

폴리머 모르터를 이용한 強化木材보의 開發

Development of Reinforced Wood Beams Using Polymer Mortar

延 圭 錫*
Yeon, Kyu Seok

Summary

Based on limited number of tests on reinforced wood beams using polymer mortar in this study, following conclusions were drawn :

1. Reinforcing compression side of wood beam using polymer mortar was effective in reducing deflection.
2. By increasing thickness of polymer mortar, effective beam stiffness was improved, but energy absorption was reduced.
3. Polymer mortar reinforcement improved compressive strength and reduced strain in compression side of the beam. Therefore, it was possible to change the failure mode from by compression in control beam to by tension in composite beams.
4. The composite beams that have more than 2cm of polymer mortar layer did not perform well because a strain redistribution and separation of materials at interface were induced in moment span.
5. To maximize the load carrying capacity of composite beam, it is necessary to make polymer mortar and wood behave together without failing at interface. To do this, it is needed to use a polymer mortar which has high strength with such elastic modulus that is closer to elastic modulus of wood. Otherwise, it is recommended to use shear connectors at interface to prevent separation of materials under ultimate load.

*江原大學校 農科大學

키워드 : 폴리머 모르터, 強化木材보, 荷重-처짐관계, 모멘트-곡률관계, 휨 變形率, 剛性, 極限荷重.

I. 緒 論

高分子材料를 사용한 폴리머 모르터나 콘크리트는 보통시멘트를 이용한 것보다 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 근년에 이르러 建設分野의 現場打設用이나 工場製品用 新素材로서 각광을 받고 있다. 폴리머 모르터나 콘크리트는 強度特性, 接着性, 防水性, 耐久性 등이 우수하고 硬化速度가 빠르며, 특히 壓縮強度와 靱성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

그리고 木材는 오래전부터 建築物用 樞部材나 壓縮部材로서 널리 쓰이고 있는 중요한 材料이나 引張強度에 비해 壓縮強度가 매우 작은 것으로 되어 있다.

따라서 이 研究에서는 폴리머 모르터가 가진 높은 壓縮強度 및 양호한 附着性과 목재가 가진 높은 引張強度 特性을 結合시킨 樞부재를 제작코저 한다. 즉 引張側에서는 木材를, 壓縮側에는 폴리머 모르터를 갖는 強化木材보가 만들어지며, 이는 새로운 樞부재의 개발에 유용한 효과를 가져다 줄 것으로 기대된다.

여기에서 목재보의 強化를 위해 폴리머 모르터를 사용하는 이유는 彈性係數가 폴리머 콘크리트 보다 작아 목재에 더 근접하고, 粗骨材를 사용치 않아 補強部分의 두께를 조절하기가 쉽기 때문이다.

이 연구에서 주된 要因은 2層시스템에서 상층 폴리머 모르터 두께의 변화이므로 補強 두께별로 強化木材보의 構造的 挙動을 實驗的으로 究明

하는데 研究의 目的이 있다.

II. 實驗計劃

1. 材料 및 供試體 製作

폴리머 모르터用 재료로서 細骨材는 주문진산 標準砂(壓縮強度 試驗用)가 이용되었고, 폴리머는 모르터나 콘크리트용으로 汎用化되어 있는 에폭시樹脂(epoxy resin)이었다. 폴리머 모르터 제조시 에폭시수지와 모래의 비는 1:4(重量比)로 하였다.

사용된 木材의 樹種은 木構造用으로 널리 쓰이는 소나무(*pinus desiflora S. et Z.*)였으며, 사용전 常溫에서 건조시켜 氣乾狀態로 하였다.

한국공업규격(KS)의 규정에 따라 측정된 폴리머 모르터 및 소나무의 基礎의 性質은 Table-1과 같다.

