

최 종  
연구보고서

간벌 소경재를 이용한

집성목재건축의 산업화 방안 연구

A Study on the Industrialization of Glulam-Construction  
Using Small-Diameter Timber from Thinning

연구기관

한라대학교

동아대학교

익산대학

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “간벌 소경재를 이용한 집성목재건축의 산업화 방안 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 12 월

주관연구기관명 : 한라대학교

총괄연구책임자 : 한 재 수

세부연구책임자 : 한 재 수

업 상 권

권 영 철

서 덕 석

연 구 원 : 김 재 건

연 구 원 : 정 준 수

연 구 원 : 김 진 원

연 구 원 : 송 중 목

연 구 원 : 황 선 우

협동연구기관명 : 동아대학교

협동연구책임자 : 박 학 길

협동연구기관명 : 익산 대학

협동연구책임자 : 박 희 준

# 요 약 문

## I. 제 목

간벌 소경재를 이용한 집성목재건축의 산업화 방안에 관한 연구

## II. 연구개발의 중요성 및 목적

간벌은 경제적 수증개량과 육림관리의 중요성과 함께 절실한 국가 정책적인 문제로 대두되고 있다. 그러나 현실적으로 산림소유자는 저가의 나무 값으로 인하여 벌채를 기피하고 있고 산림경영인들 역시 간벌 소경재의 생산에 참여하지 않고 있다. 따라서 이러한 수요공급의 악순환을 해결하기 위한 방안모색으로 간벌 목재에 대한 건축시장에서의 수요 확대 방안에 관한 연구의 필요성이 요청되고 있다. 설상가상으로 현재 목조주택으로 널리 유행되고 있는 2"×4"공법으로 외국 기술도입 증가와 관련자재수입증가 현상이 유발되어 국산재의 소비에 상당한 타격을 줄 위험성이 나타나고 있으므로 이에 대응할 수 있는 목구조개발이 시급하다.

따라서 본 연구는 간벌재가 장수명 골조를 유지하면서 재사용(reuse), 재생활용(recycle)할 수 있는, 환경친화적인 건축소재로서 자재 수급의 안정성을 지니고 있는 간벌재의 장점을 살리고 문화경쟁력을 살릴 수 있는 한옥의 구조적 전통성을 지닌 조립식 건축구조를 개발 하였다. 동시에 구조 실험을 통하여 집성부재의 최적 단면과 접합방식을 결정하였으며 이를 근거로 체계화된 생산방식에 의한 표준화된 부품개발과 목조 건축설계와 시제품을 제시하였다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

본연구의 내용과 범위는 간벌 소경재를 활용한 전통목구조의 실용화 설계와 소재개발 및 부품제작 그리고 설계된 재료와 구조부재 (보, 기둥, 접합부)실험으로 요약된다.

### 1. 간벌소경재를 활용한 전통목구조의 실용화 설계

전통목구조의 실용화 요소를 고려시대 목조건축의 구법과 구조적 특성분석에서 찾았다. 그 결과를 실용화 하기위하여 부재의 표준화, 구법의 단순화와 공정의 최소화, 부재의 역학적 성능향상을 중심으로 설계단면과 접합부에 대한 대안을 가정하여 다목적 실험공간(실험수31.4평)에 대한 설계초안을 작성하였다. 이들 각 부재와 주요 구조체 그리고 접합부에 대한 역학적 성능 실험 결과를 토대로 설계초안을 검토한 뒤 산업화 가능한 최종설계안을 제시하였다.

## 2. 구조부재 (보, 기둥, 접합부) 실험

기본설계안에 제시된 가상단면( 보와 기둥 접합부)에 대하여 을 )과 접합부에 대하여 실험체를 낙엽송 원목과 집성목으로 제작하여 구조(휨응력, 허용압축응력, 허용인장응력)실험을 실시했으며 전통목구조의 공학적 특성도 검토 확인했다.

## 3. 소재개발 및 실험체 제작

라미나 구성패턴별로 집성보를 제작하여 실험한 결과에 따라 제작된 보와 기둥 그리고 접합부를 실험방법에 따라 각각 절삭 가공하여 실험체를 제작한다. 접합부 실험체는 최적 장부 크기와 보와 기둥의 접합방법 그리고 보의 이음방법을 고려한 실제 크기로 제작하였다.

# IV 연구개발결과 및 활용에 관한 전의

## 1. 연구개발결과

본 연구에서 사용된 집성보의 기본 크기는 단면 길이 비 1:2 인 150mm \*300mm \*3600mm를 표준부재로 사용하였으며 이것의 크기를 기준으로 기둥 서까래와 중도리 상, 하 인방 보들을 제작되었다.

1) 실용화설계 : 실의 규모는 좌식과 입식의 혼합을 고려하여 3.6m\*3.6m를 기본 모듈로 하였으며 최대 스패는 7.2m를 적용한 3 연속보를 지닌 목구조 개념으로 설계하여도 가능함을 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 부재의 모듈은 보와 기둥이 홈에 의하여 서로 결합되므로 부재 상호간의 크기와 함수관계를 지니고 있다. 실험에 의하면 단면 비 1:2를 모듈로 사용하는 보의 경우 장부 목의 크기는 보폭의 1/3 , 보머리와 장부머리 길이는 보폭의 1/2 로 설계하는 것이 장부이음의 최대 응력을 발휘하는 것으로 나타났다. 이와같은 모듈체계를 이용한 표준화 된 전통 계승형 목조건축 우리집 1호를 개발하였다.

2) 소재개발 및 실험체제작 : 동일단면의 낙엽송 원목과 집성목에 대한 구조응력과 파괴형상에 대한 자료를 확보하였으며 이것을 기초로 DB작성과 목구조설계가 가능해질 것이다.

3) 구조실험 : 전통 목조에서 사용하고 있는 장부는 시공의 정밀성과 함수율에 의한 변형만 최소화 시킬수 있다면 횡력에 저항할 수 있는 구조 부재임을 입증했다. 또한 보의 이음 방식에 있어 췌기의 크기와 Pitch 간격은 강도결정에 중요한 영향을 미치고 있으며 이음 패턴에 있어 엇걸이 산지이음은 상당한 강성을 지니고 있음을 밝혀냈으며 이를 이용하면 문화재 보수도 가능할 것으로 판단된다. 가구 구조

설계에 있어 지붕 구조의 짜임새를 강하게 조성할 수 있다면 3 연속보를 구사하여 기둥에 대한 휨모멘트 부하를 줄이는 방향으로 최적 설계가 가능하다.

## 2. 활용에 관한 건의

본 연구에서 개발된 우리집 1호는 주택기능과 소규모 공공시설 기능이 결합된 구조이므로 아래와 같은 소규모지방 공공시설에 적용이 가능하다

활용분야	활용방안
임업계	농어촌 목조주택보급, 마을회관 및 읍사무소같은 공공건축의 목조화
	산촌개발, 관광단지개발, 친환경적인 건설업(임산가공+건축연관산업)조성
건축계	친환경적인 건축개발
	초등학교등의 교육시설물(강당,체육관)등과 같은 공공집회 시설의 목조건축
	중저층 주거건축의 목조화
	지방 소 도시 관공서와 역사(驛舍)의 목조화

1) 본연구의 결과로 설계 된 우리집 1호는 대량생산에 의한 집성부재 공급을 전제로 설계된 것이므로 최종 목표인 고부가치 산업자원으로 인식되려면 목조건축 중심의 산촌개발이나 산림자원활용방안이 마련되어야 하며 이를 위한 대규모 임산가공공단조성이 필요하며 건축법의 방화규정 개정이 필요하다.

2) 개발된 기술의 관련업체 이전을 통하여 국산재의 새로운 수요 창출의 기틀이 마련될수 있으며 국산재 이용 촉진과 임업의 산업화 기반을 조성함으로써 국가적으로 중대한 난제로 등장하고 있는 간벌의 경제성 문제를 부분적으로 해결하게 될 것으로 판단되며 복합소재를 활용한 집성부재개발과 표준화 설계의 특허 출원을 통하여 목조건축산업 육성에 기여하게 될 것으로 기대된다.

## ABSTRACT

## **I. Title**

A Study on the Industrialization of Glulam-Construction Using  
Small-Diameter Timber from Thinning

## **II. Importance and Objective of Study and Development**

Thinning is uprising as a urgent problem in national policies as well as efficient improvement of a seed of tree and management of bringing-up of forest. But the owners of forest do not intend to exploit a forest because of the low price of tree and the managers of forest also do not participate in the production of small-diameter timber from thinning. Therefore, to cut off the vicious circle in demand and supply, it is needed to study the ways in magnifying the supply of the timbers from thinning in the construction market.

Unfortunately a method of construction so called 2"X4" ,being popular, is applied widely to the construction of a wooden house at present. Because the increase of introducing of foreign techniques and importing the related materials reduces the consumption of domestic materials, it is immediately needed to develop the corresponding wood structural system.

Thus, in this study a prefab wood structural system is developed having the competitiveness in culture and inheriting the structural characteristics of Korean house. The advantages of timbers from thinning used in this system included reuse, recycle, sustainability, environment-friendly, and the stabilization of supply and demand of the materials. The sizes of section area and the types of connection between the glulams, glue laminated timber, were determined on the basis of experimental tests. The systematical producing processes are applied to the development of standardized parts. And the architectural design of wood house and a sample product are presented.

## **III. Contents and Extents of Development**

The contents and extents of this study are outlined as the practical design of traditional wood structure using small-diameter timber from thinning, the development and manufacture of parts, and the experimental tests on materials

and structural members such as beam, column, and connections.

### **1. Practical design of traditional wood structure using small-diameter timber from thinning**

The elements for realizing the traditional wood structure can be found by analyzing the methods of construction and the structural characteristics of wood structures in Korea dynasty era. To utilize the results, a draft of design on a versatile test space of which net areas is 31.4 pyung was made out using the design sections and connections assumed on the basis of standardization of member, simplifying of method of construction, minimization of process of producing, and elevation of structural capacity.

After a review of the draft of design which brings focus into the results of test on each member, principle structures, and connections, the final design proposal capable of industrializing is suggested.

### **2. Test of Structural Members such as Beam, Column, Connection**

The specimens proposed in a draft were made of material woods and glulams. Tests are carried out to confirm the structural capacities and characteristics of traditional wood structures.

### **3. Development of materials and Manufacturing of Specimens**

The beams for tests are manufactured variously according to the patterns of arrangement of lamination composing the beam. After tests, the result are utilized in manufacturing the specimens for another testing. The full size joint specimens were assembled and it reflected the effect of variables in design such as the optimum dovetail size, the method of connecting between beam and column, and the method between beams.

## **IV. Results of Study and Proposals for Utilization**

## 1. Results of Study

The basic size of beam in this study was 150mmx300mmx3600mm (the ratio of width to depth is 1:2) and the other members such as column, rafter, joist, and upper and lower lintel were manufactured on the basis of the basic beam size.

1) Utility Design : The room of 3.6mx3.6m is a standard size of which the determination included the mixture of sit-down and stand-up in life style. Three continuous beam of maximum span of 7.2m is available on the structural design. The application to the structural system is reviewed and verified through tests. Member module has relation with the size of members interconnected because beam and column are connected by the dovetail and mortise joint. For the beam with the width to depth ratio of 1:2, test results show that the dovetail joint display its full ability in case that the width and length of dovetail are one-third and one half of the width of beam respectively.

A traditional wood house, so called "Ourhouse No.1", was developed of which this modular system is reflected in the process of design

2) Development of materials and Manufacture of Specimens : Some datum on the structural capacity and fracture mechanism are obtained from tests and applied to establishing of data base and the design of wood structures.

3) Structural test : The dovetail used in the traditional wood structure has been confirmed to have a ability of resisting the lateral forces. But it is needed to be careful in keeping the accuracy in construction and minimizing the deformation due to the change in moisture content.

It is cleared up that the size and pitch of wedge have a great role in the capacity of joint and that the stiffness of *엇결이 산지(?)* joint is respectable. It is thought that this joint can be applied to the rehabilitation of cultural assets. If roof frame is built up more strongly in structural design, it is possible to make a structural design optimize because three continuous beam in the frame reduces the effect of moment applied to the column.

## 2. Proposals for Utilization

Because 'Ourhouse No.1' developed in this study include the function of residence as well as small public facility, it can be applied to public facilities in a small region as follows

1) Because 'Ourhouse No.1' is designed on the assumption that the glulams are supplied with by its mass-producing, to make this system recognize as one of high added value industries is needed to develop the mountain village by using wood structures, to provide the ways in utilizing the sources of woods, to constitute some industrial complexes for manufacturing glulam, and to amend the provisions on fire protection.

Application part	Plans of application
Forestry Field	Supply of wood house in farm and fishing village Changing the structural system of the public facilities such as hall and office into the wood structure
	Development of mountain village and tour park Constitution of environment-friendly construction business (forest product process business + construction related business)
Architectural Field	Development of environment-friendly buildings
	Introducing wood structural system to educational facilities (a primary school building, an assembly hall, a gym, etc) and a public assembly facility
	Introducing wood structural system to middle-story residential building Introducing wood structural system to an office and a station building in a small local city

2) Transferring the techniques developed to related companies cab be a key point to create the new demand of domestic woods. It is thought that accelerating of utilization of domestic woods and making the industrial base in forests business are a help in part to settle the problems in economical efficiency related to thin out forest. It is expected that the development of another member using composite materials and the application for a patent grow the wood construction business.

## contents

<b>chapter 1. Introduction</b> .....	15
section 1. Objective of Study and Development .....	15
section 2. Necessities and Extents of Study and Development .....	16
section 3. Internal and External Present State of Technical Development .....	19
<b>chapter 2. Design of Utilization of Traditional Wooden Architecture</b> .....	20
section 1. Design Concept and Draft Making .....	20
1. Sampling of Utilized elements of Traditional Wooden Architecture .....	20
가. Investigation of Module System of Koryŏ Wooden Architecture .....	21
나. Analysis of Furniture Structural Theory from Model Making .....	22
다. Investigation of Characteristics of connection of member of Keuk-Lark Building in Bong-Jung Temple .....	29
2. Strategies of Utilization of Traditional Wooden Architecture .....	33
가. Scope Investigation .....	33
나. Scheme of Modernization of Basic Module .....	33
다. Advance of Mechanical Function of Structural Member, Component and Connection of Member .....	34
section 2. Test for the members strength of material properties .....	36
1. Design Condition .....	36
2. Test for compression strength of simple beam .....	37
3. Test for compression strength of 3 point continuous beam .....	39
section 3. Skematic Draft Making .....	42
1. Member Detailed Design .....	42
가. Beam Design .....	42
나. Connected member Design .....	46

다. Design on the joint Pattern .....	47
2. Presentation of skemetic Design Draft .....	49
<b>chapter 3. development of structural member</b>	
<b>or testing samples</b> .....	51
section 1. manufacturing testing samples	
of structural glued laminated timber .....	51
1. outline of manufacture .....	51
가. noticed raw lumber .....	51
나. arrangement of lamina .....	52
2. design of test frame .....	52
3. manufacturing test samples .....	55
section 2. manufacturing on the joint testing samples .....	64
1. manufacturing a tenon member .....	64
2. manufacturing a connected member .....	70
3. manufacturing a jointed member .....	73
<b>chapter 4. test of structural member</b> .....	80
section1. beam test .....	80
1. outline of test .....	80
2. test for compression strength or properties of materials .....	81
가. outline of test .....	81
나. test .....	82
3. investigation of mechanical performance of beam .....	87
가. test of a raw lumber .....	87
나. test of glued laminated lumber .....	89
section2. test of connection of member .....	110
1. method of test .....	110
가. aim of test .....	110

나. method of test and joint pattern .....	111
2. investigation of mechanical performance of tenon .....	112
가. bending moment-deflection test according to variation of the length of tenon .....	112
나. bending moment-deflection test according to variation of the width of tenon .....	117
3. free beam-to-column connection test .....	119
가. Test method .....	119
나. bending moment-deflection test according to tenon hanging of column and beam .....	120
다. bending moment-deflection test of column and beam with column head .....	124
section3. test of mechanical performance for reinforced connection method of beam .....	128
1. bending moment-deflection test of half lap dovetail sanji joint ...	128
2. bending moment-deflection test of crossed sanji joint .....	131
3. bending moment-deflection test of half lap dovetail joint ...	135
<b>Chapter 5. Final Architectural presentation .....</b>	<b>139</b>
section 1 Architectural Drawing .....	139
1. Plan and Elevation and section .....	139
2. Isometric Drawing on wood structure .....	146
section 2 Pilot Model on members and joint .....	152
section 3 Pilot Model .....	156
<b>Chapter 6. Conclusion .....</b>	<b>159</b>
<b>References .....</b>	<b>161</b>

## 목 차

<b>제 1 장 서론</b> .....	15
제 1 절 연구개발의 목적 .....	15
제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위 .....	16
제 3 절 국내외 기술개발 현황 .....	19
<b>제 2 장 전통 목조건축의 실용화 설계분야</b> .....	20
제 1 절 설계개념 및 초안 작성 .....	20
1. 전통 목구조의 실용화 요소 추출 .....	20
가. 고려시대 목조건축의 모듈 체계 조사 .....	21
나. 모형제작을 통해본 가구구조원리 분석 .....	22
다. 봉정사 극락전 접합부 특성조사 .....	29
2. 전통건축의 실용화 전략 .....	33
가. 규모검토 .....	33
나. 기본 모듈의 현대화 방안 .....	33
다. 부재와 부품 및 접합부 역학적 성능 향상 .....	34
제 2 절 부재 설계응력검토 .....	36
1. 설계조건 .....	36
2. 단순보 부재 응력검토 .....	37
3. 3 연속보 부재 응력 검토 .....	39
제 3 절 설계초안 작성 .....	42
1. 부품 상세 디자인 .....	42
가. 보 부재 디자인 .....	42
나. 접합부 디자인 .....	46
다. 수평부재 이음 패턴 디자인 .....	47
2. 설계초안 제시 .....	49
<b>제 3 장 부재개발 및 실험체 제작 분야</b> .....	51
제 1 절 구조용 집성보 설계 및 실험체 제작 .....	51
1. 실험체 계획개요 .....	51

가. 공시원목선정 .....	51
나. 라미나 배열 .....	52
2. 실험체 설계 .....	52
3. 집성재 제작 .....	55
제 2 절 접합부 실험체 제작 .....	64
1. 장부 제작 .....	64
2. 기둥의 접합부 제작 .....	70
3. 보 이음부 제작 .....	73
<b>제 4 장 구조 실험분야</b> .....	<b>80</b>
제 1 절 보 실험 .....	80
1. 실험개요 .....	80
2. 재료의 압축강도와 물성 시험 .....	81
가. 시험개요 .....	81
나. 시험 .....	82
3. 보의 역학적 성능실험 .....	87
가. 원목실험 .....	87
나. 집성목 실험 .....	89
제 2 절 접합부 실험 .....	110
1. 실험개요 .....	110
가. 시험목적 .....	110
나. 시험방법 및 접합부 유형 .....	111
2. 장부의 역학적 성능실험 .....	112
가. 장부목 길이 변화에 따른 휨내력-처짐실험 .....	112
나. 장부 머리폭 이 변화에 따른 휨내력-처짐실험 .....	117
3. 기둥,보 접합부 실험 .....	119
가. 실험방법 .....	119
나. 기둥과 보의 장부 턱걸침에 따른 휨내력-처짐실험 .....	120
다. 기둥머리 통과 보와 기둥의 휨내력-처짐실험 .....	124
제 3 절 보의 이음보강 방법에 대한 역학적 성능 실험 .....	128

1. 반턱 산지이음의 휨내력-처짐실험 .....	128
2. 엇걸리 산지이음의 휨내력-처짐실험 .....	131
3. 반턱 주먹장 이음의 휨내력-처짐실험 .....	135
<b>제 5 장 목조건축 최종 설계안 제시 .....</b>	<b>139</b>
제 1 절. 설계안 .....	139
1. 평면 및 입단면도 .....	139
2. 구조도 .....	146
제 2 절. 부품 상세제작 .....	152
제 3 절. 시제품 모형 .....	156
<b>제 6 장 결론 .....</b>	<b>159</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>161</b>

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발 목적

1, 2, 3차 치산 녹화 사업의 성공을 발판으로 임목 축적량이 꾸준히 늘어나고 국산재의 자급율이 증가 하게 되면서 경제적 수종개량과 육림관리의 중요성이 크게 부각되기 시작하자 간벌의 필요성은 대상면적이 전체 산림면적의 90%에 이를 정도로 절실한 문제로 대두되고 있다. 그러나 이와 같은 간벌 작업은 현실적으로 진행되기 힘든 어려움에 당면해 있다. 주된 요인은 1992년 산림청이 작성한 국내산 소경제 이용실태조사연구보고서에 의하면 소경제의 입목가(立木價)가 싸기 때문에 산림소유자는 채벌을 기피하고 있고 산림경영인들 역시 수지가 맞지 않아 간벌 소경제의 생산에 참여하지 않으려 하기 때문인 것으로 지적되고 있다. 지금까지 국내산 간벌 소경제의 사용용도는 단순히 농업용 지주목이나 소규모 통나무집, 통나무 별장, 통나무 내장을 한 레스토랑 놀이터 시설과 같은 장식적인 건축재로 사용될 정도로 유치하게 사용되어 왔으므로 소비시장 역시 매우 협소할 뿐만 아니라 단순가공수준에 머물고 있는 실정이다. 특히 대량소비가 가능한 건축시장을 보더라도 목재의 수요는 합판, 마루 정도의 내장재 사용정도에 그치고 있는 실정이어서 수요가 한정적이다. 이러한 주변여건을 고려해 볼 때 간벌재는 자재로서 수급의 안정성을 지니고 있다는 장점과 고부가가치 용도와 대량 수요의 개발이 필요하는 현실적 문제를 안고 있다. 간벌재는 중요한 건축재로서의 가치를 지니고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 간벌재의 대량소비를 유도할 수 있는 목재소비 시장의 확대 문제는 건축적 수요의 확대 즉 대량생산이 가능한 목재 구조체와 외장재 개발에 초점을 맞추지 않으면 달성하기 어려운 현실적 문제를 갖고 있다.

말하자면 **간벌재를 이용하여 대량생산이 가능한 목조건축 부품개발과 이를 기초한 공업화된 목조건축설계와 시제품개발이 필요하다.** 따라서 본 연구는 간벌재의 효율적이고 합리적 소비와 소경제의 수요 확대와 고부가가치 산업화를 통하여 정부가 추구하고 있는 산림산업 경쟁력제고와 목재산업육성 및 국산재 이용증대 그리고 목재수급 안정등과 같은 국산화정책에 기여할 수 있는 집성목조건축 제품개발을 체계화된 생산방식과 표준화 공업화된 부품과 공정 개발이 가능한 목조건축 시안을 제시하고자 한다.

## 제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위

### 1. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

건축부재로서의 간벌 소경재의 용도를 살펴보면 통재로 사용하는 것과 제재하여 각재로 사용하는 두 가지 방법이 있다. 전자의 경우는 직경 16cm 정도의 부재를 그대로 건축 구조재로 사용한다는 것은 유효단면적의 부족과 건조미비로 인한 강도저하와 심한 부재변형으로 건축부재로 사용하기 거의 불가능하다. 하지만 이것을 제재하고 건조하여 판재나 각재로 사용하면 부재 표준화가 가능하며 현재 국내 목조건축에서 사용되고 있는 서구식 2"×4" 공법에 적합하다. 그러나 현재 목조주택으로 널리 유행되고 있는 이 공법은 한국적인 정서를 지닌 전통적인 주거문화와 상충되고 있을 뿐만 아니라 문화적 저항감을 갖게 하고 있으므로 장기적으로 외국 기술도입 증가로 관련자재수입증가와 함께 국산재의 소비에 상당한 타격을 줄 위험성마저 내포하고 있다. 따라서 한국적인 목조건축기술 개발을 도외시하면서 2"×4"를 사용한 선진국 목구조 기술에 의존하는 건설 환경을 그대로 방치하게 된다면 산지가 70%인 임산자원의 경제적 손실뿐만 아니라 장기적으로 주거문화의 상실과 국가 경쟁력마저도 떨어지게 하고 말 것이다. 그러나 2"×4" 각재와 유사한 부재인 장혀를 사용한 전통적인 구법이 한국 전통건축에 엄연하게 존재하고 있는 것도 사실이다. 이러한 가능성을 근거로 간벌목을 사용하여 벽식 구조를 중심으로 구조체를 형성하는 2"×4"공법과 달리 Post and beam 구조체제를 지닌 한국적인 건축구조를 개발하려면 각재와 판재를 비교적 유효단면적이 큰 직선형 구조재로 집성화할 필요가 있다. 때문에 전통목조건축의 구조체계와 접합부의 구법적인 특성을 공학적으로 다룸으로서 구조적 성능을 향상시키고 2"×4"공법에 대응할 수 있는 목조건축구조시스템 제시와 이를 산업화 할 수 있는 가구구조와 부재 및 부품 개발이 필요하다.

#### 나. 경제·산업적 측면

국가 경제적인 측면에서 볼 때 간벌 작업은 목조건축이 장수명 골조를 유지하면서 재사용(reuse), 재활용(recycle)할 수 있는, 환경친화적인 건축소재로 차세대건축으로 부각될만한 잠재력을 충분히 지니고 있으므로 간벌 소경재를 활용할 건축

기술 및 구법을 개발하게 된다면 새로운 건축수요뿐만 아니라 국산재에 대한 소비를 폭발시킬만한 충분한 경제적 가치를 지니고 있다. 더구나 WTO 환경정책과 건축물이 환경에 미치는 영향(건축 폐기물도 포함-폐기물관리법 시행규칙 6조 1항 관련...)에 대한 국제사회의 압력과 콘크리트 구조물에 사용자 부담원칙의 적용 가능성을 고려할 때, 산업폐기물 처리비용까지를 고려된 콘크리트 건축문화는 심각한 타격을 받게 될 것이므로, 친환경적인 건축재로서 소경 집성재 개발과 이것을 활용한 건축설계기술개발은 당면한 국가정책상의 큰 문제가 될 것으로 판단된다. 이와 같은 산업패러다임의 변화를 놓고 볼 때 날로 증가되는 건축폐기물에 의한 환경부하를 줄이고 인간의 건강측면과 전통소재로서 친숙함을 유지할 수 있는 농촌과 도시사회 건설을 가능케 대체건축으로, 순환형 사회를 구축하는 건축으로 평가될 만한 가치를 지니고 있다. 산림면적의 90%에 해당하는 간벌 사업에 대한 경제성 문제와 사회적 수요개발은 해결되어야 할 중요한 국가시책이 되고 있다. 때문에 간벌소경재의 건축 부재화 기술 개발은 임산자원의 경제적 효용성을 높이고 건축 산업폐기물을 줄이는데 필요한 첨단 기술로 개발될 필요가 있다. 이렇게 된다면 국산목재는 외국산 목재에 대하여 가격 및 건축부재의 품질 경쟁력까지 갖추게 됨으로서 국산재에 대한 소비증대는 물론 국가적으로 환경친화적인 목조건축의 보급이 확대될 뿐만 아니라 경제적인 산림정책수립이 가능하게 될 것이다. 아울러 소경재에 대한 수요증대는 간벌산업의 활성화와 산지의 임업 산업 단지화, 임산가공업 단지 조성의 활성화등의 농공시설 증가로 연계될 것으로 기대되며 산지와 농어촌의 정주민구의 안정과 소득증대에 기여하게 될 것으로 판단된다

#### 다. 사회·문화적 측면

역사적으로 한국의 건축은 부석사 무량수전 같이 800년 이상 되는 목조건축을 문화재로 소유하고 있을 정도로 상당한 목조 기술을 지녀 왔으나 이러한 전통을 지닌 목조건축기술은 현재 철근콘크리트 구조나 철판구조 그리고 근자에 이르러 시공되고 있는 북미식 건축공법이나 유럽식의 건축공법에 의해 설계 시공되고 있는 2"×4"공법에 밀려나고 있는 까닭에 농촌 및 도시건축은 점점 더 한국적 정서와 더 멀어지고 있는 상황이다. 따라서 전통적 마을과 도시문화를 계승보전하기 위해 서라도 전통 건축적 요소들을 공학적 측면에서 다룸으로서 역사적 유산 자체를 산업화하고 2"×4" 공법에 대항할 수 있는 문화관광 상품으로서 전통목조건축의 현대화 연구가 필요하다.

## 2. 연구범위 및 내용

### 가 연구범위

- 1) 간벌소경제를 활용한 전통목구조의 실용화 설계
- 2) 구조부재 (보, 기둥, 접합부) 실험
- 3) 설계 및 산업화(표준화 방안)제시
- 4) 의장 특허 출원

### 나. 연구내용

- 1) 간벌 소경제를 사용한 전통목조건축구조의 실용화 설계 분야

고려시대 목조건축의 구법과 구조적 특성과 부재성능을 실용화 하기위하여 부재의 표준화, 구법의 단순화와 공정의 최소화, 역학적 성능향상 중심으로 분석 검토한 뒤 설계단면과 접합부에 대한 대안을 가정하여 기본설계안을 작성한다. 이들 각 부재와 주요 구조체 그리고 접합부에 대한 역학적 성능 실험 결과를 토대로 산업화 가능한 한국적 목구조체계와 부품에 대한 최적 설계와 공업화 가능한 다목적 실험공간(실험수31.4평)을 설계토록 한다.

