

# 합성수지를 이용한 사각단면 목재의 휨 보강 성능에 관한 연구

## A Study on the Flexural Capacity of Rectangular Section Wood Using Synthetic Resins

박 광 섭\*

Park, Kwang-Seob

강 병 두\*\*

Kang, Pyeong-Doo

하 종 한\*\*

Ha, Jong-Han

박 성 무\*\*\*

Park, Sung-Moo

### Abstract

The basis principle of conservation about deterioration and corrosion of cultural assets building is the archetype maintenance, and should not make a factitious damage mistake by repair. Accordingly, conservation processing method using synthetic resins is embossed. The purpose of this paper is about flexural capacity of rectangular section wood using synthetic resins, the 11 specimens are manufactured and made an experiment about reinforcement length, ratio, material strength, direction of synthetic resins as variable. The results of this paper has shown that flexural reinforcement of wood by synthetic resins are efficient and found the possibility of using.

### 요 지

건조물문화재의 부식 및 노후화에 대한 보존수리는 원형유지를 기본원칙으로 하며, 수리로 인해 인위적인 훼손을 가하는 과오를 범해서도 안 된다. 따라서 합성수지를 이용한 보존처리방법이 부각되어지고 있다. 본 연구의 목적은 합성수지로 보강한 사각단면 목재의 휨 성능에 관한 연구로서 합성수지의 보강길이, 보강면적비율, 합성수지 재료강도, 보강위치를 변수로 하여 총 11개의 시험체를 제작하여 실험하였다. 이 연구의 결과는 목재의 휨 보강재로 합성수지의 보강효과가 있는 것으로 나타났으며, 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

**Keywords** : synthetic resins, flexural capacity, flexural reinforcement

**핵심 용어** : 합성수지, 휨 능력, 휨 보강재

\* 정희원, 영남대학교 건축학부 박사수료

\*\* 정희원, 경남도립거창대학 교수

\*\*\* 정희원, 영남대학교 건축학부 교수

E-mail : seoba@ynu.ac.kr 053-810-2428

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근 창덕궁, 종묘, 불국사가 세계문화유산에 등록되는 등 한국의 건조물문화재는 국가차원에서의 문화재보호를 떠나 전 인류공통의 문화유산으로서 보존되고 있다. 세계문화유산 등록은 1972년 '세계문화유산회의'에 의해 시작되었다. 초기의 세계문화유산회의에서 채택한 고건축 보존과 수복의 지도 원리는 석조건축보존을 중심으로 진행하였으나, 이후에 목조건조물문화재의 지역적 및 문화적 특수성에 대한 이해와 인식을 가지게 되었다. 따라서 건조물문화재의 보존은 그 나라의 문화적 전통뿐만 아니라, 재료 및 지역적 특성에 따른 보존이론 및 철학의 문제를 포함하고 있다. 우리나라도 1962년 문화재 보호법이 제정되면서 많은 건조물문화재의 보존을 위한 수리 및 복원이 진행되어오고 있다. 복원은 다른 차원의 보존문제라고 하더라도, 수리의 경우 부식부재에 대한 처리문제까지 보존철학의 문제로 간주되어지고 있다. 보존철학은 보존방향을 결정하는 중요한 지점이 되는 것이며, 국가와 지역의 특수성에 따라 다를 수 있다. 즉, 인류 공통의 가치로 인식한 건조물문화재에 대해 보존철학의 재정립이 중요하다고 할 수 있다.

우리나라의 문화재에는 많은 목조건조물문화재가 현존하고 있는데, 대부분이 자연재료인 목재가 주재료로 사용되었다. 이들 목조건조물문화재가 외기에 노출되어 있는 관계로 누수 및 습기에 의한 손상, 건조수축으로 인한 부재의 균열, 곤충에 의한 충해, 장기간의 피로로 인한 부재 강도의 저하 등의 부식 및 노후화가 발생되며 이로 인해 구조체의 변형이 발생하게 된다. 이러한 목조건조물문화재의 부식 및 노후화에 대한 보존수리는 원형유지를 기본원칙으로 하며, 수리로 인해 인위적인 훼손을 가하는 과오를 범해서는 안 된다. 목조건조물문화재에서 보존수리가 필요한 부재는 원 부재를 가능한 재사용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 따라서 부식 및 구조적 문제가 발생한 부재를 재사용하기 위해 문제 발생부위의 보존처리방법의 중요성이 부각되고 있다. 목조건조물문화재의 대표적인 보존처리 방법은 합성수지를 이용

한 물리적 및 화학적 처리방법이 결합된 시공방법이다. 이 보존처리 방법은 노후화, 부패 및 충해를 입어 손상된 부재의 단면부분에 에폭시 등의 합성수지를 이용하여 채워주거나 균열이 발생된 부재를 보강하기 위해 사용되고 있다.

