

2020 대학생 자작자동차대회

Altair Design Award 보고서



학교명		영남이공대학교	팀명	CR&DE
차량번호		120	팀장	최 주 헌
차량	이름	성현 Formula		
	제원	전장 2900 mm × 전폭 1460 mm × 전고 1100 mm (무게 190 kg)		

상기 참가팀은 2020 대학생 자작자동차대회의 Altair Design Award 부문 보고서를 다음과 같이 제출합니다.

2020 년 7 월 27 일

대학생 자작자동차대회 조직위원회 귀중

- 설계 보고서 작성법은 아래와 같습니다.

1) 가급적 어떤 기술(방법)을 적용 했느냐가 아니라 어떤 이유로 CAE를 적용, 활용했는가 서술

2) 가급적 어떤 부품을 적용 했느냐가 아니라 어떤 이유로 부품을 적용했는가 서술

3) 감성적 글쓰기가 아니라 정량적 결과를 서술 (사진, 계산식, 해석결과, 그래프 등)

4) 과거 차와 비교해 개선 또는 혁신 내용 (과거차를 무시하는 발언은 금물)

5) 해당사항 또는 강조할 내용 중심 위주로 작성

- 새시 : 프레임, 현가장치, 제동장치, 조향장치 등

- 동력계 : 엔진(흡배기), 모터-배터리, 구동계, 윤활-냉각 등

- 인체 공학 : 변속기, 시트, 페달, 스위치 접근성, 계기판 시인성 등

- 공기역학 : 바디, 디퓨저, 윙 등

6) 작성 순서 (총 4page 이하)

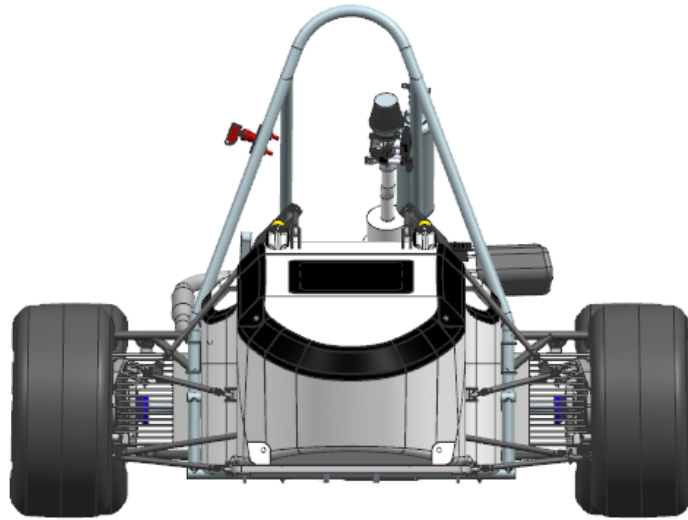
-요약 / 설계 / 해석 / 제작 / 검증, Test 결과 / 원가절감 사례(3 건이하) / 결론 / 참고 문헌

- 본 문서는 7/27(월)까지 아래 메일로 제출 바랍니다.

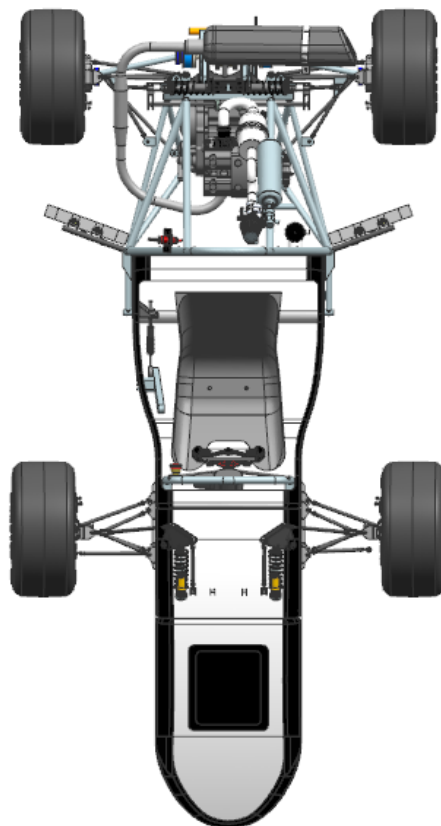
- 제출메일 : LAB@altair.co.kr 으로 송부해 주시기 바랍니다.

