

탄소섬유판 삽입공법으로 보강된 목재보 휨강도에 관한 연구

A Study on the Flexural Capacity of Reinforced Timber Beams with the Inserting Method of CFRP Plates

권기혁* · 유혜란** · 이진혁*** · 최민석****

Kwon, Ki Hyuk · Yu, Hye Ran · Lee, Jin Hyuk · Choi, Min Seok

Abstract

When historical or cultural buildings need to be repaired or reinforced, the changes of original features should be minimized, and the strengths of structures should be improved. Among the existing methods to reinforce historical wood structures, the carbon fiber reinforcement polymer (CFRP) installation method is one of the best ones to achieve the afore-mentioned requirements. Therefore, this study aims at investigating the reinforcing effects and failure modes of timber beams reinforced with the inserted CFRP, a part of roof trusses in modern wood structures, and at providing the fundamental test data to estimate the CFRP reinforced timber beam in the application of this reinforcing method. The primary parameters in this study were the layout and amount of CFRP. It was observed that, when 0.3~0.7% of CFRP were installed, the strengths of reinforced timber beams increased up to 173% compared to its original strength, but their strengthening effects were heavily influenced by the characteristics of timber such as burls. In order to improve the applicability of this strengthening method, fundamental understandings on the characteristics of wood would be necessary, and there would be in need of researches on the non-destructive test for wood structures as well.

Key words : Modern Architecture, Timber Beam, CFRP, Reinforcement, Inserting Method

요 지

문화재의 보수보강은 모재 및 외형의 손상을 최소화 하면서 부재의 강도를 증가시킬 수 있어야 한다. 목조 문화재에서 보부재에 대한 기존의 여러 보강법 중 CFRP 삽입공법은 모재의 손상을 최소화하면서 원목재의 강도를 효과적으로 증가시킬 수 있어 향후 근대건축물의 보수보강 공사에 적용성이 높은 방법이 될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 근대건축물의 지붕구조체를 보존하기 위한 보부재의 보강방법 중 부재의 외연적 손상을 최소화할 수 있는 탄소판 삽입공법을 목재보에 적용하여 보강효과와 파괴 성상 등을 실험을 통해 조사, 분석하고 이 보강법의 실제 적용을 위해 보의 휨응력 산정을 위한 기초적 자료를 제시하였다. 본 실험에서는 CFRP의 배열형태와 보강량을 주요변수로 하였으며, 0.3~0.7%의 CFRP보강량을 사용하였을 경우 원목재의 강도에 비해 최대 173%까지 보강효과를 발휘하는 것으로 나타났으나, 웅이 등 모재의 특성에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다. 향후 이 공법의 적용성을 높이기 위해 목재에 대한 기초적 연구들이 활성화되어야 할 것이며, 목재의 비파괴 실험에 관한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 근대 건축물, 목재보, CFRP, 보강, 삽입방법

1. 서 론

건축물은 그 시대의 문화를 반영하며 국가문화의 질을 가늠하는 척도가 되기도 한다. 건축물은 건설되는 당대에는 경제적 가치와 미적 가치를 중요시하게 되지만 존치기간의 증대로 그들에게 문화적·역사적 가치라는 새로운 생명을 부여하게 된다.^{1,2}

모든 문명국가들은 이러한 역사성과 문화적 가치를 가진

건축물을 국가제도 안에서 보호하기 위해 건축물 보호법을 제정·시행하고 있다. 우리나라는 1962년 문화재관리법을 제정하여 우리나라의 역사·사회·문화의 대표적 산물이 되는 주요 건축물들을 국보 또는 사적 등으로 지정하여 보존하고 있다. 또한 개화기 이후 시공된 근대 건축물은 문화재로 지정된 일부 건축물들을 제외하고 2001년 제정된 등록문화재 보존관련법³에 의해 국가에서 간접적인 방법으로 지원하고 있다. 이들 근대 건축물들은 국가지정 문화재와는 달리 대부분

*정회원 · 서울시립대학교 건축학부 · 건축공학전공 부교수 (E-mail: khkwan@uos.ac.kr)

**서울시립대학교 건축학부 건축공학과 박사과정

***서울시립대학교 건축학부 건축공학과 연구생

****서울시립대학교 건축학부 건축공학과 연구생

시대적 변화에 순응하며 각 용도에 타당하게 사용되고 있어 보존에 어려움이 있다.

등록문화재인 근대건축물들의 구조적 구성비는 석조를 포함한 조적 구조가 70% 내외를 차지하고 있으며, 적벽돌 조적 구조가 대부분을 차지한다.³ 근대 적벽돌 구조의 특징은 조적 또는 콘크리트 기초 위에 1.5B~2.0B(20~40cm) 정도의 벽체가 바닥이나 지붕 하중을 지탱하는 벽식 구조이며, 장벽인 경우 조적기둥을 설치한다. 바닥 또는 지붕은 콘크리트를 사용하는 경우가 극히 드물고, 목재를 사용하여 시공된다. 지붕은 전통적인 목재 트러스를 만들기도 하지만, 적절한 박공틀을 만들어 보 위에 얹는 방식이 자주 사용된다. 목재는 적벽돌에 비해 내구연한이 짧으며, 부식 등에 약해 존치기간의 증가에 따른 구조성능 저하가 크게 나타날 뿐만 아니라, 건축물의 기능적·환경적 요구수준의 상승은 지붕구조체에 추가적인 하중 부담을 요구하게 된다. 최근 보수공사를 위해 안전진단이 수행된 중명전, 구 배재학당 동관의 경우처럼 목재보의 이러한 구조성능 저하와 부담하중의 증가는 기존 부재의 재사용 또는 교체에 상관없이 이 부재들을 휨에 대해 보강해야 할 필요성이 대두되고 있다.⁸ 보 부재의 보강방식은 철근콘크리트나 철골부재에 대해서는 다양한 방식들이 제안·시공되고 있어 목재보에도 이를 준용해 철판 감싸기, 섬유부착 공법 등이 적용될 수 있다.

