

# 벨크로를 이용한 FRP 플레이트 보강공법의 시공공법 개선

## Construction Method Improvement of the FRP-plate Strengthening Method using the Velcro

홍 건 호\*

Hong, Geon-Ho

### Abstract

The object of this paper is to study the flexural strengthening effectiveness on the construction method of bonding of the FRP. The existing FRP flexural strengthening methods were divided into FRP sheet strengthening and FRP plate strengthening according to the FRP condition. For improving the existing construction method, this paper proposed the velcro type anchorage system for temporary bonding material, and flexural strengthening effects were tested. Test variables were bonding methods of the FRP strengthening materials, and total 4 specimens were tested. Following to the test results, it is shown that FRP-plate strengthening method using the velcro can get better workability than existing construction methods, and have excellent strengthening performance including flexural strength, stiffness, ductility and failure aspect.

### 요 지

본 논문에서는 FRP 보강재의 부착방식에 따른 RC보의 휨보강 성능평가에 대하여 연구하였다. 기존의 FRP 휨보강공법은 보강재의 형태에 따라 크게 FRP 쉬트 보강공법과 FRP 플레이트 보강공법으로 분류될 수 있으며, 각 공법은 에폭시의 양생기간동안 쉬트의 들뜸이 발생하지 않도록 주의해야하거나, 앵커설치 등 시공이 복잡하며, 인력이 많이 소요되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 Velcro형 고정재를 사용하여 FRP 플레이트를 임시 고정하는 보강공법을 제안하였고, 이에 대한 휨보강 성능평가 실험을 실시하였다. 실험은 FRP보강재의 부착방식을 변수로 하여 총 4개 실험체에 대하여 수행하였다. 실험결과 벨크로형 FRP판 보강공법은 타 공법에 비하여 우수한 시공성을 가짐과 동시에 휨내력이나 연성도 면에서도 우수한 보강성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

**Keywords** : Bond strength, FRP plate, Flexural strengthening, Velcro

**핵심 용어** : 부착강도, 섬유보강판, 휨보강, 벨크로

\* 정회원, 호서대학교 건축공학과 부교수

E-mail : honggh@hoseo.edu 041-540-5774

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축물의 노후화에 따른 리모델링에 대하여 관심이 증가되면서 구조물의 보수·보강공법에 대한 연구와 개발이 활발해지고 있다. 철근콘크리트 구조물의 보수·보강공법으로는 80년대에 많이 사용된 강판보강공법과 탄소섬유, 아라미드, 유리섬유 등의 섬유복합재를 이용한 FRP보강공법, 프리스트레싱 보강공법, 부재증설 보강공법, 단면증대 보강공법 등 다양한 보강공법이 적용될 수 있으나, 시공의 용이성과 고강도 등의 장점으로 인해 FRP 보강공법이 타 공법에 비하여 관심이 집중되고 있다.

FRP 보강공법은 섬유복합재의 부착방법에 따라 크게 FRP 쉬트 보강공법과 FRP 플레이트 보강공법으로 나뉜다.

FRP 쉬트 보강공법은 쉬트형태의 섬유복합재를 에폭시 등의 함침재를 사용하여 부재에 직접 부착하는 공법이고, FRP 플레이트 보강공법은 소요 보강량에 해당하는 섬유복합재를 공장에서 미리 함침제작한 플레이트를 현장에서 강판보강공법과 유사한 방법으로 모재에 부착하는 공법이다.

FRP 쉬트 보강공법은 요구되는 보강량이 많을 경우 시공의 단계가 복잡해지고, 에폭시의 양생기간이 길어 양생기간동안 쉬트의 들뜸이 발생하지 않도록 관리가 필요하여 다른 공법에 비해 현장작업자에 대한 의존도가 높다. 반면, FRP 플레이트 보강공법은 공장 제작을 통하여 균질한 보강재를 생산할 수 있어 보강 성능을 확보하는데 유리하고, 양생 시 관리가 FRP 쉬트보강공법보다 단순하여 보강이후 품질 확보에 유리하다.

