

# 스페이스 프레임을 사용한 경주용 차량의 충돌해석

조재웅\*, 방승옥\*\*

\*공주대학교 기계자동차공학부

\*\*공주대학교 대학원 기계공학과

e-mail : jucho@kongju.ac.kr

## Impact Analysis of Racing Car Using Space Frame

Jae-Ung Cho\*, Seung-Ok Bang\*\*

\*Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

### 요 약

본 논문에서는 충돌하중 하에서 스페이스 프레임을 사용하는 경주용 차량의 프레임에 작용하는 응력을 분석한다. 충돌 시 운전자의 안전을 확보하고 변형을 최소한으로 줄이며, 최적화 설계를 통하여 중량을 감소시키고 취약부분을 파악한다. 탄소강의 물성치를 바탕으로 트러스 구조로 설계된 차량 프레임의 유한요소모델을 만들고, ANSYS 프로그램을 사용하여 정면, 측면, 후면 방향의 충돌로 인하여 프레임에 작용하는 응력을 해석한다. 정면 및 후면충돌에서는 운전석에 가해지는 영향이 적지만, 측면충돌에서는 영향을 많이 받아 가장 취약한 부분이다. 이러한 취약부분의 보강을 통하여 프레임의 안전성 설계를 증진시키고 시뮬레이션 해석의 결과를 실제 프레임 제작에 활용한다.

### 1. 서론

차량의 프레임은 현가장치 및 동력발생장치 등을 장착하기 위한 골격으로서 주행 중 노면으로부터 전달되는 충격과 하중에 의한 각종 반력 등을 지지하는 중요한 부분이다. 또한 프레임은 외부 충돌로부터 운전자를 보호하는 구조로 설계되어야 하며 충분한 강도와 강성을 필요로 한다[1]. 동시에 불필요한 무게를 제거함으로써 경량화를 통한 연비상승과 원가절감도 함께 고려되어야 한다. 경주용 차량의 경우에는 운전석의 공간과 엔진 및 동력장치에 필요한 공간을 효율적으로 설계되어야 하며, 프레임 자체가 운전자를 보호하는 롤 케이지의 역할을 병행하도록 한다. 이러한 차체의 굽힘 및 비틀림 강성, 진동특성, 충돌안전도 및 경량화 등의 다분야 설계 제약조건들[2,3]을 초기설계에 반영함으로써 최적설계안을 도출하고, 구조물의 연결부에 작용하는 응력집중 현상을 연구하는 것이 중요하다[4]. 그 중에서도 충돌안전도 설계는 저속 및 고속충돌로 나뉘는데 저속충돌에서는 가능한 변형이 없도록 하여 손상성과 수리성을 낮추고, 고속충돌에서는 효과적인 변형으로 충돌에너지 흡수를 최대화하여 운전자의 상해치를 저

감시키는 것이 관건이다[5].

최근에는 스페이스 프레임을 적용한 차량이 양산되면서 프레임의 구조설계 및 충돌해석에 관한 논문 [6,7]이 발표되고 있으나, 대부분 충격을 흡수하기 위하여 프레임의 일부 부위에만 한정시켜 적용한 것이다.

본 논문에서는 CATIA 및 ANSYS 프로그램을 사용하여 경주용 차량의 스페이스 프레임을 유한요소 모델로 제작하고, 콘크리트 벽과 프레임의 동적 충돌해석을 수행한다. 정면 및 후면 그리고 측면방향에서의 충돌해석을 통하여 구조적 건고성을 파악한다. 해석을 수행하는 과정에서 가장 취약한 부분에 보강제를 설치하고, 보강 전·후의 충돌해석을 비교함으로써 안전성이 증진됨을 보여준다. 또한 본 논문을 통하여 얻어진 충돌안전도설계와 충돌해석 결과를 실제 프레임 제작에 활용한다.

### 2. 해석모델 및 충돌해석

#### 2.1. 해석모델

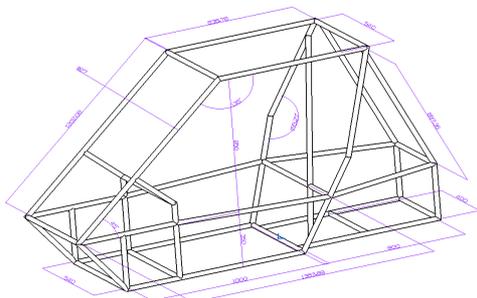
경주용 차량에 사용되는 스페이스 프레임은 차체의 강성을 높이고 무게절감 효과를 얻기 위하여 사각형

이나 원형 단면의 강관을 트러스 구조로 차량 외형에 맞게 용접한다. 그림 1은 스페이스 프레임을 적용한 경주용 차량의 사진이다.

