

접이식초소형 전기자동차 시제품개발 최종보고서

2014. 10. 10.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국과학기술원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하
이 보고서를 "접이식 초소형 전기자동차 시제품 개발" 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 10 . 10

주관연구기관명 : 한국과학기술원
주관연구책임자 : 서인수

보고서 요약서

과제고유번호	1615006550	해 당 단 계 연 구 기 간	2013.06.14.~ 2014.08.15	단 계 구 분	(3)/ (3)
연 구 사 업 명	건설교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	접이식 초소형 전기자동차 시제품 개발			
	단위과제명	접이식 초소형 전기자동차 시제품 개발			
연 구 책 임 자	서인수	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 15명 내부 : 15명 외부 : 명	총연구비	정부 : 883,000 천원 기업 : 0 천원 계 : 883,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국과학기술원 조천식녹색교통대학원		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :				

요 약 문

I. 제 목

- 접이식 초소형 전기차 시제품 개발

II. 연구개발과제 개요

- 도심환경의 환경오염 심화와 주차공간의 부족을 해결 할 수 있으며, 도시의 차량 공유제 및 한정된 지역(영광, 경주, 서울 4대문 안 등)에 적용이 가능한 신규 micro mobility 세그먼트 차량 및 UNECE L7 등 신규 차량인증규정 도입을 위한 접이식 초소형 전기자동차 시제품 개발

* 최종성과물 : 접이식 초소형 전기차 시제품 1대

III. 연구개발 수행내용 및 결과

- 차체 제작 완료 및 제어 시스템 완성
- 접이식 전기차 시제품 제작 기초 검증
- 한국자동차산업 전시회 참가 및 전시
- 차량 성능 검증 방법 검토 계획 수립
- 차량 성능 검증 방법 검토 계획 수립

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

- 논문 게재 5건 (SCI 3건 포함)
- 학술대회 발표 14건 (국제 5건 포함)
- 특허 출원 20건, 등록 12건 등록
- 해외 PCT 특허 3건
- 연구성과 적용실적

- 코오롱: 헤라클론 소재 접이식 전기자동차에의 적용 연구과제 수행 완료

- 비클시스템(주): 인휠모터 적용 스마트 골프카트 연구과제 수행 완료

- 산업통상부 Micro Mobility 개발(국비 90억) 및 기반구축(국비, 지방비 260억)

과제 기획 및 진행 지원

- 미래부 SW기반 스마트카 기획 지원

V. 연구목표 달성 및 효과

- 초소형 이동수단에 대한 지재권 확보, 개인이동성 및 차량공유제 도입활성화

VI. 연구성과 활용계획

- 타 부처 초소형 전기차 개발 지원 및 테스트베드 구축

SUMMARY

With the increasing state of air pollution and global warming, environmental regulations are continuously getting tougher, and the development of eco-friendly vehicles are increasing as well. Additionally, increasing number of megacities around the world draws more attention to efficient and safe transportation system especially in urban applications, where traffic congestion and parking space issue can be one of the main drivers toward new vehicle technology and transport system. As an alternative to resolve these issues, we propose to investigate the social effects of Personal Mobility Vehicles (PMV), which can be defined as a sub-A segment or micro-size with single or dual passenger vehicle in general.

In this research, a fully electric micro-size vehicle prototype with a foldable body concept is developed as one possible solution to address the above issues. Under the UNECE regulation, this vehicle can be classified as an L6 or L7 category. However, other economic markets yet do not have defined regulatory requirements or norms on this vehicle segment, hence the prototype vehicle is designed and developed for the referencing values and stronger attraction toward the social benefit on new segment introduction.

The design and development process are described with the required control network and component design. The innovative and attractive body style is created based upon nature observation. Four sets of driving electric motors are incorporated in the wheels applying permanent magnet synchronous motor design and their related control system, which is called as in-wheel motor assembly. The four-wheel independent control of torque and speed are developed and implemented in conjunction with the overall vehicle dynamic control algorithm.

If this purely electric micro-size vehicle can be a replacement of existing internal combustion engine driven vehicles as a private or public transportation, the overall impact on the CO₂ reduction and social benefit will be significant. These types of vehicle can provide social-economic benefit if applied to the car-sharing or inter-modal transfer vehicle or urban area of local transport, etc. Various design and regulatory considerations are also discussed in this paper along with potential application scenarios emphasizing urban transportation issue.

CONTENTS

Chapter 1. Overview

- Purposes
- Definition, range and features
- State-of-the-arts
- Position that the results occupies in related fields

Chapter 2. Methodologies and Results

- Methodology and plan of the research
- (Theory, experiment) Contents and processes of the research
- Verification method

Chapter 3. Research outcomes

- Development of micro foldable electric vehicle

Chapter 4. Achievements and Effects

- Degree of achievement
- Applications and effects of the result

Chapter 5. Utilization of research results, and the need of future research

- Application of research results
- The need of further work

References

목 차

제1장 연구개발과제 개요

- 제1절 연구개발의 목적 및 필요성
- 제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징
- 제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황
- 제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

- 제1절 연구수행전략 및 방법론
- 제2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)
- 제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

- 제1절 접이식 초소형 전기자동차 시제품 제작

제4장 연구목표 달성 및 효과

- 제1절 연구개발 최종목표 달성도
- 제2절 연구개발 결과의 활용방안 및 기대효과

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

- 제1절 연구성과 향후 활용방안
- 제2절 추가연구 필요성 등

참고문헌

제1장 연구개발과제 개요

제 1절 연구개발의 목적 및 필요성

현재 도시 인구와 자동차는 지속적으로 증가하고 있으며 이로 인한 환경오염과 교통 체증 및 주차난을 해결할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 이러한 대안 중 하나인 전기자동차는 화석 연료를 사용하지 않으므로 대기오염을 줄일 수 있으며 많은 자동차 업체에서는 전기자동차의 개발 및 상용화에 박차를 가하고 있다.

독일은 2020년 전기자동차 100만대 보급을 목표로 향후 2년 간 10억 유로를 투입하고 자동차 세 감면과 전기자동차 전용차선 배정, 주차 우대 등의 방안을 검토하고 있고 미국은 지난 2009년 차세대 전기자동차 및 배터리 제조, 개발을 위해 24억 달러의 보조금을 집행하기로 하였으며 1인당 최대 7500달러의 보조금을 지급, 판매를 촉진하고 있다. 그 외에도 프랑스, 일본 및 중국도 향후의 전기자동차 보급률을 끌어올리는 지원책을 속속 준비하고 있다.

초소형 접이식 전기자동차는 일반 전기자동차와 같이 환경오염 문제를 해결할 수 있을 뿐 아니라 주차 시에는 차량의 길이가 절반으로 줄어들기 때문에 같은 주차 공간에서 더 많은 차량을 주차할 수 있으므로 주차난 또한 해결할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 초소형 접이식 전기자동차는 대중교통 및 대체교통수단으로 성장할 PMV (Personal Mobility Vehicle)의 일종으로서 다양한 비즈니스 모델의 창출 및 네트워크 서비스와의 연계를 통해 이용자 간의 신 교통문화를 창출 할 수 있다.

일반 전기자동차에 비하여 크기 및 무게가 작으므로 적은 용량의 배터리를 사용할 수 있으며 이로 인하여 배터리 충전 시간이 짧다. 이는 차량의 가격과 유지비용을 줄일 수 있는 요인으로 작용하므로 상용화의 경우 제품의 가격 경쟁력이 발생할 것으로 예상되며 충전 인프라 관련 기술의 진보와 인프라 확장도 이를 수 있을 것으로 판단된다.

또한 초소형 접이식 전기자동차는 크기가 작고 주차 시 차체가 접히는 특성으로 인하여 차량 안에 탑승한 승객의 안전을 보장할 수 있는 차체의 설계와 재료의 개발 및 선정 기술을 개발할 수 있을 것으로 기대되며 소형 전기 자동차에 대한 차량 안전기준 및 표준 기술을 주도하며 접이식 전기자동차 및 운영 시스템 분야의 선진 기술 연구를 통한 기술 및 시장을 주도할 수 있다.

그러나 저속전기자동차(NEV, Neighborhood Electric Vehicle)의 도로 주행이 허용된 지 1년이 지났으나 고속도로나 자동차 전용도로 등의 진입 제한으로 인하여 수요자에게 외면당하고 있는 형국이다. 따라서 본 소형 접이식 전기자동차를 기차역, 터미널 등에서 car sharing 시스템 등을 구축하여 시민들의 접근 및 사용 기회를 늘리면서 저속 전기자동차에 대한 관심과 수요를 증폭시키고 녹색 교통을 조기에 정착시키는 방안도 모색할 수 있을 것이다.

중장기적으로는 도심의 미래 교통 수단으로서 PMV의 사회적 타당성, 친환경성 평가 및 교통체계 효율 등에 대한 검토가 필요하며, 사회적, 경제적 이득이 실증된다면, PMV를 활성화하기 위해 법제화, 기술 표준 및 상용화 기술 개발도 필요하게 된다. 본 과제에서 수행하는 초소형 접이식 전기차 시제품 개발은 이러한 새로운 미래 교통 수단 도출의 시발점으로 연구의 큰 의의가 있다고 본다. 한편으로 공유기반차량시스템 (Car Sharing System)의 적용에 있어, 기존 택시 또는 렌트카와의 가격경쟁력을 통한 대중화 관점에서 볼 때 도심 내에서의 주차장 공간 문제는 그 핵심 기술 중의 하나로 인지될 필요가 있으며, 접이식 차량의 개념은 이러한 미래

교통 시스템과의 연계에 있어 중요한 기술 개발의 한 부분으로 필요하다.

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

본 연구개발 과제의 최종 목표는 접이식 초소형 전기자동차의 시제품을 개발하는 것으로서 field 테스트를 거쳐 실제 주행 및 충전이 가능하며 차체를 접어 주차까지 가능한 제품을 제작하는 것이다.

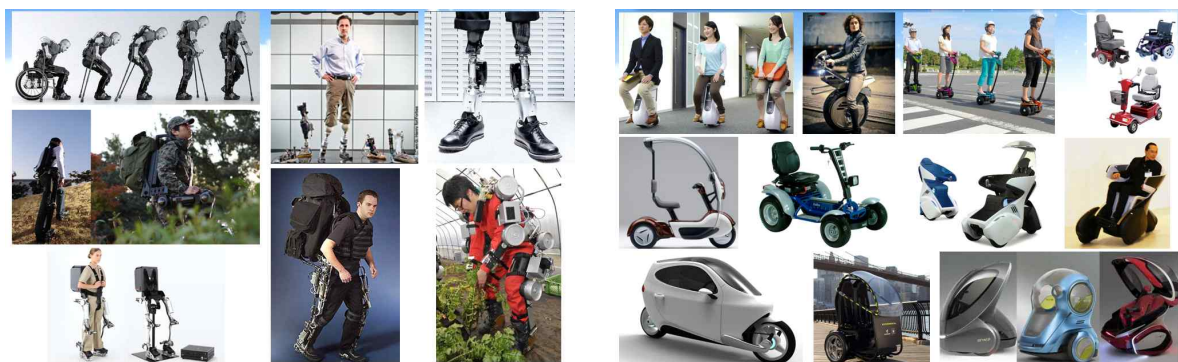
제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

국내에서는 CT&T 사의 e-ZONE과 지앤디원텍 사의 아이플러그처럼 소형 전기자동차의 개발은 이루어졌으나 차량의 차체 또는 프레임을 접을 수 있는 가변식 형태에 대한 연구는 이루어지지 않고 있으며 국내 완성차 제조업체와 중소기업 및 대학 연구소 등에서 진행되고 있는 연구 및 개발은 전무한 실정임. 최근 노약자 장애인 등 교통약자를 고려한 마이크로 모빌리티 또는 퍼스널모빌리티 개념의 차량 개발 및 모빌리티 연구가 진행되고 있으며, 웨어러블 모빌리티에 대한 연구도 많이 진행되고 있다. 아래 그림에서 보듯이 개인이동성 차량 (Personal Mobility)는 wearable mobility와 전기자전거 등의 개인이동 수단 및 3-륜, 4륜 차량의 Micro Mobility를 포함하여 정의하는 방법도 있다.



<그림 개인이동성 (Personal Mobility) 개념도>



<그림 Wearable Mobility 및 1-, 2-륜차>



<그림 초소형차 부류의 차량 및 화물차>

2. 국외 기술 및 산업 동향

가. Armadillo-T, MIT City-Car와 Hiriko 차량의 비교

Armadillo-T(이하AT)는 현재 카이스트 조천식 녹색교통대학원에서 연구 개발 중인 접이식 초소형 전기 자동차의 명칭임. City-car는 MIT에서 제작한 프로토타입의 접이식 초소형 전기 자동차이고, Hiriko는 The Spanish consortium Hiriko Driving Mobility에서 진행 중인 car-sharing을 위한 차량으로 City-Car의 상업용 차량임. 세 차량의 제원은 아래의 표와 같음.

	Armadillo-T	City-car	Hiriko
차량 이미지			
연구 및 적용 단체	KAIST (조천식 녹색 교통 대학원)	MIT (Media Lab)	Spanish consortium Hiriko Driving Mobility (which MIT Media Lab Smart Cities Group 포함)
접힘 방식	폴딩	슬라이딩	슬라이딩
배터리	리튬 이온 배터리	리튬이온 배터리	리튬이온 배터리
모터	4륜 독립 구동 (인휠모터)	4륜구동 (인휠모터)	4륜구동 (인휠모터)
모터 출력	13.5kw	.	15kw
최고 속도	60km	50km	*50km
1회 충전 후 이동 거리	100km	100km	120km
전장 (접기 전)	2.82m	2.50m	2.63m
전장 (접은 후)	1.65m	1.50m	#2.00m
전폭	1.66m	1.70m	1.75m
공차중량	450kg	450kg 이하	#500kg 이하
승차인원	2인승	2인승	2인승
승하차 방식	측면 승하차	정면 승하차	정면 승하차
차체 접힘 소요	10초	#12초 (동영상)	#12초 (동영상)

시간			
충전시간	8시간 (완속) 30분 (급속)	12분 (완속)	6시간 (완속 / 20%에서 100%로 충전) 20분 (급속 / 20%에서 100%로 충전)
기타 특이 사항	접힘 후 전륜 구동 O-turn 가능	side-moving 가능 O-turn 가능	side-moving 가능 O-turn 가능

#로 표시된 내용 : 가용 가능한 정보를 바탕으로 하였으나 불확실성이 있을 수 있음.

세 차량은 모두 도심형 미래 교통수단을 목표로 하고, 배터리, 모터, 중량, 승차인원 접힘 소요시간 충전시간 등의 세부 내용은 동일하거나 유사한 성능을 보여줌. 서로 구별되는 특성은 아래에 따로 구분하여 비교함.

나. 접힘 방식에 따른 점유 면적

세 차량은 모두 접힘 시스템을 적용하여 주차 시 차량이 점유하는 면적을 줄일 수 있는 디자인 구조를 가지고 있다. KAIST의 AT 차량의 경우 폴딩 방식을 취하고, City-car 및 Hiriko 차량의 경우 슬라이딩 방식을 취함. 접히기 전의 차량의 점유 면적을 100%로 하였을 경우 각 차량의 접힘 후 점유 면적을 %로 나타내면 다음 표와 같음.

	Armadillo-T	City-car	Hiriko
접힘 후 차량 점유면적(%)	59%	60%	76%
접힘 후 줄어든 차량 점유 면적 (%)	41%	40%	24%

*접힘 후 줄어든 차량의 점유면적 = $\frac{(\text{접힘 전 차량의 전장} - \text{접힘 후 차량의 전장})}{\text{접힘 전 차량의 전장}} \times 100(\%)$

*접힘 후 차량의 점유 면적 = 100 - 접힘 후 줄어든 차량의 점유 면적 (%)

*수치는 소수 첫 번째 자리에서 반올림하였음.

접힘 방식에 따른 점유 면적의 효율성은 AT차량과 City-car는 비슷한 수치를 보이고 있으나, City-car의 양산형 차량인 Hiriko 차량의 경우 앞의 두 차량에 비해 낮은 효율성을 보여줌.

다. 차량 별 최고 속도 및 1회 충전 시 주행거리

아래의 표는 서울특별시와 6대 광역시의 도심 내 교통 현황 및 1일 주행거리를 보여줌.

	속도(km/h)	1일 주행거리 (km)
서울	14.4	20.6 (편도 10.3)
부산	24.8	35.5 (편도 17.8)
대구	24.9	36.7 (편도 18.4)
인천	23.5	33.7 (편도 16.9)
광주	19.3	27.7 (편도 13.9)
대전	24.4	35.0 (편도 17.5)
울산	25.3	36.3 (편도 18.2)
평균	22.4	32.1 (편도 16.1)

*서울특별시와 6대 광역시의 도심 내 교통 현황 및 1일 주행거리 (주행거리는 도심 내 평균 차량 운행 속도와 승용차 1일 평균 이용시간 86분을 바탕으로 계산된 1일 예상 주행거리를 의미한다.)

*수치는 소수 둘째자리에서 반올림하였음.

세 비교 차량의 최고 속력은 각각 60km, 50km, 50km로서 아래 도시들의 도심 내 평균 속도(22.4km) 보다 2배 이상 높은 수치를 보여주기 때문에 도심형 교통수단으로 적합함. 그러나 도심 내 허용되는 차량 최고 속도는 구간에 따라 주로 60~80km/h이기 때문에, 최소 80km의 속도를 낼 수 있을 때, 교통의 흐름을 방해하는 일이 발생하지 않음. 이러한 측면에서 최고 속력이 60km인 Armadillo-T 차량이 다른 두 차량에 비해 도심형 교통수단으로 가장 적합함.

Armadillo-T, City-car, Hiriko의 차량 별 1회 충전 시 주행거리는 각각 100km, 100km, 120km 임. 7대 도시의 평균 1일 편도 주행거리를 바탕으로 계산 했을 때, 각 차량은 각각 1회 충전으로 6회, 6회, 7회 대여 가능함을 알 수 있음.

라. 차량 별 승·하차 방식

Armadillo-T는 기존의 차량들과 동일한 방식으로 출입구가 양쪽 측면 위치하고, City-car 및 Hiriko 차량은 주 출입구는 정면에 위치하고, 비상 출입구는 후면에 위치함. 이러한 출입구의 특성에 따른 장단점은 아래 표와 같음.

	Armadillo	City-car 및 Hiriko
승·하차 특성	· 측면 승·하차	· 정면 승·하차 (후면 비상 출입구)
장점	· 초기 적응이 유리 · 평행 주차 유리 · 비상 탈출 유리	· 직각 주차에 유리
단점	· 직각 주차 불리	· 초기 적응이 불리 · 평행 주차 불리 · 비상 시 탈출 불리

Armadillo-T 차량의 장점은 차량의 양쪽 측면으로 승·하차하기 때문에 초기 적응이 유리함. 또한 비상 탈출이 필요한 경우 운전자와 보조석 탑승자는 독립적으로 차량에서 탈출 할 수 있다. 주행 중 탈출이 필요한 경우 또한, 탈출 시점 바로 전 까지 차량을 제어 할 수 있음.

Armadillo-T 차량의 단점은 직각 주차를 할 경우 사람이 통행할 수 있도록 좌·우측 차량 사이의 공간 확보가 필요함. 그러나 차량 도어의 개폐방식이 기존의 일반적인 차량과는 달리 수직적 개폐방식을 적용하기 때문에 기존의 차량에 비해 좌·우측 차량 사이의 공간을 줄일 수 있음.

City-car 및 Hiriko 차량의 장점은 갓길 주차의 경우 인도를 바라보는 방향으로 직각 주차를 하게 되면, 차량의 출입구와 인도를 연결하게 되어 승·하차 시 충분한 안전성을 확보할 수 있음. 또한, 정면 승·하차의 특성상 직각 주차의 경우 좌·우측 차량과의 거리를 최소화 할 수 있음.

City-car 및 Hiriko의 단점은 기존의 차량과 다른 승·하차 방식으로 초기 적응이 불리함. 또한, 평행 주차의 경우 승·하차를 위한 공간이 필요하기 때문에 측면 승·하차 방식에 비해 불리함. 그리고 비상 탈출과 관련된 내용은 정면 출입구를 이용할 수 있는 경우와 없는 경우로 나눌 수 있음. 정면 출입구를 통해 탈출 할 수 있는 경우(주로 차량이 정차해 있을 경우)는 측면 승·하차 방식과 비교하여 특별한 차이점은 없음. 그러나 차량이 중

행중이거나 정면 출입구에 결함이 있어 후면 출입구로 탈출이 필요한 경우, 탑승자는 좌석을 넘어서 탈출해야하고, 좌석을 떠나 차량을 떠나는 시점까지 차량을 제어할 수 없다는 단점을 가지고 있음.

마. 접힘 방식에 따른 주차

Armadillo-T의 경우 접힘 상태에서 운전자가 차량에 탑승할 수 없음. 그 대신 차량 외부에서 모바일 장치를 이용한 원격 조종이 가능함. 또한 접힘 후 차량은 주행 시 이용되는 전륜 2개와 접힘 후 차량을 지지하는 castor-wheel을 이용하여 제어가능함.

City-car 및 Hiriko 차량은 접힘 상태에서 차량에 탑승하여 제어할 수 있음.

비교 차량들의 접힘 방식과 접힘 후 바퀴에 따른 자세한 작동 내용은 다음 표와 같음.

	Armadillo-T	City-car 및 Hiriko
접힘 후 차량 제어 위치	· 모바일 장치를 이용하여 차량 외부에서 차량 제어 가능	· 차량에 탑승한 상태에서 차량 제어
바퀴 (접힘 전)	· 4륜 구동 (전륜 조향)	· 4륜 구동 (4륜 속도 및 조향 개별 제어 가능)
바퀴 (접힘 후)	· 전륜 (2개) + castor wheel (2개)	· 4륜 구동 (4륜 속도 및 조향 개별 제어 가능)
접힘 후 차량 제어	· 전륜 구동을 기본으로 함 · 전륜의 독립적 속도 제어를 통해서 차량 제어 및 회전 반경 결정 (castor-wheel을 적용으로 인한 효과)	· 4륜 구동을 기본으로 함 · 4륜의 속도 및 조향을 독립적으로 변화시키면서 차량 제어 및 회전 반경 결정
바퀴의 상이성에 따른 제어 비교	· 전진 후진 가능 · 회전 가능 (O-turn 가능) · 회전반경 작음 · side-moving 불가능	· 전진 후진 가능 · 회전 가능 (O-turn 가능) · side-moving 가능
장점	· 후륜 조향 모터 비용 절감 · 접힘 후 제어가 쉬움 (조향 없이 전륜의 속도차이 만으로 회전 가능) · 차량 외부에서 안전하게 주차 가능 · 접이 동하중이 작아, 모터 소형화 및 에너지 저감	· 차량 내부에서 접힘, 제어 모두 가능 · side-moving 가능
단점	· side-moving 불가능 · 접힘 상태에서 차량 탑승 불가능	· 후륜용 조향 모터 필요 · 제어 어려움 (4륜 조향 및 제어를 통해 회전 가능) · 접이때 에너지 소모 큼

3. 특허 동향

현재 특허 정보 검색 서비스(portal.kipris.or.kr)에서 검색한 결과 차량 또는 이동체의 접힘 구조 차체에 대하여 한국, 일본, 중국 및 미국과 독일에서 공개된 특허는 없음. 따라서 본 연구개발 과제를 통하여 접힘 구조 차체와 이의 제어 메커니즘 및 액추에이터 등을 이용한 작동 방식에 대한 원천기술을 확보하고, 국내 및 해외에 특허를 출원하여 비교우위를 선점하는 것이 시급함.

Armadillo-T 차량의 특허 현황은 다음 표와 같음.

특허의 종류
1. 전기자동차의 허브모터 제어장치
2. 이동 경로의 그리드 화를 통한 교통 및 물류 자동화 시스템 및 방법
3. 주차 시스템과 이를 사용한 차량
4. 카트 시스템을 이용한 지능형 주차장 관리 시스템 및 방법
5. 지능형 주차장 관리 시스템 및 방법
6. 면적 조절식 차량 및 그 제어 방법
7. 접이식 차량 및 그 제어 방법 (1)
8. 접이식 차량 및 그 제어 방법 (2)

	차량 관련 특허	인프라 관련 특허	차량 + 인프라 관련 특허
주행 관련 특허	1번 특허		2번 특허
주차 관련 특허	3번 특허	4번 특허	5번 특허
접힘 방식 관련 특허	6,7,8번 특허		

위의 표의 내용과 같이, 각각의 특허는 차량, 인프라, 차량+인프라, 주행, 주차, 접힘 방식 등 다양한 범주에 걸쳐 진행됨. 즉 본 연구는 차량 자체뿐만 아니라 주행과 주행 중 주변 환경과의 관계성을 두루 고려한 방향으로 진행되고 있음.

4. 정부지원정책 현황

가. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

- 국토해양부의 자동차 관리법 “제3장의 2 저속전기자동차에 대한 특례”
 - 자동차 관리법 제35조의 2(저속전기자동차의 안전기준)
 - 자동차 관리법 제35조의 3(저속전기자동차의 운행구역 지정 등)
 - 자동차 관리법 제35조의 4(운행구역의 고시 등)

나. 정부지원 정책사업 종류와 현황

- 전기자동차 과제 지원 현황
(단위 : 건, 백만원)

과제명	부처명	규모	비고
소형 전기자동차 상용화 지원 기술 개발	지식경제부	2,500	2015년 3월 종료 예정
소형 전기자동차 상용화 기술 개발		10	
소형 전기자동차 에너지 저장/충전 시스템 개발		3,409	
전기자동차용 차세대 리튬금속배터리 기술 개발		2,964	
소형 근거리 이동용 전기자동차(NEV)용 BLAC 구동시스템 개발	지식경제부	663	2011년 9월 종료 예정
전기자동차 충전인프라 및 운영센터 구축을		3,611	2013년 5월

통한 국내 및 해외형 신규비즈니스모델 실증			종료 예정
20kW급 유.무인 전기자동차용 다중 동력시스템 개발		1,178	2011월 9월 종료 예정
20kW급 유.무인 전기자동차용 다중 동력시스템 플랫폼 개발		60	
250Nm급 일반도로 주행용 전기자동차 GEAR BOX 개발		345	2010년 12월 종료
도심형 전기자동차용 스마트 인프라 기술 개발(2차)	교육과학기술부	450	2009년 12월 종료
친환경 전기자동차 구동용 PMSM 제어기의 개발	중소기업청	93	2010년 5월 종료
그린전기자동차(RE-EV) 차량개발 및 연구기반 구축	국무총리실	163	2010년 6월 종료

정부는 『ITS 기본계획』을 통해 정부차원의 종합계획을 세움으로서 정책적 지원을 추진하여 첨단 교통정보시스템의 실현으로 교통문화 선진화뿐만 아니라 산업·경제 발전을 지원하는 공공기반으로서의 기능을 담당케 하였음. 이후 기술수준의 향상에 따라 기본계획 수정이 불가피하게 되었으며 이를 수정 보완한 『지능형 교통체계 21(2000,12,건교부)』이 발표하였으며 여기에는 교통관리 최적분야, 전자치불 처리 분야, 교통정보 유통활성화 분야, 여행자 정보 고급화 분야, 대중교통 분야, 화물운송 효율화 분야, 차량도로 첨단 분야 등이 포함됨.

본 연구는 ITS기본계획 상의 차량도로 첨단 분야에 해당한다고 볼 수 있으며 ITS기술 개발의 지속적 추진을 위한 연계계획의 한 과정인 핵심요소 기술개발 단계로 고려될 수 있음. 그 간 “센서를 이용한 주차장 이용효율 고도화기술을 개발”, “교통연계 및 환승시스템 기술개발” 등을 통해 주차관리 분야의 제반기술개발을 지원.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 성과목표 및 성과지표(성과점검기준표)

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		최종 성과목표			해당 기관	예산 (백만)	정량목표
					질적목표(측정방법)	목표치	검증 방법			
1차 년도	1	접 이 식 차체 개 념 설계	1-1	경량 접이 차체 설계	① 차체설계도	도면				특허 : 출원 4 건 등록 2 건 논문 : 2 건 수치해석 : 5 건
			1-2	엑츠크에이터 제 어알고리즘 설계	① 패키징, 사양결정	패키징 도면, 사양서				
			1-3	개발 차량 기초 feasibility 검증	① 수치해석 수행	결과보고서				
	② 차량 종합성능 해석	결과보고서								
	2	원격조종 개념설계	2-1	wheel assembly 사양 및 개념설 계, 무선조종시스 템 사양구축	① 알고리즘해석	로직사양결정				
					② 수치해석	결과보고서				
3	차량제어 시스템설 계	3-1	차량전자식 제어/ 조향장치설계	① 조향장치설계도	도면					
2차 년도	1	접 이 식 차체 제 작	1-1	차체 제작	① 차량 설계	사양서/도면				특허 : 출원 4 건 등록 2 건 논문 : 2 건 시양서/성적서 : 10 건 국제협력 : 2 건
			1-2	엑츠크에이터 시 스템 통합 제작	① 엑츠크에이터 시스 템 제작	사양서/도면/ 시제품 작동상태 확인				
	2	차량통합 제작 및 기타물품 조달	2-1	휠 조향 제어 성 능 점검	① 휠 조향 제어 시 험	사양서/시험성 적서				
					② 구동성능	사양서/시험성 적서				
	3	차량 구 조/ 조 향 제어 시 스템 제 작	3-1	CAN 통신/HM 구축 차량내 조향제어 시스템 제작 및 통합	① CAN 인터페이스 모듈 설치	사양서/도면				
					② 프로토콜 정의 및 프로그래밍	사양서/성적서				
3차 년도	1	차량제작 완료 및 차량 조 압 성능 평가	1-1	접이식차체 제작 완료 및 성능평 가, 시연완료	① 주행 성능 시험	성적서				특허 : 출원 2 건 등록 2 건 논문 : 4 건 해외협력 : 2 건 성적서 : 4 건
					②					
	1-2	통합 제어 시스 템 평가	① 운전제어시험	성적서						
			②							
2	운 전 성, 안 정 성 및 편의 성 평가	2-1	도로주행 및 주 차 성능 평가	① 차량 운전 시험	성적서					
				② 차량 운전 조작	성적서					
계										특허 : 출원 10 건 등록 2 건 논문 : 8 건 수치해석 : 5 건 시양서/성적서 : 14 건 국제협력 : 2 건 해외협력 : 2 건

2. 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ Benchmarking 및 시장성 분석 : 기술수요 분석	▪ 국내외의 관련 기술 사전 조사 및 시장 규모, 성장 가능성 등 분석
	▪ 접이식 차체 개념 설계	▪ 접이식 차체 설계 및 유한 요소 해석 ▪ 주행안정성 해석
	▪ 구동 액츄에이터 테스트	▪ 전자 액츄에이터 성능 테스트
	▪ 동력 성능 시뮬레이션	▪ 상용 프로그램을 사용하여 성능 시뮬레이션 수행
	▪ 작동 메커니즘 설계	▪ 차체 folding 메커니즘 설계 ▪ 구동 메커니즘 설계
	▪ 단품 시스템 설계	▪ 단품 시스템 캐드 설계 및 해석
	▪ 차체 dimension검토	▪ 2D/3D 도면 프로그램을 사용하여 차량의 외관 치수 검토(예비설계완료)
	▪ 부품 packaging 검토	▪ 2D/3D 도면 프로그램을 사용하여 부품 간의 간섭 및 설치 공간 검토(예비설계완료)
2차년도	▪ 차체 dimension 완료	▪ 2D/3D 도면 프로그램을 사용하여 차량의 외관 치수 결정(상세설계완료)
	▪ 부품 packaging 완료	▪ 2D/3D 도면 프로그램을 사용하여 부품 간의 간섭 및 설치 공간 설계(상세설계완료)
	▪ 물품 조달 및 통합 설계	▪ 해외 외주 제작 요청 ▪ 국내 외주 제작 요청
	▪ 제어기 제작	▪ 차량용 제어기 제작
	▪ 차체 제작 / 차량 조립	▪ 접이식 차체 제작 ▪ 차량 조립
3차년도	▪ 차체 제작 검증	▪ 접이식 차체 ▪ 접이식 원격 조정 ▪ 접이 시간 및 반복성 ▪ 제어기 작동
	▪ Field 시험 및 평가	▪ 시제품을 제작한 후 구동 시험 수행 ▪ 주행안정성 평가

제2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)

1. 접이식 차체 설계 기술 개발

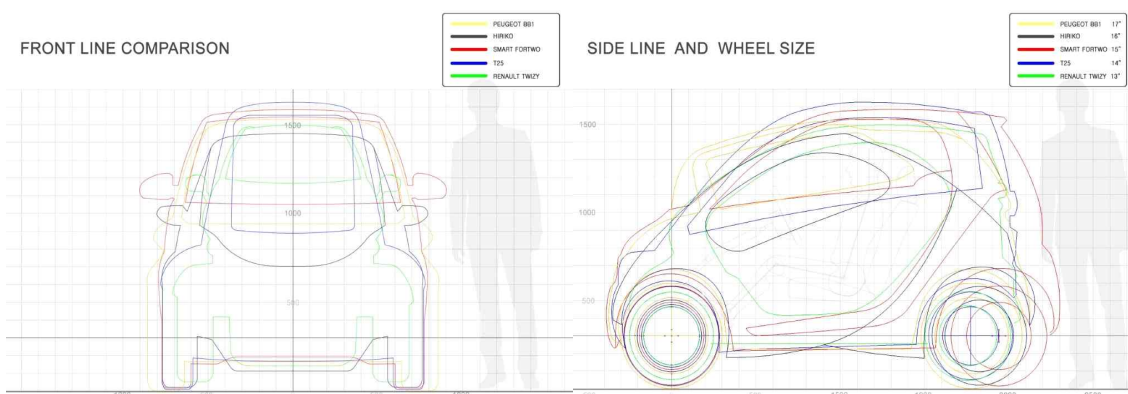
가. 사양 결정

	Gordon Murray T.27	Tata Nano	iMiEV	Renault Twizy	Peugeot BB1	Hiriko	Estrima Newteon	Honda Micro Commuter
Feature								
Length[mm]	2500	3099	3395	2338	2500	2630	1740	2500
Width[mm]	1300	1652	1475	1237	1600	1750	1030	1250
Height[mm]	1600	2230	1600	1454	1540	1540	1565	1000
Weight[kg]	680	600	1080	380*	600	400*	220*	
Seating Capacity [개]	3	4	4	2	4	2	2	
Motor Power [kW]	25		47	15	15	15	4	16.7
Maximum Speed[km/h]	105	105	130	75	90	70	45	60
Electric Drive Range[km]	128~160		160	100	120	120	50	60

<표> 초소형차량 제원 요약표

*: 배터리 제외무게

현재까지 개발된 초소형 자동차의 주요 사양을 위 표에 표시하였다. 또한 BB1, Hiriko, Smart ForTwo, T25, Renault Twizy 등 대표적인 초소형 차량의 구체적인 Dimension을 아래 그림에 표시하였다.



<그림> 현재까지 개발된 초소형 자동차의 Line info.

위 그림에서 볼 수 있듯 초소형 자동차의 크기는 대략 전장 2.5m, 전폭 1.5m, 전고 1.6m, 축거 1.9m, 지상고 15cm 이내에서 결정되며 기 확보된 주차면의 효율성을 높이기

위해서 위의 그림에 나타난 초소형 자동차보다 작은 크기로 주차가 가능한 접이식 전기 자동차를 모색할 수 있다. 현재까지 개발된 차량의 벤치마킹 결과 이를 만족하기 위한 초소형 접이식 전기자동차의 목표 제원은 다음과 같다.

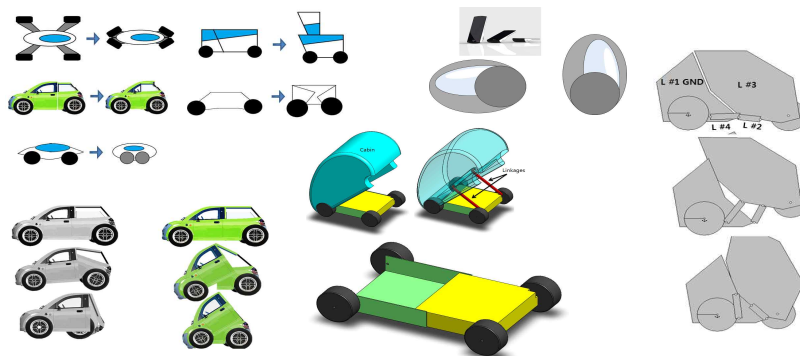
주요제원	단위	제원
1. 차량 전장(folding 전)	mm	2500
2. 차량 전장(folding 후)	mm	1500
3. 공차 중량 (배터리제외)	kg	450
4. 모터 출력	kW	12~15kW 급
5. 배터리 용량	kWh	15
6. 차량 주행 가능 거리	km	100
7. 최고 속도	km/h	60
8. 등판 각도	%	10
9. 차체 접힘 소요 시간	초	10초 내외(잠정)
10. 충전 시간(완속)	시간	8
11. 충전 시간(급속)	시간	.5내외

<표> 초소형 접이식 전기자동차 시제품의 목표제원

나. 설계

○ 접이식 차체구조 시스템

브레인스토밍을 통하여 접이구조의 아이디어를 도출하고 평가하였다. 아래 그림에서 볼 수 있듯 도출된 아이디어는 주행 상태에서는 초소형 차량의 전장을 유지하여 안정적인 구조를 가지고, 주차 시에는 차지하는 주차공간의 크기를 줄이는 것을 목적으로 한다.

