

**포뮬러 형태의 자작자동차 설계 및 제작**이수진<sup>a</sup>, 정원선<sup>a</sup>, 김근비<sup>a</sup>, 김성걸<sup>a\*</sup>**Design and Manufacture of a Hand-made Vehicle Based on a Formula**Soo Jin Lee<sup>a</sup>, Wonsun Jeong<sup>a</sup>, Geunbi Kim<sup>a</sup>, Seong Keol Kim<sup>a\*</sup><sup>a</sup> 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 27 August 2015  
Revised 17 September 2015  
Accepted 21 September 2015*Keywords:*Formula  
Vehicle  
Suspension  
Exiv 250 engine  
TIG welding  
Anti-ackerman**ABSTRACT**

A hand-made vehicle with a formula (VF-1) was designed and manufactured with the aim of realizing a lightweight and high-performance vehicle. The driver's body weight and stiffness of the frame were considered. The vehicle was equipped with a one-cylinder Exiv 250 engine with intake manifold potting for realizing weight reduction, high performance, and low cost. The suspension system for the formula was designed through the analyses and tests of vehicle motion and equipment. In a steering system, anti-Ackerman geometry was introduced to increase the transverse force during cornering. A full electric paddle shift system was adopted to decrease the braking distance. For protection against the distortion and warping of the frame, tungsten inert gas (TIG) welding technology was used.

**1. 서론**

본 연구의 대상인 자작자동차(hand-made vehicle)의 개발 목적은 포뮬러(formula) 형태의 자작 차량의 특징을 설명함으로써 이해될 수 있다. 포뮬러 차량은 국제 자동차 연맹인 FIA에서 매년 발표하는 구조, 중량, 배기량 등의 규격에 맞추어 제작된 경주용차를 말한다. 오직 서킷에서만 그 성능을 발휘하고 평가 받을 수 있는 차량으로 모든 공학 기술의 집합체라고 할 수 있으며, 전통적인 제조 및 가공 기술에서부터 기계, 전기, 전자, 제어, 인체 및 통신 공학 등에 이르기까지 다양한 공학 분야 기술들을 필요로 한다. 자작자동차를 설계 및 제작한다는 것은 기계공학을 전공한 학생들이 강의에서 배운 지식과 자동차 기술 등을 총체적으로 적용할 수 있는 기회이다. 그 중에서도 포뮬러 형태의 자작자동차는 대학생들

의 자동차에 대한 정적 및 동적 기술력을 서킷에서 평가 받으며, 이 평가를 통해 사소한 공학적 기술력의 차이를 실감하고, 차량의 내구한계를 테스트 할 수 있기 때문에, 자동차 산업의 신기술 개발을 향후 주도할 대학생들이 도전할 분야라고 생각한다.

그러나 포뮬러 형태의 자작자동차 제작에 대한 국내 대학들의 참여도는 미국 등 자동차 기술선진국에 비해 낮은 편이다. 이에 본 연구에서는 자작자동차에 대한 관심을 고취시키고, 포뮬러 형태의 자작자동차에 대한 안정화 및 고성능화 기술을 적용한 설계 및 제작 방법 등에 연구하고자 한다.

최근 국내/외의 포뮬러 자작자동차 기술경향은 다음과 같다. 경량화를 위해서 현재 주목 받는 기술로 선정된 3D프린팅 기술을 이용해 적합한 부품을 제작하고, 충격완화장치를 무거운 철판 대신 대회 규정에서 제시된 허용한계에 맞게 알루미늄 같은 가벼운 소재

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

Fax: +82-2-974-8270

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

를 선택하여 제작하기도 한다. 또한 실제 제작에 앞서 CAD 프로그램을 이용하여, 2D 및 3D 도면작업을 수행하고, 유한요소해석(FEM) 기술을 적용된 CAE 프로그램을 사용하여, 실제 차량 주행 시 차량이 받는 정적 및 동적 하중에 의한 해석의 결과를 설계에 반영하여, 차량의 내구성을 갖춘 경주용 차량으로 설계 및 제작되어지고 있다.

## 2. 차량의 세부 설계

### 2.1 엔진(engine)

대회에 참가하는 대부분의 팀들이 엔진으로는 오토바이 엔진을 사용한다. 대회의 규정에 따라 배기량을 기준으로 250 cc 이하 /250 cc 이상으로 나누어 매 경기의 기록이 클래스 별로 다르게 점수로 환산된다. 본 팀(이하 VF-1)은 2012년도와 2013년도 대회에 참가할 당시 비교적 고배기량인 Husqvarna SM610ie (600 cc) 엔진을 사용하였다.

