

보수·보강에 사용하는 무기계 폴리머

복합재료의 내열성능

Fire Resistance of Inorganic Polymer Composites for Repair and Rehabilitation

P.N. Balaguru* 정 란**
Chung, Lan

ABSTRACT

Repair and rehabilitation of existing structures is becoming a major part of construction, both in the industrially developed and developing countries. Advanced high strength composites are being utilized more and more for these applications because they are much stronger than steel, non-corrosive, and light. The light weight reduces the construction cost and time substantially.

The fibers are normally made of aramid, carbon, or glass and the binders are typically epoxies or esters. One major disadvantage of these composites is the vulnerability to fire. In most instances, the temperature cannot exceed 300°C. Since carbon and glass can sustain high temperatures, an inorganic polymer is being evaluated for use as a matrix. The matrix can sustain more than 1000°C. The results reported in this paper deal with the mechanical properties of carbon composites made with the inorganic polymer and the behavior strengthened reinforced concrete beams.

The results indicate that the new matrix can be successfully utilized for a number of applications.

key words : inorganic polymer composites, repair and rehabilitation, fire resistance, flexural strength, reinforced concrete

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 과소 설계 되었거나 과도한 하중이 작용하는 등의 이유로 보수·보강을 하여야 할 경우가 많다. 탄소섬유 보강공법은 이와같이 내력이 부족한 부재를 보강하는데 유용하게 적용되고 있으나 탄소섬유를 사용할 때의 문제점 중의 하나가 화재에 취약하다는 점이다. 탄소섬유 자체의 내열성과 화염에 대한 저항성은 매우 높으나(약 1700°C) 접착제의 일종인 에폭시는 거의 대부분의 경우 대략 300°C의 온도에도 지탱할 수 없다.¹⁾

따라서 화재의 위험이 있는 곳에 탄소섬유를 이용하여 보수·보강을 실시하면 화재시, 콘크리트와 철근의 내력 저하와 함께 탄소섬유의 보강효과도 동반 하락하여 구조물이 파괴에 이를 수 있는 위험이 있다.

이 연구에서는 1000°C 이상에서도 소정의 내력을 유지할 수 있는 무기계 폴리머 복합재료를 개발하고 이를 이용하여 접착한 탄소섬유판에 대하여 내열성과 구조적인 보강효과를 실험적으로 규명하여 화재의 위험이 있는 구조물에 보강재료로 사용가능 한가를 검토하고자 하는데 연구의 목적이 있다.

* Professor, (미) Dept. of Civil Engineering, Rutgers The State University of New Jersey, Ph.D.
** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 연구담당이사

2. 실험

2.1 재료실험

2.1.1 무기계 폴리머 접착제

이 연구에 사용된 무기계 폴리머는 규산화 알루미늄칼륨(potassium aluminosilicate)로서 화학성분은 $K_n[-(SiO_2)_z-AlO_2]_n \cdot wH_2O$ 이다.

이 규산화 알루미늄칼륨은 적당한량의 (실리카 + 산화칼륨)에 실리카 분말을 1 : 1.35 비율로 섞어 제조한다. 이것은 액체와 고체 상태로 되어 있어 혼합하여 상온(20°C)에 방치하면 그림1과 같은 점성을 가진다.

혼합 당시의 점성은 약 2 Pa·s 정도이고 작업이 가능한 시간은 상온에서 4~5시간 정도이다.

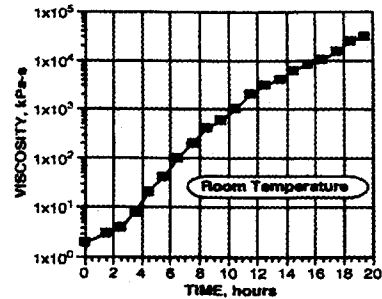


그림1 연구에 사용한 무기계 폴리머의 시간에 따른 점성 변화(20°C)

2.1.2 시험체

인장, 휨, 전단에 대한 거동을 규명하기 위해 각 실험목적에 맞추어 시험체를 제작하였다.

