스템과 모델 및 컴퓨터와 관련된다. 그리고 보다 정확한 미래의 예측을 위해서는 본 모의실험에 공급되는 실제 시스템을 가능한 구체적으로 설명할 수 있는 정보들을 모의실험체계에 적합하도록 체계적으로 정리한 database가 요구된다.

임산공업 분야에서도 미국을 중심으로 수많은 모의실험용 software들이 개발되어왔으며, 특히 목재 제단공정(lumber cutting process)에서 원재료 이용효율 향상을 위한 모의실험 연구는 상당한 수준에 이르고 있다. 60년대 말 McAdoo (1969)와 Tsolakides(1969)가 소경재의 가공공정에 대한 컴퓨터 모형과 모의실험에 의한 원목 제재수를 예측방법을 제시한 이후 많은 관심이 고수율 제재공정의 모형화(Hallock(1976))에 집중되었다.

그러나 80년대 들어 목재의 이용효율을 극대화하기 위해서는 제재공정에 이은 판재의 재단공정의 수율 향상이 보다 큰 효과를 줄 것으로 기대됨에 따라 재단공정에 대한 모형화에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. Giese등(1982, 1983)이 종절우선 공정(rip-first process)의 모형화 프로그램인 OPTYLD를 발표한 것을 시작으로 1년후에는 횡절우선 공정(crosscut-first process)을 모형화한 CROMAX라는 프로그램을 제시하므로써 이 분야의 연구가 활기를 띠기 시작하였다.

90년대 들어 Hoff등(1991)이 개발한 GR-1st라는 모형은 기존의 공정을 모형화하던 수준에서 한 차원 높여 보다 고효율의 새로운 공정을 가상, 설계하여 그 효과를 예측해내는 것으로 이후 Thomas등(1994, 1995)에 의해 계속 새로운 version(AGRARIS)으로 향상되었으며, 최근 전자동 종절가공시스템을 모델로 한 ROMI-RIP이라는 최신 version이 발표되기에 이르렀다. 본 프로그램은 새로운 종절시스템을 제시하고 있으며, 기존의 공정에 비해 약 10-20% 정도 수율을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이상과 같은 유용한 모형화 프로그램들도 모의실험의 재료라 할 수 있는 목재에 관련된 정보가 없다면 무용지물이라 할 수 있다. 목재 관련 정보로는 목재의 전체적 규격과 함께 목재표면상에 나타나 있는 용이나 부후된 부분 등 결점들의 위치와 크기가 주를 이루며, 전술한 각 모형들을 설계한 연구자들은 각자 자신의 모형에 적합한 형태의 목재 database를 작성하여 그 모델에 투입하고 있다.

한편, 이와 같은 목재database의 제작을 위한 새로운 기술로 Anderson 등(1992)이 컴퓨터와 digitizer등을 이용한 방법을 제시한 바 있으나 본 작업에는 많은 인력과 시간이 소요되므로 이 분야의 연구가 가장 활발한 미국에서도 yellow poplar database(Osborn등(1992)) 및 red oak(Gatchell등(1992)) 등 몇몇 수종의 database만이 존재하고 있다. 본 연구에서는 digitizer를 이

용, 국산 제재목의 database를 구축하여 전술한 최신 자동화 공정 모형에 투입하므로써 그 효과의 분석을 통해 새로운 형태의 자동화시스템을 설계, 실현하고자 한다.

다. 재단 자동화시스템 개발 분야

목재의 효율적인 이용은 제재, 裁斷, 건조 등 목재가공 일련의 공정에서 항상 고려되어야 하며 특히, 제재나 재단에서의 효율향상은 그 효과가 매우 크다고 하겠다. 일 예로 직경이 작고 樹幹이 통직하지 못한 저질 소경 원목을 가공할 때 기존의 대경목 제재기술을 적용한다면 제재수율의 하락은 당연한 결과일 것이다. 또한 옹이나 썩은 부위 등의 결함이 포함되어서는 안되는 가구부재나 집성재 라미나를 생산할 경우 재단의 잘못으로 판재에 있던 옹이를 이분(또는 그 이상의 분할도 가능)하여 각 부재에 옹이가 포함된다면 두 부재는 모두 이용할 수가 없게 될 것이다. 따라서 제재 및 재단공정의 효율향상을 위하여는 우선 대상 원목, 제재목 또는 판재의 형태, 치수 및 목재 내외부 결함 등을 정확하게 파악하는 것이 필수적이다. 지금까지 檢尺방법으로는 육안에 의한 목측법과 중량법, 또는 측정자나 캘리퍼 등을 이용한 접촉식 검척방법이 사용되어왔다. 그러나 접촉식으로는 공정 상에 흐르고 있는 가공물의 검색을 실시간(real time)에 행할 수 없으므로 최근 빛, 畫像 또는 목재의 전기적 성질 등을 이용한 비파괴 비접촉식 검색장치가 개발되고 있다. 개발된 비파괴 비접촉식 검색장치는 제조공정의 생산성향상을 위하여 작업자가 수행하기 힘들거나 위험한 작업 및 싫어하는 작업들의 자동화에 적용되고 있다. 특히, 청각이나 촉각에 비하여 매초 100배 정도의 정보를 얻을 수 있기 때문에 인간의 5감중 가장 중요한 감각기라 할 수 있는 인간의 시각기능을 대체하는 산업용 시각장치는 작업

자가 주어진 작업을 수동으로 수행하는 경우 그의 심리상태나 피로도 등에 따라 작업속도 및 작업일관성이 변화되는 단점을 극복하므로써 궁극적으로 제품의 질을 향상시키고 고른 작업성취도를 확보할 수 있으므로 시각장치의 도입에 대한 관심이 높아지고 있다.

컴퓨터시각장치의 산업적 용도로는 위치결정, 외관검사, 문자검사와 인식, 치수검사 및 조립검사등을 들 수 있으며, 특히 외관검사는 시각장치의 도입이 가장 활발히 추진되고 있는 영역이다. 미국이나 일본 등에서는 이미 자동조립, 자동검사 및 분류공정에 로봇과 시각장치를 동시에 적용하고 있으며, 노동집약적 산업에서 탈피하고자 자동화를 서두르고 있는 임산공업분야에서도 표1과 같은 목적에 시각장치를 이용하고자 많은 노력을 기울이고 있다. Szymani(1979)가 목재 표면의 특성을 결정함에 있어 가시광선 시스템이 초음파나 X선 또는 적외선을 이용한 방법보다 높은 신뢰성을 갖추고 있다는 주장을 편 이 후 McMillin(1982)은 화상처리기술을 목재의 물리, 조직적 특성 연구에 적용하여 목재내 각 조직의 비율과 생장률, 섬유장, 공극률 및 세포내강의 면적과 직경, 합판의 진단목파울등을 계측한 바 있다.

그러나 목재공업에서 화상처리의 적용효과가 가장 클 것으로 기대되는 분야는 목제품의 품질관리로 McMillin등(1984)은 목재가공 자동화시스템(ALPS: Automated Lumber Processing System)을 개발하는 과정에서 공간적 계조수준차(spatial gray level difference)를 이용한 화상조직분석(texture analysis)에 기초한 계조화상 기계시각(gray scale machine vision) 시스템의 정확도가 57.35% - 88%에 이르는 것을 확인한 바 있다. 특히, 화상조직의 특성을 이용, 각 화소의 계조수준차를 비교하는 2단계 분석을 실시한 결과 88.33%의 정확도를 얻어냈으며, 위치 판별을 고려하지 않는 경우 무결점제면의 판정 정확도는 91.67%에 이를 수 있음을 확인하였다.

또한 제조화상처리시스템에 RGB 필터를 결합시키면 그 정확도는 실제 작업자의 정확도 수준에 접근할 수 있다는 가능성을 제시하기도 하였다. 따라서 화상처리는 목제품의 품질관리에 이용될 가능성이 매우 큰 기법으로 Mehlhorn등(1985)이 목재 소재 재단공정의 품질관리에 제조화상처리시스템의 적용 가능성을 제시하였으며, 최근 Wada(1991)는 집성재용 미송 라미나의 용이검색에 일차원 CCD 카메라를 이용한 바 있다.

진술한 많은 연구들을 통하여 시각장치 및 화상처리에 의한 목재의 결합검색은 이미 그 가능성을 인정받고 있으므로 시각장치의 도입에 대한 긍정적인 시각이 부족한 국내 목재산업계에서도 인간이 수행하기 위험한 작업이나 생산성 향상이 요구되는 공정 등에서 인간의 시각기능을 대신할 수 있는 시각장치를 도입하기 위한 인식의 전환과 함께 보다 안정되고 우수한 성능을 지닌 시각장치의 개발을 위한 기술적인 노력이 동반되어야 할 것으로 사료된다.

라. 기타 기술 분야

국산재는 직경이 작고 형질이 열악함에도 불구하고 기존의 중대경급 원목의 제재에 적합한 제재기술 및 제재설비를 적용하고 있으므로 제재수율이 매우 낮을 수밖에 없다. 제재목의 종절과 횡절 등 재단공정에 사용되고 있는 설비 및 기술 역시 중대경급 원목을 대상으로 한 것이므로 간벌소경재의 재단수율 또한 매우 바람직하지 못한 것이 현실이다. 실제로 이와 같은 낮은 가공수율로 인해 현재까지 간벌소경재의 이용이 기피되어 왔던 것이 사실이다. 간벌소경재의 제재 및 재단 수율을 높이기 위해서는 우선 가공대상물(원목, 제재목, strip)의 형상 및 결합함유상태등 특성을 정확히 검색

해야 하나 육안검사에 의존하고 있어 검색정확도나 가공속도가 상당히 불량한 실정이므로 검색과 선별의 공정자동화가 절실히 요구되며, 동시에 제재 및 재단 시 최고수율을 보장할 수 있는 재단 최적화(optimization)기술의 개발도 필요하다.

국산재의 열악한 형질은 건조공정과 집성접착등 나머지 공정에서도 많은 문제점을 야기한다. 근래에 국산재의 이용도 증진을 위한 연구를 통해 건조특성의 일부분이 밝혀지기는 하였으나 실제 공정실현을 위해서는 미흡한 수준으로 제재목, strip, 또는 laminar상태의 건조특성에 관한 연구가 요구되며, 특히 에너지절약과 건조속도 촉진의 효과를 동시에 얻을 수 있는 건조자동화기술의 개발이 필요하다. 한편, 일반 목재의 집성접착과 관련하여 국내에서도 많은 연구가 수행되기는 하였으나 국산재를 대상으로 한 집성접착기술은 거의 개발되어 있지 않은 실정이며, 초단파나 고주파를 이용한 접착과 같은 신 기술의 응용이 요구되고 있다.

마지막으로 목재가공공정의 모형화 및 컴퓨터시뮬레이션을 이용한 공정 분석에 관한 연구는 새로운 공정의 설계나 도입, 또는 기존공정의 개선 등에 필수 불가결한 기술임에도 불구하고 전술한 몇 가지 연구분야에 비해서도 가장 취약한 부분이다.

본 연구과제를 통하여 목재산업을 위한 공정모형화 및 컴퓨터 모의실험 기술을 확립하고자 하였다.

마. 본 기술분야의 향후 전망

전국의 건축허가면적이 1972년부터 1989년까지 18년간 연평균 59.9%씩 매우 빠르게 증가하는 추세이고 국민소득증대 및 생활수준향상에 따라

도심을 벗어나 전원주택에서 생활하고자 하는 욕구가 커지고 있어 건축용 목재의 수요량은 급격히 늘어날 것으로 기대되고 있으며, 목재가구시장도 꾸준히 성장하고 있어 가구용재로의 목재수요량도 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있다. 그러나 주요 원목수출국들의 수출규제가 심해지고 해외 산림개발사업도 한계에 이르고 있다. 따라서 국내 목재산업은 가까운 장래에 원활치 못한 목재수급으로 인한 커다란 타격을 받을 것으로 예상되므로 국산재 이용률을 높이지 않을 수 없는 실정이다.

다행히 정부에서 산지자원화정책을 강력히 추진하고 있으나 2000년어가서야 목재자급률 50%수준에 도달할 것으로 전망되고 있어 국산재의 이용은 피할 수 없는 일이라 하겠다. 그러므로 정부가 산지자원화정책의 일환으로 국산재 이용도 증진사업을 강력한 의지로 추진하는 한편, 국산재의 고부가가치화 기술이 개발된다면 국산재시장은 앞으로 충분히 활성화될 것으로 기대된다.

바. 해외기술도입의 타당성

본 연구에서 응용할 예정인 컴퓨터시각 화상처리기술이나 다중중절 및 횡절 재단자동화기술과 최적화(optimization)기술 등은 최근 미국 등 목재공업 선진국에서 개발된 바 있으나 상기 첨단기술들의 핵심이라할 수 있는 software부분은 투입되는 가공대상물의 특성에 따라 변화되어야 할 것이다. 본 연구과제는 국산재를 대상으로 한 시스템이므로 외국으로부터의 기술도입에 따른 효과가 바람직하지 못할 것으로 판단되었다.

2. 연구개발의 목적

가. 기술적 측면

국산 소경제의 용도별 이용비율은 건축 및 산업용 63%, 농림수산용 21%, 레크리에이션용 1% 및 기타 15%로 구성되어있다.(표2) 각 용도별 주요 내용을 살펴보면 건축 및 산업용으로 건축가설재, 건축내장재, 갱목, 가구, 펄프, 제탄등에 쓰여졌고, 농림수산용으로는 해태목, 청과물상자, 인삼지주목, 축사, 도구자루, 화목용 등으로, 레크리에이션용으로는 공원놀이시설, 야외용 의자 등에 주로 사용되었다.

그러나 1984년도 국산 간벌재 유통비용조사에 의하면 가장 높은 가격으로 이용된 것이 비계목이었으며, 이후 수요량마저 감퇴하고 있어 농산촌의 소득원으로서 인정받지 못하고 있다. 또한, 펄프 칩으로 국산재를 공급할 경우 기계펄프용으로는 소나무만이 적절한 것으로 판정되고 있으며, 리기다 소나무는 극히 일부 혼용되고 있고, 화학펄프용으로는 낙엽송마저 제외되고 있어 수종에 따른 제한이 크다. 그러므로 형질이 열악하고 수종이 다양한 국산재를 고부가가치의 집성제품으로 생산하려면 우선 정밀한 시장조사를 통하여 최적의 용도를 설계하여야 할 것이다. 또한, 국산재의 재질 및 가공성 등을 면밀히 조사하여 집성제품의 용도별로 최적의 경제수종을 결정하여야 한다.

표2. 소경제 이용실태(자료: 산림조합중앙회) (단위: %)

건축 및 산업용	농림수산용	레크리에이션용	기 타
63	21	1	15

용도와 수종이 결정되면 새로운 기술을 개발하여 가공수율 및 생산성을

획기적으로 향상시키는 작업이 필연적으로 선행되어야 한다. 열악하면서도 다양한 형질의 국산재를 용도별로 선별하여 가공해야만 그 효율을 향상시킬 수 있을 것이다. 그러나 육안에 의한 형질의 파악은 측정의 정확성 및 균일성을 유지할 수 없을 뿐만 아니라 시간의 지체로 인한 생산성 감소를 감수해야만 한다. 따라서 광센서나 컴퓨터시각을 이용한 형질측정 및 용도별 선별의 자동화가 요구된다. 선별된 원목은 용도별로 제재공정에 투입되게 되는데 이때 기존의 제재기술을 적용한다면 투입 원재료가 소경제임을 고려할 때 그 제재수율은 매우 낮을 것임은 자명한 사실이다. 그러므로 소경원목의 제재시 최고의 수율을 보장할 수 있는 새로운 제재기술이 필요하다. 한편, 공정중 가장 많은 시간을 소요하게 되는 건조공정에서도 국산재의 열악한 형질은 많은 문제점을 야기시킨다. 따라서 건조초기 건조속도를 억제하므로써 건조결함 발생을 예방한 후 비교적 높은 온도에서 원하는 함수율까지 신속히 열기건조하는 송풍 전건조(predrying)방법을 적용하면 에너지의 절약과 건조속도 촉진 등의 효과를 얻을 수 있을 것이다. 또한, 국산재는 수종이 매우 다양한 반면, 각 수종별 공급량이 한정되어 있으므로 여러 수종을 혼합하여 함께 건조할 수 있는 건조스케줄을 개발한다면 규모의 경제(economy of scale)의 효과를 기대할 수 있다.

건조 제재목을 이용하여 집성제품을 생산하려면 건조후 재단 공정이 요구된다. 제재목으로부터 strip의 재단 및 strip으로부터 무결점 laminar의 생산공정에서도 제재목 및 strip표면의 결함을 컴퓨터시각에 의해 정확히 인식하여 각 결함의 위치와 크기에 대한 정보를 바탕으로 최고의 재단수율을 보장할 수 있는 재단자동화시스템이 필요하다. 물론, 용도별 laminar베치 및 집성접착등 많은 인력과 시간이 요구되는 동시에 작업의 특성상 노동환경이 열악한 공정에 대한 자동화도 추진되어야 한다. 한편, 집성접착공정과 도장공정 역시 노동집약적임에도 불구하고 매우 열악한 노동환경과 과도한

공정시간으로 자동화가 절실한 분야라고 하겠다.

따라서 국산재의 고부가가치화를 위해서는 상기한 각 공정들의 자동화 기술 개발이 필수적이며, 본 공정의 실현을 위해서는 전체공정의 설계와 함께 공정분석 등이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 각 공정들의 자동화 기술 개발 및 시스템 설계는 물론, 국산재에 관한 목재database를 구축하여 공정모형에 투입, 컴퓨터시뮬레이션을 통해 공정상 문제점이나 애로공정을 도출하고 개선책을 수립하므로써 보다 완벽한 공정을 실현하여 시작품을 제작, 국산재의 고부가 가치적 이용도를 높이고자 한다.

나. 경제, 산업적 측면

빈약한 임상을 개선하고 산림축적을 증대하기 위해 수립된 산지자원 화계획에서는 현재 목재의 안정적 수급과 임산물의 교역확대 및 농산촌 소득원 개발과 유통구조 개선 등을 주요 임업정책의 일환으로 추진하고 있다. 그러나 산림벌채에 대한 정책적 근간이 자원의 증축, 무육간벌위주, 대면적 皆伐지양, 갭목 및 펄프용재 우선공급등으로 명시되어 있어 향후 생산될 국산재는 저급재가 대부분을 차지할 수밖에 없을 것으로 보인다. 표3의 국내 생산원목 경급별(말구직경) 비율을 보면 제재용재로서의 품등과 경제성을 갖는 30cm이상 중대경재는 침엽수가 3.9%(소나무 4.6%, 낙엽송 1.3%) 및 활엽수가 1.5%(참나무 0.9%)에 불과하다. 이러한 경급별 생산원목 추세는 앞서 언급한 벌채정책이 계속될 것으로 보여 제재용재는 상당기간 거의 전량 수입재 의존이 불가피할 것으로 보인다. 우리나라의 용도별 목재수요비율을 보더라도 '90년 현재 제재등 일반재 사용이 66%, 합판이 19%이고 나머지가 갭목 및 펄프 등으로 사용되고 있으나 국산재는 대부분 갭목(52%)과 펄프용재(39%)로 사용되고 일반용재로 사용되는 비율은 9%에 불과하다.

그러므로 국산재를 건축용재나 가구용재 등 고부가가치 제품으로 활용하지 못하면 우리 나라의 임업은 활성화될 가능성이 없으며, 따라서 산지자원화 계획에도 막대한 차질이 빚어질 것은 자명한 일이다. 또한, 임업의 침체에 따라 농산촌의 소득원개발 및 소득향상은 기대하기 어렵게 될 것이다. 한편, 우리 나라의 목재수요는 70년 이후 90년(9,685,000m³)까지 연평균 7.1%의 지속적인 증가율을 기록하고 있다. '90년 현재 우리 나라 용도별 목재수요중 가장 큰 비율을 차지하고 있는 제재 등 일반재사용 현황을 보면 약 77%정도가 건축용재로 사용되었으며 목상자와 포장용재로 7.5%, 그리고 가구용재로 7.4%가 사용된 것을 알 수 있다.(표3) 이처럼 건축용재 사용비율이 높은 것은 전국의 건축허가면적이 1972년부터 1989년까지 18년간 연평균 59.9% 씩 꾸준히 증가하는 추세에 힘입은 것으로 국민소득증대 및 생활수준향상에 따라 도심을 벗어나 전원주택에서 생활하고자 하는 욕구가 커지고 있어 건축용 목재의 수요량은 급격히 늘어날 것으로 기대된다. 또한, 1990년도 수출총액 1억4천9백만 달러를 기록하고 있는 목재가구산업도 타 목재공업에 비해 기술 집약적이고 부가가치가 크므로 합판공업을 대신하여 국제경쟁력을 갖출 수 있는 유망한 업종으로 부상하고 있다.

표3. 국내 생산원목 등급별 비율(자료: 임업연구원<1990>) (단위:%)

말구직경	15cm이하	15-20cm	21-30cm	30cm이상	계
침엽수	46.5	32.1	17.5	3.9	100
활엽수	63.0	26.8	8.7	1.5	100
계	48.3	31.5	16.5	3.7	100

그러나 목재 자급율에 있어서 국산재 공급비율이 70년에 21%를 기록한 이래 지난 20년간 15%내외에 불과한 실정이며, 급후 이러한 추세는 산림자원의 증축, 간벌 및 장벌기 정책 등으로 인해 금세기 말까지 계속되어 2000년에 가서야 자급률 50%에 접근할 것으로 전망되고 있다. 따라서 목재 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리의 실정으로는 수입목재의 가격상승에 대한 별다른 대책을 마련할 수 없는 실정이며, 전세계적으로 환경보호에 대한 인식이 높아지고 주요 목재수출국들의 산림자원보호정책이 강화되고 있어 목재가격의 급격한 상승은 충분히 예견되고 있다. 그러므로 수입 목재 가격의 앙등에 대비한 목재 원재료의 새로운 공급원 개발여부는 국내 목재산업계의 사활을 좌우한다고 해도 과언이 아닐 것이다. 특히, 고부가가치 산업이라 할 수 있는 국내 목재가구산업의 경우 생산비의 40%이상을 목재 재료비가 점유하고 있어 목재 원재료의 저렴하고도 안정적 공급이 매우 중요하다. 본 연구에서는 국산재를 고부가가치의 집성제품으로 생산할 수 있는 고효율 생산기술과 생산공정 자동화시스템을 개발하므로써 국산재의 용도별 활용가능성과 함께 생산공정의 기술적 및 경제적 타당성을 밝히는 동시에 국내 주요 목재산업계에 새로운 원재료 공급원을 제공하고자 한다.

표4. 國內제재 및 일반용 목재의 용도별 사용비율(자료:임업연구원(1991))

용 도	건축 내장재	건축 가설재	목상자 및 포장재	가구용재	목재 팔렛	선박 및 차량재	기타
비율(%)	29.1	48.2	7.5	7.4	2.1	0.4	5.3

다. 사회, 문화적 측면

우리 나라 산림은 해방후 林政의 공동화로 도벌과 남벌 등에 의해 파괴되었고 6.25 동란에 의해 황폐화하였다. 한국전쟁후 전쟁의 후유증을 극복하면서 사방사업(1953, 1957), 민유림조립사업(1956, 1969), 연료림조성사업(1959, 1965), 특용수증식사업(1968)등 단위사업별 계획을 추진하면서 우리의 산림도 점차 회복되었고, 이후 제1, 2차 치산녹화계획(1973-1987)등을 통해 산림녹화가 강력히 추진되어 지금의 녹화완성기에 이르게 되었다. 이후 산지의 자원화를 위한 계획이 추진되고 있으나 전체 산림중 유령림이 차지하는 비중이 높아 생산되는 목재의 용도에 제한이 크며, 전체 임야면적중 사유림이 70%이상을 차지하고 있어 효율적인 산림경영이 어려운 실정이다. '90년도의 임업총생산액을 보면 7,410억원으로 GNP에서 차지하는 비중이 '81년 1.1%에서 매년 감소하여 '90년에는 0.3%를 점하는데 그치고 있다.

그러므로 일반 국민들은 우리 산림의 가치를 단지 공익적 차원에서만 이해하고 있으며, 산지의 자원화에 관한 인식의 정도는 매우 낮은 실정이다. 이러한 국민정서는 앞으로도 계속 추진되어야 할 산지자원화정책에 커다란 걸림돌이 될 것이다. 또한, 지난 수십 년간 외국산 목재만을 수입하여 이용해 온 결과 한국 수종의 수많은 장점들을 외면한 채 오히려 외국산 저질 수입목재들을 선호하는 경향마저 보이고 있다. 그러나 음식에도 그 나라의 특성이 살아 있듯이 우리의 국토에서 자란 나무이기에 한국 수종들은 우리의 생활에 요구되는 가장 적합한 재료임에 틀림없을 것이다. 본 연구를 통하여 국민들에게 국산재의 고부가 가치적 활용이 가능함을 알릴 수 있다면 향후 산지자원화에 커다란 보탬이 될 것이다.

제2절 연구개발의 범위 및 내용

1. 연구개발의 범위

본 연구에서 개발하고자 하는 국산재를 이용한 집성제품의 고효율 생산 공정 및 자동화시스템 기술개발의 연구범위를 추진단계별로 요약하면 아래 그림 1과 같다.

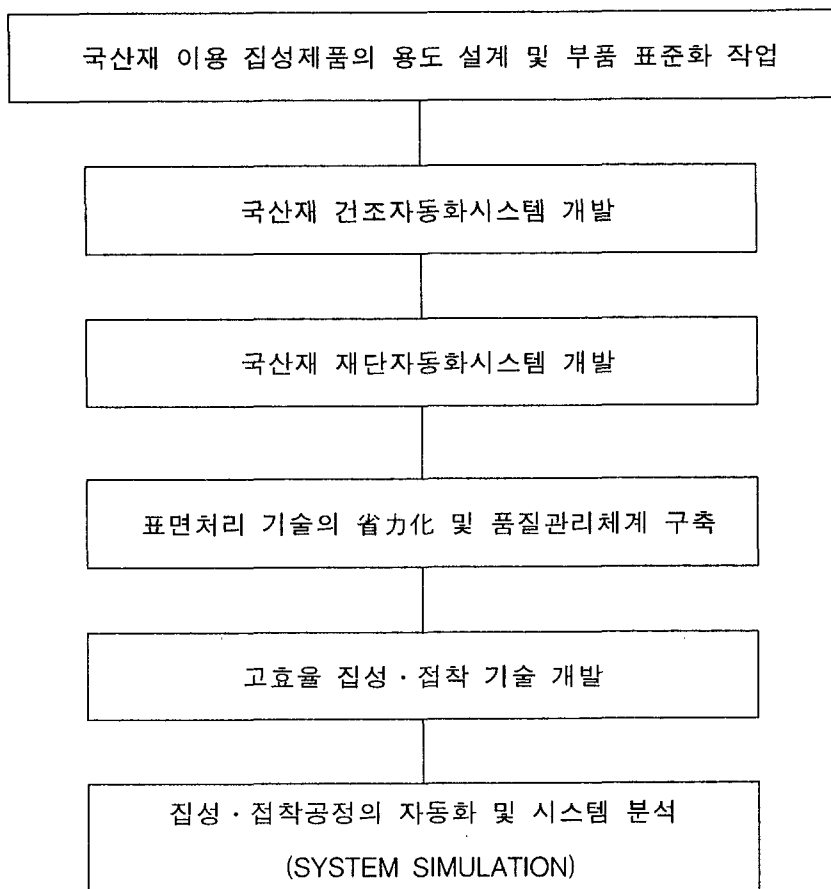


그림 1. 연구 추진체계

위의 연구개발 추진순서에 따라 1차년도에는 우선 국산 수종의 재질 및 가공성 조사를 수행한 후, 自國 산림의 90 % 이상을 차지하는 라디에타 파인(침엽수)에 대한 다양한 용도개발 및 가공기술에 대한 활발한 연구를 진행함으로써 자원의 고부가가치적 활용을 선도하고 있는 뉴질랜드 로투루아 소재 國立林産物 연구소를 방문하여 그 기술습득을 통해 국산재를 이용한 집성제품의 구체적 용도설계 및 그 생산기술을 정립하는 한편, 건조자동화 시스템을 개발하였고, 2차년도에는 국산재의 재단 및 선별과정에서 수율을 극대화할 수 있는 재단자동화시스템을 개발하였다. 동시에 국산재 이용 집성제품의 생산을 위한 집성 및 표면처리기술을 확보하였다. 3차년도에는 확보된 집성기술과 함께 접착기술을 개발하여 집성접착자동화시스템을 완성한다. 한편, 생산된 집성제품의 용도별 품질특성을 선정하여 품질관리시스템을 자동화할 수 있도록 하였으며 최종적으로 현재까지 개발된 기술과 자동화시스템을 바탕으로 그에 대한 공정분석(simulation)을 통해 산업화를 위한 기술적 체계를 마련함으로써 본 연구를 완수하였다.

2. 연구개발 내용

본 기술개발과제를 통해 국산재의 고부가가치화를 위한 집성제품의 규격설계로부터 제재, 재단, 선별, 집성접착 및 포장에 이르는 각 공정에 컴퓨터시각, 화상처리 및 고주파이용 등과 같은 첨단기술을 응용한 공정자동화 시스템을 설계하고, 전체 공정을 컴퓨터모형화하여 컴퓨터 모의실험을 통해 공정분석을 함으로써 보다 완벽한 공정을 실현하고 시작품을 생산하여 국산재의 고부가가치적 이용도를 증진하고자 하였다.

국산재를 이용한 집성제품 생산 공정은 아래 그림2와 같으며, 本공정의 자동화 연구개발 추진을 위한 세부적 연구내용은 다음과 같다.

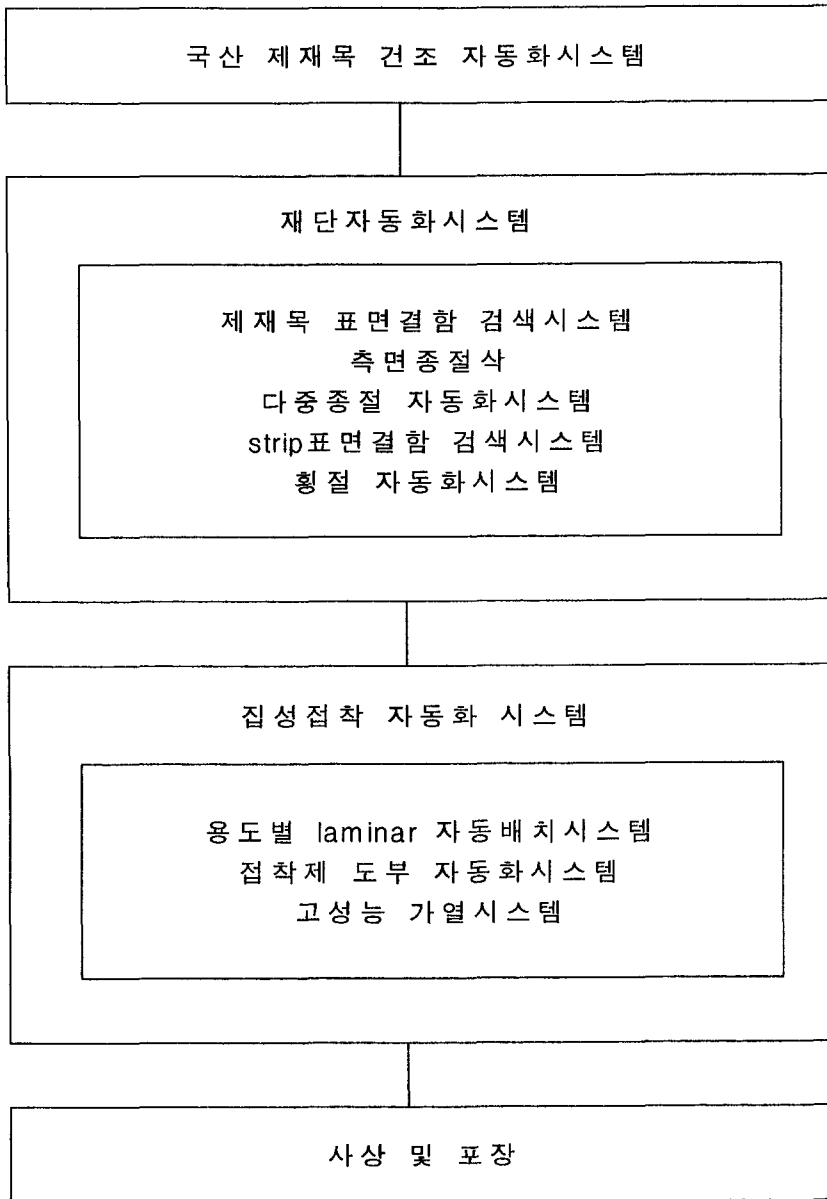


그림2. 국산재를 이용한 집성제품 생산 공정도

가. 제1과제: 국산 집성제품을 이용한 제품디자인 및 표면처리 기술개발

1) 국산재 이용 집성제품 시장조사 및 제품디자인

가) 국내 집성제품에 대한 마케팅 연구

: 현재 국내 집성제품의 주품목, 시장규모, 원자재 조달방법, 생산업체의 경쟁력등을 분석하여 향후 국산재를 이용, 개발될 집성제품에 대한 잠재적 시장을 예측하고자 하였다.

나) 유용 수종 선정 및 용도설계

: 국산재의 입목축적, 가득성(availability)등을 면밀히 조사하고 문양 및 재색 등 외관특성을 고려하여 집성가공용 수종을 선정하고 그 적정용도를 탐색, 설정하고자 하였다.

다) 집성제품 용도별 제품디자인

: 용도에 따라 기능성, 구조적 안정성 및 심미성을 부여한 제품을 설계하고, 세부제품별 자재소요와 공정소요등을 표준화하였다.

2) 국산재 이용 집성제품의 고품격 표면처리 기술개발

가) 素地 調整기술 개발

: 도장작업을 위한 적정함수율, 연마품질 및 표백기술등을 개발, 표준화하고자 하였다.

나) 적정 도료 선정

: 피도재(목재)와의 적합성, 도막의 물성(내약품성 및 내구성)등을 분석하여 용도별 집성제품에 적합한 도료를 선정하고자 하였다.

다) 고효율 도장기술 개발

: 적정 도장기기 및 도장설비(건조시설 포함)를 표준화하고, 도장공정 중 피도 집성제품의 합리적 운송을 위한 도장 컨베이어 시스템을 설계하고자 하였다.

3) 용도별 집성제품의 품질특성 선정 및 품질관리시스템 자동화

가) 원자재에 대한 품질특성 선정

: 집성용 원자재(strip)와 부자재에 대한 검사항목 및 검사방법을 개발하고자 하였다.

나) 在工品(materials in process)에 대한 품질특성 선정

: 실패비용 최소화를 위한 공정단계별 품질기준을 선정하고자 하였다.

다) 완제품에 대한 품질특성 선정

: 품질보증(Q.A.) 체제 구축을 위한 Total Quality Control System을 구축하고자 하였다.

라) 품질관리 체제 자동화 연구

: 표준화 개념에 입각하여 각종 물류 및 기술을 체계화하고 그 운용을 효율적으로 수행하기 위한 자동화 개념을 도입하고자 하였다.

나. 제2과제: 國產材利用 집성제품생산을 위한 고효율 집성접착기술개발

1) 국산재의 재질 및 가공성 조사를 통한 용도별 경제수종 결정

가) 국산재의 해부, 물리, 기계 및 화학적 기초재질 특성조사

: 주요 國產樹種의 해부학적 성장특성, 비중, 수축률, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 전단강도, 할렬강도, 충격강도등의 물리기계적 특성, cellulose, hemicellulose, lignin 및 추출물등 화학적 특성에 관한 기존 자료를 수집하여 database화한다.

나) 국산재의 절삭, 건조, 접착 및 기타 물리화학적 가공특성 조사

: 주요 국산 수종의 제재, 절삭성, 건조가공성, 접착 및 도장성, 휨가공성, 보존성 등에 관한 기존자료를 수집하여 database화 하였다.

다) 집성제품 용도별 경제수종 분석

: 조사된 주요국산수종의 해부, 물리 및 화학적 기초재질특성과 절삭, 건조, 접착 및 기타 물리화학적 가공특성을 분석하여 집성제품의 용도별 가능성을 진단하고 適正 경제수종을 선정하고자 하였다.

2) 국산재 집성제품 생산을 위한 최적 집성기술 개발

가) 통직형 집성재 제조기술 개발

: 일반적 목재용 접착제인 요소수지, 초산비닐수지를 접착제로 사용하여 공시수종에 대한 집성접착 특성을 조사하고 수종, 접착제 종류, 접착조건 및 통직집성조건에 대한 집성재 품질을 평가, 분석하여 최적 제조조건을 구명하고자 하였다.

나) 만곡형 집성재 제조기술 개발

: 동일 접착제와 프레스-클램프 병용공법을 이용하여 만곡집성재를 제조하고 수종, 접착제, 만곡곡률반경, 접착조건 및 만곡집성 조건에 대한 집성재 품질을 평가, 분석하여 최적 제조방법을 구명하였다.

3) 국산재 이용 집성제품 생산을 위한 고효율 접착기술 개발

가) 집성제품 접착기술 개발

(1) 실내용 집성제품: 비내수성 접착제인 초산비닐수지와 비교적 내수성이 떨어지는 요소수지를 공시접착제로 사용하여 상온경화형 냉압법으로 집성재를 제조하고 도포량, 압착조건, 증량조건, 및 충전제의 종류별 상태접착강도와 습윤접착강도 및 목부과단율을 측정하여 최적 접착조건을 구명하였다.

(2) 실외용 집성제품 : 내수성 접착제인 페놀계수지와 멜라민수지를 사용하여 고온경화형 열판프레스법으로 집성재를 제조하고 도포량, 압체조건, 증량조건, 및 충전제의 종류별 상태접착강도와 습윤접착 강도 및 목부과단율을 측정하여 최적 접착조건을 구명하였다. 아울러 microwave가열방식을 병행하여 두꺼운 집성재의 접착가능성을 진단코자 하였다.

나) 표면화장판 접착기술 개발

: 두께 0.5mm의 화장단판을 요소수지와 초산비닐수지를 사용하여 클램프법과 열판프레스법으로 집성재표면에 접착하고 KS규격에 따라 박리 길이 및 표면접착상태를 조사하여 최적 접착조건을 구명하였다.

다. 제 3 과제 : 국산재 이용 집성제품 생산자동화시스템 개발

1) 국산재의 건조효율 향상을 위한 건조자동화시스템 개발

가) 기존 국산재 건조스케줄의 개량

: 현재까지 개발된 국산재 건조스케줄을 종합하여 건조효율향상을 위한 스케줄개량을 시도하였다.

나) 에너지절약형 건조기술개발

: 송풍건조를 이용한 전건조(predrying)방법을 적용하여 에너지절약을 위한 건조기술을 개발하였다.

다) 혼합 수종용 건조스케줄의 개발

: 규모의 경제에 따라 대량의 단일수종을 1회에 건조하는 것이 경제적인 수 있으나 국산재의 경우 수종이 매우 다양하고 그 공급이 지속적이지 못한 경우가 일반적이므로 다양한 수종을 혼합하여 함께 건조해야 할 경우 가장 경제적인 스케줄 및 건조기술을 개발하였다.

라) 건조자동화시스템의 개발

: 상기한 과제로부터 개발된 건조기술을 바탕으로 건조자동화시스템을 개발하였다. load cell에 의하여 자동으로 측정된 건조중 함수율을 바탕으로 최적의 건조조건(온도, 습도 및 풍속)을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 조절할 수 있는 시스템을 개발하며, 이때 모든 자료 역시 자동으로 기억되도록 하였다.

2) 수율 극대화를 위한 국산재 재단자동화시스템의 개발

가) 컴퓨터시각에 의한 목재 표면결함 자동검출시스템 개발

(1) 결함검출을 위한 최적 공정조건 결정

: 광원의 조도 및 특수필터 사용에 따른 성능평가 및 최대 검색속도 판단을 통하여 결함검출을 위한 최적의 공정조건을 결정하였다.

(2) 검색 가능 결함의 파악

: 목재 표면결함의 tone과 texture측정에 의하여 검색이 가능한 결함을 파악하였다.

나) 고효율 다중종절(gang-rip-sawing) 재단 자동화시스템 개발

(1) 컴퓨터시뮬레이션을 위한 국산재 database의 개발

: 컴퓨터시뮬레이션을 위하여 컴퓨터시각 및 영상처리기술을 통해 목재 표면 database를 개발하였다.

(2) 컴퓨터시뮬레이션을 통한 효율분석과 재단 자동화시스템 개발

: 제작된 목재 표면 database를 다중종절 재단공정 분석용 프로그램인 ROMI -RIP program에 입력, 그 수율 및 효과를 분석하여 국산재 재단을 위한 고효율 다중종절 재단 자동화시스템을 개발하였다.

3) 집성·접착 자동화 및 시스템 분석(SIMULATION)

가) 집성부재 배치자동화시스템 개발

: 컴퓨터시각에 의한 집성부재 재색 및 형상 판별프로그램을 개발하여 제품용도별 집성부재의 배치기준을 설립하고, 집성부재의 배치 자동화시스템을 개발하고자 하였다.

나) 컴퓨터시뮬레이션을 통한 시스템 분석

: 컴퓨터시뮬레이션용 프로그램인 SLAM system을 이용하여 전체 공정을 모형화한 후 각 공정의 자동화프로그램(BOF, ROMI-RIP등)을 통합함으로써 컴퓨터 모의실험에 의한 공정분석을 수행하였다. 분석결과 도출 되는 애로공정이나 문제점을 파악하여 개선책을 수립하고 최적의 공정설계를 완료하여, 실제 공정을 실험적으로 실현하고자 하였다.

제 2 장 국산재 이용 집성제품의 용도설계 및 건조자동화시스템 개발분야

제1절 국산재 이용 집성제품의 시장조사 및 디자인

본 연구에서는 우선 국내가구업계를 중심으로 집성제품의 유통 구조 및 가공형태를 조사하여 집성제품의 용도개발을 위한 기본자료로서의 시장조사를 실시하였으며 정보가 부족한 국산수종의 다양한 재질특성을 데이터베이스화 함으로서 가구산업을 비롯한 목재가공업분야에서 적합한 국산수종을 선택 활용할 수 있도록 하는 한편 국산재의 장점을 선택적으로 이용하여 제작된 집성재를 이용한 가구를 설계함으로 DB의 실제적 응용방안을 제시하였다.

구체적 접근방안으로써, 94년 4월 임업연구원에 의해 발표된 한국산 주요 목재의 성질과 용도에 대한 20과 56종 중, 전국에 분포된 삼림면적과 임목축적을 고려하고 실제 설계를 위한 재감 scanning 확보가 가능한 수종을 토대로 선별된 43수종에 대해 Windows용 프로그램인 Delphi 3.0 환경에서 국산재의 각종 재질특성 및 가공특성에 대한 종합적인 자료를 포함한 데이터베이스 프로그램을 작성했다. 데이터 베이스에 포함된 수종들의 재감 이미지는 실제와의 차이를 줄이기 위해 PhotoShop-4.0 S/W를 통한 이미지 보정 단계를 거쳤다. 가구용재의 부재별 요구 성능 기준을 설정한 후 상기 DB로부터 적합한 수종을 선별하고 집성재로서 적합한 수종을 재선별하였다.

실재 모델링은 일반적으로 알려진 가구형태로 이루어졌고, 가구의 종류는 가구를 기능에 따라 분류하여 인체계가구와 준인체계 가구에 속하는 가

구를 각각 선택하여 집성가구를 모델링하였다.

집성가구 모델의 설계는 설계시간의 단축과 시행착오의 축소로 생산비용을 절감시키고, 제품디자인의 질적 향상을 가져오므로 도면의 작성과 solid modelling에서 필수적인 AutoCAD Package를 활용하였다.

본 연구에서 구축된 국산재 재질특성에 관한 DB는 집성가구산업의 설계비용 감소와 제품디자인의 다양화를 가능케 함으로서 국내 가구산업의 경쟁력 제고에 기여함은 물론, 미숙단계인 국산 원목 및 제재목 시장의 활성화를 촉진함으로써 국산재의 고부가 가치적 활용을 위한 동기를 부여할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 국내 집성제품에 대한 마케팅 연구

가. 가구업체의 집성제품 이용실태

국내 유수의 대형 가구제조업체에 대한 공장현지조사 및 서울, 광주 등 대도시의 가구 및 목제품 유통경로 및 시장조사 결과, 현재 국내에서 사용하고 있는 집성제품의 유형은 주로 폭방향(또는 폭방향 + 길이방향 병행조합) 집성판재가 대부분이고 그외에 길이방향(단독)집성재가 가공, 유통되고 있었으며 두께방향 집성재는 극히 제한적인 용도(일부 건축재의 소형 beam 및 프레임용)에 국한되어 있었음. 따라서 보다 다양한 제품설계 및 용도개발을 통하여 小徑국산재를 이용하여 제조된 집성제품 생산효율을 제고시켜 나가야 할 것으로 판단되었다.

나. 국내유통 집성제품의 生産地조사

국내에서 사용되는 집성제품중 板狀집성재(3 x 7 또는 4 x 8)는 칠레 등지에서 수입된 제품이거나 시베리아産 침엽수나 뉴질랜드産 라디에타 파인 등을 사용하여 인천지역 소재 板狀집성재 제조업체에서 생산된 것이

대부분이어서 板狀집성재 제조에의 국산재의 활용은 전무한 실정이었으며 국산재의 활용은 서랍내부 용도로서 오동나무를 이용한 소폭 비구조용 판재의 생산에 국한되고 있음. 다만 江原지역의 국유림 및 도유림등지에서 간벌된 잣나무나 이깔나무를 이용한 집성제품(가구용 집성판재)의 개발이 일부 집성가공업체들에 의해 시도되고 있으나 용도별 적정 수율 및 경제성에 대한 구체적 분석이 제대로 수행되지 못한 채 주먹구구식으로 생산되고 있음. 따라서 본 연구를 통해 국산집성재의 적정용도를 구체화함으로써 그 효율(수율)을 극대화할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

다. 집성제품의 가격분석

수입 집성판재의 才당 가격은 평균 2,000원 수준으로써 국산재를 이용한 집성제품개발시 예상되는 생산원가(약 1,800원 추정)와 별 차이를 보이고 있지 않았다.

단, 이러한 비교는 집성제품의 함수율, 칫수안정성, 내할렬성등 집성제품의 사용품질을 고려하지 않은 단순비교이므로 추후 세부용도별 품질기준을 설정하여 등급별 원가분석을 수행하여야 할 것으로 사료된다.

2. 유용수종 선정 및 용도설계

가. 국산재의 수종별, 영급별 임목축적 및 지역별 可得性 조사

국내의 국유림 및 민유림을 총망라하여 主要수종(활엽수 및 침엽수)의 영급별, 임목축적을 조사하고 가장 축적이 많은 지역을 명기함으로써 국산재 집성제품 생산공장의 원료가득성을 제시하였다.<표 1 참조>

<표 1> 주요 국산재의 수종별, 영급별 임목축적(最多지역)

영 급	II	III	IV	V	VI	합계
수 종	활 업 수					
신갈나무	4854469 (강원)	8811231 (강원)	6696307 (강원)	3341042 (강원)	949850 (강원)	24652899
상수리나무	6883033 (경북)	9478470 (경기)	1829641 (경북)	506595 (경북)	97573 (경북)	18795312
졸참나무	2893241 (강원)	6430213 (강원)	3869895 (강원)	2179020 (강원)	654939 (강원)	16027308
굴참나무	4277870 (강원)	5801997 (강원)	2452920 (경북)	881027 (경남)	239448 (경남)	13653262
서어나무	736915 (강원)	1650410 (강원)	1143528 (강원)	1111492 (제주)	164818 (강원)	4807163
갈참나무	1092002 (경기)	2534614 (경기)	605264 (강원)	199453 (강원)	76851 (전북)	4508184
아까시나무	2069407 (경북)	1980725 (경북)	268264 (경북)	49700 (경북)	10817 (경북)	4378913
굴피나무	913448 (경기)	2495249 (충북)	444329 (충북)	169823 (전남)	52074 (전남)	4074923
산벚나무	829132 (강원)	1817444 (강원)	876265 (강원)	491376 (강원)	152885 (강원)	4067102
물푸레나무	616106 (강원)	1016214 (강원)	893714 (강원)	456327 (강원)	123730 (강원)	3106091
수종	침 업 수					
소나무	13414806(경북)	13986105 (강원)	5519922 (강원)	1648345 (강원)	514413 (강원)	35083591
리기다	1266394 (경기)	1321129 (경기)	131506 (경북)	22018 (경북)	4619 (경북)	2745666
낙엽송	402769 (경북)	446418 (경북)	95769 (경남)	15331 (경남)	7518 (경남)	967805
해송	132983 (강원)	160337 (강원)	36185 (경북)	37966 (제주)	538 (경남)	368009
잣나무	129928 (경기)	175156 (경기)	23902 (경기)	11059 (경남)	27733 (경남)	367778
전나무	7167 (경남)	18429 (경남)	18904 (경남)	32666 (경남)	63986 (경남)	141152
구상나무	2310 (경남)	5462 (강원)	7283 (강원)	22822 (강원)	35773 (강원)	73650
주목	4290 (제주)	6786 (제주)	23073 (제주)	8944 (경남)	21069 (제주)	64162
노간주나무	4608 (경남)	7481 (경남)	2835 (경남)	577 (전남)	83 (경남)	15584
편백	4081 (경남)	7903 (전남)	590 (경남)	178 (충남)	19 (전남)	12771

나. 집성제품 제조용 유용수종 선정

소나무과등 8個科의 나자식물綱(Gymnospermae)에 속하는 41종의 침엽수와 참나무과기등 70個科의 피자식물綱(Angiospermae) 쌍자엽식물亞綱(Dicotyledoneae)에 속하는 약 300여 활엽수 수종중 경급별 입목축적에 따른 경제적 측면 및 국산재의 일반적 재질특성을 고려하여 집성제품 제조에 적합할 것으로 예상되는 약 80여 유용수종을 선정하여 집성제품 설계를 위한 材色 database 구축을 추진하였으며 물리-기계적 특성등을 다시 유용수종에 대한 재질 database를 구축하였다.

본 연구의 궁극목적인 ‘국산집성제품의 용도 다양화를 통한 국산재 효율의 극대화’를 고려할 때, 집성제품의 적정용도 설계가 다양하게 검토되어야 할 것이며 이렇게 하여 마련된 집성제품의 최종용도별 적정수종의 선택은 사용조건(service condition)에 따라 가변적일 수 있으므로 최종제품별로 별도의 세부적 수종 선별작업에는 추가적인 사전검토가 필요할 것이다.

다. 국산재 집성제품의 용도설계

小徑국산재의 특성을 고려할 때, 국산재 집성제품의 용도를 크게 가구용 部材(part) 및 건축용재로 2분하였으며 이들을 다시 아래 <표 2> 및 <표 3>과 같이 使用機能 및 要求性能에 따라 세분하고 각 세부용도에 요구되는 항목별 품질규격을 규정함으로써 이에 부합되는 국산재 선정을 위한 기준으로 삼고자 하였다. 물론, 집성할 경우 strip素材의 물성이외에 집성에 따른 부수적 품질요건(판재변형 및 접착층 파괴)은 별도로 고려되고 관리되어야 할 것이다.

<표 2> 가구용 부재로서의 용도설계시 검토항목별 품질규격

항 목 집성재 용도	세 부 용 도	集成用 素材 선정기준으로서의 검토항목(1등급 규격)
프레임 部材	① 椅子 프레임 ② 소파類 프레임 ③ 桌子 프레임 ④ 椅子坐板(seat)	㉠ 기건비중(0.64-0.90), ㉡ 목리(통직), ㉢ 칫수변화(적을 것), ㉣ 건조율(빠를 것), ㉤ 건조변형(거의 없을 것), ㉥ 건조할렬(없을 것), ㉦ 刃物손상(적을 것), ㉧ 질삭성(양호할 것), ㉨ 수지滲出(없을 것) ㉩ 조직(치밀한 편일 것), ㉪ 材色(디자인 개념에 부합될 것)
캐비닛 部材	① 캐비닛의 받침, 다리(주요골격), 천판 및 측판 ② 桌子천판 ③ 非構造用 船盤	㉠ 기건비중(0.51-0.90), ㉡ 목리(통직 또는 일부 교차목리 허용) 이외에는 ㉢부터 ㉪까지의 상기 프레임 部材 의 검토항목과 동일규격임.
옥외용 家具	① 옥외용 벤치 ② 정원等 옥외용 가구	상기 프레임 部材에 관한 규격중 ㉠항 목리(통직 또는 일부 교차목리 허용) 이외의 모든 항목의 규격이 동일함. 단 ㉩ 組織 항목은 제외시키고 추가로 ①심재내구성(높을 것), ② 금속부식성(없을 것), ③ 금속접촉시 오염도(없을 것) 및 ④ 습윤조건에서의 천색화(없을 것)등이 추가로 고려되어야 함.

3. 집성제품 용도별 제품디자인

가. 가구 제품디자인

: 가구제품 설계의 기본요소인 기능성, 심미성 및 구조안정성 등을 고려하
고 상기 <표 2>의 요건(design criteria)에 적합한 수종을 이용한 각종 가구
아이템에 대한 아이디어를 구체화하여야 할 것이다.

나. 건축용재 제품디자인

: 국산 집성제품의 건축내장 및 구조재로서의 사용가능성을 分析 검토, <표 3>의 기준요건을 만족하는 국산재를 이용한 집성 건축재 설계를 구조 역학적 분석에 의해 수행해나가야 할 것이다.

<표 3> 건축용재로서의 용도설계시 검토항목별 품질규격

집성재 항목	세 부 용 도	集 成 用 素 材 선 정 기 준 으 로 서 의 검 토 항목(1등급 규격)	
창 및 창틀材 (windows and w/frames)	① frames ② sills ③ casements ④ sashes	㉠心材내구성(양호), ㉡비중(침엽수:0.45이상, 활엽수:0.53이상), ㉢치수변화(소량), ㉣목리(통직 또는 일부고차), ㉤건조율(빠를것), ㉥건조시 변형 및 할열(없을것), ㉦刃物손상(적을것), ㉧접착성(양호), ㉨수지滲出(없을것), ㉩금속부식성(없을 것), ㉪금속접촉시 오염도(없을 것), ㉫ 染出오염성(없을 것), ㉬조직(치밀할 것)	
屋内外用 문 및 문틀材 (exterior or interior doors & door frames)	① frames ② stiles ③ rails ④ muntins ⑤ lippings	옥외	창 및 창틀재에 관한 사항중 ㉣항목리(통직할 것) 이외는 동일규격
		옥내	옥외용 문 및 문틀材에 관한 사항중 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣, ㉤ 및 ㉬항을 제외함.
外壁 材 (claddings, external walls)	① permanent ② temporary (supplementary) or screens	창 및 창틀재에 대한 사항중 ㉡비중(0.37이상)항 이외에는 대부분 동일하나, 木作業시 pre-boring없이 만족할 만한 재질일 것.	
마루 材 (flooring)	중간용	* heavy duty	㉠비중: 평균 0.80 이상일 것<기타 조건은 문(문틀)재 규격에 준함>
		* light duty	㉠비중: 평균 0.70 이상일 것<기타 조건은 문(문틀)재 규격에 준함>
	야외용	* heavy traffic	㉠비중: 평균 0.70 이상일 것<기타 조건은 문(문틀)재 규격에 준함>
		*normal traffic	㉠비중: 평균 0.65 이상일 것<기타 조건은 문(문틀)재 규격에 준함>
	*light traffic	㉠비중: 침엽수 => 0.45 이상, 활엽수 => 0.56 이상일 것	

4. 국산재 데이터베이스에 의한 집성가구 설계

연간 목재수요량의 85%를 외국에서 수입하고 있는 우리 나라는 목재 자원 보유국의 원목벌채 및 수출규제가 강화됨에 따라 그 수급에 있어 어려움에 직면하게 되었다. 따라서 수입목재의 가격상승에 대비하여 원자재의 안정적 공급을 위한 방안을 모색해야 할 것이다.

이에 대한 방안으로 국내에서 생산되는 국산재 이용의 활성화가 더욱 중요시되고 있는 가운데, 국산재에 대한 체계적인 정보가 부족한 상태로 정확한 정보화가 절실히 요구된다. 또한 국산재의 이용형태를 보면, 말구죽경 30cm이하 소경 저질재의 비율이 85%에 달하고 있는 관계로 인해 원목이용, 제재이용 및 연료이용 등으로 제한되고 있고, 국산 간벌 소경재나 폐잔재를 활용하고 있는 보드류 산업마저도 국산 원재료에 대한 수요가 증가되는 반면 수집비용의 과다로 인하여 대부분의 원재료를 외국에서 충당하고 있는 실정이다.

이에 앞으로의 국산재 이용 개발 형태는 박피원목, 제재, 집성접착, 특수가공재 부분으로 제안되고 있으며 다행히도 목조주택 및 가구, 악기, 목공예 품등 목가공품에 대한 선호도가 증가하고 있는 추세로 목재산업에 새로운 활기를 띠고 있다.

더욱이 목조주택이나 가구, 악기, 목공예 등의 분야에는 형질이 열악한 국산 소경재의 집성구조물에도 적용이 가능하므로 집성제품에 대한 우리나라 목재산업의 경쟁력을 강화시킨다면 국산재의 부가가치는 물론 이용률도 높일 수 있을 것이다.

본 설계에서는 국내에서 생산되는 국산재의 이용을 활성화하는 방안으로서 국산수종별 특성을 정보화 하여 설계자와 제조업자에게 의도하는 용도별 주요특성 및 정확한 제조기술을 제공함으로써 우수한 작업성을 얻을 수 있게 하는 한편, 합판이나 제재목을 대체할 소재로서 집성제품개발을 촉진하

기 위하여 구축된 국산재의 데이터베이스를 활용하여 집성가구 제품에 적합한 자료를 설계하는데 그 목적이 있다. 따라서 본 연구에서는 가구모델 개발의 기초적 단계인 데이터베이스를 구축하여 응용하고자 하는 제품에 적합한 수종을 선별하는데 이용하고자 하였다.

또한, 가구의 설계에 있어서도 합판, MDF, 강철 혹은 플라스틱 등과 같은 기존제품의 소재를 집성재로 변환하여 재 설계함으로써, 변화된 가구의 구조와 형태를 통해 집성가구가 주는 따스함과 안정감등의 우수성을 표출하여 그 활용도를 높이고자 한다. 설계표현 방법은 컴퓨터 화면상에 표현하는 방식으로 3D modeling을 통해 공간인지 능력을 보조하여 많은 자료를 쉽고 정확하게 계산함으로써 양질의 설계를 얻게 하면서 설계시간을 줄이는 동시에 원가절감과 제품의 성능을 향상을 가하고자 하였다.

본 연구에서는 국산재 재질특성 및 가공특성에 대한 종합적인 정보화를 통해 새로운 목질재료로서 집성재를 이용한 가구용재로 적합한 수종을 선별한 후, 경제적이고 합리적인 방법에 의해 설계하여 국산수종의 이용을 활성화하고자 하는데 그 의의가 있다.

국산재를 이용한 집성가구설계를 위한 예비작업으로 우선 국산수종에 대한 정보를 토대로 하여 집성재로서 적합한 수종을 선택한 후, 적합 수종으로 집성가구 모델링이 이루어져야 할 것이다. 집성가구모델링을 위한 본 논문의 과정을 요약하면 다음과 같이 그림.1.1에 의해 정리되어 질 수 있다.

수많은 국산수종을 선택하여 성질을 파악하는 것이 국산재 목재산업에 많은 도움이 되겠지만, 전체수종의 조사, 분석은 방대한 작업으로 정확한 자료와 통계가 요구되며 우리 나라의 목재산업의 역사가 짧고 자료가 많지 않은 관계로 인하여 94년 4월 임업연구원에 의해 발표된 한국산 주요목재의 성질과 용도¹⁾에 대한 자료에서 유용수종으로 선별되어 정리된 20과 56종으로 국산수종의 한계를 정하였다.

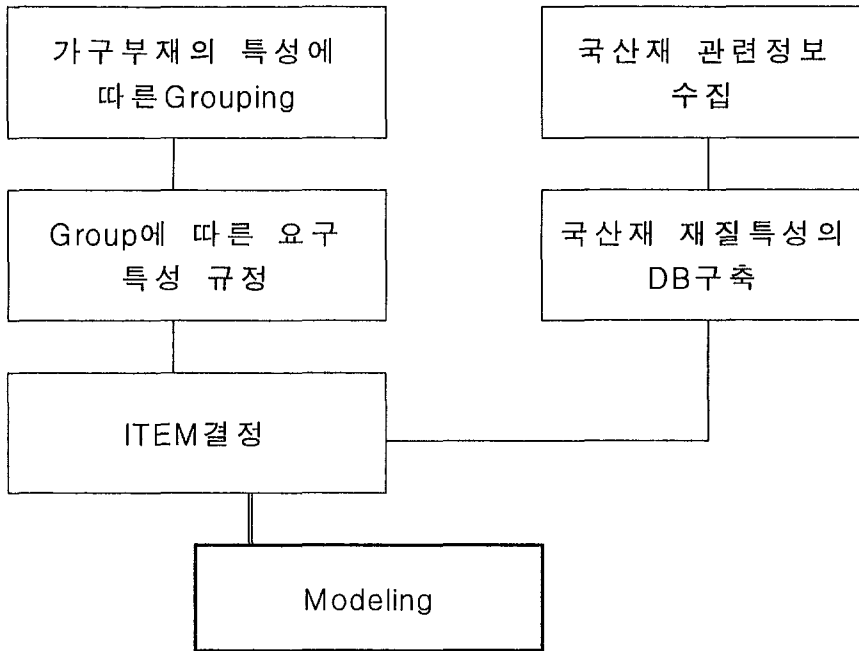


그림 1.1. 집성가구제품의 Modeling단계

또한 20과 56종 중 전국에 분포된 삼림면적을 고려하고 실제 설계를 위한 재질 스캐닝 확보가 가능한 수종을 토대로 43수종으로 선별하였다. 또한 이러한 자료를 가구를 비롯한 국내 목재 산업에서 국산재 이용을 활성화하기 위하여 43수종을 임업연구원에 의해 실험된 자료중 가공과 관련된 성질을 데이터 베이스화하여 사용 용도에 적합한 수종을 선정할 수 있도록 하였으며, 산림청에 의해 조사된 수종별 영급별 임목축적 그리고 산림청에서 소장하고 있는 국산재감을 scanning하여 데이터베이스화 하였다. 데이터 베

스는 Windows용 프로그램인 Delphi 3.0을 이용하였는데 데이터 베이스를 Delphi application에 사용할 수 있도록 정의하는 Delphi의 파레트 컴포넌트의 Data Access페이지와 데이터베이스의 데이터를 사용자가 화면에서 볼 수 있게 만들어 주는 Data Aware컴포넌트 도구들이 들어 있는 Data Controls 페이지만을 이용하여 작성하였다.

재감 이미지 scanning의 경우 실제 목재의 재감과 scanning으로 인하여 컴퓨터로 받아들이는 값과 이 값에 의해 출력된 색채의 보정을 위해 화상 보정프로그램에서 알파값과 감마값을 보정하여 데이터화 하였으며 출력시 다시 한번 보정하여 실제재감과 scanning화면의 색차를 줄이고자 하였다. 데이터베이스화 된 수종 중에서 가구제작에 요구되는 특성에 적합한 수종을 선별한 후 다시 집성재로서 적합한 수종을 재선별하여 그 중 몇 수종을 선별하여 모델링에 직접 응용하였다. 모델링은 기존 제품중 타재료로 설계된 제품을 집성재를 이용하여 재설계한 모델과, 가구의 기능에 따른 분류에 따라 인체계가구와, 준인체계가구, 그리고 건축계가구를 집성재를 이용한 집성 가구 모델을 구현하였다.

집성가구 모델의 설계는 개인용컴퓨터를 이용하였고, 도면의 작성과 solid modelling은 CAD Program에서 작업하였으며, 시각적인 친밀감을 위한 재질 렌더링작업은 3D-Studio max와 Photo Shop S/W를 사용하였다.

가. 집성가구의 설계 특성

가구는 인간의 생활의 멋과 편의를 도모하는 생활도구이며 수납의 기능과 미적 효과를 증대시키는 공간적 성격을 지니고 있다. 때문에 행위를 보다 안락하고 능률이 향상되도록 설계되어야 함은 물론 공간구조계획에 미

치는 영향을 고려하여야 한다.

이러한 면에서 박영순(1993)등은 가구디자인의 기본적인 선택기준을 기능성과 심미성, 그리고 상징성으로 요약하였다. 또 여기에 대해 구체적으로 다음과 같이 분류하였다.

- 기능성 : 구조와 재료의 합리성, 인간공학적 배려, 유지관리의 용이성과 사용자의 안전성을 고려함으로 가구와 인간과의 관계를 원활히 할 수 있는 성질이다.

- 심미성 : 색채, 형태, 질감에 의해 창출되는 다양성, 통일성, 균형, 비례, 대비 등에 의해 표현될 수 있는 것으로 기능성에 심미성이 더함으로서 창조된 형태가 미적 질서에 부합됨으로 만족감을 줄 수 있다.

- 상징성 : 개인적 취향이나 욕구를 만족시켜주는 세부기준으로 유행성과 새로움, 독특함과 품위 등을 표출할 수 있어야 한다.

물론 이러한 선택기준은 여러 가지 관점에서 분류될 수 있는 가구의 종류에 따라 약간씩 다르다. 본 연구에서 분류하게 될 방법은 2.1절에서 논하기로 한다.

이에 본 연구에서는 집성 가구 설계시 설계에 앞서 먼저 다음 그림 2.1과 같이 5가지 기본 사항을 점검하고, 여기에 대한 각 조건들을 체계적이고 포괄적으로 고려한 후 설계에 들어가도록 하였다.

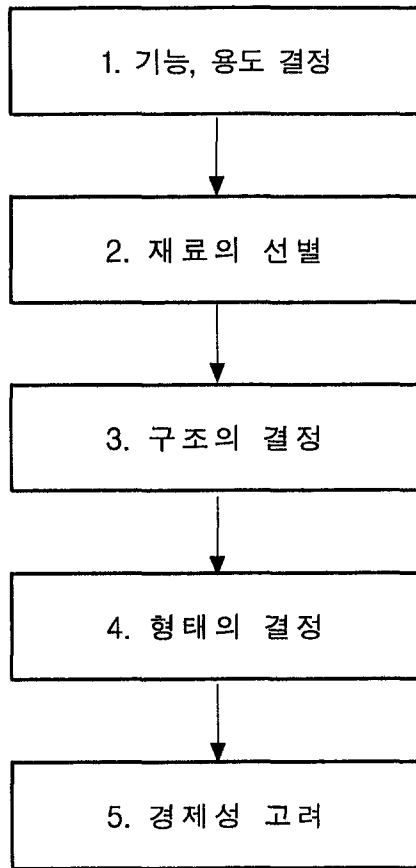


그림 2.1. 가구설계에 앞서 결정되어야 할 조건.

1) 가구의 기능 및 용도에 대한 고려

가구를 분류하는 데는 여러 방법이 있지만 인체동작을 중심으로 기능과 용도를 고려하면 아래 표 2.1과 같이 구분 지을 수 있다.

표 2.1 가구의 기능에 따른 분류

가구의 분류	인체계가구	준인체계가구	건축계가구
요소의 패턴			
가구의 기능	몸을 받쳐주는 가구	물건을 올려놓는 가구 <동적, 정적>	물건을 넣어두는 가구 공간을 구획하는 가구
사람과 물체의 관계	○ 사람-물체	○ 사람-물체 ○ 물체-물체	○ 물체 - 사람 ○ 물체 - 공간
해당가구류	○ 의자 ○ 침대	○ 탁자 ○ 조리대 ○ 카운터 ○ 판매대	○ 벽장 ○ 옷장 ○ 간막이
사용재료의 특성			
일반적가구분류	○ 작업용가구 ○ 휴식용가구	○ 작업용가구 ○ 휴식용가구	○ 수납용가구
기능치수의 원점	○ 좌위기준점 (좌골점)	○ 좌위기준점 (좌골점) ○ 입위기준점 (발뒤꿈치)	○ 입위기준점 (발뒤꿈치) ○ 입위기준점 (발뒤꿈치)

본 설계연구에서는 표 2.1에서 분류된 형태에 따라 각 제품을 설계에 응용하여, 인체계가구에서는 의자를, 준인체가구에서는 판매대와 테이블을 그리고 마지막으로 건축계 가구에서는 화장대와 판매대를 설계하였다.

2) 가구의 재료에 대한 고려

가구설계를 위한 기능과 용도가 결정되면 기능과 용도에 따른 대략적인 형태가 결정이 되며, 이러한 가구의 형태는 그 자체가 바로 구조미를 나타낸다. 또한 구조미는 재료에 의해 결정되므로 재료선정은 가구디자인에 있어 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다.

가구는 목재를 비롯한 플라스틱이나 금속과 같은 다양한 재료를 이용하여 만들 수 있지만, 재료가 주는 질감, 색채 및 가공상의 용이성을 감안할 때 목재는 매우 우수한 자료라고 할 수 있다. 뿐만 아니라, 목재는 인체친화적 환경친화적인 입장에서 볼 때에도, 플라스틱이나 금속에 비해 거부감이 없는 재료이다. 목재는 인체와 마찬가지로 세포조직으로 구성되어 있는 천연 소재로 우수한 원적외선을 방출하여 인간으로 하여금 생리적, 심리적으로 안정감을 주는 재료이다. 이러한 이유로 한 설문조사에 따르면 소유가구중 원목가구의 소유율을 묻는 질문에 대해 대부분의 소비자들이 원목가구를 소유하고 있으며 원목을 사용하지 않더라도 대체로 목재 혹은 목질로 이루어진 합판 위에 도장을 한 것을 사용하여 대부분의 가구에 있어서 목재 이외의 재료를 사용한 가구는 없다는 응답을 보였다. 이처럼 가구의 소재에 있어서 목재는 오랜 시간 동안 절대적으로 사용되어 오고있다.

또한 목재는 수종과, 수종내의 단면에 따라 전혀 다른 천연적인 무늬의 아름다움을 지니고 있기 때문에 수종 선택 역시 재료선별시 고려해야 할 중요한 문제중 하나라고 할 수 있다.

Paul Bentel(1997)에 의하면 목재의 수종은 대부분 목재의 외관, 작업성 및 가격의 세가지 요소를 고려하여 선별할 수 있다고 하지만 그 외에도 사용하는 장소, 용도 및 사용조건등을 고려할 때, 기초재질에 대한 검토가 필수적일 것으로 본다.

Webster(1995) 등은 가구용 부재를 요구되는 내후특성에 따라 옥내용과

옥외용 가구(GroupIII)로 구분하였고 옥내용은 다시 응력수행에 요구되는 재질특성에 따라 프레임부재(Group I) 및 캐비닛 작업용 부재(Group II)로 구분하였다.

각 Group에 해당하는 세부용도는 표 2.2과 같다.

표 2.2. 가구용 부재에 요구되는 특성

Group I (프레임 부재)	Group II (cabinet work용)	Group III (옥외용 가구)
① 의자 프레임 ② 소파류 프레임 ③ 탁자 ④ 의자좌판 (seat)	① 캐비닛의 받침, 다리 (주요골격) 천판 및 측판 ② 탁자천판 ③ 비구조용 선반	① 옥외용 벤치 ② 정원등 옥외용 가구

가) 외관

목재의 외관은 목재의 문양을 말하는 것으로 목리, 재색, 세포의 특이한 배열이 재면에 나타난 것을 말한다. 목리는 축방향요소의 배열상태와 목재를 제재하는 방법에 따라 다양하게 형성되는 것으로 chair frame과 같이 long-rail을 만들거나 접합시킬 경우 또는 곡선으로 된 등판다리용으로 쓰일 부재에서 파상목리부분은 제거하여 절삭해야하며, 목리의 돌출이나 결점 등을 피하여 통직목리를 사용하는 것이 좋다. 이러한 이유로 Webster(1995) 등은 Group II는 길이에 비해 횡단면이 작은 부위를 제외하고 불규칙한 목

리의 목재도 허용하지만 Group III의 경우는 일부제품에만 교착목리가 허용되고 일반적으로는 통직목리여야만 하며 Group I 역시 교착목리 이상의 통직목리를 가진 재료로 제작되어야 한다고 하였다.

본 연구에서 사용된 정보화된 국산수종의 재감은 다양한 목리를 가지고 있으므로 육안으로 선별하여 택해야 한다.

목재색은 함유된 화학적 물질에 의해 나타나며 동일 수종에서도 부위에 따라 차이를 보이고 동일 부위에서도 벌채후 노출시간에 따라서 큰 차이를 보인다. 때문에 수종별 재색은 기존에 발표된 것들과 약간의 차이가 있음을 고려해야 한다.

나) 밀도

대체로 활엽수는 재색, 조직, 문양이 우수하여 가구 용재로 사용되며 구조재로 사용되는 침엽수는 비중에 비해 기계적 강도가 우수하고, 가공성이 우수하여 의자나 테이블 등 가구의 부재로 이용되고 있다. 목재의 강도와 표면의 단단함은 밀도와 관계가 있으며, 저밀도 활엽수재 코아의 경우가 가볍고 강도가 약하며 부서지기 쉬우므로, Webster(1995) 등은 Group I과 Group III의 밀도는 적어도 510kg/m^3 이상이어야 하며, Group II의 경우도 11현상에 대해 370kg/m^3 이상이어야 한다고 했다. 반면에, 밀도가 높을 때는 통직목리가 생기기 어렵고 침투성이 낮아 접착이 어려워지므로 밀도는 900kg/m^3 이하를 선택하는 것이 좋다고 하였다. 그러나, 국산수종의 밀도를 고려할 때, 국산수종의 밀도범위가 $300\text{--}756\text{kg/m}^3$ 임을 고려하고, 현재 이러한 범위의 수종이 제품제작에 무리가 없는 것을 감안하여, 저밀도군(500kg/m^3 미만), 중밀도군($500 - 700\text{kg/m}^3$), 고밀도군(700kg/m^3 이상)으로 분류하여 제품에 특성에 맞게 선별할 수 있게 하고자 한다.

다) 치수변화율

치수변화율은 Group II의 table top, cabinet top, cabinet sides 용도에서 주의를 요하며, 특히 변화율이 다른 수종끼리의 접합이나, 변화율이 큰 수종은 joint 접합을 약하게 하므로 가능한 피해야 한다.

치수변화율이 전수축율에서 유도됨을 감안하고 그 편차가 가장 큰 접선단면 수축율을 기준으로 하여 밀도범위와 마찬가지로 치수변화율에 대하여 7%이하, 7 - 9%, 9% 이상으로 구분하였다.

라) 건조성

건조시 뒤틀림과 할렬등이 있는 목재는 제조 후 또는 보관기간동안 제품에 비틀림 현상이 나타날 가능성이 높다. 그러나 세심한 수분관리를 통하여 습도변화에 견딜 수 있도록 할 수 있다.

그러나, Group II의 solid seats를 만들 경우 안정성에 있어서 문제가 되며, 어두운 색의 도료로 도장한 경우 미세한 할렬부분이 나타나므로 뒤틀림과 할렬이 있는 부위를 제거하여 사용해야 한다.

마) 나무갓

목재를 구성하는 세포의 성질, 크기, 분포상태 등의 차이에 따라 나무갓은 다양한 재면의 상태를 가지고 있는데¹³⁾, 거친 나무갓의 경우 도장과 접착시 문제를 일으킬 수 있으므로, Group II의 main frame용으로 사용하고 자 할 때는 고운 나무갓을 사용한다.

이상에서 살펴본 가구용 기초재질의 특성에 적합한 조건을 종합하여 나타내면 표 2.3와 같다. 각 그룹은 각 그룹에 따른 적합수준을 세분화하여 선택의 폭을 넓히고자 하였다.

표 2.3. 가구용 소재의 용도(부재)별 특성 요건

특성	요건 구분		
	교착목리		통직목리
밀도	500kg/m ³ 미만	500 - 700kg/m ³	700kg/m ³ 초과
치수 변화율	7% 미만	7 - 9 %	9% 초과
휨강도	820kgf/cm ² 미만	820 - 1100kgf/cm ²	1100kgf/cm ² 이상
건조성	불량	보통	양호
나무갓	불량	보통	양호
접착성	불량	보통	양호
도장성	불량	보통	양호
임목축적	전국임목축적 100,000m ³ 이상	전국임목축적 100,000m ³ 이상	전국임목축적 100,000m ³ 이상

3) 가구 구조에 대한 고려

선택된 재료는 그 성능이 발휘되도록 적당한 가공방법을 이용하여 제작, 조립되어 구조를 변화시킬 수 있다. 목재를 가공하여 구조를 변화시킨 목재 가공제품으로는 합판과 집성목재, 코어합판, 섬유판등이 있다. 각 제품에는 장단점이 있지만 원목에 가장 가까운 성질과 외형을 하고 있는 것은 합판과 집성목이며, 특히 집성목의 경우 합판이 적용될 수 없었던 보, 기둥에 사용할 수 있는 큰 단면을 얻을 수 있으며, 목재의 강도를 인공적으로 조절하여 예상되는 응력에 따라 필요한 단면을 만들 수 있다는 큰 이점을 가지고 있다. 따라서 본 설계에서는 목재를 가공하여 구조를 변화시킨 목재가공제품 중 집성제품을 이용하기로 하였다.

집성제품은 침엽수와 활엽수로 모두 제작이 가능하며, 제품의 성질은 침엽수와 활엽수의 성질을 그대로 반영한다. 따라서 집성제품은 그 용도에 따라 품질과 치수를 구분하여 수종을 선별, 제작하게 된다.

집성제품의 용도는 크게 구조용과 조작용으로 구분할 수 있으며, 구조용 집성재는 주로 침엽수재로서 강도나 내구성이 우수한 것으로 실외용으로 사용된다. 조작용 집성재는 다시 파생재(派生材)를 집성 접착하여 core재를 만들고 표면에 화장용 얇은 판을 붙인 것과 제재판의 색조(色調)나 목리를 조화시켜서 집성한 것으로 나눌 수 있다.

집성목의 제작은 한 수종 이상의 판재를 접착조합하여 제작 가능하기 때문에 수종간의 조화가 필요하다. 이러한 조화는 미적인 색감의 조화와 강도적 성질의 조화를 요구한다.

전술한 항에서 재료적 측면에서 가구용 기초재질의 특성을 검토했다면 본 항에서는 구조적 측면에서 집성목을 만들 때 주의할 점을 검토하는 것이 필요하다.

가) 함수율

동일수종 혹은 異수종간에 집성접합할 때 함수율 차이는 5%범위를 넘지 말아야 한다. 집성부재의 각 부분이나 제재판 상호간의 함수율 차이가 크면 제품의 함수율이 일정수준으로 안정되었을 때 집성재 내의 각부분이 불균등하게 수축, 팽윤하여 내부응력이 발생하게 된다.

나) 비중

함수율이 변화되어도 비중이 낮다면 집성재 내부에는 낮은 수준의 응력이 발생되므로 제재판의 목리의 조합을 임의로 할 수 있다.

다) 목 리

서로 다른 목리의 제재판이 혼합되어 집성되지 않게 한다. 동일 수종 일지라도 수축, 팽윤량의 차이가 큰 정목판과 판목판이 인접했을 경우 그 차에 의해 접착층에 큰 응력이 발생하게 된다.

라) 수축, 팽윤율

수축과 팽윤율이 매우 다른 경재와 연재를 조합시켜 접착하면 사용 중에 수분변화의 폭이 커져서 접착이 잘되어도 이수종재료의 경계면 접착층에 있어서 약한 쪽재가 강한 쪽재에 접착된 상태로 파괴된다.

마) 집성부재의 조합

집성부재의 배치는 집성재의 역학적 요소를 충만시키면서도 재료의 질약, 중량의 경감, 제조비의 절감 등을 조절할 수 있다. 또한 특별한 외관의 장식 없이 이 수종끼리의 조화에서 얻을 수 있는 미적인 효과를 기대 할 수 있다. 일반적으로 외층에는 강도적 성능이 우수한 라미나를 사용하고, 내층

에는 저품질材를 배치한다.

바) 집성부재의 두께

집성부재의 두께는 판재의 건조와 적층수에 영향을 미치는 인자로서, 집성부재가 두꺼운 일정 두께의 집성재를 제조할 경우 적층수가 줄어 들고 이것은 판재에 존재하는 결점의 분산이 충분하게 이루어지지 못한다. 또한 판재의 건조가 어렵고, 건조일수나 건조경비에 영향을 주게 되므로, 보통 집성부재의 두께는 1-5cm정도가 적당하다.

4) 가구의 형태에 대한 고려

두번째 결정단계인 형태는 기능, 재료, 구조에 의해 결정되며 우수한 형태는 이러한 기능, 재료, 구조등의 조건을 적절히 통합, 정리하는 것을 의미한다. 그러나, 구조가 다르다는 것이 바로 형태가 다르다는 것을 의미함으로 무엇보다도 형태는 구조에 의해 결정되어진다고 할 수 있다.

5) 경제성에 대한 고려

고가제품에 속하는 가구는 일상생활의 필수품으로 경제생활에 적당한 상품이어야 한다. 한 설문조사에 따르면, 가구선택의 조건을 디자인, 가격, 실용성, 품질, 색상, 메이커로 제시했을 때, 소비자는 실용성 다음으로 가격을 가장 고려한다고 응답한 바 있다. 이처럼 앞으로는 제품에 대한 더욱 높은 성능과 품질이 요구되는 한편으로 제품의 경제성이 제품 선택의 중요 요소라 하겠다. 이러한 측면에서 설계 비용을 줄이고, 제품의 성능과 품질을 만족시키며 저렴한 가격으로 설계하는 수단으로서 컴퓨터에 의한 제품설계는

피할 수 없는 상황이다.

컴퓨터에 의한 설계는 컴퓨터가 디자인 프로세스상에서 일반적이며 반복적으로 행해지는 기계적인 업무를 수행토록 하고, 설계자는 제반된 문제들을 알고리즘을 통하여 컴퓨터와 대화하여 아이디어를 제공함으로써 문제 해결에 접근한다. 이러한 방법은 광범위하고 처리가 복잡한 데이터를 정밀하고 신속하게 설계해줌으로 설계자로 하여금 보다 창조적인 일에 시간을 할애할 수 있게 하며 설계기간이 짧아진다는 측면에서 원가를 절감할 수 있게 하며 제품디자인의 질적 향상에 영향을 미친다.

본 연구에서도 컴퓨터 디자인 시스템으로서 CAD를 이용한 집성가구모델을 구현하였다.

나. 국산재의 데이터베이스 구축

1) 유용 국산수종의 선정

『한국산 주요목재의 성질과 용도』를 기초로 국산재를 이용한 집성가구설계를 위한 선별된 수종과 국산재의 용도별 데이터베이스항목은 표 3.1과 같고, 각 수종의 이미지는 그림 3.1부터 그림 3.3과 같다.

표 3.1. 집성가구설계를 위한 선별수종과 데이터베이스항목

국 산 제 수 종					
1	잣나무	16	물오리나무	31	산벚나무
2	스트로브잣나무	17	물갠나무	32	귀룽나무
3	리가다소나무	18	개서어나무	33	다릅나무
4	해송(곰솔)	19	서어나무	34	아까시나무
5	소나무	20	까치박달	35	가죽나무
6	낙엽송	21	상수리나무	36	고로쇠나무
7	전나무	22	굴참나무	37	복자기
8	삼나무	23	떡갈나무	38	피나무
9	편백	24	갈참나무	39	음나무
10	가래나무	25	신갈나무	40	총총나무
11	거제수나무	26	졸참나무	41	들메나무
12	사스레나무	27	밤나무	42	물푸레나무
13	박달나무	28	느티나무	43	참중나무
14	물박달나무	29	풍계나무		
15	오리나무	30	느릅나무		
데이터베이스항목					
<ul style="list-style-type: none"> ○ 학명, 해부학적, 화학적성질 ○ 물리, 기계적 성질 ○ 가공특성(1) ○ 가공특성(2) ○ 이미지 ○ 지역별산립면적 					

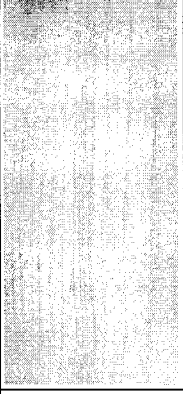


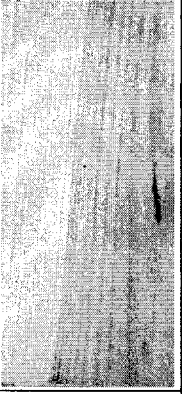
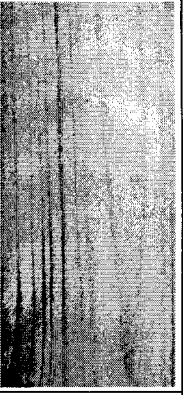
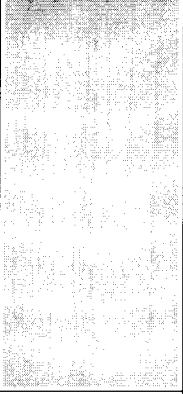
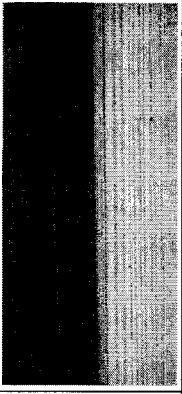
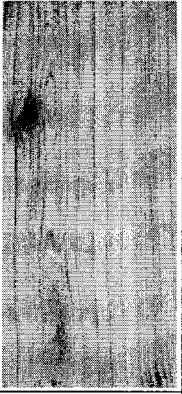

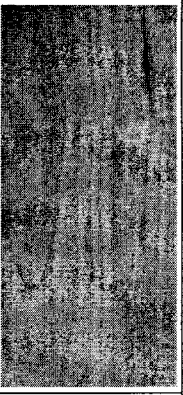
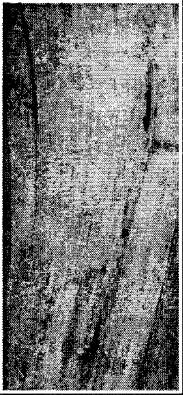
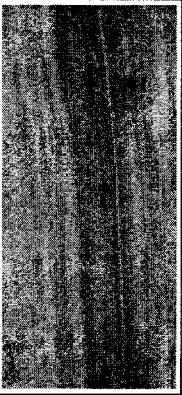

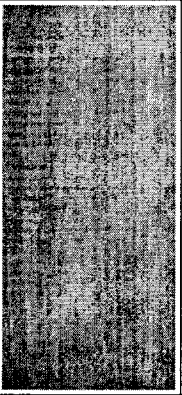
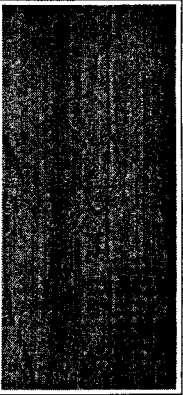
				
잣나무	스트로브잣나무	리기다소나무	해송	소나무
				
전나무	삼나무	편백	가래나무	거제수나무
				
사스레나무	박달나무	물박달나무	오리나무	물오리나무

그림 3.1. 국산 수종 이미지 1

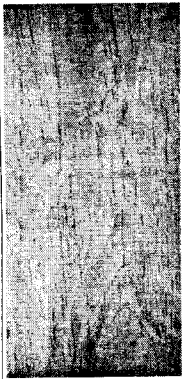



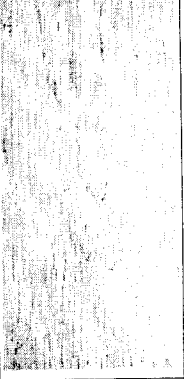
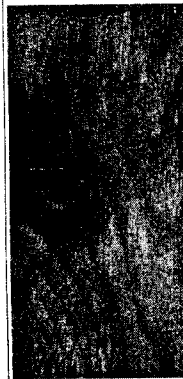

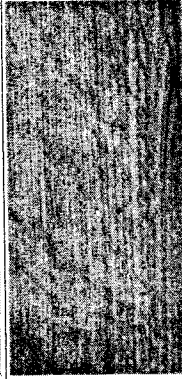

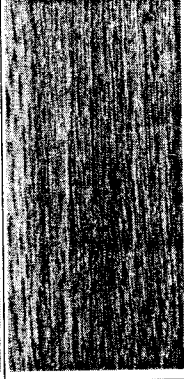
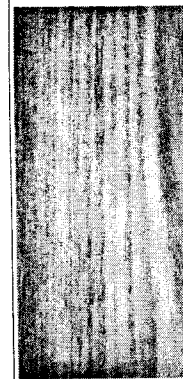
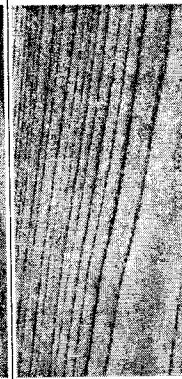



				
물감나무	개서어나무	서어나무	까치박달	상수리나무
				
굴참나무	떡갈나무	갈참나무	신갈나무	졸참나무
				
밤나무	느티나무	풍계나무	느릅나무	산벚나무

그림 3.2. 국산 수종 이미지II

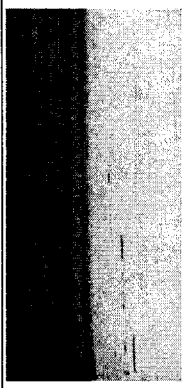
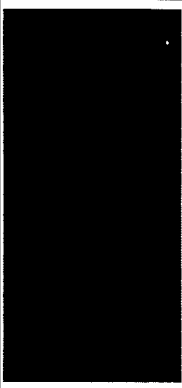
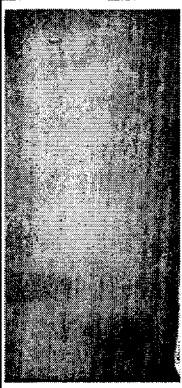
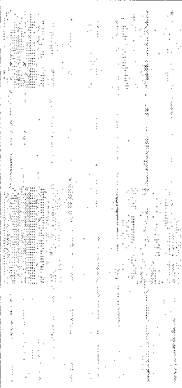
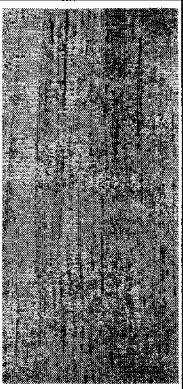
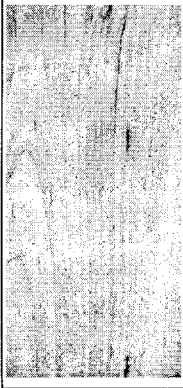
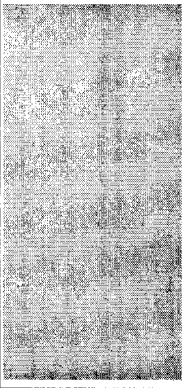
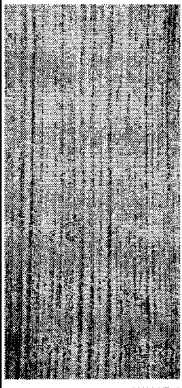
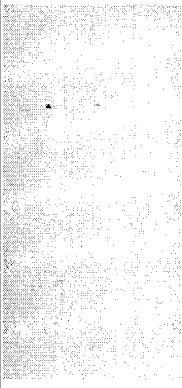
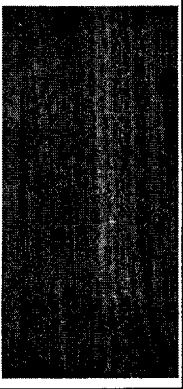
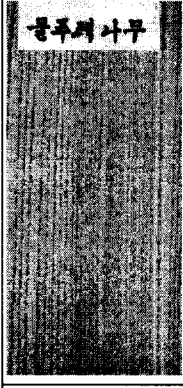

				
귀룽나무	다릅나무	아까시나무	가죽나무	고로쇠나무
				
복자기	피나무	음나무	층층나무	들메나무
 물푸레나무				
물푸레나무	참죽나무			

그림 3.3. 국산 수종 이미지 III

2) 집성가구 설계용 DB 자료항목 선정

집성가구설계를 위한 구체적인 자료분류표는 표 3.2 - 표 3.9와 같다.

표 3.2 해부학적 성질에 대한 자료분류표

해부학적성질	
학 명	
일반적인 성질	연륜계의 판명도
	심재부의 경계구분
	나무갓
	나무결
변색	심재
	변재

표 3.3. 화학적 성질에 대한 자료분류표

화학적성질	
학 명	
철오염	색차
	명도감소율
	오염도
산오염	색차
	명도감소율
	오염도
알칼리 오염	색차
	명도감소율
	오염도
태양광 오염	색차
	명도감소율
	오염도

표 3.4 재감에 대한 자료분류표

이미지	
학 명	
L*a*b값	L(lightness)
	a(redness)
	b(yellowness)
Filename	

표 3.5 임목축적에 대한 자료분류표

지역별 산림면적	
학 명	
道命	영급별 임목축적

표 36. 물리적 성질에 대한 자료분류표

물리적성질		
학 명		
비 중		생 재
		기 건
		전 건
용 적 밀 도 수		
흡수량	방사단면	심 재
		변 재
	접선단면	심 재
		변 재
	횡 단 면	심 재
		변 재
수축율	전수축율	방 사
		접 선
		섬 유
	기건까지의 수축율	방 사
		접 선
		섬 유
	함수율1%에 대한 평균수축율	방 사
		접 선
		섬 유
	체 적 수 축 율	

표 37. 기계적 성질에 대한 자료분류표

기계적성질	
학명	
종압축강도	
종인장강도	
휨강도	
충격휨흡수에너지	
전 단 강 도	방 사
	접 선
할 렬 저 항	방 사
	접 선
못 뽑 기 저 항	방 사
	접 선
경도	방 사
	접 선

표 3.8. 가공성질(1)에 대한 자료 분류표

가 공 특 성(1)			
학 명			
거단성	제재시함수율		
	송재속도		
	털숫음	내측재	
		외측재	
	만곡		
판정			
건조성	건조결함단계	초기할렬	
		단면변형	
		내부할렬	
	추정건조스케줄		
판정			
포삭성	함수율		
	절삭재장		
	절삭면 결함	엇결파임	
		털숫음	
		칼날자국	
판정			
휨가공성 적정	증비전 함수율		
	곡률반경	58 cm	
		45 cm	
		36 cm	
		30 cm	
판정			
접착성	상온경화형요소수지	상태	접착강도
			목파울
	초산비닐 에멀전	내수	접착강도
			목파울
	판정		

표 3.9 가공성질(2)에 대한 자료 분류표

가 공 특 성(2)			
학 명			
도장성	폴리에스테르수지의 경화시간 비		
	아미노 알키드 수지의 도장할렬	습 냉 건조실험	할렬 수
			할렬길이
		진공 침수 건조 시험	할렬 수
			할렬길이
	판 정		
시멘트 경화성	목질, 시멘트 블록시험	블 록 밀 도	
		부분압축강도	
		강 도 율	
	목질, 시멘트 수화반응	최 대 반 응	
		경화장해지수	
	판 정		
내 후성	중량 감소율	변재	구 름 버 섯
			부후개떡버섯
		심재	구 름 버 섯
			부후개떡버섯
	내 후연한		구 름 버 섯
			부후개떡버섯
	판 정		

데이터베이스의 항목중 이미지는 산림청과 전남대학교 목재해부학실에서 보유하고 있는 국산재감을 scanning한 것이며, 목재표면에 대하여 직접 Lab값을 측정할 경우 불규칙적인 목재의 표면으로 인하여 특정한 평균값을 얻지 못하므로 scanning한 이미지를 출력하여 측정하였다. 재감 scanning시에 실제 목재의 재감과 scanning으로 인하여 컴퓨터로 입력된 값과 이 값에 의해 출력된 이미지의 톤이 차이가 생긴다. 이때 이미지의 톤 분포를 지배하는 요소는 밝기와 Contrast이므로 재감이미지 Tone값의 분포를 나타내어 주는 Curve를 조정함으로 Tone을 조절한다. Curve가 직선일 때 감마값은 1.0으로 감마값은 어떤 영역의 Tone값을 가장 잘 살아나게 할 것인가를 결정짓는 요소로서 재감의 이미지영역의 디테일이 어두운 영역인지, 밝은 영역인지, 중간영역인지를 가려내어 어두운 영역을 가지고 있는 경우 감마값을 1.0보다 크게 하여 하이라이트 부분의 디테일이 사라져 버리지 않도록 유의하였다.

다. 집성가구모델의 구현

1) CAD에서 집성가구모델의 표현방식

가구모델은 CAD를 이용한 컴퓨터 화면상에서 2차원 평면형태와 3차원 솔리드 모델링 기법을 사용한 도형정의 방법으로 표현된다. 이때 제품과 부품의 형상을 컴퓨터에 입력시키고 출력하기 위한 형상을 기술 또는 모델화하는 것을 형상 모델링이라하며 형상모델링은 그림 4.1과 같이 분류할 수 있다.

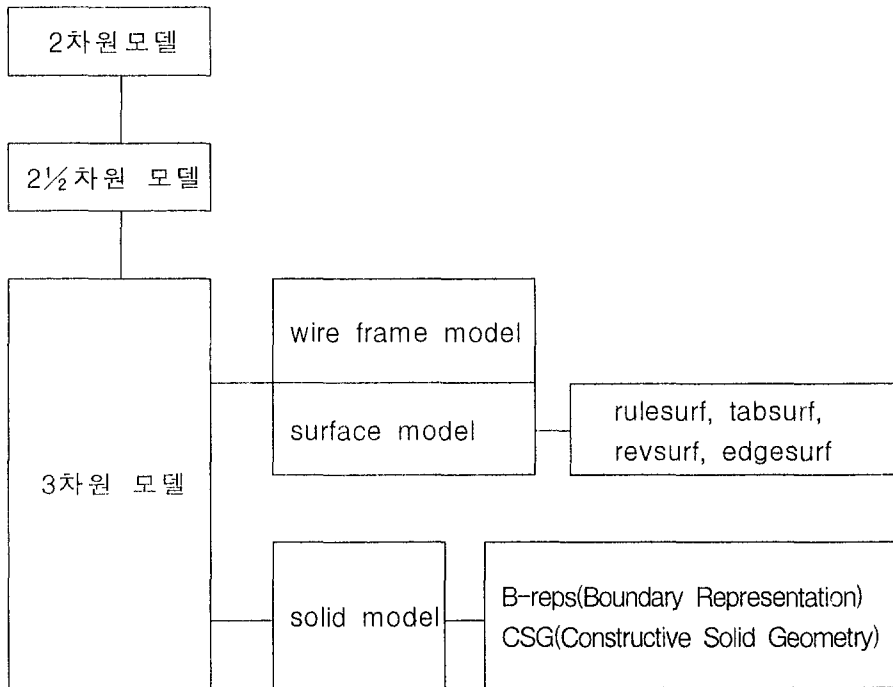


그림 4.1. 형상모델링의 분류.

형상모델링에서 2차원모델은 3면도, 단면도등의 평면형상을 취급하며, 2½차원모델은 평면 형상의 평행 또는 회전에 의하여 3차원 형상을 모델화한다.

3차원 모델은 2차원에 비해 실제적으로 표현되고 사실에 가까운 이미지를 전달하므로 많은 양의 정보해석에 있어서 특수하고 복잡한 전문지식을 필요로 하지 않으므로 의사소통에 발생할 수 있는 오차를 최소화하는 정보교환 형태이다. 3차원 모델은 다시 그림 4.1과 같이 분류되어지는데 표현의 특징은 다음과 같다.

1) 와이어프레임(Wireframe) 모형

정해진 좌표점을 선이나 호로 이어 공간상의 선으로서 표현한 모델의 능선을 만들어 모델링하는 방법이다.

최소한의 정보를 가진 데이터 구조로 구성이 간단하고 생성속도가 빠르며 프로그램도 짧게 작성할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 구현방식에 따라 화면상의 모델이 눈으로 식별하기에는 너무 복잡한 형태를 띠는 단점이 있다.

다면체의 경우는 윤곽선이기 때문에 와이어 프레임 모델에 의하여 자연적인 형상을 표현 할 수 있지만 원통형이나 구형의 경우 형상 표현이 어렵다.

2) 서피스모델(Surface) 모형

Surface모델은 Wireframe 모델의 모서리선으로 둘러싸인 부분에 면을 정의한 것으로 각 면은 독립적으로 존재한다. 따라서 계산량이 많아 즉각적인 결과를 얻기는 힘이 들지만, 각 모형의 특징을 잘 표현할 수 있으며 은선제거를 할 수 있고, 단면도를 구할 수 있다.

가구모델의 구현에 적합한 형태는 Rulesurf, Tabsurf, Revsurf, Edgesurf 등을 들 수 있다. Rulesurf는 defining curve를 자연스럽게 이어주는 것으로 defining curve를 어떻게 선택하는가에 따라 전체의 형상이 민감하게 변하며, Tabsurf는 path curve와 방향 벡터를 지정하여 일정방향으로 면을 생성해준다.

Revsurf는 entity로 된 path curve와 회전축을 지정하는 것으로 가구모델에서 불규칙한 형상을 표현할 때 가장 많이 사용되는 형태이다. 마지막으로 Edgesurf는 4개의 변을 이어주는 것으로 회전축은 선택된 선분의 양 끝점을 연결하는 직선만을 회전 축으로 이용한다.

3) 솔리드 모형

솔리드 모델은 내부가 물질로 가득찬 형태로 가장 정확하게 고급으로 표현하는 3차원 모델이다. B-Rep(boundary- representation)방식은 solid의 boundary를 face 혹은 patches라 불리는 element를 몇 개로 나누어 각 face를 정해진 방식으로 표현하는 것이다.

이것은 형상을 구성하는 면과 그 면 사이의 상위 기하학적인 결합 관계에 따라 형상이 표현되므로 3면도와 투시도 작성은 용이하나 데이터의 구조와 데이터 수정은 복잡하고 난이 하다는 단점을 가지고 있다.

이에 비해 CSG(Constructive Solid geometry)는 3차원적인 primitive을 미리 정의한후, 입체적인 회전, 이동, 합, 차, 저적 등의 연산을 통해 물체의 형상을 표현한다.

가구는 일반적으로 타제품과는 달리 단순한 모형과 복잡한 모형을 동시에 필요로 하는 비교적 규모가 작은 제품이어서, 위 모형중 CSG모형이 가장 적합하다고 생각되나, 집성가구는 일반가구와는 달리 단일 부재로 제작되지 않고 여러 부재를 접착하여 한 부재로 만들기 때문에 CAD상에서 표현되는 데이터의 양도 더욱 커지게 되므로, 가구용 부품이나 손잡이와 같은 불규칙적인 부재에는 rulesurf, tabsurf, revsurf, edgesurf 모형을 이용 하였다.

2) Database의 CAD에의 활용

표 2.3에서 제시된 가구용 부재에 요구되는 특성을 검색하기 위한예비 단계로 제작된 Database의 structure는 그림 4.2-7과 같다.

해부학적 성분

수종: 잣나무, 학명: Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.

전체보기 | 해부학적, 화학적 성분 | 물리, 기계적 성분 | 가공 특성 | 지역별, 산림연혁 | 검색

비율	성질	값	수용 수축률 (%)	값	
비율	수축률	0.63	수용 수축률 (%)	425	
	기간	0.45		수축률 (%)	789
	장간	0.43		수축률 (%)	772
용적 팽창수 (kg/m ³)	합계	468	수축률 (%)	0.375	
	방사선면	0.061	수축률 (%)	94	
	단면	0.043		수축률 (%)	95
	접선면	0.061	수축률 (%)	20	
방사선면	0.041	수축률 (%)		18	
습수용 (g/cm ³)	합계	0.202	수축률 (%)	11	
	방사선면	0.252		수축률 (%)	13
	단면		수축률 (%)	9	
	접선면			수축률 (%)	11
수축률 (%)	방사선	2.82	수축률 (%)	1.2	
	접선	7.41		수축률 (%)	4
	합계	0.38	수축률 (%)		
	방사선	1.8		수축률 (%)	
	접선	4.34	수축률 (%)		
	합계	0.01		수축률 (%)	
	방사선	0.09	수축률 (%)		
접선	0.27	수축률 (%)			
합계	0.2		수축률 (%)		
방사선	11.11	수축률 (%)			
합계			수축률 (%)		

AM 8:35

그림 4.4. DB의 물리, 기계적성질에 대한 화면.

해부학적 성분

수종: 잣나무, 학명: Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.

전체보기 | 해부학적, 화학적 성분 | 물리, 기계적 성분 | 가공 특성 | 지역별, 산림연혁 | 검색

구분	성질	값	구분	성질	값
제재시료	제재시료	13	도장성	유리	1.03
	수축률	0.0000		수축률	0
	접선	0.0000		수축률	0
	방사선	0.0000		수축률	2.3
기계적	탄성률	10000	수축률	수축률	1.49
	인장강도	30000		수축률	0
	압축강도	30000		수축률	0
	인장률	10000		수축률	0
가공특성	가공특성	55.8	수축률	수축률	43
	가공특성	100		수축률	40
	가공특성	40.4		수축률	31
	가공특성	60		수축률	43
수축률	수축률	44.4	수축률	수축률	19.6
	수축률	100		수축률	23.4
	수축률	0		수축률	18.6
	수축률	0		수축률	20.1
가공특성	가공특성	44	수축률	수축률	43
	가공특성	40		수축률	43
	가공특성	43		수축률	43
	가공특성	43		수축률	43

AM 8:35

그림 4.5. 가공특성에 대한 화면.

수종: 잣나무 | 학명: Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.

검색보기 | 해부학적, 화학적성질 | 물리, 기계적 성질 | 가공 특성 | 지역별 산림면적 | 검색

	10년급	20년급	30년급	40년급	50년급	60년급	계
간 원 도		606	1512	973	374	0	3365
경 기 도	0	125366	162174	16543	1993	1960	308076
초경면적	0	602	2642	236	0	0	3683
중경면적	0	0	0	0	0	0	0
신년면적	0	1973	5405	2918	0	1799	12095
신년면적	0	675	1336	63	9	2	2085
중상면적	0	0	0	0	0	0	0
경상면적	0	788	1887	3169	6683	2352	36477
상수면적	0	0	0	0	0	0	0
총 계	0	129926	175156	23902	11059	27733	367778

AM 8:36

그림 4.6. 지역별 임목축적에 대한 화면.

수종: 잣나무 | 학명: Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.

검색보기 | 해부학적, 화학적성질 | 물리, 기계적 성질 | 가공 특성 | 지역별 산림면적 | 검색

Group I - 포함할 정도 | Group II - 허용 가능한 정도 | Group III - 포함할 정도 | Group IV - 허용 가능한 정도

SPECIES	SCIENTIFIC	V1	V2	V3	IMAGE	RI
<input type="checkbox"/>	잣나무	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	스스로브잣나무	Pinus strobus L.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	리기다소나무	Pinus rigida Mill.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	해송	Pinus thunbergii Parl.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	소나무	Pinus densiflora Sieb. et Zucc.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	낙엽송	Larix leptolepis (Sieb. et Zucc.) Gordon			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	진나무	Abies holzhiyia Maxim.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	삼나무	Cryptomeria japonica (L. fil.) D. Don			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	명백	Chamaecyparis obtusa Sieb. et Zucc.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	가래나무	Juniperus mandshurica Maxim.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	가제수나무	Juniperus sibirica Turcz.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	사스레나무	Betula ermanii Cham.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	낙엽나무	Betula schmidtii Regel			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	낙엽나무	Betula davurica Pallas			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	오리나무	Alnus japonica (Thunb.) Steud.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	붉은오리나무	Alnus hirsuta (Spach) Rupr.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	붉은나무	Alnus hirsuta var. sibirica (Spach) Schneid.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	개서여나무	Carpinus tschonoskii Maxim.			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	개서나무	Carpinus laxiflora Blume			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	개서나무	Carpinus cordata Blume			(B10b)	영확
<input type="checkbox"/>	상수리나무	Quercus acutissima Carruth.			(B10b)	영확

AM 8:37

그림 4.7. 검색에 대한 화면.

3) 집성가구 모델의 제작도면과 집성재 렌더링 이미지

표 4.3- 표 4.8은 가구설계에서 결정되어야 할 조건을 고려하고 1항을 종합하여 설계된 각각에 대한 Part list이며, 그림 4.8 - 그림 4.13은 설계 제작도면이다. 또한, 그림 4.14은 국산 수종의 조건을 고려한 가구용 부재에 적합한 수종 중 함수율과 목리가 많이 상이하지 않는 적합한 두 수종으로 집성 배치시켜 렌더링 한 이미지이다. 배치기준은 색의 3요소 중 색상과 명도의 조화에 따른 배색관계를 응용하였고, 색값의 기준은 모니터와 출력 기간의 색상오차를 줄이기 위한 표준색상체계인 Lab값을 기준으로 하였다.

먼저, 2차원 이미지로 적당 수종을 배치한 후, 이것을 보통 판넬에 재질을 입히므로 좀 더 실제감 있게 보고자 하였다. 다시, 모델링한 제품 중 화장대를 대상으로, 각각을 예들을 렌더링함으로 그 시각적인 효과를 증감시켰다.

