

FRP 판으로 표면매입 보강된 철근콘크리트 보의 보강성능

Retrofit Capacity of Near-Surface-Mounted RC Beam by using FRP Plate

서수연^{1)*} 최기봉²⁾ 권영순³⁾
Seo, Soo Yeon Choi, Ki Bong Kwon, Yeong Sun

Abstract

Recently, research about Near-Surface-Mounted Retrofit (NSMR) method has been being widely performed as a method for retrofit of RC structure using FRP. This method requires additional work to make grooves during retrofit but makes it possible to improve retrofit effect and reduce the attack by environment.

In this paper, the retrofit effect of NSMR method, especially the method using FRP plate instead of bar is investigated through experiment. Six RC beams were made and retrofitted using by FRP plate following the planned methods; Surface-Bonding Retrofit (SBR), NSMR without debonding region and NSMR with debonding region. Flexural capacity of all specimens was evaluated by beam test with simple support condition.

As a result, NSMR method with FRP plate had more improved structural capacity than SBR method. The calculation process of ACI 440-2R can be used to predict the member retrofitted by NSMR with FRP plate with consideration on the three anchorage failure mechanism.

Keywords : FRP, Near-Surface-Mounted retrofit, Surface-Bonding retrofit, Reinforced concrete beam, Flexural retrofit

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 보강을 위하여 최근 콘크리트의 피복부분에 홈을 형성하고 이 홈내부에 FRP 바를 삽입한 후 에폭시 모르타르 등으로 보강하는 방법, 즉 표면매입 보강 (Near-Surface-Mounted Retrofit, NSMR) 방법의 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 이 방법은 콘크리트에 홈을 형성하는 추가의 작업이 필요하지만 보강효과를 높일 수 있고 FRP가 표면에 노출되지 않기 때문에 환경의 영향을 저감시킬 수 있다.

그러나 이 방법의 단점으로는 원형 또는 각형인 FRP 바를 삽입하고 충분한 에폭시 모르타르를 충전하기 위해서 일정 크기이상인 홈을 형성해야 하기 때문에 추가의 작업이 필요하고 또한 주로 상향식 작업이 많기 때문에 홈형성 작업이 어렵다는 점이다.

이와 같은 문제점을 개선하는 측면에서 서수연 (2011), 정우태(2009), 임동환(2008), EI-Hacha 등(2004), Yost 등(2007)은 콘크리트 부재에 폭이 좁고 깊이가 긴 홈을

형성하고 이 내부에 FRP 판을 세로로 세워서 매입하여 보강하는 비교적 시공이 용이한 방안을 강구하고 이에 대한 연구를 실시하였다. 이들의 연구결과는 기존의 원형 또는 사각형 바를 사용하는 표면매입 보강방법에 비하여 홈작업이 용이하고, 홈내에 삽입된 FRP 판의 부착력이 높아 보강효율이 높은 것으로 보고하고 있다.

본 연구에서는 이들의 연구결과를 토대로, 철근콘크리트 보를 대상으로 FRP 판을 이용한 표면매입 보강시의 보강효과, FRP 판의 정착효과를 실험적으로 연구하고자 한다. 특히 FRP 판의 높은 단부 정착성능을 고려하여 중앙부 비부착 구간을 설정하고 비부착길이의 변화에 따른 거동을 연구하고자 한다.

2. 기존 연구 분석

콘크리트 피복내에 홈을 형성한 뒤 FRP보강재를 매입하여 보강하는 표면매입 보강법의 우수성은 Nami(2001)가 실시한 고속도로 교량을 대상으로 한 휨실험으로부터

1) 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 교신저자
2) 정회원, 가천대학교 건축공학과 교수
3) 정회원, (주)재신건설 대표이사

* Corresponding author : syseo@cjnu.ac.kr 043-842-1535
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

알 수 있다. 이 연구에서 CFRP 판을 외부표면에 부착시킨 경우에는 CFRP 판이 최종단계에서 박락되었으나, 바형태로 제작한 CFRP를 콘크리트 표면에 매입시킨 경우에는 CFRP 바가 인장파단되었고, 전체 내력에 대한 기여도도 각각 17%와 29%로서 표면매입 보강이 효과적인 것으로 나타났다.

그러나 De Lorenzis 등(2000)이 실시한 표면매입으로 FRP 휨 보강된 T형보의 휨실험 연구에 따르면, 비록 보강효과는 최대 44% 상승하였지만, 최종 파괴는 표면매입된 FRP 바의 부착파괴에 의해 내력이 결정되는 것으로 나타났다.

EI-Hacha 등은 동일 축강성을 갖는 표면 부착보강과 FRP 판, FRP 바를 이용한 표면매입보강에 대하여 각각 그 성능을 보 휨실험으로 평가하여 표면매입 보강이 표면 부착 보강에 비하여 훨씬 높은 보강성능을 보유하고 있음을 확인하였고 특히 FRP 판을 부재내에 세워서 삽입보강한 경우가 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 발표하였다. Yost 등은 철근콘크리트 휨부재를 대상으로 주근비와 표면매입 보강 FRP 판의 보강량 등을 변수로 휨실험을 실시하여, 표면매입 보강을 함으로써 강도와 강성 등에서는 현격한 향상이 가능하지만, 에너지 연성과 변위 연성의 측면에서는 감소를 유발하는 것으로 밝혔다.

