2021 대학생 자작자동차대회



알테어 최적설계상 보고서

학교명		한양대 ERICA	팀명	FOURTOR
차량번호		145	팀장	박시형
차량	이름	FFEF-21		
~1 0	제원	전장 2822.33 mm × 전폭 1387.2 mm × 전고 1213.4 mm (무게 230 kg)		

상기 참가팀은 2021 대학생 자작자동차대회의 알테어 최적설계상 부문 보고서를 다음과 같이 제출합니다.

2021년 11월 18일

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
 - -. 섀시 : 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 10/6 (수) 오후 5 시까지 아래 메일로 제출 바랍니다.
- 제출 메일 : LAB@altair.co.kr

설계 보고서: CNC 가공을 통한 Mass topology 죄적화 설계 제품의 적정 정밀 가공 공정 제작고연재.정훈.김동현. 박시형. 남기현. 남윤석 (함께한 팀원을 모두 기입하시오)

한양대학교 ERICA FOURTOR 팀

요약

이번 대회는 FOURTOR 팀의 대회 첫 출전이자 첫 차량이기에 차량 제작 시, 팀원과 팀의 성장을 목표로 진행하였다. 차체는 prepreg 를 이용한 monocoque 로 제작하였고, suspension 은 shock data 와 tyre data 를 기반으로 한 설계를 목표하였다. 하지만 관련 지식들을 충분히 습득하지 못하여 완전한 설계와 제작은 하지 못하였다. 그러나 altair 사의 hyperworks 를 이용하여 monocoque 설계와 해석을 진행하였고, inspire 의 mass topology 를 이용하여 knuckle 을 제작하였다. 이번 보고서는 inspire 를 이용하여 knuckle 을 제작한 내용으로 제작하였다.

1.설계

FFEF_21 설계에 있어서 전체적인 목표는 무게 감량과 그에 따른 강성 확보가 목적이다. 이에 altair 사의 inspire 를 사용하였고, 프로그램 내에서 위상최적화와 구조 해석을 진행하였다.

치량에 장착되는 knuckle 에는 brake disk(CT ACE), hub, ball bearing(M 6814Z), brake caliper(comet 650), caliper mount, bearing retainer, rock nut & washer 가 장착된다.

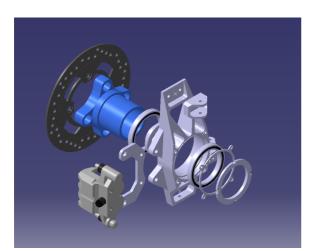


Fig. 1 knuckle assembly

설계순서는

1) CAD 3D Design : packaging 과 타팀들의 design 을 바탕으로 1 차 Design

2) Topology Optimization : 1 차 Design 인을 비탕으로 목표 safety factor 와 구동 시, knuckle 에 기해지는 허중들로 Topology Optimization 을 통해 무게 감량

3) Analysis : 치량에 가해지는 하중들을 2 차 Design 에 입력해 목표 safety factor 를 도달할 때까지 수정 반복

4) CAD 3D Redesign : Topology Optimization 을 참고해 2차 Design

5) Drafting: 최종 Design 을 비탕으로 도면 작성

순으로 진행하였다

* 박시형, E-mail: dhagksl2827@gmail.com

Knuckle 의 설계는 suspension design factor, 패키징, 가공비와 같은 조건을 고려하여 설계하였다.

Table.1 suspension design factor

	Front	Rear
Wheel diameter	13 inch	13 inch
Caster Angle	3 deg	7.765 deg
Mechanical trail	10 mm	30mm

2. 해석

구조 해석은 Inspire 를 이용하여 진행하였다. 또한 mass topology optimization 이용하여 무게를 감소시켰다.

해석 조건은 braking & acceleration 과 cornering, 2가지 case 로 나누어 진행하였다.

하중 공식은 race car design 을 참고하였다.

1) Cornering

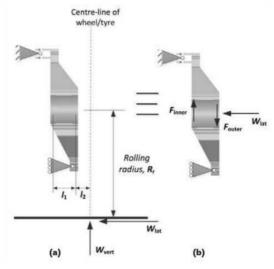


Fig. 2 comering case (Race Car Design)

$$\begin{array}{ll} l_1 = 25mm \\ l_2 = 15mm \\ R_r = 260mm \\ W_{vert} = 1154.77 \\ W_{lat} = 1847.632 \end{array} \quad F_{out} = \frac{(W_{lat} \times R_r) - \{W_{vert} \times (l_1 + l_2)\}}{l_1} \\ = \frac{(1847.632 \times 260) - \{1154.77 \times (40)\}}{25} \\ = \frac{480384.32 - 46190.8}{25} = 17367.75N \end{array}$$