표 4.3. 교회용 의자의 Part List

Part Name	Size (L×W×H)	EA	Material
Leg	1000×400×30	2	졸참집성재
Back Post	1730×260×20	1	굴참집성재
Seat	1730×400×20	1	굴참집성재
Seat Brace	1730×110×20	2	굴참집성재
Book Prop	1730×180×20	1	졸참집성재

표 4.4. 식탁용 의자의 Part List

Part Name		Size (L×W×H)	EA	Material
1Front Leg		405×45×20	2	갈참집성재
Back Post		820×45×20	2	갈참집성재
Front	Upper Rail	335×45×20	1	신갈집성재
	Lower Rail	335×30×20	1	갈참집성재
Side	Upper Rail	380×45×20	2	신갈집성재
	Lower Rail	380×30×20	2	갈참집성재
Back lower Rail		340×30×20	1	갈참집성재
Top Rail		350×45×20	1	신갈집성재
Banister		540×35×10	4	갈참집성재

표 4.5. 상품전시대의 Part List

Part Name	Size (L×W×H)	EA	Material
Shelves	700×700×15	3	줄참집성재
Legt	1050×45×45	4	서어집성재
Shelf Post	460×45×15	6	서어집성재
Seat	1730×180×20	1	물푸레집성재

표 4.6. 화장대의 Part List

Part Name		Size (L×W×H)	EA	Material
Base		682×458×10	1	상수리 집성재
Column		1302×50×50	1	갈참집성재
Leg		170×45×25	3	갈참집성재
Side		292×80×20	2	물푸레 집성재
Back		369×80×10	1	물푸레 집성재
Drawer	Frontl	476×80×10	1	물푸레 집성재
	Side	275×65×8	2	합 판
	Back	352×65×8	1	합 판
	Bottom	435×303×8	1	합 판
Drawer Base Framel		390×20×10	1	물푸레 집성재
Mirror		Major Axis 290 Minor Axis 175	1	

표 4.7. 식탁의 Part List

Part Name		Size (L×W×H)	EA	Material	
Top	Edge	Front	1100×100×15	2	상수리 집성재
		Side	500×100×15	2	상수리 집성재
	Center		900×500×15	1	굴참집성재
Side Skirt Piece		620×75×10	2	상수리 집성재	
Drawer	Guide		150×75×20	4	상수리 집성재
	Base Rail		150×20×10	12	합 판
	Front	Right,Left	240×75×10	4	굴참집성재
		Middle	480×75×10	2	굴참집성재
	base	Right,Left	200×140×10	4	합 판
		Middle	440×140×10	2	합 판
	Back	Right,Left	220×65×10	4	합 판
		Middle	460×65×10	2	합 판
Side		140×65×10	12	합 판	
L e g		720×40×40	4	상수리 집성재	

표 4.8. 회의용 테이블의 Part List

Part Name		Size (L×W×H)	EA	Material
Top	Edging	600× 100× 14	6	상수리집성재
	Glass	970× 940× 5	1	
Base		1200× 1050× 15	1	상수리집성재
Partitions		400× 115× 10	6	물푸레집성재
Skirt		115× 15× 15	6	상수리집성재
Column		600× 150× 20	6	물푸레집성재
L e g		442× 38× 15	3	상수리 집성재

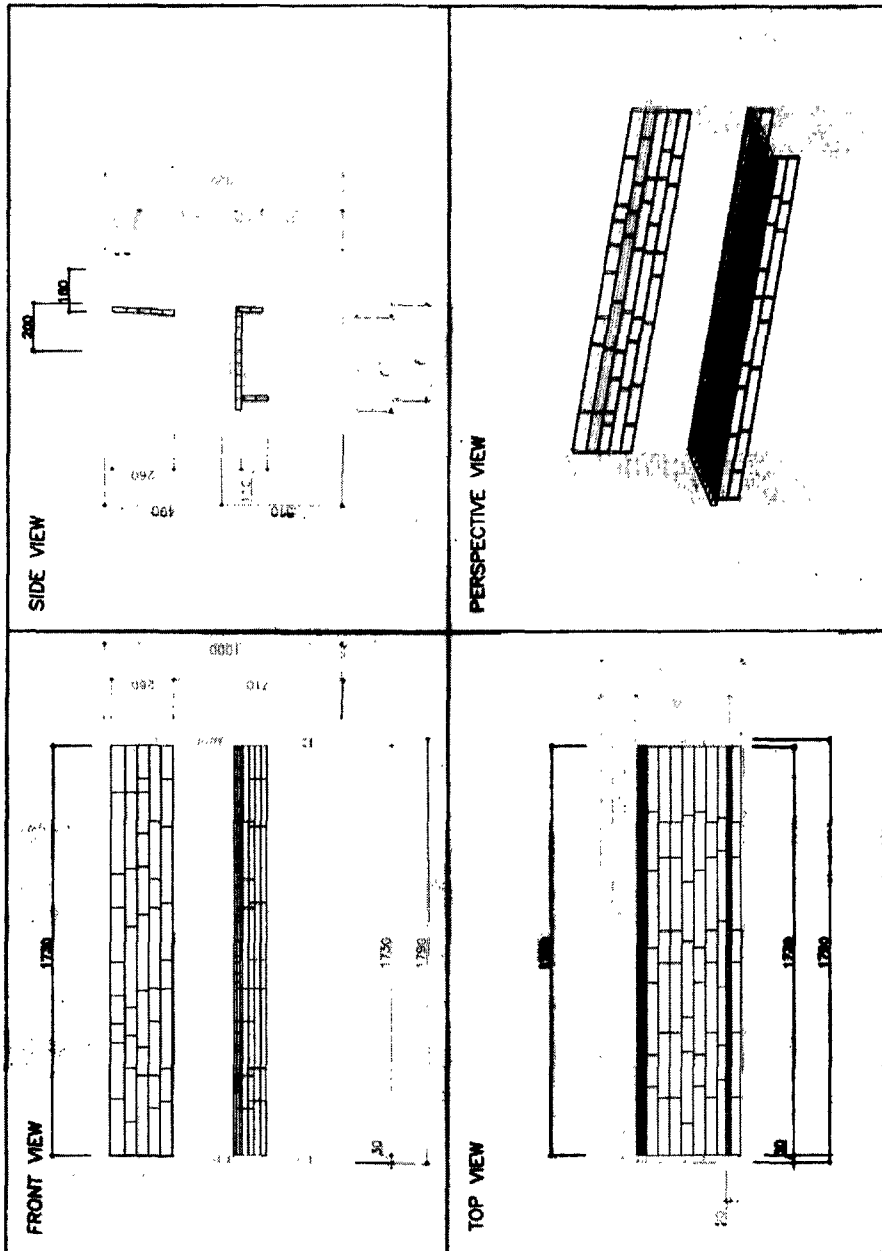


그림 4.8 교회용 의자도면

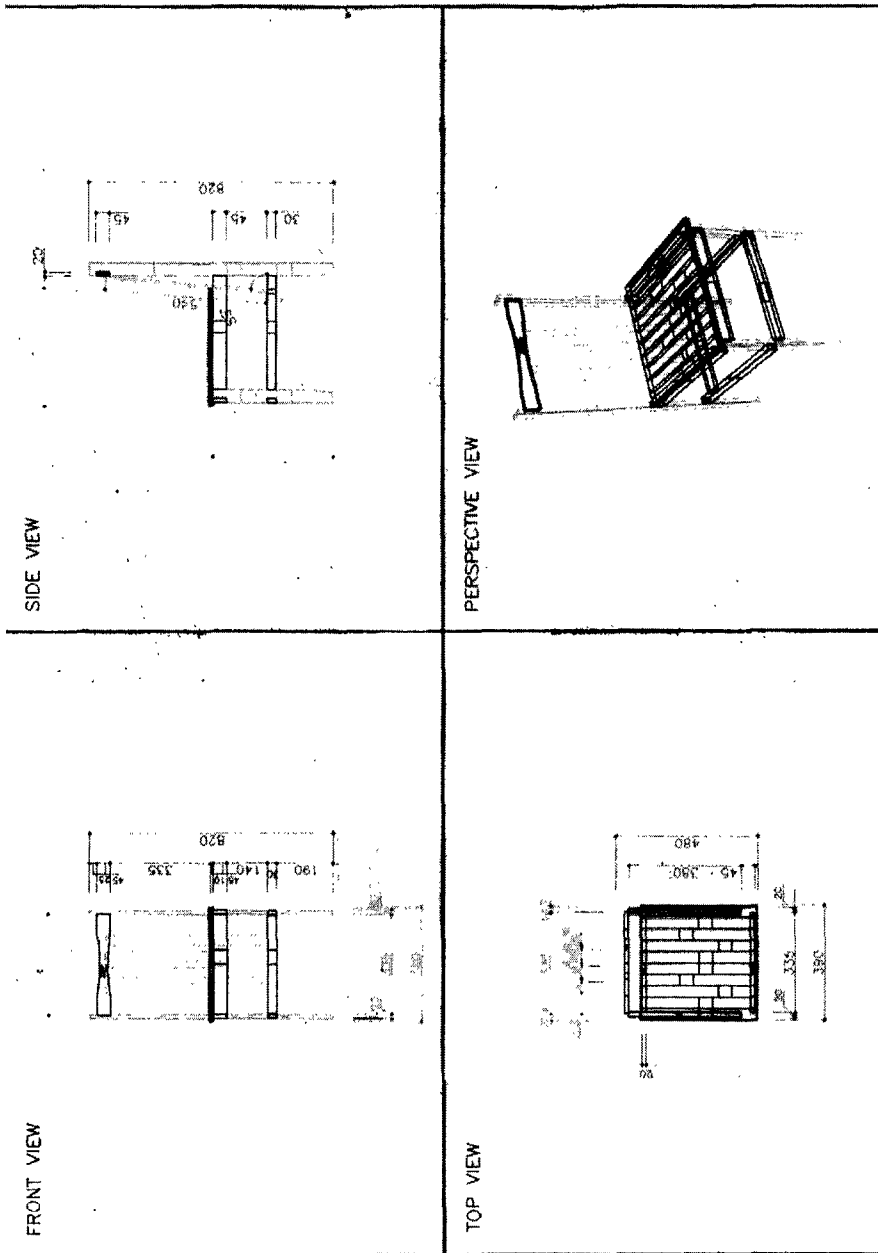


그림 4.9 식탁용 의자 도면

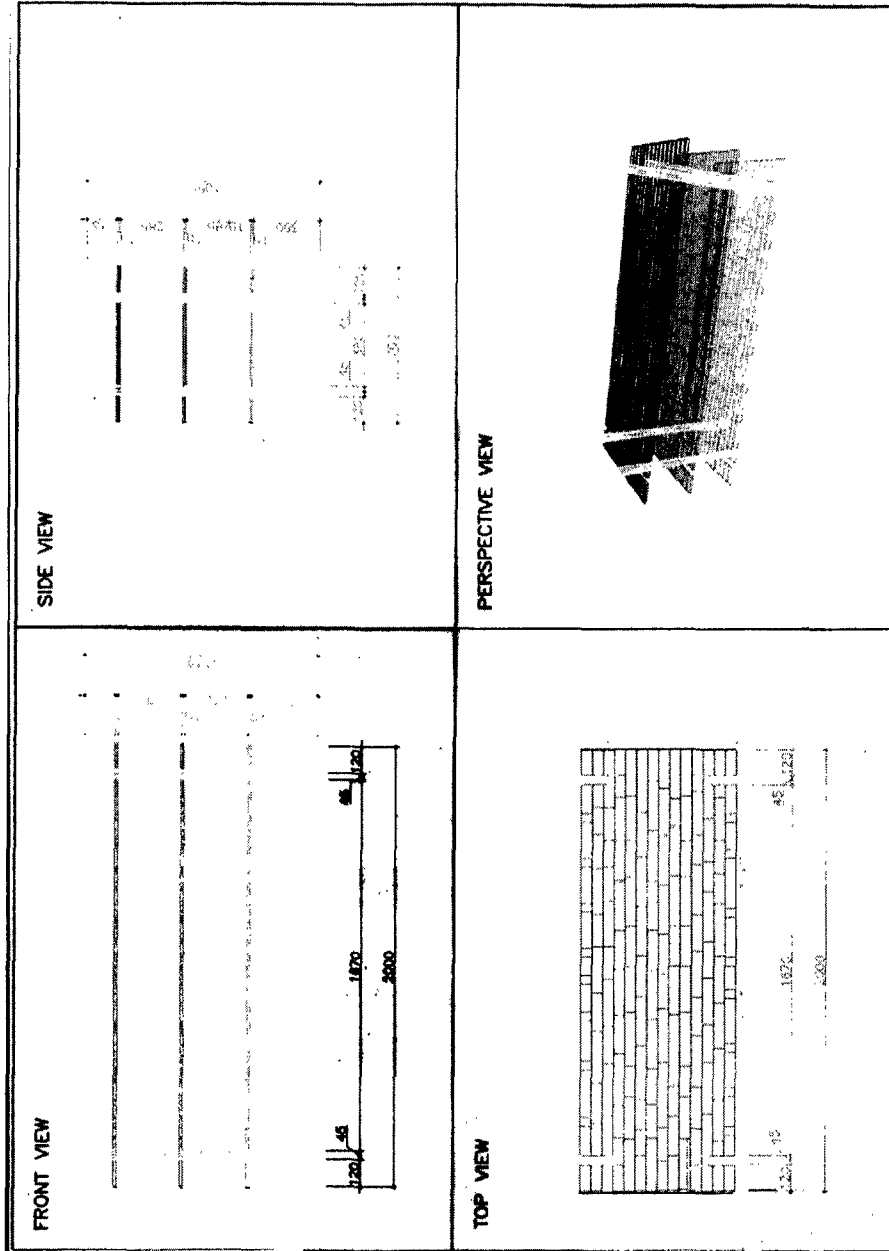


그림 4.10. 상품 전시대 도면

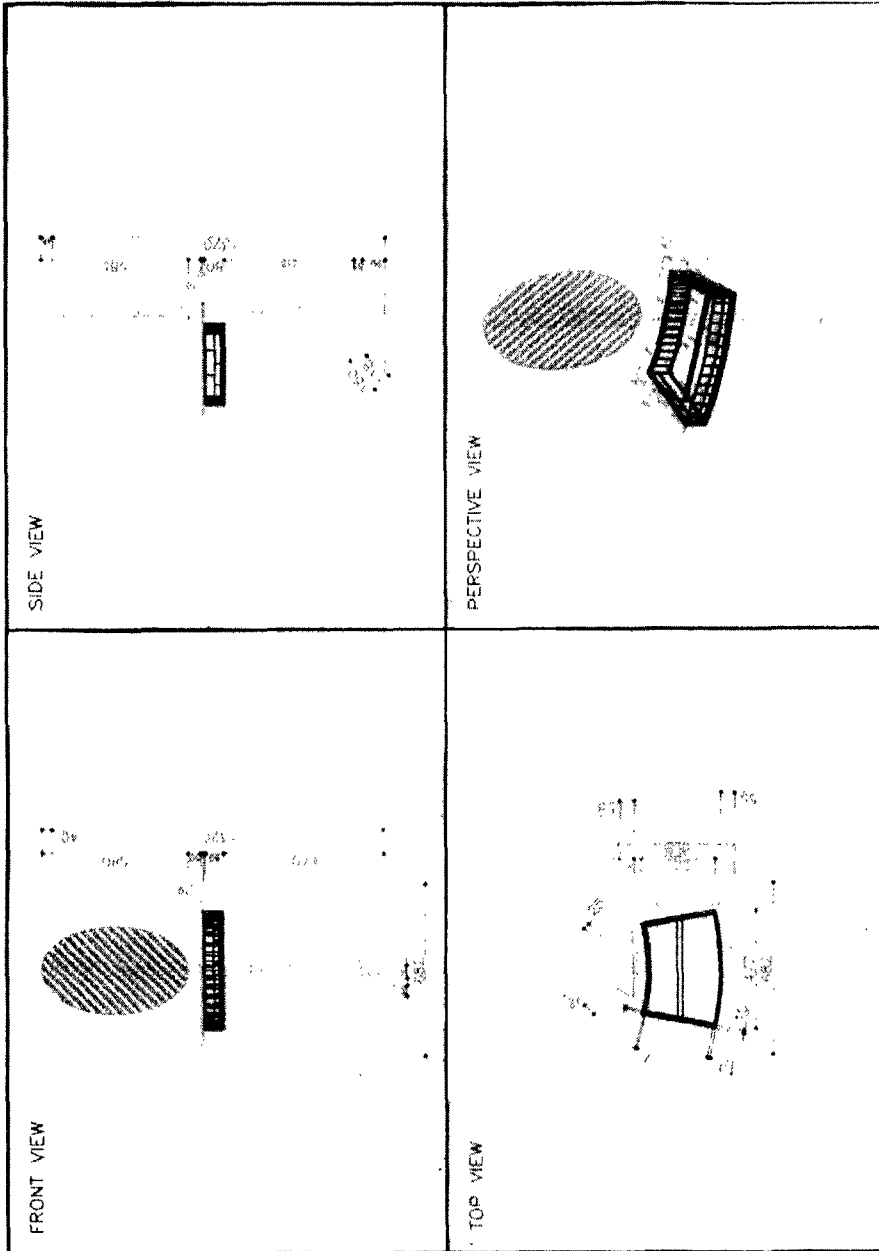


그림 4.11. 장식용 화장대 도면

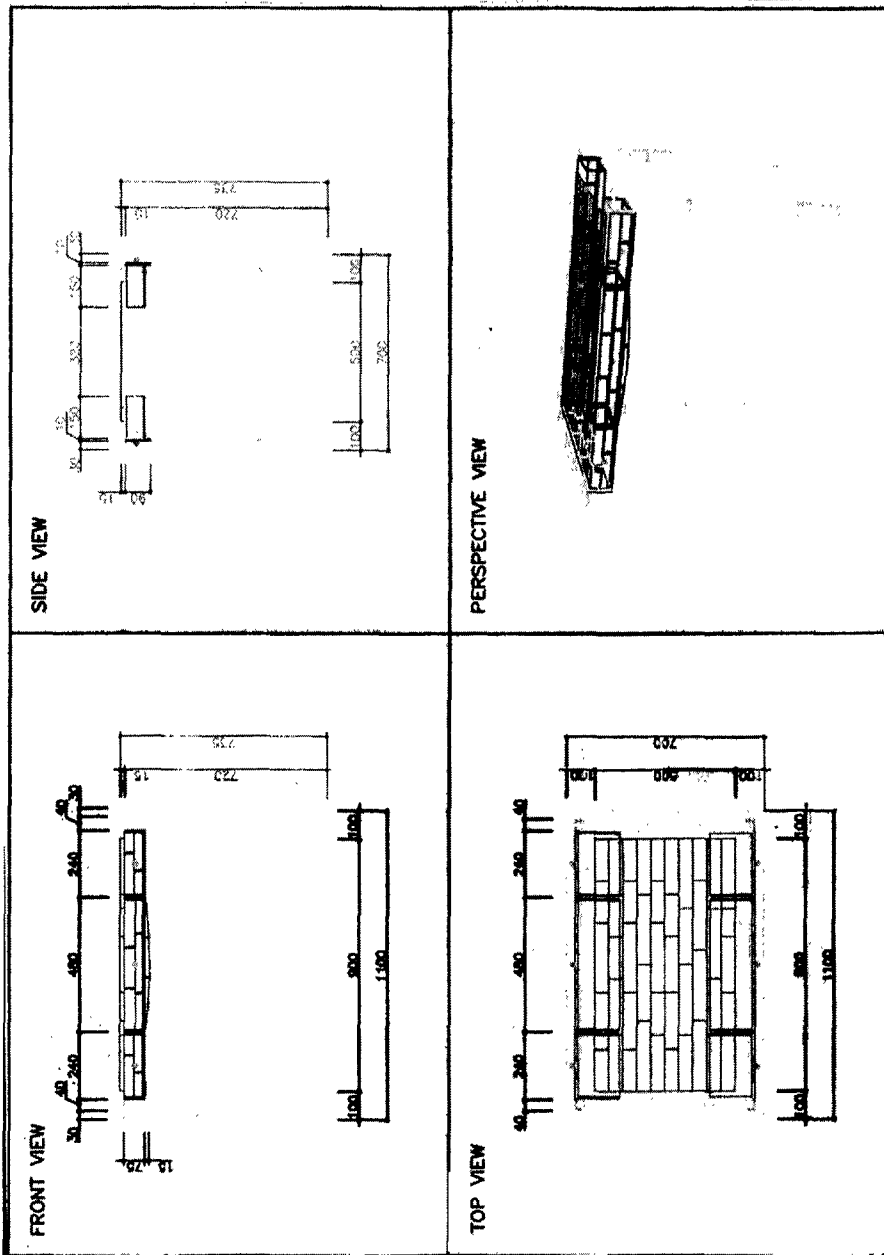


그림 4.12. 식탁도면.

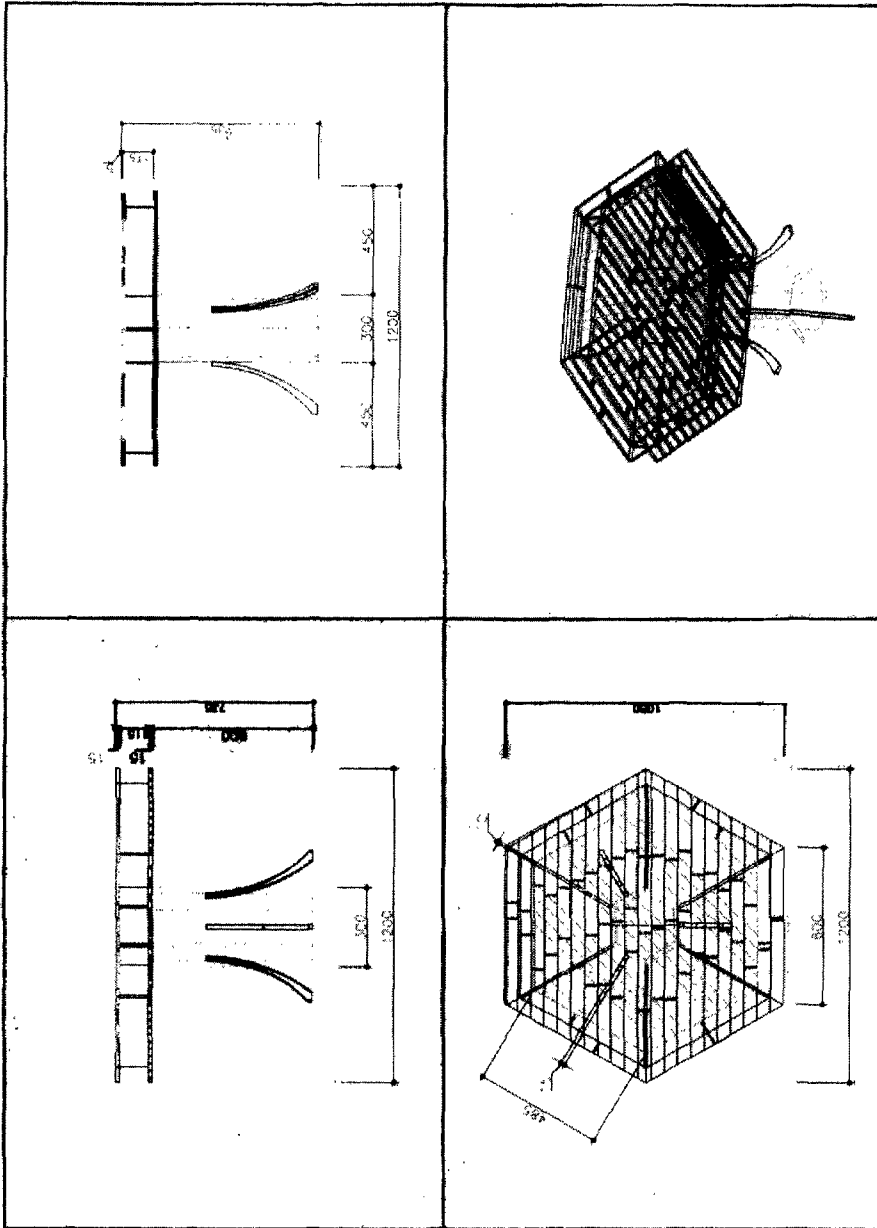


그림 4.13. 회의용 테이블 도면.

그림 4.14는 AutoCad에서 작업한 모델을 3Dmax에서 작업하기 위한 상태로 무재질 상태의 화장대를 나타낸 것이다.



그림 4.14. 무재질 상태의 화장대

그림 4.15는 갈참나무와 굴참나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링하기전 임의로 배치한 그림이다. 색상을 주로한 배색관계로 색상차가 적은 배색 관계이므로, 부드럽고 통일되며 온화한 느낌을 준다. 표 4.9.는 갈참나무와 굴참나무의 L.a.b값을 나타낸 것이다.

표. 4.9. 갈참나무와 굴참나무의 L,a,b값

	갈참나무	굴참나무
L	56.4	58.5
a	26.2	16.0
b	31.9	19.4

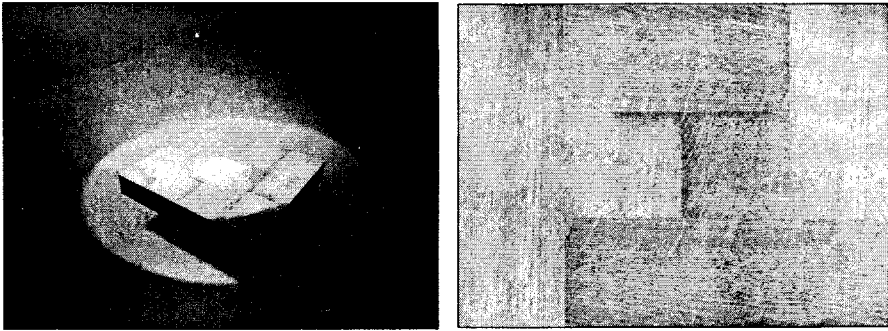


그림 4.15 갈참나무와 굴참나무의 집성판렌더링

그림 4.16는 상수리나무와 물푸레나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링하기전 임의로 배치한 그림이다. 색상차와 명도차가 큰 배색관계로 명확하고 명쾌한 느낌을 준다. 표 4.10.는 상수리나무와 물푸레나무의 L,a,b 값을 나타낸 것이다.

표. 4.10. 상수리나무와 물푸레나무의 L,a,b값

	상수리나무	물푸레나무
L	50.9	67.3
a	14.8	7.70
b	18.6	21.0

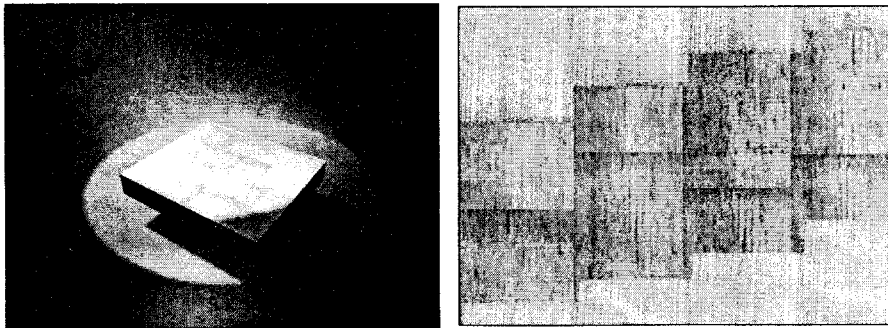


그림 4.16. 상수리나무와 풀푸레나무의 집성판렌더링.

그림 4.17은 산벚나무와 졸참나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링한 이미지이며, 그림 4.18은 화장대 렌더링 전의 집성판렌더링 그림이다. 배색관계는 명도차가 작은 배색관계로 밝고 경쾌한 느낌준다.. 표 4.11. 은 갈참나무와 굴참나무의 L.a.b값을 나타낸 것이다.

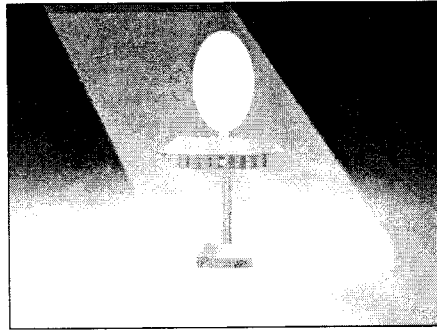


그림 4.17. 산벚나무와 졸참나무 집성판으로 화장대에 직접렌더링한 이미지

표. 4.11. 산벚나무와 졸참나무의 L,a,b값

	산벚나무	졸참나무
L	44.6	49.7
a	45.2	14.9
b	22.9	21.2

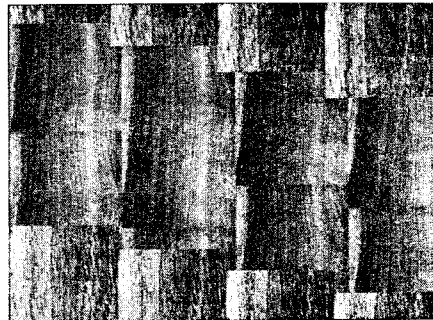


그림 4.18. 산벚나무와 졸참나무의 집성판렌더링.

그림 4.19는 산벚나무와 서어나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링한 이미지이며, 그림 4.20.은 화장대 렌더링 전의 집성판렌더링 그림이다. 색상을 주로한 배색관계로 배색차가 큰경우이므로 명확하고 명쾌한 느낌을 준다. 표 4.12.는 산벚나무와 서어나무의 L.a.b값을 나타낸 것이다.

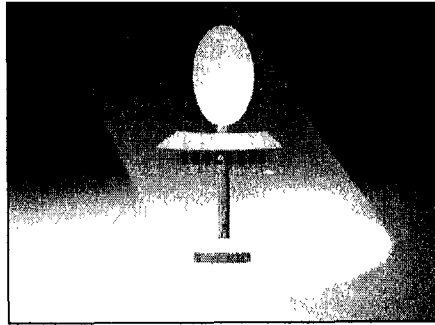


그림 4.19. 산벚나무와 서어나무 집성판으로 화장대에 직접렌더링한 이미지

표. 4.12. 산벚나무와 서어나무의 L,a,b값

	산벚나무	서어나무
L	44.6	57.7
a	45.2	21.6
b	22.9	33.0

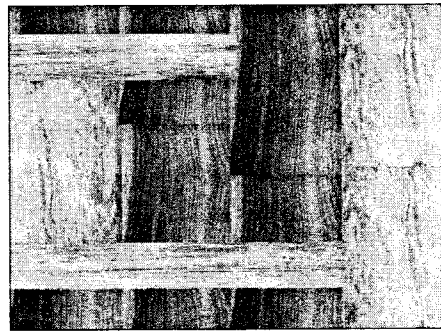
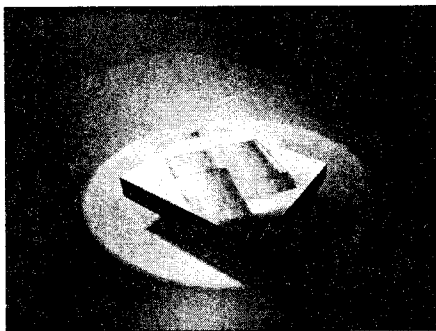


그림 4.20. 산벚나무와 서어나무의 집성판렌더링.

그림 4.21.은 산벚나무와 물푸레나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링한 이미지이며, 그림 4.22.은 화장대 렌더링 전의 집성판렌더링 그림이다. 색상차와 명도차가 큰 배색으로 명확하고 명쾌한 느낌을 준다. 표 4.13.는 산벚나무와 물푸레나무의 L.a,b값을 나타낸 것이다.

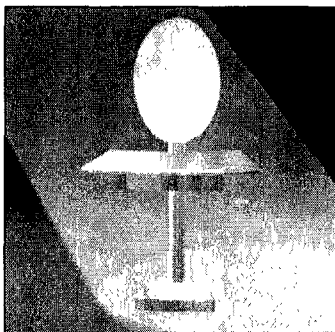


그림 4.21. 산벚나무와 물푸레나무 집성판으로 화장대에 직접렌더링한 이미지

표. 4.13. 산벚나무와 물푸레나무의 L,a,b값

	산벚나무	물푸레나무
L	44.6	67.3
a	45.2	7.7
b	22.9	21.0

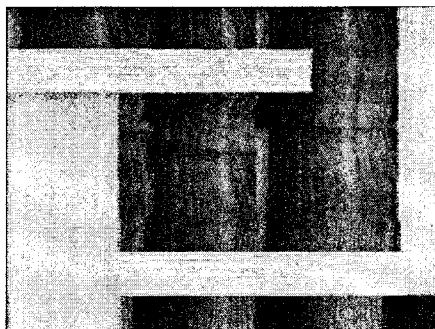
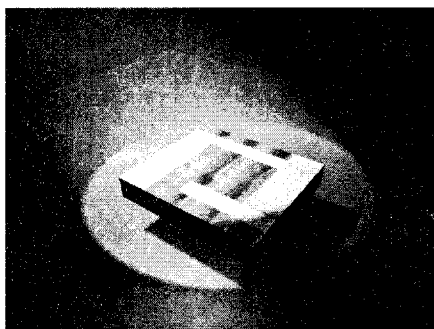


그림 4.22. 산벚나무와 물푸레나무의 집성판렌더링.

그림 4.23.은 굴참나무와 물푸레나무를 집성한 집성판을 화장대에 직접 렌더링한 이미지이며, 그림 4.24.은 화장대 렌더링 전의 집성판렌더링 그림이다. 색상차가 작은 배색관계로 부드럽고 통일되면 온화한 느낌을 준다. 표 4.14.는 산벚나무와 물푸레나무의 L.a.b값을 나타낸 것이다.

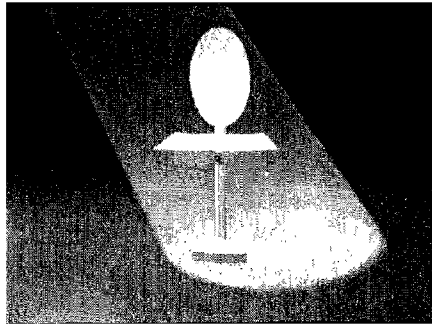


그림 4.23. 굴참나무와 물푸레나무 집성판으로 화장대에 직접렌더링한 이미지

표. 4.13. 굴참나무와 물푸레나무의 L,a,b값

	굴참나무	물푸레나무
L	58.5	67.3
a	16.0	7.7
b	19.4	21.0

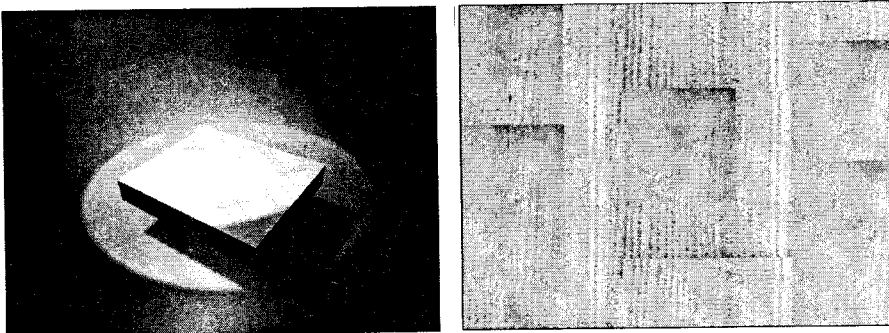


그림 4.24. 굴참나무와 물푸레나무의 집성판렌더링.

5. 집성제품 이용 가구설계 요약

연간 국내 목재에 소비량이 꾸준히 증가하고 있는 실정에 다량을 수입재에 의존해 오던 제품들을 새로운 소재로 대체하여 국산 원목산업을 활성화 함으로 목재수급의 어려움을 덜고자 수행되었다. 이에 구체적인 방법으로 새로운 소재로서 국내원목의 단점을 보완 할 수 있는 집성재를 택하였고, 부가가치가 높고 이용률을 높일 수 있는 가구산업의 집성재에 적합한 목재 산업이라고 생각하여 국내 수종으로 집성가구를 설계하였다. 본 연구의 주요결론을 요약하면 다음과 같다.

가) 가구용재를 용도별로 Group I(프레임부재), Group II(캐비닛 work-용), Group III (옥외용가구)로 분류한 후, 각 Group별로 재질특성을 3단계로 세분화 하였다.

나) 43종의 유용국산재의 특성을 해부학적성질, 화학적성질, 이미지, 지역별 산림면적, 물리적 성질, 기계적 성질, 가공특성으로 구분하여 database를 구축하였다.

다) 인체계가구와 준인계가구에 속하는 item을 정한 후, CAD상에서 3차원 모델 중 rulesurf, tabsurf, revsurf, edgesurf 모형을 이용하여 재질 렌더링시 데이터의 손상없이 전환이 가능한 도면을 작성하였다.

라) 두수종으로 혼합제작된 시각적 색체조화를 이룬 집성판을 제시 하였다.

마) CAD상에서 작업한 모델에 시각적 색체조화를 이룬 집성판을 mapping 함으로 실제 제품을 제작하지 않고도 그 효과를 볼 수 있도록 렌더링하였다.

제2절 국산재의 재질 및 가공성 조사를 통한 용도별 경제수종 결정

1. 국산재의 해부, 물리, 기계 및 화학적 기초재질 특성 조사

국산수종중 용재생산이 가능한 고로쇠나무 외 60여 주요수종에 대하여 원목형질, 육안, 현미경에 의한 해부학적 성질과 비중, 수축률, 흡수량 등의 물리적 성질 및 압축강도, 인장강도, 휨강도, 전단강도, 할렬강도, 충격강도 등의 기계적 성질, 그리고 cellulose, hemicellulose, lignin 및 추출물 등 화학적 성질에 관한 임업연구원보고서, 목재공학회지, 한국가구학회지 및 기타 논문 등 기 발표된 관련자료를 수집분석하여 Microsoft Excel의 Spread-sheet program을 이용하여 database화 하였으며 조사된 자료의 database 흐름도는 그림 2.1과 같이 정리하였다.

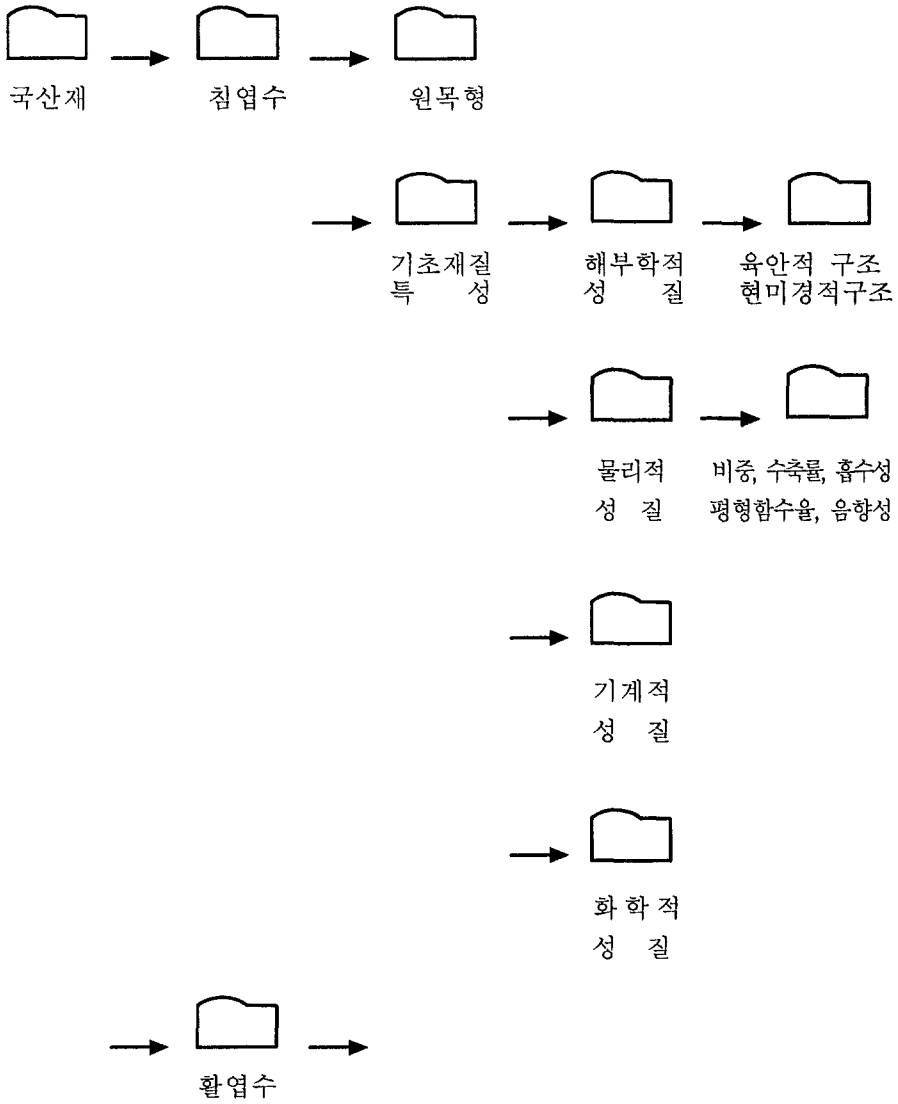


그림 2.1. 국산재의 원목형질 및 기초재질 특성의 Database 흐름도.

국산재의 해부, 물리, 기계 및 화학적 기초재질 특성조사에 관한 Database의 세부항목별 정리된 결과양식의 일례를 예시하면 그림 2.2와 같고 전체 Database 결과는 부록A 2-1-1에서 2-2-4-2까지 조사되었다.(부록 부분은 별도의 디스켓에 Excel file로 내장됨) Database의 항목에 따라서는 아직까지 발표된 자료가 없거나 미흡하여 부분적으로 blank되어있는 경우가 있으며 금후 관련 연구내용이 발표되는대로 계속해서 보완하게 될 것이다.

번호	학명	수종	생재 습수율	생재 비중	기건비중	건건비중	움직임도수	평균연륜폭(mm)	수미두께	방사율			
			평균	편차	평균	편차	평균	편차	(kg/m ³)	평균	편차	(mm)	(%)
4	<i>Acer mono</i>	고트식나무	67	1.04	0.05	0.7	0.05	0.66	0.06	562(50)			
5	<i>Acer inflorum</i>	복자기나무	59	1.12	0.06	0.78	0.04	0.72	0.07	624(40)			
6	<i>Alnus albisima</i>	가문나무	77	1.09		0.65		0.5		525			
7	<i>Alnus firma</i> Sieb. et Zucc	사방오리	74	0.99	0.06	0.68	0.07	0.63	0.08	540(74)		4.39	3.5
8	<i>Alnus hirsuta</i> Rupr.	물오리나무	99	0.97	0.04	0.56	0.07	0.51	0.05	440(41)		4.77	4.26
9	<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>adunca</i>	물오리나무	102	0.91	0.04	0.56	0.06	0.53	0.09	456(27)		3.03	6.12
10	<i>Alnus japonica</i> Steudel	오리나무	94	0.91	0.06	0.55	0.04	0.5	0.1	438(45)		3.14	6.64
11	<i>Betula costata</i> Trautvetter	거저수나무	63	0.92	0.06	0.67	0.05	0.63	0.05	533(39)		2.4	0.3
12	<i>Betula davurica</i> Paliss	물박달나무	63	0.97	0.04	0.73	0.06	0.68	0.06	572(37)		3.6	0.4
13	<i>Betula ermanii</i> Chamisso	사스레나무	63	0.92	0.06	0.65	0.06	0.62	0.06	517(47)		1.7	0.3
14	<i>Betula schmidtii</i> Regel	바늘나무	47	1.07	0.06	0.93	0.06	0.87	0.09	768(59)		2.9	0.4
15	<i>Camponotus cordata</i> Blume	개서나무	77	0.97	0.05	0.6	0.05	0.63	0.05	630(39)		1.3	0.6
16	<i>Camponotus ischnoskaki</i> Haininowicz	개서나무	71	0.97	0.04	0.64	0.04	0.68	0.05	563(29)		1.7	4.1
17	<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc	밤나무	66	0.96	0.05	0.64	0.04	0.68	0.05	571(39)		2.6	3.7
18	<i>Cedrus sinensis</i>	참나무	97	0.71	0.08	0.57	0.07	0.54	0.07	469(58)		2.3	
19	<i>Cedrus sinensis</i>	참나무	61	0.94		0.68		0.62		560		4.5	
20	<i>Cedrus sinensis</i>	참나무	67	0.89	0.05	0.68	0.06	0.64	0.05	544(45)		1.6	
21	<i>Cornus controversa</i>	솔나무	109	0.89		0.6		0.56		491		3.1	
22	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	감나무	70	0.95	0.04	0.75	0.03	0.69	0.09	578(26)		2.2	
23	<i>Fraxinus mandshurica</i>	물버나무	61	1.1		0.73		0.69		579		2.6	
24	<i>Fraxinus snyderi</i> Hillebrand	물버나무	48	1.00		0.75		0.69		605		2.1	
25	<i>Juglans mandshurica</i>	기린나무	94	0.81		0.53		0.5	0.45			3.1	
26	<i>Kalopanax pictum</i>	원나무	95	0.89	0.06	0.61	0.07	0.57	0.05	406(47)		2	
27	<i>Maackia amurensis</i>	디올나무	72	0.94		0.57		0.55		479		1.5	
28	<i>Paulownia coriata</i>	오동나무				0.252	0.022						
29	<i>Paulownia tomentosa</i>	참오동나무	139	0.94		0.24		0.22		209		13.5	
30	<i>Paulownia occidentalis</i> L.	암바원나무	95	0.85	0.04	0.59	0.04	0.56	0.04	476(25)		3.3	
31	<i>Populus alba</i>	유명나무	118	0.68	0.03	0.42	0.02	0.4	0.02	360(20)		3.6	1.7

그림 2.2. 국산재의 원목형질 및 기초재질 특성의 Database 양식

2. 국산재의 절삭, 건조, 접착 및 기타 물리화학적 가공특성조사

마찬가지로 주요 국산수종의 제재·절삭성, 건조가공성, 접착 및 도장성, 휨가공성, 보존성, 보오드제조특성, 수종별 용도분석 등에 관한 기존자료를 수집분석하여 Microsoft Excel의 Spread-sheet program을 이용하여 database화 하였으며 조사된 자료의 database 흐름도는 그림 2.3과 같이 정리하였다.

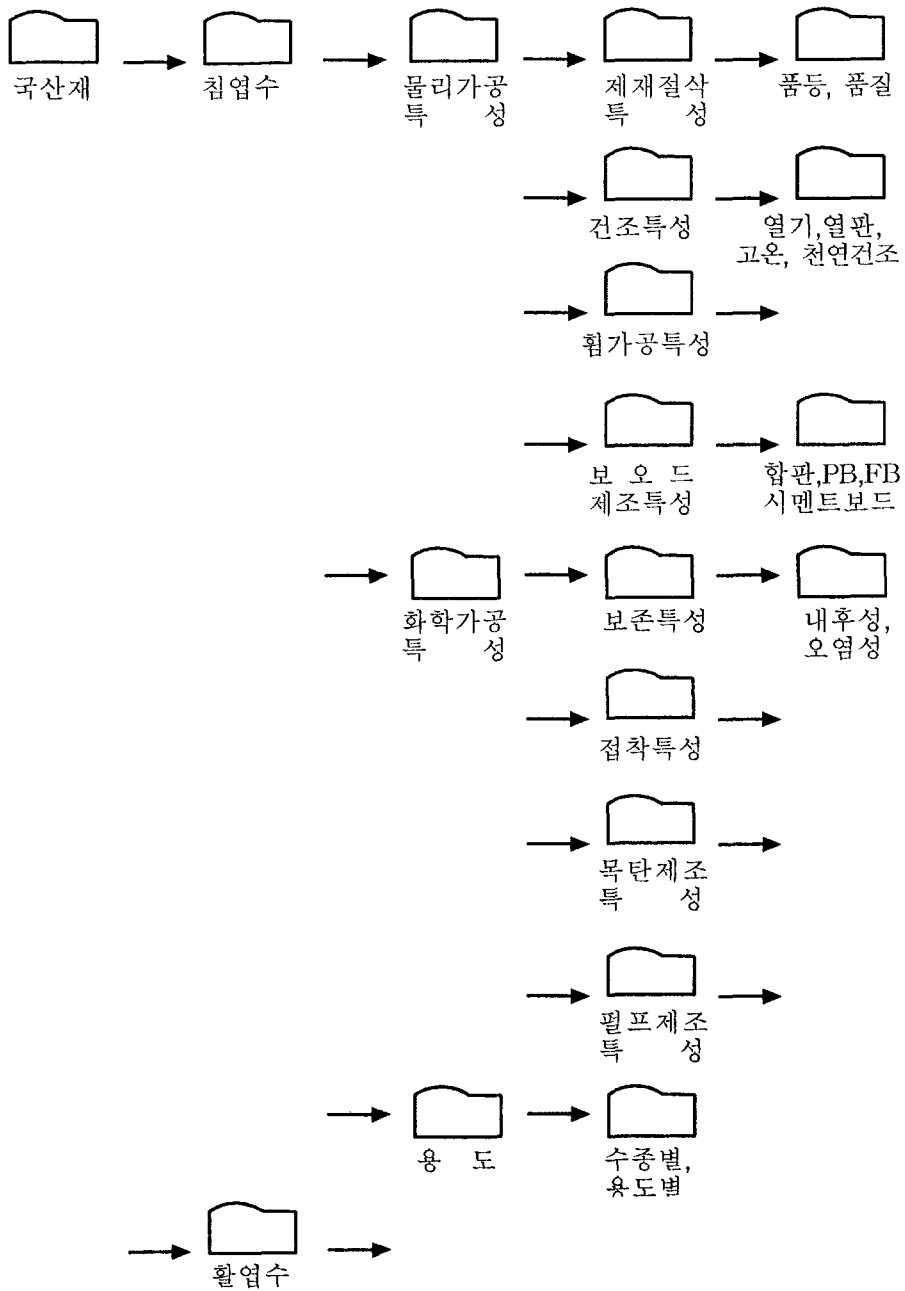


그림 2.3. 국산재의 물리화학적 가공특성의 Database 흐름도

국산재의 절삭, 건조, 접착 및 기타 물리화학적 가공특성조사에 관한 Database의 세부항목별 정리된 결과양식의 일례를 예시하면 그림 2.4와 같고 전체 Database 결과는 부록 B 2-3-1-1에서 2-5-1까지 조사되었다. 역시 Database의 항목에 따라서 미발표된 부분은 blank되어있으며 금후 관련 연구내용이 발표되는대로 계속해서 보완하게 될 것이다.

번호	학명	수종명	상온소수지접착제				초산비닐에틸렌수지접착제			
			상태시일	목피율	내온수시일(60도, 3시간)	목피율	상태시일	목피율	내온수시일(30도, 3시간)	목피율
			접착력 (kg/cm2)	(%)	접착력 (kg/cm2)	(%)	접착력 (kg/cm2)	(%)	접착력 (kg/cm2)	(%)
1	주요 접합수의 접착도량특성									
2	1) 접착특성									
3	학명	수종명								
4										
5										
6										
7										
8	<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	123.6	25	53.2	0	78.2	3	10.9	0
9	<i>Acer triflorum</i>	북지기나무	113.4	24	52.6	0	63.2	0	10.7	0
10	<i>Alnus albus</i>	가물나무	64.7	32	25.4	49	43.1	74	21.8	20
11	<i>Alnus firma Sieb. et Zucc.</i>	사왕오리	107.4	35	54.9	30	68.6	74	0	0
12	<i>Alnus hirsuta Florj.</i>	물오리나무	30.3	33	63.4	46	101.3	74	0	0
13	<i>Alnus hirsuta var. sinense</i>	물오리나무	31.9	33	62.9	79	95.1	65	0	0
14	<i>Alnus japonica Steudal</i>	오리나무	65.3	36	54.9	69	72.1	89	0	0
15	<i>Betula costata Trautvetter</i>	거대수나무	98.6	30	57.2	0	107.8	10	17.3	0
16	<i>Betula davurica Pallas</i>	황라달나무	74.8	20	23.9	0	33.5	20	11.6	0
17	<i>Betula ermani Chamisso</i>	사스래나무	104	65	44.3	0	121.3	30	11.7	0
18	<i>Betula schmidtii Regel</i>	박달나무	89.8	40	65.3	0	98.4	0	28.1	0
19	<i>Carpinus cordata Blume</i>	까치박달	33.4	99	32.7	0	102.2	21	0	0
20	<i>Carpinus laxiflora Siebold & Zucc.</i>	계서어나무	121	76	27.2	0	116	19	0	0
21	<i>Carpinus tachonoski Maximowicz</i>	계서어나무	115.3	100	28.8	0	111.8	19	0	0
22	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i>	밤나무	78.5	47	42	17	63.3	68	10.1	0
23	<i>Cedrela sinensis</i>	삼릉나무	60.4	75	44.3	17	44.3	59	37.9	11
24	<i>Celtis jessoensis Koidz.</i>	봉계나무	126.4	68	83	37.6	86.2	40	9.9	0
25	<i>Comus controversa</i>	송송나무	61.9	78	12.9	19	46.5	72	37.7	31
26	<i>Diospyros kaki Thunb.</i>	감나무	103.8	61	70.5	4.6	96.8	6	15.4	0
27	<i>Fraxinus mandshurica</i>	황버나무	54.6	71	11.3	21	51.2	88	30.6	19
28	<i>Fraxinus thymcephalylla</i>	황우재나무	63.6	77	30.5	39	40.3	88	33.9	23
29	<i>Juglans mandshurica</i>	가래나무	53.3	59	15.5	33	47.1	69	25.3	39
30	<i>Katsuraphys pictum</i>	참나무	103.9	48	56.1	0	57.3	11	10.9	40
31	<i>Masochia amurensis</i>	대들나무	32.1	64	9.7	8	28.6	92	24.8	21
32	<i>Paedonia lomentosa</i>	참모름나무	22.9	75	7.3	9	25.7	91	12	20

그림 2.4. 국산재의 물리화학적 가공특성의 Database 양식.

3. 집성제품 용도별 경제수종 분석

집성재의 이용은 구미에 있어서는 대형 건축물, 교량, 주택, 공장 등의 구조재로서 많이 이용되고 있으며 일본에서는 처음에 학교, 체육관, 교회 등의 대형 건조물에 많이 이용되었으나 근래에 들어 일본식 건축에서 삼나무, 편백의 대체품으로서 표면의 아름다운 단판을 미장한 조작용으로도 많이 사용되고 있다.

집성제품의 용도는 집성재의 구성형태, 품질상태 및 제품종류에 따라 무수하게 세분될 수 있으나 통상적으로 강도를 요하는 건축, 토목, 차량, 조선, 침목, 전주 등의 내력구조용과 미관을 목적으로하는 내부장식재, 기타 창호재, 상자재, 가구부재 등의 일반조작용으로 크게 대별할 수 있다. 따라서 우선적으로 본 연구에서는 국산재에 대해 비중, 전단접착강도, 휨강도 및 휨영계수 등의 집성재의 품질조건과 국내임목축적을 기준으로 활용가능한 수종을 선별하여 개략적인 경제수종을 구분하였다. 먼저 임목축적량이 40만 m^3 을 상회하는 국산수종의 임목축적상황은 표 2.1과 같이 조사되었다.

표 2.1. 주요 국산수종의 임목축적량 (단위: m^3)

수종	임목축적	수종	임목축적	수종	임목축적
활엽수계	121,649,426	물오리나무	692,060	자작나무	892,361
갈참나무	4,508,184	물참나무	436,585	졸참나무	16,027,308
고로쇠나무	1,370,349	물푸레나무	3,802,874	층층나무	1,779,999
굴참나무	17,008,647	박달나무	1,136,652	피나무	510,758
굴피나무	1,026,773	밤나무	2,331,851		
느티나무	491,643	산벚나무	4,167,102		
다릅나무	674,867	상수리나무	18,795,312	침엽수계	39,862,729
단풍나무	1,454,790	서어나무	4,807,163	낙엽송	967,805
때죽나무	1,049,225	신갈나무	24,652,899	리기다	2,745,666
떡갈나무	491,789	아까시나무	4,378,913	소나무	35,083,591
물박달나무	1,624,259	오리나무	2,806,804		

활엽수로는 신갈나무를 포함한 25수종과 침엽수로는 소나무를 포함한 3

수종으로 모두 28수종이 국내임목축적상 용재생산용으로 활용가능성이 높게 나타났으나 국내산 굴피나무는 수고 3m, 직경 10cm로 국내성장이 불량하여 제외하고 이외에 임목축적량으로는 빈약하지만 국내목재산업용으로서 나름대로 용도를 가지고 있는 오동나무, 포플러, 곰솔, 잣나무를 포함하면 현재 국산재로서 활용가치가 높은 수종은 모두 31개 수종임을 알 수 있다.

내력구조용 집성재와 일반조작용 집성재의 구분기준을 침엽수비중 0.5이상, 활엽수비중 0.6이상 및 한국공업규격 KSF 3118(목재집성재)의 침엽수 A그룹, 강도등급 1급(전단접착강도 70kg/cm², 휨강도 450kg/cm², 휨영계수 100,000kg/cm²)과 활엽수 A그룹, 강도등급 1급(전단접착강도 75kg/cm², 휨강도 490kg/cm², 휨영계수 80,000kg/cm²)을 적용해볼 때 국산수종의 집성재 품용도별 경제수종 분포는 표 2.2와 같이 조사되었다.

표 2.2. 집성제품 용도별 주요 국산수종

집성재 용도	활 용 가 능 수 종	
내력구조용	침엽수	소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 곰솔 (4수종)
	활엽수	갈참나무, 고로쇠나무, 굴참나무, 느티나무, 단풍나무, 때죽나무, 떡갈나무, 물박달나무, 물푸레나무, 박달나무, 산벚나무, 상수리나무, 서어나무, 신갈나무, 아까시나무, 졸참나무, 층층나무 (18수종)
일반조작용	침엽수	잣나무 (1수종)
	활엽수	다릅나무, 밤나무, 자작나무, 물오리나무, 오리나무, 피나무, 포플러, 오동나무 (8수종)

국산 침엽수 중 분포와 축적면에서 소나무, 리기다소나무, 낙엽송 등 3대 수종을 대표적으로 들고있으며 이들 수종의 임목축적합계가 전국 침엽수 임목축적량의 97%를 차지하고 있다. 그러나 개별적인 임목축적량을 보면 소나무가 35,083,591m³으로 전국 침엽수 축적량의 88%를 차지하고 있는 반면에 리기다소나무와 낙엽송의 임목축적량은 각각 2,745,666m³, 967,805m³으로 전국대비 7%와 2%에 불과하여 현재까지 실질적인 전국 침엽수자원의 거의 대부분이 소나무자원이라고 할 수 있다. 리기다소나무와 낙엽송은 치산녹화 10개년계획의 일환으로 과거에 장기간에 걸친 범국민적 조림사업을 통해 상당한 임목축적을 이루어오고 있으나 국내목재산업의 원료로서 활용할 침엽수자원이라면 아직까지는 분포와 축적면에서 월등한 소나무를 중심으로 고려되어야 한다고 본다.

또한 국산 활엽수 중 분포면적과 임목축적면에서 각각 10대수종을 조사한 결과 표 2.3과 같이 참나무류의 분포와 축적이 가장 높은 것으로 나타났다.

표 2.3. 수종별, 분포순위별 임야면적 및 임목축적

順位	樹種	面積(ha)	順位	樹種	蓄積(m ³)
1	상수리나무	482,464	1	신갈나무	24,652,899
2	신갈나무	399,101	2	상수리나무	18,795,312
3	굴참나무	392,612	3	굴참나무	17,008,647
4	졸참나무	296,806	4	졸참나무	16,027,308
5	아까시나무	124,589	5	서어나무	4,807,163
6	갈참나무	106,640	6	갈참나무	4,508,184
7	오리나무	84,815	7	아까시나무	4,378,913
8	산벚나무	81,588	8	산벚나무	4,167,102
9	서어나무	79,909	9	물푸레나무	3,802,874
10	밤나무	64,482	10	오리나무	2,806,804

대표적인 참나무류인 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무, 갈참나무 등 5개수종의 분포면적은 1995년도 기준 1,677,623ha로서 전국 산림면적의 26%에 해당하며 이들의 임목축적합계는 80,992,350m³로서 전국임목축적량의 50% 및 전국 활엽수 임목축적량의 67%를 차지할만큼 국산 활엽수의 대표수종군이라 할 수 있다. 5개 참나무류 중 분포면적은 상수리나무가 482,464ha로 가장 넓고 임목축적량은 신갈나무가 24,652,899m³으로서 가장 높게 조사되었으나 지역별로 보면 신갈나무가 강원지역에서만 집중적으로 많이 분포되어있고 타지역에서는 상수리나무보다 매우 열세인 반면에 상수리나무는 전국적으로 고른 분포와 많은 축적량을 가지고 있어서 실질적인 국산활엽수의 대표수종은 상수리나무라 할 수 있겠다.

국산재의 수종별 공급비율을 보면 소나무 59%, 낙엽송 13%, 참나무류 13%로서 3개수종이 국내목재공급량의 대부분인 85%이상을 차지하고 있으며 경급구성비는 소경제 (말구지름 15cm미만)48%, 중경제 (말구지름 15-30cm) 48%, 대경제(말구지름 30cm이상) 4%로서 국산재의 96%가 중소경제로 공급되고 있다. 이는 국산재 별채내역상 대경용재생산을 목적으로하는 주벌이 27%에 불과하고 간벌 16%, 수종갱신 16%, 피해목 29%, 기타 12% 등 국산재 공급원목의 대부분이 주벌이외의 별채행위로 공급되는 데서 그 원인을 찾을 수 있으며 이와같은 상황이 금후 20년간은 지속될 것으로 예상되기 때문에 산업용재로서의 국산재 자원활용에 관한 연구는 소나무와 참나무류를 중심으로한 중소경제를 대상으로 이루어져야 된다고 생각되며 이러한 관점에서 본 연구의 대상수종을 소나무와 상수리나무로 선정하고 이들 수종의 중소경제를 산업용 집성원자재로서 효율적으로 활용하기 위한 연구에 초점을 두고자 한다.

4. 공시수종의 재질특성시험

가. 공시원목의 형질

공시수종으로 선정된 국산 소나무(*Pinus densiflora*) 원목은 광주시중의 원목제재상을 통하여 구례산 원목을 구입하고 상수리나무(*Quercus acutissima*) 원목은 전남 장성에 위치한 전남대학교 부속 연습림에 자생하고 있는 임목을 벌채하여 준비하였으며 판목제재를 하여 얻은 제재판재를 천연건조한 후 시험편을 제작하여 기초적인 해부, 물리, 기계적 특성을 측정하였다. 준비한 공시원목의 형질은 표 2.4 및 표 2.5와 같다.

표 2.4. 국산 소나무 원목의 형질

원 목 번 호	원구직경 (cm)	재 장 (cm)	변재 폭 (cm)	편심도 (%)	굽음 (%)	용이빈도 (개/m)	수피두께 (mm)
P-1	31-27	278	11	13	4	0.4	1
P-2	32-29	276	8	2	7	1.5	1
P-3	21-20	283	6	3	4	2.8	5
P-4	25-23	276	6	1	13	4.0	1
P-5	28-25	279	9	6	9	6.5	1
P-6	27-23	277	7	19	12	0.7	1
P-7	23-23	287	8	1	9	0	6
P-8	22-19	278	7	9	14	4.3	3
P-9	17-15	293	6	5	6	3.8	1
P-10	26-23	278	5	3	13	7.2	1
P-11	38-33	272	12	2	9	0	3
P-12	39-27	276	11	14	14	0	2
P-13	44-38	280	17	4	21	0	1
P-14	30-29	283	8	0	7	3.5	2
P-15	33-32	279	8	5	11	0	5
P-16	30-30	278	8	0	10	4	1

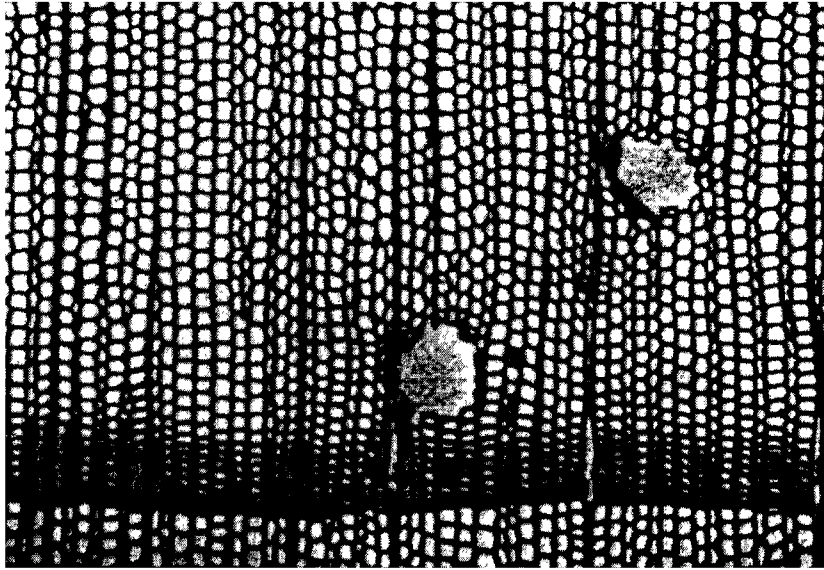
나. 해부학적 성질

전남산 소나무의 해부학적 특성개요는 가도관의 조만재 이행이 급하고 재질이 단단하며 에피테리얼 세포가 박벽인 수지구의 발달이 현저하게 존재하였다. 방사조직은 단열형태로서 방사가도관과 방사유세포로 구성되며 방사단면의 축방향 가도관과 방사유세포가 교차하여 만들어지는 분야벽공은 벽공연이 거의없는 창상벽공의 특징을 보인다. 축방향 가도관 내 벽공의 배열은 1열로 구성되고 방사가도관의 수평벽에 톱니모양의 돌기를 가진 거치상 비후가 발달하며 접선단면에서 방추형 방사조직과 수평수지구가 관찰되었다. 그림 2.5는 광학현미경으로 횡단면, 방사면, 접선면의 3단면별로 각각 40X, 100X, 100X로 촬영한 것이며 그림 2.6은 전자현미경으로 각 단면별 100X, 200X, 200X로 촬영한 것이다.

전남산 상수리나무의 해부학적 특성을 보면 심재는 적갈색 또는 황갈색을 띠며, 환공재로서 공권 관공은 지름이 큰 단천공으로 구성되고 1-2열의 배열구조와 잘 발달된 타일로스스가 관찰되었다. 축방향유조직은 주위상이고, 공권외에서는 산재상, 짧은 접선상 또는 주위상이다. 방사조직은 광방사조직과 단열방사조직으로 구성되며 도관상호간 벽공은 교호상(그림 2.9)을 나타내었다. 그림 2.7은 광학현미경으로 횡단면, 방사면, 접선면의 3단면별로 각각 40X, 100X, 100X로 촬영한 것이며 그림 2.8은 전자현미경으로 각 단면별 100X, 200X, 200X로 촬영한 것이다.

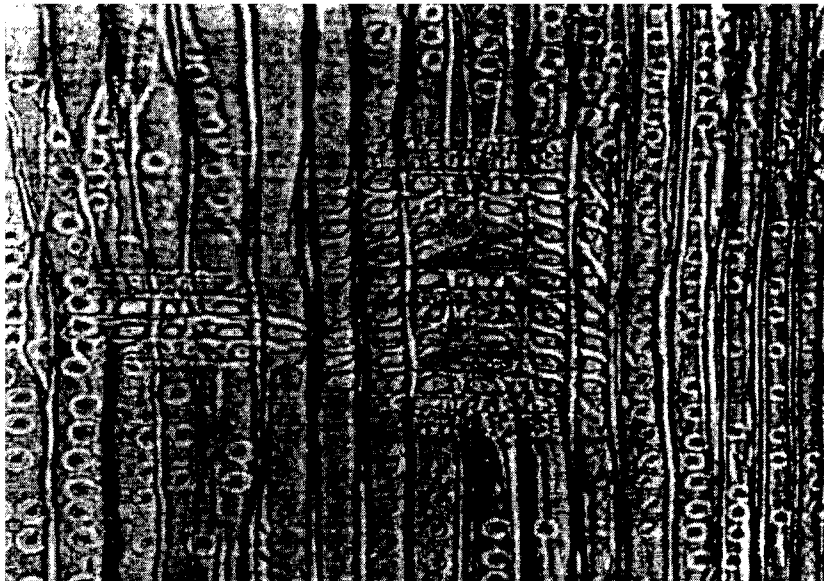
표 2.5. 국산 상수리나무 원목의 형질

원목번호	원구직경 (cm)	재 장 (cm)	변재 폭 (cm)	편심도 (%)	연륜수 (yr.)	연륜 폭 (mm)	추재 율 (%)	수피두께 (mm)
A-1	24-22	158	3	5	42	5	22	13
A-2	24-21	153	5	7	37	8	12	12
A-3	21-19	152	4	5	36	6	27	11
A-4	19-18	153	4	3	35	7	20	10
A-5	19-18	151	4	6	34	5	17	10
A-6	23-16	157	6	26	32	10	17	9
A-7	16-14	155	6	13	28	4	17	11
B-1	24-23	152	6	3	47	5	17	17
B-2	23-20	155	5	21	44	6	17	12
B-3	21-20	148	4	11	41	5	25	10
B-4	20-18	156	4	7	36	5	32	12
B-5	19-17	153	5	1	33	5	22	10
B-6	17-16	151	5	7	30	4	22	9
C-1	26-25	154	5	3	38	8	22	15
C-2	23-19	155	4	17	37	10	20	12
C-3	22-20	152	4	15	37	6	22	12
C-4	21-20	149	5	1	36	7	22	10
C-5	19-18	152	5	17	34	6	22	10
C-6	19-18	161	5	4	32	5	17	8
C-7	19-17	155	5	13	31	8	17	10



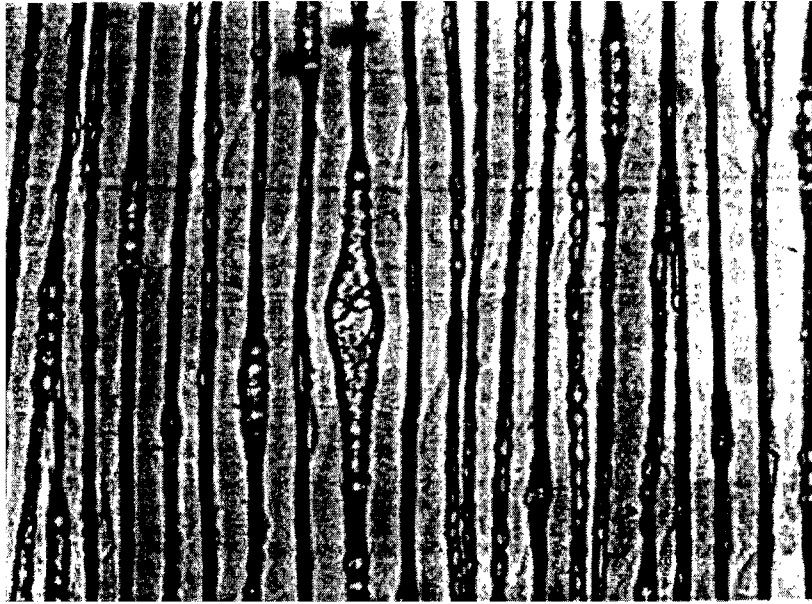
A

그림 2.5. 전남산 소나무의 광학현미경 구조 (A:횡단면(40X))



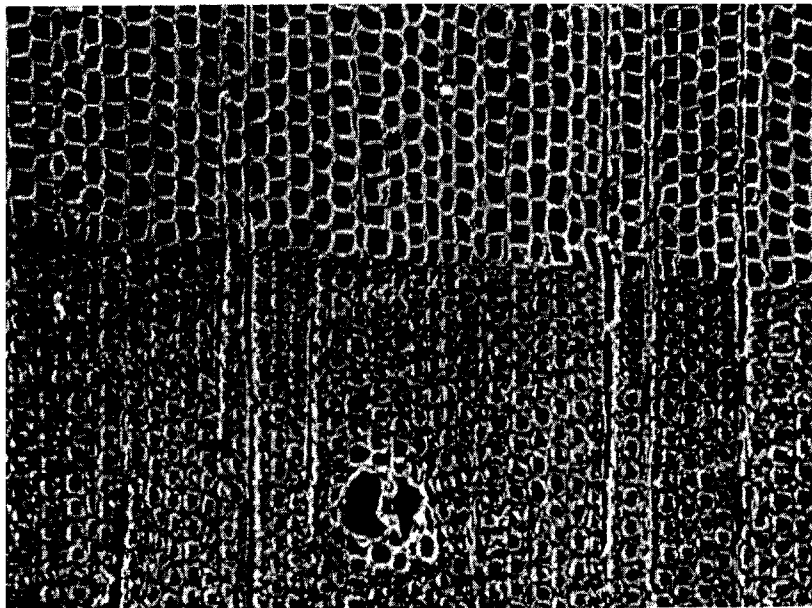
B

그림 2.5. 전남산 소나무의 광학현미경 구조 (B:방사면(100X))



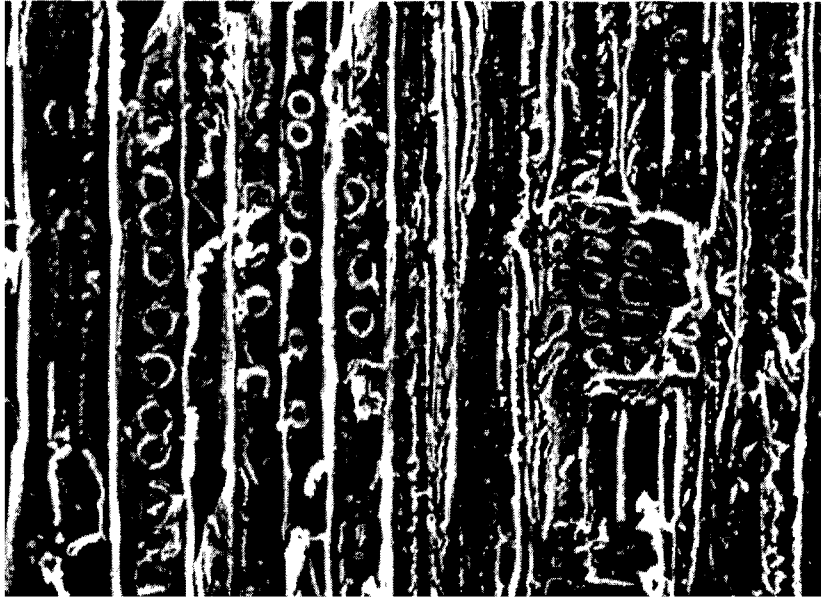
C

그림 2.5. 전남산 소나무의 광학현미경 구조 (C:접선면(100X))



A

그림 2.6. 전남산 소나무의 전자현미경 구조 (A:횡단면(100X))



B

그림 2.6. 전남산 소나무의 전자현미경 구조 (B:방사면(200X))



C

그림 2.6. 전남산 소나무의 전자현미경 구조 (C:접선면(200X))

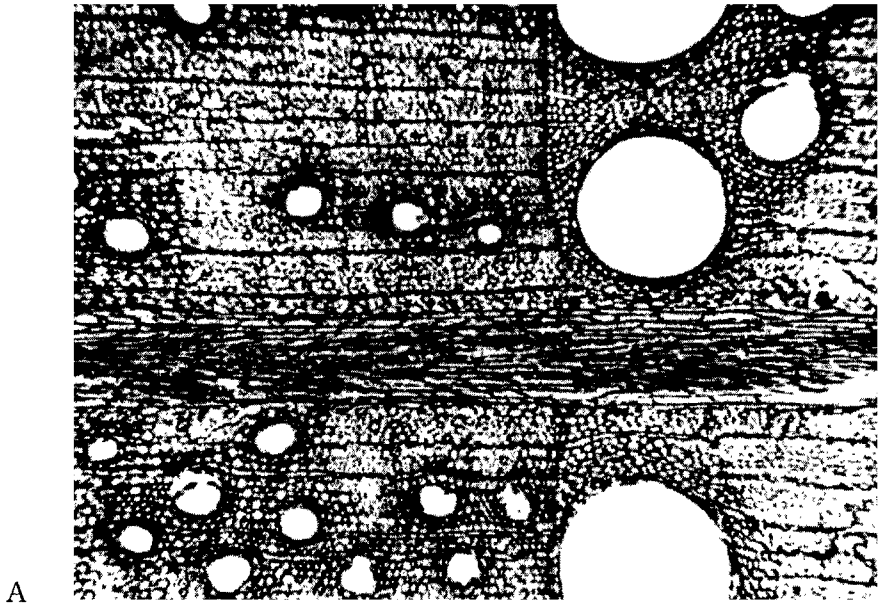


그림 2.7. 전남산 상수리나무의 광학현미경 구조(A:횡단면(40X)

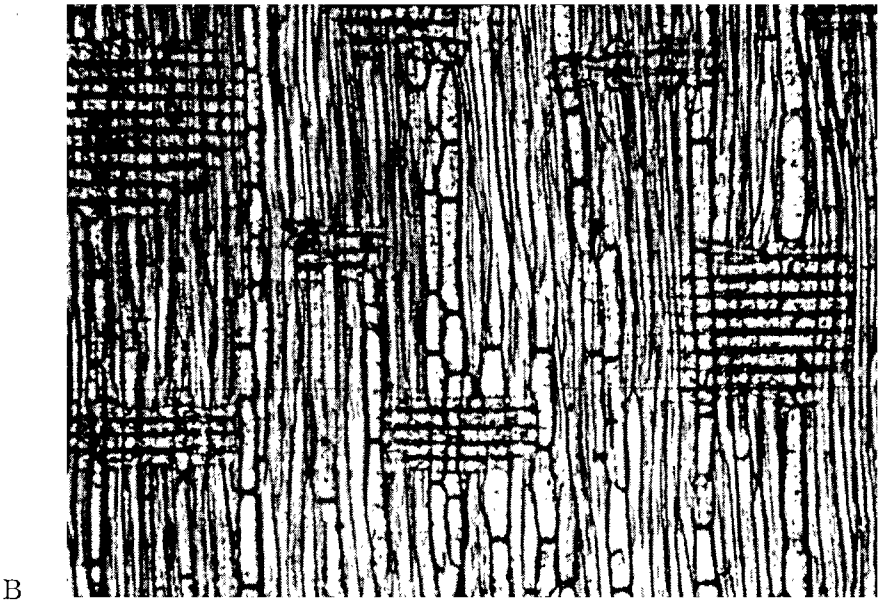
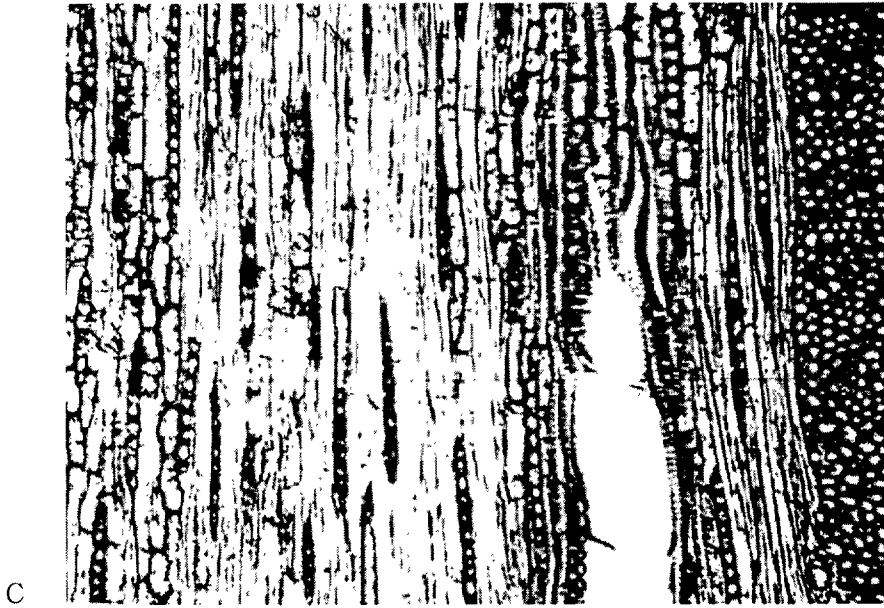
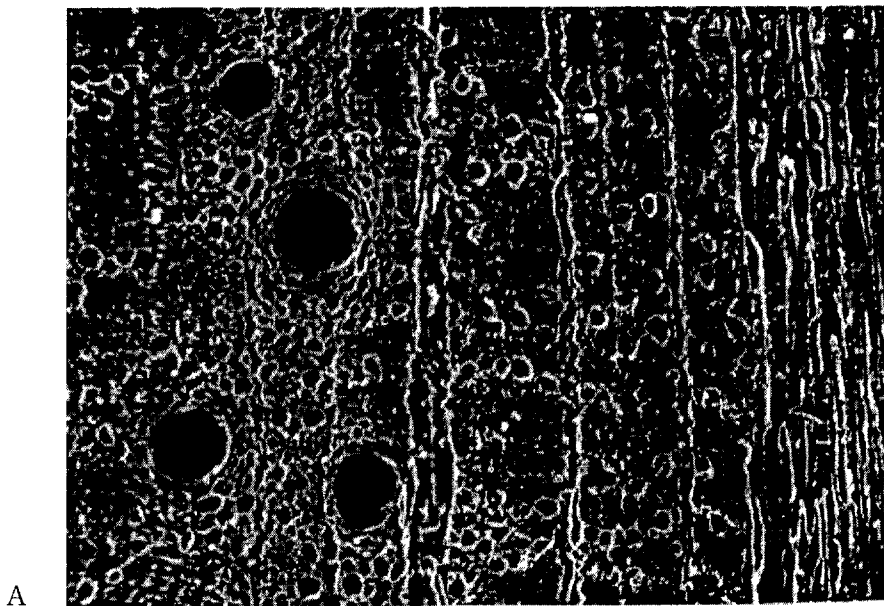


그림 2.7. 전남산 상수리나무의 광학현미경 구조 (B:방사면(100X)



C

그림 2.7. 전남산 상수리나무의 광학현미경 구조 (C:접선면(100X))



A

그림 2.8. 전남산 상수리나무의 전자현미경 구조(A:횡단면(100X))



B

그림 2.8. 전남산 상수리나무의 전자현미경 구조(B:방사면(200X))



C

그림 2.8. 전남산 상수리나무의 전자현미경 구조(C:접선면(200X))



그림 2.9. 전남산 상수리나무의 교호상 벽공(방사면 300X)

다. 물리학적 성질

공시수종으로 선정된 국산 소나무와 상수리나무의 비중과 수축률을 조사한 결과는 각각 표 2.6, 표 2.7과 같이 나타났다.

표 2.6. 소나무와 상수리나무의 생재 함수율 및 비중

수 종	함수율 (%)		비 중			용적밀도 (kg/m ³)
	생재	기건	생재	기건	전건	
소 나무	83.2	10.8	0.747	0.490	0.458	0.407
상수리나무	58.9	12.3	1.088	0.855	0.792	0.685

표 2.7. 소나무와 상수리나무의 수축률

수 종	전수축률(%)			기건수축률(%)		평균 수축률(%)	
	방사방향	접선방향	T/R율	방사방향	접선방향	방사방향	접선방향
소 나무	4.305	7.446	1.73	2.501	6.785	0.114	0.198
상수리나무	4.951	9.444	1.91	3.554	7.208	0.141	0.261

전남산 소나무의 생재함수율은 83.2%이었고 비중은 생재비중 0.747, 기건 비중 0.490, 전건비중 0.458로 조사되었으며 생입목 재적에서 전건목질 생산량을 산출할 수 있는 용적밀도수는 $0.407\text{kg}/\text{cm}^3$ 로 나타났다.

Richardson의 전건밀도 크기에 의한 수중분류에 따르면 $0.36\sim 0.50\text{g}/\text{cm}^3$ 이하의 중밀도재(moderate density group)에 속한다고 할 수 있다. 임업연구원 연구보고(조재명 등, 1975)에 발표된 경기도 양주산 소나무의 기건비중은 0.47로서 전남산 소나무 0.49보다 약간 가벼운 재질임을 알 수 있다.

또한 전남산 상수리나무의 생재함수율은 58.9%로서 소나무의 83.2%보다 입목의 성장수분함유량이 매우 적은 것으로 나타났다. 비중은 생재비중 1.088, 기건비중 0.855, 전건비중 0.792이며 역시 생입목 재적에서 전건목질 생산량을 산출할 수 있는 용적밀도수는 $0.685\text{kg}/\text{cm}^3$ 로 매우 높게 조사되었다.

Richardson의 전건밀도 크기에 의한 분류에 따르면 $0.50\text{g}/\text{cm}^3$ 이상의 고밀도재(heavy density group)에 포함되며, 임업연구원 연구보고(권영대 등, 1958)에 발표된 경기도 광릉산 상수리나무의 기건비중은 0.86이나 측정시 함수율이 21%이므로 동일 함수율로 비교한다면 전남산 상수리나무보다 다소 가벼운 재질이라고 추정된다.

전남산 소나무의 생재에서 전건까지의 최대 전수축률은 방사방향 4.305%, 접선방향 7.446%이며 방사방향과 접선방향의 수축률비(T/R-ratio)

는 1.73으로 나타났다. 일반 수종의 목리방향에 따른 수축이방성을 표시하는 T/R율은 목재의 치수안정성을 의미하는 지표로 인용되는 데 통상적으로 2.0을 기준해서 볼 때 소나무는 비교적 치수안정성이 양호한 편으로 평가할 수 있다고 본다. 임업연구원 연구보고(조재명 등, 1975)에 발표된 경기도 양주산 소나무의 전수축률은 방사방향 4.88%, 접선방향 9.11%로 조사되었는데 기건비중은 0.47로서 전남산 소나무 0.49보다 약간 가벼운 재질이면서도 수축성은 오히려 심하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

전남산 상수리나무의 생재에서 전건까지의 최대 전수축률은 방사방향 4.951%, 접선방향 9.444%이며 방사방향과 접선방향의 수축률비(T/R-ratio)는 1.91로 나타났다. 마찬가지로 T/R율 2.0을 기준해서 볼 때 상수리나무는 치수안정성이 보통으로 평가된다.

일반적으로 비중이 클수록 직접적인 수축을 일으키는 세포벽질의 상재비율이 높아지기 때문에 수축률도 증가하는 경향이 인정되고 있으나 두인자간에 특별한 관계식은 구명된 바 없다. 따라서 편의상 용적밀도와 수축률의 비(S/D-ratio)를 계산해볼 때 소나무는 방사방향 10.6, 접선방향 18.3인데 비해 상수리나무는 방사방향 7.2, 접선방향 13.8로서 소나무보다 비중이 월등히 높은데도 비중대비 수축률은 오히려 작게 나타나므로써 고비중재치고는 치수안정성이 다소 있는 재질임을 알 수 있었다.

라. 기계적 성질

전남산 소나무와 상수리나무의 기본적인 강도적 성질로서 압축강도, 휨강도, 전단강도 및 충격강도를 측정한 결과는 표 2.8과 같다.

표 2.8. 소나무와 상수리나무의 기계적 성질

수 종	압축강도 (kgf/cm ²)		휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (×10 ³ kgf/cm ²)	전단강도 (kgf/cm ²)	충격휨흡수 에너지 (kgf.m/cm ²)
	세로방향	가로방향				
소 나무	500±14	42±6	926±97	82±16	95±9	0.543±0.043
상수리나무	798±17	115±4	1,671±157	169±13	193±15	1.242±0.230

* Note: ± 표준편차

소나무의 압축강도는 세로방향과 가로방향의 경우 각각 500kgf/cm², 42kgf/cm²로서 가로방향 비례한도는 세로방향 최대파괴강도의 10.4%에 불과하였다. 임업연구원 연구보고(조재명 등, 1975)에 발표된 경기도 양주산 소나무의 세로압축강도 430kgf/cm², 가로압축 비례한도 26kgf/cm²에 비해 전남산 소나무의 압축저항력이 매우 양호하였으며, 비중에 대한 압축강도의 비(σ/s -ratio)를 볼 때 경기도산 소나무가 915인 데 반해 전남산 소나무는 1,020으로 비중에 대한 압축강도특성도 다소 우수함을 알 수 있었다. 전남산 소나무의 기건비중이 경기산소나무보다 다소 높은 데 Sigeo(1965)와 Kennedy(1965)가 발표한 비중과 압축강도와의 관계에서 기건비중이 클수록 압축강도는 증가한다는 시험결과와 일치되고 있다.

마찬가지로 휨강도와 충격휨흡수에너지도 각각 82kgf/cm², 0.543kgf·m/cm²으로서 경기도산 소나무의 747kgf/cm², 0.52kgf·m/cm²보다 강한 기계적 성질을 나타냈으며 다만 휨영계수와 전단강도는 각각 82,000kgf/cm², 95kgf/cm²로서 경기도산 소나무의 92,000kgf/cm², 97kgf/cm²보다 다소 약하게 조사되었다.

상수리나무의 압축강도는 세로방향과 가로방향의 경우 각각 798kgf/cm², 115kgf/cm²로서 가로방향 비례한도는 세로방향 최대파괴강도의 14.4%를 나

타냈다. 임업연구원 연구보고(권영대 등, 1950)에 발표된 경기도 광릉산 상수리나무의 세로압축강도 434kgf/cm^2 에 비해 전남산 상수리나무의 압축저항력이 매우 우수하였으며, 비중에 대한 압축강도의 비(σ/s -ratio)를 볼 때도 경기도산 상수리나무가 505인 데 반해 전남산 소나무는 933으로 비중에 대한 압축강도 특성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

마찬가지로 휨강도, 휨영계수, 전단강도 및 충격휨흡수에너지는 각각 $1,671\text{kgf/cm}^2$, $169 \times 10^3\text{kgf/cm}^2$, 193kgf/cm^2 , $1.242\text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$ 으로 측정되었는 바 경기도산 상수리나무의 휨강도 933kgf/cm^2 , 충격휨흡수에너지 $1.232\text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$ 보다 강한 기계적 성질을 나타냈다.

제3절 국산재의 건조효율 향상을 위한 건조자동화

시스템 개발

목재건조는 특히, 素材(solid wood)를 재료로 하는 부가가치가 높은 목제품을 생산하는 목재가공산업에서는 필수적인 공정으로 미국을 중심으로 전 세계에서 주로 사용되고 있는 유용수종에 대한 건조스케줄의 개발과 개선에 대부분의 연구가 집중되어 왔다. 또한 최소의 시간과 경비로 우수한 품질의 건조재를 생산할 수 있는 새로운 개념의 건조스케줄을 개발하고자 많은 연구가 이루어졌다. 일 예로 Dedrick은 기존의 다단계적 온도상승스케줄을 탈피하여 건조중 목재의 함수율에 따라 온도를 연속적으로 상승시키는 연속 온도상승스케줄(Continuously rising temperature schedule)이라는 신 개념의 목재건조스케줄을 개발, 미국 특허를 얻기도 하였다. 이외에도 Nassif는 연속 온도상승스케줄을 약간 변형한 연속변화형 스케줄(Continuously varying schedule)을 제시한 바 있다.

이러한 신 개념의 건조스케줄은 건조중 조건변화에 따라 능동적으로 공기의 조건을 결정, 제어할 수 있어야만 가능하다. 따라서 목재건조시스템의 자동화가 선행되지 않으면 실제 적용이 거의 불가능하다고 할 수 있다. 또한, 최근 급상승한 임금과 함께 열악한 노동조건을 기피하려는 사회현상은 비교적 근무환경이 좋지 못한 목재산업계에 커다란 부담이 되고 있음도 사실이다. 그러므로 목재가공공정의 자동화는 우리 나라 목재산업에 있어 불가피한 과정으로 인식되고 있으며 특히, 목재건조과정에는 많은 시간과 인력이 소요되므로 인건비의 절감을 위해서도 건조과정의 자동화는 시급한 과제라 하겠다.

목재건조 자동화 분야는 1980년대 들어서 급속히 발전된 컴퓨터산업에 힘입어 미국을 중심으로 많은 연구가 수행되었으며, 건조기 제작업체를 중

심으로 다양한 형태의 목재건조자동화시스템이 개발되었다. 현재 목재건조용 자동제어장치를 생산하고 있는 업체는 전세계적으로 십수개에 달하며, 각 제품들을 대별하면 우선 전통적인 건습구온도센서가 장착된 전자식 온습도기록계를 들 수 있으며, 현존 건조시스템에서 가장 많이 사용되고 있다. 저항식 수분계, 전기식 온습도계 및 풍속센서 등을 이용하는 유럽식은 보다 진보한 형태이며, PLC (Programmable Logical Controller)나 UDC (Universal Digital Controller)를 이용하는 프로그램형에서는 원하는 건조스케줄을 입력, 자동 제어할 수 있다. 그리고 대규모 목재건조공장에서는 중앙컴퓨터에서 여러 기의 건조실을 동시에 제어할 수 있는 분산제어형 (Distributed control)이나 중앙집중제어형 (Centralized control) 등이 실제 현장에 적용되고 있다. 결국 건조시스템의 hardware에 관련된 분야에서는 이미 상당한 수준에 도달해 있는 것이 사실이다. 그러나 건조대상물인 목재는 수종과 두께 및 그 산지에 따라 서로 지닌 특성이 다를 정도로 건조스케줄이 매우 다양하여 대상 수종과 두께 및 기타 특성에 알맞은 적정 건조스케줄을 찾아 적용하기란 쉬운 일이 아니다. 또한 목재건조에 종사하고 있는 노동자들이 목재건조에 관한 이론적 지식을 충분히 지니지 못하고 있는 실정이므로 부적절한 건조조건이 적용될 가능성이 높은 것도 사실이다.

본 과제에서는 기존의 국산재 건조스케줄을 조사, database화하여 스케줄 개량의 가능성을 타진하는 한편, 건조에 소요되는 에너지의 절약을 위한 건조기술을 개발하고자 하였다. 또한, 조사된 국산재의 건조스케줄과 건조 특성을 바탕으로 소량의 수종들을 혼합하여 건조하고자 할 때 지침이 될 수 있도록 혼합건조가 가능한 群으로 나누었다. 최종적으로는 전술한 각 결과와 자료들을 바탕으로 가장 효율적인 건조가 수행될 수 있는 건조 자동화시스템을 개발하고자 하였다.

1. 국산재 건조스케줄의 database화와 개량

국산재의 건조 효율 향상을 위하여 우선 기존의 국산재 건조스케줄을 database화하였다. 본 database 작성을 위해서 지금까지 국내에서 작성된 다양한 자료들을 수집, 검토하였다. 표 3.1.은 database의 내용으로 국산재 36수종(두께 2.5cm기준)에 대한 전건비중과 생재함수율 및 건조스케줄을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 이 database는 건조자동화시스템의 건조스케줄 적용 프로그램에 연결, 사용될 수 있도록 작성하였다.

본 자료를 검토, 분석한 결과 비중에 따라서 건조조건이 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 비중이 증가할수록 건조초기 건조용력의 발생정도가 높아져 건조결함 발생 가능성이 크게 되므로 건조초기 건구온도와 건습구온도차를 가능한 낮게 유지하여 건조결함 발생에 의한 피해를 줄일 수 있도록 해야 한다. 본 자료에서도 비중이 높은 수종일수록 건조초기 비교적 약한 건조조건을 적용하도록 하고 있다. 그러나 밤나무와 풍계나무, 그리고 들메나무는 비중에 비하여 건조초기 70°C와 11.0도의 높은 건구온도와 건습구온도차를 적용하고 있어 건조결함 발생에 의한 피해가 예상된다. 따라서 본 수종들에 대해서는 보다 면밀한 건조스케줄 검토가 필요한 것으로 판단된다. 한편, 전술한 수종들의 경우와는 반대로 귀룽나무와 사스래나무는 비중에 비하여 비교적 낮은 건조초기 건구온도와 건습구온도차를 적용하고 있어 건조결함 발생에 의한 피해는 줄일 수 있으나 건조지연에 의한 건조비용 상승이 예견되므로 본 수종에 대한 건조스케줄의 재검토 역시 필요한 것으로 판단된다.

표 3.1. 국산 활엽수재의 비중과 건조스케줄 조건(건조스케줄 database)

수 종	전건 비중	생재 함수율(%)	스케줄 번호	초기건구 온도(°C)	초기건습구 온도차 (°C)	말기건구 온도(°C)
참오동나무	0.22	139	T12E6	70	8.3	80
양황철나무	0.34	125	T10F5	60	5.5	80
피 나무	0.35	122	T 8E4	55	3.9	80
수원포플러	0.37	171	T 8F4	55	3.9	80
수양 버들	0.47	144	T 5F3	50	2.8	70
오리 나무	0.50	79	T 5D4	50	3.9	70
가래 나무	0.50	84	T10C5	60	5.5	80
물오리나무	0.51	109	T 5D4	50	3.9	70
귀룽 나무	0.52	61	T 3C2	43	2.2	70
물갸 나무	0.53	106	T 5D4	50	3.9	70
밤 나무	0.54	97	T12B7	70	11.0	80
다릅 나무	0.55	74	T10C5	60	5.5	80
층층 나무	0.56	109	T 8D4	55	3.9	80
양버즘나무	0.56	86	T10C5	60	5.5	80
음 나무	0.57	84	T 5D3	50	2.8	70
산벚 나무	0.59	49	T 8B4	55	3.9	80
가중 나무	0.60	77	T 8D4	55	3.9	80
사스래나무	0.62	45	T 3B2	45	2.2	70
참중 나무	0.62	61	T 8C4	55	3.9	80
사방 오리	0.63	57	T 5B3	50	2.8	70
거제수나무	0.63	68	T 6C2	50	2.2	80
까치 박달	0.63	57	T 7B3	55	2.8	70
풍계 나무	0.64	67	T12C7	70	11.0	80
느릅 나무	0.64	90	T 8D4	55	3.9	80
느티 나무	0.64	63	T 6B4	50	3.9	80
고로소나무	0.66	46	T 8B3	55	2.8	80
물박달나무	0.68	64	T 8C3	55	2.8	80
서어 나무	0.68	68	T 7C4	55	3.9	70
개서어나무	0.68	60	T 7B3	55	2.8	70
감 나무	0.68	70	T12B7	70	11.0	80
들메 나무	0.69	62	T 8B3	55	2.8	80
물푸레나무	0.69	48	T 8B4	55	3.9	80
복자기나무	0.72	50	T 8B4	55	3.9	80
신갈 나무	0.75	50	T 6B2	50	2.3	80
박달 나무	0.87	44	T 6B2	50	2.2	80

2. 에너지절약형 건조기술 개발

목재건조공정은 목제품 생산을 위한 가장 기본적인 과정으로 목제품의 품질향상을 위하여 필수적이라 할 수 있다. 그러나 목재건조공정에서 목제품 생산을 위해 필요한 전체 에너지의 60% - 70%가 소요될 정도로 에너지소모량이 크다. 그러므로 우리 나라에서 사용되고 있는 대부분의 에너지가 전량 수입되고 있는 화석계 연료로부터 생산된다는 현실에 비추어볼 때 목재건조공정에서의 에너지절약은 우리 나라 목재산업의 경쟁력 향상에 대하여 매우 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다. 더구나 최근 외환위기로 인한 고환율 시대가 향후 수년간 지속될 것으로 예상되므로 유가 또는 에너지 비용의 지속적인 상승은 불가피할 것으로 예상된다.

그러나 연간 목재수요량의 90%이상을 수입에 의존하고 있는 우리 나라 목재산업이 당면한 문제는 에너지분야만이 아니며, 전세계적인 목재자원 고갈과 환경보호를 위한 목재생산 감소 및 목재자원국의 자원보호정책 등으로 인한 목재수급의 불균형은 우리 나라 목재산업의 사활을 결정할 수 있는 매우 중대한 문제로 여겨지고 있다. 또한 현재 소량이나마 생산되고 있는 국산재도 작은 직경과 열악한 형질 및 미성숙재(juvenile wood)의 높은 비율 등으로 인하여 건축가설재 등의 저부가가치 용도로만 제한적으로 사용되어 왔다. 따라서 국산재를 보다 고부가가치의 용도로 활용하기 위해서는 새로운 고효율 가공기술의 개발이 절실히 요구된다. 특히, 건조공정의 경우 국산재의 품질 향상뿐만 아니라 에너지의 절약을 위한 건조방법도 동시에 요구되고 있다.

강제송풍 천연건조(송풍건조: forced-air-drying)란 촉진천연건조(accelerated air drying)의 일종으로 송풍기 등을 이용하여 잔적내 공기순환을 강제로 발생시켜 천연건조속도를 촉진하는 건조법이라고 정의할 수 있다. 송풍건조의 천연건조에 대한 장점으로는 우선 건조속도 향상과 함께 기후조건에 의한

건조지연 방지로 목제품 관련 시장의 환경변화에 신속히 대처할 수 있다는 점을 들 수 있다. 그리고 잔목이나 화학적 작용에 의한 변색을 방지하는 동시에 외기의 변화로부터 건조재를 보호하므로써 품질을 유지할 수 있으며, 운반시 목재 중량의 감소로 운반비용을 절감 등을 그 장점으로 들 수 있다. 그러나 제품 생산에 소요되는 시간과 에너지의 감축이 곧 생산성 향상에 직결됨을 고려할 때 열기건조의 예비건조(前乾燥; predrying)로서 송풍건조를 적용하여 기존 열기건조실의 이용효율을 높여 생산성을 극대화하는 동시에 새로운 건조실의 건설에 대한 투자비용을 절감할 수 있다는 점이 최근 가장 중요한 장점으로 부상되고 있다.

이와 같은 장점을 바탕으로 20세기초 미국내 일부 제재소에서 처음 시도된 이후 지속적으로 발전되어 왔으며, Pfeiffer(1958)는 건조시설이 없는 제재소에서 목재운송비 절감을 위해 간이한 송풍건조장을 설치, West coast hemlock을 송풍건조한 결과 목재중량의 감소로 인한 운송비 절감 뿐만 아니라 품질향상에 따른 제품 가격 상승의 효과도 거두었음을 보고한 바 있다. Rucker등(1961)도 다양한 두께의 magnolia 제재목을 대상으로 30회 이상의 송풍건조실험을 통하여 그 가능성을 입증하였으며, Kininmonth 등(1964, 1966)은 뉴질랜드에서 송풍건조의 효과를 탐색한 바 있다. 한편, Huffman등(1970, 1972)은 캐나다에서 spruce와 balsam-fir를 대상으로 5월에서 10월까지 계절별로 송풍건조의 효과를 연구한 결과 천연건조에 소요되는 건조일수의 20% - 50%를 절감할 수 있음을 밝힌 바 있다. 그러나 국내에서는 국산재에 대한 송풍건조의 효과를 연구한 바가 거의 없었다.

본 연구에서는 생재상태로부터 섬유포화점 부근까지는 천연건조와 열기건조 사이의 건조속도에 있어서 큰 차이가 나지 않는다는 점에 착안하여 천연건조에 비해 비교적 건조속도가 높은 송풍건조를 이용하여 열기건조전에 전건조로서 함수율 30% - 20% 수준까지 실시하므로써 상당한 수준의

에너지를 절약할 수 있는 방법을 제시하고자하였다.

그러나 송풍건조장치의 설계가 잘못되었을 경우 비균일함수율과 같은 문제점이 발생할 수 있고, 변색이 급속히 진행될 수 있는 온도조건에서 상대 습도마저 높은 상태로 유지될 경우 변색의 발생이 예상된다. 그리고 경우에 따라서는 천연건조에 비해 건조비용이 높을 수도 있다는 점들을 항상 고려해야 할 것으로 사료된다.

가. 송풍 전건조장치(Forced-air predryer)의 개발

1) 송풍건조장치

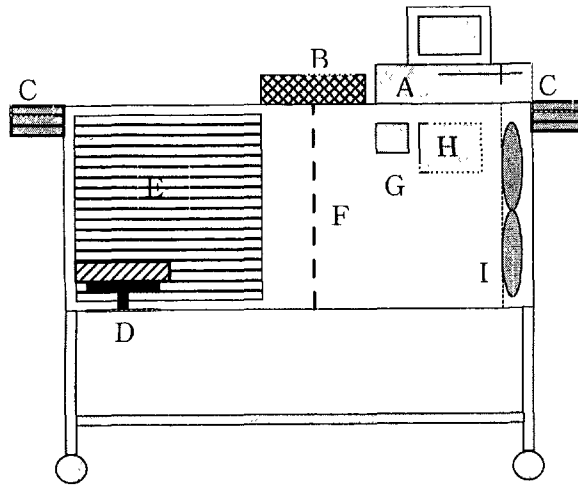
송풍건조특성 파악을 위한 송풍건조 실험장치의 구조는 그림 3.1.과 같으며, 공기의 취출 및 취입구에 온습도 센서를 각각 1개씩 장착하였다. 건조중 함수율 파악을 위해서 로드셀(load cell)을 건조기 내부에 설치하고 그 위에 함수율 시험편을 올려놓아 무게의 변화를 지속적으로 측정할 수 있도록 하였다.

날개 지름 45cm인 송풍기(3 blades, 3상 220/380V, 400W)는 2대를 장착하여 충분한 풍량(1대당 $100\text{m}^3/\text{min}$)을 얻을 수 있도록 하였으며, 송풍기의 모터에 inverter를 연결하여 풍속을 자동으로 제어할 수 있도록 하였다. 공기는 잔적으로부터 송풍기 쪽으로 당겨지는 pull-type으로 설계하는 한편, 송풍기와 목재 잔적사이에는 철망형태의 정류격자를 두어 잔적 전체에 균일한 풍속이 유지되도록 하였다. 송풍기 작동에 의해 소모되는 전기에너지는 2대의 송풍기에 동시 연결된 전력량계(watt-hour meter)를 통하여 측정되도록 하였다. 그리고 A/D & D/A converter와 Amplifier & Multiplexer로 구성된 Data acquisition and control system은 온습도센서와 로드셀로부터 측정된 자료를 컴퓨터에 입력해주고, 컴퓨터로부터 전송된 신호를 inverter에

보내주어 계측과 제어가 완전 자동화되도록 설계 및 programming하였다.

2) 송풍건조기의 제어

강제송풍 천연건조에서 건조속도에 영향을 주는 인자로는 외기의 온습도와 풍속 등을 들 수 있으나 온습도의 경우 제어가 불가능한 인자이므로 단지 풍속만을 인위적으로 조절할 수 있다. Huffman 등(1970)에 의하면 상대습도 85%이상인 경우에는 건조가 거의 이루어지지 않으므로 이 상태에서는 송풍기의 작동을 멈추어 전기에너지의 낭비를 줄이는 것이 바람직하다는 의견을 제시한 바 있어 본 연구에서도 상대습도 85%이상에서는 자동적으로 송풍기가 정지되는 한편, 오후 7시 이후로부터 오전 7시 이전까지도 효율적인 건조를 기대하기 어려우므로 그 시간대에서도 송풍기의 작동을 멈추도록 programming하였다. 참고로 그림 3.2.는 건조기간중(1997년 8월 - 1997년 10월)의 시간별 평균 온습도의 변화곡선으로 오전7시부터 온도가 상승하고 습도가 하강하다가 다시 오후 7시부터는 온도가 하강하고 습도가 상승하는 현상을 볼 수 있다.



- A: 개인용 컴퓨터 B: Data aquisition system C: 온습도 센서
 D: Load cell E: 목재 잔적 F: 정류격자
 G: 전력량계 H: 풍속제어용 Inverter I: 송풍기

그림 3.1. 송풍 전건조장치의 구조.

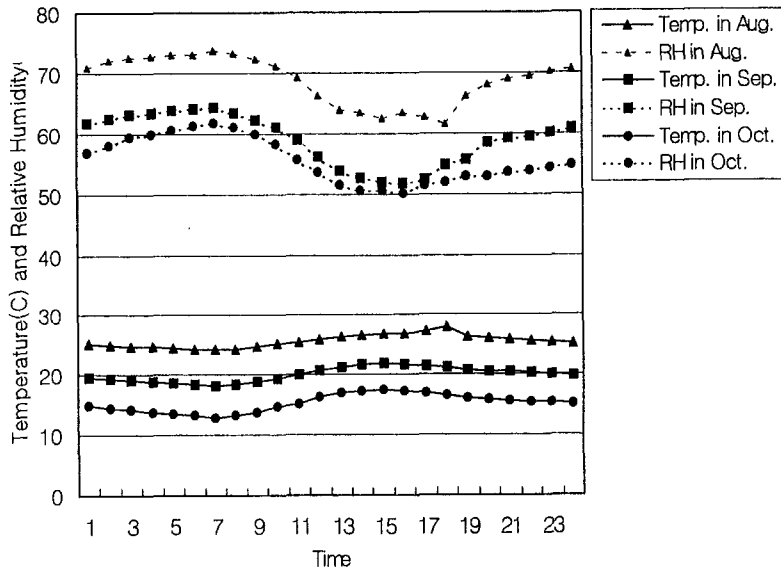


그림 3.2. 송풍건조중 24시간 건조조건 변화.

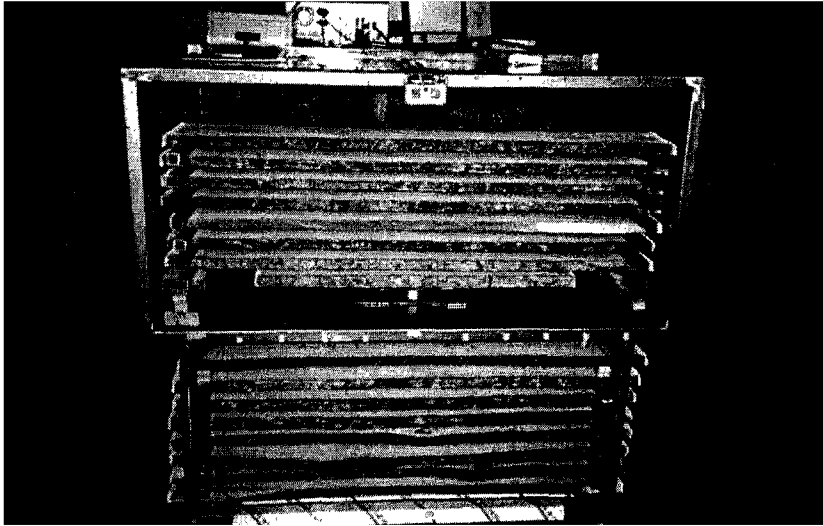
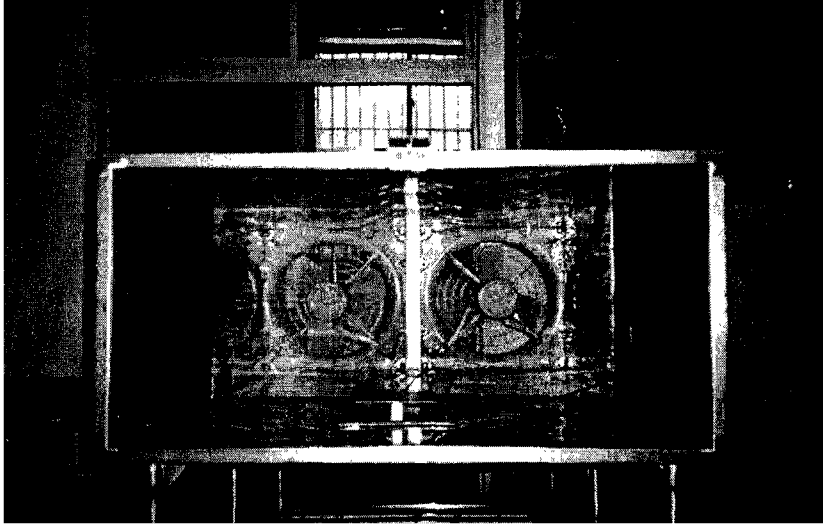


사진 3.1. 송풍건조시스템.