기존 FRP 플레이트 보강공법의 부착방법은 강판접착공법과 유사하게, FRP 플레이트를 앵커볼트 등으로 가설치하고 플레이트 주변을 실링한 후 보강재와 모재 사이에 에폭시 접착제를 주입하는 시공공법을 주로 사용하여 왔다. 그러나, 이와 같은 시공공법은 에폭시 접착제를 주입하기 전 FRP 플레이트를 모재에 고정시키기 위하여 앵커볼트를 설치하는 작업으로 인해 인

력과 시공비용이 많이 필요하게 되고, 경우에 따라 앵커볼트 시공에 따른 FRP 플레이트의 천공에 의한 단면손실이 발생하여 소요보강성능을 만족하지 못하거나 추가적인 보강재가 요구될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 FRP 플레이트 보강공법의 시공 상의 문제점을 개선하고 공정을 단순화하기 위하여, FRP 플레이트 가설치 방법으로 앵커볼트대신 벨크로(Velcro)형 고정재를 사용하여 FRP 플레이트를 고정한 후 에폭시 접착제를 주입하는 공법에 대한 시공성 및 휨보강성능을 평가하도록 하였다.

### 1.2 연구방법

벨크로형 부착재를 사용한 FRP 플레이트 보강공법의 시공성 및 휨보강성능을 평가하기 위하여 총 4개의 실험체에 대한 휨성능평가실험을 수행하였다. 실험체는 단순보형 RC실험체에 휨보강을 실시하지 않은 무보강 실험체를 기준으로 FRP 쉬트로 현장에서 함침·보강한 실험체, 공장에서 제작한 FRP 플레이트를 앵커볼트로 고정시킨 후 에폭시 주입공법으로 보강한 실험체 및 벨크로를 이용하여 FRP 플레이트를 보강한 실험체 등으로 구성되며, 휨성능평가실험 후 이를 기존 연구자들에 의해 제시된 휨내력 평가 제안식과 비교·분석하도록 하였다.

실험연구에서는 각 실험체의 하중-처짐관계, 초기균열하중, 최대 내력, 파괴양상, 강성 및 연성도 등을 평가하도록 하였으며, 이러한 실험결과를 기존의 휨보강 내력 제안식과 비교·검토함으로써 벨크로형 고정재를 사용한 FRP 플레이트 보강공법의 타당성을 분석하도록 하였다.

## 2. 휨보강성능 평가 실험

### 2.1 실험 계획

본 논문에서는 기존의 휨보강공법인 FRP 쉬트 보강공법이나 앵커볼트를 이용하는 FRP 플레이트 보강

공법의 시공 상의 단점을 보완하기 위하여, 비교적 시공이 간단한 벨크로형 부착재를 이용하여 FRP 플레이트를 구조물에 고정시켜 보강재와 모재 사이에 예폭시 접착제를 주입하는 FRP 플레이트 보강공법을 제안하였다.

실험의 주요 변수는 보강재의 부착 방법으로서, 벨크로형 FRP 플레이트 보강공법의 휨보강능능을 평가하기 위하여 Table 1과 같이 총 4개의 실험체를 제작하였다. 실험체의 보강량은 보강재의 인장강도가 동일하도록 FRP 쉬트 및 플레이트의 두께를 설계하였다.

실험체는 Fig. 1과 같이 폭 350mm, 높이 200mm인 직사각형 단면으로 인장축과 압축축의 피복두께를 40mm로 하였으며, 부재의 총 길이는 2200mm로 제작하였다. 또한, 주근이나 보강재로 인한 압축축 콘크리트의 파괴가 먼저 발생하지 않도록 보강 전 철근비 ( $\rho = 0.0051$ )를 최대철근비( $\rho_{max} = 0.0248$ )의 약 1/5 정도로 설계하여, 인장철근은 4-D10, 압축철근은 2-D10으로 배근하였으며, 전단파괴를 방지하기 위하여 D10철근을 100mm 간격으로 배근하였다.

Table 1 실험체 계획

실험체명	실험체 특징
기준실험체	무보강
FRP쉬트 보강실험체	기준 FRP쉬트 보강공법을 이용하여 보강한 실험체
앵커형 FRP 플레이트 보강실험체	기준 앵커공법에 의하여 FRP판을 보강한 실험체
벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체	벨크로형 고정장치를 이용하여 FRP판을 보강한 실험체

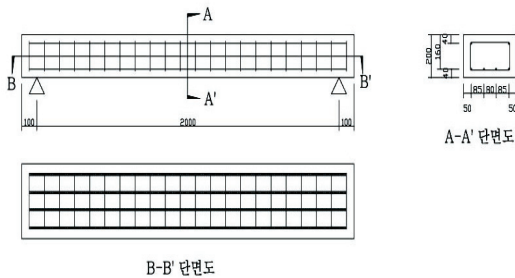


Fig. 1 보 실험체 배근도 (unit : mm)

## 2.2 실험재료

실험에 사용된 콘크리트의 배합표는 Table 2와 같으며, 재령 28일과 실험을 실시한 재령 60일의 압축강도는 각각 22.9MPa, 25.4MPa이다.

