

# 유리섬유보강 박판패널에 의한 철근콘크리트 구조물의 보수·보강공법

## Repair and Strengthening of R/C Structure Using Glass Fiber Reinforced Plastic Thin Panels

천 의 균\*      진 형 장\*\*      박 석 암\*\*\*      김 행 준\*\*\*\*  
Cheun, Eui Gyun      Jin, Hyung Jang      Park, Seok Am      Kim, Haeng Joon

### ABSTRACT

Reinforced concrete structure can be strengthened by glass fiber reinforced plastic thin panels. The GFRP-Thin Panels are manufactured by pressing form and their application technique are similar to steel plates. The use of GFRP-Thin Panels presents several advantages. The advantages of this structural system are the ease of application, the elimination of joint and corrosion at the epoxy-panel interface. This paper introduces the method of manufacturing about GFRP-Thin Panels, mechanical properties and the application of reinforced concrete structures.

### 1. 서 론

일반적으로 철근콘크리트 구조물은 반영구적인 수명을 가진 것으로 인식되고 있으나, 설계당시의 하중을 초과하는 초과하중의 빈번한 재하나 환경적, 구조적 요인에 의해 구조내하력이 부족하거나 사용성이 부족하게 된다. 우리나라의 경우, 1960년대 이후 국가경제개발 5개년 계획에 따른 철근콘크리트 구조물을 비롯한 사회간접시설이 대폭적으로 확충되기 시작하였다. 그러나, 설계 및 시공기술의 취약과 재료적인 결함, 기타 환경적 요인에 의해 설계당시의 성능을 상당부분 상실하였으며, 특히, 운송수단의 대형화에 따른 초과하중의 재하는 철근콘크리트 구조물의 손상을 가속화 시켰다. 이와같이 성능저하된 철근콘크리트 구조물은 보수·보강이 필요하게 되는 데, 지금까지 철근콘크리트 구조물의 보강방법으로는 강판, 탄소섬유쉬트, 유리섬유쉬트에 에폭시접착제를 이용하여 접착시키는 접착공법과 기타 단면증설공법, 거더(Girder)증설공법, 프리스트레스 도입공법등이 적용되어 왔다. 특히, 에폭시접

\* 정회원, (주)케미콘 회장

\*\* (주)케미콘 대표이사

\*\*\* (주)케미콘 이사

\*\*\*\* 정회원, 목포과학대학 토목과 전임강사

착 강판접착공법은 시공기간이 짧고 사용중인 구조물에도 적용이 가능하며, 인장은 물론 압축이나 전단을 받는 구조물에도 적용할 수 있다는 장점 때문에 교량이나 건축물의 보강에 널리 사용되었다. 그러나, 사용환경에 장시간 노출된 강판은 부식이 발생하며, 강판 자체의 자중이 커서 장경간을 갖는 구조물공사의 경우 강판사이의 이음부가 발생하며, 강판용접에 의한 이음부는 재질변화를 일으켜 국부적인 손상의 원인이 되기도 하였다. 또한, 강판을 콘크리트면에 부착시키기 위해서는 다수의 앵커볼트가 필요하게 되는 데, 많은 앵커볼트의 사용은 오히려 구체콘크리트의 손상을 증가시키기도 하였다. 한편, 탄소섬유쉬트나 유리섬유쉬트, 아라미드섬유쉬트 등 신소재 섬유쉬트에 의한 보강공법은 섬유자체의 인장강도가 높고 경량이며 피로하중에 대한 저항성이 우수한 장점이 있으나, 이를 에폭시 수지로 함침하여 사용했을 경우, 인장강도가 낮아지며 콘크리트의 표면요철이나 불완전한 표면처리로 인한 기포의 발생 등이 문제점으로 지적되었다. 또한, 무기물인 섬유재를 유기물인 수지류로 함침했을 때의 최적온도는 150~170℃ 정도이지만, 현장시공시에는 가온이 불가능하여 상온경화성 에폭시수지를 사용하는 관계로 섬유쉬트와 에폭시수지와의 함침성이 저하된다. 이외에도 주인장 보강충진 섬유쉬트를 보호해 줄 수 있는 도막층의 두께가 너무 얇고, 자외선에 노출될 경우 함침 에폭시수지가 물성변화를 일으켜 균열이 발생한다. 이와같은 문제점들을 개선하기 위하여 (주)케미콘에서는 수십 차례의 배합시험과 재료시험을 통하여 유리섬유보강 박판패널을 제조하게 되었다.