1. 도면

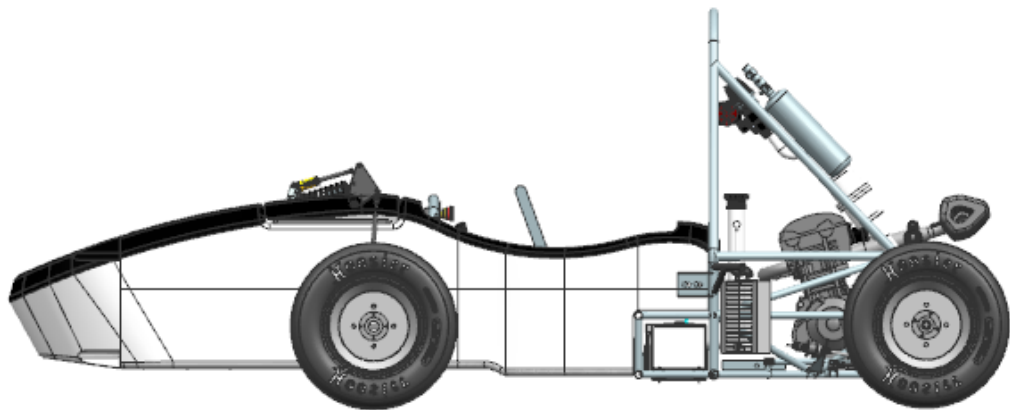
1) 정면도



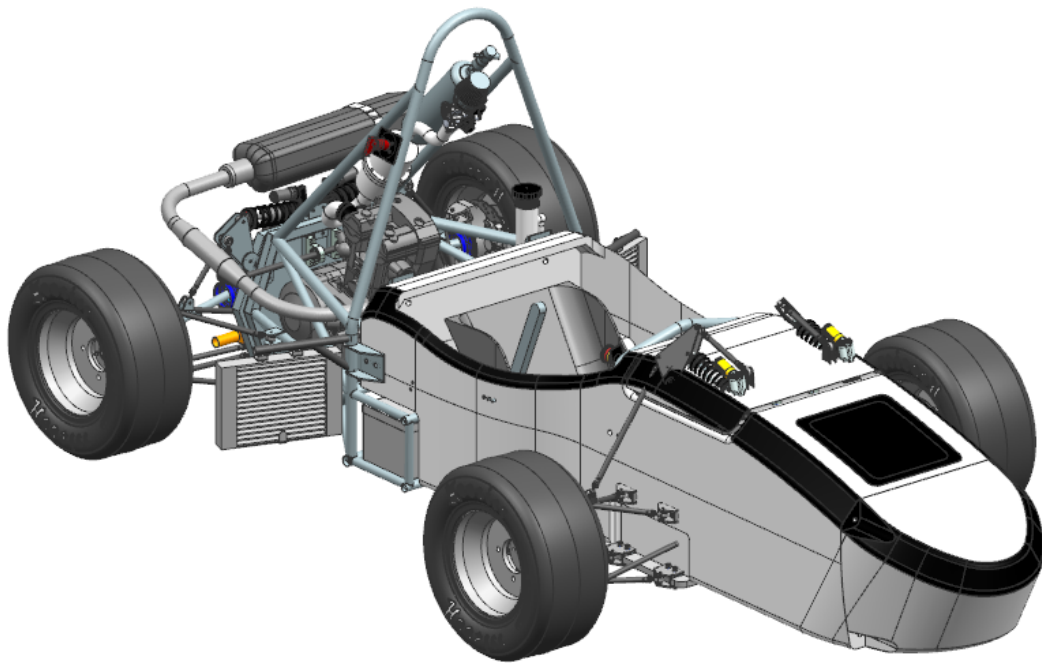
2) 평면도



3) 측면도



4) Isometric view



설계 보고서 : CFRP Monocoque Chassis

최주현, 성기학, 윤형준, 김동현, 이호원, 엄성호, 류찬영, 나성욱, 설재현

영남이공대학교 CR&DE 팀

2020 년 KSAE Formula 차량에 대한 설계 및 해석보고서이다. 차량의 경량화에 위한 주된 영향을 미치는 프레임을 기존의 스페이스 프레임에서 CFRP 복합소재 모노코크 바디로 설계했으며 복합소재해석기법을 사용하여 성능을 검증하였다. 또한 현가장치의 설계를 위하여 motion view 를 이용하여 최적화하였으며, 관련 업라이트를 hyperworks 를 이용하여 해석하였고, 서브프레임을 optistructural 을 이용하여 Topology 최적화를 수행하여 설계를 진행하였다. 해석을 통해서 전년보다 경량화를 이루었으며 향후 더욱 정밀한 해석을 추진할 것이다

