

이동형 교체식 배터리의 유형 및 성능 분석

이종욱*

한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

Analysis of Types and Performance of Portable Replaceable Batteries

Jongwook Lee*

Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology of Education, Cheonan 31253, Korea
(Received 22 December 2023 / Revised 9 January 2024 / Accepted 15 January 2024)

Abstract : Along with the electrification of automobiles, the electrification of various types of mobility systems is also accelerating. The electrification of mobility systems is becoming a good alternative to combat environmental problems, and is leading technological development in the field of mobility. However, it also has several limitations. One of them is lengthy charging time. Several technologies are being proposed and developed to shorten charging time. Replaceable batteries are also being developed to address this issue, and are being applied in various scales of mobility beyond automobiles. In this study, we analyzed the performances of the two types of replaceable batteries that are commonly used in electric scooters, where replaceable battery technology is actively used among various types of mobility. The energy density and safety(structural safety) of two different types of swappable batteries were compared. Through this comparison, both the strengths and the weaknesses of each type of replaceable battery were analyzed.

Key words : Replaceable battery(교체식 배터리), Electrification of mobility(모빌리티의 전동화), Energy density(에너지 밀도), Structural safety(구조 안전성), Charging time(충전시간), Electric scooter(전기 이륜차, 전기 스쿠터)

1. 서론

전세계의 친환경에 대한 관심이 높아지고 중요성이 강조됨에 따라 각국의 정책과 법규가 강화되고 있다.¹⁾ 이러한 흐름은 산업 분야에도 많은 영향을 미치고 있으며 특히 자동차 시장에서는 대기오염의 저감을 위해 기존의 내연기관에서 친환경 자동차로의 전환이 가속화되고 있다.

친환경 자동차는 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차, 전기자동차와 같이 차량에 모터와 배터리를 탑재한 자동차를 의미하여 이중 엔진을 탑재하지 않는 전기자동차의 관심이 급격히 높아지고 있다. 전기자동차는 엔진이 없어 배기가스를 배출하지 않아 가장 친환경적으로 간주되기 때문이다.^{1,2)} 이러한 중요성 때문에 전기자동차에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있고 특히 고전압 배터리의 셀 단위에서 팩 단위까지 다양

한 스케일에 대한 연구들과 고전압 배터리의 구조 및 열적 거동에 대한 다양한 물리계를 고려한 연구들이 활발하게 진행되고 있다.³⁻⁵⁾ 전기자동차에 사용되는 배터리는 차량의 성능을 결정하고 주행거리에도 큰 영향을 주는 중요한 역할을 수행하기 때문이다. 이 같은 연구를 통하여 배터리에 대한 기술이 고도화되면서 최근의 전기자동차들은 그동안 가지고 있던 약점들을 다수 개선하여 출시되고 있다. 그중 하나가 충전 시간이며 초기의 전기자동차와 비교했을 때 최근 출시되는 전기자동차들의 충전 시간은 절반 이상 수준으로 단축되었다.

앞에서 언급한 것처럼 내연기관 자동차와 비교하여 전기자동차의 가장 큰 약점으로 거론되는 것이 바로 충전 시간이다. 전기자동차 사용에 있어서도 중요한 불편함으로 언급되기 때문에 충전 시간을 단축하기 위한 여러 기술들이 제안되고 개발되어오고 있다. 급속충전을

*Corresponding author, E-mail: jwl@koreatech.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<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.

통하여 충전속도를 높여 충전시간을 감소하게 할수도 있지만 방전된 배터리를 충전된 배터리로 교체하는 방법으로도 충전시간의 문제를 해결할 수 있다. 교체식 배터리 기술은 방전된 배터리를 새로운 배터리로 교체하여 충전하는 새로운 방식의 충전 방법으로 꾸준히 연구 및 개발되고 있다.⁶⁻⁸⁾ 그리고 최근에는 자동차 분야에서 개발된 교체식 배터리 기술이 자동차 외에도 다양한 스케일의 모빌리티에 적용되고 있다. 특히 전기자동차보다 크기는 작지만 기동성이 좋은 전기 이륜차에 활발하게 사용되고 있고 시장규모도 계속해서 증가하고 있는 추세이다.⁶⁻⁸⁾ 본 연구에서는 이러한 성장성을 고려하여 전기 이륜차 시장에서 사용되는 교체식 배터리들에 대한 분석을 수행하였다. 전기 이륜차에서 사용되는 교체식 배터리들을 크게 두 가지 유형으로 분류하였고 각 유형에 대한 특성을 분석하였다. 또한 각 유형에 대한 성능 분석 및 비교를 통하여 교체식 배터리의 각 유형이 가지는 장단점을 도출할 것이다.

