

구조보강용 FRP 함침·접착수지의 역학적 특성 분석을 위한 시험방법 비교 연구

Comparative Study on Test Methods for Mechanical Properties of Structural Adhesives Used in FRP Strengthening

유 영 찬*
You, Young Chan

최 기 선**
Choi, Ki Sun

김 금 환*
Kim, Keung Hwan

Abstract

Pull-off test is generally used to evaluate bond strength of FRP composite with concrete at job site. However, some damages on FRP composites can not be avoided during pull-off test and moreover test range of pull-off strength is limited by maximum tensile strength of concrete. Accordingly, it is required to set-up a test method that can evaluate mechanical properties of structural adhesive indirectly prior to pull-off test. In this study, the standard test methods for structural adhesive which can simply evaluate mechanical performance of adhesive were suggested through comparative experiments from each different standard in various countries. Particularly, gluing thickness of adhesive in tensile lap-shear tests, the section dimension of compression and bending test specimens become unified, and standard test specimen size is achieved by test results.

요 지

FRP와 콘크리트의 접착강도를 평가하기 위해 현장에서 일반적으로 사용되는 Pull-off 실험방법은 FRP 복합체의 손상을 초래하며 더욱이 FRP의 최대 pull-off 강도가 콘크리트의 인장강도에 의해 제한되는 단점을 지니고 있다. 이에 따라 구조보강용 접착제의 역학적 특성을 1차적으로 평가할 수 있는 간접적인 실험방법의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 여러나라에서 각기 제안되고 있는 실험규격에 대한 비교실험을 통하여 구조보강용 접착제의 역학적 특성을 개략적으로 예측할 수 있는 표준화된 실험방법 및 평가기준을 제안하고자 하였다. 본 연구결과를 바탕으로 인장전단접착강도 시험의 접착제 두께, 압축/휨강도 시험체의 제원 등이 통일되어 표준시험체 제원을 도출할 수 있었다.

Keywords : Compression, Flexural strength, Structural adhesive, Test method, Tensile lap-shear strength,

핵심 용어 : 압축강도, 휨강도, 구조용 접착제, 실험방법, 인장전단접착강도

* 정희원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 책임연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 연구원

E-mail : ycyou@kict.re.kr 031-910-0364

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2008년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

FRP에 의한 구조물 보강공법이 충분한 보강성능을 발휘하기 위해서는 연속섬유복합체와 콘크리트가 충분한 접착력으로 일체화되는 것이 요구되며, 이에 따라 함침·접착제의 접착력을 객관적으로 평가하기 위한 실험방법이 필요하게 된다. 이러한 목적으로 국내·외에서는 Pull-off 실험방법이 현장에서 FRP 복합체의 콘크리트에 대한 접착성능을 평가하는데 일반적으로 적용되고 있다. 그러나 본 실험방법은 FRP 복합체를 콘크리트로부터 분리시키는 파괴실험에 근간하므로 실험 후 보수·보강을 필요로 하며 또한 실험을 통하여 평가할 수 있는 FRP와 콘크리트와의 접착강도가 콘크리트의 최대 인장강도에 의해 제한되는 한계성을 지니고 있다. 이에 따라 FRP 복합체에 의한 보강공사 시, 사용된 수지의 강도특성을 간접적으로 평가할 수 있는 실험법의 정립이 요구된다.

수지의 접착강도 특성을 평가할 수 있는 대표적인 시험항목으로 인장전단접착강도를 들 수 있으며, 기타 압축강도, 휨강도 등의 평가를 통하여 접착제의 강도 특성을 평가할 수 있다. 그러나 각국에서 적용하는 시험규격은 상호 통일된 방법이나 기준을 제시하지 못하는 실정이다. 특히 대부분의 시험규격이 단순 접착제, 플라스틱 또는 도료의 특성분석을 위한 것을 응용하여 적용하고 있어, FRP 복합체의 함침·접착제로 사용되는 상온결합 2액형 수지의 물리·역학적 특성을 충분히 평가하기에는 부족한 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 접착제의 접착강도 특성을 파악할 수 있는 직접 인장전단접착강도 실험방법의 적용성을 평가하고, 이 외에도 경화된 수지의 압축·휨 특성치 실험을 접착수지의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 실험항목으로 검토하고자 하였다.

