

# Body Floor의 복합재 접합방식 및 경량화 설계에 관한 연구

김흥건\*, 오상엽<sup>+</sup>, 김광철<sup>++</sup>, 김현우<sup>+++</sup>, 락이구<sup>++++</sup>

(Manuscript received: Aug, 10, 2012 / Revised: Nov, 8, 2012 / Accepted: Nov, 13, 2012)

## A Study on the Structural Design of Effective Composite Joint and Light Weight in Body Floor

Hong Gun Kim\*, Sang Yeob Oh<sup>+</sup>, Kwang Choul Kim<sup>++</sup>, Hyun Woo Kim<sup>+++</sup>, Lee Ku Kwac<sup>++++</sup>

### Abstract

A study of vehicle weight lightening has been progressed to reduce the fuel consumption. In this paper, the body floor in an EV (Electric Vehicle) bus has been applied by composites as CFRP and GFRP. In order to analyse a various reliability and safety, an experiment and FEM analysis was carried out to obtain weight lightening. Especially, the joint. An effective design is obtained through an experiment as well as FEM analysis. Results of stress analysis of GFRP material showed twice as much displacement than those of CFRP material. Among three kinds of joint methods, the bond joint method is occurred to a substantial shape change in the body and floor. It is found that the rivet joints are fairly suitable for stress sustaining capability.

**Key Words :** Carbon fiber reinforced Plastic(탄소섬유강화플라스틱), Glass fiber reinforced Plastic(유리섬유강화플라스틱), Composite (복합재료), Finite element method(유한요소법), Weight lightening(경량화)

## 1. 서론

최근 차량에 대한 무게로 인해 문제점이 나타나고 있다. 따라서 차량을 경량화 하기 위하여 일반 금속재료에 비해서 가벼운 탄소섬유 및 유리섬유를 이용한 고강도 복합소재에 대한 개발이 활발하게 이루어지고 있다<sup>(1~5)</sup>. 탄소소재는 구성 원자 대부분이 자연계에서 널리 존재하는 주성분이 탄소원자로 이루어진 소재로서 이미 오래 전부터 숯이나 떡과 같은 탄소재료로 활용되어 왔으며 극한의 물성을 가지고 있어 근래 첨단산업에서 활용이 급증하는 소재로서 금속, 세라믹, 고분자와 더불어 4대 재

료로서 새로운 기능을 가진 분야의 첨단소재로 활용되고 있다. 특히 미국 보도에 의하면 미래를 바꿀 10가지 핵심소재로 탄소섬유복합재료, 탄소나노튜브, 인조다이아몬드 등의 세 가지 탄소소재가 포함되어 있을 정도로 매우 중요한 소재이다. 탄소소재는 단독으로 된 것만이 있지 않으며 다른 원소와 결합한 화합물 형태를 가지므로 유기물 전체가 탄소로 이루어졌다고 할 수 있으며, 다른 원소들과 결합하는 형태에 따라 전기적, 기계적 특성 등이 다르므로 용도에 맞게 여러 분야에서 다양하게 이용 가능하므로 공업적으로도 각종 탄소제품이 만들어 지고 있다<sup>(6)</sup>. 본 논문에서는 바디와 플로어에 탄소 복합소재 및 유리 복합

\* 전주대학교 기계자동차공학과

+ 전주기계연구소

++ ㈜SG테크

+++ 전주대학교 기계공학과

++++ 교신저자, 전주대학교 탄소나노부품소재공학과

주소: 전라북도 전주시 완산구 천암로 303

✉ Corresponding Author E-mail: kwac29@jj.ac.kr

소재를 적용함으로써 차량의 무게를 줄이고, 접합 방식에 따라 버스가 받을 수 있는 최대, 최소 하중의 바디플로어 강도 또한 유지할 수 있는 소재를 파악하고, 바디와 플로어를 접합하는데 있어서 접착제의 두께와 리벳의 개수 변화에 따라 나타나는 구조적인 특성을 분석한 후 해석 결과를 설계에 적용 하고자 하였다<sup>(7)</sup>. 리벳의 개수 증가에 따라서, 결과에 나타나는 변위량 및 최대 하중이 감소하는 것을 확인할 수 있고, 재료의 강도 및 무게에 따른 연료효율적인 측면에서는 CFRP가 GFRP보다 우수하지만 경제적 측면에서는 CFRP보다 저렴한 GFRP가 더 효율적으로 나타났다.

