

# 합성수지의 보강비율에 따른 목재의 휨 보강 성능에 관한 연구

## A Study on the Flexural Capacity of Wooden Member According to the Reinforcement Ratio of Synthetic Resin

강 호 근\*  
Kang, Ho-Geun

### Abstract

Most of the cultural assets in Korea are wooden structures. Due to the material characteristics of wood, the preservation of traditional wooden structure is impossible by simple maintenance. Damaged member is replaced with new member or completely dissolve and restore them. But member has a cultural value, so that it is impossible to arbitrarily replace each member. Although the preservation treatment method using synthetic resin is emphasized, there is no exact standard for proper reinforcement ratio. This paper is experimental study for reinforcement ratio of wooden flexural member with synthetic resins, Reinforced ratio on section area of flexural member. As a result, synthetic resin reinforcement are selected as experimental variables by proper ratio enhanced flexural capacity of reinforced wooden member than new wooden member.

*Keywords : Synthetic resins, Flexural wooden member, Flexural reinforcement*

### 1. 서론

우리나라의 건축물 문화재는 대부분이 자연재료인 목재가 주재료로 사용되었다. 문화재 보존에 있어서 목재의 특성상 단순한 유지·관리만으로 거의 불가능하다고 할 수 있다. 전통목조건축물에 대해 보수 및 보강 등의 대책을 수립하여 보수 및 복원공사를 시행하지만, 정확한 구조적 특성 및 거동, 구조 내력에 대한 평가가 미흡한 상태에서 재료 및 미관적인 측면을 고려하여 손상된 부재를 신부재로 교체하거나 완전 해체복원을 시행함으로써 구조적인 문제점이 심화되고 있고, 또한 각각의 부재 자체도 문화재적 가치를 가지고 있어 임의적으로 각 부재를 교체할 수 없다.

이에 따라, 원형손상을 최소화하고 원부재를 재사

용할 수 있는 합성수지를 이용한 보수·보강방법이 대두되고 있다. 합성수지 보수·보강방법은 손상된 부재의 빈 공간을 에폭시 등 합성수지를 이용하여 충전하거나 균열이 발생된 부재를 보강하는 물리적·화학적 방법이 결합된 시공법이다<sup>1-3)</sup>. 그러나 합성수지를 보강함에 있어 보강비율에 대한 정확한 기준이 없어 적절치 못한 보강비율을 사용할 시 신재보다 구조내력이 낮아져 오히려 역효과를 발생시킨다.

따라서 본 연구는 목조건축물 주요 구조 부재 중 하나인 휨 부재를 합성수지로 보강할 시 적정 보강비율을 파악하기 위한 실험적 연구로서 기존 문헌에서의 여러 변수 중 목재의 전 단면적에 대한 합성수지의 보강단면적을 변수로 선정하고 합성수지로 보강한 원형 및 사각단면 휨 시험체를 제작하여 실험을 수행하고자 한다. 이후에 실험결과를 토대로 적정 보강비율의 범위와 보강효과를 연구하여 목조건축물 문화재의 보존처리 및 보수에 대한 근거자료를 확보하고자 한다.

\* 정회원, 경남도립거창대학교 건축·인테리어과 교수, 공학박사  
Dept. of Architecture & Interior, University of Gyeong-nam Geochang  
Tel: 055-254-2911 Fax: 055-254-2919  
E-mail: hk74963@naver.com

## 2. 휨 보강 성능 실험

### 2.1 사용 재료

보강에 사용된 합성수지는 국내 A사의 제품으로서 일반적인 목재의 보수 및 보강에 사용되고 있으며 시험체 제작에 사용된 목재는 구조재로 적합한 함수율 10% 내외의 국내산 적송을 사용하였다. 시험체 실험에 사용된 목재와 합성수지의 재료적 특성은 <Table 1~3>과 같다.

