

# 인장 보강재 및 거푸집으로 활용한 FRP 판과 타설 콘크리트 사이의 부착에 관한 실험적 연구

## Bond Slip Behavior of Cast-In-Place Concrete and FRP Plank Using Formwork and Tensile Reinforcement

유 승 운\*  
Yoo, Seung Woon

---

### ABSTRACT

An experimental study for bond slip behavior of concrete and a FRP plank was used as the both formwork and the tensile reinforcement for a concrete structural member is described. For the FRP plank and the concrete to act as a composite structural member a satisfactory bond at the interface between the smooth surface of the FRP and the concrete must be developed. This study focuses on investigation of the bond slip behavior of sand coated interface between FRP and cast-in-place concrete experimentally.

---

#### 1. 서론

최근 들어 FRP(fiber reinforced polymer)는 건설 및 다른 여러 분야에서 다양하게 활용되고 있다(Bank, 2006). 특히 콘크리트 구조물의 내부 및 외부보강재로 활용을 위한 여러 연구와 응용이 진행되고 있다(ACI, 2006). FRP 보강재는 기존 철근콘크리트 바닥판에서 크게 문제 되는 철근의 부식 문제를 완전히 해결 할 수 있는 대안으로 이용할 수 있으며, 기존의 철근 콘크리트 구조물의 보수보강재로서도 각광 받고 있다. 또한 최근 들어 상용 생산중인 FRP 판(plank)을 영구 거푸집 및 주요 인장 보강재로 활용한 콘크리트 교량 바닥판 시스템 개발 연구가 진행되고 있다(Berg et al., 2006; Bank et al., 2006). 이 바닥판 시스템은 FRP 판을 목재 거푸집 대신 거더 위에 거치 후 철근 배근 없이 현장에서 콘크리트를 타설 하고 양생하여 바닥판을 완성 시키는 시스템이다. 본 시스템의 관건 중의 하나는 FRP 판과 타설 콘크리트와의 합성작용이다. 현재 생산되어 상품화 되어있는 FRP 판의 경우 표면이 매끈하여 타설 콘크리트와의 일체 거동에 다소 문제점을 내포하고 있다. 본 연구에서는 타설 콘크리트와 FRP 판의 일체 거동을 증진시키기 위해 FRP 판에 모래를 건설 현장에서 많이 사용하는 에폭시를 이용하여 부착시킨다. 골재 모래의 부착은 현장에서 콘크리트를 타설 하기 이전에 에폭시를 이용하여 부착하고 양생시킨 후 콘크리트를 타설 하기 때문에 콘크리트 타설 공정에는 영향이 없다.

본 연구에서는 FRP 판을 영구 거푸집 및 인장 보강재로 활용한 시스템의 관건 중의 하나인 FRP 판과 타설 콘크리트 사이의 부착 거동을 알아 보기위해 휨 부착 실험을 수행하고 그 결과를 분석한다.

---

\*정회원, 관동대학교 토목공학과 교수

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 시편 제작

제작한 실험시편은 2가지 종류이며 각각 2개씩 총 4개의 실험시편을 제작하였다. FRP 판과 타설 콘크리트의 부착은 한쪽면만 하였고, 반대편 쪽은 스터드(stud)를 이용하여 고정 시켰다.

표 1. FRP 재료특성

종류	제조방법	설계강도(MPa; psi)	탄성계수(MPa; psi)
GFRP	Pultrusion Process	481.3 (69,800)	26,889.7 (3.9x10 <sup>6</sup> )

실험시편의 제작 순서는 먼저 FRP 판을 폭 7.6cm(3in)로 먼저 절단 후 FRP 판 내부 하단 부분에 에폭시 도포한 후 골재를 그 위에 살포하였다. FRP 판의 표면은 별다른 처리 없이 먼지만 제거 후 공장에서 생산된 상태 그대로를 이용하여 에폭시를 도포 후, 에폭시가 경화되기 전에 구멍이 뚫린 버킷(bucket)을 이용하여 전체 표면의 약 30%정도를 골재 부착 하였다. 완성된 FRP판을 거푸집으로 하여 일반 상용 레미콘을 이용하여 실험시편을 제작 하였다. 사용된 레미콘은 최대골재 치수 19mm(3/4in), 28일 설계 압축강도 27.6MPa(4000psi)로 계획하였으며, 실험 당시 발현강도는 평균 31.3MPa(4544psi)로 측정되었다.

