

# 전기자동차 배터리 하우징의 크로스멤버 구조에 따른 안전성 분석

배정빈\*, 김정진\*  
\*계명대학교 기계공학부

e-mail: willy600301@gmail.com

## Structural Safety Analysis of Electric Vehicle Battery Housing According to The Cross Member Structure

Jeong-Bin Bae\*, Jung-Jin Kim\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

### 요약

전기자동차의 적극적인 보급과 함께 전기자동차의 안전에 대한 중요성도 증가하고 있는 추세이다. 그중 배터리 보호에 관한 연구가 미비한 것이 현실이다. 따라서, 본 연구는 충돌 상황에서 배터리 변형의 최소화를 위해 전기 자동차 배터리 하우징의 횡방향 크로스멤버 단면에 따른 구조적 안전성을 분석하여 설계 개선안을 제시하고 검증하는 것을 목표로 한다. 충돌 후 배터리 하우징의 서브프레임을 제외한 측면부가 내부로 60 mm 침입했을 시 최대 응력이 최소인 단면 형상을 개선 모델이라 하였다. 최적 설계안 분석 결과 기존 모델 대비 안전율은 증가하였으며 기존 허용침입량을 초과하였던 문제점을 개선하였다.

## 1. 서론

최근 다양한 환경 정책들로 인해 자동차 산업에서는 다양한 동력원들이 각축을 벌이고 있다. 그중 전기 자동차는 강화되는 규제에 대한 현실적인 대안으로 주목받고 있으며, 최근 적극적인 연구도 이뤄지고 있다. 다만, 최근 발생하고 있는 전기 자동차 화재 사건들로 인해 소비자들의 구매 심리가 다소 위축되고 전기차 확산에 제동이 걸리고 있다.

전기차 화재는 배터리 폭발과 치명적인 유독성 기체로 인해 인명사고로 이어지고 화재 진압이 매우 어렵다는 문제점을 가지고 있다[1,2]. 이에 전기차의 화재 발생 전 초기에 예방하는 것이 매우 중요하다. 이러한 예방은 배터리 하우징의 구조적 안전성 개선을 통해 가능하다. 배터리 하우징은 외부 충격을 흡수하고 최소의 변형을 통해 배터리의 파손을 방지하여 화재를 예방하는 역할을 한다. 다만, 배터리 하우징 안전성 개선에 관한 연구가 미비한 상황이다.

본 연구에서는 충돌 상황에서 전기차 배터리 하우징 변형의 최소화를 위해 크로스멤버의 단면에 따른 구조적 안전성을 정량적으로 분석하고자 한다. 그리고 안전성이 개선된 개선안을 제시하고 검증하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 현재 상용화된 배터리의 하우징의 취약점을 파악하고 이를 안전성을 개선하는 설계안을 제시하였다.

## 2. 본론

### 2.1 유한요소모델링

본 연구에서는 국내 현대 자동차 그룹에서 사용중인 전기자동차 전용 플랫폼(E-GMP)의 배터리 하우징 기반으로 CAD 모델링과 유한요소(Finite element) 모델링을 수행하였다. 배터리 하우징은 가로 2,492 mm, 세로 1,380 mm, 높이 200 mm의 크기를 가진다. 다만, 배터리 팩과 기타 세부 구조들은 외부 하중을 지지하지 않거나 구조적 거동에 미치는 영향이 적어 모델링에서 제외하였다. Ansys 2021 Workbench의 Design modeler와 Mechanical을 사용하여 CAD 모델링과 유한요소 모델링을 각각 수행하였다. 유한요소 모델은 5 mm의 크기를 가지는 3차원 Solid 요소를 이용하여 생성하였다.

