

# 유리강화플라스틱을 이용한 의장적 기둥의 설계를 위한 재료 실험 평가

## Evaluation of Material Test for the Design of Artistic Column Using Glass Reinforced Plastic

황 경 주\*  
Hwang, Kyung-Ju

최 취 경\*\*  
Choi, Chui-Kyung

### 요 약

유리강화플라스틱(GRP)은 재료의 자중에 비해 아주 높은 강도를 가지고 있다. 또한 부재의 두께에 따라서 투명 혹은 반투명의 효과를 거둘 수 있다. 하지만 Hand laminating의 특성상 일률적인 재료의 강도를 신뢰하기 어렵기 때문에 구조 계산 혹은 설계 시 반드시 재료 실험을 수행하여야 한다. 본 논문은 두께 4mm, 높이 30m의 의장적 기둥을 구조적으로 설계하기 위한 재료 실험을 수행하였다. 또한 실험 결과에 대한 평가를 통해 DIN에서 규정하는 재료적인 강도와 비교 분석하였다. 이를 통해 규준에서 제시하는 값과의 차이를 확인했으며 실제 설계에 반영하기 위해 반드시 재료실험이 수행되어야 함을 알 수 있다.

### Abstract

Glass Reinforced Plastic(GRP) shows very high strength, comparing to the lightness of material. And the effect of transparency or semitransparency can be obtained by this material. However, due to the hand laminating for the GRP, the material properties can not be credible. Thus, the material test of GRP must be performed before the structural design. In this paper, material tests were performed for the design of the artistic column with 30m high and 4mm thickness. And the results of tests could be compared with DIN to evaluate the material properties for the application on the column.

**키워드 :** 유리강화플라스틱, 의장, 기둥, 수공적층

**Keywords :** Glass Reinforced Plastic, Artistic, Column, Hand Laminating

## 1. 서 론

유리강화플라스틱(Glass Reinforced Plastic)의 재료적인 특성을 이용해서 구조물에 적용한 사례가 늘고 있다. 가벼운 반면에 높은 강도와 녹이 생기지 않는 특성으로 인해서 이미 교량구조물에는 활발한 적용이 이루어지고 있으며 이를 바탕으로 건축 구조 재료로서의 사용성에 대한 관심 또한 늘어나고 있는 실정이다. 흔히 복합재료라고도 불리는 강화플라스

틱 재료는 matrix라 불리는 기지와 fiber 즉 섬유 두 가지 요소로 구성되어 있다. 섬유는 강성이나 파괴응력과 같은 기계적인 특성들을 담당하게 되고 기지는 이들 섬유사이에 응력을 전달하는 역할을 하게 된다. 그러므로 섬유 방향의 강도 및 탄성계수 그리고 기지 방향의 값들이 다르게 나타나게 되며 이를 고려하여 해석 및 설계에 반영하여야 한다. 무엇보다 현재 생산되고 있는 복합재료 부재들의 물성치는 각각의 생산회사 마다 차이를 나타내고 있으므로 실제적인 실험 및 해석을 통해 직접적으로 사용하는 물성치 값을 확보하게 된다.<sup>4)</sup>

\* 정희원, 동양구조안전기술, 공학박사

\*\* 교신저자, 경원대학교 건축공학과 교수

Tel : 031-750-5721 Fax : 031-750-5837

E-mail : cck@kyungwon.ac.kr

2008년 독일 Mainz 지역의 시내 중심에 지하 1층, 지상 5층으로 이루어진 상업 및 주거용 건물이 계획되었으며 건물의 내부에 최대지름 약 4.28m, 높이 약 30m의 GRP(Glass Reinforced Plastic) 기둥이 완성되었다. <그림 1> 특히 기둥 부재의 두께가 4mm로 제한되어 있었으며 이는 설계 초기에 건축 디자인에서 제안한 기둥내부의 빛이 반투명하게 투과될 수 있도록 하기위한 설계 요소였다. 따라서 구조재료로 쓰이게 될 4mm 두께의 GRP 부재의 물성치 정확하게 분석해야 했으며 이를 위해 실제적인 실험이 수행되었다.