2. 전기 이륜차용 교체식 배터리팩의 유형

2.1 1단 평면구조와 2단 타워구조의 교체식 배터리

대부분의 전기 이륜차용 교체식 배터리에는 원통형 배터리 셀이 사용되고 있다. 그리고 이 배터리 셀을 배치하는 방법에 따라 유형을 구분할 수 있다. 먼저 이 배터리 셀을 하나의 층으로 배치할 수 있고 이렇게 구성된 배터리가 전기 이륜차용 교체식 배터리의 유형중 하나이다.

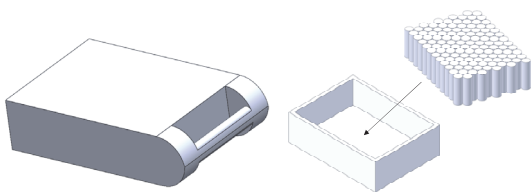


Fig. 1 One type of replaceable battery: arranged in a single layer

Fig. 1에서는 첫번째 유형에 해당하는 교체식 배터리와 배터리 셀 구성방식을 나타내었다. 가장 기본적으로 고안할 수 있는 유형으로 배터리 셀을 하나의 층에 배열하면 되기 때문에 구조가 간단하다. 또한 배열된 배터리 셀들의 전체 형상에 맞춰 배터리 팩의 형상을 결정할 수 있으므로 불필요하게 낭비되는 공간을 줄일 수 있고 따라서 에너지밀도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 유형의 구별을 위하여 이러한 교체식 배터리 구조를 1단 평면구조로 지칭할 것이다.

또 다른 교체식 배터리의 유형으로 배터리 셀을 2개의

층으로 배치한 구조가 있다. 앞에서 살펴본 1단 평면구조에서 단층으로 배열된 배터리 셀을 1층과 2층 2개의 층으로 나누어 배치하여 평면의 면적을 축소한 구조이다. 따라서 줄어든 평면의 면적만큼 높이가 증가하는 특징을 가진다. 이 유형의 교체식 배터리는 Fig. 2에서 좀더 상세하게 나타내었다.

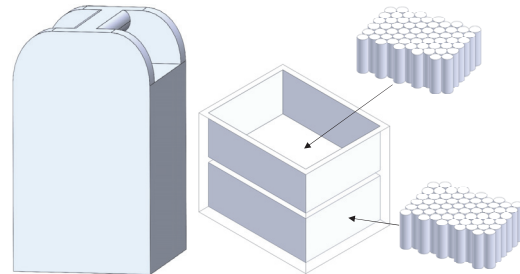


Fig. 2 Another type of replaceable battery: arranged in two layers

이 구조에서는 2단으로 배터리 셀이 배치되기 때문에 이들을 전기적으로 연결하기 위한 부품들이 추가로 필요하며 배치도 복잡해진다. 뿐만 아니라 2층에 배터리 셀을 배치하기 위한 구조도 추가로 필요하기 때문에 1단 평면구조에 비하여 에너지밀도가 낮아질 것을 예상할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 구조의 교체식 배터리를 2단 타워구조로 지칭하도록 한다.

에너지밀도는 동일한 부피 내에서 얼마나 많은 에너지를 탑재할 수 있는지를 나타내는 기준으로 단위 중량 또는 체적당 에너지로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 단위 체적당 에너지를 에너지밀도로 정의하고 사용한다. 배터리가 보유한 에너지는 주행거리와 연관되기 때문에 중요한 성능으로 볼 수 있으며 따라서 에너지밀도가 배터리 성능의 주된 기준으로 사용된다. 1단 평면구조의 교체식 배터리와 2단 타워구조의 교체식 배터리는 확연하게 구분되는 형상으로 인하여 에너지밀도도 뚜렷한 차이를 보일 것이다. 본 연구에서는 상세 설계모델을 도출하여 두 가지 유형에 대한 에너지밀도를 비교하였다.

