

합성수지의 보강비율에 따른 목재의 압축보강 성능에 관한 연구

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

강 호 근*
Kang, Ho-Geun

Abstract

Preservation of wooden structure due to deterioration and corrosion is based on preservation of original form, and wooden member should not be arbitrarily replaced or damaged. Accordingly, preservation processing method with synthetic resins is embossed. But it has an adverse effect because there is no exact standard for the reinforcement ratio with the synthetic. This paper experimental study for reinforcement ratio of wooden compressive member with synthetic resins, Reinforced ratio on section area of compressive member and direction. As a result, synthetic resin reinforcement selected as experimental variables by proper ratio enhanced compressive capacity of reinforced wooden member, than new wooden member.

Keywords : Synthetic resins, Compressive wooden member, Reinforcement ratio, Reinforcement direction

1. 서론

목재는 동서양을 막론하고 인류에게 유용한 재료로서 오래전부터 자연에서 쉽게 구할 수 있고, 가공성이 좋으며, 비중에 비해 강도가 상당히 뛰어나다. 반면 가연성 및 웅이, 엇결 등에 따른 구조적 결함, 풍화나 부식 충해로 인한 내구성 저하, 건조와 함수율 변화에 따른 부피의 변화 등의 결점을 가지고 있어 비틀림과 변형 등의 성능저하 현상이 주로 발생한다. 성능저하 현상에 의해 손상된 부재를 방치하면 전체적인 구조물의 변형으로 인해 큰 위험이 발생하게 된다. 그러므로 주기적인 보수는 필수적인 조치이며 목구조물의 수명을 연장할 수 있다. 전통목구조물의 경우 부식 및 노후화에 대한 보존수리는 원형 유지를 기본원칙으로 하며, 수리로 인해 임의로 부재를 교체하거나 인위적인 훼손을 가하는

과오를 범해서는 안 된다¹⁻⁴⁾.

이에 따라, 전통목구조물의 보수·보강방법으로 물리적·화학적 방법이 결합된 합성수지를 이용하여 부식 손상된 부재의 빈 공간에 적절한 보강비율의 에폭시 등을 이용하여 채우거나 균열이 발생된 부재를 보강하는 방법이 대두되고 있다. 하지만 합성수지 보강 시 보강비율에 대한 정확한 기준이 없어 적절하지 못한 보강비율을 사용할 경우 신재보다 구조내력이 낮아져 오히려 경제성과 효율성 측면에서 역효과를 야기할 수도 있다.

이에 본 연구에서는 목조건축물의 구조부재 중 손상된 압축부재를 보수 및 보강할 경우에 합성수지의 적절한 보강비율에 대한 구조적 내력증진을 평가하고자 한다. 원형단면과 사각단면 압축부재 각각 9개, 총 18개의 시험체에 대한 실험결과를 바탕으로 적절한 보강비율을 하중·처짐 곡선, 강도, 강성에 따라 분석하고 목조건축물의 압축부재 보존처리 및 보수에 대한 지침의 근거자료를 마련하고자 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. 압축보강 성능 실험

2.1 사용재료

2.1.1 목재의 물성

시험체 제작에 사용된 목재는 구조재에 적합한 함수율 10% 내외의 국내산 적송을 사용하였으며, 재료적 특성은 <Table 1>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

2.1.2 합성수지 보강재

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

<Table 2> Component of synthetic resins

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

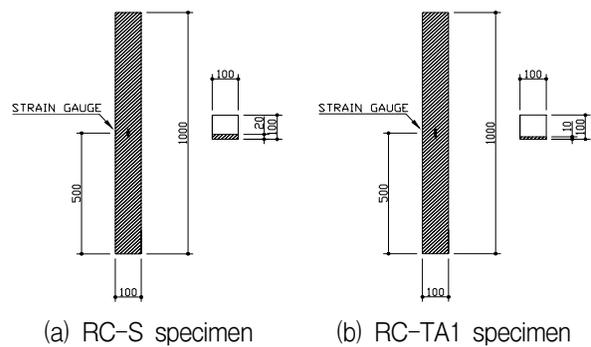
<Table 3> Material properties of synthetic resins