<Table 1> Material properties of wood

List of measurement	Result value	The test method
Moisture content (%)	10	KS F 2199 : 2001
Flexural rigidity ( $N/mm^2$ )	48.8	KS F 2208 : 2004
Modulus of elasticity in bending ( $N/mm^2$ )	4086	KS F 2208 : 2004
Compressive strength ( $N/mm^2$ )	34.4	KS F 2206 : 2004
Elastic modulus of compressibility ( $N/mm^2$ )	8600	KS F 2206 : 2004
Tensile strength ( $N/mm^2$ )	41.9	KS F 2207 : 2004
Specific gravity	0.48	KS F 2198 : 2001

<Table 2> Material properties of synthetic resins

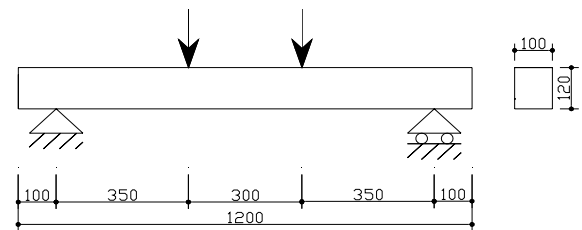
List of measurement ( $N/mm^2$ )	Result value	The test method
Flexural rigidity	8.6	KS M 3015 : 2003
Modulus of elasticity in bending	1489	KS M 3015 : 2003
Compressive strength	21.7	KS M 3015 : 2003
Elastic modulus of compressibility	3100	KS M 3015 : 2003
Tensile strength	3.7	KS M 3006 : 2003
Bond strength	0.065	KS L 1593 : 1998

<Table 3> Component of synthetic resins

Component	Names of goods	Mixing ratio(%)
Hardener	Modified aliphatic Amine	21
	Glass bubbles	26
Base	Bispenol A type epoxy	19
	Amorphous silica	29
Shock buffer	Minspa	2.5
Buffer	Silica	2.5

### 2.2 시험체 제작 및 보강방법

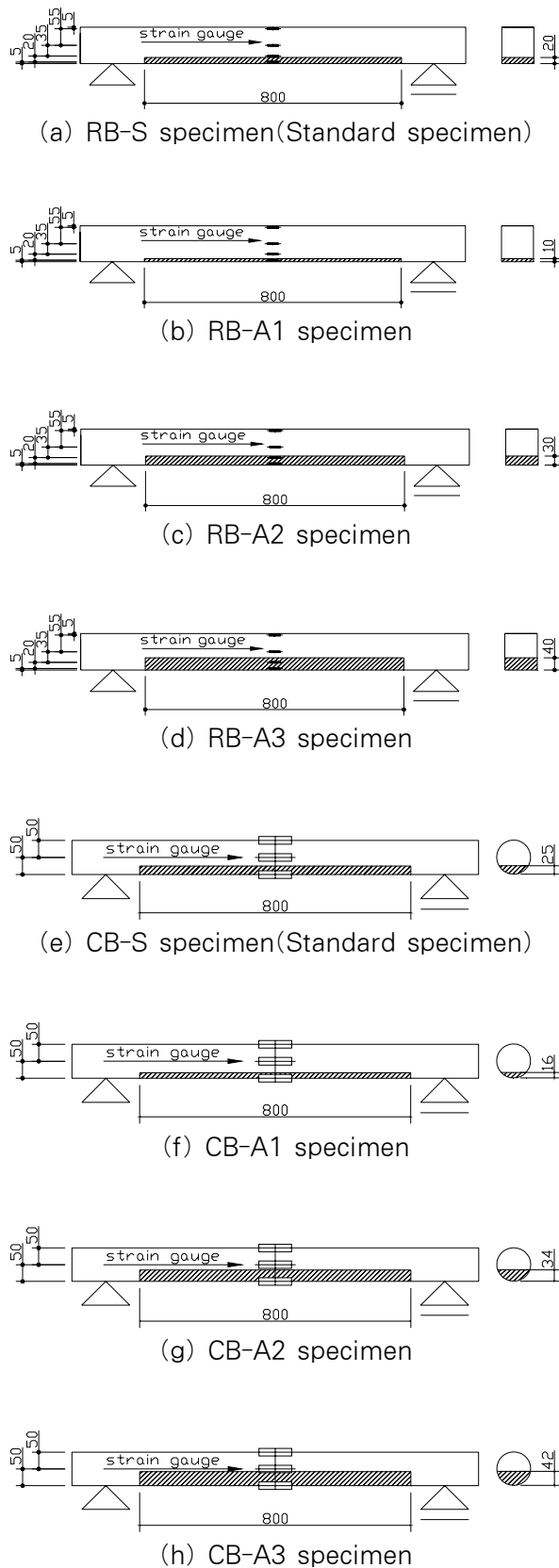
본 연구의 시험체는 목조건축물 문화재의 주요 구조 부재 중 원형 및 사각단면을 가진 휨 부재의 손상부위에 대하여 합성수지의 적정 보강비율을 알아보기 위한 시험체로서 합성수지 보강 시 목재의 일부분을 제거 후 접착강화용 수지를 사용하여 목재에 침투처리한 후 합성수지를 충전하였다. 시험체의 형상은 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Shape of specimen (mm)