2. 인장전단 접착강도 실험

2.1 실험 계획

2.1.1 실험방법 고찰

함침·접착제의 접착력을 평가하기 위한 실험방법으

로 인장전단 접착강도(KS M 3734,⁽⁶⁾ ISO 4587,⁽¹²⁾ JIS K 6850,⁽⁸⁾ ASTM D 1002⁽¹³⁾) 실험방법이 제안되고 있다. 이들 실험방법은 공통적으로 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 두 개의 강재 판체에 접착제를 도포하고, 실험편의 주축과 겹침 이음부에 평행한 방향으로 인장력을 주어 겹침 이음부에 전단방향의 하중을 부여함으로써 접착력을 간접적으로 측정하는 방법을 기본으로 하고 있다. 본 실험법에서 사용하는 시험편은 제작의 편리성으로 인하여 제품의 품질관리를 포함한 접착제와 접착제품의 실험제작, 평가 및 비교 실험용으로 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 본 실험을 통하여 얻어진 함침·접착제의 접착강도 값은 강재 시험편과의 접촉으로부터 평가된 것으로 보강대상 구조물이 대부분 콘크리트인 점을 고려하면 실제 구조물에서의 접착강도와 상이할 것으로 예상되므로, 접착제의 설계허용 응력치로서 이용하지 않는 편이 좋다. 특히, 접착제의 도포 두께 및 방법에 따라 실험값에 편차가 발생할 가능성이 크므로 이를 정량적으로 평가하기 위한 방법의 고안이 필요하다고 판단된다.

2.1.2 실험체의 형상 및 치수

실험편의 형상 및 치수는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 KS 규격에 따라 전체 100mm 강재 시편 2개를 12.5mm로 겹쳐 제작하며, 길이 38mm의 강재 탭을 편심이 걸리지 않도록 양단에 교차로 접착하였다.

2.1.3 실험 변수

이론적으로 접착제의 강도는 시공되는 접착제의 두께와 무관하다고 볼 수 있으나, 접착제의 인장전단 접착강도에 대한 기존의 실험결과에 의하면 실험체 제작에 사용되는 접착제의 두께, 접착 및 양생상태에 따라 실험결과가 달리 나타나는 것으로 보고되고 있다.

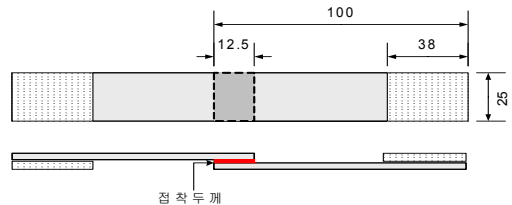


Fig. 1 인장전단접착강도 실험체 형상 및 치수(mm)

Table 1 에폭시 수지 인장전단접착강도 실험 변수

종류	길이 (mm)	폭 (mm)	접착 두께 (mm)
탄소섬유쉬트용 접착제	12.5	25	0.0, 0.3, 0.5, 0.9
탄소섬유판용 접착제	12.5	25	0.0, 0.3, 0.5, 0.9

Table 2 에폭시 수지의 물성

구분	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	인장전단부착 강도 (MPa)	비고
저점도 수지	64.7	32.0	11.0	탄소섬유 쉬트 함침용
고점도 수지	-	33.0	4.3	탄소섬유판 접착용

이에 따라 본 실험에서는 접착제의 두께를 변수로 인장전단 접착강도를 측정하였다. 시험을 위한 함침·접착수지는 현장에서의 함침공정을 위해 저점도 특성을 지니고 있는 탄소섬유쉬트용 접착제와 단순 접착만을 위해 고점도 특성을 지니고 있는 탄소섬유판 수지를 선정하였다. 실험변수를 정리하여 나타내면 Table 1과 같으며, 에폭시 수지의 물성치를 정리하여 나타내면 Table 2와 같다.

2.1.4 실험편 제작

인장전단접착강도 평가를 위한 실험체는 접착제의 두께를 일정하게 유지하기 위하여 Photo 1에서 보는 바와 같은 에폭시 수지가 도포/접착되는 부위에 와이어 스페이스(wire spacer)를 절단하여 배치하였다. 와이어 스페이스는 두께가 각각 0.3, 0.5, 0.9mm인 철선을 약 5mm 정도로 절단하여 간극제로 사용하기 위해 고안된 것으로, 접착제가 도포/접착되는 강판면의 경계에 최소 배치하여 접착제의 성능에 미치는 영향이 최소화되도록 하였다. 접착두께는 4종류로 0.0, 0.3, 0.5, 0.9mm를 유지하도록 하였으며, 탄소섬유쉬트용 접착제와 탄소섬유판용 접착제를 대상으로 각각의 접착두께에 대하여 실험을 수행하였다. 각 변수별 인장전단접착강도 실험체의 개수는 최소 10개로 선정하였으며, 이 중에서 와이어 스페이스를 적용한 시험편은 실험결과의 신뢰성을 제고하기 위해 각각 20개를 제작하였다.



