

# 구조보강용 FRP 복합체의 역학적 특성치 분석을 위한 인장시험방법 평가 연구

Appraisal Study on Tensile Test Method of Mechanical Properties of FRP  
Composite Used in Strengthening RC Members

유 영 찬\*                      최 기 선\*\*                      강 인 석\*\*\*                      김 긍 환\*\*\*\*  
You, Young-Chan              Choi, Ki-Sun                      Kang, In-Seok                      Kim, Keung-Hwan

## Abstract

Experimental study has been performed in order to construct the standard test methods and appraisal criteria by investigating the influence of specimen types(property, width, layers) and loading rate on the tensile characteristics of FRP used in strengthening RC structures. The FRP composite tested in this study are the unidirectional CFRP sheet/strip and the bidirectional GFRP sheet. Test variables consist of the various width ranging from 10mm to 25mm and number of CFRP sheets plied up to 5 layers. Test results indicated that maximum tensile strength and minimum coefficient of variation are recorded at each different width according to the fiber types and weaving directions. Also, the average tensile strengths of CFRP sheets are decreased as the number of layer of CFRP sheet are increased.

## 요 지

본 논문에서는 RC 구조물의 보수·보강 공사에 적용되는 FRP 복합체의 역학적 특성치를 평가하기 위하여 각국에서 제안된 시험규격을 비교·분석하고, 시험편 형상 및 시험방법의 차이가 재료성능에 미치는 영향에 대한 실험적 검증을 통하여 표준화된 시험방법 및 평가기준을 도출하고자 하였다. 주 실험 변수는 FRP 복합체의 종류, 시험편의 폭, 보강매수 및 가력속도로 설정하였다. 본 시험결과에 의하면, 최대 인장강도와 최소변동계수를 나타내는 인장 시험편의 폭은 FRP의 종류/직조방법에 따라 다르게 나타났다. 특히 적용형으로 시공되는 FRP 복합체는 보강매수에 따른 인장강도의 저하현상이 관측되므로, 이를 적절히 고려할 수 있는 평가기준의 설정이 필요할 것으로 판단된다.

**Keywords :** FRP composite, Loading rate, Ply, Tensile property, Test method

**핵심 용어 :** FRP 복합체, 가력속도, 매수, 인장특성치, 시험방법, 시험편 폭

\* 정희원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 책임연구원

\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 연구원

\*\*\* 정희원, (주)토탈인포메이션서비스 한국지점 과장

\*\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 책임연구원

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

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

첨단 항공우주산업, 선박/레저산업 및 군수산업 분야 등의 적용을 위해 특수한 목적으로 개발된 FRP는 소재자체가 지니는 많은 장점으로 인하여 그 적용범위가 점차 확대되어 왔으며, 최근에는 건설분야에서 다양하게 활용되고 있다. 특히, 구조물 보강재로서 FRP의 활용은 강관보강공법 등의 전통적인 보강공법을 급속히 대체하고 있으며, 최근에는 팔목할 만한 성장세를 보이고 있다. 그러나, 건설분야에서의 특수목적에 부합하기 위하여 다양한 형태의 FRP 보강재가 생산·시공됨에도 불구하고 국내에서의 FRP 복합체의 물성에 대한 성능규명은 과거 일반화된 FRP 제품에 대한 시험방법(KS F 3381<sup>(1)</sup>)에 의해 실시되고 있으며, 제품의 치수/강도 등에 대한 표준규격이 미비된 실정이다. 또한, 표준화된 시험법의 부재로 인해 시험의뢰자나 전문 시험기관에 따라 채택하고 있는 시험법이 서로 상이하기 때문에 품질관리의 일관성이 결여되고 있다.

따라서 본 연구에서는 FRP 복합체의 품질 시험항목 중에서 역학적 특성을 평가할 수 있는 인장시험 방법에 대하여 각국의 시험규격(ISO 527-5,<sup>(8)</sup> EN 2561,<sup>(9)</sup> JIS K 7073,<sup>(5)</sup> ASTM D 3039,<sup>(10)</sup> CSA 806,<sup>(11)</sup>)을 비교·분석하고, 각국의 시험규격에서 설정하고 있는 시험방법의 차이가 재료성능에 미치는 영향에 대한 실험적인 검증을 통하여 FRP 복합체에 대한 표준화된 시험방법 및 평가기준을 도출하고자 하였다.

