

FRP로 보강된 콘크리트 부재의 유효부착길이 평가방법 제안

Develop Evaluation Method of Effective Bond Length Between Concrete and Fiber Reinforcement Polymer

이 원 호* 우 현 수** 최 기 선*** 강 대 언**** 양 원 직**** 유 영 찬*****

Yi, Waon Ho Woo, Hyun Su Choi, Ki Sun Kang, Dae Eon Yang, Won Jik You, Young Chan

ABSTRACT

Recently new materials, such as fiber reinforced polymer(FRP) and other composite materials are being applied in reinforcing plate or plate or prestressing cables of concrete structures. Although these new materials themselves show the excellent durability and high strength, the bond behaviour between concrete surface and FRP is not well recognized. Therefore, this paper propose a evaluation method for effective bond length between fiber reinforced polymer(FRP) and concrete. To develop the evaluation method, this paper presents a review of current evaluation methods for effective bond length. These methods are compared by single face test, expose merits and demerits. And based on them, new evaluation method was developed. Finally, the new method was compared with existing methods to verify a adequateness for evaluation of effective bond length.

1. 서론

1990년대 중반 이후 탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 부재의 보강효과에 대한 실험연구는 국내와 일본에서 활발히 진행되었으나, 체계적 실험 방법이나 평가방법이 정해지지 않아 실험 결과의 적용이 어려운 실정이다. 특히, FRP 외부부착공법의 경우 기본적인 FRP와 콘크리트의 부착성능이 중요한 변수로 발표되고 있으나, 기존 연구들에서는 기본적인 부착 메커니즘만 발표되고 있을 각 연구자 별로 서로 다른 평가방법을 사용하여 연구 결과에 객관성이 결여되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구자들의 유효부착길이 평가방법들을 비교분석 하고, 각 평가방법별 장단점을 분석하여 객관적 평가가 가능한 평가방법을 제안하였다. 또한 부착성능 실험을 실시하여 제안된 평가방법의 적절성을 검토하였다.

2. 기존 유효부착길이 평가방법 고찰

유효부착길이를 평가하는 방법으로는 크게 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법, 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가방법, 응력분포에 의한 유효부착길이 평가방법 3가지가 있다. 각각의 평가방법에 대하여 다음과 같이 설명한다.

*정회원, 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

**정회원, 광운대학교 대학원 석사과정

***정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 연구원, 공학석사

****정회원, 광운대학교 에센스 구조연구소 연구교수, 공학박사

*****정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사

2.1 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법^{1),2)}

단순인장상태에서 콘크리트와 FRP 보강재와의 부착강도에 대한 국내·외에서 수행된 기존의 연구 결과에 의하면, 부착길이가 증가함에 따라 부착하중도 증가한다. 그러나 부착길이가 일정길이 이상이 되면 부착하중이 증가하지 않는 것으로 보고되고 있다. 이때의 부착길이를 유효부착길이라고 정의할 수 있다. CSA Annex P¹⁾에서는 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법을 그림 1과 같이 제안하였으며, 부착하중이 증가하는 영역과 부착길이가 증가하여도 부착하중이 일정한 값에 수렴하는 영역을 2개의 직선으로 회귀분석하여 그 교차점까지의 길이로 평가한다.

2.2 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가방법^{3), 4)}

Maeda 등⁴⁾은 2면 인장전단 실험을 수행하였으며, 한 개의 실험체에서 하중단계별 변형률 분포는 하중 초기 단계에서 가력단 쪽의 보강재의 변형률이 일정한 기울기를 가지고 증가하다가 보강재와 콘크리트 실험체의 부착면에서 균열이 발생하기 시작하면 변형률의 최대값은 변하지 않고 일정한 기울기를 유지하며 가력단 쪽에서 끝단 쪽으로 이동해 간다고 보고하고 있다. 변형률 분포에 의한 유효부착길이 산정 방법은 그림 2에 나타낸 바와 같이, 일정한 기울기가 존재하는 구간을 유효부착길이라고 평가하는 방법이다.