- 2) 구조 실험 ( 주요 구조부 보와 기둥과 접합부실험, 최적단면 검토)

기본설계안에 제시된 가상단면( 보와 기둥 접합부)에 대하여 을 )에 대하여 실험체를 낙엽송과 집성목, 보강 집성목으로 제작하여 역학적 성능(휨응력, 허용압축응력, 허용인장응력)실험을 수행함으로써 적용 가능성을 검토 확인한다.

- 3) 소재개발 및 실험체 제작

실험체는 부재의 집성단면 구성방법을 결정하기위하여 단면구성패턴별로 제작하고 실험 결과 확인된 집성구성법에 따라 보와 기둥 그리고 접합부를 원목과 집성재로 각각 절삭 가공하여 실험체를 제작한다

### 제 3 절 국내외 기술개발 현황

간별 소경제에 활용에 대한 연구는 1990년대 초 산림청 주관으로 집중적으로 다루어졌으나 대안으로 제시된 소경제의 이용현황을 살펴보면 통제인 경우 주로 가설재나 화장실 또는 야외전시관이나 어린이 놀이시설물, 목재 담장 등과 같은 간단한 건축물이나 저급한 내장재 또는 시설물로 사용되고 있다. 그러나 이러한 용도는 가설재의 경우 주로 강관 비계로 사용하고 있고 간이 시설물들은 이동성이 좋은 철재나 플라스틱류로 제조되고 있는 실정에 비추어 볼 때 목재의 가치를 충분히 발휘한 것이라 볼 수 없다. 이와같은 목적의 일차적인 소경제생산은 간별소경제의 활용을 건설 산업으로 연계시켜주기보다는 오히려 제품생산의 중요한 요소인 가공성과 디자인의 현실성이 부합되지 못함으로써 사회적 수요를 제한하고 위축시킨 결과를 초래했다. 그러나 이미 미국에 있어서 목재산업은 2"×4"공법을 토대로 효과적인 유통체계를 구축함으로써 저렴한 가격으로 건설시장에 공급되고 있을 뿐만 아니라 콘크리트와 같은 공해소재로 사용되던 부분을 목조로 대체할 수 있는 여러 가지 연구가 지속되고 있다. 일본은 국가적인 차원에서 자국산 목재 이용의 수요확대와 목재의 고부가가치 건축 부재화와 실용화를 위한 노력하고 있으며 유럽에서는 친환경적인 건축을 개발하기 위한 노력의 일환으로 목조건축 시스템을 개발하고 있는 실정이다. 이에 반하여 한국적 현실은 대부분 수입양질의 대경제(大經材) 중심으로 소비되어 왔으므로 중소기업에 활용한 기술개발이 매우 저조한 편이다. 그런 가운데 간별소경제의 건축 부재화 연구가 일부 뜻있는 학자들에 의하여 1990년대 집성목재의 제조 및 성능개발, 허용응력 및 강도 등의 기초적인 연구를 중심으로 집성목재 건축부재 개발이 이루어진 바 있다. 특히 최근에 이르러 집성재를 활용한 구조물에 대한 연구가 위락시설물을 대상으로 이루어질 만큼 발전하고 있는 것도 사실이지만 생산비 자체가 일반 건축비의 2-3배 가량 되기 때문에 대중화하기에는 가격자체가 비경제적이며 생산품이 주로 곡제 위주의 집성재 제작에 치중하고 있는 만큼 주문생산단계에 머물고 있는 실정이다. 따라서 집성부재활용의 성패는 보편화와 문화상품으로서의 가치 부여에 있다고 생각되므로 직제중심의 건축 부재 부품을 공업생산화 할 수 있는 산업화 방안을 위하여 한국 전통목조를 계승한 실용화된 목조건축설계와 부재와 공법개발과 이를 위한 공학적 실험 보의 허용 휨 응력도와 기둥의 허용압축응력 그리고 접합부의 성능에 대한 보다 구체적인 물성 검토하고자 하며, 이를 토대로 부품과 건물을 디자인 하고자 한다.

## 제 2 장 전통목조건축의 실용화 설계분야

### 제 1절 설계개념 및 초안 작성

#### 1. 전통목조건축의 실용화 요소추출

가. 고려시대 목구조의 모듈체계조사

전통 목구조 구조 체계조사는 비교적 기술 집적도가 높고 잘 보존되어 있는 고려시대 목조건축을 대상으로 하였으며 실측자료는 문화재연구소의 조사보고서를 근거로 하였으나 부재의 크기와 같은 상세한 부분은 부분적으로 현장 보완하였고 경우에 따라 재 실측하였다. 대상건물은 부석사 무량수전<sup>1)</sup>, 강릉객사문<sup>2)</sup>, 수덕사 대웅전<sup>3)</sup>, 봉정사 대웅전, 극락전<sup>4)</sup>에 한하였으며 조사결과는 아래와 같다.

건물명	평면형태								부재크기						
	면적 (평)	칸수		보,창방						기둥 단면	포제의 크기		장혀 크기		
		정면	측면	단스팬(창방)			장스팬(보)				폭	높이	폭	높이	
부석사 무량수 전	65.8	5	3	150	265	3060	318	380	3060	480-500		0.85		0.81	
							390	500	2720						
							480	600	4200						610-630
봉정사	극락전	24.6	3	3		41.8	1523			5494	253				
							1882								
							3651								
							4315								
	대웅전	36.2	3	3			2900			4400	357,415	105	225 150	120	108
										4600	452,443				218
수덕사 대웅전 단위척	46.3	3	3	0.45	0.75	8.95			17.7		0.45	0.8	0.45	0.8	
강릉 객사문 단위척	16.5	3	2			7.69			14.3	1.98	0.38	0.6	0.38	0.68	
									12.1			0.75			

표 3 고려시대 목조건축의 평면형태와 부재형태조사표 (단위cm)

수덕사대웅전과 강릉객사문의 단위는 (척)

- 1) 문화재연구소 한국의 고건축 한국건축사 연구자료 제3호 문화재관리국 1976.12
- 2) 문화재연구소 한국의 고건축 한국건축사연구자료 제5호 문화재관리국 1982.9
- 3) 문화재연구소 국보 보물 축소도면집1 문화재관리국 1992
- 4) 문화재연구소 봉정사 극락전수리공사보고서 문화재관리국 1992.12

건물명		평면형태				
		면적 평	처마형식	칸수		보,창방
				정면	측면	단 장스팬
부석사 무량수전	주심포	65.8	박공	5	3	1:1, 1:0.88, 1:1.37
수덕사 대웅전	주심포	46.3	맛배	3	3	1:1.97
강릉 객사문	주심포	16.5	맛배	3	2	1:1.85, 1:1.57
봉정사	극락전	주심포	맛배	3	3	1: 3.6, 1: 2.9, 1:1.5, 1:1.27
	대웅전	다포	박공	3	3	1:1.52, 1:1.59

표 4 고려시대 목조건축의 양식별 부재 형태비례 조사

1) 건물의 크기는 중심선을 기준으로 가장 큰 공간의 크기를 조사해보면 부석사 무량수전의 경우 4.2\*5.4m, 봉정사 극락전 경우 4.3\* 5.5m이며 수덕사 대웅전의 경우 4.6\*5.5m 강릉객사문은 4.3\*2.3m이다. 그러나 중층구조를 지닌 무량사 극락전(다포계)<sup>5)</sup>을 보면 가장 큰 공간이 4.9\*7.4m이다. 이들은 모두 포작에 의하여 결합되어 있다. 이것으로 볼 때 전통 기법으로 구성할 수 있는 최대 크기가 아닌가 생각된다.

2). 장스팬의 보를 사용하고 있는 건물은 봉정사 극락전과 부석사 무량수전 그리고 수덕사 대웅전이다.

3). 스펠비와 조사해보면 박공지붕을 한 가구식 건축을 살펴보면 부석사 무량수전과 봉정사 대웅전의 단보와 장보의 비 차이는 1.37에서 1.59사이에 있다. 그러나 맛배지붕을 하고 있는 강릉 객사문과 수덕사 대웅전 봉정사 극락전을 살펴보면 단보와 장보의 비는 1:1.27에서 1:3.6에 이르기 까지 상당한 차이로 나타나고 있다. 이러한 사실로 보면 귀부분의 우력에 대한 보강이 적었던 맛배 지붕의 고려시대 주심포건물은 횡방향보다 종 방향에 더 강한 부재를 사용했던 것으로 판단된다.

4) 정면의 어칸과 협칸의 창방의 길이 비를 조사해 보면 봉정사 극락전의 경우 1:1.18 무량수전의 경우 1:1.4 수덕사 대웅전의 경우 1:0.98, 강릉객사문의 경우 1:1.17이다. 이 가운데에서도 무량수전은 가장 기법이 월등할 뿐만 아니라 한국적인 전통성과 원형성을 비교적 잘 간직하고 있으며 장스팬과 단스팬의 구성비가 1 : 1.4로서 집합부의 모멘트하중에 대한 편심하중의 우려가 큰 건물이므로 이를 중심으로 집중 분석하였다.

5) 고려시대 목조건축 부재형태 조사를 조사해보면 부석사 무량수전의 경우 폭과 높이( 단위 cm )의 비가 318:380,(1:1.19) 390:500(1:1.28), 480:600(1:1.25)로서 거

5) 국립문화재연구소 한국의 고건축 한국건축사 연구자료 제 22호 국립문화재연구소 2000.12

의 방형의 형태를 유지하고 있다.

6). 장스팬의 보를 사용하고 있는 건물은 봉정사 극락전과 부석사 무량수전이다.

나. 모형제작을 통해본 가구구조원리분석

고려시대 목조건축의 접합부와 가구구법의 관계를 1/20 모형으로 제작했다. 기둥과 기둥의 관계, 고주와 평주관계, 비례관계, ,큰보와 작은 보의 관계를 중심으로 모형을 제작하였다.

### 부석사 무량수전



사진 2-1 기둥과 창방위의 주상포 결합

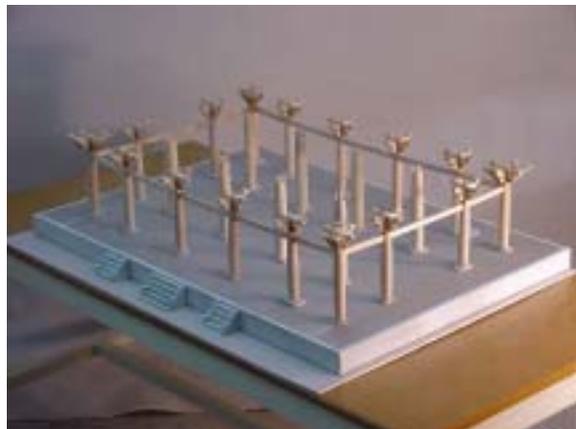


사진 2-2 주상포작



사진 2-3 귀포상세



사진 2-4 추녀상세



사진 2-5 귀한대의 구성



사진 2-6 서까래 걸기



사진 2-7 추녀곡

봉정사 대웅전



사진 2-8 대웅전 가구구조



사진 2-9 대웅전 고주 평주관계



사진 2-10 귀포와 처마곡

봉정사 극락전



사진 2-11 가구구조



사진 2-12 입면

수덕사 대웅전



사진 2-13 측면



사진 2-14 가구구조

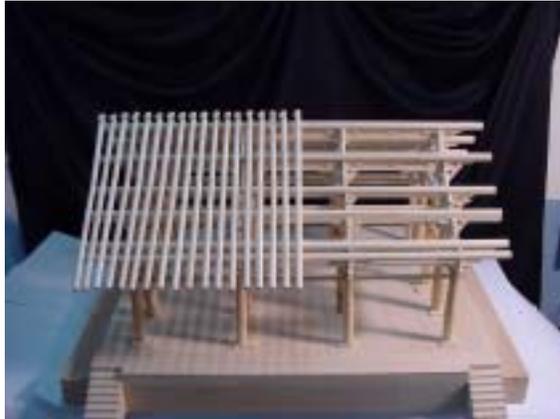


사진 2-15 지붕구조

1) 칸수와 내진의 구성여부와 밀접한 관계를 지니고 있고 구조체 구성시 퇴보와 대량 평주와 고주사용이 문제가 되기 때문에 내진을 주공간 (Major space)로 보고 외진을 부공간(Minor space)로 본다면 구조와도 깊은 상관성을 지니고 있다. 우선 정면 3칸 측면 4칸의 경우를 맞배지붕을 한 수덕사 대웅전과 봉정사 극락전을 통해 조사해 보면 보통 정면 삼칸 측면 4칸의 구조의 구조를 활용한 흔적이 드러난다. 이 경우 정면의 길이가 측면보다 더 길다. 대부분 창방의 길이가 15자를 넘지 못하지만 들보의 경우 상당한 단면과 길이를 지닌 부재를 활용함으로써 내부공간의 깊이를 드러낸다. 이를 위하여 설계시 전통목수들은 측면 칸수를 짝수로 두고 기둥을 홀수로 씌우므로 보의 크기 즉 span간격에 대한 융통성을 보이고 있으며 기운데 기둥을 고주로 삼는 경우가 많다. 정면3칸 측면 4칸의 경우 기둥 사용은 평주와 고주로 구분하여 사용하며 평주는 첨주와 내진평주로 구분됨으로서 내부공간을 내진과 외진으로 양분하여 구성하게 된다. 정면5칸 측면 3칸, 정면 3칸 측면 3칸의 경우를 보면 대량에 의하여 결정되는 내진이 형성될 수 있다. 이에 반하여 정면 3칸 측면 2칸의 경우를 살펴보면 내진 형성이 불가능하므로 고주를 사용하여 주공간을 형성하게 된다.

2) Beam퇴보, Girder 대량이나 창방의 사용용도와 구분이 명확하며 접합부와의 연결 구성방식에서도 차이가 드러난다.

3) 고려시대 건축의 구조 System은 무량수전이나 수덕사 대웅전의 경우 주로 장혀 크기의 단면을 지닌 세장한 부재를 여러 가닥으로 접합부에 결합시켜 사용하여 함으로서 조선시대 부재단면이 큰 통 부재가 주는 육중함보다 가볍고 경쾌한 구조

미와 안정성을 보여주고 있다.

4) 세장한 부재를 사용하므로써 얻어지는 효과는 함수율을 낮출 수 있으므로 구조체의 건조 수축에 의한 변형을 감소시킬 수 있었고 단위 부재의 무게를 감량시켜줌으로서 운반이 용이함으로 시공하중을 감소시켰을 것으로 보인다.

5) 주각부분에서 보여 지는 창방과 기둥의 결합관계를 볼 때 접합부의 rigidity에 대한 해석, 접합부가 보와 기둥 부재를 어떠한 메카니즘으로 어느 정도의 구속력을 지니게 한 것인지 공학적 검증이 필요하다.

6) 모든 하중전달체계는 매체 역할을 하고 있는 포나 익공 또는 보와 기둥의 접합부에 집중되어 수직하중으로 전환하도록 되어 있다. 특히 이부분에서 전통건축의 특징인 짜 맞추는 공법이 사용되고 있으므로 단면의 결손이 발생하고 있다. 단면결손을 유도한 부재들의 연속적인 결합을 통한 내력증대 현상이 가정된다.

7) 전통목구조에서 보의 역할을 담당하는 부재들이 중도리→장여→소로→창방→상인방→중인방→하인방으로 볼수 있는데 이 가운데 <중도리→장여→소로→창방→상인방>을 지붕하중을 전달하는 보의 개념으로, <중인방→하인방>을 주각부 고정과 벽체 하중전달 개념으로 2원화 되어 있다고 볼 수 있다.

8) 전통건축에서의 벽체는 skin으로서 단순하게 내외의 구분과 내부의 열관리 기능의 역할을 하고 있다. 벽체는 문선과 같은 부재로 기둥에 덧대어 있고 창호설치시 또 다시 문선들이 설치되며 벽체 마감은 대나무를 발처럼 엮은 뒤 두께를 2才~3才 정도의 흙으로 마감하기 때문에 일종의 수직 흙 스톱브를 친 셈이다. 이러한 벽체 구성은 열관리가 어렵고 열효율은 다소 떨어지지만 창호의 frame을 보완 구조로 사용하고 있다는 점에서 기둥과 보의 접합성능 보완관계를 형성하고 있다.

다. 봉정사 극락전 접합부 특성 조사

1) 기둥머리와 X방향 창방 결합과 문설주



사진 2-16 기둥과 창방의 결합



사진 2-17 창방과 주두결합을 위한 축

귀기둥머리와 창방의 X, Y 방향 결합



사진 2-18 귀기둥의 창방 결합

위자료에 의하면 기둥머리에서 창방과 창방은 서로 맞대 이음으로 연결되어 있으며 평주와 창방을 X방향으로 되어 있고 화통가지<sup>6)</sup>에 의하여 발생하는 X,Y 방향의 기둥머리부분의 단면결손을 피하고 있다. 이러한 기둥, 보 접합방식은 한국 전통건축에서 일반적<sup>7)</sup>으로 기둥머리에 화통가지를 내는 경우가 많은 점에 비추어 볼 때 이례적인 가구구성형식이라고 볼 수 있다. 이와 같은 현상을 미루어 볼 때 창방과 기둥의 결합에서 제기될 수 있는 구조적 문제는 rigidity 확보와 단면결손에 대한 구조적 대응 문제라고 생각된다. 따라서 아래와 같은 조건을 지닌 실험체가 지닌 설계 응력에 대한 구체적인 실험이 필요하다.

1. 기둥머리와 창방마구리와의 장부 결합
2. 창방과 창방을 하나의 보로 잇고 기둥머리에 파 넣는 방법

## 2) 창방마구리의 장부 패턴

---

6) 기둥에 도리, 장여와 보, 보아지를 끼울 때 끼울 홈을 파게 되는데 이때 기둥머리에 네 갈래 홈이 파지는 것을 말함

7) 주심포건축의 경우 헛첨차가, 다포양식의 경우 안초공이, 익공양식의 경우 초익공 쇠서가, 창방과 결합되며 민도리집의 경우에는 보아지와 장혀가 결합된다.



사진 2-19 반덕 수장부의 창방



사진 2-20 반덕 수장부의 창방 마무리입면



사진 2-21 반덕 수장부의 창방



사진 2-22 반턱의 암,수장부를 지닌 창방



사진 2-23 반턱 암장부를 지닌 창방



사진 2-24 엽혈장 창방마구리



사진 2-25 앉힐장의 반턱이음 창방 마구리

고려시대건축물의 부재사용과 접합부의 특성은 철물을 사용하지 않았을 뿐만 아니라 세장한 장혀와 맞춤만으로 장스팬의 구조물을 완성하였다. 특히 장부는 창방과 창방의 접합에 사용되고 있다. 이것은 고려시대 장인들이 접합부의 rigidity에 대하여 세심한 주의를 기울이고 있음을 설명하는 증거로 해석된다. 때문에 장부 이음의 역학적 물성에 대한 규명이 필요할 뿐만 아니라 장부이음을 통한 기둥과의 접합방식에 대한 연구도 필요하다.

## 2. 전통건축의 실용화 전략

### 가. 규모검토

3.6m\*3.6m(9평), 즉 입식 생활이 가능한 공간 7.2m\*7.2m(16평) 초등학교 교실 크기 두가지 모듈을 기준으로 선정함으로써 주거공간과 소단위 사회적 시설이 가능한 단위공간을 형성하도록 한다. 공간구성방식은 정면 칸수와 측면칸수의 전개과정을 중심으로 내진과 외진으로 양분하며 이에 맞는 구조부재를 사용토록 한다.

### 나. 기본모듈의 현대화방안

세 가지로 단위척도와 비례구성적 관계와 시스템 표준화 문제로 볼 수 있다.

- 1) 단위는 전통적인 인간척도 1자를 기준으로 한다.
- 2) 우선 비례 구성은 모든 부재 크기를 통합 사용할 수 있는 부재척도로서 전통 건축과 마찬가지로 장혀의 크기를 기준으로 삼고 이때 장혀 크기의 비는 폭과 너비의 비를 1:2로 하며 1/2 등비급수를 사용한 비례 구성을 기본모듈로 정하기로 한

다. 1:2의 부재모듈의 현대적의미를 고려해 볼 때 2\*4공법과의 관계이다. 우선 이 공법은 생목을 기준으로 형성된 치수 개념이므로 실제 제재 후 건조 가공하게 되면 실제제치수보다 약 1/4가량 줄어든다. 그러나 2치\*4치 공법으로 하면 1인치 2.54cm 보다 1치가 0.46cm정도 길이가 더 길기 때문에 건조 가공치수까지 계산한다면 실제 2\*4에 가깝게 된다. 따라서 서구식 2\*4보다 2치\* 4치 공법이 실제 가공치수를 사용하기 더 쉬우며 현실적이다. 2\*4공법과 2치\*4치의 비례적 특성을 비교해보면 양자가 모두 1:2의 비례를 지닌 공통점을 지니고 있으며 2\*4의 것을 2치\*4치로 환산하려면 공차가 0.5인 등차수열로 구성할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1/2 비례를 표준화 코드로 정하고 이것을 산술급수적으로 또는 기하급수적 공비 공차로 삼아 부재 비례단면을 전개하고자 한다.

### 3) 지붕구조와 처마구조와 곡선의 표준화

부석사 무량수전과 봉정사 대웅전의 경우 추녀곡은 상당한 아름다움을 지니고 있다. 이를 대상으로 추녀와 서까래가 도리에 지지되어 내부 공간을 이루는 한국전통 목조 건축물을 설계 시공하는 방법에 있어서 기준서까래의 끝선에서 중도리 투영선 까지의 거리를 (a), 기준서까래의 끝선에서 중도리의 수직 거리를 (b), 추녀 양 끝 단을 잇는 직선의 수평 투영선과 기준 서까래 끝선과의 직선 거리를 ( $\nabla X$ ), 기준 서까래의 끝선과 추녀 상단을이어주는 직선의 수직 투영선과의 수직거리를 ( $\nabla Y$ )로 설정하면, 함수( $\sqrt{2(a + \Delta X)^2 + (b - \Delta Y)^2}$ )를 통하여 추녀 길이가 결정되며 이때 기준 서까래는 갈모산방을 따라서 추녀에 이르는 처마곡선을 이루며, 기준 서까래의 기울기는 건물의 가로 세로 길이의 변화에 따라 결정되며, 건물의 크기 및 형태에 따른 처마곡을 앞의 함수에 의하여 산출한 추녀 길이로 산출하며, 기준 서까래의 길이와 기울기를 근거로 실 평형에 따른 표준화된 처마곡을 구현 가능케 하는 한국전통 처마곡선의 표준화를 만들어 낼 수 있다.

### 다. 부재와 부품 및 접합부 역학적 성능 향상

1) 부재 맞춤의 경우 주먹장의 크기는 장부목의 폭을 보 폭의 1/3로 하고 목길이와 장부머리폭은 전통적인 규범이 없으므로 실험에 의하여 결정한다.

2) 어칸과 협칸의 창방 배열은 길이비 1: 2를 지닌 3 연속보의 개념으로 가정하고 장부에 의한 창방과 창방의 결합력, 이들과 기둥과의 접합관계를 실험을 통해 규명한다.

3) 주각부분에서 보여 지는 창방과 기둥의 결합관계에서 드러나는 접합부의 rigidity 증대방안 검토.

4) 모든 하중전달체계 매체 역할을 하고 있는 포나 익공 또는 보와 기둥의 접합부 단면 결손부재들의 연속적인 밀실한 결합과 접합부의 형태와 구법의 단순화(포작과 익공양식, 굴도리집의 장점을 통합한 접합부 개발)를 통한 내력증대 도모.

라. 목구조체계의 단순화

1) 주로 장혀 크기의 단면을 지닌 세장한 부재 사용은 간벌 소경재 크기와 부합되며 이를 여러 가닥으로 접합부에 결합시켜 사용하여 함으로서 가볍고 경제한 구조미와 안정성을 추구.

2) 세장한 부재 사용으로 함수율을 낮출 수 있음으로서 구조체의 건조 수축에 의한 변형을 감소시키고 단위 부재의 무게를 감량시켜줌으로서 운반이 용이함으로 시공하중을 감소추구.

3) 보와 기둥의 짜임이 강조되는 주심포양식의 계승

4) 보의 역할을 담당하는 수평부재중 <중도리,서까래,추녀,중도리,장여>를 지붕하중을 전달하는 보의 개념으로 <창방→상인방>을 접합부를 구성하는 보의 개념으로, <중인방→하인방>을 주각부 고정시키는 개념으로 3원화 추구.

5) 벽체에 설치되는 창호의 frame을 기둥과 보의 접합성능 보완관계 형성.

6) 보는 통머름을 트라스로 이용하여 구조체로 발전, 이것을 중층 구조 설계시 판구조로 활용

## 제 2 절. 부재 설계응력검토

### 1. 설계조건

#### 가. <가정조건>

흙의 비중 :  $1.8t/cm^2$ , 흙의 두께 : 10 cm

집성재의 비중 :  $0.52t/m^3$

집성재의 허용휨응력도 :  $f_b = 90kg/cm^2$

#### 나. 평면구성

정면 3칸 측면 3칸 주거와 공공시설로의 전환 가능 공간구조  
평면구성은 Grid 시스템을 적용하며 협칸과 어칸을 구분  
귀를 구성하는 협칸은 정방형으로 하며 Span을 작게 잡는다.

#### 다. 구조 디자인

협칸과 어칸의 스펠 구성비 1:2의 연속보처리

주거기능과 공공시설 기능을 가능케 할 수 있는 3.6m, 7.2m스팬

전통적인 기둥 보 구조로 설계

하중을 기둥(수직하중)과 보(수평하중)와 접합부로 3원화하여 담당케  
하고 기둥은 평주 귀주 내진 고주 구분사용.

보는 도리나 서까래와 같이 지붕구조를 지지하는 것과 이들을 기둥과  
이어주는 들보와 창방으로 구분하고 침주의 경우 창방과 상인방을 통  
머름으로 구성하여 일종의 트라스로 이용한 구조체로 발전, 이것을 중  
층 구조설계시 판구조로 활용

구조용 집성재는 낙엽송, 지붕용 집성재는 삼나무, 벽체용 집성

재는 편백을 사용하도록 함

라. 부재상세 크기 디자인 (단위 mm)

기둥 : 300×300 (고주와 평주 단면은 같음)

고주 길이 : 5500 평주 : 3000

서까래 : 90×120 (장연길이 3,200, 단연 길이 2,700)

보 : 150×300 상인방 : 150×150 동바리 : 150×150

갈모산방 : 정면 길이 7,200, 측면 길이 3,500

## 2. 단순보 부재 응력 검토

가. 보의 단면 가정

<가정조건>

흙의 비중 :  $1.8t/cm^3$ , 흙의 두께 : 10 cm, 집성재의 비중 :  $0.52t/m^3$

집성재의 허용휨응력도 :  $f_b = 90kg/cm^2$

1) 서까래

지붕에 놓이는 서까래의 해석모델은 그림 1과 2에 나타나는 바와 같이 스패 2.7m의 단순보와 스패 3.2m의 내민보로 상정할 수 있으며, 단면크기 90×120에 대한 단면검토를 수행한 결과는 다음과 같다.

가) 서까래(90×120×2700 @450)

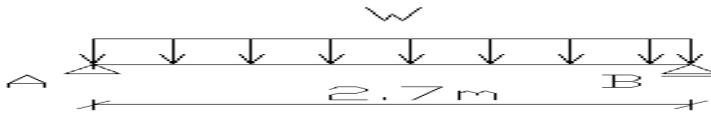


그림 2-1 서까래 (span = 3.6m)

고정하중 :  $w_D = 180 \times 0.45 + 6 = 87kg/m$

적재하중 :  $w_L = 100 \times 0.45 = 45kg/m$

$$M_{\max} = \frac{132 \times 2.7^2}{8} = 120.3kg \cdot m$$

$$V_{\max} = \frac{132 \times 2.7}{2} = 178.2kg$$

$$Z_{req} = 133.7cm^3 < Z = 216cm^3 \quad \therefore \text{O.K}$$

나) 서까래(90×120×3200 @ 450)

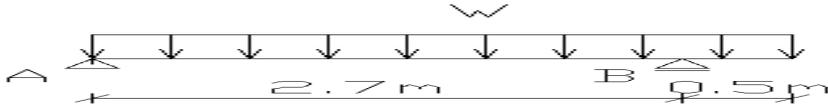


그림 2-2 서까래 (span = 3.2m)

$$M_{max} = 112.9kg \cdot m$$

$$V_{max} = 250kg$$

$$Z_{req} = 125.4cm^3 < Z = 216cm^3 \quad \therefore \text{O.K}$$

2) 휨재의 검토

기존의 목조 접합부 상세에 따라 각 주두상단과 연결되는 보부재는 스패인 3.6m와 7.2m인 단순보로 모델화 될 수 있으며, 상기 조건에 따라 단면검토를 수행할 결과 스패인 3.6m인 부재의 단면성능과 요구성능의 비가 3.97로서 안전한 것으로 판단되는 반면에, 스패인 7.2m인 부재의 비는 0.5로 파악되어 단면의 크기에 대한 재검토가 필요한 것으로 파악되었다.