2.2 상세 설계모델을 통한 에너지밀도 비교

동일한 설계 기준을 바탕으로 앞에서 소개한 두 가지 교체식 배터리 유형에 대하여 상세 설계 모델을 도출하였다. 상세 설계모델을 도출하기 위하여 동일한 21700 원통형 배터리 셀을 사용하였다. 상세 설계모델에 적용된 원통형 셀의 성능은 전기 이륜차용으로 판매되고 있는 제품의 사양을 참고하였다.⁹⁾ 본 연구에서 사용된 배터리 셀의 전압은 3.7 V이며 용량은 5,000 mAh로 가정하

었다. 또한 배터리 셀들은 10개의 병렬 연결과 12개의 직렬 연결을 통하여 구성되었다. 이를 통하여 상세 설계모델의 교체식 배터리는 2.2 kWh의 에너지를 탑재하도록 하였다. 상세 설계 형상은 아래의 그림을 통하여 확인할 수 있다.

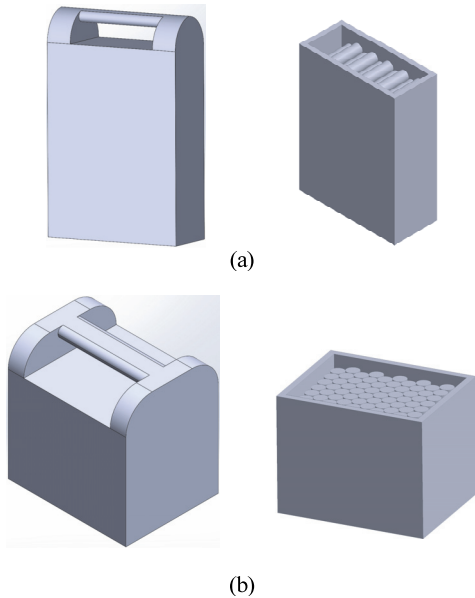


Fig. 3 Detailed design models of two types of replaceable batteries: (a) one-layer flat type and (b) two-layer tower type

동일한 에너지를 탑재한 두 가지 교체식 배터리의 에너지밀도를 비교하기 위하여 부피를 계산해야 한다. 따라서 상세 설계모델의 손잡이 부분을 제외한 나머지 구조에 대한 부피를 계산하기 위하여 가로, 세로, 높이의 치수를 살펴보았다. 1단 평면구조의 경우 가로, 세로, 높이의 치수가 각각 224.7 mm, 302.5 mm, 90 mm였으며 2단 타워구조의 치수는 가로가 224.7 mm, 세로가 176.5 mm, 높이가 180 mm인 것을 확인할 수 있었다.

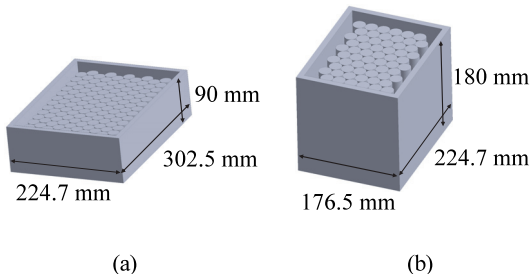


Fig. 4 Detailed dimensions of two replaceable battery types: (a) one-layer flat type and (b) two-layer tower type

부피 계산에 손잡이 부분을 제외한 이유는 실제 교체식 배터리 제품에서는 손잡이의 위치나 형상이 경우에 따라 변경될 수 있기 때문에 가변적이기 때문이다. 더욱이 두 가지 교체식 배터리 유형의 에너지밀도를 비교하는데 있어 다른 요인으로 인한 영향을 최소화하기 위해서이다. 이렇게 도출된 두 가지 유형의 교체식 배터리에 대하여 에너지밀도를 도출하였고 그 결과를 다음의 Table 1로 정리하였다.