국내에서는 정우태가 표면부착 보강 (EBR, External Bonded Retrofit)과 FRP 바와 판으로 표면매입 보강 (NSMR, Near-Surface-Mounted Retrofit)된 RC보에 대한 휨실험을 실시하여 표면매입 보강이 표면부착 보강에 비하여 약 50% 보강효과가 증가하지만 여전히 부착파괴가 존재함을 확인하였다.

임동환은 FRP판을 표면매입 보강한 T형보에 대한 휨실험을 통하여, 보강내력이 약 247% 증가함을 확인하였고, 이 보강방법이 보강후 보강재와 콘크리트가 완전한 합성거동을 유도하여 보강효과가 매우 높은 방법임을 제시하였다.

그리고 서수연 등은 FRP 판을 이용한 표면매입 보강부재에 대한 부착실험을 통하여, 표면매입 보강이 표면부착 보강에 비하여 약 1.5배 부착성능이 증진됨을 밝혔고 또한 부착할렬파괴시의 강도산정식을 제시하여 FRP 판을 이용한 표면매입 보강시 부착내력의 예측이 가능하도록 하였다.

이상과 같은 기존 연구를 통하여 표면부착 보강에 비하여 표면매입 보강이 보강효율의 측면에서 우수함을 알 수

있다. 그러나 실제 철근콘크리트 부재의 보강에서는 FRP 판의 강성이 지나치게 크므로 인하여 부재와 같이 변형하지 않게 되고 이에 의한 영향으로 보강재가 탈락될 가능성이 있고, 이에 의해 보강효율이 저감될 가능성이 있다.

본 연구에서는 기존의 부착실험결과(서수연, 2011)를 토대로 철근콘크리트 보에 대하여 FRP 판 표면부착 보강과 표면매입 보강을 실시하고 휨실험을 실시함으로써 표면매입 보강시 거동특성을 관찰하고자 한다. 특히 FRP 판의 높은 단부 정착성능을 고려하여 중앙부 비부착 구간을 설정하고 비부착길이의 변화에 따른 거동을 연구하고자 한다.

3. 실험

본 실험에서의 변수는 FRP 판을 이용한 보강방법과 보강길이이다. 보강방법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 표면 부착 보강과 표면매입 보강으로서 표면매입 보강방법은 부재 표면에 깊고 폭이 좁은 홈을 형성하고 FRP 판을 삽입하는 방법을 대상으로 하였다.

3.1 실험체 계획 및 제작

실험에서 연구하고자 하는 부분은 표면부착과 표면매입 보강에 따른 차이와 표면매입 보강에서의 부착길이에 따른 거동특성이다. 이에 따라 무보강, 표면부착 보강, 그리고 부착길이가 서로 다른 매입보강으로 실험체를 계획하였다. Table 1은 실험체 일람을 나타낸다.

Fig. 2는 실험체형상을 나타내며, 200mm×400mm×1,800mm 규격의 철근콘크리트 보를 제작한 뒤 보의 하부를 실험목적에 따라 FRP 판으로 휨보강하였다.

실험에 사용된 FRP 보강재는 탄소섬유계로서 두께 1.2mm 폭 50mm로서 표면부착 보강시에는 1매를 부착

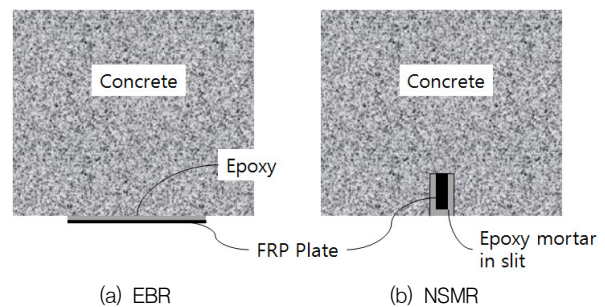


Fig. 1 Concept of EBR and NSMR

Table 1 Specimen list

Specimen name	Retrofit method	Bonded length (mm)	Unbonded length (mm)
BC2000	None	-	-
BP1600	EBR	1,600	-
CP1600-1	NSMR	1,600	-
CP300-1		300 for each ends	1,000
CP400-1		400 for each ends	800
CP500-1		500 for each ends	600

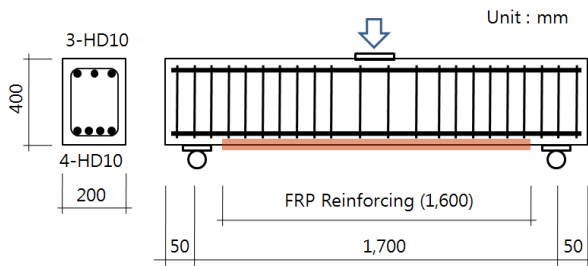


Fig. 2 Specimen detail

보강하였고 표면매입 보강시에는 FRP 판을 16mm의 폭으로 삼등분하고 이를 1줄로 겹쳐 부착시킨 뒤 폭 7.1mm, 깊이 20mm의 홈에 매입하였다. 이에 따라 보강재의 단면적은 모든 실험체가 거의 유사하다.

