

# 의장적 기둥의 설계를 위한 유리섬유강화플라스틱과 철의 접합부 강도의 실험적 연구

## Experimental Study of Glass Fiber Reinforced Plastic-Steel Connection for Decorative Column

황 경 주\*  
Hwang, Kyung-Ju

최 취 경\*\*  
Choi, Chui-Kyung

### Abstract

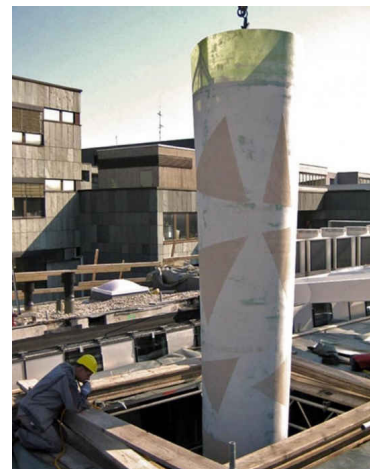
For the artistic column used by Glass Fiber Reinforced Plastic(GFRP), the connection of steel with GFRP were needed. Due to the fabricating characteristics of hand laminating, GFRP surfaces had to be connected. Because there were no existed data of these connection, experimental study has to be followed so that the structural strength and buckling mode could be investigated. In this paper, therefore, the axial tests of steel with GFRP were performed. The connection of GFRP's surfaces could be also tested as well. As a result, it could be figured out that the strength of these connections were determined by the adhesive strength.

*Keywords : Glass Fiber Reinforced Plastic, Steel, Hand Laminating, Connection System, Adhesive bond*

## 1. 서론

가벼운 자중에 비해 높은 재료적인 강도로 인해 유리섬유강화플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastic)의 사용이 증가하고 있다. 더욱이 생산 기술의 발전으로 인해 사용 빈도가 높은 부재의 생산은 펄트루전(Pultrusion) 방식을 통해서 대량생산이 가능해졌다.<sup>4)</sup> 하지만 특수목적으로 사용되는 건축물에 경우 펄트루전 방식을 통해 생산되는 부재의 사용은 상당히 제한적이기 때문에 수공적층을 통해서 부재를 생산할 수밖에 없다. 이럴 경우 일반적인 부재의 접합 방식으로는 수공적층으로 이루어진 유리강화플라스틱 부재의 접합이 상당히 어려워지기 때문에 상황에 맞게 특수하게 접합부의 설계가 이루어져야 한다. 수공적층으로 생산된 유리강화플라스틱 부재를 이용해서 2008년 독일 Mainz 지역에 의장적 기

둥 3개가 설계가 되었다. 수공적층의 특성으로 인해 기둥의 천장과 지붕을 연결하는 접합부와 기둥 전체의 강성을 확보하기 위해 보강한 부재 모두 유리강화플라스틱과 철 부재가 합성된 접합부가 사용되어야만 했다. 또한 강화플라스틱간의 연결 접합부 또한 사용되었다.



〈Fig. 1〉 Building up of column

\* 정회원, 삼성물산 건축구조팀 과장, 공학박사  
Samsung C&T, Building Structure Team

\*\* 교신저자, 가천대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
College of Architecture, Gachon University  
Tel: 031-750-5721 Fax: 031-750-5837  
E-mail : cck@gachon.ac.kr



〈Fig. 2〉 View of GFRP column

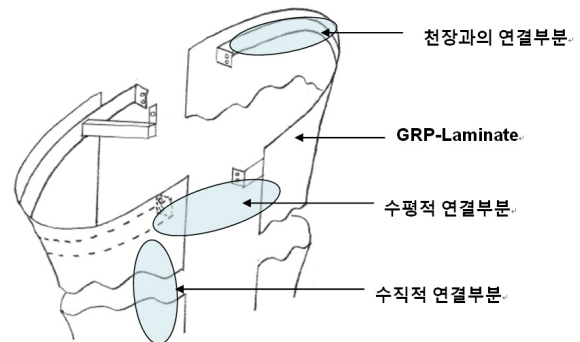
본 논문에서는 이러한 접합부들의 강도를 축력 실험을 통해서 연구하고자 한다.