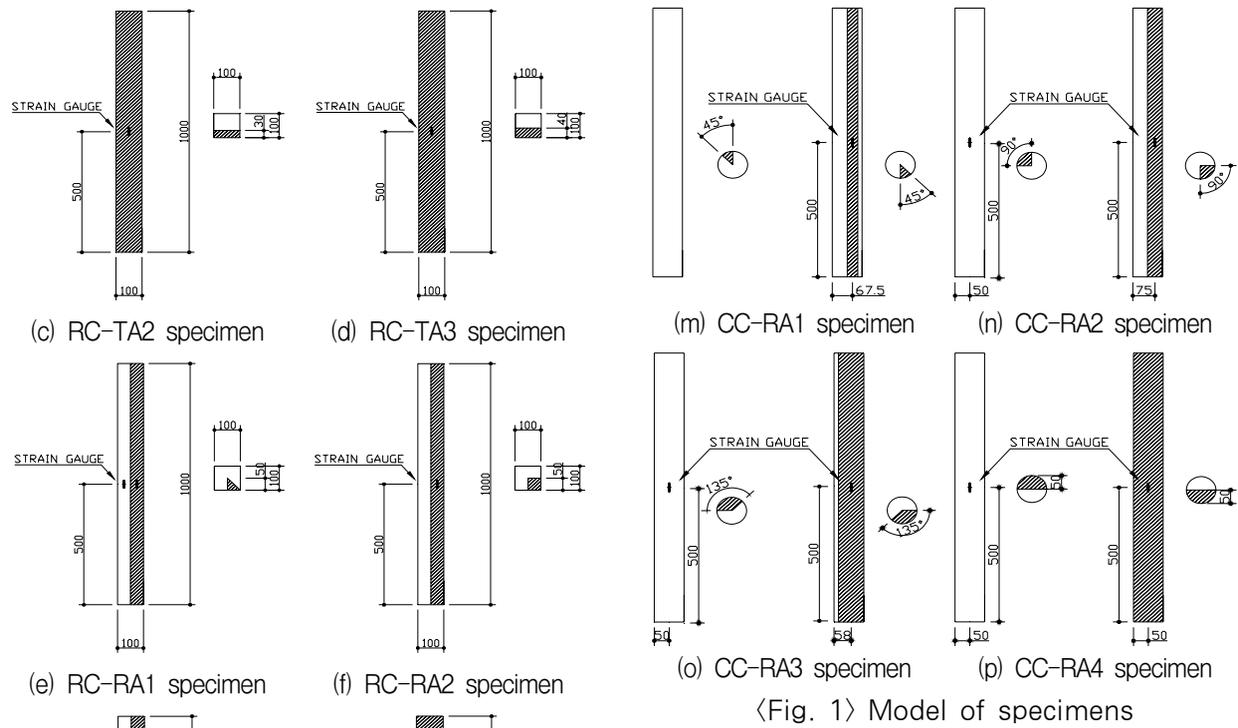
List of measurement (N/mm^2)	Result value	The test method
Flexural rigidity	8.6	KS M 3015 : 2003
Modulus of elasticity in bending	1489	KS M 3015 : 2003
Compressive strength	21.7	KS M 3015 : 2003
Elastic modulus of compressibility	3100	KS M 3015 : 2003
Tensile strength	3.7	KS M 3006 : 2003
Bond strength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

2.2 시험체 제작 및 실험변수

본 연구의 시험체의 크기는 원형단면의 경우 지름은 100mm이며, 사각단면은 100mm×100mm이고 2가지 시험체 모두 높이는 1000mm이다. 각 시험체는 원부재(무보강)와 원부재의 일부 단면을 합성수지의 보강비율에 따라 제거 후 제거된 단면에 합성수지로 충전하여 시험체를 제작하였다.