나. 국산재의 송풍 건조 특성 구명

송풍건조에 의한 효과를 구명하기 위하여 우리나라의 대표적인 침엽수인 소나무와 대표적인 활엽수이면서도 매우 건조가 곤란한 수종으로 알려져 있는 국산 상수리나무를 대상으로 천연건조와 송풍건조를 실시한 결과는 다음과 같다. 시험편의 규격은 두께 2.5cm, 길이 120cm이었다. 그러나 시험편의 폭은 제재 직후 수피가 부착된 상태 그대로 잔적하였으므로 일정하지 않았다. 이처럼 수피가 부착된 상태로 건조를 실행한 이유는 실제 국산재의 이용을 위해 산업현장에서 건조할 경우에도 천연건조나 송풍건조의 경우 수피를 제거하거나 일정한 폭으로 재단하는 과정에 소요될 시간과 경비의 절약을 위하여 본 과정들이 생략될 것으로 판단되기 때문이다. 또한, 국산재는 형질이 열악한 소경목이 주를 이루고 있으므로 정확한 폭 재단 후의 건조는 오히려 전체적인 목재이용률(수율)을 현저히 저하시킬 가능성이 있다.

한편, 건조실험방법으로는 천연건조와 동시에 강제송풍 천연건조를 실시하면서 1일 1회 활렬과 목재 중량을 측정하였으며, 건조 종료 후에는 틀어짐을 측정하였다. 또한, 건조종료 후에 각 시험편으로부터 최종함수율을 시험편을 다시 채취하여 정확한 전건중량을 계산해내므로써 건조중 함수율을 보정하였다.

1) 국산 상수리나무의 송풍건조특성

본 연구의 공시재료로는 우리 나라 대표적인 국산 활엽수종 하나인 상수리나무(*Quercus acutissima*) 원목 20본(재장 145cm - 155cm)을 전남대학교 장성연습림으로부터 분양 받아 사용하였다. 원목은 직경 15 - 25cm 범위의 소경목으로 활제제법(live-sawing)으로 길이 120cm, 두께 2.5cm의 flitch상태 판재로 제재하여 강제송풍과 천연건조용으로 각각 21개의 공시판재를 준비하였다. 강제송풍과 천연건조용 공시판재의 초기함수율은 각각

56.0%(최고 64.8%, 최저 44.6%)와 56.3%(최고 68.5%, 최저 44.3%)로 거의 동등한 수준이었다.

한편, 국산 상수리나무는 대표적인 건조곤란 수종의 하나이므로 건조초기 과도한 풍속에 의한 급격한 건조로 인한 건조결합 발생을 방지하기 위하여 1.5m/sec의 비교적 낮은 풍속을 적용하였다.

-1- 건조속도

두께 2.5cm 상수리나무를 대상으로 1997년 8월 15일 개시된 강제송풍 및 천연건조 실험 결과 얻어진 건조곡선은 그림 3.3.과 같았으며, 초기함수율 약 56%로부터 함수율 13%에 도달하기 위하여 약 60일간이 소요되었다. 그러나 그림 3.4.의 건조속도 곡선에서 보는 바와 같이 건조초기에는 강제송풍 천연건조 속도가 천연건조속도에 비하여 매우 높았으나 6일이 경과한 이후에는 거의 비슷한 건조속도를 보여주고 있다. 건조속도를 함수율 단계별로 비교해보면 그림 3.5.와 같으며 초기함수율에서 함수율 30%의 단계에서는 송풍건조속도가 천연건조속도의 거의 2배에 이르는 것을 알 수 있었다. 그러나 함수율 30% 이후부터는 거의 차이가 보이지 않았다. 이러한 현상은 함수율 30%가 섬유포화점 부근으로 이후부터는 자유수의 유동보다는 결합수의 확산이 건조의 주체가 되므로 강제 송풍만으로는 결합수 확산을 촉진할 수 있는 충분한 에너지를 공급할 수 없다는 사실에 기인한 것으로 판단된다.

李 등(1985)이 T4-C2 스케줄을 적용하여 두께 2.5cm 상수리나무를 열기 건조한 연구보고에서 함수율 30%로부터 함수율 10%까지의 건조속도가 2%/day이었음을 감안한다면 초기함수율을 60%로 가정하였을 때 약 10일 동안 강제송풍 천연건조에 의하여 함수율 30%까지 예비건조한 후 10일간의 열기건조를 통하여 함수율 10%까지 건조하므로써 약 20일만에 건조를 완료

할 수 있을 것으로 판단된다.

-2- 건조결합

건조중 발생하는 표면할렬과 스프리트의 발생개수의 변화는 각각 그림 3.6. 및 그림 3.7.과 같았다. 송풍건조의 경우 천연건조에 비하여 상당히 많은 할렬이 발생하였음을 알 수 있었다. 물론 할렬의 크기가 매우 작아 육안으로 식별하기가 쉽지 않은 부분이 대부분이었지만 건조초기 송풍건조재에서 과도한 할렬이 발생한 원인으로는 천연건조에 비해 비교적 급속히 건조됨에 따라 목재내부에 상당한 건조응력이 발생하였기 때문으로 사료된다. 한편, 스프리트는 송풍과 천연건조재 모두에서 거의 비슷한 수준으로 발생하였다. 그러나 건조가 진행되면서 송풍건조의 경우 다시 할렬과 스프리트의 발생개수가 줄어들기 시작하였으나 천연건조의 경우에는 별다른 변화가 없었다. 이처럼 과도한 할렬과 스프리트가 발생한 원인으로는 우선 상수리나무가 대표적인 건조곤란 수종의 하나이며 건조초기 건조속도가 비교적 높았다는 사실을 들 수 있다. 그러나 본 연구의 공시재료로 사용된 상수리나무가 직경 15cm-25cm의 소경목으로 공시판재의 60%이상(面積比)이 미성숙재였음이 주된 원인으로 판단된다.

건조종료 후 틀어짐 발생량(그림 3.8.)에 있어서도 송풍건조재가 천연건조재에 비해 약간 높은 수준임을 알 수 있었으며, 전반적으로 틀어짐의 발생량이 높은 것도 미성숙재에 의한 것으로 사료된다. 건조중 발생하는 할렬과 틀어짐 발생을 최소화하기 위해서는 상부하중(top load)이나 clamping 등이 효과적일 것으로 기대된다.

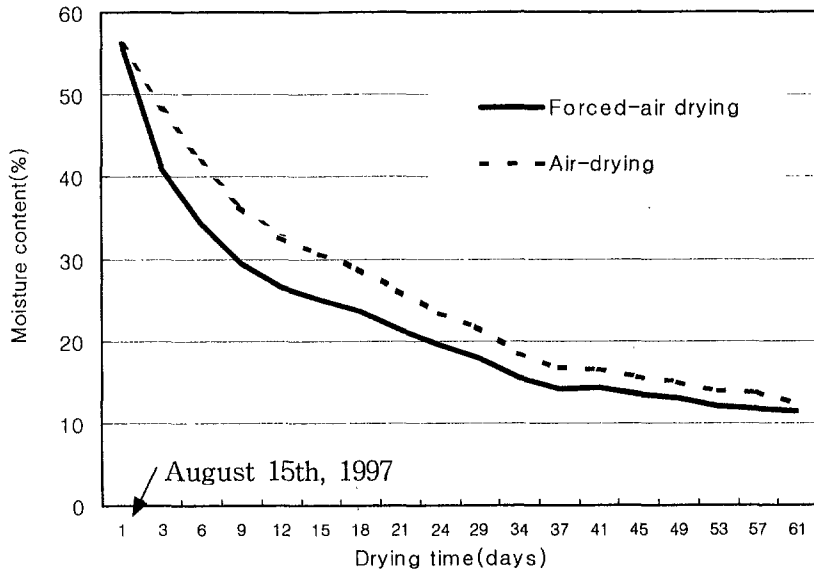


그림 3.3. 두께 2.5cm 국산 상수리나무의 천연 및 송풍 건조곡선.

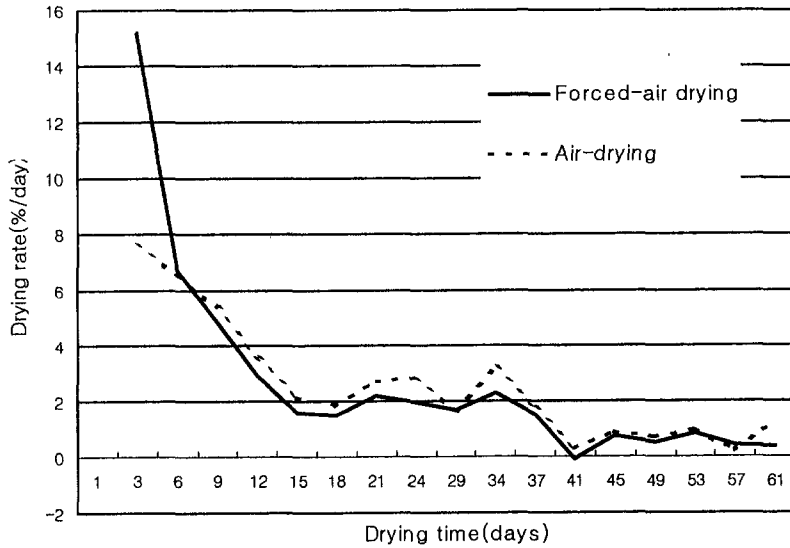


그림 3.4. 두께 2.5cm 국산 상수리나무의 천연 및 송풍 건조속도변화곡선.

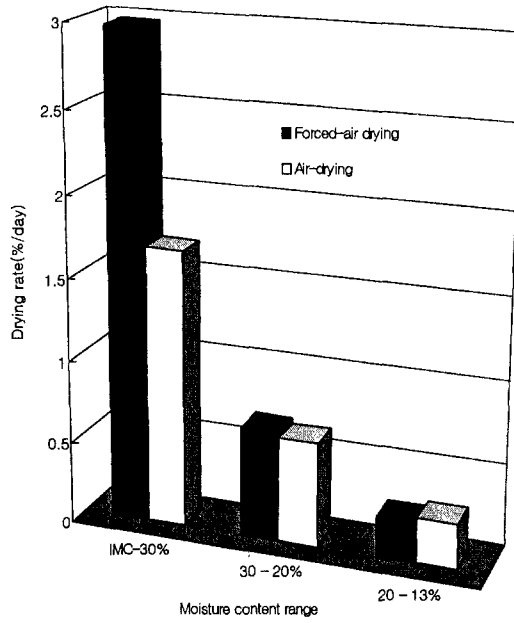


그림 35. 두께 25cm 국산 상수리나무의 함수율 단계별 천연 및 송풍 건조속도 비교

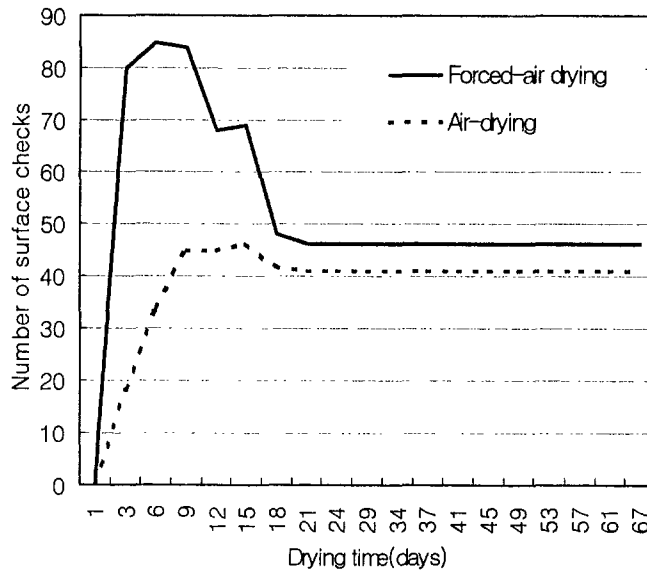


그림 36. 두께 25cm 국산 상수리나무의 천연 및 송풍 건조중 표면할렬 발생개수

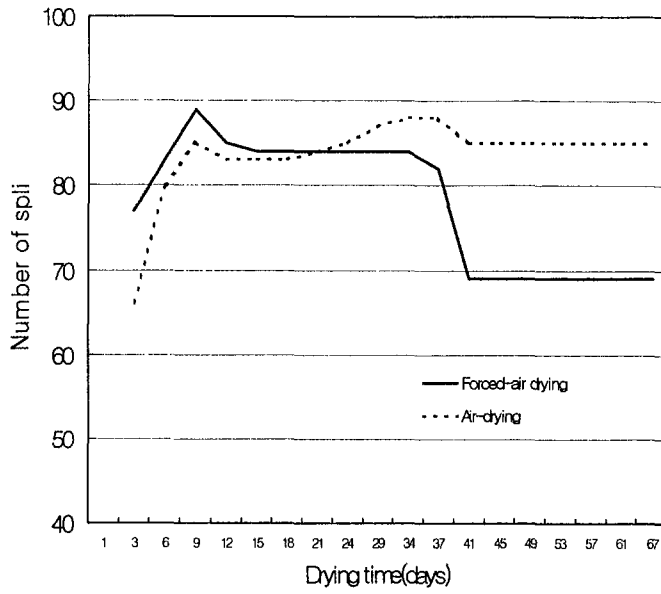


그림 37. 두께 2.5cm 국산 상수리나무의 천연 및 송풍 건조중 스프리트 발생개수.

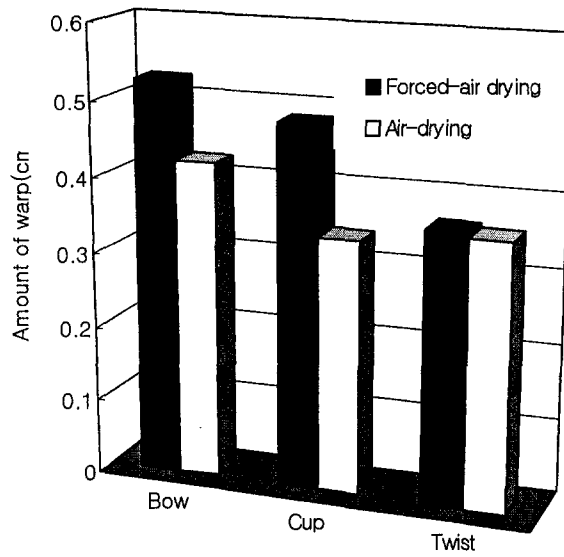


그림 38. 두께 2.5cm 국산 상수리나무의 천연 및 송풍 건조에 의한 틀어짐 발생정도 비교

2) 국산 소나무의 송풍건조특성

본 연구의 공시재료로는 우리 나라 대표적인 국산 침엽수종 하나인 강원도산 소나무 원목 16본(재장 275cm - 285cm)을 광주광역시 소재 제재소에서 구입하였다. 원목은 직경 25 - 35cm 범위의 중소경목으로 활제재법(live-sawing)으로 길이 120cm, 두께 2.5cm의 flitch상태 판재로 제재하여 강제송풍과 천연건조용으로 각각 21개의 공시판재를 준비하였다. 강제송풍과 천연건조용 공시판재의 초기함수율은 각각 106.61%(최고 143.83%, 최저 76.02%)와 105.43%(최고 134.06%, 최저 78.45%)로 거의 동등한 수준이었다. 한편, 풍속은 3m/sec로 고정하였다.

-1- 건조속도

두께 2.5cm 소나무를 대상으로 1998년 3월 25일 개시된 강제송풍 및 천연건조 실험 결과 얻어진 건조곡선은 그림 3.9와 같았으며, 초기함수율 약 106%로부터 함수율 16%에 도달하기 위하여 약 35일간이 소요되었다. 그러나 건조속도를 함수율 단계별로 비교해보면 그림 3.10과 같으며 초기함수율에서 함수율 30%의 단계에서는 송풍건조속도가 천연건조속도의 거의 4배에 이르는 것을 알 수 있었다. 그러나 함수율 30% 이후부터는 거의 차이가 보이지 않았다. 이러한 현상은 함수율 30%가 섬유포화점 부근으로 이후부터는 자유수의 유동이 정지하고 결합수의 확산이 건조의 주체가 되므로 강제송풍만으로는 결합수 확산을 촉진할 수 있는 충분한 에너지를 공급할 수 없다는 사실에 기인한 것으로 판단되며, 이와 같은 현상은 국산 상수리나무의 경우와 동일하게 발생하였다.

李 등(1989)이 T11-C4 스케줄을 적용하여 두께 2.5cm 소나무 판재를 열기건조한 연구보고에서 함수율 30%로부터 함수율 10%까지의 건조속도가 1%/hr 이었음을 감안한다면 초기함수율을 100%로 가정하였을 때 약 6일

동안 송풍건조에 의하여 함수율 30%까지 전건조한 후 1일간의 열기건조를 통하여 함수율 10% 이하로 건조하므로써 약 7일만에 건조를 완료할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 열기건조기간이 단 1일로 단축되어 상당한 에너지 절감효과가 기대된다.

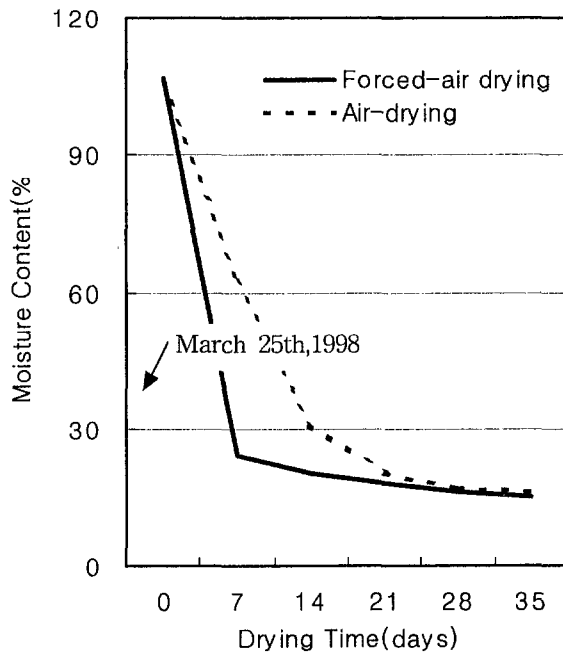


그림 3.9. 두께 2.5cm 국산 소나무의 천연 및 송풍 건조곡선.

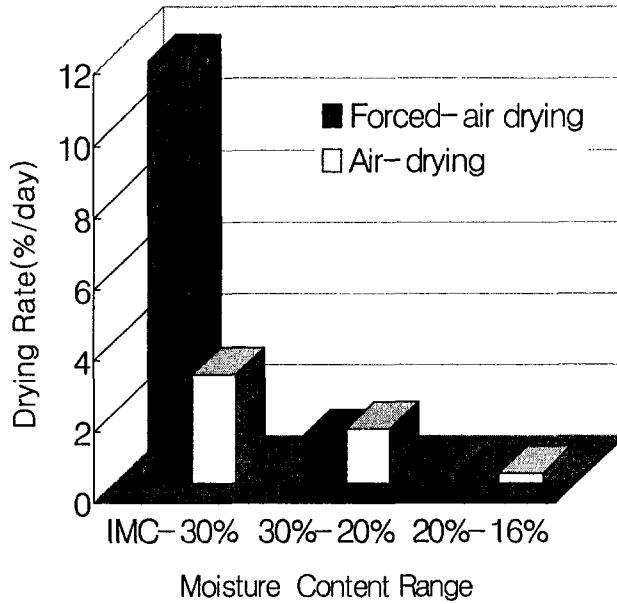


그림 3.10. 두께 2.5cm 국산 소나무의 함수율 단계별 천연 및 송풍 건조속도 비교.

-2- 건조결합

건조중 발생하는 표면할렬과 횡단면할렬의 발생개수의 변화는 각각 그림 3.11.과 그림 3.12.와 같았다. 송풍건조의 경우 건조초기 급속히 건조됨에 따라 목재내부에 상당한 건조응력이 발생할 가능성이 크기 때문에 천연건조에 비하여 약간 많은 할렬이 발생하였음을 알 수 있었다. 그러나 할렬의 평균 발생개수는 대개 4-5개미만으로 건조재의 품질에는 별다른 영향을 미치지 못할 것으로 사료된다.

건조 종료후 측정된 틀어짐(warp)의 양에 있어서도 그림 3.13에서 보는 바와 같이 길이굽음(bow), 너비굽음(cup) 및 비틀림(twist) 모두 송풍건조된 판재에서 약간 크게 발생되었음을 알 수 있었다. 그러나 그 차이는 1-2mm 미만으로 의미를 부여하기 어려웠다. 한편, 틀어짐 중에서 비틀림이 비교적 크게 발생하였음을 알 수 있었으며, 이와 같은 현상은 건조대상 원목이 대부분 소경재로서 시험 판재의 중심에 섬유방향 수축률이 비정상적으로 큰 미성숙재가 포함되어 있었기 때문으로 사료된다.

그러므로 국산 중소경재의 건조결함에 의한 손실을 방지하기 위해서는 미성숙재를 보다 안전하게 건조할 수 있는 새로운 기술의 개발이 요구된다고 하겠다.

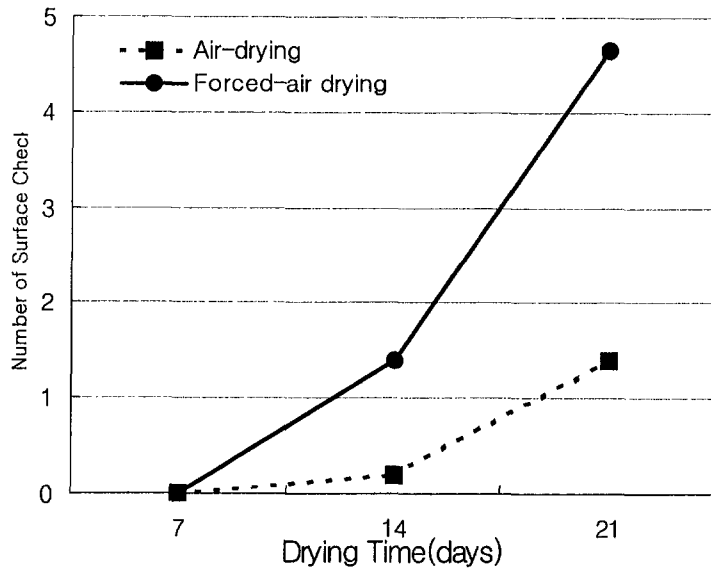


그림 3.11. 두께 2.5cm 국산 소나무의 천연 및 송풍 건조중 표면할렬 발생개수.

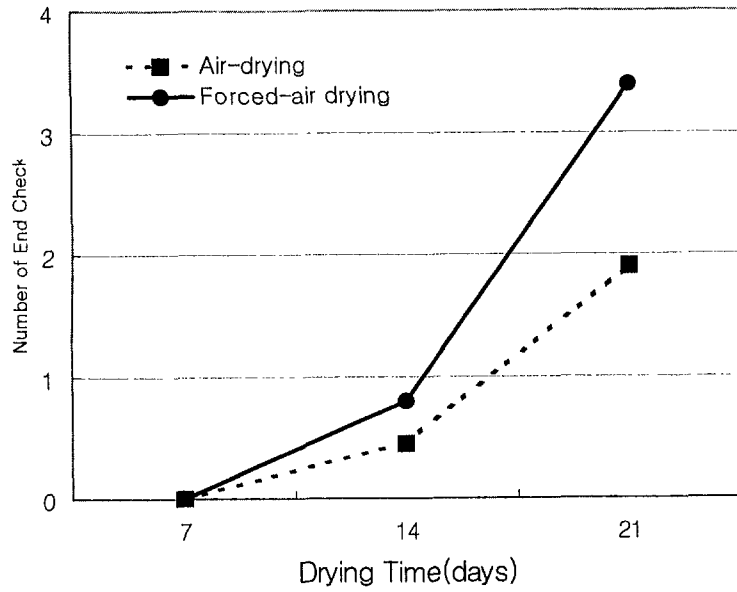


그림 3.12. 두께 2.5cm 국산 소나무의 천연 및 송풍 건조중 횡단면 할렬 발생개수.

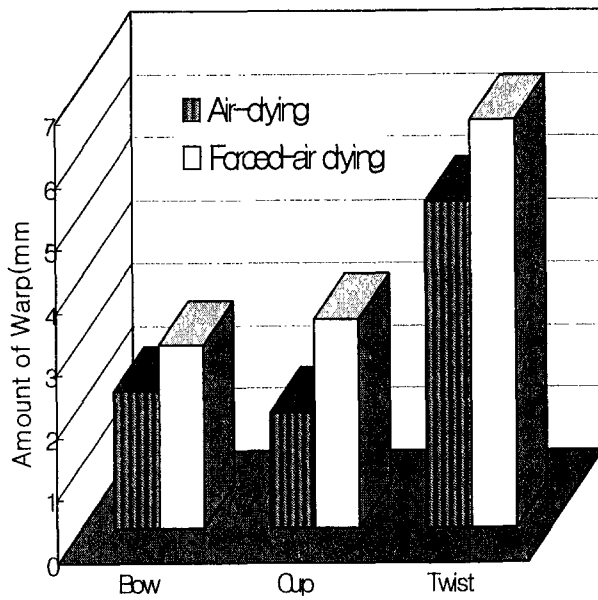


그림 3.13. 두께 2.5cm 국산 소나무의 천연 및 송풍 건조에 의한 틀어짐 발생정도.

3. 혼합 수종용 건조스케줄의 개발

가. 건조스케줄 추정기술의 개발

건조대상 수종의 건조스케줄이 알려지지 않았거나 그에 관한 정보를 얻기 어려운 경우를 대비하여 건조 대상 목재의 비중을 측정, 입력하면 적절한 스케줄을 제시해줄 수 있는 기술을 개발하였다. 이 기능은 Simpson의 연구결과를 토대로 하여 제작하였다. 건조스케줄의 결정에 영향을 미치는 인자들인 비중, 수축률 및 목리에 평행한 방향의 기계적 성질 등에서 비중이 가장 커다란 영향을 미친다는 사실에 착안하여 열대 및 온대산 활엽수에 국한하여 기존의 건조스케줄조건과 비중과의 상관관계를 분석 다음과 같은 방법을 제시하였다.

우선 초기 건구온도와 건습구온도차는 다음의 관계식으로 결정된다.

$$T_i = 1/(0.00115 + 0.0167G_b) \text{ ----- (1)}$$

$$D_i = 1/(0.0832 + 0.509G_b) \text{ ----- (2)}$$

G_b : basic specific gravity (= Oven dry weight(g) / Volume of green wood(cm^3))

T_i : initial dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$)

D_i : initial wet bulb depression ($^{\circ}\text{C}$)

건구온도는 함수율 30%부터 함수율 감소 5%마다 5.6°C 증가하다가 함수율 15%이하에서는 말기온도를 적용하게 된다. 이때 비중이 0.75미만인 경우 말기온도로 82°C 를 적용하며, 비중이 0.75이상인 경우에는 71°C 를 적용하도록 하였다. 한편, 건습구온도차는 함수율 45%부터 점차 증가하게 되며, 각 함수율 단계별 건습구온도차는 식(3)에 의해 결정된다. 단, 허용 가능한 최대 건습구온도차는 27.8°C 이며, 허용 가능한 최저 습구온도는 32°C 로 하였다.

$$D = a \exp(-bM) \text{ ----- (3)}$$

D: wet bulb depression (°C)

M: moisture content (%)

$$a = 1/(0.0011 + 0.00124D_i)$$

$$b = 1/0.14 - 0.0458 \ln(D_i)$$

나. 혼합 수종 건조의 가능성과 스케줄 적용

본 연구의 주된 목적중 하나는 가까운 미래에 닥쳐올 것으로 예상되는 국산재 이용시대에 대비하기 위하여 국산재 건조기술을 향상코자 하는 것으로 우선 Simpson에 의한 건조스케줄 추정방법을 이미 건조스케줄이 밝혀진 국산 유용활엽수재(표 3.1. 참조)에 적용하여 그 가능성을 검토하였다.

표 3.2는 국산 유용활엽수재 35수종에 대한 실제 건조스케줄과 추정스케줄간 건조초기의 건구온도와 건습구온도차를 비교하고 있다. 초기 건구온도의 경우 귀룽나무의 8수종(평균 3.6°C)을 제외한 모든 수종에서 실제건조스케줄이 추정스케줄에 비해 높은 조건을 적용하고 있었으며 특히, 감나무와 풍게나무는 20°C이상의 높은 온도가 적용되고 있다.

또한, 초기 건습구온도차에 있어서도 거제수나무의 7수종(평균 0.4°C)을 제외한 모든 수종에서 실제스케줄의 조건이 추정스케줄에 비해 강한 조건을 적용하고 있었다. 전체 평균에 있어서도 실제스케줄이 추정스케줄에 비해 강한 조건을 적용하는 것으로 나타나 일부 수종을 제외하고는 추정건조스케줄을 적용할 경우 비교적 안전한 건조를 실행할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 비중 이외의 여러 가지 인자들을 고려한 보다 적정한 스케줄을 추정할 수 있는 방법에 대한 연구가 요구된다고 하겠다. 한편, 말기온도는 추정스

케줄의 경우 함수율 15%이하에서 82°C로 고정하였으므로 비교하지 않았다.

본 연구의 결과를 분석해보면 국산재를 비중에 따라 구분하여 비중이 비슷한 수준에 있는 수종들은 함께 건조해도 무방할 것으로 판단된다. 그러나 여러 가지 수종들을 함께 건조할 경우 건조결함 발생의 위험성을 낮추기 위해서는 건조대상 수종중에서 가장 비중이 높은 수종의 건조스케줄을 기준으로 하여 건조를 실행하는 것이 안전할 것으로 사료된다.

표 3.2. 국산 유용활엽수재의 실제 건조스케줄과 추정건조스케줄의 초기 조건 비교 (단위:°C)

수 종	DBT	WBD	수 종	DBT	WBD	수 종	DBT	WBD
가래 나무	7	23	물박달나무	8	0.1	양버즘나무	9	25
가중 나무	5	1.0	물오리나무	-3	0.7	양황철나무	0	14
감 나무	23	83	물푸레나무	8	1.3	오리 나무	-3	0.7
개서어나무	8	0.1	박달 나무	7	-0.1	읍 나무	-1	-0.2
거제수나무	1	-0.6	밤 나무	18	7.9	참오동나무	3	30
고로쇠나무	7	0.1	복자기나무	9	1.3	참중 나무	6	1.1
귀룽 나무	-9	-1.0	사방 오리	1	0	총총 나무	4	0.9
까치 박달	6	0	사스래나무	-4	-0.6	풍계 나무	22	8.2
느릅 나무	7	1.1	산벚 나무	5	1.0	피 나무	-4	-0.2
느티 나무	2	1.1	서어 나무	8	1.2			
다름 나무	9	2.4	수양 버들	-4	-0.6			
들메 나무	8	0.2	수원포플러	-3	0			
물감 나무	-2	0.8	신갈 나무	4	-0.2	평 균	4.6	1.3

* DBT(초기 건조온도), WBT(초기 건조구온도차)

4. 건조자동화시스템 개발

본 과제에서는 목재건조스케줄을 database 화하여 간단한 조작만으로도 건조대상 목재에 적절한 건조스케줄을 적용할 수 있을 뿐만 아니라 건조중 건조실내 공기와 목재 등에 관련된 거의 모든 조건들에 대한 상황변화를 한 눈에 살펴볼 수 있는 목재건조자동화시스템을 개발하고자 하였다. 한편, 목재자원국의 자원보호정책으로 인해 이미 겪고 있는 원자재 공급부족의 어려움이 앞으로 더욱 심화될 것이 분명하므로 미래에 닥쳐올 국산재 이용시대에 대비하여 지금까지 파악된 국산재의 건조스케줄도 database에 추가하였다. 또한, 지금까지 건조스케줄이 파악되지 못한 수종의 경우에는 그 비중만을 측정하면 자동적으로 건조스케줄을 추정, 적용해주는 기능도 갖추도록 하였다.

본 연구에서 구성한 목재건조 자동화시스템의 모식도는 그림 3.14와 같으며, 크게 hardware와 software의 두 영역으로 나눌 수 있다. 사용자의 편의를 도모하는 한편, 미래 기능확장의 용이성, 그리고 software와의 호환 및 프로그래밍의 보편성 향상을 위해 모든 제어는 개인용 컴퓨터를 통하여 이루어지도록 하였으며, 건조기에 설치된 각종 센서와 컴퓨터간의 유기적 정보교환을 위하여 자료수집시스템(data acquisition system)을 연결하였다.

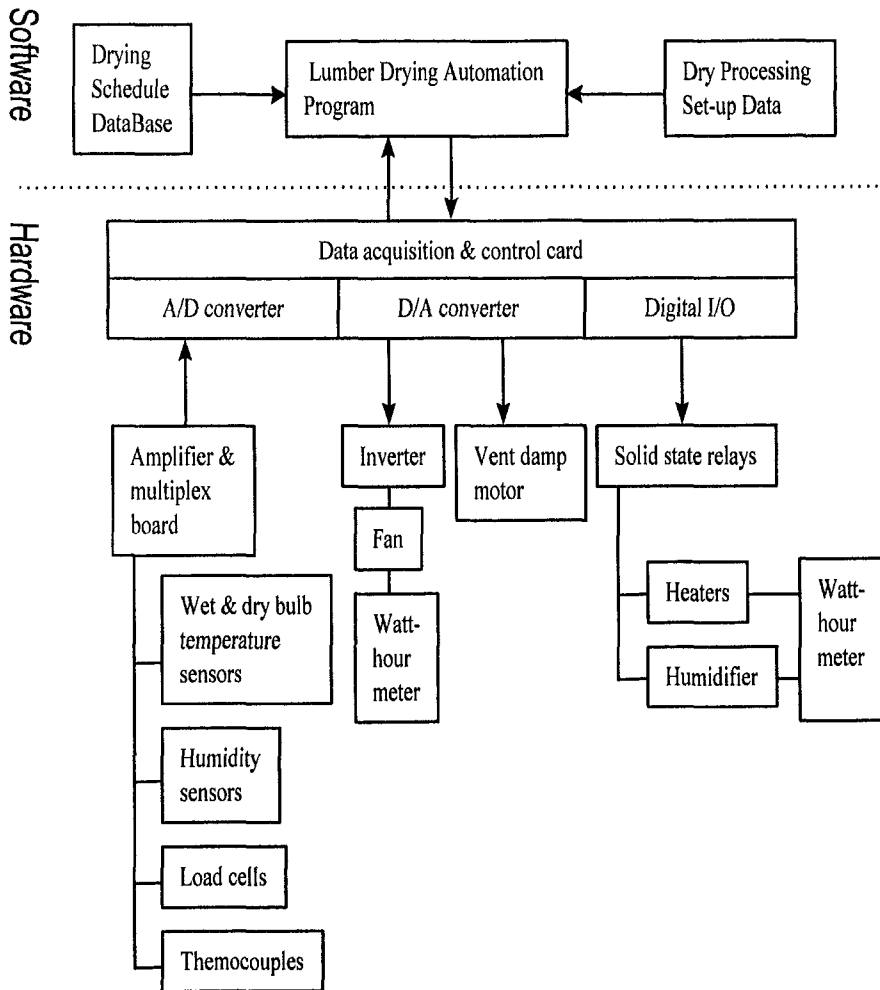


그림 3.14. 건조자동화시스템의 구성 모식도.

가.. Hardware

1) 함수율 측정

건조중 목재의 함수율을 자동으로 측정하기 위하여 최대 적재중량 5 kg 인 압축형 로드셀을 이용, 함수율 측정 센서를 제작, 사용하였다. 이 센서는 온도 80도 이상에서도 출력이 안정되도록 설계하였으며, 약간의 오차도 줄이기 위해 각 온도조건에서 출력신호의 보정 자료를 입력해두었다. 따라서 사용자는 건조전 함수율 시험편의 함수율을 측정, 입력해주면 자동적으로 전 건무게를 추정, 건조중 함수율을 계산해낼 수 있다.

2) 온습도측정

건습구온도계 방식에 의한 습도측정은 응답속도가 느릴 뿐만 아니라 습구부분에 적절한 공기유동이 이루어지지 않게 되면 측정치의 신뢰도가 떨어지므로 고온용 전자식 온습도센서를 사용하였다. 한편, 목재내부 온도나 TDAL(Temperature Drop Across the Load: 잔적 취입구와 취출구간 온도차) 등 기타 온도측정을 위해서는 열전대(J형)를 사용토록 설계하였으며, 건조중 목재표면의 온도측정은 적외선 온도센서를 사용토록 하였다.

3) 공기조건 제어

건조중 함수율에 따라 미리 선택된 건조스케줄에 맞추어 건조실내 공기의 온도, 습도 및 풍속을 제어하도록 하였다. 온도와 습도는 relay를 통한 가열기 및 증기발생장치의 ON/OFF에 의해 조절된다. 한편, 풍속은 inverter에 의한 송풍기의 회전속도 조절에 의해 이루어진다. 건조초기에는 활발한 수분의 증발에 따라 비교적 많은 풍량이 요구되므로 고풍속을 적용해야 하지만 건조가 진행됨에 따라 건조속도도 감소되므로 요구되는 풍속도

낮아지게 된다. 그러나 건조후기에도 초기와 마찬가지로 고풍속을 적용하게 되면 불필요한 에너지의 소비가 불가피하다. 따라서 적정 풍속을 적용하여 에너지를 절약할 수 있다.

4) 흡배기

습한 공기의 배출과 건조공기의 유입은 건조소요에너지에 커다란 영향을 미친다. 과도한 배기나 흡기는 에너지의 낭비를 초래하므로 환기구에 차풍판을 두어 그 개폐의 정도를 damp motor를 통하여 조절하도록 하였다.

나. Software

목재 건조자동화 프로그램은 Windows '95 운영체제 하에서 동작하는 프로그램으로 Boland사에서 제작되어진 객체지향 PASCAL형태의 Delphi라는 언어로 작성하였다. 이렇게 작성된 프로그램은 객체 지향적인 사건중심 프로그램(object oriented programming)이므로 사용자 인터페이스가 우수하다. 본 프로그램의 각 부분을 살펴보면 다음과 같다.

1) 주화면

그림 3.15는 목재건조 자동화시스템의 주화면으로 건조 진행상황을 한 눈에 볼 수 있도록 제작된 모니터링 창(monitering window)이다. 함수율, 온도, 습도, 풍속을 A/D채널에서 읽어내어 수치와 막대바로 표시하고, 그래프로 나타내어 전체적인 건조 진행상황을 알 수 있도록 하였다. TDAL(Temp Drop Across the Lumber pile)항은 잔적 취입구와 취출구간 공기 온도차를 표시하며, 공기로부터 목재로 전달된 열에너지의 양을 표현해준다. 건조 스케줄 코드를 이용하여 자동적으로 생성된 건조스케줄표를 기준으로 건조기

에서 얻어낸 목재시험편의 무게와 미리 측정된 전건무게를 이용하여 함수율을 산출해내고, 건조스케줄표에서 산출된 함수율의 구간을 알아내어, 구간에 맞는 공기조건과 비교하여 가열기, 증습기 등의 On/Off를 결정하고 이것을 relay로 보내어 제어한다.

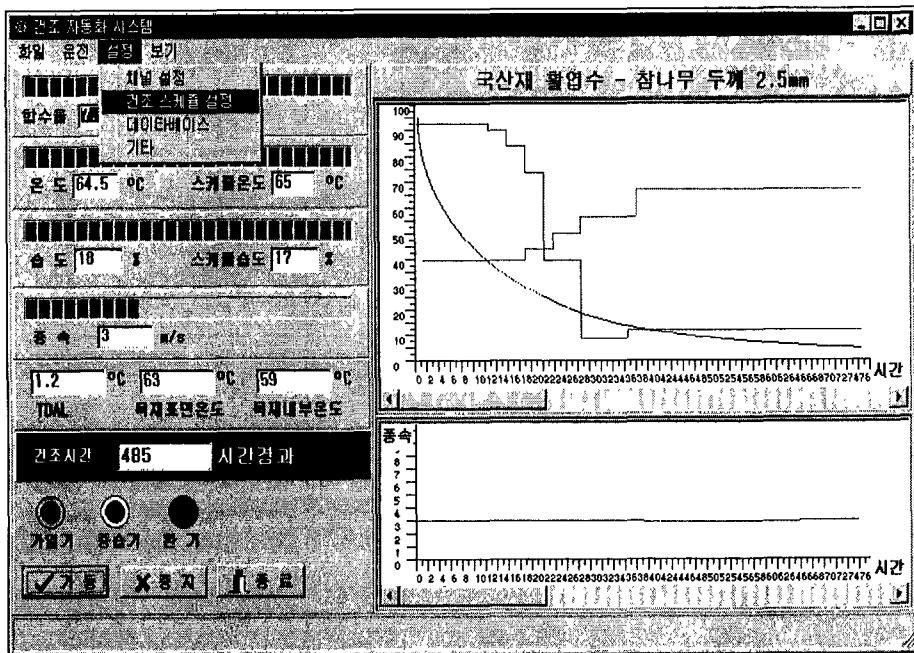


그림 3.15. 건조자동화 프로그램의 main window.

2) 채널설정

채널설정부분은 프로그램과 하드웨어간의 올바른 통신을 하도록 환경을 설정해주는 부분이다. 제어 프로그램은 A/D 변환기능을 하는 Analog-Digital 변환장치와 통신하여 데이터가 입력되도록 한다. 16개의 A/D 채널

에 대해 각각 어떠한 센서가 연결되었는가를 입력해주고, 증폭치(gain value)를 설정하면 된다. 그림 3.16은 이번 연구에 사용된 하드웨어의 연결 상태로서 시험작동버튼을 눌러 출력치를 확인해 본 것으로, 열전대 J형 3개, 건조중 목재함수율 측정용 load cell, 건습구온도, 상대습도, IR 센서 각각 1개가 연결되었다.

채널번호	채널형태	GAIN	출력치
Channel 0	ThermoC J	200	19.22
Channel 1	ThermoC J	200	18.81
Channel 2	ThermoC J	200	-1206470.02
Channel 3	Load Cell	1	-10.67
Channel 4	Load Cell	1	-10.67
Channel 5			
Channel 6			
Channel 7			
Channel 8			
Channel 9			
Channel 10	DBT	1	31.5
Channel 11	RH	1	23.75
Channel 12	IR	1	-1.08
Channel 13			
Channel 14			
Channel 15			

시험작동
 종지
 종료

CJC
20.8119 °C

그림 3.16. Channel Setting Window

3) Database

건조스케줄의 database화를 위하여 대분류, 중분류, 소분류, 영문, 학명, 두께로 항목을 나누어서 국산, 북미산, 아시아.오세아니아산, 아프리카산, 유럽산, 중남미산, 기타 등으로 구분하고, 2.5mm, 5.0mm, 6.5mm, 7.5mm,

10mm 등의 두께로 구분하여 약 100여 수종에 대한 건조스케줄을 입력하였다. 이렇게 구축된 database는 본 프로그램의 건조스케줄 설정부분에서 수종과 두께 선택만으로도 건조스케줄표가 작성되도록 제작되었다(그림 3.17.).

4) 건조스케줄 설정

미리 입력된 데이터베이스로부터 건조하고자 하는 수종을 선택한 후, 해당두께를 선택하면 건조스케줄 코드가 생성이 된다. 이렇게 생성된 건조스케줄 코드로 스케줄 작성버튼을 누르면 건조스케줄이 자동으로 작성된다. 이 스케줄표는 함수율 구간, 건구온도 및 건습구온도차, 습구온도 항목이 있어, 건조기로부터 입력된 자료들과 비교하여 건조작업이 효과적으로 운영되도록 하였다.

산명	산분류	수분류	국산	영상	학명	10.2.11	5.11.11	6.24.11	7.11.11
북미산	활엽수	느릅나무	느릅나무	rock Elm	Ulmus thomasii	T683	T382	T382	T381
북미산	활엽수	황나무	황나무	Hackberry	Celtis occidentalis	T804	T6C3	T6C3	T5C3
북미산	활엽수	허코리나무	허코리나무	Mockernut Hickory	Carya tomentosa	T803	T6D		
북미산	활엽수	호랑가시나무	호랑가시나무	American Holly	Ilex opaca	T6D4	T4C3		
북미산	활엽수	시나무	시나무	Hophornbeam (Ironwood)	Ostrya virginiana	T683	T381		
북미산	활엽수	칠계수	칠계수	California Laurel	Umbellularia californica	T644	T543		
북미산	활엽수	아까시나무	아까시나무	black Locust	Robinia pseudacacia	T643	T3A1		
북미산	활엽수	오리나무	오리나무	red Alder	Alnus rubra	T1004	T803	T6C3	
북미산	활엽수	태산목	태산목	southern Magnolia	Magnolia grandiflora	T1004	T803		
북미산	활엽수	단풍나무	단풍나무	Oregon Maple	Acer macrophyllum	T804	T6C3	T5C2	T382
북미산	활엽수	단풍나무	단풍나무	black Maple	Acer nigrum	T8C3	T5C2	T382	T3A1
북미산	활엽수	참나무	참나무	California black Oak	Quercus kelloggii	T381	T381		
북미산	활엽수	참나무	참나무	blackjack Oak	Quercus marilandica	T402	T301	T3C1	T3C1
북미산	활엽수	참나무	참나무	laurel Oak	Quercus laurifolia	T2C1			
북미산	활엽수	참나무	참나무	blue Oak	Quercus douglasii	T4C2	T3C1	T381	T381
북미산	활엽수	참나무	참나무	bur Oak	Quercus macrocarpa	T2C1			
북미산	활엽수	오세이지오렌지	오세이지오렌지	Osage-orange	Maclura pomifera	T6A2	T3A1		
북미산	활엽수	허코리나무	허코리나무	water hickory Pecan	Carya aquatica	T803	T6D1		
북미산	활엽수	감나무	감나무	persimmon	Diospyros virginiana	T6C3	T8C2		
북미산	활엽수	스위트검	스위트검	Sweetgum (sapwood)	Liquidambar styraciflua	T12F5	T11D4		
북미산	활엽수	사사프라스	사사프라스	Sassafras	Sassafras albidum	T8D4			
북미산	활엽수	스위트검	스위트검	Sweetgum (heartwood)	Liquidambar styraciflua	T8C4	T5C3	T5C2	T582
북미산	활엽수	양배꼽나무	양배꼽나무	Sycamore	Petalium occidentale	T602	T301	T301	T3C1
북미산	활엽수	닛새나무	닛새나무	black Tupelo	Nyssa sylvatica	T12E5	T11B3	T11B3	T9C2
북미산	활엽수	닛새나무	닛새나무	swamp Tupelo	N. sylvatica var. biflora	T10E3	T8D2		
북미산	활엽수	닛새나무	닛새나무	water Tupelo	Nyssa aquatica	T8H2			
북미산	활엽수	호두나무	호두나무	black Walnut	Juglans nigra	T6D4	T303	T303	T3C2
북미산	활엽수	버드나무	버드나무	black Willow	Salix nigra	T10F4	T8F3		
북미산	활엽수	플림나무	플림나무	Yellow-Poplar	Liriodendron tulipifera	T11D4	T10C3	T9C3	T7C2
북미산	활엽수	낙우송	낙우송	Baldypress	Taxodium distichum	T12E3	T11D2	T6H4	

그림 3.17. 건조스케줄 database window.



사진 3.2. 제재전의 국산 상수리나무 원목.

제 3 장 재단자동화시스템 및 공정기술 개발분야

제1절 國産材이용 집성제품 생산을 위한 최적 집성기술개발

1. 통직형 집성재 제조기술 개발

가. 집성재 제조용 라미나 제작

본 연구의 1차년도에서 수행한 임야면적, 분포 및 임목축적 분석을 통해 집성재 제조용 소경원목 공급자원으로 가장 풍부한 수종은 침활엽수별로 각각 소나무(*Pinus densiflora*)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)로 구명되었다. 따라서 소나무와 상수리나무를 공시수종으로 선정하여 소나무원목은 광주시중의 원목제재상을 통하여 구입하고 상수리나무원목은 전남 장성에 위치한 전남대학교 부속 연습림에 자생하고 있는 임목을 벌채하여 공시재를 준비하였다. 준비된 원목은 일반 제재소에서 통상 행해지는 널결제재방식으로 제재하였으며 생산된 판재는 천연건조후 기계대패가공하여 단면치수 10×50mm의 라미나를 제작하고 함수율 15% 이하로 조습처리하였다.

나. 집성라미나의 판재접착성 조사

1) 공시접착제의 품질조사

소나무와 상수리나무에 대한 최적의 집성접착조건을 구명하기 위하여 먼저 라미나의 판재접착성 시험을 실시하였다. 공시접착제는 일반 목공용으로 시판되고있는 O사 제품의 초산비닐수지(에멀전형) 접착제와 Y사로부터 농축형 요소수지 접착제를 구입하여 사용하였다. 사용된 각 수지접착제의 품질상태를 확인하기 위하여 한국공업규격 KSM 3700(초산비닐수지 에멀전 목재접착제)와 3701(요소수지 목재 접착제)에 의해 조사한 결과는 표 1.1과

같다.

초산비닐수지와 요소수지를 혼화할 경우 균일하고 매끄러운 유동상태를 나타내어 혼화성이 매우 우수하였다.

표 1.1. 공시접착제의 품질상태

접착제 종류	비중	pH	N.V.C. (%)	겉모양	조막성	물가 용분 (%)	겔화 시간 (분)	희석안정성 (상층액 용적비%)	점도 (cP)
초산비닐수지	1.04	3.9	34.5	유백색 양호	무색투명 연속피막	-	-	90.8	317
요소수지	1.25	4.7	70.0	유백색 양호	무색투명 연속피막	90.7	22	-	44

註 1. N.V.C. 수지의 불휘발 고형분

2. 점도: resin: water=1:1, spindle No.3, 100rpm, 20°C by Brookfield DV-2+

2) 라미나의 집성접착

준비된 라미나에 공시 접착제를 양면도포하고 볼트너트식 치구(그림 1.1)와 토오크렌저를 사용해서 압제하여 2ply-집성재를 제작하였다. 이때 적용된 각 접착항목별 적용조건은 표 1.2와 같다.

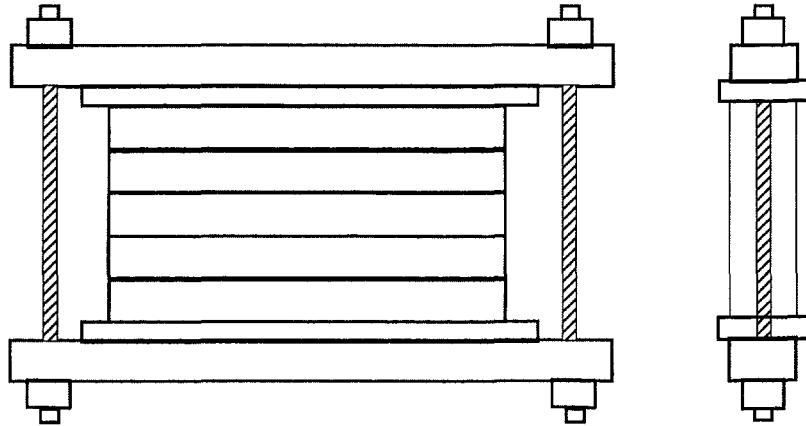


그림 1.1. 볼트너트식 집성치구 (Bolt-nut type clamping frame)

집성재의 클램핑압체시 압력조절을 위하여 사용된 토오크렌찌의 정확성을 확인하기 위해서 프레스를 이용하여 토오크렌찌의 압력을 검정하였다.

압체시 프레스의 압력계 눈금과 토오크렌찌의 눈금(X)을 측정하고 램의 면적으로 환산한 총하중값(Y)을 산출하여 그래프(그림 1.2)를 작성한 결과 상호간에 비례적인 관계를 나타냈으며 회귀분석을 통해 $Y=25X$ 라는 압력검정식을 구할 수 있었다.

3) 접착성능 조사방법

초산버닐수지와 요소수지의 집성재 제조시의 접착성능을 구명하기 위해 소나무와 상수리나무를 대상으로 접착강도와 목부파단율(木破率)을 조사하였으며, 접착강도는 압축전단과 인장전단으로 구분하여 압축전단 시험편(block specimen)과 인장전단 시험편을 제작하고 각각 한국공업규격 KS

M3721(접착제의 압축전단 접착강도 시험방법)과 KS M3720(접착제의 목재 인장전단 접착강도 시험방법)에 따라 측정하였다.

접착강도 측정용 기기는 미국 United Calibration Corporation의 용량 30,000lb인 만능재료시험기(UTM)를 사용하였으며 시험조건은 대체적으로 preload 2kg, prespeed 2mm.min, test speed 10mm/min을 적용하여 접착강도를 측정하였다.

판재접착성을 조사하기 위한 초산비닐수지와 요소수지의 접착조건을 변이하는 표 1.2와 같이 구분하여 적용하였으며 요소수지접착제에 대한 경화제는 염화암모늄(NH₄Cl) 20% 수용액을 사용하였다.

표 1.2. 초산비닐수지와 요소수지의 접착조건

구 분	도포량 (g/m ²)	퇴적시간 (min)	압체 압력 (kg/cm ²)	압체 시간 (min)	경화제 (%)
도포량 (g/m ²)	100, 150, 200, 250, 300, 400	20	7.5	24	10
퇴적시간 (min)	200	0, 10, 20, 30, 45, 60	10	24	10
압체 압력 (kg/cm ²)	300	20	1, 3, 5, 10, 20, 30	24	10
압체 시간 time (hr)	300	20	10	3, 6, 12, 18, 24, 48	10
경화제 (%)	300	20	10	24	1, 3, 5, 10, 15, 20

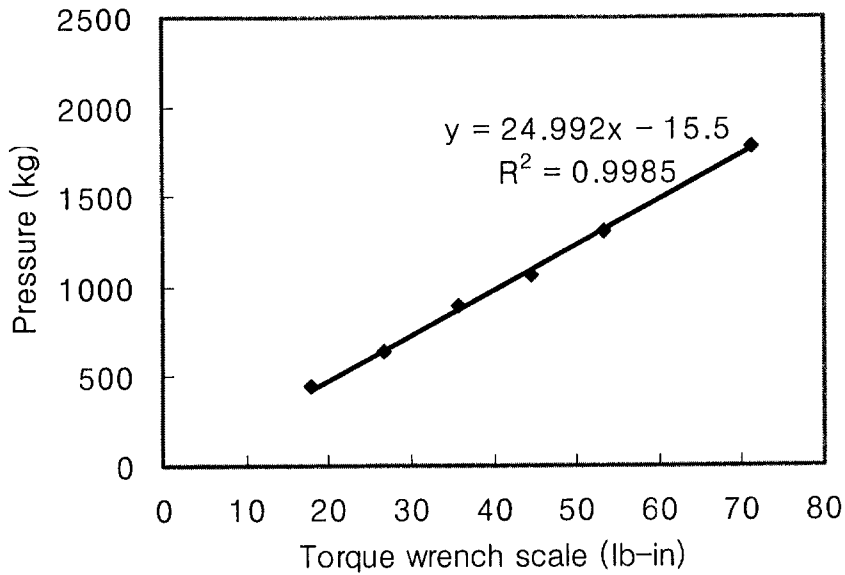


그림 1.2. 토오크렌저의 클램핑압력과 토오크의 관계

4) 접착제 종류별 판재접착성 결과분석

가) 초산비닐수지 에멀전 접착제

(1) 도포량

초산비닐수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 집성접착시 적정 도포량을 구명하기 위해 양면기준 도포량 100g/m²에서 400g/m²까지 6개 변이를 주었을 때의 접착강도와 목파율을 측정한 결과는 표 1.3 및 그림 1.3, 1.4와 같이 조사되었다.

표 1.3. 초산비닐수지의 도포량별 접착성능

수 종	도포량 (g/m ²)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	100	45.9	15	34.0	11	74
	150	62.4	23	48.4	21	78
	200	72.8	51	50.0	28	69
	250	75.4	37	53.8	44	71
	300	66.7	23	52.5	40	79
	400	70.4	28	53.3	27	76
					평균	
상수리 나무	100	16.3	0	7.3	0	45
	150	46.7	5	29.3	3	63
	200	76.1	8	50.3	10	66
	250	102.1	10	63.0	20	62
	300	98.7	8	61.0	13	62
	400	100.7	10	63.3	10	63
					평균	

먼저 소나무의 판재집성시 접착제 100g/m²을 도포했을 경우 압축전단 접착강도는 45.9kg/cm² 으로서 저조하였으나 도포량을 150g/m², 200g/m², 250g/m²으로 증가시킴에 따라 각각 62.4kg/cm², 72.8kg/cm², 75.4kg/cm²로 상당한 접착력 향상을 나타냈다. 도포량 200g/m²에서 한국공업규격 KS F3118(목재집성재)의 침엽수 A그룹 집성재 기준 전단강도인 70kg/cm²을 초과하였으나 250g/m²에서 최대 접착강도를 나타냈으며, 계속해서 그 이상 도포량을 늘려도 접착력이 다소 저하되는 결과를 가져왔다. 이는 과도한 도포량은 접착막이 두꺼워져서 접착막 자체 응집력의 감소뿐만 아니라 목재와 접착제간의 분자간 인력도 감소시키므로 오히려 접착력의 저하를 가져온다는 비접착이론으로 설명될 수 있을 것이다.

따라서 소나무에 대한 초산비닐수지 접착제의 적정 도포량은 250g/m²이

가장 양호한 것으로 판단되며 그 이상의 도포량은 접착제의 불필요한 낭비로 볼 수 있고 또한 접착제품의 사용용도에 따른 접착강도 요구도가 낮다면 $200\text{g}/\text{m}^2$ 이하의 도포량을 적용할 수 있으며 회석 또는 증량해서 접착제 소비량을 절약할 수도 있겠다.

이때의 소나무 목과율은 최대 51%까지 측정되었는데 소나무는 저비중 재료로서 목부과피가 비교적 용이한 수종에 속한다고 볼 수 있으나 초산비닐계 접착제의 접착력이 목재용 다른 합성수지 접착제보다 약하기 때문으로 생각된다. 한국공업규격 KS F3118(목재집성재)에 침엽수 A그룹 집성재의 기준목과율은 50%로 규정되어 있는데 도포량 조건 구명실험의 결과만으로 결정할 수는 없으나 다소 미흡한 결과로 여겨진다. 접착강도가 증가하면 목과율도 증가하는 상관관계가 대체적으로 인정되기는 하나 변이폭이 심한 경향을 나타내고 있다.

동일한 집성재에서 채취한 시험편의 인장전단 접착강도의 범위는 $34.0\sim 53.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 압축전단강도의 평균 74%에 해당하는 접착강도를 나타냈으며 도포량에 대한 인장전단 접착강도의 관계 역시 압축전단시험과 대체로 유사한 경향을 보여주었다.

다음에 상수리나무의 경우에는 판재집성시 접착제 $100\text{g}/\text{m}^2$ 을 도포했을 경우 압축전단 접착강도는 소나무보다도 작은 $16.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로서 지극히 저조하였으나 도포량을 $150\text{g}/\text{m}^2$, $200\text{g}/\text{m}^2$, $250\text{g}/\text{m}^2$ 으로 증가시킴에 따라 각각 $46.7\text{kg}/\text{cm}^2$, $76.1\text{kg}/\text{cm}^2$, $102.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 현저한 접착력 향상을 나타내므로써 도포량 증가에 따른 접착강도의 증가경향이 소나무보다 뚜렷하였다. 소나무와 마찬가지로 도포량 $200\text{g}/\text{m}^2$ 에서 한국공업규격 KS F3118(목재집성재)의 활엽수 A그룹 집성재 기준 전단강도인 $75\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 초과하였으나 $250\text{g}/\text{m}^2$ 에서 최대 접착강도를 나타냈으며 계속해서 더 이상 도포량을 늘려도 접착력의 증가로 연결되지는 않았다. 그러나 접착강도가 별로 감소하는 것 같지

는 않으므로 도포량을 지나치게 많이 하면 압체시 유실에 의한 접착제 손실을 가져오는 정도이며 상수리나무의 경우 초산비닐수지의 도포량 과다로 인한 접착력 감소는 문제되지 않는 것으로 판단된다.

따라서 상수리나무에 대한 초산비닐수지 접착제의 도포량은 소나무와 같은 수준인 $250\text{g}/\text{m}^2$ 이 적당하다고 판단되며, 저비중-연재일수록 도포량을 증가하는 것이 일반적이나 본 연구결과 소나무와 상수리나무는 비중차이가 현저한 수종인데도 적정도포량의 수준은 동일하게 나타났다. 압축전단시험시 상수리나무 목과율은 최대 10%의 극히 낮은 값을 나타냈는데 이는 활엽수 A그룹 집성재의 기준목과율인 40%에 훨씬 못미치는 수준인 바 상수리나무는 고비중재로서 조직의 내부결합력이 매우 강한 수종이므로 목부가 쉽게 파단되지 않기 때문으로 생각된다. 접착강도가 증가하면 목과율도 증가하는 상관관계가 대체적으로 인정되기는 하나 목과율의 절대값이 너무 낮아서 확실한 관계를 구명하기에는 적합치 않은 것으로 생각된다.

소나무와 마찬가지로 동일한 집성재에서 채취한 시험편의 인장전단 접착강도의 범위는 $7.3\sim 63.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 압축전단강도의 평균 60%에 해당하는 접착강도를 나타냈으며 도포량에 대한 인장전단 접착강도의 관계는 압축전단시험과 같이 도포량에 따른 접착강도의 변화가 매우 심하게 나타났다.

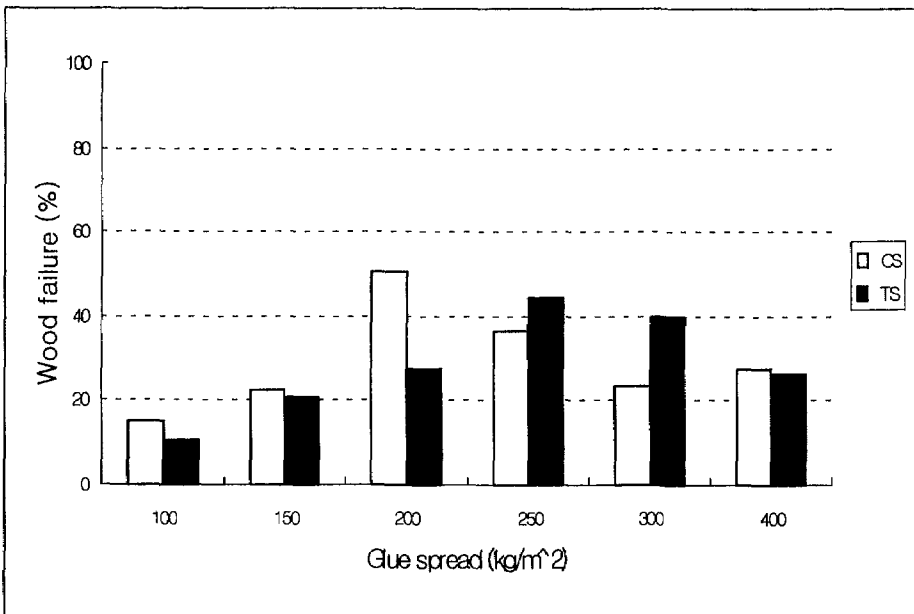
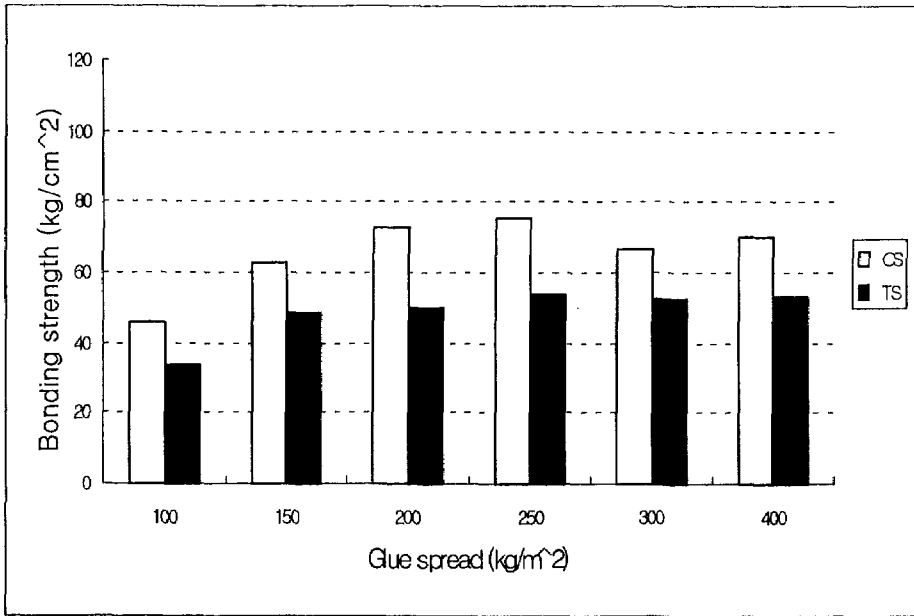


그림 1.3. 소나무의 초산비닐수지 도포량별 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

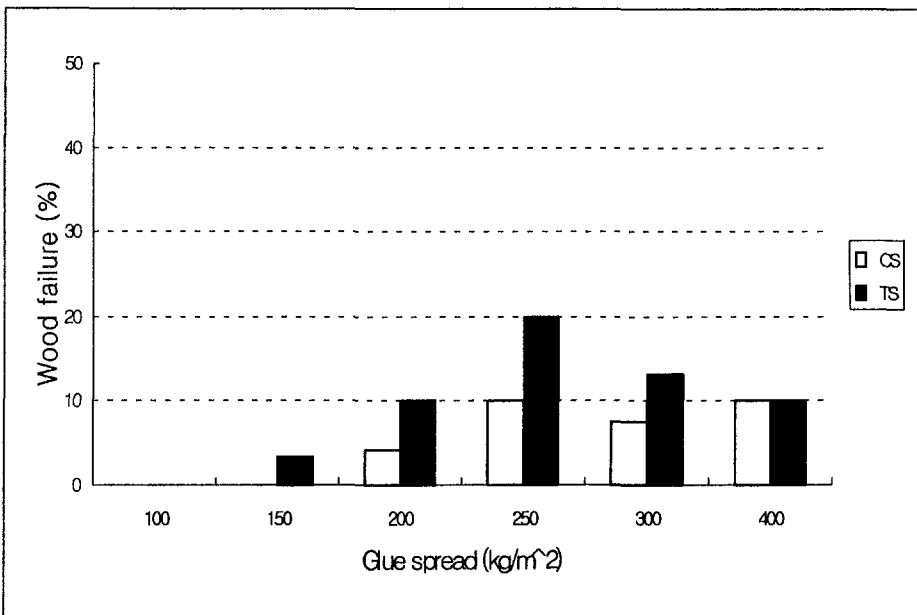
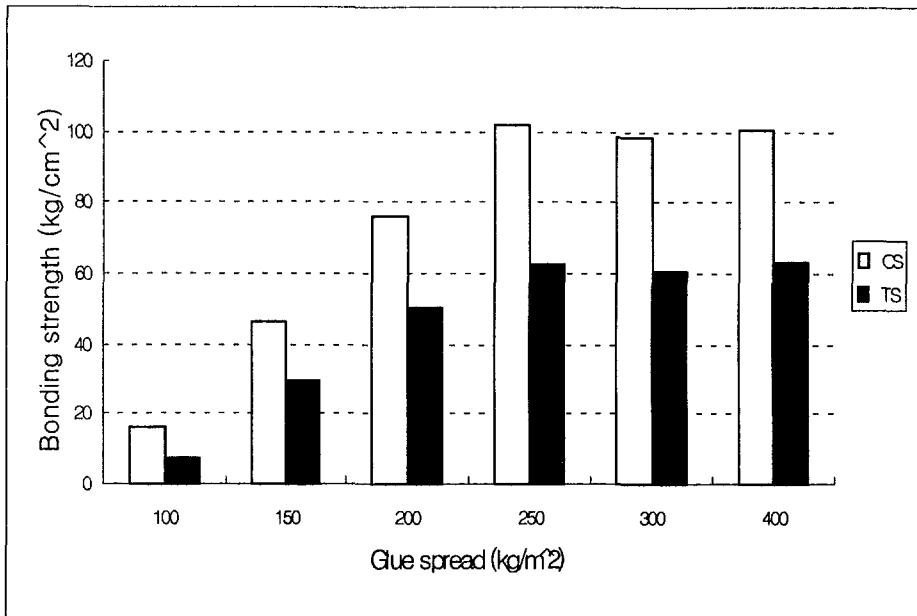


그림 1.4. 상수리나무의 초산비닐수지 도포량별 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(2) 퇴적시간

퇴적시간을 0분~60분까지 6개의 변이를 주고 초산비닐수지의 소나무와 상수리나무에 대한 접착성능을 조사한 결과는 표 1.4 및 그림 1.5, 1.6과 같이 나타났다.

표 1.4. 초산비닐수지의 퇴적시간별 접착성능

수 종	퇴적시간 (min.)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파울 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파울 (%)	
소나무	0	69.4	33	46.0	28	76
	10	69.9	49	51.3	45	73
	20	57.6	53	43.5	50	76
	30	60.4	37	44.0	33	73
	45	54.7	28	39.4	26	72
	60	42.1	12	33.3	14	79
	평균					75
상수리 나 무	0	85.7	9	58.6	20	68
	10	97.5	4	61.3	17	63
	20	101.7	7	60.2	27	59
	30	106.0	12	63.0	23	59
	45	100.0	3	54.5	17	55
	60	77.0	0	47.3	7	61
	평균					61

소나무의 압축전단시험에서 퇴적시간 10분일 때 최대접착강도 $69.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타냈으며, 퇴적시간 20분 이후에는 접착력이 다소 떨어지는 경향을 보였다. 특히 60분에서는 현저한 감소를 보였는데 이는 장시간 퇴적으로 접착제중 함유수분이 목재내부로 과도하게 흡수되어 유동성을 잃고 따라서 접착제가 압체전에 재면에서 미리 건조되는 前硬化현상 때문으로 설명할 수 있겠다. 퇴적시간 없이 도포후 즉시 압체하는 0분에서도 10분일 때와 동일수준의 접착강도인 $69.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타낸 것으로 보아 시판되는 에멀전형 초산비닐수지는 원액으로 사용할 경우 퇴적시간을 줄 필요없이 도포후 즉시 압체공정에 들어감으로써 접착시간을 단축시킬 수 있는 특성이 구명되었다.

상수리나무의 압축전단시험에서는 퇴적시간 30분일 때 최대접착강도 $106.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타냈으며, 퇴적시간 60분에서는 현저한 감소를 보였는데 이는 소나무의 경우와 같은 이유로 생각되며 다만 소나무보다 상수리나무의 적정 퇴적시간이 긴 것은 목재의 수분흡수능력이 소나무보다 떨어지기 때문에 장시간 접착제의 점성을 유지할 수 있는 데 기인한다고 보여지며, 짧은 퇴적시간을 주었을 때는 고비중 상수리나무는 소나무에 비해 표면 경도가 높아서 압체시 접착제 유출로 인한 부분적인 결교(starved joint)현상이 발생되어 접착력의 저하를 초래한 것으로 추정된다.

10분 이하의 짧은 퇴적시간에서 다소의 접착력 저하가 보이지만 $85\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상으로서 활엽수 집성재 기준 전단강도인 $75\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 상회하는 접착력을 나타낸 것으로 볼 때 높은 강도를 요구하지 않는 용도의 집성재를 제조할 경우 생산성 향상을 위하여 퇴적시간없이 접착제 도포후 즉시 압체하는 생산방식도 적용 가능하다고 생각된다.

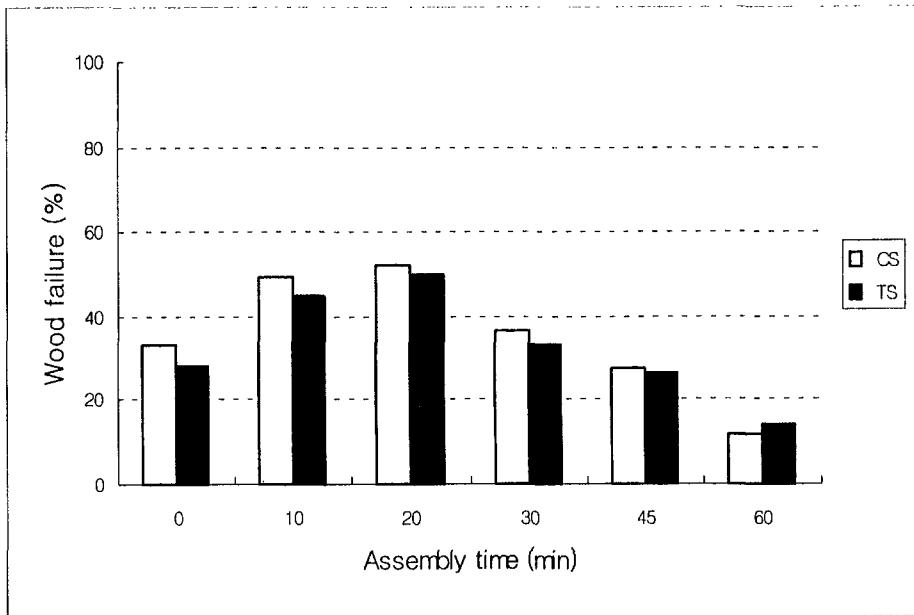
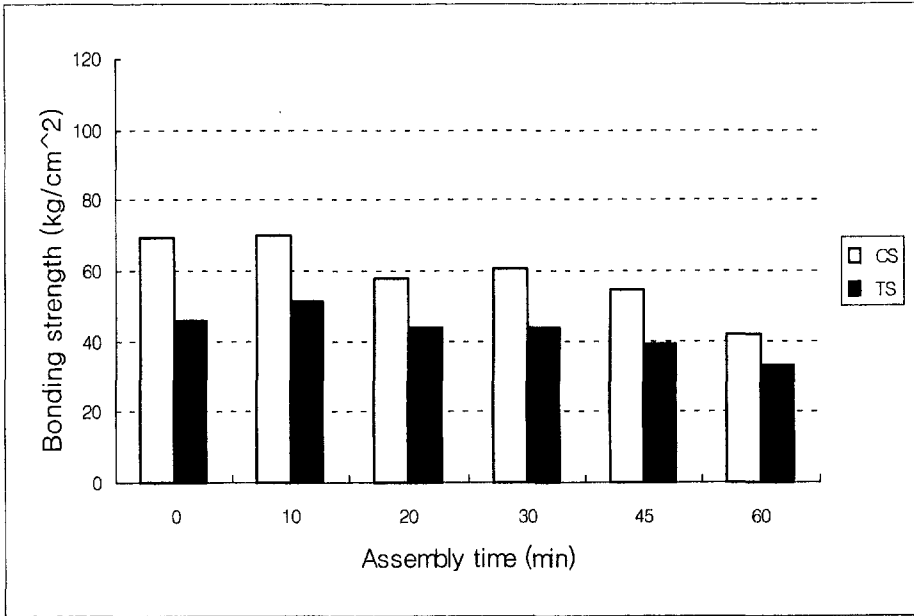


그림 1.5. 소나무의 퇴적시간별 초산비닐수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

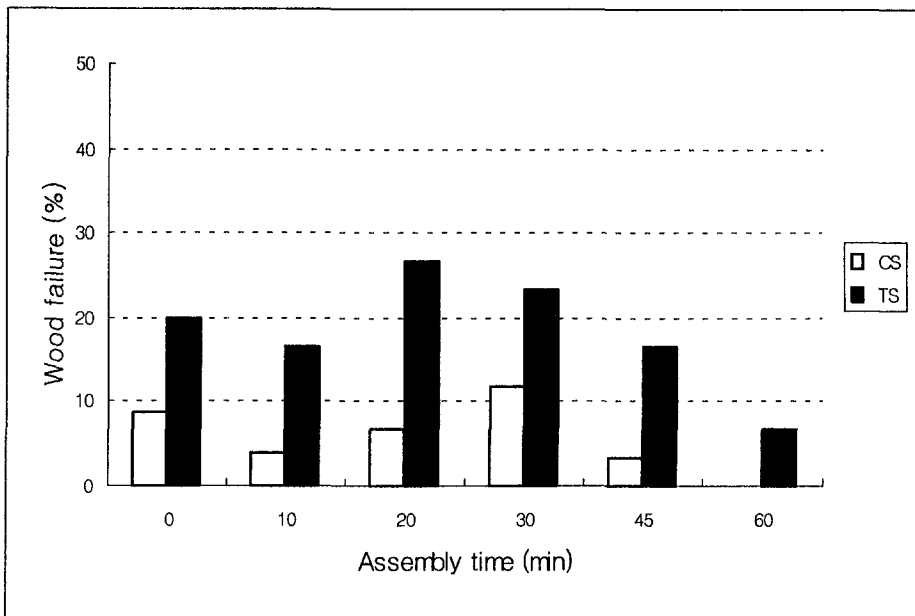
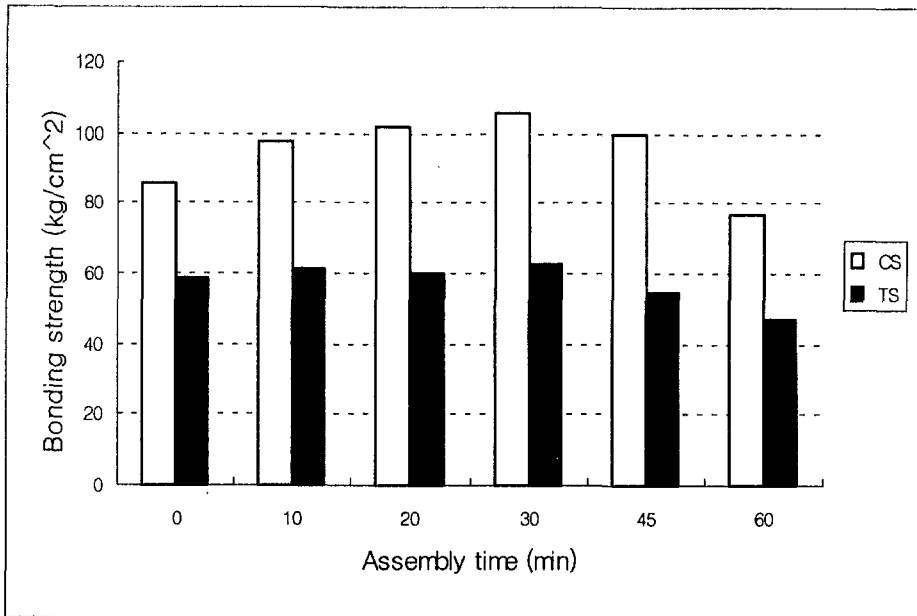


그림 1.6. 상수리나무의 퇴적시간별 초산비닐수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(3) 압체압력

집성재 클램프 압체시 $1\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 6개의 압력변이를 주었을 때의 소나무와 상수리나무에 대한 초산비닐수지의 접착성능을 조사한 결과는 표 1.5 및 그림 1.7, 1.8과 같이 나타났다.

표 1.5. 초산비닐수지의 압체압력별 접착성능

수 종	압체 압력 (kg/cm^2)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm^2)	목 파울 (%)	접착강도 (kg/cm^2)	목 파울 (%)	
소나무	1	67.7	32	49.5	13	73
	3	74.9	34	47.5	22	63
	5	84.9	53	55.4	48	65
	10	85.5	33	61.7	38	72
	20	77.1	34	55.9	29	73
	30	75.6	32	45.2	28	60
	평균					
상수리 나무	1	72.1	0	52.1	10	72
	3	90.4	11	65.5	30	72
	5	106.4	12	67.1	28	63
	10	105.2	8	70.4	33	67
	20	112.5	13	66.5	30	59
	30	90.4	5	63.3	27	70
	평균					

소나무 압축전단 시험에서 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하의 낮은 압력에서는 충분한 접착효과를 볼 수 없었으나 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상에서 매우 양호한 접착력을 나타냈다. 압체압력 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 최대 압력 $85.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타냈으나 압체압력 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서도 동일수준인 $84.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타냈으며 접촉압에 불과한 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $67.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 비교적 양호한 접착성능을 보이고 있는 것으로 볼 때 초산비닐수지의 접착시 압체압력의 허용범위가 광범위함을 알 수 있었다. 다만 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 고압 압체시는 오히려 접착력이 다소 감소하는 경향을 보이는 바 이는 클램프압체시 접착제의 과도한 流出로 인한 부분적인 缺膠현상을 발생하므로써 접착피막의 연속성이 깨어지거나 소재의 부분적 조직파괴를 유발한 때문으로 해석된다. 따라서 소나무와 같은 저비중·연재는 과도한 압력은 피해야 할 것이다.

상수리나무의 압축전단 시험에서도 소나무와 마찬가지로 압체압력의 증가는 접착강도를 증가시키는 경향을 나타냈으나 소나무와 달리 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 높은 압력에서 최대접착성능을 보여 주었다. 이는 점도가 높은 초산비닐수지를 사용하여 상수리나무와 같이 재질이 단단한 고비중재를 집성접착할 경우에는 오히려 높은 압체압력을 적용하는 것이 조직파괴가 거의 없다고 예상할 때 접착피막의 두께를 줄이고 균일화함으로써 피착재와 접착제간의 분자간 인력을 높여서 접착성능을 개선할 수 있기 때문에 바람직하다고 여겨진다. 이 경우 고압력에 의한 접착제 유실로 인한 접착력 손실이 상충되어 지나 그 부분까지는 접근하지 못하였다.

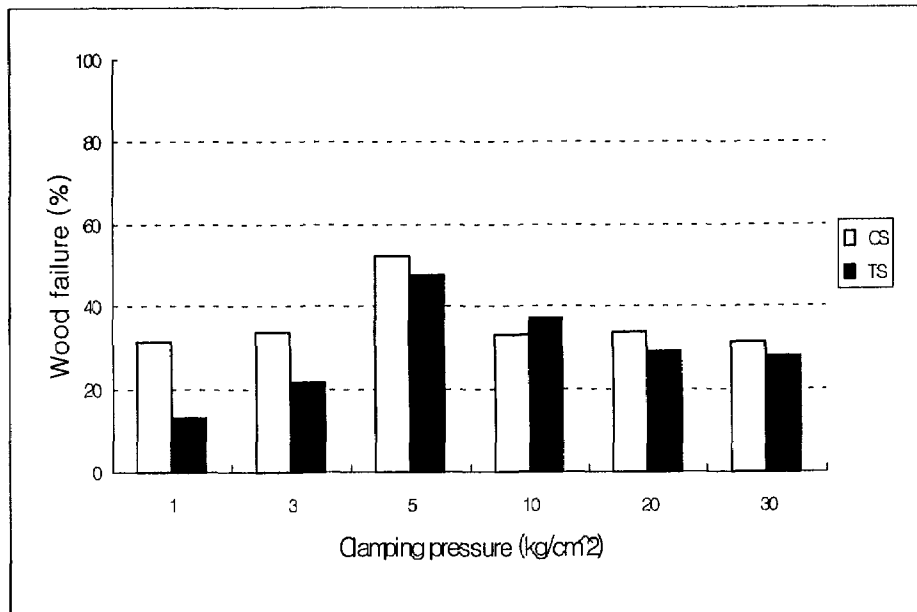
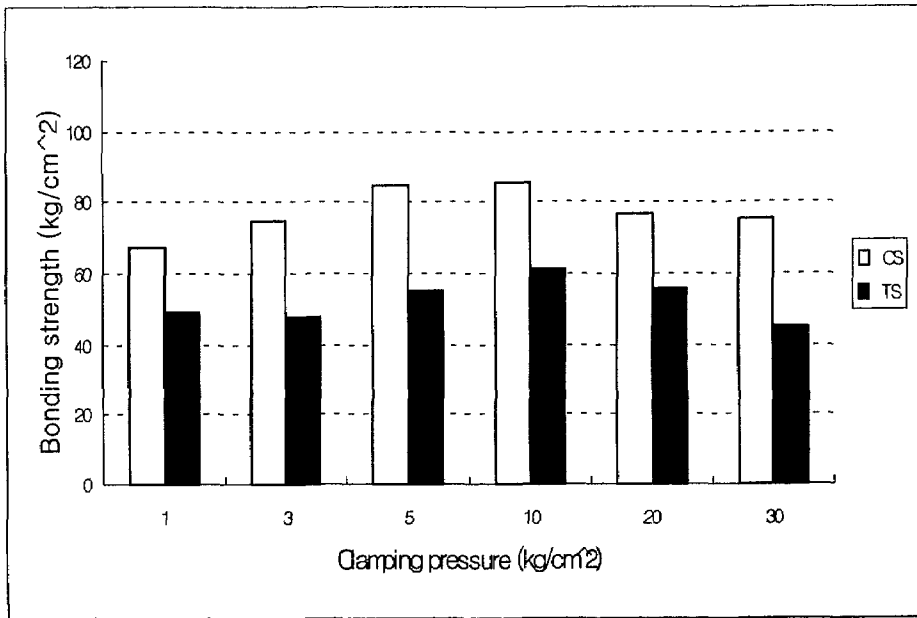


그림 1.7. 소나무의 압체압력별 초산비닐수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

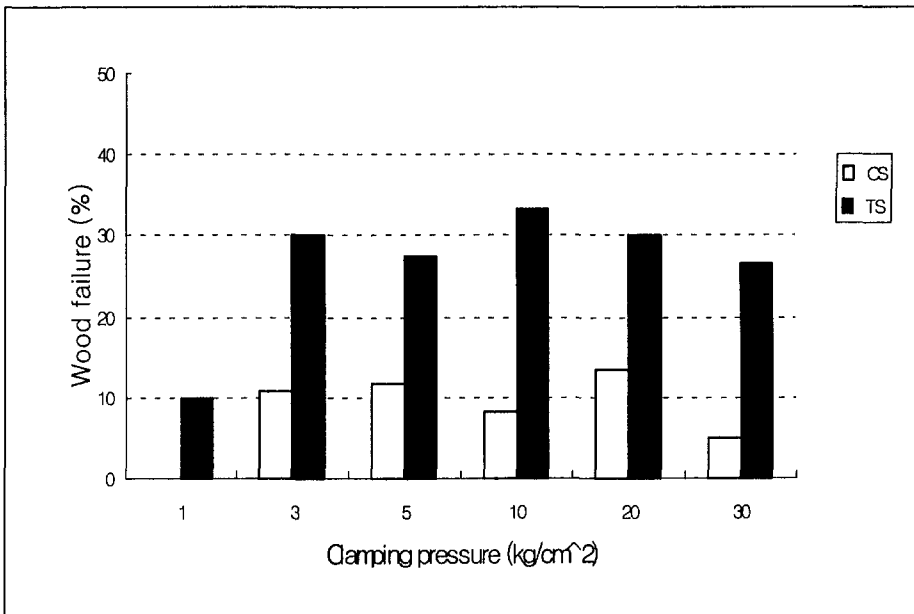
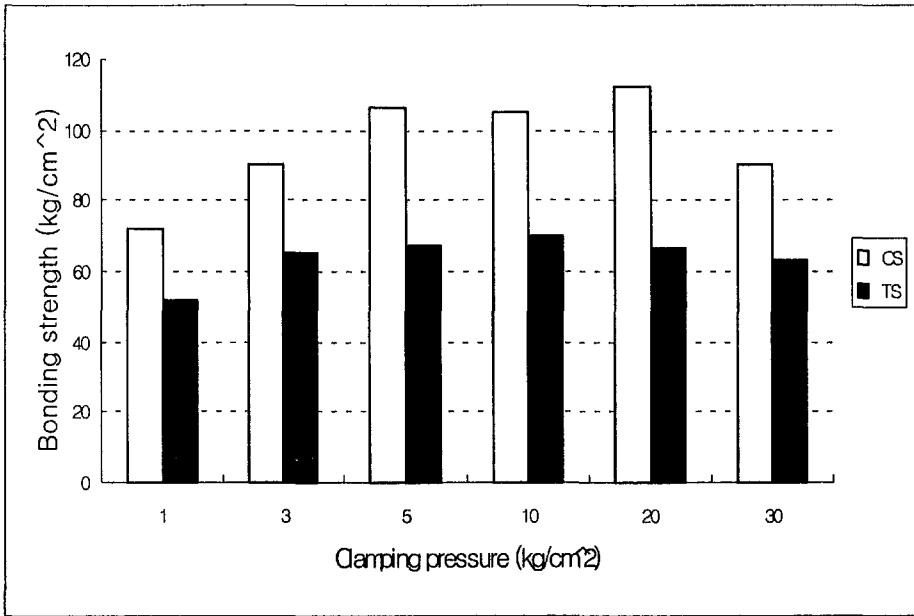


그림 1.8. 상수리나무의 압착압력별 초산비닐수지 접착성능: 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(4) 압체시간

초산비닐수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 집성접착시 적정 압체시간을 구명하기 위해 3시간에서 48시간까지 6개 변이를 주었을 때의 접착강도와 목파율을 측정 한 결과는 표 1.6 및 그림 1.9, 1.10과 같이 조사되었다.

표 1.6. 초산비닐수지의 압체시간별 접착성능

수 종	압체시간 (hrs.)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	3	66.1	40	53.1	43	80
	6	83.0	36	65.8	54	79
	12	86.7	53	69.5	53	80
	18	72.3	48	51.8	48	72
	24	79.5	35	61.8	38	78
	48	85.1	47	60.8	52	71
	평균					77
상수리 나무	3	85.0	0	56.0	15	66
	6	105.7	6	69.8	17	66
	12	108.4	11	65.2	23	60
	18	101.8	8	69.2	27	68
	24	104.0	5	62.5	20	60
	48	106.4	5	54.8	25	52
	평균					62

소나무 집성접착시 압체시간 3시간을 제외하고는 모두 한국공업규격 KS F3118(목재집성재)의 침엽수 A그룹 집성재 기준 전단강도인 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 초과하였으며 12시간에서 최대의 접착강도 $86.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 측정되었다. 12시간 이상 장시간 압체에도 더 이상의 접착강도 증가는 기대할 수 없었으며, 오히려 3시간의 짧은 압체시간에도 $66.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 양호한 접착성능을 발현하는 것으로 보아 접착강도의 요구도에 따라서는 충분히 압체시간을 단축해도 소기의 접착효과를 얻을 수 있다고 생각된다. 일반접착의 경우 충분한 접착성 발현을 위하여 24시간 이상 압체하는 over night 접착방식이 통용되고 있으나 본 연구 결과 초산비닐수지의 적정 압체시간은 12시간으로 충분하며 더 이상의 압체는 생산성 촉진 측면에서 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

상수리나무에서도 소나무와 동일한 경향을 보이는 바 압체시간 3시간을 제외하고는 모두 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 우수한 접착성능을 나타냈으며 12시간에서 역시 최대의 접착강도가 측정되었다. 12시간 이상 장시간 압체로도 더 이상의 접착강도 증가에 연결되지 못하기 때문에 초산비닐수지에 대한 상수리나무의 압체시간 한계는 12시간을 초과할 필요가 없다고 본다. 또한 3시간 압체했을 때도 활엽수 A그룹 집성재 기준 전단강도인 $75\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 초과하는 $85.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 비교적 높은 압축전단 접착강도를 나타내므로 집성재 제조시 고려해볼 필요가 있다고 여겨진다.

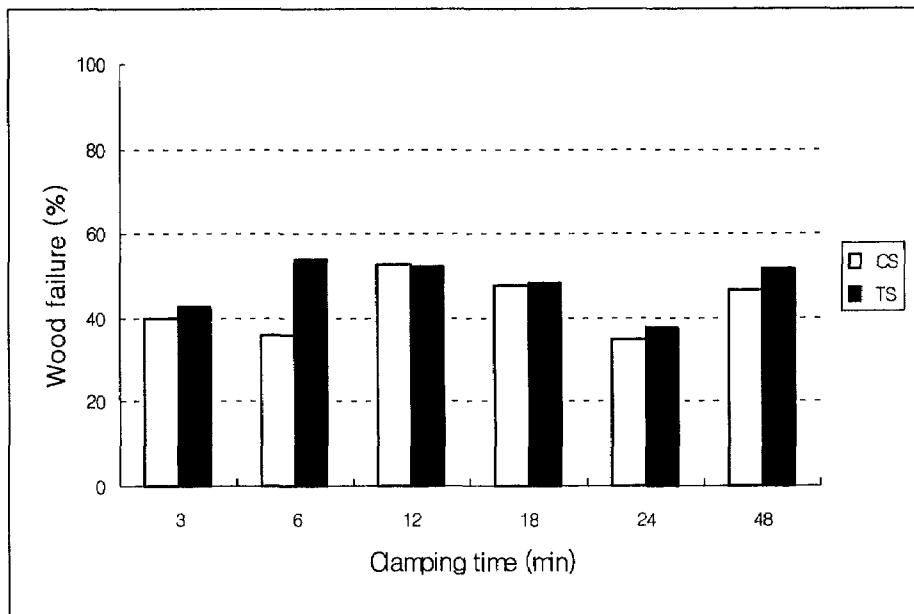
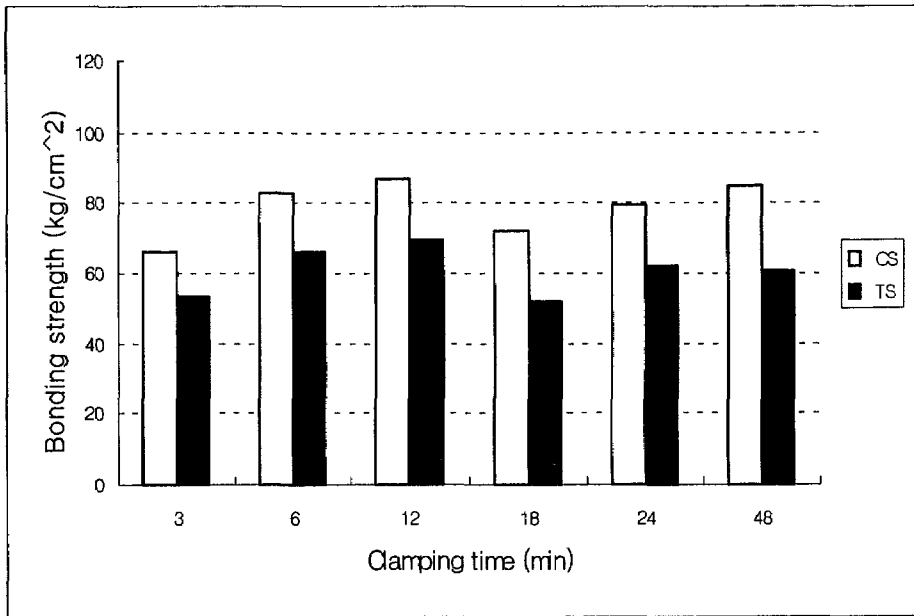


그림 1.9. 소나무의 압체시간별 초산비닐수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

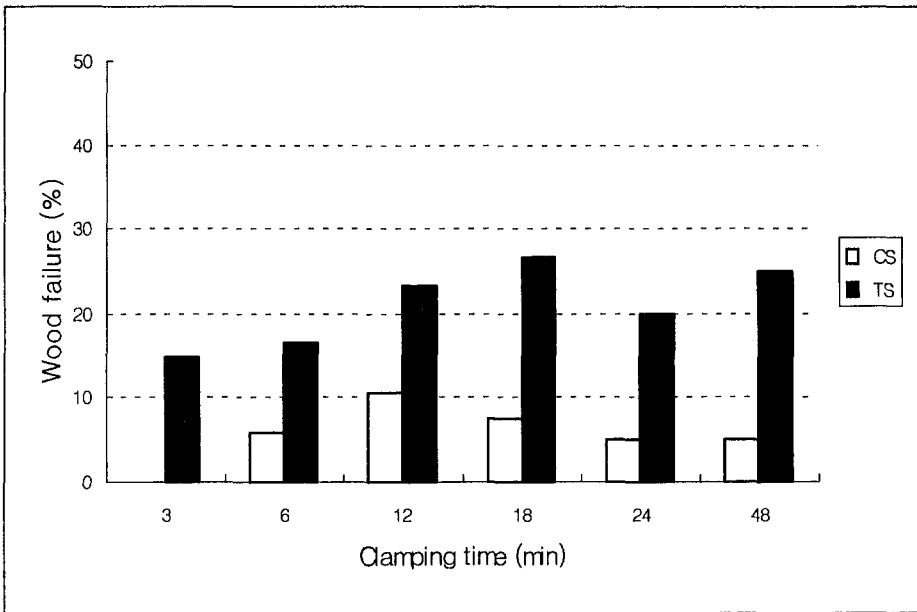
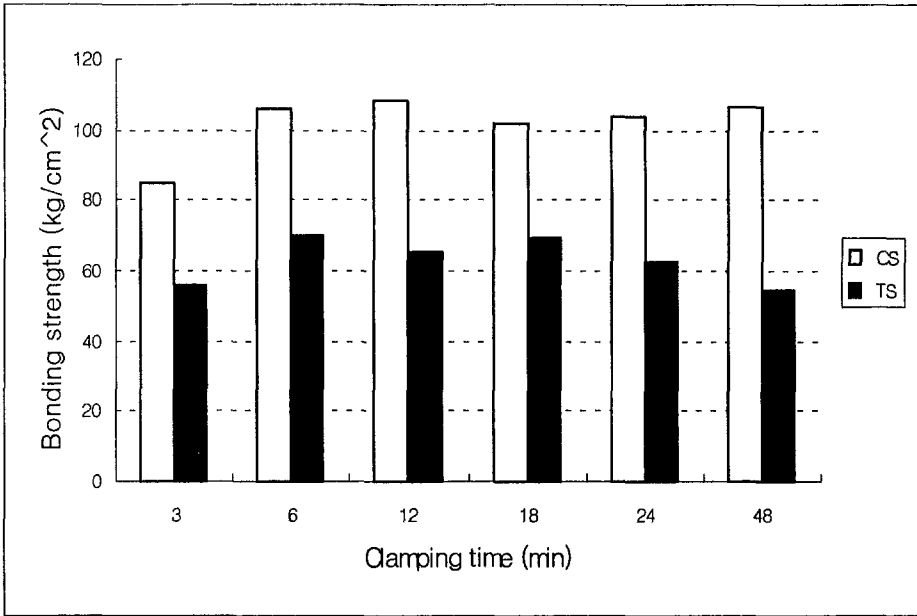


그림 1.10. 상수리나무의 압체시간별 초산비닐수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

나) 요소수지 접착제

(1) 도포량

요소수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 집성접착시 적정 도포량을 구명하기 위해 양면기준 도포량 100g/m²에서 400g/m²까지 6개 변이를 주었을 때의 접착강도와 목파율을 측정된 결과는 표 1.7 및 그림 1.11, 1.12와 같이 조사되었다.

표 1.7. 요소수지의 도포량별 접착성능

수 종	도포량 (g/m ²)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	100	66.2	55	40.1	45	61
	150	85.2	90	56.7	60	67
	200	97.1	85	56.1	65	58
	250	82.9	67	50.0	80	60
	300	83.9	65	44.8	55	53
	400	80.0	53	38.3	53	48
	평균					
상수리 나무	100	105.9	60	51.6	40	49
	150	127.1	55	63.2	53	50
	200	143.1	50	72.7	20	51
	250	134.2	25	67.3	25	50
	300	134.3	83	73.1	80	54
	400	121.4	10	69.9	25	58
	평균					

먼저 소나무 집성접착시 접착제 도포량 $200\text{g}/\text{m}^2$ 에서 최대 압축전단 접착강도 $97.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 나타냈으며 도포량 $100\text{g}/\text{m}^2$ 에서는 $66.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 다소 미흡한 접착력을 나타냈다. $200\text{g}/\text{m}^2$ 이상 도포량을 증가시킨 결과 초산비닐 수지와 마찬가지로 접착강도가 오히려 감소되는 경향이 보이므로서 적정도포량은 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 판명되었다. 다만 도포량 $150\text{g}/\text{m}^2$ 에서도 침엽수 집성재 기준 전단강도인 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 충분히 상회하므로 원가절감을 위하여 도포량을 줄이거나 증량시키는 방법도 적용될 수 있다고 본다.

이때의 목파율은 최대 90%까지 측정되었는데 요소수지 접착제는 초산비닐수지보다 접착력이 강하고 목파율도 뛰어남을 확인할 수 있었다.

동일한 집성재에서 채취한 시험편의 인장전단 접착강도의 범위는 $38.3\sim 56.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 압축전단강도의 58%에 해당하는 접착강도를 나타냈으며 목파율은 최대 85%까지 측정되었다.

다음에 상수리나무의 경우 소나무와 마찬가지로 도포량 $200\text{g}/\text{m}^2$ 에서 최대 압축전단 접착강도 $143.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 나타냈으며 더 이상의 도포량 증가가 접착강도의 증가에 연결되지 않았다. 특히 최소 도포량인 $100\text{g}/\text{m}^2$ 에서도 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 양호한 접착력을 나타내는 것으로 보아 접착강도 측면의 엄격한 품질관리를 요구하지 않는 한 도포량 조절에 지나치게 주의할 필요는 없다고 판단된다. 이때의 목파율은 최대 83%까지 측정되어 고비중·경재인 상수리나무에 대해서도 요소수지는 우수한 목부파단효과를 보여주었다. 인장전단 접착강도의 범위는 $51.6\sim 73.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 압축전단강도의 61%에 해당하는 접착강도를 나타냈으며 목파율은 최대 58%까지 측정되었다.

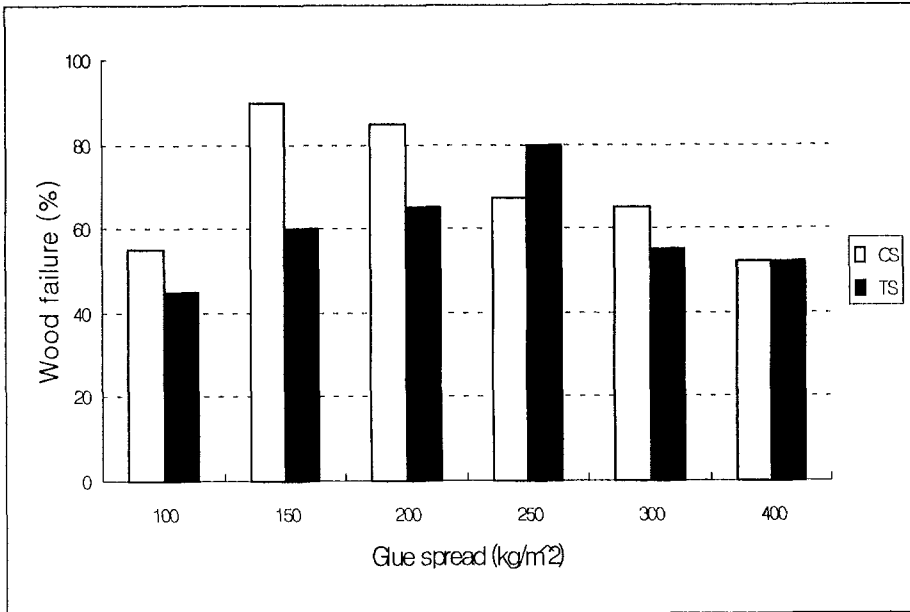
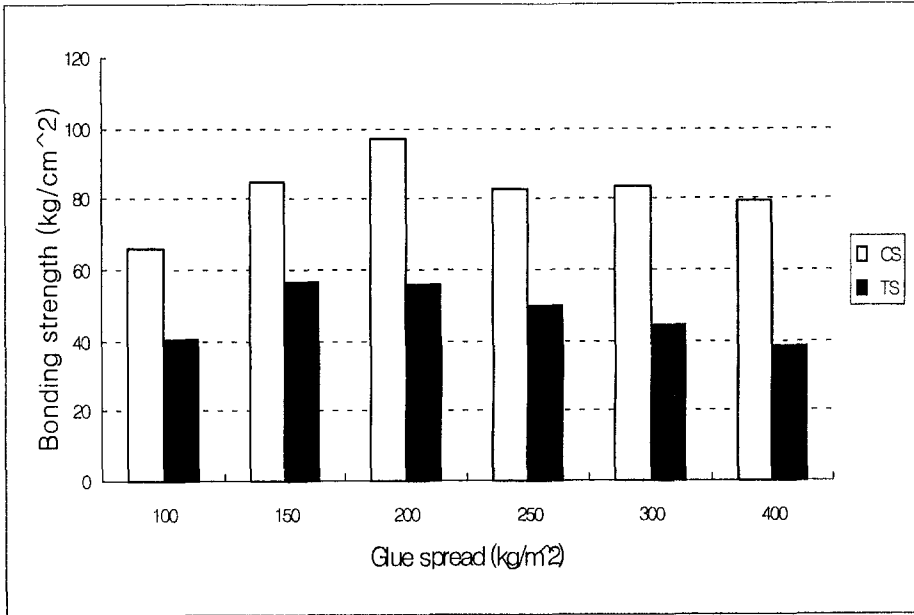


그림 1.11. 소나무의 요소수지 도포량별 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

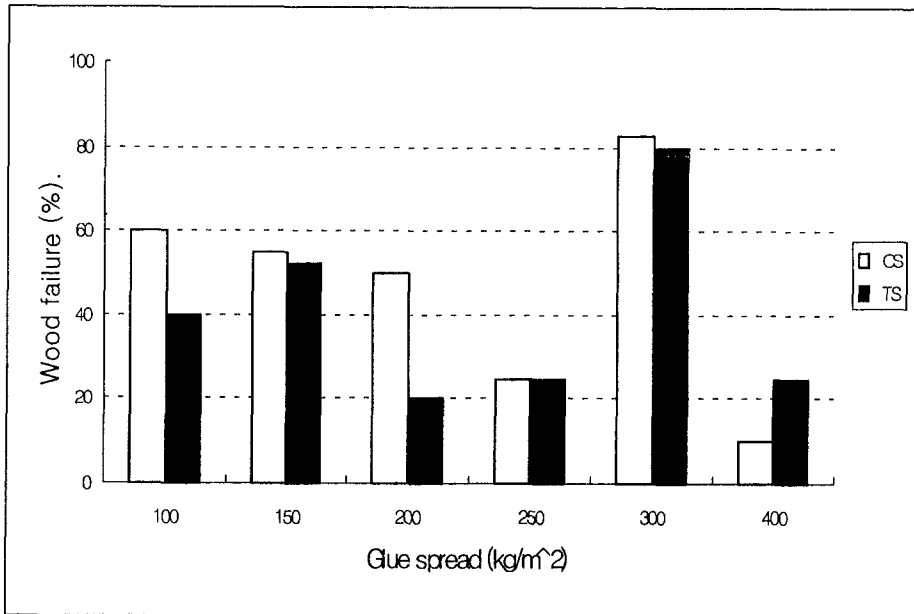
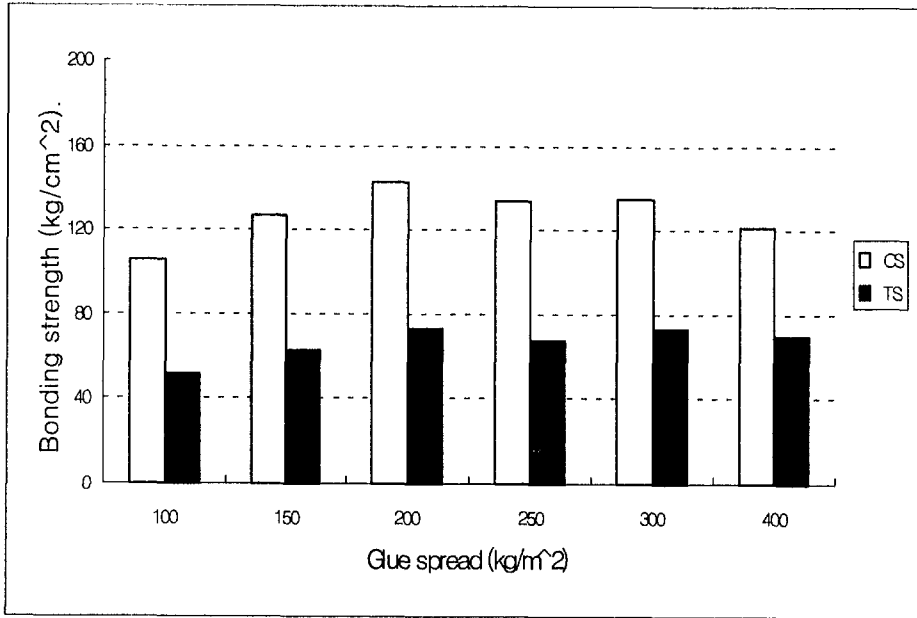


그림 1.12. 상수리나무의 요소수지 도포량별 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(2) 퇴적시간

퇴적시간을 0분~60분까지 6개의 변이를 주고 요소수지의 소나무와 상수리나무에 대한 접착성능을 조사한 결과는 표 1.8 및 그림 1.13, 1.14와 같이 나타났다.