그러나, 이런 방식은 보부재의 외형적 변화, 단면 증가 등을 일으키므로 문화재 보수의 기본 원칙인 '진정성의 보존'에 크게 위배되어 등록문화재의 보강에는 적용할 수 없다. 등록문화재 건축물의 지붕을 구성하는 목재 보에 적용될 수 있는 보강방안은 보 부재의 외연적 왜곡을 최소화할 수 있으며 안정된 보강성능을 확보할 수 있는 방식이어야 한다.

본 연구는 현재 보존 현장에서 요구되어지는 시급성을 고려하여 시공법의 제안보다는 기존의 보 보강법 중 부재의 외연적 손상을 최소화하는 방식으로 판단되는 탄소판 삽입공법을 목재보에 적용하여 보강효과와 파괴 성상 등을 실험을 통해 조사·분석하고 이 보강법의 실제 적용을 위해 보의 휨응력 산정을 위한 기초적 자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 목재보의 설계허용 휨응력 산정

2.1 목재의 허용 응력

목재의 허용 응력은 침엽수에 대한 건축구조 설계기준(KBC-2005)에서는 육안등급 구조재기준과 기계등급 구조재기준으로 구별하여 제시하고 있다. 침엽수 중에서도 등록문화재에 사용된 목재는 대부분 육송이므로 육송에 관련된 기준 허용 응력을 정리하여 표1에 나타내었다. 등급판단을 위한 구

표 1. 국내 육송 등급별 강도기준(참고문헌1)

| 구분 | 휨강도(MPa) | 인장강도(MPa) | 압축강도(MPa) |
|-----|----------|-----------|-----------|
| 1등급 | 7.5 | 5.0 | 7.5 |
| 2등급 | 6.0 | 3.5 | 4.5 |
| 3등급 | 3.5 | 2.0 | 3.0 |

체적 내용은 KS F 3020에 제시되어 있다.

그러나, 목재의 특성상 산지, 입지, 채취부위 및 건조상태에 따라 크게 영향을 받으므로, 동일등급·동일산지 목재라고 부재응력이 같다고 할 수는 없다.⁵

목재의 응력을 산정하기 위한 실험은 KS F 2206에 따른 표준압축강도 실험이 있으며, 기존 부재의 압축강도를 추정하는 비파괴시험법으로는 피로딘 목재 테스터(Pilodyn Wood Tester, 일명 목재 슈미트해머)를 이용하는 방법이 있다.

2.2 표준압축강도 실험

표준압축강도 실험은 KS F 2206을 기준으로 하여 수행한다. 목재의 압축 시험 방법은 시험편의 섬유방향에 압축하중이 평행하게 작용하는 섬유평행방향 압축, 시험편의 섬유방향에 압축하중이 수직으로 작용하는 섬유직각방향 압축과 시험편의 섬유방향에 수직으로 시험편 길이의 일부분에만 압축하중이 작용하는 부분압축으로 나눌 수 있다. 목재의 강도는 섬유방향에 대한 가력방향의 각도에 따라 현저한 차를 나타내며, 압축강도는 섬유방향에 평행(0°)으로 가력하면 최대값, 수직(90°)으로 가력하면 최소값이 된다. 시험편은 섬유방향과 직각방향으로, 각각 2cm×2cm의 정사각형 횡단면을 갖는 길이 6cm의 직육면체 형태로 3개 1조로 제작한다. 시험체의 형상은 그림 1과 같다.

시험은 하중 블록 사이에 시험편의 횡단면이 상하로 향하도록 위치시키고, 시험편이 1.5~2분 이내에 파괴되도록 균일한 속도로 압축 하중을 가하여 시험을 실시하며, 시험편의 최대 하중으로부터 식 (1)에 의하여 압축 강도(σ_{max})를 계산한다.

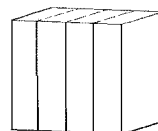
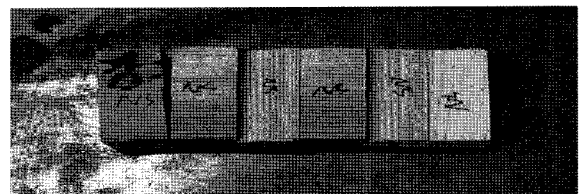
$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} (MPa) \quad (1)$$

단, P_{max} : 최대하중(N)

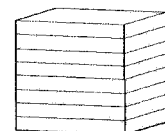
A: 단면적(mm²)

2.3 비파괴 시험

표준압축강도 실험은 목재로 절단하여 시험체를 만들고 압축파괴하여 강도를 측정하는 방식이어서 현재 지붕틀에 사용되고 있는 목재의 강도 측정에는 적용될 수 없다. 따라서 비파괴방식으로 목재의 강도를 추정할 수 있는 방식이 필요하



(a) 섬유평행방향



(b) 섬유직각방향

그림 1. 표준압축강도 시험체의 형상

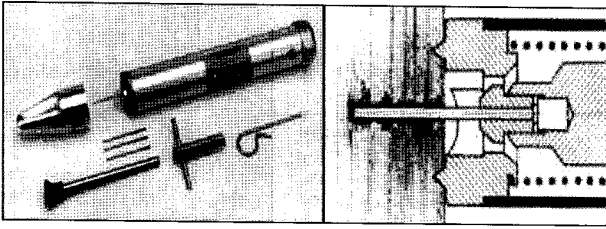


그림 2. 피로딘 목재 테스터기

여 북미, 유럽지역에서 주로 사용되고 있는 피로딘 목재 테스터기에 의한 강도측정법을 적용하고자 한다.