## 2. FRP 복합체 인장시험 개요

### 2.1 FRP 복합체 인장시험 규격 비교

국내에서는 KS F 3381 “유리섬유 강화 플라스틱의 인장 시험 방법”이 FRP 복합체의 인장특성치 시험을 위한 국가규격으로 적용이 가능하지만, 본 시험규격은 탄소섬유쉬트 또는 탄소섬유판(CFRP strips) 등의 건축·토목공사용 보강재의 시험으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 이에 따라 본 연구에서는 우선적으로 FRP 복합체의 인장시험에 관련된 국내·외의 시

Table 1 FRP 인장시험방법에 대한 국내·외 규격

규격		KS <sup>(1)</sup>	ISO <sup>(8)</sup>	EN <sup>(9)</sup>	JIS <sup>(5)</sup>	ASTM <sup>(10)</sup>	CSA <sup>(11)</sup>
시험편폭 (mm)	일방향	10±0.5	15±0.5	10±0.5 15±0.5	12.5	15	12.7
	이방향	25	25±0.5	-	25	25	25.4
두께 (mm)		3h 이하	-	-	-	1.5	-
측정 길이 (mm)		70	50	-	100 이상	100 이상	127
가력 속도	변위속도 (mm/분)	1±0.5	2	-	-	2	-
	변형률 (%/분)	0.5	-	-	1~2	1	0.1~ 0.2

험규격 및 전문기관에서 제시하고 있는 시험방법을 검토하고 각국의 시험규격에서 상이한 항목을 정리하여 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 각국의 시험방법은 대체로 일치하지만 시험편의 치수 및 가력속도는 서로 상이한 것으로 조사되었다. 즉, 각국의 시험규격에서 규정하고 있는 시험편의 형상은 FRP 복합체의 길이 방향으로 긴 직사각형 형태로 규정되어 거의 유사한 반면, 시험편의 폭 및 길이는 다소 다르게 규정되어 있다. 그 중에서 시험편의 폭에 대한 규정은 공학적인 근거보다는 각국의 단위법에 따라 제시되고 있으며, 2방향 연속섬유의 경우에는 공통적으로 25mm(1 inch)로 규정되어 있는 것으로 파악되고 있다. 또한 시험편의 두께에 대해서는 명확한 규정이 없으며, 통상적으로 1매의 FRP 복합체를 기준으로 시험한다.

이에 대하여, FRP의 재료강도는 시험편의 폭에 따라 영향을 받을 것으로 판단되며, 특히 구조용 FRP 복합체의 경우 공통된 시험편의 두께보다는 적층되는 보강재의 매수나 섬유함유량에 의해 인장강도가 영향을 받으므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

### 2.2 보강공사용 FRP 복합체

#### 2.2.1 시공방법별 고려사항

FRP 복합체의 물성은 기본적으로 섬유와 수지의 종류, 섬유의 방향, 섬유의 함유량에 의해 결정된다. 건축·토목 공사용 FRP 보강재에는 탄소섬유, 유리섬

유 또는 아라미드섬유가 사용되며, 수지는 접착력 및 내구성이 우수한 에폭시 수지가 주로 사용된다. 섬유의 방향은 일방향(uni-directional)으로 배치하는 것이 일반적이나 다방향(multi-directional)으로 배치하기도 하며, 이 경우 순수 섬유두께는 각 방향의 섬유만으로 한정한다. FRP 복합체의 제작형태는 sheet형의 습식현장가공(wet lay-up)형, FRP rod 및 strip형태의 사전양생(pre-cured)형으로 구분할 수 있다(ACI 440.2R-02<sup>(7)</sup>). 이때, 공칭 두께는 명확히 정의되어야 한다. 즉, 일반적으로 현장가공형 FRP 복합체는 작업조건에 따라서 시공두께가 변하기 때문에 순수 섬유두께로 정의되며, 사전양생형은 일정한 두께를 유지하고 제작되었기 때문에 전체 단면적으로 정의되고 있다.