強化목재보 제조시 附着力 확보를 위해 폴리머 모르터와 接着되는 목재부분은 製材時의 거칠은 면을 그대로 유지 시켰고, 에폭시 수지로 백코트(tack coat)하였다. 供試보는 폴리머 모르터를 타설한 후 온도 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 습도 60~70% 정도인 실내에서 7일간 양생시켰다.

2. 試驗裝置 및 方法

보의 종류는 5가지이지만 실험데이터의 신빙성 확보를 위해 각 종류마다 2개씩의 보가 제작되었으므로 총갯수는 10개이다.

Table-1. Physical and Mechanical Properties of Polymer Mortar and Pine Tree.

Component	Moisture Content (%)	Specific Gravity	Elastic Modulus (MPa)	Compressive Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Flexural Strength (MPa)
Polymer Mortar	—	1.98	2.01×10^4	73.5	6.8 ^{a)}	39.0
Pine Tree	12.5	0.53 ^{b)}	$1.07 \times 10^{4(c)}$	48.1 ^{c)}	98.2 ^{c)}	—

^{a)} Splitting tensile strength

^{b)} Air dried condition

^{c)} Longitudinal property values

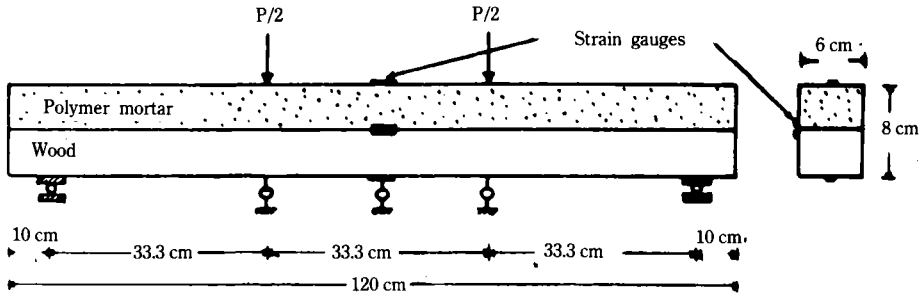


Fig. 1. Instrumentation of Test Beam.

Table-2. Details of Test Beams.

Beam	Height(cm)			Width (cm)	Average Beam Weight (kg)
	Top (Polymer Mortar)	Bottom (Wood)	Total		
Control	0	8	8	6	3.052
P ₁ -W ₇	1	7	8	6	3.967
P ₂ -W ₆	2	6	8	6	4.881
P ₃ -W ₅	3	5	8	6	5.796
P ₄ -W ₄	4	4	8	6	6.710

목재보(control beam)는 폭 6 cm, 높이 8 cm, 길이 120 cm이며, 強化목재보는 목재보의 높이를 각각 1, 2, 3, 4 cm씩 줄이고, 대신 이 부분을 폴리머 모르터로 치환한 것이다. 이것의 세부적인 사항들은 Table-2에 나타나 있다.

필요한 데이터의 측정에는 각종 장치가 이용되었다. 변형율은 30 mm 스트레인 게이지를 보 1개당 4개씩 보의 중앙부에 부착하여 측정하였으며, 처짐은 0.01 mm 정밀도의 다이얼 게이지 3개를 보의 중앙부에 장치하여 측정하였다.

보의 구성 형태와 스트레인 게이지 및 다이얼 게이지의 위치는 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

荷重은 靜荷重으로서 파괴시까지 일정하게 작용시켰으며, 載荷하는 동안 支間中央에서의 처짐 및 폴리머 모르터 부분과 木材部分에서의 變形率이 측정되었다.

III. 結果 및 考察

1. 荷重-처짐 관계

목재보와 強化목재보에 대한 荷重-처짐 관계를 나타낸 것이 Fig. 2이다. 이것은 파괴시까지 總荷重에 대한 보의 中央点에서의 처짐挙動을 보여주는 것이다.