테스트와 대회 당시 고속 선회구간에서 시동이 꺼지는 문제를 비롯해서 엔진에 조립(assembly)되는 부품들을 구하기 어려운 점들 때문에 2014년에는 비교적 엔진에 대한 정보가 많은 국산 저배기량의 엔진을 사용하여 문제가 생겼을 때 잘 대처할 수 있도록 안정성을 높였다. 사용한 엔진은 Exiv 250N 모델에 사용되는 249.4 cc 수냉식 단기통 엔진이다.

Fig. 1에서 엔진의 형상을 볼 수 있다. 2기통이나 4기통 엔진에 비해 구조가 간단하여 흡기 챔버(chamber) 등의 제작이 용이하고 부품수가 현저히 적어 경량화와 저비용에 이점이 있으며 전륜과 후륜의 무게 배분에도 용이하다. 또한 부피가 작아 후륜 현가장치의 설계자유도가 높아 후륜의 우수한 동적 안정성을 만족시킬 수 있는 것도 이 엔진의 장점이다. 마지막으로 4기통엔진이 13,000



Fig. 1 Fuel injection engine of S&T

rpm에서 최고 출력이 나오는 반면 단기통 엔진은 보다 낮은 8,000 rpm 정도에서 최고 출력이 나오기 때문에 주행 중 최고 출력 구간에서의 흡기 공기량이 4기통 엔진의 60%정도 밖에 못 미치기 때문에 흡기제한에 따른 체적효율 저하가 줄어드는 것이 이점으로 작용한다<sup>[1-5]</sup>.

또한 국내 대회에 참가하는 많은 팀들이 250 cc 이하 클래스에서는 혼다(Honda)사의 CBR250와 대림의 VJF 250 엔진을 주로 사용한다. Table 1에서는 엔진의 성능에 영향을 미치는 최대출력과 토크에서 Exiv 250N 엔진이 다른 두 엔진과 비교했을 때 가장 좋은 스펙을 가진 반면 가격이 저렴하다는 것을 알 수 있다. 비용적인 면도 고려해야 하는 상황에서 Exiv 250N의 엔진의 효용가치가 가장 뛰어나기 때문에 VF-1에서 사용하기로 결정한 것이다.

### 2.2 프레임(Frame)

프레임 설계의 개념은 3S(simplicity, safety, stiffness)이다. 이 3가지 조건을 충족시키기 위해 주재료는 가볍고 강도가 높은 스틸 인발파이프(pull-out steel tube)를 사용하였다. CO<sub>2</sub>용접보다 숙련된 기술이 필요하지만 모재의 열 변형이 적은 아르곤 가스를 사용하는 티그(TIG)용접으로 프레임을 제작하였다. 또한 대회의 규정에 맞게 차량 사이즈를 정하고 프레임이 경기 시에 발생할 수 있는 전복과 충돌로부터 드라이버를 충분히 보호할 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

VF-1의 프레임은 제작에 용이하도록 벌크헤드(bulk head)와 프론트 롤 후프(front roll hoop), 메인 롤 후프(main roll hoop)의 간격을 350mm로 일정하게 설계하였고 프론트 부분의 암 포인트(arm point)가 자유로운 곳에 위치하여 하중을 효과적으로 지지할 수 있도록 프레임에 필수적인 보강재(bracing)들을 배치하였다. 강성을 고려하여 프론트 롤 후프와 메인 롤 후프를 벤딩(bending)하여 제작하고 최 하단의 멤버만 용접하는 방식을 선택했다.

비교적 단시간 안에 제작을 해야 했던 상황이었기 때문에 2013년도 차량에는 프로파일 지그(profile jig)를 사용하여 정교한 위치

Table 1 Comparative analysis sheet about three engine<sup>[6-8]</sup>

	Daelim VJF 250	Honda CBR 250	S&T EXIV 250N
Type	Water cooling/Stroke/Single cylinder		
Displacement (cc)	247	249	249
Bore x Stroke (mm)	73×59	76×55	73×60
Compression ratio	11:1	10.7:1	12:1
Maximum power (kW)	18.39	19.42	20.59
Maximum torque (rpm)	unpublished	8,500	9,500
Fuel injection type	Electronic fuel injection system		
Retail price (won)	2,500,000	5,000,000	2,800,000