## 2. GFRP를 이용한 기둥의 접합부

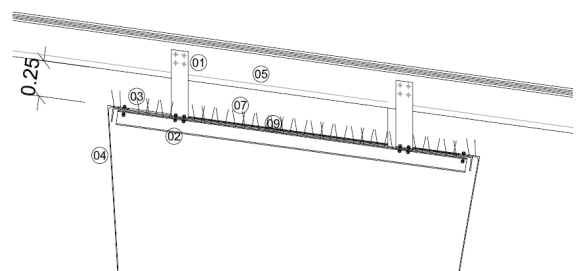
본 기둥의 전체 최대 높이와 폭은 각각 20m, 4.28m 로 완전한 직선의 형태를 갖지 않고 기둥의 끝부분보다 중앙이 세장하며 각 부분이 갖는 다양한 곡률로 인해 약간의 비정형의 형태를 갖고 있다. <Fig. 2>에서 보는바와 같이 기둥의 구성은 기둥의 전체 골격을 형성하는 수공적층으로 만들어진 GFRP 에 천장에 연결하기 위한 철골부재가 GFRP 안에 접합이 되어 있다. 이 철골부재 간에 수평적으로 볼트접합으로 연결이 되어 있으며 전체 20m를 한 부재로 생산할 수 없기 때문에 GFRP간에 수직적으로 접착제를 이용하여 접합이 되어 있다. 실제 기둥은 천장에 힌지 형태로 매달려 있으며 기둥의 단부는 이동단의 경계조건을 가지므로 기둥의 자중과 외부의 수직하중으로 인해 생기는 휨 좌굴에 대해서는

고려하지 않게 되어 있다<Fig. 4>.

각각의 재료 물성치는 먼저 철의 경우 DIN 18800 에 근거한 S235를 사용했으며 항복강도 215MPa, 극한강도 360MPa 그리고 탄성계수는 210,000MPa 이다.<sup>3)</sup> GFRP의 재료 실험을 통해 얻은 물성치는 섬유 각도에 상관없이 항복강도는 최소 약 165MPa이며 최대인장파괴강도는 약 40kN이며 탄성계수는 약 7000MPa이다.<sup>1)</sup> GFRP간의 접합을 위해 사용된 접착제는 SikaDur 330이며 접착제에 대한 물성치는 참고문헌에 인용된 논문에 있는 자료를 바탕으로 하였으며 자세한 내용은 <Table 1> 에 나타나 있다. 이를 바탕으로 해서 3가지의 접합부 형태, 즉 철골과 GFRP의 천장연결 부분, GFRP 안에 위치한 보강 철골 링의 연결 부분, 그리고 GFRP의 자체적인 접착제를 이용한 접합부의 실험이 수행되었다.



〈Fig. 3〉 Connections of column



〈Fig. 4〉 Detail of connection

<Table 1> Material property of SikaDur 330<sup>2)</sup>

	파괴응력 (MPa)	변형율(%)	Young계수 (GPa)
인장강도 (5개 공시체 평균)	38±2	1.0±0.1	4.6±0.14
압축강도 (5개 공시체 평균)	-80±3	-3.7±0.1	3.1±0.03

### 3. 실험 개요

2장에 언급한 바와 같이, 주요 실험 항목은 크게 3가지이며 상세부분의 구조적인 특성상 인장강도 실험이 수행되었다. 실험 수행 내용은 <Table 2>에서 정리되어있다.

<Table 2> Contents of tests

	기호	개수
천장과의 연결 (철+GFRP)	MA	3
수평연결 (철+GFRP)	MBH	3
수직연결(GFRP)	MBV	3

전체 실험에 대한 평가는 DIN EN 1990에 근거해서 각각의 전체 실험 개수의 5% 분위수(Fractile)에 맞추었으며 계산식은 다음과 같다.<sup>4)</sup>

