

# 국산재를 이용한 건축부재 개발

## Development of Construction Material from Domestic Wood Resources

국산 원목 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계 개발  
Effective distribution structure for production cost reduction of  
domestic wood raw material and wood products

국산재의 최적 건조기술 개발  
Development of optimum drying technology for domestic wood

국산재의 내화구조 개발  
Development of fire proof construction using domestic wood

표면강화기술을 이용한 건축 내장재 개발  
Development of interior materials through surface hardening

국산재의 구조성능 평가 및 향상  
Evaluation of structural performance for domestic wood

국산재를 이용한 목조건축 시스템 개발 및 축조실연  
Development of engineered wood system using domestic wood

임 업 연 구 원

(서울대학교, 충북대학교, 방재시험연구원)

농 립 부

# 최종 보고서

2003년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 국산재를 이용한 건축부재 개발에 관한 연구의 최종 보고서를 붙임과 같이 제출합니다.

- 붙임 : 1. 최종보고서 10부  
2. 최종보고서 디스켓 1매

2003년 5월 30일

주관연구기관 : 임업연구원

총괄연구책임자 : 홍 인 표 (인)

주관연구기관장 : 임업연구원장

직 인

농 립 부 장 관 귀 하

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산재를 이용한 건축부재 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 5. 30

주관연구기관명 : 임업연구원  
총괄연구책임자 : 홍 인 표  
세부연구책임자 : 김 외 정  
세부연구책임자 : 박 문 재  
세부연구책임자 : 박 정 환  
책 임 급 : 이 도 식  
책 임 급 : 심 국 보  
책 임 급 : 최 돈 하  
책 임 급 : 이 성 숙  
선 임 급 : 김 재 성  
선 임 급 : 전 현 선  
선 임 급 : 박 병 수  
선 임 급 : 이 준 호  
연 구 원 : 채 수 흥  
연 구 원 : 박 홍 순  
협동연구기관명 : 서울대학교  
협동연구책임자 : 이 전 제  
연 구 원 : 박 주 생  
연 구 원 : 김 광 모  
연 구 원 : 오 정 권  
연 구 원 : 박 천 영  
연 구 원 : 배 문 성  
협동연구기관명 : 충북대학교  
협동연구책임자 : 한 규 성  
책 임 급 : 이 원 희  
협동연구기관명 : 방재시험연구원  
협동연구책임자 : 이 경 구  
선 임 급 : 임 흥 순  
선 임 급 : 성 시 창

# 요 약 문

## I. 제 목

국산재를 이용한 건축부재 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

전 국토의 65%이상이 산림인 우리 나라에서 산림자원의 효율적 이용은 매우 중요한 과제이다. 그 동안 제1, 2, 3차 치산녹화 사업을 성공적으로 추진하여 임목축적량은 꾸준히 증가하고 있으며, 간벌재를 비롯한 국산재의 생산잠재력은 점차 증대되고 있다. 산림청 제4차 산림기본계획에서는 앞으로의 벌채계획량을 1995년 현재 1,241천m<sup>3</sup>에서 2007년에 3,379m<sup>3</sup>으로, 2050년에는 15,005천m<sup>3</sup>으로 추정하고 있으며, 국산재의 자급율도 1995년 현재 4.3%에서 2007년에 9.8%로 2050년에는 30.3%로 증가할 것으로 기대되고 있다.

그러나, 농산촌의 노동력 부족 및 고령화와 고임금 등에 의한 생산비 상승, 목재 생산체계 및 유통구조의 문제점, 국산재 생산 공장의 기술력 부족과 규모·자본의 영세성 등 여러 원인으로 인하여, 국산재의 대 외재 경쟁력은 지극히 취약한 실정이다. 또한 현재 이용되고 있는 국산재도 건축가설재 등 대부분 저부가가치 용도로 사용되고 있고 이용도도 낮아, 국산재의 새로운 용도 개발을 통한 이용을 증진시키는 것이 임업의 시급한 과제로 대두되고 있다.

최근 들어 목조주택은 대도시 주변이나 신도시, 지방 도시 및 농촌 등에서 전원주택으로 보급이 확산되고 있다. 목조건축은 내구성과 안전성이 우수하고 차음과 보온·보습 효과가 뛰어나 쾌적한 주거환경을 제공하며, 다양한 형태의 설계가 가능한 점 등 많은 장점을 가지고 있다. 또한 외국의 경우에는 목조건축에 적절한 내화공법을 적용하여 내화성능을 향상시켜 5층 이상의 목조 아파트도 시공되고 있다.

그러나 국내에서는 지속적으로 수요가 증가하는 목조주택과 목조건축의 구조부재나 내·외장재의 수요 증가에 능동적으로 대응하지 못하고 있다. 이는 국산

재의 생산기반이 취약하고 여러 종류의 구조부재의 생산기술 및 품질관리 기술의 부족 등이 원인이며, 국산재를 이용한 건축부재 생산기술이 체계화되지 못하였기 때문이다. 또한 목조건축이 내화구조로 인정받지 못하고 있기 때문에 건축법에 의하여 규모와 용도의 제한을 받고 있으므로 목조건축의 공급 및 다양화에 많은 장애 요인으로 작용하고 있다. 목조건축이 공동주택이나 대규모 건축구조로 발전하기 위해서는 본 과제에서 협동과제로 수행된 바 있는 「국산재의 내화구조 개발」 연구과제의 연구결과를 바탕으로 하여 목조건축이 내화구조로 인정받을 수 있는 합리적인 내화성능 평가방법의 홍보와 이를 통한 내화공법의 개발 등이 시급히 해결되어야 할 과제이다.

따라서, 본 연구에서는 임업의 산업화를 위한 국산재의 건축부재 개발을 위하여, 국산재 원료 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계를 확립하고, 건조기술 및 표면강화기술을 이용한 건축부재의 생산기술을 체계화하며 국산재의 구조성능 평가 및 목조건축 시스템 개발을 통하여, 본 과제에서 연구된 내용에 대한 종합적인 검토와 연구내용의 실용화를 추진함은 물론, 목조건축업계에서 겪고 있는 난제를 해결하는 차원에서 목조건축을 축조 실연하여 업계에 개발된 기술을 보급하여 실용화·산업화를 목적으로 하고 있다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### ○ 국산 원목 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계 개발

건축부재용 국산 원목의 생산비용 및 유통체계 조사, 목조주택의 수요 전망 및 소비자 선호도 분석, 국산 건축부재 가공의 경제성 분석 등을 통하여 국산 건축부재의 가격경쟁력 강화를 위한 유통체계 구축

#### ○ 국산재의 최적 건조기술 개발

국산 침엽수재를 대량수요가 가능한 구조부재로 활용하기 위한 최적 건조기술과 중소경재의 건조수율 향상기술을 개발하고, 고온건조에서 발생하는 틀어짐, 갈변색 등 건조결함 예방기술을 확립함으로써 국산 구조부재의 생산기술을 체계화하고 품질 향상에 기여하고자 함. 또한 고온건조의 건조 종료시점을 예측할 수

있는 on-site 수분감지 시스템의 개발로 건조에너지를 절감하고 최적 건조기술을 실용화할 수 있는 시스템을 개발함.

### ○ 국산재의 내화구조 개발

목조 건축의 규모와 용도가 제한되어 있는 현실을 합리적으로 분석하여 이를 개선할 수 있는 표준적인 내화구조 평가방법을 제시하고, 국산재를 사용한 새로운 내화구조를 개발하여 국내 목조건축물의 보급확대를 유도.

### ○ 표면강화기술을 이용한 건축내장재 개발

활엽수재에 비하여 경도가 낮고 춘·추재의 물리적 성질 차이가 큰 침엽수재를 옥외 시설이나 주택 내장재로 사용하고자 할 때 목재 표면에 발생하는 많은 문제점을 개선하여 국산 침엽수재를 내·외장재로 활용하고자 표면강화 처리 기술과 제품의 개발 및 제조공정을 개선하고자 함. 이를 위하여 무처리재의 해부학적, 물리적, 기계적, 화학적 특성 조사, 압축변형에 의한 재질 개량, 수지함침에 의한 재질 개량, 화학처리에 의한 재질 개량, 처리재의 물리적, 기계적 성능의 평가, 실대 처리재의 제작 및 성능 평가를 수행함.

### ○ 국산재의 구조성능 평가 및 향상

국산재를 사용한 제재, 집성재 및 실제 구조물에서의 다양한 결합부에 대한 구조성능을 평가할 수 있는 기준을 개발하고, 개발된 기준에 근거한 국산재의 구조성능 평가 자료를 토대로 표준화된 설계체계 확립.

### ○ 국산재를 이용한 목조건축 시스템 개발 및 축조실연

국산재를 이용한 공학목구조 시스템의 개발을 위한 접합부의 개발 및 입체 트러스의 구조성능평가, 입체 트러스 시스템의 구조설계 기술을 개발하고, 공학목구조 시스템과 본 과제에서 개발된 건축 내·외장재를 채택한 목조건축 모델을 설계 및 축조 실연하여, 건축부재 생산업체와 건축업체에 기술을 보급함으로써 국산재의 고부가가치 이용도 증진.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 국산 원료 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계 개발

본 연구는 국산 건축부재의 생산 및 유통실태를 조사하고, 목조주택 선호도 분석을 위해 전국을 4개 권역(수도권, 충청, 경상, 호남권)으로 나누어 1,500명을 대상으로 분석하고, 목조주택의 수요를 예측하였다. 그리고 국산 건축부재 생산의 원가를 분석하고 제품 생산의 손익분기점을 분석하였다.

#### 1. 국산 건축부재의 생산 및 유통실태

국내 건축재 생산은 1999년 현재 80천m<sup>3</sup>으로 전체 목재생산량의 8.5%를 차지하였다. 국산 건축부재로 사용되는 국산재의 주요 수종은 낙엽송, 잣나무, 소나무로서 건축부재용 원목의 유통경로는 크게 5단계로 나누어진다. 주요 유통경로는 산주 → 벌채업자 → 제재·가공 → 소비자(혹은 생산자 직접 시공) 형태이다. 임목벌채자는 판로를 미리 정해놓고 벌채를 하고 있으며, 가공업체도 소품목 주문생산에 의해 생산·판매하고 있다.

#### 2. 목조주택의 소비자 선호 및 수요전망

응답자 1,500명 중 29.1%가 향후 목조주택의 구입의사가 있었다. 목조주택의 용도로는 별장·레저용이 65.8%, 노후 주거용이 20.9%이었다. 목조주택의 평당 구입희망가격은 296만원으로 분석되었다. 목조주택이 개선되어야 할 점으로는 저렴한 가격과 화재에 안전하게 해야 한다고 하였다. 목조주택 수요예측 결과, ‘반드시 구입하겠다’로 응답한 결과와 ‘월 소득 1,000만원 이상 구입자’를 대상으로 분석한 결과, 2010년에 20,521명, 2020년 39,193명으로 예측되었다.

#### 3. 국산 건축부재 생산의 경제성 분석 및 제도정립 방안

국산재를 이용한 건축부재의 원가를 분석한 결과, 제재목은 288천원/m<sup>3</sup>, 루바

960천원/m<sup>3</sup>, 싸이딩 795천원/m<sup>3</sup>, 데크 927천원/m<sup>3</sup>이었다. 건축부재의 연간 생산 규모는 1,512m<sup>3</sup>(775백만 원)인 공장의 경우, 영업이익이 0인 손익분기점은 생산량 기준 996m<sup>3</sup>(총생산액의 66%)이고, 생산액 기준 563백만 원(총 생산액의 73%)으로 분석되었다. 목조입체트러스 제조 및 시공비는 일반 강재입체트러스의 시공비에 비해 10% 높게 나타났으나, 대량생산 시스템이 정립되고 목재가 갖는 인체친화적 특성을 감안한다면 충분히 경쟁력이 있을 것으로 분석되었다.

국산 건축부재의 생산원가 및 물류비용 절감과 수입 건축부재의 틈새시장을 개척하기 위해 사이버마켓을 이용한 효율적인 유통체계(안)을 구축하였으며, 국내 목조주택 시장 활성화를 위한 건축법규와 소방법규에 대한 보완방안을 제시하였다.

## 2. 국산재의 최적 건조기술 개발

대표적인 국산재인 소나무, 잣나무와 낙엽송을 선정하여, 국산 침엽수재를 이용한 구조용재 개발에 선행되어야 할 고온건조 특성 및 건조결함 예방기술 개발과 중소경제 건조수율 향상 기술 개발, 열기건조 재색열화 반응기구 해명 및 방지기술 개발, on-site 함수율 측정기술 개발에 관하여 연구하였다.

고온건조 특성 및 건조결함 예방기술 개발 과제에서는 두께 5.5cm의 flitch재를 건조함에 있어서 2일 내지 3일 내에 목표함수율까지 건조할 수 있었으며, 급속한 건조로 인한 응력제거를 위해서 증기처리를 24시간 수행한 결과 응력을 제거할 수 있었다. 여러 가지 건조결함 중 제품 생산에 가장 큰 영향을 미치는 비틀림을 제거하기 위해 상부압체를 실시한 결과 10% 이상의 억제효과를 나타내었다.

중소경제의 건조수율 향상기술 개발 과제에서는 두께 5.5cm의 flitch재로 제제한 후, 압체건조하는 SDR법을 적용하여 생산수율을 꺾하였다. 낙엽송 2×4재, 잣나무 2×4재와 소나무 2×6재 생산의 경우 최종생산 수율이 향상되었으나, 미성숙재가 많이 포함된 낙엽송 소경제의 경우에는 수율 향상 정도가 미미하였다.

열기건조 재색열화반응기구 해명 및 방지기술 개발 과제에서는 3,3'-Methoxy-4,4'-Hydroxystilbene로 구멍된 물질이 잣나무를 고온으로 건조시 갈변색을 유발하는 것으로 나타났다. 이 물질이 발생하지 않도록 하는 가장 좋은



방법은 낮은 온도에서 건조하는 것이지만, 생산 속도의 향상을 위해서는 고온을 적용하면서 이 물질이 발생하지 않도록 화학처리를 가하는 방법이 향후 연구되어야 할 것이다.

on-site 함수율 측정기술 개발 및 최적건조기술 실용화 과제에서는 고주파를 이용한 유전율식 함수율 측정 센서를 개발하여, 컨트롤 패널과 연결한 자동제어를 통한 건조종료시점 탐색이 용이하게 되었다. 함수율 센서와 전건법에 의한 함수율 간의 관계를 구명함으로써 향후 산업체에 적용함에 유리할 성과를 얻었다.

### 3. 국산재의 내화구조 개발

이 연구는 외산재 경골 목구조의 내화실험 방법 및 실험결과로부터 국산재 2종(낙엽송, 소나무)에 의한 1시간 내화성능의 경골 목구조 벽 및 바닥구조를 개발하기 위한 것으로서, 연구결과는 다음과 같다.

#### 가. 벽구조

1) 외벽 : 국산재 낙엽송 및 소나무를 스티드(크기 : 38mm×89mm, 간격 450mm)로 하고 옥내면을 국산 방화석고보드 12.5mm 2겹 구조로 한 경골 목구조의 외벽은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

2) 내벽 : 국산재 낙엽송 및 소나무를 스티드(크기 : 38mm×89mm, 간격 450mm)로 하고 양면을 국산 방화석고보드 12.5mm 2겹 구조로 한 경골 목구조의 내벽은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

#### 나. 바닥구조

국산재는 길이가 짧고 단면이 작아 바닥 장선은 목재 합성보(Box beam, Floor truss)로 제작하였다.

##### 1) Box beam 장선 구조

국산재 낙엽송 및 소나무를 Box beam 장선 구조로 하고 천장은 국산 방화석고보드 15mm 1겹구조로 한 경골 목구조의 바닥은 1시간의 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

##### 2) Floor truss(Posi-srut web) 장선 구조

국산재 낙엽송을 Floor truss(Posi-srut web) 장선 구조로 하고 천장은 국산 방화석고보드 15mm 1겹구조로 한 경골 목구조의 바닥은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

#### 4. 표면강화 기술을 이용한 건축 내장재 개발

본 연구는 압축변형, 화학처리, 수지함침 등의 처리를 통한 침엽수재의 표면강화를 그 목적으로 삼아 수행하였다. 그 결과 압축변형을 통하여 기계적성질 및 표면경도의 향상을 꾀할 수 있었으며, 압축변형을 고정시킬 목적으로 수증기처리를 실시한 바 수분에 의한 팽윤을 현저하게 감소시키는 등의 소기의 목적을 거둘 수 있었다. 멜라민수지와 페놀수지처리도 목재의 치수안정성 개선과 압축변형의 고정에 효과적이었다. 멜라민수지 함침지를 목재 표면에 적층하여 압밀화 함으로써, 간단하게 목재를 표면강화 할 수 있음이 밝혀졌다. 또한, 멜라민수지와 비닐아세테이트수지를 함침한 목재는 압밀화를 통하여 표면경도의 개선에 의한 표면강화를 꾀할 수 있었다. 그러나 현실적으로는 압밀화와 수지처리 등에 의한 표면강화목재의 개선된 성능은 충분히 인정되지만, 그 실용화에는 다소 시간이 걸릴 수 있다고 보여진다. 처리에 의한 추가적인 비용에 의한 가격 상승은 열악한 목재업계의 현실에선 투자 및 개발 전망을 어둡게 한다. 또한 실용화와 관련해서는 설비와 수지분야의 동반 노력이 필요하며, 활용과 관련해서는 학교에서의 마루 시공을 활성화하는 등의 정부 차원에서의 목재 이용 대책 수립이 요구된다.

#### 5. 국산재의 구조성능 평가 및 향상

본 연구에서는 국산 낙엽송 제재, 집성재 및 접합부에 대한 구조성능을 평가하고 이를 기초로한 한계상태 설계법으로의 전환 체계를 확립하고자 하였다.

##### 가. 국산 낙엽송 제재의 성능 평가

본 연구에서 수행한 국산 낙엽송 2×6 제재의 휨강도 분포는 웨이블 분포가 가

장 적합한 것으로 나타났으며, 이를 사용하여 5% 하한치를 산출한 결과, 기존 산림청 고시에서 제시하는 값에 비해 1등급은 약 4.7% 2등급은 10.5% 3등급은 20.2% 정도 상향 조정이 가능하여 재료를 보다 효율적으로 사용할 수 있을 것이라고 평가 되었다.

국산 낙엽송 실대재 휨실험과 적합한 분포특성을 고려해 산출한 국산낙엽송 구조용 제재의 MOE는 기존 산림청 고시 설계값과 북미의 기준인 NDS(National Design Specification , 1997)에서 유사 수종인 Douglas fir-Larch 보다 높은 값을 보였다.

기계적 등급구분 E15, E13, E11의 경우, 웨이블 분포를 사용해 5% 하한치와 이 값으로 산출된 허용응력과 순위 5%값을 이용한 허용응력값을 육안등급구분에 의한 등급의 허용응력과 비교해 본 결과 E15, E13은 1등급 E11은 2등급, E9은 육안등급 3등급에 해당된다고 평가 되었다. 기존 KS 규정의 경우 본 연구에서의 결과와 E15, E13, E11의 경우 동일한 육안등급을 제시하고 있으나 E9의 경우 규정이 없다. 그러나 재료의 효율적인 측면에서 E9과 육안등급 3등급과의 관계를 제시할 필요가 있다고 판단된다.

국산 낙엽송 제재의 휨 실험 시 파괴 모드를 분석하였으며, 그 결과 본 실험에서는 Simple Tension이 가장 많은 것으로 확인되었다. 특히 육안등급 1등급의 경우 simple tension이 88.52%로 가장 많았으며 2,3 등급과 등위의 경우 유사한 비율을 보였다.

#### 나. 국산 낙엽송 집성재의 성능 평가

구조용 집성재의 제조에 사용될 라미나로써 국산 낙엽송 부재에 대한 육안등급구분과 용이분포 특성을 조사하였다. 이러한 용이의 분포 특성은 본 연구에서 개발한 집성재의 강도 성능 예측 프로그램의 입력변수로 사용되었다. 집성재의 강도성능 예측을 위해 입력되어야 할 변수로 재면 내 존재하는 용이 크기의 평균과 가장 큰 용이의 크기가 있으며, 가상의 라미나를 생성하기 위해 용이 크기에 대한 분포와 한 재면 내 존재하는 용이의 개수에 대한 분포형태를 분석하였으며, 이를 근거로 가상의 용이를 갖는 가상의 라미나를 생성하였다.

국산 낙엽송의 MSR을 통한 MOE 특성에는 정규분포가 가장 적합하다고 평가하였다. 이는 정적 휨시험을 이용한 제재의 시험 결과를 제시한 본 과제의 1차년도 연구결과와도 일치하는 것으로 역시 본 연구 결과의 타당성이 검증된다.

변형 단면법을 이용한 집성재 강도 예측과 Inverse Transform method를 이용한 집성재의 허용응력 산출 프로그램을 제작하였다. 실제 집성재의 파괴 시험을 통해 산출한 MOE, MOR과 변형단면법을 통해 예측한 MOE, MOR을 서로 비교해 보았으며, 매우 유사한 결과를 보임을 알 수 있었다. MOR의 경우 해당 등급의 평균값과 99.5percentile값을 입력하는 것보다는 해당 라미나의 옹이 크기의 평균과 가장 큰 옹이의 크기 값을 직접 입력하는 것이 정확도를 높인다는 것을 확인 할 수 있었다. 각 combination마다 1000회 반복을 통하여 1000회의 집성재 파괴시험에 해당하는 가상의 파괴시험을 수행하였으며, 이 1000회의 결과값을 재분석하고 인자들을 곱하여 허용응력도와 기본 설계 MOE를 산출하였다.

#### 다. 접합부의 성능 평가

집성재의 다우얼 지압 강도가 제재목에 비해 약간 높게 나왔다. 이는 다우얼 지압 강도에 가장 크게 영향을 하는 것이 비중임을 고려할 때 집성재와 제재목의 비중차이에 의한 것으로 여겨진다. EYM에서 제시하는 것과 같이 볼트 지름이 증가함에 따라서 다우얼 지압 강도는 작아지게 되며, 목리에 평행한 경우는 수직인 경우에 비해 그 값이 상당히 큰 것을 알 수 있다.

국산 낙엽송을 이용한 접합부의 성능 평가는 일반적으로 이용되고 있는 NDS의 설계값이 국산 낙엽송에도 적용될 수 있는지를 평가하고 설계 기준을 마련하는 데 반드시 필요한 부분이다.

접합부 성능 평가는 4가지 형태의 EYM 예측 모델 조합을 이용하여 각 조합에 대하여 하중 방향별, 볼트 지름 별 계산값을 구하고 이를 실제 실험값과 비교분석 하였다. 이것을 통해 가장 적합한 모델을 결정하여 국산 낙엽송이 구조 부재로 활용 될 경우 설계 기준으로 사용되게 된다. EYM을 적용한 NDS가 국산 낙엽송에도 거의 정확히 예측함을 알 수 있었다. 그러나 계산 과정에 있어서 낙엽송의 비중만을 가지고 계산된 다우얼 지압 강도와 제시된 볼트의 휨 강도를 통해서 설계를 할 경우 접합부 형태에 따라서 오차가 발생할 수 있음을 확인하였다. 특히 철판을 측면 부재로 사용할 경우 그 오차는 상당히 크며 이는 구조물의 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 하지만, 실험을 통해 얻어진 값으로 예측을 한 결과는 전체적으로 일치하였으며 그 오차도 작았다. 따라서 국산 낙엽송을 이용하여 접합부를 형성하고 이를 구조물에 적용시킬 경우에는 연구를 통해 알려진 정확한 값을 사용하여야 한다.

## 라. 한계상태 설계법의 체계화

기존의 허용 응력법에서 사용하던 허용 응력값을 한계 상태 설계법을 이용한 설계에 적용하기 위하여 reference resistance를 구하였다. 본 연구에서는 제재목의 경우 1차년도 연구 결과를 바탕으로 2×6부재를 대상으로 하였으며, 집성재의 경우 2차년도에 연구한 각 조합에 대하여 진행하였고, 마지막으로 기존의 NDS에서 제시하고 있는 값을 soft conversion하여 테이블 형식에 맞게 제시하였다.

한계상태 설계법에 적용할 수 있는 국산 낙엽송 2×6 부재에 대한 reference resistance는 유사 수준의 부재를 NDS에서 찾아 전환한 값과 비교하였을 경우 1.5배 정도 큰 수치를 나타내었으며, 실험을 통해 얻어진 허용 응력을 전환한 값보다는 작게 나타났다. 국산 낙엽송 집성재의 경우 본 연구에서 실험적 평가를 수행한 10개 조합에 대해서 simulation반복수 1000회를 통해 얻어진 데이터로부터 한계상태 설계법에 사용할 수 있는 reference resistance를 구하였다. 실험을 통해 얻어진 분포 특성을 통해 얻어진 값이 허용 응력을 직접 전환한 값보다 크게 나오는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존 NDS에서 제시하고 있는 설계값을 reference resistance로 soft conversion하는 과정을 프로그램화 하였다.

본 연구의 2차년도와 4차년도에 개발한 ‘집성재 휨강도 예측 프로그램’과 ‘한계상태설계법의 체계화를 위한 soft conversion 프로그램’은 현재 특허 신청 중이다.

## 6. 국산재를 이용한 목조건축 시스템의 개발 및 축조실연

국내 조림지에서 생산이 증가하고 있는 낙엽송 중소경재를 고부가가치 용도로 활용하는 방안의 하나로, 최근 건축계의 관심이 높아지고 있는 대규모의 큰 경간을 가지는 구조에 적합한 입체트러스를 적용한 공학목구조 시스템을 개발하는 것이 합리적이다.

새롭게 개발된 목조 입체트러스의 구조는 피라밋형 단위입체트러스를 연속하여 구성하는 형식을 적용하였다. 목조입체트러스의 개발을 위하여 길이가 짧은 낙엽송 구조부재를 서로 연결시키는 접합철물의 개발이 선행되어야 하며, 접합부의 내력성능에 맞는 입체트러스 접합부를 설계하여야 한다.

본 과제는 목조입체트러스에서 개발한 접합철물과 이 철물을 사용한 접합부의 구조내력, 개발된 접합철물을 사용하여 제작한 단위 입체트러스의 구조내력 평가, 목조입체트러스를 이용한 공학목구조시스템, 목조입체트러스의 구조내력과 변위에 대한 연구를 수행하고, 공학목구조시스템을 건축물로 축조 실연한 연구 결과는 다음과 같았다.

목조입체트러스의 접합철물로는 강재를 사용하여 개발하였으며, 목조입체트러스의 단위 골조는 사재의 각도를  $45^\circ$ 를 사용하였고, 목조입체트러스의 접합철물은 8방향으로 접합할 수 있도록 제작되었다. 목조입체트러스 접합철물의 주요부품인 연결구의 지름은  $\phi 65\text{mm}$ 이었으며, 목재속에 삽입되는 강관의 두께는  $4.5\text{mm}$ 이었다. 목조입체트러스의 모듈을  $1,000\text{mm}$ 으로 정하는데 알맞은 치수를 선택하여, 구조적 안전성과 건축 설계상 미관성, 건축설계의 용이성 등 설계 요소를 고려하여 개발하였다. 볼트 사이 간격과 트러스부재의 끝면 거리는 미국목구조설계기준(NDS)에 근거하여 충분한 구조성능을 유지하도록 설계하여 제작하였다.

각재에 적용된 지름  $12\text{mm}$  볼트 2개를 가진 접합부의 최대하중내력은  $4,723\text{kg}$ 로 지름  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 1.6배의 내력성능을 보유하고 있었으며, 변위는  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $6.28\text{mm}$ 로  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 0.52배에 불과하여,  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 내력성능과 강성이 현저하게 높은 특성을 나타내었다. 지름  $12\text{mm}$  볼트 2개를 가진 접합부의 항복 하중은  $3,979\text{kg}$ 로  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 2.2배의 내력을 보유하고 있었으며, 변위는  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $4.20\text{mm}$ 로 0.78배에 불과하여,  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 내력성능과 강성이 높은 특성을 나타내었다. 원주재의 경우도 지름  $12\text{mm}$  볼트접합부는  $8\text{mm}$  볼트접합부보다 내력성능과 변위가 각재의 경우와 유사하게 뛰어난 경향을 나타내었다.

단위 입체트러스는 목조입체트러스에 적용되는 하나의 부품으로서 큰 경간의 건축물에 활용될 수 있도록 충분한 강도와 강성이 요구되어 구조내력 성능을 평가하였다.

단위 입체트러스의 최대 하중은  $17,900\text{kgf}$ 이었으며, 이 때의 최대 변위는  $14.20\text{mm}$ 이었다. 단위 입체트러스의 하중 내력 성능이 뛰어나고, 하중에 따른 변위 증가도 적은 편으로 강성도 매우 큰 것으로 분석되었다. 목조 입체트러스는 작은 부재로 연결되어 있으나, 입체트러스 부재 상호간 정밀한 접합에 의하여

하중에 저항하는 내력과 강성이 매우 큰 구조형식으로 입증되었다.

공학목구조시스템으로 채택된 실대 목조입체트러스에 연직하중을 가하여 입체트러스의 내력시험을 수행한 결과 최대하중 7,490kgf에서 파괴가 발생하였으며, 이 때의 최대 변위는 중앙 부위 처짐 평균이 58.60mm이었다. 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐 평균은 54.51mm로 나타났다. 중앙부위 처짐 평균이 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐에 대하여 4.09mm 만큼 크게 나타나, 중앙부위에 위치한 부재가 더 큰 응력과 변형도를 받는 것으로 분석되었다.

목조입체트러스 건축물의 시공 적합성을 확인하기 위하여 시범 건축물을 시공한 결과, 중대규모 목조건축물에 적합한 구조형식으로 입증되었다. 기초 공사를 제외하고 기둥과 목조입체트러스, 지붕마감재, 도장 등을 합한 공사기간은 2~3일 정도에 모두 완료할 수 있었다. 목조입체트러스는 목재의 재질과 미관 등 장점을 살려 정밀하게 건축할 수 있는 아름다운 건축 구조형식이다. 목조입체트러스의 하중내력 성능과 강성이 매우 높고 모듈화되어 있기 때문에 현장에서 조립·시공하기가 편리하며, 큰 경간의 건축물의 시공이 용이하여 넓고 자유로운 실내 공간의 연출이 가능한 장점을 가진다.

목조입체트러스는 각종 운동 경기장이나 박물관, 전시관, 고속도로 휴게소, 공원 휴게시설, 상징탑 등 중·대규모의 건축물과 시설의 지붕이나 커튼월로 활용될 수 있으며, 특히 다른 구조 즉, 철골조 혹은 철근 콘크리트와 함께 복합구조로 시공할 경우 그 활용도가 높을 것으로 전망된다.

# SUMMARY

## 1. Effective distribution structure for production cost reduction of domestic wood raw material and wood products

In this study, the production and distribution status of domestic building lumber element was investigated and the Sampling Survey for 1,500 persons in 4 divided national region(metropolitan, Chung-chung, Kyung-sang, Honam district)was carried to analyse the preference for wooden house and to estimate the demand on it. And the production cost of domestic building lumber element was analysed and the breakeven analysis was performed as well.

### *A. The production and distribution status of domestic building lumber element.*

The domestic production of wood for building elements was 80 thousand m<sup>3</sup> occupied merely 8.5% of total wood products in 1999. The species mainly used for domestic building lumber element are Korean pine, Korean red pine and Japanese larch. The domestic distribution channel of wood for building element use is divide into 5 channels and the main channel is Forest owner → feller →lumbering, processing → Consumer. It is hard to establish the large scale of market due to the demand characteristic of larch wood for building element use, therefore small scale feller has a tendency to previously designate the sales channel before their felling, and the process manufacturers is also selling their products by order production of few items.

### *B. The analysis on the consumer's preference for wood frame housing and its prospects.*

29.1% of 1,500 respondents has a intention to purchase the wood frame housing in future and the using purpose of the wood frame housing is shown as for villa & leisure use(65.8%), for the residence of one's old age(20.9%).



The amount of wish to pay for purchasing the wood frame housing is presented as ₩2.96 million/Pyung and the things to be improved are the moderate price, the safety to fire and so on. After the analysis of the demand on wood frame housing among the purchasers earning ₩10 million/month income, 20,521 persons in 2010 and 39,193 persons in 2020 are forecasted respectively.

### ***C. The system reformation and the economic analysis on domestic building lumber elements production.***

The results of economic analysis on the building lumber elements production using domestic wood are as follows.

- The cost analysis.

lumber : ₩288,000/m<sup>3</sup>, Louver board : ₩960,000/m<sup>2</sup>,  
Siding board : ₩795,000/m<sup>2</sup>, Deck board : 927,000/m<sup>2</sup>.

- The yearly production scale.

The break-even point(In the case of production volume 1,512m<sup>3</sup>, turnover ₩775million won) : 996m<sup>3</sup>(based on the volume, 66% of total production volume), ₩563million(based on the turnover, 73% of total production turnover).

- Economic Analysis for the Wooden Solid Truss

The cost of wooden solid truss analyzed more high 10% than that of steel solid truss. If only setup the mass production system of wooden solid truss, the wooden solid truss should be competitive enough to steel solid truss.

The efficient distribution system using internet market based on World Wide Web is suggested, in order to develop the niche market of the imported building lumber elements and to save the production and distribution cost and also the complement plans to the construction regulation and the controlling fire regulation are proposed for activating the domestic building lumber elements.

## **2. Development of optimum drying technology**

Representative domestic species such as Korean red pine, Korean white pine and Japanese larch were investigated to prevent drying defect and to increase lumber production yield and to elucidate the mechanism of discoloration and to measure on-site moisture content.

5.5cm-thick flitch was dried to target moisture content in 2 to 3 days, drying stress which caused by severe drying condition was eliminated with steaming treatment in 24 hours. Twist, most infectious factor of various drying defect, was restrained over 10% by top loading.

To improve drying yield for mid- and small-diameter log, log was press-dried after live sawn into 5.5cm flitch, namely SDR method. The yield for Japanese larch 2×4 lumber, white pine 2×4 lumber and red pine 2×6 lumber were improved but that of small-diameter Japanese larch was rarely improved.

Discoloration causing substance when developed during high temperature drying was discovered as 3,3'-Methoxy-4,4'-Hydroxystilbene. The best method to prevent discoloring is apply low drying temperature, this methods induce low productivity. The results showed that the methods to prevent discoloration with high drying temperature will be needed.

Moisture content sensor using high frequency was developed. Thus detection for finish point of drying processing through auto control will be easier and more convenient. Also, adoption of this technology to industries is expected.

### **3. Development of fire proof construction using domestic wood**

Recently, wood frame structure buildings such as rural houses around cities, churches, galleries, etc. are gradually increased by the economical growth and the desire for pleasant living surroundings. Especially, concrete or steel materials have so far been used in most construction in Korea even if about 70% of the whole national area is geographically formed with forest, so such a trend is regarded as a desirable phenomenon considering that efficient uses of national resources are facilitated and the advantages of wood with pleasant and environment-friendly effects are sufficiently utilized.

Wood frame structure buildings have been limited to be used in constructions where fire resistant structure and materials are required, due to the fixed idea that 'wood is burned, so fragile to fire', in spite of various merits of wood such as flexibility in designs, energy-saving effect, endurance, safety, excellent keeping-warm, dry and humid effects, etc. However, it is recently found out that wood frame structure is endurable enough against fire in case proper fire resistant technology is applied. Since it has been evident through lots of test that the surface of structural member made of wood is burned on anticipated fire to remain as a section which endure load required for a structural member, making wood frame structure used as fire resistant member.

In the meantime, dimension and use of wood frame structure buildings are extremely limited since not only are poor wood manufacturing facilities and technology out of condition in Korea but particularly wood frame structure buildings are yet to be certified as fire resistant ones. On the contrary, in the advanced countries, light-weight wood frame construction is available in various formations from single to 4 story apartment houses, and neighboring Japan similar to our law system has introduced semi-fire resistant structures to building regulations to certify up to 3 story light-weight wood frame

buildings if uniform fire resistance is assured, so wood frame structure buildings of apartment houses are increasingly constructed.

Accordingly, it is required to confirm structural safety of wood frame construction through fire test and enlarge applications of wood frame structures considered as combustible materials and limited to construction to submit to the regulations so as to make wood frame structure buildings constructed.

As one of plans to optimize effective use of the wood resource in Korea, this study is aimed to find out fire safety of light-weight wood frame structure through fire test by manufacturing interior and exterior wall and floor structures of woods produced in both Korea and overseas, and to develop the light-weight wood frame structures using the woods produced in Korea.

This study is to develop the interior and exterior wall and floor structures of light-weight wood frames having the 1-hour fire resistance rating using woods(larch and pine trees) produced in Korea on the base of the results from fire tests to the light-weight wood frame structures which were produced in overseas, the results of this research were as following.

#### A. Wall Assembly

- Exterior Wall : The exterior light-weight wood frame wall constructed of the stud(dimension of 38mm x 89mm and spaced at 450mm intervals) made of larch and pine trees produced in Korea, and covered with two layers of 12.5mm fire gypsum board on the inside was developed as the 1 hour fire-rated structure.

- Interior Wall : The interior light-weight wood frame wall constructed of the stud(dimension of 38mm x 89mm and spaced at 450mm intervals) made of larch and pine trees produced in Korea, and covered with two layers of 12.5mm fire gypsum board on both sides was developed as the 1 hour fire-rated structure.

## B. Floor Assembly

As the wood frame from Korea is short and has a small cross-sectional area, composite wood beams(box beam and floor truss structures) was used to support floor loads.

### 1) Box Beam Joints Construction

The light-weight wood frame floor on box beam joints of larch and pine trees produced in Korea with a single-layer 15mm fire gypsum board ceiling was developed as the 1 hour fire-rated structure.

### 2) Floor Truss (Posi-Strut web) Joints Construction

The light-weight wood frame floor on floor truss(Posi-strut web) joints of larch and pine produced in Korea with a single-layer 15mm gypsum board ceiling was developed as the 1 hour fire-rated structure.

## **4. Development of interior materials through surface hardening**

This study deals with a new technique of hardening the surface layers of red pine, Korean pine and Japanese larch to improve their surface properties such as abrasion resistance and hardness without spoiling their native beauties.

The effect of steaming on fixation of compression set and the effect of

these treatments on mechanical properties of heat-compressed wood specimens were investigated. To determine the effect of steaming after compression set, wood specimens were compressed for 100min at 180°C and then steamed for 20-100 min at 120°C. Swelling tests were used to evaluate recovery of compression set. Bending, compression, and Brinell hardness tests were carried out for evaluating mechanical properties. Compressed wood steamed for 100 min at 120°C showed 1.9% recovery of set, increases in bending and compressive properties, and no hardness change. We concluded that almost complete fixation of compression set in wood can be achieved by steaming compressed wood.

The lamination of melamine sheet on pine woods was tried to improve the surface properties. The specimens covered with melamine sheets were compressed for 3 min at 130°C, 80 kgf/cm<sup>2</sup>. Appearance changes and abrasion resistances of laminated woods were evaluated. The quarter-grained wood has more surface defects than flat-grained wood after the various aging - indoor exposing, partial water-drop exposing, water soaking and drying at 60°C. The appearance properties of melamine sheet laminated wood were remarkably improved by pre-drying of specimens at 105°C for 30 min. The laminated wood has equal abrasion resistance compared with commercial floorings.

The impregnation of wood with artificial resin and subsequent compression of wood were tried to improve the dimensional stability and surface properties. Also, the impregnation properties of melamine resin and aqueous acrylic emulsion resin were investigated. The impregnation property of melamine resin was improved by increase of impregnation pressure. The impregnation of aqueous acrylic emulsion resin was also improved by increase of impregnation pressure, but the unimpregnated large emulsion particles caused problem of accumulation of resin on wood surface. The melamine and phenol resin treated wood has shown enhanced dimensional stability. The abrasion resistance, ball impact resistance and scratch resistance were

remarkably improved by compregnation of wood with melamine resin and vinyl acetate resin.

## **5. Evaluation of structural performance for domestic wood**

To evaluate the structural performance of domestic wood and to establish the standardized design system, structural lumber, glulam, and connection with domestic wood(Japanese Larch) were evaluated in the basis of full-scale testing methodology. This research were consisted of four systematic procedure; 1) evaluation of structural performance for Japanese Larch lumber, 2) evaluation of structural performance for Japanese Larch glulam, 3) evaluation of structural performance for connection with Japanese Larch lumber and glulam, and 4) establishment of limit stated design method using results from above three procedures.

The results from evaluation of structural performance for Japanese Larch lumber indicated that the optimum distribution of bending strength for Japanese Larch 2×6 lumber was confirmed to show the Weibull distribution. Fifth percentile values, which were based on this distribution, were higher than design values recommended in existing code by 4.7% for No. 1, 10.5% for No. 2, and 20.2% for No. 3 grade, respectively.

In the evaluation of structural performance for Japanese Larch glulam, visual grading, machine stress rating, investigation of knot data, and full-scale 4-points bending tests were performed to develop computer program, which could predict the bending strength of glulam using transformed section method and could predict the bending strength distribution using inverse transform method. Especially, distribution properties of knot within Japanese Larch lumbers were used as major input variables in this computer program. So, the distribution of knot size and number of knot were analyzed, and virtual laminar were created. In the case of modulus of

rupture, the result of this program showed that average value of knot size and maximum value of knot size for each laminar provided more accurate bending strength results than average value of knot size for each grade and 99.5 percentile value of knot size.

The applicability of design value from National Design Specification for evaluation of structural performance of bolted connections using Japanese Larch lumber and glulam was verified in this research. On the basis of major variables to determine the structural performance of connection, such as dowel bearing strength of wood member and bending yield strength of bolt, calculated values from 4 types of variable combinations were compared and analyzed with real tested results.

To establish the standardized design method, soft conversion method from allowable stress used in ASD into reference resistance used in LSD was developed in the basis of above results. This was carried out using computer program which was coded with visual basic.

## **6. Development of engineered wood system using domestic wood**

As one of important valuable uses for domestic wood resources, engineered wood system using wood space trusses acceptable for large span wood structures has higher potential for construction market.

Structures of newly developed wood space trusses is to be fabricated and constructed by using pyramid unit wood space trusses. To develop wood space trusses using structural members of Japanese larch, connectors for jointing each structural members shall be developed primarily, and connections shall be designed to meet structural performance of wood space trusses.



This study covered development of connectors and structural performance of connections for wood space truss, structural performance of unit wood space truss, engineered wood system using wood space truss, relationship of structural performance and displacement for wood space truss, and construction for demonstration of engineered wood system developed in this study.

Steel connectors, with 45° between members for unit space trusses, were developed for wood space trusses, and members could be fabricated with eight direction in one connector. Diameter of node for connectors was ø65mm, and steel plates penetrating into wood members was 4.5mm thick. 1,000mm module was determined for wood space trusses. Wood space truss was developed to meet structural safety, fine sight of building, and flexibility of design.

Maximum structural performance of connection with two-12mm-diameter-bolt in japanese larch square was evaluated to be 4,723kg, and this value was 1.6 times of two-8mm-diameter bolt. Displacement of connection with two-12mm-diameter-bolt was 6.28mm, and this value was 0.52 times of two-8mm-diameter bolt. Because connection with two-12mm-diameter-bolt showed higher values of structural performance and stiffness than two-8mm-diameter bolt, connection with two-12mm-diameter-bolt was accepted in this study for full-scale test of wood space truss and construction for demonstration.

Unit wood space truss, which was considered as a component to accomplish wood space truss, was tested for evaluating structural performance and stiffness of structures with large span.

Maximum structural performance of unit wood space truss was 17,900kgf with 14.20mm displacement. Unit wood space truss tested was analyzed to

have good structural performance with higher stiffness, because each structural member of wood space truss was connected with great precision.

Test results of full-scale wood space truss showed that wood space truss was failed at the maximum load of 7,490kgf with displacement of 58.60mm at the mid-point of wood space truss, and that displacement of 54.51mm at the point 1,000mm apart from mid-point of wood space truss. Displacement at the mid-point of wood space truss was greater than that at the point apart from mid-point of wood space truss, and this results showed that structural members and connections at the mid-point should greater stress and strain than any other members and connections of wood space truss. This phenomenon should be applied for structural design and construction practice.

Acceptability for middle or large scale construction of wood space truss was evaluated by constructing demonstration building. Constructing posts, wood space truss, roofing, and finishing (Except foundation) was finished for construction term of two or three days. Wood space truss was approved to be fine and beautiful structures with fine texture and fine sight of natural wood. Site construction was finished in short period with easy and convenient way, because of construction module of wood space truss with good structural performance and greater stiffness.

Wood space truss shall be acceptable for sports stadium, display building, museum, rest area of highway, rest facilities of park as roof system or curtain wall. Wood space truss has high potential to be constructed for hybrid building with steel structures or reinforced concrete structures.

# CONTENTS

Chapter I Introduction .....	1
Chapter II Effective distribution structure for production cost reduction of domestic wood raw material and wood products .....	5
Chapter III Development of optimum drying technology .....	65
Chapter IV Development of fire proof construction using domestic wood .....	105
Chapter V Development of interior materials through surface hardening .....	160
Chapter VI Evaluation of structural performance for domestic wood .....	203
Chapter VII Development of engineered wood system using domestic wood .....	310

## 목 차

제 1장 서론 .....	1
제 1절 연구개발의 배경 및 필요성 .....	1
제 2절 연구개발의 목적과 범위 .....	3
제 2장 국산 원목 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계 개발 .....	5
제 1절 서론 .....	5
제 2절 재료 및 방법 .....	6
제 3절 연구결과 .....	10
제 4절 결론 .....	61
제 3장 국산재의 최적 건조기술 개발 .....	65
제 1절 서론 .....	65
제 2절 재료 및 방법 .....	66
제 3절 연구결과 .....	73
제 4절 결론 .....	103
제 4장 국산재의 내화구조 개발 .....	105
제 1절 서론 .....	105
제 2절 재료 및 방법 .....	106
제 3절 연구결과 .....	142
제 4절 결론 .....	157
제 5장 표면강화기술을 이용한 건축 내장재 개발 .....	160
제 1절 서론 .....	160
제 2절 재료 및 방법 .....	171
제 3절 연구결과 .....	177
제 4절 결론 .....	200

제 6장 국산재의 구조성능 평가 및 향상 .....	203
제 1절 서론 .....	203
제 2절 재료 및 방법 .....	207
제 3절 연구결과 .....	246
제 4절 결론 .....	302
제 7장 국산재를 이용한 목조건축 시스템의 개발 및 축조실연 .....	310
제 1절 서론 .....	310
제 2절 재료 및 방법 .....	312
제 3절 연구결과 .....	342
제 4절 결론 .....	358

# 제1장 서론

## 제1절 연구개발의 배경 및 필요성

전 국토의 65%이상이 산림인 우리 나라에서 산림자원의 효율적 이용은 매우 중요한 과제이다. 그 동안 제1, 2, 3차 치산녹화 사업을 성공적으로 추진하여 임목축적량은 꾸준히 증가하고 있으며, 간벌채를 비롯한 국산재의 생산잠재력은 점차 증대되고 있다. 산림청 제4차 산림기본계획에서는 앞으로의 벌채계획량을 1995년 현재 1,241천 $m^3$ 에서 2007년에 3,379 $m^3$ 으로, 2050년에는 15,005천 $m^3$ 으로 추정하고 있으며, 국산재의 자급율도 1995년 현재 4.3%에서 2007년에 9.8%로 2050년에는 30.3%로 증가할 것으로 기대되고 있다.

그러나, 농산촌의 노동력 부족 및 고령화와 고임금 등에 의한 생산비 상승, 목재 생산체계 및 유통구조의 문제점, 국산재 생산 공장의 기술력 부족과 규모·자본의 영세성 등 여러 원인으로 인하여, 국산재의 대외경쟁력은 지극히 취약한 실정이다. 또한 현재 이용되고 있는 국산재도 건축가설재 등 대부분 저부가가치 용도로 사용되고 있고 이용도도 낮아, 국산재의 새로운 용도 개발을 통한 이용을 증진시키는 것이 임업의 시급한 과제로 대두되고 있다.

최근 들어 목조주택은 대도시 주변이나 신도시, 지방 도시 및 농촌 등에서 전원주택으로 보급이 확산되고 있다. 목조건축은 내구성과 안전성이 우수하고 차음과 보온·보습 효과가 뛰어나 쾌적한 주거환경을 제공하며, 다양한 형태의 설계가 가능한 점 등 많은 장점을 가지고 있다. 또한 외국의 경우에는 목조건축에 적절한 내화공법을 적용하여 내화성능을 향상시켜 5층 이상의 목조 아파트도 시공되고 있다.

그러나 국내에서는 지속적으로 수요가 증가하는 목조주택과 목조건축의 구조부재나 내·외장재의 수요 증가에 능동적으로 대응하지 못하고 있다. 이는 국산재의 생산기반이 취약하고 여러 종류의 구조부재의 생산기술 및 품질관리 기술의 부족 등이 원인이며, 국산재를 이용한 건축부재 생산기술이 체계화되지 못하였기 때문이다. 또한 목조건축이 내화구조로 인정받지 못하고 있기 때문에 건축법에 의하여 규모와 용도의 제한을 받고 있으므로 목조건축의 공급 및 다양화에 많은 장애 요인으로 작용하고 있다. 목조건축이 공동주택이나 대규모 건축구조로 발전하기 위해서는 본 과제에서 협동과제로 수행된 바 있는 「국산재의 내화구조 개

발」 연구과제의 연구결과를 바탕으로 하여 목조건축이 내화구조로 인정받을 수 있는 합리적인 내화성능평가방법의 홍보와 이를 통한 내화공법의 개발 등이 시급히 해결되어야 할 과제이다.

따라서, 본 연구에서는 임업의 산업화를 위한 국산재의 건축부재 개발을 위하여, 국산재 원료 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계를 확립하고, 건조기술 및 표면강화기술을 이용한 건축부재의 생산기술을 체계화하며 국산재의 구조성능 평가 및 목조건축 시스템 개발을 통하여, 본 과제에서 연구된 내용에 대한 종합적인 검토와 연구내용의 실용화를 추진함은 물론, 목조건축업계에서 겪고 있는 난제를 해결하는 차원에서 목조건축을 축조 실연하여 업계에 개발된 기술을 보급하여 실용화·산업화함을 목적으로 하고 있다.

#### 1) 기술적 측면

국내의 목재가공 산업은 대경 양질의 수입재를 중심으로 발전하여 왔기 때문에, 국내에서 생산되는 중소경재는 토목용재 또는 건축가설재 등 부가가치가 낮은 제재목 등으로 그 활용이 제한되고 있는 실정임. 또한 귀중한 산림자원의 경제적인 가치를 충분히 활용할 수 있는 기술력이 미흡하여 국산재의 이용도가 매우 낮음. 따라서, 국산재를 고부가가치 용도로 이용하기 위한 건축 구조재와 내·외장재의 가공 및 이용기술 개발, 목조건축 시스템 개발을 통하여, 국산재의 건축부재화 및 목조건축 기술을 향상시켜 업계에 보급함으로써 국산재의 대량 수요를 창출하고 국내 산림자원을 효율적으로 이용하는 것이 절실히 요구되고 있음.

#### 2) 경제·산업적 측면

'97년 현재 우리 나라의 목재소요량은 26,500천 $m^3$ 이며 제재 및 목가공용이 12백만 $m^3$ 로 47%, 펄프용이 31%, 기타 22% 비율로 이용되고 있음. 이 중 국산재 원목공급량은 1,062천 $m^3$ 로 제재 및 목가공용의 비율은 42%이나 이 중 76%가 건축가설재로 이용되고 있음. '98년 기준 가설재용 원목가격이 105천원/ $m^3$ 에 불과하고 산주 수취율도 23%로 일본의 57%보다 매우 낮은 수준으로, 국산재 원목을 토목용 등 저부가가치 용도로 이용하므로 산림경영에 대한 인식 부족이 임업의 산업화를 부진하게 하는 주요 요인이 되고 있음. 또한, 건축부재 등 고부가

가치 용도개발이 부진하여 중대경제 가격이 소경제보다도 낮은 가격역전 현상까지 발생하고 있는 실정임.

가설재용 등급의 원목을 건축부재 기술개발 및 유통체계 개선에 의해 구조용으로 이용할 경우 30% 이상의 부가가치 향상 효과가 있을 것으로 기대되어, 국산재를 건축부재로 활용하는 용도개발에 관한 연구가 시급히 추진되어야 할 것임.

### 3) 사회·문화적 측면

국산재를 건축부재로 이용하기 위한 기술개발은 국산재 이용의 필요성과 장점을 널리 알려 국민의 국산재에 대한 의식을 전환할 수 있는 계기가 될 것이며, 국산재를 목조주택에 이용함으로써 우리 목재문화에 대한 자긍심을 제고하는 효과가 있을 것으로 기대됨. 또한, 환경에 대한 관심이 증대되고 있는 시점에서, 환경친화적인 건축재료로서 목재의 장점을 쉽게 느낄 수 있는 건축부재를 개발·보급함으로써 새로운 목재문화를 열어가는 계기가 될 것으로 기대됨.

## 제2절 연구개발의 목적과 범위

### ○ 국산 원목 및 제품의 생산원가 절감을 위한 효율적 유통체계 개발

건축부재용 국산 원목의 생산비용 및 유통체계 조사, 목조주택의 수요 전망 및 소비자 선호도 분석, 국산 건축부재 가공의 경제성 분석 등을 통하여 국산 건축부재의 가격경쟁력 강화를 위한 유통체계 구축

### ○ 국산재의 최적 건조기술 개발

국산 침엽수재를 대량수요가 가능한 구조부재로 활용하기 위한 최적 건조기술과 중소경제의 건조수율 향상기술을 개발하고, 고온건조에서 발생하는 틀어짐, 갈변색 등 건조결함 예방기술을 확립함으로써 국산 구조부재의 생산기술을 체계화하고 품질 향상에 기여하고자 함. 또한 고온건조의 건조 종료시점을 예측할 수 있는 on-site 수분감지 시스템의 개발로 건조에너지를 절감하고 최적 건조기술을 실용화할 수 있는 시스템을 개발함.



### ○ 국산재의 내화구조 개발

목조 건축의 규모와 용도가 제한되어 있는 현실을 합리적으로 분석하여 이를 개선할 수 있는 표준적인 내화구조 평가방법을 제시하고, 국산재를 사용한 새로운 내화구조를 개발하여 국내 목조건축물의 보급확대를 유도.

### ○ 표면강화기술을 이용한 건축내장재 개발

활엽수재에 비하여 경도가 낮고 춘·추재의 물리적 성질 차이가 큰 침엽수재를 옥외 시설이나 주택 내장재로 사용하고자 할 때 목재 표면에 발생하는 많은 문제점을 개선하여 국산 침엽수재를 내·외장재로 활용하고자 표면강화 처리기술과 제품의 개발 및 제조공정을 개선하고자 함. 이를 위하여 무처리재의 해부학적, 물리적, 기계적, 화학적 특성 조사, 압축변형에 의한 재질 개량, 수지함침에 의한 재질 개량, 화학처리에 의한 재질 개량, 처리재의 물리적, 기계적 성능의 평가, 실대 처리재의 제작 및 성능 평가를 수행함.

### ○ 국산재의 구조성능 평가 및 향상

국산재를 사용한 제재, 집성재 및 실제 구조물에서의 다양한 결합부에 대한 구조성능을 평가할 수 있는 기준을 개발하고, 개발된 기준에 근거한 국산재의 구조성능 평가자료를 토대로 표준화된 설계체계 확립.

### ○ 국산재를 이용한 목조건축 시스템 개발 및 축조실연

국산재를 이용한 공학목구조 시스템의 개발을 위한 접합부의 개발 및 입체 트러스의 구조성능평가, 입체 트러스 시스템의 구조설계 기술을 개발하고, 공학목구조 시스템과 본 과제에서 개발된 건축 내·외장재를 채택한 목조건축 모델을 설계 및 축조 실연하여, 건축부재 생산업체와 건축업체에 기술을 보급함으로써 국산재의 고부가가치 이용도 증진.

# 1. 제 2 장 국산 원목 및 제품의 생산원가

## 절감을

### 위한 효율적 유통체계 개발

#### 제1절 서론

최근 우리나라 목조주택시장이 활기를 띠면서 펜션주택 등 대형평수의 목조주택들의 공급이 활발하게 이루어지면서 최근 국내 목조주택 자재 수입업체에서의 매출신장 폭이 증가추세를 나타내고 있다. 이와 같이 목조주택시장은 성장하고 있지만 국산재를 이용한 건축부재의 이용은 소규모 주문생산에 의해 시공업체에서 소량 이용되고 있어 국내재의 수요촉진을 위한 용도개발과 목제품의 다양화가 매우 중요한 현실에 직면해 있다.

현재 국산재를 이용한 건축부재의 시장규모는 전체 목조주택용 건축부재 시장의 5~10% 정도를 차지하고 있다고 업계는 추정하고 있다. 이렇듯 소량이나마 국산재 건축부재가 이용되고 있는 것은 정부의 국산재 이용·지원정책의 덕분이라 할 수 있다.

본 연구에서는 국산재의 고부가가치 용도 창출을 위해 첫째 국산재를 이용한 건축부재의 생산 및 유통실태를 파악하여 보다 효율적인 유통체계 정립방안을 모색하였다. 둘째 목조주택에 대한 소비자 선호 분석을 통해 앞으로 목조주택의 공정의 개선방안을 강구할 것이며, 셋째 목조주택에 대한 수요를 예측하여 앞으로 목조주택 시장규모를 전망해 볼 수 있도록 하였다. 넷째는 국산 건축부재 생산의 원가를 분석하여 수입재와의 비교분석을 통해 원가 절감방안을 강구하였으며, 이를 위한 제도적 지원방안도 제시하였다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 국산 건축부재의 수급 및 가격동향

#### 가. 국산재 생산 및 수급동향

국산재의 수급동향은 산림청 임업통계연보 자료와 임업연구원에서 제시한 연도별 목재수급동향 자료를 이용하여 분석하였으며, 제재용과 펄프류, 합판용, 보드용, 표고자목용 및 갱목용 등 용도별로 구분하여 최근 국내 목재수요량을 연도별로 분석하였다.

#### 나. 건축부재 가격동향

건축부재의 가격동향은 목재관련 신문의 월별 가격자료와 임업연구원에서 분기별로 발행하는 “임업경제동향”의 월별 가격자료를 인용하였다. 수입 건축부재의 가격은 수입 및 유통업체 6개사의 자료를 사례로 조사하여 이용하였다.

국내재와 수입 원목의 수종간의 가격비교는 건축부재 활용도가 가장 높은 국산재 낙엽송과 잣나무를 기준으로 수입원목의 러시아 낙엽송 및 뉴질랜드 소나무를 중심으로 분석하였다. 건축부재용 목재의 가격동향은 원목가격과 구조재의 제재목, 내장재의 루바, 외장재의 싸이딩 가격을 조사하였으며, 방부목재의 수종별 가격과 용도별 목재 사용비율 등도 조사하였다.

### 2. 국산 건축부재 유통구조 및 시장실태

#### 가. 생산물량, 생산품등, 생산비용 조사

국산 건축부재의 생산물량은 각 시도 및 지방산림관리청에서 조사한 수종별 국산재 생산실적 및 용도별 이용실적자료를 기초로 하여 국산재의 용도별 생산실적과 국산건축재 원목의 수종별 생산실적을 조사하였다. 생산품등은 2000년 임업연구원 발행 “원목규격과 해설”에서 제시된 침엽수 원목의 품등을 기준으로

국산건축부재가 품등구분을 하여 거래가 되고 있는지 여부를 조사하였다. 이 기준에서는 직경에 따라 대·중·소경재로 구분하고, 결점사항에 따라 1등부터 4등까지 구분하고 있다. 생산비용은 건축부재용 원목이 별채되어 제재소에 도착하기까지의 비용을 사례 조사하여 분석하였다.

#### 나. 유통경로 및 마진조사

국산 건축부재용 원목의 유통경로는 원목이 별채되어 산주의 손을 떠나 최종 소비자인 건축업자나 일반소비자에게까지 전달되는 과정을 사례 조사하였으며, 유통마진은 산림조합중앙회 “중부 임산물종합유통센터”에서 건축부재로 가공된 용도별·품목별 유통마진을 조사·분석하였다. 그리고 건축부재의 원목대비 제품수율과 가공된 제품의 판매처별 판매비율을 “중부 임산물종합유통센터”를 중심으로 사례조사를 하였다.

물류체계는 목재집하장에서 건축부재용 낙엽송 원목의 구입방법, 구입단가, 운송방법 등을 사례로 조사하였으며, 시장실태는 건축부재용 원목의 공급실태와 거래방법, 거래물량, 시장지배력 등을 사례로 조사하였다.

### 3. 목조주택의 소비자 선호도 분석 및 수요예측

#### 가. 목조주택 소비자 선호도 분석

목조주택은 연간 1천여 채가 건축되고 있는 것으로 관련 업계는 추정하고 있으나, 목조주택의 공급이나 수요관련 연도별 시계열자료가 정비되어 있지 않아 소비자들에게 직접 질문을 통하여 조사하는 횡단면 자료를 이용하였다.

목조주택의 연도별, 지역별 수요를 예측하기 위하여 지역별로 전국에서 1,500명의 표본조사를 실시하였는데, 조사방법은 전국의 휴양림 방문자들을 대상으로 설문지를 작성하여 면접조사를 실시하였다. 휴양림 이용자들은 대부분 자동차를 이용하여 방문하고 있으며, 그들이 아주 부유층이나 혹은 극빈층이 아닌 중산층으로 규정하여 조사대상자로 선정하였다. 지역별로는 수도권, 충청권, 영남권, 호남권의 4개 권역으로 구분하여 조사하였다. 목조주택에 대한 소비자 선호도는 목조주택의 지각도, 가격민감도, SWOT(강점, 약점, 기회요인, 위협요인)분석 등을 분석하였다. 수요를 전망하기 위해 설문조사표에 관련내용을 넣어 동시에 같이 조사하였다.

#### 나. 목조주택 수요예측

목조주택의 수요예측을 위해 전국을 수도권, 강원권, 충청권, 영남권, 호남권의 4개 권역으로 나누어 설문조사를 하였다. 자료조사는 2001년 3월부터 6월까지 6월까지 4개월간에 걸쳐 이루어졌으며, 표본 수는 1,500명이었다. 본 조사에서는 조사의 신뢰성을 확보하기 위하여 직접면접조사(直接面接調査)방법을 택하였으며, 표본추출은 4개 권역의 자연휴양림을 방문한 방문객을 임의적으로 추출하는 유의추출방법(有意抽出方法)을 이용하였다.

본 연구에서는 조사대상자의 「구입의도」에 대한 조사결과를 이용하여 수요예측을 시도하였다. 본 분석에서는 목조주택이라는 신제품의 수용 속도가 S곡선을 취한다는 가정하에서 로저스(Evertt M. Rogers)의 혁신확산 모형(革新擴散 模型; Diffusion of Innovations)을 택하였으며, 목조주택에 대한 향후 구입시기별 구입의향을 조사하였고, 구입의사를 보인 소비자를 대상으로 구입시기별로 실제 구입확률을 조사하였다. 이는 구입시기별 구입율을 추정하기 위한 것이다.

### 4. 국산 건축부재 경제성 분석

#### 가. 제재 및 가공 원가 분석

국내 건축부재로 주로 사용되는 낙엽송, 잣나무를 주 수종으로 선정하였으며, 분석을 위해 경기, 강원, 충남을 3권역으로 설정하여 국산재 활용도가 가장 높은 건축부재 가공공장인 강원권 H사, 경기권 K가공공장, 충청권 K가공공장에 대해 구조재의 제재목과 원주목, 외장재의 싸이딩, 내장재의 루바를 분석 대상으로 하였다.

조사내용은 ① 투입비용 : 토지비용, 노임(직접노임, 간접노임), 자본재비용(건물비, 시설비, 재료비, 기타비용) ② 생산공정 : 품목별 생산공정, 투입노동력 ③ 산출물 : 품목별 생산규격, 품질을 조사하였으며 이를 바탕으로 건축부재의 가공 원가를 분석하였다.

#### 나. 제재 및 가공공장의 적정생산규모(손익분기점) 분석

제재 및 가공공장의 손익분기점은 권역별 3개 가공공장을 중심으로 손익분기

점을 물량측면과 생산액측면의 2가지를 분석하였다.

## 5. 제도적 지원체계 정립방안

목조주택에 대한 건축 허가사항 및 실적 등을 건설교통부와 통계청 통계자료와 각종 문헌자료를 통해 조사하였다. 특히 국산재 건축부재의 공급을 위한 자원 육성방안과 생산측면의 문제점을 분석하였다. 이를 바탕으로 국산 건축부재의 생산·유통·가공주체와 소비자가 참여하는 권역별 진흥협의체를 구성하여 국산 건축부재의 안정적 공급과 수요촉진방안을 모색하였다. 아울러 사이버마켓을 통한 원스톱 직거래 유통체계 구축방안을 검토하였다.

목재주택 수요 확대를 위한 목조구조물 구조제한과 관련하여 건축물의 구조내력에 관한 기준 현황 등 목조주택 관계법(내화성능, 2~3층집 축조제한 등)을 분석하여 제도적 지원체계를 강구하였다.

### 제3절 연구결과

#### 1. 국산 건축부재 수급 및 가격동향

##### 가. 용도별 목재 수급동향

국내 목재수요를 용도별로 살펴보면, 일반 제재용과 펄프류, 합판용, 보드용, 표고자목용, 갭목용으로 이용되고 있다<Table 2-1>.

Table 2-1. Trend of supply-demand on wood with different uses.(Recent 5 years)

		(Unit : thousand m <sup>3</sup> )			
		'99	2000	2001	2002
Demand	◦Domestic	27,335	27,524	26,072	28,942
	-General	13,365	10,427	9,630	10,643
	-Pulp	9,383	11,540	10,377	10,671
	-Plywood	2,543	3,142	3,307	3,878
	-Board	1,746	2,122	2,449	3,529
	-Bed log	181	181	144	163
	-Mine timber	117	112	165	58
	◦Export	481	446	171	105
	-General	248	267	14	18
	-Plywood	233	179	157	87
Total		27,816	27,970	26,243	29,047
Supply	◦Domestic timber	1,694	1,592	1,533	1,605
	◦Imported timber	26,122	26,378	24,710	27,442
	-Raw timber	6,623	6,735	9,642	7,707
	-Wood products	19,499	19,643	15,068	19,735
자급률 (%)		6	6	6	6

Source : FOA. 2002 Production of Forest Products. 2003.

최근 5년간의 국내 목재수요량을 연도별로 보면, 1999년에 27,816천m<sup>3</sup>이 사용되었으며 이후 전체 목재수요량에는 큰 변화가 없다가 2002년에 29,047천m<sup>3</sup>으로 수요량이 늘기 시작하였다. 국산재 공급은 최근 5년 동안 전체 물량의 6%에 불과한 목재가 공급되었고, 나머지 94%는 수입목재가 차지하였다. 2002년도의 목재수입은 원목보다는 건축자재로 사용되는 성형목재 등 목제품 수입량이 약간 증가하여 19,735천m<sup>3</sup>이 공급되었다.

#### 나. 건축·토목용 원목 수급실태

임업연구원의 “한국의 목재수급실태(1997)” 자료에 의하면, 건축·토목용재로 사용되는 목재중 국산재 비율은 3.8%에 불과하고, 수입재가 96.2%가 차지하고 있다. 이렇게 낮은 국산재의 건축부재 사용비율은 당시만 해도 국산재 가격이 비교적 높은데다가 활용가치가 낮은 간벌재가 대부분이었기 때문으로 판단된다 <Table 2-2>.

Table 2-2. Ratio of domestic material wood to the quantity assumed of material wood for construction and civil engineering use.

	Sub-total		Domestic timber		Imported timber	
	Thousand m <sup>3</sup>	%	Thousand m <sup>3</sup>	%	Thousand m <sup>3</sup>	%
Construction/ Civil engineering	9,546	100	360	<b>3.8</b>	9,186	96.2
Furniture	3,379	100	174	<b>5.1</b>	3,205	94.9

Source : KFRI, 1997. State of Supply-Demand on Timber in Korea. KFRI Research Material NO.133. 79p.

#### 다. 연도별 수출입 물량

##### 1) 목재류 수출실적

건축용 목재류 수출규모는 1995년 대비 해마다 감소 추세를 보이기 시작하여 2002



년 현재 성형목재가 3.2배 감소한 78톤을 수출하였으며, 조립식 목재 건축물은 1995년에 36톤에서 2002년 현재 3배가 감소한 11톤에 불과한 것으로 나타났다<Table 2-3>.

Table 2-3. Trend of timber exports

(Unit : Ton)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Shaped wood	251	187	575	251	80	202	107	78
Prefabricated structural components for building(Wood)	36	35	529	2	70	70	19	11
Parquet(Flooring)	8,582	8,055	6,509	8,538	4,576	820	439	336
Total	8,869	8,276	7,613	8,791	4,725	1,092	566	425

Source : KFRI. 2002 Trend of Forest Products Trade. 2003.

## 2) 목재류 수입실적

목재류 수입에 있어서도 매년 감소 추세를 보여 2002년 현재 성형목재 수입량은 35,734톤으로 최근 5년 전에 비해 큰 변동이 없는 것으로 나타났으며, 조립식 목재 건축물은 국내 건설경기에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 소폭 증가하였다<Table 2-4>.

Table 2-4. Trend of timber imports

(Unit : Ton)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Shaped wood	100,233	117,297	94,545	35,595	28,586	32,517	36,348	35,734
Prefabricated structural components for building(Wood)	5,911	15,095	19,754	4,560	4,387	6,418	4,705	5,531
Parquet(Flooring)	826	1,922	560	203	194	237	209	385
Total	106,970	134,314	114,859	40,358	33,167	39,172	41,262	41,650

Source : KFRI. 2002 Trend of Forest Products Trade. 2003.

## 라. 건축부재의 가격동향

### 1) 원목가격

건축부재의 가격동향을 파악하기 위하여 목재관련 신문의 월간 가격자료와 임업연구원에서 발간하는 임업경제동향의 분기별 가격자료를 이용하였다. 가격자료의 신뢰성 유지를 위해 국산 건축부재는 “중부 임산물종합유통센터” 가격자료를 인용하였으며, 수입재는 유통 및 생산업체 6개사의 자료를 활용하였다.

국내재와 수입 원목간의 가격비교는 건축부재 활용도가 가장 높은 국산재 낙엽송과 잣나무를 기준으로 수입원목의 러시아산 낙엽송 및 뉴질랜드산 소나무를 중심으로 분석하였다. 국내재와 수입재간의 규격은 다소 차이가 있기 때문에 비교의 기준을 통일하기 위해 m<sup>3</sup>당 가격으로 분석하였다. 국내재(경급 12~18cm) 1m<sup>3</sup>당 원목가격은 낙엽송 107,570원, 잣나무 108,000원으로 러시아산 낙엽송이나 뉴질랜드산 소나무(경급 26cm) 105,000원에 비해 2.5~2.9%가 비싼 편이나 재재수율이 수입재에 비해 떨어져 실제 제재목 1m<sup>3</sup>을 생산하기 위한 원목원가는 국산재가 180천원/m<sup>3</sup>이었고 수입재는 140천원/m<sup>3</sup>에 불과하여 국산재의 가격구조가 28.6%나 높음을 알 수 있다<Table 2-5>.

Table 2-5. Price of domestic and imported raw material wood

(Unit : Won/

m<sup>3</sup>, %.)

	Domestic		Imported	
	Japanese Larch	Korean Red Pine	Russian Larch	NZ Radiata Pine
Dimension	12~18cm × 2.7m Up	12~18cm × 2.7m Up	24~26cm (Top-diameter )	26cm Up
Price of raw timber(won/m <sup>3</sup> )	107,570	108,000	105,000	105,000
Lumbering yield(%)	60	60	75	75
Cost of raw timber for producing 1m <sup>3</sup> lumber (won/m <sup>3</sup> )	179,283	180,000	140,000	140,000

Note : Lumbering yield of board and square lumber is obtained before its dry.

## 2) 제재목 및 각재 가격

원목가격은 국산재가 훨씬 높으면서도 제재목 판매가격은 의외로 낮은 가격구조를 나타내 2.7m×5.1cm×3.9cm의 낙엽송 209천원/m<sup>3</sup>, 잣나무 240천원/m<sup>3</sup>이었다. 수입 제재목은 3.6m×4.5cm×4.5cm 규격의 러시아산 낙엽송이 225천원/m<sup>3</sup>, 뉴질랜드산 소나무는 255천원/m<sup>3</sup>을 유지하였다<Table 2-6>. 각재 규격 2×4인치의 경우 국내재 낙엽송이 452천원/m<sup>3</sup>이었고, 2×6인치의 경우 522천원/m<sup>3</sup>에 거래되고 있으나, 수입재의 경우 험록 2×4인치와 스프로스 2×6인치가 각각 420천/m<sup>3</sup>의 가격으로 유통되는 것으로 나타났다<Table 2-7>.

Table 2-6. Price of domestic and imported lumber

(Unit : won/m<sup>3</sup>)

Lumber	Domestic		Imported	
	Japanese larch	Korean Red Pine	Russian larch	NZ Radiata pine
Dimension	2.7m×5.1cm ×3.9cm	2.7m×5.1cm ×3.9cm	3.6m×5.1cm ×5.1cm	3.6m×4.5cm ×4.5cm
Price(won/m <sup>3</sup> )	208,670	240,000	225,000	255,000

Table 2-7. Price of domestic and imported square lumber

(Unit : won/m<sup>3</sup>)

Square lumber	Domestic		Imported	
	Japanese larch	Korean Red Pine	Hemlock	Spruce
Dimension	2×4inch	2×6inch	2×4inch	2×6inch
Price(won/m <sup>3</sup> )	452,000	522,000	420,000	420,000

## 3) 루바 가격

국내재와 수입재의 루바 가격은 12mm×75mm 규격의 낙엽송과 잣나무 가격이 m<sup>3</sup>당 960천원인 반면, 수입재의 S,P,F의 경우 18mm×125mm 규격이 m<sup>3</sup>당 882천원을 형성하여 국내산 루바 가격보다 8% 저렴하게 공급되고 있었다<Table 2-8>.

Table 2-8. Price of domestic and imported Louver board

(Unit : won/m<sup>2</sup>)

	Domestic		Imported
	Japanese larch	Korean Red Pine	S,P,F
Dimension	12mm×75mm	12mm×75mm	18mm×125mm
Price(won/m <sup>2</sup> )	960,000	960,000	882,000

Note) S,P,F : Spruce, Pine, Fir

## 4) 사이딩 가격

<Table 2-9>에서 외장재에 사용되는 대표적 건축부재인 사이딩은 국내재와 수입재간의 규격에 차이를 보이며 목조건축 설계에 따라 다양하게 사용되고 있다. m<sup>2</sup>당 가격으로 보면 국산재 낙엽송이 687천원이었고, 수입재의 S,P,F는 657천원으로 국산재가 3~4% 정도 비싼 것으로 나타났다. 이정도 가격대는 가공성

향상과 더불어 적정 가격대만 유지한다면 국산건축부재 시장도 활기를 찾을 것으로 보인다.

Table 2-9. Price of domestic and imported siding board.

(Unit :  
won/m<sup>2</sup>)

	Domestic	Imported
	Japanese larch	S,P,F
Dimension	45mm× 115mm	36mm× 65mm
Price(won/m <sup>2</sup> )	687,000	657,000

5) 방부목재 가격

국내 건축부재 생산업체는 자체에서 방부처리 능력이 없어 전문 방부처리 업체에 전량 의뢰하고 있으며 방부처리 비용은 대체로 균일하여 재(才)당 147~200원 수준에서 이루어진다. 방부처리 된 국내 낙엽송의 경우 616천원/m<sup>3</sup>, 수입재 험퍼의 경우 517천원/m<sup>3</sup>에 거래되고 있어 국산재가 16.1배의 높은 가격을 나타내었다<Table 2-10>.

Table 2-10. Price of domestic and imported preservative square lumber

(Unit :  
won/m<sup>3</sup>)

	Domestic	Imported
	Japanese larch	Hemlock
Dimension	38mm× 89mm× 3600mm	2inch× 2inch
Price(won/m <sup>3</sup> )	616,000	517,000

## 2. 국산 건축부재 유통구조 및 시장실태

가. 생산물량, 생산품등, 생산비용 조사

### 1) 국산재의 용도별 원목생산실적

국산 건축재의 생산실적을 <Table 2-11>에서 보면, 1999년말 현재 80천m<sup>3</sup>로 전체 목재생산의 8.5%에 달하며, 침엽수는 대부분 펄프나 보드류 생산원료로 공급되고 있고 활엽수는 표고목으로 공급되고 있다.

Table 2-11. Supply of domestic wood with different uses

(Unit : Thousand m<sup>3</sup>)

	Total	Mine timber	Pulp	Const- ruction	Engi- neering	Bed log	Farm timber	Wood product s	Fuel	Etc
Quantity	939	23	379	80	53	181	17	11	33	162

Source : 『Report on Production and Use of Domestic Timber』 each province (1997 ~ 1999) average

### 2) 국산건축재의 수종별 생산실적

국산건축재로 사용되는 수종은 주로 낙엽송, 소나무, 잣나무로서 세 가지 수종이 전체 국산건축부재의 90%를 차지하고 있다<Table 2-12>.

Table 2-12. Yield of domestic timber for construction use with different species.

(Unit : Thousand m<sup>3</sup>, %)

	Total	Japanese Larch	Korean Pine	Korean Red Pine	Etc
Yield	80	34	20	17	9
Percentage	100	42.5	25.0	21.3	11.2

Source : 『Report on Production and Use of Domestic Timber』 each province (1997 ~ 1999) average

### 3) 생산품등

건축재용 낙엽송 원목의 품등은 통상적 거래에 있어서는 주로 말구직경과 길이(6자, 9자, 12자)를 기준으로 가격이 결정되고 있으며, 결점사항들은 품등구분의 기준으로 작용하지 않았다.

### 4) 수종별 재질 비교

국산재와 수입재간의 재질을 <Table 2-13>에서 비교해 보면, 비중은 국내재 낙엽송과 러시아산 낙엽송이 다소 높은 것으로 나타났고, 국내재 잣나무와 라디에타 파인이 대체로 비슷한 비중을 나타내었다.

Table 2-13. Quality comparison of domestic and imported wood species.  
(Unit: %, kg/cm<sup>3</sup>)

	Gravity	Shrinkage(%)		Bending strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Length compression strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Drying property	Cutting property	Remark
		Radial	Tangential					
Japanese larch (Domestic)	0.61	4.7	8.4	986	532	fine	poor	
Korean Red Pine(Domestic)	0.45	2.8	7.4	772	425	fine	normal	
Russian larch	0.57	5.7	12.7	967	787	normal	normal	Siberia
Radiata Pine	0.48	4.0	7.1	740	422	fine	fine	New-Zealand, Chile
Red pine	0.52	4.0	7.7	652	290	fine	fine	Siberia
Spruce (Sitka spruce)	0.45	4.3	7.5	710	386	fine	normal	North-America
Pine (Southern pine)	0.66	5.1	7.5	979	565	fine	fine	North-America

- Note) 1. There are plenty of species in spruce and pine, so the typical one is just presented in the above table.
2. Radiata pine is differently named by distributors according to its producing country.
3. The species listed above could be appraised differently according to their different use condition, however, it is generally suitable to use them as regular square lumber and board use.

전수축율에서는 방사방향에서 국내재 잣나무가 전수축율이 낮았으며, 휨강도에서는 국내재 낙엽송이 비교적 높게 나타났으나 종압축 강도에서 다소 낮은 강도를 나타내었다. 건조성은 러시아산 낙엽송이 보통의 수준을 보였으며, 절삭성에서는 국내재 낙엽송이 불량한 것으로 나타났다. 국내재 잣나무와 러시아산 낙엽송에서는 보통의 수준을 보였다.

##### 5) 생산비용

사찰 건축용 및 문화재보수용 소나무의 제재소 도착가격은 재당 418원에 거래되고 있었으며, 건축용 낙엽송의 목재집하장 도착가격은 재당 313원에 거래되었다 <Table 2-14>.



Table 2-14. Production cost of wood for building lumber elements

(Unit : )

won/Jae(才))

Species	Stumpage price	Cutting/ yarding	Exportin g road	Skiddin g	Loadin g	Transp -ortatio n	Insurance /Charge	Total
Korean Pine	160	145	15	37	15	40	6	418
Japanes e larch	80	120	15	37	15	40	6	313

나. 유통경로 및 마진

1) 유통경로

건축부재용 원목은 생산량이 상대적으로 적어 유통경로는 비교적 단순하며 크게 5경로로 구분되어 진다<Fig 2-1>.

① 제1경로는 산주 → 목재집하장 → 수요자 ② 제2경로는 산주 → 목재집하장 → 임산물유통센터 → 수요자 ③ 제3경로는 산주 → 임산물유통센터 → 수요자 ④ 제4경로는 산주(목상) → 수요자 ⑤ 제5경로는 산주(목상) → 제재소 → 수요자 형태로 구분된다. 제3경로에서 임산물유통센터가 산주로부터 원목을 직접 구입할 경우 원목의 품등에 관계없이 별채물량을 전량 구입해야 하는 단점이 있으나, 제2경로처럼 목재집하장으로부터 구입할 경우 필요한 물량을 규격별로 선별구매가 가능한 반면 구입가격은 약 10%정도 비싼 단점이 있다.

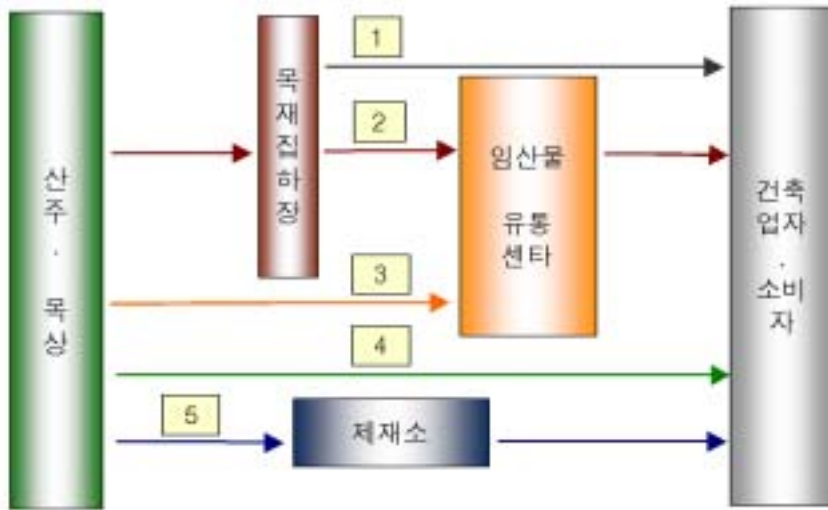


Fig. 2-2. Distribution channel of domestic building lumber elements

2) 유통마진

건축부재의 유통마진은 유통기능에 따른 유통비용과 유통주체의 이윤으로 구성되어 있으며, 문화재용 소나무 용재는 생산량이 매우 적기 때문에 수급상황에 따라 가격과 유통마진이 일정하지 않다.

Table 2-15. Distribution margin of each stage with different items(Japanese Larch)

(Unit : won/Jae(才))

		Logging	CFPPMC	Consumer	Margin rate(%)
Structural frame	Square lumber	90	370	1,300	251
	Rafter	70	300	500	67
Interior	louver board	80	350	3,200	814
	Flooring	80	350	3,200	814
Exterior	Siding board	80	350	2,290	554
Average		80	344	2,098	500

Note) CFPPMC : Central Forest Products Processing & Marketing Center

건축부재용 낙엽송은 용도별 품목에 따라 유통마진이 일정하게 형성되고 있는 편이며, 품목별로 가공정도에 따라 구조재, 내·외장재 등 5품목의 평균 마진율은 500%에 달해 가공정도에 따라 매우 높은 유통마진을 얻고 있는 것으로 나타났다<Table 2-15>.

### 3) 제품 수율

건축부재를 생산하기 위해 원목을 가공하였을 경우 원목대비 제품별 수율은 <Table 2-16>에 나타난 바와 같이 평균 27%로 조사되었으며, 품목별로는 구조재 30%, 사이딩 35%, 루바 22%, 몰딩류에서 22%의 제품 수율을 나타냈다.

Table 2-16. Production yield of building lumber elements to raw timber.

(Unit : %)

Production field	Structural frame	Siding board	Louver board	Molding	Average
Yield	30	35	22	22	27

### 4) 판매처별 판매비율

임산물유통센터의 낙엽송 건축부재의 판매처별 판매율은 자체사용(20%)과 시·군 산림조합(5%)보다는 소비업체(75%)에 직접 판매하는 것으로 나타났다<Table

2-17>.

Table 2-17. Sales ratio of domestic building lumber elements in domestic market accounts(Japanese Larch)

(Unit : %)

Account	Self consumption	Association Union	Construction field and General consumers
Percentage(%)	20	5	75

### 3. 물류체계 및 시장실태

#### 1) 물류체계

목재집하장에서 낙엽송 원목은 운반비부담 때문에 주로 인근지역에서 구입하고 있었으며 무게단위로 중량 단가를 적용하고 있는 것으로 나타났다. 구입단가는 실중량을 기준으로 톤당 가공공장 도착가가 70,000~75,000원 이었으며, 운송방법은 4.5톤 트럭에 10톤 이상을 적재하여 운송하는 것으로 조사되었다.

#### 2) 시장실태

건축부재용 원목수급은 낙엽송의 경우 수요 특성상 아직 대규모 시장형성이 어렵기 때문에 소규모 산주나 목상들이 대부분 먼저 판로를 정해놓고 별채 시작한다. 가공업체 역시 다양한 품목을 대규모로 생산하는 데에는 한계가 있기 때문에 소품목 주문생산에 의해 판매하고 있다. 현재 국내 가공업체에서의 건축부재 생산은 국산재를 이용한 건축부재용 생산품목은 다양하게 생산되고 있으나 품목별 판매액 비중의 순위는 루바> 집성재> 원주재> 구조재> 사이딩> 몰딩류 순으로 추정되어진다.

### 3. 목조주택의 수요전망 및 소비자 선호도 분석

#### 가. 목조주택 수요전망

본 조사를 위해 전국의 목조주택 이용자 1,500명(수도권 657명, 영남권 611, 호남권, 149명, 충청권 83명)을 대상으로 현지조사를 실시하였다. 향후 목조주택의 연도별, 지역별 수요자수를 예측하였고, 지각도는 목조주택이 주택으로서 어떤 속성을 지니고 있는지를 파악하였다. 가격민감도 부문에서는 원가개념을 고려한 목조주택의 최소, 최대, 적정가격 수준을 파악하는데 주력하였으며, SWOT분석을 위해 목조주택의 강점·약점을 파악하여 향후 유지·보수·관리·부적합 사항 등을 분석하였다.

## 2) 목조주택 인지도

목조주택을 직접 보거나 들어본 적이 있다는 응답이 93%로 대부분 목조주택에 대해 인지하고 있는 것으로 나타났으며, 응답자 특성별(현 거주지별, 연령별)로도 인지도가 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다<Fig 2-2>, <Table 2-18>.

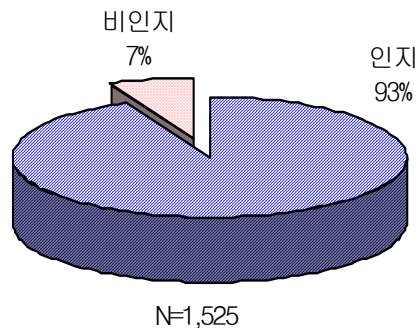


Fig. 3-2. Recognition of wood frame housing

Table 2-18. Recognition of wood frame housing with different resident places and ages

(N=1525)	Current resident place					Age			
	Capital region (N=755)	Gangwon (N=28)	Chungchong (N=102)	Youngnam (N=504)	Honam (N=136)	Under 20`s (N=267)	30`s (N=585)	40`s (N=497)	Over 50`s (N=167)
Recognized	93.6	92.9	90.2	92.7	93.4	91.0	92.5	95.0	92.8
Non-recognized	6.4	7.1	9.8	7.3	6.6	9.0	7.5	5.0	7.2

2) 목조주택 설명 이해도

목조주택 설명에 대해 이해를 잘 하는 응답자(45.5%)보다 이해를 잘 못하는 응답자들(54.5%)이 더 많은 것으로 나타났다. 직업별로는 생산직(32.4%)에서, 연령별로는 고 연령층(50대이상: 52.9%, 40대: 50.2%)에서 설명이해도가 다소 낮게 나타났다<Fig 2-3>, <Table 2-19>.

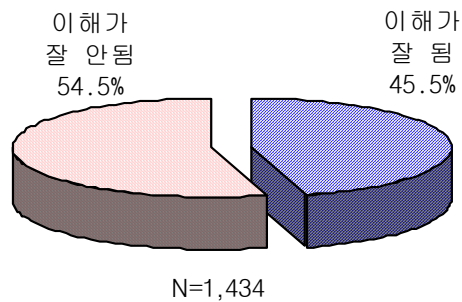


Fig. 2-4. Understanding on the definition of wood frame housing

Table 2-19. Understanding on the definition of wood frame housing with different occupations and ages

	Occupation						Age			
	Professional / Freelance (N=499)	Executive (N=47)	Office work (N=377)	Sales/Service (N=103)	Production (N=74)	etc (N=329)	Under 20's (N=253)	30's (N=538)	40's (N=476)	Over 50's (N=157)
Well-understanding	49.5	44.7	46.4	50.5	32.4	40.7	41.5	41.3	49.8	52.9
Hard to understand	50.5	55.3	53.6	49.5	67.6	59.3	58.5	58.7	50.2	47.1

### 3) 현 거주 주택 형태

설문 응답자가 현재 살고 있는 주택의 형태를 보면 아파트가 55.1%로 가장 많았고 다음으로 ‘단독주택(28.7%)’ > ‘연립주택(7.5%)’ 등의 순으로 나타났다<Fig 2-4>.

응답자의 재산규모를 살펴보면, 재산규모가 4억원대 이상에서 아파트에 사는 비율(67.1%)이 상대적으로 높은 것으로 나타났고 단독주택은 24.1%를 나타냈으나, 목조주택 거주비율은 1.8%에 불과하였다<Table 2-20>.

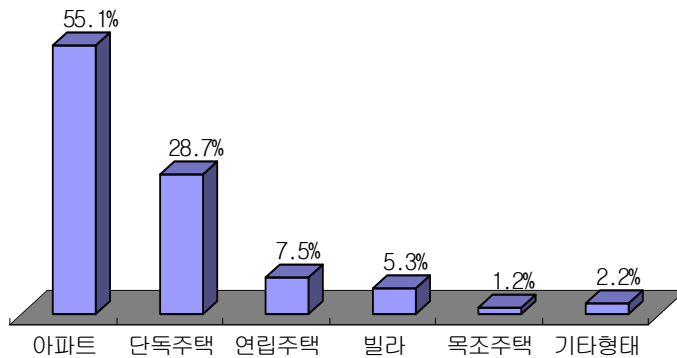


Fig. 2-5. Current residence type of housing

Table 2-20. Type of house with current resident district and property.

	Current district of residence					Property			
	Capital region (N=755)	Gangwon (N=28)	Chungchong (N=102)	Youngnam (N=504)	Honam (N=136)	1 hundred million won (N=742)	2 hundred million won (N=343)	3 hundred million won (N=152)	Over 4 hundred million won (N=170)
Apartment	55.8	59.3	47.6	56.2	52.6	54.4	58.0	54.6	67.1
Individual houses	23.8	25.9	35.9	33.7	32.1	26.5	31.8	29.6	24.1
Row house	9.6	0.0	3.9	5.6	7.3	10.1	4.1	4.6	1.8
Multi-household residential house	7.8	3.7	5.8	2.4	2.2	5.0	4.4	7.9	3.5
Wood frame house	0.8	11.1	4.9	0.4	2.2	1.3	0.6	2.0	1.8
Others	2.2	0.0	1.9	1.8	3.6	2.6	1.2	1.3	1.8

4) 향후 구입희망 주택 형태

향후 희망하는 주택형태로 ‘단독주택 (34.7%)’ > ‘목조주택 (29.1%)’ > ‘아파트 (27.2%)’ 순으로 나타나 현재는 아파트에 많이 살고 있지만, 향후에는 목조주택이나 단독주택에 거주하려는 층이 상당수 있는 것으로 나타났다.

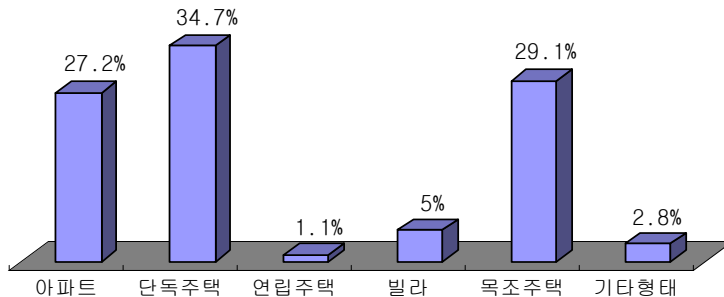


Fig. 2-6. Type of house desired to purchase in future



목조주택 구입자들은 거주지별로는 ‘강원권’과 ‘충청권’, 재산별로는 ‘3억원대 이상층’에서 많았다<Fig 2-5>, <Table 2-21>.

#### 5) 목조주택 일반적 용도 의견

목조주택의 일반적인 용도로 별장·레저용으로 생각하는 응답자가 65.8%로 가장 많았고 다음으로 ‘노후 주거용(20.9%)’ > ‘일반 주거용(12.2%)’ 등의 순이었고, 연령별로는 연령층이 낮을수록 목조주택의 일반적인 용도를 별장·레저용으로 보는 경향이 강하게 나타났다<Fig 2-6>.

Table 2-21. Type of house desired to purchase in future with current resident district and property

	Current place of residence					Preperty			
	Capital region (N=755)	Gangwon (N=28)	Chungchong (N=102)	Youngnam (N=504)	Honam (N=136)	1 hundred million won (N=742)	2 hundred million won (N=343)	3 hundred million won (N=152)	Over 4 hundred million won (N=170)
Apartment	30.3	7.1	21.6	27.6	16.8	31.6	27.2	21.5	21.2
Individual houses	33.2	39.3	28.4	35.5	44.5	34.7	37.0	35.6	24.7
Row house	0.4	0.0	1.0	1.8	2.9	1.5	0.3	0.7	1.2
Multi-household residential house	4.1	0.0	9.8	5.6	5.1	4.9	4.1	4.0	5.3
Wood frame house	28.5	53.6	38.2	27.4	27.0	24.4	28.4	35.6	45.3
Others	3.5	0.0	1.0	2.0	3.6	2.9	3.0	2.7	2.4

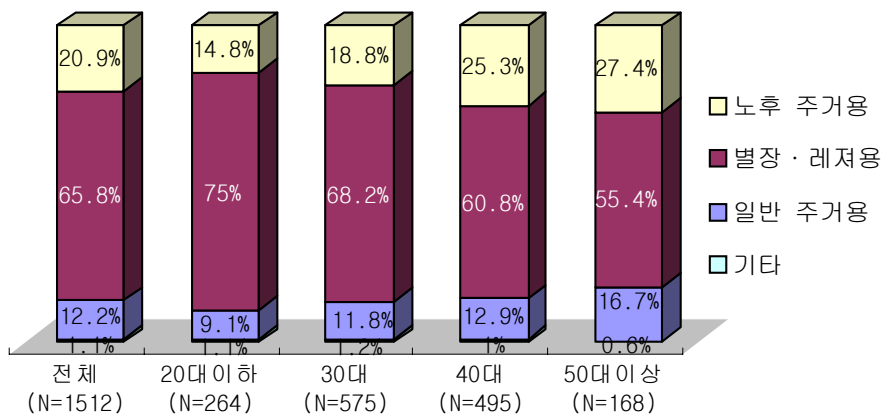


Fig. 2-7. General use of wood frame housing

6) 전원주택의 선호 형태

<Fig 2-7>의 전원주택의 선호형태로는 목조주택이 71.8%로 가장 많았고 다음으로 토담집(20.2%)으로 나타난 반면 시멘트 양옥집은 5.9%에 그친 것으로 나타났으며, 연령별로도 모든 연령층에서 ‘목조주택’ > ‘토담집’ > ‘시멘트 양옥집’의 순으로 나타났다.

