



# 콘크리트에 표면매입 보강된 FRP판의 매입간격과 길이에 따른 부착강도

서수연<sup>1)\*</sup> · 김민식<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국교통대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>(주)더나은구조엔지니어링

## Bond Strength of Near Surface-Mounted FRP Plate in Concrete Corresponding to Space and Bond Length

Soo-Yeon Seo<sup>1)\*</sup> and Min-Sik Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea

<sup>2)</sup>The Naeun Structural Engineering Co. Ltd., Seoul 150-105, Korea

**ABSTRACT** Recently, experimental and analytical researches have been performed in order to find interface failure between FRP plate and concrete in near surface-mounted (NSM) retrofit using FRP plate. As a result, it was found that the bond strength between concrete and NSM FRP plate had a close relationship with shape of FRP, concrete compressive strength and bond length. However, research need is increasing about another factors such as suitable space of FRP plate and group effect. In this study, therefore, a bond test was performed with aforementioned factors and compared with a previous equation to verify its suitability for predicting bond strength of NSM FRP plate. From the test, it was found that the bond strength increased according to the increase of space of NSM FRP plates even if its bond length was same. The splitting failure of concrete governed when space of FRPs was too narrow and it changed to FRP's tensile failure with increase of the space. From the evaluation of test specimens using previous equation, it was found that the bond strength could be predicted properly with consideration of group effect.

**Keywords** : near surface-mounted retrofit, FRP plate, bond length, space of FRPs, interface failure

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 보강에 있어서 최근 가장 널리 사용되는 방법은 FRP(fiber reinforced polymer)를 이용한 보강이다. 이는 보강재로 사용하는 FRP가 기존 공법에 사용되는 강판에 비하여 중량이 가볍고 강도가 높을 뿐만 아니라 그 시공이 용이하기 때문이다. 일반적인 시공 프로세스는 에폭시와 같은 부착재료를 사용하여 판 또는 시트형태의 FRP를 콘크리트 표면에 부착시킴으로서 구조체를 보강하는 표면부착공법(EBR, externally bonded retrofit)이다. 그러나 이 방법은 시공성은 매우 우수하지만 보강부재인 FRP가 낮은 응력에서도 콘크리트로 부터 탈락되기 쉽기 때문에 상대적으로 보강효율이 낮은 것으로 알려져 있다.

이와 같은 문제점을 개선하여, 최근에는 부재 표면에 일정한 깊이로 홈을 성형하고 FRP바를 표면에 매입한 후

에폭시를 이용하여 마감하는 표면매입 보강공법(NSMR, near surface-mounted retrofit)에 관한 연구가 진행되고 있다. 표면매입 보강공법은 보강재를 콘크리트 표면에 매입함으로써 부착공법에 비하여 높은 보강효율을 보일뿐만 아니라 보강재가 부재 내부에 위치하게 됨으로써 상대적으로 외부 환경에 민감하지 않은 장점이 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고, 표면매입 보강공법은 FRP 보강재를 매입하기 위하여 일정크기 이상의 홈을 형성해야 하기 때문에 홈 성형 작업이 어렵다. 이러한 단점을 보완하고자 콘크리트 부재에 폭이 좁고 깊이가 긴 홈을 형성하고 이 내부에 FRP 판을 세로로 세워 매입하여 보강하는 비교적 시공이 용이한 방안을 강구하고 이에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>1-8)</sup> 기존 연구 결과는 전체적으로 FRP 판을 매입하여 보강하는 방법이 기존 방법에 비하여 홈 작업이 용이하고, 홈 내에 삽입된 FRP 판의 부착력이 높아 보강효율이 높은 것으로 보고하고 있다. 또한 부착 및 부재실험과 이론적인 연구를 통하여 FRP 판을 이용한 표면매입 보강시 보강내력을 평가할 수 있는 방안이 제시되어 실제 실용적인 방법으로 적용되고 있다.

최근 서수연<sup>1-3)</sup>은 실험 및 이론적인 연구를 통하여, 표

\*Corresponding author E-mail : syseo@ut.ac.kr

Received July 24, 2012, Revised November 13, 2012,

Accepted November 20, 2012

©2013 by Korea Concrete Institute

면매입 보강에서 FRP 판의 부착길이 증가에 따라 내력이 증가하고 또한 비록 보강양이 같을지라도 FRP의 열수를 증가시킬 경우 내력이 증가함을 밝혔다. 또한 매입 보강재의 부착길이에 따른 각 보강재의 적정 간격, 그리고 무리효과를 고려한 상관관계식을 제시하였으나, 보다 신뢰성 있는 결과를 확보하기 위해서는 추가적인 연구의 필요성을 제시하고 있다.

따라서 이 연구에서는 매입길이와 보강재인 FRP 판의 보강간격을 변수로 부착실험을 실시하고 그에 따른 부착성능의 변화를 연구하고자 한다.