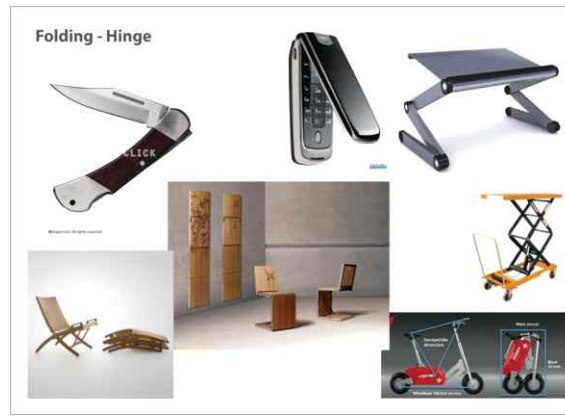


<그림> 초기아이디어 구상 및 브레인스토밍

접이식 구조는 기존 자동차에서는 찾아볼 수 없는 구조이므로 주변의 사물과 동식물의 공간 활용방법을 분류/분석하고 자동차에 융합시킬 수 있는 방법을 크게 5가지 종류로 분류하였다. 분류 결과는 Hinge, Sliding, Standing, Fold-in&out, Roll up으로 확인 할 수 있으며, 현재 개발되어 발표된 초소형 전기자동차의 벤치마킹 결과를 토대로 결정한 차량의 크기에 맞추어 위 다섯 가지의 공간 활용방법을 차량 설계에 반영하였다.

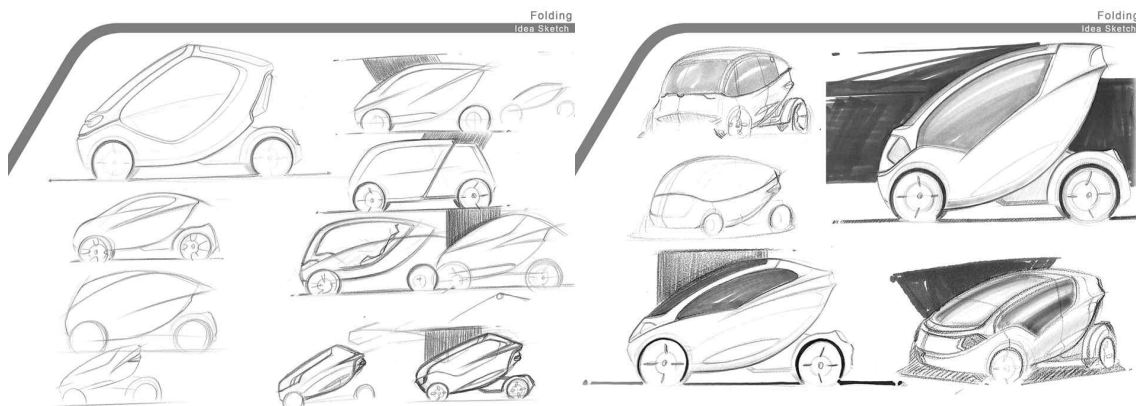
- Hinge type

Hinge type 공간활용법은 아래의 그림과 같이 Hinge를 이용하여 접히는 구조를 사용한 칼, 휴대폰, 의자 등에 사용되는 방법이다.



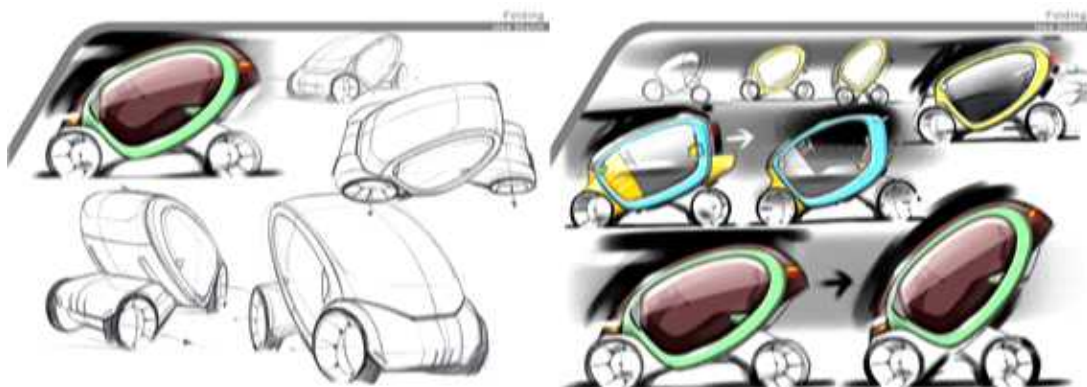
<그림> Hinge를 이용한 사물

위의 사물로부터 얻은 콘셉트를 이용하여 아래 그림과 같이 차량의 기본적인 외형과 구조를 스케치하는 과정을 거친다.



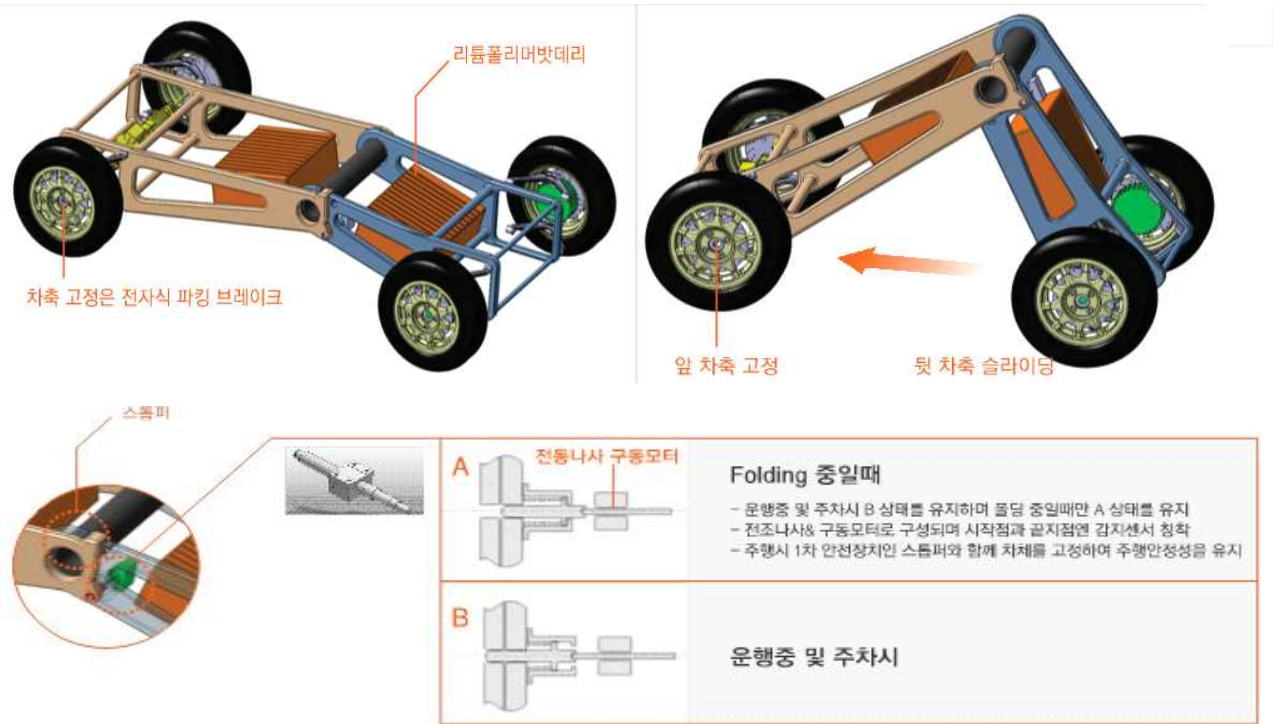
<그림> Hinge type 스케치

이러한 과정을 거쳐 차량의 외형과 접힘 구조를 점차 구체화 한다.



<그림> Hinge type 구체화

그 결과 구체화된 다양한 차량의 디자인을 도출하였다. 이 후에 Hinge를 이용한 접힘 구조



<그림> Hinge type 메커니즘
의 메커니즘을 설계하고 이를 CAD를 이용해 디자인하였다.

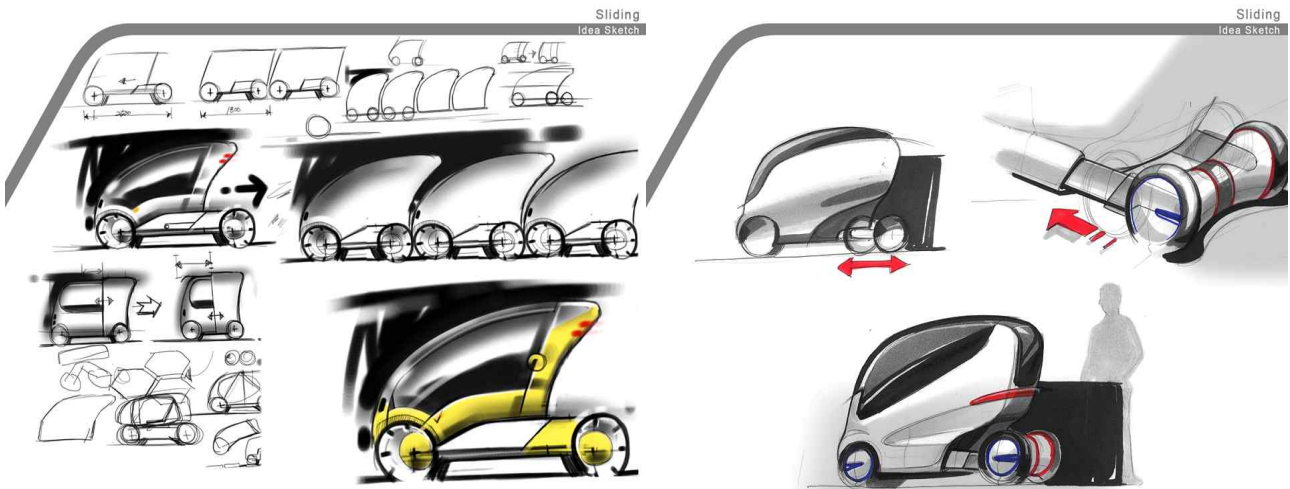
- Sliding type

Sliding 방식은 아래 그림에 표시한 것과 같이 휴대폰, 상자, 렌즈 등에 사용되는 공간 활용 방법 이다.



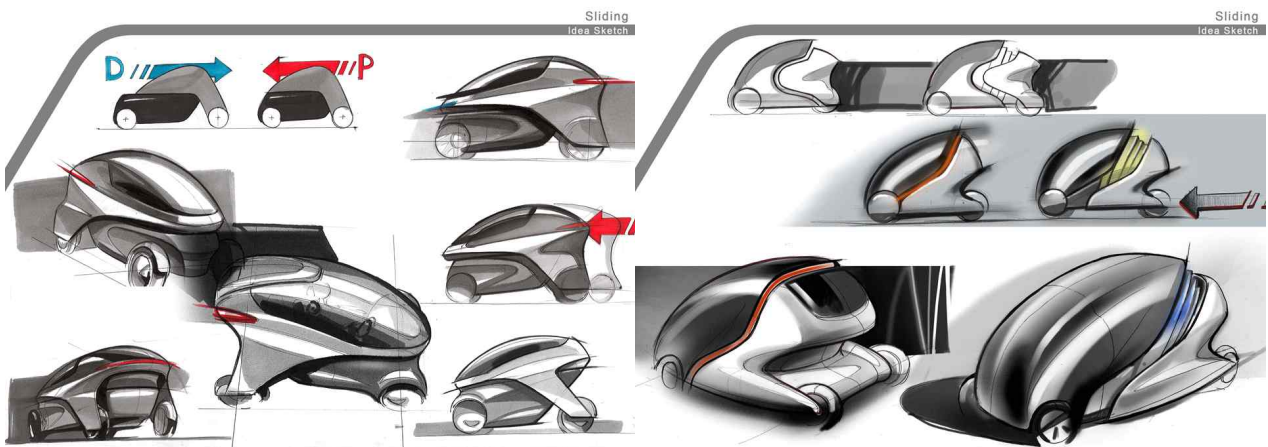
<그림> Sliding 이용한 사물

위의 공간 활용 방법으로부터 얻은 콘셉트를 이용하여 차량의 기본적인 외형과 구조를 스케치하는 과정을 거친다.



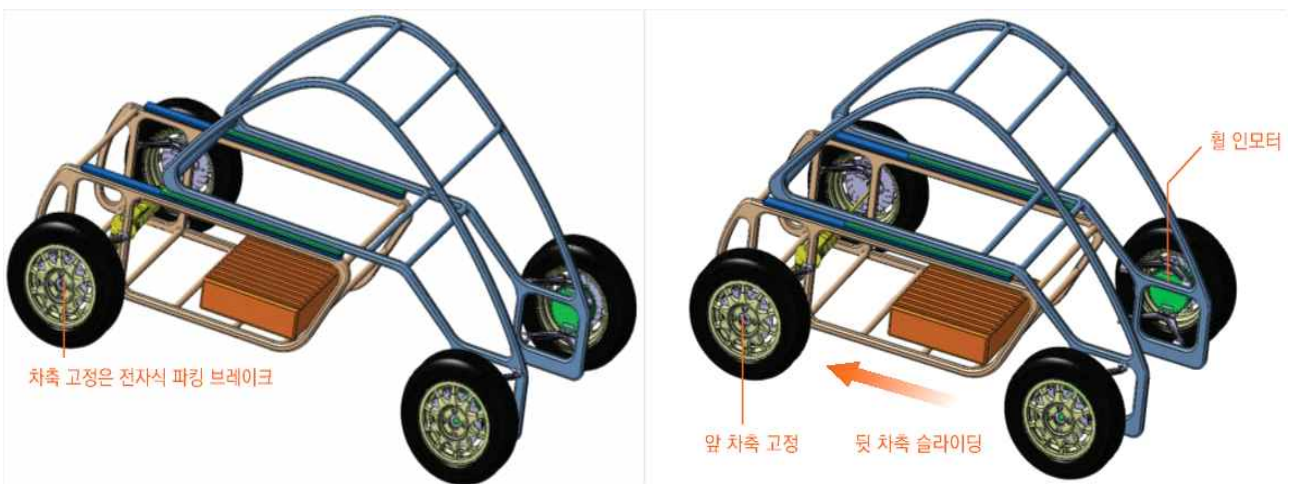
<그림> Sliding type 스케치

이러한 과정을 거쳐 차량의 외형과 접힘 구조를 점차 구체화 한다.



<그림> Sliding type 구체화

그 결과 구체화된 다양한 차량의 디자인을 도출하였다. 이 후에 Sliding 구조를 사용한 접힘 구조의 메커니즘을 설계하고 이를 CAD를 이용해 디자인하였다.



<그림> Sliding type 메커니즘

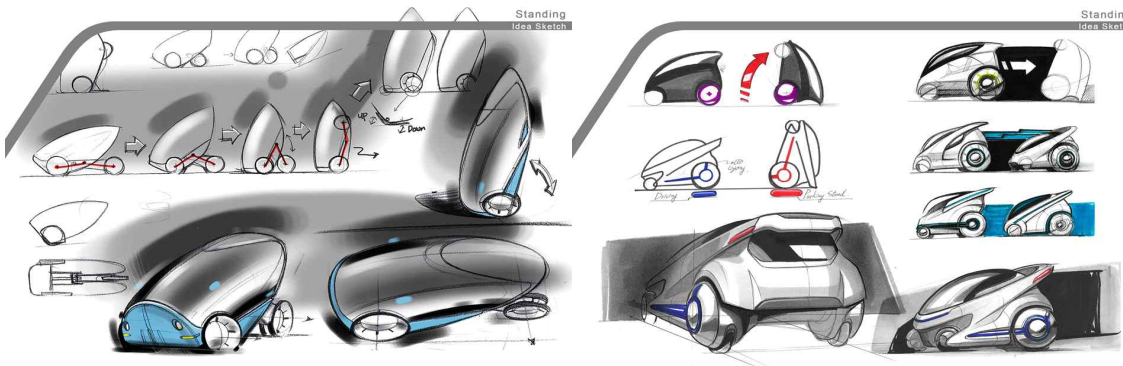
- Standing type

Standing 방식의 공간 활용방법은 좁은 공간에 보관하는 진공청소기로부터 아이디어를 도출할 수 있다.



<그림> Standing을 이용한 사물

위의 사물로부터 얻은 콘셉트를 이용하여 차량의 기본적인 외형과 구조를 스케치하는 과정을 거친다. 이러한 과정을 거쳐 차량의 외형과 접힘 구조를 점차 구체화 한다. 그 결과 구체화된 다양한 차량의 디자인을 도출하였다.



<그림> Standing type 스케치 및 구체화

- Fold - in&out type

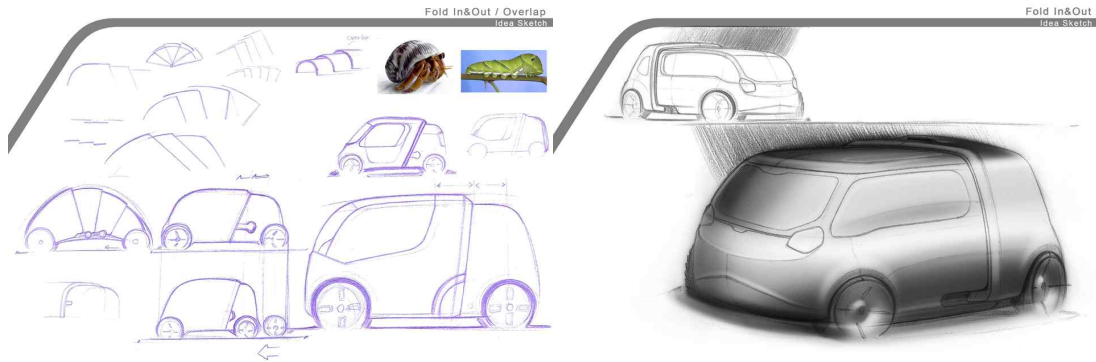
In & out 구조를 이용하여 빈 공간으로 들어가고 나오는 방식으로 공간을 절약하는 소라게, 접히는 자전거 등 동물과 사물로부터 아이디어를 도출하였다.



<그림> Fold-in&out을 이용한 사물 및 동물

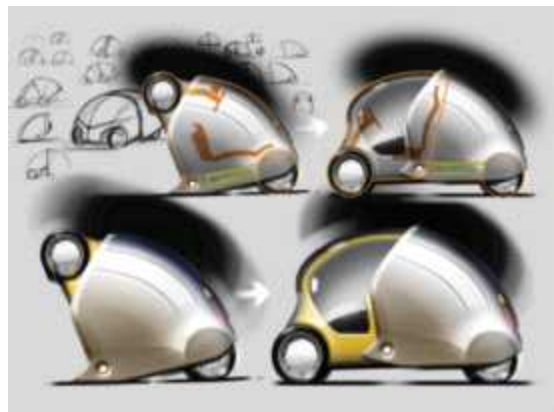
위의 사물과 동물로부터 얻은 콘셉트를 이용하여 차량의 기본적인 외형과 구조를 스케

치하는 과정을 거친다.



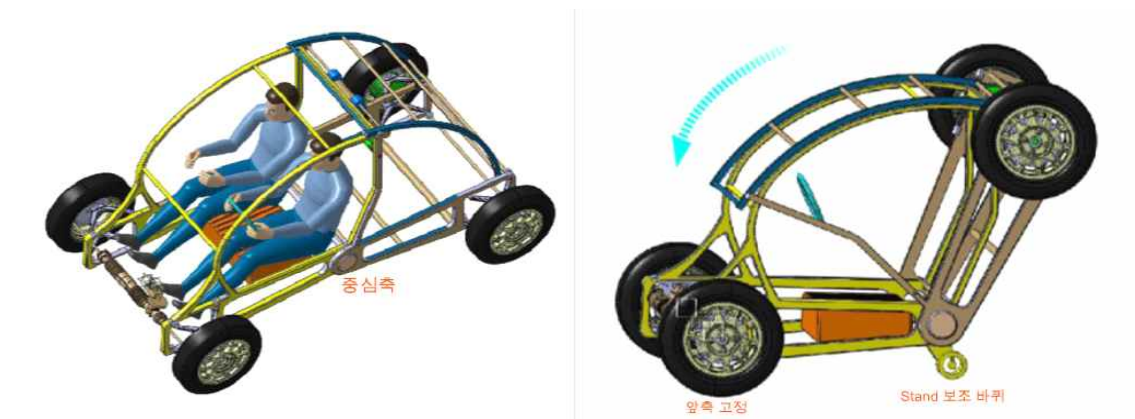
<그림> Fold-in&out type 스케치

이러한 과정을 거쳐 차량의 외형과 접힘 구조를 점차 구체화 한다.



<그림> Fold-in&out type 구체화

그 결과 구체화된 차량의 디자인을 도출하였다. 이 후에 in & out 구조를 사용한 접힘 구조의 메커니즘을 설계하고 이를 CAD를 이용해 디자인하였다.



<그림> Fold-in&out type 메커니즘

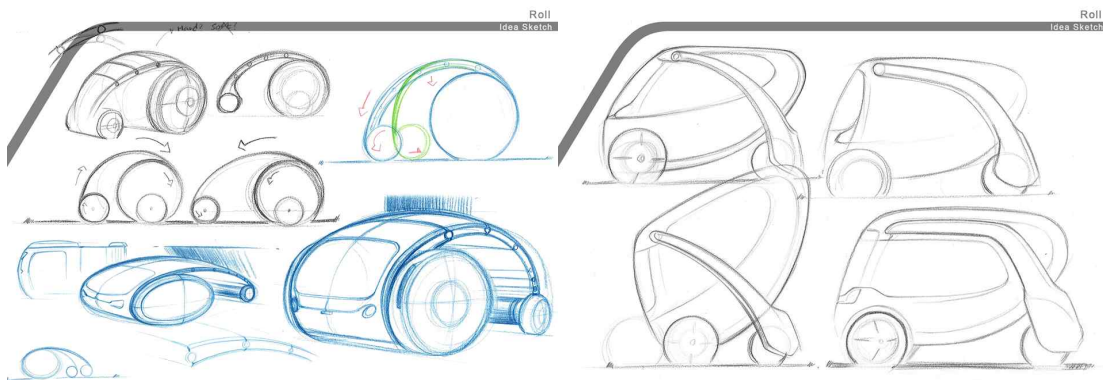
- Roll up type

Roll up 구조를 이용하여 원형으로 감는 방식을 이용하여 공간을 절약하는 식물과, 고무와 같은 소재를 이용한 키보드 등으로부터 아이디어를 도출하였다.



〈그림〉 Roll up 방식을 이용한 식물 및 사물

위의 식물과 사물로부터 얻은 콘셉트를 이용하여 차량의 기본적인 외형과 구조를 스케치하는 과정을 거친다.



〈그림〉 Roll up type 스케치

이러한 과정을 거쳐 차량의 외형과 접힘 구조를 점차 구체화 한다.



〈그림〉 Roll up type 구체화

그 결과 구체화된 차량의 디자인을 도출하였다. 이 후에 Roll up 구조를 사용한 접힘 구조의 메커니즘을 설계하고 이를 CAD를 이용해 디자인하였다.



<그림> Roll up type 메커니즘

○ 최종선정 및 상세설계

평가항목	구현 가능성	공간 활용성	창의성	무게 배분	접힘 후 조향성	연구 활용성	구조 안전성	계 (상:1점 중:0.5점 하:0점)
가중치 방법	0.1	0.15	0.25	0.1	0.1	0.15	0.15	1
Hinge	상	중	중	상	중	상	상	0.750
Sliding	상	중	중	상	상	중	중	0.650
Standing	중	상	상	하	하	중	상	0.675
Fold-in&out	중	상	상	하	상	상	중	0.775
Roll up	하	중	하	하	하	상	하	0.275

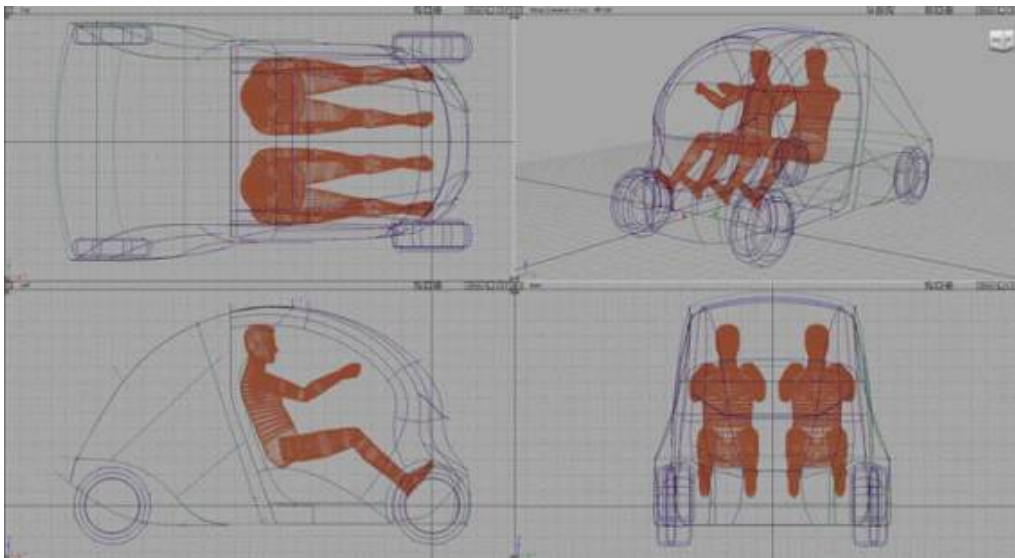
<표> 가중치 방법을 이용한 접이구조 선정

선정한 접이구조아이디어의 의사결정을 위해 선정한 주요항목과 각 항목의 가중치행렬을 선정하였다. 창의성에 가장 큰 비중을 두었으며 공간 활용성, 구조안전성, 연구 활용성은 같은 비중으로, 그리고 무게배분 및 구현가능성 그리고 접힘 이후 조향가능성에 대해서는 가장 낮은 비중을 두었다. 그 결과 Fold-in&out 및 Hinge 타입을 선정하였으며 아래 표와 같은 SWOT분석을 통하여 두 가지 선정안중 Fold-in&out 타입을 최종 선정하였다.

	Hinge	Fold-in&out
Strength	-휠의 동력에 의한 접이가능 -좋은 무게배분	-접이 이후 차체바닥에 설치한 Castor Wheel을 이용하여 Mobility 증가 -주차 시 전륜으로 Skid steer 가능 -넓은 트렁크 공간 -필요 시 4인승 가능
Weakness	-접힌 이후에 전륜의 조향축이 회전하여 접힌 후 조향 불가 -접이동작 시 배터리의 이동으로 인한 에너지 소비 증가 -작은 내부 공간	-차량 접이를 위한 모터 및 링크 필요 -차체의 굽힘 강성 및 비틀림 강성 확보방안 필요
Opportunity	-간단한 접이식 구조	-'Folding' 타입에 비해 기존에 없던 창의적인 방식의 접이구현 -접이 후에 전륜구동을 통한 주행가능 -Robotics 분야의 주행알고리즘 적용성 -쉬운 Power assistant Parking의 적용
Threat	-다른 유사한 디자인을 가진 Concept 차량 다수 존재	-Front body와 Rear body 간의 공극(Clearance)으로 인한 소음

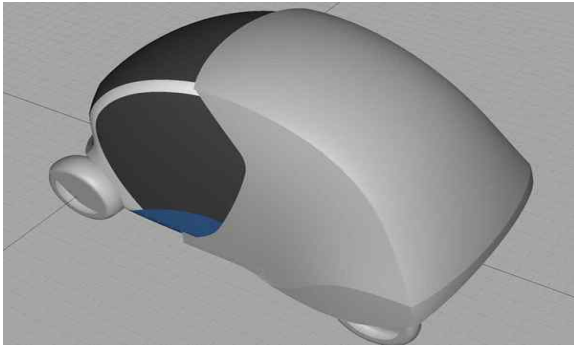
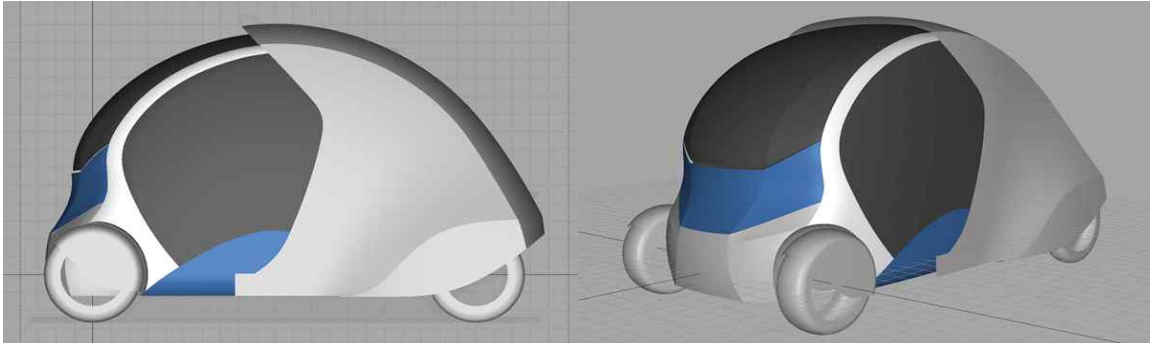
<표> Hinge type과 Fold-in&out type의 SWOT 분석

- 상세 구조 설계
 - 바디설계

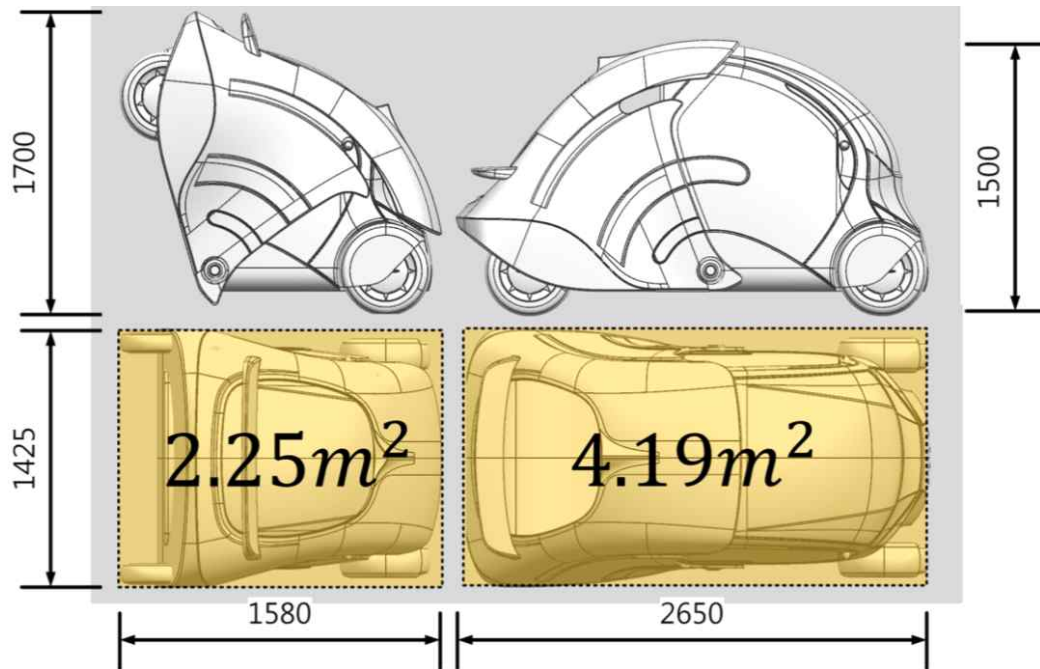


<그림> CAS(Computer Aided Styling)를 이용한 디지털 디자인 프로세스

최종 선정한 Fold-in&out에 대해서 목표차량 Dimension에 맞추어 상세 설계한 결과를 위 그림에 표시하였다. 한국남성 기준 98퍼센타일의 신장기준을 적용하였다. 또한 양산차량 생산 과정에서 활발히 사용되고 있는 2D/3D 모델링에 영상품평까지 포괄하는 형태의 CAS (Computer Aided Styling) 디지털 모델을 제작하여 디자인의 평가에 사용하였다. CAS의 사용으로 디자인프로세스 기간을 최대한 단축시켜 완성한 외관 디자인 최종안을 아래 그림에 표시하였다.



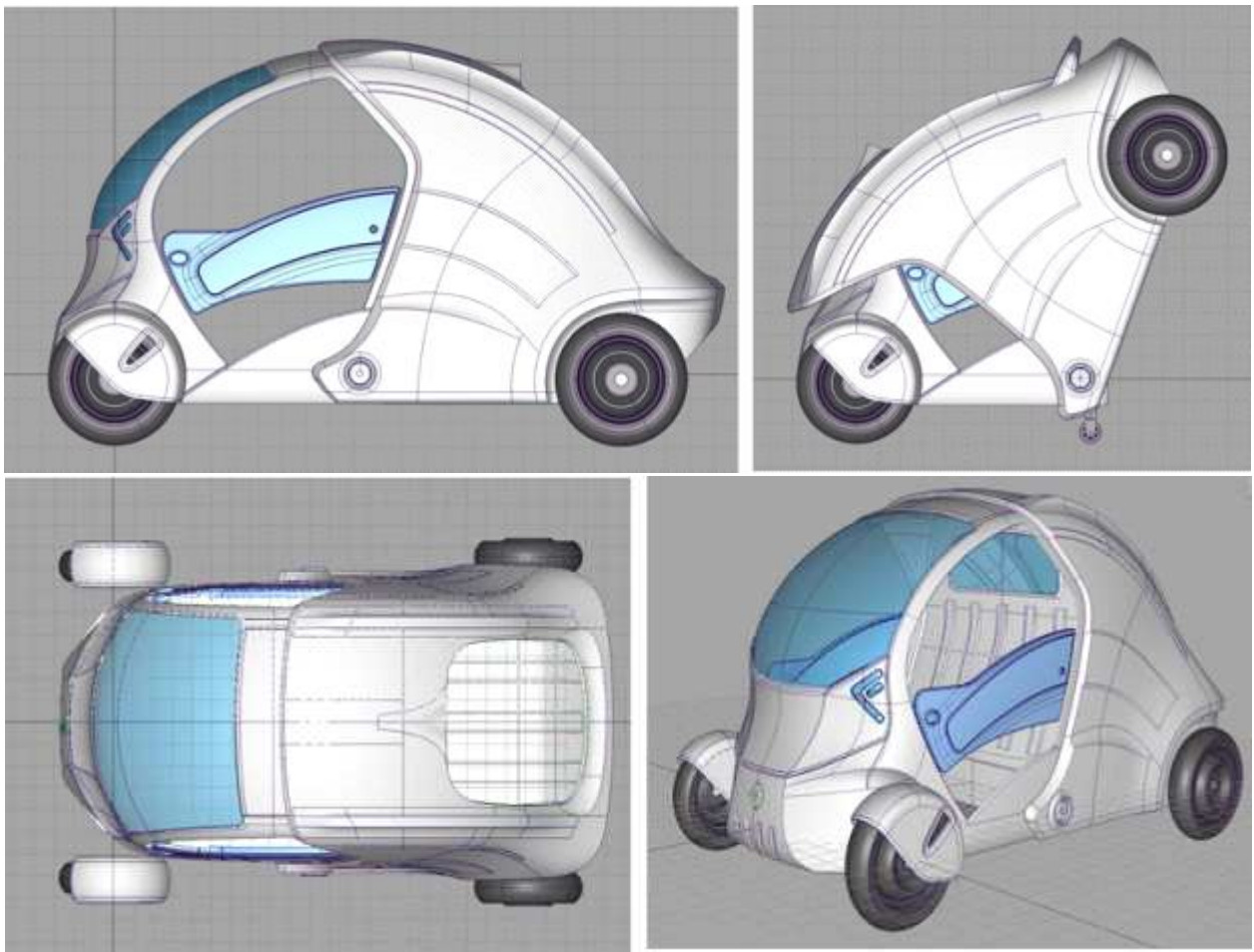
<그림> 선정된 안에 대한 CAS 디자인 설계 결과



<그림> 차량 외관 치수 및 주차면적 비교, 주차 시 $2.25m^2$, 주행 시 $4.19m^2$



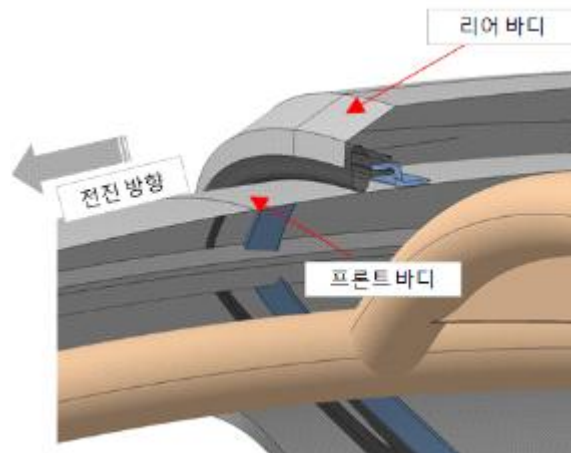
<그림> 초소형 접이식 전기자동차 시제품 최종 디자인



<그림> 초소형 접이식 전기자동차 시제품 최종 디자인

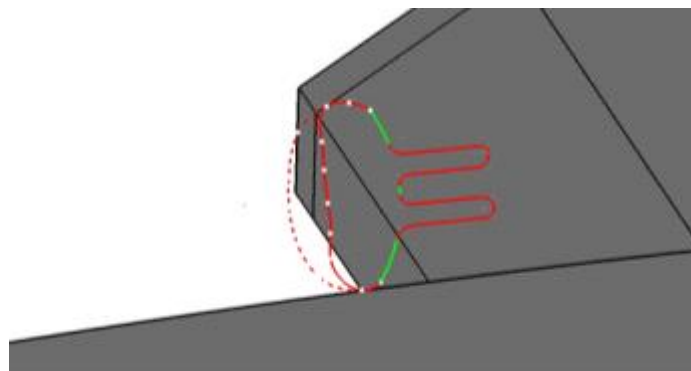
- 기밀유지장치 설계

일반적인 엔진사용 승용 차량에 있어 기밀유지는 차량 외부에 발생하는 소음 및 진동을 차폐하고, 주행 및 주차 시의 침수 방지와 배기가스의 역류를 막기 위하여 정밀하게 제작되어야 한다. 하지만 접이식 초소형 전기자동차는 프랑스 르노(Renault)사의 양산형 전기자동차 Twizy나 CT&T의 E-zone 과 같이 오픈형 세미 도어를 가지고 있어 운전자 탑승부의 기밀유지에 대한 고려가 무의미하다. 운전자 탑승 부가 외부와 Open 되므로 먼지, 날씨, 외부 소음 등에 민감하지만 원가저감, 무게저감, 시야확보 등의 장점도 가지고 있다. 접이식 자동차의 운전자 탑승부는 차량의 후반부와 완전히 독립적으로 공간을 형성하고 있으나, 차량 후반부는 운전자 탑승부의 뒷면과 함께 내부 공간을 형성하므로 운전자 탑승부와 차량 후반부간의 기밀유지가 되지 않으면 좁은 간극에서 발생하는 공기소음 등이 발생할 수 있으며 빗물이나 이물질 등이 차량의 후방부 공간에 침투할 수 있다. 이를 막기 위한 기밀유지 장치의 설계를 수행하였으며 개념은 아래와 같다.