피로딘 목재 테스터기는 독일 Proceq사에서 제작된 것을 사용하고, 테스터기의 형태와 사양은 그림2에 나타내었다.¹³

피로딘 테스터기는 스프링 압력에 의해 목재에 관입되는 핀의 깊이가 목재밀도(비중)와 강한 역관계가 있으며, 밀도의 증가는 압축강도를 높이는 연관성을 가지고 있는 기존 연구 결과에 근거하고 있다. 핀 관입 깊이를 측정하여 목재의 압축 강도를 추정하는 비파괴 시험법으로 목재 슈미트 해머로 불리는 피로딘 테스터법이 있다. 국내에서는 이 시험법에 대한 연구가 없어 기존에 제안된 피로딘 테스터기의 강도 추정식은 없다.¹¹

그림 3의 식은 캐나다 연구자에 의해 제안된 것으로 국내 육송을 대상으로 하지 않았고 함수율이 높은 생목에 적용한 결과로 본 연구에 적용은 어려우나, 밀도와 관입 깊이 사이의 상관성을 확인할 수는 있다.

본 연구에서 압축 강도 추정식은 실험에 사용되는 목재와 추가 목재를 사용하여 표준압축시험과 비파괴시험을 수행하고 이 값을 회귀분석하여 추정식을 설정한다.

2.4 설계 허용 휨 응력 산정

목재의 기준 허용 응력은 목재의 등급에 따라 휨, 인장, 압축, 탄성계수를 정한다. 표준압축강도 실험과 비파괴 실험을 통해 압축 응력을 산정하고 안전율을 곱하여 허용압축응력을 구하면 목재 등급에 따른 기준 허용 휨 응력을 구할 수 있다. 이렇게 구한 기준 허용 휨 응력은 목재만이 갖는 특성인 사용환경과 조건에 따라서 변화되는 성질을 설계에 고려하도록 KBC 2005는 규정하고 있다.

설계허용응력을 산정하기 위해 기준 허용응력에 적용되는

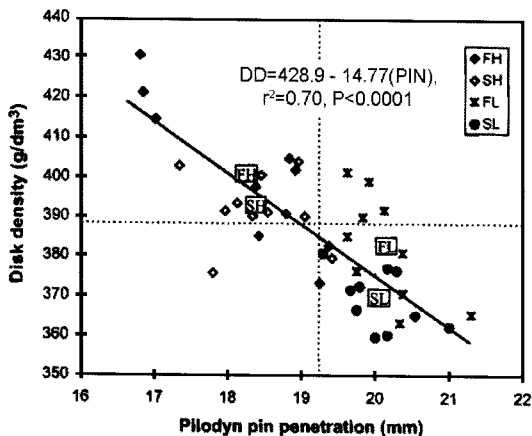


그림 3. 피로딘 목재 테스터기 제안식

보정 계수는 KBC표 0802.1.4.1에 정리되어 있고, 설계 허용 휨응력의 산정에 적용되는 11개의 계수 중 일반적인 목재보에 설계 허용 휨 응력 식에 적용되지는 계수는 다음 식 (2)와 같다.

$$F_b' = F_b(C_D)(C_M)(C_i)(C_L)(C_F)(C_r)(C_i) \quad (2)$$

여기서, F_b' : 설계허용휨응력 F_b : 기준허용휨응력
 C_D : 하중계수 C_M : 습윤계수
 C_i : 온도계수 C_L : 보안정계수
 C_F : 치수계수 C_r : 보안정계수
 C_i : 인사이장계수

3. 실험계획

3.1 표준시험체 선정

보강효과를 검증하기 위한 시험체는 1916년 3월에 준공된 우리나라 최초의 서양식 교육시설 건축물로서 현재 기념관으로 사용하기 위해 보수공사 중인 구 배재학당 동관의 지붕틀 하부 보를 표준 시험체로 선정하여 시험체를 계획하였다. 그림 4는 구 배재학당 동관의 지붕 평면도이고 점선으로 표시된 부재가 표준 시험체이다. 따라서 시험체의 크기는 폭 55mm, 높이 150mm, 길이 3,000mm가 되고 목재는 국내산 육송으로 한다.

3.2 시험체 계획

시험체는 구 배재학당 동관측의 협조로 구한 동관에 사용

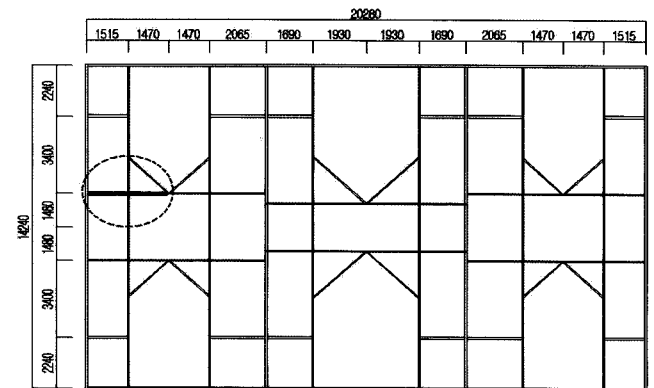


그림 4. 구 배재학당 동관 지붕평면도

표 2. 시험체의 개요

| 명칭 | 치수 (폭×높이×길이) | 보강여부 | 보강방법 | 보강섬유량 (mm ²) |
|-----|-----------------|------|----------|-----------------------------|
| OS | 55×150×3000 | 무 | 없음 | 0 |
| OR1 | 55×150×3000 | 유 | 상/하 각 1개 | 28 |
| ORW | 55×150×3000 | 유 | W | 56 |
| NS | 55×150×3000 | 무 | 없음 | 0 |
| NR1 | 55×150×3000 | 유 | 상/하 각 1개 | 28 |
| NRW | 55×150×3000 | 유 | W | 56 |
| NRV | 55×150×3000 | 유 | V | 56 |
| NRP | 55×150×3000 | 유 | P | 56 |