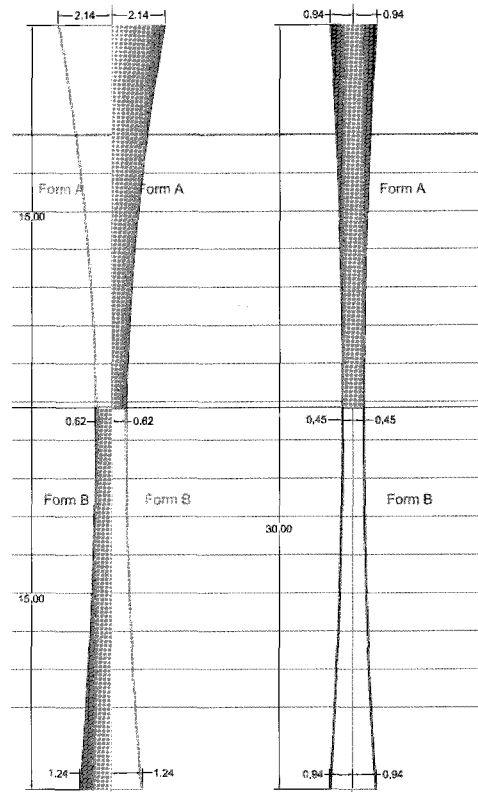


<그림 1> 건물 내부의 GRP 기둥

## 2. 기둥의 설계 개요

전체 3개의 기둥이 설계되었으며 최대 높이와 폭은 각각 30m, 4.28m로 완전한 직선의 형태를 갖지 않고 기둥의 끝부분보다 중앙이 세장하며 기둥의 각 부분이 갖는 곡률도 다양하기 때문에 전체적으로 비정형의 형태를 갖고 있다. 따라서 이러한 비정형의

곡선을 표현하기 위해서 기계적으로 부재를 압출하는 압출성형 방식으로 부재를 생산할 수 없었으며 대신 수공적층 방식으로 부재를 제작하였다. 따라서 재료가 갖는 강성과 강도에 대한 검토를 실험을 통해서 반드시 확보 하여야하였다. 전체 기둥의 경계 조건의 상태는 각각의 기둥들의 아랫부분과 윗부분은 힘을 받지 않는 힌지의 조건을 갖고 있다.



<그림 2> GRP 기둥의 치수(m)

## 3. 실험 개요

2장에 언급한 바와 같이, 수공적층으로 생산된 기둥 재료와 각각의 주요 접합부분을 중심으로 실험이 수행되었으며 이는 <표 1>에서 정리되어있다.

### 3.1 공시체 실험

먼저 공시체 실험을 위해서 인장, 전단 그리고 휨

강도 실험이 수행되었다. 인장과 휨 실험은 각각 섬유 방향이 부재의 장변 길이 방향(0°)과 부재 장변 길이 방향(90°)의 수직 방향으로 놓여 있는 두 개의 변수를 두고 실험을 수행했다. 그리고 전단력에 대한 실험은 인장 실험에서 수행되어지는 동일한 가력 방향에 공시체 내의 섬유의 구성이 45°가 되도록 제작하였다.

〈표 1〉 공시체 실험 개요

	섬유길이방향	기호	갯수
인장	0°	MLV_0	5
	90°	MLV_90	4
전단	45°	MLV_45	5
	휨	0°	MLBV_0
90°		MLBV_90	5

전체 실험에 대한 평가는 DIN EN 1990에 근거해서 각각의 전체 실험 개수의 5% 분위수(fractile)에 맞추었으며 계산식은 다음과 같다.<sup>2)</sup>