실험변수로는 응력의 종류와 온도 등으로 인장시험체를 제외한 휨과 전단시험체는 실험전 변수별 온도(200°C~1000°C)에 따라 약 1시간 정도 노출시켰다.

2.1.3 인장실험

인장 시험체는 그림2에서 보는 바와 같이 두께 2mm, 폭 12.7mm, 길이 203mm로 제작하였다. 양단부는 미끄러짐을 방지하기 위하여 두껍게 보강하고 표면을 거칠게 처리하였다.

시험체 중앙에 변위계(extensometer)를 설치하였고, 용량 250kN MTS 시스템에 의해 ASTM D3039²⁾에 따라 변형을 제어(strain control)로 가력하였다.

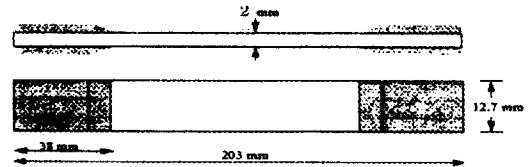


그림2 인장시험체의 치수

2.1.4 휨실험

휨 시험체는 그림3과 같이 두께 6mm, 폭 50.8mm, 지점거리 100mm로 하고 ASTM D790³⁾에 따라 변위제어(deformation control)로 가력하였다. 가력 속도는 중앙부에서 2.8mm/min이었고 매 0.5초마다 처짐과 하중을 기록하였다.

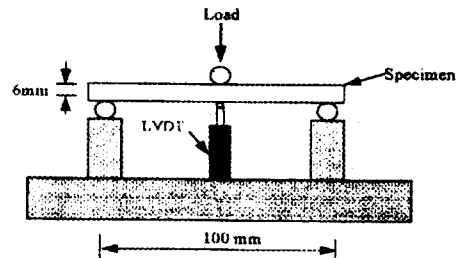


그림3 휨실험 Test SET-UP

2.1.5 전단실험

전단 시험체는 그림4와 같은 더블 노치(double notch)형으로 ASTM D790⁰에 따라 약 80mm의 전단 면적에 가하였다.

전단파괴는 가력방향으로 두 노치 사이에서 발생하였으며, 좌굴을 방지하기 위하여 양면에 특별한 지그(jig)를 장착하였다. 실험은 용량 5 kN MTS 시스템을 사용하여 변위제어(deflection control)로 가력하였다.

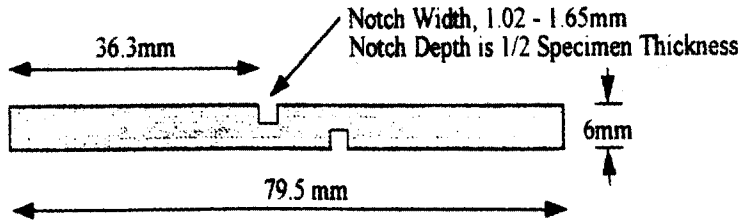


그림4 전단시험체의 치수

2.2 구조실험

무기계 폴리머 접착제의 구조성능을 규명하기 위해서 탄소 섬유슈트를 부착한 철근콘크리트 보를 제작하였다. 시험체의 치수는 그림5와 같으며 시험체의 하단에 2단, 3단 및 5단의 일방향 탄소섬유를 부착시켰다. 탄소섬유슈트의 무게는 5 oz/yd² 이었다.

시험체의 3등분점에 2점 가력하였으며, 전체적인 시험체 설치 상태는 그림6에서 보는 바와 같다.

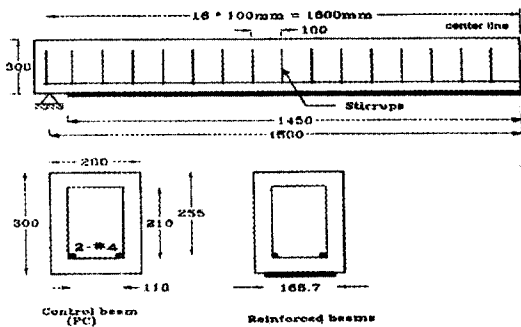


그림5 보시험체 설계



그림6 시험체 Test set-up

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 재료실험

인장실험 결과는 그림7에서 보는 바와 같다.

