

콘크리트에 표면매입 보강된 FRP판의 전단키 및 연단거리 효과

서수연^{1*}

Effect of Shear Key and Edge Length of Near Surface-Mounted FRP Plate in Concrete

Soo-Yeon Seo^{1*}

Abstract: This paper presents a bond test to find the effect of shear key and edge length from the bonded FRP in near surface-mounted(NSM) retrofit using FRP plate. Main parameters in the test are the location and size of shear key and the edge length. For the test, 10 specimens were made by embedding FRP plate of 3.6 mm×16 mm into 400 mm×200(300) mm×400 mm concrete block and fixing it by using epoxy. Tensile load was applied to the FRP of the specimens until failure and was recorded at each load increase. In addition, the bond slip and elongation of FRP were measured during the test. From the test, it was found that the further the shear key located from the loading, the higher strength we could get. The bond strength inversely depended on the size of shear key. Especially, when the size of shear key was to be larger than certain size, the bond strength decreased to very low value; even less than that of the case without shear key. The bond strength somewhat increased corresponding to the increase of edge length from the bonded end of FRP to loading in spite of same bond length. The bond-slip between FRP and concrete governed overall deformation in the bond test of NSM FRP so that the effect of excessive slip is necessary to be considered in the design.

Keywords: Bond test, Shear key, Edge length, Near surface-mounted retrofit, FRP plate, Location and size, Bond slip

1. 서 론

최근, FRP(fiber reinforced polymer)를 이용한 철근콘크리트 부재의 보강방법으로서, 표면에 일정한 깊이로 홈을 성형하고 FRP바를 표면에 매입한 후 에폭시를 이용하여 마감하는 표면매입 보강공법(NSMR, near surface-mounted retrofit)이 사용되고 있다. 표면매입 보강공법은 보강재를 콘크리트 표면에 매입함으로써 부착공법에 비하여 높은 보강효율을 보일 뿐만 아니라 보강재가 부재 내부에 위치하게 됨으로써 상대적으로 외부 환경에 민감하지 않은 장점이 있다. 최근 콘크리트 부재에 폭이 좁고 깊이가 긴 홈을 형성하고 이 내부에 FRP 판을 세로로 세워서 매입하여 보강하는 비교적 시공이 용이한 방안이 개발되어 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재까지의 기존 연구 결과는 FRP판을 매입하여 보강하는 방법이 기존 방법에 비하여 홈 작업이 용이하고, 홈 내에 삽입된 FRP 판의 부착력이 높아 보강효율이 높은 것으로 보고하고 있다. 또한 실험과 이론적인 연구를 통하여 FRP 판을 이용

한 표면매입 보강시 보강내력을 평가할 수 있는 방안이 제시되어 실제 실용적인 방법으로 적용되고 있다.

NSM FRP판의 부착성능에 대해서는 Ali et al.(2008)이 표면매입 보강된 FRP판에 대한 부착실험을 실시하고, 부착강도를 FRP판과 두께 그리고 콘크리트 강도와 상관관계로 단순화하여 계면파괴시 부착강도 산정식을 제시하였다. 또한 Seracino et al.(2007)은 콘크리트 강도, 부착길이, FRP의 형태 등을 변수로 부착실험을 실시하고 그 결과를 토대로 Ali 식을 다시 비선형회귀분석하여 FRP의 강성과 형태계수 등을 고려한 수정식을 제시하였다.

최근 Seo et al.(2013(a))은 부착실험을 통하여 동일 보강량으로 보강한 표면매입 보강이 표면부착보강에 비하여 1.5배 이상 부착강도를 상승시킬 수 있음을 밝혔고 또한 부착실험 결과 분석을 통하여 FRP판의 부착강도 산정식을 제시하고 휨부재의 강도평가에 적용하여 제안된 식의 적합성을 평가하였다(Seo et al., 2012). 또한 FRP판의 설치간격이 조밀할 경우, 무리효과에 의하여 실제 콘크리트의 할렬파괴강도가 낮아지게 됨을 밝히고 이를 고려한 강도산정식을 제시하였다(Seo and Kim, 2013(b)).

FRP의 부착강도를 증진시키기 위한 추가적인 방안으로서 전단키를 형성하는 방법이 고려될 수 있다. 특히 에폭시의 부

¹정회원, 한국교통대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: syseo@ut.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 3월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

착성능이 우수하고 부착면적이 상대적으로 넓은 경우에 전단기를 적절하게 배치함으로써 부분적으로 부착강도를 향상시킬 수 있다면, 단부에서의 FRP 정착성능을 높일 수 있기 때문이다.