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

$X_{0.05}$ : 5% 분위수

$\mu$ : 공시체 개수

$\sigma_{n-1}$ : 기준편차

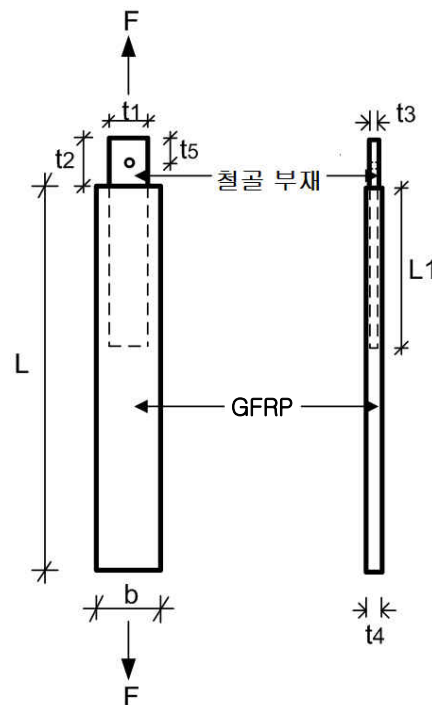
$k_s$ : 실험 공시체 숫자에 따른 신뢰치 값 (신뢰치 75%) <Table 3>

<Table 3>  $k_s$  of 5% fractile<sup>4)</sup>

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

#### 3.1 천장과의 연결부분 (철+GFRP)

<Fig. 3>에서 보여지는바와 같이, 기둥이 천장과 연결되는 부분은 철이 GFRP의 내부에 수공적층이 되어 있으며 노출된 부분은 볼트로 천장의 유리 골조에 매달려 있게 된다. 따라서 본 실험에서는 GFRP에 삽입이 되어 수공적층이 되어 있는 철골부재를 볼트로 연결하여서 인장실험을 수행하였다.



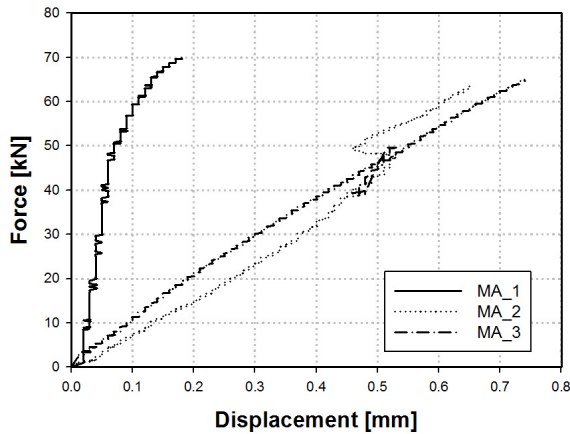
<Fig. 5> Test setup and section size(MA)

<Fig. 5>와 <Table 4>에서는 실험체에 가력 하는 과정과 실험체 각각의 크기를 나타내고 있다. 수공적층 된 GFRP전체 길이(L)는 795mm이며 폭(b)는 225mm이다. 철골부재의 길이(L1)는 510mm이며 폭(t1)은 125mm이다. 부재를 연결하기 위해 사용된 볼트는 M10 으로서 극한강도는 1000MPa 이다. 실험체 양단에 힘(F)를 가력 하였고 결과적으로 <Fig.

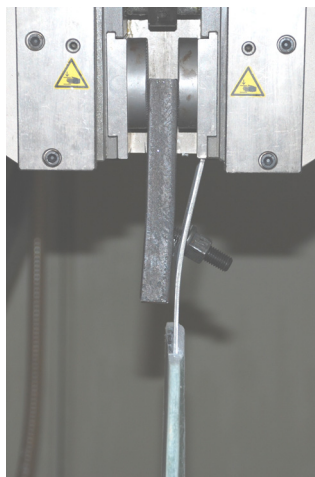
<Table 4> Size of specimen-MA(mm)

L	L1	b	t1	t2	t3	t4	t5
795	510	225	125	125	3	8	62.5

6>과 같은 하중-변위 그래프를 얻을 수 있었다. 3개의 하중-변위 곡선에서 전체적인 강성에는 차이가 있지만 거동에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. MA\_1의 경우 강성이 가장 크게 나타내고 있으며 항복내력도 약 30kN에 까지 나타내고 있다. 이는 접합에 사용된 볼트(M10)가 받을 수 있는 최대 내력의 약 90%에 이르는 값으로서 파괴거동이 거의 볼트에서만 이루어졌음을 알 수 있다.