가) 보(150×300×3600)

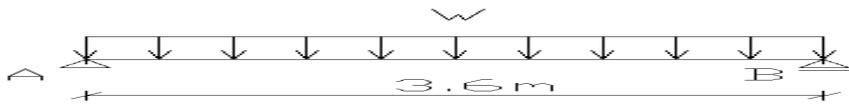


그림 2-3 단순보 (span = 3.6m)

$$w = 250kg(\text{㉔의 } V_{max}) \times 18\text{개} / 7.2m/2 = 315kg/m$$

$$M_{max} = \frac{315 \times 3.6^2}{8} = 510.3kg \cdot m$$

$$V_{max} = \frac{315 \times 3.6}{2} = 567kg$$

$$Z_{req} = 567.0cm^3 < Z = 2250cm^3 \quad \therefore \text{O.K}$$

나) 보(150×300×3600)

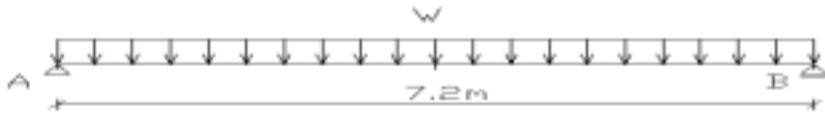


그림 2-4 단순보( span = 7.2m)

$$w = 250 \text{ kg} (\text{②의 } V_{\max}) \times 18 \text{ 개} / 7.2 \text{ m} = 625 \text{ kg/m}$$

$$M_{\max} = \frac{625 \times 7.2^2}{8} = 4050 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$V_{\max} = \frac{625 \times 7.2}{2} = 2250 \text{ kg}$$

$$Z_{\text{req}} = 4500 \text{ cm}^3 < Z = 2250 \text{ cm}^3 \quad \therefore \text{N.G}$$

### 3. 3연속 보 부재응력 검토

스팬비가 1: 2: 1인 등분포하중을 받는 3연속보

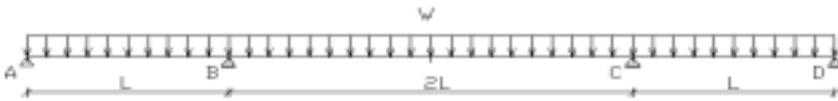


그림 2-5 스펠비가 1: 2: 1인 등분포하중을 받는 3연속보

처짐각법을 이용하여 부재 단부의 모멘트를 나타내면 다음과 같다.

$$M_{AB} = \frac{2EI}{l} (2\theta_A + \theta_B) - \frac{wl^2}{12} \quad (1)$$

$$M_{BA} = \frac{2EI}{l} (2\theta_B + \theta_A) + \frac{wl^2}{12} \quad (2)$$

$$M_{BC} = \frac{2EI}{2l} (2\theta_B + \theta_C) - \frac{w(2l)^2}{12} \quad (3)$$

$$M_{CB} = \frac{2EI}{2l}(2\theta_C + \theta_B) + \frac{w(2l)^2}{12} \quad (4)$$

$$M_{CD} = \frac{2EI}{l}(2\theta_C + \theta_D) - \frac{wl^2}{12} \quad (5)$$

$$M_{DC} = \frac{2EI}{l}(2\theta_D + \theta_C) + \frac{wl^2}{12} \quad (6)$$

절점의 모멘트 평형조건을 이용하면

$$\sum M_A = 0$$

$$M_{AB} = \frac{2EI}{l}(2\theta_A + \theta_B) - \frac{wl^2}{12} = 0 \quad (7)$$

$$\sum M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = \frac{2EI}{l}(2\theta_B + \theta_A) + \frac{wl^2}{12} + \frac{2EI}{2l}(2\theta_B + \theta_C) - \frac{w(2l)^2}{12} = 0 \quad (8)$$

이 얻어진다. 그림 1에서  $\theta_B = -\theta_C$ 이고, 또  $\frac{2EI}{l} = K$ ,  $\frac{wl^2}{12} = P$ 로 놓으면,

상기식은

$$M_{AB} = 2K\theta_A + 2K\theta_B - P = 0 \quad (9)$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 2K\theta_A + 5K\theta_B - 6P = 0 \quad (10)$$

과 같이 되어지고, 식(9)와 (10)을 풀면,

$$\theta_B = -\theta_C = \frac{5}{3} \frac{P}{K} \quad (11)$$

$$\theta_A = -\frac{7}{6} \frac{P}{K} \quad (12)$$

을 얻어진다.

$\theta_A$ 와  $\theta_B$ 를 식(1)~식(6)에 대입하면,

$$M_{AB} = -M_{DC} = K\left(-\frac{4}{6} \frac{P}{K} + \frac{5}{3} \frac{P}{K}\right) - P = 0 \quad (13)$$

$$M_{BA} = -M_{CD} = K\left(\frac{10}{3} \frac{P}{K} - \frac{7}{6} \frac{P}{K}\right) + P = \frac{19P}{3} = \frac{19wl^2}{72} \quad (14)$$

$$M_{BC} = -M_{CB} = \frac{K}{2}\left(\frac{5}{3} \frac{P}{K}\right) - 4P = \frac{5}{6} P - \frac{24}{6} P = -\frac{19}{6} P = -\frac{19wl^2}{72} \quad (15)$$

따라서 전단력도 와 휨모멘트도는 다음과 같다.

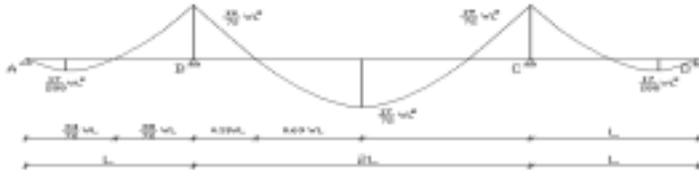


그림 2-6 연속보의 휨모멘트도

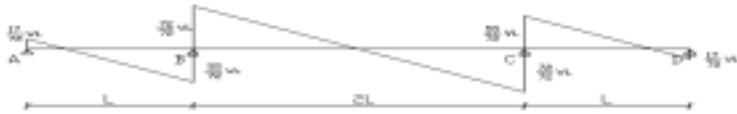


그림 2-7 연속보의 전단력도

그림 3에서 부재 AB사이의 반곡점 위치는

$$\frac{17}{72} wl x - \frac{wx^2}{2} = 0$$

$$x = \frac{34}{72} l$$

이고, 부재 BC사이의 반곡점 위치는

$$\frac{17}{72} wl^2 - \frac{wx^2}{2} = 0$$

$$x = 0.69l$$

이다.

그림 2-6에서  $w = 625 \text{ kg/m}$ 이고 길이  $L = 3.6 \text{ m}$ 인 경우 최대휨모멘트는

$$M_{\max} = 19w \frac{l^2}{72} = 2137.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$Z_{\text{req}} = 2375 \text{ cm}^3 < Z = 2250 \text{ cm}^3 \quad \therefore \text{N.G}$$

상기조건에 대하여 1:2:1의 스펠비를 갖는 3연속보에 대한 단면검토를 수행한 결과 요구단면성능과 단면성능의 비가 1.06으로 약 6%의 단면성능이 부족한 것으로 파악되었다. 그러나 가정조건인 허용휨응력도( $f_b = 90 \text{ kg/cm}^2$ )는 집성재가 아닌 목

재에 대한 값으로서 집성재의 제조과정을 고려하면 집성재의 허용휨응력도는 목재의 그것에 비해 높은 값은 적용할 수 있다고 생각된다. 이에 대한 검토로서 집성재의 실대재 휨실험을 실시한다.

### 제 3 절 설계초안 작성

#### 1. 부품 상세 디자인

##### 가. 보 부재 디자인

부재의 역학적 성능향상을 위하여 폭과 너비의 비가 1:2인 집성단면을 아래와 같은 방법으로 4가지 패턴 (라미나의 수평적층, 수직적층, 12mm구조용합판 수평보강적층, 12mm구조용합판 수직 보강적층)으로 나누어 제작하여 개개의 응력실험을 통하여 부재의 역학적 성능을 검토한다.

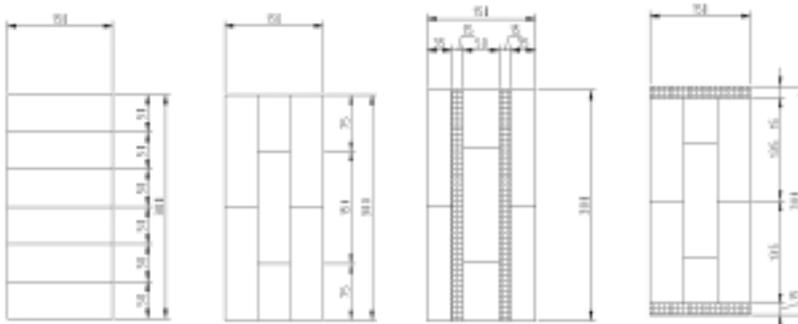


그림 3-1 (a)

그림 3-2 (b)

그림 3-3 (c)

그림 3-4 (d)

##### 나. 접합부 디자인

전통건축에서 접합부는 창방끼리의 장부 결합, 이들 부재와 기둥과의 접합관계, 창방과 기둥머리의 장부접합, 그 위에 얹어지는 포작의 내용으로 구성된다. 그리고

보부재의 이음이 있으며 이 들의 단면상세를 결정하기 위하여 몇 가지 대안을 작성하면 아래와 같다.

1) 장부 설계

가) 장부 형태 A ( 장부목 길이 h와 장부머리 폭 b2, 값을 중심으로 )디자인

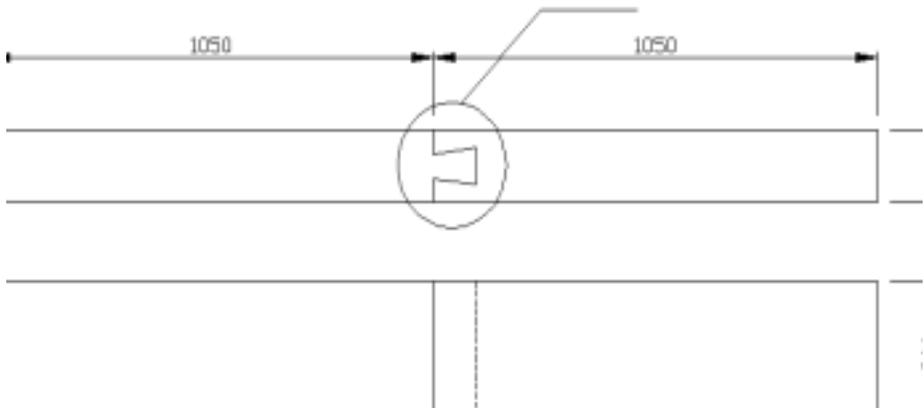


그림 3-5 장부 A

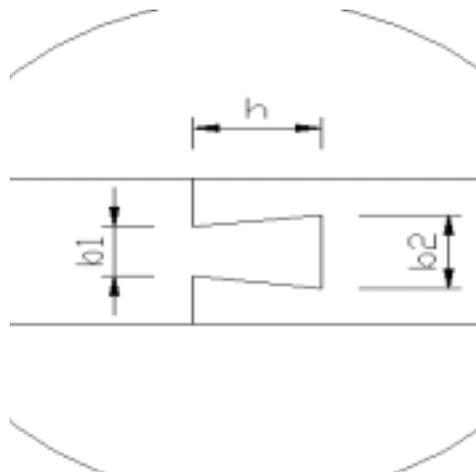


그림 3-6 장부 A 상세

H: 장부 목길이 B1 장부 목폭 B2: 장부머리폭

$$\text{단, } b_1 = \frac{B}{3} = 50, \quad b_2 = \frac{B}{2} = 75$$

$$h_1 = 50, \quad h_2 = \frac{B}{3} - \frac{B}{6} = 50 - 25 = 25$$

$$h_3 = \frac{B}{3} + \frac{B}{6} = 50 + 25 = 75, \quad h_4 = \frac{B}{3} + \frac{2B}{6} = 50 + 50 = 100$$

실험체명	b1	b2	h	갯 수
A1	50	75	50	2
A2	50	75	25	2
A3	50	75	75	2
A4	50	75	100	2
A5	50	75	150	2
A6	50	75	225	2
A7	50	75	300	2

표 3-1 장부 타입 일람

나) 장부 B ( A의 휨응력실험 결과 H값 근거로 B2값 변화 )디자인

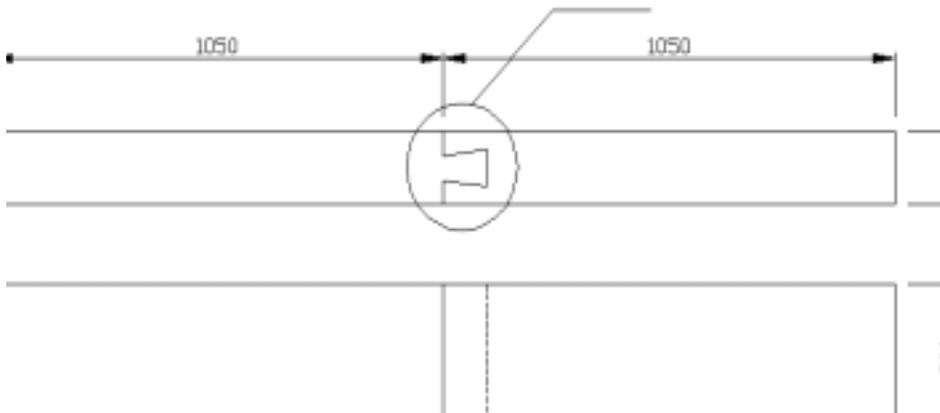


그림 3-7 장부 B

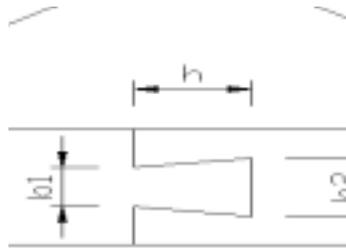


그림 3-8 장부 B 상세

단, ,  $b_1 = \frac{B}{3} = 50$                        $h = a$  ; 실험A로부터 얻어진 최적값

$$b_1 = \frac{B}{3} + \frac{2B}{12} = 50 + 25 = 75,$$

$$b_2 = \frac{B}{3} + \frac{4B}{12} = 50 + 50 = 100 \quad b_3 = \frac{B}{3} + \frac{6B}{12} = 50 + 75 = 125$$

실험체명	b1	b2	h	갯 수
B1	50	75	a	2
B2	50	100	a	2
B3	50	125	a	2

표 3-2 장부 B 패턴 일람

2). 기둥과 보(창방)의 접합부 디자인

가). 창방장부의 맞댄이음과 기둥 접합 C-1

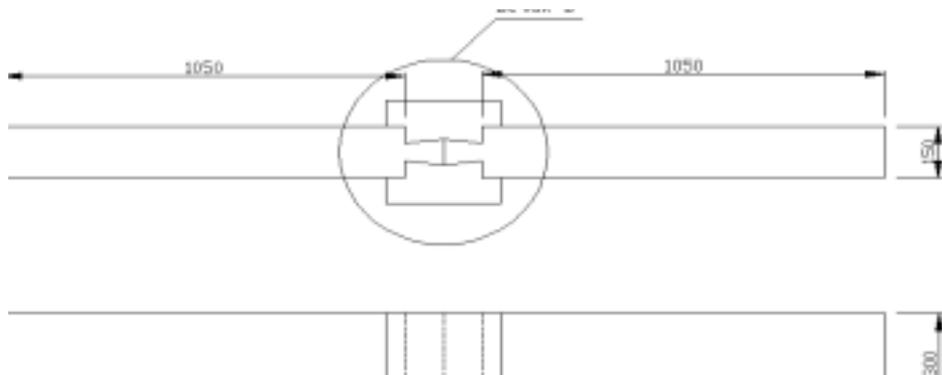


그림 3-8 장부와 기둥의 결합 C-1

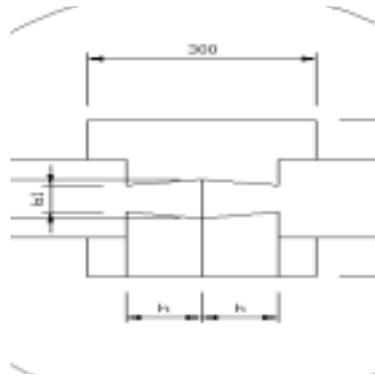


그림 3-9 장부상세 C-1

단,  $b_2 = b$ ,  $h = a$  ; 실험A와 실험B 로부터 얻어진 최적값

실험체명	b1	b2	h	갯 수
C1	50	b	a	2

표 3-3 장부 C-1 일람

나) 창방장부와 기둥머리의 장부 접합 C-2

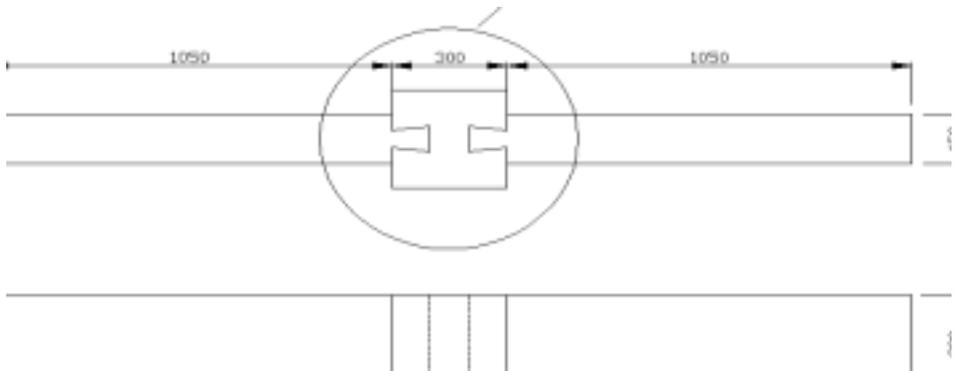


그림 3-10 장부 실험체C-2

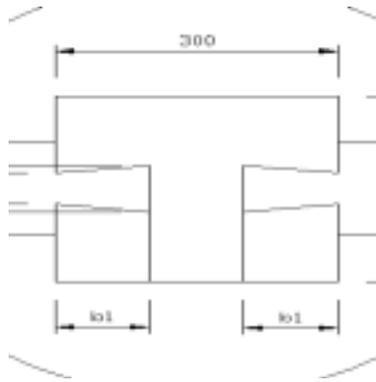


그림 3-11 장부상세C-2

실험체명	b1	b2	h	갯 수
C1	50	b	a	2

표 3-4 장부 C-2 일람

단,  $b_2 = b$ ,  $h = a$  ; 실험A와 실험B 로부터 얻어진 최적값

다. 수평부재의 이음패턴 디자인

1). 반턱 산지이음 D1

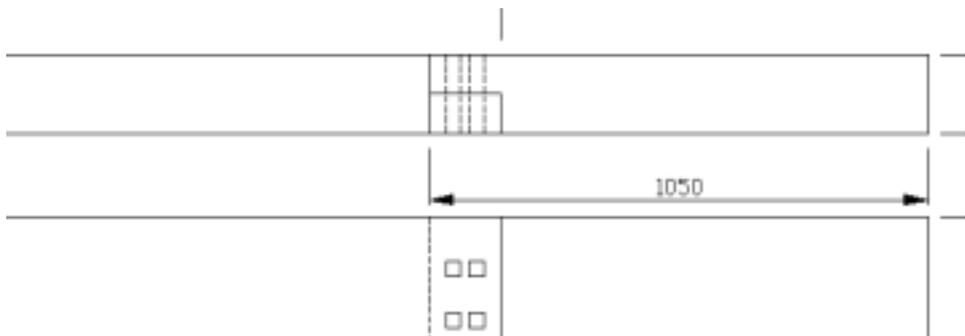


그림 3-12 반턱 산지이음

2). 반턱주먹장 이음 D2

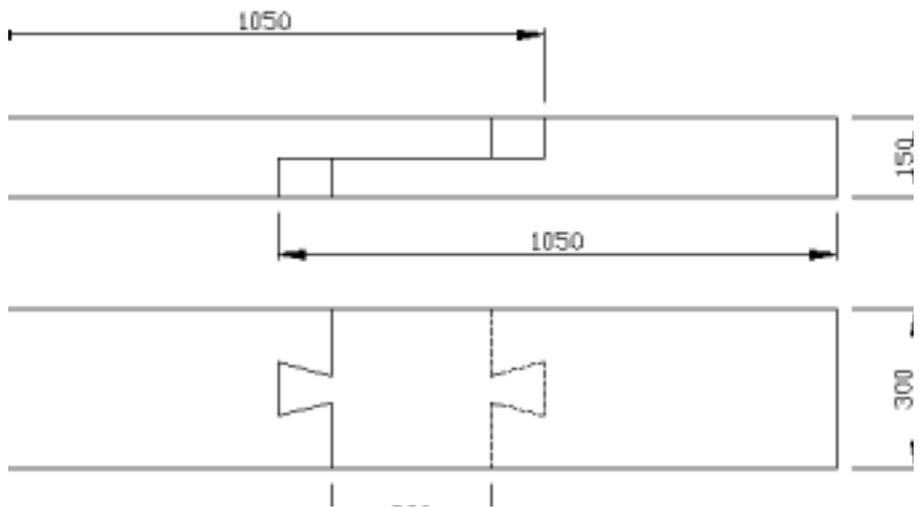


그림 3-13 반턱주먹장 이음

3) 엇결이 산지이음 D3

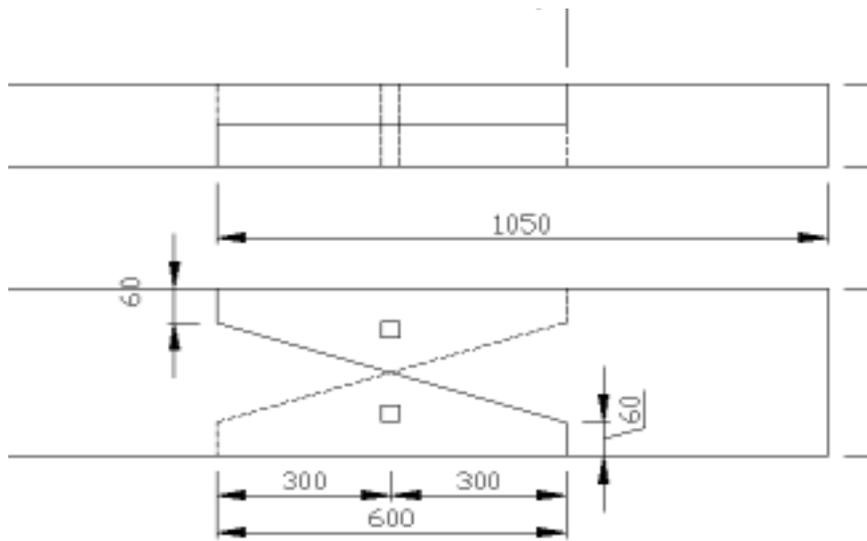


그림 3-14 엇결이 산지이음

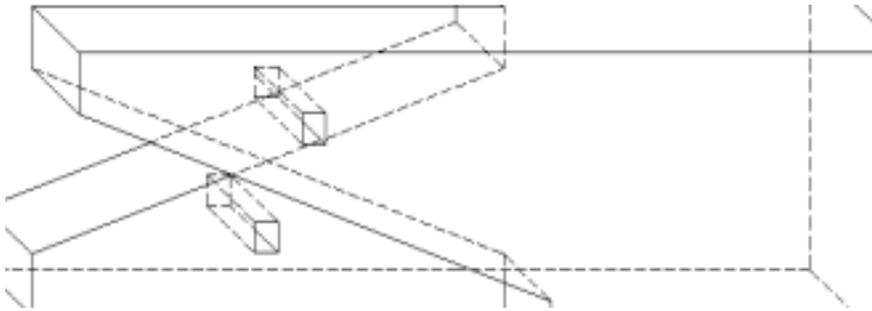


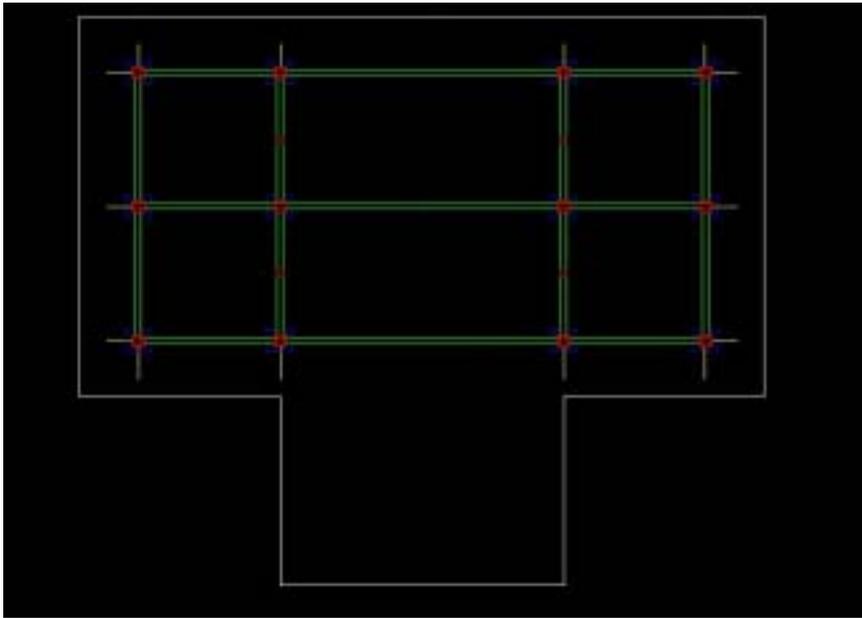
그림 3-15 엇걸이 산지 이음

실험체명	Type	b1	b2	h	갯 수
D1	산지이음				2
D2	반턱 주먹장이음				2
D3	엇걸이 산지이음				2

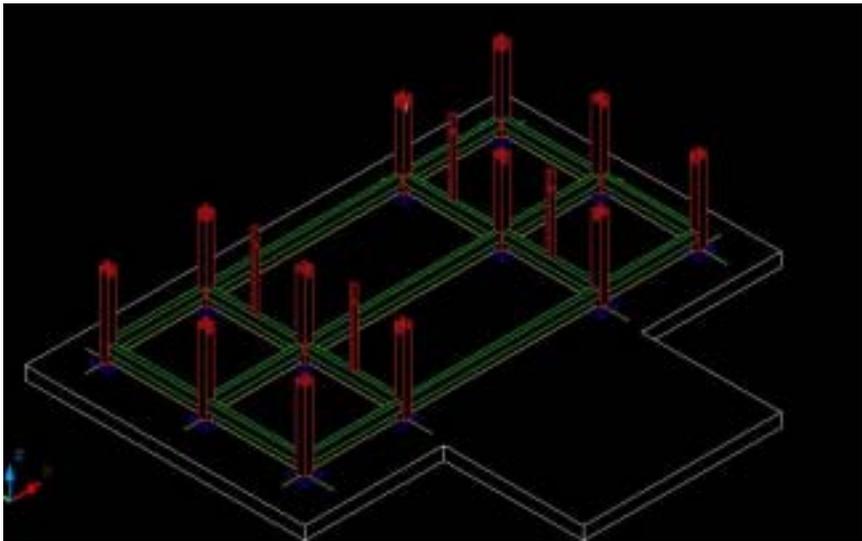
표 3-5 보 이음 패턴 D 일람

## 2. 설계초안 제시

규모와 용도 : 다목적 공간(실 평수 31.4평)



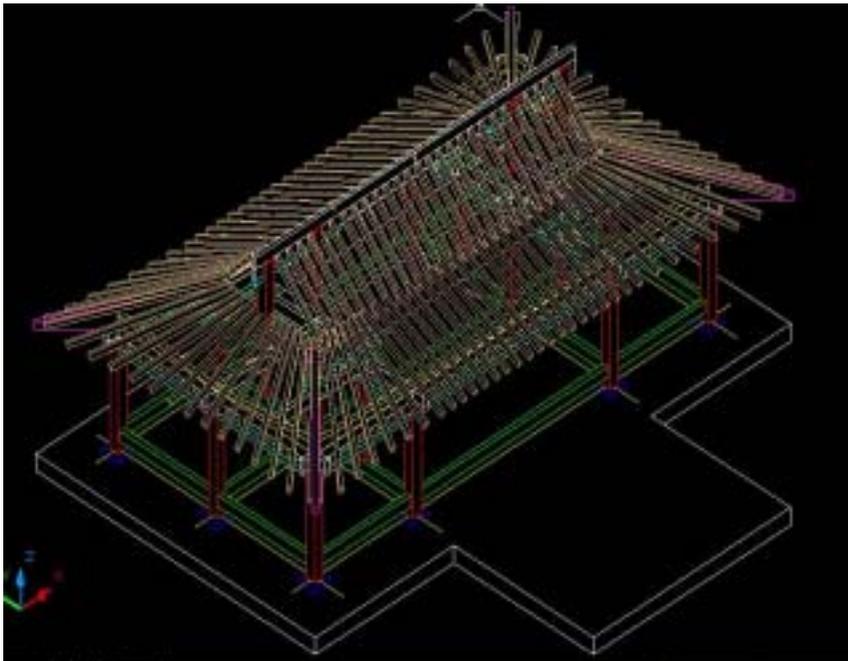
도면 3-1 평면 Span 3.6\*3.6, 7.2\*7.2



도면 3-2 기둥배치와 기둥머리 접합부 상세도



도면 3-3 접합부와 지붕가구구조도



도면 3-4 서까래 얹기

### 제 3 장 부재개발 및 실험체 제작 분야

# 제 1절. 구조용 집성보 설계 및 실험체 제작

## 1. 실험체 계획개요

간벌재를 이용한 한국적 목조건축을 개발하기 위한 본 과제에서 구조용 부재와 비구조용 부재(천정재, 내장재, 외벽재 및 지붕재)를 선정하여 제1세부과제에서 개발된 설계에 따라 구조시험을 위한 집성 기둥재와 집성보 그리고 비교시험 및 대체부재 개발을 위하여 보강 집성재를 제작하였다.