Table 1 Energy density comparison of two replaceable battery types

	Flat type	Tower type
Energy density [W/m ³]	360	308

동일한 에너지를 기준으로 1단 평면구조의 교체식 배터리는 360 W/m³의 에너지밀도를 가지며 2단 타워구조의 교체식 배터리는 308 W/m³의 에너지밀도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 2단 타워구조에 비하여 1단 평면구조의 교체식 배터리 에너지밀도가 약 17% 높은 것을 확인할 수 있었다. 앞에서 교체식 배터리의 두 가지 유형을 구분하면서 각 유형의 구조적 특성을 언급하였다. 1단 평면구조의 경우 1단으로 배열된 배터리 셀에 맞추어 전체 형상이 결정되기 때문에 구조가 단순하고 내부 부품의 효율적인 배치가 가능하기 때문에 높은 에너지밀도를 가질 수 있다. 반면 2단 타워구조의 경우 배터리 셀을 2단으로 구성하기 위하여 필요한 부품들과 다른 유형과 비교할 때 복잡한 구조로 인하여 에너지밀도가 떨어지게 된다. 특히 1단의 배터리와 2단의 배터리를 전기적으로 연결해 주어야 하며 이때 추가되는 부품과 공간으로 인하여 에너지밀도가 떨어지게 된다. 따라서 위의 결과를 통하여 같은 교체식 배터리를 사용한다면 1단 평면구조의 교체식 배터리를 탑재했을 때 더 많은 거리를 주행할 수 있을 것이다.

에너지밀도와 더불어 배터리의 중요한 성능 중 하나로 구조안전성을 생각할 수 있다. 특히 충돌과 같은 상황에서 외부에서 가해지는 외력으로 인하여 배터리가 변형 또는 파손되면 화재로 이어질 수 있기 때문에 배터리의 강성 수준에 대한 확인이 필요하다. 따라서 다음 장에서는 두 가지 교체식 배터리의 유형에 대한 충돌안전성을 비교해볼 것이며 비교를 위하여 구조해석을 수행하였다.

3. 교체식 배터리 유형별 충돌안전성 비교

3.1 충돌안전성 비교를 위한 해석조건

본 연구에서는 구조해석을 통하여 충돌안전성을 비교할 것이며 이를 위해서는 해석조건을 수립해야 한다. 해석조건 현실성을 높이기 위하여 교체식 배터리의 실제 탑재 상태를 확인하였고 그 결과 Fig. 5와 같이 전기이륜차의 시트 하단에 손잡이 부위가 상단을 향하도록 탑재되는 것을 알 수 있었다.¹⁰⁾

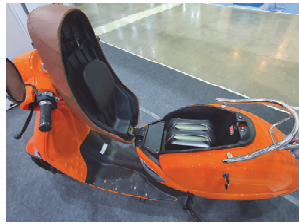


Fig. 5 Actual installation status of replaceable battery

교체식 배터리의 탑재 방식은 전기 이륜차마다 다르겠지만 본 연구에서는 두 가지 유형의 형상의 특징을 고려하면 1단 평면구조는 차량의 폭 방향으로 탑재되며 2단 타워구조는 차량의 길이 방향으로 탑재되는 상태를 가정하고 Fig. 6에 상세히 나타내었다. 이러한 탑재 상태에서 주행 중에 측면 또는 후면 충돌이 발생하면 교체식 배터리는 측면과 후면 방향으로 외력이 작용한다.

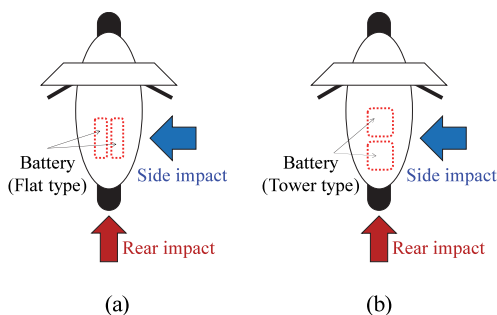


Fig. 6 External crash situations for two replaceable battery types: (a) one-layer flat type and (b) two-layer tower type

이러한 충돌 상황을 고려하면 각 유형별 교체식 배터리에 대하여 두 가지 해석조건을 수립할 수 있다. 즉, 1단 평면구조 교체식 배터리의 측면과 후면 방향의 충돌을 고려한 해석조건과 2단 타워구조 교체식 배터리의 측면과 후면 방향의 충돌을 고려한 해석조건의 도출이 가능하다. 이러한 해석조건들을 바탕으로 최종적으로 측면

방향의 충돌과 후면 방향의 충돌에 대한 해석조건을 다음의 그림과 같이 수립하였다.