Photo 1 와이어 스페이스 (0.3mm)



Photo 2 인장전단 접착강도 실험상황

2.1.5 가력 및 측정장치

실험기는 50 kN 용량의 인장 UTM을 사용하였으며, 가력속도는 1mm/min.의 속도로 가력하였다. 실험체를 인장실험기에 설치하여 가력 및 측정중인 광경을 나타내면 Photo 2와 같다.

2.2 실험결과

2.2.1 저점도 수지 (탄소섬유쉬트 함침용)

탄소섬유쉬트 접착용 수지의 인장전단 접착강도를 평가하기 위하여 접착제의 두께를 변수로 실시된 실험 결과를 정리하면 Fig. 2 및 Table 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 접착제의 두께가 증가할수록 인장전단 접착강도는 감소하며, 와이어 스페이스를 매입한 실험체는 접착제만 도포한 실험체에 비하여 강도가 현저히 저하되는 것으로 나타났다. 이와 같이 접착제의 두께가 증가할수록 강도가 저하되는 현상은 저점도의

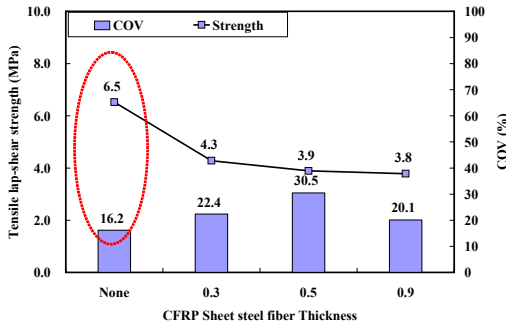


Fig. 2 저점도 수지의 두께에 따른 인장전단 접착강도 (탄소섬유슈트용 함침제)

Table 3 저점도수지의 인장전단접착강도

와이어 스페이서 두께 (mm)	평균인장전단 부착강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3 σ_n (MPa)	변동계수 (%)
None	6.5	1.1	3.3	16.2
0.3	4.3	1.0	1.4	22.4
0.5	3.9	1.2	0.3	30.5
0.9	3.8	0.8	1.5	20.1

액상재료인 탄소섬유슈트용 에폭시 수지의 일반적인 접착두께가 와이어 스페이서의 최소두께보다도 작아 접착제의 유실이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다.

모든 실험체의 인장전단 접착강도는 제조사에서 제시하고 있는 기준치보다 낮게 나타났다. 이는 접착면적이 작기 때문에 제작시 공극이나 기타 이물질에 의한 영향이 크며, 접침부의 전단방향에 비하여 수직방향에 취약하므로 실험시 작은 편심에도 강도편차가 크게 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 저점도 에폭시 수지의 인장전단 접착강도 실험으로 본 실험방법은 적합하지 않을 것으로 판단된다.

2.2.2 고점도 수지(탄소섬유판 접착용)

탄소섬유판 접착용 에폭시 수지의 인장전단 접착강도 실험결과를 정리하면 Fig. 3 및 Table 4와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 접착제의 두께가 증가할수록 인장전단 접착강도는 감소하나, 와이어 스페이서를 매입한 실험체에서 그 경향은 미세한 것으로 나타났다. 더욱이 0.3mm의 와이어 스페이서를 설치한 경우

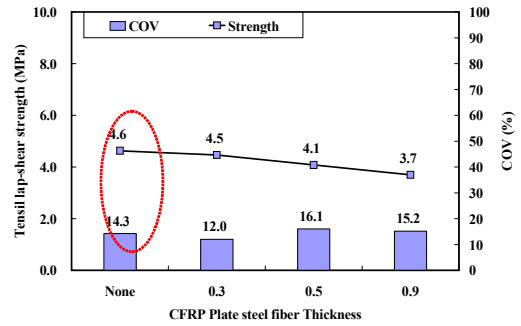


Fig. 3 고점도 수지의 두께에 따른 인장전단 접착강도 (탄소섬유판용 접착제)

