

위상최적화를 이용한 태양광 자동차 프론트 너클의 경량화 설계

Lightweight Design for Front Knuckle of Solar-Powered Vehicle using Topology Optimization

정대영† · 이준영* · 김문영* · 임홍재**

DaeYoung Jeong, JunYoung Lee, MoonYoung Kim and HongJae Yim

Key Words : Cattle grid(캐틀 그리드), Topology optimization(위상 최적화), Solar-Powered Vehicle(태양광 자동차), Front Knuckle(프론트 너클)

ABSTRACT

본 논문에서는 국제 태양광 자동차 대회를 참가하는 태양광 자동차 프론트 너클의 경량화 설계에 관한 연구를 진행한다. 이를 위해 Cattle grid 를 포함한 실제 주행환경과 태양광 자동차를 동역학 시뮬레이션 모델로 구성하고 대회에서 차량의 평균속도인 70Km/h 로 주행 시, 서스펜션에서 발생하는 동하중을 측정하였다. 프론트 너클을 유한요소로 구성하고 다물체 동역학 시뮬레이션에서 도출된 하중들로 위상최적기법을 통해 프론트 너클의 경량화를 이루었다. 마지막으로 피로해석을 수행하여 그 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

World Solar Challenge는 국제 태양광 자동차 대회로 호주를 북에서 남으로 약 3000km의 거리를 6일동안 횡단한다. 태양광 자동차가 주행하는 고속도로에는 다양한 야생동물들이 서식하고 있어 차량과의 충돌이 빈번하다. 이를 위해 호주에서는 미국도로교통공무원협회(ASSHTO, American Society of State Highway and Transportation Officials)에서 규정하고 있는 Cattle grid설치법을 시행하고 있다. Cattle grid는 고속도로에서 야생동물들을 통과시키기 위한 구조물로 차량이 통과 시, 매우 거친 진동과 하중을 발생시킨다. 제한 시간

내에 목표 거리를 완주하기 위해 매우 빠른 속도로 주행을 해야 하며, 도로에 설치된 Cattle grid로 인한 프론트 너클의 파괴가 자주 발생한다. 현 차량은 프론트 너클의 파괴를 막기 위해 매우 두껍고 무겁게 제작된 상태이며 이로 인해 에너지 효율이 매우 떨어진 상태이다. 대회 특정상 에너지 효율에 매우 민감하므로 동하중을 고려한 프론트 너클의 최적설계가 요구된다. 현재 현가부품인 너클에 관한 선행연구로는 너클의 정적해석을 수행한 후, 구조최적화기술을 적용해 경량화 설계를 도출하는 연구와⁽¹⁾ 내구해석 및 충격강도해석을 통하여 너클의 구조적 취약 부위를 예측하고 설계변경안을 도출하는 연구⁽²⁾ 등 상용차를 대상으로 한 연구가 많이 진행되고 있지만 태양광 자동차의 너클에 관한 연구는 미진한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 Cattle grid를 고려한 위상최적화 기법을 통해 경량화된 프론트 너클 모델을 제안한다. 마지막으로, 피로해석을 수행하여 프론트 너클 경량화의 타당성을 검증한다.

† 국민대학교 자동차공학 전문대학원
E-mail : jonathan7942@naver.com
Tel : (02)910-5145

* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

** 국민대학교 자동차공학과

2. 모델링 및 동역학 해석

본 연구에 사용된 시험조건인 동역학 해석 모델을 Fig.1 에 나타내었다. Cattle grid와 프론트 너클의 모델링은 3D 모델링 프로그램을 사용하였다. 본 논문에서는 호주 고속도로에 설치된 Cattle grid를 70km/h의 속도로 태양광 자동차가 통과하는 것을 해석조건으로 하였다. 운전자를 포함한 차량의 총 중량은 350kg이고 도로의 노면과 바퀴의 마찰은 일반 고속도로 수준으로 설정하고 다물체 동역학 시뮬레이션을 수행하였다. 태양광 자동차가 Cattle grid를 통과할 때, Fig.2에 나타낸 프론트 너클의 중심축에서 하중이력을 측정하였다. Fig.3의 그래프에 나타낸 바와 같이 태양광 자동차가 Cattle grid를 통과하는 시점인 3.2~3.4초에서 입력하중의 진폭이 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 수직방향의 최대입력하중은 5624N, 종 방향의 최대입력하중은 5955N, 횡 방향의 최대입력하중은 2005N로 확인되었다. 수직방향으로 약 3g정도의 하중이 전달되는 것을 확인 할 수 있었다.