이 결과에서 볼 수 있듯이 목재보와는 달리 強化목재보에서는 폴리머 모르터 部分의 두께가 增加함에 따라 점차적으로 直線化되고 처짐량 또한 감소함을 알 수 있다. 이러한 점으로부터 목재보와 強化목재보의 차이점은 분명히 드러

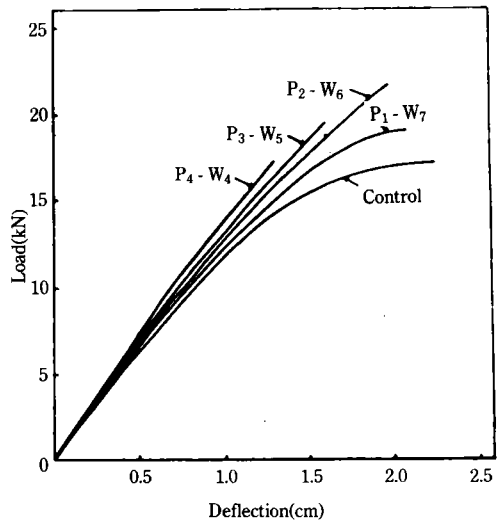


Fig. 2. Loads versus Mid-Span Deflections.

나게 된다. 즉 폴리머 모르타의 補強이 목재보의 처짐량을 감소시키는데 매우 유효하게 작용한다고 할 수 있다.

이들 荷重-처짐 관계를 분석하여 본 결과는 Table-3과 같다. 여기서도 극한처짐은 폴리머 모르타 부분의 두께에 따라 감소함을 알 수 있는데, 폴리머 모르타와 목재의 두께가 각각 4 cm인 경우 급격한 감소를 나타냈다. 한편 荷重作用点에서 처짐량을 이용해 산출된 에너지 吸收量은 역시 폴리머 모르타 부분의 두께증가에 따라 현저한 감소를 보였다.

이러한 結果들을 통해 볼때, 強化목재보는 彈性係數가 큰 폴리머 모르타와 彈性係數가 작은 木材가 合成되어 있기 때문에 처짐이 작아지나 보가 파괴될 때에는 에너지 吸收量이 작아 유연하지 못함을 알 수 있었다.

Table-3. Analysis of Load-Deflection Curves.

Beam	Ultimate Deflection		Energy Absorption*	
	Value (cm)	Relative Ratio	Value(kN·cm/cm ³)	Relative Ratio
Control	2.25	1.00	24.72	1.00
P ₁ - W ₇	2.10	0.93	24.42	0.99
P ₂ - W ₆	1.99	0.88	22.80	0.92
P ₃ - W ₅	1.62	0.72	15.68	0.63
P ₄ - W ₄	1.31	0.58	11.44	0.46

* Calculated by load-loading point deflection relationship.

2. 모멘트-곡률 關係

목재보와 強化목재보에 대한 모멘트-곡률 關係圖가 Fig. 2로서 이것은 各種보의 剛性(stiffness)을 비교하여 보기 위한 것이다.

이 그림으로 부터 모멘트-곡률 關係圖는 하중-처짐 곡선과 비슷한 모양을 하고 있음을 알 수 있다. 즉 폴리머 모르타 부분의 두께가 커짐에 따라 直線狀으로 변화하는 양상을 보이고 있다.

이를 좀더 자세히 알아보기 위해 Fig. 3을 분석해 놓은 것이 Table-4이다. 이 표에서 볼때 극한모멘트의 값은 폴리머 모르타 부분의 두께에 따라 일정한 변화를 보이지 않는다. 그러나 보의