를 잡고 용접 시 비틀림 현상을 최소화하였지만, 2014년에는 20 t의 나무 합판을 가지고 프레임의 단면들을 따로 제작(2D과정: Fig. 2)하고, 단면들을 합쳐 용접 할 때는 알루미늄 템플릿(template)을 사용하여 간격에 변함이 없도록 제작하였다. 2013년도 차량보다 벌크헤드와 프론트 롤 후프를 지지하는 보강재들이 트러스 구조를 이루어 충돌 시 최대 응력과 변위량을 낮추었다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 프론트 롤 후프와 메인 롤 후프사이에 멤버를 부착함으로써 운전석(driver seat)을 낮추고 운전대(steering wheel)기준으로 앞부분에 불필요한 요소들을 최소화하였다. 운전석 뒤쪽은 엔진룸이며 이 부분에서는 차에서 가장 무거운 엔진을 지지해야 하는 곳인 만큼 경량화보다는 안정적인 장착을 할 수 있도록 하였다. 브라켓(bracket)을 세워 엔진을 장착시킨 것이 아닌 프레임에 보강재를 추가하여 제작에도 용이성을 주었다.

VF-1의 프레임은 디퍼런셜(differential)이 외부로 돌출 되어있는 구조이다. 엔진룸에 디퍼런셜까지 포함되는 구조가 되면 적절한 축거리(wheelbase)를 유지하기 위해 리어 암(rear arm)의 길이가 길어진다. 암의 길이가 길어진다는 것은 프레임에 사용한 파이프보다 더 두껍고 큰 파이프를 써야하기 때문에 요즘 들어 많은 팀들이 디퍼런셜을 엔진룸 밖으로 빼는 방식으로 프레임을 설계하고 있다.

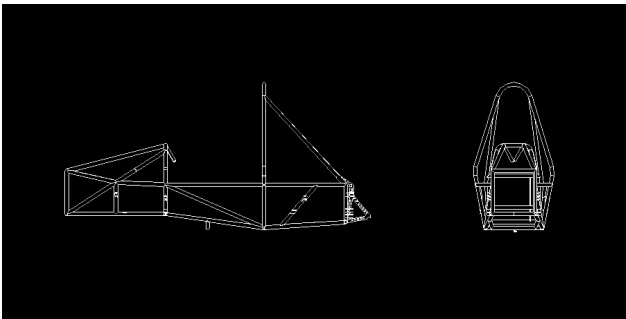


Fig. 2 2-D drawing of manufacturing frame

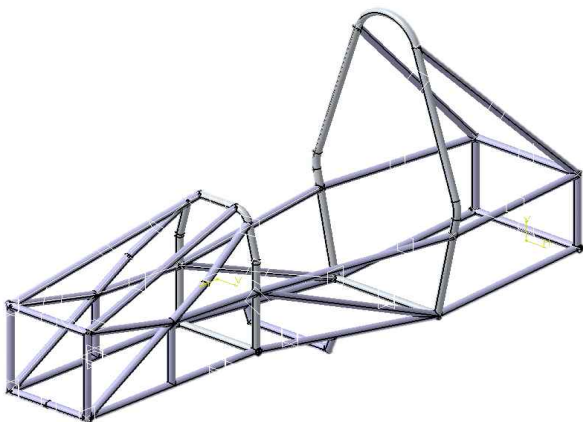


Fig. 3 A new frame of the 2014 model

### 2.3 조향장치(steering)

애커먼(ackerman)은 선회 시 조향륜의 선회각을 맞춰주는 역할을 한다. 하지만 타이어의 슬립 각이 상당히 큰 경주용 차량에서는 반대로 안티애커먼을 주어 횡력을 끌어올리는 것이 가능하다. Fig. 4의 그래프는 수직하중과 슬립 각에 따른 타이어 횡력의 값을 나타낸다. 타이어의 특성에 따라 최적 설계를 한다면 최대 코너링속도(maximum cornering speed)를 한계까지 끌어올릴 수 있다<sup>[1-5]</sup>. 조향장치와 타이어는 필연적인 관계에 있기에 VF-1에는 레이싱용 슬릭타이어(slick tire)를 사용한다.

슬릭타이어는 트레드(tread)에 제한을 둬서 지면과의 접지력을 증대시켜 차량의 조향력과 제동력을 극대화하는 데 유리하다<sup>[9]</sup>. 또한 대부분의 스투던트 포뮬러 차량이 후륜 구동으로 무게 중심이 뒤쪽에 있어 가속/제동 시에 뒤쪽이 바깥으로 미끄러지는 오버스티어(oversteer)현상이 발생한다. 이로써 오버스티어 없이 드라이버가 조향하는 만큼 차가 반응하는 것이 차량설계에 중요한 요소로 작용한다. 이렇듯 원하는 조향효과를 위해 VF-1는 슬릭타이어를 사용하였다.

이 값들을 바탕으로 현가장치 피니언 기어에 작용하는 토크는 Table 2의 값들이 계산되었다.

