

집성재건축의 지재특성과 구조디자인 연구

- 지붕구조를 중심으로 -

A Study of Materials and Structural Designs in the Glulam Architecture

- Focusing in the Roof Structure -

김란기*/ Kim, Ran-ky

Abstract

This Study typed the roof-design in analysis of structural design of the glulam architecture, developed worldwide, nowadays. For this, it is studied the characters of glulam as the history of glulam architectures, manufacture of glulam, shapes and section of glulam, fireproof and combustion of glulam. And it is studied roof-design according to structural type of glulam roof-structure.

Conclusively, types of glulam roof designs typed as 1)the Simple Beam str., 2)the Multi-Joints continous Beam str. 3)the Hinge str. 4)the Rahmen str. 5)the Archi str. 6)the Grid str. 7)etc str. (Folded-plate str., Radial str., Cylinder Shell str., Ring Dome str., Geodesic Dome str., Conic Coloid Shell str., H.P Shell str. Cantilever Shell str.)

키워드 : 집성재, 구조디자인, 지붕디자인

1. 서론-일반적인 목조건축의 발전과정

목조건축은 지난 수세기간에 걸쳐 크게 발전하여 왔다. 수공업적인 단계로 부터 새로운 시공법에 이르는 긴 발전과정은 여타재료의 건축구조법의 발전보다 긴 역사를 가진다. 영국을 중심으로 한 유럽의 목조프리페브주택의 시작은 헵탐버(Half Timber)구조법으로 부터 시작되었다. 그러나 풍부한 기술적 특성과 독특한 외부장식의 장점을 가졌음에도 불구하고 18세기에는 유럽에서는 목조건축이 다소 후퇴하였으나, 19세기 이후 헵탐버건축은 공업지역 등에 다시 건설되기 시작했고, 산업용 건물에 점차 많이 이용되었다. 특히 경제적인 변형 헵탐버형식이 독일 동부의 농촌지역 같은 곳에서 많이 지어졌다.

금세기에 목조건축의 긍정적인 태도가 크게 나타난 것은 1960년대이다. 건축가, 목조건축엔지니어들은 과거의 전통에 신기술을 결합시키는 새로운 방법을 이용하였고 목조건축의 합리적 요소들은 그 재료와 품질과 그 고유한 가치에 따라 복원되었다. 건축가들은 목구조건축의 폭넓은 진보의 덕택에 훌륭한 건축표현형식과 수많은 변형을 만들어내기도 하였다. 미국이나 일본의 각종 목구조법 주택에 영향이 미쳤고, 유럽에서도 건축기술 자체만이 아닌 건축예술적인 측면의 변화도 나타났다. 바야흐로 목조건축의 (르네상스)가 시작되었다.¹⁾

한편 근래의 건축의 발전은 컴퓨터가 이용되면서 난해한 역학구조

를 손쉽게 해결함으로써 더욱더 가속화하였다. 이리하여 그간 디자인이 설계한 건축을 구조역학이 해결해 주던 방식에서 이제는 구조설계자가 디자인을 창안해 내기까지 했다. 이것이 바로 '구조디자인'이 되어 구조역학적으로 매우 어려운 디자인들이 속속 실현되어 나타났다. 특히 최근에는 이제까지 관념적 디자인 개념으로 부터 탈피하여 기술성있는 디자인이 요구되고 있으며 학교교육에서도 그같은 요구가 반영되기 시작했다. 따라서 본 연구는 구조방식에 의한 디자인, 즉 구조방식이 디자인을 결정하는 최근의 경향을 목재라는 재료에 적용해 목구조방식의 디자인을 정리해 내고자 하는 것이다.

새로운 개념의 공업화목재가 이들 구조디자인과 결합하면서 다양한 건축을 만들어 내기 시작했다. 이것이 이른바 신목조건축인 것이다. 본 연구는 이같은 신목조건축의 하나인 집성재 건축을 중심으로 그 구조디자인을 고찰하는 것이다.

1-1. 연구목적

최근 우리나라에도 건축용 대단면집성재를 전문적으로 생산하는 업체가 들어섰다. 아직은 국내수요가 많지 않으나 이같은 생산업체의 발생은 곧 수요발생을 예측할 수 있게 한다. 또한 집성재건축시공을 전문으로 하는 시공회사도 생겨나서 몇개의 시공한 사례를 보이고 있다.²⁾

1)SD 8701. 鹿島出版會. 1987. 1. p.154

2)국내집성재 시공회사가 시공한 사례는 다음과 같은 것이 있다.

후암동 교회(영주교회, 설계 : 최영집), 홍릉산림박물관(설계 : 김홍식)
등촌동 근린생활시설(VIPS, 설계 : 박진, 이중연),

* 정희원, 우드텍 건축연구소 소장

본 연구는 이같이 이미 국내에 상륙하고 있는 본격적인 신소재건축에 대해 학술적 이론적 연구의 필요성이 제기되고 있고, 집성재건축의 올바른 방향 유도가 요구되는 배경을 가지고 최근 세계적으로 발전되고 있는, 집성재를 중심으로 한 공업화 목재(Engineered Wood; 목질계 재료)의 목조건축의 현황과 이들 신목조건축의 지붕구조에 이용되고 있는 구조디자인을 분석하여, 구조시스템에 의한 디자인 특성을 제시하는데 목적이 있다.

1-2. 연구범위 및 방법

본 연구는 건축구조시스템에 있어서 공업화 목재를 이용한 신목조건축을 그 대상으로 하여 공업화 목재중 구조용 대단면집성재(構造用大断面集成材 Glulam Timber Structure)의 특성을 고찰하고, 집성재목조건축의 지붕구조의 특성을 도출하여, 건축물의 전체 디자인을 결정하는 지붕구조와 그 시스템의 분석을 연구범위로 하고 (내력)구조시스템별로 창출되는 형태를 도식적으로 체계화하여 형태별 디자인을 추출하는 것을 연구방법으로 한다.

2. 집성재의 특성

집성재는 목재의 결점을 제거하거나 분산시켰으며 충분히 건조시킨 挽板(lamina)으로써, 접착제를 이용하여 5매 이상을 적층시켜 역학적으로 가장 합리적인 재질의 단면구조를 가지고, 자유로운 형태와 길고 큰 재를 제조할 수 있는, 목재의 텍스처어를 잃지않는 독특한 목구조건축 재료이다.

또한 구조용 대단면집성재는 내화성능에 우수한 재료로 평가되어 방화구조가 요구되는 건물에도 채용될 수 있다.³⁾

短形斷面の 집성재는 이미 폭 50cm, 보춤 3m까지, 길이 30m 이상을 1회의 공정으로 제작할 수 있게 됐다. 通直(直材) 단면은 폭 12cm부터 16cm까지, 보춤 2m까지이다. 보는 특히 下弦이 직선이거나, 혹은 灣曲시킨 通直보, 片공지보, 박공지보에 잘 이용되고 있다. 단일부재를 병립시키기도하고, 2매구성의 단면으로도 자주 사용되며 각각의 부재를 스페이서로 접합시켜 사용하기도 한다. 이 구조법은 특히 목재의 플레보보, 혹은 트러스보의 보급에 적당하다. 집성재 라멘내력부재는 볼록한 隅角部로 하지 않음에도 불구하고 굴곡된 라멘 우각부로 제작한다. 집성재는 특히 아치체에 적당하고 스패인이 약 100m의 2힌지, 혹은 3힌지아치에서도 자주 사용되고 있다.⁴⁾

2-1. 집성재의 역사

유럽에서도 신목조의 개념은 집성재건축으로 집약된다. 유럽에서는 16세기까지 거슬러 올라가 목재를 적층시켜 사용한 사례를 찾아볼 수 있다. 이때에는 대개 성곽과 같은 건축의 아치부분 등에 사용

되는데 이것은 집성재를 아치형으로 제작할 수 있었기 때문이다. 본격적인 집성재의 역사는 1804년 미국의 트랜트브릿지까지 거슬러 올라갈 수 있지만, 실용적으로 된 것은 그로부터 1세기후인 1900년대초두에 와서야 이루어졌다. 이렇게 하여 19세기까지 부속철물을 이용한 적층목 집성재가 건축에 이용되어 왔다. 그러다가 20세기에 이르러서 접착제를 이용한 집성재가 생산되어 오늘날과 같은 집성재 건축에 이용되었다. 독일인 오토 헤처의 집성재제조특허(1901년)를 계기로 제1차세계대전을 거치며 철강재부족 등에 연유하여 驛舍, 工場, 體育館등이 독일을 중심으로 유럽각지에 생겨났다. 유럽에서의 집성재건축의 발전은 집성재자체의 발전과 더불어 부속철물의 발전과도 깊은 관련을 갖는다. 듀벨(Dübel)과 같은 부속철물은 목조건축의 발전에 필수적인 것이었다. 미국에는 1920년대에 집성재가 전래되었다. 일본에서는 제2차세계대전중에 제작된 예(당시에는 '교착(膠着)보'라고 불리었다)를 볼 수 있지만 본격적으로 사용된 것은 미국으로부터 기술도입을 경유하여 이루어졌다.