<Fig. 6> Force-displacement curves(MA)



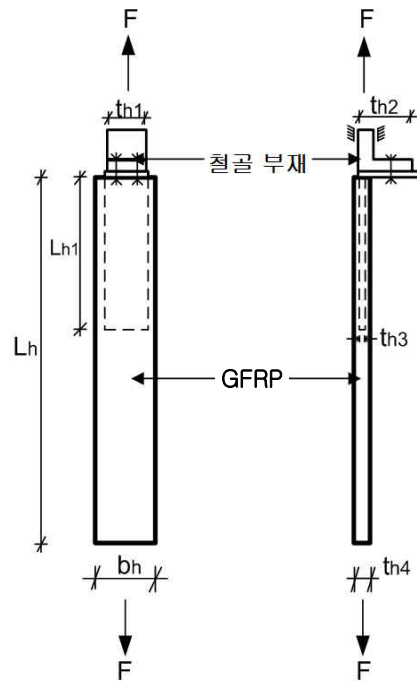
<Fig. 7> Failure mode of MA\_2,3

MA\_2와 MA\_3의 경우 매우 비슷한 하중-변위 양상을 나타내고 있다. 그 원인은 <Fig. 6>에서 살

펴볼 수 있다. 먼저 기울기가 탄성범위 내에서 MA\_1에 비해 약 8배가량 차이가 나는 원인은 외부로 노출되어 있는 철골부재가 비교적 일찍 국부좌굴을 나타내고 있는 것으로 보이며 하중레벨이 약 45kN 지점에서 철골부재가 완전히 국부좌굴이 일어난 후 볼트가 약 62kN까지 힘을 받고 전단파단이 일어나고 있는 것으로 파악이 된다. 철골부재와 볼트에서 내력을 보이고 있는 동안 GFRP와 철골부재의 접착된 부분에서는 파괴가 전혀 일어나지 않았다.

### 3.2 수평 연결부분 (철+GFRP)

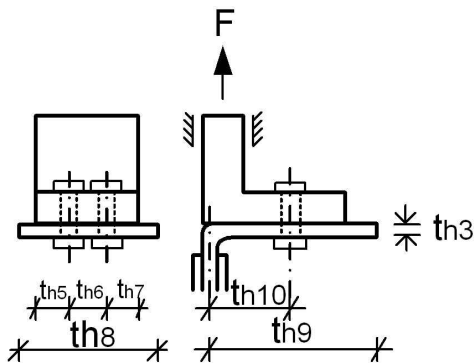
<Fig. 8>과 <Fig. 9>에서는 수평 연결부분의 인장 실험에 대한 가력 및 부재의 크기에 대한 상세가 소개되고 있으며 표 5에서 각각의 자세한 크기를 나타내고 있다. 앞선 MA의 경우와 다른 점으로 예상되는 것은 볼트에 걸리는 힘이 인장 혹은 인장과 휨의 합성이 지배적이라는 것이다. 왜냐하면 가력이 되는 F에 th10만큼의 편심이 작용되어서 철골부재의 지압판에는 모멘트가 발생되기 때문이다<Fig. 9>. 전체 길이 Lh, bh, Lh1 그리고 th2은 MA 경우와



<Fig. 8> Test setup and section size(MBH)

<Table 5> Size of specimen-MBH(mm)

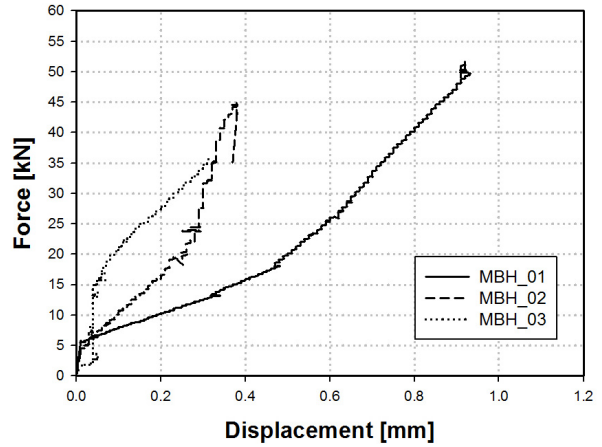
th1	th2	th3	th4	th5	th6	th7	th8	th9	th 10
95	95	3	10	36	36	36	125	950	30



<Fig. 9> Detail of connection(MBH)

같으며 나머지 크기는 <Table 5>에 소개되고 있다. GFRP에 적층되어 있는 철골부재와 접합하여 인장 가력을 위해 고안된 L형 철골부재가 두 개의 M10 볼트로 연결이 되어 있다.

