

# 충돌해석을 이용한 전기자동차 복합소재 프레임 배터리 케이스에 관한 연구

이영진\*, 이상찬\*#

\*목포대학교 기계공학과

## A Study on Electric Vehicle Composite Material Frame Battery Case Using Collision Analysis

Young-Jin Lee\*, Sang-Chan Lee\*#

\*Mechanical Engineering, Mokpo National University

(Received 9 September 2021; received in revised form 22 October 2021; accepted 25 October 2021)

### ABSTRACT

Collision analysis involving a vehicle frame that includes a battery and a battery case was performed using a carbon fiber composite material (CFRP) and a glass fiber-reinforced plastic (GFRP), which are lightweight materials. Three types of collisions were analyzed: frontal collisions, partial frontal collisions, and side collisions. The maximum stress and deformation levels were measured for each case. To evaluate the stability of ignition and explosion potential of the battery, the maximum stress of the frame was measured before measuring the direct stress to confirm whether the collision energy was sufficiently absorbed. The deformation level of the battery case was measured to confirm whether the battery case affects the battery directly.

**Keywords** : CFRP(탄소 섬유 강화 플라스틱), Composite Material(복합 소재), Collisions Analysis(충돌해석), Car Frame(차량 프레임)

### 1. 서 론

내연기관의 연료소비는 환경오염에 주범이며 이 중 자동차의 온실가스 배출량은 다른 부문에 비해 상당히 많은 양을 차지한다. 환경오염 문제를 해결하며 편의성을 위하여 기술개발이 이루어지고 있으며 세계적으로도 온실가스 및 대기오염물질로 인한 피해를 최소화하기 위하여 다양한 정책이 시행되고 있다. 온실가스 및 대기오염물질 배출량을 줄이는 기술개발 중 전기자동차 또한 포함되어 있으며 전

기자동차 HEV(Hybrid Electric Vehicle), EV(Electric Vehicle)의 시장 또한 점차 활발해지고 있다. 이러한 전기자동차 시장이 점차 활발해지며 배터리를 포함, 전용 부품들로 인하여 전체적인 중량이 증가<sup>[1]</sup>됨에 있어 자동차의 경량화<sup>[2]</sup> 또한 대두되고 있는 문제이다. 또한 내연기관 자동차의 중량이 감소될 수록 연비는 향상되며 10% 정도의 중량이 감소되면 6~8% 정도의 연료가 절감되므로 연비 향상에도 있어 중요한 기술개발로 여겨지고 있다. 자동차의 경량화에는 소재 교체가 있으며 탄소섬유 복합소재가 주목받고 있다. 탄소섬유 복합소재는 뛰어난 성형성과 고온에서의 높은 강도를 조합하여 설계한 고기능성 재료로 항공기, 우주 왕복선 및 구조재

# Corresponding Author : [sclee@mokpo.ac.kr](mailto:sclee@mokpo.ac.kr)

Tel: +82-61-450-2417, Fax: +82-61-450-2417

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

등에도 핵심 재료로 이용되고 있다. 탄소섬유 복합 소재<sup>[3]</sup>는 보강재로 수지, 세라믹, 금속 등을 모재로 사용하며 탄소섬유강화플라스틱 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), 탄소섬유 강화세라믹 CFRC(Carbon Fiber Reinforced Ceramic), 탄소섬유강화금속 CFRM(Carbon Fiber Reinforced Metal) 등이 있다. 탄소섬유는 스틸보다 약 75% 정도 가벼우며 강도와 탄성은 7~10배 우수한 특성을 지니고 있어 스틸을 대체할 수 있는 가장 이상적인 소재이다.

전기자동차의 전체적인 중량 증가에 따라 소재 선정을 통하여 기존 스틸보다 상당히 가벼운 CFRP를 채택하여 자동차의 경량화를 이루어내며 연비 향상 및 전기자동차의 중량 증가를 방지한다.

또한 배터리 케이스는 충격에 강하며 장력강도 큰 유리 섬유 강화 플라스틱 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer)를 사용하여 배터리에 직접적인 충격을 방지하고자 한다.

본 연구에서는 이러한 CFRP와 GFRP를 채택하며 정면충돌, 부분정면충돌, 측면충돌로 나누어진 충돌 해석을 LS-DYNA<sup>[4]</sup> 프로그램을 이용해 수행하며 배터리 케이스에 발생하는 변형량 및 응력을 파악하여 배터리 케이스가 배터리 발화 및 폭발에 영향을 미치는 것에 대하여 파악하였다.