FRP보강재의 정착부에 전단기를 두는 방법과 관련하여, Seo et al.(2013(a))은 표면매입된 FRP 판의 부착거동과 관련하여 전단기 효과를 검증하기 위한 부분적인 실험을 실시하였으나, 콘크리트 블록이 할렬 파괴됨으로 인하여 전단기의 효과를 충분히 관찰하지 못하였다.

이에 따라 본 연구에서는 표면매입된 FRP에 대하여 보다 다양한 조건에서의 전단기 효과를 관찰하기 위한 부착실험을 실시하였다. 특히 부착파괴를 유도하는 실험을 통하여 전단기의 형태 및 위치에 따른 보강효과를 연구하였다.

2. 부착강도 평가식

표면매입 보강된 FRP의 부착강도와 관련한 기존 식을 살펴보면, Blaschko(2013)는 에폭시의 전단강도에 따라 변하는 것으로 간주하고 식 (1)을 제시하였다.

$$\tau_f = 0.2 \sqrt[4]{a'_c} \tau_{af} \quad (a'_c \leq 150) \quad (1)$$

여기서, a'_c 는 부착면적, τ_{af} 는 에폭시의 전단강도임.

Ceroni et al.(2010)은 여러 연구자들의 실험결과를 회귀분석하여, 표면매입 보강된 FRP판에 대하여 식 (2)와 같은 최대 전단강도 산정식을 제시하였다. 또한 Ali et al.(2008)은 실험을 통하여 최대전단강도 산정식으로 식 (3)을 제시하였다.

$$\tau_f = 14.5e^{-0.00004\omega} \quad (2)$$

$$\tau_f = 0.54 \sqrt{f'_c} b_p^{0.4} t_p^{0.3} \quad (3)$$

여기서, $\omega = E_p A_f / (f'_c p_f)$, b_p 는 FRP의 폭이며 t_p 는 FRP의 두께임.

Seo et al.(2011)은 표면매입 보강된 FRP 판의 부착강도를 파괴기구에 따라 다음과 구분하여 산정할 수 있도록 제시하였다.

$$\text{- FRP의 인장강도: } T_{f1} = A_f f_f \quad (4)$$

$$\text{- 충전 에폭시의 부착전단파괴: } T_{f2} = \lambda \tau_f (p_f l_e) \quad (5)$$

$$\text{- 콘크리트 할렬파괴: } T_{f3} = 0.57 \beta \sqrt{f'_c} A_{fr} \quad (6)$$

여기서, λ 는 유효부착감소계수로서 1.0을 사용, τ_f 는 충전 에폭시 부착전단강도, p_f 는 FRP 판의 단면 둘레길이, l_e 는 매입된 FRP의 유효부착길이, A_{fr} 은 콘크리트 할렬파괴선으로 형성된 표면적임.

3. 실험

3.1 실험체 계획 및 제작

Table 1은 변수별 실험체를 나타내며 Fig. 1은 실험체 상세를 나타낸다.

콘크리트 내에 매입된 FRP 판의 부착강도를 파악하기 위하여 400 mm×200(300) mm×400 mm의 무근콘크리트 블록을 제작한 뒤, 폭이 좁고 길이가 긴 홈을 성형하여 FRP판을 매입하였다. N150-1 실험체와 U시리즈 실험체 블록의 폭은 200이고 그 나머지 실험체는 300이다. 이 두 가지 형태의 블록의 생산 일자는 서로 다르지만 실험시 콘크리트강도는 모두 21 Mpa로 나타났다. 매입을 위한 홈의 폭과 깊이는 각각 5 mm와 20 mm이다. 전단기가 있는 실험체의 전단기 깊이는 홈의 깊이와 동일한 20 mm로 하였다.

실험에 사용된 FRP와 에폭시의 재료적 특성은 각각 Table 2와 3에 나타난 바와 같다. FRP의 인장특성은 직접 실험을 통하여 얻은 값이고, 에폭시의 경우에는 제조사에서 제공한 값을 정리한 것이다.

Table 1 Test specimen

Name	Shear key location (mm)	Shear key shape	Shear key size (mm×mm)	Edge length (mm)
N150-1	-	-	-	
N150-P40	40			
N150-P60	60		φ20×20	
N150-P80	80	Round		100
N150-SK30			φ30×20	
N150-SK50	40		φ50×20	
N150-SKL		Square	20×300×20	
N150-U50				50
N150-U150	-	-	-	150
N150-U200				200

