

# 선루프 유무에 따른 루프 패널의 구조 안전성 해석

신지훈\*, 이도연\*, 권자연\*, 김정진\*\*  
\*대구 미래형자동차산업 혁신아카데미  
\*\*계명대학교 기계자동차공학부  
e-mail: kjj4537@gmail.com

## Structural safety analysis of the roof panel according to the presence or absence of a sunroof

Ji-Hun Shin\*, Do-Yeon Lee\*, Ja-Yeon Gwon\*, Jung Jin Kim\*\*  
\*Daegu Future Automobile Industry Innovation Academy  
\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

### 요약

본 논문에서는 선루프의 유무에 따른 루프 패널의 구조적 안전성을 정량적으로 분석하였다. 먼저 실차의 제원을 기반으로 모델링 하였다. 이어서 차체 진폭 상황 아래 유한 요소 해석을 통해 Von-Mises stress와 Displacement의 최댓값을 산출하였다. 그 결과 선루프의 유무에 따라 최대 Von-Mises stress와 최대 Displacement에서 각각 3배, 13배의 차이를 확인하였다.

### 1. 서론

### 2. 본론

차량의 선루프(Sunroof)는 실내 환기, 시야 확보, 채광 효과와 같은 장점으로 인해 차량 구매 시 선택사항으로 소비자들로부터 많은 관심을 받고 있다. 실제 차량 구매자의 40%가 신차 구매 시 선루프 장착을 선택하였다고 보고된 바 있다[1].

다만, 선루프는 차량의 안전성과 직결되는 문제점을 가지고 있다. 북미지역 교통사고 데이터 분석에 따르면 지난 2000년부터 2015년까지 발생한 차량 전복사고 1만 3,700여 건 가운데 차량 바깥으로 탑승자가 이탈한 경우가 24,000건으로 약 17%를 차지했다. 이 중 10%가 선루프를 통해 차 밖으로 튕겨 나갔다고 한다[2]. 특히 전복사고 시 충돌사고에 비해 선루프 장착 차량 탑승자의 사망률이 매우 증가하는 문제점이 있다.

이러한 문제점으로 인해 선루프와 관련된 여러 연구가 진행됐다. 최규석은 풍동시험, 지그 강성시험 등을 통해 선루프의 구조 강성은 부품간 체결 시 선루프에 작용하는 부압 강성을 알아냈으며[3], 김일환은 파노라마 선루프를 슬라이딩 선루프보다 더 높은 강성으로 설계함을 확인하였다[4]. 다만, 지금까지 선루프의 유무에 따라 차량의 안전성을 분석한 연구 결과는 미비한 상황이다.

따라서 본 논문에서는 선루프의 유무에 따른 루프 패널의 구조적 안전성을 정량적으로 분석하는 것을 목표로 한다.

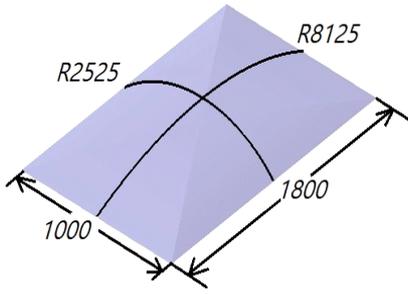
#### 2.1 연구 대상

본 연구에서는 현대자동차 6세대 소나타의 제원(전폭 1,587 mm, 전장 4,820 mm)을 기반으로 루프 패널을 모델링 하였다. 패널의 가로와 세로 길이는 각각 1,000 mm 와 1,800 mm이며 두께는 3 mm이다. 루프 패널 중점에서의 곡률은 가로 R2,525 mm와 세로 R8,125 mm이다. 그림 1은 선루프 유무에 따른 2개의 모델을 보여준다. Model B에서 전방 및 후방 선루프의 크기는 각각 800 × 600 mm와 900 × 600 mm이다.

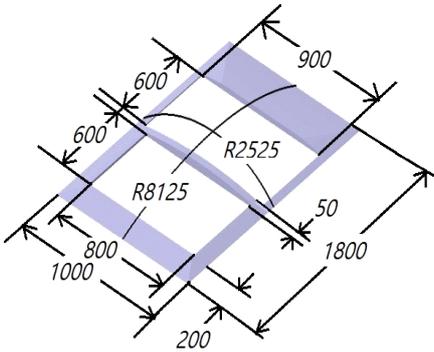
#### 2.2 유한 요소 해석

선루프는 일반적으로 고정식 유리, 오버헤드콘솔, 수동 물 블라인드, 모터 등을 포함한다. 다만, 본 연구에서는 루프 패널의 구조적 안전성을 분석하기 위해 위의 장치를 제외하고 유한요소모델을 생성하였다.