## 2. 전기자동차 프레임 모델

### 2.1 CAD 모델링

본 연구에서 3D 모델링 프로그램인 CATIA를 이용하여 자동차 프레임과 배터리팩을 모델링 하였다. Fig. 1과 같이 전장 3500mm, 전폭은 1400mm로 설계하였고, 프레임 단면은 100mm\*50mm\*3.2t의 파이프 형태이며, 배터리의 총 무게는 240kg로 가정하였다. 또한 배터리에 가해지는 충격을 최소화하기 위해 프레임 지지대와 부가 구조물을 설치하여 충돌에너지를 고루 분산하고자 하였다. 배터리는 b 배터리 케이스의 벽면으로부터 윗면 97mm, 좌우 110mm만큼 여유 공간을 기준으로 하였다.

### 2.2 유한 요소 모델

본 연구에서 유한요소프로그램인 Ansys LS-DYNA에서 이용하여 Fig. 2와 같이 붉은 색으로 표시된

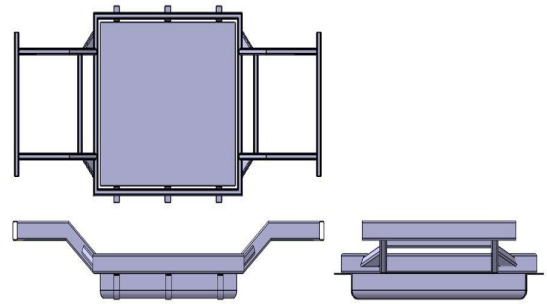


Fig. 1 Shape of car frame and battery pack

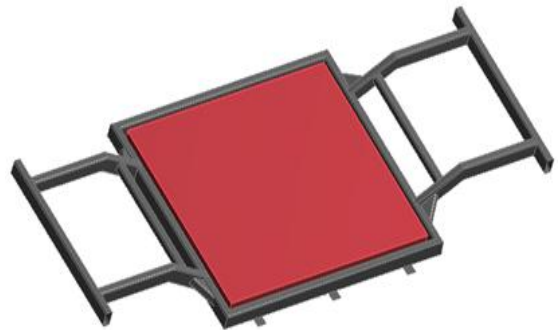


Fig. 2 GFRP in colored part

배터리 케이스는 GFRP, 프레임은 CFRP로 설정하였다. 본 연구에서 사용할 재료인 GFRP와 CFRP의 물 성치는 Table 1, Table 2와 같다. 배터리는 Solid 요소, 그 외 프레임, 배터리 케이스는 Shell 요소로 구성되며, Mesh의 크기는 전체 15mm로 동일하며 Mesh Type은 All Quad로 구성된 총 68,506개의 Node와 58,416개의 Element로 수행되었다.

Table 1 Material properties of GFRP

Property	Unit	Value
Density	kg/m <sup>3</sup>	2060
Tensile Strength	MPa	327.39
Elongation at Break	%	2.20
Young's Modulus	GPa	16.29
Poisson's Ratio		0.3

**Table 2 Material properties of CFRP**

Property	Unit	Value
Density	$kg/m^3$	1700
young's modulus x	GPa	164
young's modulus y	GPa	8.6
young's modulus z	GPa	8.6
Poisson's ratio xy		0.27
Poisson's ratio yz		0.45
Poisson's ratio xz		0.27
Shear modulus xy	GPa	6.94
Shear modulus yz	GPa	3.36
Shear modulus xz	GPa	6.94
Compressive strength x	MPa	1084
Compressive strength y	MPa	116.6
Compressive strength z	MPa	1084

### 3. 충돌해석 조건 및 결과

#### 3.1 충돌해석 조건

충돌해석의 조건은 정면충돌, 부분정면충돌, 측면 충돌로 각각 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다. 배터리와 충돌 벽은 강체로 설정하고 배터리의 총 무게는 240kg으로 차세대 리튬폴리머 배터리인 30kW 급 배터리 무게를 적용했다. 충돌되어지는 벽은 고정(Fixed support)하여 프레임의 속도<sup>[5]</sup> 기준 64km/h에서 저속 테스트<sup>[6]</sup>인 40km/h 속도를 인가하였고 중력 가속도를 인가하였다. 이러한 충돌해석 조건으로 배터리 케이스의 응력과 변형량<sup>[7]</sup>을 토대로 배터리 케이스가 충돌 시 배터리에 주는 영향을 분석하였다. Table 3에 유한요소해석모델과 충돌해석 수행에 사용되어진 조건들을 나타내었다.