### 2.2.2 인장시험 일반사항

각국의 시험규격에서 규정하고 있는 FRP 복합체의 인장시험을 위한 시험편의 형상 및 치수를 나타내면 Fig. 1과 같다. 본 연구에서는 시험편의 폭을 제외한 치수는 FRP 복합체의 인장성능에 영향이 없으므로 판단하고 ISO의 규격을 공통적으로 적용하였다. 가력을 위한 실험장치는 Fig. 2와 같이 50 kN 용량의 UTM을 사용하였으며, 그립부에서 시험편을 일정한 압력으로 고정하기 위하여 유압그립을 사용하였다.

### 2.2.3 인장강도 평가

실험에서의 측정항목은 로드셀에 의한 하중과 스트레인게이지를 이용한 FRP 복합체의 변형률을 측정하며, 측정된 하중을 FRP 복합체의 공칭단면적으로 나누어 인장강도를 산정하였다. FRP 복합체 인장시험편의 개수는 최소 20개 이상을 시험하며, 시험편의 정착

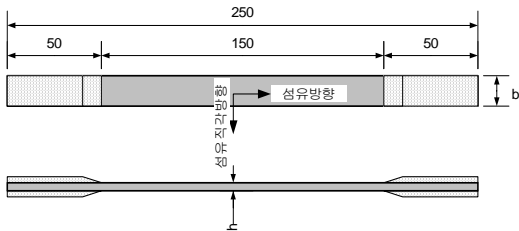


Fig. 1 FRP 복합체 인장시험편 형상 및 치수

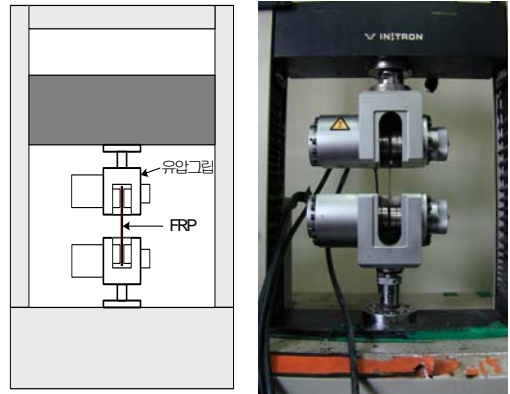


Fig. 2 FRP 복합체 인장시험 가력장치

부 파괴 및 슬립, 부분파단 등 비정상적인 파괴형태의 시험편은 평가에서 제외하였다. 이와 같은 시험을 통하여 얻어진 각 시험편의 값으로부터 평균인장강도 및 표준편차를 구하고, 식 (1)에 따라 인장강도의 신뢰한치를 구하였다(ACI 440.2R-02<sup>(7)</sup>). 즉,

$$f_{fu}^* = f_{u, avg} - 3\sigma \quad (1)$$

여기서,  $f_{u, avg}$  : 평균 인장강도

$\sigma$  : 인장강도 표준편차

### 2.2.4 인장 탄성계수 평가

FRP 복합체의 응력-변형률 관계를 파단시까지 선형거동을 보이는 것이 특징이다. 이에 따라 KS, JIS 규격에서는 초기 선형구간을 기준으로 하여 인장 탄성률을 구하도록 규정하고 있으나, 초기 선형구간을 구체적으로 정의하지는 못하고 있는 실정이다. 이에 대하여 EN, JSCE 및 CSA에서는 인장강도의 20~60% 구간을 선형구간으로 정의하고 있으며, ISO와 ASTM에서는 500~2,500 $\mu$  범위의 절대 변형률을 기준으로 하여 선형구간을 정의하고 있다. 한편, 철근콘크리트 구조물이 사용하중 상태에 있을 때의 인장측 변형률 한계는 약 2,000 $\mu$  이내에서 결정되며, 극한상태에 도달할 경우에도 10,000 $\mu$  이내에서 결정되는 것이 일반적이다. 이에 따라 콘크리트 구조물의 보수·보강재로서 사용되는 연속섬유복합체의 인장탄성률은