1. 서론

1.1 설계 배경

차량의 무게경량화는 레이스카에 있어서는 매우 중요한 사안이다. 이는 가속력뿐만 아니라 차량의 선회안정성, 연비, 강성, 강도 등 여러가지 성능에 영향을 미치는 상황이다. 이에 영남이공대학교 CR&DE FSAE 팀은 2018 년 참가 이후 다시 FSAE 대회에 도전하게 되었고 차량의 성능향상을 위해서 다양한 설계적 검토를 시행하였다.

1.2 2018 년 차량의 분석

2018 년 FSAE 차량 과 2020 KSAE 차량프레임 강성 및 차량 무게 비교를 중점으로 차량 Chassis 의 서론에 거론한 비교 요인별 매력도 분석 및 이를 바탕으로 한 차량의 목표 Spec 을 도출하고 설계 이전 설계중점반영을 진행함

Table 1 요인분석도

요인	세부 항목	가 중 치	2020 KSAE	2018 KSAE
성능적 요인	구동 성능	5	3	3
	차량 무게	10	5	3
	차량 강성	10	5	4
	주행 성능	10	5	3
성능적 요인 평균			41	29
비용적 요인	소재 비용	10	2	5
	공정 비용	8	2	5
	비용적 요인 평균		18	45
시간적 요인	설계 소요 시간	2	2	4
	제작 소요 시간	10	4	4
	조립 소요 시간	10	5	3
시간적 요인 평균			47	39

점수 5(최대)→1(최소)(최소)... 평균 값 = (매력도 점수×(가중치))/(세부 항목 수)

2. 본론

2.1 차량의 기본 제원 성능분석

2.1.1 차량 가속성능 및 출력

이번 2020 KSAE 참가 차량의 경우 작년 KSAE 대회에 10 개 팀을 목표로 하여 가속 부분 및 출력에 기준을 잡았으며 차량가속에 관한 초기 모델을 도출하고 가속을 만족하기 위한 출력을 계산하여 실제 설계 후 CAE 를 활용함에 있어 경계조

건을 줄 때 외력에 대한 값을 활용하여 해석을 진행함

Table 2 2020 KSAE Accelation Top10

순위	팀명	시간
1	KOOKMIN RACING F-19	4.16
2	YUSAE	4.37
3	CHALLENGER	4.741
4	baqu4	4.77
5	CMDM	4.8
6	바퀴네게F	5.66
7	Carrozzeria	5.702
8	KUMA	5.899
9	S.E.C - TUF	5.971
10	Automaria-Formula Racing Team	6.031

$$\frac{G}{r} T_{max} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g + 0.625A \cdot C_d \cdot v^2 + (m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2}) \frac{dv}{dt}$$

Equation 1 가속성능식

2.2 2020 FSAE Monocoque body 설계

2.2.1 SEF 규정

해석조건의 기준의 경우 규정에 의거하여 다음 사진에서 명시된 조건들에 만족하는지 여부를 판단하기 위한 기준을 선점하고 이에 따른 layup 적층 방향을 초기에 선점하기위해서 CAE 를 통하여 검증을 실시함

제5장 드라이버 보호구조 대체재료

제22조 (대체 재료의 사용 - Alternative Tubing and Material)

① 다음 사항을 만족할 때 제4장 제14조 1항에 제시된 파이프의 치수와 재료를 대체하여 사용할 수 있다.

가. 메인 볼 후프, 메인 볼 후프 지지대

1. 부하 하중 : Fx(길이방향) = 6.0kN, Fy(측면방향) = 5.0kN, Fz(상하방향) = -9.0kN
2. 하중부하점 : 메인 볼 후프 최고점
3. 최대 허용 변형 : 25mm
4. 하중부와 후 여타한 구조물도 파리가 일어나지 않아야 한다.

나. 전방 볼 후프

1. 부하 하중 : Fx = 6.0kN, Fy = 5.0kN, Fz = -9.0kN
2. 하중부하점 : 전방 볼 후프 최고점
3. 최대 허용 변형 : 25mm
4. 하중부와 후 여타한 구조물도 파리가 일어나지 않아야 한다.

