

2016 포물러 형태의 자작자동차 설계 및 제작

김진석^a, 신대수^a, 신민수^a, 김성걸^{a*}

Design and Making of a Handmade Vehicle with a Formula in 2016

Jin-Seok Kim^a, Dae-Soo Shin^a, Min-Soo Shin^a, Seong Keol Kim^{a*}^a Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	20	December	2016
Revised	25	January	2017
Accepted	31	January	2017

Keywords:

Formula
Hand-made vehicle
Suspension
Zig
TIG welding
Anti-ackerman

ABSTRACT

In 2016, a handmade vehicle called to the VF-3 was designed and manufactured as a formula typed car. Prior to manufacturing and assembly, the impact attenuator was analyzed through ANSYS LS-DYNA, and the results were applied to the VF-3. The dynamical performance of the VF-3, such as the acceleration and circling simulations, was also assessed through MSC-ADAMS. The results were applied and compared after the Korean Society of Automotive Engineers (KSAE) competition. There was only a 0.8 s difference in the acceleration test. In order that the frame was not twisted by thermal deformation, Argon-TIG welding was used and a zig was designed. Another zig was designed to have the exact position for the hardpoints in the suspension system. Most of the parts were made with aluminum 7050 for reduced weight. The VF-3 won the third prize in the 2016 KSAE Student Handmade Vehicle competition.

1. 서론

포물러(formula)는 국제자동차연맹(FIA: federation international automobile)에서 매년 발표하는 배기량, 규격, 타이어, 차체 사이즈 등 경주용 차량의 규격을 말한다. 즉 포물러는 대량생산되는 자동차가 아닌 자동차 경주만을 위해 제작되는 자동차이며 흔히 알고 있는 포물러 원(formula one)은 운전석 하나에 바퀴가 겹으로 드러난 오픈 휠, 1인승 형식의 포물러 자동차 경주 중 가장 급이 높은 자동차 경기이다. 자동차는 모든 공학기술의 집합체라고 할 수 있는데 전통적인 가공기술에서부터 기계공학, 기구, 전기전자제어, 인체공학, 통신 등에 이르기까지 포함되지 않은 연구 분야를 찾지 못할 정도로 다양하다. 이 중에서도 특히 경주용 차량 포물러의 경

우 차량의 내구 한계를 테스트 할 뿐 아니라 첨단 자동차 개발에 필수적인 최적의 실험도구이며 기술력의 사소한 차이까지도 평가 할 수 있는 기술 검증의 목적으로 오래전부터 활용되어오고 있다^[1-5]. 국내에서는 자동차 산업의 관심이 하이브리드카, 전기차, 수소차 등 친환경 자동차의 눈을 돌리고 있는 가운데 현재 외국에서는 스포츠카, 슈퍼카, 포물러 형태의 자동차 등 고성능 자동차에도 많은 관심을 기울이고 있으므로 본 연구를 통해 포물러 형태의 자작자동차에 대한 안정화 및 고성능화 기술을 적용한 설계 및 제작 방법 등에 대해 기술하고자 한다.

본 연구에서는 선진 해외 팀의 포물러를 분석하고, 최신 기술동향을 바탕으로 본 팀의 수준에서 구현 가능한 기술들을 선별하여 새롭게 설계하고 제작한다. 최근 국내/외의 포물러 자작자동차 기

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6855

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: rhett@seoultech.ac.kr (Seong Keol Kim).

슬경향은 경량화와 내구성에 많은 초점을 두고 있다. 실제 제작에 앞서 CAD 프로그램을 이용하여, 2D 및 3D 가공도면작업과 차량 모델링작업을 수행한다. 동적해석이 가능한 CAE 프로그램을 사용하여, 실제 차량 주행 시 차량이 받는 정적 및 동적 하중에 의한 해석의 결과를 설계에 반영하고 차량 시뮬레이션을 통해 경기결과를 예측하여 차량의 내구성을 갖춘 경주용 차량으로 설계 및 제작되었는지 예측결과와 실제기록을 비교하여 연구고자 한다.