### 가. 공시원목 선정

- 구조용 부재 : 낙엽송
- 천정재 및 내장재 : 소나무 및 편백나무
- 외벽재 및 지붕재 : 삼나무

### 나. 실험체 제작용 원목구입

- 다. 제재 및 건조
- 라. 기초물성시험
- 마. 구조용 집성보 및 집성기둥 제작
- 바. 보강 집성재(대체부재) 제작
- 사. 모델용 부재 제작

### 가. 공시원목 선정

구조용 기둥재와 보는 국산 낙엽송 원목을 구입하여 제재, 건조, 라미나 제조, 그리고 설계에 따른 집성재 제조의 순으로 시험체를 제작하였다. 국산 낙엽송은 전북 진안군과 남원군 일대에서 벌채된 간벌재 중 직경 21cm 이상되는 원목을 구입하여 사용하였다. 본 과제에서 사용한 낙엽송에 대하여 기초물성을 조사한 결과는 표2-1과 표 2-2에 나타낸 바와 같다.

수 종	산 지	말구직경 (cm)	연륜폭 (cm)	기건 비중	전건 비중	함수율 (%)
낙엽송 <i>Larix leptolepis</i> (S. et Z.) Gordon	전북 남원, 진안군 일대	21cm이상	0.35	0.48	0.5	13.58

표 2-1 집성부재용 낙엽송의 물리적 성질

수 종	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	휨탄성계수 (10 <sup>9</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	종인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	종압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전단강도	
					방사방향 (kgf/cm <sup>2</sup> )	접선방향 (kgf/cm <sup>2</sup> )
낙엽송 <i>Larix leptolepis</i> (S. et Z.) Gorden	859.89	92.45	953.74	464.62	111.81	162.33

표 2-2 집성부재용 낙엽송의 기계적 성질 ※ 각 값은 8반복의 평균값임

#### 나. 라미나 배열

기둥과 보로 사용하기 위한 낙엽송 집성부재의 구조시험을 위하여 집성재를 제조하였다. 시험용 집성재는 보다 실질적이고 정확한 데이터를 확보하기 위하여 제 실대재 치수의 집성재를 제조하였다. 또한 실 대재 집성을 위해서 필수적인 길이접합은 핑거접합을 하였다. 핑거접합은 실제 제재목 강도의 약 75% 정도로 보고되고 있는바, 핑거접합의 위치 역시 집성재의 강도에는 영향하는 바가 적고 구조용 실대재 집성재의 파괴모드는 핑거접합 부위보다는 각 라미나에 존재하는 결함, 특히 웅이 부근에서 많이 발생하고 있으므로 각 라미나의 배열이나 핑거접합부의 위치보다 가장 하중을 많이 받는 최외층에 1등급재의 라미나를 배치하였다. 또한 각 집성부재를 제조하는데 있어서 연구과제의 설계시 라미나 제조를 위한 제재목의 치수는 두께와 폭을 5.0x10(cm)로 하여 집성재를 제조하고자 하였으나, 직경 24cm인 낙엽송 원목으로부터 얻을 수 있는 제재목의 수율은 5.0x10(cm)와 3.6x15(cm)로 제재할 경우 수율이 각각 약 66%와 약 71%를 얻을 수 있는 것으로 계산되어 국산 낙엽송재의 등급 특성상 수율을 보다 높게 얻을 수 있는 두께와 폭을 3.6x15(cm)로 하여 제재하여 집성재 제조용 라미나로 사용하였다. 구조시험을 위하여 본 과제에서 제조한 집성부재의 라미나 배열, 치수 및 수량은 그림 3-1,4에 나타낸 바와 같다.

## 2. 실험체 설계

구조용 집성재를 제작하기 위한 목재의 종류는 비교적 통직하며 우리나라에 대량으로 식재되어 있어 공급이 원활하며, 강도 및 내구성 등의 구조적 성능이 우수한 낙엽송을 대상으로 하였으며, 실험에 사용된 목재는 전북 진안군과 남원군 일대에서 벌채된 간벌재 중 직경이 210mm 이상인 원목을 구입하여 사용하였다. 각 집성부재를 제조하는데 있어서 제재목의 치수는 두께와 폭을 50x100(mm)로 하여 집

성재를 제조하고자 하였으나, 직경이 240mm인 낙엽송 원목으로부터 얻을 수 있는 제재목의 단면을 50x100(mm)와 36x150(mm)로 제재할 경우 수율이 각각 약 66%와 약 71%를 얻을 수 있는 것으로 계산되어 국산 낙엽송재의 경급 특성상 수율을 보다 높게 얻을 수 있는 두께와 폭을 36x150(mm)로 하여 제재하여 집성재 제조용 라미나로 사용하였다. 실험체의 단면 크기는 150X300으로서 길이는 3.6m로 제작하였다. 사용된 라미나의 기계적 성질은 표 3-1에 나타내었다. 현재 일반적으로 사용되는 집성재의 구성방법은 그림 3-1 (a)와 같이 라미나를 적층하여 원하는 크기의 단면을 가진 집성재를 제작하였다.

이와 같은 집성방법에서는 최외각층에 배치된 라미나의 특성, 특히 핑거 접합부 (finger joint) 및 옹이와 같은 결함부에 의해서 집성재의 강도가 결정되며, 핑거 접합의 강도는 제재목 강도의 75%인 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 결함부의 영향을 최소화시키기 위한 방법으로 라미나의 구성을 그림 3-2 (b)와 같이 세로로 겹쳐 단면을 구성함으로써 최종적인 파괴가 라미나 결함부의 국부적인 파괴에서 발생하는 것을 억제하고자 하였으며, 그림 3-3 (c) 및 3-4(d)와 같이 비교적 균질한 성질을 가진 합판을 이용하여 단면을 구성하는 방법을 고안하였다. 보강 실험체에 사용된 합판은 일반적으로 사용하는 합판을 이용하였으며, 합판의 두께는 15mm 로 하였다. 무보강 실험체와의 단순 비교를 위하여 보강합판을 사용한 실험체의 단면치수는 보강합판의 두께만큼 연삭 처리하여 무보강 시험체와 같은 단면치수를 갖도록 하였다. 휨강도 실험체의 단면구성과 휨강도 실험체 일람을 각각 그림 2-4과 표 2-6에 나타낸다. 또한 집성재 제조시의 제조조건을 표 3-2에 나타낸다.

휨강도	휨탄성계수	종인장강도	종압축강도	전단강도	
kgf/cm <sup>2</sup>	103 kg/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	방사방향	접선방향
835.89	92.45	953.74	464.62	111.81	162.33

표3-1 실험에 사용된 라미나(낙엽송)의 기계적 성질※ 각 값은 8회 평균값 임.

접착제	상온경화형 리소시놀수지 접착제 (수지고형분량 58%)
도포량	300g/m <sup>2</sup>
압제압력	7.0kgf/cm <sup>2</sup>
압제시간	24시간

표 3-2 집성재 제조시의 조건

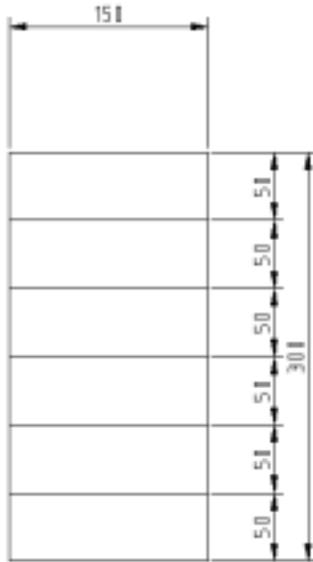


그림 3-1 (a) BH형

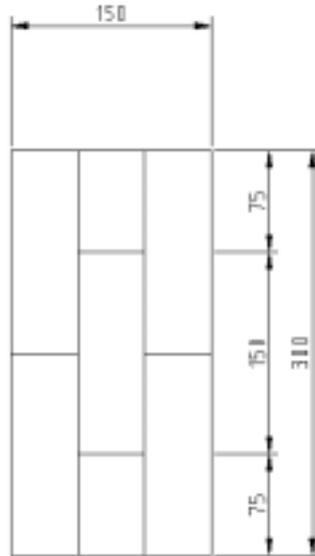


그림 3-2 (b) BVN형

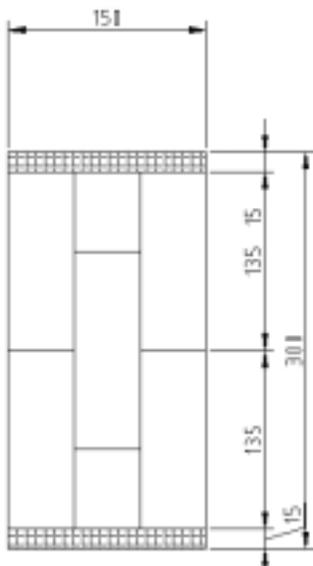


그림 3-3 (d) BVH형

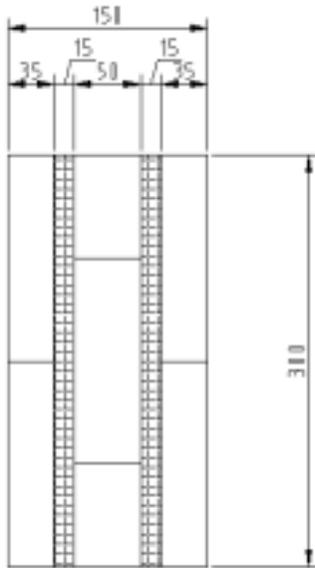


그림 3-4 (c) BVV형

그림3-1,4 휨강도 실험체의 라미나 구성(단면)

시험체명	단면크기	부재길이	수량	단면계수	단면2차모멘트	비고
	mm	mm	EA	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	
BH	150X300	3600	3	2250	33750	수평적층재
BVN	150X300	3600	3	2250	33750	수직적층재
BVV	150X300	3600	3	2250	33750	합판수직보강+수직적층재
BVH	150X300	3600	3	2250	33750	합판수평보강+수직적층재

표2-6 휨강도 실험체 일람

※ 모든 시험체는 라미나의 치수와 합판의 두께를 고려하여 집성재를 연삭 처리 함

### 3. 집성재 제작

가. 원자재 건조(사진 3-1,2)



나. 기계응력등급구분(사진 3-3,8)





다. 응력등급구분(사진3-9,14)





결점제거(사진3-15,18)





횡거조인트(사진 3-19,23)





적층접착 (3-24,29)





양생 (3-30,37)







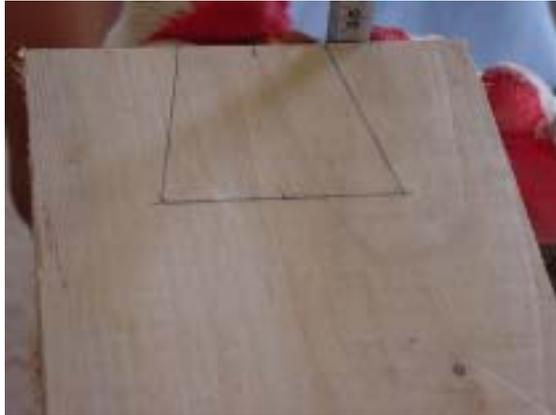
사진 3-38 최종 완성된 집성보

## 제 2 절. 접합부 실험체 제작

### 1. 장부제작

가. 먹선넣기 (사진 3-37,43)





나. 숫장부 마름질 (사진 3-44,47)



다. 암장부 마름질 (사진 3-48,51)

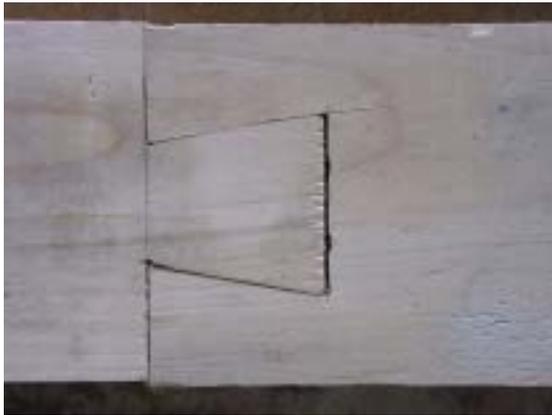


라. 장부접합 (사진3-52,56)





마. 완성된 장부 접합 (사진 3-57,59)



## 2. 기둥의 접합부 제작

가. 기둥과 창방의 장부 턱걸침 이음의 암장부



사진 3-60 원목 기둥 암장부 평면



사진 3-61 원목 기둥 암장부 입면

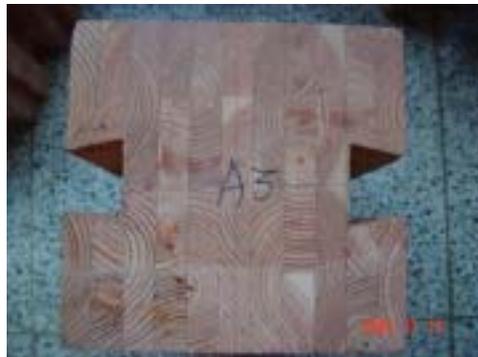


사진 3-62 집성기둥 암장부 평면



사진 3-63 집성기둥 암장부 단면

나. 기둥머리 통과 창방과 기둥의 암장부



사진 3-64 집성기둥 암장부 평면



사진 3-65 집성기둥 암장부 입면



사진 3-66 원목기둥 암장부 평면



사진 3-67 원목기둥 암장부 입면

### 3. 보 이음부 제작

가. 반턱 주먹장 이음



사진 3-68 반턱주먹장 이음 부재조감



사진 3-69 원목 반턱주먹장이음 평면



사진 3-70 원목 반턱 주먹장이음입면



사진 3-71 원목반턱 주먹장이음상세



사진 3-72 집성목반턱주먹장이음평면



사진 3-73 집성목반턱주먹장이음입면



사진 3-74 집성목반턱주먹장이음상세

나. 반턱산지이음



그림 123 원목 반턱산지이음평면



그림 124 원목 반턱산지이음입면



사진 3-75 반턱산지이음조감



사진 3-76 원목 반턱산지이음상세



사진 3-77 집성목 반턱산지이음평면



사진 3-78 집성목 반턱산지이음입면



사진 3-79 집성목 반턱산지이음상세

다. 엇결이산지이음



사진 3-80 엇결이 산지 이음 조감



사진 3-81 원목 엇결이산지이음평면



사진 3-82 원목 엇결이산지이음입면



사진 3-83 원목 엇결이산지이음상세



사진 3-84 집성목 엇결이산지이음평면



사진 3-85 집성목 엇결이산지이음입면



사진 3-86 집성목 엇결이산지이음상세

## 제 4 장 구조실험분야

### 제 1 절. 보의 실험

#### 1. 실험개요

- 가. 시험 계획
- 나. 가력 및 측정
- 다. 실험결과정리
  - 하중-변위 관계 곡선
  - 항복하중 및 최대하중
- 라. 실험결과분석
  - 등가 휨탄성계수
  - 휨응력
- 마. 결론도출

본 시험은 물성시험과 보 내력-변형 시험을 동시에 수행 했다. 향후 다양한 종류의 목재와 접합방법에 의한 종류별 재료시험은 따로 두기로 한다. 본 연구에 사용할 집성목재 원자재로 사용한 소경재는 15~20년생 낙엽송 이다. 집성목재 휨 시험체에 사용한 보의 크기는 150\*300 @ 3.000 이다. 시험의 주된 목표는 구조설계의 두 가지 큰 방향인 설계지침의 기본 개념을 확인하고 향후 이 자료를 활용하여 목구조 구조설계의 기본 기준으로 삼기 위해서 이다. 즉 강도(strength criteria)와 변형 (stiffness criteria)의 한계 설정에 관한 목적으로 시험을 실시했다. 이 두 가지 검토 조건에서도 목구조에서는 재료의 강도 특성상 목재의 허용강도가 일반적인 재료에 대해서 100kg/cm<sup>2</sup> 내외 밖에 되지 않기 때문에 장스팬 화가 연구의 핵심 사항이 된다. 즉 보가 휨에 가장 큰 취약점을 가지고 있다는 의미이다. 이 시험에서도 이런 점을 감안하여 보의 휨에 의한 강도와 이때의 처짐을 동시에 확인할 수 있는 내력-변형시험을 했다. 한편 재료 물성시험의 기본적인 내용인 인장 강도와 압축 강도시험에 대해서는 압축 강도시험만 실시했다. 일반적으로 인장강도는 압축 강도의 그것보다 10~20% 정도 상회하기 때문에 본 연구에서는 이론의 복잡성 등

을 고려하여 인장강도를 하향조정 하여 압축강도의 그것으로 했으며 연구의 특성 상 다양한 재료 성능에 대한 시험을 할 수 없는 상황이기 때문에 이 본 시험에 적용할 물성확인 정도에서 물성시험은 가름했다. 한편 라멜라 접합부의 접합성능이 상대적으로 모재의 그것과 비교하여 약하거나 부족하면 집성목재로서의 가치는 인정할 수가 없다. 이것은 집성목재의 가장 큰 특징이 되어야 하기 때문이다. 즉 접합부의 강성이 모재부의 그것 보다 크거나 같아야 한다는 전제에서 연구가 진행되어야 하기 때문이다. 이런 조건들이 집성목재의 물리적 성질의 기본 원칙이다. 이런 이유에서 접합면이 우선 모재부의 섬유 방향 접합성능인 인장능력보다 크거나 같다는 것을 확인하는 시험이 필요하다. 본 논문에서는 이 시험에 사용한 시험체에 한하여 접합부의 성능이 모재부의 인장성능보다 대(크냐), 소(작냐)에 대한 상대평가 시험을 약식 시험으로 확인하는 시험을 실시했다. 아울러 본 논문이 제시하고 있는 전통양식을 현대화 한 건축물의 기본모델의 최적설계 개념은 보의 내력-변형 성능 특성에서부터 그 해석의 줄기를 찾고자 한다. 이하 시험체에 사용한 원자재는 낙엽송 이며 집성목재에서 압축 시험편과 접합 시험편을 절취하여 각각에 대해 재료의 물성시험을 실시했다. 소재는 라멜라를 가로로 한 경우와 세로로 한 경우에 대해 각각 2조씩 시험하여 그 평균값을 분석평가 했다.

## 2. 재료의 압축강도와 물성시험

### 가. 시험개요

일반적으로 목재는 인장응력도가 압축응력도의 10~20% 상회하는 판단에서 본 시험에서는 압축시험을 하고 인장강도는 압축강도와 같은 것으로 하향 가정하여 보 단면의 성능을 평가하였다. 그 시험편의 크기 등 재원은 각각의 시험편 규격에 대한 아래 표와 같다.

시험편분류	시험구분	규격(가로*세로*높이)	시험편 개수	라멜라의 방향성	기타
Type 1	압축시험	150*150*300	3	보섬류 가로방향	
Type 2	압축시험	150*150*300	3	보섬류 세로방향	
Type 3	부착시험	30*70*300	2	보섬류 직교방향	Type 1
Type 4	부착시험	20*70*300	2	보섬류 직교방향	Type 2

표 4-1 압축 및 부착 시험편 규격

부재의 압축강도 시험의 목적은 부재 단면검증에서 단면의 성능을 예정하는 기본 자료를 얻을 목적으로 수행되기 때문에 종국강도에서 보의 사용성 한계를 고려

한 값으로 안전율을 정했다. 여기에 이 안전율을 곱하여 허용 압축 응력도를 가정했다. 일반적인 경우에는 P- $\Delta$ 곡선에서 항복점강도를 구하고 여기에 안전율을 곱하여 허용 응력도를 구하는 것이 허용응력도의 가정 방법이나, 수많은 수종에 따라 이 방법은 적용되기 어렵다. 그 이유는 우선 목재 자체가 탄성영역을 정확히 보전해 주는 물리적 성질을 보이지 않고 탄성 영역에서도 비선형 거동특성인 탄소성 거동을 할 소지가 있으며, 수종 마다 P- $\Delta$ 곡선에 그 특성이 다르기 때문에 제품 코드별 탄성계수와 허용압축 및 인장응력도의 기준값을 정하는 것이 성능확인과 보장의 확실한 방법이라고 생각한다. 그래서 이들 물리적 특성 값의 정의는 사용성의 한계인 처짐의 한계로서 안전율의 범위를 고려하여 정하되 허용 응력도를 파괴강도의 1/3 정도에서 정하는 것이 합리적이라 생각하여 이 방법을 적용해서 설계기준 값인 탄성계수와 허용인장 및 압축 응력도를 정하고, 아울러 세계적인 추세인 한계상태 설계의 근거를 마련하기 위해 파괴 강도도 기록해 두었다. 향후 안전율 채택과 허용응력도 설정기준에 대한 많은 연구가 필요하겠지만 본 연구에서는 이와 같은 융통성 있는 안전율을 정의하여 보의 안전성 여부를 검토하는 기본 자료로 했다. 그래서 위 시험체에 대한 압축강도 시험은 단기하중에 의한 파괴 압축강도를 얻고 그 결과에 안전율을 곱하여 허용 압축응력도로 했으며, 인장강도는 이미 밝힌바 대로 안전율을 고려하여 허용 압축응력도의 값으로 했다. 시험 결과 값의 신뢰도를 확인하기 위해서 강도시험에서 얻은 결과 값과 보의 내력-처짐 곡선에서 이론적으로 계산한 산한 E값과 과도 비교해 보았다. E 값의 계산은 보의 처짐 변형곡선에서 역산으로도 추출 해 보았다. 이들 허용응력도와 탄성계수는 이론적으로 보나, 기둥을 해석하고 단면을 검정하고 가정하는데 활용했다. 소재 압축 시험과 부착 시험은 동아대학교 공동기기 기초시험 실의 만능시험기로에서, 보의 구조체 시험은 건축학부 소속 대형 구조 시험실인 구조시험실에서 정적 재하시험으로 실시했다.

#### 나) 시험

시험성과는 표 4-2와 같다. 시험결과 및 파괴현상에 관한 사진은 그림 4-1,4-2와 같다. 시험과정의 시험 성적 자료는 이 시험 결과를 위에 정의한 설계기준에서 분석하면 허용압축 및 인장강도는 장기 150 kg/cm<sup>2</sup>, 단기 225 kg/cm<sup>2</sup> 으로 가정해도 좋을 것이다. 현재 단순한 시험편 몇 개로서 허용압축, 인장응력도를 가정한다는 것은 그 신뢰도가 매우 낮다고 볼 수 있다. 향후 생산자가 자기제품에 대한

제품별 코드번호를 부여하고 이 분류번호에다 반드시 탄성계수와 허용응력을 표시하고, 문제가 발생할 때 제품에 대해 책임지는 제도적 장치를 통해서만이 제품의 물성표준화에 대한 신뢰도를 보장할 수 있을 것이다. 본 시험에서도 10년 전후의 어린 낙엽송에 대한 시험 성적이 일반 자료에서 제공하는 값보다 50%이상 상회하는 것을 확인했으며, 이것은 기존의 범용자료가 얼마나 신뢰도가 낮은가를 보여준 좋은 실례가 된다. 따라서 이러한 방법이 현재로서 제안할 수 있는 가장 타당하고 적절한 방법으로 본다. 본 시험결과에서 보여준 재료의 성능은 결과에서 확인한 바와 같이 본 시험에 사용한 재료 물성값은 매우 양호하고 우수한 성능을 보여주고 있다.

시험편분류	과괴강도	압축강도	인장강도	부착성능	시험오차
압축 No.1	500	150	150	양호	2%내
압축 No.2	490	150	150	양호	2%내
부착성능 No.1				양호	
부착성능 No.1				양호	

표 4-2 시험결과 및 분석자료; 장기 허용인장응력도 및 부착성능 단위(kg/cm<sup>2</sup>)



그림 4-1 TYPE 1 시험현황 사진자료

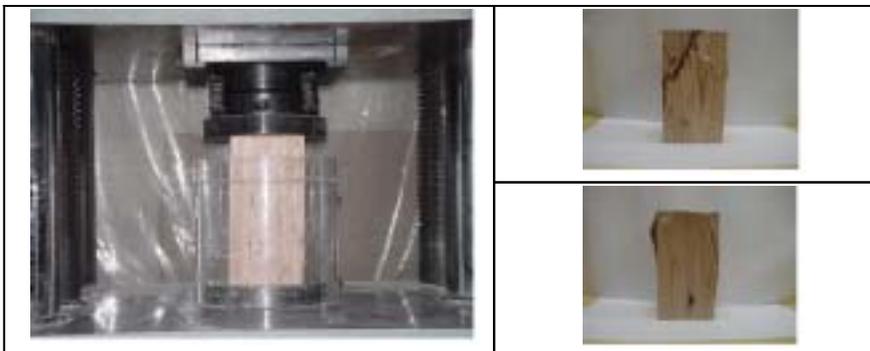


그림 4-2 TYPE 2 시험현황 사진자료

		
30×75×300	TYPE 3	TYPE 4
		
20×75×300	TYPE 3	TYPE 4

그림 4-3 부착성능시험; 파단현황 사진자료

집성목재에서 재료성능 평가의 매우 중요한 변수중의 하나가 라미나의 접합 성능이다. 여기서 접합 성능이라 함은 접합부의 인장 및 전단 강도가 모재부의 그것보다 크거나 같은 것을 의미한다. 이 능력은 절대적인 크기가 아니라 제품에 사용된 나무와 접착제간의 상대적인 측면에서 성능이 강하면 된다. 본 시험에서는 표 4-1에 보인 30\*75\*300 및 20\*75\*300인 두 시험편에 대해 라미나가 시험편의 지축방향과 직교되게 시험편을 제작하여 그림 4-3의 사진들에서 참고하는 바와 같이 휨 시험을 하여 파단된 상태를 살펴보면 모든 시험편에서 공히 모재부가 파단되어 있음을 알 수 있다.

즉 파단이 접합부에서 이루어지는지 모재부에서 이루어지는지를 관찰하여 그 상대적 성능을 확인하는 시험이다. 집성재가 그 성능을 발휘하기 위해서는 이 접합 성능이 우선해야 하기 때문에, 다른 처짐에 관한 문제라든지 정량적인 접합강도 등은 지면에서 제외하였다. 물론 본 시험 자료를 통하여 절대적인 섬유 직교방향의 접합강도도 추출 해 낼 수는 있다. 그러나 시험 성격상 무의미하다. 시험결과는 순수접합성능시험 사진에서 보는 바와 같이 접합부는 모재부보다 충분히 강하였다. 압축시험에서도 이와 같은 사실은 그림 4-3의 사진들에서 참고하는 바와 같다. 전단 저항 성능도 충분히 모재부의 그것보다 우세하였다.