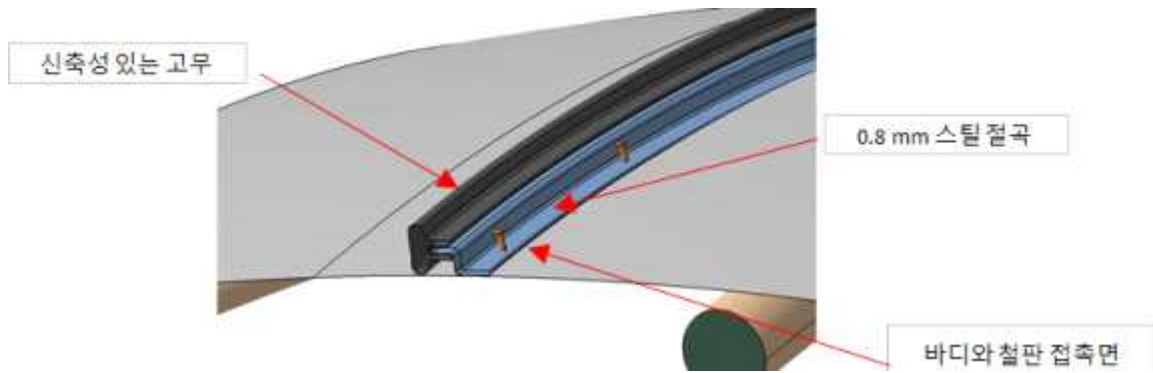
<그림> 기밀유지장치 설계

주행모드로 변경 시에는 리어바디의 안쪽 면이 프론트 바디에 장착된 고무몰드를 압축시켜 차량의 기밀을 유지할 수 있도록 하며 사용되는 고무몰드의 형상은 아래에 표시한 실선/점선과 같다.

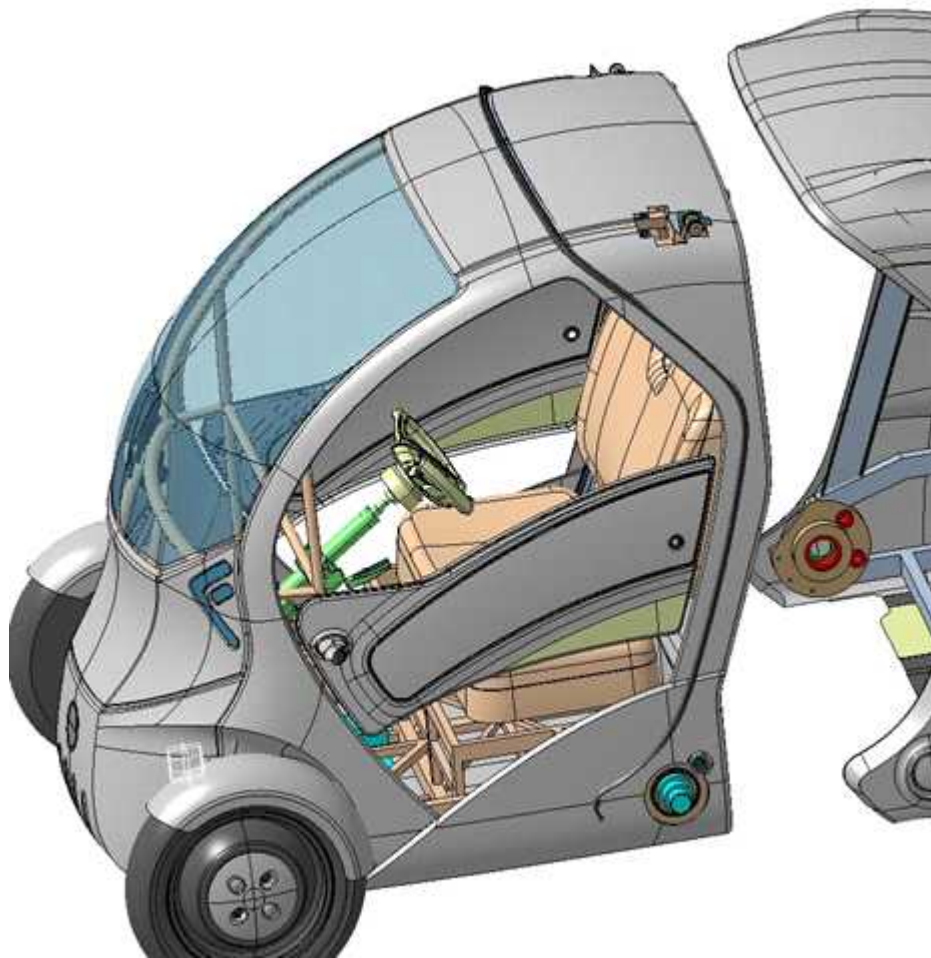


<그림> 점선: 비압축 시, 실선: 압축 시 고무몰드의 형상

고무몰드는 아래 그림과 같이 철판을 절곡하여 프론트 바디의 외곽에 장착하며 전면바디와 철판의 접촉면에는 본드를 이용하여 장착 후에 리벳을 이용하여 고정한다. 리벳을 이용하여 고정 후에는 철판과 바디사이에 틈새는 실리콘으로 밀폐시키고 코팅재로 도포하여 습기 등 이물질 투입을 막아준다.



<그림> 기밀유지장치의 장착 방법



<그림> 기밀유지장치 장착 부위 및 간섭확인

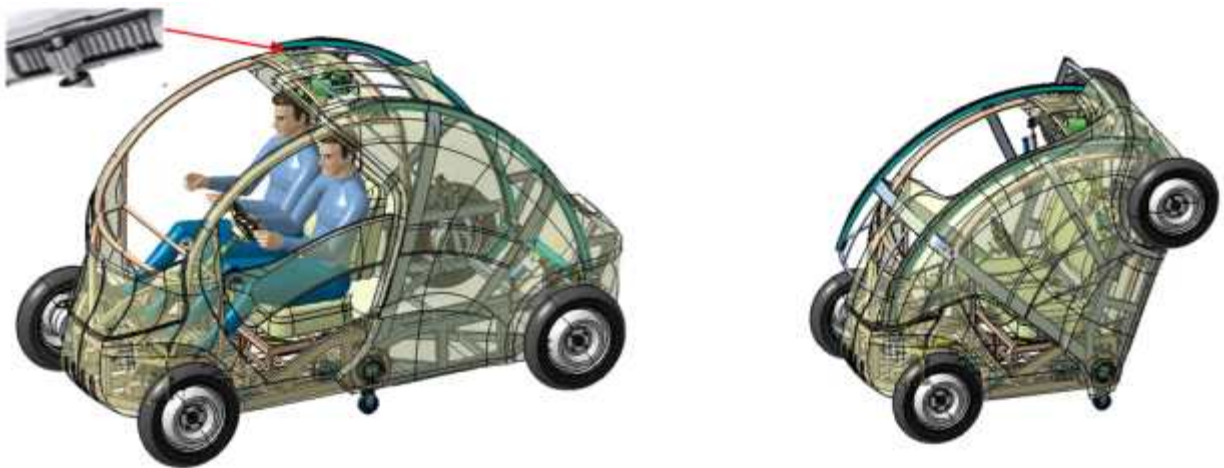
위 그림에는 기밀장치의 장착 부위를 표시하였다. 3D설계데이터를 통하여 접힘 동작 시 기밀유지장치와 리어 바디와의 간섭이 있는지 등을 미리 확인하여 설계를 수정한다.

- 프레임 설계

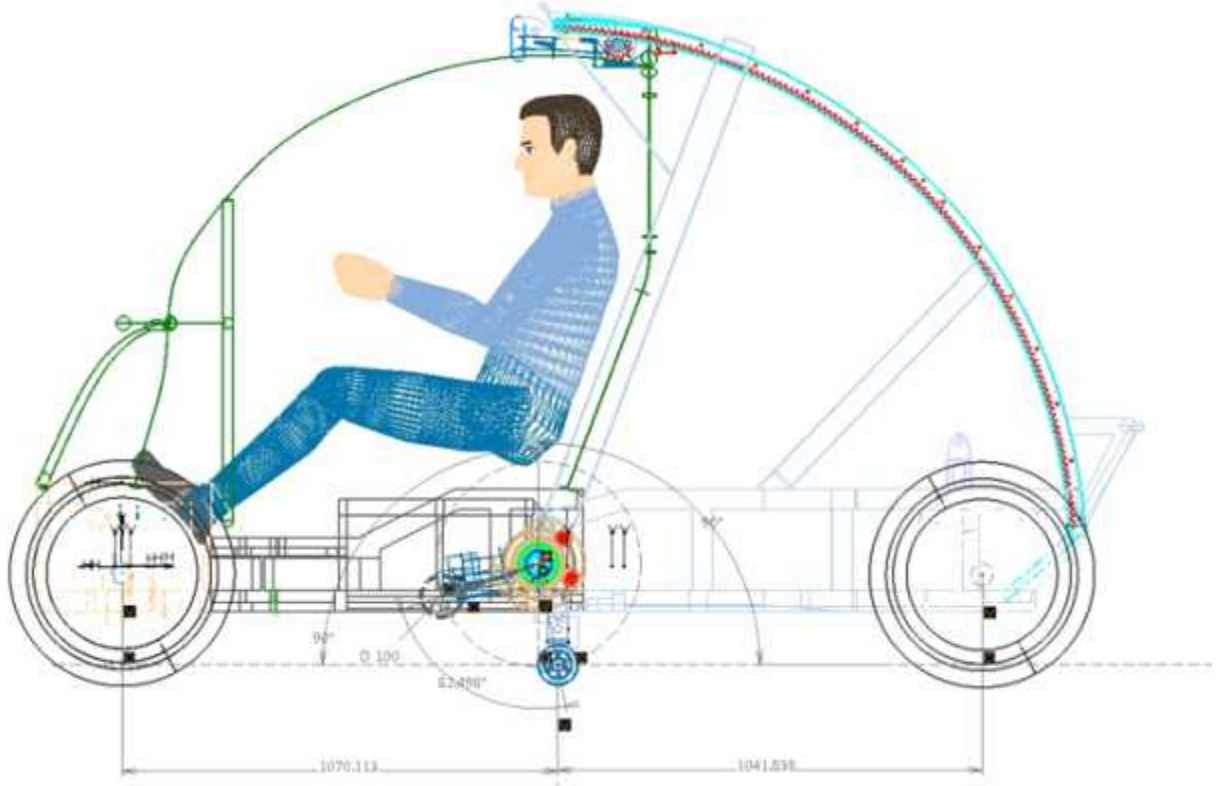


<그림> 초소형 접이식 전기자동차 차체 프레임

라) 차체 접이 메카니즘 설계



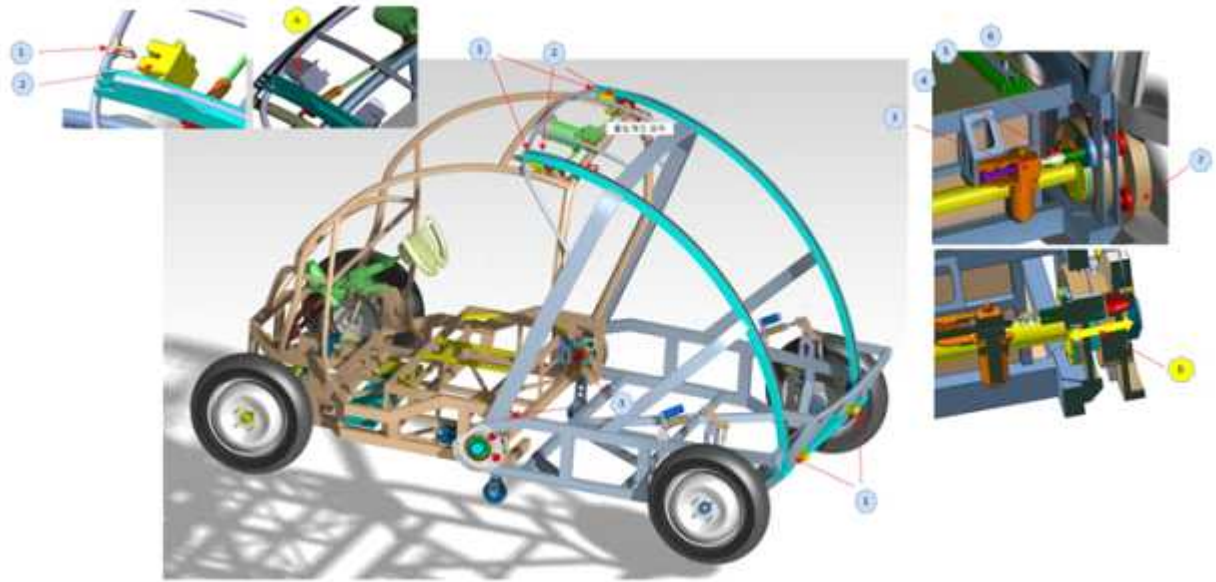
<그림> 모터 및 레일 메카니즘 개념



<그림> 접힘 메카니즘 및 프레임

<표> 접이 모터 및 후방 차체 사양

접이 모터 사양	정격 파워 [W]	400
	정격 토크 [kg.cm]	12.3
	최대 속도 [RPM]	3000
	감속비	1/60
	전압 [V]	180
	정격전류 [A]	2
차체 사양	후방 부분 질량 [kg]	149
	피니언 피치 [mm]	60
	랙 기어(레일) 총 이동거리[m]	1.6
	접힘 속도 [s]	11
	펴짐 속도 [s]	9

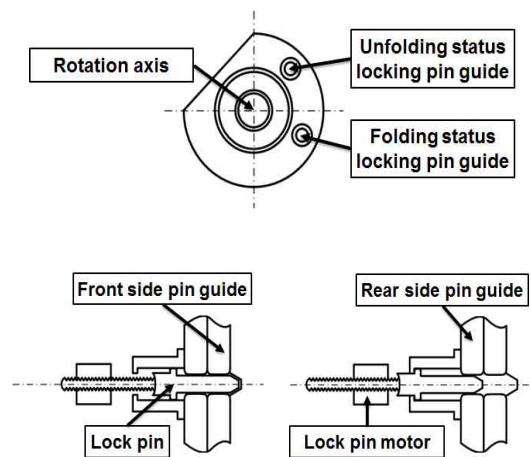


<그림> 모터 및 차체 고정 메카니즘

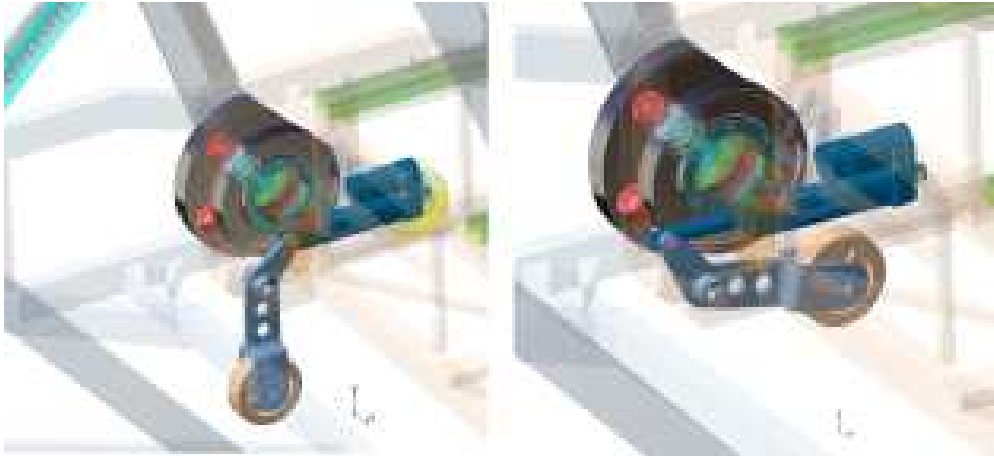
<표> 접이 메커니즘을 위한 단품 명칭 및 기능

- | |
|-----------------------|
| ① 상부 스트라이커 |
| ② 상부 래치 |
| ③ 하부 전조 나사 구동모터 (12V) |
| ④ 로드엔드베어링 |
| ⑤ 락킹 핀 |
| ⑥ 상부 락킹 고정 가이드 |
| ⑦ 하부 락킹 고정 가이드 |

* 폴딩시 락킹 고정 가이드의 락킹핀이 전조나사 구동모터에 의해 분리 폴딩 메인 모터가 작동. 폴딩 메인 모터는 상부래치의 신호를 받아 멈추게 되며 그 신호는 동시에 하부 전조나사 구동모터를 작동시켜 락킹 핀이 결합되어 폴딩을 완료
--



<그림> 차체 고정 락킹핀 메카니즘



<그림> 랜딩기어 메카니즘

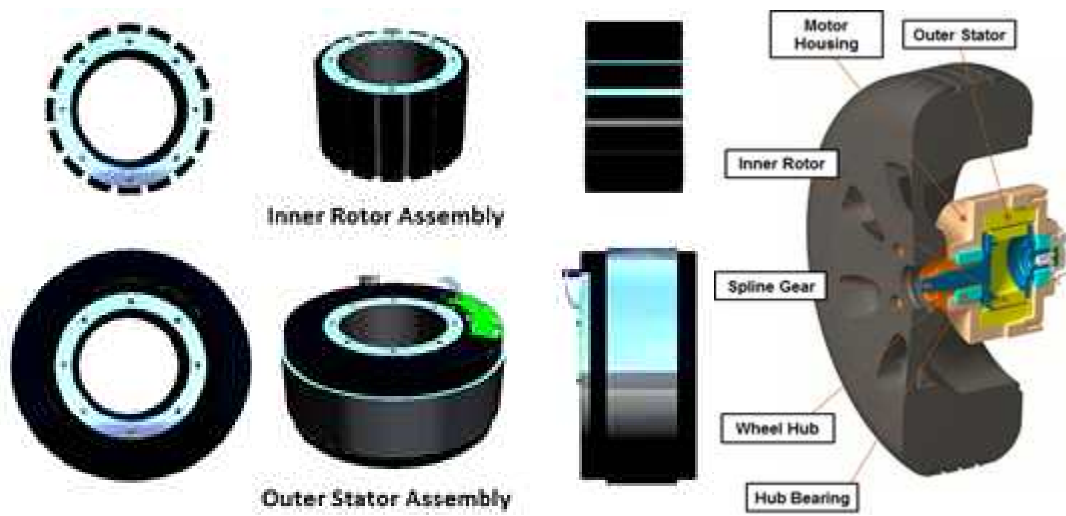
<랜딩기어의 중앙탑재형과 좌우 분리 탑재형간 비교>

	중앙탑재형	좌우탑재형
개수	1	2
랜딩기어 1개 당 작용하중(평균)	420kg	210kg(좌우 평균)
O-Turn	가능	가능
Assistant Park	가능	가능
안정성	노면이 평탄하지 않아도 접힘 이후 전륜을 포함한 모든 휠이 지면에 닿음	- 노면이 평탄하지 않은 경우 한쪽 휠에만 큰 하중이 작용할 수 있음 - 노면이 평탄한 경우 횡방향 힘에 대해서는 더 강인
패키징	배터리 케이싱과 간섭이 있어 배터리를 좌우로 분리하는 설계 필요	간섭 없음

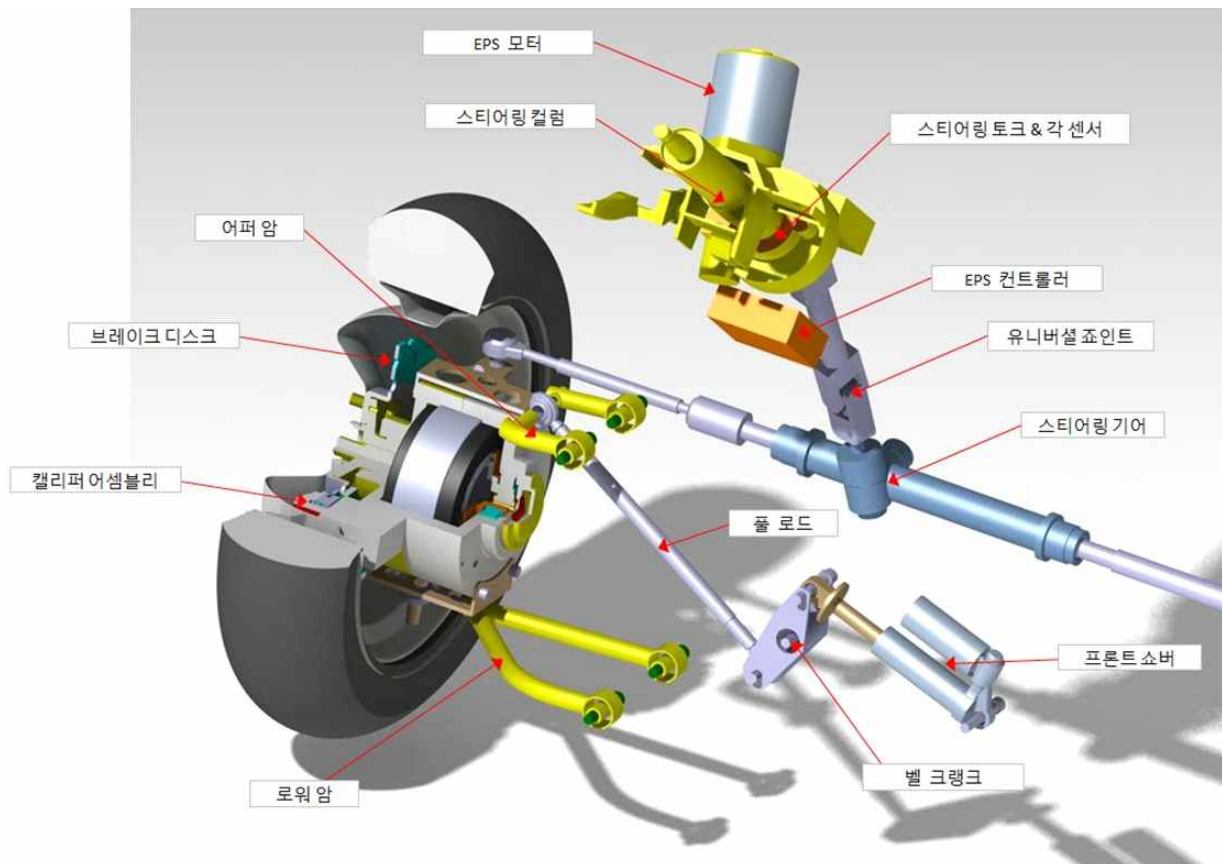
위 표에서 볼 수 있듯 랜딩기어를 1개 만 장착하는 것이 부품의 단순화, 단가하락 등에 서는 유리하나 배터리 패키징을 2개로 나누는 설계를 반영하여야 하며, 접힘 이후에 강한 바람 등의 좌우 외력이 발생할 시에는 랜딩기어를 2개 장착하는 것보다 안정적으로 차량을 지지해줄 수 없다.

- 인휠 구동 시스템 설계

선정한 모터는 단품모터로 모든 모터 부품에 대한 조립 및 하우징의 설계를 필요로 한다. 아래 그림에는 하우징, 베어링, 엔코더, 축등 모든 구성품을 포함한 인휠모터의 형상 및 구조를 표시하였다.



<그림> 인휠모터 및 휠 하우스징 어셈블리



<그림> 인휠 구동 시스템 전륜 어셈블리



<그림> 인휠 구동시스템 후륜 어셈블리

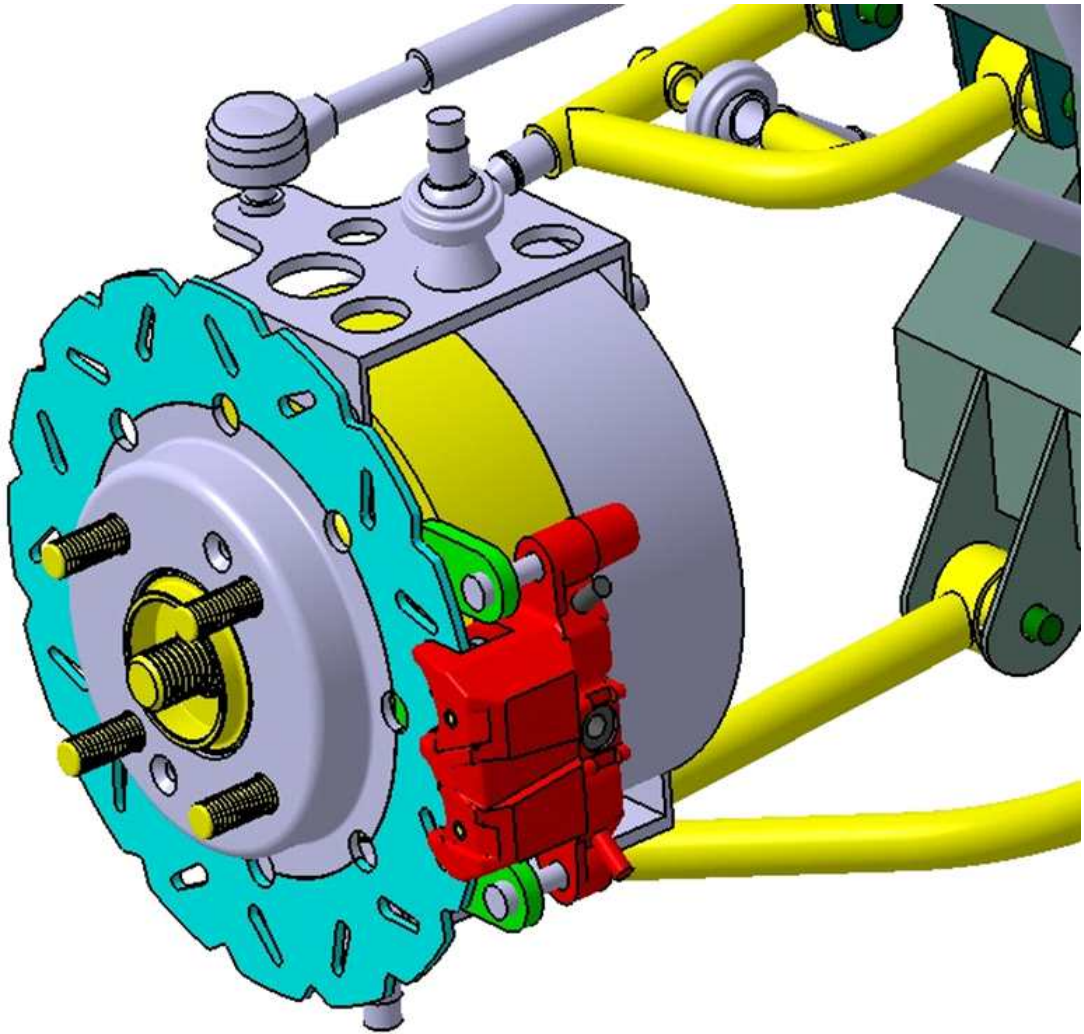
<표> 서스펜션 사양

	전륜	후륜
서스펜션 타입	더블위시본	더블위시본
스프링 상수 [kN/m]	123	123
캠버 [°]	4	3
캐스터 [°]	6	5
토우 [°]	2	0
기타	3차년도 실차적용 후 상세사양 튜닝 예정	

- 브레이크 시스템 설계

<표> 브레이크 시스템 사양

방식	유압식 디스크 브레이크
마스터 실린더 피스톤 외경	19
피스톤 외경	25
디스크 외경	250
디스크 두께	5
기타	- 조절식 압력분배기 적용 - 실차 주행정보 기반 조정 및 세팅 예정

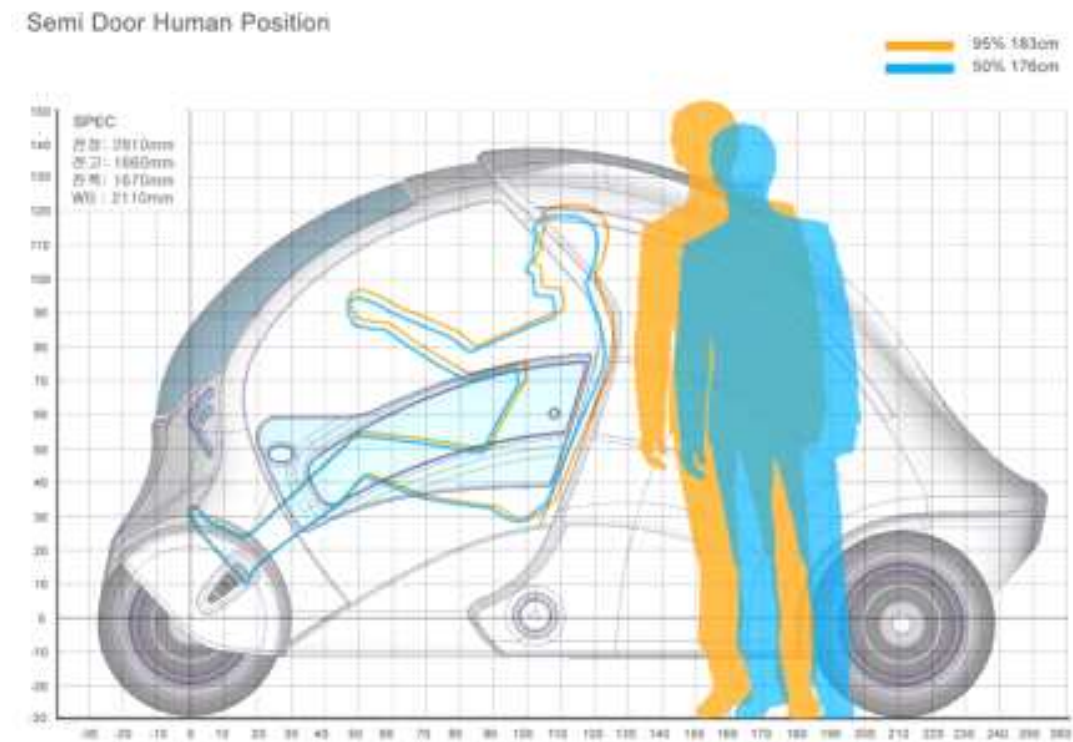


<그림> 브레이크 시스템 어셈블리

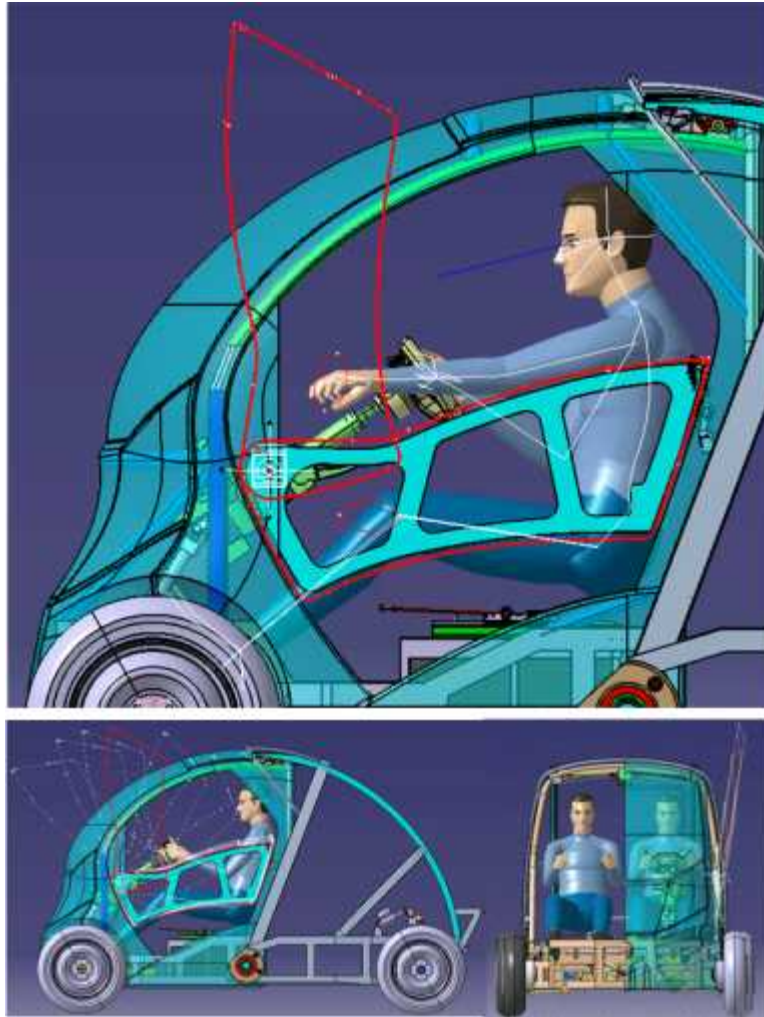
〈표〉 조향 시스템 사양

방식		에커만-장토식
조향비		11
보조 동력		전기모터
모터사양	제조사	SMART MOTOR
	모델명	SM3420D
	연속토크 [Nm]	0.89
	최대토크 [Nm]	2.81
	전압 [V]	12
	연속파워 [W]	324
	최대속도 [RPM]	4500
	엔코더분해능[cnt/Rev]	8000
	기타	제어기 내장형 모터, x-by-wire 제어

- 도어 설계



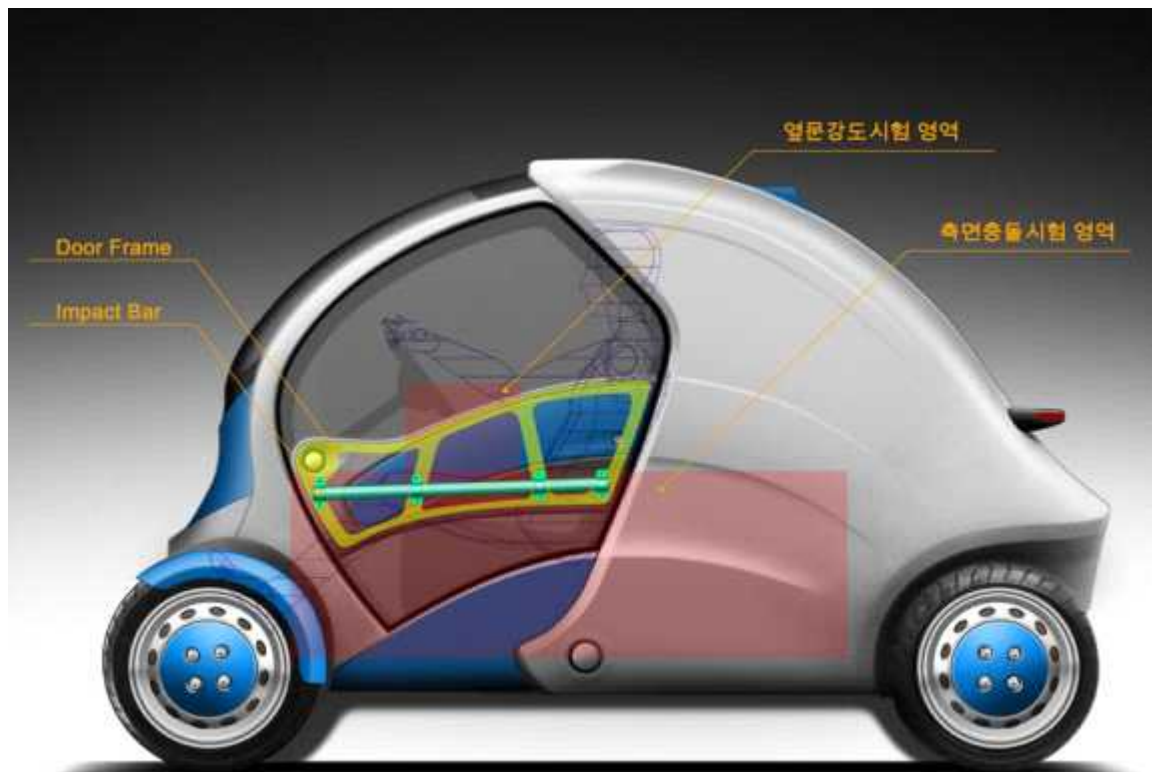
〈그림〉 사이드 도어 장착을 위한 사용 편의성 및 Dimension 검토