## 2. 표면매입 보강된 FRP 판의 부착성능

콘크리트 내에 가늘고 깊은 홈을 만들고 이 홈 내부에 FRP 판을 매입부착하여 보강하는 보강방법의 기본적인 개념은 FRP 판과 콘크리트의 부착면적으로 증대시키고 또한 FRP 판이 강축방향으로 콘크리트와 함께 거동하게 함으로써 보강효율을 극대화시키는 것이다.

Fig. 1은 FRP를 이용한 표면매입보강공법의 대표적인 상세를 나타낸다. 얇은 판 형태인 FRP를 매입할 경우에는 비교적 홈 작업이 용이하고 부착면적을 증가시킬 수 있기 때문에 보강효율을 높일 수 있다. 그러나 상대적으로 홈의 깊이가 소정의 깊이 이상이 되어야 하기 때문에 피복이 얇은 부재의 경우에는 적용상의 제한이 따른다. 반면에 사각형 또는 원형인 FRP를 매입할 경우에는 상대적으로 판형인 경우에 비하여 부착면적이 감소되지만 홈의 깊이를 깊게 형성하지 않고 상대적으로 넓게 형성해야 하기 때문에 피복이 얇은 부재의 경우 적용이 용이하다.

이와 같은 형상에 따른 영향을 파악하기 위하여, El-Hacha 등<sup>4)</sup>은 동일 축강성을 갖는 표면 부착보강과 FRP 판, FRP 바를 이용한 표면매입보강에 대하여 각각 그 성능을 보 힘실험으로 평가하여 표면매입 보강이 표면부착 보강에 비하여 훨씬 높은 보강성능을 보유하고 있음을 확인하였다. 특히 FRP 판을 부재내에 세워서 삽입보강한 경우가 가장 우수한 성능을 발휘하는 것으로 발표하였다.

NSM FRP판의 부착성능에 대해서는 Ali 등<sup>5)</sup>이 표면매입 보강된 FRP판에 대한 부착실험을 실시하고, 부착강도를 FRP판과 두께 그리고 콘크리트 강도와 상관관계로 단

순화하여 계면파괴시 부착강도 산정식을 제시하였다. 또한 Seracino 등<sup>6)</sup>은 콘크리트 강도, 부착길이, FRP의 형태 등을 변수로 부착실험을 실시하고 그 결과를 토대로 Ali 식을 다시 비선형회귀분석하여 FRP의 강성과 형태계수 등을 고려한 수정 식을 제시하였다.

국내에서는 정우태<sup>7)</sup>가 표면부착 보강과 FRP 바 또는 판으로 표면매입 보강된 RC보에 대한 힘실험을 실시하여 표면매입 보강이 표면부착 보강에 비하여 약 50% 보강효과가 증가하지만 여전히 부착파괴가 존재함을 확인하였으며, 임동환<sup>8)</sup>은 I형과 T형 FRP판을 이용하여 표면매입 보강한 T형 보의 휨 거동에 대한 실험연구를 실시하여 I형 판에 비하여 T형 FRP판으로 표면매입 보강한 경우가 훨씬 높은 보강성능을 발휘하며 균열폭을 제어함에 있어서 매우 우수한 것으로 보고하였다.

최근 서수연 등<sup>1-3)</sup>은 부착실험을 통하여 동일 보강량으로 보강한 표면매입 보강이 표면부착보강에 비하여 1.5 배 이상 부착강도를 상승시킬 수 있음을 밝혔고 또한 부착실험 결과 분석을 통하여 FRP판의 부착강도 산정 식을 제시하고 휨부재의 강도평가에 적용하여 제안된 식의 적합성을 평가하였다.

그러나 FRP판의 설치간격이 조밀할 경우에는 무리효과에 의하여 실제 콘크리트의 할렬파괴강도가 낮아지게 되어 비록 부착길이가 길어지더라도 그 영향이 감소될 수 있음을 지적하였다. 이에 따라 이 연구에서는 FRP판을 이용한 표면매입보강시에 부착길이와 FRP의 간격과의 상관관계를 규명하기 위한 실험을 실시하고자 한다.