N : Near-Surface-Mounted Retrofit, P : Position of Shear Key,

SK : Size of Shear Key, U : Length of Unbonded Area

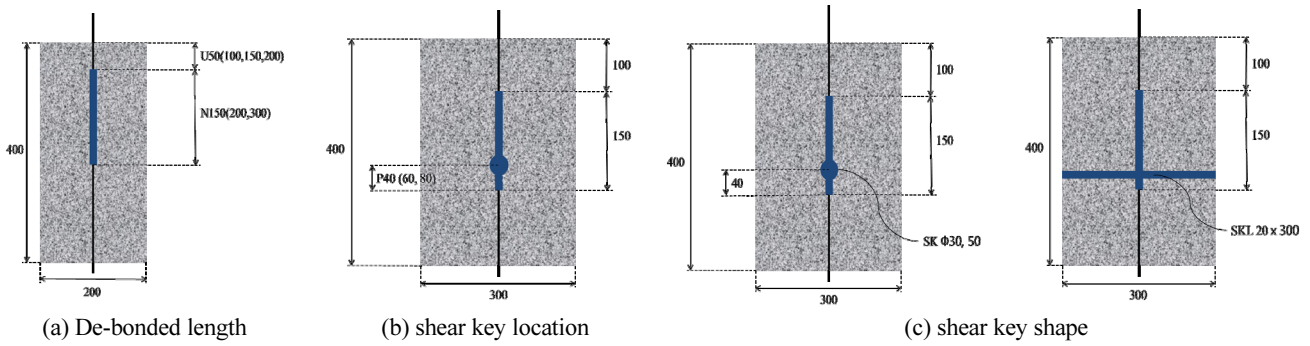


Fig. 1 Detail of specimen(unit: mm)

Table 2 Material properties of FRP

Model	Thickness(mm)	Width(mm)	Tensile strength(MPa)	Elastic modulus(MPa)
Cabodur plates S512/80	1.2	17	3336	160000

Table 3 Material properties of epoxy

Model	Compressive strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Elastic modulus(MPa)	Shearing strength(MPa)
Sikadur 30	70	28	128000	18

3.2 실험방법

실험 방법은 ACI 440R에 기술되어있는 실험 방법 중에서 beam-end test method에 의거하였으며 실험의 편의를 위하여 수평이 아닌 수직으로 FRP를 인발하는 직접인장 실험을 계획하였다. 50 kN 용량의 액추에이터를 이용하여 변위 제어방식으로 FRP를 인발하여 실험을 진행하였다. FRP판과 가력장치는 정착판 장치로 연결하였으며, 정착판 장치는 마찰력을 높이기 위해 특별히 면처리된 두 개의 강판 사이에 FRP 판을 밀착시킨 뒤 볼트로 충분히 조임으로서 FRP판을 고정할 수 있도록 하였다. 각각의 FRP판에 대하여 1개의 정착판이 연결될

수 있도록 하였다. Fig. 2는 실험체 설치상황과 가력상황을 나타낸다.

실험체의 부분적인 거동특성을 관찰하기 위하여, 변위계를 Fig. 2(d)와 같이 설치하였다. 가력장치인 Actuator의 변위(L_0), FRP의 미끄러짐변위(L_1), 그리고 FRP 신장을 포함한 블록에서부터 전체적으로 늘어난 길이(L_2)를 측정하기 위하여 3개의 변위계를 설치하였다. 또한 실험도중 FRP의 변형도 변화를 관찰하기 위하여 콘크리트내 매입정착구간 시작위치에서 부터 최초 15 mm 위치, 그리고 30 mm 간격으로 FRP에 부착한 변형률게이지 데이터를 측정하였다.