O-구부재(배재동관 사용), N-신부재(새로 구입) 단위:mm

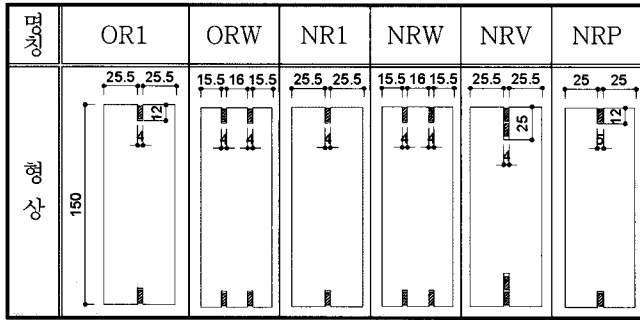


그림 5. 보강시험체의 단면형상

된 기본 보 3개와 신목재 5개 총 8개를 제작하였다. 표 2와 그림 5는 시험체의 치수 보강방법 등을 설명한 것이다.

목재를 구조재로 쓰기 위해서는 결함이 없는 목재를 충분히 건조시켜 사용하여야 하나 국내산 육송은 일반적 결점인 웅이가 없는 상태의 목재를 구하기 어려운 상황이다. 구 배재학당 동관, 용산 신학교, 증명전, 명동성당 등 근년에 보수되거나 보수된 문화재들의 지붕들에 사용된 목재들 또한 웅이가 상당수 분포되어 있는 것으로 나타나고 있다. 배재 동관에서 얻은 3개의 보에서도 가력구간(최대 휨 모멘트 구간) 내에서 평균 2.7개의 웅이가 발견되었다. 따라서, 새로 제작되는 신부재의 보 역시 가력구간 내에 웅이가 존재하는 목재를 사용하였다. 그러나 NR1은 견실한 목재를 보강하였을 시 얻을 수 있는 최대치를 평가하기 위해 웅이가 없는 목재에 탄소판 1매를 사용하여 보강하였다. 사용된 목재의 강도는 재료 실험을 통해 설정한다.

보강에 적용된 탄소판(CFRP)의 물성치와 접착에 적용된 에폭시는 표 3과 같다.

3.3 가력 계획

시험체는 양끝에 힌지를 설치하고 중앙과 그 좌우로 시험체의 1/3지점에 각각 게이지를 설치하여 가력시 변형을 측정한다. 가력은 오일펌프로 사용하고 중앙에 설치하며 치구를 이용하여 3등분점 2곳에서 가력하도록 한다. 가력은 하중제

표 3. CFRP보강재 물성 및 에폭시 사양

| 인장강도 | 탄성계수 | 파단변형률 | 에폭시 |
|----------|-------------|-------|--------|
| 1,637MPa | 1.53×105MPa | 1.2% | 에폭시 래진 |

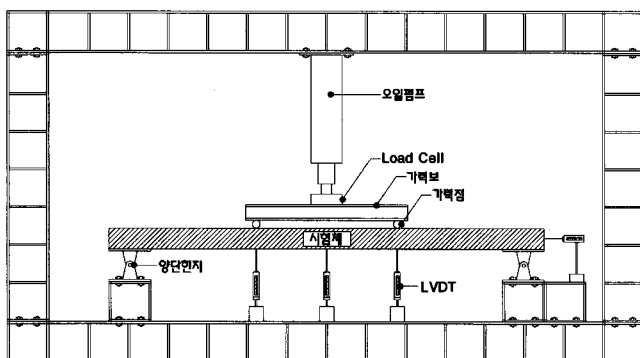


그림 6. 시험체 형상

표 4. 측정장치 개요

| 장비명 | 위치 | 사양 |
|------------|-----------|-------|
| 오일펌프 | 시험체 상부 중앙 | 500kN |
| LVDT | 시험체 중앙 하부 | 100mm |
| LVDT | 우측 가력점 하부 | 100mm |
| Dial gauge | 좌측 가력점 하부 | 50mm |
| Dial gauge | 시험체 우측 옆면 | 50mm |

어 방식으로 10초당 150 N 내외로 한다. 시험체 형상 및 측정장치에 대한 것은 그림 6과 표 4에 표시한다. 시험체의 단면 형상은 앞절의 그림 5와 같다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료실험

실험에 사용된 목재의 휨강도를 평가하기 위하여 표준 압축강도와 피로딘 목재 테스터기의 관입실험을 행하였다. 표준 압축강도 시험체는 각 시험체별로 섬유평행방향 3개, 섬유직각방향 3개씩 제작(구 배재학당 동관 보 부재의 경우는 인접 보 부재에서 채취하여 제작)하여 실험하였고, 피로딘 목재 테스터기 관입 실험은 부재 양 끝 단부에서 3곳을 선정하여 관입실험을 행하였다. 표준압축강도 실험결과는 그림 7과 같다.