## 3. 실험

### 3.1 실험체 계획 및 제작

콘크리트 내에 매입된 FRP 판의 부착강도를 파악하기 위하여 400×600×400 mm의 무근콘크리트 블록을 제작하고 좁고 길이가 긴 홈을 성형하여 FRP판을 매입하였다. 매입길이는 변수별로 150, 200, 300 mm로 하였고 매입길이별 FRP의 간격은 각각 50, 60, 70, 90, 110 mm로 총 15 개의 실험체를 제작하였다. 매입을 위한 홈의 폭과 깊이는 각각 5 mm와 20 mm로서 홈은 그라인드를 이용하여

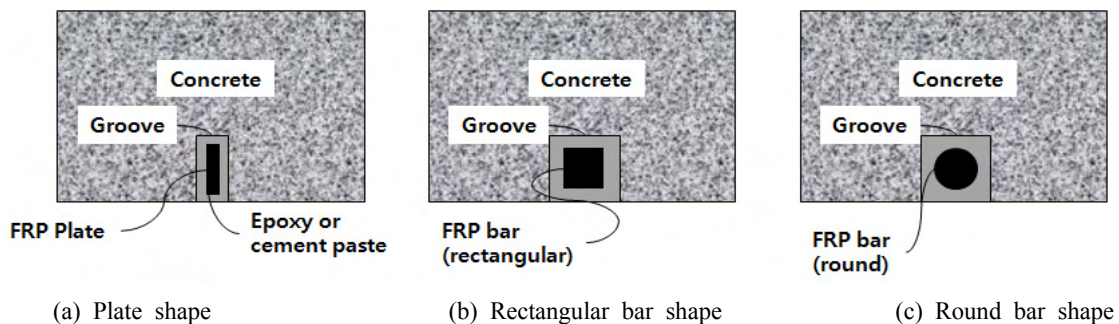


Fig. 1 NSM systems with different shapes of FRP

형성하였다. 제작에 사용된 콘크리트의 강도는 28일 기준으로 21 MPa 강도이다. 보강과정은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이, 1) 콘크리트부재에 홈의 형성, 2) 홈 내부를 깨끗이 청소한 뒤 에폭시 모르타르를 홈 내부에 충전, 3) 재단된 FRP 판을 홈 내부에 삽입, 4) 표면에 에폭시 모르타르 마감의 순서로 진행하였다.

Table 1은 변수별 실험체를 나타내며 Fig. 3은 실험체 상세를 나타낸다. 실험에 사용된 FRP와 에폭시의 재료적 특성은 각각 Table 2 및 3에 나타낸 바와 같다. FRP의 인장특성은 직접 실험을 통하여 얻은 값이고, 에폭시의 경우에는 제조사에서 제공한 값을 정리한 것이다.

FRP의 변형도 변화를 관찰하기 위하여 콘크리트와 부



(a) Formation of grooves (b) Filling of epoxy mortar



(c) Inserting of FRP plate (d) Finishing with epoxy mortar

Fig. 2 NSMR process using FRP plate

Table 1 Test specimen

Specimen name	Bond length (mm)	Space of FRP (mm)
N150-S50	150	50
N150-S60		60
N150-S70		70
N150-S90		90
N150-S110		110
N200-S50	200	50
N200-S60		60
N200-S70		70
N200-S90		90
N200-S110		110
N300-S50	300	50
N300-S60		60
N300-S70		70
N300-S90		90
N300-S110		110

착되는 FRP에 변형률게이지를 30 mm간격으로 설치하고 또한 비부착된 부분에서의 FRP변형도를 관찰하기 위하여 콘크리트 블럭과 가력부위 사이에 또한 변형률게이지를 설치하였다.

### 3.2 실험 방법

실험 방법은 ACI 440R-07<sup>9)</sup>에 기술되어있는 실험 방법 중에서 beam-end test method에 의거하였으며 실험의 편의를 위하여 수평이 아닌 수직으로 FRP를 인발하는 직접인장 실험을 계획하였다. 콘크리트 블럭의 수평방향 이동을 방지하기 위하여 콘크리트 블럭의 전면하부와 후면에 스크류잭을 설치하였다. 콘크리트 블럭의 상부에는 H-beam을 설치하여 블럭의 수직방향이동을 구속하였다. 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 강판사이에 FRP 판을 밀착시킨 뒤 볼트로 충분히 조임으로서 FRP판을 고정할 수 있도록 하였다. 각각의 FRP판에 대하여 1개의 정착판이 연결될 수 있도록 하였다. 실험과 동시에 데이터

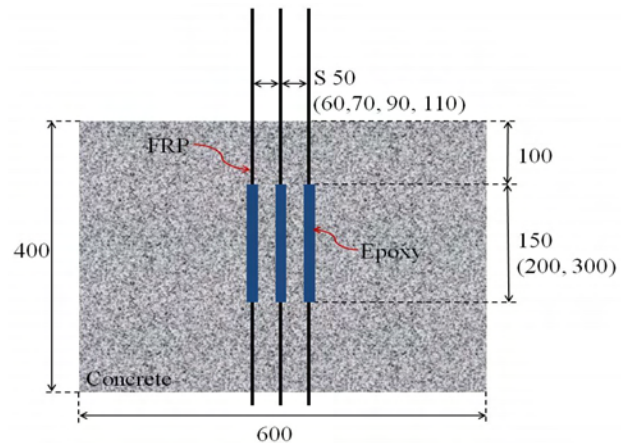


Fig. 3 Detail of specimen (unit: mm)

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

수집기인 TDS-602와 전용 PC로 실시간 변위, 변형도, 하중 등과 같은 데이터를 수집하였다. Fig. 5는 실험체 설치 상황과 가력상황을 나타낸다.