이에 본 연구의 적용된 실험변수는 목재 전 단면에 대한 합성수지의 보강단면적과 보강방향으로 선정하였으며 <Fig. 1 (a)~(p)>와 같이 사각 및 원형 단면에 대한 합성수지의 보강방향에 보강단면적 비율에 따라 총 원부재를 제외한 총 16개의 시험체를 제작하였다. 시험체의 적용된 변수는 <Table 4>와 같다. 단면형상별 보강면적의 차이는 같은 면적의 보강비율을 원형단면과 사각단면에 적용하여야 하지만 원형단면의 보강면적이 곡선으로 이루어져 사각단면의 보강비율 근사 값으로 하였다.





〈Fig. 1〉 Model of specimens

〈Table 4〉 Model of specimen and variable

Model of specimen	Applied variable			Note
	Reinforcement ratio of tangential direction (Ar/Ag)	Reinforcement ratio of radial direction (Ar/Ag)	Reinforced length (mm)	
RC-B	-	-	-	Non
RC-S	20%	-	1000	Std
RC-TA1	10%	-	1000	
RC-TA2	30%	-	1000	
RC-TA3	40%	-	1000	
RC-RA1	-	12.5%	1000	
RC-RA2	-	25.0%	1000	
RC-RA3	-	37.5%	1000	
RC-RA4	-	50.0%	1000	
CC-B	-	-	-	Non
CC-S	19.6%	-	1000	Std
CC-TA1	10.3%	-	1000	
CC-TA2	30.0%	-	1000	
CC-TA3	39.9%	-	1000	
CC-RA1	-	12.5%	1000	
CC-RA2	-	25.0%	1000	
CC-RA3	-	37.5%	1000	
CC-RA4	-	50.0%	1000	

2.3 재하방법 및 측정항목

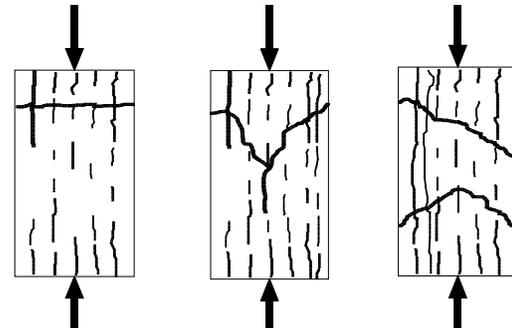
하중의 가력장치로는 981kN 용량의 유압식 만능 재료시험기(U.T.M)를 사용하였고, 변위(Stroke) 제어

방식을 선택하여 0.5mm/min로 가력하였다. 이 때, 순수한 압축에 의한 파괴가 일어날 수 있도록 1축 가력을 하였으며 단면의 도심에 하중이 작용할 수 있도록 시험체를 설치하여 편심모멘트가 발생하지 않도록 유도하였다. 고정된 상부베드 1개소에 변위 측정기(LVDT)를 설치하여 하중의 증가에 따른 부재의 길이방향 처짐을 측정하였다. 목재 및 합성수지의 변형률은 시험체 중앙부의 합성수지면에 1개소 또는 목재, 합성수지 양면 2개소에 스트레인 게이지(Strain gage)를 부착하여 측정하였다. 측정 항목은 압축하중, 부재의 길이방향 처짐 및 목재와 합성수지의 변형률을 육안으로 관찰하여 전체적인 양상을 기록하였다. 측정된 변형률 값의 변화를 가지고 목재와 합성수지의 일체화 거동에 대한 평가와 부재의 좌굴에 의한 횡변위의 발생을 평가하고자 한다. 실험에서의 가력된 압축하중과 변위 측정기의 변위, 목재 및 합성수지의 변형률은 데이터 자료 습득기(TDS-602)를 통하여 습득하였다.

