

2019 대학생 자작자동차대회

# Altair Design Award 보고서



<b>학교명</b>		금오공대, 단국대, 순천향대, 호서대	<b>팀명</b>	Team BCP
<b>차량번호</b>		238	<b>팀장</b>	박기태
<b>차량</b>	<b>이름</b>	DHJ		
	<b>제원</b>	전장 2715 mm × 전폭 1350 mm × 전고 1190 mm (무게 220kg)		

상기 참가팀은 2019 대학생 자작자동차대회의 Altair Design Award 부문 보고서를 다음과 같이 제출합니다.

2019 년 8 월 1 일

대학생 자작자동차대회 조직위원회 귀중

- 설계 보고서 작성법은 아래와 같습니다.

- 1) 가급적 어떤 기술(방법)을 적용 했느냐가 아니라 어떤 이유로 CAE 를 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 혁신내용 (과거차를 무시하는 발언은 금물)
- 5) 해당사항 또는 강조할 내용 중심 위주로 작성
  - 새시 : 프레임, 현가장치, 제동장치, 조향장치 등
  - 동력계 : 엔진(흡,배기), 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)

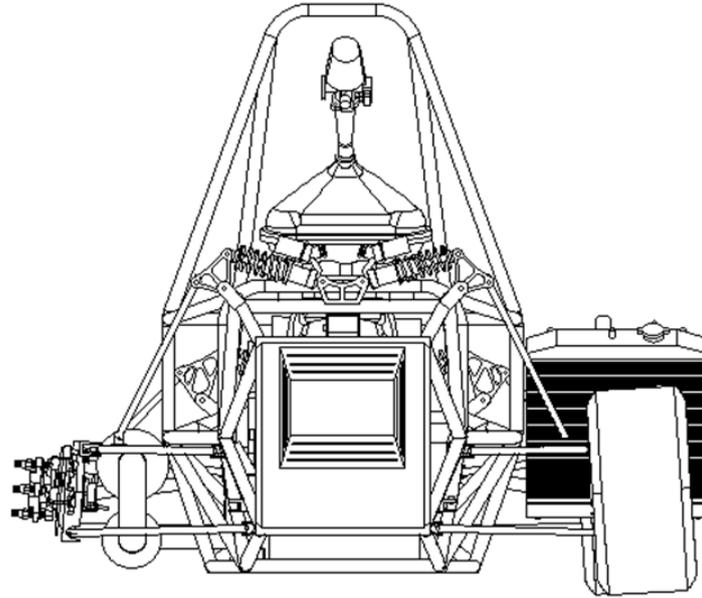
-요약 / 설계 / 해석 / 제작 / 검증, Test 결과 / 원가절감 사례(3 건이하) / 결론 / 참고 문헌

- 본 문서는 8/1(목)까지 아래 메일로 제출 바랍니다.

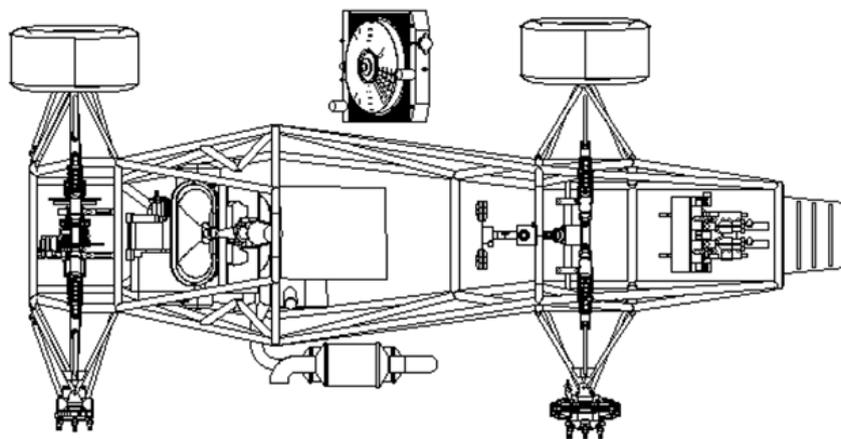
- 제출메일 : [LAB@altair.co.kr](mailto:LAB@altair.co.kr) 으로 송부해 주시기 바랍니다.