### 3.3 실험 결과 및 분석

#### 3.3.1 파괴 양상

실험체의 파괴 양상은 콘크리트의 할렬파괴, FRP와 콘크리트 사이의 미끄러짐 그리고 FRP의 인장파단 파괴양상으로 구분할 수 있다. Fig. 4는 콘크리트가 할렬파괴된 경우와 FRP가 파단된 파괴상황을 나타낸다.

콘크리트가 할렬파괴되는 경우에는 하중작용방향에서

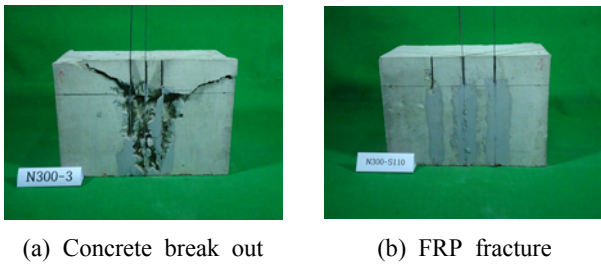
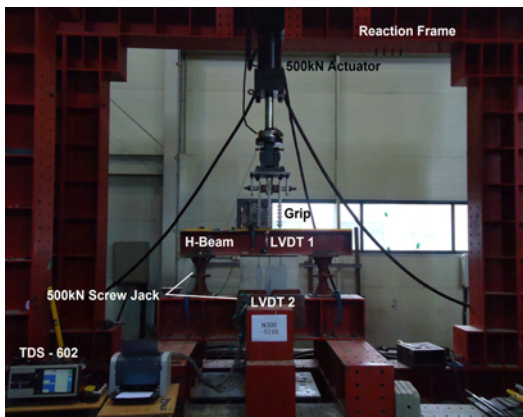
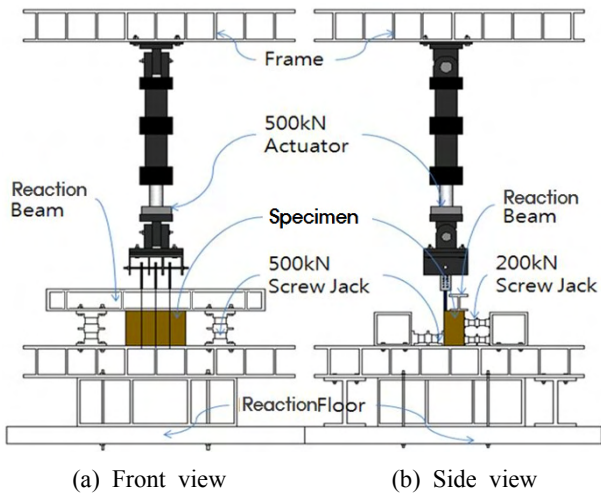


Fig. 4 Failure shape of specimens



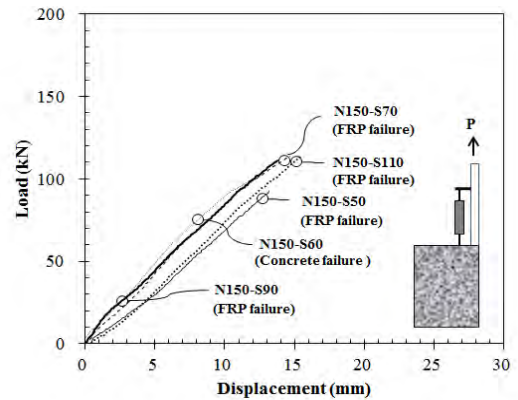
(c) Photo of setup

Fig. 5 Setup of specimen

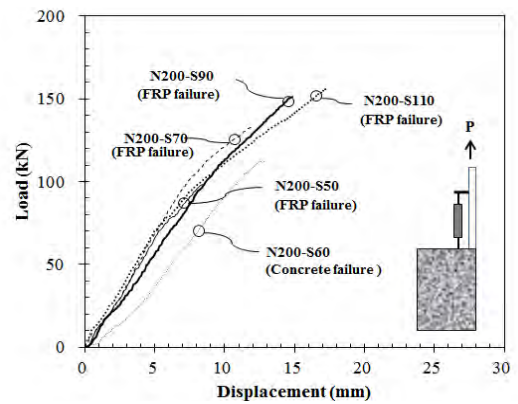
가까운 부착부분을 기점으로 콘크리트가 파괴되었고 파괴각도는 약 135°의 양상을 보였다. Fig. 4(b)에서 비록 FRP가 인장파괴되었지만, 또한 하부에 돌출되어 있던 FRP가 미끄러짐에 의해 밀려올라가 있음을 확인할 수 있다. 이로부터 비록 FRP가 파단되는 파괴양상을 보이더라도 부착구간에서의 미끄러짐 변형은 충분히 발생할 수 있으며 이에 의해 실제 변형이 높게 나타날 수 있음을 알 수 있다.