본 연구의 실험체에 사용된 콘크리트의 28일 압축강도는 21MPa이고 CFRP 보강재는 Sika사의 Carbodur-Plate S512/80이며 두께 1.2mm로서 인장강도는 2,800MPa. 탄성계수는 160,000MPa이다. 접착용 레진은 Sikadur®-30 2액형 레진으로서 Sika사에서 제시한 자료에 따르면, 압축강도 70MPa, 인장강도는 28MPa, 전단강도는 18MPa, 그리고 탄성계수는 128,000MPa이다. 주근으로 사용된 D10철근의 항복강도와 최대강도는 각각 486.7MPa 과 833.2MPa로 나타났다.

3.2 실험방법

실험체 가력상황은 Photo 1에 나타난 바와 같이 양단부를 단순지지하고 중앙부를 점진적으로 하중을 가하여 실험체의 최종파괴시 까지 관찰하였다.

실험체의 변형을 측정하기 위하여 하부 중앙과 실험체 길의 1/4지점에 변위계를 설치하였고, 하부 철근 및 FRP의 변형도를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 변형도게이지를 부착하였다.

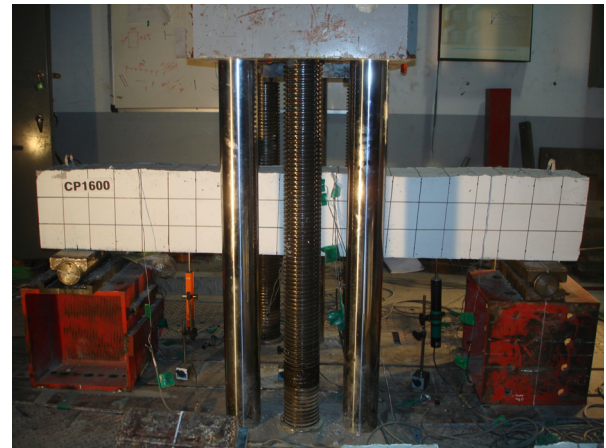


Photo 1 Test setup

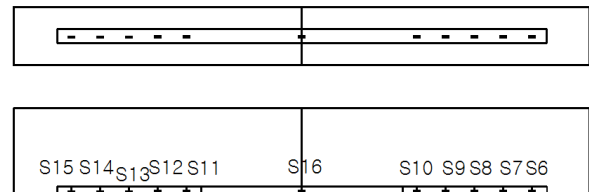


Fig. 3 Locations of strain gauge on FRP

3.3 실험결과 및 분석

3.3.1 파괴상황

무보강실험체인 BC2000 실험체는 초기 휨균열이 발생하여 전형적인 휨균열을 보이면서 중앙부가 소성화되어 최종파괴에 도달하였다.

보강구간 전체(1600mm)를 단순 부착형태로 보강한 BP1600 실험체의 경우에는 하중 증가에 따라 중앙부에서 휨균열로 시작하여 무보강인 BC2000 실험체에 비하여 균열이 중앙에서 집중되는 양상을 보였고, 최종적으로는 FRP가 탈락되는 파괴양상을 보였다.

반면에 매입으로 전구간을 보강한 CP1600-1 실험체의 경우는 단순 부착보강인 BP1600실험체와 달리 중앙부에 균열이 집중되어 파괴되는 양상을 보이지 않고, 무보강인 BC2000실험체와 같이 분산된 형태를 보였고 최대내력 부근에서 매입된 FRP가 피복콘크리트 일부와 함께 박락되는 양상을 보였다. 그 이후에는 BC2000실험체와 유사한 양상을 보였다.

매입보강으로 중앙부를 부분적으로 비부착시킨 실험체에서도 비부착 구간에서 일정한 간격으로 균열이 형성되었으나 콘크리트가 탈락되는 현상이 발생하지 않고 무보