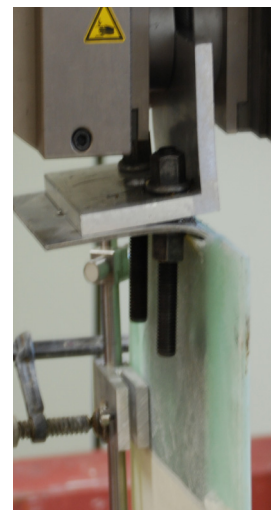
<Fig. 10>에서 MBH의 인장강도 실험에 대한 하중-변위 곡선을 나타내고 있다. MBH-01의 경우 파괴강도가 약 50kN으로 가장 큰 값을 보여주고 있으며 나머지 두 실험체는 각각 45kN, 35kN의 값을 갖고 있다. 하지만 파괴거동에 대해서는 상당히 다양한 거동 양식을 나타내고 있다. MBH\_01의 경우 변위가 약 0.45mm까지 상당히 완만한 기울기를 갖는데 이는 철골부재와 GFRP의 접착부분에서의 균열이 생기면서 철골부재가 상당히 큰 변위를 갖게 되는 것으로 파악이 된다. 그 이후 볼트가 내력을 받으면서 볼트가 휨 파괴를 나타낼 때 까지 하중 곡선이 상승하게 되었다<Fig. 11>. MBH\_02의 경우 01의 경우와 유사하지만 철골부재와 GFRP의 접착부분이 내력을 받으면서 01의 경우보다 약 45%높은 초기 강성을 보여주고 있다. 반면, <Fig. 12>에서 보여주는 바와 같이 MBH\_03의 경우에는 초기 거동의 강성값이 가장 높은 것을 알 수 있는데 이는 철골부재와 GFRP의 접착부분과 볼트가 가력과 동시에 균일하게 힘을 받고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 10> Force-displacement curves(MBH)



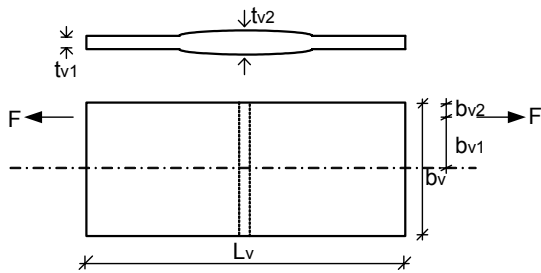
<Fig. 11> Failure mode of adhesive(MBH\_01)



<Fig. 12> Failure mode of bold connection (MBH\_03)

### 3.3 수직 연결부분 (GFRP)

GFRP 간에 접착제를 사용하여 수공적층이 된 부분의 인장강도를 측정하기 위해서 <Fig. 13>에서 보는 바와 같은 형태로 가력을 하였다. 가력 F에 편심  $bv_1$ 이 생기도록 한 이유는 기둥의 상단에 있는 경계조건이 집중하중이 생기도록 되어 있으며 접합된 부분은 자연스럽게 휨 응력이 생기기 때문이다.



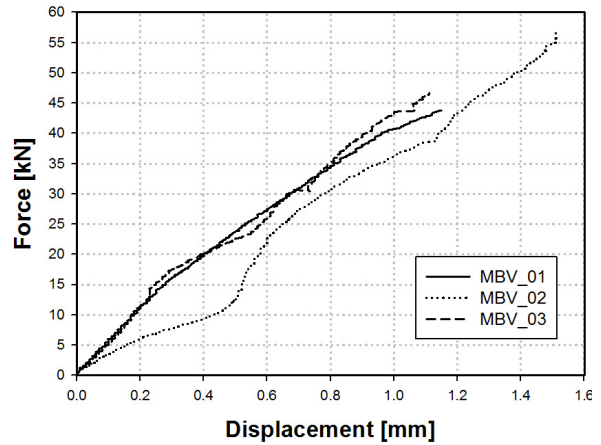
<Fig. 13> Test setup and section size(MBV)

<Table 6>에서는 실험체의 각각의 크기를 나타내고 있다. 무엇보다 GFRP 기둥면은 4mm 이지만 접착제로 연결된 부분은 시공의 특성상 6mm이다.