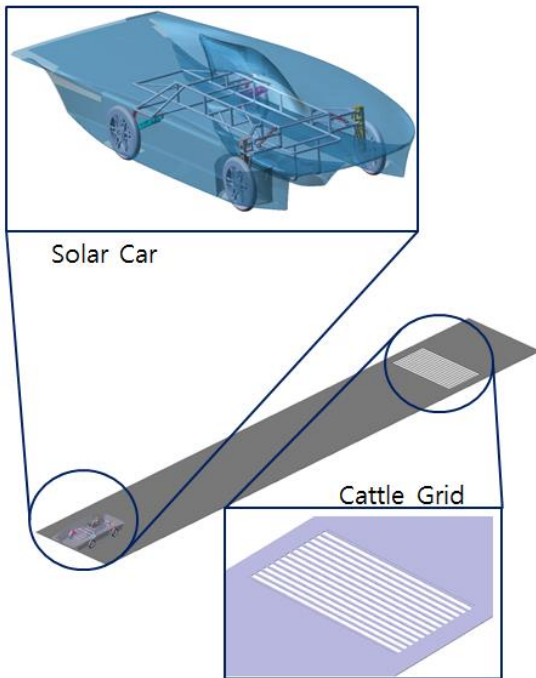


Fig.1 Dynamic simulation model of solar-powered vehicle

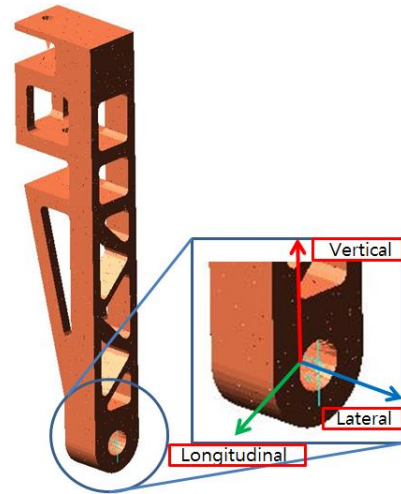
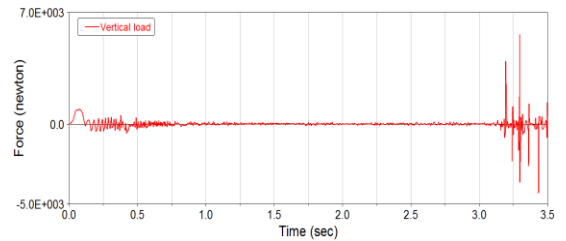
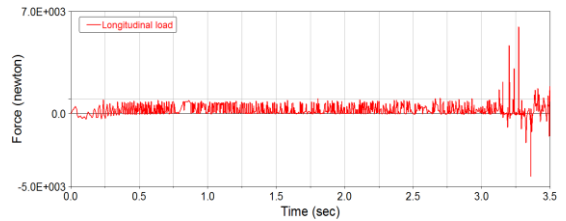


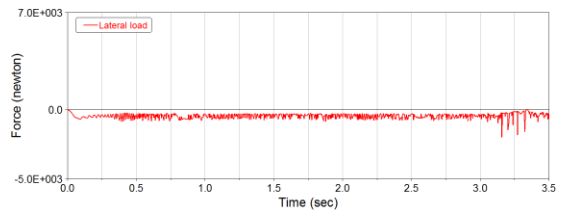
Fig.2 Measurement point of front knuckle