<그림> 사이드 도어와 프레임간 간섭확인 및 사용자 편의성 검토

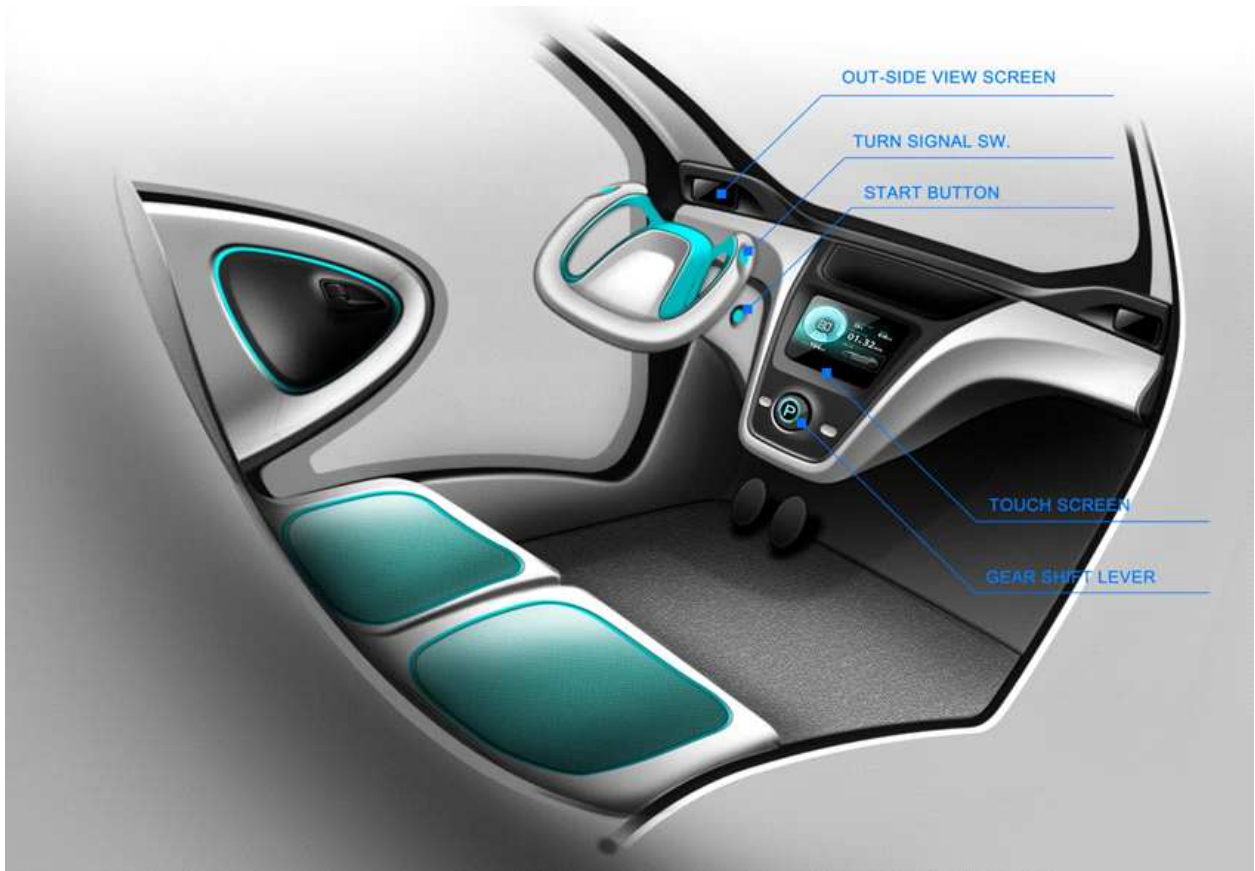


<그림> 사이드 도어 시스템 및 반자동 스위치 개념



<그림> 사이드 도어 강도 보강 및 시험 영역

- 차량 내장 설계



<그림> 인테리어 디자인 및 구성

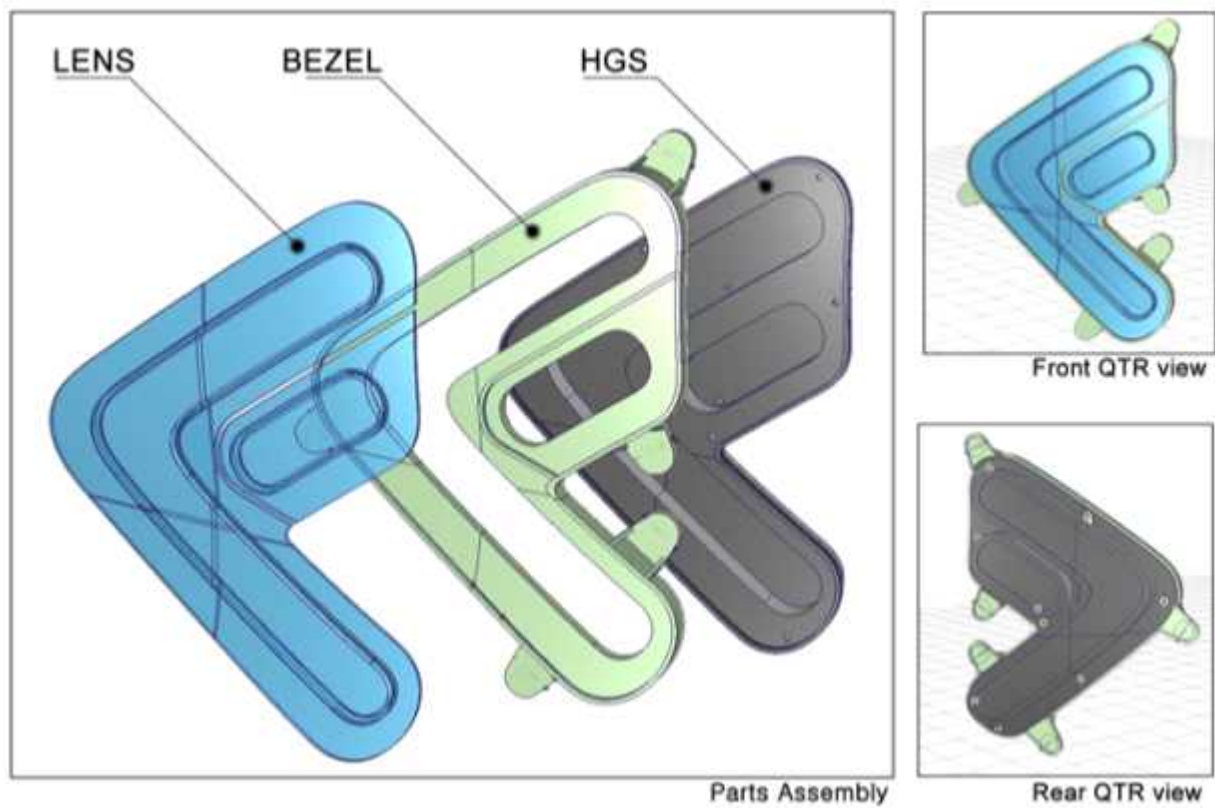


<그림> 메인 디스플레이 및 사이드 미러용 디스플레이 구성



<그림> 메인 디스플레이 UI

- 전조등 설계



<그림> 전조등 설계

다. 전력 시스템의 전기 안전성 설계

○ 전기 안전성 확보의 필요성

전기 에너지를 활용하는 것은 전력 공급원으로부터 최종 부하에 이르기까지 도선 등 도체로 연결하는 것으로 이룰 수 있다. 하지만 전기에너지를 활용함에 있어 인체의 감전 및 기기의 고장 등에 대한 사항들의 고려는 필수적이다. 고전압을 활용하여 구동하는 전기자동차는 감전, 부품 고장 유발 등에 대해 검토되어야 하며, 이에 따른 보호 구조, 재료의 선택, 보호 회로 및 장치의 적용이 필요하다. 즉, 전기자동차의 전력 시스템을 구축함에 있어 전기 안전성에 대한 주요 사항을 고려하여 이에 대한 대안을 모두 반영한 시스템의 설계가 요구된다.

전기자동차에 있어 전기 안전성에 대해 고려되는 주요 사항은 아래와 같으며, 전기자동차의 전력시스템 구성 시 이러한 주요 사항을 반영하여 설계되어야 한다.

전기안전성에 대한 주요 고려 사항	(a). 차량 내/외부에서의 인체 감전에 대한 보호 (b). 누전 등 비정상적 전기 방전으로부터의 부품 고장 보호 (c). 전기, 전자 부품의 물리적, 기능적 신뢰성 (d). 전기자동차의 전력시스템에 대한 failsafe
--------------------------	--

본 과제를 통해 접이식 초소형 전기자동차인 Armadillo-T를 개발함에 있어 전기안전성에 대한 주요 고려 사항에 대해 분석하고 이에 대한 대안을 도출하여 전기적 안전 확보를 위한 장치의 선정 및 시스템의 추가적 구축을 실시하여 전기 안전성을 확보하였다.

○ 전기자동차에서의 전기안전성에 대한 주요 고려사항

- 새시 (Chassis)

전기자동차(EV) 및 내연기관(ICE) 차량을 모두 포함한 대부분의 자동차는 새시 프레임 을 기본으로 하여 차체를 구성하고 있으며, 이러한 새시는 주로 전도성을 가지는 금속이 사용된다. 내연기관 차량과 같이 저전압을 사용하는 회로가 적용되는 경우, 새시를 전류 회귀 경로로 활용한다 하더라도 인체에 치명적인 영향을 미치는 사례가 거의 존재하지 않기 때문에 새시의 전도성이 감전사고 등의 문제로 이어지는 경우는 드물다. 하지만 전기자동차의 경우, 차량의 동력원이 전기에너지이기 때문에, 감전사고 발생 시 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있다. SAE J2344에 따르면 인체에 유해한 전압을 AC 30V, DC 60V 이상으로 규정하고 있으며, 이에 해당할 경우 새시를 전류 회귀 경로로 사용하는 것은 불가능하도록 규정하고 있다.

- 부동접지 시스템 (Floating ground system)

무극성의 전기 공급원에 대한 부동접지 시스템은 전도성 물질을 통해 임의의 지면

(earth) 혹은 채시(chassis)와 연결된다. 전기자동차의 관점에서, 인간의 몸은 고단위 임피던스를 가지는 하나의 저항이며, 이 경우 퓨즈와 차단기의 동작 특성은 민감도가 충분하지 않을 경우 감전사고가 발생할 가능성이 있기 때문에 차체에 대한 접지 만으로는 안전성이 충분히 확보될 수 없다. 이러한 이유로 절연 저항은 모니터링 시스템을 통해 배터리로부터 전도성을 가지는 차체로의 통전 여부를 지속적으로 모니터링 해야 한다.

<차량에 사용되는 접지의 종류>

- On-board 재충전 에너지 저장 시스템(RESS)

차량에 따라 수 kWh 용량의 RESS가 전기자동차 내 탑재되며, 회로 단락에 의해 수십 kA의 전류가 바람직하지 못하게 흐를 가능성이 존재한다. 또한, 탑재형 전력원은 전기적 보호 및 차폐에 대해 취약할 수 있음을 의미한다. 만약 보호 시스템의 고장이 발생한다면, 문제 발생 원인이 제거되기 전까지는 고장을 막을 방법이 없게 된다. 더욱이, 최근에 개발된 다수의 전기자동차는 전기적 용량의 우수성을 이유로 리튬-이온 배터리(Li-Ion Battery)를 채택하고 있으며, 리튬-이온 배터리의 경우는 폭발에 대한 위험성이 크며, 이에 따라 적절한 보호 장치가 없을 경우에는 상당한 위험을 수반하게 된다.

- 이동 중 전기적 위험상황 발생

주행 중 기기의 고장이 발생하는 경우 또한 제어 불능 상태에서부터 상당한 위험에 노출되게 된다. 하지만 치명적인 고장이 아님에도 전기 접속의 차단이 이루어 질 가능성이 존재할 수 있으며, 이러한 사항으로부터, 전기적 시스템에 대해 치명적인 오류가 아닐 경우에는 전기 접속의 차단이 제어의 관점에서 오히려 해가 될 수 있다. 이에 대해 SAE J2344에서는 차량의 모니터링 모드 동작 시 1차 접지의 불능에 대해서는 시스템의 전기 접속을 차단을 하지 않을 것을 제안하고 있다. 즉, 접지는 2중으로 설치하여 1차 동작과 2차 동작이 서로 다른 동작 특성을 가지도록 설정하는 것이 안정적임을 의미한다. 또한

충돌로부터의 전기 시스템 보호에 대한 대안으로 상시적인 보조 장비의 탑재가 요구된다.

○ 전기 안전성 확보를 위한 대안\

- 회로 단락 및 과부하

· 퓨즈 (Fuses)

회로의 단락 및 과부하로부터 전기 회로를 보호하는 데에는 퓨즈가 주로 사용되며 비용이 저렴하지만 1회용이라는 특징이 있다. 퓨즈는 주로 단락, 과부하 등으로부터 회로를 보호하기 위한 목적으로 사용되며, 사용이 간편하고 동작 신뢰도가 우수한 특성이 있다. 하지만, 1회용이기 때문에 1개의 기기가 1번 동작 후 반드시 교체되어야 한다는 단점이 존재한다. 이에 대해 차량에서의 활용 측면에서, 예비 퓨즈의 활용이 어려운 on-board 시스템의 경우 단선 퓨즈(blown fuse)가 주로 적용된다. 일반적으로 연결부가 녹아 차단이 되는 퓨즈와는 달리 단선퓨즈는 전기적으로 차단되어야 하는 한계선의 근사치에 도달할 경우 회로의 단락 상태에서 개방 상태로 변환하도록 동작하지만, 간혹 오동작이 발생하는 경우가 있다. 따라서 이러한 오동작을 방지하기 위한 2차적인 보호 시스템 구축이 요구된다.

· 차단기 (Circuit breakers)

차단기는 퓨즈와 달리 회로의 단락 혹은 과부하에 대한 보호 동작 후 재사용이 가능하다는 장점이 있다. 누적된 열에 따른 과부하로부터의 보호에는 열동 계전기(thermal relay)가 적용된다.

· Resettable fuse

Resettable fuse는 온도가 급격히 상승함에 따라 저항이 동반 상승하는 장치를 의미한다. 정상 동작 상태에서는 매우 낮은 저항을 가지며 회로 내에서 거의 보이지 않지만, 과전류 발생 시 온도의 상승에 따라 저항이 증가하게 된다. 고장 수리 후, 장치의 온도는 감소하게 됨에 따라 다시 정상 상태로 복귀하게 된다. 본 기기의 사용 시에는 동작 온도 범위에서 기기의 동작 온도에 대한 세심한 분석 및 고려가 요구된다.

· 과부하 계전기 및 과부하 방지 보호 장치

과부하 계전기 및 과부하 방지 보호 장치는 과열 및 고장 감지가 어려운 경우에 사용된다. 계전기의 차단 용량이 시스템의 총 단락전류보다 낮을 경우 종종 모터 드라이버 혹은 배터리 관리 시스템(BMS)등에 장착되며, 보통 회로 내부에서 보호용으로 사용되기에는 부적절하다.

- 보호 협조 및 선택도

보호 장비 혹은 보호 계층의 적용을 통해 발생 가능한 손상은 수 개의 경우로 제한될 수 있다. 보호에 대한 방안 수립 시 이를 통해 발생가능한 문제점을 어느 정도 효과적으로 예방 혹은 보완할 수 있는 지를 면밀히 검토하여 보호 수준을 최대화 할 수 있도록 보호 시스템을 설계하는 것이 중요하다. 또한 유지보수의 관점에서 경제성, 편의성 등을 충분히 고려하여 오동작 발생 형태 및 특성에 따라 사용할 보호회로의 재사용 여부, 동작 특성 등을 고려하고, 이에 따라 유지보수 관점에서 최적화된 보호 대안이 설정되어야 한다. 예를 들어 퓨즈의 경우는, 과전류 발생시 퓨즈 자체가 물리적으로 끊어져 회로를 개방하는 방식으로 동작되지만, 고전류 통전시 높은 열 및 아크가 발생하게 되면, 이에 따라 퓨즈가 다시 붙을 수 있는 가능성이 존재하므로, 적용하고자 하는 대상의 전류 강도를 충분히 고려하여 적용하여야 한다. 즉, 퓨즈를 사용할 경우 발생할 수 있는 문제점을 추가적으로 보완할 수 있도록 복합적인 보호 대책을 수립하여 발생할 수 있는 연쇄적인 문제점들을 충분히 보완할 수 있도록 보호장비는 다중으로 설치되어야 한다.

- 전기자동차용 단락보호 회로 선정에 대한 기타 요소

퓨즈 혹은 차단기의 차단 비율 설정은 차단 동작을 실행하는 기준의 설정 시 회로의 관점에서 명백한 고장으로 판명할 수 있는 최대 전류를 기준으로 설정하는 것이 효과적이다. 회로의 단락에 대한 보호 개체의 차단 비율은 반드시 예측되는 단락 전류보다 높게 설정되어야 하며, 전기자동차를 구성하고 있는 주요 부하 및 전압원인 모터, 배터리 커패시터 등 적절한 지점에 설치될 수 있으며, 단락 보호 장치는 공칭전압(Nominal voltage)보다 최대 전압(Maximum voltage)을 기준으로 선정되어야 한다. 직류(DC) 전압에 대한 보호장비는 AC 의 경우보다 차단 비율이 현저히 감소하게 되며, 이에 따라 직류 전압에 대한 보호장비는 직류 회로 내에서만 적용될 수 있다. 또한 제조사에서 제시한 보호 장비의 동작 사양은 매우 낮은 인덕턴스를 기준으로 책정되므로 모터를 활용하는 전기자동차는 이러한 사항을 고려하여 동작 특성을 더욱 넓은 범위 내에서 산정하는 것이 바람직하다.

퓨즈의 규격은 IEC 60364-42에 따라 도선(Cable)의 최대 허용 전류보다 반드시 낮은 규격이 선택되어야 한다. 퓨즈와 도선의 최대 허용 전류 비율은 퓨즈의 차단동작 속도와 상관관계가 있으며 이를 자세히 설명하면, 고전류가 통전되는 도선에서 낮은 전류에 사용되는 퓨즈를 적용할 시 매우 빠른 시간에 녹아 거의 통전과 동시에 차단이 이루어지게 되는 것을 의미한다. 반대로 도선의 허용전류와 퓨즈의 허용 전류가 큰 차이를 가지지 않을 시 퓨즈의 단절 속도가 늦어 차단동작이 늦어지게 된다. 이러한 사항을 충분히 반영하여 원하는 동작 특성을 명확히 정의한 후 이에 따라 적절한 보호 장비를 선택하는 것이 중요하다.

- 충격 보호

일반적인 전기자동차의 에너지 저장 시스템은 인체에 유해한 수준의 전기적 에너지를 내포하고 있다. 정상 동작 시에는 전선을 감싸고 있는 피복 등과 같이 절연체 등에 의해 전기 계통으로부터 인체와 격리되도록 설계된다. 하지만 전기 시스템과 관련된 전선의 기

본적인 절연성 상실을 대비하여 2차적인 안전 대책을 수립하고 적용되어야 한다. 일반적인 2차적 절연 대책은 아래와 같다.

- 절연저항 모니터링 장치

절연저항 모니터링 장치는 차량 새시와 RESS 사이의 저항을 지속적으로 측정하여 모니터링 할 수 있는 장치를 의미하며, 만약 저항이 감소하게 되면 RESS로부터 전기에너지의 공급을 차단하는 역할을 수행한다. 교류(AC) 30V 혹은 직류(DC) 100V에 대한 절연저항은 $500\Omega/V$ 이 요구되며, ISO 6469-3와 SAE J2578에서는 60V이상의 AC/DC 혼합 회로의 경우 추가적인 차폐장치의 설치가 요구된다. 각 전압에 따른 절연저항은 인체에 대한 영향을 고려하여 IEC 60479-1에 따라 규정된다.

- 고전압 결속 루프

고전압 결속 루프 시스템은 잠재적으로 위험성이 내포된 전압에 대해 소량의 전류 펄스를 송신하는 장치를 의미한다. 만약 시스템에서 연속적으로 신호를 감지하지 못할 시 이 상태는 전기에너지 공급이 단절된 상태임을 의미하며 이를 확인할 수 있다.

- 엔클로저 (Enclosures)

도선의 양 끝단을 제외하고는 PVC 등의 절연물로 차폐되어 있지만, 도선의 양 끝단은 접속부와 출력부와의 연결을 위해 도선의 중심 도체가 노출되어 있다. 엔클로저는 전기가 흐르는 전기적 시스템의 도체 부분에 인간이 직접적으로 접촉하는 위험상황을 방지하기 위해 사용되며, UNECE WP.29회의 결과에 따라 엔클로저를 포함한 고전압 보호부품은 공구의 사용 없이 분해되거나, 제거 및 개방이 되지 않도록 설계될 것을 규정하고 있다. 또한, IEC 60529에서 규정하고 있는 엔클로저의 보호 등급에 대한 표준을 준용하여 차실내는 동 표준안에서 제시된 보호등급 IPXXD를 만족해야 하며, 차실내 이외의 부분은 보호등급 IPXXB를 만족해야 한다. 또한 커넥터 분리 후 1초 이내의 전압이 DC 60V이하, AC 30V(RMS)이하를 만족하여야 한다.

- 전압 버스 방전 계전기

커패시터는 전원 공급이 중단된 이후에도 내부에 전기적 에너지를 포함하고 있기 때문에, 잠재적인 위험이 내포되어 있다고 할 수 있다. 이에 대해 방전 계전기를 활용하여, 분리된 방전용 저항(Resister)를 통해 잔류한 전기에너지를 소비할 수 있도록 활용된다.

- 충돌 센서 (Crash sensors)

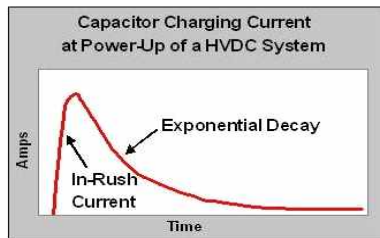
현대 차량에는 에어백과 같이 충돌 등의 상황에서 특정 동작을 수행할 수 있도록 실시간으로 감지를 실시하는 센서들이 사용되며, 전기 에너지의 공급 또한 충돌센서를 통해 충돌상황 발생 시 전기 에너지를 차단하는 방식으로 활용될 수 있다.

- 과도 응답으로부터의 전기 장치 보호

자동차의 주요 부품들은 주기적인 정비 및 관리를 통해 오랜 시간 활용할 수 있다. 최근의 자동차 기술은 다수의 전자장치를 포함하며, 전기적 장치의 경우 과도 응답 등의 전기적 현상은 전자 장치의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 또한 차량에는 반드시 전자기 방사에 따른 외란(EMI)에 대한 내성 검사를 통해 ISO 11451과 CISPR 12의 기준을 만족하여야 한다.

• 배터리 차단 장치

예비 계전기(Pre-charge relay)는 배터리로부터 병렬 형태로 연결되어 돌입 전류의 과도 응답을 예비 계전기를 통해 흡수한다. 돌입전류란, 선로, 변압기, 전동기, 콘덴서 등의 회로의 개폐기를 투입했을 때 순간적으로 증가하지만 즉시 정상상태로 복귀하는 과도전류를 의미한다.



Peak Inrush Current Into Powerline Capacitors Increases with Power-up dV/dt

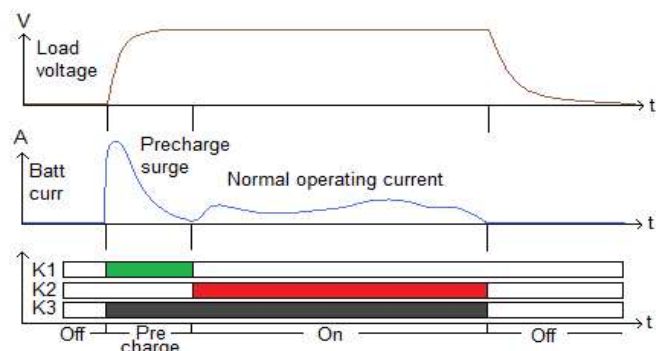
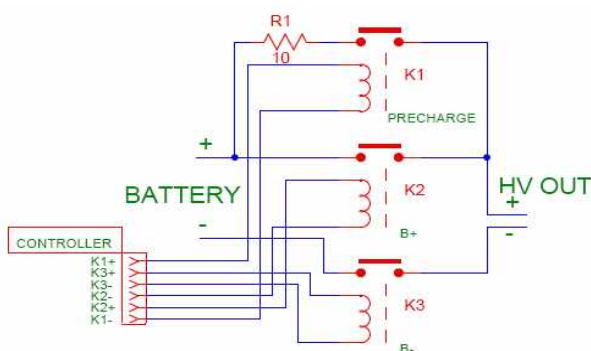
11,000 μ F Powerline Capacitor	Peak In-rush Current at Power-Up of a 15 A Feed			
	1 ms	10 ms	100 ms	1 s
$v = 28$ V	310 A	31 A	3.1 A	0.31 A
$v = 610$ V	6710 A	671 A	67 A	7 A

Color Key:

- Red = High Risk of Tripping the Breaker
- Yellow = Careful Selecting the Breaker Rating
- Green = Good

<그림> 돌입전류의 과도응답 특성 및 전압에 따른 시간에 따른 돌입전류 감소 패턴

이에 예비계전기는 과도 응답 돌입 전류는 커패시터를 통해 흡수되며, 과도응답이 안정화되어 정상상태로 진입할 시 이를 다시 본 회로로 복귀시키는 동작을 실시한다. 예비 계전기를 동작시키는 방법에는 최초 전원 인가 시 일정 시간만큼 예비 계전기가 동작하도록 설정하는 방법과, 전류 센서를 활용하여 측정된 전류값을 참조함으로 정상상태 범위에 진입 시 본 회로로 복귀시키는 방법 등으로 활용될 수 있다.



<그림> 배터리 차단 장치 회로(좌) 및 BDU 동작 패턴(우)

이러한 예비 계전기와, 커패시터, 과도 응답에 따른 전기에너지를 소비하기 위한 레지스

터를 하나의 시스템으로 구성한 것으로 배터리 차단 장치(BDU)라 하며, BDU를 활용 시 앞서 설명한 과도 응답으로부터 전기적 장비의 안전성을 확보할 수 있다.

· 과도 전압 억제 다이오드

단일 입자 또는 광양자가 복수개의 이온을 발생시켜, 이들 이온이 가속 전계에 의해 충분한 에너지를 얻어서 다시 많은 이온을 만들어내는 식으로 이온화가 누적적으로 진행된다. 이러한 현상을 광자 사태라 하며, 본 광자 사태에 의해 정상 동작 상태에서는 매우 높은 저항을 유지하다가 전압의 경계점을 초과할 시 저항이 급격히 감소하게 되는 현상이 발생하며, 이에 따라 기기의 고장이 유발된다. 과도 전압 억제 다이오드는 이러한 높은 단위의 전력으로 인해 저항이 낮아지는 현상을 방지하기 위해 설치되며, 전력을 빠르게 흡수 할 수 있으며, 동작시간이 매우 짧은 시간 주기를 가진다. TVS의 설치 목적은 고전압이 전력선에 과도 전압이 발생 시 손상되기 쉬운 부품을 보호하기 위한 목적으로 활용되며, 과도 전압은 버스와 연결된 접지를 통해 소멸된다. 금속 산화물 바리스터(MOV), 스파크 갭, 가스 튜브 등도 TVS와 유사한 기능을 가지고 있으며, 이에 따라 과도 전압을 억제하기 위해 활용될 수 있다. TVS는 개별 전자장비에 포함되어 설계되기도 하지만, 만약 TVS가 포함되지 않은 전자 장비가 존재한다면 스위칭 시 발생하는 과도 전압으로부터 장치를 보호하기 위해 TVS의 추가적 설치가 요구된다.

· X/Y 커패시터

X/Y 커패시터는 무극성 커패시터이며, 높은 과도전압에도 견디도록 제작된다. X/Y 커패시터의 주 활용 목적은 버스에 존재하는 전기적 노이즈의 흡수와 함께 과도 전압을 정상 수준으로 낮추기 위해 활용되며, X 커패시터는 상(phase)의 사이에 연결되어 대칭 형태의 전기적 노이즈에 효과적인 반면, Y 커패시터는 1개의 상(Phase)와 접지의 형태로 연결되며 비대칭 전기적 노이즈에 사용된다. 더욱 쉽게 설명하면, Y 커패시터는 3개의 상(Phase) 중 1개의 상과 대지와의 접지를 의미하며, X 커패시터는 각 상의 선간 접지를 의미한다.

X/Y 커패시터의 등급은 EN60384-14에 따라 커패시터의 안전 등급과 관련되며, Y 커패시터가 새시 접지와 연결되었다 하더라도 감전의 위험이 존재하며, X 커패시터는 반대로 각 상(Phase) 사이에 설치가 되므로, 고장 상황을 대비하여 추가적인 퓨즈 혹은 유사한 기능을 수행하는 보호 시스템의 구축이 요구된다.

○ Armadillo-T 전력 시스템 설계

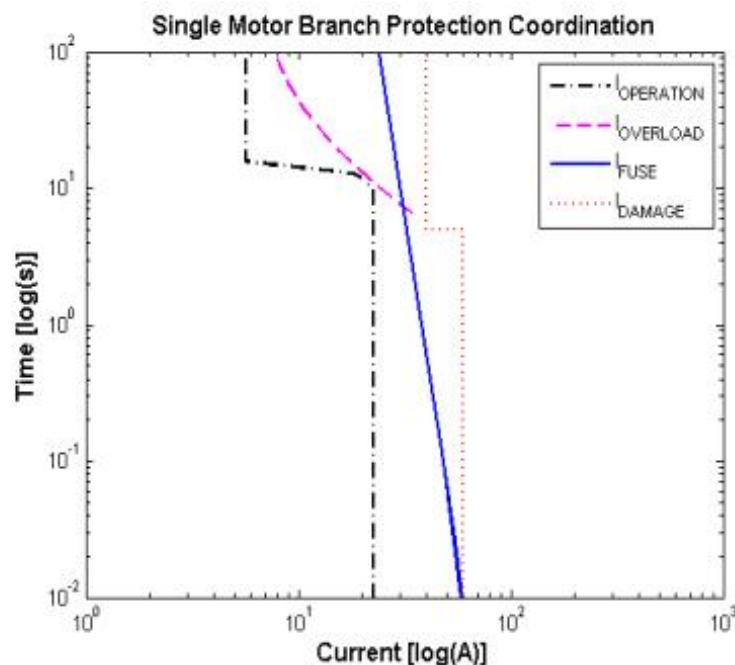
“Armadillo-T”는 최고 속도 60 km/h의 작고 가벼운 2인승 차량을 목적으로 설계되었다. 사용하는 전압원(RESS)는 직류(DC) 185V(70Ah)의 리튬 이온 배터리(Li-Ion battery)이며, 추진을 위한 구동은 3상 교류(AC)에 의해 구동하는 12 kW의 인휠모터(인휠모터) 4개에 의해 이루어진다. 또한, 주차 시 공간 최소화를 위해 접이가 가능한 구조로 설계되었다. 이러한 사항을 반영하여 RESS로부터 전기에너지를 필요로 하는 각 부품에 전기에너지를 공급하도록 시스템을 구성하였으며, 앞서 소개했던 전기적 에너지의 오동작 및 동

작 특성 및 설계 방법에 대해 서술하면 아래와 같다.

<그림> Armadillo-T의 전력 시스템 구성 및 Proto-type

- 회로 단락으로부터의 보호 및 보호 협조

단락 보호를 위한 보호용 퓨즈는 동작속도가 장치를 보호하기에 가장 안정적인 이유로 반도체 보호 퓨즈(Semiconductor-protecting fuse)를 선택하였다. 본 퓨즈는 전기자동차 내 다수의 시스템에 맞춘 형태로 설치가 가능하며 비용 측면에서 저렴하다는 장점이 있다. 과부하로부터의 보호는 배터리 관리 시스템(BMS)과 모터 제어기 내 설치되었으며, 접지 불량으로부터의 보호는 분리된 보조 시스템을 설치하는 방법으로 구축하였다. 기기의 비정상 동작에 따른 보호 협조 성능은 아래 그림과 같이 확보되었다.



<그림> 각 모터 연결회로에 대한 보호 협조 성능

배터리 충전 혹은 방전 중 발생할 수 있는 단락으로부터 전력 시스템에 연결된 장치의 손상을 방지할 목적으로 80A의 반도체 보호 퓨즈를 RESS 출력단에 설치하였다. 이에 따라 RESS 출력단에 20초 동안 100A의 전류가 흐를 경우 BMS에서 전기 접속을 차단하도록 설정하였다. 또한 단락 전류가 180A 이상으로 발생하지 않을 경우 퓨즈는 단선이

되지 않는다.

2차 보호층으로는 전력시스템으로부터 파생된 분기회로의 입력 단에 15A의 반도체 보호 퓨즈를 설치였다. 폴리염화 비닐(PVC)로 차폐된 최대 허용 전류 26A의 2.50mm² 동축 케이블을 각 분기회로에 전력을 공급하기 위한 전력공급선으로 사용하였으며, IEC 60364-4-43과 60269-2-1에서 요구사항을 만족하였다. 또한 퓨즈의 크기는 단락 시 빠르게 동작할 수 있도록 고려되었다. 모터 드라이버는 누적 과전류 문제, 모터 및 드라이버의 과열 등에 대한 보호 장치가 설치되어 있다.

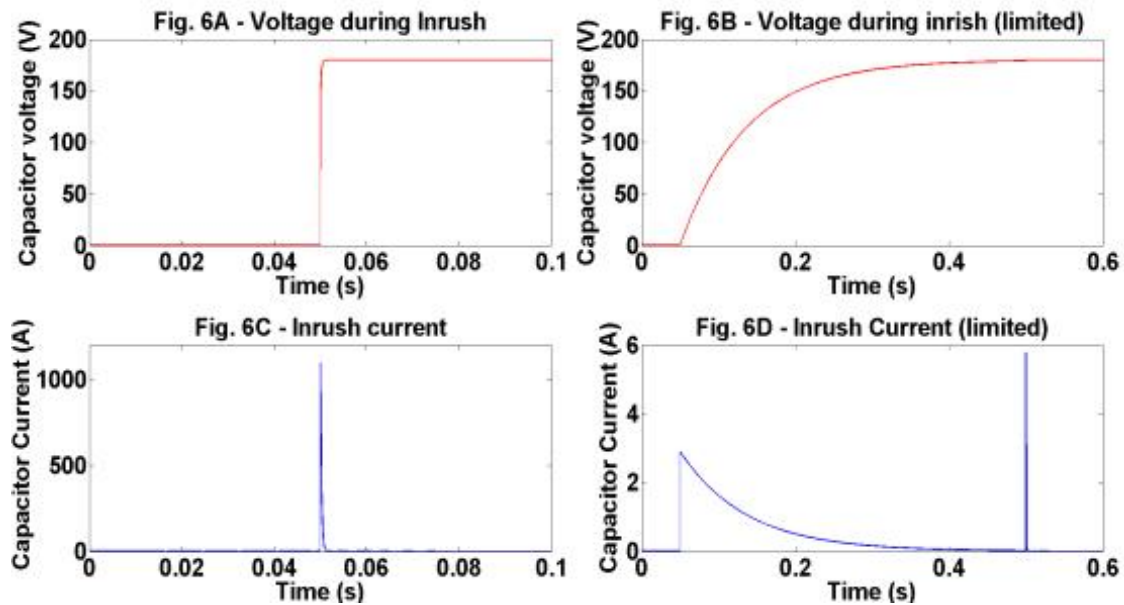
- 충격 보호

차량 내 모든 고전압 회로는 부동 접지(floating ground)가 설치되며, RESS에는 출력단과 차량 새시 사이의 전기적인 절연성을 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 절연 모니터링 시스템을 장착하였다. 만약 절연 수준이 500Ω/V 이하로 감지되면 경고표시가 발생하며, 절연 수준이 100Ω/V 이하로 감지되면 차량이 운행 중인 상황이 아닐 경우 배터리 차단 장치(BDU)를 통해 RESS의 출력단과 연결되어 있는 전기적 접속을 차량의 전기적 장치와 차단하는 동작을 실시한다.

- 과도 응답 및 결함으로부터의 전자 장비 보호

· 배터리 차단 장치(BDU) 및 예비 계전기

전기 시스템의 장기적 신뢰성 확보를 위해 차량에는 예비 계전기(Pre-Charge relay)를 포함한 배터리 차단 장치(BDU)가 배터리 출력단 중 음극에 장착하였다. 50ms 후에 배터리의 양극은 시스템 62Ω의 저항에 500ms 동안 연결되어 과도 전류를 소비하게 된다. 이후 배터리의 주 계전기가 연결되고 이때 예비 계전기와 주 계전기가 동시에 연결된(bypassing) 상태로 동작을 하며, 동시 연결 상태 발생 50ms 후에 예비 계전기는 개방되어 정상 동작 상태에 진입하게 된다. 예비 계전기의 제어방법은 앞서 설명한 바와 같이, 전류 센서에 의한 방식과 시간차 동작 방식 등 2가지가 존재하며, 본 차량에는 전류 센서에 따른 측정치를 참조하는 방법에 비해 회로의 설계가 간편하며 추가적인 장치의 감소를 통한 기기의 복잡도 저감을 이유로 시간차 동작 방식을 채택하였다. 안전을 위해 예비 계전기가 동작하는 시간 동안은 차량의 운영이 불가능하도록 설정하였으며, BDU에 의해 주 계전기가 정상적으로 동작하여 주 회로를 통해 전력을 공급하는 것이 차량 내 제어기를 통해 확인된 이후에 동작이 가능하도록 설계하였다.