Table 4 고점도 수지의 인장전단 부착강도

와이어 스페이서 두께 (mm)	평균인장전단 부착강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3 σ_n (MPa)	변동계수 (%)
None	4.6	0.7	2.6	14.3
0.3	4.5	0.5	2.9	12.0
0.5	4.1	0.7	2.1	16.1
0.9	3.7	0.6	2.0	15.2

가 강도 편차가 작게 나타나 실험 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 고점도 수지의 인장전단 접착강도 실험에서 와이어 스페이서의 유·무에 따른 강도 저하율이 저점도 수지에 비하여 작은 것은 접착제의 구성성분에 의한 차이로 보인다. 즉, 탄소섬유판용 접착제는 고점도 수지에 무기질 재료가 혼합되어 있으며, 이 무기질 재료의 입도에 의해서 대략 0.2mm 정도의 접착두께가 형성된다. 따라서 와이어 스페이서를 매입한 실험체와 두께차이에 의한 영향이 작고, 함유된 무기질 재료에 의해 전체 구성상의 균질도가 낮아져 접착강도가 저하되므로 상대적으로 와이어 스페이서의 매입에 의한 영향이 적은 것으로 판단된다.

3. 압축강도 실험

3.1 실험 계획

3.1.1 실험방법 고찰

일반적으로 FRP 복합체의 함침·접착제로 사용되

는 에폭시 수지의 압축강도가 보강성능에 미치는 구조적 영향은 매우 적은 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 현장에서 사용된 수지의 강도특성을 근사적으로 평가하기 위해서는 비록 간접적이지만 보다 간편하게 수지의 강도 특성치를 파악할 필요성이 있다. 이러한 취지에서 본 연구에서는 접착제의 압축강도 실험을 재료의 강도특성을 파악하기 보다는 접착제의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 실험항목으로 고려하여 그 시험 적합성을 파악하였다.

한편, FRP복합체에 사용되는 함침·접착수지의 압축 시험과 관련하여 국내·외의 규격 및 전문기관에서 제시하고 있는 시험방법⁽⁵⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁶⁾을 검토한 결과, 시험편의 치수 및 형상은 서로 상이한 것으로 조사되었다. 즉, 시험방법은 대체로 일치하지만 시험편의 치수는 각국의 단위법에 주로 근거하고 있어 시험편의 기본치수가 다르게 나타나고 있는 것으로 파악되었다. 각국의 주요 시험규격을 비교하여 나타내면 Table 5와 같다.

3.1.2 실험체의 형상 및 치수

실험편의 형상 및 치수는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 각국의 기준에서 기본으로 설정하고 있는 정사각형 단면으로 계획하였으며, 단면치수를 각각 10, 15, 20mm의 3종으로 하였다.

Table 5 함침·접착수지의 압축강도 시험 관련 규격

치수	KS	EN [*]	ISO	ASTM
형상	직육면체	직육면체	직육면체	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

* European Norm : 유럽시험규격

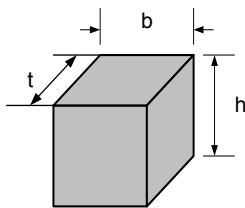


Fig. 4 함침·접착제 압축강도 실험편

3.1.3 실험 변수

압축강도 시험편은 단면을 정사각형으로 하고 시험편의 폭/길이 비를 변수로 Table 6과 같이 설정하였다. 즉, 폭과 두께는 10, 15, 20mm로 하고, 폭과 길이 비를 1:1의 정육면체 형태와 1:2의 직육면체 형태로 제작하였다. 각각의 변수에 대하여 국내에서 상용되고 있는 탄소섬유쉬트용 접착제와 탄소섬유판용 접착제를 대상으로 제작·실험하였다.

3.1.4 실험체 제작

압축강도 실험체는 Photo 3에서 보는 바와 같이 각 단면크기에 맞게 분해·조립이 가능한 강재몰드를 이용하여 제작하였다.

강재몰드 표면에는 박리제를 바르고 에폭시 수지를 채운 다음, 시험편이 소정의 강도에 도달한 이후에는 탈형하여 기계가공에 의해 소정의 치수에 맞게 절단하였다. 각 변수별 압축강도 실험체의 개수는 각각 10개로 선정하였다.

3.1.5 가력 및 측정장치

실험기는 50 kN 용량의 인장·압축 UTM을 사용하였으며, 가력속도는 1mm/min.의 속도로 하였다.

