

충돌해석을 이용한 전기자동차 복합소재 프레임 설계에 관한 연구

안태경*, 이영진*, 이상찬*^{#,}

*목포대학교 기계공학과

A Study on Composite Materials Frame of Electric Vehicles using Impact Analysis

Tae-Kyeong Ahn*, Young-Jin Lee*, Sang-Chan Lee*^{#,}

*Mechanical Engineering, Mokpo National University

(Received 5 December 2019; received in revised form 16 December 2019; accepted 22 December 2019)

ABSTRACT

In this study, we designed car frames for collision analysis using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) as the lighter composite material. The impact conditions were 100 percent frontal impact, 40 percent frontal impact, and 90 degrees side impact. The impact analysis measured the maximum stress at velocities of 20km/h and 40km/h for each condition and evaluated the vulnerable points in the car frame. Additional supports have been designed both to improve the weak points in existing vehicle frames, and to be taken into account when new parts are assembled. Our impact analysis compared the results of maximum stress on the car frame with and without the support.

Key Words : CFRP(탄소 섬유 강화 플라스틱), Composite Material(복합 소재), Impact Analysis(충돌해석), Car Frame(차량 프레임)

1. 서 론

국제 환경 규제 강화 대기오염과 에너지 자원의 가격 상승으로 자동차 소재 및 부품 개발 동기도 단순한 연비 향상뿐만 아니라 환경규제에 따른 경쟁력 향상을 위한 새로운 기술개발이 자동차 산업에서 절실히 요구된다. 자동차 경량화를 위한 소재는 비철금속(Al, Mg), 고강성 플라스틱, 복합 소재로 종류 및 수요가 확대될 것이며, 플라스틱 소

재의 기능성에 따른 다양한 소재 개발과 공정에 대한 비용절감이 큰 비중을 차지하고 있다. 그 중 탄소섬유 복합소재는 뛰어난 성형성과 고온에서의 높은 강도를 조합하여 설계한 고기능성 재료로 항공기, 우주 왕복선 및 구조재 등에 핵심 재료로 이용되고 있다. 일반적으로 탄소섬유 복합소재는 보강재로 수지, 세라믹, 금속 등을 모재로 사용하며, 탄소섬유강화플라스틱(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic), 탄소섬유강화세라믹(CFRC : Carbon Fiber Reinforced Ceramic), 탄소섬유강화금속(CFRM : Carbon Fiber Reinforced Metal) 등이 있다. 탄소섬유는 철보다 약 75% 가볍고 강도와

Corresponding Author : sclee@mokpo.ac.kr

Tel: +82-61-450-2410, Fax: +82-61-452-6376

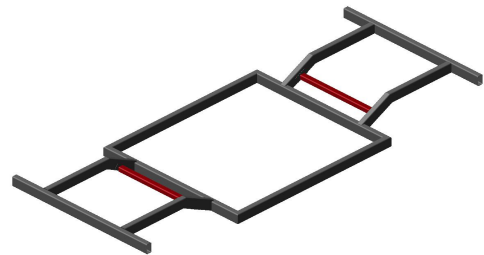
탄성은 7~10배 우수한 특성을 지니고 있다. 따라서 철을 대체할 수 있는 가장 이상적인 소재이다. 경량화를 선도하는 재료이기에 10%의 중량이 감소되면 6~7%의 연료가 절감되는 효과가 있어 이산화탄소 저감과 연비개선을 위한 경량화 목적으로 적극 도입되고 있으며, 장기적으로 보았을 때 기존 철강, 알루미늄 시장을 대체할 것으로 예측되어 공정에서의 가격경쟁력을 확보했을 때 가장 강력한 대체재로 예상된다^[1,2].