3. 실험결과 및 분석

합성수지의 보강비율에 따른 보강효과를 알아보기 위한 실험 결과는 <Table 5>에 정리하였으며, 목

재의 일반적인 압축파괴양상에 대한 형태는 <Fig. 2>에 나타내고 있다.



(a) Compressive (b) Cleavage (c) Shear

<Fig. 2> Compressive failure mode of wood

3.1 파괴양상

원형 및 사각단면 압축부재의 전체적인 파괴양상은 압축에 의한 파괴형인 실패형, 전단형 및 압축형에 의해서 파괴되는 양상을 나타내었다. 이는 목재 자체가 가지고 있는 비균질적인 특성과 용이, 연륜 등의 영향으로 다양한 파괴양상을 나타낸 것으로 판단되며 초기균열 발생 후 좌굴에 의한 횡변위가 발생하였고, 이로 인하여 부재의 좌굴이 증가하여 합성수지의 일부분 또는 전부가 박리 및 탈락되는 양상을 나타내었다⁵⁾. CC계열 및 RC계열 시험체의

<Table 5> Experiment results of specimens

Model of specimen	Maximum load P_{max} (kN)	Maximum load displacement δ_u (mm)	Yield load P_y (kN)	Yield displacement δ_y (mm)	After yielding minimum load P_{min} (kN)	Initial rigidity $(K_E = \frac{P_y}{\delta_y})$	Plastic region rigidity $(K_P = \frac{P_{max} - P_y}{\delta_u - \delta_y})$	Plastic deformation magnification (η)	Mode of crack
RC-B	156.80	10.34	140.77	6.58	82.57	21.39	3.48	3.18	Cleavage
RC-S	225.79	6.16	213.54	5.53	154.04	38.61	10.21	3.48	Fail
RC-TA1	236.77	6.01	214.60	5.08	137.44	42.24	17.73	2.88	Compressive
RC-TA2	179.58	7.25	175.11	6.45	93.24	27.15	2.35	2.13	Shear
RC-TA3	100.25	8.02	92.41	6.26	53.63	14.76	2.77	2.50	Cleavage
RC-RA1	156.60	5.51	147.33	4.58	89.51	32.17	4.66	2.50	Shear
RC-RA2	163.64	4.98	153.70	4.24	93.75	36.25	7.15	3.26	Cleavage
RC-RA3	181.87	6.99	165.82	6.45	96.16	25.71	14.72	1.95	Shear
RC-RA4	141.83	6.92	133.87	5.73	109.60	23.36	5.64	2.02	Compressive
CC-B	172.36	3.90	159.56	3.15	108.62	50.65	9.34	4.79	Cleavage
CC-S	166.29	6.84	152.27	4.83	94.08	31.53	5.33	2.97	Compressive
CC-TA1	186.73	4.70	176.30	3.95	105.33	44.63	6.64	2.65	Shear
CC-TA2	126.75	7.36	115.99	3.87	87.20	29.97	2.42	4.64	Compressive
CC-TA3	129.42	7.03	121.89	5.81	79.42	20.98	3.96	2.54	Shear
CC-RA1	191.49	4.96	176.48	3.91	60.37	45.14	8.99	2.71	Compressive
CC-RA2	158.31	6.78	145.29	4.82	49.37	30.14	5.84	3.48	Cleavage
CC-RA3	145.57	8.01	128.85	5.89	61.00	21.88	7.89	2.54	Shear
CC-RA4	111.50	7.84	99.80	5.86	26.40	17.03	5.09	2.70	Cleavage

대표적인 파괴 및 균열의 형태는 <Fig. 3>의 (a)~(f)와 같다.