Table 6 함침·접착제 압축강도 실험 변수

종류	폭(b)	두께(t)	높이(h)	폭/높이 비
탄소섬유쉬트용 함침·접착제	10	10	10	1:1
	15	15	15	1:1
	20	20	20	1:1
탄소섬유판용 접착제	10	10	20	1:2
	15	15	30	1:2
	20	20	40	1:2



(a) 성형몰드



(b) 실험편 절단

Photo 3 실험체 제작

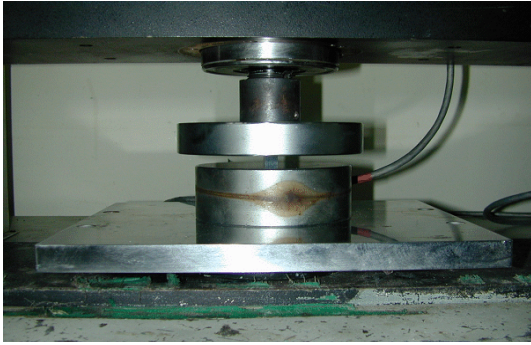


Photo 4 함침·접착제 압축강도 실험 상황

3.2 실험결과

3.2.1 저점도 수지 (탄소섬유쉬트 함침용)

본 연구에서는 압축강도 실험편의 단면 크기와 폭/길이비를 변수로 압축강도에 미치는 영향을 고찰하였다. 탄소섬유쉬트용 함침용 수지의 단면크기 변화에 따른 압축강도 특성에 대한 실험결과를 정리하면 Fig. 5 및 Table 7과 같다.

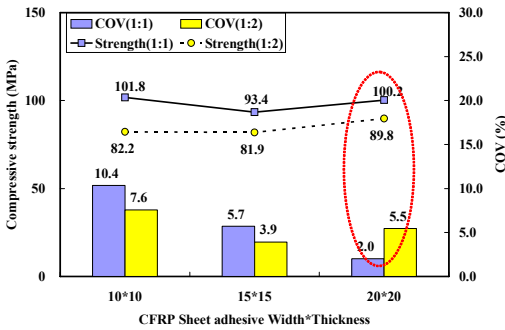


Fig. 5 탄소섬유쉬트 함침용 에폭시 수지 압축강도

Table 7 탄소섬유쉬트 함침용 수지의 압축강도

폭:길이	시험편폭 (mm)	평균 압축강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3σ _n (MPa)	변동계수 (%)
1:1	10	103.8	10.7	71.6	10.4
	15	95.3	5.4	79.0	5.7
	20	102.3	2.1	96.0	2.0
	20	102.3	2.1	96.0	2.0
1:2	10	83.9	6.4	64.8	7.6
	15	83.5	3.3	73.7	3.9
	20	91.6	5.0	76.6	5.5
	20	91.6	5.0	76.6	5.5

그림에서 보는 바와 같이 시험편 크기가 감소할수록 강도편차를 나타내는 변동계수는 증가하며, 10×10mm 시험편은 변동계수가 10% 내외로 실험의 신뢰도가 상당히 저하되는 것으로 나타났다. 시험편의 단면크기에 따른 압축강도의 변화는 폭/길이 비에 관계없이 모두 20×20mm의 단면을 갖는 시험편에서 최대 압축강도와 낮은 변동계수를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 에폭시 수지의 배합과정에서 발생하는 기포 및 공극에 의한 국부적인 영향이 시험편이 클수록 적게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.2 고점도 수지 (탄소섬유판 접착용)

고점도 수지인 탄소섬유판 접착용 에폭시 수지의 압축강도 실험결과를 정리하면 Fig. 6 및 Table 8과 같다. 그림에서 나타난 것과 같이 고점도 수지의 경우도 시험편의 크기가 감소할수록 강도편차를 나타내는 변동계수는 증가하며, 10×10mm 시험편은 변동계수가 10% 내외로 실험의 신뢰도가 상당히 저하되는 것으로 나타났다.