특히 자동차산업에서 경량화의 필요성은 오랜 시간 지속되어 온 화두이다. HEV, EV 등 친환경차 시장도 점차 활발해지고 있는 상황이지만 소비자들의 편의, 안전에 대한 요구가 높아지고, 친환경 차량에 필요한 전용부품들 또한 기존 차량보다 중량을 증가시키는 요인으로 작용하고 있어 경량화 범위가 기존보다 더욱 넓어질 것으로 예상된다.

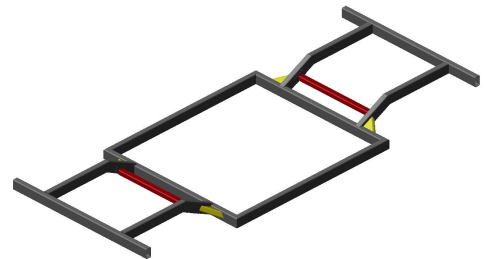
본 연구에서는 탄소섬유강화플라스틱(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastic) 소재를 바탕으로 유한요소프로그램을 이용한 충돌해석을 진행했다. 충돌해석은 충돌 속도, 방향, 범위 등을 설정하여 진행하였으며, 1차 해석결과에서 취약부를 확인하고, 응력 분산을 위한 지지대를 추가로 설계하여 2차 해석을 진행, 1차 해석결과와 2차 해석결과를 비교하였다.

2. 유한요소해석 모델 생성

본 연구에서 유한요소프로그램인 Ansys-Ls Dyna에서 이용할 차량 프레임은 Fig. 1과 같이 전장 3500mm, 전폭은 1400mm로 설계하였고, 단면은 100mm*50mm*3.2t의 파이프 형태이며, 붉은색으로 표시된 부분은 일부 조건에서 Steel과 CFRP 두 소재로 해석을 수행하고, 노란색으로 표시된 부분은 프레임이 연결되는 모서리 부분에 응력이 집중되는 것을 고려하여 설계하였다. 본 연구에서 사용할 재료인 CFRP의 물성치는 Table 1과 같다. 형상은 실제 차량에 쓰이는 전기차 프레임으로 배터리 케이스, 하체 부품 등 다른 부품의 조립을 모두 고려하여 설계된 형상이다^[3].



(a) Car frame without supports



(b) Car frame with supports

Fig. 1 Shape of car frame

Table 1 Material properties of CFRP

Property	Unit	Value
Density	g/cc	1.60
Tensile Modulus	GPa	140
Tensile Strength	MPa	1695
Elongation at Break	%	1.4
Compressive Modulus	GPa	129
Compressive Strength	MPa	1130
Young's Modulus	GPa	242
Poisson's Ratio		0.2

3. 충돌해석 조건 및 결과

3.1 충돌해석 조건

충돌해석의 조건은 Fig. 1의 (a)와 Fig. 1의 (b)가 고정된 벽에 100% 정면충돌(Fig. 2), 40% 부분 정면충돌(Fig. 3)과 254mm 기둥의 측면충돌(Fig. 4)로 설정하고 각 조건별로 20km/h와 40km/h의 속도로 해석을 수행하였다.

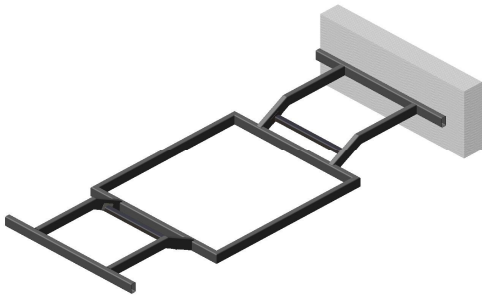


Fig. 2 A head-on impact on the fixed wall(Case 1)

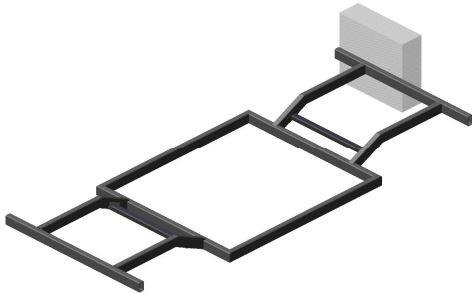


Fig. 3 40% impact on the fixed wall(Case 2)

