

콘크리트와 탄소섬유판 계면의 본드-슬립모델 산정

Assessment of Bond-Slip Interface Model with Concrete and CFRP Plates

양 동 석* 고 병 순** 박 선 규*** 유 영 찬****
Yang, Dong suk Koh, Byung Soon Park, Sun Kyu You, Young Chan

ABSTRACT

External bonding of steel plates has been used to strengthen deficient reinforced-concrete structures since the 1960s. In recent years, fiber-reinforced polymer(FRP) plates have been increasingly used to replace steel plates due to their superior properties

This paper is concerned with anchorage failure due to crack propagation parallel to the bonded plated near or along the adhesive/concrete interface, starting from the critically stressed position toward the anchored end of the plates. Factor of bond-slip interface model is average bond stress, effective length, slip volume and fracture energy.

The aim of the present paper is to provide a comprehensive assessment of bond-slip interface model with concrete and CFRP plates.

1. 서론

1990년대 이전에 강판으로 보강된 구조물이 부식 및 자중의 증가 등의 영향으로 사용이 감소되고, 이에 비해 고가지만 재료의 성능이 우수한 탄소섬유에 대한 보강공법에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다. 탄소섬유나 강판으로 보강된 구조물의 경우에는 콘크리트와 보강재료사이의 계면부착파괴로 인한 파괴형태를 지배하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 계면에서의 전단에 의한 콘크리트와 탄소섬유판사이의 인장전단 부착거동을 파악하기 위하여 수행된 양면직접전단 부착실험은 콘크리트 강도 (21MPa, 28MPa), 탄소섬유판의 부착길이(10cm, 15cm, 20cm, 25cm) 등을 실험변수로 채택하여 총 8개의 직접전단 부착시험체를 제작하였다. 각 시험체에 대한 콘크리트와 탄소섬유판 계면의 평균전단응력과 콘크리트의 강도에 따른 유효부착길이를 선형회귀분석을 이용하여 계산하였으며, 강판이나 탄소섬유의 주 파괴형태인 부착파괴를 지배하는 본드-슬립의 계면모델을 산정하였다.

* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정
** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정
*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수
**** 한국건설기술 연구원 건축연구부 수석연구원

2. 직접전단부착실험

직접전단 부착실험에서 사용된 시험체의 실험변수로 탄소섬유판의 부착길이(10cm, 15cm, 20cm, 25cm) 및 콘크리트 강도(21MPa, 28MPa) 등을 선택하였으며 총 8개 시험체를 제작하였다. 시험체 제원을 표 1에 정리하여 나타내었다. 여기서, 사용된 에폭시의 두께는 약 3mm이며, 탄소섬유판의 부착 폭은 5cm로 일정하게 실험을 수행하였다. 시험체 제작시에 부착에 대한 변형률과 변위를 측정하지 않는 다른 쪽의 시험체에는 탄소섬유쉬트로 보강하여 파괴되지 않도록 시험체를 제작하였다. 본 실험에 사용한 재료 물성은 표 2와 같다.

표 1 직접전단 부착시험체 제원

Specimens	Epoxy Thickness (mm)	Bond Width (cm)	Concrete Strength (MPa)	Bond Length (cm)	Remarks
D21-10	3.0	5.0	21	10	
D21-15				15	
D21-20				20	
D21-25				25	
D28-10			28	10	
D28-15				15	
D28-20				20	
D28-25				25	

표 2 직접전단 부착실험에 사용된 재료의 물성

	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)	Remarks
CFRP Plate	2,300	1.73×10^5	Width 5cm, Thickness 0.13cm
Epoxy	30이상	1,500이상 3,500이하	bond strength 10MPa이상

탄소섬유판 내에서 발생하는 변형률 추이를 측정하기 위하여 그림 1과 같이 부착길이별로 탄소섬유판에 변형률게이지를 -1, 1, 3, 6, 9, 14, 19, 24cm 위치에 부착하였다. 또한, 하중재하시에 시험체 양쪽에 철근 봉을 삽입하였으며 철근봉 주위에 와이어 걸이용 철근도막을 두 개씩 용접하고 와이어를 걸어서 인장시의 편심재하를 최소화시켰다. 또한, 재하시의 슬립량을 측정하기 위하여 변위계(LVDT)를 시험체의 양쪽 측면에 1개씩 부착하여 그 평균값을 측정할 수 있도록 하였다.