### 2.3 실험변수

본 연구의 실험변수는 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 보강비율로 하였으며, 시험체는 원형 및 사각단면 시험체로서 총 10개를 제작하여 실험하였다. <Fig. 2 (a)~(d)>는 사각단면에 대한 합성수지의 보강 단면적 비율에 따라 나타내었고, <Fig. 2 (e)~(h)> 또한 원형단면에 대한 합성수지의 보강단면적 비율에 따라 나타내어 목재가 손상된 정도 및 부위에 따른 합성수지의 적용가능성과 보강효과를 비교 및 분석하였다. 시험체의 적용된 변수는 <Table 4>와 같다.



〈Fig. 2〉 Model of specimens

〈Table 4〉 Model of specimen and variable

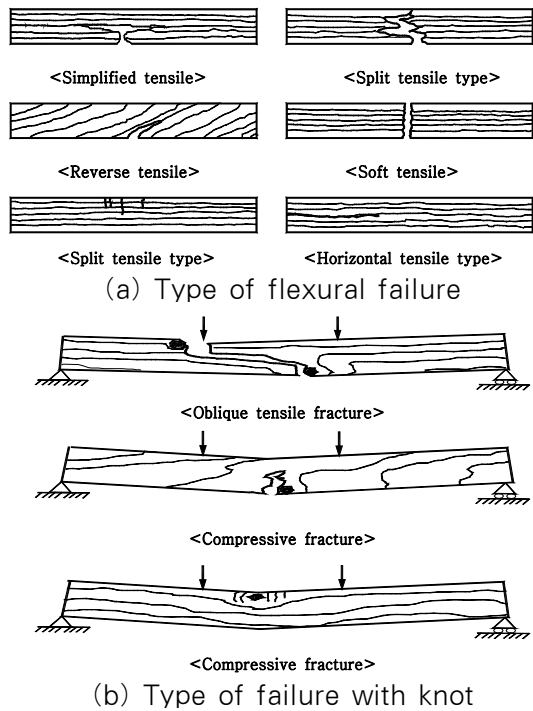
Model of specimen	Applied variable		Note
	Reinforcement ratio of tangential direction (Ar/Ag)	Reinforced length (mm)	
RC-B	-	-	Non
RC-S	16.67%	800	Std
RC-TA1	8.33%	800	
RC-TA2	25%	800	
RC-TA3	33.33%	800	
CB-B	-	-	Non
CB-S	20%	800	Std
CB-A1	10%	800	
CB-A2	30%	800	
CB-A3	40%	800	

## 2.4 재하방법 및 측정항목

가력점은 양 지지점으로부터 각각 350mm의 위치에서 2점 가력하였다. 단순보 지지조건을 만족시키기 위해 지지점과 가력지점에 핀 경계조건을 설치하였으며, 981kN 용량의 유압식 만능재료시험기(U.T.M)을 가력장치로 사용하여 변위 제어방식(Stroke control)을 선택해서 1mm/min로 가력하였다. 측정 항목은 하중, 부재의 변위 및 목재와 합성수지의 변형률 그리고 하중 증가에 따른 목재와 합성수지의 상태를 육안으로 관찰하여 전체적인 시험체의 상태를 파악하여 기록하였다. 시험체의 중앙부 하단과 가력점의 1개소에 변위측정기(LVDT)를 설치하여 목재의 특성상 지점에서 발생하는 목재의 압입(壓入)현상에 의한 변위를 측정하여 시험체의 실제 변위량을 보정하고자 하였다. 목재 및 합성수지의 변형률은 시험체 중앙부의 목재 및 합성수지 부분에 3개소의 스트레인 게이지를 부착하여 측정하였으며, 측정된 변형률 값의 변화율을 가지고 중립축의 위치 변화를 확인하며, 부재의 항복여부를 평가하고자 하였다. 실험에서의 변위 측정기의 변위와 목재 및 합성수지의 변형률은 데이터 자료 습득기(TDS-602)를 통하여 습득하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

합성수지의 보강비율에 따라 목구조물의 휨에 대한 보수 및 보강 효과를 알아보기 위한 실험의 결과는 <Table 5>에 나타내고 있으며, <Fig. 3>에서는 목재의 일반적인 휨 파괴양상의 형태를 나타내고 있다<sup>2)</sup>.