토크는 다음 식 (1)과 같이 계산된다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Torque at pinion} &= 17.75[\text{N}\cdot\text{m}]/0.04[\text{m}] \cdot \cos 10^\circ \cdot 0.01[\text{m}] \\ &= 4.37 \text{ N}\cdot\text{m} \end{aligned} \quad (1)$$

MISUMI사에서 제공한 차량에 사용된 유니버설 조인트와 피니언의 최대 허용 토크는 26.48 N·m과 10.79 N·m이다. 앞서 계산한 실제 피니언에 작용하는 최대 토크가 4.31 N·m이기 때문에 VF-1의 조향장치의 안전계수는 2.5로 설계하였다.

### 2.4 현가장치(suspension)

VF-1의 현가장치는 위아래 한 쌍의 암으로 구성된 구조에 바퀴를 장착하는 형태, 휠 얼라인먼트(wheel alignment)변화가 적고

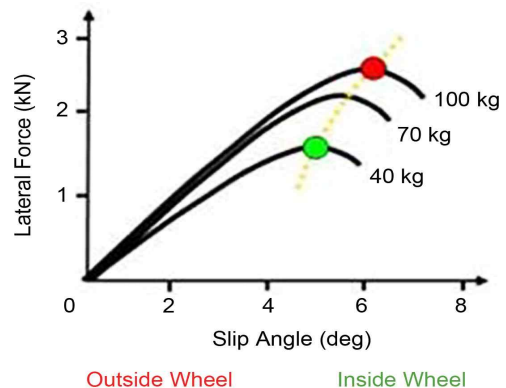


Fig. 4 Lateral force according to the anti-ackerman<sup>[1-5]</sup>

튼튼해서 핸들링과 주행 안정 성능 향상에 용이한 더블위시본(double wishbone) 방식을 사용한다. 많은 경주용 차량이 더블 위시본 암을 사용하는데 일반 차량에 많이 사용하는 맥퍼슨 스트럿(MacPherson strut) 방식보다 쇼크 업소버(shock absorber)의 위치가 구속되지 않고 이것은 폴/푸쉬 로드 의 위치 선정에도 영향을 준다. 전반적으로 더블 위시본 암을 사용함으로써 구조적으로 자유로운 설계가 가능하다<sup>[11]</sup>.

Fig. 5는 암을 제작하는 과정이다. 8t 철판에 위치를 잡고 JMC 8 스페리컬 플레인 베어링과 하우징을 포인트에 고정시키고 파이프를 용접하였다.

현가장치 하드 포인트(suspension hard point)는 횡력을 효과적으로 견딜 수 있도록 롤 센터(roll center)를 낮게 설정하였고 안티 아크만을 적용하였다. 롤 센터가 지면과 가까울수록 코너링 시 차량의 롤링각도가 작아져 좌우 무게중심 이동이 적어지기 때문에 차가 격한 코너링에 어렵지 않게 반응할 수 있다. 반면 롤 센터가 지면보다 낮아지게 되면 역효과가 발생하므로 Fig. 6에서 볼 수

Table 2 Values on calculation of torque

Restoring force of tire (N·m)	17.75
The distance between the rotation center of knuckle and tie rod (mm)	40
The angle between the tie rod and rack gear (deg)	10
Pitch diameter of pinion gear (mm)	21



Fig. 5 Manufacturing of arms

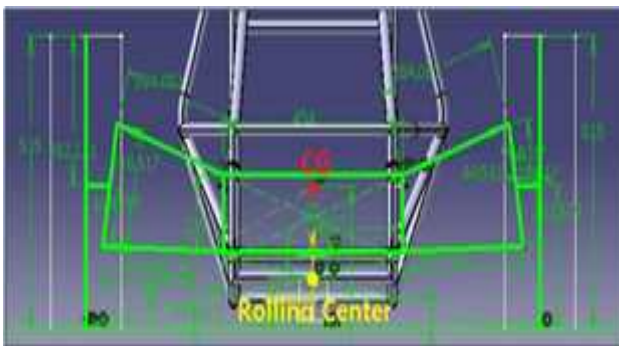


Fig. 6 Positioning of roll center

있듯이 지면에서 80 mm 떨어진 지점으로 설정하였다<sup>[12]</sup>.

쇼크 업소버는 차량의 하중을 프레임에 모두 전달하기 때문에 구조적으로 튼튼한 부분에 위치시켜야 하며 리바운드와 댐퍼의 유압이 충분히 조절 가능하며 고급 MTB용 자전거에 많이 사용되는 Fox사의 DHX-4.0을 선정하여 장착하였다<sup>[1-5]</sup>. 자동차용 쇼크 업소버를 사용하는 것은 200 kg 대의 스투던트 포물러 차량에 사용하기에는 과도한 제원이며 비용도 차이가 많이 나기 때문에 자전거용을 사용하는 것이 적절하였다.