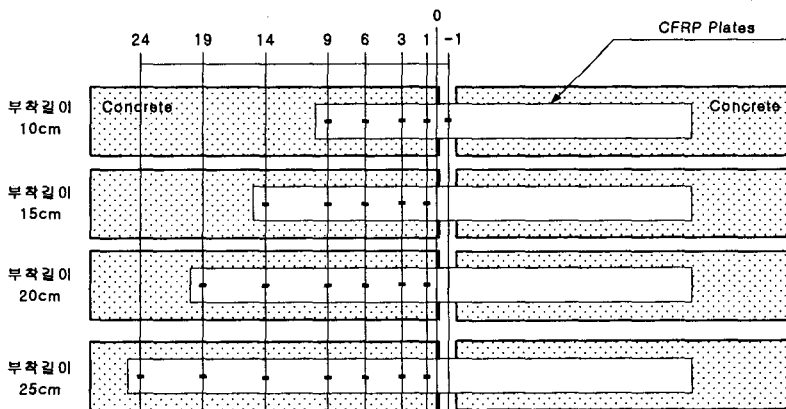


그림 1 변형률게이지 측정위치

3. 부착실험결과분석

부착길이가 10cm, 15cm, 20cm, 25cm 등 총 8개의 시험체에 대하여 실험결과를 표 3에 나타내었다. 실험결과를 토대로 부착길이가 증가함에 따라 최대하중은 증가하지만, 어느 정도 이상의 정착길이에서는 최대하중이 증가하지 않는 유효부착길이를 콘크리트 강도에 따라 그림 2~3에 선형회귀분석을 이용하여 산정하면 약 18.3~19.5cm로 나타났다.

표 3 직접전단 부착실험결과분석

Specimens	Bond Length (cm)	Cracking Load (kN)	Ultimate Load (kN)	Effective Bond Length (cm)	Bond stress (MPa)
D21-10	10	12.5	12.5	10.0	2.50
D21-15	15	15.5	15.5	15.0	2.07
D21-20	20	18.5	18.5	18.3	2.02
D21-25	25	19.0	22.5	18.3	2.08
D28-10	10	15.0	15.0	10.0	3.00
D28-15	15	18.5	18.5	15.0	2.47
D28-20	20	19.5	19.5	19.5	2.00
D28-25	25	20.0	21.5	19.5	2.05

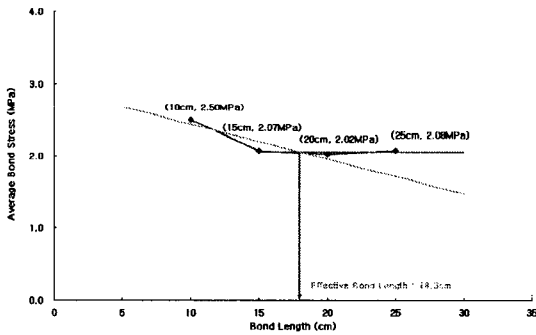


그림 2 D21 series 시험체의 유효부착길이 산정

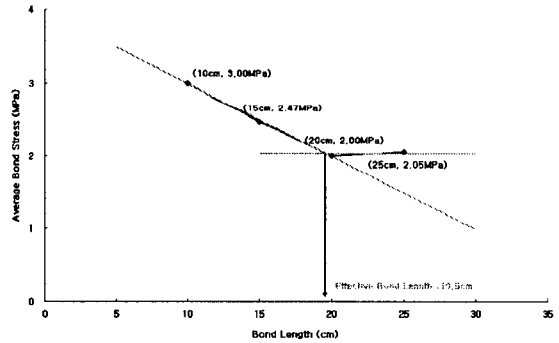


그림 3 D28 series 시험체의 유효부착길이 산정

그림 4~5와 같이 D21-20, D28-25 시험체의 하중에 따른 탄소섬유판의 변형률을 나타내었다. 하중의 초기 하중단계에서는 하중가력점에서 응력이 집중되며 일정 길이 내에서의 변형률만이 증가하지만, 하중이 증가할수록 탄소섬유판 내부로 하중이 전달되어 시험체의 파괴되기전에는 변형률이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