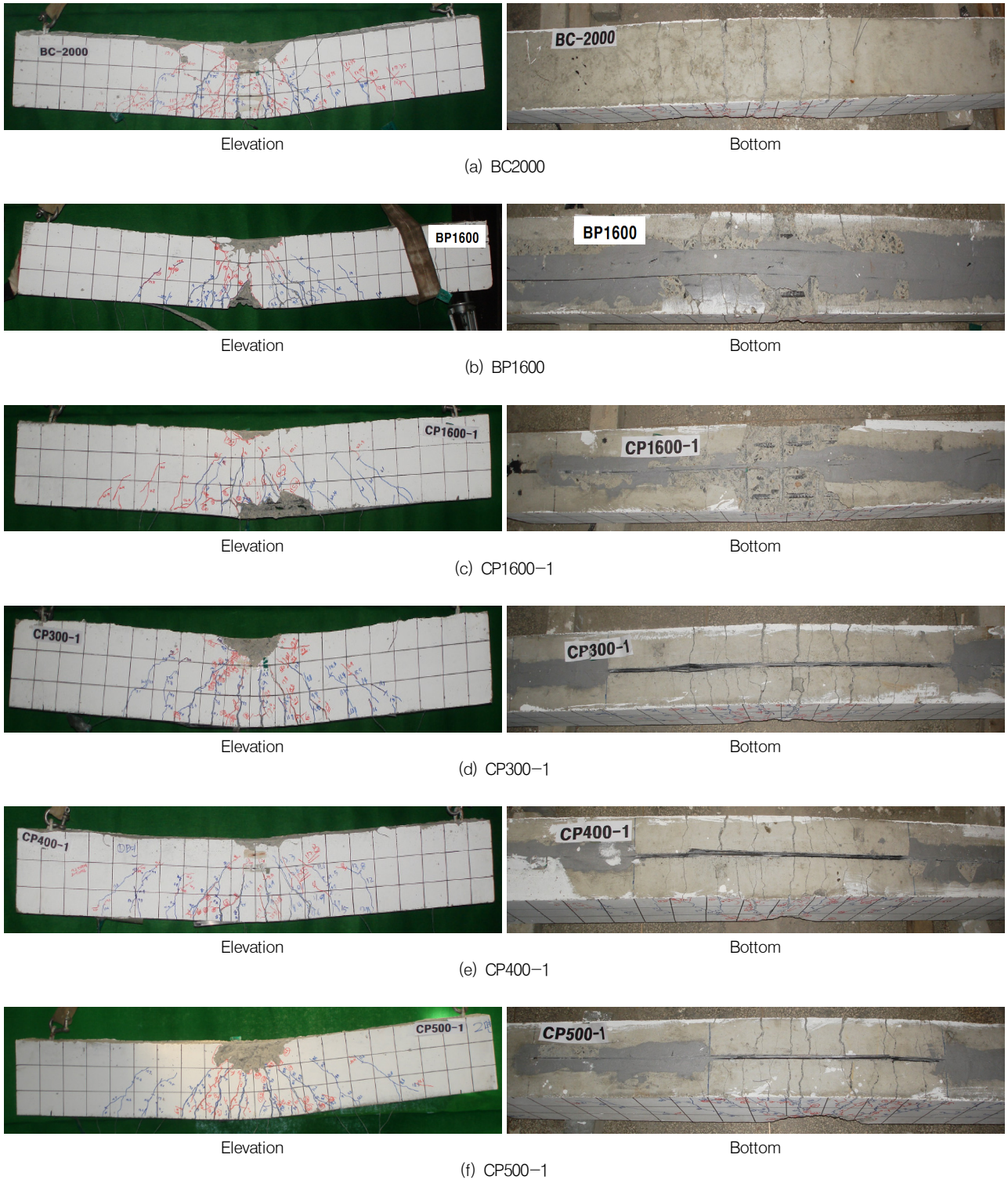


Photo 2 Failure shape of specimens

강 실험체와 거의 유사한 파괴양상을 보였다. 실험체의 측면 파괴상황을 나타낸 Photo 2로부터 전체를 표면부착 보강한 BP1600과 표면매입 보강한 CP1600-1 실험체에서는 중앙하부 콘크리트가 탈락되는 현상이 발생하였

으나, 나머지 실험체에서는 휨균열이 분산되면서 콘크리트가 탈락되는 현상이 없음을 알 수 있다.

또한 각 실험체의 배면의 균열상황으로부터, 전체 하부면을 표면부착 보강한 BP1600실험체와 표면매입 보강한

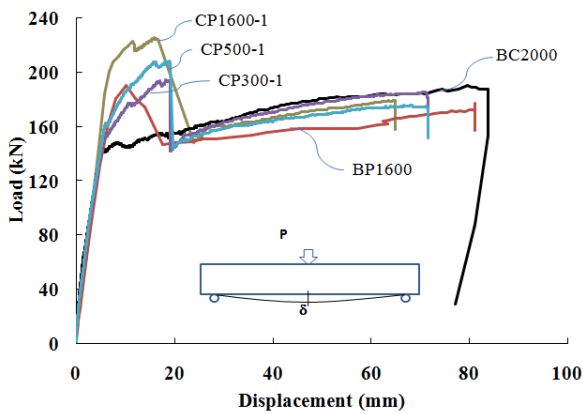


Fig. 4 Load-deflection curve

CP1600-1 실험체의 경우에는 중앙부에 균열이 집중되었고 이에 따라 콘크리트가 박락된 것을 확인 할 수 있다. 반면에 무보강인 실험체와 중앙부를 부분적으로 비부착시킨 실험체에서는 휨균열이 전체적으로 분산되어 발생하였음을 알 수 있고 이에 따라 국부적으로 심각하게 콘크리트가 탈락된 곳이 없음을 알 수 있다.

표면매입 보강된 실험체는 모두 비부착길이와 상관없이 비부착 구간에서 FRP 판이 최종파단되는 파괴양상을 보였다.

3.3.2 하중-처짐 곡선

Fig. 4는 부착길이별로, 표면부착과 표면매입 보강된 실험체의 하중-처짐곡선을 비교하여 나타낸 그림이다. CP400-1 실험체의 경우에는 실험데이터가 저장되지 못함에 따라 그래프에서 누락되어 있다. 그림으로부터 동일 보강량임에도 불구하고, 표면부착 보강에 비하여 표면매입 보강된 실험체의 내력이 높고 부재의 최대내력 도달시점도 지연됨을 알 수 있다. 또한 표면매입 보강에서 중앙부가 부분적으로 비부착된 실험체에서는 부착길이가 짧을수록 최대내력이 낮고 항복이후 최대하중까지의 강성이 낮아지는 현상을 보였다. 이는 비부착 구간이 길어짐에 따라 비부착 구간에서 보강재에 균일하게 변형이 증가하고 비부착길이가 길어질수록 변형이 커지기 때문으로 사료된다. 그러나 최대내력일 때의 변위값은 비부착길이와 상관없이 일정한 양상을 보였다.