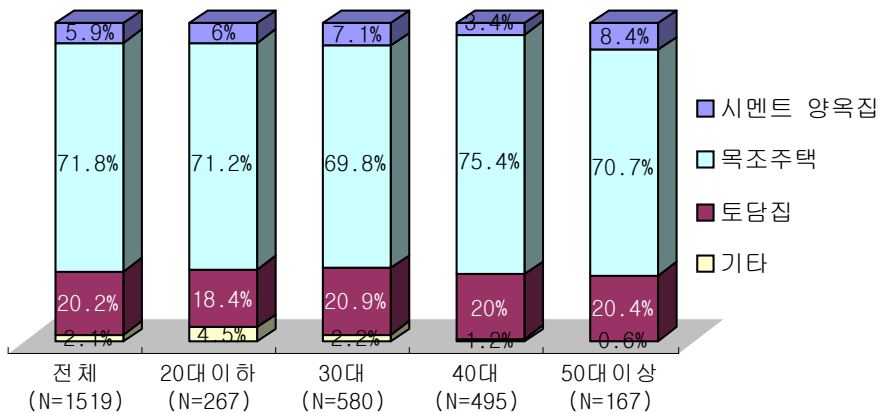


Fig. 2-8. Preference type of house in rural area

7) 목조주택 선호 이유

<Table 2-22>의 목조주택을 좋아하는 이유로 ‘자연경관과 잘 어울릴 것 같아서’가 63.5%로 가장 많았고 다음으로 ‘건강에 좋을 것 같아서(49.2%)’ > ‘미관이 아름답기 때문에(36.0%)’ > ‘다른 형태의 주택에 비해 고급스럽게 보여서 (11.6%)’ 등의 순이었으며, 연령별로 보면 ‘건강 측면’에서는 연령대가 높은 층에서 ‘미관측면’에서는 연령대가 낮은 층에서 상대적으로 높게 나타났다.

Table. 2-22. Reasons of preference to wood frame housing with different age

(Plural response, Unit : %)

Reasons	Total (N=1481)	Under 20`s (N=256)	30`s (N=574)	40`s (N=475)	Over 50`s (N=166)
Seems to be good for health	49.2	26.6	45.1	60.0	68.1
The beauty of appearances	36.0	54.3	41.3	25.7	20.5
Harmonized with natural scenery	63.5	68.0	62.0	64.8	55.4
Valuable looking	11.6	16.8	12.7	8.8	7.2
Etc	2.0	3.1	2.3	1.5	1.2

8) 목조주택을 선호하지 않는 이유

목조주택을 좋아하지 않는 이유로 ‘화재에 위험하다고 생각하기 때문’이 53.0%로 가장 많았고 다음으로 ‘가격이 상대적으로 비싸기 때문(48.0%)’ > ‘아파트 등 다른 주택보다 관리가 불편할 것 같아서(33.7%)’ > ‘다른 형태의 주택에 비해 수명이 짧을 것 같아서(25.3%)’ 등의 순이었으며, 연령별로는 ‘화재의 위험’에 대해 ‘20대 이하’에서 상대적으로 높게 나타났다<Table 2-23>.

Table 2-23. Reasons of non-preference to wood frame housing with different age

(Plural, Unit : %)

Reasons	Total (N=1299)	Under 20`s (N=213)	30`s (N=497)	40`s (N=433)	Over 50`s (N=147)
Relatively high price	48.0	39.9	47.5	52.9	46.3
Danger of fire	53.0	64.8	53.5	47.1	51.7
Difficult to maintain	33.7	37.6	34.4	34.4	25.9
Short life span compared to other houses	25.3	23.9	26.6	24.9	22.4
Etc.	3.8	3.3	3.4	4.2	5.4

9) 목조주택 구입 의사

목조주택을 구입할 의사가 있다는 응답이 57.3%인 반면 구입하지 않을 것이다 응답은 7.7%에 그쳐 목조주택의 구입의사가 다소 높은 수준인 것으로 나타났다. 응답자 특성별로 보면 연령별로는 고연령층(40대, 50대이상)에서, 재산별로는 3억원대 이상에서 구입의사가 높았다<Fig 2-8>, <Table 2-24>.

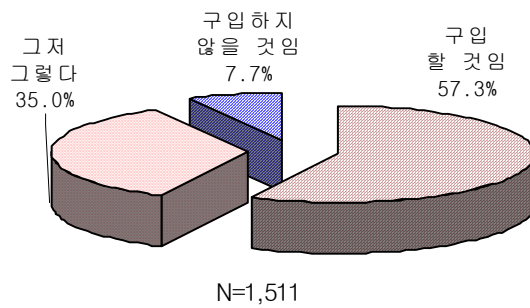


Fig. 2-9. Intention on purchasing the wood frame housing

Table 2-24. Intention on purchasing the wood frame housing with different age and property.

(Unit : %)

	Total (N=1453)	Age				Property			
		Under 20`s (N=255)	30`s (N=567)	40`s (N=463)	Over 50`s (N=160)	1 hundred million won (N=707)	2 hundred million won (N=322)	3 hundred million won (N=140)	Over 4 hundred million won (N=164)
Will purchase	57.3	42.7	57.1	62.9	63.8	55.9	56.5	65.7	67.7
So-so	35.0	46.7	34.7	32.6	25.0	35.8	36.6	28.6	26.2
Won't purchase	7.7	10.6	8.1	4.5	11.3	8.3	6.8	5.7	6.1
Average (Perfect 5 points)	3.57	3.36	3.54	3.70	3.65	3.54	3.55	3.71	3.78

10) 목조주택 구입 예상년도

목조주택을 구입한다면 구입예상 년도로 2010년이 37.3%로 가장 많았고, 다음으로 '2020년(25.3%)' > '2015년(18.4%)' > '2005년(16.3%)'의 순으로 나타났다<Fig 2-9>.

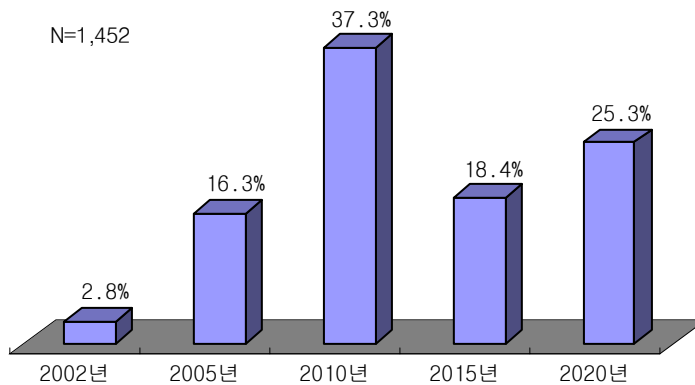


Fig. 2-10. Expected year of purchasing the wood frame housing

<Table 2-25>에서 응답자 특성별로 보면 연령층이 높을수록, 재산이 많을수

록 대체적으로 구입 예상연도가 빠른 것으로 나타났다.

Table 2-25. Expected year of purchasing the wood frame housing with different age and property

(Unit : %)

Year	Age				Property			
	Under 20`s (N=249)	30`s (N=571)	40`s (N=469)	Over 50`s (N=155)	1 hundred million won (N=711)	2 hundred million won (N=324)	3 hundred million won (N=145)	over 4 hundred million won (N=165)
2002	1.6	2.1	2.8	7.1	2.1	3.1	2.8	5.5
2005	6.0	12.4	19.4	37.4	11.1	19.1	21.4	35.2
2010	26.5	32.2	47.5	41.9	34.6	43.2	43.4	34.5
2015	19.3	20.8	19.2	5.2	19.1	20.1	17.2	12.7
2020	46.6	32.4	11.1	8.4	33.1	14.5	15.2	12.1

11) 목조주택 선호 위치

주거용 목조주택의 선호 지역으로 응답자의 70.2%가 ‘도시근교 전원지역’이 좋다고 하였고 다음으로 ‘대도시주변 위성도시(11.1%)’ > ‘산촌지역(9.9%)’ > ‘농촌지역(6.9%)’ > ‘대도시 내 (1.3%)’ > ‘기타지역(0.5%)’ 등의 순이었다<Fig 2-10>.

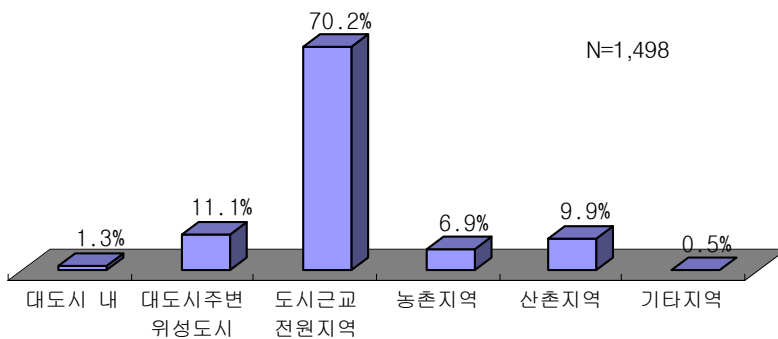


Fig. 2-11. Preference district where wood frame housing is located in

12) 목조주택 선호 건평

<Fig 2-11>의 주거용 목조주택의 적정평수로는 ‘30평’이 26.1%로 가장 많았고, ‘40평(17.7%)’ > ‘35평(16.3%)’ > ‘25평(13.1%)’ > ‘50평 이상(12.0%)’의 순으로 나타났다.

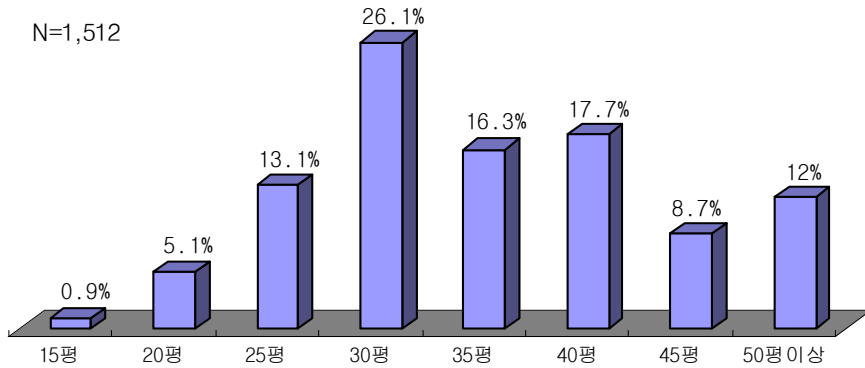


Fig 2-12. Preference proper floor space of wood frame housing

#### 나. 소비자 가격민감도

##### 1) 목조주택 적정 평당 구입 가격

목조주택의 적정 평당 구입 가격은 응답자의 60%를 수요로 가정한다면, 약 300만원 수준이었고, 목조주택의 적정 평당 구입 가격의 약 296만원으로 분석되었다 <Fig 2-12>.

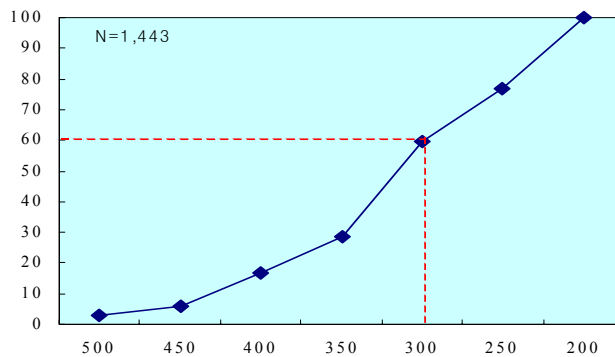


Fig. 2-13. Preference proper price per Pyung for purchasing wood frame housing



2) 목조주택 가격 민감도

목조주택에 대한 가격민감도 분석 결과, 수용가격대는 250만원 ~ 325만원 수준인 것으로 분석되었으며, 적정가격은 평당 약 310만원 수준이었다<Fig 2-13~14>.

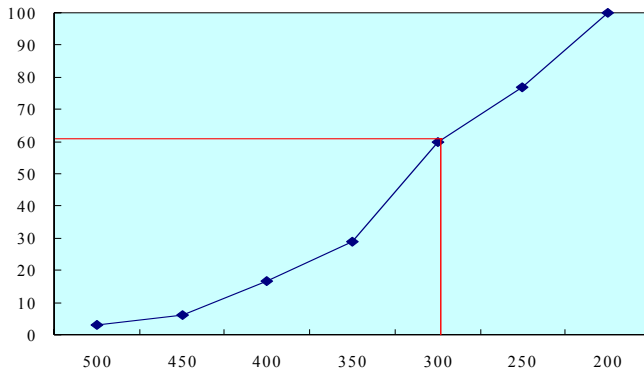


Fig. 2-14. Acceptable price range for purchasing wood frame housing

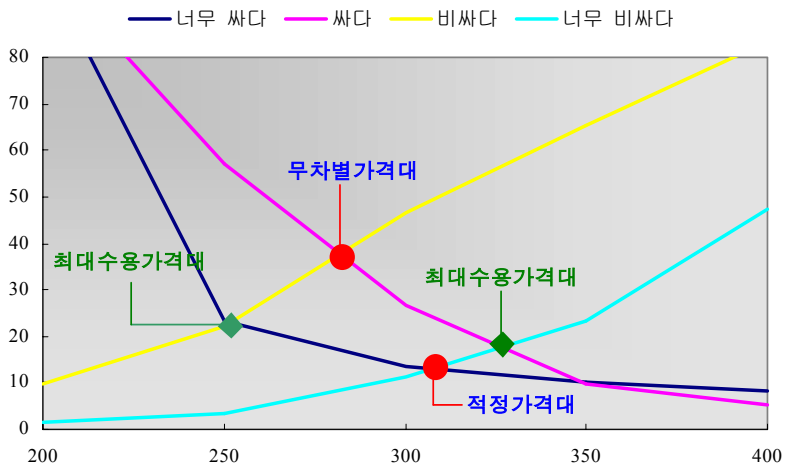


Fig. 2-15. Price sensitivity of wood frame housing

3) 비싸지만 구입할 수 있는 평당 가격

가격이 비싸다고 생각하지만 구입할 수 있다는 평당 가격은 응답자의 60%선은 약 330만원 수준이었고, 평균 평당 가격은 약 340만원으로 나타났다<Fig 2-15>.

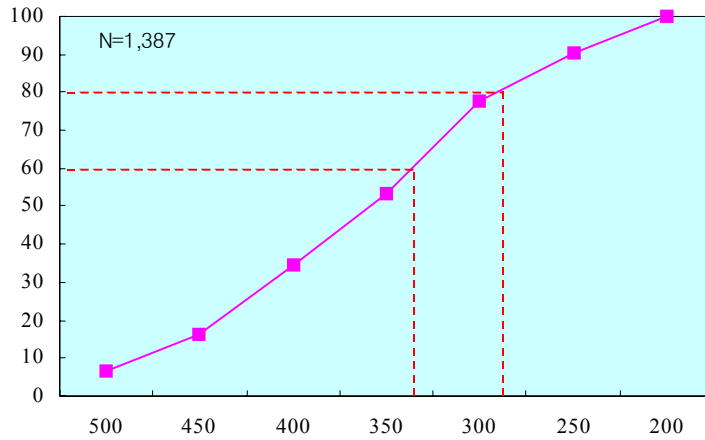


Fig. 2-16. Allowable maximum price per Pyung for purchasing wood frame housing

4) 가격이 너무 비싸 구입 포기 평당 가격

가격이 너무 비싸 구입을 포기할 수 있다는 평당 가격은 응답자의 60%선은 약 430만원 수준이었고, 이부분의 평균 평당 가격은 약 425만원으로 나타났다<Fig 2-16>.

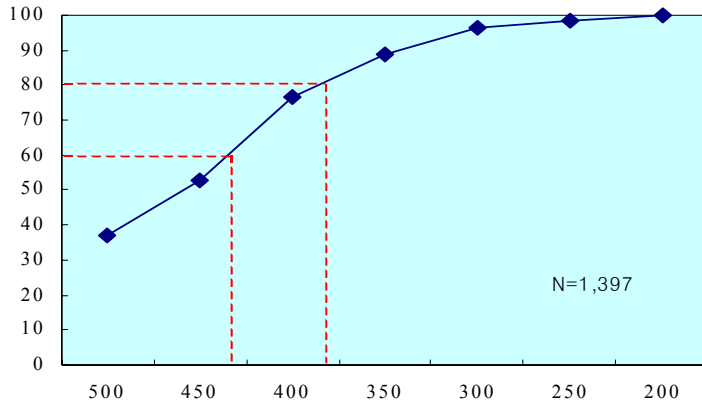


Fig. 2-17. Price range per Pyung causing to abandon the purchase of wood frame housing

5) 가격이 싸다고 생각되는 평당 가격

가격이 싸다고 생각되는 평당 가격은 응답자의 60%선은 약 250만원 수준이었으며, 가격이 비교적 싸다고 생각되는 평균 평당 가격은 약 252만원이었다<Fig 2-17>.

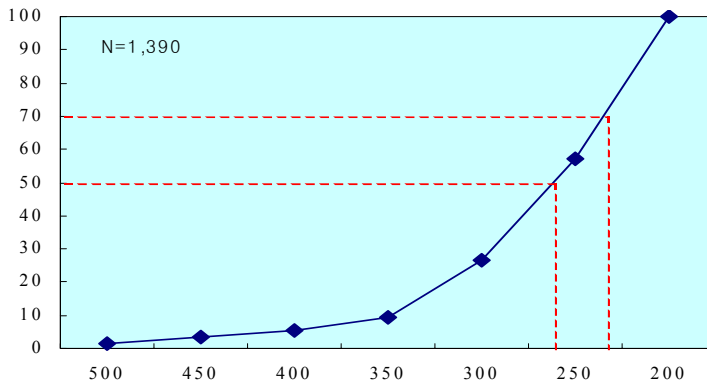


Fig. 2-18. Price per Pyung appraised as inexpensive

6) 너무 싸서 구입에 의심이 들 수 있는 평당 가격

가격이 너무 싸서 구입에 의심이 들 수 있는 평당 가격은 응답자의 60%선은 약 225만원 수준이었으며, 평균 평당 가격은 약 233만원이었다<Fig 2-18>.

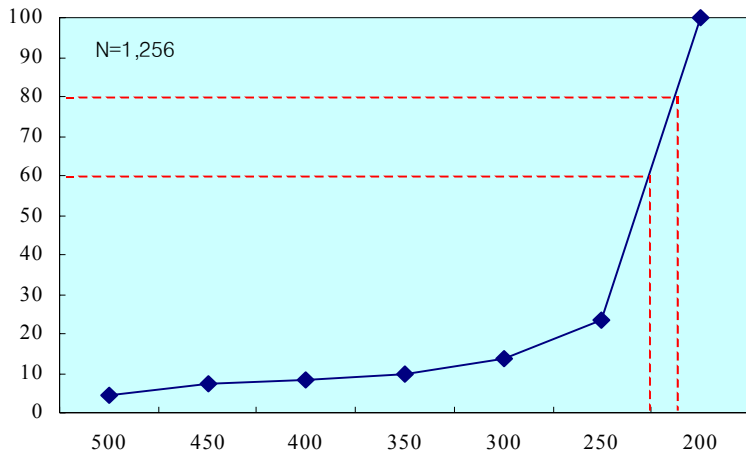


Fig. 2-19. Price per Pyung appraised as too cheap

다. 목조주택 이미지 개선점

1) 주택형태별 이미지

주택형태별 이미지를 <Fig 2-19>에서 보면 “아파트”의 경우 ‘유지관리가 쉽다’, ‘홍보가 많다’, “목조주택”의 경우 ‘미관이 아름답다’, ‘자연경관과 잘 어울린다’, ‘고급스럽게 보인다’, ‘가격이 비싸다’, ‘화재에 위험하다’, ‘수명이 짧다’, “토담집”의 경우 ‘건강에 좋다’ 등이 주로 떠오르는 이미지로 나타났다.

<Table 2-26>에 나타난 주택형태별 이미지를 살펴보면, 아파트는 홍보가 (85.4%) 비교적 잘 되고 있고 유지관리(82.1%)가 쉬운 것으로 나타났다. 단독 양옥집은 특별한 이미지가 없었으며, 목조주택은 미관이 아름답다(81.4%), 자연경관과 잘 어울린다(79.5%), 고급스러워 보인다(64.4%)라고 응답하였으나, 반대로 화재에 위험하다(87.8%)라는 이미지가 매우 높아 이부분에 대한 홍보가 매우 필요한 것으로 나타났다. 토담집은 건강에 좋다(62.9%)라는 응답을 보였으나 수명이 짧다(31.2%)는 이미지를 보였다.

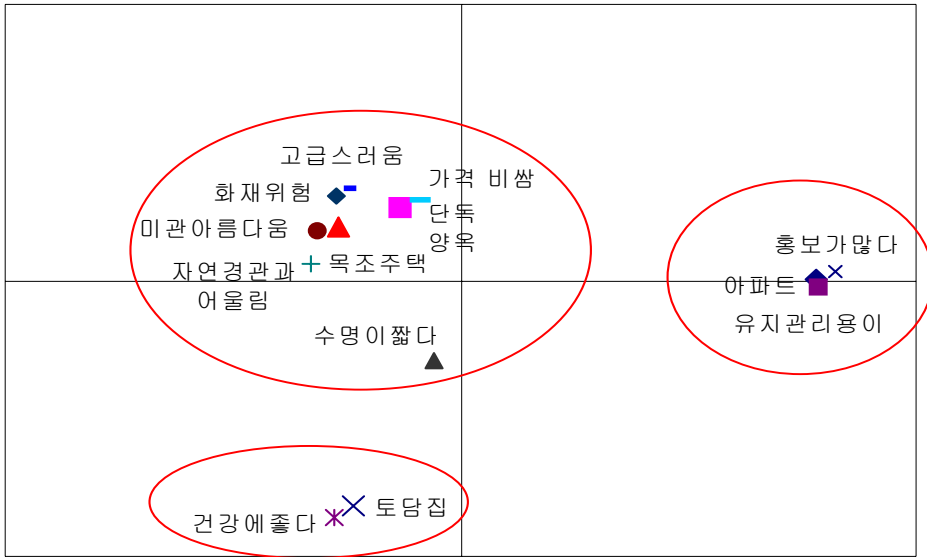


Fig 2-20. Conception of residence with different house type

표 2-26. Ratio of response to conception of residence with different house type

Conception	No. of case	House type			
		Apartment	Individual house	Wood frame housing	Mud-wall house
1. Good for health	1490	2.60%	4.90%	29.70%	62.90%
2. The beauty of appearances	1466	1.20%	7.10%	81.40%	10.30%
3. Harmonized with natural scenery	1466	0.80%	3.50%	79.50%	16.20%
4. Valuable looking	1455	3.10%	29.00%	64.40%	3.50%
5. High price	1434	15.20%	27.20%	54.50%	3.10%
6. Danger of fire	1427	5.00%	4.30%	87.80%	2.90%
7. Easy to maintain	1444	82.10%	5.50%	7.20%	5.10%
8. Short life span	1426	19.00%	10.60%	39.20%	31.20%
9. Active publicity	1451	85.40%	3.00%	10.00%	1.70%

## 2) 목조주택의 개선점

목조주택에 대한 개선점을 <Fig 2-20>에서 살펴보면, ‘가격을 보다 저렴하게 공급해야 한다(55.4%)’와 ‘화재에 보다 더 안전하게 해야 한다(55.2%)’가 가장 많이 나타났다. 또한, 건물의 유지관리를 편하게 해야 한다(38.4%)와 주택의 수명을 보다 길게 해야 한다(32%)에도 많은 관심을 보였다.

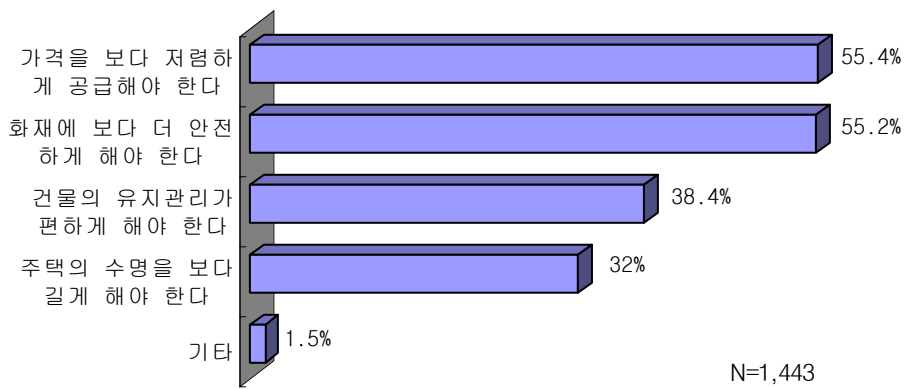


Fig. 2-21. Improvement points in wood frame housing

#### 4. 목조주택에 대한 수요 예측

##### 가. 수요예측 방법

목조주택의 수요예측을 위한 조사대상자 및 조사방법은 목조주택 선호도 조사

대상자와 같다. 조사내용은 목조주택 구입자의 향후 구입시기별 응답율과 예상 구입확률을 조사하였다. 설문조사표에 「반드시 구입하겠다」 또는 「아마 구입하겠다」라는 내용과, 향후 예상구입년도, 즉 구입시기를 포함하여 조사하였다. 구입시기별 구입의사를 집계한 결과를 요약하면 <Table 2-27>과 같다.

Table 2-27.  $\frac{Y_{1i}}{1-Y_{1i}}$  Component ratio with different purchasing intentions of wood frame housing(Total)

(Unit : %)

Purchasing moment( $t_i$ )	Surely purchase			Possibly purchase		
	Response rate	Probabilities of expected purchase	Finally purchasing rate <sup>1)</sup>	Response rate	Probabilities of expected purchase	Finally purchasing rate
① 2002년( $t_1$ )	13.0	75.63	7.1	2.1	49.0	0.7
② 2005년( $t_2$ )	28.5	71.76	14.8	22.3	51.31	8.3
③ 2010년( $t_3$ )	37.40	57.61	15.6	40.8	51.59	15.2
④ 2015년( $t_4$ )	7.3	69.44	3.7	18.3	44.85	5.9
⑤ 2020년( $t_5$ )	13.8	63.82	6.4	16.4	48.62	5.8

Note) 1) = 1)  $\times$  2)  $\times$  0.722(Discrepancy factor between expression and behavior)

자료의 분석에 있어서 제1단계는 구입시기별 응답률에 해당 예상 구입확률을 곱한 수에다 행동의 차이계수 「0.722」를 적용하여 추정된 최종 응답률을 구하는 것이다. 여기서 행동의 차이계수 0.722는 소비자가 실제로 어느 상품(목조주택)에 대한 구입의향을 밝힐 때, 응답시기와 구입시기의 시차에 따라서 구매의도와 실제 구매행동 사이에 차이를 나타내는 상수이다.

제2단계는 로지스틱 모형의 모수인 a, b 즉,  $a_i$ ,  $b_i$ 를 추정하는 단계로서 다음의 모형에 의하여 추정하였다.



$$\ln \left( \frac{Y_{1i} + Y_{2i}}{Y_{1i} : i \text{구입시기} \text{별 「반드시 구입」의 최종 구입율(추정의 하한치)}} \right) = a_1 + b_1 t_i \text{-----}$$

(식 2-1)

$$\ln \left( \frac{Y_{1i} + Y_{2i}}{1 - (Y_{1i} + Y_{2i}) : i \text{구입시기} \text{별 「아마 구입」의 최종 구입율(추정의 상한치)}} \right) = a_2 + b_2 t_i \text{-----}$$

(식 2-2)

여기서  $\frac{Y_{1i} + Y_{2i}}{Y_{1i} : i \text{구입시기} \text{별 「반드시 구입」의 최종 구입율(추정의 하한치)}}$   
 $\frac{Y_{1i} + Y_{2i}}{1 - (Y_{1i} + Y_{2i}) : i \text{구입시기} \text{별 「아마 구입」의 최종 구입율(추정의 상한치)}}$   
 $t_i : i \text{구입시기} (i = 1, 2, 3, 4, 5)$

위의 모형은 신제품의 구입율이 구입시기의 변화에 따라 S자형으로 변화한다는 로저스(Evertt M. Rogers)의 혁신확산 모형(Diffusion of Innovations)에 기초한 것이다. 상기 모형 중 (식 2-1)은 「반드시 구입」의 경우이며, (식 2-2)는 「반드시 구입」과 「아마 구입」의 합계인 전체의 경우이다. 상기 회귀모형 (식 2-1)과 (식 2-2)는  $t_i$  를 날자 기준으로 하여, 최소자승추정법(OLS ; Ordinary Least Square Estimation)으로 추정하였다. 이와 같이 추정된 결과를 요약하면 <Table 2-28>와 같다.

<Table 2-28>의 목조주택의 구입의향별 선형 회귀모형의 계측 결과를 보면, 「반드시 구입」의 경우 회귀식의 결정계수가 호남권을 제외한 나머지 권역은 모두 0.7~0.8로서 비교적 높게 추정되었으며, 「아마 구입할 것이다」가 포함된 경우에도 호남권을 제외한 나머지 권역에서 결정계수가 0.7~0.8로서 비슷하게 나타났다.

Table 2-28. The estimate of linear regression model with different intention of purchasing the wood frame housing

	Rate of "Surely Purchase"	Total(including "Possibly Prchase")
Total	$Z_{1i} = -233.194 + 0.115t_i$ (.054) (.055) $R^2 = 0.758$	$Z_{2i} = -367.380 + 0.183t_i$ (.035) (.035) $R^2 = 0.819$
Capital region	$Z_{1i} = -234.291 + 0.116t_i$ (.062) (.063) $R^2 = 0.736$	$Z_{2i} = -364.398 + 0.181t_i$ (.043) (.043) $R^2 = 0.791$
District of Gangwon	$Z_{1i} = -50.020 + 0.002467t_i$ (.059) (.060) $R^2 = 0.744$	$Z_{2i} = -170.544 + 0.008510t_i$ (.024) (.024) $R^2 = 0.859$
District of Chungchong	$Z_{1i} = -198.763 + 0.009827t_i$ (0.015) (.015) $R^2 = 0.895$	$Z_{2i} = -338.416 + 0.168t_i$ (.020) (.020) $R^2 = 0.872$
District of Youngnam	$Z_{1i} = -242.133 + 0.120t_i$ (.043) (.043) $R^2 = 0.791$	$Z_{2i} = -380.233 + 0.189t_i$ (.025) (.025) $R^2 = 0.852$
District of Honam	$Z_{1i} = -69.675 + 0.003416t_i$ (.368) (.373) $R^2 = 0.393$	$Z_{2i} = -487.809 + 0.242t_i$ (.092) (.092) $R^2 = 0.665$

제3단계는 년도별 잠재 수요규모를 추정하는 단계이다. 전국과 권역별, 년도별 잠재 수요규모를 추정하기 위해서는 전국 및 권역별에 대한 년도별 세대가 필요하고, 실제로 구입 가능한 모수치(母數值), 즉 결혼한 대상자들이 구매의욕이 더 높을 것이라는 가정 하에 배우자 비율을 산출해 본 결과, 평균 51.4%의 비율이

산출되었다.

<Table 2-29>의 배우자 비율을 적용하여 2000년도의 권역별, 연도별 전국 세대를 추정하였으며, 이를 근거로 각 단계 연도별로 2% 증가하는 것으로 가정하여 <Table 2-30>에서 각 연도별 세대수를 추정하였다.

Table 2-29. The household and the ratio of spouse in the whole country and with different country area

(Unit : household/%)

Region		No.of household <sup>1)</sup>	Rate of spouse <sup>2)</sup>	Estimation on the population of potential demand <sup>3)</sup>
Capital region	Seoul	3,537,492	51.8	1,832,420
	Gyeonggi	3,052,102		1,580,988
	Inchon	829,164		429,506
	Sub-total	7,418,758		3,842,914
District of Gang won	Gangwon	521,728	51.8	270,255
	Sub-total	521,728		270,255
District of Chung chong	Chungnam	641,499	51.7	331,654
	Chungbuk	491,781		254,250
	Daejeon	439,312		227,124
	Sub-tatal	1,572,592		813,028
District of Young nam	Kyungnam	999,572	51.3	512,780
	Kyungbuk	943,498		484,014
	Daegu	805,779		413,364
	Busan	1,199,804		615,499
Sub-tatal	3,948,653	2,025,657		
District of Ho nam	Jeonbuk	645,798	50.4	325,482
	Jeonnam	723,932		364,861
	Gwangju	430,376		216,909
	Sub-tatal	1,800,106		907,252
Total		15,261,837	51.4	7,859,106

1) Korea National Statistical Office, 「Census of Population & Housing」, 2000.

2) The rate of simple average in comparison with total population statistic of KNSO in 1995

3) Estimating the population of potential demand among the total number

of household in 2000

<Table 2-30>의 각 연도별 잠재 수요 모집단 추정치를 위의 <Table 2-28>의 회귀모형 계측결과에 적용하면 최종적으로 시나리오별 목조주택의 구입자 추정결과를 산출할 수 있다.

Table 2-30. The estimated potential demand population in the whole country and with different country area.

(Unit : household)

Region		Estimating the population of potential demand				
		2002	2005	2010	2015	2020
Capital region	Seoul	1,836,085	1,839,757	1,843,437	1,847,123	1,850,818
	Gyeonggi	1,584,150	1,587,318	1,590,493	1,593,674	1,596,861
	Inchon	430,365	431,226	432,088	432,952	433,818
	Sub-total	3,850,600	3,858,301	3,866,018	3,873,750	3,881,497
District of Gangwon	Gangwon	270,796	271,337	271,880	272,424	272,968
	Sub-total	270,796	271,337	271,880	272,424	272,968
District of Chungcheong	Chungnam	332,317	332,982	333,648	334,315	334,984
	Chungbuk	254,759	255,268	255,779	256,290	256,803
	Daejeon	227,578	228,033	228,489	228,946	229,404
	Sub-total	814,654	816,283	817,916	819,552	821,191
District of Youngnam	Kyungnam	513,806	514,833	515,863	516,895	517,928
	Kyungbuk	484,982	485,952	486,924	487,898	488,874
	Daegu	414,191	415,019	415,849	416,681	417,514
	Busan	616,730	617,963	619,199	620,438	621,679
Sub-total	2,029,708	2,033,768	2,037,835	2,041,911	2,045,995	
District of Honam	Jeonbuk	326,133	326,785	327,439	328,094	328,750
	Jeonnam	365,591	366,322	367,055	367,789	368,524
	Gwangju	217,343	217,778	218,213	218,649	219,087
	Sub-total	909,067	910,885	912,706	914,532	916,361
Total		7,874,824	7,890,574	7,906,355	7,922,168	7,938,012

나. 수요예측 결과

1) 예측결과

목조주택의 수요를 예측하기 위해 두가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오 I 은 설문조사에서 「반드시 구입하겠다」라고 응답한 자료를 기초로 추정한 것이고, 시나리오 II는 시나리오 I에 「아마 구입하겠다」라는 응답자도 실제구입자로 가정하여 포함시킨 경우이다.

연도별 구입자의 추이를 보면, 시나리오에 따라 2002년에 약 100만명에서 2020년에는 최대 600만명으로 6배정도 증가한 것으로 추정되었다<Table 2-31>. 잠재수요 모집단 대비 구입자의 구성비를 보면 시나리오에 따라 13.8~77.7%로 추정되었는데, 이는 조사대상자들이 다른 환경적 및 경제적 여건, 즉 현실적 여건을 감안하지 않은 목조주택 선호에 따른 구입 응답율이기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2-31. The estimated number of purchaser with different scenarios<sup>1)</sup> and each year

(Unit : persons)

Year	Scenario I	Scenario II
2002	1,087,044 (13.8)	964,939 (12.3)
2005	1,386,580 (17.6)	1,491,683 (18.9)
2010	2,052,068 (26.0)	2,843,132 (36.0)
2015	2,922,539 (36.9)	4,603,633 (58.1)
2020	3,919,254 (49.4)	6,168,778 (77.7)

Note : 1) Scenario I is estimated on the basis of purchasing rate in "Surely Purchase" case

2) Scenario II is estimated on the basis of purchasing rate in total responders(including "Possibly Purchasing" case)

3) The number in parentheses is the component ratio to the population of potential demand in the nation

따라서 최종적으로 현실적 여건을 고려하여 수요 추정을 하면 <Table 2-32>와 같다. 실제로 목조주택 가격은 평당 2~3백만원정도이지만 설계 난이도와 마

감자재에 따라 차이가 더 날 수도 있다. 특히, 목조주택의 경우에는 350여 가지의 자재를 적재적소에 사용해야 하므로 시공의 질이 무엇보다도 중요하기 때문이다. 지역별로도 차이가 있어서 현재 다른 지역에 비하여 일산 등지에는 3백만원 안팎이 많은 편이고, 통나무집은 평당 250~350만원 정도로 다소 비싼 것이 현실적 여건에 포함될 수 있다.

Table 2-32. The estimated demand year and scenarios.<sup>1)</sup>

(Unit : persons)

Year	Scenario I		Scenario II	
	Applying the rate of over 4 million won/month income <sup>1)</sup> in households	Applying the rate of over 10 million won/month income <sup>2)</sup> in households	Applying the rate of over 4 million won/month income <sup>1)</sup> in households	Applying the rate of over 10 million won/month income <sup>2)</sup> in households
2002	32,611	10,870	28,948	9,649
2005	41,597	13,866	44,750	14,917
2010	61,562	20,521	85,294	28,431
2015	87,676	29,225	138,109	46,036
2020	117,578	39,193	185,063	61,688

Note : 1) The rate(3.03%) of over 4 million won in 「Average Family Income and Outgo with Different Consumer`s Expenditure Classes and household」 is applied, KNSO, 1997~2000.

2) The rate(1%) of over 10 million won in 「Average Family Income and Outgo with Different Consumer`s Expenditure Classes and household」 is applied(Estimated value), KNSO, 1997~2000.

## 2) 분석의 한계

목조주택은 보다 넓은 개념으로서의 전원주택시장에서 일반인들의 목조주택 개념에 대한 인식, 목재에 관한 부정확한 상식, 그리고 목조주택의 가격이나 유통구조의 개선 등에 따라 수요가 달라질 수 있을 것이다. 따라서 이러한 전반적인 상황을 설정하여 보다 심층적으로 구입의향을 파악하였다면 더욱 신뢰성

있는 수요예측치가 도출될 수 있었을 것이다.

## 5. 국산 건축부재 경제성분석

### 가. 국산 건축부재 종합가공산업 경제성

#### 1) 분석대상 및 생산체제

##### 가) 조사 및 분석대상

국산 건축부재 생산의 경제성을 분석하기 위해 국산 건축부재를 생산하고 있는 경기, 강원, 충청지역의 3개 업체를 대상으로 조사하였으며, 그 중 강원지역 업체를 대상으로 분석하였다.

건축부재 생산은 <그림 2-21>에 나타낸바와 같이 “목재집하장 → 제재공장 → 가공공장 → 제품출하”의 비교적 간단한 체계를 이루고 있다. 목재집하장에서는 도착된 원목의 정리, 원목을 직경별로 분류하는 종구작업이 주로 이루어진다.

제재공장에서는 1차 제재와 2차 제재가 이루어지며, 제재된 목재는 건조실에서 건조를 거쳐 가공공장에서 여러 제품들이 가공 생산된다. 제재공장에서는 각 제품생산을 위해 대패기의 칼날만 교체해 주면 원하는 제품을 생산 할 수가 있다.

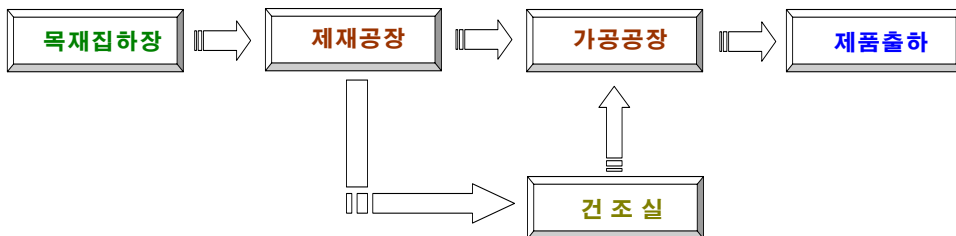


Fig 2-21. The production system of domestic building lumber elements



나) 초기 투자비용

초기투자는 토지, 건물, 기계, 공익설비, 초기재료비 등으로 443,850천원이 투자되었다. 토지비용은 1,050평에 52,500천원이었고, 건물은 제재공장 150평, 가공공장 150평, 사무실 50평으로 건축비는 175,000천원이 투입되었다.

기계는 제재기 2대, 몰다 1대, 대패류 2대, 샌딩기 2대, 건조실 1대, 지게차와 굴삭기 각 1대 등으로 기계비용은 168,700원이 투입되었다. 기타 전기, 수도 등 공익설비와 초기재료비가 투입되었다.

다) 원목 투입비용

원목은 연간 3,000m<sup>3</sup>을 투입하고 있으며, 낙엽송 원목 구입가격은 목재집하장 도착가격으로 120천원/m<sup>3</sup>으로서 연간 원목 구입비용은 360,000천원이 소요되었다.

라) 생산품목 및 생산량

연간 제품 생산량은 1,512m<sup>3</sup>이었으며, 생산액은 775,200천원이었다. 주요 생산품목의 연간 생산량은 원주목 210m<sup>3</sup>, 제재목 550m<sup>3</sup>, 루바 210m<sup>3</sup>, 싸이딩 210m<sup>3</sup>, 바닥재 210m<sup>3</sup>, 몰딩 55m<sup>3</sup>, 기타제품 67m<sup>3</sup>이었다<Table 2-33>.

Table 2-33. The production cost with different production items.

		Production of building lumber elements (Average of 3 processing mill)			
		Volume (m <sup>3</sup> )	Unit cost (Thousand won/m <sup>3</sup> )	Sum of money (Thousand won)	Remark
Benefit	R o u n d e d lumber	210	600	126,000	
	Lumber	550	360	198,000	
	Louver board	210	600	126,000	
	Siding board	210	600	126,000	
	Flooring	210	600	126,000	
	Molding	55	600	33,000	
	Etc.	67	600	40,200	
	Sub-total	1,512	-	775,200	
	Labor cost	3,240 persons/y r	-	229,200	1st.2nd. lumbering, Drying, Processing, Packaging, Shipment, General Management
Prod- ucti on Cost	Material wood cost	3,000m <sup>3</sup>	120	360,000	
	Other material cost	-	-	64,500	
	Depreciation cost	-	-	13,555	
	Repair charge	-	-	3,437	
	Sub-total			441,492	
	Capital service cost			27,622	
	Total cost			698,314	

## 2) 투자 수익성분석

생산기간은 20년으로 하여 투자분석을 한 결과, 투자에 대한 편익의 내부투자수익율(IRR)은 7.2%로 이 사업을 위한 자금의 차입에서 이자율이 7.2이상이어서는 안될 것이다.

낙엽송 원목 3,000m<sup>3</sup>을 투입하여 제재목, 루바, 싸이딩, 바닥재, 몰딩 등을 연간 1,512m<sup>3</sup> 생산하는데 총 비용이 691,049천원이 투입되어 제품 1m<sup>3</sup>당 생산원가는 평

균 457천원이었다. 품목별 제조원가는 각 품목 생산시 투입되는 원목투입량에 품목별 수탁가공비를 적용하여 산출한 결과, 원주목 330천원/m<sup>3</sup>, 제재목 240천원/m<sup>3</sup>, 루바 540천원/m<sup>3</sup>, 싸이딩 510천원/m<sup>3</sup>, 바닥재 510천원/m<sup>3</sup>이었다<Table 2-34>.

이는 수입재와 비교해 볼 때 공장도 판매가는 원주목 416천원/m<sup>3</sup>, 제재목 288천원/m<sup>3</sup>, 루바 700천원/m<sup>3</sup>에 이르고 싸이딩과 바닥재는 630천원/m<sup>3</sup>으로 나타냈으나, 소비자 구입가격은 물류 및 유통마진 등이 포함되어 수입 건축부재보다 높은 가격구조를 나타내었다.

Table 2-34. The analysis of lumbering and processing cost

(Unit : thousand m<sup>3</sup>)

	Rounded lumber	Lumber	Louver board	Siding board	Flooring
Processing dimension	Ø 100× 3,600mm	45×45× 3,600mm	12×75× 3,600mm	38×89× 3,600mm	15×75× 3,600mm
Material wood cost	240	180	360	360	360
Processing	90	60	180	150	150
Processing cost	330	240	540	510	510
Exfactory price	416	260	700	630	630
Consumer price	531	288	960	795	927
Price of imported goods	-	255	882	657	800

Note) The price of imported building lumber elements is based on its selling price

### 3) 손익분기점 분석

#### 가) 분석방법

손익분기점이란 특정이익을 기준으로 하여 총수익과 총비용이 동일하게 되는 생산량 또는 생산액을 말한다. 즉, 영업이익이 0인 생산 또는 판매수준으로 영업이익의 채산성을 결정하는 분기점이다. 따라서 생산액 또는 판매액이 손익분기점보다 클 때는 영업이익이 +값이 되지만 그 이하일 때는 -값을 갖게 되므로 손

익분기점을 기준으로 영업의 이익과 손실을 판단할 수 있다.

손익분기점은 보통 수량(생산량, 판매량) 기준이나 금액(생산액, 판매액) 기준으로 표기한다. 수량기준의 손익분기점은 영업이익 기준의 손익분기점 개념에 따라 총수익과 총비용을 같게 놓고 계산한다. 즉, 총수입 = 총비용(고정비 + 변동비)으로 (식 2-3)과 같다.

$$Q \times P = TC(F + V \times Q) \dots\dots\dots(\text{식 2-3})$$

단위당 가격 (P)와 총고정비용(F), 그리고 단위당 변동비(V)를 알고 있다면 총수익과 총비용을 같게 만드는 생산량 또는 판매량(Q)을 계산할 수 있다. 즉, Q에 대해 정리하여 Q를 계산하면 이것이 바로 (식 2-4)와 같은 양을 기준으로 하는 손익분기점이다.

$$Q = F / (P - V) \dots\dots\dots(\text{식 2-4})$$

기업들은 대부분 여러 제품을 동시에 생산하고 있는 것이 보통이지만 기업의 손익계산은 제품마다 하는 것이 아니고 여러 제품을 통합하여 계산하는 것이 일반적이다. 따라서 각각의 제품별로 고정비와 변동비를 계산하지 않고 기업에서 생산하고 있는 생산제품 전체에 대해 손익분기점을 계산할 수 있는데 이것이 곧 금액기준의 손익분기점이다. 금액의 손익분기점은 수량기준의 손익분기점에서 제품 단위당 가격(P)을 곱해서 (식 2-5)와 같이 계산한다.

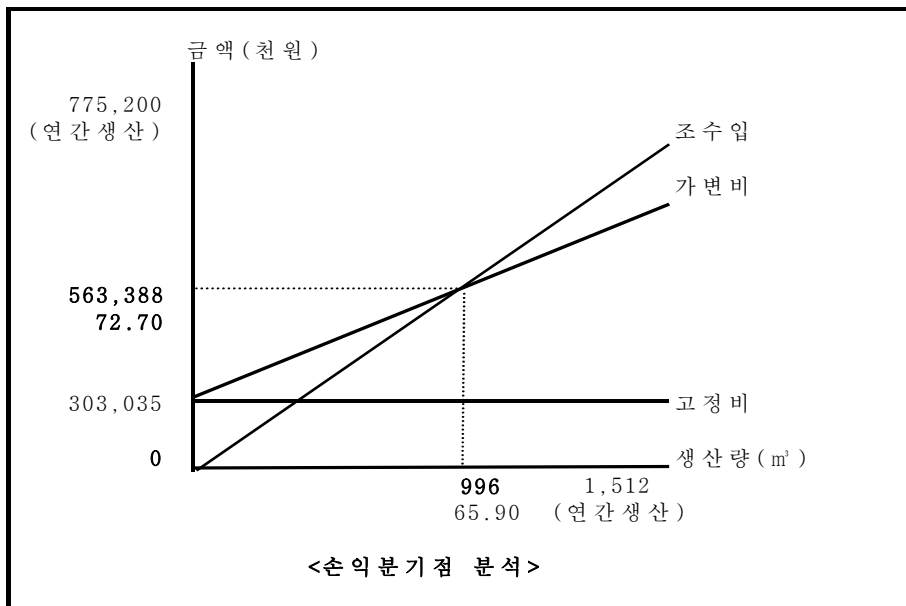
$$\begin{aligned} Q \times P &= (F / (P - V)) \times P \\ &= (P \times F) / (P - V) \\ &= F / (1 - V/P) \dots\dots\dots(\text{식 2-5}) \end{aligned}$$

나) 분석결과

사례조사 공장의 국산제를 이용한 건축부재 생산의 손익분기점은 생산량에서 연간 996m<sup>3</sup>(총생산량의 66%), 매출액 측면에서는 연간 563백만원(총매출액의 73%)으로 분석되었다. 따라서 이 이상의 생산량 또는 조수입을 올려야만 이익이 발생하는 것으로 분석되었다<Table 2-35>, <Fig 2-22>.

Table 2-35. Break-even analysis on the domestic building lumber elements processing mill.

	Yearly production scale	Break even point	Ratio participating in yearly production scale
Production(m <sup>3</sup> )	1,512	996	66%
Sales (Thousand won)	775,200	563,388	73%



## 나. 목조 입체트러스의 경제성

### 1) 목조입체트러스의 특징 및 장점

목조입체트러스는 작은 목재를 접합철물을 이용하여 이를 연결하여 중·대규모 목조건축물을 지을 수 있도록 구조를 설계한 것으로서 축구경기장이나 박물관 등 대규모 건축물 지붕에 활용될 수 있으며, 특히 철골조와 함께 복합구조로 시

공할 경우 그 활용도가 더욱 클 것으로 전망된다.

목조입체트러스는 2차원 구조인 경골 목조트러스보다 한 단계 더 발전된 형태로서 3차원 공간에 피라미트 모양의 구조체를 연속적으로 시공하는 구조형식이다. 따라서 35평 규모 건축물의 지붕을 3~4명이 목조입체트러스로 조립할 경우 8시간 내에 시공을 완료할 수 있으며, 앞으로 대량생산체계만 갖추어진다면 건축비도 상대적으로 매우 저렴하게 낮출 수 있는 가능성이 있을 것으로 판단된다. 새로 개발된 목조입체트러스는 목재의 용이 등 단점을 보완하고 재질과 미관의 장점을 극대화시켜 정밀하게 건축할 수 있는 아름다운 건축양식이다. 또한 건축물의 강도가 높고 매우 견고하며 치수가 정확하여 현장에서 시공하기가 매우 편리하며, 건축물의 중간에 기둥을 따로 설치하지 않고서도 넓고 멋진 실내공간을 연출할 수 있는 장점이 있다.

## 2) 목조입체트러스의 경제성 분석

목조입체트러스는 크게 입체트러스의 제조단계와 이를 시공하여 건축물을 완성하는 시공단계로 구분할 수 있다. 목조입체트러스를 제작하는 데에는 낙엽송 소경 원주재, 철물 joint connector, 와셔와 너트 등이 필요하다. 그리고 이를 조립하기 위해서는 원주재의 가공, 컨넥터 조립, 바 조립 등의 작업이 필요하다.

따라서 목조입체트러스 121㎡를 생산하는 데에는 낙엽송 원주재 등 재료비가 6,117천원, 조립 인건비가 1,705천원, 기타비용이 950천원 등 계 8,772천원이 소요되었으며, 이와 같은 규모의 철골 입체트러스를 제조하는 데에는 7,199천원이 소요되는 것으로 조사되어 목조입체트러스 제작비용이 철골입체트러스 제작비용보다 22%가 더 소요되는 것으로 분석되었다<Table 2-36>.

Table 2-36. Economic analysis for the wooden solid truss

(Unit : Won)

Classification	Wooden solid body truss (A)				Steel solid body truss (B)	(A/B)	
	Unit	Quant ity	Unit cost	Sum	Sum		
Solid body truss	Material -cost	Timber	m <sup>3</sup>	2.7	531,000	1,433,700	
		Joint connecter	unit	265	15,000	3,975,000	5,039,650
		Washer, nut	set	1,968	360	708,480	
	Labor -cost	Timber processing	unit	984	600	590,400	1,439,900
		Connecter jointing	man	5	83,000	415,000	-
		Bar jointing	man	10	70,000	700,000	-
		Other costs				950,000	719,950
		Sub total				8,772,580	6,479,550 122%
	Roofing materials	Material-cost		m <sup>2</sup>	128	41,400	5,299,200
Labor-cost			man	128	7,000	896,000	896,000
Sub total						6,195,200	6,195,200
Post	Material -cost	Steel posts	set	4	250,000	1,000,000	1,000,000
		Concrete	m <sup>2</sup>	4	50,490	201,960	201,960
		Iron	ton	1	330,000	165,000	165,000
		Figures	m <sup>2</sup>	20	4,400	88,000	88,000
		Paint	set	1	80,000	80,000	80,000
	Labor -cost	Painting	set	1	80,000	80,000	80,000
		Excavator		2	250,000	500,000	500,000
		Sub total				2,114,960	2,114,960
	Construction Cost		man	10	83,000	830,000	830,000
	Total Cost				17,912,740	16,339,660 110%	

한편 목조입체트러스 121m<sup>2</sup>를 제작한 후 이를 설치하기 위한 지붕재와 기둥재

를 준비하여 이를 완전한 건축물로 시공할 경우 총 비용이 17,912천원이 소요되어 같은 규모의 철골입체트러스를 완전히 시공하는 데 소요되는 비용 16,340천원에 비해 10%가 더 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 새로 개발된 목조입체트러스는 목재의 재질과 미관의 장점을 극대화시켜 정밀하게 건축할 수 있는 아름다운 건축양식이라는 점과 또한 건축물의 강도가 높고 매우 견고하며 치수가 정확하여 현장에서 시공하기가 매우 편리하며, 건축물의 중간에 기둥을 따로 설치하지 않고서도 넓고 멋진 실내공간을 연출할 수 있는 장점 등을 감안할 때 철골입체트러스보다 현재는 비용이 10%정도 고가이지만 앞으로 이를 대체할 수 있는 가능성도 있을 것으로 전망된다.

## 6. 제도적 지원체계 정립방안

### 가. 국산 건축부재 생산을 위한 자원육성 방안

#### 1) 목재 생산·이용 실태

정상적인 산림경영에 의한 주·간벌량은 연간평균 47.6% 수준에 불과 한 것으로 나타났으며, 피해지, 수종 갱신지 벌채와 같은 비임업적인 생산은 총 목재 생산량의 52.4%에 달하였다. 임지에서 벌채되는 물량의 대부분은 현장에서 임지폐잔재로 처리되고 있어 건축부재로의 활용 가능성은 거의 없는 실정이다<Table 2-37>.

Table 2-37. Principal cutting and thinning weight in domestic forestry.

(Unit : m<sup>3</sup>, %)

	Total	Principal cutting	Thinning	Species regeneration	Damaged tree	Hindrance tree	Etc.
Yield	824,942	226,547	166,097	186,031	157,433	4,369	84,466
Rate	100	27.5	20.1	22.6	19.1	0.5	10.2

Source : 『Report on production and Use of Domestic Timber』 each



province (1997 ~ 1999) average

Table 2-38. Yield of dominant tree species and its share('97~'99)

(Unit : m<sup>3</sup>, %)

	Total	Conifer				Broad leaved	etc
		Korea pine	Korea red pine	Japanese larch	Rigida	Oak	
Yield	824,942	327,802	22,386	69,769	126,645	176,116	102,224
Rate	100	39.7	2.7	8.5	15.4	21.3	12.4

Source : 『Report on production and Use of Domestic Timber』 each province (1997 ~ 1999) average

목재의 수종별 분포를 살펴보면, 전체 생산량의 66%를 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다가 차지하고 있으며 건축부재로 가장 많이 사용되는 낙엽송은 8.5%, 잣나무는 2.7%에 불과하다. 현재 생산되고 있는 낙엽송은 대부분 산림조합 가공공장에서 건축부재로 활용되고 있으나, 잣나무는 종실 채취를 목적으로 무육관리가 이루어져 용이가 많고 재질이 약해 건축부재로 사용하기에는 낙엽송보다 선호도가 떨어진다<Table 2-38>.

1997 ~ 1999년도 자료에 의하면 국내 목재생산은 펄프재 중심의 저급재가 대부분을 차지해 전체 목재생산량의 44%가 펄프·보드용에 사용되고 있고 건축토목용재는 14.3%에 불과하다. 연료용 목탄에 사용되는량은 5.3%로 조금씩 증가하고 있으나 갱목용은 해마다 줄어들어 3.1%에 불과하였다. 최근에는 물류부문에 목재수요량이 증가하여 포장용재와 파렛트용, 전선드럼 등에 이용되는 수입목재 물량이 증가하고 있으나 국산재의 이용은 많지가 않은 실정이다<Table 2-39>.

Table 2-39. The status of timber distribution with different uses('97~'99)

(Unit : m<sup>3</sup>, %)

	Pulp	Bed log	Const./Ci vil eng/ Furniture	Fuel Charcoa l	Mine timber	Farm timber	Laver farming timber/ Packagin g	Etc.	Total
Productio n	333,65 8	144,99 3	108,203	40,266	23,437	17,22 8	11,548	77,86 8	757,20 1
Rate	44.1	19.1	14.3	5.3	3.1	2.3	1.5	10.3	100.0

Source : 『Report on production and Use of Domestic Timber』 each province (1997 ~ 1999) average

Table 2-40. The classification scheme of timber production area for construction and civil engineering woods

District	Characteristic	Classification
Korean Pine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- District Classification</li> <li>·Classifying into 3 areas               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gangwondo-Northern coastal area of Gyungbuk</li> <li>- Western coastal area of Chungnam</li> <li>- Southern coastal area of Chunnam</li> </ul> </li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- District Characteristic</li> <li>·Around Gangwondo-Northern coastal area of Gyungbuk</li> <li>(1) - 73.8% of total production</li> </ul>	
Japanese larch	<ul style="list-style-type: none"> <li>- District Classification</li> <li>·Classifying into 2 areas               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chungbuk-Gyunggi-inland of Gangwon</li> <li>- Inland of Chunbuk</li> </ul> </li> <li>- District Characteristic</li> <li>·Around Chungbuk-Gyunggi-inland of Gangwon</li> <li>- 70.6% of total production</li> <li>· Increase of future production is forecasted</li> <li>· Centering about the production of principal cutting and thinning               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principal cutting 29%,</li> <li>- Thinning 49%</li> </ul> </li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area Classification</li> <li>·Classify the single district               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gangwon-Inland of Gyunggi</li> </ul> </li> <li>- District characteristic</li> <li>·97.1% of total production               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Centering about Gapyung-gun : 42%</li> </ul> </li> <li>·Centering about the production of principal cutting and thinning               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principal cutting 11%,</li> <li>- Thinning 83%</li> </ul> </li> </ul>	
Korean Red Pine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area Classification</li> <li>·Classify the single district               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gangwon-Inland of Gyunggi</li> </ul> </li> <li>- District characteristic</li> <li>·97.1% of total production               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Centering about Gapyung-gun : 42%</li> </ul> </li> <li>·Centering about the production of principal cutting and thinning               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Principal cutting 11%,</li> <li>- Thinning 83%</li> </ul> </li> </ul>	

Source : Bae JS, Park K, Kim W, J, Baek E, S, A Study on the Classification of Timber Production Areas, Korean Journal of Forest Economics Vol.9 No.1, 2001.

2) 국산 건축부재 자원육성을 위한 생산권역 설정

국내 자원의 분산과 소규모의 국내재 생산체계로는 외재와의 경쟁력에 한계가 있기 때문에 국내재의 비용 효율적인 자원육성을 위한 규모의 경제 실현 및 양질의 목재생산을 위해 생산권역을 설정하여 집중투자 할 필요가 있다 <Table 2-40 ~ 41>. 현재 국내재(낙엽송)대비 외재(라디에타과인)의 가격은 제재목 기준으로 80%수준이며, 부가가치가 높은 건축토목용 목재생산 역시 총 생산량의 14%에 불과한 실정이다<sup>1)</sup>.

① 양질의 건축용 목재생산 중심의 목재생산권역 설정

생산권역에 대한 선택적이고 집중적인 투자를 위한 생산권역은 산림자원량, 목재 생산량을 감안한 생산특화지수에 의해 설정된 생산지수에 의해 반영하였다.

② 국산재 건축용 목재의 경쟁력 제고를 위한 정책방안

설정된 목재 생산권역을 중심으로 『생산 → 유통 → 가공 → 소비자』가 참여하는 「권역별 국산재 협의체」 육성을 통해 임업기계의 공동이용 추진 및 종합목재 가공단지 조성에 관한 구체적인 정책방안 모색이 매우 절실하다.

Table 2-41. Principal timber production area and production site with different uses('97~'99)

Use	Principal timber production area	Production (m <sup>3</sup> /yr)	Production site
For cultural properties(Korean pine)	Gangwon-Northern coastal of Gyungbuk	20,258	Gangneung City
For construction and civil engineering	Japanese larch	42,421	Jechon City
	Korean red pine	10,893	Gapyung City

Source : 『Report on Production and Use of Domestic Timber』 each province (1997 ~ 1999) average

1) 배재수박경석김외장백을선, 목재생산권역 설정에 관한 연구, 한국산림경제학회 제9권 제1호, 2001.

## 나. 국산 건축부재 유통체계 개선방안

### 1) 집하장 운영의 활성화로 목재시장 형성

국산재 유통경로는 비교적 단순한 편이지만 가공공장까지 도달하기 위해서는 4~5개의 유통경로를 통해 공급되고 있기 때문에 국산재의 가격경쟁력을 고려한 유통구조 개선은 필요하다. 현재의 국산재 유통은 임목을 벌채하여 토장까지 반출하는데 드는 비용이 너무 과다한 실정이고, 수입원목과의 가격경쟁력을 유지하기 위해서는 유통단계의 조절이 필요하다고 본다.

벌출상의 입장에서는 생산원가의 절감에 한계에 부딪히면 자연히 산주에게 돌아가는 수취가를 낮게 평가하게 되며, 목재시장 내에서의 가격협상력도 낮아 제값을 받고 판매하기는 상당히 어려운 일이다. 이러한 문제를 바로 잡기 위해서는 제2항의 국산 건축부재 유통구조 및 시장실태조사 결과에 나온 여러 형태의 유통경로보다는 윈스톱 직거래 체제를 도입하여 활용하면 공급자와 구매자간의 상호 이익이 실현되어 더욱 안정적인 목재를 공급을 받을 수 있을 것이다.

### 2) 목재시장 유통정보 기능 구축

건축부재에 사용되는 목재를 전부 국산재에 의존하기보다는 국산재의 용도에 맞는 용도 개발이 매우 시급한 이때, 최근 산림청에서는 목재 사고팔기 사이버 직거래 운영체계를 시도하고 있는데 국산재의 활용도를 높이기 위한 제도개혁의 일환으로 목재분야 최초의 벼룩시장형 전자상거래로서 그 의미가 매우 크다고 할 수 있어 공급자와 소비자 모두에게 유용한 제도가 될 것으로 본다.

현재 산림조합중앙회 중부임산물유통센터의 경우 낙엽송 국산건축부재의 판매처별 판매비율이 자체사용(20%) 보다 건축업자(75%)에게 판매하는 물량이 대부분이며, 건축업 종사자들에게 선호도가 타 수종에 비해 높은 수종임을 감안 할 때, 향후 국산 건축부재로 활용가치는 매우 크다고 할 수 있다.

### 3) 국산재의 효율적 유통구조 개선방안

<Fig 2-23>에서는 국산재 건축용 목재의 안정적 공급과 수요 촉진을 위해 생산, 유통, 가공, 소비자가 참여하는 권역별 진흥협의체를 구성하여 목재시장을 형

상한 후, 사이버 마켓을 통한 직거래 원-스톱 유통체계 구축방안을 새롭게 제시하였다.

가) 기본구조 : 산주·목상(진흥협의회 등록) → 사이버 목재시장(목재집하장) → 제재·가공업체(진흥협의회 등록) → 소비자

나) 목재시장 진흥협의체 : 목재생산 권역별 산주, 벌채 및 가공업체, 산림조합, 국유림 및 지자체에서 주체가 되는 협의체를 구성하여 목재시장을 형성하게 되며, 목재집하장을 운영하되 물류창고 역할만을 수행하게 된다.

다) 임목벌채자 : 임목을 벌채하여 목재시장에 공급하기 위해서는 ‘목재시장 진흥협의체’를 통해 장기공급계약자로 우선 등록을 해야 하며, 계약 및 이행실적에 따라 임목벌채자금이 지원되도록 한다.

라) 제재·가공업체 : 가공업체에서 목재를 공급받기 위해서는 ‘목재시장 진흥협의체’와 연간 목재수급계약을 체결하여 원목을 공급받게 되며, 계약실적에 따라 일정량의 원자재구입자금을 지원받도록 한다.

마) 사이버 마켓 : 금융, 전자, 교통, 쇼핑 등의 모든 결제시스템이 사이버 상에서 이루어진다고 볼 때, 사이버마켓 목재시장에서도 수종별, 용도별, 규격별 선택의 폭이 훨씬 다양하게 이루어지는 장점이 있겠다.

사이버마켓 유통체계는 원목공급자와 구매자 모두에게 물류비용의 절감과 가격협상력이 안정될 것으로 예상된다. 이때 원목가격은 사이버마켓 내에서 자연스럽게 형성되는 가격구조를 갖게 될 것이며, 생산권역별 목재집하장에서 직접 원목을 공급받게 되는 단일 유통경로를 통해 지속적인 원목 공급과 안정적인 수급체계를 형성하여 궁극적으로는 국산재의 수요를 더욱 늘리는 계기를 마련하게 될 것이다. 특히 원목수집상에게 원자재를 공급받아오던 최종 원목소비업체는 새로운 유통체계를 통해 2단계 이상의 유통경로를 줄일 수 있어 제품 생산원가 절감에 크게 기여할 것이다.

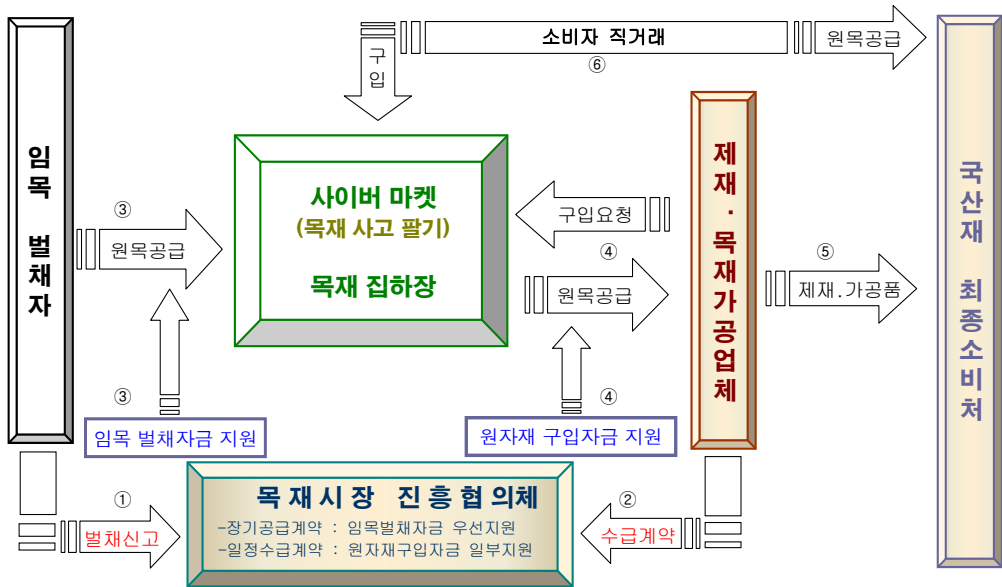


Fig. 2-23. Improvement on the distribution structure of domestic building lumber elements

#### 4) 국산재 건축부재의 안정적 생산·공급을 위한 지원대책 방안

국내 목재산업은 수입원자재에 대한 의존도가 매우 높은 가운데 가공제품에 대한 수입규모도 갈수록 증가 추세에 있다. 이러한 수입원자재 증가는 국내 목재가공산업의 경쟁력을 약화시키는 주요인으로 임업의 산업화를 저해하며, 건축·가구 산업자재의 내수공급기반 약화를 초래하고 있는 실정에 있다. 따라서 국산 건축부재의 국제 경쟁력 확보를 위한 전략적 기술 개발을 위해서는 생산공정의 자동화, 제품성능의 특성화, 제품수요의 다양화 방안이 절실하다.

##### 가) 국산 건축용목제품 가공공장 중점 지원체계 정립

국산 건축부재 가공공장에서의 건축가공품 생산은 수요처의 불안정으로 인해 대량생산 체제가 어려운 실정이다. 국산재는 가공성이 약해 품질이 떨어진다는 혹평과 함께 가격 또한 수입재에 비해 높아 국내 목조주택 건축업체에서 기피하고 있다. 이러한 현상으로 국산 건축부재 가공공장에서는 자체 생산과 시공까지 겸하여 비용절감을 꾀하고 있다. 따라서 대량생산 체제보다는 주문생산에 의한 가공공장을 운영하고 있었으며, 생산품의 조립 및 시공판매에 의해 손익을 보전

하고 있었다.

국산 건축부재의 활성화를 위해서는 중점지원 체계를 구축하여 주요 목재생산 권역별 생산단지과 가공단지를 조성하여 전담인력이 전문생산 및 유통을 할 수 있도록 일정규모 이상을 유지해야 할 것이다. 가장 근본적인 제도지원 체계 정립 방안으로는 규모의 경제를 살려 생산원가의 절감을 통해 품질을 향상시킬 수 있도록 중점 지원 대상품목을 설정하여 정책적인 지원이 반드시 수반되어야 국산 건축부재 수요 확대에 대한 긍정적 평가가 있을 것으로 본다.

#### 나) 국산 건축부재 가공기술 개발

##### (1) 제재기술 개발

국산 소경재의 적정 제재방법 개발과 제재공장 설비의 규모별 적정 생산공정 구명을 통해 제재목 생산원가 절감 방안을 찾을 수 있으며, 수입재와의 가격경쟁력을 확보 할 것이다.

##### (2) 목재방부기술 개발

주요 목재방부제(CCA, BB, PF계 및 클로르덴)의 방부효과를 구명하여 방부처리 기준을 작성·보급함으로써 목조주택 외장재의 내구성을 향상시키기 위한 기준 약제의 효능 개선 방안이 이루어져야 할 것이다.

##### (3) 건축부재 가공기술 개발

건축부재의 가공기술을 개발하여 현재 유통되고 있는 부재의 질적 행상을 도모 하고 가공제품의 특성평가를 통해 수입재와의 경쟁력유지가 매우 필요하다.

##### (라) 집성구조재 제조기술 개발 및 확대

국내에 제조되는 집성구조재는 K업체 1곳에서 생산하고 있으며 국산재 전량 국산재를 활용하고 있다. 그러나 제조기술이 요구되고 초기투자비용 소요가 많아 타사에서 쉽게 접근하기 어려운 점이 있다. 최근 집성구조재에 관심이 많은 업체에서는 재장이 짧고 ply수가 작은 간단한 집성구조재 제작 실험을 계속하고 있으나 기술력이 떨어져 쉽지만은 않을 것으로 본다.

그러나 집성평판 제조는 중부 임산물유통센터에서 제조되는 판면 품질은 색상이나 용이 등은 수입재보다 품질이 낮으나 접착성, 접착 내구성 등은 수입 집성재



에 비해 손색이 없는 것으로 잘 나타나 있다<Table 2-42>. 또한 국산 집성재를 내장재로 이용할 경우 용이를 디자인적으로 이용할 수 있는 장점도 있으나, 가격 경쟁력에서 수입재보다 떨어지는 단점이 있다. 집성재 제조수율은 수종, 산지, 직경, 집성재의 두께, 집성재의 판매품질 등 수율을 좌우하는 인자가 너무 많아 일괄적으로 판단하기는 어렵기 때문에 이에 대한 기술개발과 제조업체의 확대가 이루어진다면 건축부재용 국산재 수요는 충분히 늘어날 것이다.

Table 2-42. Bondability and durability of domestic laminated timber with species

Species	Bondability (kg/cm <sup>2</sup> )	Rate of wood failure(%)	Rate of dip delamination (%)	Rate of boiled delamination (%)
Korean pine	95	95	1.4	0.7
Korean red pine	91	96	0	0
Japanese larch	105	93	1.8	3.2

※ 1) The excellent Bondability and wood failure based on KS Standard : Korean pine, Japanese larch(Bondability 72kg/cm<sup>2</sup>, Rate of wood failure 64%) Korean red pine(Bondability 66kg/cm<sup>2</sup>, Rate of wood failure 65%)

2) KS Standard : Under 5% delamination rate

다. 목재주택 확대를 위한 목조구조물 구조제한 개정

#### 1) 건축물의 구조내력에 관한 기준 현황

목조 건축물의 구조제한(건축물의 구조내력에 관한 기준 제 6조)에서는 높이 13m(최대높이 9m)미만, 연면적 3,000m<sup>2</sup>미만으로 제한하고 있다. 연면적 1,000m<sup>2</sup>이상의 경우 매 1,000m<sup>2</sup>마다 방화구획으로 하는 건축법시행령 제 46, 57조에 규정하고 있으며, 스프링클러 기타 이와 유사한 자동식 소화설비를 설치한 경우에는 바닥면적 3,000m<sup>2</sup>마다(방화)구획(건축물의 난방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제 14조 1항 1호)에 명시되어 있다.

시행령 제 56조에 의한 용도 이외의 건축물은 상기 구조제한의 범위이내에서 목

조로 시공가능하나, 목조공동주택 시공은 건축법 제 40조, 시행령 제 56조에 의거 허용이 불가한 상태이나 외국의 경우, 목조공동주택 시공시 미국은 5층, 일본은 3층까지 허용하고 있기 때문에 이 부분에 대한 국내 연구팀의 연구결과를 제시하여야 하며, 연구결과에 따라 건설교통부와 행정자치부, 환경부 등과의 지속적인 협의가 필요한 부분이다.

## 2) 목조 건축물의 구조제한 개선사항

목구조 설계기준(안) 작성(대한건축학회와 공동 개발)시 목조 3층 공동주택 등 포함하여 국산재 목조건축의 적정 내화구법 모델을 개발하고, 국산재 목조건축 벽체 및 바닥 부위별 내화성능 평가를 통해 벽체 및 바닥의 내화성능의 구멍이 요구된다.

## 3) 제도개선을 위한 전제조건

현재 목조주택 시공사와 건축부재 생산업체에서 국내 목조주택 활성화를 위해 건축, 소방법규 등에 대한 개정을 시도하고 있으나 아직 확실한 결론은 유보되어 있는 상태이다. 국산재의 내화구조 연구결과 확보를 위해 벽체·바닥 부위별 내화성능 평가 및 내화구조법 개발이 이루어져야 하며, 건축법규중 목조건축관련 내화규정 개선(안)을 개발하여 목조 공동주택 세부규정 및 대규모 목조건축 관련 규정을 부처간 의견조정을 통해 시행되어야 할 것이다.

# 제4절 결 론

본 연구는 국산 건축부재의 생산 및 유통실태를 조사하고, 목조주택 선호도 분석을 위해 전국을 4개 권역(수도권, 충청, 경상, 호남권)으로 나누어 1,500명을 대상으로 분석하고, 목조주택의 수요를 예측하였다. 그리고 국산 건축부재 생산의 원가를 분석하고 제품 생산의 손익분기점을 분석하였다.

## 1. 국산 건축부재의 생산 및 유통실태

국내 건축재 생산은 1999년 현재 80천m<sup>3</sup>으로 전체 목재생산량의 8.5%를 차

지하였다. 국산 건축부재로 사용되는 국산재의 주요 수종은 낙엽송, 잣나무, 소나무로서 건축부재용 원목의 유통경로는 크게 5단계로 나타났다. 단계별 유통경로는 ①제1경로: 산주→목재집하장→수요자 ②제2경로: 산주→목재집하장→임산물유통센터→수요자 ③제3경로: 산주→임산물유통센터→수요자 ④제4경로: 산주(목상)→수요자 ⑤제5경로: 산주(목상)→제재소→수요자 형태이었다. 임목벌채자는 판로를 미리 정해놓고 임목을 벌채하고 있었으며, 가공업체도 소품목 주문생산에 의해 생산·판매하는 것으로 조사되었다.

## 2. 국산 건축부재 유통구조 및 시장실태

건축부재는 품목별로 가공정도에 따라 평균 500%에 달하는 마진율이 발생하고 있으며, 주요 건축부재인 낙엽송의 판매처별 판매율은 자체사용이 20%, 시·군 산림조합 가공공장 판매 5%, 소비자 직판(건축업자) 75%로 나타났으며, 품목별 판매액 비중의 순위는 루바> 집성재> 원주재> 구조재> 사이딩> 몰딩류 순으로 나타났다.

## 3. 목조주택의 소비자 선호 및 수요전망

- (2) 목조주택 선호도 분석을 위해 전국을 4권역(수도권 657명, 영남권 611, 호남권, 149명, 충청권 83명) 1,500명에 대한 표본조사를 실시하여 수요예측, 지각도, 가격 민감도, SWOT분석 결과를 얻었다.
- (3) 응답자 중 29.1%가 향후 목조주택의 구입의사가 있었으며, 목조주택의 용도로는 별장·레저용이 65.8%, 노후 주거용이 20.9%이었다. 목조주택의 평당 구입희망가격은 296만원으로 분석되었다. 목조주택이 개선되어야 할 점으로는 저렴한 가격(55.4%)과 화재에 안전(55.2%)하게 해야 한다고 하였다.
- (4) 목조주택 수요예측 결과, <sup>1)</sup> ‘반드시 구입하겠다’로 응답한 결과와 <sup>2)</sup> ‘월 소득 1,000만원 이상 구입자’를 대상으로 분석한 결과, 2010년에 20,521명, 2020년 39,193명으로 예측되었다.

## 4. 국산 건축부재 생산의 경제성 분석 및 제도정립 방안

국산재를 이용한 건축부재의 원가를 분석한 결과, 제재목은 288천원/m<sup>3</sup>, 루바 960천원/m<sup>3</sup>, 싸이딩 795천원/m<sup>3</sup>, 테크 927천원/m<sup>3</sup>이었다. 건축부재의 연간 생산 규모는 1,512m<sup>3</sup>(775백만 원)인 공장의 경우, 영업이익이 0인 손익분기점은 생산량 기준 996m<sup>3</sup>(총생산액의 66%)이고, 생산액 기준 563백만 원(총 생산액의 73%)으로 분석되었다. 목조입체트러스 제조 및 시공비는 일반 강재입체트러스의 시공비에 비해 10% 높게 나타났으나, 대량생산 시스템이 정립되고 목재가 갖는 인체 친화적 특성을 감안한다면 충분히 경쟁력이 있을 것으로 분석되었다.

국산재 건축용 자원육성을 위한 목재생산권역을 설정한 결과, 낙엽송은 충북-경기-강원을 연결하는 내륙생산 권역, 잣나무는 강원-경기를 연결하는 내륙생산 권역, 소나무는 강원-경북북부를 연결하는 동해안 생산권역을 설정하여 집중투자 방안을 제시하였다.

이러한 분석결과를 바탕으로 국산 건축부재의 생산원가 및 물류비용 절감과 수입 건축부재의 틈새시장을 개척하기 위한 생산, 유통, 가공, 소비자가 참여하는 생산권역별 진흥협의체를 구성하여 목재시장을 형성한 후, 사이버 마켓을 통한 직거래 원스톱 유통체계(안)을 구축하였으며, 국내 목조주택 시장 활성화를 위한 건축 및 소방법규에 대한 개정 및 보완을 위해서는 내화성능 평가를 위한 내화성능 구멍이 매우 필요한 것으로 제시하였다.

## 참 고 문 헌

1. 김진성 외 3인 공저, 유통경로구조론, 법경사, 1998.
2. 미국임산물협회 한국사무소, 1999목조주택 기술세미나 자료집, 1999.
3. 배재수, 박경석, 김외정, 백을선, 목재생산권역 설정에 관한 연구, 한국산림경제학회 제9권 제1호, 2001.
4. 산림청, 2001 산림기본통계 1-4권, 2002.
5. 산림청, 2002 임산물수출입통계, 2003.
6. 산림청, 국산 목조주택모델개발, 충남대학교 농업과학연구소, 1999.
7. 산림청, 임업통계연보 제 31호, 2001.
8. 석현덕 외 7인 공저, 임산물수출 확대 방안 제2권, 한국농촌경제연구원, 1999.
9. 유동근, 이용기 공저, 『마케팅 수요예측』, 예지각, 1997.
10. 이성연, 주원원, 김외정, 목재인증제도의 동향, 임업연구원 연구자료 제156호, 1999.
11. 이위식, 한호영, 양일모, 로지스틱관리론, 한울출판사, 2000.
12. 이정환, 조덕래, “농산물 수요의 장기예측 - 모형개발과 2001년도의 적용”, 농촌경제 6-3호, 1983.
13. 일본생산성본부, 『신제품 신시장 개발의 실천과 과제, 사례연구 중심으로』, 1982.
14. 임업연구원, 임업경제동향 임업연구원 연구자료 제195호, 제201호, 2002.
15. 정충영 공저, 『수요예측의 방법』, 한국경제신문사, 1987.
16. 한국목조건축연구포럼, 목조문화제 수리공사 시방, 2002.
17. 한국목재공학회, 2001 추계학술발표논문집 39-42, 2001.
18. 한국임정연구회, 국산재 생산·공급체계 구축을 위한 합리적 방안 연구, 산림청, 2000.
19. Abraham, B and J. 『Ledolter, Statistical Methods for Forecasting』, Wiley, 1983.
20. Loudon, D. L, and Della Bitta, A.J, 『Consumer Behavior』, 4th Edition McGraw-Hill, Inc. 1993.
21. Rogers E. M., 『Diffusion of Innovations (3rd ed.)』, New York: Free

Press, 1971.

22. Sultan, F., J. U. Farley and D. R. Lehmann, "A Meta-Analysis of Applications of Diffusion Models," *Journal of Marketing Research*, Vol. 27, pp. 70 ~ 77, 1990.
23. 小原笠正雄, 國産材 流通システムの整備の方向, 木材備蓄機構, 1990.

## 제3장 국산재의 최적 건조기술 개발

### 제1절 서론

국산재를 구조부재로 사용하기 위해서는 좋은 형질을 지닌 침엽수를 키우는 것도 중요하지만, 건조를 통해 사용 중에 발생할 수 있는 건조결함을 줄이고, 가공시 발생하는 손실분을 줄여 수율을 향상시키는 것 또한 중요하다 할 수 있다.

목재는 이용하는 상태에 알맞은 함수율까지 건조시켜 사용하여야만 사용 중에 발생할 수 있는 할렬, 찌그러짐, 비틀림 등의 결함을 방지할 수 있다. 관행 열기 건조에 비해 건조속도가 빠르고 결함이 덜 발생하는 건조방법이 요청되어 개발된 건조방법 중 하나가 고온건조법이다. 고온건조에서는 100℃ 이상의 열기 온도를 적용함으로써 자유수가 비점 이상으로 가열되어지면 목재 내부에 압력이 발생한다. 목재내의 수분을 유체동력학적 유동에 의해 이동시킴으로 인해 건조속도가 상승하는 효과가 있다. 고온건조는 열기건조보다 건조시간이 4~10배 정도 단축된다고 알려져 있으며 에너지가 25~60% 절약되고 건조실 면적 소요가 적은 장점이 있다. 반면 강한 건조조건에 의해 비틀림이나 찌그러짐 등의 건조결함이 발생할 가능성이 높다. 고온건조는 침엽수 건조에 유리하다고 알려져있기는 하지만 국산 침엽수재에 적용하기 위해서는 그 건조특성을 구명된 연구가 거의 없어 국산 침엽수의 대표적인 수종인 소나무, 잣나무, 낙엽송에 대해 고온건조법을 적용하여 건조특성을 구명하려 한다.

국산 침엽수재 중에 간벌에 의해 생산되는 낙엽송이 유용한 자원이 될 수 있다. 간벌재에는 직경이 30cm이하의 중소경재가 많으며, 중소경재에는 미성숙재를 많은 양 포함하고 있어서 건조특성과 건조에 의한 틀어짐 정도가 심하기 때문에 그 성질을 구명할 필요가 있다. 수율을 개선시키기 위해, 건조 수율을 조사하고 SDR법에 의한 구조부재 생산을 통해 수율개선을 도모하였다. SDR법과 더불어 건조시 상부에 압체를 가하여 기계적으로 목재가 틀어지는 것을 감소시키도록

하였다. 목재의 틀어짐을 억제함으로써 틀어짐에 의한 목재의 손실을 감소시켜 건조수율과 2차가공 수율을 향상시키는 것을 목표로하였다.

고온건조법을 적용함에 있어서 잣나무의 경우에는 재색이 담색으로 변하는 현상을 보인다. 내장재로도 사용되는 잣나무에 발생하는 재색열화는 미관적인 면에서 악영향을 끼친다. 잣나무 고온건조시 재색 열화반응 기구를 구명하여 재색 열화를 방지할 수 있는 기술을 개발하여, 잣나무에도 고온건조를 적용하여 빠른 시간에 건조하여 생산속도를 향상시키는 데에 기여하고자 하였다.

목재를 건조함에 있어서 목표함수율에 도달하는 즉시 건조를 종료하기 위해 건조 종료시점의 탐지는 중요하다. 목표함수율에 도달하기 전에 건조를 종료하게 되면 사용 중에 함수율 감소로 인한 수축이 발생하여 건조결함을 유발할 수 있다. 반면 목표함수율이 도달한 후에도 계속 건조하여 과건하게 되면, 사용중에 함수율 증가로 인한 팽창이 발생하여 건조결함이 발생할 수 있으며, 건조에 소요되는 에너지도 낭비하게 된다. 건조 과정을 지속적으로 관찰하고 있기는 어려우므로, 함수율 측정을 공정 중에(on-site) 실시함으로써 실시간으로 함수율 감소를 측정하고, 목표함수율에 도달하는 시점에 정확히 건조를 종료하여 에너지 낭비와 건조결함 방지를 도모하였다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 고온건조 특성 및 건조결함 예방기술 개발

#### 가. 건조 온도에 따른 건조 특성 조사

구조용 건축부재의 생산수율 개선을 위한 SDR(Saw-Dry-Rip) 건조방법의 적용가능성을 타진하기 위해 국산 잣나무를 대상으로 고온건조 특성을 조사하였다. 이는 일반적으로 침엽수재의 건조성이 양호하여 건조재의 품질향상보다 건조시간의 단축에 더 많은 관심이 집중되기 때문이다. 공시재는 중부임업시험장에서 분양 받은 잣나무 원목으로 하였으며 두께 5.5cm의 flitch로 평할제재(live sawing)하였다. flitch는 재간 풍속이 2.2m/sec. 이상인 공기순환식 열기건조기에



서 건조온도를 100℃, 120℃, 140℃로 적용하여 건조시간에 따른 함수율 경과를 조사하였다

#### 나. 틀어짐 방지를 위한 적정압체조건 설정

중소경 국산침엽수재에 필연적으로 포함된 미성숙재와 압축이상재의 비정상적인 수축거동으로 인해 발생하는 틀어짐을 방지하기 위해 top loading에 의한 압체건조를 실시하고 그 효과를 조사하였다. 공시목재는 내장용으로 가평임업협동조합에서 구입한 3×15×380cm (두께, 폭, 길이) 판재를 사용하였다. Top loading을 위해 2cm 두께의 철판 900kg을 잔적 상부에 하중으로 적용하였으며 이때 사잇대를 통해 목재에 가해지는 압력은 55.86kPa이었다. 한편 Top loading에 의한 틀어짐 방지효과를 비교하기 위해 잔적 상부에 비압체 조건의 판재를 함께 넣어 건조하였다. 건조조건은 갈변색 발생의 우려가 없는 70℃를 적용하였으며, 건조가 진행되는 과정에 일정 시간 간격으로 판재의 중량변화를 측정하여 건조경과를 예측하고 이로부터 건조종료시점을 판정하였다. 본 시험을 위해 잔적용량 4.5m<sup>3</sup> 규모의 Hilderbrand식 내부송풍형 열기건조실을 사용하였으며 1회 건조에 적용한 판재는 모두 175매(2.99m<sup>3</sup>)였고 2회 건조하였다. 건조가 종료된 후 압체 및 비압체 판재의 최종함수율 분포와 함께 뒤틀림(twist), 옆굽음(crook), 너비굽음(cupping) 등의 틀어짐 발생량을 조사하여 top loading 효과를 비교하였다. 본 시험에 사용한 판재의 잔적형태와 압체조건은 그림 3-1과 같이 하부에 압체력을 받는 잔적을 하고 그 위에 상부압체를 한 후 그 위에 비압체 건조재를 잔적하였다.

#### 다. 잣나무, 소나무 3cm 판재의 압체건조

두께, 폭, 길이가 3×15×360cm 인 잣나무, 소나무 판재 각 342매에 대해 건조온도별 건조특성과 압체건조에 의한 틀어짐 방지효과를 조사하였다. 건조온도별 건조특성은 60cm로 재단한 판재의 양 마구리를 실리콘으로 앤드코팅 한 후 내부용적이 0.73m<sup>3</sup>인 내부송풍형 건조실에서 일정 시간 간격으로 시험편의 중량변화를 조사하였다. 이 때 적용한 온도조건은 80℃, 90℃, 100℃, 110℃, 120℃, 130℃, 140℃ 등 7 조건이었으며 각 온도조건 별로 5개씩의 판재를 측정하였다. 압체건조에 의한 틀어짐 방지효과는 잔적 상부에 1,000kg의 하중을 가하는 방법을 적용하였다. 압체건조와 비교하기 위해 압체하중 위에 무압체 판재를 잔적하

였으며 압체와 비압체의 비율은 2:1이었다. 건조온도는 잣나무의 갈변색 방지를 위해 70℃ 정온을 적용하였다. 1회 건조에 투입된 판재는 2.25m³ 규모였으며, 잣나무, 소나무 모두 2회 반복하여 총 11m³을 건조하였다. 건조가 종료된 후 최종 함수율과 틀어짐을 측정하였다.



Fig. 3-1. Top loading for stack of 3cm-thick boards.

Table 3-1. Number of drying times and volume.

Species	RUN(dimension)	Number of boards	Volume(m³)
Korean red pine	5 times(2×6)	257	8.14
Korean white pine	7 times(2×4)	318	12.5
Japanese larch	3 times(2×4)	253	6.8
	8 times(2×6)	263	11.8

## 2. 중소경재의 건조수율 향상기술 개발

중·소경재로부터의 구조부재 생산수율 향상을 위해 국산 침엽수인 소나무, 잣나무와 낙엽송을 평할제재에 의한 고온 압체건조를 적용하였다. 공시원목은 임업연구원 중부임업시험장에서 분양받아 공시하였다. 공시원목은 말구직경법에 의해 제적을 산출한 후 두께 5.5cm 두께로 평할제재하였다. 이때 평할제재의 1차 제재

수율을 계산한 후 70, 80, 100, 120℃의 건조조건을 적용하여 건조하였다. 소나무와 낙엽송은 주로 120℃에서 고온건조하였으나, 잣나무는 변색방지를 위하여 70℃만을 적용하여 건조하였다. 수종별 건조 회수와 판재수 및 재적은 표 1과 같다. 판재의 기각율은 비틀림의 양을 측정하여 판단하였는데, 여척을 고려한 치수보다 비틀림이 큰 경우 기각하였다. 이때에는 판재의 비틀림의 각도를 기준으로 하여,  $\tan \alpha > (t - 38)/2d$ 인 경우 기각하였다(그림 3-2).

원목에서부터 제재목까지의 1차가공수율(제재수율), 제재목에서부터 건조후까지의 건조수율, 건조재에서부터 평삭처리를 통한 구조부재생산까지를 2차가공수율을 압체조건별로 구하여, 상부압체에 의한 틀어짐 억제효과와 그에 따른 수율 향상효과를 구명하였다.

압체건조는 잔적상부에 3,000kg의 하중을 가하였다. 건조가 종료된 후 최종 함수율과 틀어짐을 측정한 후, 최종 대패가공을 통해 2×4 구조부재를 생산하였으며 동시에 2차가공수율을 조사하였다. 한편 평할제재의 건조특성을 조사하기 위해 두께, 폭, 길이가 5.5×10×60cm인 시험편을 제작한 후 앞의 4 건조조건에서 건조속도를 측정하였다.

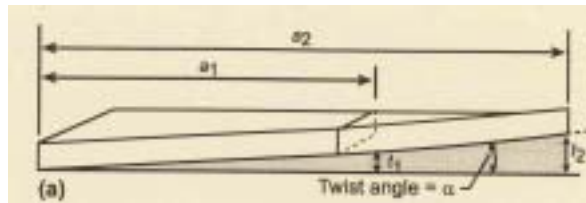


Fig. 3-2. Twist measurement method.

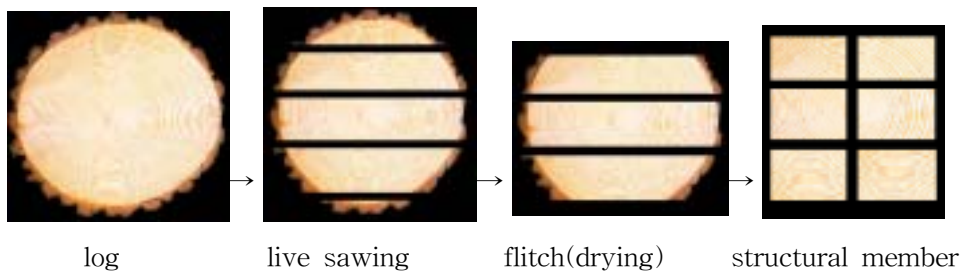


Fig. 3-3. Processing flow from log to structural member.

### 3. 잣나무의 열기건조 재색열화반응기구 해명 및 방지기술 개발

#### 가. 갈변색 원인 물질 탐색

##### 1) 색도 분석

잣나무 건조재에서 관찰되는 갈변색의 발생을 조사하여 갈변색 방지를 위한 적정 건조조건을 탐색코자 하였다. 갈변색의 발생 정도는 각 시편의 크기를  $2.5 \times 2 \times 1.5$ (cm)의 크기로 절삭한 뒤 표면을 매끄럽게 연마하고, 갈변색의 발생이 완전히 구분되는  $120^\circ\text{C}$ ,  $140^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$  및 대조구로  $80^\circ\text{C}$ 에서 24시간동안 노출시켜 변색을 유도하고, 변색된 건조재는 Technidyne corporation 사의 Brightimeter (Micro S5)를 사용하여 L, a, b를 측정하였다.

고온 건조 변색재의 현미경 관찰을 위해 갈변색 발생처리 시료를 사용하여 접선 단면을 관찰하였으며, 이때 사용한 기기는 Dongwon microscope사의 OSM-1 현미경과 BMI plus program을 사용하여 400배 배율로 관찰하였다.

##### 2) 화학 조성분 분석

홀로 셀룰로오스, 산불용성 및 산가용성 리그닌과 알코올-벤젠 추출물 함량은 TAPPI Standard에 의해 분석하였다.

##### 3) 유기 용매 추출성분 분석

알코올-벤젠(1:2) 추출물의 화학 성분을 실리카겔 박층크로마토그래피와 가스 크로마토그래피-질량분석기로 분석하여 건전재와 변색재간의 차이점을 분석하였다.

##### 4) 연속 용매 추출액의 UV 분석

$2.5 \times 2 \times 1.5$ (cm)의 크기로 잣나무 심재의 시편을 제작한 후  $150^\circ\text{C}$ 에서 24시간 동안 노출시켜 변색을 유발하였다. 이 시편들을 기건 상태로 36시간 방치한 후에 Sonicator(Brason社)에서 ethylether, 에탄올, alcohol-benzene, 열수 순으로 추출을 실시하였으며, Sonicating 시간은 각각 2시간으로  $25^\circ\text{C}$ 의 항온 수조 내에서 실시하였으며 이때 추출된 시료는 syringe filter로 filtering을 한 후 농축시켜 UV Spectrum을 관찰하였다.

#### 5) 갈변색 원인 물질 구조동정

잣나무 고온건조에서 발생하는 갈변색의 원인물질을 탐색하기 위해 80℃에서 2일간 건조하여 변색된 시킨 목분을 공시재료로 하였다. 원인물질의 탐색은 알콜-벤젠 추출물로부터 변색 유발물질을 용매 분획한 후 TLC를 사용하여 물질을 분리하였다. 분리된 물질은 질량분석과 NMR 분석을 통해 구조동정하였다.

### 4. On-site 함수율 측정기술 개발 및 최적건조기술 실용화

#### 가. 함수율 측정 센서 개발

건조 종료시점의 정확한 탐색을 위한 on-site 함수율 측정기술을 위해 고주파를 이용한 함수율 측정 센서를 개발하였다. 그림 3-4와 같은 모양으로서 센서는 세 개의 핀을 가지고 있고, 가운데 핀에서 고주파를 발진하면 양쪽 핀에서 고주파를 받아 그 사이의 고주파 유전율을 통해 함수율을 계산하였다. 이 센서를 이용하여 그림 3-5와 같은 방법으로 잔적 내에 삽입한 후 지속적으로 함수율을 측정하였다. 이 센서를 컴퓨터에 연결하여 건조과정을 제어하는 모니터가 그림 3-6에 나타나있다.

#### 나. 공시수종

소나무와 낙엽송 길이150cm×두께5cm×폭240cm의 판재를 공시하여, 건조 중 함수율 측정을 센서를 통해 실시간으로 행하였다. 동시에, 시험재를 선정하여 4시간 간격으로 전건법을 통해 함수율을 산출하여, 센서를 통해 얻은 함수율과 전건법에 의해 계산된 함수율을 상호 비교하였다.