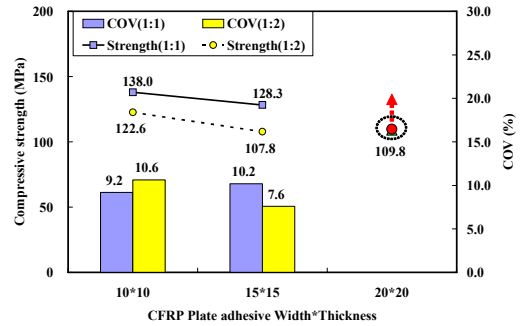


Fig. 6 탄소섬유판 접착용 에폭시 수지 압축강도

Table 8 탄소섬유판 접착용 수지의 압축강도

폭:길이	시험편폭 (mm)	평균인장강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3σ _n (MPa)	변동계수 (%)
1:1	10	140.8	130	1,019	9.2
	15	130.9	133	909	10.2
	20	≥111.4*	-	-	-
1:2	10	125.1	133	852	10.6
	15	110.0	84	849	7.6
	20	≥112.0*	-	-	-

* 측정한계 초과

한편, 단면 크기가 20×20mm 실험편은 최대하중이 UTM 실험기의 최대용량을 초과하여 실험이 중단되었다. 측정된 최대하중은 49 kN이었으며 이때 단면적으로 나눈 압축강도는 110MPa이다. 따라서 20×20mm 실험편은 모두 110MPa를 상회하는 압축강도를 갖는 것으로 볼 수 있으며, 탄소섬유쉬트의 함침·접착용 수지의 실험결과를 참고할 때 실험편의 크기가 증가될수록 실험편 내부의 공극 및 기포에 의한 영향이 감소되어 유사한 경향으로 실험결과가 나타날 것으로 판단된다. 또한, 실험방법 및 규격을 표준화하고 제작상의 편의를 위해서는 실험편의 크기를 통합할 필요성이 있으며, 시공성 측면에서도 20×20mm가 적합할 것으로 판단된다.

4. 휨강도 실험

4.1 실험 계획

4.1.1 실험방법 고찰

본 절에서는 함침·접착제의 휨 강도에 대한 실험을 통하여 함침·접착제의 적정 실험편 규격을 제시하며, 이로 부터 현장에서 사용된 수지의 강도특성을 간접적으로 평가할 수 있는 시험항목으로서 그 적합성을 파악하였다.

함침·접착수지의 휨강도 평가와 관련하여 규정된 국내·외 시험방법⁽⁴⁾⁽⁹⁾⁽¹⁷⁾⁻⁽¹⁹⁾도 그 내용은 대체로 일치하지만 실험편의 치수는 각국의 단위법에 근거하여 기본치수가 다르게 나타나고 있는 것으로 파악되었다. 각국의 주요 시험규격을 비교하여 나타내면 Table 9와 같다.

Table 9 함침·접착수지 휨 시험 관련 규격

치수	KS	JIS	EN*	ISO	ASTM
형상	직육면체	KS 규격과 동일	직육 면체	직육 면체	프리즘
두께(mm)	1~50(5종)		-	4	3.2
폭(mm)	≒ 2t		-	10	12.7
길이(mm)	≒ 20h		-	80	127

* European Norm : 유럽시험규격

4.1.2 실험체의 형상 및 치수

시험편의 형상 및 치수는 Fig. 7과 같이 폭과 높이가 같은 정사각형 단면으로 제작되며, 10mm, 15mm 및 20mm 3종의 실험체 단면치수에 대하여 지간길이가 16h가 되도록 제작한다.

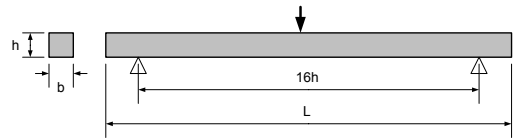


Fig. 7 함침·접착제 휨 실험편 형상 및 치수

4.1.3 실험 변수

본 실험에서는 정사각형 단면을 갖는 접착제의 폭·두께와 길이를 변수로 휨강도 실험을 수행하였다. 휨 시험편은 Table 10과 같이 3종의 높이에 따라서 각각 지간길이가 결정되며, 전체 시험편의 길이는 10mm의 경우 16h+40mm로 하고, 15mm와 20mm는 16h+80mm로 제작하였다. 각각의 변수에 대하여 국내에서 상용되고 있는 저점도 수지(탄소섬유쉬트용 함침제)와 고점도 수지(탄소섬유관용 접착제)를 대상으로 제작·실험하였다.

4.1.4 실험체 제작

휨 실험체는 압축강도 시험편과 동일한 크기의 강재 몰드로 통일하여 에폭시 수지의 품질성능 실험을 위한 제작을 간편화 하고자 하였다. 강재 몰드는 각각의 단면크기에 맞게 분해·조립이 가능하게 제작하며, 강재 몰드 표면에 박리제를 바르고 에폭시 수지를 채운 후 양생한다. 각 변수별 휨강도 실험체의 개수는 최소 5개 이상으로 선정하였다.