## 2. 실험

### 2.1 시편 제작 및 시험

EV 버스에 적용되는 바디와 플로어를 CFRP와 GFRP를 이용하여 제작 하였고 리벳과 본드를 이용하여 고정 시켰다. 여기에서 사용된 리벳은 Steel 로 사용하였고 3개의 리벳을 고정하였다. Fig. 1은 제작 과정으로 왼쪽 상단부터 시계방향으로 리벳 툴, 리벳, 축진제, 본딩과정, 리벳팅 과정을 보여주고 있다. 실험은 플로어부분을 조인트로 고정시킨 상태에서 바디의 중앙 부분에 하중을 가하는 형태로 진행되었으며, Fig. 2와 같다.

### 2.2 시험결과

시험결과 Table 1과 같이 나타났다. 300kg 이상의 힘이 작용할 때 바디와 플로어가 분리되는 현상을 보였다. 또한 Fig. 3은 바디와 플로어가 파단 되었을 때를 보여주고 있으며, 본드의

경우에는 내부에서 파단이 일어나고 바디와 플로어간의 각도가 좁아졌다. 또한 리벳으로 고정된 경우에는 리벳이 파단되어 분리되었다.

## 3. 설계 및 해석

### 3.1 형상설계

형상에 대한 설계는 CATIA V5<sup>(8)</sup>를 이용하여 설계 하였으며, 모델의 형상과 자세한 치수는 아래 Fig. 4-5와 같이 나타냈

