부피분율과 필터링 반경에 따른 전동킥보드 연결부의 위상최적설계 경향성 분석

김민규, 김지선, 김정진
계명대학교 기계공학부
e-mail: dhdvndtm@gmail.com

Trend Analysis of topology optimization analysis for electric kickboard connection part according to volume fraction and filter size

Min Gyu Kim, Jisun Kim, Jung Jin Kim
Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

요 약
전동 킥보드는 저렴한 가격과 쉬운 조작법으로 스마트 모빌리티를 대표하고 있으며, 최근 공유 서비스까지 더해져 이용자가 증가하고 있다. 하지만 관련사고 역시 증가하고 있으며, 이를 예방하기 위해선 전동 킥보드의 결함을 줄이는 것이 중요하다. 현재까지 전동 킥보드 관련 연구들이 활발하게 이루어졌지만, 명확한 최적의 결과로서는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 부피분율과 필터링 반경에 따른 전동킥보드 연결부의 위상최적설계 분석을 수행하였다. 연구 결과, 최대 응력이 낮아지고 시중에 판매되고 있는 모델의 연결부보다 충돌 성능이 개선되었음을 확인하였다.

1. 서론

스마트 모빌리티(Smart mobility)를 대표하고 있는 전동킥보드는 저렴한 가격과 간단한 조작법이 장점이며, 공유형으로도 운영되고 있어 이용자가 매년 증가하고 있다, 하지만 관련사고 역시 지속적으로 증가하고 있으며, 불량과 파손으로 인한 사고가 높은 비중을 차지하고 있다.

최근 몇몇 연구자들에 의해 전동 킥보드의 안전성에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 김민규[1]는 파손 사고율이 가장 높은 연결부에 대하여 구조적 안전성이 개선된 설계안을 도출한 바 있다. 하지만, 연구자의 직관을 바탕으로 설계하였기에 최적의 결과로서는 한계점이 있어 컴퓨터 연산 기반 접근법인 위상최적설계가 필요하다.

위상최적설계는 주어진 하중 조건 아래 제한된 재료로 최적의 재료 분포를 찾기 때문에 설계 시 다양한 위상을 고려할 수 있다. 최근 3D 프린팅 기술과 컴퓨터의 발전으로 복잡한 구조의 제작이 가능해져 다양한 공학 분야에서 활용되고 있다.

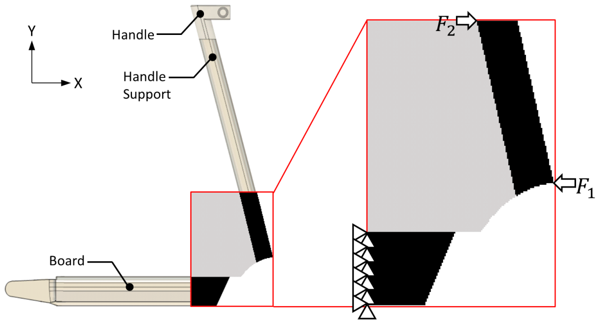
본 연구에서는 부피분율과 필터링 반경에 따른 전동킥보드 연결부의 위상최적설계 경향성의 분석을 목표로 한다.

2. 본론

본 연구는 전동 킥보드의 대표 모델을 선정하고 연결부를 설계영역으로 설정하였으며, 정면충돌 하중 조건 아래 위상최적설계를 수행한 후 기존 모델들의 연결부와 충돌 성능 비교를 통해 최적설계안을 검증하였다.

2.1 유한요소모델링

본 연구에서는 Segway-Ninebot사의 Ninebot Max (G30)를 연구 대상으로 선정하였다. 발판의 크기는 길이 760 mm, 높이 90 mm이며, 핸들 지지대는 직경 50 mm의 크기를 가진다. 모델은 3차원 형상을 2차원으로 변환하여 유한요소모델을 생성하였다. 구조적 거동의 영향이 적은



[그림 1] Boundary conditions of electric kickboard

앞바퀴부와 핸들부 같은 부분들은 모델 생성에서 제외하였다. 유한요소모델은 정사각형 4절점 요소로 구성하였다. 각 요소의 탄성계수는 요소 밀도 값을 SIMP(Solid Isotropic Material Penalization) 기반으로 변환하였으며, 포아송비는 0.3을 부여하였다.

본 연구에서는 정면 충돌 상황을 구현하였다. 발판 뒷부분의 절점들을 고정하였으며, 핸들지지대의 우측 하단과 좌측 상단에 1 N의 하중을 각각 반대 방향으로 부여하였다(Fig. 1).

2.2 위상최적설계

전동 킥보드 연결부의 위상최적설계를 수행하기 위해 핸들지지대와 발판 사이 부분을 설계 영역으로 설정하였다. 본 연구에서는 외부 하중에 대한 구조의 컴플라이언스를 목적함수로 선정하였으며 Volume fraction을 제한조건으로 선정하였다. 위상최적설계는 식 (1)을 따른다.

$$\min_{\rho} \quad f(\boldsymbol{\rho}) = \sum_{i=1}^{N} (\rho_i)^3 \mathbf{u}_i^T \mathbf{k}_0 \mathbf{u}_i$$
$$\text{subject to} \quad g(\boldsymbol{\rho}) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \rho_i}{V_0} = \mathrm{VF}$$
$$0.001 \le \rho_i \le 1 \qquad (1)$$

Volume faction과 Filter size의 값에 따른 전동 킥보드 연결부의 최적 위상의 변화를 분석하기 위하여 표 1과 같이 Case를 총 16개로 나누어 위상최적설계를 수행하였다.

[표 1] Case of design condition

위상최적설계의 결과를 검증하기 위해 시중에 판매되고 있는 대표적인 전동 킥보드 2가지 모델의 연결부를 선정하여 충돌 성능을 비교하였다. Ninebot MAX의 입방체형 연결부와 Minimoters Dualtron eagle의 토로이드형 연결부를 구현하였으며, 동일한 경계조건에서 각 모델들의 컴플라이언스를 계산하여 비교 분석하였다.

3. 결론

본 연구에서는 부피분율과 필터링 반경에 따른 전동킥보드 연결부의 위상최적설계를 분석하였다. 결과에서 공통적으로 발판과 핸들지지대의 상단과 하단이 각각 연결되는 위상을 보였으며, 발판 뒷부분의 상단에서 높은 변형율 에너지를 가졌다. 그로 인해 핸들지지대보다 발판의 좌측 상단을 기준으로 하는 구조물들이 더 많은 것을 확인하였다. 또한 Volume fraction의 증가에 따라 연결부의 구조가 세분화되고 위상의 개수가 많아졌으며, 연결부 하단의 구조가 토로이드형으로 변화하는 모습을 보였다. 이는 최대 변형율 에너지를 낮추는데 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다. 또한 대표 위상최적설계안과 시중에 판매되고 있는 전동 킥보드 모델의 연결부와의 충돌 성능 비교를 통해 위상최적설계가 올바르게 수행되었음을 검증하였다. 본 연구 결과는 향후 전동 킥보드의 안전성 개선 및 최적화 설계 방향에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Kim, M. G. and Kim, J. J., "Structural Safety Analysis of Electric Kickboard According to Shape of Connection Parts Using Finite Element Analysis," Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 12, pp. 65-70, 2021.