<Fig. 3> Flexural failure mode of wood

#### 3.1 파괴양상

시험체의 대표적인 파괴양상은 <Fig. 3>과 같이 휨에 의한 파괴와 용이에 의한 파괴형으로 구분할 수 있다<sup>4),5)</sup>. 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율에 따라 RB-A 계열의 시험체는 단순인장 파괴와 국부 역목 인장파괴 되었다. CB-A 계열 시험체는 단면 하부에 위치한 용이부근에서 초기 균열이 발생하기 시작하였으며, 대부분이 용이에 의한 파괴형인 사주 인장파괴 또는 국부 역목 인장파괴 양상을 나타내었다. 또한 하중이 증가하면서 목재와 합성수지의 접합면에서 합성수지가 부분적으로 박리 및 탈락이 발생하였으며 이후 전체적으로 파괴 되는 현상이 발생하였다. 이는 시공 과정 상의 문제에 의한 것으로 충분한 부착강도가 발휘되지 못하는 것으로 사료되며, 신중하고 정밀한 시공이 필요 할 것으로 판단된다.

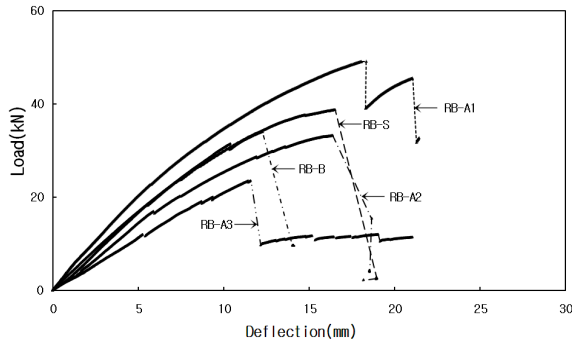
#### 3.2 하중 - 변위곡선

##### 3.2.1 RB 계열 시험체

<Fig. 4>의 하중-변위 곡선을 보면, RB 계열 시험체의 경우에는 목재 전 단면적에 대한 합성수지 보강비율이 8.33%, 16.67%인 RB-A1 및 RB-S 시험체의 최대강도는 원부재의 최대강도보다 각각 44.3%, 13.8% 증가하였으나, 보강비율이 25%, 33.33%인 RB-A2 및 RB-A3 시험체는 각각 2.3%, 30.7% 감소하는 것으로 나타났다.

<Table 5> Experiment results of specimens

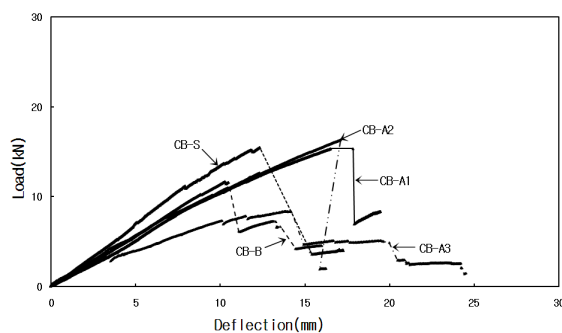
Model of specimen	Maximum load $P_{max}$ (kN)	Maximum load displacement $\delta_u$ (mm)	Maximum bending moment (kN · m)	Maximum strain of synthetic resin $\epsilon_{ce,max}$ ( $\times 10^{-6}$ )	Yield load $P_y$ (kN)	Yield displacement $\delta_y$ (mm)	Ductility coefficient nt ( $\delta_u/\delta_y$ )	Initial rigidity ( $K_E = \frac{P_y}{\delta_y}$ )	Plastic region rigidity ( $K_P = \frac{P_{max} - P_y}{\delta_u - \delta_y}$ )	Mode of crack
RB-B	34.02	12.28	5.95	-	30.26	10.36	1.24	2.92	1.52	Oblique tensile
RB-S	38.73	16.52	6.78	2106	34.08	12.18	1.36	2.80	1.07	Simplified tensile
RB-A1	49.08	18.05	8.59	3492	42.47	13.67	1.32	3.11	1.51	Simplified tensile
RB-A2	33.22	16.39	5.81	2753	29.24	12.46	1.39	2.35	0.83	Local reverse tensile
RB-A3	23.56	11.44	4.12	2210	21.89	10.49	1.09	2.09	1.77	Simplified tensile
CB-B	11.72	10.29	2.05	-	11.21	9.83	1.05	1.14	1.11	Local reverse tensile
CB-S	15.50	12.34	2.71	3528	14.27	10.91	1.13	1.31	0.86	Oblique tensile
CB-A1	15.35	16.53	2.69	4757	14.64	14.05	1.18	1.04	0.29	Local reverse tensile
CB-A2	16.31	17.09	2.85	3208	14.94	15.32	1.12	0.98	0.77	Oblique tensile
CB-A3	8.43	13.86	1.48	2472	7.53	10.86	1.28	0.69	0.30	Local reverse tensile