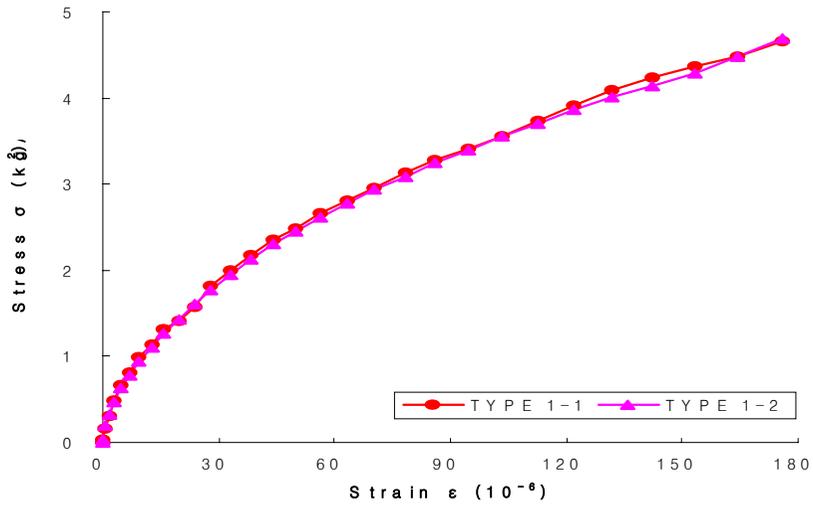


표 4-3 (a) TYPE 1 내력-변형 특성곡선

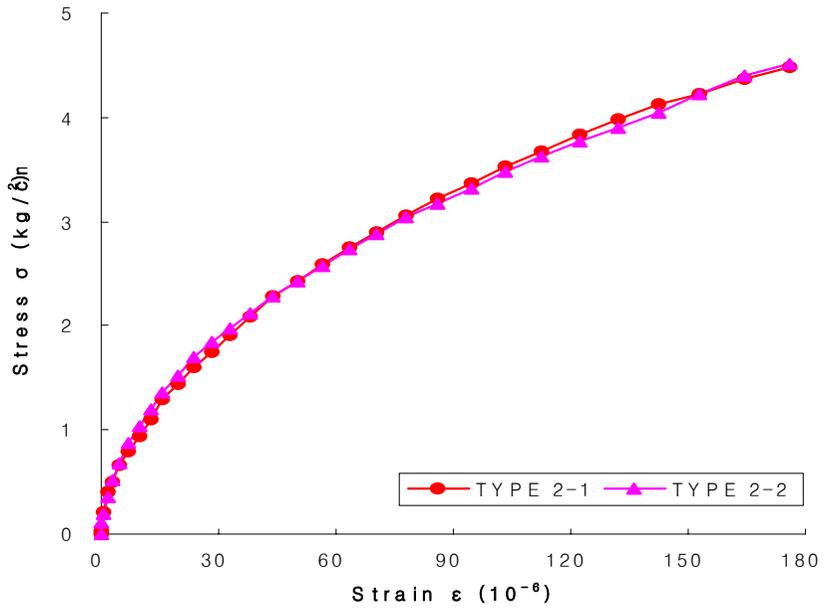


표 4-4 (b) TYPE 2 압축 및 부착 시험결과

Deflection $\delta$ (cm)	Load $P$ (ton)		Moment $M$ (t-m)		stress $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )		E(kg/cm <sup>2</sup> )	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	1.3E+04	4.0E+04
0.2	0.5	0.6	0.4	0.5	0.2	0.2	4.6E+04	5.7E+04
0.3	0.9	1.1	0.7	0.8	0.3	0.4	5.5E+04	7.1E+04
0.4	1.3	1.4	1.1	1.1	0.5	0.5	6.2E+04	7.2E+04
0.5	1.8	1.9	1.5	1.5	0.6	0.7	6.7E+04	7.6E+04
0.6	2.2	2.4	1.8	1.9	0.8	0.8	6.9E+04	7.9E+04
0.7	2.7	2.8	2.2	2.2	1.0	1.0	7.2E+04	8.0E+04
0.8	3.2	3.2	2.5	2.6	1.1	1.2	7.3E+04	8.2E+04
0.9	3.6	3.7	2.9	3.0	1.3	1.3	7.4E+04	8.4E+04
1.0	4.0	4.2	3.2	3.3	1.4	1.5	7.4E+04	8.4E+04
1.1	4.5	4.6	3.6	3.7	1.6	1.6	7.5E+04	8.5E+04
1.2	5.0	5.0	4.0	4.0	1.8	1.8	7.7E+04	8.5E+04
1.3	5.6	5.5	4.4	4.4	2.0	1.9	7.9E+04	8.5E+04
1.4	6.0	5.9	4.8	4.7	2.1	2.1	8.0E+04	8.6E+04
1.5	6.5	6.4	5.2	5.1	2.3	2.3	8.0E+04	8.7E+04
1.6	6.9	6.8	5.6	5.5	2.5	2.4	8.0E+04	8.6E+04
1.7	7.4	7.3	5.9	5.8	2.6	2.6	8.0E+04	8.6E+04
1.8	7.9	7.7	6.3	6.2	2.8	2.7	8.0E+04	8.7E+04
1.9	8.3	8.1	6.6	6.5	2.9	2.9	8.0E+04	8.6E+04
2.0	8.7	8.6	7.0	6.9	3.1	3.0	8.1E+04	8.7E+04
2.1	9.2	9.0	7.3	7.2	3.3	3.2	8.1E+04	8.7E+04
2.2	9.6	9.4	7.7	7.5	3.4	3.3	8.0E+04	8.6E+04
2.3	10.0	9.9	8.0	7.9	3.6	3.5	8.0E+04	8.7E+04
2.4	10.5	10.3	8.4	8.2	3.7	3.6	8.0E+04	8.7E+04
2.5	10.9	10.7	8.7	8.6	3.9	3.8	8.1E+04	8.7E+04
2.6	11.4	11.1	9.1	8.9	4.0	3.9	8.1E+04	8.6E+04
2.7	11.8	11.5	9.4	9.2	4.2	4.1	8.0E+04	8.6E+04
2.8	12.2	11.9	9.7	9.5	4.3	4.2	8.0E+04	7.8E+04
2.9	12.6	12.4	10.1	9.9	4.5	4.4	8.0E+04	7.9E+04
3.0	13.2	12.7	10.5	10.1	4.7	4.5	8.1E+04	7.8E+04

표 4-5 압축 및 부착강도시험결과표

### 3. 보의 역학적 성능 실험

#### 가. 원목실험

##### 1). 가력 및 측정

집성재의 휨 강도를 측정하기 위하여 가력 방법은 용량 100 tonf의 유압식 만능 시험기를 사용하여 그림 2-5와 같이 지점사이의 거리를 3m로 하여 시험체 양단을 단순지지 조건으로 하는 3점 휨가력 단조 재하율 방법취하여 부재의 중앙부에 최대 휨 모멘트가 가해지도록 하였다. 부재의 수직변형은 중앙부 하부에 수직으로 설치한 변위계(Displacement Transducer)를 이용하여 측정하였다. 함수율 20%

##### 2). 실험체 세팅미 및 가력 (사진 4-1,2)



2). 실험체 가력 및 파괴형상 (사진 4-3,5)



나. 실험결과

원목 실험체는 하부 최인장측에서 섬유 길이방향에서 균열이 일어나기 시작하면서 수직으로 파단이 진행하여 나뭇결을 따라 수평균열이 발생하였다(사진 4-1,5) 본 실험에서  $13,895\text{ kgf}$  ( $6,948\text{ kgf}\cdot\text{m}$ )로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

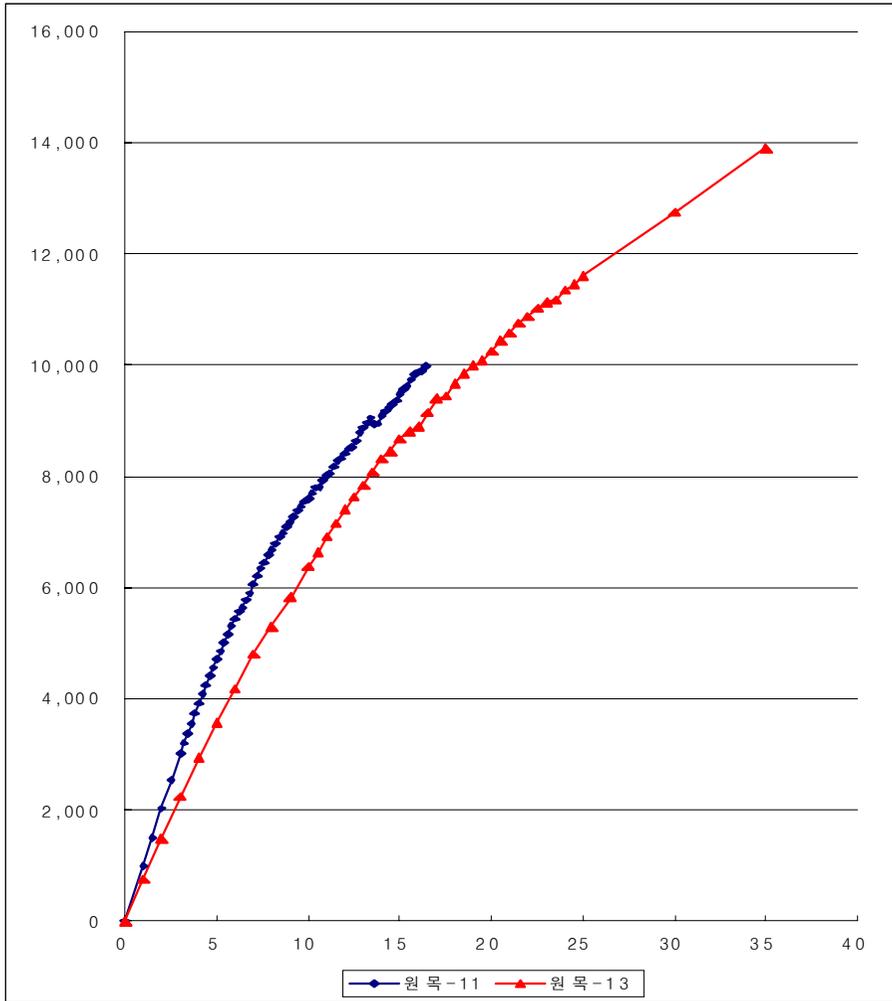


표 4-6 집합부가 없는 원목의 휨 내력-처짐에 대한 실험 결과 요약

나) 집성목 시험

1) 가력 및 측정

집성재의 휨 강도를 측정하기 위하여 가력 방법은 용량 100 tonf의 유압식 만능 시험기를 사용하여 그림 2-5와 같이 지점사이의 거리를 3m로 하여 시험체 양단을 단순지지 조건으로 하는 3점 휨가력 단조 재하율 방법취하여 부재의 중앙부에

최대 휨 모멘트가 가해지도록 하였다. 부재의 수직변형은 중앙부 하부에 수직으로 설치한 변위계(Displacement Transducer)를 이용하여 측정하였다.



사진 4-6 시험체 설치상황

## 2) 실험결과

### 가) 파괴모드

BH-1실험체는 하부 최인장측 라미나와 라미나의 핑거 접합부에서 동시에 부재 길이방향과 수직으로 파단이 발생하여 윗층 라미나의 나뭇결을 따라 수평균열이 발생하였다(사진4-7,8 ). 보 중앙 하부 부근에 2개의 핑거접합부가 있었던 BH-2실험체는 8.57tonf에서 먼저 한쪽의 핑거 접합부(finger joint)가 파괴한 후 다시 내력이 상승하다가 나머지 핑거 접합부의 파단이 발생하였으며, 바로 윗 층 라미나의 나뭇결을 따라 수평균열이 발생하였다(사진 4-9,10). BH-3실험체는 8.31tonf에서 라미나의 핑거접합부가 파괴한 후 다시 내력이 상승하다가 최종 파괴에 이르렀으며, 균열범위가 하부로부터 3개 적층면까지 발생하였다(사진 4-11,12). 이와 같은 파괴 상황을 볼 때 라미나를 수평 적층법에 의해 집성된 부재는 인장력을 받는 최외각 층의 라미나의 성능이 보의 전체적인 성능을 결정하는 것으로 파악되었다.

BVN-1실험체는 중앙하부의 용이에서 파괴가 발생하여 수직으로 약 8cm 정도의 균열이 발생하였다(사진 4-12,13). BVN-2실험체 역시 보의 양끝에 있는 라미나의 용이에서 파괴가 발생하였으며, 균열깊이는 보의 중립면까지 이르고 있다(사진 4-14,15). BVN-3실험체도 중앙하부의 용이에서 파괴가 발생하였으나, 균열은 나뭇결을 따라 수평으로 발생하였다( 사진4-16-7).

BVV-1실험체는 처음에는 목재부분이 10.47tonf과 10.91tonf에서 먼저 파괴가 발생한 후 합판의 파괴로 최종적으로 파단되었으며, 지그재그 형태의 수직균열이 보 춤의 2/3정도까지 발생하였다( 사진 4-18,19). BVV-2실험체는 보 밑면을 대각선으로 가로지는 균열이 약 80cm 전후로 길게 발생한 반면에, 균열 깊이는 그다지 크게 발생하지는 않았다( 사진 4-20,21). BVV-3실험체는 약 5cm 정도의 수직 균열이 발생하였으며, 윗면에 합판과 라미나의 접착이 떨어진 것이 관찰되었다( 사진 4-22,23).

BVH-1실험체는 9.45tonf에서 합판의 이음부에서 초기 균열이 발생하였으나 최종적으로는 중앙부에서 합판과 목재가 동시에 파괴되었다( 사진 4-24,25). BVH-2 실험체는 보의 중앙에서 60cm 떨어져있던 합판 이음부에서 균열이 시작되어 뜯겨 지듯이 경사방향의 균열이 약 80cm 정도 발생하였다( 사진 4-26,27). BVH-3실험체는 BVH-1실험체와 유사한 형태로 중앙부 하부에서 합판과 목재가 동시에 파단 되었다( 사진 4-28,29).



사진 4-7 BH-1실험체(밑면)



사진 4-8 BH-1실험체(측면)



사진 4-9 BH-2실험체(밀면)



사진 4-10 BH-2실험체(측면)



사진 4-11 BH-3실험체(밀면)



사진 4-12 BH-3실험체(측면)



사진 4-13 BVN-1실험체(측면)



사진 4-14 BVN-1실험체(측면)



사진 4-15 BVN-2실험체(측면)



사진 4-16 BVN-2실험체(밀면)



사진 4-17 BVN-3실험체(측면)



사진 4-18 BVN-3실험체(밀면)



사진 4-19 BVV-1실험체(측면)



사진 4-20 BVV-1실험체(밀면)



사진 4-21 BVV-2실험체(밀면)



사진 4-22 BVV-2실험체(측면)



사진 4-23 BVV-3실험체(측면)



사진 4-24 BVV-3실험체(윗면)



사진 4-25 BVH-1실험체(측면)



사진 4-26 BVH-1실험체(측면)



사진 4-27 BVH-2실험체(측면)



사진 4-28 BVH-2실험체(측면)



사진 4-29 BVH-3실험체(밀면)



사진 4-30 BVH-3실험체(측면)

#### 나) 항복강도와 최대강도

모든 실험체들의 하중-변위 관계는 초기에 안정화를 이루는 구간과 안정화가 이루어진 이후의 구간으로 나누어지는 Bilinear 형태를 가지고 있는 것으로 나타났다. 항복강도는 하중-변위 관계곡선으로부터 선형성이 분명하게 나타나는 2차 선형구간의 시작하중으로 정의하였다. 그림 4-7~10에 하중-변위 관계 곡선을 나타내고 있으며, 시험결과를 표 4-11에 나타내었다. 항복강도는 1.33~2.84tonf의 분포를 보이고 있으며, 평균항복강도는 BVN계열, BVV계열, BVH계열, BH계열의 순으로 점차 높아지는 경향을 나타내었다. 최대강도는 9.34~12.86tonf의 분포를 보이고 있으며, 평균최대강도는 평균항복강도와는 정반대로 BV계열, BVH계열, BVV계열,

BVN계열의 순으로 점차 높아지는 경향을 나타내었다. BV계열이 BH계열보다 높게 나타나는 것은 BH계열의 실험체가 핑거 접합부를 가지고 있는 반면에, BV계열의 실험체는 핑거 접합부가 없기 때문이라고 생각된다.

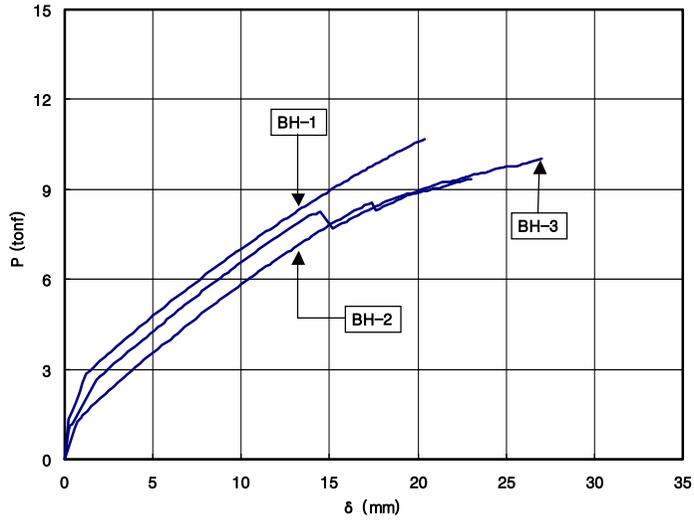


표 4-7 BH계열 실험체의 하중-변위 관계곡선

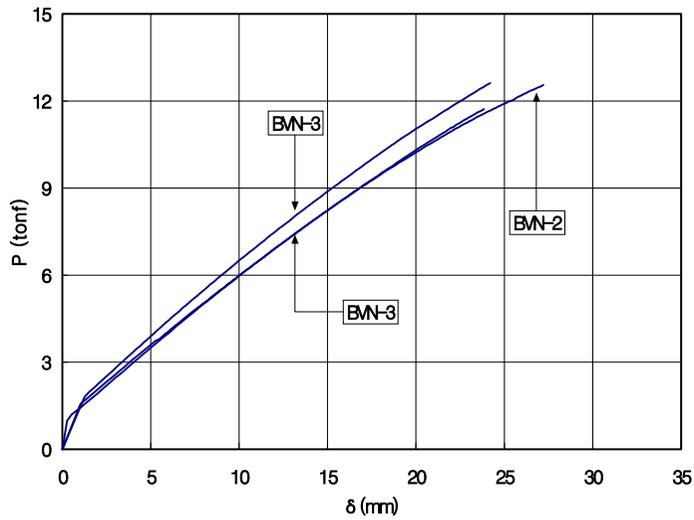


표 4-8 BVN계열 실험체의 하중-변위 관계곡선

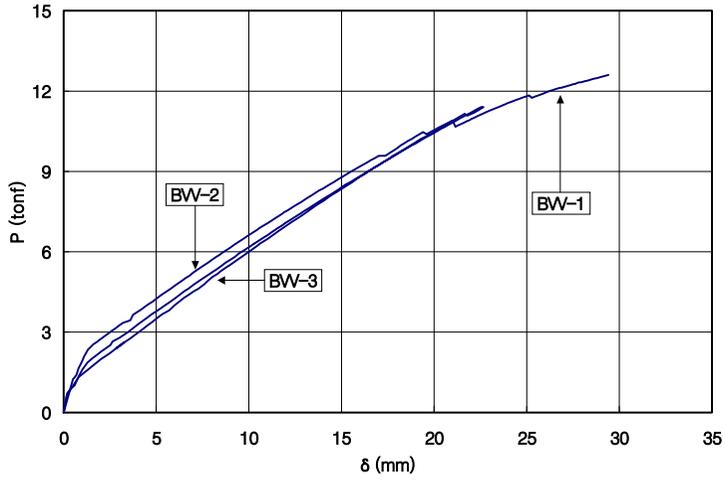


표 4-9 BVV계열 실험체의 하중-변위 관계곡선

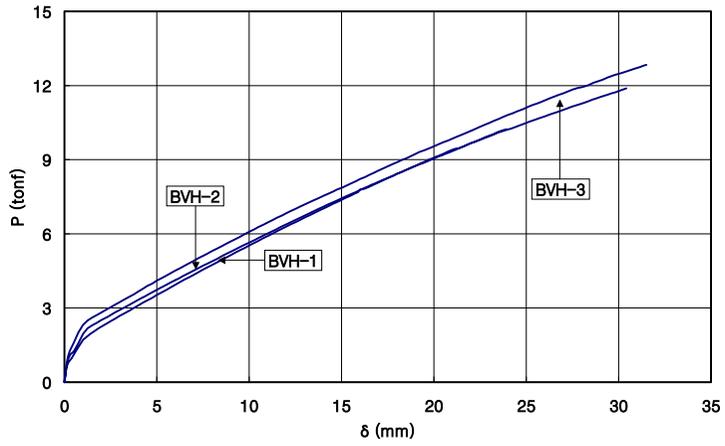


표 4-10 BVH계열 실험체의 하중-변위 관계곡선

실험체명	항복강도	항복강도 (평균)	최대강도	최대강도 (평균)	항복변위	최대변위	사용한 계강도 (1/300)	항복강도 / 최대강도
	tonf	tonf	tonf	tonf	mm	mm	tonf	
BH-1	2.84	2.31	10.72*	10.04	1.22	20.41	7.01	0.26
BH-2	1.48		9.34 (8.57*)		1.00	22.99	5.84	0.16 (0.17)
BH-3	2.62		10.06 (8.31*)		1.81	27.00	6.58	0.26 (0.32)
BVN-1	1.57	1.52	11.76	12.32	1.02	23.85	5.99	0.13
BVN-2	1.20		12.57		0.52	27.21	5.98	0.10
BVN-3	1.80		12.63		1.25	24.21	6.51	0.14
BVV-1	2.34	1.84	12.63	11.84	1.31	29.41	6.63	0.19
BVV-2	1.86		11.46		1.29	22.59	6.18	0.16
BVV-3	1.33		11.42		0.82	22.67	6.01	0.12
BVH-1	1.72	2.07	10.23	11.66	1.01	23.98	5.53	0.17
BVH-2	2.18		11.89		1.26	30.41	5.64	0.18
BVH-3	2.32		12.86		1.00	31.50	6.09	0.18

표 4-11 휨강도 실험결과 ※ \*는 핑거 접합부의 파단강도 임

그러나 파괴형태를 볼 때 라미나를 수평으로 적층하는 것보다는 수직으로 적층하는 것이 핑거 접합부 및 옹이 등과 같은 단면 취약부위를 다소 보완할 수 있는 방법이라고 생각된다. 또한 BVN계열이 BVV계열과 BVH계열보다 높게 나타나는 것은 합판의 강도가 라미나의 강도보다 낮기 때문이라고 사료된다. 또 항복강도는 최대강도의 약 10~26% 정도의 범위에 있는 것으로 파악되었으며, 항복이후의 거동이 최종적인 파단에 이르기까지 선형적으로 안정적인 거동을 보이고 있는 것으로 보아 현재 강도적인 측면만을 고려하여 사용하고 있는 허용 휨응력에 대한 규정을 사용성 측면, 예를 들면 주요부재의 경우 부재길이의 1/300,을 포함한 새로운 규정에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

### 3) 분석 및 고찰

#### 가) 등가 휨 탄성계수

천연재료인 목재의 특성으로 인해 집성재를 구성하는 각 라미나의 탄성계수는 각각 다르기 때문에 이를 모두 반영하여 집성재의 휨탄성계수를 파악하기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 재질이 균질하지 못한 집성재의 휨강성을 평가하기 위하여 실험결과로부터 보의 탄성이론을 이용하여 집성재의 재질을 균질한 재질로 가정한 등가휨탄성계수를 구하고, 이 값을 재료실험결과로부터 얻은 라미나의 휨탄

성계수와 비교한다. 집성보의 등가휨탄성계수( $E_{eq}$ )는 그림 8과 같이 실험상황을 단순화한 단순보 중앙부에 집중하중이 가해진 경우의 하중(P)-변형( $\delta$ ) 관계를 이용하여 보의 탄성이론으로부터 식 (1)을 얻을 수 있다.

그림 4-1 단순보 중앙부  
집중하중과 변위

$$E_{eq} = \frac{PL^3}{48\delta I} \quad (1)$$

여기서,  $P$  : 하중(kgf)

$L$  : 스패ん길이(cm)

$\delta$  : 변위(cm)

$I$  : 단면2차모멘트(cm<sup>4</sup>)

실험 체명	초기등가 휨탄성계수 103kgf/cm <sup>2</sup>	초기등가 휨탄성 계수비	2차등가 휨탄성계수 103kgf/cm <sup>2</sup>	2차등가 휨탄성계수비
BH-1	387.98	4.20	97.07	1.05
BH-2	246.67	2.67	85.29	0.92
BH-3	241.25	2.61	89.43	0.97
BVN-1	256.54	2.77	87.39	0.95
BVN-2	384.62	4.16	90.53	0.98
BVN-3	240.00	2.60	95.73	1.04
BVV-1	297.71	3.22	94.34	1.01
BVV-2	240.31	2.60	88.45	0.96
BVV-3	270.33	2.92	89.97	0.97
BVH-1	283.83	3.07	76.69	0.83
BVH-2	288.36	3.12	73.74	0.80
BVH-3	386.67	4.18	81.81	0.88

표 4-12 집성방법에 따른 등가탄성계수의 비교

표 4-8,12에 식(1)로 부터 구한 초기 등가 휨탄성계수와 항복 이후의 2차 등가 휨탄성계수 및 재료시험에 의한 라미나의 휨탄성계수(  $92.45 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  )와의 관

계를 나타내었다. 초기 등가 휨탄성계수와 라미나의 휨탄성계수의 비는 2.60~4.20의 분포로서 많은 차이를 보이고 있다. 그러나 항복강도이후 휨탄성계수의 비는 합판을 수평으로 보강한 BVH계열의 실험체를 제외한 나머지 시험체는 보의 2차 등가 휨탄성계수와 라미나의 휨탄성계수의 비가 0.96~1.05의 분포로서 잘 일치하고 있는 것으로 나타났으나, BVH계열의 실험체의 휨탄성계수의 비는 0.80~0.88로서 다소 차이를 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 합판이 수직으로 배치되는 경우에는 집성재의 구조적 거동에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타난 반면에, 합판이 최외곽층에 수평으로 부착되는 경우는 12~20%정도 부재의 휨강성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

실험체명	최 대	휨응력비	평균휨응력	사용한계휨	휨응력비	평 균
	휨응력			응 력		
	kgf/cm <sup>2</sup>		kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		휨응력
						kgf/cm <sup>2</sup>
BH-1	357.33	0.42	334.67	233.67	0.28	215.89
BH-2	311.33	0.36		194.67	0.23	
BH-3	335.33	0.39		219.33	0.26	
BVN-1	392.00	0.46	410.67	199.67	0.24	205.33
BVN-2	419.00	0.49		199.33	0.24	
BVN-3	421.00	0.49		217.00	0.26	
BVV-1	421.00	0.49	394.56	221.00	0.26	209.11
BVV-2	382.00	0.45		206.00	0.25	
BVV-3	380.67	0.45		200.33	0.24	
BVH-1	341.00	0.40	388.67	184.33	0.22	191.78
BVH-2	396.33	0.46		188.00	0.22	
BVH-3	428.67	0.50		203.00	0.24	

표 4-13 집성방법에 따른 휨응력의 비교

나) 최대 휨응력과 사용한계에 의한 휨응력

집성재의 강도를 파악하는 방법으로는 라미나의 강도와 집성재의 강도간의 직접 실험을 통하여 구한 회귀식을 이용하는 통계적 방법과 미국 등의 산업기준이 되는 통계적 방법, ASTM에서 제시되고 있는 변형단면법(transformed section method), 그리고 수치해석법 등이 있으나 이는 주로 수직적층법이 아닌 수평적층법에 의한 집성재의 강도를 예측하는 방법으로서 사용되어 왔으며, 또한 집성재를 구성하는 라미나는 천연재료로서 산지환경과 건조환경에 따라 재질변동이 크기 때문에 위의 방법을 본 연구에 직접적으로 적용하여 집성재의 강도를 평가하는 데는 다소 부적당한 것으로 판단되었다. 여기에서는 휨강도 평가의 편의를 위해 합판의 기계적 성질을 라미나와 동일한 것으로 가정함으로써 전단면이 균질한 성질을 갖는 것으로

생각하고, 보의 휨 이론으로부터 최대휨응력을 구하여 이를 라미나의 최대휨응력과 비교함으로써 집성방법에 따른 상대적인 휨강도 특성을 파악한다.

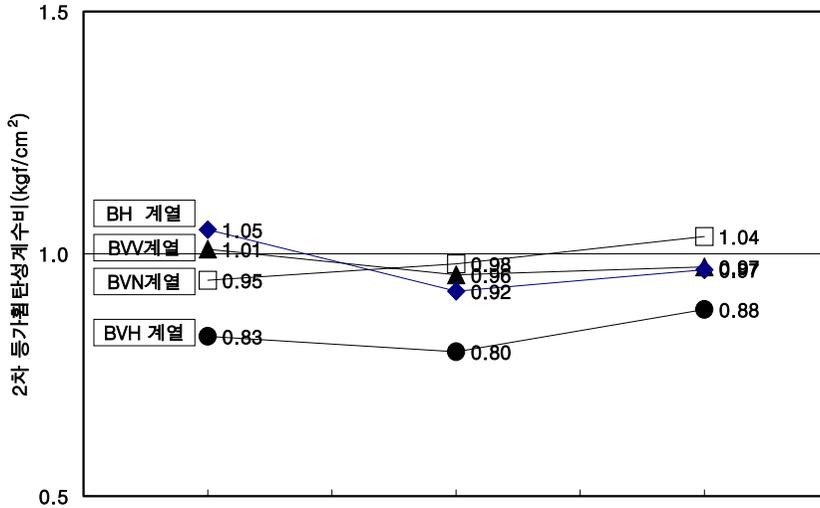


표 4-14 2차 등가휨탄성계수와 라미나의 휨탄성계수의 비

폭이  $b$ 이고 치이  $h$ 인 장방형 단면의 최대 휨응력은 다음과 같다.

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_b$  : 휨강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$M$  : 최대휨모멘트( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ )

$Z$  : 단면계수 ( $= bh^2/6$ )( $\text{cm}^3$ )

BH계열 실험체의 최대 휨강도의 평균치는  $334.67 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 으로서 무결점 라미나의 재료 시험에 의한 휨강도의 36~42%정도의 분포를 나타내고 있으며, BV계열 실험체의 최대 휨강도의 평균치는  $410.67\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로서 라미나 휨강도의 46~49%정도의 분포를 나타내고 있다. 또 BVV계열 실험체의 최대 휨강도의 평균치는  $394.56 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 으로 라미나 휨강도의 45~49%정도의 분포를 나타내고있으며, BVH계열 실험체의 최대 휨강도의 평균치는  $388.67\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로서 라미나 휨강도의 40~50%정도의 분포를 나타내고 있다.