실험체 제작에 사용된 철근은 항복강도 400MPa의 국내산 D10 철근만을 사용하였으며, 별도의 인장실험은 실시하지 않았다. 보강재로 사용된 섬유복합체로서 FRP 쉬트는 탄소섬유를 사용하였고, FRP 플레이트는 탄소섬유와 유리섬유를 1:1 비율로 혼합하여 제작된 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 보강재의 역학적 성질과 특성은 Table 3에 나타내었다. 실험에서 사용된 예폭시는 쉬트용 예폭시와 FRP판 주입용 예폭시를 사용하였으며, 각 물성은 Table 4와 같다. 벨크로형 고정재는 인장부착강도가 3.1MPa인 폴리프로필렌 소재를 사용하였으며, 기존의 일반 벨크로와 실험에 사용된 벨크로형 고정재의 특징을 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Table 2 콘크리트 배합표

W/C ratio (%)	잔골재율 (%)	단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
		물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제
44	46.9	175	397	809	914	1.99


Table 3 FRP 보강재의 물성치

종류	구분	물성치
탄소섬유쉬트	쉬트의 폭 (mm)	250
	표준시공두께 (mm/층)	0.6
	설계두께 (mm/층)	0.167
	인장강도 (MPa)	4600
	설계강도 (MPa)	3500
	인장탄성율 (GPa)	235±10
FRP 플레이트	파단 시 신장율 (%)	1.5
	FRP재 비	탄소섬유1: 유리섬유1
	설계강도 (MPa)	3500~3600
	인장탄성율 (GPa)	318

Table 4 예폭시 물성치

종류	구분	물성치
쉬트용 예폭시	인장강도 (MPa)	41.2
	인장전단강도(MPa)	10.3
FRP판 주입용 예폭시	압축강도 (MPa)	75.3
	인장강도 (MPa)	45.1
	인장전단강도(MPa)	10.3

Table 5 기존 벨크로와 벨크로형 고정재 비교

	기존 벨크로	벨크로형 고정재
형태		
소재	나일론	폴리프로필렌
인장부착강도	0.12~0.2	3.1
비고	암·수 구별 있음	암·수 구별 없음 부착면 돌기모양 동일

표에서 나타나듯이 본 연구에서 사용된 벨크로형 고정재는 FRP 플레이트를 고정하기 위하여 인장부착강도를 일반제품보다 약 20배 이상 큰 값을 갖도록 특수 제작한 것으로서, 일반적인 벨크로와는 재질 및 형상이 다르게 제작되었다.

### 2.3 보강실험체 제작

#### 2.3.1 FRP쉬트 보강실험체

FRP쉬트 보강실험체는 보강재를 부착하기 이전에 부착될 면을 그라인딩하고 배풍기를 이용하여 연마면진이 표면에 쌓이지 않도록 정리하였다. Fig. 2와 같이 프라이머를 도포하여 충분히 건조한 뒤 쉬트용 에폭시를 도포하고, FRP쉬트를 절단하여 도포면에 부착하였으며, 이 때 탈포 로울러와 고무주걱을 이용하여 접착면의 기포를 제거하고 쉬트에 에폭시가 충분히 함침될 수 있도록 하였다. 1차 FRP 쉬트의 함침 이후 동일한 방법으로 두 번째 FRP 쉬트를 함침시켰다. 쉬트의 보강량은 폭 250mm, 설계두께 0.167mm인 탄소섬유를 2겹으로 보강하여 총 83.5mm를 보강하였다.