#### 다. 데이터 보정

센서를 통한 함수율 측정시 발생한 오차를 수정하기 위하여 공시재의 밀도와 유전율을 인자로 하여 보정을 하였다.



Fig. 3-4. Moisture content sensor with three pins.



Fig. 3-5. Moisture content sensor inserted in the stack.



Fig. 3-6. Control screen using MC sensor.

## 제3절 연구결과

### 1. 고온건조 특성 및 건조결합 예방기술 개발

#### 가. 건조온도에 따른 건조특성 조사

##### 1) 잣나무재의 고온건조 특성

두께 5.5cm flitch에 대한 온도별 고온건조 특성은 그림 3-7과 같다. 120℃ 건조 조건에서 초기 함수율 경과가 100℃ 및 140℃ 조건에 비해 완만하게 진행되는 원인은 건조실에 잔적한 건조재의 수가 100℃ 및 140℃ 경우보다 많기 때문이며 이로 인해 건조초기 건조재 온도상승에 건조에너지가 많이 소비되기 때문이다. Flitch 재의 초기 및 최종 함수율과 목표 함수율 13%에 도달하는데 소요되는 건조온도별 건조시간은 표 3-2와 같다. Flitch재는 고온조건을 적용할 경우 1~3일 이내에 건조를 완료할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 갈변색이나 틀어짐 등의 건조결합을 무시한다면 고온건조는 건조스케줄을 적용한 관행 열기건조에 비해 건조시간의 단축에 매우 효과적이며 이로 인해 장기간 건조실에 운전자본이 묶이는 문제점을 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 판단된다. flitch를 이용한 SDR 건조기술은 최종 제품 생산을 위한 건조후의 2차가공 수율 등을 고려하는 연구는 2차 및 3차년도에 행하였다.

Table 3-2. Drying time for Korean white pine flitch during high-temperature drying.

Drying temperature (℃)	IMC (%)	FMC (%)	Drying time to 13% MC (hrs)
100	79.0	7.5	67
120	74.1	7.5	53
140	69.3	8.2	22

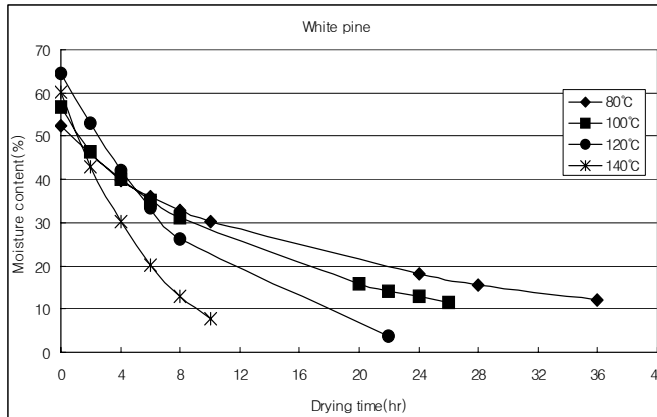


Fig. 3-7. Drying curve for Korean white pine boards during high-temperature drying

나. 틀어짐 방지를 위한 적정 압체조건 설정

1) 잣나무 3cm 판재의 건조 특성

본 연구에 적용한 잣나무 3cm 판재의 초기함수율은 평균 58.1(±1.7)% 였다. 건조조건으로 설정한 70°C에 도달하는데 소요되는 시간은 건조초기에 4시간이었으며 함수율 시험편의 측정을 위해 건조실을 개방한 후 재 가동했을 때 70°C에 도달하는 시간은 평균 2시간이었다. 초기에 70°C에 도달하는 시간이 더 길게 소요되는 원인은 건조재의 초기 온도 상승에 많은 에너지가 소요되기 때문이다.

잣나무 3cm 판재의 건조시간에 따른 함수율 경과는 그림3-8과 같다. 최종 목표함수율로 설정한 13%에 도달하는데 소요된 건조시간은 약 2.9일(70시간)로 추정되었다. 그러나 건조 중에 건조실의 함수율 경과를 on-site 방식으로 감지할 수 없는 문제점 때문에 건조가 종료된 후 전체 판재에서 측정한 최종함수율은 5.2%(±1.7)로 다소 과건된 결과를 나타내었다. 이는 건조소요 에너지가 필요 이상으로 소비되는 결과를 초래하고 틀어짐이나 표면경화 등 건조재의 품질이 저하되는 문제점을 야기할 수 있다.

2) 틀어짐 억제효과

Top loading에 의한 압체건조재와 비압체 건조재에서 측정된 틀어짐의 종류 및 발생정도는 표 3-3과 같다. 건조 후 2차 가공과정에서 가공수율 저하에 가장



크게 영향하는 뒤틀림(twist)은 압체건조에 의해 약 50% 가량 감소할 수 있는 것으로 밝혀졌으나 당초 예상한 80~90%에는 크게 못 미치는 결과를 보였다. 이는 1차년도 연구에서 적용한 55.86kPa의 압체 조건이 다소 약한 원인으로 판단되기 때문에 적정압체조건의 설정을 위해서는 압체하중을 증가하고 건조종료 시에 증자(steaming)에 의한 조습처리를 통해 건조재에 발생한 건조응력의 완화처리가 필요할 것으로 판단된다. 한편 판재가 옆으로 굽어지는 측면굽음은 압체건조가 비압체건조에 비해 크게 개선되지 못하는 결과를 나타내었다. 측면굽음은 일반적으로 판재에 성숙재와 미성숙재 또는 압축이상재가 함께 있을 때 이상조직의 과도한 섬유방향 수축에 의해 발생한다. 따라서 측면굽음은 압체건조에 의해 개선될 수 있는 건조결함은 아니며, 측면굽음의 발생을 줄이기 위해서는 원목의 제재 과정에서 위에 언급한 두 종류의 조직을 분리하는 제재방법이 적용되어야 할 것으로 사료되지만 중소경재가 대부분인 속성 조림목의 특성과 제재작업의 효율성을 위해서는 이러한 제재방법의 적용은 곤란할 것으로 판단된다.

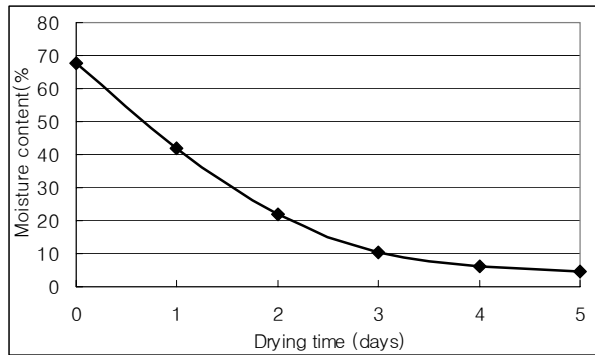


Fig. 3-8. Drying curve for 3cm-thick Korean white pine board at drying temperature of 70°C

Table 3-3. Twist restraint by top loading

Top loading(mm)			Control(mm)		
Twist	Crook	Cup	Twist	Crook	Cup
13.9(48.8%)	6.5 (83.5%)	2.1 (82.7%)	28.5	7.8	2.5

(%): ratio top loading to control

### 3) 잣나무, 소나무 3cm 판재의 압체건조

각 온도조건에서 측정된 잣나무와 소나무 5cm 판재의 건조경과는 그림 3-9와 같다. 건조온도의 증가에 따른 건조시간의 단축효과는 명확하게 나타났다. 그러나 120°C와 140°C 조건에서의 건조경과에는 그 차이가 비교적 작았다. 효과적인 건조조건은 건조에너지가 가장 효율적으로 수분증발에 이용되는 것을 의미한다. 이러한 기준으로 판단할 때 가장 효과적인 건조조건은 120°C가 적절할 것으로 밝혀졌다. 120°C 건조조건에서 함수율 10%까지의 건조시간은 생재함수율에 따라 다를 수는 있지만 12~24시간 범위에서 가능한 것으로 나타났다. 그러나 지난해의 연구에서 밝혀진 바와 같이 건조온도가 80°C를 초과할 경우 잣나무에서 발생하는 갈변색 때문에 잣나무에서는 고온건조가 현실적이지 못한 측면이 있다. 한편 70°C 정온상태에서 틀어짐 방지효과를 구명하기 위해 건조한 판재에서 측정된 초기함수율과 최종함수율의 분포는 그림 3-10과 같다. 초기함수율은 소나무 61.9%, 잣나무 61.6%로 유사하였으나 최종함수율은 소나무 6.6%, 잣나무 9.0%로 다소 과건된 경향을 보였다.

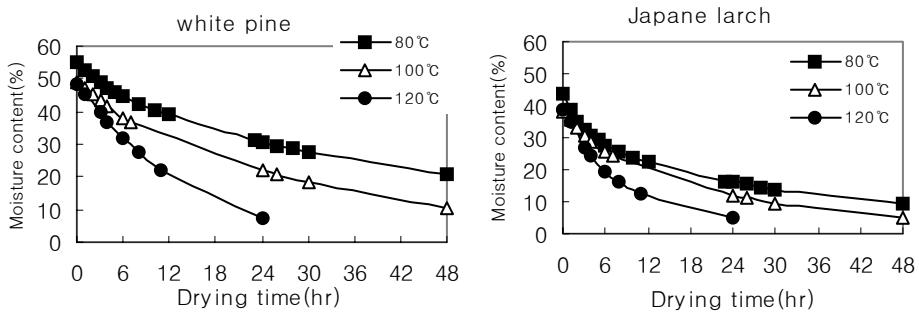


Fig. 3-9. Drying curves for 5cm-thick Korean red pine and Korean white pine

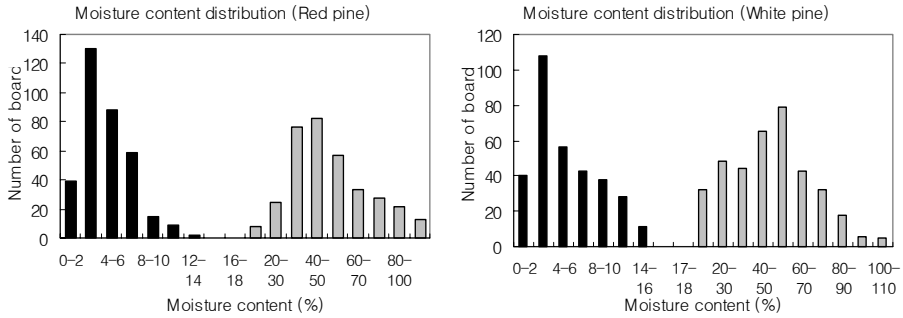


Fig. 3-10. Distribution of IMC and FMC for 3cm-thick Korean red pine and Korean white pine

압체건조에 의한 틀어짐 억제효과는 표 3-4, 그림 3-11과 같다. 판재의 건조수율 저하에 가장 크게 영향하는 뒤틀림은 압체건조에 의해 약 50% 가량 감소시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 압체에 의한 뒤틀림 감소효과는 당초 예상한 80-90%에는 크게 못 미치는 결과를 보였으며 이는 본 연구에서 적용한 1,000kg의 하중에 의해 판재에 작용하는 55.86kPa의 압체압력이 다소 약한 원인으로 판단된다. 그러나 판재의 길이가 3.6m로 비교적 길고 두께가 3cm로 상대적으로 얇기 때문에 건조 후의 대패가공에서 발생하는 뒤틀림에 의한 기각율은 없었다.

Table 3-4. Warp developed in top loading and control for Korean red pine and Korean white pine

Korean red pine Run 1					Korean red pine Run 2			
		crook	cup	twist		crook	cup	twist
top loaded	Avg.	5.25	1.75	16.02	Avg.	4.43	1.90	18.00
	St. dev.	3.64	0.56	8.87	St. dev.	3.30	0.71	9.70
control	Avg.	6.92	2.41	32.77	Avg.	16.96	2.76	31.25
	St. dev.	3.59	0.76	16.57	St. dev.	23.47	0.70	22.56
Korean white pine Run 1					Korean white pine Run 2			
top loaded	Avg.	6.51	2.07	13.89	Avg.	3.62	1.77	13.01
	St. dev.	5.72	0.71	8.54	St. dev.	2.79	0.72	7.33
control	Avg.	7.80	2.50	28.49	Avg.	3.47	2.98	24.74
	St. dev.	6.10	0.90	20.75	St. dev.	1.55	1.50	12.84

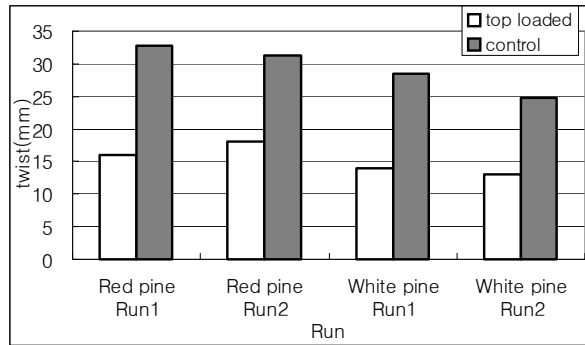


Fig. 3-11. Warp developed in top loading and control for Korean red pine and Korean white pine

## 2. 중소경재의 건조수율 향상기술 개발

가. 잣나무, 낙엽송 중·소경재의 구조부재 생산수율 개선시험

잣나무, 낙엽송 중·소경재의 구조부재 생산수율 개선을 위해 투입된 원목은 낙엽송은 직경 15~30cm 범위의 원목 394본이었으며, 잣나무는 직경 20~40cm 범위의 원목 67본이었다. 이들의 경급분포는 그림 3-12와 같다. 낙엽송의 경급은 15~20cm 범위가 전체의 50%를 차지하는 소경재인 반면에 잣나무의 경급은 30~35cm 범위의 원목이 가장 큰 분포를 보인 중경재였다. 평할제재에 의한 1차 제재 수율은 낙엽송에서 53%, 잣나무에서 58%로 나타났다.

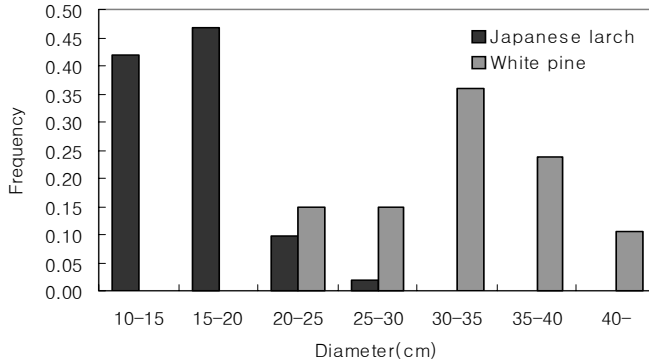


Fig. 3-12. Distribution of diameter for Korean red pine and Korean white pine

80, 100, 120°C의 3 건조조건에서 관찰한 두께 5cm 시험편의 건조특성은 그림 3-13과 같다. 120°C의 건조조건에서 함수율 10%까지의 건조시간이 24시간으로 나타났다. 앞에서 3cm 판재에서 가장 효과적인 건조조건으로 제시된 120°C의 건조조건이 5cm 판재에서도 효과적인 것으로 나타났다. 한편 압체효과의 측정을 위해 3m³ 규모로 앞의 3 건조조건에서 건조한 낙엽송 평할재의 최종함수율 분포와 70°C 조건에서 건조한 잣나무 평할재의 최종함수율 분포는 각각 그림 3-13 및 그림 3-14와 같다.

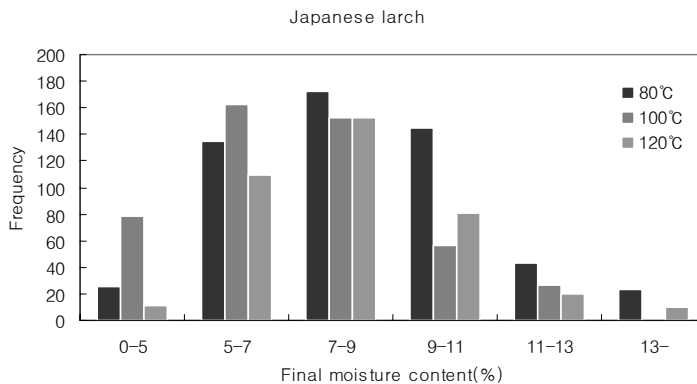


Fig. 3-13. FMC distribution of live sawn Japanese larch flitch

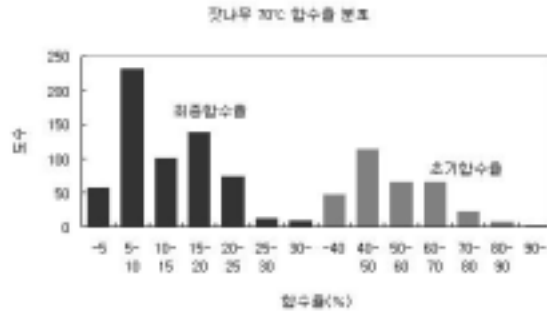


Fig. 3-14. Distribution of FMC for live sawn Korean white pine flitch

낙엽송, 잣나무 모두에서 최종함수율은 10% 이하로 3cm 판재의 경우와 같이 과건되는 현상이 나타났다. 이는 건조중인 판재의 함수율 측정이 곤란하기 때문이며, 3년차부터 개발 예정인 on-site 함수율 측정기술 개발의 필요성이 더욱 강조되었다. 과건된 판재에서는 표면경화율이 52%로 나타났으며, 3시간 증자처리를 통해 -2%의 역표면경화로 역전시킬 수 있었다.

2,000kg의 압채하중을 적용한 낙엽송 평할재의 뒤틀림 측정 결과는 그림 3-15와 같다. 건조온도는 뒤틀림 발생에 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 압채건조에 의한 뒤틀림 억제효과는 2~4mm 정도로 두드러지지는 않았다. 그러나 구조부재의 최종 마무리 치수를 고려한 뒤틀림 허용치( $\alpha$ )를  $\tan \alpha > (t - 38)/2d$ 로 적용할 경우 압채건조에 의한 뒤틀림 억제는 구조부재의 생산수율 향상에 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 표 3-5는 뒤틀림 허용치를 16mm로 적용한 경우의 기각율을 나타내었다. 뒤틀림에 의한 기각율은 압채건조에 의해 58% 개선되는 것으로 나타났다. 뒤틀림과 대패가공에서의 손실을 고려한 구조부재 생산 2차 가공수율은 45% 나타났다. 따라서 압채건조에 의한 낙엽송 중소경재의 구조부재 최종 생산수율은 24%로 밝혀졌다.

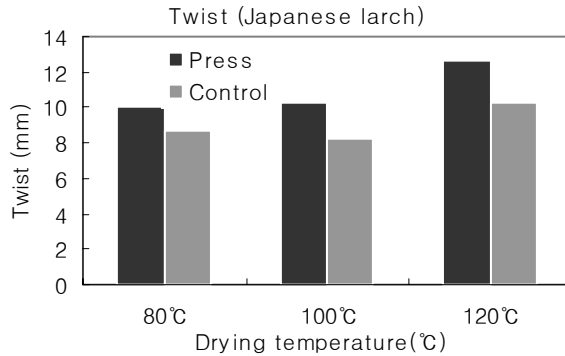


Fig. 3-15. Twist for live swan Japanese larch

Table 3-5. Rejection ratio by twist(%)

Drying temperature	80°C	100°C	120°C
Top loaded	8.9	5.3	16.2
Control	13.6	14.9	23.2

한편 2,000kg과 3,000kg의 압체하중을 적용하여 70°C에서 건조한 잣나무의 너비 굽은과 틀어짐 발생은 표 3-6, 그림 3-16와 같다. 너비굽은의 경우 비압체에 비해 2톤 압체의 경우 71%, 3톤 압체의 경우 33%로 감소하여 3톤 압체가 2톤 압체보다 효과가 높았다. 비틀림의 경우 비압체에 비해 2톤 압체와 3톤 압체의 경우 모두 68%로 감소하여, 비압체한 경우보다 압체한 경우가 비틀림 발생이 감소하였으나, 2톤 압체와 3톤 압체간에는 차이가 없었다.

Table 3-6. Cupping and twist developed in live sawn Koran white pine flitch

Top loading weight(kg)	Cup(mm)	Twist(mm)
control	7.38±2.54	27.44±12.34
2,000	5.27±0.26	18.69±7.40
3,000	2.41±1.06	18.57±10.31

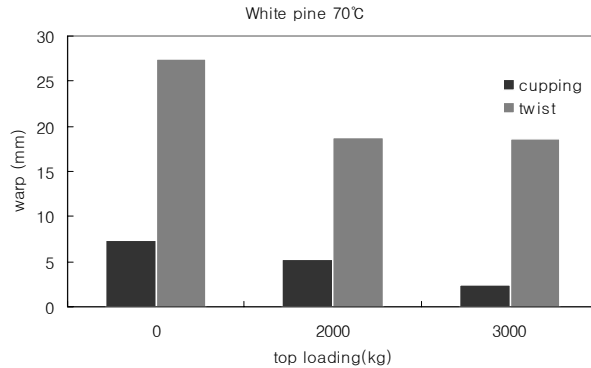


Figure 3-16. Cupping and twist developed during drying at 70°C

뒤틀림의 억제효과는 압체하중을 증가시켜도 개선되지 않았으나 너비굽음의 발생은 압체하중의 증가에 따라 크게 개선되었다. 잣나무 평할재에 대한 최종 구조부재 생산수율은 시험중에 있다.

#### 나. 중·소경재 건조수율 향상 기술

수종별 건조조건과 그에 따른 비틀림과 기각율을 표 3-7에 나타내었다. 판재의 비틀림 각을 측정하여 결정한 기각율은 건조수율에 직접적으로 영향하는 인자로서, 건조온도가 올라갈수록 기각율이 높아지는 현상을 나타내었다. 이는 고온에서 수분이 급격히 이동함에 따른 응력이 판재내에서 심한 비틀림을 야기함에 따른 것이다. 압체건조를 한 경우는 비압체건조의 경우보다 기각율이 낮아져 수율 향상에 기여함이 나타났다.

제재수율은 54.0~65.8%로 나타났으며, 건조수율은 낙엽송이 가장 크게 나타났고 소나무가 낮게 나타났다(표 3-8). 특히 2×4부재를 목표로 한 잣나무의 건조에서는 상부압체에 의한 틀어짐 억제효과가 크게 나타나서 건조수율이 23% 개선되는 효과가 나타났다. 형질이 유사한 소나무의 경우 건조 수율이 잣나무보다 낮게 나타나는 것은, 잣나무의 경우 2×4 구조부재 생산을 목표로 하였고 소나무의 경우 2×6 구조부재 생산을 목표로 하여, 넓은 판재의 경우 기각되는 확률이 높기 때문이다. 2차 가공수율은 45.4~51.5%로서 건조재의 절반가량이 종질, 연삭 공정



에서 손실되는 것으로 나타났다. 제재수율과 건조수율, 그리고 2차가공수율을 거친 최종 생산수율은 비압체의 경우 16.3~27.9%, 압체의 경우 22.3~37.1%의 값을 나타내었다. 기존의 비압체 건조에 의한 생산수율과 비교해 볼 때 상부압체법에 의해 전반적으로 30%이상의 수율개선 효과가 있음이 고찰되었다.

수종별 건조곡선이 그림 3-17에 나타나있다. 고온건조를 적용함에 따라 48시간 이내에 두께 5.5cm의 판재를 함수율 10%대로 건조할 수 있음을 나타내고 있다. 잣나무는 재색 열화 방지를 위해 낮은 온도(70℃)를 적용하여 상대적으로 긴 건조시간을 나타내었으며 이로 인해 낮은 건조속도를 나타내었다. 이때 소나무, 잣나무, 낙엽송의 평균 최종함수율은 각각 10.5%, 13.9%와 20.2%를 나타내었으며, 각각의 평균 건조속도는 0.981%/hr, 0.528%/hr와 0.686%/hr를 나타내었다.

최종함수율 분포는 표층에서는 함수율 5% 정도의 낮은 함수율을 나타내고 있었지만, 내층에는 여전히 섬유포화점에 가까운 함수율을 나타내고 있었다. 이러한 함수율 경사가 존재하게 되면 사용중에 결함이 발생할 우려가 있어, 컨디셔닝 처리를 실시한 결과 약 12시간의 컨디셔닝 처리로 응력을 제거할 수 있었다. 고온건조를 적용하여 발생한 함수율 경사와 이로 인한 응력을 제거하기 위해서는 컨디셔닝 처리가 필수적이라 여겨진다.

건조수율을 저하시키는 요건 중에 하나가 적정함수율까지 건조되지 못하고 지나치게 과건되어 내부에 함수율 경사가 존재하고, 이로 인해 응력이 발생하여 심하게 틀어지는 현상이다. 이를 방지하기 위해서 on-site 함수율 측정 기술이 더욱 요구되었다.

Table 3-7. Twist development and rejection ration as drying condition

		Control				Top loaded			
Drying temperature(℃)		70	80	100	120	70	80	100	120
Japanese larch (2×4)	Twist(mm)	-	10.1	10.4	12.6	-	8.7	8.3	10.3
	Rejection ratio(%)	-	11.4	4.7	14.0	-	8.8	3.2	12.9
Korean white pine (2×4)	Twist(mm)	27.4	-	-	-	18.6	-	-	-
	Rejection ratio(%)	26.7	-	-	-	2.9	-	-	-
Korean red pine (2×6)	Twist(mm)	-	-		11.8	-	-	-	7.6
	Rejection ratio(%)				49.0				31.0

Table 3-8. Production yield at each process and final production yield

Species	Sawing yield (%)	Drying yield(%)		Secondary process yield (%)	Final yield(%)	
		Control	Top loaded		Control	Top loaded
Japanese larch (2×4)	54.0	90.0	92.1	45.4	22.1	22.6
Korean white pine (2×4)	65.8	73.0	97.1	58.0	27.9	37.1
Korean red pine (2×6)	62.0	51.0	69.0	51.5	16.3	22.3

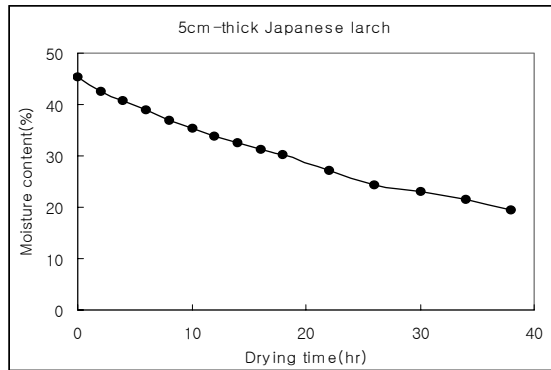
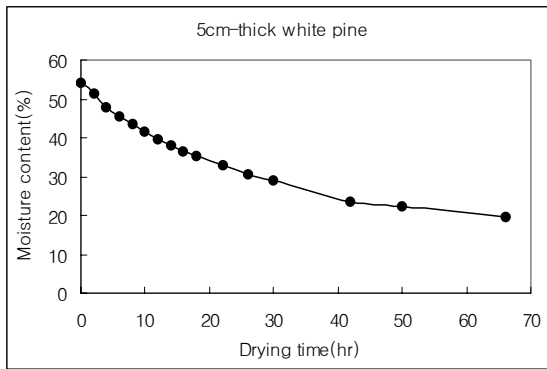
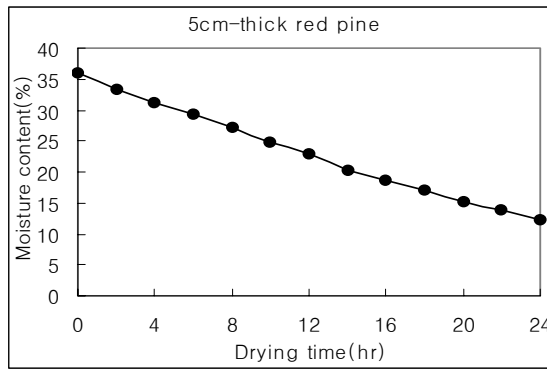


Fig. 3-17. Drying curves during high temperature drying(120°C, red pine and Japanese larch) and conventional drying(70°C, white pine)

### 3. 잣나무의 열기건조 재색열화반응기구 해명 및 방지기술 개발

#### 가. 색도 분석

건전 시편의 고온 처리시 갈변색의 발생이 관찰되었으며 재색의 변화를 측정하기 위한 색차계의 측정결과는 표 3-9와 같다. L은 명도를 나타내는 지표로써 완전히 흰색의 L 값은 100, 완전히 검은색의 L 값은 0으로 표시된다. 그리고 + a 값은 빨강색, - a 값은 초록색을 나타내며, + b 값은 노란색, - b 값은 파랑색을 나타낸다. 표 9에서와 같이 변색재의 경우 건전재보다 L값이 건조 온도에 따라서 뚜렷하게 감소하는 경향이 심·변재 모두에서 나타났다. b값은 심·변재 모두 조사된 건조재에서 건전재보다 다소 높게 나타났고, a값은 가장 심하게 변색된 150℃ 처리 시료에서 특이적으로 높았다. 반면 색차의 정도를 나타내는 ΔE 값은 건전재에 비하여 심재와 변재 모두에서 120℃에서는 8~11사이의 값을 나타내었으며, 150℃에서는 19 이상의 값을 나타내어 건조온도가 증가함에 따라 건전재와의 색차가 아주 크게 나타나 건조 온도가 높을수록 갈변현상이 심화되는 경향을 띠었다. 이러한 결과는 고온건조한 잣나무재를 내장용으로 사용할 경우 외관 품질의 저하를 초래하기 때문에 내장용 목재에 대한 고온건조는 부적절할 것으로 판단되었다.

그림 3-18, 19는 변색되지 않은 잣나무와 고온 변색된 잣나무 표면을 확대한 사진으로 고온 건조에 의해 발생하는 잣나무 표면의 재색 변화는 매우 컸으며 고온 처리에 의해 잣나무 표면의 재색 변화는 수지구를 중심으로 하여 매우 심하게 변색이 일어나는 것으로 관찰되었다.

Table 3-9. color balance of Korean white pine

Drying temperature	Heartwood				Sapwood			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
Control	84.5	-1.1	19.3	-	80.4	0.1	18.2	-
120℃	77.4	0.5	22.9	8.1	70.3	0.8	22.4	11.0
130℃	74.6	2.7	22.8	11.2	74.4	1.8	22.6	7.6
150℃	67.3	7.1	20.8	19.1	63.0	5.0	23.8	19.0



Fig. 3-18. Non-discolored(sound) surface of Korean white pine(left).  
Discoloration on Korean white pine surface with high temperature treatment(right).



Fig. 3-19. Comparison of the extent of surface discoloration at three drying temperatures in Korean white pine.

#### 나. 화학 조성분 분석 비교

홀로셀룰로오스 함량은 심·변재 모두에서 건조 후 낮아졌으며 리그닌은 산불용성, 산가용성 모두 건전재와 변색재간 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 알코올-벤젠 추출물 함량은 심재부의 변색재에서 건전재에 비하여 2배 이상 감소하였으며 건조온도에 따른 차이는 없었다. 알칼리 추출량은 건조온도에 따라 증가하였고 건전재보다 높게 나타났다. 온수 및 냉수추출물 함량은 건조온도에 따른 뚜렷한 변화 경향을 파악할 수 없었지만 심재의 경우 건전재가 변색재보다 높은 함량을 나타내었다. 건전재와 변색재간 화학적 조성분의 차이중 가장 뚜렷한 차이점을 보여주는 것은 유기용매 추출물량으로 판단된다.

#### 다. 잣나무 변색재의 유기용매추출성분의 UV 분석

잣나무 추출성분이 고온 건조시 재색의 변화에 관여하는 영향을 조사하기 위해 기건 상태의 잣나무로부터 유기 용매 및 열수로 추출한 추출물을 농축하여 직접 120℃ oven에 9시간 동안 방치시켜 그 변화를 살펴본 결과 alcohol-benzene을 제외한 다른 용매의 경우는 275nm에서 325nm 부근의 peak의 감소가 공통적으로 관찰되었으나 alcohol-benzene추출물의 경우는 325nm에서 400nm 부근의 peak가 유실되었다. 특히 alcohol-benzene 추출물의 경우 120℃에 노출된 시료 중 상당량이 유기용매에 녹지 않고 짙은 갈색으로 침전되었는데 이 부분이 잣나무 고온 건조에 관여하는 것으로 판단된다.

#### 라. 박층크로마토그래피 분석

유기용매인 알코올-벤젠(1:2) 추출물의 화학 성분 차이점을 파악하기 위하여 실리카겔 박층크로마토그래피를 실시하였다. 박층크로마토그래피 전개 직후 변색재(PH150, PS150)와 건전재(PHS, PSS)간의 차이를 관찰할 수 없었으나 UV 단파장(254nm)에서 여러 반점이 확인되었고(그림 3-13. A), 12시간 방치후 변색재 추출물의 크로마토그램에서 Rf=0.5 근처에서 강한 갈색 반점이 발생하여 건전재와의 뚜렷한 차이로 확인되었다(그림 3-13. C 참조). 또한 황산 발색후 가열하여 확인한 결과 건전재에서 Rf=0.8 근처에서 적색 반점이 변색재에서는 Rf= 0.4 근처에서 청색 반점이 가장 뚜렷한 차이점으로 나타났다(그림 3-13. B).

Table 3-10. Chemical construction of Korean white pine sapwood

Drying temperature		Heartwood				Sapwood			
		Oven dried	120℃	130℃	150℃	Oven dried	120℃	130℃	150℃
Hllocellulose		68.6	65.4	61.5	62.1	66.2	63.7	62.3	63.3
Lignin	산불용성	28.0	29.4	-	27.9	-	-	-	-
	산가용성	1.0	1.1	-	1.3	-	-	-	-
Extrac tives	알코올-벤젠	6.9	-	2.8	2.9	4.8	3.1	3.1	3.4
	알 카 리	17.0	22.8	25.1	-	-	22.2	25.0	26.7
	냉 수	8.9	-	7.6	3.5	5.1	4.7	9.7	5.3
	온 수	8.9	-	3.9	4.5	4.0	4.9	2.3	7.2

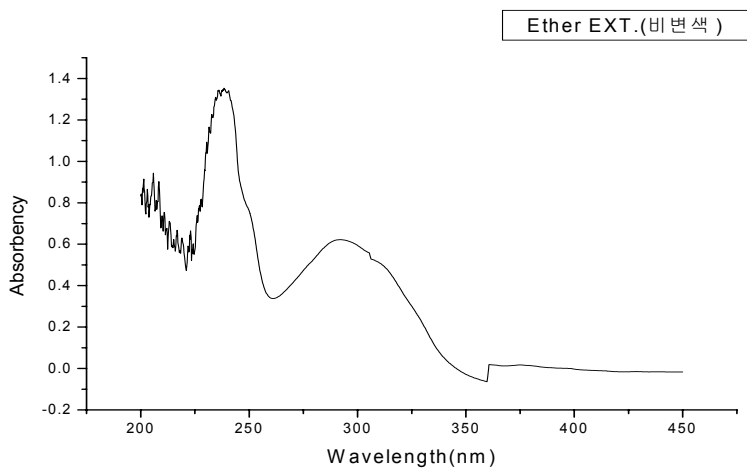


Fig. 3-20. UV spectrum of ethanol extracts of non-discolored Korean pine

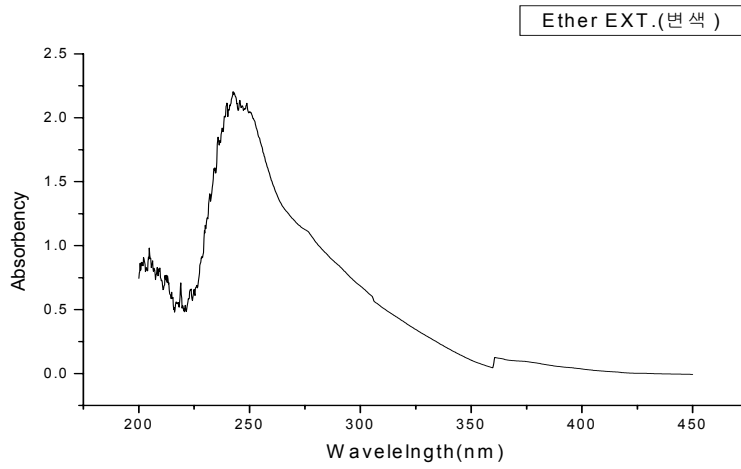


Fig. 3-21. UV spectrum of ethanol extracts of discolored Korean pine.

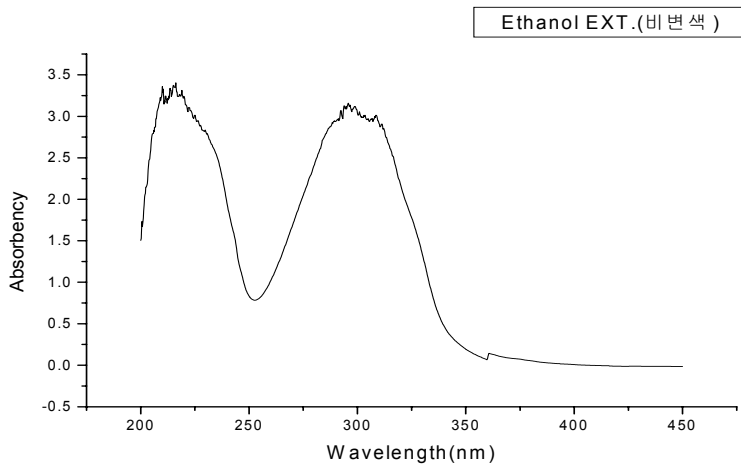


Fig. 3-22. UV spectrum of diethyl ether fraction of ethanol extracts of non-discolored Korean pine.



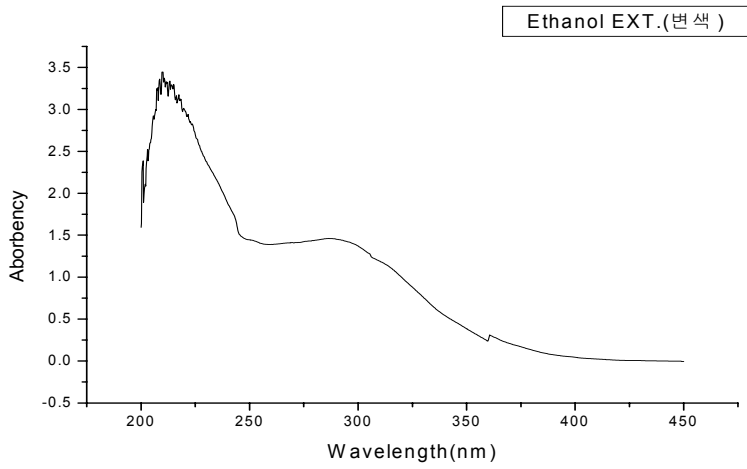


Fig. 3-23. UV spectrum of diethyl ether fraction of ethanol extracts of discolored Korean pine

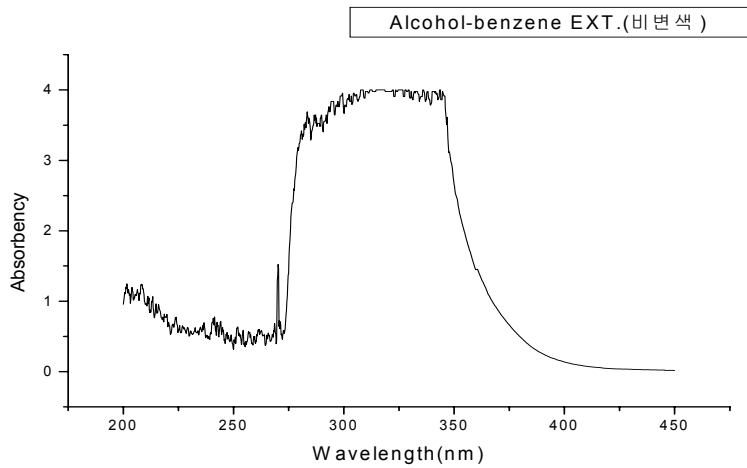


Fig. 3-24. UV spectrum of ethanol-benzene extracts of non-discolored Korean pine

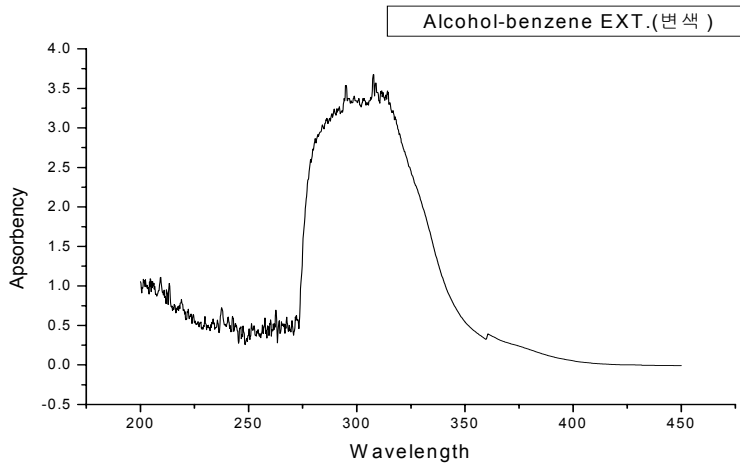


Fig. 3-25. UV spectrum of ethanol-benzene extracts of discolored Korean pine.

마. 유기용매 추출물의 GC/MS 성분 분석

알코올-벤젠(1:2) 추출물의 화학 성분을 Trimethylsilyl화하여 가스크로마토그래피-질량분석기로 분석하여 건전재와 변색재간의 차이를 분석하였다(그림 3-14 참조). 표 3-11에서는 GC/MS분석결과 얻은 질량스펙트럼을 library와 비교하여 90%이상의 합치율을 보이는 성분을 나타내었다.

GC/MS 분석결과, 변색재의 경우 oleic acid, dehydroabietic acid와 benzene dicarboxylic acid ester가 다량 함유되어 있으며 그 외에 fatty acid류, benzene aldehyde 및 acid류가 소량 함유되어 있는 것으로 파악되었다. 건전재의 경우 변색재와 유사한 경향을 나타내었지만 abietic acid가 변색재에 비하여 상당량 함유되어 있었으며 높은 함량을 지나 질량 스펙트럼 분석만으로 분석할 수 없는 상당수의 미확인 물질이 함유되어 있었다. GC/MS 분석상에서 oleic acid 피크 높이에 견줄 때 abietic acid가 건전재에서는 상당량 존재하였지만 변색재에서는 소량 검출되었다. 반면에 함량이 높은 대부분의 피크는 library 검출 확인에서 화학 구조를 찾을 수 없었으므로 이들의 추출 및 단리와 구조 동정이 필요하였다

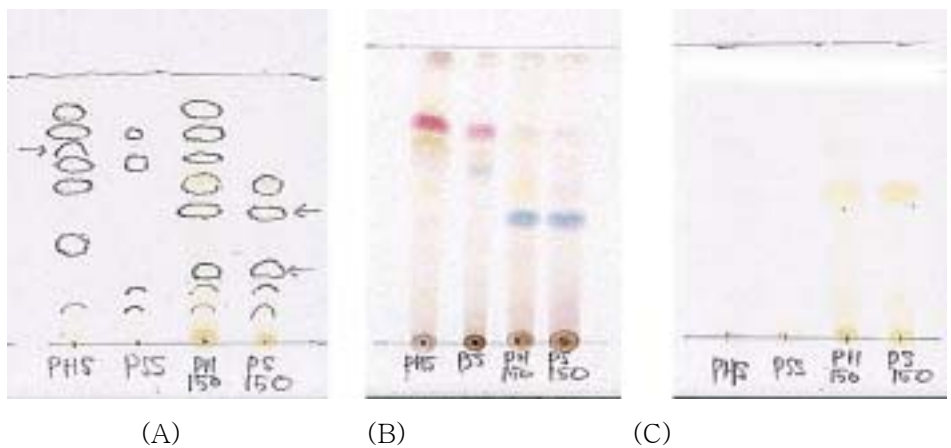
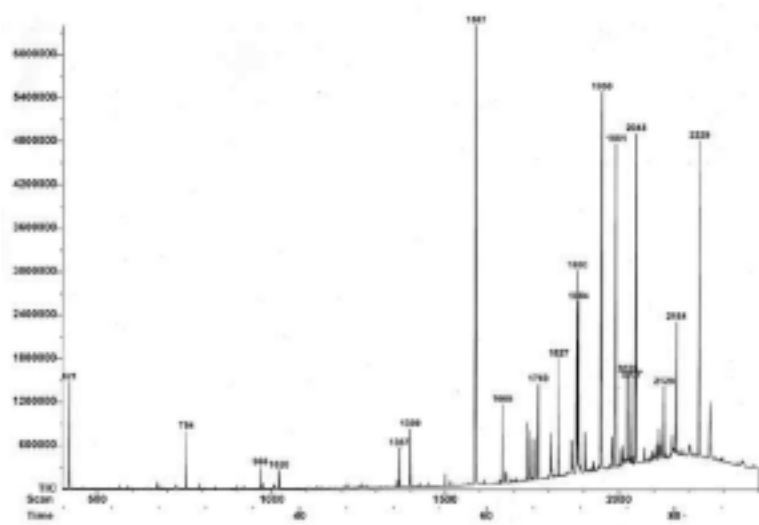
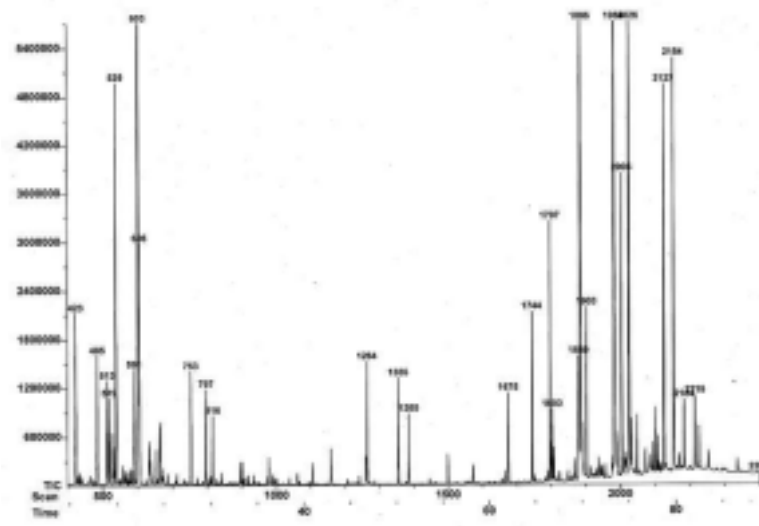


Fig. 3-26. Thin layer chromatogram of ethanol-benzene extracts of non-discolored and discolored Korean pine (developing solvent, benzen:ethyl acetate = 7:3).  
 ((A) Detection under UV light (B) After H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> spraying (C) Control )



(A)



(B)

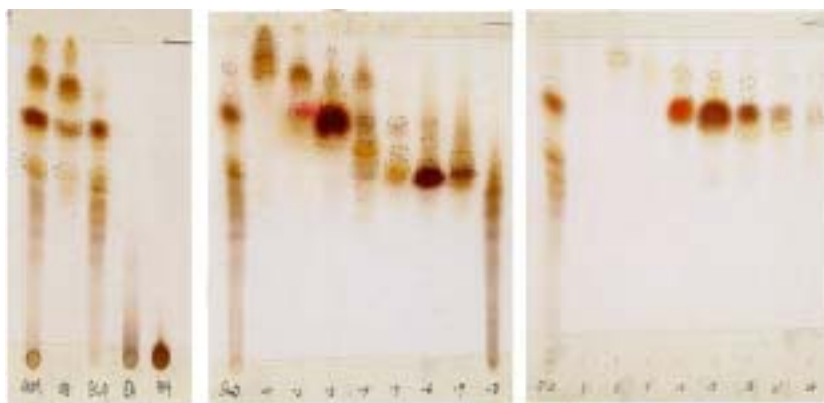
Fig. 3-27. Total ion chromatogram of ethanol-benzene extracts of non-discolored(A) and discolored(B) Korean pine heartwood (developing solvent, benzen:ethyl acetate = 7:3).

#### 바. 추출성분의 추출 및 단리

잣나무의 고온건조 변색시 변색 원인물질의 구명을 위하여 1차적으로 건전재의 주요 추출성분의 단리를 도모하였다. 흡착제로는 실리카겔을 사용하였고 용출 용매계는 n-헥산과 에틸아세테트를 사용하였다. 건전재 추출물은 심재부로부터 획득하였는데 주요 변색이 심재부에서 발생하였기 때문이다.

건전재 에탄올 추출물을 석유에테르, 디에틸에테르, 에틸아세테트 및 물층으로 용매 분획한 결과는 그림 3-9, A와 같았다. 이 중 60g의 디에틸 에테르 분획을 48×7.0 I.D. cm 컬럼에서 n-헥산 : 에틸아세테트 = 4 : 1, 2 : 1 및 메탄올 시스템을 용출 용매로 용출 분획량을 200mL로 하여 8개의 분획으로 나누었다(그림 3-15, B). 이들 분획중 2, 3, 6번째 분획은 액상이었으며 5번 분획은 노란색 결정이 다량 석출되었다. 2, 3, 5, 6번째 분획을 각각 1.42, 9.84, 3.26, 2.16g을 얻었다. 가장 높은 회수율을 보이는 3번 분획에 대하여 Sephadex LH-20TM 컬럼(30×I.D. 6 cm)에서 MeOH을 용출 용매로 하여 6.15g의 하부분획(3-3)을 획득하였다.

변색재 알콜-벤젠 추출물에 대해서는 실리카겔 컬럼상에서의 분리능과 건전재와 구별되는 TLC 상의 반점의 안정성을 평가하기 위하여 용매 분획 과정을 생략하고 컬럼크로마토그래피를 실시하였다. 이를 위하여 30×7.0 I.D. cm 컬럼에서 벤젠, 벤젠 : 에틸아세테트 = 8 : 2, 6 : 4, 4 : 6, 에틸아세테트 및 메탄올 시스템을 용출 용매로 용출 분획량을 250mL로 하여 5개의 분획으로 나누었다. 첫 번째 분획은 그림 3-1, C의 갈색반점이, 2번째 분획이 그림 3-1, B의 푸른 반점을 주성분인 것으로 나타났으며 특히 2번째 분획은 무색의 액상으로 회수되었는데 공기중에 노출됨에 따라 점차 그 색깔이 짙은 갈색으로 변색되어 공기중에서는 매우 불안정하다는 것이 관찰되었다.



(A)

(B)

(C)

Fig. 3-28. Thin layer chromatogram of diethyl ether fraction of non-discolored Korean pine

(developing solvent, toluene : ethyl formate : formic acid

= 5 : 4 : 1).

( (A) Detection under UV light (B) After H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> spraying

(C) Control)

Table 3-11. Chemical constituents of sound and discolored Korean pine ethanol extracts identified by GC/Mass spectrometry

Sound Korean white pine			Discolored Korean white pine		
Peak Label	Peak Area	Compound identified	Peak Label	Peak Area	Compound identified
754	1308103	unidentified	753	2636063	unidentified
966	447356	unidentified	797	2133983	unidentified
1020	491258	α-Terpineol	816	1301734	unidentified
1367	790796	Arabinopyranose	897	487288	unidentified
1399	1251330	sugar monomer	978	581434	unidentified
1587	15373964	unidentified	1106	528394	4-Hydroxy-3-methoxy-benzaldehyde
1665	1953708	Cembrene	1158	743492	unidentified
1736	821824	unidentified	1264	2806502	4-Hydroxy-3-methoxy-benzaldehyde
1744	1153912	Hexadecanoic acid	1355	2402214	unidentified
1769	2493015	unidentified	1385	1280140	4-Hydroxy-m-anisic acid methyl ester
1803	1236814	Heptadecanoic acid	1499	611928	4-Hydroxy-3-methoxy-benzoic acid
1827	2623966	unidentified	1572	571336	Tetradecanoic acid
1865	1202968	unidentified	1675	2005828	1,2-Benzenedicarboxylic acid dibutyl ester
1880	4561050	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	1744	4564281	Hexadecanoic acid
1884	3790488	Oleic acid	1797	4898796	unidentified
1903	935048	Octadecanoic acid	1803	1403132	Heptadecanoic acid
1950	11813170	unidentified	1880	2997184	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-
1991	7671438	unidentified	1886	28773667	Oleic acid
2011	601927	unidentified	1903	3397978	Octadecanoic acid
2025	2803058	Dehydroabietic acid	1937	456240	unidentified
2048	10312355	Abietic acid	1957	289662	unidentified
2074	433364	unidentified	1984	28650620	unidentified
2114	541400	unidentified	2005	6649235	unidentified
2129	1669235	unidentified	2026	17631171	Dehydroabietic acid
2164	3446771	unidentified	2048	1286678	Abietic acid
2229	9452385	unidentified	2073	909782	unidentified
2262	3581420	unidentified	2094	675386	unidentified
			2101	1385062	unidentified
			2127	10817818	1,2-Benzene dicarboxylic acid bis ester
			2154	9561847	unidentified
			2170	594366	unidentified
			2184	1935918	Docosanoic acid
			2215	2227800	unidentified
			2253	904900	unidentified
			2336	408956	unidentified

사. 잣나무 갈변색 원인 물질 구명

### 1) 추출 및 분획

변색 추출물은 알콜-벤젠(1:2 v/v)에 72시간동안 침적하여 2회 반복 실시하였다. 잣나무 변색재의 알콜-벤젠 추출물량은 무처리가 6.49%였는데 반해 변색재의 추출물 함량은 3.85%로 무처리보다 낮았다. 알콜-벤젠 추출물은 변색 원인 물질 분리를 위해 n-hexane과 dichloromethane (DCM)으로 용매분획하였으며, 이중 3g의 DCM 가용부 분획물에 대하여 MeOH를 용매로 Sephadex LH-20 column을 실시하여 4개의 분획물을 얻었고, 2번째 분획물로부터 노란색 결정이 석출되었다. 변색물질이 함유된 3번째 분획물은 silica gel column(n-hexane:actone=5:2)을 이용하여 분리하였다. TLC(silica gel 60 F254, 전개용매: toluene-ethylformate-formicacid5:4:1 v/v)상에서 UV(254nm)로 검색하여 주황색으로 변색되는 물질을 확인한 후 Preparative TLC를 사용하여 한 개의 물질로 단리하였다.

### 2) 질량분석

단리된 화합물은 desiccator내에서 진공 건조 시킨 후 JEOL JMS-600W Mass spectrometer를 이용하여 분자량을 측정하였는데 그 결과는 그림 3-29와 같다

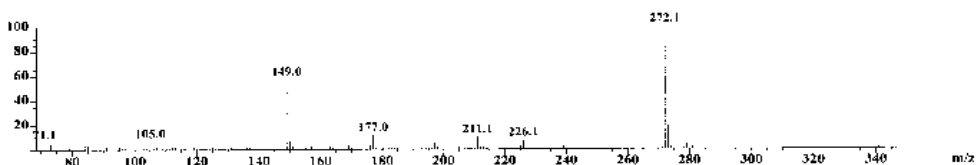


Fig. 3-29. Mass spectrum of discoloring compound of Korean pine occurred by drying process.

### 3) Nuclear Magnetic Resonance 분석

단리된 화합물 10mg을 NMR용 용매 acetone-d<sub>6</sub>에 용해시켜 TMS를 표준 물질로 하여 Bruker AM500 NMR로 구조 분석하였으며 그 결과는 그림 3-30과 같다



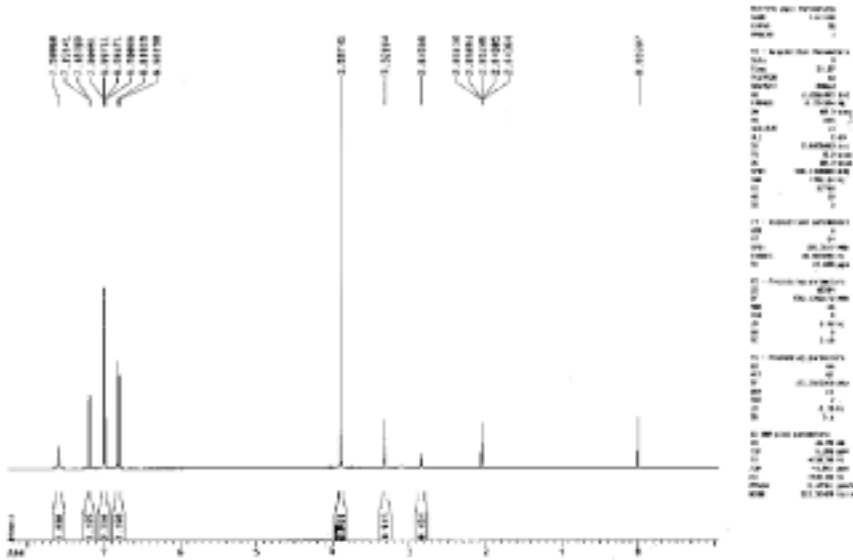


Fig. 3-30. NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spectrum of discoloring compound of Korean pine.

#### 4) 구조동정

단리된 화합물은 Acetone에 녹으며, 노란색의 미립자로 97mg을 단리하였으며 MS spectrum에서 분자량( $M^+$ )은  $m/z : 272$ 을 나타냈다.  $^1H$ -NMR(500Mz, acetone- $d_6$ )의  $\delta$  3.89(3H, s, OCH<sub>3</sub>)의 singlet은 메톡실기에서 유래된 것으로 화합물의 methoxy기 존재를 시사한다. 6.80(2H, d,  $J=8.1$ , H-5, 5')의 doublet signal은 결합정수로부터 벤젠 핵 내의 ortho결합의 존재함을 알려준다. 또한 6.98~7.00에서 나타나는 multiplet의 4H는 전형적인 stilben구조의  $\alpha, \beta$ 로부터 유래된 proton의 결합정수를 나타냈으며 6위 및 6'의 meta, ortho 결합으로부터 유래된 signal이다. 7.19(2H, d,  $J=1.9$ )는 meta 결합에서 유래하는 signal로 5위의 proton을 나타낸다. 이상의 결과 단리된 화합물은 3,3'-Methoxy-4,4'-Hydroxystilbene임이 밝혀졌다.

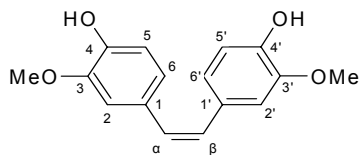


Fig. 3-31. 3,3'-Methoxy-4,4'-Hydroxystilbene

#### 4. On-site 함수율 측정기술 개발 및 최적건조기술 실용화

가. 함수율 측정 센서와 전건법에 의한 함수율의 비교

낙엽송의 경우 함수율 25%를 경계로 전건법 함수율과 센서 함수율의 기울기가 변하는 변곡점이 나타났다. 데이터 보정을 위해 함수율 25%를 기준으로 함수율 25%이상과 함수율 25%이하로 구간을 나누어 상관계수를 구하였다. 함수율 25% 이상과 이하에서의 상관계수는 각각 0.9760, 0.9858로서 높은 상관계수를 나타내었다(Fig. 32, 33). 함수율 20~25%구간에서 곡선의 변화가 나타나는 것은 함수율 20%를 기준으로 loss factor의 감소가 크게 증가하기 때문인 것으로 여겨진다 (James, 1993).

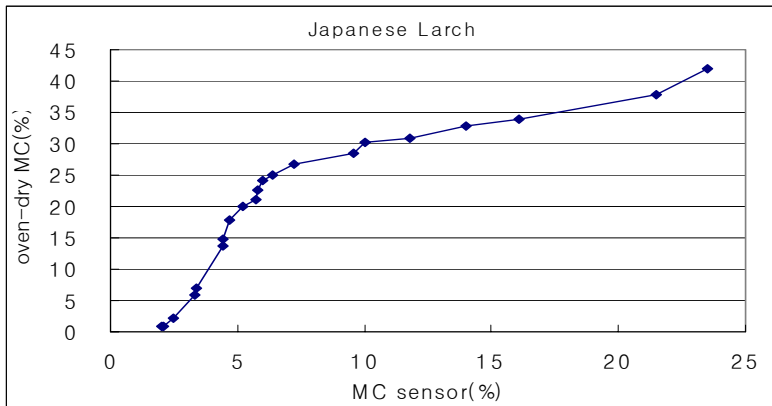


Fig. 3-32. Relationship between MC sensor and oven-dry MC of Japanese larch.

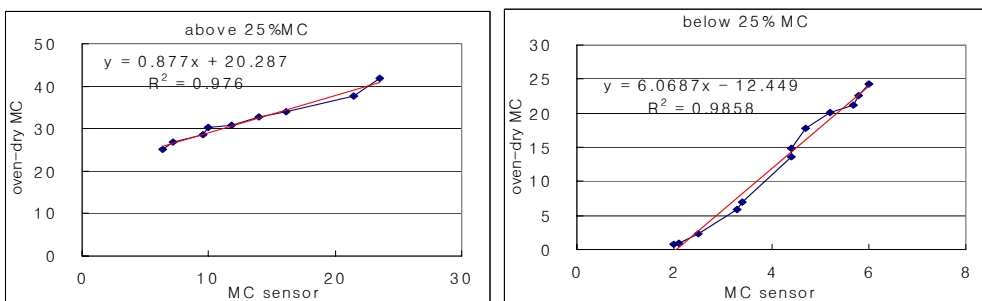


Fig. 3-33. Relationship between MC sensor and oven-dry MC above/below

25% MC of Japanese larch.

소나무의 경우에는 함수율 20%를 경계로 전건법 함수율과 센서 함수율의 기울기가 차이가 나타났다. 데이터 보정을 위해 함수율 20%를 기준으로 함수율 20% 이상과 함수율 20%이하로 구간을 나누어 상관계수를 구하였다. 함수율 25% 이상과 이하에서의 상관계수는 각각 0.9772, 0.9940로서 높은 상관계수를 나타내었다. (그림 3-34, 35).

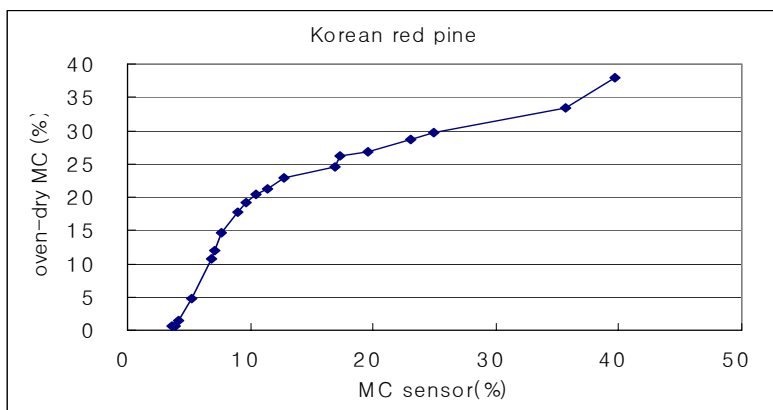


Fig. 3-34. Relationship between MC sensor and oven-dry MC of Korean red pine

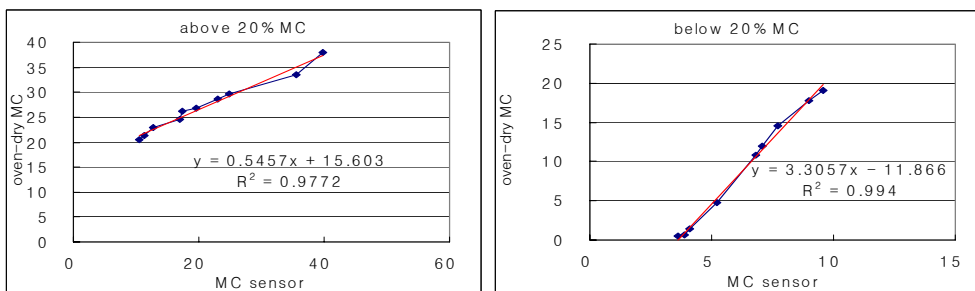


Fig. 3-35. Relationship between MC sensor and oven-dry MC above/below 20% MC of Korean red pine

다. 데이터 보정

위와 같은 결과를 통해 고주파를 이용한 센서를 통해 얻은 함수율과 전건법을 통해 얻은 함수율 간의 보정이 이루어졌다. 표 3-12에는 보정과정을 통해 얻어진 함수율 보정 표가 나타나있다. 실제 현장에서 고주파 함수율 센서를 이용하여 on-site 함수율 측정할 때, 표를 이용하여 보정하여 사용할 수 있을 것으로 예상되며, 자동으로 측정할 때에도 프로그램에 입력하여 건조공정을 제어할 수 있을 것으로 기대된다. 정확한 함수율 측정은 지나치게 건조되는 것을 방지하여 에너지 절감과 함께 생산 비용이 감소하는 동시에, 건조재의 품질 향상에 기여하므로 산업체에 유리하게 적용 가능한 방법이라 여겨진다.

Table 3-12. Modification MC table between oven-dry MC and sensor MC.

Korean red pine (density: 0.457g/cm <sup>3</sup> )		Japanese larch (density: 0.539g/cm <sup>3</sup> )	
Oven-dry MC	MC sensor	Oven-dry MC	MC sensor
37.9	39.7	42.0	23.5
33.4	35.6	37.8	21.5
29.6	24.9	33.9	16.1
28.6	23.0	32.8	14.0
26.7	19.6	30.9	11.8
26.1	17.3	30.2	10.0
24.5	16.9	28.5	9.6
22.9	12.8	26.8	7.2
21.2	11.4	25.1	6.4
20.5	10.5	24.2	6.0
20.4	9.6	22.5	5.8
17.8	9.0	21.2	5.7
16.8	7.8	20.1	5.2
15.8	7.7	17.8	4.7
13.3	8.1	14.9	4.4
12.0	7.1	6.9	3.4
10.8	6.8	5.8	3.3
4.8	5.2		

## 제4절 결론

대표적인 국산재인 소나무, 잣나무와 낙엽송을 선정하여, 국산 침엽수재를 이용한 구조용재 개발에 선행되어야 할 고온건조 특성 및 건조결합 예방기술 개발과 중소경제 건조수율 향상 기술 개발, 열기건조 재색열화 반응기구 해명 및 방지기술 개발, on-site 함수율 측정기술 개발에 관하여 연구하였다.

고온건조 특성 및 건조결합 예방기술 개발 과제에서는 두께 5.5cm의 flitch재를 건조함에 있어서 2일 내지 3일 내에 목표함수율까지 건조할 수 있었으며, 급속한 건조로 인한 응력제거를 위해서 증기처리를 24시간 수행한 결과 응력을 제거할 수 있었다. 여러 가지 건조결합 중 제품 생산에 가장 큰 영향을 미치는 비틀림을 제거하기 위해 상부압제를 실시한 결과 10% 이상의 억제효과를 나타내었다.

중소경제의 건조수율 향상기술 개발 과제에서는 두께 5.5cm의 flitch재로 제제한 후, 압제건조하는 SDR법을 적용하여 생산수율을 꺾하였다. 낙엽송 2×4재, 잣나무 2×4재와 소나무 2×6재 생산의 경우 최종생산 수율이 향상되었으나, 미성숙재가 많이 포함된 낙엽송 소경제의 경우에는 수율 향상 정도가 미미하였다.

열기건조 재색열화반응기구 해명 및 방지기술 개발 과제에서는 3,3'-Methoxy-4,4'-Hydroxystilbene로 구명된 물질이 잣나무를 고온으로 건조시 갈변색을 유발하는 것으로 나타났다. 이 물질이 발생하지 않도록 하는 가장 좋은 방법은 낮은 온도에서 건조하는 것이지만, 생산 속도의 향상을 위해서는 고온을 적용하면서 이 물질이 발생하지 않도록 화학처리를 가하는 방법이 향후 연구되어야 할 것이다.

on-site 함수율 측정기술 개발 및 최적건조기술 실용화 과제에서는 고주파를 이용한 유전율식 함수율 측정 센서를 개발하여, 컨트롤 패널과 연결한 자동제어를 통한 건조종료시점 탐색이 용이하게 되었다. 함수율 센서와 전건법에 의한 함수율 간의 관계를 구명함으로써 향후 산업체에 적용함에 유리할 성과를 얻었다.

## 참 고 문 헌

1. 정희석 외. 목재의 특수건조. 서울대학교 출판부
2. Heimerdinger, Uli. Factors influencing the relationship between electrical resistance and wood moisture content. ASTM hand-held moisture meter workshop.
3. Hsu, N. N. and R. C. Tang. 1975. Distortion and internal stresses in lumber due to anisotropic shrinkage. *Wood Science* 7: 298~307
4. James, L. William. 1993. Fundamentals of hand held moisture meters: An outline. ASTM hand-held moisture meter workshop.
5. Jamroz, Wes. Accuracy of moisture content measurement. 1993. ASTM hand-held moisture meter workshop.
6. Laurenzi, Aristide. Deviation of correction factors in the laboratory and for field applications. ASTM hand-held moisture meter workshop.
7. Milota, M. R. 1992. Effect of kiln schedule on warp in Douglas-fir lumber. *Forest Products Journal* 42(2): 57~60
8. Park, Jung-Hwan, Don-Ha Choi, June-Ho Lee High temperature drying of softwoods from plantation for structural member. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference. Tsukuba, Japan. July 9~13, 2001.
9. Simpson, W. T. and J. R. Shelly, 2000. Method for adjusting warp measurement to a different board dimension. USDA Forest Service, FPL, Research Note FPL-RN-0273.

## 제4장 국산재의 내화구조 개발

### 제1절 서론

#### 1. 연구의 목적

최근 경제수준의 향상 및 쾌적한 주거환경의 욕구가 점차 높아짐에 따라 목조를 이용한 건축물이 대도시 주변의 전원주택을 비롯하여 교회, 전시관 등에 이르기까지 점차 증가하는 추세이다. 특히 전 국토 면적의 약 70%가 산림인 우리나라의 경우 지금까지 콘크리트나 강재를 소재로 한 건축물 일변도에서 벗어나 자원의 효율적 이용을 제고하고 목조가 갖는 쾌적성, 환경 친화성 등의 잇점을 충분히 활용하는 차원에서도 건축물에서의 목조의 이용은 바람직한 현상이라 할 수 있다.

목조는 디자인의 융통성, 에너지 절감효과, 내구성 및 안전성외에도 우수한 보온·조습효과 등 많은 장점을 갖고 있으나, ‘나무는 탄다. 그러므로 불에 약하다’는 고정관념으로 인하여 내화(耐火)가 요구되는 건축재료로는 사용이 제한되어 왔다. 그러나 최근에는 목조도 적절한 내화공법을 적용하면 화재에 충분히 견딜 수 있다는 것이 확인되고 있다. 즉, 목구조에 의한 구조부재가 예상한 화재 중 그 표면이 타더라도 남아있는 단면으로서 구조부재에 요구되는 하중을 견디는 것이 많은 실험을 통해 입증되고 있어 목구조를 내화부재로 사용하는 것이 가능하게 된 것이다.

그러나, 우리나라의 경우 아직 목재 생산시설의 미비와 기술력 부족뿐만 아니라 특히, 건축법상 목조건축은 내화구조로 인정되고 있지 않아 목조 건축물의 규모와 용도가 극히 제한되고 있는 실정이다. 반면 선진 외국에서는 단층에서 4층 공동주택에 이르기까지 다양한 형태로 목조건축이 가능하며, 우리 나라와 법 체계가 유사한 이웃 일본에서도 건축법규에 준내화구조를 도입하여 일정한 내화성능을 확보하면 목조건축물도 3층까지 건축이 가능하도록 하고 있어 공동주택 등에 목구조 건축물의 건축이 증가하고 있는 추세이다.

따라서 지금까지 가연재료로 인식되어 건축 구조부재로서 적용이 제한되고 있는 목구조의 적용 확대를 위해서는 실대 화재실험을 통하여 그 구조의 안전성을

확인하고 이를 법규정에 반영함으로써 목구조에 의한 건축물의 건축이 가능토록 하는 것이 필요하다.

이 연구는 우리나라 산림자원의 효율적 이용을 극대화하기 위한 방안의 하나로서, 외산 및 국산재에 의한 경골 목구조의 내·외벽 및 바닥구조를 제작하여 실대 화재실험을 통해 경골 목구조의 화재 안전성을 파악하고 이를 바탕으로 국산재에 의한 경골 목구조의 내·외벽 및 바닥구조를 개발하는데 그 목적이 있다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 연구범위 및 방법

이 연구는 2년의 연구기간에 걸쳐 최종적으로 국산재 경골 목구조의 내·외벽 및 바닥구조를 개발하기 위한 것으로, 1차년에는 문헌 및 외국의 실험자료를 통하여 목구조의 화재 특성 및 내화공법을 파악하고 외산재 경골 목구조의 벽 및 바닥구조를 제작, 실대 화재실험을 통하여 경골 목구조가 1시간 내화성능을 확보하는데 요구되는 적정 내화공법을 파악하는 것으로 하였다. 2차년에는 1차년의 연구결과를 바탕으로 국산재 중 적절한 구조 강도를 갖음으로서 구조재료의 활용성이 높은 낙엽송 및 소나무를 실험자재로 선정하여 내·외벽 및 바닥 구조를 제작, 실대 화재실험을 통해 1시간 내화성능을 갖는 국산재 경골 목구조 부재를 개발하는 것으로 하였다. 실험방법으로는 우리나라 건축물 구조부재 화재시험 규격인 KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법-일반 요구사항, 1999) 및 KS F 2257-4(수직내력 구획부재의 성능조건), KS F 2257-5(수평내력 구획부재의 성능조건)에 따른 1시간 재하가열 실험을 실시하였다.

이 연구는 2차년에 걸쳐 수행된 것으로서 연도별 연구 내용은 다음과 같다.

#### 가. 1차년도

- 1) 문헌에 의한 경골 목구조의 화재특성 및 내화공법 등 자료조사
- 2) 시험방법 및 조건 등을 파악하기 위하여 외산재 및 외산 석고보드로 제작



한 경골 목구조의 내·외벽, 바닥구조에 대한 1시간 재하가열 실험 실시

3) 1시간 내화성능에 적합한 경골 목구조의 구조 공법 파악

나. 2차년도

1) 국산재의 수종 선정

2) 국산재의 제약조건(단면크기, 길이 등)에 따른 부재이음, 적정 바닥 장선구조 등 검토

3) 1차년의 연구결과를 바탕으로 제작한 국산재 및 국산 석고보드에 의한 경골 목구조의 내·외벽, 바닥구조의 1시간 재하가열 실험 실시

4) 국산재 경골 목구조의 내화구조 부재 개발

## 2. 건축물의 화재특성

가. 건축물의 화재현상

1) 건축물 화재의 일반적 경과

건축물내의 화재는 일반적으로 성냥, 촛불, 전기 Spark 등의 열원에 의해서 가연물질이 착화하므로써 시작되며, 가연성 수납물이나 내장재의 물성과 배치 상태 또는 화재실의 공간조건 등에 따라 연소확대 속도가 결정된다.

사무실, 거실, 교실 등과 같이 크기가 다소 한정된 건축물의 구획된 공간에서는 대형공간이나 자연상태의 화재에서 보다 연소확대가 급속하게 이루어지는데 이는 연소물질에 의해 생성되는 열이나 가연성기체가 외부로 방출되지 못하고 건물 내에 축적되기 때문이다. 이 열이나 가연성 기체로 인하여 실내의 다른 가연물질이 짧은 시간 내에 연소되고 또 계속되어 결국 그 실은 고열상태에 이르게 된다.

건축물 내에서의 일반적인 화재확대의 과정은 [그림 2-1] 과 같이 시간의 경과에 대한 온도의 변화로 나타내고 있다.

그림의 「제1 성장기」는 출화단계로서 철근콘크리트 구조 등의 건물에서 화재가 발생할 경우 화재실의 작은 화원을 중심으로 연소가 점차 확대되어, 연기가

실내에 가득 차게 된다. 이 시기는 실내평균온도가 비교적 낮아 화재실 또는 인접실로부터 피난이 가능한 시기이다. 이 단계의 지속시간은 화원, 착화물의 종류에 따라 다른데, 석유유출에 의하여 발화한 경우와 같이 위험물을 동반한 화재는 그 시간은 0에 가까우나, 방석, 매트리스 등이 담뱃불 등으로 인하여 착화하는 경우에는 수 시간 이상 경과하는 경우도 있다.

성장기가 지나면 화염이 벽이나 커튼 등을 타고 수직이동하여 연소하기 쉬운 천정으로 수평 확대되며, 또한 화재실내의 모든 가연물질이 활발히 연소하기 시작하면서 온도가 급격히 상승한다. 이와 같은 현상을 Flash Over(F·O)라고 부른다. 보통 목조건물에서는 가연물량이 많기 때문에 화재성장기의 구간이 짧아 F·O까지 10분도 걸리지 않으므로, 이 전에서 소화하지 않으면 큰 화재로 확대된다. 반면, 일반적인 내화구조 건물에서는 불연성 내장재 등의 사용을 권장하므로써 이 화재성장기의 구간을 최대한 연장하여 피난 및 소화활동에 있어 시간적 여유를 갖도록 하고 있다.

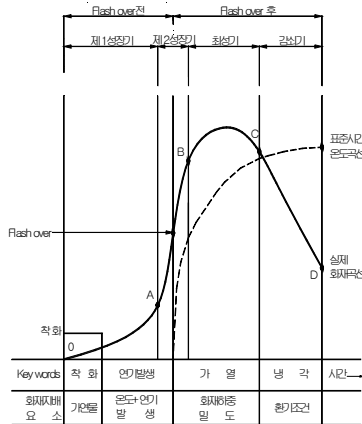


Figure 2-1 General process in building fire

「최성기」구간은 화재가 절정에 이르는 시기로서 실내에는 화염이 층만되고 모든 가연물이 연소하게 된다. 이 시점은 온도가 매우 높아 구획벽의 관통, 구

조물의 붕괴, 또는 인접건물로 복사열을 방출하는 등의 주변으로 화재전파를 가능하게 하는데, 이 기간의 길이는 창문의 크기나 실내의 가연물량 등에 의하여 결정된다. 이 후 가연물의 대부분이 타버리면 화세도 쇠약해지기 시작하며 온도도 점점 하강하기 시작하는 「감쇠기」로 들어선다. 이후로는 미소화된 큰 목재 등의 숯더미가 바닥에 쌓이고 방치할 경우 그 부근에서 상당한 시간 동안 연소가 지속되기 때문에 실은 200~300℃의 높은 온도를 계속 유지하게 된다.

## 2) 화재 지속시간과 온도

내화구조 건물 화재에 있어서는 목조건물과는 달리 천정, 바닥, 벽이 내화구조로 되어있어 이들 주요부분이 화재시 연소에 의해 붕괴하지 않고 최후까지 형태를 유지하기 때문에 연소에 영향을 주는 공기의 유통조건이 거의 일정하여 “아궁이 속에 장작을 때는 것”과 같은 상태가 된다. 내화구조 건물의 경우에도 일반적인 경우와 같이 [그림 2-1]의 「성장기, 최성기, 감쇠기」로 구별이 되는 연소현상을 나타내나 화재의 계속 시간은 일반적으로 목조가 30분 정도인 것에 비해 화재하중 등의 조건에 의해 2~3시간, 때에 따라서는 수 시간 이상 지속되는 일도 있다. 최고온도는 목조보다 다소 낮은 800~900℃정도의 경우가 많고, 발연량은 내화구조의 경우가 비교적 많은 것이 특징이다.

내화구조 건물화재에 있어서 성장기의 기간이나 F·O점의 온도는 실내의 내장 재료 등의 화재하중조건에 좌우되며, 최성기의 길이나 최고 온도 등은 실내의 가연물량, 창 등의 개구부 크기, 실의 내장면적 및 그 열적 성질 등에 의해 정해진다. 이 중 방화 대책상 가장 중요한 점은 인명의 안전확보 면에 있어서는 「F·O까지의 시간」이며, 건물 주요구조의 안전(붕괴방지)의 면에서 볼 때는 「최성기의 지속시간과 온도」가 된다.

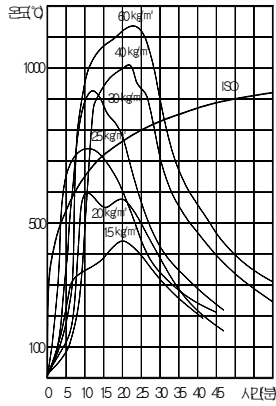


Figure 2-2 Results of fire tests in different fire loads (Opening factor :  $0.09m^{1/2}$ )<sup>1)</sup>

[그림 2-2] 및 [그림 2-3] 의 화재실험 결과는 화재하중과 환기조건이 건축물 화재의 온도 및 지속시간에 미치는 영향을 비교한 것으로서, 보는 바와 같이 화재하중과 환기율이 온도와 화재지속시간에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

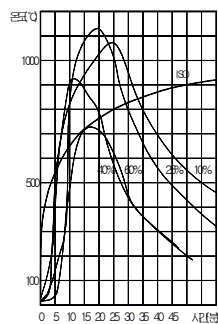


Figure 2-3 Results of fire tests according to ventilation rate on equivalent fire loads( $30kg/m^2$ )<sup>2)</sup>  
 (Ventilation rate means the ratio of the opening to the whole areas of

wall)

### 3) 표준화재온도곡선

각 건축물마다 화재하중이나 개구부 등의 조건 다르다고 해서 개개 건물마다의 상이한 화재조건에 따라 일일이 실험을 실시하여 화재특성에 대응하는 내화대책을 세우기는 매우 어렵다. 따라서 대부분의 국가에서는 내화구조 건축물에 대한 수많은 화재실험을 실시하고 이를 바탕으로 내화구조 건물의 화재특성을 파악하여, 건축물의 내화설계에 두루 적용할 수 있는 표준화된 화재시험방법을 개발하여 사용하고 있다. 이 화재시험에서는 매 시간 경과시마다의 화재 상승온도를 정한 「표준시간온도곡선(Standard Time - Temperature Curve)」에 따라 가열시험을 실시하여 건축구조체의 내화성능을 평가하고 있다.

이 표준곡선은 1918년 미국의 ASTM에서 처음으로 채택하였으며, 이후 거의 모든 내화시험방법의 기초가 되고 있다. 이러한 표준곡선을 채택한 후 미국기술 표준국(NIST, National Institute of Standards and Technology)은 실제 건물 화재에 대하여 이 곡선에서 제시한 시간온도와 어떻게 차이가 있는가를 알아보기 위하여 수 차례의 실험규모의 화재시험을 실시하였다. 그 결과 [그림 2-4]에서 나타난 바와 같이 어떤 용도는 화재초기에 급격한 온도상승이 일어나는 반면, 또 다른 용도는 이와 반대현상이 생기는 경우도 있었다.

그러나 대부분의 경우 어느 시간대에 이르면 표준시간온도곡선과 일치되는 점이 있음을 보여주고 있다.

이때의 화재실험에서는 건축물의 화재특성을 결정하는 주요한 변수로서 고려한 것이 화재하중으로 표시되는 가연물량이었는데, 이후 점차 화재실험방법과 화재공학에 대한 연구가 진전하면서 건축물의 화재성상이나 화재시 구조체의 거동 등에 대한 해석방법이 개발되어 내화건축물 화재시의 화재온도상승 및 화재지속 시간은 화재하중(가연물의 양) 뿐만 아니라 가연물의 배치상태, 환기조건 또는 건축공간의 크기 등이 주요 변수로 작용한다는 것이 밝혀지게 되었다. ( [그림 2-2] 및 [그림 2-3] 참조)

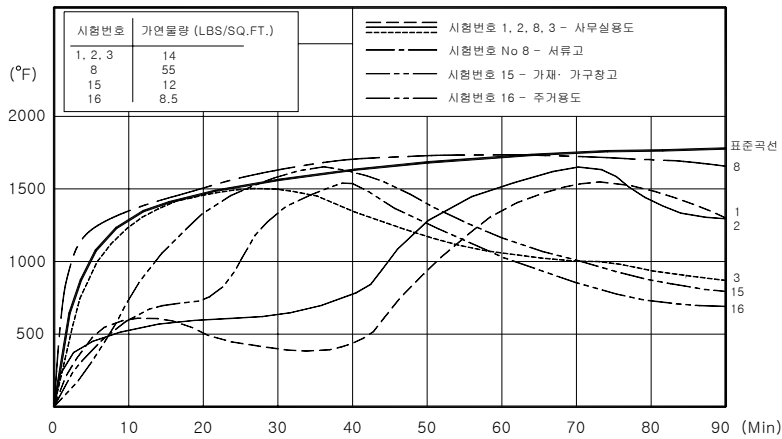


Figure 2-4 Comparison of the temperature curves between the real fire in different fire loads and the standard fire<sup>주3)</sup>

또한, 건축기술의 발전에 따라 신재료, 신공법이 개발되고, 지하가, atrium 등과 같은 대형공간의 건축이 등장하게 되어 기존 건축물의 화재 양상과는 상당히 다른 화재가 발생하는 등, 단순히 현행의 화재시험방법의 표준곡선 만으로는 건축물의 내화성상을 대표할 수 없게 되었다.

#### 나. 내화구조

##### 1) 내화구조의 정의(목적)

내화구조란 건축물의 주요 구조부재가 표준적인 화재온도에 견디는 내화성을 갖는 구조를 말하며, 구조부재의 내화성은 일반적으로 표준적인 화재를 받은 부재가 화재열에 대한 만족할 만한 기능을 나타내는 시간까지로 정의되고 있다.

내화구조는 건축물에 요구되는 화재안전대책 중 가장 기본적이고 중요한 것으로서 건축물의 방화대책에 있어서 내화구조가 지향하는 목적은,

- 가) 건물 내의 인명안전 및 피난시간 확보
- 나) 소방 및 구조활동 등의 안전성 확보
- 다) 건축물내의 화재확대방지

라) 붕괴 및 연소확대로 인한 인접건물의 손해방지

로 정의할 수 있으며 건축물에 있어서의 내화구조 목적은 무엇보다도 인명안전에 우선 순위를 두고 있다.

2) 내화구조의 요구기능

건축물의 화재 진행과정은 발화, 발연, 연소확대, 구조물의 붕괴 등으로 구분할 수 있으며, 이들 각 단계에서 인명 또는 재산에 미치는 피해정도가 각각 다르다. 내화구조는 화재시에 이들 4단계 중 연소확대 및 구조물 붕괴를 막기 위한 역할을 담당하는 하드웨어적인 수단이며, 건축물에 요구되는 방화대책 중 가장 기본적인 것이고 중요한 것이라고 할 수 있다. 내화구조로 하여야 하는 주요구조부재는 화재시 주어진 역할이 각각 다르며, 이들 내화구조 부재들에 대하여 요구되는 기능에는 아래와 같다.

가) 내력기능(기둥, 보 등)

나) 구획기능(간막이벽, 비내력벽 등)

다) 내력 및 구획기능(내력벽, 바닥 등)

내력기능(Load bearing capacity)은 기둥, 보, 내력벽 등과 같이 건축물의 하중을 부담하여야 하는 내력부재에 요구되는 것으로서, 이들 구조부재가 화재시의 화열을 받더라도 설계된 강도를 그대로 유지하여 구조적으로 파괴되지 않고 부재에 요구된 기간동안 견디는 구조안정성을 확보하는 것을 말하며, 일반적으로 재하가열시험에 의하여 그 성능을 평가하고 있다.

구획기능(Fire compartment)은 벽체나 바닥과 같이 실이나 층을 분할하는 구획부재 즉, 방화구획 역할을 부담하여야 하는 구조부재에 요구되는 것으로서, 화재가 발생한 실의 벽이나 바닥의 이면측 온도가 상승하여 인접실의 가연물에 착화하여 화재가 확대되는 것을 막는 차열성(Insulation)과 화열을 받는 부재에 균열이나 구멍 등이 발생하여 화염이나 열기가 통과하지 못하게 하므로써 화재가 확대되지 않도록 하는 차염성(Integrity)을 확보하여야 하는 것을 말한다.

내력기능과 구획기능 모두를 필요로 하는 부재는 내력벽이나 바닥과 같은 구조부재로서 구조안정성, 차열성 및 차염성을 모두 확보하여야 하는 부재이다.

건축 관련법규에서는 건물의 용도별 또는 층별에 따라서 기둥, 보, 바닥 및 벽 등 건축부재의 역할별로 소정의 내화성능을 요구하고 있으며, 각 국에서는 사용하는 건축재료의 특성이나 관습 또는 건축물의 용도 등을 감안하여 각각 그 나라의 실정에 맞도록 건축물의 내화기준을 규정하여 적용하고 있다.

### 3. 목조화재 및 방화 이론

#### 가. 목재 및 목재가공품의 성질

목재류는 가연물로서 외부에서 열을 가하면 수분을 잃고 탄화된다. 일정 온도 이상이 되면 발화되어 연소하기 시작한다. 수분함량, 온도 등에서 특수한 조건이 맞지 않는 한 자연발화하는 일은 거의 없다. 착화하기 위해서는 불꽃이나 뜨거운 물질에 닿거나 고열을 방출하는 물질에 접근되어야 한다.

화재발생을 저지시킬 수 있는 화학물질이 목재나 목재가공품에 사용되고 적당한 물질을 사용하면 이들 목재류의 연소성을 감소시킬 수 있다. 화학약품 처리가 잘 되면 열원의 영향을 외부에서 차단하여 줌으로 화재가 발생하는 것을 막을 수 있다. 목재와 목재가공품은 화재방지 효과를 높이기 위해 다른 물질과 적절히 혼합해서 사용하기도 한다. 단열처리를 한 합판이나 나무 벽체는 처리하지 않은 것보다 내화성능이 훨씬 양호하다.

#### 나. 목재의 화학적 조성

목재의 조성성분은 탄소, 수소, 산소와 소량의 질소, 기타로 되어 있다. 건조된 목재는 여러 가지 물질의 복합체인데 그 주성분은 셀룰로오즈[(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>x</sub>]이다. 목재의 다른 성분으로는 리그닌, 무기물, 수분 등인데, 특히 수분함량은 연소의 연구라는 견지에서 중요성을 가진다. 무기물질은 목재가 타고난 뒤에도 남게 된다.

리그닌은 당분, 수지, 알콜의 에스테르 등이 혼합된 것이다. 생나무의 세포 속에는



수분이 상당량 포함되어 있는데 나무가 죽으면 건조하게 되어 세포구조 내에 수분대신 공기가 치환되게 된다. 종이나 목재가공품 및 섬유질 물질(황마, 대마, 삼 등)의 본질은 셀룰로오스이다. 이런 물질에 화재억제 효과를 부여하기 위해서는 압축처리, 화학물질의 코팅이나 압입처리 등의 방법이 적용된다.

[표 3-1]은 목재의 수종별 화학적 조성을 나타낸 것이다.

Table 3-1 Chemical components of the dried woods

Species	Components(weight %)				
	C	H	O	N	others
Oak(참나무)	50.16	6.02	43.26	0.09	0.37
Ash(물푸레나무)	49.18	6.27	43.19	0.07	0.57
Elm(느릅나무)	48.99	6.20	44.25	0.06	0.50
Beech(너도밤나무)	49.06	6.11	44.17	0.09	0.57
Birch(자작나무)	48.88	6.06	44.67	0.10	0.29
Pine(소나무)	50.31	6.20	43.08	0.04	0.37
Poplar(포플라)	49.37	6.21	41.60	0.96	1.86
Calif. redwood(미국삼나무)	53.50	5.90	40.30	0.10	0.20
Western hemlock(솔송나무)	50.40	5.80	41.40	0.10	2.20
Douglas fir(더글라스퍼)	52.30	6.30	40.50	0.10	0.80

#### 다. 목재의 착화 및 연소 영향인자

목재의 착화와 연소에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있으나 크게 다음과 같은 요인들을 들 수 있다.

##### 1) 목재의 외형

나무가지는 쉽게 불이 붙고 무겁고 두터운 통나무는 착화되기 어려운데 이것은 물질이 잘게 나누어질수록 표면적이 커지기 때문이며 따라서 잘고 얇은 가연물이 두텁고 큰 것보다 잘 탈 수 있는 것이다.

## 2) 열전도

화재시 물질의 열전도도는 연소성상의 주 요소이며, 목재는 열전도도가 철의 약 1/350, 알루미늄의 약 1/1000 정도이다. 실제 건축물 화재시 두터운 목재와 목골구조의 건물이 경량 철골구조의 건물보다 더 오래 견딜 수 있는 것으로 알려지고 있는데 이는 목재가 연소해서 생기는 목탄의 단열효과로 인한 것이다.

## 3) 수분함량

크기 및 외형, 화학적 조성이 동일한 고체 가연물이라 하더라도 수분함량에 따라 착화와 연소성상이 다르게 나타난다. 일반적으로 목재는 수분함량이 15 % 이상이면 비교적 고온에 장기간 접촉해도 쉽게 착화되지 않는 것으로 알려지고 있다.

## 4) 가열속도와 시간

목재를 가열하는 속도와 시간은 목재의 착화성에 영향을 미친다. 가연성 액체나 기체와 달리 고체 물질은 쉽게 기화하지 않고 상온 상압하에서 가연성증기를 방출하지 않는다.

## 5) 자연발화

목재나 목재가공품은 오염된 상태로 두면 자연발화할 수 있는데 그 예로 깨끗하고 건조된 섬유상의 물질은 자연발화가 어려우나, 기름에 적셔 통풍이 불량한 곳에 보관하면 자연발화의 가능성을 높이는 것으로 알려지고 있다.

## 6) 연소 및 화염전파 속도

연소속도는 가연물의 외형, 공기 공급, 수분함량 등 복합적인 요인들에 의해 영향을 받게 되며 고체의 경우 가연성 액체나 기체에 비해 화염전파속도는 낮은 것이 일반적이다.

## 7) 연소물의 량

목재는 수종에 따라 연소열량에 차이가 있으며 연소물의 량을 측정하면 해당 구조물이 화재에 노출된 경우 방출하는 열량을 예측할 수 있다.

#### 라. 목조 건축물의 화재 성상

보통의 목조 건물에서는 가구라든가 내장재가 타기 쉬운 가연물로 되어 있기 때문에 순식간에 Flash Over에 도달하며 온도도 급경사로 상승한다. 그리하여 골조도 목조로 되어 있고 개구부도 많아서 공기의 유통이 좋기 때문에 격렬히 연소하고 특히 박공벽의 상부라든지 지붕의 일부가 타 내려 앉으면 연소는 최성기에 달하며 온도도 최고 약 1,100℃를 넘게 된다.

최성기를 지나면 건물은 급속히 타 버려 양상한 상태가 되고 굽은 기둥, 보만 타면서 서 있게 되나 그것도 마침내는 넘어지게 되며 지상에는 이들이 타고난 목재의 부스러기가 날아 연기가 나는 상태가 계속된다. 온도도 최성기 이후는 오히려 공기의 유통이 좋아 냉각되는 결과 급속히 저하한다. 보통의 주택과 같은 목조건물에는 출화부터 최성기까지 약 10분간, 최성기부터 쇠퇴기까지 약 20분간에 끝난다. 이상과 같은 목조건물 화재의 특징은 「고온단기간형」이라고 한다.

한편 목조 건축물과 내화조 건축물의 화재성상을 비교해 보면 내화구조의 건물화재는 비교적 저온장기간형으로 지속적으로 연소가 이루어지는 것이 보통이며, [그림3-1]에서 목조와 내화조 건물화재 성상을 비교하여 볼 수 있다.

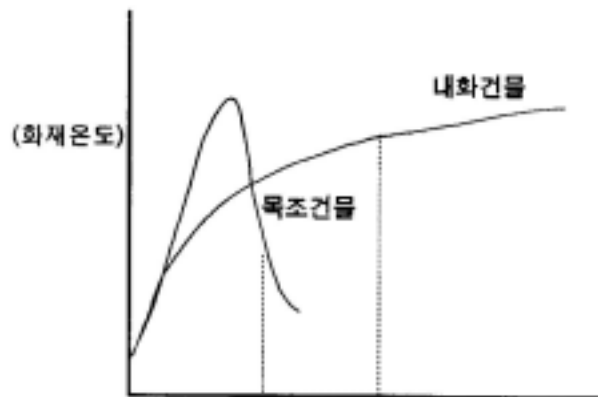


Figure 3-1 Comparison of standards fire temperature curves between wood construction building and fire-resistant construction building

#### 마. 목재의 방화처리

목재는 다른 건축재료에 비해 경량인데 비해 강도가 크고, 열전도율이 낮을 뿐 아니라, 가공 및 공급의 용이성 등 많은 장점을 가지고 있으나 연소하기 쉬운 큰 단점을 가지고 있다. 목재의 발화점은 400~600℃이며 인화점은 발화원의 열량이나

분해가스 농도의 크기에 따라 많은 변수가 있으나, 일반적으로 열분해가 이루어지는 온도(260℃)를 넘으면 인화될 수 있어 일본의 경우 방화공학에서는 출화위험 온도를 260℃로 정하고 바탕재로서 목재를 사용하는 재료나 구조체의 이면온도 규정에 이 값을 적용하고 있다.

또한 목재가 열분해하면 1g당 30cal 정도의 발열이 있어 비교적 저온상태(100~200℃)로 장기간 가열되면 열이 축적하여 무염(無炎)착화가 일어날 수 있는 가능성이 있는 것으로 알려지고 있다. 즉, 목재 주위의 단열 상태가 좋으면 열의 축적이 용이하여 인화점 이하에서도 착화될 가능성이 있다.