#### 3.3.2 FRP의 인장변형 및 미끄러짐변형

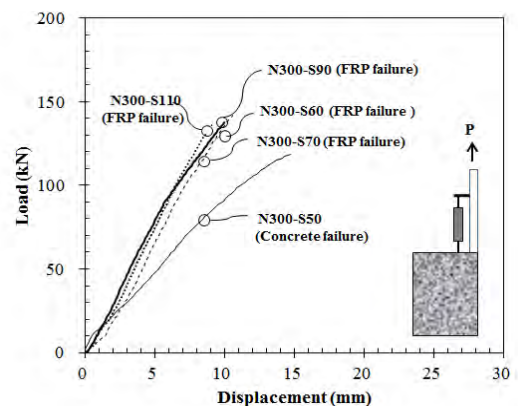
각 실험체에 대하여, FRP에 가력한 인장력과 이에 따른 미끄러짐 곡선을 부착길이별로 구분하여 Fig. 6에 나



(a) Bond length, 150 mm



(b) Bond length, 200 mm



(c) Bond length, 300 mm

Fig. 6 Load-slip curve

타내었다. 일부 실험체에서는 최대내력까지 미끄러짐 변형을 측정할 수 없었는데 이는 콘크리트 블록에 균열이 발생한 이후에는 FRP와 콘크리트의 상대미끄러짐을 측정하기 위한 측정점이 이동되었기 때문이다. N200-S60 실험체와 N300-S70 실험체를 제외하고 대부분 실험체의 강성이 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이로부터 비록 부착 길이가 길어지더라도 강성의 변화는 크지 않고 또한 파괴형식(콘크리트파괴 또는 FRP인장파단)과 상관없이 전

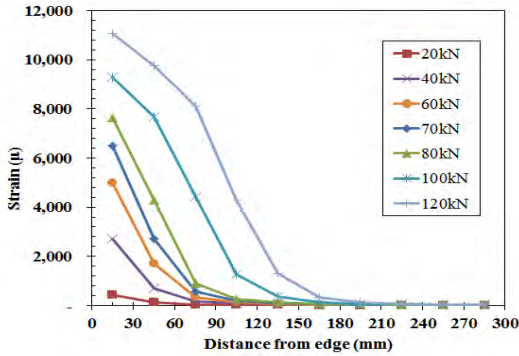


Fig. 7 Strain distribution on FRP (N300-S110)

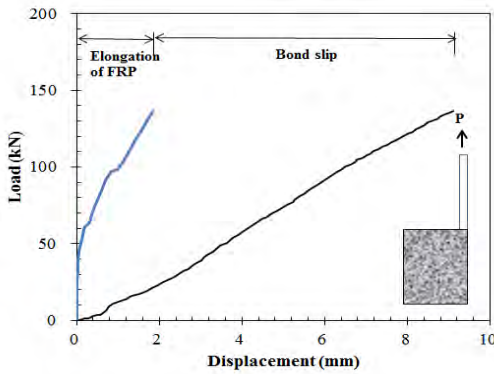


Fig. 8 Deformations of FRP and slip

반적으로 하중-미끄러짐관계에서의 강성은 유사함을 알 수 있다. 따라서 FRP 판을 표면매입 보강한 공법에서 부착강도를 산정할 수 있다면 이에 따른 미끄러짐 변형도 어느 정도 예측이 가능함을 알 수 있다.

Fig. 7은 N300-S110 실험체의 FRP에서 하중단계별로 나타나는 변형도분포를 나타낸다. 전체적으로 변형도의 분포는 기존 연구 결과와 유사하게 하중이 작용하는 FRP 외단에서 가장 높은 변형도를 보이고 거리가 멀어질수록 변형도 값이 감소하는 양상을 나타내었다. 이 값을 이용하여 각 하중 단계별 FRP의 전체 인장변형량을 계산한 결과, FRP의 인장에 의한 변형량은 대부분 전체 인장변형량의 20%를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 N300-S110 실험체에 대한 FRP의 인장변형량과 전체 미끄러짐 변형을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 전체 변위량에서 FRP의 인장변형량을 제외한 나머지 변형은 콘크리트와 FRP 판과의 미끄러짐 변형을 나타낸다. 일부 실험체에서는 게이지 손상으로 FRP의 변형량을 측정하지 못한 경우도 있지만, 전반적으로 콘크리트의 변형을 포함한 미끄러짐 변형이 전체 변형의 대략 70%~90%에 해당하는 것으로 나타났다.