3.3.3 하중-변형도 곡선

하중이 작용함에 따라 보강재에서 발생하는 변형도를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 일정한 간격으로 부착한

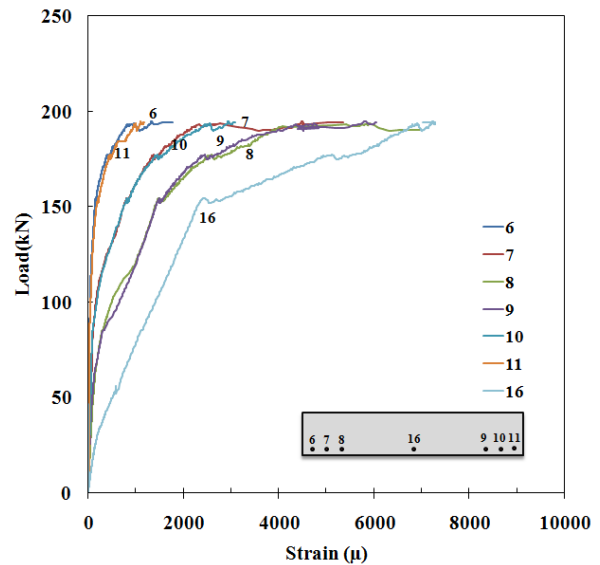


Fig. 5 Load-strain of FRP plate in CP300-1 specimen

변형도 게이지의 값을 관찰한 결과, 최대내력까지 FRP에서 충분한 변형이 발생하였고, 중앙부에 가까워질수록 높은 변형도를 나타내었다. 중앙부를 부분적으로 비부착시킨 실험체에서는 비부착 구간에서의 변형도가 높은 양상을 보였다. Fig. 5는 중앙부를 비부착시킨 CP300-1 실험체의 FRP 변형도를 나타낸 것이다. 다른 실험체에서도 모두 비슷한 양상을 나타내었다.

3.3.4 실험결과의 비교분석

Table 2와 Fig. 6은 실험결과 나타난 초기균열하중, 항복시의 하중과 변위 그리고 최대내력시의 하중과 변위를 나타낸다. 초기균열하중의 경우에는 전체를 표면부착하거나 표면매입한 실험체에서 다소 높게 나타났으나, 중앙부를 비부착시킨 경우에는 무보강과 유사한 것으로 나타났다.

항복하중의 경우에는 무보강에 비하여 모든 실험체가 높은 것으로 나타났다. 가장 높은 항복강도를 보인 실험체는 보하부 전체를 표면매입한 CP1600-1 실험체이었으며, 다음으로는 표면부착 보강한 BP1600 실험체로 나타났다. 표면매입 보강으로서 중앙부를 일부 비부착한 실험체의 경우에는 하중-변위곡선에서 언급한 바와 같이 비부착 길이가 길어질수록 항복이후 변위가 증가하는 양상을 보였다. 이는 전체길이에 대하여 완전부착될 경우, 균열부위에 있는 FRP에 집중적으로 변형이 발생하는 반면에 중앙부 비부착길이가 증가함에 따라 비부착 구간의

Table 2 Test result

Specimen	P_{cr} (kN)	Yield		Ultimate		μ (δ_u/δ_y)	ΔP (kN)	Calculation (kN)	Failure pattern
		P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)				
BC2000	42.65	143.18	6.03	190.24	79.61	13.20	-	106.14	Ductile failure
BP1600	56.93	167.20	5.97	190.25	10.12	1.70	45.6	126.50	Spalling of FRP
CP1600-1	66.20	200.55	6.72	225.55	15.98	2.38	72.08	194.31	Fracture of FRP
CP300-1	40.21	154.95	6.63	194.17	19.16	2.89	40.7	127.49	
CP400-1	52.50	163.50	-	225.00	-	-	-	194.31	
CP500-1	42.17	161.32	6.35	208.39	19.06	3.00	54.92	194.31	

P_{cr} is Crack load, P_y and δ_y are load and displacement at yield state, P_u and δ_u are load and displacement at ultimate state, ΔP is load increase by FRP retrofit.

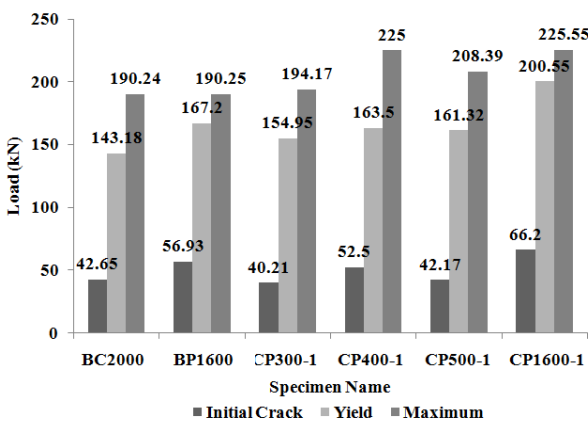


Fig. 6 Comparison of loads of all specimens

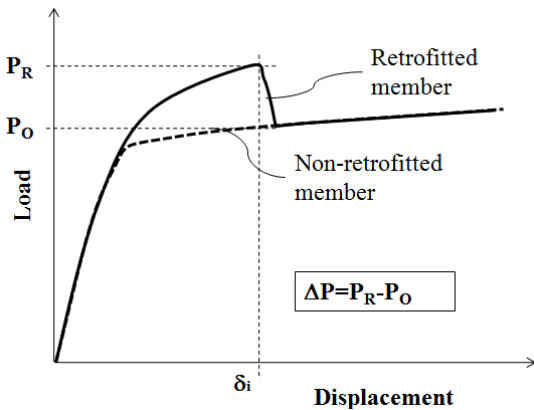


Fig. 7 Concept of load increase ΔP

FRP가 균등하게 변형을 일으킴으로서, 전체적으로 변형량이 증가된 것으로 사료된다.