Table 2 탄성계수 평가방법

	KS	EN	ISO	JIS	JSCE	ASTM	CSA
탄성 계수	$\frac{\Delta\sigma_t}{\Delta\epsilon}$	최대 응력의 10~50 %구간	500~2500 $\mu$	초기 직선 구간	최대 응력의 20~60 %구간	변형율 0.1~0.3	응력의 25~50%

· 인장강도 :  $\frac{P}{A}$  · 파단신율 :  $\frac{\Delta l}{l}$  · 포아송비 :  $\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$

사용목적에 따라 선형구간을 달리하여 적용하는 것이 합리적일 것이다. 각국의 시험규격에서 채택하고 있는 FRP 복합체의 응력-변형도 관계로부터 탄성계수를 계산하기 위한 기준 및 방법을 비교하여 나타내면 Table 2와 같다.

### 3. FRP 복합체 인장시험

#### 3.1 적정 시험편 폭 산출 시험

##### 3.1.1 시험 목적

FRP 복합체는 마이크로미터 단위의 섬유가 수지에 의해 결합된 형태로 구성되어 있기 때문에 시험편의 폭이 증가될수록 제작 및 가공오차로 인하여 훼손되는 섬유량의 비가 감소되므로 인장강도 측면에서 유리할 것으로 예상된다. 그러나 시험편의 폭이 증가되면 시험편 제작시 섬유의 직진성을 유지하기 어려워지며 이와 동시에 단면내의 응력 불균형이 증가되어 부분적인 파단이 발생할 확률이 증가되므로 인장강도 측면에서 불리하게 된다.<sup>(3)</sup> 이에 따라 본 연구에서는 다양한 시험편 폭에 대한 검증시험을 통해 시험편차를 최소화할 수 있는 표준화된 시험편 폭을 도출하고자 하였다.

##### 3.1.2 시험 변수

본 연구에서는 시험편 폭의 변화에 따른 인장강도 특성치의 변동을 평가하기 위하여 1방향 탄소섬유는 기존 규격에서 제시하고 있는 3가지 유형의 폭, 즉 10mm, 12.5mm 및 15mm에 대하여 각각 검토하였다. 한편 2방향 유리섬유쉬트는 weaving 형태로 제작되기 때문에 1방향 탄소섬유에 비하여 가공오차가

Table 3 시험편 폭 변수

종류	가력속도 (%/min)	길이 (mm)	두께 (mm)	폭 (mm)
CFRP sheet	1.0	250	0.111	10, 12.5, 15
CFRP strip	1.0	250	1.20	10, 12.5, 15
GFRP sheet	1.0	250	0.80	10, 12.5, 15, 20, 25

클 것으로 판단되므로 기존 규격에서도 공통적으로 25mm의 시험편 폭을 규정하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 시험편 폭의 길이가 인장강도에 미치는 영향을 상호 비교·검토하기 위하여 2방향 유리섬유쉬트의 경우는 25mm 시험변수를 포함하여 5가지 타입으로 세분화하여 시험을 실시하였다. 시험종류별 시험체의 제원 및 시험변수를 나타내면 Table 3과 같다.

#### 3.1.3 시험결과

##### (1) 1방향 FRP 복합체

1방향 CFRP 복합체의 시험편 폭을 변수로 얻어진 인장강도 시험결과를 나타내면 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 시험편의 폭이 증가할수록 평균 인장강도는 비례적으로 증가하는 경향을 보이고, 시험결과에 대한 변동계수는 작아지는 것으로 나타났다. 즉, 시험편의 폭이 15mm일 경우에 평균인장강도가 최대가 되며, 강도편차를 나타내는 변동계수도 최소값을 나타냈다. 이러한 이유는 1방향 탄소섬유쉬트 또는 탄소섬유판의 경우 섬유의 직진성이 우수하여 폭의 증가에 따른 강도저감 효과를 무시할 수 있는