Table 10 함침/접착제 휨 시험편 치수

종류	높이(h) (mm)	폭(b) (mm)	지점길이(l) (mm)	전체길이(L) (mm)
탄소섬유쉬트용 함침·접착제	10	10	160	200
	15	15	240	320
탄소섬유관용 접착제	20	20	320	400

4.1.5 가력 및 측정장치

실험기는 Photo 5에 나타난 바와 같이 50 kN 용량의 인장·압축 UTM을 사용하였으며, 가력속도는 2mm/min.의 속도로 하였다.

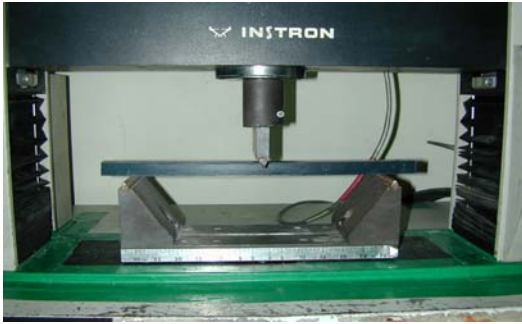


Photo 5 함침·접착제 휨 실험상황

4.2 실험결과

3점 휨실험에 의한 재료의 휨강도는 KS 규격에 나타난 바와 같이 식(1)을 통하여 구하였다.

$$\sigma_b = \frac{3P_b L}{2bh^2} \quad (1)$$

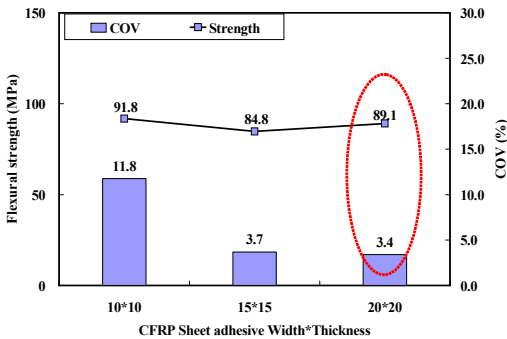


Fig. 8 탄소섬유쉬트 함침용 수지 휨강도

Table 11 탄소섬유쉬트 함침용 수지의 휨 강도

H (mm)	평균휨강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3 σ_n (MPa)	변동계수 (%)
10	93.7	11.0	60.6	11.8
15	86.5	3.2	76.9	3.7
20	91.0	3.1	81.6	3.4

여기서, σ_b : 휨 강도, 또는 휨 내력(MPa)

P_b : 최대하중 또는 규정 처짐값의 하중(N)

L : 지점간 거리(mm)

b : 실험편의 폭(mm)

h : 실험편의 높이(mm)

4.2.1 저점도 수지 (탄소섬유쉬트 함침용)

탄소섬유쉬트 함침·접착제의 휨강도는 Fig. 8 및 Table 11에서 보는 바와 같이 단면 크기에 따라서 큰 변화는 관찰되지 않았다. 그러나 단면크기가 증가할수록 강도편차를 나타내는 변동계수가 감소하여 안정화된 결과치를 나타내는 것으로 나타났다.

4.2.2 고점도 수지 (탄소섬유판 접착용)

탄소섬유판 접착용 수지의 경우도 Fig. 9 및 Table 12에서 보는 바와 같이 실험편의 단면 크기에 따른 탄소섬유판 접착제의 휨강도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며, 강도편차를 나타내는 변동계수는 탄소섬유쉬트 접착제와 같이 단면 크기가 증가할수록 감소하여 안정화된다. 이러한 경향은 압축강도 실험결과에서도 나타난 바와 같이 접착제의 강도에 영향을 미치

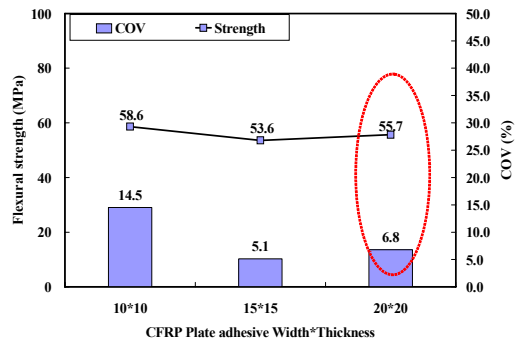


Fig. 9 탄소섬유판 접착용 수지 휨강도

Table 12 탄소섬유판 접착용 수지의 휨 강도

H (mm)	평균 휨강도 (MPa)	표준편차 (MPa)	X-3 σ_n (MPa)	변동계수 (%)
10	598	82	353	13.6
15	547	28	463	5.1
20	568	39	452	6.8

는 불규칙적인 공극 및 기포의 분포가 상대적으로 감소하기 때문으로 판단된다.