실험 결과 구목재보다 신목재가 높은 값을 나타내고 있으며, OS 시험체가 최소 압축강도 값을, NR1 실험체가 최대 압축강도 값을 보였다. NR1의 경우는 육안상으로도 상당히 양질의 목재로 다른 시험체에 비해 최소 13%에서 최대 80% 이상 높은 값을 나타냈다. 평행방향과 직각 방향의 비는 10% 내외이며 신목재가 구목재보다 높은 비를 나타낸다. 전반적으로 일반 목재의 값인 12% 보다는 약간 낮은 값을 보여준다. 그림 8은 피로딘 목재 테스터기의 관입 깊이를 시험체별로 나타낸 것이다.

이 실험 결과에서 구목재인 OR1의 관입 깊이가 가장 적게 기록된 것은 그 위에 방부용 코팅(아스팔트계)이 완전히 제거되지 않은 상태에서 실험이 진행된 것으로 판단되어 이 실험값은 신뢰할 수 없다.

그림 9는 OR1 시험체를 제외한 7개 실험체와 추가로 4개

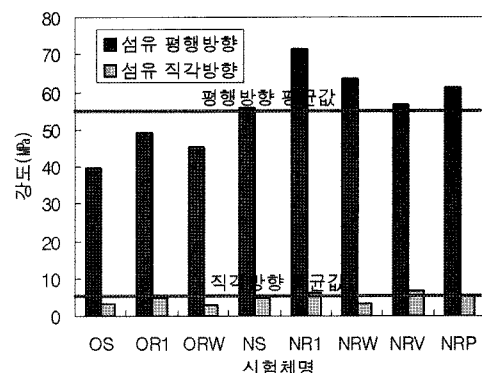


그림 7. 표준 압축강도 실험 결과

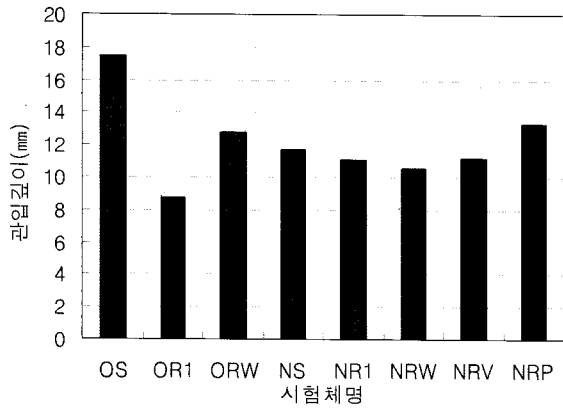


그림 8. 피로된 목재 테스터기의 관입 깊이

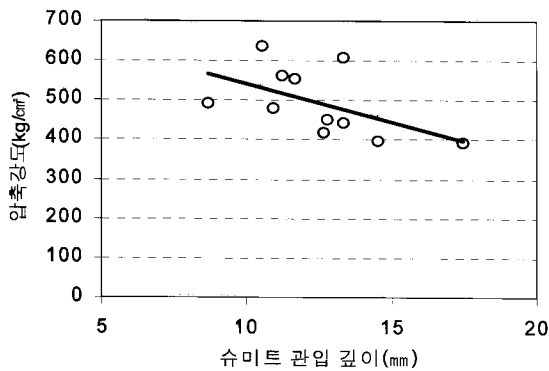


그림 9. 실험압축강도와 슈미트관입깊이의 프래프

의 목재의 관입 깊이와 표준 압축강도 값의 상관성을 표시한 그림이다.

이 그림에서 국내 목재 역시 관입 깊이와 압축응력 사이에 부 관계성이 있는 것을 확인할 수 있다. 상관관계를 일차 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -1.97x + 74.05, R^2 = 0.288$$

이 식을 통해 구한 추정 압축응력과 표준 압축응력을 비교하여 그림 10에 나타내었다.

이 그림에서 최대오차를 나타내는 NR1, 표면 코팅된 OR1 시험체를 제외한 모든 시험체가 15% 이내의 오차를 나타내고 평균오차율은 10% 이하를 나타낸다. 콘크리트용 슈미트해머의 오차율이 20% 정도인 것¹²과 비교하면 비교적 양호한 것으로 판단된다. 향후 높은 강도를 갖는 목재의 실험결과를 추가하여 높은 강도에 대한 정확성을 향상시킬 필요는 있다.

각 시험체의 압축강도실험을 통해 시험목재의 등급을 결정하기 위해서는 실험결과를 허용 압축응력으로 변환시켜야 한다. 통상적으로 최대 압축강도의 1/7 또는 1/8의 안전계수를 사용하여 허용압축응력을 구한다.⁴ 이는 목재의 비균질성에 의해 일반 구조재료보다 훨씬 더 높은 안전율을 요구하기 때문이다. 표준압축강도 실험결과에 안전계수를 1/7로 하여 허용 압축응력을 계산하면 그림 11과 같으며, 구부재의 평균 허용응력은 6.37MPa로 국내육송 육안등급 중 2등급에 해당되며, 신부재는 평균 허용응력 8.81MPa로 1등급에 해당한다 (표 1 참조).