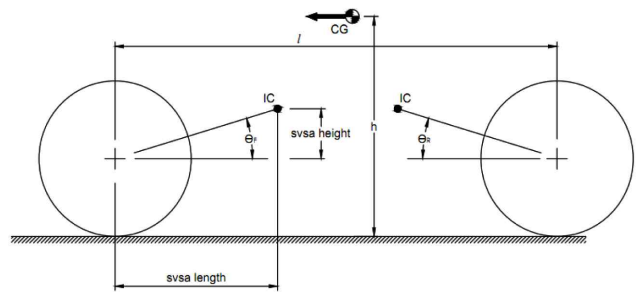
프론트와 리어 모두 풀 로드 타입(pull load type)으로 설계하였다. 가속 시에 차량에 발생하는 안티 다이브, 안티 리프트, 안티 스쿼트(anti-dive, anti-lift, anti-squat) 현상 (Fig. 7과 8 참조)에 대해 모두 56%로 설정하고 무게중심의 변화를 최소화하여 차량의 민첩성을 높여 타이어의 접지력 저하를 방지하도록 하였다<sup>[12]</sup>.

최종적인 설계에서 라이드 레이트(ride rate), 피치/롤 값(pitch/roll gain) 등의 목표 값(target value)은 계산과 참고문헌 [11]에서 정의한 고성능코너링머신의 통계적 수치에 맞추어 설정했다. 기구학적으로 분석하여 계산해본 결과는 Table 3과 같다.

2.5 동력전달

2.5.1 차동장치

먼저 차동장치에 대해 간단히 설명한다. 차동기기는 감속기어에

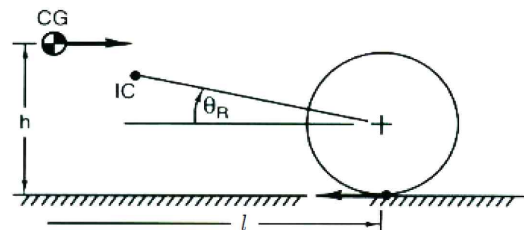


$$\tan\theta = \frac{\text{svsa height}}{\text{svsa length}}$$

$$\text{Front anti-dive} = \frac{\tan\theta_F}{h/l(\% \text{ front braking})} \times 100$$

$$\text{Rear anti-Shift} = \frac{\tan\theta_R}{h/l(\% \text{ - front braking})} \times 100$$

Fig. 7 Breaking anti features with inboard brakes<sup>[13]</sup>



IRS-Toque reaction taken by chassis (also de Dion)

$$\% \text{Anti-squat} = \frac{\tan\theta_R}{h/l} \times 100$$

Fig. 8 Rear anti squat at independent rear suspension<sup>[13]</sup>



**Table 3 Target values on design of hard point<sup>[12]</sup>**

Ride rate (N/m)	46,088.2
Pitch gain (deg/G)	0.8
Roll gain (deg/G)	1.8
Anti-dive (%)	56
Anti-squat (%)	56
Anti-roll bar ratio	13.4