Table 1 Results of experiment

No.	load (kg)
1	376
2	306
3	355
average	345.67

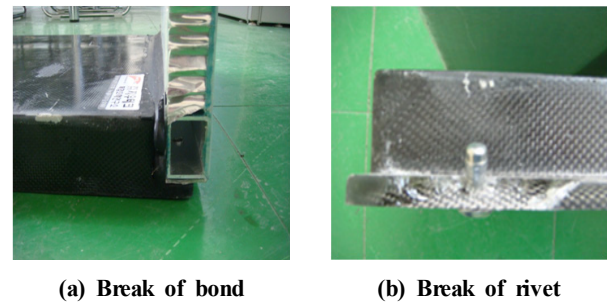


Fig. 3 Experimental fracture

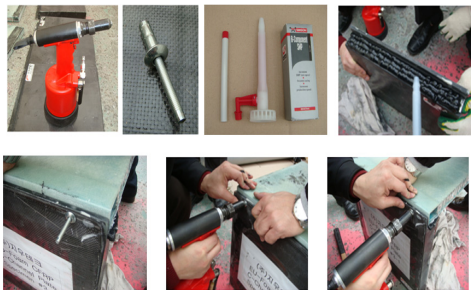


Fig. 1 Production process, the specimen

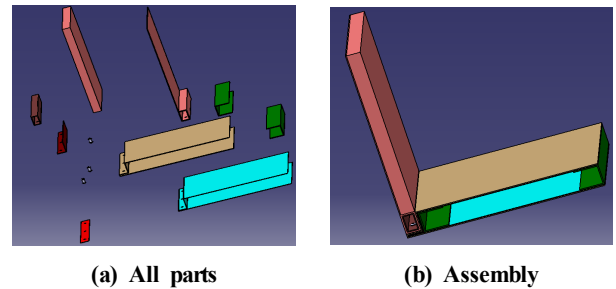


Fig. 4 Assembly and part model designed by CATIA



Fig. 2 Experimental procedure of body floor

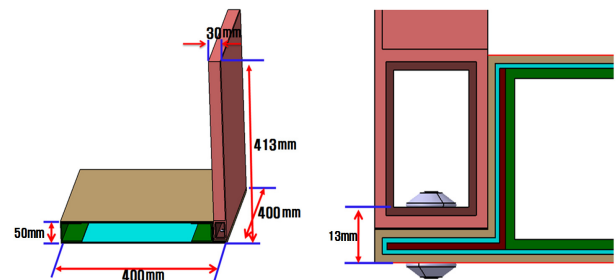


Fig. 5 Dimension of design model

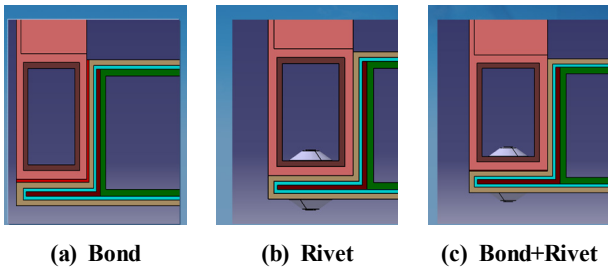


Fig. 6 Joint configuration of bond and rivet

Table 2 Joint types for fixing body floor

Properties	Joint types
CFRP	bond joint
	3 rivet joint
	4 rivet joint
	bond with 3 rivet joint
	bond with 4 rivet joint
GFRP	bond joint
	3 rivet joint
	3 rivet joint
	bond with 3 rivet joint
	bond with 4 rivet joint

으며, 리벳의 거리는 개수에 따라 3개일 경우 150mm, 4개일 경우 100mm로 각각 설계 하였다. 고정방식을 본드, 리벳, 본드와 리벳의 3가지 형태를 각각 설계 하였다.

바디와 플로어를 접합하는데 Fig. 6과 같이 3가지 형태의 접합을 이용하였다. 접합 방식은 본드를 이용한 접합, 리벳을 이용한 접합, 본드와 리벳을 이용한 접합을 각각 모델링하였다. 해석은 본드의 두께가 0.4mm이고, 하중이 300kg 작용할 때, 리벳의 개수가 3개 일 때와 4개 일 때를 경우로 하여 10 가지의 해석을 실시하였다. 바디와 플로어의 접합 방식은 Table 2와 같이 여러 경우에 관해 해석하였다.

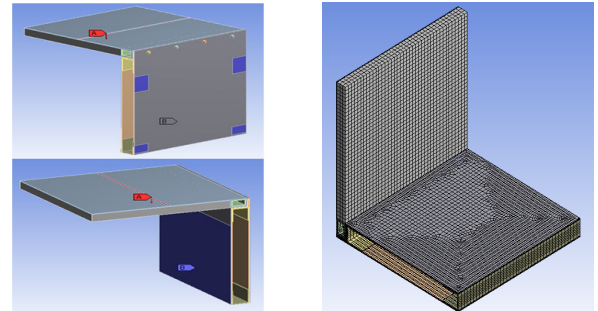
### 3.2 해석

해석은 유한요소프로그램인 ANSYS<sup>(9)</sup>을 사용하였고, 모델에 대한 재료는 CFRP, GFRP, Steel(Rivet), Alcore, Bond 등으로 구성되어 있으며, 각 요소에 대한 물성치는 아래 Table 3과 같다<sup>(10~12)</sup>.

경계조건은 Body에 하중이 작용하고 플로어가 고정되어 있는 상태로 적용된다. 또한 바디와 플로어 사이에 접합 방식을 본드에 의한 접합, 리벳에 의한 접합, 리벳과 본드에 의한 접합으로 하여 Fig. 7(a)와 같은 경계조건 및 하중 조건을 가진다. Fig. 7(b)는 요소망의 형상을 나타내며, 고정방식에 따라서 절점은 177,731~199,788개, 요소는 26,800~ 42,644개의 요소망을 생성 하였다.

Table 3 Material properties

	Density ( $kg/m^3$ )	Young's modulus ( $MPa$ )	Shear modulus ( $MPa$ )	Poisson's ratio
CFRP	1,480	58,670	-	0.08
GFRP	1,830	-	4,530	0.25
Rivet	7,850	200,000	76,923	0.3
Alcore	2,700	35,000	-	0.36
Bond	-	4.8	-	0.3



(a) Load and boundary conditions (b) Meshed model

Fig. 7 Load and boundary conditions and mesh

Table 4 Results of maximum displacement

Joint Type	Max Displacement (mm)
CFRP Bond	5.021
GFRP Bond	11.163
CFRP Rivet(3EA)	2.540
GFRP Rivet(3EA)	4.778
CFRP Bond+Rivet(3EA)	2.556
GFRP Bond+Rivet(3EA)	4.803
CFRP Rivet(4EA)	2.557
GFRP Rivet(4EA)	4.774
CFRP Bond+Rivet(4EA)	2.543
GFRP Bond+Rivet(4EA)	4.591