#### 2.3.2 앵커형 FRP 플레이트 보강실험체

앵커형 FRP 플레이트 보강실험체는 계획된 앵커볼트 설치위치에 공장제작된 플레이트를 보강면에 맞춰 천공하고, 콘크리트 표면을 그라인딩하여 정리한 후 앵커볼트를 설치하였다. FRP판이 놓이게 될 가장자리를 따라 실링을 하고 에폭시 주입제의 주입구와 배출구, 간격재를 배치하였다. FRP판을 앵커볼트에 맞게 위치시켜 틈이 생기지 않도록 섬유판 둘레를 따라 다

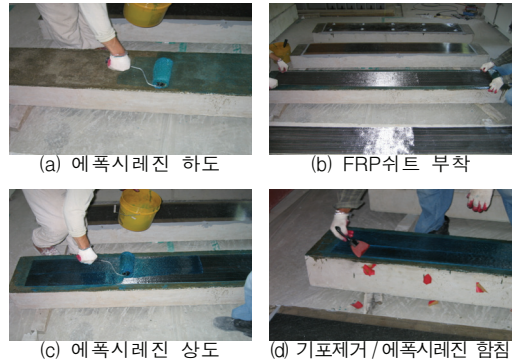


Fig. 2 FRP쉬트 보강실험체 제작 과정

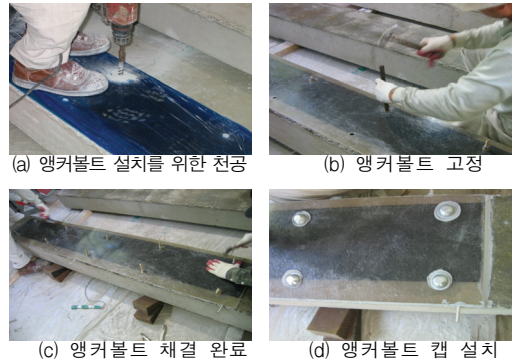


Fig. 3 앵커형 FRP 플레이트 보강실험체 제작 과정

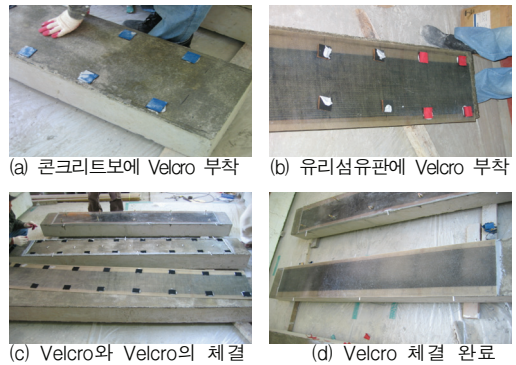


Fig. 4 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체 제작 과정

시 한번 실링한 후 에폭시 주입제의 주체와 경화제를 2:1 비율로 섞어 모든 배출구에서 레진이 흘러나올 때까지 주입하고, 주입구와 배출구를 막아 양생시켰다. 실험에 사용된 FRP 플레이트는 2겹의 탄소섬유쉬트

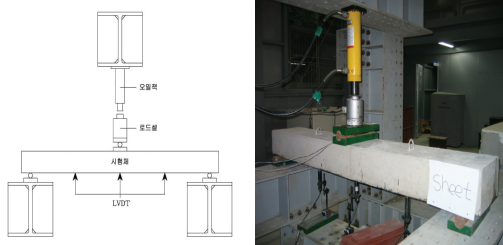
와 인장강도가 동일하도록 제작된 1.2mm 두께의 보강판을 사용하였다.

### 2.3.3 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체

벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체는 앵커고정 실험체와는 달리 친공을 하지 않은 FRP 플레이트를 준비하고, FRP판과 보강면에 각각 실험을 위하여 특수 제작된 45mm×45mm크기의 벨크로형 고정재를 순 간격 250mm로 실험체 양단부에 2열로 총 16개를 접착제를 이용하여 접착하였다. 보강면과 FRP 플레이트에 부착된 벨크로가 일치되도록 섬유판을 올려 벨크로 간에 들뜸이 생기지 않도록 눌러주고, 주입구, 배출구, 간격재를 배치한 후 섬유판 둘레를 실링하고 실링제가 경화된 후 에폭시 레진을 주입하여 양생시켰다. 실험에 사용된 FRP 플레이트는 앵커형 보강실험체와 동일한 것을 사용하였다.

## 2.4 실험 방법

보강실험체의 휨보강성능을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같이 실험체의 중앙에 오일잭으로 1점 재하하고, 오일잭 하부에 로드셀을 설치하였다. 하중점과 각 지점에는 롤러를 설치하여 수평방향변위와 회전에 대한 구속이 없도록 하였으며, 지간의 4등분 지점에 LVDT를 설치하고 콘크리트 타설 전 철근용 스트레인 게이지를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였다. 콘크리트의 변형률 측정은 보의 유효층이 낮아 큰 의미가 없을 것으로 판단되어 측정하지 않았다.