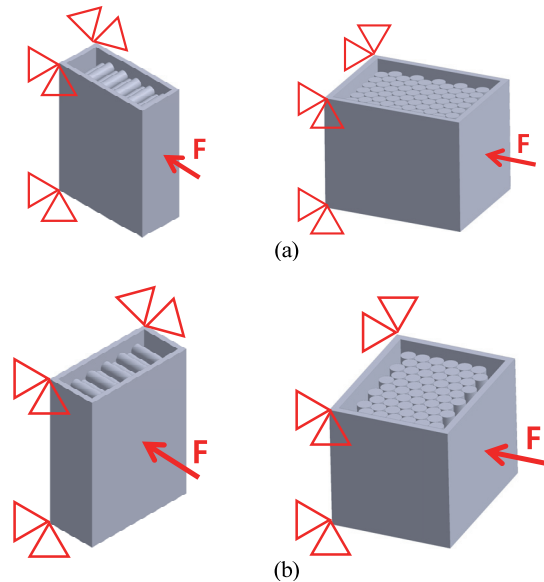


Fig. 7 Analysis conditions considering collision situations for two replaceable battery types: (a) rear impact and (b) side impact

Fig. 7(a)는 후면충돌 상황을 고려한 해석조건을 나타내며 Fig. 7(b)는 측면충돌 상황을 고려한 해석조건을 나타낸다. 여기에서 사용된 하중의 크기는 ECE R100, GB/T 31467 등의 규격을 참고하여 100 kN이 사용되었으며 배터리와 케이스의 재질은 강으로 가정하였다.¹¹⁾ 또한 화살표의 방향은 하중의 인가 방향을 나타내며 붉은색 삼각형은 해당 지점이 고정되었음을 의미하며 해석에서는 고정점을 포함한 면을 구속하였다. 측면과 후면 방향의 충돌 상황에 대한 해석을 수행하였고 그 결과를 통하여 구조 강성의 수준을 비교할 것이다.

3.2 구조해석을 통한 충돌안전성 비교

충돌안전성 비교를 위하여 사용된 해석 결과는 충돌 후 배터리 케이스의 변형량이다. 변형량이 크면 내부에 있는 배터리 셀에 영향을 줄 수 있으며 심한 경우에는 배터리 셀을 파손시켜 화재가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 배터리 내부로 변형된 수준을 바탕으로 충돌안전성을 비교한다.

Fig. 8은 전체 해석결과를 나타낸다. 특히 Fig. 8(a)는 후면충돌 상황에 대한 해석결과를 나타내며 Fig. 8(b)는 측면충돌 상황에 대한 해석결과를 나타낸다. Fig. 8(b)의 색상은 충돌 후 충돌 방향의 변형량을 나타낸다. 붉은색

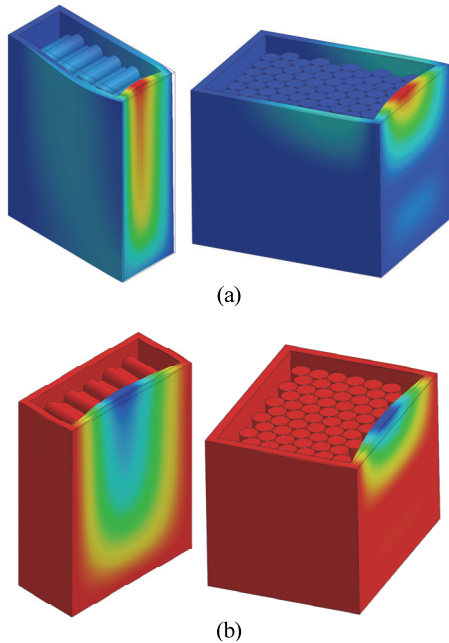


Fig. 8 Post-crash deformation shapes for two replaceable battery types: (a) rear impact and (b) side impact

은 변형이 적다는 의미이며 노란색과 초록색, 푸른색으로 갈수록 변형량이 많다는 것을 의미한다. Fig. 8(a)의 색상은 Fig. 8(b)와 반대의미를 가진다. 후면충돌 상황에서 1단 평면구조 교체식 배터리의 최대 변형량은 8.67×10^{-2} mm 수준이며 2단 타워구조 교체식 배터리의 최대 변형량은 3.51×10^{-1} mm 수준이다. 즉 2단 타워구조의 변형량이 1단 평면구조의 변형량 보다 4배 더 크며 이를 통하여 1단 평면구조의 강성이 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 배터리 셀의 배치와 배터리 케이스에 설치되는 방법의 차이로 인한 것이라고 볼 수 있다.