## 4. 결과 및 고찰

Table 4에서 보는 것과 같이 하중이 작용할 때, 리벳접합과 본드 및 리벳접합일 때보다 본드접합이 변위량이 큰 것을 확인할 수 있다. Fig. 8의 그래프를 보면 변위량의 최대값은 모두 동일하게 GFRP에서 작용하고 있으며, CFRP와 GFRP의 변위량은 GFRP를 적용할 때가 CFRP를 적용했을 때에 비해 약 2 배 정도의 변위량을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 접합 방식과는 관계없이 하중이 바디 부분에서 작용하기 때문에 변위량은 바디의 끝 부분에서 가장 큰 변화를 보였다. Fig. 9~11은 변위량에 대한 형상이다.

Fig. 12는 바디와 플로어에서 작용하는 최대응력을 그래프로

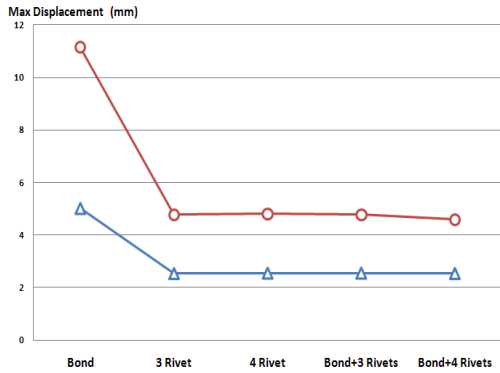
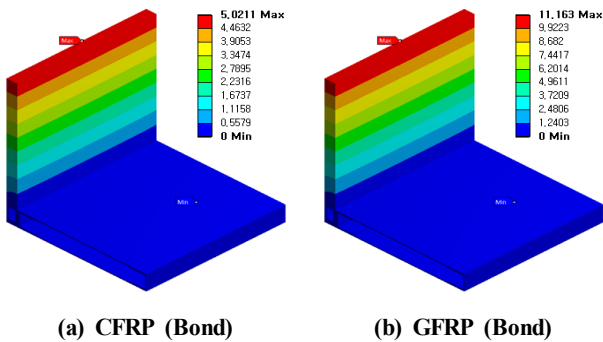
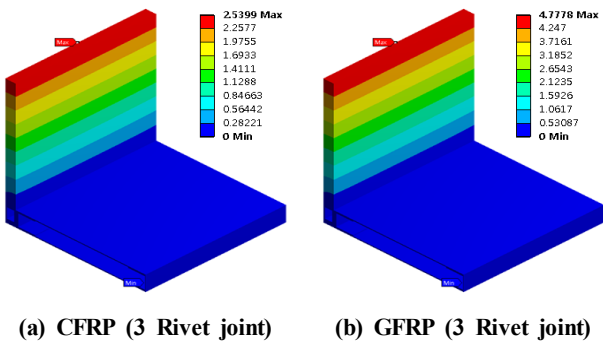


Fig. 8 Maximum Displacement in case of several joint Types

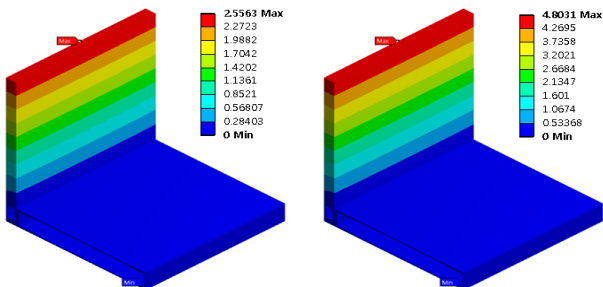


(a) CFRP (Bond) (b) GFRP (Bond)

Fig. 9 Distribution of displacement in case of bond joint only



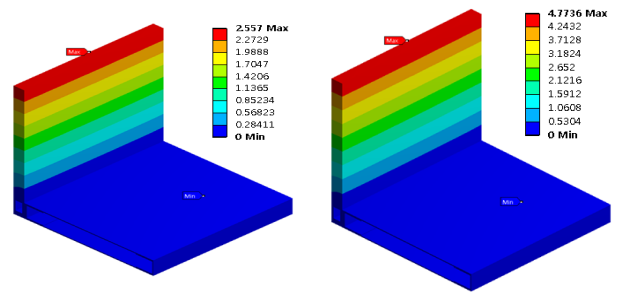
(a) CFRP (3 Rivet joint) (b) GFRP (3 Rivet joint)