1970년대 이후에 Julius Naterer⁵⁾가 독일을 중심으로 활발한 활동을 함으로써 세계적으로 집성재건축이 붐을 이루기 시작했으며, 이것은 컴퓨터의 발전으로 더욱 확산되었다. 그는 사무소에 구조부, 기술부, 건축부를 두어 실험과 연구로 목조건축의 새로운 세계를 여는데 크게 기여하였다. 그는 컴퓨터 등을 활용해서 하이브리드구조 등 과거에는 해결하기 어려웠던 복잡한 구조에서도 많은 업적을 쌓고 있다.⁶⁾

일본에서 집성재가 제조가 시작된 것은 1950년대로 이즈음부터 주로 아치재를 만들었고, 1960년대의 전반기의 성장기에는 연간 150동이 건설되었다. 그러나 그후 법규상의 방화규제강화, 집성재를 사용한 학교건축의 보조금폐지 등에 따라 건축실적이 격감하여 연간 수동을 짓는 정도까지 떨어졌다. 그러다가 목재를 접착제로 집성하여 블록화하였고, 여기에 장식용 박판을 붙여 목조주택의 기둥, 인방

5) 그는 1960년대 이후 독일을 중심으로 북부유럽지역에서 대단면 구조용집성재 건축의 새로운 장안에 도전하고 있다. 뮌헨에 있는 그의 Planungsgesellschaft Naterer und Dittrich 사무소에는 구조엔지니어, 기술디자이너, 건축가 등 3개 파트로 구성되어 목조 대공간 건축, 목조교량 등 목조가 쓰일 수 있는 각종의 건축에 도전하고 있다. 그의 작품 중에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) Recycling-Halle, Wien, Austria, 1981.
- 2) Kohlenlagerhalle Oberhausen-Osterfeld, Germany, 1981. 방사식 입체돔.
- 3) Uberdachung Eissportstadion, Bayreuth, Germany, 1982. 서스펜션 트러스의 무주공간.
- 4) Kirche St. Stephan, Germany. 하이브리드 돔의 구심적 공간.
- 5) Olympia-Radstadion, Munchen, 캔틸레버의 연속지붕.
- 6) Hangeschalle, Dortmund, 화려한 HP셸.
- 7) Rippenschalle, Munchen, 4매의 HP셸.
- 8) Dach für ein Ausgrabungstelt, Weissenburg, 1979. 방사상 하이브리드 트러스.
- 9) Reithalle, München-Riem, 스페이스 프레임, 라멘.
- 10) Eissporthalle, Degendorf, 하이브리드 빔.
- 11) Turnhalle, Hebertshausen bei Dachau, 1981. 하이브리드 트러스의 무주공간.
- 12) Messehallen, Nürnberg, 트라이앵글 트러스, 그리드 지붕.
- 13) Allwetter-Zoo, Münster, 지오데식 프레임 루프.
- 14) Geodätische Kuppel, München, 가동지오데식 돔.
- 15) Martins-Steg, Amberg, 1978. 빗식의 최고 긴 지붕이 있는 다리.
- 6) 林采震, 現代木造建築小考, (建築), 大韓建築學會誌, 1992, 7.

3) (財)日本住宅, 木材技術センター, 大スパン木構造の令, 1992, p.54

4) Karl-Heinz Götz, Dieter Hoor, Karl Möhler, Julius Natterer, Holzbau Atlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 1980. 일역판 도해목조건축, 번역, 감수 일본목조건축연구포럼, 1992, p.54

등에 사용되었는데 이것도 집성재로 불리었다.⁷⁾

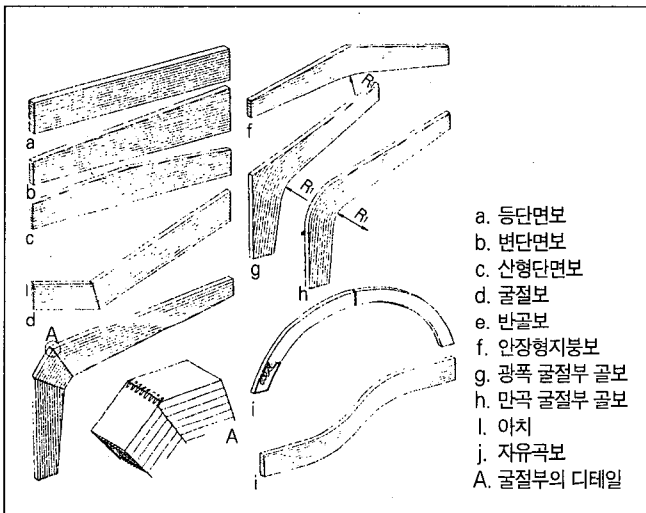
2-2. 집성재의 종류

집성재의 종류는 다음과 같이 분류할 수 있다.

1. 침엽수, 활엽수, 삼나무(杉), 미송(美松) 등 사용수종별 분류,
2. 규격품, 기성품, 특수품 등 생산방식별 분류,
3. 通直材와 灣曲材 혹은 變斷面材로 불리우는 形狀별 분류,
4. 垂直積層과 水平積層과 같은 사용방법별 분류,
5. 옥내용과 옥외용으로 구분되는 내구성에 의한 사용장소별 분류,
6. 구조용과 일반용(造作用)으로 구분되는 強度性能별 분류.

일본의 경우 일본농림성규격(JAS)은 비내력용으로 사용하는 일반용과 건물의 골조 등에 사용하는 구조용으로 대별한다. 일본농림성 규격의 집성재구분은

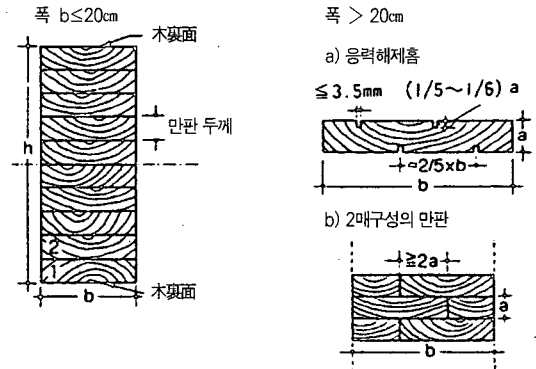
1. 조각용집성재, 2. 미장겸조작용집성재, 3. 구조용집성재, 4. 미장겸구조용집성재, 5. 구조용대단면집성재 로 구분하고 그 사용범위도 예시하고 있다.⁸⁾



〈그림 1〉 집성재의 종류

2-3. 집성재의 제작

집성재는 挽板(lamina)의 넓은 면을 양면 평탄하게 증첩하여 접착시켜 만든 것이다. 挽板의 두께는, 보통 30mm를 넘어서는 안된다. 그러나 通直材의 경우에는, 특히 주의 깊은 건조와 목재선정, 그리고 엄격한 기후조건으로 부재를 노출시키지 않는 경우에는, 40mm까지 두께를 증가시킬 수 있다. 일반적으로는 폭 20cm까지의 대패마감 판재를 기본적으로 材의 [木裏]면과 [木表]면을 상호 접착시키든가, 외면에는 [木裏]가 나오도록 배열한다. 이렇게 배열하는 방법은 기후변화에 따라 접착면 내지 목재에 일어나는 박리응력(剝離應力)을 작게 하고, 내구력을 크게하기 위하여 필요하다. 20cm보다 폭이 넓은 재가 필요한 경우에는 적어도 2매 이상의 만판을 병렬로 사용하고 그 이음에 위치는 적어도 만판 두께의 2배 떨어질 필요가 있다. 각 挽板이 폭 20cm를 넘는 경우에는 라미나의 넓은 면의 양측에 응력해제의



〈그림 2〉 집성재의 구조

힘을 판다.

집성재는 실제로 어떤 길이와 춤(depth)도 생산할 수 있다. 그러나 건축용 집성재의 길이는, 작업공간, 접착베드의 춤, 혹은 운송가능성에서 제약이 따른다. 크기는 포반(鮑盤)의 작업폭에 따라 한계가 있다. 그렇지만 후자의 기계칩수법(약 2.00내지 2.30m)을 넘는 춤은 미리 접착베드 위에 접착가공을 더하여 덧붙이고 2번째 부재를 부착함에 따라 가능하다. 일반적으로 30m에서 35m 길이에 2.20m춤까지는 가능하다. 挽板은 오늘날까지 대개는 대패질 전에 핑거조인트(Fingerjoint)방법으로 요구된 길이가 되도록 한다. 길이 방향의 접합은 1:10정도의 완만한 균배의 스카프조인트(Scarjoint)로도 가능하나, 주로 구부림이나 압축응력이 생기는 집성재부재의 내부에는 인접접합부위치로부터 최소 50cm는 떨어져야 한다.

근대적인 접합작업에는 대개의 경우, 집성재의 제작이 자동화되어 있고, 실질적으로 전체 挽板의 길이방향의 접합은 핑거조인트로 되고 있다. 소단면 挽板에 의한 집성재 등의 접착목재부재에 관해서 정하고 있는 품질조건은 접합되는 일체의 부재에 관한 것으로 각각의 일판에 관해서 표시하는 것이다.

挽板의 가공에 대한 목재의 품질수준은, 휨응력을 받는 집성재부재의 경우, 보(梁)길이 전체의 15%부분에 있는 인장영역의 만판만을 설계상 중요품질등급으로 취급한다.

집성재의 생산은, 실질적으로는 스프루스(Spruce)만을 사용하고, 특별한 설비와 공적으로 정해진 접착자격인정에 합격한 전문기술자를 필요로 한다.