$$X_{0.05} = \mu - k_s \cdot \sigma_{n-1}$$

$X_{0.05}$ : 5% 분위수

$\mu$ : 공시체 개수

$\sigma_{n-1}$ : 기준편차

$k_s$ : 실험 공시체 숫자에 따른 신뢰치 값

(신뢰치 75%) 〈표2〉

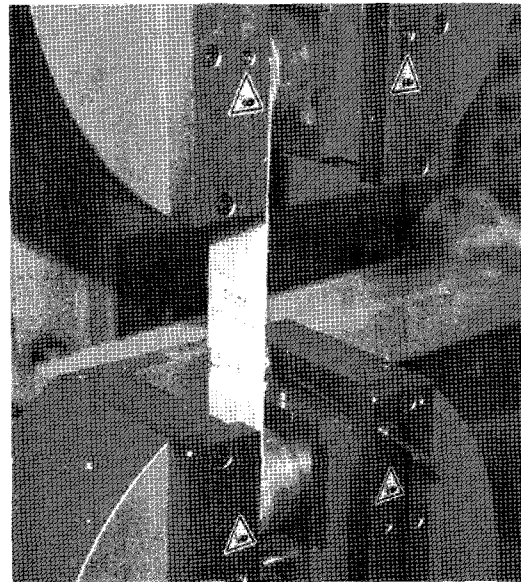
〈표 2〉 5% 분위수 계산을 위한  $k_s$  값

공시체 갯수	3	4	5	6	7	8
$k_s$	3.15	2.68	2.46	2.34	2.25	2.19

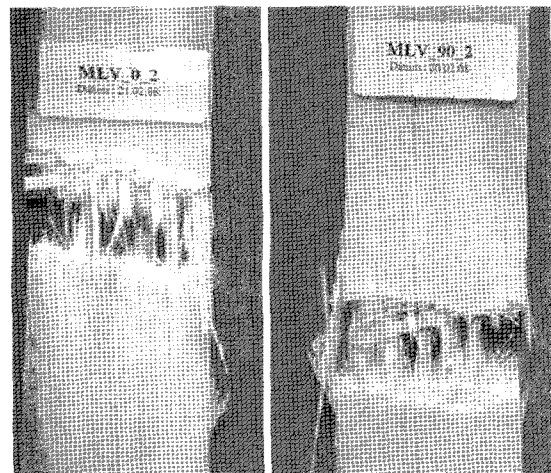
### 3.1.1 인장강도 실험

기둥이 필요로 하는 공시체 자체의 인장강도 검토를 위해 전체 10개의 인장 실험이 수행되었다. 공시체의 길이(l)는 250mm, 폭(b)은 52mm로 수행이 되

었으며 섬유길이방향은 각각 공시체 길이 방향의 각각 0°와 90° 두 가지 변수 사용되었다. 공시체의 두께(t)는 섬유방향 0°의 경우 3.8-4.0mm 이며 90°의 경우 4.0-4.8mm로 다소 차이가 있었으며 이는 수공적층의 특성상 아주 정확한 일정 치수를 생산하는데 어려움이 있는 것에 기인한다. 본 인장과파괴 실험 방식에 대한 자료는 독일 DIN EN ISO 527-1,4에 근거한다.<sup>3)</sup>