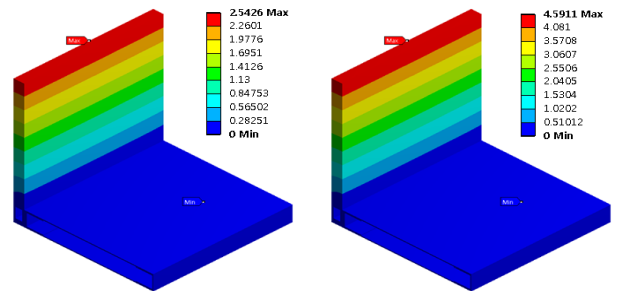
(c) CFRP (Bond with 3 rivet joint) (d) GFRP (Bond with 3 rivet joint)

Fig. 10 Distribution of displacement with 3 rivets

도시화 했으면 본드, 리벳 등에 작용하는 최대응력은 Table 5 와 Table 6에 나타나 있다. 본드로만 고정되어 있는 형태에서



(a) CFRP (4 Rivet joint) (b) GFRP (4 Rivet joint)



(c) CFRP (Bond with 4 rivet joint) (d) GFRP (Bond with 4 rivet joint)

Fig. 11 Distribution of displacement with 4 rivets

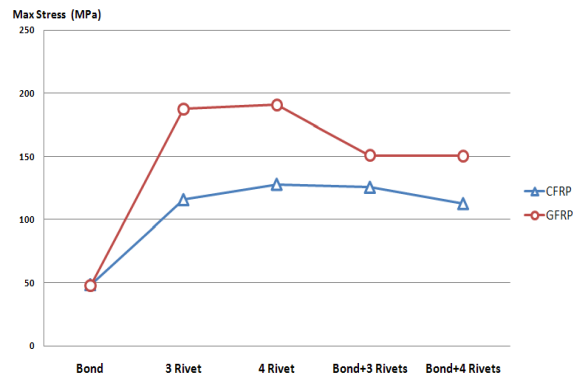


Fig. 12 Maximum stress in case of several joint Types

Table 5 Maximum stresses in case of 3 rivet joint

Joint Type	Max stress (MPa)		
	Bond	Rivet	Total
CFRP bond	2.5486	-	48.3
GFRP bond	3.385	-	47.576
CFRP rivet	-	115.77	115.77
GFRP rivet	-	187.63	187.63
CFRP bond and rivet	0.2503	127.93	127.93
GFRP bond and rivet	0.5043	190.97	190.97

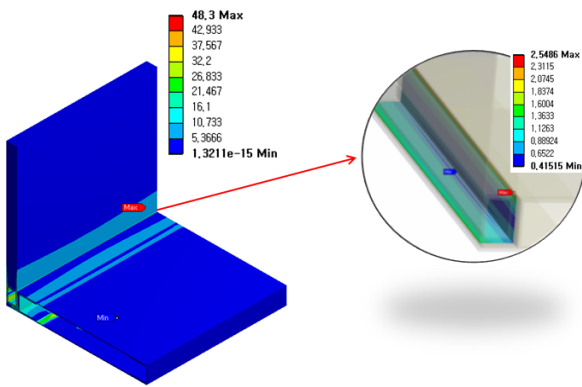
는 전체응력이 대부분 바디와 플로어가 겹치는 부분에서 압축 되어 나타나는 응력으로 판단되고, 리벳으로만 고정되어 있는 모델에서는 리벳에 최대응력이 걸리고, 리벳과 본드로 고정되