설비쪽에서는 목재건조설비, 상시 온습도가 기록되는 난방작업장, 핑거조인트기계, 통직재 겸용 만곡집성재제작을 위한 프레스용 베드 등과 같은 설비기계들을 필요로 한다. 통상, 목재전문기술자가 행하는 접착은 접착전문가에 의해 감독받는다. 접착에 관해서는, 완성된 건축부재가 설치될 환경조건에 따라 유리아(Urea)나 리졸시놀(resorcinol)류의 인공수지접착제가 사용되고, 규정된 함수율로 조정된 후, 핑거조인트가공 등의 준비를 한 만판위에, 로울러, 스프레더(Spreader)로 처리하고, 양면이상, 프로코더(Prodcoder)로 처리하여 한쪽면씩 도장한다. 만판은 접착베드에 단형단면으로 한데 모우고 규정 프레스시간, 접착제 메이커에 따라 결정된 프레스압을 유지하여야 한다. 프레스압은 스펀드프레스, 유압프레스, 또는 다른 종류의 방법에 따라 균등하게 작용하여야 한다. 접착제는 충분히 경화시

7) (財)日本住宅. 木材技術センター. 大スパン木構造の令. 1992. p.53

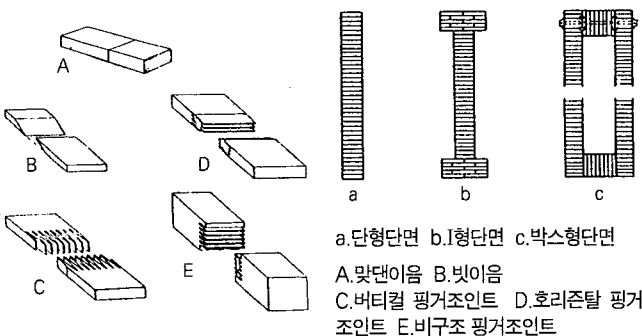
8) 앞 책, p.54

킨 후에 양측 혹은 4면에 대패질을 하고, 필요에 맞게 가공한다(홈과 기 등). 접착시 목재의 함수율은, 집성재구성의 신뢰성과 할열방지상 중요한 요소인데 특별한 배려가 요구된다. 수송이나 보관시 현저한 습기조건에 노출될 경우, 혹은 완성된 건물에, 특히 장시간 난방된 공간에 설치된 경우, 접착된 집성재의 함수율변동의 범위내에 있도록 예방조치를 할 필요가 있다.⁹⁾

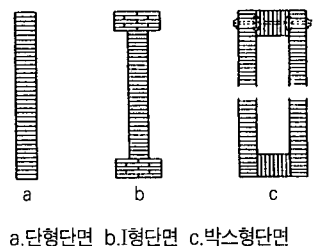
2-4. 집성재의 단면과 형태

기둥재, 혹은 프레임에 위한 집성재는, 보통 단형단면으로 제작된다. 그 춤과 폭의 비는 휨응력을 생기게하는 보에는 대부분의 경우 1:3에서 부터 1:8까지이고, 1:10을 넘어서는 안된다. 예외적으로 I형 혹은 박스형의 단면으로 하는 경우도 있으나, 목재의 절약은 가능해도 대개는 제작에 시간을 요한다. 좌굴을 막거나 뒤틀림을 막아 단점을 보완할 수 있다면 사용하는 경우도 많다.

목재의 우월한 작업성으로 부터, 곧은 단형단면을 지지하는 건축부재의 경우 각종의 보의 형태가 가능하다. 보춤은 만판을 중첩시킨 것인데, 각종의 집성재를 용이하게 제작할 수 있다. 단면변화의 균배는, 보단부에 나타나는 수직전단응력 혹은 수평전단응력을 고려하여 비교적 평이하게 만들지 않으면 안된다. 만판을 접착전에 가볍게 만곡시킴에 따라 라멘프레임이나 아치 등의 만곡형태로 집성재를 만들 수 있다. 그러나 만곡반경R은, 30mm두께의 만판의 경우 만판두께의 200배이하가 되는 것이 좋다. 재두께의 150배까지의 소반경은, 만판의 두께 a(mm)가 $a = \sqrt{625 + 0.41R^2} - 25$ 라는 관계를 만족시킬 경우 가능하다. 이 경우 만곡의 전단면에 대한 대한 영향(比 $R_m/h = \beta$)도 고려하여야 한다. 만곡을 $\beta < 2$ 가 되는 경우는 피하여야 한다.¹⁰⁾



〈그림 3〉 집성재의 이음¹¹⁾



a. 단형단면 b. I형단면 c. 박스형단면
A. 맞댄이음 B. 빚이음
C. 버티컬 핑거조인트 D. 호리존달 핑거조인트 E. 비구조 핑거조인트

〈그림 4〉 집성재의 단면¹²⁾

2-5. 집성재의 내화와 연소

목재를 주요구조재로 사용하는 경우 연소는 치명적인 목재의 결점

9) Karl-Heinz Götz, Dieter Hoor, Karl Möhler, Julius Natterer. 앞책. p.21 및 Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 1987. 9-17.

10) Karl-Heinz Götz, 앞책. p.22

11) Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 9-17.

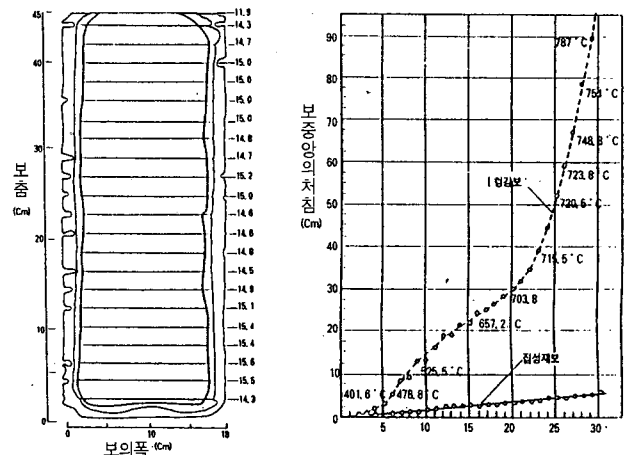
12) Karl-Heinz Götz, 앞책. 21

이다. 특히 도심의 과밀화가 진행되자 방재상 불연화가 촉진되었지만, 목조건축물은 그 존재자체가 부정되는 경향도 있다. 그러나 목재는 다공질로 열전도율이 낮고, 불꽃(炎)의 관통에 대해서 강한 저항을 나타낸다. 또 연소하는 것도 표면에 형성하기 쉽고, 이 때문에 산소의 공급, 열의 투과를 저지하는 등의 성질이 있다. 이 성질로부터 보(梁)材 등은 화재를 당하여도 탄화속도가 1분에 0.5MM정도되고, 장시간동안에 걸쳐 변형하지 않고 내력을 보유한다. 이 결과 단면이 큰 대구조에는 화재시 건물의 붕괴까지의 시간이 길어지게 되고, 피난시의 안전성이 확보된다. 또한, 面材로 사용하는 목재는 일정 두께 이상이 되면, 화재의 관통시간을 길게하고, 裏面온도의 상승을 둔화시킨다. 이같은 것은, 목재자신의 불연화는 불가능하여도, 목재의 취급방법이나 다른 재료와 복합등 구조법상의 연구를 통하여 내화, 방화성능을 향상시킴으로써, 목조건축의 우수성을 보이는 것이다.

목조건축의 내화성능을 향상시키는 방법에는 단면이 큰 부재를 사용하는 것, 일정 두께 이상의 판재를 사용하는 것 등이 있다. 이것을 만족시키는 공법으로 하여, Heavy Timber Construction이나 민가형의 공법 등이 있고, 내화, 방화의 면에서도 옛날부터 있던 공법이 재평가되고 있는 중이다. 대단면 집성재나 일정 두께 이상의 판재를 이용하지 않는 경우에는, 타재와 복합적으로 재료구성을 하여 각실이나 각부위에 연소를 방지가 가능하도록 재료의 선정이나 구조법, 시공 등에서 충분히 배려가 필요하게 된다.

몰탈바름구조는 燃焼防止 등 방화상 유효한 공법이지만, 현재의 디테일에서는 내구성상 문제가 있다. 이같은 목조건축에서는 방화, 불연화나 단열 등의 성능을 향상시킨 다음에 장수명화의 공법이 구해 질 것이다.

무처리 집성재 보단면의 30분 연소후 탄화두께(cm)



〈그림 5〉 무처리 집성재 보단면의 30분 연소후의 탄화두께(cm) 및 노출철재보와 집성재 보의 동시연소시험¹³⁾

3. 집성재의 구조방식에 따른 지붕구조 및 지붕Design

3-1. 單純보

13) 拙稿, 新木造建築의 空間과 技術, 월간 [建築과 環境], 1993. 8.

양단을 단순하게 배치한 상태의 힘을 받는 것으로는, 예를 든다면 바닥보(床梁), 수직재, 지붕틀, 도리, 또는 지붕보 등이 있다. 이것들은 구조적, 혹은 구법적으로 통직 풀 웹보, 만곡 혹은 경사 풀 웹보, 도치 혹은 현수장형보, 소부재조립(트러스)보, 방사배치단순보, 90도격자보, 특수형상격자보, 60도격자보, 편지지도, 그리고 소구법의 배리에이션 등으로 구분할 수 있다. 이것들에 대한 구조적 특징과 지붕디자인 특성은 다음과 같다. <표 1. 참조>

1) 通直 풀웹보(Full Web梁)

① 구조적 특징

양단이 고정된 단순보에는 외력에 의하여 보에 변형이 생긴다. 이에 따라 보에 휨응력과 전단력이 생긴다. 구조계산에 의해 부재단면의 형태나 하중의 종류나 스팬에 대응하는 휨응력, 전단응력이 계산된다. 세장한 단면의 보(폭:춤 = 1:4)의 경우에는 단면치수결정시 전도나 뒤틀림에 대응하는 안정성의 확보가 매우 중요하다.