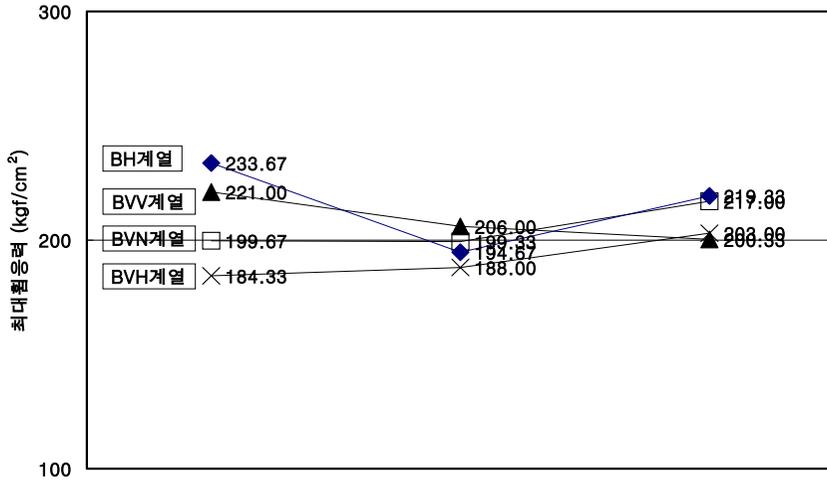


표 4-15 처짐한계시의 휨응력 분포

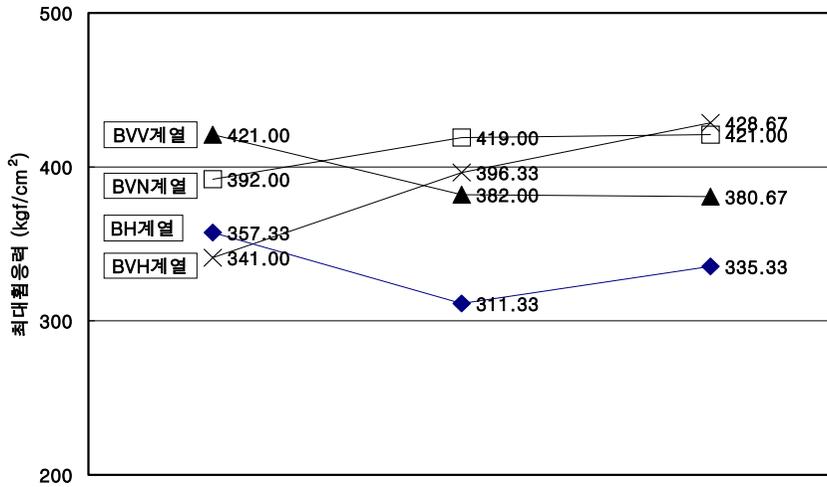


표 4-16 최대 휨응력 분포

이와 같이 집성재의 휨강도가 라미나 휨강도에 비하여 낮게 나타나고 있는 것은 라미나의 휨강도가 제재의 결점이 없는 부분만을 채취하여 측정된 값인 반면에, 집성재의 휨강도는 제작여건상 결함부를 포함할 수밖에 없고 이 결함부의 영향으로 인하여 강도가 낮게 측정된 것이라고 사료된다.

한편, 부재의 처짐 한계(부재길이의 1/300)를 기준으로 한 휨응력의 분포는 BH계열 실험체의 경우에는 194.67~233.67 kgf/cm<sup>2</sup>의 분포를 나타내고 있으며, BV계열 실험체의 경우에는 199.33~217.00 kgf/cm<sup>2</sup>의 분포를 나타내고 있다. 또 BVV계

열 실험체의 경우에는 200.33~394.56 kgf/cm<sup>2</sup>의 분포를 나타내고있으며, BVH계열 실험체는 184.33~203.00 kgf/cm<sup>2</sup>의 분포를 나타내고 있다. 따라서 집성재 제조시 큰 용이 등과 같은 주요 결함부가 제거된다는 특성을 고려하면 목구조에서 사용되고 있는 허용 휨응력(낙엽송의 경우 90 kgf/cm<sup>2</sup>내외)에 대한 보완이 필요하다고 생각된다.

#### 4) 소결

가) 목재의 물성치인 장기 허용 인장강도(150 kg/cm<sup>2</sup>), 압축강도(170 kg/cm<sup>2</sup>) 및 전단강도(10 kg/cm<sup>2</sup>)는 기대치 보다 우수한 성능을 확인하였다. 특히 라멜라의 접합성능은 소재의 접합성능보다 우수하여 제품의 신뢰도가 단일재의 그것보다 더 우수할 것으로 평가된다. 사용성의 한계 처짐도 3 m 단 스팬 보에서 2배 이상에서 파단 되는 우수한 연성도를 확인하였다. 이와 같은 시험결과는 향후 집성목재에 의한 목구조건축의 가능성과 시장 경쟁력을 갖는 목구조 개발의 가장 중요한 재료의 성능이 양호함을 입증 한 것이다.

나) 집성재의 하중-변위 관계는 Bylinear형태로 단순화시킬 수 있으며, 항복강도는 최대강도의 약 10~26%정도의 범위에 있는 것으로 파악되었다. 또한 항복이후의 거동도 최종적인 파단에 이르기까지 선형적으로 안정적인 거동을 보이고 있는 것으로 보아 목구조의 구조설계에 있어 종래의 허용응력도 설계법으로는 목구조 설계는 적절히 검토될 수 없을 것으로 본다. 오히려 사용성과 접합부 처리 문제를 포괄적으로 검토하는 최적설계의 개념을 도입해야 할 것으로 본다. 따라서 집성재의 허용 휨응력을 강도측면만으로 규정하는 것보다는 부재 처짐과 관련된 사용성의 토대에서 강도가 정의되는 절충적 대안이 향후 검토 될 것이다.

다) 합판을 수직으로 보강한 집성재는 합판보강이 없는 집성재에 비하여 강성과 강도 면에서 별다른 차이점이 없는 반면에, 합판을 수평으로 보강한 집성재는 강성은 12~20%정도 낮게 나타나고 있으며, 강도는 5%정도 낮게 나타나고 있다. 따라서 집성재의 보강은 수평보강 보다는 수직보강이 집성재의 구조성능을 향상시키는 효율적인 방법이라고 사료된다.

라) 수평 적층법에 의한 집성재의 파괴형태는 가장 큰 인장력을 받는 최하층 라미나의 파괴이후 수평 접합면을 따라 균열이 발생하는 것으로 보아 최외각층 라미나의 강도가 부재전체의 거동에 중요한 역할을 하는 반면에, 수직 적층법에 의한 집성재는 이와 같은 현상을 피할 수 있으며, 용이 등과 같은 라미나의 결함을 상호

보완할 수 있는 집성방법이라고 사료된다.

마) 재료의 건조수축에 의한 뒤틀림 등 변형성에서는 집성재가 단일 소재의 그것보다 크게 우수할 것으로 평가되어 전통건축 등에서 확보하기 어려운 단일화, 규격화, 다양화, 보편화된 소재개발이 가능 할 것으로 본다. 특히 공학적 검증 없이 무원칙에서 고가로 시공되고 있는 목구조를 한 단계 공학적 최적설계의 개념으로 진일보 시킬 가능성을 확인하였다.

바) 나무를 대하는 일반적인 상식으로는 우리나라 수종은 열대성 수종보다 성장속도가 느려서 시장 경쟁의 대상수종이 안된다는 속단을 내리기 쉬우나, 목구조의 측면에서 한국의 낙엽송을 비롯한 일부 수종은 열대지방에서 생산되는 수종과 시장 경쟁에서 우위를 차지할 수 있는 가능성을 확인하였다. 목재는 성능에 있어 계절의 변화가 심한 우리나라의 목재가 인성과 강성이 더 크고 체적은 더 작기 때문에 집성목재로 개발했을 경우에는 단면의 성능 면에서 성장이 빠른 나무와 비교할 때 부피가 크고 성능이 약한 외국수종보다 체적이 작고 성능이 강한 우리나라 수종이 장점이 더 많을 수 있는 조건을 본 시험을 통해서 확인하였다.

사) 접합부 개발은 목구조의 구조시스템을 다변성과 최적설계로 유도하는 가장 중요한 핵심 연구 분야이며 차기 연구에서 좀더 많은 실험과 연구심화를 위해, 본 연구에서는 차후 과제로 남겨두며 본 연구에서는 그 가능성의 개괄만 하였다.

아) 허용응력 탄성계수 연성도 등 재료의 물성에 대한 보증은 획일적인 가설로 설정 할 것이 아니라, 제품 생산자가 제품의 생산과정에서 밝혀두는 법적 제도적 장치를 통해서 밝혀두고 제품에 대해 책임지는 제도적 장치에서 제품이 유통되면 경쟁력도 있고, 좋은 제품도 쉽게 생산 될 수 있을 것으로 본다. 또 지금까지 검토한 바로는 가장 적절한 방법이라 생각된다.

## 5) 집성재 개선 방안

### 가) 집성목재 보의 시험

보의 시험은 1:1 휨-처짐 거동특성을 직접 재하시험법을 통하여 내력-변형의 특성을 살펴보았다. 시험장소는 동아대학교 구조실험실에서, 시험장치는 정적재하시험을 하였으며, 시험결과는 매우 양호한 결과를 보여주었다. 파괴강도  $10 \text{ t} \cdot \text{m}$ , 허용 휨강도  $3.3 \text{ t} \cdot \text{m}$ , 예상했던 이론상의 허용휨모멘트는  $2.5 \text{ t} \cdot \text{m}$  이다.

#### 나) 구조체 시험결과 및 분석

실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 보의 강성은 큰 변형 후 연성이 그리 크지 않은 상태에서 취성파괴로 곧바로 이어졌음을 알 수 있다. 아래 내력-변형 곡선에서 볼 수 있는 바와 같이 보는 파단 되기 직전까지 거의 탄성에 가까운 완만한 비탄성 거동을 보이며 보의 사용성 한계 처짐의 약 2.5배 지점에서 취성파괴가 발생되며 파괴되었다. 그러나 내력(휨 저항능력)은 150\*300단면에 대해 파괴강도가 약 10 t·m나 되어 기대치보다 충분히 높은 값을 보여주고 있으며, 거동 특성도 매우 안정적이다. 본 시험 결과를 종합적으로 분석해 보면 충분한 강도에 과대 처짐이 수반되는 거동특성으로 요약된다. 따라서 설계기준을 정할 때 일반적으로 적용하는 허용 응력도에 의한 강도(strength criteria) 보다는, 사용성에 의한 강성(변위=stiffness criteria)을 근거로 허용 응력도를 설정해야 해석상에 오류를 최소화 할 수 있을 것으로 생각한다.

#### 다) 개선방안

본 시험에서는 제한된 부재 단면, 수종 및 라미나 패턴이 적용되었으나, 향후 다양한 종류의 라미나 패턴과 여러 종류의 수종에 관한 좀더 많은 시험이 있어야 할 것으로 본다. 보의 성능향상을 위한 연구로 집성목재만으로는 한계가 있다고 보며 합성보 이론을 적용한 hybrid 개념의 보에 대한 연구도 병행되어야 할 것으로 본다.

## 제 2 절. 접합부 실험

### 1. 실험개요

#### 가. 시험 목적

본 목재 접합부의 시험목적은 연구과제에서 논의 된바와 같이 우리 전통목구조의 특성인 기둥과 보의 짜 맞추는 접합부가 휨에 대해 저항하는 특성을 파악하고 휨 저항 성능향상을 위한 구법의 개선을 전제로 한 시험으로 본 시험을 통해서 보 기둥 접합부에서 휨 강성의 성능을 검증하기 위한 기초시험이다. 시험의 주요 목적은 보와 주두부의 결구 위치에서 부재의 개선 각도와 깊이에 따른 휨 저항 특성을 규명하는 것을 위주로 한다. 짜 맞추는 가구식 목구조에서 자중과 활하중에 의한 보의 저항 매카니즘은 장부 부위의 전단저항과 힌지구조로 접합부를 모델링해도 구조체를 안정화 시키는데 큰문제점이 없겠지만, 바람과 지진에 의해 발생하는 수평력에 대해서는 기둥과 보의 휨 강성이 절대적으로 필요하게 된다. 따라서 우리전통 목구조와 같은 시스템의 개량된 현대목구조에서도 이 문제점이 공학적으로 확인되는 과정이 누락되면 큰 문제점을 남겨두는 상태가 된다. 이러한 우리 전통 목구조의 구조적 특성에 부합하는 접합부의 휨 저항 매개 변수를 찾고 접합부 설계의 최적상태를 찾아내는 것을 시험의 주된 목적으로 한다.

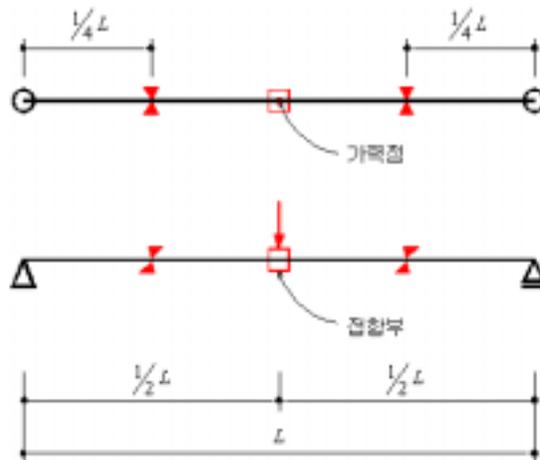


그림 4-2 접합부 시험모델 개념도

나. 시험방법

시험체를 평면구조로 모델링 하여 단순보 형태로 아래 그림4-2와 같이 시험 모델링을 한다. 시험 목적에 부합하는 접합부 Type 별로 분류하고 한쪽 단은 Hinged Support로 타 단은 Rolled Hinge Support로 하여 순수 휨 저항 시험체를 모델링한다. 이때 힘이 가해지는 중앙부가 기둥과 보의 접합부이기 때문에 평면 외 좌굴 등의 문제점이 예상된다. 이런 문제를 해소하기 위해서 시험체의 양단부와 시험체 길이의 양단 1/4지점에서 수평방향 구속 되도록 시험 형틀을 제작하여 시험의 효과를 높이고, 힘의 부가적 효과가 발생되지 않도록 형틀을 준비했다



사진 4-31 실험체 장착1



사진 4-32 실험체 장착2



사진 4-33 게이지 설치

접합부의 유형은 아래 그림에서 보는바와 같이 부재의 실물크기(1:1 Scale)에 따른 장부의 개선 각도와 장부 길이에 대한 상호작용을 1차적인 응력전달 파라메타로 하여 시험체를 제작한다. 개선 각도에 의한 기하학적 특성에 의한 휨 저항 특성과 두 부재의 접촉에 의한 마찰저항을 극대화하기 위한 대안도 실험실시 중에는 여러 방법을 탐색하여 적용할 것이다. 1 차의 실험에서는 주조 장부와 관련된 시험이 전개 될 것이다.

## 2.장부의 역학적 성능 실험

가. 장부 목 길이(h) 값의 변화에 따른 휨 내력 처짐 실험

실험체명	b1	b2	h
A1	50	75	50
A2			25
A3			75
A4			100
A5			150
A6			225
A7			300

표 4-18 장부 길이 변화 실험체 일람      단위 : mm

그  
림  
4-3  
장  
부  
형  
태

1) 원목실험

가). 장부길이가 커지는 경우에 따른 휨 내력의 변화보다, 접합성능에 따른 휨 내력 증가의 변화가 두드러진다. 집중하중 가력 시 접합부에서의 하중과 변형이 연속성을 나타내고 있다. 즉, 접합부가 하중이 증가할 때 미끄러짐 현상이 나타나지 않았다. 이는 원목의 접합 단면이 균질의 단면특성을 가지고 있음을 의미한다. 본 실험에서 설정한 처짐 한계(L/70) 3.0cm 내에서는 피 접합재의 돌출부의 하단과 수평 절단부의 교차점에서 그림 1, 2와 같이 찢어지는 균열현상 및 접합재의 장부 하단에 전단 파괴현상은 없었다.

나). 원목의 건조상태가 비교적 양호하지 못할 경우 원목의 압축강도가 낮아 국부 변형이 커질 수 있음을 확인할 수 있었다. 이는 접합부가 건조되면 내력이 상실될 가능성을 의미한다. 동일 장부길이(h)의 경우에서도 접합성능(Fitness)의 차이에 따른 휨 내력의 변화가 크게 나타났다. - 장부길이(h)가 짧은 경우 더 심하게 차이가 나타났다. (표 4-19참조)

다). 연결부의 압축단의 장부 하단에서 압축파괴 양상이 발견되었다.(사진 4-35 참조) 이는 장부길이(h)가 15.0cm 이상인 경우 장부길이에 의한 모멘트 응력이 추가되어 발생하는 것으로 추정된다



사진 4-34 실험체 세팅



사진 4-35 압축파괴



표4-19 접합성능에 따른 휨내력 변화

2) 집 성 목

가). 장부길이(h)가 2.5cm에서는 처짐이 증가함에 따라 숫장부와 암장부 하부 접합 연결부위가 모두 파괴되었다. (사진 4-36 5 참조) 특히 숫장부와 암장부 부재의 측면 접합 면이 균질하고 미끄러워 장부길이(h)가 커지면 휨 내력의 크기는 오히려 작아진다.

나). 집중하중 가력시 접합 면의 미끄러짐과 피 접합재의 암장부 하부 우각부가 찢어지는 균열현상이 발생하여(사진 4-39,40 참조) 하중과 변형의 연속성이 나타나지 않고, 휨 내력의 증가와 감소가 반복되어 나타났다. - 특히 장부길이(h)가 7.5cm 이상인 경우 크게 나타났다.

다). 원목 접합부에서는 나타나지 않았던 암장부 홈(□) 부위의 하부 균열이 1cm 처짐 이내에서 길이방향 균열이 조기에 발생하였다. 본 실험에서 설정한 처짐 한계 3cm 이내에서 암장부 홈(□) 하부에 길이방향 균열이 모두 발생하였다. (사진 4-38 참조). 압축측의 숫장부 장부목의 하단에 파괴양상이 일부 발견되었다. (사진 4-37참조)



사진 4-36 하부 접합 연결부위 파괴



사진 4-37 압축측 연결부 파괴

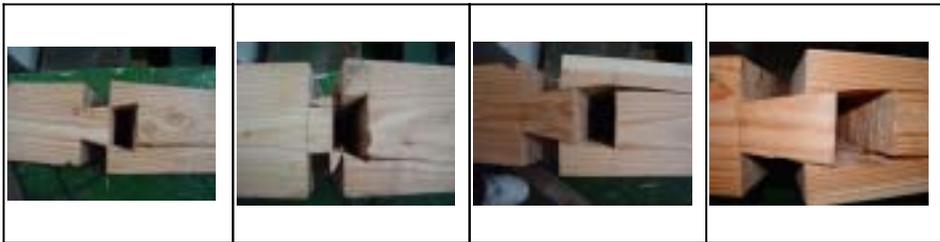


사진 4-38 하부 길이방향 균열발생

### 3) 결론

가) 휨 내력의 경우 원목과 집성목재 접합부의 장부 목길이(h)가 5.0cm에서 원목은 992 kgf (496 kgf·m), 집성목재는 972 kgf (486 kgf·m)으로 집중하중에 대한 휨 내력이 가장 크게 나타나고 있다.

나) 처짐(변형)은 집성목에서는 장부 목길이(h)가 22.5cm와 30.0cm에서, 원목에서는 7.5cm와 30.0cm일 때 가장 크게 나타났다. 실험결과에서 나타난 바와 같이 장부 목길이(h)가 지나치게 길수록 휨에 대한 내력은 오히려 낮게 나타나고 있다. 이와 같은 이유는 장부 목길이(h)가 길수록 마찰면적은 커지나 마찰 응력은 감소하기 때문이다. 이때 마찰응력이 감소하는 이유는 장부를 조여주는 피 접합재의 돌출부의 길이가 길어져 상대적으로 양력(Clamping Force)이 감소하는 것으로 판단된다. 다시 말하면 암장부 부위의 돌출부위 길이가 길어져서 Clamping Force가 약해



사진 4-39. 요철부위 전단파괴



사진 4-40. 하부 홈 부근 찢어짐 현상

지기 때문에 장부 목길이(h)가 길다고 휨 내력이 커지지는 않았다. 따라서, 접합 성능은 장부 목길이(h)가 비교적 짧을수록 좋은 것으로 나타나고 있다. 그러나, 지나치게 짧은 경우(2.5cm) 암장부의 턱에 걸려 숫장부가 전단파괴(사진 4-39 참조)가 발생하거나, 홈 부근에서 찢어짐 현상(사진 4-40 참조)이 발생되기 때문에 장부 목길이(h)의 적당한 크기를 실험을 통해서 찾아내는 것이 본 실험의 요점이다.

숫장부의 목의 길이와 장부머리의 상하 폭은 돌출 부위의 전단력과 관련되고, 암장부의 양력의 크기는 하단부 최소단면(t)의 크기와 각도, 작업오차의 최소화 및 재질의 강약에 의해 결정되기 때문에 접합부의 크기에 따라 적절히 조절해야 한다. 본 실험에서는 제작오차를 감안하더라도 5.0cm 전후의 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다. 이를 근거로 좀더 상세한 시험을 2차로 수행하였다.

나. 장부 머리 폭 변화에 따른 휨 내력 처짐 실험

실험체명	b1	b2	h
B1	50	75	50
B2		100	
B3		120	

표 4-19 장부 폭 변화 실험체 일람 단위 : mm

1) 원 목

가). 집중하중 가력시 접합부에서의 하중과 변형이 연속성이 나타나고 있다. - 1차 실험 때와 같이 접합부가 하중이 증가할 때 미끄러짐 현상은 나타나지 않았다.

나). 본 실험에서 설정한 처짐 한계 3.0cm 이내에서는 하부 찢어지는 균열 및 장부 하단에 전단 파괴현상과 같은 파괴현상은 없었다.

다). 1차 실험과 비교하여 Fitness의 차이에 따른 처짐 대비 휨 내력의 변화가 크게 나타났다. - 이전 1차 실험결과와 비교해 보면 접합길이 5cm, 접합 폭 7.5cm 인 경우 원목인 경우 98kgf 과 237kgf, 집성목재인 경우 205kgf 과 218kgf 정도 크게 휨 내력이 나타나고 있다.

2) 집 성 목

원목의 경우보다 동일 집중하중 대비 처짐의 양이 1/2~2/3 정도로 적게 나타난다. 1차 실험과는 달리 집중하중 가력시 접합 면의 미끄러짐 현상에 따른 하중과 변형의 불연속성이 개선되었다. 이는 암장부 부재보다 숫장부 부재의 크기가 2~3mm 정도 커 Fitness가 크게 개선되었다. 장부 머리 폭(b2)이 12.0cm 인 경우 홈 부재와 장부 부재의 접합 시에 목의 두께(t)가 너무 작아 이미 암장부 부재에서 길이방향의 균열이 초기에 발생하여 휨 내력의 측정에 의미를 두지 못하였다. 원목 접합부에서는 나타나지 않았던 암장부 홈 부재의 길이방향 하부 균열이 1.0cm 처짐 이내에서 발생하였다. - 본 실험에서 설정한 처짐한계 3cm 이내에서 암장부 홈부재의 하부에 길이방향 균열이 모두 발생함

3) 결론

가). 원목과 집성목재를 사용한 접합부의 장부 폭의 넓이(b2)가 7.5cm 인 경우 원목은 789kgf (394.5kgf·m), 집성목재는 987kgf (493.5kgf·m), 10cm 인 경우 원

목은  $735\text{ kgf}$  ( $367.5\text{ kgf}\cdot\text{m}$ ), 집성목재는  $1024\text{ kgf}$  ( $512\text{ kgf}\cdot\text{m}$ )으로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다. 그러나, 처짐 $1.0\text{ cm}$  이내의 경우에는 모두 장부 폭의 넓이( $b_2$ )가  $7.5\text{ cm}$ 인 경우가 휨 내력이 큰 것으로 나타났다.

나). 원목과 집성목재 장부 폭의 넓이( $b_2$ )가 커질수록 휨에 대한 내력은 낮게 나타나고 있다. 이러한 이유로는 장부 단부의 폭이 커질수록 마찰면적은 커지고 마찰각도는 작아지나, 홈(□) 부위의 하단의 폭(부재 치수)은 상대적으로 작아지기 때문에 모멘트에 의한 양력이 작아져 마찰력이 감소하기 때문에 전체 부재 접합부의 휨 내력은 감소된다.

다). 이에 따라 본 실험에서는 장부 넓이( $b_2$ )는  $7.5\text{ cm}$ 인 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다.

### 3. 기동.보 접합부 실험

#### 가. 실험 방법

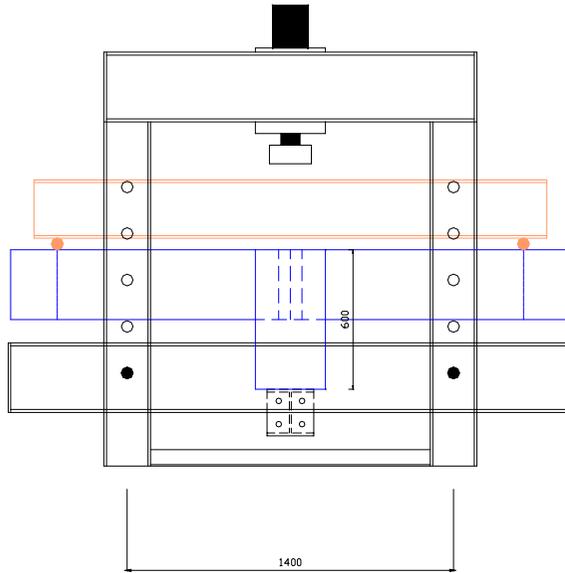


그림 4-4 장부와 기둥의 휨 내력-처짐에 대한 실험 모형

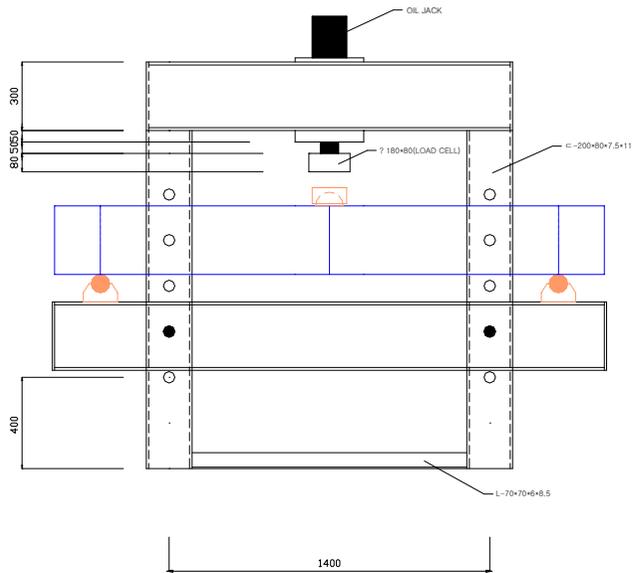


그림 4-5 보의 이음 보강에 따른 휨 내력-처짐에 대한 실험 모형

1) 지점설정은 양쪽 힌지 접합으로 하였다. 이는 목구조 접합부는 실제로 힌지 접합은 아니지만 장부실험에 대한 사항을 보다 정확하게 관찰하기 위해 힌지 접합으로 하여 실험하였다.

2) 수직하중 가력시 실험체의 횡좌굴의 문제가 발생하면 휨 내력에 대한 결과가 다르게 나타날 수 있으므로 이를 방지하기 위해 bracing을 이용하여 제어하는 방법을 이용하였다.

3) 본 실험은 목구조 접합부 휨 내력 실험이므로 취성 파괴를 방지할 수 있게 정적으로 천천히 가력하는 방법을 이용하여 결과를 얻었다.

4) 목구조 접합부의 Deflection과 Fracture를 측정하기 위해 허용처짐 한계 3cm 이상을 측정할 수 있는 5cm Dial Gauge를 쓴다.

나. 기둥과 보의 장부 턱결침에 따른 휨내력-처짐 실험

분 류	부재치수			실험체명
	a	b	c	
원 목	50	75	50	CB-B1
				CB-B2
집성재	50	75	50	CB-B3
				CB-B4

표 4-20 장부와 기둥 이음 B TYPE 일람 단위 : mm

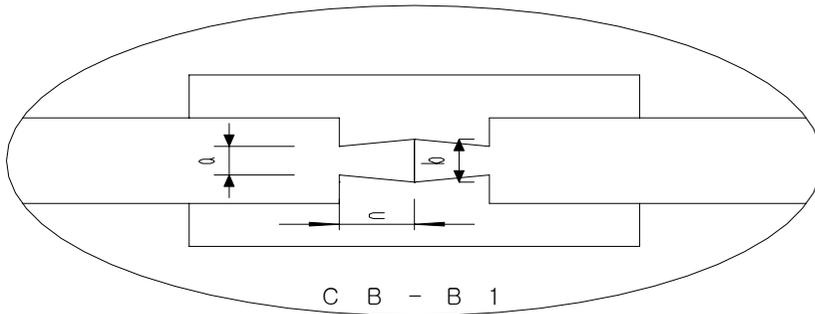


그림 4-4 접합 형태

1) 휨 내력의 경우 본 실험에서 설정한 처짐한계(L/70) 3cm 이내에서 원목은 최대 624 kgf (312 kgf·m), 집성목재는 최대 1012 kgf (506 kgf·m)로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

2) 실험 결과를 보면 원목과 집성재 모두에서 휨에 대한 내력의 차이가 서로 크게 나타나고 있는데 이와 같은 이유는 접합시 보 부재의 숫장부와 기둥 부재의 암장부 홈(□) 부위의 치수가 차이에 의한 결합시 작업오차가 커 양력의 차이가 서로 크고 다르게 나타나기 때문인 것으로 보여진다. 따라서 장부 보 이음부재 실험에서와는 달리 장부 이음의 치수 및 각도를 조절하는 것이 좋을 것으로 보여진다.