다. 측면 보호 구조

1. 부하 하중 : Fx = 0kN, Fy = 7.0kN, Fz = 0kN
2. 하중부하점 : 측면보호 구조물의 센터를 기준으로 최대 지름 250 mm의 원으로 하중 부과
3. 최대 허용 변형 : 25mm
4. 하중부와 후 여타한 구조물도 파리가 일어나지 않아야 한다.

라. 벨크레드와 벨크레드지지 구조물

1. 부하 하중 : Fx = 120kN, Fy = 0kN, Fz = 0kN
2. 하중부하점 : 전방 충격원화장치와 벨크레드 사이
3. 최대 허용 변형 : 25mm
4. 하중부와 후 여타한 구조물도 파리가 일어나지 않아야 한다.

Figure 1 KSAE CAE 규정

2.3 Monocoque Chassis CAE 검증

2.3.1 Monocoque Frame CAE 조건 및 결과

CFRP Frame(2D mesh)과 Pipe Frame(1D Mesh)로 Mesh 조건을 주고 각 부분별 CAE로 강성을 확인함

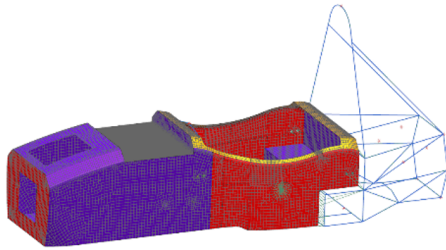


Figure 2 Monocoque CAE 모델링

Table 3 Layup Schedule

Global Ply Id	Composition	Thi...	An...	Status	Description	Solid Property
30	CARBON	0.2	0	Up-to-date		Layered
29	CARBON	0.2	90	Up-to-date		Layered
28	CARBON	0.2	45	Up-to-date		Layered
27	CARBON	0.2	-45	Up-to-date		Layered
26	CARBON	0.2	45	Up-to-date		Layered
25	CARBON	0.2	90	Up-to-date		Layered
24	CARBON	0.2	0	Up-to-date		Layered
23	CORE	15	0	Up-to-date		Layered
22	CARBON	0.2	0	Up-to-date		Layered
21	CARBON	0.2	90	Up-to-date		Layered
20	CARBON	0.2	45	Up-to-date		Layered
19	CARBON	0.2	-45	Up-to-date		Layered
18	CARBON	0.2	45	Up-to-date		Layered
17	CARBON	0.2	90	Up-to-date		Layered
16	CARBON	0.2	0	Up-to-date		Layered

Table 4 부분별 Frame 강성 CAE

Part	Main Hoop CAE	Bulkhead CAE	Side Panel
Displacement	6mm	23mm	5.7mm
Von-Mises	129MPa	50Mpa	130Mpa
Max F.I	0.02	0.7	0.08

2.3.2 2016 FSAE 과 2020 KSAE 차량의 비틀림강성 비교

공식을 활용하여 계산한 결과 Monocoque 가 Space chassis 보다 무게 대비 비틀림강성이 약 1.7 배 높은 것을 알 수 있었음

Table 5 2020 KSAE , 2018 KSAE Frame 비교

	2020 KSAE Monocoque Chassis	2018 KSAE Space Chassis
3D Model		
Weight	28 kg	30 kg
Torsional Stiffness	5227 N-m/degree	3275 N-m/degree