표 1.8. 요소수지의 퇴적시간별 접착성능

수 종	퇴적시간 (min.)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	0	72.5	65	53.0	30	73
	10	93.0	68	53.4	58	57
	20	102.4	83	56.5	63	55
	30	97.8	73	53.9	53	55
	45	101.3	70	51.1	63	50
	60	85.6	63	41.8	65	49
	평균					
상수리 나무	0	116.5	13	75.8	60	65
	10	132.9	70	95.0	60	71
	20	139.1	45	97.5	65	70
	30	122.5	65	84.3	70	69
	45	125.4	73	69.2	53	55
	60	109.0	58	64.6	60	59
	평균					

압축전단시험에서 소나무의 최대접착력과 목과율은 퇴적시간 20분에서 각각 $102.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 와 82.5%로 나타났으며 60분 퇴적시 접착력이 다소 떨어진 원인은 전술한 바와 같이 장시간 퇴적으로 접착제중 함유수분이 목재내부로 과도하게 흡수되어 유동성을 잃고 따라서 접착제가 압체전에 제면에서 미리 건조되는 前硬化현상 때문으로 설명할 수 있겠다. 한편 10분 이하의 짧은 퇴적시간에서는 다소의 접착력 저하가 보이지만 침엽수 집성재 기준 전단강도인 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 상회하는 접착력을 나타낸 것으로 볼 때 높은 강도를 요구하지 않는 용도의 집성재를 제조할 경우 생산성 향상을 위하여 퇴적시간 없이 접착제 도포후 즉시 압체하는 생산방식도 가능하다고 본다. 또한 45분의 비교적 긴 퇴적시간까지도 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 높은 접착력을 유지하는 특성을 보여서 접착제 배합후의 가사시간 조절에 여유가 있음을 알 수 있었으나 요소수지는 기온의 영향을 심하게 받는 접착제이므로 온도에 따라 조절되어야 할 것이다.

상수리나무의 압축전단시험에서 최대접착력은 소나무와 마찬가지로 퇴적시간 20분에서 나타났으며 퇴적시간과 접착강도와의 관계는 소나무와 동일하게 나타난 것으로 볼 때 비중과 경도 등이 크게 다른 수종인 데도 불구하고 수종간 차이가 거의 없는 것으로 여겨진다.

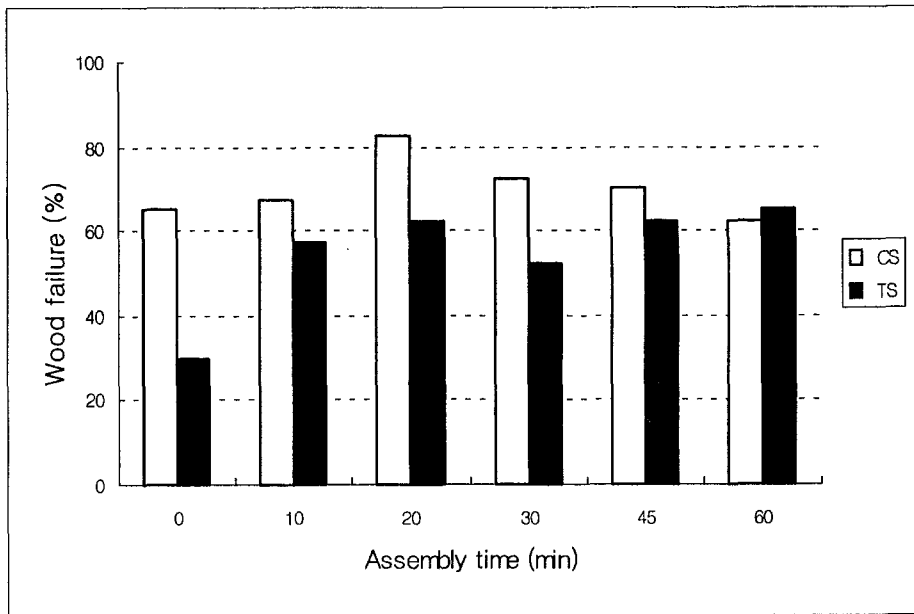
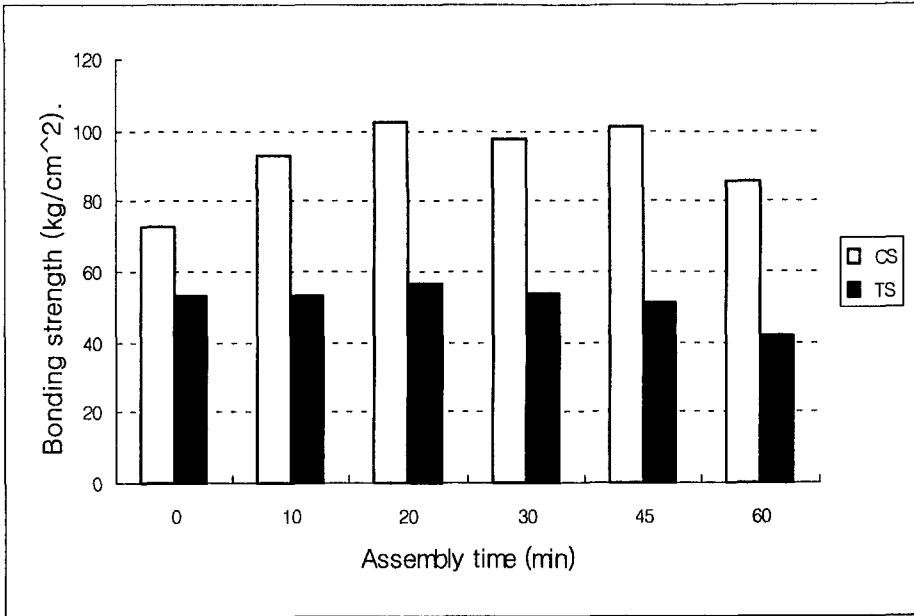


그림 1.13. 소나무의 퇴적시간별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

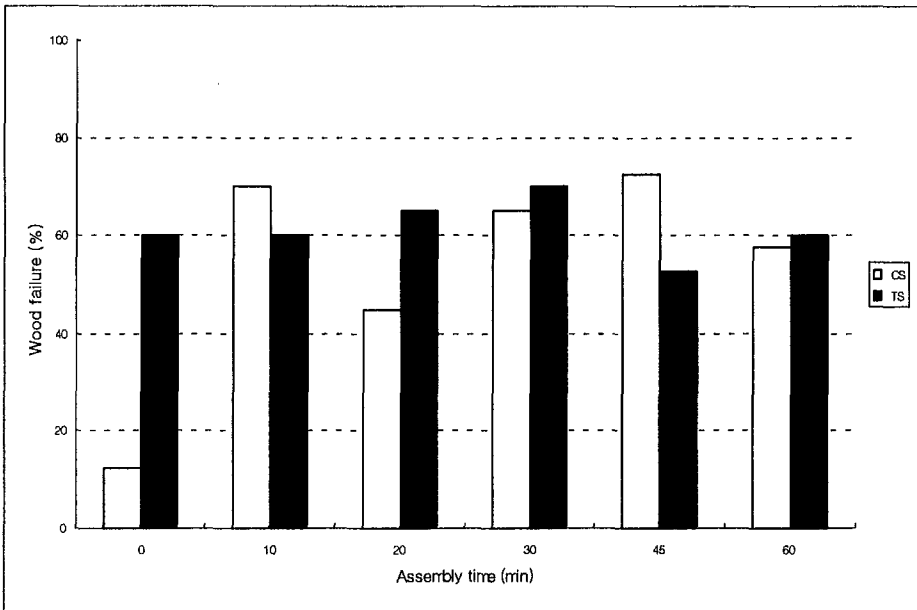
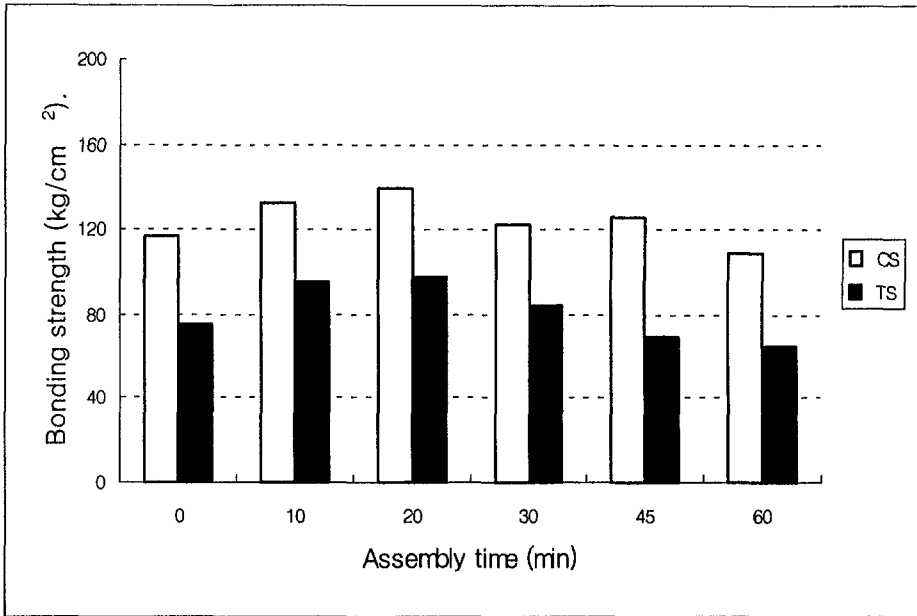


그림 1.14. 상수리나무의 퇴적시간별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(3) 압체압력

집성재 클램프 압체시 $1\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 30\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 6개의 압력변이를 주었을 때의 소나무와 상수리나무에 대한 요소수지의 접착성능을 조사한 결과는 표 1.9 및 그림 1.15, 1.16과 같이 나타났다.

표 1.9. 요소수지의 압체압력별 접착성능

수 종	압체 압력 (kg/cm^2)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm^2)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm^2)	목파율 (%)	
소나무	1	36.5	50	14.0	23	38
	3	81.7	55	48.2	80	59
	5	87.6	58	61.8	65	71
	10	86.0	60	54.1	75	63
	20	75.3	55	58.6	65	78
	30	71.0	48	53.1	70	75
상수리 나무	1	114.4	30	77.5	40	68
	3	135.1	30	105.0	35	78
	5	177.5	73	130.1	60	73
	10	188.2	78	135.4	78	72
	20	185.0	80	134.3	83	73
	30	147.2	75	111.8	63	76
					평균	

소나무 집성시 접촉압 정도인 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 매우 낮은 $36.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 접착강도를 나타내어 압체압력이 불충분함을 알 수 있었으나 역시 저압력인 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서는 $80\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 양호한 접착강도를 나타냈다. 또한 압력 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 최대접착강도인 $87.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 에를 나타냈으며 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서도 동일 수준인 $86\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내었다. 다만 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 높은 압력에서는 오히려 접착력이 감소하는 경향을 보이는 바 이는 초산비닐수지 접착과 마찬가지로 클램프 압체시 접착제의 과도한 流出로 인한 부분적인 缺膠현상이 발생하여 접착피막의 연속성이 깨어지거나 미세조직의 파괴를 유발한 때문으로 해석된다. 따라서 지나친 압력은 피해야 할 것이며 소나무는 요소수지에 대해 매우 낮은 압체압력으로도 양호한 접착이 이루어짐을 파악할 수 있었다.

상수리나무의 압축전단 시험에서 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하의 낮은 압력에서는 충분한 접착효과를 볼 수 없었으나 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상에서는 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 초과하는 매우 우수한 접착력을 나타냈다. 압체압력 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 최대접착강도 $188.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 의를 나타냈으며 특히 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 높은 압력에서 도 최대접착강도와 동일수준인 $185.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 보이고 있다. 따라서 상수리나무는 적정압력이 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 구명되었으나 재질이 단단한 고비중재로서 높은 압력영역에서 양호한 접착성능을 나타내는 것으로 보아 실용상 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 가까운 고압력을 적용하는 것이 접착공정의 안전성을 도모하는 데 오히려 적합하다고 생각된다.

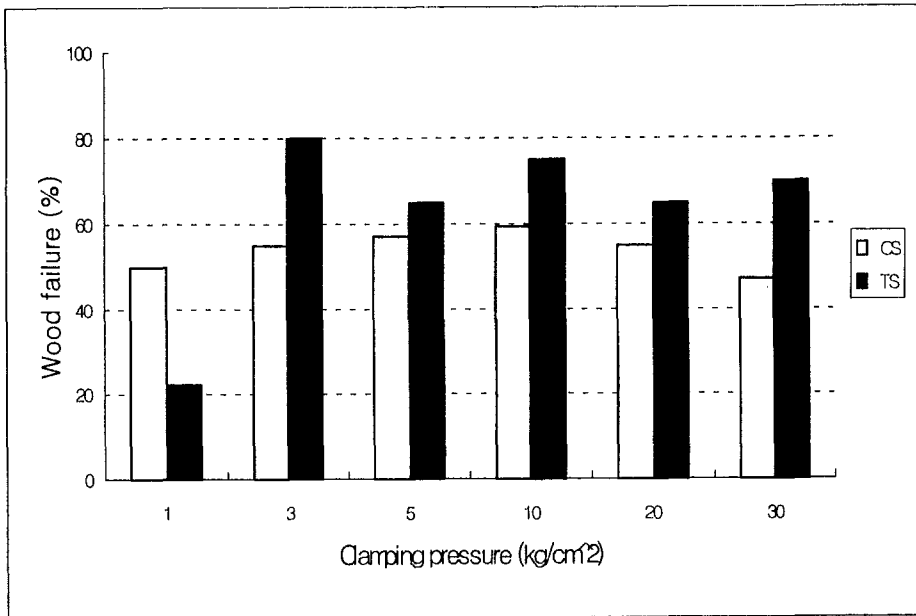
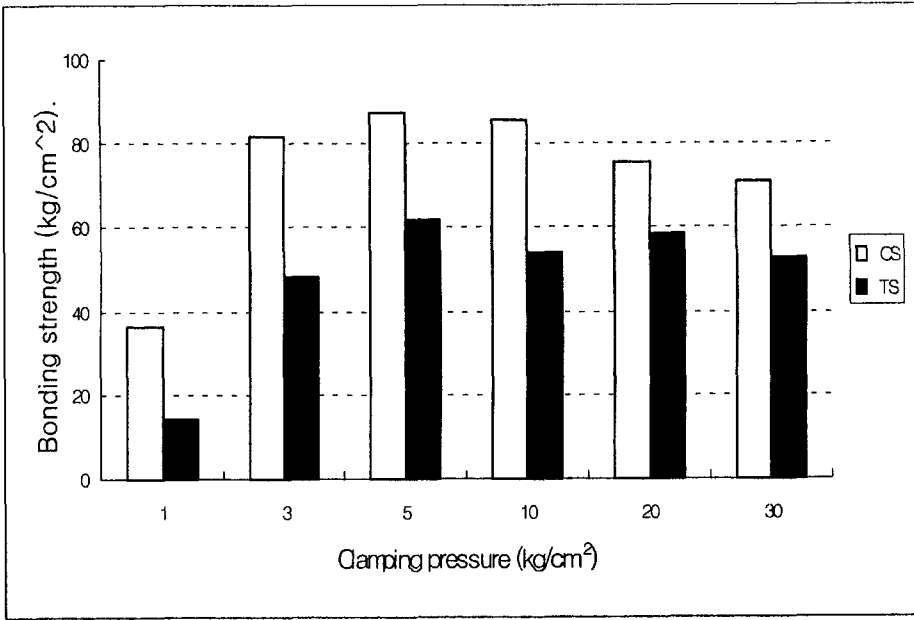


그림 1.15. 소나무의 압체압력별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

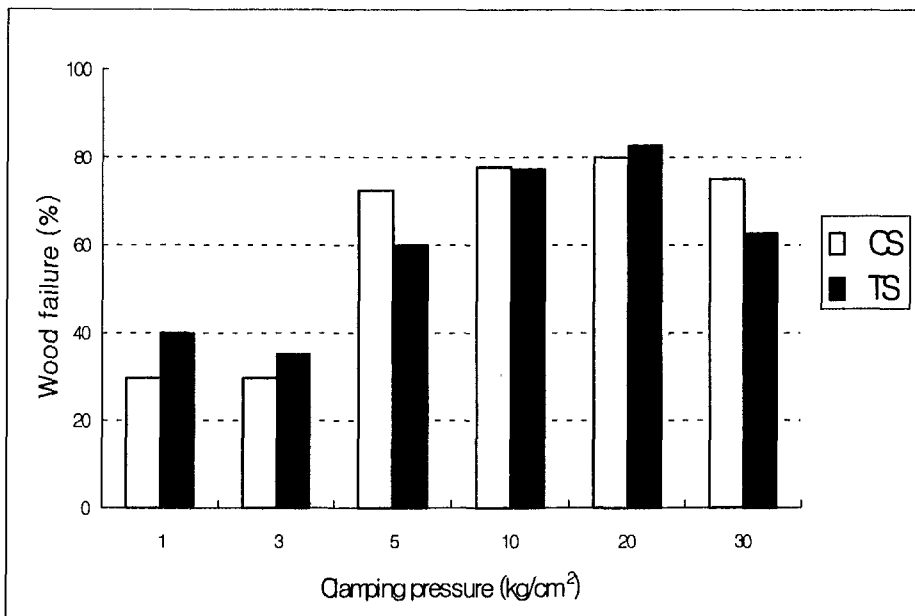
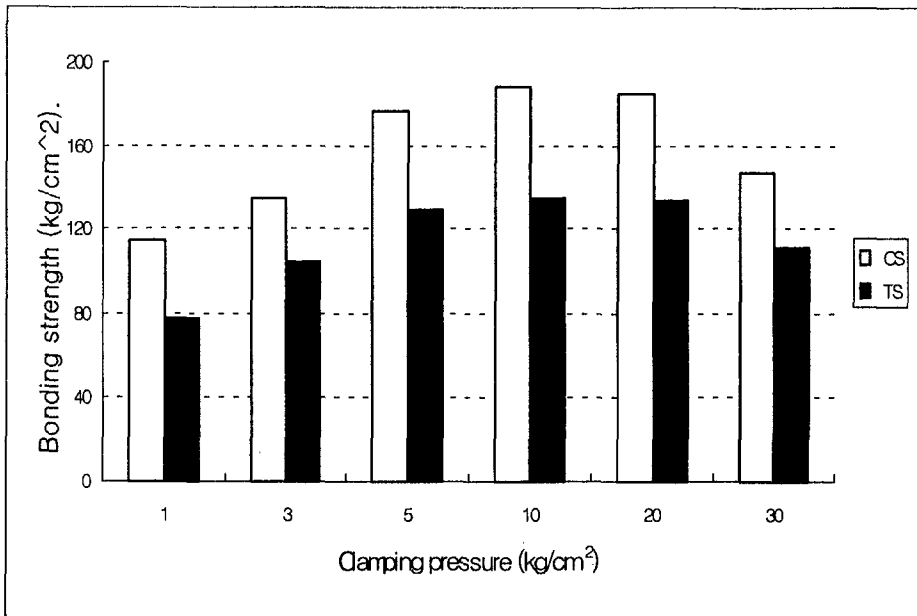


그림 1.16. 상수리나무의 압체압력별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(4) 압체시간

요소수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 집성접착시 적정 압체 시간을 구명하기 위해 3시간에서 48시간까지 6개 변이를 주었을 때의 접착 강도와 목파율을 측정 한 결과는 표 1.10 및 그림 1.17, 1.18과 같이 조사되었 다.

표 1.10. 요소수지의 압체시간별 접착성능

수 종	압체시간 (hrs.)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	3	71.2	58	44.0	45	62
	6	89.0	45	47.3	60	53
	12	98.1	65	56.3	50	57
	18	81.4	50	57.6	45	71
	24	85.6	43	51.5	55	60
	48	86.6	55	51.2	70	59
	평균					60
상수리 나무	3	154.6	73	62.1	55	40
	6	189.0	55	90.4	85	48
	12	198.1	70	104.1	70	53
	18	193.0	75	107.1	90	56
	24	197.1	85	99.7	55	51
	48	199.0	90	102.6	60	52
	평균					50

소나무 집성접착시 압체시간 3시간에서 $71.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 다소 저조한 압축 전단 접착강도를 나타낸 것을 제외하고는 모두 $80\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 양호한 접착성능을 보여주었다. 압체시간 12시간에서 최대 접착강도 $98.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 측정되었으며 그 이상 장시간 압체하여도 접착강도가 증가하지는 않았으며, 오히려 3시간의 짧은 압체시간에도 한국공업규격의 침엽수 A그룹 집성재 기준 전단강도인 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 초과하였으며 압체 6시간에서도 $89.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 양호한 접착성능을 발현하는 것으로 볼 때 역시 접착강도의 요구도나 생산성 촉진면에서 압체시간을 충분히 단축해도 소기의 접착효과를 얻을 수 있다고 생각된다.

상수리나무에서도 소나무와 동일한 경향을 보이는 바 압체시간 3시간을 제외하고는 모두 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 우수한 접착성능을 나타냈으며, 비록 최대 접착강도는 압체시간 48시간에서 $199.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타냈으나 압체시간 12시간에서도 유의차없는 $198.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내므로 실용상 12시간을 적정 압체시간으로 결정하였다.

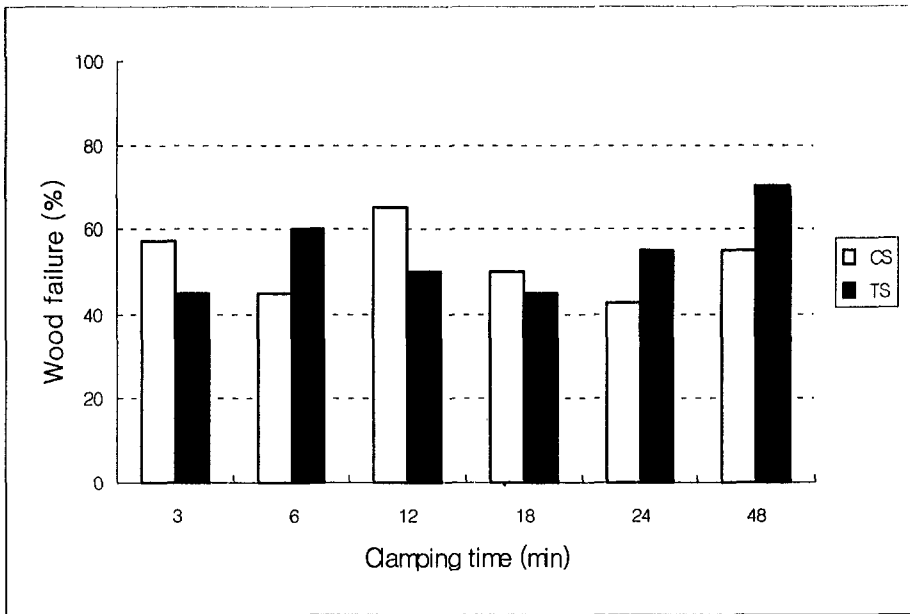
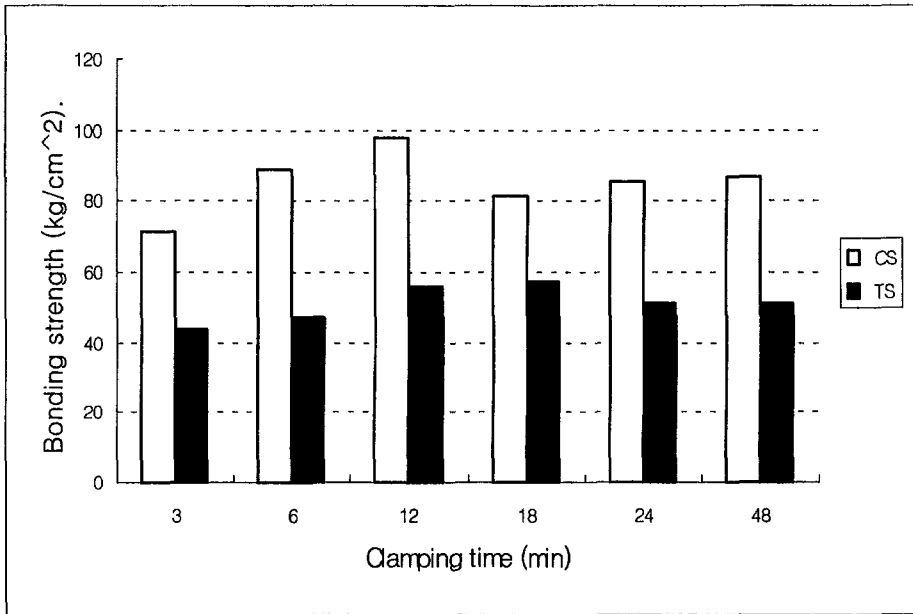


그림 1.17. 소나무의 압체시간별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

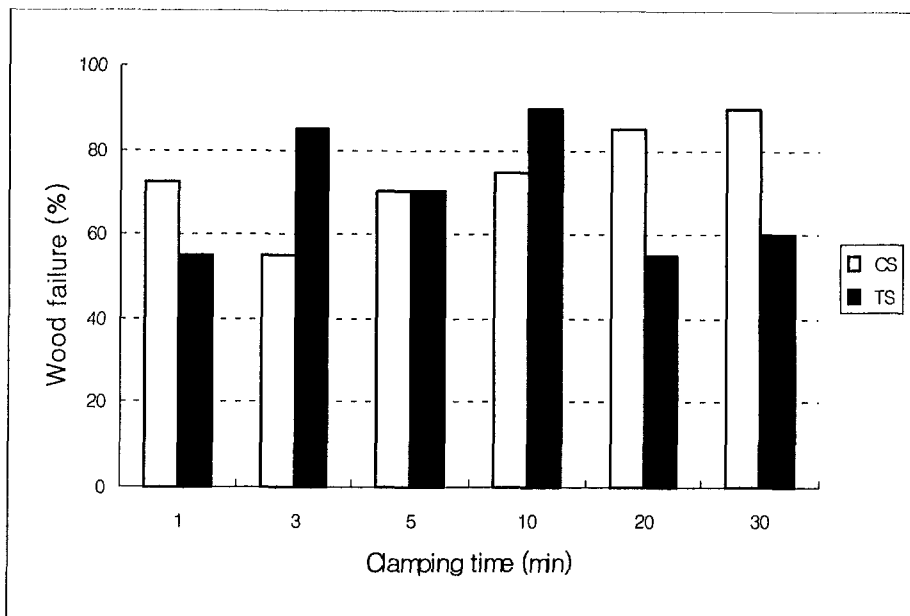
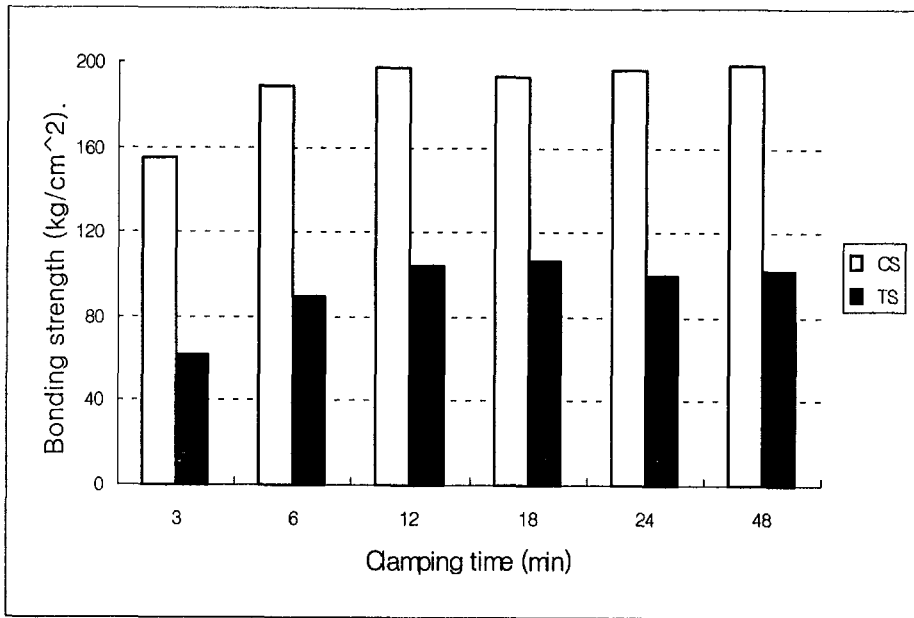


그림 1.18. 상수리나무의 압체시간별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

(5) 경화제 첨가량

요소수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 집성접착시 적정 경화제 첨가량을 구명하기 위해 염화암모늄 20% 수용액을 접착제 불휘발 고형분에 대해 1%에서 20%까지 6개 변이를 주었을 때의 접착강도와 목파율을 측정된 결과는 표 1.11 및 그림 1.19, 1.20과 같이 조사되었다.

표 1.11. 요소수지의 경화제 첨가량별 접착성능

수 종	경화제 첨가량 (%)	압축전단시험		인장전단시험		인장 /압축 (%)
		접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	접착강도 (kg/cm ²)	목파율 (%)	
소나무	1	24.6	0	15.6	0	64
	3	64.3	18	34.8	25	54
	5	101.4	75	54.0	78	53
	10	104.5	78	59.0	65	56
	15	99.2	68	54.2	73	55
	20	83.6	65	52.9	65	63
	평균					
상수리 나무	1	30.1	0	18.6	0	62
	3	123.6	85	77.9	70	63
	5	161.0	90	100.4	60	62
	10	174.9	88	104.1	68	59
	15	177.2	90	126.3	55	71
	20	163.8	78	123.4	73	75
	평균					

먼저 소나무의 판재집성시 경화제 첨가량을 1%와 3% 첨가했을 경우 압축전단 접착강도는 각각 24.6kg/cm^2 , 64.3kg/cm^2 로서 매우 저조하여 경화제 첨가량이 부족하였으나 5% 이상 첨가했을 때는 100kg/cm^2 이상의 양호한 접착강도를 나타내므로서 경화제는 5% 이상 첨가하는 것이 적당함을 알 수 있었다. 최대 접착강도는 경화제 첨가량 10%에서 104.5kg/cm^2 로 측정되었으며 특히 20% 첨가했을 때는 83.6kg/cm^2 로서 접착강도가 다소 감소하였으며 강도시험 후 접착면에 소량의 경화제가 분말상태로 노출되는 것으로 보아 과다한 경화제 첨가는 접착성능면이나 경제적 측면 모두 바람직하지 못함이 확인되었다. 동일한 집성제에서 채취한 시험편의 인장전단 접착강도의 범위는 $15.6\sim 59.0\text{kg/cm}^2$ 로 압축전단강도의 평균 58%에 해당하는 접착강도를 나타냈으며 경화제 첨가량에 대한 인장전단 접착강도의 관계 역시 압축전단시험과 동일한 경향을 보여주었다.

다음에 상수리나무의 경우에는 판재집성시 경화제 첨가량을 1% 첨가했을 경우 압축전단 접착강도는 30.1kg/cm^2 로서 극히 저조하였으며 접착면이 쉽게 탈리되는 현상도 보여 전혀 접착이 안되는 경우도 있었다. 그러나 소나무와는 달리 3% 첨가했을 때 이미 100kg/cm^2 이상의 양호한 접착강도를 나타내므로서 경화제 첨가량의 유효한계가 수종별로 차이가 있음이 구명되었으며 최대 접착강도는 경화제 첨가량 15%에서 177.2kg/cm^2 로 측정되므로서 경화제 첨가량을 증가할수록 접착성능이 향상되는 것을 알 수 있었으나 20%의 많은 경화제를 첨가했을 때는 163.8kg/cm^2 로서 소나무와 마찬가지로 접착강도가 오히려 감소하는 경향을 보여주었다.

지금까지 초산비닐수지에 멸전 접착제와 농축형 요소수지 접착제에 대한 소나무와 상수리나무의 라미나 판재 접착성능을 조사해본 결과를 종합해 볼 때 소나무와 상수리나무의 집성제 제조를 위한 몇가지 접착인자별 최적접착 조건은 표 1.12와 같이 요약되었다.

이때 최적조건은 접착인자에 따라서 인접조건과 통계적 유의차가 없는 경우라도 산업적 이용상 생산성에 지나친 영향을 주는 것을 제외하고는 압축전단접착강도의 최대값을 기준으로 설정하였다.

표 1.12. 소나무와 상수리나무의 접착제 종류별 최적접착조건

수종	접착인자	접착제 종류	
		초산비닐수지 에멀전	요소수지 농축형
소나무	양면도포량(g/m ²)	250	200
	퇴적시간(min)	10	20
	압체압력(kg/cm ²)	10	5
	압체시간(hr)	12	12
	경화제 첨가량(%)	-	10
상수리나무	양면도포량(g/m ²)	250	200
	퇴적시간(min)	30	20
	압체압력(kg/cm ²)	20	10
	압체시간(hr)	12	12
	경화제 첨가량(%)	-	15

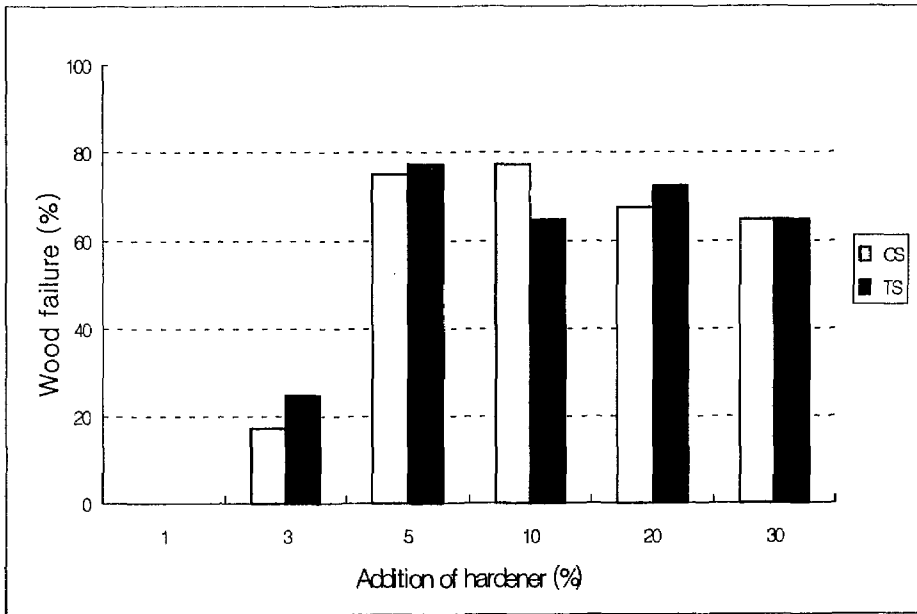
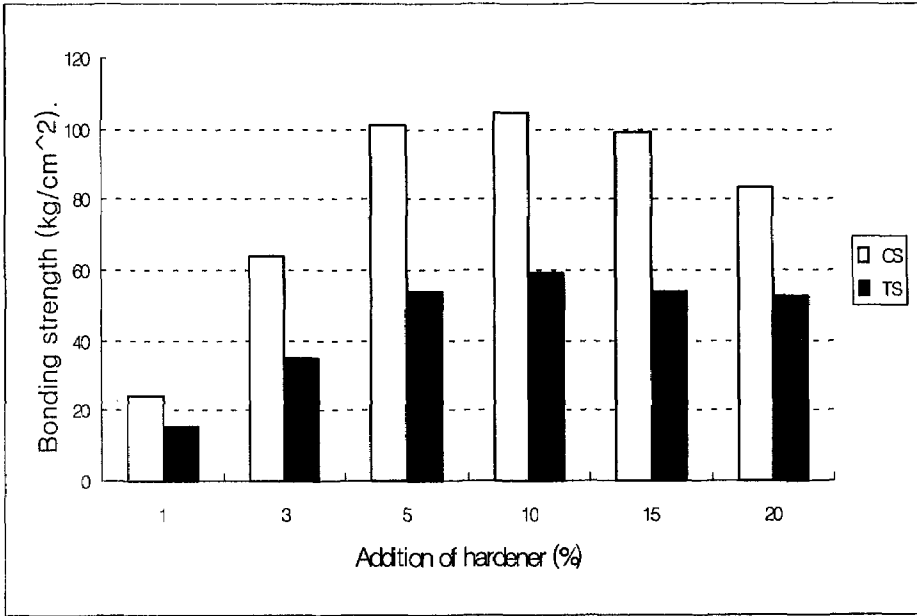


그림 1.19. 소나무의 경화제 첨가량별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

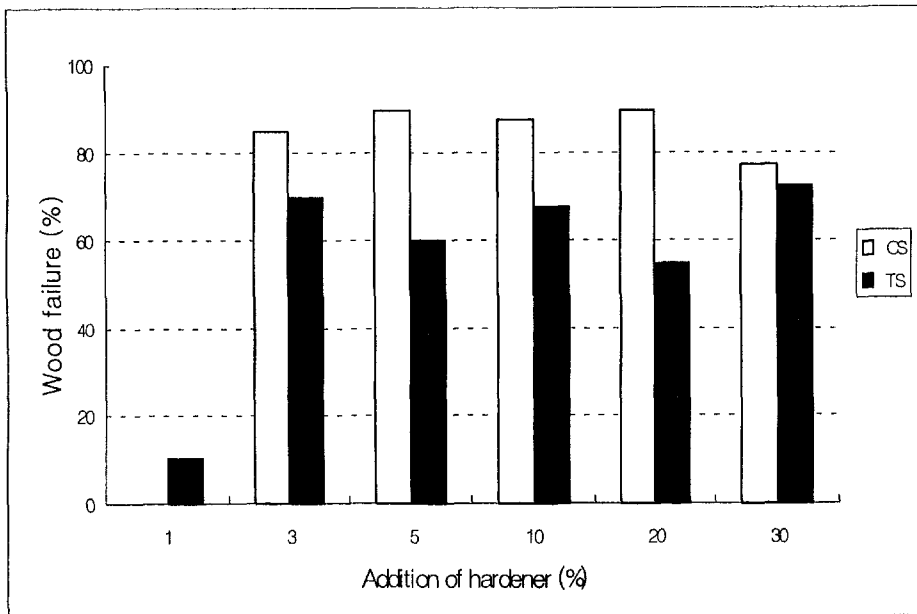
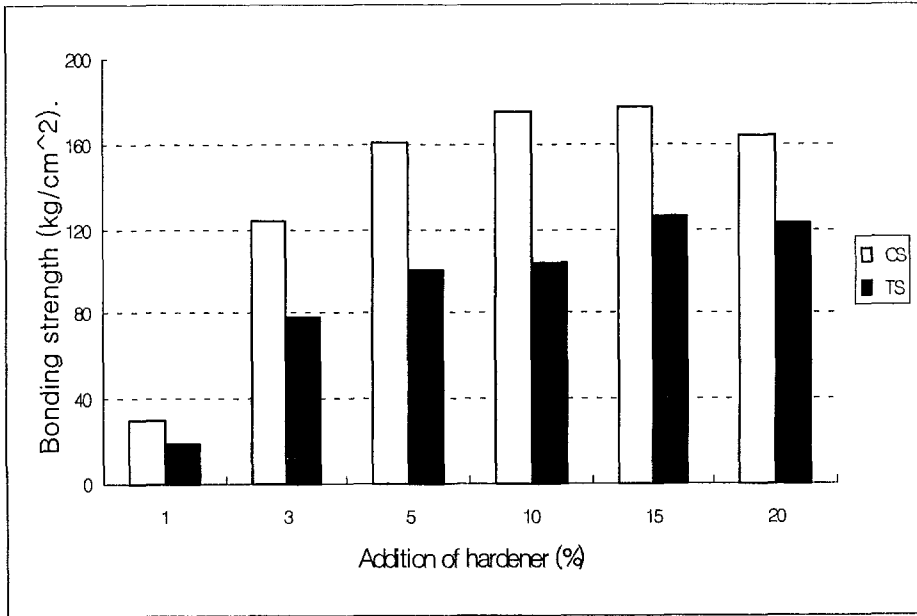


그림 1.20. 상수리나무의 경화제 첨가량별 요소수지 접착성능
 上: 전단접착강도(CS 압축전단, TS 인장전단), 下: 목파율

다. 통직형 집성재의 제조

1) 목재집성용 단위 클램핑치구의 제작

통직형 집성재의 집성접착을 위해 그림 1.21-b과 같이 필수적인 기능만을 갖춘 매우 단순한 형태의 단위 클램핑장치를 고안제작하여 사용하였다.

기본 골격구조는 단면치수 31×51mm, 두께 20mm, 길이 500mm인 3개의 4각 파이프앵글만으로 구성하고 여기에 클램핑치구를 삽입하여 집성재의 다양한 크기에도 적용할 수 있도록 설계하였다. 또한 파이프 앵글에 여러개의 구멍을 뚫어둠으로써 집성재의 크기 및 모양에 맞추어 여러형태로 조립할 수 있도록 조치하였다. 특히 집성재의 길이증가에 따라 단위 클램핑치구를 여러개 조합하여 사용할 수 있고 또한 집성판재의 수량이 증가할 때는 보다 긴 후레임 앵글로 교체해서 집성할 수 있도록 설계제작하였다. 클램핑시에는 lever를 이용하여 손쉽게 압착할 수 있고 air runner를 사용하여 압착속도를 가속화하거나 압력조절용 torque wrench를 사용할 수 있도록 6각 plug를 부착하였다.

그림 1.21-a는 이러한 단위 클램핑치구를 여러개 조합하여 다양한 길이의 집성재를 제조하는 방식을 보이고 있다.

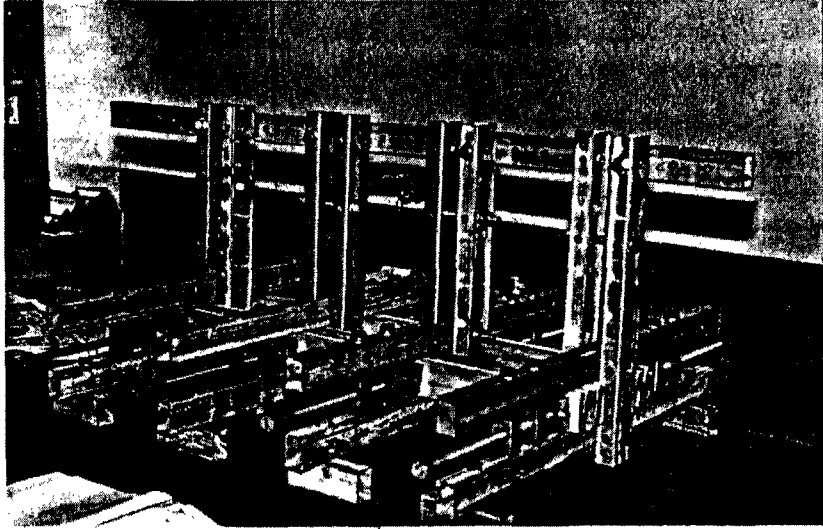


그림 1.21-a. 목재집성용 단위 클램핑치구의 조합

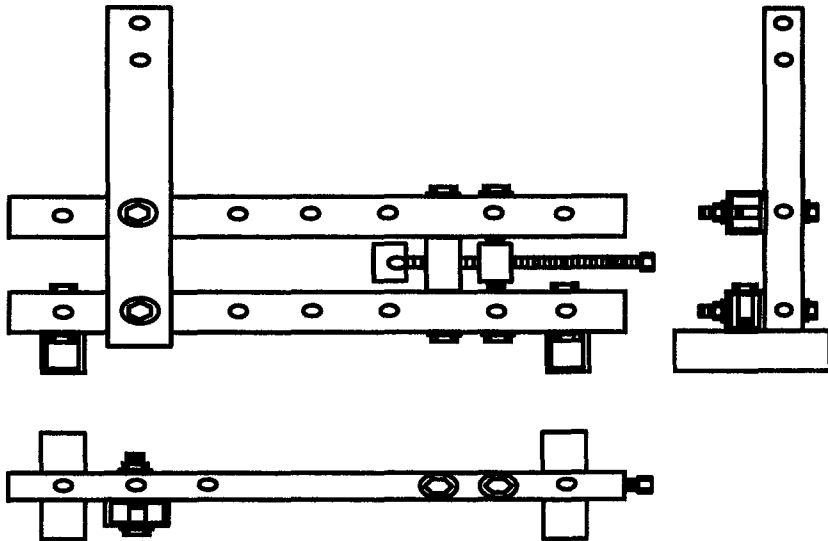


그림 1.21-b. 통직목재집성용 단위 클램핑 치구 (Unit clamping set for wood lamination)
 上: 정면도, 下: 평면도, 右: 측면도

2) 통직형 집성재의 라미나 접착

상수리나무 원목으로부터 등근톱과 자동대패기 등의 절삭기구를 이용하여 $10 \times 50 \times 800\text{mm}$ 의 판목판재를 제작하고 상온경화형 농축요소수지 접착제를 도포하여 5ply-집성재를 제작하였으며 이때의 접착조건은 도포량 $300\text{g}/\text{m}^2$ 을 소형 hand-roller를 사용하여 양면도포방식으로 도포하고, 퇴적시간 20분, 압체압력 $10\text{kg}/\text{cm}^2$, 압체시간 24시간, 경화제 $\text{NH}_4\text{Cl}(20\% \text{ soln.})$ 10%를 적용하였다.

3) 통직형 집성재의 품질조사

제조된 집성재의 재면평활성, 섬유방향 통직성 및 접합부의 밀착성 등의 관품질과 형태는 매우 양호하였으며 구조용재료로서의 품질지표인 물리 및 강도적 성능을 조사한 결과를 분석하면 다음과 같다.

가) 상수리나무 통직집성재의 비중

상수리나무 집성재 제조 전후의 기건비중을 측정한 결과는 표 1.13과 같이 조사되었다.

표 1.13. 상수리나무 집성재의 기건비중변화

접착제 종류	재 종	시편 구분	기건비중		증가율 (%)
			집성전	집성후	
상온경화형 요소수지 접착제	심 재	C-1H	0.823	0.832	1.09
		G-1H	0.844	0.850	0.71
		BH-1H	0.856	0.864	0.94
		BV-1H	0.830	0.840	1.20
		평 균	0.838	0.847	0.99
	변 재	C-2S	0.823	0.833	1.22
		C-3S	0.793	0.805	1.51
		G-2S	0.823	0.832	1.09
		G-3S	0.794	0.806	1.40
		BH-2S	0.788	0.795	0.89
		BH-3S	0.808	0.817	1.11
		BV-2S	0.796	0.803	0.88
		BV-3S	0.813	0.824	1.35
	평 균	0.805	0.814	1.18	
	전체 평균		0.822	0.831	1.09

집성접착전 라미나 소재의 심재 평균 기건비중은 0.838로 나타났으나 집성접착후 0.847로 0.99% 증가되었다. 또한 변재의 평균 기건비중은 0.805에서 0.814로 증가되었으며 증가율은 1.18%로서 심재의 비중증가율보다 다소 높게 나타났다.

심변재 전체의 평균 기건비중 증가율은 1.09%로 측정되었는데 집성재의 비중증가는 보통 접착제 수지의 함유분에 의한 증가와 압제과정을 통한 목재조직의 압밀화현상으로 설명할 수 있으나 상수리나무와 같이 고비중재는 압제에 의한 체적수축이 매우 적을 것으로 예상되므로 단순한 수지성분에 의한 비중 증가만으로 이를 설명하기에는 미흡하다고 생각된다.

나) 상수리나무 통직집성재의 강도적 성질

제조된 집성재의 강도적 성질을 조사하기 위해 단면치수 50×50mm의 집성재에서 길이 100mm의 압축강도 시험편을 채취하고 휨강도는 집성재크기 그대로해서 span길이 700mm로 측정하였다. 최대용량 30,000lb의 만능재료시험기(universal testing machine -United Calibration Corporation)를 사용하여 최대파괴하중 및 변형량을 측정하였으며 한국공업규격 KS F2206(목재의 압축시험방법), KSF 2208(목재의 휨시험방법)에 따라 강도를 산출하였다. 요소수지로 접착한 상수리나무 집성재의 압축강도와 휨강도를 측정한 결과는 표 1.14와 같이 요약된다.

표 1.14. 상수리나무 통직집성재의 강도적 성질

접착재 종류	시험구분	재 종	하중방향	최대강도 (kg/cm ²)
상온경화형 요소수지 접착재	종압축	심 재		594
		변 재		561
	횡압축	심 재	평 행	141
			수 직	125
		변 재	평 행	123
			수 직	114
	휨	심 재	평 행	1,245
			수 직	1,337
		변 재	평 행	1,062
			수 직	1,064

註 1. 횡압축시험의 강도는 비제한도로 표시함.

2. 하중방향은 집성재 접착면과의 각도로 표시함.

집성재의 종압축강도는 심재 594kg/cm², 변재 561kg/cm²로서 비중이 큰 심재의 강도가 높게 나타났다. 횡압축강도는 심재 125~141kg/cm², 변재 114~123kg/cm²으로 역시 심재의 강도가 다소 높게 나타났으며 강도측정시

하중을 집성접착면과 평행하게 또는 수직으로 가했을 때로 구분 조사한 결과는 심·변재 모두 평행방향인 수직방향보다 다소 높게 측정되었다.

집성재의 휨강도는 심재 1245~1337kg/cm², 변재 1062~1064kg/cm²로서 역시 심재의 휨강도가 변재보다 높게 측정되었으며 하중방향별로는 심·변재 모두 수직방향으로 표시된 수평적층재의 휨강도가 평행방향인 수직적층재보다 다소 높게 나타났다.

집성재에 관한 한국공업규격(KS F3118)에 의하면 구조용 집성재의 휨성능에 대해 수종에 따라 4그룹으로 구분하여 규정하고 있다. 그중 활엽수 A 그룹에 대해 집성재 1급의 경우 휨영계수 80×10^3 kg/cm²이상, 휨강도 490kg/cm²이상, 2급의 경우 휨영계수 80×10^3 kg/cm²이상, 휨강도 430kg/cm²이상을 요구하고 있는 데 본 연구의 요소수지접착 상수리나무 집성재의 경우 휨강도 1,062~1,337kg/cm²으로 구조용 집성재 1급을 훨씬 상회하는 품질을 나타냈다.

그림 1.23은 상수리나무 집성재의 종압축강도 측정시 응력-변형선도(stress-strain diagram)를 나타낸 것으로 일반 목재의 종압축강도 측정시와 같이 비례한도구간(a-b)과 최대파괴하중점(d)이 설정되고 이후 심한 압축파괴와 함께 하중이 급격히 감소하는 전형적인 경향을 보였으며 이러한 경향은 사용한 접착제의 종류에 관계가 없는 것으로 나타났다. 한편 그림 1.24는 집성재의 횡압축강도 측정시 응력-변형선도로서 항복점(c)까지는 종압축강도 측정과 동일하나 이후에 조직의 압축파괴없이 2차적인 응력과 변형의 비례관계를 보이는 특징을 나타냈다. 또한 그림 1.25는 휨강도 측정시의 응력-변형선도이며 최대파괴하중점(d)까지는 일반 목재와 동일한 경향을 보이거나 이후에는 적층재사이에서 단계적 휨파괴가 발생하는 집성재 특유의 파괴특징을 보이고 있다.

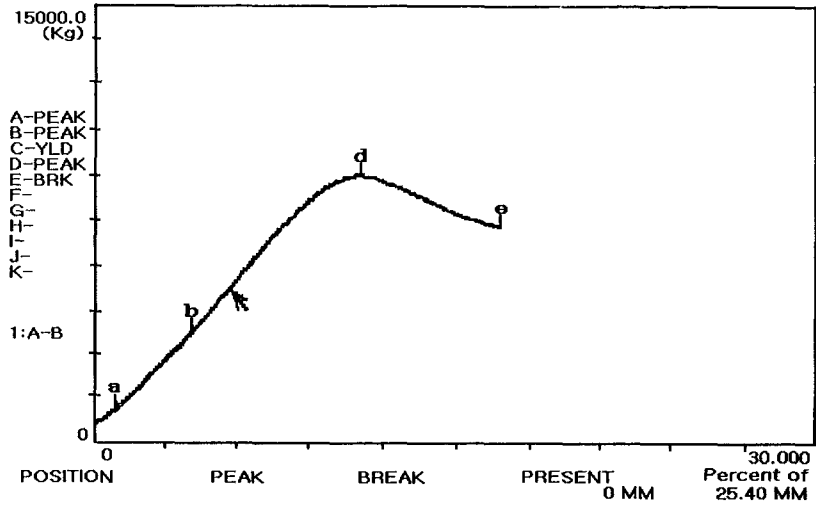


그림 1.23. 상수리나무 집성재의 종압축 응력-변형선도.

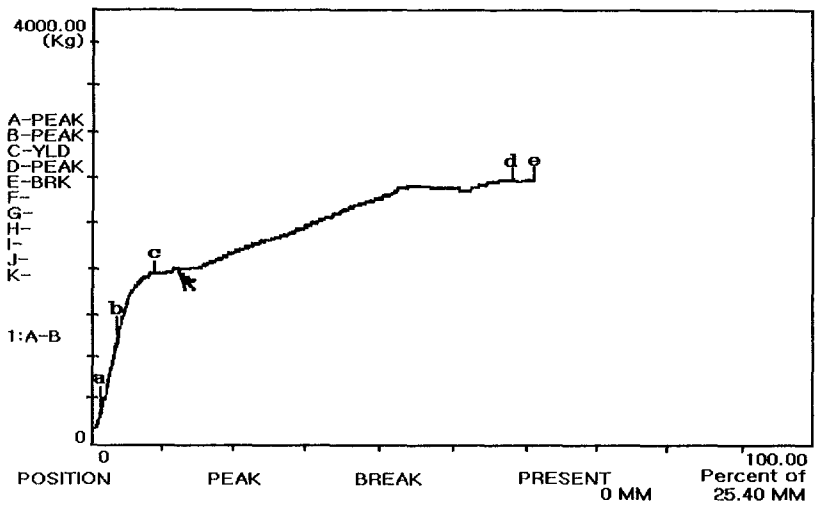


그림 1.24. 상수리나무 집성재의 횡압축 응력-변형선도.

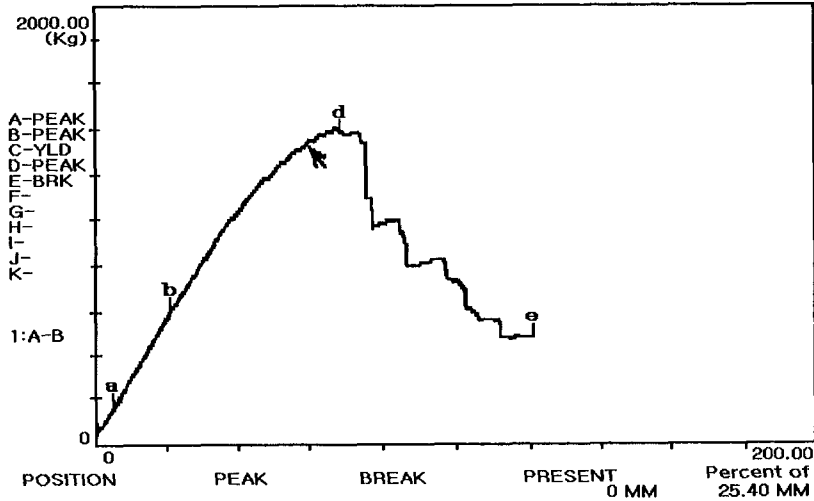


그림 1.25. 상수리나무 집성재의 휨 응력-변형선도.

다) 상수리나무 통직집성재의 박리율

박리시험은 각 시료 집성재로부터 목구단면치수를 그대로하고 길이 75mm의 시험편을 채취하여 한국공업규격 KSF3118(목재집성재)에 따라 실시하였다. 박리시험조건은 규격에 따라 침지박리시험과 삶음박리시험으로 구분하고 중간온도에 해당하는 온수조건을 비교용으로 추가하였으며 각각의 시험조건과 박리율 산출방식은 다음과 같다.

침지박리시험(냉수) : 시험편을 상온($30 \pm 1^\circ\text{C}$)의 물속에 6시간 침지 시킨 다음 $40 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 습기가 차지않는 항온건조기에서 18시간 건조한 후 박리길이를 측정한다.

침지박리시험(온수) : 시험편을 온수($60 \pm 1^\circ\text{C}$)에 6시간 침지시킨 다음 $40 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 습기가 차지않는 항온건조기에서 18시간 건조한 후 박리길이를 측정한다.

삶음박리시험(열수) : 시험편을 끓는 물(100℃) 속에 5시간 침지하고 다시 상온의 물속에 1시간 침지시킨 다음 60±3℃의 항온건조기에서 건조기 내부에 증기가 차지않도록 18시간 건조한 다음 박리길이를 측정한다.

$$\text{박리율(\%)} = \frac{\text{횡단면의 박리길이 합계}}{\text{횡단면의 접착층 길이 합계}} \times 100$$

제조된 상수리나무 통직집성재의 박리율을 측정한 결과는 표 1.15와 같다.

표 1.15. 상수리나무 통직집성재의 박리율

시험구분	시험조건	박리길이 (mm)			
		목구1면	목구2면	박리률(%)	평균(%)
침지박리 (냉수)	GS-1	11	0	2.8	
	GS-2	0	0	0.0	
	GH-1	7	0	1.8	
	GH-2	10	16	6.5	2.8
침지박리 (온수)	GS-1	22, 50, 10, 42	12, 12, 50, 12, 44	60.8	
	GS-2	36, 21, 13, 42, 47	21, 42, 13, 18, 18, 14	71.3	
	GH-1	29, 45, 11, 11	47, 22, 35	50.0	
	GH-2	48, 50, 50	18, 45	53.5	58.9
삶음박리 (열수)	GS-1	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50	100	
	GS-2	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50	100	
	GH-1	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50	100	
	GH-2	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50	100	100

국산 상수리나무의 상온경화형 농축 요소수지접착 통직 집성재의 박리 시험결과 냉수침지박리율 2.8%, 온수침지박리율 58.9%로 측정되었으며 100℃ 열수에 대해서는 모든 접착층이 박리되므로써 삶음박리율 100%를 나타냈다. 이는 요소수지접착 집성재가 상온정도의 냉수에 대해서는 매우 양호한 내수성을 지니고 있으나 수온이 증가할수록 내수성이 급격히 저하되며 100℃의 열수에 이르러서는 전연 내수성을 발휘하지 못하는 등 열수에 대해 극히 취약함을 알 수 있었다. 구조용 집성재에 대한 KS규격의 박리율 기준 한도가 삶음박리율 10% 이하로 규정되어 있기 때문에 요소수지접착에 의한 상수리나무 집성재는 구조용으로는 적합치 못한 것으로 평가되나, 조작용 또는 실내용 집성재료의 사용에는 지장이 없으며 내수성의 요구도가 극히 큰 특수부위를 제외한 일반적인 구조용 및 실외용 집성재료도 사용가능하다고 생각되며, 특히 상수리나무의 강도적 성질이 우수하기 때문에 내수성이 좋은 접착제를 사용한다면 우수한 구조용 집성재료로 충분히 활용될 수 있다고 판단된다.

2. 만곡형 집성재 제조기술 개발

가. 집성용 소재의 기초 휨가공성 조사

본 연구의 공시수종으로 선정된 국산 소나무를 이용하여 만곡형 집성재를 제조하기 위한 전단계로서 우선 소재의 기초적인 증자 휨가공 특성을 조사하였다.

1) 실험장치 및 실험방법

가) 증자처리장치

곡목증자에 사용된 사용된 처리조는 가로 400mm, 세로 450mm, 높이 500mm의 스텐레스강철제로서 전기히터로 가열시켜 사용하였다. 증자처리시에는 덮개를 씌워서 증기를 집결시켰으며 덮개로부터 응축된 물방울이 시편에 떨어져 함수율이 부분적으로 높아지는 현상을 방지하기 위하여 처리조 내부에 경사판을 설치하여 응축수가 경사판을 따라서 측벽으로 떨어지도록 설계하였다.

또한 연화처리중 증발소모되는 수량을 보충할 수 있도록 처리조 상측부에 별도의 수조를 두고 직경 3.7mm의 폴리에틸렌 호스를 연결하여 일정량의 물이 수압에 의하여 계속적으로 처리조에 공급되도록 설계하였으며 공급수량은 중간밸브를 이용하여 조절하였다.

나) 휨가공장치

증자처리된 시편은 여러가지 곡률반경으로 휨 수 있도록 간단한 수가공장치를 고안제작하였는데 그 치수 및 형상은 그림 1.26과 같다.

휨가공용 장치는 작업대 위에 6조를 설치하였으며 휨형틀(form)의 곡률

반경은 100mm까지는 10mm 간격, 400mm까지는 20mm 간격, 800mm까지는 50mm 간격으로 준비하였다. 형틀은 두께 22mm 라왕합판을 사용하여 소폭목공띠톱으로 커서 만들고 연화처리재로부터 수분을 흡수하여 팽윤되는 것을 방지하기 위하여 접촉곡면에 에폭시수지를 도포하여 방수처리하였다.

휩가공시 처리재의 인장파괴를 피하기 위하여 두께 1.2mm의 스텐레스강 철제 인장대철을 표면에 설치하였으며 대철의 중앙부 측면에 역시 나사식 side press를 설치하여 처리재에 적당량의 측면압을 가해주므로써 휩가공시 정확한 곡률반경을 갖게 하고 또한 처리재가 형틀로부터 이탈되지 않도록 하였다. 휩가공시 end stop 부분이 뒤로 젖혀지는 현상은 충분한 길이의 reversed lever로 방지하고 여기에 보조 lever를 끼워서 휩가공에 요하는 힘을 감소시켰으며 휩가공 후 처리재의 곡형이 후처리에 의하여 안정될 때까지 turn buckle 또는 철사를 사용하여 고정시켰다.

다) 시편의 연화처리

시편을 연화하기 위하여 증자처리를 하였으며 처리방법은 증자처리조에 덮개를 씌워서 증기를 충분히 집결시킨 후 시편을 넣어서 포화가열증기를 이용 연화하였으며 이 때의 증자온도는 99~100℃를 나타냈고 증기압은 미약한 압력을 다소 감지할 수 있을 정도의 대기압수준이었다.

처리조의 수량이 적고 덮개 개방시간이 길수록 증자온도 회복시간이 연장되므로 본 연구에 적용된 증자처리시 수량은 30liter를 유지하고 덮개개방시간을 가능한 단축하여 증자온도감소를 최소화하였으며 곡목두께는 15mm로 제작하고 연화시간은 30분을 적용하였다.

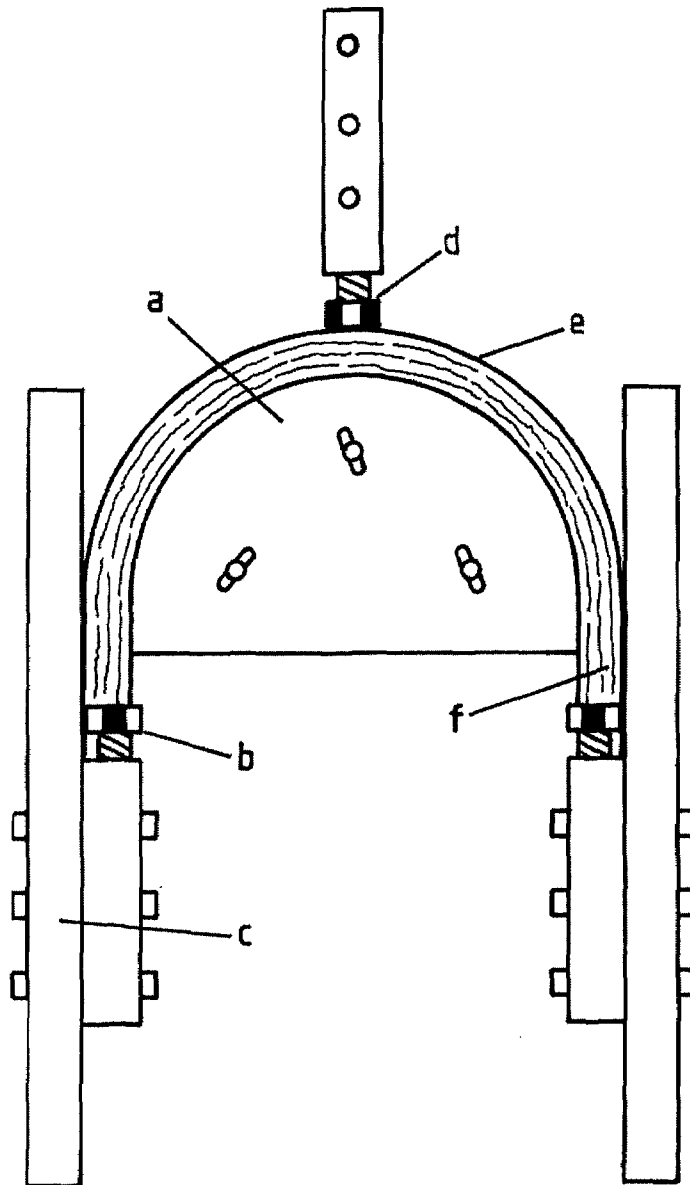


그림 1.26. Apparatus for hand bending. (Unit: mm)
 a: form, b: end stop, c: reversed lever,
 d: side press, e: tension strap, f: specimen

라) 곡률반경의 측정

시편을 연화처리한 다음 휨가공장치를 사용하여 각 곡률반경으로 휨가공을 실시하였다. 예비시험에서 얻어진 기준곡률반경 300mm에서 1차 휨가공을 행한 후 이 곡률반경에서 손상이 생기면 순차적으로 보다 큰 곡률반경으로 휨가공하고 손상이 생기지 않으면 보다 작은 반경으로 휨가공을 진행하였다.

그 결과 가장 적합하다고 판단되는 곡률반경 및 그 전후의 곡률반경에 대하여 5회 휨가공을 실시하고 얻어진 결과를 분석하여 휨가공 가능한 최소곡률반경을 구하였다.

마) 휨가공성의 평가

시편의 휨가공성 평가는 가공후의 표면상태를 관찰해서 일본 임업시험장의 평가기준을 보완한 A급 (압축측, 인장측 모두 전혀 손상이 없는 것), B급 (압축측에 약간의 압쇄가 보이지만 연삭에 의하여 제거될 수 있는 것), C급 (일단 휠 수는 있으나 압축파괴가 심한 것) 및 D급 (절손 또는 인장파괴가 심한 것)의 4단계로 구분하고 각 곡률반경에 대해서 5본의 시편을 사용하여 A, B급이 3개 이상일 때 휨가공 가능으로 판정하였다.

2) 소나무의 소재휨가공성 결과분석

가) 변·심재 및 연륜각도

소나무의 증자처리시 변·심재 및 연륜각도가 목재의 휨가공성에 미치는 영향을 조사한 결과는 표 1.16과 같다.

표 1.16. 소나무의 변심재 및 연륜각도별 증자휩가공성

항 목	구 분	시험반경 (mm)	휩가공 등급				결과 판정	최소곡률 반경(mm)
			A	B	C	D		
재 종	변 재	320	3	1	1		가능 가능 불능	300
		300	1	3	1			
		280		2	3			
	심 재	340	1	3	1		가능 가능 불능	320
		320		3	2			
		300	1	1	3			
연륜각도	판 목	320	3	1	1		가능 가능 불능	300
		300	2	2	1			
		280		2	3			
	추정목	320	2	2	1		가능 가능 불능	300
		280	1	2	1			
		260	1	3	1			
	정 목	300	1	3	1		가능 가능 불능	280
		280	1	3	1			
		260		1	4			

Note: A: without bending failure

B: with minor compressive failure - negligible for practical use - in the concave side

C: with remarkable compressive failure

D: with breakage or tension failure

소나무의 경우 증자처리시 변재는 곡률반경 320mm에서 휩가공이 매우 양호하였고 300mm에서는 C급압축파괴가 1개 있었으나 A,B급이 4개로서 휩가공이 가능하였으며 280mm에서는 압축파괴가 심하여 휩가공 불능으로 판정되므로써 이때의 최소곡률반경은 300mm으로 결정되었다. 마찬가지로 심

재는 320mm까지는 휨가공이 가능하였으나 300mm에서 불능으로 판정되어 최소곡률반경은 320mm로 결정되므로써 변재의 휨가공성이 심재보다 다소 양호한 것으로 나타났으나 그 차이는 1단계에 불과하기 때문에 소나무의 심 변재간 휨가공성 차이는 거의 없다고 생각된다.

So(1985)의 연구에서 소나무의 자비휨가공시는 변재의 휨가공성이 심재보다 양호하였으나 증자휨가공시는 변·심재간 차이가 없다고 발표한 내용과 천엽대학(1961)에서 제시한 곡목용재의 선택조건으로 인장강도가 크고 유연성이 좋은 변재가 심재보다 적합하다는 연구결과 등에 일치된다고 할 수 있다.

소나무는 증자휨가공시 연륜각도 0°(판목재)에서 최소곡률반경 300mm, 45°(추정목재)에서 300mm, 90°(정목재)에서 280mm로 측정되었으며 판목재와 추정목재에 비해 정목재의 휨가공성이 양호한 것으로 나타났다. 이는 연화처리재의 휨가공시 판목재는 강도가 약한 춘재부위가 쉽게 찌그러지면서 전체적인 내면의 압축파괴를 유도하는 데 비하여 정목재는 강한 춘재부위가 휨응력을 흡수하여 압축파괴의 발생을 지연시키는 것이 관찰되었다.

Southern pine을 사용한 Lemoine(1971)의 연구에서도 정목목리를 갖는 목재가 판목재보다 더 작은 곡률반경으로 휨가능하였다고 발표한 바 있으며 Peck, E.C. (1948)는 휨가공면에 대한 연륜방향의 영향이 극심한 곡률에서는 실제적으로 중요하지만 비교적 완만한 곡률에서는 그다지 문제되지 않고 연륜이 휨가공면에 평행 또는 수직되게 절삭하는 것이 경사진 목리를 갖는 것보다 파손이 적다고 지적한 바대로 소나무의 경우 곡률이 300mm 정도의 비교적 완만한 곡률에서 휨가공이 가능하므로 연륜각도의 영향은 크게 고려할 필요가 없다고 판단된다.

본 연구에 사용한 증자온도 100℃는 상압에서의 포화증기온도로서 100℃ 이상의 가열증기는 과도한 가소화로 인한 휨가공성의 저하를 가져왔다는 연구결과를 볼 때 적절한 온도라고 사료되며 발생한 휨가공손상은 주로 압축 파괴이고 인장파괴를 보이는 D급 손상은 나타나지 않았는데 이는 Jorgensen(1968)의 주장과 같이 시편의 양횡단면에 휨가공장치내 부착되어 있는 end stop에 의한 압력이 가해져서 인장측의 신장을 충분히 억제해준 결과라고 생각되며 특히 소나무는 재질이 연하기 때문에 인장파괴가 생기지 않는다고 본다. 휨가공에서 나타나는 압축파괴의 발생원인은 첫째, 가소화처리재가 과도하게 압축될 때 둘째, 응력이 어느 결점부위에 집중될 때 셋째, 조직의 약한 부분이 전단파괴를 유도할 때 등으로 구분되는 바 본 연구에서 사용한 시편은 무결점재로서 이때의 압축파괴는 첫째 원인에 의해 발생한 것만 취급하였으며 이외에 목재의 장축에 평행한 전단할렬과 압축면에 심한 경사각을 갖는 비정상 압축파괴 및 예상하지 못한 결함의 영향을 받은 손상 등은 고려하지 않았다.

나) 목재함수율

증자처리 이전의 목재함수율을 5%에서 30%까지 5단계로 구분하여 소나무의 증자휨가공성을 조사한 결과는 그림 1.27과 같다.

소나무의 증자휨가공시 최소곡률반경은 함수율 5%일 때의 500mm에서 함수율이 증가함에 따라 현저하게 감소하여 50%일 때는 260mm까지 휨가공이 가능하므로 목재의 함수율이 휨가공성에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났다. 소나무는 함수율 50%에서 곡률반경의 최소치 260mm에 이르고 30%에서 300mm를 나타내는 것으로 보아 소나무는 섬유포화점 이상의 생제영역일 때 양호한 휨가공성이 인정되었다.

So(1985)의 연구에서 상수리나무가 함수율 30%이상에서 곡률반경이 증가하는 경향을 보이고 있는 데 이는 상수리나무같이 100mm이하의 극심한 곡률로 휘 때는 압축면의 응력 및 변형이 매우 커서 수축되지않는 자유수를 다량 함유하고 있는 생재로서는 목재가 파괴되지않고 이를 흡수하기 어렵기 때문이라고 해석하고 있으나 본 연구의 소나무와 같이 비중이 작고 강도가 비교적 약한 수종을 완만한 곡률로 휘 때는 생재가 기건재보다 유연하므로 휨가공시 심하지 않은 압축면의 응력과 변형을 보다 균일하게 흡수할 수 있다고 생각한다.

따라서 소나무는 증자휨가공을 실시하기 위하여 목재를 저함수율까지 건조시킬 필요는 없으며 오히려 지나친 기건재는 생재에 가깝도록 함수율을 높여주는 것이 바람직하다고 판단된다.

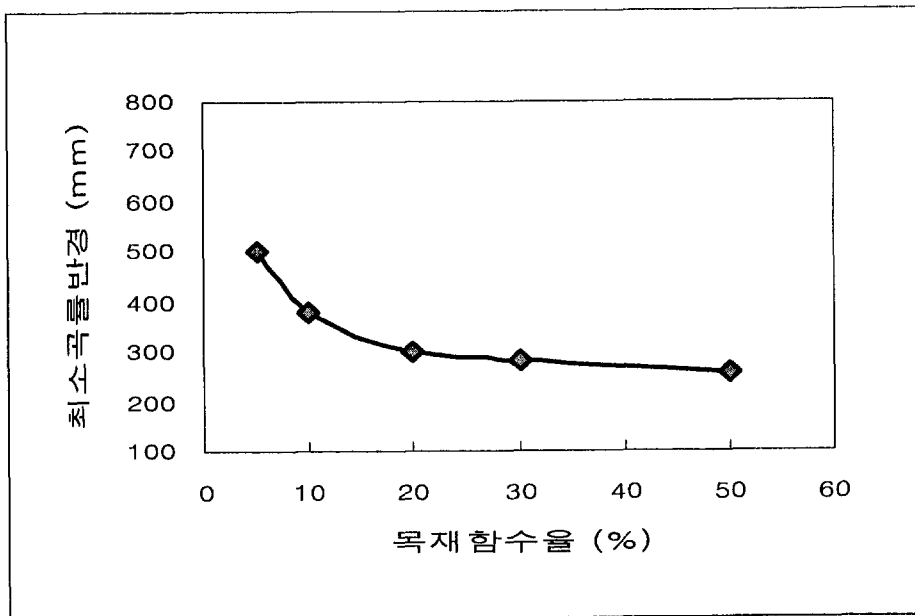


그림 1.27. 목재 함수율과 소나무 곡목의 최소곡률반경과의 관계

다) 증자처리시간

소나무의 증자처리시간이 휩가공성에 미치는 영향을 구명하고자 증자하지않은 무처리에서 120분까지 5개 변이를 주어 증자휩가공을 실시해서 얻어진 결과를 그림 1.28에 표시하였다.

소나무의 증자휩가공시 무처리재의 휩가능한 최소곡률반경이 600mm이었으나 증자시간 30분에 최소치 280mm에 이르게 되어 연화처리의 영향이 매우 크게 작용함을 알 수 있었으며 30분 이상 증자시간을 연장해도 연화효과의 부가적인 증대는 얻을 수 없었다. 증자시간 120분에서 300mm로 오히려 곡률이 증가되었으나 곡률차이가 1단계인 20mm의 작은 변화에 불과하여 장시간 처리에서 오는 과도연화라고 보기는 어렵다고 생각된다. 이는 Saito 등(1951)이 너도밤나무 10x10mm재를 1시간 이상 자비했을 때 벌써 과도한 연화가 나타났으나 증자처리시는 연화과도현상이 거의 일어나기 어렵다고 한 연구내용과도 일치하고 있다.

무처리에서 연화시간이 증가하면 목재온도도 상승하게되는 데 So(1985)의 연구에서 소나무의 15mm 각재가 실온에서 100℃까지 도달하는 시간은 9.6~11.2분으로 나타나있으며 본 연구에서 30분의 연화시간은 증자온도인 100℃에 도달할 수 있는 충분한 시간이나 최대가소화효과가 100℃에 도달한 것 만으로 가소화가 완전해진 것이 아니고 최종온도에 이른 후에도 얼마간 연화를 지속시킨 후에야 최적가소화상태가 되는 것을 의미한다고 할수 있다. 따라서 소나무에 대한 적정연화처리시간은 30분이상으로 생각되며 지나친 연화는 과도한 연화위험이 있을 수 있고 가능한 연화시간을 단축시키는 것이 에너지절약상으로도 유리하다고 판단된다.

또한 Peck(1968)는 목재를 휩가공목적으로 최대가소화정도까지 연화할

필요는 거의 없고 실제로 과도한 연화는 목재를 약화시키므로 정상적인 연 화재보다 실패율이 높다고 주장하였으며 Hoadley(1980) 목재를 오랫동안 가 열하면 영구적인 강도감소를 유발하므로 불리하고 Spelman, J.(1981)는 증자 시간이 너무 길면 세포막을 파괴하여 목재를 약화시키고 너무 짧으면 부러지거나 할렬되기쉬운 원인이 된다고 발표한 바 있다.

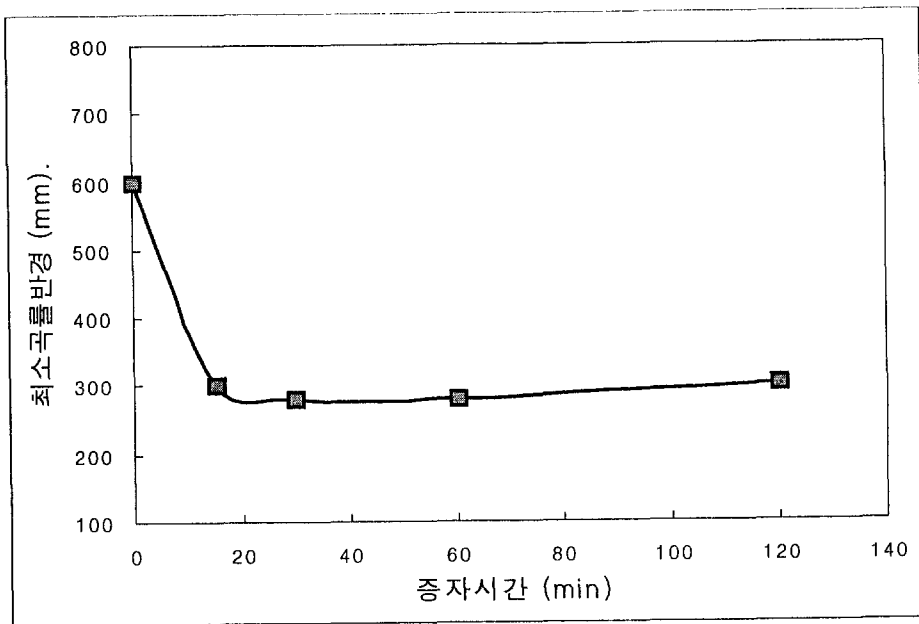


그림 1.28. 증자시간과 소나무 곡목의 최소곡률반경과의 관계

지금까지 휩가공에 대한 몇가지 관련인자의 영향을 조사해서 얻어진 소나무 증자휩가공을 위한 적정조건 및 휩가공 결과는 표 1.17과 같이 종합되었다.

표 1.17. 소나무의 소재힘가공을 위한 적정 조건과 힘가공 결과

증자처리 적정조건		증자힘가공 결과						
		시험반경 (mm)	힘가공 등급				결과 판정	최소곡률반경 (mm)
			A	B	C	D		
항 목	조건	320	3	2		가능	260	
재종	변재	300	3	1	1	가능		
연륜각도	정목 (90°)	280	2	3		가능		
함수율	30% 이상	260	1	3	1	가능		
증자시간	30분	240	1	4		불능		

나. 만곡형 집성재의 제조

1) 만곡집성용 단위 클램핑치구의 제작

만곡형 집성재의 집성접착을 위해 그림 1.29와 같이 기본적인 힘가공 기능을 갖춘 매우 단순한 형태의 단위 클램핑장치를 고안제작하여 사용하였다.

기본 골격구조는 통직형 집성재 제조용 클램핑 치구와 같은 단면치수 31×51mm, 두께 20mm, 길이 600mm인 4각 파이프앵글로 구성하고 여기에 나사식 조임치구를 부착하여 압착할 수 있도록 하였다. 집성재의 다양한 크기에도 적용할 수 있도록 파이프앵글 본체에 일정한 간격으로 천공을 뚫어서 조임치구의 간격을 조절할 수 있도록 조치하였다.

또한 집성재의 길이가 증가하면 단위 클램핑 치구를 늘려서 조합하여 사용할 수 있고 또한 집성판재의 수량이 증가할 때는 보다 긴 후레임 앵글로 교체해서 집성할 수 있도록 설계제작하였다. 다만 집성재 폭이 대형화하면 여기에 소요되는 압착압력이 과중되기 때문에 산업용으로 실대재 규모의 대형 구조용 만곡 집성재를 제조하기 위해서는 본 연구의 실험실 규모의 클램핑치구의 치수에 대해 비례적인 치수확대가 필요하다. 통직형과 마찬가지로

클램핑시에는 lever를 이용하여 손쉽게 압착할 수 있고 air runner를 사용하여 압착속도를 가속화하거나 압력조절용 torque wrench를 사용할 수 있도록 6각 plug를 부착하였다.

그림 1.30은 이러한 단위 클램핑치구를 여러개 조합하여 다양한 길이의 만곡집성재를 제조하는 방식을 보여주고 있다.

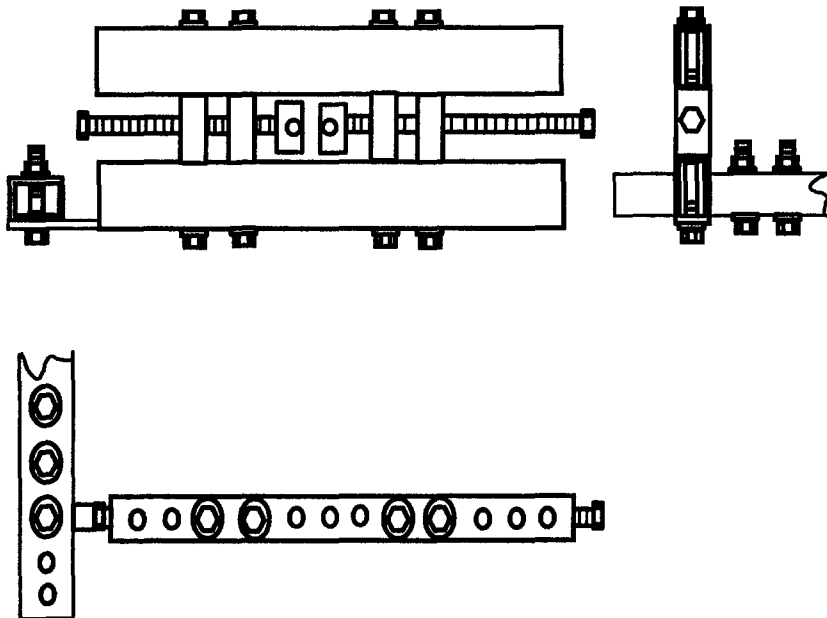


그림 1.29. 만곡목재집성용 단위 클램핑 치구
(Unit clamping set for wood lamination) 上: 정면도, 下: 평면도, 右: 측면도

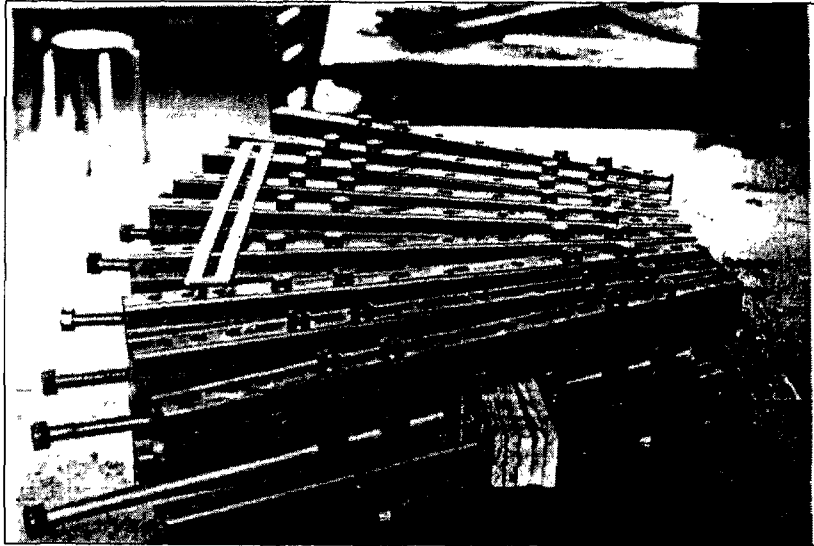


그림 1.30. 만곡목재집성용 단위클램핑 치구의 조합과 집성재 제조

2) 만곡형 집성재의 라미나 접착

국산 소나무 원목을 두께 15mm로 널결제제한 후 생산된 판재를 열풍 순환식 인공건조기를 이용하여 함수율 20%까지 건조시킨 다음 기계대패 가공을 통해 두께 10mm, 폭 50mm, 길이 800mm의 라미나를 제작하였다. 소나무 소재휩가공시험을 통해 휩가공의 적정함수율은 30% 이상으로 구명되었으나 초산비닐수지에 대한 접착성능을 고려하여 함수율을 $16\pm 2\%$ 로 조습 처리한 후 집성재를 접착하였다. 초산비닐수지 에멀전 접착제 원액을 도포하여 5ply-집성재를 제작하였으며 이때의 접착조건은 도포량 $300\text{g}/\text{m}^2$ 을 소형 hand-roller를 사용하여 양면도포방식으로 도포하고, 퇴적시간 30분, 압체 압력 $10\text{kg}/\text{cm}^2$, 압체시간 24시간을 적용하였다.

3) 만곡형 집성재의 품질조사

제조된 소나무 만곡형 집성재의 재면평활성, 섬유방향 통직성 및 접합부의 밀착성 등 외관품질과 형태는 통직형 집성재와 마찬가지로 매우 양호하였으며, 물리 및 강도적 성능을 조사한 결과를 분석하면 다음과 같다.

가) 소나무 만곡집성재의 비중

소나무 집성재 제조 전후의 기건비중을 측정한 결과는 표 1.18과 같이 조사되었다.

집성접착전 라미나 소재의 심재 평균 기건비중은 0.491로 나타났으나 집성접착후 0.497로 1.23% 증가되었다. 또한 변재의 평균 기건비중은 0.484에서 0.490로 증가되었으며 증가율은 1.35%로서 심재의 비중증가율보다 다소 크게 나타났다.

표 1.18. 소나무 만곡 집성재의 기건비중변화

접착재 종류	재 종	시편 구분	기건비중		증가율 (%)
			집성전	집성후	
초산비닐수지에 열전접착제	심 재	T-H	0.493	0.499	1.22
		R-H	0.489	0.495	1.23
		평 균	0.491	0.497	1.23
	변 재	T-H	0.486	0.493	1.44
		R-H	0.481	0.487	1.25
		평 균	0.484	0.490	1.35
	전체 평균		0.488	0.494	1.29

심변재 전체의 평균 기건비중 증가율은 1.29%로서 상수리나무의 증가율

1.09%보다 높게 측정되었는데 이는 상수리나무의 기건비중 0.822보다 소나무의 기건비중이 0.488로 매우 작으며 따라서 접착제 수지분에 의한 비중증가와 압착과정을 통한 목재조직의 압밀화에 의한 비중증가의 비율이 상수리나무보다 훨씬 높기 때문인 것으로 생각된다.

나) 소나무 만곡집성재의 강도적 성질

초산비닐수지 에멀전 접착제를 사용하여 곡률반경 600mm로 집성접착한 소나무 만곡형 집성재의 종압축강도와 휨강도를 측정한 결과는 표 1.19와 같이 요약된다.

표 1.19. 소나무 만곡형 집성재의 강도적 성질

접착제 종류	집성구분	하중면	종압축강도 (kg/cm ²)	휨강도 (kg/cm ²)
초산비닐수지에 멀전	통직형	집성재	437	791
		소재	461	845
	만곡형	CVS		796
		CCS		721

註: CVS; convex side, CCS; concave side

소나무 목구단면 50×50mm 통직형 집성재의 종압축강도를 측정한 결과 437kg/cm²를 나타냈는데 비해 동일치수인 소재의 종압축강도는 461kg/cm²로서 집성후에 종압축강도가 5.2% 감소하였다. 일반적으로 페놀수지와 같이 목재접착력이 극히 우수한 접착제로 집성할 경우 소재보다 강도적 성질이 향상되는 경우가 있으나 본 연구에서 적용한 초산비닐수지 에멀전접착제는 목재에 대한 접착력이 다소 떨어지기 때문에 집성할 경우 소재의 강도를 완

전히 회복하지 못하는 것으로 생각된다. 휨강도의 경우에도 마찬가지로 소재의 휨강도가 845kg/cm^2 를 나타낸 반면에 집성재의 휨강도는 791kg/cm^2 로서 6.4%의 강도감소를 가져왔으며 강도의 종류별 비교에서는 집성함으로써 압축강도에서보다 휨강도에서 강도감소가 다소 심한 것으로 판명되었다. 집성재에 관한 한국공업규격(KS F3118)에 의하면 구조용 집성재의 휨성능에 대해 수종에 따라 4그룹으로 구분하여 규정하고 있는 바, 그중 침엽수 A 그룹에 대해 집성재 1급의 경우 휨영계수 $100 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 이상, 휨강도 450kg/cm^2 이상, 2급의 경우 휨영계수 $90 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 이상, 휨강도 300kg/cm^2 이상을 요구하고 있는 데 본 연구의 초산비닐수지 에멀전접착 소나무 통직집성재의 경우 휨강도 791kg/cm^2 으로 구조용 집성재 1급을 훨씬 상회하는 품질을 나타내었다.

한편 소나무의 만곡형 집성재의 휨강도 측정시 하중이 곡면의 외측인 CVS에 접촉했을 경우 796kg/cm^2 를 나타냈는 데 이는 통직형 집성재의 휨강도 791kg/cm^2 와 유의적인 차이없는 동등한 수준이며 반면에 곡면의 내측인 CCS에 하중을 가했을 경우에는 721kg/cm^2 를 나타내어 8.8%의 휨강도 감소를 나타냈다. 이는 Wangaard(1952)가 발표한 작은 곡률반경으로 휨 목재는 통직재보다 휨강도가 감소한다는 내용과 비교해볼 때 본 연구의 곡률반경 600mm는 매우 큰 곡률에 해당되므로 곡가공과정에서 발생하는 순리적인 강도감소라고 해석하기에는 무리가 있다고 생각되며 오히려 하중방향에 따른 차이에 기인한 것으로 판단된다. 다만 구조용 만곡집성재를 사용할 경우 거의 대부분이 convex한 상태로 사용되기 때문에 국산 소나무 목재의 만곡집성에 의한 휨강도의 약화는 발생되지 않으며 접착과정에서 다소의 강도저하가 나타나므로 만곡집성재의 강도설계시 이를 보완해줄 필요가 있다고 생각된다.

제2절 國產材이용 집성제품의 고품위 표면처리기술개발

집성제품을 비롯한 각종 목재가공제품의 소재(목재)에 대한 소지조정 기술은 최종 목제품의 상품가치를 좌우하는 표면처리(도장)기술에 있어 가장 중요한 기술이다. 즉 도장에 부적절한 각종 인자들을 제거, 조정함으로써 후속 도장작업의 능률을 제고시킬 뿐 아니라 공정중의 trouble을 예방하고 도막의 내구성을 향상시키기 위해 필수불가결한 공정기술이 바로 素地調整기술인 것이다. 따라서 본 제 1세부연구에서는 약 80 여종의 유용 국산 수종중 입목축적이 커서 소재확보가 유리하고 재색 및 재질등이 집성판재 개발에 유리하다고 판단되는 30 수종의 목재에 대해 소지조정과 관련된 제반 기술사항을 검토, 분석함으로써 국산 유용수종을 이용한 집성제품 개발을 위한 기초자료를 제공코자 하였다.

1. 素地調整 기술개발

우리나라는 IMF 관리체제하에서 수입원자재 가격의 불안정 및 기업구조 조정의 압박 등 대내외적으로 경영여건의 악화에 직면한데다 설상가상으로 극도의 내수위축으로 인한 매출부진을 겪고 있는 국내 목재 가공업체들은 기술개발 및 원가절감을 통해 생산성을 향상시키고 다양한 고부가가치성 신제품개발을 통해 기업매출 및 부가가치를 증대해 나가야하는 당면과제를 안고 있다.

이러한 위기상황에서 국내 목재가공업계 입장에서 생각할 수 있는 방안이 미이용 국산재의 효율적 활용이라 할 수 있을 것이며 이를 위해서는 국산재에 다양한 색감을 부여할 수 있는 표면가공기술의 도입이 우선적으로 고려되어야 할 것이다. 즉 국산재를 이용한 목제품의 고품격화를 위해서는 목재

의 화학적 특성에 입각한 염색, 착색 및 도장 등 다양한 화학적 표면 처리 기술의 활용이 필요하게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 표면처리를 가능하게 할 수 있는 전단계로서 다양한 재색과 광택도를 지니는 국내산 유용수종의 표백특성 및 표백유 지도를 구명함으로써 추후 국산재를 이용한 집성제품의 다양한 용도개발을 위한 표면처리(염색 등)시의 최적의 소지조건을 제공할 수 있는 목재의 탈 색(白色化)방안을 모색코자 하였다.

木材脫色の 메카니즘은 크게 두가지로 구분되는 바, 첫째는 각종 유기용 제 또는 알칼리 용액에 의한 추출법을 이용하여 목재중에 존재하는 發色成分을 取出해내는 방법이 예전부터 알려져 왔으나 처리장치의 문제, 용제회 수의 난점, 알칼리 용액의 오염문제등으로 인해 최근에는 그 적용이 극히 제한되고 있는 상황이다. 최근에 개발된 보다 경제적인 방법으로서 본 연구 에서 채택한 두 번째 방법은 탈색제(표백제)로써 發色團(coloring group)의 일부를 파괴하는 방법으로서 이 방법은 다시 세부적으로 흡수의 위치를 단 파장쪽으로 이동시키는 淺色효과와 흡수의 강도를 약화시키는 淡色효과로 구분되게 된다. 이러한 표백의 강도는 표백제의 농도, 온도 및 처리시간의 연장(또는 반복)에 의해 조절될 수 있으나 지나친 표백은 리그닌을 분해하 여 목재의 강도를 약화시키거나 목재 고유의 광택 또는 선명도를 소실시키 는 경향이 있으므로 주의하여야 한다.

일반적으로 목재표백이란 白木도장을 위한 전처리를 의미한다. 이러한 표백의 의의로는 첫째, 염색 또는 도장 素地목재의 표백, 둘째, 착색효과의 倍加, 셋째, 광변색의 예방 및 제거, 넷째, 청변균, 곰팡이등에 의한 생물오 염 제거 그리고 다섯째, 금속, 산, 알칼리와의 접촉에 의한 화학오염의 제거 등을 들 수 있다.

목재용 표백제로는 次亞鹽素酸소다(NaClO), 亞鹽素酸소다(NaClO_2) 및 二

酸化鹽素(ClO_2)등 鹽素系표백제와 過酸化나트륨(Na_2O_2), 과산화수소(H_2O_2) 및 과망간산칼륨(KMnO_4)등 酸素系표백제로 구분될 수 있으나 有效鹽素나 有效鹽素量이 많은 반면 인체에 유해한 鹽素系표백제는 거의 사용되지 않고 최근 들어서는 酸素系표백제가 주로 사용되고 있다.

한편 수중에 따른 표백도와의 관계는 주로 목재의 수지분과 비중과의 관계가 높은 것으로 알려져 있다. 즉, 수지분이 적고 비중이 낮은 輕軟材의 표백효과가 높은 것으로 보고되고 있다. 예를 들어 아염소산 표백제의 표백효과를 비교해 보면 오동나무나 너도밤나무 등이 가장 백색도가 높아 표백효과가 뛰어나고, 자작나무, 물푸레나무, 라왕 및 미송(douglas fir) 등이 비교적 양호한 편이나 참나무, 소나무(pines), chestnut, cypress, narra, zelkova 등은 그 효과가 열악한 것으로 알려지고 있다. 그러나 이들 수종들도 알칼리 쪽의 과산화수소 표백에 의한 효과는 양호한 것으로 알려지고 있어 세심한 주의가 요망된다.

이에 본 연구에서는 국산재 30수종의 재색을 측정하고 예비연구를 통해 그 효과가 안정적인 것으로 분석된 바 있는 酸素系 표백제 및 투명도장에 의한 재색(L^*a^*b) 및 광택도의 변화정도를 비교, 조사하고 일광노출시의 표백효과와 도장효과의 지속도를 비교함으로써 표면처리 기술에 의한 국산재의 효율적 활용방안을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

가. 소재의 선별 및 분류

도장을 비롯한 목재의 표면처리를 전제로한 소재의 선별은 소지목재의 재질, 재색, 결집여부등이 검토되어야 한다. 본 연구에서는 집성가공을 위해 24mm, 30mm 및 36mm의 3종의 두께로 국산재를 제재하였으며 약 3개월간의 기건과정을 거친 후, 재색 및 광택도의 측정 그리고 기

본적인 재질특성을 분석하여 추후 집성판 제조 및 표면처리를 위한 기술자료를 마련하였다.

목재가공 특히 집성제품가공에 있어서는 이외에도 집성부재들의 비중의 차이, 두께차이, 함수율차이, 변형성의 차이 등 소재단독 사용할 때와는 달리 소재선별 및 그 분류에 있어 부재들의 재질에 대한 충분한 사전검토를 거쳐야 할 것이다. 한편 표 3은 공시 국산유용수종에 대한 집성제품의 설계시 고려해야할 재질특성을 비교한 것이다.

전술한 바와 같이 집성판을 제조할 때에는 집성부재의 재색 뿐 아니라 부재들의 칫수안정성 및 부재간 접착특성 그리고 최종제품을 사용할 때 예상되는 외력에 대한 소재의 저항능력 등이 반드시 고려되어야 할 것이다. 따라서 아래 표 1에 나타난 유용 국산재의 방사, 접선 및 섬유방향의 전수축률, 접착특성, 도장성, 압축강도 및 휨강도등은 국산재를 이용한 집성제품의 설계시 최소한의 고려사항이라 할 수 있을 것이다.

나. 소지 목재의 적정함수율 결정

표면처리(塗裝)를 위해 본연구의 공시 30수종과는 별도로 구입한 국내산 침엽수와 활엽수의 대표적인 소나무 및 상수리나무 시편에 대해 Drying oven을 이용하여 함수율 수준을 두 단계로 조절한 후, 다시 실험실에서 3주간 경과시켰을 때 塗裝前소재표면 상태를 비교하였으며, 이와 병행하여 두 단계로 조절된 소재시편에 대해 우레탄 투명도료(원액 : 희석제=1:1)를 brushing으로 2회(재도장시간: 24시간) 도포한 후, 소재의 함수율 수준별 도막상태 등을 조사하여 아래 표 2에 나타내었다.

<표 1> 국산재를 이용한 집성제품 설계시 고려되어야할 재질특성

	수종명	수축율(전수축율)			접착성	도장성	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)
		방사	접선	섬유				
1	아카시나무	5.05	8.44	0.21	양호	양호	661	1212
2	굴참나무	6.85	12.20	0.56	양호	불량	626	1291
3	갈참나무	6.22	10.81	0.86	보통	양호	581	1296
4	다릅나무	2.93	6.27	0.47	불량	양호	416	1027
5	느릅나무	5.08	10.16	0.45	보통	불량	434	910
6	옻나무	4.68	8.64	0.63	보통	양호	344	767
7	들메나무	4.88	11.83	0.51	보통	양호	508	1139
8	고로쇠나무	4.72	8.94	0.39	보통	보통	443	914
9	밤나무	3.46	6.40	0.56	보통	양호	339	852
10	물푸레나무	4.30	8.91	0.47	보통	양호	581	1192
11	참죽나무	3.86	7.18	0.28	보통	양호	529	1033
12	나도밤나무	3.45	6.10	0.50	보통	보통	330	810
13	버드나무	4.30	8.50	0.35	보통	보통	390	854
14	말채나무	3.70	7.05	0.30	양호	보통	315	755
15	참벗나무	3.92	8.12	0.39	보통	양호	344	801
16	산벗나무	3.74	8.51	0.38	보통	양호	377	794
17	현사시나무	3.02	6.15	0.34	보통	양호	205	507
18	황철나무	2.69	6.80	0.28	보통	보통	293	423
19	오리나무	5.39	9.80	0.54	보통	불량	1130	1375
20	가래나무	5.27	9.45	0.80	보통	양호	499	1167
21	참박달나무	5.95	9.88	0.43	양호	보통	1246	1320
22	물박달나무	5.72	9.35	0.45	보통	불량	973	1191
23	찰피나무	5.30	9.21	0.36	불량	양호	283	509
24	물피나무	5.12	9.54	0.35	보통	양호	303	613
25	홍자작나무	6.58	9.02	0.39	보통	보통	410	803
26	백자작나무	6.34	10.68	0.51	양호	보통	432	875
27	총총나무	4.88	10.83	0.54	보통	보통	414	879
28	은행나무	6.14	10.19	0.50	보통	보통	450	982
29	오동나무	3.98	6.97	0.25	보통	양호	235	576
30	낙엽송	4.67	8.44	0.17	양호	양호	532	986

<표 2> 素地목재의 함수율 수준별 소재상태 및 도막품질비교

수종별	항 목	소재 표면상태	우레탄 도막상태
	함수율		
소나무 (<i>Pinus densiflora</i>)	13% 이하	양 호	양 호
	15% 이상	靑變 발생	부분적 白化발생
상수리나무 (<i>Quercus acutissima</i>)	13% 이하	양 호	양 호
	15% 이상	부분적 褐變	일부 도막 주름발생

위 표에 의하면 두 수종 공히 15%이상으로 보관 및 도장될 경우 소재의 변색과 도막의 백화 또는 주름현상이 발생함으로써 소지의 적정함수율이 13% 이하로 유지되어야 함을 알 수 있었음. 특히 시편변색은 대부분 표면변식균에 의한 것으로 대패질로 제거가능하였으나 일부는 素地(특히 소나무 변재부) 내부까지 균사가 침입하여 표백등 추가공정이 요구되고 강도저하 등이 예상되므로 소지함수율의 적정관리(13% 이하)는 소지조정공정 중 매우 중요한 작업으로 판단되었다.

다. 素地の 표백기술 표준화(예비연구)

전술한 바와 같이 素地の 표백은 소지에 별다른 변색이 발생하지 않더라도 白木도장(white tone)의 진처리, 광변색의 예방, 생물오염 방지, 변심재 색상 균일화 및 착색효과의 극대화 등을 위해 필요한 소지 조정 공정중의 하나이다. 목재의 탈색 메카니즘은 재중의 발색성분을

각종의 유기용제 또는 알칼리 용액을 이용하여 取出하는 방법과 표백제를 이용하여 발색단의 일부를 파괴하여 淺色化 또는 淡色化 효과를 얻는 방법으로 구분된다. 첫번째 방법은 각종용제의 사용에 수반되는 처리장치의 비용, 용액의 회수 및 알칼리 오염등을 고려해야 하기 때문에 상대적으로 보다 경제적인 표백제에 의한 탈색방법이 보편적으로 채택되고 있다.

본 연구에서는 표백작업과 관련하여 참고로 별도로 구입한 소나무와 상수리나무에 대해 우선 고유재색 및 변심재 구분특성과 재색과 관련된 주요 화학적 성분 및 오염도(화학적 변색특성)등을 조사하였는 바 그 결과를 표 3에 나타내었다.

<표 3> 소재의 재색, 변심재구분, 주요 화학성분 및 화학적 변색성 비교

항 목	재 색		변심재 구분	주요 화학 성분			오염도			
	변재	심재		알 카 리 추출물	리 그 닌	전섬유 소	鐵	酸	알 카 리	光
소나무 (<i>Pinus densiflora</i>)	淡赤黃白	赤 褐	明 瞭	14.7%	29.3%	77.3%	中	小	小	大
상수리나 무 (<i>Quercus acutissima</i>)	淡紅黃白	淡 褐	(不)明瞭	25.9%	22.1%	81.8%	中	中	大	中

위 표에 의하면 상수리 나무에 비해 소나무의 경우 변심재간 색상구분이 명료하게 나타남으로써 소나무를 사용할 때 색상표현에 보다 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료되는 바이다. 한편, 주요 화학성분 및 화학적 오염특성 또한 두 수종에 있어 각기 상이한 것으로 조사되었는 바, 국산재에 대한 표백기술 정립을 위해서는 표백제의 선정, 농도 및 표백시간 등 표백조건 수종별 차별화가 이뤄져야 할 것이다.

아래 표 4 및 표 5는 본 연구에서 채택한 표준 표백조건(표백제의 약액조제구성과 처리방법) 및 두 소재간 표백조건별 표백효과(표백도 및 지속도<日光下 일주일 披露시>)를 비교한 것이다.

<표 4> 표준 素地표백조건(표백제 종류 및 방법)

표백제 종류		표 백 방 법
酸素系	<O-1>	30-35%의 H ₂ O ₂ 용액과 28% Ammonia水를 1:1로 사용직전에 혼합하여 식물성 brush로 칠한다.
	<O-2>	A액(무수탄산소다 10g+50℃ 온수 60g을 혼합)을 처리한 후 5분 후 닦아내고 B액(35% H ₂ O ₂ 용액 80ml+물 20ml) B 액을 도포하여 3시간 건조한다.
	<O-3>	35% H ₂ O ₂ 용액 : 무수초산을 1:1 로 혼합하여 30분 이내로 도포한다.
鹽素系	<Cl-1>	NaClO ₂ 3g을 물 100g과 혼합하고 사용직전에 빙초산 0.5g과 물 100g을 혼합한 용액을 가해 도포한다. 60-70℃에서 가열한다. (약 5-10분간)
	<Cl-2>	glass용기내에 NaClO 5g과 물 95g을 가열하여 용해한후 도포한다.

<표 5> 표백제별 표백효과 및 표백도 유지도 비교

표백제별 수종별	< O-1 >		< O-2 >		< O-3 >		< Cl-1 >		< Cl-2 >	
	표백도	지속도	표백도	지속도	표백도	지속도	표백도	지속도	표백도	지속도
소나무 (<i>P. densiflora</i>)	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	보통	불량	불량
상수리나무 (<i>Q. acutissima</i>)	보통	보통	보통	양호	보통	양호	불량	불량	불량	불량

상기 표 5에 의하면 대체로 두 수종 공히 염소계 보다는 산소계 표백제의 효과가 좋았으며 표백효과의 지속도도 우수하였다. 다만 표백도는 온도, 시간, 농도 등에 의해 달라질 수 있으므로 국산제에 대한 표백기술은 집성제품의 최종용도에 따라 요구되는 색상 및 백색도에 의해 각각 달리 관리되어야 할 것이며 이를 위해 본 연구팀에서는 제품용도별 적정 표백도의 정량화 및 표준화를 위해 30종의 국산 유용수종에 대해서도 色差計(color and color difference meter)를 이용한 종합적 표백 공정관리기술 개발을 수행하였다.

라. 소지의 연마 기술 및 품질 표준화

소지조정의 최종단계로서 수종별 소지연마용 적정 연마지 및 연마입도를 표준화 하였던 바, 그 결과는 다음 표 6과 같다.

<표 6> 수종별 작업요소별 적정 연마지 및 연마지 粒度

수종별 작업별	下 研 磨		마 감 研 磨	
	研 磨 紙	粒 度	研 磨 紙	粒 度
소나무 (<i>Pinus densiflora</i>)	Al ₂ O ₃	#100	Al ₂ O ₃	#240
상수리나무 (<i>Quercus acutissima</i>)	SiC	#80	SiC	#150->#240

위 표에 의하면 수종에 따라 적정 연마제의 종류 및 입도가 차이가 있음을 볼 수 있는 바, 이는 소지목재의 비중에 의해 연마품질이 좌우되므로 연마제의 경도와 입도의 선택에 있어 주의가 요구되며, 특히 상수리나무의 경우, 마감연마시 2단계의 공정을 거쳐야 양호한 연마품질을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

마. 국산재 30 수종에 대한 표백특성에 관한 연구

1) 재료 및 방법

가) 공시 국산재

국산재를 취급하는 목재상으로부터 아카시아나무등 30종의 국산재 원목을 구입하여, 24mm 두께로 제재한 후 실험실에서 약 2달간 陰乾하여 평균 함수율이 약 12% 정도에 이르도록 하였다.

나) 표백시편의 소재 제색 및 광택도 측정

상기 30종의 공시 국산재(기건재)를 다시 75mm×75mm×12mm(W×L×T) 크기로 재단한후, 표백제 미처리 상태에서 일본 Tokyo

Denshoku(Model : TC-3600)사의 Color & Color Difference Meter를 사용하여 소지의 재색 및 광택도를 측정하였다.

다) 산소계 표백제의 조제 및 표백방법

무수탄산소다(Na_2CO_3) 10g과 50℃ 온수 60g을 혼합한 용액을 소지에 도포하여 5분이 경과한 후 마른 걸레로 닦아내고, 다시 식물성 붓을 이용하여 28% 과산화수소(H_2O_2) 용액을 도포하여 3시간 동안 건조시킨 후, 재색 및 광택도를 비교하였다

라) 투명 우레탄 도료의 도포

우레탄 바니쉬 도료의 소지표면에서의 침투흡수에 따른 재색 및 광택도 변화 양상을 조사하기 위해 미표백 시편 및 표백시편에 각각 우레탄 도료를 2회 붓 도장한 후 재색 및 광택도의 변화를 측정하였다.

마) 일광노출에 의한 재색 및 광택도 측정

미표백미도장, 미표백도장, 표백미도장, 표백도장 시편들에 대해 재색을 측정하고 각 시편들을 일광 노출시켜 3일, 7일, 25일, 30일 경과 후 재색 및 광택도의 변화를 측정하였다.