**Table 3 Input value for impact analysis**

Parameter	Value	
Solver type	LS-DYNA	
Mesh size	Frame	15mm
Boundary condition	Acceleration gravity	$9.81 m/s^2$
	Fixed support	Collision Wall
Velocity	40km/h	
Material	CFRP, GFRP	



**Fig. 3 A head-on impact on the fixed wall(Case 1)**



**Fig. 4 40% impact on the fixed wall(Case 2)**



**Fig. 5 Side wall impact on the fixed car frame(Case 3)**

#### 3.2 고정 벽 정면충돌 결과

Case 1의 40km/h 속도로 움직여 고정 벽에 100% 정면충돌 시뮬레이션 했을 때 프레임 응력 결과는 Fig. 6처럼 나타났다. 40km/h 속도로 충돌하였을 때, 확대된 부분의 최대응력이 1225.30MPa로 측정되었다.

정면충돌 해석 결과 응력이 충돌 부분 앞에서 최대값이 발생했으며 뒷부분으로 갈수록 전체적인 응력값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 충돌 시 충돌에너지를 뒷부분으로 갈수록 흡수하여 배터리로 가는 충돌에너지를 완화시켰다고 볼 수 있다.

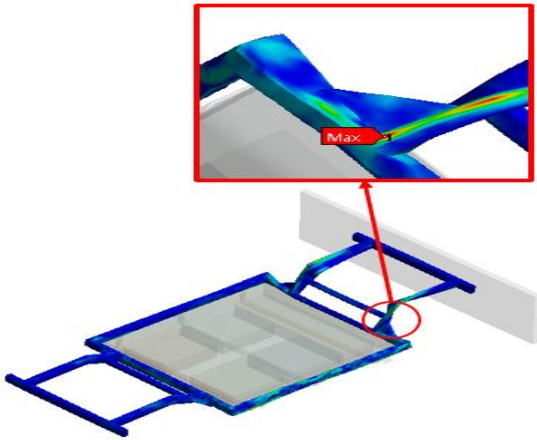


Fig. 6 Results of frame stress(Case 1)

### 3.3 고정 벽 40% 부분 정면충돌 결과

Case 2의 40km/h 속도로 움직여 고정 벽에 40% 부분 정면충돌 시뮬레이션 했을 때 프레임 응력 결과는 Fig. 7처럼 나타났다. 40km/h 속도로 충돌하였을 때, 확대된 부분의 최대응력이 1264.10MPa로 측정되었다. 부분정면충돌 시 정면충돌의 경우보다 뒷부분으로 가는 충돌 에너지를 효과적으로 완화시켰다고는 볼 수 없다.

그러나 응력이 고루 분포되어 있는 점과 정면충돌과 최대응력의 값이 비슷하게 나온 점에서 설계 보안을 통하여 개선 가능성이 나타났다.

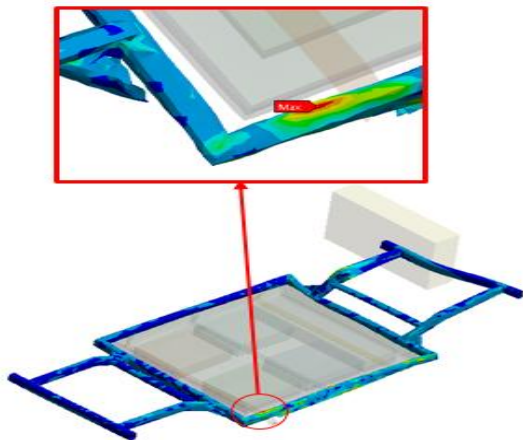


Fig. 7 Results of frame stress(Case 2)

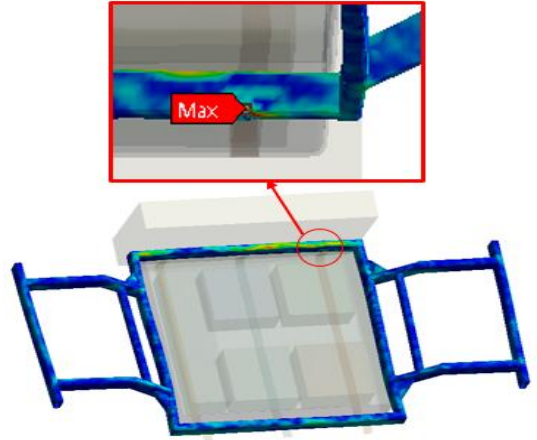


Fig. 8 Results of frame stress(Case 3)