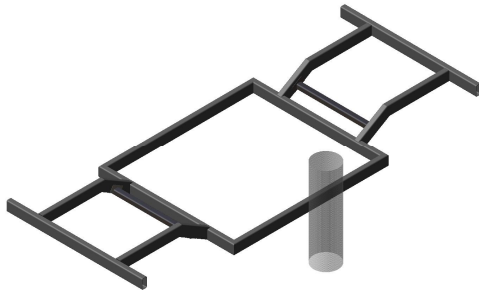


Fig. 4 Side impact by 254mm pole(Case 3)

3.2 고정 벽 정면충돌 결과

지지대가 적용되지 않은 프레임의 Case 1의 경우 20km/h 속도로 충돌하였을 때, 확대된 부분의 최대응력이 484.40 MPa로 측정되었고, 40km/h 속도로 충돌하였을 때 최대응력 800.10 MPa(Fig. 5)로 측정되었다. 지지대가 적용된 프레임의 Case 1의 경우 20km/h에서 충돌하였을 때 최대응력은 465.52 MPa, 40km/h의 경우 최대응력은 766.64 MPa(Fig. 6)로 지지대가 적용되지 않은 프레임의 충돌보다 최대응력

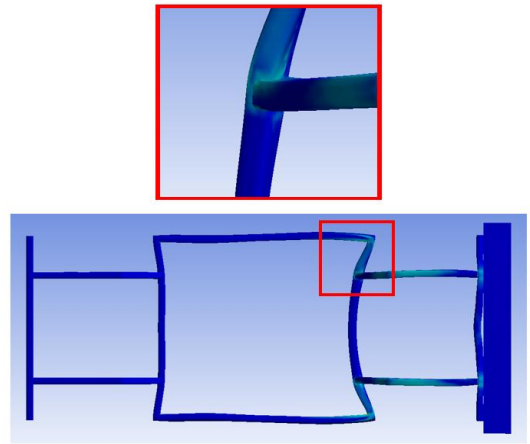


Fig. 5 Case 1 without support(40km/h)

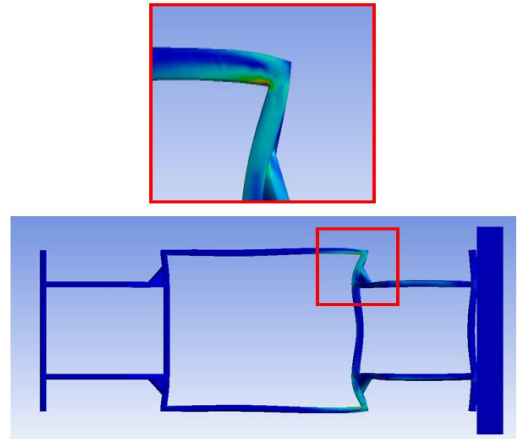


Fig. 6 Case 1 with support(40km/h)

이 20km/h와 40km/h 모두에서 약 4% 감소하였다.

3.3 고정 벽 40% 부분 정면충돌 결과

지지대가 적용되지 않은 프레임의 Case 2의 경우 20km/h에서 최대응력 533.51 MPa, 40km/h 속도에서 1038.10 MPa(Fig. 7)로 측정되었다. 지지대가 적용된 프레임의 Case 2의 경우 20km/h에서 충돌하였을 때, 최대응력 451.87 MPa, 40km/h에서 최대응력은 918.56 MPa(Fig. 8)로 지지대가 적용되지 않은 프레임의 충돌보다 최대응력이 20km/h에서 약 15%, 40km/h에서 약 12% 감소하였다.