② 지붕디자인 특성

기본형은 평슬래브 디자인으로 몇단의 평슬래브, 혹은 경사슬래브

를 채용하여 지붕디자인을 구성한다. 지붕면이 구조적으로는 평단하므로 지붕마감재를 이용하여 여러 가지 형태를 가질 수 있다. 따라서 톱라이트를 채용하거나 톱날형, 혹은 산형모양을 쓸 수 있다. 일반적으로 가장 단순한 형태를 가지나 심플한 디자인이나 저층의 넓은 공간을 만들어 낼 수 있다. <표 1 참조, 이하 표 1>

2) 灣曲 혹은 傾斜 풀웹보(Full Web梁)

① 구조적 특징

단순보의 축이 굴곡이나 만곡이 되어도 수직외력에 대해서는 수직 지지력이 생긴다. 단면설계를 결정짓는 것은 휨과 뒤틀림 및 전단력의 외부에, 미리 주어진 만곡에 따라 생기는 횡압축 혹은 횡응력에 있다. 높은 횡응력은 내력이 방향전환함에 따라 생긴다.

② 지붕디자인의 특성

통직 풀 웹보구조에 비해 좀더 다양한 디자인을 구현할 수 있다. 지붕구조가 <표 1>에서와 보이는 바와같이 다양한 만곡을 이룰 수 있기 때문이다. 이같은 지붕구조에서 집성재의 장점은 구조재의 전체적인 만곡이나 부분적인 만곡이 자유롭게 행해져서 풍부한 디자인을

<표 1> 단순보구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이어그램	사 례	도 면 (사 진)
통직풀 웹보		건축명(위치): 라덴버그 스포츠홀(독일) 건축가: R. Mockler (Heilbronn). 건축개요: 31.00×45.0의 3구획, 톱라이트가 있는 체육관. 2개의 대형보가 단방향으로 걸쳐지는데 각각은 20×215cm의 집성재 2개가 60cm간격으로 결합. 장방향의 작은 보는 16×72cm로 15.4m.	
만곡경사 웹보		건축명(위치): 윌링포드(영국)유디아교회 건축가: T. Hancock(런던) 건축개요: 장방향 4개의 만곡집성재 구축. 만곡집성재는 동축이 높 서측 低, 큰보는 18×61~153cm, 22m를 넘는 길이. 낮은 쪽은 9.5m캔틸레버 돌출.	
현수 장형보		건축명(위치): 테네트특수학교(영국) 건축가: R. Halter(런던) 건축개요: 중앙에 다목적 홀, 3개의 치료동이 연결. 다목적 홀의 지붕은 스펀 12m와 20m의 현수장형구조.	
소부재조 립보		건축명(위치): Winkelmoosalm 광산교회 건축가: Weidemann(독일, 뮌헨) 건축개요: 중정을 지지하는 교회당에 구배30도의 지붕을 가진 교회. 지붕구조는 24cm×24cm의 단일부재에 의해 상하형재로 트러스를 구성. 인정사재는 상하형재를 관통, 철 판에 볼트로 고정.	
방사배치		건축명(위치): Gossau 스위스 교회센터 건축가: Bachtold, Baumgartner. 건축개요: 반경 15m 반원상의 교회홀. 반원주형 지붕으로 덮힘. 이 반원주는 방사보간 3각형평면 10면에 근사. 18×80cm의 방사보는 외측은 반원형의 중앙 벽에, 내측은 중심동 꼭대기에 지지.	
직각 격자보		건축명(위치): Twente, 오스트리아 기술대학 직원식당 건축가: J. Stigt. 건축개요: 중앙 엔트런스홀, 배선 카운터, 다이닝에어리어를 공유한다. 정방형의 평면그리드를 따라 61cm의 큰보는 간격 5.6m로 두방향으로 연장. 1방향의 보는 통과하고, 1방향의 보는 편접함.	
특수형상 격자보		건축명(위치): Wasserburg 스포츠 리크리에이션센터(독일) 건축가: P. Seifert(뮌헨) 건축개요: 3분할 된 29.5×45.5m의 체육관. 지붕구조는 보출을 가능한한 작게하고 균등한 그리드를 유도. 1방향 프레스레스를 도입하여 휨강성을 높은 격자형 구조시스템. 단방향 15m마다 30×220cm의 집성재를, 장방향은 매 9.8m마다 30×232cm의 집성재보를 사용.	
직각 격자보		건축명(위치): Kelheim 테니스클럽하우스(독일) 건축가: F. Rosenberg. 건축개요: 옥외의 테니스코트에 부속된 클럽하우스로, 강의 실, 레스토랑, 기타 제실로 구성. 코트에 면하여 120도로 열려져 2개의 위락. 평면형은 60도의 그리드로 계획.	

도출해 낼 수 있다. 또한 이같은 만곡집성재가 부분 겹침을 하여 지붕에 단차를 두고 그곳에 톱라이트나 환기구를 설치하여 디자인 요소로 활용될 수 있다.

3) 倒置(倒立) 혹은 懸垂張弦보

① 구조적특징

도치형 혹은 현수형의 장현보는 그 힘의 작용으로 볼 때, 단일의 플레브 보로부터 트리스보로의 전환과정에 위치한다. 도치장현 혹은 현수장현에 따라 지점간에 있는 중간지지단이 형성되고 이에 따라 보의 휨모멘트가 작아지게 된다. 보단면의 개략을 결정하기 때문에 연속보로 계산할 수 있다. 그러나 휨강성이 높은 연속보에서도 지지단에 통상의 축력이 생기고, 이에 따라 전단이 결정되는 경우도 많다.

② 지붕디자인의 특성

표에 나타난 사례와 같이 다양한 지붕구조를 할 수 있다. 원칙적으로 맞배지붕이나 합각지붕에 적당한 구조이나 이것들이 응용되거나 조합되어 더욱 다양한 지붕디자인을 구성할 수 있으며 지붕 경사의 변형이나 경사면 크기의 변형을 이용하여 다양한 디자인을 도출할 수 있다.

4) 방사배치단순보

① 구조적 특징

보의 방사배치에는 여러 가지 형식의 평면에 따라 다양한 형태가 있다. 지붕의 가지각색의 스펀과 단면에 대해서는 간격에 따라 대응이 가능하다.

② 지붕디자인의 특성

방사배치형태는 관람객을 많이 두는 공간기능에 적합한 구조디자인 타입이다. 공연장, 체육시설, 종교시설, 등 내부공간의 시각과 음향, 그리고 시계가 필수적으로 확보되어야 하는 공간기능에 적합하다. 지붕구성은 다양한 경사를 둘 수 있으며 실내의 천장은 집성재구조를 노출하여 자연미있는 구조노출의 실내마감을 할 수 있다.

5) 直角格子보

① 구조적특징

격자보는 주방향과 2차방향에 힌지접합시킨 단순보로 구성된다. 균등한 그리드에 있기도 하지만, 큰 보와 작은 보를 동일한 단면치수로 산정하면 내력부재의 구조형태는 어떤 방향도 같게 된다.

② 지붕디자인의 특성

합리적이고 단순한 지붕구조이다. 그리드 등을 이용한 모듈을 적용하기에 용이하고 규격화된 자재를 사용하여 공사기간 및 공사비를

절감할 수 있다. 사무소 건축, 공장 등에 자주 이용되나 그 밖의 기능들에도 다양하게 사용될 수 있다. 지붕은 단차를 두어 채광 및 환기를 할 수 있고, 수평적인 증개축이 용이하다.

6) 片支持보

① 구조적특징

편지지보는 강하게 고정된 보로써 정정구조이다. 단단한 지지모멘트는 한쌍의 힘으로 분산된 것으로, 지지부를 압축부재와 인장부재로 나누게 된다. 편지지 지붕구조에는 자중이, 바람에 의해 생기는 흡인력보다 작아지는 것으로 이런 부재는 압축, 인장의 양방에 견디는 부재로 하여야 한다. 단면설계에서 결정적인 것은 지지부에 걸리는 휨과 전단력 및 바람의 흡인력에 의한 편지지 자유단의 상하운동이다.

② 지붕디자인의 특성

편지지보구조는 말그대로 지붕의 하중을 한쪽에서 지지함으로써 다른 쪽의 시야를 확보하거나 개방된 작업공간을 제공하는 구조타입이다. 일반적으로 스타디움의 로얄박스같은 곳은 대개 이 구조를 채용한다. 최근에는 관람석에도 이같은 구조가 적용되고 있다. 지붕은 프레스레브, 절판구조, 막구조 등 다양하게 채용되고 있다.

3-2. 多支點連續보

1) 핀(Pin)接合보

핀구조의 장점은 자재나 구조물의 수축응력에 대해서 신축성있게 대응하는데 있다. 부재의 수평력 및 수직력에 대한 흡수는 건물의 변형을 예방하는데 매우 효과적이다. <표 2>

① 구조적특징

핀접합에 의한 다지점연속보는 복수의 베이를 통해 축조되면서 힌지접합을 도입한 보이다. 이 같은, 소위 전단력핀접합은 매어달기보(달대보)의 지지력만을 전달하고 휨모멘트는 전달하지 않는다. 따라서 이 핀접합부는 모멘트 영점이다. 핀접합의 배치에 따라 모멘트의 크기를, 대응하는 보의 춤과 길이에 적응시키게 된다. 핀접합의 총수는 지점의 수보다 2개 적게 한다면, 이 다지점연속보는 정정구조물이 된다. 단면설계에서 결정적인 것은 단순보나 편지지보의 경우와 동일하며 휨응력, 전단력, 만곡 및 전단력힌지접합의 상세설계가 된다.