상기 나) 항목으로부터 마)항까지 각 처리시의 반복 수는 각각 3반복으로 하여 평균치를 취하였다.

2) 결과 및 고찰

가) 국산재 30 수종의 학명

본 실험에서는 입목밀도, 시장 가득성 및 기초재질 특성등에 입각하여

본 표백연구를 위해 구입한 30종의 국산재를 공시제로 하여 실험에 착수하였다. 아래 표 7은 본 연구에서 사용한 국산재 30종을 과 및 속에 따라 구분하고 각각 학명을 나타낸 것이다.

<표 7> 국산재 30수종의 학명

과	속	수 종	SCIENTIFIC NAME
콩과	아카시아나무속	아카시아	<i>Robinia pseudoacacia</i>
	다릅나무속	다릅나무	<i>Maackia amurensis</i>
참나무과	참나무속	굴참나무	<i>Quercus variabilis</i>
		갈참나무	<i>Quercus aliena</i>
느릅나무과	느릅나무속	느릅나무	<i>Ulmus davidiana</i>
두릅나무과	옴나무속	옴나무	<i>Kalopanax pictus</i>
물푸레나무과	물푸레나무속	들메나무	<i>Fraxinus mandshurica</i>
		물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>
단풍나무과	단풍나무속	고로쇠나무	<i>Acer mono</i>
밤나무과	밤나무속	밤나무	<i>Castanea crenata</i>
멀구슬나무과	참중나무속	참중나무	<i>Cedrela sinensis</i>
나도밤나무과	나도밤나무속	나도밤나무	<i>Meliosma myriantha</i>
버드나무과	버드나무속	버드나무	<i>Salix koreensis</i>
	사시나무속	은사시나무	<i>Populus tomentiglandulosa</i>
황철나무		<i>Populus maximowiczii</i>	
자작나무과	자작나무속	오리나무	<i>Alnus japonica</i>
		참박달나무	<i>Betula schmidtii</i>
		물박달나무	<i>Betula davurica</i>
		홍자작나무	<i>Betula platyphylla var. japonica</i>
가래나무과	가래나무속	가래나무	<i>Juglans mandshurica</i>
피나무과	피나무속	찰피나무	<i>Tilia mandshurica</i>
		섬피나무	<i>Tilia insularis</i>
층층나무과	층층나무속	층층나무	<i>Cornus controversa</i>
		말채나무	<i>Cornus walteri</i>
은행나무과	은행나무속	은행나무	<i>Ginkgo biloba</i>
현상과	오동속	오동나무	<i>Paulownia coreana</i>
소나무과	잎갈나무속	낙엽송	<i>Larix leptolepis</i>
앵두나무과	벚나무속	참벚나무	<i>Prunus serrulata var. spontanea</i>
		섬벚나무	<i>Prunus takesimensis</i>

나) 주요 국산재의 재색 및 광택도에 대한 Grouping

아래 표 8은 국산재 30수종의 재색(L*a*b) 및 고유 광택도(G)를 나타낸 것이다. 목재표면의 밝기(Lightness)를 나타내는 L값의 범위는 느릅나무(45.10)으로부터 황철나무(81.52)까지 매우 광범위하게 분포하고, 적색도(Redness)를 나타내는 a값은 황철나무(0.55)로부터 갈참나무(10.55)까지 분포하며, 황색도(Yellowness)를 나타내는 b값은 매채나무(13.85)에서 아카시아나무(23.00)까지 비교적 넓게 분포하는 것으로 나타났다.

또 목재 광택도는 은사시나무(4.07)로부터 굴참나무(2.43)에 이르기까지 그다지 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 일반적으로 국산재의 재색은 가장 명도가 낮은 느릅나무로부터 현사시나무까지 매우 넓은 분포를 나타내었으며 적색도(갈참나무가 가장 높고 황철나무가 가장 낮음) 및 황색도(오리나무가 가장 높고 황철나무가 가장 낮음)에 있어서도 수종별로 다양한 재색범위를 나타냄으로써 국산재를 이용한 집성제품의 색상디자인에 있어 세심한 주의가 요망될 것으로 판단된다.

다시말해, 單色배치 집성제품의 경우, 주위 실내환경과의 조화 및 사용자의 취향등 재색 결정을 위한 여러 가지 인자를 고려해서 수종을 선정해야 할 것이며, 混合배치(MOSAIC)에 의한 집성제품 제조시에도 각 수종이 지니는 색상 및 색감에 대한 충분한 사전검토에 의해 집성제품을 이용한 최종제품을 위한 수종선정을 행하여야 할 것이다.

한편 광택도에 있어서도 물피나무가 가장 광택도가 높고 음나무가 가장 낮은 것으로 나타남으로써 집성제품의 사용장소에 대한 배려가 필요하고 수종混合배치시 별도의 주의가 요망된다.

표 9는 국산재 30수종을 위 4종의 표면 특성치에 대해 오름차순으로 배열한 후 각각low, medium, high Group으로 구분하여 배치한 것이다.

<표 8> 국산재 30수종의 재색(L*a*b) 및 광택도(G) 비교치

수종	L	a	b	G	수종	L	a	b	G
1. 아카시아나무	64.65	2.65	23.00	2.63	16. 섬벚나무	64.13	7.95	21.40	3.30
2. 굴참나무	62.62	4.55	17.42	2.43	17. 은사시나무	80.82	1.58	18.48	4.07
3. 다릅나무	65.63	4.80	17.75	2.90	18. 황철나무	81.52	0.55	14.47	3.58
4. 느릅나무	45.10	6.12	15.37	3.20	19. 오리나무	56.65	9.87	20.02	3.00
5. 음나무	48.10	5.63	14.57	2.63	20. 가래나무	58.45	7.90	16.15	2.88
6. 들메나무	61.07	4.09	16.92	3.63	21. 참박달나무	60.27	9.07	18.35	2.90
7. 고로쇠나무	68.92	2.38	17.13	3.12	22. 물박달나무	64.85	8.13	17.35	4.00
8. 밤나무	67.33	1.70	16.82	3.47	23. 참피나무	66.27	4.08	19.62	3.88
9. 물푸레나무	63.00	4.80	18.45	2.38	24. 물피나무	70.40	3.77	20.80	4.25
10. 참죽나무	66.22	3.82	17.95	2.55	25. 홍자작나무	72.65	3.65	21.35	3.35
11. 갈참나무	64.50	10.55	21.57	3.88	26. 백자작나무	76.45	4.15	21.80	3.83
12. 나도밤나무	67.22	4.00	17.50	3.07	27. 층층나무	76.90	0.63	15.37	3.70
13. 버드나무	60.83	9.02	22.85	2.87	28. 은행나무	72.35	5.53	18.95	3.78
14. 매체나무	62.48	7.90	13.85	3.37	29. 오동나무	68.90	3.97	15.48	3.25
15. 참벚나무	58.97	5.90	21.17	2.70	30. 낙엽송	65.60	9.05	20.05	3.62

<표 9> 국산재의 L, a, b 및 G값 범위에 대한 Grouping

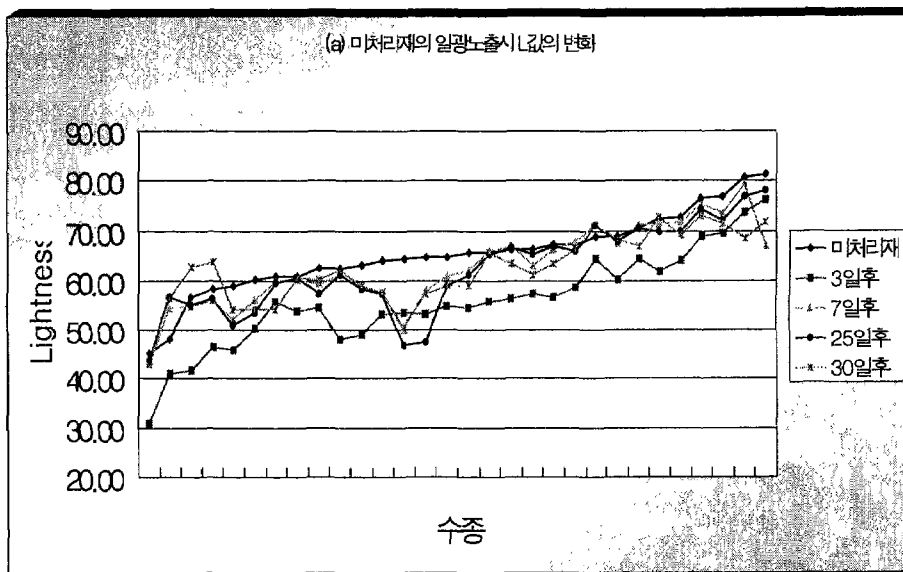
Group	Low	Medium	High
Lightness(L)	L값 60 미만 4, 5, 19, 20, 15	L값 70 미만 21, 13, 6, 14, 2, 9, 16, 11, 1, 22, 30, 3, 10, 23, 12, 8, 7, 29	L값 70 이상 24, 28, 25, 26, 27, 17, 18
Redness(a)	a값 3 미만 18, 27, 17, 8, 7, 1	a값 7 미만 25, 24, 10, 29, 6, 12, 23, 26, 2, 3, 9, 28, 5, 15, 4	a값 7 이상 14, 20, 16, 22, 13, 30, 21, 26, 13, 1
Yellowness(b)	b값 17 미만 14, 18, 5, 4, 27, 29, 20, 8, 6	b값 20 미만 7, 2, 12, 3, 22, 10, 21, 9, 17, 28, 23	b값 20 이상 19, 30, 24, 15, 25, 16, 11, 26, 13, 1
Gloss(%)	반사율 3.0% 미만 9, 2, 10, 1, 5, 15, 13, 20, 3, 21	반사율 3.5% 미만 19, 12, 7, 4, 29, 16, 25, 14, 8	반사율 3.5%이상 18, 30, 6, 27, 28, 26, 11, 23, 22, 17, 24

다) 국산재의 산소계 표백 및 투명도장재의 일광노출에 따른 백색도 변화

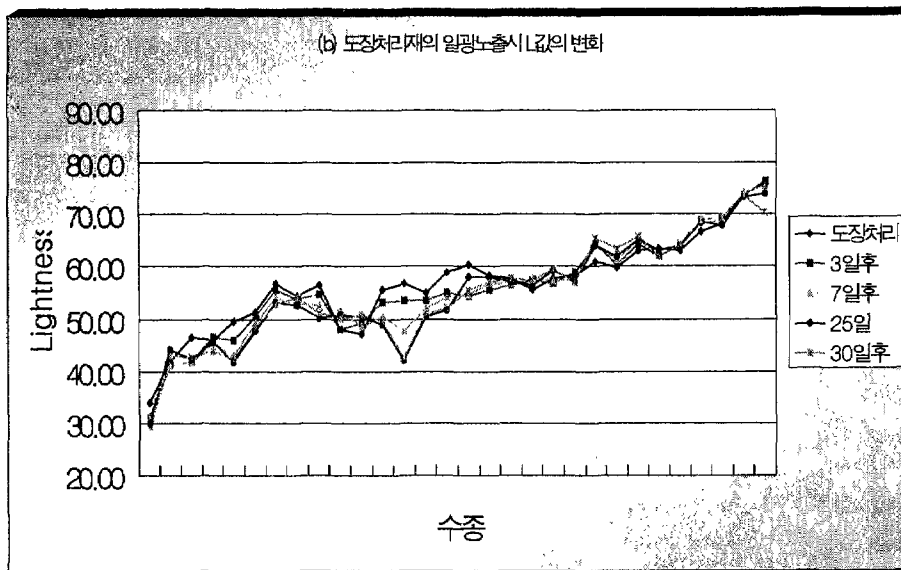
<그림1>은 국산재 30수종에 대한 산소계 표백 및 투명도장에 따른 Lightness의 변화를 나타낸 것이다. 우선 <그림1a>는 미처리재의 일광 노출시 시간에 따른 Lightness의 변화를 나타내고 있는데 일광노출 3일째 Lightness가 떨어졌다가 7일째에 다시 상승함을 볼 수 있다. 7일후에는 갈참나무와 아카시아나무를 제외하고는 Lightness의 변화가 거의 미비하다.

<그림1b>는 도장처리재의 일광 노출시 시간에 따른 Lightness의 변화를 나타내고 있는데 투명도장을 도포함으로써 Lightness는 떨어짐을 볼 수 있고

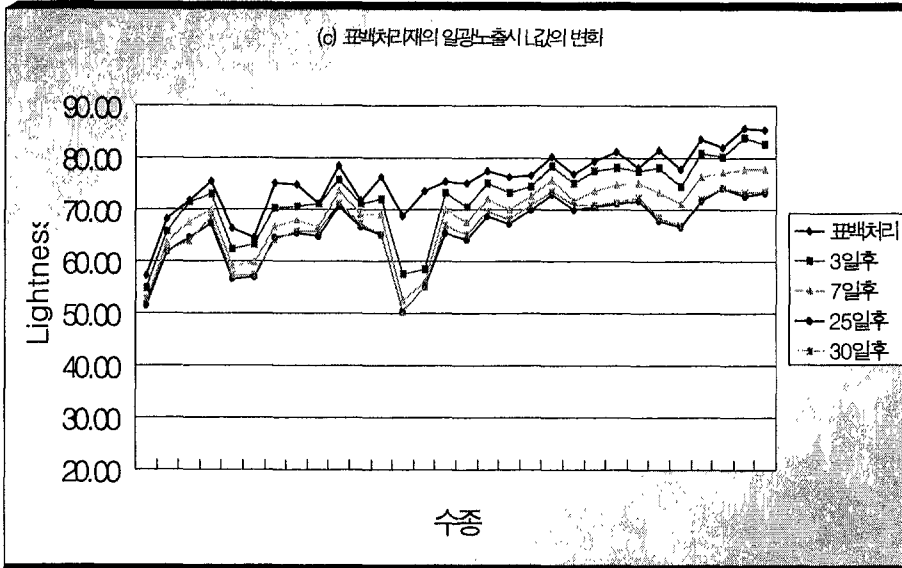
일광노출시의 Lightness의 변화는 적은 것으로 나타났다.



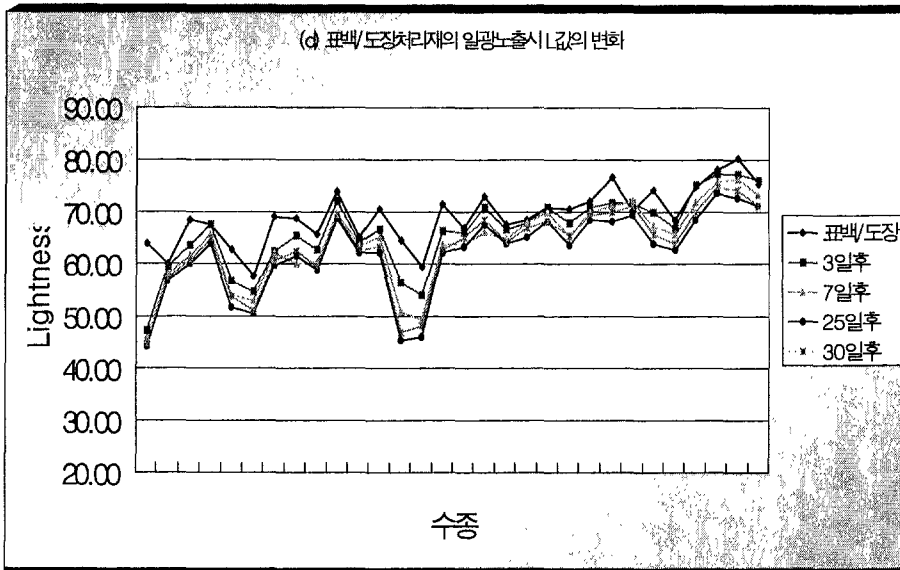
Species No. 4 5 11 20 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



<그림1> 국산재 30수종의 산소계 표백 및 투명도장 처리재의 일광노출에 따른 백색도 변화

<그림1c> 및 <그림1d>는 표백, 표백/도장처리재의 일광노출시의 명도 (Lightness)의 변화를 나타낸 것인 데 일부 시편을 제외하고 각 시편의 Lightness는 현저하게 상승되었다. 그리고 상대적으로 백색도가 낮은 수종 Group의 백색도 상승정도가 백색도가 높은 수종 Group에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 참벗나무(15), 참박달나무(21), 매체나무(14), 물푸레나무(9), 갈참나무(11)의 수종들이 표백효과가 적게 나타난 것은 비교적 고비중재의 수종들로 표백약액의 침투도가 낮은 것에 기인한 것으로 사료된다. 한편 갈참나무(11)와 아카시아나무(1)의 경우 일광노출에 따라 표백 및 도장 여부에 무관하게 백색도가 떨어짐으로써 광변색이 가장 큰 수종으로 나타났다.

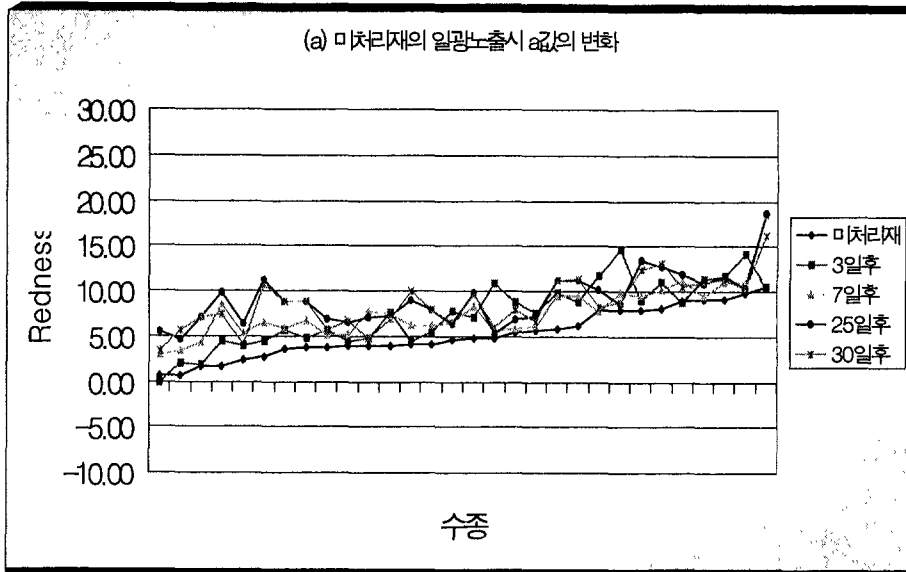
투명도장처리에 의해 Lightness는 떨어지나 표백지속도는 투명도장처리를 하지 않은 것보다 양호하며, 갈참나무(11)와 아카시아나무(1)만 제외하고는 산소계 표백처리에 의한 국산재의 표백지속도는 양호한 것으로 판단된다.

라) 국산재의 산소계 표백 및 투명도장재의 일광노출에 따른 적색도 변화

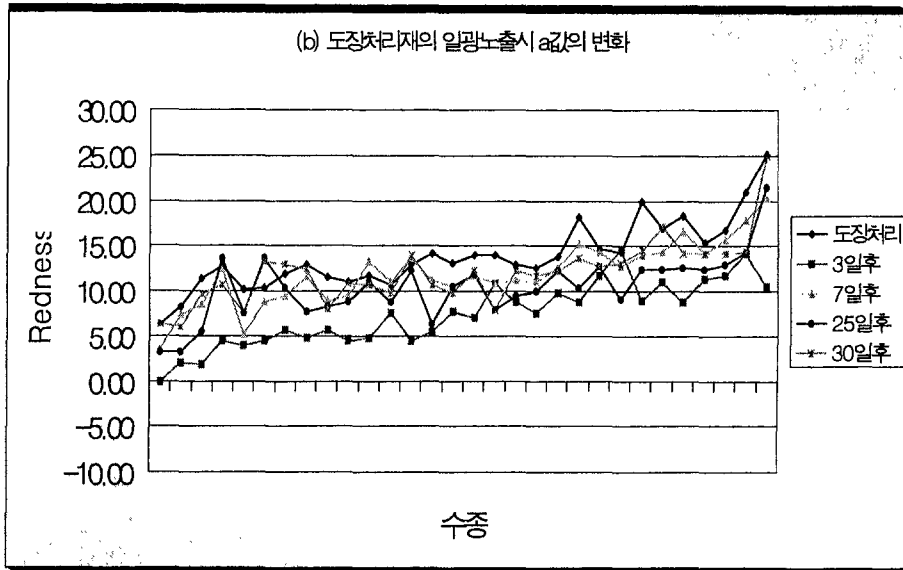
<그림2>는 국산재 30수종에 대한 산소계 표백 및 투명도장에 따른 Redness의 변화를 나타낸 것이다.

Lightness가 높은 수종의 Group은 Redness가 낮은 Group에 속하고 Lightness가 낮은 수종의 Group은 Redness가 높은 Group에 속하는 경향을 보여준다. 우선 <그림2a>는 미처리재의 일광노출시 시간에 따른 Redness의 변화를 나타내고 있는데 Redness의 상승을 볼 수 있다. <그림2b>는 도장처리재의 일광노출시 시간에 따른 Redness의 변화를 나타내는데 도장처리시

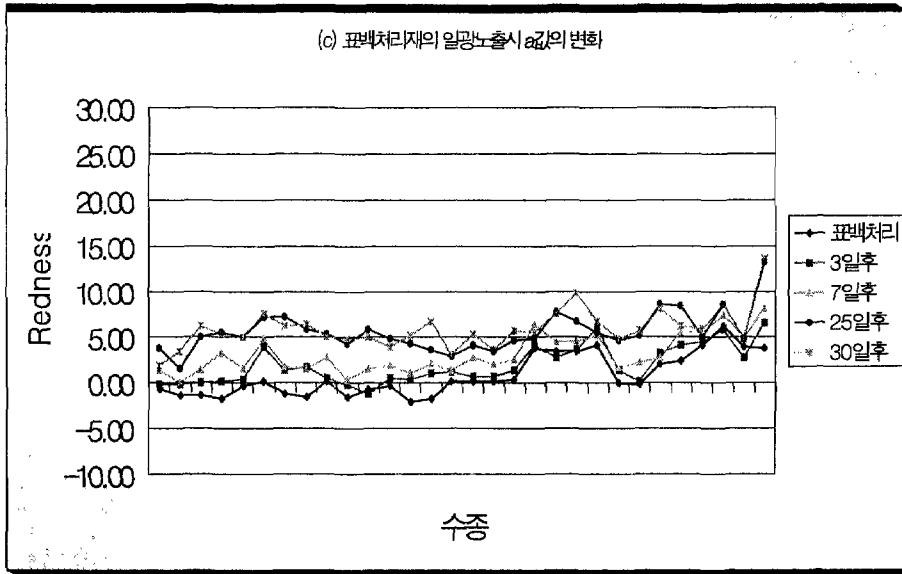
Redness의 현격한 상승을 볼 수 있고 3일후 Redness는 떨어졌다가 점점 상승함을 볼 수 있다. <그림2c>는 표백처리재의 일광노출시 시간에 따른 Redness의 변화에 대한 그래프인데 표백처리시 Redness는 떨어지고 시간이



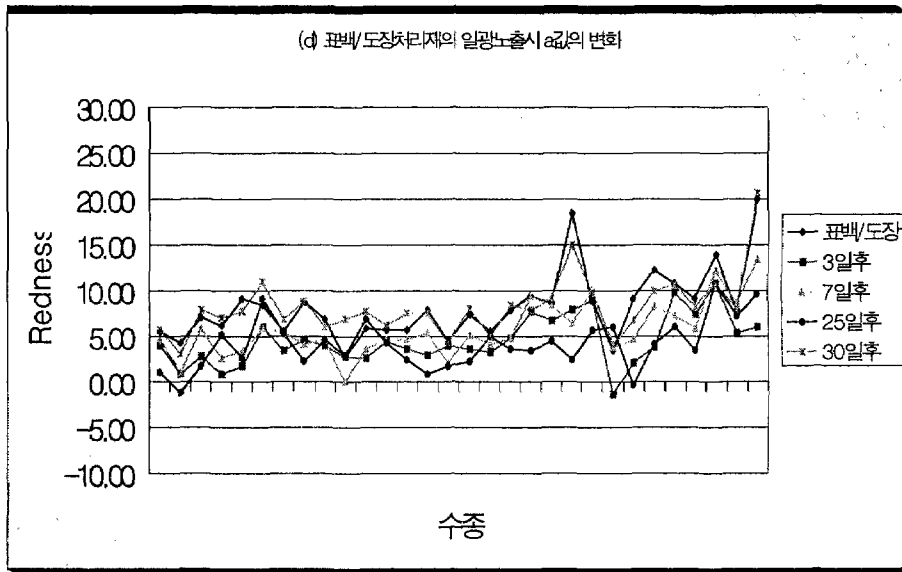
Species No. 4 5 15 20 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 15 20 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18

<그림2> 국산재 30수종의 산소계 표백 및 투명도장 처리재의 일광노출에 따른 적색도 변화

지남에 따라 Redness는 상승되었다. <그림2d>는 표백/도장처리재의 일광노출시 시간에 따른 Redness의 변화를 나타냈는데 Redness는 상승했는데 도장처리재보다는 적게 상승하였다.

재색측정에서 백색도가 가장 낮게 나왔던 느릅나무(4)와 표백효과가 가장 적었던 갈참나무(11)가 Redness 변화에서 눈에 띄는 상승함을 볼 수 있다. 이에 Lightness 와 Redness는 상관관계가 있을 것으로 판단된다.

마) 국산재의 산소계 표백 및 투명도장재의 일광노출에 따른 황색도 변화

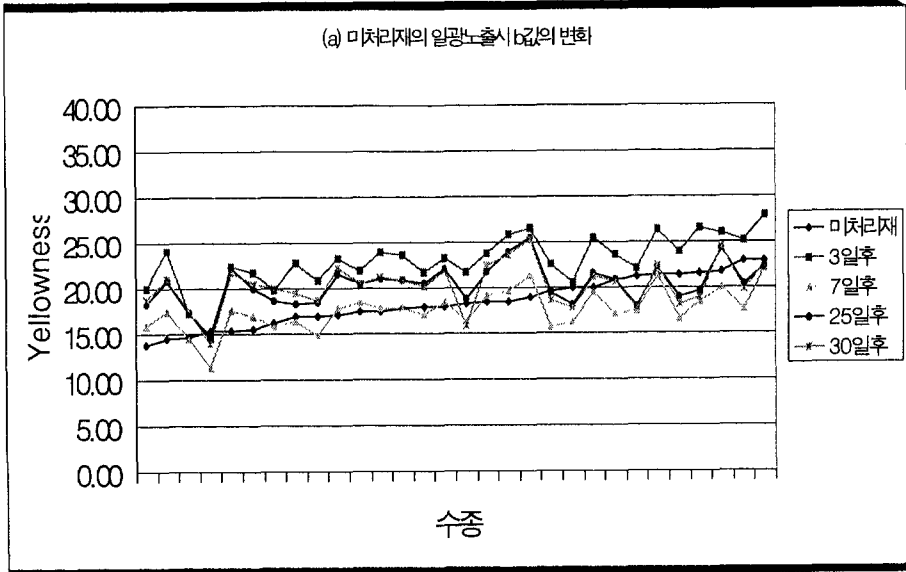
<그림3>은 국산재 30수종에 대한 산소계 표백 및 투명도장에 따른 Yellowness의 변화를 나타낸 것이다.

<그림3a> 및 <그림3b>는 미처리재, 도장처리재의 일광노출시 시간에 따른 Yellowness의 변화를 나타낸 것인데 도장처리재의 경우 Yellowness가 상승되었고 일광노출시 시간에 따른 변화는 매우 작게 나타났다.

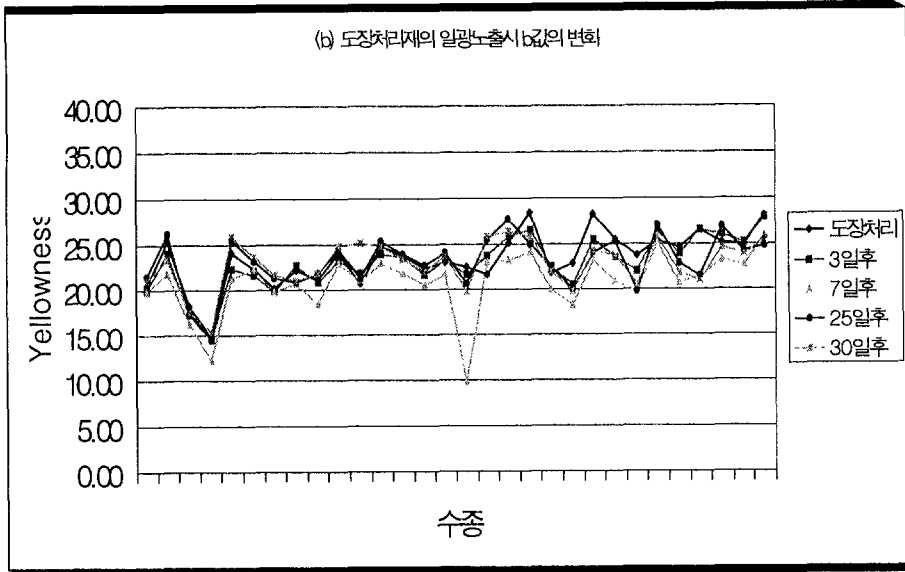
<그림3c> 및 <그림3d>는 표백처리재, 표백/도장처리재의 일광노출시 시간에 따른 Yellowness의 변화를 나타낸 것인데 표백처리후 Yellowness의 변화는 거의 없었고 백색도가 높은수종인 은사시나무(17),황철나무(18)만 Yellowness가 많이 떨어졌다.

한편 백색도에서 표백효과 적었던 아카시아나무(1)가 황색도(Yellowness)에서도 표백효과가 거의 없는 것으로 나왔다.

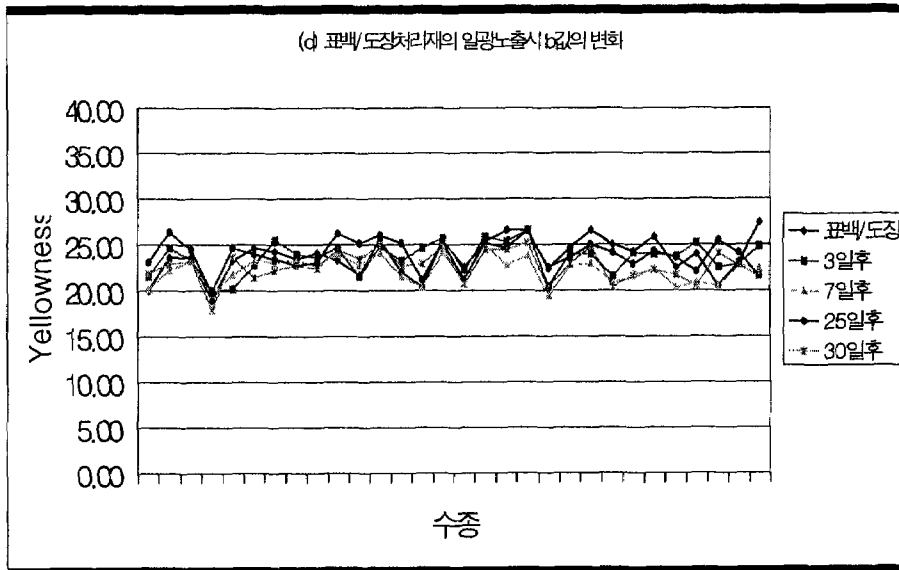
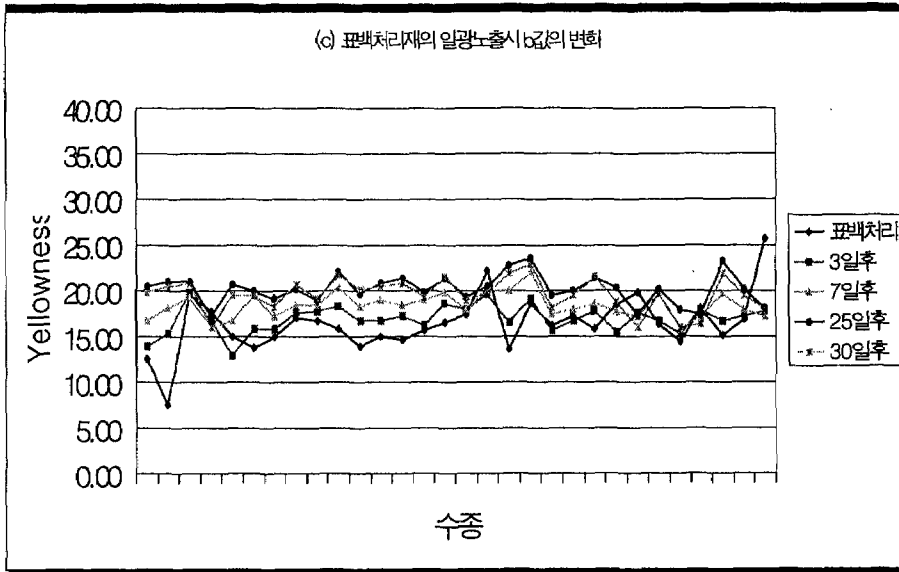
한편 <그림3b>와 <그림3d>를 보면 도장처리를 하면 일광에 의한 황색도(Yellowness)의 변화가 거의 없어 도장처리가 황색도(Yellowness)의 안정성을 가져오는 것으로 판단된다.



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



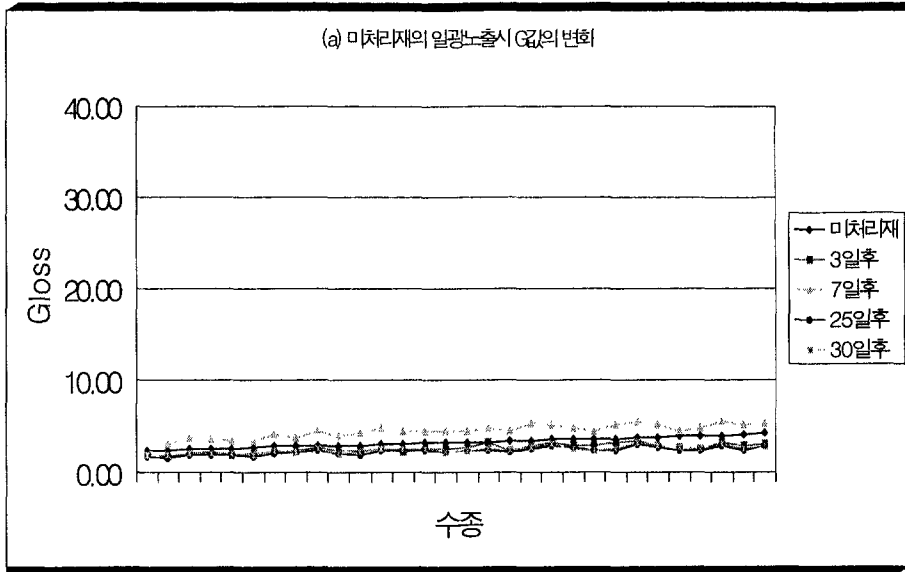
<그림3> 국산재 30수종의 산소계 표백 및 투명도장 처리제의 일광노출에 따른 황색도 변화

바) 국산재의 산소계 표백 및 투명도장재의 일광노출에 따른 광택도 변화

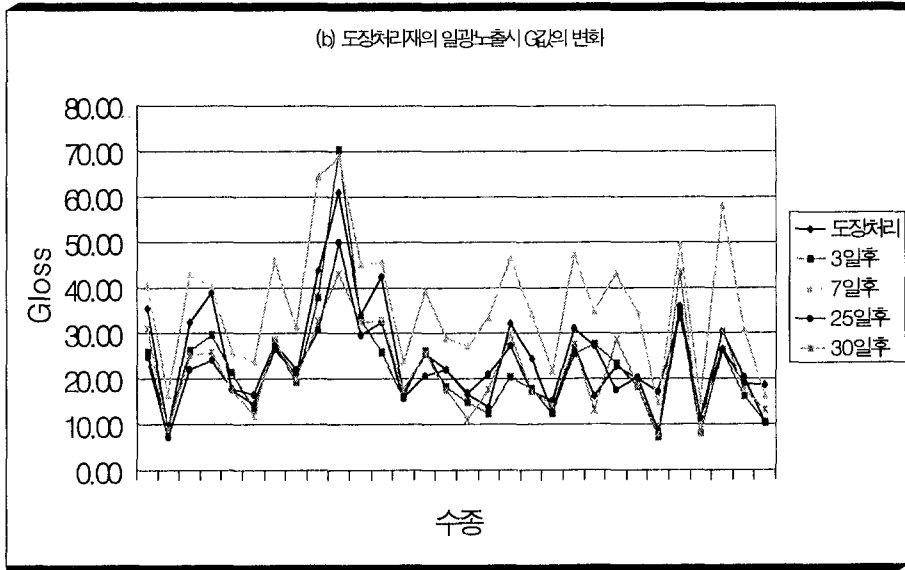
<그림4>는 국산재 30수종에 대한 산소계 표백 및 투명도장에 따른 Gloss의 변화를 나타낸 것이다.

우선<그림4a> 및 <그림4c> 는 미처리재, 표백처리재의 광택도변화를 나타낸 것인데 표백처리직후 광택도 변화는 거의 없는 것으로 나타남으로써 국산재의 산소계 표백처리는 합리적 표백방법인 것으로 사료된다. 하지만 미표백도장 시편과 표백도장시편을 비교해 볼 때, 굴참나무(2), 들메나무(6), 갈참나무(11), 버드나무(13), 물박달나무(22)를 제외한 나머지 수종들에서 광택도 저하현상이 나타났는데, 이는 표백처리에 의해 도료의 침투도가 상승한 데에 기인한 것으로 판단된다.

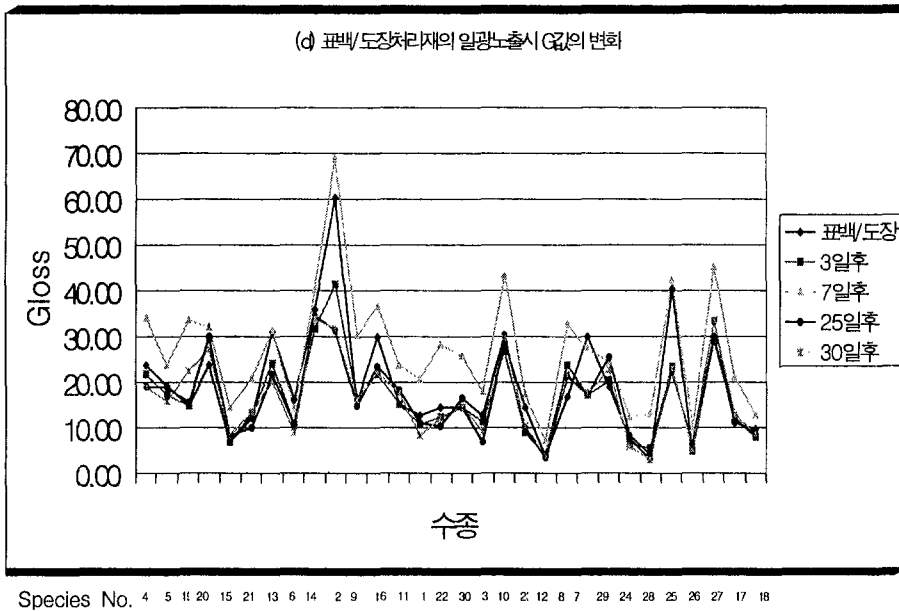
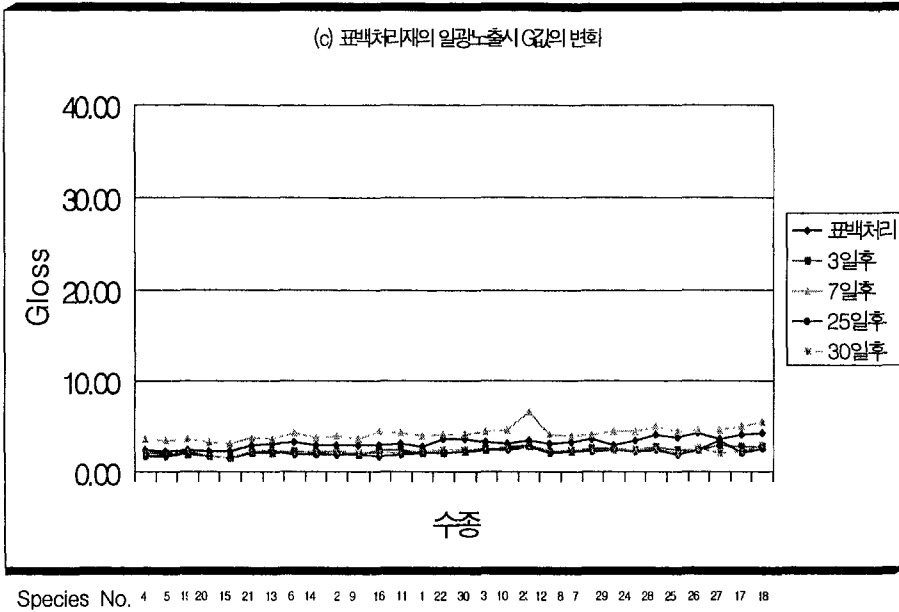
<그림4b> 및 <그림4d> 도장처리재, 표백/도장처리재의 광택도변화를 나타낸 것인데 몇몇 수종만 제외하고 광택도가 현저하게 상승하였다. 참박달나무(21)가 가장 높은 광택도를 나타냈고 나도밤나무(12), 오리나무(19), 물푸레나무(9)등 무겁고 조직이 치밀한 수종 즉 비중이 높은 수종들이 높은 광택도를 갖는 것으로 판단된다. 일광노출에 따른 표백 및 도장시편의 광택도의 변화는 적은 것으로 나타난다.



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



Species No. 4 5 11 20 15 21 13 6 14 2 9 16 11 1 22 30 3 10 2 12 8 7 29 24 28 25 26 27 17 18



<그림4> 국산재 30수종의 산소계 표백 및 투명도장 처리제의 일광노출에 따른 광택도 변화

3) 소지조정(표백) 연구 요약

본 연구를 통해 미이용 국산재의 고부가가치적 활용을 위한 기초자료를 마련함으로써 국내 목재가공업체들로 하여금 신제품개발 및 생산성 향상을 위해 적극적인 국산재 활용을 도모할 수 있는 계기를 제공하고자 하였다.

연구개발에서는 입목밀도 및 가득성에서 타수종에 비해 유리하고 재색, 물성 및 기계적 특성 등이 뛰어난 것으로 알려진 국산재 30수종의 산소계 표백제의 표백효과와 우레탄투명도장의 도장효과를 알아보고 일광노출시에 재색변화를 측정해 표백효과와 도장효과의 지속도를 비교함으로써 집성제품의 고품위 표면처리에 의해 다양한 최종제품 개발을 위한 기술자료를 제공하고자 하였다.

다음은 유용 30종의 국산재에 대한 본 표백연구결과 얻은 주요결과를 열거한 것이다.

가) 재색의 변화가 다양한 국산재의 산소계 표백처리에 의한 백색도 상승효과는 일반적으로 양호하였고 특히 소재의 백색도가 낮은 수종의 표백에 의한 백색도 증가현상이 뚜렷하였다.

나) 국산재의 투명도장 처리에 의한 백색도는 대부분 떨어졌지만 일광노출시의 백색도 안정성은 양호하였다. 투명도장처리에 의한 백색도의 하락과 적색도, 황색도의 상승은 투명도료라 하지만 도료자체의 약간의 색이 가미되었을 것으로 판단되므로 완전한 투명도료가 요구된다.

다) 백색도가 낮은 Group의 수종들이 대부분 적색도가 높은 Group에 속하는 것과 표백처리시 적색도는 떨어짐이 현저하게 나타나는데 반해 황색도는 표백효과의 영향이 일부 수종에 국한되어 있으므로 표백의 효과를

높이려면 적색도를 낮출수 있는 표백제가 요구된다.

- 라) 국산재 30수종의 산소계 표백제 처리에 의한 광택도 감소 현상은 거의 없어 국산재 와 산소계 표백제간의 높은 적합성이 인정되나 도장 도포 시에 표백처리를한 시편이 미표백처리한 시편보다 광택도가 감소한 것으로 보아 이는 표백처리에 의한 도료의 침투도 증가현상이 나타난 것으로 판단된다.
- 마) 국산재 30수종의 광택도는 거의 비슷하였으나 도장처리후 광택도의 증가가 크고 30수종간의 광택도의 차이도 매우 크게 나타났는데 고비중재일수록 광택도가 높게 나타난 것으로 보아 저비중재에서 도료의 침투도 증가한 것으로 판단되며, 저비중재에 침투를 막기위한 별도의 처리가 요망된다.
- 바) 국산재 30수종에 산소계 표백제는 몇몇 수종을 제외하고는 양호하며, 투명도장은 백색도를 떨어뜨리지만 일광노출에대한 안정성을 가져오고 광택도를 증가시키므로 미이용 국산재의 고부가가치적 활용을 위해서 사용되어도 좋을 것으로 판단된다
- 사) 산소계 표백처리재 시편이 미처리재 시편보다 백색도를 높이고, 일광노출시 재색 변화가 거의 일정해 재색변화의 안정성이 높은 것으로 나타난 것으로 보아 목재표면가공시 전처리로 산소계 표백을 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

2. 집성제품용 도장기술 개발

가. 국산 집성제품용 적정도료 선정

소지조정이 완료된 목재는 최종사용 목적에 맞게 도장되어야 하는데, 목재의 도장목적은 목제품의 미관향상 및 소지목재의 보호라는 두 가지 기능을 수행하고자 함에 있다. 금속, 석재등 타공업재료와는 달리 공극성이면서 친수성인 목재의 도장은 이러한 재질적 차이 이외에도 목재의 자연미와 신선미를 영속화시키기 위해 투명도장을 해야하는 등 여러면에서 복잡한 특성이 있다. 따라서 집성제품을 비롯한 목제품의 도장설계(wood-finishing design)는 적정素材의 선택, 적정도료의 선택 그리고 적절한 도장공정에 대한 분석을 거쳐야 완성될 수 있다.

본 연구에서는 제품의 용도 및 목적, 가격 및 피도체와의 적합성등을 기본적으로 고려하고 그 밖에도 도장 공정기술 및 설비측면 등을 검토하여 도장의 각 단계별로 적합한 도료를 선정하였다. 다만 이 경우에도 피도체와의 적합성(색상, 부착성 등)을 고려하여야 하므로 앞절에서 언급된 수종별 도장특성 등을 비교분석한 후, 집성제품의 설계 및 도장에 임하여야 할 것이다.

나. 着色劑(stain)의 선정

시대별 流行 및 소비자 個性에 따라 착색제의 색상은 변할 수 있겠지만 목재착색의 기본은 목재고유의 자연미를 유지해야 하므로 淡色착색을 해야한다는 점일 것이다. 따라서 착색제의 요건은 우선 작업성과 염착

성이 뛰어나고 내광성 및 투명도가 양호해야 하며 bleeding 이나 도료 경화장애가 없어야 한다. 또 집성제품의 최종용도에 따라 소지착색, 목지착색 및 도막착색 등 다양한 착색기법을 적용할 수 있도록 적정 착색제를 선택하여야 한다.

- 1) 수성착색제 : 산성염료 및 직접염료 => spray, brush, dipping
- 2) 유성착색제 : 유용성 염료 => spray, brush
- 3) 알콜性착색제 : 알콜용성 염료 => spray
- 4) NGR stain : 산성염료 및 알콜용성 염료 => spray
- 5) 顔料착색제 : 안료 미립자 => spray, brush
- 6) 藥品類착색제 : 각종 산 및 알카리 => brush

상기 착색제들은 주로 spray나 brush에 의해 도장되는 바, 집성제품의 경우 작업의 효율성을 위해 Roll coater에 의한 도막착색 또는 목지착색을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단한다.

다. 目止劑(filler)의 선정

눈메움(filling) 작업은 소지의 조직(예: 도관 등)을 充填시킴으로써 불필요한 도료의 침투를 방지하고 〇;른바 '鏡面塗裝'을 위한 전처리로서 필수적이며 작업의 효율성을 위해 특히 집성제품의 경우 목지착색 기법을 이용하여 눈메움을 수행하고 있다. 그러나 최근에는 도관의 윤곽을 그대로 노출시키는 'open pore' 방식이 유행하고, 서투른 fillingmd로 인한 木理손상 및 도

막부착성등을 고려하여 생략하는 경향도 있다. 아래 표 10은 각종 목공용 目止劑의 성능을 비교하여 정리한 것이다.

<표 10> 각종 목지제의 성능 비교

성능 목지제	기계도장성	소지부착성	도막내구성	도막부착성	건조성	연마성	평활성
수성 filler	보통	보통	보통	보통	불량	양호	불량
유성 filler	양호	양호	양호	양호	불량	불량	양호
래커계 filler	우수	양호	보통	양호	우수	우수	우수
우레탄계 filler	양호	우수	우수	우수	보통	보통	우수
에스테르 filler	양호	양호	우수	양호	양호	보통	보통

라. 下塗(base coating)용 도료의 선정

공극성이며 친수성인 목재도장은 ‘움직이는 모래위에 도장’이라 표현할 정도로 불안정한 소지를 지니는 것이 그 특징이다. 하물며 집성제품의 경우 異樹種이 혼합되어 사용되기 때문에 균일한 소지조정을 위해서는 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 하도의 역할은 재중에 침투하여 목재조직을 고정시켜 소지를 안정화시키고 흡수, 흡습성을 개선시킴으로 수분의 출입에 의한 소지의 팽수 변화를 최소화 하는 등 매우 다양한 기능을 지닌다. 뿐만 아니라 착색제 및

목지제를 고정시키고 목재와 中塗 도료를 연결시키는 이른바 ‘primer’의 역할도 수행한다.

아래 표 11은 하도 도료별(wood sealer) 성능을 비교한 자료이다.

<표 11> 각종 하도용 도료(wood sealer)의 성능 비교

하도 도료별 성능	셀락계 우드실라	래커계 우드실라	우레탄 우드실라
건 조 성	우 수	우 수	보 통
부 착 성	보 통	양 호	우 수
수지 차단효과	양 호	불 량	우 수
투 명 도	불 량	양 호	양 호
내 수 성	보 통	양 호	우 수
내 열 성	불 량	불 량	양 호
도막할렬 방지효과	불 량	양 호	우 수
작 업 성	양 호	우 수	양 호
코 스투	저 령	저 령	高 價 임

마. 中塗(under coating)용 도료의 선정

원래 도장이란 塗裝所定의 목적을 달성하기 위해서 하도위에 바로 상도를 도장하는 것을 의미한다. 그러나 대부분의 산업현장에서는 도장공정을 단축함으로써 도장능률을 향상시키고 비용을 절감하기 위해 중도도료(sanding sealer)를 사용하고 있다. 즉 목지 또는 하도에 의해 완전히 sealing 되지않은 부분이나 오목면을 메꿈으로써 최소한의 상도(top coating)

로써 평활한 도막면을 보장하기 위해 채택되고 있는 공정이다. 따라서 중도 도료의 기본적인 물성은 살오름성이 좋고 속건성이며 연마가 용이해야 한다는 점에서 스테아린산 아연이나 탄산 마그네슘 분말을 도료제조공정 중에 혼입하여 야기된 도막할렬성, 부착성 열화, 투명성 악화등의 문제점을 제외하곤 하도 도료의 그것과 대동소이하다. 주요 sanding sealer 로는 래커계, 우레탄계 아미노 알키드계 sanding sealer가 있다.

다만 하도와 상도 사이에 위치하므로 상하의 도막과의 양립성(도막장애 여부)을 고려한 후 선택해야 할 것이다. 표 12는 하도, 중도 및 상도간의 상관관계를 고려한 적합한 도료의 使用例를 나타낸 자료이다.

<표 12> 각종 상도도료별 적정 하도 및 중도도료의 使用例

상도 도료	wood sealer	sanding sealer
N. C. Lacquer	셀락, 우레탄 수지, NC래커	NC래커, 우레탄수지
불포화포리에스테르 수지	우레탄수지, NC래커	우레탄수지
아미노알키드 수지	우레탄수지, NC래커	아미노알키드 수지
폴리우레탄 수지	우레탄수지	우레탄 수지

바. 上塗(top coating)용 도료의 선정

도장의 최종단계에서 광택내기 직전의 상태까지의 도막을 형성시키는

공정을 상도(top coating) 이라 한다. 지금까지의 모든 도장품질을 유지하고 보호하기 위해 투명성으로 미려하고 단단한 도막을 형성시켜야 하므로 세심한 주의가 필요한 공정이다. 특히 얼룩, orange peel, seediness 등의 도장불량의 발생을 최소화하기 위해서 상도도료의 점도유지에 신경을 써야한다. 즉, 도료의 종류<표 11 참조>별, 도장기기별, 피;도체의 수직.수평여부 등에 따라 적정한 점도를 유지해야 양호한 도막을 얻을 수 있을 것이다.

사. 고효율 도장기술 개발

고효율 도장기술이란 주어진 피도재 및 도료조건에 대해서 원하는 도막품질을 유지하면서 가장 능률이 높이기 위한 시스템 구축을 지향하는 기술의 총합체를 의미한다. 따라서 이러한 고효율 도장시스템은 도막품질을 결정하는 4M요소중 이미 결정된 1M(Materials 즉 피도재 및 도료)을 제외한 작업자(Man), 도장설비(Machine) 및 도장기술(Method) 요소등의 수준에 의하여 그 효율성이 좌우될 것이며 특히 이들중 특히 나머지 2M 요소에 대한 결정적 영향인자인 도장설비의 중요성은 매우 크다.

이에 본 연구에서는 국산재 활용의 고부가가치성 여부를 좌우하는 집성제품을 주대상으로 하는 주요 도장설비, 즉 도장기기, 운반설비 및 건조설비 등에 관한 제반 기술사항을 표준화하고자 하였다.

1) 집성제품용 주요 도장설비

도장설비로는 도료의 물성에 따라 분무도장, 정전도장, 흐름도장, 회전도장 및 붓도장 등 여러방법에 적합한 것이 사용될 수 있겠으나 집성제품의

경우 피도물의 형태가 대부분 판상(panel type)인 경우가 많으므로 균일한 도막두께를 생산하면서 도장능률을 극대화 할 수 있는 도장살비 시스템을 다음과 같이 선정, 표준화하였다.

- 가) Roll coater : 송재속도 => 25 - 100 FPM
- 나) Precision coater : 송재속도 => 25 - 100 FPM
- 다) Reverse Roll coater : 송재속도 => 30 - 150 FPM
- 라) Roll Printing Machine : 송재속도 => 60 - 500 FPM
- 마) Double Head Curtain coater ; 송재속도 => 60 - 500 FPM

2) 집성제품용 피도물 운반설비

피도물에 대한 운송설비는 기본적으로 컨베이어를 사용하여야 한다. 만약 컨베이어를 사용하지 않는다면 시간적 낭비 뿐 아니라 도막의 품질(도막 두께 및 도막물성)이 불균일해지는 등 여러 문제가 발생할 수 있기 때문에 대부분의 도장공정에서 컨베이어의 채택은 필수적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 집성재를 비롯한 목제품 도장용 컨베이어의 종류를 다음과 같이 표준화하였다. 다만 적정 컨베이어 설비의 선정 및 적정규모 결정에 관한 기술적 검토는 생산량, 단위도장작업 표준시간, 작업자수, 평균 작업시간, 도료종류 등 공장마다 도장관련 제반여건에 맞도록 자체적인 엔지니어링을 거친 후 이루어져야 할 것이다.

- 가) Overhead conveyor : 의자부품 등 소형 피도물에 적합
- 나) Pallet conveyor : "CLOSEPAC" 시스템을 적용, 공간절약 도모

다) Slat bed conveyor : 건조공정에 주로 설계됨.

라) Power and free type conveyor : 임의 운전조절 가능.

3) 집성제품용 건조설비

일반적으로 피도물의 건조설비라 함은 온도 및 공기속도조절이 가능한 열풍기를 장착한 대류형 열기건조 오븐(convection type drying oven)을 일컫는다.

다만 판상의 집성제품인 경우, 즉 이른바 'FLAT line finishing'인 경우는 적외선이나 자외선을 이용한 건조설비를 사용할 경우 그 능률을 극대화할 수 있을 것으로 판단한다.

제3절 收率극대화를 위한 국산재 재단자동화시스템 개발

수입원목에 거의 전적으로 의존하고 있는 국내 목재산업계는 환율에 의한 목재가격의 지속적 상승이라는 위기를 맞고 있다. 따라서 국산재의 이용에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이며, 아울러 국산재 사용상의 이용수율에 대한 검토가 요구되고 있다. 또한 국산재의 이용도를 높일 수 있는 제품의 설계 및 그에 적합한 새로운 공정의 개발도 모색되어야 한다.

모의실험에 의한 생산성 예측은 의사결정시 효과적이고 구체적인 방안을 제시할 수 있다. 모의실험이란 실제 시스템에 관한 모델을 구성하고, 이것을 컴퓨터상에서 실험하기 위한 제반 행위를 의미하며, 모델은 정확한 예측을 위하여 실제 시스템의 특징이 구체적이고 정확히 구현되어야 하므로 다양한 데이터베이스의 구축이 필요하다. 제재목 데이터베이스를 이용할 경우 목재 재단공정에서 원재료가 공정에 투입되기 전에 그 수율을 알 수 있기 때문에 어떠한 수종이 해당 재단공정에 적합할 것인가를 판단할 수 있다. 또한 공정설계시 모의실험을 통하여 최적의 공정모델을 개발할 수 있으므로 해당 공정의 효율을 높일 수 있고 비효율적인 작업을 배제함으로써 실제공정에서 발생할 수 있는 위험요소를 줄일 수 있다.

본 연구에서는 국산 소경재를 대상으로 제재공정 컴퓨터시뮬레이션을 통하여 수율을 예측하는 한편, 국산 소경재 제재목을 이용하여 실제 가구생산에 필요한 집성판상제품을 생산할 경우 예상되는 생산효율을 분석하므로써 국산 소경재의 고부가가치적 이용 가능성을 구명하고자 하였다. 또한, 대표적 국산재인 소나무와 상수리나무를 대상으로 목재 표면결합을 자동 검출할 수 있는 컴퓨터 시각 화상처리시스템을 개발하는 동시에 제재목 database를 개발하여 재단 수율예측과 최적 재단방법 결정을 할 수 있는 재단자동화시스템을 개발하고자 하였다.

1. 소경제의 제제 시물레이션

가. 분석 방법

국내 생산원목 경급별(말구직경) 비율을 보면 제재용재로서의 품등과 경제성을 갖는 30cm이상 중대경제는 침엽수가 3.9%(소나무 4.6%, 낙엽송 1.3%) 및 활엽수가 1.5%(참나무 0.9%)에 불과하다. 이러한 경급별 생산원목 추세는 앞서 언급한 별채정책이 계속될 것으로 보여 제재용재는 상당기간 거의 전량 수입재 의존이 불가피할 것으로 보인다.

우리 나라의 소경제 이용에 관한 관심은 1980년대 중반 이후 산림정책이 조가 산지자원화정책으로 전환하면서 높아졌음에도 불구하고 현재에도 국산재는 대부분 갱목(52%)과 펄프용재(39%)로 사용되고 일반용재로 사용되는 비율은 9%에 불과하다. 그러므로 국산간벌재를 건축용재나 가구용재등 고부가가치 제품으로 활용하지 못하면 우리 나라 간벌사업은 활성화될 가능성이 없는 것으로 예상된다.

소경제의 제제수율을 예측하기 위하여 사용한 제제 시물레이션 프로그램은 미국 임산물연구소에서 개발한 BOF(Best Opening Face) program (version 2.0)으로 본 프로그램의 기본개념은 Hallok등(1971)에 의해 수립된 것이다. 한편, BOF program에 원목의 형상에 관한 자료를 입력하기 위하여 원목분석(Log Analysis Routine version 1.1) 프로그램을 통해 file을 생성하였다.

국산 간벌 소경제의 흉고직경범위는 6-20cm정도로 본 연구에서는 말구 직경 10cm, 12.5cm, 15cm, 17.5cm 및 20cm를 대상으로 원목 재장을 1.8m로 가정하고 제제 시물레이션을 행하였다. 원목의 굵음 정도는 말구직경의 20%를 적용하였다. 말구와 원구간의 직경차이인 taper정도는 2.5cm와 5cm를 각각 적용하였으나 BOF(Best Opening Face) program에서는 taper정도

를 원목 재장 4.8m(16feet)를 기준으로 하고 있어 실제 시뮬레이션에 의해 입력된 재장 4.8m당 말구와 원구간 직경차이는 6.7cm와 13.5cm가 되었다.

BOF program에서는 제재방법으로 live-sawing방법과 cant sawing방법을 제공하고 있으나 현재 국내에서 적용되고 있는 제재방법으로는 live-sawing 방법이 주류를 이루고 있으므로 본 연구에서는 live sawing방법만을 선택하였으며, 기타 제재시뮬레이션을 위한 공정조건은 표 3.1와 같다. 한편, 제재시 원목의 위치선정방법으로 split taper, full taper 및 선택적 방법(both)을 모두 적용하였다. 선택적 방법이란 각 원목별로 split과 full taper방법중 높은 수율을 기대할 수 있는 방법을 선택하여 적용하는 방식이다.

표 3.1. BOF sawing simulation analysis을 위한 조건결정

Item	Setup
Edging method	Full-length
Shortest piece saved	18cm
Saw setting increment	0.079cm
Headsaw sawkerf	0.318cm
Edger sawkerf	0.318cm
Opening face increment	0.003cm
Taper alignment	Split taper, Full-taper, Both

생산하고자 하는 제재목의 두께는 2.5cm, 5cm 및 수율 극대화가 가능한 두 두께(2.5cm와 5cm)의 조합으로 하였으며, 제재목의 폭은 본 연구에서 적용된 소경재의 말구직경 범위를 감안하여 7.5cm, 10cm, 15cm, 20cm를 목표로 하였다. 그러나 생재상태의 제재목은 건조공정을 거치면서 수축할 것이며, 이후 절삭시 톱진동과 마무리 대패가공 등에 의해 다시 손실되므로 모든 공정이 완료된 후 얻어지는 건조목의 두께와 폭은 감소되게 된다. 또한 본 연구에서는 제재목의 등근모 허용수준(wane allowance)을 25%로 하였으므로 이 제재목을 이용하여 집성판을 제작하려면 다시 등근모 부분을 제거해야만 한다. 따라서 등근모 제거후 제재목의 폭은 다시 줄어들게 된다. 표 3.2은 마무리 평삭작업에서 절삭깊이를 0.27cm로 가정하였을 때 제재목의 두께와 폭에 따른 건조재의 규격을 보여주고 있으며, 건조에 의한 접선방향 수축률은 10%로 가정하였다. 그러나 건조결함 발생에 의한 손실은 고려하지 않았다.

표 3.2. 건조 제재목의 목표 규격

Size	Thickness(cm)			Width(cm)		
	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0
Norminal	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0
Dry dressed	2.0	3.8	6.7	8.5	13.3	17.7
Dry dressed after wane removed	2.0	3.8	5.0	6.4	10.0	13.3

나. 소경재의 제재효율

live-sawing 방법에 의한 간벌소경재의 말구직경별 생산 가능한 제재목의 규격과 개수 및 총材積(lumber tally)은 BOF program에 의해 표 3.3와 같이 추정되었다. 한편, 원구와 말구간 직경차이(taper) 2.5cm를 기준으로 할 때 생산하고자 하는 제재목의 두께(제재목 두께에 대한 생산전략)에 따른 제재수율의 변화는 그림 3.1과 같았다. 물론 모든 경우에서 말구와 원구간 직경차이(taper)가 클 수록 제재수율은 당연히 감소되고 있다.

표 3.3. 소경재의 직경별 생산 제재목의 규격

Small end diameter (cm)	Lumber size (cm)		Number of lumbers manufactured according to the lumber thickness strategy			Total lumber tally according to the lumber thickness strategy (x 10 ⁻² m ³)		
	Thickness	Width	2.5cm	5.0cm	Both	2.5cm	5.0cm	Both
10.0	2.5	3	2	0	1	1.18	0.94	1.42
		4	1	0	0			
	5.0	3	0	0	0			
		4	0	1	1			
12.5	2.5	3	2	0	1	1.65	1.89	1.89
		4	2	0	1			
	5.0	3	0	0	0			
		4	0	2	1			
15.0	2.5	3	1	0	0	2.60	3.07	2.83
		4	3	0	1			
		6	1	0	0			
	5.0	3	0	1	0			
		4	0	1	1			
		6	0	1	1			
17.5	2.5	3	2	0	1	3.54	3.78	4.01
		4	0	0	0			
		6	4	0	0			
	5.0	3	0	0	1			
		4	0	1	0			
		6	0	2	1			
20.0	2.5	3	1	0	2	4.72	4.72	5.43
		4	1	0	0			
		6	4	0	0			
		8	1	0	0			
	5.0	3	0	0	0			
		4	0	0	0			
		6	0	2	2			
		8	0	1	2			

말구직경 10cm, 17.5cm 및 20cm의 경우에는 두께 5cm와 2.5cm의 제재목을 조합하여 생산해내는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 그러나 말구직경 12.5cm와 15cm의 소경재는 두께 5cm 제재목만을 생산하는 것이 가장 제재수율을 극대화할 수 있는 것으로 추정되었다. 특히, 말구직경 10cm인 원목을 이용하여 두께 5cm 제재목만을 생산할 경우의 제재수율은 49.7%에 지나지 않아 두께 2.5cm와 5cm를 조합하여 생산할 때의 수율(68.3%)에 비해 18.6% 낮은 것으로 나타났다. 따라서 제재전에 미리 원목의 직경을 정확히 파악하여 용도 또는 목표하는 제재목의 두께에 따라 최고의 제재수율을 얻을 수 있도록 원목을 분류할 필요가 있는 것으로 판단된다.

본 연구의 결과에 따르면 두께 2.5cm 제재목만이 필요한 경우에는 말구직경 17.5cm이상의 원목을 사용하는 것이 바람직하며, 두께 5cm 제재목만이 요구될 때에는 말구직경 15cm정도의 원목을 사용한다면 최고의 수율(77.9%)을 기대할 수 있다. 말구직경 10-20cm범위의 원목에서 최고의 수율은 말구직경 20cm인 원목을 이용하여 두께 2.5cm와 5cm 제재목을 함께 생산할 때 추정되는 80.8%이었다. 그러나 두께 2.5cm 제재목만을 생산한다고 가정하였을 때 말구직경 20cm의 제재수율은 68.5%로 동일조건에서 말구직경 50cm인 중대경재 수준인 원목의 제재수율 76.9%과는 8.4%의 차이가 있었다.

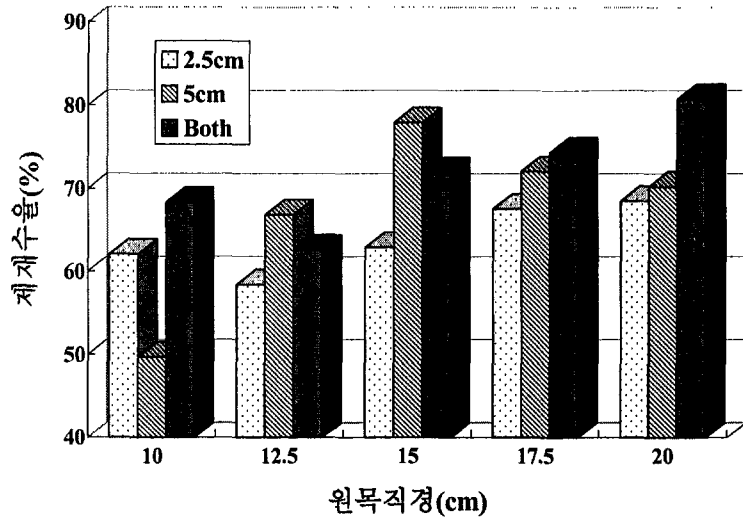


그림 3.1. 원목직경별 제재수율.

본 연구의 결과를 종합해보면 우선 안정적 공급이 보장된다면 국산 소경재를 이용한 고부가가치의 목제품 생산의 가능성이 충분하다고 할 수 있다. 그러나 직경이 작을 수록 수율이 저하될 뿐만 아니라 재료생산에 소요되는 시간이 증가하므로 가공전 원목을 용도별로 분류하는 작업이 반드시 필요하며, 원목분류작업은 본 연구에서 이용한 분석방법에 의한 결과를 토대로 이루어져야 할 것이다. 또한, 한 공장에서 완벽한 공정자동화를 이루고 여러 가지 품목을 동시에 생산하는 다품종소량생산체제를 구축한다면 공정효율을 개선할 수 있을 것이다. 그리고 각 품목에 사용되는 부품들의 규격을 표준화하여 동일 규격의 부품들을 사용할 수 있도록 설계한다면 수율의 대폭적인 향상도 기대할 수 있다.

2. 컴퓨터 시각에 의한 목재 표면결함 자동검출시스템 개발

대표적인 노동집약적 산업으로 인식되고 있는 목재산업에서 생산성과 품질 향상을 위해서는 공정의 자동화가 절실히 요구되고 있다. 목재의 형상과 함께 표면에 포함되어 있는 웅이와 같은 결함들을 자동으로 인식할 수 있는 기술의 개발은 목재가공공정의 보다 완벽한 자동화를 위한 중요한 발판이 될 수 있다.

목제품의 품질에 영향을 주는 인자로는 재료적 측면에서 강도와 함수율 등을 들 수 있으며, 외관적 측면에서는 표면상의 결함과 재색, 그리고 목리 등을 들 수 있다. 목재의 강도는 인위적으로 조절하기 어려운 인자이지만 목재 표면의 결함은 재단공정을 통하여 인위적으로 제거가 가능하므로 지금까지는 숙련된 작업자가 육안에 의하여 결함을 인식, 목제품의 품질을 관리하여왔으나 작업자의 정신 및 신체적 상태에 따라 의사결정기준이 변화하는 등 제품 품질과 재단 수율 안정화에 대한 문제가 지적되고 있다. 그러므로 전술한 바와 같이 목재가공공정의 자동화는 필연적인 사항으로 결함인식과정의 자동화 역시 절실히 요구되고 있다.

목재 표면에 존재하는 결함으로는 수피, 웅이, 둥근 모 등과 같은 구조적 결함과 부후균이나 곤충의 침해에 의한 생물학적 결함, 그리고 절삭과 건조과정에서 발생될 수 있는 가공결함 등으로 나눌 수 있다. 특히, 웅이는 가장 일반적인 결함으로 목제품의 품질에 영향을 주는 바가 크다. 한편, 각 결함들은 각각 고유한 화소값(계조값: gray level value)과 크기 및 형태를 지니고 있으므로 작업자의 시각을 대체할 수 있는 화상처리기술을 개발한다면 결함인식과정의 자동화가 가능할 것이다.

국내에서는 다양한 산업분야에서 화상처리기술의 도입에 매우 적극적인 시도가 이루어지고 있는 반면 목재산업분야에서는 화상처리기술 도입에 대한 긍정적인 인식 부족으로 인하여 관련 기술의 축적이 매우 부족한 실정이

므로, 본 연구에서는 화상처리시스템의 현장 적용성 개선을 위한 연구로 국산 소나무와 상수리나무 및 서어나무를 대상으로 목재가공공정에서 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재를 가상하여 옹이, 할털, 수피, 입피 등과 같은 주요 결함들의 형태와 크기 및 위치를 인식할 수 있는 화상처리기술을 개발하고자 하였다. 목재표면에 존재하는 주요 결함들의 인식을 위하여 결함으로 인식된 각 영역의 면적과 평균 화소값, 그리고 가로 및 세로 길이 비율 등 모두 8가지의 특성을 추출, 결함인식의 기준으로 사용하였으며 수종별로 가장 효과적인 기준 적용절차를 밝히므로써 결함 인식의 오차를 줄이는 한편, 처리대상 수종에 대한 유연성을 확보하고자 하였다. 또한 컨베이어 위를 이동하고 있는 목재의 규격이나 표면상태에 관련된 모든 자료들이 database의 형태로 작성되도록 하여 이후 실제 산업현장에 대한 적용 가능성을 타진하고자 하였다.

가. 화상처리 획득용 공시시편

제재목 형상과 표면결함 인식 알고리즘 개발을 위하여 길이 130cm의 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.) 및 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume)를 두께 2cm로 제재, 건조한 후 보다 양질의 화상을 얻기 위하여 양쪽 평면을 평삭하여 공시시편으로 준비하였다.

나. 화상처리시스템

1) 조명과 CCD 카메라

640x480 화상에서 시편의 전체 폭을 화상으로 충분히 획득할 수 있도록 카메라와 조명을 높게 설치하여야 하였다. CCD 카메라는 시편으로부터 80cm 높이에 설치하였으며, CCD 카메라로부터 상부 20cm에 조명을 설치하였다.

2) 화상처리보드와 화상처리 프로그램 개발

CCD 카메라로 입력된 아날로그 영상신호를 디지털 영상신호로 변환하여 컴퓨터가 인식할 수 있도록 처리해주는 화상처리보드로 미국 Media Cybernetics사의 Imascan board를 사용하였다. 처리가능한 화상의 크기는 640x480으로 256계조등급의 화상을 처리할 수 있다.

화상처리용 프로그램 개발을 위하여 사용한 프로그램은 Delphi 3.0 Windows 버전으로 사건 중심적인 객체지향형 언어이며, 제공된 통합개발환경(IDE: Integrated Development Environment)은 개발자가 프로그램 인터페이스를 시각적으로 만들고 지원 코드들을 자동적으로 만들 수 있으며 처리 속도 면에서도 빠르기 때문에 화상처리용 시스템 개발에 적합하였다.

3) 화상처리시스템

화상을 한 번에 입력받기 어려운 긴 시편은 화상을 분할, 입력해야 하므로 본 연구에서는 3회 분할하여 화상을 획득하였다. 화상을 분할하여 입력받기 위해서는 시편이 좌우로 움직이지 않고 고정된 상태에서 길이방향으로 이동되어야 한다. 따라서 컨베이어와 같은 기능을 하도록 그림 3.2와 같이 레일 위에 이동대를 설치하고, 이동대 위에 시편이 흔들리지 않도록 적재하여 이동시켰으며 분할되어진 화상들을 정확하게 조합하기 위해 이동대에 시편의 길이방향에 직각이 되도록 40cm 간격으로 폭 1cm의 백색 띠를 붙였다.

640x480의 화상에서 시편의 길이방향이 화상의 x축이 되도록 하여 화상을 획득하였다. 본 연구에서 이용된 화상의 1화소의 크기는 0.763mmx0.763mm 이었다. 따라서 화상의 실제 크기는 약 48.8cmx36.6cm이고 화상에서는 40cm 간격의 백색 띠는 2개가 존재하게 된다.

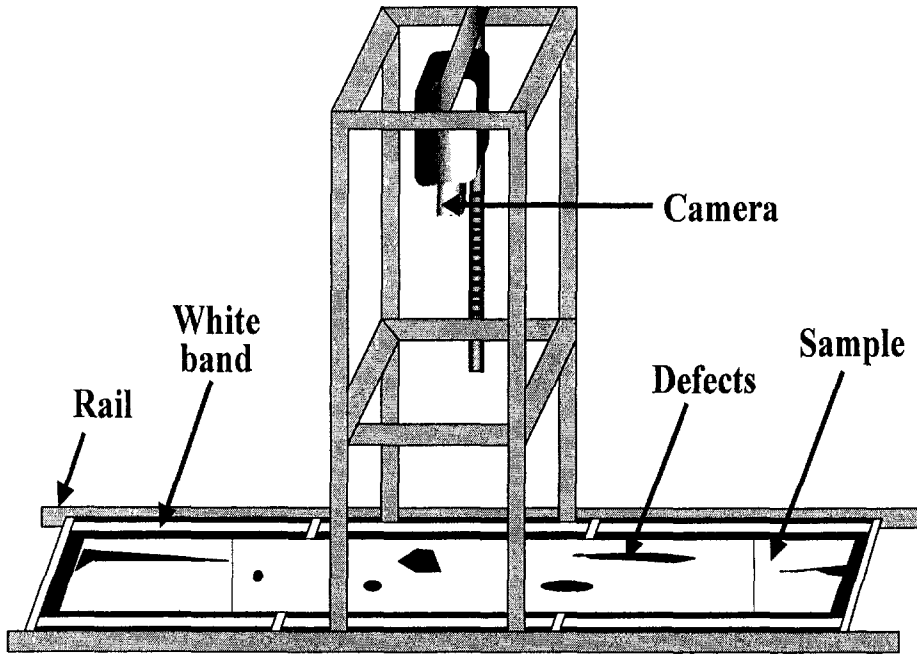


그림 3.2. 목재 표면결함 인식용 화상획득시스템.

다. 제재목 형상과 표면결함 인식 알고리즘 개발

1) 결함인식 알고리즘

화상처리 알고리즘을 통하여 검출된 각 영역들은 그 특성에 따라 결함의 종류가 인식되어야 한다. 그러므로 우선 효율적인 결함 인식을 위한 대표적인 특성들이 결정되어야 하며, 본 연구에서는 그림 3.3과 같은 8가지

특성을 각 영역으로부터 추출하여 그림 3.4와 같은 결합인식 과정에 적용하였다. 한편 본 연구의 궁극적인 목적은 화상처리시스템의 실제 목재산업 현장에의 적용에 두고 있고, 대부분의 목재 재단공정이 직선적으로 이루어지고 있으므로 매우 다양한 모양을 지니고 있는 결합 자체만의 면적이나 위치보다는 그 결합을 둘러싸고 있는 최소 면적의 직사각형을 구성하도록 하여 그 면적과 좌상 및 우하단의 좌표를 자료화하고자 하였다.

각 특성들을 전체 시편들에서 결합으로 인식된 모든 영역으로부터 추출하여 database를 작성한 후 각 특성의 결합 인식에 대한 효과를 조사하였다. 한편 국산 소나무는 건조과정에서 별다른 할렬이 발생하지 않았으므로 단지 표면에 존재하는 용이의 검출에 초점을 맞추었으나 상수리나무의 경우에는 건조중 비교적 심한 할렬이 발생하여 용이와 할렬을 동시에 검출하고자 하였다. 그러나 서어나무에서는 표면에 존재하는 용이의 재색이 매우 밝아 무결점재면(clear wood)과 전혀 구분이 되지 않은 반면, 入皮(bark pocket)가 재면 위에 많이 포함되어 있어 입피의 인식에 집중하였다.

우선 검출 대상 결합 영역으로부터 얻어진 각 특성의 범위를 조사한 후 실제 화상에 적용, 결합으로 인식된 영역의 수와 실제 결합 수를 비교함으로써 각 특성의 결합 인식효과(오인률)를 결정하였다. 그리고 결합 인식효과가 검증된 각 특성들 중에서 효과가 우수한 것들을 선택, 조합하여 다시 화상에 적용함으로써 결합 인식 정확도의 향상효과 및 실제 인식 정확도를 판별하였다.

즉, 화상처리프로그램에서 생성된 각 라벨에 대한 위치정보와 8가지 정보를 기반으로 각 수종별 결합의 특징을 추출하여 제한 조건을 마련하였고, 제한 조건을 이용한 필터링을 실시함으로써 실제 결합으로 인정된 라벨과 결합으로 허용되지 않는 라벨을 구분하였다.

NoPix = Number of Pixels

GraLevel = Average Gray Level

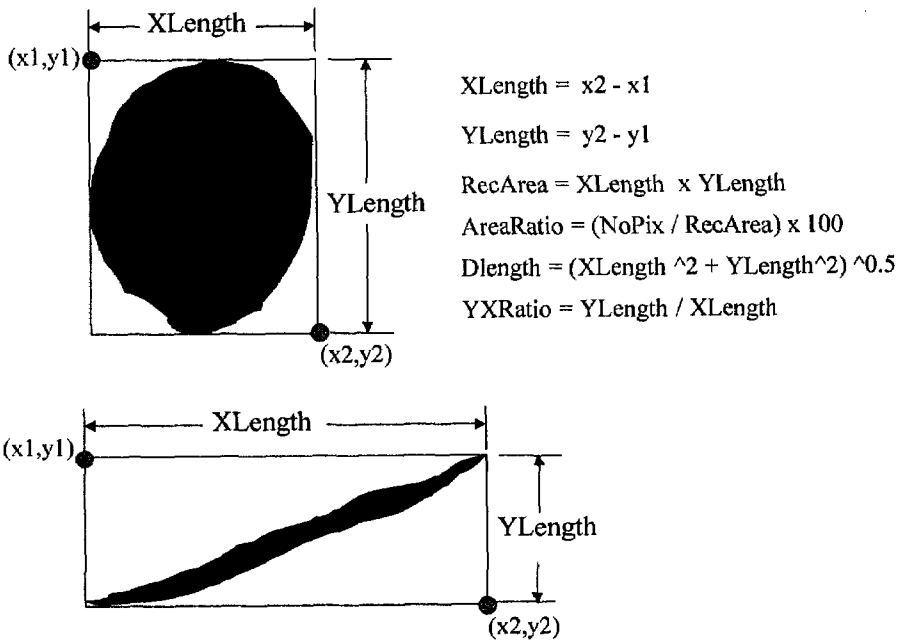


그림 3.3. 목재 표면결함 인식을 위한 label 특성의 정의.

2) 제재목 관련 정보의 database화

database에 저장되는 자료는 라벨, 위치정보와 8개 특성의 자료로 화상 처리프로그램에서 생성된 자료를 database화하였다. 이러한 제재목에 대한 수종별 database화의 장점은 수종별 자료 축적이 가능하고 결합 인식율을 높일 수 있도록 알고리즘을 개선해 나갈 수 있는 자료를 축적하여 최적의 결합검색조건을 구축하고자 하였다. 또한 결합 인식율이 높아졌을 때, 실제 재단공정에 투입하여 자동재단을 유도할 수 있으며, 이미 구축된 database를 기반으로 하여 재단공정에 목재가 투입되기 전에 가상 모의실험을 실시한다면 재단수율을 예측 할 수도 있을 것으로 기대된다.

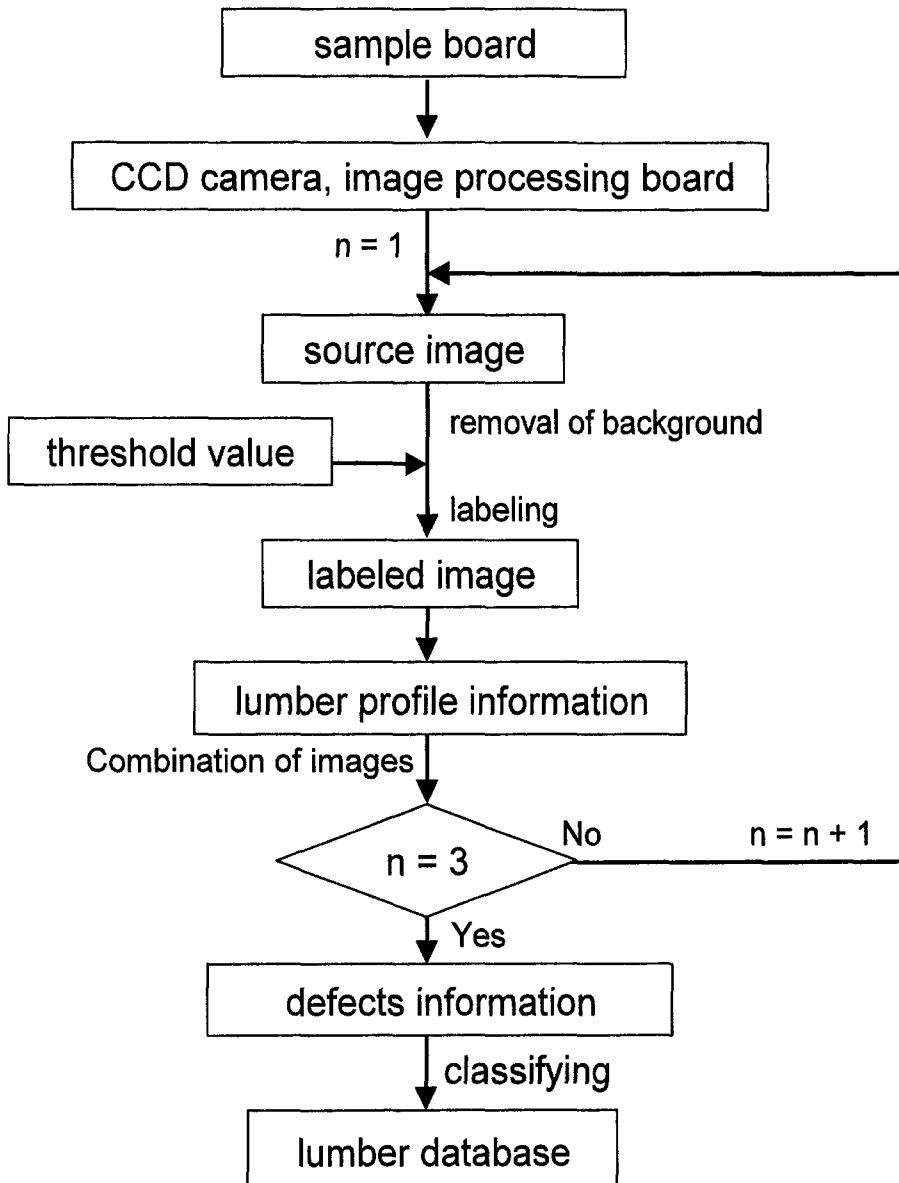


그림 3.4. 목재 표면결함 인식과 database 생성을 위한 화상처리 algorithm 순서도.

라. 제재목 형상과 표면결함 인식 알고리즘의 효과

1) 라벨 특성을 이용한 결함 인식 정확도

표 3.4는 육안을 통하여 주검색 대상 결함들로 인식된 각 라벨들의 8가지 특성의 범위를 보여주고 있다. 일 예로 소나무의 경우 대상 화상에서 추출된 라벨 438개중에서 35개가 육안에 의해 옹이로 인식되었다. 그리고 옹이로 판정된 라벨의 면적이 148~5450화소이므로 NoPix를 인식 알고리즘에 적용할 경우 일단 NoPix가 148~5450의 범위에 있는 라벨은 옹이로 간주되게 된다.

전술한 방법으로 각 특성별로 주 검색 대상 결함 인식을 시행한 결과 수종별 판정 오류율은 표 3.8와 같았다. 소나무의 경우 결함으로 인식된 라벨의 면적(NoPix)과 각 라벨을 둘러싼 사각형의 면적(RecArea) 및 사각형의 송재에 수직방향 길이(YLength)의 판정 오류율은 6%미만으로 3가지의 특성이 소나무 표면에 존재하는 옹이의 인식에 매우 우수함을 알 수 있었다. 또한 상수리나무의 경우에도 소나무와 마찬가지로 NoPix, RecArea, YLength가 비교적 우수한 옹이 인식능력을 보여주고 있다. 그러나 상수리나무 할렐과 서어나무 입피에 대해서는 모든 특성에서 비교적 인식능력이 불량한 것으로 나타났다.

표 3.4. 국산 소나무, 상수리나무, 서어나무의 주검색 대상 결함 인식을 위한 label 특성치 범위

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acuttisima</i>		<i>Carpinus laxiflora</i>
Main defects	Knot	Knot	Check	Bark pocket
Total number of defects	438	465	465	317
Number of main defects	35	35	43	32
NoPix	148-5450	24-1217	10-1023	10-12895
RecArea	330-26508	35-3224	12-6909	12-24624
AreaRatio(%)	8-62	28-80	9-90	22-90
GraLevel	101-160	83-152	66-156	80-177
XLength	24-402	5-81	4-328	3-320
YLength	9-187	4-61	1-29	2-107
DLength	32.56-405.35	7.07-81.10	5.00-329.00	3.61-325.21
YXRatio	0.10-1.41	0.049-342.86	2.1-75.00	0.07-2.50

2) 라벨 특성의 결합

주 검색 대상 결함 인식의 정확도를 높이기 위해서 복수의 라벨 특성들을 순차적으로 적용하였다. 이때 라벨 특성의 적용 순서는 표 3.5의 결과를 바탕으로 다음의 두 가지 방법으로 시도하였다. 첫 번째 방법은 가장 판정 오류율이 낮은 특성부터 순차적으로 적용하는 것이며, 두 번째 방법은 우선 가장 낮은 오류율을 기록한 특성을 적용한 이후 나머지 7가지 특성을 모두 적용하여 그중 가장 낮은 오류율을 보이는 특성을 선정하며, 이와 같은 방

법으로 그 다음의 적용순서를 결정하는 것이다. 두 가지 방법을 모든 수종과 결함에 적용해본 결과 소나무 옹이와 상수리나무 옹이, 그리고 서어나무 입피에서는 첫 번째 방법이 우수하였으나 상수리나무 할렬에서는 오히려 두 번째 방법이 우수하였으며, 각 수종과 주 검색 대상 결함의 종류에 따른 라벨 특성 적용순서는 표 3.6과 같다.

표 3.5. 국산 소나무, 상수리나무, 서어나무의 적용 label 특성에 따른 주 검색대상 결함 인식 오류율

(unit : %)

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acuttissima</i>		<i>Carpinus laxiflora</i>
Main defects	Knot	Knot	Check	Bark
NoPix	5.71	20.75	53.48	87.18
RecArea	5.21	21.57	54.47	86.45
AreaRatio(%)	31.02	52.61	60.93	72.89
GraLevel	10.17	43.95	60.6	60.81
XLength	17.62	42.32	57.62	84.25
YLength	3.23	19.28	60.43	84.98
DLength	14.89	36.93	54.47	98.9
YXRatio	57.82	68.63	52.81	74.73

표 3.8. 국산 소나무, 상수리나무, 서어나무의 결함 인식 정확도 향상을 위한 적용 label 특성의 조합

Species	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acuttisima</i>		<i>Carpinus laxiflora</i>
Target defects	Knot	Knot	Check	Bark pocket
Stage 1	YLength	YLength	YXRatio	GraLevel
Stage 2	RecArea	NoPix	YLength	YLength
Stage 3	NoPix	RecArea	XLength	XLength
Stage 4	GraLevel	DLength	GraLevel	AreaRatio
Stage 5	-	XLength	NoPix	NoPix
Stage 6	-	GraLevel	AreaRatio	-
Stage 7	-	AreaRatio	-	-

전술한 방법을 적용한 결과는 표 3.8과 같았으며, 소나무 용이와 상수리나무 용이의 판정 오류율은 1%미만으로 매우 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은 소나무와 상수리나무의 용이가 다른 결함들에 비하여 매우 특징적인 라벨 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 보다 충분한 시편을 확보하여 많은 양의 자료를 축적한다면 해당 수종과 결함에 한하여 목재산업현장에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 상수리나무 할렬의 경우에도 약 12%의 판정 오류율을 보여주고 있어 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 서어나무 입피의 경우에는 32%이상의 높은 오류율을 나타내어 새로운 인식방법이 요구되었다. 이처럼 높은 오류율의 주원인으로는 서어나무 표면에 존재하는 입피의 크기가 매우 다양하다는 사실에서 기인한 것으로 판단된다. 따라서, 오류율을 낮추기 위해서 본 연구에서는 서어나무의 각 라벨을 표 3.7에 나타낸 바와 같이 결함을 둘러싼 최소 직사각형면적(RecArea)에 따라 2000화소 이상과 100화소 미만 및 그 중간 범위로 나누어 검색을 실시하도록 하였다. 그 결과 표 3.8의 결과에서 볼 수 있듯이 오류율을 10%수준으로 낮출 수 있었다. 따라서 결함 인식의 정확도를 높이기 위해서는 검색 대상 수종과 결함에 따른 특징을 정확하고 세밀하게 파악하는 것이 필수적인 것으로 사료된다.

표 3.7. 국산 서어나무 입피 인식을 위한 단계적 label 특성 조합 방법

RecArea size	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
>=2000	DLength 73-325.21	-	-	-	-
<2000 >=100	NoPix 117-598	GraLevel 108-239	AreaRatio 22-66	-	-
<100 >=1	YXRatio 0.40-2.25	GraLevel 112-177	XLength 3-12	NoPix 10-43	AreaRatio 49-90

표 3.8. 국산 소나무, 상수리나무, 서어나무의 주검색 대상 결함의 방법별 인식 오류율의 최대, 최소 및 평균

Species	Stepwise	Target defects	Error rates(%)		
			Minimum	Maximum	Average
<i>Pinus densiflora</i>	No	Knot	0.00	1.02	0.99
<i>Quercus acutissima</i>	No	Knot	0.00	3.75	0.93
		Check	0.00	38.95	12.09
<i>Carpinus laxiflora</i>	No	Bark pocket	16.67	60.00	32.86
	Yes	Bark pocket	3.80	25.00	10.71

마. 연구결과의 고찰 및 금후 연구의 방향

화상처리시스템은 고속으로 흘러 들어오는 목재에 대한 화상을 획득하여 화상을 처리하여야 하므로 최대한 처리속도를 향상시켜야 한다. 그러나 처리속도로 인한 결함 검색의 정확도가 떨어지지 않도록 해야 하므로 이러한 관점에서 최대한 정확도를 높이는 동시에 검색속도를 빠르게 할 수 있는 간격의 크기를 파악하는 것이 중요하다.

화상처리시스템의 실제 목재가공공정 적용 가능성을 타진하기 위하여 제재목 형상과 표면결함 인식을 위한 알고리즘을 개발, 그 성능을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ①. 국산 제재목의 표면결함 인식에 관한 연구결과 소나무 표면에 존재

하는 용이의 인식에 용이를 둘러싸고 있는 최소면적 사각형의 송재에 직각 방향 길이(YLength), 사각형면적(RecArea), 용이 자체의 면적(NoPix), 용이의 평균 화소값(GraLevel) 등의 순으로 판정 기준을 적용하여 평균 상수리나무 오인율 0.99%의 매우 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

② 상수리나무 표면에 존재하는 용이의 인식에서도 YLength로부터 AreaRatio까지 7단계의 판정 기준을 적용하여 0.93%의 매우 낮은 오인율을 얻을 수 있었다. 그러나 상수리나무 표면에 발생한 할렬과 서어나무 표면에 존재하는 입피의 오인율은 각각 12.09%와 10.71%로 나타나 인식의 정확성을 향상시킬 수 있는 새로운 알고리즘의 개발이 요구된다고 하겠다.

제재목상에 존재하는 수피, 무결점부위, 부후, 용이, 할렬, 청변, 둥근모 등의 결점들은 각각 고유한 계조값, 크기와 모양을 지니고 있다. 화상처리시스템은 목재의 전체적 규격과 함께 목재 표면에 나타나 있는 각각의 결점들의 위치와 크기를 컴퓨터 상에서 판단하는 것이다. 이러한 화상처리시스템을 이용하지 않고 제재목데이터베이스를 구축하려 한다면 상당한 인력을 투입하여 각각의 제재목을 검척하고, 자료를 입력하는데 엄청난 시간이 소요되어야 한다. 그러나 화상처리를 이용할 경우에는 물류시스템에 투입되는 제재목을 화상처리시스템에 입력받아 데이터베이스를 구축할 수 있으므로 적은 입력으로 단기간에 많은 자료를 축적할 수 있고 균일한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

3. 고효율 다중종질(gang-rip-sawing) 재단 자동화시스템 개발

원재료의 이용효율 극대화를 위해서는 공정에 투입되기 전에 목재의 형상과 특성을 정확히 파악할 수 있는 정보의 획득이 필수적이다. 한편, 효율

극대화를 위한 새로운 공정의 설계나 공정 개선을 위해서는 실제 공정의 설치 이전에 컴퓨터에 의한 모의실험(simulation)을 통해 해당 공정의 효과를 미리 예측할 수 있어야 한다. 이와 같은 모의 실험에는 실제 목재 원재료의 형상과 결함 등에 관한 자료가 필수적이며, 이러한 정보를 체계적으로 정리해 놓은 database가 요구된다.

본 연구에서는 국산재중 활용 가능성이 가장 높은 수종의 하나인 소나무와 상수리나무 소경 원목을 제재, 두께 2.5cm 판재의 database를 개발하였다. 개발된 database는 종질우선(rip-first)공정을 모델링한 ROMI-RIP simulator에 입력하여 재단주문서(cutting bill)의 종류에 따른 재단수율의 변화를 분석, 국산재를 이용한 목제품 생산공정의 효율 극대화를 위한 공정조건을 탐색하고자 하였다.

가. 컴퓨터시뮬레이션을 위한 국산재 database 개발

1) 공시목 준비

국산재에 대한 최초의 제재목 database 개발이므로 본 연구에서는 국산재 중에서 가장 활용도가 높을 것으로 예상되고 있는 소나무(*Pinus densiflora S. et Z.*)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)를 database 개발 대상 수종으로 선택하였다. 한편, 우리 나라의 현 상황에서는 직경 30cm 미만의 중소경재가 주 이용대상이 될 것으로 판단되어 중소경재를 대상으로 하였다.

광주광역시 소재 제재소에서 구입한 직경 25~35cm, 길이 275~285cm 범위의 강원도산 소나무원목 16본과 전남대학교 장성연습림에서 벌채한 직경 15~25cm, 길이 145~155cm 범위의 상수리나무 원목 20본을 활제재법(live-sawing)으로 두께 2.5cm 판재(flitch상태)로 제재하여 공시목을 준비하였다.

2) 결함검색 기준

제재목 표면의 결함검색시 결함의 종류에 따라 표 3.9와 같이 구분하여 부호를 부여하였다. 본 결함기준은 Wiedenbeck등(1994)이 미국산 red oak에 대한 database 개발 당시 사용한 기준으로 현재 미국에서 개발되고 있는 제단 모의실험용 simulator와의 호환이 가능하여 본 연구에서도 이 기준을 사용하였다.

표 3.9. 목재 표면결함과 결함번호

Defect	Defect code
Void	2
Pith	3
Decay	4
Shake	5
Wane/scant wood thickness or both, owing to bark	8
Bark pocket	10
Hole	11
Unsound knot	12
Sound knot	15
Split	24

제재목의 규격 및 결함의 위치와 크기는 (X,Y) 좌표에 의해 표현하였으며, 이때 제재목의 규격으로부터 결함의 위치와 크기에 이르기까지 모든 좌표는 1/4인치를 원단위로 하여 측정하였다. 이것은 현재까지 개발된 거의 모

든 재단 모의실험용 simulator들이 1/4인치 원단위를 기준으로 하고 있기 때문이다.

3) Database 작성 program 개발

본 연구를 위해 개발된 database 작성 프로그램은 Windows 95하에서 동작하는 프로그램으로 사용언어는 Delphi이다. 본 프로그램은 사용자가 입력한 자료의 결과를 바로 보여주므로써 자료의 신뢰성을 높이고, 제재목 양면의 동시 입력이 가능하도록 설계되어 있어 결함의 분포를 한눈에 볼 수 있는 장점이 있다. 또한 기존 입력자료를 읽어들이 검색할 수 있기 때문에 입력된 자료의 가치를 높여준다. 입력항목은 시편의 모양, 등근 모, 기타 결함 등을 표 3.11의 결함번호(defect code)를 적용하여 입력(그림 3.5.a)되고, 이 입력된 자료를 해석(그림 3.5.b)하여 ROMI-RIP simulator에서 인식할 수 있는 코드로 변환, ROMI-RIP simulator를 이용하여 계산한 후 그 결과(그림 3.5.c)를 볼 수 있다.

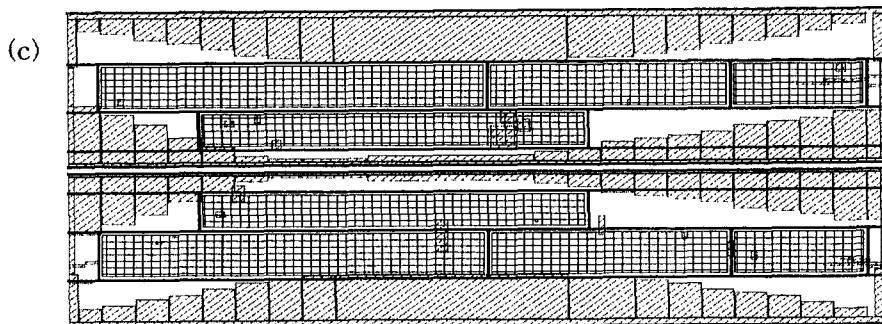
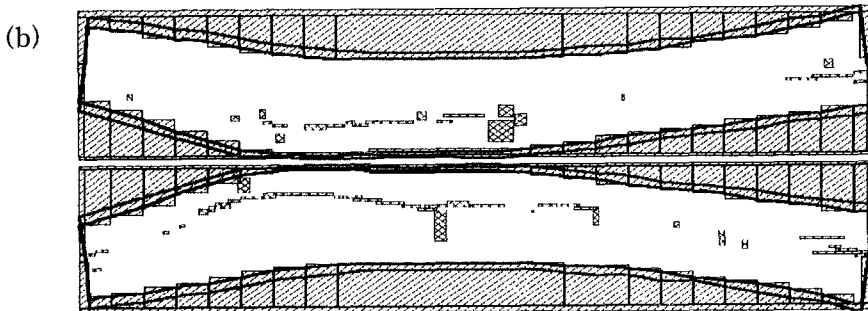
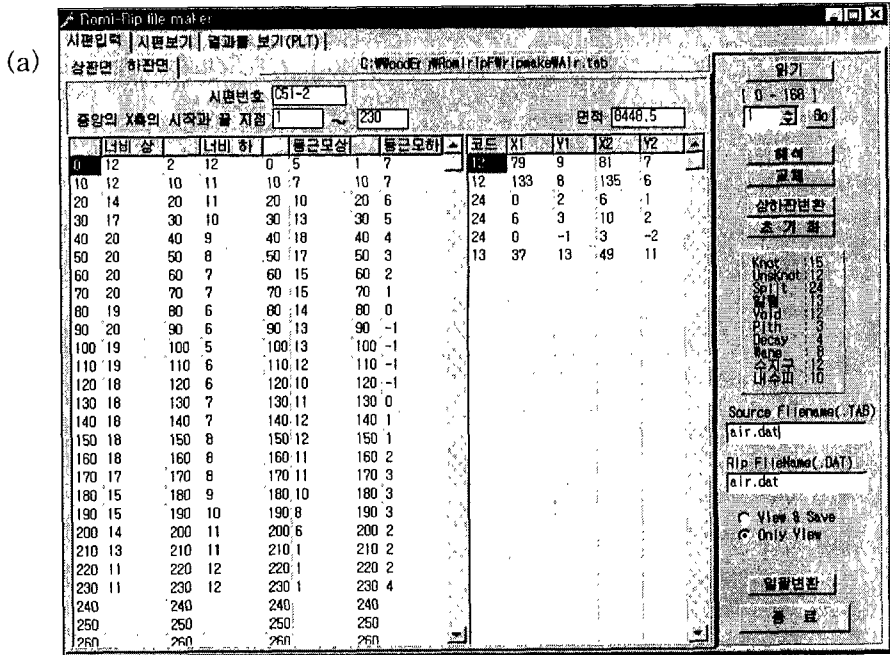


그림 3.5. 목재 database program window와 재단분석의 예.

나. 재단용 컴퓨터시뮬레이션을 통한 효율분석과 재단 자동화시스템 개발

목재재단공정중 매우 효율이 높은 것으로 알려져 있는 多衆縱切 優先 (gang-rip-first)공정을 모델링한 simulator인 ROMI-RIP(ROugh Mill RIP-first)에 본 연구에서 개발한 국산재 제재목 database를 적용하여 각 수종에 대한 재단수율을 예측하였다.

시뮬레이션에 사용된 재단주문서(cutting bill)는 표 3.10과 같으며, 집성판 표준화 연구에 의해 개발된 strip 규격에 따라 구성되었다. 즉, 집성판의 두께에 따라 3가지의 단일 규격을 각각 적용한 재단주문서와 3가지 규격을 모두 통합한 재단주문서 등 모두 4가지 재단주문서를 각 두께와 수종에 대하여 적용하였다.

다중종질공정에 의한 재단 모의실험 결과는 표 3.11 및 그림 3.6 - 그림 3.11과 같았다. 표 3.11은 salvage option에 의하여 구별되며, salvage란 제재목으로부터 원하는 규격의 strip을 재단하고 남는 부분에서 다시 사용 가능한 부분을 얻기 위하여 2차적으로 재단하는 것을 말하며, salvage part의 규격 조건에 따라 random과 primary option으로 나뉜다. random이란 실제 요구하는 strip size가 아닐지라도 미래의 이용을 위하여 다양한 규격의 strip을 생산하는 방식이며, 이에 반하여 primary option이란 salvage part라고 하더라도 실제 원하는 규격의 strip만을 생산해야 하는 방식을 의미한다.

salvage-random option의 경우 평균 수율이 상수리나무 41.06%와 소나무 58.94%로 나타났으며, salvage-primary option의 경우에는 상수리나무 38.08%와 소나무 51.67%로 나타나 random-option에 의한 수율향상 효과가 소나무에서 7%이상으로 높게 나타났다. 그러나 실제 요구되는 규격의 strip을 보다 많이 생산해내는 것이 오히려 전체적인 수율보다 중요할 수 있으므로 이에 대한 검토가 요구된다.

한편, 그림 3.6 - 그림 3.11을 보면 salvage-random option을 제외한 모

든 경우에서 각 strip규격을 종합한 재단주문서에서 높은 수율을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 소나무에서 더욱 현저하게 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 수율향상을 위해서도 여러 가지 다양한 규격의 부재가 종합되어 있는 재단주문서를 개발, 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 따라서 단일 품목만을 생산하기보다는 다양한 제품을 생산해내는 것이 국산재를 이용한 집성사업에 보다 유리할 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에 사용된 재단simulator는 미국에서 개발된 것으로 단위 뿐만 아니라 재단주문서에 있어서도 국내 목재산업계에 적합치 못한 점들이 연구과정에서 도출되었다. 그러므로 우리의 사정에 적합한 새로운 simulator의 개발이 시급한 것으로 사료된다.

표 3.10. 국산재를 이용한 집성판 제조를 위한 재단주문서 (Unit: inch)

Cutting Bills	CB_A		CB_B		CB_C	
	Width	Length	Width	Length	Width	Length
Combined	1.25	14.75	1.25	14.75	1.25	23.75
		22.00		22.00		29.50
	2.50	14.75	2.00	14.75	2.00	23.75
		22.00		22.00		29.50
	-	-	2.50	14.75	-	-
		-		22.00		-
1	2.50	14.75	2.50	22.00	2.00	23.75
2	1.25	22.00	2.00	22.00	2.00	29.50
3	2.50	22.00	1.25	14.75	1.25	23.75

(CB_A: Blank thickness 18mm, CB_B: Blank thickness 24mm
CB_C: Blank thickness 30mm)

표 3.11. 재단주문서에 따른 국산 상수리나무와 소나무의 다중종질
우선 재단 수율

Cutting Bill	Salvage: Primary-Length/Width		Salvage: Primary-length, Random Width	
	<i>Quercus Acutissima</i>	<i>Pinus Densiflora</i>	<i>Quercus Acutissima</i>	<i>Pinus Densiflora</i>
	Yield(%)	Yield(%)	Yield(%)	Yield(%)
CB_A	45.67	64.23	44.31	60.90
CB_A1	45.66	64.09	38.54	54.94
CB_A2	38.40	55.53	37.70	51.09
CB_A3	41.01	58.03	34.67	49.89
CB_B	46.10	64.42	45.33	61.41
CB_B1	41.01	58.03	34.67	49.89
CB_B2	39.89	57.49	36.33	51.07
CB_B3	42.60	61.51	41.75	36.72
CB_C	38.94	26.45	37.90	53.25
CB_C1	40.93	57.26	37.29	51.39
CB_C2	33.33	54.88	29.89	48.35
CB_C3	39.22	55.34	38.60	51.19

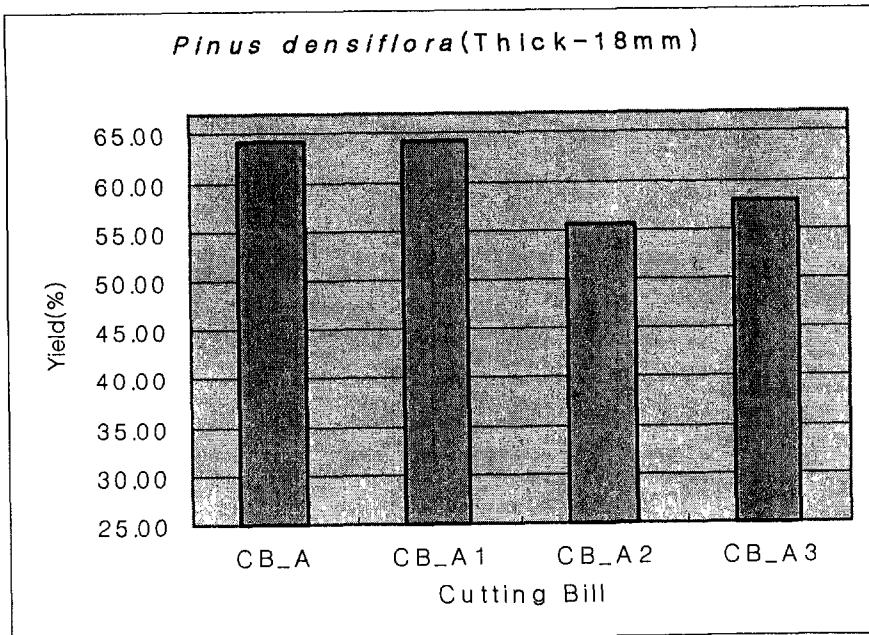
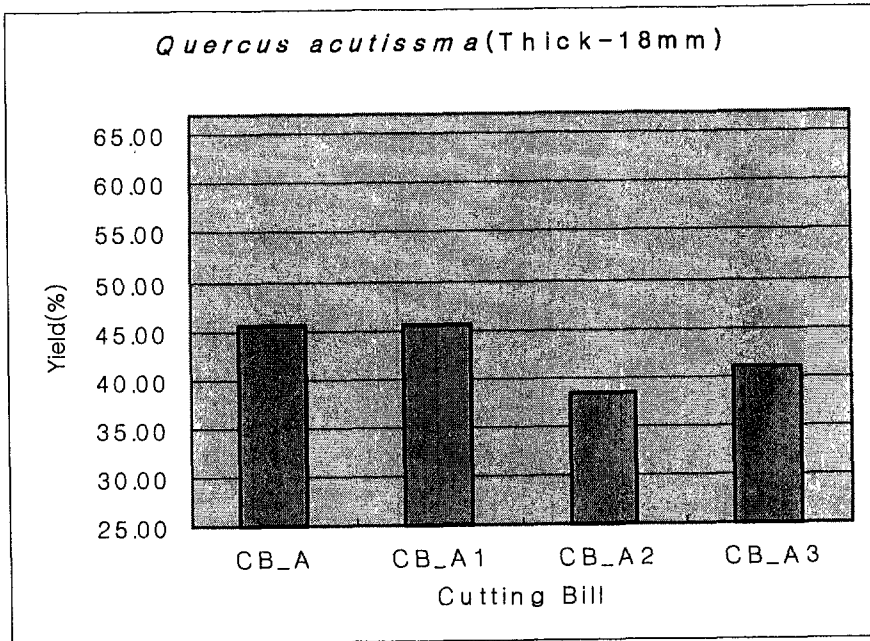


그림 3.6. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 18mm).