### 3.3.3 강도변화

각 실험체의 최대내력과 그때의 변위값을 Table 4와 Fig. 9에 정리하여 나타내었다. 부착길이가 150 mm인 실험체의 경우에는 콘크리트의 활열파괴가 전체적인 파괴 거동을 지배하였고 일부 실험체에서는 FRP의 인장파괴와 콘크리트파괴가 동시에 나타나거나 FRP와 콘크리트 사이의 계면에서 미끄러짐에 의한 파괴양상을 보였다. 이에 따라 매입간격에 따른 영향을 관찰할 수가 없었지만 부착길이가 200 mm인 실험체에서는 부착간격에 따른 변화가 관찰되었다. 간격이 50 mm인 경우에는 부착파괴,

Table 4 Test result

Specimen name	$P_m$ (kN)	$\delta_m$ (mm)	$P_m/(A_f F_f)$	Failure pattern <sup>(1)</sup>	Strength calculation		
					Eq. (3)	Eq. (1) (kN)	Test/Cal.
N150-S50	117.91	17.2	0.58	BS	0.97	118.58	0.99
N150-S60	103.23	12.98	0.51	BS+CF	1.00	122.00	0.85
N150-S70	113.76	14.7	0.56	CF+FF	1.00	122.00	0.93
N150-S90	111.29	13.8	0.55	FF	1.00	122.00	0.91
N150-S110	113.43	15.38	0.56	FF+BS	1.00	122.00	0.93
N200-S50	98.49	8.38	0.48	BS	0.92	115.25	0.85
N200-S60	111.94	12.79	0.55	CF	1.00	125.38	0.89
N200-S70	133.25	11.99	0.65	FF	1.00	125.38	1.06
N200-S90	151.31	14.82	0.74	FF	1.00	125.38	1.21
N200-S110	156.05	17.23	0.76	FF	1.00	125.38	1.24
N300-S50	118.3	14.7	0.58	CF	0.85	111.55	1.06
N300-S60	130.13	9.81	0.64	FF	0.96	125.13	1.04
N300-S70	141.89	10.59	0.69	FF+CF	1.00	130.91	1.08
N300-S90	137.79	9.98	0.67	FF	1.00	130.91	1.05
N300-S110	136.37	9.11	0.67	FF	1.00	130.91	1.04

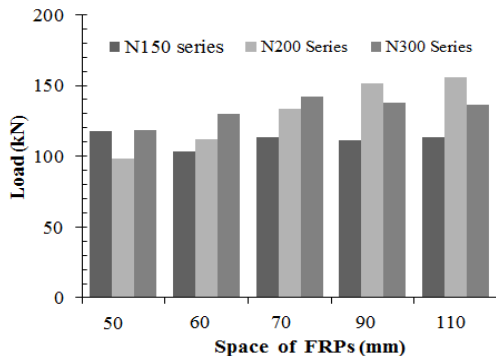
<sup>(1)</sup> CF=concrete failure, BS=bond slip, FF=FRP failure

간격이 60 mm인 경우에는 콘크리트파괴로 내력이 결정되었지만 그 이상의 간격에서는 모두 FRP가 인장파괴되는 양상을 보였다. 부착길이가 300 mm인 경우에는 FRP의 간격 60 mm에서부터 FRP가 인장파괴되는 양상을 보여 부착길이가 증가함에 따라 FRP의 간격을 더욱 좁게 배치하더라도 충분히 FRP의 인장파괴를 유도할 수 있음을 알 수 있다.

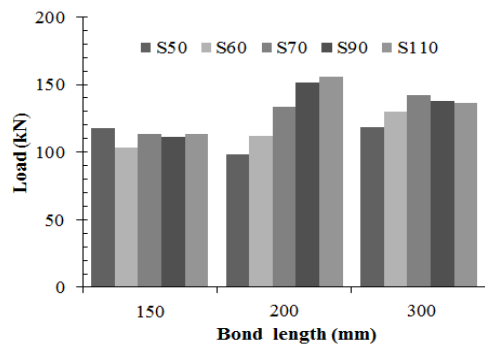
재료시험을 통하여 나타난 FRP의 인장강도에 대한 부착실험체 최대하중의 비를 비교한 결과, 비록 콘크리트가 인장파괴하거나 콘크리트와 FRP의 계면에서 미끄러짐이 발생하는 등 서로 다른 파괴양상을 보였지만, 전체적으로 FRP 인장강도의 48~69%에 해당하는 내력이 발휘되는 것으로 나타났다.