② 지붕디자인의 특성

집성재와 같은 목조건축에 있어서 외부조건에 따른 자재의 신축성은 건물자체가 흡수하여야 함이 필수적이다. 다지점 연속보에서 핀

<표 2> 다지점보구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조도이그림	사 례	도 면 (사 진)
핀접합보		건축명(위치) : Paderborn 인쇄소. 건축가: Peter, C.v. Seidlein, Horst Fischer (뮌헨) 건축개요: 지붕피복면적 5000m ² 의 대규모공간으로 석자실, 인쇄실, 제본소와 부속실을 따라 방화벽으로 나눈 종이의 창고. 21.0×10.5m의 주격자의 장방향에 4베이를 건너는 큰보는 양단의 베이에 전단력핀접합.	
연속보		건축명(위치): München-Reim 마사. 건축가: 아트리에 Kleineichenhausen. 건축개요: 1972년 뮌헨올림픽용으로 48개의 개별 마방과 예비실을 가진 마사. 지붕의 구조는 단방향 14.8m와 17.0m의 주간을 지지하는 두 개의 11×84cm스팬보로 구성.	

접합은 수평적으로 매우 큰 건물에 적절한 간격으로 접합부가 건물의 변형을 보정해 줄 수 있는 방안이다. 이 구조에서 지붕 디자인은 수평이거나 경사이고, 비교적 강스팬이 연속되어 안정감과 단순성을 제공한다. 대규모 공장, 쇼핑센터, 창고 등에 유용하게 이용된다. (표 참조)

2) 連續보

① 구조적특징

대부분의 지지부에 걸치는 연속보는 부정정구조이다. 기둥과 베이를 걸치는 보의 휨강성 때문에 1베이 만큼의 하중에 의해서도 보전체의 변형이 생긴다. 전체의 베이에 지지부로 하중유도가 일어나는데 힌지접합 혹은 단순보에 따른 정정구조의 다지점보의 경우보다도 비틀림은 작아진다. 설계상의 결정적인 것은 휨응력과 전단응력이다. 휨하중과 전단하중의 분배는 각각의 기둥이나 단면의 크기에 좌우된다.

② 지붕디자인의 특성

편접접합보보다는 비교적 규모가 작은 건물에 많이 이용되나 기본적인 구조형식은 같다. 규모가 작은 것은 편접합을 할 필요가 없기 때문이다. 반면 다양한 지붕구조를 채용할 수 있고 전체 건물에서도 다양한 디자인(평면적, 입면적)을 도입할 수 있다. (표 2)

3-3. 힌지(Hinge) 구조

힌지구조의 장점은 회전력에 대한 신축성있는 대응이 가능하다는 점이다. 따라서 집성재와 같은 목조건축에서는 철골건축에서 처럼 매우 유용한 구조시스템이다.

1) 3힌지구조

(표 3) 힌지구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이아그램	사 례	도 면 (사 진)
3힌지 구조		건축명(위치): Villingen 승마용홀 건축가: U. Schnitzer. 건축개요: 20×40의 승마트랙을 가진 홀. 단방향으로 맞배 지붕을 이룬 스펠25m의 3힌 구조 11개. 14×80cm의 집성재의 짧은, 주각부에 라미나 수를 감소시켜 40cm로 축소. 철근콘크리트기초 위에 철물로 지지.	
타이빔부착 3힌지구조		건축명(위치): Lausanne 승마용 홀 건축가: F. Brugger(스위스, 로잔) 건축개요: 폭이 넓고 추너를 낮게하여 횡으로 긴 지붕구조로 승마홀, 마사와 주가를 합한 승마센터. 25.0m×75.0m의 승마홀은 이중보 부착 3힌지구조13개와 17.0m의 용마루를 지지하는 단일의 지붕구조에 의해 덮임. 보층은 30-60cm, 보간격은5.6m. 스펠은 33m.	
소부재 조립에 의한 3힌지구조		건축명(위치): Freiburg의 아이스스케이팅링크.(독일) 건축가: C. Langenbach(라트) 엔지니어: N. Kopp. 건축개요: 약 4500명의 관람석 겸 입석의 계단이 시설됨. 30.0×60.0m의 기존 지붕을 덮음. 큰 보는 단방향으로는 목재타이빔부착 트러스보로 6개, 내력시스템의 스펠은 42.0m, 간격 9.0m로 양측에 4.0m의 캔틸레버를 가짐.	
입체배치		건축명(위치): Reckinghamen교회 건축가: F. Gantef hrer, F. Hannes. 건축개요: 벽높이에 상응하는 양단핀지주로 지지하는 보 6개를 정점에서 뻗어 정육각형의 힌지구조입체지붕을 구성한다. 이 능선보는 17×100~150×2집 성채.	

① 구조적특징

3힌지구조는 정정구조이고 용마루에 힌지접합시키며, 지지부도 힌지가 되도록 통직으로 경사시킨 軸材 2개를 구성시킬 수도 있다. 축재의 구배에 따라 외부하중은 축재방향으로 유도된다. 이에 따라 수직하중은 비스듬한 지점력이 된다. 이 비스듬한 지점력의 수직성분은 수직하중에 대응하는데, 대응하는 수평성분은 축재의 구배에 좌우되고 완만한 구배의 방향이 급한 구배의 경우보다 크다. 단면설계에서 결정적인 것은 휨응력과 압축응력이 되지만, 가느다란 축재의 경우에는 좌굴안정성이 중요한 포인트가 된다.

② 지붕디자인의 특성

3힌지구조에 의한 지붕구조는 힌지의 위치에 따라 다양한 디자인이 나올 수 있다. 일반적인 지붕형태는 맞배형식으로 용마루에 힌지가 있거나 지지부에 힌지가 있는 경우가 대부분이다. (표 3)

2) 타이빔(Tie Beam) 부착3힌지

① 구조적특징

열림방지 타이빔 부착 3힌지 구조에 있어서는 수직하중에 대응하고, 지지부에 걸린 상호 역방향으로 작용하는 같은 크기의 수평성분은 목재 또는 철재의 타이빔에 의해 없어진다. 이 단면의 응력계산은, 타이빔 등의 3힌지구조의 경우와 같은 방법으로 된다.

축재(軸材)가 구부러지게 되어 있는 경우, 혹은 타이빔이 경사진 경우에는 3힌지구조의 특수형태가 생긴다. 설계상의 결정적인 것은 접합부, 혹은 구부림위치에서의 휨모멘트에 있다.

② 지붕디자인의 특성

(표 3)에서와 같이 타이빔부착 3힌지구조는 3힌지구조에 타이빔을 부가하여 좀더 안정된 구조를 이루는 것이다. 경우에 따라서는 컬러

빔(Collar Beam)을 사용하는 경우도 있다. 따라서 지붕형태는 더욱 안정감을 가지며 지붕형태도 다양해 질 수 있다. 소형 주택에서 대형 창고에 이르기 까지 다양하게 채용되고 있다.

3) 小部材組立3면지구조

① 구조적특징

소부재조립보를 쓰는 3면지 구조 내력의 성질과 상태는, 풀웨브보를 이용하는 3면지구조의 내력의 성질과 상태에 대응한다. 소부재조립보의 단면설계에 의해서는, 접합방법의 선택과 그 가능성이 결정적이 된다. 철사세공에서처럼 소부재조립보에서는 경량의 지붕구법이 가능하지만 풍압에 의해 지붕이 떠올라가는 것에 대한 안전대책에 주의하지 않으면 안된다.

② 지붕디자인의 특성

일반적인 트러스구조의 지붕형태를 가지나 구조적으로 힌지를 도입한 것이다. 따라서 트러스구조에 신축성이 가해지고 드리프트 핀 등을 이용할 경우 매우 경쾌한 천장을 구성할 수 있다. 지붕의 형태는 일반적인 트러스구조지붕에서 부터 대형, 혹은 다단의 트러스지붕디자인을 도출할 수 있다.¹⁴⁾

4) 立體配置

① 구조적특징

입체적으로 배치시킨 힌지구조는 평면적으로도 단면적으로도 다양하게 배치되고, 구조상 일정하게 걸린 棟의 공유하는 교차점을 지지하는 3면지구조로 구성된다. 하중의 전달은 그 위치적인 배치에도 불구하고 항상 대치되는 축재에 3면지구조를 구성시키는 것으로, 직선

적으로 된다. 각 축열방향에 작용하는 여러 가지 수평력은 각각의 기초에 의해 받아내든지, 기초를 타이빔으로 상호결구된 수평력을 균형되게 한다. 주위를 둘러싸는 인장링에 전체를 결합시키는 경우에는, 예를 들면 바람이나 눈에 의해, 편심하중이 인장링에 국소적으로 강하게 휨응력을 발생시키게 되니 주의하지 않으면 안된다.

보정점이 복수의 힌지구조일 때는 전체의 안전성이 보되도록 접합부를 계획하지 않으면 안된다.

② 지붕디자인의 특성

이 구조의 지붕 디자인은 매우 다양하다. 특기할 만한 것은 모든 지점 혹은 연결부위가 힌지구조로 되어 있다는 점이다. 각종의 모임지붕이 이 종류에 속한다. 이 모임지붕들은 깊숙한 천장공간을 확보하여 인공조명을 위한 천장공간의 스페이스나 음향처리를 위한 스페이스가 충분하다는 점이다. 따라서 전시공간, 종교시설, 관람객이 많이 모이는 실내경기장의 건축에 효율적이다.

3-4. 라멘(Rahmen)구조

1) 2면지라멘

① 구조적특징

2면지 라멘은 1차 부정정구조로, 다리부분을 핀지기로 하는 2개의 지주와, 이것에 철물로 결합시킨 보로 이루어진다. 라멘우각부의 휨강성이 크기 때문에 보부재에 생기는 모멘트가 지주에 전달된다. 이 때문에 수직하중에 의해서도 지주에 모멘트가 생기고 핀지기의 다리부에는 수평응력이 생긴다. 부재의 단면치수는 보 및 지주에 있어서 휨응력과, 라멘 우각부에 있어서 전단응력으로 결정한다. 부가하여 보와 지주에도 압축응력이 생기기 때문에 라멘전체의 안정성에 배려가 필요하다.