(a) Vertical direction



(b) Longitudinal direction



(c) Lateral direction

Fig.3 Plot of dynamic load at front knuckle

3. 유한요소 해석 및 위상최적화

동역학 해석을 통해 측정된 하중들을 사용하여 프론트 너클의 응력해석을 수행하기 위해 프론트 너클의 유한요소모델을 구성하였고 Fig.4에 나타내었다. 재질은 AL6061-T6를 사용하였다. 측정된 하중들을 프론트 너클의 중심축에 적용했을 때, 응력분포를 Fig.5에 나타내었다. 프론트 너클과 로워 컨트롤 암이 체결되는 부분에서 최대 응력이 180Mpa로 허용 응력 범위 안에 있는 것을 확인하였고, 프론트 너클과 축 혹은 볼트가 체결되는 부분을 제외한 나머지 부분들을 설계영역으로 설정하였다. 설계변수는 프론트 너클유한요소의 밀도이고 제약조건은 너클에 전달되는 응력 유지이며 프론트 너클의 질량을 목적함수로 정하였다. 위상최적화를 수행한 결과, 베이스 모델과 비교하여 약 18%의 경량화를 이루었으며 이는 Table 1에 나타내었다. 경량화의 타당성을 검증하기 위해 프론트 너클의 피로해석 수행을 진행한 결과, 약 1380번의 Cattle grid를 통과할 수 있다는 결론을 얻었다. 본 대회에서는 3000Km 주행 동안 약 100회의 Cattle grid를 통과하므로 적용 가능함을 확인하였다.

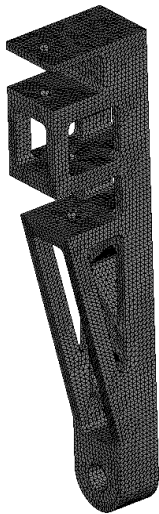


Fig.4 Finite element model of front knuckle

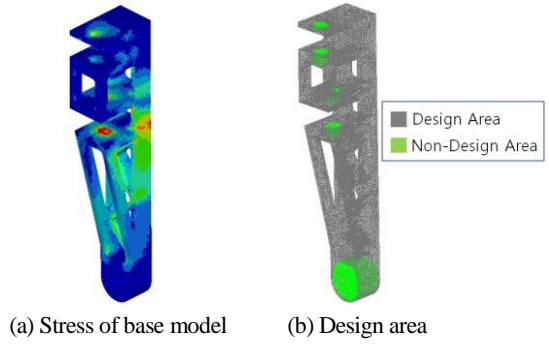


Fig.5 Definition of design area for topology optimization

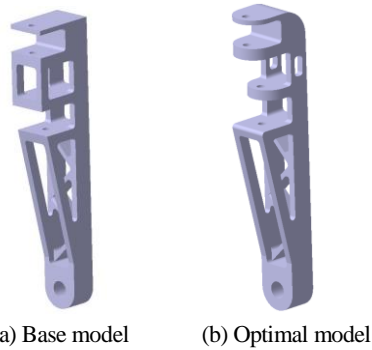


Fig.6 Comparison between base and optimal model

Table 1 Comparison of weight between base and optimal model

	Base model	Optimal model
Weight(Kg)	2.547	2.086

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 자동차 프론트 너클의 경량화 설계에 관한 연구를 진행하였다. 이를 위해 동역학 해석 모델을 구성하고 다물체 동역학 시뮬레이션을 시행하여 프론트 너클에 전달되는 하중이력을 측정하였다. 측정된 하중이력으로 응력해석을 수행하였으며 이를 통해 개선 가능성을 확인하였고 위상최적화를 수행하여 최적화 모델을 도출하였다. 베이스 모델과 비교한 결과 응력을 유지하면서 약 18%의 경량화를 이루었다. 이 모델의 적용가능성을 검증하기 위해 피로해석을 수행하였고 3000Km 코스에 존재하는 Cattle grid 수의 14배를 통과하여도 문제가 없다는 것을 확인하였다. 추후 연구에서는 실제 차량으로 실험을 진행하여

프론트 너클의 동하중을 측정한 후, 이 실험값과의 비교를 통해 좀 더 정밀한 프론트 너클 모델을 도출하는 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, G. Y., Kim, J. K., Seo, S. M., P, Y. C. and Lee, K. H., 2012, Static Strength Analysis of the Knuckle Arm for a Small Size Car, KSAE.
- (2) Rha, W. Y., Lee, S. H. and Oh, S. K., 2008, A Study on the Shape Optimization Design of the Knuckle by the Finite Element Analysis, KSPSE.