## 2. 유리섬유보강 박판패널의 제조공정 및 역학적 성질

유리섬유보강 박판패널은 상온에서는 경화되지 않지만, 150℃ 이상에서 경화되는 성질을 가지는 잠재성 에폭시 수지류에 유리섬유, 아라미드섬유 또는 탄소섬유 등의 고인장섬유를 함침시켜 제조된다. 패널을 구성하는 재료의 구성비율은 섬유의 함이 60~85%이며, 에폭시 수지류가 15~40%로 된다. 패널의 두께는 10mm 이하의 박판이며, 보통 2~4mm의 두께로 제조된다. 패널의 폭은 100~600mm 정도로 롤(Roll)형태로 감겨져 밴딩되어 제공된다. 이와같은 형태의 패널은 현장 시공시 주문제작이 가능하며 이음부를 최소화 하게 된다. 패널의 인장강도는 사용하는 섬유의 종류와 에폭시 수지류의 배합비율 등에 따라 달라지는데, 일반적으로 유리섬유 사용시는 3340 kg/cm<sup>2</sup> ~ 7700kg/cm<sup>2</sup>으로 제조된다.

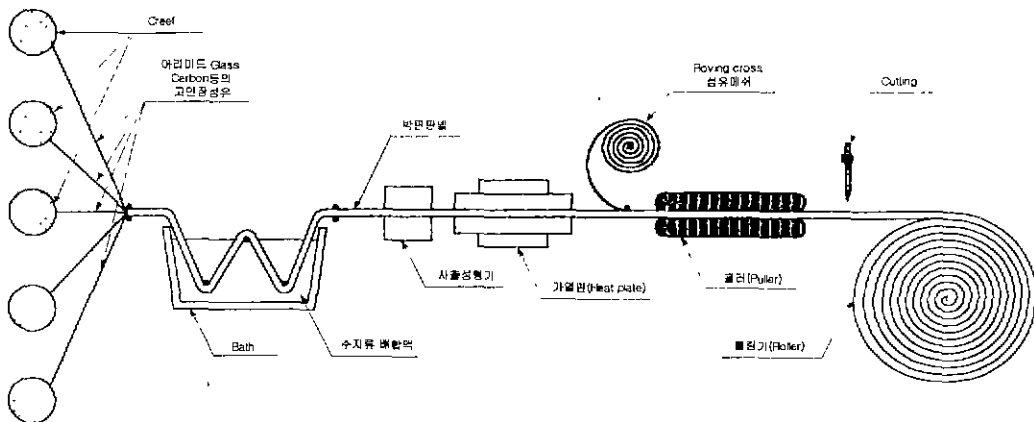


그림 1 유리섬유보강 박판패널의 제조공정

그림 1은 유리섬유보강 박판패널의 제조공정을 나타내고 있다. 그림 1에서, 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등의 일방향 고인장섬유는 다수의 크릴(Creel)에 감겨져 거치된다. 각각의 섬유는 한가지 종류로 사용할 수도 있고, 여러 종류의 섬유심을 혼용할 수도 있다. 한편, 에폭시수지를 포함한 수지액은 폴리에스틸 수지 및 소정의 첨가제가 배합된 후, 용기(Bath)에 저장된다. 섬유는 용기를 통과하는 과정에서 수지액에 함침되며, 수지와 섬유의 함침물은 사출성형기의 금형을 통과함으로써 유리섬유보강 박판패널의 형상이 만들어진다. 사출기를 통과한 박판패널은 150℃ 이상의 고온에서 경화되며, 무한궤도(Caterpillar)방식의 당김장치(Puller)에 의해 토출된다. 사출성형된 유리섬유 박판패널의 양면에는 로빙크로스(Roving Cross) 섬유메쉬(mesh)가 접착소성된다. 연속적으로 토출되는 유리섬유보강 박판패널은 절단기에 의하여 적당한 길이로 절단된 후, 롤링기(Roller)에 의하여 강판과 같이 롤형태로 감겨져 제공된다. 현장에서는 필요한 길이만큼 절단하여 사용할 수 있으며, 보강폭과 길이에 따라 공장에 주문제작을 의뢰할 수도 있다. 이와같이 제작된 유리섬유보강 박판패널의 역학적성질, 동결융해성 및 내화학적 시험결과는 표 1과 같다.

표 1 유리섬유보강 박판패널의 재료시험 결과

특 성	시험항목	시험치	단 위	비 고
역학적 성질	압축강도	1693	kg/cm <sup>2</sup>	한국화학시험연구원
	인장강도	7704	kg/cm <sup>2</sup>	"
	휨 강 도	5683	kg/cm <sup>2</sup>	"