### 3.4 이동 벽 측면충돌 결과

Case 3의 40km/h 속도로 움직여 고정 벽에 40% 부분 정면충돌 시뮬레이션 했을 때 프레임 응력 결과는 Fig. 8처럼 나타났다. 40km/h 속도로 충돌하였을 때, 확대된 부분의 최대응력이 401.69 MPa로 측정되었다.

측면충돌은 다른 case들과는 다르게 최대응력값이 다소 낮게 나타났으며 측면충돌 또한 충돌부에서 최대응력값이 측정되었고 뒷부분으로 갈수록 응력값이 낮게 나타남을 알 수 있다.

3개의 충돌해석 Case로 봤을 때 전체적으로 응력이 고루 분포되며 부분정면충돌을 제외하면 충돌에너지를 흡수하여 완화시킴을 볼 수 있다. 설계 보안을 통하여 부분정면충돌의 경우도 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

### 3.5 배터리케이스 변형량 결과

각 조건별로 충돌해석 시뮬레이션 했을 때 하부 배터리 케이스에 최대응력이 집중된 곳 A지점과 옆면에 최대응력이 집중된 곳 B지점을 선정하여 최대 변형량을 측정하여 충돌 시 배터리 케이스가 변형되어 배터리에 영향을 미치지는지 확인하였다. 목표 변형량은 5mm로 하부 배터리 케이스가 변형되어 배터리에 직접 영향을 미치지 않는 범위로 산정하여 설계 변수를 설정하였다. Fig. 9와 Fig. 10, Fig. 11은 충돌해석 시뮬레이션 결과이며 이를 통하

여 변형량이 도출되는 부분을 알 수 있다. 이 또한 고정 벽 정면충돌, 부분 정면충돌, 이동 벽 측면충돌 3개의 Case가 충돌 시 배터리 케이스 후면부에 변형량인 A지점에 변형량이 최대로 검출되는 부분의 변형량을 측정하였으며 목표량인 5mm를 초과하지 않는 변형량을 도출해내었다.

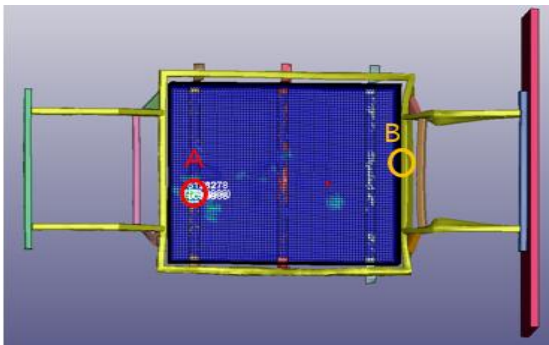


Fig. 9 Result of battery case deformation(Case 1)

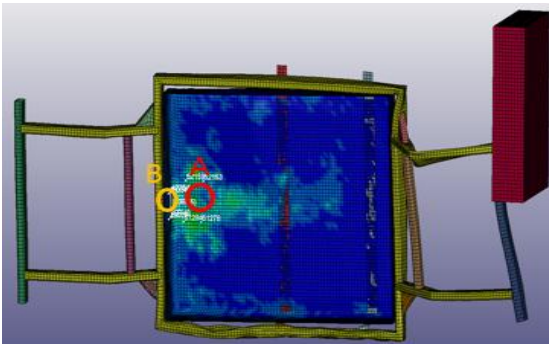


Fig. 10 Result of battery case deformation(Case 2)

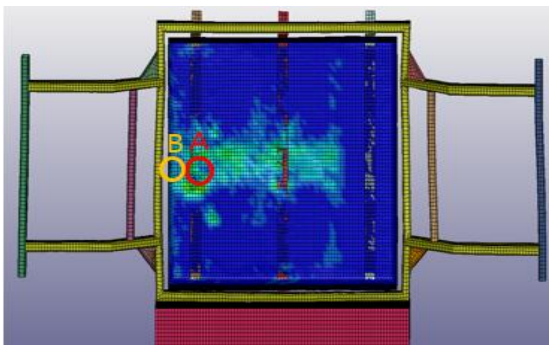


Fig. 11 Result of battery case deformation(Case 3)