<그림> 예비 계전기 설치 여부에 따른 돌입전류 비교

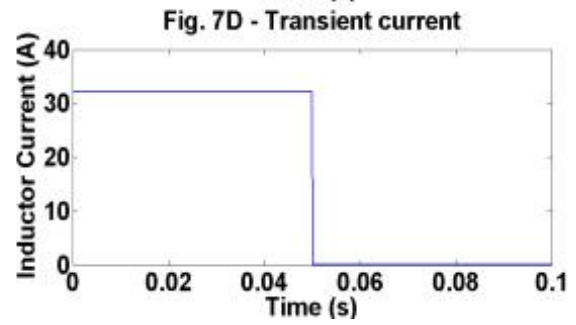
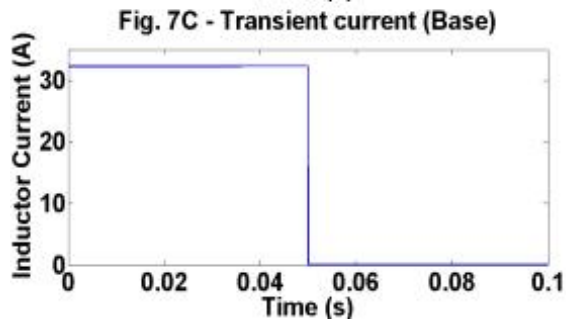
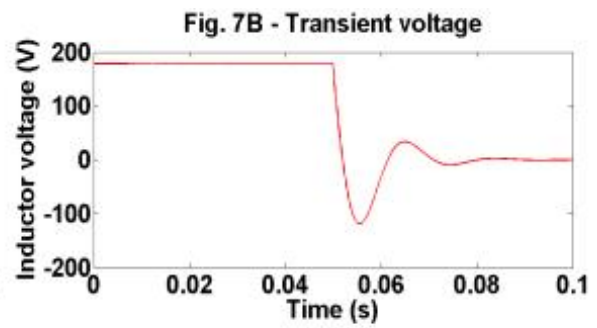
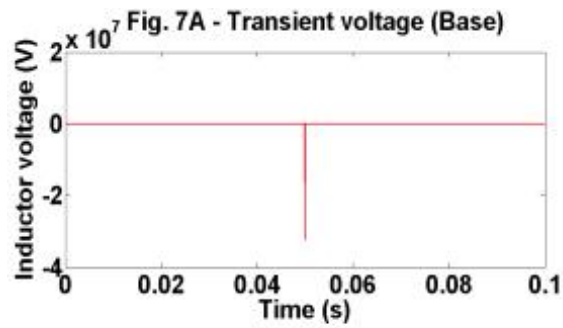
과도응답에 대한 보호 시스템이 구비되지 않은 경우, 매우 짧은 시간 안에 돌입 전류가 1kA 이상까지 상승하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 예비 계전기가 포함된 BDU를 활용 시에는 돌입 전류를 3A 이하로 제한할 수 있다. 예비 계전기에서 주 계전기로 전환하는 과정에서 약간의 전류가 상승하지만 이 또한 6A 이하로 제어되기 때문에 시스템 공칭 전류 이하에서 안정적으로 동작한다고 할 수 있다.

· 과도 전압 억제 다이오드

TVS는 차량의 주 인덕턴스인 모터와 가까이 설치하였으며, 다이오드의 용량은 K. Walters(1999)가 제시한 TVS 선정 방법을 통해 과열과 같은 위험상황 중 배터리 관리 시스템(BMS)이 최대 전류를 송출중인 RESS로부터 차단할 경우와 같이 최악의 상황을 가정하여 산출하였다. 각각의 TVS는 회전자가 고정된 상태에서 모터에 존재하는 인덕턴스 에너지를 소비할 수 있는 규격으로 선정하였다. 리튬이온 배터리인 RESS 또한 스위칭 동작 시 높은 전압 상승이 이루어질 수 있으며, 이에 따라 BMS 부품이 손상될 수 있다. 이를 방지하고자 RESS 배터리와 배터리 관리 장치(BMU)의 사이에 TVS를 설치하여 기기가 손상될 위험을 최소화 하도록 설계를 실시하였다.

· EMI & 노이즈

차량 내에는 X 커패시터와 Y 커패시터를 모두 장착하였으며, Y 커패시터는 EN 60384-14에 따른 정격 커패시터를 사용하였다. 차량 내 고전압 회로 등 X 및 Y 커패시터의 장착이 필요한 지점에 설치를 실시하였으며, X/Y 커패시터의 설치를 통해 제어 회로 내 인덕션 노이즈의 감소를 통한 안정적인 동작이 이루어지도록 시스템을 설계하였다. 회전자 전류가 존재하지 않지만 모터가 구동하는 상태에 대한 Switch-off에 대해 시뮬레이션을 실시하였을 때의 전압/전류를 분석하였다. 시뮬레이션의 정확도는 실제의 상태를 그대로 반영할 수는 없지만, 본 시뮬레이션을 통해 실제 출시되어 있는 퓨즈, 계전기 등을 선택하고 적용하는 과정에서 과도 전압에 대한 안정적 특성을 확인하여 이에 대한 선택의 기준으로 활용할 수 있다.

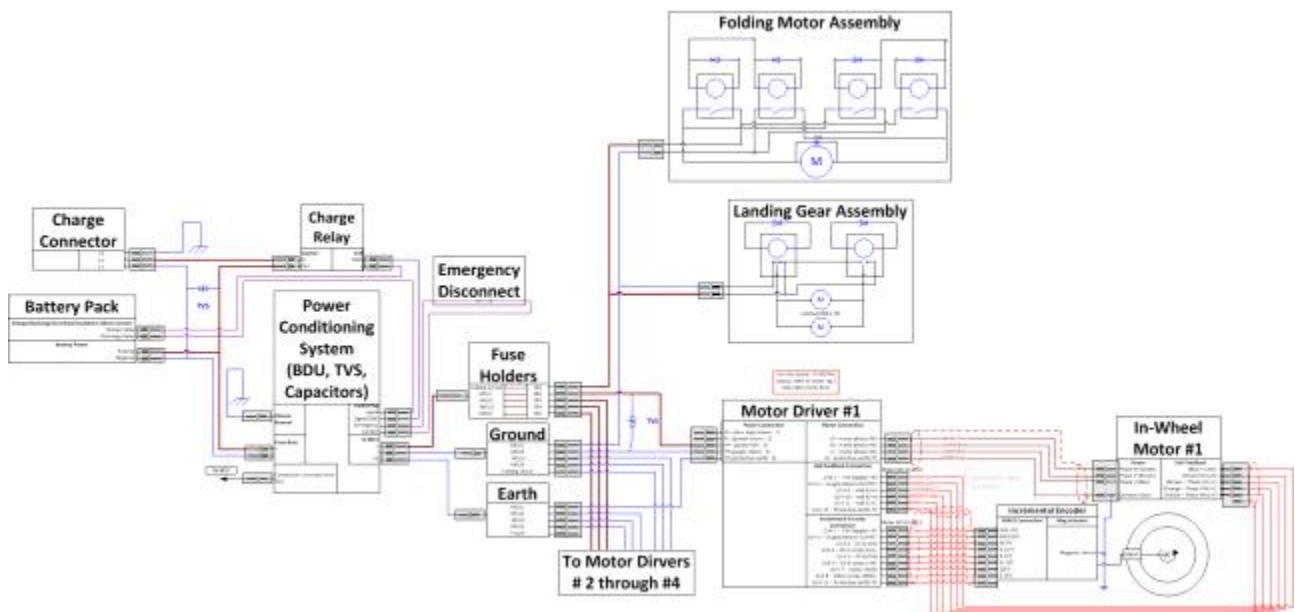


<그림> TVS 다이오드와 커패시터 설치 여부에 따른 스위칭 과도응답 비교

라. 전력 제어 시스템 설계

○ 전력 시스템 개요

전력 제어 시스템은 크게 전기 에너지를 공급해주는 전압원, 전기 에너지를 전달하는 송전선로, 그리고 전기 에너지를 사용하는 부하 등 3가지로 구분할 수 있다. 즉, 전기자동차에 있어 전력 시스템이란 배터리로부터 방전된 전기 에너지가 도선을 거쳐 최종 부하인 모터에 전달되기 위한 일련의 체계를 말한다. 본 전력 시스템을 구축하는데 있어서는 많은 장치가 적용되며, 각 장치가 안정적으로 올바르게 동작할 수 있도록 시스템을 최적화하는 것이 전력 시스템의 구축에 있어 목표하는 바라 할 수 있다. 이를 위해선 각 부품에 대해 이해하고 이를 분석하여 효과적으로 활용할 수 있는 방안에 대한 분석이 필요하다. 전력 시스템은 크게 전력을 전달하기 위한 시스템과, 안전성 확보를 위한 시스템 등 2개의 시스템으로 구분되어 설명할 수 있으며, 본 장에서는 전력을 전달하기 위한 시스템을 설명하고, 다음 장에서 전기 안전성을 위한 시스템을 소개한다.

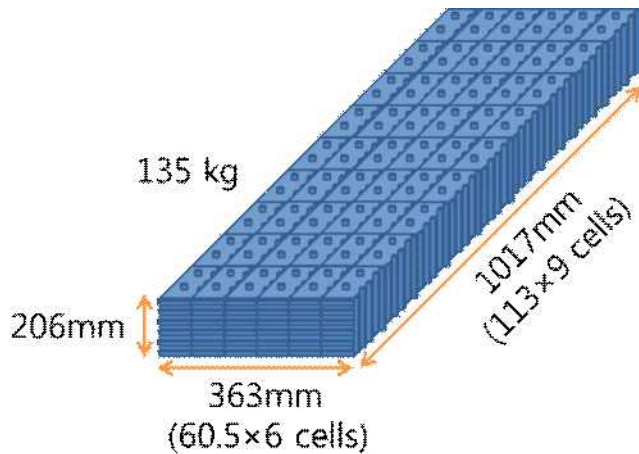


<그림> 접이식 초소형 차량의 전력 시스템 회로도

○ 주요 전력 시스템 구성 장치

- 에너지 저장장치(RESS)

에너지 저장장치는 전기자동차의 주 동력원으로서 차량 내 전기적 에너지를 필요로 하는 모든 부품에 대해 전기를 공급해주는 역할을 수행한다. 에너지 저장장치는 다수의 배터리 셀을 패키징하는 방법으로 구축하였으며, 이때의 최대 전압은 194.4V로 구성하였다. 이는 배터리로부터 공급되는 전기 에너지를 PWM 방식으로 변환하여 모터에 에너지 공급 및 제어를 실시하는 Elmo driver의 최대 허용 전압이 195V로 제한되어 있기 때문이다.



구분	명칭	전기적 사양
용량	공칭 용량	70Ah@0.3C
	최소 용량	70Ah@0.3C
전압	공칭 전압	3.2V
임피던스	내부 임피던스	$\leq 1\text{m}\Omega$
충전전류	정격 충전전류	0.3C
	최대 충전전류	3.6V
방전전류	정격 방전전류	0.3C
	최대 방전전압	2.5V
SOC	권장 SOC	10%~90%
허용온도	충전 시 허용온도	0°C~45°C
	방전 시 허용온도	-20°C~55°C
보관온도	보관 온도(1달 이내)	-20°C~45°C
	보관 온도(1년 이내)	-20°C~20°C
습도	습도	< 70%
무게	배터리 셀당 무게	약 2.5kg
재질	표면 재질	플라스틱

<그림> 배터리 패키징 및 배터리 사양

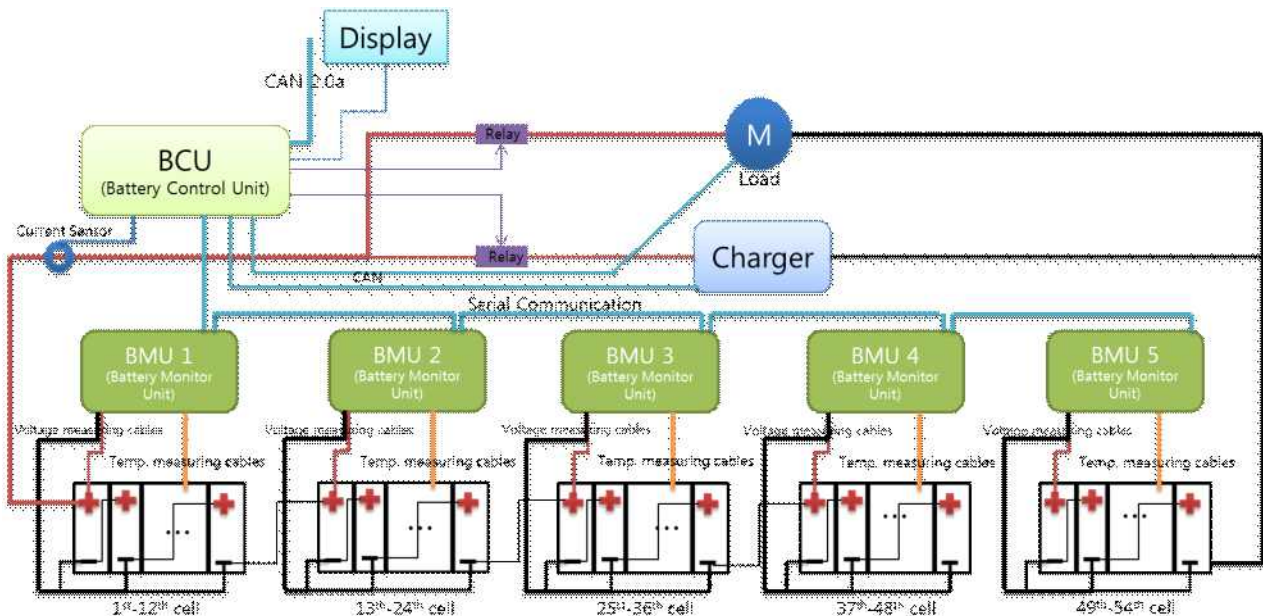
또한 배터리는 케이스를 통해 외부의 충격 등으로부터 보호되도록 설계하였으며, 습도로부터의 보호 및 자동차의 움직임에 따른 배열의 흐트러짐을 방지하기 위한 장치가 설치될 수 있으며, BMS 등 보호회로의 탑재를 고려하여 케이스의 규격을 산출한다. 배터리는 플라스틱을 표면재질로 선택하였으며, 각 배터리 셀 간 절연특성 및 온도의 상승 등을 고려하여 배터리 사이에 공간을 두는 배치 또한 고려하였다. 하지만 기술적인 관점에서 상시적으로 움직이는 차량에 대한 배터리의 사이에 공간을 두는 것은 물리적인 위험도 측면에서 더욱 불안정하며, 절연 및 온도의 상승 등에 대해서 또한 문제가 발생하지 않아 조밀한 구조의 배터리 셀 배치를 채택하였다.



<그림> 배터리 셀 배치 및 결선을 포함한 케이싱

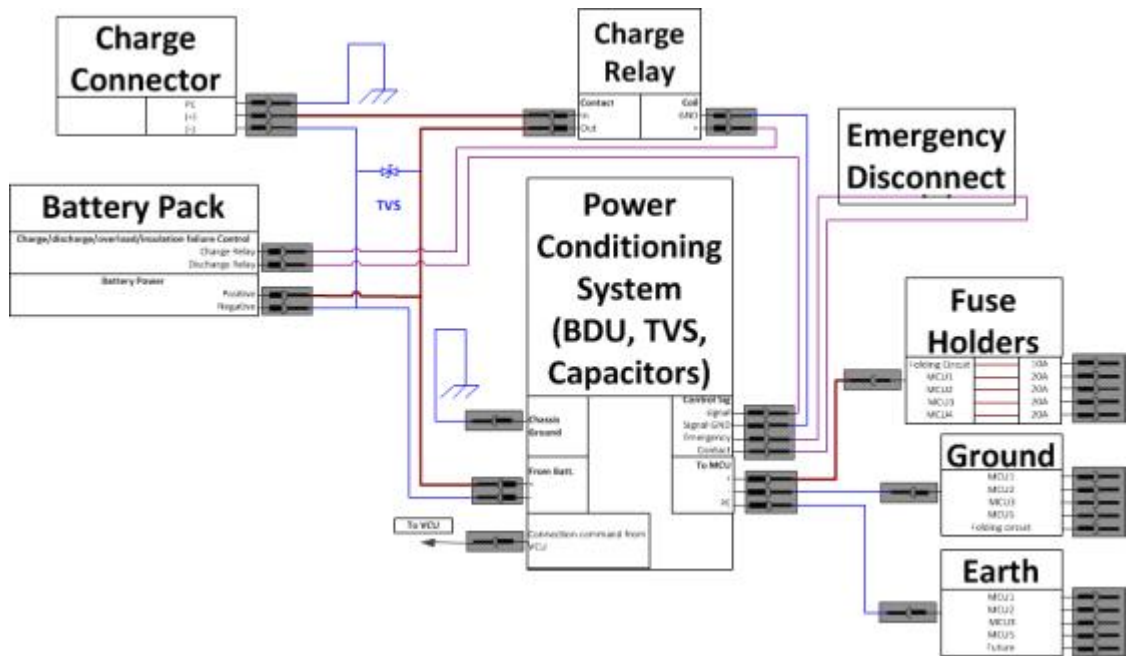
- 배터리 관리 시스템 (BMS)

BMS는 RESS로부터 출력된 전기에너지의 상태를 모니터링 하며, driver에 전달되기 직 전까지의 역할을 수행한다. driver는 전달된 직류 전압을 3상 PWM 형태로 변환하여 최종 부하인 모터에 전달하는 역할을 수행한다.배터리 시스템은 1차년도 분석 결과를 바탕으로 Ligoo사의 BMS인 EK-FT-11'를 사용하였다. 현재 차량에 장착된 BMS의 부품은 5개의 BMU(Battery Monitor Unit), 1개의 BCU(Battery Control Unit), 1개의 LCD, 1개의 전류 센서이며, 각 장치는 규격화된 케이블로 연결할 수 있다.



<그림> 배터리 관리 시스템 개념도

BMU 1개에는 12개의 배터리 셀이 장착될 수 있으며, 현재 54개의 배터리 셀로 구축된 RESS의 관리를 위해 총 5개의 BMU가 연결되어 있다. 5개의 BMU는 각 배터리 셀의 SOC 상태, 동작 상태 등에 대한 정보를 BCU로 전송하며 BCU는 BMU로부터 전송받은 정보를 바탕으로 배터리를 관리한다. BMS 상태의 실시간 파악과 설정 변경을 위한 컨트롤러의 역할을 수행하기 위해 터치형 LCD를 지원하며, 전류 센서를 통해 누전 여부를 확인하는 기능 또한 BMS에서 지원한다. BMS는 모니터링 및 보호 동작을 목적으로 하기 때문에 전체 회로도 상에서 각각의 전력 제어부에 수 개의 보호회로와 함께 구축된다. 이에 따라 BMS에서 보호가 어려운 위험상황에 대해서 부가적인 보호회로를 함께 구성하여 차량의 안전성을 더욱 극대화할 수 있도록 전력 시스템을 구성하였다. 또한 BMS를 통해서 충전이 가능하며 제공되는 소프트웨어를 활용하여, 원하는 수준의 충전량 및 충전 전압을 설정할 수 있으며, 경우에 따라서 충전기를 차량 내부에 탑재하여 온 보드 충전기 (On-Board Charger) 시스템을 구성할 수 있다.



<그림> 전력 시스템 상에서의 BMS 설치 위치

• 배터리 제어 장치 (BCU)

BCU는 배터리 팩의 SOC를 BMU와의 통신을 통해 동적으로 측정하며, 충전 및 방전에 따른 전류를 전류 센서를 통해 실시간으로 감지한다. 외부에 설치된 BMU와의 통신, 완성차 제어 및 충전과 외부 전압, 온도, 결함 코드, 제어 커맨드 및 정보를 위한 3 CAN 인터페이스를 제공하며, 이를 통해 과 충전, 과 방전과 같은 결함 발생 시 LCD화면에 나타난 결함 상태에 따라 BCU가 보호 동작을 실시한다. 8 Gbyte의 저장소를 제공하여 장기간의 배터리 팩 동작 시, 충전 및 결함 발생에 대한 모든 parameter를 저장하고, 전원 인가 후 BMU의 정상적 동작 상태를 확보하기 위해 시스템을 자가 진단하는 기능이 구현되어 있다. Wireless 통신 인터페이스를 장착하여 외부 DTU 모듈을 통해 4개의 원격 기능으로 관리가 가능하다.

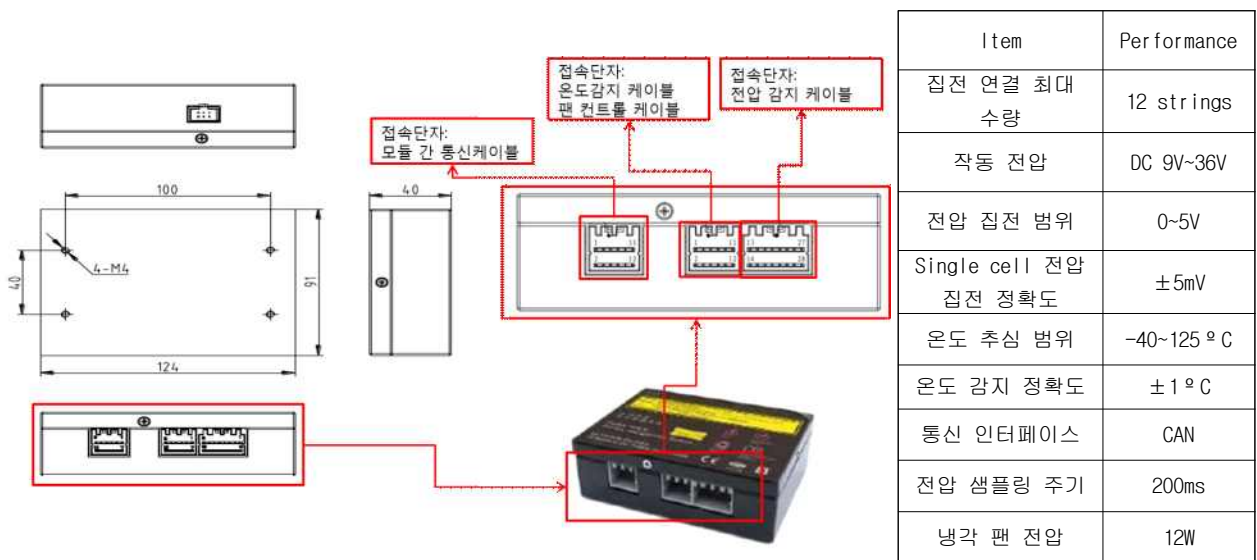
<표> BCU 주요 기능 및 동작 특성

Item	Performance
작동 전압	DC 12V/24V
전류 감지 범위	±500mA(optional)
전류 감지 정확도	±1%
SOC 측정 오차	≤5%
디스플레이	총 전압, 총 전류, 최대, 최소 전압 및 시리얼 넘버, 배터리 1개당 전압, 박스 온도, 충전 및 방전 상태, 과 충전 즉시 알람, 부족 충전 즉시 알람, 과 방전 즉시 알람, 과열 즉시 알람 및 절연 즉시 알람 등.
알람 (Alarm)	1단계 알람: 알람 정보가 디스플레이에 표시되며 통제 제어는 동작하지 않음 ● Single cell 전압 ≤3.0V; ● 100 /V ≤ 절연강도 ≤ 500 /V; 2단계 알람: 알람 정보가 디스플레이에 표시되며 충전, 방전 회로 연결이 차단됨 ● Single cell 전압 ≤2.5V or Single cell 전압 ≥3.9V; delay: 5-30S; ● 박스 온도 ≥ 75 °C; ● 절연강도 ≤ 100 /V;
충전제어모드	제어를 위한 CAN bus와 relay의 사용 ● Single battery의 cell 전압이 ≥3.65V일 때 CAN과 충전기와 통신이 실행되며, 전류값이 smooth

	curve 형태로 점차 감소 ● Single battery의 cell 전압이 $\geq 3.9V$ 일 때 30초 지연 후 충전기 출력이 연결 해제 ● Single battery의 cell 전압이 $< 3.4V$ 일 때 충전기 다시 작동 ● 박스 온도가 $\geq 75^{\circ}C$ 일 때 충전기 상태가 비정상임으로 간주하고 충전 회로는 연결 해제
방전 제어	배터리 과방전 제어를 위한 CAN과 고전압 relay의 사용 ● CAN이 장착된 상태에서 Single battery의 cell 전압이 $\geq 3.0V$ 일 때 모터 출력 감소 ● Single battery의 cell 전압이 $\geq 2.5V$ 일 때 5~10S 지연 후 모터 출력 연결 해제 ● 박스 온도가 $\geq 75^{\circ}C$ 일 때 방전 회로 연결 해제

· 배터리 관리 장치 (BMU)

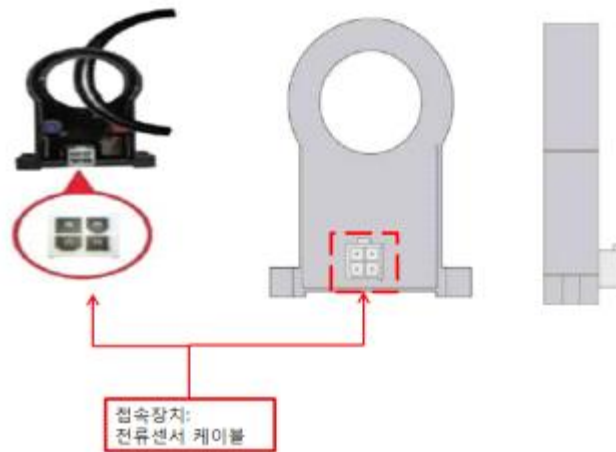
BMU는 BCU와 연결되어 배터리 제어를 위해 필요한 정보를 수집하고 이를 송신하는 역할을 수행한다. 배터리 각 셀에 대한 독립적인 실시간 전압 감지와 함께, 장치 내 1~3개의 온도 센서 설치로 실시간 온도를 모니터링한다. 전압 전송, 박스 온도 등 각 배터리 팩 내의 각 Cell에 대한 정보를 CAN bus를 통해 BCU로 전송하며, 배터리 셀 간의 전압 불균형에 대해 균형 관리 제어를 실시하여 셀간의 전압차를 최소화하도록 동작하며, 배터리의 냉각과 가열 상태를 관리하여 배터리 수명 향상을 도모한다. BCU와 마찬가지로 외부적 프로그램 다운로드 인터페이스의 설치로 30초 내 업그레이드 시스템 사용이 가능하다.



<그림> BMU 인터페이스 및 동작 특성

· 전류 센서 (CS)

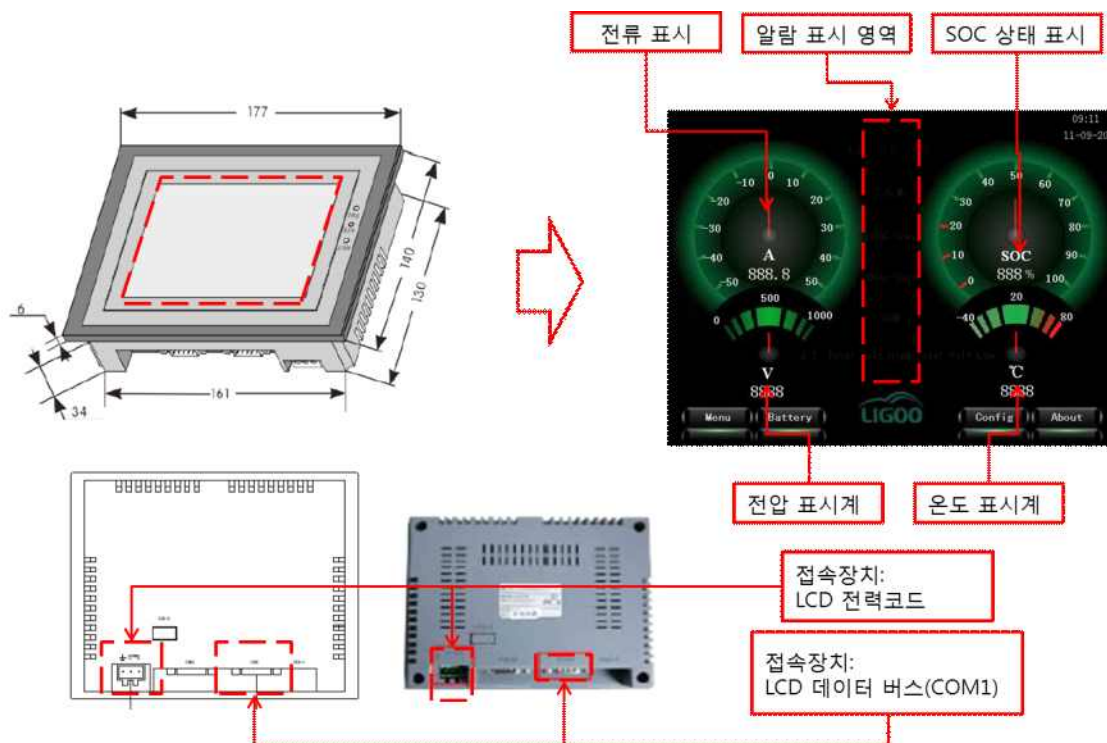
전류 센서는 개방 회로 전류 센서를 통해 배터리 시스템의 누전 여부를 검출하는 기능을 수행한다. 검출 범위는 50A~1000A 내에서 선택하여 사용할 수 있으며, 감지한 전류 값을 통해 보호 장치의 참조 값으로 활용하는 것 또한 가능하다.



<그림> 전류 센서

· 터치형 디스플레이 (LCD)

사용자가 기계의 동작 상태를 파악하기 위한 화면 장치로서, LCD 디스플레이 인터페이스는 모든 동작 parameter 및 시스템의 결함 상태를 화면에 표시한다. 3.5인치 터치입력을 지원하는 디스플레이로서 제어파라미터를 조정할 수 있으며, LCD 장치에 장착된 3개의 램프는 1개의 녹색과 2개의 노랑색 등 총 3가지 종류가 있다.



<그림> 터치형 디스플레이

- 녹색 LED : LCD 디스플레이에 정상적으로 전원 인가
- 노랑 LED (RUN) : 정상적인 디스플레이 동작 상태
(램프가 켜지지 않았다면 LCD동작에 결함이 있음을 의미)
- 노랑 LED (COM) : BMS와 정상적으로 연결

· 케이블 (Cable)

BMS의 각 장치는 다양한 종류의 케이블로 연결되며, 각각의 케이블은 인터페이스의 형태가 서로 달라 조립이 용이하다.

<표> 각 케이블 명칭 및 사양

번호	케이블 명칭	사양
1	전압 감지 케이블	0.5 고온 와이어; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 1.5-8 저온압축 터미널
	온도 감지 케이블	2×0.5 고온 와이어; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 온도 센서
	팬 파워 코드	2×0.5 파워 코드; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
2	모듈간 통신 케이블	3×0.5 차폐선 및 2×1.0 고온 와이어; 단자 한쪽은 MOLEX12PIN 커넥터; 반대편은 6PIN AMP 커넥터
3	전원 코드	2×0.5 전원 코드; 단자 한쪽은 MOLEX12PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	마스터-슬레이브 전원 코드	2×0.5 전원 코드; 단자 한쪽은 MOLEX12PIN 커넥터; 반대편은 6PIN AMP 커넥터
	방전 릴레이 케이블	2×0.5 전원 코드; 단자 한쪽은 MOLEX12PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	입력신호 케이블	2×0.5 전원 코드; 단자 한쪽은 MOLEX12PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
4	방전 CAN 케이블	3×0.5 차폐선; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	충전 CAN 케이블	3×0.5 ;차폐선; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	충전 릴레이 케이블	2×0.5 전원코드; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	선(pre) 충전 릴레이 케이블	2×0.5 전원코드; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	충전 스위칭 신호 케이블	2×0.5 전원코드; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
	방전 스위칭 신호 케이블	2×0.5 전원코드; 단자 한쪽은 MOLEX20PIN 커넥터; 반대편은 커넥터 미 부착
5	전류센서 케이블	4×0.5 차폐선; 단자 한쪽은 MOLEX8PIN 커넥터; 반대편은 5569(2×) 통신 터미널
	USB 통신 케이블	4×0.5 차폐선; 단자 한쪽은 MOLEX8PIN 커넥터; 반대편은 USB 인터페이스
6	마스터-슬레이브 통신 케이블	3×0.5 차폐선 및 2×1.0 고온 와이어; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 6PIN AMP 통신 커넥터
	화면 통신 케이블	3×0.5 차폐선; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 DB9 터미널(통신) 및 2PIN 플러그
	절연 통신 케이블	3×0.5 차폐선 및 2×0.5 전원 코드; 단자 한쪽은 MOLEX28PIN 커넥터; 반대편은 AMP6PIN pin-type 커넥터

- 충전 시스템 (Charging System)

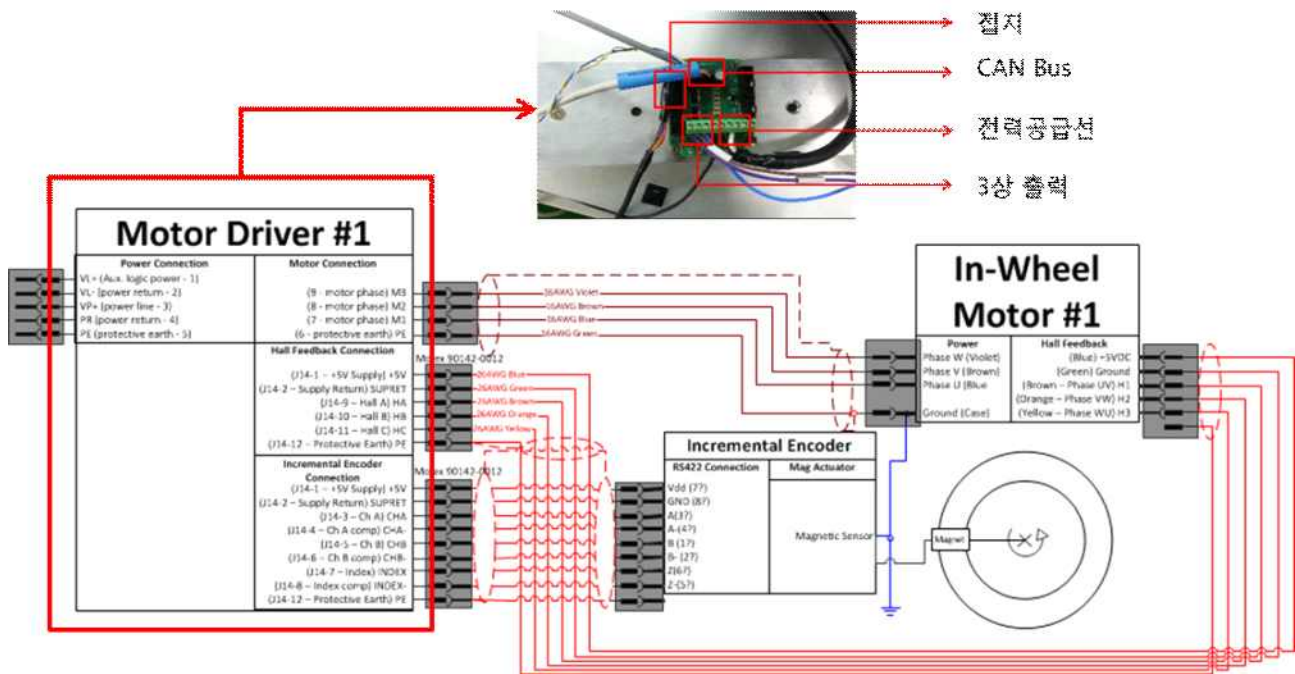
배터리 관리 시스템은 충전기와 통신하여 충전요청량 정보 및 완속/급속 등의 충전모드정보를 충전시스템에 전달한다. 충전기는 최대 전압 233.3V, 최대 전류 40A로 약 8kW의 출력을 가진다. 또한, 정전류/정전압 충전 기능을 지원하여 안정적인 충전 상태를 유지할 수 있다. 충전기의 설정 변경 또한 지원하며, 충전기 설정의 변경은 컴퓨터 소프트웨어 및 CAN2.0b 및 SAE J1939 프로토콜을 통해 접속하여 변경할 수 있다.

<표> 충전기 사양

기능	사양
최대 전압[VDC]	233.3
최대 전류[ADC]	40
입력 전압[VAC]	85~265
입력 주파수[Hz]	45~65
최대 부하 효율[%]	>93%
기계적 충격 및 진동 저항 수준	SAE J1378 표준 준수
엔클로저	IP46
동작 온도[° C]	-40~55
저장공간 온도[° C]	-40~100
충전 제어	CAN bus

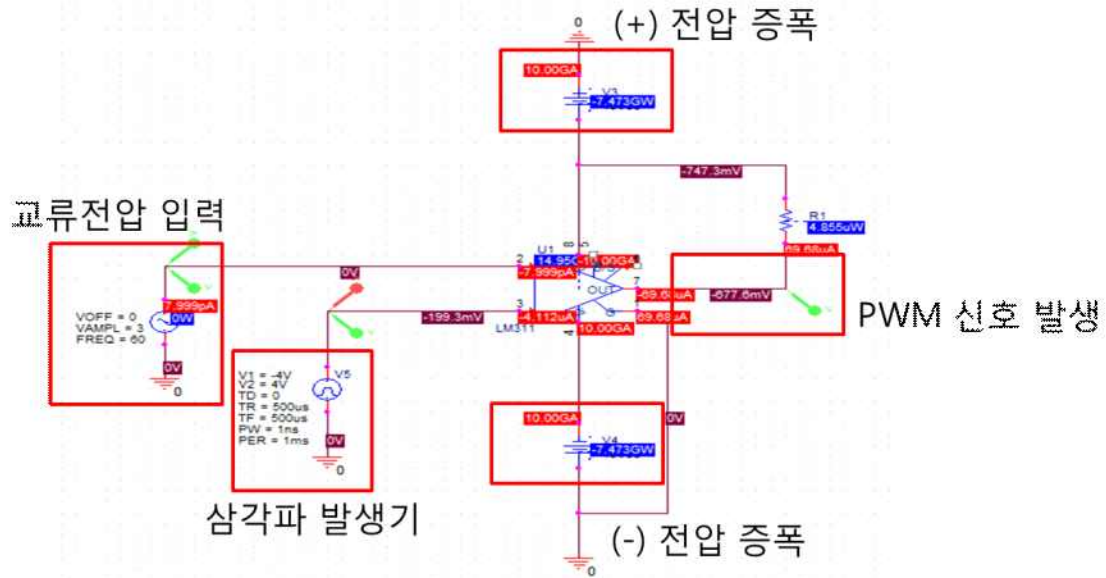
- 모터 드라이버

모터 드라이버는 BMS로부터 공급되는 전류를 수신받아 3상 PWM 전력을 모터에 공급함과 동시에 공급 전력의 조절을 통한 모터의 제어를 목적으로 설치된다. 이에 따라 전체 전력 시스템에서 드라이버가 설치되는 지점은 모터의 바로 앞 단이며 회로도에는 아래와 같다.