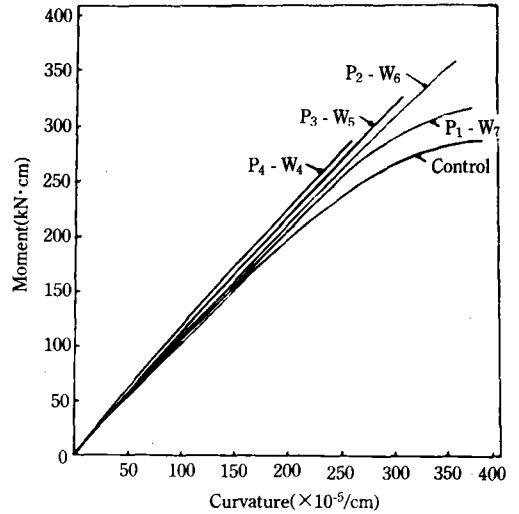


Fig. 3. Relationship of Moments and Curvatures.

Table-4. Analysis of Moment-Curvature Relationship.

Beam	Ultimate Moment(Mu) (kN·cm)	Ultimate Curvature(ϕ) ($\times 10^{-5}/cm$)	Effective Beam Stiffness(Mu/ ϕ) ($\times 10^5/cm^2$)	Relative Ratio
Control	284.3	396.2	0.72	1.00
P ₁ - W ₇	317.5	379.3	0.84	1.17
P ₂ - W ₆	366.3	362.2	1.01	1.40
P ₃ - W ₅	325.0	305.6	1.06	1.47
P ₄ - W ₄	287.5	257.3	1.12	1.56

有效剛性は 폴리머 모르타 부분의 두께 增加에 따라 일정하게 커지는 경향을 보여 P₂-W₆보에서 40%, P₄-W₄보에서 56%의 增加效果를 나타냈다.

이러한 結果들을 통해 볼 때 強化목재보에서 上層에 사용된 폴리머 모르타가 部材의 剛性を 增加시킴을 알 수 있다. 이것은 彈性係數가 작은 목재보에 대해 폴리머 모르타가 補強 역할을 하기 때문이라고 생각되며, 이는 또한 強化목재보의 작은 처짐과도 밀접한 관계가 있는 결과라고 하겠다.

3. 휨 變形率 分布

載荷 荷重別 보의 깊이에 따른 變形率을 그림으로 나타낸 것이 Fig. 4이다.

이 결과에서 파괴하중에 근접하였을 때 목재보와 P₁-W₇강화목재보에서는 引張側 보다 壓縮側 變形率이 더 컸으며, 나머지 보에서는 壓縮側 보다 引張側의 變形率이 더 컸다. 이것은 목재의 引張強度가 壓縮強度 보다 훨씬 작아 결국 압축파괴를 유발시키게 된다는 점과 밀접한 관계가 있다고 하겠다.

한편 변형을 분포를 살펴보면 파괴하중의 50~60% 수준인 12KN까지는 모두 직선상의 변형을 분포를 나타냈으며, 파괴하중에 이르러서는 그러한 傾向을 보이지 않았다. 특히 P₁-W₇ 및 P₂-W₆ 강화목재보는 직선상을 유지했으나, P₃-W₅ 및 P₄-W₄ 강화목재보는 폴리머 모르타와 목재의 接着部分에서 지그자그(zigzag)변형을 분포를 보였다. 이는 두층의 連結部分에서 변형율의 再分配가 발생하였음을 보여주는 것인데, 그 원인은 모멘트 支間에서의 材料分離 때문이라고 생각된다.

그리고 荷重段階別 中立軸의 變化傾向을 보면 목재보의 경우 下向으로 이동하였으나 강화목재보는 거의 이동치 않거나 上向으로 移動하였다.

Fig. 4를 분석하여 본 바 Table-5와 같다.

Table-5. Analysis of Strain Profiles.