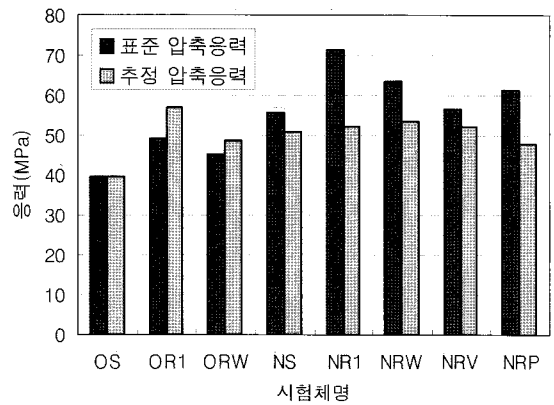


그림 10. 추정 압축응력과 표준 압축응력

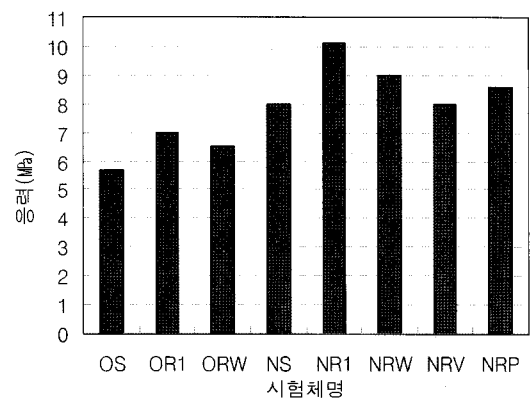


그림 11. 안전율을 고려한 허용압축응력

4.2 킴 실험

4.2.1 파괴성상

국내 소나무의 특성상 균질하고 결함(용이)이 없는 일정크기의 목재를 얻는 것은 용이치 않다. 본 연구에서도 NR1 시험체를 제외하고는 최대응력 구간 내에 크기의 차는 있으나 용이가 존재하고, 이곳에 응력이 집중되어 보강여부, 보강량에 관계없이 취성적으로 쪼개짐이 발생되어 파괴된다.

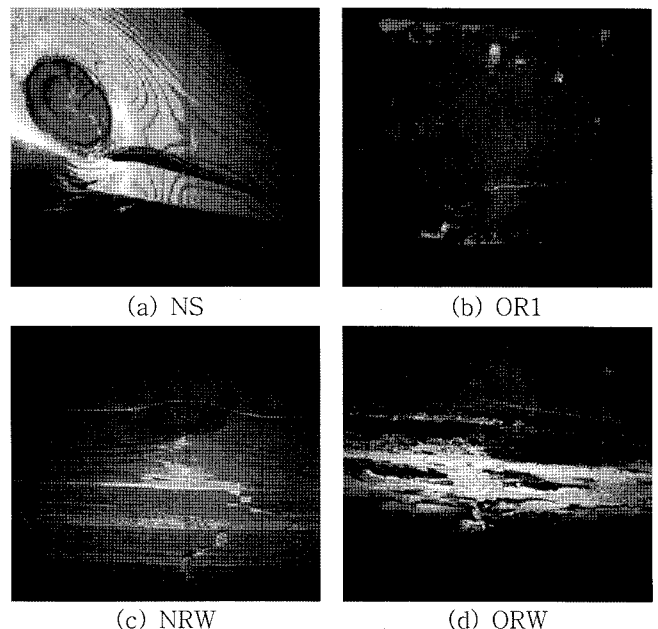


그림 12. 파괴성상

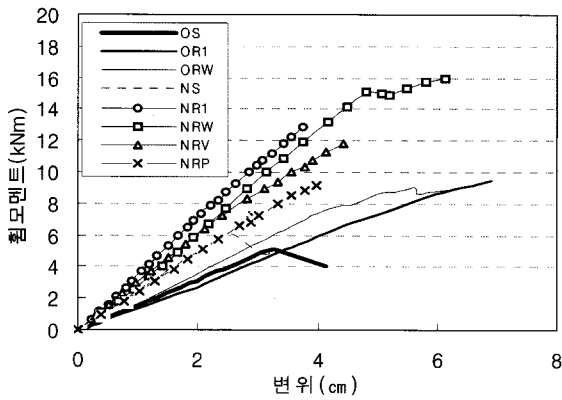


그림 13. 실험 결과의 비교

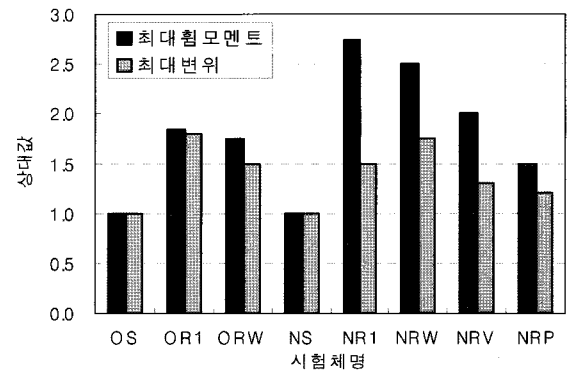
NR1시험체는 건전한 상태의 부재로서 쪼개짐 파괴현상을 보이지 않고 갑작스런 전도현상이 발생되어 실험을 종료했다. 용이가 중앙부위에 있는 NRW시험체는 용이를 중심으로 좌우에 쪼개짐이 발생하는 현상을 나타냈다. 최종적 파괴는 취성적으로 일어났으나 모든 부재는 육안으로 휨을 관찰할 수 있는 상태인 1/100이상의 처짐이 발생된 후 파괴되어 전반적인 파괴양상은 연성적이라 평가할 수 있다. 그림 12는 주요 시험체의 파괴형상을 보여준다.