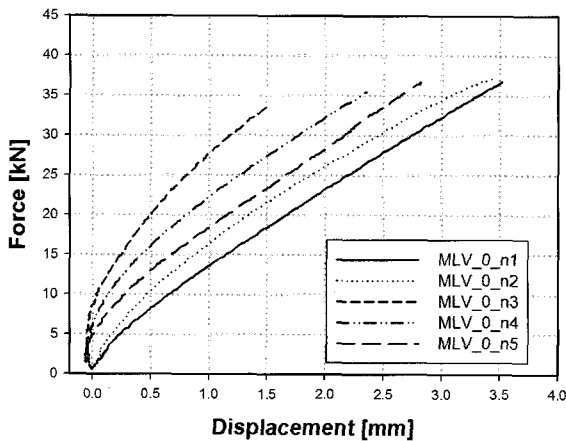
〈그림 3〉 인장 실험



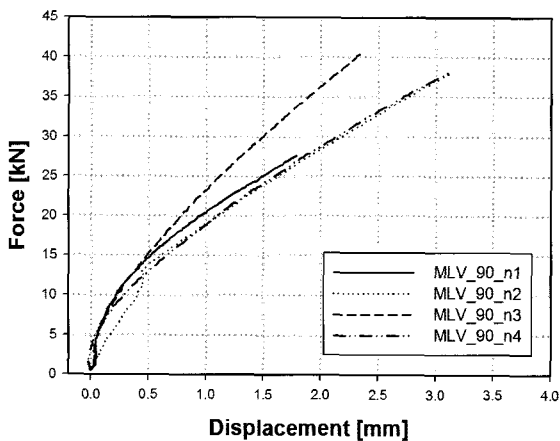
〈그림 4〉 인장 실험에 의해 파괴된 공시체

〈그림 3,4〉는 인장 실험 MLV\_0과 MLV\_90의 대표적인 인장 파괴 양상을 보여주고 있다. 그림으로 보아서 파괴의 순서 및 섬유에 전달되는 힘의 크기와 전체 공시체의 탄성계수 등을 알 수 없지만 〈그림 5,6〉에 나타난 하중-변위 곡선을 통해서 섬유가 가력방향과 동일한 MLV-0이 평균적으로 높은 탄성계수를 나타내고 있다. MLV-90의 경우 각각의 공시체가 갖는 기울기는 차이가 있을지라도 최대강도는 약 41kN 가량 나타내고 있다.

최대강도의 5% 분위수는 32.4kN이며 탄성계수의 평균값은 7720.96 N/mm<sup>2</sup>이다.



〈그림 5〉 하중-변위 곡선 (MLV\_0)



〈그림 6〉 하중-변위 곡선 (MLV\_90)

〈표 3〉 인장강도 실험 결과(MLV\_0)

MLV_0	$F_u$ [kN]	$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
n1	36.8	181.46	7059.5
n2	37.3	188.77	7244.6
n3	33.7	162.02	9831.8
n4	35.5	170.67	7205.8
n5	36.7	176.44	7263.1
$\mu$ (평균값)	36	175.87	7720.96
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	1.45	10.2	---
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	32.4	150.77	---

〈표 4〉 인장강도 실험 결과(MLV\_90)

MLV_90	$F_u$ [kN]	$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
n1	27.7	133.17	7571
n2	37.9	182.21	6554
n3	40.8	174.36	8038
n4	38.3	153.44	5988
$\mu$ (평균값)	36.84	165.69	7037.7
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	5.23	22.02	---
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	23.97	111.52	---

MLV\_90의 경우 n3의 공시체가 최대 강도 40.8kN을 나타내고 있지만 n1의 경우는 27.7kN을 나타내고 있다. n2과 n4의 경우 최대 강도는 각각 37.9kN, 38.3kN이며 탄성계수는 각각 6554N/mm<sup>2</sup>, 5988N/mm<sup>2</sup>로 n1과는 약 13%정도 차이를 나타내고 있다. MLV\_90 실험에서의 최대강도의 5% 분위수는 23.97kN이며 탄성계수의 평균값은 7037.7N/mm<sup>2</sup>이다.

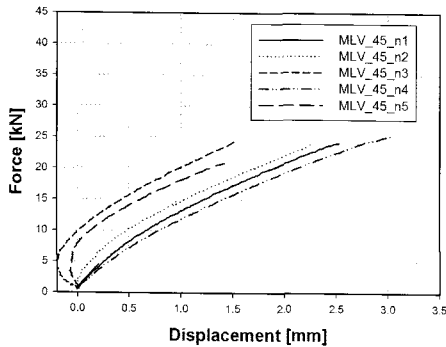
〈그림 5, 6〉에서 보는바와 같이 전체적으로 MLV\_0의 테스트에서는 탄성계수의 값이 다양하게 나타난 반면 최대강도는 유사한 값을 나타내었고 MLV\_90의 경우 최대강도 및 탄성계수의 편차가 다소 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다. 무엇보다 일반적으로 예상할 수 있는바와 같이 섬유의 길이 방향이 가력방향과 평행할 경우(MLV\_0) 최대강도가 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

### 3.1.2 전단강도 실험

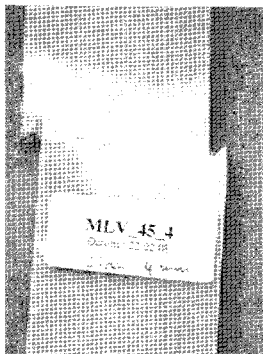
재료의 전단강도 실험을 위해 섬유를 가력방향의 45° 가 되게끔 재료를 재단하였으며 실험에 쓰인 부재의 길이(L)는 250mm 폭(b)은 50mm 그리고 두께(t)는 4mm가 적용되었다. 실험에 사용된 5개의 실험체의 하중과 변위 곡선이 <그림 8>에 나타나 있으며 <표 5>에는 그 결과들을 정리하였다.