본 연구를 바탕으로 KSAE 한국 자동차공학회 및 KAMA 한국 자동차산업협회에서 주최하는 2016 KSAE 대학생 자작 자동차 대회의 Formula부문에 참여하였다.

2. 차량의 세부 설계 및 해석

2.1 엔진(Engine)

본 연구 팀의 자작자동차(이하 VF-3)는 2014년, 2015년도 경진 대회와 동일하게 Exiv 250 N 모델의 수냉식 단기통 엔진을 사용하였다. 이 엔진을 선택한 이유는 공랭식 엔진의 경우 바람으로 열을 냉각시키기 때문에 엔진의 표면적이 넓어져 부피가 커진다. 그러므로 상대적으로 공기저항을 많이 받고, 공간사용에 부적합하다. 공랭식의 경우 차량 주행 후 정지해 있을 때 바람이 통하지 않으면 냉각효율이 떨어지는 단점도 있다. 수냉식의 경우에는 정지해 있는 동안에도 라디에이터와 냉각팬이 작동하여 엔진의 열을 냉각시켜 엔진의 오버히트(Overheat)를 방지할 수 있다. 또한, 바람을 맞는 냉각팬이 존재 하지 않아도 되기 때문에 부피가 작아, 경량화와 무게 배분을 위한 설계에도 용이하다.

2.2 충격완화장치(Impact attenuator)

충격완화장치는 대회 규정에 따라 “총 중량이 3000 N인 차량의



Fig. 1 Fuel injection engine of S&T

전방에 부착되었다고 가정하고 7 m/s의 속도로 단단한 벽으로 돌진, 충돌할 때 평균 감속이 20 G를 초과 하지 않고 최대감속이 40 G를 초과하지 않아야 한다.”를 만족해야 한다^[6]. 또한 충격완화장치의 뒷면은 벌크헤드의 사이즈와 동일해야한다. 따라서 규정에 맞는 충격완화장치의 설계를 위해 CAE 상용 프로그램인 ANSYS LS-DYNA(외재적 방법)를 이용한 동적해석을 진행하였다.

해석은 네 가지 모델에 대해 해석을 수행 하였다. Fig. 2와 같이 첫 번째 모델(4.0 t)의 뒷면은 벌크헤드와 동일하게 400x400 (mm)으로 설계하고, 앞면의 크기는 200x100 (mm), 높이는 150 mm이며, 각 면의 두께는 4.0 mm이다. 경진대회 규정에 맞는 해석 조건을 주기위해 충격완화장치 뒤에 VF-3의 질량(300 kg)에 해당되는 프레임은 철의 재질로 모델링하였다. 또한 단단한 벽의 가정을 위해 콘크리트로 설정하였으며, 뒷면에 고정지지조건을 부여하였다. 해석조건으로 VF-3를 7 m/s의 속도로 2.8 m 떨어진 벽에 돌진 후 충돌(충돌직후 0.05 s) 해석을 진행하였다.

해석 결과 값을 Table 1에 나타내었다. 첫 번째 모델에서는 최대 감속도가 40 G를 초과하지 않았고, 평균 감속도는 20 G를 초과하지 않았다. 그러나 충격완화장치의 질량이 4.2 kg으로 비교적 무거워, 경량화를 위해 형상을 일부 변경하고, 각 면의 두께를 2 mm로 줄인 Fig. 3과 같은 두 번째 모델에 대해 동일 조건으로 해석을 수행하였다. 두 번째 모델과 형상은 동일하고 각 면의 두께만 3 mm와 4 mm 등으로 변경한 셋 번째, 네 번째 모델에 대해서도 해석을 진행하였다. 네 번째 모델의 해석결과는 규정을 만족하지 않았고, 두 번째와 세 번째 모델의 결과에서 대회 규정을 만족하여 상대적으로 가벼운 두 번째 모델로 선택, 제작하였다.