2.3 응력분포에 의한 유효부착길이 평가방법⁵⁾

Nakaba 등⁵⁾은 단순 인장전단 실험을 통하여 보강재의 응력을 산정하였고, 보강재의 응력분포를 바탕으로 유효부착길이 평가방법을 제안하였다. Nakaba에 의하여 제안된 응력분포에 의한 유효부착길이 산정 방법은 그림 3과 같이 보강재의 변형률에서 보강재의 응력을 계산한 후 최고하중 단계의 응력분포 그래프를 그렸을 때 응력이 발생하는 길이 중 최고점의 10%까지를 유효부착길이라고 평가하는 방법이다.

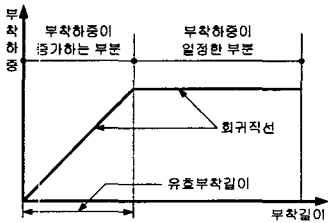


그림 1 부착길이별 부착하중

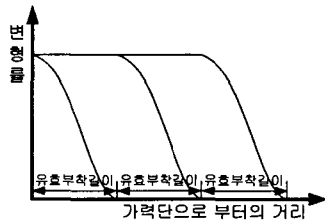


그림 2 변형률 분포

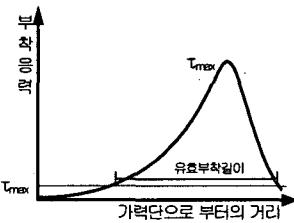


그림 3 응력분포

3. 실험

3.1 시험체 계획

평가방법별 유효부착길이의 평가결과를 비교하기 위하여 부착길이를 변수로 하였으며, 1면전단 실험을 수행하였다. 1면전단 시험체는 참고문헌 5)를 참고로 하여 제작하였으며, 시험체 형상은 그림 4와 같다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계강도 30MPa로 하였고, CFRP Plate는 폭 50mm로 동일한 제품을 사용하여 제작하였다. 시험체는 부착길이를 50, 100, 150, 200, 250mm 5개의 변수로 각각 2개씩 총 10개의 시험체를 제작하였으며, 시험체의 일람은 표 1과 같다.

3.2 실험 방법

가력장치는 그림 5에 나타낸 바와 같이 UTM을 이용하였고, CFRP Plate에 순수 인장력이 작용되도록 상부고정 플레이트와 지지볼트를 사용하여 시험체를 고정하였다. 상부에 설치된 가력장치는 볼

표1 시험체 일람표

구분	50mm	100mm	150mm	200mm	250mm
시험체명	1CP50	1CP100	1CP150	1CP200	1CP250

1 CP 250
 ↳ 부착길이
 ↳ CFRP Plate
 ↳ 실험 방법

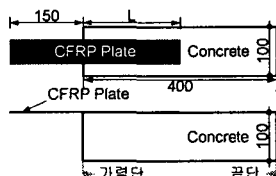


그림 4 시험체 형상

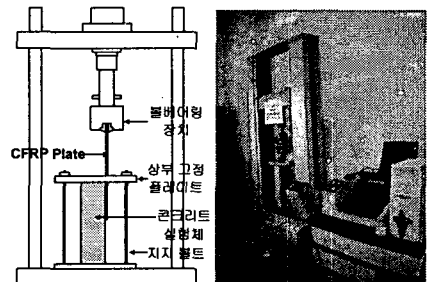


그림 5 1면전단 시험체 설치도

베어링 장치로 회전이 가능하며 CFRP Plate에 순수 인장력이 도입되도록 설치되어 있다. 콘크리트와 CFRP Plate의 전단 부착강도 실험을 위한 하중가력방법은 0.5mm/min 속도의 변위제어로 가력하였다. 또한 변형률을 측정하기 위해 스트레인 게이지를 CFRP Plate에 20mm간격으로 부착하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 부착하중에 의한 유효부착길이 평가

부착하중에 의한 유효부착길이를 그림 6에 나타내었다. 부착길이 50mm에서부터 100mm까지는 선형적으로 증가하는 분포를 나타내며 100mm부터 250mm까지는 하중이 증가하지 않는 경향을 나타내었다. 2.1.절에서 서술한 방법에 의해 두 개의 다른 경향을 가지는 회귀직선을 그어 그 교점까지의 거리로 유효부착길이를 산정한 결과 105mm로 산정되었다.