대부분 목조건조물의 보수 및 보강에 사용되는 합성수지는 경화반응 때 수축율이 극도로 적은 저수축성재이며 내습성, 내마모성, 내충성, 내후성이 양호하며 장기응력에도 형상유지특성이 있다. 하지만 수축 시 나타나는 높은 응력, 황변화 등의 단점도 적지 않다. 이러한 합성수지를 이용한 보존처리에 대한 연구는 그리 오래되지 않은 1980년대부터 시작되었으며, 순수 보존을 위한 과학적 측면의 연구가 주를 이루고 있으며, 실제 현장에서 응용될 수 있도록 시공과 구조물에 관련하여 연구된 것은 극히 드물다. 또한 구조적으로 부족한 내력증진을 위하여 합성수지를 사용한 보수 및 보강에 관한 연구는 거의 행해지고 있지 않다.

이에 본 연구는 목조건조물문화재에 합성수지를 이용한 보수 및 보강에서 휨 부재의 부식과 노후화에 따른 여러 변수를 분석하고, 그 변수에 따라 합성수지를 이용하여 보강된 사각형 단면의 목재 휨 실험을 수행하여 보수 및 보강 방법의 범위와 위치에 따른 적용 가능성 및 보강효과를 연구하여 목조건조물문화재의 보존처리 및 보수에 대한 근거자료를 확보하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료 및 시험체 제작

Table 1 목재의 재료적 특성

측정항목	결과 값	시험방법
함수율(%)	10	KS F 2199 : 2001
휨강도(N/mm <sup>2</sup> )	48.8	KS F 2208 : 2004
휨탄성계수(N/mm <sup>2</sup> )	4086	KS F 2208 : 2004
압축강도(N/mm <sup>2</sup> )	36.6	KS F 2206 : 2004
인장강도(N/mm <sup>2</sup> )	419	KS F 2207 : 2004
비중(N/mm <sup>3</sup> )	0.48	KS F 2198 : 2001

### 2.1.1 목재의 물성

시험체 제작에 사용된 목재는 구조재에 적합한 함수율 10% 내외의 국내산 적송을 사용하였으며, 재료적 특성은 Table 1과 같다.

### 2.1.2 합성수지 보강재

본 실험에서 보강재로 사용된 합성수지는 국내A사의 제품으로서 일반적으로 목재의 보수 및 보강에 사용되고 있다. 합성수지의 성분 및 재료적 특성은 Table 2와 Table 3에서 나타내고 있다.

### 2.1.3 시험체 제작

본 연구에서는 무보강단면 시험체와 목재 신재의 일부 단면을 실험변수에 따라 제거하고, 자체 접착력

Table 2 합성수지의 성분

성분	품명	혼합비율
주제	Bisphenol A형 Epoxy	19%
	Amorphous Silica	29%
경화제	변성 지방족 Amine	21%
	Glass bubbles	26%
충격완충제	민스파	2.5%
완충제	실리카	2.5%

Table 3 합성수지의 재료적 특성

측정항목	결과 값	시험방법
비중	0.58-0.60	KS M 3016 A법 : 2006
열팽창(1/°C)	$4.6 \times 10^{-5}$	KS M 3015 A법 : 2003
굽힘강도(N/mm <sup>2</sup> )	29.4	KS M 3015 A법 : 2003
듀로미터강도	62-63	KS M ISO 868 : 2006

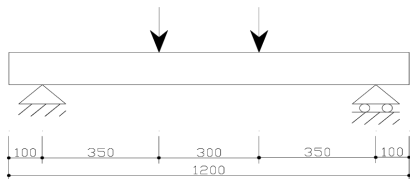


Fig. 1 시험체 형상(단위 : mm)

을 가지고 있는 합성수지를 제거된 단면에 충전하여 보강한 시험체 10개를 제작하였다. 실험변수는 목조 건조물의 휨 부재에 발생된 부식 및 노후화에 대한 기존 연구의 현황조사 결과를 근거로 산정하였다. 시험체의 형상은 Fig. 1과 같다.