Beam	Load (kN)	Depth of Neutral Axis (cm)	Compressive Strain ($\times 10^{-5}$ cm/cm)	Tensile Strain ($\times 10^{-5}$ cm/cm)
Control	17	2.25	1,103	904
P ₁ -W ₇	19	2.00	1,079	975
P ₂ -W ₆	21	1.75	1,169	1,362
P ₃ -W ₅	19	1.50	975	1,281
P ₄ -W ₄	17	1.37	795	1,201

여기서 파괴하중에 이르렀을 때의 中立軸 길이는 목재보의 경우 2.25 cm였으나 폴리머 모르타 부분이 두꺼워질수록 감소해 P₄-W₄ 강화목재보에서는 1.37 cm로 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 P₂-W₆ 강화목재보에서는 壓縮스트레인이 $1,169 \times 10^{-5}$ cm/cm, 引張스트레인이 $1,362 \times 10^{-5}$ cm/cm로 모두 크게 나타난데 비해, P₃-W₅ 및 P₄-W₄ 강화목재보에서는 壓縮側 변형율이 현저히 작게 나타난 바, 이는 壓縮強度와 彈性係數가 큰 폴리머 모르타가 上層部에 두껍게 차지하고 있기 때문이라 하겠다.

이상에서 논의한 中立軸 이동상황이나 壓縮 및 引張側의 변형을 변화양상을 종합해 볼 때, 목재보에서의 압축파괴가 강화목재보에서는 인장파괴로 유도됨을 알 수 있었다.

4. 破壞樣相

Fig. 5는 시험의 파괴양상을 보여주는 것이다.

이 결과에서 목재보와 P₁-W₇, P₂-W₆ 강화목재보는 휨파괴를 일으켰으며, P₃-W₅, P₄-W₄ 강화목재보는 접착면 분리를 동반한 휨파괴가 발생함을 알 수 있다.

이는 P₃-W₅, P₄-W₄ 강화목재보의 경우 모멘트 지간에서 접착면 분리현상이 발생함을 보여주는 것으로서, Fig. 4에 나타난 지그자그형 변형과도 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 그러나 이러한 현상들은 極限荷重에 거의 도달