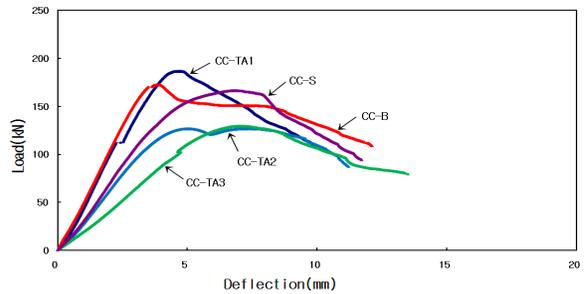
<Fig. 3> Failure mode

3.2 하중-변위 곡선

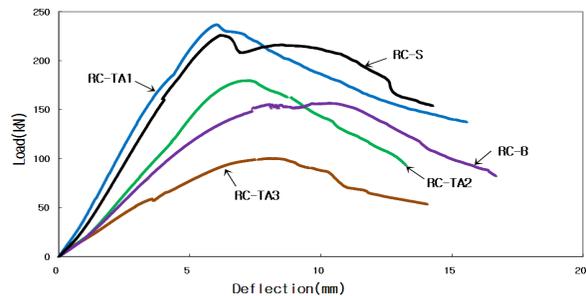
3.2.1 접선방향의 보강 시험체

<Fig. 4>와 <Fig. 5>의 하중-변위 곡선을 보면, 원형단면 접선방향 보강비율이 각각 20%, 30%, 40%인 CC-S, CC-TA2 및 CC-TA3 시험체는 원부재의 최대강도보다 각각 3.6%, 26.5%, 24.9% 감소하는 것으로 나타났지만 접선방향 보강비율이 10%인 CC-TA1 시험체는 8.3% 향상되는 것으로 나타났다. 사각단면의 경우 보강비율이 10%, 20%, 30%인 RC-TA1, RC-S 및 RC-TA2 시험체는 원부재의 최대강도보다 각각 51%, 43.9%, 14.5% 향상되었지만, 보강비율이 40%인 RC-TA3 시험체는 36.1% 감소하는 것으로 나타났다. 단면형상에 의한 보강비율의 차이는 있지만 접선방향의 적정보강비율은 약 20% 이내

인 것으로 사료된다.



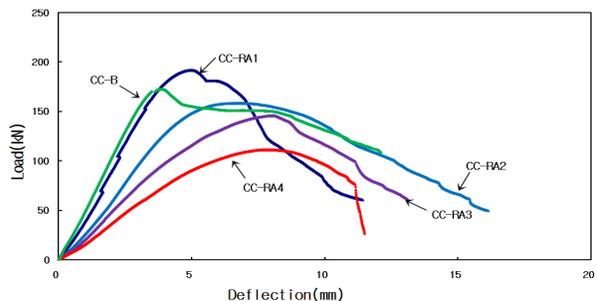
<Fig. 4> Load-deflection curve of CC-TA specimen



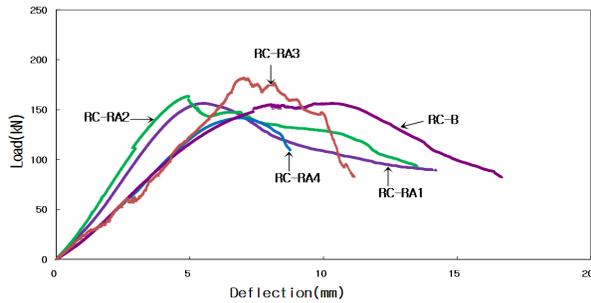
<Fig. 5> Load-deflection curve of RC-TA specimen

3.2.2 방사방향의 보강 시험체

<Fig. 6>의 하중-변위곡선을 보면, 원형단면 방사방향 보강비율이 12.5%인 CC-RA1 시험체는 원부재의 최대강도보다 11.1% 향상되었으며, 보강비율이 25%, 37.5%, 50%인 CC-RA2, CC-RA3 및 CC-RA4 시험체의 최대강도는 각각 8.2%, 15.5%, 35.3% 감소하는 것으로 나타났다.