따라서 이상과 같은 목재의 가연성을 개선, 방화성능을 갖도록 하기 위한 조치로는 다음과 같은 것들이 있다.

##### (1) 방화목재

목재를 방화처리하여 화재에 저항하도록 하는 것으로서, 목재의 방화처리는 제2 인산암모니아( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) 10%액을 사용하기도 하고 제2인산암모니아( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) 5%와 붕산 $\text{H}_3\text{BO}_3$  5%의 혼합액을 주입한다. 이러한 목재는 화재시 방화약제가 열분해되어 불연성가스를 발생함으로써 방화효과를 갖게 되며, 열분해로 생긴 산근이 목질부에 작용하여 탈수탄화작용을 하므로 목질이 탄소(C)와 물( $\text{H}_2\text{O}$ )로 분해되어 방화효과를 갖게 된다. [표 3-2]은 목재의 방화처리 적용 예를 나타낸 것이다.

Table 3-2 Woods with fire-proof treatments

Injection rate (%)	Specific gravity	Species
50	0.61 and over	larch, chestnut tree, zelkova tree, etc.
50 ~ 100	0.59	cypress, 육송, 시오지 등
100 ~ 150	0.58	maple, douglas-fir, lauan, etc
150 and over	0.58 and less	삼송, 오송 등

(2) 방화섬유판

유기질섬유로된 연질판·반경질판·경질판 등의 목재에 방화약제로 방화처리한 것이다. [표 3-3]는 약제별, 농도별 섬유판의 방화성능을 실험한 외국의 자료를 나타낸 것이다.

Table 3-3 Fire-proof performance of organic fiber board

Treatment	Density (%)	Unheated face temperature(°C)		
		5 mins	10 mins	15 mins
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5	72°C	125°C	241°C
	10	67°C	145°C	250°C
	20	71°C	177°C	(316°C)
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> + H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5:5	73°C	124°C	214°C
	7:3	86°C	135°C	240°C
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> + Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	5:3	72°C	118°C	223°C
	7:3	83°C	149°C	250°C
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> + Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	20:5	88°C	165°C	(277°C)
	15:5	87°C	152°C	(276°C)
	10:5	84°C	142°C	253°C
	5:5	82°C	136°C	247°C

(주) 1) Treatment : 1kg/pyung

2) Density of pre-treatment fiber board : 0.49

3) 방화도료

목재 표면에 시공한 도료가 고온의 화재에 노출되는 경우 일정 두께이상 발포되어 화염을 차단함으로써 바탕재료의 열전달을 상당 시간 지연할 수 있도록 하는 것으로서,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\text{C}_3\text{N}_3(\text{NH}_2)_2$  등 아미노( $\text{NH}_2$ )계의 수지에 인산계의 물질을 일정량 혼합하여 메틸알코올로 용해시킨 것을 글리세린을 혼합하여  $130^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 로 약 30분간 가열하는 것으로 한다.

4) 대단면 목재

대단면 목재는 연소에 따라 목재의 표면에서 내부로 진행되는 탄화속도가 비교적 적다. 목재의 탄화속도는 가열조건이나 수종 및 비중 등에 따라 차이가 있으나 일반적으로 0.5~0.8 mm/분(약 30 mm/시간)를 나타내며, 큰 치수의 목재가 심한 화재에 노출되었을 때 내부의 건전부위는 약 10~15%의 강도 감소를 가져오는 것으로 알려지고 있다. 따라서 대단면의 구조재를 사용한 목조 건축물에서는 작은 지름의 목재를 이용한 건축물과 달리 화재에 노출시 별도의 피복이 없어도 일정 시간 구조내력을 유지할 수 있게 된다.

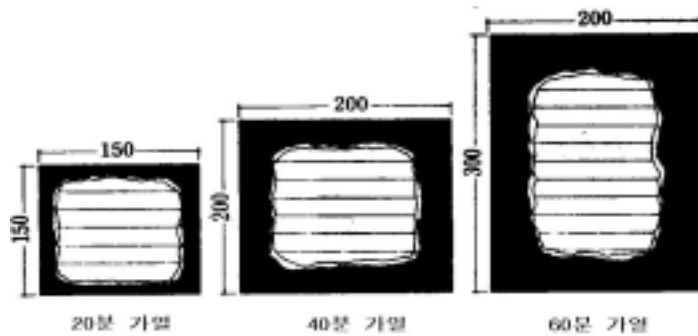


Figure 3-2 Charred section of the Heavy timber

(5) 경골 목구조

경골 목구조는 작은 단면을 갖는 골조(예 : 2"×4", 2"×6" 등)위에 석고보

드를 붙여서 내화성을 향상시킨 구조이다. 석고보드는 130℃ ~ 210℃라는 비교적 저온영역에서 탈수하여 무수상태로 전이되고 이때 증발잠열(539 kcal/kg)이 바탕재료의 열전달을 억제하게 된다. 경골 목구조는 사용 재료의 선택 및 공법에 따라 내화성을 갖는 것으로 나타나고 있다.

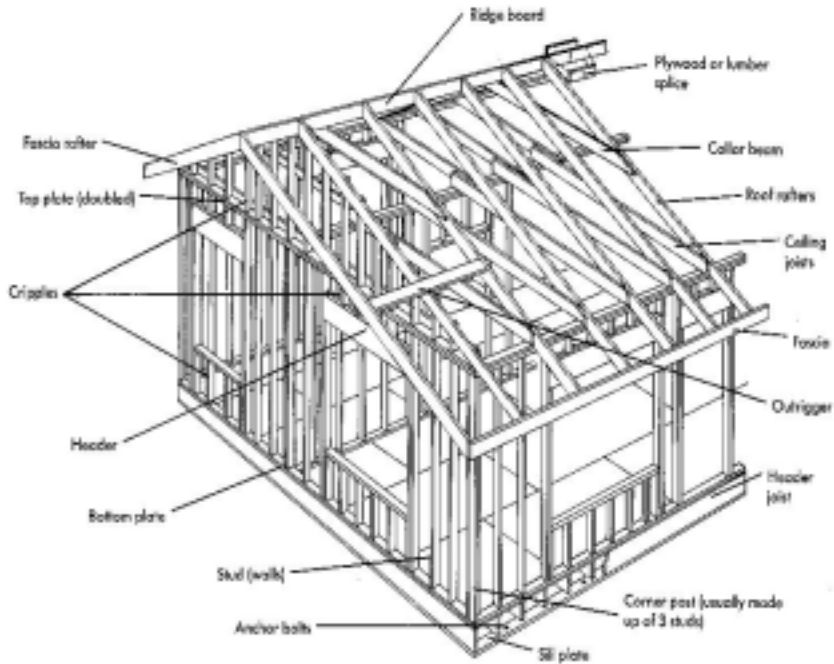


Figure 3-3 Example of construction method of light-frame wood structure

## 4. 경골 목구조의 내화성능 실험

### 가. 경골 목구조의 개요

경골 목구조(Light-Weight Wood Frame Structure)는 북미 대륙에서 유래하여 발달한 공법으로서, 일명 Balloon Frame 공법, 2"×4"공법 등으로 소개되고 있는 목구조 공법이다. 벽체는 경량셋기둥(Stud) 및 횡가재(웃, 밑 깔도리) 등으로 뼈대를 구성하고 그 양면에 합판이나 석고보드 등의 판재를 붙여서 구성한다. 경골 목구조에서는 일반적으로 2"×4"(또는 2"×6") 각재를 셋기둥으로 사용하므로 일본에서는 이를 '2×4 공법'이라 하며, 보통 셋기둥은 40cm~45cm의 간격을 둔다. 바닥은 주로 2"×10"내외의 각재를 장선으로 하고 장선 상부에는 합판위 바닥 마감 콘크리트를, 그리고 장선 하부에는 석고보드로서 천정면을 구성한다.

이 공법의 방화상 특징은 벽을 구성하는 틀(Frame)에 판재가 기밀성 있게 부착되고, 또 틀을 구성하는 각재가 화재 차단재(Fire stop)의 역할을 하므로써, 벽 속에 화염이 침투되더라도 어느정도 연소확대를 지연시키는 역할을 하며, 또한 마감재인 석고보드는 내화성이 있는 방화석고보드를 사용함으로써 전체적으로 화재에 견딜 수 있는 구조가 되도록 하는 것이다.

### 나. 경골 목구조의 내화성능 실험

#### 1) 실험 개요

이 연구는 국산재를 이용한 3층 규모의 경골 목구조로서 적정 수준의 내화성능을 갖는 내·외벽 및 바닥 구조를 개발함으로써, 향후 경골 목구조에 의한 건축물이 내화구조로 인정받아 현장 적용될 수 있도록 기초자료를 제시하고 아울러 대부분 수입에 의존하고 있는 국내 목조 건축물의 구조재를 국산재로 대체함으로써 국내 임산자원의 활용성을 높이는데 있다.

이 연구는 2차년에 걸쳐 수행되었으며, 1차년도에는 우선 경골 목구조가 내화성능을 갖는지의 여부를 확인하는 것으로 하였다. 이를 위하여 문헌에 의한 1시간 내화구조의 내·외벽 및 바닥 구조의 적용 예를 살펴보고 이를 토대로 외산재(Hem-Fir 2등급, S-dry : 함수율 19 % 이하) 및 방화석고보드(Type X)를 주요 재료로 하여 내화 1시간 구조의 내·외벽 및 바닥을 제작하고 재하가열 실험을



실시, 당해 구조의 내화성능 및 구조공법 등을 파악하는 것으로 하였다.

2차년도에는 국내 생산 목재 중 적절한 구조 강도를 갖음으로서 구조재료의 활용성이 높은 낙엽송 및 소나무를 실험자재로 선정하여 내·외벽 및 바닥 구조를 제작하였다. 또한 마감재인 석고보드는 내화성이 있는 국산 방화석고보드를 사용함으로써 주요 재료를 국산재로 하는 경골 목구조의 내화성능 평가가 가능하도록 하였다.

## 2) 실험체

### (가) 1차년도 외산재 경골 목구조의 벽 및 바닥

1차년에는 문헌 등을 통하여 경골 목구조가 1시간 내화성능을 확보하는데 요구되는 적정 내화공법을 파악하는 것을 목적으로 하였으며, 이에 따라 제작한 외산재 경골 목구조의 벽 및 바닥 실험체의 사양은 [표 4-1] 및 [그림 4-1]~[그림 4-3] 과 같다.

Table 4-1 Specification of light-frame wood structure specimen by American softwood structural lumber

Structure	Test No.	Construction(mm)	Size(m)	No.	Applied load <sup>1)</sup>	Remark
Exterior wall	1	siding panel+ water-proof paper+ plywood (12t)+ wood stud <sup>2)</sup> (2"×4" : 38×89)+ rock wool (60K, 89t)+ fire-proof gypsum board <sup>3)</sup> (1/2") 2 layer	3 wide× 2.4 high	1	7,783	heat the face of gypsum
	2	siding panel+ water-proof paper+ plywood (12t)+ wood stud(2"×4" : 38×89)+ rock wool (60K, 89t)+ fire-proof gypsum board(1/2") 2 layer		1	7,783	heat the face of siding
	3	exterior sheathing <sup>4)</sup> + plywood(12t)+ wood stud <sup>2)</sup> (2"×4": 38×89)+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum board <sup>3)</sup> (1/2") 2 layer		1	7,745	heat the face of gypsum
	4	exterior sheathing+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4": 38×89)+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum boars <sup>3)</sup> (1/2") 2 layer		1	7,745	heat the face of sheathing
Interior wall	5	fire-proof gypsum board(1/2") 2 layer+ wood stud(2"×4": 38×89)+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum board (1/2") 2 layer	3 wide× 2.4 high	1	7,783	
	6	fire-proof gypsum board(5/8") 1 layer+ wood stud(2"×4" : 38×89)+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum board(5/8") 1 layer		1	7,691	
floor	7	Gyp - Crete (40t) + water - proof paper+ plywood (15t)+ wood joist <sup>2)</sup> (2"×10" : 38×235)+ rock wool (60K, 100t)+ fire-proof gypsum board(1/2") 2 layer	3 wide× 4 . 8 8 long (span : 4.3)	1	287	
	8	Gyp - Crete (40t) + water - proof paper+ plywood (15t)+ wood joist(2"×10" :38×235)+ rock wool (60K,100t)+ fire-proof gypsum board(5/8") 1 layer		1	287	

※ 1) applied load : unit / wall(kg), floor(kg/m<sup>2</sup>)

2) stus, joist : Canadian Hem-Fir(No 2, S-dry : water content 19 % and less)

3) fire-proof gypsum board : Type X (U.S company, mass : 1/2"-9.5 kg/m<sup>2</sup>, 5/8"-11.1 kg/m<sup>2</sup>)

4) exterior sheathing : fiber mesh+paint spray(total thick 5 mm and less, trade name : STUCCO)

※ Drywall screw

- wall  $\phi 4 \times 32(\text{mm})$  : inner part @ 200 mm, upper and lower part @ 100 mm
- floor : resilient channel and joist  $-\phi 4 \times 50(\text{mm})$ , @406 mm  
fire-proof gypsum board and resilient channel  $-\phi 4 \times 32(\text{mm})$ , @150 mm

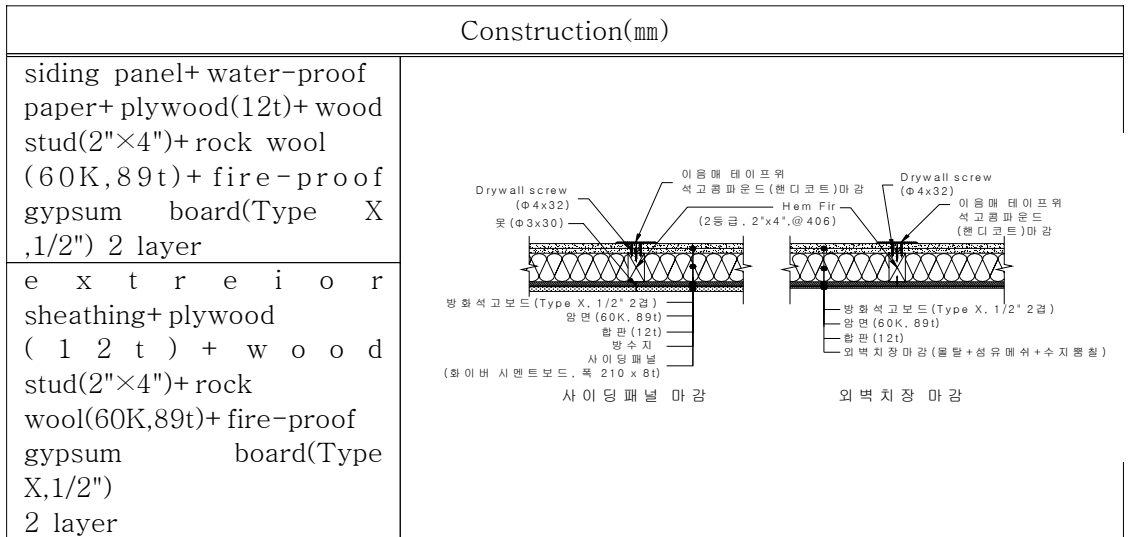


Figure 4-1 Specification of exterior wall of light-frame wood structure  
by  
American softwood structural lumber

Construction(mm)	
<p>1) fire-proof gypsum board(Type X, 1/2") 2 layer + wood stud(2"×4")+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum board(Type X, 1/2") 2 layer</p>	<p>이음매 테이프워 석고컴파운드 (헨디코트)마감 Drywall screw (Φ4x32) (2등급, 2"×4", @406) 방화석고보드(Type X, 1/2" 2겹) 암면(60K, 89t) 방화석고보드(Type X, 1/2" 2겹) 석고보드 1/2" 2겹</p> <p>Drywall screw (Φ4x32) Hem Fir 이음매 테이프워 석고컴파운드 (헨디코트)마감 방화석고보드(Type X, 5/8" 1겹) 암면(60K, 89t) 방화석고보드(Type X, 5/8" 1겹) 석고보드 5/8" 1겹</p>
<p>2) fire-proof gypsum board(Type X, 5/8") 1 layer + wood stud(2"×4")+ rock wool(60K, 89t)+ fire-proof gypsum board(Type X, 5/8") 1 layer</p>	

Figure 4-2 Specification of interior wall of light-frame wood structure  
by  
American softwood structural lumber

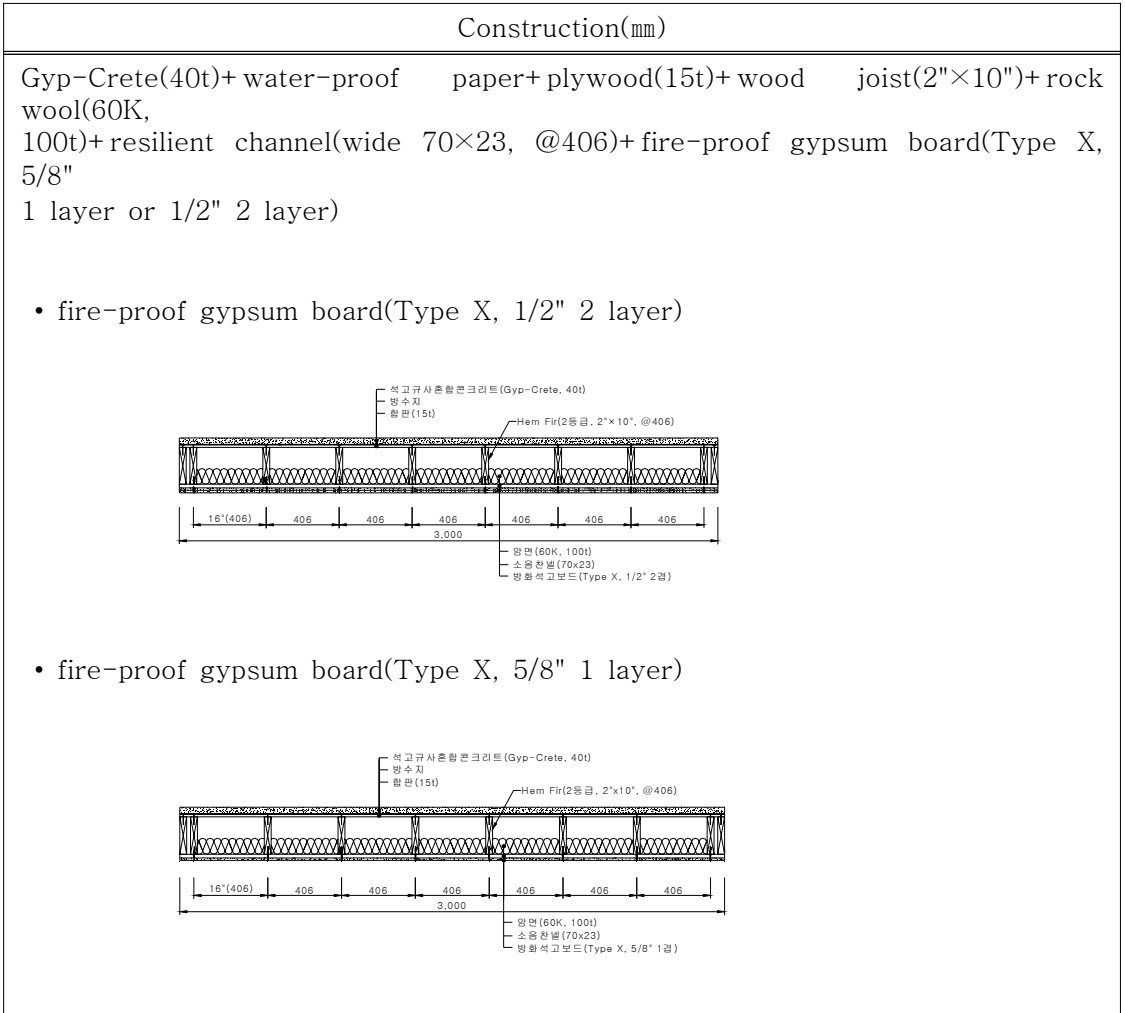


Figure 4-3 Specification of floor of light-frame wood structure by American softwood structural lumber

나) 2차년도 국산재 경골 목구조의 벽 및 바닥

2차년도는 국산재 경골 목구조의 벽 및 바닥 구조를 개발하는 것을 목적으로 하였으며, 이에 따라 제작한 경골 목구조의 벽, 바닥 실험체의 사양은 [표 4-2] 및 [그림 4-4] ~ [그림 4-7]과 같다.

국산재의 경우는 대부분 길이가 짧고 단면이 작아 실험체에 요구되는 소요 길이 및 단면(바닥 장선 등)을 확보하기가 어렵다. 따라서 부재의 소요 길이는 단재를 Finger joint 이음하였고, 바닥 장선에 대하여는 문헌 조사를 통하여 Box beam 이나 Floor truss 장선(Posi-strut web)과 같은 합성보 구조를 적용하는 경우 작은 단면의 목재로서 적정 크기의 장선을 갖는 바닥 구조가 가능한 것으로 조사되어 이들 2종류의 장선을 적용한 바닥 실험체를 제작하여 연구를 수행하는 것으로 하였다.

국산재에 의한 바닥구조의 장선은 2종류 모두 [그림 4-8]과 같이 상단재와 하단재(2겹)의 덧댐재를 중앙에 Finger joint 이음하였고, 하단재의 구조재는 4등분 지점 좌우에 Finger joint 이음하여 제작하였다.

Table 4-2 Specification of light-frame wood structure specimen by

Korean

softwood structural lumber

Structure	Test No.	Construction(mm)		Size (m)	No.	Applied load <sup>d)</sup>	Remark
Exterior wall	larch	9	wire-mesh finishing <sup>2)</sup> (20t)+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4" : 38×89)+rock wool (60K, 50t) + fire-proof gypsum board(12.5t) 2 layer	3 . 0 wide ×2.4 high	1	9,507	heat the face of gypsum
		10	wire-mesh finishing <sup>2)</sup> (20t)+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4" : 38×89)+rock wool (60K, 50t) + fire-proof gypsum board(15t) 1 layer		1	9,445	
	pine trees	11	wire-mesh finishing <sup>2)</sup> (20t)+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4" : 38×89)+rock wool (60K, 50t) + fire-proof gypsum board(12.5t) 2 layer		1	8,325	
		12	wire-mesh finishing <sup>2)</sup> (20t)+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4" : 38×89)+rock wool (60K, 50t) + fire-proof gypsum board(15t) 1 layer		1	8,263	
Interior wall	larch	13	fire-proof gypsum board(12.5t) 2 layer+ wood stud(2"×4" : 38×89)+ fire-proof gypsum board (12.5t) 2 layer	3 . 0 wide ×2.4 high	1	9,310	
		14	fire-proof gypsum board(15t) 1 layer+ wood stud (2"×4" : 38×89)+ fire-proof gypsum board(15t) 1 layer		1	9,186	
	pine trees	15	fire-proof gypsum board(12.5t) 2 layer+ wood stud(2"×4" : 38×89)+ fire-proof gypsum board (12.5t) 2 layer		1	8,128	
		16	fire-proof gypsum board(15t) 1 layer+ wood stud (2"×4" : 38×89)+ fire-proof gypsum board(15t) 1 layer		1	8,004	
floor	Box beam	larch 17	Gyp-Crete(40t)+ water-proof paper+ plywood (15t)+ wood joist(Box beam)+rock wool(60K, 100t)+ resilient channel+ fire-proof gypsum board (15t) 1 layer	3.0 wide × 4.88 long (span : 4.3)	1	287	
		pine trees 18	Gyp-Crete(40t)+ water-proof paper+ plywood (15t)+ wood joist(Box beam)+rock wool(60K, 100t)+ resilient channel+ fire-proof gypsum board (15t) 1 layer		1	287	
	Floor truss	larch 19	Gyp-Crete(40t)+ water-proof paper+ plywood (15t)+ wood joist(Floor truss)+rock wool(60K, 100t)+ resilient channel+ fire-proof gypsum board (15t) 1 layer - 130 -		1	287	
		pine tree 20	Gyp-Crete(40t)+ water-proof paper+ plywood (15t)+ wood joist(Floor truss)+rock wool(60K, 100t)+ resilient channel+ fire-proof gypsum board (15t) 1 layer		1	287	



- ※ 1) applied load : unit / wall(kg), floor(kg/m<sup>2</sup>)
- 2) wire-mesh mortar finishing : water-proof paper+cement mortar on wire-mesh (total thick 20 mm)
- 3) fire-proof gypsum board : Korean company(mass : 12.5 mm-10.7 kg/m<sup>2</sup>, 15 mm-12.5 kg/m<sup>2</sup>)
- ※ Drywall screw
  - wall  $\phi 4 \times 32$ (mm) : inner part @ 200 mm, upper and lower part @ 100 mm
  - floor : resilient channel and joist - $\phi 4 \times 50$ (mm), @450 mm
- fire-proof gypsum board and resilient channel - $\phi 4 \times 32$ (mm), @150 mm

Construction(mm)	
wire-mesh mortar finishing (20t)+ water-proof paper+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4")+ rock wool(60K, 50t) + fire-proof gypsum board (12.5t) 2 layer	
wire-mesh mortar finishing (20t)+ water-proof paper+ plywood(12t)+ wood stud (2"×4")+ rock wool(60K, 50t) + fire-proof gypsum board (15t) 1 layer	

Figure 4-4 Specification of exterior wall of light-frame wood structure  
by Korean  
softwood structural lumber

Construction(mm)	
fire-proof gypsum board (12.5t) 2 layer+ wood stud (2"×4")+ fire-proof gypsum board(12.5t) 2 layer	
fire-proof gypsum board (15t) 1 layer+ wood stud (2"×4")+ fire-proof gypsum board(15t) 1 layer	

Figure 4-5 Specification of interior wall of light-frame wood structure  
by Korean

softwood structural lumber

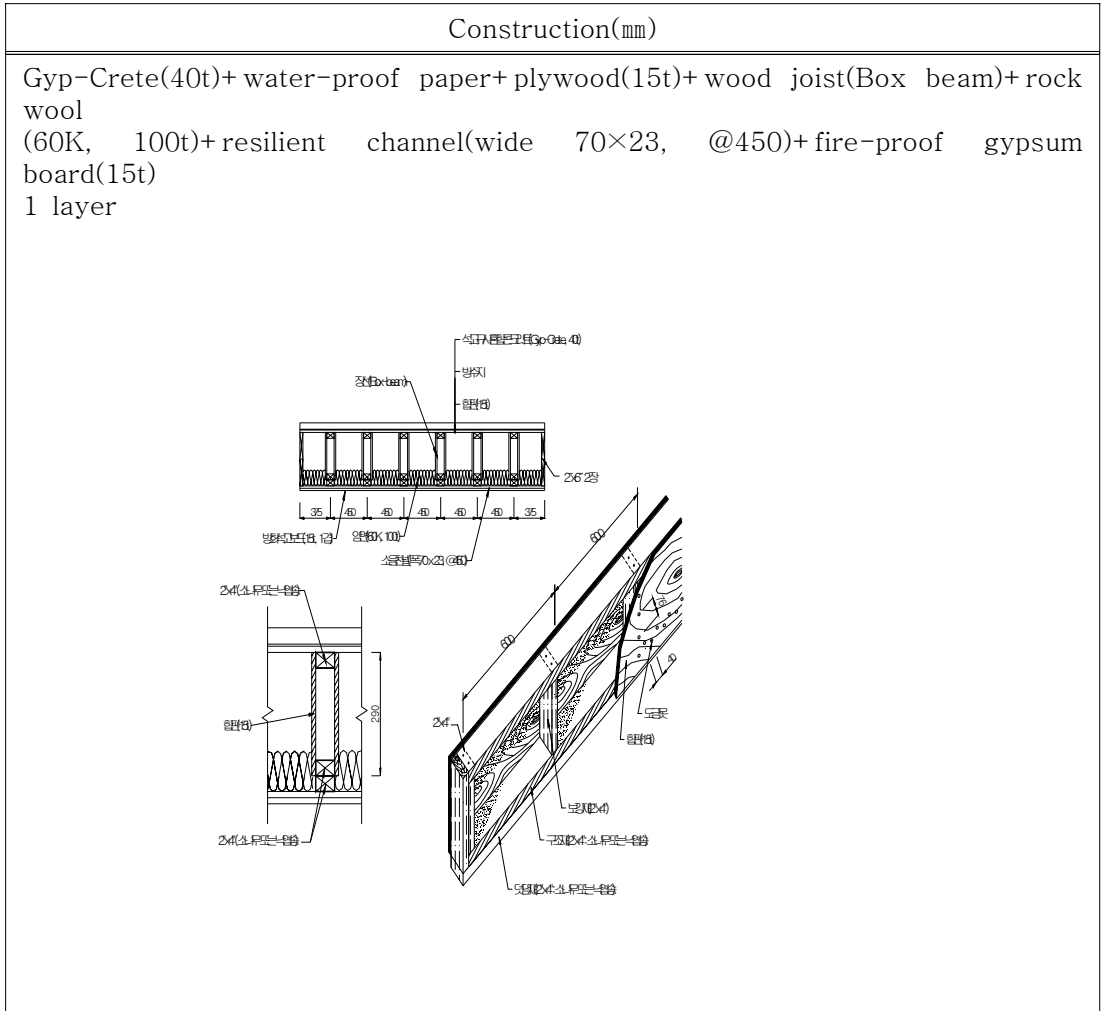


Figure 4-6 Specification of floor of light-frame wood structure by Korean softwood structural lumber(Box beam joist)

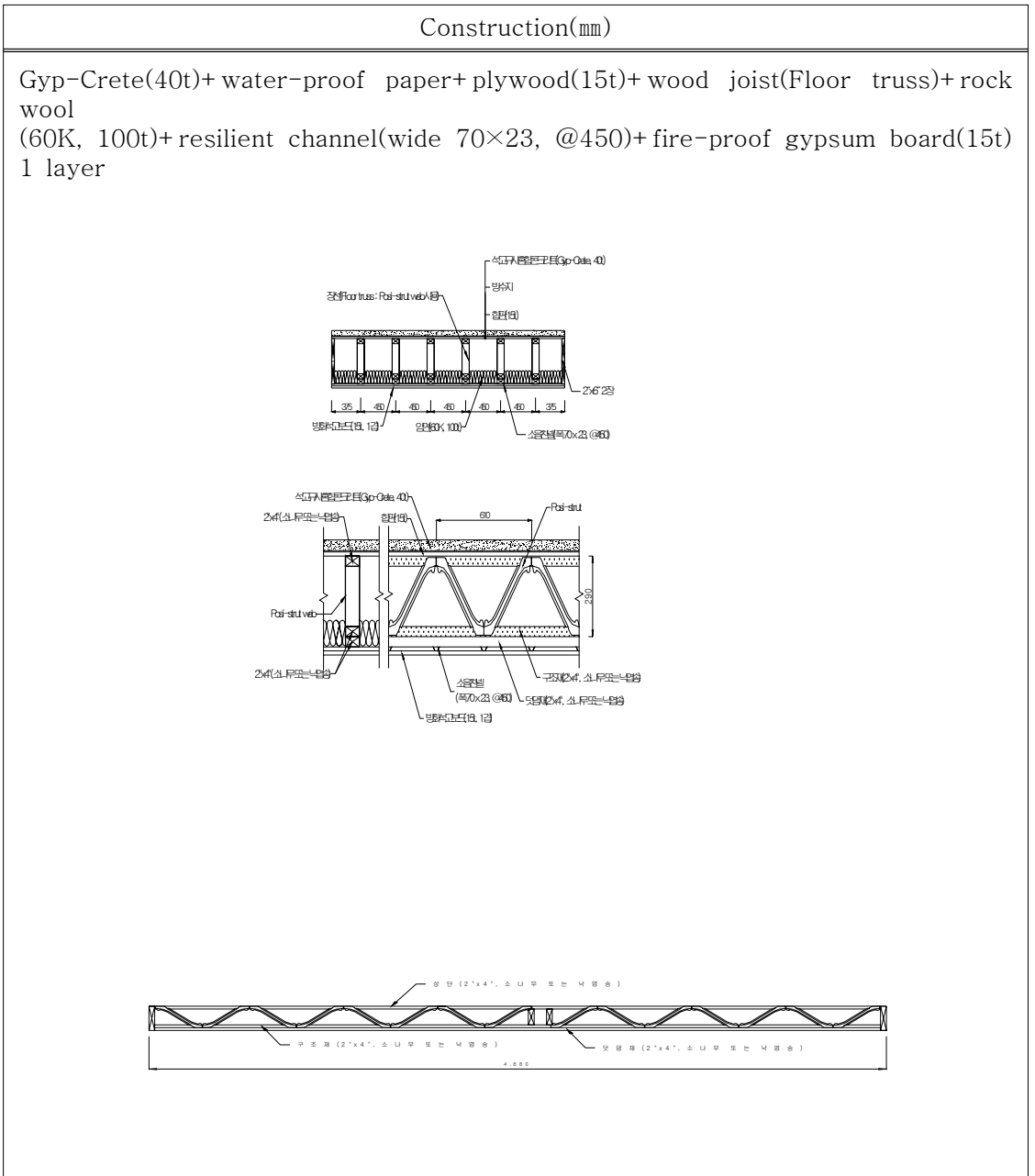


Figure 4-7 Specification of floor of light-frame wood structure by Korean softwood structural lumber(Floor truss)

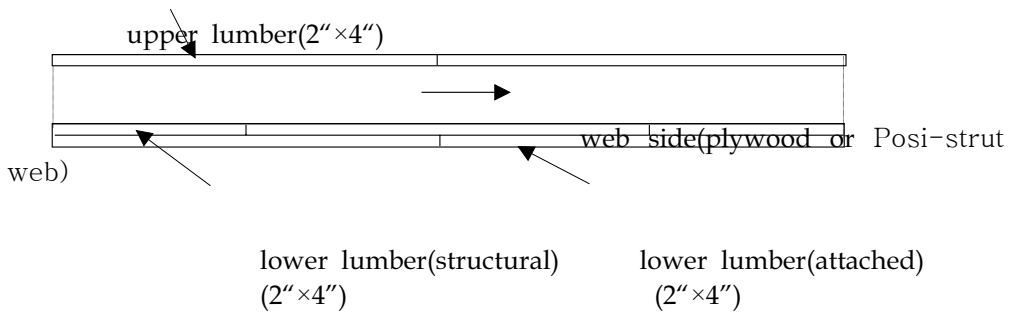


Figure 4-8 floor joist connection of light-frame wood structure by Korean softwood structural lumber

다) 실험 방법

실험장치, 실험절차 및 평가기준 등 실험방법은 KS F 2257-1(건축구조 부재의 내화시험방법-일반 요구사항) 및 KS F 2257-4(수직내력 구획부재의 성능조건), KS F 2257-5(수평내력 구획부재의 성능조건)를 적용하였다.

(1) 실험장치

- 실험장치(부록 1 참조)

사용 가열로는 벽용가열로 및 바닥용 가열로로서, 벽구조는 시험체를 하단에 균등 분포로 설치된 4개의 유압실린더로 시험체 하부로부터 재하하고, 바닥 구조는 이동식 재하틀에 설치된 유압실린더 4개를 시험체 상부에 균등 배치하여 재하

- 변형량 측정장치

Linear Type 변위계의 데이터 값을 컴퓨터로 자동 기록

- Data 처리

Computer에 의한 자동계측 및 기록

(2) 측정항목

- 내·외벽 : 측방향 변형량 및 변형율, 수평변형량(참고값), 이면상승온도

- 바닥 : 변형량 및 변형율, 이면상승온도

(3) 구조별 세부 실험방법

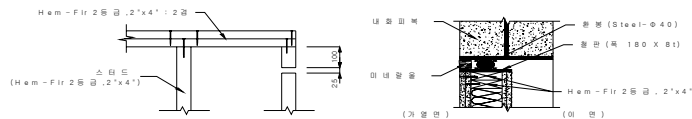
- 내·외벽

(가) 지지조건 : 벽체 상단부에 바닥 또는 지붕이 얹혀지는 구조는 로올러 지점 (Roller support)으로, 벽체 좌우 단부는 자유단으로 보고 벽체 하부는 면지지로 함. 실험시 Roller 지점은 시험체 상부에 환봉( $\psi 40$ )을 설치하여 실험을 실시함.

(나) 스테드 End-cutting : 벽 상부로부터의 하중은 각 스테드를 중심으로 좌·우 분할하여 전달되므로 하중이 분할되지 않는 양쪽 단부 스테드는 그 상단면 아래로 일정길이를 절단(End-cutting)하여 하중이 전달되지 않도록 함. (총 스테드는 9개이나 실제 하중을 부담하는 스테드는 7개임)

(다) 벽 실험도 : 벽 실험도의 예는 [그림 4-9]와 같다.

(단위 : mm)



Detail A

Detail B

Figure 4-9 Loading fire test to the wall assembly

- 바닥

(가) 지지조건 : 시험체 양단은 Roller 지점으로 보고, KS F 2257-5에 따라 폭 150mm의 지지대(Steel,  $\tau-75 \times 150 \times 7t$ )를 설치함.

(나) 바닥 실험도 : 바닥 실험도의 예는 [그림 4-10]과 같다.

(단위 : mm)

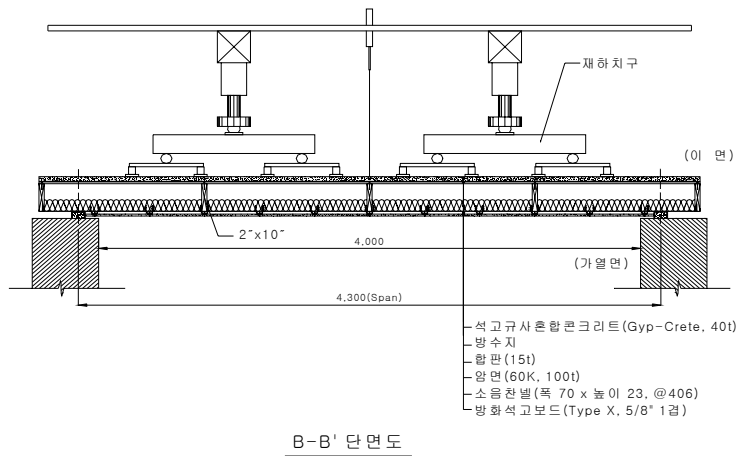
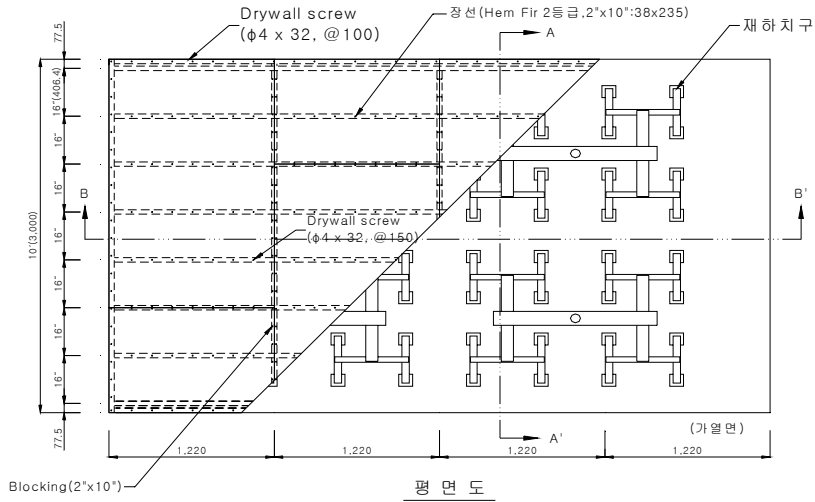


Figure 4-10 Loading fire test to the floor assembly

(4) 하중 산정

- 1차년도(수종 : 캐나다산 Hem-Fir 2등급, S-dry, 함수율 19%이하)

(가) 내·외벽

◦ 하중산정 : 벽체 상·하단 가로방향 목재(옷, 밀 깔도리)의 섬유직각방향 압축하중과 스테드의 축하중 중 작은 값을 단위 스테드당 하중으로 산정

◦ 스테드 : 단면크기 2"×4"(38 mm×89 mm), 높이 2.4 m(8 ft)  
간격 406 mm(16")

i) 상·하단 가로방향 목재의 섬유직각방향 압축하중

· 2"×4" Hem-Fir(2등급)의 섬유직각방향 허용압축응력

: 405 psi(28.4 kg/cm<sup>2</sup>)

· 목재 단면적 : 5.25 in<sup>2</sup>(33.8 cm<sup>2</sup>)

⇒ 405 psi×5.25 in<sup>2</sup> = 2,126 lb (965 kg)

ii) 스테드의 축하중

· 2"×4" Hem-Fir(2등급)의  $F_c = 1,300$  psi,  $E = 1,300,000$  psi

x축에 대한 세장비 :  $(\frac{le}{d}) = 90 \text{ in} / 3.5 \text{ in} = 25.7$

$F_{C*} = F_c (C_D)(C_M)(C_t)(C_F)$

= 1,300(1.15)(1.0)(1.0)(1.0) = 1,495 psi

$F_{CE} = K_{CE} E / [le/d]^2 = 0.3(1,300,000)/(25.7)^2 = 590.5$  psi

여기서,  $F_{CE}$  : 압축부재의 임계좌굴허용계수

$K_{CE}$  : 기둥에 대한 오일러 좌굴계수(= 0.3)

$F_{CE} / F_{C*} = 590.5/1,495 = 0.394$

$C_p$ (기둥안정계수)

$$= \frac{1 + F_{CE}/F_{C*}}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{CE}/F_{C*}}{2C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_{C*}}{C}}$$

$$= 0.87 - \sqrt{(0.87)^2 - \frac{0.39}{0.8}}, \quad (C =$$

0.8)

$$= 0.87 - 0.5 = 0.35$$

$$F_c'(\text{설계압축허용응력}) = F_c \cdot C_p = 1,495 \times 0.35 = 523.3 \text{ psi}$$

$$\Rightarrow P(\text{축하중}) = F_c' \cdot A = 523.3 \text{ psi}(3.5 \text{ in} \times 1.5 \text{ in})$$

$$= \underline{2,747 \text{ lb}} \text{ (1,247 kg)}$$

∴ i), ii) 중 작은 값인 965 kg을 스테드 1개당 하중으로 산정

(나) 바닥

• 하중 산정 : 단위 장선(Joist)의 최대 모멘트에 의한 허용응력을 구하여  
유효 바닥 단위 면적(m<sup>2</sup>)당 하중을 산정

• 장선(Joist) : 단면크기 2"×10"(38 mm×235 mm), 경간 4.3 m(14.1'),  
간격 406 mm(16")

• 2"×10" Hem-Fir(2등급)의  $F_b = 850 \text{ psi}(59.5 \text{ kg/cm}^2)$

• 목재 단면적 → 1.5 in×9.25 in

$$F_b'(\text{설계허용휨응력}) = F_b (C_D)(C_F)(C_r) = 850(1.0)(1.1)(1.15) = 1,075 \text{ psi}$$

$$F_b' = \frac{M}{Z} \rightarrow M = F_b' \times Z$$

$$= 1,075 \text{ psi} \times \frac{1.5 \times (9.25)^2}{6} \text{ in}^3 = 1,916 \text{ lb-ft}$$

$$M = \frac{wl^2}{8} \rightarrow w = \frac{8M}{l^2}$$

$$= \frac{8 \times 1,916}{(14.1)^2} = 77.1 \text{ (lb/ft)}$$

$$= 77.1 \times 0.454 \text{ kg} / 0.305 \text{ m}$$

$$= 114.8 \text{ kg/m}$$

$$= \underline{287 \text{ kg/m}^2}$$

- 2차년도(수종 : 국산 낙엽송 및 소나무)

(가) 내·외벽

• 하중산정 : 1차년과 동일한 방법으로 산정

• 스테드 : 단면크기 2"×4", 길이 2.4 m, 간격 450 mm

■ 낙엽송

i) 상·하단 가로방향 목재(웃, 밑 깔도리)의 섬유직각방향 압축하중



- 낙엽송의 섬유직각방향 허용압축응력(1등급으로 가정) : 35 kg/cm<sup>2</sup>
- 목재(2"×4") 단면적 : 33.8 cm<sup>2</sup>  
 $\Rightarrow 35 \text{ kg/cm}^2 \times 3.8 \text{ cm} \times 8.9 \text{ cm} = \underline{1,183 \text{ kg}}$

ii) 스티드의 축하중

- 낙엽송(1등급)의  $F_c = 90 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E = 115,000 \text{ kg/cm}^2$

$$x\text{축에 대한 세장비} : \left(\frac{le}{d}\right) = 228.6 \text{ cm} / 8.9 \text{ cm} = 25.7$$

$$F_{C^*} = F_c (C_D)(C_M)(C_t)(C_F)$$

$$= 90(1.0)(0.8)(1.0)(1.15) = 82.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{CE} = K_{CE} E / [le/d]^2 = 0.3(115,000)/(25.7)^2 = 52.3 \text{ kg/cm}^2$$

여기서,  $F_{CE}$  : 압축부재의 임계좌굴허용계수

$K_{CE}$  : 기둥에 대한 오일러 좌굴계수(= 0.3)

$$F_{CE} / F_{C^*} = 52.3/82.8 = 0.63$$

$C_p$ (기둥안정계수)

$$= \frac{1 + F_{CE}/F_{C^*}}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{CE}/F_{C^*}}{2C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_{C^*}}{C}}$$

$$= 1.02 - \sqrt{(1.02)^2 - \frac{0.63}{0.8}}, \quad (C = 0.8)$$

$$= 1.02 - 0.5 = 0.52$$

$$F_c'(설계압축허용응력) = F_{C^*} C_p = 82.8 \times 0.52 = 43.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow P(\text{축하중}) = F_c' A = 43.1 \text{ kg/cm}^2 (3.8 \text{ cm} \times 8.9 \text{ cm}) = \underline{1,457.6}$$

(kg)

$\therefore$  i), ii) 중 작은 값인 1,183 kg을 스티드 1개당 하중으로 산정

■ 소나무

- i) 상·하단 가로방향 목재(웃, 밑 깔도리)의 섬유직각방향 압축하중
  - 소나무의 섬유직각방향 허용압축응력(1등급으로 가정) : 30 kg/cm<sup>2</sup>
  - 목재(2"×4") 단면적 : 33.8 cm<sup>2</sup>  
 $\Rightarrow 30 \text{ kg/cm}^2 \times 3.8 \text{ cm} \times 8.9 \text{ cm} = \underline{1,015 \text{ kg}}$

ii) 스티드의 축하중

· 소나무(1등급)의  $F_c = 75 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E = 100,000 \text{ kg/cm}^2$

$$x\text{축에 대한 세장비} : \left(\frac{l_e}{d}\right) = 228.6 \text{ cm} / 8.9 \text{ cm} = 25.7$$

$$F_{C^*} = F_c (C_D)(C_M)(C_t)(C_F) \\ = 75(1.0)(0.8)(1.0)(1.15) = 69 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{CE} = K_{CE} E / \left[\frac{l_e}{d}\right]^2 = 0.3(100,000)/(25.7)^2 = 45.4 \text{ kg/cm}^2$$

여기서,  $F_{CE}$  : 압축부재의 임계좌굴허용계수

$K_{CE}$  : 기둥에 대한 오일러 좌굴계수(= 0.3)

$$F_{CE} / F_{C^*} = 45.4/69 = 0.66$$

$C_p$ (기둥안정계수)

$$= \frac{1 + F_{CE}/F_{C^*}}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{CE}/F_{C^*}}{2C}\right)^2 - \frac{F_{CE}/F_{C^*}}{C}} \\ = 1.04 - \sqrt{(1.04)^2 - \frac{0.66}{0.8}}, \quad (C = 0.8)$$

$$= 1.04 - 0.5 = 0.54$$

$$F_c'(\text{설계압축허용응력}) = F_{C^*} C_p = 69 \times 0.54 = 37.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow P(\text{축하중}) = F_c' A = 37.3 \text{ kg/cm}^2(3.8 \text{ cm} \times 8.9 \text{ cm}) = \underline{1,261.5} \\ \text{(kg)}$$

∴ i), ii) 중 작은 값인 1,015 kg을 스티드 1개당 하중으로 산정

(나) 바닥

◦ 하중 산정 : 국산재에 의한 바닥 장선 구조는 목재 합성보(Box beam 장선 및 Floor truss 장선)에 의한 특수 공학구조로서, 재하량 산정하였으나, 실험자료의 신뢰성 결여 등 자료가 불충분하여 1차년의 2"×10" 장선 바닥의 설계 하중을 대신하는 구조로 가정하고 1차년과 동일한 하중(287 kg/m<sup>2</sup>)을 적용함.

- 적용하중 산정 : 1차년 및 2차년의 내벽의 적용하중 산정은 [표 4-3]과 같 으며, 바닥은 1차년 및 2차년 모두 동일 하중값(287 kg/m<sup>2</sup>)을 적용함.

Table 4-3 Applied load calculation of interior or exterior wall

Classifi-cation		Test No.	Load per stud (kg, A)	N u m b e r of counted stud(B)	Weight of lifting beam (kg, C)	Specimen weight (kg, D)	Applied load (kg)
First year	exte-rior wall	1	965	7	670	358	7,783
		2	965	7		358	7,783
		3	965	7		320	7,745
		4	965	7		320	7,745
	Inte-rior wall	5	965	7	670	358	7,783
		6	965	7		266	7,691
Seco-nd year	exte-rior wall	9	1,183	7	670	556	9,507
		10	1,183	7		494	9,445
		11	1,015	7		550	8,325
		12	1,015	7		488	8,263
	Inte-rior wall	13	1,183	7	670	357	9,310
		14	1,183	7		235	9,186
		15	1,015	7		353	8,128
		15	1,015	7		229	8,004

※ Total number of studs was 9, but 2 of them which had their ends cutted

were excluded in counting for load calculation.

※ Applied load :  $(A \times B) + C + D$

(5) 성능기준

KS F 2257(1999) 시리즈에 의한 벽 및 바닥부재의 내화성능 기준은 [표 4-4]와 같으며, 하중지지력의 경우 부재가 변형량(또는 축변형량) 및 변형율(또는 축변형율)을 모두 초과시 부적합한 것으로 간주함.

Table 4-4 Performance criteria of loading fire test

Classification		Wall	Floor	Remark
Performance Criteria	Load bearing capacity	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amount of axial contraction : <math>h/100</math></li> <li>Rate of axial contraction: <math>3h/1000</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amount of deflection: <math>\ell^2/400 d</math></li> <li>Rate of deflection: <math>\ell^2/9000 d</math> (Apply rate of deflection when amount of deflection exceeds <math>\ell/30</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>h</math> : specimen height</li> <li><math>\ell</math> : clear span of the test specimen</li> <li><math>d</math> : distance from the extreme fiber of the design compression zone to the extreme fiber of the design tensile zone of the structural section</li> </ul>
	Integrity	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shall not ignite cotton pad when it is applied to crack on the unexposed fire surface</li> <li>The 6 mm gap gage shall not be passed through the test specimen such that the gage projects into the furnace, and shall not be moved a distance of 150 mm along the gap or the 25 mm gap gauge shall not be passed through the test specimen such that the gauge projects into the furnace.</li> </ul>		
	Insulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitation of unexposed face temp. rise Ave. <math>140+T_0</math>, Max. <math>180+T_0</math></li> </ul>		$T_0$ : Initial temp.

1. 실험장치

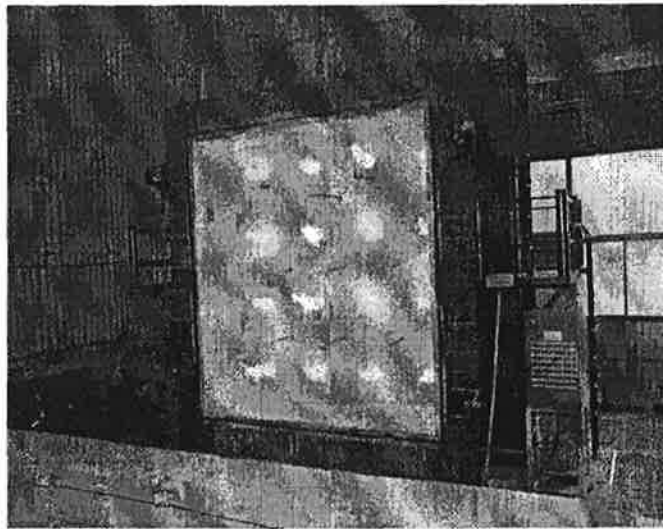


Fig. 4-11. Vertical furnace for wall assembly



Fig. 4-11. Vertical furnace for wall assembly



Fig. 4-12. Loading system of vertical furnace



Fig. 4-13. Horizontal furnace for floor assembly



Fig. 4-14 Loading system of horizontal furnace

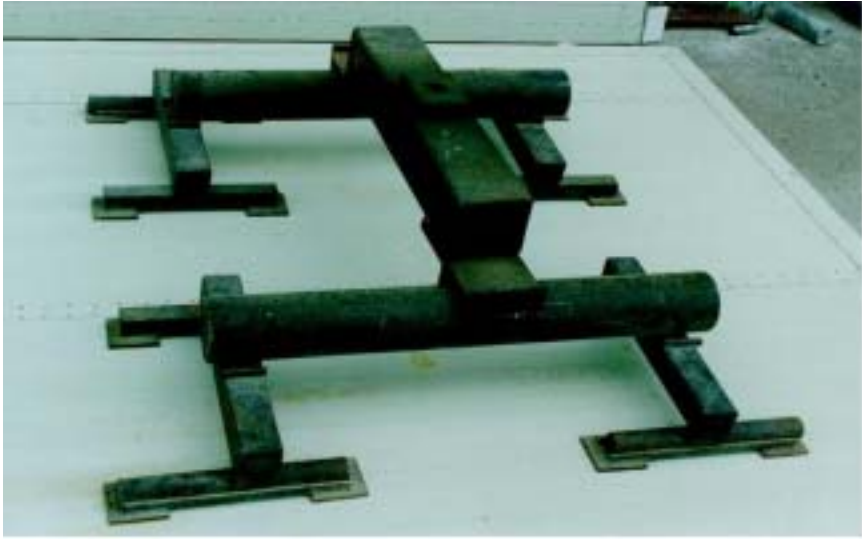


Fig. 4-15. Load distribution arrangement for floor(1 Set)



Fig. 4-16. Deflection measuring apparatus

### 제3절 연구결과

외산재 경골 목구조의 벽 및 바닥 실험체를 제작하여 실험한 1차년의 실험결과와, 이의 결과를 바탕으로 국산재 경골 목구조의 벽 및 바닥 실험체를 제작, 실험한 2차년의 실험결과는 다음 [표 4-5]~[표 4-10]과 같다.

### 1. 1차년 실험결과(외산재 경골 목구조 : 부록 2 참조)

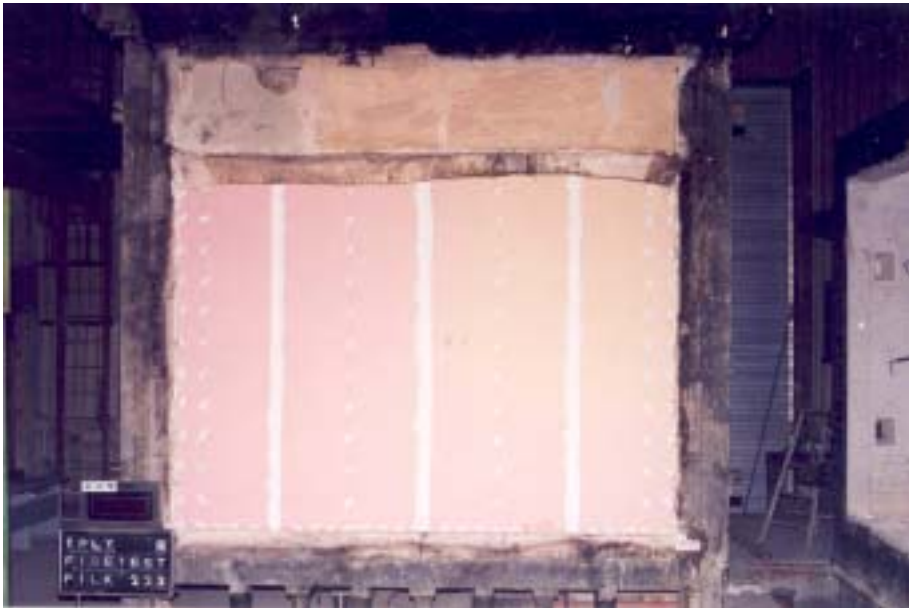






Fig. 4-17. Fire test set up for wall structure



Fig. 4-18. Change of wall structure after 1 hour fire test

Table 4-5 Test results of exterior wall of light-frame wood structure  
by American softwood structural lumber

(h : specimen height)

Classification		Test results			Fire Rating	
		Performance criteria	Measured value		Siding panel	Exterior sheathing
			Siding panel	Exterior sheathing		
Heat the interior side	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	9.1 mm	8.1 mm	1 hr	1 hr
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	0.6 mm/min	0.8 mm/min		
	Horizontal defection	-	-	13.5 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 18°C Max. 20°C	Ave. 31°C Max. 34°C		
Heat the exterior side	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	46.9mm	46.4 mm	48 mins	28 mins
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	28.8 mm/min	16.1 mm/min		
	Horizontal defection	-	64.7 mm	97.0 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 30°C Max. 40°C	Ave. 14°C Max. 17°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr, 49 mims, 29 mins).

※ Test results in details show in Test No. 1 to No. 4 in Appendix.

Table 4-6 Test results of interior wall of light-frame wood structure by

American softwood structural lumber

(h : specimen

height)

Classification	Test results			Fire rating	
	Performance criteria	Measured value		Fire-proof gypsum board 1/2" 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8" 1 layer
		Fire-proof gypsum board 1/2" 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8" 1 layer		
Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	4.1 mm	44.2 mm	1 hr	43 mins
Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	0.4 mm/min	27.5 mm/min		
Horizontal deflection	-	2.6 mm	84.8 mm		
Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 29°C Max. 33°C	Ave. 30°C Max. 43°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr, 44 mins).

※ Test results in details show in the Test No. 5 and No. 6 in Appendix.

Table 4-7 Test results of floor of light-frame wood structure by American

softwood structural lumber

( l :

span)

Classification	Test results			Fire rating	
	Performance criteria	Measured value		Fire-proof gypsum board 1/2" 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8" 1 layer
		Fire-proof gypsum board 1/2" 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8" 1 layer		
Amount of deflection	159.4 mm ( $l^2/400d$ ) and less	20.2 mm	28.4 mm	1 hr	1 hr
Rate of deflection	7.1mm/min( $l^2/9,000d$ ) and less	1.5 mm/min	2.0 mm/min		
Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 3°C Max. 4°C	Ave. 8°C Max. 13°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr).

※ Test results in details show in the Test No. 7 and No. 8 in Appendix.

## 2. 2차년 실험결과(국산재 경골 목구조 : 부록 3 참조)

Table 4-8 Test results of exterior wall of light-frame wood structure by Korean

softwood structural lumber

(h : specimen

height)

Classification		Test results (Exposed face : fire-proof gypsum board)			Fire rating	
		Performance criteria	Measured value		Fire-proof gypsum board 12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 15mm 1 layer
			Fire-proof gypsum board 12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 15mm 1 layer		
Larch	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	6.3 mm	44.4 mm	<b>1 hr</b>	<b>36 mins</b>
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	1.0 mm/min	26.8mm/min		
	Horizontal deflection	-	27.4 mm	115.6 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 19°C Max. 24°C	Ave. 12°C Max. 16°C		
Pine trees	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	9.9 mm	46.9 mm	<b>1 hr</b>	<b>3 mins</b>
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	1.4 mm/min	26.4 mm/min		
	Horizontal deflection	-	51.6 mm	121.7 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 20°C Max. 23°C	Ave. 14°C Max. 20°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr, 37 mins, 38 mins).

※ Test results in details show in the Test No. 9 to 12 in Appendix.

Table 4-9 Test results of interior wall of light-frame wood structure by Korean

softwood structural lumber

(h : specimen

height)

Classification		Test results			Fire rating	
		Performance criteria	Measured value		Fire-proof gypsum board 12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 15mm 1 layer
			Fire-proof gypsum board 12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 15mm 1 layer		
Larch	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	8.6 mm	41.3 mm	<b>1 hr</b>	<b>35 mins</b>
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	1.1 mm/min	24.3mm/min		
	Horizontal defection	-	31.6 mm	154.3 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 66°C Max. 68°C	Ave. 61°C Max. 74°C		
Pine trees	Amount of axial contraction	24.0 mm(h/100) and less	5.1 mm	32.9 mm	<b>1 hr</b>	<b>39 mins</b>
	Rate of axial contraction	7.2 mm/min(3h/1,000) and less	0.6 mm/min	10.2 mm/min		
	Horizontal defection	-	26.8 mm	70.5 mm		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 69°C Max. 71°C	Ave. 62°C Max. 77°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr, 36 mins, 40 mins).

※ Test results in details show in the Test No. 13 to 16 in Appendix.

Table 4-10 Test results of floor of light-frame wood structure by Korean

softwood structural lumber

( $\ell$  : specimen

span)

Classification		Test results			Fire rating	
		Performance criteria	Measured value		Larch	Pine trees
			Larch	Pine trees		
Box beam	Amount of deflection	134.0 mm( $\ell^2/400d$ ) and less	18.9 mm	27.2 mm	1 hr	1 hr
	Rate of deflection	6.0 mm/min( $\ell^2/9000d$ ) and less	1.2 mm/min	1.6 mm/min		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 4°C Max. 10°C	Ave. 5°C Max. 8°C		
Floor truss	Amount of deflection	134.0 mm( $\ell^2/400d$ ) and less	116.9 mm	159.1 mm	1 hr	52 mins
	Rate of deflection	6.0 mm/min( $\ell^2/9000d$ ) and less	26.1 mm/min	46.6 mm/min		
	Limitation of unexposed face temp. rise	Ave. 140°C and less Max. 180°C and less	Ave. 3°C Max. 4°C	Ave. 2°C Max. 4°C		

※ Test results are the results at the time of tests end(1 hr, 53 mins)

※ Test results in details show in the Test No. 17 to 20 in Appendix.



가. 국산 목재장선 휨강도 측정

1) Box beam 장선 휨강도 측정

▶ 낙엽송



Fig. 4-19. View of the specimen after test

▶ 소나무



Fig. 4-20. View of the specimen after test

2) Floor truss(Posi-strut web) 장선 휨강도 측정

▶ 낙엽송



Fig. 4-21. View of the specimen after test

▶ 소나무



Fig. 4-22. View of the specimen after test

3) 휨강도 측정결과

▶ Box beam 장선

구 분	최대하중(kgf)	최대 휨응력(kgf/cm <sup>2</sup> )	비 고
낙엽송	1,835	78.7	약 2 ton의 하중이 가해지는 시점에서 실험장치의 변형으로 측정 중단
소나무	707	30.1	상단 압축재의 finger joint에서 파괴가 발생

▶ Floor truss(Posi-strut web) 장선

구 분	최대하중(kgf)	최대 휨응력(kgf/cm <sup>2</sup> )	비 고
낙엽송	1,019	59.2	상단 압축재 중앙부위에서 Posi-strut가 빠지는 파괴가 발생
소나무	1,014	58.9	하단 인장재의 중앙 finger joint부위에서 파괴가 발생

### 3. 실험결과의 분석

외산재 및 국산재 경골 목구조의 내화실험 결과를 변형량 및 변형율, 이면 상승온도로 구분하여 [표 4-11] ~ [표 4-12]와 같이 나타내었다. 외벽에 대해서는 국산재 경골 목구조의 경우 옥내면을 가열면으로 하였으므로 외산재 및 국산재 경골 목구조 모두 옥내면 가열 실험체를 비교 대상으로 하였다. 그리고 각 구조 부재의 내화성능을 정리하여 [표 4-13]과 같이 나타내었다.

Table 4-11 Comparison of the amount of deflection and the rate of deflection

Classification		Amount of deflection(mm)		Rate of deflection(mm/min)		Performance criteria	
		Fire-proof gypsum board 1/2"/12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8"/15mm 1 layer	Fire-proof gypsum board 1/2"/12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8"/15mm 1 layer		
Exterior wall	American lumber	8.1 ~ 9.1	-	0.6 ~ 0.8	-	Amount deflection : 24.0 mm Rate of deflection : 7.2 mm/min	
	Korean lumber	6.3 ~ 9.9	44.4 ~ 46.9	1.0 ~ 1.4	26.4 ~ 26.8		
Interior wall	American lumber	4.1	44.2	0.4	27.5	Amount deflection : 159.4 mm Rate of deflection : 7.1 mm/min	
	Korean lumber	5.1 ~ 8.6	32.9 ~ 41.3	0.6 ~ 1.1	10.2 ~ 24.3		
Floor	American lumber		20.2	28.4	1.5	2.0	Amount deflection : 134.0 mm Rate of deflection : 6.0 mm/min
	Korean lumber	Box beam	-	18.9 ~ 27.2	-	1.2 ~ 1.6	
		Floor truss	-	116.9 ~ 159.1	-	26.1 ~ 46.6	

※ Thickness of fire-proof gypsum board : 1/2" by American, 12.5mm (or 15mm) by Koran

Table 4-12 Comparison of the unexposed face temperature rises

Classification		Ave. temperature rise(°C)		Max. temperature rise(°C)		Performance criteria
		Fire-proof gypsum board 1/2"/12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8"/15mm 1 layer	Fire-proof gypsum board 1/2"/12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8"/15mm 1 layer	
Exterior wall	American lumber	18 ~ 31	-	20 ~ 34	-	Ave. temperature rise : 140 °C and less  Max. temperature rise : 180 °C and less  ※ excluding initial temp.
	Korean lumber	19 ~ 20	12 ~ 14	23 ~ 24	16 ~ 20	
Interior wall	American lumber	29	30	33	43	
	Korean lumber	66 ~ 69	61 ~ 62	68 ~ 71	74 ~ 77	
Floor	American lumber	3	8	4	13	
	Korean lumber	Box beam	-	2 ~ 5	-	4 ~ 8
		Floor truss	-	3 ~ 4	-	4 ~ 10

Table 4-13 Fire rating by the construction

Classification			Fire rating		Exposed face	
			Fire-proof gypsum board 1/2"/12.5mm 2 layer	Fire-proof gypsum board 5/8"/15mm 1 layer		
Exte- rior wall	American lumber	Siding panel	1 hr	-	Interior side	
		Exterior sheathing	1 hr	-		
	Korean lumber	Larch	1 hr	36 mins		
		Pine trees	1 hr	37 mins		
Inte- rior wall	American lumber		1 hr	43 mins		
	Korean lumber	Larch	1 hr	35 mins		
		Pine trees	1 hr	39 mins		
Floo- r	American lumber		1 hr	1 hr		
	Korea n lumber	Box beam	Larch	-		1 hr
			Pine trees	-		1 hr
		Floor truss	Larch	-		1 hr
			Pine trees	-		52 mins

[표 4-11]을 살펴보면, 외산재 및 국산재 경골 목구조의 내·외벽으로서 방화석 고보드 1/2"(국산 12.5mm) 2겹 및 5/8"(국산 15mm) 1겹으로 마감한 구조 모두 변형값(최대 변형량 및 변형율)에 있어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 바닥의 경우 바닥 장선을 Box beam 구조로 한 국산재 경골 목구조는 외산재 경골 목구조의 바닥과 변형값이 유사하게 나타났으나, 바닥 장선을 Floor truss(Posi-strut web) 구조로 한 국산재 바닥의 경우는 변형이 심한 것으로 나타났다.

[표 4-12]의 이면상승온도 결과를 살펴보면, 내부 단열재가 없는 국산재 경골 목구조의 내벽은 단열재를 채운 외산재의 내벽에 비해 이면상승온도가 약 2배 가까이 높게 나타나 차열성이 향상된 것으로 판단된다. 그러나 동일한 단열재(암면, 밀도 60 kg/m<sup>3</sup>)를 채운 국산재 및 외산재 경골 목구조의 외벽 및 바닥구조 모두 이면온도상승에 있어 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에 적용한 국산 방화석고보드(무게 : 12.5 mm-10.7 kg/m<sup>2</sup>, 15 mm-12.5 kg/m<sup>2</sup>)는 외산 방화석고보드(미국산, 무게 : 1/2"-9.5 kg/m<sup>2</sup>, 5/8"-11.1 kg/m<sup>2</sup>)와 비교하여 차열성능에 있어 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

[표 4-13]의 구조 부재별 내화성능을 살펴보면, 외벽은 외산재 및 국산재 경골 목구조 모두 옥내면의 방화석고보드를 외산 1/2" 2겹 및 국산 12.5mm 2겹으로 마감하고 그 면을 가열한 경우 1시간 내화구조에 적합한 것으로 나타났다.

내벽은 외산재 및 국산재 경골 목구조 모두 양면의 방화석고보드를 외산 1/2" 2겹 및 국산 12.5mm 2겹으로 마감한 구조는 내부 단열재의 유무에 관계없이 1시간 내화구조에 적합한 것으로 나타났으나, 5/8"(국산 15mm) 1겹으로 마감한 구조는 1시간 내화구조에 부적합(내화 35분~43분)한 것으로 나타났다. 미국의 경우 동일 두께의 방화석고보드로 마감한 구조에 대하여 1시간 내화구조로 인정하고 있는데, 이는 실험하중 및 실험체의 지점조건 등이 우리와 다소 차이가 있으므로 향후 이러한 실험조건의 차이를 반영한 비교 실험을 통하여 보다 객관적인 경골 목구조 부재의 내화성능 평가가 필요한 것으로 판단된다.

바닥은 외산재 경골 목구조 바닥(장선 : 2"×10")과 국산재로서 바닥 장선을 Box beam 구조로 한 바닥은 1시간 내화구조에 적합한 것으로 나타났다.

한편, 바닥 장선에 있어 국내에서 생산되는 목재는 대부분 길이가 짧고 단면이 작아 특수한 장선구조로 제작함으로써 외산재에 비해 비용 상승의 요인이 되고 있다. [표 4-14]는 본 연구에서 적용한 외산재 및 국산재에 의한 바닥 장선(외산재 1종, 국산재 2종)의 제작 비용(인건비 제외)을 비교하여 나타낸 것이다.

Table 4-14 Comparison of floor joist fabricating costs by American and Korean softwood structural lumbers

(unit :

won)

Classification	American lumber	Korean lumber		Remark
	2"×10"	Box beam	Floor truss	
Lumber	15,800	20,000	19,500	per 1 joist
Joint connection	-	11,400	11,400	
Posi-strut etc.	-	5,000	24,000	
plywood	-	2,250	-	
SUM	15,800	38,650	54,900	
No. of joist/floor	8개	6개	6개	per 1 floor set
TOTAL	126,400	231,900	342,900	
Ratio(%)	100	183	271	

위 표에서 보는 바와 같이, 바닥 1 set를 제작하는데 소요되는 장선 제작 비용은 국산재의 경우 외산재 장선(2"×10") 대비 Box beam은 1.8배, Floor truss(Posi-strut web)는 2.7배 높은 것으로 나타났다. 국산재에 의한 장선 제작 비용은 Floor truss구조가 Box beam 구조에 비해 약 1.5배 높게 소요되는 것으로 나타났으나, 내화실험 결과를 보면 Box beam 구조에 비해 화재 안전상 불리한 것으로 나타났다.

## 제4절 결론

이 연구는 외산재 경골 목구조의 내화실험 방법 및 실험결과로부터 국산재 2종(낙엽송, 소나무)에 의한 1시간 내화성능의 경골 목구조 벽 및 바닥구조를 개발하기 위한 것으로서, 연구결과는 다음과 같다.



## 1. 벽구조

- 외벽 : 국산재 낙엽송 및 소나무를 스테드(크기 : 38mm×89mm, 간격 450mm)로 하고 옥내면을 국산 방화석고보드 12.5mm 2겹 구조로 한 경골 목구조의 외벽은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

- 내벽 : 국산재 낙엽송 및 소나무를 스테드(크기 : 38mm×89mm, 간격 450mm)로 하고 양면을 국산 방화석고보드 12.5mm 2겹 구조로 한 경골 목구조의 내벽은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

## 2. 바닥구조

국산재는 길이가 짧고 단면이 작아 바닥 장선은 목재 합성보(Box beam, Floor truss)로 제작하였다.

### 가. Box beam 장선 구조

국산재 낙엽송 및 소나무를 Box beam 장선 구조로 하고 천장은 국산 방화석고보드 15mm 1겹구조로 한 경골 목구조의 바닥은 1시간의 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

### 나. Floor truss(Posi-srut web) 장선 구조

국산재 낙엽송을 Floor truss(Posi-srut web) 장선 구조로 하고 천장은 국산 방화석고보드 15mm 1겹구조로 한 경골 목구조의 바닥은 1시간 내화성능을 갖는 구조로 개발되었다.

## 참 고 문 헌

1. 각국의 耐火性能시험방법. KS, JIS, ASTM, BS, ISO 등
2. 건설교통부. 1992. 건설부고시 제1992-560호.
3. 대한건축학회. 防耐火試驗基準에 관한연구.
4. Steel Promotion Committee of Eurofer, Steel and fire safety (A global approach), Belgium, pp. 38.
5. Butcher & Parnel. Designing for Fire Safety. (英)Jonh Wiley and Sons.
6. Brannigan, F.L. Building Construction for the Fire Service. NFPA
7. NFPA. NFPA Hand Book.
8. 堀内三郎. 建築防火. (日)朝倉書店

# 제5장 표면강화기술을 이용한 건축내장재 개발

## 제1절 서론

### 1. 연구 개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

범세계적인 산림보호운동과 시장의 개방화로 인한 무한국제경쟁체제하에서의 원자재 수급여건의 악화 등으로 국내목재산업의 경영환경악화가 가속화하고 있다. 이에 따라 국내 목재산업에 있어서는 생존을 위한 새로운 전략이 그 어느 때 보다도 절실히 요구되고 있으며, 그 대응책으로서 다음과 같은 구조 변화를 요구하고 있다.

- 목재가공 원료에 있어서 기존의 열대산 목재로부터 조림 침엽수로의 전환
- 저질 목재자원을 이용한 고급 기능의 목질재료나 목질 복합재료의 개발
- 저질 원료를 사용한 새로운 목질재료의 개발
- 목재 및 목질재료의 사용기한을 연장시킬 수 있는 내구성 향상 기술 개발
- 목질 이외의 재료와의 혼합에 의한 신규 목질재료의 개발

또한, 이러한 구조 변화에 대응하기 위해 우리 나라의 목재가공 산업이 지향해야 할 기술 개발의 방향을 정리하면 다음과 같다.

- 국산재 및 저급수입원목을 이용한 고부가가치 재료 개발
- 저질목재자원을 이용한 고성능 재료 개발
- 물리적·화학적 처리에 의한 재료의 성능향상기술 개발

최근 러시아나 캐나다, 미국 및 뉴질랜드 등으로부터의 침엽수재의 수입이 점진적으로 증가하고 있는 반면, 우리 나라 원목용재의 주수입원인 동남아시아로부

터의 열대활엽수림목의 수입은 해를 거듭할수록 감소추세에 있다. 이는 곧 지금까지 활엽수재로서 이용되어온 목재제품의 원자재가 장래적으로는 침엽수재로 대체됨을 의미하며, 나아가 침엽수재 이용을 위한 기술적 측면에서의 가공기술 개발이 필요하게 된다는 사실이다. 따라서 가까운 장래에는 활엽수재의 대체용재로서 침엽수용재의 사용은 필수 불가결할 것으로 예상되고 있다.

일반적으로 침엽수재는 활엽수재에 비해서 무르고 조재와 만재부사이의 물리적 성질에 큰 차이가 있다. 따라서 이들 침엽수재를 옥외용의 내구성 시설물에 사용한다거나 주택의 내장재로 사용하고자 할 때에 자주 문제를 일으키곤 한다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해서는 목재 표면 및 내부의 성능(예를 들어, 치수안정성, 내마모성, 내후성, 내부후성)을 향상시키는 재질향상기술이 필수적으로 선행되어야 할 것이다.

이러한 목적을 달성하기 위한 일환으로, 본 연구에서는 물리적, 화학적 개질 가공을 통하여 국산침엽수재의 성능을 향상시키고자 하며, 본 연구에서 다루고자 하는 연구대상, 범위, 방법 등의 주요 포인트는 다음과 같다.

- 원료 : 주로 국산 침엽수재
- 개발목표 : 표면강화기술을 이용한 건축내장재 개발
- 발현성능 : 표면경도 및 내마모성, 치수안정성, 내구성, 고강도, 내오염성
- 대상용도 : 건축내외장재, 공예재, 옥외시설재
- 화학처리약제 : 성능의 지속성이나 환경오염 등을 고려한 화학약제
- 화학적 처리법 : 고함침처리, 저함침처리, 균일처리, 표면처리
- 물리적 처리법 : 고온처리, 고압수증기처리, 자비처리, 열압처리

본 연구에서 다루고자 하는 물리적, 화학적 개질 가공은 다소 긴 역사적 배경을 가지고 있다. 이미 1940-50년대에 개발이 진행되어 일부 실용화까지도 이루어졌으나, 극히 한정된 공업용 특수 재료분야를 제외하고는 그 자취를 감추고 말았다. 그러나, 1980년대 후반부터 이들 재료에 대한 새로운 관심이 목재기술 선진국으로부터 일기 시작하였다. 특히, 지난 10여년간 일본에서는 수많은 새로운 재료가 개발되기에 이르렀다. 그러나, 그 중에서 실용성이 인정되어 시장에서 성공한 경우는 아세틸화목재와 WPC 정도에 불과하다. 많은 종류의 신재료들이 성능이 우수함에도 불구하고 처리 기술의 복잡성이나 가공공정의 비합리성 등으로

인하여 산업화에까지 이르지 못하고 사장되고 있는 형편이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 당면과제를 충분히 고려하여, 간편하고 효율적인 처리법의 개발과 개발된 재료의 보다 정확한 물성 해석을 통하여 산업화 될 수 있는 기반을 조성하고자 한다.

#### 나. 경제·산업적 측면

우리 나라 목재가공산업은 1970년대까지는 수출산업의 선두주자로서 외화획득에 중요한 일익을 담당하였다. 그런데, 이 시기에도 대부분의 원자재는 수입에 의존하였으나 궁극적으로는 가공 수출됨으로써 전체적인 면에서는 국가 경제에 많은 기여를 할 수 있었다. 이러한 외화획득 산업인 목재가공산업이 1980년대에 들어서면서 부터는 그 동안 수출을 주도해 왔던 목질판상제품마저도 수입국으로 전략하게 되어 합판의 경우 드디어 수입량이 국내 소비량의 50%를 넘어서게 되었다. 물량과 금액으로 보면 합판, PB 등의 수입량은 연간 약 160만<sup>m</sup>³이며, 금액으로는 약 5억불에 이르고 있다. 반면에 국산재의 공급을 보면 1970년대에 약 100만<sup>m</sup>³이었으나 현재도 약 150만<sup>m</sup>³에 지나지 않아 과거 20여 년간 큰 변화가 없었다. 그러나 그 동안 조림산업에 많은 노력을 기울여 임목축적량이 엄청나게 늘어나 향후 50년 후에는 약 1,500만<sup>m</sup>³의 공급이 가능해 질 것으로 전망된다.

따라서 현재의 UR 및 WTO 체제하에서 국가산업의 생존을 도모하기 위해서는 어떤 형태로든지 국내외의 산업환경변화에 능동적으로 대처해야 하며, 자국의 새로운 방안을 강구하여 국가의 대외경쟁력을 높여야만 한다.

이러한 사회적 추세에 맞추어 1990년대에 들어서면서 목재업계는 폐자재를 이용한 PB, MDF 등의 생산에 많은 노력을 기울여 오고 있으나, 아직도 주종을 이루고 있는 합판의 대체 재료개발은 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 더욱이 최근에 목조주택 및 목질마루판 등에 대한 새로운 수요가 급증함으로써 합판에 대한 새로운 수요가 생겨나 PB, MDF 등의 국내생산량 증가에도 불구하고 목질판상재료의 수입량은 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 특히 마루판 등의 건축내장재에 사용되는 목질재료는 제품의 품질향상 및 새로운 기능의 부여를 위하여 다양한 화학처리에 의한 2차 가공을 행한 신제품이 늘어나고 있는 추세이므로 금액적으로는 과거보다 훨씬 상회하는 외화지출로 연결된다.

또한 국산재의 공급확대를 위한 고부가가치 제품의 개발은 필수적인 요소라 할 수 있다. 이러한 경제 사회적인 측면을 종합적으로 검토해 볼 때, 본 연구는 사회적으로는 새로운 목재수요를 충족시켜주고 환경보전에 기여하며 경제적으로는 국내업무를 활성화시키고, 국산재의 수요를 촉진시켜 수입대체효과로 인한 외화절약을 도모할 수 있을 것으로 추정된다.

현재의 목재가공산업에서는 기존의 가공방식에 의한 목재제품생산을 추구하고 있지만, 중국 등으로부터 수입되는 값싼 목재제품들 때문에 가격경쟁력이 없고, 재료수급측면에서 이미 한계점에 달해 있기 때문에 관련산업체의 회생과 국가경쟁력의 고양을 도모하기 위해서 재료의 省力化와 더불어 목재재료자체를 고부가가치화 할 수 있는 첨단기술개발이 반드시 필요하다고 할 수 있다.

따라서 목재를 고온과 압력을 이용한 고압밀화처리에 의한 물리가공법과 화학처리제에 의한 화학가공법의 기술개발은 최소한의 침엽수재 및 저질수입원자재로서 자원의 이용을 극대화하고 산업자원화함으로써, 또한 지역의 자연자원과 환경을 보전하면서, 장기적으로 일정한 생산력과 수익성을 확보하는 가운데, 장래적으로는 경제산업적측면에서의 새로운 부가가치의 향상 및 관련산업의 회생에 일익을 담당할 것으로 생각된다.

#### 다. 사회·문화적 측면

태고적부터 전세계의 산림이 수행해온 기본적인 역할과 공익적 기능은 다양하다. 특히 기후조절역할과 수원의 조절기능을 갖춘 전천후의 기상조절장치라고 해도 과언이 아닐 정도로 산림의 중요성은 일반인에게도 매우 잘 알려져 있는 사실이다.

그러나 최근 열대 우림의 급격한 감소와 더불어, 열대림에 의존해온 국내목재산업이 침엽수계통의 북양재를 사용하지 않으면 안될 시기에 이미 와 있으며, 목질폐잔재라는 말의 의미는 이제 곧 사라지게 될 정도로 목재의 희소가치와 더불어 목재가격의 양등이 가까운 장래에 곧 닥칠 것으로 예상된다.

목재는 근대화와는 인연이 없는 재료로 인식된 적이 과거에는 있었지만, 인테리어용재나 공예용재 등의 공간구성재료로서 다양한 가능성을 지닌 기능재료로, 또한 환경에 친화적인 재료로서 새롭게 인식되고 있다. 특히 목재재료공간이 지

니는 환경이 사람의 건강, 생리, 심리에 미치는 효과가 매우 뛰어난 것은 이미 널리 알려져 있는 사실이다. 이렇게 거주공간에 있어 인간의 정서적 조절 성능이 우수한 목재자원을 보다 능률적이고도 효용가치 있게 사용하기 위해서는 고도이용을 위한 기술개발이 반드시 수행되어야 한다.

근년 들어 목재의 이용은 새로운 시각으로 재조명되고 있다. 즉, 전세계적으로 관심의 대상이 되고 있는 지구 환경문제를 고려할 때, 대기중의 이산화탄소 증가에 따른 지구 온난화 문제이다. 지난 50여년간 관측에 따르면 대기중의 이산화탄소량은 약 10% 증가되었으며, 이 기간의 대기권의 온도는 0.5℃ 상승되었다. 이러한 추세로 간다면 2030년경에는 기온이 1.5-4.5℃까지 상승할 것으로 예상되어 대기권의 온실효과는 더욱 심각해질 전망이다, 이러한 온도 상승은 인류에게 엄청난 변화를 요구하게 될 것이다. 더구나, 온도상승의 속도는, 더운 기후→전기사용 증가→더 많은 발전→더 많은 이산화탄소 방출→더 더운 기후로 악순환 되는 상승작용에 의하여 예상보다 더 빨라질 수도 있어 언제 인간의 통제를 벗어나 제멋대로 되어 버릴지 아무도 예상할 수 없는 상황이다.

이러한 상황에 대한 대안은 우선 이산화탄소 방출량의 억제라 할 수 있다. 이를 위해서는 지구상의 유일한 이산화탄소 흡수 생물인 나무를 많이 심어 이산화탄소 흡수량을 늘리는 방법과 에너지 사용량을 줄임으로써 이산화탄소 방출량을 줄이는 방법을 병행하는 것이 가장 효과적인 방법으로 결론짓고 있다.

이의 실행을 위한 구체적인 대안을 강구하기 위하여 1992년 리우에서 UN 환경회의가 개최되었으며, 이 회의에서는 산림원칙과 함께 산림의정서(Agenda 21)가 채택되었고, 그 주요 골자는 다음과 같다.

- 산림보호지역 확대
- 지속 가능한 산림경영체계에 의한 벌채량 제한
- 엄격한 벌채 방법과 사후관리
- 열대지역의 목재가공업 개발 및 촉진
- 비계획적인 벌채 원목의 교역 제한

이 산림의정서의 채택으로 인하여 그 동안 우리 나라 원목 수입 대상국인 동남아시아 원목 수출국가 등의 원목 벌채량이 감소되었으며, 나아가서는 원목 상태로의 교역조차도 여러 가지 규제를 맞이하게 되었다. 지구환경 보전에 대한 이

런 일련의 움직임들은 우리 나라 목재가공 산업계에도 그에 상응하는 많은 변화를 요구하고 있으며, 이러한 욕구를 충족시키기 위해서는 우리 나라 목재가공 산업도 환경친화형·환경보전형 기술개발에 적극적으로 임해야 할 것이다. 이런 형태의 기술개발이 성공할 경우, 목재가공 산업은 오히려 활성화를 가속화시킬 것으로 예상되나, 반면에 이들 기술개발에 실패할 경우, 외국으로부터의 기술도입에 대한 투자의존도가 높아 수입제품과의 경쟁력이 약해질 것이고, 급기야는 국내 관련산업도 사양화의 길을 걷게 될 것이다. 이렇게 될 경우, 목재 제품의 수요가 급증하고 있는 현실을 고려할 때 목재완제품 수입에 따른 외화 낭비와 국산재의 미활용으로 인한 국내 임업의 사양화는 국토보전 및 환경보전적 측면에서도 심각한 현상이라 할 수 있다. 그러므로 이런 원자재부족 시점에서 효율적인 목재이용에 관한 기술개발은 대외적으로는 지구환경보호는 물론, 국가적 차원에서는 고부가가치의 창출과 더불어 기술축적으로 인한 국가기술력의 대외경쟁력에도 이바지하게 되는 것으로서, 수요창출에 의한 상품성을 부여할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 본 과제에 기술개발로 관련산업체의 창업기회창출로 인한 고용효과의 증대 등, 사회 문화적인 측면에서 얻을 효과가 크게 기대된다.

## 2. 국내의 관련기술의 현황과 문제점

수분의 흡탈착성은 목재가 가지는 장점의 하나이지만, 수분의 흡탈착에 의해 목재는 현저하게 팽윤 또는 수축한다. 또한 팽윤과 수축에는 이방성이 있기 때문에 수분량의 변화에 의해 틀어짐과 비틀림이 발생한다. 접합 부분에 틈이 생긴다든지 목제품의 도막에 균열이 생기는 것도 목재의 팽윤과 수축이 주된 원인이다. 더욱이 함유하는 수분의 증감에 따라 생기는 치수변화는 목제품의 가공 정도를 낮추고, 사용할 때에는 미관을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 부후와 같은 생물열화를 불러일으키기도 한다.

건축재료, 특히 주택 내장재료는 공업화가 현저하게 진행되어, 플라스틱이나 알루미늄 등의 대체재가 목재를 대신하는 경우가 많아졌다. 이는 위에서 언급한 목재의 단점들이 주원인으로 작용했기 때문이라고 생각한다. 따라서, 주택내장재료로서 목재를 복원시키기 위해서는 반드시 목제품의 치수안정성을 비롯한 여러 가지 물성을 높여야만 한다.



한편, 옥외에서의 목재 사용은 그 범위와 수요가 차츰 확대되어 가고 있는 실정이다. 전에는 흙막이 공사 때나 식재 직후의 녹화목의 지주 설치 때와 같이 일시적인 사용에 불과했었지만, 최근에는 공원의 놀이 기구와 소건축물, 목제 울타리, 목제 보도블록 등에 이르기까지 목재로 만들어지는 제품의 종류가 매우 다양해졌다. 그러나, 대부분의 경우 설치후 곧 목재 표면에 할렬이 발생하여 미관을 해치고 있다. 또한, 내부후성을 개선하기 위하여 일부 방부처리를 실시한 경우도 있지만, 이 경우에도 마찬가지로 할렬의 발생은 피할 수 없고, 할렬 부위로부터 물이 침투하고 시간이 지남에 따라 목재 내부로 부후가 진행되는 등의 문제점이 발생하고 있다. 앞으로, 목재의 수요를 착실히 증가시키기 위해서는 이러한 할렬에 특히 주의를 기울여야 할 것이다.

더욱이 목재의 용도의 확대, 나아가서는 수요의 확대를 생각한다면, 녹화사업에 의해 조립된 국산침엽수재를 효율적으로 사용하는 것을 깊이 모색하여야 할 것이다. 그러기 위해서는 실용상 필요한 성능을 부여하여야 하며, 특히, 연질의 침엽수재를 벽 또는 마루 등의 건축내장재료로 사용하기 위한 표면경도의 개선이 필수적이다.

한편, 목재에 치수안정성을 부여하기 위한 화학처리 또는 수지함침처리는 본래의 목적인 치수안정성의 증대 외에도, 처리의 종류에 따라서는 내구성, 내후성, 내부후성, 또는 고강성 등을 동반하는 사례가 많아 최근 들어서는 그 중요성이 더욱 강조되고 있는 현실이다.

따라서 본 연구에서도 일차적으로는 목재표면을 강화하기 위한 처리방법(물리적처리, 화학처리 및 수지함침처리)을 검토하고자 하나, 이차적으로는 치수안정성뿐만 아니라 내구성, 고강성도 발현시킬 수 있는 처리법에 대한 검토를 행하고자 한다.

이들 다기능성 목재 재료와 관련된 국내외 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

#### 가. 치수안정성 부여에 관한 연구

치수안정성을 부여 또는 고내후화 하기 위한 연구는 편의상 화학처리와 수지함침처리로 나눌 수 있다. 전자는 목재성분의 수산기와 약제와의 반응에 의해 이루어지는 것이고, 후자는 세포내강(경우에 따라서는 일부 세포벽)에 수지를 함침

시킴으로써 이루어지는 것이다.

### 수지함침에 의한 치수안정화 처리

수지 처리에 의한 목재의 치수안정화 처리로 가장 오래된 것은 페놀수지 처리이다. 페놀수지처리목재는 단판에 수지를 함침시켜 건조한 후, 적층하여 고온고압하에서 압축처리한 콤프레그(compreg)와, 소재에 수지용액을 주입한 후 열경화시킨 임프레그(impreg)로 분류되는데, 1940-50년대에 걸쳐 많은 연구가 진행되었다. 이들에 의하면, 페놀수지처리목재의 치수안정성은 주로 팽윤효과에 의해 얻어지는 것으로 생각되는데, 수지의 함지율과 분자량, 페놀과 포르말데히드의 몰비, 압축률, 수지의 경화도 등에 의해 영향을 받는다.<sup>1, 25, 28, 36)</sup> 현재, 공업화되어 있는 것은 콤프레그인데 주로 경도와 전기절연성이 요구되는 특별한 부재로서 소량 이용되어지고 있는 실정이다.

1950년대 중반에 스티렌과 메틸메타크릴레이트 등의 비닐계 모노머를 목재에 함침시킨 후 방사선조사에 의해 목재 내에서 중합시키는 연구가 미국과 소련에서 시작되었다. 이 재료는 목재-플라스틱 복합체(WPC)로 불리는데, 1960-70년대에 미국, 유럽, 일본 등에서 활발히 연구되었다. WPC화의 주된 목적은 경도와 치수안정성의 개선이라고 생각되지만, 비닐계 모노머는 극성이 작고 목재를 팽윤시키지 못하므로 수지액이 세포벽 내로 침투되지 않는다. 따라서, 팽윤효과에 따른 치수안정성의 발현을 기대할 수 없다. 그러나 모노머에 약간의 극성용매를 첨가하면 세포벽으로 수지액이 침투하여 높은 치수안정성이 얻어진다. 또한, 극성의 모노머를 첨가하는 방법에 의해서도 치수안정성이 증대된다.<sup>14, 25, 27)</sup>

아미노계의 수지를 이용하여 목재의 개질을 행한 연구도 있는데, 요소수지 또는 멜라민수지를 사용하는 것으로 연구 사례도 적고 실용화도 되어 있지 않다.<sup>12, 26)</sup>

이 외에도 수용액으로의 처리로는 말레산과 글리세린과의 혼합액을 목재 내에 함침하여 재 내에 에스테르를 형성시켜 치수안정성을 부여하는 연구도 이루어졌다.<sup>35)</sup>

### 화학처리에 의한 치수안정화 처리

목재의 화학처리에 의한 치수안정화의 대표로는 포르말화와 아세틸화를 들 수 있다. 전자에서는 목재중의 수산기간에 메틸렌에테르의 가교를 형성함으로써 치

수안정성이 발현하며, 매우 적은 중량증가율로도 높은 치수안정성이 얻어지는 특징이 있다. 이에 대한 연구는 1950년대로 거슬러 올라가지만,<sup>2, 6, 29)</sup> 최근에는 처리에 따른 변색과 취화를 방지하기 위한 연구가 이루어졌다.<sup>38)</sup> 후자에서는 주로 무수초산을 이용하여 목재중의 수산기를 아세틸기로 치환함으로써 흡습성을 저하시키고, 이 때 얻어지는 팽윤효과에 의해서도 치수안정성이 부여된다. 1940년대에 연구가 시작되어,<sup>5)</sup> 1960년대에 무촉매법이 확립되고,<sup>8)</sup> 1980년대에 실용 단계로 접어들었다. 최근 들어서는 이들 처리에 의해 흡습성과 내부마찰이 감소하여 음향적 특성이 향상하기 때문에,<sup>31, 41)</sup> 악기용재를 겨냥한 연구도 이루어졌다.<sup>42)</sup>

이 외에도 에테르화,<sup>37)</sup> 올리고에스테르화<sup>39)</sup> 등을 통한 치수안정화도 연구되었고, 화학처리에 의해 내부후성이 향상된다는 연구 결과도 발표되었다.<sup>3, 15, 32, 40)</sup>

#### 나. 표면 경도의 개선을 목적으로 한 압축처리에 관한 연구

횡방향으로 큰 압축변형을 줌으로써 목재의 경도는 크게 향상되지만<sup>18, 23)</sup>, 압축된 조직은 수분의 흡탈착에 따라서 현저하게 회복된다.<sup>16, 17, 22)</sup> 따라서, 압축변형을 고정하던가 아니면 회복을 억제하기 위한 처리가 필요하다. 그중 하나의 방법이 수지처리인데, 페놀수지를 단판에 함침시킨 후에 고온고압하에서 적층접착한 임프레그(Impreg)<sup>1)</sup>나 소재에 대한 페놀수지처리<sup>28)</sup>를 들 수 있다. 1990년대에 들어서는 삼나무 등의 연질재의 표면을 저분자량 페놀수지로 함침시킨 후에 표면 부근을 중심으로 압축변형시켜 변형을 고정하기 위한 연구가 井上 등<sup>9, 19, 20)</sup>에 의해 연구되었다. 이들은 멜라민수지에 의한 고정<sup>11)</sup>과 포름알데히드에 의한 고정<sup>24)</sup>에 대해서도 보고하였다.

수지처리나 화학처리를 하지 않고 고온고압하에서 압축처리함으로써 압축변형의 회복을 억제하기 위한 시도는 Seborg 등<sup>13)</sup>에 의해 행해져 스테이팩(Staypak)이라고 정의되었다. 齊藤<sup>30)</sup>도 고온처리에 의해 변형의 회복을 억제할 수 있다고 보고하였다. 井上 등<sup>10, 21)</sup>도 고온처리 및 고압수증기처리로 변형의 고정을 시도한 결과, 고압수증기처리가 효율적이며 강도의 저하나 재색 변화도 적은 처리 방법이라고 밝혔다.

한편, 열롤프레스에 의한 압축 변형을 간편하게 하기 위한 연구와 장치 개발이

이루어졌는데, 이는 압축시에 열을 가함으로써 목재표면을 연화시켜 약간의 회복 억제제가 되도록 하는 것이지만 만족할 만한 결과는 얻어지지 않았다.<sup>4, 7, 18, 33, 34)</sup>

#### 다. 국내에서의 연구 현황

국내에서는 1990년대 들어서면서 화학개질처리에 의한 목질신소재 개발과 관련된 연구가 시작되어 아직은 많은 연구가 이루어지지 않은 실정이다. 지금까지의 연구 실적을 요약해 보면 다음과 같다.