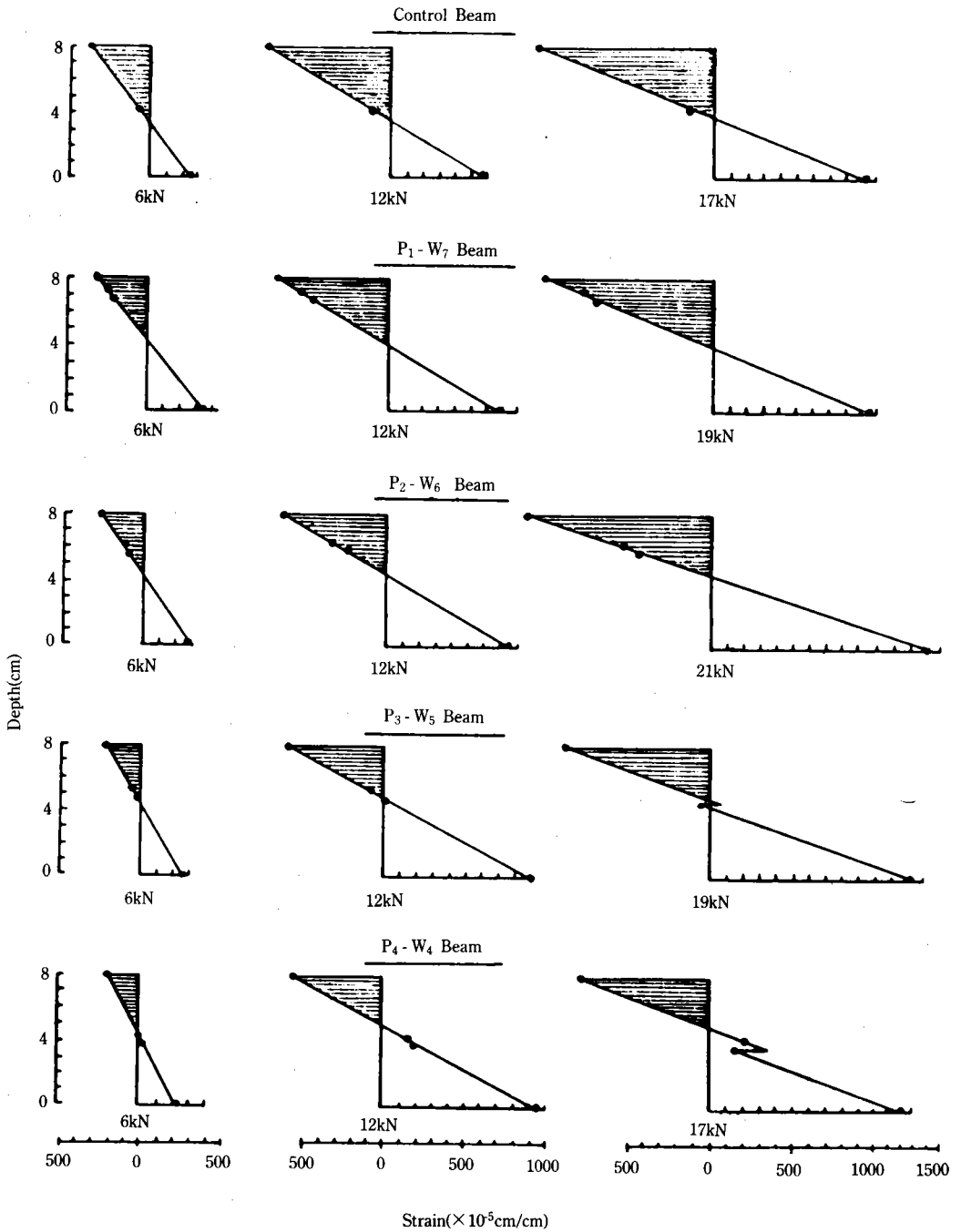


Fig. 4. Strain Profiles of Beams at Selected Loads.

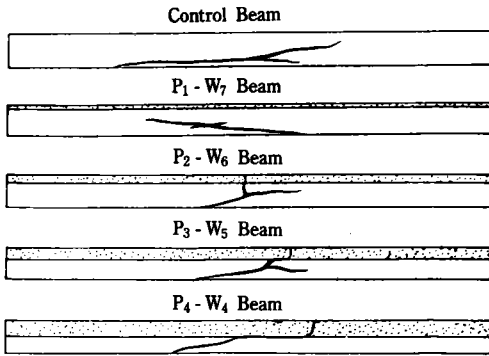


Fig. 5. Mode of Failure of Tested Beams.

했을때 일어나는 것으로서 모든 強化목재보에서 載荷過程 중에는 接着部の 分離現象이라든가 剪斷支間에서의 슬립(slip) 현상 등을 발견하기 어려웠다. 그리고 콘크리트와 같이 引張側로부터의 균열전파 현상도 나타나지 않았으며 上層部の 직접파괴도 일어나지 않았다.

이상의 파괴양상 調査結果를 종합해 볼 때, 引張側 파괴를 일으키며 接着部の 分離現象을 동반하지 않는 것은 P₂-W₆ 強化목재보로 이 연구에서는 가장 이상적인 것으로 나타났다.

5. 極限荷重

목재보와 強化목재보에 대한 극한상태에서의 挙動에 대한 試驗結果가 Table-6이다.

그 결과 극한전단, 파괴하중 모두 P₂-W₆ 強化목재보에서 가장 커서 목재보에 비해 29%의 強度增加를 나타낸 바, 強化목재보의 상층부에

Table-6. Test Results of Beams Failure Load.

Beam	Ultimate Shear (kN)	Collapse Load (kN)	Relative Ratio
Control	8.53	17.06	1.00
P ₁ -W ₇	9.53	19.05	1.12
P ₂ -W ₆	10.99	21.98	1.29
P ₃ -W ₅	9.75	19.50	1.14
P ₄ -W ₄	8.63	17.25	1.01

폴리머 모르터를 사용하는 것이 效果的임을 알 수 있었다.