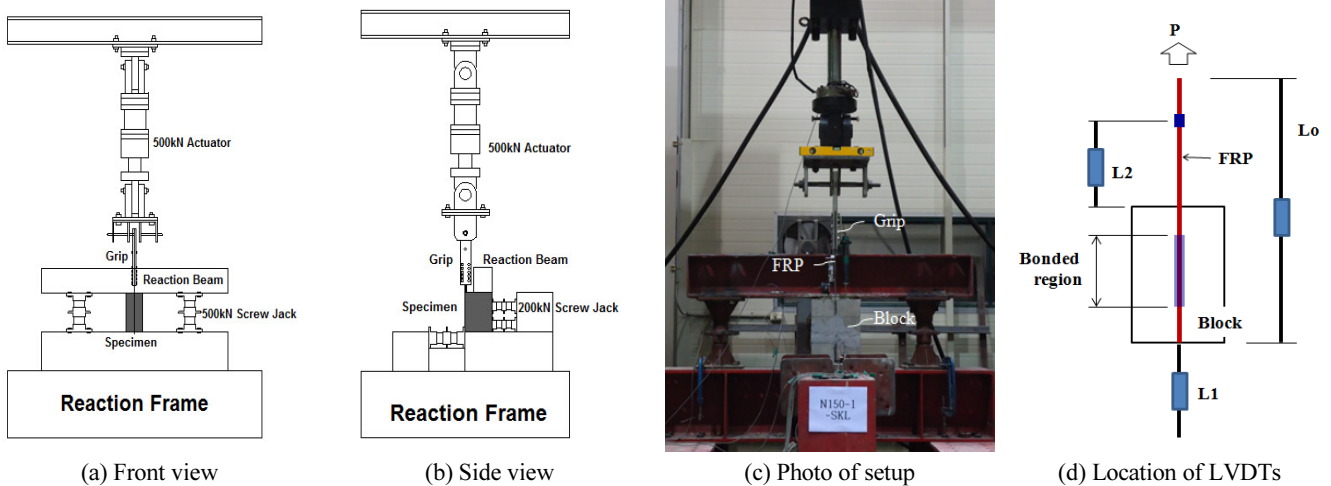


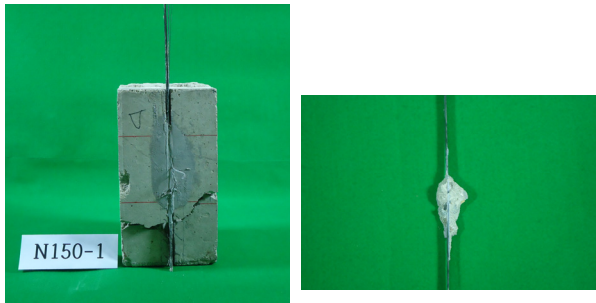
Fig. 2 Setup of specimen

3.3 실험결과 및 분석

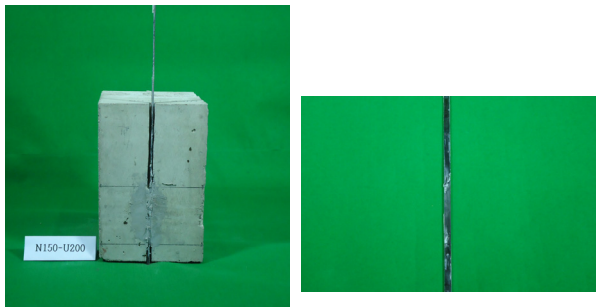
3.3.1 파괴양상

실험체의 파괴 양상은 콘크리트 블록이 할렬파괴된 기준 실험체 N150-1을 제외하고 나머지 모든 실험체가 FRP판과 에폭시간의 미끄러짐파괴양상을 보였다.

Fig. 3은 실험체의 파괴양상을 나타낸 것으로서, 블록이 할렬파괴된 실험체에는 최종 파괴된 이후에도 FRP주변에 콘크리트조각이 붙어있지만, 미끄러짐 파괴된 실험체의 경우에는 FRP면에 콘크리트가 모두 탈락되어 있음을 알 수 있다.



(a) Concrete split failure



(b) Epoxy failure

Fig. 3 Failure shape of specimens

3.3.2 변형특성

실험결과, 작용 인장력에 대한 FRP의 미끄러짐변형(L1)을 Fig. 4에 나타내었다. N150-1 실험체의 FRP 미끄러짐 변형이 높게 나타났고 나머지 실험체는 비슷한 미끄러짐 강성을 가지는 것으로 나타났다. 콘크리트 블록에서부터의 실험체 변형을 측정하기 위하여 설치한 변위계(L2)는 대부분 실험체에서 실험도중 측정점이 이동하는 바람에 측정값의 신뢰도가 낮아, 분석에는 제외하였다.

각 실험체내 매립된 FRP에 부착한 변형도 게이지의 변형도형태는 Fig. 5와 같이 하중이 작용하는 FRP 외단에서 가장 높은 변형도를 보이고 거리가 멀어질수록 변형도 값이 감소하는 양상을 나타내었다. 이와 같이 측정된 변형도로 부터, FRP의 응력-변형도관계가 선형적이기 때문에 Fig. 6과 같이 변형도게이지를 부착한 경우, 식 (7)을 이용하여 FRP의 인장 변형량을 구할 수 있다.

$$\delta_{i,i+1} = \sum_{k=0}^i \frac{\epsilon_{k+1} + \epsilon_k}{2} (x_{k+1} - x_k) \quad (7)$$