## 2.2 실험변수

본 연구의 실험변수는 부재 전 단면적(Ag)에 대한 보강재 단면적(Ar)의 비율(이하 보강비율), 보강길이, 합성수지 재료강도 및 보강위치로 하였으며, 시험체는 총 11개를 제작하여 실험하였다. Fig. 2와 같이 단면에 대한 합성수지의 보강 비율, 스펠에 대한 보강 길이, 합성수지의 보강 위치 및 합성수지의 재료강도를 변수로 하여 목재의 손상 정도 및 부위에 따른 합성수지의 적용 가능성과 보강효과를 비교 및 검토하였다. 시험체 적용 변수는 Table 4와 같다.

## 2.3 재하방법 및 측정항목

시험체의 전장은 1200mm, 순 스펠 1000mm, 가력 점은 양 지점으로부터 각각 350mm의 위치에서 2점 가력하였다. 단순보 지지조건을 만족시키기 위해 지지점과 가력지점에 핀 경계조건을 설치하였으

Table 4 시험체명 및 변수

시험체명	실험변수				비고
	보강비율 (Ar/Ag)	보강길이 (mm)	합성수지재료강도	보강위치	
RB-B	-	-	-	-	무보강단면
RB-S	16.67%	800	일반	하부	기준
RB-A1	8.33%	800	일반	하부	
RB-A2	25.00%	800	일반	하부	
RB-A3	33.33%	800	일반	하부	
RB-L1	16.67%	600	일반	하부	
RB-L2	16.67%	400	일반	하부	
RB-L3	16.67%	200	일반	하부	
RB-R1	16.67%	800	고강도	하부	
RB-R2	16.67%	800	초고강도	하부	
RB-P1	16.67%	800	일반	상부	