<Fig. 6> Load-deflection curve of CC-RA specimen



<Fig. 7> Load-deflection curve of RC-RA specimen

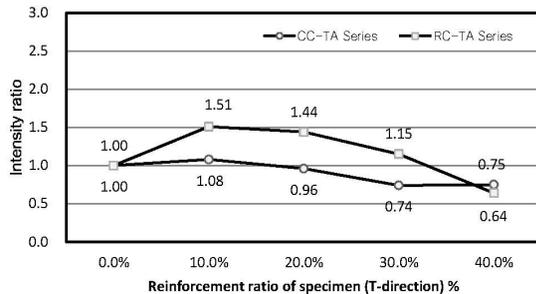
<Fig. 7>의 사각단면 하중-변위 곡선의 경우 방사 방향 보강비율이 12.5%, 25%, 37.5%인 RC-RA1, RC-RA2 및 RC-RA3 시험체는 원부재의 최대강도 보다 각각 0%, 4.4% 15.9% 향상되는 것으로 나타났지만, 보강비율이 50%인 RC-RA4 시험체는 9.5% 저하되는 것으로 나타났다.

3.3 최대강도비

최대강도비는 원부재의 최대강도에 대한 각 시험체의 최대강도비로 나타내었으며, 본 연구의 실험 결과에 대한 합성수지의 최대강도비는 다음과 같다.

3.3.1 접선방향 시험체 최대강도비

<Fig. 8>는 원형단면과 사각단면 압축부재의 부재 전 단면적에 대한 접선방향 보강비율에 따른 강도비를 비교한 것이다. 사각단면 압축부재는 접선방향 보강비율이 30%를 초과하면 최대강도비가 낮아지는 것으로 나타났으며 원형단면 압축부재는 20%를 상회하면 보강효과가 없는 것으로 나타났다.

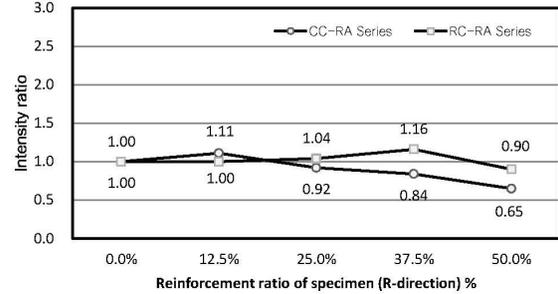


<Fig. 8> Strength ratio of specimen(T-direction)

3.3.2 방사방향 시험체 최대강도비

<Fig. 9>는 원형단면과 사각단면 압축부재의 부

재 전 단면적에 대한 방사방향 보강비율에 따른 강도비를 비교한 것이다. 원형단면 압축부재는 부재 전 단면적에 대한 방사방향 보강비율이 12.5%를 초과하면 보강효과가 감소하는 것으로 나타났으며, 사각단면 압축부재는 부재 전 단면적에 대한 방사방향 보강비율이 37.5%를 초과하면 보강효과가 감소하는 것으로 나타났다.

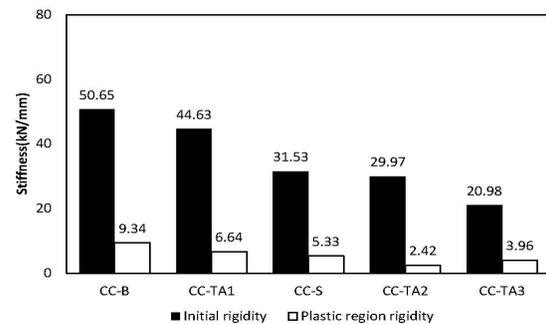


<Fig. 9> Strength ratio of specimen(R-direction)

