

# FRP 복합체의 콘크리트에 대한 접착강도 시험방법 변수 연구

## Parametric Study on Test Method for Pull-off Strength of FRP Composite Material used in Strengthening RC Members

최기선\*      유영찬\*\*      이한승\*\*\*      김금환\*\*\*\*  
Choi, Ki Sun    You, Young Chan    Lee, Han-Seung    Kim, Keung Hwan

### ABSTRACT

Pull-off test is widely used to evaluate bond performance between concrete and FRP composite. However, reliability of experiment result declines due to many difference between test methods of each national standards. This study analyzed problems of various existing test methods for pull-off test and suggested standardized test method. In addition, since tensile strength of concrete is smaller than bond strength of epoxy resin, maximum bond strength of epoxy resin shall be limited within tensile strength of concrete. Alternative testing method, therefore, which decrease FRP adhesion areas than concrete adhesion areas is suggested to widen test range of bond strength in pull-off test. In the experimental results, bond performance can be estimated up to two times of tensile strength of concrete by reducing FRP adhesion areas by 1/3.

### 1. 서론

구조보강용으로 사용되는 FRP 복합체는 강화섬유 및 착색된 수지에 의해 불투명하므로 결합요인에 대한 육안검사가 어렵기 때문에 초음파, 적외선 카메라 등을 이용한 비파괴 시험법의 적용이 활발하게 연구·개발되고 있다. 그러나 이러한 시험법은 일정크기 이상의 공극에 대해서만 측정이 가능하며, 공극에 의한 접착성능의 저하를 정량적으로 측정할 수 없는 단점으로 인하여 현장에서는 직접인발에 의한 접착강도 시험, 소위 Pull-off 시험법이 폭넓게 사용되고 있다. 현재 각국의 시험규격에서는 직접인발에 의한 접착강도 시험법이 제시되어 있지만, 세부 시험방법 및 재원이 상이하여 시험결과가 다르게 나타날 수 있는 가능성이 있으므로 표준화된 시험법 및 평가방법이 요구되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 우선적으로 FRP 복합체의 콘크리트에 대한 부착성능을 평가하는데 있어 가장 일반화된 직접인발 접착시험에 대하여 기존 시험법의 문제점을 분석하고 표준화된 시험법 및 합리적인 평가방법을 제시하고자 한다.

한편, Pull-off 시험법에서는 통상적으로 접착체의 접착강도에 비하여 모재인 콘크리트의 인장강도가 작기 때문에 FRP 복합체의 최대 접착성능은 동일면적의 콘크리트 인장력까지 밖에 평가할 수 없

\* 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구원

\*\*\* 정회원, 한양대학교, 건축학부 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구위원, 공학박사

는 한계성이 있었다. 이러한 측정상의 한계를 극복하기 위하여 본 연구에서는 콘크리트 인장강도 영역 이외의 범위에서도 접착강도를 평가하기 위하여 콘크리트 접착면적과 콘크리트 인장면적을 구분하여 시험하는 방식을 부차적으로 제안하고 이를 실험을 통하여 검증하였다.

## 2. 연구내용 및 방법

FRP 복합체에 대한 콘크리트 직접인발 접착강도 시험법은 각국의 시험규격에서 모두 규정되어 있으나, 각 규격마다 세부 규정에 있어서는 일부 상이한 점이 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이 중에서 직접인발 접착강도에 영향을 미칠 것으로 판단되는 dolly의 형상 및 크기 등의 항목에 대해서 실험적으로 검증하여 통합된 시험방법을 제시하도록 하였다.

아울러, 기존의 직접인발 접착강도 시험방법은 접착제의 접착강도에 비하여 모재인 콘크리트의 인장강도가 작기 때문에 콘크리트의 인장강도에 의해 최대 접착강도가 제한되는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 이러한 측정상의 한계를 개선하기 위하여 그림 1에서 보는 바와 같이 dolly와 FRP 복합체의 면적은 동일하게 유지하고 FRP 복합체와 콘크리트의 접착면적을 감소시킴으로서 평가할 수 있는 접착응력의 범위를 확대하는 방법을 적용하였다.

## 3. 실험

본 연구에서는 각 규격에서 제시하는 dolly의 크기 및 형상의 영향에 따른 접착강도의 변화를 검토하기 위하여 그림 2에 나타난 바와 같은 크기의 각형 dolly를 각각 제작하여 그 영향을 검토하기 위한 실험을 실시하였다. dolly의 크기 영향을 분석하기 위한 시험시에는 dolly의 형상에 따른 영향을 비교하기 위하여 40mm 각형 dolly와 동일한 단면적을 갖도록 한 변의 길이가 44mm인 각형 dolly를 추가하였다. 또한 콘크리트 인장강도 이상의 접착성능을 평가하기 위한 실험에서는 FRP 복합체와 dolly의 접착면적을 전체 dolly 면적의 1/2과 1/3이 되도록 나머지 면적을 테이프로 부착하여 콘크리트와 FRP 사이의 직접적인 부착을 제거하였다. 아울러 부착형태에 따른 영향을 검토하기 위하여 그림 2와 같이 각각의 면적비에 대하여 3가지 형태의 접착방법을 제시하였으며, 최대 접착강도를 발현하는 방식을 채택하도록 하였다. 그림에서 접착면적의 형상은 부착되는 면의 형상을 기준으로 하여 명명하였다. 각각의 변수로 제작된 시험체에 대해서 타일인발시험기를 사용하여 FRP 복합체의 콘크리트 인발강도를 측정하였다.