루프 패널의 경우 얇은 두께로 인해 삼각형 2차원 요소로 구성하였다. Model A는 9,244개의 절점과 17,344개의 요소로 구성되었고, Model B는 19,913개의 절점과 39,264개의 요소로 구성하였다. 요소에는 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)의 물성치를 부여하였다[표 1]. 해당 물성치는 강철의 물성치를 기준으로 탄성계수는 7배, 밀도는 0.22배, 항복응력은 10배로 설정하였다[5, 6].



[그림 1] 선루프 미장착 모델 (Model A)



[그림 2] 선루프 장착 모델 (Model B)

[표 1] Structural properties of Carbon Fiber Reinforced Plastic

Material's Properties [Units]	Value
Young's modulus [GPa]	57.98
Poisson's ratio	0.30
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1.50
Yield stress [GPa]	95.00

미국 고속도로 안전협회는 차량 정면충돌 시 A필러의 지지에 의한 반력으로 선루프가 받는 영향을 정량적으로 분석하였다. 그 결과 선루프 유무에 따른 강도 차이가 미미하다는 연구 결과를 확인하였다[7]. 따라서, 본 연구에서 루프 패널의 구조적 안전성을 차량 전복 시나리오 기반으로 수행하였다.

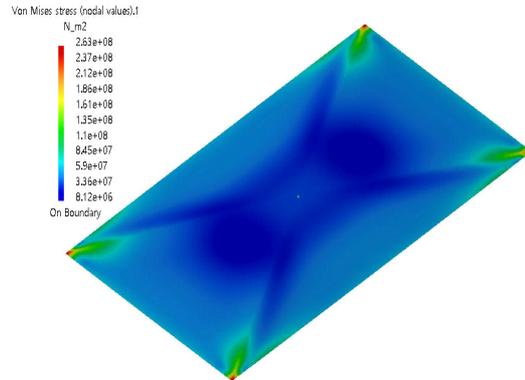
먼저 루프 패널에 가해지는 하중을 차량 전복 시 가해지는 중력가속도와 차량의 무게를 각각 10 m/s<sup>2</sup>와 1 ton으로 가정하여 계산하였다. 압력은 루프 패널의 장축에 대한 수직 방향으로 패널의 상판에 부여되었다. 패널의 양 끝 부분에 경계조건을 부여하여 완전히 고정하였다. 차량 전복 시험을 CATIA V5 Generative structural analysis를 통해 모사함으로써 선루프 장착 여부에 따른 강도 차이를 정량화하기 위한 연구를 진행하였다.

### 2.3 구조 해석 결과

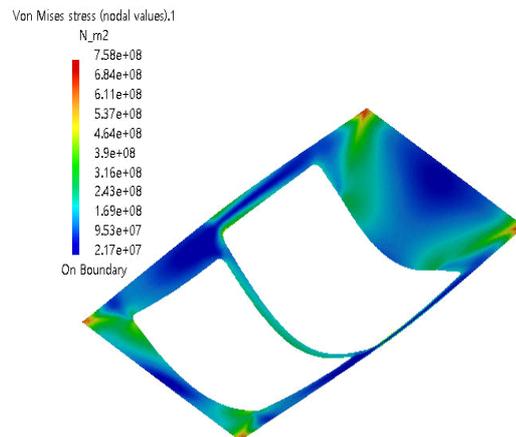
표2는 선루프 미장착 모델과 장착 모델의 해석 결과를 나타낸다. 선루프 미장착 모델 (Model A)의 Von-Mises stress 해석 결과 가장 큰 응력이 작용하는 위치는 루프 패널과 차량의 A필러 및 C필러와 연결되는 고정단 지점이었다(그림3). 이와 같이 선루프 장착 모델 (Model B)의 가장 큰 응력이 작용하는 지점도 고정단 지점이었으나, 그 크기가 선루프 미장착 모델 (Model A)과 약 3배의 차이를 보였다(그림4). 두 모델 모두 재료인 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)의 항복응력을 넘어서진 않았으나 선루프를 장착함으로써 모델이 항복할 확률이 증가하였음을 확인하였다.