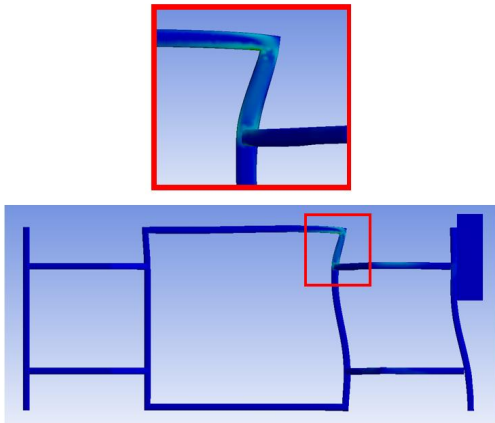


Fig. 7 Case 2 without support(40km/h)

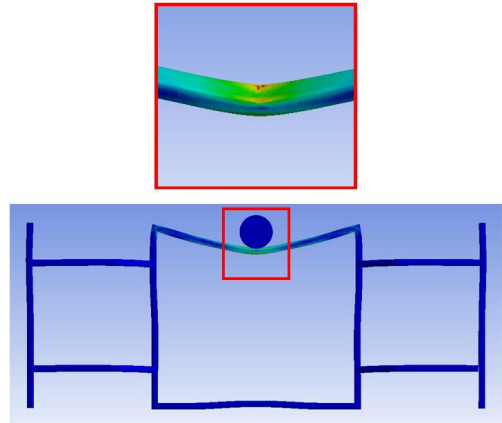


Fig. 9 Case 3 without support(40km/h)

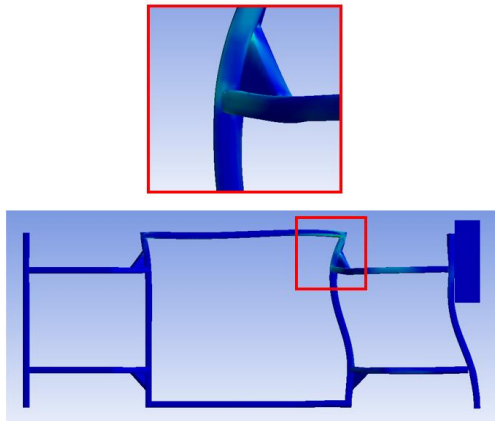


Fig. 8 Case 2 with support(40km/h)

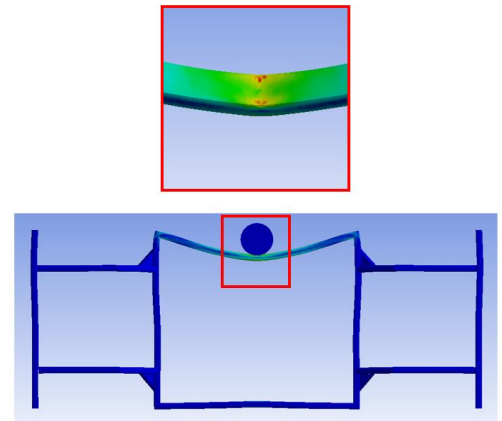


Fig. 10 Case 3 with support(40km/h)

3.4 지름 254mm 기둥 측면충돌 결과

지지대가 적용되지 않은 프레임의 Case 3의 경우 프레임은 고정된 상태에서 지름 254mm의 기둥이 지정된 속도로 충돌해석을 수행하였다. 충돌해석 결과 20km/h 속도에서 최대응력 464.53 MPa, 40km/h 속도에서 854.92 MPa(Fig. 9)로 측정되었다. 지지대가 적용된 프레임의 Case 3의 경우 충돌해석 결과 20km/h 속도에서 최대응력 229.50 MPa, 40km/h 속도에서 746.68 MPa(Fig. 10)로 측정되었고, 지지대가 적용되지 않은 프레임의 충돌보다 최대응력이 20km/h에서 약 50%, 40km/h에서 약 13% 감소하였다.