<Table 6> Size of specimen-MBV(mm)

Lv	bv	bv1	bv2	tv1	tv2
860	300	260	40	4	6

<Fig. 14>에서 보는바와 같이 전체적인 거동 양상은 유사하게 나타나고 있으나 MBV\_02의 경우 강성의 변화가 두 가지 형태로 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 접합부 내부가 수공적층의 특성상 GFRP의 섬유부분과 접착제 부분이 힘을 받는 것이 초기에는 동시에 받지 못하고 있음을 나타낸다. 하지만 01과 03의 거동은 상당히 유사함을 알 수 있으며 최대강도 또한 44kN, 47.7kN으로 아주 유사한 강도와 강성을 나타내고 있다. 전체적으로 볼 때 최대 응력은 86MPa로써 순수 실험재료의 인장강도 (111.52MPa)의 약 77.2%의 값을 갖고 있다.<sup>1)</sup>



<Fig. 14> Force-displacement curves(MBV)

<Table 7> Results of test-MBV

	$F_u$ [kN]	$\Delta\sigma$ [MPa]
MBV_01	44	117.2
MBV_02	57	152
MBV_03	47.7	127.2
$\mu$ (평균값)	50	132
$\sigma_{n-1}$ (표준편차)	5.46	14.6
$X_{0.05}$ (5% 분위수)	32.8	86



<Fig. 15> Failure mode of connection(MBV\_01)

## 4. 결론

1. 천장 연결부분은 철골부재에서 국부좌굴이 일어났으므로 내력이 더욱 필요할 경우 철골의 두께 혹은 강도를 높여서 확보 할 수 있을 것이다.

2. 수평 연결부분의 접합에 있어서는 GFRP와 철골부재의 접착에 주요 균열이 일어났으므로 균일한 거동 및 강도를 확보하기 위해서는 보다 정밀한 접착제 시공이 필요 하다고 볼 수 있다.

3. 마지막으로 GFRP간에 접착제로 연결된 수직 연결 부분은 파괴응력이 접착제의 최대응력보다 약 2배가량 높게 측정이 되었으며 전체 수직연결 부분의 강도 및 강성을 높이기 위해서는 부재의 강도 보다 높은 강도를 가진 접착제의 사용이 필요로 하다고 판단된다.

본 연구에서는 수공적층 GFRP와 접착제를 이용한 접합부, 즉 GFRP와 철골부재 그리고 GFRP의 접합에 대해서 인장강도 실험을 수행했으며 보편적으로 볼 때 수공적층의 부재 적용시 접착제의 균일한 강도가 전체 구조물의 강도 및 강성에 큰 영향을 줄을 알 수 있다.

## 감사의 글

본 논문을 위한 2013년도 가천대학교의 지원에 감사 드립니다.

## References

1. K.J. Hwang, C.K. Choi, "Evaluation of Material Test for the Design of Artistic Column Using Glass Reinforced Plastic", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.11, No.4, pp.101-108, 2011
2. T. Keller and H. Guertler, "Composite Action and Adhesive Bond between Fiber-Reinforced Polymer Bridge Decks and Main Girders", Journal of Composite for Construction (ASCE), Vol.9, No.4, pp.360-368, 2005

3. Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, , DIN 18800-1, DIN Deutsches Institut fuer Normung e.V., 2000, p.11
4. Grundlage der Tragwerksplanung, DIN EN 1990, DIN Deutsches Institut fuer Normung e.V., 2010, p.26
5. D,W. Park, K.J. Hwang, "Structural Design using GFRP", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.5, No.1, pp.20-26, 2005

(접 수 일 자 : 2013년 08월 29일)

(심사완료일자 : 2013년 10월 07일)

(게재확정일자 : 2013년 10월 18일)