표 2. 실험시편 및 비교 실험시편 상세

실험시편	FRP 부착길이 (cm; in)	FRP 두께 (mm; in)	콘크리트 압축강도 (MPa; psi)
SB1	104 (41)	4.3 (0.169)	25.8 (3,740)
SB2	104 (41)	4.3 (0.169)	25.8 (3,740)
SB3	81 (32)	4.3 (0.169)	24.5 (3,550)
SB4	81 (32)	4.3 (0.169)	32.1 (4,650)

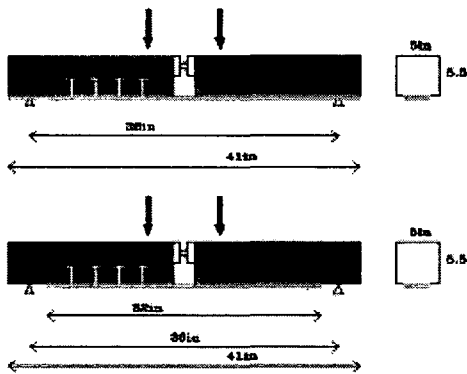


그림 1. 실험시편 형상 및 치수

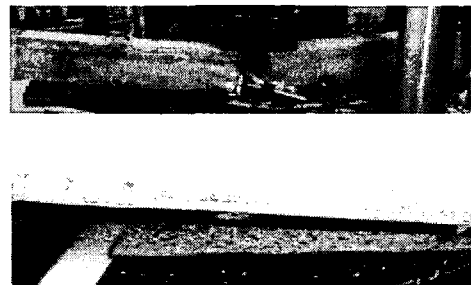


그림 2. 실험 후 파괴 모습

### 2.2 실험 및 계측

첫 번째 게이지, G0는 FRP 판의 중앙부분, 즉 FRP 판과 콘크리트가 부착되지 않은 중앙 지점에 설치하였고, FRP 판과 콘크리트 부착 시작점엔 G1을 설치하고 그 후 G2-G6를 1.27cm(0.5in), 2.54cm(1in) 간격으로 설치하였다. LVDT를 이용하여 변형률게이지 G6 위치에서 FRP 판과 콘크리트의 상대 변위 및 수직변위를 계측하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 파괴형상

그림 2 은 FRP 판과 타설 콘크리트의 부착면의 파괴 후의 모습이다. FRP 판에 부착한 모래와 콘크리트 일부 표면이 단락되어 파괴되는 형태를 보여주고 있다. FRP 판에 부착한 모래가 파괴 후에도 많은 부분이 FRP 판에 그대로 부착되어 있는 모습을 보여주고 있다. 첫 번째 시험시편 SB 1의 실험에서 부착의 선단부분에 다소의 콘크리트가 잔재 하였는데 이는 FRP 판이 휘어짐에 의한 국부적인 응력 집중에 의한 것으로 판단된다. FRP 판이 지점 까지 연장한 경우 즉 시험시편 SB1, SB2 와 지점 직전까지 부착한 시험시편 SB3, SB4 2가지 모두 전체의 부착 파괴는 임계점에 다다른 후 많은 양의 슬립을 동반하면서 급격히 파괴되는 양상을 보여 주고 있다.

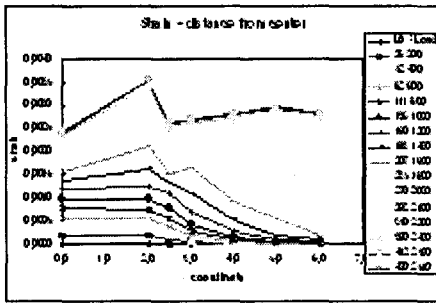


그림 3. 변형률 분포

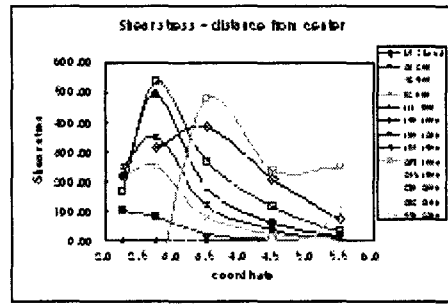


그림 4. 부착응력 분포

#### 3.2 변형률 및 부착응력의 분포

각 시험시편의 변형률 분포는 다소 편차가 있으나 경향은 비슷하게 나타나므로 시험시편 SB3 에 대해서만 나타내면 그림 3 과 같다. 하중단계에 따라 변형률의 분포는 크게 3가지 경향을 보여주고 있다. 첫 번째는 하중 초기 단계로써 하중이 증가함에 따라 FRP 판과 타설 콘크리트의 부착이 시작되는 부분에서 변형률이 최고 값을 나타내며 끝단으로 갈수록 기하급수적으로 감소하는 경향을 보인다. 그 후 부착 시작점에서 미세 균열이 발생하면서 최대 변형률 값은 선단 쪽으로 전이되어 변형률의 분포는 부착 시작점에서 선형적으로 증가하다 변형률 최고 값에 도달한 후 다시 선형적으로 감소하는 경향을 보여준다. 하중이 계속 증가함에 따라 변형률이 최고점 이후 선형적으로 감소하다 수평을 이루면서 최종적인 파괴를 보여주고 있다.