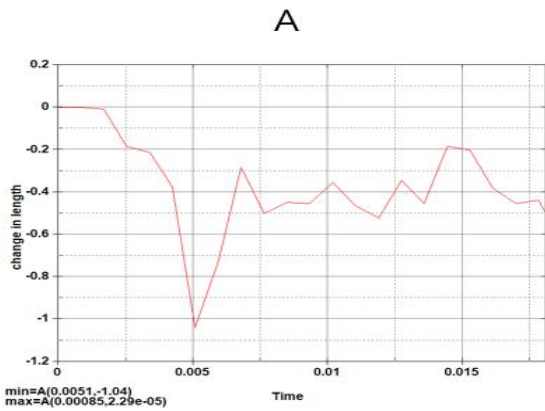
#### 4. 결론

본 연구에서는 전기자동차의 충돌해석을 수행하여 차량 프레임과 배터리 케이스의 응력 및 변형량을 파악하였다. Fig. 12와 Fig. 13, Fig. 14는 하부 배터리 케이스 부근에 최대응력이 집중된 곳과 배터리 케이스 측면에 최대 응력이 집중된 곳을 선정하여 변형량을 그래프로 나타낸 것이며 Case 1의 경우 A지점은 1.04mm, B지점은 1.79mm의 변형량이 도출되었다. Case 2의 경우 A지점에서 3.26mm, B지점에서 3.67mm의 변형량이 나타났으며 Case 3의 경우 A지점에서 2.79mm, B지점에서 1.65mm의 변형량이 도출되었다. Case별로 A, B부분의 변형량은 Table 4에 나타내었다. Case 1인 정면충돌은 다른 Case보다 변형량이 적게 도출되었으며 Case 2인 부분 정면충돌에서 다른 Case보다 변형량이 크게 도출되었다. 변형량의 범위는 1.0 ~ 3.7로 목표 변형량인 5mm 이내의 변형량이 검출되었으며 이는 프레임과 배터리 케이스가 벽과 충돌 시 변형되어 배터리로 가는 충돌 에너지를 흡수하게 됨과 동시에 배터리 케이스의 파손으로 배터리에 미치는 직접적인 영향이 적다고 할 수 있다. 자동차의 연비 향상 및 증가하는 전기자동차의 중량을 감소시키기 위하여 채택된 탄소섬유 복합소재 CFRP, GFRP를 사용하여 충돌해석 시뮬레이션을 수행하였고 그 결과 가벼운 중량과 높은 강도로 충돌 에너지 흡수와 배터리에 직접적인 영향이 적은 결과를 알 수 있었다. CFRP와 GFRP는 앞으로 많은 분야에 대체 소재가 될 것이다.

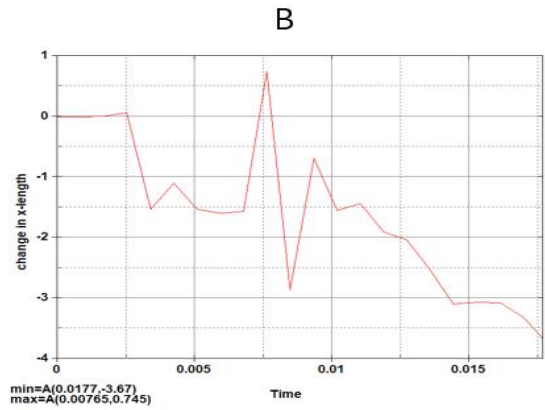
Table 4 Maximum deformation of battery case