	인장탄성계수	0.424 × 10 <sup>6</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	"
	파괴시 인장변형률	0.01이상	%	"
	열선팽창계수	0.76 × 10 <sup>-5</sup>	cm/cm/℃	"
동결융해성	인장강도	7230→7040	kg/cm <sup>2</sup>	한국기유화시험연구원
	압축강도	1680→1560	kg/cm <sup>2</sup>	"
	휨 강 도	6750→6420	kg/cm <sup>2</sup>	"
내화학적성	10% 염 산	0.02(외관 이상없음)	%	한국화학시험연구원
	3% 황 산	0.03(외관 이상없음)	%	"
	10% 질 산	0.02(외관 이상없음)	%	"
	10% 수산화나트륨	0.04(외관 이상없음)	%	"
	5% 암모니아	0.01(외관 이상없음)	%	"
	95% 메탄올	0.01(외관 이상없음)	%	"
	95% 에탄올	0.02(외관 이상없음)	%	"
99% 벤젠	0.02(외관 이상없음)	%	"	

### 3. 유리섬유보강 박판패널을 이용한 보수·보강공법

#### 3.1 유리섬유보강 박판패널의 보수·보강공법의 장점

유리섬유보강 박판패널을 에폭시접착제를 사용하여 철근콘크리트 구조물에 보수·보강에 적용할 경우, 예상되는 장점은 다음과 같다.

- (1) 유리섬유보강 박판패널은 인장강도, 휨강도, 등이 우수하고 탄성계수가 큰 반면, 자중은 강판의 약 1/5 정도로서 가벼우며, 부식이 발생하지 않는 등 강판을 대체하여 사용할 수 있다.
  - (2) 유리섬유보강 박판패널에 의한 철근콘크리트 구조물의 보강공법은 탄소섬유쉬트, 유리섬유쉬트, 아라미드섬유쉬트의 부착공법에서 나타나는 불완전한 표면처리에 의한 부착강도의 손실, 얇은 도막 층으로 인한 보강섬유의 파단, 자외선에 노출된 에폭시 수지의 균열 등의 문제를 해결할 수 있다.
  - (3) 유리섬유보강 박판패널과 접착제로 사용하는 에폭시수지와 물성이 서로 동일하기 때문에 부착 효과가 좋으며, 열팽창계수의 상이함으로 인한 국부적인 변형이 발생하지 않는다.
  - (4) 유리섬유보강 박판패널은 강판과 같이 롤(Roll)형태로 감겨져 제공됨으로써, 이음부를 최소화 할 수 있으며, 이음부에서 발생하는 국부적인 파손 등을 줄일 수 있다.
  - (5) 유리섬유보강 박판패널은 보강에 필요한 폭과 길이에 따라 공장에서 주문제작이 가능하며, 롤형태로 제작된 제품을 현장에서 필요한 폭과 길이만큼 절단하여 사용할 수 있으므로 현장시공이 용이하며, 공사기간을 단축할 수 있고, 공사비용을 절감할 수 있다.
- 이와 같은 유리섬유보강 박판패널을 이용한 철근콘크리트 구조물의 보수·보강공법을 유사공법인 강판접착공법, Epoxy Panel 접착공법, 탄소섬유쉬트 접착공법과 비교하면 표 2와 같다.