<Fig. 4> Load-deflection curve of RB-A specimen

### 3.2.2 CB 계열 시험체

<Fig. 5>의 CB 계열의 시험체에서 하중-변위곡선은 시험체의 대부분은 변위 증가량이 하중 가력 초기에 하중 증가량보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 초기 하중 가력 시 가력지점과 지지점에서 발생하는 압입현상에 의한 압흔이 발생하는 목재의 일반적인 재료적 특성에 의한 것으로 판단된다<sup>6)</sup>. CB-A1, CB-S 및 CB-A2 시험체의 최대강도는 원부재보다 31.0%, 32.3%, 39.2% 증가하는 것으로 나타났으며, 보강비율이 40%인 CB-A3 시험체는 28.1% 감소하는 것으로 나타났다.



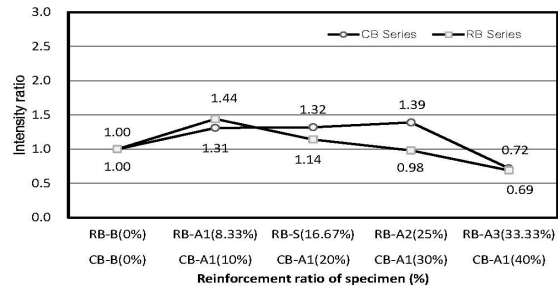
<Fig. 5> Load-deflection curve of CB-A specimen

### 3.3 최대강도비

원부재의 최대강도와 각각 시험체의 최대강도를 비교한 비율을 <Fig. 6>과 같이 최대강도비로 나타내었다.

원형단면 휨 부재는 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율이 30%를 초과하면 원부재의 최대강도보다 낮아지면서 보강효과가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 사각단면 휨 부재는 목재 전

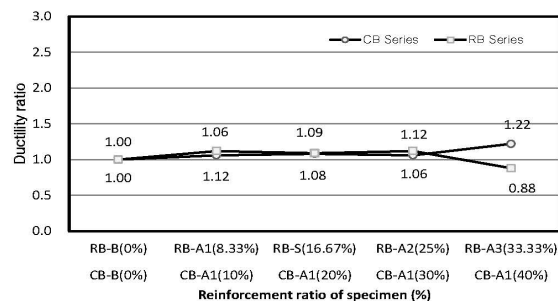
단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율이 25%를 초과하면 원부재의 최대강도보다 낮아지는 것으로 나타났다.



<Fig. 6> Maximum strength ratio of specimen

### 3.4 연성비

연성비 계수는 부재의 항복 시의 변위에 대한 부재 파괴 시의 변위의 비율로 나타내었으며, 원부재(무보강)를 기준으로 각 시험체의 연성계수를 비교한 비율을 연성비로 정의하였다. 본 연구의 실험결과에 대한 시험체별 연성비는 <Fig. 7>과 같다.



<Fig. 7> Ductility ratio of specimen

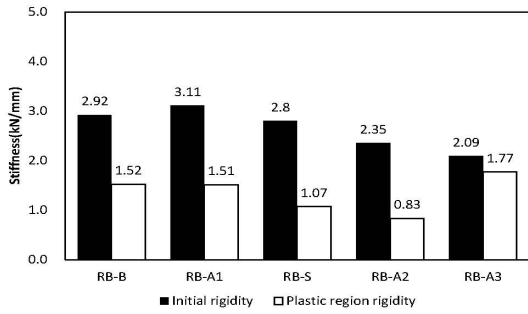
<Fig. 7>에서 원형단면 휨 부재는 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율이 높을수록 원부재(무보강)의 연성능력보다 뛰어난 것으로 나타났으며, 사각단면 휨 부재는 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 보강비율이 40% 미만일 경우에는 보강비율이 높을수록 원부재(무보강)보다 연성능력이 뛰어난 것으로 나타났다.