표 1 콘크리트 직접인발 접착강도 관련 시험 표준

| 항목    | 내용 | KS,ISO,JIS | EN,ASTM            | JSCE  | CSA   |
|-------|----|------------|--------------------|-------|-------|
| dolly | 형상 | 원형,각형      | 원형                 | 각형    | 각형    |
|       | 직경 | 30 이상      | 50                 | -     | -     |
|       | 1변 | 30 이상      | -                  | 40×40 | 36×36 |
|       | 두께 | -          | 20(강제)<br>30(알루미늄) | -     | -     |

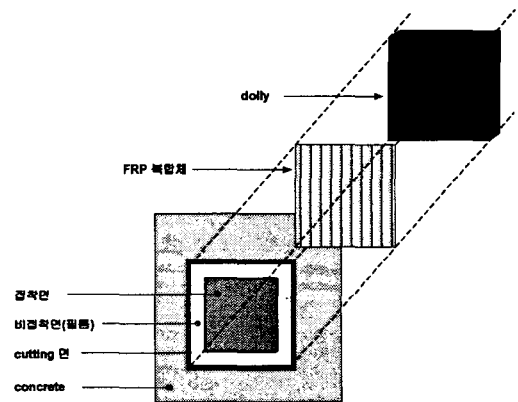
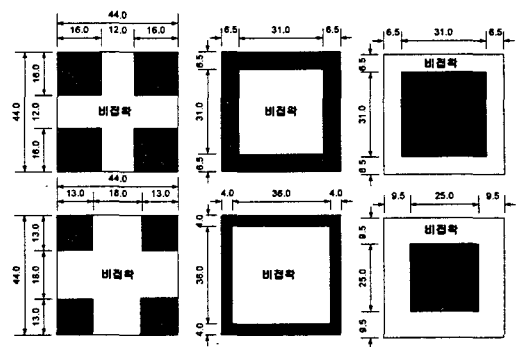


그림 1 접착 면적의 구성도



(a) 모서리형 (b) 외부형 (c) 내부형  
그림 2 접착 면적비에 따른 형상

#### 4. 실험결과

##### 4.1 Dolly 크기에 따른 접착강도 평가

dolly 크기에 따른 직접인발 접착강도 실험결과는 평균 접착강도와 실험의 편차에 따른 변동계수를 고려하여 나타내면 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 dolly 크기가 작을수록 평균접착강도가 증가되는 반면, 변동계수도 증가되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 원인은 dolly의 크기가 작으면 작을수록 치구내의 인장응력의 분포가 균등해지는 반면, 콘크리트 표면상태의 국부적인 영향에 따라 접착강도가 큰 영향을 받기 때문에 변동계수가 커지는 것으로 판단된다. 이와는 반대로 dolly의 크기가 증가되면 접착강도에 대한 콘크리트 표면상태의 국부적인 영향은 줄일 수 있으나, 치구내의 인장응력의 분포가 불균등해진다. 따라서 dolly의 크기에 따른 접착강도와 변동계수의 영향을 종합적으로 분석해 보면, 44mm의 각형 dolly가 최대의 평균접착강도와 최저의 변동계수를 기록함으로써 가장 합리적인 크기 및 형태인 것으로 판단된다. 한편, 원형 dolly의 경우 인발하중이 방사형으로 접착면에 균등하게 분포되므로, 시험의 신뢰성 측면에서 각형 dolly에 비하여 유리할 것으로 예상되었지만, 콘크리트 표면 커팅상의 어려움이 있을 뿐만 아니라 동일한 단면적을 갖는 한 변의 길이 44mm인 각형 dolly에 비하여 접착강도가 저하되어 불리한 것으로 나타났다.

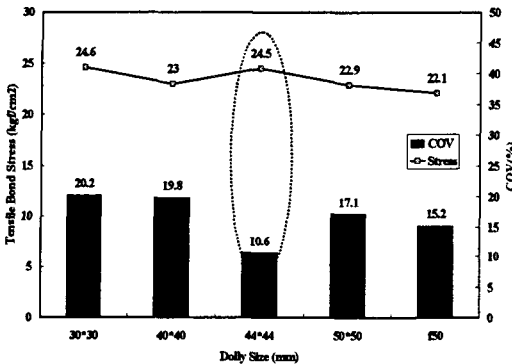


그림 3 dolly 크기에 따른 탄소섬유шит 접착응력

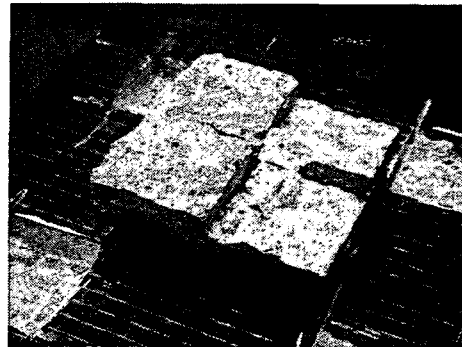


그림 4 dolly 크기 변수 시험 파괴양상(44×44)