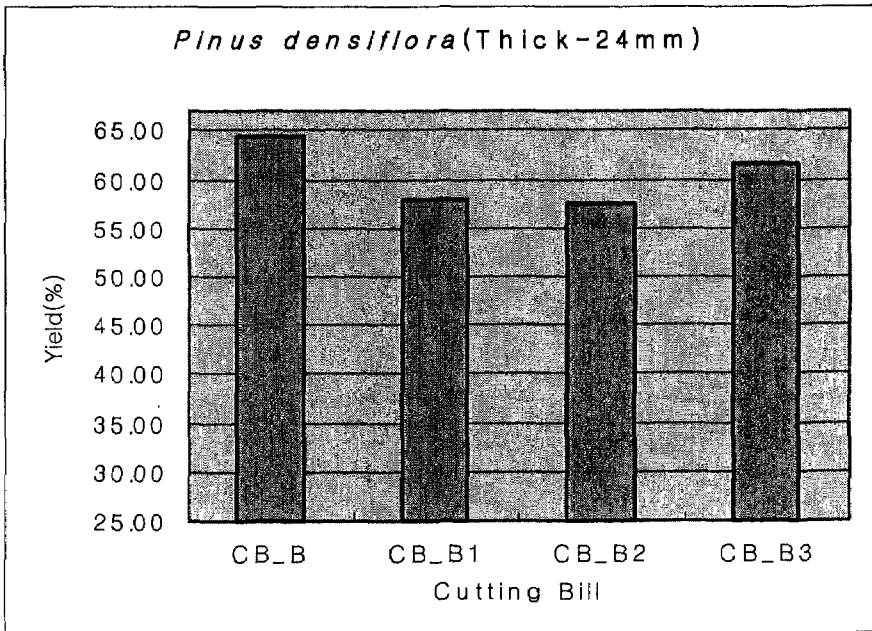
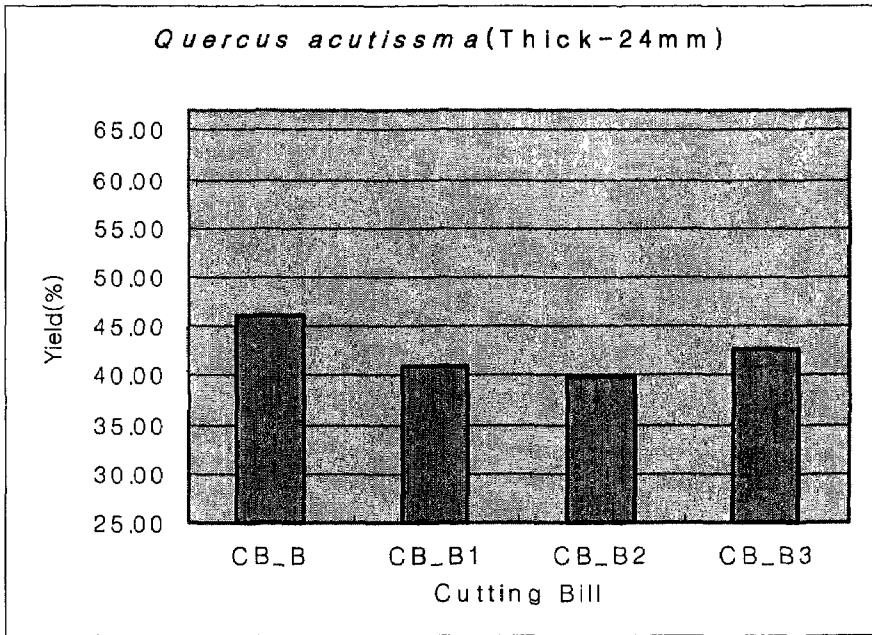


그림 3.7. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 24mm).

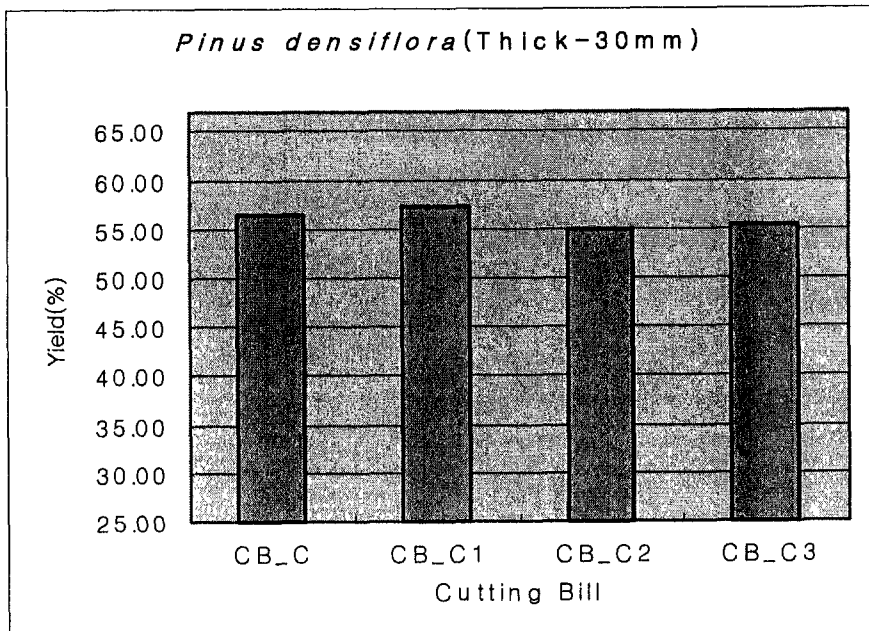
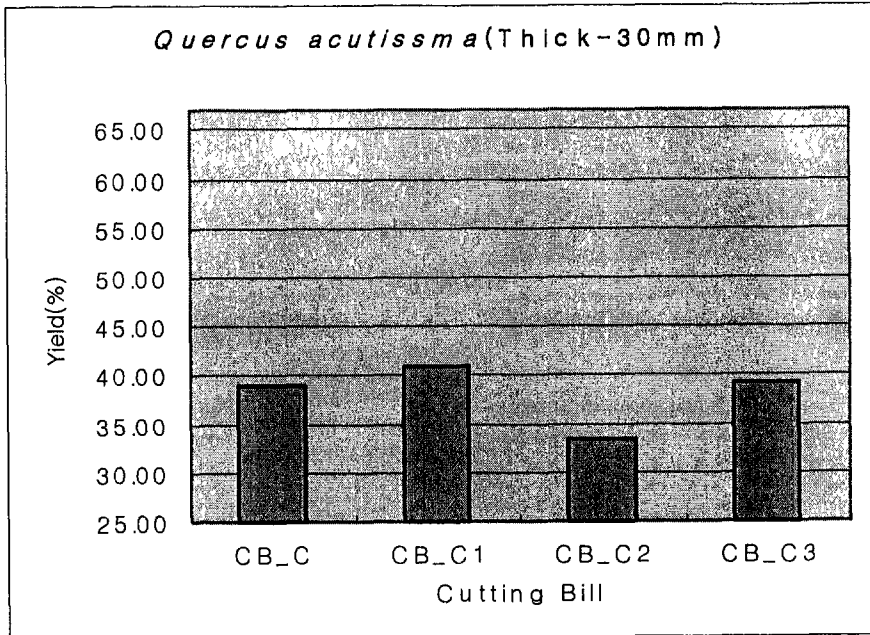


그림 3.8. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 30mm).

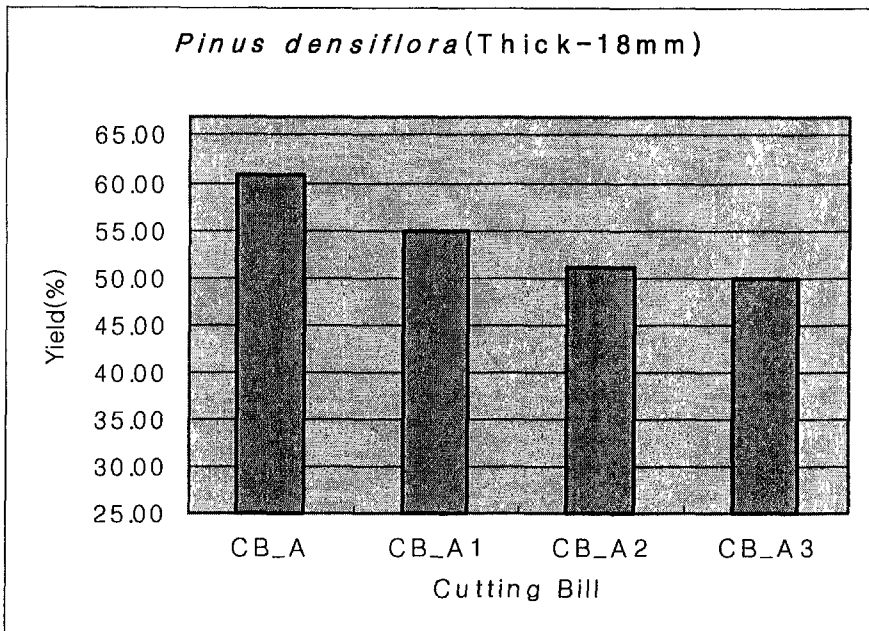
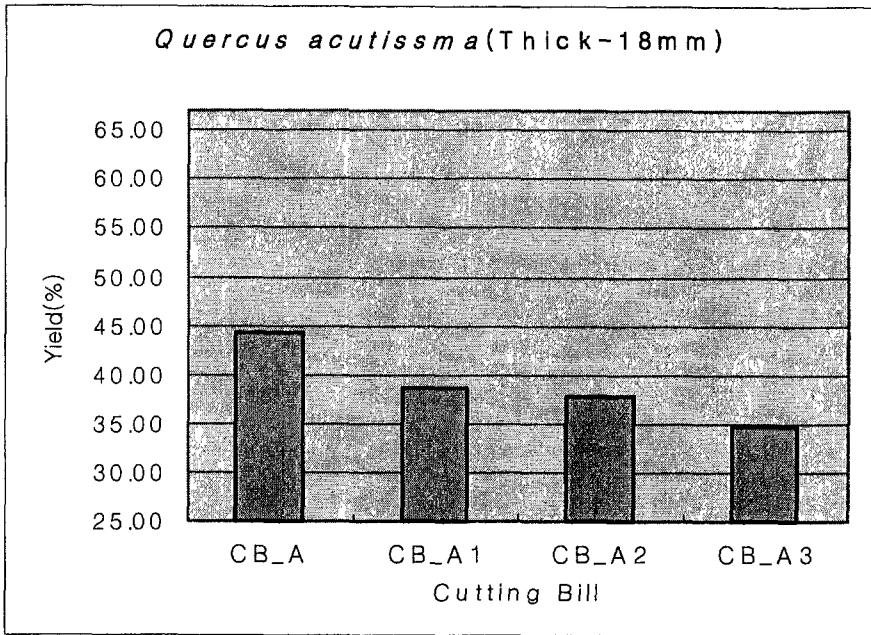


그림 3.9. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 18mm).

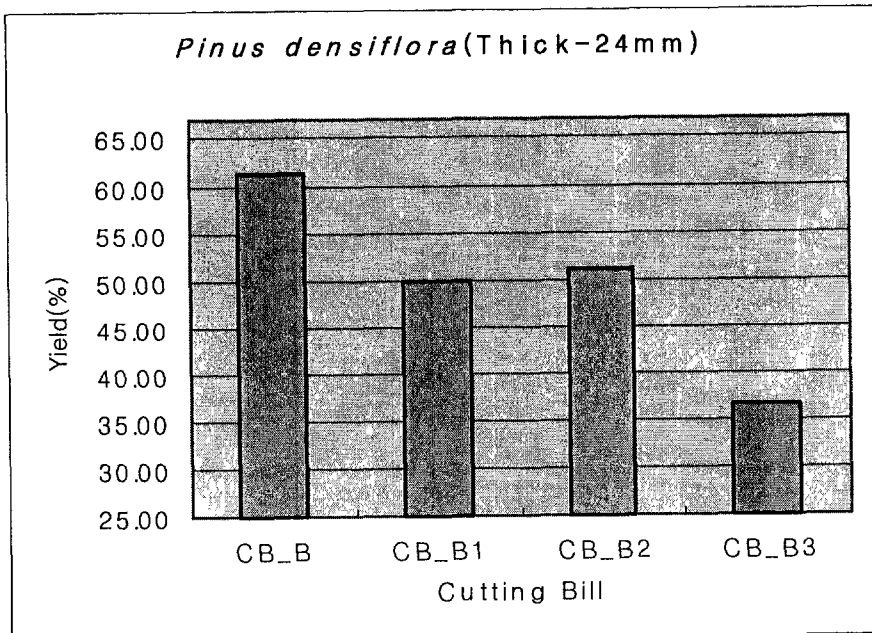
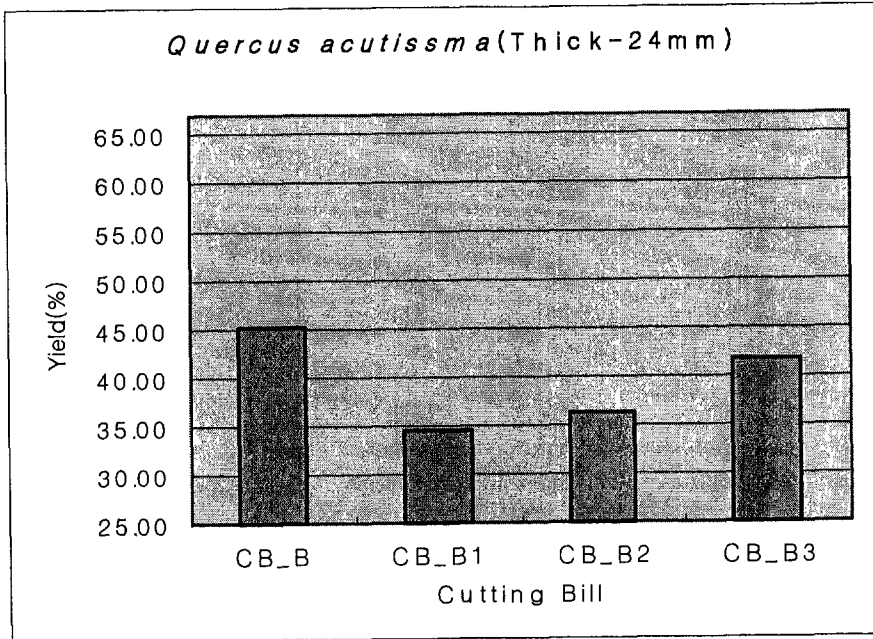


그림 3.10. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 24mm).

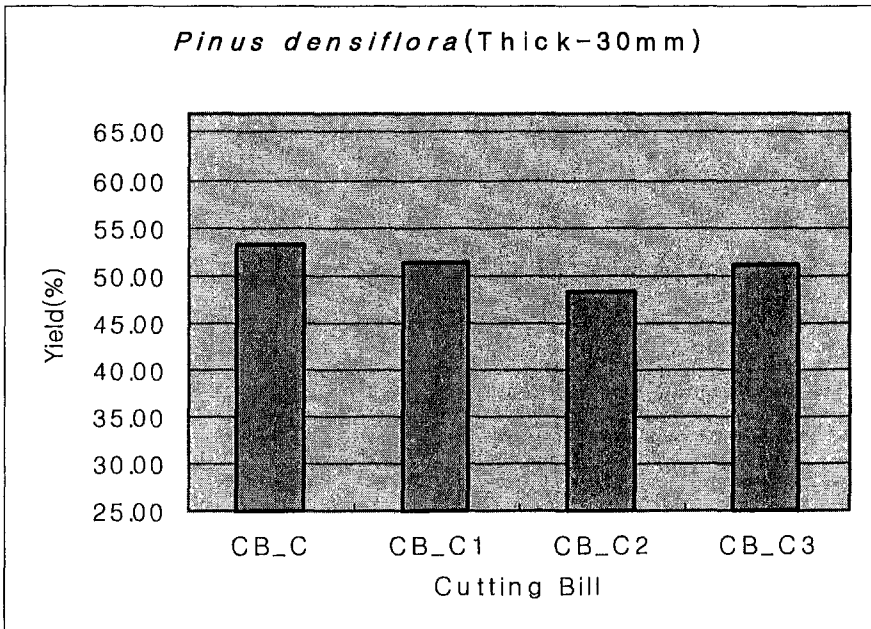
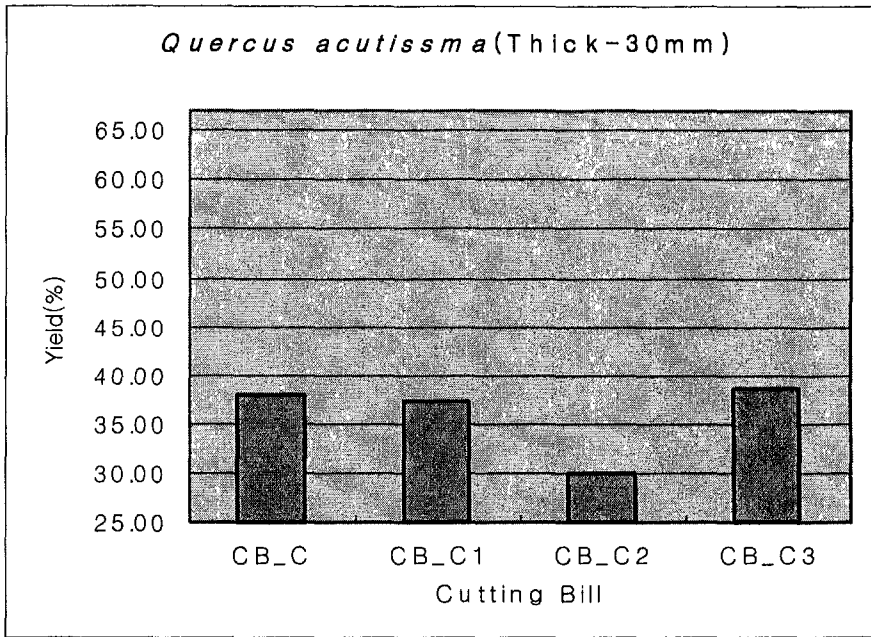


그림 3.11. 국산 상수리나무와 소나무의 다중종절우선 재단 수율의 비교 (salvage-random option, thick - 30mm).

제 4 장 국산재 집성가공산업의 생산공정 자동화 기술 개발분야

제1절 集成製品의 總合품질관리시스템 구축 및 省力化

일반적으로 집성제품은 소재의 단점은 배제하고 장점만을 조합한 특성을 지니고 있다. 즉, 본 연구개발에서 집중적으로 다루고 있는 폭방향 및 길이방향 집성재(집성판)의 경우, 작은 부재(strip 또는 lamina)를 목적하는 폭과 길이를 지니는 판상재를 만들어 감에 있어 용이, 할렬, 불규칙 목리 등을 제거하여 외관품질을 향상시킬 수도 있고 충분히 건조된 부재를 사용함으로써 소재에서 쉽게 발생될 수 있는 변형, 할렬 등의 결점도 제거시킬 수 있는 장점을 지니는 판상재료를 생산해낼 수 있는 장점을 지니는 재료라 할 수 있다.

따라서 국산재를 사용하여 이러한 집성제품을 효율적으로 생산하기 위해서는 재료에소부터 완제품(집성제품)에 이르기까지의 전 공정을 총합적으로 관리해야할 통제기구(control mechanism)를 필요로 하는 바, 이를 집성제품의 총합품질관리시스템으로 규정하고 이를 구축하기 위해 필요한 각 단계별 품질특성을 선정코자 하였다.

폭방향 및 길이방향 집 제품(glued-up panel)에 대한 총합품질관리시스템(total quality control system; TQC system)은 집성제품 자체가 특정 아이템(final products)를 만들기 위한 반제품으로 간주될 수 있으므로 1단계로서 집성제품을 제조하기까지의 과정과 2단계로 제조된 집성제품을 이용하여 응용 아이템을 만드는 과정으로 구분하여 다루는 것이 바람직할 것이다. 집성제품 관련 생산업체에서 TQC system을 구축하고 이를 적용하는 방식은 상기에서 언급한 집성제품을 취급하는 두 가지 방식에 따라 각기 달라져

야할 것이다.

본 연구에서는 ①집성제품(集成板)을 제조하기에 필수적으로 요구되는 원재료를 대상으로 한 원자재에 대한 품질관리를 위한 품질특성(quality characteristics)의 선정으로부터, ② 在工品(in-process materials)으로서의 집성용 부재(strip)에 대한 품질특성의 선정 그리고 ③ 집성제품 완제품의 품질관리를 위한 품질특성을 규정하고 적용하는 연구를 수행함으로써 집성 제품을 다루는 전분야에 걸친 총합적 품질관리체계 구축을 도모하고자 하였다.

1. 원자재에 대한 품질특성 선정

집성제품을 제조하기 위해 필요한 원재료로는 크게 素材목재와 접착제로 구분할 수 있을 것이다.

가. 목재의 품질특성

집성재용 원재료로서 목재는 침엽수로서 삼나무, 편백, 소나무, 전나무, 가문비나무 등과 활엽수로서 참나무류, 너도밤나무, 자작나무, 고로쇠나무 등이 사용되고 있다.

1) 구조용 내력부재

: 해당 목구조 설계기준에 규정된 수종 또는 동등 이상의 허용응력(allowable stress)를 지니는 수종으로서 규격이나 가격 등을 고려할 때 주로 침엽수가 많이 사용되고 있으며 이들 침엽수들은 비내력용재(내장재 등)에도 사용될 수 있다. 구조용 집성재의 원재료로서는 품질 및 치수등이 우

수해야 하며, 품질에는 내구성, 가공성, 강도, 내수성 등이 포함된다.

한편 선박용이나 차량용 집성재 등에는 내마모성이나 내수성 및 내부후성 등의 품질특성이 강한 활엽수종이 많이 사용되기도 한다.

2) 造作用 집성재

: 조작용 집성재의 원재료는 위에서 언급한 품질특성 보다는 제재, 건조, 절삭, 접착 등의 가공특성이 우선적으로 고려되어야 할 품질특성으로 취급되고 있고 특히 제반 품질특성이나 치수가 저급한 경우 素材芯材합판용 (lumber core plywood) 芯材(core)의 원재료로 사용될 수도 있으므로 미이용 국산 집성제품의 용도개발이 유망한 분야이기도 하다.

나. 접착제

목재 못지않게 중요한 집성재용 원재료가 접착제일 것이다. 집성재용 접착제로서 구조용으로는 내수성과 강도특성이 우수한 레조시놀 수지가 조작용으로는 무색투명하고 空隙充填性이 뛰어난 초산비닐이 주로 사용되고 있으나 내수성 보강을 위해 요소수지 접착제를 혼용하기도 한다.

1) 접착력

: 최근들어 고분자 화학기술의 발달로 접착제의 성능은 별 문제가 없는 것으로 조사되고 있으므로, 집성제품의 접착력은 대부분 수종의 특성에 따라 좌우되는 경향이 크다. 다시 말해 집성재의 접착력은 비중의 증가에 따라 직선적으로 상승하게 되므로 사용조건에 따른 적정소재의 선택이 요망된다고 결론지을 수 있다.

2) 습윤성

: 접착제가 일단 부재에 도포되면 피착면을 신속히 적셔주어야 하는 바 이는 접착제와 목재간의 상호작용에 의해 결정될 것이므로 이에 대한 적확한 분석이 필요로 된다.

3) 퇴적시간

: 집성재의 생산량, 집성재 생산설비의 용량 및 작업인원 등을 고려하여 생산현장에 적합한 개방 및 폐쇄퇴적시간을 적절히 적용하여야 양호한 집성품질을 획득할 수 있을 것이다.

4) 경화시간

: 적정 생산성을 유지하면서 도포, 가압, 압체, 해압에 이르기 까지 소정의 공정순서에 따라 원활한 접착경화가 이루어질 수 있도록 충분한 경화시간을 적용하여야 한다.

2. 在工品(in-process materials)에 대한 품질특성 선정

가. 집성부재(strip)의 치수

: 집성부재의 치수는 제품의 종류, 형상, 제조 공정 및 제품의 가격 등에 따라 정하여지기 때문에 적정 치수를 결정하는 데에는 세심한 주의가 필요할 것이다. 집성부재의 두께는 통상 10-50mm 까지 매우 그 범위가 크지만 이 역시 최종제품의 종류 및 집성설비의 종류에 따라 가변적으로 적용해야 할 것이다.

나. 집성부재의 함수율과 목리

: 집성부재의 함수율은 집성재의 접착성능에 결정적인 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 함수율이 높으면 수분이 용제의 확산손실을 방해하여 접착지연을 초래할 수 있고 수분의 다분자층이 목재와 접착제간의 분자간 인력을 약화시킬 수 있으므로 주의해야 한다. 또한 열압의 경우, 수축응력을 야기하여 접착력을 떨어뜨리기도 한다.

다. 집성부재의 절삭품질

: 적절한 집성부재의 절삭을 통해 대패질에 의한 거칠기 조절, ripping 및 cutting에 의한 결점의 제거, 기타 finger jointing을 위한 부재가공 등의 품질특성이 합리적으로 규정되어야 한다.

라. 집성부재의 배열

: 집성부재의 배열은 완제품의 역학적 성능 및 외관품질 등을 고려하여 경제적으로 결정되어야 한다. 즉 역학적 요구에 따라 단면을 설계함으로써 재료의 절약, 중량의 경감 및 제조비용의 절감 등이 고려되어야 하나 구조용 집성재 보다는 집성판을 대상으로한 본 연구의 경우는 외관특성을 주로 고려한 배열 특성을 검토하여야 할 것이다.

마. 집성부재의 접착(gluing-up)

: 집성재 제조용 접착제가 일반적으로 지녀야 할 요건은 ①강한 접착력, ②대량 생산성 및 경제성(가격), ③강한 내수성 및 내구성, ④작업성이 좋고 가사시간이 길 것, ⑤가급적 상온경화형 일 것 등이 우선적으로 고려되어야 할 품질특성이라 할 수 있다.

바. 마무리 가공

: 집성작업이 끝난 후, 집성제품은 약 3일간의 양생기간을 거치게 되는데 이 때, 흔히 집성부재의 두께변화나 접착제의 유출 등으로 표면이 거칠어지게 되므로 대패나 연마기(wide belt sander) 등을 이용하여 규정 두께의 허용오차 범위내에서 표면가공을 해주어야 한다.

3. 완제품에 대한 품질특성 선정

가. 집성제품 완제품의 품질특성

1) 집성판의 강도

: 집성재의 강도는 소재의 결점(웅이, 갈라짐 등)을 제거하여 배치하고 건조도가 높아 일반적으로 소재의 허용응력도에 비해 약 1.5배 정도를 상회하는 것으로 보고되고 있다.

2) 내수성

: 건축재 및 선박재로서의 활용을 위해 소정의 사용조건에서의 내수도 검사를 거쳐 그 내수정도를 규격화하여야 한다.

3) 내열성

: 내열성은 일반적으로 단면이 큰 구조용재의 내화성을 의미하지만 본 연구에서는 국산재의 특성상 집성판을 주아이템으로 설정하였는 바, 집성판의 용도개발을 결정하기 위한 품질특성으로서 내화성보다는 건축재로서의 활용을 전제로 한 내열성(熱流特性; heat flow properties)을 주요항목으로 선정하고 구체적인 적용을 위한 실험을 아래 나항에서 수행하였다.

나. 건축용재로서의 사용을 위한 국산재 소재응용연구

건축 및 실내 장식에 있어서 목재는 수천년 동안 천연 소재의 가장 대표적인 재료로 사용되어 오고 있다. 목재는 인간에게 가장 친화적인 재료로 콘크리트, 대리석 및 벽돌등으로 대체할 수 없는 목재의 우수성, 즉 단열성, 조습기능, 음향적 탄력성, 용이한 가공성 그리고 자연적인 성질을 그대로 보여주는 목리의 특성으로 관심이 계속되고 있다.

현재 선진국에서는 건축물이나 운동시설 등에 목재의 사용이 일반화되어 가고 있으며, 목재의 사용 영역 또한 악기, 가구, 목조주택의 내·외장재, 중공업의 구조물 등으로 확대되어 가고 있다.

특히, 1990년대에 들어서면서 국내에서는 목조주택에 대한 관심과 수요가 증가하고 있으며 목조주택에 이용되는 내장 재료로서의 목재는 고급화되는 경향을 띠고 있고 부재의 수요도 급격히 증가하여 그 가치가 향상되고 있다.

목재를 내장재로 사용하는 목조 주택은 수분과 공기의 전이성을 가지고 있어, 실내에서 고습시에는 외부의 수분은 흡수하고 반대로 저습시에는 목재가 갖고 있는 습기를 실내로 방출하여 쾌적한 상태를 유지할 수 있다. 또한 적정하게 시공된 경량 목구조는 일반적으로 에너지 효율이 매우 뛰어난 것으로 알려지고 있다.

목재의 단열성을 이용하여 외장 마감 전에 벽체에 고품 단열재를 시공하는 방법으로 단열효과를 더욱 높이고 있다. 실제로 같은 평수의 목구조 주택과 일반 주택을 비교할 때 냉·난방비를 30%정도 절약할 수 있다.

이에 본 연구에서는 국내 수종을 대상으로 목재의 열전도 특성을 알아봄으로 현재 원목이용이나, 제재이용 및 연료 이용으로 한정되어있는 국산 수종을 활용하여 국산 건축용 목질 재료의 활성화에 대한 방안을 제시하고자 하였다.

열전도란 목재의 국부에 열이 가해지면 그 부분의 분자의 진동에너지는 증가되고, 인접분자와 충돌하면서 에너지의 일부를 인접분자로 전달하고 인접분자의 에너지 일부는 떨어져 있는 다른 인접분자에 전달되는 열이동현상이다. 때문에 열전도는 목재의 공극에 영향을 받고, 이는 비중과 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 비중별로 수종들을 구분(grouping)하여, 그에 따른 열류량의 특성을 비교 분석하여 보고, 국산재 26 수종 각각의 열류량(heat flow)을 비교해 보고자 하였으며 이를 위하여 계절적 요인에 따른 일상조건과 습한 조건을 주어 열전도에 따른 손실을 최소화할 수 있는 수종을 알아보기로 하였다.

이와같은 시도는 국산재를 이용한 집성제품의 최종제품으로서의 용도 다양화(마루판 및 벽판재 등 건축재료로서의 활용 등)를 위한 기초자료를 마련할 수 있는 계기가 될 것으로 판단한다.

1) 재료 및 방법

가) 공시목 제작 및 시편제작

본 연구에서는 한국산 주요 수종 총 26 수종을 선별 공시목으로 선정하였는 바, 26 수종에 대한 내역은 다음 표 1과 같다.

한편 선정된 26수종의 공시목에 대해 60mm × 110mm × 5mm(WxLxT) 크기의 시편으로 각 수종당 4개씩 제작하였으며 열전도를 측정하기 위해서는 KYOTO ELECTRONICS사의 Heat Flow Meter (Model : HFM -101)을 사용하였고, Sensor의 표면과 닿는 면은 Sandpaper(#100, #200)으로 마무리하여 열류계와의 접촉을 긴밀히 하고자 하였다.

< 표 1> 단일효과 측정을 위한 선별수종

순 번	수종이름	학 명	순 번	수종이름	학 명
1	아카시아나 무	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	14	섬벚나무	<i>Prunus takesimensis</i>
2	굴참나무	<i>Quercus variabilis</i>	15	황철나무	<i>Populus maximowiczii</i>
3	다릅나무	<i>Maackia amurensis</i>	16	오리나무	<i>Alnus japonica Studel</i>
4	느릅나무	<i>Ulmus davidiana var japonica</i>	17	가래나무	<i>Juglans mandshurica</i>
5	음나무	<i>Kalopanax pictum</i>	18	참박달나무	
6	들메나무	<i>Fraxinus mandshurica</i>	19	물박달나무	<i>Betula davurica Pallas</i>
7	고로쇠나무	<i>Acer mono</i>	20	참피나무	
8	밤나무	<i>Castanea crenata Sieb. et Zucc.</i>	21	물피나무	
9	물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	22	홍자작나무	
10	참죽나무	<i>Cedrela sinensis</i>	23	층층나무	<i>Comus controversa</i>
11	갈참나무	<i>Quercus aliena</i>	24	은행나무	<i>Ginkgo biloba L.</i>
12	버드나무	<i>Salix Koreansis Andersson</i>	25	오동나무	<i>Paulownia tomentosa</i>
13	참벚나무	<i>Prunus semulata var</i>	26	낙엽송	<i>Larix leptolepis S. et Z Grodor</i>

나) 함수율 및 비중측정

각 수종 중 일정 크기의 시편을 각각 네 부위를 취하여 전건법에 의해 함수율을 측정하였다. 또한 비중 측정을 위해서는 실린더법을 사용하여 측정했다.

다) 기건상태 시편의 열전도 측정

열판을 80℃로 유지한 후, 시편의 한쪽 면에 sensor를 부착하여 1분 간격으로 10분 동안 각 수종별로 4회 반복하여 열전도율을 측정하였다.

라) 하절기 함수율 18%로의 조습

PVC film과 가습장치를 사용하여 임시로 제작된 humidity chamber를 이용, 기건상태의 열전도 측정에 사용된 시편을 이용, 하절기 실내조건인 함수율 18%에 도달하도록 습도를 조절하였다.

마) 함수율 18%시편의 열전도 측정

기건상태의 열전도 측정방법과 동일한 방법을 사용하였다.

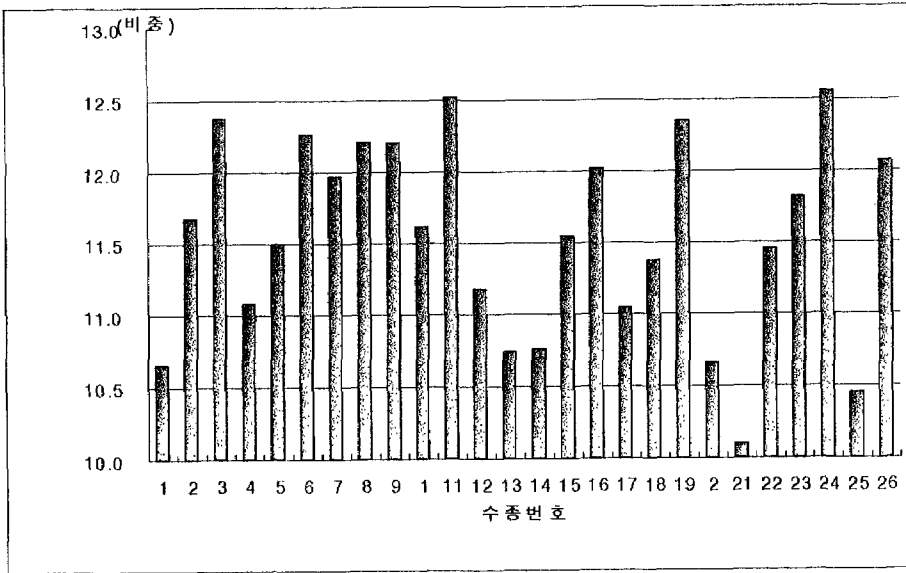
2) 결과 및 고찰

가) 공시재의 함수율 및 비중

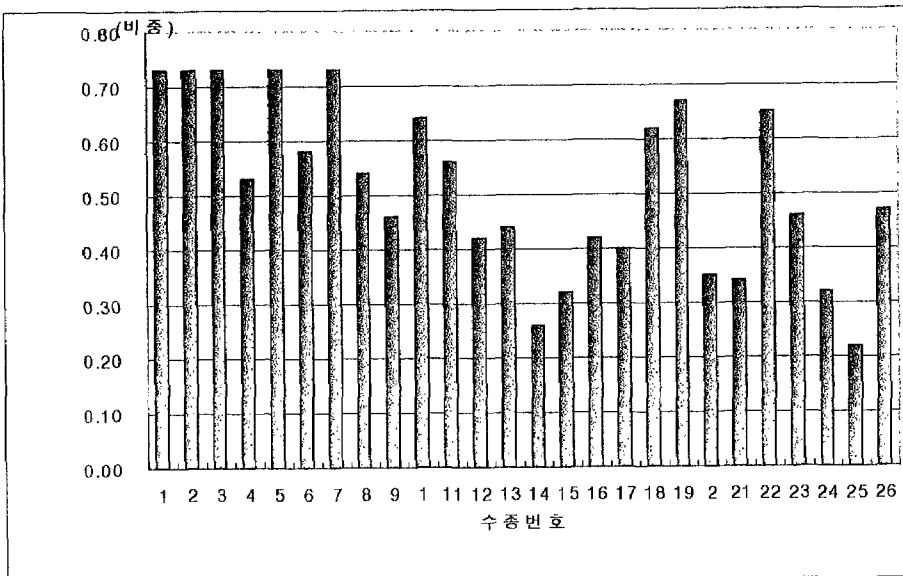
아래 그림 1은 공시재의 함수율을 나타낸 것으로 공시재의 함수율 범위는 10-12.5%에 이르므로 기건함수율에 적합하다고 판단되며 그림 2는 공시재의 비중분포를 나타낸 것으로, 표 2와 같이 비중별 수종을 그룹화 하였다. 본 실험에 사용된 국산수종은 저비중재가 많았으며 특히 오동나무의 비중은 0.22로 매우 낮았다.

<표 2> 비중 분포에 따른 Group별 수종 분류

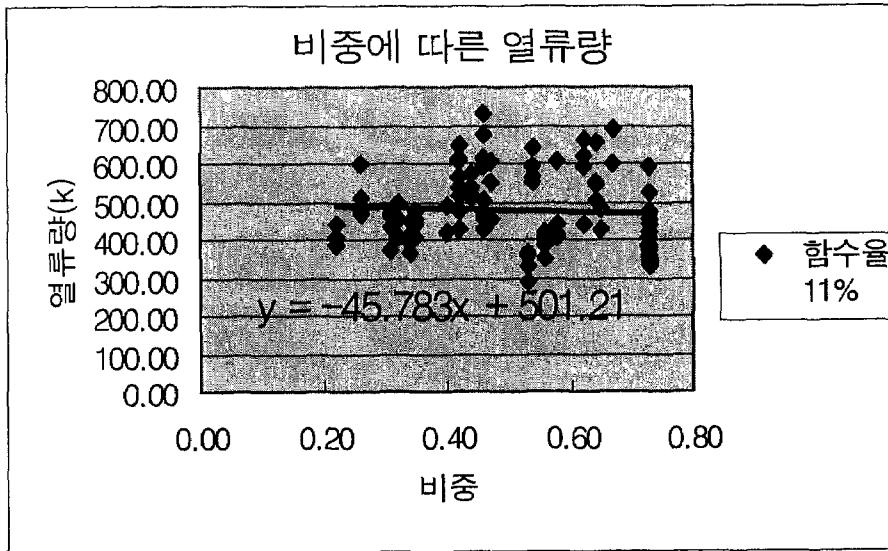
Group I	Group II	Group III
저비중(0.5미만)	중비중(0.5-0.7)	고비중(0.7이상)
물푸레나무, 버드나무, 참벗나무, 섬벗나무, 황철나무, 오리나무, 가래나무, 참피나무, 물피나무, 은행나무, 충충나무, 오동나무, 낙엽송 총 13수종	느릅나무, 들메나무, 밤 나 무, 참죽나무, 갈참나무, 참박달나무, 물박달나무, 홍지작나무 총 8수종	아카시아, 굴참나무, 다릅나무, 음 나 무, 고로쇠나무 총 5수종



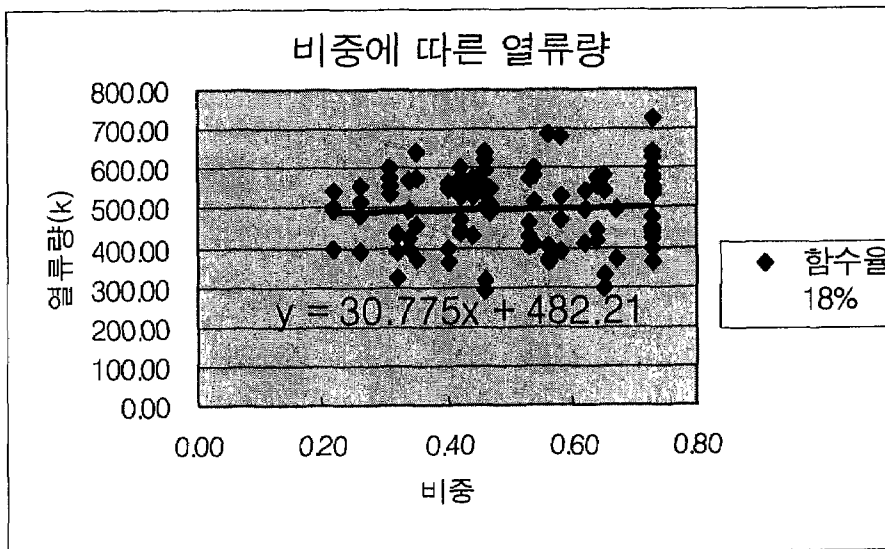
<그림 1> 공시재의 함수율 분포



<그림 2> 공시재의 비중 분포



<그림 3> 비중에 따른 열류량



<그림 4> 비중에 따른 열류량

또한 함수율에 따른 비중별 열류량에서 그림 4는 함수율18%의 열류량을 나타낸 것으로 비중이 증가함에 따라 비례하여 커졌으나 그림 3은 함수율 11%의 열류량을 나타낸 것으로 주변환경적 요인으로 약간 감소하는 경향이 나타났다.

나) 수종별 함수율에 따른 열류량

아래의 공시재료에 대한 열류량이 초기에는 $200 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 에서 $300 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 에 분포하는 것으로 나타났으며 시간이 지남에 따라 증가하여 $800 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 에 이르는 것으로 나타났다. 열류량이 증가하는 추세는 각각의 수종마다 차이가 있으며 이것은 비중과 환경적인 요인이 작용한 것으로 추정된다.

$$\text{열류량}(K) = \left[\frac{\lambda}{d} + f(\Delta) \right] \Delta T$$

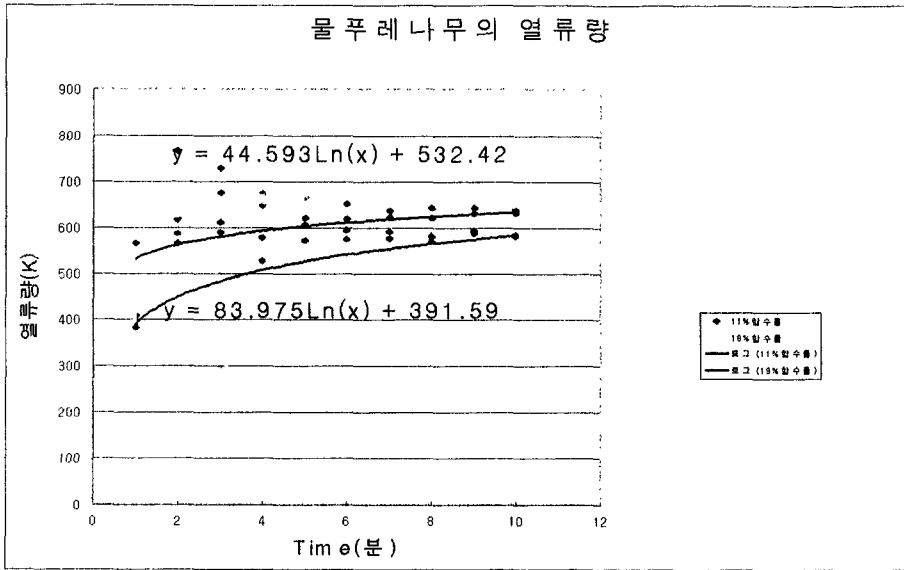
λ : 소재의 열전도성 ($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$)

d : 소재의 두께 (m)

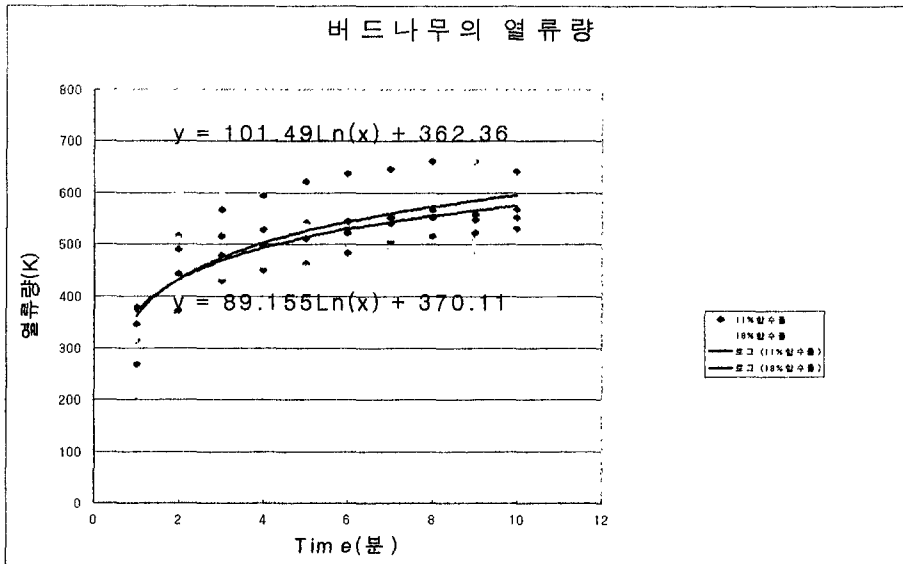
ΔT : 온도차 ($^\circ\text{C}$)

$f(\Delta)$: 전열 방해를 고려한 요소

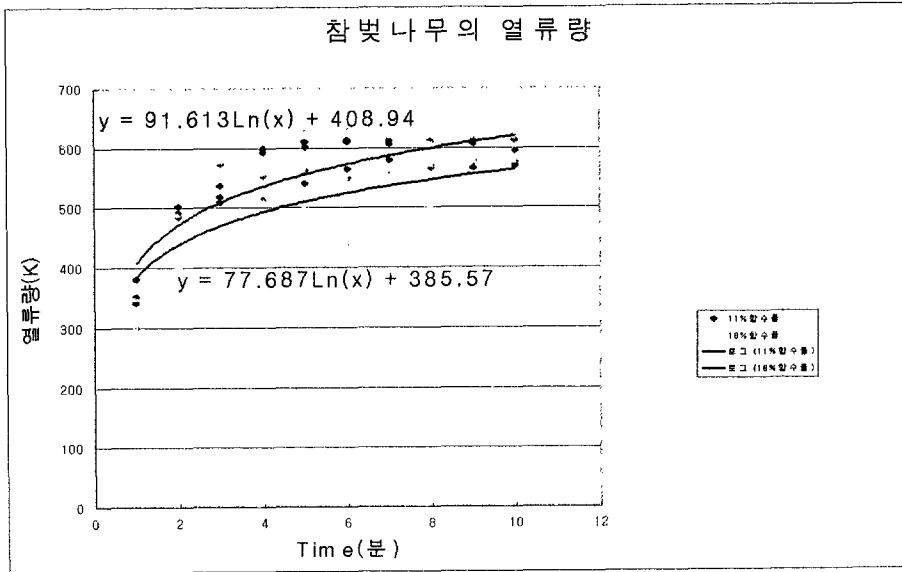
그림 5 - 그림17은 저비중재의 열전도율을 나타낸 그림으로 18% 함수율의 열전도율이 11% 함수율의 열전도율보다 높았으며 시간에 따른 열전도율은 11% 함수율이 더욱 높았다.



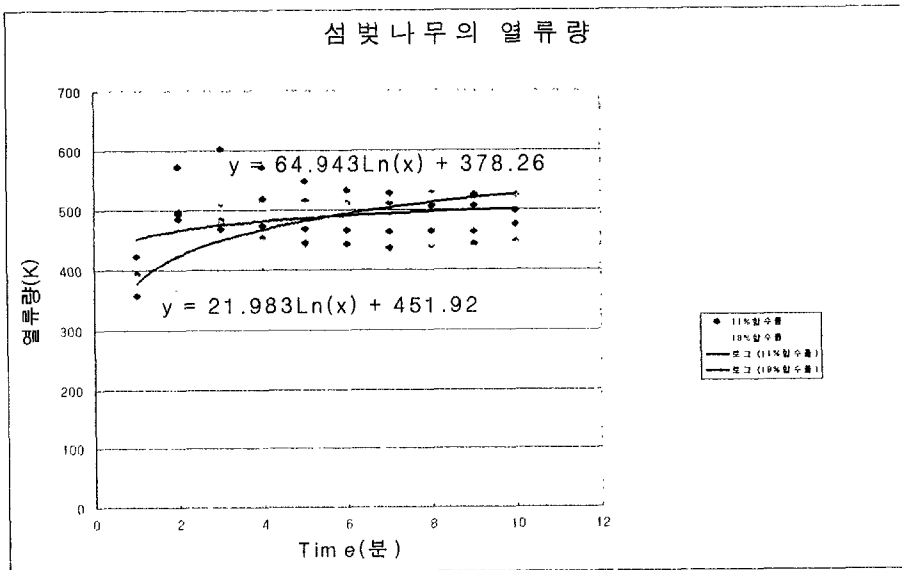
<그림 5>



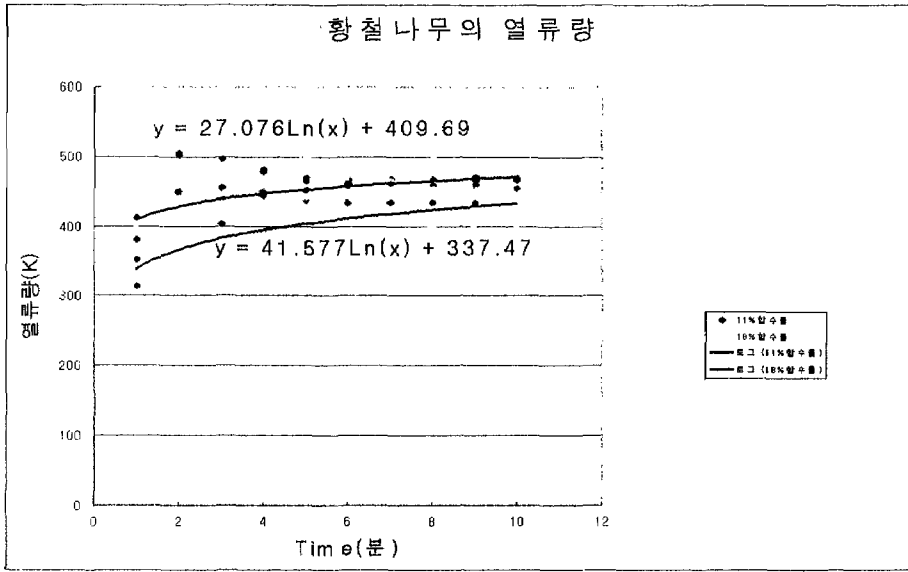
<그림 6>



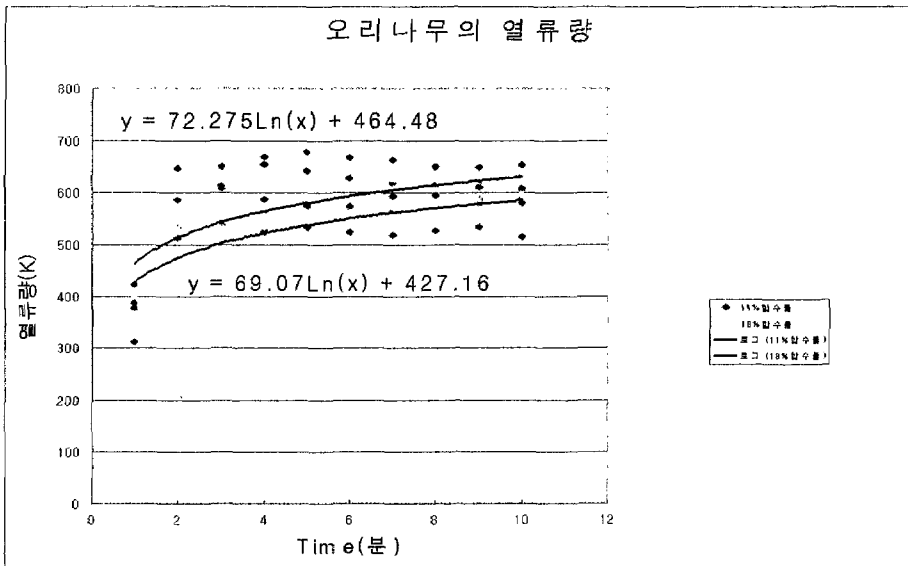
<그림 7>



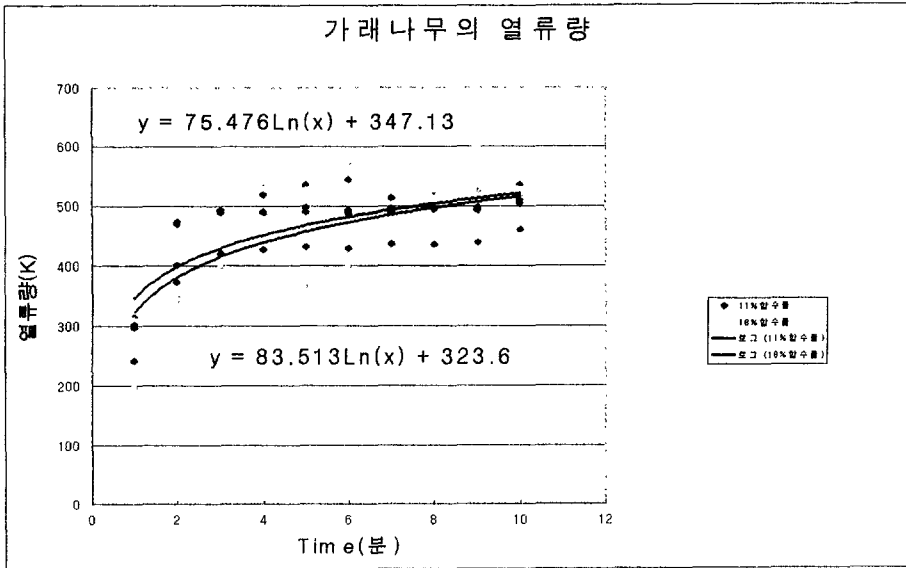
<그림 8>



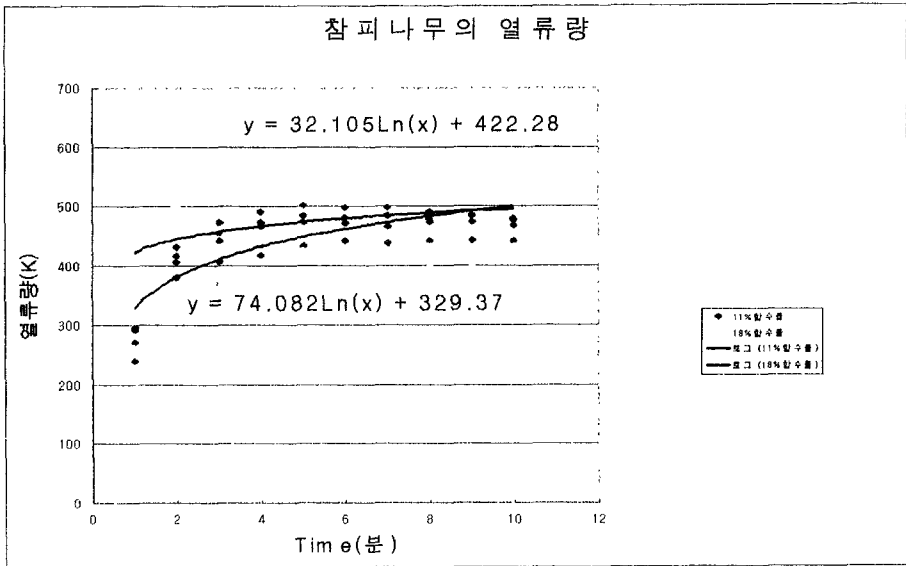
<그림 9>



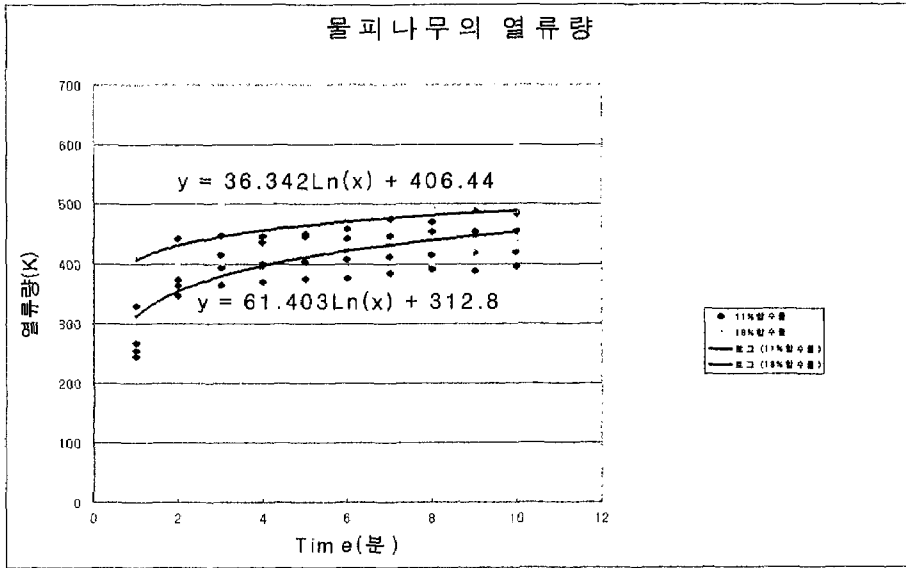
<그림 10>



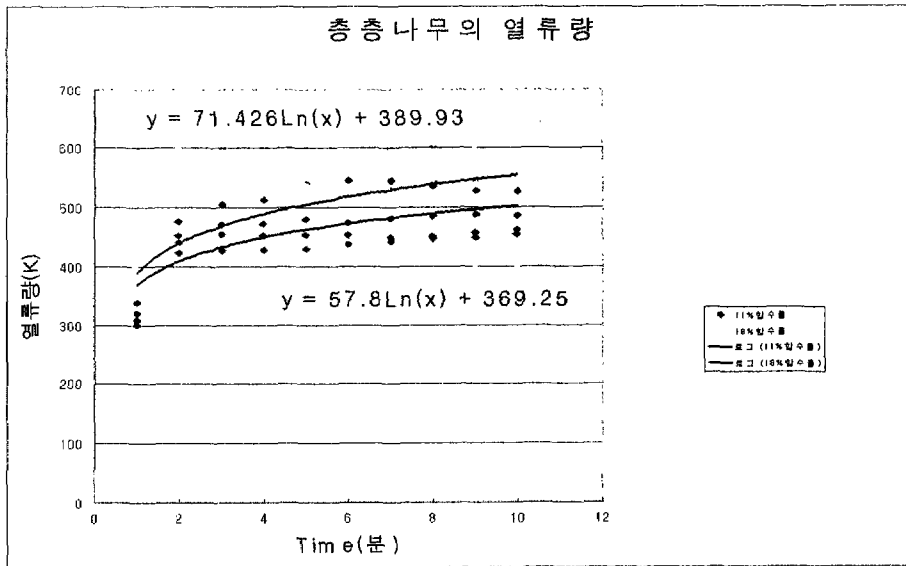
<그림 11>



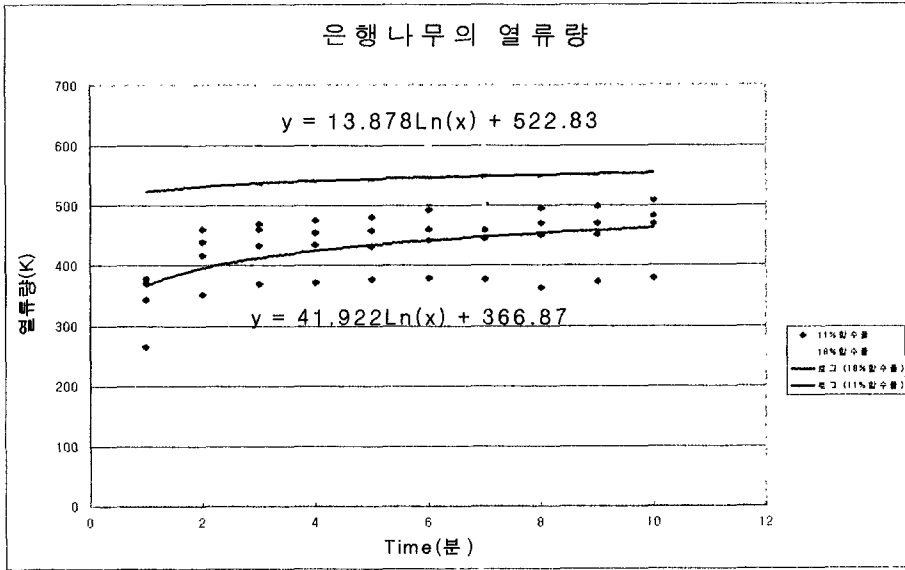
<그림 12>



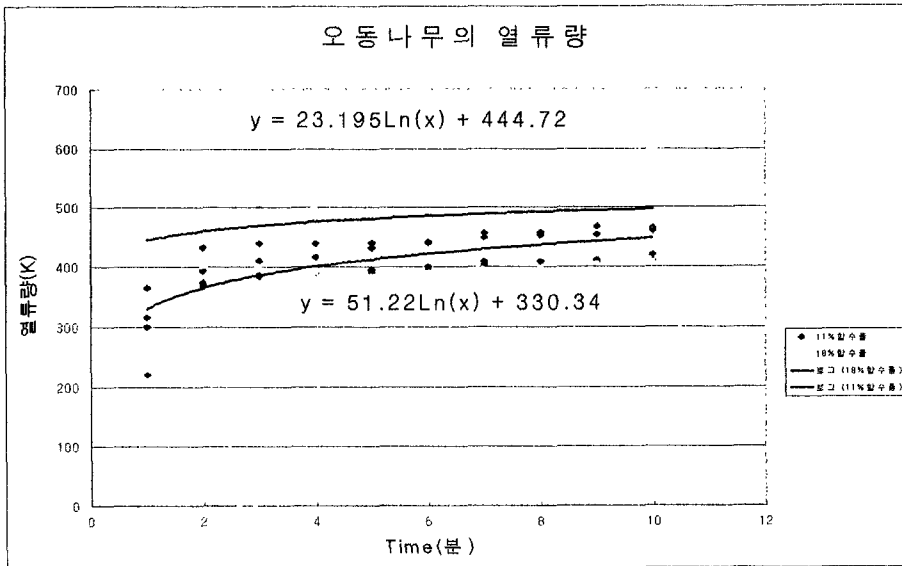
<그림 13>



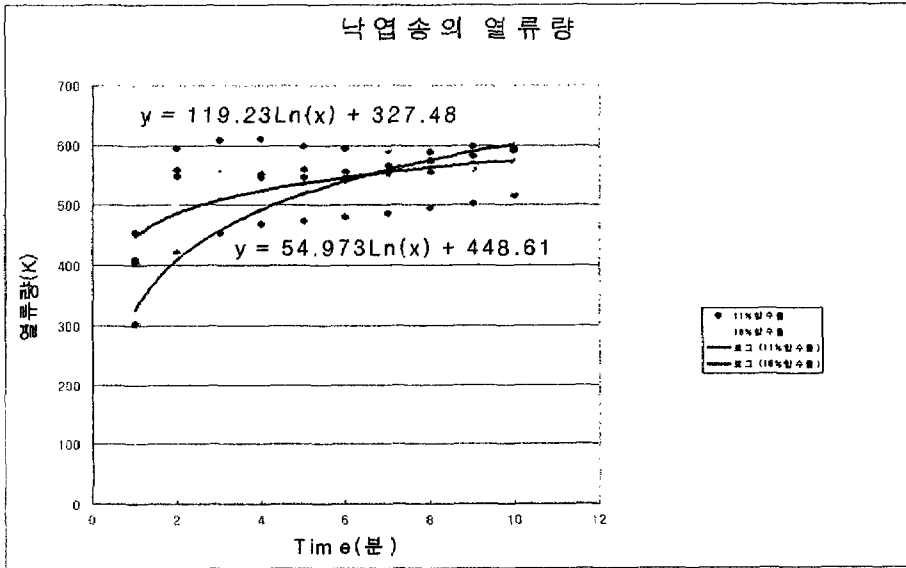
<그림 14>



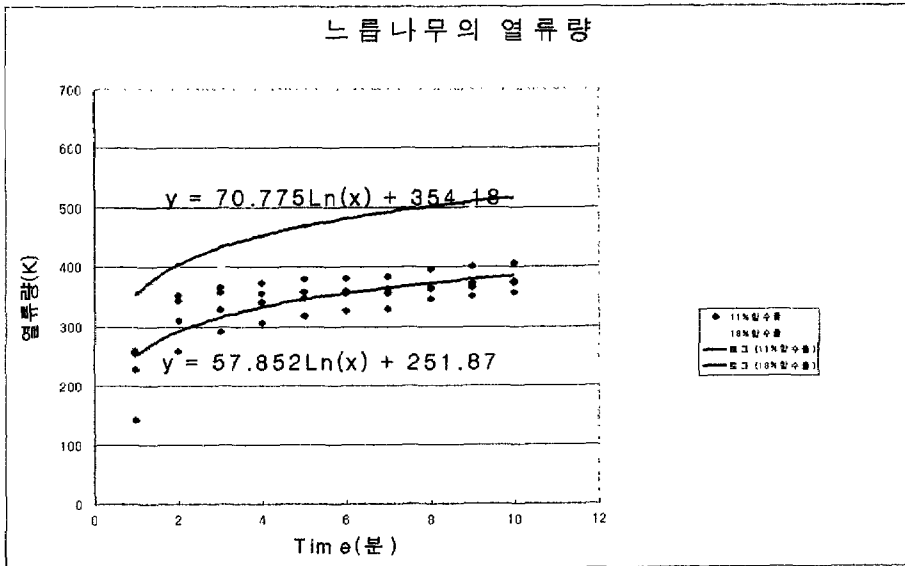
<그림 15>



<그림 16>



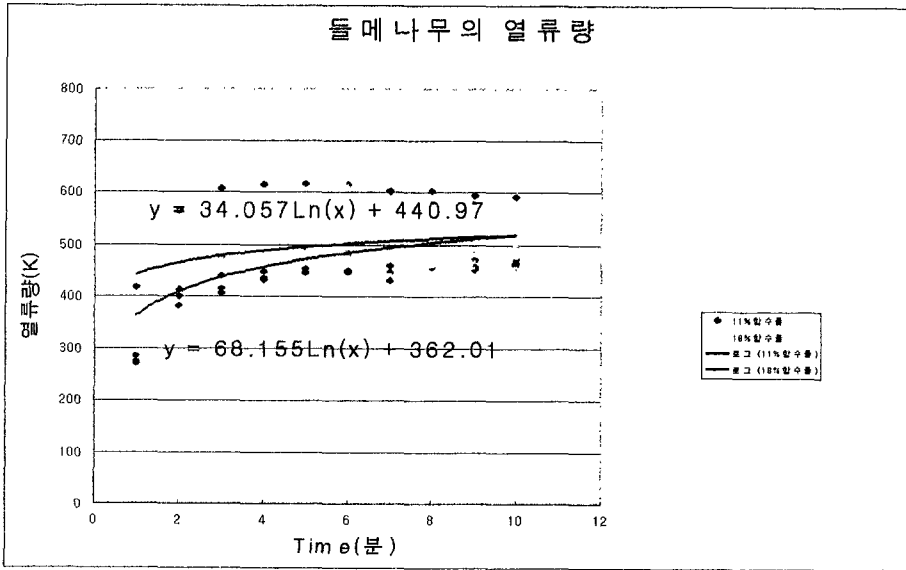
<그림 17>



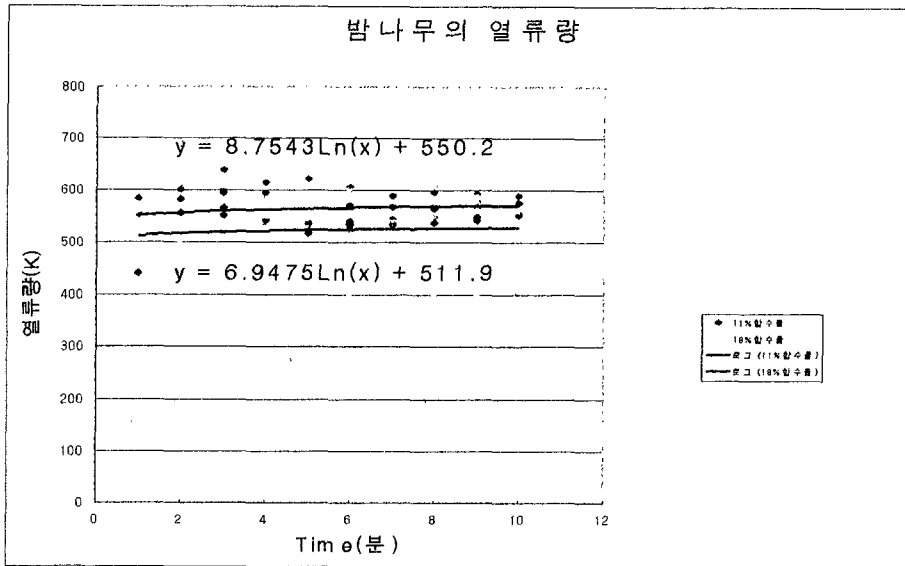
<그림 18>

아래 그림 18 - 그림 25는 중비중재의 열전도율을 나타낸 그림으로 저비중재와 동일한 경향을 보였으나, 고비중재에 비해 시간에 따른 열전도율의 경사가 다소 완화된 경향을 보였다.

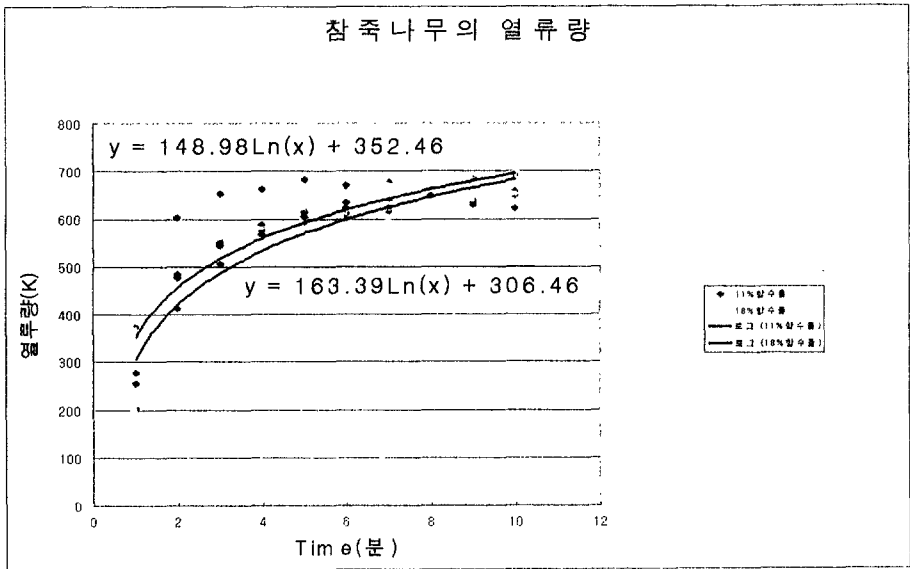
한편 그림 26 - 그림 30은 고비중재의 열전도율을 나타낸 그림으로 특히, 고로쇠나무의 경우, 18%함수율의 열전도율은 최고 $800 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 에 이르는 매우 높은 전도성을 나타낸다.



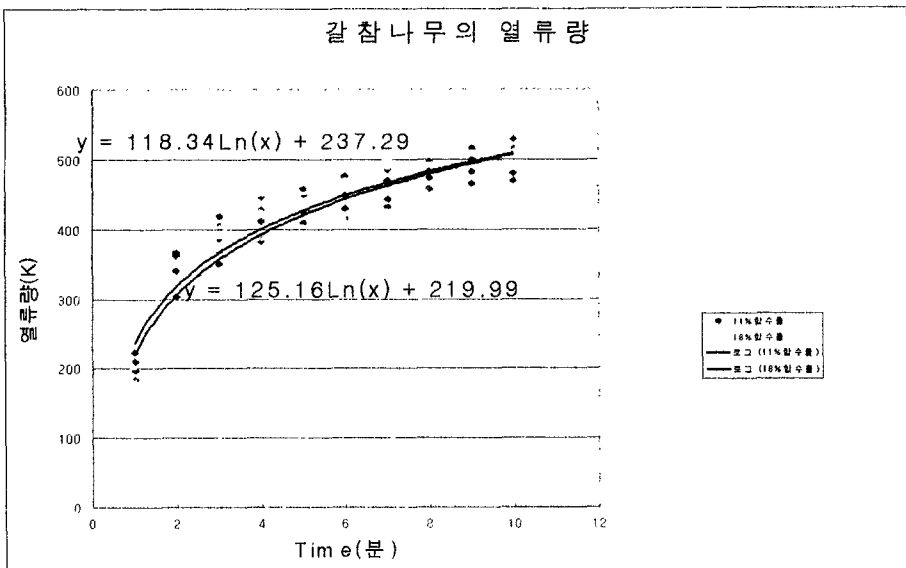
<그림 19>



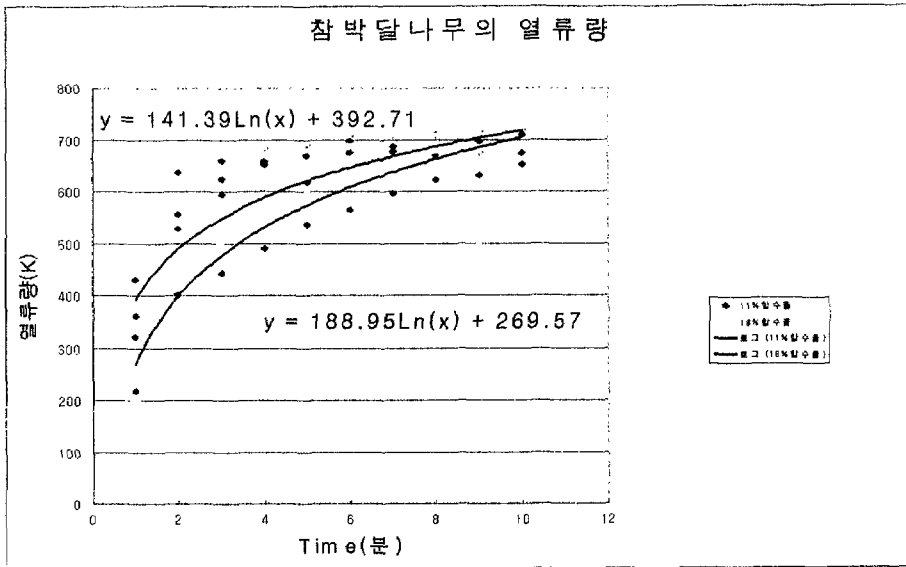
<그림 20>



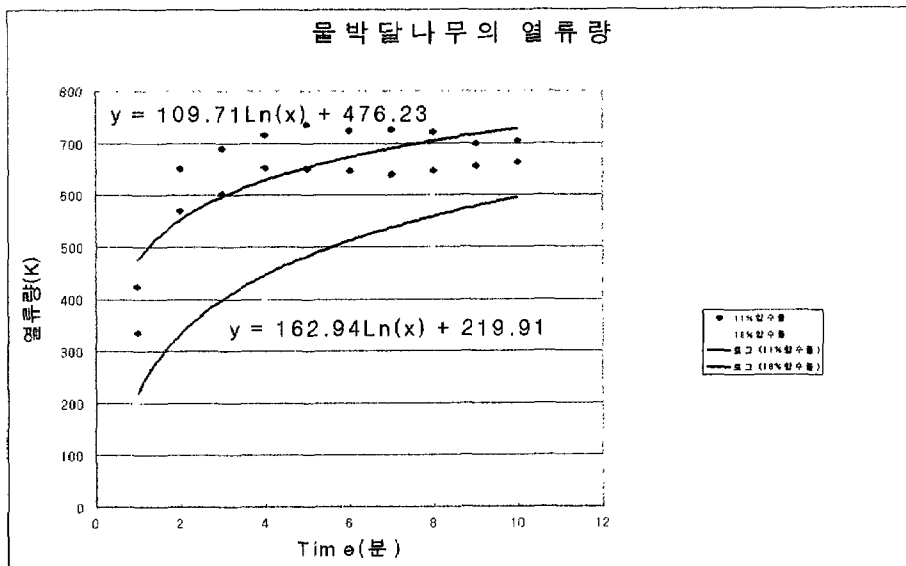
<그림 21>



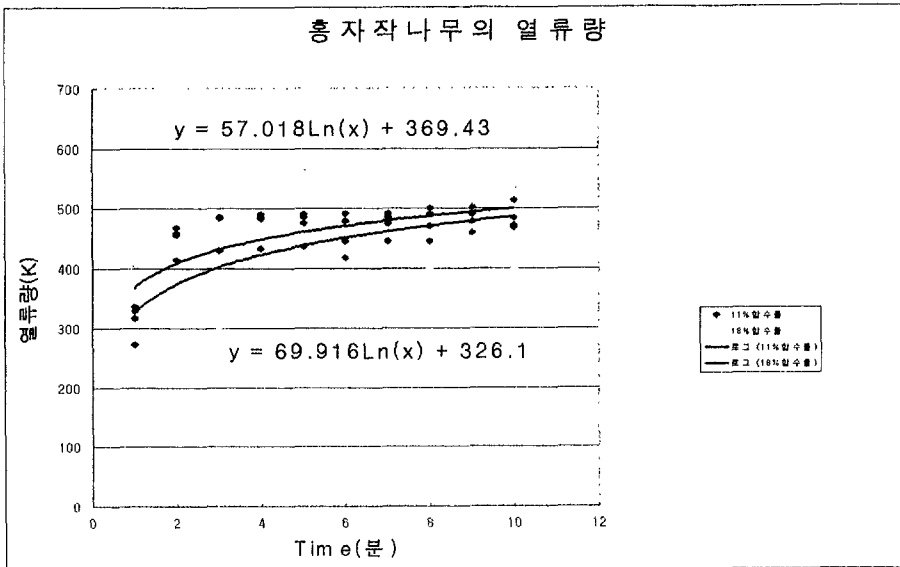
<그림 22>



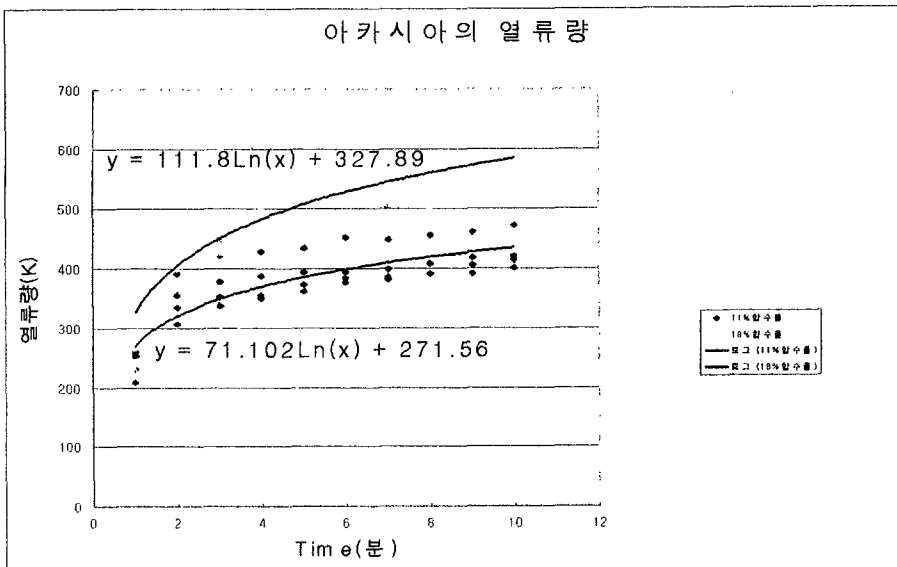
<그림 23>



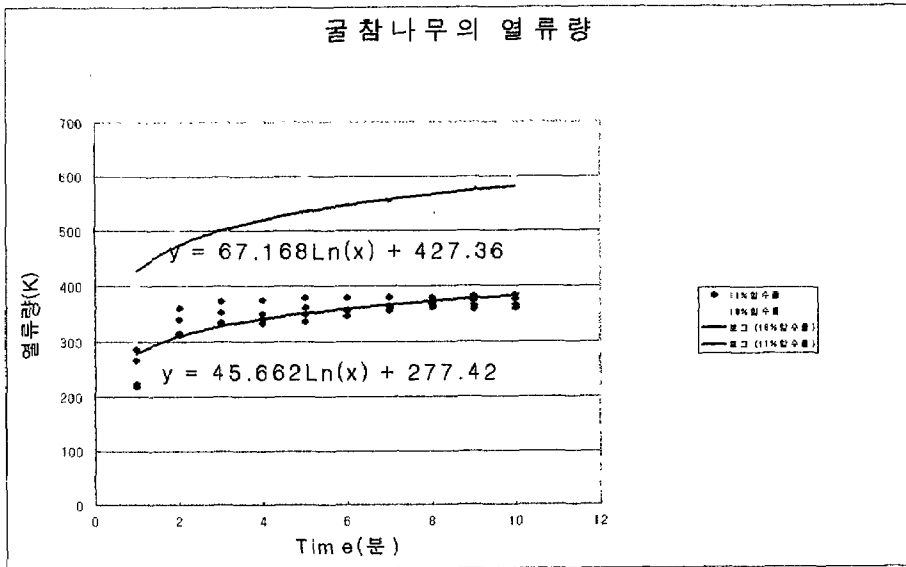
<그림 24>



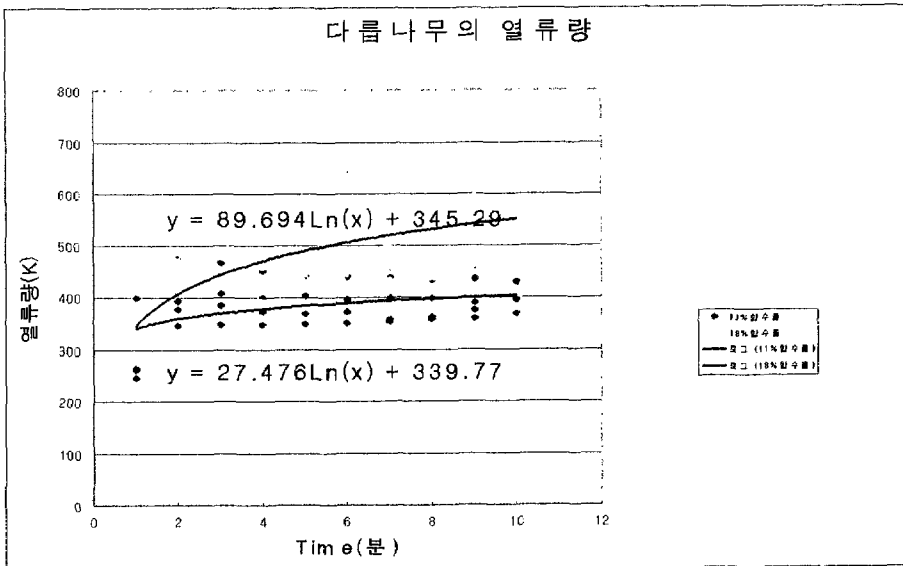
<그림 25>



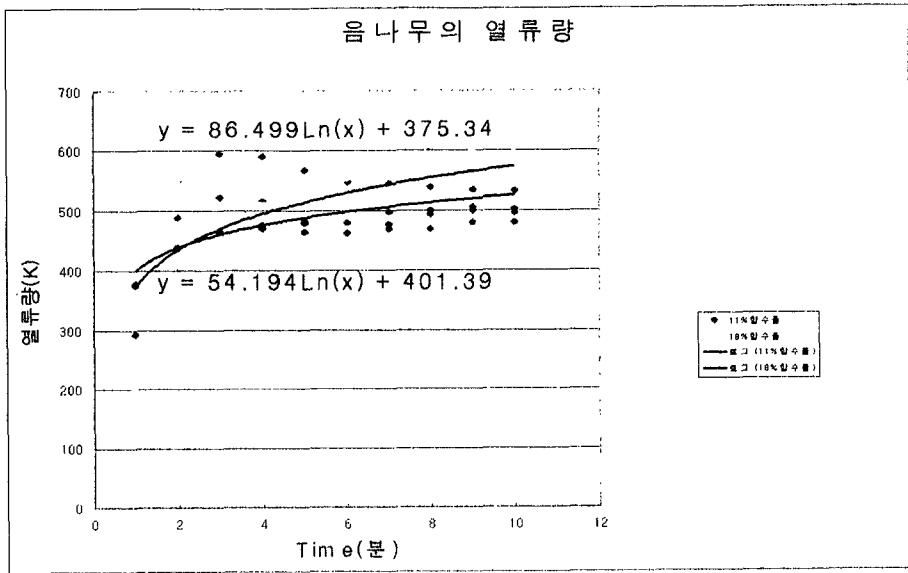
<그림 26>



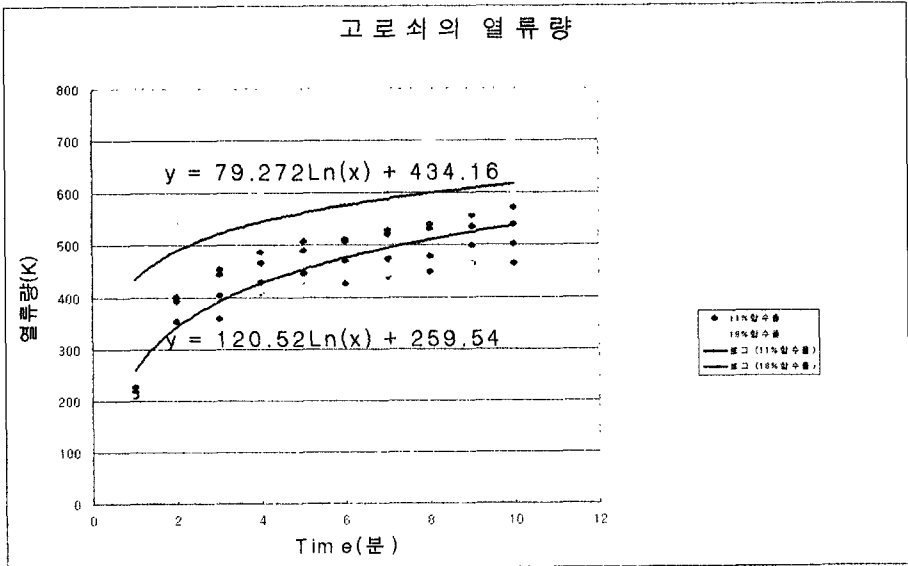
<그림 27>



<그림 28>



<그림 29>



<그림 30>

3) 결 론

국내 목재 시장의 소비량이 수입재에 의존하여 증가하고 있는 실정인데 이를 목조건축의 활성화에 의한 국산재로 대체함으로써 국산재의 소비량을 늘리고자 하였고 구체적인 방법으로 본 연구에서는 26수종의 국산재에 대한 단열적 특성을 자료화하여 목조건축의 국산 단열재로의 활용을 꾀하고자 하였다.

첫째, 목재는 에너지를 쉽게 전달할 수 있는 자유전자가 적고, 다공질이기 때문에 열의 전도성이 낮는데, 함수율과 비중에 따른 열류량을 체크한 이 실험에서 함수율과 비중은 각각 열전도율과 비례한다는 것으로 나타났다.

둘째, 이는 목재는 세포벽질의 열전도율은 비교적 적으나, 정기공기보다는 크며 열이 주로 건조세포벽을 따라 유동하기 때문에 비중이 증가함에 따라 커진다. 또한 물의 열전도율은 공기 또는 건조세포벽의 경우보다 훨씬 더 크므로 목재의 열전도율은 함수율이 높을수록 커짐을 알 수 있었다.

셋째, 목재를 단열재로 사용하기 위해서는 열전도율이 낮아야 하고, 흡수성이 적어야 하며, 기포가 작으면서 많아야 하며, 소요의 강도를 가져야 하는 등등의 조건이 있는데, 국산재에 관한 열류량 실험에서 단열재의 사용에 적합한 수종으로 열류량이 낮은 물피나무와 오동나무로 사료되며, 피해야 할 수종으로는 열류량이 높은 물박달나무, 참박달나무로 판단된다.

제 2 절 국산재 이용 집성제품 생산을 위한 고효율 접착기술개발

1. 집성제품 접착기술 개발

열대산 활엽수 자원의 고갈로 최근에는 침엽수의 이용이 현저하게 증가하고 있으며 원목의 재질도 과거 고품질의 대경재를 선택적으로 사용하던 시대에서 저질의 소경재까지 적극적으로 활용되는 시대로 변천하고 있다. 이러한 저질 소경재를 사용하기 위해 제재판재를 두께방향 또는 폭방향으로 접착하여 대형화할 수 있는 집성재의 이용이 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 직경이 작고 품질이 떨어지는 국산 소나무의 이용도를 증대시키기 위하여최근에 목제품 원료용 집성판재생산 및 일반 가구제조용 부재생산 등에 널리 활용되기 시작한 핑거접합(finger joint)공법을 적용해서 집성재를 제조하고 핑거의 수량 및 위치가 집성재의 휨접합강도에 어느정도 영향을 미치는지를 조사하였다.

가. 라미나 판재의 제작, 핑거절삭 및 접착

소나무 원목을 널결제제한후 목공용 둥근톱과 자동대패기 등의 절삭기구를 사용하여 두께 10mm, 폭 50mm, 길이 50cm의 라미나판재를 제작한 다음 온도 20℃, 상대습도 65%를 유지하도록 조절된 항온항습기에 20일간 조습처리를 실시하였다. 라미나판재의 핑거절삭은 대우기계산업사에 의뢰제

작한 반자동 공기압식 핑거조인터(그림 2.1)를 이용하였으며, 집성재의 라미나적층수는 3개를 기준으로하였다. 집성용 접착제는 사용이 간편하고 경화 후 색상이 투명하여 오염을 일으키지 않고목재에 대한 접착력이 우수하기 때문에 일반 산업용으로 가장 많이 사용되는 상온경화형 농축요소수지 접착제를 사용하여 집성재를 접착하였다. 도포량은 $300\text{g}/\text{m}^2$ 을 소형 hand-roller를 사용하여 양면도포방식으로 도포하고 퇴적시간 20분, 압제압력은 냉압프레스에서 평균 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 24시간 이상 가한 후 해압하였으며 다시 24시간 양생과정을 거친 다음에 실험재료로 사용하였다. 그림 2.2는 핑거접합 라미나 판재의 두께방향 집성과정을 보여주고 있다.

나. 집성재의 휨접합강도 측정

제조된 집성재의 휨접합강도를 조사하기 위해 최대용량 30,000lb의 만능재료시험기(universal testing machine -United Calibration Corporation)를 사용하여 최대파괴하중 및 변형량을 측정하였으며 한국공업규격 KSF 2208(목재의 휨시험방법)에 따라 강도를 산출하였다.

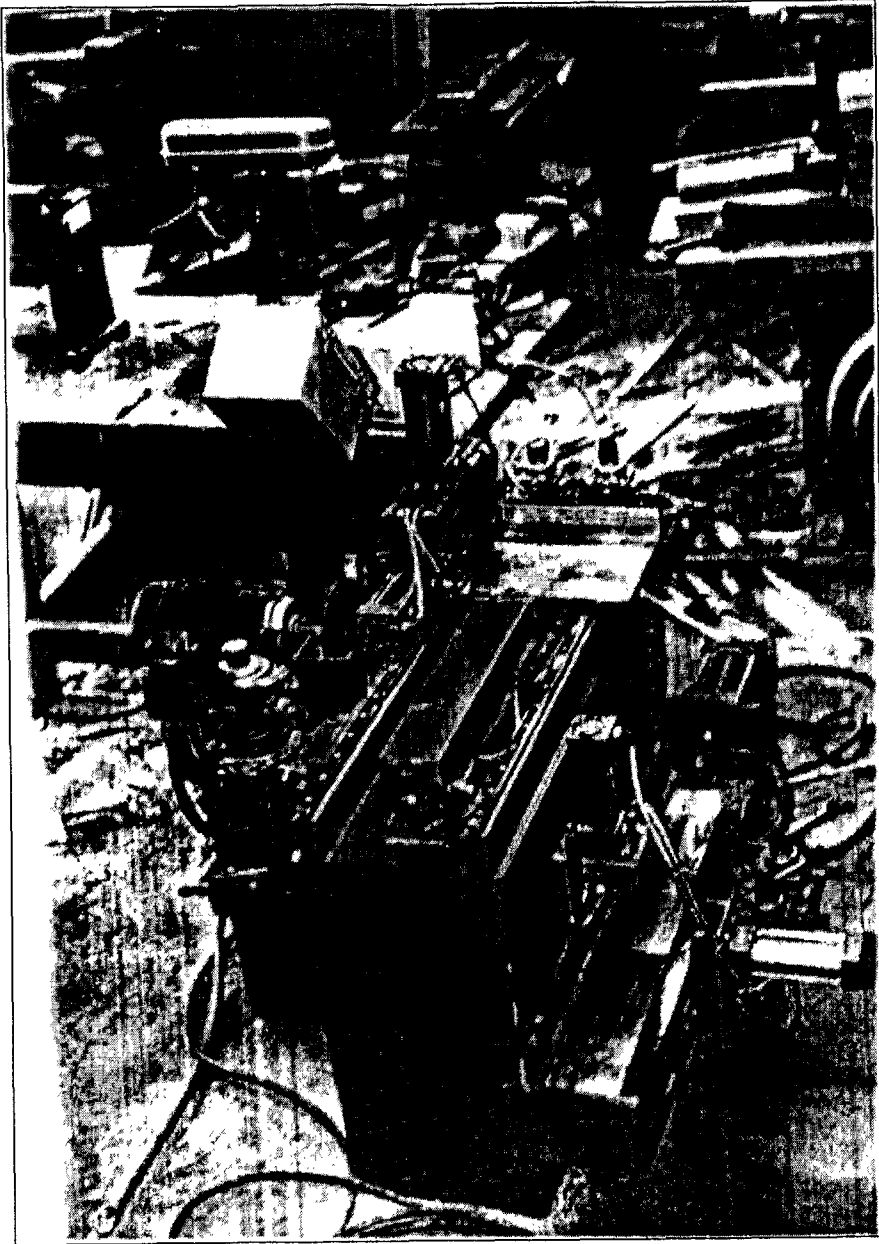


그림 2.1. 반자동 공기압식 핑거조인트

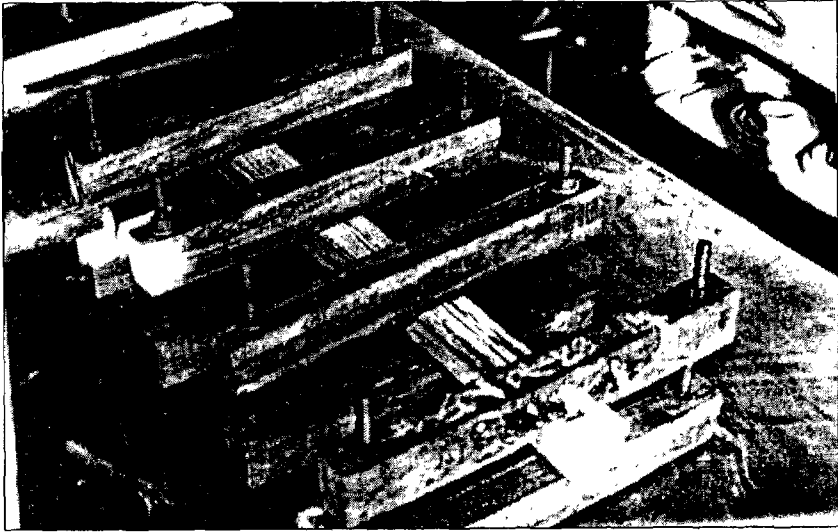


그림 2.2. 핑거접합 라미나판재의 두께방향 집성.

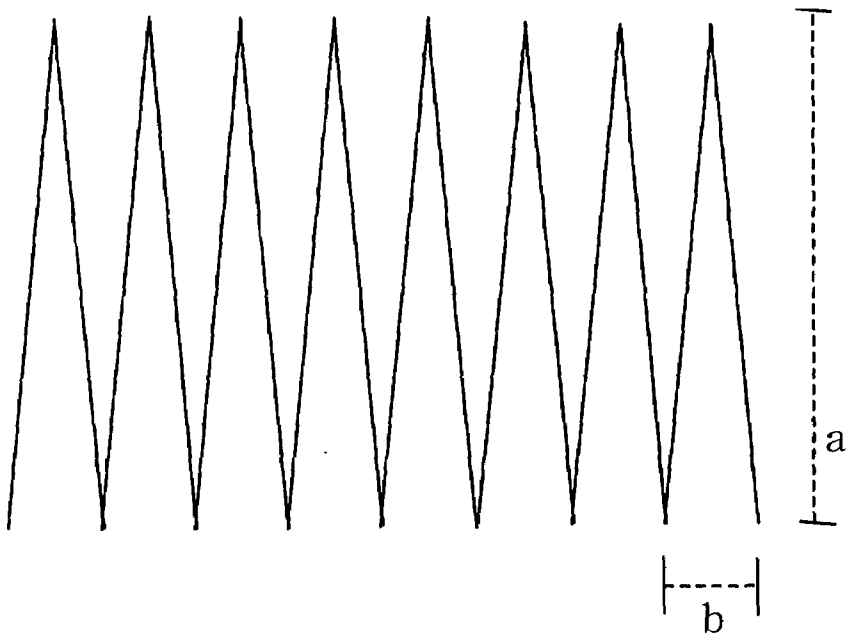


그림 2.3. 접합핑거의 치수 및 형태 ($a : b = 12 : 3 \text{ mm}$)

다. 핑거접합부(finger joint)의 수량 및 배치:

1) 단일 라미나판재에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

일차적으로 단일 라미나판재의 핑거접합부의 수량을 1개에서 4개까지 구분하여 균등한 간격으로 그림 2.4와 같이 접합한 다음 휨강도를 측정하여 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 강도변화를 조사하였다.

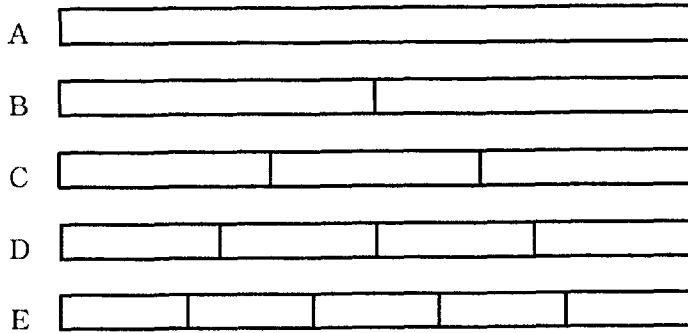


그림 2.4. 단일 라미나 판재의 핑거접합부 수량 및 배치도

A: 소재(control), B: 1-finger, C: 2-fingers, D: 3-fingers, E: 4-fingers

2) 집성재 두께방향에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

이차적으로 위와같이 핑거접합한 라미나 판재를 조합하여 두께방향으로 그림 2.5와 같이 집성재를 제조한 다음 조합형태별로 집성재의 휨강도를 측정하여 핑거접합부의 수량과 배치에 따른 강도변화와 두께방향으로 인접한 라미나판재의 접합강도의 보강정도를 조사하였다.

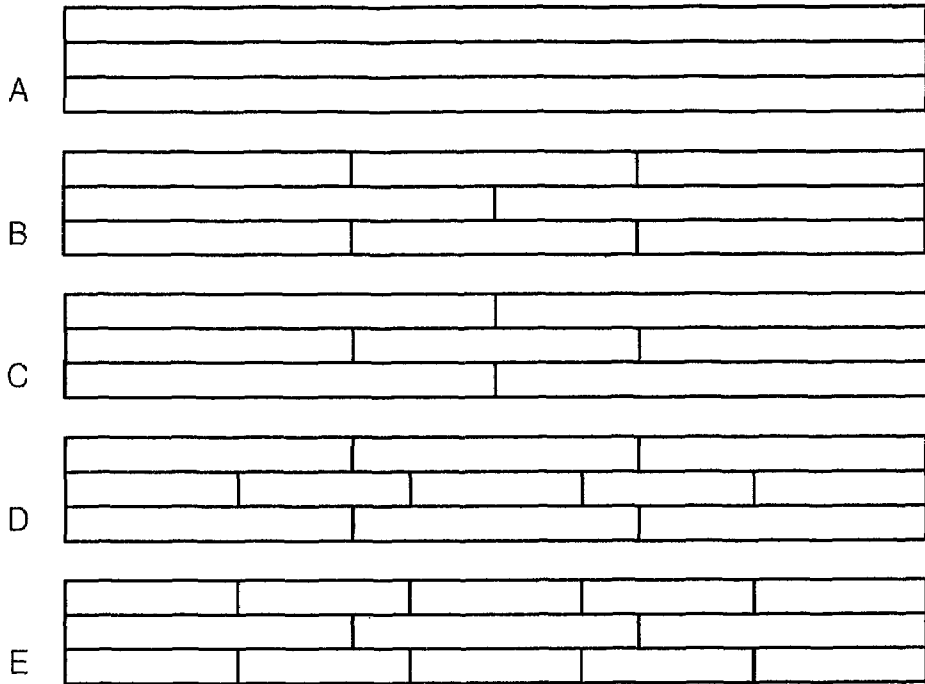


그림 2.5. 집성재의 두께방향 라미나 판재의 핑거접합부 수량 및 배치도

3) 집성재 폭방향 집성재에서의 핑거접합부의 수량 및 배치

다음에는 핑거접합한 라미나 판재를 조합하여 그림 2.6과 같이 폭방향으로 집성재를 제조한 다음 조합형태별로 집성재의 휨접합강도를 측정하고 핑거수량과 배치에 따른 강도변화와 폭방향 인접 라미나판재의 접합강도의 보강정도를 조사하였다.

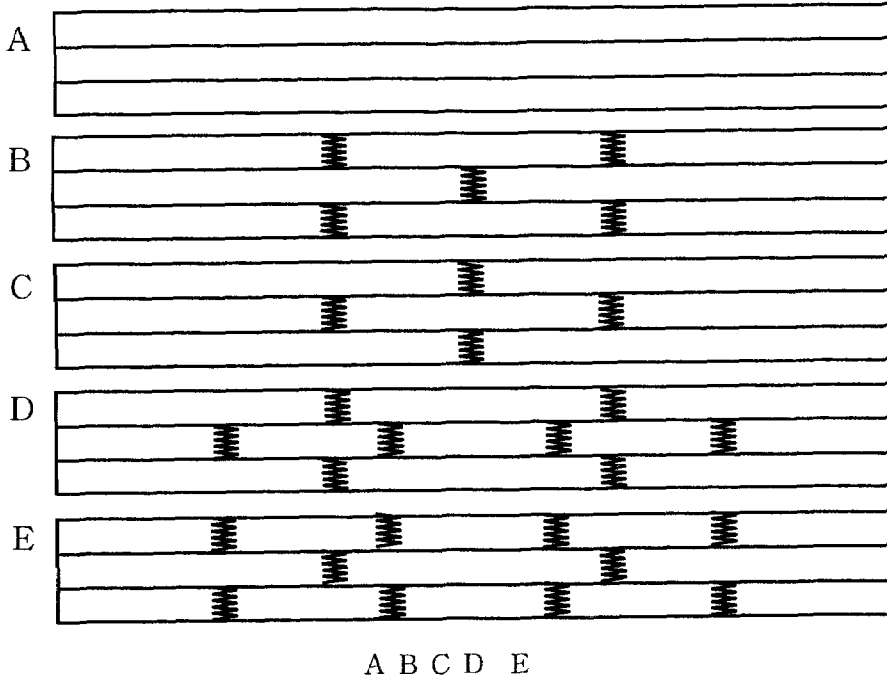


그림 2.6. 집성재의 폭방향 라미나 판재의 핑거접합부 수량 및 배치도

라. 실험결과 및 고찰

저질 소경재의 국산 소나무로 제작한 라미나판재를 핑거절삭공법을 사용하여 길이방향으로 접합하여 집성재를 제조하였으며 제조된 집성재는 재면 평활성, 섬유방향 통직성 및 접합부의 밀착성등 외형상 품질은 매우 양호하였다. 핑거접합부의 수량과 두께방향 및 폭방향 배치에 따른 휨접합성을 조사한 결과를 요약하면 다음 표 2.1과 같다.

표 2.1. 핑거접합부의 수량 및 배치별 집성재의 휨접합강도 성능

접합구분	핑거배치 (개)	시편번호	폭 (mm)	두께 (mm)	Span (cm)	하중속도 (mm/min)	평균MOR (kg/cm ²)
길이방향	0	1A-1..	40	12	16.8	10	761
	1	1B-1..					628
	2	1C-1..					726
	3	1D-1..					642
	4	1E-1..					686
두께방향	0-0-0	2A-1..	35	29	40.6	10	829
	2-1-2	2B-1..					753
	1-2-1	2C-1..					658
	2-4-2	2D-1..					782
	4-2-4	2E-1..					778
폭방향	0-0-0	3A-1..	45	12	16.8	10	787
	2-1-2	3B-1..					725
	1-2-1	3C-1..					667
	2-4-2	3D-1..					744
	4-2-4	3E-1..					727

1) 핑거접합부의 수량 및 배치가 단일 라미나판재의 휨접합강도에 미치는 영향
 무접합 라미나판재의 기준 휨강도가 761kg/cm²를 나타내는 데 비하여
 핑거접합부가 중앙에 한 개 배치된 라미나판재의 휨접합강도는 그림 2.7과
 같이 628kg/cm²로서 상당히 감소하였으나 그 감소율은 17.5%에 불과하였다.
 통상적으로 사용되는 butt-joint 접합방식이 재료강도의 10%정도를 유지하
 는 데 비해서 본 연구의 핑거접합방식은 재료강도의 80% 이상을 유지하는

극히 우수한 접합성능을 보여주었다.

또한 핑거접합부를 라미나판재의 중앙을 벗어나서 길이의 1/3 간격으로 2개 배치했을 경우의 라미나판재의 휨접합강도는 728kg/cm^2 로서 무접합 라미나판재의 기준 휨강도의 95.7%에 해당하는 매우 우수한 휨접합강도를 나타냈으며 휨파괴부위도 접합부분이 아닌 재료의 중앙에서 발생하였다. 이때의 휨접합강도 감소율은 4.3%에 불과한 수치이며 목재가 옹이, 엇결, 부후, 충공, 건조결함 등 여러 가지 결점을 함유하기 쉽고 조직적으로도 불균질한 재료이기 때문에 재료간 강도성능의 변이가 기본적으로 매우 심하다는 사실을 고려해볼 때 이 정도의 감소는 용도에 따라서는 자연손실로 인정될 수 있는 범위라고 생각된다. 따라서 중앙을 벗어난 핑거접합은 목재의 휨접합강도의 손실을 최소한으로 줄일 수 있으며 거의 무접합 재료와 동등한 강도성능을 유지한다고 보여진다.