Table 1 Comparison of results of dynamic analysis on the impact attenuator models^[6] by the ANSYS LS-DYNA

Type of model (mm)	Mass (kg)	Max. deceleration (G)	Averaging deceleration (G)
1 st model (4.0 t)	4.2	37.5G	15.4G
2 nd model (2.0 t)	1.6	36.0G	15.5G
3 rd model (3.0 t)	2.3	38.4G	15.5G
4 th model (4.0 t)	3.0	56.0G	34.0G

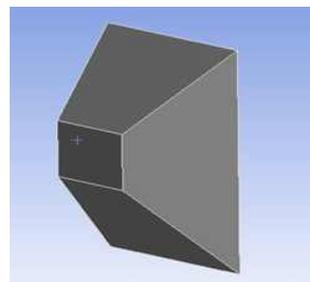


Fig. 2 The 1st model

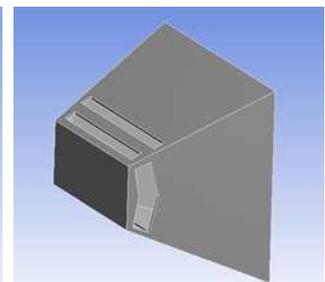


Fig. 3 The 2nd model

2.3 프레임(Frame)

프레임 설계의 핵심은 대회 규정에 맞는 설계이다. 또한, 프레임의 경량화를 위해 프레임의 재료는 최소 요구조건인 탄소강으로 최소 0.1% 이상의 탄소를 함유하여야 하며, 철강 재료의 물성치는 탄성계수(E) 200 Gpa, 항복강도 305 Mpa, 인장강도 365 Mpa 이상인 가볍고 강도가 강한 스틸 인발 파이프(pull-out steel tube)를 사용하였다. 프레임 용접은 열 변형이 적고, 아르곤 가스를 사용하는 티그(TIG)용접을 이용해 프레임을 제작하였다.

Fig. 4와 같은 VF-3의 프레임은 제작에 용이하도록 벌크헤드(bulk head)와 프론트 롤 후프(front roll hoop)의 간격을 350 mm로 일정하게 하였고, 폭을 400 mm로 설계함으로써 전 차량보다 100 mm 넓은 공간을 확보하여 조립의 편의성을 높이고, 드라이버의 신체에 맞게 설계를 하였다. 또한 스티어링 박스와 연결된 타이로드와도 간섭 없이 설계하였다. 강성을 고려하여 프론트 롤 후프와 메인 롤 후프를 벤딩(bending)하여 제작하고, 최 하단의 연결부만 티그(TIG)용접으로 연결하였다. 2016년의 프레임 제작을 위한 지그(zig)는 Fig. 5와 같이 철판에 수평 블록을 용접하여 프레임의 밑면을 먼저 만들고 그 위에 프레임의 단면을 만들어 올리는 방법을 선택하였다. 단면을 올리면서 단면과 단면에 보강대를 이용하여 트러스 구조로 충돌 시 최대 응력과 변위량을 작게 설계하였다.

2014년, 2015년도 차량에서는 프레임의 밑면이 처져있는 형상으로 설계하였는데 대회 규정에 ‘차량의 지상고는 30 mm 이상이



Fig. 4 A new frame of the 2016 model

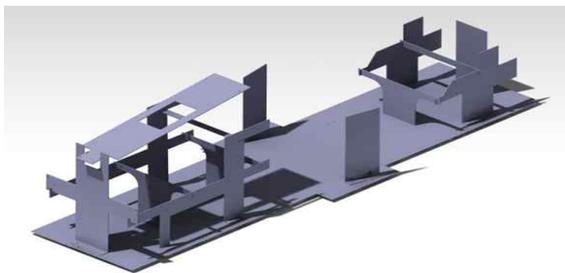


Fig. 5 A new frame zig of the 2016 model

되어야 한다.’라는 규정을 통과하는 데 문제가 있었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 2016년 프레임은 밑면을 한 평면으로 설계하여 작업량을 최소화하면서 규정을 통과할 수 있도록 설계하였다. 2015년 차량의 경우에는 엔진을 지지하던 파이프 일부가 찢어지는 현상이 발생되었다. 엔진룸은 차에서 가장 무거운 엔진을 지지하는 곳이므로 경량화보다는 강성이 강한 파이프를 사용하여 제작하였고, 립보강대를 이용하여 프레임과 엔진마운트 브라켓을 보강하였다.