##### 4.2 Dolly의 접착면적비에 따른 접착강도 평가

FRP 복합체와 dolly의 접착면적의 감소에 따른 직접인발 접착강도 시험결과를 나타내면 그림 5와 같다. 콘크리트와 FRP 복합체 사이의 부착면적을 줄인 시험편은 콘크리트의 전단면 인장파괴가 발생하였을 경우 인장강도의 시험범위가 기존 시험체에 비하여 2~3배 범위까지 가능할 것으로 기대하였다. 그러나 실험결과에 의하면 dolly 하부의 콘크리트가 그림 6과 같이 일부 콘크리트만을 물고 떨어지기 때문에 전면을 부착한 실험체에 비하여 접착면적 1/2 실험체는 1.46~1.74배, 접착면적 1/3 실험체는 1.57~1.89배까지의 응력증가만 관측되었다. 그럼에도 불구하고 본 방법을 적용하면 콘크리트 인장응력의 약 1.8배 정도까지 직접인발 접착강도를 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 접착부 형태에 따른 시험결과에 의하면 외곽형 및 외부형에 비하여 내부형 접착방식이 접착강도가 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 원인은 방사형으로 전달되는 응력분포에서 외곽형 및 외부형의 경우 최외곽의 커팅면을 인접하고 있으므로 응력 전달면이 내부형에 비하여 축소되었기 때문으로 판단된다. 이상의 실험결과로부터 응력 전달면이 가장 넓은 내부형이 접착성능을 가장 크게 평가할 수 있으며, 접착면적을 1/3로 감소시켰을 경우 콘크리트 인장강도의 약 2배까지 접착성능을 평가할 수 있

을 것으로 판단된다.

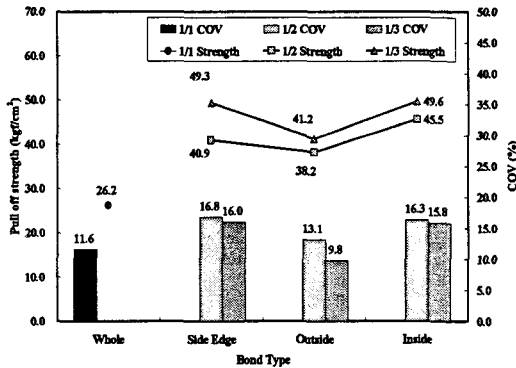


그림 5 부착 면적비에 따른 탄소섬유슈트 접착응력

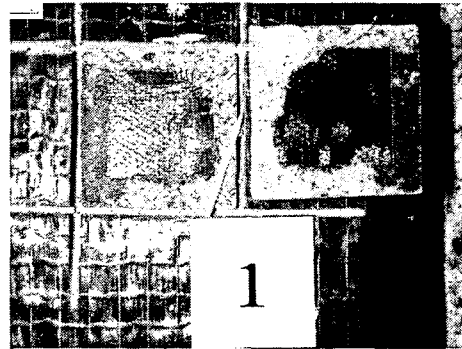


그림 6 부착 면적비에 따른 파괴양상(의부형)

## 5. 결론

FRP 복합체의 콘크리트에 대한 직접인발 접착시험의 문제점을 분석하여 표준화된 시험법 및 합리적인 평가방법을 제시하기 위한 일련의 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) dolly 크기 및 형상을 변수로 한 직접인발 접착강도 시험결과에 의하면, 한 변의 길이가 44mm인 각형 dolly를 사용하여 실험하였을 때 가장 높은 평균접착강도와 가장 작은 변동계수를 나타내는 것으로 분석되었다. 따라서, 직접인발 접착강도 시험을 위한 최적의 dolly 형상 및 크기는 한 변의 길이가 44mm인 각형 dolly인 것으로 판단된다.
- 2) 부착면적비가 감소할수록 평가할 수 있는 인장강도의 한계는 증가하지만, 방사형으로 전달되는 응력분포를 고려할 때 1/3 정도가 부착면적의 한계일 것으로 판단된다. 본 시험방법에 의하면 기존 시험방법에 비하여 콘크리트 인장강도의 약 2배까지 접착성능을 평가할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004 건설기술기반구축 사업 R&D/2004 기반구축 A13 “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. KS M ISO 4624 “도료와 바니시 — 부착 박리 시험”
2. ASTM D 4541-02 “Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers”
3. JSCE-E 541 “連續纖維シートとコンクリートとの引張試験方法(案)”
4. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2005. “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정연구” 한국건설기술연구원