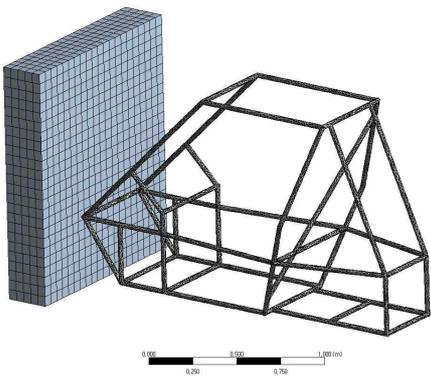


[그림 1] 경주용 자동차의 스페이스 프레임 사진

이와 같은 트러스 구조를 이용하여 전장 2000mm, 전폭 820mm, 높이 1200mm의 스페이스 프레임 모델을 그림 2와 같은 치수로 제작한다. 충돌해석을 수행하기 위하여 콘크리트 벽과 프레임은 CATIA 프로그램을 이용하여 모델링을 하고 그림 3과 같이 유한요소분할을 한다.



[그림 2] 프레임의 치수



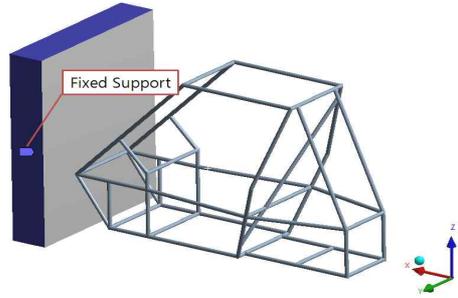
[그림 3] 유한요소분할 형상

유한요소분할 된 콘크리트 벽과 스페이스 프레임 모델의 절점 및 요소들의 개수는 표 1에 나타나있다.

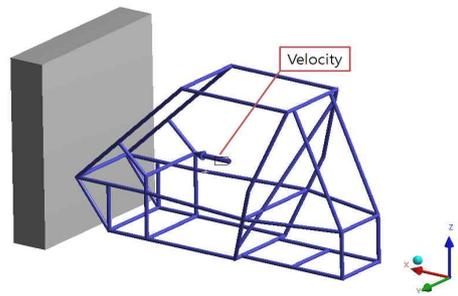
[표 1] 해석모델의 절점 및 요소들의 개수

	콘크리트 벽	스페이스 프레임
Nodes	3300	13158
Elements	2520	38278

콘크리트 벽은 차량과 충돌하는 건물의 일부분이므로 그림 4와 같이 가장자리 부분에 구속조건을 준다. 또한 스페이스 프레임은 그림 5와 같이 X축 방향으로 이동 속도를 주어 두께가 250mm인 콘크리트 벽과 충돌하도록 설정한다.



[그림 4] 모델의 구속조건



[그림 5] 모델의 속도조건

스페이스 프레임의 재질은 탄소강(Steel 4340)으로서 이 재료의 특성은 표 2에 나타나있다.

[표 2] 탄소강의 물성치

Young's Modulus	$2.1 \times 10^5$ MPa
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density	$7.85 \times 10^{-5}$ kg/mm <sup>3</sup>
Tensile Yield	377 MPa
Compressive Yield	250 MPa
Tensile Ultimate	460 MPa

## 2.2. 충돌해석

### 2.2.1 기본이론

물체에 작용하는 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다. 충돌 과정에서 물체가 받는 충격력을  $\vec{F}$ , 충돌 시간을  $\Delta t$ 라 하고, 충격량-운동량 정리를 구

하면 식 (1)과 같다.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \vec{a} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v} = \Delta \vec{P} \text{-----(1)}$$

여기서  $\Delta \vec{P}$ 는 운동량,  $m$ 은 물체의 질량,  $\Delta \vec{v}$ 는 물체의 속도이다. 충격력과 속도가 일정하다고 하면, 물체의 충돌 과정에서 물체가 받는 충격력  $\vec{F}$ 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{-----(2)}$$

이처럼 차체의 무게와 충돌 시간이 일정하게 작용하였을 때, 속도에 따라 충격력이 변하게 된다.

