

배터리 교환형 전기이륜차 프레임 강건 설계

김가은*, 나다을*, 이지민*, 조나단*, 노광현**, 이재상***, 주승돈***, 김상현*

*한성대학교 기계시스템공학과

**한성대학교 IT융합공학과

***(주)재상전자

e-mail:shkim@hansung.ac.kr

A Study of Frame Design for Battery Exchangeable Electronic Motorcycle

Gaeun Kim*, Dayul Na*, Jimin Lee*, Nadan Cho*, Kwanghyun Rho**, Jaesang Lee***, Seoungdon Zu***, Sang-Hyun Kim*

*Dept. of Mechanical Systems Engineering, Hansung University

**Dept. of Applied IT Engineering, Hansung University

***Sjae Sang Electronic Co. Ltd.

요약

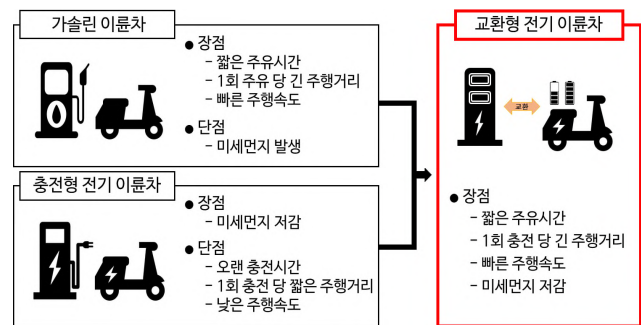
본 논문에서는 미세먼지를 저감하기 위해 교환형 배터리 팩을 장착한 전기 이륜차 모델 및 이를 거치할 수 있는 프레임 형상을 제시하였다. 기존의 배터리 충전형 전기 이륜차의 문제점을 해결하면서 가솔린 이륜차의 동적 특성에 부합하기 위해서는 교환형 배터리 팩의 크기가 증가되기 때문에 이를 거치할 수 있는 수정된 프레임의 형상을 설계하였으며 제작에 앞서 상용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS를 통해 극한적인 상황을 고려한 정적 및 동적 해석을 진행하여 프레임의 안전성을 검증하였다. 정해석에서는 교환형 배터리 타입의 전기 이륜차 프레임 재료의 항복응력보다 현저하게 낮은 27.54MPa를 확인할 수 있었으며 동해석의 경우 시간에 따라 최대응력의 크기와 발생 위치가 계속 변화지만, 재료의 항복응력을 넘지 않는 응력 변화 추이를 볼 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안된 프레임 형상이 배터리 교환형 전기 이륜차에 적합하다고 판단된다.

1. 서론

최근 지구 온난화 및 대기 오염 문제는 전 세계적으로 큰 화두가 되고 있으며 대기 중 미세먼지를 저감하기 위해 노후화된 가솔린 이륜차를 전기 이륜차로 전환할 수 있도록 지원하는 등 친환경 자동차에 대한 관심과 수요가 급격히 증가하고 있다[1]. 하지만, 그림 1과 같이 가솔린 이륜차를 대체하기 위해 사용되고 있는 전기 이륜차는 많은 한계를 가지고 있어서 사용자의 외면을 받고 있다. 기존의 전기 이륜차는 가솔린 대신 충전형 배터리를 사용하므로 동적 성능이 낮으며 1회 충전 후 짧은 거리만 주행이 가능하다. 또한 충전 시간이 상당히 오래 걸리며 충전 중에는 전기 이륜차 사용이 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 이러한 전기 이륜차의 문제점을 해결하기 위한 새로운 형태의 전기 이륜차 제작이 필수적이다 [2,3].

따라서 본 논문에서는 전기 이륜차의 낮은 주행속도와 이용시간 및 주행거리 등의 문제를 총체적으로 해결하기 위해 배터리 교환형 전기 이륜차를 제안하였으며 교환형 배터리 팩을 거치할 수 있게 설계된 새로운 프레임 형상의 안전성을

검증하려고 한다. 기존 충전형 이륜차의 프레임을 교환형에 맞게 설계 변경하였으며 실제 제작에 앞서 극한적인 상황을 고려한 구조해석 및 동해석을 통해 안전성을 확인하였다.



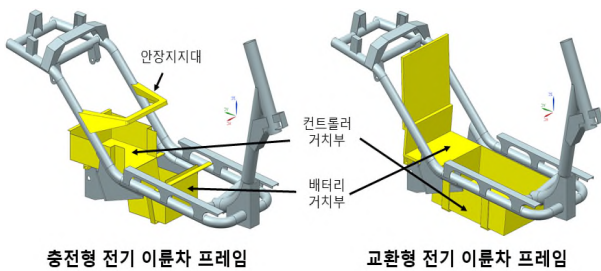
[그림 1] 기존 이륜차 장단점 비교

2. 프레임 설계

2.1 프레임 형상 설계

그림 2는 배터리 충전형 및 교환형 전기 이륜차의 프레임

형상을 나타낸다. 프레임의 기본 형상은 기존 충전형과 동일하며 프레임의 전체 크기는 길이 1600mm, 폭 345mm, 높이 886mm이며 프레임의 기본이 되는 파이프의 두께는 2.175mm로 제작되었다. 교환형 이륜차 프레임은 사람의 하중을 지지하는 안장지지대와 교환형 배터리와 컨트롤러를 거치할 수 있는 거치부 형상이 기존 충전형과 차이가 있다. 가솔린 이륜차의 동적 특성에 부합하기 위해서는 교환형 배터리의 크기가 증가되기 때문에 안장지지대가 제거되었으며 배터리와 컨트롤러를 지지하는 거치부의 위치와 형상 및 강판의 두께가 변화되었다.