3.5 결합부 소재별 최대응력 비교결과

Fig. 11에서 붉은색으로 표시된 부분은 일반적으로 차량의 하체 부품인 크로스 멤버가 결합되는 부위로서 기존 Steel 소재로 해석한 결과와 CFRP 소재를 적용한 결과 중, 가장 높은 응력이 측정된 Case 2의 40km/h 속도에서 해석을 수행하여 결과를 비교하였다. 해석결과 기존 Steel소재는 1038.1 MPa이며, CFRP 소재를 적용하였을 때 991.79 MPa로 약 4.5% 감소하였고, Steel 소재 대비 중량은 약 2.5kg이 감소하였다.

3.6 추가 지지대 설계 후 최대응력

하체 부품들이 조립된 프레임을 보았을 때 추가적인 지지대를 설계할 수 있는 범위를 파악, 추가적인 지지대를 설계하였다. 추가된 지지대는 CFRP 소재로 Fig. 12에서 파란색으로 표시하였으며, 중량은 약 3kg 증가하였다. 충돌해석은 각 조건에서 40km/h의 속도로 수행하였다.

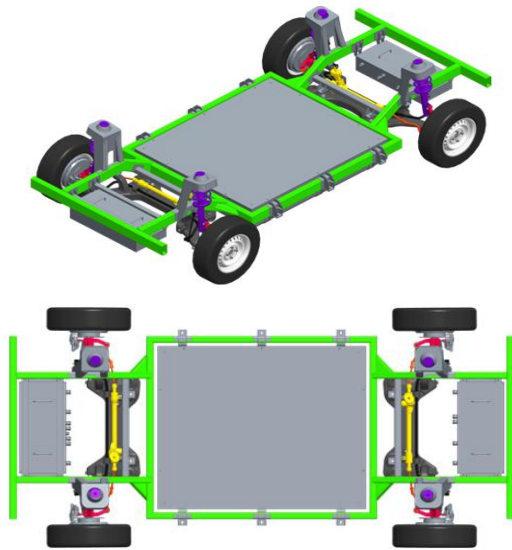


Fig. 11 Assembled car frame

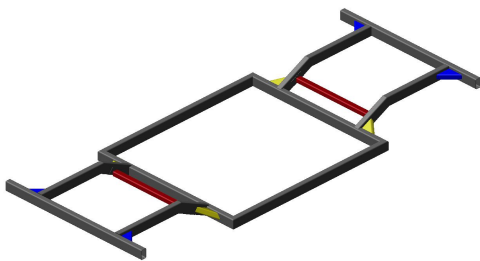


Fig. 12 Car frame with additional supports

Table 2 Maximum stress of car frame with additional supports at 40km/h

	Fig. 1 (a)	Fig. 1 (b)	Fig. 12
Case 1(MPa)	800.10	766.64	707.83
Case 2(MPa)	1038.10	918.56	833.68
Case 3(MPa)	854.92	746.68	724.50

4. 결론

본 연구에서는 전기 자동차 경량화에 필수적인 소재를 이용한 프레임의 충돌해석을 수행하고 결합되는 부품들의 간섭을 고려하여 지지대를 설계하였을 때의 충돌 최대응력을 측정하였다. 충돌해석 결과 대부분의 실험에서 지지대를 설계하지 않은 프레임의 최대응력보다 지지대를 추가한 프레임의 최대응력이 Case 1에서 약 4%, Case 2에서 약 12~15%, Case 3의 20km/h에서 약 50%, 40km/h에서 약 13% 감소하였다. Case 1의 경우 속도 변화에 따라 차이가 크지 않으며, Case 3의 경우 20km/h에서 지지대 유무에 따라 결과가 크게 차이가 났고, 그 외의 실험에서는 약 12~15% 대로 일정하게 감소한 모습을 볼 수 있다. 추가로 지지대를 설계한 Fig. 12의 경우 Table 2에서 보는 것