### 3.5 강성

#### 3.5.1 RB 계열 시험체

<Fig. 8>에서 보는 바와 같이, RB 계열 시험체의

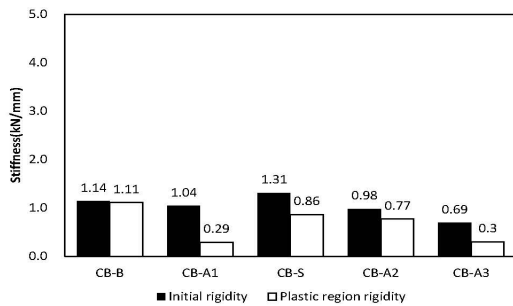
초기강성은 RB-A1 시험체가 원부재보다 6% 향상되는 것으로 나타났으며 RB-A1 시험체를 제외한 모든 시험체는 저하되는 것으로 나타났다. 소성역강성은 RB-A3 시험체는 원부재보다 16% 향상되는 것으로 나타났으며, RB-A3 시험체를 제외한 모든 시험체가 저하되는 것으로 나타났다.



<Fig. 8> Initial and plastic region rigidity of RB-A specimens

### 3.5.2 CB 계열 시험체

<Fig. 9>에서 보는 바와 같이, CB 계열 시험체의 초기강성은 원부재보다 CB-S 시험체는 15% 향상되었으나, CB-A1, CB-A2 및 CB-A3 시험체는 각각 9%, 14%, 39% 저하되는 것으로 나타났다. 소성역강성의 경우 CB-S, CB-A1, CB-A2 및 CB-A3 시험체는 원부재보다 각각 23%, 74%, 30%, 73% 저하되는 것으로 나타나 소성역강성은 모든 시험체가 저하되었다.



<Fig. 9> Initial and plastic region rigidity of CB-A specimens

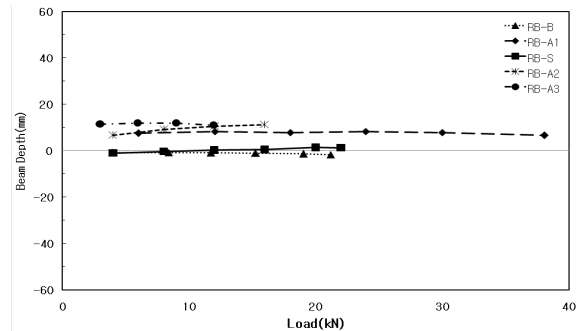
## 3.6 중립축

스팬의 중앙부에 목재와 합성수지에 부착된 스트레인 게이지를 통해서 얻은 변형률을 통해 하중 증

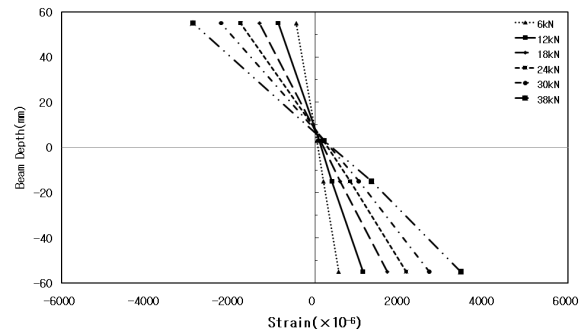
가에 따른 중립축의 변화 및 목재와 보강재인 합성수지의 합성거동 효과를 분석하였다.