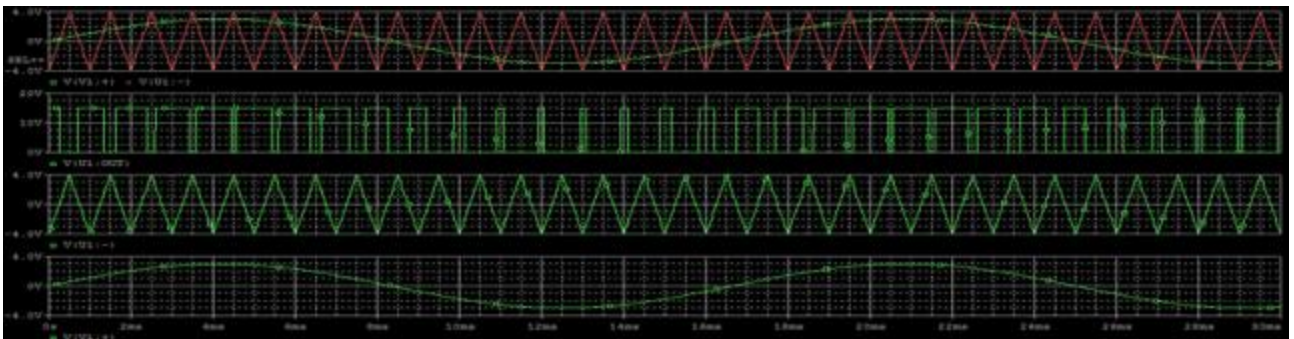


<그림> 모터 드라이버와 인휠모터 연결

모터 드라이버는 직류(DC) 전압을 3상 교류 PWM 파형으로 변환하여 모터에 전력을 공급함과 동시에 제어하는 역할을 수행한다. PWM 방식은 sine 파형을 가지는 3상 교류 전압으로부터 임의의 파형을 생성하여 임의의 파형과 sine 파형의 교점을 기준으로 구형파를 생성하는 방식을 말한다. 임의의 파형과 sine 파형의 교점은 어떤 위상에서 만나느냐에 따라서 펄스 전압이 달라지므로 이를 균일한 수준의 PWM 전압으로 생성하기 위해선 OP-Amp를 통해 PWM 파형을 증폭시키는 방식으로 활용된다.

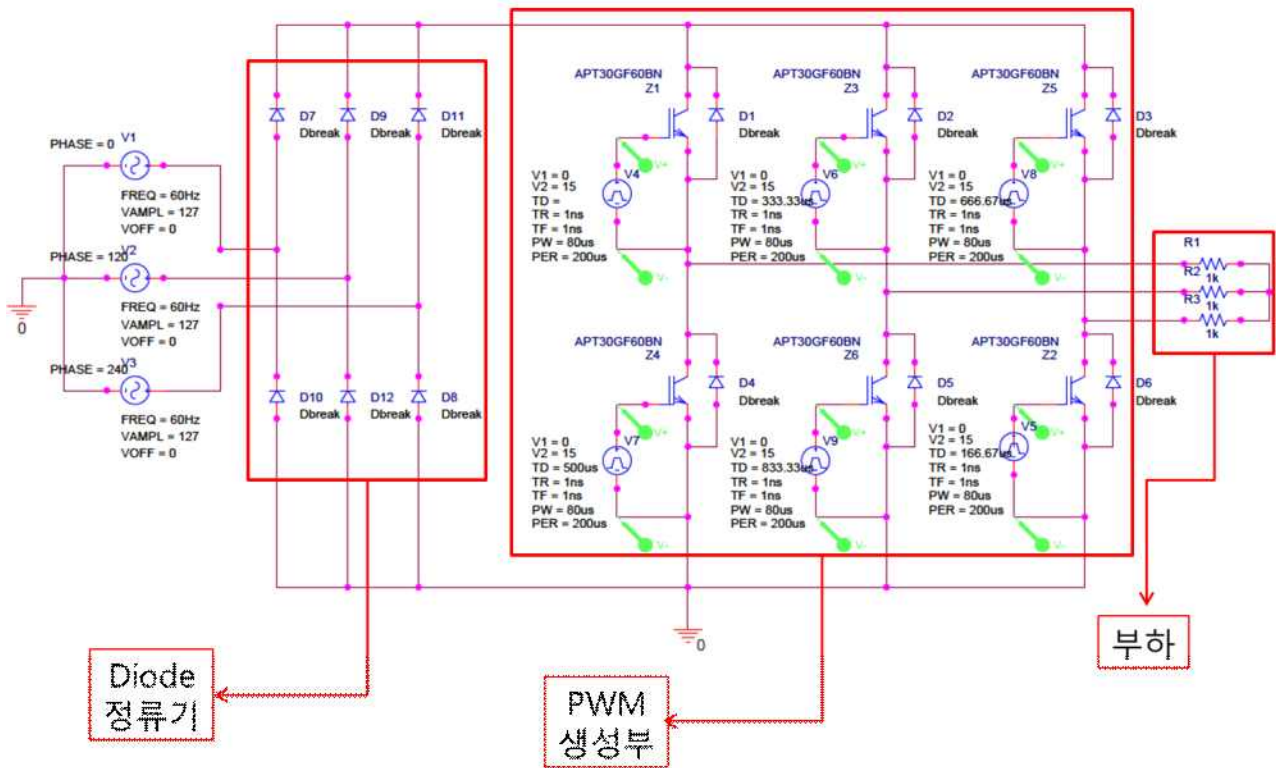


<그림> OP-Amp 회로도

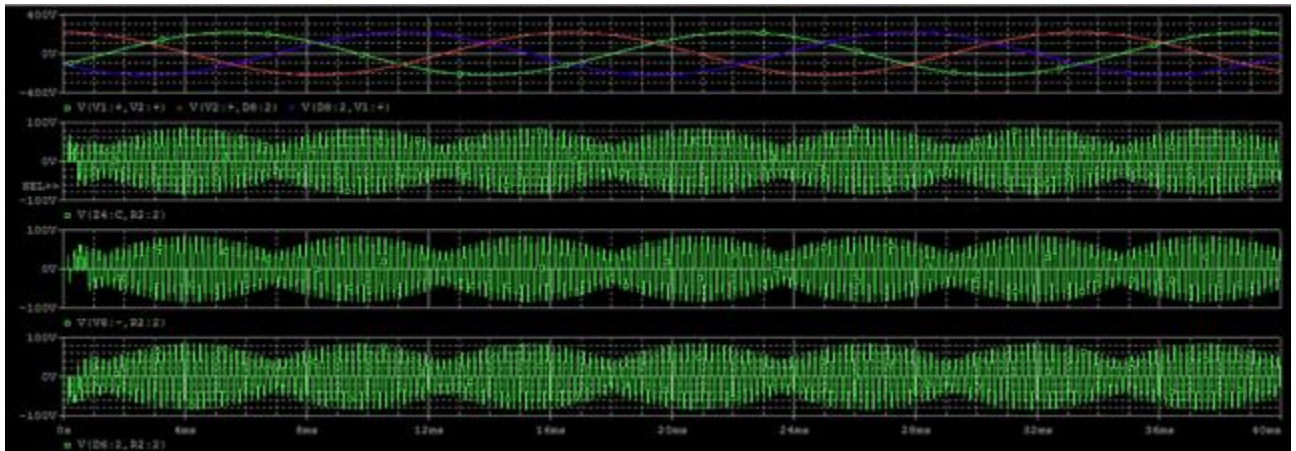


<그림> AC 전압과 삼각파형의 교점에 따른 PWM 파형의 생성

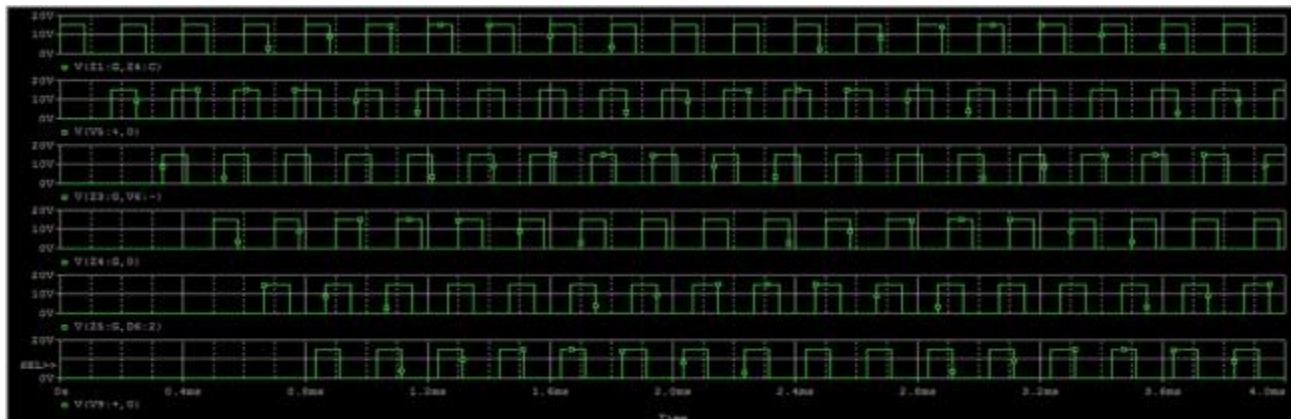
이러한 OP-Amp 동작 모듈을 6개로 구성함으로써, 직류전류를 3상 교류 PWM 형태로 변환할 수 있다. PWM 생성 이전에는 전류가 한 방향으로만 흐를 수 있도록 다이오드 정류기를 설치하며, 360°의 위상차를 가지는 교류 전압에 대해 각 120°의 위상차를 설정함으로써 각각의 상이 서로 순차적으로 PWM 신호를 발생시킨다. 이러한 전력의 변환과정을 통해 직류전압을 공급하는 RESS로부터 3상 교류전압을 인가받는 인휠모터(인휠모터)에 효과적으로 전력을 전달할 수 있다.



<그림> 직류-교류 PWM 파형 inverter



<그림> 3상 교류전압과 임의의 파형과의 교점에 따른 PWM 파형

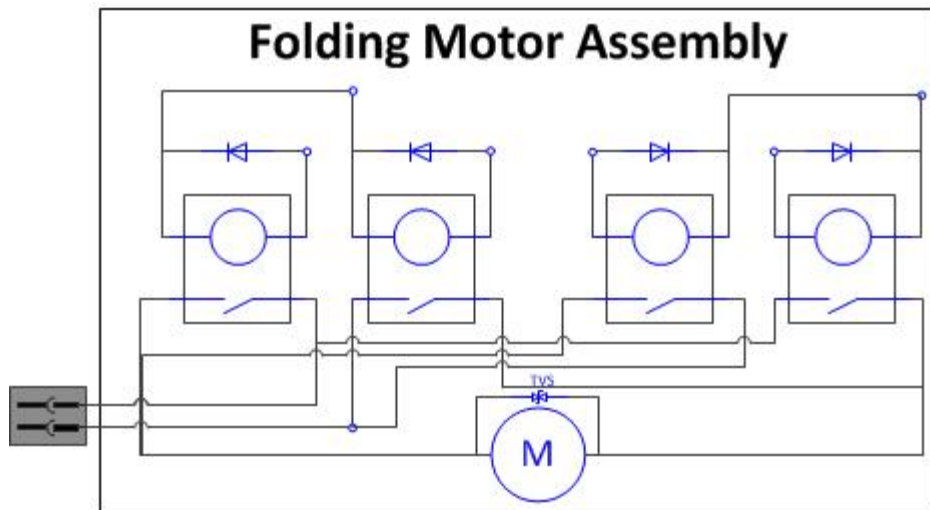


<그림> OP-Amp를 통해 정규화된 PWM

- Folding 회로

• Folding 모터

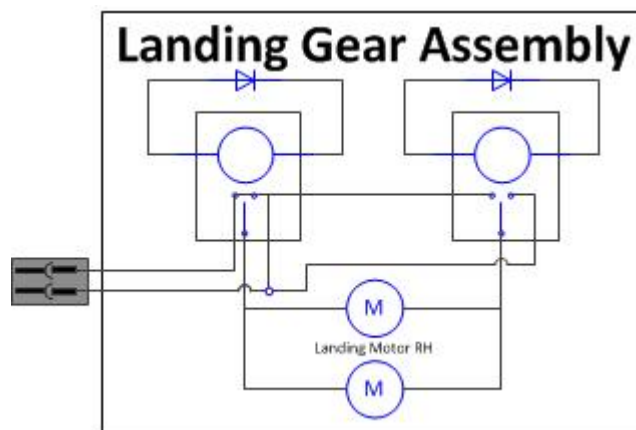
Folding 모터는 접힘 혹은 펴짐 명령 수신 시 차량의 접힘/펴짐 동작을 실시한다. 본 Folding 모터의 전압원은 주 동력원으로부터 전력을 공급 받으며, 접힘/펴짐 동작 시에는 차량의 구동이 드라이버에 의해 차단되도록 시스템을 구성하였다. 이에 따라 전력 측면에서, 전력의 분산 없이 안정적으로 접힘 혹은 펴짐 동작을 수행할 수 있으며, 차량의 구동을 차단하여 안전성을 향상시켰다.



<그림> Folding 모터 회로도

• Landing Gear 모터

접힘/펴짐 동작 시에는 Folding 모터와 함께 차량을 지지하기 위한 Landing Gear의 접힘/펴짐 동작 또한 필요하다. Landing Gear는 주 전압원으로부터 전력을 공급받는 것이 아닌 12V의 별도 전압원으로부터 전력을 공급받아 동작된다.

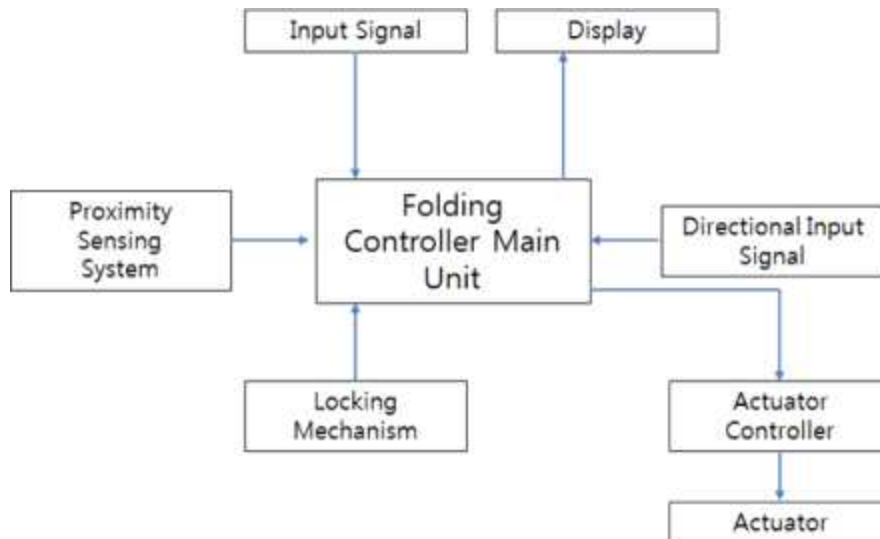


<그림> Landing 기어 동작 회로

마. 차체 접이 제어시스템 설계

○ 접이 제어 시스템 개념

접이식 자동차는 도심의 좁은 주차공간에 해결책을 제시하기 위해 개발되었다. 접이식 자동차의 접는 방식을 제어 해줄수 있는 컨트롤러가 필요하며, 그것에 대한 제어시스템을 설계하였다. 제어시스템은 다음과 같이 7개의 항목으로 크게 볼수 있다:



<그림> 접이식 제어 시스템 블록 개념도

Folding Controller Main Unit: 이것은 접이식 시스템의 주된 기본 제어 장치이다. 하드웨어는 컴퓨터, 마이크로컨트롤러, 혹은 받은 입력신호를 기반으로 올바른 출력신호를 제공할 수 있는 어떤 장치라도 무관하다.

입력 신호: 사용자는 입력신호로 접힐 것인지 펼쳐질 것인지를 보내 접이식 시스템을 activate 한다. 스위치는 접히는 동작을 on, off 하게 되며, 스마트폰 혹은 컴퓨터를 통해 무선으로 신호를 전송해 원격 제어할 수 있다.

디스플레이: 화면을 통해 folding controller의 상태와 에러메시지를 보여준다. 하드웨어는 스마트폰을 포함해 어떤 디스플레이 장치라도 가능하다.

Proximity Sensing System: 접이식 자동차 주변을 감시하는 시스템이다. 자동차가 접히지기 시작했는지 아닌지를 확인하고, 접히는 동안 방해물이 있는지 없는지도 확인한다. 하드웨어는 초음파센서와 같이 거리를 탐지하는 센서 혹은 영상탐지 알고리즘을 탑재한 비디오카메라가 될 수 있다.

Directional Input Signal: 이것은 사용자가 보내는 입력신호가 아니다. Folding Controller Main unit 현재 상태 (접힘, 펴짐)를 actuator controller에 보내고, 그래서 actuator controller는 액츄에이터가 접힐지 펼쳐질지를 지시하게 한다.

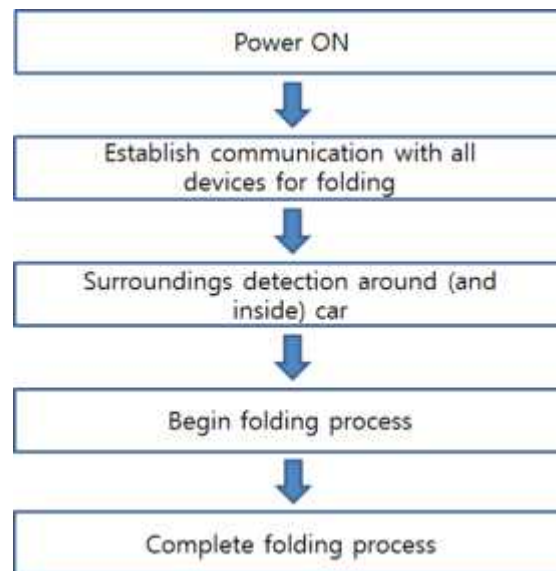
Actuator: 자동차를 접거나 펼치는 기계적인 부분이다. 전기모터, 혹은 적합한 기능을 수행 가능한 액츄에이터를 사용한다.

Actuator Controller. : 액츄에이터(혹은 모터)를 제어한다. 이 제어기는 Folding Controller Main Unit 이 보낸 Directional input signal을 받아, 어떤 방향으로 액츄에이

터에 주어야 하는지 안다.

○ 접이식 로직 및 방식

접이 동작 과정은 아래 그림과 같은 단계를 따르게 되어있다. 각 단계들은 순서대로 진행되며, 전 단계가 완성시 다음 단계로 이동하게끔 설계되어있다:



<그림> 접이 동작 과정 단계

Power ON 단계: 자동차를 접거나 펴기 위한 컨트롤러의 전원을 켜다. 이것은 folding controller을 활성화하기 위해 자동차 메인 전원을 켤 필요없이 하기 위한 필수단계이다.

Establish communication단계: 주된 folding controller는 자동차를 접기 위해 필요한 모든 장치들과 관련한 통신(CAN, RS-232 혹은 또 다른 통신 프로토콜) 설정이 필요하다. 제동장치(전자적으로 제어된다면)와 같이 안전..을 포함한다. 한 예로 자동차를 접거나 펼쳐진 채로 정지하게 하는 locking pin을 들 수 있다. 만일의 경우, main controller가 필요한 부품들과 통신 설정이 되어 있지 않다면, folding process는 시작할 수 없다. 오류 발생 메시지는 스마트폰으로 통해 사용자한테 알려준다.

Surroundings detection around (and inside car) 단계: folding process 시작 전에 자동차 주변과 내부 환경을 확인한다. 자동차 주변에 경우, 차안에 탑재된 초음파센서로 통해 장애물 감지를 할수 있게 설계되었고, 자동차 내부인 경우, 차량 좌석에 있는 무게 센서와 도어 센서로 인원이 차내에 있는지를 파악한다. 주변에 장애물이 있던가 내부에 인원이 있을 경우, folding process를 중단하며, 오류 메시지를 스마트폰으로 통해 사용자한테 알려준다.

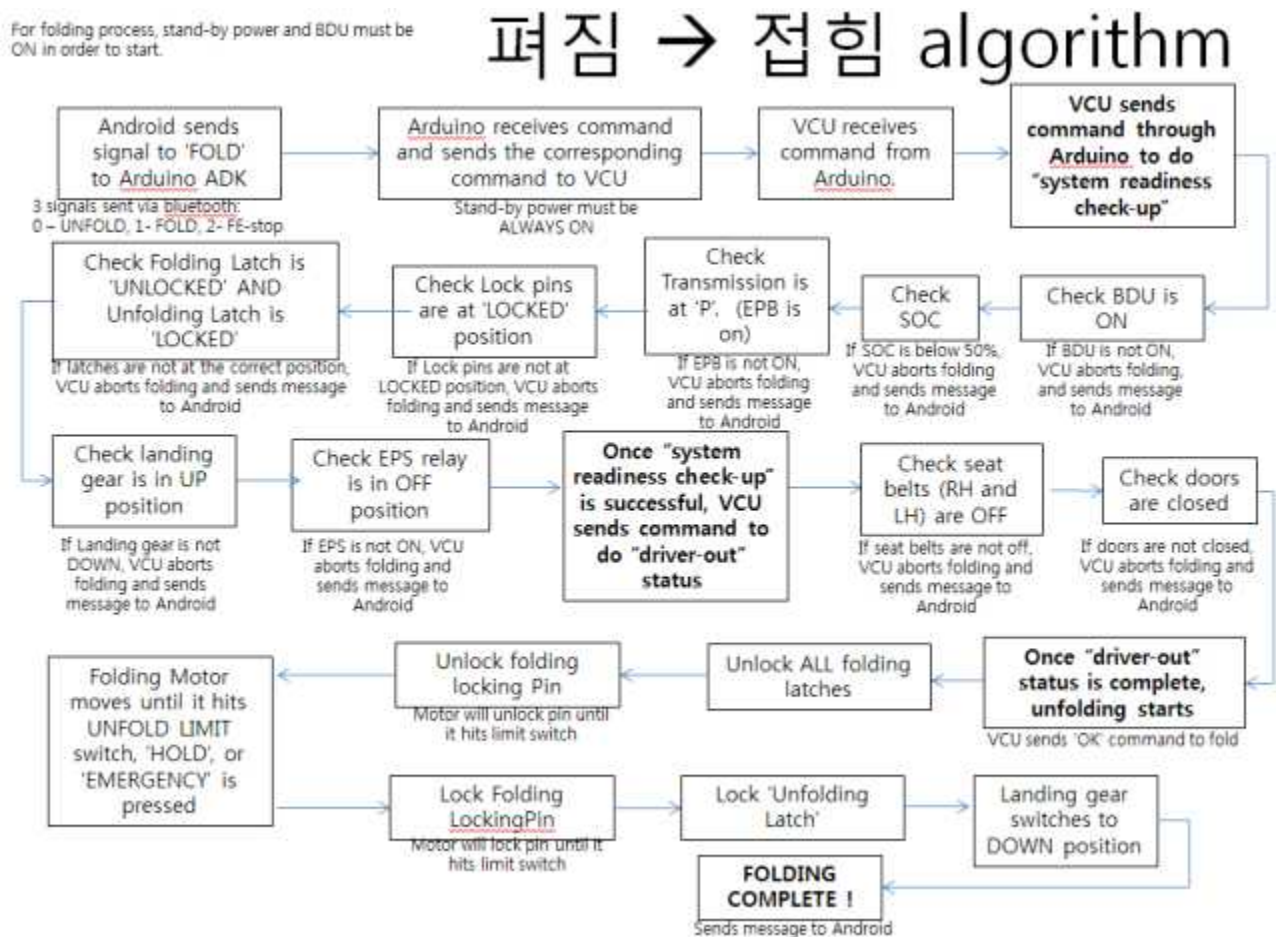
Begin folding process 단계: 자동차가 folding process를 시작한다. 자동차의 folding process를 현재 제동하고 있는 모든 장치들의 제동을 풀어 folding process가 가능하게 한다. 예를 들어, 접이식 자동차는 접힘 (아님 펴짐) 상태가 정지상태에서 유지될 수 있도록 locking pin, latch, 및 landing gear 를 사용하며, folding process 시작전 꼭 풀어줘야 한다. 장치들이 잠금 해제가 된 후, 모터 방향을 제어기가 판단을 하며, 타이머로 통해 지

정된 시간 내에 모터를 제어한다.

Complete folding process 단계: 이 단계는 folding process를 완성하는 단계이다. Folding 모터는 특정 종류의 스위치와 연결되어야 하는데, 그래서 frame assembly가 접히거나 펼쳐지게 되었을 때 스위치가 켜져 모터를 작동하지 못하도록 한다. 스위치가 켜지면, 필요한 제동 장치들을 다시 작동한다. 혹시라도 지정된 시간 내에 스위치가 켜지지 않으면 folding process 에 오류가 발생할수도 있는 상황이며 즉시 과정을 중지한다.

○ 접이 제어 알고리즘 (접을 때)

접이 제어 알고리즘 의 접히는 과정은 다음 그림과 같이 설정되어있다:



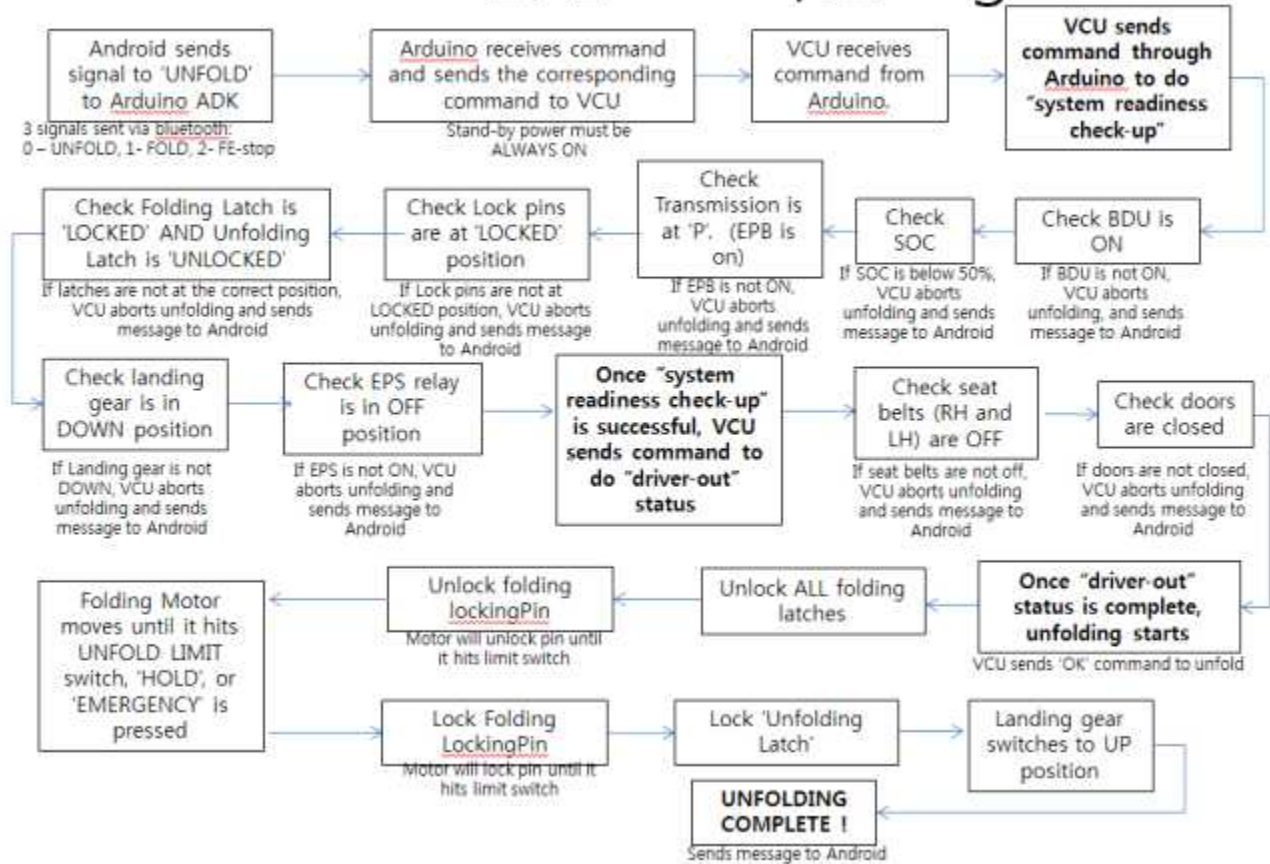
<그림> 접이 제어 알고리즘 (접을 때)

○ 접이 제어 알고리즘 (펼 때)

접이 제어 알고리즘 의 펴지는 과정은 다음 그림과 같이 설정되어있다:

For unfolding process, stand-by power and BDU must be ON in order to start.

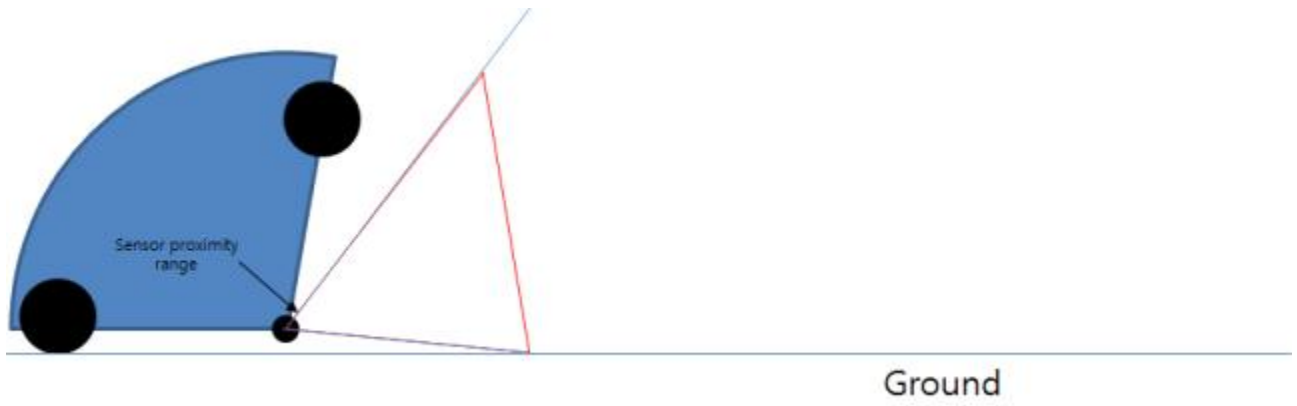
접힘 → 펴짐 algorithm



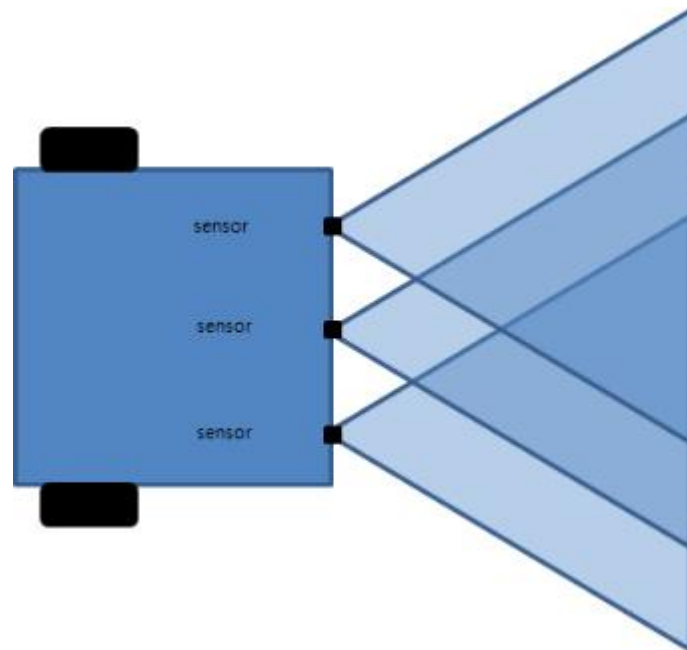
<그림> 접이 제어 알고리즘 (펼 때)

○ 초음파 거리센서 탐지 개념

센싱 시스템은 자동차가 접히는 과정에 방해가 되는 물체, 혹은 응급 상황(어린이 혹은 동물이 길을 막는 것과 같이)을 감지할 수 있도록 한다. 접이식 자동차 센싱 시스템은 근접 거리 센서뿐만 아니라 영상 감지 알고리즘도 탑재될 수 있다. 접히는 자동차는 아래와 같은 구성을 갖게 된다. 다음 그림들은 옆과 위에서 보았을 때 근접 센서가 위치되어 있는 장소를 보여준다. 접이 동작을 수행할 때 감지하는 범위가 제한될 수 있기 때문에 센싱 시스템은 자동차 중간에 위치하였다.



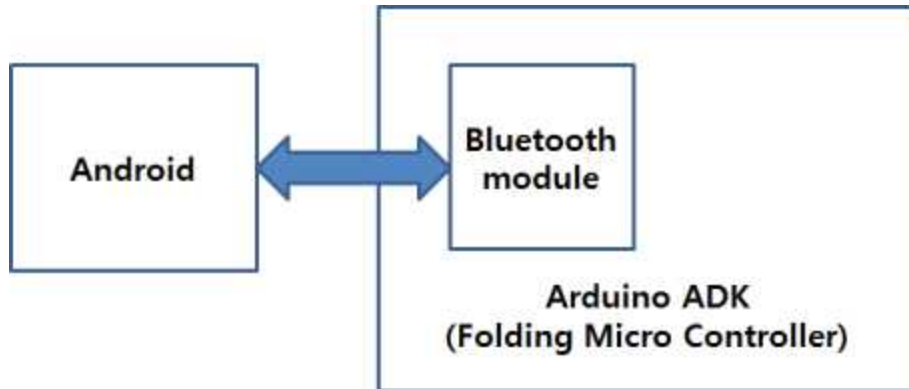
<그림> 접이식 자동차에 위치한 센서구성 (측면)



<그림> 접이식 자동차에 위치한 센서구성 (윗면)

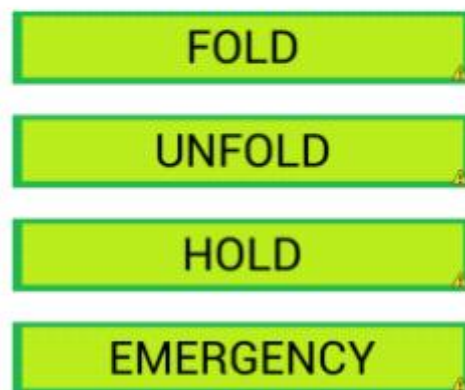
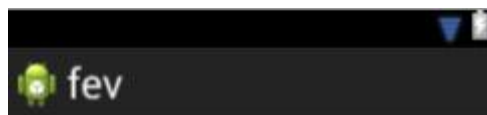
○ 스마트폰 원격제어 시스템 UI

Android와 Arduino ADK는 Bluetooth module을 통한 통신을 통해 정보를 주고 받는다. 이를 설명한 블록 개념도는 다음과 같다.



<그림> Android와 Arduino ADK 간 통신의 블록 개념도

아래 그림은 사용자가 스마트폰을 통해 보게 되는 UI 인터페이스이다. 스마트폰의 아래와 같은 화면을 통해 사용자는 버튼 FOLD, UNFOLD를 누름으로써 접이식 자동차의 접힘, 펼침 등의 동작을 수행할 수 있다. HOLD 버튼은 멈춤 동작을 시행하기 위한 버튼이고 EMERGENCY 버튼은 긴급 상황에 따른 동작을 수행하기 위한 버튼이다.