표 2 유리섬유보강 박판패널 접착공법과 유사공법의 비교

항 목	공 법	유리섬유보강 박판패널 접착공법	강판접착공법	Epoxy Panel 접착공법	탄소섬유쉬트 접착공법
용 도		보수	보수	-	-
		보강	보강	보강	보강
사 용 재 료	판재료	유리섬유보강 박판패널	강판	섬유보강 Epoxy Panel	탄소섬유쉬트
	인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	7704	2400	340	17,500
	탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	424,000	2,100,000	34,000	2,400,000
	파단시 변형률	0.01	0.20	0.01	0.01
	접착재료	Epoxy계 Anchor Bolt	Epoxy계 Anchor Bolt	Epoxy계 Anchor Bolt	Epoxy계
휨강도 증가효과	직사각형 RC보 b <sub>c</sub> = 20cm b <sub>p</sub> = 16.2cm A <sub>s</sub> = 1 - D25	159~218 두께 2.5 mm	170~195 두께 4.5~5.5 mm	120 두께 10 mm	135~170 두께 2~3 ply (0.36~0.45mm)
시공성 및 기타 성질	시공성	우수	불량	보통	우수
	판연결부	우수	불량	불량	불량
	연결부 시공방법	연결부 없는 1 Span 시공	용접이음	15° 경사면 접착이음	접이음
	내구성	우수	보통	보통	불량
	내화학성	우수	보통	우수	우수
	불투수성	우수	우수	우수	불량
	내화성	보통	우수	보통	불량
	유기보수	우수	불량	우수	보통
시공후 품질확인	우수	불량	우수	불량	
경제성	접착성	우수	불량	우수	보통
	m <sup>2</sup> 당 공사비(원)	270,000	320,000	320,000	390,000

### 3.2 유리섬유보강 박판패널 보수·보강공법의 시공절차

유리섬유보강 박판패널의 시공과정을 체계화 하면 그림 2와 같다.

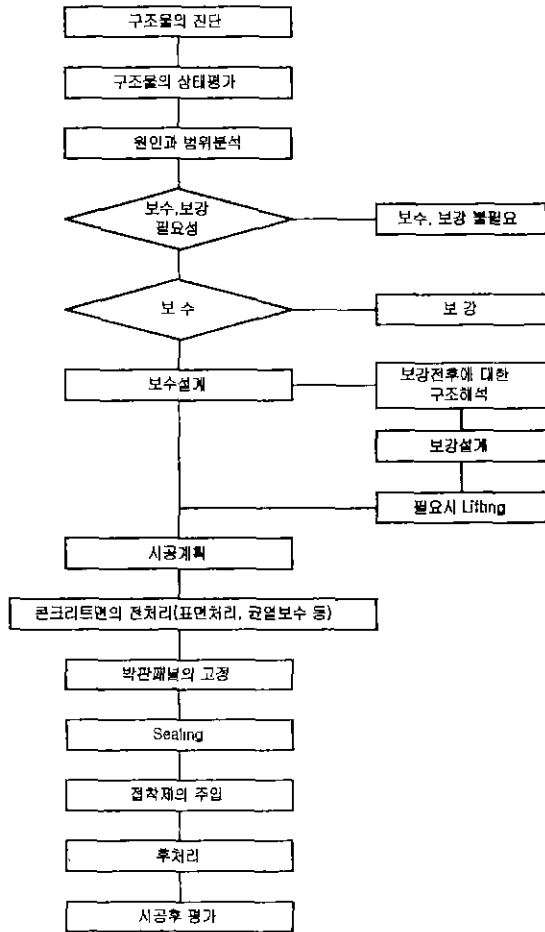
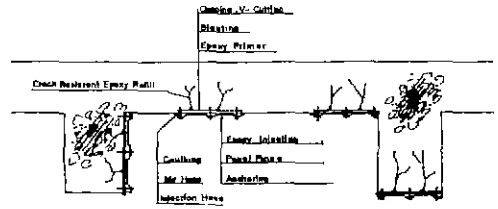
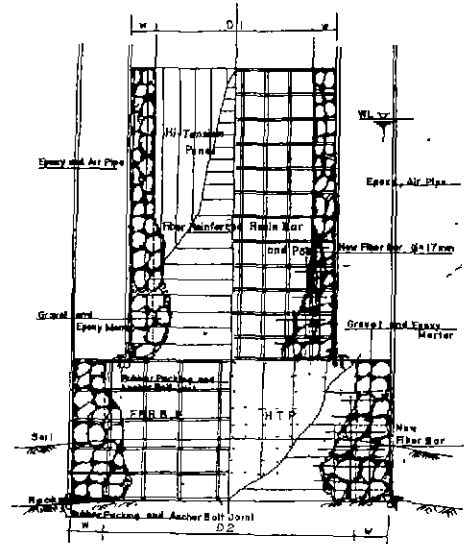