14) 우리나라에서의 사례는 커피숍 '매직헨즈'에서 볼 수 있다. (설계자: 유결) 줄고, 트러스가 아름다운 매직헨즈, 미국임산물협회 한국사무소, U.S. WOOD NEWS 1995. 7. p.9

〈표 4〉 라멘구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이어그램	사 례	도 면 (사 진)
2면지 구조		건축명(위치): München의 유아원. 건축가: J. Klaus 엔지니어: Natterer. 건축개요: 이 건물은 육아실이 있는 2개의 편지봉 부분과 그 사이의 부속실을 가진 연결부로 구성되었다. 2개의 편지봉의 내력구조는 스펠 6.0m의 2면지라멘이다. 간격 4.0m.	
3면지 구조		건축명(위치): Nordenham창고(영국) 건축가: Surveyer, Nenninger. 건축개요: 석면섬유제품의 원료를 저장하는 길이 390m의 창고. 큰보단면은 16×79-188cm. 각부와 정부의 편점함은 접합철물과 핀볼트. 벨트컨베이어를 지지로 보에는 높은 위치에 콜라빔(Collar Beam)이 네일 플렛과 핀볼트로 잡아줌.	
지주지지 혹은 중간 지주지지 라멘		건축명(위치): Rifferswil농장(스위스) 건축가: H. Heß. 건축개요: 편지봉은 23.0×18.8M로 단방향으로 5개의 라멘이 양단 힌지기둥에 걸쳐짐. 라멘은 낮은 쪽으로는 지반 면까지 내려오고 높은 쪽으로는 양단 핀인 기둥에 지지됨. 높은 쪽에는 2.2m의 캔틸레버가 있음.	
방사매치		건축명(위치): Willdegge교회(스위스) 건축가: J. Dahinden. (유리히) 건축개요: 지붕에 단을 두어 형태를 구성한 교회로 바람에 강하도록 구름지대에 위치. 기구는 변형방사상으로 1형단면 캠 포함판웨브의 라멘보. 하부지지부는 토대에, 상부지지부는 콘크리트 브리켓에 걸림.	

② 지붕디자인의 특성

일반적인 건축구조에서 가장 많은 일반적인 구조이다. 특히 콘크리트구조에서 가장 많이 사용되는 구조로 대개는 프렛스래브구조에 가장 많이 채용되고 있다. 그러나 집성재목구조에서는 기둥과 빔이 일체화된 - 그래서 라멘이 되는 - 구조로 이용되고 있다. 여기에서 힌지는 지반과의 지지부에 설치한다. <표 4>

2) 3힌지라멘

① 구조적특징

3힌지 라멘은 靜定安定構造이다. 하중의 전달에 의해 보와 지주에 휨응력과 압축응력이 생긴다. 라멘 隅角部의 휨강성을 높힘에 따라 보의 모멘트가 기둥에 전달되고 이것이 수평성분을 만들어 내기 때문에, 통직재의 판구조라면 주각에서는 경사진 지지반력이 걸리는 것으로 된다. 경사진 지지반력의 수평성분은 스펠에 대응하는 頂部의 높이에 비례한다. 스펠에 비례하여 이 정부가 높지 않다면 그만큼 수평성분은 작아진다. 2편 라멘과 비교한다면 보의 편접합위치에 모멘트가 제로로 되는 반면, 라멘 우각부에 휨모멘트가 최고로 된다. 부재단면 치수는 라멘 우각부에 있어서 휨응력과 전단응력, 또는 지주와 나란한 보의 압축강도에 의하여 결정된다.

실제상으로 결정되는 라멘 우각부의 모멘트는 주로 라멘의 형상에 의해 결정된다. 라멘의 형상을 棟部 힌지와 지지부를 연결하는 직선으로의 폭을 넓히면 넓힐수록 우각부 모멘트는 커지게 된다.

② 지붕디자인의 특성

2힌지 라멘과의 차이점은 용마루부분에 힌지가 하나 더 있다는 점이다. 따라서 지붕디자인은 크게 달라지지 않으나 구조적으로 신축성이 더 있고 보다 더 장스팬의 지붕구조를 구축할 수 있다는 점이다. 대형창고, 천장이 깊은 종교시설 등에 많이 이용된다. 가장 흔하게 볼 수 있는 집성재건축이다.

3) 支柱支持 혹은 中間支柱支持라멘

① 구조적특징

뿔라멘을 힌지접합의 지주에 지지하는 경우에는 지주에 의해 수평력도 전달되는 것으로 착안하지 않으면 안된다. 따라서 지반이 힌지 지지일때 지주는 경사를 주어 설치하지 않으면 안된다. 내력벽 혹은 무거운 구조의 부속지붕의 위에 지주를 세우는 경우도 같은 모양으로 한다면 가능하다. 많은 공간으로 분할된 홀의 구조시스템은, 지주 지지 반라멘의 연속형 혹은 힌지구조와 라멘의 혼합형식이 가능하다.

② 지붕디자인의 특성

집성재를 이용한 라멘지주가 빔과 결합하여 단일재가 됐을 경우 그 빔이 받는 하중이 과다하여 빔을 받쳐주는 기둥이 필요한 경우 지주 지지, 혹은 중간지주지라멘을 쓴다. 지붕형태는 스펠이 긴만큼 넓은 면의 지붕을 이루게 되고 용마루 부분에서 지붕각은 커진다.

4) 방사배치 라멘구조.

라멘 방사배치는 기본적으로 원형의 평면에 원중심이 구조의 중심이 되어 원주로 구조체가 뻗는 형식이지만, 원형이 아닌 다각형이나, 4각형, 혹은 삼각형의 평면형식도 가능하다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 일반적인 방사대칭형이 있고 상부에 타이빔을 설치하여 꽃봉오리모양의 디자인을 구현할 수도 있으며 가운데에 기둥을 두어 구조적 안정감을 확보할 수도 있다.

3-5. 아치(Arch)구조

아치구조에는 양단고정아치, 2힌지 아치, 3힌지 아치등이 기본형이고, 곡선을 직선으로 치환한 의사(擬似) 아치도 있다. 아치구조는 고래로부터 이용되어 온 구조형식의 하나이다. 이 구조는 대스팬을 가능하게 하는 효율적인 구조방식으로 돔이나 볼트구조로 개념확장하여 사용할 수 있다. 최근에는 트러스 아치가 매우 중요한 위치를 차지하며 집성재건축에서도 그 활용성이 높게 나타나고 있다.<표 5>

1) 2힌지 아치

① 구조적특징

2힌지 아치는 부정정구조로, 대칭적인 외부하중에 의해 주로 아치 방향의 압축응력을 발생시킨다. 비대칭적인 수평하중(바람, 편적설)은, 휨에 의한 하중전달을 발생시키고, 이 경우 변형 및 수평전단응력의 크기는 아치의 頂部높이 및 - 부정정지지이기 때문에 - 베이의 중앙에서의 휨강성에 의존한다. 단면설계에서 결정적인 것은 베이의 중앙에서의 휨모멘트 및 휨에 대한 강한 이음매의 상세부의 구성에 있다. 지지부의 이동이 고려되는 경우에는 부정정지지이기 때문에 2힌지 아치가 변형되고, 부가적으로 발생하는 휨응력을 고려하지 않으면 안된다.

② 지붕디자인의 특성

일반적인 아치구조의 지붕형태는 원호형이나 타원형 등 곡면을 이루는 것을 말하는 것이나, 경우에 따라서는 곡면을 직면화하여 수평 지붕을 지시토록하는 아치구조도 선보이고 있다. 2힌지 아치는 아치 구조물이 지반에 지지하는 지지부에 힌지를 둔 것이다.

<표 5> 아치구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이어그램	사 례	도 면 (사 진)
2힌지 아치 구조		건축명(위치): Nantes 다목적홀(프랑스) 건축가: Y. Liberge(낭뜨) 건축개요: 면적 50×110m의 홀은 한쪽에 긴방향으로 회의나 전시용 2층의 부속 공간들. 홀에는 높이 96cm의 2힌지 아치가 단방향으로 건너지르고, 부속 공간의 상부에는 역방향으로 연속됨.	
3힌지 아치 구조		건축명(위치): Turku스포츠포홀(핀란드) 건축가: M.u.M. Jaatinen(헬싱키) 건축개요: 체육관에는 3힌지집성재아치가 13개 가로지른다. 아치는 반경 65.5m 원형으로, 스펠은 85m, 간격은 3.5m이다. 아치 사이에는 단방향으로 형강에 의한 지붕 프레임이 있다.	

2) 3면지 아치

① 구조적특징

3면지 아치는 정정지구조시스템으로, 외부하중은 대부분 아치방향의 압축력으로써 전달된다. 지지력은 3면지 통직재 힌지구조, 라멘 내지는 2면지아치의 경우와 같은 모양으로 경사질 때, 수평분력은 3면지 아치의 頂部높이에 직접영향을 준다. 단면설계에 결정적인 것은 압축과 휨이 겹쳐 합쳐진 응력(편하중 혹은 수평하중에 따라), 혹은 아치방향에 대한 수직하중 좌굴이다. 평탄한 아치의 경우에는 아치 방향으로의 좌굴(면내좌굴)도 단면설계에서 중요하다.