3) 원목과 집성재 모두에서 기둥 부재의 상부 암장부 홈(□) 부위에서 진행되는 균열이 발견되었다.(그림 1, 2 참조) 이는 보 부재의 길이에 의한 모멘트 응력의 발생으로 기둥에 이러한 균열이 나타나는 것으로 보인다. 일부 집성재 기둥의 보 장부 이음 하부인 측면에서 균열이 발생하기도 하였다.



사진 4-41 실험 후 원목 기둥의 상부 균열 발생



사진 4-42 실험 후 원목 기둥의 상부 균열 발생



사진 4-43 실험 후 집성재 기둥의 상부 균열 발생



사진 4-44 실험 후 집성재 기둥의 측면 균열 발생



사진 4-45 실험 후 집성재 기둥의 상부 균열

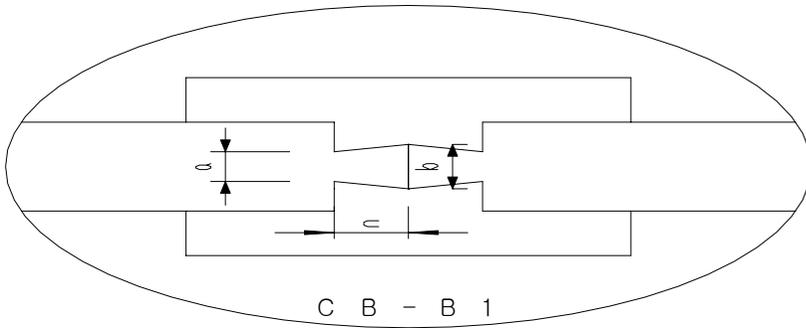


표 4-21 A TYPE 기둥 보 이음 보강에 따른 휨  
내력 변화

다. 기둥머리 통과 보와 기둥과의 휨 내력-처짐 실험

분 류	부재치수			실험체명
	a	b	c	
원 목	50	75	50	CB-B1
				CB-B2
집성재	50	75	50	CB-B3
				CB-B4

표 4-22 장부와 기둥 이음 B TYPE 일람 단위 : mm



그  
림  
4-5  
접  
합  
형  
태

1). 휨 내력의 경우 본 실험에서 설정한 처짐한계(L/70) 3cm 이내에서 원목은 최대 624 kgf (312 kgf·m), 집성목재는 최대 1012 kgf (506 kgf·m)로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

2). 실험 결과를 보면 원목과 집성재 모두에서 휨에 대한 내력의 차이가 서로 크게 나타나고 있는데 이와 같은 이유는 접합시 보 부재의 숫장부와 기둥 부재의 암장부 홈부위의 치수가 차이에 의한 결합시 작업오차가 커 양력의 차이가 서로 크

고 다르게 나타나기 때문인 것으로 보여진다. A TYPE과는 달리 기둥부재의 연결부의 단면 손실이 너무 크고 이에 따른 기둥의 양력이 너무 작게 나타나고 있기 때문인 것으로 보여진다.

다). 원목과 집성재 모두에서 기둥 부재의 암장부 상부 홈(□) 하부 부위에서 균열이 발견되었다.(그림 1, 2 참조) 이는 보 부재의 길이에 의한 모멘트 응력의 발생으로 나타나는 것으로 보인다. 또한 모든 기둥의 보 장부 이음 하부인 측면에서 균열이 발생하기도 하였다.(그림 3, 4 참조)



사진 4-48 실험 후 집성재 기둥의 하부 균열



사진 4-46 실험 후 원목 기둥의 하부 균열 발생



사진 4-47 실험 후 원목 기둥의 하부 균열 발생



사진 4-49 실험 후 집성재 기둥의 하부 균열



사진 4-50 실험 후 원목 기둥의 측면 균열 발생



사진 4-51 실험 후 집성재 기둥의 측면 균열 발생



표 4-23 B TYPE 기둥 보 이음 보강에 따른 휨  
내력 변화

### 제 3 절. 보의 이음보강 방법에 대한 역학적 성능 실험

#### 1. 반턱 산지이음의 휨 내력 처짐 실험

분 류	부재치수				실험체명
	a	b	c	d	
원 목	150	150	25	300	G-A1
					G-A2
집성재	150	150	25	300	G-B1
					G-B2

표 4-24 산지이음보강 실험체 일람 단위 : mm

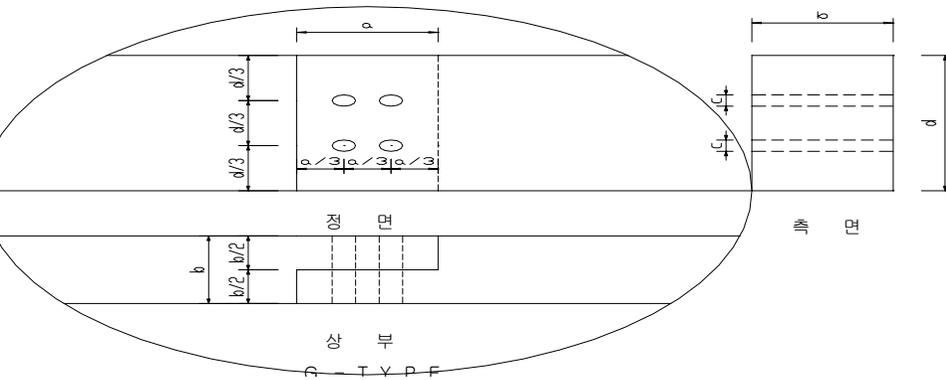


그림 4-6 이음부 상세

#### 가. 원 목

- 1). 쇠기의 크기가 동일한 경우 이음 보 부재의 접합성능(이음 부재 사이의 벌어짐의 정도)에 따른 휨 내력의 증가 변화가 두드러지게 나타나고 있다.
- 2). 집중하중 가력시 접합부에서 하중과 변형이 연속성을 나타내고 있다.

- 3). 쇠기의 크기에 따라 휨 성능이 달라지므로 적절한 크기 조정이 되어야 한다.
- 4). 보 부재보다 쇠기 부분에서 균열이 먼저 발생하고 파괴되었다.



사진 4-52 집성재 보 부재의 각형 쇠기에 의한 전단파괴



사진 4-53 산지이음 연결부 상부 압축파괴 모습(원목)

#### 나. 집 성 재

- 1). 쇠기 모양의 변화 따라 휨 내력의 증가 변화가 나타나고 있다. 쇠기가 모양이 원형인 경우가 각형의 경우보다 휨 내력이 크게 나타나고 있다.
- 2). 이음 보 부재의 접합부위의 접촉면이 균질하고 미끄러워 마찰력이 거의 작용하지 않는 것으로 보여지며, 쇠기의 모양이 각형인 경우는 쇠기와 보 부재에서 전

단파괴가 동시에 발생하고 있고, 원형인 경우는 쇠기에 균열이 먼저 발생하고 파괴되었다.(사진 4-54 참조)



사진 4-54 실험 종료 후 쇠기가 전단 파괴

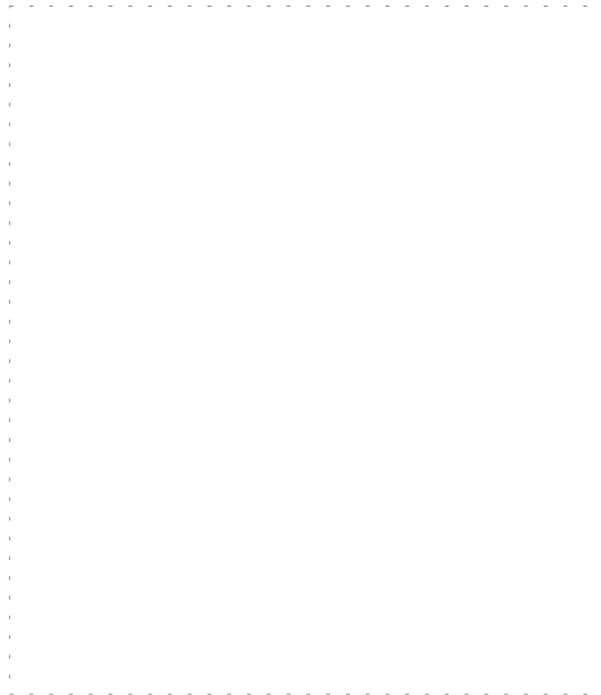


표 4-24 산지이음 보강에 따른 휨 내력 변화

다. 결론

- 1). 이음을 하지 않은 보 부재의 휨 내력 실험의 경우 원목에서는 최대 6,948

$kgf \cdot m$ , 집성재에서는 최대  $10,300 kgf \cdot m$  로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

2). 휨 내력의 경우 본 실험에서 설정한 처짐한계(L/70) 3cm 이내에서 원목은 최대  $405 kgf \cdot m$  (5.83%), 집성목재는 최대  $355 kgf \cdot m$  (3.45%)로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있는데 이는 이음을 하지 않은 경우와 비교한 백분율로 볼 때 거의 무시할 정도로 작게 나타나 이음의 효과가 거의 없는 것으로 보여진다.

3). 실험 결과를 보면 일부 원목에서 집성재보다 휨에 대한 내력이 크게 나타나고 있는데 이와 같은 이유는 양쪽 다 접촉부위가 동일한 마찰면적을 가지지만 절단면이 균질하고 미끄러운 집성재가 마찰 응력이 낮게 나타나기 때문인 것으로 보인다.

4). 원목 실험체에서 연결부의 압축측인 상부에서 압축파괴 형상이 발견되었다. (사진 4-53참조) 이는 보 이음 실험의 장부길이 변화 실험시 나타난 이음부 길이가 15 cm 이상인 경우와 마찬가지로 이음 길이의 커짐에 의한 모멘트 응력이 추가되어 발생하는 것으로 보인다.

5). 쐐기의 형태가 원형인 경우가 각형인 경우보다 초기 휨 내력이 좋은 것으로 나타나고 있다. 이는 각형인 경우 집중하중 가력시 보 부재의 처짐에 따라 쐐기에 비틀림 현상이 추가로 나타나 쐐기의 내력 저하가 발생하기 때문인 것으로 보인다.

6). 쐐기의 형태가 각형인 경우 쐐기 및 보 부재에 전단파괴 현상이 동시에 나타나고 있다.(사진 4-52 참조)

7). 본 산지이음 보강 실험에서는 쐐기의 모양과 크기에 따른 전단력과 관련되므로 이를 충분히 고려하여 조절이 되어야 한다.

## 2. 엇걸이산지이음의 휨 내력-처짐에 대한 실험

분 류	부재치수				실험체명
	a	b	c	d	
원 목	60	150	40	300	F-A1
					F-A2
집성재	60	150	40	300	F-B1
					F-B2

표 4-25 엇걸리산지이음보강 실험체 일람 단위 : mm

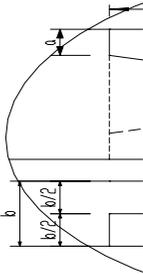


그림  
4-6  
이음  
부  
상  
세

#### 가. 원 목

- 1). 쇠기의 크기가 동일한 경우 이음 보 부재의 접합성능(벌어짐의 정도)에 따른 휨 내력의 증가 변화가 두드러진다.
- 2). 집중하중 가력시 접합부에서의 하중과 변형이 연속성을 나타내고 있다.
- 3). 쇠기의 크기와 위치에 따른 휨 성능의 차이에 대한 변화가 있어 보인다.

#### 나. 집 성 재

- 1). 이음 보 부재의 접합성능(벌어짐의 정도)에 따른 휨 내력의 증가 변화는 크게 차이가 나지 않으나, 쇠기의 강도와 균열발생에 따라 휨 내력의 변화가 두드러진다
- 2). 이음 보 부재의 접촉부위의 접합면이 균질하고 미끄러워 마찰력이 거의 작용하지 않는것으로 보이고, 하부 쇠기의 균열이 초기에 발생하고 상부 보 부재에서 균열이 발생하면서 휨 내력이 저하되어 파괴가 나타나고 있다

#### 다. 결론

- 1). 이음을 하지 않은 보 부재의 휨 내력 실험의 경우 원목에서는 최대 6,948

$kgf \cdot m$ , 집성재에서는 최대  $10,300 kgf \cdot m$  로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

2). 휨 내력의 경우 본 실험에서 원목은 최대  $2303 kgf \cdot m$  (33.15%), 집성목재는

3). 최대  $1915 kgf \cdot m$  (18.59%)로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있는데, 이는 이음을 하지 않은 경우와 비교한 백분율로 볼 때 비교적 효과적인 이음 방법으로 이음의 효과가 나타나고 있는 것으로 보여진다.

4). 여기서 엇결이산지이음은 목재 접합부의 특수성상 휨 저항 성능도 좋고 가공 방법도 좋아 실제적으로 사용하기 편하다.

5). 실험 결과를 보면 일부 원목에서 집성재보다 휨에 대한 내력이 크게 나타나고 있는데 이와 같은 이유는 양쪽 다 접촉부위가 동일한 마찰면적을 가지지만 절단면이 균질하고 미끄러운 집성재가 마찰 응력이 낮게 나타나기 때문인 것으로 보인다.

6). 전체 실험 부재 연결부의 상부 압축측의 쉐기 부분에서 쉐기의 파괴는 없고 보 부재의 전단파괴에 따른 균열이 모두 나타나고 있다.(그림 1, 2 참조)

7). 하부 쉐기의 균열발생으로 인해 하중과 변형의 연속성이 나타나지 않았다. 특히 집성재의 경우 쉐기만으로 휨에 대해 저항하므로 초기강도는 높으나 파괴하중은 낮게 나타났다. 원목의 경우에는 보 부재의 상부 목 부분에서 균열이 발생하였다.(그림 3 참조) 본 엇결이산지이음 보강 실험에서는 쉐기의 크기와 위치에 따른 전단력과 관련되므로 이를 충분히 고려하여 조절이 되어야 한다.



사진 4-55 원목에서 쇠기에 의한 보 부재  
전단파괴균열



사진 4-56 집성재에서 쇠기에 의한 보 부재  
전단파괴균열



사진 4-57 모멘트응력 추가로 발생된 엇결이산지  
목 부위의 균열 그림



표 4-26 엇결이산지이음 보강에 따른 휨내력변화

### 3. 반턱주먹장이음의 휨 내력-처짐에 대한 실험

분 류	부재치수				실험체명
	a	b	c	d	
원 목	50	75	50	300	E-A1
					E-A2
집성재	50	75	50	300	E-B1
					E-B2

표 4-27 엇걸리산지이음보강 실험체 일람 단위 : mm

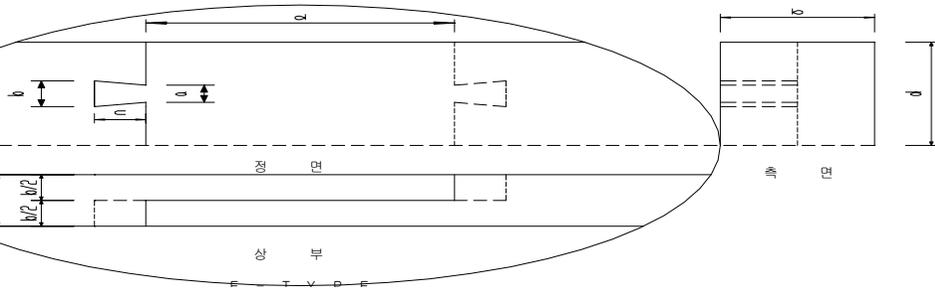


그림 4-7 이음부 상세

가. 원목과 집성목 실험

1) 원목 실험체에서 연결부의 압축측인 상부에서 압축파괴 형상이 발견되었다. (사진 4-58참조) 이는 보 이음 실험의 장부길이 변화 실험시 나타난 이음부 길이가 15 cm 이상인 경우와 마찬가지로 이음 길이의 커짐에 의한 모멘트 응력이 추가되어 발생하는 것으로 보인다.

2) 반턱주먹장이 결합되는 숫장부 부위에서 장부의 전단파괴가 발생하거나, 숫장부 요철부에서 발생한 균열이 내부로 진행하였다. (사진 4-59참조)

3) 암장부(ㄱ) 부위의 찢어짐 현상(사진 4-60 참조)이 발생되기 때문에 적절한 장부의 크기 및 각도를 결정하는 것이 중요하다고 보여진다. 다른 이음방법들과는 달리 원목과 집성재의 휨 응력이 고르게 나타나 마찰력에 대한 영향은 상대적으로 낮은 것으로 보이며, 전체적으로 이음부의 길이가 너무 길어 휨 응력이 다소 낮게 나타나고 있다.

나. 결론

1). 이음을 하지 않은 보 부재의 휨 내력 실험의 경우 원목에서는 최대 6,948  $kgf \cdot m$ , 집성재에서는 최대 10,300  $kgf \cdot m$ 로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있다.

2). 휨 내력의 경우 본 실험에서 원목은 최대 1236  $kgf \cdot m$  (17.79%), 집성목재는 최대 1676  $kgf \cdot m$  (16.27%)로 집중하중에 대한 휨 내력이 나타나고 있는데 이는 이음을 하지 않은 경우와 비교한 백분율로 볼 때 이음의 효과가 비교적 낮게 나타나고 있다고 보여진다.



사진 4-58 장부이음 연결부 상부 압축파괴



사진 4-59 주먹장 요철부위 전단파괴 및 내부균열



사진 4-60 흠 부위의 전단파괴 현상



표 4-27 반턱주먹장이음 보강에 따른 휨내력변화

## 제 5 장. 친환경적 목조건축 최종 설계안

### 제 1 절. 설계안

#### 1. 평면도

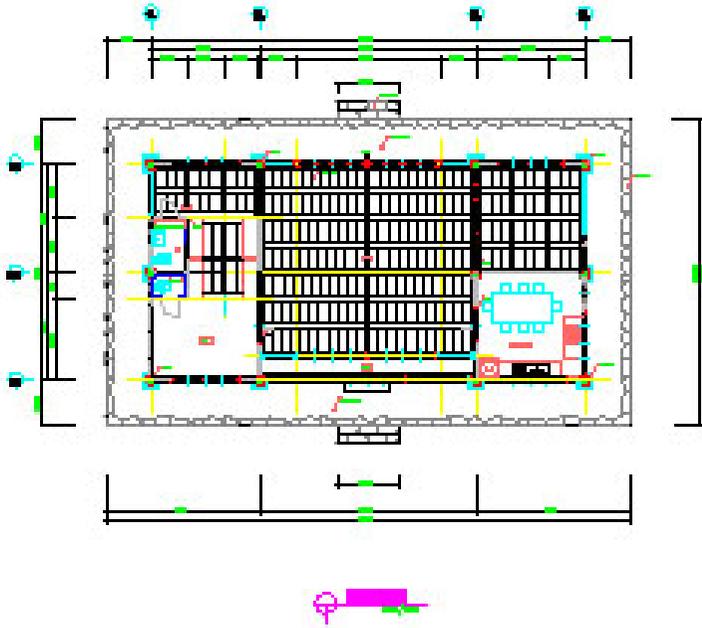


그림 1 평면도1

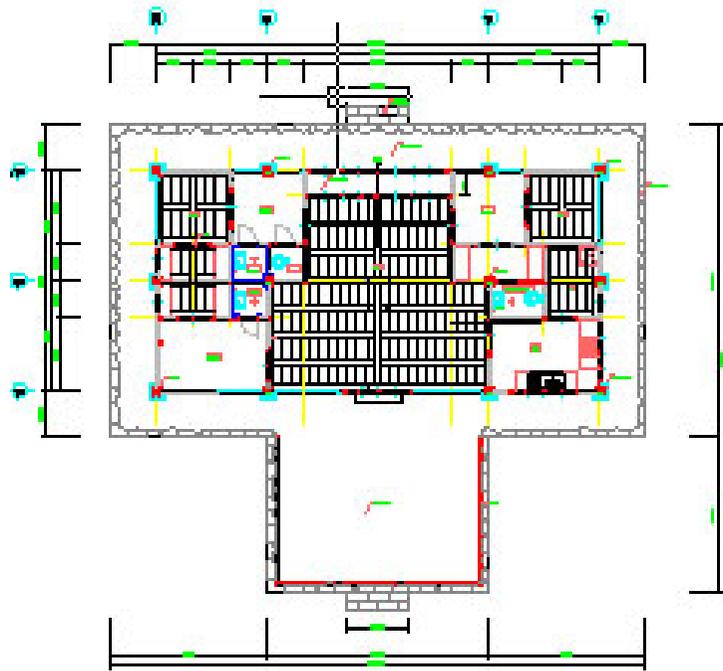


그림 2 평면도2



그림 3 좌측면도

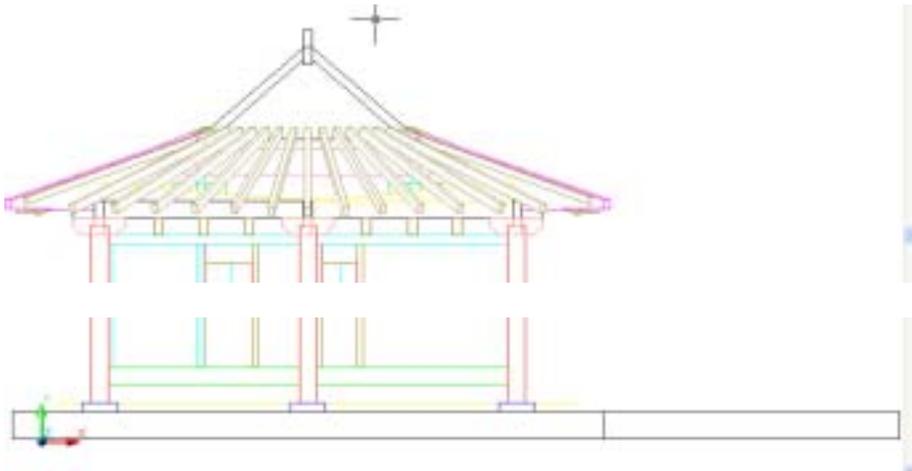


그림 4 우측면도



그림 5 정면도

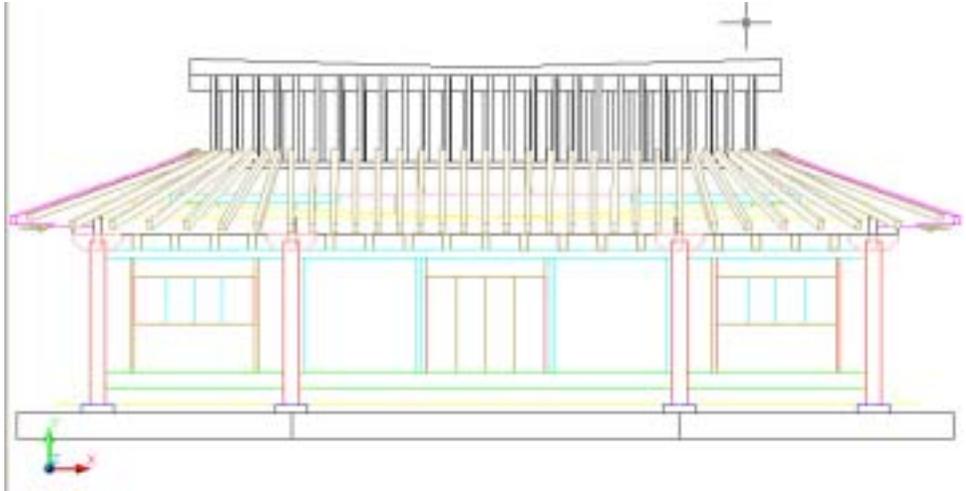


그림 6 배면도

그림 7 초석배열도

그림 8 기둥배열도

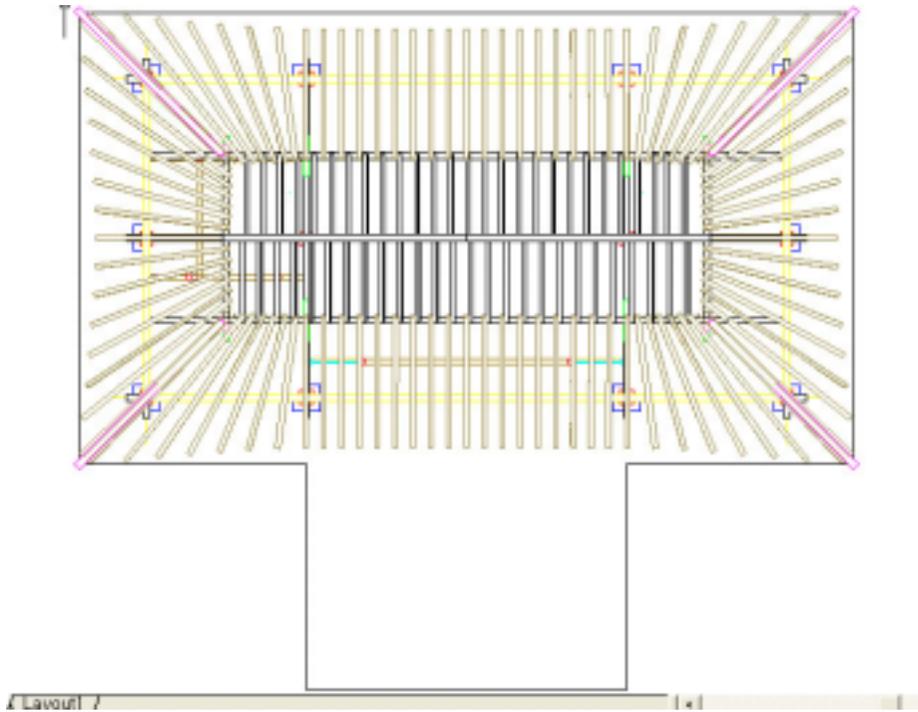


그림 9 지붕도



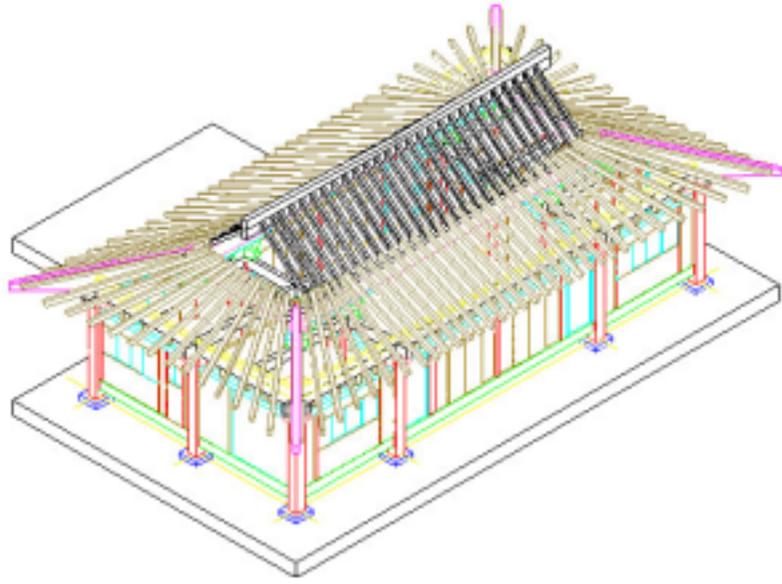


그림 10 조감도(배면)

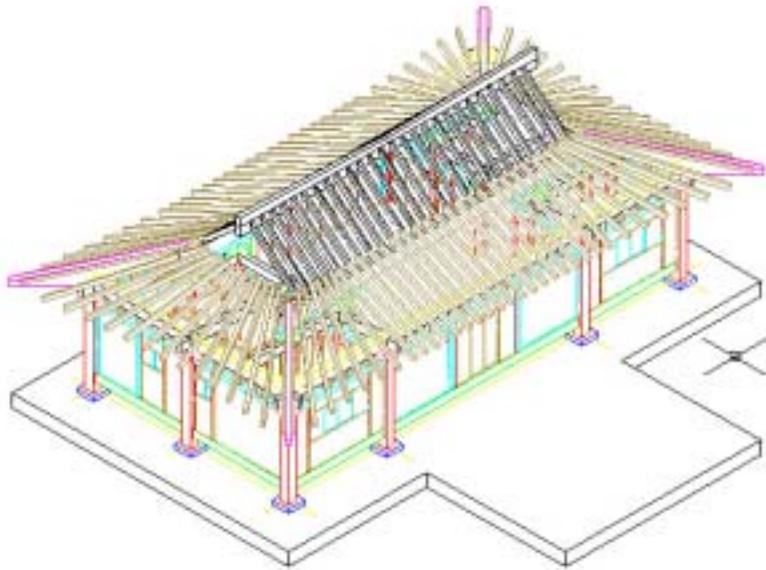


그림 11 조감도(정면)