그러나 문제는 이론적으로 P₄-W₄ 強化목재보가 가장 큰 강도를 발휘해야함에도 그렇지 못하다는 점이다. 이는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타난 바와같이 접착부분에서 변형율의 再分配라든지 接着面分離現象이 발생되어 계기능을 모두 발휘하지 못하기 때문이라 생각된다.

따라서 強化목재보의 補強效果를 極大化하기 위해서는 폴리머 모르터와 목재를 一體化 시킬 수 있는 방안이 필요하다. 이를 위해서는 高強度이면서 적절한 彈性係數를 갖는 폴리머 모르터가 필요하며, 접착부에 剪斷連結材를 사용하는 등 두재료의 分離防止 대책이 요구된다고 하겠다.

IV. 結 論

이 연구는 폴리머 모르터로 補強된 強化목재보를 개발기 위해 제작된 5種의 보에 대해 몇가지 試驗을 수행하였던 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폴리머 모르터를 목재보의 上層부에 사용하는 것은 木材를 樞부재로 사용할 경우 強度를 높이고 처짐을 작게 하는데 效果的임을 확인할 수 있었다.

2. 上層部の 폴리머 모르터 두께가 증가함에 따라 보의 有效剛性は 증가했으나 에너지 吸收量은 감소했다.

3. 上層부에 폴리머 모르터를 사용하면 壓縮側의 強度增加와 함께 變形率이 줄어들었으며, 이에 따라 목재보의 파괴는 압축파괴로부터 인장파괴로 유도되었다.

4. 이 연구에서는 P₂-W₆ 強化목재보와 가장 效果的임을 알 수 있으며, 上層部の 폴리머 모르터가 너무 두꺼우면 모멘트지간의 접착부분에서 변형율의 再分配現象이 나타나고, 두재료의 分離現象이 일어나 強化목재보로서의 기능을

충분히 발휘하지 못하였다.

5. 강화목재보의 효과를 極大化하기 위해서는 高强度이면서 적절한 彈性係數를 갖는 폴리머 모르타의 제조라든가 두재료의 분리 방지용 連結材의 개발 등 一体化를 위한 연구가 더 필요하다.

이 論文은 1989年度 文教部 支援 學術振興 財團의 自由公募課題 學術研究助成費에 의하여 研究되었음.

參 考 文 獻

1. Bohannon, B., "Effect of Size on Bending Strength of Wood Members", U. S. Forest Service Research Paper, FPL 56, May 1966, p. 30.
2. Knab, L. I. and Cook, J. P., "Shear and Flexural Behavior of Reinforced Polymer Concrete Beams", ACI Journal, October 1974, pp. 493-501.
3. Koyanagi, W., et al, "The Optimum Design of Resin Concrete Flexural Member", Transaction of the JCI, Vol. 3, 1981, pp. 343-350.
4. Kuenzi, E. W. and Wilkinson, T. L., "Composite Beams-Effect of Adhesive or Fastener Rigidity", U. S. D. A Forest Service Research Paper, FPL 152, 1971, p. 21.
5. Newy, E. G., et al, "Investigation of Concrete : PMC Composite", Journal of the Structural Division, ASCE, ST5, May 1982, pp. 1049-1063.
6. Ramos, A. N., "Stress Strain Distribution in Douglas-Fir Beams Within the Plastic Range", Forest Products Laboratory Report, No. 2231, December 1961, p. 16.
7. Solomon, S. K., et al, "Flexural Tests of Steel-Concrete-Steel Sandwiches, Magazine of Concrete Research, March 1976, pp. 13-20.
8. Yeon, K. S. and Kang, S. U., "Experimental Studies on the Properties of Epoxy Resin Mortars", Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers, March 1984, pp. 52-72.