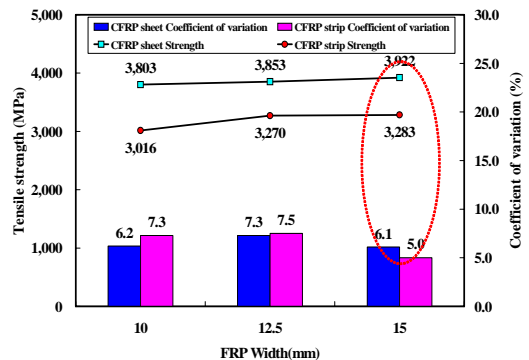


Fig. 3 시험편 폭에 따른 1방향 FRP 복합체의 인장강도 시험결과

반면, 시험편 절단시 가공오차로 인하여 섬유가 훼손되는 확률이 시험편 폭의 증가에 따라 감소된 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, 1방향 FRP 복합체는 시험편의 폭이 15mm 정도일 때 실험결과에 대한 신뢰도가 가장 높은 것으로 판단된다.

### (2) 2방향 FRP 복합체

2방향 유리섬유쉬트의 인장시험편 폭은 각 규격에서 공통적으로 25mm를 제안하고 있는 반면, 본 연구에서 실시한 인장시험결과에 의하면 25mm 시험편 폭에서는 Fig. 4에서 보는 같이 폭 방향 섬유의 불균등 파단에 의해서 인장강도가 저하되고, 변동계수가 10% 이상으로 증가되는 것으로 나타났다. 따라서, 2방향 유리섬유쉬트의 시험편 폭에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.



Fig. 4 2방향 FRP복합체의 파단(b=25mm)

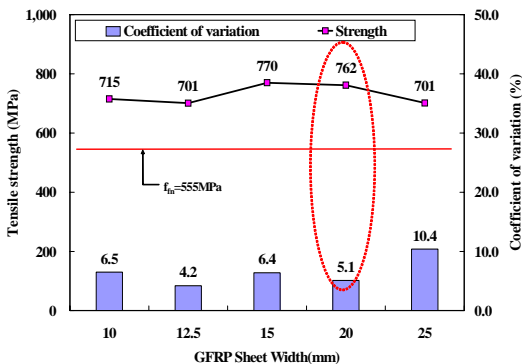


Fig. 5 시험편 폭에 따른 2방향 FRP복합체의 인장강도 시험결과

시험편 폭의 변화에 따른 인장강도를 비교해 보면, Fig. 5에서와 같이 20mm 이하의 시험편에서는 폭방향 불균등 파단이 관측되지 않았으나, 시험편 폭이 감소할수록 평균인장강도는 감소하며 변동계수가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 2방향 FRP 복합체의 시험편 폭은 20mm가 적합할 것으로 판단된다.

## 3.2 적정 가력속도 도출 시험

### 3.2.1 시험 목적

FRP 복합체의 인장특성치 분석을 위한 각국의 시험규격에서는 인장하중의 가력속도를 크로스헤드의 이동속도를 기준으로 하여 설정하고 있으나, 그 절대값은 다소 다르게 규정되어 있다. 일반적으로 시험편의 인장강도는 시험속도에 비례하여 부분적으로 증가되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 현행 각국의 인장시험규격에서 제시하고 있는 가력속도를 실험적으로 비교·검토하였다. 실험결과를 바탕으로 가력속도의 변화에 따른 인장강도 특성치의 평균, 표준편차 및 변동계수를 분석하여 합리적인 가력속도를 선정하고자 하였다.

### 3.2.2 시험변수

FRP 복합체의 인장시험에서 가력속도에 의한 영향을 파악하기 위하여 각국의 시험규격에서 제시하고 있는 가력속도를 참고하여 Table 4와 같이 5단계의 가력속도에 대하여 검토하였다. 가력속도 검증을 위한 FRP 복합체 시험편은 국내에서 생산된 탄소섬유판으로 제작하였다.

### 3.2.3 시험 결과

가력속도를 변수로 하여 탄소섬유판의 인장강도를 대상으로 실험한 결과, 현행 각 규격에서 제시하고 있는 가력속도의 범위 내에서는 탄소섬유판의 인장강도에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 나타났다. 따라서 가장 많은 시험규격에서 일반적으로 제시하고 있는 변형률 속도 1%/min을 가력속도로 제시해도 무관할 것

으로 판단된다.