1. 도면

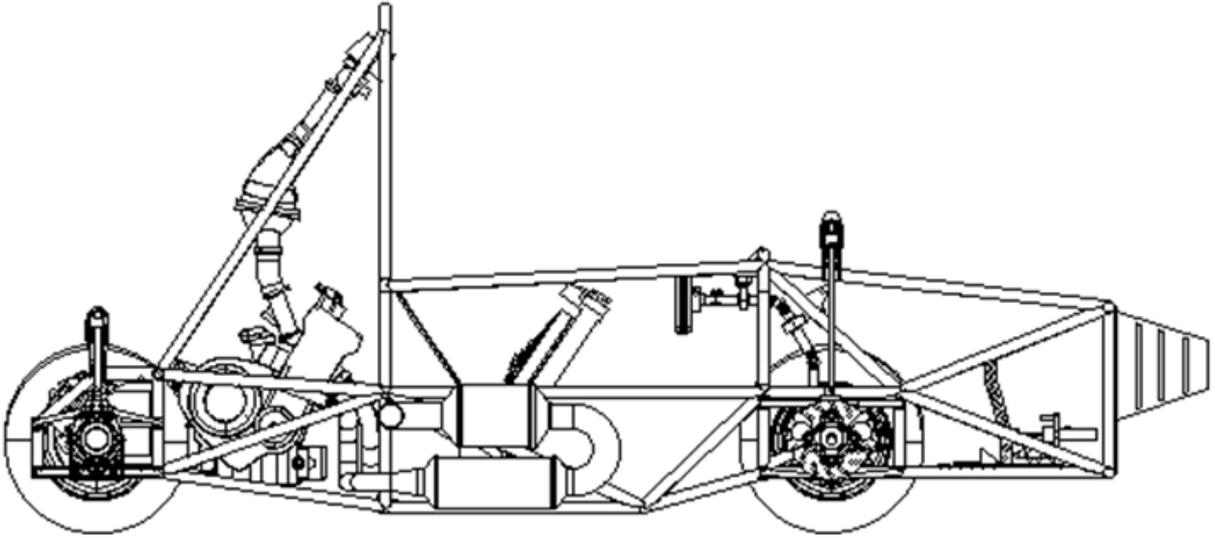
1) 정면도



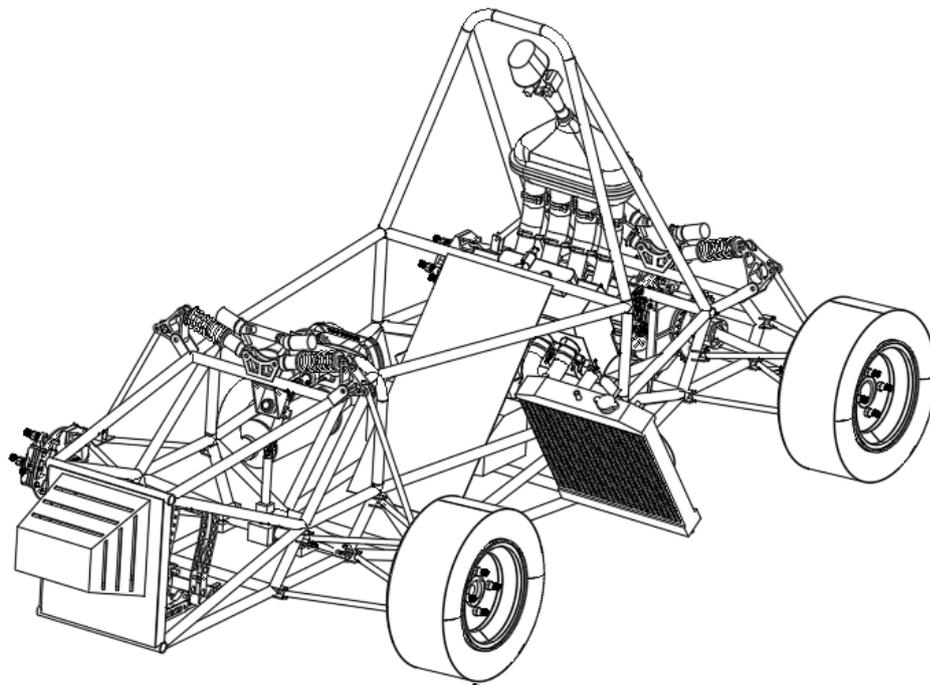
2) 평면도



3) 측면도



4) Isometric view



# CAE 를 활용한 chassis 설계 및 제작

박기태, 이진우, 황의준, 유재언, 박혜운, 장준규, 한철희

금오공과대학교, 단국대학교, 순천향대학교, 호서대학교 연합팀 Team BCP

2019 년 KASE 대회 600cc Formula 부문에 출전하기 위하여 차량을 설계 및 제작하였다. 차량의 정적상태 및 동적상태를 가정하여 모델링 구상한 뒤 Solidworks 3D CAD 를 사용하여 전체 차량을 디자인하였다. 설계한 모델을 CAE 해석 프로그램인 MotionView 를 사용하여 MBD 해석을 진행하고, Hyperworks 를 이용하여 FEM 해석을 진행하였다. MBD 해석 프로그램을 이용하여 모델링한 차량의 타겟값이 유효한지 확인하고, 조인트 반력을 구하여 차량의 부품 최적화를 진행하였다. 차량의 테스트 주행을 거치며 검증하는 과정을 통해서 차량을 공학적인 과정에 부합하게 설계하고자 하였다.

## 1. 설 계

설계 타겟은 2018 년도 참가했던 차를 분석 및 논문자료들을 토대로 선정하였으며, 각 파트 별로 다음과 같은 기준을 갖도록 설계를 진행하였다.

### 1) Chassis 설계

#### - Susspension system

Target lateral acceleration 은 Optimum lap 의 non-aero fsae car 의 data 를 참고하여 1.5g 로 선정하였다.

차량의 롤 Static Target 은 Roll rate 값을 0.91deg/G 를 갖도록 선정하였으며, 전륜 Roll center 는 30mm 후륜 Roll center 는 49mm 로 선정하였으며, 이때 롤 강성이 1.36deg/G 값이 되도록 설계를 하였다.