(a) 실험체 및 측정장치의 설치 (b) 실험체 배치 및 실험 준비

Fig. 5 실험체 설치 및 실험전경

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 휨 내력 비교

휨성능 실험결과를 설계기준에 근거하여 계산한 균열하중 및 최대하중과 비교하여 Table 6에 정리하였다. 표에서 최대하중의 계산값은 보강재를 등가의 철근으로 환산하여 산정된 공칭강도를 의미한다. 각 보강실험체의 균열하중과 최대하중을 살펴보면, 보강재의 부착으로 인장강도가 증가함에 따라 기준실험체의 실험값 보다 크게 나타났으며, 여러 실험체 중 벨크로형 FRP판 보강실험체의 균열하중과 최대하중이 각각 31kN, 113.7kN으로 가장 높게 나타났다.

각 보강실험체의 계산값과 실험값을 비교해 보면, FRP 플레이트 보강공법은 균열하중과 파괴하중 모두 실험값이 보강내력 계산식에 의한 값보다 크게 나타났으나, FRP쉬트 보강실험체의 파괴하중은 계산값보다 실험값이 더 적은 것으로 나타났다. 이는 FRP쉬트가 보강내력을 모두 발휘하기 이전에 단부에서 박리파괴가 발생함에 따른 것으로 판단된다.

Table 6 실험결과 일람표

실험체명	균열하중 (kN)		최대하중 (kN)		파괴양상
	계산값	실험값	계산값	실험값	
기준실험체	14.8	17	34.8	46.5	휨파괴
FRP쉬트 보강실험체	14.8	24	97.7	91.8	쉬트 박리
앵커형 FRP판 보강실험체	14.8	29	97.7	107.4	FRP판 파단
벨크로형 FRP판 보강실험체	14.8	31	97.7	113.7	FRP판 박리

Table 7 실험체 별 성능 일람표

실험체명	강성 (kN/mm)	연성도
기준실험체	4.03	3.18
FRP쉬트 보강실험체	5.66	1.80
앵커형 FRP판 보강실험체	7.31	1.36
벨크로형 FRP판 보강실험체	6.76	2.34

### 3.2 강성 및 연성 평가

보강된 부재의 휨성능을 평가하기 위하여 각 실험체의 강성 및 연성도를 평가하였다. 실험체의 강성은 Fig. 6 하중-처짐곡선에서 철근이 항복하기 이전의 기울기로 평가하였다.

Fig. 6의 실험체별 하중-처짐곡선을 살펴볼 때, 보강실험체는 무보강실험체보다 보강재의 영향으로 강성이 증가되는 것을 알 수 있으며, 이때 슈트 보강실험체보다 플레이트 보강실험체의 강성증가가 더 큰 것으로 나타나고 있다. 이는 공장에서 제작된 FRP 플레이트가 현장에서 함침시킨 FRP 슈트보다 양호한 품질을 가지고 있기 때문인 것으로 판단되며, 실제 FRP 플레이트를 사용한 실험체는 시공공법에 따른 강성의 차이는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 앵커형과 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체의 하중-처짐곡선을 비교해 보면, 철근이 항복하는 시점까지는 거의 유사한 거동을 보였으나, 철근의 항복이후 앵커형 FRP 보강실험체는 휨보강 성능을 유지하지 못하고 일정 강도의 증가 이후에 보강재의 파단으로 급격한 부재의 파괴를 보인 반면, 벨크로형 보강실험체는 더 큰 하중 및 처짐 변위에 대하여 휨보강 성능을 유지하였으며 앵커형 FRP판 보강실험체보다 연성적인 파괴양상을 나타내었다. FRP 슈트 보강실험체는 앵커형 FRP 플레이트 보강실험체보다 파괴하중은 작지만 실험체의 파괴 시까지 거의 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다.