VF-3의 디퍼런셜(differential)은 프레임구조가 외부로 돌출되도록 설계하였다. 그 이유는 디퍼런셜 립을 제작하게 되면 프레임의 길이가 길어져서 암의 길이 또한 길어진다는 단점이 있기 때문이다^[1-5].

2.4 동력전달

2.4.1 차동장치

베벨기어의 종류는 직선베벨기어(straight bevel gear)·곡선베벨기어(spiral bevel gear)·제로베벨기어(zerol bevel gear) 등이 있지만 VF-3에는 직선베벨기어식 차동장치를 선택/장착하였다. 직선베벨기어는 톱니 줄기가 피치 원뿔면에 일치하는 기어로 서로 맞물릴 때 톱니의 위쪽에서 시작하여 톱니 뿌리 방향으로 물린다. 베벨기어 가운데 가장 만들기 쉽고 간단하며 제작비가 적게 든다는 장점이 있다. 주로 자동차기어장치와 공작기계에 사용된다.

2015년 차량에도 직선베벨기어를 사용하였지만, 차동동치를 조립할 때 유격이 발생하여 흔들림 공차가 많이 발생하는 문제점을 발견하고 2016년 차량은 다이얼게이지를 이용하여 흔들림 공차를 최소화하여 조립하였다.

2.4.2 허브(Hub)

허브는 회전관성모멘트의 영향이 크므로 안전성이 무엇보다 중요하다. 2015년 차량에서 브레이크 디스크와 허브가 체결되는 부분의 살이 너무 얇아 제동시 하중을 버티지 못하고 파괴되는 문제가 발생하였다. 2016년 차량에서 허브는 허브의 바디 전체가 제동시의 디스크의 하중을 견딜 수 있도록 설계하였다. 또한 가속 성능을 향상하기 가장 좋은 방법으로 동력전달장치의 무게를 줄여 큰 효과를 볼 수 있다. 내구성에 문제가 없으면서 가벼운 소재인 알루미늄7075를 사용하여 경량화하였고, 아노다이징을 통해 내구성이 향상되었다.

Fig. 6에서 보여주는 것처럼 프론트 허브와 리어 허브는 서로 다르게 설계되었다. 리어 허브에는 구동축과 체결되고, 베어링을 너클과 함께 사용하기 때문에 스플라인 가공을 하였다. 그러나 프론트 허브는 스플라인 가공을 필요로 하지 않고 독립적으로 축을 제작하였다. (쥬기아의 모닝 모델의 허브를 바탕으로 설계하여 제작하였다.

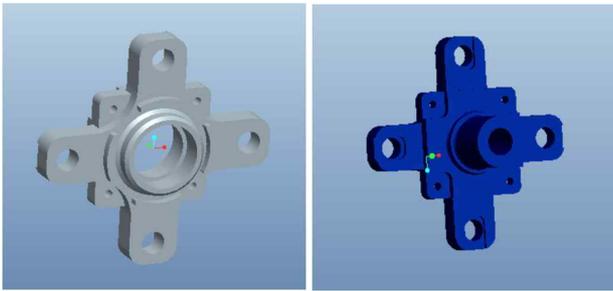


Fig. 6 Hub modeling of the VF-3^[5]