Table 4 가력속도 변수

종류	길이 (mm)	두께 (mm)	폭 (mm)	가력속도 (%/min)
CFRP strip	250	1.3	10	0.5, 1, 2, 3, 6

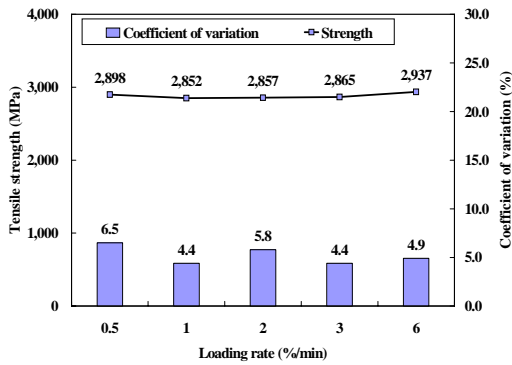


Fig. 6 가력속도에 따른 탄소섬유판의 인장강도

### 3.3 보강매수에 따른 인장강도

#### 3.3.1 시험목적

현장 적층형으로 보강되는 슈트형 FRP 복합체는 현장에서 수지를 배합하고 이를 섬유 사이에 함침하는 공정에 의해 시공되므로, 사전양생형 탄소섬유판 보강 공법에 비하여 시공성이 저하된다. 이로 인하여 섬유 사이에 함침수지가 균일하게 분포되지 못할 확률이 높아지므로 인장강도는 감소하게 되며, 이러한 경향은 적층매수의 증가에 비례하는 것으로 보고되고 있다.<sup>(3)</sup> 따라서 본 절에서는 FRP 복합체의 보강매수에 따른 인장강도 특성을 파악하기 위한 시험을 실시하고, 인장강도 저하 현상을 보강설계에 반영할 수 있는 설계 기본자료를 구축하고자 한다.

#### 3.3.2 시험변수

FRP 복합체의 보강매수 증가에 따른 인장특성치의 변화를 평가하기 위하여 적층형으로 시공되는 탄소섬유 슈트를 대상으로 실험을 수행하였다. 통상적으로 탄

소섬유슈트에 의한 보강에서는 보강매수가 5매를 초과하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 탄소섬유슈트를 1매에서 5매까지 제작하여 인장특성치를 파악하였다.

Table 5 보강매수 변수

종류	길이 (mm)	두께 (mm)	폭 (mm)	보강매수 (ply)
CFRP sheet	250	0.111	15	1~5

#### 3.3.3 시험결과

탄소섬유슈트의 적층매수 증가에 따른 1매당 평균 인장강도의 변화를 나타내면 Fig. 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 탄소섬유슈트의 인장강도는 보강매수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 적층과정에서 발생하는 탄소섬유슈트와 수지의 불균등한 함침과 적층판 사이의 섬유배열이 일정하게 유지되기 어렵기 때문이며, 이외에 에폭시 함침수지에서 발생하는 기포 등에 의한 결함요인이 증가하기 때문으로 판단된다. 이외에도 부가적으로 탄소섬유슈트의 파단을 유도하기 위해 요구되는 하중이 증가함에 따라 시험을 위한 그림에서의 조임력 (Cramping force)의 증가로 인하여 인장시험편에 국부적인 응력이 작용한 것도 요인으로 작용하였을 것으로 판단된다.

따라서 여러 겹으로 적층된 탄소섬유슈트 복합체는 전단면이 균등한 응력분포를 받지 못하기 때문에 인장강도가 저하될 것으로 예상되므로, 적층형으로 제작되는 FRP 복합체의 인장시험에서는 보강매수의 증가에

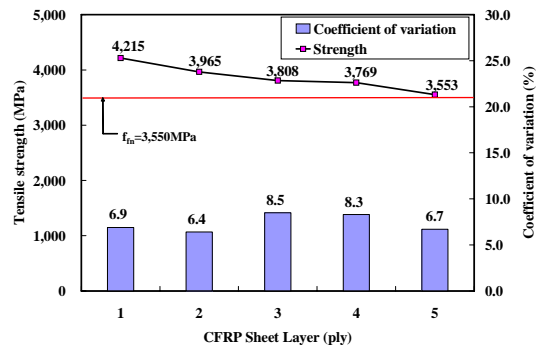


Fig. 7 보강매수에 따른 탄소섬유슈트의 인장강도

따른 인장강도의 저하현상을 평가할 수 있도록 재료적인 측면에서 시험항목 및 평가기준의 설정이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.4 FRP 복합체의 인장탄성률

#### 3.4.1 실험목적

일반적으로 FRP 복합체는 응력-변형률관계에서 파단시까지 선형거동을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나, 인장특성이 상이한 강화섬유와 에폭시 수지의 결합으로 형성된 복합체의 경우 재료구성비와 종류에 따라서 인장탄성률은 변할 수 있다.