[그림 2] 충전형 및 교환형 전기 이륜차 프레임 형상

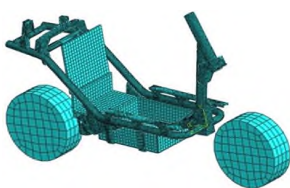
2.2 프레임 해석 조건

프레임과 배터리 및 컨트롤러 거치부의 재료는 기존의 충전형 배터리 전기 이륜차 모델에 사용된 스테인레스 스틸(A286)을 사용하였으며, 휠의 소재는 알루미늄(AL6061-651)을 사용하였다[4].

[표 1] 재료 물성값

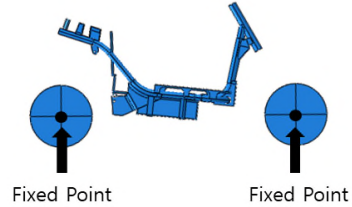
	스테인레스 스틸	알루미늄
탄성계수 [GPa]	200	68.9
푸와송 비	0.289	0.33
밀도 [g/cm^3]	7.92	2.7
항복강도 [MPa]	1034	276

그림 3은 해석을 위한 배터리 교환형 전기 이륜차 프레임의 FEA 형상을 나타낸다. 해석 수행시간을 줄이고 해석의 정확도를 높이기 위해 정해석과 동해석 각각 C3D20 및 C3D8 요소를 사용하였다. 대변형을 잘 표현할 수 있도록 요소의 수는 충분한 크기로 분할하였다[5].



[그림 3] FEA 형상

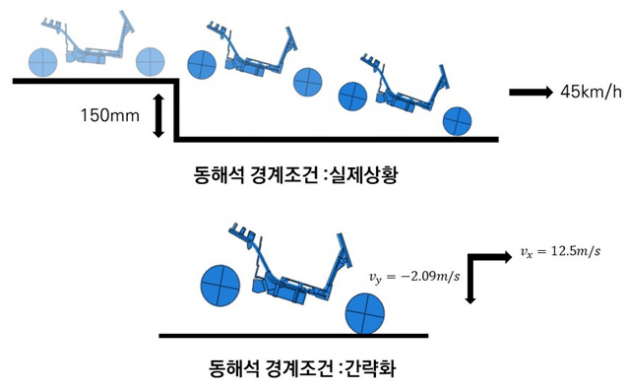
그림 4는 정해석을 위한 해석조건을 나타낸다. 앞바퀴와 뒷바퀴가 연결되는 중심에 Fixed 경계조건을 부여하여 고정시켰으며, 사람, 배터리, 모터, 연료 등의 하중을 각각의 위치에 부여하여 정해석을 진행하였다. 두 바퀴는 경계조건을 위해서만 사용되고 프레임과는 coupling 조건으로 연결하였다.



[그림 4] 정해석 경계조건

그림 5는 동해석을 위한 해석조건을 나타낸다. 전기 이륜차 프레임의 안정성을 검증하기 위하여 평균적인 주행속도 45km/h의 초기속도에서 150mm의 높이에서 지면과 충돌하는 상황을 가정하였다. 일반적으로 동해석은 외연적(explicit) 해석이기 때문에 해석시간이 길어지면 해석 정확도도 떨어지게 된다. 따라서 해석시간을 최대한 줄이기 위해 해석 시점은 충돌 직전으로 가정하였으며, 에너지 보존 법칙을 통해 충돌 시점의 수평방향 및 수직방향 속도를 구하였다.

또한 대부분의 전기 이륜차는 내부에 현가장치인 쇼크업소버(shock absorber)를 장착하고 있으며 현가장치와 타이어로 인하여 충격량이 40~60% 흡수된다고 알려져 있다[6]. 따라서 50%의 충격량만 프레임에 전달된다고 가정한 후 에너지 보존 법칙을 통해 구한 12.5m/s의 수평방향 속도와 -2.09m/s의 수직방향속도를 초기 조건으로 부여하여 해석을 진행하였다. 해석 시간은 앞바퀴 충돌 후 뒷바퀴 충돌 상황까지 보기 위하여 0.04s로 설정하였다.