#### 3.3 국부 부착응력-슬립 관계

본 연구에서 변형률을 일정한 간격을 두고 측정 하였으므로, 인접한 두 변형률계이지 사이의 평균 부착응력 및 슬립은 다음 식으로 구할 수 있고 이를 통해 부착 선단응력의 변화를 살펴 볼 수 있다 (Dai et al, 2005).

$$\tau_{i, i+1} = t E \frac{\epsilon_i - \epsilon_{i+1}}{x_{i+1} - x_i}, \quad S_{i, i+1} = S_{i+1, i+2} + (\epsilon_i + \epsilon_{i+1}) \frac{(x_{i+1} - x_i)}{2} \quad (1)$$

그림 4 에서 보는 바와 같이 하중 초기 단계에서는 FRP 판과 타설 콘크리트 부착 시작점에서 최대 부착응력을 보여주며 선단으로 갈수록 기하급수적 감소하는 분포를 보여주고 있다. 하중이 증가함에 따라 부착부분의 부착 시작점에서 최대 부착응력을 보이고 이후 계속 하중이 증가함에 따라 선단 부분의 미세 균열과 이로 인한 선단 부분 부착응력의 감소와 인접부분으로 최대 부착응력 값의 전이 현상을 볼 수 있다. 이와 같이 전이 현상이 계속하여 FRP 판과 콘크리트의 부착 면의 끝단까지 일어나며 최종적으로 파괴에 이르게 된다. 변형률계이지의 각각의 구간에서 위의 식에 의해 부착응력과 슬

립과의 관계를 유도 할 수 있다, 위의 관계를 이용하여 각각의 구간에서의 부착응력 및 슬립 곡선을 그리면 그림 5 와 같다.

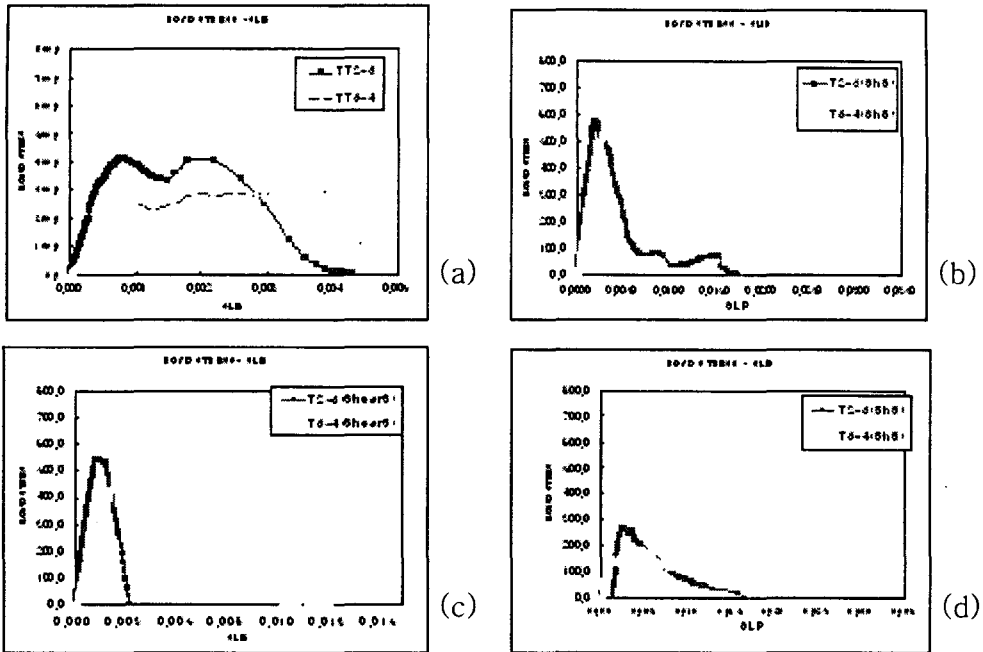


그림 5. 부착응력 및 슬립 관계

#### 4. 결론

본 연구는 인장보강재 및 영구 거푸집으로 활용한 FRP 판과 타설 콘크리트 사이의 부착거동을 살펴보기 위해 제 실험을 수행했다. 본 합성 시스템의 경우 FRP 판을 영구 거푸집으로 사용하기 위해 FRP 판을 거푸집 대용으로 설치하고 그 위에 콘크리트를 타설 한다. 본 연구의 경우 최대 부착응력의 경우 약 3.0MPa(435psi) 정도이며 최대 부착응력에서의 슬립 량은 약 0.036mm(0.0014in) 정도이다. 또한 계면 파괴에너지의 경우 약 0.218kN/m(1.2472lb/in) 정도이다. 부착응력 및 슬립 관계는 기존 보수/보강 공법에서와 마찬가지로 다소 결과치가 분산되는 경향을 보여주고 있다.

#### 참고문헌

1. ACI (2006) *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*, ACI 440.1R-06, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
2. Bank, L.C. (2006) *Composites for construction: Structural design with FRP materials*, John Wiley & Sons, NJ, USA.
3. Bank, L.C., Oliva, M.G., Bae, H.U., Barker, J. and Yoo, S.W. (2006) Pultruded FRP plank as formwork and reinforcement for concrete structures, *COMPOSITES 2006 Convention and Trade Show*, American Composites Manufacturers Association, USA.
4. Berg, A.C., Bank, L.C., Oliva, M.G., and Russell, J.S. (2006) Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck, *Const. and Building Materials*, Vol. 20, pp. 515-526.
5. Dai, J., Ueda, T. and Sato, Y. (2005) Development of the nonlinear bond stress-slip model of fiber reinforced plastics sheet-concrete interfaces with a simple method, *Journal of Composites for Constructions*, Vol. 9, No. 1, pp. 52-62.