수지함침과 관련한 연구에서, 일찍이 박 등은<sup>45)</sup> 현사시나무의 WPC화에 대하여 보고하였고, 이후 잣나무 등의 침엽수 단판을 비닐모노머류로 WPC화 하면 내마모성과 치수안정성이 우수한 재료로 전환되며,<sup>47)</sup> 또한 잣나무 판재를 불포화 폴리에스테르계, 에폭시계, 폴리우레탄계 수지 도료로 도장처리하면 간단하게 표면의 경도와 내마모성을 향상시킬 수 있다고 하였다.<sup>46)</sup> 또한 한<sup>51)</sup>은 온돌마루판용 참나무단판에 불포화폴리에스테르를 주원료로 하는 조합수지를 함침하여 고내구성 WPC를 제조하는 공정을 개발하였다.

목질신소재의 개발과 관련하여, 목분을 페놀류로 용액화하는 방법이 개발되어 목질계 수지 제조를 위한 기반이 제공되었고,<sup>43, 52)</sup> 이들 용액화물을 이용한 접착제가 개발되었다.<sup>53)</sup> 또한, 열가소성을 지닌 목재플라스틱을 제조하기 위한 참나무류 목분의 벤질에테르화에 대한 연구도 이루어졌다.<sup>50)</sup> 조 등<sup>48, 49)</sup>도 화학처리에 의한 목재의 열가소화와 관련하여 열가소화를 위한 화학처리 방법과 열가소화 성형물에 대하여 보고하였다.

치수안정화와 관련된 연구에서, 한 등은 아세틸화에 의해 침엽수재(국산낙엽송, 시베리아산 낙엽송, 뉴질랜드산 라디에타소나무)의 치수안정성을 고도로 높일 수 있다고 하였으며,<sup>54)</sup> 멜라민시트를 적층한 MDF마루판재의 가열 환경하에서의 치수변화 특성에 대하여도 보고하였다.<sup>44)</sup>

### 3. 연구 개발의 목표 및 내용

가. 표면강화기술을 이용한 건축내장재 개발

- 1) 무처리재의 해부학적, 물리적, 역학적, 화학적 특성 조사
- 2) 압축변형에 의한 개질 가공
- 3) 수지함침에 의한 개질 가공
- 4) 화학처리에 의한 개질가공
- 5) 처리재의 물리적, 역학적 성능 평가
- 6) 실대처리재의 제작 및 성능 평가

나. 연차별 연구개발목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1999)	○내장재용 국산침엽수재의 표면강화처리를 위한 기초물성 조사	·자료 수집 ·공시재의 조정 ·무처리재의 해부학적, 물리적, 역학적, 화학적 특성 조사 ·압축변형에 의한 개질가공 ·처리재의 해부학적, 물리적, 역학적, 화학적 특성 조사
2차 년도 (2000)	○내장재용 국산침엽수재의 표면강화기술 개발	·수지함침에 의한 개질 가공 ·수지함침-압밀화처리의 접근방법 모색
3차 년도 (2001)	○내장재용 국산침엽수재의 표면강화기술 개발	·화학처리에 의한 개질가공 ·처리재의 압밀화 및 변형의 고정화 기술 개발
4차 년도 (2002)	○실대처리재의 제작 및 성능 평가	·처리 방법의 개선 실대처리재 제작 ·실대처리재의 성능 평가

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 공시재료

#### 가. 공시목재

본 연구에서는 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무를 공시재료로 사용하였다. 수지 주입성 및 경화성, 치수안정성, 내마모성 등을 측정하기 위해 50mm(T)×10mm(R)×50mm(L), 100mm(T)×10mm(R)×100mm(L)의 시편을 제작하였고 각 처리별로 5개의 시편을 사용하였다.

Table 5-1. Properties of wood.

Species	Specific gravity	Moisture content (%)
Japanese Larch	0.47	12.12
Korean Red Pine	0.46	12.58
Korean Pine	0.49	14.20

#### 나. 공시수지

수지 시료로는 멜라민수지, 페놀수지, 수성아크릴에멀전수지, 용제형비닐아세테이트수지를 사용하였다. 멜라민수지는 두 종류로서, Cytec Ind. Inc.의 Parez Resin 613(수용성, 불휘발분 80%)과 대양화학(주)의 M-85(수용성, 불휘발분 76%)를 사용하였다. 페놀수지는 강남화성(주)의 Phenolite TD-2493D(알콜용성, 불휘발분 50%)을 사용하였다.

수성아크릴에멀전수지는 대양화학(주)의 폴리졸 507T(불휘발분 41%, Tg 53℃), 폴리졸 507A1(불휘발분 41%, Tg 45℃) 폴리졸 507A2(불휘발분 41%, Tg 53℃)를 사용하였다.

용제형 변성비닐아세테이트수지는 대양화학(주)의 비니롤 C-71을 사용하였다.

#### 다. 적층용 멜라민수지 함침지

적층용지로는 평량이 각각 28g/m<sup>2</sup>과 46g/m<sup>2</sup>인 오버레이지에 멜라민수지가 250% 함침된 멜라민수지 함침지를 사용했다

## 2. 실험방법

#### 가. 수증기처리 열압밀화 시험편의 제작

열압밀화 시험편의 제작을 위한 소나무 시험편의 치수는 100(L)mm×20(R)mm×20(T)mm였다. 기건 상태의 시험편을 열압기에서 10mm의 stop-bar(압축율 50%)를 사용하여 방사방향으로 압력 65kgf/cm<sup>2</sup>의 하중을 가하여 열압밀화를 행하였다. 열압온도는 180℃로 하였으며, 열압시간은 100분으로 고정하였다. 시험편의 개수는 각 조건당 5개씩으로 하였으며, 압밀화후 시험편의 평균 기건비중은 0.83이었다. 이 시험편을 철제도구로 구속하여 오토클레이브에서 수증기 처리하였으며, 처리온도는 120℃로, 처리시간은 20, 40, 60, 80, 100분으로 하였다.

#### 나. 수분흡수에 의한 변형회복시험

열압밀화 한 목재시험편의 수분에 대한 성질 중에서 치수안정성 평가를 위하여 수분에 의한 팽윤율, 팽윤에 의한 치수회복도에 대한 실험을 행하였다. 이때 사용한 시험편은 열압밀화재, 열압밀화후 수증기처리재, 비압밀화재로부터 제작하였으며, 시험편의 치수는 20(L)mm×10(R)mm×20(T)mm였다. 시험편의 개수는 각 조건당 5개씩을 제작하였다. 시험편의 두께(방사방향) 팽윤율, 치수회복도 계산을 위하여 열압시험편의 기건시 두께방향 치수를 측정하였다. 치수를 측정한 후, 시험편을 25℃ 항온수조에서 24시간동안 침지흡수시켰다. 항온수조에 침지한 후 가압방향으로 시험편의 두께를 각 시점에서 측정하였다. 기건재의 두께, 열압전후 시험편의 방사방향 두께로부터 팽윤율과 치수회복도를 다음의 각 식으로 산출하

었다.

$$\text{치수회복도(\%)} = \frac{l_r - l_c}{l_o - l_c} \times 100 \text{ --- (1)}$$

$$\text{팽윤율(\%)} = \frac{l_{nh} - l_g}{l_g} \times 100 \text{ --- (2)}$$

단,  $l_r$  : 수분흡수 회복시험후 전건치수,  $l_c$  : 열압밀화 처리후 전건치수,  
 $l_o$  : 열압밀화 처리전치수  $l_{nh}$  : 각 측정시점에서의 치수,  $l_g$  : 기건치수.

#### 다. 압축강도

압축강도 측정은 만능강도 시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 사용하여 실시하였으며, 열압밀화재, 열압밀화후 수증기처리재, 비압밀화재로 나누어 비교 실험하였다. 고압수증기 처리를 한 시험편에서 압축강도시험편으로 20×20×17mm(L×R×T)를 준비하여, 5회 반복 측정하였다. 또한 크로스헤드 속도는 3mm/min로 하였다.

#### 라. 휨강도

휨강도 시험편의 치수는 150×10×22mm(L×R×T)로 준비하였다. 이 시험편을 이용하여 열압밀화재, 열압밀화후 수증기 처리재, 비압밀화재로 나누어 휨강도를 측정하였으며, 크로스헤드 속도는 3mm/min로 하였다.

#### 마. 브리넬경도

직경 10mm의 강철구슬이 일정깊이까지 압입될 때의 하중으로 평가되는 브리넬 경도값을 측정하였다. 경도측정은 시험편의 반경방향으로 실시하였으며, 각 조건당 3회 반복 실시하였다.

#### 바. 치수안정화



전건상태의 시편을 각 농도로 희석한 페놀 및 멜라민 수지용액에 각각 침지하여, 2시간 감압 후 상압하에서 24시간을 방치하여 시편 내에 수지 수용액이 충분히 함침되도록 하였다. 함침된 시편은 상온에서 풍건 후, 페놀수지는 80℃에서 1시간, 120℃에서 2시간 경화하였고, 멜라민 수지는 40℃에서 4시간동안 예비 건조를 하고, 80℃에서 1시간, 120℃에서 2시간 동안 경화를 실시하였다. 수지 수용액이 건조 중에 측면 굽음을 피하고자 시편의 건조 중 설치방향을 1시간 간격으로 변화시켰다.

사. 치수안정성 평가

처리전·후의 각 전건상태에 있어서의 중량변화로부터 중량변화율(WPG : weight percent gain), 부피변화로부터 팽윤계수(B)를 식(5-1) 및 식(5-2)에 의해 계산하였다. 항팽윤계수(ASE : anti-swelling efficiency)는 처리전후의 흡수에 의한 체적팽윤율에 의거하여 식(5-3)에 의해 계산하였다. 상대습도 95% 하에서 24시간 방치하여 함수율을 조정한 후 24시간 침수시켜 흡수율을 측정하여 식(5-5)에 의해 계산하였다.

$$WPG(\%) = \frac{W_t - W_c}{W_c} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

$$B(\%) = \frac{(R_o \times T_o \times L_o) - (R_c \times T_c \times L_c)}{R_c \times T_c \times L_c} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

$$ASE(\%) = \frac{\beta_{vc} - \beta_v}{\beta_{vc}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

$$\beta_v(\%) = \frac{(R_w \times T_w \times L_w) - (R_o \times T_o \times L_o)}{R_o \times T_o \times L_o} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

$$RWA(\%) = \frac{MC_c - MC_T}{MC_c} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-5)$$

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| $W_c$ : 무처리 전건중량              | $W_t$ : 처리후 전건중량                  |
| $R_c$ : 처리전 방사방향 전건치수         | $T_c$ : 처리전 접선방향 전건치수             |
| $L_c$ : 처리전 길이방향 전건치수         | $R_o$ : 처리후 방사방향 전건치수             |
| $T_o$ : 처리후 접선방향 전건치수         | $L_o$ : 처리후 길이방향 전건치수             |
| $R_w$ : 처리후 방사방향 포수치수         | $T_w$ : 처리후 접선방향 포수치수             |
| $L_w$ : 처리후 길이방향 포수치수         | $\beta_{vc}$ : 무처리재의 흡수에 의한 체적팽윤율 |
| $\beta_v$ : 처리재의 흡수에 의한 체적팽윤율 | $MC_c$ : 무처리재의 평형함수율              |

$MC_t$  : 처리재의 평형함수율

#### 아. 멜라민수지 함침지의 적층

목재시편을 소나무, 잣나무 각각 판목과 정목으로 나누고, 목재시편의 섬유방향과 멜라민수지 함침지의 섬유방향을 구분하여 적층하고, 열압기를 이용하여 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>의 압체력을 가하여 최종 두께가 9mm가 되도록 소정시간 압체하였다.

목재 시편은 함수율별로 105℃에서 24h 건조한 것, 105℃에서 30분 건조한 것, 기건상태의 것으로 구분하여 적용하였다. 또한 열압스케줄은 다음과 같은 두 가지를 적용하였다.

- ① 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>로 3분간 열압.
- ② 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>로 2분 열압 후, 1분간 해압하고, 다시 1분간 80kgf/cm<sup>2</sup>로 열압.

#### 자. 멜라민수지 함침지 적층재의 외관 평가

멜라민수지 함침지가 적층된 시편을 5단계의 환경에 노출시켜 육안으로 항목별로(수지 침출, 조재부의 팽창, 할렬, 너비굽음, 멜라민 수지 함침지의 박리와 갈라짐) 관찰하였다. 항목별로 관찰되는 시편수가 총 5개의 시편 중 3개 이상일 때 다(多), 2개 이하일 경우 소(少), 해당이 없는 경우를 무(無)로 규정하여 평가하였다. 육안 관찰이 이루어진 단계별 시점은 다음과 같다.

- 1단계 : 압체 직후 외관 평가
- 2단계 : 육내에서 1일 방치한 후 외관 평가
- 3단계 : 물에 적신 거즈를 시편의 표면에 1시간동안 국부 노출 후 외관 평가
- 4단계 : 4시간동안 물에 침지한 후 외관 평가
- 5단계 : 60℃에서 20시간 건조한 후 외관 평가

#### 차. 변색 측정

기건상태의 소나무, 잣나무를 130℃, 80kgf/cm<sup>2</sup>에서의 3분간 압제 전후의 색상을 분광측색기(Spectrophotometer, Minolta Co., Ltd CM-200)를 이용하여 L, a, b값으로 측정하였다.

#### 카. 수지 주입 및 경화

전건상태의 시편을 소정시간 감압 후 각 농도로 희석한 수지용액을 도입하고 가압하여 시편 내에 수지를 주입하였다. 수지 주입시의 가압력과 가압시간을 달리하여 주입성을 검토하였다.

함침된 시편은 60℃에서 소정시간 예비건조한 후, 각각의 경화온도에서 소정시간 프레스 또는 오븐을 이용하여 경화 또는 열압밀화 하였다.

예비건조된 함침시료는 130℃, 80kgf/cm<sup>2</sup>에서 5-10분간 압축률 10%를 적용하여 압밀화 하였다.

#### 타. 내마모시험

Taber형 내마모성 시험기를 이용하여(S-42 마모지 적용, 1kgf 하중, 60rpm, 500회전) 마모시험을 행하였다. 내마모성은 시험 후의 마모량과 마모깊이로 평가하였다.

#### 파. 낙구경도 시험

지름 38mm, 무게 225g의 강구를 시험편 위에 자연낙하시켜 표면 균열 및 현저한 변형을 발생시키지 않는 최대 낙하높이를 측정하여 평가하였다.

#### 하. 스크래치경도 시험

Ericksen universal scratch tester를 이용하여 시험편의 표면에 상처를 내고, 가볍게 손끝으로 비벼도 상처가 없어지지 않을 때의 하중을 스크래치경도로 평가하였다.

## 제3절 연구결과

### 1. 수증기처리에 의한 열압밀화목재의 압축 고정

#### 가. 수증기처리에 의한 압축변형의 고정

고압수증기로 처리한 열압밀화목재의 팽윤성을 알아보기 위해, 침지시간 경과에 따른 팽윤율을 각 수증기 처리 시간에 따른 두께방향의 팽윤율로 그림5-1에 나타냈다.

침지시간의 경과에 따라 팽윤율은 증가되었으며, 초기의 급격한 팽윤이 일어난 후 약 3시간 이후에는 거의 평형에 가까운 그래프를 나타냈다. 수증기처리 시간에 따라서는, 수증기처리를 하지 않은 열압밀화목재가 70% 정도의 팽윤율을 나타낸 반면, 60분 이상의 수증기 처리재는 침지시간의 경과에 따른 최대 팽윤율이 50% 이하를 나타냄으로써 치수안정효과가 양호하였다. 또한 수증기 처리시간이 길어짐에 따라 팽윤율은 점점 작아져, 100분 처리재의 경우 약 25%까지 감소하였다.

한편, 수증기로 처리한 열압밀화 시편편을 24시간 수증침지한 후의 두께방향(R) 치수회복도는 표5-1과 같다. 압축률 50%인 열압밀화목재의 수증기 처리후 팽윤에 의한 두께방향 치수회복도(24시간 기준)는 수증기 처리 시간에 따라 최고 5.1%에서 최소 1.9%까지 큰 차이를 나타냈다. 치수회복도는 같은 수증기처리 온도에서 고압수증기 처리 시간이 길수록 회복도가 낮게 나타났으며, 열압밀화후 수증기처리에 의해서 목재의 치수안정성이 향상되는 것을 알 수 있다. 즉, 열압밀화후의 수증기 처리는 압축변형의 고정 방법으로서 매우 효과적이다.

변형된 상태에서의 열처리에 의한 압축변형의 고정에는 흡습성의 저하, 성분분해에 따른 변형을 복원시키는 힘의 완화, 분자간 가교의 형성, 분자간 응집력

의 향상 등이 각각 기여하고 있다고 알려져 있다. 한편, 압축변형의 고정 메카니즘을 수증기처리에 의한 목재의 성질 변화와 관련된 연구결과를 토대로 고찰하여 보면 다음과 같이 생각할 수 있다.

수증기처리에 의해, 헤미셀룰로오스의 대부분이 쉽게 분해되고, 리그닌도 일부가 가수분해되어 저분자화 하며, 셀룰로오스도 분리되기 쉬워진다. 목재 내에서 매트릭스를 형성하는 리그닌과 헤미셀룰로오스의 분해에 의하여, 축적되어 있던 엔트로피 탄성회복력이 해방된다. 한편, 셀룰로오스도 부분적으로 분해가 진행되면 중합도가 저하하여 마이크로피브릴의 길이가 감소하며, 마이크로피브릴에 축적되어 있던 에너지 탄성회복력이 해방된다. 이들 원인에 의하여 변형이 고정될 것으로 여겨진다. 또한, 수증기처리에 의하여 셀룰로오스의 비결정영역이 결정영역으로 재배열하여 결정성이 증가하는데, 이 결정화는 압축변형된 상태에서 안정한 결합을 형성함으로써 변형의 회복을 억제하는 효과를 줄 것이다.

#### 나. 수증기처리한 열압밀화재의 강도적 성질

그림5-2는 수증기 처리시간에 따른 열압밀화재의 휨강도의 변화를 나타내고 있으며, 그림5-3은 압축강도의 변화를 나타내고 있다. 그림5-2에서 열압밀화재의 평균휨강도는  $914\text{kgf/cm}^2$ 로서 비압밀화재의  $559\text{kgf/cm}^2$ 에 비해 현저하게 증대되었는데, 이는 압축변형에 따른 비중 증대가 그 원인이다. 한편 수증기처리에 의해서 휨강도는 처리시간 40분까지는 증가하여 일정하게 유지한 후 100분이 되면 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 즉 표5-2에 의하면  $120^\circ\text{C}$ 에서의 수증기 처리는 약 20% 정도의 휨강도 증대를 야기하였다.

이러한  $120^\circ\text{C}$ 에서의 수증기 처리에 의한 휨강도의 증대 효과에 대해서는 추후 그 원인을 밝히는 연구가 필요가 있다고 생각한다. 그런데, 이는 타연구자들이 시도한 고온의 수증기 처리의 결과와 다른 경향을 나타내는 것으로서 주목할 만한데,  $180\text{--}220^\circ\text{C}$ 에서 1-8분간 수증기 처리한 결과 휨강도가 5% 정도 감소하였다는 보도가 있다.

한편, 휨탄성계수는 휨강도에 비해 변화의 폭이 적었으며, 그 경향을 가늠하기가 어려웠다. 비압밀화재 평균값이  $71.5 \times 10^3\text{kgf/cm}^2$ 인 것에 비해 수증기처리 하지 않은 열압밀화재는  $108.2 \times 10^3\text{kgf/cm}^2$ 로 증대하였으며, 그리고  $120^\circ\text{C}$ 에서 100

분간 수증기 처리한 열압밀화재는  $117.2 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

그림5-3에서 비압밀화재의 압축강도는 평균  $270 \text{kgf/cm}^2$ 였다. 또한 압밀화재에서 수증기처리를 하지 않은 것은 평균  $758 \text{kgf/cm}^2$ 로서 비압밀화재보다 약 2.8배의 큰 값을 나타냈다. 이는 압밀화 시험편의 비중이 0.49에서 0.83으로 크게 증대하였기 때문이다. 또한, 수증기 처리시간이 증가할수록 열압밀화재의 압축강도도 증가하는 경향을 나타냈는데, 100분 처리에 의하여 33.5%의 증대를 나타냈다(표5-2 참조).

한편, 표면의 단단하기를 나타내는 브리넬경도를 측정된 결과, 비압밀화재는  $6.45 \text{N/mm}^2$ 인데 비하여, 열압밀화재는  $10.66 \text{N/mm}^2$ 로서 약 65% 증가하였다. 그러나 수증기 처리시간에 의해서는 표면경도의 변화가 없었다. 즉, 압축변형에 의해 향상된 표면경도는 수증기 처리후에도 그대로 유지되고 있음을 알 수 있다.

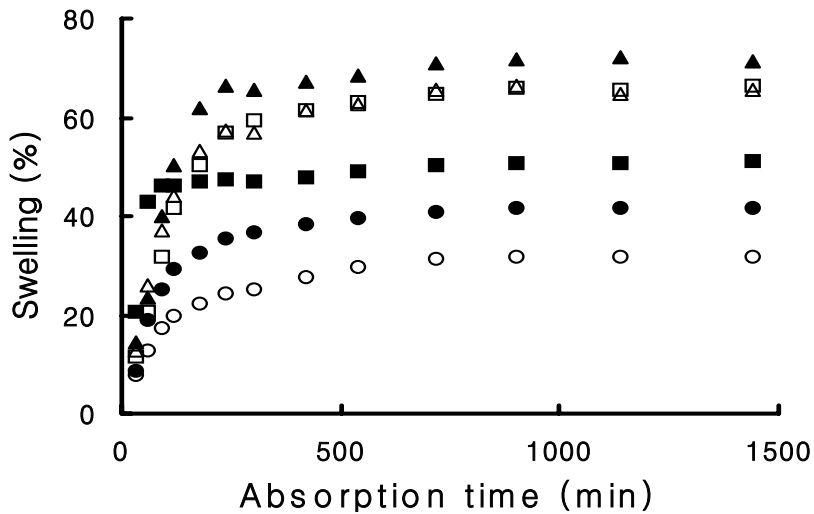


Fig. 5-1. Relationship of swelling and steaming time of heat-compressed wood.

Legend : ▲0, □20, △40, ■60, ●80, ○:100min.

Table 5-2. Relationships between recoveries of sets and steaming times.

Steaming time (min)	Recoveries of sets (%)					
	0	20	40	60	80	100
Mean	5.1	4.4	4.1	3.4	2.8	1.9
Standard deviation	1.9	2.2	3.1	3.1	2.4	1.6

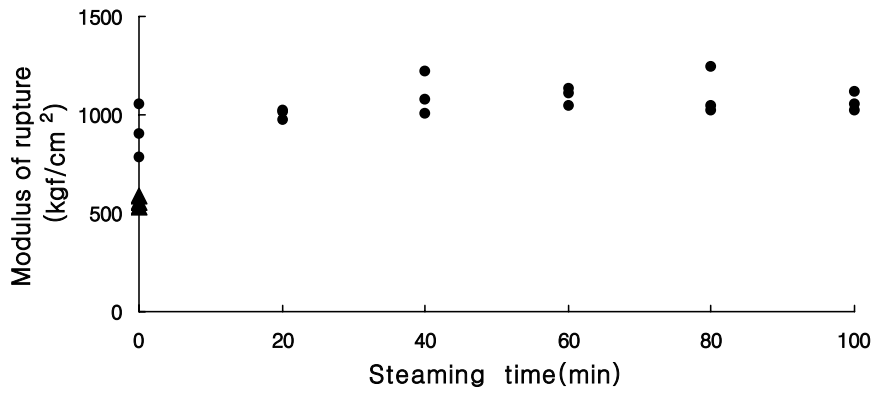


Fig. 5-2. Relationships between moduli of rupture and steaming times for heat-compressed wood.

Legend : ◆ uncompressed wood, ● compressed wood.

Table 5-3. Changes of mechanical properties of heat-compressed wood by steaming.

Steaming time(min)	$\Delta(\%)$		
	Modulus of rupture	Modulus of elasticity	Compressive strength
20	9.9	5.1	8.8
40	20.7	-1.2	22.0
60	20.0	1.5	26.4
80	20.9	9.0	29.3
100	16.8	8.3	33.5

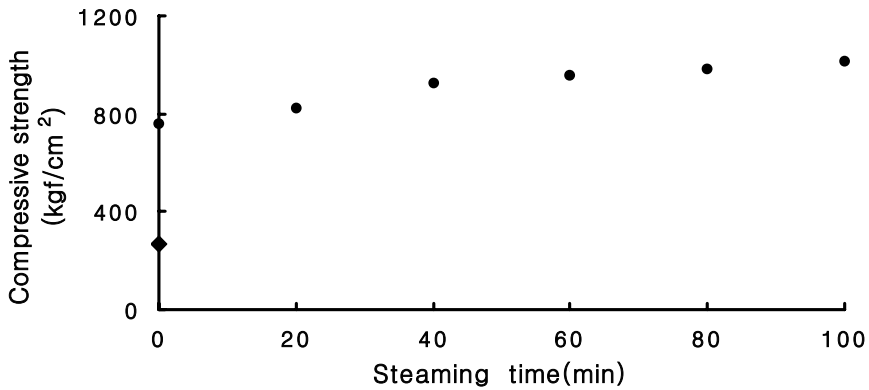


Fig. 5-3. Relationships between compressive strengths and steaming times for

heat-compressed wood.

Legend : ◆ uncompressed wood., ● compressed wood.

## 2. 페놀수지와 멜라민수지에 의한 국산침엽수재의 치수안정화

가. 중량증가율



그림5-4는 페놀수지와 멜라민수지의 처리농도에 따른 중량증가율(WPG, %)을 나타낸 것으로 농도가 높아짐에 따라 중량증가율 또한 높아지는 것을 보여주고 있다. 중량증가율은 멜라민수지 처리의 경우가 페놀수지 처리의 경우보다 높게 나타났다. 페놀수지와 멜라민수지의 경우 모두 잣나무, 낙엽송, 소나무 세 수종 간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

#### 나. 팽윤계수

그림5-5는 수지의 처리농도에 따른 팽윤계수(B)를 보여주는 것으로, 그림5-4의 중량증가율에서와 같은 명확한 경향을 나타내지는 않았다. 대체적으로 본 경향은 처리농도 50%까지는 팽윤계수가 증가하고 50% 이후에는 거의 변화가 없는 것처럼 보인다. 즉, 수종과 수지의 종류에 따라서 약간씩의 차이를 보이고는 있지만, 그림에서도 알 수 있듯이 거의 일정한 패턴으로 증가하고 있다고 볼 수 있다. 이는 농도 50%미만에서는 수지가 세포벽까지 들어가 목재를 팽윤시키고 50%이상의 농도에서는 더 이상 세포벽으로 들어가기보다는 세포내강에 들어가 목재를 팽윤시키는데 영향을 미치지 못하기 때문이라고 생각한다.

#### 다. 팽윤율

그림5-6은 수지의 처리농도에 따른 수침지후의 팽윤율(Bv)을 보여주는 것으로 세 수종 모두 무처리재의 팽윤율은 12%에 가깝게 나타났다. 20% 미만의 농도에서 낙엽송과 소나무는 수종의 종류보다는 수지처리에 의한 차이를 나타내고 있고 잣나무는 수지처리에 의한 차이는 거의 보이지 않는 것으로 나타나고 있다. 그리고 낙엽송과 소나무의 팽윤율은 감소가 급격하지만 20% 이상의 농도에서는 팽윤율이 거의 일정한 것으로 나타났다. 수종별로는 잣나무가 팽윤율이 가장 큰 것으로 나타났고 수지처리에 의한 것은 멜라민 수지보다 페놀수지의 팽윤율이 큰 것으로 나타났다. 멜라민수지 처리시편의 팽윤율보다 페놀수지 처리시편의 팽윤율이 큰 것은 멜라민수지가 세포내강에 더 많이 들어가기 때문인 것으로 생각된다.

#### 라. 항팽윤율

그림5-7은 수지처리 농도에 따른 항팽윤율(ASE)을 보여주는 것이다. ASE는 50%까지는 급격히 증가하다가 50%이후에는 조금만 증가한다. 수종간의 차이는 낙엽송> 소나무> 잣나무의 순으로 ASE가 높게 나왔다. 소나무와 낙엽송의 경우 50% 이상의 농도는 목재내부로 들어가 ASE를 높이는 데는 효과가 적은 것으로 나타났다. 그리고 잣나무의 경우는 낮은 농도에서의 ASE값이 다른 두 수종에 비해서 크게 나타났다. 잣나무 페놀수지 처리의 경우 저농도(2~30%)에서는 거의 변화가 없지만 30% 이상에서는 약간의 증가를 나타내고 있다. 하지만 잣나무 멜라민수지 처리의 경우 전구간에서 일정한 값을 나타내고 있다.

#### 마. 흡수감소율

그림5-8은 수지처리 농도에 따른 흡수감소율(RWA)을 나타낸 그림이다. 흡수감소율은 수지에 의한 영향을 받는 것으로 생각되어진다. 각 수종들의 차이보다는 수지의 종류에 의한 차이가 나타나고 있다. 멜라민수지가 흡수 감소율이 더 높게 나타났다. 이것은 멜라민수지가 세포내강으로 들어가 충전되는 양이 페놀수지보다 많기 때문인 것으로 생각된다. 수종별로 차이를 본다면 소나무, 낙엽송, 잣나무의 순서로 나타난다.

그림5-9는 시편을 페놀수지와 멜라민수지 처리 후 시편을 물에 침지하여 포수 상태가 될 때까지 놓아두었다가 함수율을 측정한 것이다. 흡수감소율과 함수율의 그래프를 비교해 보면, 서로가 반대라는 것을 알 수 있다. 즉, 흡수감소율이 낮으면 수침지에 의한 함수율은 높아지게 된다.

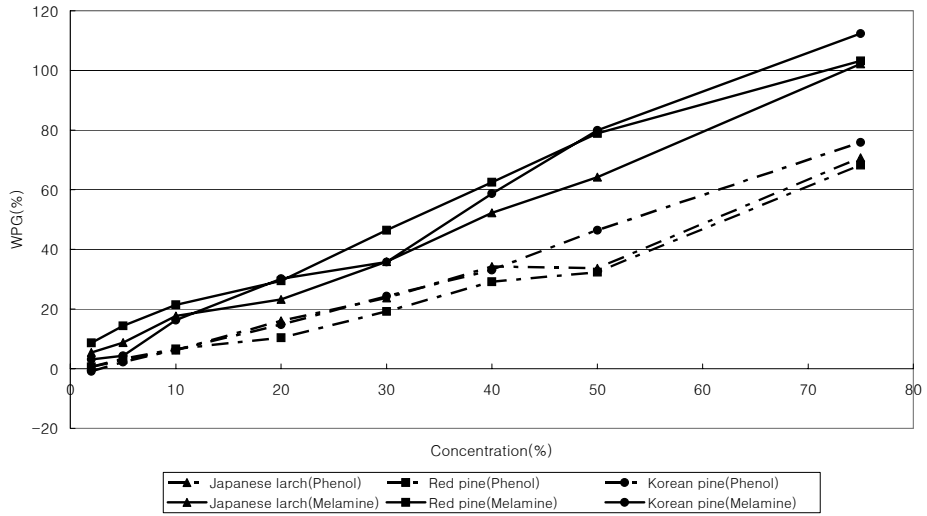


Fig. 5-4. WPG vs. concentration.

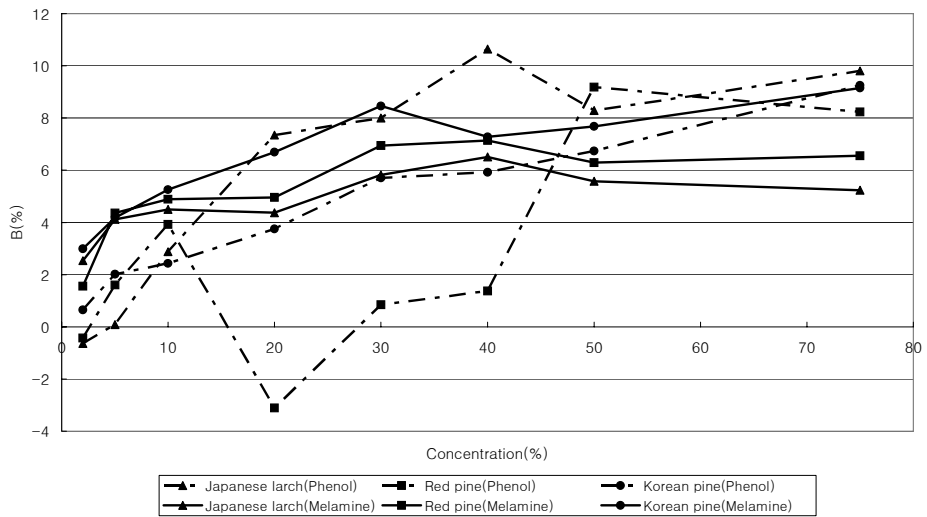


Fig. 5-5. B vs. concentration.

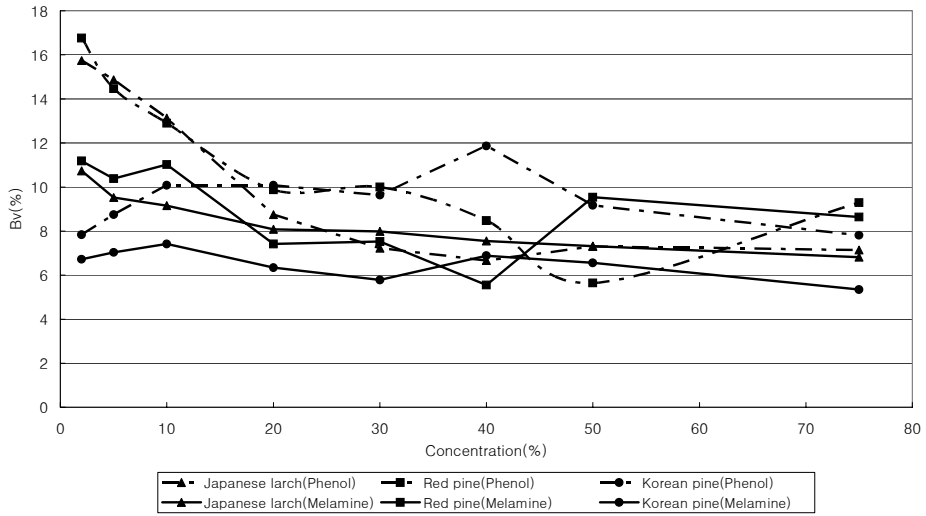


Fig. 5-6. Bv vs. concentration.

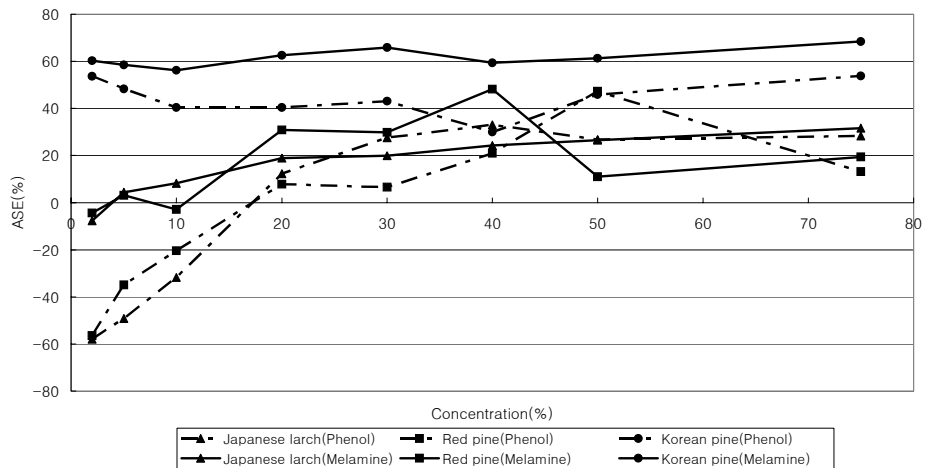


Fig. 5-7. ASE vs. concentration.

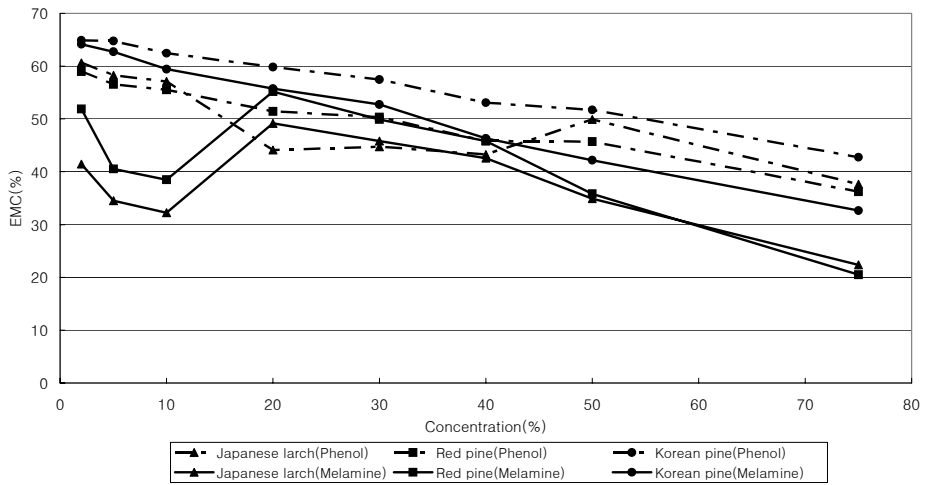


Fig. 5-8. RWA vs. concentration.

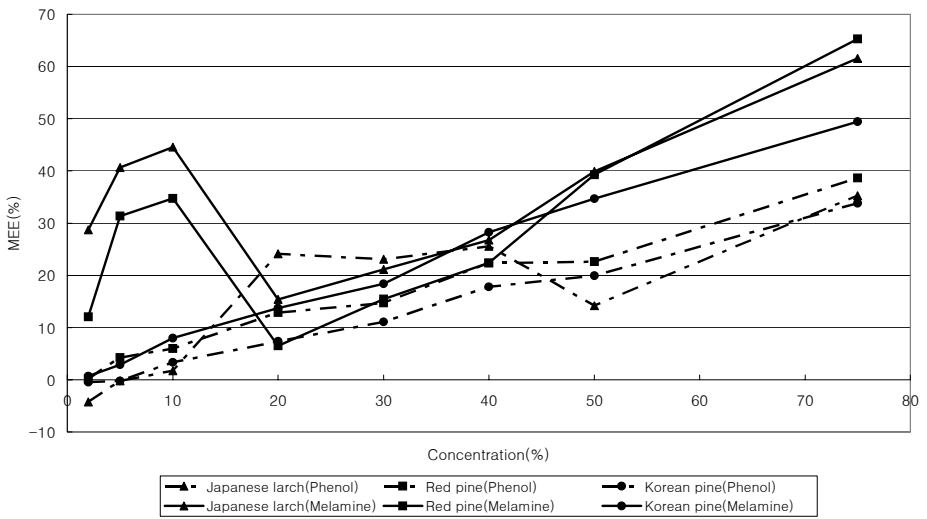


Fig. 5-9. Moisture adsorption vs. concentration.

### 3. 멜라민수지 함침지 적층에 의한 침엽수재의 표면강화

#### 가. 멜라민수지 함침지 적층재의 외관

평량이 28g/m<sup>2</sup>과 46g/m<sup>2</sup>인 멜라민수지 함침지를 각각 적층하여 비교한 결과, 평량 46g/m<sup>2</sup>의 함침지를 적층한 시편은 적층 후 1일 방치와 국부수분노출시 극심하게 갈라지는 현상을 나타냈다. 이는 고평량의 함침지일수록 경화시 수축력이 더 크게 발생하기 때문이다. 따라서 이후 실험에서는 평량 28g/m<sup>2</sup>의 함침지만을 적용하였다. 그림5-10은 멜라민수지 함침지를 적층한 소나무재의 모습이다.

함침지 적층 방향에 따른 실험에서, 시편과 멜라민수지 함침지가 양면 모두 평행할 경우에는 너비굽음(cupping)이 심하게 발생하였으며, 평행과 수직일 경우에는 함침지의 터짐이 발생하였고, 양면 모두 수직 방향일 때가 가장 좋은 결과를 나타냈다. 따라서 함침지의 섬유방향은 목재의 섬유방향과 수직되는 방향으로 적용하였다.

기건상태의 시편에 멜라민수지 함침지를 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>로 3분간 열압하여 적층시킨 결과 표5-4와 같은 결과를 얻었다. 열압 직후에 소나무와 잣나무의 정목 시편은 수지침출과 조재부의 팽창이 심하게 발생하였으며, 수침지 후에는 그림5-11과 같은 함침지의 갈라짐 현상도 나타났다. 조재부의 팽창현상은 고온에 의해 가스화된 수지와 수분이 고압하에서 억눌려 있다가 갑작스런 해압시 세포벽이 얇은 조재부로 팽창하여 나오면서 생기는 현상으로 여겨진다. 반면에 판목시편은 소나무와 잣나무 모두 비교적 양호한 결과를 나타내, 소나무 판목의 경우에만 일부 시편에서 수침지후 함침지가 갈라지는 현상을 보였다.

정목시편에서 발생하는 다량의 결함을 줄일 목적으로 압체 스케줄을 다음과 같이 변화시켰다. 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>로 2분간 열압 → 1분간 해압 → 80kgf/cm<sup>2</sup>로 1분간 열압. 열압시에 발생하는 기화물질을 배출시킬 목적으로 해압 과정을 도입한 것이다. 대체적인 결과는 해압 과정이 없는 조건과 유사하였다. 여전히 정목시편에서의 결함 발생은 극심하였으나, 소나무 판목재에서 수침

지 후에 발생하던 함침지의 갈라짐 현상은 나타나지 않았다.

목재시편을 24시간 건조한 전건시편에서는 열압직후에 수지침출이나 시편의 조재부의 팽창은 발생하지 않았다. 그러나 실내에서 1일 노출시키면 소나무 판목 시편과 잣나무 정목시편 일부에서 함침지의 갈라짐이 발생하였다. 이는 흡습에 의한 팽창에 기인하는 것이라고 생각한다. 한편, 1시간의 국부적인 수분노출로는 아무런 변화가 발생하지 않았으나, 4시간의 수침지에 의해서는 거의 전 시편에서 함침지가 갈라지고 시편에 할렬이 발생하였다. 그런데 별 문제점이 발생하지 않았던 소나무와 잣나무 판목의 모든 시편이 심한 할렬과 너비굽음이 발생하였다. 그러나 열압시 수지 침출과 같은 문제점은 나타나지 않았다. 이는 105℃에서 건조하는 과정에서 수지 성분이 휘발하거나 경화되었기 때문에 수지 침출의 문제는 해결되었지만, 열압 후 재흡수에 의한 팽창에 의하여 할렬과 너비굽음의 결함이 발생하였다.

한편, 열압 전에 목재시편을 105℃에서 30분간 미리 건조하는 방법은 멜라민 수지 함침지의 적층 후의 외관 특성에 아주 좋은 영향을 주었다. 표5-5에서와 같이 정목시편에서의 소량의 수지침출은 있었지만 조재부의 팽창과 같은 다른 결함은 전혀 발생하지 않았다. 30분간의 건조를 통하여 수분과 수지의 일부를 휘발시킴으로써 조재부의 팽창을 막아준 것으로 생각한다.

이상의 결과로부터 다음과 같은 멜라민수지 함침지의 적절한 적층 조건을 추출할 수 있었다. 기건상태의 소나무와 잣나무의 판목시편은 기건상태에서 130℃에서 80kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 3분간 압체하여도 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 한편, 정목시편의 경우에는 적층 전에 105℃에서 30분이라는 가벼운 건조과정을 거친 후, 적층 공정을 수행하는 것이 적절함이 판명되었다.

#### 나. 멜라민수지 함침지 적층시의 변색

기건상태의 소나무와 잣나무의 판목시편에 멜라민수지 함침지를 적층시킬 때 발생하는 변색을 조사하였다. 대체적으로 함침지 적층에 의하여 연륜의 무늬가 더욱 선명해지며 색상은 다소 짙어지는 경향을 나타냈으며,  $\Delta E$  값은 소나무가 2.07이었으며 잣나무가 4.60으로 다소 높았다.

소나무의 경우에는 L, a, b값의 변화가 아주 작은 편이었다. 명도(L)는 아주 조금 낮아졌고, 반면 a값은 거의 변화가 없었으며, b값은 약간 증가하였다. 변색

의 주원인이 된 b값의 증가는 노란색 쪽으로의 변색을 의미한다. 잣나무의 경우에는 소나무에 비하여 다소 큰 변화를 나타내고 있다. 특히 L값과 a값의 변화가 두드러져 변색의 원인이 되었는데, 시편의 명도가 낮아졌으며 적색 쪽으로의 변색이 일어났음을 의미한다. 잣나무재의 고온에서의 변색이 영향을 준 것으로 생각한다.

#### 다. 내마모성

그림5-12는 멜라민수지 함침지가 적층된 시편의 마모 중량을 무처리재와 비교한 것으로, 무처리재에 비하여 월등히 낮은 마모량을 나타냈다. 또한 그림5-13은 마모깊이를 비교한 것으로, 마모깊이 역시 현저히 감소하였다. 이로써 멜라민수지 함침지의 적층에 의해 침엽수재의 표면 경화가 가능하였다.

그림5-14와 5-15는 시판중인 마루판과 내마모성을 비교한 것으로서, 멜라민수지함침지를 적층한 소나무 마루판이 시판의 제품과 동등의 성능을 나타내고 있다.



Fig. 5-10. Normal appearance of laminated wood.





Fig. 5-120. Cracked appearance of laminated wood.

Table 5-4. Appearance change of laminated specimens made of air-dried wood.

Specimen	After hot-pressing	Indoor exposing, 24h	Partial water-drop exposing, 1h	Water soaking, 4h	60°C, 20h
Korean red pine, quater sawn	◆■	◆■	◆■	△◆■	△◆■
Korean red pine, flat sawn	.	.	.	△	△
Korean pine, quater sawn	◆■	◆■	◆■	◆■	◆■
Korean pine, flat sawn	.	.	.	.	.

Legend : · Good; △ some melamine-sheet split; ▲ heavy melamine-sheet split;  
○ some check; ● heavy check; ◇ a little resin flow-out;  
◆ heavy resin flow-out; □ a little earlywood rising;  
■ heavy earlywood rising; ☆ a little cupping; ★ heavy cupping.

Note : Hot-press, 80kgf/cm<sup>2</sup>, 3min.

Table 5-5. Appearance change of laminated specimens made of predried wood.

Specimen	After hot-pressing	Indoor exposing, 24h	Partial water-drop exposing, 1h	Water soaking, 4h	60°C, 20h
Korean red pine, quater sawn	◇	◇	◇	◇	◇
Korean red pine, flat sawn	.	.	.	.	.
Korean pine, quater sawn	◆	◆	◆	◆	◆
Korean pine, flat sawn	.	.	.	.	.

Legend : . Good; △ some melamine-sheet split; ▲ heavy melamine-sheet split;

○ some check; ● heavy check; ◇ a little resin flow-out;

◆ heavy resin flow-out; □ a little earlywood rising;

■ heavy earlywood rising; ☆ a little cupping; ★ heavy cupping.

Note : Before laminating, the specimens were predried at 105°C for 30min.

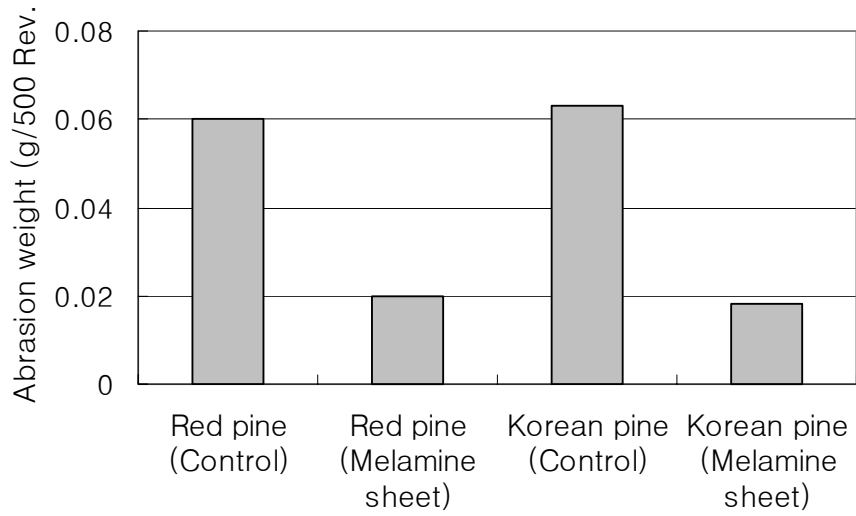


Fig. 5-12. Abrasion weight of specimen.

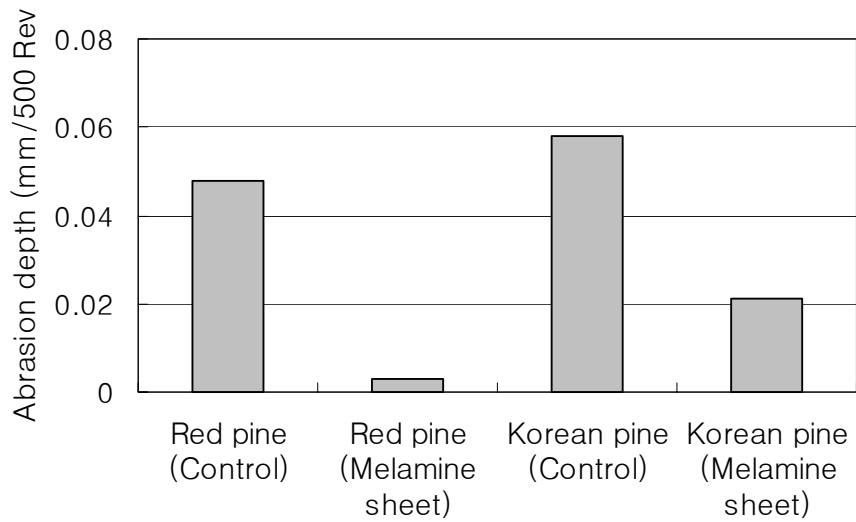


Fig. 5-13. Abrasion depth of specimen.

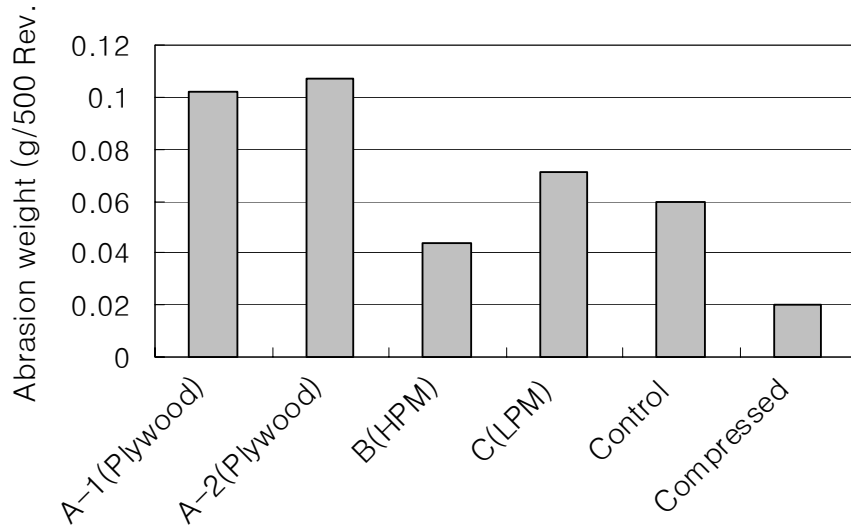


Fig. 5-14 . Abrasion weight of commercial flooring boards.

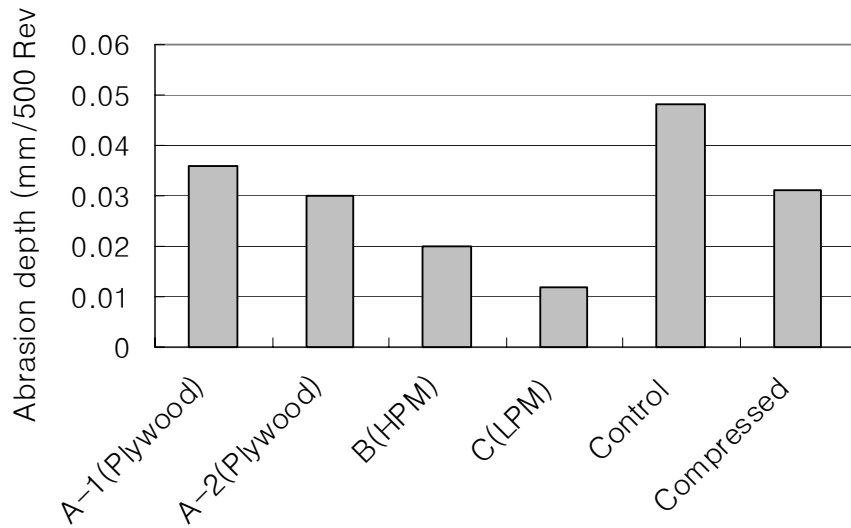


Fig. 5-15. Abrasion depth of commercial flooring boards.

#### 4. 화학처리 및 수지주입에 의한 침엽수재의 표면강화

가 화학처리목재의 치수안정성 및 표면 내마모성

소나무재를 벤질화, 아세틸화, 올리고에스테르화 한 결과, 중량증가율이 10-20%에 이르렀으며, 이들 처리재는 70-80% 정도의 ASE를 나타냄으로서 높은 치수안정성을 보였다. 또한 압밀화한 시편의 압축고정도 무처리재에 비해 좋은 특성을 나타냈다. 그런데 표면이 가장 강직한 올리고에스테르화목재를 압밀화하여 내마모성을 조사한 결과, 마모중량과 마모깊이가 무처리재의 수배에 달하는 좋지 않은 결과를 나타냈다. 이는 화학처리에 의해 조직이 연화되었음을 나타내는 것이다. 또한 올리고에스테르화목재와 벤질화목재는 수지주입성도 현저히 저하하여 표면강화를 위한 본연구의 목적을 달성하기가 어려웠다.

나. 멜라민수지와 페놀수지의 주입성

수지주입성에 대하여 소나무재와 잣나무재에 대하여 멜라민수지(613)와 페놀수지(2493D)를 적용하여 검토하였다. 시험편을 내압용기에 넣고 2시간 감압 후, 20, 40, 60%로 희석한 페놀 및 멜라민 수지용액 도입하여 1시간 감압을 유지한 다음, 7kgf/cm<sup>2</sup>로 0-2시간 가압하였다.

표5-6의 결과에서 보듯이, 동일 농도에서 가압시간을 변화시켰을 때, 가압시간이 길어짐에 따라 수지의 주입량이 증가하였다. 같은 조건에서 소나무재는 잣나무재에 비해 주입이 용이하였으며, 멜라민수지는 페놀수지에 비하여 주입이 용이하였다.

가압시간을 일정하게 한 후 농도를 변화시켰을 때, 수지 주입은 40% 농도가 가장 용이하였으며, 농도가 60%로 증가하면 점도의 상승으로 인하여 주입량은 오히려 감소하였다.

#### 다. 기타 수지의 주입성

기타 수지의 주입성을 검토하였다(표5-7). 시험편을 내압용기에 넣고 1시간 감압 후, 희석하지 않은 수지액을 도입하여 곧바로  $7\text{kgf/cm}^2$ 의 압력으로 1-3시간 가압하였다.

수지의 도입성 만으로 볼 때, 507T 수지가 가장 우수한 결과를 나타냈으나, 507계열의 수성아크릴에멀전수지는 주입시 에멀전 입자가 큰 수지가 표면에 부착되는 단점이 나타났다. 에멀전입자의 크기가 비교적 균일하면서도 작은 수지가 주입에 용이할 것으로 판단된다. 이와 같이 수성아크릴에멀전수지를 주입용수지로 적용하고자 할 경우 에멀전 입자에 대한 고분자 설계가 선결과제인 것으로 밝혀졌다.

한편, M-85 멜라민수지의 경우, 가압시간의 증대에 따른 주입량의 증가가 그다지 크지 않았다. 그러나, 가압력을  $15\text{kgf/cm}^2$  이상으로 증가시키면 주입량도 크게 증대되고 이에 따라 경화후 중량증가율도 크게 증대되었다(표5-8). 또한 M-85 수지를 희석하여 농도에 따른 주입성을 조사한 결과(표5-9), 70% 이하의 농도에서 주입성을 개선됨을 나타냈다. 즉, 농도가 낮아짐에 따라 수지의 점도가 낮아지고 이에 따라 주입성이 개선된다고 보여진다. 한편, 농도 50%는 주입성을 개선시키지만 희석에 따라 고형분량이 많이 줄어들어 경화후의 중량증가율은 농도 70%로 하였을 때와 비교하여 감소하였다.

또한, C-71 용제형 변성비닐아세테이트수지는 매우 점조한 타입의 수지이므로 처음부터 희석하여 사용하였다. 조사한 농도에서의 수지의 주입성은 M-85 멜라민수지보다는 떨어지지만, 대체로 양호한 편이었다(표5-10).

#### 라. 수지처리-열압밀화 목재의 내마모 특성

M-85 멜라민수지와 C-71 비닐아세테이트수지를 주입한 후 열압밀화한 시험편의 내마모 특성을 조사한 결과 표5-11의 결과를 얻었다. 마모량은 두 처리 모두 무처리목재에 비하여 증가하였다. 이는 경화된 수지가 목재와 함께 마모되기

때문인 것인데, 이로 인해서 마모시 저항이 발생하여 마모깊이는 감소하게 된다. 수지처리-열압밀화 목재의 마모깊이는 무처리재의 1/2 ~ 2/3 수준에 불과하였다.

이러한 마모 특성은 시판의 마루판과 동등 또는 그 이상의 특성을 나타내는 것으로서(그림5-14와 5-15 참조), 이후 도장 등의 공정을 통하여 더욱 개선시킬 여지가 있는 것으로 판단된다.

#### 마. 수지처리-열압밀화 목재의 표면경도 특성

M-85 멜라민수지와 C-71 비닐아세테이트수지를 주입한 후 열압밀화한 시험편의 표면경도 특성을 조사한 결과 표5-12의 결과를 얻었다. 낙구경도는 강철제의 구를 시험체 위에 떨어뜨려 표면에 발생하는 상처의 유무로 평가하는데(그림 5-16), 일상에서 마루 바닥에 물건이 떨어질 때 이에 대한 저항값으로 판단되는 값이다. 이 값은 실용에 있어서 가장 중요시되는 평가 항목으로 취급되는데, 표면 부위의 밀도가 높을수록 그 기대치가 높아진다. 본 연구에서 채용한 낙구경도 방법에 의한 시판마루판의 낙구경도는, 합판마루판이 20cm, 강화마루판이 70 ~ 90cm의 경도를 나타냈다. 본 연구에서는 멜라민수지처리가 90cm, 비닐아세테이트수지처리가 60cm의 낙구경도를 나타냈는데, 이는 수지처리 후 열압밀화에 의해 표면의 밀도가 급격히 증대되었고 이에 따라 표면경도가 현저하게 향상됨을 나타내는 것이라 판단된다.

한편, 예리한 물체에 의해 표면에 생기는 상처를 평가하는 표면스크래치경도를 측정한 결과(그림5-17), 표면스크래치는 무처리목재가 0.5N인데 비해 멜라민수지처리에 의해서는 2N으로서 4배의 향상된 값을 나타냈지만, 비닐아세테이트수지처리 시험편은 무처리목재와 동등한 값을 나타냈다. 비닐아세테이트수지처리의 경우 이 수지 자체가 연질 타입이어서 예리한 침에 의한 내스크래치성을 갖지 못하는 것으로 여겨진다. 일반적으로 시판마루판의 경우, 합판마루판이 1N, 강화마루판이 4 ~ 5N의 스크래치경도를 나타내고 있다. 멜라민수지처리 시험편은 시판의 합판마루판과 강화마루판의 중간 정도의 내스크래치성을 가지고 있음을 보여준다. 또한 시판의 합판마루판은 도장에 의해서 스크래치경도를 향상시키는 것으로 알려져 있는데, 비닐아세테이트수지처리의 경우에 있어서도 도장 공정 등에 의한 개선이 필요하다고 여겨진다.



Table 5-6. Impregnation properties of resins used.

Resin	Condition			WPG(%)			
	Species	Concentration (%)	Impregnation time (h)	After impregnation (%)	After curing(%)		
Phenol formaldehyde (2493D)	Korean red pine	20	2	134.0	13.3		
			0	132.9	27.0		
		40	1	124.3	24.6		
			2	150.2	30.5		
		60	2	104.3	26.8		
			2	108.7	10.5		
	Korean pine	40	0	86.5	16.5		
			1	87.3	17.8		
		2	2	131.3	27.0		
			2	79.7	24.3		
		Melamine formaldehyde (613)	Korean red pine	20	2	166.4	21.6
					0	101.8	22.6
40	1		150.4	34.7			
	2		165.7	38.1			
60	2		70.2	29.2			
	2		149.1	10.3			
Korean pine	40	0	20.2	4.1			
		1	151.6	35.9			
	2	2	127.6	30.7			
		2	53.5	20.7			

\* Impregnation pressure : 7kgf.

Table 5-7. Impregnation properties of resins used.

Resin	Wood	Impregnation time (h)	WPG (%)
507A1	Red pine	1	6.4
507A2	Red pine	1	13.2
507T	Red pine	1	53.1
	Red pine (Benzylated)	1	38.6
	Red pine (Oligoesterified)	1	21.1
M-85	Red pine	1	26.3
	Red pine	2	23.1
	Red pine	3	27.4

\* Impregnation pressure : 7kgf.

Table 5-8. Impregnation property of M-85.

Impregnation pressure (kgf)	WPG (%)	
	After impregnation	After curing
7	45	26.3
10	44.2	29.4
15	86.5	53.5
20	137.1	92.5

\* Korean red pine was used.

\*\* Impregnation time : 1h.

Table 5-9. Impregnation property of M-85.

Concentration (%)	WPG (%)	
	After impregnation	After curing
50	176.5	56.7
70	215.9	99.0
80	84.1	49.8
90	80.8	50.3
100	86.5	53.5

\* Impregnation pressure : 15kgf.

\*\* Impregnation time : 1h.

Table 5-10. Impregnation property of C-71.

Concentration (%)	WPG (%)	
	After impregnation	After curing
50	103.6	33.3
60	123.4	59.9

\* Impregnation pressure : 15kgf.

\*\* Impregnation time : 1h.

Table 5-11. Abrasion results of resin treated-compressed woods.

Abrasion result	Control	M-85 treated	C-71 treated
Abrasion weight (g/500 Revolution)	0.05	0.21	0.11
Abrasion depth (mm/500 Revolution)	0.06	0.03	0.04

\* M-85 : 50%, C-71 : 50%.

Table 5-12. Surface properties of resin treated-compressed woods.

Property	Control	M-85 treated	C-71 treated
Ball impact resistance (cm)	15	90	60
Scratch resistance (N)	0.5	2	0.5

\* M-85 : 50%, C-71 : 50%.



Fig. 5-125. Samples of ball impact test.



Fig. 5-126. Samples of scratch test.

## 제4절 결론

본 연구는 압축변형, 화학처리 수지함침 등의 처리를 통한 침엽수재의 표면강화를 그 목적으로 삼아 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 압축변형을 통하여 기계적성질 및 표면경도의 향상을 꾀할 수 있었으며, 압축변형을 고정시킬 목적으로 수증기처리를 실시한 바 수분에 의한 팽윤을 현저하게 감소시키는 등의 소기의 목적을 거둘 수 있었다.
2. 멜라민수지와 페놀수지처리는 목재의 치수안정성 개선과 압축변형의 고정에 효과적이었다.
3. 멜라민 함침지를 목재 표면에 적층하여 압밀화 함으로써, 간단하게 목재를 표면강화 할 수 있음이 밝혀졌다. 적층처리재의 내마모성은 시판 마루판재의 내마모성과 동등 또는 그 이상이었다.
4. 화학처리에 의해 목재의 치수안정성 및 압축변형의 고정은 향상시킬 수 있었으나, 오히려 표면 물성을 약화시키는 결과를 초래하였다. 또한 이들 화학처리목재에 수지를 도입하여 표면물성의 개선을 꾀하고자 하였으나 소기의 성과를 거둘 수 없었다. 그러나 수지함침목재는 압밀화를 통하여 표면경도의 개선에 의한 표면강화를 꾀할 수 있었다

## 참 고 문 헌

1. 도금현, 공영토, 조태수: 임업연구원 연구보고, No.45, 9-15(1992).
2. 민일홍, 김의식, 한규성: 목재공학 24(4), 32-39(1996).
3. 박상범, 안원영: 목재공학 13(2), 14-34(1985).
4. 박상범, 김현기: 임업연구원 연구보고, No.49, 194-200(1994).
5. 박상범: 임업연구원 연구자료, No.98, 137-151(1995).
6. 조태수, 도금현, 박상범, 공영토: 임업연구원 연구보고, No.47, 77-85(1993).
7. 조태수, 이동흡, 도금현, 박상범, 공영토: 임업연구원 연구보고, No.47, 86-92(1993).
8. 한규성, 김은경: 목재공학 22(3), 32-38(1994).
9. 한규성: 한국종합목재 위탁연구보고서, 1995.
10. 한규성: 목재공학 23(2), 88-93(1995).
11. 한규성, 조남석: 한국가구학회지 7(1/2), 51-57(1996).
12. 한규성, 조남석: 목재공학 24(4), 40-46(1996).
13. A. J. Stamm and R. M. Seborg: US FPL Report, No. 1381, For. Serv., USDA(1944).
14. A. J. Stamm: Tappi, 42(1), 39-44(1959).
15. A. J. Stamm and R. H. Baechler: For. Prod. J., 10(1), 22-26(1960).
16. A. Elmendorf: US Patent 2591448(1971).
17. H. Tarkow, A. J. Stamm and E. C. O. Erickson: US FPL Report, No. 1593, For. Serv., USDA(1946).
18. H. Tarkow and A. J. Stamm: For. Prod. J., 3(2), 33-37(1953).
19. H. Tarkow and R. Seborg: Forest Products J., 18(9), 104-107(1968).
20. I. S. Goldstein et al.: For. Prod. J., 11(8), 363-370(1961).
21. M. Inoue et al.: Mokuzai Gakkaishi, 36(11), 969-975(1990).
22. M. Inoue et al.: Wood and Fiber Science, 25(3), 224-235(1993).
23. M. Inoue et al.: Wood and Fiber Science, 25(4), 404-410(1993).

24. M. A. Millet and A. J. Stamm: Modern Plastics, 24(10), 150-153(1946).
25. R. M. Seborg, M. Millet and A. J. Stamm: Mechanical Engineering, 67(1), 25-31(1945).
26. T. Furuno and T. Goto: Mokuzai Gakkaishi, 24(5), 287-293(1978).
27. Y. Imamura and K. Nishimoto: Wood Res., No. 72, 37-44(1986).
28. 有馬孝礼: 木材工業, 33(8), 334-338(1978).
29. 飯田生穂, 則元京, 今村裕嗣: 木材學會誌, 30(5), 354-358(1984).
30. 伊藤貴文, 酒井温子, 中村嘉明: “平成6年度中小企業廳技術開發研究費補助事業成果普及講習會テキスト”, 中小企業廳, 1996.
31. 井上雅文 外: 木材學會誌, 37(3), 227-233(1991).
32. 井上雅文 外: 木材學會誌, 37(3), 234-240(1991).
33. 井上雅文, 則元京: 木材研究・資料, No.27, 31-40(1991).
34. 井上雅文 外: 木材研究・資料, No.28, 59-71(1992).
35. 井上雅文: 京都大學博士學位論文, 1993.
36. 井上雅文, 溱和也, 則元京: 木材學會誌, 40(9), 931-936(1994).
37. 今村博之: 木材利用の化學, 共立出版, 1983, p.306-321.
38. 梶田茂編: 木材工學, 養賢堂, 1961, p.672.
39. 川上英夫, 山科創, 種田健造: 北海道林産試験場月報, No.306, 10-17(1977).
40. 後藤輝男, 梶田茂: 木材研究, No. 11, 29-41(1953).
41. 後藤輝男: 木材研究, No. 20, 1-15(1958).
42. 齊藤藤市: 木材學會誌, 19(5), 221-226(1973).
43. 佐佐木隆行: 木材學會誌, 34(10), 794-803(1988).
44. 佐立正人: 木材工業, 44(11), 622-625(1989).
45. 塩崎宏行, 池田元吉, 三上昌夫: 第46回日本木材學會大會要旨集, 熊本, 1996, p.117.
46. 住友林業(株): 特公平4-3722(1992).
47. 日本木材學會編: スーパーウッド, 日本木材學會, 1993, p.15-21.
48. 林業試験場編: 木材工業ハンドブック, 丸善, 1982, p.455-460.



49. 日本木材學會編：スーパーウッド，日本木材學會，1993，p.31-33.
50. 漆和也，矢野浩之：木材學會誌，36(5)，362-367(1990).
51. 松田鎭明，村上幸一，上田實：木材學會誌，34(12)，1004-1011(1988).
52. 村上幸一，松田鎭明：木材學會誌，36(7)，538-544(1990).
53. 矢野浩之，則元京，山田正：木材學會誌，32(12)，990-995(1986).
54. 矢野浩之：木材學會誌，34(2)，94-99(1988).

## 제6장 국산재의 구조성능 평가 및 향상

### 제1절 서론

전 국토의 65% 이상이 산림인 우리나라에서 목재 자원을 효율적으로 이용하는 것은 매우 중요한 과제이다. 그 동안 계속된 치산녹화 사업을 통해 임목이 꾸준히 축적되어 있고 이에 따라서 국산재의 자급률도 꾸준히 증가할 것으로 기대되고 있다. 최근 들어서는 목조 주택이 대도시 주변이나 신도시, 농촌 등을 중심으로 전원주택의 형태로 보급이 확산되고 있다. 목조 건축물은 내구성과 안전성이 우수하고 차음과 보온, 보습 효과가 뛰어나 철근이나 콘크리트 등의 다른 건축부재를 사용한 건축물에 비해 환경 친화적이며, 쾌적한 주거 환경을 제공할 수 있다. 그 뿐 아니라 다양한 형태의 설계가 가능하며, 외국의 경우에는 적절한 내화공법을 적용 5층 이상의 목조 아파트도 시공되고 있는 상황이다.

그러나 국내에서는 지속적인 목재 자원에 대한 수요에도 불구하고, 목조 주택의 구조부재나 내, 외장재로의 활용에 능동적인 대응을 하지 못하고 있는 실정이다. 이는 국산재의 생산 기반이 취약하고 구조부재의 생산기술 등의 품질관리 기술 부족이 원인이며, 건축 부재 생산 기술이 체계적으로 정립되지 않았기 때문이다. 이러한 이유로 높아져 가는 목조주택에 대한 관심과 구조용 목재 부재의 사용과 같은 수요의 증가에도 불구하고 대부분의 목조주택 건축자재가 수입에 의존하고 있는 실정이며, 게다가 구조용재로 목재를 활용할 때 가장 기초적인 자료가 되는 국산재에 대한 구조성능의 평가가 매우 미비하여 국산재를 구조부재로 활용하려고 해도 적용할 수 있는 규격의 선택이 불가능한 실정이다. 국산재를 건축부재로 활용하기 위해서는 국산재에 대한 올바른 성능평가가 선행되어야 하며, 나아가 이를 바탕으로 한 구조용 목재에 대한 규격의 정비가 이루어져야 한다. 따라서, 최근에 수행된 구조용 목재의 성능평가방법에 대한 연구결과를 토대로 하여 국산재중 구조부재로의 활용성이 뛰어난 것으로 판단되는 낙엽송의 구조성능을 평가하여 건축현장에서 활용이 가능한 설계 응력 자료를 제공하고, 이를 토대로 국내규격을 제정함으로써 구조부재로 사용되는 국산재의 신뢰성을 부여하고 나아가서는 사용을 확대시키고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 최근 세계적

인 추세인 확률론적 설계법(Reliability -Based Design, RBD)으로의 설계법 전환을 최종 목표로 삼고 있으며 이를 위한 기초연구로서 국산 낙엽송 제재, 집성재, 접합부의 성능평가를 수행하였고, 다시 이를 기초자료로 활용하여 한계상태 설계법으로의 전환 체계를 마련하고자 하였다.

우선, 1차년도에는 국산 낙엽송 제재의 성능을 평가하였다. 특히, 강도 특성에서 분포형태를 고려한 기존의 연구(국산재 신수요개발, 1998)에서는 대수정규분포와 정규분포만을 비교한 정도이고 최근 재료의 강도특성에 대한 최적분포형태로써 웨이블 분포가 공론화되고 있으므로, 최적 분포형태의 선택을 위한 대상분포에 정규분포, 대수정규분포 뿐만 아니라 웨이블 분포도 포함시켰다.

실험 방법에 있어서도 기존 허용응력도 산출방법인 무결점 소시편을 사용한 실험결과에는 재료의 결함이 포함되어 있지 않기 때문에 실제 부재의 파괴와 파괴 형태가 다를 수 있다(Madsen, 1992). 따라서 재료의 성능 평가가 올바르게 이루어진다고 할 수 없으며, 올바른 성능평가가 이루어지지 않고는 구조물의 안전성 측면이나 재료의 효율적 이용의 측면 모두 만족시킨다고 할 수 없을 것이다.

따라서 본 연구에서는 재료의 올바른 성능평가를 위해, 현재 가장 많이 사용되고 있는 국산 낙엽송 2×6 (38mm~140mm)재를 사용한 실험재 시험방법을 통해 무결점 소시편을 이용한 실험의 문제점을 보완하고, 추후 확률론적 설계법으로의 전환시 필수 입력변수인 재료의 강도, 강성의 분포특성을 구명, 제시하고자 하였다.

2차년도에는 국산재를 이용한 집성재의 성능을 평가하였다. 목재의 부가가치 향상과 이용 효율성 향상을 위해, 국산재의 구조용재료의 개발의 필요는 자명한 사실이다. 그러나 최근 목조건축에 대한 수요와 인식이 증가되고 있는데 반해, 여전히 주요 구조부재는 수입에 의존하고 있어 국산재의 이용도는 매우 낮은 실정이다. 선진국의 경우에는 소형 주택에서부터 집성재와 같은 목질재료를 사용한 대형 건축물까지 다양한 규모의 시공이 이루어지고 있으며, 특히 대형 건축물의 경우에는 집성재 등 재구성 재료를 사용하여, 기존 제재목의 한계를 뛰어 넘어 체육관, 상업용 빌딩 등 다양한 용도로 널리 사용되고 있다. 따라서 국내에서도 국산재의 부가가치 향상과, 효율적 이용을 위해 국산재를 대규모 건축물의 주요

하중지지 부재로의 용도로 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 국산 낙엽송을 사용한 집성재의 구조 성능을 평가하고자 하였다.

외국의 경우 컴퓨터 모델링 방법 등을 이용하여 구조용 집성재의 성능을 확률에 기초하여 예측하기 위한 연구들이 진행되어 휨강도와 휨강성 등을 예측하고 있으며, finger joint에 따른 예측 정도를 평가하였고, 국내에서도 집성재의 성능 예측에 대한 여러 논문들이 제시된 바 있다. 그러나 집성재의 경우에는 강도 및 강성의 분포 특성을 평가하기 위한 다수의 실제 파괴실험이 매우 어려우므로 단일 집성재의 MOR(modulus of rupture), MOE(modulus of elasticity)만을 예측할 수 있으며, 특정 조합에 대한 MOE, MOR의 통계량을 구하여 허용응력을 제시하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 기존의 국내 연구들에 제시된 연구결과들을 토대로, 입력변수들의 분포 특성을 조사하여 적합한 특정 분포를 갖도록 난수를 발생시키는 기법을 도입, 집성될 라미나의 등급과 배치, 그리고 Machine Stress Rating 결과만으로 집성재의 허용응력과 MOE를 산출할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 6개의 층으로 구성된 집성재의 허용응력과 MOE를 산출 제시하여 정확도를 향상시켰다. 본 연구의 결과를 통해 집성재 이용의 용이함과 설계의 편의성을 향상시켜 국산재를 이용한 구조용 집성재의 제조 및 이용을 도모할 수 있을 것이라 기대한다.

3차년도에는 국산재를 이용한 접합부의 성능을 평가하였다. 구조물을 구성하는 여러 성분 중 매우 중요하게 고려되어야 할 접합부의 성능을 정확히 해석하고, 이를 결정하기 위한 기초 자료를 테이블화하여 제공하게 된다. 이를 위해 접합부를 구성하는 부재의 다우얼 지압 강도(dowel bearing strength) 및 파스너의 설계 강도값을 충분한 표본을 확보하고 실험을 통해 접합부 성능을 테이블화하여 제공하고자 하였다. 그리고 접합부의 성능 해석에는 다우얼 지압 강도와 파스너의 휨 강도에 기초한 EYM(European yield model)을 사용하여 예측하였으며, 실제 실험을 통해 그 값을 비교 분석하였다. 이렇게 예측된 결과는 NDS(National Design Specification)의 값과 비교하여 국산 낙엽송 부재의 볼트 접합부에 대한 적합한 모델을 검증하고자 하였다. 이러한 연구는 국산재를 이용한 목조 주택의 설계 시 이용할 수 있는 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 4차년도에는 한계상태 설계법으로의 전환 체계를 확립하고자 하였다. 구조물에 대한 설계는 1990년대 초반까지 ASD(Allowable stress design)방법으로 목재를 탄성체라는 가정 하에 허용응력을 구하고 여기에 보정계수를 곱하여 부재의 설계 강도 및 강성값을 구하는 방법으로 설계가 이루어졌다. 그러나 이 방법은 하중의 조합에 관계없이 동일한 인자를 사용하기 때문에 구조적 신뢰성에 문제가 될 수 있으며, 구조물의 안전성을 확보하기 위한 영향인자가 강도 측면에만 고려되고 있고, 목재의 특징인 재료 자체의 변이를 충분히 고려하고 있지 못하다. 따라서 지나치게 과설계가 이루어지고 이로 인해 재료의 낭비를 통한 경제성이 떨어지며, 구조물의 정확한 신뢰도를 구할 수가 없다. 따라서 최근에는 확률론적인 방법을 구조 설계에 도입하여 이러한 문제점들을 극복하고 보다 신뢰성 높은 설계를 하려는 설계방법을 사용하려고 하고 있으며 미국이나 호주, 캐나다 등지에서는 이 방법을 사용한 표준이 만들어져 활용되고 있는 상태이다. 이 방법은 가해지는 하중이나 저항에 대해 통계적인 불확실성을 고려하여 일관된 신뢰도를 유지하는 것으로 RBD(Reliability based design)방법이다.

RBD방법은 각각의 부재의 강도와 가해지는 하중에 대한 분포를 통해서 구조물이 파괴될 확률을 구하고 이를 통해 신뢰 지수(Reliability index,  $\beta$ )를 구함으로써 구조물을 확률론적인 방법을 통해 과학적이고 좀더 실증적인 신뢰성을 부여하게 된다.

외국의 경우에는 이 두 가지 방법을 사용한 기준이 제시되어 있고, 현재 함께 사용되고 있다. 그러나 국내의 경우는 지금까지는 ASD방법을 통한 설계만이 이루어지고 있으며, 국산재에 대한 연구도 여기에 초점이 맞추어서 진행되고 있는 상황이다. 그러나 머지않아 RBD 개념이 국내에도 도입되어 사용될 것이 자명하며 따라서 이에 대한 준비가 필요하다.

본 연구에서는 1, 2, 3차년도의 연구에서 밝혀진 국산 낙엽송 제재와 집성재의 강도적 성능에 대한 분포 특성을 충분히 고찰하여 평균, 표준 편차, 분산, 변이 계수 등의 인자를 얻고, 이를 통해서 국산낙엽송 부재에 RBD 개념을 도입 파괴 확률과 신뢰 지수를 구하고, 기존에 사용되고 있는 ASD설계 코드를 RBD 설계 코드로 전환하여 사용하기 위하여 코드 전환 방법을 연구하고자 하였다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 구조용 제재의 성능 평가

#### 가. 공시재료

본 연구에서 사용된 공시재료는 국산 낙엽송(*Larix leptolepis*) 제재로써 경기도 여주 산림조합에서 제재 및 열기 건조한 재료를 구입하였다. 목재 부재의 단면치수는 공칭 2×6 로 마감치수가 38 mm × 140 mm 이고, 길이는 2500 mm 인 부재를 목표함수율 15%로 건조된 재료를 사용하였으며, 평균 비중은 0.48, 실험 시 평균 함수율은 14.5%로 측정되었다.

#### 나. 실험방법

##### 1) 육안등급구분

산림청 고시 제 1995-27호 “ 침엽수 구조용 제재규격”에 의거하여 국산 낙엽송 제재목을 육안등급구분 하였다. 육안등급구분을 위하여 용이, 할렬, 연륜폭, 길이굽음, 틀어짐, 둥근모, 목리경사를 측정하였으며, 이렇게 측정한 결점에 의하여 1등, 2등, 3등, 및 등외로 등급구분을 실시하였다. 용이의 측정 자료는 이후의 연구에 활용이 가능하도록 데이터 베이스화 하였다.

##### 2) 기계등급구분

KS F3020에 규정된 기계적 등급구분 방법에 준하여 휨탄성계수 측정값으로 등급을 E5, E7, E9, E11, E13, E15의 6개 등급으로 나누었으며, 자세한 품질 기준은 Table 6-1을 따랐다.

Table 6-1. 침엽수 기계등급구분 구조재의 품질 기준 (KS F 3020).

구분		기준					
		등급표시	E5	E7	E9	E11	E13
휨탄성계수 (1000 N/mm <sup>2</sup> )							
	탄성계수	4이상 6미만	6이상 8미만	8이상 10미만	10이상 12미만	12이상 14미만	14이상 16미만
둥근모		30% 이하일 것					
분할		부재 나비의 2배 이하일 것					
갈라짐		부재 나비의 2배 이하일 것					
운할		두께의 1/2 이하일 것					
썩음		경미할 것					
굽음		현저하지 않을 것					
비틀림		사용에 지장이 없을 것					
함수율		18% 이하일 것					
수심 (라디에타 소나무에 한함)	나비 190mm미만	수심의 중심으로부터 반지름 50mm 이내의 나이테가 없을 것					
	나비 190mm이상	표면의 모서리로부터 나비의 1/3이내의 부분에 수심의 중심으로부터 반지름 50mm이내의 나이테가 없을 것					
방부, 방충 처리 <sup>1</sup>		방부 처리 또는 방충 처리 시험에 합격할 것					

1 : 방부 처리 및 방충 처리는 인수·인도 당사자간의 협정에 따른다.

### 3) 휨 시험

ASTM D198에 준하여 만능강도 시험기(Zwick사, 독일)를 사용한 4점 하중 실험대재 휨 시험을 수행하였다. 지간거리는 2.4m, 하중거리는 1.2m, 하중 속도는 10mm/min으로 하였으며, 측면변형 및 이동을 방지하기 위한 지지대를 Fig. 6-1 과 같이 설치하여 실험을 수행하였다.



Fig. 6-1. Configuration of full-scale four points bending test.

## 2. 구조용 집성재의 성능 평가



## 가. 공시재료

본 연구에서는 집성재의 제조에 사용될 라미나의 수종으로 1차년도 구조용 제재의 성능 평가에서 검토한 바 있는 국산 낙엽송(*Larix leptolepis*)을 선정하였다. 재료는 경기도 여주 산림조합에서 제재 및 열기 건조한 재료를 구입하였다. 단면치수는 공칭 2×6 로 마감치수가 38 mm × 140 mm 이고, 길이는 2500 mm인 부재를 목표함수율 15%로 건조된 재료를 사용하여 집성재를 제조하였다. 집성재의 제조에 사용된 개별 라미나의 평균 비중은 0.47, 실험 시 평균 함수율은 13.7%로 측정되었다.

## 나. 실험방법

### 1) 라미나의 용이 데이터 조사

집성재의 제조에 사용될 라미나의 육안등급구분과 용이 분포특성 조사를 위해 부재 표면에 보이는 6 mm 이상의 모든 용이의 크기와 위치를 측정 기록하였으며, 추후 지속적인 데이터 입력 및 데이터 베이스화를 위해 Microsoft access와 Microsoft visual basic을 연동한 웹 게시 기술을 사용한 프로그램을 자체 개발하여 사용하였다.

라미나의 육안등급구분은 산림청 고시 제 1995-27호 ‘침엽수 구조용 제재규격’에 의거하여 수행하였고, 용이 분포특성을 조사하기 위해 용이 이외의 다른 결함(할렬, 연륜폭, 길이굽음, 틀어짐, 둥근모, 목리경사)이 없는 재료를 선별하여 용이의 크기와 위치를 측정하였으며, 이렇게 측정한 결과에 의하여 1등, 2등, 3등, 및 등외로 등급 구분하였다. 용이 데이터의 측정과 입력에 대한 예시를 다음의 Fig. 6-2와 Fig. 6-3에 제시하였다.



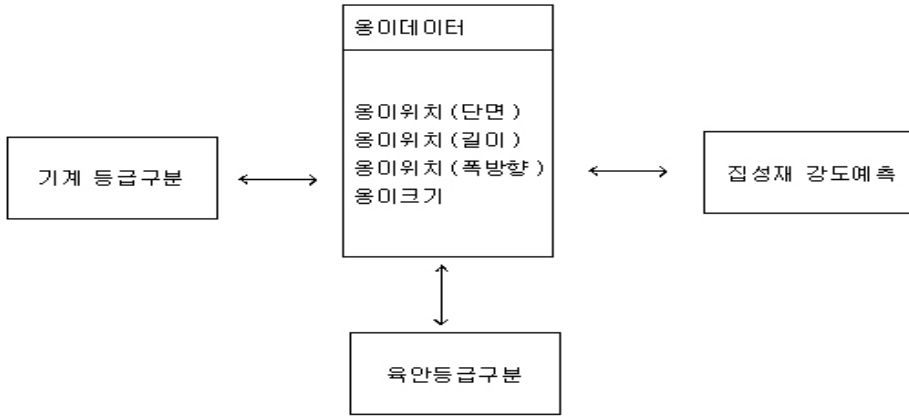


Fig. 6-4. Diagram for application of measured knot data.

## 2) Machine Stress Rating

다음의 Fig. 6-5는 라미나의 휨탄성계수 측정 및 기계적 등급구분에 사용된 Grading machine의 개략도를 제시하였다. 본 연구에서는 15개의 시편을 추출하여 사전 sampling을 실시한 후 692개의 시편에 대해 탄성계수를 측정하였다.

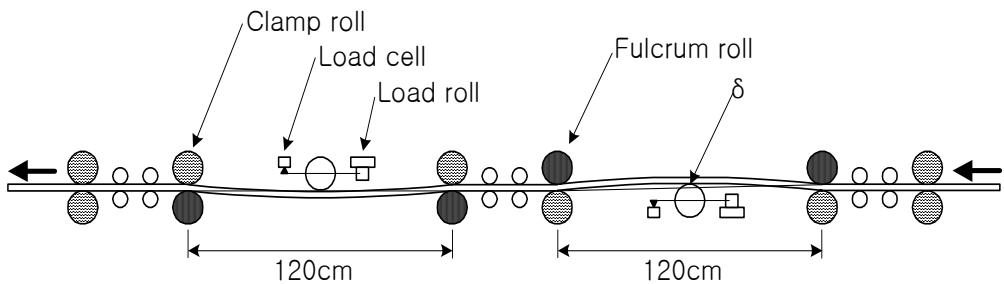


Fig. 6-5. Schematic diagram of machine stress rating method.

### 3) 집성재 제조

육안등급구분, 용이 데이터 조사 및 MSR 시험을 마친 라미나는 접착제 도포를 위해 두께를 33mm까지 플래닝한 후 레소시놀 수지를 도포하여 집성하였고, 제조한 집성재의 조합은 다음의 Fig. 6-6에 제시된 것과 같이 10개를 선정하였고, 각 조합당 6개씩의 집성재를 제조하였다.

### 4) 휨시험

1차년도에 수행하였던 낙엽송 제재의 경우와 마찬가지로 제조된 집성재는 ASTM D-198에 준하여 만능강도시험기(ZWICK사, 독일)를 사용한 4점 하중 실험대재 휨강도 시험을 수행하였다. 지간거리는 3.0m, load span은 1.0m, 하중 속도는 10mm/min으로 하였다.

1	2	3	1	1
1	2	3	2	3
1	2	3	2	3
1	2	3	2	3
1	2	3	2	3
1	2	3	1	1

2	1	1	2	1
3	1	1	2	2
3	2	3	3	3
3	2	3	3	3
3	1	1	2	2
2	1	1	2	1

Fig. 6-6. Types of glulam laminated in 10 different laminar combinations.

다. 집성재의 강도 예측 프로그램 개발

### 1) 변형 단면법

집성재의 성능을 예측하기 위하여 ASTM D 3737에서 제시하고 있는 변형단면법에 기초하여 프로그램을 제작하였다. 이러한 변형단면법에 사용되는 입력변수는 적층될 라미나 내에 존재하는 용이 특성과 해당 라미나의 MOE이다.

각 등급별 용이의 특성을 파악하기 위해 시편 내 존재하는 용이의 크기 및 위치를 측정 데이터 베이스화 하였으며, 데이터 베이스화 된 용이를 집성재의 강도 예측 시 적용하기 위해 ASTM D3737의 용이 측정방법에 준해 용이가 차지하는 비율을 산출하여 통계량을 구하였다. 또한 MOE의 특성을 파악하기 위해 Grading machine을 이용하여 탄성계수를 측정하였다.

### 2) 가상 집성재 제작을 위한 난수 발생

라미나 내 존재하는 용이의 크기 및 각 라미나의 MOE에 대한 분석을 통해 각 입력변수에 대해 최적 분포를 선정하였으며, 시뮬레이션을 위해, 선정된 분포 특성을 갖는 값들을 발생시킬 수 있도록 Inverse Transform의 방법을 이용한 프로그램을 제작하였다.

Inverse Transform의 방법에 있어 국산 낙엽송 제재의 휨강도 분포의 최적 분포라 할 수 있는 웨이블 분포의 경우 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Distribution Function : } F(x) &= 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha} \quad (\text{for } x > 0) \\ F(x) &= 0 \quad (\text{for } x \leq 0) \end{aligned}$$

위의 식에서 inverse를 취하면,

$$X = \beta(-\ln U)^{1/\alpha} \quad (U : \text{random variable, } 0 \leq U \leq 1)$$

1 )

### 3) 프로그래밍화 과정

변형단면법에 사용되는 입력변수의 분포형태를 구명함으로써 Inverse Transform에 의해 가상의 집성재를 제작하고, 변형단면법을 통해 가상의 집성재의 성능을 예측하는 것으로써 다양한 조합의 집성재의 허용응력을 산출할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 먼저 실험을 통해 입력변수의 분포특성을 파악하였으며, 이 분포특성을 갖도록 1000여번의 가상의 입력변수들을 발생시켰다. 발생된 가상의 입력변수들을 원하는 조합의 집성재에 적합하도록 변형단면법에 입력하여, 집성재의 기계적 특성을 예측하였다. 가상의 입력변수를 발생하기 위해서는 특정 분포에 따르는 값들을 발생시키는 통계적 방법인 Inverse Transform method를 사용하였다. 예측을 위한 순서도는 다음의 Fig. 6-7과 같다.

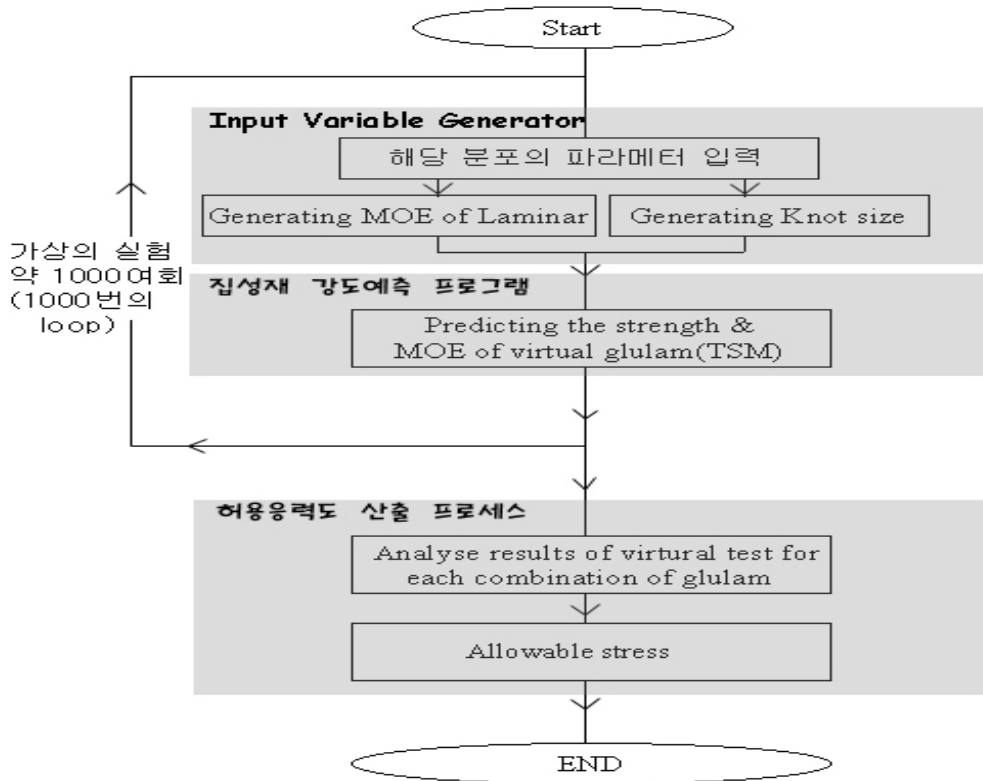


Fig. 6-7. Flow chart for program to predict the structural properties of glulam.

### 3. 접합부의 성능 평가

#### 가. 공시재료

본 연구의 수행을 위하여 함수율 18%이하로 건조된 다양한 치수의 국산 낙엽송 부재를 확보하였으며, 집성재에 대한 접합부 강도 평가를 위하여 18% 이하로 건조된 국산 낙엽송 라미나로 구성된 구조용 집성재를 제작하였다. 기존 문헌에 의하면 국산 낙엽송의 경우 비중이 0.45에서 0.5로 다소 변이가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 실험을 진행하는 동안 각 시험편이 나오는 재료에서 2개씩의 비중 측정 시험편을 채취하여 KS F 2202와 ASTM 2395-93의 method A에 따라서 전건 비중을 측정하였다.

집성재의 경우 라미나 수종의 비중과 동일할 것으로 예상 되나 실제 실험 결과 다소 높은 값을 나타내었다. 집성재의 비중 측정은 각 라미나의 접착층을 배제한 상태의 시편을 채취하여 하였으며, 그 결과는 아래 표와 같다.

Table 6-2. Specific gravity of Japanese larch.

	Specific gravity	standard deviation
Lumber	0.475	0.024
Glulam	0.604	0.067

결과에서 보듯 집성재의 비중은 동일 수종의 제재목에 비해 그 값이 크게 나타났다. 이는 제조 과정에서의 열과 압력에 의해 압축되면서 비중이 높아진 것으로 보인다. 본 연구에서는 위의 비중 결과를 바탕으로 다우얼 지압 강도와 접합부의 강도 해석에 이용하였다.

## 나. 실험방법

실험은 접합부의 성능을 결정하는 주요 인자 즉 부재의 다우얼 지압 강도와 파스너의 휨 강도를 측정하도록 진행하였으며, 이와 병행하여 다우얼 지압 강도를 결정하는 주요 인자로 알려진 비중을 측정하였다. 그러나 기존의 연구 결과 함수율이 다우얼 지압 강도에 크게 영향함이 밝혀졌으나 본 연구에서는 일정 함수율로 건조하였으므로 확인 실험만 진행하였다. 최종적으로는 이중 전단 볼트 접합부에 대한 강도 실험을 실시하여 다양한 예측치와 비교하도록 하였다. 세부 실험 방법은 다음과 같다.

### 2) 다우얼 지압 강도

다우얼 지압 강도는 접합부가 하중을 받을 때, 목재가 파스너에 의해 눌러지면 이에 대해 목재가 저항하는 정도를 나타낸다. 다우얼 지압 강도는 비중에 영향을 많이 받으며, 하중 방향이 목리에 수직인 경우에 대해서는 볼트 직경에 따라서 그 값이 달라진다.

#### 가) 시험편

다우얼 지압 강도의 측정은 ASTM D 5764에 따라서 진행하였다. 시험편의 크기는 사용되는 최대 볼트 지름 20mm를 기준으로 하중 방향에 따라 폭 80mm, 두께 50mm, 높이 100mm로 제작하였다 (Fig. 6-8). 하중 방향은 목리에 평행하게 작용할 때와 목리에 직각방향으로 작용할 때로 구분하였으며, 목리에 수직인 하중에 대해서는 볼트 지름을 12mm, 16mm, 20mm로 달리하여 측정하였다. 볼트 구멍은 단면을 매끄럽게 하기 위하여 드릴 속도를 빠르게 하고 삽입 속도는 느리게 하였다. 그리고 집성재에 대해서도 동일한 방법으로 시험편을 제작하였다.