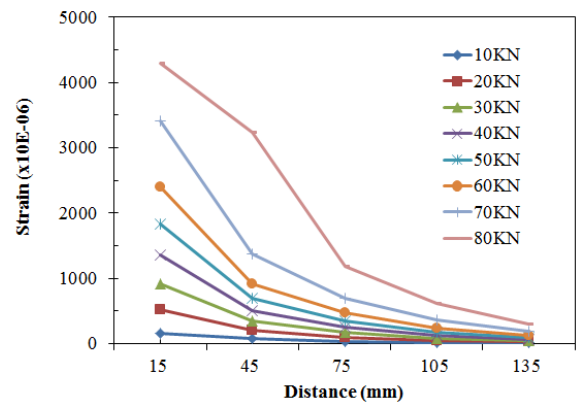
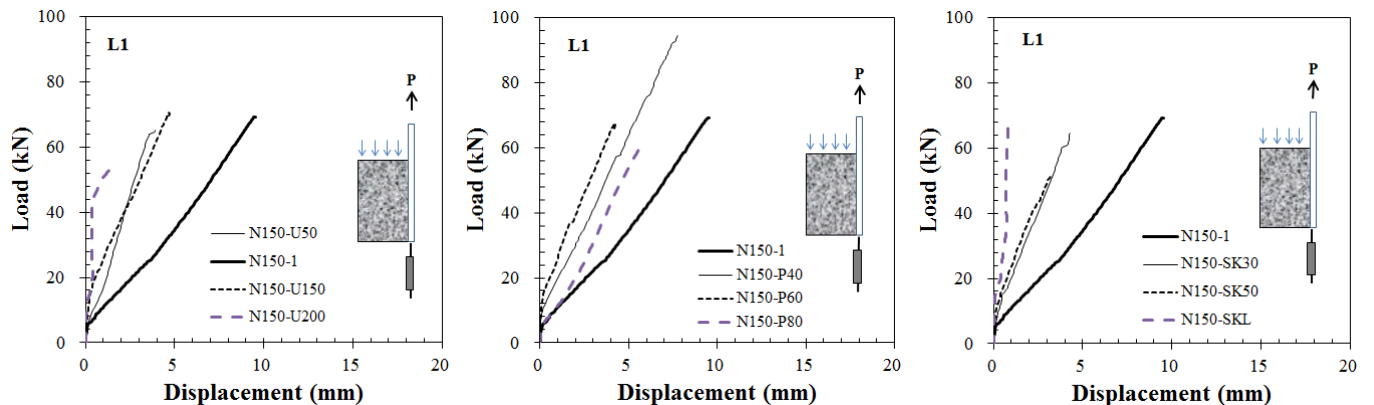


Fig. 5 Strain distribution on FRP(N150-1 specimen)



(a) With different edge length

(b) With different location of shear key

(c) With different shear key shape

Fig. 4 Load-slip curves of specimens

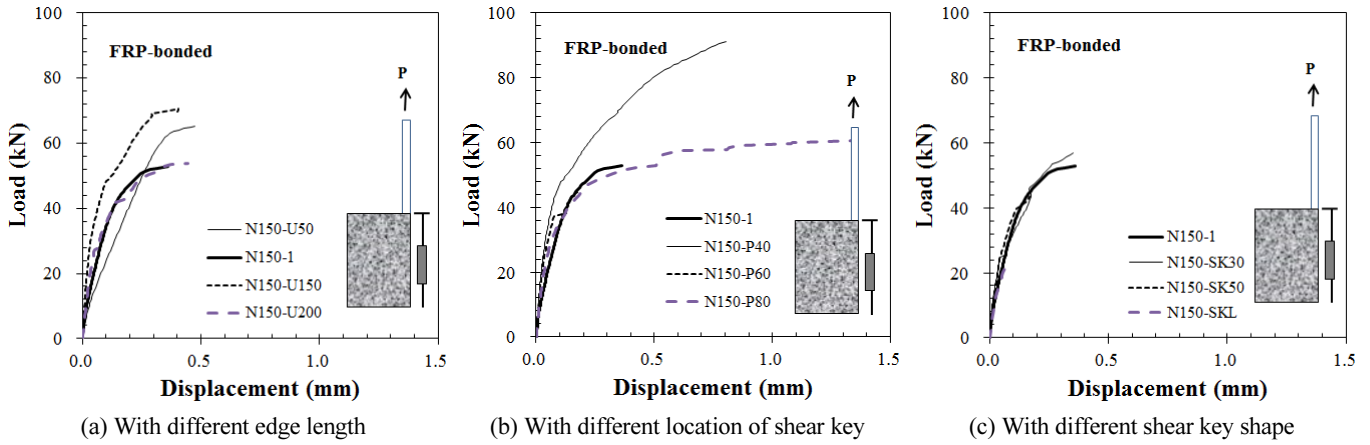


Fig. 7 Elongation of FRP in bonded region

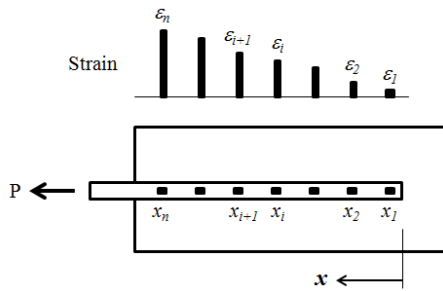


Fig. 6 Strains at each location

여기서, x_k 와 x_{k+1} 은 각각 변형도게이지 k 와 $k+1$ 의 위치이며, ϵ_k 와 ϵ_{k+1} 은 해당위치에서 측정된 변형도 값임.