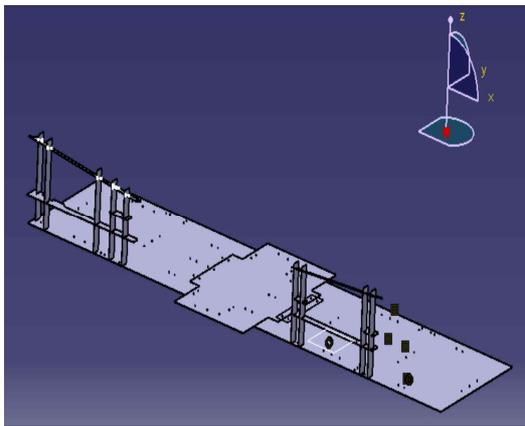


Fig. 7 A new hard-point zig of the 2016 model

2.5 MSC ADAMS를 이용한 동적해석

자작 차 경진대회는 동적평가 부분 중 직진 가속 경기와 원형 선회(스키드패드) 경기 등 2가지 시험을 통해 차량의 성능을 확인한다. 이를 설계 및 제작에 반영하기 위해 MSC ADAMS를 이용하여 차량의 성능에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 차량의 엔빌 및 하드포인트(hard-point) 등 차량정보를 입력하여 본 연구의 모델을 구현하였다.

직진 가속경기의 시뮬레이션 목적은 전속력(full-throttling) 가속하여 경진대회 규정과 같은 70 m 가속에 소요되는 시간을 예측하는 것이다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 해석결과 70 m 지점까지 약 4.6초의 시간이 소요되었다. 이는 2015년도 대회 기준으로 3위에 해당되는 기록으로 스타트와 변속 타이밍 등 몇 가지 변수를 제외할 때, 최고 기록이라고 볼 수 있다. 2016년도 KSAE 자작차 동차 경진대회 포물러 부분에서 본 팀의 차량은 해석결과에 비해 약 0.8초 정도 늦은 5.4초의 기록을 나타냈다. 시뮬레이션 보다 조금 늦었지만 전문 드라이버가 아닌 점 등을 감안하면 해석결과와 큰 차이를 보이지 않았다.

스키드패드 경기에 대한 시뮬레이션의 목적은 대회규정과 동일한 크기의 원형코스를 선회하면서 계속 해서 속도를 증가시키고 오버스티어가 발생하여 차량이 코스를 이탈하는 속도를 찾는 것이다. 해석결과로 Fig. 10과 같이 계속해서 선회하며 속도를

Table 2 Target values for setting gear ratios

Tread (mm)	170,0
Aspect ratio	54.353
Wheel size (mm)	330.0
Final reduction gear ratio	14.75