으로 나타났다. 따라서 압축강도 공시체의 폭/길이비는 1:1이 적합할 것으로 판단된다.

5. 결 론

FRP 복합체의 보강공법 적용시, 현장에서 수지의 품질성능을 간접적으로 평가할 수 있는 실험방법의 적용성에 대한 검토로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

5.1 인장전단 접착강도 실험

- ① KS M 3734에 근간한 에폭시 수지의 인장전단 접착강도 실험방법은 접착제의 도포/양생에 있어서 발생하는 작은 오차에 의해서도 실험결과에 영향을 미치므로, 와이어 스페이서 등에 의해 접착조건을 균일하게 하기 위한 실험방법의 개선이 필요할 것으로 판단된다.
- ② 인장전단 접착강도 실험시, 탄소섬유판 접착제와 같은 고점도 수지는 함유된 무기질 재료의 입도를 고려하여 대략 0.3mm의 접착두께를 유지하면 실험결과와의 편차가 가장 작아 신뢰성이 높은 것으로 파악되었다.
- ③ 인장전단 접착실험은 접착면적이 작고 겹침부의 전단방향에 비하여 수직방향이 취약하므로 시험편 및 실험장비의 편심이 발생하지 않도록 하며, 제작시 시험편 접착면에 이물질에 오염되지 않도록 세심한 주의가 필요하다.

5.2 압축/휨강도 실험

- ① 에폭시 수지의 압축/휨강도 시험편의 단면크기는 20×20mm 일때 변동계수가 작고, 최대강도가 높게 나타나 가장 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.
- ② 휨 및 압축시험편의 단면면 크기를 통합하여 표준화된 규격을 설정하면, 실험과정을 단순화하여 제작의 편의성을 도모할 수 있는 장점이 있다.
- ③ 폭/길이의 비율이 1:2인 직육면체형 실험체는 일부 전단파괴의 발생으로 인해 1:1의 정육면체형에 비하여 압축강도가 10~20% 감소되는 것

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술 평가원에서 위탁시행한 2004 건설기술기반구축사업 R&D/2004 기반구축 A13 “시설물 보강공법 성능인증을 위한 실험항목·방법 및 평가기준 설정연구”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 유영찬 외, “시설물 보강공법 성능인증을 위한 실험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”, 한국건설기술연구원, 2006.
2. 유영찬, 최기선, 김궁환, “구조보강용 FRP 함침·접착수지의 압축·휨 특성치 시험방법 비교 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표대회논문집, 제25권 1호, 2006, pp. 349-353.
3. KS M 3015, 열경화성 플라스틱 일반 실험 방법.
4. KS M 3382, 유리섬유 강화 플라스틱의 휨실험 방법.
5. KS M 3383, 유리섬유강화 플라스틱의 압축실험 방법.
6. KS M 3734, 접착제의 인장전단 접착강도 실험방법.
7. 유영찬 외, “철근콘크리트 건축물 보강공법의 개발 및 성능평가”, 한국건설기술연구원, 2003.
8. JIS K 6850, 接着劑—剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法, 1999.
9. JIS K 7171, プラスチック—曲げ特性の試験方法, 1994.
10. JIS K 7181, プラスチック—壓縮特性の試験方法.
11. 日本土木學會, 連續纖維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, 2001.
12. ISO 4587, Adhesives—Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies, 2003.
13. ASTM D 1002, Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal), 2001.
14. ASTM D 695, Standard test method for compressive properties of rigid plastics.
15. EN 2561, Products and systems for the protection and repair of concrete structures—Test methods—Determination of compressive strength of repair mortar.

-
16. ISO 604, Plastics—Determination of compressive properties.
 17. ISO 178, Plastics—Determination of flexural properties.
 18. ISO 1209-2. Rigid cellular plastics—Determination of flexural properties—Part 2: Determination of flexural strength and apparent flexural modulus of elasticity, 2004.
 19. ASTM D 790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 2003.
 20. ACI440.2R-02 “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, ACI Committee 440.

(접수일자 : 2007년 4월 17일)