	A	B
Case 1(mm)	1.04	1.79
Case 2(mm)	3.26	3.67
Case 3(mm)	2.79	1.65



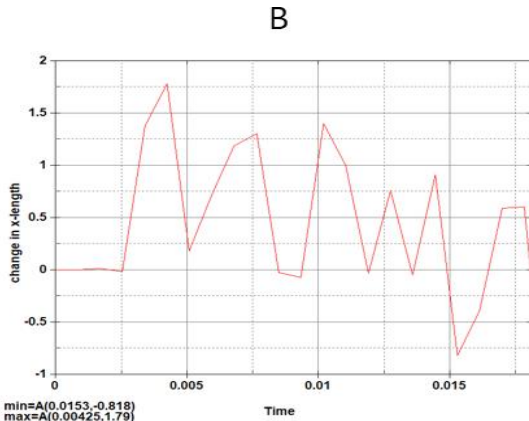


(a) Deformation of battery case part A



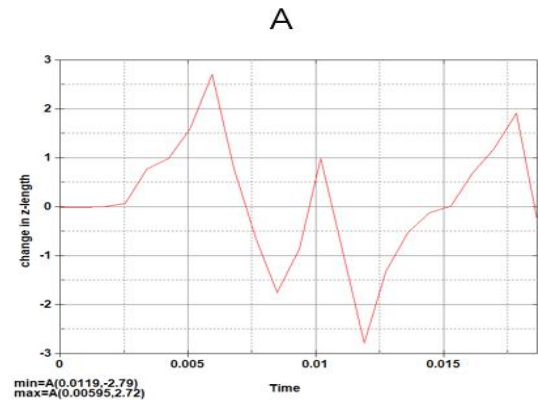
(b) Deformation of battery case part B

Fig. 13 Deformation of battery case A,B(Case 2)

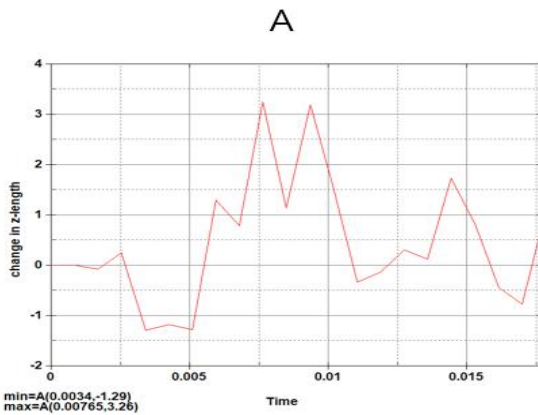


(b) Deformation of battery case part B

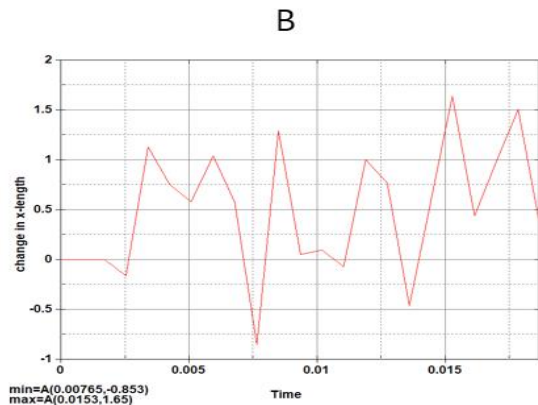
Fig. 12 Deformation of battery case A,B(Case 1)



(a) Deformation of battery case part A



(a) Deformation of battery case part A



(b) Deformation of battery case part B

Fig. 14 Deformation of battery case A,B(Case 3)

## 후 기

“본 논문은 2020학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음”

## REFERENCES

1. Kim, E. H., Rim, M. S., Lee, I. and Hwang, T. K., “Composite Damage Model Based on Continuum Damage Mechanics and Low Velocity Impact Analysis of Composite Plates,” *Composite Structures*, Vol. 95, pp. 123~134, 2013.
2. Yeo, I. G., Choi, J. H., Choi, Y. M., Yang, Y. J., Hwang, W. C. and Yang, I. Y., “Impact Characteristics of CFRP Structural Member according to the Variation of Scatcing Condition and Impact Energy”, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 22, No. 6, pp. 976~981, 2013.
3. Kim, G. D. and Lee, S. Y., “Finite Element Crash Analysis of Support Structures Made of Various Composite Materials,” *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 6, No.1, pp. 45~50, 2015.
4. Kwon, O. H., Baek, S. R., Yoon, J. K. and Lim, J. H., “A Study on Crash Analysis of Vehicle and Guardrail using a LS-DYNA Program,” *Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, Vol. 16, No.3, pp. 179~186, 2016.
5. Lim, C. S., Choi, Y. W. and Jeong, H. K., “Analysis about Speed Variations Factors and Reliability of Traffic Accident Collision Interpretation,” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 31 No. 4, pp. 539~546, 2011.
6. Kim, G. D. and Lee, S. Y., “Passenger Safety Assessment by Real Car Crash Simulation of Composite Post Structures,” *Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 5, No. 2, pp. 15~20, 2014.
7. Han, M. S. and Cho, J. S., “ A Safety Study Using Impact and Fatigue Analyses According to Headrest Shape,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 3, pp. 39~44, 2018.