Fig. 8 2016 formula VF-3 of the SNUT

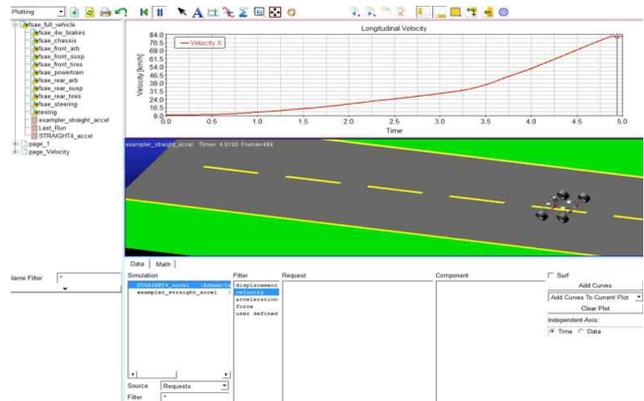


Fig. 9 Simulation of acceleration by ADAMS CAR

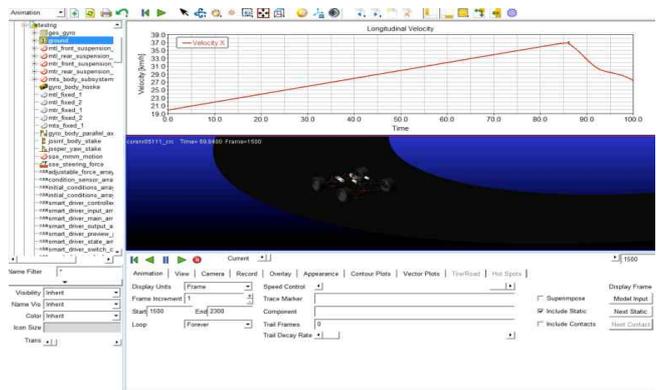


Fig. 10 Simulation of cornering by ADAMS CAR

증가했을 때, 약 37 km/h의 속도를 경계로 오버스티어가 발생하여 코스 이탈하는 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 대회에서는 해석결과를 참고하여 속도를 조절할 수 있었고 코스 이탈하지 않았다.

3. 포뮬러 자작 자동차의 제작

앞에서는 2016년 포뮬러 자작자동차에 대해, 각 파트별로 설계 의도와 해석 등을 기술하였다. 3장에서는 각 파트 제작과정에 대해 설명한다. Creo 및 CATIA를 사용해 프레임을 규정에 맞게 모델링하였다. 벨크헤드, 프론트 롤 후프, 메인 롤 후프 등을 제작하고, 보강재 파이프의 끝을 가공하여 지그로 고정된 다음 용접하였으며, 프레임에는 원형파이프를 이용하였다. 프레임 부분마다 파이프 두께가 다르고, 원형 파이프이어서 서로 접하는 부분의 가공과 용접이 까다로운 문제가 발생하였다. 이 문제는 3D 모델링 시 한 점에서 많은 파이프가 모이지 않도록 오프셋을 하여 가공과 용접의 편의성을 높였다. 지그는 프로파일을 사용하는 것이 용접 시 비틀림 현상을 최소화하여 정확하게 제작하였다. 프레임의 현가장치와 변속기 부분에 사용되는 브라켓은 레이저 커팅과 수압 절단 커팅을 사용하여 제작하였다. Fig. 11은 2016년 제작한 VF-3의 3D 모델링 형상이다.

현가장치에서는 더블 위시본 형태의 암 제작과 벨크랭크, 풀/푸쉬 로드 등을 제작하였다⁹⁻¹¹⁾. 현가장치 제작 시 풀/푸쉬 로드와 벨크랭크가 한 평면에 위치해야 쇼크 업소버의 성능을 최대로 할 수 있기 때문에 각 파이프와 철판 지그를 이용하여 한 평면에 제작하였다. 쇼크 업소버는 고성능 MTB용을 관련 기업으로부터 협찬을 받아 사용하였다. 자전거용이지만 가/감속, 고/저속에서 각각 읊저버 탱크의 오일량과 댐핑 값들을 조정할 수 있는 현가장치이다¹⁵⁾. 그 크기가 작아서 프레임에 자유롭게 위치 할 수 있는 것 또한 장점이다.

부품 가공에서부터 조립/장착까지 가장 어려웠던 부분은 변속기 부분이었다. 엔진룸 밖으로 차동장치가 돌출 되어있는 구조이고,



Fig. 11 2016 full model of formula VF-3

Table 3 Specification of the VF-3 formula in 2016

Specification		
1. Specification	Front	Rear
Overall length/weight/height	2,643 mm/1,200 mm / 1,333 mm	
Wheelbase	1,550 mm	
Unladen vehicle weight	204 kg	
Tread	1,150 mm	
Distributed weight (70kg Driver on board)	123.75 kg	151.25 kg
2. Suspension ^[11-12]	Front	Rear
Type	Double wishbone pull load type	Double wishbone pull load type
Tire size	170/515/R13	170/515/R13
Center of mass ^[13]	700 mm, 95 mm	
Suspension operating range	50 mm	50 mm
Toe	OUT 3.0"	IN 3.0"
Camber	3° (MLA type)	2.5° (MLA type)
Caster	7°	-
Front kingpin angle and offset	8°	-
3. Braking system/Hub & Shaft	Front	Rear
Master cylinder	Hyundai Motor company Axel master cylinder	
Caliper	S&T motors comet front calipers	
Hub bearing	Taper roller bearing (30203J)	Daewoo lemans hub bearing
Up right (material/manufacturing method)	Steel 1.6t(ss41)/Welding	Steel 1.6t(ss41) / Welding
Shaft material, size, type	Spindle 17 mm (ss45)	GM Daewoo Matiz constant velocity joint
4. Frame		
Type	Space frame	
Material	Carbon steel for machine structure use	
Frame manufacturing method	Welding	
Frame mass	32 kg	
Impact attenuator material	AL_6061(2T)	
Impact attenuator size	200 mm/100 mm/150 mm	