$$K = \frac{FL}{\tan^{-1}(\frac{\Delta Z}{R})}$$

Equation 2 비틀림 강성식

2.6 Suspension CAE 해석

2.6.1 kinematics & Dynamics

Motion View 를 활용하여 2020 KSAE 차량의 Geometry 를 반영한 모델링을 통하여 차량의 동적 변화를 확인하였음

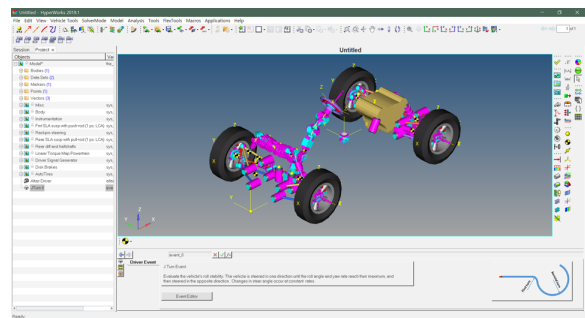


Figure 3 2020 KSAE Geometry

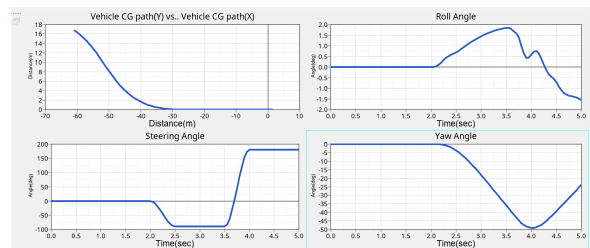


Figure 4 J-Turn 해석 결과

2.6.2 구조해석

2016 년의 경우 각각의 축으로부터 3G 의 하중이 가해진 경우 Von-mises 가 85MPa 발생하며 2018 의 경우 60MPa 으로 강성에서 2020 년 Upright 가 더 강성이 뛰어난

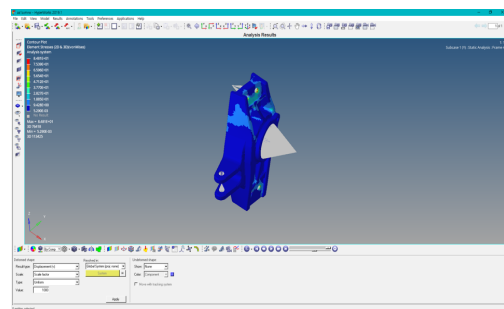


Figure 5 2016 FSAE 업라이트(HyperView)

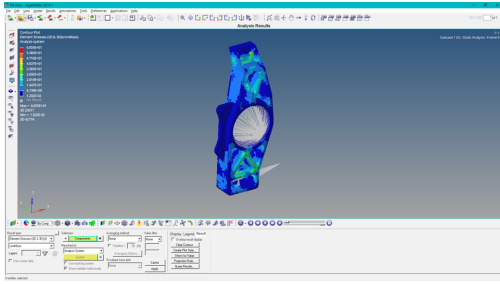


Figure 6 2020 KSAE 업라이트 (Hyper View)

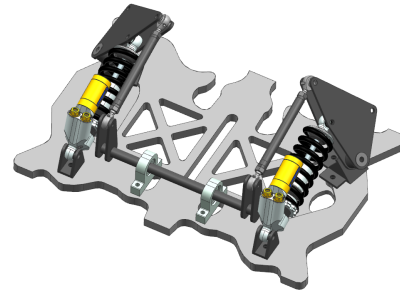


Fig.10 Topology Optimization 이후 형상

2.7 Topology optimization

2.7.1 Responses 및 Constraints

2 가지 종류의 해석조건(Volumfrac, Displacement)을 활용하였으며 목표설계 값을 얻기 위하여 목표 설계 값 조건으로 Displacement의 Upper Boundary 를 초기 CAE 해석 값을 기반으로 하여 변형량의 목표설계 값을 지정함