<표 5> 전단강도 실험의 결과

MLV_45	$F_u$ [kN]	$\Delta\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
n1	24.1	57.9	2304
n2	23.9	57.4	2516
n3	24.4	58.6	2790
n4	25.5	61.2	2245
n5	20.9	52.2	2605
$\mu$ (평균값)	23.76	57.46	2492
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	1.71	3.28	---
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	19.55	49.3	---



<그림 7> 하중-변위 곡선 (MLV\_45)

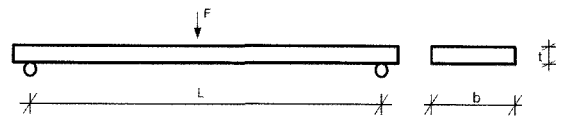


<그림 8> 전단 실험에 의해 파괴된 공시체

<그림 8>에서는 전단실험에 의해서 생긴 파괴거동을 나타내고 있다. 공시체의 파괴부분에서도 알 수 있듯이 부재가 사선 방향으로 파괴되었음을 알 수 있으며 이는 섬유가 배치되어 있는 방향이 재료의 강성에 가장 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. <그림 7>에서 보는바와 같이 실험체 마다 약간의 편차가 있지만 전단계수는 큰 차이를 보이지 않으며 최대 강도 또한 최대 편차가 약 5kN 정도의 차이만 나타내고 있다.

### 3.1.3 휨강도 실험

재료가 갖고 있는 휨강도를 측정하기 위해 <그림 9>와 같이 1점 가력 휨강도 테스트를 수행하였다. 총 10개의 공시체가 실험대상이 되었으며 섬유의 방향에 따른 휨강도를 측정하기 위해 5개의 길이방향(MLBV\_0)과 5개의 수직방향(MLBV\_90)로 구성된다. 실험 공시체 길이(L)은 80mm 그리고 폭(b)와 두께(t)는 각각 50mm, 4mm이다.

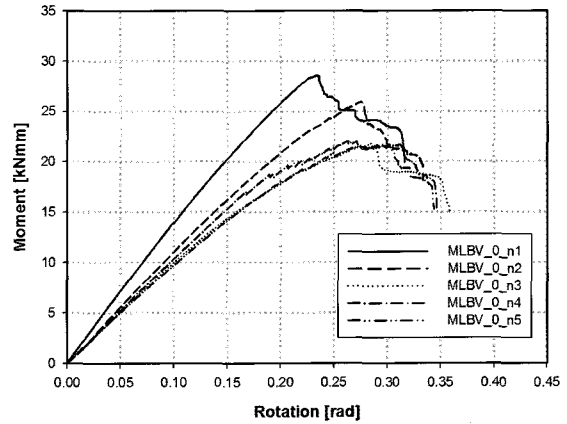


<그림 9> 1점 가력 휨강도 실험

<그림 10,11>와 <표6,7>에서 알 수 있듯이 섬유의 배치에 따른 휨강도의 차이는 아주 작음을 알 수 있다. 휨 최대강도의 경우 평균값의 차이는 단지 0.02kN이며 휨응력의 경우 단지 약 5.5%의 차이를 나타내고 있다. <그림 10,11>는 MLBV\_0, MLBV\_90 각각의 모멘트 회전 거동을 보여주고 있다. MLBV\_0의 경우 n1의 공시체에서 가장 큰 휨 값을 나타내고 있으며 최대 휨 모멘트 값은 약 28kNmm이다.

