

구조보강용 FRP 함침·접착수지의 압축·휨 특성치 시험방법 비교 연구

Comparative Study on Test Method of Compressive and Flexural Characteristics of Structural Adhesives for FRP Composites used in Strengthening RC Members

유 영 찬* 최 기 선** 김 금 환***
You, Young Chan Choi, Ki Sun Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

Pull-off test is generally used as a method of evaluating bond strength of FRP with concrete at the job site. However, pull-off test damages FRP composites and the maximum pull-off strength is limited up to tensile strength of concrete. Accordingly, it is required to set-up a test method that can simply evaluate bond performance of structural adhesive. This study suggested compression and bending test of epoxy resin as test methods that can indirectly evaluate performance of adhesive, as well as standardized test specification for different types of specifications from various countries. In this study, the section dimension of compression and bending test specimens is unified, and standard test specimen size is achieved by test results.

1. 서론

구조보강용 FRP 복합체의 함침·접착제로 사용되는 에폭시 수지의 압축·휨 특성치는 보강된 부재의 구조성능이나 접착성능에 직접적으로 영향을 미치는 요인은 아닌 것으로 파악되고 있으나, 그럼에도 불구하고 현장에서 FRP와 콘크리트와의 접착성능을 직접적으로 평가하는 방법이 상당히 제한적인 것이 현실이다. 즉, 현장에서는 Pull-off 시험방법에 의해 FRP 복합체의 콘크리트에 대한 접착성능을 평가하는 것이 일반적이거나, 본 시험방법은 FRP 복합체를 콘크리트로부터 분리시키는 파괴시험에 근간하므로 시험 후 보수·보강을 필요로 하며 또한 시험영역이 콘크리트의 인장강도에 제한되는 한계를 지니고 있다. 이에 따라 FRP 복합체에 의한 보강공사시, 사용된 수지의 강도특성을 간편하게 평가할 수 있는 시험법의 정립이 요구된다. 이러한 취지에서 본 연구에서는 함침·접착수지의 압축·휨 특성치를 재료의 강도특성을 파악하기 보다는 접착수지의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 시험항목으로 검토하고자 하였다. 또한 함침·접착수지의 휨 강도 및 휨 탄성계수 측정을 위한 실험을 통하여 함침·접착수지의 적정 시험편 규격을 제시하며, 휨 탄성계수의 비례한도 설정방법을 결정하였다.

* 정희원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사

** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구원

*** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구위원, 공학박사

2. 연구내용 및 방법

FRP 복합체에 사용되는 함침·접착수지의 압축 및 휨시험과 관련하여 국내·외의 규격 및 전문가 관에서 제시하고 있는 시험방법을 검토한 결과, 시험방법은 대체로 일치하지만 시험편의 치수 및 형상은 서로 상이한 항목으로 조사되었다^{1)~7)}. 즉, 시험편의 치수는 각국의 단위법에 주로 근거하고 있어 시험편의 기본치수가 다르게 나타나고 있는 것으로 파악되었다. 한편, FRP 복합체의 함침·접착수지는 FRP의 종류에 따라서 고점도 및 저점도의 액상수지가 사용되므로 제작과정에서의 기포, 공극에 의한 단면손실의 영향이 시험편의 크기에 따라 상이하게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 강재몰드를 제작하여 현장에서 배합된 수지를 샘플링하고 각각의 강도특성치를 기준강도와 비교함으로써 표준화된 시험편의 치수 및 방법의 정립하기 위한 실험을 실시하였다.

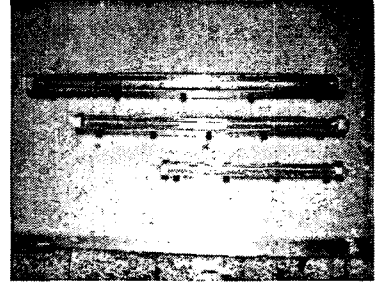


그림 1 함·압축 시험편 성형몰드

표 1 함침·접착수지의 압축강도 시험 관련 규격

치수	KS	EN	ISO	ASTM
형상	직육면체	직육면체	직방체	프리즘, dog bone
가로(mm)	12.7	40	4	12.7
세로(mm)	12.7	40	10	12.7
길이(mm)	25.4	40	10	25.4

표 2 함침·접착수지 휨 시험 관련 규격

치수	KS	EN	ISO	ASTM
형상	직육면체	직육면체	직방체	프리즘
두께(mm)	1~50(5종)	-	4	3.2
폭(mm)	≈2t	-	10	12.7
길이(mm)	≈20h	-	80	127