#### 4. 부착강도의 평가

표면매입 보강된 FRP판의 부착저항은 매입된 FRP판의 인장내력, 충전된 에폭시와 FRP판 사이에서의 부착내력, 그리고 콘크리트의 인장내력에 의해 이루어진다. 서수연<sup>3)</sup>은 이상과 같은 기본적인 변수로 구성된 기존 연구자들의 제안식 분석을 통하여, Seracino<sup>7)</sup>에 의한 제안식이 가장 실험내력을 근사하게 예측할 수 있음을 밝혔다. 그러나 이 식은 부착길이가 증가에 따른 영향을 적절히 반영하지 못하고 있으며 또한 여러 개의 FRP가 근접하여 설치될 경우 발생하는 무리효과를 고려하지 못하고 있음을 지적하고 Fig. 10에 나타난 바와 같이 부착길이에 따른 영향 및 무리효과계수를 적용한 식 (1)을 제시하였다.



(a) Variation due to FRP space



(b) Variation due to bond length

Fig. 9 Strength variation of specimens

$$P_{IC} = \alpha_p 0.57 m \eta \phi_f^{0.25} f_{ck}^{0.33} \sqrt{(L_{per} \gamma)(EA)_f} < n F_f A_f [kN] \quad (1)$$

$$\gamma = \left( \frac{h_e}{L_{per}} \right)^{0.3} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{L_{per} \gamma + B_c}{n L_{per} \gamma} \leq 1.0 \quad (3)$$

여기서,  $(EA)_f$ 는 FRP의 강성,  $n$ 은 무리효과 반영시 포함되는 FRP부재의 개수,  $h_e$ 는 매입된 FRP의 부착길이,  $B_c$ 는 무리에 포함되는 FRP 중 최외단 두 개 FRP의 중심간 거리이며  $\alpha_p$ 는 대표값으로서 1.0을 사용하고 하한값으로서 0.85를 사용한다. 또한,  $L_{per} = 2b_f + t_f$ ,  $\phi_f = b_f/t_f$ 이며  $b_f$ 와  $t_f$ 는 각각 FRP의 폭과 두께이다.

식 (2)는 매입길이에 따른 유효폭의 변화를 고려한 식이며, 식 (3)은 무리효과를 고려한 유효폭 계수를 나타낸다. 즉 이 식은 콘크리트파괴가 지배하는 경우에 적용할 수 있는 식으로서, FRP의 강성과 콘크리트 강도, 매입된 FRP의 형상비 등을 고려한 식이다. 콘크리트와 FRP의 부착강도가 충분히 발휘될 수 있는 경우에는 FRP의 인장파괴에 의해 내력이 결정된다. 그러나 FRP와 콘크리트를 부착시키는 에폭시에 의한 부착강도가 지나치게 낮게 될 경우에는 이에 의해 내력이 결정되기 때문에 이를 고려하여야 한다.

식 (1)을 이용하여 각 실험체의 내력을 산정한 결과는 Table 4와 Fig. 11에 나타내었다. 콘크리트파괴와 부착파괴가 발생한 실험체에서(주로 부착길이가 150 mm인 실험

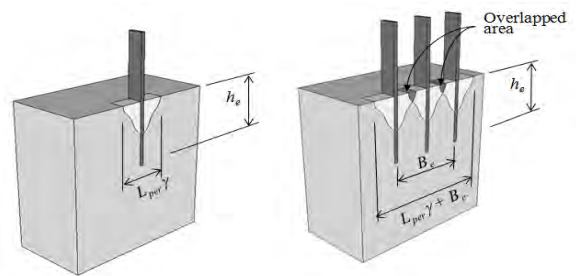


Fig. 10 Effective concrete width of grouped FRPs

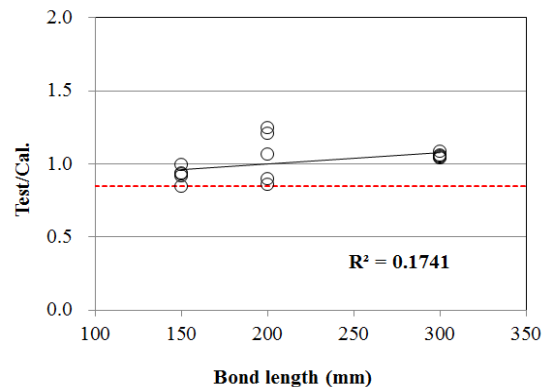


Fig. 11 Comparison of test and calculated values

체)는 계산식이 실험 결과를 다소 과소평가하는 양상을 보였고, 비록 부착길이 200 mm에서 FRP간격에 따라 내력에서 다소 변동이 있지만, 전체적인 측면에서는 이 논문에서 수행한 실험체들에 대한 부착강도를 적절하게 예측할 수 있음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