<그림> 스마트폰 원격제어 시스템 UI

바. 차량 구동 제어 시스템 설계

○ 차량 구동 제어 시스템 개념

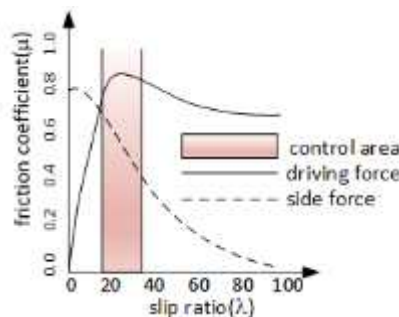
차량은 4개의 타이어로 지지되어 있고, 각각의 타이어는 엽서 1장 정도의 넓이로 노면과 접하고 있다. 차를 가속시키거나, 선회운동, 제동하는 힘은 모두 타이어와 노면의 접촉면에서 발생하는 마찰력이다. 예를 들면, 가속할 때에는 Drivetrain의 힘을 타이어에 전달하여 타이어와 노면사이에 앞쪽을 향하는 마찰력을 발생하며 선회운동 시에는 타이어에 횡방향의 마찰력, 제동 시에는 타이어에 뒤쪽을 향하는 마찰력이 발생한다. 이때 차량이 주행 중에 급가감속 혹은 노면의 악조건상태에서의 제동 혹은 선회운동 시 타이어와 노면사이에 마찰한계를 넘어서는 과도한 힘이 발생하면 미끄러짐이 발생할 수 있으며 이로 인하여 운전자가 차량을 제어할 수 없게 되어 조향능력 상실 및 제동거리의 상승이 발생한다. 이러한 미끄러짐은 구동력(제동력)과 횡력의 합력의 크기가 타이어의 마찰한계보다 커지는 경우에 발생하므로 각 모터에서 발생하는 구동력을 제어하여 타이어와 노면사이에서 발생하는 과도한 미끄러짐 현상을 미연에 방지함으로 운전자의 조향안전성 확보 및 제동거리 감소를 이룰 수 있다.

이러한 타이어의 마찰한계는 타이어와 노면사이의 마찰계수로 결정되며 타이어의 종방향 마찰계수와 횡방향 마찰계수는 타이어와 지면간의 슬립율(Slip ratio)에 의해 결정된다. 이때 슬립율 λ 는 아래와 같은 식으로 정의할 수 있다. 이때 V_w 는 휠의 회전속도의 이동속도 증가, V 는 차량의 이동속도를 의미한다.

$$\lambda = \frac{V_w - V}{V_w} \quad (\text{가속 시})$$

$$\lambda = \frac{V - V_w}{V} \quad (\text{제동 시})$$

아래 그림은 슬립율에 따른 마찰계수(μ)의 변화와 이로 인한 종방향 마찰계수와 횡방향 마찰계수의 변화를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯 타이어의 종방향 마찰계수는 슬립율이 약 15~25%일 때 최대이며 타이어의 횡방향 마찰계수는 슬립율이 0%일 때 최대이다. 일반적으로 종방향 마찰계수와 횡방향 마찰계수의 특성을 고려하면 슬립율을 약 10%로 유지하는 것이 차량의 구동(제동) 및 선회 능력을 최대화할 수 있는 방법임을 알 수 있다.



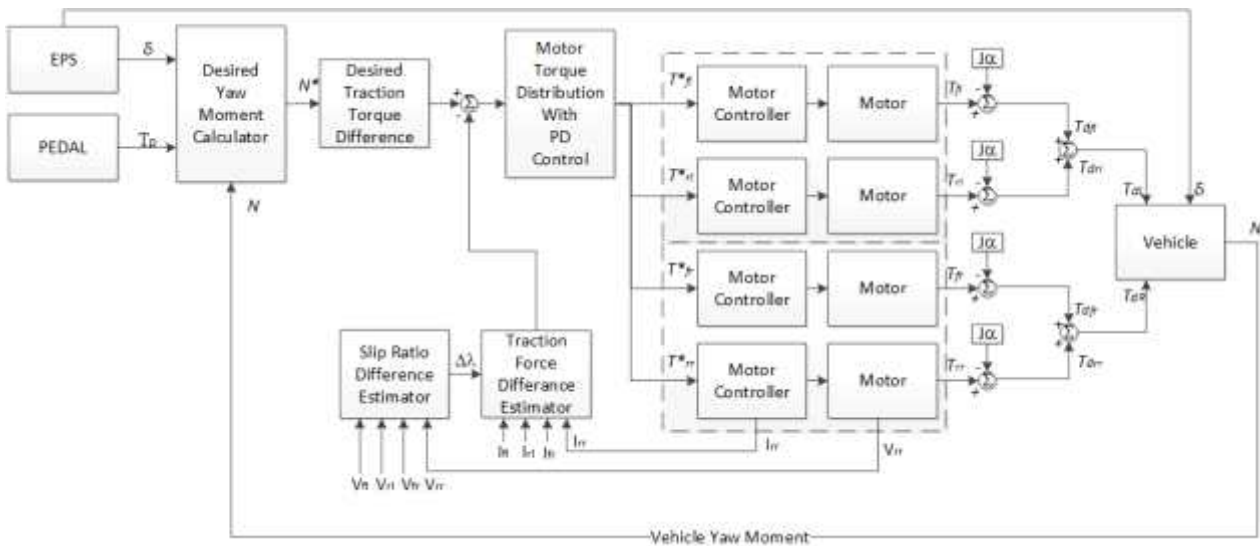
<그림> 슬립율에 따른 마찰계수의 변화

기존 내연기관 차량 혹은 일반 전기자동차의 경우 차량의 전체 구동력을 제어하거나 각 륜에 장착된 브레이크를 개별 제어하여 구동륜의 슬립율을 최적의 상태로 유지한다. 이때 전체 구동력만을 제어하는 경우에는 좌우 구동력의 분배가 힘들며, 브레이크를 이용한 경

우에는 브레이크의 온도가 올라가는 단점이 발생하여 이 두 방법을 혼합하는 방법이 사용되기도 한다.

하지만 인휠모터를 사용하는 경우, 특히 4개의 른에 각각 모터를 장착하는 경우에는 전체 구동력 제어가 가능할 뿐 아니라 브레이크의 도움 없이도 좌우 구동력의 분배가 가능하다. 또한 4개의 른이 모두 구동른이므로 하나의 바퀴 당 구동력을 줄일 수 있어 전체적인 구동한계를 올릴 수 있다.

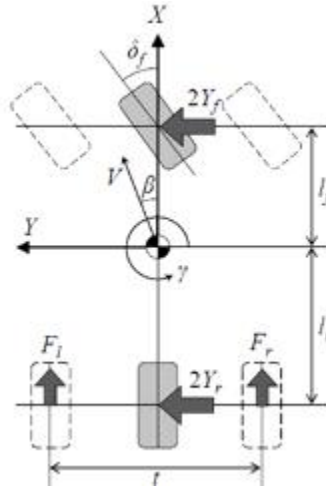
아래 그림은 접이식 초소형 전기자동차의 4른 독립제어를 위한 구동력 제어시스템의 설계 개념을 보여준다. 제안한 구동력 제어시스템의 목표는 마찰한계를 벗어날 정도의 과도한 구동력이 발생하면 이를 억제하여 최적의 슬립율을 유지하도록 하며, 좌우 구동른의 구동력 분배를 통하여 차량이 목표 Yaw 모멘트를 추종할 수 있도록 함에 있다.



<그림> 4른 독립구동 제어기의 설계 개념

○ 선회 운동 제어

목표 Yaw 모멘트(Desired Yaw Moment)의 계산을 위하여 아래 그림과 같은 2자유도 차량 모델을 사용하였다. 이 모델은 샤시를 기준으로 하는 좌표계를 가지며 횡 방향의 차량의 동역학적 거동을 2자유도 선형시스템으로 단순화하여 목표 차량거동모델로 사용하기 위하여 사용하였다. 샤시 슬립각 β 는 샤시의 기준좌표에 대한 차량의 속도벡터 V 의 각도, γ 는 차량의 Yaw 방향 회전속도, Y_f 와 Y_r 은 각각 전른 및 후른 타이어에 발생하는 횡 방향 힘, δ_f 는 전른의 조향각, t 는 윤거, l_f 와 l_r 은 각각 차량의 무게중심으로부터 전른과 후른까지의 수직방향 거리를 의미한다. 차량의 주행 중 목표 yaw모멘트를 얻기 위한 모델 식은 아래와 같이 표현할 수 있다. 이때 m 은 차량의 무게, I 는 차량의 yaw 방향 회전관성모멘트, M_z 는 yaw 모멘트, M_t 는 좌우 구동력차이에 의한 모멘트, M_d 는 외란에 의한 모멘트 발생량, F_r 및 F_l 은 각각 전른의 우른과 좌른의 구동력, R_r 및 R_l 은 각각 후른의 우른과 좌른의 구동력을 의미한다.



<그림> 2자유도 차량 모델

$$ma_y = m V(\dot{\beta} + \gamma) = 2Y_f \cos \delta_f + (F_r + F_l) \sin \delta_f + 2Y_r$$

이때 차량 속도가 충분히 높아 δ_f 가 상대적으로 작은 값을 가지는 경우 식은 아래와 같이 단순화 할 수 있다.

$$ma_y = m V(\dot{\beta} + \gamma) = 2Y_f + 2Y_r$$

$$I\dot{\gamma} = M_z + M_t + M_d$$

$$M_z = \frac{t}{2} [R_r - R_l + (F_r - F_l) \cos \delta_f] + (F_r + F_l) l_f \sin \delta_f = \frac{t}{2} (R_r - R_l + F_r - F_l)$$

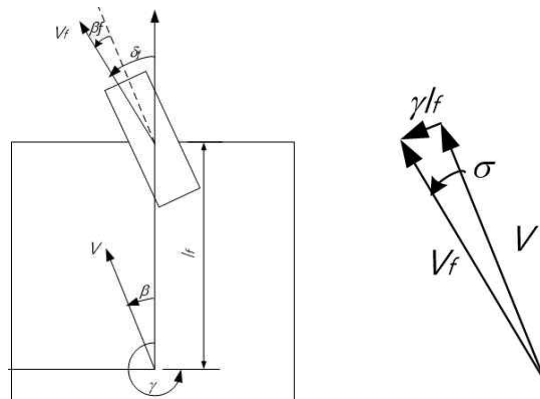
$$M_t = 2Y_f l_f - 2Y_r l_r$$

이때 Cornering Stiffness C 를 도입하면 전륜과 후륜의 횡 방향 힘 Y_f 와 Y_r 은 아래와 같이 표현할 수 있다. 이때 β_f 는 전륜의 슬립 각도, β_r 은 후륜의 슬립 각도이다.

$$Y_f = -C\beta_f = -C\left(\beta + \frac{l_f}{V}\gamma - \delta_f\right)$$

$$Y_r = -C\beta_r = -C\left(\beta - \frac{l_r}{V}\gamma\right)$$

전륜의 슬립 각도 β_f 는 아래 그림과 같이 기하학적으로 추정할 수 있다.



이를 수식으로 표현하면 아래와 같다. 이때 σ 는 전륜의 속도 V_f 와 차량 무게중심의 속도 V 의 각도 차이이다.

$$\beta_f = \beta + \sigma - \delta_f = \beta + \frac{l_f}{V}\gamma - \delta_f$$

앞서 설명한 수식들을 선형관계식으로 정리 하면 아래와 같은 상태방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(C_f+C_r)}{mV} & -1-\frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{mV^2} \\ -\frac{2(l_f C_f - l_r C_r)}{I} & -\frac{2(l_f^2 C_f + l_r^2 C_r)}{IV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2C_f}{mV} & 0 \\ \frac{2l_f C_f}{I} & \frac{1}{I} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ M_z \end{bmatrix}$$

위와 같이 목표 차량 거동 모델을 통하여 목표 yaw 모멘트 N^* 를 추정할 수 있으며 이를 제어기의 입력요소로서 사용한다. 목표 yaw 모멘트 N^* 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$N^* = I\alpha = I\dot{\gamma}$$

목표 yaw 모멘트를 추종(追從)하기 위하여 feedback 입력으로 사용할 현재 yaw 모멘트 N 의 추정이 필요하다. 현재 yaw 모멘트는 차량의 무게중심에 장착한 관성측정장치(IMU, Inertial Measurement Unit)의 센서 정보로부터 추정할 수 있다. 또한 EPS (Electric Power Steering System)에 장착된 각도센서정보로 추정한 조향 휠의 회전각 δ 및 토크 입력 값 T_p 를 이용하여 차량의 목표 Yaw 모멘트 N^* 을 계산한다.

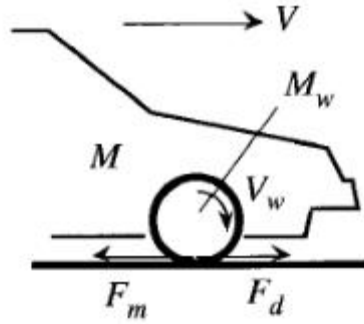


<그림> 관성측정장치 (mySen-L)

○ 종방향 운동 제어

차량의 각 모터의 회전속도정보는 각 모터의 회전축에 장착한 마그네틱 엔코더정보를 이용하여 추정한다. 만약 특정 모터의 회전속도가 4개 모터의 평균회전속도보다 빠르게 증가하면(가속하면) 그 특정 타이어의 슬립율이 다른 휠보다 증가하고 있는 상태라고 할 수 있다. 즉, 그 특정 모터에 인가되고 있는 토크 입력을 감소시켜 슬립율을 다른 휠과 동일하도록 회복시키면 차량의 직진 안정성을 확보할 수 있다. 하지만 이 경우 전체 슬립율에 대해 고려하지 않으므로 차량 전체 룰에 슬립이 발생하는 경우에는 안정성을 보장할 수 없다. 따라서 차량 전체가 미끄러짐을 막기위하여 차량의 현재 가속도센서 정보와 전체 휠의 회전가속도정보의 비교를 통하여 슬립율의 증가를 막는 방법에 대해서도 검토하였다.

아래 그림은 차량의 종방향 운동을 고려한 모델을 보여준다. V 는 차량의 이동속도, M_w 는 휠, 타이어 및 모터 회전자의 회전관성을 질량으로 변환한 등가치, M 은 차량의 전체 질량의 1/4, F_m 은 모터의 토크를 힘으로 변환한 등가치, F_d 는 구동력을 의미한다.



<그림> 종방향 운동 모델

이때 기구학 모델식은 아래와 같다.

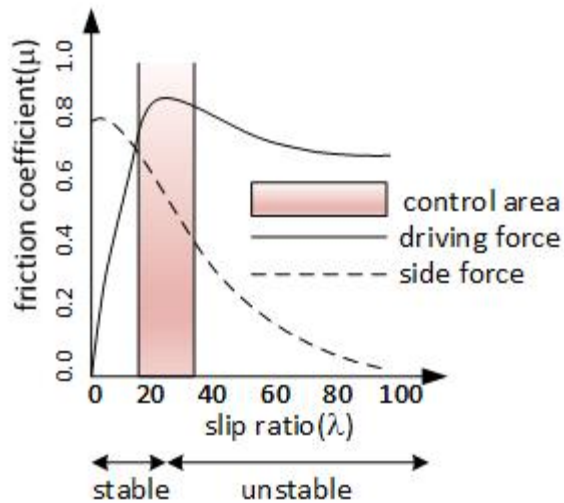
$$(F_m - F_d) \frac{1}{M_w} = \dot{V}_w$$

$$\frac{F_d}{M} = \dot{V}$$

$$F_d = \mu W = \mu Mg$$

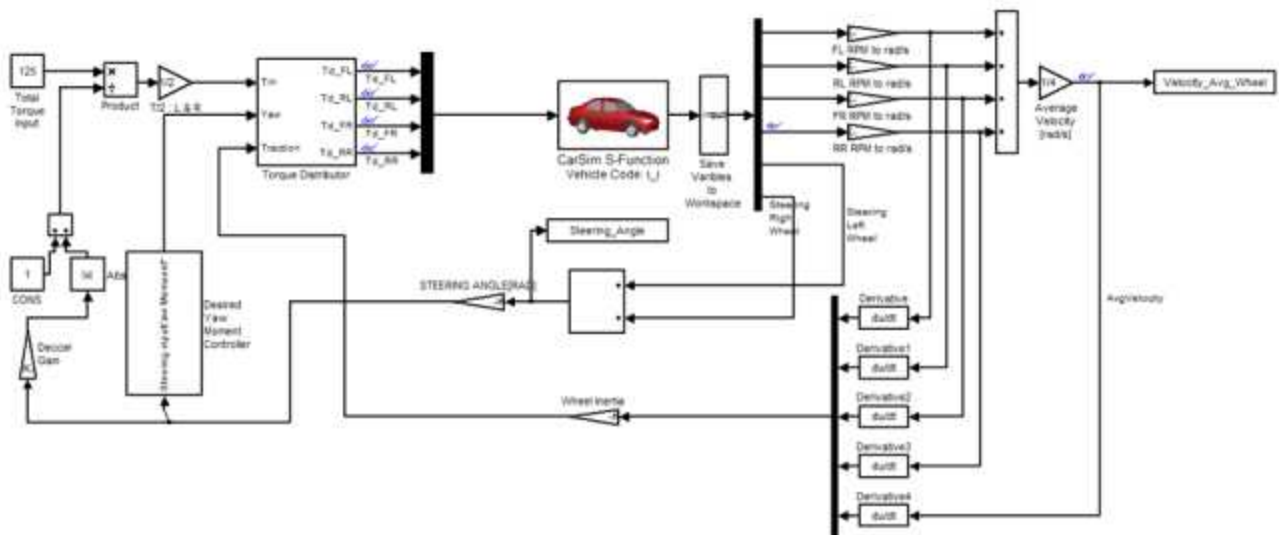
주행 중 가속상황에서 노면 상태가 변하여 마찰한계가 낮아지거나 모터에서 마찰한계를 벗어나는 과도한 힘을 발생시키면 슬립율이 증가하여 마찰계수가 더욱 낮아지므로 구동력 F_d 가 감소하게 된다. 즉, 가속상황에서 슬립이 발생하면 차량의 가속도 $\dot{V}$ 는 감소하고 휠의 가속도 $\dot{V}_w$ 는 증가한다. 이때 순간적으로 모터의 힘 F_m 을 감소시켜 휠의 가속도 $\dot{V}_w$ 를 차량의 현재 가속도 $\dot{V}$ 보다 낮아질 때까지 제어하면 슬립율이 낮아지므로 마찰계수가 증가하여 차량의 가속도 $\dot{V}$ 를 증가시킬 수 있다. 아래 그림에 슬립율과 마찰계수에 관한 상관관계를 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯 슬립율이 약 20% 이하로 떨어지게 되면 마찰계수가 다시 감소하게 되는데 이때 $\dot{V}$ 가 다시 감소하므로 이 시점을 기준으로 토크입력을 복구시킨다.

차량의 출발 시에도 역시 슬립율이 증가하지만 이 경우에는 차량의 가속도 $\dot{V}$ 가 감소하지 않고 증가하므로 마찰계수가 최대점에 도달하기 전임을 확인 할 수 있다.



<그림> 슬립율에 따른 마찰계수의 변화

휠의 회전가속도 $\dot{v}_w$ 는 모터에 장착한 엔코더 정보를 미분하여 추정할 수 있으며 차량의 가속도 $\dot{v}$ 는 차량의 무게중심에 장착한 관성측정장치 정보로부터 측정할 수 있다. 구동 제어시스템에서는 차량을 가속할 때 가속도 $\dot{v}$ 와 휠의 가속도 $\dot{v}_w$ 을 실시간으로 비교하여 슬립율의 증가 유무를 판정하고 슬립율이 증가하면 모터의 토크를 낮추어 슬립율을 다시 감소시킨다. 반대로 브레이크를 이용한 제동상황에서 슬립율이 증가하면 브레이크의 힘을 순간적으로 낮추기 위해 모터에서 구동력을 발생시킨다.



<그림> 구동력 제어 알고리즘 검증을 위한 MATLAB SIMULINK 및 CARSIM 연계 모델

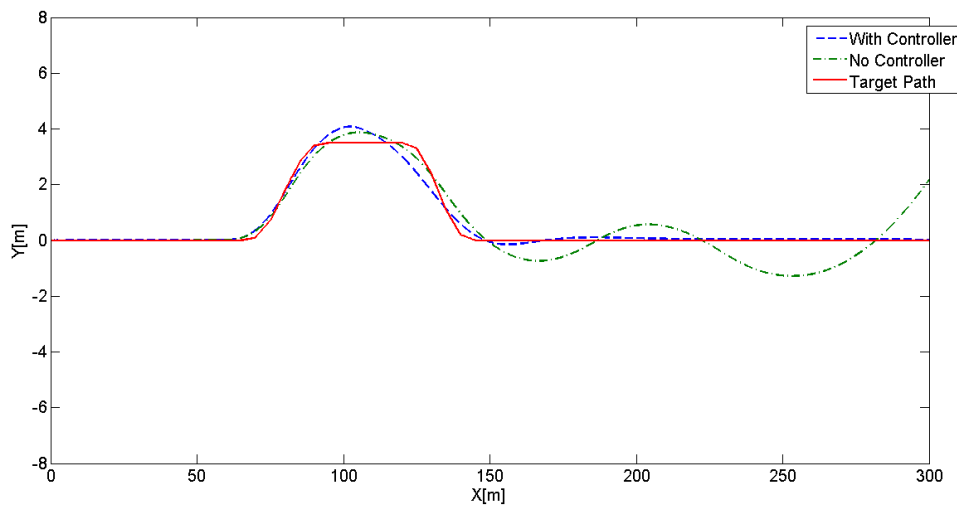
CarSim 과 MATLAB SIMULINK 복합 모델 개발을 통하여 주행안전성을 시뮬레이션 하였다. CarSim 모델은 SIMULINK에 구현한 제어기 모델로부터 각 모터의 토크 정보를 수신 받아 이 정보를 토대로 동력학적 효과를 시뮬레이션하며 시뮬레이션을 통하여 계산한 차량의 속도, 가속도, 자세정보 등 모터 제어에 필요한 정보를 SIMULINK모델에

Feedback 한다. CarSim 에 구현한 차량은 본 과제에서 설계한 차량의 제원과 일치하도록 설정하였으며 아래 표와 같다.

Total vehicle weight (vehicle, batteries and 2 passengers)	620kg
Vehicle frontal area	$2.4m^2$
Tire outside radius (13inch wheel)	0.27m
Wheelbase	1.9m
Track (front/rear)	1.4m
모터 voltage bus	195V

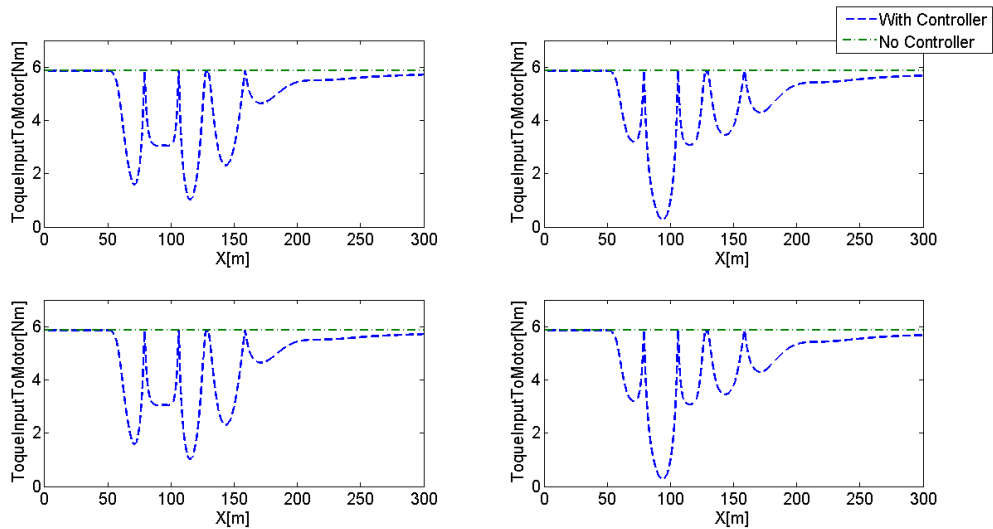
<표> Armadillo-T 차량 제원

차량의 안전성을 증명하기 위해 노면의 최대마찰계수 μ 가 0.3으로 매우 미끄러운 노면에서 차량을 가속하면서 차선을 두 번 변경하도록 하는 DLC (Double Lane Change) 시뮬레이션을 수행하였다. 운전자가 직접 주행하는 상황을 가정하여 목표 차량 궤적을 추종하도록 Steering Input을 자동으로 조정하도록 하였다. 아래 그림에 표시한 것과 같이 제어알고리즘을 적용하지 않은 차량은 약 150m부터 미끄러져 차량궤적이 목표 궤적을 추종하지 못하였지만 구동 제어 알고리즘을 적용한 차량은 궤적을 비교적 정확하게 추종함을 확인하였다.



<그림> 구동력 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과 (노면마찰계수 $\mu = 0.3$)

아래 그림에 모터의 토크 출력값을 표시하였다. 가속 시 미끄러운 노면에서도 모터의 토크값의 조절을 통하여 차량을 안정하게 제어할 수 있음을 확인하였다.

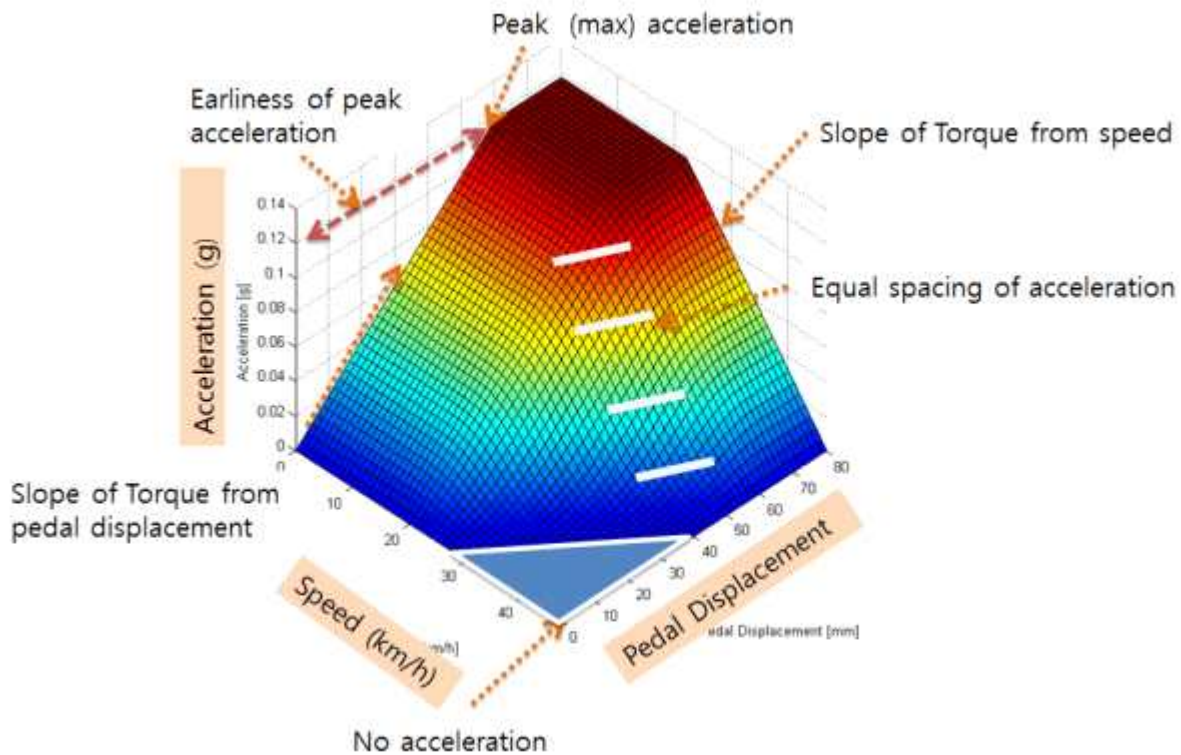


<그림> 각 모터의 토크 출력 (노면마찰계수 $\mu = 0.3$)

○ 가속반응표면을 고려한 페달 변위 대비 토크입력 생성기 설계

선택한 모터에 토크 입력을 주기 위하여 모터와 자동차의 스펙에 맞는 가속반응표면을 선택해야 한다. 이를 위하여 엔진사용 차량을 위한 이상적인 매핑 방법을 전기자동차에 맞추어 변경하였다. 이 방법은 운전자가 특정 속도에서 특정한 변위의 페달을 밟을 시 자동차가 얼마나 가속하는지를 나타낸다. 접이식 초소형 전기자동차의 주된 목적은 운전자의 편안함이기 때문에, 거부감 없이 자동차의 가속이 부드럽게 이루어지는 것은 매우 중요하다. 하지만 기존 매핑 방법은 엔진을 동력원으로 하는 차량에 대한 것이기 때문에 전기자동차 모터의 성능곡선에 맞추어 수정해야 한다. 즉, 모터와 엔진의 토크 특성이 다르기 때문에, 전기자동차의 모터에 맞추어 알맞게 수정해야 한다.

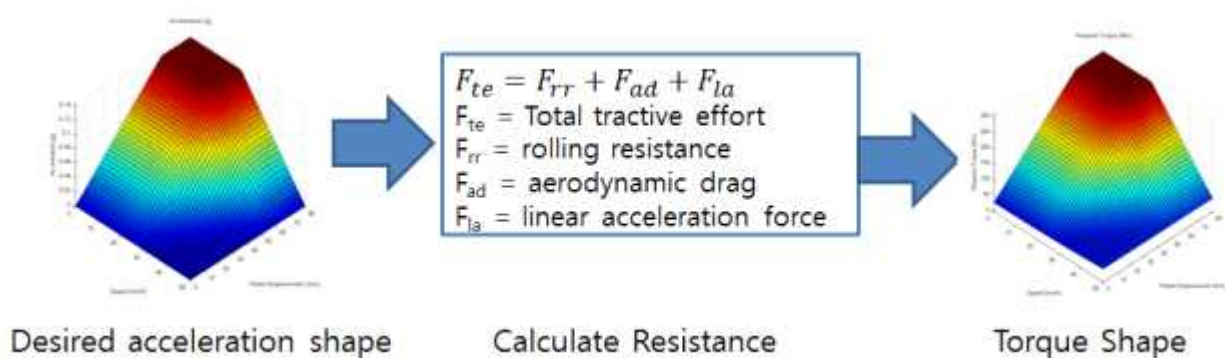
매핑 방법을 수정하기 위해 아래 그림과 같이 가속반응표면의 목표치를 설정하였다. 가속반응표면에서, x축은 0에서 50km/h에 이르는 자동차의 속도를 나타내며, y축은 자동차의 0에서 0.14g 에 이르는 가속도를 나타낸다. 또, z축은 0에서 80mm에 달하는 페달의 변위를 나타낸다. 가속반응표면의 왼쪽면의 기울기는 페달의 변위로 기준의 토크의 기울기를 나타내고, 가속반응표면의 오른쪽 면의 기울기는 속도기준 torque의 기울기를 나타낸다. 푸른색 삼각형으로 표시한 부분은 가속하지 않는 부분이다. curve는 자동차가 가속하지 않을 때에서부터 가속도가 최대 값에 이를 때까지 적절하게 배분 되어 있음을 보여준다.



<그림> 제안한 자동차에 대한 가속 반응 표면 커브

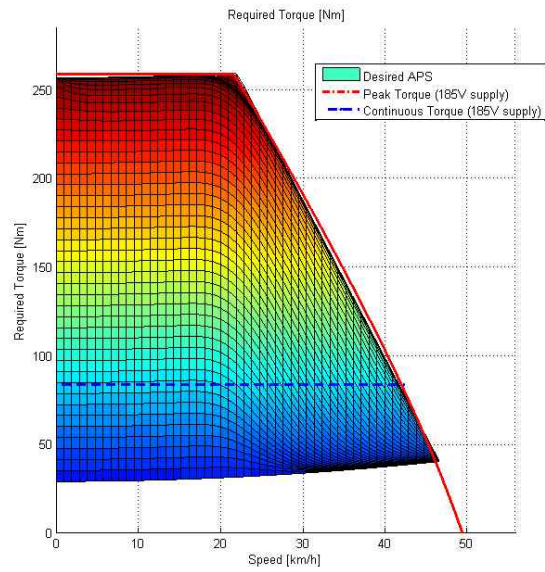
특정한 가속 반응 표면을 그리기 위해 아래 식을 사용하여 계산하였다. 이 때 자동차의 질량은 차량 공차중량 550kg과 70kg인 승객 두 사람의 무게를 합하여 620kg, 공기밀도 ρ 는 1.225 kg/m³, 공기저항계수 C_d 는 0.30, 구름저항계수 μ_r 은 0.015, 중력 가속도 g 는 9.8m/s², 유효타이어반경 R_t 는 0.27m로 계산한다.

$$T = \left(M_c \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 + \mu_r M_c g \right) R_t \quad (3)$$

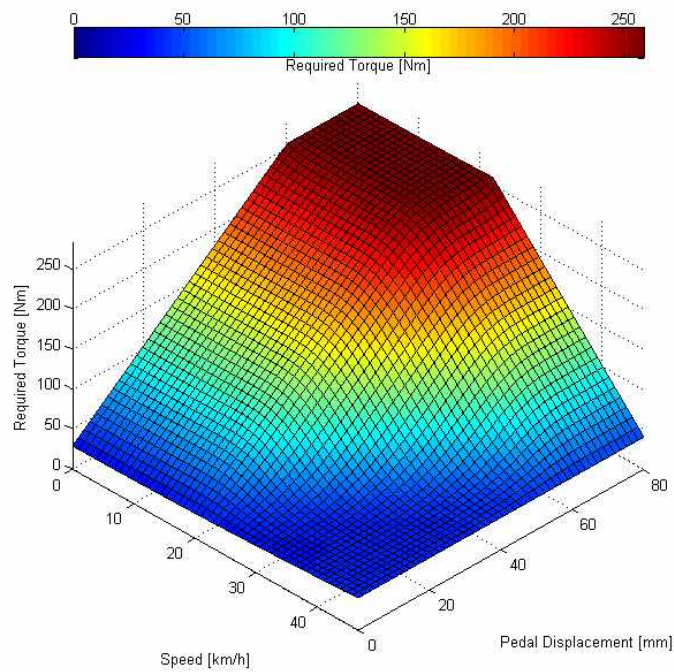


<그림> 이상적 가속반응표면을 얻기 위한 페달 변위 및 모터토크출력 간 맵핑

자동차의 속도 V 는 인휠모터어셈블리의 엔코더 정보를 사용하여 추정한다. 4개의 모터에 필요한 토크를 위 그림과 같이 speed-torque curve에 적용한다. 아래 그림들은 페달의 변위에 대해 필요한 토크 및 전류 커브를 보여준다. 아래의 두 개의 그림에서 볼 수 있듯, 이상적 가속 반응 표면을 위한 필요한 토크출력을 결정할 수 있다.



<그림> 이상적 가속반응표면 커브를 위해 필요한 토크출력을 보여주는 스피드-토크 커브



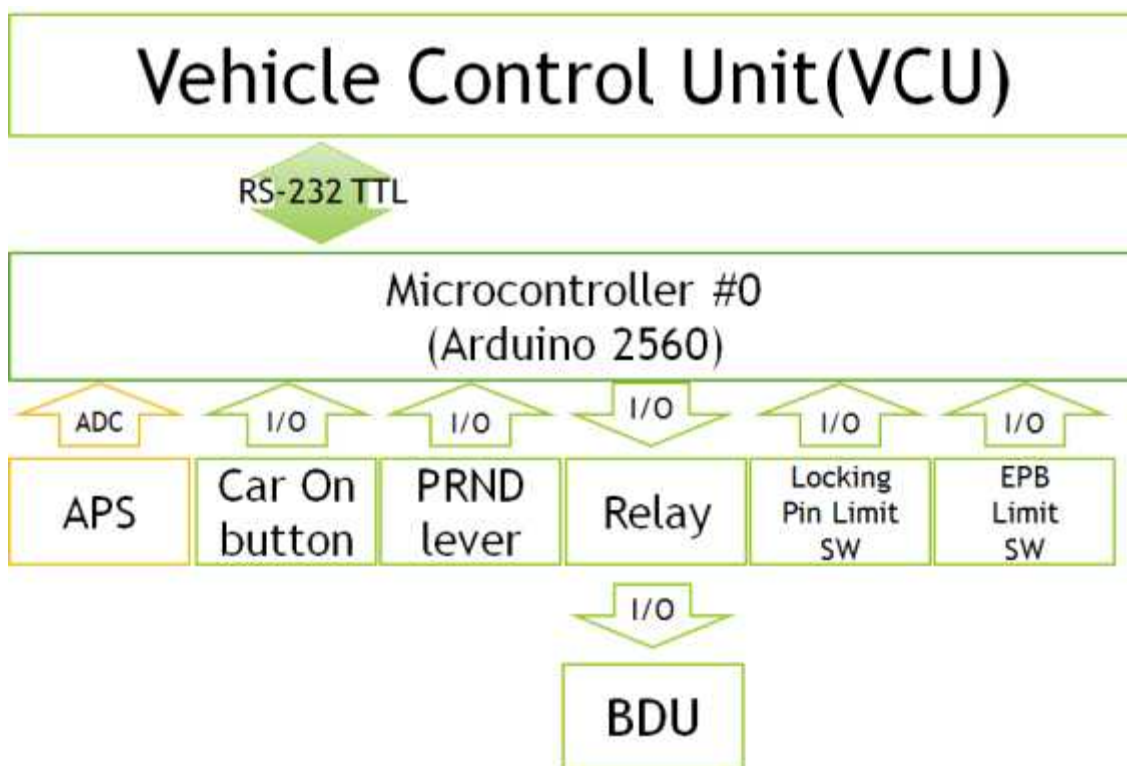
<그림> 이상적 가속반응표면 커브를 위해 필요한 토크출력을 보여주는 3차원 맵

사. 통신 프로토콜 설계

신속한 데이터 처리 및 Vehicle Control Unit (VCU)의 메모리 사용을 최적화하기 위하여 VCU 와 Arduino microcontroller 간의 프로토콜을 구성하였다. VCU 와 통신을 하는 microcontroller 는 둘이 있으며, Arduino 2560 (Microcontroller #0) 와 Arduino ADK (Microcontroller #1) 으로 나뉘어져 있다.