3. 실험

본 실험에서는 현장에서 사용된 수지의 강도특성을 간편하게 평가할 수 있도록 압축·휨 시험편을 동일한 단면을 갖도록 제작하였다. 압축강도 시험 및 휨강도 시험과정을 나타내면 각각 그림 2 및 그림 3과 같다. 시험편은 정사각형 단면을 갖는 접착수지의 폭·두께와 폭/길이 비를 변수로 압축 및 휨강도를 측정하였다. 단면크기는 각각 10, 15, 20mm로 동일한 성형몰드에서 제작하여 각각의 시험규격에 맞는 길이로 절단하여 시험하였다. 압축시험편은 폭과 높이비를 1:1의 정육면체 형태와 1:2의 직육면체 형태로 제작하였다.

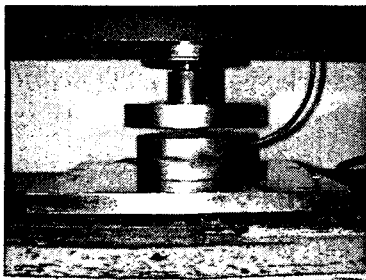


그림 2 함침·접착수지 압축강도 시험

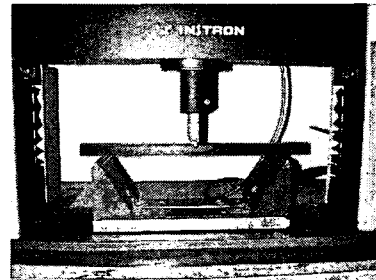


그림 3 함침·접착수지 휨 시험

4. 실험결과

4.1 파괴유형

압축시험편의 파괴양상을 살펴보면, 정육면체 형태의 시험편은 단면 크기에 관계없이 압괴에 의해 파괴되는 반면 폭/길이 비가 1:2인 실험체에서는 일부 실험체에서 전단파괴가 발생하였다. 시험편의 단면 크기와 길이를 변수로 한 휨 실험에서는 시험편의 크기와 접착수지의 종류에 따라 상이한 파괴양상이 나타났다. 탄소섬유쉬트 함침·접착수지는 단면 크기 10×10mm에서는 재료의 항복점이 명확하게 나타나지 않으며 상당한 처짐이 발생되었다. 이에 대하여 15×15mm와 20×20mm 단면의 시험편에서도 일부 절단된 실험체가 발생하였지만 주된 파괴양상은 상당한 처짐을 동반하는 거동을 보이다가, 최종파괴는 재료의 항복에 의해서 하중이 감소하는 형태로 나타났다. 반면, 고점도의 탄소섬유판 접착수지의 파괴양상은 단면크기에 관계없이 모든 실험체에서 중앙부가 절단되면서 파괴되었다.

4.2 휨·압축강도

단면크기를 통일하여 제작한 압축 및 휨강도 시험편의 크기 및 폭/길이 비를 변수로 강도에 미치는 영향을 고찰하였다. 그림 4 및 그림 5에서 보는 바와 같이 압축 및 휨 시험에서 공통적으로 시험편 크기가 감소할수록 강도편차를 나타내는 변동계수는 증가하며, 10×10mm 시험편은 변동계수가 10% 내외로 시험의 신뢰도가 상당히 저하되는 것으로 나타났다. 압축 및 휨 시험편의 길이 비에 관계없이 모두 20×20mm의 단면을 갖는 시험편에서 최대 강도와 낮은 변동계수를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 에폭시 수지의 배합과정에서 발생하는 기포 및 공극이 접착수지의 강도에 영향을 미치며 시험편이 클수록 상대적으로 공극의 영향이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