그림 2 유리섬유보강 박판패널을 이용한  
보수·보강공사의 시공순서



(a) 철근콘크리트 보 및 슬래브의 보강개념도



(b) 우물통 기초 및 교각의 보강 개념도

그림 3 철근콘크리트 구조물에서의 적용사례

그림 2 (a)는 철근콘크리트 슬래브 및 보의 휨보강과 전단보강에 대한 시공개념을 도시한 것이며, 시공계획이 수립되면 유리섬유보강 박판패널을 철근콘크리트의 피착면에 부착하게 되는데 구체적인 부착과정은 다음과 같다.

- (1) 보강을 요하는 콘크리트의 부착면에 이물질들을 완전히 제거하고 평탄하게 치핑(chipping)과 블라스팅(blasting)을 실시한다.
- (2) 유리섬유보강 박판패널을 직경 4 mm의 앵커볼트를 사용하여 보강할 부위에 부착한다. 이 때 에폭시수지를 주입 접착하는 콘크리트면과 패널사이의 간격은 2~4 mm로 한다.

(3) 패널을 정착한 후 주입에폭시수지의 주입구와 유출구만 남기고 가장자리 부분은 밀봉(sealing)시킨다.

(4) 주입구에 에폭시수지를 약 0.5 kg/cm<sup>2</sup> ~2.5 kg/cm<sup>2</sup>의 저압 및 고압으로 주입한다.

(5) 유출구에서 에폭시수지가 나올때까지 주입한 후 주입에폭시수지의 정착성능이 충분히 발휘될 수 있도록 7일이상 양생한다.

#### 4. 유리섬유보강 박판패널의 휨보강 성능실험

##### 4.1 실험 개요

유리섬유보강 박판패널로 보강한 철근콘크리트슬래브의 휨보강 성능을 알아보기 위하여 5개의 시험체를 제작하였다. 실험변수로는 보강길이, 보강폭, 초기균열유무로 하였으며, 경간 중앙점의 하면에 변위계를 설치하여 각 하중단계에 따른 처짐량을 측정하여 실험변수에 따른 보강시험체의 강성(stiffness)을 비교하였다. 또한, 경간 중앙단면의 인장철근과 패널에 부착한 변형률게이지의 측정값으로부터 보강시험체의 강도(strength)증가효과를 검토하였다. 그림 4는 실험변수에 따른 각 보강시험체의 보강면을 보여주고 있으며, 그림 5는 최대하중 작용시 각 시험체의 파괴형상을 나타내고 있다.