Wheel Base 및 Tread 의 경우 Hoosier 10inch Tire 및 650cc 엔진을 장착한 18 년도 단국대학교 차량을 참고하여 1650mm(WB), 1200/1150mm(F/R)를 기준으로 설계하였다.

#### -Steering system

스티어링 시스템의 경우 Skipad 의 inner radius 가 7.5m 이기 때문에 최소화전반경이 7.5m~8.5m 가 되도록 모델링을 하였고, Anti-Ackermen 과 Pro-Ackermen 설계를 모두 하여 더 적합한 조향시스템을 선택할 수 있도록 설계하였다.

#### -Attenuator

KASE 대회 기준 충격완화장치 해석을 위해 300kg 의 질량을 가지는 Rigid Wall 를 만들고 중력가속도에 의해 표면이 충격완화장치에 부딪치기 직전 7m/s 가 도달하도록 2.5m 에

위치시킨 뒤 충돌 실험을 할 수 있도록 Hyper Mesh Radioss 를 이용하여 설계하였다.

### 2) Brake system

차량의 제동은 320kgf 의 차량이 55km/h 의 초기 속도를 가지고 있을 때 1.5G 의 감속도를 가지고 정지하는 것을 타겟으로 잡았으며, 이때 Pitch 로 인하여 생기는 Bump 의 양이 Suspension 의 작동 한계를 넘지 않게 설계하였다.

### 3) Drive Train

차량의 가속 성능은 KSAE 대회의 가속 Test 기준인 70m 를 4S 만에 도달하는 것을 목표로 차량의 기어비(2.9:1)를 선정하여 스포킷을 설계하였다.

차량의 Static Target 을 선정된 이후, 차량의 동적 성능 및 설계된 모션을 확인하기 위해 Motion View 프로그램을 활용하였고, 각 반력을 이용한 FEM 해석을 통해 최적화를 진행하였다.