4.2.2 휨-변형 그래프

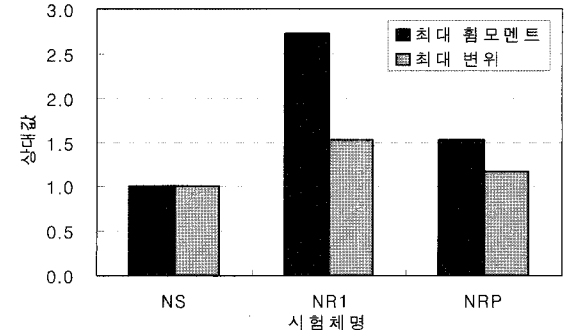
휨 실험을 통해 얻어진 각 시험체의 휨-변형 관계는 그림 13과 같다.

그림에서 비보강 부재는 신부재(6.07kNm)가 구부재(5.05kNm)에 비해 18% 높은 휨강도를 나타냈으며 보강효과도 높게 나타나고 있다. 그러나 연성에서는 구부재가 신부재에 비해 20%정도 높다. 최대 하중구간 내에 용이가 없는 NR1 시험체는 보강량이 1/2임에도 불구하고 다른 시험체보다 상당히 높은 연성과 강도를 보여주어 탄소판 보강량보다는 원목재의 건전성이 보강효과에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

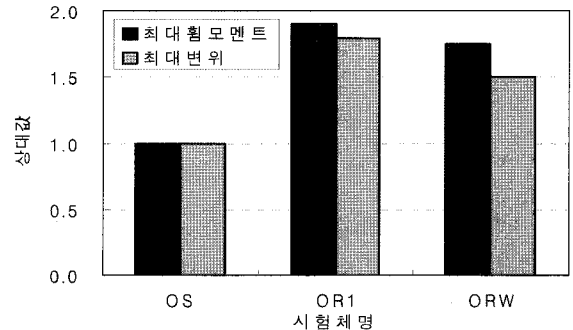
그림 14(a)는 각 변수별 최대 모멘트와 최대 변위를 OS와 NS 시험체를 기준으로 한 상대치를 표시한 것이다. 신부재에서 보강량에 따른 보강효과 그림 14(b)는 1개 탄소판으로 보강된 NR1 부재가 2개 탄소판으로 보강한 시험체중 최소값인 NRP보다 78.9% 높은 강도가 나타났다. 이는 NR1 부재가 다른 타 부재보다 용이가 적은 균질한 부재이기 때문인 것으로 판단된다. 신부재에 2개 탄소판을 삽입한 형태에 따른 경우 그림 14(d)에서는 NRW가 다른 보강형태에 비해 높게 나타났고, NS에 비해서 2.41배의 휨 응력을 보였고, 연성능력 또한 유사하게 높은 것으로 나타났다. 신목재를 보강한 경우, 강도증가는 최소 52%(NRP)에서 최대 173%(NR1)까지 증가하고, 구목재의 경우 그림 14(c)는 75~88%의 증가를 보여, 열화된 부재에 대해서도 탄소판 삽입공법이 보강효과를 갖는 것을 알 수 있다. 보강량 증가에 따른 보강효과의 증가는 비례하지 않으며, 용이 존재여부가 보강효과에 더 큰 요인임을 본 실험을 통해 확인했다. 2개 탄소판을 사용한 경우, 2개 홈에 각 1개씩의 탄소판을 삽입한 NRW시험체가 가장



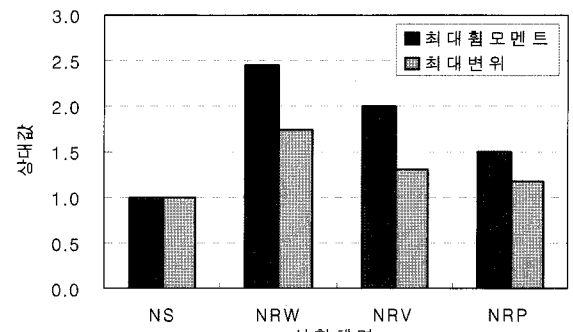
(a) 변수별 최대 모멘트와 최대 변위



(b) 신부재의 보강량에 따른 보강효과



(c) 구부재의 보강효과



(d) 신부재의 보강방법에 따른 보강효과

그림 14. 부재별 보강효과 비교

높은 강도 값을 나타내고, 1홈에 2개를 포개 넣은 NRP시험체가 최대변위, 강도 모두 낮은 값을 나타낸다. NRW 시험체와 NRV 시험체의 밀도는 유사한 것으로 볼 수 있으나 NRP 시험체의 밀도는 낮은 것으로 판단되므로 NRP 시험체의 실험결과가 보강방식차 또는 목재 성능차에서 온 것인지는 불분명하다. 문화재 보강에 있어서는 2홈 2개 탄소판 형식(W)에 비해 1홈 2개 탄소판 형식(V)이 25% 정도의 강도

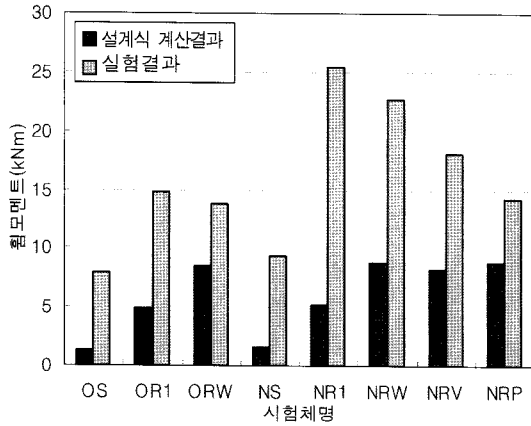


그림 15. 실험 결과와 설계식의 휨모멘트 비교

저하는 있으나, 1홈 2개 탄소판 형식(V)으로도 요구강도를 만족한다면 연성능력은 유사하고 외형적 손상을 줄일 수 있는 1홈 2개 탄소판 형식(V)이 바람직할 것이며, 보강할 목재의 상태가 양호하고 결함이 없는 경우는 1개 탄소판으로 보강하여도 충분한 보강효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.3 설계 허용 휨 모멘트와의 비교