각 실험체별로 보강효과를 평가하기 위하여 보강에 의한 내력증분을 산정하였다. 내력의 증분은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 항복이후 증분된 최대내력 발생시의 동일변위에 대하여 무보강 실험체의 내력값과 보강된 실험체의

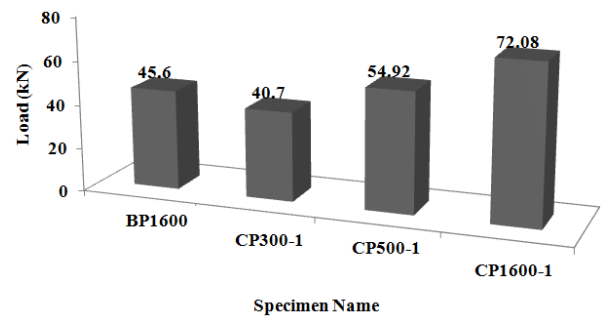


Fig. 8 Comparison of load increases among retrofitted specimens

내력차로 간주하였다.

Fig. 8은 각 실험체별 내력증분 정도를 나타낸 것이다. 표면매입 보강된 실험체에서는 비부착길이가 짧아질수록 (부착길이가 길어질수록) 보강에 의한 내력증분이 커짐을 알 수 있다. 표면부착 보강된 BP1600실험체와 비교할 경우, 양단 부착길이 300mm인 경우에는 표면매입 보강과 최대내력이 유사하지만, 양단 부착길이 400mm 이상인 경우에는 표면매입 보강이 우수한 것으로 나타났다. 이는 단부에서 FRP 판의 정착정도가 높음으로 인하여 FRP가 충분히 내력발현이 되었기 때문으로 사료된다. 여기서 CP400-1과 CP600-1이 유사한 내력을 보인 반면에 CP500-1이 다소 낮은 최대내력을 보인 이유는 실험체 제작상 발생한 오차로 사료된다.

4. FRP판 보강시 휨내력

FRP판을 표면부착 보강하거나, 본 연구에서와 같은 보강방법으로 FRP판을 표면매입 보강할 경우, ACI 440-2R(2002)에 따른 변형도 및 휨응력도의 관계는 Fig. 9와 같으며 이때의 휨강도는 다음과 같이 산정할 수 있다.

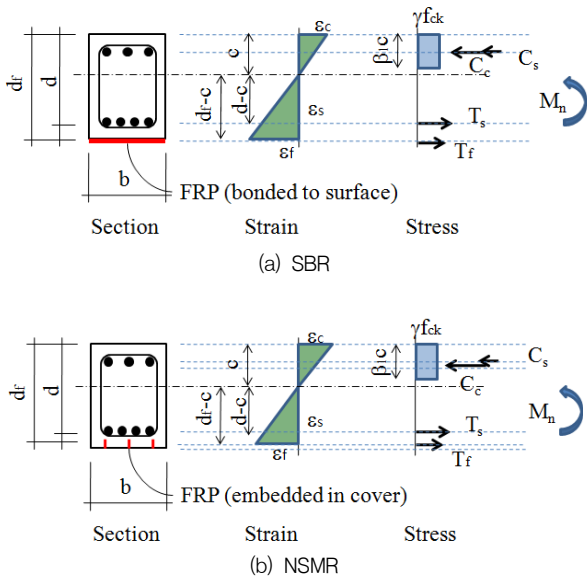


Fig. 9 Stress and Strain relation of retrofitted beam according to retrofit method

$$M_n = A_s' F_y (d - d_1) + (A_s - A_s') f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + k_m A_f f_f \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (1)$$

여기서, A_s 와 A_s' 는 인장철근과 압축철근의 단면적, β_1 는 중립축 거리계수, c 는 콘크리트 압축연단에서 중립축까지의 거리, d_1 는 압축연단에서 압축철근중심까지의 거리, A_f 는 FRP보강재의 단면적, F_y 는 철근의 항복강도, f_s 와 f_f 는 철근과 FRP의 응력, k_m 는 부착시와 매입시의 부착효율을 고려한 감소계수를 나타냄. d_f 는 압축연단에서 보강재까지의 깊이로서 표면부착 보강인 경우에는 높이가 됨.

FRP보강재와 철근의 변형도는 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \left(\frac{d_f - c}{c} \right) \leq k_m \epsilon_{fu} \quad (2)$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{fe} \left(\frac{d - c}{d_f - c} \right) \quad (3)$$

$$c = \frac{(A_s - A_s') f_s + A_f f_{fe}}{\gamma f_{ck} \beta_1 b} \quad (4)$$

여기서, ϵ_{fe} 와 ϵ_{fu} 는 각각 FRP의 유효변형도와 최대강도시 변형도이고, ϵ_s 는 인장철근의 변형도를 나타냄.