 $F_{inner} = F_{outer} + W_{vert} = 17367.75 + 1154.77 = 18522.52N$

Equ.1 FFEF-21 cornering case

$$F_{out} = \frac{(W_{lat} \times R_r) - \{W_{vert} \times (l_1 + l_2)\}}{l_1}$$

$$= \frac{(1847.632 \times 260) - \{1154.77 \times (40)\}}{25}$$

$$= \frac{480384.32 - 46190.8}{25} = 17367.75N$$
Exception were

Equ.2 FFEF-21 cornering case

FFEF-21 차량의 회전(Cornering) 시, 최대 횡 G 값은 1.6G 이며 치량의 현가질량은 174kg 이다. 이를 통해 계산된 tyre 의 접촉 면적(contact patch)에서 발생하는 최대 횡방향 하중은 1847.632N 이다.

타이어에서 발생한 최대 횡방향 하중은 베어링을 통해 전달되어 upright 에 허중을 가하게 된다. 타이어 접촉 면적의 중심선과 knuckle 의 중심선과 거리가 존재하기 때문에 moment 가 발생하게 된다. Moment 와 관련된 식으로 knuckle 에 부하되는 bearing 하중을 계산한 결과 내측 베어링 하중(Finner)는 18522.52N, 외측 베어링 하중(Fouter)는 17367.75N 이 도출되었다.

2) braking & acceleration

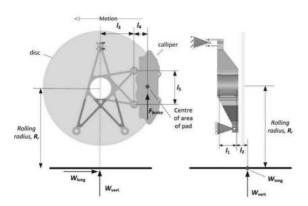


Fig. 3 braking & acceleration case (Race Car Design)

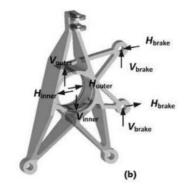


Fig. 4 braking & acceleration case (Race Car Design)

$$V_{outer} = \frac{W_{vert} \times (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{1039.69 \times (25 + 15)}{25} = 1663.504N$$

$$\begin{split} H_{outer} &= \frac{W_{long} \times (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{1663.504 \times (25 + 15)}{25} = 2661.6064N \\ V_{inner} &= V_{outer} - W_{vert} = 1663.504 - 1039.67 = 623.814 \\ H_{inner} &= H_{outer} - W_{long} = 2661.6064 - 1663.504 = 998.1024 \\ V_{brake} &= \frac{F_{brake}}{2} = \frac{4505.323}{2} = 2252.6615 \\ F_{brake} &= \frac{W_{long} \times R_r}{l_3 + l_4} = \frac{1663.504 \times 260}{96} = 4505.323 \\ H_{brake} &= \frac{F_{brake} \times l_4}{l_5} = \frac{4505.323 \times 31}{64} = 2182.2658 \end{split}$$

Equ.3 FFEF-21 braking & cornering case

제동(braking) 시, wheel 이 잠기려는(Locked) 시점이라고 가정하면 모든 토크는 brake caliper 에 의해서 저항을 받는다. 이 힘은 brake pad 의 면적 중심에 작용하므로, caliper mount 에 동일하게 배분된다고 가정하고 힘을 계산한다.

또한 caliper mount 는 pad 의 면적 중심과 일치하지 않기 때문에 크기는 동알하고 방향은 반대인 수평 방향 힘을 일으키는 모멘트가 발생한다.

3) Topology Optimization

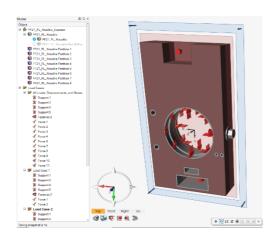


Fig. 5 Topology Optimization

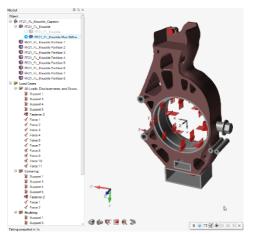


Fig. 6 Topology Optimization 결과

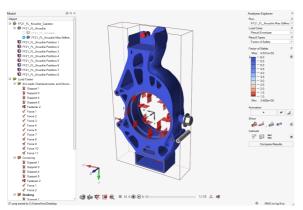


Fig. 7 Topology Optimization 해석

부품의 재질은 Al 7075-T6 이다. 위 그림은 Packaging 조건과 load case 를 입력 후, Max stiffness 위상 최적화를 실행한 결과값이다. 이를 비탕으로 해석을 실행시켰을 때, 안전 계수 (Safety Factor)는 3.4 로 나왔다.

형상이 CNC 로는 가공 불가능한 형상이므로 CAD 프로그램을 통해 가공 가능한 형상으로 다시 모델링한 후, 해석을 실행한다.