측면충돌 상황에서 1단 평면구조 교체식 배터리의 최대 변형량은 6.59×10^{-1} mm 수준이며 2단 타워구조 교체식 배터리의 최대 변형량은 4.39×10^{-1} mm 수준이다. 즉 측면충돌 상황에서는 1단 평면구조의 변형량이 2단 타워구조의 변형량 보다 약 1.5배 더 크며 2단 타워구조의 강성이 더 크다는 것을 알 수 있다. 후면충돌 상황과는 정 반대의 결과가 확인되었는데 이것은 1단 평면구조에서 배터리 셀이 장착되는 방식에 특성 때문으로 설명할 수 있다.

1단 평면 구조의 교체식 배터리에서는 배터리 셀이 Fig. 9와 같이 측면의 A면에 고정된다. 배터리 셀이 고정된 면이 외력을 받으면 배터리 셀에 직접적으로 충격을 전달할 수 있고 이로 인하여 배터리 셀이 데미지를 받으면 안전성에 문제가 발생할 수 있기 때문에 해석에서는 반대쪽 B면에 하중을 인가하였다. 그러나 B면에는 배터

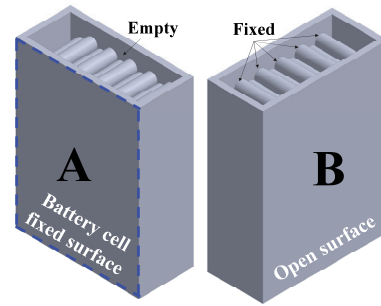


Fig. 9 Battery cell installation surface in one-layer flat type

리 셀과 배터리 외벽 사이에 아무런 구조가 없기 때문에 해석 결과 변형이 크게 나타난 것이다.

1단 평면구조에서는 배터리 셀의 고정 유무에 따라 변형 수준의 차이가 크며 따라서 충돌 방향에 따른 구조 강성의 성능 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 반면, 2단 타워구조에서는 배터리 셀이 하단에 고정되기 때문에 충돌 방향에 따른 변형 수준이 유사하며 구조 강성의 성능 차이도 적다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 결과를 통하여 2단 타워구조의 교체식 배터리는 차량에 장착되는 방향에 대한 영향이 적을 수 있지만 1단 평면구조의 교체식 배터리는 차량에 장착되는 방향에 따라 많은 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요할 것이다. 1단 평면구조와 2단 타워구조의 교체식 배터리에 대해 분석한 충돌안전성을 아래와 같이 표로 나타내었고 Table 2를 통하여 두 가지 유형의 특성을 보다 명확하게 비교할 수 있을 것이다.

Table 2 Structural stiffness comparison of two replaceable battery types

	Flat type	Tower type
Deformation due to rear impact	8.67×10^{-2} mm	3.51×10^{-1} mm
Deformation due to side impact	6.59×10^{-1} mm	4.39×10^{-1} mm

4. 결론

본 연구에서는 전기자동차의 충전시간 단축을 위한 기술인 교체식 배터리에 대한 분석을 진행하였다. 특히 전기 이륜차에 적극적으로 사용되고 있는 이동형 교체식 배터리에 초점을 맞추고 이들 교체식 배터리에 대한 대표적인 두 가지 유형을 도출하였다. 1단 평면구조와 2단 타워구조로 유형을 나눌 수 있었고 각각의 유형에 대한 특성과 성능을 살펴보았다.

먼저 1단 평면구조 교체식 배터리의 경우 내부 구조가 간단하며 높은 에너지밀도를 가질 수 있다는 장점을 가

진다는 것을 확인할 수 있었다. 다른 하나의 유형인 2단 타워구조 교체식 배터리의 경우 평면 방향의 면적이 줄어드는 반면 배터리 셀을 2층으로 구성해야 하기 때문에 복잡한 구조를 가지며 에너지밀도가 낮다는 한계점을 예측해볼 수 있었다. 구조적인 특성으로 인하여 발생하는 에너지밀도의 차이를 확인해보기 위하여 동일한 설계 기준을 바탕으로 실제 상세설계를 진행하여 에너지 밀도를 비교해 보았다. 에너지밀도에 대한 비교결과, 동일 에너지를 탑재한다고 했을 때 1단 평면구조의 교체식 배터리가 2단 타워구조의 교체식 배터리보다 동일 공간을 기준으로 17%의 높은 에너지밀도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 같은 공간을 기준으로 1단 평면구조 교체식 배터리를 탑재할 경우 더 많은 주행거리를 확보할 수 있을 것으로 기대할 수 있었다.