**Table 6 Maximum stresses in case of 4 rivet joint**

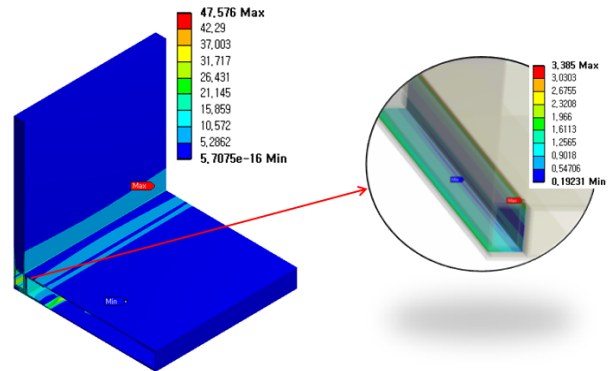
Joint Type	Max stress (MPa)		
	Bond	Rivet	Total
CFRP bond	2.5486	-	48.3
GFRP bond	3.385	-	47.576
CFRP rivet	-	125.55	125.55
GFRP rivet	-	150.76	150.76
CFRP bond and rivet	0.3699	112.6	112.6
GFRP bond and rivet	0.6859	150.49	150.49

어 있는 형상에서는 리벳에 높은 하중이 걸리긴 하지만 본드에도 분포되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 리벳의 개수가 3개에서 4개로 증가함에 응력의 분산으로 인하여 최대응력이 낮아지는 것을 확인 할 수 있다.

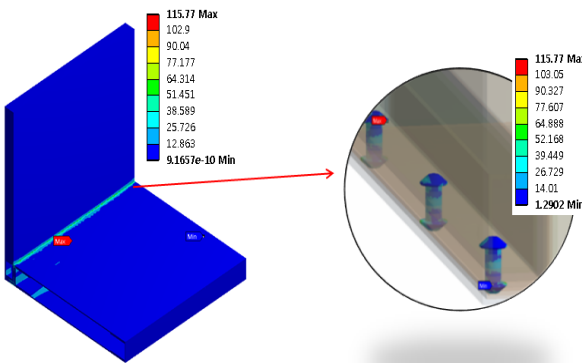
Fig. 13과 Fig. 14는 바디와 플로어가 받는 응력 분포도의 결과에 대한 형상을 나타내고 있다. 바디 부분에서 하중이 작용하기 때문에 바디와 플로어의 결합되는 부분에서 거의 모든 응력이 작용하는 것을 확인 할 수 있다.