4.2 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가

부착길이가 가장 긴 1CP250시험체의 결과에 대해 그림 7에 나타내었다. 그림에서 변형률의 분포는 부착길이에 관계없이 CFRP Plate가 부착된 중앙부로부터 선형적으로 감소하는 경향을 나타내며, 단부로 갈수록 변형률이 0으로 수렴한다. 변형률이 일정한 기울기로 감소하는 부분과 0으로 수렴하는 부분의 회귀직선을 그어 유효부착길이를 산정한 결과 105mm로 산정되었다.

4.3 응력분포에 의한 유효부착길이 평가

부착길이가 가장 긴 1CP250에 대해 응력분포에 의한 유효부착길이를 평가하여 그림 8에 나타내었다. 최대 부착하중의 10%가 되는 구간을 유효부착길리로 산정한 결과 135mm로 산정되어, 변형률 분포나 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법과는 차이가 있었다.

4.4 기존 유효부착길이 평가방법의 문제점 고찰

이상과 같이 기존의 평가방법별로 유효부착길이를 평가하였다. 그 결과 부착하중에 의한 유효부착길이 분석방법은 가장 정확한 유효부착길이를 산정할 수 있을 것으로 판단되지만, 변형률 분포나 응력 분포에 의한 방법보다 실험체 수가 많이 필요하므로 시간적, 경제적으로 불리하다고 할 수 있다. 또한 응력분포에 의한 분석방법은 실험체의 특성상 응력 값의 변동(그림 8의 O부분)이 심한 편이었고 그에 따라 몇몇 시험체에서는 경향조차도 파악할 수 없었다. 한편 변형률 분포에 의한 평가방법은 앞에 서술한 두 가지 방법 보다 유효한 평가방법으로 사료되나, 유효부착길이를 분석하는 과정에서 주관적인 판단(그림 7의 ①, ② 선택 등)이 많이 들어가서 객관적 평가가 이루어졌다고 말하기 힘들었다. 따라서 후술하는 5장에서 객관적으로 유효부착길이를 평가할 수 있는 평가방법을 제안하였다.

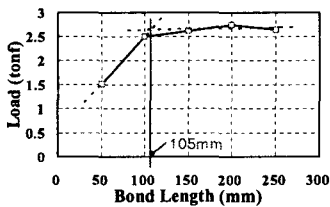


그림 6 부착하중에 의한 유효부착길이 평가

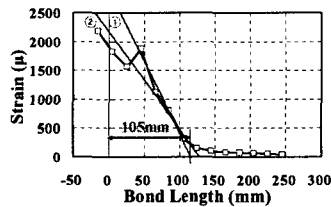


그림 7 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가

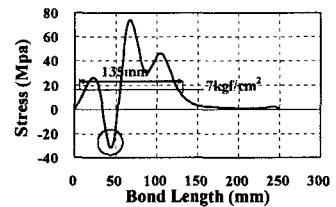


그림 8 응력분포에 의한 유효부착길이 평가

5. 유효부착길이 평가방법 제안 및 검토

5.1 유효부착길이 평가방법 제안

4장에서 기존 유효부착길이 평가방법에 대해서 비교분석하여 그 문제점에 대해서 고찰하였다. 따라서 본 장에서는 객관성 있는 유효부착길이 평가방법을 제안하여 이하 설명한다. 그림 9에 제안한 평가방법을 거쳐서 객관성 있는 유효부착길이를 평가 할 수 있다고 사료된다. 그림과 같이 먼저 ① 초기균열하중 단계, 균열진행단계, 파괴 직전 단계의 3단계 변형률 분포를 선택한다. 균열진행단계의 변형률 분포는 초기균열하중 단계와 파괴 직전 단계의 중앙에 있는 변형률 분포를 선택한다. 선택된 3개의 변형률 분포에서 최대 변형률을 구해 그 3점의 평균을 변형률의 최대값으로 설정한다. ② 설정된 변형률의 10%이하와 90%이상의 데이터를 제외하여 유효한 변형률 구간으로 한다. 유효한 변형률 구간 안에서 변형률의 추세선(···)을 그려 일정한 기울기를 갖는 직선을 구한다. ③ 추세선이 최대변형률과 x축과 만나는 점의 거리를 산정한다(90mm, 115mm, 85mm).