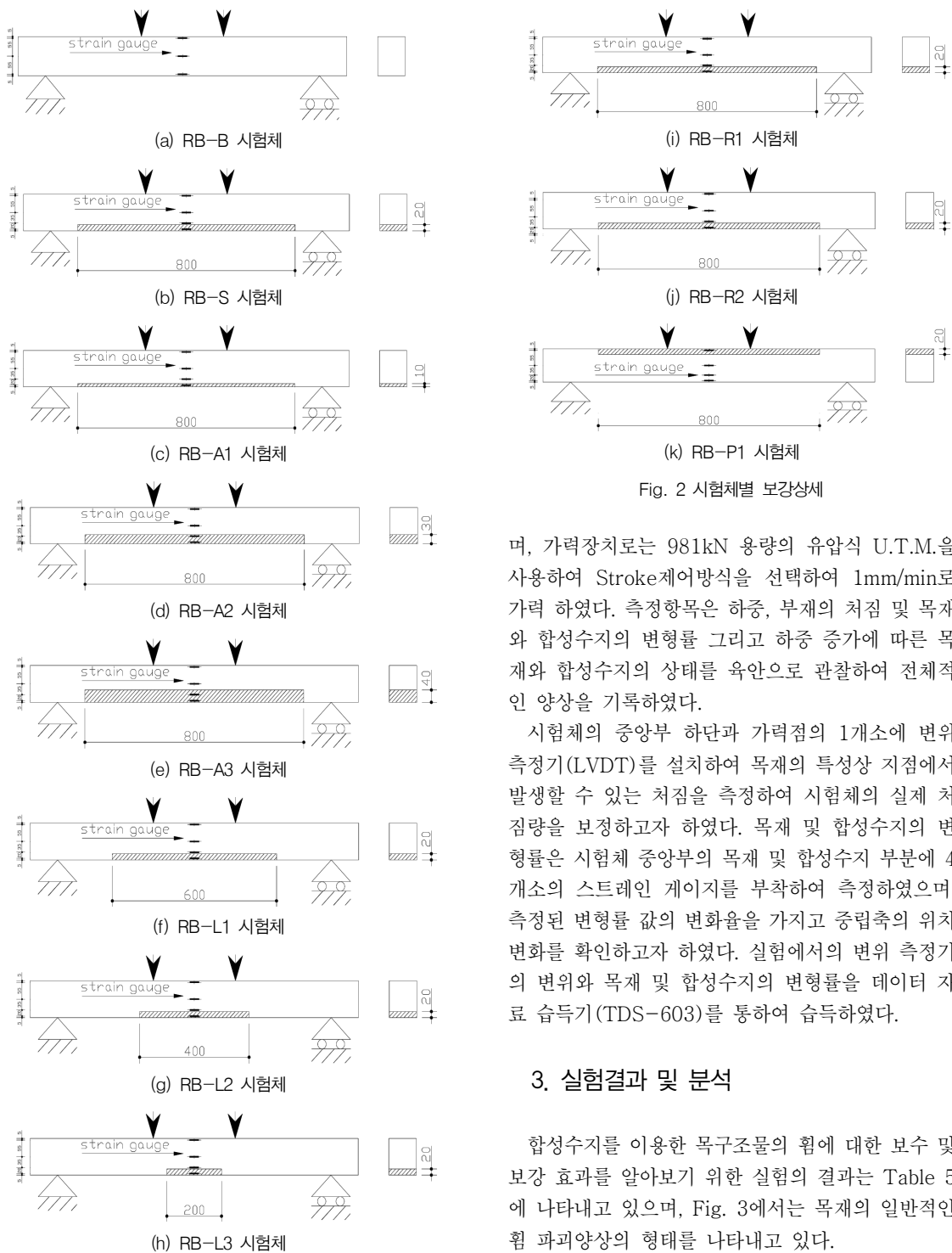


Fig. 2 시험체별 보강상세

며, 가력장치로는 981kN 용량의 유압식 U.T.M.을 사용하여 Stroke제어방식을 선택하여 1mm/min로 가력 하였다. 측정항목은 하중, 부재의 처짐 및 목재와 합성수지의 변형률 그리고 하중 증가에 따른 목재와 합성수지의 상태를 육안으로 관찰하여 전체적인 양상을 기록하였다.

시험체의 중앙부 하단과 가력점의 1개소에 변위 측정기(LVDT)를 설치하여 목재의 특성상 지점에서 발생할 수 있는 처짐을 측정하여 시험체의 실제 처짐량을 보정하고자 하였다. 목재 및 합성수지의 변형률은 시험체 중앙부의 목재 및 합성수지 부분에 4개소의 스트레인 게이지를 부착하여 측정하였으며, 측정된 변형률 값의 변화율을 가지고 중립축의 위치 변화를 확인하고자 하였다. 실험에서의 변위 측정기의 변위와 목재 및 합성수지의 변형률을 데이터 자료 습득기(TDS-603)를 통하여 습득하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

합성수지를 이용한 목구조물의 휨에 대한 보수 및 보강 효과를 알아보기 위한 실험의 결과는 Table 5에 나타내고 있으며, Fig. 3에서는 목재의 일반적인 휨 파괴양상의 형태를 나타내고 있다.

Table 5 시험체 실험결과

시험체명	항복하중 $P_y$ (kN)	항복하중시처짐 $\delta_y$ (mm)	최대하중 $P_{max}$ (kN)	최대하중시 처짐 $\delta_u$ (mm)	최대 모멘트 (kN·m)	합성수지 최대변형률 $\epsilon_{cr, max}$ ( $\times 10^{-6}$ )	연성계수 ( $\delta_u/\delta_y$ )	초기강성	소성역 강성	파괴 모드
RB-B	31.36	10.87	34.02	12.83	5.95	-	1.18	2.89	1.36	사주인장파괴
RB-S	22.44	6.94	38.73	16.52	6.78	2106	2.38	3.23	1.70	단순인장파괴
RB-A1	38.40	11.64	49.08	18.05	8.59	3492	1.55	3.30	1.67	단순인장파괴
RB-A2	16.93	6.80	33.22	17.29	5.81	2753	2.54	2.49	1.55	국부역목인장파괴
RB-A3	11.96	5.25	23.56	11.44	4.12	2210	2.18	2.28	1.87	단순인장파괴
RB-L1	22.48	7.01	42.19	17.94	7.38	4906	2.56	3.21	1.80	단순인장파괴
RB-L2	16.52	5.58	26.20	15.28	4.59	2329	2.74	2.96	1.00	분열인장파괴
RB-L3	34.00	11.55	35.49	12.80	6.21	3764	1.11	2.94	1.19	국부역목인장파괴
RB-P1	46.43	14.18	56.15	27.74	9.83	4860	1.96	3.28	0.72	단순인장파괴
RB-R1	23.64	8.40	28.66	10.91	5.01	3077	1.30	2.82	2.00	단순인장파괴
RB-R2	22.20	10.48	32.78	23.06	5.74	1760	2.20	2.12	0.84	국부역목인장파괴

\* 초기강성  $K_E = \frac{P_y}{\delta_y}$ , 소성역 강성  $K_P = \frac{P_{max} - P_y}{\delta_u - \delta_y}$

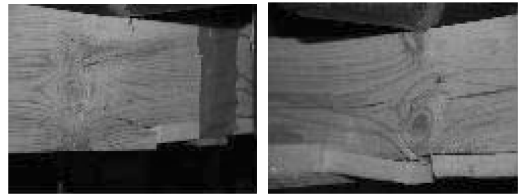
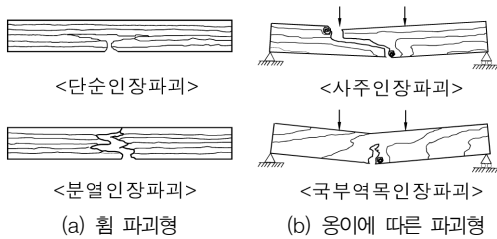