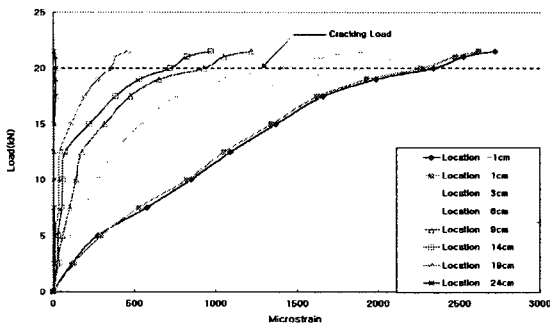


그림 4 D21-20 시험체의 하중-변형률 관계

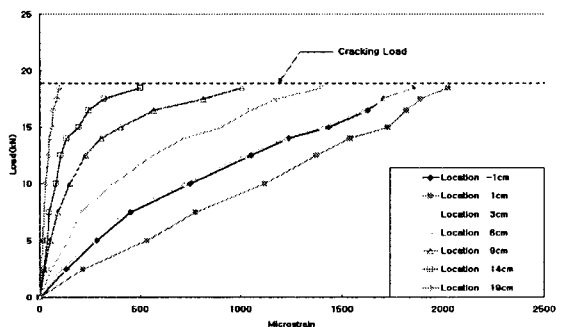


그림 5 D28-25 시험체의 하중-변형률 관계

4. 본드-슬립모델 산정

직접전단부착실험을 통하여 부착파괴를 지배하는 콘크리트와 보강재료인 탄소섬유판 계면의 본드-슬립 모델을 산정하였다. 구조물에서는 대부분이 유효부착길이보다 부착길이가 크기 때문에 유효부착길이 이상인 D21-20과 D28-20인 시험체를 대상으로 수행하였다.

본드-슬립모델에서 중요한 것은 부착응력과 슬립량으로, 부착응력은 표 3에 나타냈으며 슬립량은 콘크리트의 변형량과 탄소섬유판의 각 구간별 변형량을 더한 값의 차이를 슬립량으로 산정하였다. 각 시험체에 나타난 본드-슬립 모델은 다음과 같다.

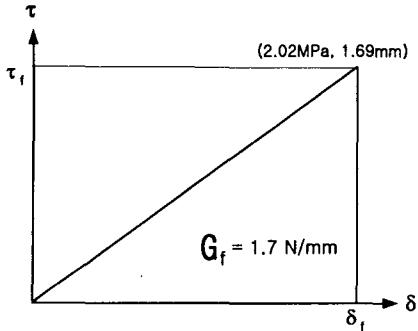


그림 6 D21-20 시험체의 본드-슬립모델 산정

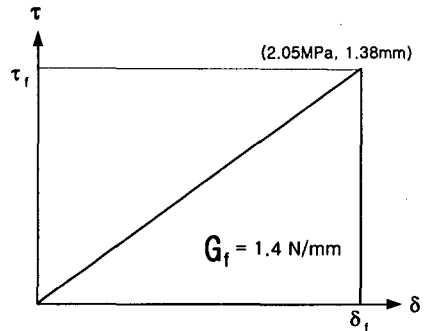


그림 7 D28-20 시험체의 본드-슬립모델 산정

5. 결론

콘크리트와 보강재인 탄소섬유판 계면의 직접전단실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 하중의 초기 하중단계에서는 하중가력점에서 응력이 집중되며 일정 길이 내에서의 변형률만이 증가하지만, 하중이 증가할수록 탄소섬유판 내부로 하중이 전달되어 시험체의 파괴되기전에는 변형률이 급격히 증가하였다.
- 2) 유효부착길이를 콘크리트 강도에 따라 선형회귀분석을 이용하여 산정하면 약 18.3~19.5cm이 되며, 평균부착응력은 약 2.0MPa로 측정되었다.
- 3) 콘크리트와 탄소섬유판 계면의 본드-슬립 모델은 산정하여 최종 슬립량은 약 1.3~1.7mm이고, 파괴에너지(G_f)는 약 1.4~1.7로 나타났다.

참고문헌

1. 심중성, 배인환 (1997), "강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트에 대한 해석적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제 9권 제 6호, pp. 129-137.
2. Chen, J. F., and Teng, J. G.(1998), "Anchorage strength models for FRP and Steel plates bonded to concrete", ACI Structural Journal, Vol. 127, No. 7, pp. 784-791.
3. Ehsani, M.R. and Saadatmanesh, H., (1990-a), "Fiber Composite Plate for Strengthening Bridge Beams", International Journal of Composite Structures Volume 15, Number 4, Elsevier Science Publishers, England, 1990, pp.343~355