특히, 쉬트 형상으로 보강되는 FRP 복합체는 일반적으로 복합체를 구성하기 전 단계인 FRP 자체의 두께를 적용하여 인장탄성률을 산정한다. 반면, 공장제작형 탄소섬유판과 같은 인발성형 제품은 일정한 재료구성비로 비교적 균질하게 제작되기 때문에 완성된 복합체의 인장탄성률을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 각 규격에서 제시하는 인장탄성률의 산정방식에 따라서 현재 국내에서 상용되고 있는 FRP 복합체의 인장탄성률을 비교·검토하였다.

#### 3.4.2 실험변수

각 규격별로 인장탄성률의 산정은 Fig. 8과 같이 비례한도 내에서 구간을 결정하는 방식에 따라서, 초기 변형률 구간에 대한 응력/변형률 비에 의해서 구하는 방식과 최대응력을 기준으로 일정 구간에 대한 응력/변형률 비로 구하는 방식이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 각 규격에서 제시하는 비례한도 구간에 대한 각 FRP 복합체의 인장탄성계수를 산정하여 비교·분석하였다.

#### 3.4.3 실험결과

FRP 복합체의 응력-변형률 관계는 파단시까지 선형거동을 보이는 것이 특징이다. 이에 따라 KS, JIS 규격에서는 초기 선형구간을 기준으로 하여 인장 탄성률을 구하도록 규정하고 있으나, 초기 선형구간을 구

체적으로 정의하지는 못하고 있는 실정이다. 이에 대하여 EN, JSCE 및 CSA에서는 인장강도의 20~60% 구간을 선형구간으로 정의하고 있으며, ISO와 ASTM에서는 500~3,000 $\mu$  범위의 절대 변형률을 기준으로 하여 선형구간을 정의하고 있다.

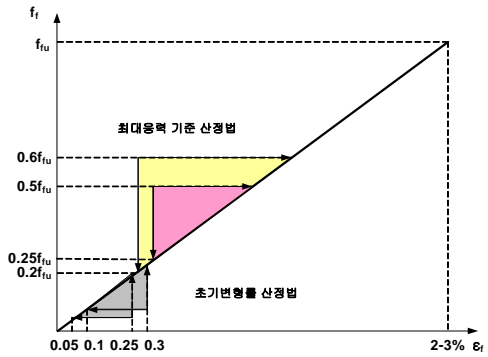


Fig. 8 인장 탄성계수 산정법

한편, 본 시험결과에 의하면 CFRP 복합체의 경우는 응력이 증가됨에 따라 부분적으로 탄성계수가 증가되는 현상이 관측되었으며, 이와 반대로 GFRP 복합체의 경우는 응력이 증가됨에 따라 부분적으로 탄성계수가 감소되는 것으로 관측되었다.<sup>(2)</sup> 이와 같은 이유로 하여 인장 탄성계수를 산정하는 방법 및 구간에 따라 FRP 복합체의 탄성계수가 달리 평가될 것으로 판단된다. 각 규격에서 제시하는 비례한도 구간에 따라 구한 인장탄성률을 나타내면 Table 6과 같다. 표에서 보는 바와 같이, 동일한 시험편의 응력-변형률 곡선에 대해서도 탄성계수를 평가하는 방법에 따라서 약 10% 정도의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉, 초기 변형률을 기준으로 산정된 CFRP 복합체의 인장탄성계수는 최대응력을 기준으로 산정하는 경우와 비교하여 약 10% 정도 작은 것을 볼 수 있으며, 이와 반대로 GFRP 복합체의 경우는 초기 변형률을 기준으로 산정된 탄성계수 값이 최대응력을 기준으로 산정된 값에 비하여 약 10% 정도 큰 것을 볼 수 있다.