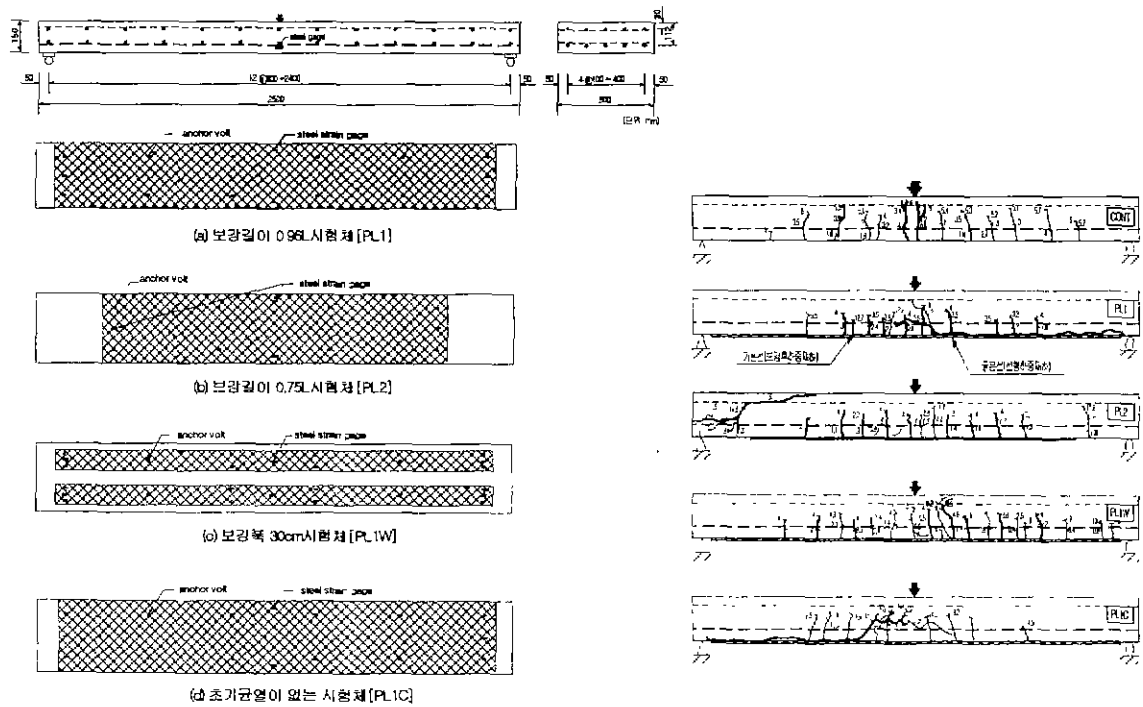


그림 4 실험변수에 따른 보강시험체

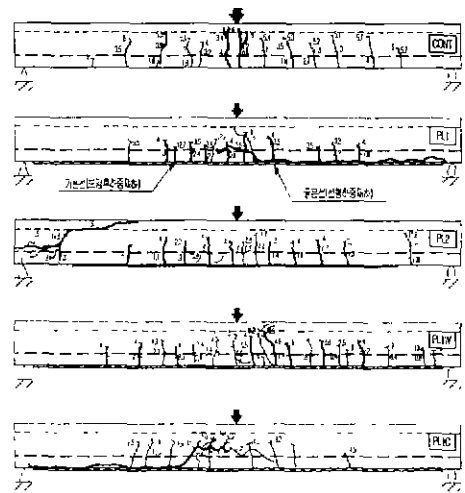
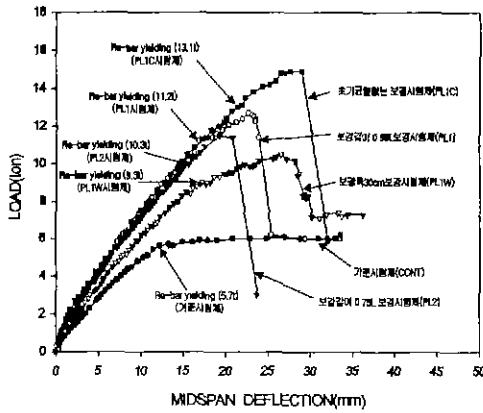