Photo 5 RB-L3 파괴양상 Photo 6 RB-R2 파괴양상

Fig. 3 목재의 일반적인 휨 파괴 양상

### 3.1 파괴 양상

시험체는 전체적으로 휨 파괴의 양상을 나타내었으며, 대표적인 파괴 형태 및 양상은 Photo 1~Photo 6과 같다. 먼저 보강비율에 따른 결과를 살펴보면, 보강 비율이 약 20% 정도에서 최대 휨 내력 및 연성이 현저하게 다르게 나타났으며, 전체적으로 중앙부에서 발생한 휨 균열에 의한 단순인장파괴 양상을 나타내었다.

보강길이를 다르게 한 경우는 초기 휨 거동은 같은 형태로 나타났으나, 일정하중에서 보강길이가 가력점 근처에 위치한 RB-L2 시험체의 경우에는 합성수지 보강재의 탈락이 일어나면서 급격하게 파괴되는 양상을 나타내었다. 그러나 보강길이가 적은 RB-L3 시험체의 경우에는 원부재(무보강단면)와

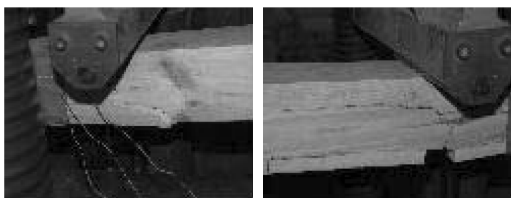


Photo 1 RB-B 파괴양상 Photo 2 RB-S 파괴양상

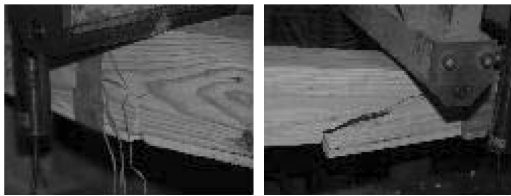


Photo 3 RB-A1 파괴양상 Photo 4 RB-L1 파괴양상

거의 유사한 파괴양상을 나타내었다.

보강 위치 및 재료강도를 다르게 한 경우는 전체적인 파괴양상에서 별다른 차이점이 없는 것으로 나타났으며, 보강위치가 단면 상부인 경우에 목재 부분에 많은 변형이 발생하는 것으로 나타났다.

따라서 합성수지에 의한 휨 보강효과는 단면에 대한 일정 비율 내에서 보강이 이루어져야하며, 하중이 집중되는 부위 및 보강위치에 대한 검토를 한 후에 보강하는 것이 파괴 양상, 최대 내력 및 연성 등에 효과적인 것으로 나타났다.

### 3.2 하중-처짐 곡선

시험체의 전체적인 하중-처짐 곡선은 Fig. 4~Fig. 7에서 보는 바와 같이 나타났다. 보강비율에 따른 시험체 하중-처짐은 Fig. 4에서 보듯이 보강비율이 16.67% 이하에서는 휨 내력 및 연성에 효과가 있는 것으로 나타났으나, 25%를 상회하는 경우에는 휨에 대한 보강효과가 없는 것으로 나타났다.

보강길이에 따른 시험체 하중-처짐은 Fig. 5에 보듯이 전체적으로 유사한 거동을 하는 것으로 나타났으나, 보강길이가 가력점 근처에 있는 RB-L2 경우는 보강재의 탈락현상으로 급격한 하중 감소현상을 나타내었다.

보강위치에 따른 시험체 하중-처짐은 Fig. 6에 보듯이 거의 같은 거동을 나타냈으며, 보강재료 강도에 따른 시험체 하중-처짐은 Fig. 7에 보듯이 거의 같은 거동을 하는 것으로 나타났다. 그러나 합성수지의 강도가 너무 높은 RB-R2의 경우에는 휨에 대한 보강효과가 거의 없으며 연성을 좀 더 확보하는 것으로 나타났다. 또한 하중 가력 초기에 하중의 증가량 보다는 변위의 증가량이 다른 시험체보다 큰 것으로 나타났다.

이것은 가력점의 목재단면 상부와 하부에 위치한 용이에 의해서 발생한 것으로 판단된다.