### 3.6.1 RB 계열 시험체

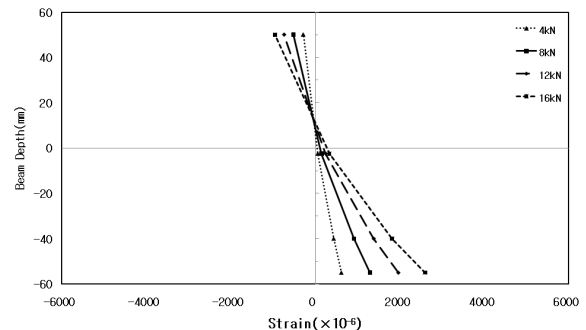
<Fig. 10>은 RB 계열 시험체의 중립축 변화를 나타내고 있다. 원부재 시험체 RB-B의 인장 측 변형률은 하부에 위치한 응이에 의해서 다른 시험체와는 다르게 비선형으로 거동하였고, 중립축이 하부에 위치하였다. RB-A 계열의 시험체는 RB-B 시험체의 중립축보다 상부에 위치하며, 선형으로 나타난 것으로 보아 합성수지와 목재가 충분히 합성거동을 하는 것으로 파악된다.



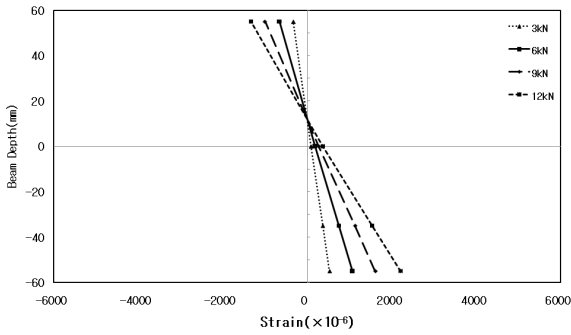
(a) Movement of neutral axis with increasing load



(b) RB-A1 specimen



(c) RB-A2 specimen

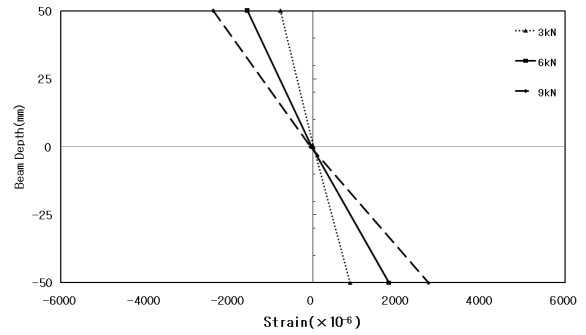


(d) RB-A3 specimen

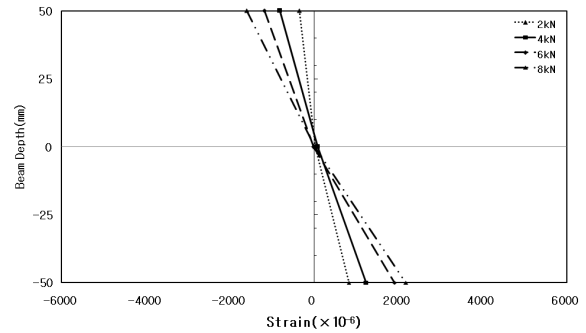
<Fig. 10> Change of neutral axis RB-A specimen

### 3.6.2 CB-A 계열 시험체

<Fig. 11>는 CB 계열 시험체의 중립축 변화를 나타내고 있다. 원부재 시험체 CB-B의 경우는 압축측 변형률이 상부에 위치한 응이에 의해서 다른 시험체와는 다르게 비선형으로 거동하였으며, 중립축이 하부에 위치하였다. 이는 목재 재료의 압축강도보다 인장강도가 더 높기 때문이고, CB-A 계열의 시험체 모두 중립축은 원부재의 중립축보다 상부에 위치하는 것으로 나타났으며, 선형으로 나타난 것으로 보아 합성수지와 목재가 충분히 합성거동을 하는 것으로 사료된다.