계속해서 길이의 1/4 간격으로 3개를 배치한 경우 라미나판재의 휨접합강도는 642kg/cm^2 를 나타냈는데 무접합 라미나판재의 84.4%에 해당하였다. 이경우에도 중앙에 핑거접합부가 존재하기 때문에 강도손실이 증가한 것으로 생각되며 중앙을 벗어난 나머지 2개의 핑거접합부가 라미나판재의 휨접합강도 감소에 대한 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 또한 길이의 1/5 간격으로 배치된 라미나판재의 휨접합강도는 686kg/cm^2 로서 무접합 라미나판재의 90.1%를 나타냈다. 이 경우 핑거접합부의 배치가 중앙에는 없으나 1/3 간격으로 배치된 경우에 비해 중앙에 매우 근접한 상태이므로 강도의 약화에 어느정도 기여한 것으로 보여진다. 결과적으로 핑거접합부의 배치가 중앙에 가까울수록 라미나판재의 휨접합강도 손실에 미치는 영향이 증가하며 중앙을 벗어난 접합부는 수량에 상관없이 중앙집중 하중방식에 의한 휨접합강도에는 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

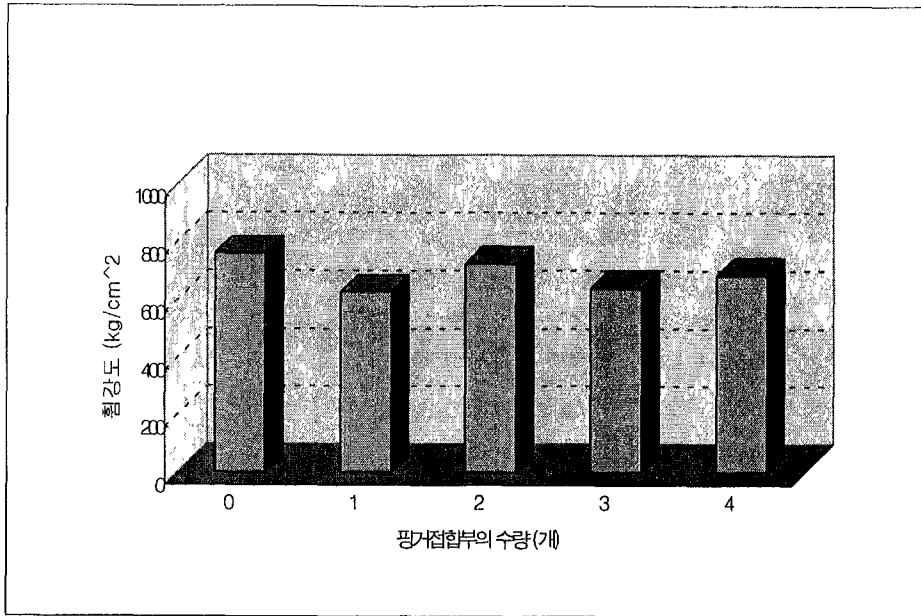


그림 2.7. 핑거접합부의 수량과 라미나판재의 휨강도

2) 핑거접합부의 수량 및 배치가 두께방향 집성재의 휨접합강도에 미치는 영향

무접합 라미나판재를 3층으로 집착구성한 통직형 집성재(표 2.1의 두께 방향 0-0-0구조)의 중앙집중 하중식 기준 휨강도가 그림 2.8과 같이 829kg/cm^2 를 나타낸 데 비하여 핑거접합부가 코어라미나의 중앙에 한 개, 표리면 라미나의 길이방향 1/3, 2/3 지점에 각기 배치된 집성재(2-1-2구조)의 휨접합강도는 753kg/cm^2 로서 9.2% 강도가 감소하였다. 앞에서 중앙에 핑거접합부를 배치시킨 단일 라미나판재의 휨접합강도 감소율이 17.5%인 것에 비하면 핑거접합부에 의한 강도감소가 매우 약화된 결과로서 이는 표리면의 라미나층이 코어라미나의 휨접합강도를 보완해주고 있음을 알 수 있었다. 표리면의 라미나층에 비록 핑거접합부가 포함되어 있으나 중앙부위에서 벗어나 있으므로 이들에 의한 강도감소는 핑거접합부가 정중앙에 위치한 경

우보다 작기 때문에 그만큼 보강재료로서의 역할을 충분히 하는 것으로 보인다.

다음에 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 중앙에 배치하고 코어라미나에는 길이방향의 1/3, 2/3 지점에 배치시킨 집성재(1-2-1구조)의 휨접합강도는 658kg/cm^2 로서 무접합구조(0-0-0구조)보다 20.6%의 강도감소율을 나타냈다. 이는 집성재내부에 핑거접합부가 중앙에 위치하는 라미나층이 2개인 경우로서 중앙배치 핑거접합부 라미나층이 많을수록 강도감소율이 비례적으로 증가하는 것을 보여주며 중앙부 핑거접합부가 1개층인 2-1-2구조에서의 강도감소율이 9.2%인 것과 2개층인 1-2-1구조의 강도감소율이 20.6%인 점으로 볼 때, 3층 구조의 집성재 휨접합강도의 설계시 중앙부에 핑거접합부가 포함되는 라미나 1층이 발생하는 휨접합강도의 감소율은 대략 10% 정도임을 알 수 있었다.

또한 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 길이의 1/3 간격으로 배치하고 코어라미나에는 1/5 간격으로 배치시킨 집성재(2-4-2구조)의 휨접합강도는 782kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 5.7%의 매우 낮은 강도감소율을 나타냈다. 이는 2-1-2구조의 강도감소율 9.2%보다 작은 수치로서 표리판 라미나의 핑거접합부 배치는 동일하나 코어라미나의 접합부가 중앙을 벗어난 위치에 있음으로써 접합부에 의한 영향이 다소 완화된 때문으로 생각된다. 비록 전체 핑거접합부의 수량이 8개로서 2-1-2구조의 5개보다 매우 많지만 접합부의 수량보다는 위치에 의한 영향이 훨씬 크게 작용하고 있음을 알 수 있었다.

계속해서 표리면의 라미나에는 핑거접합부를 길이의 1/5 간격으로 배치하고 코어라미나에는 1/3 간격으로 배치시킨 집성재(4-2-4구조)의 휨접합강도는 778kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 6.2% 작은 강도감소율을 나타냈으며 전체 핑거접합부의 수량이 10개로서 가장 많았지만 핑거접합부의 위치가

모두 중앙부를 벗어나 있기 때문에 접합부의 영향이 약화되었다.

따라서 집성재의 두께방향 조합에서도 핑거접합부의 배치를 하중면의 중앙에서 가능한 멀리 분산배치하는 것이 집성재의 휨접합강도를 최대한으로 유지시킬 수 있는 효과적인 설계방법이라고 판단된다.

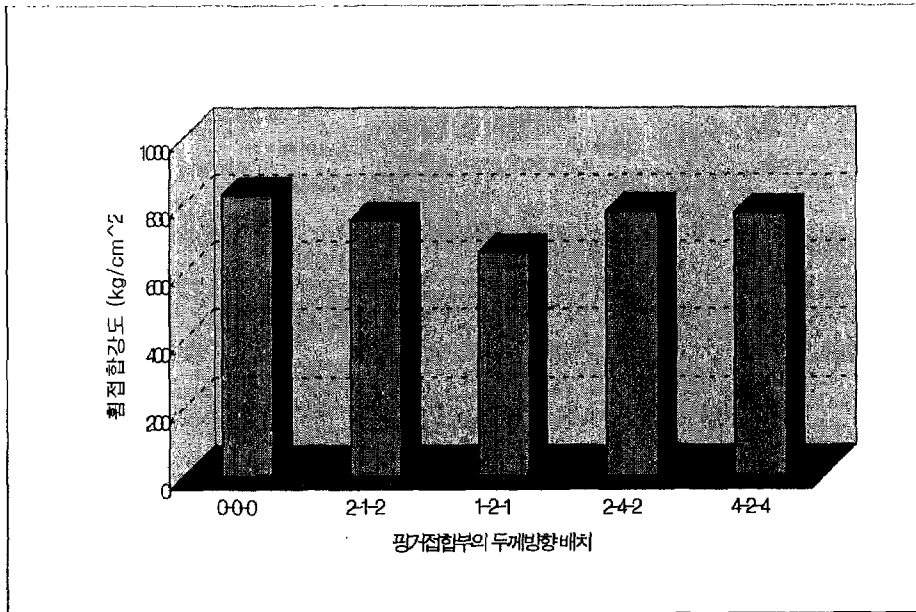


그림 2.8. 두께방향 핑거접합부의 배치와 집성재의 휨접합강도

3) 핑거접합부의 수량 및 배치가 폭방향 집성재의 휨접합강도에 미치는 영향

무접합 라미나 스트립재(strip)를 폭방향 3층으로 접착구성한 집성재(표 2-1의 폭방향 0-0-0구조)의 중앙집중 하중식 기준 휨강도가 그림 2.9와 같이 787kg/cm²를 나타낸 데 비하여 핑거접합부가 코어스트립재의 중앙에 한 개, 양쪽 측면의 스트립재에 길이방향 1/3, 2/3 지점에 각기 배치된 집성재(2-1-2구조)의 휨접합강도는 725kg/cm²로서 7.8% 강도가 감소하였다. 전술

한 두께방향 집성에서 핑거접합부의 구성비율이 동일한 2-1-2구조에서는 9.2%의 강도감소율을 나타낸 것과 비교해 보면 핑거접합부의 배치가 폭방향보다는 두께방향으로 포함될 경우에 보다 심한 휨접합강도의 손실을 발생 하는 것으로 인정된다.

이때에도 앞에서 중앙에 핑거접합부를 배치시킨 단일 라미나판재의 휨접합강도 감소율이 17.5%인 것에 비하면 핑거접합부에 의한 강도감소가 매우 완화된 것이며 이는 역시 측면 스트립재가 코어스트립재의 휨접합강도를 보완해주고 있음을 알 수 있다. 양측면의 스트립재에도 비록 핑거접합부가 포함되어 있으나 중앙부위에서 벗어나 있으므로 이들에 의한 강도감소는 핑거접합부가 정중앙에 위치한 경우보다 작기 때문에 그만큼 보강해주는 것으로 해석된다.

다음에 양측면의 스트립재에는 핑거접합부를 중앙에 배치하고 코어스트립재에는 길이방향의 1/3, 2/3 지점에 배치시킨 집성재(1-2-1구조)의 휨접합강도는 667kg/cm^2 로서 무접합구조(0-0-0구조)보다 15.2%의 강도감소율을 나타냈는 데 집성재 내부에 핑거접합부가 중앙에 위치하는 스트립재가 2개 인 경우로서 역시 중앙배치 핑거접합부가 많을수록 강도감소율이 비례적으로 증가하는 것을 보여주었다. 중앙부 핑거접합부가 1개층인 2-1-2구조에서의 강도감소율이 7.8%인 것과 2개층인 1-2-1구조의 강도감소율이 15.2%인 점으로 볼 때, 폭방향 3층 구조의 집성재 휨접합강도의 설계시 중앙부에 핑거접합부가 포함되는 스트립재 1개가 발생하는 휨접합강도의 감소율은 대략 8% 정도임을 알 수 있으며 이는 두께방향 핑거접합부 1개층이 발생하는 휨접합강도의 감소율이 10%인 것과 비교해 볼 때 핑거접합부를 두께방향보다는 폭방향으로 구성하는 것이 집성재의 접합강도면에서 유리하다는 것을 의미하고 있다.

또한 양측면의 스트립재에는 핑거접합부를 길이의 1/3 간격으로 배치하고 코어스트립재에는 1/5 간격으로 배치시킨 집성재(2-4-2구조)의 휨접합강도는 744kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 5.5%의 매우 양호한 강도감소율을 나타냈다. 이는 2-1-2구조의 강도감소율 7.8%보다 작은 수치로서 양측면 스트립재의 핑거접합부 배치는 동일하나 코어스트립재의 접합부가 중앙을 벗어난 위치에 있음으로써 접합부에 의한 영향이 다소 완화된 때문으로 생각된다. 계속해서 양측면의 스트립재에는 핑거접합부를 길이의 1/5 간격으로 배치하고 코어스트립재에는 1/3 간격으로 배치시킨 집성재(4-2-4구조)의 휨접합강도는 727kg/cm^2 로서 무접합구조에 비해 7.6% 작은 강도감소율을 나타냈으며 전체 핑거접합부의 수량이 10개로서 가장 많았지만 핑거접합부의 위치가 모두 중앙부를 벗어나 있기 때문에 접합부의 영향이 약화되어 2-1-2 구조보다 높은 접합강도를 나타낸 것으로 보인다.

따라서 집성재의 폭방향 조합에서도 핑거접합부의 배치를 하중면의 중앙에서 가능한 멀리 분산배치하는 것이 집성재의 휨접합강도 발현율을 높이는 설계방법이라고 생각된다.

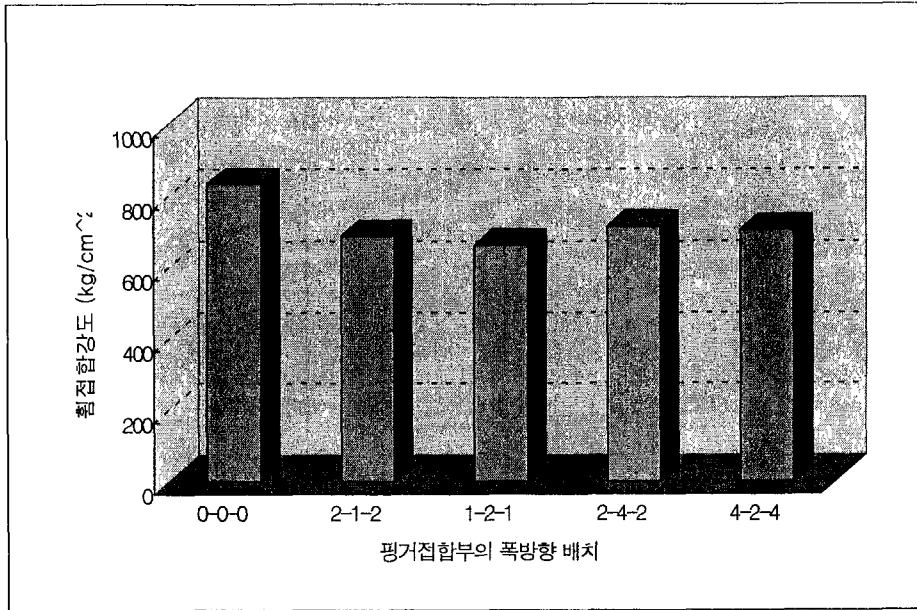


그림 2.9. 폭방향 평거접합부의 배치와 집성재의 휨강도

마. 요소수지접착제의 耐水性 改善試驗

일반적으로 목재 접착용으로 요소수지를 사용할 경우 상태접착력은 매우 뛰어나지만 습윤접착력 특히 열수에 대한 접착력이 열악한 것으로 알려져 있다. 이러한 요소수지의 내수성을 개선하는 방법으로는 요소·멜라민 공축합수지를 사용하거나 요소수지에 멜라민수지를 혼합하는 방법 등이 있으나 가장 간편하고 현장에서 쉽게 활용할 수 있는 방법으로 요소수지에 멜라민분말을 혼입하는 방법도 효과가 있는 것으로 연구되어 있다. 따라서 본 연구에서는 상온경화형 농축 요소수지의 고형분(solid content)에 대하여 멜라민 분말을 중량비 10%에서 30%까지 혼입했을 경우 접착성의 변화를 측정하였다.

접착강도 측정용 시험편의 치수는 한국공업규격 KSM3718(접착제의 접

착강도 시험방법통칙)에 맞추어 폭25mm, 길이 30mm로 제작하였으며 만능 재료시험기를 사용하여 압축전단접착강도를 측정하고 木破率은 육안관찰법에 의해 5%단위로 측정하였다. 습윤접착강도는 내수와 내온수로 구분 측정하였으며 각각의 시험조건은 다음과 같이 처리하였으며 조사된 결과를 종합하여 표 2.2 및 그림 2.10에 나타냈다.

耐水試驗: 시험편을 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 물속에 3시간 침지시킨 다음 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 물속에 10분간 침지시키고 젖은 그대로의 상태에서 접착강도를 측정한다.

耐溫水試驗: 시험편을 $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 온수속에 3시간 침지시킨 다음 실온의 물속에 식을 때까지 침지시키고 젖은 그대로의 상태에서 접착강도를 측정한다.

표 2.2. 상수리나무 집성접착시 멜라민 혼입량과 요소수지의 접착성

멜라민 분말 혼입량(%)	내수성 구분	접착강도(kg/cm ²)	비율(%)	목파율(%)
0	상태	180.3	100	80
	내수	138.6	77	65
	내온수	80.2	44	10
10	상태	178.8	99	85
	내수	141.6	79	75
	내온수	115.6	64	40
20	상태	175.7	97	80
	내수	146.8	81	60
	내온수	121.3	67	55
30	상태	164.7	91	75
	내수	120.3	67	55
	내온수	80.9	45	35

멜라민 분말을 요소수지 고형분의 중량비 10%를 혼입했을 경우 상태 및 내수접착강도는 각각 178.8kg/cm^2 , 141.6kg/cm^2 로서 요소단독수지(0%)의 180.3kg/cm^2 , 138.6kg/cm^2 와 유사한 수준을 나타냈으나 내온수 접착강도는 상태접착강도의 64%에 해당하는 115.6kg/cm^2 를 나타내고 목과율도 40%로 측정되므로서 요소단독수지의 내온수 접착강도가 80.2kg/cm^2 , 목과율 10%인데 비해 44%의 강도증가를 나타냈다.

계속해서 멜라민 분말을 20% 혼입했을 경우 상태접착강도는 175.7kg/cm^2 로서 요소단독수지일 때보다 다소 떨어지고 있으나 내수 및 내온수 접착강도는 각각 146.8kg/cm^2 , 121.3kg/cm^2 으로 요소단독일 때보다 6%와 51%의 강도증가를 나타내므로서 10% 혼입했을 때보다 다소 향상된 결과를 보여주었다. 그러나 멜라민 분말 혼입량을 30%로 증가했을 때는 요소단독수지에 비해서 오히려 상태 및 내수 접착강도가 저하되고 내온수 접착력도 향상되지 않는 등 멜라민 혼입의 효과가 없는 것으로 나타났다.

이는 멜라민 분말을 다량 혼입할 경우 오히려 접착성 개선효과가 떨어짐을 의미하는 데 특히 멜라민 혼입량을 30%로 했을 경우 접착경화후 피막에 소량의 멜라민 분말이 결합되지 못하고 부러쉬로 떨어져나오는 것을 볼 때 과다한 멜라민 분말은 요소수지와 충분히 결합되지 못한 채 일부가 유리상태로 존재하게 됨으로써 오히려 계면의 비접착성을 약화시키는 요인으로 작용하는 것임을 알 수 있었다. 본연구에서 상수리나무의 집성재 제조시 상온경화형 농축요소수지의 내수성을 개선하기 위한 멜라민분말 적정혼입량은 20% 수준인 것으로 조사되었다.

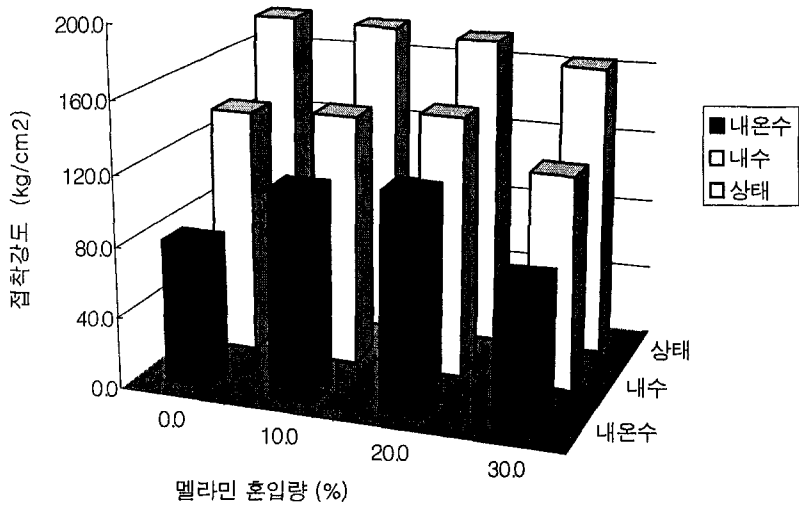


그림 2.10. 멜라민 혼입량에 따른 상수리나무의 요소수지 접착강도의 변화

2. 표면화장판 접착기술 개발

집성재의 표면 미화를 위한 가공방법으로는 표면에 직접 조각문양을 새겨 넣거나 U형 또는 V형 등의 홈을 삽입하는 표면기계가공법이 부분적으로 활용되고 있으나 대부분 투명 또는 불투명 도료를 도포하는 도장가공법이 가장 널리 이용되고 있다고 볼 수 있다. 그 외의 방법으로 본 연구에서는 적절한 재료를 표면에 오버레이(overlay)하는 방법을 도입하였으며 이 방법은 화장단판(sliced veneer), 멜라민수지화장판(melamine resin sheet), 금속판, 기타 지포류 등 다양한 재료를 집성재의 표면화장을 위하여 활용할 수 있는 방법이다. 단순한 표면의 미적가치를 증대시키기 위한 화장가공 외에

음향성을 개선하는 코르크오버레이, 방화성능을 강화하기 위한 석면오버레이, 단열보온성 개선용 발포수지오버레이, 촉감이나 시감을 향상시키는 양모 오버레이 등 집성재의 물리화학적 기능을 개선하기 위한 수단으로도 사용될 수 있는 매우 효과적인 표면처리방법이다. 여기서는 표면화장재료로서 화장 단판과 지포류를 대상으로 집성재의 표면에 오버레이 접착가공을 실시하고 접착성을 조사하였다.

가. 화장단판의 표면오버레이 접착가공

1) 표면화장용 집성판재 제작

화장단판을 표면에 오버레이하기 위한 대판으로서의 집성판을 먼저 제작하였다. 수종은 국산 소나무를 사용하였으며 대패가공치수 두께 15mm, 폭 30mm의 스트립의 한쪽 또는 양쪽에 핑거를 절삭한 후 길이 400mm가 되도록 길이방향으로 집성하고 접착제가 경화된 후 다시 폭방향으로 10개씩 집성접착하여 그림 2.11과 같은 집성판재를 준비하였다. 접착제로는 상온경화형 농축요소수지를 사용하여 양면도포방식으로 접착하였으며 접착조건은 통직집성재의 접착조건을 적용하였다.

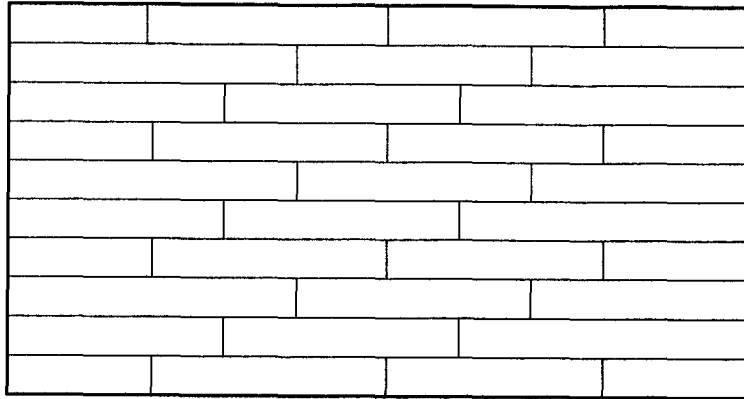


그림 2.11. 표면화장용 집성판

2) 화장단판의 표면오버레이접착

화장단판으로는 티크(teak)와 호도나무(walnut)의 두께 0.3mm 슬라이스 드 단판(sliced veneer)을 시중에서 구입하여 공시재료로 사용하였으며 접착제로는 목질판상재료의 2차접착용으로서 작업성이 좋고 사용이 간편한 초산비닐수지에밀전 접착제를 사용하였다. 접착조건은 접착제 원액을 사용하고 도포량은 $250\text{g}/\text{m}^2$ 을 소형 hand-roller를 사용하여 편면도포방식으로 도포하고 퇴적시간 20분, 압체압력은 냉압프레스에서 평균 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 24시간 이상 가한 후 해압하였으며 다시 24시간 양생과정을 거친 다음에 실험재료로 사용하였다.

이때 화장단판의 표면구성은 그림 2.12와 같이 상자형(box mach), 역다이아몬드형(reverse diamond match), 바람개비형(vane match) 및 바둑무늬형(checker match)으로 조합해서 접착하였다.

3) 화장단판 오버레이 집성재의 품질조사

가) 재면 및 겉모양 품질

티크(teak)와 호도나무(walnut)의 슬라이스드 단판으로 표면 구성한 집성재의 재면 및 겉모양 품질을 한국산업규격 KSF 3118(목재집성재)의 치장한 수장용 집성재의 품질기준에 따라 조사한 결과는 표 2.3과 같이 측정되었다. 조사항목은 슬라이스드 단판이 가지고 있는 웅이, 진줄무늬, 부후, 엇결, 할렬, 등 고유의 결점은 제외하고 접착가공과정에서 발생할 수 있는 항목만을 대상으로 하였다.

표 2.3. 화장단판 오버레이 집성재의 재면 및 겉모양 품질조사

조사항목	치장한 수장용 집성재의 품질기준		조사결과
	1급	2급	
균열	없을 것.	거의 눈에 띄지 않고 나비가 극히 좁으며 길이 50mm 정도 이하로서 재면에 1개 이하일 것.	압체경화후 미소한 균열이 국부적으로 발생함.
변색 및 오염	변색의 정도가 재색 고유의 색과 조화한 상태로 미관을 손상하지 않는 정도 일 것.	이용하는 데 지장이 없을 것.	접착제의 표면삼출이 없고 양호함.
접합틈	틈의 간격이 0.3mm 이하로 그다지 두드러지지 않을 것.	이용하는 데 지장이 없을 것. 다만 스카프접합, 핑거접합의 틈이 없을 것.	틈의 간격이 0.2mm 이하로서 양호함.
보수	재색 및 나뭇결이 주위의 재색과 잘 조화되고 탈락 및 빠질 염려가 없을 것.	재색 및 나뭇결이 주위의 재색과 잘 조화되고 탈락 및 빠질 염려가 없을 것.	보수없음.
부풀음, 겹침	결함의 정도가 눈에 띄지 않는 상태인 것일 것.	결함의 정도가 눈에 띄지 않는 상태인 것일 것.	부풀음이 일부 관찰됨.

화장단판의 표면구성 집성판의 재면 및 겉모양 품질조사 결과 압체후 경화수축과정에서 화장재료의 부풀음이 일부 관찰되었으나 이용에 지장을 줄 수 있는 정도는 아니었으며 육안으로는 관찰하기 어려운 정도의 미소한 균열이 티이크 화장판에서 발생하였다. 초산비닐수지에떨전 접착제는 경화 후 무색투명하고 또한 입자가 크기 때문에 화장재료의 표면까지 삼출되는 경우가 거의 없는 특성을 지닌 바 이번 실험에서도 접착제의 표면삼출에 의한 오염은 전혀 발생하지 않았다.

집성판의 핑거접합틈은 완전히 밀착되어 발생하지 않았고 다만 호도나무 단판의 바둑판 무늬 표면구성 집성판에서 단판조각간에 0.2mm 정도의 미세한 접합틈이 관찰되었다. 실험용으로 소량의 화장판을 서서히 단계적으로 제작하였기 때문에 특별히 보수할 필요는 없었으며 또한 단판조각끼리 겹치지 않도록 여러번 수정과정을 거쳐서 접착하므로서 단판겹침은 발생하지 않았다. 화장단판의 수종간 또는 표면구성방법간에 별다른 품질차이는 인정되지 않았으며 전체 항목에 대한 조사결과를 종합해보면 티이크와 호도나무 슬라이스드 단판의 표면오버레이 화장집성재의 재면 및 겉모양 품질은 1급에 해당하였다.

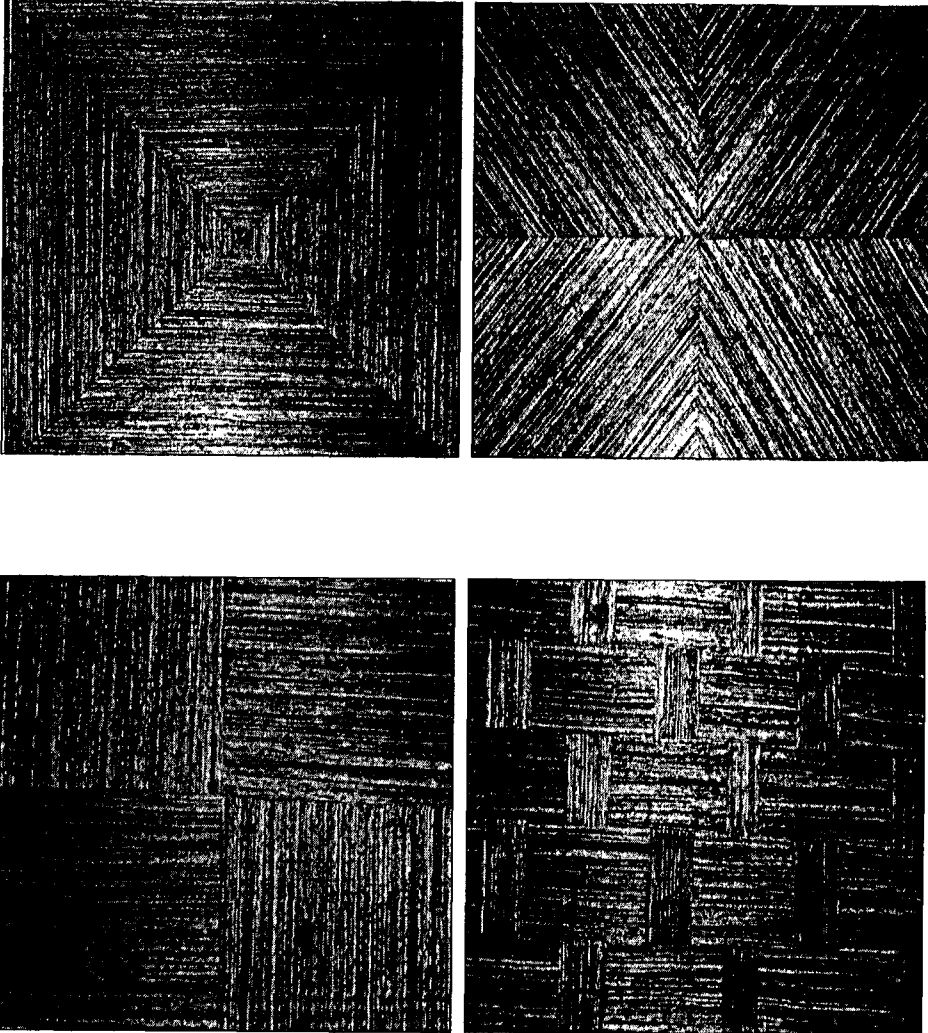


그림 2.12. 집성재의 화장단판 표면구성
 左上: box match, 右上: reverse diamond match
 左下: vane match, 右下: checker match

나) 표면화장단판의 박리접착성

티이크와 호도나무 슬라이스 단판의 집성재 표면 접착성을 조사하기 위하여 냉수 및 온수 침지박리시험을 실시하고 처리후의 표면상태와 박리율을 측정하였으며 그 결과를 요약하면 표 2.4와 같다.

박리시험은 각 시료 집성판으로부터 목구단면치수를 그대로하고 길이 75mm의 시험편을 채취하여 한국공업규격 KSF3118(목재집성재)에 따라 실시하였다. 박리시험조건은 규격에 따라 침지박리시험을 실시하였으며 초산비닐수지 에멀전 접착제가 열가소성 접착제이기 때문에 삶음침지처리에는 극히 취약하므로 온수조건에 해당하는 박리시험을 추가하였다. 각각의 시험조건은 냉수 침지박리시험의 경우 시험편을 상온($30\pm 1^{\circ}\text{C}$)의 물속에 6시간 침지시킨 다음 $40\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 습기가 차지않는 항온건조기에서 18시간 건조한 후 박리길이를 측정하고 온수 침지박리시험에서는 시험편을 온수($60\pm 1^{\circ}\text{C}$)에 6시간 침지시킨 다음 $40\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 습기가 차지않는 항온건조기에서 18시간 건조한 후 박리길이를 측정하였으며, 박리율은 표리양측의 횡단면상 길이합계에 대한 표리양측의 횡단면상 박리길이 합계의 비율로 산출하였다.

표 2.4. 화장단판의 집성재 표면 접착성

표면화장재료	박리율(%)		표면상태	
	냉수침지	온수침지	냉수침지	온수침지
티이크 단판	44.0	89.5	작은 주름발생	대부분 탈리됨
호도나무 단판	26.0	84.5	작은 주름발생	대부분 탈리됨

초산비닐수지 에멀전으로 표면접착시킨 티이크 단판의 냉수침지처리에 대한 박리율은 44.0%를 나타내므로서 상당히 불량한 표면 접착성을 보여주

있으며 화장단판이 침지처리과정에서 흡수 후 건조를 통해 불규칙하게 수축되면서 2-4개의 주름을 발생하기도 하였다. 이는 단판의 두께가 3mm로서 매우 얇은 재료이므로 침지처리 과정에서 흡수가 빠르고 또한 접착층까지 많은 수분이 침투하여 접착피막을 용이하게 연화시킨 때문으로 해석되며 수온이 높은 온수침지처리에서는 이러한 흡수와 접착피막의 연화가 더한층 가속화되어 89.5%의 극히 높은 박리율을 나타냈으며 화장단판의 거의 전면이 집성판으로부터 탈리되는 표면상태를 보여주었다. 호도나무 단판에서도 냉수침지처리에서 박리율 26.0%를 나타내고 온수침지처리에서는 84.5%를 나타내므로써 수중에 관계없이 유사한 표면접착성을 나타냈다.

따라서 초산비닐수지 에멀전 접착제는 사용이 간편하고 작업성이 뛰어나서 표면 2차접착용으로 많이 사용되고 있으나 내수성이 매우 취약하기 때문에 내수성 보완을 위한 대비가 있어야 할 것으로 생각된다. 실내용이나 기타 수분에 노출되지 않는 용도로 사용될 경우 내수성 문제는 다소 완화될 수 있으나 실내용이라 해도 계절에 따른 상대습도의 변화가 있을 경우 역시 내수성이 약한 접착제는 박리현상을 초래할 가능성이 매우 높아지게 된다.

나. 지포류의 표면오버레이 접착가공

1) 지포류의 표면오버레이접착

화장재료로서 종이와 직물을 대상으로 역시 초산비닐수지 에멀전 접착제를 사용하여 앞에서 제작한 집성판에 표면접착시켰다. 종이로는 두께 0.17mm의 달력제작용 고급인쇄용지와 두께 0.16mm의 일반 도배용 벽지를 선정하고 직물로는 두께 0.13mm의 면직포와 두께 0.25mm의 모직포를 선정하여 화장재료로 사용하였으며 접착조건은 화장단판 접착과 동일한 조건을

적용하였으며 집성판의 표리면에 걸쳐서 접착하였다.(그림 2.13)

2) 화장단판 오버레이 집성재의 품질조사

(가) 재면 및 겉모양 품질

접착 후의 표면상태는 한국산업규격 KSF 3106(특수가공 화장합판)에 포함되어있는 종이오버레이 화장합판의 판면 및 겉모양의 품질기준을 적용하였으며 조사한 결과는 표 2.5와 같이 측정되었다. 조사항목은 접착가공과정에서 발생할 수 있는 항목만을 대상으로 하였다.

표 2.5. 지포류 오버레이 집성재의 재면 및 겉모양 품질조사

조사항목	지포류 표면화장 집성재의 앞면 품질기준			조사결과
	1급	2급	3급	
벗겨짐, 부풀음 및 균열	없을 것.	없을 것.	극히 경미할 것.	없음.
오염, 먼지의 부착 및 자리	극히 경미할 것.	경미할 것.	현저하지 않을 것.	접착제의 표면 삼출이 없고 양호함.
엠보스, 흠파기 및 기타 가공마무리	정연하고 극히 양호할 것.	정연하고 양호할 것.	양호할 것.	해당없음.
화장재료상태 (인쇄상태, 수지상태, 도막상태, 마무리도장상태)	극히 양호할 것.	양호할 것.	대체로 양호할 것.	해당없음.
기타	극히 경미할 것.	경미할 것.	현저하지 않을 것.	극히 경미함.

종이 및 직물류의 표면구성 집성판의 재면 및 겉모양 품질조사 결과 모두 매우 양호한 표면상태를 보여주었다. 면직포의 경우 압체과정에서 극히 경미한 필립현상이 관찰되었으나 육안으로 식별하기 어려운 정도로서 이용에 지장을 줄 수 있는 정도는 아니었으며 화장단판의 경우와 마찬가지로 접착제의 삼출에 의한 표면 오염현상도 전혀 발생하지 않았다. 인쇄용지와 벽지간 또는 면직포와 모직포간에 특별한 품질차이는 인정되지 않았으며 작업성도 매우 우수하여 전체적으로 초산비닐수지 에멀전 접착에 의한 지포류의 표면오버레이 화장집성재의 재면 및 겉모양 품질은 1급에 해당하였다. 현행 규격에는 표면화장 제품에 대한 조사항목이 단순하고 품질기준도 양호 또는 극히 양호, 경미 또는 극히 경미 등 매우 애매한 판단기준을 제시하고 있기 때문에 이분야에 관한 연구를 활성화하고 산업현장에서의 제품품질관리를 계량화하기 위해서는 반드시 규격의 수정보완이 이루어져야할 것으로 생각된다.

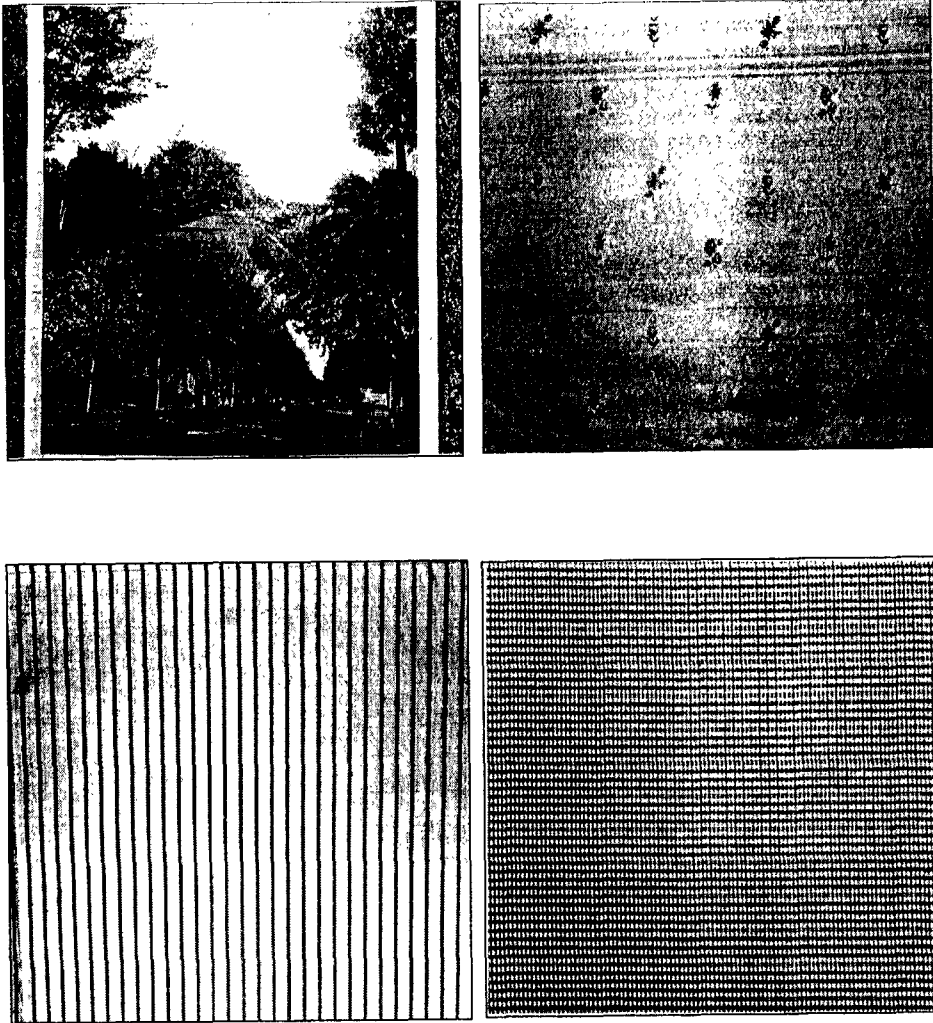


그림 2.13. 집성재의 지포류 표면오버레이 구성
 左上: 인쇄용지, 右上: 벽지 左下: 면직포, 右下: 모직포

(나) 표면화장 지포류의 접착성

종이와 직물류의 집성재 표면 접착성을 조사하기 위하여 화장단판과 동일한 방법으로 냉수 및 온수 침지박리시험을 실시하고 처리후의 표면상태와 박리율을 측정하였으며 그 결과를 요약하면 표 2.6과 같다.

표 2.6. 지포류의 집성재 표면 접착성

표면화장재료		박리율(%)		표면상태	
		냉수침지	온수침지	냉수침지	온수침지
종이류	인쇄용지	10.5	40.8	작은 주름발생	큰 주름 발생
	벽지	11.8	49.0	미세한 주름발생	큰 주름 발생
직물류	면직포	16.5	39.3	작은 주름발생	큰 주름 발생
	모직포	19.0	45.5	양호함.	많은 주름발생

초산비닐수지 에멀전으로 표면접착시킨 고급 인쇄용지의 냉수침지처리에 대한 박리율은 10.5%를 나타내므로써 티이크 화장단판의 박리율 44.0%에 비하면 매우 양호한 표면 접착성을 보여주었다. 화장단판이 침지처리과정에서 흡수 후 건조를 통해 불규칙하게 수축되면서 박리현상을 심하게 나타낸 반면에 종이는 화장단판처럼 심한 수축현상을 일으키지 않기 때문에 침지처리중 흡수과정에서 접착피막이 연화되었다가 건조시 경화하는 과정에서 집성재 표면에 다시 들러붙게 되면서 박리부분이 최소로 줄어들게 된 것으로 추정된다. 특히 인쇄용지는 화장단판에 비해 월등히 유연한 재료이므로 이 과정에서 4-6의 작은 주름들이 발생하기도 하였으며, 온수침지처리에서는 40.8%의 높은 박리율을 나타냈으며 매우 큰 주름이 발생하였다.

벽지에서도 냉수침지처리에서 박리율 11.8%, 온수침지처리에서 49.0%를 나타내어 인쇄용지와 비슷한 수준의 표면접착성을 나타냈다. 한편 면직포는

냉수침지처리에서 박리율 16.5%, 온수침지처리에서 39.3%를 나타내어 종이류보다 다소 표면접착성이 떨어지는 것으로 조사되었고 모직포의 경우에는 냉수침지처리에서 박리율 19.0%, 온수침지처리에서 45.5%를 나타내어 면직포보다도 표면접착성이 떨어지는 것으로 나타났다. 전체적으로 지포류의 냉수침지처리에 의한 박리율은 10-20%의 범위 안에 포함되는 반면에 화장단판은 26-44%로서 화장재료로 사용할 경우 표면접착성의 보완을 고려해야할 것으로 판단된다. 박리율로 본 화장재료별 집성재 표면 접착성을 비교해보면 그림 2.14에 나타난 바와 같이 화장단판의 접착성이 가장 떨어지고 종이류와 직물류는 큰 차이는 없으나 직물류의 접착성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

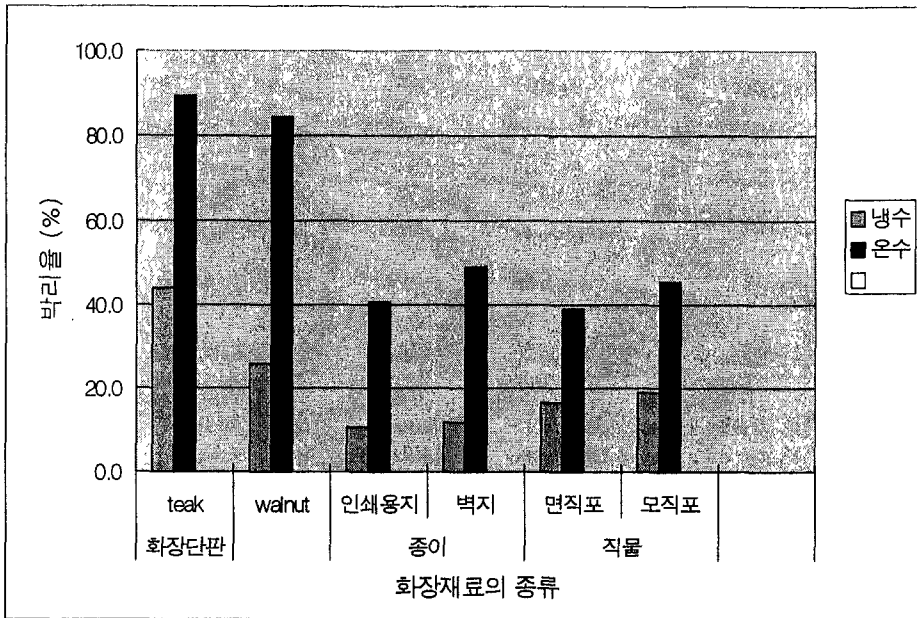


그림 2.14. 화장재료의 종류별 집성재의 표면접착성

다. 표면접착용 초산비닐수지 에멀전 접착제의 내수성 개선시험

초산비닐수지는 경화제나 첨가제 등을 넣지 않고도 상온에서 쉽게 경화되며 또한 경화피막이 투명하여 재면에 오염을 일으킬 염려가 없을 뿐만 아니라 열가소성수지로서 피막이 유연하여 절삭공구류에 손상을 주지않으므로 절삭성과 작업성이 극히 우수하여 일반목공용으로 가장 많이 사용되며 화장재료의 표면 2차접착용으로도 많이 사용되고 있는 접착제이다.

그러나 내수성과 내열성이 매우 열등하여 구조용재의 접착에는 사용되지 못하고 내수성을 요구하지 않는 실내장식용이나 가구류 접착등에만 사용되고 있다. 실내장식용이나 일반가구용 집성재는 대부분 내수성을 요구하지 않는 용도로 사용되고 있으나 집성재의 표면에 오버레이하는 화장재료는 대체로 매우 얇은 sheet상 재료이기 때문에 외기의 변화 특히 습도의 변화에

매우 민감하게 반응하여 쉽게 치수변화를 일으키거나 접착성을 떨어뜨리기 쉽기 때문에 가능한 내수성을 높여주는 것이 중요하다. 본 연구에서도 티이크 및 호도나무의 슬라이스드 단판에서 심한 박리상태를 나타므로 초산비닐수지에멀전 접착제의 내수성을 개선할 필요가 있다고 본다.

초산비닐수지의 내수성을 개선하는 방법으로는 혼화성이 뛰어나고 초산비닐수지보다 내수성이 양호한 요소수지를 혼합사용하는 방법이 가장 일반적이고 현장에서도 쉽게 활용할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 따라서 초산비닐수지에 요소수지를 고형분의 중량비로 25%에서 100%까지 4단계로 구분해서 혼합하여 티이크 화장단판을 집성판의 표면에 오버레이 접착한 다음 냉수침지처리와 온수침지처리를 실시한 후 각각의 박리접착성능을 조사하였으며 얻어진 결과를 표 2.7 및 그림 2.15에 나타냈다.

표 2.7. 요소수지 혼합비율에 따른 초산비닐수지 접착 티이크 화장단판의 박리율

요소수지 혼합비율(%)	침지조건	박리율(%)
25	냉수	36.2
	온수	74.7
50	냉수	30.4
	온수	63.2
75	냉수	25.9
	온수	51.0
100	냉수	18.5
	온수	39.6

요소수지를 25% 혼합했을 경우 초산비닐수지의 냉수침지 박리율은 36.2%로서 초산비닐 단독수지일 때의 44.0%에 비해 17.7%정도 감소하였으며 온수침지에서도 박리율이 16.4% 감소하는 결과를 얻었다. 계속해서 요소수지 혼합비율을 50%로 높인 경우 냉수침지 박리율은 30.9%, 온수침지 박리율은 29.4%가 감소되어 뚜렷한 표면접착성 개선효과를 얻을 수 있었으며, 요소수지 혼합비율을 75%와 100%로 증가시킴에 따라 냉수침지 박리율 각각 41.1%, 58.0%, 온수침지 박리율 각각 43.0%, 55.8%가 감소되므로 요소수지 혼합비율을 높일수록 초산비닐수지 에멀전 접착제의 표면접착성이 현저하게 개선됨을 알 수 있었다. 그러나 이러한 박리율 수치의 비교만으로는 표면접착성이 매우 개선된 것으로 보이지만 요소수지와 초산비닐수지 자체가 기본적으로 내온수성이 취약하기 때문에 요소수지를 100% 혼합했을 경우에도 박리율이 39.6%로서 상당히 불량하며 100% 이상 다량 혼합한다해도 박리율이 더 이상 감소하기는 어렵다고 판단된다. 다만 초산비닐 수지에 요소수지를 혼합함으로써 냉수에 대한 표면접착성은 뚜렷하게 개선되므로 확장한 집성재의 용도 및 내수성의 요구도에 따라 요소수지를 적당량 혼합하여 사용하는 것이 초산비닐수지 에멀전접착제의 표면접착성을 개선할 수 있는 효율적인 방법이라고 생각된다.

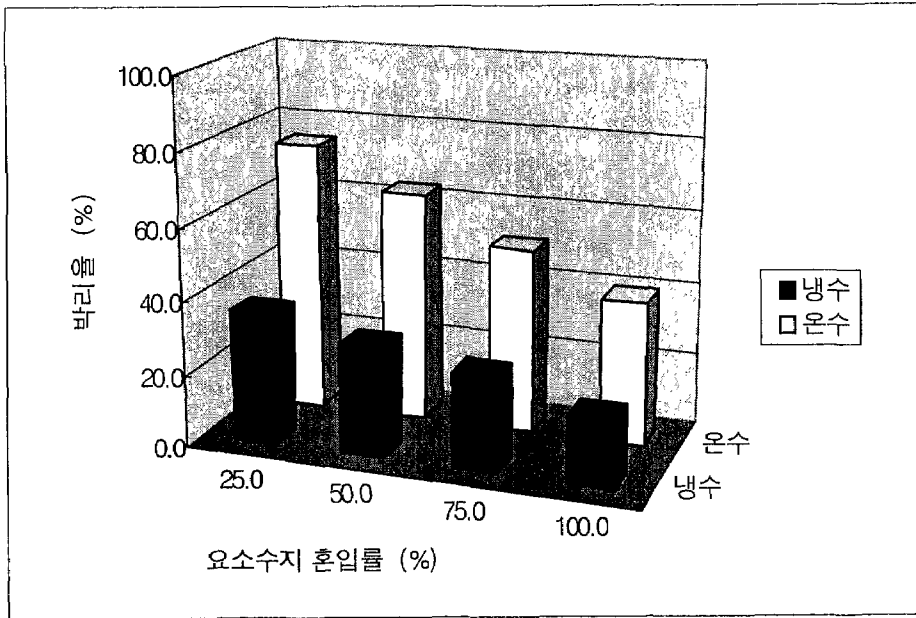


그림 2.15. 화장재료의 종류별 집성재의 표면접착성

라. 표면화장재료의 평면인장강도

화장재료의 집성재에 대한 표면접착성을 평가할 수 있는 다른 방법으로는 평면인장강도를 측정하는 방법이 사용될 수 있다. 평면인장강도 측정에 대한 규격으로는 목재집성재(KSF3118)에는 나와있지 않고 파티클보오드 치장판(KSF3105), 특수가공화장합판(KSF3106), 콘크리트 거푸집용 합판(KSF3110), 치장용 경질 섬유판(KSF3200) 등에 제시되어 있으나 내용은 대동소이하며 본 연구에서는 가장 현실적으로 설명되어 있는 치장용 경질 섬유판에 제시된 방법에 따라서 티이크 화장단판, 벽지 및 모직포의 상수리나무 집성판에 대한 평면인장강도를 조사하였다. 평면인장강도의 측정치구는 그림 2.16과 같이 장치하고 단면치수 20×20mm의 어태치먼트를 제작하여 상온경화형 농축 요소수지접착제를 사용하여 집성판의 화장면에 접착시켰

다. 규격에는 표면접착용 어태치먼트(attachment)를 금속으로 제작하고 에폭 시수지와 시아노아크릴레이트 계통의 접착제를 사용하도록 되어있으나 이들 접착제의 접착성능이 약해서 화장단판이 박리되지 않고 금속어태치먼트가 떨어지는 경향이 심하여 화장단판의 평면인장강도를 측정할 수 없는 문제점이 발생하였다. 따라서 금속판 대신에 목제어태치먼트로 대체하고 접착제도 요소수지 접착제를 사용하여 상대 및 내수로 구분하여 평면인장강도를 측정하였으며 얻어진 결과를 종합하여 표 2.8을 작성하였다.

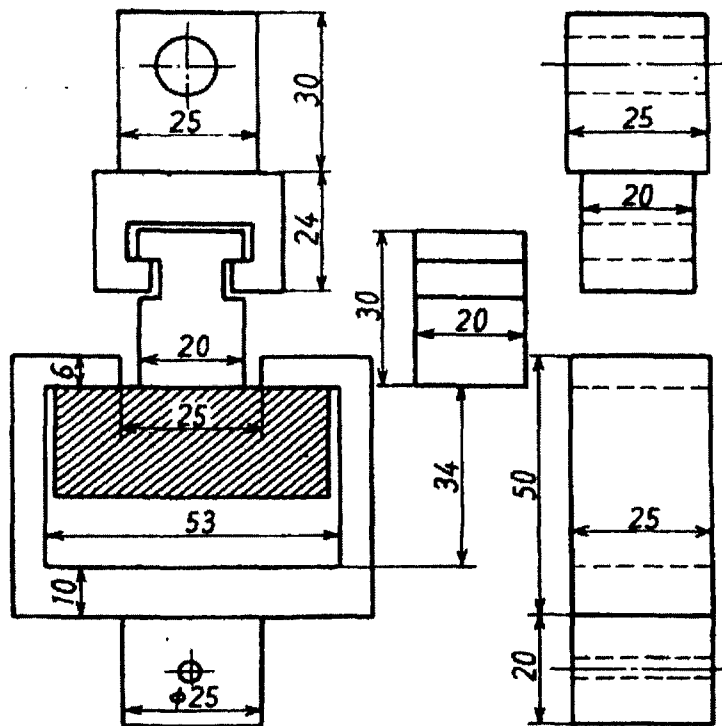


그림 2.16. 화장재료의 평면인장강도 측정장치(단위: mm)

표 2.8. 화장재료의 평면인장강도

표면화장재료	평면인장강도(kg/cm ²)	
	상태	내수
티이크 단판	28.1	12.4
벽지	23.4	10.3
모직포	24.9	11.4

상수리나무 집성판에 대한 표면화장용 티이크 슬라이스드단판(teak sliced veneer)의 상태 평면인장강도는 28.1kg/cm²로서 치장용 경질 섬유판(KSF3200)의 기준강도인 4.0kg/cm²의 7배에 달하는 매우 우수한 평면인장강도 성능을 보였으며 내수 평면인장강도는 상태의 44%에 불과한 12.4 kg/cm²를 나타냈으나 이 역시 규격에서 제시한 기준강도를 훨씬 초과하였다.

벽지의 경우 상태 및 내수 평면인장강도는 각각 23.4kg/cm², 10.3kg/cm²로서 매우 우수한 평면인장강도성능을 나타냈으며 모직포의 상태 및 내수 평면인장강도 역시 각각 24.9kg/cm², 11.4kg/cm²를 나타내어 화장재료의 종류에 관계없이 초산비닐수지 에멀전 접착제의 평면인장강도는 매우 우수한 것으로 판명되었다. 화장재료별로는 티이크 단판의 평면인장강도가 가장 양호하고 벽지와 모직포의 평면인장강도는 거의 동등한 수준으로 나타났다.

제3절 집성·접착 공정 자동화 및 시스템 분석 (Simulation)

1. 집성부재 배치 자동화시스템 개발

가. 재색 분류 및 배치

목재는 나름대로의 독특한 재색을 갖추고 있다. 그러므로 다양한 수종을 조합하여 제품을 완성하게 되는 집성재에서는 사용될 목재의 재색을 미리 파악하여 소비자의 요구에 부합할 수 있도록 하여야 한다. 특히, 수종이 매우 다양한 국산 활엽수를 사용코자 할 경우에는 재색의 배치에 각별한 주의를 기울여야 하며, 다양한 재색은 오히려 다양한 디자인을 개발해낼 수 있는 좋은 기회를 제공한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 재색 배치를 통한 다양한 디자인의 개발을 위한 기초자료로서 국산재 30수종에 대하여 색차계를 이용, L(lightness), a(redness), b(yellowness) 및 광택도를 측정 분류하였으며, 그 결과는 표 3.1과 같았다.

측정 결과 lightness의 최대와 최소의 차가 약36으로 가장 컸으므로 우선 L값을 12간격으로 상중하 3등분하여 각 등급별로 다시 a값을 기준으로 분류하였다. 이때 a값의 3등분 간격은 최대와 최소의 차 약 9를 3분한 3으로 하였다. 분류 결과 다음과 같은 群분류를 할 수 있었다. 그러나 이와 같은 분류는 수치에 의한 것으로 인간의 감각과는 약간의 차이가 예상된다. 또한 표에 제시된 모든 수종을 동시에 사용하는 예는 거의 없을 것이므로 공정 투입된 미리 유사한 재색의 수종들로 분류한다면 재색 배치에 따른 효과를 거둘 수 있을 것으로 예상된다. 한편, 본 연구에서는 편의상 일정한 간격으로 재색을 분류하였으나 실제 상황에서는 표 3.1과 같은 대상 수종들의 재색관련 정보를 기준으로 분류기준간격보다 재색의 차이가 크지 않다면

함께 조합하는 것도 무방할 것으로 사료된다.

나. 목리별 분류 및 배치

생산된 집성재의 사용중 물리적 변형, 특히 수축에 의한 문제점을 사전에 예방하기 위해서는 각 laminar의 목리에 대해서도 주의를 기울여야 한다. 목재의 조직적 구조상 판목(flat-sawn)은 정목(quarter-sawn)에 비하여 수축에 의한 틀어짐 특히, 너비굽음(cupping)의 발생이 현저하다. 그리고 원목으로부터 생산되는 판목의 비율이 정목에 비하여 매우 높기 때문에 가능한 목리에 따라 교호로 strip을 배치하는 것이 요구된다. 이러한 작업은 공정중 화상처리과정을 통하여 strip단면의 목리를 검색하므로써 가능하다. 그러나 finger-jointing에 의한 집성재에서는 laminar의 규격이 작고 목리 관련 배치의 경우의 수가 매우 많기 때문에 오히려 별다른 문제점을 발생시키지 않을 것으로 예상된다.

표 3.1 국산재 30수종의 재색특성

수 종	L	a	b	광택도
음 나 무	45.67	6.20	13.93	2.53
느릅나무	46.07	5.80	15.47	3.17
가래나무	58.10	7.50	16.57	2.93
오리나무	58.53	9.37	20.53	2.77
산벚나무	59.07	5.63	20.93	2.87
버드나무	59.47	9.37	23.07	2.70
참박달나무	60.47	8.60	18.37	2.93
들메나무	61.30	3.97	16.83	4.07
굴참나무	62.10	4.90	16.93	2.53
매채나무	62.33	8.70	13.70	3.73
물푸레나무	62.87	4.00	19.07	2.60
섬벚나무	63.13	8.30	21.47	3.40
갈참나무	63.90	10.13	21.33	4.23
물박달나무	64.63	8.37	17.50	3.37
아카시아	65.20	2.67	22.70	2.53
낙엽송	65.63	9.17	19.67	3.73
밤 나 무	66.10	1.73	15.57	3.53
다릅나무	66.50	5.20	17.60	2.77
참죽나무	67.17	3.77	17.93	2.53
나도밤나무	67.67	3.70	17.57	3.23
참피나무	67.77	4.63	19.07	4.10
오동나무	68.17	4.03	15.23	3.20
고로쇠나무	68.53	2.80	17.23	3.07
물피나무	69.90	3.70	20.27	4.47
홍자작나무	70.77	3.63	20.93	3.37
은행나무	72.03	5.47	19.00	3.77
총총나무	76.43	0.70	15.43	3.77
백자작나무	76.50	4.00	21.53	4.00
은사시나무	80.07	1.87	18.73	4.27
황철나무	81.47	1.43	13.37	3.60
최대값	81.47	10.13	23.07	4.47
최소값	45.67	0.70	13.37	2.53
차	35.80	9.43	9.70	1.94

표 3.2. 국산재 30수종의 lightness와 redness에 따른 분류

Lightness	Redness	수 종
상	상	-
	중	백자작나무, 홍자작나무, 은행나무
	하	총총나무, 은사시나무, 황철나무
중	상	가래나무, 오리나무, 버드나무, 참박달나무, 매체나무, 섬벚나무, 갈참나무, 물박달나무, 낙엽송,
	중	산벚나무, 굴참나무, 물푸레나무, 다릅나무, 참피나무, 오동나무,
	하	들메나무, 아까시나무, 밤나무, 참죽나무, 나도밤나무, 고로쇠나무, 물피나무
하	상	-
	중	음나무, 느릅나무
	하	-

2. 공정설계 및 시스템 분석

가. 공정분석

1) 제재공정

국산재의 특성은 작은 직경(15cm-25cm)과 불규칙한 형상으로 규정할 수 있다. 그러므로 투입되는 원목의 정확한 규격과 형질의 파악은 제재수율에 막대한 영향을 미친다. 따라서 원목 검색기(log scanner, 그림 3.1 참조)의 적용이 필수적인 것으로 판단되며, 검색기를 통하여 얻어진 정보(원목의 직경, 길리, taper수준, 굽음도, 굽음의 방향 등)들을 제제기에 입력, 최고

의 수율을 얻을 수 있는 제재방법을 자동적으로 결정, 수행할 수 있도록 자동화해야 한다. 미국에서는 이미 1970년대 중반 BOF(Best Opening Face)라는 프로그램을 개발하여 원하는 규격의 제재목을 최고의 수율로 얻어낼 수 있는 제재방법을 결정, 제재기를 자동으로 setting하는 시스템을 개발한 바 있다. 그림 3.2는 미국 S사에서 최근 개발한 원목 제재용 프로그램으로 원목의 규격과 형상에 따라 원목의 조재료부터 제재에 이르기까지 최고의 수율을 보장할 수 있는 방법을 제시해주고 있다.

또한 최근에는 미국 등 선진국에서 사용하고 있는 curve-sawing 방법은 제재기에 투입되는 원목의 굽음도와 굽음의 방향을 검색하여 원목의 굽은 형태에 따라 log carrier가 원목을 지지, 투입할 수 있도록 하고 있다. 또한 원목의 직경이 매우 작은 관계로 동일한 생산량을 얻기 위해서는 대경재에 비해 상당히 빠른 처리속도를 달성해야 한다. 결과적으로 소경재 제재공정의 자동화는 필수적인 사항으로 우리의 현실에 적합한 제재자동화 시스템의 설계와 개발이 절실히 요구된다.

경기도 여주에 위치한 임산물유통센터에서 집성재 생산을 위하여 설치한 국산재 제재시스템은 사진 3.1의 원목 야적장으로부터 원목을 원목 자동송재장치(사진 3.2)에 올려놓으면 원목이 자동으로 공장내부의 제재기(사진 3.3)로 이송되도록 되어 있어 물류의 간편화 및 신속화를 이루고 있다. 그러나 사진 3.4에서 보는 바와 같이 제재시스템의 경우 operator가 레이저 지시선을 이용하여 직접 원목의 위치를 조정하도록 되어 있어 조정상의 오차로 인한 제재수율의 감소가 예상된다. 또한 공장내의 냉난방 시설이 전혀 갖추어있지 못하여 특히 기온이 낮은 동절기에는 operator에 의한 작업이 매우 곤란할 것으로 생각된다. Operator의 열악한 작업조건은 결국 생산성 저하로 이어지므로 선진국의 예와 같이 제재시스템과 격리된 조정실을 마련 원격으로 시스템을 제어, 관리해야 할 것으로 판단된다.

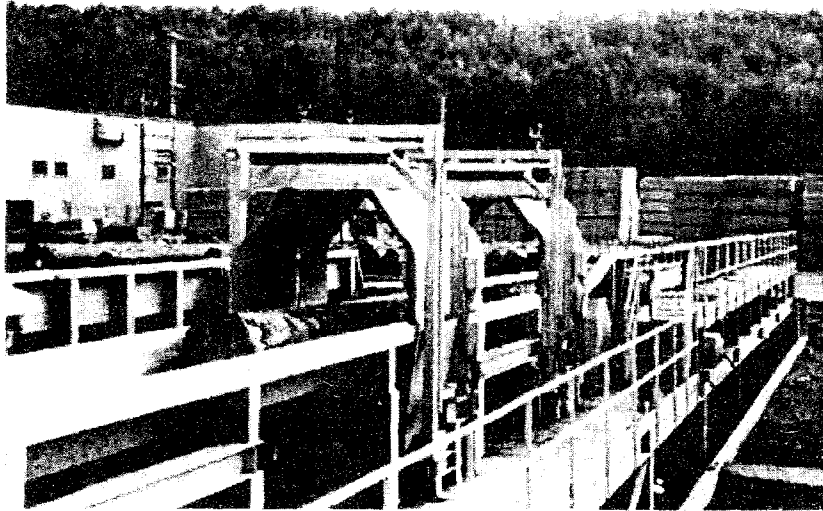


그림 3.1. 미국 G사의 원목검색기.

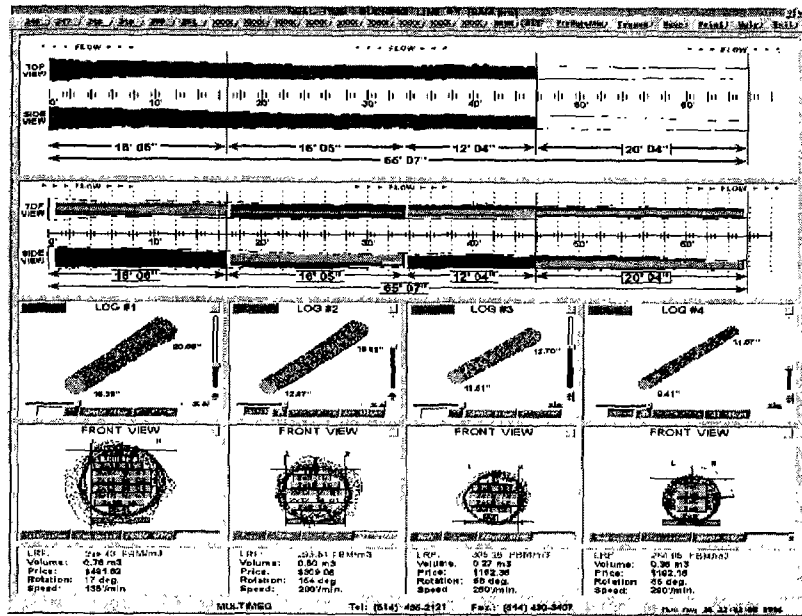


그림 3.2. 미국 S사의 원목 제재용 프로그램.

본 제재시스템은 양쪽에 두 개 또는 그 이상의 등근톱이 설치되어 cant와 side cuts(fitches, 사진 3.5 참조)를 생산해내는 형태가 적절하며, cant는 다시 검색기를 거쳐 gang-saw(사진 3.6참조)로 향한다. 이때 gang-saw에는 절삭폭(kerf)을 최소화(약 3mm이하)한 thin-kerf saw를 사용해야만 톱밥으로 손실되는 목질의 양을 최소화할 수 있게 되므로써 제재수율을 높일 수 있다. 그리고 side-cuts 역시 띠톱에 의한 2차가공을 통하여 gang-saw로 투입된다.

2) 재단과 건조공정

제재공정에서 생산된 판재는 효율적인 건조를 위하여 폭재단과 길이재단을 거친다. 인건비 절감을 위해 건조비용에서 가장 많은 비율을 차지하는 잔적작업을 자동화할 필요가 있다. 실제로 경기도 여주 임산물유통센터의 공정을 살펴보면 gang-saw로부터 재단된 제재목은 작업자의 수작업에 의하여 건조를 위한 잔적이 이루어지고 있다. 그러나 사진 3.7에서 보는 바와 같이 전적으로 수작업에 의존하므로 긴 작업시간이 요구되며, 잔목(sticker)의 위치가 일정치 않아 건조중 자체 하중에 의한 틀어짐(warp) 등이 예상된다.

잔적된 판재는 건조기에 투입되어 함수율 약 8%까지 건조한다. 경기도 여주 임산물유통센터에서는 각 2기의 진공건조기(사진 3.8)와 제습건조기(사진 3.9)를 이용하고 있다. 한편, 잣나무의 경우 제재후 즉시 건조하지 못하여 단기간이라도 방치하게 되면 즉시 청변(blue stain)이 발생되어 제품의 외관상 품질을 악화시키는 원인이 되고 있다. 따라서 건조용량을 증대시켜 특히 잣나무의 경우 제재후 곧 바로 건조기에 투입, 함수율을 낮추어주므로써 청변발생을 억제해야 할 것으로 사료된다. 건조공정은 전체 공정중 가장 소요기간이 긴 공정으로 대부분의 병목(bottle-neck)현상이 건조공정의

바로 전 공정인 제재공정에서 발생되어 제재목이 방치되므로써 청변과 같은 결함발생의 주원인이 되고 있으므로 건조용량의 증대는 필수적이라 하겠다. 최근 선진국에서는 청변발생을 억제해주는 화학약품 등이 개발되기는 하였으나 경제적 타당성을 고려할 때 비교적 적절치 못한 방법으로 판단된다.

한편, 현재로서는 국내의 경우 집성재 제조에 이용되고 있는 주 수종이 잣나무와 낙엽송으로 여겨지고 있으나 제품의 다양화와 고급화를 위해서는 활엽수를 포함한 다양한 수종의 이용이 요구되고 있다. 그러나 국산재의 생산 및 공급량이 소량인 반면 건조용량이 상대적으로 큰 사실을 감안할 때 건조과정에서는 여러 가지 수종을 동시에 건조할 경우가 있으므로 본 연구의 “건조시스템자동화” 연구부분에서 제시한 바와 같이 동시 건조가 가능한 수종별로 분류하여 잔적하는 것이 요구된다. 또한 대부분의 국산 소경제에는 건조과정중 치명적인 건조결함을 발생시키는 원인이 되는 미성숙재를 포함하고 있으므로 보다 새로운 형태의 안전한 건조스케줄이나 건조방법 등의 개발이 요구된다.

현재 주요 수종으로 취급되는 잣나무와 낙엽송과 같은 침엽수재의 경우 미국 등 선진국에서는 건조시간 단축을 위한 방법으로 고온건조 (high-temperature drying)를 시도하고 있으며, 급속 건조중 틀어짐현상 방지를 위한 top-loading 방식을 적용하고 있다. 국내에서도 침엽수의 효과적인 고온건조방법을 개발하여 적용하는 것이 경쟁력을 높일 수 있는 좋은 대안으로 판단된다.

3) 집성부재 제작

건조된 판재는 우선 평삭과 폭재단을 통하여 일정한 폭의 strip으로 제작된다. 이후 목재의 전기적 성질을 이용한 유전율식 비접촉 목재 함수율 검색기를 통하여 함수율이 규정수준 이상인 것은 분류하여 다시 재건조하거

나 기타 제품 생산공정으로 보내진다. 적정 함수율로 판정된 strip은 용이 등과 같은 결합제거공정으로 이송된다. 사진 3.10는 작업자가 육안으로 목재표면 결합을 조사하여 jumping saw를 이용, 수작업으로 결합을 제거하고 무결점의 laminar를 생산하는 과정을 보여주고 있다. 그러나 작업자의 육안에 의한 결합 검색에는 그 정확도와 효율성(수율)에 한계가 있으며 처리속도 역시 지연되는 문제가 있다. 따라서 화상처리를 이용한 등급 판정 및 분류 자동화시스템을 거쳐 주문에 따라 목재 표면상의 결합(knot, rot region, void, check 등)을 제거해주는 자동화시스템의 도입이 요구된다. 본 시스템의 proto-type은 본 연구의 “재단자동화시스템개발” 연구에서 제시한 바 있다. 한편, 등급판정에서 수준이하로 분류된 부재들은 기타 제품 생산공정에 보내진다.

4) Finger-jointing, 집성 및 완성

길이는 서로 다르지만 폭이 같은 각 laminar를 길이방향으로 집성하는 과정에서는 접착면적을 극대화하여 접착성능을 향상시키기 위하여 보통 finger-joint방법이 적용되고 있다. 사진 11에서처럼 목구면(end)에 finger가 절삭된 laminar에는 즉시 접착제가 도포되고 적절한 길이로 조합된 strip은 고주파가열기로 보내어져 집성 strip(사진 3.12 참조)으로 완성된다. 집성된 strip은 표면 사상을 거쳐 모서리(edge)에 접착제가 도포되고, 즉시 폭집성공정(사진 3.14참조)이 수행된다.

폭집성이 완료된 집성판(blank)은 길이가 서로 다른 laminar를 이용한 판재로 strip의 길이가 서로 달라 일정한 길이의 집성판 생산을 위하여 panel saw(사진 3.15 참조)로 길이재단을 하게된다. 완성된 집성판은 접착층에서 빠져 나온(squeeze out) 접착제의 제거와 제품 표면 품질 향상을 위하여 최종적으로 wide-belt sander로 연삭하여 최종 제품(사진 3.16 참조)이 완성

된다.

경기도 여주 임산물유통센터에서 국산 잣나무와 낙엽송을 이용하여 생산하고 있는 집성판은 이용수종과 규격(폭, 길이, 두께)이 단순하여 소비자의 다양한 요구에 충분히 대응하기 어려운 것으로 판단된다. 따라서 대상 수종을 국산 활엽수를 포함하여 다양화할 필요가 있으며, 규격 역시 시장조사를 통하여 다양화할 필요가 있다. 이와 같은 제품 다양화는 제품의 부가가치 향상과 시장 경쟁력 강화를 위하여 필수적인 사항으로 판단된다. 그러나 다품종소량생산체제 확립을 위해서는 제조공정 자동화를 위한 노력이 요구되며, 대상 수종의 가공기술에 대한 면밀한 연구가 요구되는 것으로 판단된다.

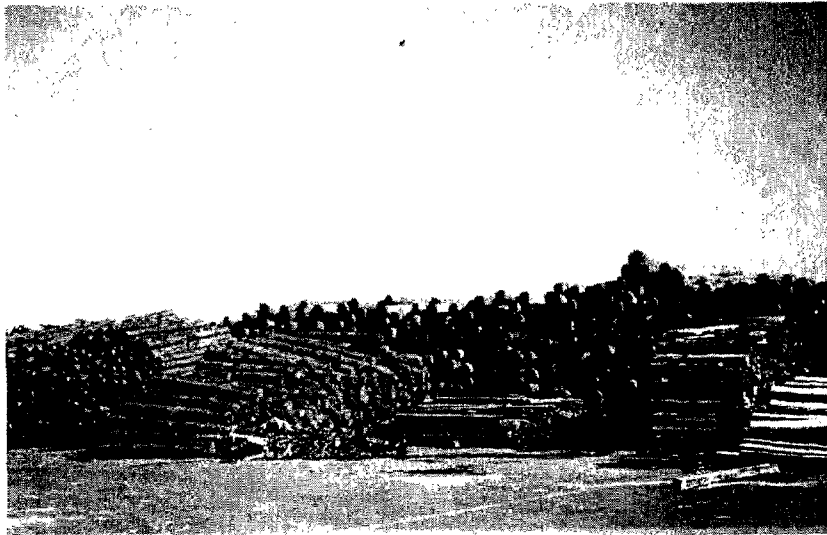


사진 3.1. 국산재 원목 아적장.(경기도 여주 임산물유통센터,이하 同)

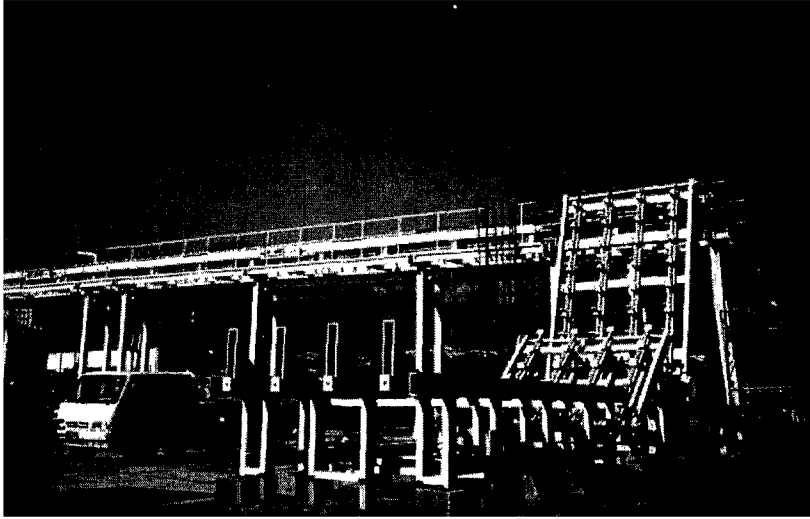


사진 3.2. 원목 자동 송재기.

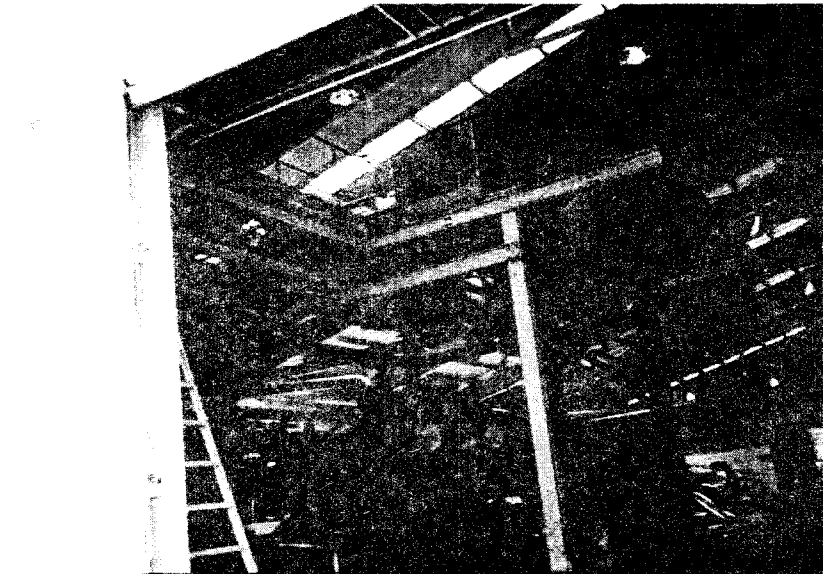


사진 3.3. 원목 제재기.



사진 3.4. 레이저 지시선에 의한 제재선 정렬



사진 3.5. cant와 flitch.

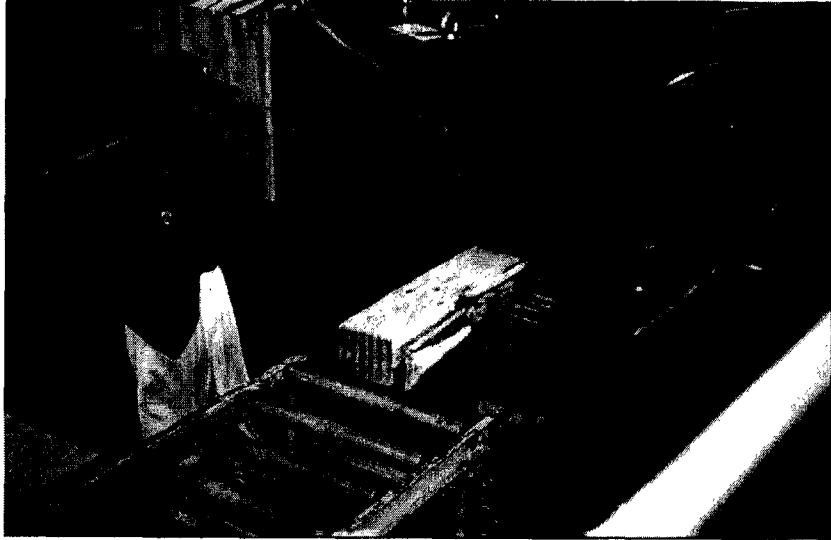


사진 3.6. gang-saw에 의한 cant 제재.

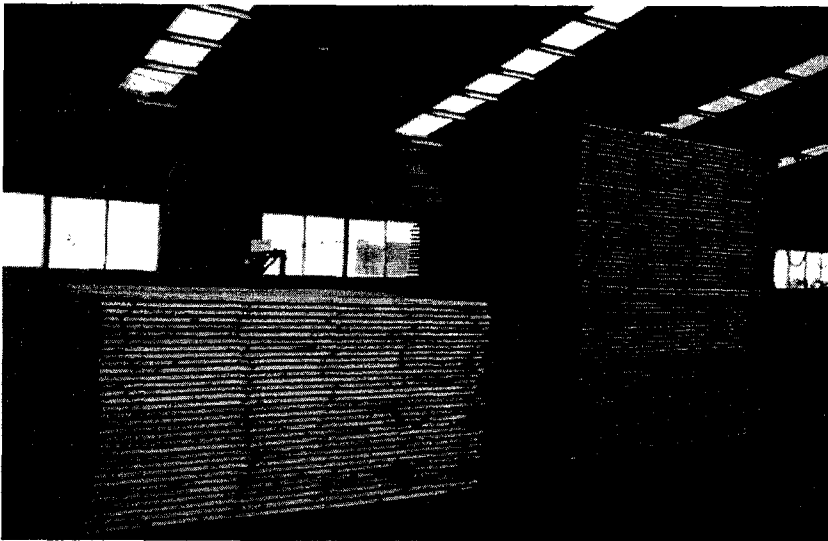


사진 3.7. 건조를 위한 잔적

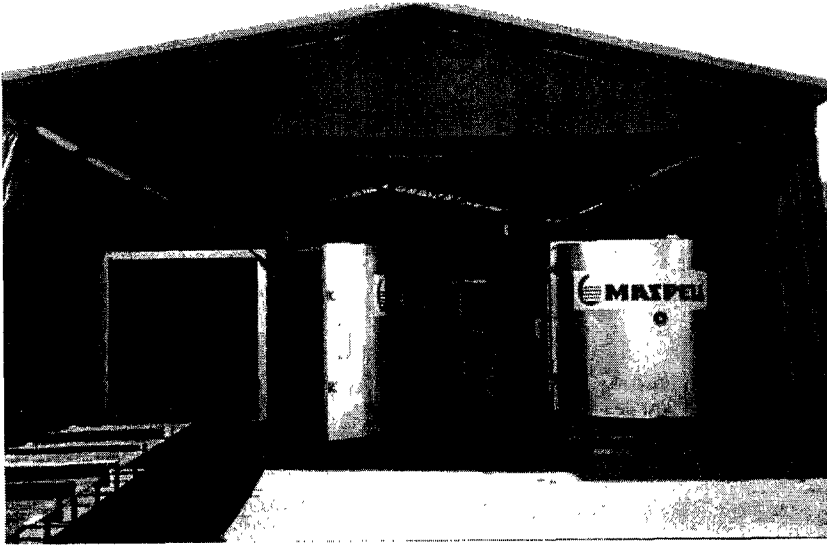


사진 3.8. 진공건조기.

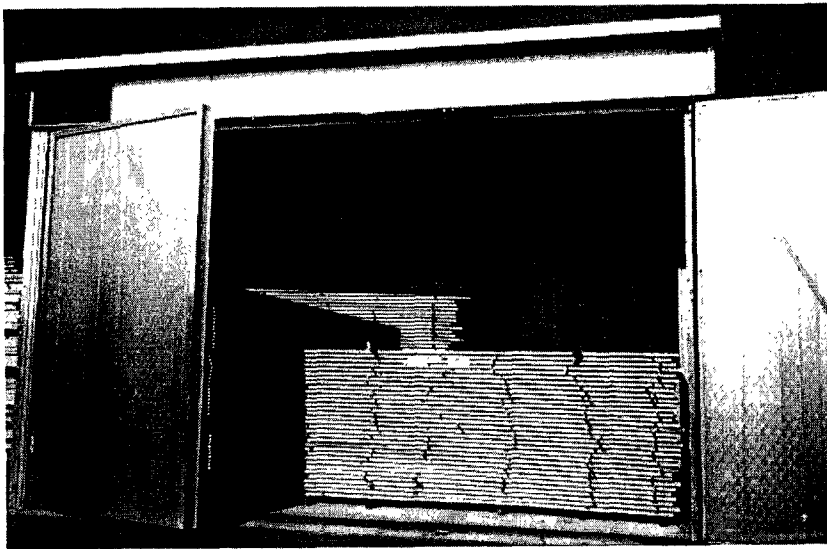


사진 3.9. 제습 건조기

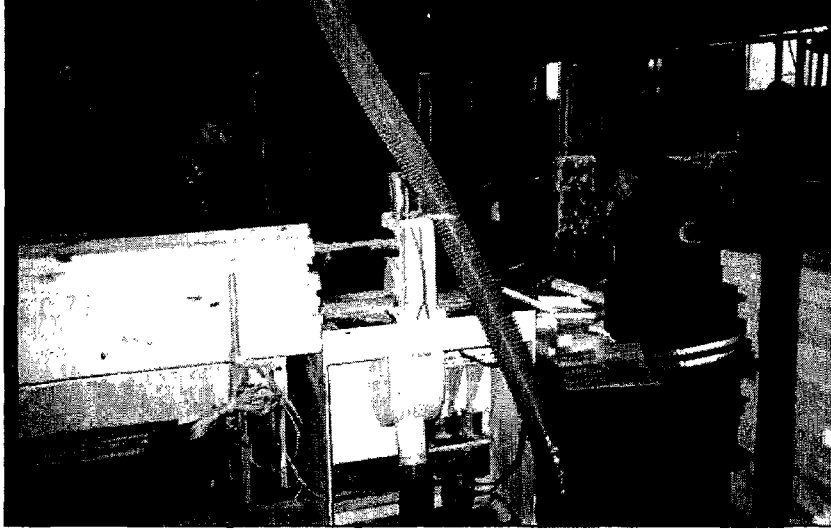


사진 3.10. Jumping-saw에 의한 결함 제거.

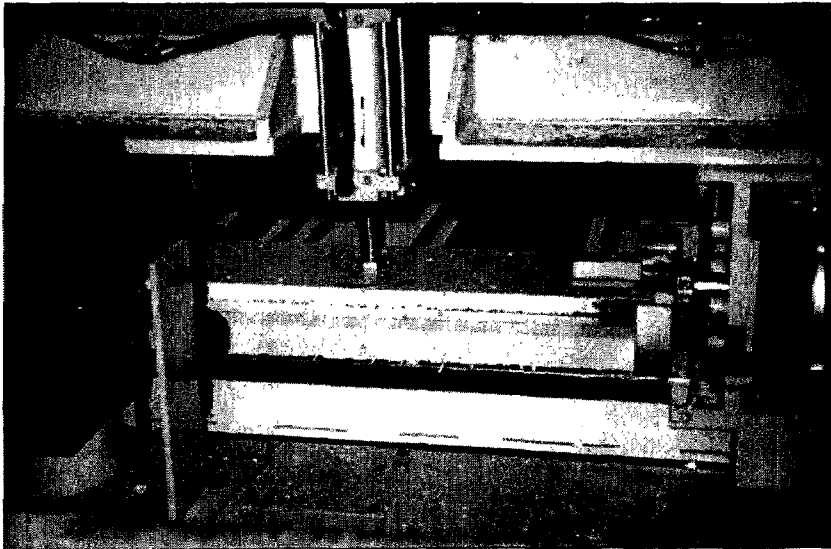


사진 3.11. finger-jointing.

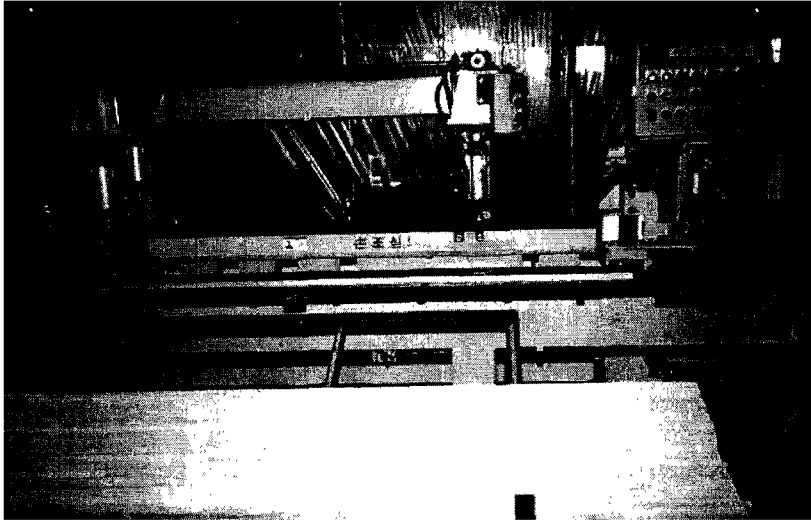


사진 3.12. finger-jointed strip.

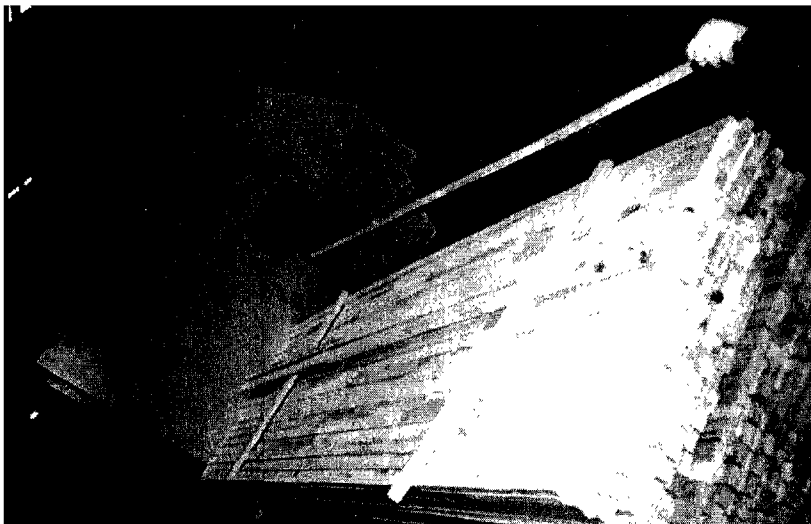


사진 3.13. strip 평삭 및 접착제 도포

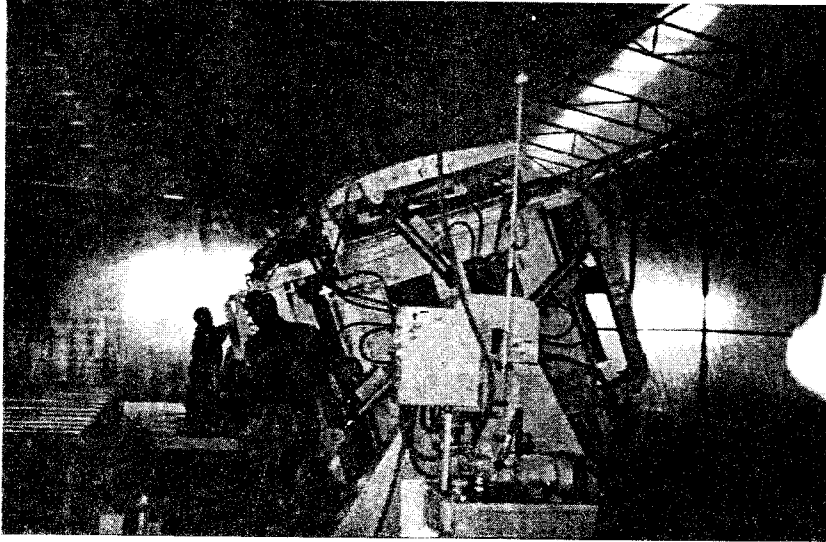


사진 3.14. strip의 폭집성.



사진 3.15. panel-saw에 의한 집성판(blank) 길이 마무리 재단.

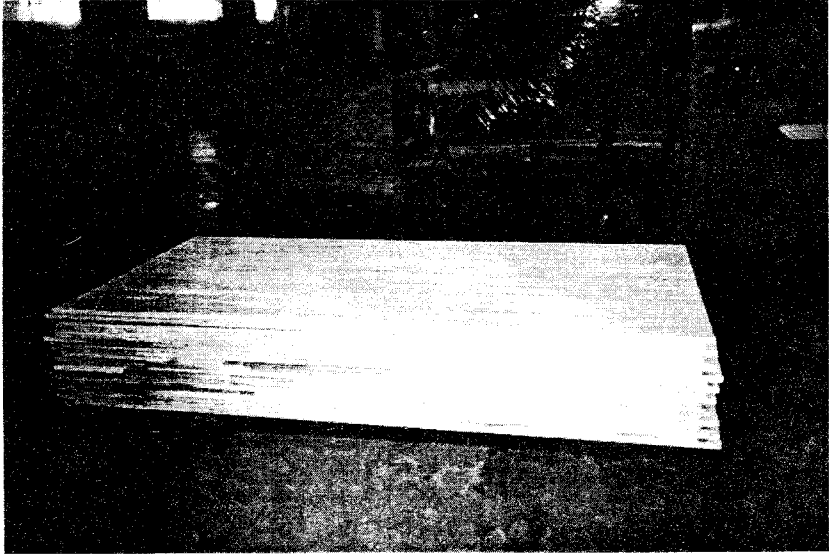


사진 3.16. 완성된 집성판.

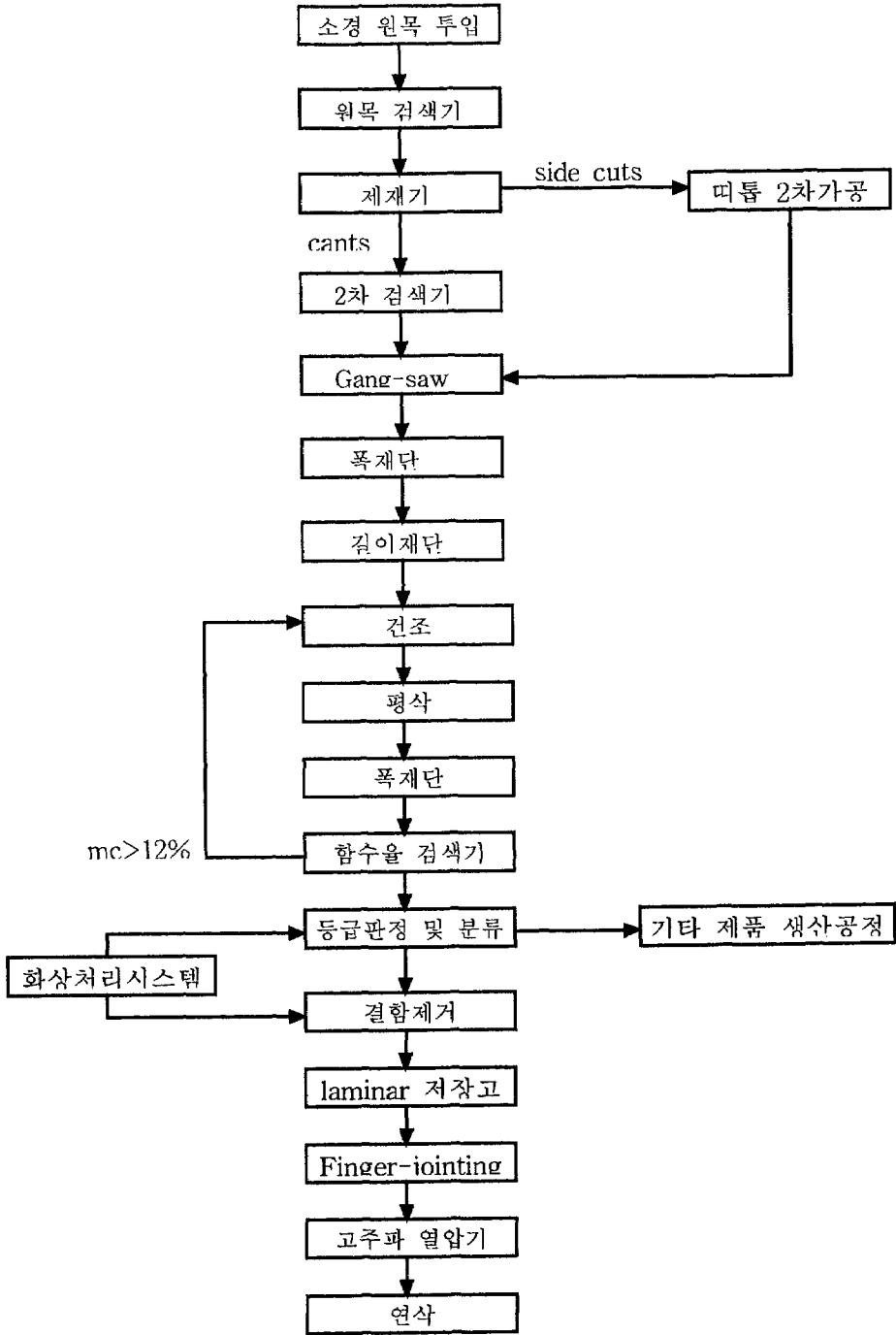


그림 3.3. 국산 소경재를 이용한 집석제품 생산공정 흐름도.

3. 공정 모의실험 (simulation)

효율 극대화를 위한 새로운 공정의 설계나 기존 공정의 개선을 위해서는 실제 공정의 신설이나 개선 이전에 컴퓨터에 의한 모의실험(simulation)을 통해 해당 공정의 효과를 미리 예측할 수 있어야 한다. 특히, 집성판(blank) 생산공정에 있어서 전체적인 생산성을 좌우하는 요인으로는 다중종절(gang-rip sawing)에 의한 strip 생산과 이후 횡절(crosscutting)에 의한 집성부재(laminar) 생산과정의 수율을 들 수 있다.

가. 공시 제재목

본 연구에서는 국산 잣나무와 낙엽송을 대상으로 집성재를 대량 생산하고 있는 경기도 여주에 위치한 임산물 유통센터의 목재가공공장을 모델로 컴퓨터 모의실험을 하였다. 모의실험 대상 판재로는 同 공장에서 생산, 건조된 잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)와 낙엽송(*Larix leptolepis* Gordon) 제재목 각 200본을 구입하여 본 과제의 제 2절과 같은 방법으로 database를 작성, 분석하였다. 구입한 제재목의 규격은 표 3.3과 같았다.

표 3.3. 공시 제재목의 규격

수종	잣나무	낙엽송
제재목 길이(cm)	370~390	370~390
제재목 폭 (cm)	12	12
제재목 두께(cm)	2.0	2.0
제 재 방 법	Cant sawing	Cant sawing

나. 모의실험 조건

多衆縱切 優先(gang-rip-first)공정을 모델링한 simulator인 ROMI-RIP(ROugh Mill RIP-first)과 본 연구팀이 개발한 국산재 제재목 database를 적용하여 각 수종에 대한 재단 수율을 예측하였다. 집성부재의 길이는 최소 10cm 이상에서 임의의 재단을 실시토록 하였다. 집성부재의 폭은 각각 30, 50, 60mm를 적용하였다. 실제 생산현장에서는 폭 30mm의 집성부재만을 생산하고 있으나 본 연구에서는 집성부재의 폭을 다양화하였을 경우의 수율의 변화를 추정하기 위하여 50mm와 60mm를 추가하였다. 한편, 집성부재의 길이는 실제 현장과 마찬가지로 하였으며, 제재목에 포함되어 있는 모든 결합부분을 제거하는 것도 동일하게 적용하였다.

제재목 표면의 결합검색시 결합의 종류에 따라 표 3.4와 같이 구분하여 부호를 부여하였다. 본 결합기준은 Wiedenbeck등(1994)이 미국산 Red oak에 대한 Database 개발 당시 사용한 기준으로 현재 미국에서 개발되고 있는 재단 모의실험용 Simulator와의 호환이 가능하여 본 연구에서도 이 기준을 사용하였다. 제재목의 규격 및 결합의 위치와 크기는 (X,Y) 좌표에 의해 표현하였으며, 이때 제재목의 규격으로부터 결합의 위치와 크기에 이르기까지 모든 좌표는 5mm를 원단위로 하여 측정하였다.

표 3.4. 제재목 결합 code

Defect	Defect code	Defect	Defect code
Mechanical damage	1	Sawline	9
Void	2	Surface Check	13
Pith	3	All bark pockets	1099
Decay	4	All grub holes/Holes	1199
Shake	5	All unsound knots	1299
Pith related to tear or split	6	All sound knots	1599
Machine made split	7	Split	24

그림 3.4와 표 3.5는 가상의 컴퓨터 내부 공간에서 모의 실험을 수행함에 있어서 다중종질과정과 조건 및 재단 방식을 보여주고 있다.

표 3.5. 다중종질 설정 조건

Code	Arbor type
F	Fixed blade - 톱날 간격 고정
FB	Fixed blade Best feed - 톱날 간격 고정, rip-fence 조절
B	Best spacing sequence - 각 제재목별로 최적화된 간격 설정
BO	Best spacing with floating Outer blade - best spacing의 마지막 톱날 간격 조정
A	All blade movable - 각 제재목별로 각 톱날의 간격 조정

재단주문서에서 요구하는 필요 부재를 얻기 위해서 아래의 표 3.6과 같이 총 18개의 조건별 모의 실험을 행하였다. fixed blade와 fixed blade best feed 방식은 각각 30mm, 50mm, 60mm 폭의 집성부재를 각기 생산하도록 하였으며, 나머지 3가지 조건에서는 30-50mm, 30-60mm, 50-60mm, 30-50-60mm의 톱날 간격으로 설정을 하여, 폭이 서로 다른 집성부재를 동시에 얻을 수 있도록 수행하였다.

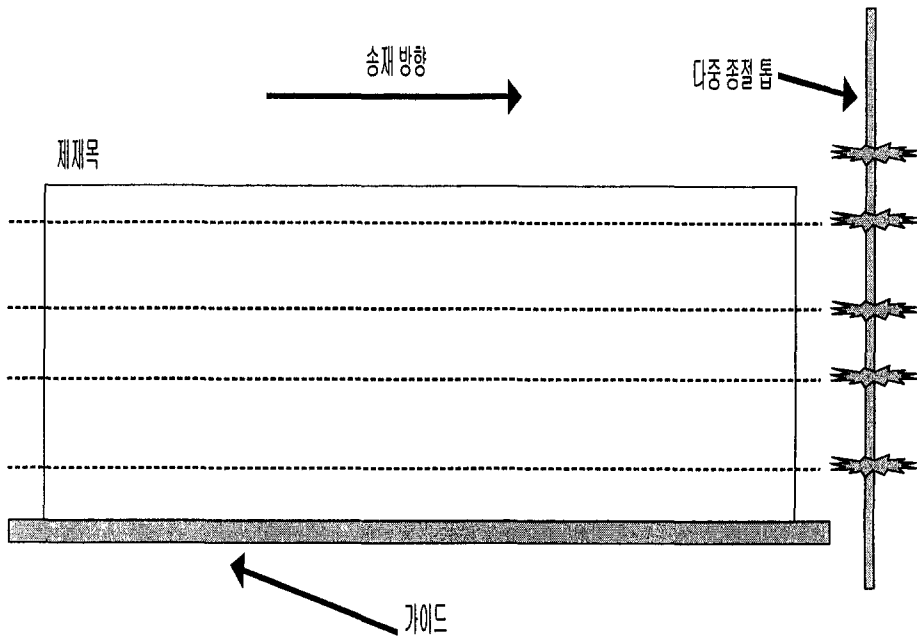


그림 3.4. 다중 종절(gang-rip sawing) 과정.

표 3.6. 모의 실험 조건

Part width(mm) Arbor type	30	50	60	30-50	30-60	50-60	30-50-60
F	30f.rip	50f.rip	60f.rip	×			
FB	30fb.rip	30fb.rip	30fb.rip	×			
B	×			35b.rip	36b.rip	56b.rip	356b.rip
BO	×			35bo.rip	36bo.rip	56bo.rip	356bo.rip
A	×			35a.rip	36a.rip	56a.rip	356a.rip

다. 국산 낙엽송과 잣나무의 조건별 집성부재 생산수율

그림 3.5는 ROMI-RIP 프로그램을 통해서 모의 실험된 제재목들의 종결 및 횡절 형상을 나타낸 것으로 제재목에 남아있는 등근모 부분과 여러 가지 제재목 표면 결함을 피해 집성부재를 절삭해내는 것을 볼 수 있다.

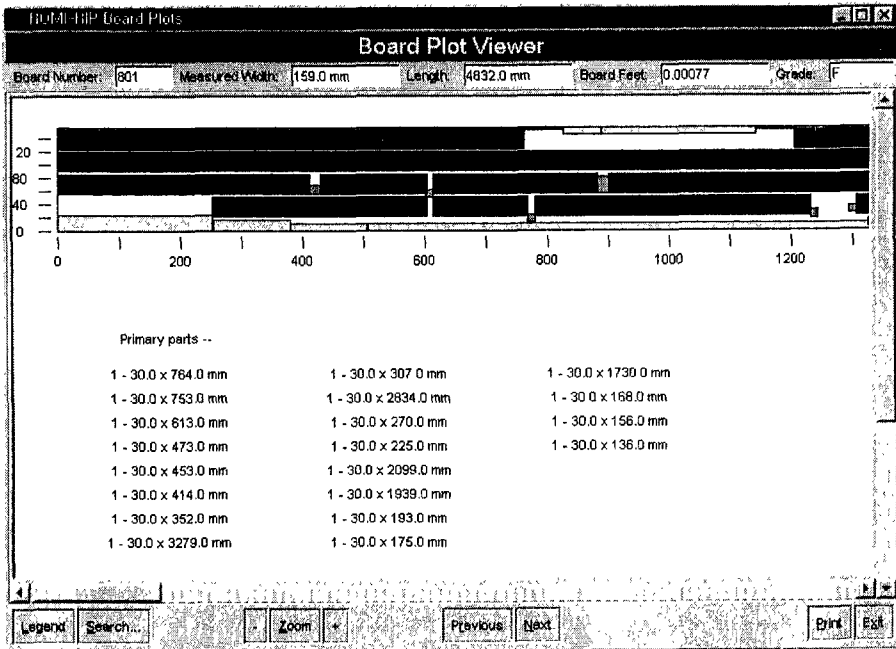


그림 3.5. ROMI-RIP 프로그램을 이용한 제재목 절단 형상.

낙엽송과 잣나무를 각각 18가지 조건별로 모의 실험한 결과 표 3.7과 같은 수율을 얻을 수가 있었다. 전체적으로 낙엽송에 비해서 잣나무의 평균수율이 6%를 상회하는 결과를 얻을 수가 있었는데, 이는 잣나무에 비해 낙엽송에서 수지구나, 용이 등의 결함들이 많이 분포되어 있었음을 미루어

불 때 짐작할 수 있었던 결과였다.

모의 실험 진행 중에 각각의 5가지 톱날축의 형태에 따른 시간차가 상당함을 알 수가 있었다. 첫 번째 조건인 Fixed blade가 고정 톱날인 이유로 가장 적은 시간을 소비한 반면, 모든 톱날들이 적정한 환경으로 설정을 거친 다음에 절삭을 하게 되는 All blade movable의 경우 적게는 30배에서 많게는 300배 정도의 시간차를 보였다. 이는 실제 공정에서도 최적의 톱간격을 찾기 위하여 절삭전 시스템에서 소비해야 하는 시간으로 이 정도의 시간이 소요된다면 실제 현장에서는 아무런 의미가 없는 비현실적인 시스템으로 판단된다.

전반적으로 모든 톱의 간격을 절삭전 일정하게 고정하고 투입되는 모든 제재목에 대하여 동일한 송재조건 특히, fence의 위치를 고정해두는 Fixed blade를 적용했을 때의 수율이 fence의 위치를 투입되는 제재목의 형상과 결함의 분포에 따라 달리 하는 Fixed blade with Best feed에 비해서 상당히 낮게 나오고 있는데, 이는 다중종질톱의 톱날 간격의 조정이 이루어지지 않아, 실제 판재 형상을 고려하지 않고 절삭한 결과임을 알 수가 있다.

동일 조건에서 50mm의 부재보다는 60mm 부재의 수율이 더 높게 나왔던 결과는 분석 대상 제재목 전체 폭이 120mm에 불과한 제재목들에 있어서 상대적으로 손실이 더 적었던 결과였음을 알 수가 있다. 그러나, 다른 나머지 세 가지 조건들과의 비교에 있어서는 그 차이가 근소함을 알 수가 있었다.

비교적 생산수율과 처리시간이 우수할 것으로 분석된 Fixed blade와 Fixed blade with best feed의 각 수종별 수율을 비교해보면 그림 3.6과 그림 3.7에서 보는 바와 같이 전반적으로 잣나무의 수율이 높게 나타났으며, 경향 또한 비슷하게 나왔다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 제재목 표면 결함에 따른 결과임을 쉽게 알 수 있었다. 두 수종 모두 Fixed blade의 수율이 더 낮게 나왔음을 쉽게 알 수가 있었지만, 그 차이가 상당함을 볼 수가 있

다. 이는 고정적인 톱날 간격을 설정한 fixed blade 보다는 각각의 제재목마다 실제 요구되는 재단 주문서에 적합하도록 위치를 조정했던 Fixed blade with Best feed가 수율 차를 크게 향상시켰음을 알 수 있었다.

조건별 종절 수율을 보면, 30mm의 폭을 생산할 때 가장 높은 수율을 보였으며, 50mm에서는 큰 폭으로 수율이 감소함을 볼 수가 있었다. 이러한 원인으로서는, 폭이 120mm이었던 공시 제재목으로 인하여 상대적으로 30mm의 톱날 간격을 두었을 때 비교적 조밀한 종절 효과를 볼 수 있어서 수율이 높았던 것으로 판단된다. 한편, 50mm와 60mm는 제재목의 표면 결함으로 인하여 대부분 한 판재에서 하나 정도의 부재를 얻을 수가 있었는데, 60mm의 수율이 훨씬 큰 이유는 60mm의 폭이 가지는 상대적인 이점으로 인한 것으로서, Fixed/FB 조건에서는 제재목의 폭이 좁고 재단주문서에서 요구하는 부재의 폭이 비교적 큰 편일 때는 넓은 폭의 부재를 생산하는 것이 훨씬 더 효과적임을 알 수 있었다.