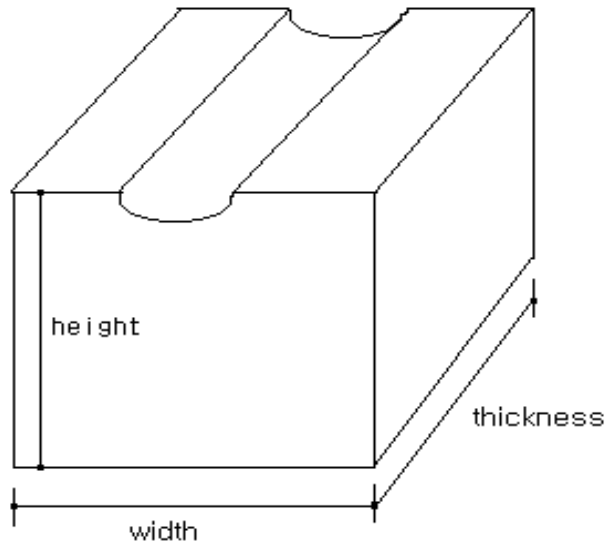


Fig. 6-8. specimen for dowel bearing strength test.

#### 나) 실험 방법

반원통으로 된 곳에 볼트의 나사산이 시험편에 닿지 않도록 볼트를 위치시키고, 볼트에 1.5mm/min 속도의 압축하중을 가하여 하중-변위 데이터를 연속적으로 얻으며, 볼트가 목재 내부로 잠기어 목재 자체의 압축 실험이 실시되기 전 실험을 종료하게 된다. 한다. 여기서 얻어지는 하중-변위 곡선에서 비례 한계 하중을 구하고, 5%-offset line과 하중-변위 곡선이 만나는 점에서 항복하중을 구하게 된다 (Fig. 6-9). 이 항복하중을 (볼트 지름 X 시험편 두께)로 나누어 최종적인 다우얼 지압강도를 산출하게 된다.

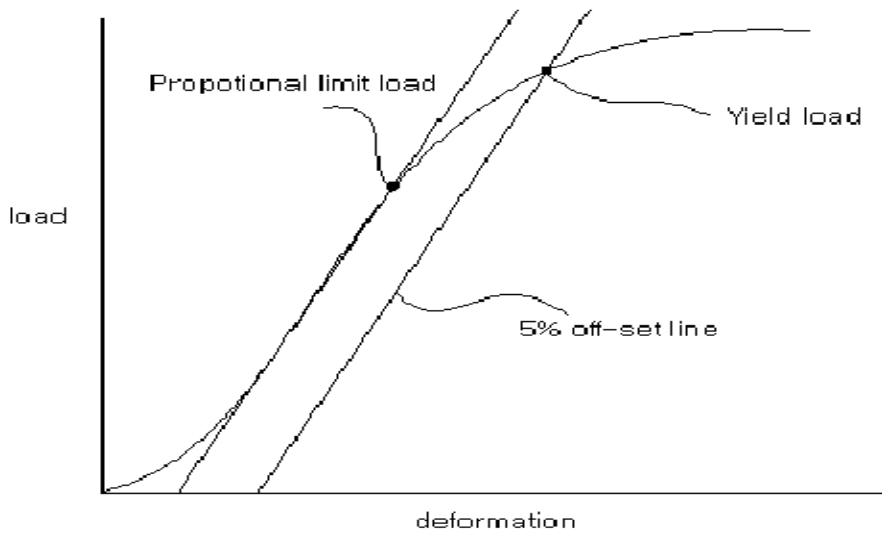


Fig. 6-9. Definition of yield load for dowel bearing strength test.

### 3) 파스너의 휨 강도

정확한 국산 볼트의 휨 강도(bolt bending yield strength)를 결정하기 위해 본 연구에서는 사용된 볼트에 대하여 휨 실험을 진행하였다 (Fig. 6-10).

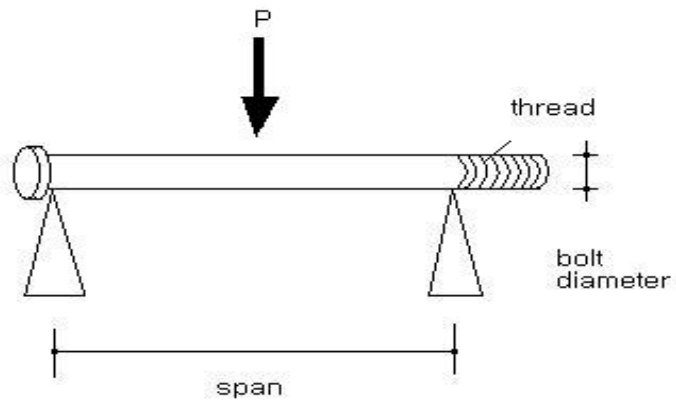


Fig. 6-10. Configuration of bolt bending test.

Fig. 6-10에서 보는 바와 같이 볼트를 두 지점 사이에 올려놓고, 두 지점의 정 중앙에 하중을 가하여 하중-변위 곡선을 얻었다. 두 지점 사이의 거리는 200mm 이며 하중 속도는 1.5mm/min이다. 볼트는 산(threads)에 하중이 가해지지 않도록 하는 범위 내에서의 최대거리에 두 지점이 위치해야 한다. 휨강도의 산출은 다우얼 지압 강도의 산출과 동일하게 하중-변위 곡선에서 5% offset-line과 교차점을 찾아 항복 하중을 구하고 이를 다음의 식을 통해서 휨강도를 구하였다. 만일 교차점이 없을 경우에는 최대 하중을 사용하도록 하였다.

$$\text{Bending yield strength} = \frac{1.5PL}{D^3}$$

여기서, P는 항복 하중이며, L은 지간 거리, 그리고 D는 볼트 지름이다.

#### 4) 접합부의 성능 평가

본 연구에서는 접합부의 형태가 두개의 측면부재와 하나의 주부재로 이루어지는 이중 전단 실험을 ASTM D 1761에 따라서 진행하였다. 주부재는 제재목과 집성재로 구성하였으며, 측면 부재는 제재목과 철판으로 구성하였다. 각 부재는 천공 장치를 통해 하중 방향에 따라 정해진 위치에 구멍을 뚫고 볼트로 고정하여 하나의 시편을 제작 성능 평가 실험을 진행하였다.

##### 가) 이중 전단 접합부의 구성

###### ① 이중 전단 접합부의 부재

실험에 사용된 부재는 국산 낙엽송을 사용하였다. 집성재의 경우는 전문 제조업체(경민산업)를 통해 제작하였다. 접합부를 구성하는 주부재와 측면 부재의 크기는 NDS에서 제시하는 측면 거리와 끝면 거리를 고려하여 가공하였다. 특히 부재의 치수가 큰 경우는 실험실 내 가공이 곤란하기 때문에 제재소를 통해 가공하였다. 각 부재는 하중 방향에 따라 볼트 구멍의 위치와 시편의 크기가 다르

며 그 기준은 Fig. 6-11와 같다. 접합부 구성에 사용되어지는 볼트는 국산 볼트 규격에 맞추어 M12, M16, M20 볼트를 사용하였으며 각 볼트에 따라 와셔를 통해 부재와 고정을 하였다.

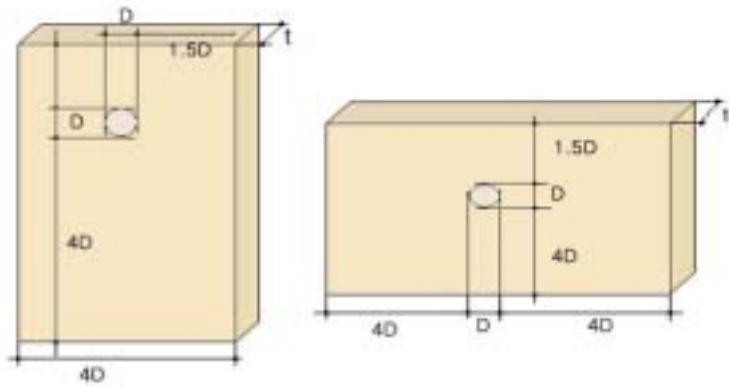


Fig. 6-11. Minimum size of connected member and location of bolt hole ( $D$  : bolt diameter,  $t$  : thickness).

② 이중 전단 접합부의 조합

㉔ 주부재가 제재목인 경우

각 부재의 길이는 하중이 가해지는 방향에 대해서 부재가 목리에 평행하면 20cm, 수직하면 40cm로 하며, 모든 부재의 폭은 20cm(8in)로 하였다. 측면 부재로 철판을 사용할 경우는 두께가 6mm인 것을 사용하였다. 그러나 철판은 하중 방향에 따른 강도적 차이가 없으므로 주부재 목리 방향에 따른 2가지 형태의 접합부에 대한 실험만 진행하였다. 자세한 조합 형태는 다음 표와 같다.

Table 6-3. Combination of double-shear connection for lumber-lumber.

Main member(mm)	Side member(mm)	Bolt
39	39	M12, M16, M20
89	39, 89	M12, M16, M20
139	39, 89	M16, M20
189	39, 89	M16, M20

Table 6-4. Combination of double-shear connection for lumber-steel.

Main member(mm)	Side member(mm)	Bolt
39	6	M12, M16, M20
89	6	M12, M16, M20
139	6	M16, M20
189	6	M16, M20

㉔ 주부재가 집성재인 경우

제재목과 동일하게 부재의 길이는 목리 방향에 하중이 수평일 경우에는 20cm, 수직일 경우에는 40cm로 하였으며, 폭은 20cm이다. 정확한 시편 제작을 위해 업체를 통해서 가공하였으며, 측면 부재가 철판인 경우는 하나의 하중 방향에 대하여 실험을 진행 하였다. 자세한 조합 형태는 다음 표와 같다.

Table 6-5. Combination of double-shear connection for Glulam-lumber.

Main member(mm)	Side member(mm)	Bolt
80	38	M12, M16, M20
130	38	M16, M20

Table 6-6. Combination of double-shear connection for Glulam-steel.

Main member(mm)	Side member(mm)	Bolt
80	6	M12, M16, M20
130	6	M16, M20
170	6	M16, M20

나) 이중 전단 접합부 실험

구성된 접합부를 만능 강도 시험기에 올려놓고, 변위 측정 장치를 하중을 받는 부재와 받지 않는 부재사이에 장치시켜 시간에 따른 변위를 측정하고, 하중-변위 곡선을 얻었다. 실험은 하중이 최대하중이나 변형량이 15mm에 도달할 때까지 계속 진행하고, 최대 하중이 5분에서 20분 사이에서 끝내도록 하였다. 크로스 헤드(cross head)의 속도는 1mm/min±50% 로 하였다. 이렇게 해서 얻어진 곡선에서 볼트 직경의 5%를 감한 offset line과 원래의 하중-변형 곡선과 교차하는 부분이 항복 하중을 구하며, 교차점이 없을 때는 최대 하중을 항복하중으로 하였다.

또한 Fig. 6-12에서 보여지는 것처럼 목리에 대해서 평행하게 하중이 가해지는 경우(a)와 주부재(b) 또는 측면부재(c)에 수직하게 하중이 가해지는 경우에 대해서 각각 실험을 진행하였으며, 측면부재가 철판일 경우에는 주부재에 평행한

것과 수직인 것 두가지에 대해서만 실험을 실시하였다.

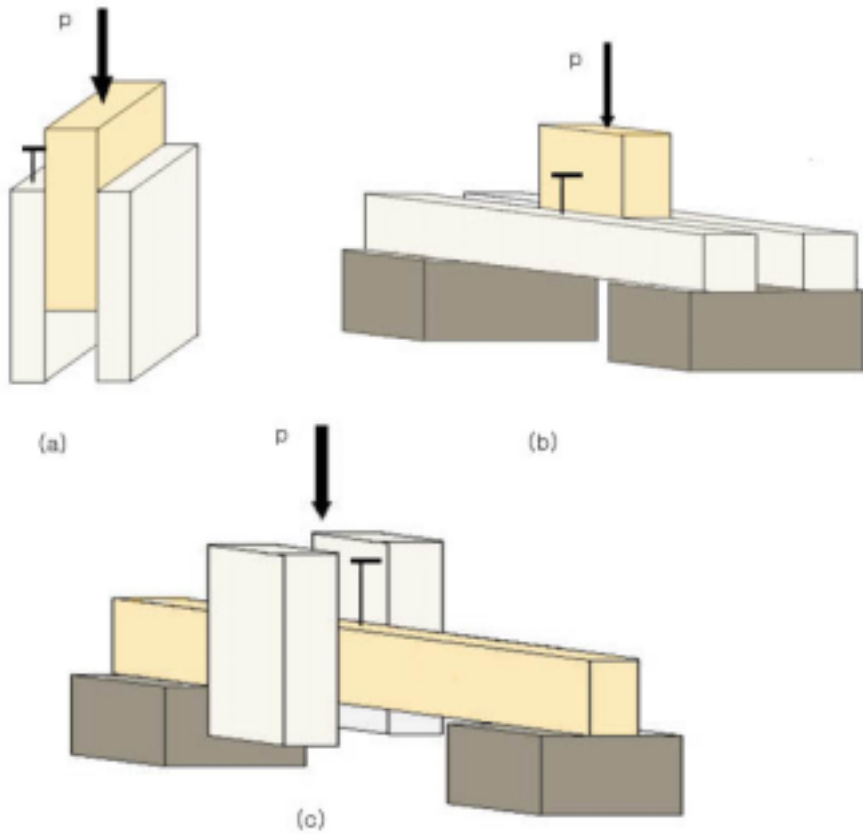


Fig. 6-12. Configuration of double shear connection test.

##### 5) 접합부 성능 예측

NDS가 EYM(European Yield Model)을 통해 얻어진 하중 값에 하중 지속 시간과 안전율을 고려하여 계산되어진 값이므로, 본 연구에서는 위의 세 실험을 바탕으로 접합부의 성능을 다음과 같이 평가하였다. 평가 방법은 EYM(European Yield Model)을 사용한 계산식에 기초를 두고 입력 변수인 다우얼 지압 강도와 볼트 휨강도에 대해 기존 NDS에서 제시하는 값을 사용할 것인지, 본 연구에서의 실험에 의한 측정값을 사용할 것인지를 고려하여 다음 표와 같은 4가지형태

로 구분하였으며, 실제 접합부 실험값과의 비교를 통해 결과를 분석하였다.

Table 6-7. Types of prediction methods for calculation of yield load in double shear connection according to input variables.

Type	Dowel bearing strength	Bolt bending strength
A	value in NDS	value in NDS
B	value in NDS	Experimental value
C	Experimental value	Experimental value
D	Experimental value	value in NDS

여기서, NDS에서 제시하고 있는 볼트의 휨강도는 310050 kPa (=45,000psi)이다.

위의 4가지 형태의 모델을 사용하여 허용 응력값을 구하기 위해서는 앞에서 언급한 EYM모델을 사용한다. 이 모델은 파괴 형태에 따라서 크게 4가지 모드로 나뉘어 지게 되며, 하나의 접합부에 대해서 4가지 모드에 대한 값을 구하고 이중 가장 작은 값을 선택하게 된다. 4가지 파괴 모드와 계산식은 아래와 같다.



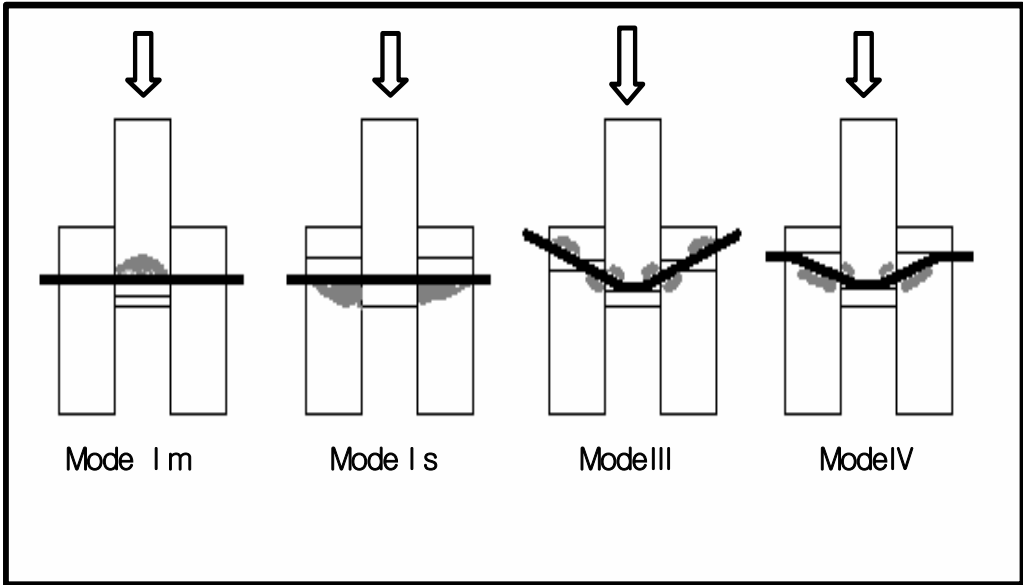


Fig. 6-13. Failure mode of EYM (European Yield Model).

$$I_m \quad Z = \frac{D t_m F_{em}}{400 K_\theta}$$

$$I_s \quad Z = \frac{D t_s F_{es}}{400 K_\theta}$$

$$III_m \quad Z = \frac{k_2 D t_m F_{em}}{320 K_\theta (1 + 2 R_e)}$$

$$IV \quad Z = \frac{D^2}{320 K_\theta} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$$

여기서,

$D$  = 파스너의 직경, mm

$F_{em}$  = 주부재 다우얼 지압 강도, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{es}$  = 측면 부재의 다우얼 지압 강도, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{e\parallel}$  = 목재의 목리에 평행한 다우얼 지압 강도 =  $790G$ , kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{e\perp}$  = 목재의 목리에 수직인 다우얼 지압 강도 =  $\frac{2,160 G^{1.45}}{\sqrt{D}}$ , kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{yb}$  = 파스너의 휨 강도, kgf/cm<sup>2</sup>

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3} - R_e(1 + R_t)}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2 F_{yb}(1 + 2 R_e) D^2}{3 F_{em} t_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 F_{yb}(2 + R_e) D^2}{3 F_{em} t_s^2}}$$

$$K_\theta = 1 + (\theta_{\max} / 360^\circ)$$

#### 4. 한계상태 설계법의 체계화

가. 한계상태 설계법

1) 신뢰성 기초 설계법 (RBD, Reliability-based design)

구조물의 설계에 적용되어온 기존의 WSD (Working stress design) 방법은 재료의 강도와 가해지는 하중의 두 변수 중 재료의 강도 측면에만 구조물에 신뢰도를 부여하기 위한 영향인자(factor)가 고려되어지므로 신뢰성에 일관성을 부여할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고 보다 합리적으로 신뢰성 이론에 기초하여 구조물을 설계하기 위하여 도입된 것이 하중-저항 인자 설계법 (LRFD, Load & resistance factor design)이며, 보통 신뢰성 기초 설계법 (RBD, Reliability based design) 이라고 불린다. 이 설계법은 다음의 식과 같이 하중과 저항 각각에 영향인자가 곱해지고, 결과적으로 이러한 인자화 된 하중이 인자화 된 구조물의 저항보다는 작아야 구조물이 안전하다는 기본적인 개념을 갖고 있는 것이다.

$$\text{Factored resistance of structure} \geq \text{Factored load effect}$$

기존의 WSD와 RBD의 두 방법을 개략적으로 비교해 보면, 전자는 결정론적으로 제시된 재료의 강도측면에만 영향인자들을 고려하며 이를 설계값으로 하여 가해진 하중조건에 대해서 설계가 이루어지지만, 후자의 경우에는 하중 측면은

확률적 하중 분포를 고려한 적절한 하중 영향인자를 통해 인자화되고, 강도 측면 또한 재료의 강도 분포에 근거한 강도 영향인자를 통해 조정된 값의 관계에 의해 설계가 이루어진다는 점에서 큰 차이점을 나타낸다고 할 수 있다 (Fig. 6-14).

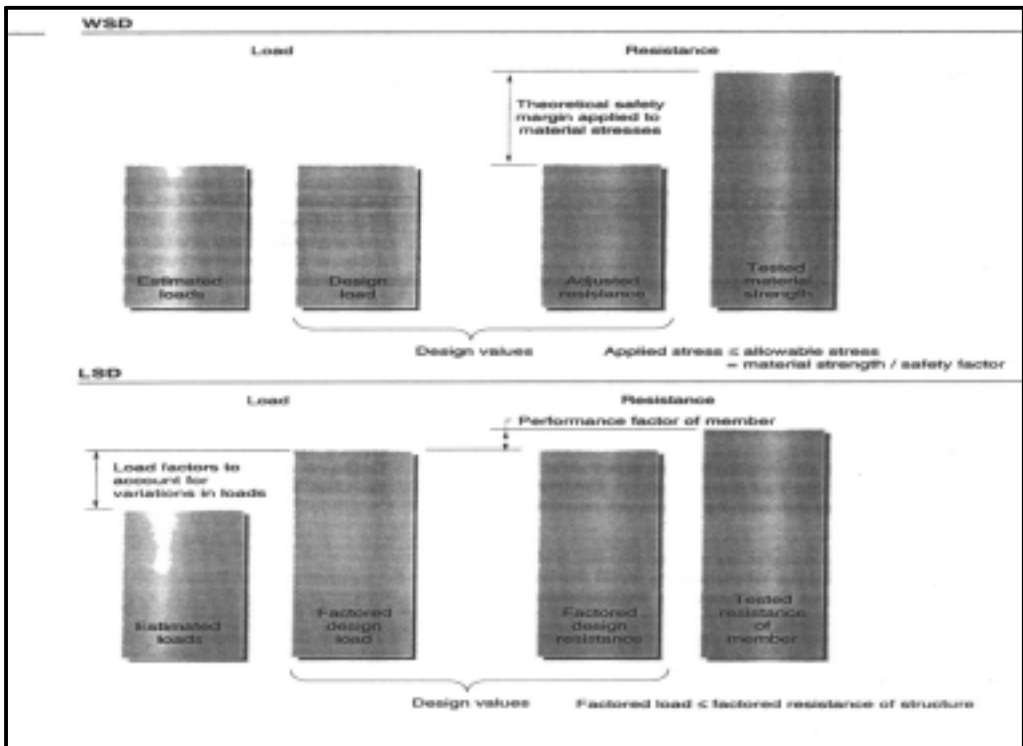


Fig. 6-14. Comparison of WSD and RBD.

## 2) RBD의 적용

본 연구에서는 RBD의 구체적 적용을 위해 우선 국산 낙엽송 부재가 목리에 수직하중이 가해져 휨이 발생할 경우를 대상으로 하였다. 이 때의 기본 설계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_D M_D + \gamma_L M_L = \lambda \phi_b F_b' S$$

여기서,  $\gamma_D$  와  $\gamma_L$  은 각각 사하중(Dead load)과 활하중(Live load)의 모멘트,  $M_D$ 와  $M_L$ 에 대한 하중인자(Load factor),  $\phi_b$  는 힘에 대한 강도인자,  $\lambda$ 는 시간 영향인자(Time effect factor)이며,  $S$ 는 부재의 단면계수(section modulus)이다. 또한,  $F_b'$ 은 조정인자에 의해 조정된 허용 휨응력을 나타낸다. 위의 식을 통해 휨부재의 RBD를 통한 설계가 이루어지게 되며, 신뢰 지수  $\beta$ 를 구함으로써 확률론적인 방법을 통한 목구조물이 설계가 완성되게 된다.

### 3) 신뢰 지수(Reliability index)

어떤 구조물이 파괴된다는 것은 구조물의 강도가 가해지는 하중에 미치지 못하여 더 이상 버티지 못하고 붕괴되는 것을 의미한다. 따라서 일반적으로 파괴확률이라 함은 구조물에 가해진 하중이 그 구조물의 강도보다 클 확률을 구하면 된다. 그러나 하중과 강도에 대한 단순한 평균값만의 비교로써 이를 표현할 수는 없다. 왜냐하면 각각의 값들이 가지는 분포의 형태에 따라서 그 확률의 변이가 크게 달라질 수 있기 때문이다 (Fig. 6-15).

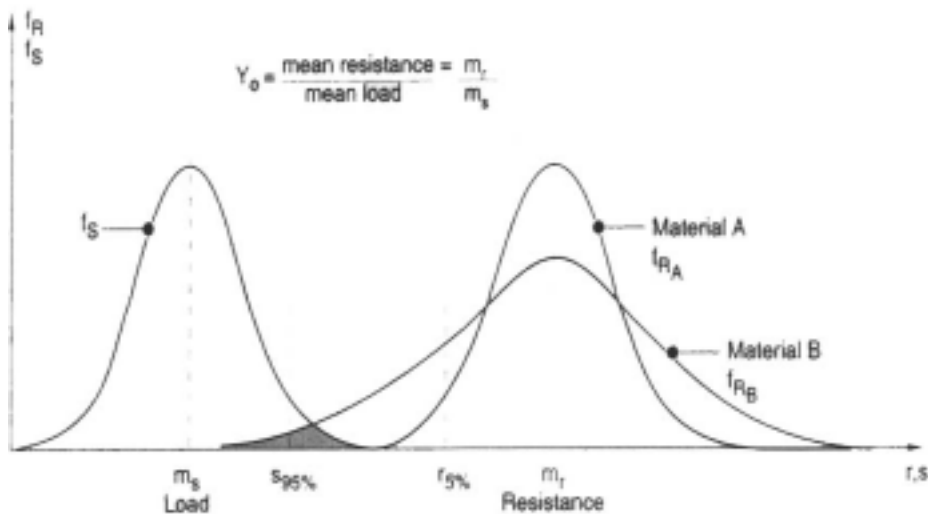


Fig. 6-15. Probability of failure in different material distributions.

그래서 도입된 것이 강도의 5% 하한치와 하중의 95% 상한치를 비교하는 것이다. 그러나 이런 비교도 분포가 복잡해지면 각각의 값을 찾는 것 자체가 복잡해져 어려움을 겪게 된다. 이러한 이유로 도입한 것이 안전 변수(Safety parameter),  $z$ 이다. 즉 강도값( $r$ )에서 하중값( $s$ )을 뺀 값( $z=r-s$ )이다. 여기서  $z$ 값의 의미는 이 값이 음수를 나타내면 파괴를 뜻하며, 양의 값을 가지면 안전한 상태, 0이면 임계 상태를 뜻한다. 따라서 파괴확률( $P_f$ )은  $z$ 의 확률분포함수( $f_z$ )를 0까지 적분한 값이 된다 (Fig. 6-16).

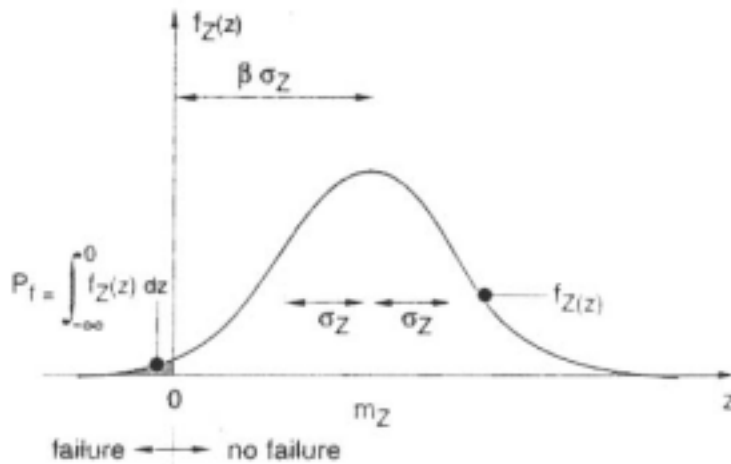


Fig. 6-16. Definition of failure probability using safety parameter.

따라서  $z$ 가 정규 분포를 나타낼 때  $z$ 의 확률밀도함수(Probability density function)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_z}{\sigma_z}\right)^2\right\}$$

여기서,  $\mu_z$ 는 얻어진 분포의 평균값이며,  $\sigma_z$ 는 표준편차이다. 이 함수가 나타내는 것은 주어진  $x$ 값을 가질 수 있는 확률을 나타내고 있다. 이러한 분포를 평균이 0이고 표준편차가 1인 표준정규분포(standard normal distribution)로 변환하

면 다음과 같은 확률밀도함수를 얻을 수 있다.

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right)$$

$$u = \frac{z - \mu_z}{\sigma_z}$$

여기서,  $u$ 는 정규분포를 표준 정규분포로 변환하기 위한 변수이다.

궁극적으로 고려가 되어야 할 부분은 구해진 분포를 통해서 부재가 파괴될 확률을 구하는 것이다. 파괴라는 것은 앞에서 언급했듯이 가해진 하중이 강도값 보다 커서 부재가 이를 견디지 못하는 것을 뜻하며, 따라서 주어진 식에서는  $z$ 값이 0보다 작을 확률을 구해야 하며, 주어진 식을 다음과 같이 적분하여 표준정규분포의 확률분포함수(Probability distribution function)를 구해야 한다.

$$\Phi(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du$$

이 확률분포함수에서  $u$ 에 대한 함수값은 확률이  $u$ 보다 작을 경우의 누적확률을 나타낸다. 따라서  $z$ 값 대신에 0을 대입하고 변수 변환을 통해서 0까지의 누적확률을 구하면 다음과 같다.

$$P_f = P(Z < 0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_z}{\sigma_z}\right) = \Phi\left(-\frac{\mu_z}{\sigma_z}\right)$$

여기서,  $\mu_z/\sigma_z$ 를  $\beta$ 라고 하고, 이를 신뢰 지수(Reliability index)라고 한다. 즉 안전변수는  $z$ 의 평균값을 표준편차로 나눈 값이 된다. 따라서 식은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) = \frac{\mu_z}{\sigma_z}$$

여기서,  $P_f$ 는 파괴확률이다.

신뢰지수  $\beta$ 가 커진다는 것은 파괴될 확률이 작아진다는 것을 의미하고, 이는 곧 높은 신뢰성을 갖는다는 것을 의미한다. 일반적으로는 3.5-3.0정도의 신뢰지수를 가지면 중간 정도의 신뢰성을 갖는다고 하며 이보다 크면 높은 신뢰성을, 낮으면 낮은 신뢰성을 갖는다고 말한다.

위의 식을 하중과 강도에 대한 값으로 바꾸면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_z = m_r - m_s$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2}$$

$$\beta = \frac{m_r - m_s}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2}}$$

이상은 정규 분포를 나타낼 경우에 대해서 나타낸 것이다.  $\beta$ 값은 표준정규분포 확률 변수의 공간상에서 기하학적으로 한계상태식까지의 최단거리를 의미한다. 이는 파괴확률을 산정하기 위하여 주어진 확률변수와 한계 상태식을 서로 통계적으로 독립인 표준정규분포 확률변수의 공간에서 표현되도록 변환한 다음, 원점으로부터 가장 가까운 직선거리에 위치한 한계상태식상의 점을 추적하여 그 직선거리를 신뢰도 지수로 나타낸 것이다.

#### 4) 부분안전계수 (Partial safety factor, 하중 저항 인자)

RBD의 기본 식에서 하중과 강도에 대한 각각의 영향 인자를 구하기 위해서는 임의의 분포를 가지는 부재에 대해서  $\beta_T$ 만큼의 신뢰도를 확보하려고 한다면, 다음 식과 같이 정리가 될 수 있다.

$$\beta_T \leq \beta$$

$$\beta_T \leq \frac{\mu_z}{\sigma_z}$$

$$\beta_T \sigma_z \leq \mu_z$$

그런데  $\sigma_z = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2} \approx \alpha(\sigma_r + \sigma_s)$ 이므로,

$$\begin{aligned}\mu_r - \mu_s &\geq \beta_T \alpha (\sigma_r + \sigma_s) \\ \mu_r - \beta_T \alpha \sigma_r &\geq \mu_s + \beta_T \alpha \sigma_s \\ \mu_r (1 - \beta_T \alpha \delta_r) &\geq \mu_s (1 + \beta_T \alpha \delta_s)\end{aligned}$$

여기서,  $\delta$ 는 하중과 저항에 대한 변이계수(Coefficient of variation)이다.

설계시에는 변수의 평균값 보다는 평균값에 적절한 편차를 준 공칭값(nominal value)을 이용하므로, 각각의 공칭값을  $R_n$ ,  $S_n$ 으로 나타내고 그 비를 다음과 같이 쓰면,

$$n_R = R_n / \mu_r, \quad n_s = S_n / \mu_s$$

가되고 위의 식은 다음과 같이 정리되어진다.

$$\left( \frac{1 - \beta_T \alpha \delta_r}{n_R} \right) R_n \geq \left( \frac{1 + \beta_T \alpha \delta_s}{n_s} \right) S_n$$

공칭값에 대한 각각의 계수를  $\phi$ 와  $\gamma$ 로 두면 최종적으로 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\phi R_n \geq \gamma S_n$$

여기서  $\phi$ 를 저항 계수(resistance factor)라고 하고,  $\gamma$ 를 하중계수(load factor)라고 하며, 위의 식을 통해서 얻을 수 있다.

#### 나. 국산 낙엽송 부재의 신뢰성 해석

부재의 신뢰성 해석은 주어진 하중과 강도 분포를 통해 부재의 파괴확률을 구하고 이를 통해서 신뢰지수를 구하는 것이다. 본 연구는 1, 2차년도 연구를 통해서 얻어진 국산 낙엽송 제재와 집성재의 강도 분포 특성과 일반적으로 설계 시



사용되는 하중 특성을 사용하여 신뢰성 해석을 진행하였다. 이를 통해 국산 낙엽송 제재가 사용된 조건에서 지간거리와 간격의 변화에 따른 신뢰 지수의 변화를 비교 분석하고, 구조용 집성재에 대하여 2차년도 연구에서 사용된 10개의 라미나 조합에 대하여 동일한 연구를 수행하였다.

1) 하중 해석

신뢰성 설계에 있어 구조물에 가해지는 하중 측면의 해석은 실제로 매우 방대한 양의 또 다른 연구를 필요로 할 만큼 어렵고 복잡한 측면이 있다. 따라서 본 연구에서는 하중 조건의 설정에 있어 각국의 건축 규정에서 일반적으로 사용되며, 국내에서도 다른 연구에 이미 적용되었던 다음과 같은 하중조건을 적용하고자 한다.

Table 6-8. Load condition used in this research.

	Mean(kg/cm <sup>2</sup> )	Standard deviation(kg/cm <sup>2</sup> )
Live load	1.32×10 <sup>-2</sup>	0.24
Dead load	0.342×10 <sup>-2</sup>	0.10
Load(live+ dead)	1.662×10 <sup>-2</sup> *	0.196 **

\*  $\mu_S = \mu_L + \mu_D$

$$** \Omega_S = \frac{1}{\mu_S} \sqrt{\mu_L^2 \Omega_L^2 + \mu_D^2 \Omega_D^2}$$

일반적으로 부재가 보로 사용될 경우 휨 모멘트(bending moment)를 구하는 기본적인 식은 다음과 같다.

$$M_S = \frac{qaL^2}{8}$$

여기서,  $M_S$ 는 휨 모멘트이며,  $q$ 는 주어진 하중 조건,  $a$ 는 tributary width(spacing에 해당),  $L$ 은 지간거리이다. 따라서 위의 표에서 주어진 값은 식을 통해서 휨 모멘트의 통계량으로 전환하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\mu_M = \frac{aL^2}{8}\mu_S$$

$$\Omega_M = \sqrt{\Omega_S^2 \left(\frac{aL^2}{8}\right)^2}$$

## 2) 강도 해석

### 가) 국산 낙엽송 제재

본 연구과제의 1차년도에 수행된 국산 낙엽송 제재의 휨 강도 실험을 통해 얻어진 강도 분포 특성을 사용하며 그 값은 다음 표에 주어진 것과 같다.

Table 6-9. Distribution property of bending strength for Japanese larch lumber.

Visual grade	Mean (kg/cm <sup>2</sup> )	Standard Deviation	x*	a**	β***	Distribution Type
No. 1	449	91	259	2.2	214	Weibull
No. 2	421	105	202	2.4	249	Weibull
No. 3	378	131	118	2.2	299	Weibull

\* moving length to x-axis

\*\* shape parameter of weibull distribution

\*\*\* scale parameter of weibull distribution

본 연구에서는 사용된 부재의 치수가 2×6이므로, 부재에 대한 단면 계수를 곱하여 다음과 같이 휨 모멘트 값으로 전환한다.

$$M_r = \frac{bh^2}{6} F_b$$

여기서, b는 부재의 폭이며 h는 부재의 높이이다.

### 나) 국산 낙엽송 집성재

본 연구과제의 2차년도에 수행된 구조용 집성재의 휨 강도 및 허용응력 예측 프로 그래프를 통해 제시한 10개의 다른 집성재 조합에 대한 분포특성을 사용한다. 그 값은 다음 표와 같다.

Table 6-10. Distribution property of bending strength for glulam.

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Average	757	498	412	622	542	439	708	665	472	589
Standard Deviation	132	90	80	102	93	83	120	117	87	97
95% percentile	498	322	255	422	360	276	473	436	3013	399
Allowable stress	237	153	122	201	171	132	225	207	144	190

위에서 제시한 제재의 경우와 동일하게 단면 계수를 곱하여 휨 모멘트를 산정하게 되는데, 본 연구에서 사용한 집성재의 치수는 198 mm × 139.7 mm 이다.

### 3) 신뢰성 해석

### 가) 국산 낙엽송 제재

국산 낙엽송 제재는 1차년도 연구결과에서 보여지듯이 휨 강도가 웨이블 분포를 따른다. 수학적으로 강도와 하중이 정규분포나 대수 정규 분포를 따르면 위의 신뢰성 해석 방법에 따라 신뢰 지수를 간단히 산정할 수 있다. 그러나 웨이블 분포의 경우 그 변수가 평균과 표준 편차가 아닌 형상 변수(shape parameter)와 크기 변수(scale parameter)를 사용함으로 수학적으로 풀기가 난해하다. 따라서, 본 연구에서는 구해진 제재의 강도 분포와 하중에 대해서 동일한 분포 특성을 갖는 난수를 발생시키고, 이것으로 직접 (강도-하중)확률을 구하여 그 값이 0보다 클 확률 즉 파괴 확률을 구하고 이를 통해 신뢰 지수를 구하도록 프로그램화하여 사용하였다. 이 과정에 대한 Flow chart는 다음과 같다.

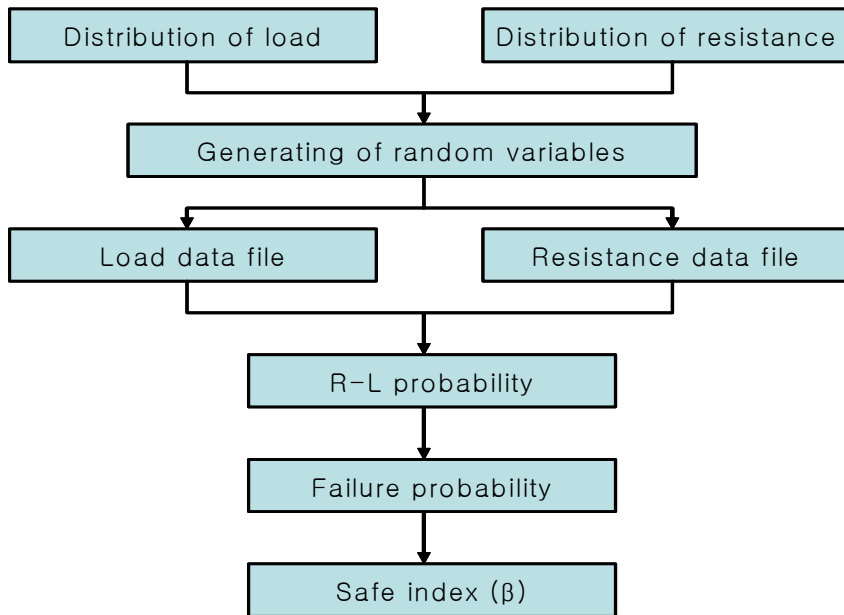


Fig. 6-17. Flow chart for calculation of reliability index,  $\beta$ .

### 나) 국산 낙엽송 집성재

구조용 집성재는 하중 분포와 동일한 정규분포를 나타내고 있다. 따라서 다음 식에 의해 신뢰 지수를 계산하였다.

$$m_z = m_r - m_s$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2}$$

$$\beta = \frac{m_r - m_s}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_s^2}}$$

여기서,  $m$ 은 평균이고,  $\sigma$ 는 표준 편차를 나타낸다.

#### 다. 한계상태 설계법으로의 코드 전환

미국이나 캐나다 등에서 사용하고 있는 한계상태 설계법에 기초한 코드는 기존 코드에서의 전환을 통해 이루어졌다. 전환 방법에는 크게 hard conversion과 soft conversion이 있는데, hard conversion은 필요한 각각의 부재 사이즈나 접합부 형태, 사용 조건 별 실험과 조사를 통한 충분한 자료를 근거로 확률론적인 방법을 통해서 설계값을 찾는 것이며, soft conversion은 기존의 코드를 바탕으로 해서 새로운 코드로 각 인자들의 관계와 알려진 특성을 사용하여 전환하는 것이다. 따라서 hard conversion은 그 양이 방대하므로, 실질적으로 불가능하며, 따라서 soft conversion이 이루어진 후 hard conversion을 통해 수정되어지게 된다.

코드의 전환을 하기 위해서는 우선 각각의 설계식에 대한 고찰에서 출발해야 한다.

$$\text{LRFD} : \lambda \phi_c R_n \geq 1.2D + 1.6L$$

$$\text{ASD} : K_d F_x \geq D + L$$

코드의 전환은 기본적으로 ASD의 허용응력값을 LRFD의 resistance(reference resistance)로 사용할 수 있도록 전환하는 과정이다. 이러한 전환 과정은 ASTM D 5457에 따라서 수행하였다.

코드의 전환 과정은 크게 2개 부분으로 나누어진다. 실험을 통해 얻어진 허용 응력을 전환하는 것과 기존 테이블에 주어진 값을 전환하는 것이다. 본 연구에서는 두개로 나누어진 과정을 하나의 프로그램으로 만들어 활용하였다.

1) 코드의 허용 응력에서 reference resistance로의 전환

ASD의 하중 지속 인자와 LRFD의 시간 영향 인자를 바탕으로 산출된 형식전환인자를 사용한다.

$$K_F = \frac{2.16}{\phi_s}$$

여기서,  $\phi_s$ 는 specified LRFD 저항 인자로서 구체적인 값은 다음의 Table 6-11과 같으며, 목리에 수직인 압축을 받는 부재에 대해서는 위의 식에서 2.16 대신에 1.875 값을 사용하게 된다. 이 형식 전환 인자를 통해서 ASD의 허용 응력값( $F_x$ )은 다음의 과정을 통해서 LRFD의 강도값으로 전환된다.

$$R_n = K_F \times F_x$$

Table 6-11. Specified LRFD Resistance Factor,  $\phi_s$ .

Application	Property	$\phi_s$
member	compression	0.90
	bending	0.85
	tension parallel	0.80
	shear, radial tension	0.75
connection	all	0.65

2) 실험을 통한 허용 응력에서 reference resistance로의 전환

일정한 반복수를 통해 얻어진 부재의 강도 분포 특성을 활용하여 이를 reference resistance로 전환시켜 주는 과정이다. 기본 전환 식은 다음과 같다.

$$R_n = \Omega \times K_R \times R_p$$

여기서,  $R_p$ 는 부재의 분포에 맞는 P%값을 나타내며, 여기서는 구조물의 설계시 사용되는 5%를 사용하였다. 각각의 인자는 재료의 특성에 따라 다양하게 나타나며 그 과정은 다음과 같다.

가) 재료의 변이계수(Coefficient of variation)

LRFD에서 사용되어지는 인자는 기본적으로 재료의 변이계수에 대한 함수로 나타내어진다. 재료의 변이계수는 재료의 강도 분포에서 표준편차에 따른 평균의 비이며 웨이블 분포시에는 다음 식을 통해서 구한다.

$$CV_W \cong \alpha^{-0.92}$$

여기서  $\alpha$ 는 웨이블 분포의 형상인자(shape parameter)이며, method of maximum likelihood와 method of least squares, 감마 함수 등을 사용하여 구하여 진다.

나) 신뢰성 정규화 인자 (Reliability Normalization Factor)

신뢰성 정규화 인자는 분포에서 측정된 강도값을 목표 신뢰도에 맞게 사용하도록 하기 위해서 사용되어지는 것으로 재료의 변동 계수와 하중 조건에 따라 주어진 표(Table 6-12)에 의해서 찾을 수 있다. 기본적으로 이 값은 다음 식에 의해 구해 진다.

$$K_R = \phi_c / \phi_s$$

여기서,  $\phi$ 는 저항인자로 각각 계산된 것과 하중에 따라 주어지는 것을 나타낸다.

Table 6-12. Fifth-Percentile Based Reliability Normalization Factors,  $K_R$ .

$CV_w$ %	$K_R$					
	Compression and Bearing	Bending	Tension Parallel	Shear (Lumber)	Shear (SCL)	Shear (I-Joist)
10	1.303	1.248	1.326	0.724	0.943	1.253
11	1.307	1.252	1.330	0.727	0.946	1.257
12	1.308	1.253	1.331	0.727	0.947	1.258
13	1.306	1.251	1.329	0.726	0.945	1.256
14	1.299	1.244	1.322	0.722	0.940	1.249
15	1.289	1.235	1.312	0.717	0.933	1.240
16	1.279	1.225	1.302	0.711	0.926	1.230
17	1.265	1.212	1.288	0.704	0.916	1.217
18	1.252	1.199	1.274	0.696	0.906	1.204
19	1.237	1.185	1.259	0.688	0.895	1.190
20	1.219	1.168	1.241	0.678	0.882	1.173
21	1.204	1.153	1.225	0.669	0.871	1.158
22	1.186	1.136	1.207	0.659	0.858	1.141
23	1.169	1.120	1.190	0.650	0.846	1.125
24	1.152	1.104	1.173	0.641	0.834	1.109
25	1.135	1.087	1.155	0.631	0.821	1.092
26	1.118	1.071	1.138	0.622	0.809	1.076
27	1.105	1.059	1.125	0.615	0.800	1.063
28	1.084	1.038	1.103	0.603	0.784	1.042
29	1.066	1.021	1.085	0.593	0.771	1.025
30	1.049	1.005	1.068	0.583	0.759	1.009

다) 데이터의 확신 인자 (Data confidence factor,  $\omega$ )



자료의 확신 인자는 실험 데이터의 개수와 변동 계수에 대한 함수로 데이터가 갖는 불확실성을 보정하기 위하여 사용되어진다. 본 연구에서 사용된 값은 다음 표(Table 6-13)와 같다.

Table 6-13. Data confidence factor.

CV <sub>w</sub>	Sample Size, n									
	30	40	50	60	100	200	500	1000	2000	5000
0.10	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.0
0.15	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
0.20	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.98	0.98	0.99	0.99
0.25	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99
0.30	0.84	0.86	0.88	0.89	0.92	0.94	0.94	0.97	0.98	0.99
0.35	0.81	0.84	0.86	0.87	0.90	0.93	0.94	0.97	0.98	0.99
0.40	0.79	0.81	0.84	0.85	0.89	0.92	0.95	0.96	0.97	0.98
0.45	0.76	0.79	0.82	0.85	0.87	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98
0.50	0.73	0.77	0.80	0.81	0.86	0.90	0.94	0.95	0.97	0.98

라) 저항 인자,  $\phi_c$

저항인자는 설계 방정식에 직접적으로 사용되어지는 값이다. 휨 부재의 경우 재료의 변동계수로부터 신뢰성 정규화 인자를 표를 통하여 구하고, 신뢰성 정규화 인자 정의에 의해  $\phi_s$ 를 곱하여 그 값을 산출하게 된다. 그러나 휨 이외의 특성에 대하여는 다음 식을 통하여 구할 수 있게 된다.

$$\phi_c = \frac{2.1}{A} K_R \phi_s$$

여기서, A는 ASD의 adjustment factor로 다음과 같이 주어진다.

Table 6-14. Allowable Stress Design Adjustment Factor, A.

Material property	ASD adjustment factor, A
compression, bearing	1.9
bending, tension	2.1
shear-lumber	4.1
shear-SCL	3.15
shear-I-joist	2.37

### 3) 한계 상태 전환을 위한 프로그램

실험과 기존 코드로 얻어진 값을 reference resistance로 전환하는 과정을 사용자가 용이하게 하기 위하여 전체 과정을 프로그래밍화 하였다. Basic 언어를 사용하였으며, 사용되어지는 표의 값은 DB를 구축하여 참조하도록 하였다. 그 과정은 다음 그림과 같다.

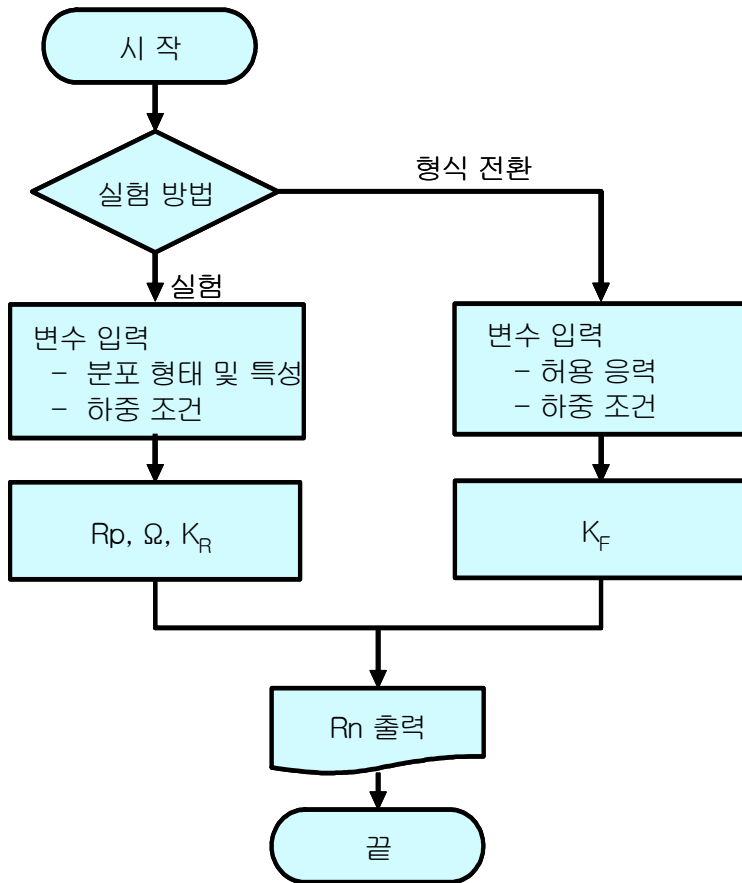


Fig. 6-18. Flow chart for format conversion.

위의 과정을 통해 얻어진 프로그램은 키보드에 의해서 실험 자료나 기존 코드 값의 입력을 통해 입력되고 화면을 통해 출력된다. 입출력 화면은 다음 그림과 같다.

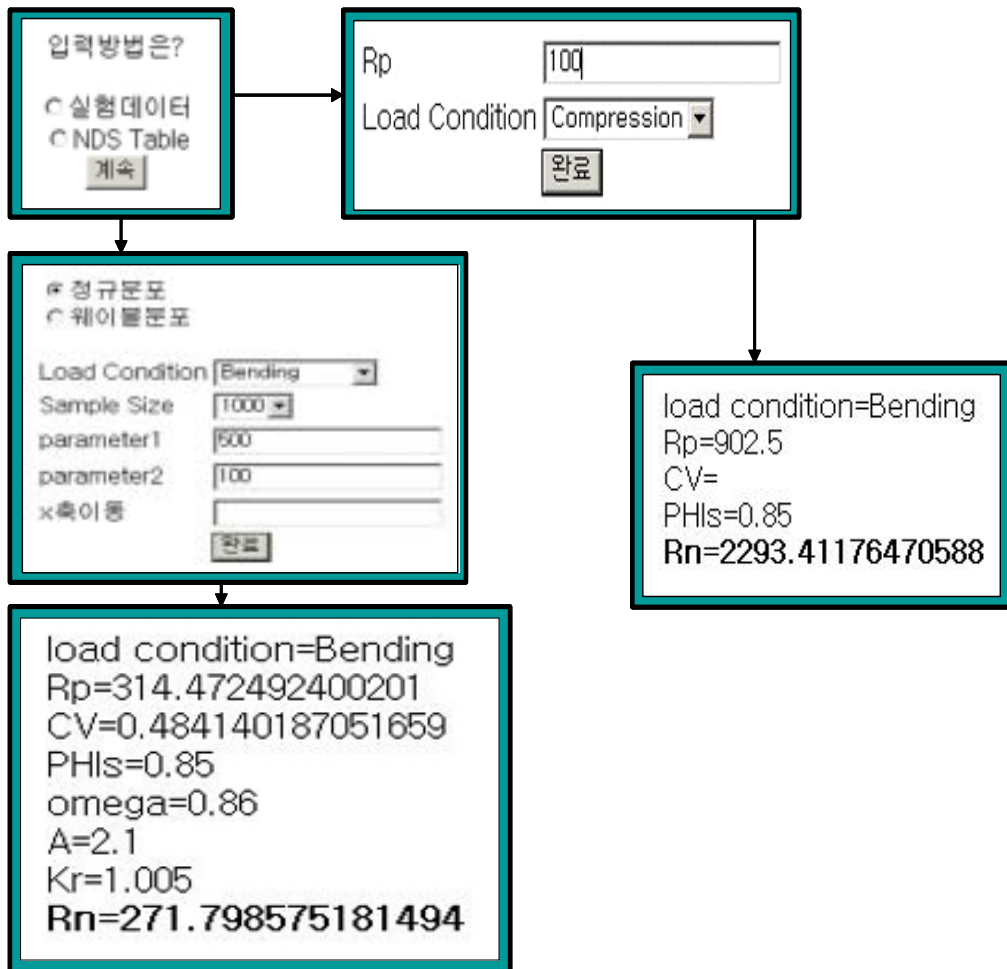


Fig. 6-19. Example of input and output format.

### 제3절 결과 및 고찰

#### 1. 국산 낙엽송 제재의 성능 평가

##### 가. 육안등급구분

국산 낙엽송 제재에 대하여 산림청 고시 제 1995-27호 “침엽수 구조용 제재 규격”에 준하여 육안등급구분을 실시하였으며 용이, 수지구, 활렬, 연륜밀도, 길이굽음, 틀어짐, 목리경사를 측정하였고, 이를 기초로 육안등급구분을 수행하였다. 등급분포는 아래의 Table 6-15에 제시한 바와 같으며, 등외를 제외한 1, 2, 3등급은 비교적 균일하게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 등외로 판정된 시편들은 용이, 활렬, 등근모 등의 결함이 그 원인이었으며, 용이를 제외한 다른 결함들은 자연결함이 아닌 건조 또는 제재시 주의를 하면 줄일 수 있는 결함들이므로 구조용 제재목의 제조 시 주의를 기울일 필요가 있다고 생각된다. 특히 플래닝시 과도한 압력으로 목질부가 목리에 직각 방향으로 파괴된 결함들이 발견되었으며, 이러한 부재의 경우 휨시험 수행 시 매우 약한 힘으로도 파괴되어 시험이 불가능한 경우도 발견되었다. 등외로 판정된 부재들의 경우는 구조재로는 적합하지 못하고 구조용 집성재 또는 LVL 등과 같은 재구성 재료로 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Table 6-15. Distribution of visual graded lumber for Japanese larch.

Visual Grade	No.1	No.2	No.3	Offgrade	Total
No. of Specimens	148	154	103	93	498
Percentage (%)	29.72	30.92	20.68	18.68	100.00

## 나. 휨강도

### 1) 휨강도 분포

육안등급구분된 국산 낙엽송 제재는 만능강도 시험기를 사용하여 ASTM D-198에 준하여 휨시험을 수행하였으며 각 등급별 휨강도의 분포는 다음의 Fig. 6-20, Fig. 6-21과 같다. 본 연구에서는 실험데이터 분석을 위해 구간을 나누었으며,  $50 \text{ kg/cm}^2$ 의 구간간격을 사용하였다.

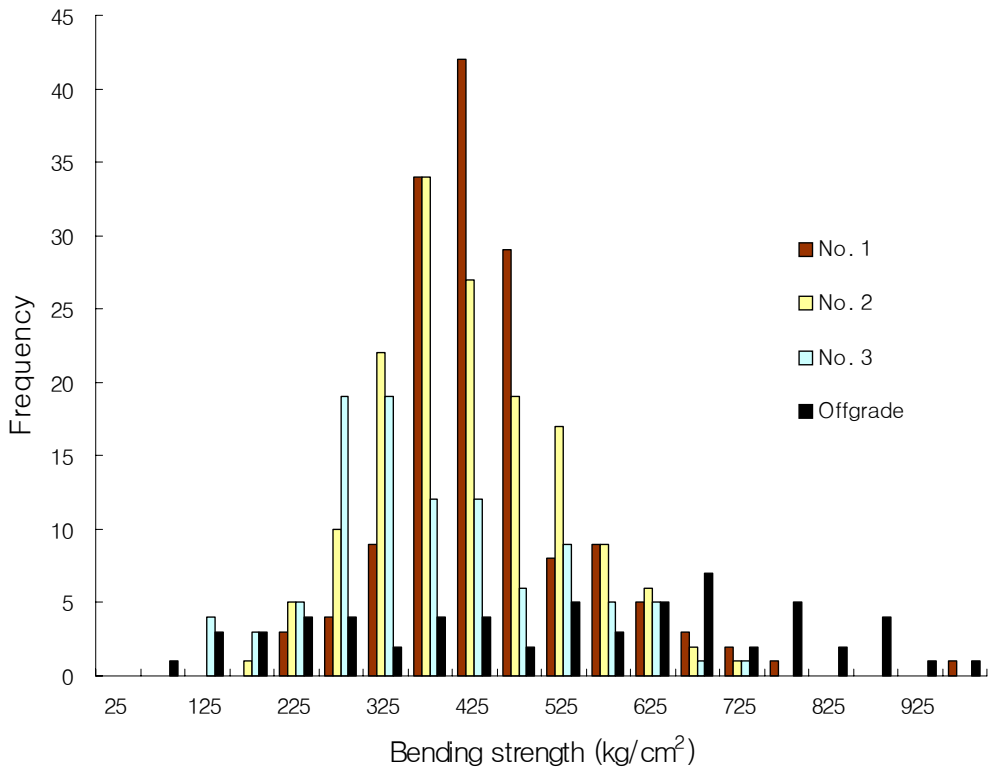


Fig. 6-20. Distribution of bending strength for Japanese larch lumber.

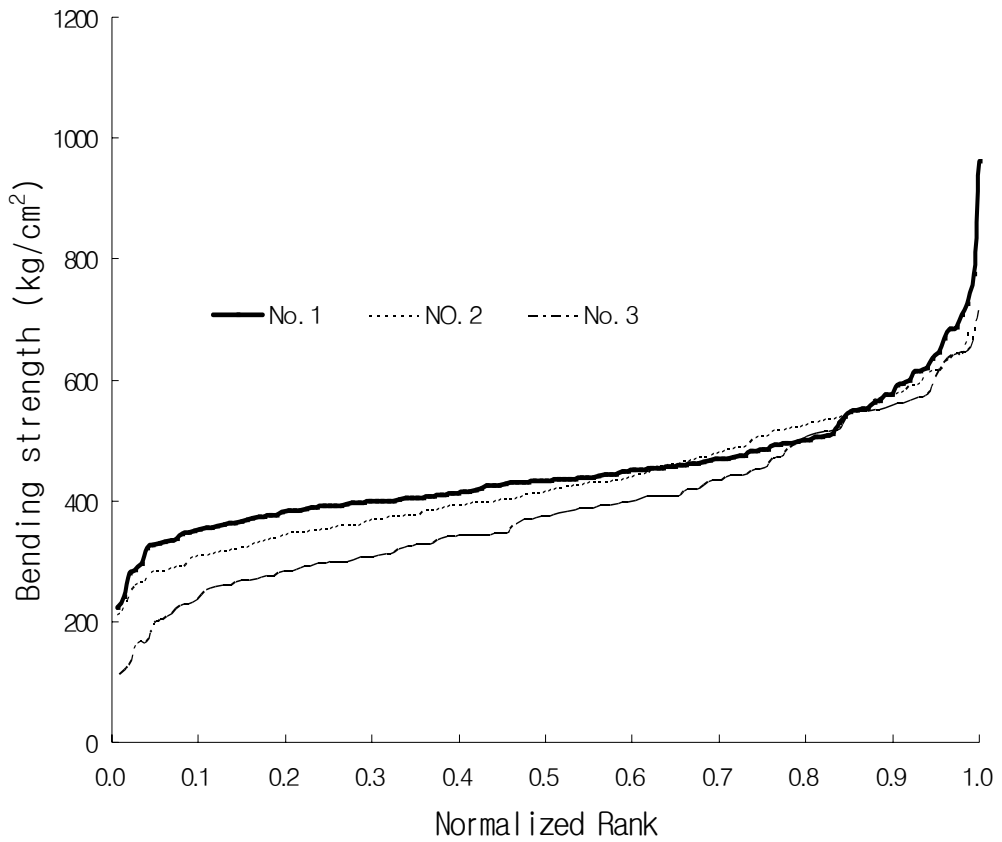


Fig. 6-21. Normalized rank of bending strength for Japanese larch lumber.

## 2) 휨강도의 분포형태 결정

육안등급구분 후 ASTM D 2915에 준하여 등급내 실대재 휨 시험을 하였고, 각 등급의 휨강도에 대한 평균, 표준편차, 최빈수는 Table 6-16과 같으며 평균, 최빈수 모두 1등급이 가장 크고 3등급이 가장 낮은 값을 보였고, 모든 등급에서 최빈수가 평균보다 낮은 값을 보인다는 것이 확인되었으며 이 차이로부터 한쪽으로 편향되어있는 분포 형태인 웨이블 분포와 대수정규분포가 정규분포보다 더 정확할 것이라고 판단하였다.

Table 6-16. Statistical values of bending strength for Japanese larch lumber.

Distribution	No. 1	No. 2	No. 3
Mean	449	421	378
Standard Deviation	91	105	131
Mode	425	375	325

한쪽으로 편향되어 있는 분포 형태인 웨이블분포, 대수정규분포, 그리고 기존 규정에 적용되는 정규분포 중 가장 적합한 분포모형을 결정하기 위해 square error를 산출하였으며 이를 근거로 가장 적합한 분포모형을 선택하였다 (Table 6-17).

Table 6-17. Square error for each distribution type in bending strength of Japanese larch lumber.

Distribution	No. 1	No. 2	No. 3
Weibull	0.012961	0.003193	0.009606
Normal	0.015371	0.003512	0.012083
Lognormal	0.013210	0.003201	0.013110



Square error는 모든 등급에서 웨이블 분포가 가장 작은 값을 갖는 것이 확인되었으며, 따라서 국산 낙엽송의 휨강도 특성에는 웨이블 분포가 가장 적합한 것으로 평가되었다.

또한 분포의 적합성 검정을 위해 KS Test를 수행하였으며, 사용된 분포는 다음 식을 따른다.

웨이블 분포 :

$$\begin{aligned} f_T(t) &= -\overline{F}'_T(t) = \lambda(t) \exp\left[-\int_t^0 \lambda(s) ds\right] \\ &= \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)t^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{t^\alpha}{\beta}\right) I_{(0, \infty)}(t) \end{aligned}$$

정규분포 :

$$\begin{aligned} f_x(x) &= f_x(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \\ &\quad \left(-\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0\right) \end{aligned}$$

대수정규분포 :

$$\begin{aligned} f_x(x) &= f_x(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right] \\ &\quad \left(0 < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0\right) \\ E(X) &= e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \\ Var(X) &= e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2} \end{aligned}$$

1등급과 2등급의 경우 웨이블 분포 다음으로 대수 정규분포가 적합한 것으로 평가되었으며 본 연구의 실험 결과로부터 대칭의 형태를 띠는 정규분포보다는 한쪽으로 편향되는 분포 형태인 대수정규분포와 웨이블 분포가 더 적합하다고 판단되었다. 3등급만이 웨이블 분포 다음으로 정규분포가 적합한 것으로 평가되었다.

### 3) Parameter의 결정

선정된 분포에서 가장 적합한 Parameter를 선택하기 위해 데이터의 분포 및 통계처리 프로그램인 Arena Input Analyzer (ver3.01)를 사용하여 최적화하였으며, 정규분포와 대수정규분포의 경우 실험 데이터와 이 데이터에 상용로그를 취한 값의 산술평균과 표준편차를 구하는 것으로 쉽게 최적화 할 수 있었다. 본 연구의 실대재 휨시험을 통해 구한 각 등급별 최적화된 분포는 Table 6-18에 제시하였으며, Fig. 6-22, Fig. 6-23 그리고 Fig. 6-24에는 각 등급에 대하여 정규분포, 대수정규분포, 웨이블분포의 상대 비교를 위해 최적화된 3가지 분포형태와 실험값을 도시하였다. 이 그림에서 보여지는 것처럼 실험값은 최빈수가 왼쪽으로 편향된 형태를 보이며 따라서 대수 정규분포와 웨이블 분포가 정규분포보다는 더 근접하다는 것을 알 수 있다.

Table 6-18. Optimized distribution and parameters of bending strength for Japanese

larch lumber.

	No. 1	No. 2	No. 3
Optimized Distribution	Weibull	Weibull	Weibull
$\bar{x}^1$	259	202	118
$\alpha$	2.2	2.4	2.2
$\beta$	214	249	299

<sup>1</sup> Distance moved in the direction of  $x$ -axis.

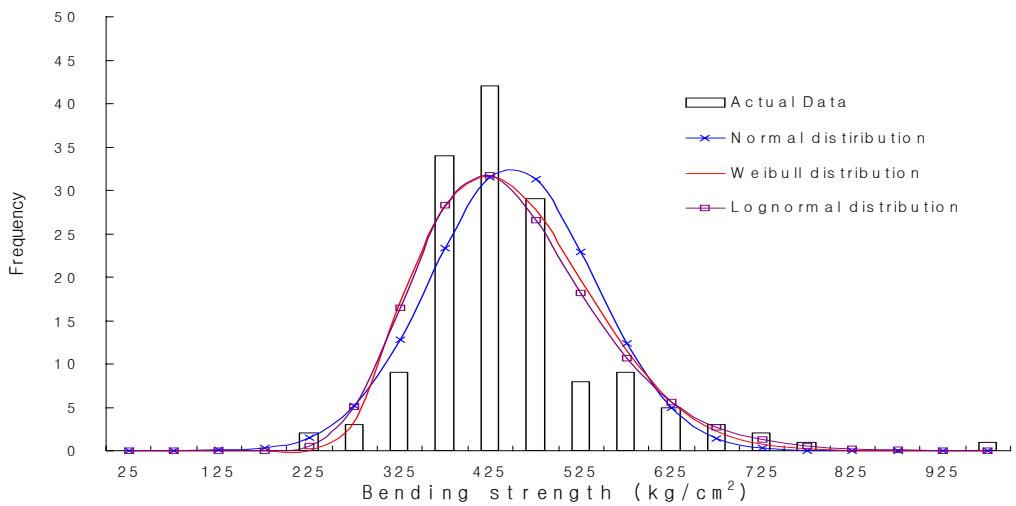


Fig. 6-22. Optimized distribution of bending strength for Japanese larch No. 1 lumber.

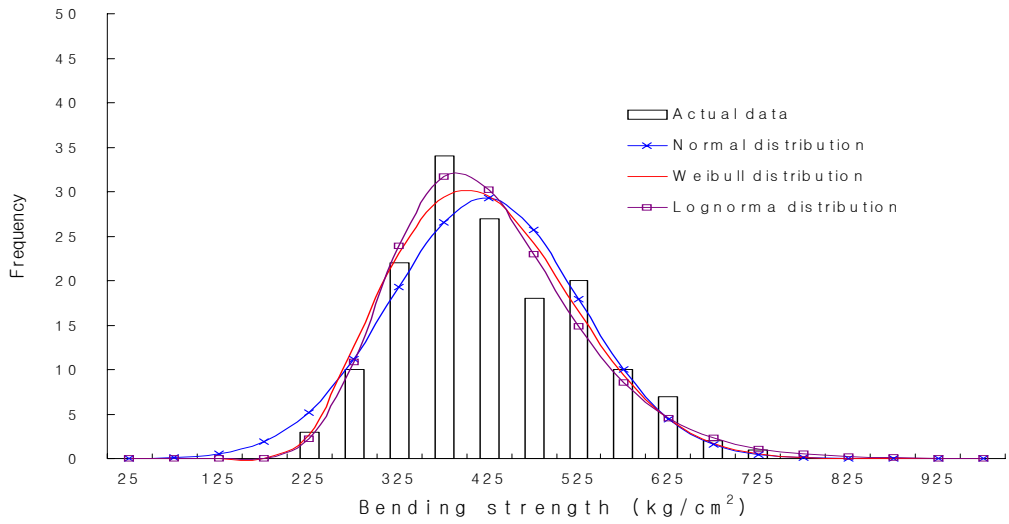


Fig. 6-23. Optimized distribution of bending strength for Japanese larch No. 1 lumber.

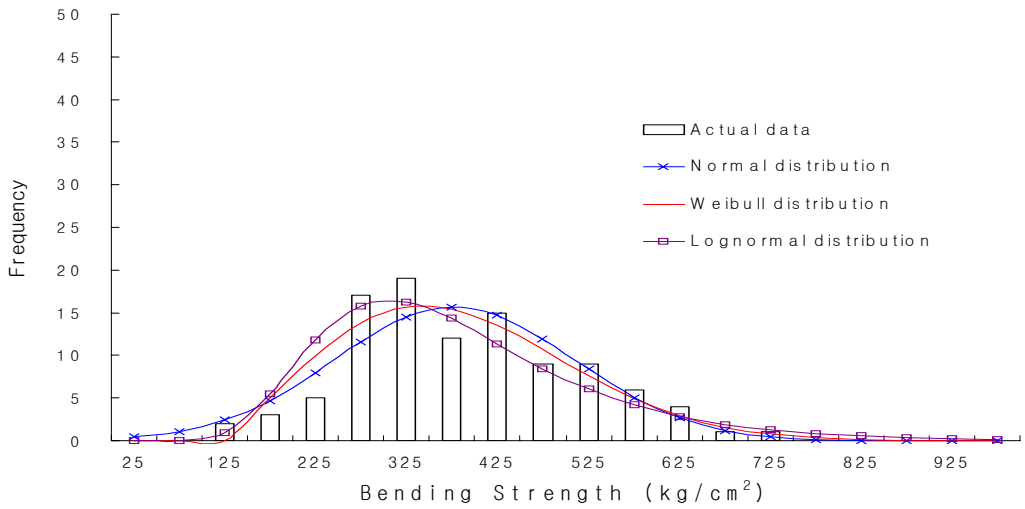


Fig. 6-24. Optimized distribution of bending strength for Japanese larch No. 3 lumber.

#### 4) 분포의 검정

실험값으로 모집단인 국산 낙엽송 2×6 부재의 휨강도 분포를 추정하는 것이 적합한지 여부를 정량적으로 분석할 필요가 있으며 따라서 본 연구에서는 Chi Square Test를 실시하였다.

모든 등급의 휨강도 특성이 웨이블 분포가 가장 적합하다고 평가되었으므로 KS Test에서 가설은 다음과 같이 설정하였다.

$H_0$  : 실험 데이터는 웨이블 분포를 갖는 모집단에서 추출되었다.

이러한 가설에서 각 등급별 검정 통계량과 유의 수준을 평가하여 검정하였을 때 Table 6-19와 같은 결과를 얻었다. 각 등급은 해당하는 유의 수준에서 가설을 기각하지 못하였고 따라서 해당 유의 수준에 대해서 본 실험 데이터는 웨이블 분포를 갖는다는 것이 검증되었다.

Table 6-19. Results of Chi Square test for optimized distribution of bending strength for Japanese larch lumber.

	No. 1	No. 2	No. 3
Tested Value	22.5	4.94	9.65
Confidence Level	0.005	0.1231	0.0475

#### 5) 허용응력도 산출

허용응력의 산출은 각 등급에 적합하다고 평가된 분포를 사용하여 5% 하한치를 산출하였다. 5% 하한치 계산은 정규분포와 웨이블 분포 각각에 대해 다음의 식으로 산출하였다.

$$5\% = \mu - (\sigma \times 1.645)$$

$$5\% = \beta(-\ln 0.95)^{\frac{1}{\alpha}}$$

각 등급별 실험값을 강도 순으로 번호를 부여하고 하위 5%에 해당하는 시편의 강도값과, 웨이블분포, 대수정규분포를 이용해서 구한 5%하한치 그리고 기존 산출방법인 정규분포에 기초해 5% 하한치를 결정한 경우를 서로 비교해보면 정규분포로 가정해 구한 5% 하한치 보다는 웨이블 분포와 대수정규분포를 이용한 경우가 실험치 하위 5%에 더 근접한 것을 알 수 있었다 (Table 6-20). 정확성뿐만 아니라 정규분포는 실제 실험값에 비해 재료의 성능을 저평가하는 경향이 있으며, 그 이유는 실제 실험값은 웨이블이나 대수정규분포와 같이 최빈수가 분포의 좌측에 편중되는데 비해 정규분포는 평균값을 중심으로 양측이 대칭을 보이는 분포 형태를 나타내기 때문에 분포의 특성상 저평가하는 경향이 있는 것으로 판단된다.

따라서 국산 낙엽송 2×6 제재의 휨강도 분포에 적합하다고 평가된 웨이블분포 형태를 사용하여 5% 하한치를 산출한 경우 1등급은 약 4.7% 2등급은 10.5% 3등급은 20.2% 정도 상향 조정이 가능하여 재료를 보다 효율적으로 사용할 수 있을 것이라고 평가 되었다.

Table 6-20. Comparison of 5% values of bending strength for Japanese larch

lumber among different distributions.

Distribution Type	5% value (kg/cm <sup>2</sup> )		
	No. 1	No. 2	No. 3
Weibull	314	274	196
Lognormal	306	279	190
Normal	300	248	163
5% value from bending test	318 ( 7th )	279 ( 8th )	195 ( 5th )

최적화된 분포인 웨이블 분포의 5% 하한치에 장기하중 조정인자와 일반 조정인자를 포함한 계수 2.1로 나누어 국산 낙엽송 제재의 휨허용응력을 산출하였다 (Table 6-21).

Table 6-21. Allowable bending stress of Japanese larch lumber for each grade.

	No. 1	No. 2	No. 3
Allowable stress (kg/cm <sup>2</sup> )	150	130	93

실대재 실험과 적합한 분포특성을 고려해 산출한 국산낙엽송 구조용 제재의 휨허용응력은 기존 산림청 고시 허용응력과 북미의 기준인 NDS(National Design Specification, 1997)에서 유사 수종인 Douglas fir-Larch 보다 높은 값을 보였으며, 특히 NDS와 산림청 고시와 비교 했을 때 유사수종의 해당 등급에

비해 매우 높은 값을 보였다. 이로부터 국산 낙엽송의 휨강도 특성이 미국의 Douglas fir-Larch 군 보다 우수한 휨강도 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 기존에 수행된 타 연구과제(국산재 신수요 개발, 1998)에서 제시하고 있는 실대재를 사용한 실험으로부터 구한 허용응력도과는 유사한 결과를 보였으며, 산림청 고시에서 제시한 허용응력도는 무결점 소시편으로 실험한 결과로서 실대재 실험값에 비해 낮은 값을 보이고 있어 보정될 필요가 있다고 판단된다.

Table 6-22. Comparison of allowable stress (unit : kg/cm<sup>2</sup>).

	No. 1	No. 2	No. 3
Measured value	151	133	93
Assumed weibull distribution	150	130	93
Code	80	60	35
Other research	136	106	98
National Design Specification	86	61	35

#### 다. 휨 탄성계수

##### 1) 국산 낙엽송 제재의 휨탄성계수 분포

국산 낙엽송 2×6 제재의 휨실험의 결과로부터 휨탄성계수(MOE)를 산출하였으며 각 등급별 MOE의 통계량은 다음의 Table 6-23에 분포는 Fig. 6-25에 제시하였다.

Table 6-23. Statistical value of MOE for Japanese larch lumber (unit : kg/cm<sup>2</sup>).



	No. 1	No. 2	No. 3
Mean	131000	136000	127000
Standard Deviation	28400	31700	31600
Mode	125000	135000	125000

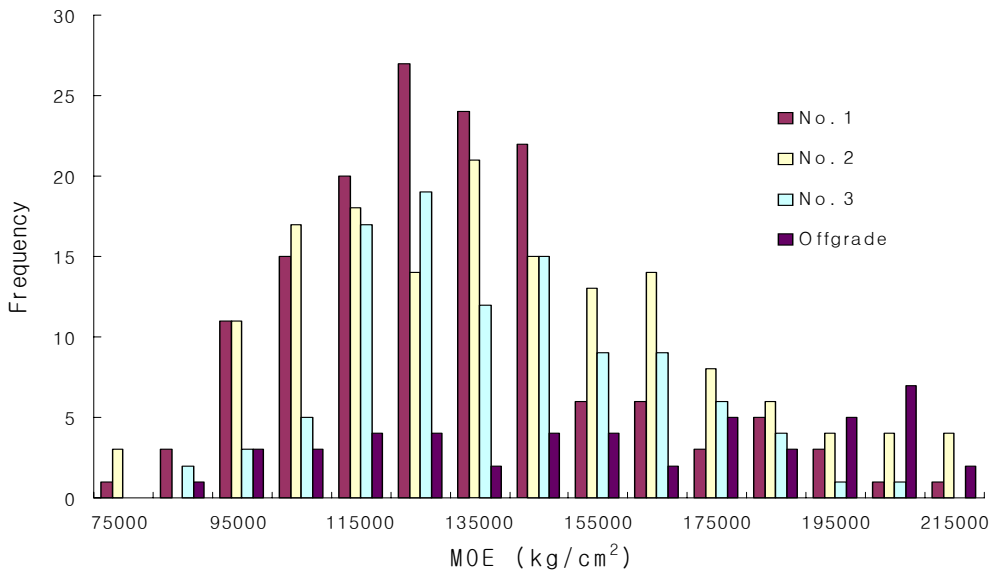


Fig. 6-25. Distribution of bending MOE for Japanese larch lumber.

본 연구에서 산출된 실험데이터가 추후 진행될 한계상태 설계에서 사용될 기초 자료로 그 기능을 다하기 위해서는 MOE 역시 휨강도의 경우와 같이 적합한 분포의 결정이 필요하다고 판단되었으므로 정규분포, 대수정규분포, 웨이블 분포를 선택하여 가장 적합한 분포 형태를 평가하고자 하였다.

## 2) 분포형태결정

본 연구에서는 국산 낙엽송 제재의 MOE 분포 형태를 평가하기 위해 기존 방법인 정규분포와 웨이블분포, 대수정규분포를 대상으로 square error를 산출하였으며 이를 근거로 가장 적합한 분포모형을 선택하였다 (Table 6-24). Square error계산으로부터 MOE의 경우 모든 등급에서 정규분포가 가장 작은 값을 갖는 것이 확인되었다. 따라서 국산 낙엽송의 MOE에는 정규 분포가 가장 적합하다고 평가되었고, 이는 기존의 결과와 동일한 것으로 판단된다.

Table 6-24. Statistical values of bending MOE for Japanese larch lumber.

Distribution	No. 1	No. 2	No. 3
Weibull	0.010956	0.002968	0.010575
Normal	0.006683	0.001967	0.007441
Lognormal	0.009651	0.002245	0.083211

## 3) Parameter의 결정

다음의 Fig. 6-26, Fig. 6-27 그리고 Fig. 6-28에는 국산 낙엽송 제재의 MOE를 각 등급에 대하여 정규분포, 대수정규분포, 웨이블분포의 상대 비교를 위해 최적화된 3가지 분포형태와 실험값을 도시하였고, 각 등급별 최적화된 분포는 Table 6-25와 같으며, 정규분포가 가장 적합한 형태라는 것을 파악할 수 있었다.

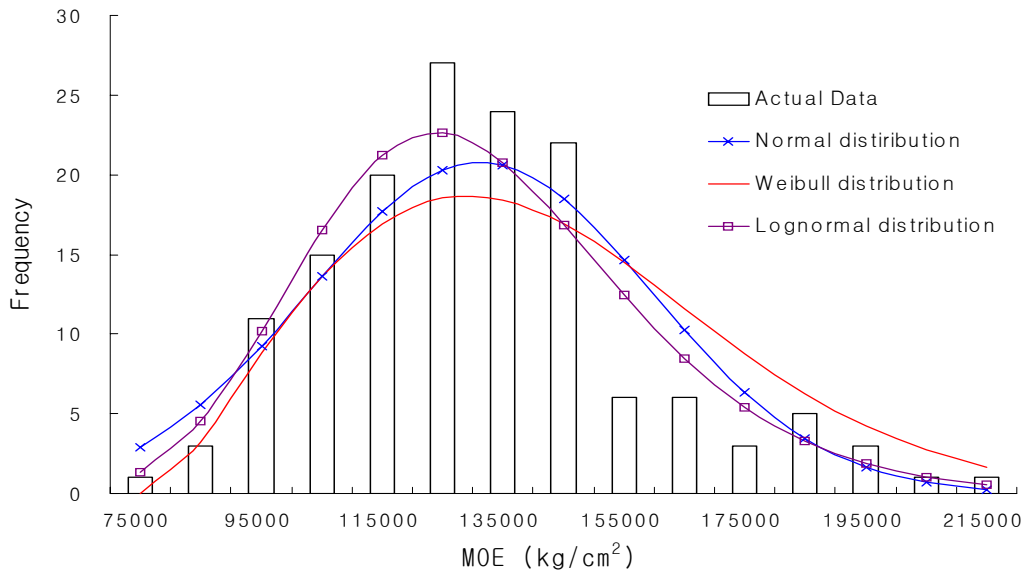


Fig. 6-26. Optimized distribution of bending MOE for Japanese larch No. 1 lumber.

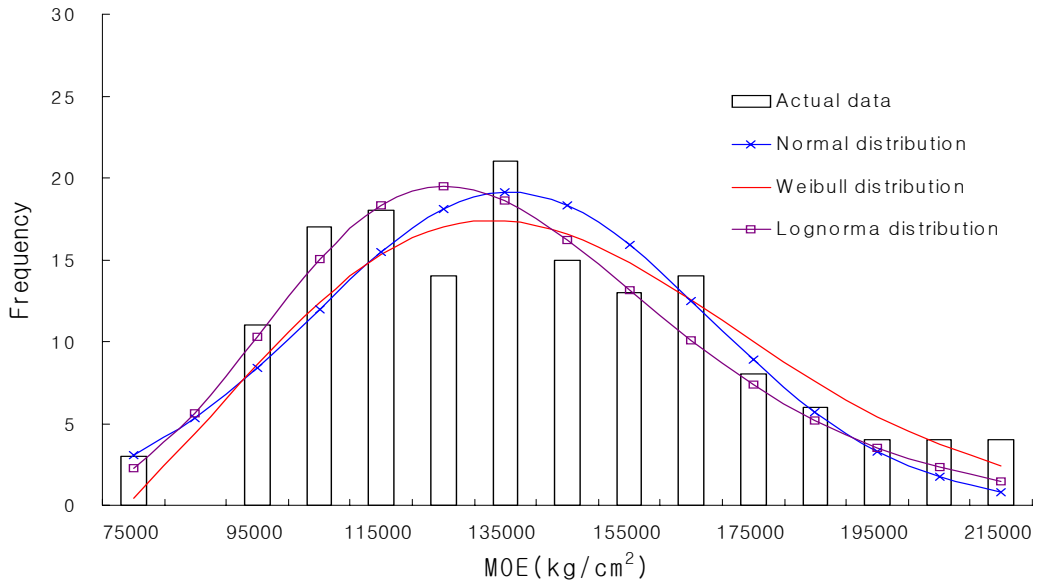


Fig. 6-27. Optimized distribution of bending MOE for Japanese larch No. 2 lumber.

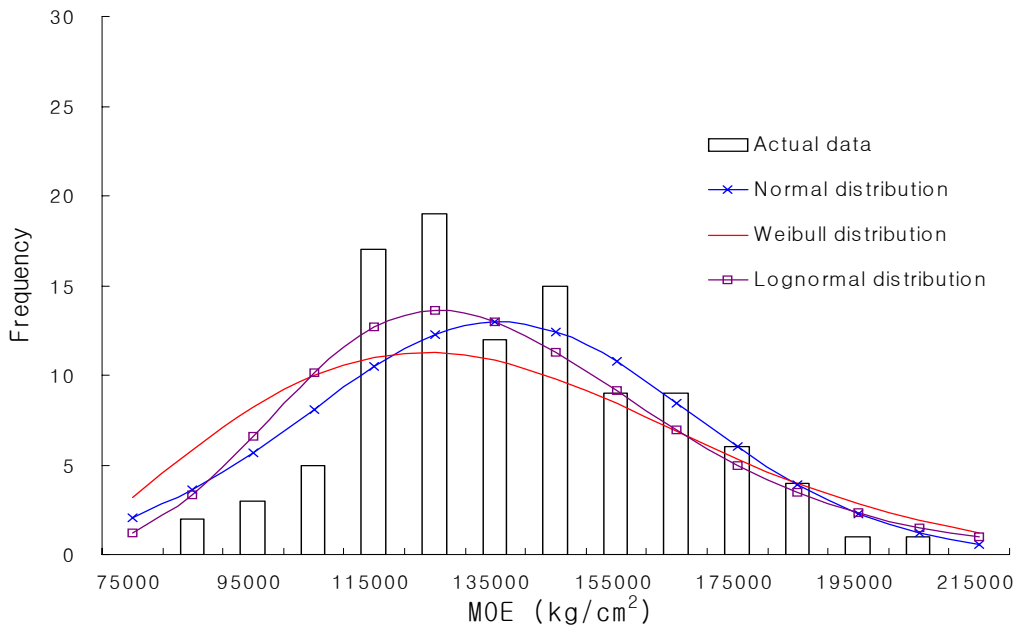


Fig. 6-28. Optimized distribution of bending MOE for Japanese larch No. 3 lumber.

Table 6-25. Optimized distribution and parameters of bending MOE for Japanese larch lumber.

	No. 1	No. 2	No. 3
Optimized Distribution	Normal	Normal	Normal
Mean	131000	136000	127000
Standard Deviation	28400	31700	31600

#### 4) 분포의 검정

실험값으로 모집단인 국산 낙엽송 2×6 부재의 휨강도의 분포를 추정하는 것이 적합한지 여부를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 Chi Square Test를 실시하였다.

모든 등급의 휨탄성계수 특성이 정규 분포가 가장 적합하다고 평가되었으므로 Chi Square Test에서 가설은 다음이 설정하였다.

$H_0$  : 실험 데이터는 정규 분포를 갖는 모집단에서 추출되었다.

이러한 가설에서 각 등급별 검정 통계량과 유의 수준을 평가하여 검정하였을 때 다음의 Table 6-26과 같은 결과를 얻었다.

Table 6-26. Results of Chi Square test for optimized distribution of bending MOE for Japanese larch lumber.

	No. 1	No. 2	No. 3
Tested Value	6.78	3.04	4.63
Confidence Level	0.0831	0.08542	0.0990

모두 유의수준 0.10을 초과하지 않으므로 정규분포가 적합하다고 할 수 있다. 1등급의 경우 검정 통계량을 구하면 6.78이고 이 통계량에 대한 유의수준은 0.0831로서 유의수준 0.10 초과하지 않으므로 정규분포가 적합하다고 할 수 있

다.

#### 5) 기본 설계값의 산출

본 연구에서는 국산 낙엽송 제재에 대한 MOE의 최적 분포형태와 design value를 산출하였다. 본 연구에서의 결과는 추후 한계상태 설계법에서 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다..

국산 낙엽송 실대재 휨실험과 적합한 분포특성을 고려해 산출한 국산낙엽송 구조용 제재의 MOE는 기존 산림청 고시 설계값과 북미의 기준인 NDS(National Design Specification , 1997)에서 유사 수종인 Douglas fir-Larch 보다 높은 값을 보였으며, 특히 1, 2 등급의 경우보다는 3등급의 경우 많은 차이가 있었다. 또한 1, 2, 3등급간 차이가 거의 없었으며 2등급의 경우 1등급보다 높은 값을 나타내었다.

Table 6-27. Comparison of basic design MOE (unit : kg/cm<sup>2</sup>).

	1등급	2등급	3등급
Measured value	131000	136000	127000
Code	125000	110000	95000
NDS	120000	112000	98000

라. 기계적 등급구분

1) 기계적 등급구분 분포

KS F3020에 규정된 기계적 등급구분은 휨탄성계수 측정값으로 등급을 나타내며 E5, E7, E9, E11, E13, E15의 6개 등급으로 나뉜다. 본 연구에서 수행한 국산 낙엽송 제재의 기계적 등급구분 통계량은 다음의 Table 6-28과 같다.

Table 6-28. Statistical values from MSR for Japanese larch lumber (unit : kg/cm<sup>2</sup>).

	E15	E13	E11	E9
Mean	521	487	465	423
Standard Deviation	138	100	105	95



이렇게 기계적 등급 구분된 부재는 강도에 기초하는 설계에 사용될 때 다음의 Table 6-29에 제시된 관계에 의해 설계된다.

Table 6-29. Relationship between visual grade and MSR (KS F 3020).

Visual Grade		Machine Stress Rating
Species	Grade	
Larch	No. 1	E13, E15
	No. 2	E11
	No. 3	-

이 관계는 보다 안전한 설계를 위해 확인될 필요가 있었으며 따라서 본 연구에서는 휨강도 시험에서 산출된 MOE를 기계적 등급구분기준에 준해 MOE에 대해 E15, E13, E11, E9로 구분하였으며 각 기계적 등급별 허용응력도를 산출하기 위해 웨이블 분포를 이용한 5% 하한치와 순위 5%에 해당하는 값을 산출하였다. 이 값에 장기허용응력에 대한 보정인자 2.1을 나누어 허용응력을 산출하였다.

## 2) 허용응력도 산출

기계적 등급구분 E15, E13, E11의 경우, 웨이블 분포를 사용해 5% 하한치와 이 값으로 산출된 허용응력과 순위 5%값을 이용한 허용응력값을 육안등급구분에 의한 등급의 허용응력과 비교해 본 결과 E15, E13은 1등급 E11은 2등급, E9은 육안등급 3등급에 해당된다고 평가 되었다. 기존 KS 규정의 경우 본 연구에서의 결과와 E15, E13, E11의 경우 동일한 육안등급을 제시하고 있으나 E9의 경우 규정이 없다 (Table 6-30). 그러나 재료의 효율적인 측면에서 E9과 육

안등급 3등급과의 관계를 제시할 필요가 있다고 판단된다.

Table 6-30. Comparison of allowable stress between visual graded and machine stress rated Japanese larch lumber.

		Machin Stress Rating			
		E15	E13	E11	E9
Weibull	5% value	357	366	349	302
	Allowable Stress	170	174	166	144
Measured	5%	349(4)	321(5)	296(5)	271(2)
	Allowable Stress	166	153	141	129
NDS	Visual Grade	1	1	2	3
	Allowable Stress	150	150	130	93
KS F3020	Visual Grade	1	1	2	-
	Allowable Stress	80	60	35	-

#### 마. 파괴모드

국산 낙엽송 제재의 휨 실험 시 파괴 모드를 분석하였으며, 그 결과 본 실험에 서는 Simple Tension이 가장 많은 것으로 확인되었다 (Table 6-31, Fig. 6-29). 특히 육안등급 1등급의 경우 simple tension이 88.52%로 가장 많았으며 2,3 등급 과 등외의 경우 유사한 비율을 보였다.

Table 6-31. Distribution of failure mode for Japanese larch lumber.

	No. 1	No. 2	No. 3	Offgrade
Simple Tension	88.52	61.54	61.11	63.64
Cross-Grain	11.48	23.02	22.22	22.73
Tension Splintering	0	15.42	16.67	9.09
Brash Tension	0	0	0	4.54

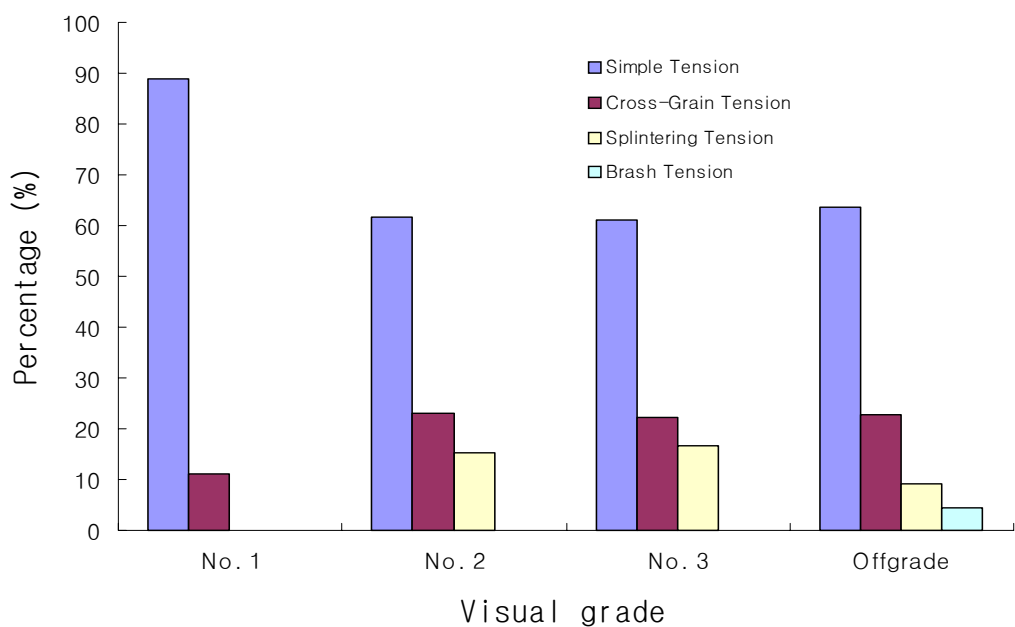


Fig. 6-29. Distribution of failure mode for visually graded Japanese larch lumber.

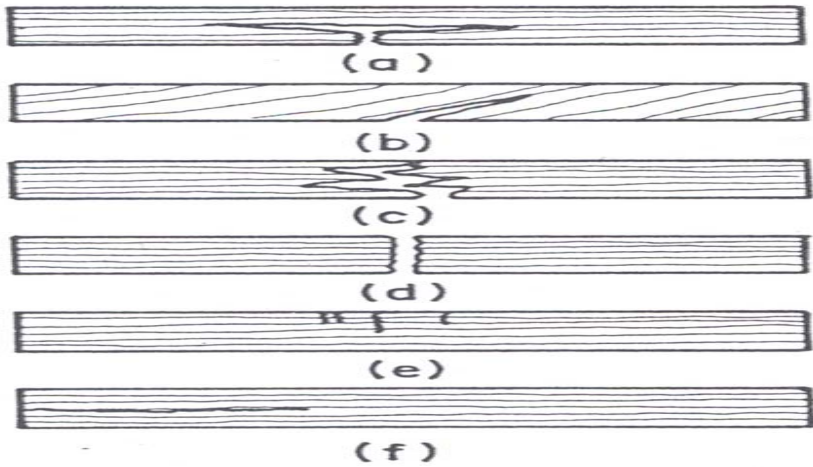


Fig. 6-30. Failure mode in bending test.  
( a : simple tension, b : cross-grain tension, c : splintering  
tension,  
d : brash tension, e : compression, f : horizontal shear )



Fig. 6-31. Example of failure mode for bending test (simple tension).

## 2. 국산 낙엽송 집성재의 성능 평가

### 가. 용이분포 특성

#### 1) 육안등급구분과 용이의 분포

구조용 집성재의 제조에 사용될 국산 낙엽송(*Larix leptolepis*) 2×6(38mm×140mm), 길이 3.6m 부재에 대한 육안등급구분과 용이분포 특성을 조사하였다. 우선 육안등급구분의 결과는 Table 6-32와 같으며, 구조재로서 적합한 1, 2등급이 80.5%를 차지하여 구조재로서 적합하다고 판단되었다.

Table 6-32. Results of visual grading for laminar used for glulam.

	No. 1	No. 2	No. 3	Offgrade	Total
No. of specimen	198	359	100	35	692
Percentage (%)	28.6	51.9	14.5	5.1	100.1

옹이의 특성을 고려하기 위해서 활렬, 등근모 등의 결함이 있는 것은 제외 하였으며, 역학적 성질에 크게 영향하지 않는 6 mm이하의 옹이는 측정하지 않았다. 육안등급구분 시 측정하였던 옹이를 데이터 베이스화 하였으며 visual basic 을 사용하여 계급구간의 폭을 2mm를 기준으로 하여 35,000여개의 옹이를 분류 하였다. 옹이는 재료의 역학적 특성에 가장 많이 영향하는 인자 중 하나이며, 제재목의 모델링, 집성재 구조설계, 확률론적 설계법으로의 변환 등에 다양하게 사용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 옹이 특성을 국산 낙엽송 2×6 부재에 대해 알아보고자 6mm이하의 옹이를 제외한 모든 옹이를 4면에서 측정, 분석하였다.