Table 3 Continued

5. Engine ^[7-8]			
Type (Manufacturers /Model)	KR Motors/ EXIV 250 N		
Cylinder diameter/Stroke/Cylinder/Displacement	73.0 mm/59.6 mm/1/249.4 cc		
Compression ratio	12:1		
Intake system	NA		
Maximum horsepower (revolution per minute)	27.99 ps (9500 rpm)		
Maximum output (revolution per minute)	2.46 kg·m (7000 rpm)		
Fuel injection	Electronic fuel injection system		
Sensor	MAP, TPS, O2, WTS, ATS, CPS		
Exhaust system	4-2-1(2-1), 50mm Collector		
Lubricating device	Wet type, Oil pump within the engine use		
Fuel tank position and material	Area between protectors and engine, Steel		
Muffler	Hand-made muffler, Absorbing material use		
6. Power train			
Driving system	Chain drive		
Differential gear type	Bevel gear type differential gears		
Differential gear ratio	5 : 1		
Top speed @ Maximum power (rpm)			
1 st (km/h)	26	4 th (km/h)	65
2 nd (km/h)	42	5 th (km/h)	74
3 rd (km/h)	55	6 th (km/h)	82
7. Convenience			
Driver position adjustment	Pedal, adjustable driver's seat, steering wheel		
Driver's seat (Material, protector)	Stainless steel 1t, polyurethane foam		
Driver visual field	Viewing angle 180°, No rearview mirror		
Transmission type	Variable speed motor, use paddle shift		
Clutch type	Operating the pedal, hydraulic system with master cylinder		
Status information	Water temperature gauge, RPM, gear position, mileage, air temperature		
8. Other			
Body	FRP		

엔진을 프레임에 장착한 위치가 설계만큼 정확하지 않았기 때문에 엔진의 소 기어와 대 기어를 평행하게 맞추기 위해 어려움이 많았다. 본 차량에 대해 기어비를 5:1로 선정하였다. 그 이유는 600 cc 엔진을 사용하는 팀에 비해 출력이 낮은 점을 고려하여 가속을 극대화하기 위하여 높은 기어비를 선정하였다. 높은 토크를 낼 수 있

는 점을 부각시켜서 가속 경기용 기어 비를 식 (1)^[14]을 이용해 5:1로 결정하고, 내구용으로는 4.54:1의 대 기어를 제작하였다. 각 변수의 값은 Table 2와 같다. Fig. 8는 최종 제작된 2016년 VF-3이며 Table 3는 차량의 상세제원이다.

$$\text{Velocity} = [60 \cdot 3.14 \cdot \{(\text{tread} \cdot 0.02 \cdot \text{aspect ratio}) + (25.4 \cdot \text{wheel size})\} \cdot \text{RPM}] / (\text{gear ratio} \cdot \text{final reduction gear ratio} \cdot 1,000,000) \quad (1)^{[14]}$$