Fig. 7은 콘크리트에 매립된 구간에서 FRP의 변형도를 길이에 대하여 적분하여 구한 FRP의 변형된 길이 변화를 나타낸다. 매립부에서 FRP의 인장변형형태는 모든 실험체에서 양상이 유사함을 알 수 있다. 표면매립된 FRP의 부착변형은 Fig. 4의 미끄러짐 변형과 Fig. 7의 FRP인장변형량의 합이 된다. 두 그림을 비교해 보면, 대부분의 변형은 미끄러짐 변형으로 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 높은 미끄러짐 변형은 FRP로 보강된 휨부재의 처짐을 증가시키기 때문에 표면매립 보강에서 미끄러짐 변형을 제어하기 위한 방안의 강구가 필요한 것으로 사료된다.

3.3.3 강도변화

각 실험체의 최대내력을 Table 4에 정리하여 나타내었다. 직경 20 mm인 전단키의 위치는 가력부에서 멀리 떨어질수록 효과가 있는 것으로 나타났다. 가력부의 FRP 부착시작위치 면쪽에 전단키가 있을 때 가장 높은 내력인 94.59 kN로서 전단키가 없는 N150-1 실험체의 내력인 69.19 kN보다 높지만, 그보다 가까이 위치한 두 경우(N150-P60과 N150-P60)에서는 오히려 전단키가 없는 경우에 비하여도 낮은 값을 보였다.

Table 4 Test result

Specimen name	P_m (kN)	τ_m (Mpa)	Failure pattern*	P_m/T_{f2}		
				$\tau_f = 9.27$ Mpa	$\tau_f = 11.02$ Mpa	$\tau_f = 11.2$ Mpa
N150-1	69.19	11.77	CF & FF	1.27	1.07	1.05
N150-P40	94.59	16.09	BF	1.74	1.46	1.44
N150-P60	67.63	11.50	BF	1.24	1.04	1.03
N150-P80	60.48	10.29	BF	1.11	0.93	0.92
N150-SK30	64.64	10.99	BF	1.19	1.00	0.98
N150-SK50	51.84	8.82	BF	0.95	0.80	0.79
N150-SKL	69.06	11.74	BF	1.27	1.07	1.05
N150-U50	65.29	11.10	BF	1.20	1.01	0.99
N150-U150	65.29	11.10	BF	1.20	1.01	0.99
N150-U200	53.92	9.17	BF	0.99	0.83	0.82
Average				1.21	1.02	1.01
Std.				0.21	0.18	0.17

* CF: Concrete tension split failure, FF: FRP tensile failure, BF: Bond slip failure

즉 전단키의 효과가 나타나지 않고 부착파괴를 가속화시키는 것으로 생각할 수 있다.

전단키의 직경을 변수로 한 실험체들에서는 전단키의 직경이 커질수록 내력이 저하되는 것으로 나타났으며, 이 경우에도 직경이 20 mm인 N150-P40 실험체를 제외하고는 전단키가 없는 N150-1 실험체보다 내력이 낮게 나타났다. 이는 전단키가 일정 이상의 규격이 되면 오히려 부착강도에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

인장력이 작용하는 부분의 연단거리를 변수로 한 실험체에서는 연단거리가 길어짐에 따라 내력이 증가하는 것으로 나타남을 알 수 있다. 다만 연단거리가 200 mm로서 가장 긴 N150-

U200 실험체의 경우에는 더 높은 내력이 예상되지만 다른 실험체들에 비하여 조기에 부착파괴됨으로써 내력이 충분히 발휘되지 않은 것으로 사료된다.

N150-1 실험체를 제외한 대부분의 실험체들이 에폭시와 FRP의 계면 미끄러짐 파괴로 내력이 결정되었고 일부 실험체들에서는 조기에 미끄러짐 파괴되는 것으로 나타났다. 즉 매끄러운 표면의 FRP재와 에폭시의 접촉부 부착특성에 의하여 시공경우별로 부착강도의 편차가 높게 나타날 가능성이 있다. 따라서 전술한 변수별 영향이외에도 접촉부에서의 일관성 있는 부착강도가 발현될 수 있도록 하기 위해서는 FRP 부착길이를 충분히 길게 하거나 FRP 표면의 면처리를 통하여 최소한의 부착강도를 확보할 필요가 있는 것으로 사료된다.