② 지붕디자인의 특성

3면지 아치는 2면지 아치구조에 꼭지점 핀을 하나 추가한 것이다. 지붕디자인은 2면지 아치에서 같지만, 아치를 병렬해서 쓰는 경우도 있으며, 서로 교차해서 쓰거나 방사배치로 쓰기도 한다.

3-6. 格子보

1) 直角풀웹보(Full Web梁)

① 구조적특징

격자보는 평탄한 헬구조시스템으로, 90도, 60도, 혹은 45도 등의 각도로 교차하고 교차점 휨에 대응한 강한 연속보가 되거나 휨에 대응한다. 이 휨에 대한 강한 접합때문에 각교차점의 보는 고차원의 부정정구조물이 되고 하중은 2내지 3방향으로 유도된다. 이 경우 직접하중을 받는 보는 변형할 단계가 되고, 휨에 대한 강한 접합의 결과, 격자보 전체에 변형이 생겨, 이 강성과 스펠에 대응하는 하중이 유도된다.

② 지붕디자인의 특성

격자보에 의한 지붕형태는 대개는 프랫슬래브형태이다. 이 프랫슬래브는 수평선의 중첩된 효과를 낼 수 있도록 다단지붕 디자인을 만들 수 있다. 그래서 그 단차에 의해 내부공간에 채광을 도입하거나 환기구를 줄 수 있다. 일반적으로 단순보에서의 직각격자보구성과 유사한 지붕구조를 얻을 수 있다. <표 6>

2) 60도 풀 웹보(Full Web梁)

① 구조적특징

풀 단면의 격자보의 경우 보전체의 쉘은 휨응력을 발생시킨다. 휨력은 풀웹보에 전단응력을 발생시킨다. 단면설계에 대해서는 보접합부의 斷面흡수부위의 휨 혹은 전단응력이 결정적이 된다. 연속휨

계산이 종종 단면설계에 대하여 결정적이 되지만, 격자보에서는 일반적으로 고차원의 부정정구조이기 때문에 결정적인 것은 아니다.

② 지붕디자인의 특성

지붕디자인은 직각격자보와 같은 구성을 할 수 있으나 평면적으로 허니컴구성등이 가능하므로 평면에 따라 지붕디자인을 구성할 수 있다.

3) 小部材組立보

① 구조적특징

소부재조립격자보는 서로 교차하는 소부재조립보이므로 축재 혹은 접합부의 설계에 관해서 결정적인 것은 직각력에 있어서 휨모멘트와, 상현재 혹은 하현재의 인장력, 혹은 압축력에 분산된다. 횡력으로부터는 비스듬한 축재에 직각의 힘이 발생한다.

② 지붕디자인의 특성

트러스를 이용한 격자보는 트러스의 유용한 구조법에 따라 다양한 형태를 만들어낼 수 있다. 특히 다른 격자구조에서 볼 수 있는 바와 같이 지붕이 평스래브형식이 아닌 모임지붕형식이나 기타 다른 형태의 지붕디자인을 도출할 수 있다.

3-7. 折版구조

1) 평행절판구조

① 구조적특징

절판구조는 비스듬한 평탄한 면을 접합시키는 전단에 대하여 강하게 하는 것이다. 하중은, 단방향으로는 능선으로부터 끝까지, 그리고 장방향으로는 지지부로부터 지지부까지 휨응력으로 전달된다. 이 하중의 2방향전달 때문에 설계에 있어서 장방향정도로 되고 단방향의 휨응력도 결정된다.

소부재조립의 축재를 절판구조로 하는 경우는, 접합부의 가능성도 고려되는 것이 좋다.

② 지붕디자인의 특성

절판구조의 지붕특성은 톱날형의 지붕디자인을 할 수 있는 것이다. 이 절판구조 지붕은 절판형식이 작은 부재로 강한 구조체를 이룰 수 있다는 점에 착안되어 만들어진 지붕타입이다. 또 부분절판구조를 이용하면 다양한 지붕디자인을 이끌어 낼 수도 있다. 더욱이 절판된 지붕면의 일부에 채광을 도입할 수 있는 투명재료를 사용하거나 막 구조를 도입하면 실내공간에 많은 빛을 도입할 수 있고 지붕구조프

<표 6> 격자구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이어그램	사 례	도 면 (사 진)	
직각풀웹보구조		건축명(위치): Garching뮌헨공과대학건축관리건물(독일) 건축가: 뮌헨공과대학건축관리국 엔지니어: J.Natterer 건축개요: 대학건축국의 2층건물로 관리사무소, 1층은 개실이고 2층은 큰 사무실공간. 1층은 철근 conc.로 2층은 7.2 x 7.2m그리드, 강재 십자기둥위에 콘크 배치. 이 정방형 베이는 2개의 보가 교차하여 무거운 헬상의 격자보임.		
60도 풀웹보 구조		건축명(위치): Münster전천후동물원(독) 건축가: Koester, Bahke, Ostendorf. 건축개요: 정삼각형의 면적 5750m²의 격자보지붕. 채광과 여러가지 높이의 동물사에 적합하도록 지붕면은 4가지의 계단을 돌. 절점간격은 5m의 격자상의 보와 기둥의 배치와 기둥간격은 6-2m으로 하여 공간을 자유롭게 함. 캔틸레버는 5m이내.		

레이를 노출시켜 경쾌한 내부공간을 이룰 수 있다. 이 같은 절판구조에는 1절판, 2절판, 3절판, 다절판 시스템 등 다양한 구조가 있으며 각통형, 각추형 절판구조도 있다.

2) 방사절판구조

방사형 절판구조는 보다 더 다양한 지붕형태를 창안할 수 있다. 그 종류로는 절판 라멘, 절판 아치, 그밖에 다각형 절판구조의 지붕을 만들 수 있다. <표 7>

3-8. 기타구조

1) 圓筒셀

① 구조 지붕디자인의 특징

원통셀은 단면으로 끊어 본다면 원형아치, 포물선, 타원등으로 볼 수 있다. 원통셀의 단면설계에 있어서 결정적인 것은 셀의 형상에 있다. 장방형 셀은 床보의 유추로 설계할 수 있지만, 단형 셀은 異方性 휨셀의 이론에 따라 정확한 설계를 해야 한다. 하중의 전달은 장방형 셀에서는 주로 셀의 긴방향의 휨강성에 의해 되지만, 단형 셀에서는 셀의 장방향, 단방향 양쪽의 휨강성에 따라 이루어진다. 따라서 셀의 단면설계는 장방향, 혹은 단방향에 필요한 휨강성에 따라 행해진다. 더구나 셀은 지지영역에 있어서 판붙임에 따라 전단에 대해 충분히 강하고 단방향에 있어서도 내력면제 혹은 타이빔 부착 또는 아치로 보강해야 한다.

2) 지오데식(Geodesic) 돔

① 구조적특징

하중은 압축 혹은 인장력으로서 방사상 혹은 접선방향에 전달된다. 부재설계에서 결정적인 것은 축재의 압축 혹은 인장력에 있다. 그밖에 면재의배부르기 혹은 면외의 충격력에 대한 안전성은, 충분히 뭉쳐진 형태의 강성 혹은 휨에 대한 강성을 확보하는데 있다.

② 지붕디자인의 특성

지오데식 돔은 수개 혹은 수십개의 면을 가진 구형의 지붕디자인을 만들어 낼 수 있다. 이것은 구면 분할 시스템에 의해 구성할 수 있으며 지붕을 구성하는 집성재는 소부재를 이용할 수 있다.

3) 圓錐셀(콜로이드 셀)

① 구조적특징

원추셀은 평행면상에 있는 2개의 상이한 곡선을 연결하는 직선군이 형성하는 규칙적인 면의 형태이다. 이 기본을 이루는 곡선은, 방사

선, 포물선, 원, 타원, 혹은 한방향 직선도 있다. 원추셀은 복측고창 채광이 필요한 홀의 지붕에 적당하다. 하중의 전달은, 받아내는 法線力에 비스듬하게 뺀 판붙임층을 따라 2방향으로 분할한다. 셀표면의 법선력은, 가장자리보에 의해 받아지고 지지부로 전달된다. 아치상의 가장자리보를 타이빔 부착 아치 또는 아치형 소부재조립보로 만든다면, 수평지지력은 생기지 않는다.

② 지붕디자인의 특성

이 구조의 지붕형태는 원추곡면을 이용한 지붕구성으로 원통형에서 한층 발전된 형태이다. 원추셀 지붕은 단일원추셀지붕과 이것이 여러개 모여 이루는 멀티형 원추셀이 있다. 또한 몇 개의 원추셀이 각기 다른 방향으로 결합하여 다양한 지붕디자인을 연출할 수 있다. (조개껍질형 지붕)

4) 쌍곡셀(HP셀)

① 구조적특징

쌍곡셀은 2개의 서로 교차하는 직선을 기본으로 한 셀로, 안장형의 규칙적인 형상을 가지고, 凹면과 凸면의 2개의 拋物線의 竝進曲面이 된다. 하중은, 高頂點으로 부터 고정점, 내지는 低頂點으로 부터 저정점에 뺀 판붙임층의 인장내지는 압축응력으로 가장자리보에 전달된다. 가장자리보에 있어서는 힘은 대개 지지부에 대한 직각의 힘으로 유도된다. 가장자리보의 수평성분은 타이빔에 의해 균형을 얻든지, 혹은 고내력의 지지부에 의해 받아들인다.

설계상 결정적인 것은 판붙임층 혹은 가장자리보에 직각인 힘이 되든가, 또는 편심하중에 의한 셀가장자리부의 전단 혹은 휨응력이 된다.