에너지밀도에 대한 비교와 더불어 충돌 안전성에 대한 비교를 통하여 두가지 유형의 구조강성의 수준을 확인할 수 있었다. 측면 또는 후면 충돌 시 외력이 가해지는 상황을 고려하여 구조해석을 수행하였고 그 결과 후면 충돌 상황에서는 1단 평면구조의 교체식 배터리가 2단 타워구조 교체식 배터리보다 4배 더 좋은 안전성을 보였다. 반면 측면 충돌 상황에서는 2단 타워구조 교체식 배터리가 1단 평면구조 교체식 배터리보다 1.5배 더 좋은 구조 안전성을 보였다. 이러한 차이는 1단 평면구조 교체식 배터리에서 배터리 셀이 탑재되는 방식에 기인한 것으로 설명할 수 있었다. 더욱이 이러한 배터리 셀 고정 방식의 차이로 인하여 1단 평면구조 교체식 배터리는 충돌 방향에 따라 구조 안전성의 차이가 큰 반면 2단 타워구조 교체식 배터리는 충돌 방향에 따른 구조 안전성의 차이가 적은 것을 확인할 수 있었고 이들 교체식 배터리를 차량에 탑재 시 본 내용을 잘 활용할 수 있을 것이다.

본 연구는 전기 이륜차를 대상으로 수행되어 원통형 배터리 셀만 고려되었다. 각형 및 파우치형 배터리 셀이 적용되는 경우도 고려하여 후속 연구에서는 다양한 유형의 배터리 셀을 적용할 것이다. 그리고 최종적으로 배터리 셀 유형을 포함하여 종합적으로 교체식 배터리에 대한 비교 분석을 수행할 것이다.

후 기

이 논문은 2023년도 한국기술교육대학교 신입교수 연구과제 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) S. K. Lee and H. S. Kim, "A Study on the Estimation of Air Flow Rate with Discharge Rate for an Air-Cooled Lithium-Ion Battery Pack Using CFD Simulation," Transactions of KSAE, Vol.30, No.4, pp.273-280, 2022.
- 2) M. H. Jeong, Y. I. Kim and G. J. Park, "Nonlinear Dynamic Response Structural Optimization for the Structure Integrating the Body-In-White and Battery Pack of an Electric Vehicle Considering a Side Pole Impact Test," Transactions of KSAE, Vol.29, No.7, pp.683-691, 2021.
- 3) Y. Xia, T. Wierzbicki, E. Sahraei and X. Zhang, "Damage of Cells and Battery Packs due to Ground Impact," Journal of Power Sources, Vol.267, pp.78-97, 2014.
- 4) A. Thaler and D. Watzenig, Automotive Battery Technology, Springer International Publishing, 2014.
- 5) J. Zhu, T. Wierzbicki and W. Li, "A Review of Safety-Focused Mechanical Modeling of Commercial Lithium-Ion Batteries," Journal of Power Sources, Vol.378, pp.153-168, 2018.
- 6) A. M. Vallera, P. M. Nunes and M. C. Brito, "Why We Need Battery Swapping Technology," Energy Policy, Vol.157, Paper No.112481, 2021.
- 7) C. Li, N. Wang, W. Li, Q. Yi and D. Qi, "A Battery Centralized Scheduling Strategy for Battery Swapping of Electric Vehicles," Journal of Energy Storage, Vol.51, Paper No.104327, 2022.
- 8) J. Yang, W. Liu, K. Ma, Z. Yue, A. Zhu and S. Guo, "An Optimal Battery Allocation Model for Battery Swapping Station of Electric Vehicles," Energy, Vol.272, Paper No.127109, 2023.
- 9) Alibaba, GEB 21700 5000mAh Cylinder 5C Lithium ion Battery INR21700 3.7v 4800mAh Rechargeable Battery for DIY 12V 24V 36V 48V Ebike 21700, https://www.alibaba.com/product-detail/GEB-21700-5000mAh-Cylinder-5C-Lithium_1600246199716.html, 2023.
- 10) OTOS, OUR WORKS, <http://www.otosone.com>, 2023.
- 11) M. W. Kim, W. H. Choi, K. Y. Jeong and C. H. Kim, "A Study on Design Process Using CAE of Battery Case," Transactions of KSAE, Vol.31, No.2, pp.89-97, 2023.