옹이의 분포 특성은 향후 제재목의 모델링이나 구조용 집성재의 라미나 성질을 반영하는 지표로 제재목의 MOE 등과 함께 사용될 수 있다. 특히, 구조용 집성재의 구조 설계를 위해서는 라미나의 강도적 특성에 크게 영향하는 옹이의 크기 및 분포 위치(특히, 수치해석법의 경우 분포 위치가 매우 중요함)가 입력변수로서 중요한 역할을 하는데 이중 기존의 Lee & Kim(2000)등의 연구에 의한 방법인 변형 단면법 같은 해석적 방법을 적용할 경우 옹이 크기 중 그 제재목내의 평균값과 99.5 percentile 값이 반드시 필요하다. 따라서, 향후 본 연구의 결과를 구조용 집성재의 강도 해석 및 구조 설계에 필요한 입력변수로 적용하기 위해 평균값과 99.5 percentile 값을 동시에 표시하였다. 또한 구조용 집성재의 구조설계를 실시하는데 있어 정확도를 높이기 위해 수치해석법을 적용할 경우 반드시

결정변수가 아닌 분포 및 모수를 결정해야 함으로 이를 위해 어떤 분포 형태를 나타내는지를 표시하였다. 등급간에 용이 크기가 차이가 남을 알 수 있고 이는 반드시 제재목의 모델링이나 구조용 집성재의 라미나로 사용하는 경우에 있어 용이 특성의 차이를 충분히 반영시켜야 함을 나타내는 것이다. 또한 향후 계속되는 여러 연구자들의 결과를 충분히 반영하여 지속적으로 주요 국산 구조용 제재목의 용이 분포 특성에 관한 자료를 포함하여 품질을 개선해 나가야 한다. 여러 다른 조건의 자료들을 하나의 지표로 삼기 위해 혼합한다는 것은 아주 어려운 작업이며 이를 위해 연구자들 서로의 긴밀한 의사소통이 꼭 필요함은 여러 연구자들(Yeh,1996; Foschi, 1997; APA, 1998)에 의해 주장된 바 있음을 기억해야 할 것이다.

다음의 Fig. 6-32, Fig. 6-33, Fig. 6-34, Fig. 6-35 그리고 Fig. 6-36은 집성재 제조에 사용된 라미나의 용이 특성을 조사한 결과를 제시한 것이다.

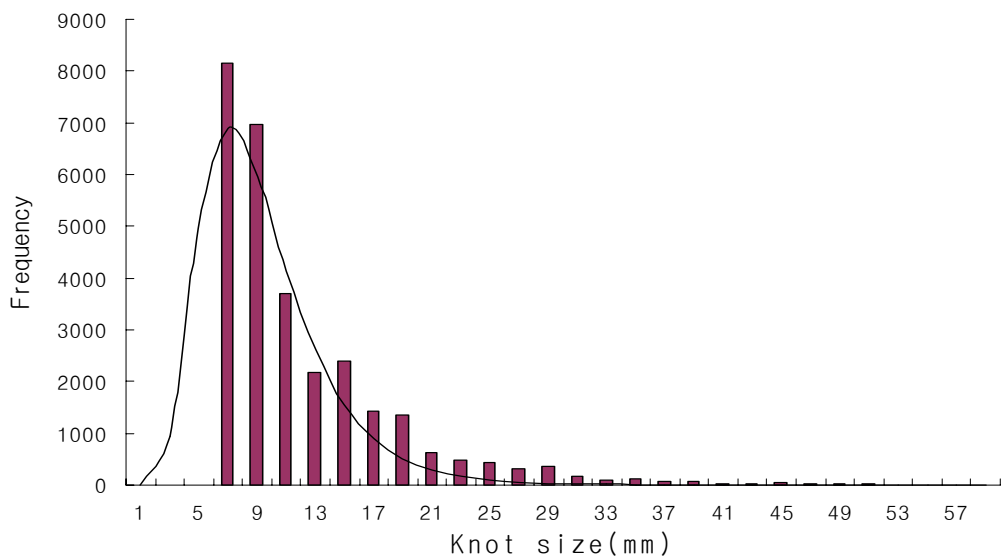


Fig. 6-32. Distribution of knot size for Japanese larch 2x6 lumber.

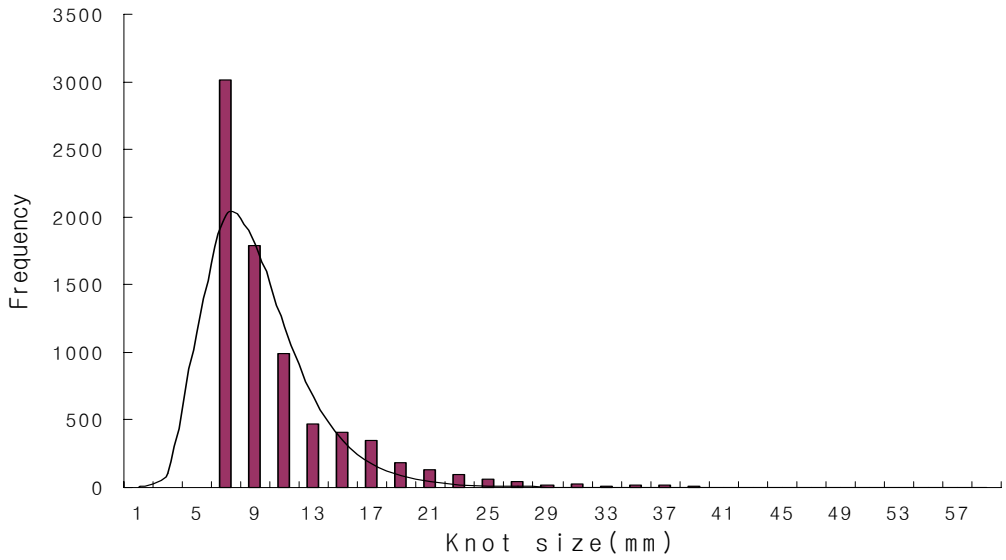


Fig. 6-33. Distribution of knot size for Japanese larch 2×6 No. 1 lumber.

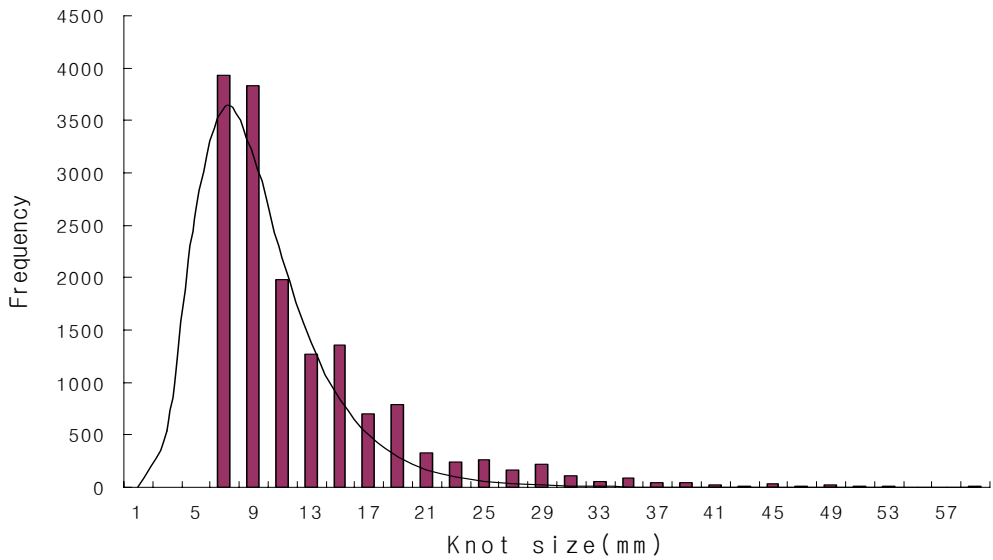


Fig. 6-34. Distribution of knot size for Japanese larch 2×6 No. 2 lumber.



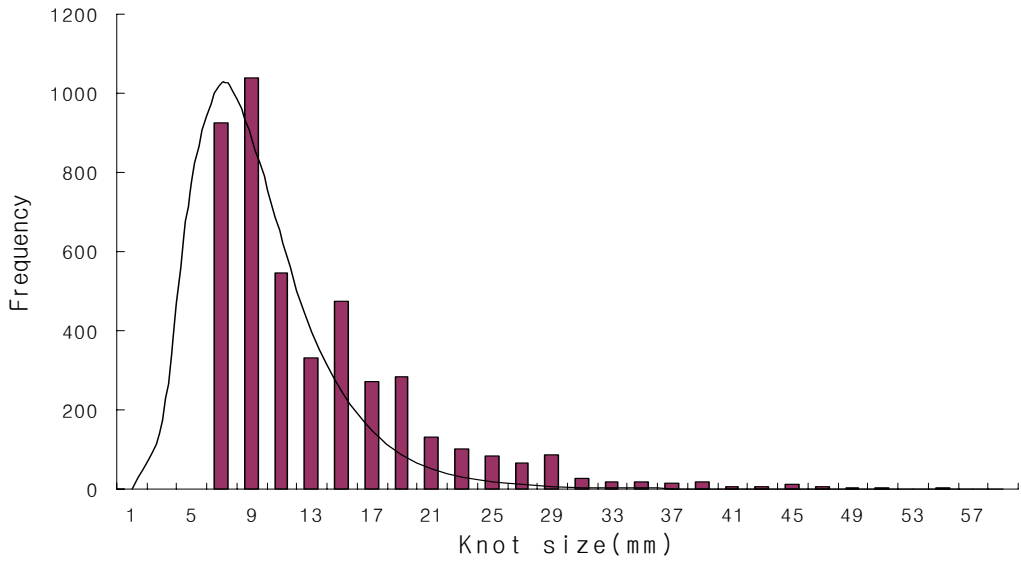


Fig. 6-35. Distribution of knot size for Japanese larch 2×6 No. 3 lumber.

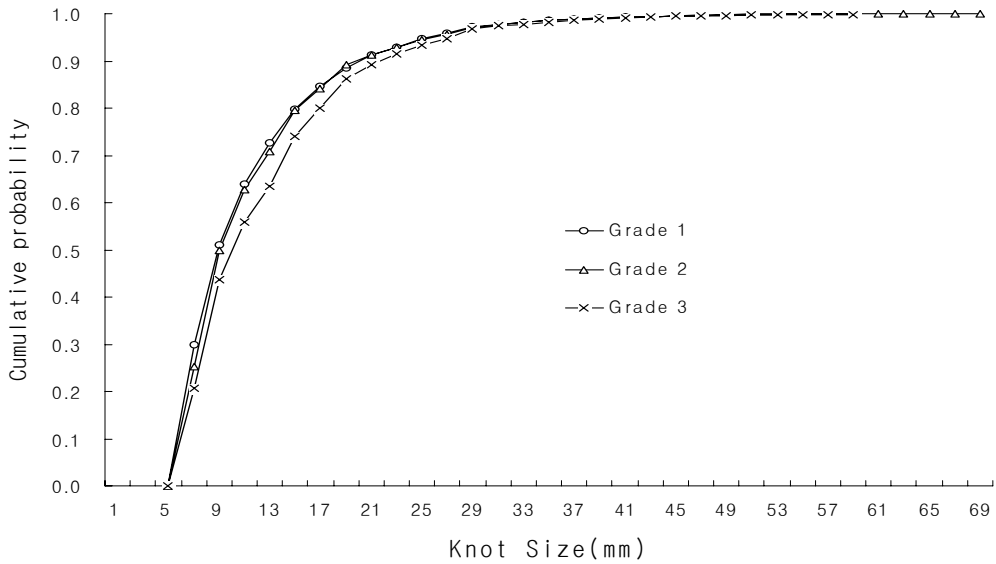


Fig. 6-36. Cumulative distribution of knot size for Japanese larch 2×6 lumber.

2) 허용응력도 결정을 위한 입력변수 산출

집성재의 강도성능 예측을 위해 입력되어야 할 변수로 재면내 내 존재하는 용이 크기의 평균과 가장 큰 용이의 크기가 있으며, 가상의 라미나를 생성하기 위해 용이 크기에 대한 분포와 한 재면 내 존재하는 용이의 개수에 대한 분포형태를 분석하였으며, 이를 근거로 가상의 용이를 갖는 가상의 라미나를 생성하였다.

가) 용이 크기

ASTM D3737에 따라 역학적 성질에 크게 영향하지 않는 6mm이하의 용이는 측정하지 않았으며, 육안 등급 구분 시 측정하였던 용이를 데이터 베이스화 하고 visual basic 프로그램을 사용하여 35,000여개의 용이를 분석하였다. 용이 크기에 대한 최적분포를 고찰한 결과 대수 정규 분포가 가장 적합한 것으로 나타났으며, 각 등급별 분포 특성은 Table 6-33과 같고, 또한 이를 통해 구해진 용이 크기에 대한 각 등급별 통계량은 Table 6-34과 같다.

Table 6-33. Optimized distribution and parameters of knot size for Japanese larch

2×6 lumber (unit : mm).

Grade	No. 1	No. 2	No. 3
distribution type	lognormal	lognormal	lognormal
average	2.15	4.69	4.71
standard deviation	0.47	0.24	0.29

Table 6-34. Statistical value of knot distribution for Japanese larch 2×6 lumber

(unit : mm).

Grade	99.5 percentile value	Average	S. D.
No. 1	43	12.87	6.93
No. 2	54	13.13	7.13
No. 3	62	14.07	7.70

나) 라미나에 존재하는 옹이의 개수

모든 라미나의 옹이의 개수를 조사한 결과 옹이 개수는 등급에 따라 차이가 없었으며, 한 재면 내 존재하는 평균 옹이 개수는 40.92 표준편차는 8.08로 나타났으며, 최적 분포형태를 찾기 위해 대상분포로 정규분포, 웨이블분포, 대수정규분포로 가정하고 분석한 결과 정규분포가 가장 적합한 것으로 나타났다. 각 등급별 분포 특성은 Table 6-35와 같이 나타났으며, 라미나에 존재하는 옹이의 개수에 대한 분포형태는 Fig. 6-37, Fig. 6-38 그리고 Fig. 6-39와 같다.

Table 6-35. Distribution property of number of knot existed in laminar.

Grade	No. 1	No. 2	No. 3
Distribution Type	normal	normal	normal
Average	41	22	35
Standard Deviation	8.0	9.2	12.0

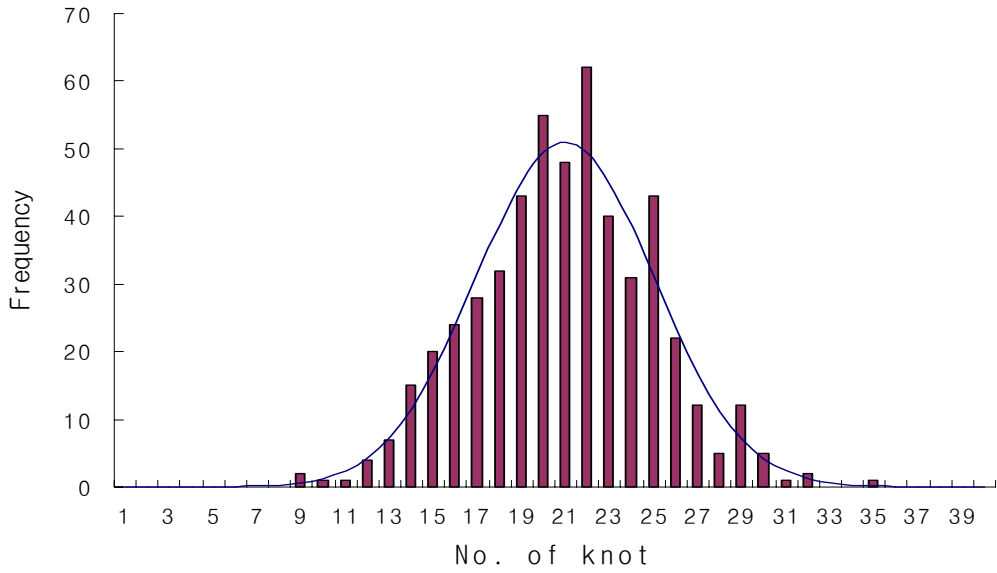


Fig. 6-37. Distribution of number of knot existed in Japanese larch No. 1 lumber.

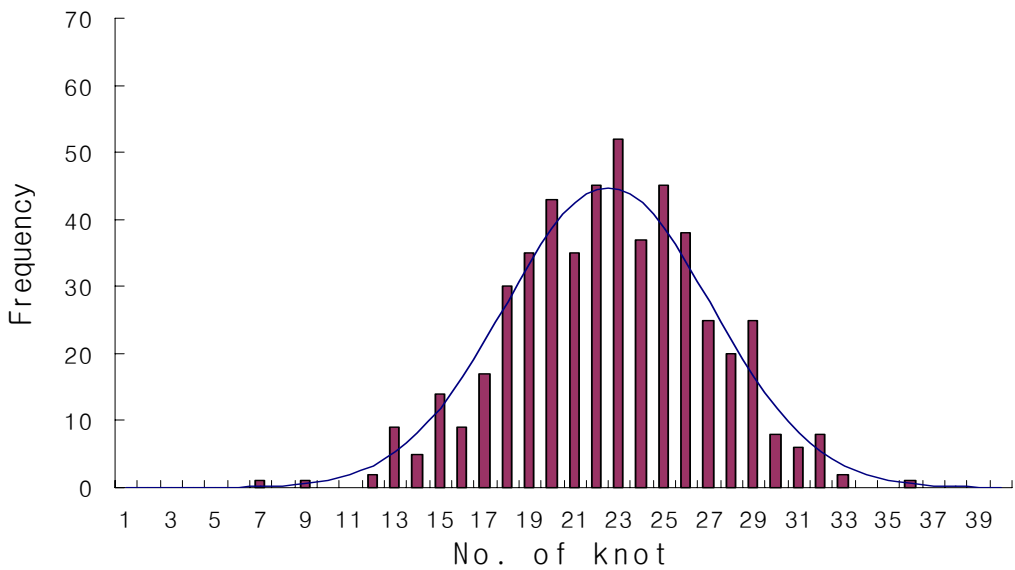


Fig. 6-38. Distribution of number of knot existed in Japanese larch No. 2 lumber.

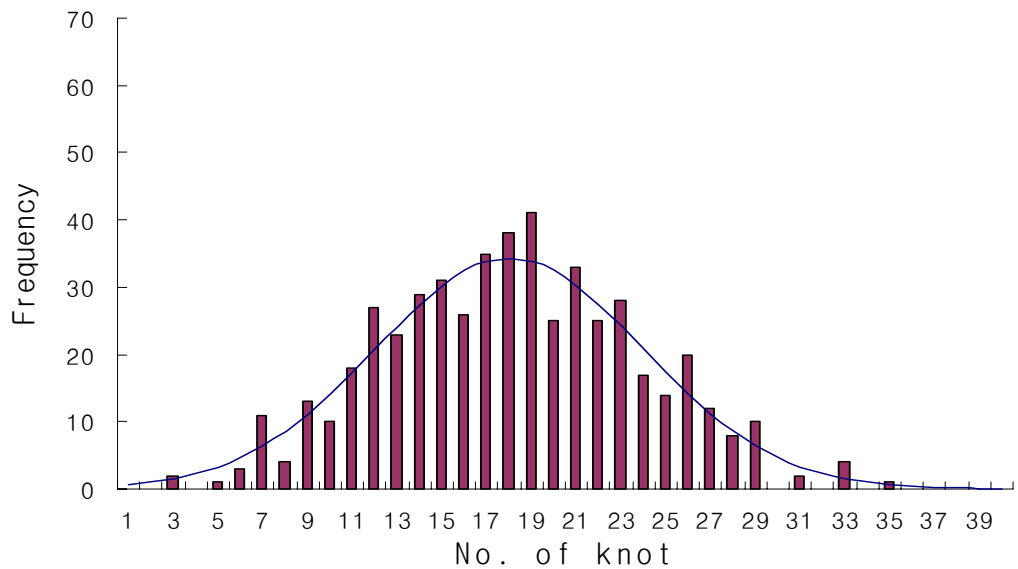


Fig. 6-39. Distribution of number of knot existed in Japanese larch No. 3 lumber.

나. 라미나의 휨탄성계수

1) MSR을 통한 라미나의 MOE 분포

육안등급구분과 용이분포 특성을 조사한 국산 낙엽송 2×6 부재는 Grading machine를 이용하여 MOE를 측정하였으며 누적확률 분포는 다음의 Fig. 6-40과 같다.

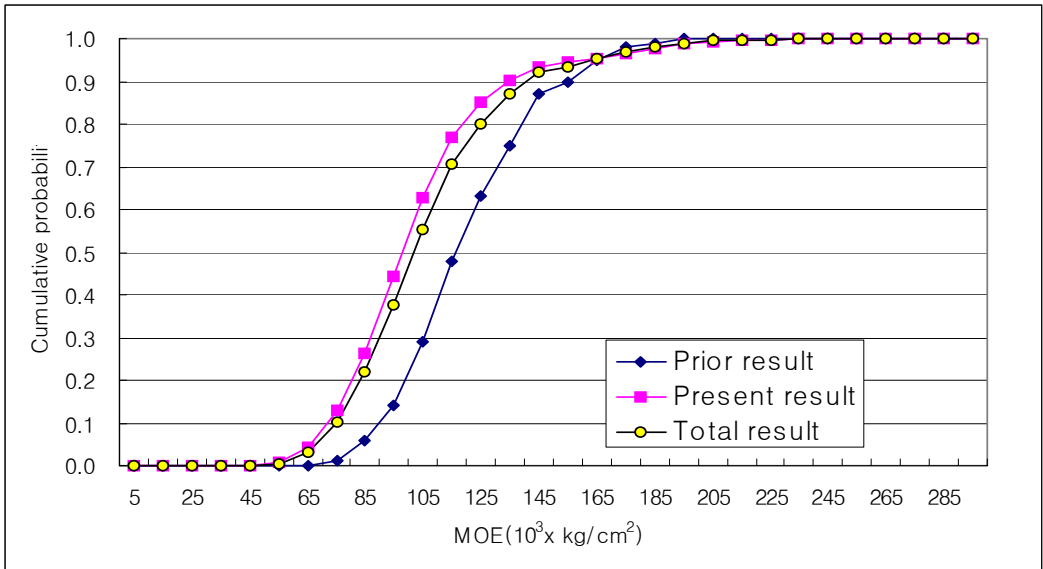


Fig. 6-40. Cumulative probability distribution of MOE for Japanese larch 2×6 lumber measured by grading machine.

본 연구에서 실험데이터 분석을 위해 계급 구간을 나누는데 있어, 10,000kg/cm<sup>2</sup>의 구간간격을 사용하였다. 각 등급별 통계량은 Table 6-36과 같다.

Table 6-36. Statistical value of MOE for Japanese larch 2×6 lumber measured by

MSR (unit : ×10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>).

Grade	KFRI (1999)		Measured		Total	
	Average	Number	Average	Number	Average	Number
No. 1	130(30)	26	109(29)	198	111(30)	224
No. 2	120(27)	57	106(26)	359	108(27)	416
No. 3	110(20)	85	110(30)	100	110(30)	185
Offgrade		26		35		61

위의 Table 6-36과 Fig. 6-40에 기존의 연구 결과와 본 연구의 결과를 비교하였다. 두 연구의 가장 큰 차이점은 사용된 시편의 개수이다. 기존의 연구는 시편의 개수가 194개인 반면에 본 연구에서는 692개의 시편을 사용하였다. 위의 결과에서 보이듯이 3등급을 제외한 1, 2등급에서 기존의 연구결과에 의한  $MOE_{msr}$ 이 본 연구의 결과보다 높게 나타나고 있다. 하지만, 사용한 시편의 개수를 고려한다면 산술평균에 의존한 통계량의 차이는 큰 의미를 가진다고 볼 수 없을 것이다. 즉, 극단적인 값 몇 개로 인해 표본의 수가 적을 경우 전체 표본의 통계량이 크게 달라지고 이로 인한 통계량의 무의미함은 여러 통계학 교과서에서도 흔히 언급되는 사항이다(최태성 등, 1999). 따라서, 단순한 산술평균이 아니라 전체적인 누적 확률분포를 참조하여 분포의 특성이 어떠한지를 비교하여 결과의 정도를 비교하는 것이 타당할 것이다. 위의 그림 3.15에 의하면 값에서는 차이가 나지만 전체 적인 분포 형식은 유사함을 볼 때 아마도 3배 이상의 표본을 추출하여 사용한 본 연구의 결과는 타당성을 가지고 이어지는 다음 연구에 사용 할 수 있을 것으로 판단된다.

다음의 Fig. 6-41, Fig. 6-42 그리고 Fig. 6-43에는 집성재 제조에 사용된 라미나에 대한 각 등급별  $MOE$ 의 분포를 제시하였다.

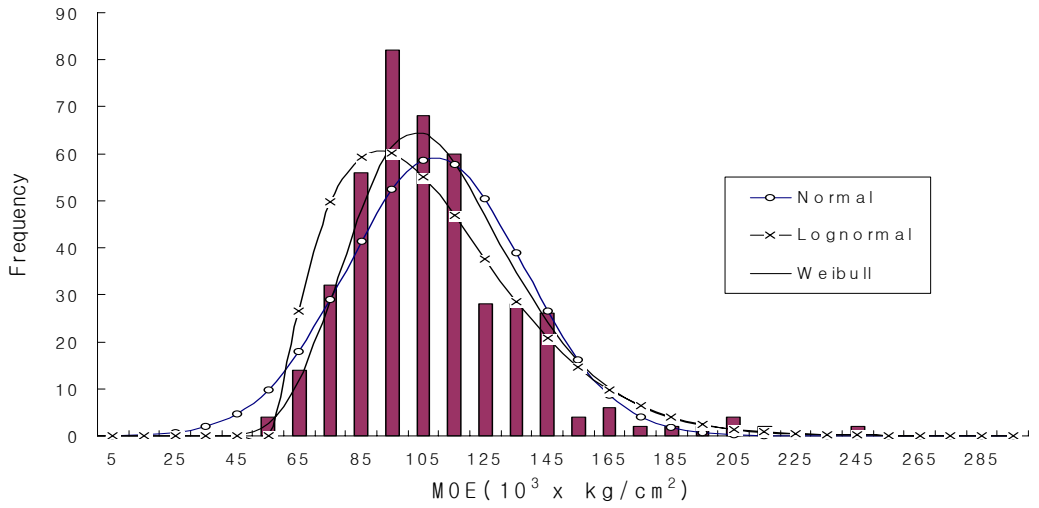


Fig. 6-41. Distribution of MOE for Japanese larch 2×6 No. 1 lumber measured by grading machine.

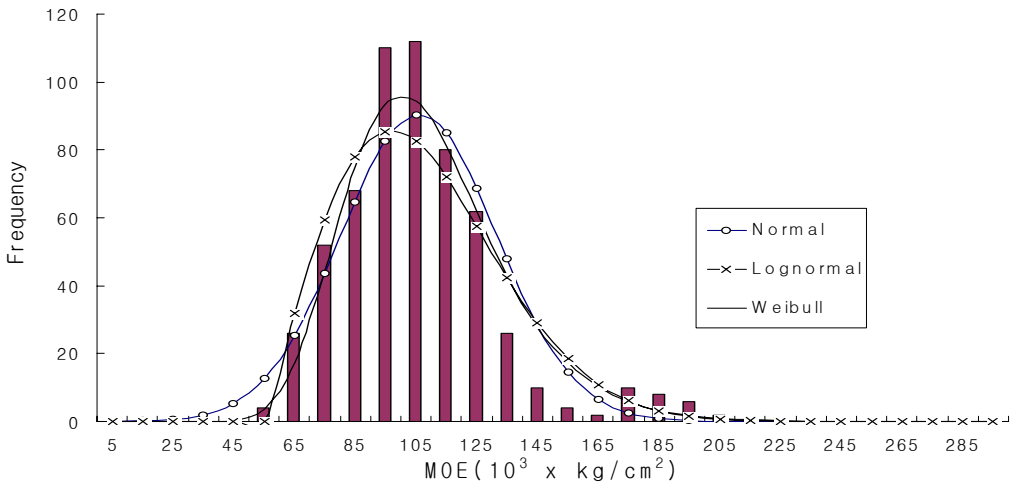


Fig. 6-42. Distribution of MOE for Japanese larch 2×6 No. 2 lumber measured by grading machine.



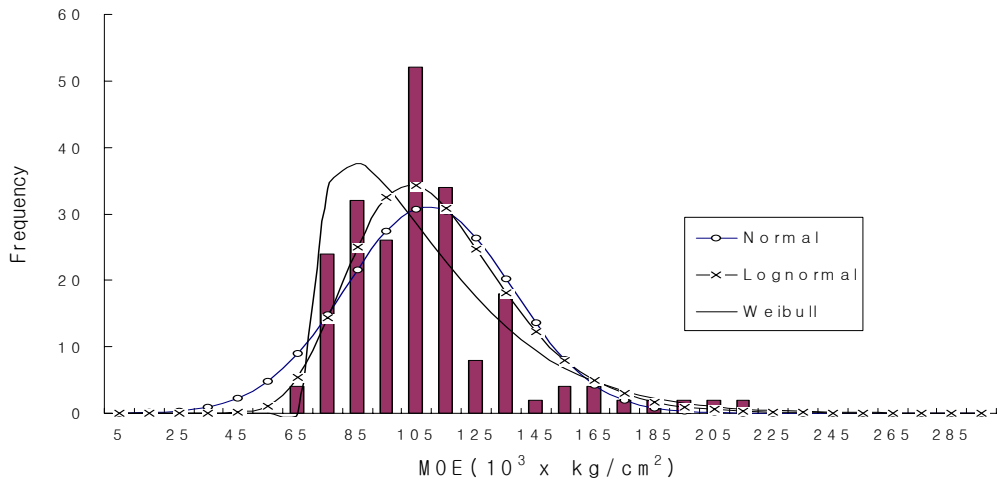


Fig. 6-43. Distribution of MOE for Japanese larch 2×6 No. 3 lumber measured by grading machine.

## 2) 라미나 MOE의 최적분포 결정

해석 및 예측을 위한 수치해석적 방법이나 확률론적 설계법을 적용하기 위한 전제 조건인 재료의 분포 특성 및 모수를 결정하기 위해 분포 특성을 결정하였다. Square error의 비교로부터 모든 등급에서 정규 분포가 가장 작은 값을 갖는 것이 확인되었으며(Table 6-37), 따라서 국산 낙엽송의 MSR을 통한 MOE 특성에는 정규분포가 가장 적합하다고 평가하였다. 이는 정적 휨시험을 이용한 제재의 시험 결과를 제시한 본 과제외의 1차년도 연구결과와도 일치하는 것으로 역시 본 연구 결과의 타당성이 검증된다.

Table 6-37. Comparison of square error in MOE of laminar.

Distribution	No. 1	No. 2	No. 3
Weibull	0.010135	0.008421	0.022666
Normal	0.008529	0.008202	0.020247
Lognormal	0.042868	0.030075	0.075246

모수 결정, 데이터의 분포 및 통계처리를 할 수 있는 프로그램인 Arena Input Analyzer (ver3.01)를 사용하여 최적화 하였다. 그 결과는 Table 6-38과 같다.

Table 6-38. Optimized distribution and parameters of MOE for laminar.

Grade	No. 1	NO. 2	No. 3
Distribution	Normal	Normal	Normal
m	109	106	110
6	29.5	25.9	29.8

위의 Fig. 6-41에서 Fig. 6-43까지에는 각 등급에 대하여 정규분포, 대수정규 분포, 웨이블분포의 상대 비교를 위해 최적화된 3가지 분포형태와 실험값을 이미 도시하였다.

분포의 적합성 검정을 위해 Chi square Test, KS Test를 수행하였으며 (Table 6-39), Chi-square 검정, KS 검정 모두 유의수준 0.005, 0.01을 초과하지 않았다. 따라서 정규분포가 적합하다고 할 수 있다.

Table 6-39. Results of Cho-square and KS test for laminar MOE.

Grade	No. 1	No. 2	No. 3
Tested value	67.4	111	115
Chi-square Test			
Confidence Level	0.005	0.005	0.005
Tested value	0.0962	0.169	0.211
KS Test			
Confidence Level	0.01	0.01	0.01

### 3) 육안등급구분과 MSR에 의한 휨탄성계수의 관계

MSR을 통한 라미나의 휨탄성계수의 결과를 이용하여 구조용 집성재의 성능 예측 및 구조설계를 위한 입력변수로서의 사용 가능성 여부를 조사하기 위하여 육안 등급간  $MOE_{msr}$  값들의 유의성 유무를 검정하였다. 그 결과 모든 등급에서 유의성을 보이지 않았으므로 각 육안등급구분에 기초한  $MOE_{msr}$ 는 등급간의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉, MSR에 기초한 탄성계수를 육안등급 구분 없이 구조용 집성재의 강도 지표로서 곧 바로 사용하기에는 문제가 있음을 알 수 있으며, 따라서 육안등급 구분 즉 용이 분포 특성의 정확한 조사가 MSR의 탄성계수와 함께 사용되어야 제재목 성질이 적절히 반영이 되어 신뢰성 높은 집성재 구조설계 및 성능해석이 가능할 것으로 판단된다.

#### 다. 집성재의 구조성능 예측

##### 1) 예측모델 결정

변형 단면법을 이용한 집성재 강도 예측 프로그램의 정확도를 확인하기 위해 실제 집성재의 파괴 시험을 통해 산출한 MOE, MOR과 변형단면법을 통해 예측한 MOE, MOR을 서로 비교해 보았으며, 매우 유사한 결과를 보임을 알 수 있었다.

MOR의 경우 해당 등급의 평균값과 99.5percentile값을 입력하는 것보다는 해당 라미나의 용이 크기의 평균과 가장 큰 용이의 크기 값을 직접 입력하는 것이 정확도를 높인다는 것을 확인 할 수 있었다. 단일 집성재의 강도성능을 예측할 경우, 각 라미나의 최대용이 크기와 평균용이 크기값을 직접 입력하는 이와 같은 방법은 번거로움을 초래할 수 있으나, 본 연구와 같이 허용응력 산출을 위해 변형단면법을 적용하는 경우에는 각 라미나의 용이 데이터를 직접 입력하는 방법이 좀 더 정확한 예측값을 도출할 수 있도록 할 것이라 판단된다.

#### 라. 국산 낙엽송 집성재의 허용응력도 산출

위에서 선택된 각 입력변수에 대해, 해당하는 최적 분포에 적합한 데이터를 발생시키기 위해, Inverse Transform Method를 사용하여 프로그램을 작성하였으며, 이 프로그램을 통해 발생하는 용이의 크기, 한 재면 내 존재하는 용이의 개수, 라미나의 MOE에 대한 데이터는 앞에서 선택된 최적 분포를 따르게 된다.

1회의 프로세스마다 1 set의 용이 개수와 MOE를 발생시키며, 이 용이 개수만큼의 용이 크기를 발생시켰다. 이렇게 발생된 용이 크기들로 평균과 최대값을 계산하였으며, 최종적으로 1회의 프로세스를 통해 1 set의 용이 크기의 평균과 최대값, 그리고 MOE를 발생시켰다고 할 수 있다.

이러한 과정을 각 combination마다 1000회 반복을 통하여 1000회의 집성재 파괴시험에 해당하는 가상의 파괴시험을 수행하였으며, 이 1000회의 결과값을 재분석하고 인자들을 곱하여 허용응력도와 기본 설계 MOE를 산출하였다 (Table 6-40, Table 6-41). 허용응력도는 장기하중 조정인자와 일반 조정인자를 포함한 계수 2.1로 나누어 계산하였다.

Table 6-40. Prediction of allowable stress for Japanese larch glulam by virtual

failure tests.

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Average	757	498	412	622	542	439	708	665	472	589
Standard Deviation	132	90	80	102	93	83	120	117	87	97
95% percentile	498	322	255	422	360	276	473	436	3013	399
Allowable stress	237	153	122	201	171	132	225	207	144	190

Table 6-41. Prediction of basic design MOE for Japanese larch glulam by virtual failure tests.

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Average	98524	79542	72251	89426	83451	73915	95248	92478	76218	86521
Standard Deviation	10362	9820	9545	10057	9895	9652	10260	10165	9759	9953
Design Value	98524	79542	72251	89426	83451	73915	95248	92478	76218	86521

### 3. 접합부의 구조성능 평가

#### 가. 다우얼 지압강도

기존의 문헌에 따르면 목재의 다우얼 지압 강도는 목리에 평행한 하중이 가해질 경우에는 볼트 지름에 관계없이 일정하나, 목리에 수직인 경우에는 볼트의 제곱근에 반비례한다. 실험 결과 제재목과 집성재의 비중이 차이가 나듯 집성재의

다우얼 지압 강도값이 다소 크게 나오는 것을 알 수 있었다. 구체적인 실험 결과는 다음 표와 같다.

Table 6-42. Dowel bearing strength of Japanese larch.

Load direction	Perpendicular to grain			Parallel to grain	
	12	16	20		
Bolt diameter(mm)				-	
Dowel bearing strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Lumber (calculated)	132.80	115.01	102.86	373.74
	Lumber (measured)	178.39	164.24	142.60	331.39
	Glulam (calculated)	187.81	162.65	145.82	474.66
	Glulam (measured)	224.65	174.07	168.60	514.55

위에서 보듯 집성재의 다우얼 지압 강도가 제재목에 비해 약간 높게 나왔다. 이는 다우얼 지압 강도에 가장 크게 영향을 하는 것이 비중임을 고려할 때 집성재와 제재목의 비중차이에 의한 것으로 여겨진다. EYM에서 제시하는 것과 같이 볼트 지름이 증가함에 따라서 다우얼 지압 강도는 작아지게 되며, 목리에 평행한 경우는 수직인 경우에 비해 그 값이 상당히 큰 것을 알 수 있다.

#### 나. 볼트의 휨 강도

일반적으로 볼트의 휨 강도는 NDS에서 제시하는 값보다 2배 정도 큰 것으로

알려져 있다. 외국의 논문에서 밝혀졌든 이번 실험 결과 국내 볼트도 마찬가지로 결과를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

Table 6-43. Bending yield strength of bolt.

	Measured	NDS	T.L. Wilkinson (1992)
Bending yield strength (Mpa)	522.7	310	546.1

#### 다. 접합부 성능 평가

접합부 성능 평가는 앞에서 제시한 4가지 형태의 EYM 예측 모델 조합을 이용하여 각 조합에 대하여 하중 방향별, 볼트 지름 별 계산값을 구하고 이를 실제 실험값과 비교분석 하였다. 이것을 통해 가장 적합한 모델을 결정하여 국산 낙엽송이 구조 부재로 활용 될 경우 설계 기준으로 사용되게 된다.

##### 1) 각 조합의 파괴 모드 분석

전체 접합부 조합을 하중 방향과 볼트 지름, 측면 부재의 크기를 고정 시킨 후 주부재의 두께 변화에 따라 파괴 모드가 어떻게 진행 되는지를 고찰하여 국산 낙엽송 부재의 접합부에 대한 파괴 모드를 고찰하였다. 각각에 대한 대표적인 파괴 양상은 다음 그림과 같다.

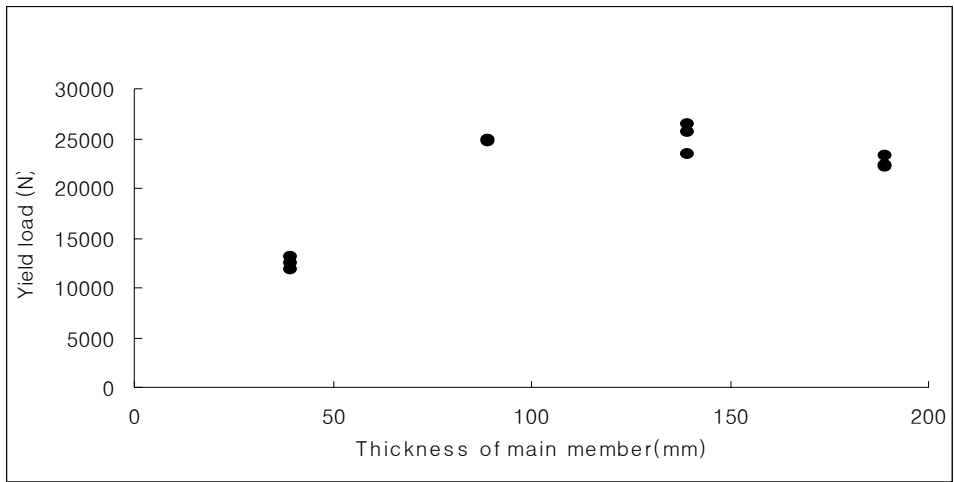


Fig. 6-44. Yield load of Lumber-lumber connection.  
 (Perpendicular to main member, M16, side member 39mm)

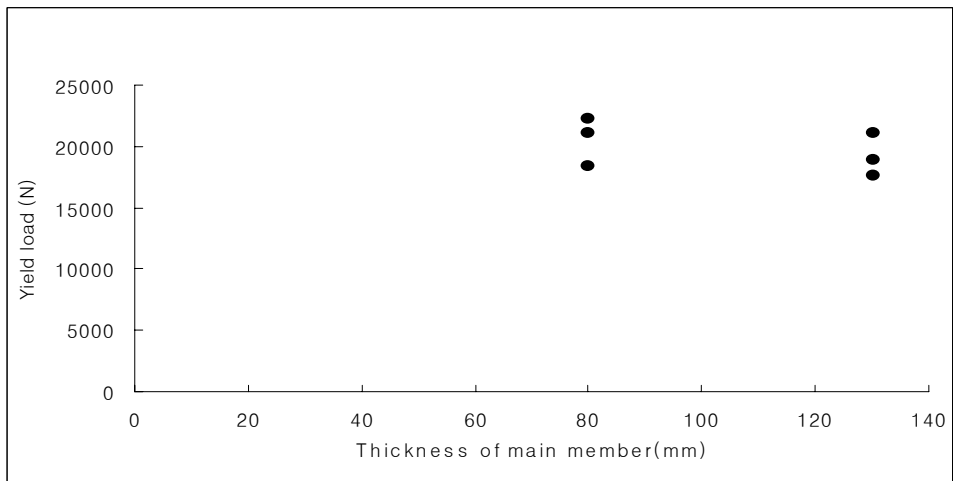


Fig. 6-45. Yield load of glulam-lumber connection.  
 (Perpendicular to side member, M16, side member 39mm)



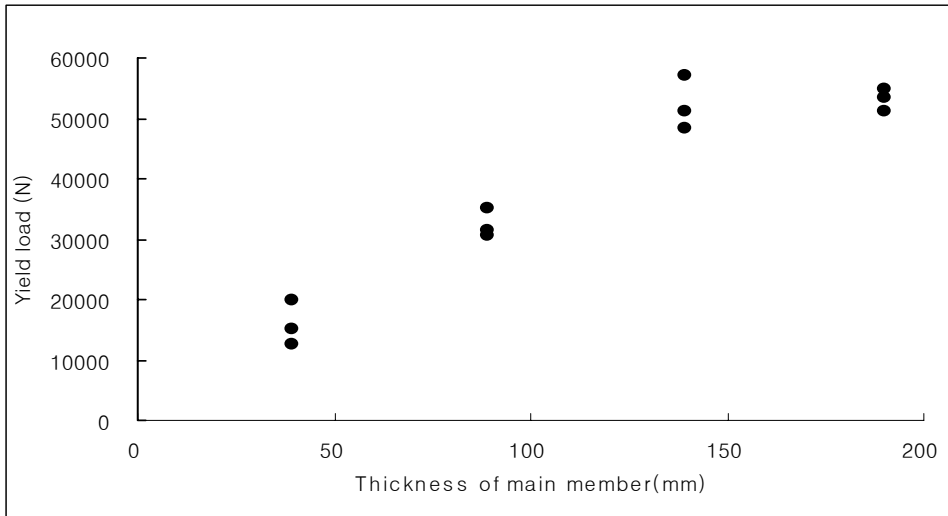


Fig. 6-46. Yield load of lumber-steel connection.  
(Perpendicular to main member, M20, side member 6mm)

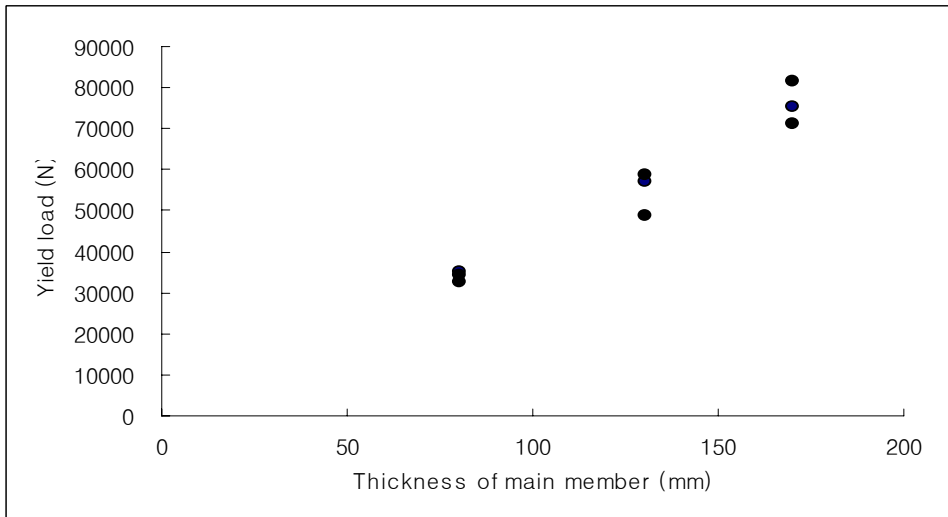


Fig. 6-47. Yield load of glulam-steel connection.  
(Perpendicular to main member, M16, side member 6mm)

위의 그림에서 보듯 전체적으로 주부재의 두께가 두꺼워 지면서 파괴모드가

변해감을 알 수 있다. 주부재가 두껍지 않은 경우에는 주부재의 파괴에 의해 전체 접합부가 항복에 도달하는  $I_m$  모드를 나타내다가 부재가 두꺼워 지면서 상대적으로 얇아지는 측면 부재에서 항복이 일어나며( $I_s$ ), 이후에는 볼트의 휨이 일어나면서  $III_s$  모드를 나타내었다. 이러한 경향은 특히 측면 부재가 철판인 경우 명확하게 나타났다. 그러나 보통의 경우는  $I_s$  모드는 발생하지 않았다. 또한 집성재가 주부재로 사용된 경우는 가장 작은 치수가 80mm로 제재목에 비해 치수가 커서 초기의  $I_m$ 모드는 발생하지 않았다. 그리고 주부재의 치수가 일정 치수 이상이 되면 항복 하중과 파괴 모드가 일정해짐을 알 수 있다.

## 2) 접합부의 구조 성능 평가

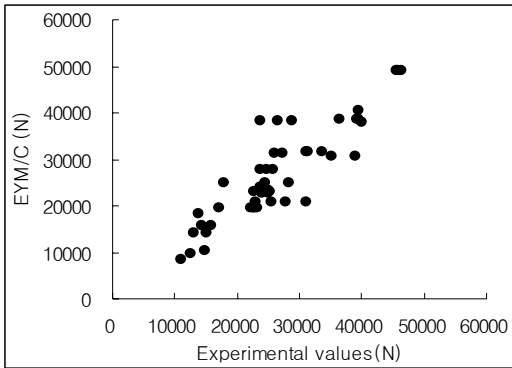
앞에서 제시한 4가지 예측 모델 중 어떤 모델이 가장 잘 실제 실험값과 일치하는지를 비교 분석하였다. EYM을 기초로 한 4가지 예측 모델은 모두가 상당한 정도로 실제 실험값과 잘 일치하였다. 그 중 가장 적합한 것을 선정하기 위하여 Root mean square값을 구하여 비교분석하였다. 분석 결과는 다음 표와 같다.

Table 6-44. Root mean square for each type of calculation.

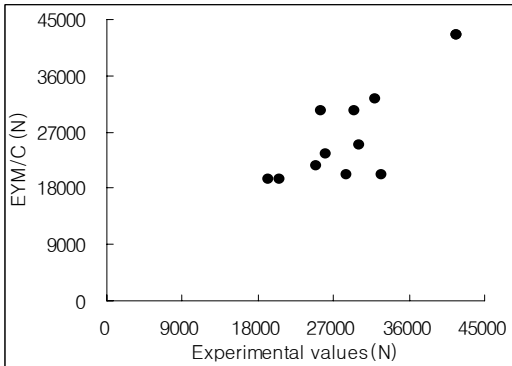
Member		Calculation type			
Main	Side	A	B	C	D
Lumber	Lumber	888.8	1261.7	1049.1	1183.5
Lumber	Steel	3236.3	2069.6	2297.3	3251.1
Glulam	Lumber	978.9	954.6	1106.4	1469.3
Glulam	Steel	2307.2	2311.8	687.9	687.9
Average		1852.8	1649.4	1285.2	1648.0

전체적으로 보면 다우얼 지압 강도와 볼트의 휨강도를 실험값을 대입하여 산출한 결과인 C 모델이 가정 정확함을 알 수 있다. 이것은 비중을 통해서 구한

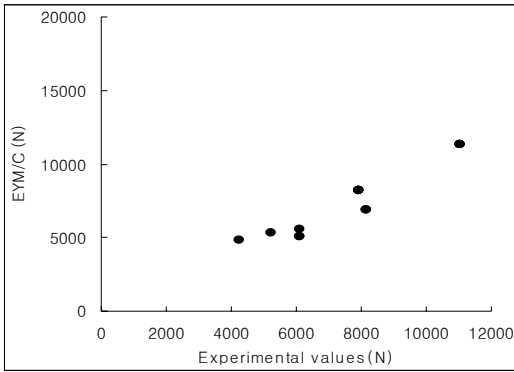
다우얼 지압 강도와 NDS에서 제시된 볼트 휨강도를 사용하여 접합부 성능을 평가하면 그 정확성이 다소 떨어진다는 것을 의미한다. 위의 표에서 보면 목재만으로 구성된 접합부의 경우는 계산된 값을 사용하여 예측한 A와 B모델도 어느 정도 정확히 예측함을 알 수 있으나 측면 부재가 철판으로 바뀌면 오차 정도가 상당히 심해짐을 알 수 있다. 다음 그림은 각 조합에 대해 C모델을 사용하여 실험치와 일대일 비교한 그래프이다.



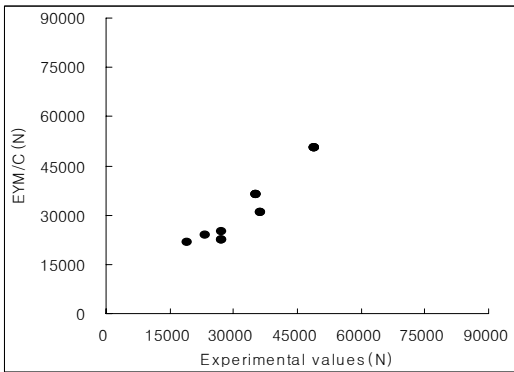
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6-48. Comparison of experimental data and C-type value.

( a : lumber-lumber , b : glulam-lumber , c : lumber-steel , d :  
glulam-steel )

따라서, 국산 낙엽송을 이용한 접합부를 설계할 경우 비중에 따라 NDS에서 제시된 값을 사용해도 큰 문제가 없으나 측면 부재로 철판을 이용할 경우에는 오차가 크므로 본 연구 결과로 얻어진 다우얼 지압 강도와 볼크의 휨 강도를 이용해야 한다. 또한 접합부의 형태가 변함에 따라 그 변이가 발생함으로 충분한 연구가 진행되어야 한다.

#### 4. 한계상태 설계법의 체계화

가. 국산 낙엽송 구조부재의 신뢰성 해석

1) 국산 낙엽송 제재

국산 낙엽송 제재는 경골 목조공법의 건축시공에 활용이 기대되고 본 과제의 1차년도에 성능평가를 수행한 바 있는 2×6부재에 대해서 신뢰성 해석을 하였다. 제재의 MOR은 웨이블 분포 특성을 나타낸다는 1차년도 연구결과를 바탕으로 프로그램을 작성하여 파괴 확률과 신뢰 지수를 산정하였다. 하중 조건은 3m의 지간 거리를 갖는 단일 부재가 힘을 받을 경우 경우에 대해서 해석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

Table 6-45. Failure probability and safety index of Japanese larch Lumber.

Grade	No. 1	No. 2	No. 3
failure probability	$9.451 \times 10^{-8}$	$1.422 \times 10^{-6}$	$7.7219 \times 10^{-5}$
safety index( $\beta$ )	6.00	5.55	4.80

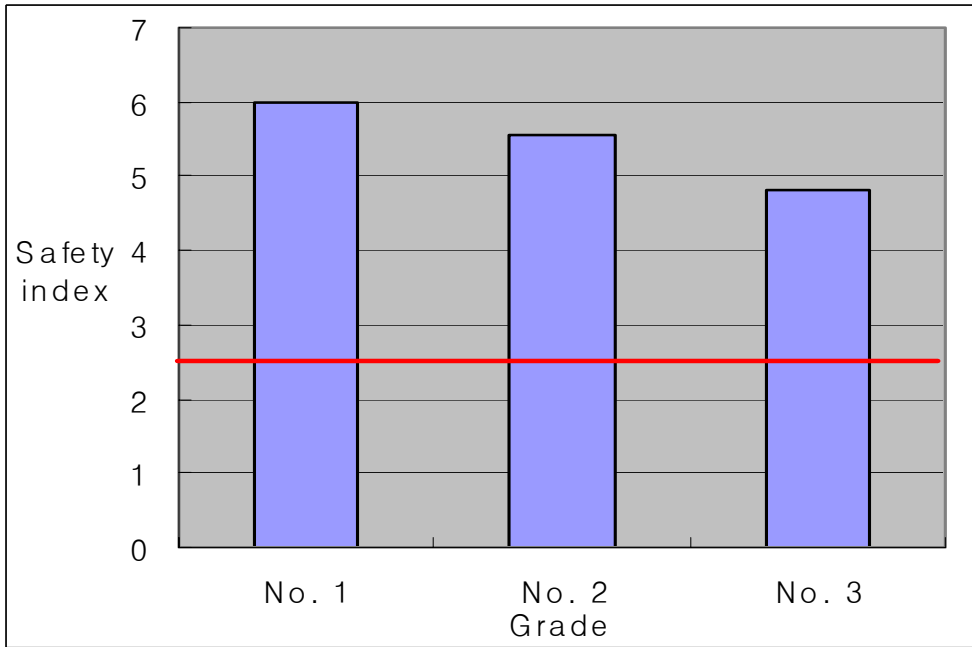


Fig. 6-49. Safety index of Japanese larch lumber.

Table 6-45과 Fig. 6-49에 제시된 결과를 살펴보면 등급이 낮아질수록 파괴 확률은 증가하고, 신뢰 지수는 감소하는 것을 알 수 있다. 특히, 1등급에서 2등급으로 낮아지는 것보다 2등급에서 3등급으로 낮아질 때 그 신뢰 지수 감소 정도는 더 큼을 알 수 있다. 그러나 이 값은 일반 설계에서 사용되어지는 값에 비해 상당히 높은 신뢰 수준을 나타내는 것이다. 따라서 국산 낙엽송 부재는 외국의 구조 부재와 견주어도 전혀 손색없는 상당한 수준의 구조성능을 갖는다고 할 수 있다.

## 2) 구조용 집성재

국산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재는 기존의 2차년도 연구 결과에 따르면 휨강도가 정규분포를 따른다는 결과를 얻었다. 하중이 정규 분포를 따므로 파괴 확률과 신뢰 지수는 앞의 신뢰성 해석 과정의 수식으로 간단하게 구해진다. 10개의 조합에 대한 각각의 파괴 확률과 신뢰 지수는 다음 표와 같다.

Table 6-46. Failure probability and safe index of Japanese larch glulam.

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Failure probability	2.070 × 10 <sup>-7</sup>	6.252 × 10 <sup>-6</sup>	5.350 × 10 <sup>-5</sup>	2.434 × 10 <sup>-7</sup>	1.586 × 10 <sup>-6</sup>	2.642 × 10 <sup>-5</sup>	1.744 × 10 <sup>-7</sup>	5.437 × 10 <sup>-7</sup>	1.183 × 10 <sup>-5</sup>	4.148 × 10 <sup>-7</sup>
Safety index	5.06	4.37	3.87	5.03	4.66	4.04	5.10	4.88	4.23	4.93

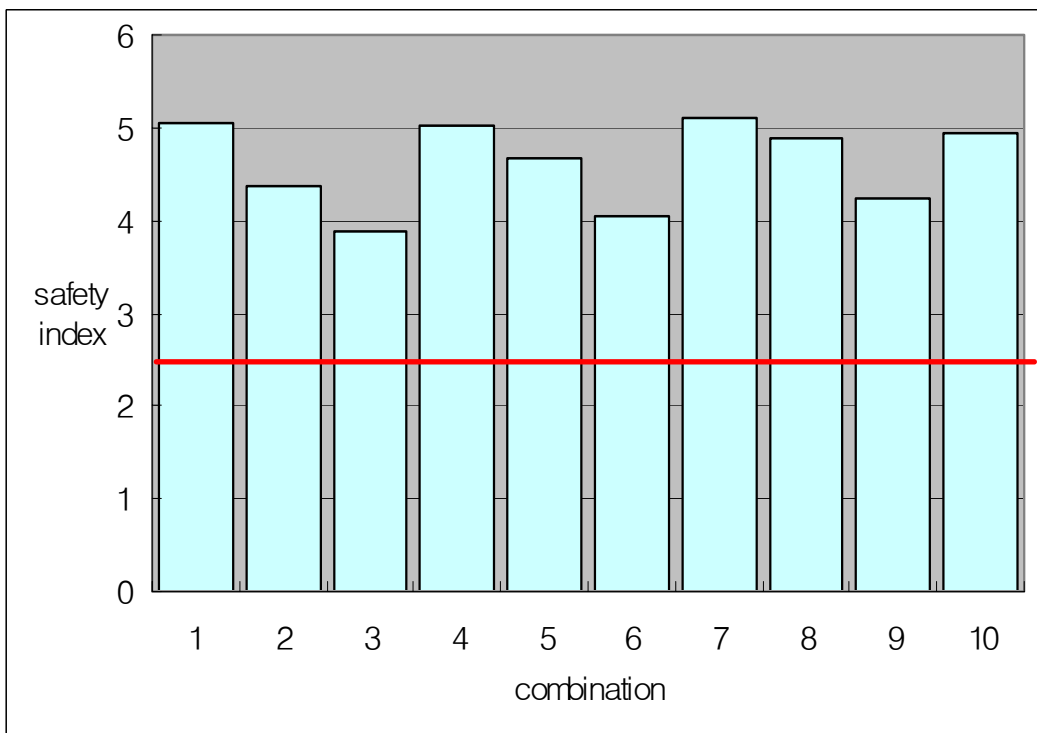


Fig. 6-50. Safety index of Japanese larch glulam.

우선 위의 결과를 통해 국산 낙엽송을 이용하여 만든 집성재는 신뢰 수준이

높은 강도값을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 조합에 따라서 그 정도의 차이가 있음을 확인할 수 있다. 1, 4, 7, 8, 10 조합의 경우는 신뢰 지수가 거의 비슷하게 높음을 알 수 있다. 이는 조합 형태에서 알 수 있듯이 외층에 모두 1등급을 배치하여 집성재를 제조하였을 경우이다. 또한 3, 6, 9는 그 값이 다른 것에 비해 낮으면서도 순차적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 내층을 3등급을 사용하면서 외층을 3등급에서 2등급으로, 2등급에서 그 두께를 더 두껍게 함에 따라 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 외층을 1등급으로 할 경우 내층에는 등급이 낮은 것을 사용하여도 신뢰 지수에는 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며, 동일한 내층을 갖더라도 외층의 등급이 낮아지면 신뢰 지수가 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 집성재 제조 시 외층은 등급이 높은 라미나를 사용하면서 요구 강도에 맞게 내층의 등급을 결정할 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

#### 나. 한계 상태법으로의 코드 전환

기존에 사용되던 설계방법인 허용 응력법에서 사용하던 허용 응력값을 한계 상태 설계법을 이용한 설계에 적용하기 위하여 reference resistance를 구하였다. 본 연구에서는 제재목의 경우 1차년도 연구 결과를 바탕으로 2×6부재를 대상으로 하였으며, 집성재의 경우 2차년도에 연구한 각 조합에 대하여 진행하였고, 마지막으로 기존의 NDS에서 제시하고 있는 값을 전환하여 테이블 형식에 맞게 제시하였다.

##### 1) 국산 낙엽송 제재

국산 낙엽송 제재목의 경우 휨 허용 응력 분포가 약간 왼쪽으로 치우쳐진 웨이블 분포가 적합하다는 결론을 1차년도 연구 결과에서 얻었다. 이 결과를 바탕으로 시편 수, 적합 분포, 분포 특성에 따른 reference resistance를 프로그램을 통해 얻었다. 전환된 값은 다음 표와 같다.



Table 6-47. Reference resistance(bending) of Japanese larch lumber (unit : kg/cm<sup>2</sup>).

	No. 1	No. 2	No. 3
Reference resistance	271	239	168
KSF 3020	203	152	89
Reference resistance(NDS)	218	155	88

위의 결과를 통해 한계 상태 설계법에 적용할 수 있는 국산 낙엽송 2×6 부재에 대한 reference resistance를 구하였다. 유사 수종의 부재를 NDS에서 찾아 전환한 값과 비교하였을 경우 1.5배 정도 큰 수치를 나타내었으며, KSF 3020 (산림청 고시)에 제시된 값에 비해서도 약 1.5배정도 큰 값을 나타내었다. 이는 반복수가 100여회로 충분하지 못하고, 분포가 한쪽으로 치우친 웨이블 분포를 나타내기 때문이다. 이는 반복수를 가상으로 1000회 이상할 경우 reference resistance가 더욱 커지는 것을 통해 알 수 있다. 따라서 보다 정확한 값을 얻기 위해서는 충분한 양의 데이터 축적을 해야만 한다.

## 2) 구조용 집성재

국산 낙엽송으로 제작한 구조용 집성재의 경우 10개 조합의 각각에 대해서 simulation반복수 1000회를 통해 얻어진 데이터를 가지고 reference resistance를 구하였다.

Table 6-48. Reference resistance(bending) of Japanese larch glulam.

Combination	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reference Resistance	647	411	325	550	466	351	612	555	386	520
Conversion of allowable stress	602	389	310	511	435	335	572	526	366	483

위의 결과를 통해 한계 상태 설계법에 사용할 수 있는 국산 낙엽송으로 제작된 구조용 집성재의 reference resistance를 구하였다. 실험을 통해 얻어진 분포 특성을 통해 얻어진 값이 허용 응력을 직접 전환한 값보다 크게 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 실험 반복수가 1000회로 보다 정확한 분포 특성이 고려되어졌기 때문이다. 이는 반복수를 30회로 줄여줄 경우 두개의 값이 비슷해지는 것을 통해 알 수 있다. 따라서 보다 정확한 값을 얻기 위해서는 충분한 양의 데이터를 축적해야만 한다.

### 3) 기존 코드의 전환

지금까지 국내에서는 ASD에 기초로 하고 있는 NDS를 설계의 기준으로 사용하여 왔다. 그러나 최근 신뢰성 이론이 도입되면서 한계 상태법으로의 전환이 제기되어 왔으며 외국의 일부 국가에서는 코드화 되어 실제 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 NDS에서 제시하고 있는 설계값을 reference resistance로 전환하는 과정을 프로그램화 하였다. 코드의 기본 틀은 현재 사용되고 있는 미국의 코드를 기준으로 하였으며 다음 그림과 같다.

Species and commercial grade	Size classification	Design values in pounds per square inch (ksi)						Modulus of Elasticity E	Grading Rules Agency
		Density F <sub>d</sub>	Tension parallel to grain F <sub>t</sub>	Shear parallel to grain F <sub>v</sub>	Compression perpendicular to grain F <sub>c⊥</sub>	Compression parallel to grain F <sub>c</sub>			
<b>DOUGLAS FIR-LARCH</b>									
Select Structural	2" x 4" thick	1200	1380	85	625	1700	1800000	USCLIP	
No.1 & No.2		1000	890	85	625	1550	1800000		
No.1	2" wide	1000	875	85	625	1500	1700000		
No.2		800	875	85	625	1350	1600000		
No.3		800	875	85	625	775	1600000		
Stud				85	625	850	1600000		
Coastal				85	625	1050	1500000		
Coastal				85	625	1400	1500000		



Species and commercial grade	Size Classification	Design values in kips per square inch (ksi)						Modulus of Elasticity		Grading Rules Agency	
		Density F <sub>d</sub>	Tension parallel to grain F <sub>t</sub>	Shear parallel to grain F <sub>v</sub>	Compression perpendicular to grain F <sub>c⊥</sub>	Compression parallel to grain F <sub>c</sub>	E <sub>m</sub> (psi)	E (ksi)			
<b>DOUGLAS FIR-LARCH (NORTH)</b>											
Select Structural	2" x 4" thick	9.30	2.16	9.27	1.26	4.56	1150	1900	USCLIP		
No.1/No.2		7.10	1.36	9.27	1.26	3.24	990	1900			
No.3	2" wide	7.11	3.61	9.27	1.26	1.86	960	1600			
Stud					1.01	9.27	1.26	3.24		990	1600
Coastal						9.27	1.26	4.26		960	
Coastal						1.26	3.26	960			
Star							3.26	770			

Fig. 6-51. Conversion of code format.

그러나 앞서서도 언급하였듯이 정확한 코드 제작을 위해서는 충분한 양의 데이터 축적이 있어야 하며 다양한 치수의 부재에 대한 다양한 하중 실험이 진행되어야 한다. 특히 한계 상태 설계법은 강도 뿐만 아니라 하중에 대한 충분한 고찰과 이를 통해 얻어지는 각종 인자들을 산출해야 함으로 이러한 부분에 대한 연구가 수행되어야만 한다.

다. 한계상태 설계법의 적용 사례

본 연구과제에서 수행되어진 연구가 실제 설계에서 어느 정도의 경제성을 가져오는지 검증하기 위하여 가정된 하중 조건에 대하여 허용응력 설계법(ASD)과 한계상태 설계법(LRFD 또는 LSD)을 적용하여 실제 설계를 수행하여 비교해 보았다. 부재의 설계의 경우 ASD에서는 기존의 NDS, 산림청 고시, 본 연구의 1차년도 결과에서 얻어진 허용응력을 재료의 강도적 성능으로 사용하였으며,

LRFD에서는 이 세 가지 값을 soft conversion한 값을 사용하였다. 또한 접합부 설계시는 NDS에서 제시된 값과 이를 soft conversion한 값을 사용하여 비교 설계하였다.

## 1) 부재의 설계

### 가) 설계 조건

허용응력 설계법과 한계상태 설계법을 적용하여 설계할 부재로는 일반적인 경골 목조공법에서 바닥체의 주요 구조부재로 사용되는 바닥장선으로 하였다. 사용될 부재의 수종과 설계조건 등은 아래에 제시한 바와 같다.

·수종 및 등급 : Japanese Larch, No. 1

·설계조건

- span : 366 cm (= 12 ft)
- spacing : 40.64 cm (= 16 in)

·하중 조건

- 고정 하중 :  $0.0067 \text{ kgf/cm}^2$  (= 14 psf )
- 적재 하중 :  $0.0096 \text{ kgf/cm}^2$  (= 20 psf )
- 전체 하중 :  $0.0163 \text{ kgf/cm}^2$

→ Uniform load :  $0.0163 \times 40.64$  (tributary width) = 0.66 (kgf/cm)

→ Maximum moment =  $\frac{ql^2}{8} = \frac{0.66 \times 366^2}{8} = 11051.37$  (kgf-cm)

·부재조건

- 부재에 대한 치수 및 용적 효과는 기본 설계값에 포함 (ASD와 LRFD에서 동일)      - 다른 조건은 고려하지 않음
- 부재는 건조 및 무처리 등 기준 조건 하에 있다.

본 설계에서 재료의 강도 성능으로 사용한 설계값은 다음의 표와 같다.

Table 6-49. Selected design values for ASD and LRFD.

Description	Bending design Properties(kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Allow stress(ASD)	Reference resistance(LRFD)
NDS	86	218
KS F3020	80	203
Measured	151	383

나) ASD를 이용한 설계

ASD를 이용하여 설계할 경우 설계 방정식은 다음과 같다.

$$C_D F_b S_{ASD} \geq 11051.37$$

여기서  $C_D$ 는 하중지속 시간인자로 본 설계와 같이 floor load가 적용될 때는 1.0을 사용하며,  $F_b$ 는 허용휨응력이고  $S_{ASD}$ 는 필요한 단면계수이다. 위의 표에 주어진 허용휨응력값을 대입하여 방정식을 풀고, 필요한 단면 계수를 구하였다.

다) LRFD를 이용한 설계

LRFD의 경우 각 하중에 따라서 적용되는 인자가 다르므로 다음과 같이 각 하중에 대하여 최대 모멘트를 구하면 다음과 같다.

- 고정하중의 경우 :  $\frac{ql^2}{8} = \frac{(0.0067 \times 40.64) \times 366^2}{8} = 4559.33 \text{ ( kgf-cm )}$

- 적재하중의 경우 :  $\frac{ql^2}{8} = \frac{(0.0096 \times 40.64) \times 366^2}{8} = 6532.76 \text{ ( kgf-cm )}$

)

LRFD를 설계에 이용할 경우 설계 방정식은 다음과 같다.

$$\lambda \cdot \Phi_b \cdot M \geq 1.2D + 1.6L = 1.2 (4559.33) + 1.6 (6532.76)$$

AP&PA/ASCE 16-95에 따르면 고정 하중과 적재하중 만을 고려할 경우  $\lambda = 0.80$ ,  $\Phi_b = 0.85$  이다. 적용되는 모멘트를 계산하면, 계산된 결과인 15923.612 kgf-cm를 앞의 계수들로 나누어 주면 요구되는 모멘트 저항은 23417.076 kgf-cm가 된다. 이 값을 Table 6-49에서 주어지는 공칭 휨강도로 나누어 요구되는 단면계수를 산출하였다.

#### 다) ASD와 LRFD의 설계 비교

각 설계 방법에 따라서 설계했을 경우 산출되는 단면 계수를 정리하면 다음과 같다.

Table 6-50. Comparison of Section modulus between ASD and LRFD.

	ASD(cm <sup>3</sup> )	LRFD(cm <sup>3</sup> )	Material saving
NDS	124	107	13
KS F3020	138	115	16
Measured	73	61	12

각 기준에 따른 설계 결과를 보면 ASD에 비해 LRFD가 각각 13%, 16%, 12%의 재료를 절약할 수 있다. 따라서 LRFD는 구조물의 설계 시 재료 절감을 통한 경제적인 효율성을 창출하게 된다.

## 2) 접합부 설계

### 가) 설계 조건

위의 부재의 예와 같이 접합부에 대해서도 허용응력 설계법과 한계상태 설계법을 적용하여 비교해 보았다. 설계 대상 접합부는 지붕 트러스 현의 이음부로서 이중 전단 볼트 접합부로 하였으며, 사용될 부재의 수종과 설계조건 등은 아래에 제시한 바와 같다.

·부재의 수종 : Japanese Larch

( 주 부재 두께 : 89 mm, 측면 부재 두께 : 38 mm )

·접합 철물 : M16 볼트 ( 설계휨강도 :  $5334 \text{ kgf/cm}^2$  )

·하중 조건 :

- 고정 하중 : 816 kgf ( 1800 lb )
- 적설 하중 : 2449 kgf ( 5400 lb )
- 전체 하중 : 3268 kgf

·접합부 조건

- 접합부에 가해지는 하중은 순수한 인장 강도임
- 끝면 거리와 측면 거리가 NDS 기준에 부합됨
- 형태에 따른 효과는 기본 설계값을 따르며, 부재는 정해진 설계 기준에 부합됨

사용된 볼트의 기본 설계값은 각 설계방법에 대해서 다음과 같다.

Table 6-51. Selected bolt design values for ASD and LRFD.

Bolt design values (kgf)		
Description		
	Design value(ASD)	Reference resistance(LRFD)
NDS	753	2502

나) ASD를 이용한 설계

ASD를 이용하여 설계할 경우 설계 방정식은 다음과 같다.

$$Z_{ASD} \geq 3268$$

여기서,  $Z_{ASD}$ 는 설계 접합부의 강도로서, 단일 볼트의 설계값( $Z$ )에 볼트의 개수( $n$ )를 곱한 값이며, 하중 지속인자( $C_D$ )는 적설 하중 하에서는 1.15이다. Table 6-51에서 M16볼트 하나의 설계값은 753kgf이다.

하나의 열에 5개의 볼트가 요구된다고 가정하면, NDS에 따라 다중 볼트 인자  $C_g$ 는 0.85가 된다. 이 값을 기초로 한 접합부 설계 성능은 아래와 같다.

$$Z_{ASD} = n \times Z \times C_D \times C_g = 3680 \text{ (kgf)}$$

이 값은 작용되는 하중 3268보다 크므로 설계식을 만족한다. 따라서 필요로 하는 최소 볼트는 5개가 된다.

다) LRFD를 이용한 설계

LRFD의 경우 각 하중에 따라서 적용되는 인자가 다르므로 설계 방정식은 다음과 같다.

$$\lambda \Phi \cdot Z \geq 1.2D + 1.6S = 1.2(816) + 1.6(2449) = 4897.6 \text{ (kgf)}$$



여기서, 저항 인자( $\Phi$ )는 0.65이고 시간 영향 인자( $\lambda$ )는 0.8이므로 볼트 하나에 대한  $\lambda\Phi Z$ 값은 1301kgf임을 알 수 있다. 앞서서와 동일하게 한열에 5개의 볼트가 요구된다고 가정하면, 다중 볼트 인자  $C_g$ 는 0.85가 된다.

이 값을 기초로 한 접합부 설계 성능은 아래와 같다.

$$Z_{LRFD} = n \times \lambda \Phi Z \times C_g = 5529 \text{ (kgf)}$$

이 값은 작용되는 하중 4897.6보다 크므로 설계식을 만족한다. 따라서 필요로 하는 최소 볼트는 5개가 된다.

#### 다) ASD와 LRFD의 설계 비교

각 설계 방법에 따라서 설계했을 경우 산출되는 볼트의 개수를 비교하였다. 최소 볼트의 개수가 5개로 동일하므로 비교를 위해 하중 성분에 대한 강도 성분의 비를 구하였다. ASD는 1.126, LRFD는 1.129로 LRFD로 설계할 경우 약간의 여유가 있음을 알 수 있다. 이는 크지는 않지만 LRFD로 설계할 경우 재료 측면에서 절약할 수 있음을 의미한다.

## 제4절 결론

### 1. 국산 낙엽송 제재의 성능 평가

#### 가. 휨강도

본 연구에서 수행한 국산 낙엽송 제재의 휨강도 분포는 웨이블 분포가 가장 적합한 것으로 나타났다. 기존 허용응력의 산출에 사용되었던 정규분포는 실제 실험값에 비해 재료의 성능을 저평가하는 경향이 있으며, 그 이유는 실제 실험값은 웨이블이나 대수정규분포와 같이 최빈수가 분포의 좌측에 편중되는데 비해 정규분포는 평균값을 중심으로 양측이 대칭을 보이는 분포 형태를 나타내기 때문에 분포의 특성상 저평가하는 경향이 있는 것으로 판단된다. 따라서 국산 낙엽송 2×6 제재의 휨강도 분포에 적합하다고 평가된 웨이블분포 형태를 사용하여 5% 하한치를 산출한 경우 1등급은 약 4.7% 2등급은 10.5% 3등급은 20.2% 정도 상향 조정이 가능하여 재료를 보다 효율적으로 사용할 수 있을 것이라고 평가 되었다.

실대재 실험과 적합한 분포특성을 고려해 산출한 국산낙엽송 구조용 제재의 휨허용응력은 기존 산림청 고시 허용응력과 북미의 기준인 NDS(National Design Specification, 1997)에서 유사 수종인 Douglas fir-Larch 보다 높은 값을 보였으며, 특히 NDS와 산림청 고시와 비교 했을 때 유사수종의 해당 등급에 비해 매우 높은 값을 보였다. 또한 기존에 수행된 타 연구과제(국산재 신수요 개발, 1998)에서 제시하고 있는 실대재를 사용한 실험으로부터 구한 허용응력도과는 유사한 결과를 보였으며, 산림청 고시에서 제시한 허용응력도는 무결점 소시편으로 실험한 결과로서 실대재 실험값에 비해 낮은 값을 보이고 있어 보정될 필요가 있다고 판단된다.

#### 나. 휨탄성계수

본 연구에서는 국산 낙엽송 제재에 대한 MOE의 최적 분포형태와 design value를 산출하였다. 본 연구에서의 결과는 추후 한계상태 설계법에서 기초자료

로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

국산 낙엽송 실대재 휨실험과 적합한 분포특성을 고려해 산출한 국산낙엽송 구조용 제재의 MOE는 기존 산림청 고시 설계값과 북미의 기준인 NDS(National Design Specification , 1997)에서 유사 수종인 Douglas fir-Larch 보다 높은 값을 보였으며, 특히 1, 2 등급의 경우보다는 3등급의 경우 많은 차이가 있었다. 또한 1, 2, 3등급간 차이가 거의 없었으며 2등급의 경우 1등급보다 높은 값을 나타내었다.

#### 다. 기계등급구분

기계적 등급구분 E15, E13, E11의 경우, 웨이블 분포를 사용해 5% 하한치와 이 값으로 산출된 허용응력과 순위 5%값을 이용한 허용응력값을 육안등급구분에 의한 등급의 허용응력과 비교해 본 결과 E15, E13은 1등급 E11은 2등급, E9은 육안등급 3등급에 해당된다고 평가 되었다. 기존 KS 규정의 경우 본 연구에서의 결과와 E15, E13, E11의 경우 동일한 육안등급을 제시하고 있으나 E9의 경우 규정이 없다. 그러나 재료의 효율적인 측면에서 E9과 육안등급 3등급과의 관계를 제시할 필요가 있다고 판단된다.

#### 라. 파괴모드

국산 낙엽송 제재의 휨 실험 시 파괴 모드를 분석하였으며, 그 결과 본 실험에서는 Simple Tension이 가장 많은 것으로 확인되었다. 특히 육안등급 1등급의 경우 simple tension이 88.52%로 가장 많았으며 2,3 등급과 등위의 경우 유사한 비율을 보였다.

## 2. 국산 낙엽송 집성재제의 성능 평가

### 가. 용이분포 특성

구조용 집성재의 제조에 사용될 라미나로써 국산 낙엽송 부재에 대한 육안등

급구분과 용이분포 특성을 조사하였다. 이러한 용이의 분포 특성은 이후 집성재의 강도 성능 예측 프로그램의 입력변수로 사용되었다. 집성재의 강도성능 예측을 위해 입력되어야 할 변수로 재면 내 존재하는 용이 크기의 평균과 가장 큰 용이의 크기가 있으며, 가상의 라미나를 생성하기 위해 용이 크기에 대한 분포와 한 재면 내 존재하는 용이의 개수에 대한 분포형태를 분석하였으며, 이를 근거로 가상의 용이를 갖는 가상의 라미나를 생성하였다.

#### 나. 라미나의 MOE

국산 낙엽송의 MSR을 통한 MOE 특성에는 정규분포가 가장 적합하다고 평가하였다. 이는 정적 휨시험을 이용한 제재의 시험 결과를 제시한 본 과제의 1차년도 연구결과와도 일치하는 것으로 역시 본 연구 결과의 타당성이 검증된다.

#### 다. 집성재의 강도 성능 예측 프로그램

변형 단면법을 이용한 집성재 강도 예측과 Inverse Transform method를 이용한 집성재의 허용응력 산출 프로그램을 제작하였다. 실제 집성재의 파괴 시험을 통해 산출한 MOE, MOR과 변형단면법을 통해 예측한 MOE, MOR을 서로 비교해 보았으며, 매우 유사한 결과를 보임을 알 수 있었다.

MOR의 경우 해당 등급의 평균값과 99.5percentile값을 입력하는 것보다는 해당 라미나의 용이 크기의 평균과 가장 큰 용이의 크기 값을 직접 입력하는 것이 정확도를 높인다는 것을 확인 할 수 있었다. 단일 집성재의 강도성능을 예측할 경우, 각 라미나의 최대용이 크기와 평균용이 크기값을 직접 입력하는 이와 같은 방법은 번거로움을 초래할 수 있으나, 본 연구와 같이 허용응력 산출을 위해 변형단면법을 적용하는 경우에는 각 라미나의 용이 데이터를 직접 입력하는 방법(simulation 2)이 좀 더 정확한 예측값을 도출할 수 있도록 할 것이라 판단된다. 각 combination마다 1000회 반복을 통하여 1000회의 집성재 파괴시험에 해당하는 가상의 파괴시험을 수행하였으며, 이 1000회의 결과값을 재분석하고 인자들을 곱하여 허용응력도와 기본 설계 MOE를 산출하였다.

### 3. 접합부의 성능 평가

#### 가. 다우얼 지압강도

집성재의 다우얼 지압 강도가 제재목에 비해 약간 높게 나왔다. 이는 다우얼 지압 강도에 가장 크게 영향을 하는 것이 비중임을 고려할 때 집성재와 제재목의 비중차이에 의한 것으로 여겨진다. EYM에서 제시하는 것과 같이 볼트 지름이 증가함에 따라서 다우얼 지압 강도는 작아지게 되며, 목리에 평행한 경우는 수직인 경우에 비해 그 값이 상당히 큰 것을 알 수 있다.

#### 나. 볼트의 휨 강도

일반적으로 볼트의 휨 강도는 NDS에서 제시하는 값보다 2배 정도 큰 것으로 알려져 있다. 외국의 논문에서 밝혀졌든 이번 실험 결과 국내 볼트도 마찬가지로 결과를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 다. 접합부 성능 평가

어떤 수종을 건축 부재로 이용하기 위하여 가장 먼저 선행되어야 할 일이 그 부재에 대한 정확한 역학적 성질을 아는 것과 설계를 위한 기준 코드를 마련하는 것이다. 지금까지 국내에서는 외국의 일반 기준인 NDS를 사용하여 설계를 해 왔다. 그러나 지역마다 수종마다 다른 특성을 갖는 목재에 대해 외국의 기준을 그대로 사용하는 것은 그 만큼의 위험 부담을 가질 수 밖에 없다. 따라서 국산 낙엽송을 이용한 접합부의 성능 평가는 일반적으로 이용되고 있는 NDS가 국산 낙엽송에도 적용될 수 있는지를 평가하고 설계 기준을 마련하는 것이다.

접합부 성능 평가는 앞에서 제시한 4가지 형태의 EYM 예측 모델 조합을 이용하여 각 조합에 대하여 하중 방향별, 볼트 지름 별 계산값을 구하고 이를 실제 실험값과 비교분석 하였다. 이것을 통해 가장 적합한 모델을 결정하여 국산 낙엽송이 구조 부재로 활용 될 경우 설계 기준으로 사용되게 된다.

연구 수행 결과 EYM을 적용한 NDS가 국산 낙엽송에도 거의 정확히 예측함을 알 수 있었다. 그러나 계산 과정에 있어서 낙엽송의 비중만을 가지고 계산된 다

우열 지압 강도와 제시된 볼트의 휨 강도를 통해서 설계를 할 경우 접합부 형태에 따라서 오차가 발생할 수 있음을 확인하였다. 특히 철판을 측면 부재로 사용할 경우 그 오차는 상당히 크며 이는 구조물의 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 하지만, 실험을 통해 얻어진 값으로 예측을 한 결과는 전체적으로 일치하였으며 그 오차도 작았다. 따라서 국산 낙엽송을 이용하여 접합부를 형성하고 이를 구조물에 적용시킬 경우에는 연구를 통해 알려진 정확한 값을 사용하여야 한다.

본 연구에서는 이중전단 단일 볼트 접합부에 대한 연구를 진행하였다. 그러나 부재의 치수는 다양하며 이중 전단이 아닌 단일 혹은 그 이상의 접합부가 존재할 수 있고, 대부분의 경우 단일 볼트가 아닌 다중 볼트를 사용한다는 점을 감안한다면 앞으로도 접합부에 대한 꾸준한 연구가 필요할 것이다.

#### 4. 한계상태 설계법의 체계화

기존의 허용 응력법에서 사용하던 허용 응력값을 한계 상태 설계법을 이용한 설계에 적용하기 위하여 reference resistance를 구하였다. 본 연구에서는 제재목의 경우 1차년도 연구 결과를 바탕으로 2×6부재를 대상으로 하였으며, 집성재의 경우 2차년도에 연구한 각 조합에 대하여 진행하였고, 마지막으로 기존의 NDS에서 제시하고 있는 값을 전환하여 테이블 형식에 맞게 제시하였다.

한계상태 설계법에 적용할 수 있는 국산 낙엽송 2×6 부재에 대한 reference resistance는 유사 수종의 부재를 NDS에서 찾아 전환한 값과 비교하였을 경우 1.5배 정도 큰 수치를 나타내었으며, 실험을 통해 얻어진 허용 응력을 전환한 값보다는 작게 나타났다.

국산 낙엽송 집성재의 경우 본 연구에서 실험적 평가를 수행한 10개 조합에 대해서 simulation반복수 1000회를 통해 얻어진 데이터로부터 한계상태 설계법에 사용할 수 있는 reference resistance를 구하였다. 실험을 통해 얻어진 분포 특성을 통해 얻어진 값이 허용 응력을 직접 전환한 값보다 크게 나오는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존 NDS에서 제시하고 있는 설계값을 reference resistance로 soft conversion하는 과정을 프로그램화 하였다. 이 프로그램은 보다 발전된 형태로 다듬어 진다면 향후 국내에서 한계상태 설계법의 도입에 적절한 대응이

가능하리라 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. 농림부, 1998. 국산재의 신수요 개발, 농림특정연구사업 연구보고서.
2. 산림청, 1995. 침엽수 구조용 제재규격, 산림청 고시 제 19956-27호.
3. American Forest and Paper Association. 1997. National Design Specification.
4. American Society for Testing and Materials. 1995. Standard Test Methods for Bolted Connection in Wood and Wood-based Products. Volume 04.10 Wood, ASTM D 5652.
5. American Society for Testing and Materials. 1997. Standard Test Methods for Evaluating Dowel Bearing Strength of Wood and Wood-based Products. Volume 04.10 Wood, ASTM D 5764.
6. Ang, A. H-S., 1973. Structural Risk Analysis and Reliability Based Design. Journal of the Structural Division. ASCE. vol 99, No. ST9, pp 1891-1910.
7. Australian Standards, 1997. Timber Structures, Part 1 : Design methods. Standards Australia.
8. Ayyub, B. M. and G. J. White. 1987, Reliability-conditioned Partial Safety Factors. Univ. of Maryland.
9. Breyer, D. E. 1993. Design of Wood Structures, 3rd Edition. New York. McGraw-hill Inc.
10. Canadian Wood Council, 1995. Wood design manual.
11. Canadian Wood Council, 1999. Introduction to wood design.
12. Chugg, W. A., 1964. Glulam : The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structure. Benn , London.
13. Cornell, C. A, 1967. A Proposal for a Reliability-Based Code Suitable for Immediate Implementation. Memorandum to member of ASCE Task Committee on Structural Safety.
14. Cramer, C. O. 1967. An analytical and experimental examination of wood tension joints having a large number of bolts. Madison, WI:



- University of Wisconsin. Ph. D. Thesis.
15. Doyle, D. V., Scholten, J. A. 1963. Performance of Bolted Joints in Douglas fir. Res. Pap. FPL-RP-2. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
  16. Durrans. S. R., M. H. Triche, S. E. Taylor and F. E. Woeste, 1997, Parameter and Quantile Estimation for the Distributions of Failure Strength of Structural Lumber, *Forest Prod. J.* 47(4) 80-88.
  17. Durran. S. R., M. H. Triche, and S. K. Suddarth, 1998, Estimation of Lower Tail Quantiles of Weibull Probability Distributions for Lumber Strength, *Forest Prod. J.* 48(1) 97-101.
  18. Ellingwood, B., F. G. MacGregor, T. V. Galambos and C. A. Cornell, 1982, Probability Based Load Criteria : Load Factor and Load Combination, *Journal of the Structural Division. ASCE.* vol 108, No. st5, pp 978-997.
  19. Foschi, R. O., 1985. Reliability of Wood Structural System. *ASCE Journal of the Structural Engineering*, Vol 110, No 12, pp 2995-1556.
  20. Foschi. R.O., B.R. Folz., and F.Z. Yao. 1989. Reliability-based design of wood structures. *Univ. of British Columbia.* 239-244, 264-272.
  21. Foschi, R. O., H.G.L. Prion, B. Folz and P.C. Timusk. 1996. Reliability based design of Glulam Beams, *Proceeding of the international wood engineering conference* (1) 125-130.
  22. Freedman, D., R. Pisani and R. Purves, 1991. *Statistics*, 3rd edition. W.W. Norton & Company, Inc.
  23. Galambos, P. V, and B. Ellingwood, 1986, Serviceability Limit States : Deflection. *ASCE. Journal of the Structural Engineering*, 112 (1), pp 67-84.
  24. Geoffrey N. Boughton. 1998. *Timber Design Handbook*. Standards Australia.
  25. Hasofer, A. M. and N. C. Lind, 1974, Exact and Invariant Second-Moment Code Format. *Journal of the Engineering Mechanics Division. ASCE.* vol 100, No. Em1, pp 111-121.

26. Johanson, K. W. 1949. Theory of Timber Connections. International Association for Bridge and Structural Engineering. 9:249-262.
27. Kreyszig, E., 1993. Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Sons.
28. Law. A. M. and W. D. Kelton , 1991, Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, Inc., 329-350, 380-394.
29. Kim, K. C. 1999. Analysis of the Behavior of Bolt Jointed Wood Connections by Applying Semi-rigid Theory. Department of Forest Products, Seoul National University. Ph. D. Thesis.
30. Lewis. E.E., 1987, Introduction to Reliability Engineering, John Wiley & Sons, 137-147.
31. Madsen, B., 1992, Structural Behaviour of Timber, Timber Engineering LTD. 37-110.
32. Mettem, C. J. and A. V. Page, 1992. Load Distributiions in Multi-fastener Bolted Joints in European Whitewood Glulam with Steel Sideplate. Paper 25-7-12, CIB, Ahus, Sweden.
33. Murphy, J. F., 1988. Load and resistance factor design for engineered wood construction. ASCE. 18-40, 58-81.
34. Pellicame, R. J. and M. E. Criswell, 2000. Comparison of ASD and LRFD Codes for Wood Member. ASEC. Practice Periodical on Structural Design and Construction, v0l. 5, No. 2, pp. 54-69.
35. Pooley, B. D., 1994. Design of glued laminated timber. Wood Design FOCUS Vol. 5(1): 3-8.
36. Shinozuka, M., 1983. Basic Analysis of Structural Safety. ASCE Journal of the Structural Engineering, Vol 109, No 3, pp 721-740.
37. Trayer, G. W. 1932. The Bearing Strength of Wood under Bolts. Tech. Bull. No. 332. Department of Agriculture, Washington DC, U. S.
38. Wilkinson, T. L. 1992. Strength of Bolted Timber Connections with Steel Side Member. Forest Products Laboratory. FPL-RP-513.
39. Yasamura, M., Mutora, T., and Sakai, H. 1987. Ultimate Properties of Bolted Joints in Glued-laminated Timber. Paper 20-7-3, CIB W18,

Dublin, Ireland.

40. Yeh, B., 1996. Using Computer Models to Predict the Performance of Structural Glued Laminated Timber, Proceeding of the international wood engineering conference (1) 136-143.

# 제7장 국산재를 이용한 목조건축 시스템

## 개발 및 축조실연

### 제1절 서론

전 국토의 65%이상이 산림인 우리나라에서 산림자원의 효율적 이용은 매우 중요한 과제이다. 그 동안 제1, 2, 3차 치산녹화 사업을 성공적으로 추진하여 임목축적량이 증가하고 있으며, 간벌재를 비롯한 국산재의 생산 잠재력이 증대되고 있다. 산림청 제4차 산림기본계획에서는 앞으로의 벌채계획량을 1995년 현재 1,241천 $m^3$ 에서 2007년에 3,379 $m^3$ 으로, 2050년에는 15,005천 $m^3$ 으로 추정하고 있으며, 국산재의 자급율도 1995년 현재 4.3%에서 2007년에 9.8%로 2050년에는 30.3%로 증가할 것으로 기대되고 있다.

국내 조림지에서 생산이 증가하고 있는 낙엽송 중소경재를 고부가가치 용도로 활용하는 방안의 하나로, 최근 건축계의 관심이 높아가고 있는 대규모 목조건축물의 큰 경간을 가지는 구조에 적합한 입체트러스 등 공학목구조 시스템에 적용하는 것이 합리적이다.

건축가와 엔지니어는 입체건축물의 문제를 해결할 수 있는 새로운 방법을 꾸준히 연구해 오고 있다. 현대의 산업 및 건축기술의 발전에 따라, 효율적으로 적용할 수 있는 긴 경간의 건축물에 대한 요구가 더해지고 있다. 입체트러스는 넓은 적용 대상과 유연성 때문에 새로운 형태를 찾는 건축가와 엔지니어들에게 가치 있는 건축 구조형식이 되고 있다.

좋은 품질의 목재는 충분한 인장강도와 압축강도를 가지지만, 천연의 목재는 제한된 길이와 제한된 단면적을 가진다. 목재로 접합되는 대규모 3차원 구조물은 이러한 문제점을 해결할 수 있는 단서를 제공한다.

우리가 흔히 부르는 입체트러스는 (가볍고 강하고, 설계상 상상력 동원이 용이하고, 3차원의 대량 생산 형 모듈 구조물임) 전화기의 발명가인 Alexander Graham Bell이 20세기 초반에 발명한 것이다. 이 때 개발한 입체트러스가 octahedral과 tetrahedral 단위구조체이다. 국산재를 이용한 목조건축 시스템

개발을 통하여 국산재 이용을 활성화하기 위하여, 목조 입체트러스의 접합부를 개발하고, 이 접합부를 활용한 목조 입체트러스를 개발하였다.

국산 중소경제를 이용하여 대규모 건축물을 구성하기 위한 방안으로, 목조 입체트러스 구조를 사용하는 구조형식이 유리하다. 목조 입체트러스 부재에는 이론상으로는 휨모멘트가 작용하지 않고, 축력만 작용하는 것으로 가정한 구조이기 때문에 부재와 접합부의 변위가 매우 적으면서도 하중 내력성능이 우수하다. 목조 입체트러스 부재에 좌굴이 발생하지 않는 세장비를 결정한다면, 강성이 매우 큰 구조체를 만들 수 있다. 목조 입체트러스 구조에서는 하중을 3차원으로 분산할 수 있는 잇점이 있다.

목조 입체트러스 구조는 입체골조단위(피라밋 가구 등)을 연속하여 구성하는 공법으로, 재료 역학적으로 보면 목재는 2방향 이방성을 가지기 때문에, 부재의 응력이 주로 섬유방향으로 작용하게 구조형식을 설계하는 것이 중요하다. 목조 입체트러스 접합부를 설계할 때 섬유 직각방향의 내력과 변위에 대한 대책을 수립하여야 한다.

복층(double layer)식은 상하현재와 이를 연결하는 사재와 함께 입체트러스 판을 형성한다. 전체 부재력은 축력의 형태로 전달된다. 접합부에서 축력에 의하여 힘이 전달되는 것을 고려한다면, 충분히 부재단면을 작게 줄이는 일이 가능하다. 낙엽송 등 국산 중소경제로 큰 공간을 이루려면 이 방식이 적합하기 때문에, 입체골조단위를 기본 구조로 한 목조입체트러스를 개발하였다.

중소경제를 이용한 입체트러스를 개발하기 위하여 우선적으로 크게 두 가지의 정보가 확보되어야 한다. 이들 정보는 중소경제에 대한 신뢰성 있는 강도성능에 대한 자료와 입체트러스의 접합부에 관한 자료이다. 중소경제의 구조성능에 대한 신뢰성이 높은 자료는 실대 구조재에 대한 수많은 실험을 통하여 확보될 수 있기 때문에 많은 기간이 소요된다. 본 연구에서는 기존의 연구결과에 의한 중소경제의 허용응력 자료를 구조설계에 활용하였다. 목조 입체트러스 개발을 위하여, 국산재로부터 확보할 수 있는 구조재의 치수를 근거로 하여, 목조 입체트러스에 적용성이 높은 접합철물인 연결구(node)를 사용한 접합부를 개발하는 것이 합리적이다.