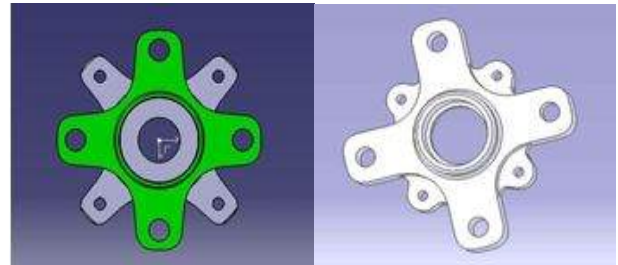
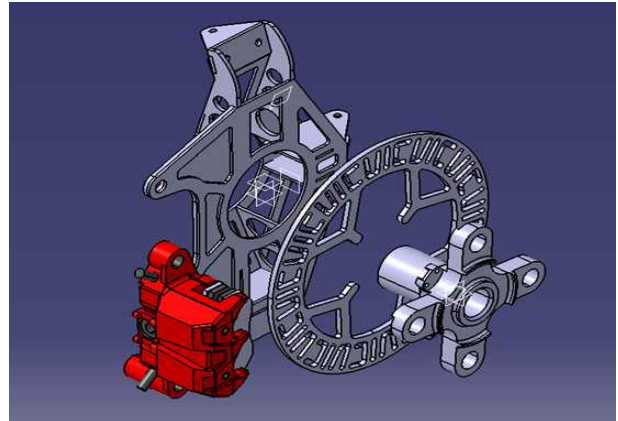
의해 증가된 토크를 좌우 구동축에 전달하는 기어이며 선회 시에 노면의 저항에 의하여 좌우 회전 속도를 다르게 하여 원활한 선회를 위한 장치이다. 이러한 일반적인 디퍼런셜을 장착한 차량은 난코스 주행 시 한쪽 바퀴가 모래나 구덩이에 빠졌을 때 바퀴에 힘이 쏠려 바퀴가 헛도는 경우 자체적으로 빠져나오기 어렵다. 이를 보완하고자 양쪽 바퀴에 차별적으로 동력이 전달되는 것을 막는 LSD(limited slip differential)가 개발된 것이다. 국내외 여러 팀들이 LSD를 장착하고 대회에 출전하였고 본 팀 역시 2013년도 차량에 LSD를 사용하였다. 고속으로 헤어핀 구간을 탈출하거나 최단시간으로 스킵패드(skidpad)를 통과해야 하는 경우, 즉 한쪽 바퀴가 헛도는 상황에 접지력이 유지되는 다른 바퀴들로 성능을 높일 수 있을 것이라 생각했다. 하지만 구매와 제작비용에 비해 정비하기 어려운 만큼 LSD를 사용한 만족스러운 효과를 보지 못했다. 2013년도 미국 대회 참가 당시 기어 하우징이 CV조인트로부터 힘을 받아서 균열이 생기는 경우가 발생했고 LSD 오일이 함께 조립되어 있는 리어의 브레이크 디스크에 묻어 나오기도 했다. 이후에 하우징을 다시 설계하고 실링 과정을 거쳤지만 거듭할수록 경량화에서 떨어져 갔다.

LSD가 설계부터 조립, 장착, 오일 실링까지 제작과정에 비해 차량 성능 향상에 효과적인 역할을 하지 못한다는 판단을 내리고 VF-1에는 기본적인 베벨기어식 차동장치를 장착하였다.

### 2.5.2 허브와 시브이조인트(HUB & CV joint)

동력전달장치(power train)는 가속 주행 시 회전관성모멘트의 영향이 크므로 안전성이 무엇보다 중요하다. 이에 내구성에 문제가 없으면서 가벼운 소재인 알루미늄을 사용함으로써 경량화를 시도하였다. 허브는 휠에 맞게 양산된 제품을 구입하여 사용해도 되지만 제품을 구입하여 사용하면 후륜은 구동축이 있어서 허브에 포함된 베어링을 너클과 함께 사용할 수 있는 반면 전륜의 경우 따로 축을 제작해야 하는 문제가 발생한다. 이 때문에 직접 기어 차 모닝의 전 허브를 바탕으로 설계하여 제작하였다. Fig. 9은 허브 모델링의 형상이다.

CV조인트의 축은  $\varnothing 40$  두께 1.8 mm의 중공축으로 설계하였다. 또한 CV조인트의 위치를 타이어 쪽으로 설계하여 축간거리를 줄

**Fig. 9 Hub modeling of VF-1<sup>[5]</sup>****Fig. 10 Assembly view of disk, hub and rear knuckle with CATIA**

였다. 이는 가속 시 뒷바퀴의 하중을 높여 가속력을 높이는 이점이 있다.

### 2.6 패들 시프트(paddle shift)

기본적으로 제동거리를 줄일 수 있는 방안으로 풀 일렉트릭 패들 시프트 시스템(full electric paddle shift system)을 적용하였다. 이 시스템의 구현방법으로 솔레노이드 실린더와 DC 모터가 있는데 솔레노이드 실린더를 사용할 경우 부품의 수가 현저히 줄어들어 경량화와 비용절감의 효과를 모두 만족시킬 수 있으나 차량의 전력을 소모하므로 소모량의 계산과 테스트가 필요했다<sup>[13]</sup>. 반면 DC모터는 부품의 수가 늘어나는 단점이 있지만 전력의 소모가 크지 않은 장점이 있어 이 방식을 선택하여 동작을 차량설계에 구현하였다.