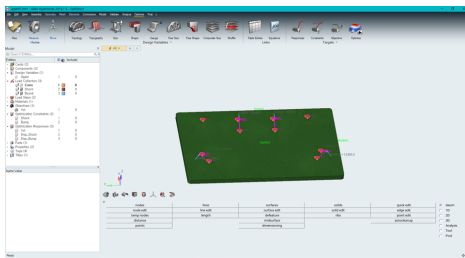


Figure 7 HyperWorks X Topology Optimization

2.7.2 결과

Non-Design 영역에서 무게 감량이 이전보다 약 2.1 Kg감량함

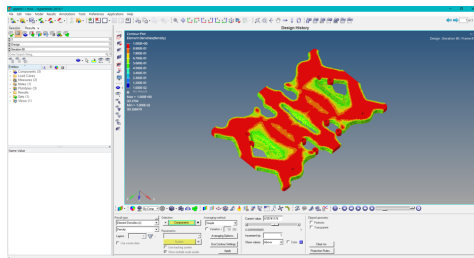


Figure 8 Front Sub-Frame Topology Optimization

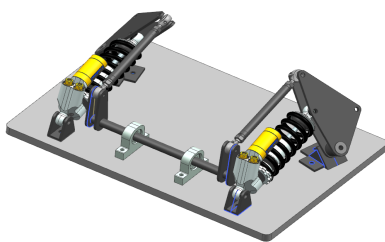


Figure 9 Topology Optimization 이전 형상

3. 제작

3.1 CFRP Monocoque 제작

CAE 해석 결과값을 바탕으로 하여 아래에서 보여지는 Mold 드 제작 및 Monocoque Frame 의 제작을 진행 하였음



Figure 11 CFRP Monocoque Chassis 제작 공정도



Figure 12 GFRP Mold 제작

4. 검증, Test 결과

4.1 CFRP 시편 해석

4.1.1 3 Point Banding Test 해석

사용하는 패널의 동등성을 입증하기 위해서 Pipe 를 -Z 방향으로 19mm 변위 구속을 주어 Reaction Force 값을 도출하고, 그 값을 활용하여 시편의 Bending Test 를 진행함

그 결과 F.I(failure Index) 값을 확인하여 시편의 안정성 과 동등성을 판단해서 결과적으로 F.I 값이 Layup 6 장의 경우 Max 가 1.1 로 결과값이 검증되어 7 장으로 추가적으로 진행한 결과 0.7 인 것을 확인함

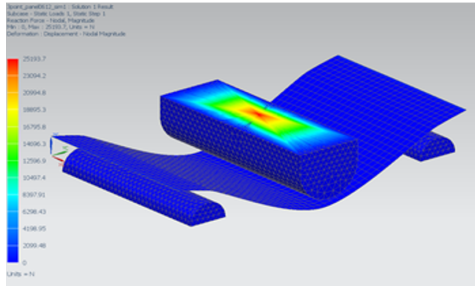


Figure 13 3-Point Bending CAE



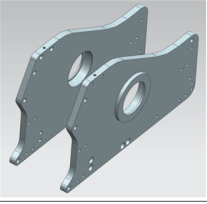
Figure 15 2020 업라이트 0.9Kg

5. 원가 절감 사례 (3 건 이하)

5.1 Aluminum Sub Frame 재료비 감량

Topology Optimization 을 진행한 목적인 현재 우리 차량을 양산 생산하여 판매하는 경우의 예로 Die Casting 공법을 활용하여 제작할 경우 이전 2018 년 Sub Frame 대비 재료비를 절감하는 효과를 얻음

Table 6 2020&2018 AL Frame 비용 및 무게비교

	2018 LSD Sub-Frame	2020 LSD Sub-Frame
Model		
재료비 (Al : Kg)	₩ 7,536 (1 SET)	₩ 2,520
무게	6.2 Kg	2.1kg

5.2 2020 업라이트 재료비 감량

2016 년 FSAE 참가 차량에 실제 사용되었던 업라이트의 경우 1.7kg 이고 반면 2020 KSAE 이번 참가 차량의 경우 0.9kg 으로 약 50%가량 재료 부분에서 이점을 얻을 수 있었으며 추후 더 가볍게 제작을 통해 앞에서 거론한 Die Casting 제작 가정 시 재료비를 감량 할 수 있을거라 판단됨



Figure 14. 2016년6 업라이트 1.7kg

6.1.1. Suspension

Motion View 를 활용하여 해석결과와 계산 결과 데이터를 통하여 계산값을 검증함

6.1.2. Frame

라미네이트 해석을 통하여 제품의 제작 전 Layup 선점을 위해 CAE 를 통하여 확인함

6.1.3. Power Train

구동부의 프레임을 효과적으로 경량화 하기 위하여 Topology Optimization 을 진행함

6. 결 론

첫째 2020 년 포뮬러차량의 프레임을 기존의 파이프를 이용한 스페이스프레임에서 CFRP 모노코크로 변경하마에 따라 CAE 해석을 적용하여 최적의 적층을 결정하였다.

둘째 현가장치의 지오메트리를 설계하기 위해서 motion view 를 이용하여 기구해석을 수행하고 차량동역학해석을 수행하여 설계에 활용 하였다.

셋째 서브프레임 및 업라이트의 경량화를 위하여 Optistrt 를 이용하여 Topology optimization 을 수행하여 기초형상을 잡고 살빼기 등을 수행하여 경량화하였다.

References

- [1].James Larminie(H . W . Park), Electric Vehicle Technology, 7장 전기차의 모델링,225-238
- [2] KSAE 기술 규정