### 3.3 최대강도 비에 따른 보강효과 분석

본 연구의 최대강도 비에 대한 합성수지의 보강효

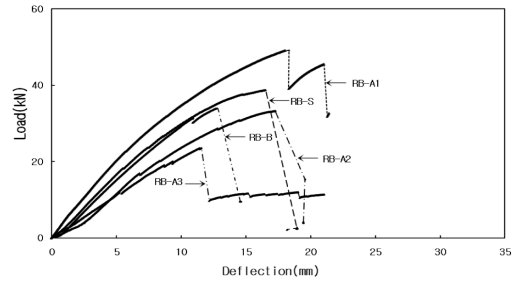


Fig. 4 RB-A계열 하중-처짐 곡선

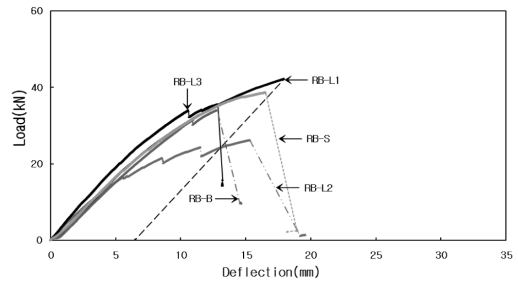


Fig. 5 RB-L계열 하중-처짐 곡선

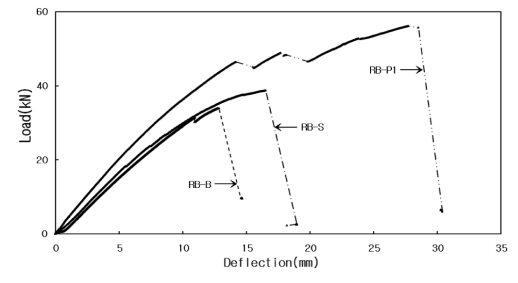


Fig. 6 RB-P계열 하중-처짐 곡선

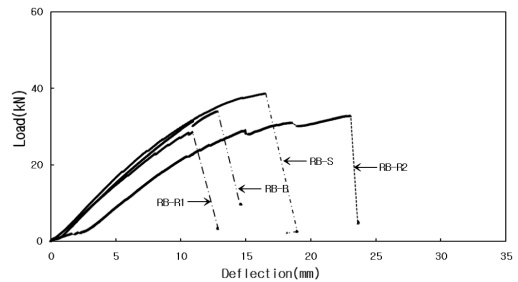


Fig. 7 RB-R계열 하중-처짐 곡선

과 고찰은 다음과 같다. 합성수지의 보강면적에 따른 강도 비는 Fig. 8에 나타내고 있다. 결과에서 보면

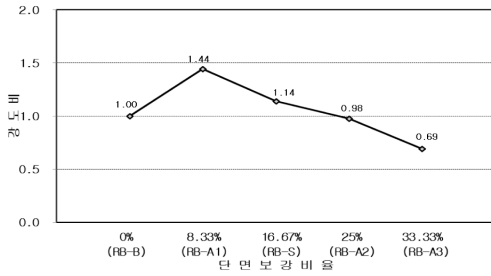


Fig. 8 보강면적에 따른 강도 비

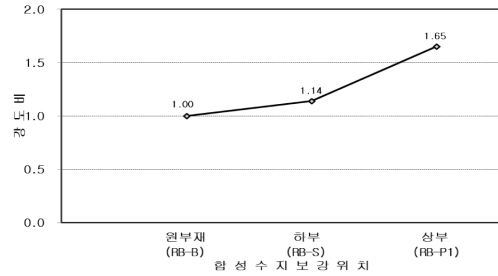


Fig. 10 보강위치에 따른 강도 비

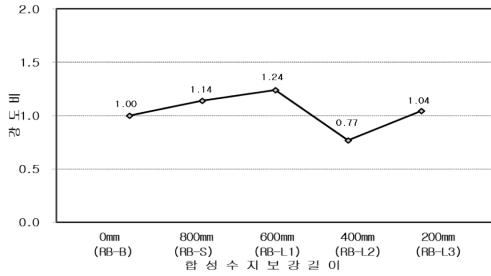


Fig. 9 보강길이에 따른 강도 비

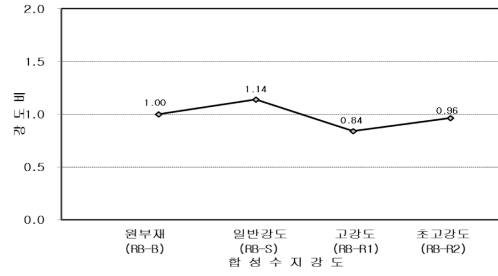


Fig. 11 합성수지의 강도에 따른 강도 비

알 수 있듯이 보강면적의 비율이 8.33%일 경우에 강도 비가 1.44로 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 보강면적의 비율이 25%이내의 경우에는 보강의 효과가 있는 것으로 나타났으나, 33.3%이상의 경우에는 보강효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 합성수지로 목재 단면에 대한 보강비율의 한계를 제한할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 9는 합성수지의 보강길이에 따른 강도 비를 나타내고 있다. 