## 3. 포물러 자작 자동차의 제작

앞에서 부분별로 본 연구의 대상에 대해 설계요점과 의도를 기술하였으며 3장에서는 부분별 제작과정에 대해 설명한다. 먼저, Fig. 10에서와 같이 CATIA를 사용해 모델링 된 프레임에 규정에 맞게 벌크헤드, 프론트 롤 후프, 메인 롤 후프 순으로 제작하고 보강재 끝을 가공하여 용접하였다. 프레임에 사용된 재료는 모두 1" 원형파이프이고 부분마다 두께가 다르다. 원형 파이프이다 보

니 서로 맞닿는 곳의 처리가 어려웠는데 이 문제는 3D모델을 모서리마다 2D로 단면화하고 인쇄해 파이프에 감아 모양에 맞게 가공했다. 프로파일 지그를 사용하는 것이 용접 시 비틀림 현상을 최소화하고 정확하지만 프로파일 지그는 재료비와 많은 시간이 소용되기 때문에 합판에 파이프들을 새들(saddle)로 잡아서 용접하였다. 프레임에는 암이나 엔진, 시트, 패들 쉬프트, 스티어링 축 등이 모두 마운트(mount) 시키기 위한 브라켓을 용접하였다. 프레임의 일부는 아니지만 필수적으로 필요한 충격 완화 장치의 경우에는 알루미늄 5 mm 판으로 제작하여 철판을 사용하는 것보다 가볍게 제작하였다.

서스펜션 파트에서는 크게 더블 위시본 암 제작과 쇼크 업소버 마운트, 풀/푸쉬 로드 제작이 이뤄졌다. 암은 앞에서 기술한 것과 같이 철판 지그에 스페리컬 플레인 베어링을 고정시키고 용접하였다. 스냅링 두께도 얇고 실제로 하우징 자체의 두께도 그리 두껍지 않기 때문에 가공과정이 어려웠다.

쇼크 업소버는 고성능 MTB용을 스페셜라이즈드사의 협찬을 받아 사용하였다. 자전거용이지만 가/감속, 고/저속에서 각각 업저버 탱크의 오일량과 댐핑값들을 조절할 수 있는 현가장치이다. 크기가 작아서 프레임에 자유롭게 위치 할 수 있는 것 또한 장점이다.

VF-1팀의 스티어링 시스템은 알루미늄 블록을 가공하여 기어박스틀 만들고 그 안에 피니언기어와 랙 기어를 삽입하여 플레인 베어링으로 유니버설 조인트를 연결해 스티어링 샤프트로 패들 쉬프트까지 연결하는 방식이다. 랙 기어와 피니언기어를 미스미사에서 구매하기에 앞서 조향비를 결정하였다. 조향 비는 스티어링 휠이 90도 회전했을 때 최소회전반경이 2.5 m가 되도록 하고 피니언 기어가 최대하중을 기준으로 안전계수가 4를 만족하도록 하는 모듈인 1.5 mm를 사용하였다<sup>4)</sup>.

부품 가공에서부터 조립, 장착까지 가장 어려웠던 부분은 파워트레인 부분이었다. 엔진룸 밖으로 디퍼런셜이 돌출 되어있는 구조이고, 엔진을 프레임에 장착한 위치가 설계만큼 정확하지 않았기 때문에 엔진의 소 기어와 대 기어를 평행하게 맞추기 위해 어려움이 많았다.

디퍼런셜의 마운트 브라켓은 재설계를 통해 최종적인 형상이 결정 및 가공되었다. 대 기어와 소 기어가 연결되는 체인의 인장력을 고려해서 디퍼런셜의 위치를 이동가능 하도록 제작하였다. 2014년도에는 LSD가 아닌 기본 디퍼런셜을 사용 하는 대신 강력한 스프링을 베벨기어의 축에 넣어 제작하였다. 기어 비는 본 팀에서 사용하는 250 cc 엔진의 낮은 출력조건을 고려해서 높은 기어비로 설정하였다. 기어비가 높을수록 잦은 기어변속을 해야 해서 운전자가 익숙해지기 어렵지만, 높은 토크를 낼 수 있는 점을 부각 시켜서 가속 경기용 기어 비를 식 (2)를 이용하여 5:1로 결정하고 내구용

Table 4 Target value for setting gear ration

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



Fig. 11 Formula VF-1

으로는 4.54:1의 대 기어를 제작하였다. 각 변수의 값은 Table 4와 같다.

$$\text{Velocity} = [60 \cdot 3.14 \cdot \{(tread \cdot 0.02 \cdot \text{aspect ratio}) + (25.4 \cdot \text{wheel size})\} \cdot \text{RPM}] / (\text{gear ratio} \cdot \text{final reduction gear ratio} \cdot 1,000,000) \quad (2)$$

카울의 경우 차에서 경량화에 가장 힘쓴 부분이라고 할 수 있다. 예산에 맞게 차를 제작해야하기 때문에 유리섬유를 사용하여 카울을 제작하였다. 건축 단열재로 사용되는 골드 폼이나 아이소핑크로 단면을 적층하여 목업을 만들고 헨디코트와 사포 작업의 반복, 폴리코트작업과 재단 등의 작업을 통해 카울 제작을 완료하였다.