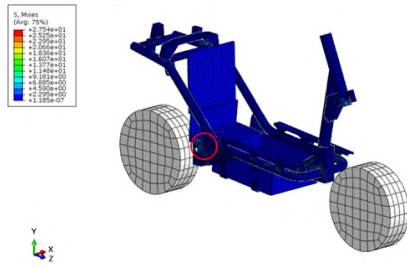


[그림 5] 동해석 경계조건

3. 해석 결과

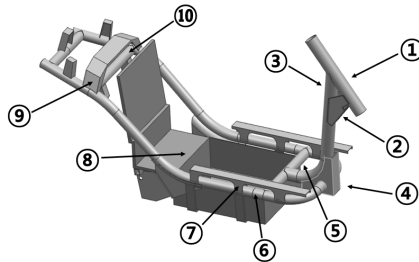
그림 6은 교환형 배터리 전기 이륜차의 정해석 결과를 나타

낸다. 거치부와 스윙 암 사이에서 27.54MPa의 최대응력이 발생하였고, -0.0009287mm만큼의 최대변위를 가지고 있다.



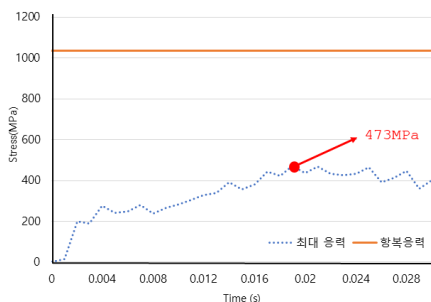
[그림 6] 정해석 해석 결과

그림 7은 동해석 해석 결과를 나타낸다. 충돌해석에서는 최대 응력 발생 부위가 시간에 따라 지속적으로 변하며 충돌 시간 0.019s에서 바퀴를 프레임과 연결시켜주는 스윙 암 부분과 파이프가 연결된 부분(파트 5)에서 가장 큰 응력값인 473MPa가 발생하였다. 그림 8은 충돌 시간별 프레임 최대 응력 변화를 나타낸다. 파트 5번과 동일한 위치, 시간에 최대응력이 발생하였다.



①	②	③	④	⑤
425MPa 0.025s	373.7MPa 0.026s	420.9MPa 0.019s	443.4MPa 0.019s	473MPa 0.019s
⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
441.9MPa 0.019s	469MPa 0.021s	102.1MPa 0.024s	143.6MPa 0.024s	356.3MPa 0.017s

[그림 7] 프레임 파트 별 최대 응력



[그림 8] 충돌 시간에 따른 프레임 최대 응력

4. 결론

기존의 가솔린 이륜차로 인해 발생하는 미세먼지를 저감하기 위해 다양한 충전형 전기 이륜차가 개발되었다. 하지만 충전형 전기 이륜차는 1회 충전 당 짧은 주행거리와 낮은 주행 속도 및 긴 충전 시간이라는 단점이 있었고 이를 개선하여 본 논문에서는 배터리 교환형 전기 이륜차가 제안되었다. 새로운 형태의 전기 이륜차 모델을 UG NX 11.0 CAD를 이용하여 설계하였고 상용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS를 통해 정적 및 동적 해석을 진행하여 프레임의 안전성을 검증하였다.

정해석에서 이륜차의 프레임 재료의 항복응력인 1034MPa보다 현저히 낮은 27.54MPa를 확인할 수 있었다. 이를 통해 프레임의 구조적 안정성이 확인되었다. 이륜차 내부에 장착된 쇼크업쇼마와 타이어로 인한 충격량 흡수를 고려한 동적 충돌해석을 수행하였으며, 주행 평균 속도에서 프레임에 발생하는 최대응력이 시간에 따라 계속 변동하였지만 재료의 최대 항복응력인 1034MPa를 넘지 않은 응력 변화 추이를 확인했다. 따라서 본 논문에서 제안된 프레임 형상이 배터리 교환형 전기 이륜차에 적합하다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 서울형 R&D 지원사업(미세먼지 저감 기술개발 지원사업, 2017FD170007)의 재원으로 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] 장영기, 김정, 김필수, 신용일, 김운수, 최유진, “이륜차의 일 주행거리조사와 대기오염 배출량 추정”, 한국대기환경학회지, 제 26권 1호, pp. 48-56, 2010년.
- [2] 김기찬, 신외경, “전기이륜차 기술 동향”, 대한전기학회지, 제 63권 11호, pp. 32-40, 2014년.
- [3] 이상훈, 김태형, 정태욱, “전기이륜차 산업 및 주요기술”, 조명전기설비학회지, 제 28권 1호, pp. 50-55, 2014년.
- [4] P. Chils, “Mechanical Design Engineering Handbook”, Elsevier, 2013년.
- [5] 채수원, 정중환, “자동차 충돌해석을 위한 유한요소모델링 시스템의 개발”, 한국자동차공학회 춘 추계 학술대회 논문집, pp. 1177-1182, 1997년.
- [6] M. Levy, G. A. Smith, Effectiveness of vibration damping with bicycle suspension systems, Sports Engineering, vol 8, no 2, pp. 99-106, 2005.