시험체의 인장강도는 파괴시까지 거의 선형 변화하고 있으며, 파괴는 중앙부 가까이에서 발생하였다. 평균 인장강도는 약 327MPa로서 참고문헌 (5)에서 보고된 것과 비슷하다. 영계수는 대략 18GPa로 계산되었다.

휨실험 결과는 그림8에 나타내었다. 그림8(a)는 열처리를 하지 않은 탄소섬유판의 하중-처짐 곡선을 보여주고 있고 그림8(b)는 800℃에 1시간 노출시킨 탄소섬유판의 하중-처짐 곡선을 보여주고 있다.

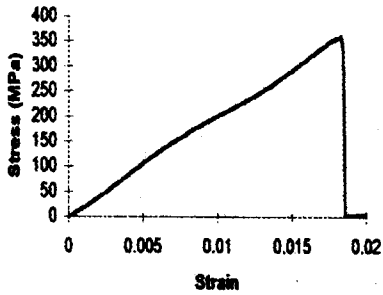


그림7 인장에서의 전형적인 응력-변형 곡선

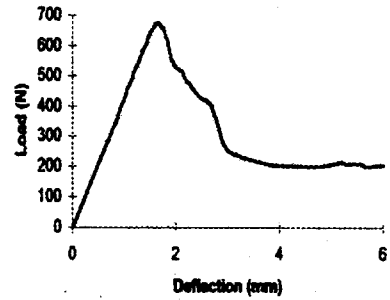


그림8 (a) 열처리 하지않은 탄소섬유판 시험체의 하중-처짐 곡선

그림8에서 보는 바와 같이 휨내력 또한 선형변형 상태를 유지하다가 파단후 급격한 내력 저하를 보여주고 있다.

열처리를 하지 않은 시험체의 평균 최대 내력은 625N이고 800℃로 가열한 시험체의 평균 최대 내력은 390N이었다.

그림9에서는 상온 200℃, 400℃, 600℃ 및 800℃로 가열한 시험체의 휨강도를 보여주고 있는 바 그림9에서 보는 바와같이 800℃까지도 휨강도가 크게 변하지 않는것을 알수있다.

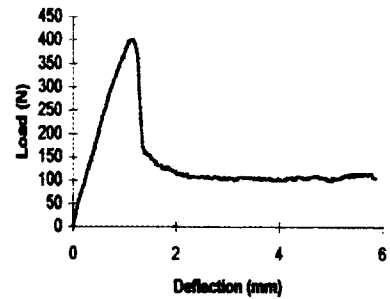


그림8 (b) 800℃로 1시간 가열한 탄소섬유판 시험체의 하중-처짐 곡선

시험체의 전단강도는 14MPa 정도로 참고문헌

(6)에서 보고된 값과 비슷하다. 이 실험과 동시에 진행된 탄화규소의 전단강도는 12.5MPa이었다. 그림 10은 탄화규소(SiC)와 탄소섬유판의 각 노출 온도별 전단강도의 변화값을 보여주고 있다. 그림10에서 보는 바와 같이 1000℃정도로 가열된 탄소섬유판의 전단강도도 소정강도를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

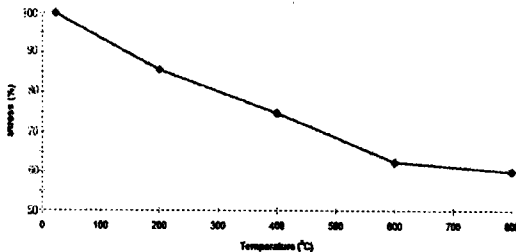


그림9 열에 노출된 탄소섬유판의 온도에 대한 휨강도의 변화

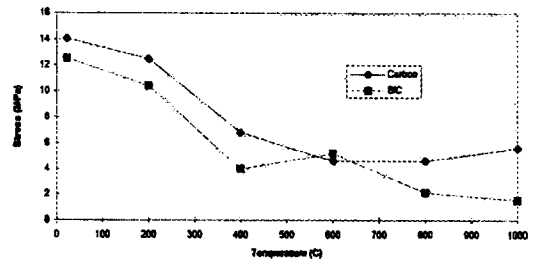


그림10 열에 노출된 탄소섬유판과 탄화규소의 온도에 대한 전단강도의 변화

3.2 구조실험

탄소섬유를 접착 보강 제작한 보 시험체의 실험결과를 정리하면 표1과 같다.