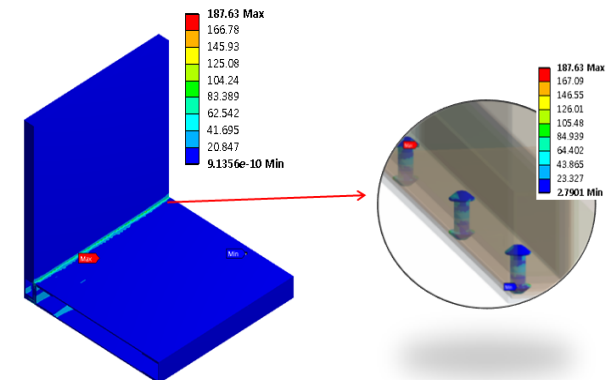
(a) Bond joint only



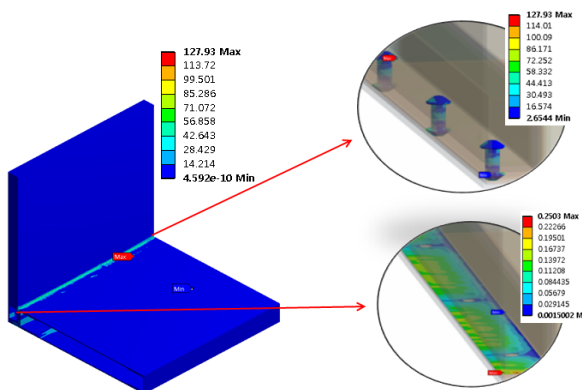
(a) Bond joint only



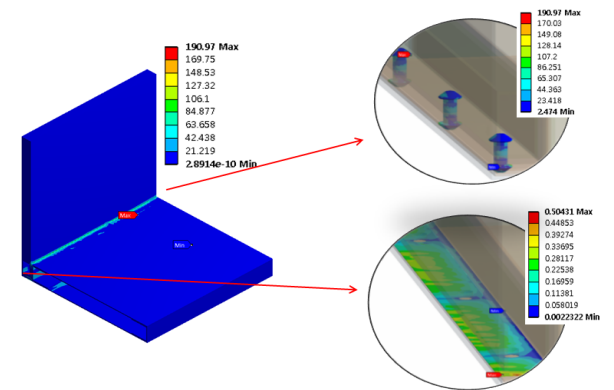
(b) Rivet joint only



(b) Rivet joint only



(c) Bond with rivet joint



(c) Bond with rivet joint

**Fig. 13 Distribution of maximum stress of CFRP**

**Fig. 14 Distribution of maximum stress of GFRP**

## 5. 결론

본 논문에서는 0°/90°의 직교 형태로 적층성형 가공된 것으로 간주하여 유효강성 개념을 적용함으로써 EV 버스의 바디플로어 경량화 설계를 위하여 실험 및 해석을 실시하였다. 실험결과 평균 하중이 345.67kg으로 나타났으며 이에 해석의 하중값의 상한치를 약 300kg로 설정하여 해석을 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) CFRP와 GFRP의 변위량은 GFRP를 적용할 때가 CFRP를 적용했을 때에 비해 약 2배의 변위량을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.
- (2) 리벳만으로 고정시켰을 때는 리벳에 최대응력이 발생하지만, 리벳과 본드의 경우 응력이 고루 분산되어 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 리벳에 가장 많은 응력이 걸리는 것으로 보아 리벳이 파손될 우려가 높다고 판단된다.
- (3) 리벳 개수가 증가함에 따라 응력이 분산됨으로써 리벳이 받는 최대 응력과 변위량이 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부 한국연구재단 (No. 2012H1B8A 2026147, No. 2011-0014149 및 No. 2010-0023764)에 의해 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

## References

- (1) Yang, I. Y., Lee, K. S., and Cho, Y. J., 2004, "The Journal of The Institute Research of Mechanical Technology," *The Journal of The Institute Research of Mechanical Technology*, Vol. 7, No. 5, pp. 1~13.
- (2) Ghoo, B. Y., 2004, "Development of Non-isothermal Forming Technology of Aluminum-alloy Sheet Panel for Light Weight Autobody," *Spring Conference of Korea Society of Automotive Engineers*, pp. 1323~1328.
- (3) Park, D. O., Seo, C. H., and Ji, S. W., 2006, "The Experimental Study on Improvement the Pump Sending

of the Light Weight Concrete using the Light Weight Aggregate" *The Korea Institute of Building Construction*, Vol. 6, No. 1, pp. 23~26.

- (4) Hwang, W. C., Sim, J. K., and Yang, I. Y., 2011, "A Study on the Collapse Characteristics of Al/CFRP Square Structural Member for Light Weight," *KSMTE*, Vol. 20 No. 3, pp. 219~224.
- (5) Yang, I. Y., Im, K. H., Choi, J. H., 2012, "Energy Absorption Characteristics of CFRP Lightweight Structural Members," *KSMTE Spring Conference*, pp. 308~308.
- (6) Seo, M. K., Park, S. H., An, K. H., Kang, S. J., and Park, S. J., 2010, "Technology Trends and the Domestic Industry Status in Carbon," *The Korea Society for Composite Materials*, Vol. 23, No. 5, pp. 39~52.
- (7) Kim, H. G., Kwac, L. K., Oh, S. Y., Seo, M. K. Choi, W. K., Kim, G. C., and Kim, H. W., 2012 "A Study on the Structural Analysis in EV Bus Body Floor Mounting," *Proceedings of the KSME 2012 Spring Annual Meeting*, pp. 15~16.
- (8) Lee, S. S., Hwang, Y. J., and Kim, H. J., 2005., CATIA V5 Releas 14, Cyeongsang National University Press
- (9) TaeSung SNE, 2010, ANSYS Workbench, ANSYS Inc.
- (10) Park, D. Y., Lee, S. Y., and Chang, S. Y., 2011, "Strength Analysis of Joint Between Steel Plate and CFRP Laminated Splice Plates Patched by Adhesive," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc.*, Vol. 2, No. 2, pp. 13~19.
- (11) Park, D. Y., and Chang, S. Y., 2010, "Elastic Buckling Analysis of Laminated Composite Plates with Embedded Square Delamination Using an Enhanced Assumed Strain Solid Element," *J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc.*, Vol. 1, No. 2, pp. 1~13.
- (12) Baek, M. I., and Cho, K. Z., 1995, "The Study for Mass Reduction of Dump Box on Dump Truck," *Trans. of the KSME*, Vol. 2, No. 1, pp. 298~302.