4. 부착강도의 평가

각 실험체들에 최대내력을 이용하여 식 (8)로서 최대부착강도를 산정할 수 있으며 계산된 값은 Table 4에 나타내었다.

$$\tau_m = \frac{P_m}{p_f} \quad (8)$$

여기서, P_m 은 실험결과 나타난 최대내력, p_f 는 FRP 판의 단면 둘레길이임.

조기에 부착파괴된 N150-SKL과 N150-U200 실험체를 제외하면 모두 10 Mpa 이상을 확보하고 있으며 전체적으로 Seo (2014)에 의한 기존 실험결과와 근사한 범주의 값을 보이고 있다.

전술한 기존 연구자들에 의한 제안식으로 Table 1의 실험체들에 대하여 최대전단강도를 계산하고 또한 Table 4에 나타낸 실험결과 최대부착응력도의 평균값을 비교하여 나타내면 Fig. 8과 같다. Fig. 8의 실험결과 평균값은 미끄러짐 파괴되지 않은 N150-1 실험체는 제외한 나머지 실험체의 평균값이다. 전체적인 평균값에 근접한 결과를 예측하는 것은 식 (3)이고 비교적 안전측으로 묘사하는 것은 식 (2)임을 알 수 있다.

전술한 부착강도산정 식들을 활용하여, 표면매립된 FRP의 정착부 내력은 파괴기구를 고려하여 부착강도를 산정하고 이중 가장 작은 값에 의해 내력을 결정할 수 있다.

이상의 프로세스에 따라 본 연구의 실험체 부착전단내력인 T_{f2} 를 계산함에 있어서, τ_f 는 충전에폭시의 전단강도인 18 Mpa 대신에 식 (2), 식 (3) 그리고 실험체의 평균전단강도인 11.2 Mpa를 각각 사용하였다. 그리고 유효부착길이 l_e 는 실제 부착길이인 150 mm를 사용하여 실험체의 내력을 계산하였다.

계산결과, 전단키와 연단길이를 제외하고 모든 실험체의

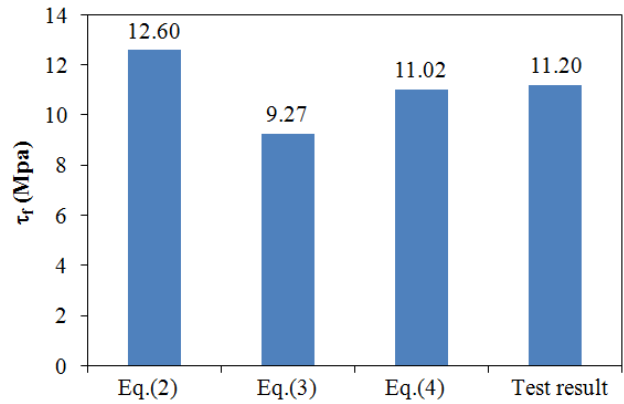


Fig. 8 Comparison of bond strengths by previous equations

규격이 동일하기 때문에 식 (4)~식 (6)로 산정한 계산내력은 모두 동일하며 T_{f1} 과 T_{f3} 은 각각 161.28 kN과 89.67 kN으로 나타났다. T_{f2} 값은 Fig. 8의 τ_f 값 9.27 Mpa, 11.02 Mpa, 11.2 Mpa에 대하여 각각 54.48 kN, 64.78 kN 그리고 65.86 kN으로서, 실험결과와 유사하게 식 (5)에 의한 에폭시의 전단파괴내력이 지배하는 것으로 나타났다.

각 실험체의 최대내력을 각각의 T_{f2} 로 나누어 비교한 값을 Table 2에 나타내었으며, 평균값에 가장 근사한 것은 역시 실험결과로부터 τ_f 값을 사용한 경우이지만, 가장 안전측으로 평가할 수 있는 값은 식 (2)에 의해 산정한 경우임을 알 수 있다.

5. 결론

콘크리트에 표면매립된 FRP 판의 부착거동에서, 전단키와 연단거리의 효과를 관찰하기 위하여 전단키의 위치, 형태 그리고 연단길이를 변수로하여 부착실험을 실시하고, 기존 연구자들의 부착강도 산정식을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) NSM FRP의 부착실험을 통하여, 에폭시간의 계면파괴가 지배되는 양상을 보이는 경우, 전단키의 위치는 가력부에서 멀리 떨어질수록 효과가 있으며 전단키의 직경이 커질수록 내력이 저하되는 것으로 나타났다. 특히 전단키가 일정 이상의 규격이 되면 전단키가 없는 경우에 비하여 내력이 저하되어 오히려 부착강도에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트내에 매립부착된 FRP에서 응력작용방향의 연단거리가 길어짐에 따라 동일 부착길이임에도 불구하고 내력이 일부 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 표면매입 보강에서, 매끄러운 표면의 FRP재와 에폭시의

접촉부 부착특성에 의하여 시공경우별로 부착강도의 편차가 높으며 또한 FRP와 콘크리트사이에서 미끄러짐 변형이 매우 높은 것으로 나타났다.