- 1) FRP판 표면매입보강에서 콘크리트와 FRP의 계면파괴시, 부착길이가 150 mm일 때에는 부착간격에 따른 영향이 미미하지만, 부착길이가 200 mm이상일 때에는 매입된 FRP의 간격이 넓어질수록 내력이 증가하는 양상을 보였다. 또한 FRP판의 간격이 좁을수록 콘크리트 할렬파괴가 지배하고 매입간격이 넓을수록 FRP판이 인장파단되는 양상을 보였는데 이는 FRP의 간격 증가와 더불어 콘크리트의 저항면적 또한 증가하기 때문이다.
- 2) FRP의 계면파괴가 지배되는 경우에는 FRP판의 부착길이가 증가할수록 부착강도는 비례적으로 증가하지만 부착강성은 특별한 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이로부터 부착강도를 적절히 예측할 수 있다면 그에 따른 부착강성도 추정이 가능할 것으로 사료된다.
- 3) FRP의 계면파괴시 부착강도를 산정하는 기존 제안식을 이용하여 이 연구의 실험 결과를 비교한 결과, FRP의 부착길이와 무리효과를 고려한 기존 제안식을 사용하여 표면매입 보강된 FRP의 부착강도를 적절히 예측할 수 있는 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(과제번호: 2010-011350)의 일부이다.

**요 약** 최근 FRP 판을 이용한 표면매입 보강공법에서 FRP와 콘크리트 사이의 계면파괴를 연구하기 위한 실험 및 이론적인 연구가 국내외에서 수행되고 있다. 그 결과 보강재의 형상과 콘크리트 강도 그리고 부착길이 등에 대한 일련의 연구가 수행되었지만, 보강재의 부착길이에 따른 각 보강재의 적정 간격, 그리고 무리효과 등과 같은 영향인자들에 대한 연구 필요성이 제기되고 있다. 이에 따라 이 연구에서는 부착길이와 보강재인 FRP 판의 보강간격을 변수로 부착실험을 실시하고 그에 따른 부착성능의 변화를 연구하고자 한다. 또한 표면매입 보강된 FRP 판의 계면파괴시 강도를 산정하기 위한 기존 제안식과의 비교를 통하여 그 적용성을 평가하고자 한다. 연구 결과, 매입된 FRP의 간격이 넓어질수록 FRP판의 인장파단과 함께 내력이 증가하는 양상을 보이는 반면에 FRP판의 간격이 좁을수록 콘크리트 할렬파괴가 지배하는 것으로 나타났다. 기존 제안식을 이용하여 실험 결과를 비교한 결과, FRP의 부착길이와 무리효과를 고려한 기존 제안식을 사용하여 표면매입 보강된 FRP의 부착강도를 적절히 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 표면매입보강, FRP 판, 부착길이, 보강 간격, 계면파괴

1. Seo, S. Y., Oh, J. G., and Choi, K. B., "Bond Capacity of Concrete Member Strengthened by Various Methods Using FRP Plate," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 8, 2011. pp. 55-63.
2. Seo, S. Y., Yoon, S. J., Kwon, Y. S., and Choi, K. B., "Bond Behavior between Near-Surface-Mounted Fiber Reinforced Polymer Plates and Concrete in Structural Strengthening," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 5, 2011, pp. 675-682. (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.011.23.5.675>)
3. Seo, S. Y., "Bond Strength of Near Surface-Mounted FRP Plate in RC Member," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 24, No. 4, 2012, pp. 415-422. (doi: <http://dx.doi.org/10.334/JKCI.2012.24.4.415>)
4. EI-Hacha, R. and Rizkalla, S. H., "Near-Surface-Mounted Fiber-Reinforced Polymer Reinforcements for Flexural Strengthening of concrete Structures," *ACI Structural Journal*, Vol. 101, No. 5, 2004, pp. 717-726.
5. Mohamed Ali, M. S., Oehlers, D. J., Friffith, M. C., and Seracino, R., "Interfacial Stress Transfer of Near Surface-Mounted FRP-to-Concrete Joints," *Engineering Structures*, Vol. 30, Issue 7, 2008, pp. 1861-1868. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.12.006>)
6. Seracino, R., Jones, N., Ali, M., Page, M., and Oehlers, D., "Bond Strength of Near-Surface Mounted FRP Strip-to-Concrete Joints," *Journal of Composites for Construction, ASCE*, Vol. 11, No. 4, 2007, pp. 401-409. (doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2007\)11:4\(401\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2007)11:4(401)))
7. Chung, W. T., "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with NSM CFRP Reinforcements Considering the Equivalent Section," *Doctoral Thesis in Civil and Environmental Engineering*, Myongji University, 2009, pp. 57-221.
8. Lim, D. H., "An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with NSM and EBR CFRP Strips," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 5, 2008, pp. 601-609.
9. ACI's 2001 Manual of Concrete Practice, *Report on Fiber-Reinforced Polymer(FRP) Reinforcement for Concrete Structures(ACI 440R-07)*, American Concrete Institute, Farnington Hills, MI, 2011.