표면부착 보강일때의 k_m 은 FRP가 최대응력에 도달하기 전 탈락을 고려한 감소계수로서, Eq. (5)를 이용하여 산정한다.

$$k_m = \begin{cases} \frac{1}{60 \epsilon_{fu}} \left(1 - \frac{n E_f t_f}{360,000} \right) \leq 0.90 & \text{for } n E_f t_f \leq 180,000 \\ \frac{1}{60 \epsilon_{fu}} \left(\frac{90,000}{n E_f t_f} \right) \leq 0.90 & \text{for } n E_f t_f > 180,000 \end{cases} \quad (5)$$

여기서, n 은 FRP 판의 겹수, E_f 는 FRP의 탄성계수, t_f 는 FRP 판의 두께를 나타낸다.

표면부착 보강시 실험체에 대한 부착감소계수 k_m 을 Eq. (5)에 따라 산정한 결과, 본 연구에서는 표면부착 보강된 보의 부착감소계수는 0.5를 나타내었고, 이에 따른 보강된 부재의 내력은 126.5kN으로 계산되었다. 이 값은 실제 실험결과인 190.25kN에 비하여 낮은 값으로서, 부착감소계수를 최대값인 0.9를 사용할 경우, 보강된 부재의 내력이 176.37kN으로서 여전히 실험결과에 비하여 낮게 나타났다. 이로부터, FRP판으로 표면부착 보강된 보의 내력평가에 있어서, ACI 440-2R의 강도평가 방법은 실험결과를 지나치게 과소평가하는 경향이 있음을 알 수 있다.

서수연의 실험결과에 따르면, 표면매입 보강일 경우에는 매입길이에 따라 부착감소계수는 변하게 된다. 특히 본 연구에서와 같이 중앙부를 부분적으로 비부착시킬 경우에는 단부의 부착길이에 따라 단부FRP의 고정도는 변하게 되므로, 정착부의 파괴기구를 고려하여 저감계수를 산정하는 것이 바람직하다. 표면매입 보강된 FRP의 단부 정착된 부위에서의 파괴기구는 매입된 FRP판의 인장파단, 충전된 에폭시의 전단파괴 그리고 콘크리트의 박락파괴로 구분할 수 있으며, 이중 가장 불리한 경우에 의해 내력이 지배된다(Fig. 10).

$$T_{f1} = A_f f_f \quad (6)$$

$$T_{f2} = \tau_f (2b_f l_d) \quad (7)$$

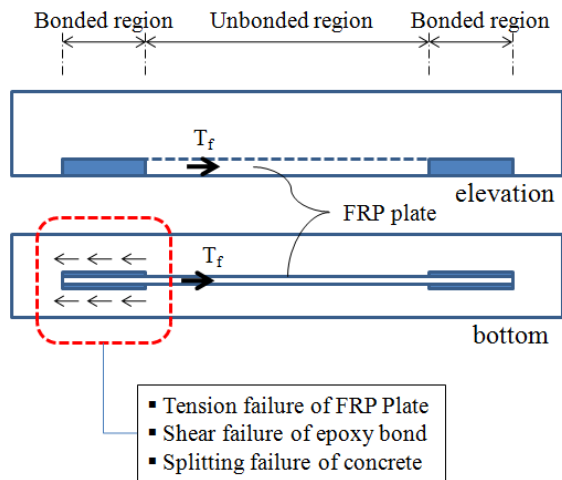


Fig. 10 C Failure mechanism of FRP plate anchorage

Table 3 Resisting force of FRP corresponding to bond length

Resisting force	부착길이 (mm)		
	300	400	500
T_{f1} (kN)	161.28	161.28	161.28
T_{f2} (kN)	172.8	230.4	288
T_{f3} (kN)	95.67	155.65	229.67
$(\min. T_{fi})/T_{f1}$	0.59	0.97	1.00

$$T_{f3} = 0.57\beta\sqrt{f_{ck}}A_{fr} \quad (8)$$

$$T_f = \min.\{T_{f1}, T_{f2}, T_{f3}\} \quad (9)$$

여기서, T_{f1} , T_{f2} , T_{f3} 는 각각 FRP의 인장파단내력, 층중에폭시의 전단파괴내력, 콘크리트의 박락파괴내력을 나타내며, τ_f 는 에폭시의 전단강도, β 는 실험상수, b_f 는 FRP판의 폭, l_d 는 매입된 FRP의 부착길이, A_{fr} 은 콘크리트 할렬파괴선으로 형성된 표면적임.

본 연구에서 중앙부를 비부착시킨 각 실험체에 대하여, 부착길이별 FRP 정착력, T_f 를 상기 Eq.(6)~(9)에 따라 산정하면 Table 3과 같다. 부착길이가 300mm와 400mm인 경우에는 콘크리트의 박락에 의해 내력이 결정되고 부착길이가 500mm인 경우에는 FRP의 인장파단에 의해 내력이 결정되는 것으로 나타났다. 이 결과를 이용하여 부착길이가 300mm인 경우에는 부착감소계수 k_m 의 값으로서 0.59, 그리고 부착길이가 400mm이상인 경우에는 0.9를 사용하여 실험체의 내력을 계산하고 그 결과를 Table 2에 실험결과와 함께 나타내었다.