### 2.2 유한요소해석 기반 정량적 안전성 분석

본 연구에서는 한국 자동차 안전도 평가 제도(KNCAP)의 기준으로 측면 충돌 상황과 기둥 측면 충돌 상황을 도입하여 유한요소 해석을 수행했다. 다만, 동적 충돌 해석의 경우 비선형성이 높아 해석의 수렴성뿐만 아니라 정확도 및 정밀도 보장이 어려워, 본 연구에서는 정적 구조 해석으로 변환하여 수행했다. 이때, 동적 충돌 시 충격력은

충격량-운동량 보존의 법칙을 이용해 계산했다. 측면 충돌 상황의 충격력 ( $F_{\text{impact1}} = 233 \text{ kN}$ )은 1,400 kg의 이동벽이 60 km/h의 속도로 충돌하는 KNCAP을 모사하여 계산하였다. 기동 측면 충돌 상황의 충격력( $F_{\text{impact2}} = 169 \text{ kN}$ )은 기동이 차량으로 충돌하는 상황으로 가정한 값을 계산했다. 이때, 기동은 일반적으로 차량이 콘크리트 전봇대에 충돌하는 상황(충돌 시간 0.1 초)으로 가정하였다[3]. 경계 조건은 배터리 하우징에서 충돌 부위의 반대편의 측면 부위를 완전 고정하여 구현하였다.

요소의 물성치는 크로스멤버에는 초고장력 강판(Advanced High Strength Steel)인 TWIP강(Twinning Induced Plasticity Steel)의 물성치(Yield Strength: 780 MPa, Tensile Strength: 1,046 MPa)를 부여했다. 그리고 이외의 부위에는 하우징에 일반적으로 사용하는 알루미늄 합금 6063-T5의 물성치(Young's Modulus: 68,900 GPa, Poisson Ratio: 0.33, Yield Strength: 145 MPa)를 부여하였다.

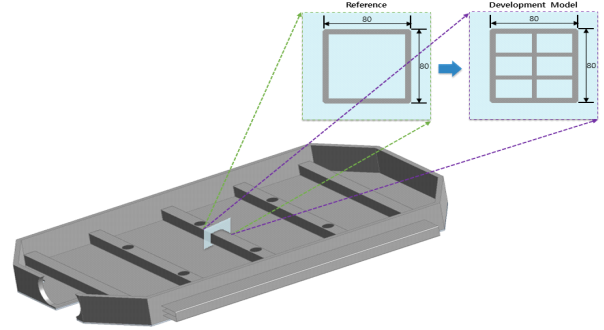
### 2.3 개선 설계안 제시 및 검증

본 연구에서는 앞선 정량적 안전성의 결과를 기반으로 크로스멤버의 단면을 개선한 설계안을 제시하였다. 이를 위해 크로스멤버의 단면 형상을 변경해가며 충돌 후 배터리 하우징의 서브프레임을 제외한 측면부가 내부로 60 mm 침입했을 시의 응력을 분석하였다. 또한 기존 모델과 재료의 양을 같게 설계하여 구조의 중요성을 정량적으로 분석하였다. 이때, 단면 형상의 넓이는  $316 \text{ mm}^2$ 이다(Fig. 1).

## 3. 결론

본 연구는 2가지 측면 충돌 시 배터리 하우징의 횡방향 크로스멤버의 단면 형상에 따른 구조적 거동을 분석하였다. 충돌 후 배터리 하우징의 서브프레임을 제외한 측면부가 60 mm 침입한 지점에서 최대 응력이 최소인 단면 형상을 최적 설계안이라 하였다. 최적 설계안 분석 결과 안전율은 증가하였으며 기존 허용침입량을 초과하였던 문제점을 개선하였다.

이러한 결과는 재료의 변화 없이 크로스멤버의 구조만 변화시켜 충돌에 대한 구조적 안전성을 개선시킬 수 있음을 의미한다. 본 연구를 기반으로 추후 연구를 통해 배터리 하우징의 안전성을 개선하고 사고 예방에 기여하기를 기대한다.



[Fig. 1] 배터리 하우징 크로스멤버의 기존 형상과 개선된 형상

### 참고문헌

- [1] Chombo, P. V., Laonual, Y., & Wongwises, S. (2021). Lessons from the electric vehicle crashworthiness leading to battery fire. *Energies*, 14(16), 1&#8211;21.
- [2] Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. In *Fire Technology*. Springer US.
- [3] Lim, J.-H. (2018). A Study on the Side Impact Characteristics Occurred from SUV-to-Passenger Car using LS-DYNA. *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 18(2), 217&#8211;226.