KBC 기준에 따른 설계 허용 휨 응력과 CFRP의 보강효과를 합한 각 시험체의 설계 휨 모멘트를 구하는 식으로 다음 식 (3)을 사용한다.

$$M = Z_w \times \sigma_w + A_c \times f_{ic} \times d \quad (3)$$

Z_w : 목재의 단면계수 σ_w : 목재의 허용휨응력
 A_c : CFRP 단면적 f_{ic} : CFRP 허용인장응력
 d : CFRP 중심간 거리

실험 결과와 설계식에 따른 휨모멘트를 비교하여 그림 15에 나타내었다.

이 그림에서 탄소 보강량이 증가할수록 두 결과의 차가 줄어들음을 알 수 있다. 즉, 목재 허용 휨 강도는 충분한 안전율을 갖고 있으나, 탄소판은 그보다는 낮은 안전율을 갖고 있어 탄소량의 증가가 설계값의 증가를 유도하기 때문이다. 따라서, 보강량이 증가되는 경우에는 탄소판의 응력에 적절한 안전율을 적용할 필요성이 있다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 CFRP판을 삽입하여 목재보를 보강하면 필요한 보강효과를 얻을 수 있음을 확인하였고, 다음과 같은 정리를 할 수 있다.

- (1) 목재 슈미트 실험 결과, 목재의 압축강도와 목재 슈미트 타격의 관입 깊이 사이에는 부의 상관관계가 나타났으며, 목재 슈미트 타격시험을 통하여 평균오차율 10% 이하의 오차범위 내에서 국내산 육송의 압축강도를 추정할 수 있다. 하지만 부재의 상태에 따라 표면에 코팅이나 접착제에 의해 경화된 목재에는 적용하기 어렵다.

- (2) 시험체의 파괴성상은 최대응력구간 내에 용이가 존재하는 경우에는 신·구부재, 보강여부에 관계없이 용이부에서 취성적 파괴를 보였으나, 부재는 1/100 이상의 휨 변형을 일으킨 후 파괴되었다.
- (3) CFRP를 이용해 보강된 보의 보강효과는 보강량의 증가보다는 원부재의 균질성이 더 큰 영향을 미침을 NR1시험체를 통해 알 수 있었고, 문화재에 적용될 수 있는 가장 효율적 보강방법은 역학적 판단이나, 실험결과에 의하면 NRW에 비해서 NRW의 보강효과가 우수하지만 외관적인 손상을 고려하면 NRW시험체 방식으로 1개 홈에 2개의 탄소판을 길이로 배열하는 것이 이상적이다.
- (4) 본 연구에서 제안된 식을 적용한 설계허용휨응력값과 실험결과를 비교하였을 때 보강량이 증가함에 따라 안전율이 줄어들음을 알 수 있다. 따라서 적절한 안전성을 확보한 보강 목재보를 설계하기 위해서는 과도한 보강량 증가를 피하여야 하며, 보강량에 따른 안전율을 보강 응력산정에 적용하여야 할 것이다.

문화재의 보수보강에 있어 CFRP 삽입 공법은 목재의 손상을 최소화하면서 원목재의 강도를 52~173% 증가시킬 수 있는 효과적인 보강 방법으로 향후 근대건축물 보수·보강 공사에 적용성이 높은 방법이 될 수 있다. 그러나 이 공법의 적용성을 높이기 위해서는 탄소판의 삽입기법, 휨 변형에 대한 대응방식과 접착방식에 대한 좀더 구체적인 연구가 필요할 뿐 아니라 목재에 대한 기초적 연구들이 활성화되어야 할 것이며, 목재 비파괴 실험에 관한 연구 또한 시작되어야 한다. 또한 본 연구에서 정량적 보강효과를 제시하지 못하였으므로 정량화를 위한 구체적 연구가 필요하다.

참고문헌

김정신. 도심부 근대건축물의 보존과 활용. 단국대학교.
 김정훈 외 3명 (2004). 개항기 근대건축물 보존 및 주변지역 정비방안에 관한 연구. 한국도시계획학회.
 대한건축학회 (2005). 건축유산의 보존과 복원, 활용.
 문화재청 (2000). 건조물 문화재 안전점검 매뉴얼. 한국건축문화연구원.
 산림청 (2005). 목조건축 설계/감리 매뉴얼.
 삼정EMC(주) (2004). 증명전 정밀안전진단. 중구청.
 이주형 외 1명 (2006). 한국근대건축물 보존 및 활용 방안에 1 관한 연구. 대한건축학회논문집.
 한국건설안전기술원 (2006). 구배재학당 지붕기공 구조안정성 검토. 중구청 보고서.
 한국표준협회 (2004). KS F2206 목재의 압축 시험 방법.
 한보엔지니어링 H.B(역사다리골) 탄소봉을 이용한 구조물 보강기술 자료집.
 Mc. Gonnagle (1969). *Nondestructive Testing Gordon*.
 Tongli Wang 외 3명 Select for height growth and Pilodyn pin penetration in lodgepole pine. *CAN.J.*, Vol. 29.
www.proceq.com. 독일 Proceq사 웹사이트

© 논문접수일 : 2007년 11월 06일
 © 심사외뢰일 : 2007년 11월 07일
 © 심사완료일 : 2007년 12월 28일