### 2.2.2. 충돌 방향에 따른 프레임 해석

충돌 방향에 따른 스페이스 프레임의 응력을 해석하기 위하여 30km/h의 속도로 정면 및 후면과 운전석 측면충돌을 주었다. 부품과 운전자를 포함하여 차량의 총 무게는 300kg으로 하였다. 해석은 충돌 전·후로 총 0.02s 시간 동안 진행하였으며, 각각의 속도에 따라 충돌 시작으로부터 0.01s가 되는 순간의 프레임 응력을 분석하였다. 해석 과정의 컨트롤은 표 3과 표 4와 같은 조건으로 수행하였다.

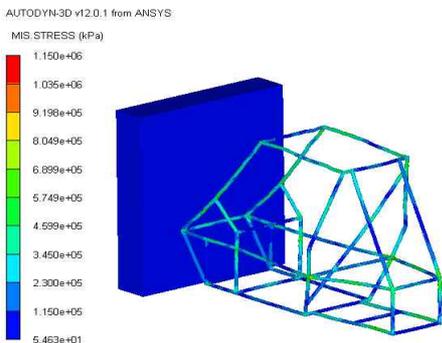
[표 3] Define Solution Controls

Cycle limit	10000000
Time limit	2.0e+001
Energy fraction	0.05

[표 4] Define Output Controls

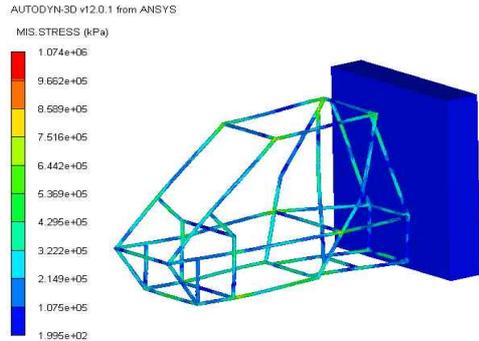
Start Time	0
End Time	2.0e+001
Increment	0.5

스페이스 프레임이 30km/h의 속도로 콘크리트 벽에 정면으로 충돌하였을 경우에는 그림 6에서와 같이 2.300e+05 KPa 정도의 충격이 프레임 앞부분에 작용하고, 연결부에서는 6.899e+05 KPa 이상의 응력이 집중된다.



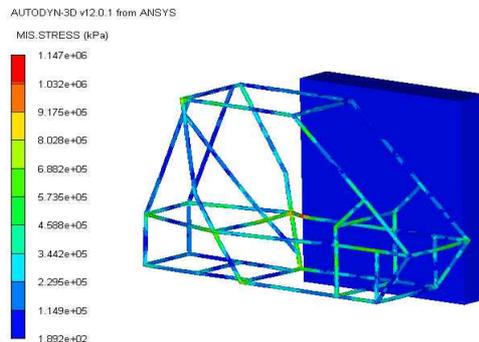
[그림 6] 정면충돌 시 프레임에 작용하는 응력

후면충돌 과정에서는 그림 7에서와 같이 연결부위를 제외한 나머지 부분에 2.149e+05 KPa 이내로 응력이 작용한다.



[그림 7] 후면충돌 시 프레임에 작용하는 응력

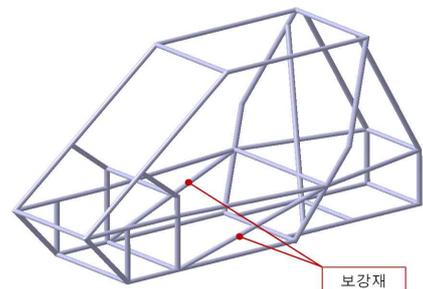
운전석 측면 방향으로 충돌이 발생하는 경우, 그림 8과 같이 측면 부분에 1.147e+06 KPa의 최대 응력이 발생하였다.



[그림 8] 측면충돌 시 프레임에 작용하는 응력

### 2.2.3. 측면 보강 전·후의 프레임 충돌해석

각각의 충돌 과정에서 운전석에 미치는 영향은 정면 또는 후면충돌보다는 측면충돌의 경우가 더 높다. 취약부분인 프레임의 측면을 그림 9와 같이 보강한 후 충돌해석을 수행하였으며, 충돌 속도는 30km/h로 보강 전과 동일한 조건으로 하였다.