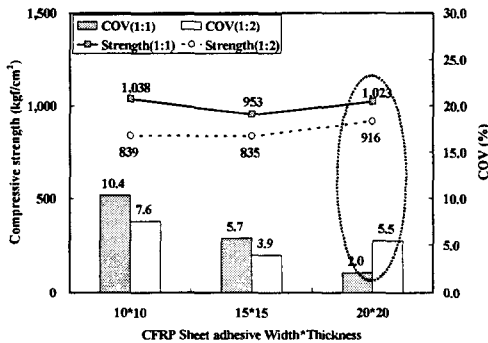


그림 4 탄소섬유쉬트 접착용 수지 압축강도

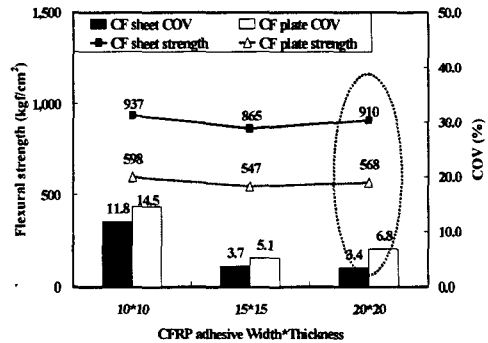


그림 5 함침·접착용 수지 휨강도

따라서 이상의 실험결과를 종합해 보면, 압축 및 휨 시험편의 크기가 20×20mm 일 때 강도 및 변동계수 측면에서 최적인 것으로 나타났으며, 압축강도 시험편의 폭/길이 비는 1:2의 시험편에서 일부 전단파괴가 발생하여 압축강도가 저하될 수 있으므로 1:1의 길이비가 적합할 것으로 판단된다. 특히 압축 및 휨 시험은 보강공법 적용 시 함침·접착수지의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 시험항목이므로 시험편 크기를 통합하여 표준화된 규격을 제시한다면 시험과정을 단순화하여 제작의 편의성을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 휨 탄성계수

재료의 비례한도를 나타내는 하중-처짐 곡선의 직선부 경사는 각 재료의 휨 시험결과로부터 FRP

복합체의 인장탄성률 산정법에서 제시하는 $0.2P_{max} \sim 0.6P_{max}$ 의 구간을 적용하여도 가능할 것으로 판단된다. 상기의 방법으로 산정된 휨 탄성계수를 분석한 결과, 접착수지의 휨 탄성계수는 고점도의 탄소섬유판용 접착수지는 약 $14,000\text{kgf/cm}^2$ 이며, 저점도의 탄소섬유쉬트용 에폭시 수지는 약 $2,500\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타났다. 반면, 접착수지의 종류에 관계없이 단면 크기에 따라서는 10%내외의 차이로 비교적 유사한 것으로 나타났다.

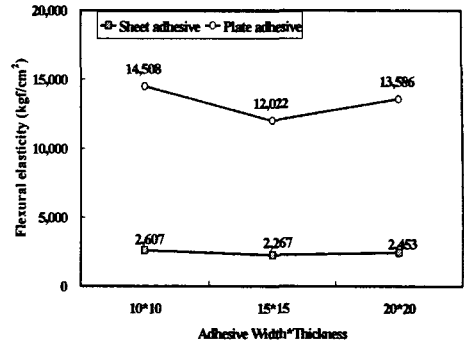


그림 6 함침·접착수지의 휨탄성계수

5. 결론

FRP 복합체를 이용한 보강공법에서 접착수지의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 압축 및 휨 특성치 시험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 함침·접착수지의 압축 및 휨강도 시험편의 크기는 $20 \times 20\text{mm}$ 일 때 강도 및 변동계수 측면에서 가장 타당하다고 판단되며, 휨 및 압축시험편의 시험편 크기를 통합하여 표준화된 규격을 제시할 수 있으므로 시험과정을 단순화하여 제작의 편의성을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 접착수지의 휨 탄성계수는 고점도의 탄소섬유판용 접착수지는 약 $14,000\text{kgf/cm}^2$ 이며, 저점도의 탄소섬유쉬트용 에폭시 수지는 약 $2,500\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타났다.
- 3) 재료의 비례한도를 나타내는 하중-처짐 곡선의 직선부 경사는 FRP 복합체의 인장탄성률 산정법에서 제시하는 $0.2P_{max} \sim 0.6P_{max}$ 의 구간을 적용하여도 가능할 것으로 판단된다.

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, 관계제위에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. KS M 3383 “유리섬유 강화 플라스틱의 압축 시험 방법”
2. KS M 3382 “유리섬유 강화 플라스틱의 휨시험 방법”
3. ISO 604 “Plastics-Determination of compressive properties”
4. ISO 1209-2,2004 “Rigid cellular plastics-Determination of flexural properties-Part 2: Determination of flexural strength and apparent flexural modulus of elasticity ”
5. EN 2561 “Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods-Determination of compressive strength of repair mortar”
6. ASTM D 695 “Standard test method for compressive properties of rigid plastics”
7. ASTM D 790-03 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials ”
8. 한국건설기술연구원, “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정연구,” 2005. 7