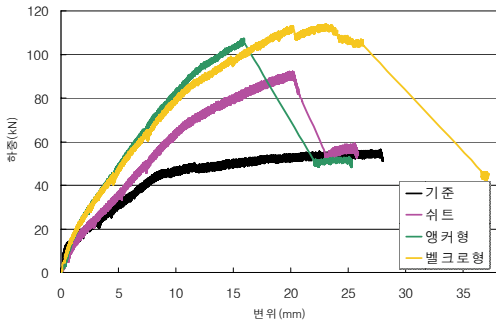


Fig. 6 실험체 별 하중-처짐 곡선

각 실험체의 강성을 종합하여 보면 앵커형 FRP 플레이트 보강실험체의 강성이 가장 큰 것으로 나타났으며, 그 다음으로 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체, FRP 슈트 보강실험체, 기준 실험체의 순으로 나타났다. 실험체의 연성도는 Fig. 6의 하중-처짐곡선을 통하여 철근 항복 시의 처짐값과 최대하중 시의 처짐값의 비로 계산하였으며, 그 결과를 Table 7에 정리하였다. 벨크로형 보강실험체의 연성도는 3가지의 보강실험체 중에서 가장 높게 나타났으나, 기준실험체보다는 낮은 연성도를 보였다. FRP보강 실험체의 연성도가 기준실험체보다 낮게 나타난 것은 취성적인 FRP 판의 박리파괴가 발생됨에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.3 보강방법에 따른 실험체의 파괴 양상

무보강인 기준실험체의 파괴양상은 최대 모멘트가 작용하는 실험체 중앙부를 중심으로 균열이 발생되어 중립축까지 진행되고, 이후 균열폭이 증가하였으며, 철근이 항복한 이후 소성경화현상이 발생하는 전형적인 휨파괴 양상을 보였다.

FRP 슈트 보강실험체는 초기균열과 함께 중앙부로부터 슈트의 탈락이 발생하기 시작하여 하중이 증가함에 따라 균열과 FRP슈트의 탈락이 단부로 전달되었고, Fig. 7(b)와 같이 보강재의 박리에 의한 파괴가 발생하였다.



Fig. 7 각 실험체 별 최종파괴양상

또한 설계기준에 근거한 최대하중은 97.7kN이었으나, 실험결과 91.8kN에서 파괴가 발생하여 FRP쉬트와 콘크리트의 계면부착파괴에 의해 보강성능을 충분히 발휘하지 못한 것으로 나타났다.

앵커형 FRP 플레이트 보강실험체는 쉬트 보강공법보다 큰 하중에서 파괴가 되었으나, FRP 플레이트를 고정하기 위해 뚫어놓은 볼트구멍이 보강재의 유효단면적을 감소시켜, Fig. 7(c)와 같이 볼트구멍과 볼트구멍을 연결하는 FRP 플레이트의 파단으로 파괴가 발생하였다. 콘크리트의 휨균열은 중앙부에서는 고르게 분포하였으나, 단부에는 거의 균열이 발생하지 않았다. 이를 통하여 앵커형 플레이트 보강실험체는 보강설계 시 볼트 구멍의 위치와 개수, 단부보강 등 유효단면적의 감소에 대한 고려가 필요함을 추정할 수 있다.

벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체는 실험체중 가장 큰 하중에서 파괴되었으며, 다른 보강실험체보다 큰 처짐이 발생할 때까지 최대내력을 유지하였다. 벨크로형 보강실험체의 파괴양상은 Fig. 7(d)와 같이 균열이 실험체 전체에 고르게 분포하였으나 균열의 수는 많지 않았고, FRP판이 콘크리트와 함께 실험체의 단부에서 탈락되는 파괴양상을 나타내었다.

#### 4. 기존 휨 내력 제안식과의 비교

섬유재를 이용하는 휨부재의 보강은 주로 보강재의 단면적, 보강재의 길이, 단부 부착 방법, 콘크리트 강도, 섬유재의 파괴변형률 및 탄성계수 등 다양한 변수들에 의해 영향을 받는다. 이러한 변수를 고려하여 기존의 여러 연구자들은 Table 8과 같이 다양한 휨부재 내력 예측식을 제안하였으며, 대부분의 제안식들은 섬유보강재의 변형률을 주된 변수로 사용하고 있다. 또한 제안식에 사용된 섬유재는 주로 탄소섬유쉬트를 기준으로 하고 있으며, 아라미드 섬유나 유리섬유의 경우 적절한 강도저감계수를 통하여 동일한 식을 사용할 수 있도록 제안하고 있다.