3.4 강성

3.4.1 접선방향 보강 시험체

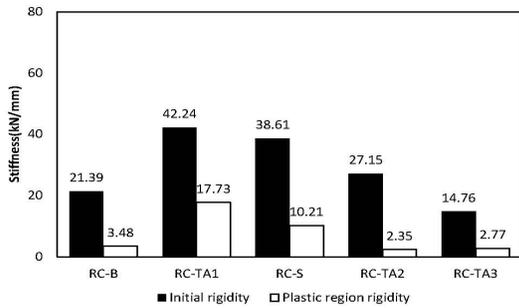
<Fig. 10>에서 보는 바와 같이, 원형단면의 CC-TA계열 시험체의 초기강성은 CC-S, CC-TA1, CC-TA2 및 CC-TA3 시험체가 원부재보다 각각 38%, 12%, 41%, 59% 저하되는 것으로 나타났으며, 소성역강성은 CC-S, CC-TA1, CC-TA2 및 CC-TA3 시험체가 원부재보다 각각 43%, 29%, 74%, 58% 저하되는 것으로 나타났다.



<Fig. 10> Initial and plastic region rigidity of CC-TA specimens

<Fig. 11>에서 보는 바와 같이, 사각단면의 RC-TA계열 시험체의 초기강성은 RC-S, RC-TA1 및 RC-TA2 시험체가 원부재보다 각각 81%, 97%, 27% 향상되는 것으로 나타났고 RC-TA3 시험체는

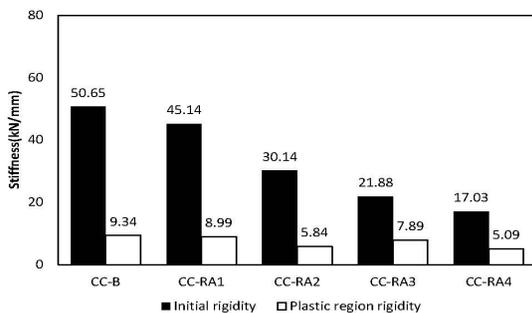
31% 저하되는 것으로 나타났으며, 소성역강성은 RC-S 및 RC-TA1 시험체가 각각 193%, 410% 향상되는 것으로 나타났고 RC-TA2 및 RC-TA3 시험체는 각각 32%, 20% 저하되는 것으로 나타났다.



〈Fig. 11〉 Initial and plastic region rigidity of RC-TA specimens

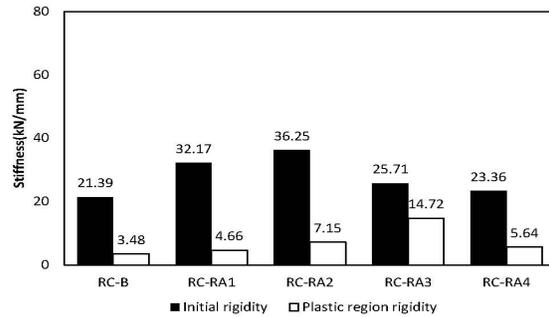
3.4.2 방사방향 보강 시험체

〈Fig. 12〉에서 보는 바와 같이, 원형단면 CC-RA 계열 시험체의 초기강성은 CC-RA1, CC-RA2, CC-RA3 및 CC-RA4 시험체에서 원부재보다 각각 11%, 40%, 57%, 66% 저하되는 것으로 나타났으며, 소성역강성은 CC-RA1, CC-RA2, CC-RA3 및 CC-RA4 시험체에서 각각 4%, 37%, 16%, 46% 저하되는 것으로 나타났다.



〈Fig. 12〉 Initial and plastic region rigidity of CC-RA specimens

〈Fig. 13〉에서 보는 바와 같이, 사각단면 RC-RA 계열 시험체의 초기강성은 RC-RA1, RC-RA2, RC-RA3 및 RC-RA4 시험체가 원부재보다 각각 50%, 69%, 20%, 9% 향상되는 것으로 나타났으며, 소성역강성은 RC-RA1, RC-RA2, RC-RA3 및 RC-RA4 시험체에서 각각 34%, 105%, 323%, 62% 향상되는 것으로 나타났다.