## 2. 구조도

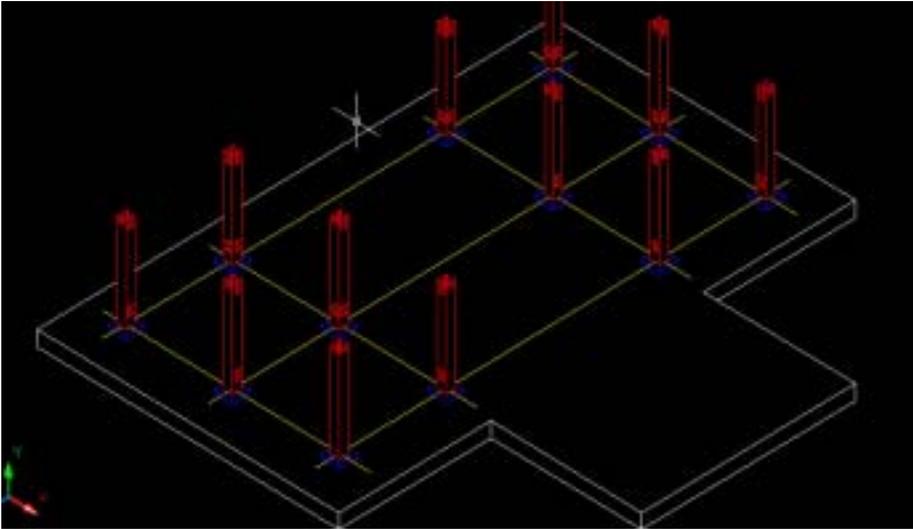


그림 13 기둥배열도

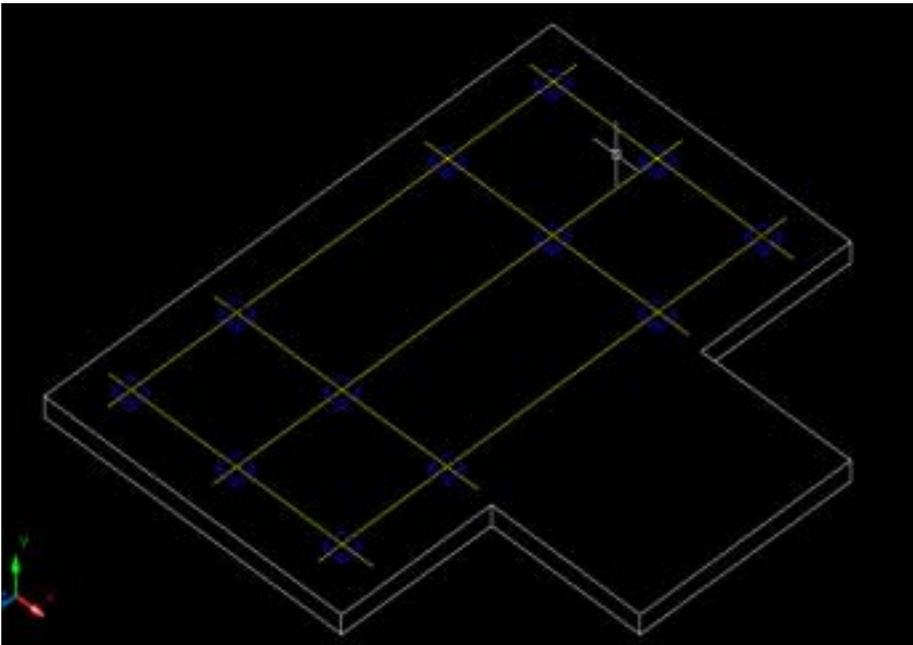


그림 12 초석도

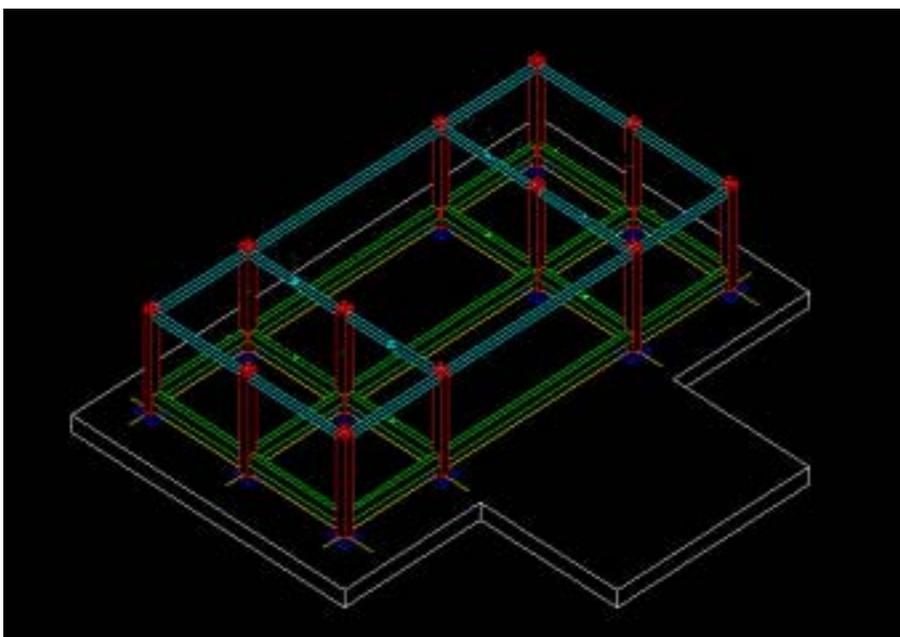


그림 14 창방도

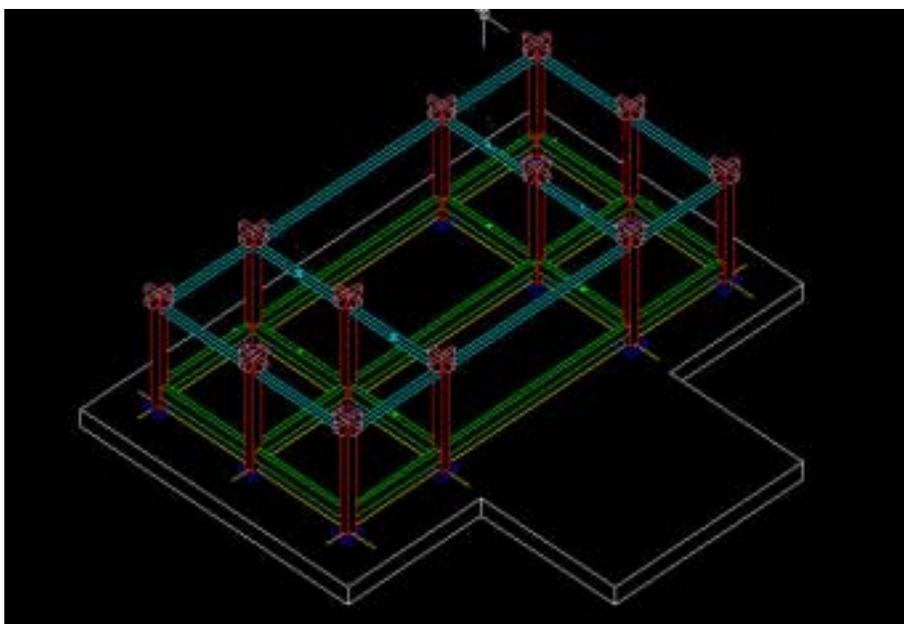


그림 15 주상포작도

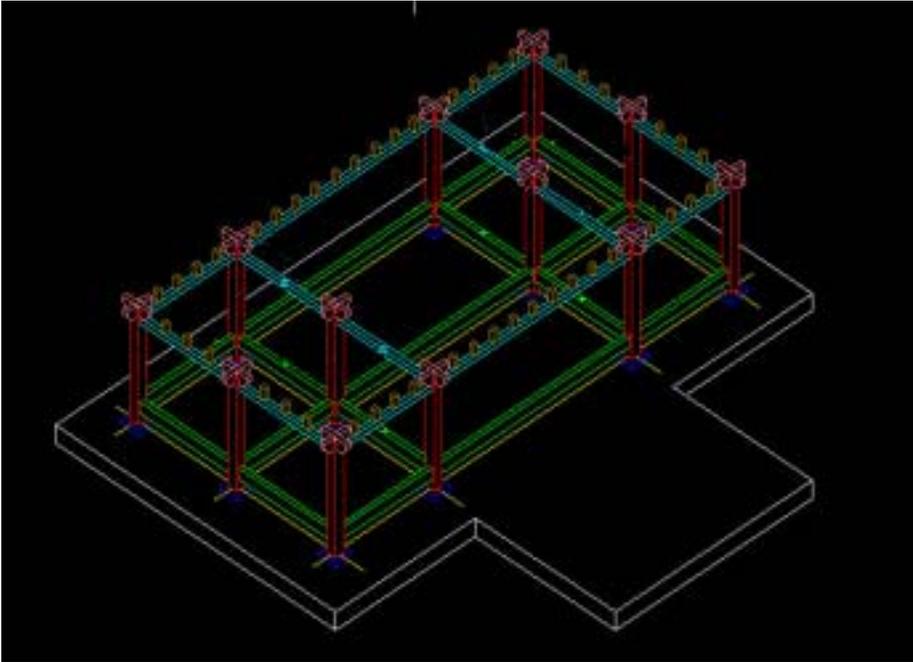


그림 16 창방도2

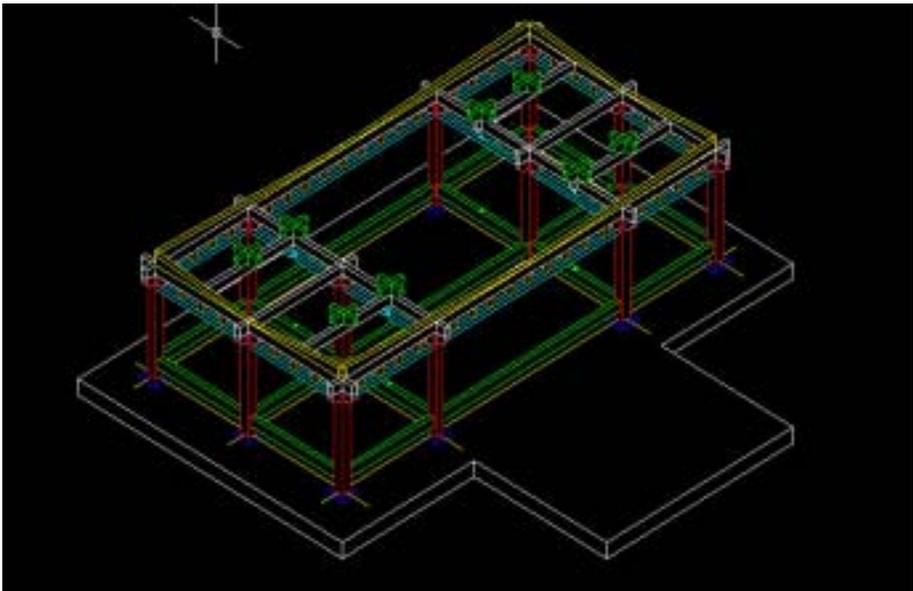


그림 18 갈모산방도

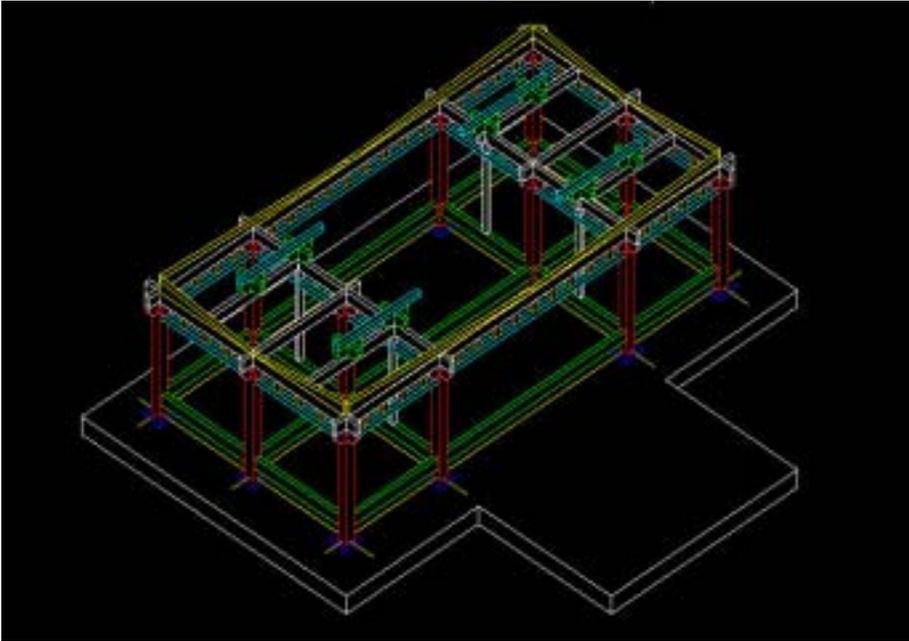


그림 19 갈모산방도2

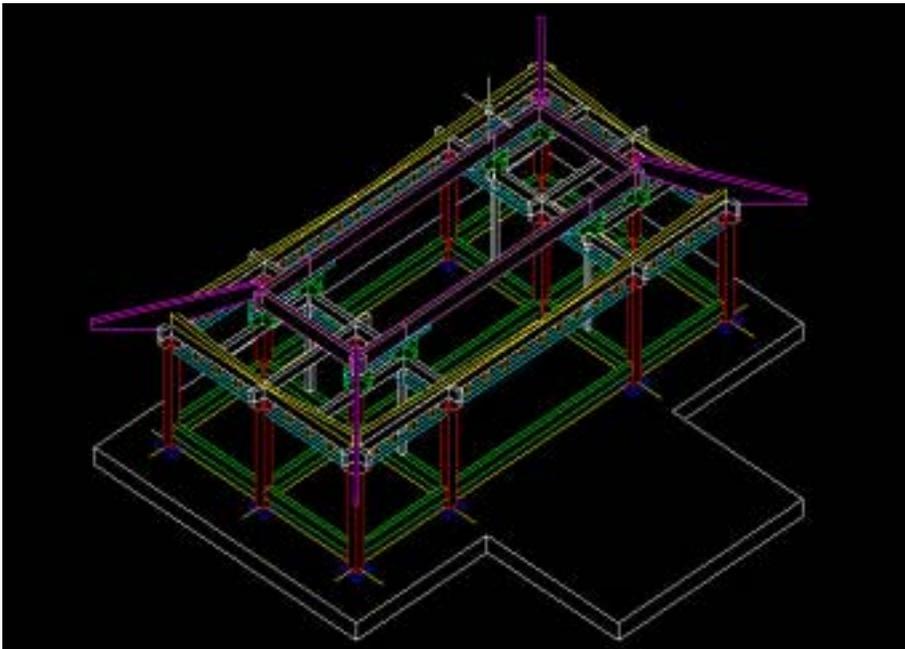


그림 20 추녀도

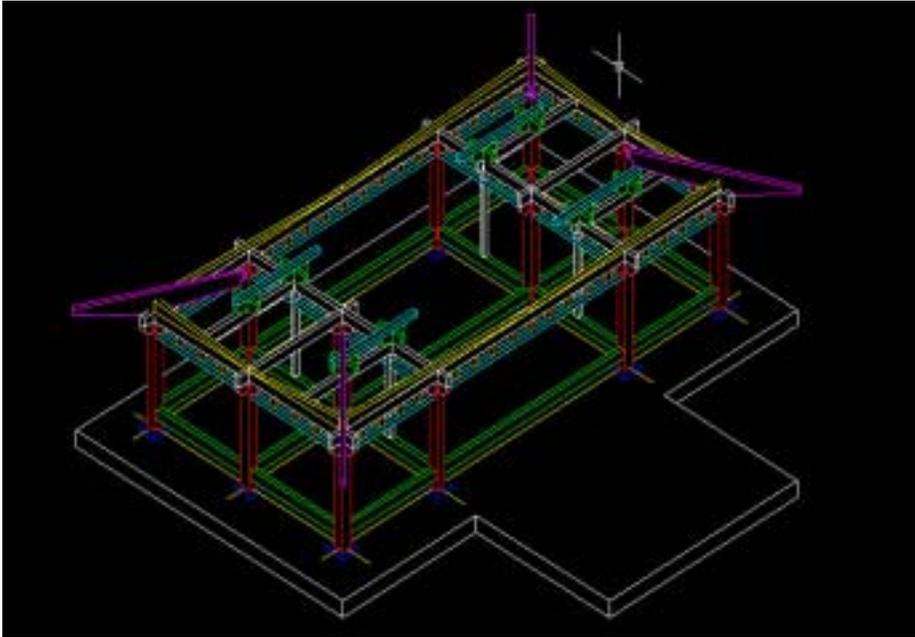


그림 21 추녀도2



그림 22 장연달기

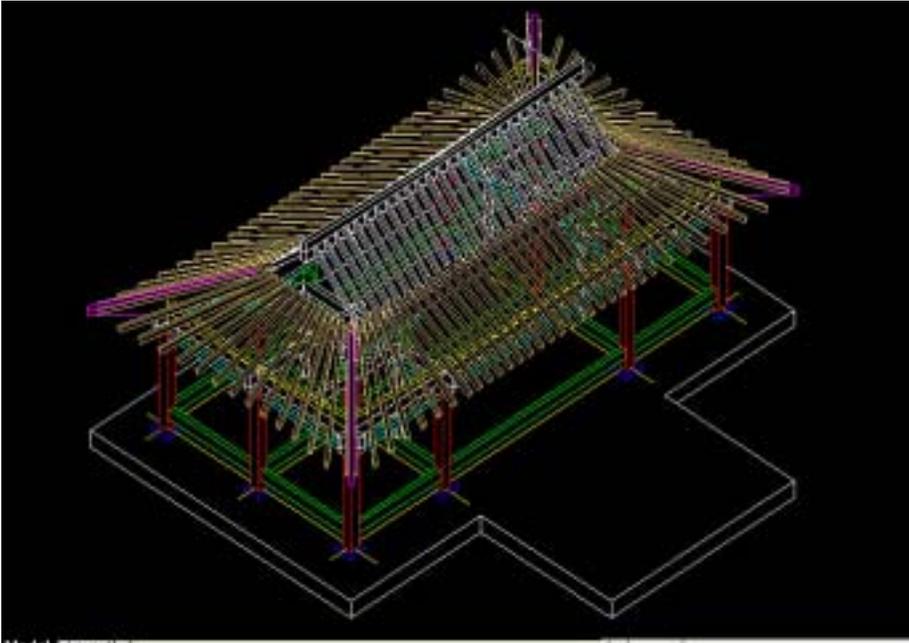


그림 23 서까래 완성도

## 제 2 절. 부품상세 제작

### 1. 보 시제품



그림 24 (b)

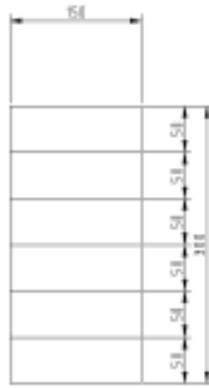


그림 25 (a)



사진 4-61 26보 시제품



사진 4-62 집성보

## 2. 접합부 시제품

가. 장부

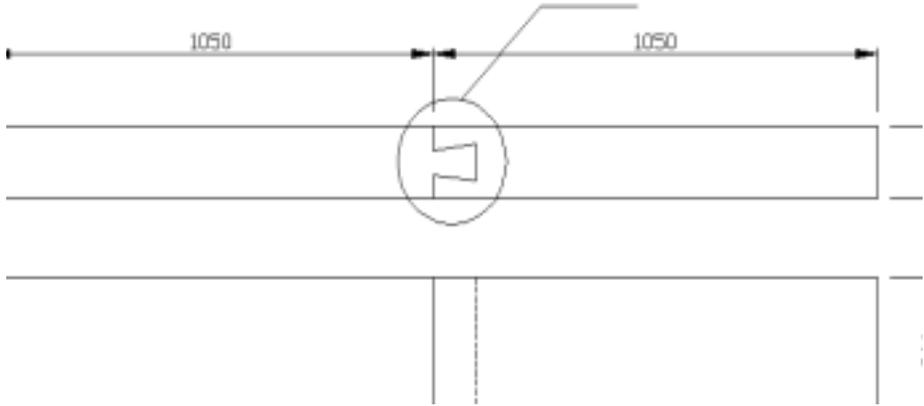


그림 26 장부 A

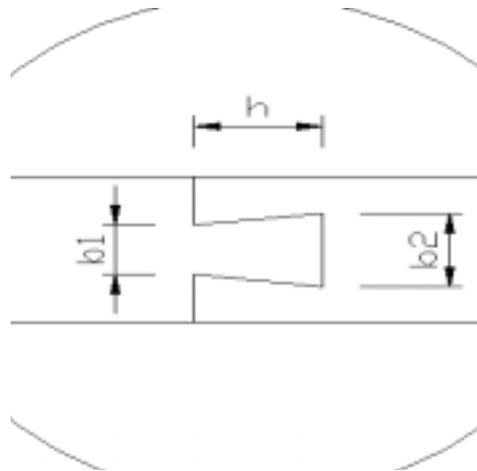


그림 27 장부상세

$$\text{단, } b_1 = \frac{B}{3} = 50, \quad b_2 = \frac{B}{2} = 75$$

$$h_3 = \frac{B}{3} + \frac{B}{6} = 50 + 25 = 75$$



사진 4-63 시제품 장부

나. 기둥접합부

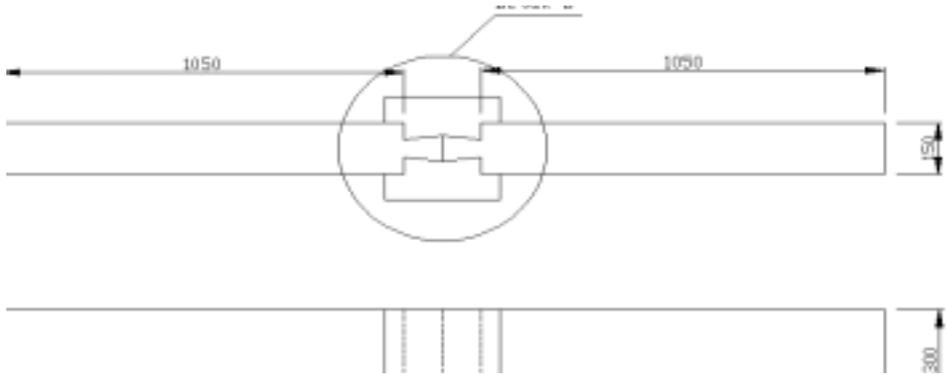


그림 28 장부와 기둥의 결합



사진 4-64 원목의 창방과 기둥의 접합



사진 4-65 집성부재의 창방과 기둥의 접합

### 제 3 절. 시제품 모형



사진 4-66 추녀와 서까래결기



사진 4-67 우리집 1호 입면



사진 4-68 가구구조



사진 4-69 마루부분 내부공간



사진 4-70 마루부분의 천정 디테일

## 제 6 장 결론

### 1. 연구개발결과

본 연구에서 사용된 집성보의 기본 크기는 단면 길이 비 1:2 인 150mm \*300mm \*3600mm를 표준부재로 사용하였으며 이것의 크기를 기준으로 기둥 서까래와 중도리 상, 하 인방 보들을 제작되었다.

1) 실용화설계 : 실의 규모는 좌식과 입식의 혼합을 고려하여 3.6m\*3.6m를 기본 모듈로 하였으며 최대 스패는 7.2m를 적용한 3 연속보를 지닌 목구조 개념으로 설계하여도 가능함을 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 부재의 모듈은 보와 기둥이 홈에 의하여 서로 결합되므로 부재 상호간의 크기와 함수관계를 지니고 있다. 실험에 의하면 단면 비 1:2를 모듈로 사용하는 보의 경우 장부 목의 크기는 보폭의 1/3 , 보머리와 장부머리 길이는 보폭의 1/2 로 설계하는 것이 장부이음의 최대 응력을 발휘하는 것으로 나타났다. 이와같은 모듈체계를 이용한 표준화 된 전통 계승형 목조건축 우리집 1호를 개발하였다.

2) 소재개발 및 실험체제작 : 동일단면의 낙엽송 원목과 집성목에 대한 구조응력과 파괴형상에 대한 자료를 확보하였으며 이것을 기초로 DB작성과 목구조설계가 가능해질 것이다.

3) 구조실험 : 전통 목조에서 사용하고 있는 장부는 시공의 정밀성과 함수율에 의한 변형만 최소화 시킬수 있다면 횡력에 저항할 수 있는 구조 부재임을 입증했다. 또한 보의 이음 방식에 있어 췌기의 크기와 Pitch 간격은 강도결정에 중요한 영향을 미치고 있으며 이음 패턴에 있어 엇걸이 산지이음은 상당한 강성을 지니고 있

음을 밝혀냈으며 이를 이용하면 문화재 보수도 가능할 것으로 판단된다. 가구 구조 설계에 있어 지붕 구조의 짜임새를 강하게 조성할 수 있다면 3 연속보를 구사하여 기둥에 대한 휨모멘트 부하를 줄이는 방향으로 최적 설계가 가능하다.

## 2. 활용에 관한 건의

본 연구에서 개발된 우리집 1호는 주택기능과 소규모 공공시설 기능이 결합된 구조이므로 아래와 같은 소규모지방 공공시설에 적용이 가능하다

활용분야	활용방안
임업계	농어촌 목조주택보급, 마을회관 및 읍사무소같은 공공건축의 목조화
	산촌개발, 관광단지개발, 친환경적인 건설업(임산가공+건축연관산업)조성
건축계	친환경적인 건축개발
	초등학교등의 교육시설물(강당,체육관)등과 같은 공공집회 시설의 목조건축
	중저층 주거건축의 목조화
	지방 소 도시 관공서와 역사(驛舍)의 목조화

1) 본연구의 결과로 설계 된 우리집 1호는 대량생산에 의한 집성부재 공급을 전제로 설계된 것이므로 최종 목표인 고부가치 산업자원으로 인식되려면 목조건축 중심의 산촌개발이나 산림자원활용방안이 마련되어야 하며 이를 위한 대규모 임산가공공단조성이 필요하며 건축법의 방화규정 개정이 필요하다.

2) 개발된 기술의 관련업체 이전을 통하여 국산재의 새로운 수요 창출의 기틀이 마련될수 있으며 국산재 이용 촉진과 임업의 산업화 기반을 조성함으로써 국가적으로 중대한 난제로 등장하고 있는 간벌의 경제성 문제를 부분적으로 해결하게 될 것으로 판단되며 복합소재를 활용한 집성부재개발과 표준화 설계의 특허 출원을 통하여 목조건축산업 육성에 기여하게 될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- Boughton, G.N. 1998. Timber Design Handbook. Standards Australia.
- Breyer, D.E. 1993. Design of structures. 3rd Ed.
- Donald E. Breyer. 1993. Design of Wood structure 3rd edition. McGraw-Hill Book co.
- Heinrich Engel, 1971, Structure systems , Van nostrand reinhold co
- Robert A. coleman, P.E 1983 Structural systems design, prentice-hall co
- Jon broome and Brain dichardson 1995, the self-build book green earth books
- Gaspar Lewis, 1995, Carpentry, An international Thomson Publishing co
- Willis M Wagner, modern Carpentry, The Goodheart-Willcox co. ,inc
- Canadian Wood Council,1995, Wood Design Manual, Canadian Wood Council
- Dona.Halperin, 1994, Principles of Timber Design For Architects And Builders  
Jon Wiley and Sons inc.
- Wolfram Graubner. Encyclopedia of Wood Joints 1994. Tauntonbooks and videos
- 이민섭역, 건축설계편람 기문당 1985
- 조승원.조영무 저, 한식목조건축설계원론, 민음사, 1981
- 대한주택공사 주택연구소 , 철골조 초고층아파트 시스템 개발(1) 1995.
- 대한건축학회, 공업화 주택 국제 심포지엄, 1991
- 문화재연구소 봉정사 극락전수리공사보고서 문화재관리국 1992.12
- 문화재연구소 한국의 고건축 한국건축사 연구자료 제3호 문화재관리국 1976.12
- 문화재연구소 한국의 고건축 한국건축사연구자료 제5호 문화재관리국 1982.9
- 문화재연구소 국보 보물 축소 도면집1 문화재관리국 1992
- 문화재연구소 범주사 팔상전수리공사보고서 문화재연구소 1998.12

임업연구원 한국산 주용목재의 성질과 용도 임업연구원 연구자료 제 95호 1994.  
 임업연구원  
 대한건축학회 미래형 건축 스틸하우스의 설계 2002.3 문운당  
 전남대학교, 국산재 이용 집성제품의 고효율 생산 기술 및 생산 종정 자동화 시스  
 템 개발에 관한 연구 1999.11 농림부  
 산림청 2002임산물생산통계, 2003.7 산림청  
 배재수의 3인 조선시대 산림사료집 임업연구원 연구자료 제 138호  
 엄영근, 박문재번역 목조건축의 외장용목재 임업연구원 연구자료 제 137호 1997.12  
 임업연구원  
 김종호외 2인 우리나라의 산촌 지역 구분조사 임업연구원 연구자료 제 132호  
 1997.6 임업연구원  
 임업연구원 목조주택시공법 임업연구원 연구자료 제 94호 1994.8 임업연구원  
 임업연구원 통나무집 축조기술 임업연구원 연구자료 제 96호 1994.10 임업연구원  
 임업연구원 목조건조기술 임업연구원 연구자료 제 60호 1991.10 임업연구원  
 임업연구원 목재열기건조기술스케줄 임업연구원 연구자료 제 75호 1993.2 임업연구원  
 정인국 한국목조건축양식론 일지사 1982  
 이연노 한국전통목조건축의 보에 관한 연구 고려대학교 대학원 박사학위논문  
 2002.6  
 박학길 · 한재수 · 황선우 간벌 소경재를 이용한 집성목재 보의 휨 거동특성에 관한  
 연구 -대한건축학회 논문집(구조계) : v.19 n.6 (2003-06)  
 황선우 · 김재현 · 한재수 · 박학길 집성목재 보의 휨 내력-변형 거동특성에 관한 연구  
 -대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계) : v.22 n.2 (2002-10)  
 한재수 영주 부석사와 무량수전의 원형보전을 위한 수리기록에 관한 연구 -대한건  
 축학회 논문집(계획계) : v.18 n.9 (2002-09)

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.