기존 제안식들에 본 연구에서 실험한 실험체의 특성을 대입하여 분석한 결과를 정리하면 Table 9와 같다. 대체적으로 기존 제안식에 의해 계산된 휨내력 값은 실험값보다 적게 나타났다. 이는 설계 시 사용되는

Table 8 기존 연구자들의 휨부재 보강내력 예측 제안식

연구자 (년도)	제안식	변수
한만엽 (1998)	$M_n = \sigma_y(A_s - A_s')(d - \frac{a}{2}) + \sigma_y A_s'(d - d') + \sigma_{cf} A_{cf}(h_{cf} - \frac{a}{2})$	$\epsilon_{cf}$
신성우 (1998)	$M_n = T_s(d - k) + T_{cfs}(h - k)$ $k: C_c \text{와 } C_s \text{ 협력의 압축연단까지 거리}$	$\epsilon_{cfs}$
박칠림 (1998)	$M_n = A_{sfy}(d - \frac{a}{2}) + A_{cfe} E_{cfe}(h_{cf} - \frac{a}{2})$	$\epsilon_{cf}$
홍영균 (1997)	$M_n = 0.85f_{ck}ab(x - \frac{a}{2}) + A_{sfy}(d - x) + A_{cfe} E_{cfe}(h - x)$	$\epsilon_{cf}$
麗毛忠繼 (1998)	$M_n = (0.9a_s S_{sy} d) + (0.9a_f \frac{E_f}{E_s} S_f D) \alpha$ $\alpha = 1/2 \text{ 또는 } \alpha = 2/3$	$\alpha$
野口貴文 (1996)	$M_n = (0.9a_t \sigma_{sy} d_y) + (0.9a_f \frac{E_f}{E_s} \sigma_{cf} \frac{1}{2} D)$	$\sigma_{cf}$

Table 9 기존 제안식과 실험에 의한 휨내력 비교

	휨 내 력(kN)	
	FRP쉬트 보강실험체	FRP판 보강실험체
한만엽	63.91	81.46
신성우	69.23	84.62
박칠림	72.79	90.34
홍영균	101.57	115.71
麗毛忠繼 ( $\alpha = 2/3$ )	64.63	78.75
野口貴文	54.64	65.23
실험값	91.8	107.4   113.7

보강재의 설계강도가 보수적인 관점에서 실제 인장강도보다 작기때문인 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

벨크로형 고정재를 이용하여 시공공법을 단순화시킨 FRP 플레이트 보강공법의 휨보강성능 실험 결과로 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체의 휨내력은 무보강의 2.4배, 쉬트 보강의 1.2배, 앵커형 플레이트 보강의 1.05배 정도로서 우수한 보강성능을

갖는 것으로 나타났다.

- 2) 섬유보강재를 부착한 실험체의 연성도는 기준실험체에 비하여 떨어지는 것으로 나타났으나, 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체는 다른 공법에 의하여 보강된 실험체보다 우수한 연성도를 갖는 것으로 판명되었다.
- 3) 기준실험체는 휨파괴, 슈트 보강실험체는 FRP의 박리파괴, 앵커형 플레이트 보강실험체는 보강재의 유효단면적 감소로 인한 보강재의 인장파괴가 발생하였으나, 벨크로형 FRP 플레이트 보강실험체는 보강재의 충분한 내력 발휘이후 FRP판과 콘크리트의 탈락에 의하여 파괴되었다.
- 4) 기존 연구자들의 제안식에 의한 휨내력을 비교해 본 결과, 대체적으로 기존 제안식이 실험값보다 적은 것으로 나타나, 벨크로형 FRP 플레이트 보강공법도 안전측으로 기존 제안식을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 지방연구중심대학육성사

업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. 백승민, 김우석, 박윤근, "보강된 RC보의 휨내력 예측에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 20권 6호, 2004. 6, pp. 11-18.
2. 정종현, 이재광, "탄소섬유를 이용한 철근콘크리트 보단부 휨보강에 대한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 22권 9호, 2006. 9, pp. 19-26.
3. 홍건호, 신영수, "RC 구조물에 적용된 부착식 휨보강공법의 보강성능 평가", 콘크리트학회 논문집, 15권 1호, 2003, pp. 78-86.
4. C. Allen Ross et al., "Strengthening of reinforced concrete beams with externally bonded composite laminates", ACI Structural Journal, Mar.-April 1999, pp. 212-220.
5. "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures", fib, pp. 34-46.

(접수일자 : 2008년 8월 25일)

(심사완료일자 : 2008년 11월 1일)