보강길이에 따른 결과는 600mm로 보강한 경우의 강도 비가 1.24로 가장 보강효과가 우수한 것으로 나타났다. 400mm로 보강한 RB-L2는 강도 비가 0.77로 현저하게 낮게 나타나는데, 이는 보강길이의 단부가 가력점내에 존재하여 합성수지의 단부 조기 박리 및 탈락으로 인하여 보강효과를 나타내지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 보강길이는 조기 박리 및 탈락을 방지하기 위해서 보강길이에 여분길이 만큼 더하여 산정하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Fig. 10은 합성수지의 보강위치에 따른 강도 비를 나타내고 있다. 보강위치가 단면의 상부 및 하부인 경우 모두 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 압축

측에 보강한 경우의 강도 비가 1.65로 높은 결과를 나타내는데 이는 합성수지의 휨에 대한 재료적인 특성으로 인한 것으로 사료된다.

Fig. 11은 합성수지의 재료강도에 따른 강도 비를 나타내고 있다. 합성수지의 재료강도는 일반강도로 보강한 경우의 강도 비가 1.14로 가장 효과적인 것으로 나타났다. 시험체의 전체적인 파괴양상으로 평가할 경우에는 합성수지의 재료강도는 목재에 대한 보강효과가 없는 것으로 사료된다.

### 3.4 초기강성에 따른 보강효과 분석

본 논문에서는 부재에 대한 초기강성은 Fig. 12에서 보는 바와 같이 나타났다. RB-A2, RB-A3, RB-R1, RB-R2 시험체를 제외한 시험체에서는 원부재(무보강단면) 시험체의 초기강성보다 높은 것으로 나타났다. 즉, 합성수지에 의해서 보강을 할 경우에는 목재 전단면적에 대한 보강비율이 25% 이내로 하는 것이 효과적이며, 합성수지의 강도는 일반강도를 사용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 보강길이의 경우에는 전체적으로 원부재 시험체보다 높

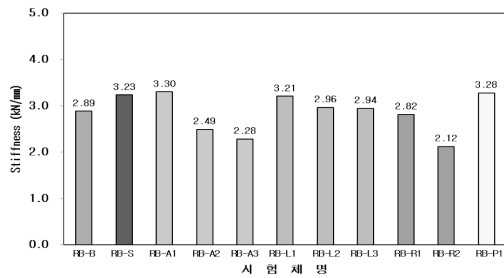


Fig. 12 시험체별 초기강성

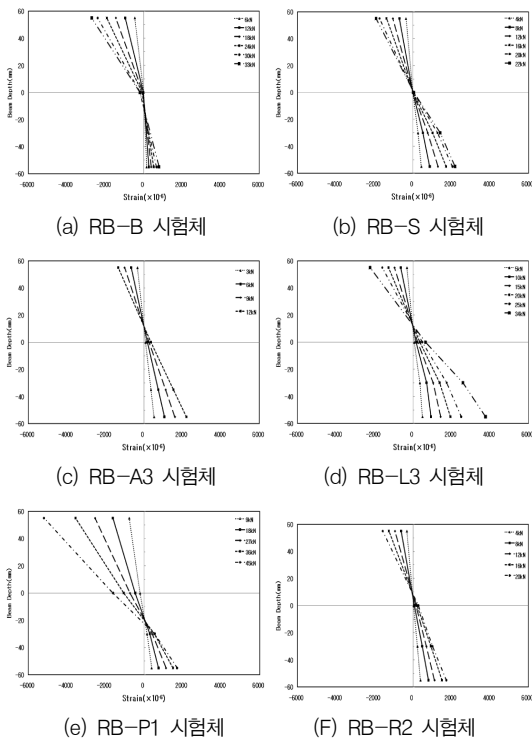


Fig. 13 보 춤 변형도 분포

은 것으로 나타났으며, 이는 길이에 대한 영향은 미비한 것으로 사료된다.