〈Fig. 13〉 Initial and plastic region rigidity of RC-RA specimens

4. 결론

본 연구에서는 목조건조물의 부식 및 손상된 사각단면 압축부재를 합성수지로 충전하여 보강하였을 경우, 적정보강비율을 분석하기 위한 실험적 연구이다. 본 실험적 연구결과는 다음과 같다.

1) 목리의 접선방향으로 합성수지를 보강한 사각단면 압축부재에서 보강비율이 낮을수록 최대강도 및 초기강성이 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 목리의 접선방향 보강비율은 30% 미만으로 보강하는 것이 효과적이다.

2) 목리의 접선방향으로 합성수지를 보강한 원형단면 압축부재의 경우 보강비율이 10.3%, 19.6%, 30%인 경우 각각 1.08, 0.97, 0.74의 강도비가 나타났고 초기강성은 원부재보다 각 시험체가 저하된 것으로 보아 접선방향 보강비율이 약 20%를 상회하는 경우에는 보강효과가 없는 것으로 사료된다.

3) 목리의 방사방향으로 합성수지를 보강한 사각단면에서는 보강비율이 37.5%일 때 최대강도가 가장 높게 향상되었고 초기강성의 경우 보강비율이 25%일 때 가장 높게 향상되었다. 따라서 목리에 방사방향 보강비율은 25~37.5%로 하는 것이 보강시 가장 효과적인 것으로 나타났다.

4) 목리의 방사방향으로 합성수지를 보강한 원형단면에서 보강비율이 12.5%인 경우에 1.11, 20%인 경우에는 0.96로 보강에 대한 강도비가 나타났고 초기강성은 원부재보다 각 시험체가 저하되었다. 따라서 방사방향 보강비율이 약 20%를 상회하는 경우에는 보강효과가 없는 것으로 사료된다.

5) 사각단면의 경우 목재의 목리에 대한 보강방향

은 방사방향보다 접선방향이 더욱 보강효과가 크고, 원형단면의 경우 목리에 대한 보강방향은 접선방향이 보강이 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 부재의 손상된 상태에 따라 적절한 보강방향을 결정하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

6) 압축부재를 목리의 접선방향으로 보강할 경우에는 원형단면보다 사각단면 부재를 보강하는 것이 강성측면에서 효과적이지만 목리의 방사방향으로 보강 시 원형단면부재보다 사각단면부재를 보강하는 것이 효과적이다.

본 연구의 결과를 통해 볼 때, 목조구조물의 손상된 압축부재가 보강비율이 20%를 초과할 경우에는 경제적인 측면과 부재 내력적 측면을 고려하였을 때 신재로 교체하는 것이 더욱 타당하다고 사료된다.

합성수지의 적절한 보강비율을 사용하여 보강할 때 신재 이상의 구조내력을 가질 수 있는 것으로 나타났다. 앞으로 목조구조물의 내력증진을 위한 더 많은 연구가 진행되어야 할 것이며, 정확한 규준 정립 및 자료 구축을 위하여 여러 형태 및 고목에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

References

1. "KBC wood design manual", Architectural Institute of Korea, 2008, pp. 89-133
2. Lee, Jong-Kyun, Park, Sung-Moo, "A Study on Axial Load Capacity of Damaged Wooden Column Reinforced with Synthetic Resin", Architectural Institute of Korea, Vol.29, No.1, 2009, pp. 311
3. Wee, In-Sang, Lee, Li-Hyung, "An Theoretical Analysis of the Korean Traditional Wood Building", Architectural Institute of Korea, Collections of Excellent Graduation Theses, 2005, pp. 15-16
4. Yu, Tae-Jeong, Kim, Byung-Ho, "Repairing Measures and Methods of Dilapidated Wooden Buildings", Architectural Institute of Korea, Vol.36, No.4, 1992, pp. 46-47

5. Lee, Seung-Jung, "A Study on Structural Flexural Strengthening of Traditional Wooden Architecture", M.S. Thesis, Chosun University, 2008, pp. 36-37

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