## 2. 해석

### 1) MBD

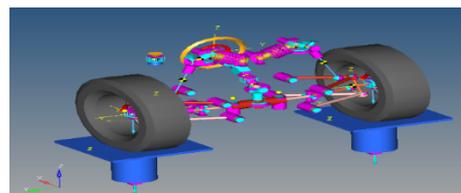


Figure 1 Half Car Modeling

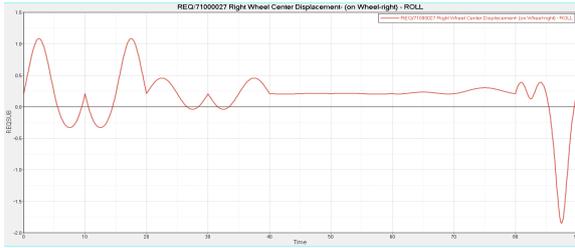


Figure 2 Camber Gain

차량의 Suspension Motion 설계를 확인하기 위해 Half Car Model 을 이용하여 Bump 시 차량의 Camber Gain 을 확인하였으며, 1.5G 의 횡기속도를 받으며 회전할 때, 주행 성능을 높이고자 Camber Gain 그래프를 참고하여 차량의 Negative Camber 값을 1.2degree 만큼 추가하였다.

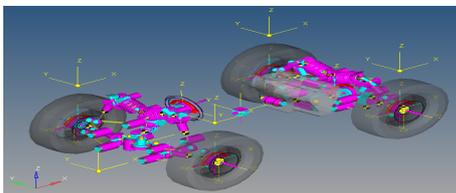


Figure 3 Full Car Modeling

10 인치 타이어와 300kgf 의 무게를 타겟으로 설계한 작년 KSAE 대회를 참가한 단국대학교, 순천향대학교 연합 BBB 차량의 브레이크 성능 문제와 제동 시험 때 Pitch 로 인하여 Rear 의 서스펜션 작동 범위를 넘어 생긴 뒷바퀴가 뜨는 현상의 원인 분석 및 이를 해결하고자 Full Car Braking 을 해석하였다.

## 2) FEM

### -충격원화장치

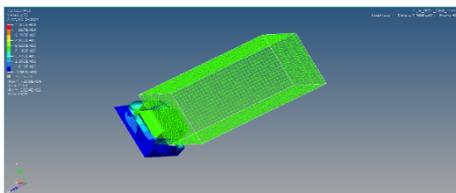


Figure 4 Hyper Mesh Radioss 해석

사용하는 충격원화장치가 기준 규격에 만족하는지 확인하기 위해 300kg 의 Rigid Wall 및 충격원화장치를 Hyper Mesh Radioss 를 통해 해석을 진행하였다.

### - FRAME

차량의 Frame 의 Roll Target 값을 확인하기 위해서 Hyper Mesh 의 1D Mesh 를 통해 파이프 구조물을 구현하였으며, 용접으로 연결된 부분을 구현하기 위해 Rigid 및 Pbrush 를 이용하여 연결하여 해석을 진행하였다.

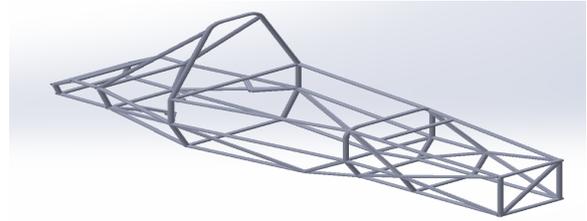


Figure 5 Solidworks Frame 설계

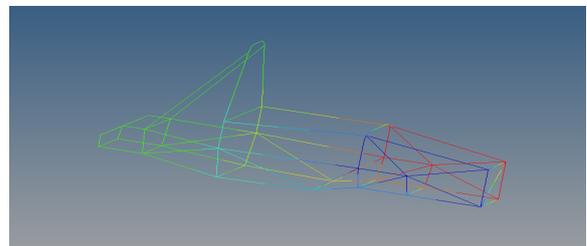


Figure 6 Hyper Mesh 1D 해석

$$K = T/\theta, K = FL/\tan^{-1}(\Delta z / R)$$

차량의 모멘트 중심에서부터 192mm 떨어진 노드에 차량의 무게의 2 배만큼 작용 했을 때, 프레임의 변형은 Z 방향으로 3mm 만큼 일어났으므로 계산 결과 차량 Frame Torsion Stiffness 는 2667.2Nm/deg 이다.