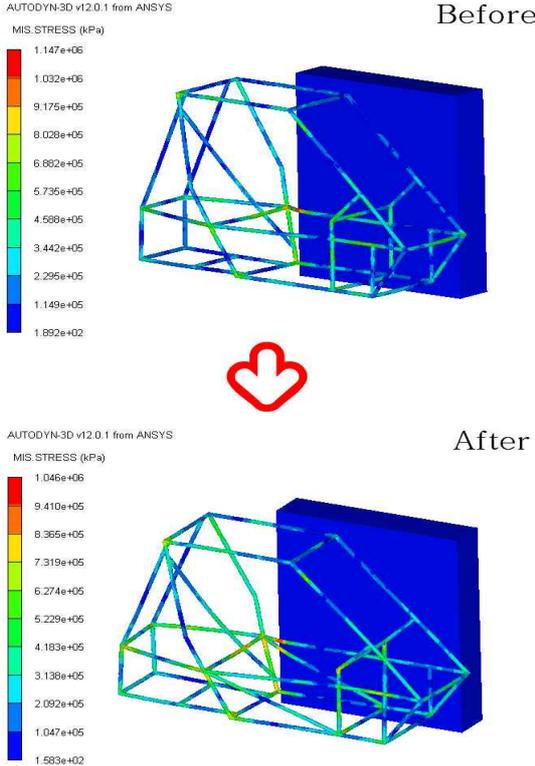
[그림 9] 측면 보강재를 첨부한 스페이스 프레임 모델

측면에 보강재를 추가로 설치하였을 경우, 그림 10에서와 같이 차량 프레임에 작용하는 최대 응력은 1.046e+06 KPa으로 측면을 보강하기 전과 비교하면 1.01e+05 KPa 정도 감소하였다.

후기

“본 연구는 지식경제부 지정 공주대학교 자동차의장 및 편의부품 지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.”

참고문헌



[그림 10] 측면 보강 전·후 프레임에 작용하는 응력

3. 결론

본 논문에서는 스페이스 프레임을 사용하는 경주용 차량의 충돌성능 및 운전자의 안전성을 동시에 고려하여 차체를 설계하고, 유한요소모델을 만들어 충돌 방향에 변화를 주면서 분석하였다. 또한 충돌로 인하여 프레임에 작용하는 응력을 파악하고 취약부분의 구조적 보강을 통하여 구조적 안전성을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 충돌 과정에서는 프레임의 연결부에서 응력집중 현상이 발생하기 때문에, 이를 고려하여 연결부 접합을 신중히 할 필요가 있다.
2. 후면충돌보다는 상대적으로 접촉 면적이 작은 정면과 측면충돌에서 더 많은 응력이 발생하며, 구조가 단순한 측면 부분이 응력을 받아 운전석에 영향을 준다.
3. 가장 취약한 측면에 보강재를 추가함으로써 프레임에 가해지는 응력을 줄이고, 운전석에 미치는 영향을 감소시켜 구조적 안전성이 증진된다.

[1] 주용선, 김영권, 김방원, 문정오, 이기수, “대형 자동차 프레임의 구조해석”, 한국자동차공학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 1417-1422, 11월, 2003.

[2] R. J. Yang, L. Gu, C. H. Tho and J. Sobieszczanski-Sobieski, “Multidisciplinary Design Optimization of a Full Vehicle with High Performance Computing,” AIAA Paper AIAA-2001-1273, AIAA/ASME/AHS/ASC, 42nd, Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Seattle, Washington, 2001.

[3] J. Sobieszczanski-Sobieski, S. Kodiyalam and R. J. Yang, “Optimization of Car Body under Constraints of Noise, Vibration, and Harshness(NVH), and Crash,” AIAA Paper AIAA-2000-1521, AIAA/ASME/AHS/ASC, 41st, Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Atlanta, 2000.

[4] 전형용, 성낙원, 한근조, “브래킷 결합형식에 따른 용접 구조물의 파이프에서 발생하는 응력분포와 응력집중에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제16권, 제 8호, pp. 28-37, 8월, 1999.

[5] 김병진, 김민수, 허승진, “다분야 설계 제약 조건을 고려한 알루미늄 스페이스 프레임 차체의 최적 설계”, 한국자동차공학회 논문집, 제14권, 제1호, pp. 1-7, 1월, 2006.

[6] 신경규, 심진욱, 황상진, 박경진, “저속차량 차체의 구조해석 및 구조최적설계”, 한국자동차공학회 논문집, 제11권, 제4호, pp. 68-78, 7월, 2003.

[7] 강혁, 경우민, “알루미늄 스페이스 프레임 차량의 구조 최적화 설계 기법”, 한국자동차공학회 논문집, 제16권, 제1호, pp. 175-180, 1월, 2008.