국산재를 이용한 공학목구조 시스템의 대표적인 구조형식의 하나인 목조 입체트러스를 개발하였으며, 이에 사용될 접합부의 개발 및 내력의 평가, 입체트러스의 구조성능평가, 입체 트러스 시스템의 구조설계 기술을 개발하고, 공학목구조

시스템을 적용한 목조건축 새로운 설계 모델을 개발하고 이를 축조 실연하여, 목조 건축부재 생산업체와 건축업체에 기술을 보급함으로써 국산재의 고부가가치 이용도를 증진하고자 하였다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 목조입체트러스의 접합부 개발

가. 공시재료

#### (1) 목조입체트러스의 부재

목조입체트러스의 부재는 여주임산물유통센터분사에서 구입한 낙엽송 구조재를 사용하였다. 입체트러스 부재는 낙엽송 부재의 등급 2급 이상(KS F 3020 침엽수 구조용재)인 것으로 등급 구분하여 사용하였으며, 부재 치수는 두께와 폭이 각각 60mm, 길이 830mm인 각재와, 목조건축시스템의 건축미학적인 측면을 고려한 지름 60mm의 원주재로 가공하여 사용하였다. 목조입체트러스 부재로 사용된 낙엽송의 틀어짐 발생을 줄이고 적절한 치수안정성을 확보하기 위하여, 낙엽송의 함수율은 15%이하로 건조하여 시험편 및 축조실연 건축물의 부재로 사용하였다.

Table 7-1. Physical and mechanical properties of wood space truss member

Species	Moisture Content (%)	Mechanical Properties (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Bending Properties	Compressive Strength
Japanese larch	12.5	830±158	505±70

#### (2) 목조입체트러스의 접합철물

목조입체트러스의 접합철물로는 일반적으로 강재를 사용한다. 알미늄 합금은 강재에 비하여 탄성계수가 약 1/3에 불과하지만, 비중이 약 1/3수준이기 때문에 접합철물을 경량화하기 쉽고, 구조설계상 유리하며 내부식성이 우수한 측면

이 있어 알루미늄 합금의 사용빈도가 증가하고 있다.

본 과제에서는 접합철물의 제작에 강재를 사용하였으며, 개발된 접합철물을 그림과 같이 나타내었다. 목조입체트러스의 단위 골조는 사재의 각도 45°를 사용하는 것이 일반적이지만 아치 등으로도 제작할 수 있다. 일반적으로 목조입체트러스의 접합철물은 8방향으로 접합할 수 있도록 제작되지만, 복층 목조입체트러스 접합철물의 경우 12방향으로도 접합할 수 있도록 제작된다.

목조입체트러스 접합부에 사용되도록 개발된 접합철물의 주요부품인 연결구(node)의 지름은  $\phi 65\text{mm}$ 이었으며, 목재속에 삽입되는 강관의 두께는 4.5mm이었다. 강관의 재질은 KS D 3503에서 규정한 강관을 사용하였다. 입체트러스 접합철물의 형태와 치수를 선정하기 위하여 접합부 내력시험을 실시하였다. 접합부의 내력시험 결과에 따라, 목조입체트러스의 모듈을 1,000mm로 정하는데 알맞은 접합철물의 치수를 선정하여, 구조적 안전성과 건축 설계상 미관성, 건축설계의 용이성 등 여러 설계 요소를 두루 고려하여 개발하고자 하였다. 볼트 사이 간격과 트러스부재의 끝면 거리는 미국목구조설계기준(NDS)에 근거하여 충분한 구조성능을 보유하도록 설계하여 제작하였다.

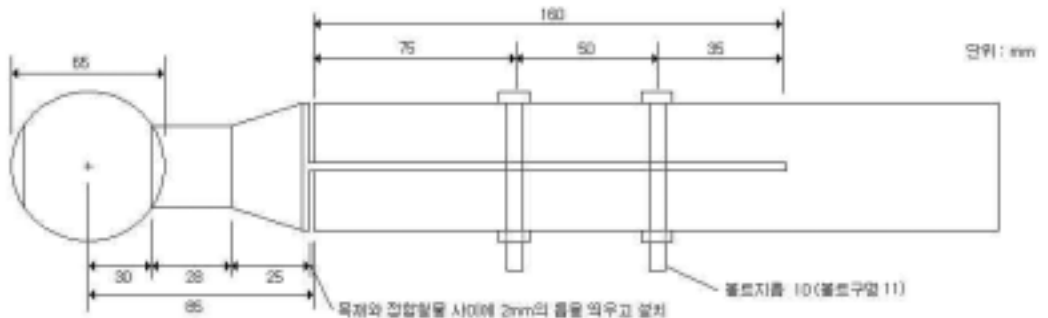


Fig. 7-1. Details of connector developed for wood space trusses

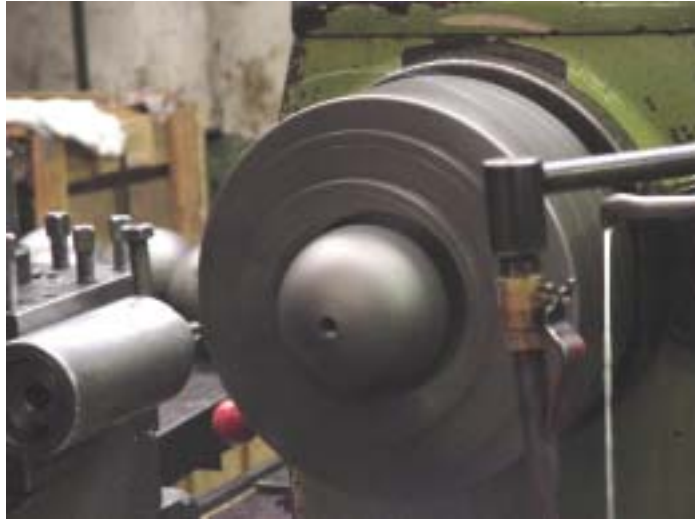


Fig. 7-2. Manufacturing connector node for wood space trusses



Fig. 7-3. Connector developed for wood space trusses





Fig. 7-4. Connector developed for wood space trusses



Fig. 7-5. Connector developed for wood space trusses



Fig. 7-6. Connector developed for wood space trusses

#### 나. 입체트러스 철물접합부의 구조내력 평가

##### (1) 철물접합부의 구조내력시험

철물접합부의 인장 구조내력은 15톤 용량의 만능강도시험기를 사용하여 강도시험기 가동헤드의 속도가 1mm/min가 되도록 하여 인장하중시험을 실시한 결과를 분석하여 평가하였다. 접합부의 변위는 4개의 LVDT를 설치하여 측정하였다. 이와 같이 측정한 4개의 변위 값 중에서 접합철물의 연결구로부터 접합철물의 강판과 연결 부위까지의 변위 값이 미미한 값으로 측정되었으나, 이 변위 값을 포함한 전체 변위 값인 접합철물의 연결구로부터 목조입체트러스 부재 사이에 발생한 변위 측정 값을 전체 변위로 간주하여 분석하였다.



Fig. 7-7. Tension tests of connectors for wood space trusses

## (2) 항복모델에 의한 볼트접합부의 허용내력

### (가) 볼트접합부의 허용내력

1991년 이전에 사용되는 볼트의 경험적인 설계방법은 목재-목재 3부재 접합부의 단일 볼트에 대한 허용내력을 기준으로 하였다. 단일볼트 값은 문헌상의 조건으로부터의 변이에 대하여 수정되어야 한다. 1991년 이후에는 이론적인 접근이 보다 일반화되었다.

이론적 접근은 유럽에서의 연구(Johansen 1949)에 근거하는 것으로 유럽 항복모형(Eruopean Yield Model; EYM)이라 한다. EYM은 다우얼 형태 접합부에서 발생할 수 있는 여러 가지 가능한 항복모드를 기술하고 있다. 이러한 모드별 항복내력은 목재와 볼트가 모두 완전 소성이라는 가정하에 정적 해석으로부터 결정할 수 있다. 주어진 형상에 대한 가장 낮은 항복 하중을 초래하는 항복모드가 이론적인 접합부 항복 하중이다.

접합부의 항복모델 이론은 목재지압과 철물의 휨의 다른 가능성에 기준한 항복모드 중에서 가장 약한 경우를 선택하여 철물의 허용내력을 결정하는 이론이

다. 3부재 접합부에 대한 항복모드에 대응한 식을 다음에 제시하였다. 이 식은 목재-강철 측면부재에도 동일하게 적용되며, 이 식은 여러 하중-목리 방향에 대하여도 적용되며, 이를 위하여 모수  $K_0$ 와  $F_e$  를 적용한다.

볼트접합부의 지압내력은 구조설계사에게는 익숙하지 않은 재료적인 성질이다. 목재부재의 볼트접합부의 지압내력은 비중과 다우얼 지름에 대한 지압내력 시험으로 결정된다.

볼트의 지압내력은 일반적으로 하중을 LD로 나누어 계산한다. 여기서, L은 주부재 속에 들어 있는 볼트의 길이를 말하며, D는 볼트지름이다. 1991년 이후에 볼트의 지압내력은 지압시험에 의한 최대 항복응력을 기준으로 결정하는데, 이는 하중-변형 곡선에서 5%지름 차감 상태에서의 하중과 변형으로 다음 식에 의하여 결정된다.

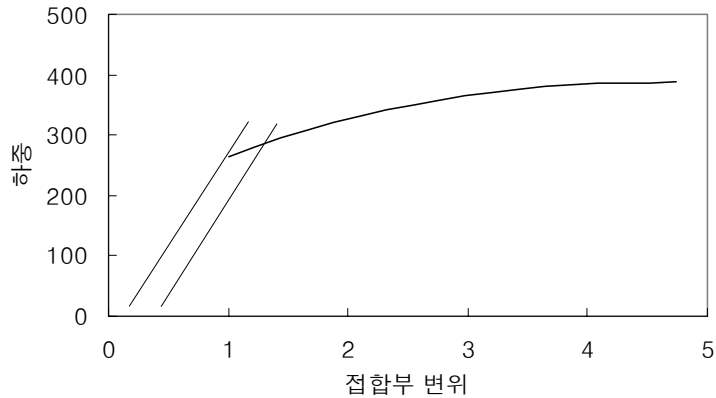


Fig 7-8. Load-displacement curves and definition of yield load for bolt connections

이러한 관계에 대한 경험식은 다음과 같다.

볼트접합부의 섬유방향 지압내력

$$F_e = 784G$$

------(1)

볼트접합부의 섬유직각방향 지압내력

$$F_e = 427G^{1.45}D^{-0.5}$$

------(2)

여기서,

$F_e$  = 볼트접합부의 지압내력 (kg/cm<sup>2</sup>)

G = 전건비중

D = 볼트 지름(cm)

(나) 볼트접합부의 항복모드에 의한 기준설계내력

1) 볼트접합부의 항복모드

볼트 접합부에서 접합부의 설계내력은 파스너의 지압내력에 좌우되며 파스너의 지압내력은 접합부의 항복모드에 의하여 결정된다. 이 기준에서 적용되는 주부재가 금속판인 이중 전단 목재-금속판 접합부의 항복모드 3종을 미국목구조설계기준에서 규정하고 있다.

2) 이중전단 볼트접합부의 기준설계내력

가) 주부재가 금속판인 목재-금속판 접합부

하중이 볼트의 축에 수직하게 작용하고 끝면거리, 연단거리 및 간격이 총설계내력을 지지하기에 충분하게 설치된 이중 전단 목재-금속판 볼트접합부의 기준설계내력(Z)은 다음 식들에 의하여 계산된 값들 중에서 최소치로 한다.

항복모드

모드	$I_s$	$Z = \frac{D t_s F_{es}}{400 K_\theta}$
-----(4)		

모드 III <sub>s</sub>	$Z = \frac{k_3 D t_s F_{em}}{320 K_\theta (2 + R_e)}$
-----(7)	

모드 IV	$Z = \frac{D^2}{320 K_\theta} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$
-----(8)	

여기서,

D = 볼트의 지름, mm

$F_{em}$  = 주부재(가운데 부재)의 장부축 지압내력, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{es}$  = 측면부재의 장부축 지압내력, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{e\parallel}$  = 목재의 섬유방향 장부축 지압내력 = 790G, kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{e\perp}$  = 목재의 섬유에 직각방향 장부축 지압내력 =  $\frac{2,160 G^{1.45}}{\sqrt{D}}$ , kgf/cm<sup>2</sup>

$F_{yb}$  = 볼트의 휨 항복내력, kgf/cm<sup>2</sup>

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 F_{yb}(2 + R_e) D^2}{3 F_{em} t_s^2}}$$

$K_\theta = 1 + (\theta_{\max} / 360^\circ)$

$\theta_{\max}$  = 목재의 섬유방향에 대한 하중의 최대 각도( $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ )

$R_e = F_{em} / F_{es}$

$t_m$  = 주부재(가운데 부재)의 두께, mm

$t_s$  = 측면부재의 두께, mm

목재가 섬유에 경사각  $\theta$ 의 하중을 받는 경우에 그 부재에 대한 장부축 지압내력  $F_{e\theta}$ 는 다음 식에 의한다.

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta}$$

( )

목재의 장부축 지압 강도는 섬유방향에 평행한 하중이 가해 질 경우에는 볼트 지름에 관계없이 일정하지만, 섬유방향에 수직인 경우에는 볼트의 제곱근에 반비례한다. 제6장에서와 같이 장부축 지압 강도의 실험 결과와 계산치는 Table 7-와 같다.

Table 7-2. Dowel bearing strength of Japanese larch.

Load direction		Perpendicular to grain			Parallel to grain
Bolt diameter (mm)		8	12	16	
Dowel bearing strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Lumber (calculated)	162.65	132.80	115.01	373.74
	Lumber (measured)	-	178.39	164.24	331.39

금속판을 갖는 이중 전단 볼트접합부에 대한 기준설계내력(Z)은 금속의 장부축 지압내력을  $F_{es}$ 로 사용한 식 중에서 최소치로 한다. 금속판을 갖는 볼트접합부의 허용설계내력(Z')을 구하기 위해서는 계산된 기준설계내력에 Table에 제시된 적용 가능한 조정계수를 곱한다. 금속판은 공인된 금속 설계방법으로 설계한다.

기준허용내력의 수정을 위하여, 각각의 접합부에 적용되는 조정계수는 Table 7- 과 같다.

Table 7-3. Applicability of adjustment factors for connections

Connector	Allowable stress	Load duration factor <sup>1)</sup>	Wet service factor <sup>2)</sup>	Temperature factor	Group action factor	Geometry factor <sup>3)</sup>
Bolt	Z	$C_D$	$C_M$	$C_t$	$C_g$	$C_\Delta$

1) The load duration factor  $C_D$  shall not exceed 1.6 for connections.

2) The wet service factor  $C_M$  shall not be apply to toe-nails loaded in withdrawal.

3) Specific information concerning geometry factors ( $C_\Delta$ ), penetration depth factors ( $C_d$ ), end grain factors ( $C_{eg}$ ), metal side plate factors ( $C_{st}$ ), diaphragm factors ( $C_{di}$ ), and toe-nail factors ( $C_{tn}$ ) are provided in chapters concerning bolt connections.

무리(group)작용계수  $C_g$  : 1열에 여러 개를 사용하는 직경 25mm 이하의 볼트에 대해서는 무리작용계수  $C_g$ 를 곱한다.

$$C_g = \left[ \frac{m(1 - m^{2n})}{n\{(1 - R_{EA} m^n)(1 + m) - 1 + m^{2n}\}} \right] \left[ \frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right]$$

여기서, n = 1열로 사용된 파스너의 수

$$R_{EA} = \frac{E_s A_s}{E_m A_m} \text{ 또는 } \frac{E_m A_m}{E_s A_s} \text{ 중에서 작은 값}$$

$E_m$  = 주부재의 탄성계수 (MPa)

$E_s$  = 측면부재의 탄성계수 (MPa)

$A_m$  = 주부재의 총단면적 ( $\text{mm}^2$ )

$A_s$  = 측면부재들의 총단면적의 합 ( $\text{mm}^2$ )

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left[ \frac{1}{E_m A_m} + \frac{1}{E_s A_s} \right]$$

$s$  = 1열로 사용된 파스너들 사이의 중심간격 (mm)

$\Psi$  = 접합계수(joint modulus) = 하중/변형 (N/mm)

= 목재-금속 볼트 접합부에 대하여  $375(D^{1.5})$  N/mm

$D$  = 볼트 또는 래그나사못의 지름 (mm)

무리작용계수를 적용할 때, 하중방향으로 배열되고 전단하중을 받는 동일 지름인 2개 이상의 볼트는 1열의 파스너로 정의된다.

## 2. 공학 목구조시스템의 개발

### 가. 단위입체트러스의 개발

#### (1) 단위입체트러스의 개발방향 및 특징

낙엽송 트러스 부재와 개발된 철물 접합부를 사용한 단위 입체트러스는 다음 그림과 같았다. 단면이 작은 국산 침엽수 중소경재로 길이가 한정된 구조재를 사용하여, 큰 경간의 공간을 구성하기 용이하게 구성하였다. 피라밋형 단위 골조를 기본으로 한 입체트러스는, 구조재의 치수가 일정하고 연결구에서 접합 철물의 각도가 일정한 형태로 구성되는 특징이 있다.

본 과제에서 개발된 단위 입체트러스를 적용한 목조 입체트러스를 건축물의 설계에 활용한다면, 건축물의 외관과 내용을 다양하게 설계할 수 있고 큰 경간으로 구성이 용이하여 한 차원 높은 건축물의 설계가 가능하도록 목조입체트러스의 개발 단계로부터 고려하였다.

목조입체트러스의 접합부에 대한 구조내력 평가에 의하여 도출된 접합부 내력에 근거하여, 공학목구조시스템으로서 활용도가 매우 높고 건축미학적 측면에서 우수성을 평가받을 수 있도록 단위 입체트러스를 개발하였다. 단위 입



체트러스는 피라밋 단위로서 구조 부재의 치수가 일정하고, 접합점에서 접합 철물의 각도가 일정하게 유지되도록 구성하였다. 단위 입체트러스 연결구의 간격은 1,000mm로 모듈화되도록 제작하였다.



Fig. 7-9. Unit wood space truss developed in this study

## (2) 단위 입체트러스의 구조내력 평가

단위 입체트러스의 구조내력을 평가하기 위하여 강구조연구소에서 보유하고 있는 200톤 용량의 구조물시험기를 사용하여 실대 단위 입체트러스 내력시험을 실시하였다. 낙엽송으로 제작된 트러스 부재의 치수는 두께와 폭이 각각 60mm이었으며, 부재의 길이는 830mm이었다. 낙엽송 부재를 제작할 때, 끝면 부위에 용이가 없거나 작은 부재를 선택하여 입체트러스 부재로 사용하였다.

단위 입체트러스 가력시험의 모식도는 다음 그림과 같았다. 단위 입체트러스의 실대 시험을 위한 가력은 상부로부터 1mm/min의 속도로 가력하였다. 하중은 상부의 연결구에 설치한 가력장치를 통하여 연직 방향으로 가력하였다. 단위 입체트러스 하현재를 접합하는 4개의 연결구중 1개의 연결구 하단은 실험장치 바닥에서 미끄러지지 않고 고정되도록 설치하였으며, 나머지 3개의 연결구의 하단은 베어링을 특수하게 설치하여 평면방향으로 실험장치 바닥을 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다. 고정 지점을 비롯하여 움직일 수 있는 각각의 지점의 하중의 가력에 따른 변위를 측정하기 위하여 각 지점에 2개의 LVDT를 설치하여 총 8개의 LVDT를 설치하였다. 각 지점의 변위 분석을 위하여, 고정 지점이 움직인

값을 기준으로 이동 지점의 변위 값을 보정하여 최종 변위 값으로 사용하였다. 단위입체트러스 부재의 변형도를 측정하기 위하여 부위별 부재에 그림과 같이 스트레인게이지를 부착하였다.

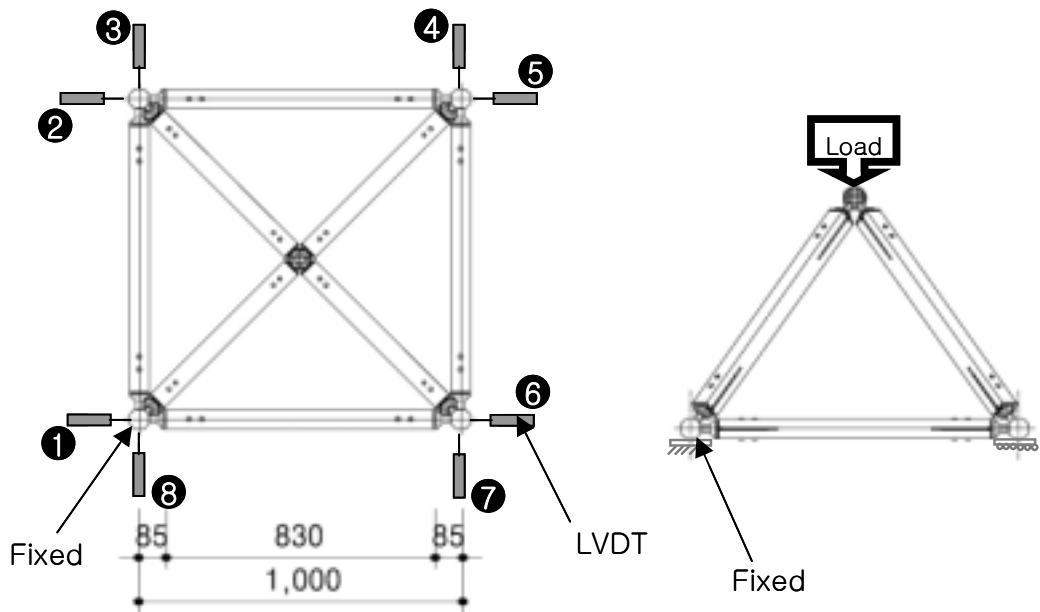


Fig. 7-10. Details of test space truss and LVDTs for displacement measurement



Fig. 7-11. Full-scale test setup of unit wood space truss



Fig. 7-12. Deformed unit wood space truss after test

나. 목조 입체트러스의 개발

1) 목조입체트러스의 구조내력 평가

가) 실대 시험용 목조입체트러스의 설계

단위 목조입체트러스를 적용한 목조입체트러스의 구조내력 평가를 위하여 다음 그림과 같이 실대 시험용 목조입체트러스를 설계하였다. 목조입체트러스의 모듈은 단위 목조입체트러스와 동일하게 적용하여 연결구 사이의 간격이 1,000mm가 되도록 설계하였다. 실대 시험용 목조입체트러스의 상부측 길이는 6,000mm, 나비가 2,000mm이었으며, 하부측 길이는 5,000mm, 나비가 1,000mm 되도록 설계하였다.

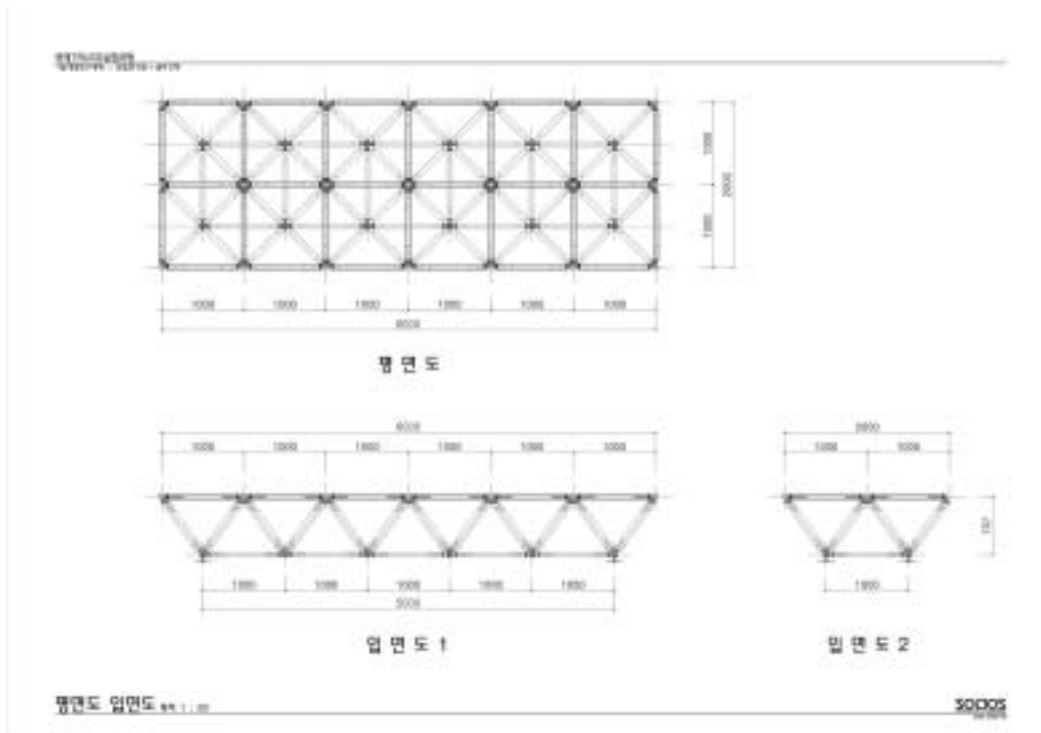


Fig. 7-13. Plan of full-scale test specimen for wood space truss



실험체 평면도



실험체 입면도 1



실험체 입면도 2

실험체 엑스노메트릭

실험체 평면도, 입면도

Fig. 7-14. 3-D Plan of full-scale test specimen for wood space truss

2) 실험체 시험용 목조입체트러스의 구조설계

그림과 같이 설계·제작된 실대 시험용 목조입체트러스의 설계하중을 분석하기 위하여 목조입체트러스의 구조설계를 실시하였다. 구조설계는 SAP 5 PC용 프로그램을 사용하였다.

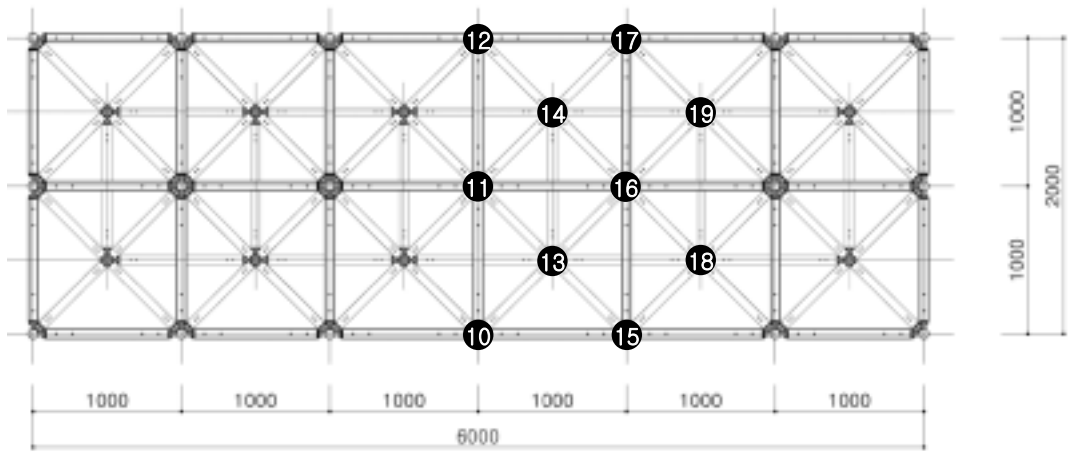
설계에 사용된 각종 하중에서 고정하중은 입체트러스가  $30\text{kg/m}^2$ , 중도리가  $10\text{kg/m}^2$ , 패널  $15\text{kg/m}^2$ , 기타  $5\text{kg/m}^2$ 로 전체 고정하중은  $60\text{kg/m}^2$ 를 적용하였다. 적재하중은 건축하중  $50\text{kg/m}^2$ 를 적용하였다. 바람하중은  $40\text{m/sec}$ 를 적용하였으며, 눈하중은 깊이  $50\text{cm}$ 를 적용하였다.

### (3) 실대 목조입체트러스의 구조내력 평가

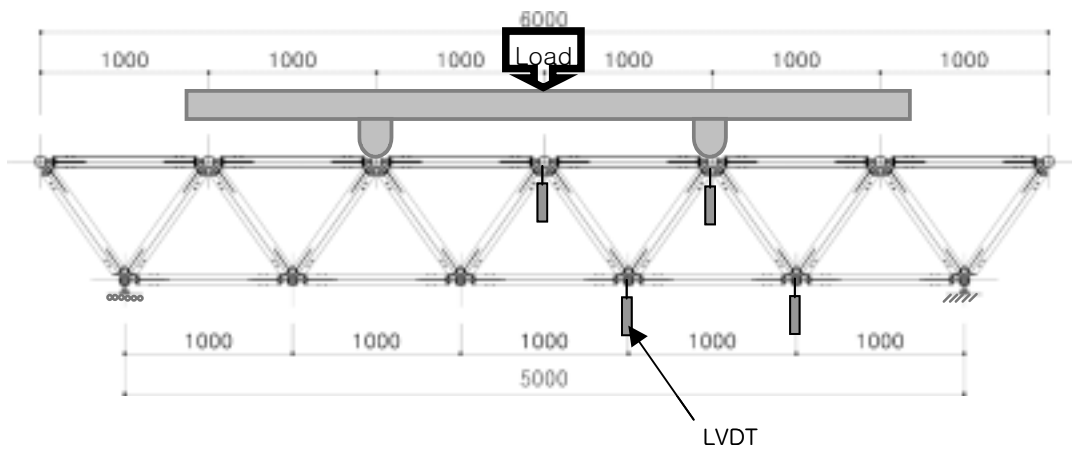
실대 시험용으로 설계된 목조입체트러스를 그림과 같이 제작하였다. 실대 목조입체트러스의 구조내력을 평가하기 위하여 강구조연구소에서 보유하고 있는 200톤 용량의 구조물시험기를 사용하여 입체트러스 내력시험을 실시하였다. 실대 목조 입체트러스 가력시험의 모식도는 다음 그림과 같았다. 단위 입체트러스의 실대 시험을 위한 가력은 상부로부터  $1\text{mm/min}$ 의 속도로 연직으로 하중을 가하였다. 하중은 상부의 연결구에 설치한 가력장치를 통하여 연직 방향으로 하중을 가하였다.

실대 시험용 목조입체트러스의 지점은 하부측 양쪽에 위치한 각 2개의 연결구로 하여 경간이  $5,000\text{mm}$ 가 되도록 하였으며, 하중은 그림과 같이 상부로부터 2점 하중을 가하되 각 가력지점에 3개씩의 연결구에 하중이 작용하되 하중을 가하는 2점의 간격이  $2,000\text{mm}$ 가 되도록 하중을 가하였다.

목조입체트러스의 중앙부위에서 하중의 가력에 따른 변위를 측정하기 위하여 각 연결구의 위치에 그림과 같이 번호를 붙여 LVDT를 설치하여 총 10개의 LVDT로 목조입체트러스의 연직 변위를 측정하였다. 목조입체트러스 부재의 변형도를 측정하기 위하여 트러스 부재에 그림과 같이 번호를 붙여 스트레인게이지를 부착하였다.



(a) Position of LVDTs measuring displacement for test specimen



(b) Loading method of test specimen

Fig. 7-15. LVDTs' position and loading method of full-scale test specimen of wood space truss

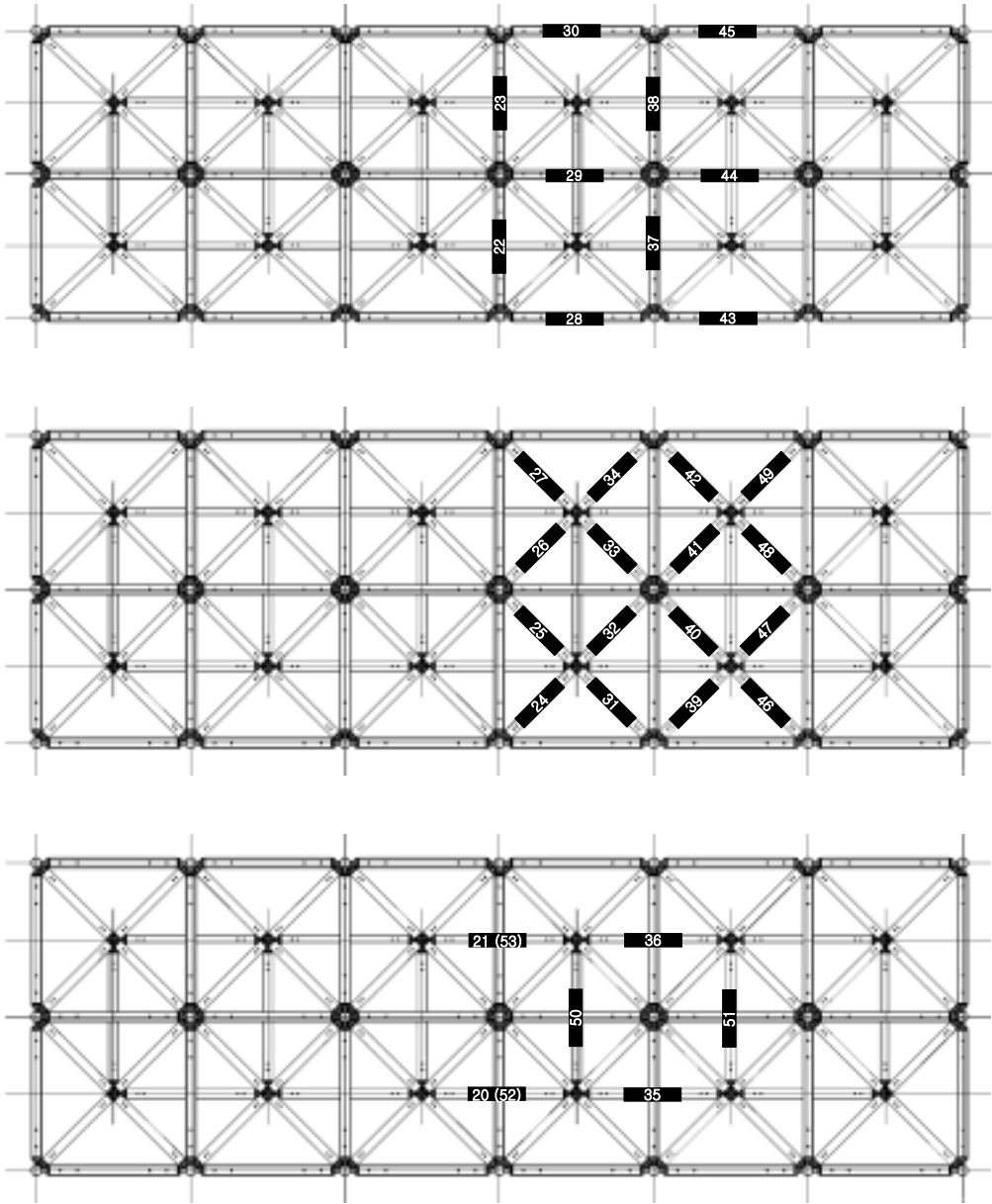


Fig. 7-16. Position of strain gage for full-scale test specimen of wood space truss





Fig. 7-17. Full-scale test specimen of wood space truss



Fig. 7-18. Full-scale flexure testing of wood space truss



Fig. 7-19. Full-scale specimen tested for wood space truss



Fig. 7-20. Structural member failed at connector parts during full-scale test for wood space truss

### 3. 공학 목구조시스템의 축조실연

#### 가. 공학 목구조시스템의 새로운 모델 및 구조 설계

본 과제에서 개발된 피라미트형 단위입체트러스를 기본 골조로 한 목조 입체 트러스로 구성된 건축물을 축조실연하기 위하여 연면적 121m<sup>2</sup>의 규모의 공학 목구조시스템을 다음 그림과 같이 설계하였다. 설계는 본 과제 연구진으로 활동한 (주)솔토건축에서 맡아 진행하였다.

그림과 같이 설계된 목조입체트러스의 설계내력과 구조안전성을 분석하기 위하여 목조입체트러스의 구조설계를 실시하였다. 구조설계는 SAP 5 PC용 프로그램을 사용하였다.

설계에 사용된 고정하중은 입체트러스가 30kg/m<sup>2</sup>, 중도리가 10kg/m<sup>2</sup>, 패널 15kg/m<sup>2</sup>, 기타 5kg/m<sup>2</sup>로 전체 고정하중은 60kg/m<sup>2</sup>를 적용하였다. 적재하중은 건축하중 50kg/m<sup>2</sup>를 적용하였다. 바람하중은 40m/sec를 적용하였으며, 눈하중은 깊이 50cm로 단위 중량 1.0을 적용하였다.

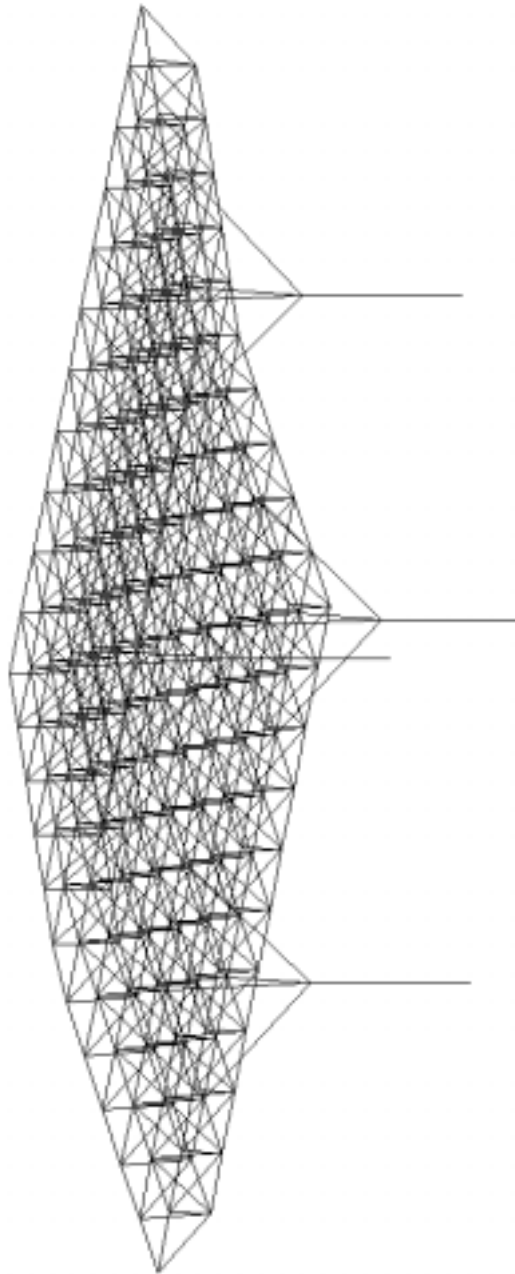


Fig. 7-21. Concept of wood space truss structures constructed in Jungbu Forest Experiment Station

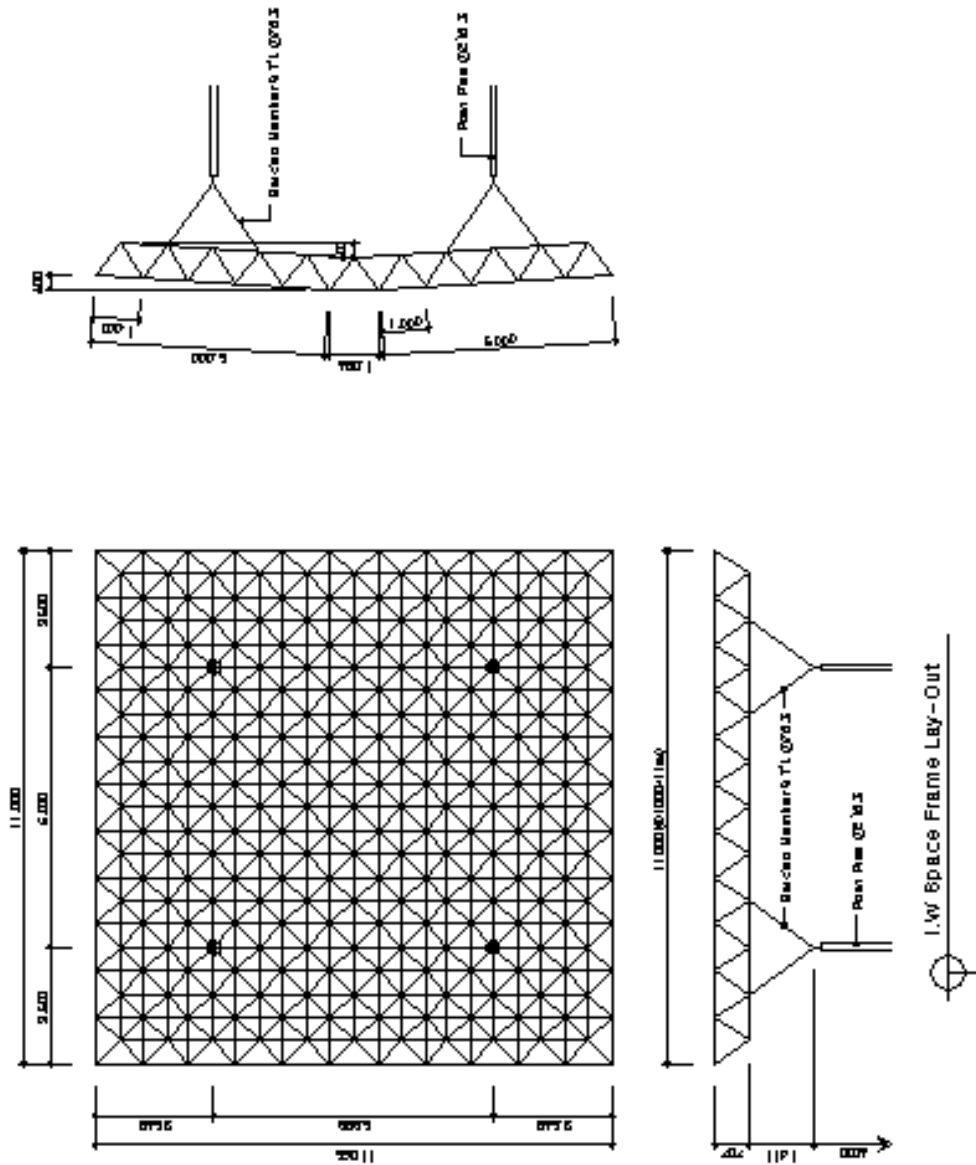


Fig. 7-22. Concept of wood space truss structures constructed in Jungbu Forest Experiment Station

#### 나. 공학 목구조시스템 축조실연

피라밋형 단위구조체를 기본 골조로 한 목조 입체트러스로 구성된 공학 목구조시스템을, 경기도 포천군에 위치한 임업연구원 중부임업시험장 구내에 연면적 121㎡의 규모로 축조 실연하였다. 실연 건축물의 용도는 휴게 공간에 활용되는 건축물로 시공은 본 과제 연구진으로 활동한 (주)솔토건축에서 맡아 진행하였다.

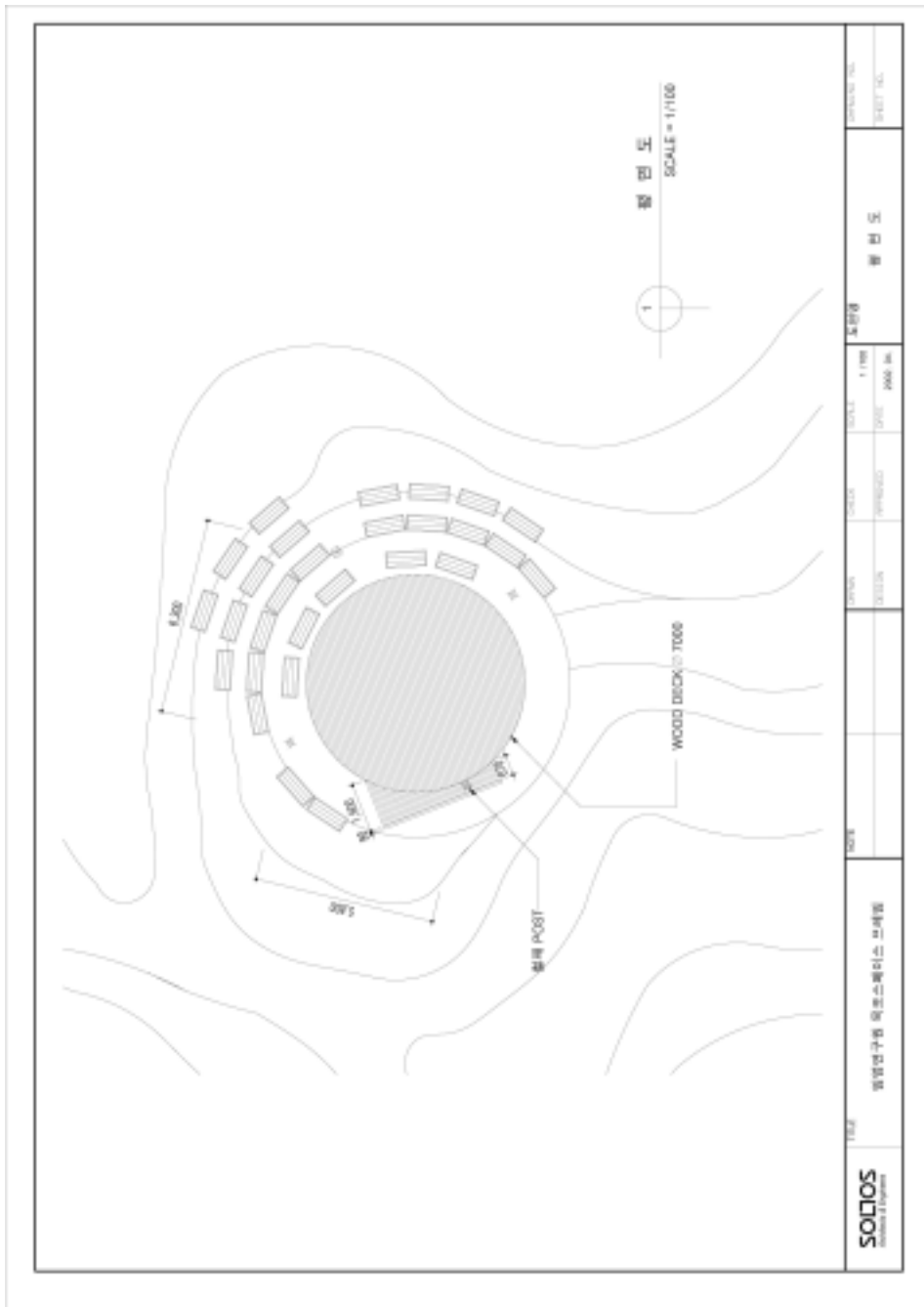


Fig. 7-23. Location of wood space truss structures constructed in Jungbu Forest Experiment Station

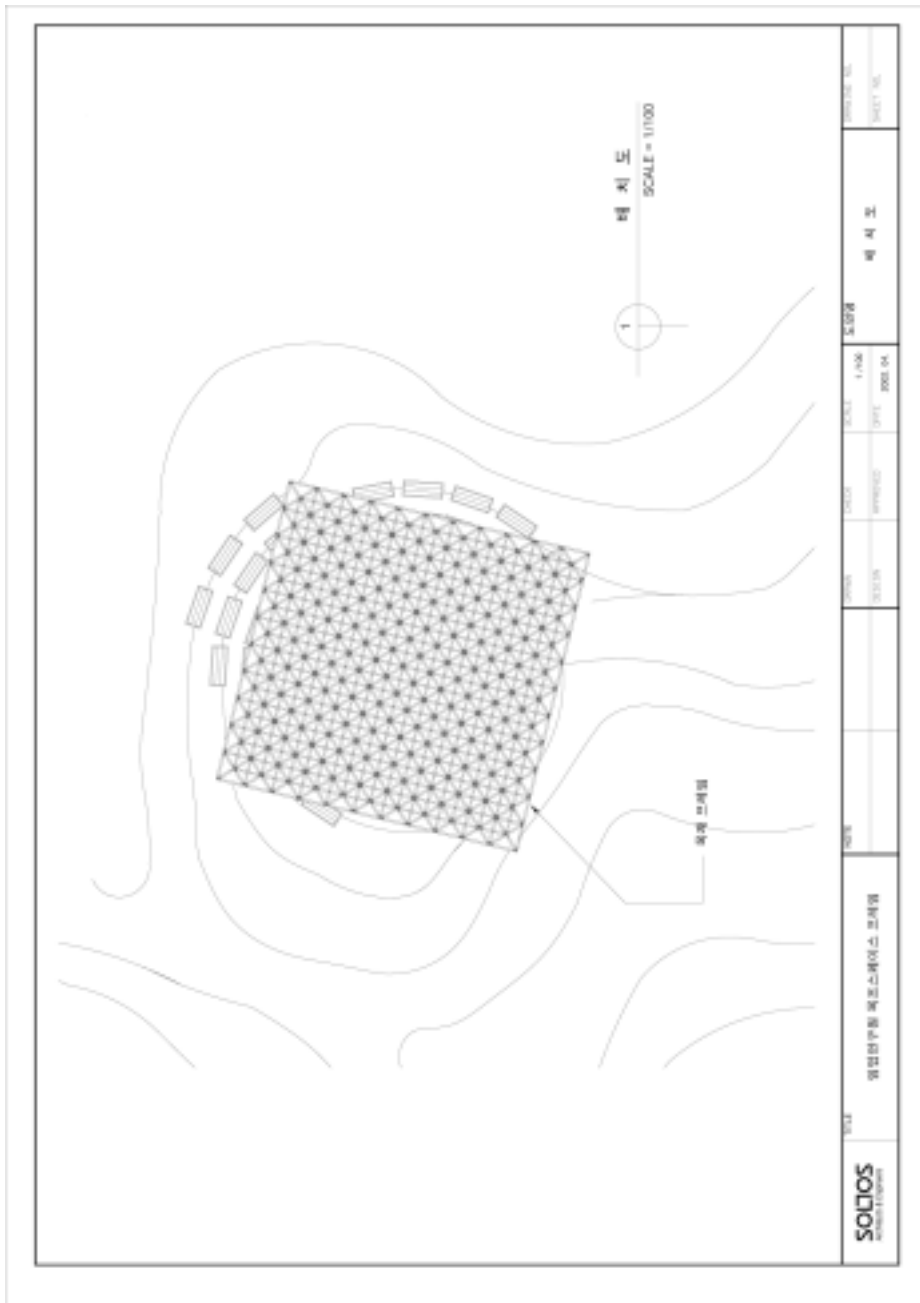


Fig. 7-24. Plan of wood space truss structures constructed in Jungbu Forest Experiment Station







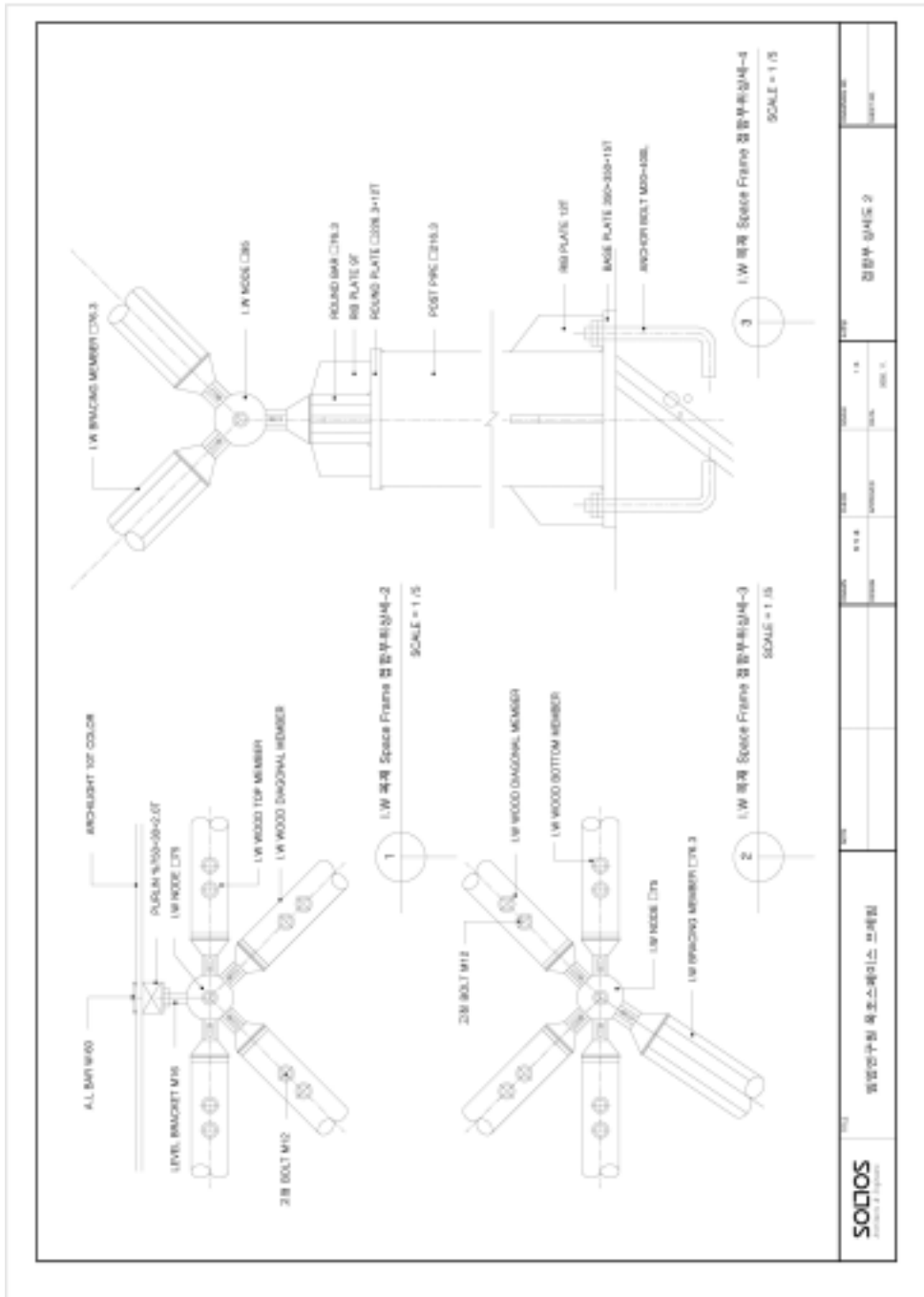


Fig. 7-27. Details of connections for wood space truss structures constructed in Jungbu Forest Experiment Station

### 제3절 연구결과

#### 1. 목조입체트러스의 접합부 개발

가. 목조입체트러스 접합부의 구조내력 평가

1) 목조입체트러스 철물접합부의 구조내력 평가

가) 각재-철물접합부의 구조내력

공학 목구조시스템에 사용된 철물접합부의 인장하중 시험 결과, 접합부의 하중-변위 곡선은 다음 그림과 같았다.

각재로 구성된 접합부의 경우 지름 12mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 4,723kg이었으며, 이 때의 변위는 6.28mm이었다. 철물접합부의 하중-변위 곡선은 하중을 가하는 초기단계에서 접합부 변위의 조정 단계를 거쳐 하중과 변위가 선형으로 비례하게 증가하다 변위 2.98mm(하중 2,967kg)를 초과하면서 하중은 비선형으로 증가하는 양상을 나타내다가 최대하중을 지나면서 접합부가 갑자기 파괴되는 경향을 나타내었다. 볼트접합부의 항복하중인 5% offset 하중은 3,979kg이었으며, 이 때 변위는 4.20mm이었다.

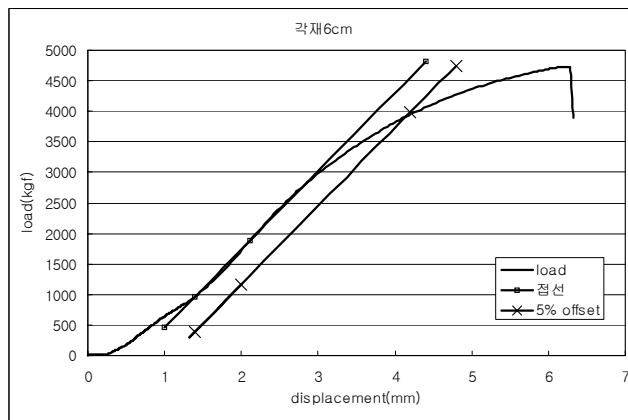


Fig. 7-28. Load-displacement curve for bolted connection in larch square lumber of 6cm thickness (Bolt diameter: 12mm)

각재로 구성된 접합부의 경우 지름 8mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 2,909kg이었으며, 이 때의 변위는 11.98mm이었다. 철물접합부의 하중-변위 곡선은 하중을 가하는 초기단계에서 접합부 변위의 조정 단계를 거쳐 하중과 변위가 선형으로 비례하게 증가하다 변위 4.00mm(하중 1,397kg)를 초과하면서 하중은 비선형으로 증가하는 양상을 나타내다가 최대하중을 지나면서 접합부가 갑자기 파괴되는 경향을 나타내었다. 접합부의 5% offset 하중은 1,786kg이었으며, 이 때 변위는 5.32mm이었다.

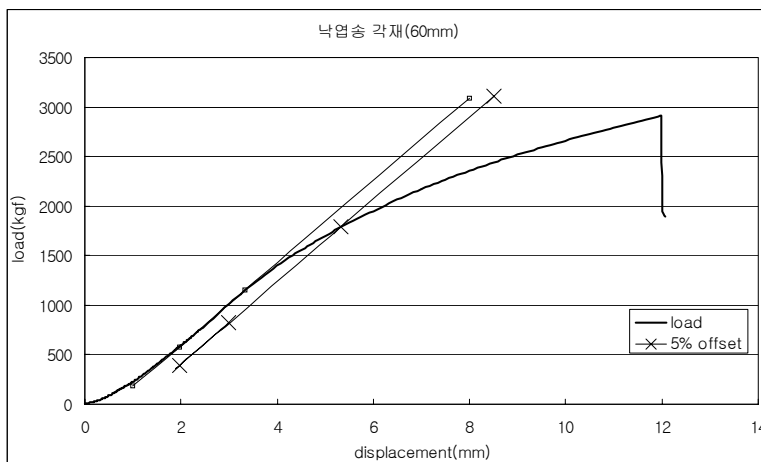


Fig. 7-29. Load-displacement curve for bolted connection in larch square of 6cm thickness (Bolt diameter: 8mm)

나) 원주재-철물 접합부의 구조내력 평가

원주재로 구성된 접합부의 경우 지름 12mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 4,278kg이었으며, 이 때의 변위는 4.79mm이었다. 철물접합부의 하중-변위 곡선은 하중을 가하는 초기단계에서 접합부 변위의 조정 단계를 거쳐 하중과 변위가 선형으로 비례하게 증가하다 변위 1.89mm(하중 2,260kg)를 초과하면서 하중은 비선형으로 증가하는 양상을 나타내다가 최대하중을 지나면서 접합부가 갑자기 파괴되는 경향을 나타내었다. 접합부의 5% offset 하중은 3,447kg이었으며, 이 때 변위는 3.05mm이었다.

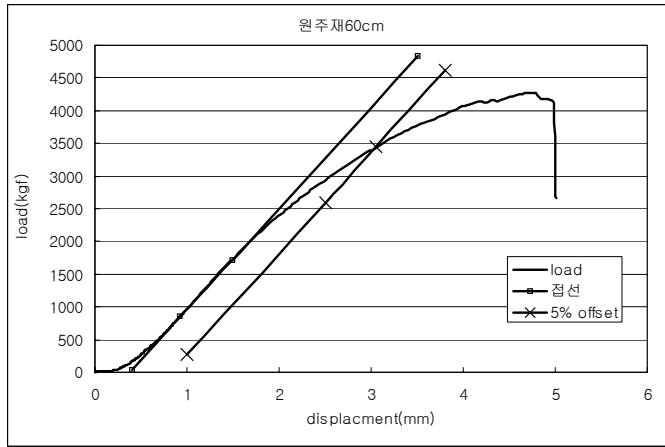


Fig. 7-30. Load-displacement curve for bolted connection in larch round rod of 6cm diameter (Bolt diameter: 12mm)

원주재로 구성된 접합부의 경우 지름 8mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 2,729kg이었으며, 이 때의 변위는 6.81mm이었다. 철물접합부의 하중-변위 곡선은 하중을 가하는 초기단계에서 접합부 변위의 조정 단계를 거쳐 하중과 변위가 선형으로 비례하게 증가하다 변위 3.77mm(하중 1,712kg)를 초과하면서 하중은 비선형으로 증가하는 양상을 나타내다가 최대하중을 지나면서 접합부가 갑자기 파괴되는 경향을 나타내었다. 접합부의 5% offset 하중은 2,365kg이었으며, 이 때 변위는 5.37mm이었다.

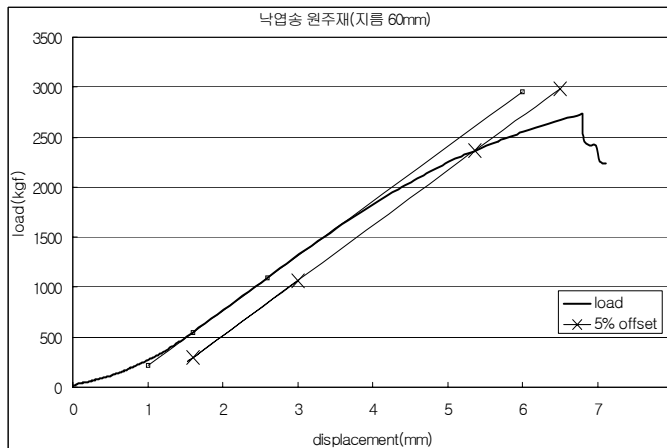


Fig. 7-31. Load-displacement curve for bolted connection in larch round rod of 6cm diameter (Bolt diameter: 8mm)

다) 각재와 원주재 볼트접합부의 내력성능 평가

6cm 각재로 구성된 지름 12mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 4,723kg으로 원주재로 구성된 접합부의 최대하중 4,278kg에 비하여 다소 큰 값을 나타내었으며, 각재와 원주재의 변위가 각각 6.28mm, 4.79mm로 각재의 경우 변위값이 더 큰 것으로 나타났다. 접합부의 5% offset 하중은 각재의 경우 3,979kg 변위가 4.20mm이었으며, 원주재의 경우 3,447kg로 변위가 3.05mm이었다. 이러한 경향은 최대하중에서와 유사하게 각재의 경우가 하중내력은 큰 반면 변위도 큰 값을 나타내는 동일한 경향을 나타내었다. 이러한 값의 차이는 각재와 원주재의 차이에서 기인한 것이라기보다 낙엽송 구조재의 산지가 다르고 낙엽송 구조재의 품질의 차가 있기 때문으로 분석된다.

6cm 각재로 구성된 지름 8mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 2,909kg이고, 변위는 11.98mm이었으며, 원주재의 경우 접합부의 최대 하중은 2,729kg이었으며, 이 때의 변위는 6.81mm이었다. 이러한 경향은 각재가 원주재보다 하중내력이 큰 반면 변위도 큰 값을 나타내었다. 이러한 차이는 12mm 볼트 접합부의 경우와 유사한 이유에 근거한 것으로 생각된다.

#### 라) 볼트 지름에 따른 볼트접합부의 내력성능 평가

각재로 구성된 지름 12mm 볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중은 4,723kg이었으며, 8mm 볼트접합부의 경우 2,909kg로 12mm볼트접합부에 비하여 61.6%의 내력성능을 보유하고 있었으며, 변위는 12mm 볼트접합부가 6.28mm이며, 8mm 볼트접합부가 11.98mm로 190.8%의 변위량을 나타내어, 12mm 볼트접합부가 8mm 볼트접합부에 비하여 내력과 변위 성능 면에서 현저하게 높은 성능을 나타내었다.

각재로 구성된 지름 12mm 볼트 2개를 가진 접합부의 5% offset 하중은 3,979kg이었으며, 8mm 볼트접합부의 경우 1,786kg로 12mm볼트접합부에 비하여 44.9%의 내력성능을 보유하고 있었으며, 변위는 12mm 볼트접합부가 4.20mm이며, 8mm 볼트접합부가 5.32mm로 126.7%의 변위량을 나타내어, 12mm 볼트접합부가 8mm 볼트접합부에 비하여 내력과 변위 성능 면에서 현저하게 높은 성능을 나타내었다.

원주재의 경우도 지름 12mm 볼트접합부와 8mm 볼트접합부의 내력성능과 변위량이 각재의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

## 2. 공학목구조시스템의 개발

### 가. 단위 입체트러스의 개발

#### 1) 단위 입체트러스의 제작

단위 입체트러스는 실험 방법에 제시된 방법과 같이 정밀하게 제작하였으며, 이는 목조입체트러스에 적용되는 하나의 부품으로서 큰 경간의 건축물에 활용될 수 있도록 충분한 강도와 강성이 요청된다.

#### 2) 단위 입체트러스의 구조내력 평가

1,000mm의 모듈로 제작된 단위 입체트러스의 구조내력을 평가하기 위하여 가력속도 1mm/min로 하중을 가한 결과 하중에 따른 변위를 분석하였다. 단위 입체트러스의 하중-변위 곡선을 그림에 나타내었다. 단위 입체트러스의 최대 하중은 17,900kgf이었으며, 이 때의 최대 변위는 14.20mm이었다. 단위 입체트러스의 하중 내력 성능이 매우 뛰어나, 하중에 따른 변위 증가도 적은 편으로 강성도 매우 큰 것으로 분석되었다. 목조입체트러스는 작은 부재로 구성되어 있으나, 입체트러스 부재 상호간 정밀한 접합에 의하여 하중에 저항하는 내력과 강성이 매우 큰 우수한 구조형식임이 입증되었다.

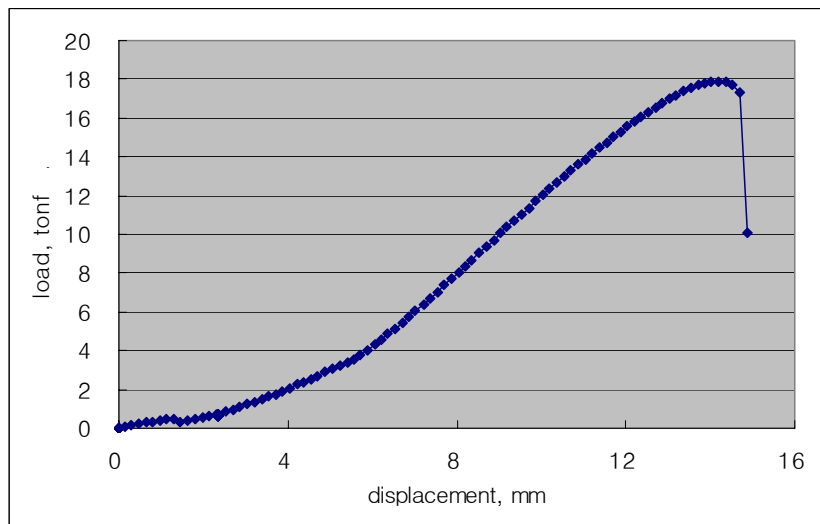


Fig. 7-32. Load-displacement curve of pyramid unit test specimen for wood space truss



단위 입체트러스의 하중변화에 따라 스트레인게이지로 측정된 변형도를 그림과 같이 나타내었다. 변형도는 스트레인게이지 #21과 #22를 부착한 트러스 부재가 가장 큰 변형도 값을 나타내었다. 특히, #21 트러스부재가 현저하게 큰 변형도를 나타내어 #20 트러스부재로부터 #27 트러스부재 중에서 가장 파괴 우려가 큰 부재로 분석되었다.

또한, #20 ~ #23 트러스 부재는 변형도를 나타내는 것으로 분석되었으며, #24 ~ #27 트러스 부재는 변형도를 나타내는 것으로 분석되었다.

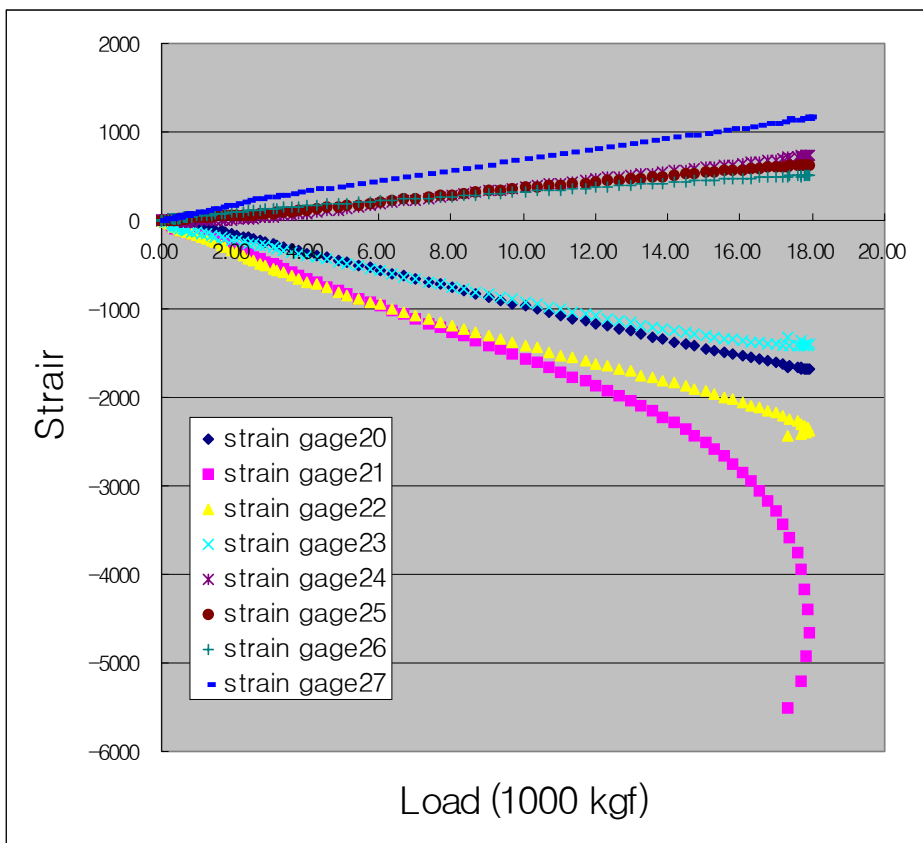


Fig. 7-33. Load-strain relationship of pyramid unit test specimen for wood space truss (From strain No. 20 to 27)

나. 목조입체트러스를 이용한 공학목구조시스템

### 1) 목조 입체트러스의 구조설계

낙엽송으로 제작된 길이 6m, 나비 2m의 실대 내력 시험용 입체트러스를 구조설계한 결과, 허용 최대 재하 하중은 하향하중 작용시 390kg/cm<sup>2</sup>로 계산되었으며, 상향하중으로 작용할 때 500kg/cm<sup>2</sup>로 분석되었다.



Fig. 7-34. Concept drawing of deflected wood space truss after loading

### 2) 목조 입체트러스의 구조내력 성능평가

실대 목조입체트러스에 연직하중을 가하여 입체트러스가 파괴될 때까지 내력시험을 수행한 결과 최대하중 7,490kgf에서 파괴가 발생하였으며, 이 때의 최대 변위는 중앙 부위 처짐 평균 (LVDT #10, #11, #12의 처짐 평균)이 58.60mm이었다. 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐평균 (LVDT #13, #14의 처짐 평균)은 54.51mm로 나타났다. 중앙부위 처짐 평균이 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐에 비하여 4.09mm 만큼 크게 나타나, 중앙부위에 위치한 부재가 더 큰 응력과 변형도를 받는 것으로 분석되었다.

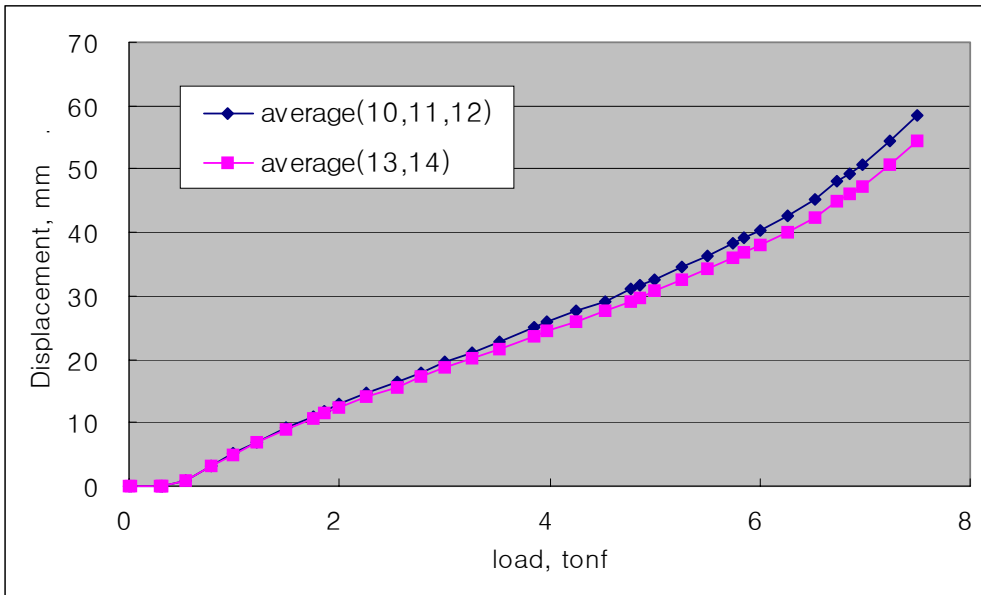


Fig. 7-35. Load-displacement curve of full-scale test specimen for wood space truss (Average of LVDT No. 10 to 12, and average of LVDT No. 13 to 14)

목조입체트러스의 실대 시험에서 하중변화에 따른 각 부재의 하중-변위 곡선을 그림에 나타내었다. 목조입체트러스의 중앙부위에 위치한 연결부의 변위를 측정하기 위하여 설치한 LVDT #10, #11, #12 부위에서 처짐이 가장 크게 발생하였으며, 다음 그룹인 #13과 #14 부위, 그룹 #15, #16, #17 부위, 그룹 #18과 #19 부위로 가면서 처짐 발생량이 감소하는 경향을 나타내어 부재와 접합부에 작용하는 응력발생도 같은 경향을 나타낼 것으로 분석되었다. 보다 정밀한 분석을 위하여 하중이 작용할 때 위치별 부재에 미치는 응력과 변위에 대한 연구가 추가로 필요할 것으로 생각된다.

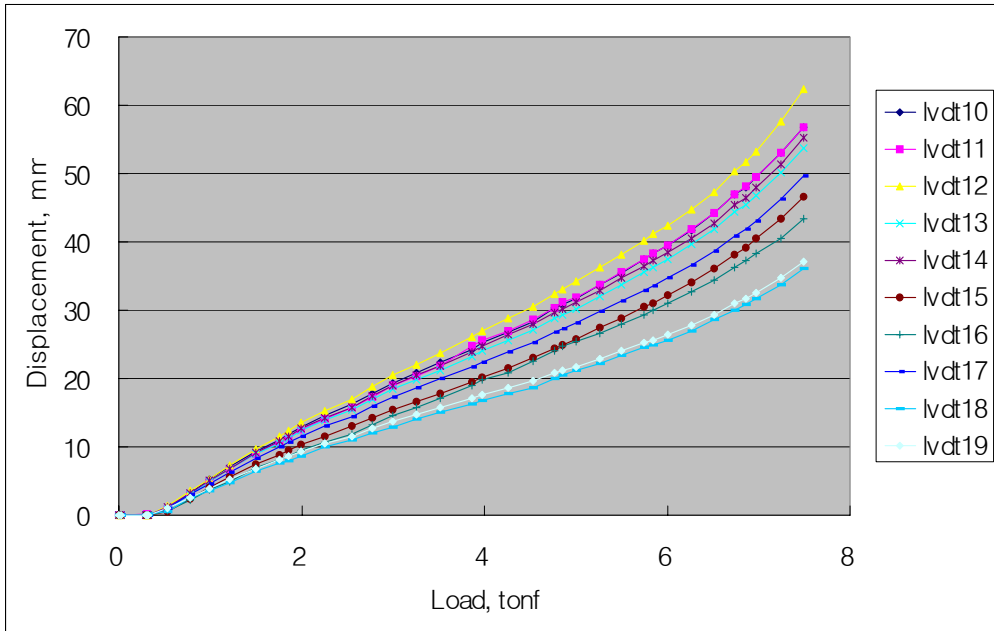


Fig. 7-36. Load-displacement curve of full-scale test specimen for wood space truss (From LVDT No. 10 to 19)

목조입체트러스의 하중 증가에 따른 부위별 부재의 변형도를 측정된 결과를 그림에 나타내었다. 부위별 부재의 변형도는 스트레인게이지 #40과 #41을 부착한 경사 부재에서 가장 큰 변형도 값을 나타내었으며, 스트레인게이지 #24, #25와 #26, #27을 부착한 경사 부재가 다음으로 큰 변형도 값을 나타내었다.

목조입체트러스의 변형도 측정결과에 따르면, 스트레인게이지 번호 #24, #25, #26, #27, #28, #29, #30, #35, #36, #40, #41의 변형도가 큰 값으로 나타났으나, 다른 번호를 부착한 부재의 변형도는 비교적 적은 값을 나타내어 부재의 응력이 작고 파괴위험도도 매우 적을 것으로 판단된다.

목조입체트러스 부재에 나타나는 변형도를 보다 정밀하게 변형도를 분석하기 위하여 압축변형도와 인장변형도로 세분하여 연구하기 위하여 추가의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

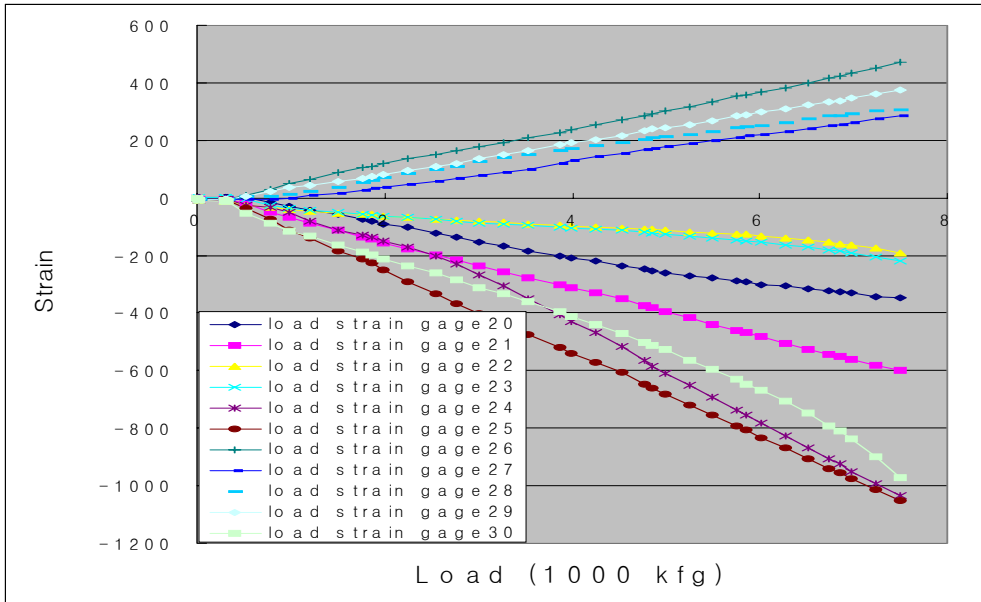


Fig. 7-37. Load-strain relationship of full-scale test specimen for wood space truss (From strain No. 20 to 30)

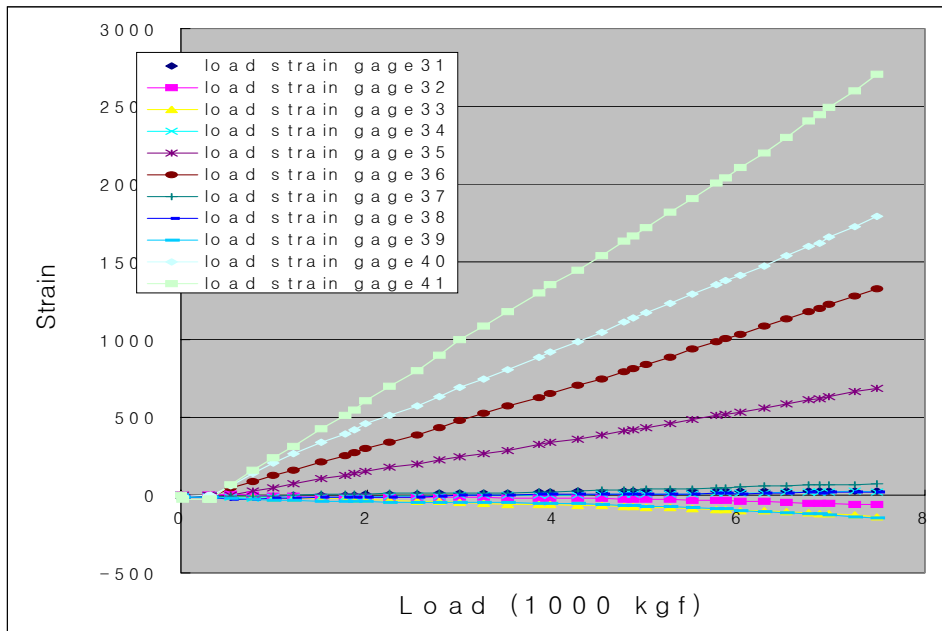


Fig. 7-38. Load-strain relationship of full-scale test specimen for wood space truss (From strain No. 31 to 41)

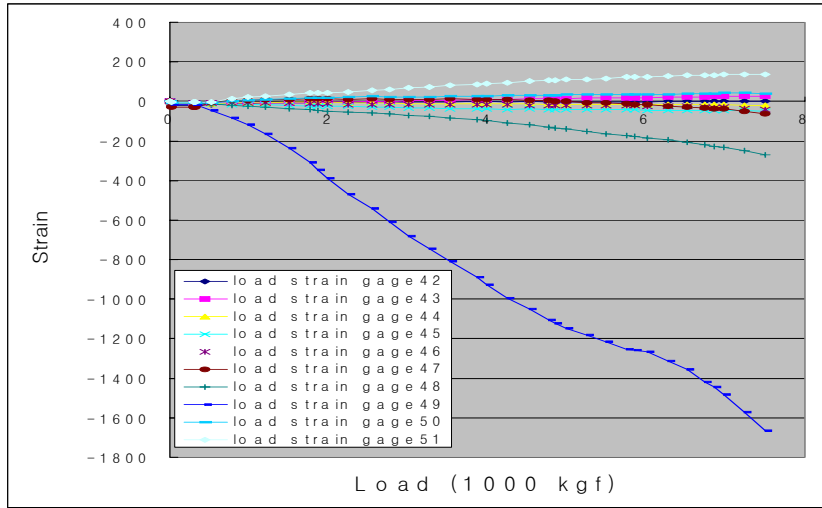


Fig. 7-39. Load-strain relationship of full-scale test specimen for wood space truss (From strain No. 42 to 51)

실대 목조입체트러스의 하중 내력성능 평가를 위한 시험결과로부터 알게 된 입체트러스 중앙부위에 발생하는 큰 처짐과 변형도로 인하여, 목조 입체트러스 시험체의 중앙부에 위치한 부재, 특히 인장측에 위치한 부재는 강한 인장력과 함께 목조입체트러스에서 발생하지 않을 것으로 가정한 바와 달리 휨응력도 작용하는 것으로 확인하였다. 목조입체트러스의 중앙부 부재에 작용하는 변형도를 측정하기 위하여 트러스 부재의 상단부와 하단부에 스트레인게이지를 부착하여 시험하였다.

목조입체트러스의 중앙부 부재의 휨 응력 발생 여부를 판단하기 위하여, 목조 입체트러스의 중앙부 하단의 측면에 위치한 2개 부재의 상 하단에서 스트레인게이지를 사용하여 변형도를 측정하였다. 목조입체트러스 부재의 변형도는 각기 #20과 #53을 부착한 트러스 부재와 #21과 #52를 부착한 트러스 부재로 전체 측정 부재가 2개의 부재의 상단과 하단의 중앙부에 스트레인게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다.

트러스부재의 상단에 부착한 스트레인게이지 #20과 #21은 압축변형도를 나타내는 압축응력을 받는 것으로 분석되었으며, 트러스부재 하단에 부착한 #52와 #53은 인장변형도를 발생시키는 인장응력을 나타내고 있었다.

따라서, 목조입체트러스의 중앙부위에 위치한 한 개의 부재에 인장 또는 압축 응력이 크게 작용하기 때문에, 입체트러스 부재를 조립할 때 목조입체트러스의 중앙부위 특히 응력이 과다하게 작용할 것으로 분석되는 부재는 인장 또는 압축

응력을 충분히 견뎌낼 수 있는 높은 등급의 부재, 특히 기계등급 구조재를 선택하여 사용하도록 설계단계로부터 시공단계에 이르기까지 상세한 기준이 제시되어야 할 것이다. 또한, 이들 트러스부재에 작용하는 휨 응력과 축 하중의 조합 하중에 의하여 발생하는 조합응력에 대한 심층적인 분석을 위한 추가의 연구가 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

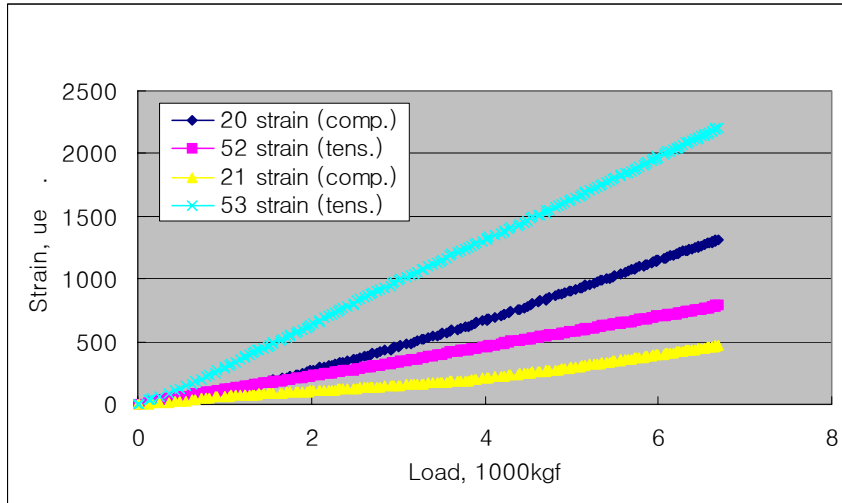


Fig. 7-40. Load-strain relationship at selected member of full-scale test specimen for wood space truss (Strain gage No. 20, 52, 21, 53)

### 3. 공학목구조시스템의 축조실연

#### 가. 공학 목구조시스템의 새로운 모델 및 구조설계

개발된 목조입체트러스 건축물의 시공 적합성을 확인하기 위하여 시범 건축물로 축조실연하기 위하여 121m<sup>2</sup>의 규모의 휴게시설 용도의 구조물을 설계하고, 이 건축물에 대한 구조설계를 실시한 결과 구조적으로 이상이 없는 것으로 분석되었다.

#### 나. 목조건축시스템 축조실연



목조입체트러스를 활용하여 경기도 광릉 중부임업시험장에 시범 건축물로 시공한 121㎡ 규모로 축조 실연하였다. 목조입체트러스 건축물의 지붕에 해당하는 입체트러스 부분을 4명의 조립공이 투입되어 목조입체트러스로 조립할 경우 8시간 내에 조립을 완료하여, 조립시간이 상대적으로 짧았다. 기초 공사를 제외하고 기둥과 목조입체트러스, 지붕마감재, 도장 등을 합한 공사기간은 2~3일 정도에 모두 완료할 수 있었다. 목조입체트러스 건축물의 경제성 분석을 통하여 입증된 바와 같이 목조입체트러스 건축물의 시공이 일반화될 경우 건축비를 상당히 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

목조입체트러스는 목재의 재질과 미관 등 장점을 살려 정밀하게 건축할 수 있는 아름다운 건축 구조형식이다. 또한 목조입체트러스 건축물의 하중내력 성능과 강성이 매우 높고 모듈화되어 있기 때문에 현장에서 조립·시공하기가 편리하며, 큰 경간의 건축물의 시공이 용이하여 넓고 자유로운 실내 공간의 연출이 가능한 장점을 가진다.

목조입체트러스는 각종 운동 경기장이나 박물관, 전시관, 고속도로 휴게소, 공원 휴게시설, 상징탑 등 중·대규모의 건축물과 시설의 지붕이나 커튼월로 활용될 수 있으며, 특히 다른 구조 즉, 철골조 혹은 철근 콘크리트조와 함께 복합구조로 시공할 경우 그 활용도가 증가될 것으로 전망된다.



Fig. 7-41. Fabrication of wood space truss at construction site



Fig. 7-42. Fabrication of connections for wood space truss at construction site



Fig. 7-43. Construction of wood space truss structures fabricated



Fig. 7-44. Wood space truss structures fabricated



Fig. 7-45. Wood space truss structures fabricated

#### 제4절 결론

국내 조림지에서 생산이 증가하고 있는 낙엽송 중소경재를 고부가가치 용도로 활용하는 방안의 하나로, 최근 건축계의 관심이 높아지고 있는 대규모의 큰 경간을 가지는 구조에 적합한 입체트러스를 적용한 공학목구조 시스템을 개발하는 것이 합리적이다.

새롭게 개발된 목조 입체트러스의 구조는 피라밋형 단위입체트러스를 연속하여 구성하는 형식을 적용하였다. 목조입체트러스의 개발을 위하여 길이가 짧은 낙엽송 구조부재를 서로 연결시키는 접합철물의 개발이 선행되어야 하며, 접합부의 내력성능에 맞는 입체트러스 접합부를 설계하여야 한다.

본 과제는 목조입체트러스에서 개발한 접합철물과 이 철물을 사용한 접합부의 구조내력, 개발된 접합철물을 사용하여 제작한 단위 입체트러스의 구조내력 평가, 목조입체트러스를 이용한 공학목구조시스템, 목조입체트러스의 구조내력과 변위에 대한 연구를 수행하고, 공학목구조시스템을 건축물로 축조 실연한 연구 결과는 다음과 같았다.

목조입체트러스의 접합철물로는 강재를 사용하여 개발하였으며, 목조입체트러스의 단위 골조는 사재의 각도  $45^\circ$ 를 사용하였고, 목조입체트러스의 접합철물은 8방향으로 접합할 수 있도록 제작되었다. 목조입체트러스 접합철물의 주요부품인 연결구의 지름은  $\phi 65\text{mm}$ 이었으며, 목재속에 삽입되는 강관의 두께는  $4.5\text{mm}$ 이었다. 목조입체트러스의 모듈을  $1,000\text{mm}$ 로 정하는데 알맞은 치수를 선택하여, 구조적 안전성과 건축 설계상 미관성, 건축설계의 용이성 등 설계 요소를 고려하여 개발하였다. 볼트 사이 간격과 트러스부재의 끝면 거리는 미국목구조설계기준(NDS)에 근거하여 충분한 구조성능을 보유하도록 설계하여 제작하였다.

각재에 적용된 지름  $12\text{mm}$  볼트 2개를 가진 접합부의 최대 하중내력은  $4,723\text{kg}$ 로 지름  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 1.6배의 내력성능을 보유하고 있었으며, 변위는  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $6.28\text{mm}$ 로  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 0.52배에 불과하여,  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 내력성능과 강성이 현저하게 높은 특성을 나타내었다. 지름  $12\text{mm}$  볼트 2개를 가진 접합부의 항복 하중은  $3,979\text{kg}$ 로  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 2.2배의 내력성능을 보유하고 있었으며, 변위는  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $4.20\text{mm}$ 로 0.78배에 불과하여,  $12\text{mm}$  볼트접합부가  $8\text{mm}$  볼트접합부에 비하여 내력성능과 강성이 높은 특성을 나타내었다. 원주재의 경우도 지름  $12\text{mm}$  볼트접합부는

8mm 볼트접합부보다 내력성능과 변위가 각재의 경우와 유사하게 뛰어난 경향을 나타내었다.

단위 입체트러스는 목조입체트러스에 적용되는 하나의 부품으로서 큰 경간의 건축물에 활용될 수 있도록 충분한 강도와 강성이 요청되어 구조내력 성능을 평가하였다.

단위 입체트러스의 최대 하중은 17,900kgf이었으며, 이 때의 최대 변위는 14.20mm이었다. 단위 입체트러스의 하중 내력 성능이 뛰어나고, 하중에 따른 변위 증가도 적은 편으로 강성도 매우 큰 것으로 분석되었다. 목조입체트러스는 작은 부재로 연결되어 있으나, 입체트러스 부재 상호간 정밀한 접합에 의하여 하중에 저항하는 내력과 강성이 매우 큰 구조형식으로 입증되었다.

공학목구조시스템으로 채택된 실대 목조입체트러스에 연직하중을 가하여 입체트러스의 내력시험을 수행한 결과 최대하중 7,490kgf에서 파괴가 발생하였으며, 이 때의 최대 변위는 중앙 부위 처짐 평균이 58.60mm이었다. 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐평균은 54.51mm로 나타났다. 중앙부위 처짐 평균이 중앙부위로부터 1,000mm 떨어진 부위의 처짐에 비하여 4.09mm 만큼 크게 나타나, 중앙부위에 위치한 부재가 더 큰 응력과 변형도를 받는 것으로 분석되었다.

목조입체트러스 건축물의 시공 적합성을 확인하기 위하여 시범 건축물을 시공한 결과, 중대규모 목조건축물에 적합한 구조형식으로 입증되었다. 기초 공사를 제외하고 기둥과 목조입체트러스, 지붕마감재, 도장 등을 합한 공사기간은 2~3일 정도에 모두 완료할 수 있었다. 목조입체트러스는 목재의 재질과 미관 등 장점을 살려 정밀하게 건축할 수 있는 아름다운 건축 구조형식이다. 목조입체트러스의 하중내력 성능과 강성이 매우 높고 모듈화되어 있기 때문에 현장에서 조립·시공하기가 편리하며, 큰 경간의 건축물의 시공이 용이하여 넓고 자유로운 실내공간의 연출이 가능한 장점을 가진다.

목조입체트러스는 각종 운동 경기장이나 박물관, 전시관, 고속도로 휴게소, 공원 휴게시설, 상징탑 등 중·대규모의 건축물과 시설의 지붕이나 커튼월로 활용될 수 있으며, 특히 다른 구조 즉, 철골조 혹은 철근 콘크리트조와 함께 복합구조로 시공할 경우 그 활용도가 많을 것으로 전망된다.

## 참 고 문 헌

1. 심국보, 박문재. 1998. 국산 구조용 제재의 허용응력결정 체계. 산림과학논문집. 57: 43-52.
2. 오세창, 박문재, 심근, 이춘택. 1994. 침엽수 구조재의 품등기준과 목구조부재 설계기준. 49: 155-161.
3. American Forest and Paper Association. 1997. National Design Specification for Wood Construction. pp. 174.
4. American Institute of Timber Construction. 1994. Timber construction manual. John Wiley & Sons, Inc.
5. Boughton, G.N. 1998. Timber Design Handbook. Standards Australia.
6. Breyer, D.E. 1993. Design of wood structures. 3rd Ed. 189-207.
7. Chilton, J. 2000. Space grid structures. Architectural Press.
8. Donald E. Breyer. 1993. Design of Wood Structures. 3rd edition. McGraw-Hill Book Company.
9. Epstein, M., and Y. Tene. 1971. Nonlinear analysis of pin-jointed space trusses. J. Structural Div. 97(9): 2189-2202.
10. Faherty, K.F, and T.G. Williamson. 1995. Wood engineering and construction handbook. MacGraw-Hill, Inc.
11. Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook, wood as an engineering material. USDA For. Serv. FPL Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113.
12. Houtman, R. etc. 1998. Maximum strength of wire-laced dowel joints for roundwood. Proceedings, 5th World Conference on Timber Engineering, August 17-20, 1998, Montreux, Switzerland, vol. 2: 161-168.
13. Ross, R.J., and R.F. Pellerin. 1993. Nondestructive testing for in-place assesment of wood members. In Wood products for engineered structures. 176-179.

14. Sadakata, K. 1991. Experimental study on the practical use of the space truss structure that utilized small diameter lumbers. Proceedings of the 1991 International Timber Engineering Conference. 2-5 september 1991. London. UK. vol. 2: 104-111.
15. Sadakata, K. etc. 1998. Wooden space truss roofs is constructed of thinning lumber skeleton-unit. Proceedings, 5th World Conference on Timber Engineering, August 17-20, 1998, Montreux, Switzerland, vol. 1: 758-759.
16. Seborg, R. M., M. Millet and A. J. Stamm: Mechanical Engineering, 67(1), 25-31.
17. Vasek, M. 1998. The metal joints for the space timber structures-The non-linear behavior. Proceedings, 5th World Conference on Timber Engineering, August 17-20, 1998, Montreux, Switzerland, vol. 1: 822-823.
18. Wolfe, R.W., J.R. King, and A. Gjinolli. 2000. Dowel-nut connection in Douglas-fir peeler cores. USDA For. Serv. For. Prod. Lab. Res. Pap. FPL-RP-586.
19. 新木造工法実用化委員会. 1995. 木造立体トラス工法の手引き. pp. 95.
20. (財)日本住宅・木材技術センター. 1996. 大断面木造建築物接合部設計マニュアル.