[표 2] Maximum value of Von-Mises stress and Displacement

	Maximum Von-Mises stress [MPa]	Displacement [mm]
Model A	262.66	23.27
Model B	758.08	307.18

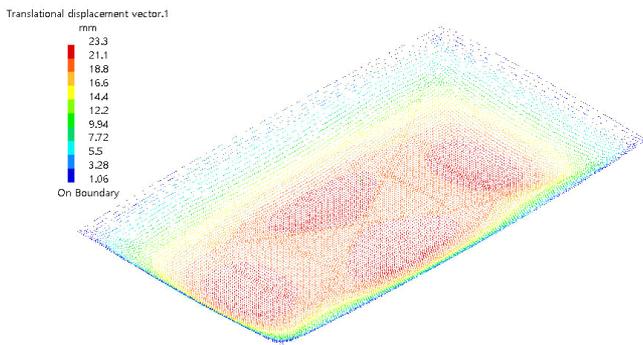


[그림 3] 선루프 미장착 모델의 Von-Mises stress 해석 결과 (Model A)

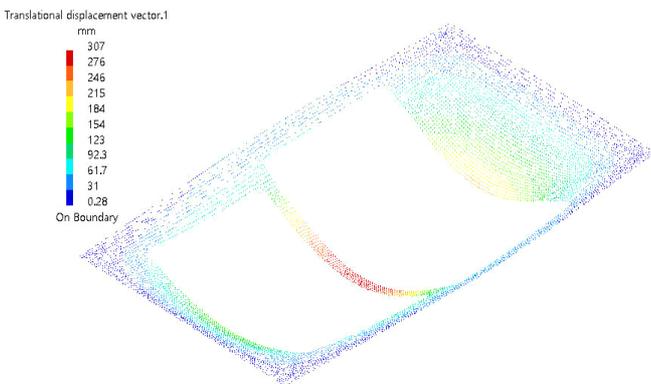


[그림 4] 선루프 장착 모델의 Von-Mises stress 해석 결과 (Model B)

선루프 미장착 모델 (Model A)과 선루프 장착 모델 (Model B) 모두 고정단 지점에서 Von-Mises stress 최댓값이 산출되었다(그림 5, 6). 반면 Displacement는 모두 선루프의 중점 즉, 층고가 가장 높은 지점에서 산출되었다. 선루프 미장착(Model A) 시 변위 23.27 mm에서 선루프를 장착 (Model B)함으로써 변위 307.18 mm로 약 13배의 차이를 보였다. Displacement 해석을 통해 사고 상황 시 선루프 유무에 따라 루프 패널이 13배 더 변형되어 부상이 심해질 수 있음을 확인하였다.



[그림 5] 선루프 미장착 모델의 Displacement 해석 결과 (Model A)



[그림 6] 선루프 장착 모델의 Displacement 해석 결과 (Model B)

### 3. 결론

- (1) 루프 패널에 작용하는 Von-Mises stress의 최댓값은 고정단 지점에, Displacement의 최댓값은 중점에서 산출되었다.
- (2) 선루프 장착 모델 (Model B)이 선루프 미장착 모델 (Model A)보다 Von-Mises stress의 최댓값이 약 3배 증가하였다.
- (3) 선루프 장착 모델 (Model B)이 선루프 미장착 모델 (Model A)보다 Displacement의 최댓값이 약 13배

증가하였다.

- (4) 이 결과들로써 선루프 유무에 따라 안정성의 차이는 크다고 볼 수 있다.
- (5) 본 연구를 통해 선루프 유무에 따른 차체 프레임 강도에 대한 정량적 수치를 얻을 수 있었다. 이에 따라 선루프 옵션 선택에 있어 소비자들은 수치적인 차이를 파악하여 보다 객관적인 선택을 할 수 있으리라 예상된다.
- (6) 하지만 정확한 강도 예측을 위해 선루프 패널 구조해석 이외에도 선루프 부속품인 강화유리, 모터, 프레임 어셈블리 등 상세 부품의 구조해석이 필요하다. 또한 부품 체결부의 응력 상태와 비선형에 대한 물성치 확보 등 추가적인 연구의 필요성이 예상된다.

### 참고문헌

- [1] 자동차 파노라마 선루프 안전 실태 조사 결과, 소비자안전국 생활안전팀, 2011
- [2] 현대모비스, ‘전복 사고에서도 탑승자를 보호한다. 세계 최초 루프에어백은 어떻게 탄생했을까?’, 2020
- [3] 차량용 선루프 시스템의 구조해석에 대한 신뢰성 고찰, 최규석 외 3인, 한국자동차공학회, 2015
- [4] 선루프 시스템의 구조적 성능 평가 방법에 대한 연구, 김일환 외 3인, 한국자동차공학회, 2010
- [5] 강철보다 10배 강한 ‘꿈의 섬유’...항공기·車 ‘다이어트’ 필수품, 한국경제, 김동욱, 2012
- [6] ‘자동차 경량화 트렌드의 중심이동, 소재의 경량화’, 장진영 외 3인, 삼정 KPMG 경제연구원, 2018
- [7] <선루프는 차체 강성에 영향을 줄까?>, 양완선 기자, 《네이버 포스트》, 2019