표면매입 보강된 실험체에 대하여, 부착길이가 400mm이상인 경우에는 실험결과를 안전측으로 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 부착길이가 300mm인 경우에는 매입된 FRP의 부착강도가 지나치게 과소평가되는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 박락파괴 내력이 실제보다 저평가됨에 기인한 것으로 사료된다.

5. 결론

- (1) FRP판을 이용한 철근콘크리트 부재의 휨보강방법으로서 FRP판을 세워서 표면에 매입하는 보강방법은 기존의 판 부착보강에 비하여 높은 보강성능을 발휘하는 것으로 나타났다. 이는 FRP판을 세워서 매입함으로써 FRP의 면적대비 높은 부착면적을 확보할 수 있기 때문인 것으로 사료된다.
- (2) 이와 같은 높은 부착특성을 고려하여 보강재의 중앙부를 비부착시킨 경우에도 소정의 보강효과가 발휘되는 것으로 나타났다. 또한 보강재인 FRP가 탈락되는 현상이 나타나지 않고 FRP 판이 파단되는 파괴양상을 보였다.
- (3) 그러나 FRP 판의 중앙부 비부착길이가 증가할수록 최대내력이 낮고 항복이후 최대하중까지의 강성이 낮아지는 현상을 보였다. 이는 비부착 구간이 길어짐에 따라 비부착 구간에서 보강재에 균일하게 변형이 증가하고 비부착길이가 길어질수록 변형이 커지기 때문으로 사료된다.
- (4) ACI 440-2R의 휨보강시 내력산정방법을 따르고 정착부분의 세가지 파괴형태를 고려함으로써 표면매입 보강된 부재의 내력을 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 (주)재신건설의 지원과 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. 서수연, 윤승조, 권영순, 최기봉, "표면매입보강방법으로 콘크리트내에 매입된 FRP판과 콘크리트 사이의 부착거동", 한국콘크리트학회 논문집, 제23권 5호, 2011.8, pp.675-682.
2. 임동환, "표면매입 탄소섬유판으로 보강된 철근콘크리트 부재

의 휨 거동에 관한 실험연구”, 구조물진단학회지, 제12권 6호, 2008.11, pp.89-96.

3. 정우태, “CFRP로 표면매립 보강된 철근콘크리트 보의 등가 단면 모델을 고려한 휨거동 분석”, 명지대학교 박사학위논문, 2009.

4. ACI Committee 440, “Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.2R-02)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2002, pp.41.

5. De Lorenzis, L., Nanni, A. and La Tegola, “Flexural and Shear Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP Rods”, Proceeding of the 3rd International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS III), Ottawa, Ontario, Canada, Aug.15-18, 2000, pp.521-528.

6. Nami, A., “FRP Reinforcement for Bridge Structures, Proceedings, Structural Engineering Conference Beams”, Journal of Composites for Construction, ASCE, vol. 5, No. 1, 2000, pp.12-17.

7. Joseph R. Yost, Shawn P. Gross, David W.

Dinehart, and Jason J. Mildenberg, “Flexural Behavior of Concrete Beams Strengthened with Near-Surface-Mounted CFRP Strips”, ACI Structural Journal, vol. 104, No. 4, July-Aug., 2007, pp.430-437.

8. Raafat EI-Hacha and Sami H. Rizkalla, “Near-Surface-Mounted Fiber-Reinforced Polymer Reinforcements for Flexural Strengthening of concrete Structures”, ACI Structural Journal, vol. 101, No. 5, Sept-Oct., 2004, pp.717-726.

(접수일자 : 2011년 6월 25일)
 (수정일자 : 2011년 8월 2일)
 (심사완료일자 : 2011년 9월 6일)

요 지

최근 FRP를 이용한 철근콘크리트 구조물의 보강방법으로서, 표면매입 보강 (Near-Surface-Mounted Retrofit, NSMR) 방법의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 방법은 콘크리트에 흠을 형성하는 추가의 작업이 필요하지만 보강효과를 높일 수 있고 FRP가 표면에 노출되지 않기 때문에 환경의 영향을 저감시킬 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 표면매입 보강공법 즉, FRP판을 세워서 표면에 매입보강하는 공법의 보강효과를 실험적으로 규명하고자 하였다. 이를 위하여 철근콘크리트 보를 제작한 뒤 기존의 표면부착 보강과 표면매입 보강을 실시한 뒤 실험을 통하여 보강성능을 비교하였다. 또한 매입보강의 경우에는 중앙부를 부분적으로 비부착시켜 그 효과를 관찰하였다.

연구결과, FRP판을 이용한 철근콘크리트 부재의 휨보강방법으로서 FRP판을 세워서 표면에 매입하는 보강방법은 기존의 판 부착보강에 비하여 높은 보강성능을 발휘하는 것으로 나타났다. ACI 440-2R의 휨보강시 내력산정방법을 따르고 정착부분의 세가지 파괴형태를 고려함으로써 표면매입 보강된 부재의 내력을 평가할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : FRP, 표면매입 보강, 표면부착 보강, 철근콘크리트 보, 휨보강