### -차량 부품 해석

차량의 움직임이 많은 주요 부품인 Knuckle, Bell crank 의 안정성을 판단하고 차량의 무게를 감소하기 위해, Inspire 의 모션 해석 및 부품 해석을 통해 부품 최적화를 하였다.

Inspire 의 형상 제어 '입출'을 이용하여, Milling 가공을 용이 하도록 하였다.

### - Bell Crank

Bell Crank 의 경우 차량의 동역학적 모션에 따라 가해지는 Join 의 반력 방향이 달라진다. 따라서 Inspire 모션 해석 및 최적화 프로그램을 이용하여 Shock absorber 의 움직임에 따른 Bell Crank 의 최적화를 적용하였다.

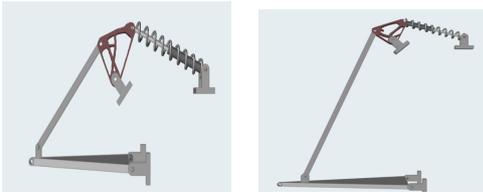


Figure 7 Inspire Motion 해석 및 최적화(벨크랭크)

- Knuckle

차량의 Front Knuckle 는 Bell crank 와 동일하게 Tire 및 Arm, Rack & Pinion, Spring 의 모션을 구현하여 각 부품의 움직임에 따른 최적화를 적용하였다.



Figure 8 Inspire Motion 해석 및 최적화(너클)

### 3. 제작

1) Milling CNC 를 이용한 파츠 제작



Photo 1 차량 파츠 주문제작

부품들을 Inspire 입출을 이용하여 Milling 이 하기 쉬운 형태로 재설계를 진행하여 주문 제작을 하였으며 Rear Hub 의 경우 경질 아노다이징 가공을 진행하였다.

2) Jig 를 통한 제작



Figure 9 Jig 및 Frame 제작



Figure 10 차량 주행 Test

더 정확한 차량 제작을 위해 Frame Jig 뿐만 아니라 Knuckle 및 Shock 의 Jig 를 설계 및 제작 하였으며, 제작 소요 시간을 작년 대비 5 일을 감소시켰다.

### 4. 검증, Test 결과

1) Attenuator

충격완화장치의 경우 트랜스테크에서 제공된 datasheet 결과를 비교하였으며,

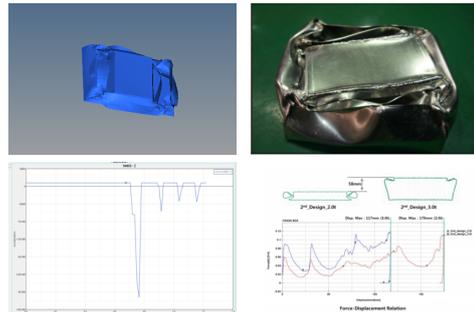


Figure 11 충격완화장치 해석 및 실험 비교

달는 순간 7.02m/s 에서 정지할 때 까지 이동한 거리 205mm 임을 통해 식에 대입하여 구한 에너지 흡수량은 7995.4J 이며 평균 감속도는 10.7G, 최대 감속도는 27.2G 이다. 실험 결과와 비교했을 때, 에너지 흡수를 오차는 약 1.8% 임을 확인하였다.

2) Brake System

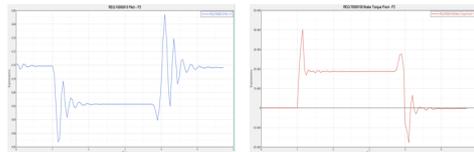


Figure 12 브레이크시 피치 각도 및 필요 토크

55km/h 로 달리는 차량이 1.5G 감속하는 경우 힘과 모멘트의 관계식으로 구해진 각각의 Braking Toque, Pitch Angle 값은 425Nm , 0.82deg 이었으며, Motion View 를 통해 얻은 값은 400Nm, 0.86 으로 각각 오차율이 5.8%, 4.9%였다.