제작된 포뮬러 차량은 2014 서울과학기술대학교 캡스톤 디자인 최종 발표에서 시험 주행을 실시하여 주행 가능함을 확인하였다. Fig. 11는 최종 제작된 VF-1이며 Table 5는 차량의 상세제원이다.

#### 4. 결론

VF-1의 모든 부분에 있어 차량의 동적 능력뿐만 아니라 가격경쟁력을 갖춘 포뮬러 제작을 위해 설계와 제작기법을 연구하며 완성도가 높은 차량을 만들기 위해 노력했다.

첫째, 엔진은 Exiv 250N엔진을 사용함으로써 경량화와 저비용을 만족시킴과 동시에 후륜 현가장치의 설계자유도를 높였다. 둘째, 프레임 설계에 가볍고 강도가 높은 스틸 인발파이프를 사용해 3S(simplicity, safety, stiffness)를 만족시켰다. 또한, 열 변형이

Table 5 Specification of formula

Specification		
1. Specification	Front	Rear
Overall length/weight/height	2,643 mm/1,200 mm / 1,010 mm	
Wheelbase	1,525 mm	
Unloaden vehicle weight	191 kg	
Tread	1,150 mm	
Distributed weight (70kg Driver on board)	120 kg	120 kg
2. Suspension	Front	Rear
Type	Double wishbone pull load type	Double wishbone pull load type
Tire size	170/515/R13	170/515/R13
Center of mass	700 mm, 95 mm	
Suspension operating range	50 mm	50 mm
Toe	OUT 30"	IN 30"
Camber	3° (MLA type)	2.5° (MLA type)
Caster	5°	-
Front kingpin angle and offset	9.5°	-
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	Steel	
Impact attenuator size	100 mm/150 mm/200 mm	

Table 5 Specification of formula (Cont.)

5. Engine			
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 <sup>st</sup> (km/h)	26	4 <sup>th</sup> (km/h)	65
2 <sup>nd</sup> (km/h)	42	5 <sup>th</sup> (km/h)	74
3 <sup>rd</sup> (km/h)	55	6 <sup>th</sup> (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		

적은 아르곤 가스를 사용하는 티그(TIG)용접으로 프레임의 뒤틀림 현상을 최소화하였다. 셋째, 더블 위시본방식으로 현가장치를 설계하여 주행 안정 성능 향상과 구조적으로 자유로운 설계가 가능하도록 하였다. 넷째, 변속기는 베벨기어를 사용한 기본적인 디퍼런셜 구조를 갖추도록 하고 하우징을 알루미늄 블럭으로 가공함

로써 차량 경량화를 이뤘다. 마지막으로 풀 일렉트릭 패들 슈프트를 장착하여 변속시간을 줄이고 드라이버의 편의를 높였다.

앞서 기술했던 것과 같이 본 논문을 통해 포물러를 접하는 사람들에게 포물러가 낫설지 않고 대학생들이 더 나은 연구와 개발로 세계대회에도 참여 할 계기가 되는 효과를 기대한다. 또한 본 연구팀이 갖고 있는 지식을 공유함으로써 포물러 형태의 대학생 자작자동차에 대한 연구와 개발에 도움을 줄 수 있으며, 국내 모터스포츠 시장이 보다 활성화되고 더 나아가 한국의 포물러 기술력이 해외에 널리 알려지는 기회가 될 수 있도록 하는 기초연구의 자료가 될 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Lim, W. S., 2013, Lecture note: Chassis Design, Seoul National University of Science and Technology.
- [2] Lim, W. S., 2013, Lecture note: Vehicle Dynamics, Seoul National University of Science and Technology.
- [3] Kim, H. Y., 1997, Suspension System of Vehicle, Adtech, Republic of Korea.
- [4] Kim, J. H., 2009, Hi-tech Chassis of Vehicle, Goldenbell, 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] KR Motors, n.d, viewed 20 May 2014, <<http://www.krmotors.com>>.
- [7] DAELIM Motorcycle, n.d, viewed 22 May 2014, <<http://www.dmc.co.kr/main.asp>>.
- [8] NAVER, n.d, viewed 2 June 2014, <<http://auto.naver.com/bike/lineup.nhn?bikeNo=366>>.
- [9] Wikipedia, n.d, viewed 13 June 2014, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Double\\_wishbone\\_suspension](https://en.wikipedia.org/wiki/Double_wishbone_suspension)>.
- [10] James M. G. and Barry J. G., 2012, Mechanics of Materials, Cengage Learning Inc.
- [11] Wikipedia, n.d, viewed 1 July 2014, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Racing\\_slick](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.
- [13] Smith, C., 1979, Tune to Win :The Art and Science of Race Car Development and Tuning, Aero Publishers Inc.