4) FRP와 콘크리트의 계면에서 부착파괴된 실험체들의 부착전단강도를 계산한 결과 평균 11.2 Mpa인 것으로 나타났으며, Ceroni와 Ali에 의해 제안된 식으로 계산하면 각각 9.27 Mpa와 11.02 Mpa로 나타났다. 따라서 기존식으로서 표면매입 보강된 FRP의 부착강도를 안전측으로 예측할 수 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(과제번호: 2010-011350)의 일부이다.

References

1. Ali, M., Oehlers, D., Friffith,, M.C., and Seracino R. (2008), Interfacial Stress Transfer of Near Surface-Mounted FRP-to-Concrete Joints, *Engineering Structures*, 30, 1861-1868.
2. Blaschko, M. (2013), Bond Behavior of CFRP Strips Glued Into Slits", Proceeding, 6th International Symposium on FRPRCS, Singapore, 203-214.
3. Ceroni, F. et. al. (2010), Modeling of Tension Stiffening Behavior of RC Ties Strengtened with FRP Sheets, *Journal of Composite Construction*, ASCE, 8(6), 510-518.
4. Chung, W.T. (2009), Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with NSM CFRP Reinforcements Considering the Equivalent Section, Doctoral Thesis in Civil and Environmental Engineering, Myongji University, 57-221.
5. Lim, D.H. (2008), An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with NSM and EBR CFRP Strips, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 20(5), 601-609.
6. Seo, S., Feo, L., and Hui, D. (2013(a)), Bond Strength of Near-Surface-Mounted FRP Plate for Retrofit of Concrete Structures, *Composite Structures*, 95, 719-727,
7. Seo, S.Y., Choi, K.B., and Kwon, Y.S. (2012), Retrofit Capacity of Near-Surface-Mounted RC Beam by using FRP Plate, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(1), 18-26 .
8. Seo, S.Y., and Kim, M.S. (2013(b)), Bond Strength of Near-Surface-Mounted FRP Plate in Concrete Corresponding to Space and Bond Length, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 25(1), 37-43.
9. Seo, S.Y. (2014), Analysis on the Interfacial Bond-Slip Relationship between Near Surface-Mounted FRP Plate and Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 26(1), 79-86.
10. Seo, S.Y., Yoon, S.J. Kwon, Y.S., and Choi, K.B. (2011), Bond Behavior between Near-Surface- Mounted Fiber Reinforced Polymer Plates and Concrete in Structural Strengthening, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 23(5), 675-682.
11. Seracino, R., Jones, N., Ali, M., Page, M., and Oehlers, D. (2007), Bond Strength of Near-Surface Mounted FRP Strip-to-Concrete Joints, *Journal of Composites for Construction*, ASCE, 11(4), 401-409.

Received : 07/15/2015

Revised : 09/19/2015

Accepted : 12/24/2015

요 지 : 본 연구에서는 콘크리트에 표면매입된 FRP판의 부착거동에서, 전단키와 연단거리의 효과를 관찰하기 위한 부착시험을 실시하였다. 실험에서의 주요변수는 전단키의 위치, 형태 그리고 연단길이이다. 규격 3.6 mm×16 mm의 FRP를 400 mm×200(300) mm×400 mm 규격의 콘크리트 블록에 매입하고 에폭시로 고정시켜서 실험변수에 따라 총 10개의 부착실험체를 제작하였다. FRP의 연단에 인장력을 가한 뒤 파괴시까지 실험을 실시하고 하중을 기록하였으며, 미끄러짐과 FRP의 인장변형량을 기록하였다. 실험으로부터, 전단키의 위치는 가력부에서 멀리 떨어질수록 전단강도가 상승하는 것으로 나타났으며, 전단키의 직경이 커질수록 내력이 저하되는 것으로 나타났다. 특히 전단키가 일정 이상의 규격이 되면 전단키가 없는 경우에 비하여 내력이 저하되어 오히려 부착강도에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. NSM FRP에서 응력장용방향의 연단거리가 길어짐에 따라 동일 부착길이임에도 불구하고 내력이 일부 증가하는 것으로 나타났다. 표면매입 보강된 FRP의 부착실험에서, FRP와 콘크리트사이의 부착-미끄러짐은 전체거동을 지배하는 것으로 나타나므로 이에 따른 과도한 미끄러짐은 설계에 반드시 고려될 필요가 있다.

핵심용어 : 부착실험, 전단키, 연단길이, 표면매입보강, FRP 판, 위치와 규격, 부착 미끄러짐