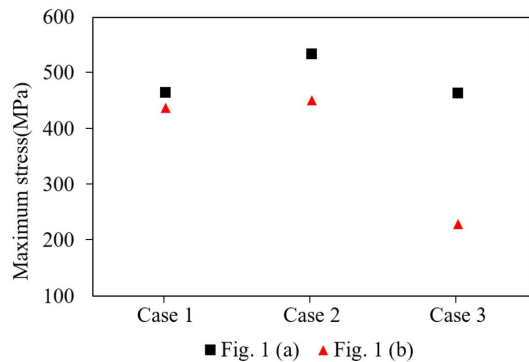


Fig. 13 Maximum stress at 20km/h

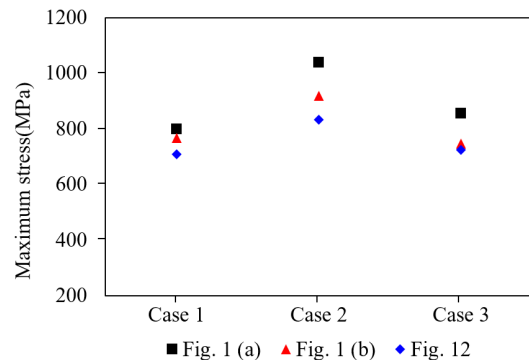


Fig. 14 Maximum stress at 40km/h

과 같이 Fig. 1의 (b)보다 Case 1에서 약 7%, Case 2에서 약 9% 감소하였고, Case 3에서는 약 3% 감소하였다. 충돌해석 결과를 보았을 때 프레임의 중량, 부품 조립, 지지대 제작 공정 등 여러 변수를 고려하여 추가적으로 지지대를 설계하는 것이 프레임이 받는 응력을 분산시키는데 도움이 되는 것으로 파악되지만, Fig. 1의 (b)와 Fig. 12의 응력 감소폭과 추가되는 중량을 감안하였을 때, 경량화에 비중이 더 높기 때문에 Fig. 1의 (b)를 선정하였다.

CFRP라는 경량화 소재를 적용하는 것은 현재 불가피한 환경 규제 강화와 원가절감을 위한 공정 개선, 소재 개발 기술력 향상으로 20세기 초반에 비해 일반적으로 보급되어지는 차량에도 경량화 소재가 많이 적용되는 추세이기 때문에 시간이 자남에 따라 더욱 활용범위가 넓어질 것으로 판단된다.

후 기

“이 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술 평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (‘20005680’)”

REFERENCES

1. Lee, Y. S., Shin, K. H., Cheong, S. K., Choi, U. J., Kim, Y. K., Park, K. R., & Kim, H. S. “Utilization of Finite Element Analysis in Design and Performance Evaluation of CFRP Bicycle Frames”, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 37, No. 1, pp. 121-127, 2013.
2. Won, J. S., Bae, I. J., Jeong, J. W., Cho, W. G., Cho, H. H. and Lee, S. G., “Preparation and Characterization of Carbon Fiber Reinforced Polycarbonate Composite”, Textile Science and Engineering, Vol. 54, No. 6, pp. 433-448, 2017.
3. Park, K. S., Kong, C. D., Park, H. B., “A Study on Structural Design of Natural Fiber Composites Automobile Body Panel Considering Impact Load”, Composites Research, Vol. 28, No. 5, pp. 291-296, 2015.
4. Cha, E. H., Jeon, D. J., Han, S. E., “Performance Evaluation and Proposal on Standard Establishment of the Bollard Through Impact Analysis,” Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 16, No. 4, pp. 59-66, 2016.
5. 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,” The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 16, No. 3, pp. 179-186, 2016.
6. Cho, J. U., Bang, S. O. and Kim, K. S., “Simulation Analysis on the Impact of Racing Car with Space Frame,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 7, pp. 2341-2348, 2010.