〈표 6〉 힘강도 실험의 결과 (MLBV\_0)

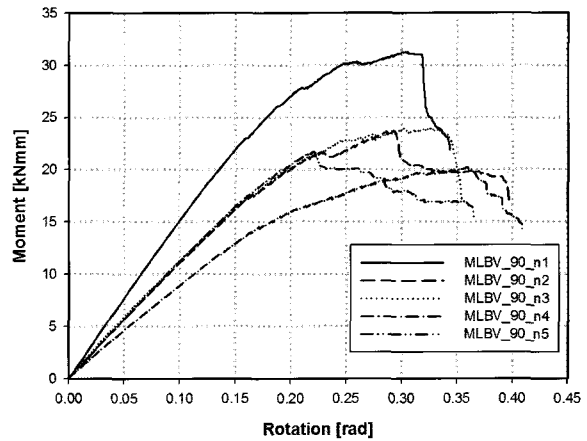
MLBV_0	$F_u$ [kN]	$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
n1	1.43	221.2	7192.7
n2	1.29	206.2	6072.2
n3	1.07	213.6	7457.9
n4	1.10	223.8	7994.4
n5	1.08	224.2	7249.3
$\mu$ (평균값)	1.19	217.8	7193.3
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	0.16	7.7	---
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	0.79	198.8	---



〈그림 10〉 모멘트-회전 곡선 (MLBV\_0)

〈표 7〉 힘강도 실험의 결과 (MLBV\_90)

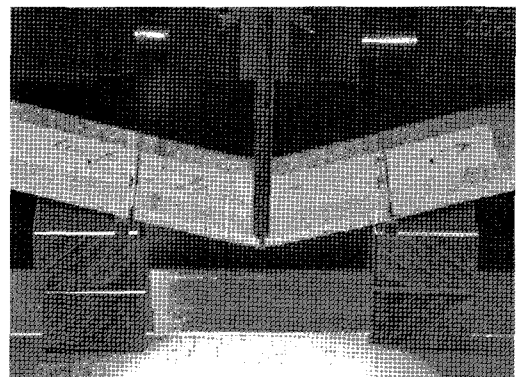
MLBV_90	$F_u$ [kN]	$\Delta\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
n1	1.56	241.4	7905
n2	1.14	211.1	7295
n3	1.17	252.9	8860
n4	1.01	236.8	7754
n5	1.01	209.7	8526
$\mu$ (평균값)	1.17	230.38	8068
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	0.22	19.1	---
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	0.62	183.3	---



〈그림 11〉 모멘트-회전 곡선 (MLBV\_90)

n1의 경우 파괴가 일어날 때 까지 거의 탄성거동을 나타내고 있으며 최대치에서 취성파괴가 일어남을 알 수 있다. 반면 n3-n5의 경우 힘의 최대값과 회전의 거동 또한 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있으며 파괴가 일어나기 전 약간의 비선형거동이 나타남을 알 수 있다. 이는 재료의 제작 시 섬유와 기지 간에 접착력에 의한 잉여력이 존재함을 예상할 수 있다.

MLBV\_90의 경우도 마찬가지로 n1의 공시체에서 가장 높은 힘강도를 나타내고 있다. n2-4의 경우 선형 한계 모멘트가 약 17kNm로 거의 동일하게 나타나고 있다. MLBV\_0의 거동과 비교해 볼 때 부분적으로 최대 힘 강성의 차이는 나타나고 있지만 전



〈그림 12〉 힘강도 실험에 의해 파괴된 공시체

체적인 파괴 거동은 거의 동일하게 일어나고 있음을 알 수 있다. 무엇보다 인장강도 실험에서와는 달리 섬유의 배치 각도에 따른 힘 강성의 차이는 아주 작음을 알 수 있다. 예를 들어, 실험결과에서 나타난 최

대 휨강도  $F_u$ 의 평균값의 경우 1.7%의 차이를 나타내고 있으며 탄성범위 내에서의 휨강성( $E_s$ )는 MLEV\_90이 약 12% 높게 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 섬유가 인장력을 받는 경우와 달리 휨의 경우 섬유가 길이 방향에 수직으로 휨을 받기 때문에 섬유의 길이에 따른 강성의 차이는 있을지라도 전체 휨 강성에는 매우 작은 영향을 미치지 때문으로 보인다.