Table 1 Brake Target 값 비교

	설계값	해석값	오차율
Pitch(degree)	0.82	0.86	5.8%
Toque(Nm)	425	400	4.9%

### 3) Roll Rate

차량의 동적 선화하는데 있어서 가장 중요한 역할을 하는 Roll Rate 를 검증하고자 Motion View Constant Radius Analysis 를 통하여 Roll Rate 를 확인하였다.

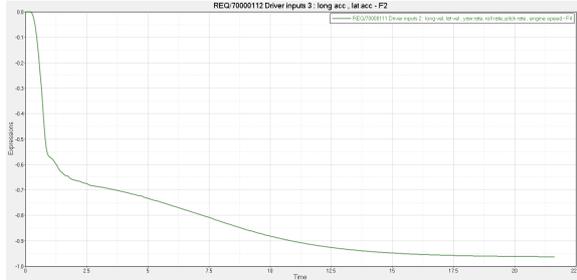


Figure 13 Roll Rate

결과적으로 Motion View 를 통해 0.95deg/G 값이 나옴을 확인하였고, 설정한 값과 4.4%오차율이 발생함을 확인하였다.

### 4) Corner Weight



Photo 2 코너웨이트 측정

차량의 Shock 을 Dummy shock 으로 변경하고서 차량의 코너웨이트를 측정하고 설계 타겟값인 5:5 무게배분을 만족한다는 사실을 확인하였다. 또한 무게중심점은 19년 단국대학교 650 포물러 차량의 292mm 기준으로 설계를 진행하였는데, 차량제작후 Front 를 10도 들어올린 상태를 기준으로 측정 후 계산한 결과 281mm를 만족하였다. 초기 설계과 비교하였을 때, 차량의 높이 방향 무게중심점의 오차율은 약 3%임을 확인하였다.

## 5. 원가 절감 사례

### 1) Brake Caliper

Brake 에 필요한 토크를 Motion View 프로그램을 통하여 계산하였고, 기존 Will Wood 제품에서 가격이 낮은 카이트 리어 캘리퍼로 전환하였다.

Table 2 캘리퍼 단가 비교

제 품	Will wood GP200	카이트 리어 캘리퍼
단가(₩)	124,604	55,000

전륜의 사용된 캘리퍼의 개수는 두 제품 모두 4 개를 사용해야 기준에 설계 기준치에 통과하며, 카이트 리어 캘리퍼를 사용함으로 원가를 약 28 만원 절감할 수 있었다.

## 6. 결론

차량의 Static Target 및 Motion Target 을 선정하여 설계 및 CAE 프로그램을 통해 오차를 계산한 결과 7%이내 오차가 발생함을 확인하였으며, 태백에서 진행한 테스트에서 차량의 가속 및 제동, Skid Pad 테스트를 진행하여 각각 가속 4.2s 제동 가능, Skid Pad 결과 5.7s의 결과로 CAE 해석 결과와 비슷함을 확인하였다. 앞으로 지속적 테스트를 통해 CAE 해석 뿐만 아니라 계측을 진행하여, 차량을 수정할 것이다.

## References

- David E. Woods, Badih A. Jawad, 1999.01, "Numerical Design of Racecar Suspension Parameters", 1-6 pages
- V.Sakthi Murugan, Rathan Kumar, Y.Suresh, M.Kumaragnamithra, Raveen rohith and M.Viswanathan, Kaleem Sherif, 2017.10 "A NUMERICAL APPROACH TO SUSPENSION KINETICS ANALYSIS OF FSAE CAR", 『International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)』, Volume 8, 910-917 pages
- Luis Alberto Mora, 2018.06, "Design of a FSAE Braking System", 『Massachusetts Institute of Technology』, 1-42 pages
- Nicholas D. Galbincea, 2015, "Design of the 2015 University of Akron's FSAE Electric Vehicle Braking System", [http://ideaexchange.uakron.edu/honors\\_research\\_projects/27](http://ideaexchange.uakron.edu/honors_research_projects/27), 1-56 pages
- Matt Giaraffa, "Tech Tip: Springs & Dampers, Part One The Phantom Knowledge", matt.giaraffa@optimung.com, 1-4 pages
- Carroll Smith, 1978, "TUNE TO WIN", 『AERO PUBLISHERS, INC.』, 1-173 pages