4) CAD 3D Redesign

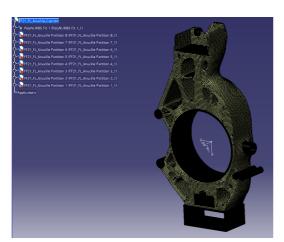


Fig. 8 Topology Optimization CAD

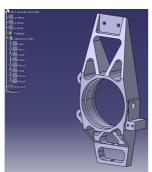


Fig.9 Topology Optimization CAD Redesign 결과

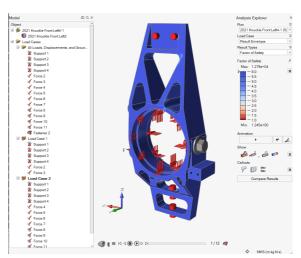


Fig.10 Topology Optimization CAD Redesign 해석결과

CAD 프로그램에 위상 최적화를 완료한 형상을 불러와서 이를 바탕으로 CNC 가공 가능한 형상으로 다시 다자인한다. 최종 디자인이 완료되면 다시 해석을 실행한다. 해석 실행 후, safety factor 는 1.245 로 도출되었다.

3. 제작

Knuckle 제작은 CNC 로 제작되었다.

NC Simulation & NC code

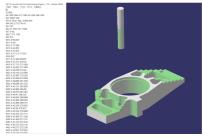


Fig.11 황작NC Simulation & NC code

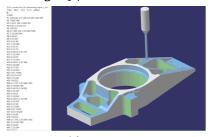


Fig.12 정착NC Simulation & NC code

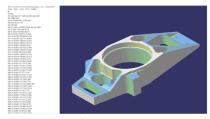


Fig.13 잔삭NC Simulation & NC code

Catia 의 Surface Machining 을 통해 CNC 가공이 가능한지 확인하였다.

CNC 의 황삭, 정삭, 잔삭 과정에서 사용되는 end mill 종류가 각각 다르기에, 가공비를 고려하여 NC 사뮬레이션 결과를 반영하여, 엔드 밀의 직경과 구조물의 R 값을 변경하였다.

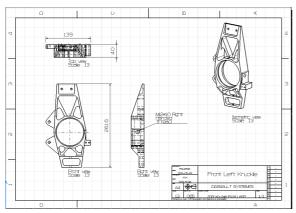


Fig.14 knuckle drafting

최종 디자인을 비탕으로 최대 치수와 홀 크기, 베어링 공차 등을 입력해주어 도면을 내렸다.

4. 검증, Test 결과



Fig.15 Front Upright Assembly

검증은 보고서 작성 시, 진행을 하지 못하였다. 계획은 Strain gauge 를 이용하여 해석 시, 입력했던 하중 값들을 측정할 예정이다.

5. 원가 절감 사례 (3건 이하)

CNC 가공시, 가공물 깊이의 1/3 직경을 가진 end mill 을 사용해야 적당하다. 엔드밀은 수직을 기준으로 한 회전체이므로 길이가 길어질수록 진동이 심해지고 엔드밀자체 가격도 올라가게 된다.

따라서 knuckle 깊이가 40mm 이기에 직경 14mm 의 end mill 을 사용하는 것으로 결정하였다.

가공물 두께에 따라 end mill 이 결정되면, 가공물의 R 값들을 결정된 end mill 에 맞춰 통일시키면 공구 교체 시간이 줄어들기 때문에 가격이 절감된다. 따라서 FFEF-21 knuckle 의 R 값들은 7mm 로 통일하였다.

6. 결 론

Mass topology optimization 이전, knuckle 의 초기 무게는 2.3kg 였는데 0.67kg 으로 약 1.6kg 감량하였다. 또한 safety factor 는 1.2 로 나왔다.

Safety factor 의 경우, 2~3을 타겟값으로 잡았었는데 1.2 의 도출된 값으로 진행한 이유는, 기존 race car design 수 식 내에 dynamic factor 들이 적용되었기 때문에 진행하였다.

7. References

- 1) Derek Seward, Race car design, 2014.10.14
- 2) William F. Milliken, Douglas L. Milliken, Race Car Vehicle Design, SAE International, 1994.12.01
- 3) Altair, Simulation Driven Design With Inspire
- 4) Development of Super Lightweight Pedal Brackets for Mazda Motor Corporation - Altair
- 5) Geon works, 네이버 블로그, 2018.12.17 https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=a8n &logNo=221428282747&categoryNo=10&parent CategoryNo=20&viewDate=¤tPage=&post ListTopCurrentPage=&isAfterWrite=true