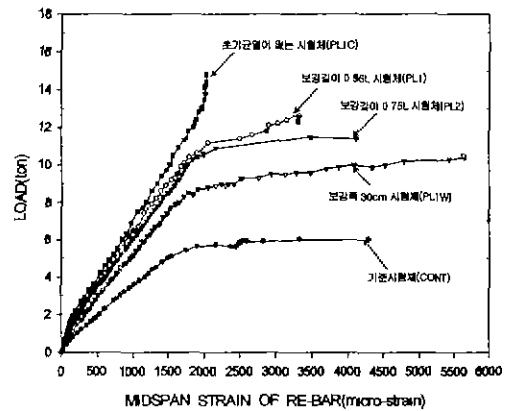
그림 5 각 시험체의 균열형상

## 4.2 실험결과

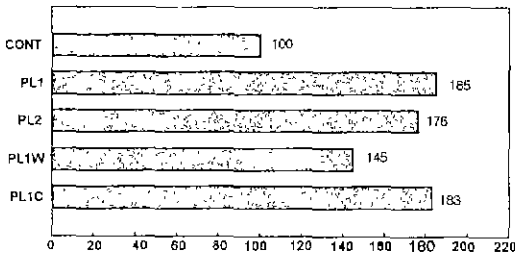
실험결과 파괴양상은 기중시험체의 경우는 휨인장파괴, 보강시험체의 경우에는 보강길이가 짧은 시험체[PL2 시험체]는 보강재 단부근처 콘크리트의 사인장파괴로 나타났으며, 지지점 근처까지 보강한 시험체의 경우에는 보강폭이나 초기균열유무에 상관없이 콘크리트와 보강재 사이에서 부착파괴하는 것으로 나타났다. 따라서, 유리섬유보강 박판패널에 의한 보강설계시 콘크리트의 사인장파괴를 방지할 수 있는 충분한 보강길이가 확보되어야 하며, 콘크리트와 보강재 사이의 부착파괴를 방지하기 위해서는 보강두께를 제한하여야 할 것으로 판단되었다. 그림 6은 각 보강시험체의 실험변수에 따른 하중-처짐 곡선과 휨강성 증가효과를 표시하였으며, 그림 7은 경간 중앙점에서 측정된 하중-인장철근의 변형률 곡선과 휨강도증가 효과를 보여주고 있다.



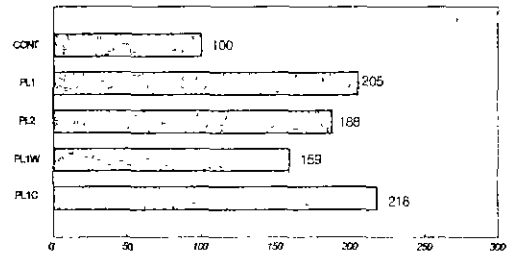
(a) 보강시험체의 하중-처짐 곡선



(a) 보강시험체의 하중-변형률 곡선



(b) 보강시험체의 휨강성 증가효과



(b) 보강시험체의 휨강도 증가효과

그림 6 보강시험체의 하중-처짐곡선 및 휨강성증가 효과

그림 7 보강시험체의 하중-변형률곡선 및 휨강성 증가효과

## 5. 결론

유리섬유보강 박판패널을 이용한 철근콘크리트 구조물의 보수·보강공법에 대하여 요약 정리하면 다

음과 같다.