〈표 8,9〉에서는 지금까지 진행되어온 실험 결과들과 독일 기준 DIN-18820에서 제시하는 값들을 비교한 자료이다. 여기서 DIN-18820에 근거한 적층은 복합 적층 MW1이며 공시체는 M450-W580-M450-W580-M450 이다. 여기서 M은 random으로 제작된 섬유를 나타내며 W는 두 방향을 갖는 기지를 표시한다. 각각의 숫자는 섬유와 기지의 제곱미터 당 무게( $g/m^2$ )를 나타낸다. 표에 나타나 있는 실험값의 경우 인장력에 의한 탄성계수( $E_x$ )와 휨에 의한 탄성계수( $E_B$ )는  $0^\circ$  와  $90^\circ$  의 값의 평균값이며 다른 모든 항복응력의 값들은 각각의 최소치를 나타내고 있다. 탄성계수들의 값의 경우 기준에서 제시하고 있는 값과 실제 실험한 값들의 차이가 다소 많이 나타나고 있다. 하지만 항복응력의 경우 DIN-18820에서 제시하고 있는 값들과 거의 같은 값을 나타내고 있거나 오히려 높은 값을 나타내고 있다. 인장항복응력의 경우 실험값에서  $1N/mm^2$ 가 높게 나타나고 있으며 휨에 대한 항복응력은 실험값에서 약 25% 높은 값을 나타내고 있다. 이는 실제 힘을 받는 섬유의 성능에 대한 품질은 신뢰할 수 있으며 섬유를 배치하고 있는 기지의 배열 및 접착 능력 등에서 수 가공으로 인한 오차가 있음을 알 수 있다.

〈표 8〉 DIN-18820과 실험값의 비교(탄성계수)<sup>1)</sup>

	탄성계수 (인장) [ $N/mm^2$ ]	탄성계수 (휨) [ $N/mm^2$ ]	전단계수 [ $N/mm^2$ ]
DIN-18820 0	11870	10250	---
실험값	7380	7631	2492

〈표 9〉 DIN-18820과 실험값의 비교(항복응력)<sup>1)</sup>

	항복응력 (인장) [ $N/mm^2$ ]	항복응력 (휨) [ $N/mm^2$ ]	항복응력 (전단) [ $N/mm^2$ ]
DIN-18820 0	111	138	---
실험값	112	183	49.3

#### 4. 결론

본 연구에서는 수공적층 GRP를 실제 구조물에 적용하기 위해서 반드시 수행해야하는 인장, 전단, 휨에 대한 재료 실험을 수행했으며 연구의 결론으로 다음과 같은 평가를 내릴 수 있었다.

인장에 대한 항복강도는 섬유의 각도배치에 따라서 다른 강도를 나타내었으며 가력방향과 일치하는 섬유배치에서 보다 높은 강도가 나타났다. 휨의 항복강도는 섬유의 배치에 대해 아주 작은 차이를 나타내었다. 탄성 파괴범위내에서의 재료 강성은 독일 기준에서 제시하는 값들에 비해서 약 38% 낮게 나타났으며 이를 통해 실제 설계시에는 기준에서 제시하고 있는 값과는 별도로 반드시 실험을 통해 재료의 최대강도와 강성 값을 확인해야함을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문을 위한 2011학년도 경원대학교 지원에 감사합니다.

#### 참고문헌

1. Laminate aus textilglasverstaekten ungesaettigten Polyester- und Phenacrylatharzen fuer tragende Bauteile (GF-UP, GF-PHA) Physikalische Kennwerte

- der Regellamine, DIN 18820-1 bis 4, DIN Deutsches Institut fuer Normung e.V., 1991, p.24
2. Grundlage der Tragwerksplanung, DIN EN 1990, DIN Deutsches Institut fuer Normung e.V., 2010, p.26
3. Kunststoffe-Bestimmung der Zugeigenschaften: Allgemeine Grundsätze, DIN EN ISO 527-1-3, DIN Deutsches Institut fuer Normung e.V., 1996, p.86
4. 박돈우, 황경주, “GFRP를 이용한 구조디자인”, 한국공간구조학회 논문집, 제5권 제1호, 2005, pp.82~95

(접 수 일 자 : 2011년08월17일)

(심사완료일자 : 2011년11월21일)

(게재확정일자 : 2011년11월30일)