한편, FRP 복합체로 보강된 부재의 사용성 검토는 콘크리트 모재의 인장철근에 항복이 발생되기 전의 2,000 $\mu$ 이내의 범위이며, 극한강도 검토시에는 FRP

복합체의 변형률 범위가 약 7,000~10,000 $\mu$  또는 그 이상의 조건이 될 것으로 예상된다. 따라서, 사용성 검토를 위한 탄성계수는 초기변형률 산정법에 근간하여 산정하고, 극한강도 검토를 위한 탄성계수는 최대응력 기준 산정법에 근간하여 산정하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다.

Table 6 각 규준에 따른 인장탄성률 산정

종류	초기 변형률 산정법 (GPa)		최대응력 기준 산정법(GPa)		파단 신율 (%)
	ISO	ASTM	JSCE	CSA	
	500~2,500 $\mu$	1,000~3,000 $\mu$	0.2~0.6 $\sigma_{max}$	0.25~0.5 $\sigma_{max}$	
CFRP Sheet	2.28 $\times 10^2$	2.36 $\times 10^2$	2.68 $\times 10^2$	2.65 $\times 10^2$	1.65
CFRP Strip	1.59 $\times 10^2$	1.61 $\times 10^2$	1.74 $\times 10^2$	1.73 $\times 10^2$	1.74
GFRP Sheet	3.29 $\times 10^1$	3.29 $\times 10^1$	3.12 $\times 10^1$	3.13 $\times 10^1$	2.52

#### 4. 결 론

본 논문에서는 FRP 복합체의 인장시험에 대한 표준화된 시험방법 및 평가방법을 도출하기 위하여 국내·외의 다양한 시험규격을 비교·검토하고 실험적 검증을 수행하였다. 실험결과로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시험편 폭을 변수로 한 시험에서 평균인장강도와 변동계수를 고려하였을 때 1방향 FRP 복합체는 15mm, 2방향 FRP 복합체는 20mm 폭이 적절할 것으로 판단된다.
- 2) 시험범위로 설정된 가력속도 범위 내에서 인장강도의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 적정 가력속도는 변형률 속도를 기준으로 약 1%/분(1.5mm/분) 정도가 합리적일 것으로 판단된다.
- 3) 적층형으로 시공되는 FRP 보강시스템의 경우에는 보강매수에 따른 인장강도의 저하현상을 적절히 고려할 수 있는 평가기준의 설정이 필요할 것으로 판

단된다.

- 4) FRP 복합체의 인장탄성계수는 산정기준에 따라 약 10% 정도 변하는 것으로 나타났다. 따라서 사용성과 관련된 계산시에는 초기변형률 산정법에 의한 탄성계수를 적용하고, 극한강도와 관련된 계산시에는 최대응력을 기준으로 산정된 탄성계수를 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. KS M 3381, “유리섬유 강화 플라스틱의 인장 시험 방법”, 한국산업규격, 2004. 7.
2. 유영찬 외, “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”, 건설교통부/한국건설교통기술평가원, 2006.
3. 유영찬 외, “건축구조물 보수·보강 공법의 성능평가에 관한 연구”, 한국건설기술연구원/건설교통부, 2001.
4. 유영찬, 최기선, 강인석, 김공환, “FRP 복합체의 인장 특성치 시험방법에 관한 변수 연구”, 대한건축학회복합술발표대회논문집, 제25권 1호, 2005, pp. 297-300.
5. JIS K 7073, “炭素纖維強化プラスチックの引張試験方法”.
6. 일본토목학회, “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.
7. ACI 440. 2R-02, “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, ACI Committee 440.
8. ISO 527-5:1997, “Plastics—Determination of tensile properties—Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites”
9. EN 2561, “Aerospace series—Carbon fiber reinforced plastics—Unidirectional laminates—Tensile test parallel to the fiber direction”
10. ASTM D 3039, “Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials”
11. CSA 806-02 Annex G, “Test method for tension test of flat specimens.”

(접수일자 : 2007년 3월 7일)