4. 결론

2016년 VF-3 차량은 포물러 형태의 자작자동차로 가장 중요한 차량안전규정에 중점을 두고 설계하였다. 첫째, 기존 차량의 가장 큰 문제점이었던 지상고 문제를 해결하고, 제작의 편의를 위하여 프레임의 밑면을 수정하여 설계하였다. 둘째, 기존 차량 허브의 정확하지 못한 설계/제작의 요인들은, 2016년도 VF-3에서는 다양한 동적해석을 통해 허브 등의 재설계를 하였다. 그리고 충격완화장치 설계/제작과정에서는 ANSYS LS-DYNA(외재적 방법)를 이용하여 해석을 수행하였으며, 열 변형이 적은 아르곤 가스를 사용한 티그(TIG)용접으로 제작하였다. 셋째, 차량제작 전 MSC-ADAMS를 이용한 차량시뮬레이션 결과와 자작자동차 경진대회 포물러 부분 경진대회에 참여하여 실제 차량의 주행성능을 비교하였다. 그 결과 직진가속 주행부분에서는 0.8초정도의 오차가 발생하였다. 그 원인으로는 스타트와 변속 타이밍 등 몇 가지 변수로 사료된다. 넷째, VF-3는 경량화를 위해 차동장치 마운트하우징을 알루미늄 7050로 가공하였다. 또한 체인의 장력 조절을 위하여 로드엔드를 이용하여 체결하였다. 작년차량대비 현가장치의 변화를 통해 성능을 향상시켰다. 벨크랭크의 구조와 위치를 변경하여 주행 시 차량의 롤링을 최소화시키고 가속경기과 스키드패드경기, 등 경기마다 쇼크 업소버의 오일량과 댐핑 값을 코스상태에 맞추어 경기에 참여하였다.

2016년 VF-3를 제작한 후 전술한 바와 같이 2016년 KSAE 대학생 자작자동차 경진대회 포물러 부분에 참여하여 전체 3등에 해당하는 은상을 수상하였다. 본 연구를 통해 대학생들의 자작자동차에 대한 관심과 한국모터스포츠를 알릴 수 있는 계기가 되었으면 한다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Kim, J. H., 1994, *Automotive Chassis*, JungWonSa, Republic of Korea.
- [2] Thomas, D. G., 1992, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE international, USA
- [3] Kim, H. Y., 1997, *Automotive Suspension*, EDTECH, Republic of Korea.
- [4] Kim, J. H., 2009, *Chassis of Advanced Vehicle*, Golden-Bell, Republic of Korea.
- [5] Cho, D. I., Choi, W. S., Kim, J. T., Kim, H. T., Kim, T. Y., Park, S. H., Park, H. J., Kim, H. K., 2013, *MIP F-600, MF-9s Design Report*, Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea.
- [6] KSAE, n.d, viewed 20 February 2016, <<http://jajak.ksae.org/community/index.html?subid=6&sub=6>>.
- [7] DAELIM Motorcycle, n.d, viewed 22 May 2014, <<http://www.dmc.co.kr/main.asp>>.
- [8] NAVER, n.d, viewed 2 June 2016, <<http://auto.naver.com/bike/lineup.nhn?bikeNo=366>>.
- [9] Wikipedia, n.d, viewed 13 June 2016, <https://en.wikipedia.org/wiki/Double_wishbone_suspension>.
- [10] James, M. G. and Barry, J. G., 2012, *Mechanics of Materials : 8th edition*, CL Engineering, USA.
- [11] Wikipedia, n.d, viewed 1 July 2016, <https://en.wikipedia.org/wiki/Racing_slick>.
- [12] Milliken, W. F. and Milliken, D. L., 2007, *Race car Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers Inc., USA
- [13] Smith, C., 1979, *Tune to Win: The Art and Science of Race Car Development and Tuning*, Aero Publishers Inc., USA
- [14] Lee, S. J., Jeong, W. S, Kim, G. B. and Kim, S. K., 2015, *Design and Manufacture of a Hand-made Vehicle based on a Formula*, *Journal of the KSMTE*, 24:5 568-575.
- [15] NAVER, n.d, viewed 20 November 2016, <<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1218814&cid=40942&categoryId=32358>>.