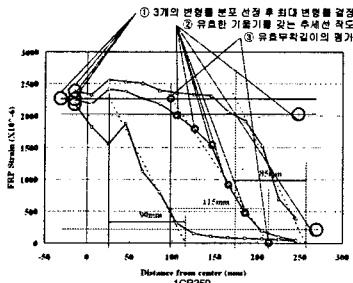


그림 9 변형률 분포의 객관화

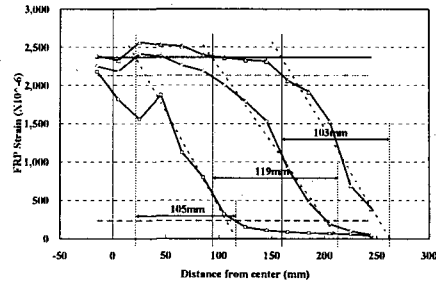


그림 10 제안된 유효부착길이 평가방법의 적용

5.2 제안된 유효부착길이 평가방법의 검토

부착길이 150, 200, 250mm의 시험체에 대해 제안된 평가방법과 전술한 3가지 평가방법으로 유효부착길이를 산정하여 표2에 나타내었다. 또한 250mm의 시험체에 대해 제안된 평가방법으로 검토한 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에 나타난 것과 같이 각 하중 단계별 추세선의 기울기가 비슷하였고 그에 따라 유효부착길이도 비슷한 값을 보였다. 또한 표2에 나타난 것과 같이 제안된 평가방법에 의하여 유효부착길이는 113mm로 산정되어 부착하중에 의한 방법과 변형률 분포에서 의한 유효부착길이는 거의 비슷한 값을 보였으나 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가방법은 전술한 바와 같이 주관적인 판단이 많이 들어가 있어 객관성면에 있어 제안된 평가방법이 더욱 타당하다고 사료된다.

표 2 개발된 유효부착길이 평가방법 적용 결과

부착길이	개발된 평가방법				부착하중에 의한 방법	변형률 분포에 의한 방법	응력분포에 의한 방법
	초기균열단계	균열진행단계	파괴직전단계	평균			
150	83	*	93	-	105	110	105
200	130	126	97	118		120	140
250	105	119	103	109		110	135
평균	-	-	-	113		113	127

* 균열과 동시에 파괴하여 변형률을 측정할 수 없었다.

6. 결론

이상의 실험 결과를 분석하여 얻은 결론을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법은 가장 정확한 결과를 보일 것으로 판단되지만, 시험체 수가 다른 방법에 비하여 많이 필요하므로 시간적, 경제적으로 비합리적이라고 사료된다.
- 2) 변형률 분포에 의한 유효부착길이 평가방법은 비교적 근사한 결과를 보였지만, 평가 과정 중 주관적 판단이 많이 들어가므로 객관적인 결과를 얻기가 힘들 것으로 판단된다.
- 3) 응력분포에 의한 유효부착길이 평가방법은 전체적으로 콘크리트의 복합재료 특성에 의해 변형률 측정 시 오차가 포함되어 나오는 것으로 판단되며, 이에 따라 유효부착길이의 정확한 평가가 어려울 것으로 판단된다.
- 4) 제안된 평가방법에 의하여 측정된 유효부착길이는 부착하중에 의한 유효부착길이 평가방법에서 구한 유효부착길이와 근사한 결과를 얻어 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. CSA Annex P(Informative) "Test Methods for Bond Strength of FRP Sheet Bonded to Concrete", P.140~149
2. 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서(1999), "건축구조물 보수·보강공법의 성능평가에 관한 연구", 건설교통부, 한국건설기술연구원, 134~158.
3. (JSCE-E 543-2000), "Test method for bond properties of continuous fiber sheets to concrete"
4. Toshiya MAEDA at all (1997). A STUDY ON BOND MECHANISM OF CARBON FIBER SHEET. Proceedings of the Third International Symposium. JCI. Volume 1. 279~286
5. Kasumassa Nakaba at all (2001), "Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete", ACI Structural Journal, V.98, No. 3, 359~367