② 지붕디자인의 특성

쌍곡셀의 일반적인 구조는 말안장형이나 새가 날의 모양의 지붕구조로 요약된다. 이 기본형을 이용하여 다양한 디자인을 창안할 수 있는데 파빌리온, 야외음악당 스테이지, 퍼골라 등 비교적 소형건축물이나 각종의 구조물에 이용된다.

5) 캔틸레버셀

① 구조 및 지붕디자인의 특징

셀부재의 단면설계에 있어서 휨응력이 결정적인 요소가 되는 경우에는 힘에 대한 강성이 높은 리브셀이 채용된다. 이것은 1 내지 2개의 셀리브로 되고, 그 리브 위의 전단에 강하게 뭏고정시킨 판붙임층을 1층 내지 그 이상으로 설치한다. 이 경우 하중의 전달은 판붙임층

<표 7> 절판구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이아그램	사 례	도 면 (사 진)
평행절판 구조		건축명(위치): Würzburg소평센터.(독) 건축가: Schönewolf(가이젠도르페르) 엔지니어: Natterer 건축개요: 이 소평센터는 Würzburg의 신주택지의 중심에 있다. 스펠 12.5m 내지 16.5m의 절판구조지붕. 절판구조는 36.5m x 36.5m의 목재기둥에 지지.	
방사절판 구조		건축명(위치): Montreal야외음악당. 건축가: Carmen Corneil(토론토) 건축개요: 야외 오케스트라의 지붕과 음향반사판을 결합 조개껍질형 절판구조. 커트 유리의 표면은 관중에게나 배우에게 음이 양호하게 들리도록 만들어졌다.	

과 리브의 인장, 압축 혹은 전단강성에 의해서만 이루어지고, 리브셀 단면의 휨강성에 의해서도 이루어진다. 휨강성이 높은 리브의 배치에 의하여 순수한 막의 형태로 부터 벗어나서 돔이나 회전체, 안장형 이상의 자유로운 형태가 가능하다. 리브셀의 단면설계는, 스펀, 형태 혹은 부가하중에 의존한다. 구조안전성은 리브셀의 휨강성을 크게 하여 높이고, 큰 스펀의 경우에는 프레스트레스에 의해 높인다.

파빌리온이나 야외구조물에 많이 이용되는 날은 새날개모양의 지붕디자인을 구축할 수 있다. <표 8>

4. 결론

본 연구는 오늘날 세계적으로 크게 발전하고 있는 신목조건축중에 집성재건축을 중심으로 그 지붕디자인을 구조디자인적으로 분석하여 구조유형별로 도출하였다. 이를 위해 2절에서는 집성재건축의 특성을 집성재의 역사, 집성재의 종류, 집성재의 제작, 집성재의 단면과 형태, 내화와 연소의 문제로 고찰하였고, 3장에서는 집성재 건축의 지붕구조를 구조형식별로 분류하여 지붕디자인을 도출하였다. 결론적으로 집성재건축의 지붕디자인은 1)단순보구조, 2)다지점보구조,

3)힌지구조, 4)라멘구조, 5)아치구조, 6)격자구조, 7)기타구조로 크게 분류하였으며, 단순보구조에는 세부적으로 ① 통직 폴웨브보, ② 만곡 혹은 경사폴웨브보, ③ 도치 혹은 현수장현보구조, ④ 방사 배치단순보구조, ⑤ 직각격자보구조, ⑥ 편지지보구조, 기타 소부재 조립(틀스)보구조, 특수형격자보구조, 60도 격자보구조 등이 있음을 밝혔다. 또한 다지점보구조에는 ① 힌지접합보구조, ② 연속보구조, 등이 있고, 힌지구조에는 ③ 힌지구조, ② 타이빔 부착3힌지구조, ③ 소부재조립3힌지구조, ④ 입체배치구조 등이 있으며, 라멘구조에는 ① 2힌지라멘구조, ② 3힌지라멘구조, ③ 지주지지 혹은 중간지주지 지라멘구조, ④ 방사배치구조 등이 있다. 또한 전통적으로 많이 사용되어 온 아치구조방식에는 ① 2힌지아치, ② 3힌지아치구조 등이 있고 격자구조에는 ① 직각폴웨브보, ② 60도 폴 웨브보, ③ 소부재 조립보 등이 있다. 기타구조로 분류되는 구조방식에는 ① 절판구조, ② 원통셸구조, 지오데식돔구조방식, ③ 원추셸구조, ④ 쌍곡셸구조, ⑤ 캔틸레버 셸구조 등이 있으며 여기에 속하는 것들중에는 방사절판구조, 링돔구조, 돔구조, 달대셸구조 등도 포함된다.

이들 구조형식은 오늘날 세계적으로 발전하고 있는 집성재목재에 의해서 지어지는 다양한 목조지붕구조형식으로 목재를 통한 목조지

<표 8> 기타구조의 구조디자인 및 사례

구분	구조다이아그램	사 례	도 면 (사 진)
원통 셸구조		건축명(위치): Bozeman스포츠홀(미국) 건축가: O. Berg, F.F. willson. 건축개요: 1만2500명의 관객을 수용할 수 있는 대학의 스포츠홀. 직경 91.5m의 강재압축 링상에 설치한 반경 75m의 구형지붕.	
지오데식 돔구조		건축명(위치): Mannheim다목적홀(독일) 건축가: C. Mutschler(프라이 오토의 동료, 만하임) 엔지니어: Ove Arup건축개요: 지붕으로 덮인 면적은 4700m스팬 최대 60m의 인체적으로 만곡시킨 축재내려격자구조의 셸상의 리브격자. 리브재는 5×5cm재를 2-4겹으로 겹친 것.	
원추셸 (폴로이드 셸)		건축명(위치): Manchester역사. (영국) 건축가: 철도건축국(런던) 건축개요: 창구, 대합실, 예비공간을 가지고, 양측을 플랫폼이 있는 역사 홀. 지붕은 집성재의 프레임으로 지지된 원추곡면형의 셸3매로 덮인다. 양측면은 플랫폼을 덮는 원통형 셸의 캔틸레버. 원추곡면 셸의 스펀은 17.6-29.3m.	
쌍곡 셸 (HP 셸)		건축명(위치): Honolulu호텔로비동(미국) 건축가: J. Wimberly, H. Cook, G. Whisenand(호놀룰루) 건축개요: 호텔의 로비동. 셸은 입면으로 보면 쌍곡포물면으로 말안정형이다.	
캔틸레버 셸		건축명(위치): Rosenheim 리브셸구조(독일) 건축가: Oebwein(로젠하임) 건축개요: 1번 18.0m의 캔틸레버 쌍곡포물면의 리브 셸 구법.	
달대셸		건축명(위치): Doltmund달대 셸. 건축가: Behnisch(뮌헨) 엔지니어: Natterer. 건축개요: 1969년 돌트문트 정원박물관의 파빌리온. 다이아몬드형 평면을 지지하는 달대셸. 최고부와 최저부를 연결하는 선은 총 2×18cm, 폭 1.8m의 집성재에 의한 2축방향의 만곡된 가장자리 보이다. 최고부의 지지는 +자형의 기둥과 2개 내지 1개의 PS강재로 된다.	

붕구조디자인을 구현하고 있다.

참고문헌

1. Karl-Heinz Götz, Dieter Hoor, Karl Möhler, Julius Natterer. Holzbau Atlas. Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München. 1980. 일역 판 도해목조건축. 번역, 감수 일본목조건축연구포럼.
2. Julius Natterer, Thomas Herzog, Michael Volz. Holzbau Atlas Zwei. Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München. 1991.
3. Götz Gutdeutsch(Trans. into Engl. by Philip Lupton). Building in Wood Construction and Details. Basel, Switzerland. 1996.
4. Klaus Zwerger. Wood and Wood Joints - Building Traditions of Europe and Japan. Birkhäuser. 1997 Birkhäuser - Verlag Für Architektur, P.O.Box133, CH - 4010 Basel, Switzerland.
5. 金鴻式, 사카모토 이사오(坂本功) 외 저. 문화환경보전과 건축. 도서출판 발언. 서울. 1993.
6. (財)日本住宅・木材技術センター. 大スパン木構造の令. 1992.
7. 村松貞次郎. 日本近代建築技術史. 彰國社. 東京. 1976.
8. Hans Straub. 藤本一郎 譯. 建設技術史. 鹿島出版會. 1976.
9. 吉村雅夫 外. 建築資料研究社. 木造3階建共同住宅-集成材による軸組構法. 建築資料研究社. 東京. 1993.
10. 建築の構造デザイン. [建築文化]. 彰國社. 東京. 1990. 11.
11. 木構造建築の現在. [SD] 8701. 鹿島出版會. 東京.
12. 續・木構造建築の現在. [SD] 8901. 鹿島出版會. 東京.
13. 木の空間. [新建築(1992. 12月臨時増刊)]. 新建築社. 1992. 12.
14. 李承勳. 木造混構造における技術・空間の考察. 筑波大學 修士論文. 1996.
15. 林采震. 現代木造建築小考. [建築]. 大韓建築學會誌. 1992. 7.
16. 拙稿. 新木造建築의 空間과 技術. 월간 [建築과 環境]. 1993. 5. - 1993. 9. 1993. 11.
17. 拙稿. 環境問題로서 建築과 建築問題로서 環境. 월간 [環境運動] 1994. 1.
18. 拙稿. 새로운 목조의 세계. 월간 [이상건축]. 1994. 04.
19. 拙稿. 새로운 목조주택건축과 신기술. 월간 [플러스]. 1994. 05. - 1995. 02.
20. 拙稿. 목조건축의 현황과 전망. [건축저널]. 1997. 7. 15.

〈집수 : 1997. 11. 6〉