표1 탄소섬유로 보강한 보시험체의 휨 실험결과

Beam Design	Load at Yielding of Steel, kips	Failure load, kips	Deflection at at Failure, in	Mode Failure
Control	12.5	16.0	3.5	Yielding of Steel
With 2 layers	14.0	18.1	0.76	Rupture of Composite
With 3 layers	15.8	20.5	0.90	Rupture of Composite
With 5 layers	16.5	24.7	0.92	Rupture of Composite

탄소섬유를 2단, 3단 및 5단 부착한 시험체의 하중-처짐 곡선은 그림11에서 보는 바와 같다. 파괴형태는 접착면 박리가 아닌 탄소섬유판의 절단으로 나타났다.

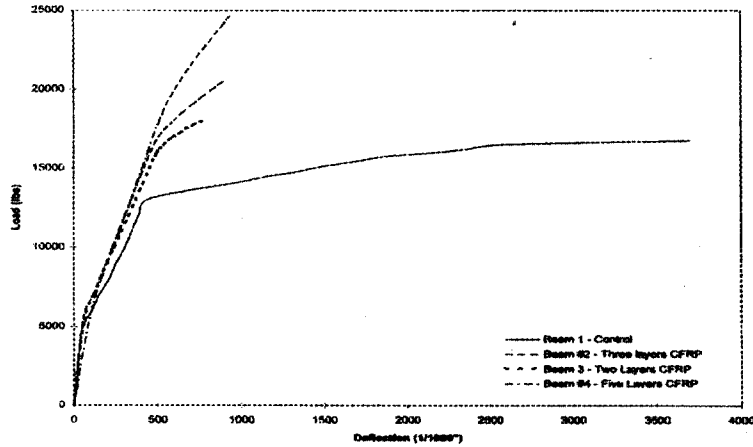


그림11 탄소섬유로 보강한 보시험체의 하중-처짐곡선

4. 결론

이상과 같은 연구에서 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 무기계 폴리머 복합체의 인장강도와 휨강도는 각각 327MPa와 245MPa로서 유기계 복합체의 값과 거의 비슷하다.

(2) 800℃~1000℃정도로 1시간 가열한 시험체의 휨내력과 전단내력은 각각 상온 시험체 내력의 63%, 33%정도를 유지하였다.

(3) 무기계 폴리머 복합체와 탄소섬유를 사용하여 적절히 보강한 휨시험체는 접착면파괴(delamination)를 피할 수 있는 것으로 나타났다.

결론적으로 내열성이 있고, 자외선에 강하며 화재시 유독가스와 화염을 발생시키지 않는 무기계 폴리머 복합체는 적절한 설계와 시공방법으로 화재의 위험이 있는 부위에도 사용 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

이연구는 1997년도 단국대학교 연구년 교수 연구비의 지원으로 (미) Rutgers The State University of New Jersey 대학과 공동으로 이루어진 것을 밝히며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Kokin, A.A., (1985). "Properties of Carbon Fibres and Fields of their Application." Handbook of Composites: Strong Fibers, Elsevier Science Publishers B.V., Vol. 1, pp. 241-273.
- 2) "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites." Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, 1992 Vol. 15.03, pp. 118-125.
- 3) "Standard Test Method for Tensile Properties Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials." Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, 1992 Vol. 8.01, pp. 269-278.
- 4) "Standard Test Method for In-Plane Shear Strength of Reinforced Plastics." Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, 1992 Vol. 8.03, pp. 208-210.
- 5) Bishop, S., (1988) "Strength and Failure of Woven Carbon-Fibre Reinforced Plastics for High Performance Applications." Textile Structural Composites, Elsevier, New York, Vol. 3, pp. 173-207.
- 6) Chiao, C.C., et al., (1977), "Measurement of Shear Properties of Fibre Composites: Part 1. Evaluation of Test Methods." Composites, pp. 161-169.