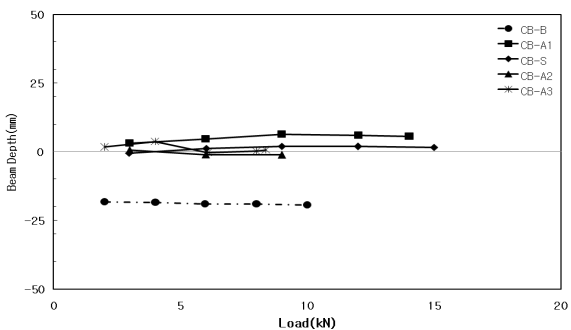


(c) CB-A2 specimen

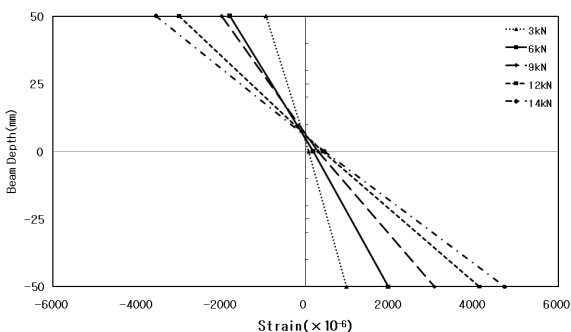


(d) CB-A3 specimen

<Fig. 11> Change of neutral axis CB-A specimen



(a) Movement of neutral axis with increasing load



(b) CB-A1 specimen

## 4. 결론

본 연구는 원형 및 사각단면을 가진 목조건조물의 부식 및 손상된 휨 부재를 합성수지의 보강비율을 변수로 하여 제작한 시험체의 휨 실험을 수행 후 적절한 비율에 대해 분석하고 그에 대한 보강효과와 적용가능성을 분석하였다. 실험의 결과는 다음과 같다.

1) 전체적으로 하중에 대한 파괴양상과 휨 변위를 고려할 경우에 휨 부재에서 합성수지 보강비율은 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율을 25% 이하로 보강하는 것이 경제성 및 효율성에서 충분한 효과가 있는 것으로 사료된다.

2) 원형단면 휨 부재는 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 단면 보강비율이 높을수록 연성능력은 뛰어난 것으로 나타났으며, 사각단면 휨 부재 역시 목재 전 단면적에 대한 합성수지의 보강비율이 40% 미만일 경우에는 보강비율이 높을수록 연성능력이 뛰어난 것으로 나타났다. 즉, 합성수지로 보강한 휨 부재의 연성은 원부재보다 대부분이 우수한 것으로

나타났으므로 단면 보강비율이 최대강도에 미치는 범위 내에서 적절하게 이용할 경우에 부재의 연성 파괴를 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 원형단면 휨 부재는 단면 보강비율을 30% 이하로 보강할 경우에 원부재의 초기강성, 소성역강성과 비슷한 강성을 발휘하는 것으로 나타났으며, 사각단면 휨 부재 역시 보강비율을 30% 이하로 보강할 경우 원부재의 초기강성, 소성역강성과 비슷한 강성을 발휘하는 것으로 나타났다.

4) 중립축 변화로 볼 때 전체적으로 모든 원형단면 및 사각단면 시험체는 합성수지가 보강된 경우에 선형거동을 하는 것으로 나타났으며, 이는 휨 부재의 목재부분과 보강재인 합성수지가 하중에 대하여 충분히 합성거동을 하는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해서 손상된 목조구조물의 원형 및 사각단면 휨 부재를 합성수지의 적정 보강비율을 사용하여 보강 시 충분한 보강효과와 이용가능성을 확인할 수 있었다. 앞으로 더 정확한 기준과 방법을 찾기 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## References

1. Kim, Wang-Jik, Cho, Hyun-Jung, "A study on the Conservation of Historic Timber Architecture by Synthetic Resin", Journal of Architectural History, Vol.15, No.1, 2006, pp.43-57
2. Lee, Jong-Kyun, "Experimental Study on the Flexural Behavior of Deteriorated Wooden Beams Reinforced with Synthetic Resin", M.S Thesis, Yeungnam University, 2011, pp. 136
3. Yu, Tae-Jung, Kim, Byung-Ho, "Repairing Measures and Methods of Dilapidated Wooden Buildings, Architectural Institute of Korea", Vol.36, No.4, 1992, pp. 46-47
4. Lee, Jong-Kyun, Park, Sung-Moo, "A study on the Flexural Capacity of Circular Section Wood using Synthetic Resins", Architectural Institute of Korea, Vol.26, No.8, 2009, pp. 49-50
5. Lee, Seung-Jung, "A Study on Structural Flexural Strengthening of Traditional Wooden Architecture, Graduate School of Industry", Chosun University, 2008, pp. 36-37
6. Lee, Hwa-Hyung, Yeo, Hwan-Myeong et al, Report Wood Physical and Mechanical, Hyangmunsa, 2008, pp.20, pp.293, pp.296

- Received : August 03, 2017
- Revised : August 07, 2017
- Accepted : August 07, 2017