표 3.7. 낙엽송과 잣나무의 다중종절에 의한 집성부재 생산수율(%)

집성부재 폭 (mm)	낙엽송					잣나무				
	Arbor type					Arbor type				
	F	FB	B	BO	A	F	FB	B	BO	A
30	66.09	68.70	-	-	-	71.44	73.84	-	-	-
50	52.33	56.92	-	-	-	56.98	62.13	-	-	-
60	58.20	63.59	-	-	-	66.77	71.69	-	-	-
30-50	-	-	66.60	66.30	65.71	-	-	73.28	72.62	72.41
30-60	-	-	66.43	66.19	64.16	-	-	71.40	71.40	68.99
50-60	-	-	57.39	57.39	58.60	-	-	64.75	64.75	65.97
30-50-60	-	-	67.13	66.38	66.52	-	-	74.12	72.76	72.82
평균	58.87	63.07	63.65	63.32	63.09	65.06	69.22	70.09	69.64	69.26
전체평균	63.04					69.34				

낙엽송

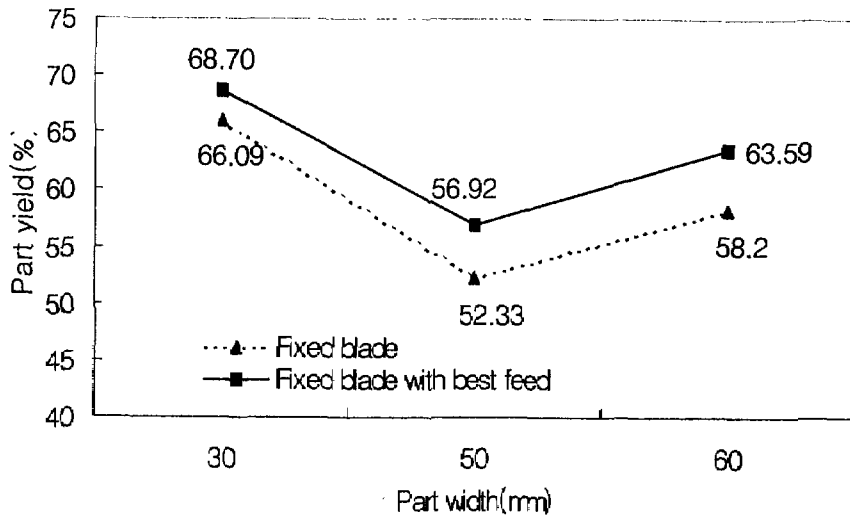


그림 3.6.. 낙엽송의 Fixed blade와 Fixed blade with best feed의 수율 비교.

잣나무

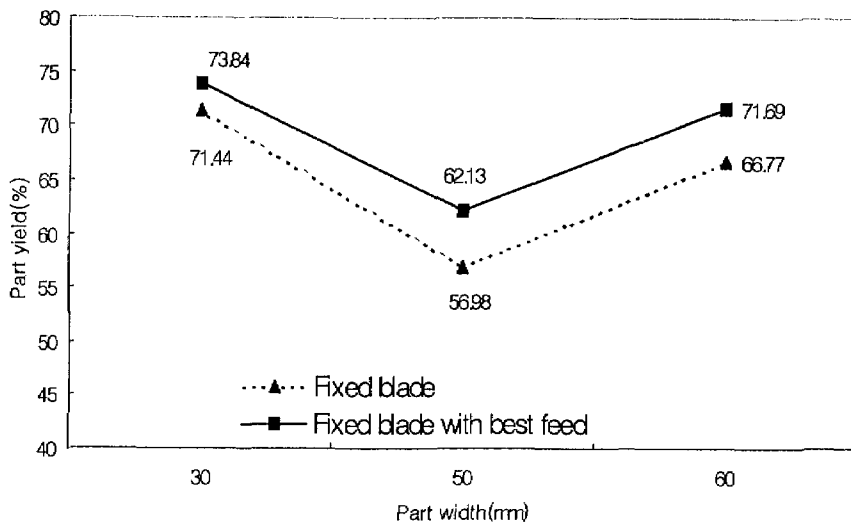


그림 3.7.. 잣나무의 Fixed blade와 Fixed blade with best feed의 수율 비교.

낙엽송

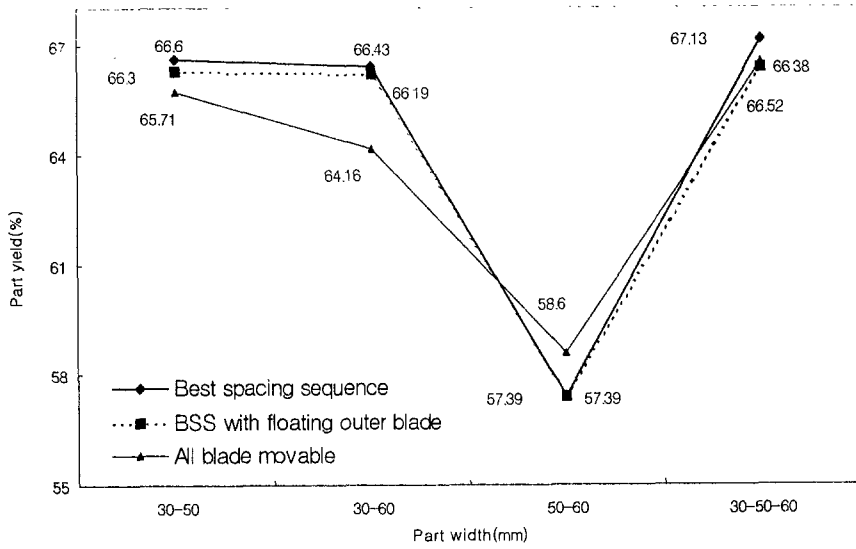


그림 3.8. 낙엽송의 Best Sequence와 All movable의 수율 비교.

잣나무

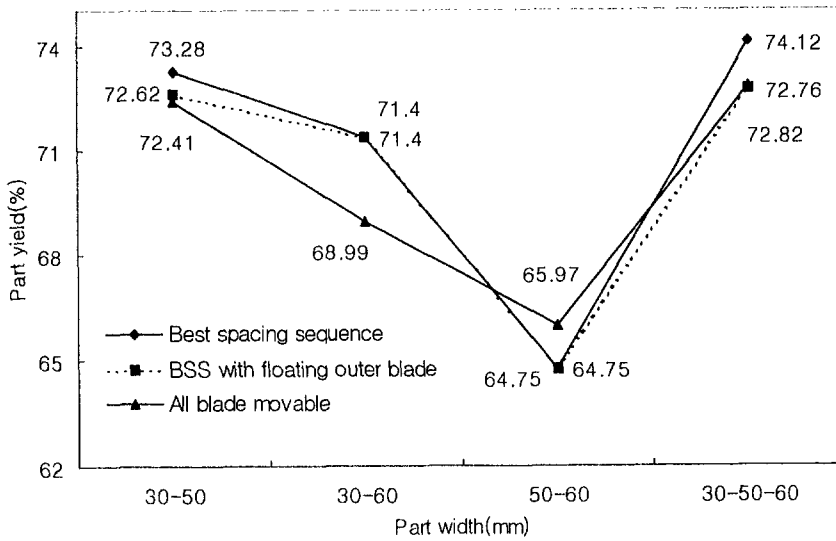


그림 3.9. 잣나무의 Best sequence와 All movable의 수율 비교.

전반적으로 세 가지 조건 모두 근소한 차를 보이고 있으며, 특히 Best spacing 과 Best spacing with floating Outer blade가 거의 근소하게 비슷한 수율을 보이고 있다. 이러한 원인의 가장 큰 직접적인 원인은 시편의 폭이 상당히 좁아서 all blade movable이나 BSS/w floating Outer blade가 적절한 역할을 수행할 수 없었던 결과로 사료된다. 또한 상대적으로 all blade movable 같은 경우 제재목의 총체적인 형상을 모두 고려해서 칼날이 움직이므로 본 시편과 같은 좁은 폭에서는 실질적으로 손실이 더 많이 나온 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서 사용된 시편과 같이 직경이 그다지 크지 않을 국내의 여러 다른 수종에 대해서도 비슷한 경향을 보이지 않을까 사료된다. 그러므로, 작업 Setting 시간이 상대적으로 가장 많이 소요되는 All blade movable 보다는 오히려 Best spacing이 훨씬 효율적이고, 직경이 적은 폭의 제재목에서 훨씬 더 유용할 것으로 기대된다.

재단주문서별 종절 수율을 비교해보면, 두 수종 모두 3가지 Arbor type에서 공통적으로 30mm와 30-50-60mm를 혼용해서 적용한 종절조건에서 가장 높은 수율을 보였다. 앞선 Fixed 조건에서의 마찬가지로 두 재단주문서 모두 상대적으로 조밀한 종절을 할 수가 있었던 때문이다. 한편, 최저의 수율을 보였던 50-60mm 혼용 주문서에서는 50mm와 60mm의 두 부재가 한꺼번에 종절될 확률이 다른 부재보다 더 떨어진 결과로 사료된다.

공정의 컴퓨터 모의실험 결과를 종합하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 낙엽송의 경우, 평균수율은 63.09%이었다. 최고수율은 68.70%이었으며, 이 때의 Arbor type은 Fixed blade with best feed로 이 때 집성부재의 두께는 30mm로 하였을 때 최고치를 보였다. 한편, 최대평균수율은 63.65%로 Arbor type은 Best spacing sequence이었다.

잣나무의 평균수율은 69.34%로 진술한 바와 같이 낙엽송에 비하여 높은

수율을 나타내었다. 최고수율은 74.12%이었으며, 이 때의 Arbor type은 Best spacing sequence였으며, 30-50-60의 폭을 동시에 생산할 경우 최고치를 보였다. 잣나무의 최대평균수율은 70.09%로 Arbor type은 Best spacing sequence였다. 따라서 낙엽송과 잣나무를 통틀어 최고수율을 보인 Arbor type은 Best spacing sequence였으며, 이와 같은 방법을 적용하기 위해서는 제재목 결합 검색의 자동화와 이 정보를 기준으로 최적의 톱간격을 결정해주는 컴퓨터 최적화시스템(computer optimization system)이 요구된다. 그러나 이러한 시스템의 도입에는 비교적 높은 수준의 투자비용이 요구되므로 톱간격은 고정하되 각 제재목별로 투입되는 위치를 자동으로 조절해줄 수 있는 Fixed blade with Best feed system이 현재의 국산재 이용 집성재 생산공정에서는 가장 적합한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Buehlmann, U. 1998. Character-marked furniture: potential for lumber yield increase in rip-first rough mills. *Forest Products Journal* 48(4):43-50.
2. Conners, R. W. 1990. A multisensor machine vision system for hardwood defect detection. *Process Control*.
3. Funck, J. W. 1990. Softwood veneer defect detection using machine vision. *Process Control*.
4. Furuno, T. 1998. Measurement of wood density of Sugi within annual rings by image processing. *日本木材工業* 53(10):454-459.
5. Gatchell, C. J. 1990. Predicting strip width distributions from gang rip-saw setups. *Forest Products Journal* 40(1):50-52.
6. Gatchell, C. J. 1999. Effects of preprocessing 1Common and 2A Commonred oak lumber on gang-rip-first rough-mill dimension part yields. *Forest Products Journal* 49(3):53-60.
7. Hallock, H. 1971. Increasing softwood dimension yield small logs -Best Opening Face. *Forest Products Laboratory Rep.*166.
8. Hallock, H. 1976. Is there a "best" sawing method? *Forest Products Laboratory Rep.*280.
9. Huffman, D. R. and M. Y. Cech. 1970. Accelerated air drying of spruce and balsam fir lumber in New Brunswick. *Canadian Forestry Service Pub. No.* 1284.
10. Huffman, D. R. and M. Y. Cech. 1972. Forced-air drying of white pine lumber. *Canadian Forestry Service Pub. No.* 1310.
11. Kenway, D. J. 1989. Computer aided lumber grading. 7th Nondestructive Testing Symposium.
12. Kenway, D. J. 1990. A supercomputer-based machine vision grading system and trimmer optimizer for dimension lumber. *Process Control*.

13. Kininmonth, J. A. 1964. Forced-air drying and use of predriers. The New Zealand Timber Journal, Oct.
14. Kininmonth, J. A. and D. H. Robinson. 1966. Forced-air drying proved of real value to timber industry. The New Zealand Timber Journal, Nov.
15. Kline, D. E. 1998. Performance of color camera machine vision in automated furniture rough mill systems. Forest Products Journal 48(3):38-45.
16. Pfeiffer, J. R. 1958. Forced-air drying pays dividends. Forest Products Journal 8(11) :22A-26A.
17. Pham, D. T. 1998. Automated grading and defect detection: a review. Forest Products Journal 48(4):34-42.
18. Sheppard, P. R. 1999. Overcoming extraneous wood color variation during low- magnification reflected-light image analysis of conifer tree rings. Wood Fiber Science 31(2):106-115.
19. Terziev, N. 1997. Fungal discoloration of kiln- and air-dried Scots pine lumber in aboveground testing and its assessment by digital image processing. Forest Products Journal 47(9):43-46
20. Thomas, R. E. 1995. ROMI-RIP : Rough Mill Rip-First simulator. Northeastern Forest Experiment Station Rep.206.
21. Thomas, R. E. 1996. Prioritizing parts from cutting bills when gang -ripping first. Forest Products Journal 46(10):61-66.
22. Thomas, R. E. 1999. ROMI-RIP version 2.0: a new analysis tool for rip- first rough mill operations. Forest Products Journal 49(5):35-40.
23. Wagner, F. G. 1990. Potential benefits of internal log scanning. Process Control.
24. 정희석. 1996. 개정 목재건조학. 선진문화사.
25. 이상봉, 정희석. 1989. 침엽수재의 수분확산모델을 이용한 소나무판재와 평소각재의 열기건조 시간과 함수율 추정에 관한 연구. 목재공학 17(3):67-81.
26. 이형우, 정희석. 1985. 증기전처리가 상수리나무 판재의 건조속도와 건조 결함에 미치는 영향. 목재공학 13(2):3-13.

부 부

표 2-1-2. 주요 활엽수의 원목침질

학명	수종	산지	흉고직경(cm)			수고(m)			지하근(m)			수령(yr)		
			최저	최고	평균	최저	최고	평균	최저	최고	최저	최고	평균	
<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	경기	8	64	28	9	21	17	5	10	87	154		
<i>Acer triflorum</i>	꼭지기나무	경기	9	70	34	6	23	19	4	7	167	138		
<i>Alnus altissima</i>	기종나무	경기	22	30	26	14	16	15			20	67	37	
<i>Alnus firma</i> Sieb. et Zucc.	서방오리	전남	12	26	20	14	20	16			20	30		
<i>Alnus hirsuta</i> Rupr.	물오리나무	경기	10	30	22	5	10	7			20	21		
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>alticola</i>	물결나무	경기	6	20	14	7	17	9			33	47		
<i>Alnus japonica</i> Steudel	오리나무	경기	8	6	28	9	21	17			32	63		
<i>Betula costata</i> Trautvetter	가재수나무	강원	10	40	24	11	25	18	6	12	52	79		
<i>Betula davurica</i> Pallas	물박달나무	강원	6	48	25	9	18	13	2	6	30	47		
<i>Betula ermanii</i> Chamisso	사스레나무	강원	10	32	20	12	32	14	4	8	70	95		
<i>Betula schmidtii</i> Regel	박달나무	강원	12	34	22	9	17	14	2	9	36	60		
<i>Carpinus cordata</i> Blume	깨치박달	경기	10	54	36	6	16	10	3	6	75	108		
<i>Carpinus laxiflora</i> Siebold & Zuccarini	서어나무	경기	10	54	36	7	19	18	4	8	90	122		
<i>Carpinus tschonoskii</i> Maximowicz	개서어나무	전남	16	34	20	9	16	10	4	9	60	73		
<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc.	밤나무	경기	30	44	36	18	21	20					69	
<i>Cedrela sinensis</i>	참종나무	경기	22	30	26	12	16	14			20	41	26	
<i>Celtis lesaoensis</i> Koidz	종개나무	경기	10	54	36	7	19	18			92	115	100	
<i>Cornus controversa</i>	홍총나무	강원	6	50	20	5	17	11			30	73	43	
<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	감나무	전남	22	36	28	10	12	11			47	75	75	
<i>Fraxinus mandshurica</i>	물메나무	강원	6	50	20	6	17	11			39	123	59	
<i>Fraxinus myrsinophylla</i>	물푸레나무	강원	6	54	23	5	21	13			53	125	64	
<i>Juglans mandshurica</i>	기러나무	강원	6	54	23	5	21	13			27	93	44	
<i>Kalopanax pictum</i>	을나무	경기	8	70	32	6	23	18	3	13	94	115		
<i>Maackia amurensis</i>	디릅나무	강원	6	54	26	5	21	15			63	99	85	
<i>Paulownia tomentosa</i>	참오동나무	전남	20	34	28	15	22	19					10	
<i>Pteris occidentalis</i> L.	양비죽나무	충북	23	40	30	14	22	18			14	25	20	
<i>Populus alba</i>	흰백양	경계	22	30	24	12.5	15.5	14.4			12	7		
<i>Populus alba</i> X <i>pyramidalis</i>	흰사시나무	경계	18	22	20	12.5	15.6	14.6			11	7		
<i>Populus davidiana</i>	사시나무	강원	18	26	22	13.2	20.9	16.6			26	44		
<i>Populus deltoides</i>	이류나무	경기	20	38	26.6	13.6	26.2	19.7			12	16		
<i>Populus euramericana</i> I-214	이테리포플러	경기	20	28	24	14.2	23	20.9			9	10	10	
<i>Populus euramericana</i> I-476	이테리포플러	경기	20	28	22.6	15.9	24.1	19.9			10	11		
<i>Populus koreana</i>	물향찰나무	강원	18	26	20	10.9	18.7	14.3			25	33		
<i>Populus koreana</i> X <i>p. nigra</i> var. <i>italica</i>	수향포플러	경기	15	20	17	13	20	17					11	
<i>Populus maximowiczii</i>	향찰나무	강원	20	28	24	14.2	18.5	16.6			27	47		
<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>	양비죽	경기	20	30	24	14.2	20.2	17			10	12		
<i>Populus nigra</i> X <i>p. maximowiczii</i> F1 clones	양향찰나무	경기	10	20	15	13	20	17					9	
<i>Prunus pedus</i>	귀룽나무	경기	8	73	34	8	23	19	4	7	26	52		
<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무	경기	8	70	32	6	23	18	3	9	49	86		
<i>Quercus acutissima</i>	상수리나무	경기	8	28	12	8	18	12			33	37		
<i>Quercus aliena</i>	절참나무	경기	8	28	12	8	18	12			28	31		
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	경기	8	32	16	6	18	10			38	47		
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	경기	8	28	16	7	18	10			27	38		
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	경기	8	32	18	6	18	10			34	37		
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	경기	8	28	12	8	18	12			31	35		
<i>Salix babylonica</i> Linne	수양버들	서울	10	28	20	11	13	12			8	13		
<i>Tilia amurensis</i>	피나무	강원	6	50	20	5	17	11			34	54	40	
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	느릅나무	강원	6	54	26	5	21	15			116	132	125	
<i>Zelkova serrata</i> Makino	느티나무	경기	6	44	24	7	21	16					56	

표 2-2-1-2. 주요 활엽수의 해부적 성질

1) 육안적 구조

학명	수종	연륜구분	심번재구분	재식		조직	목리
				심재	번재		
<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	불명	불명	담갈, 황백		고율	통직
<i>Acer tataricum</i>	북자기나무	명료	불명	홍황백, 담홍황백		고율	통직
<i>Ailanthus altissima</i>	가층나무	명료	불명	담적갈, 담황백		거칠	통직
<i>Alnus firma</i> Sieb. et Zucc.	사방오리	불명		담홍갈		고율	통직
<i>Alnus hirsuta</i> Rupr.	울오리나무	명료		담적갈		고율	통직
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i>	울겉나무	불명		담적갈		고율	통직
<i>Alnus japonica</i> Steudel	오리나무	불명	불명	담적갈		고율	통직
<i>Betula costata</i> Trautvetter	거제수나무					고율	통직
<i>Betula davurica</i> Pallas	물박달나무					고율	통직
<i>Betula ermanii</i> Chamisso	사스레나무					고율	통직
<i>Betula schmidtii</i> Regel	박달나무					고율	통직
<i>Carpinus cordata</i> Blume	까치박달		불명	황백		고율	통직
<i>Carpinus laxiflora</i> Siebold & Zuccarini	개서나무		불명	담황백, 황백		고율	통직
<i>Carpinus tschonoskii</i> Maximowicz	개서어나무		불명	황백		고율	통직
<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc.	밤나무	명료	명료	담갈백	담황백	거칠	통직
<i>Cedrela sinensis</i>	참죽나무	명료	명료	농적갈	황백	거칠	통직
<i>Celtis jessoensis</i> Koidz	중계나무	명료	불명	황백		거칠	통직
<i>Comus controversa</i>	층층나무	(불)명료	불명	담홍황백, 담황백, 백		고율	통직
<i>Ostrya kaki</i> Thunb.	간나무	불명	불명	회백		보통	통직
<i>Fraxinus mandshurica</i>	들메나무	명료	명료	황갈	황백	거칠	통직
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	명료	불명	담황갈, 담녹황백		거칠	통직
<i>Juglans mandshurica</i>	가래나무	명료	명료	적갈, 암갈	회백	거칠	통직
<i>Kalopanax pictum</i>	읍나무	명료	명료	담황갈	담황백	거칠	통직
<i>Maackia amurensis</i>	다릅나무	명료	명료	암황갈	황백	거칠	통직
<i>Paulownia tomentosa</i>	참오동나무	명료	불명	담자백, 담홍백		거칠	통직
<i>Platanus occidentalis</i> L.	양버즘나무	명료	(불)명료	담적갈	담황갈	보통	통직
<i>Populus alba</i>	은행알	(불)명료	명료	홍갈, 암갈	담홍황, 백	고율	
<i>Populus alba</i> X <i> glandulosa</i>	현사시나무	(불)명료	명료	홍갈, 암갈	담홍황, 백	고율	
<i>Populus davidiana</i>	사시나무	(불)명료	불명	담홍황, 백		고율	
<i>Populus deltoides</i>	미류나무	(불)명료	명료	홍갈, 암갈	담홍황, 백	고율	
<i>Populus euramericana</i> 1-214	이태리포플러	(불)명료	(불)명료	담홍황, 백		고율	
<i>Populus euramericana</i> 1-476	이태리포플러	(불)명료	(불)명료	담홍황, 백		고율	
<i>Populus koreana</i>	물황철나무	(불)명료	불명	담홍황, 백		고율	
<i>Populus koreana</i> X <i>p. nigra</i> var. <i>italica</i>	수원포플러	불명	불명	적갈, 담황백		약간 거칠	통직
<i>Populus maximowiczii</i>	황철나무	(불)명료	불명	담홍황, 백		고율	
<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>	양버들	(불)명료	명료	홍갈, 암갈	담홍황, 백	고율	
<i>Populus nigra</i> X <i>p. maximowiczii</i> F1 clones	암황철나무	불명		암적갈, 암황백		약간 거칠	통직
<i>Prunus padus</i>	귀룽나무	명료	명료	담갈, 황백	황백	고율	통직
<i>Prunus sargentii</i>	신벚나무	불명	명료	적갈	담황갈	고율	통직
<i>Quercus acutissima</i>	삼수리나무	명료	(불)명료	담갈	담홍황백	거칠	
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	명료	명료	담적갈	담갈백	거칠	
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	명료	명료	농회갈	담갈백	거칠	
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	명료	명료	담갈	담황	보통	
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	명료	명료	담적갈	담갈백	거칠	
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	명료	(불)명료	담홍회갈	담적갈	거칠	
<i>Salix babylonica</i> Linne	수양버들	불명	(불)명료	담황갈, 담황백		약간 거칠	통직
<i>Tilia amurensis</i>	피나무	명료	불명	담갈, 담황갈, 담황백		고율	통직
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	느릅나무	명료	명료	암갈	갈회백	거칠	통직
<i>Zelkova serrata</i> Makino	느티나무	명료	명료	황갈	담황갈	거칠	통직

2) 현미경적 구조

학명	수종	목질유										도관								관				섬유주형				방사조직(microM)			
		폭		막두께		길이		흔재폭(microM)		추재폭(microM)		길이		mm당		배열	방향 및 각도	단열부		방사조직(microM)		방사조직(microM)									
		(microM)	(microM)	(mm)	방사	접선	방사	접선	(microM)	mm당	분포수(개)	폭	높이	분포수(개)	폭			높이	폭	높이	폭	높이									
		평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차	최소	최대	(도)	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대							
<i>Acer mono</i>	고로쇠나무	14.8	2	2.5	2	0.67	0.03	73.2	8.2	67.4	7.9			259	45.6	20	69	산공		12.8	98.4	3	11	33.7	247						
<i>Acer triflorum</i>	복지나무	15.2	1.1	3.4	0.4	0.66	0.07	64.1	12.9	48.3	10.1			319	83	22	71	산공		13.4	101	3	14	40.7	324						
<i>Allanthus altissima</i>	가물나무	20.1	1.9	3.3	0.3	0.8	0.1	266	28	224	24.6			230	21.4			환공		13.6	158	3	8	66.3	615						
<i>Alnus firma</i> Steb. et Zucc.	사뽕오리	13.7		3.5		1.1		69.9		60.5				582		11	57			14.1	286	7	13								
<i>Alnus hirsuta</i> Rupr.	물오리나무	15.7		3.3		1.1		53.9		53.8				704		40	99	산공		10.4	256	7	15								
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i>	물겉나무	15.9		3.6		0.9		60.5		51.1				619		33	101	산공		10.6	284	4	11								
<i>Alnus japonica</i> Steudel	오리나무	18.4		3.7		1		65.7		53.1				647		14	99	산공		10.4	304	7	13								
<i>Betula costata</i> Trautvetter	거제수나무	20.3	3.5	3.1	0.3	0.14	0.17	86	25.5	57.8	16.4			645	189	13	45	산공		Z-9.6											
<i>Betula davurica</i> Palles	물박달나무	22.2	4	3.2	0.3	1.24	0.21	91.2	31.4	63.2	19.2			566	175	12	47	산공		Z-7.7											
<i>Betula ermanii</i> Chamisso	시스레나무	20.9	4.1	3.1	0.2	1.12	0.16	80.8	21.9	59.5	16.5			549	197	10	47			Z-4.4											
<i>Betula schmidtii</i> Regel	박달나무	21.7	3.9	3.5	0.4	1.07	0.16	68.7	24.6	58.4	17.7			607	199	5	26	산공		Z-7.1											
<i>Camphylotaxis macrocarpa</i>	꽃싸리나무	10.6		2.2		0.55										56	116	환공				18	26								
<i>Carpinus cordata</i> Blume	까치박달	15.6	3.67	3.52	1.78	1.12	0.17	65.9	14.5	48.7	11.1			454	115	2	14	산공		17.8											
<i>Carpinus laxiflora</i> Siebold & Zuccarini	서어나무	18.8	4.09	3.41	1.78	1.12	0.18	70.6	14	50.1	10.5			485	131	2	9	산공		18											
<i>Carpinus tschonoskii</i> Maximowicz	개서어나무	22	4.23	3.99	1.77	1.52	0.24	80.1	18.7	65.2	13.6			481	143	2	9	산공		19.7											
<i>Castanea crenata</i> Steb. et Zucc	밤나무	16	1.2	2.4	0.2	1.1	0.1	274	77.6	218	62.2			198	33.1			환공		18	233	3	16								
<i>Cedrela sinensis</i>	참죽나무	18.4	1.4	3.5	0.1	0.9	0.1	240	32.3	193	22.2			211	17.1			환공		16.5	142	5	10	47	359						
<i>Celtis jessoensis</i> Koidz	풍계나무	12.1	0.9	2	0.3	1.1	0.1	222	34.2	206	30.1			162	23.4			환공		14.8	140	2	9	58.6	499						
<i>Cornus controversa</i>	층층나무	20.3	1.6	3.7	0.3	1.4	0.1	103	12.1	77.1	7.8			218	14.1			산공		13.5	169	5	12	37.4	463						
<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	감나무	15.8	1.4	2.5	0.3	1.1	0.1	136	13.1	110	9.1			284	21			산공		25.6	306	5	16	45.1	407						
<i>Fraxinus mandshurica</i>	들메나무	19.7	1.8	3.9	0.6	1.1	0.1	239	23.6	186	22.9			205	16.8			환공		10.9	91.9	5	12	28.7	229						
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	21	2.6	3.8	0.4	1	0.1	209	28.3	175	19.6			227	25.7			환공		16.3	137			40.7	330						
<i>Juglans mandshurica</i>	기래나무	20.6	2.8	3	0.3	1.2	0.1	220	21.6	163	22.7			309	34.9			산공		9.1	202	4	12	22.5	335						
<i>Kalopanax pictum</i>	솔나무	19	2.2	3.6	0.3	1.03	0.1	232	42.3	181	33.6			294	40			환공		14.3	113	2	7	46.3	321						
<i>Lespedeza bicolor</i>	싸리나무	11.3		4.1		0.58										29	58	산공				8	12								
<i>Lespedeza crytobotrya</i>	참싸리나무	7.3		5.9		0.63										113		산공				7	14								
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	조록싸리나무	9.5		2.6		0.66										103		산공				6	10								
<i>Lespedeza maritima</i>	해변싸리나무	7.7		2.6		0.53										116		산공				6	10								
<i>Lespedeza x robusta</i>	고양싸리나무	7.3		3.3		0.58										90		환공				7	11								
<i>Lespedeza thunbergii</i> var. <i>intermedia</i>	물싸리나무	11.7		3.3		0.67										87		환공				5	12								
<i>Lespedeza x patantibicolor</i>	진도싸리나무	9.5		3		0.58										65		반환공				4	13								
<i>Lespedeza tomentella</i>	털조록싸리나	8.8		2.6		0.6										99		반환공				7	13								
<i>Lespedeza angustifolioides</i>	늦싸리나무	8.4		2.6		0.62										123		환공				9	13								
<i>Maackia amurensis</i>	다릅나무	17.6	1.2	3.2	0.3	0.9	0.1	162	14.3	138	12.6			167	9.6			환공		9.2	187	3	9	25.7	325						

<i>Paulownia tomentosa</i>	참오동나무	27.8	3.6	3.8	0.5	0.8	0.1	219	47.7	185	47.1				217	21.8		활공		11.3	125	3	8	27.5	284	
<i>Platanus occidentalis</i> L.	망버즘나무	16.3	1.3	2.8	0.3	1.7	0.2	91.4	8	72.6	7.5				449	41.6		산공		16.2	181	1	5	148	2008	
<i>Populus alba</i>	은백양	25	1.6				0.92	0.15										산공								
<i>Populus alba</i> X <i>glandulos</i>	흰사시나무	29	2.7			1.16	0.23											산공								
<i>Populus davidiana</i>	사시나무			2.3		1.08	0.09	86	58									산공								
<i>Populus davidoides</i>	미류나무	24	1.8	1.6		0.96	0.19											산공								
<i>Populus euramericana</i> I-214	이태리포플러	28	3.1	2.2		1.16	0.24											산공								
<i>Populus euramericana</i> I-476	이태리포플러	29	2.8			1.12	0.18											산공								
<i>Populus koreana</i>	물향찰나무			2.1		0.99	0.24											산공								
<i>Populus koreana</i> X <i>p. nigra</i> var. <i>italica</i>	수원포플러	15.3		2.9		0.8		83.1		56.9					538		27	55	산공		10.6	281	5	12		
<i>Populus maximowiczii</i>	활찰나무	26	2.7	2.3														산공								
<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>	양버들	24	2.4			1.04	0.21	120	77									산공								
<i>Populus nigra</i> X <i>p. maximowiczii</i> F1 clones	양활찰나무	18.7		3.1		0.9		84		64.6					611		22	71	산공		10.4	301	7	13		
<i>Prunus padus</i>	귀룽나무	15.5	1.1	2.7	0.3	0.87	0.11	67.6	11.2	54.8	9.6				268	28	31	130	산공		11.1	144	4	13	31.5	378
<i>Prunus sargentii</i>	산벚나무	16.3	1.2	3.2	0.3	0.88	0.08	68.5	12.9	55.3	11.6				290	26.8	46	128	산공		13.4	144	3	11	46	427
<i>Quercus acutissima</i>	삼수리나무	14.8	1.2	4.1	0.3	1.1	0.1	265	35	216	34.1	51.2	3.3	41.6	3	297	36		활공		11.7	17.1	353	6	15	182
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	13.6	0.8	3.9	0.3	1.1	0.1	228	28.7	194	36.9	58.8	10.5	43.9	7.1	271	17.9		활공		13.4	16.7	371	8	15	115
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	14.1	1	3.9	0.2	1.1	0.1	222	30.7	189	20.4	48.6	5.4	38.3	2.1	245	16.2		활공		12.4	17.2	312	7	16	129
<i>Quercus mongolica</i>	신갈나무	13.5	1	3.7	0.2	1.1	0.1	261	25.6	205	23.9	51.7	1.7	41.6	1.5	269	17		활공		12.9	18.8	311	7	17	114
<i>Quercus serrata</i>	돌참나무	14.6	0.9	3.8	0.2	1.1	0.1	254	48	193	26.9	59.9	6	42.9	4.5	284	7.2		활공		12.3	16.7	337	6	14	85.6
<i>Quercus vanabilis</i>	굴참나무	14.4	1	3.9	0.2	1.2	0.1	234	24.7	214	57.4	75.1	3	60.1	0.7	266	27.4		활공		12.6	16.6	328	7	14	162
<i>Salix babylonica</i> Linne	수양버들	13.6		3		0.9		75.6		53.5					423		41	90	산공		12.1	276	7	13		
<i>Tilia amurensis</i>	피나무	22.9	1.5	3.6	0.1	1	0.1	84	5.8	62.7	3.9				242	28.8			산공		7.8	201	4	11	23.9	642
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	느릅나무	23.6	4	3.5	0.3	1	0.1	236	35.8	201	24.5				254	33.8			활공		11.3	123	4	10	38.6	339
<i>Zelkova serrata</i> Makino	느티나무	12.3	1	2.5	0.3	1.6	0.1	229	47.8	204	34.5				165	20.7			활공		20.9	148	2	9	63.4	532

표 2-2-2-2. 주요 활엽수의 물리적 성질

1) 비중

수종	생재	생재비중		기건비중		전건비중		용적밀도수	평균연륜폭(mm)		수피두께	변재율
	합수율	평균	편차	평균	편차	평균	편차	(kg/m ³)	평균	편차	(mm)	(%)
고로쇠나무	67	1.04	0.05	0.7	0.05	0.66	0.06	562(50)	1.6			
복자기나무	59	1.12	0.06	0.78	0.04	0.72	0.07	624(40)	1.6			
가층나무	77	1.09		0.65		0.6		525	4.6			
사방오리	74	0.98	0.06	0.68	0.07	0.63	0.08	540(74)	4.39			3.5
물오리나무	99	0.87	0.04	0.56	0.07	0.51	0.05	440(41)	4.77			4.26
물갯나무	102	0.91	0.04	0.56	0.06	0.53	0.09	456(27)	3.03			6.12
오리나무	94	0.91	0.06	0.55	0.04	0.5	0.1	437(45)	3.14			6.64
거제수나무	63	0.92	0.06	0.67	0.05	0.63	0.05	537(39)	2.4	0.3		
돌박달나무	63	0.97	0.04	0.73	0.06	0.68	0.06	572(37)	3.6	0.4		
사스래나무	63	0.92	0.06	0.65	0.06	0.62	0.06	517(47)	1.7	0.3		
박달나무	47	1.07	0.06	0.93	0.06	0.87	0.09	756(55)	2.9	0.4		
까치박달	77	0.97	0.05	0.6	0.05	0.63	0.05	539(38)	1.3			6.6
서어나무	71	0.97	0.04	0.64	0.04	0.68	0.05	563(33)	1.7			4.1
개서어나무	66	0.96	0.05	0.64	0.04	0.68	0.05	571(39)	2.6			3.7
밤나무	97	0.71	0.08	0.57	0.07	0.54	0.07	468(58)	2.3			
참중나무	61	0.94		0.68		0.62		560	4.5			
풍개나무	67	0.89	0.05	0.68	0.06	0.64	0.05	544(45)	1.6			
층층나무	109	0.89		0.6		0.56		491	3.1			
감나무	70	0.95	0.04	0.75	0.03	0.68	0.03	578(26)	2.2			
돌메나무	61	1.1		0.73		0.69		579	2.6			
물푸레나무	48	1.08		0.75		0.69		605	2.1			
가래나무	84	0.81		0.53		0.5	435		3.1			
을나무	85	0.89	0.06	0.61	0.07	0.57	0.06	486(47)	2			
다릅나무	72	0.94		0.57		0.55		479	1.5			
오동나무				0.252	0.022							
참오동나무	139	0.54		0.24		0.22		203	13.5			
양버즘나무	85	0.85	0.04	0.59	0.04	0.56	0.04	476(25)	8.3			
은백양	116	0.68	0.03	0.42	0.02	0.4	0.02	360(20)	9.6	1.7		64
현사시나무	86	0.67	0.02	0.44	0.02	0.42	0.02	370(10)	10.4	1.1		94.5
사시나무	82	0.65	0.02	0.47	0.01	0.45	0.01	390(10)	3.5	0.5		94
미류나무	112	0.69	0.05	0.42	0.02	0.4	0.02	380(20)	11	1.4		77.4
이태리포플러	121	0.65	0.06	0.35	0.03	0.33	0.01	290(10)	12.6	1.7		79.9
이태리포플러	127	0.64	0.06	0.35	0.02	0.34	0.02	300(20)	12	1		80.3
물황철나무	129	0.66	0.01	0.4	0	0.38	0	350(10)	3.6	0.5		80.7
수원포플러	133	0.91	0.04	0.4	0.04	0.37	0.08	321(22)	8.14		3.24	
황철나무	111	0.66	0.02	0.45	0.02	0.44	0.03	380(20)	4.4	1.1		80
양버들	117	0.67	0.08	0.37	0.01	0.35	0.01	310(10)	11.1	1.8		77.4
양황철나무	143	0.89	0.03	0.37	0.03	0.34	0.03	301(22)	9.85		4.28	
귀룽나무	83	0.86	0.04	0.56	0.04	0.52	0.04	454(35)	4.6			
산벚나무	61	0.87	0.06	0.63	0.06	0.59	0.05	514(43)	2.4			
상수리나무	68	1.047	0.087	0.824	0.044	0.8	0.133	644(50)	3.4		10.9	

2) 수축률

수종	심재										변재											
	전수축률(%)			기건수축률(%)			합수율1%당 평균수축률(%)			용적수축률 (%)	전수축률(%)			기건수축률(%)			합수율1%당 평균수축률(%)			용적수축률(%)		
	방사	접선	섬유	방사	접선	섬유	방사	접선	섬유		방사	접선	섬유	방사	접선	섬유	방사	접선	섬유			
고로쇠나무	4.72	8.94	0.392	2.58	5.79	0.164	0.183	0.279	0.019	13.66												
복자기나무	4.59	9.72	0.38	2.6	6.836	0.193	0.17	0.258	0.016	14.31												
단풍나무										13.05												
가뽕나무	3.92	9.99	0.66	4.39	7.95	0.092	0.276	0.239	0.052	13.91												
사방오리											3.51	7.62	0.7	1.95	5.05	0.5	0.133	0.225	0.017			
물오리나무											4.51	8.97	0.3	2.97	6.76	0.14	0.132	0.198	0.013			
물갯나무											3.87	9.05	0.43	2.7	6.94	0.31	0.1	0.189	0.01			
오리나무											3.32	7.79	0.51	2.2	5.99	0.3	0.078	0.16	0.017			
거제수나무	6.61	9.76	0.4	4.48	6.94	0.24	0.19	0.25	0.013		6.56	8.86	0.42	4.32	6.48	0.21	0.2	0.21	0.017			
물박달나무	5.45	6.63	0.45	3.49	4.61	0.23	0.17	0.18	0.011		6.46	7.13	0.41	4.14	4.89	0.26	0.2	0.2	0.013			
사스래나무	5.1	7.83	0.56	3.38	6.12	0.41	0.15	0.17	0.012		5.1	7.63	0.41	3.15	5.43	0.27	0.2	0.19	0.012			
박달나무	5.96	8.94	0.55	4.17	7.33	0.45	0.12	0.15	0.009		5.49	9.77	0.36	4	8.09	0.26	0.13	0.14	0.009			
까치박달	4.16	9.57	0.38	3.04	7.54	0.2	0.1	0.18	0.015	13.74	3.78	8.56	0.46	2.67	6.45	0.28	0.09	0.19	0.015			
서어나무	5.87	13.29	0.37	3.8	10.12	0.21	0.18	0.29	0.013	19.15	0.64	13.87	0.45	4.21	9.97	0.22	0.19	0.36	0.019			
개서어나무	5.41	12.56	0.54	2.89	8.53	0.22	0.22	0.37	0.027	17.97	5.66	12.34	0.63	3.35	9.43	0.32	0.2	0.27	0.026			
밤나무	3.46	6.4	0.56	2.82	5.01	0.33	0.057	0.123	0.02	10.1												
산밤나무										14.26												
찰중나무	3.86	7.18	0.28	3.23	5.04	0.11	0.31	0.208	0.018	11.04												
풍계나무	4.61	9.09	0.51	2.76	6.11	0.29	0.16	0.265	0.02	13.43												
층층나무	5.79	9.07	0.54	4.2	7.38	0.42	0.349	0.282	0.032	14.86												
감나무	3.02	8.18	0.36	1.61	5.18	0.21	0.126	0.263	0.011	13.59												
들메나무	4.88	11.83	0.51	2.8	9.66	0.41	0.294	0.238	0.042	16.71												
물푸레나무	4.3	8.91	0.47	4.35	7.19	0.22	0.338	0.197	0.026	13.21												
가래나무	5.27	7.45	0.8	4.11	5.47	0.65	0.15	0.168	0.037	12.72												
옻나무	4.68	8.64	0.632	2.86	5.95	0.251	0.157	0.238	0.032	13.13												

다릅나무	2.93	6.27	0.47	3.64	4	0.37	0.262	0.361	0.028	9.2										
합박꽃나무										9.14										
참오동나무	1.38	4.46	0.3	2.53	3.29	0.14	0.149	0.214	0.014	5.84										
양버즘나무	4.92	10.23	0.28	2.98	6.24	0.12	0.167	0.357	0.014	16.75	5.02	10.72	0.35	2.91	6.35	0.19	0.183	0.39	0.014	
은행양											2.85	8.64	0.37	1.65	5.42	0.12	0.11	0.23	0.02	
현사시나무											3.03	8.81	0.25	1.53	6.25	0.1	0.1	0.22	0.02	
사시나무	3.62	8.62		1.31	4.5						3.46	7.5	0.49	1.07	6.19	0.11	0.12	0.23	0.02	
미류나무											2.81	7.88	0.4	1.46	5.01	0.11	0.1	0.24	0.02	
이태리포플러											2.49	7.58	0.29	1.52	5.16	0.18	0.07	0.19	0.02	
이태리포플러											2.65	7.64	0.36	1.71	5.21	0.27	0.06	0.2	0.02	
물활철나무											2.76	8.22	0.35	1.27	5.24	0.1	0.12	0.28	0.02	
수원포플러											2.21	6.15	0.32	1.44	4.88	0.17	0.066	0.112	0.012	
활철나무											2.56	8.24	0.42	1.33	5.21	0.19	0.11	0.26	0.02	
양버들											2.54	7.15	0.33	1.38	4.43	0.11	0.08	0.2	0.02	
양활철나무											2.69	6.8	0.28	1.71	5.34	0.11	0.084	0.128	0.014	
귀룽나무	3.91	8.94	0.47	2.19	6.27	0.287	0.147	0.237	0.021	12.84										
산벚나무	3.74	8.51	0.389	1.97	5.25	0.18	0.15	0.278	0.017	12.25										
상수리나무	5.76	11.27	0.494	4.08	8.85	0.404	0.182	0.226	0.015	12.57										
갈참나무	6.22	10.81	0.86	4.69	8.87	0.512	0.175	0.191	0.03	12.65										
떡갈나무	7.02	10.99	0.928	5.88	9.07	0.518	0.12	0.176	0.034	13.77										
신갈나무	5.97	9.48	1.042	4.18	7.06	0.609	0.184	0.231	0.055	11.68										
졸참나무	5.74	11.64	0.856	4.21	8.88	0.516	0.177	0.273	0.03	13.26										
굴참나무	6.85	12.2	0.557	4.81	9.9	0.295	0.176	0.21	0.027	14.78										
아까시나무																				
수양버들											4.8	13.64	1.03	3.13	9.26	0.45	0.144	0.404	0.049	
회나무										13.6										
쪽동백나무										13.53										
피나무	5.3	9.21	0.36	3.18	6.58	0.25	0.319	0.214	0.017	14.51										
활피나무	6.62	9.75		3.5	5.65															
느릅나무	5.08	10.16	0.45	4.42	6.81	0.14	0.392	0.323	0.025	15.24										
느티나무	4.25	7.76	0.66	2.35	4.55	0.34	0.162	0.28	0.027	11.95	4.45	8.37	0.56	2.7	5.22	0.26	0.15	0.288	0.025	

3) 흡수량 및 흡습량

수종	흡수량(g/cm ³)						흡습량(g/cm ³)					
	횡단면		방사단면		접선단면		횡단면		방사단면		접선단면	
	실재	변재	실재	변재	실재	변재	실재	변재	실재	변재	실재	변재
고로쇠나무	0.21	0.19	0.064	0.071	0.067	0.07						
복자기나무	0.31	0.305	0.082	0.084	0.086	0.08						
가중나무	0.054	0.064	0.069	0.086	0.238	0.263						
사방오리	0.716	0.805	0.091	0.104	0.083	0.088						
물오리나무	1.099	1.431	0.122	0.135	0.109	0.128						
물겉나무	1.376	1.158	0.1	0.117	0.118	0.115						
오리나무	1.416	1.402	0.09	0.098	0.1	0.097						
거제수나무	0.65	0.76	0.16	0.16	0.17	0.19						
물박달나무	0.23	0.46	0.09	0.16	0.08	0.21						
사스래나무	0.53	0.66	0.14	0.15	0.13	0.17						
박달나무	0.63	0.68	0.2	0.2	0.18	0.18						
까치박달	0.794	0.859	0.09	0.091	0.102	0.091						
서어나무	0.737	0.66	0.113	0.096	0.13	0.111						
개서어나무	0.716	0.67	0.092	0.111	0.114	0.121						
밤나무	0.306		0.051		0.052							
참중나무	0.023	0.026	0.028	0.032	0.127	0.083						
풍계나무	0.652		0.114		0.126							
총충나무	0.052		0.068		0.368							
감나무	0.316		0.087		0.121							
들매나무	0.054	0.07	0.056	0.065	0.312	0.721						
물푸레나무	0.057	0.062	0.064	0.076	0.195	0.291						
가래나무	0.043	0.045	0.034	0.03	0.21	0.439						
옴나무	0.078	0.216	0.057	0.093	0.044	0.088						
다릅나무	0.079		0.033		0.298							
참오동나무	0.046		0.058		0.191							
양버즘나무	1.389	2.047	0.199	0.221	0.216	0.217						
은행양		0.38		0.06		0.09		0.032		0.011		0.011
현사시나무		0.38		0.06		0.07		0.029		0.01		0.01
사시나무		0.31		0.07		0.07		0.033		0.012		0.012
미류나무		0.32		0.07		0.08		0.037		0.012		0.014
이테리포플러		0.49		0.08		0.11		0.033		0.01		0.011
이테리포플러		0.38		0.06		0.09		0.03		0.011		0.011
물향철나무		0.41		0.07		0.08		0.027		0.01		0.011
수원포플러	0.642	0.762	0.098	0.111	0.063	0.099						
황철나무		0.43		0.06		0.08		0.028		0.009		0.011
양버들		0.28		0.06		0.07		0.032		0.01		0.012
양향철나무	0.643	0.729	0.091	0.101	0.085	0.1						
귀룽나무	0.137	0.269	0.047	0.12	0.038	0.115						
산벚나무	0.082	0.234	0.03	0.055	0.031	0.109						
삼수리나무	0.267	0.291	0.045	0.07	0.093	0.088						
갈참나무	0.204	0.301	0.043	0.068	0.069	0.088						
떡갈나무	0.156	0.183	0.053	0.067	0.061	0.08						
신갈나무	0.276	0.343	0.048	0.061	0.05	0.078						

4) 평형함수율

수종	방습평형함수율(%)							흡습평형함수율(%)						
	서울	춘천	대전	경주	진주	광주	평균	서울	춘천	대전	경주	진주	광주	평균
신갈나무	14	14.7	14.2	14	13.8	13.5	14.03	13.4	13.7	14.1	13	12.5	12.4	-13.18

5) 음향성

수종	기중 비중	함수율 (%)	Dynamic young's module(x10 ⁻¹³ dyne/cm ²)			Internal friction(x10 ⁻³)			Resonant freq.(Hz)			Sound velocity(m/s)			Kvalue(x10 ⁻⁸)		
			최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
오동나무	0.25		0.338	0.637	0.494	4.17	12.14	7.89	440	557	505	4483	5768	5018	5.54	17.72	9.91
왕대	0.89		1.726	9.214	3.967												
솔대	0.86		1.602	8.974	3.717												
죽순대	0.92		1.061	1.924	1.526												
들메나무	0.77	12.8	2.304	2.002		7.808	12.858	10.333				4732	5468	5100	0.52	0.838	0.679
물푸레나무	0.77	13.9	1.645	1.556		9.104	12.716	10.91				4092	4846	4469	0.448	0.652	0.55
다릅나무	0.6	13.6	1.367	1.392		7.644	12.4	10.022				4208	5302	4755	0.603	1.071	0.837
참오동나무	0.26	13.2	0.624	0.601		7.07	10.52	8.795				4476	5178	4827	1.757	2.693	2.225
피나무	0.42	14.2	1.077	1.061		7.628	10.614	9.121				4679	5375	5027	1.14	1.578	1.359
느릅나무	0.69	13.3	1.59	1.503		7.843	11.851	9.847				4370	4926	4648	0.518	0.922	0.72

표 2-2-3-1. 주요 침엽수의 기계적 성질

수종	휨강도		압축강도		인장강도		충격휨	전단강도		못뽑기저항			활렬저항			경도			
	(kg/cm ²)		(kg/cm ²)		(kg/cm ²)			(kg/cm ²)		(kg/cm)			(kg/cm)			(kg/mm ²)			
	MOR	MOE(10 ³)	중압축	횡압축	중인장	횡인장	(kgm/cm ²)	방사	접선	방사	접선	횡단	방사	접선	방사	접선	횡단		
잣나무	746	83	419		950		0.33	63									0.9	0.82	3.15
낙엽송																			
이팝나무	1283	118	666		1526		0.51	90									2.42	4.99	5.23
갈송	975	130	640	47	926	46.6	0.62	125	139	12.1	14.2	10.6	24	29					
소나무	747	92	430	37	885	45.3	0.52	97	104	11.4	13.6	9.3	18	21					
갯나무	772	99	425	33	788	31.3	0.37	94	96	11	12.9	8.3	20	18					
리기다소나무	810	108	470	42	1062	38.9	0.68	101	109	13.8	16.2	10.7	19	23					
곰솔	894	127	571	46	1139	44.1	0.54	132	137	13.1	15	10.8	28	29					

표 2-2-3-2. 주요 활엽수의 기계적 성질

수종	휨강도		압축강도		인장강도		충격흡		전단강도			못뽑기저항			합력저항		경도		
	(kg/cm ²)		(kg/cm ²)		(kg/cm ²)		흡수에너지		(kg/cm ²)			(kg/cm)			(kg/cm)		(kg/mm ²)		
	MOR	MOE(10 ³)	종압축	횡압축	종인장	횡인장	(kgm/cm ²)	방사	접선	방사	접선	횡단	방사	접선	방사	접선	방사	접선	횡단
고로쇠나무	914		443		1036		0.77	145	253	75	78	57	66	70	3.2	3.5	6.5		
독자기나무	990		448		1227		1	156	173	97	89	72	85	97	4	4.2	5.2		
가중나무	1151		420		968		0.6	142	159	32	34	23	71	65	2.7	3.68	4.99		
사방오리	979		511		1192		1.17	151	170	36	46	24	52	57	3	3.2	5.5		
돌오리나무	675		480		1142		0.758	136	156	21	21	11	46	43	2.2	2.4	5.5		
물감나무	745		445		1076		0.628	106	139	18	27	12	38	48	2	2.7	4.8		
오리나무	607		376		901		0.476	101	128	19	21	10	38	39	2.2	2.5	4.1		
거제수나무	1071		511		1546		1.36	150	157	63	68	32	72	70					
물박달나무	1246		530		1320		1.18	191	197	76	79	60	89	109					
사스레나무	1068		591		1582		1.36	164	177	41	43	23	66	69					
박달나무	973		418		1191		1.19	132	149	56	59	32	79	86					
까치박달	1075		531		1285		0.97	147	160	37	46	18	73	78	2.26	2.95	6.05		
서어나무	979		627		1608		0.67	160	176	53	42	33	69	87	2.22	3.02	5.2		
개서어나무	1064		566		1499		0.9	181	204	35	51	20	61	91	2.48	3.29	5.24		
밤나무	852		339		781		0.26	124	116	33	33	20	38	33	1.07	1.19	2.71		
참중나무	1033		529		1064		0.75	182	182	43	46	39	51	56	1.38	1.53	3.12		
중개나무	847		340		1073		1.11	186	165	50	52	27	79	70	1.23	1.47	2.73		
층층나무	879		414		1231		0.88	151	176	27	25	19	79	57	1.78	2.52	3.91		
감나무	940		390		1073		0.79	186	158	59	70	40	91	59	1.62	2	2.98		
물매나무	1139		508		1521		1.39	189	187	43	47	31	68	78	2.32	2.9	4.63		
물푸레나무	1192		581		1527		1.4	195	188	50	51	43	71	76	1.71	2.05	3.25		
가래나무	1167		499		1193		0.72	139	142	25	29	18	55	58	1.98	2.49	4.08		
읍나무	767		344		1214		0.72	103	107	45	46	26	52	49	2.9	3	3.9		
다릅나무	1027		416		1278		1.11	138	133	20	21	11	40	20	2.16	2.55	2.84		
오동나무	424		260(?)						71					7					
참오동나무	446		155		364		0.23	50	46	3	3	3	17	24	0.63	0.83	1.28		
양버들나무	739		318		830		0.85	143	112	37	38	20	86	45	1.04	1.69	2.66		
은행양	484	106	379	70	968	54	0.63	86	109	25.7	26.2	13	17	20					
현사시나무	855	99	421	63	975	55	0.67	100	117	28.2	27.1	15.7	18	26					
사시나무	959	126	490	56	1180	47.7	0.67	59	70	30.9	24.2	14.2	23	20					
미류나무	736	96	370	41	708	46.8	0.46	84	118	20.8	21	11.6	19	26					
이테리포플러	656	75	317	40	563	44.9	0.34	82	95	11	13.5	9.1	21	25					
이테리포플러	675	74	298	45	532	46.5	0.33	76	90	13.5	14.7	10	21	25					
물향철나무	745	102	375	34	978	34.5	0.52	78	84	22.3	21.4	11	19	12					
수원포플러	402		313		591		0.338	66	79	12	12	5	25	20	1.2	1.4	3.1		
향철나무	886	108	423	44	970	40.2	0.63	95	105	27.8	23.7	13	17	18					
양버들	604	76	335	41	567	45.5	0.34	86	100	14.6	15.4	10.8	18	22					
양향철나무	423		293		629		0.459	68	90	14	13	5	24	26	1.2	1.4	3		
귀룽나무	704		317		1067		0.72	95	103	51	50	28	48	55	2.1	2.6	4.9		
산벚나무	794		377		1350		0.53	121	125	67	65	47	52	71	3.4	3.6	5.1		
상수리나무	1270	143	625		1371		1.52	214	199	79	82	53	79	62	1.77	2.15	3.25		
감참나무	1296	157	581		1257		1.13	181	169	64	71	47	61	61	1.56	2.01	3.26		
떡갈나무	1076	112	590		1109		0.8	211	202	64	74	59	68	60	1.35	1.65	2.69		
신갈나무	1019	116	534		994		0.81	184	180	67	73	55	71	55	1.65	2.03	2.41		
졸참나무	1208	140	632		1350		0.9	192	173	56	67	47	69	48	1.31	1.59	2.68		
굴참나무	1291	139	626		1411		1.08	222	190	61	77	54	78	54	1.54	2.04	2.99		
울나무	847		103		460														
아까시나무	1429	127	734				1.49	186											
수양버들	573		299		767		0.961	104	122	20	23	11	48	46	1.6	2.2	4.7		
피나무	1009		283		883		0.4	94	118	8	8	4	56	37	1.3	2.18	3.32		
참피나무	431		233				0.47, 0.49	61	62				17	20					
느릅나무	910		434		1387		0.84	151	146	29	32	21	54	56	2.16	2.51	3.93		
느티나무	959		382		1123		1.27	158	151	50	52	30	71	69	1.53	1.74	3		

· 사시나무 참피나무 생재상태

부록 B. 국산재의 물리·화학적 가공특성 Database

표 2-3-1-1. 주요 침엽수의 체제질삭특성

1) 침엽수 원목(간벌재)의 품등

수종	지역	조사량 (m ³)	발구직경 분포(%)						재질 (m)
			8-9cm	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19cm	
낙엽송	강원, 경기, 충청, 전북	150	9	27	29	24	9	2	2.7
리기다소나무	경기, 전남, 충남	6	3	21	39	22.6	8.2	6.2	2.7
잣나무	강원, 경기	6	11.1	30	34.2	17.5	7.2		2.7

수종	지역	조사량 (m ³)	용이 분포(%)						용이의 종류(%)			
			없음	1개	2개	3개	4개	5개	>6개	산용이	습윤용이	죽은용이

수종	재질 (cm)	급음율(%)										
		<10%	11-20	21-30	>30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
리기다소나무	1.8	60	4	10	26							
	3.6	70	3	10	17							
잣나무	2.7	60	9	20	11							
	3.6	63	8	19	10							

수종	재질 (cm)	원목 품등															
		용이				급음				지름				전체			
		1등급	2등급	3등급	동위	1등급	2등급	3등급	동위	1등급	2등급	3등급	동위	1등급	2등급	3등급	동위
낙엽송	1.8	11.5	79.5	7.8	1.2	56.6	5.7	8.3	29.4	4.1	2.9	51.5	41.5	0.7	2.9	45.8	50.6
	3.6	2.4	94.4	3.2	0	66.7	0.9	3.4	29	1	1.9	29.4	67.7	0	3.1	22.9	74
리기다소나무	1.8	0	0	100	0	60.2	4	9	26.8	0	0	11.9	88.1	0	0	8.5	91.5
	3.6	0	0	100	0	71	2.6	9.6	18.8	0	0	9.4	90.6	0	0	5.2	94.8
잣나무	2.7	0	4	90	6	60	6	20	12	0	0	14	86	0	0	10.3	89.7
	3.6	0	1.3	98.5	0.2	54.7	5.7	13.4	26.2	0	0	11.3	88.7	0	0	8.2	91.8

2) 침엽수 제재목의 품등

수종	재장 (m)	제재치수 (cm)	등급	제재 품등(%)							
				용이	비틀림	굽음	동근모	할렐*	기타	종합	
낙엽송	2.7	4.5x4.5	1	6.7	99.7	79.3	41.8	100	96.2	4.6	
			2	47.8	0	0.2	1.8	0	0.1	11.3	
			3	39.3	0.1	8.2	28	0	0	40.5	
				등외	6.2	0.2	12.3	28.4	0	3.7	43.6
		7.5x7.5		1	22	100	100	24.4	100	96.3	4.9
	2			64.6	0	0	2.2	0	0	17.1	
	3			13.4	0	0	22	0	0	25.8	
				등외	0	0	0	52.4	0	3.7	52.4
		3.6	4.5x4.5	1	0	99.3	75.2	18.2	100	98.7	0
	2			31.4	0	2.7	8.6	0	0	5.9	
	3			47.5	0.7	7.9	35.6	0	1	37.3	
				등외	21.1	0	14.2	37.6	0	0.7	56.8
	7.5x7.5		1	25	100	100	8.9	100	100	2.9	
2			50	0	0	17.6	0	0	20.6		
3			25	0	0	30.9	0	0	33.8		
			등외	0	0	0	42.6	0	0	42.7	
리기다소나무	4.5x4.5		1	26.8		95.8	22.1			0	
			2	35.7		0	3.6			14.2	
			3	33.9		0	42.8			52.7	
				등외	3.6		4.2	31.5			33.1
		7.5x7.5		1	34.2		100	50.4			15.8
	2			42.1		0	5.8			30.2	
	3			23.7		0	32.4			42.6	
				등외	0		0	11.4			11.4
		5x10		1	29.4		97.2	55.2			25.3
	2			35.8		0	15.9			30.2	
	3			34.8		0	22.3			37.1	
				등외	0		2.8	6.6			7.4
잣나무	3.0x3.0		1	4.2	100	100	22.9	100	100	0	
			2	27.1	0	0	6.3	0	0	6.3	
			3	27.1	0	0	22.9	0	0	27.1	
				등외	41.6	0	0	47.9	0	0	66.6
		3.0x4.5		1	27.3	100	100	35.2	100	100	1
	2			40.9	0	0	4.8	0	0	18.3	
	3			42.9	0	0	30.5	0	0	41.3	
				등외	13.6	0	0	29.5	0	0	39.4
		4.5x4.5		1	1.4	100	100	22.5	100	100	0
	2			46.5	0	0	2.8	0	0	16.9	
	3			50.7	0	0	50.7	0	0	56.3	
				등외	1.4	0	0	23.9	0	0	26.8
		1.2x7.0		1	22.4	해당無	해당無	63	100	100	18.5
	2			77.6	해당無	해당無	0	0	0	44.5	
	3			0	해당無	해당無	37	0	0	37	
				등외	0	해당無	해당無	0	0	0	0
		1.2x9.0		1	18.8	해당無	해당無	62.5	100	100	18.7
	2			81.2	해당無	해당無	0	0	0	43.8	
3	0			해당無	해당無	37.5	0	0	37.5		
			등외	0	해당無	해당無	0	0	0	0	

3) 침엽수의 원목 및 제재목의 품질기준

수종	항목	용도별 원목 품질기준		
		농업시설부재	하물받침목	콘크리트형틀재
리기다소나무	말구지름	>8cm	>12cm	>8cm
	웅이크기	<6cm	<6cm	<6cm
	굽음	<30%	<20%	<20%
	기타결점	현저치 않은 것	현저치 않은 것	현저치 않은 것
잣나무	말구지름	>8cm	>12cm	>8cm
	웅이크기	<6cm	<6cm	<6cm
	굽음	<30%	<20%	<20%
	기타결점	현저치 않은 것	현저치 않은 것	현저치 않은 것

수종	항목	용도별 제재목 품질기준		
		농업시설부재	하물받침목	콘크리트형틀재
낙엽송	웅이지름비	50%이하	50%이하	80%이하
	통근모	40%이하(1각 20%미만)	40%이하(1각 20%미만)	40%이하(1각 20%미만)
	비틀림	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
	굽음	0.5%이하	0.5%이하	0.5%이하
	횡단면 활렬	20%이하	20%이하	20%이하
	기타결점	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
리기다소나무	웅이지름비	40%이하	50%이하	50%이하
	통근모	20%이하(1각10%미만)	20%이하(1각10%미만)	30%이하(1각10%미만)
	비틀림	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
	굽음	0.5%이하	0.5%이하	0.5%이하
	횡단면 활렬	20%이하	20%이하	20%이하
	기타결점	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
잣나무	웅이지름비	50%이하	30%이하	40%이하
	통근모	30%이하	20%이하	20%이하
	비틀림	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
	굽음	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것	현저하지 않은 것
	횡단면 활렬	20%이하	10%이하	10%이하
	기타결점	현저하지 않은 것	경미한 것	경미한 것

4) 침엽수 원목의 제재수율

수종	재장 (m)	·말구 (cm)	제재처수별 제재수율(%)																													
			1.2x7cm					1.2x10cm					3x3-4.5x4.5cm					7.5x7.5cm					4.5x4.5&7.5x7.5cm					5x10cm				
			균용률(%)					균용률(%)					균용률(%)					균용률(%)					균용률(%)									
			<10	11-20	21-30	>31	평균	<10	11-20	21-30	>31	평균	<10	11-20	21-30	>31	평균	<10	11-20	21-30	>31	평균	<10	11-20	21-30	>31	평균					
낙엽송	2.7																															
	3.6																															
리기다소나무	1.8	8-11																														
		12-13																														
		>14																														
	3.6	8-11																														
	12-13																															
	>14																															
잣나무	2.7	12-13	52.4	51.8	47.2	42.5	48.5																									
		>14	53.1	52.7	48.3	45.6	49.9	51	50.7	46.9	42.1	47.7																				
	3.6	8-11																														
		12-13	52.5	51.8	47.4	42.5	48.6																									
	>14	53.6	52.8	48.5	44.2	49.8	50.9	49.1	45.7	41.9	46.9	60.8	59.8	55.6	51.9	57.0																

410

수종	제재능률(m ³ /day)		수종	재장 (m)	원목직경 (cm)	제재품 종류별 제재처수(cm)	
	원목직경(cm)					제재품 주재품	제재품 부재품
	8	16					
			낙엽송	2.7, 3.6	8-12	지주목(7.5, x7.5), 농업시설재(4.5x4.5), 콘크리트틀재(4.5x4.5)	어상자재(0.9x10x60)
소나무	1.98	7.08		2.7, 3.6	12-19	지주목(7.5x7.5, 9x9), 농업시설재(4.5x4.5, 4.5x9), 콘크리트틀재(4.5x4.5)	어상자재(0.9x10x60), 하물받침목받침대(5x10)
낙엽송	1.46	4.92		2.7, 3.6	20이상	하물받침목적재판재(2x10-15)	소폭판재, 어상자재(0.9x10x60)
잣나무	1.92	7.02		1.8-2.7	16이상	하물받침목적재판재(2x10-15), 콘크리트틀재(4.5x4.5)	하물받침목받침대재(5x10), 어상자재(0.9x10x60)

표 2-3-1-2. 주요 활엽수의 제재절삭특성

1) 활엽수 원목의 품등

수종	지역	조사량 (m ³)	직경 분포(%)					
			<12cm	13-16	17-20	21-24	25-28	>29cm
줄참나무	강원, 경기, 충청	1800	29.9	30.2	21.8	11.1	3.9	3.1
굴참나무	강원, 경기, 충청	960	33.6	30.4	21.6	9.1	3.1	2.2

수종	지역	조사량 (m ³)	용이 분포(%)							용이의 종류(%)		
			없음	1개	2개	3개	4개	5개	6개이상	산용이	숨은용이	죽은용이
줄참나무	강원, 경기, 충청	1800	36.7	27.8	19.5	10.9	3.8	0.9	0.3	63.2	2.7	34.1
굴참나무	강원, 경기, 충청	960	50.9	29	15.9	6.5	2.4	1.1	0.1	51.4	2.3	46.3

수종	지역	조사량 (m ³)	균율(%)										
			없음	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
줄참나무	강원, 경기, 충청	1800	77.8	0.6	7.1	6.3	4.1	2.4	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1
굴참나무	강원, 경기, 충청	960	87.2	0.4	4.2	3.4	2	1.1	0.7	0.8	0.2	0	0

수종	지름 (cm)	원목 품등											
		용이				균율				전체			
		1등급	2등급	3등급	동외	1등급	2등급	3등급	동외	1등급	2등급	3등급	동외
줄참나무	<12	40.1	31.4	27	1.5	74.9	3.9	7.4	13.8	0	0	0	100
	13-16	49	31.9	17.7	1.5	77.5	7.2	6.3	9	0	0	46	54
	17-20	58	29	11.7	1.3	80.4	6.9	6.9	5.9	0	0	92.1	7.9
	21-24	64.3	27.1	8	0.5	82.4	9.5	6	2	0	10.1	87.4	2.5
	25-28	69	15.5	14.1	1.4	81.7	16.9	1.4	0	0	81.7	16.9	1.4
	>29	73.2	17.9	7.1	1.8	89.3	7.1	3.6	0	39.3	44.6	14.3	1.8
	평균	51.6	29.5	17.6	1.3	78.4	6.8	6.4	8.3	1.2	5.7	44.3	48.3
굴참나무	<12	56.2	29.1	12.9	1.8	85.6	2.8	3.9	7.7	0	0	0	100
	13-16	66.9	25.3	7.8	0	87.5	5.7	2	4.7	0	0	46.6	53.4
	17-20	70.1	22.5	6.9	0.5	87.7	5.4	5.4	1.5	0	0	98.5	1.5
	21-24	72.5	23.5	3.9	0	88.2	3.9	3.9	3.9	0	5.9	90.2	3.9
	25-28	80	13.3	6.7	0	93.3	0	0	6.7	0	86.7	6.7	6.7
	>29	50	33.3	16.7	0	100	0	0	0	50	33.3	16.7	0
	평균	63.6	26	9.5	0.8	87	4.3	3.5	5.2	0.3	1.9	40.3	57.5

2) 활엽수 제재목의 품등

수종	원목지름 (cm)	제재목 결함출현율(%)						
		부후	공동	충식	엇걸	변색	균용	껍질박이
졸참나무	12	34.6	0	25.6	3.8	0	32.1	3.8
	16	19.4	0	22.4	24.5	2	27.6	4.1
	20	37.7	0.6	23.4	22.2	4.2	12	0
	평균	31.8	0.3	23.6	18.7	2.6	21	2
신갈나무	12	88.9	11.1	0	0	0	0	0
	16	71.4	10.2	16.3	0	2	0	0
	20	20	7.5	26.3	0	1.3	31.3	13.8
	평균	45.6	8.8	19.7	0	1.4	17	7.5
굴참나무	12	58.6	0	13.8	3.4	0	24.1	0
	16	63.9	2.8	0	8.3	0	25	0
	20	56	0	0	3	0	41	0
	평균	58.2	0.6	2.4	4.2	0	34.5	0

수종	원목지름 (cm)	제재 품등(%)											
		응이			동근모			활렬			전체		
		1등급	2등급	3등급	1등급	2등급	3등급	1등급	2등급	3등급	1등급	2등급	3등급
졸참나무	12	44.3	0	55.7	34.4	4.9	60.7	98.4	0	1.6	13.1	4.9	82
	16	71.8	3.2	25	69.4	4.8	25.8	91.9	0.8	7.3	43.5	6.5	50
	20	69.2	2.7	28.1	74.2	3.6	22.2	94.1	1.8	4.1	51.6	4.5	43.9
	평균	66.3	2.5	31.3	66.7	4.2	29.1	94.1	1.2	4.7	43.3	5.2	51.5
신갈나무	12	49	17.6	33.3	68.6	9.8	21.6	96.1	3.9	0	33.3	19.6	47.1
	16	67.5	13.2	19.3	72.8	3.5	23.7	100	0	0	51.8	13.2	35.1
	20	65.7	8.6	25.8	76.8	4	19.2	94.9	1.5	3.5	49.5	9.1	41.4
	평균	63.9	11.3	24.8	74.4	4.7	20.9	96.7	1.4	1.9	47.9	11.8	40.2
굴참나무	12	56.4	3.6	40	56.4	7.3	36.4	90.9	1.8	7.3	29.1	7.3	63.6
	16	70.5	0.9	28.6	73.2	7.1	19.6	92.9	1.8	5.4	45.5	7.1	47.3
	20	61.7	0.56	37.8	69.1	0	30.9	97.9	0.5	1.6	38.3	1.1	60.6
	평균	63.7	1.1	35.2	68.5	3.4	28.2	95.2	1.1	3.7	39.2	3.9	56.9

표 2-3-2-1. 주요 침엽수의 건조특성

1) 열기건조 특성

수종	두께 (mm)	초기 함수율 (%)	초기조건		말기조건 건구온도 (C)	스케줄 번호	건조시간(hr)				건조속도(%/hr)				불어짐 (mm)				짜그러짐 (mm)	표면경화 (%)		
			건구온도 (C)	온도차 (C)			초기-30%	30%-10%	초기-10%	초기-30%	30%-10%	초기-10%	crook	bow	cup	twist						
일본잎갈나무	25	46.7	55	3.9	80	T8 B4																
소나무	25	76	65	4	80	T11C4			19.50				1.03									
	50	40	60	3	80	T10C3	29.5	54.20	83.70	0.34	0.37	0.36	0.3	0.9	0.4	4.2	0.8	14.6				
잣나무	25	50	60	3.9	80	T10 B4																
리기다소나무	25																					
	50	70	60	3	80	T10C3	76.5	54.20	130.7	0.52	0.37	0.46	1.2	0.6	0.2	4	1.18	14.3				
곰솔																						
강솔																						

2) FPL의 건조스케줄과 Simpson의 건조특성 추정치 비교

수종	전건 비중	두께 (mm)	FPL schedule				Simpson's estimation			건조 속도 (%/hr)	
			생재 함수율 (%)	초기 온도 (C)	초기 온도차 (C)	말기 온도 (C)	스케줄 번호	초기 온도 (C)	초기 온도차 (C)		말기 온도 (C)
강솔		25					55	3.5	82	0.4	
곰솔		25	105.7				53	3.3	82	0.36	
리기다소나무		25	111.4	50	3.9	80	T6 B4	53	3.3	82	0.36
소나무		25	115.4	55	3.9	80	T8 B4	55	3.5	82	0.41
일본잎갈나무		25		55	3.9	80	T8 B4				
잣나무		25		60	3.9	80	T10 B4	56	3.6	82	0.43

3) 천연건조 특성

수종	두께 (mm)	봄철						여름철						가을철						겨울철					
		초기	기온	습도	풍속	건조	최종	초기	기온	습도	풍속	건조	최종	초기	기온	습도	풍속	건조	최종	초기	기온	습도	풍속	건조	최종
		함수율				일수	함수율	함수율				일수	함수율	함수율				일수	함수율	함수율				일수	함수율
		(%)	(C)	(%)	m/sec	(day)	(%)	(%)	(C)	(%)	m/sec	(day)	(%)	(%)	(C)	(%)	m/sec	(day)	(%)	(%)	(C)	(%)	(%)	m/sec	(day)
일본왕갈나무	24	50	9.4	68	1.8	75	16.5	88	25	80	1.4	75	15.8	35	14.1	74	1.1	75	15.2	31	-2	66	2.5	90	
	27	42					14.5	51					15.1	29					15.5	50					
	30	28					14.1	63					19.4	30					15.7	53					
	45	40	11.1	69	1.7	90	13.6	47	25	80	1.4	90	16.1	38	8.6	72	1.2	120	16.1	52	-0.5	67	2.2	120	
	51	35					14.6	47					15.1	37					16.5	55					
	57	42					15	44					16.9	34					16.9	35					

4) 고온건조 특성

	두께 (mm)	초기	말기조건			풍속 (m/sec)	건조시간(hr)						불어짐 (mm)				찌그 러짐 (mm)	표면 결화 (%)							
		함수율	건구	건습구	건구		초기	30%	초기	30%	30%	초기	crook	bow	cup	twist									
		(%)	온도	온도차	온도		-30%	-10%	-10%	-30%	-10%	-10%													
		(C)	(C)	(C)																					
일본왕갈나무																									
소나무	50	40	116	45	116	5	2.6	8.3	10.90	3.8	2.4	2.75	0.5	0.6	0	1.6	0.79	15.6							
잣나무																									
리기다소나무	50	70	116	45	116	5	8.8	9	17.80	4.5	2.22	3.37	0.5	0.3	0.1	2.7	0.61	25.9							
곰솔																									
강송																									

표 2-3-2-2. 주요 활엽수의 건조특성

1) 열기건조 특성

수종	두께 (mm)	생재 함수율 (%)	초기조건		말기조건	스케줄 번호	건조열함			건조속도(%/hr)				기준함수율(%)		틀어짐(mm)				피그 러짐 (mm)	표면 경화 (%)			
			건구온도 (C)	온도차 (C)	건구온도 (C)		초기	단면	내부	틀어짐	초기-30%	30%-최종	최종	초기	최종	crook	bow	cup	twist					
							활렬	면형	활렬															
고로쇠나무	25	46.5	55	2.8	80	T8 B3	3	3	2															
복자기나무	25	50.3	55	3.9	80	T8 B4	2	3	1															
가죽나무	25	77	55	3.9	80	T8 D4	1	1	3															
사방오리	25	56.8	50	2.8	70	T5 B3	2	3	1															
물오리나무	25	108.7	50	3.9	70	T5 D4	2	3	3															
물갯나무	25	106.1	50	3.9	70	T5 D4	1	3	3															
오리나무	25	79.4	50	3.9	70	T5 D4	2	2	3															
거제수나무	25	68	50	2.2	80	T6 C2	2	2	4	소														
물박달나무	25	64.2	55	2.8	80	T8 C3	1	3	1	소														
사스래나무	25	45.3	45	2.2	70	T3 B2	2	4	3	대														
박달나무	25	43.6	50	2.2	80	T6 B2	3	3	4	대														
까치박달	25	56.5	55	2.8	70	T7 B3	3	2	2															
서어나무	25	68.1	55	3.9	70	T7 C4	2	3	2															
개서어나무	25	59.6	55	2.8	70	T7 B3	3	3	1															
밤나무	25	97	70	11	80	T12 B7	1	1	1															
참죽나무	25	61	55	3.9	80	T8 C4	2	2	3															
홍계나무	25	67	70	11	80	T12 C7	1	1	1															
송충나무	25	109	55	3.9	80	T8 D4	1	1	3															
감나무	25	70	70	11	80	T12 B7	1	1	1															
들메나무	25	62	55	2.8	80	T8 B3	3	1	2															
물푸레나무	25	48	55	3.9	80	T8 B4	1	1	3															
가래나무	25	84	60	5.5	80	T10 C5	1	1	2															
을나무	25	84.3	50	2.8	70	T5 D3	1	4	1															
다릅나무	25	74	60	5.5	80	T10 C5	1	1	2															
참오들나무	25	139	70	8.3	80	T12 E6	1	1	1															
양버즘나무	25	86	60	5.5	80	T10 C5	2	1	1															
사시나무	25	52.9	60	3.9	83	T10 B4																		
이태리포플러	50	116.5	55	4	80	T8 F4					0.41	0.21	0.3	60	10	0.91	1.1	0.56	2.53	1.3	19.2			
수원포플러	25	171.3	55	3.9	80	T8 F4	1	3	1															

2) FPL의 건조스케줄과 Simpson의 건조특성 추정치 비교

수종	전건	두께 (mm)	FPL schedule				Simpson's estimation				예상 건조속도(%/hr)				FPL값-Simpson추정치				
			생재	초기	초기	말기	스케줄	생재	초기	초기	말기	초기	30	15%	초기	생재	초기	초기	말기
			함수율	온도	온도차	온도	번호	함수율	온도	온도차	온도	-30%	-15%	-최종	-최종	함수율	온도	온도차	온도
			(%)	(C)	(C)	(C)		(%)	(C)	(C)	(C)					(%)	(C)	(C)	(C)
참오동나무	0.22	25	139	70	8.3	80	T12 E6	231.27	67	5.3	82	2.63	1.17	0.28	1.59	-92.27	3	3	-2
양황철나무	0.34	25	125.3	60	5.5	80	T10 F5	143.14	60	4.1	82	0.35	0.61	0.19	0.9	-17.84	0	1.4	-2
피나무	0.35	25	122	55	3.9	80	T8 E4	138.83	59	4.1	82	1.14	0.58	0.18	0.77	-16.83	-4	-0.2	-2
수원포졸러	0.37	25	171.3	55	3.9	80	T8 F4	131.02	58	3.9	82	1.1	0.54	0.17	0.75	40.28	-3	0	-2
수양버들	0.47	25	143.9	50	2.8	70	T5 F3	103.31	54	3.4	82	0.63	0.37	0.14	0.45	40.59	-4	-0.6	-12
오리나무	0.5	25	79.4	50	3.9	70	T5 D4	97.45	53	3.2	82	0.53	0.34	0.13	0.39	-18.05	-3	0.7	-12
가래나무	0.5	25	84	60	5.5	80	T10 C5	97.45	53	3.2	82	0.48	0.32	0.13	0.36	-13.45	7	2.3	-2
물오리나무	0.51	25	108.7	50	3.9	70	T5 D4	95.66	53	3.2	82	0.52	0.33	0.13	0.38	13.04	-3	0.7	-12
귀룽나무	0.52	25	61.2	43	2.2	70	T3 C2	93.96	52	3.2	82	0.45	0.32	0.13	0.34	-32.76	-9	-1	-12
울김나무	0.53	25	106.1	50	3.9	70	T5 D4	92.32	52	3.1	82	0.47	0.31	0.13	0.35	13.78	-2	0.8	-12
밤나무	0.54	25	97	70	11	80	T12 B7	90.74	52	3.1	82	0.45	0.3	0.13	0.34	6.26	18	7.9	-2
다릅나무	0.55	25	74	60	5.5	80	T10 C5	89.23	51	3.1	82	0.37	0.29	0.12	0.28	-15.23	9	2.4	-2
다릅나무		25							52	3.1	82			0.32					
충충나무	0.56	25	109	55	3.9	80	T8 D4	87.78	51	3	82	0.42	0.29	0.12	0.32	21.22	4	0.9	-2
양버즘나무	0.56	25	86	60	5.5	80	T10 C5	87.78	51	3	82	0.41	0.29	0.12	0.31	-1.78	9	2.5	-2
옻나무	0.57	25	84.3	50	2.8	70	T5 D3	86.37	51	3	82	0.4	0.28	0.12	0.3	-2.07	-1	-0.2	-12
산벚나무	0.59	25	48.8	55	3.9	80	T8 B4	83.71	50	2.9	82	0.29	0.27	0.12	0.23	-34.91	5	1	-2
가죽나무	0.6	25	77	55	3.9	80	T8 D4	82.45	50	2.9	82	0.34	0.26	0.11	0.26	-5.45	5	1	-2
사스래나무	0.62	25	45.3	45	2.2	70	T3 B2	80.04	49	2.8	82	0.28	0.25	0.11	0.22	-34.74	-4	-0.6	-12
참죽나무	0.62	25	61	55	3.9	80	T8 C4	80.04	49	2.8	82	0.27	0.25	0.11	0.22	-19.04	6	1.1	-2
사방오리	0.63	25	56.8	50	2.8	70	T5 B3	78.89	49	2.8	82	0.31	0.24	0.11	0.24	-22.09	1	0	-12
거제수나무	0.63	25	68	50	2.2	80	T6 C2	78.89	49	2.8	82	0.27	0.24	0.11	0.22	-10.89	1	-0.6	-2
거제수나무		25							47	2.6	82			0.23					
까치박달	0.63	25	56.5	55	2.8	70	T7 B3	78.89	49	2.8	82	0.31	0.24	0.11	0.25	-22.39	6	0	-12
풍개나무	0.64	25	67	70	11	80	T12 C7	77.77	48	2.8	82	0.28	0.24	0.11	0.22	-10.77	22	8.2	-2
느릅나무	0.64	25	90	55	3.9	80	T8 D4	77.77	48	2.8	82	0.31	0.24	0.11	0.24	12.23	7	1.1	-2
느티나무	0.64	25	63	50	3.9	80	T6 B4	77.77	48	2.8	82	0.25	0.24	0.11	0.21	-14.77	2	1.1	-2
고로쇠나무	0.66	25	46.5	55	2.8	80	T8 B3	75.6	48	2.7	82	0.26	0.23	0.11	0.21	-29.1	7	0.1	-2

표 2-3-4-1. 주요 활엽수의 보드제조특성

1) 합판제조특성

수종	단판절삭성		단판건조성		단판접착성능										종합 판정				
	두께 (mm)		소요 시간 (min)	비율립 (cm/50)	요소수지				요소-멜라민수지				페놀수지						
					상태시험		내수시험		상태시험		내수시험		상태시험			내수시험			
					접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)	접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)	접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)	접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)	접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)		접착력 (kg/cm2)	목파률 (%)		
고로쇠나무	1	60.4																	
	2	52.5	15	34.4	24.7	432			18.6	9			18.5	20				보통	
복자기나무	1	66.6																	
	2	67.3	16	32.3	29.3	25			28.1	3			28.3	32				보통	
가중나무	1	56.9																	
	2	47.6	11.7	22	15.4	55			7.7	10			11.1	22				보통	
사방오리	1	47.3																	
	2	33	5.2	23.2	5.7	0			10.9	5			14	23					
물오리나무	1	45.2																	
	2	47.5	10.7	22.3	0	0			0.2	0			13.4	33					
물갠나무	1	47.7																	
	2	33.3	11.4	23.7	0	0			2.8	0			13.2	30					
오리나무	1	43.1																	
	2	59.7	14.8	28.5	2.2	0			10.7	0			12.6	36					
거제수나무	1																		
	2		8.4	30.6	11.8	0			14	0			18.8	63					
물박달나무	1																		
	2		6.6	19.8	13.7	0			13.4	0			15.6	27					
사스래나무	1																		

2) · 오염성(변색)-자료1

수종	심변재	철오염			산오염			알칼리오염			태양오염		
		색차	명도	판정	색차	명도	판정	색차	명도	판정	색차	명도	판정
			감소율 (%)			감소율 (%)			감소율 (%)			감소율 (%)	
고로쇠나무	심재	18.4	44.3	강	2.8	-7.4	중	3.9	11.3	중	8.1	22	강
	변재	15.9	30.1	강	2.7	2	중	5.6	12.6	중	12.8	23.5	강
복자기나무	심재	11.6	20.5	강	1.9	-2.3	중	1.6	3.2	약	5.3	11.4	중
	변재	14.7	28	강	2.4	-1.2	중	4.5	8.3	중	13	24.5	강
가중나무	심재	2.4	5	약	1.4	-2.9	약	1.2	-2.5	약	9.4	13.6	강
	변재	1.8	3.4	약	1.5	-3.4	약	1	-0.9	약	10.1	15.2	강
사방오리	심재	15.9	36	강	6.2	4.7	중	6.8	17.9	중	19.4	43.9	강
	변재	13.5	32.6	강	5.1	6.1	중	6.5	17.7	중	16.8	40	강
물오리나무	심재	7.8	15.7	중	4.3	3.6	중	11.5	28.9	강	12.3	29.2	강
	변재	9.1	21.1	중	4.1	1.6	중	14.2	34.3	강	12.4	29.7	강
물갠나무	심재	8.8	19.87	중	2.8	1.3	중	21.6	51.8	강	13.5	35.4	강
	변재	9.9	22.4	중	3	1	중	16.6	39.7	강	12.3	32.6	강
오리나무	심재	7.8	19.3	중	3.6	1.7	중	13.9	35.2	강	10.4	27.3	강
	변재	6.3	12.8	중	5.7	4.5	중	15.9	40	강	10.7	26.8	강
거제수나무	심재	13.46	21.54	강	2.53	9.25	중	1.51	2.02	약	2.94	6.03	중
	변재	5.85	18	중	3.94	9.9	중	2.26	6.69	약	10.89	25.09	강
물박달나무	심재	5.16	12.4	중	3.31	10.3	중	1.4	3.13	약	11.59	27.88	강
	변재	6.93	15.52	중	2.45	7.04	약	0.43	0.43	약	3.08	6.24	중
사스래나무	심재	5.46	16.37	중	5.26	13.92	중	4.38	8.64	중	4.14	13.54	중
	변재	1.03	1.86	약	3.06	8.83	중	1.56	2.44	약	3.12	6.78	중
박달나무	심재	15.03	38.82	강	2.24	1.42	약	2.84	3	약	6.38	21.26	중
	변재	20.43	37.45	강	3.79	9.74	중	3.31	6.49	약	12.14	32.47	강
까치박달	심재	10.54	39.26	중	5.16	5.13	중	7.78	27.08	중	7.89	9.43	강
	변재	11.58	41.26	중	3.58	10.65	중	8.18	24.95	중	7.86	20.3	강
서어나무	심재	21.41	63.97	강	3.93	7.01	중	8.6	25.94	중	6.6	12.19	강
	변재	19.55	61	강	7.38	27.48	중	7.97	26.37	중	5.98	8.45	중
개서어나무	심재	20.33	59.61	강	3.33	9.41	중	7.27	23.26	중	8.82	21.96	강
	변재	18.85	55.36	강	4.05	9.63	중	6.59	22.64	중	8.31	14.17	강
밤나무	심재	46.7	85.9	강	3.2	5.5	중	1.7	4.2	약	7.6	13.2	강
	변재	37.9	73.6	강	5.1	10.1	중	7.8	7.1	약	7.8	12.4	강
참중나무	심재	14.9	34.5	강	3.3	7.6	중	2.3	2.1	약	16.4	44.4	강
	변재	13.1	30.2	강	4.4	9	중	1.9	-0.3	약	20.3	52	강
풍계나무	심재	5.3	12.7	중	1.9	-0.4	약	2.9	6.9	약	6.5	2.5	중
	변재	6.1	15.1	중	2.6	-0.9	중	4	9.9	중	7	1	강
충충나무	심재	19.3	42.4	강	1.5	-2.5	약	1.3	0.03	약	8.4	16.3	강
	변재	25.6	48.7	강	3	-1.6	중	1.1	2.2	약	12.8	17	강
감나무	심재	4.3	10.2	중	3.1	4	중	4.6	7.2	중	5.8	6.6	중
	변재	3.2	8.5	중	2.6	1.9	중	2	4.5	중	5.1	6.1	중
들메나무	심재	5.7	13.5	중	1.6	3.1	약	1.2	2	약	9.9	14.6	강
	변재	8.7	18.7	중	0.9	-0.7	약	1.5	1.9	약	10.2	14.6	강
물푸레나무	심재	6.8	15.1	중	1.4	-2.1	약	1.6	-2.1	약	11.1	16.9	강
	변재	4.8	10.1	중	1.7	-4.4	약	1.3	-0.3	약	9.4	13.3	강
가래나무	심재	22.9	51.4	강	1	1.1	약	0.9	0.8	약	7.9	13.7	강
	변재	28.8	60.1	강	1.2	0.5	약	0.8	0.7	약	10.6	20.1	강
을나무	심재	7.7	18.5	중	3.2	-7.9	중	1.7	4.2	약	8.5	18.2	강

3) 오염성(변색)-차료2

수종	Iron stain(FeCl3)			Alkali stain(NaOH)			재종
	Color	Decrease ratio	Stain grade	Color	Decrease ratio	Stain grade	
	difference	of lightness(%)		difference	of lightness(%)		
고로쇠나무	6.2	16.3	M	1.2	1.3	L	
단풍나무	5.8	11.4	M	6.5	5	M	
가죽나무	15.3	10.6	S	8.5	4	M	
오리나무	4.2	4.5	M	3.8	1.4	M	
거제수나무	13.5	21.5	S	1.5	2	L	실재
	6.5	18	—	2.3	6.7	L	변재
물바달나무	5.2	12.4	M	1.4	3.1	L	실재
	6.9	15.5	M	0.4	0.4	L	변재
사스래나무	5.5	16.4	M	4.4	8.6	M	실재
	1	1.9	L	1.6	2.4	L	변재
자작나무	2.7	4.2	M	1.4	3.1	L	
박달나무	15	38.8	S	2.8	3	L	실재
	20.4	37.5	S	3.3	6.5	L	변재
까치박달	15.7	21.8	S	8.8	3.5	M	
사이나무	30.5	49.6	S	5.6	7.5	M	
밤나무	27.6	60.4	S	7.2	1.5	M	
참중나무							
풍계나무	1.8	2.6	L	4.8	7.2	M	
계수나무	28.5	56.6	S	4.8	12.2	M	
충충나무	16.7	35.2	S	5.5	5.8	M	
감나무							
들메나무	14.8	27.4	S	6.8	1.7	M	
울푸레나무							
가래나무	21.3	50.8	S	14.1	21.6	S	
을나무	5	15.6	M	0.7	0.8	L	
다릅나무							
오동나무	2.3	2.2	L	3.1	7.6	L	
참오동나무							
양버즘나무							
은행암	13.9	31	S	14.6	38.8	S	
현사시	4.1	73	M	0.7	1.6	L	
이태리포플러	3.2	2.6	M	2.4	6.1	L	
이태리포플러	16.1	22.1	S	6.9	3.1	M	
수원포플러							
황철나무	3.3	7.2	M	2.1	4.8	L	
양황철나무							
귀룽나무	14	29.6	S	5.3	12	M	
산벚나무							
벚나무	7.9	24.8	M	3.7	10.2	M	
왕벚나무	13.1	39.5	S	1.6	1.8	L	
중국굴피나무	39.5	51	S	4.6	10.6	M	
상수리나무	6.8	15.2	M	17.3	46.4	S	
갈참나무	23.8	54.4	S	15.6	42.6	S	
떡갈나무							
신갈나무	21.3	52	S	1.4	0.7	L	
줄참나무	25.1	56.3	S	2.3	11.3	L	
굴참나무	8.7	13.8	M	3.8	5.6	M	
아까시나무	10.4	26.2	M	4.9	14.2	M	
수양버들							
버드나무	13.3	13.3	S	9.3	1.1	S	
피나무							
느릅나무							
느티나무	14.8	40.6	S	2	6	L	

표 2-4-3-1. 주요 활엽수의 도장특성

수종	도료경화 시간	도막활렬								종합 판정
		온냉건조시험				진공침수시험				
		접선단면		방사단면		접선단면		방사단면		
		활렬수 (개)	활렬길이 (cm)	활렬수 (개)	활렬길이 (cm)	활렬수 (개)	활렬길이 (cm)	활렬수 (개)	활렬길이 (cm)	
	(hr)									
고로쇠나무	2.17	0.2	0.1	0.6	0.4	1.6	3.2	1.4	2.3	보통
복자기나무	2.27	1.2	1.1	0	0	5	8.2	2.8	3.2	보통
가중나무	2.79	0	0	0	0	0	0	2	1.6	良
사방오리	3.1	5.6	10.4	2.2	3.8	3	5.2	1.4	2.3	보통
물오리나무	2.8	3.6	5.7	0.6	1.6	5.2	9.1	1	1.6	良
물갠나무	3.1	4	4.7	1	2.2	3.6	9.7	2	6.7	보통
오리나무	2.6	7.2	16.7	5.2	10.8	9.4	18.5	4.2	8.9	불량
거제수나무	2.94	0	0	0	0	5.2	6	1.2	0.8	良
물박달나무	3.13	0	0	0	0	10	12.8	7	9.3	良
사스레나무	3.27	0	0	0	0	8	14.4	7	10.4	良
박달나무	3.57	0	0	0	0	2.2	2.9	0	0	良
까치박달	2.36	1.6	0.6	0	0	18	32	4.6	5.2	보통
서어나무	2.39	1.4	1.2	0	0	20.2	46.5	10.6	15.9	보통
개서어나무	2.17	2	1.1	0	0	11.6	29.1	7	9.9	보통
밤나무	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	良
참중나무	2.91	0	0	0	0	0	0	0	0	良
풍계나무	3	0	0	0	0	1.8	0.8	4	1.6	良
충충나무	2.76	0	0	0	0	3	1.3	4	1.4	良
갸나무	3	0	0	0	0	0	0	0.4	0.9	良
들메나무	2.81	0	0	0	0	0	0	1	1.1	良
물푸레나무	2.84	0	0	0	0	0	0	1	0.3	良
가래나무	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	良
옴나무	2.2	0	0	0	0	1.4	1.6	0	0	良
다릅나무	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	良
참오동나무	2.79	0	0	0	0	1	0.7	0	0	良
양버즘나무	3	0	0	0	0	2.8	3.1	6	2.6	良
수원포플러	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	보통
양황철나무	3.4	0	0	0.6	1.3	0.4	0.6	0	0	보통
귀룽나무	2.9	0.2	0.1	0	0	3.4	5.9	1.6	2.5	보통
산벚나무	2.4	0	0	0	0	0.4	0.2	0.1	0.9	良
신갈나무										
수양버들	2.7	0	0	0	0	1.4	1.4	1.4	1.5	良
피나무	2.77	0	0	0	0	2	1.8	1	0.7	良
느릅나무	2.78	0	0	0	0	4	2.1	5	5.5	良
느티나무	3.3	0	0	0	0	1.2	1.1	0	0	良

표 2-4-4-1. 주요 활엽수의 목탄제조특성

수종	탄화율	무탄	원목	수축률(%)		공업분석(%)				발열량		경도	정속도	목탄 1톤당 원목소요량	종합 판정
	(%)	용적중	용적중	축	길이	고정탄소	수분	회분	휘발분	Kcal /kg	천Kcal/				
고로쇠나무	26.8	0.368		25.1	14.2	74.6	6.65	1.86	16.9	7,920	2,915	1	8	6.6	보통
복자기나무	27	0.468		23.3	13.9	78.1	6.83	1.04	14.1	7,830	3,664	3	8	5.9	양호
가중나무	32.3	0.285		25.5	15.7	81.4	5.1	2.82	10.8	7,762	2,212	4H<<1	6.6	5.9	불량
사발오리	26	0.427		19	15.1	80.1	8.6	1.1	10.2	8,030	3,430	4H<<1	10	7.1	보통
물오리나무	25.4	0.287		17.9	15.6	81.1	8.5	1	9.4	7,980	2,292	4H<<1	9.3	8.9	불량
물갯나무	23.2	0.313		17.9	15.7	80.9	8.4	0.8	9.9	8,090	2,529	4H<<1	9.3	9.5	불량
오리나무	24.7	0.338		16.5	15.7	79.6	8.1	0.7	11.6	8,000	2,706	4H<<1	9.8	9.3	불량
거제수나무	25.14	0.403	537	25.27	14.89	67.53	4.36	1.09	27.02	7,730	3,112	2	9.1	7.4	보통
물박달나무	24.19	0.425	572	25.57	15.68	78.89	5.93	0.72	13.46	8,270	3,518	2	8.5	7.2	양호
사스래나무	23.24	0.43	517	21.91	16.27	75.49	6.88	0.81	16.82	7,990	3,434	2	8.3	8.3	보통
박달나무	26.95	0.491	756	22.94	15.55	58.56	3.55	0.74	37.15	8,300	4,077	5	6	4.9	불량
까치박달	25.6	0.407	539	17.3	20.6	34.6	4.3	3	58.2	7,760	3,156	2	3.8	7.3	불량
서어나무	25.5	0.419	563	18.2	20.6	79.3	4.1	1.8	14.8	7,870	3,297	1	7.8	7	양호
개서어나무	25	0.468	571	16.7	22.3	97.2	3.4	2.2	57.2	7,830	3,664	1	8.2	7	불량
밭나무	37.9	0.336		18.6	13.2	58.1	5.9	0.5	35.6	7,850	2,638	4H<<1	7.7	5.6	양호
참중나무	32.2	0.488		20.9	15.9	84.9	5.2	1.27	8.6	8,036	3,922	5	5.3	5.5	양호
풍계나무	32.7	0.385		21.2	13.8	76.9	6.7	3.2	13.2	7,730	2,976	4H<<1	7.2	5.6	보통
층층나무	32.1	0.334		27.4	16.3	81.8	4.7	1.44	12.1	7,897	2,638	5	3.9	6.4	양호
갈나무	31.6	0.465		22.2	14.8	73.7	7	2.9	16.5	7,610	3,539	8	6.8	5.5	보통
돌메나무	33.5	0.441		29.1	16.2	83.1	5.7	2.2	9.1	7,894	3,481	5	6	5.2	양호
물푸레나무	32.8	0.463		25.9	15.8	88	6	1.55	4.5	8,015	3,711	6	4.1	5.1	양호
가래나무	32.3	0.301		22.5	14.6	84	5.6	1.13	9.3	7,961	2,396	4H<<1	6.6	7.1	보통
을나무	26.1	0.303		20.2	14.4	43.2	6.35	1.89	48.5	7,770	2,354	4H<<1	8	7.9	불량
다릅나무	31.1	0.386		22.8	19.8	83.1	1	8.64	7.8	7,846	3,029	4	5.5	6.7	보통
참오동나무	33.4	0.108		19.2	14.9	75.6	5	0.49	18.9	7,964	860	HB	5.6	14.8	불량
양버즘나무	31.5	0.337		22.9	13.8	56.7	7.3	1.5	34.5	7,700	2,595	2H<<3H	8	6.7	불량

표 2-4-5-1. 주요 활엽수의 펄프제조특성

수종	수율(%)		밀도 (g/cm ³)	백색도 (%H)	표백성 지수	변질 추출물 (%)	열단장 (km)	광파장도	비파장도	비안장도	내절도 (회)	펄프ton당 원목소요량 (m ³)	중량 비정
	정선	총											
고로쇠나무	43.3	44.4		33.4			1.3		0.6	22		4.1	불량
복자기나무	41.2	47.1		35.9			1.7		0.9	28		3.9	불량
가중나무	43.2	47.8		39.1			2.7		1	42.8		4.4	보통
사방오리	38.7	40.8	0.49	38.1			3.9		2.2	100		4.8	보통
물오리나무	40.6	40.9	0.51	35.6			3		2.1	67		5.6	양호
물겉나무	40.1	40.2	0.44	36.3			3		1.8	39		5.5	양호
오리나무	37.3	37.6	0.5	38.5			1.8		1	48		6.1	보통
거제수나무	48	49.2		33.8	15.3	0.5	4.9	2.8		126.1	172		양호
물박달나무	47.5	48.5		31.4	14.9	0.9	5.7	3.4		122.3	100		양호
사스래나무	44.9	48.2		24.5	16.5	0.6	7	4.1		105.2	404		중
박달나무	45.5	50		32.2	16	1.2	3.5	1.7		87.2	14		불량
까치박달	37.2	40.9		31.7	19.1	0.29	5.7		3	119.2	65	4.99	불량
서어나무	38.2	40.8		31.7	18.5	0.3	4.3		1.6	84.4	10	4.65	불량
개서어나무	40.9	43.6		29	18.8	0.26	4.7		2.7	126.4	40	4.29	보통
밤나무	42.2	43.7	0.43	24.4			5.3		0.5	80		5.06	보통
찰중나무	33.4	41.2		22.5			4.1		1.5	58.6		5.37	불량
홍개나무	43.7	44.8	0.51	32.7			4		0.6	101		4.21	보통
충충나무	40.2	45.1		28.3			7.2		3.9	76.7		5.08	보통
감나무	39.6	40.4	0.46	23.6			4.1		0.4	91		4.37	불량
돌메나무	41.3	46.6		35.5			4.9		2.9	83.6		4.19	보통
물푸레나무	33.8	41.5		33.8			4.1		2.4	70.8		4.89	불량
가래나무	48	51		32.5			5.7		3.3	80.4		4.79	양호
읍나무	41.6	43.1		34.5			2.5		1.3	56		5	불량
다릅나무	43.2	46.6		25.4			2.7		1.4	40.9		4.84	보통
참오동나무	44.8	48.5		33.3			4.6		1.9	57.7		10.99	불량
양버즘나무	45.5	46.7	0.32	33.1			3		0.3	43		4.61	불량
수원포플러	43.5	44.1	0.55	44.2			3.9		2.2	59		7.2	양호
양황철나무	46.4	46.5	0.61	33.5			5.2		2.7	59		7.2	양호
귀룽나무	45.8	46.8		35.9			3.1		1.2	43		4.8	보통
산벚나무	40.2	42.6		25.7			2.9		1.3	56		4.8	불량
신갈나무	39	43.5		30			3.3		1.8	81		4.2	기준
수양버들	44.1	46.4	0.53	42.5			2.9		1.6	49		5.8	양호
피나무	46.4	49.5		35.2			6.5		3.4	82.1		7.18	보통
느릅나무	38.8	44.4		33.3			4.5		2	77.9		4.72	불량
느티나무	40.6	41.5	0.5	33.5			7		1.1	117		4.37	양호

2) 수종별 용도분석

수종	현재 용도	금후 대체 용도
고르쇠나무	마루판(체육관, 불링장), 악기(피아노, 바이올린), 운동구(스키, 롤링핀, 라켓)	화장단판, 가구, 조각, 칠가공, 건축내장
복자기나무	가구, 공구자루	화장단판, 칠가공, 건구, 조각
가중나무	농기구, 薪炭	가구, 내장, 시엔트보드
사방오리	목공예, 건축(기둥), 薪炭, 제기, 염료	가구, 상자, 조각, 공구자루
물오리나무	공구자루, 주형, 불단, 칠기, 성냥, 목공예, 제기, 화학용 목탄, 염료	가구, 포장, 파티클보드, 펄프
물갠나무	상자, 완구, 세공, 제기, 염료	가구, 공구자루, 포장, 칠가공, 펄프
오리나무	공구자루, 주형, 불단, 칠기, 성냥, 목공예, 제기, 화학용 목탄, 염료	가구, 건축내장, 상자, 조각, 칠가공
거제수나무	펄프	
물박달나무	보드 제조에 부적합	
사스래나무		
박달나무	화이버보드	
까치박달	공구자루, 버섯재배	방직용 북, 목관, 피아노액션; 완구, 공구자루 버섯재배
서어나무	방직용 북, 목관, 피아노액션; 완구, 공구자루 버섯재배	가구(칠가공), 운동구
개서어나무	방직용 북, 목관, 피아노액션; 완구, 공구자루 버섯재배	가구(칠가공), 운동구
밤나무	건축, 상자, 액자, 공구자루, 가구, 버섯균육	화장단판, 조각
찰중나무	가구, 佛具	화장단판, 고급장식재
풍계나무	기타 용도	가구부재, 운동구(라켓)
충충나무	공구자루, 조각, 薪炭	칠가공, 합판, 화이버보드, 목탄
감나무	가구, 방직용 북, 골프 헤드, 조각	흑단 대용, 화장단판, 세공
들메나무	운동구, 기구, 가구, 내장	화장단판, 칠가공, 목탄
물푸레나무	운동구, 공구자루, 기계, 가, 화장단판, 기구	화장단판, 칠가공, 목탄, 기구, 악기
가래나무	가구, 기구, 조각, 공예	화장단판, 가구(월넛, 티크 대용)
을나무	화장단판, 가구, 건축내장, 합판	칠가공, 조각, 건축내장
다릅나무	가구, 기구, 조각	고급장식재, 칠가공, 목탄
참오동나무	가구, 화장단판, 기구, 포장	가구, 악기, 조각
알버즘나무	합판, 가구, 식품포장재	화장단판, 악기
수원포플러		성냥, 포장, 상자, 단판제품(젓가락, 빙수류꽃이, 이쑤시개), 펄프
양황칠나무		성냥, 포장, 상자, 단판제품(젓가락, 빙수류꽃이, 이쑤시개), 펄프, 파티클보드
귀룽나무	가구, 조각, 공구자루	화장단판, 칠가공, 세공

3) 용도별 '수종분포'

용도	수종분포
建築用材	거제수나무, 느티나무, 당버들, 들메나무, 밤나무, 서어나무, 옴나무, 팽나무, 황경피나무
車輛用材	갈참나무, 개박달나무, 느티나무, 물신갈나무, 박달나무, 밤나무, 상수리나무, 신갈나무, '졸참나무, 갈참나무
道具用材	개박달나무, 거제수나무, 물박달나무, 사스레나무, 굴참나무, 느티나무, 큰잎느릅나무, 개벚지나무, 개살구나무, 산돌배나무, 털돌배나무, 광이신나무찰단풍나무아기단풍나무황단풍나무
彫刻用材	가래나무, 긴잎느티나무, 느티나무, 달마기목, 박달나무, 밤나무, 사시나무, 산뽕나무, 철쭉나무, 회양목
細工用材	개벚나무, 고리버들, 당키버들, 땡땡이덩굴, 박달나무, 신나무, 으름덩굴, 의나무, 털참벗나무
機械用材	긴잎느티나무, 느티나무, 박달나무, 산돌배나무, 졸돌배나무, 털돌배나무, 팽나무
裝飾用材	개박달나무, 고로쇠나무, 산뽕나무, 왕고로쇠나무, 털고로쇠나무
印鑑用材	참빗살나무, 회양목
鐵道枕木用材	갈참나무, 물신갈나무, 밤나무, 상수리나무, 서어나무, 신갈나무, 아까시나무, 옴나무, 졸참나무
土木用材	갈참나무, 느릅나무, 느티나무, 물푸레나무, 신갈나무, 밤나무
家具用材	가래나무, 고로쇠나무, 들메나무, 물푸레나무, 상수리나무, 왕고로쇠나무, 털고로쇠나무, 헛개나무
制箱用材	물황철, 벽오동나무, 사시나무, 오리나무, 향찰나무
樂器用材	느티나무, 단풍나무, 헛개나무, 호도나무
·표고골목	갈참나무, 개졸참나무, 떡졸참나무, 상수리나무, 서어나무, 신갈나무, 신떡갈나무, 졸참나무
杖材	노린재나무, 다래나무, 달마기목, 신나무, 인기목, 조팝나무, 차빛마가목, 참빗살나무, 층층나무
고용用材	너른잎털오리나무, 능수버들, 버드나무, 분버들, 뽕피나무, 산오리나무, 열주나무, 오리나무, 응기피나무, 활피나무, 참피나무, 채양버들, 털피나무
성냥軸木	당버들, 물황철, 사시나무, 향찰나무
棺具材	옴나무
旋作物	당버들, 때죽나무, 물황철, 쪽동백, 향찰나무
道具用材	가래나무, 섬뽕나무, 옴나무, 호도나무, 털야광나무, 말채나무, 오리나무, 돌배나무, 들메나무, 털오리나무, 물푸레나무, 졸돌배나무, 왕사스레, 팔배나무, 벚나무, 자작나무, 아까시나무, 산뽕나무, 박달나무, 산걸양, 옴나무, 버드나무, 서어나무, 신나무, 능수버들, 밤나무, 복장나무, 상수리나무, 당단풍, 갈참나무, 털단풍청갈참나무, 겨릅나무, 떡갈나무, 나도박달, 신갈나무, 참빗살나무, 물신갈나무, 달피나무, 졸참나무, 활피나무, 흑느릅나무, 사시나무, 난티나무, 향찰나무
炭材	오리나무, 졸참나무, 개졸참나무, 털오리나무, 굴참나무, 신갈나무, 두메오리나무, 풍계나무, 거제수나무, 졸풍계나무, 물박달나무, 노란팽나무, 사스레나무, 은행나무, 왕사스레, 팽나무, 자작나무, 시무나무, 서어나무, 느티나무, 밤나무, 느릅나무, 상수리나무, 흑느릅나무, 갈참나무, 갈참나무, 비솔나무, 청졸참나무, 팔배나무, 털갈참나무, 아까시나무, 떡갈나무, 신나무, 신떡갈나무, 노린재나무, 속소리나무, 물푸레나무, 물푸레나무, 떡졸참나무들메나무
薪材	거의 모든 수종