- (1) 유리섬유보강 박판패널에 의한 철근콘크리트 구조물의 보강공법은 기존의 강판보강공법의 문제점인 무거운 강철판을 다루는데 따르는 시공상의 어려움, 강재의 부식으로 인한 콘크리트와의 접착강도의 손실, 강판길이의 제약으로 인한 불연속부의 문제등을 해결할 수 있다. 또한, 탄소섬유쉬트, 유리섬유쉬트, 아라미드섬유쉬트 보강공법에서 나타나는 불완전한 표면처리에 의한 부착강도의 손실, 얇은 도막층으로 인한 보강섬유의 파단등의 문제점을 해결할 수 있다.
- (2) 유리섬유보강 박판패널에 의한 철근콘크리트 구조물의 보강공법은 자중이 강판의 약 1/5로서 현장 시공이 용이하며, 이음부를 최소화할 수 있어 이음부에서 발생하는 국부적인 파손을 줄일 수 있고, 공사기간을 단축할 수 있다. 또한, 170 °C ~ 200 °C의 고온에서 사출성형된 유리섬유보강 박판패널은 내구성, 내후성이 우수하며, 공장에서 제작된 재품을 현장에서 필요한 폭과 길이만큼 절단하여 사용할 수 있으므로 공사비용을 절감할 수 있는 우수한 공법으로 판단된다.
- (3) 유리섬유보강 박판패널을 이용하여 철근콘크리트 슬래브에 휨보강을 실시하여 실험한 결과, 휨강성(Flexural Stiffness) 및 휨강도(Flexural Strength) 증가효과가 확실하게 나타났다. 그림 6과 그림 7에서 보여주고 있는 바와 같이 무보강시험체의 인장철근 항복시 하중인 5.7 ton의 하중작용시, 휨강성은 83~85%, 휨강도는 105~118%의 증가가 있었다. 또한, 유리섬유보강 박판패널로 보강된 모 든 시험체는 보강시험체의 인장철근이 항복하기 전까지는 콘크리트 구체와 일체거동을 나타내었다.
- (4) 유리섬유보강 박판패널에 의한 보강설계시 보강길이를 짧게한 경우에는 보강재 단부근처 콘크리트가 사인장파괴할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 따라서, 충분한 보강길이가 확보되어야만 보강효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단된다. 본 공법의 경우, Roberts의 박리하중 산정이론을 수정한 주용력 이론에 의해, 보강재 단부에서의 사인장파괴를 방지하기 위한 적절한 보강길이를 산출한 결과  $0.92L(L=지간거리)$ 로 계산되었다
- (5) 유리섬유보강 박판패널로 휨보강된 슬래브를 시험한 결과, 지간중앙점에서 보강재 단부로 진행되는 보강재와 콘크리트 사이의 부착파괴에 의해, 박판패널의 휨보강 성능을 충분히 발휘하지 못한 것으로 나타났다. 따라서, 유리섬유보강 박판패널로 보강한 철근콘크리트 구조물의 휨파괴를 보강하기 위해서는 충분한 정착길이를 확보하여야 한다. 현장적용의 경우, 접착계면에서의 부착강도의 변동을 고려하여 안전율을 2.0으로 한다면, 정착길이( $l_a$ )는 다음값 이상을 확보해야 한다.

$$l_a \geq 0.34 f_{pu} d_p \quad (\text{단위 : kg, cm})$$

즉, 현장여건에 따라 정착길이를 충분히 확보하기 위해서는 유리섬유보강 박판패널의 두께( $d_p$ ) 또는 인장강도( $f_{pu}$ )를 설계목직에 부합되도록 조절해야 한다.

#### 참고문헌

- (1) 한국콘크리트학회 “콘크리트구조물의 보수·보강 지침서”, 1995
- (2) 최완철, 홍기섭, 홍영균, 신영수 “에폭시접착 강판보강 철근콘크리트 보의 역학적 거동에 관한 연구”, 숭실대학교 생산기술연구소, 1994. 10
- (3) Alfarabi Sharif et al, “Strength of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates”, ACI Structural Journal, V91, No.2, 1994, pp160~168
- (4) Y .N. Ziraba, M. H. Baluch, I .A. Basunbul et al. “Guidelines toward the Design of Reinforced Concrete Beams with External Plates”. ACI Structural Journal, V91. No.6, 1994, pp639~646