### 3.5 중립축 변화에 대한 분석

Fig. 13은 스펀의 중앙부에서 목재와 합성수지에 부착한 스트레인 게이지를 사용하여 측정된 보의 춤에 따른 변형도의 분포를 보여준다. 이러한 변형도

의 분포로부터 실험시의 중립축의 위치 및 보강재의 합성효과에 알 수 있다. 전체적으로 시험체의 변형도 분포가 선형적이고, 목재와 합성수지 사이의 변형도의 전이도 비교적 연속적인 것으로 나타났다. 이는 목재와 합성수지가 충분히 합성거동을 하는 것으로 사료된다. RB-B 시험체 중립축의 변화를 살펴보면, 인장측의 변형률이 다른 시험체에 비해 선형으로 거동하지 않았다. 이는 가력지점 하부 인장측에 위치한 용이 부분에서 균열이 발생하여 스펀 중앙부에 부착된 인장측의 변형률에 큰 영향을 미치지 못하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 대부분의 보강한 시험체는 중립축이 상부에 존재하는 것으로 나타났으나, RB-P1 시험체 경우는 다른 양상을 나타내고 있는데 이는 압축측에 합성수지로 보강하여 중립축이 하부로 내려온 것으로 사료된다.

## 4. 결론

본 연구는 합성수지를 이용한 사각단면 목재의 휨 보강능성에 대한 보강효과를 알아보고자 보강면적 비율, 보강 길이, 합성수지 재료강도 및 보강 위치를 실험변수로 하여 휨 실험을 수행하였다. 본 연구에서의 결론은 다음과 같다.

1) 보강면적의 비율이 8.33%일 경우에 강도 비가 1.44로 가장 보강효과가 좋은 것으로 나타났으며, 보강면적의 비율이 25%이내는 보강효과가 있는 것으로 나타났으며, 33.3%이상의 경우에는 보강효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 합성수지로 목재 단면에 보강을 할 경우에 보강비율에 대한 한계를 제한할 수 있을 것으로 사료된다.

2) 보강길이가 600mm인 경우에 강도 비가 1.24로 가장 보강효과가 우수한 것으로 나타났으며, 400mm인 경우에 강도 비가 0.77로 현저하게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 보강재 단부의 조기 박리 및 탈락으로 인한 것으로 판단되며, 이를 억제하기 위하여 응력이 집중되는 부분에서 보강길이에 여분길이(목재 단면의 높이)만큼 연장하여 산정하는 것이 단부의 조기 박리 및 탈락을 억제하며 보강효과가 향상될 것으로 사료된다.



3) 보강위치는 목재 단면의 인장측 및 압축측에 보강한 모두에서 효과가 있는 것으로 나타났다. 압축측에 보강한 경우의 강도 비가 1.65로 높은 효과가 나타났는데, 이는 합성수지의 휨에 대한 재료적인 특성으로 사료된다.

4) 합성수지의 재료강도는 일반강도로 보강한 경우에 강도 비가 1.14로 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 전체적인 파괴 양상 및 거동으로 평가할 경우에 합성수지 재료강도는 목재에 대한 보강효과를 얻는 것으로 사료된다.

5) 전체적으로 시험체의 변형도 분포가 선형적이고, 목재와 합성수지 사이의 변형도의 전이도 비교적 연속적인 것으로 나타났다. 이는 목재와 합성수지가 충분히 합성거동을 하는 것으로 사료된다.

본 연구를 통해, 목재에 보수 및 보강재로서 합성수지를 사용하는 것에 대한 가능성을 확인한 것으로 판단되며, 이후에 목조건축물의 고목에 대한 적용성과 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-314-D00458).

#### 참고문헌

1. 김왕직, 조현정, 합성수지를 사용한 목조건축물문화재 보존처리 사례연구, 건축역사연구, 제15권 1호, 2006, pp.43 -57
2. 김현중 외 4명, 목재공학개론, 선진문화사, 2004, pp. 183-272
3. 오세창, 구조용공학목재, 선진문화사, 2001, pp.226-232
4. 이승중, 전통 목조 건축물의 구조적 휨보강에 관한 연구, 조선대학교 석사논문, 2008, pp.10-25
5. 이화형, 여환명 외 8명, 신고목재물리 및 역학, 향문사, 2008, pp.248-295
6. 조철희, 전통 목구조 건축물의 구조적 보강 특성에 관한 연구, 조선대학교 박사논문, 2009, pp.1-29
7. 차재경, 목재역학, 선진문화사, 2000, pp.237-286
8. 하중환, 전통건축에서 부식목재의 재활용방안에 관한 연구, 경남도립거창대학 논문집, 통권 10호, 2006, pp.1-5

(접수일자 : 2009년 6월 30일)

(1차수정일자 : 2009년 9월 2일)

(심사완료일자 : 2009년 9월 25일)