○ Arduino 2560 (Microcontroller #0) 프로토콜 설계

Arduino 2560 (Microcontroller #0) 은 Acceleration Pedal Sensor (APS), Car ON button, PRND 레버, BDU relay 스위치, Locking Pin Limit 및 EPB limit 스위치 위치를 VCU 한테 정보를 보낸다. 블록 구성도는 다음 그림과 같이 배치되어있다.



<그림> 통신 블록 구성도

- 1st BYTE: 0x08 ~ 0x0F = Vehicle Status BYTE #1

1st BYTE 는 차량의 Electronic Parking Brake (EPB) Limit 스위치, 기어 위치 (PRND), Battery Disconnect Unit (BDU) 및 Car ON 의 상태를 다음과 같이 VCU 에 전달한다.

#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
0	0	0	EPB Limit SW	PRND high	PRND low	BDU	Car On

· BIT #4: EPB Limit 스위치

EPB Limit 스위치 켜짐 => BIT#4 = 1

EPB Limit 스위치 꺼짐 => BIT#4 = 0

- BIT #3 & BIT #2: PRND High, PRND Low 기어 레버 위치
 기어 레버가 'P'에 위치 => BIT#3 = 0 & BIT#2 = 0
 기어 레버가 'R'에 위치 => BIT#3 = 0 & BIT#2 = 1
 기어 레버가 'N'에 위치 => BIT#3 = 1 & BIT#2 = 0
 기어 레버가 'D'에 위치 => BIT#3 = 1 & BIT#2 = 1
- BIT #1: BDU 상태
 BDU 켜짐 => BIT#1 = 1
 BDU 꺼짐 => BIT#1 = 0
- BIT #0: Car ON 스위치 상태
 Car 켜짐 => BIT#0 = 1
 Car 꺼짐 => BIT#0 = 0

- 2nd BYTE: 0x80 ~ 0xFF = Locking Pin BYTE #2

2nd BYTE 는 차의 양쪽 Locking Pin 의 상태를 다음 그림과 같이 VCU 로 전송한다.

#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
0)	0	0	0	Left Locking Pin On SW	Left Locking Pin Off SW	Right Locking Pin On SW	Right Locking Pin Off SW

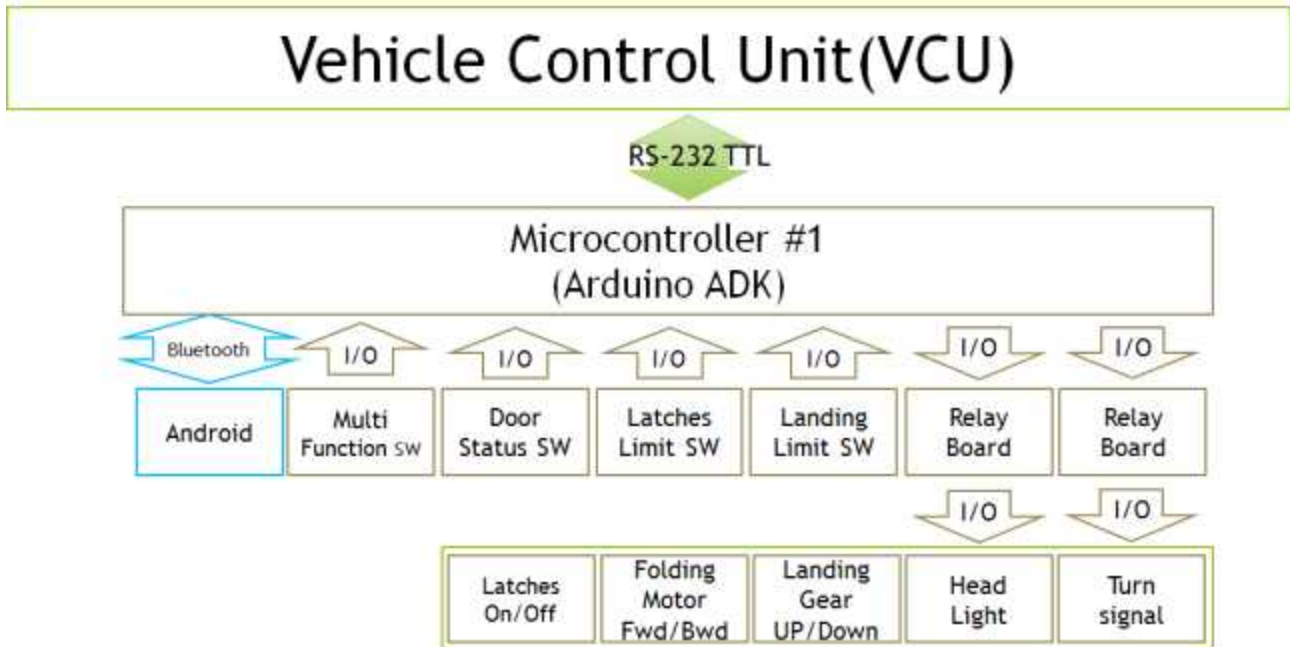
- BIT #3: 좌측 locking pin ON 스위치
 Locking pin limit ON 스위치 켜짐 (locking pin 잠겨있음) => BIT#3 = 1
 Locking pin limit ON 스위치 꺼짐 => BIT#3 = 0
- BIT #2: 좌측 locking pin OFF 스위치
 Locking pin limit OFF 스위치 켜짐 (locking pin 풀려있음) => BIT#2 = 1
 Locking pin limit OFF 스위치 꺼짐 => BIT#2 = 0
- BIT #1: 우측 locking pin ON 스위치
 Locking pin limit ON 스위치 켜짐 (locking pin 잠겨있음) => BIT#1 = 1
 Locking pin limit ON 스위치 꺼짐 => BIT#1 = 0
- BIT #0: 우측 locking pin OFF 스위치
 Locking pin limit OFF 스위치 켜짐 (locking pin 풀려있음) => BIT#0 = 1
 Locking pin limit OFF 스위치 꺼짐 => BIT#0 = 0

- 3rd BYTE: 0x00 ~ 0x50 = Pedal Displacement

3rd BYTE 는 차의 APS 의 받는 raw data (전압)를 마이크로컨트롤러의 ADC 기능으로 디지털 값으로 변환하여 VCU 에게 바이트 정보로 보낸다. 마이크로컨트롤러의 타이머를 설정하여 10ms (100Hz) 마다 바이트를 RS-232 TTL 로 보낸다. RS-232 TTL 설정은 Baudrate = 115200 bps, no parity, one stop bit, no flow control, disable null stripping (fNULL = FALSE) 로 되어있다. 세 바이트가 10ms 마다 보내져 새로 들어오는 바이트들을 VCU 가 분석하지 못해 오류가 발생할수 있기 때문에, 세 바이트 시작에 0xFF 의 값을 가진 separator를 넣어 총 네 바이트를 보낸다.

- Arduino ADK (Microcontroller #1) 프로토콜 설계

Arduino ADK (Microcontroller #1) 는 Android 와의 통신이 가능하며, 스마트폰으로 무선 접이 제어가 가능하도록 제공하는 게 주목적이다. 추가적으로, 차량의 라이트 제어 및 접이 과정을 시작하기 전 모든 컴포넌트 (접이 모터, 랜딩 기어, latch) 의 위치 정보도 보낸다. 블록 구성도는 다음 그림과 같이 배성되어 있다.



- 1st BYTE: 0x00 ~ 0xAF = Folding Status BYTE

1st BYTE 는 접이 제어에 필요한 프로토콜을 VCU 에 보내주고, 다음 그림과 같이 BIT 구성이 되어있다:

#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
Request Fold	Request Unfold	Folding	Unfolding	Folded / Unfolded (Latches SW)	Doors (Latches SW)	Landing gears are moving	Landing gears position

- BIT #7 & BIT #6: Request Fold & Request Unfold
 - 접힘 요청 => BIT#7 = 1 & BIT#6 = 0
 - 펼침 요청 => BIT#7 = 0 & BIT#6 = 1
 - HOLD 요청 => BIT#7 = 1 & BIT#6 = 1
 - 접힘/펼침 완료 => BIT #7 = 0 & BIT #6 = 0
- BIT #5: Folding (접힘 동작중)
 - 접힘 동작중 => BIT#5 = 1
 - 접힘 완료 => BIT#5 = 0
- BIT #4: Unfolding (펼침 동작중)
 - 펼침 동작중 => BIT#4 = 1
 - 펼침 완료 => BIT#4 = 0
- BIT #3: Folded/Unfolded (접힘/펼침 상태)
 - 접힌 상태 => BIT#3 = 1
 - 펼친 상태 => BIT#3 = 0

- BIT #2: Doors (문 열림/닫힘 상태)
문 열림 => BIT#2 = 1
문 닫힘 => BIT#2 = 0
- BIT #1: Landing gears are moving (랜딩 기어 동작중)
랜딩 기어 동작중 => BIT#1 = 1
랜딩 기어 멈춤 => BIT#1 = 0
- BIT #0: Landing gears position (랜딩 기어 위치)
랜딩 기어 퍼짐 => BIT#0 = 1
랜딩 기어 접힘 => BIT#0 = 0

- 2nd BYTE: 0x00 ~ 0x0F = Multi Function SW BYTE

2nd BYTE 는 Multi function 스위치의 상태를 다음 그림과 같이 VCU 에게 알려준다:

#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
0	0	0	0	Emergency SW	Head Light	Turn Left	Turn Right

- BIT #3: Emergency SW (비상등)
비상등 켜짐 => BIT#3 = 1
비상등 꺼짐 => BIT#3 = 0
- BIT #2: Headlight (전조등)
전조등 켜짐 => BIT#2 = 1
전조등 꺼짐 => BIT#2 = 0
- BIT #1 & BIT # 0: Turn Left & Turn Right
좌측 방향지시등 켜짐 => BIT#1 = 1
좌측 방향지시등 꺼짐 => BIT#1 = 0
우측 방향지시등 켜짐 => BIT#0 = 1
우측 방향지시등 꺼짐 => BIT#0 = 0
비상등 켜짐 => BIT#1 = 1 & BIT#0 = 1

○ Arduino ADK (Microcontroller #1) 프로토콜 설계

VCU 가 보내는 1st BYTE 는 접힘/퍼짐 제어를 시작하기 전 상태를 Arduino ADK 에게 알려준다:

#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
0	0	0	Locking Pin	SOC	PRND	BDU	Car On

- BIT #4: Locking Pin 상태
Locking Pin 켜짐/동작중 => BIT#4 = 1
Locking Pin 꺼짐 => BIT#4 = 0

- BIT #3: SOC (State of Charge)
 - SOC 가 50% 이상 => BIT#3 = 1
 - SOC 가 50% 미만 => BIT#3 = 0
- BIT #2: 변속기 레버 위치 (PRND)
 - P 에 위치되어 있음 => BIT#2 = 1
 - P 에 위치되어 있지 않음 => BIT#2 = 0
- BIT #1: BDU (Battery Discharge Unit) 상태
 - BDU 켜짐 => BIT#1 = 1
 - BDU 꺼짐 => BIT#1 = 0
- BIT # 0: Car ON Button
 - 차 시동 켜짐 => BIT#0 = 1
 - 차 시동 꺼짐 => BIT#0 = 0

2. 접이식 전기자동차 시스템 해석

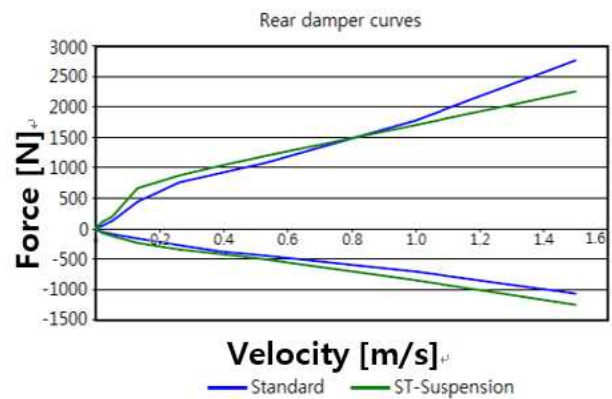
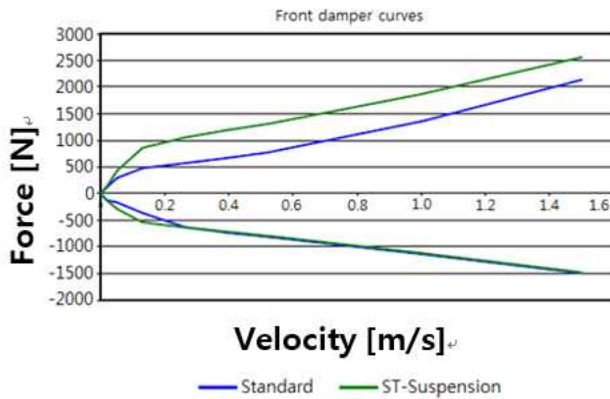
가. Unsprung Mass 해석

바퀴에 인휠모터를 장착하게 되면 모터의 무게로 인하여 바퀴의 무게가 증가하게 된다. 따라서 일반적으로 바퀴의 무게가 증가하는 것은 승차감에 악영향을 미치기 때문에 자동차 엔지니어들은 바퀴의 무게를 줄이는 노력한다. 그러나 인휠모터를 장착하는 것은 이러한 추세에 반대되는 것으로 승차감의 큰 저하를 가져올 것으로 예상되고 있다.

따라서 인휠모터 장착 차량 경우 이러한 바퀴 무게의 증가가 승차감에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다. Unsprung mass의 무게 질량에 대한 승차감 연구에서는 Cambridge University와 Protean Electric, Lotus Engineering에서 발표한 보고서를 참조하였고, 접이식 전기자동차의 Simulation을 구현하여 인휠모터의 추가로 발생하는 바퀴무게의 증가에 따른 접이식 전기자동차의 승차감에 대하여 파악한다. 위의 대학 및 회사에서 발표한 보고서에서는 아래의 그림과 같이 내연기관 자동차의 바퀴에 인휠모터 (Model : Protean PD18)의 회전자, 고정자의 무게만큼을 각각 더해주고 운전자의 주관적인 평가 및 Test rig에서의 객관적인 승차감을 평가하였다. 덧붙여서 바퀴 무게 증가에 따른 승차감 저하에 대하여 현가장치(Suspension)를 변화시켜 이러한 단점을 보완 할 수 있는지에 대한 연구를 하였다.

Lotus Engineering에서 발표한 보고서에 의하면 추가적인 Unsprung mass에 대한 승차감을 알아보기 위하여 위의 그림과 같이 바퀴의 회전자와 고정자 부분에 30kg의 질량을 분배하였다.

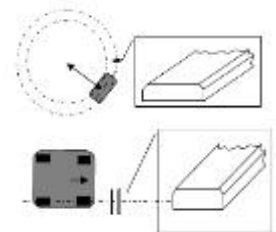
	Standard Specification (measured)	ST Specification (measured)
Front Spring	20.2N/mm	30.5N/mm
Rear Spring	22.4N/mm	23.5N/mm
Rear Anti-Roll Bar Dia.	20.0mm	21.2mm



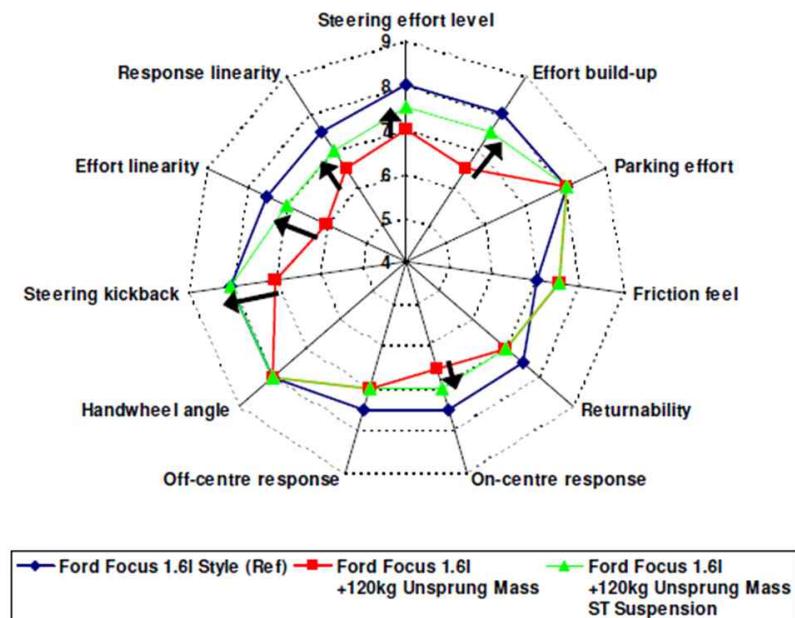
위의 표에서는 일반적인 차량과 전륜 스프링에 Stiffness를 추가하고 Anti-roll bar의 지름을 증가시킨 ST-Suspension의 특성을 보여준다. ST-Suspension에서는 전륜 스프링 상수를 약 10N/mm만큼 증가시킨 것을 볼 수 있다. Damping에 있어서는 전륜에 더 큰 Damping 상수를 두어 동일한 현가장치 속도(Upper arm과 Lower arm의 상대속도)에서 Damping Force가 크도록 모델을 수정하였다.

○ 차량시험(Vehicle Test) 방법

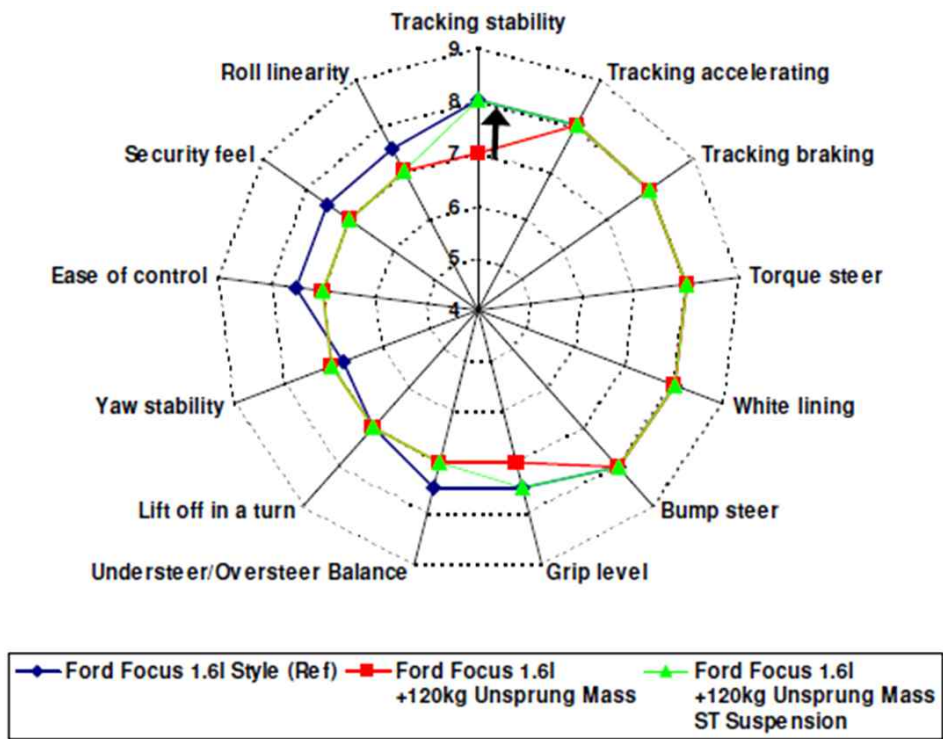
- 고르지못한노면에서 50km/h로 주행
- 커브길에서의 Bump
- 직선도로에서 50km/h, 80km/h로 주행시 Bump



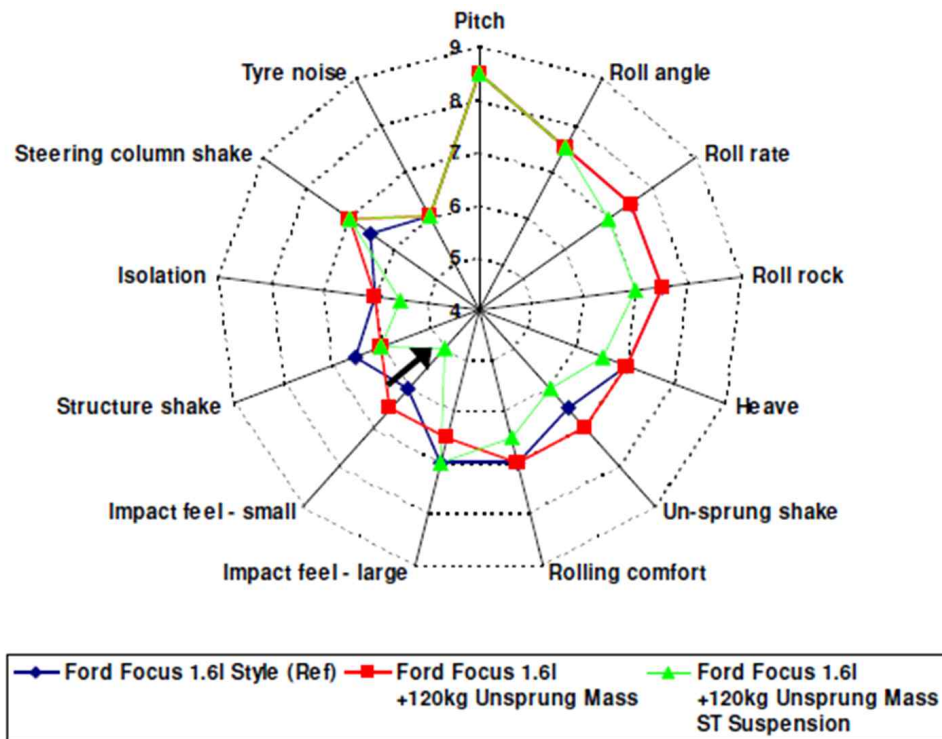
○ 운전자의 주관적인 평가



<Steering - 선회능력>



<Handling - 제어능력>

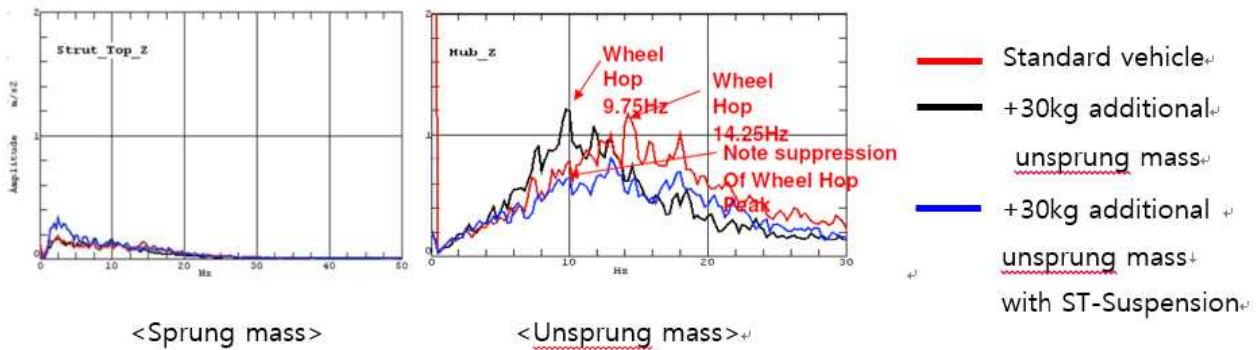


<Ride - 승차감>

위의 세 가지 그림에서 확인 할 수 있듯이 각 바퀴에 30kg의 질량증가로 인한 각각의 평가점수를 ST-Suspension (High stiffness at Front wheel)을 장착함으로써 어느 정도 회복할 수 있음을 볼 수 있다. 승차감 측면에서는 노면의 작은 impact에 대해서는 승차감이 저하되는 모습을 보이지만 상용화가 되기에 충분한 점수를 받았다.

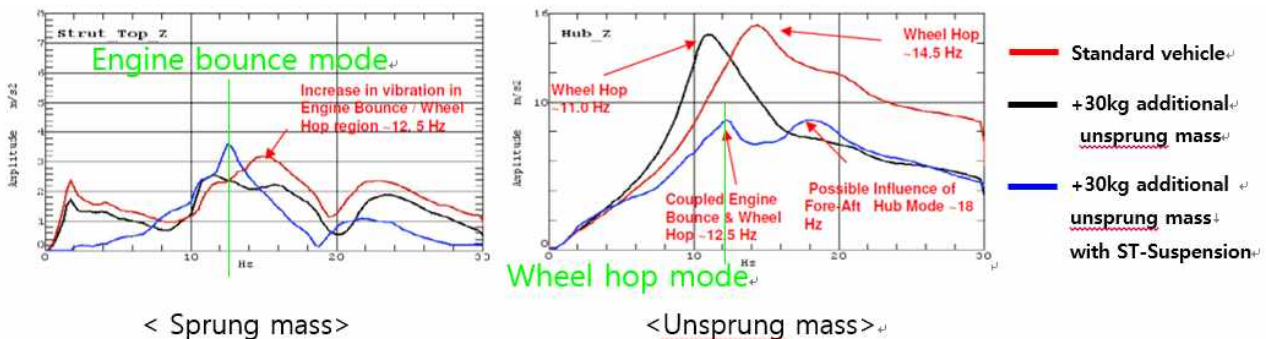
○ Test rig를 이용한 객관적인 평가

- 주행 중 진동(Ride Shake)에 대한 수직방향 가속도



위의 그래프에서 보듯이 Sprung mass(Strut_Top_z)의 가속도는 ST-Suspension(High stiffness)의 영향으로 저주파 노면 진동에 대하여 가속도가 크게 나타남을 볼 수 있다. Unsprung mass(Hub_z)에서는 30Kg의 추가적인 질량이 공진주파수를 낮추지만 ST-suspension의 영향으로 인해 전반적인 주파수에서 급격한 Peak값 없이 가속도를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

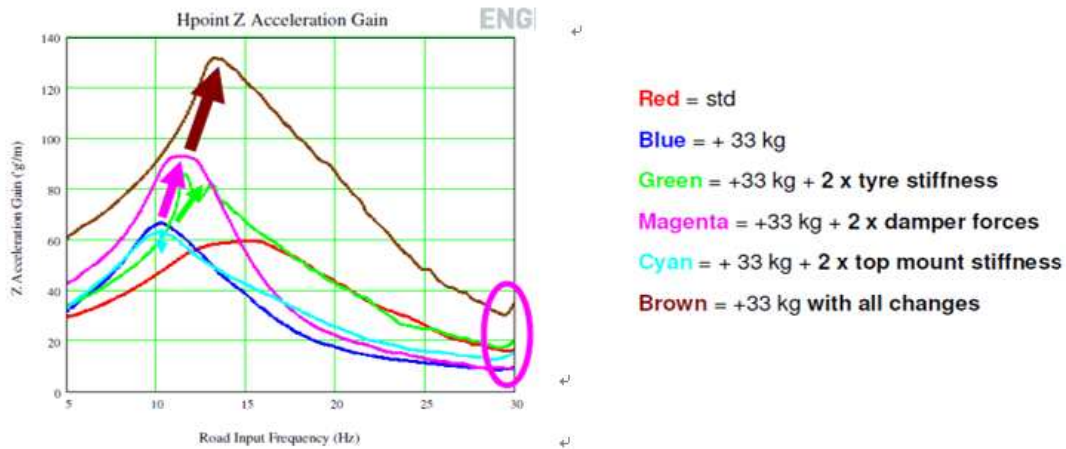
- Test rig에서 수직방향 진동에 대한 가속도



위의 그래프는 Two post shaker rig에서 수직방향 진동을 주어 Sprung, Unsprung mass의 수직방향 가속도를 측정한 결과이다. Sprung mass의 그래프를 살펴보면 저주파수에서 가속도가 많이 감소함을 볼 수 있고 전반적으로 가속도가 많이 감소했음을 볼 수 있다. 그러나 12~13Hz사이에서 Engine의 bounce mode(엔진의 수직방향 공진)가 발생하여 큰 가속도가 생기기도 한다. Unsprung mass를 살펴보게 되면 ST-Suspension(High stiffness)를 장착하면서 가속도가 많이 감소됨을 알 수 있다. 마찬가지로 12~13Hz에서 Engine의 공진으로 인하여 Peak가 생기는 현상을 볼 수 있다.

전기자동차는 엔진이 존재하지 않기 때문에 Engine bounce와 Wheel hop이 couple 되는 현상을 막을 수 있다. (배터리와의 coupling에 대한 추후 연구 필요)

- Suspension의 다양한 변화에 대한 주파수 특성



위 그림은 표준자동차(Red), Unsprung mass에 33kg이 추가된 차량(Blue), 타이어의 Stiffness가 2배로 증가한 차량(Green), Damping Coefficient가 2배로 증가한 차량(Magenta), 바퀴-차체 간 Stiffness가 증가한 차량(Cyan), 위의 모든 변화를 포함하는 차량(Brown)의 6가지 종류의 차량에 대한 주파수 특성을 나타낸다.

기존의 차량에 비하여 Unsprung mass가 증가하면 Peak 주파수가 감소하는 모습을 볼 수 있다. 타이어의 Stiffness나 Damper를 증가시키면 Peak값이 급격히 증가하며, Top mount stiffness만 증가한 차량이 최적의 가속도를 보인다.

이와 같이 Unsprung mass에 질량이 추가되면서 나타나는 승차감, 선회능력, 제어능력의 저하는 Stiffness의 증가로 만회할 수 있다. 그러나 실제 바퀴의 무게가 증가된 경우 현가장치(Suspension)에 추가적인 개선이 없이도 모든 실험 결과가 소비자가 부담할 수 있는 범위에 존재한다.

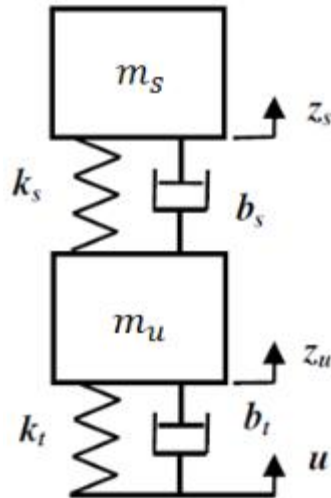
- Armadillo-T Simulation

Group	Item	목표	System Total[kg] (현 진행중)	Weight[kg]	Quan	Total[kg]
Motor assembly	Rotor	108	110	2.5	4	10
	Stator			3	4	12
	Housing			7.4	4	29.6
Wheel Tire	Tire	5.5	5.5	10.1	4	40.4
Brake	Caliper			1.5	4	6
	Disk			3	4	12
	Parking brake			2	2	4
	Master cylinder assembly			1.5	1	1.5
Wiring	Floor wiring	9	9	2	1	2
	Control wiring			2	1	2
	Main Wiring			5	1	5
	12V BATTERY			10	1	10
Frame	Front frame	151	164	59	1	59
	Rear frame			65	1	65
	Folding Bearing			3	4	12
	Bar assembly - cowl cross			3	1	3
	MT'G BRKT			2	1	2
Folding system	Folding 보조바퀴	9	9	6	1	6
	Controller			2	1	2
	Folding motor			7	1	7
Suspension	Upper arm	26	26	3.5	2	7
	Lower arm			3.5	2	7
	Shock absorber			3	4	12

Armadillo-T의 무게 표를 보면 위의 표와 같다.

- 총 질량 : 577.9kg
- Unsprung mass = 모터 + 바퀴 + 브레이크 + Lower arm + 1/2 of shock absorber
= 118.5kg

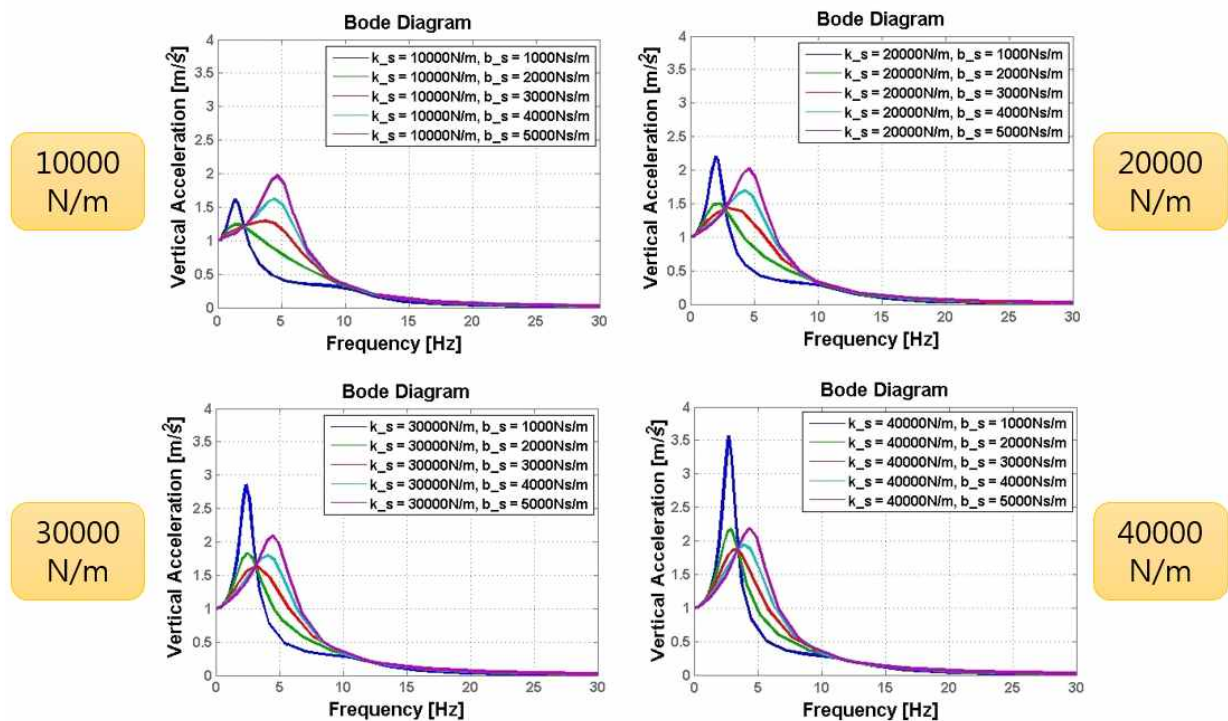
• Sprung mass = 총 질량 - Unsprung mass = 459.4kg



<그림> 1/4 car model

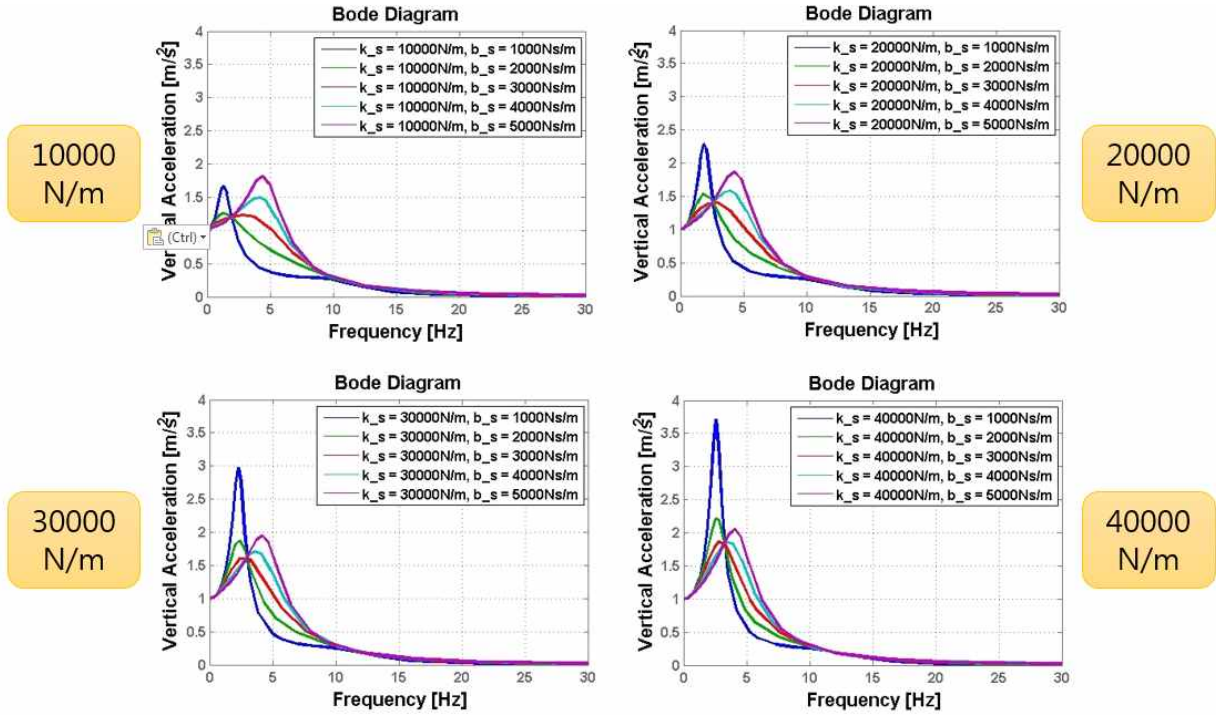
이 simulation을 위해 왼쪽 그림과 같이 1/4 car model (Quarter car model)을 사용하면 $K_t = 130000 \text{ N/m}$, $b_t = 100 \text{ Ns/m}$, $m_s = 459.4/4 = 114.9 \text{ kg}$, $m_u = 118.5/4 = 29.6 \text{ kg}$ 이고, 모터의 질량 : $2.5 + 3 + 7.4 = 12.9 \text{ kg}$ 이다.

따라서 같은 질량에서 단일 모터 차량(Single 모터 vehicle)의 경우 Unsprung mass가 16.7 kg ($29.6 \text{ kg} - 12.9 \text{ kg}$)이고 Armadillo-T(인휠모터 vehicle)인 경우 Unsprung mass가 29.6 kg 이 된다.

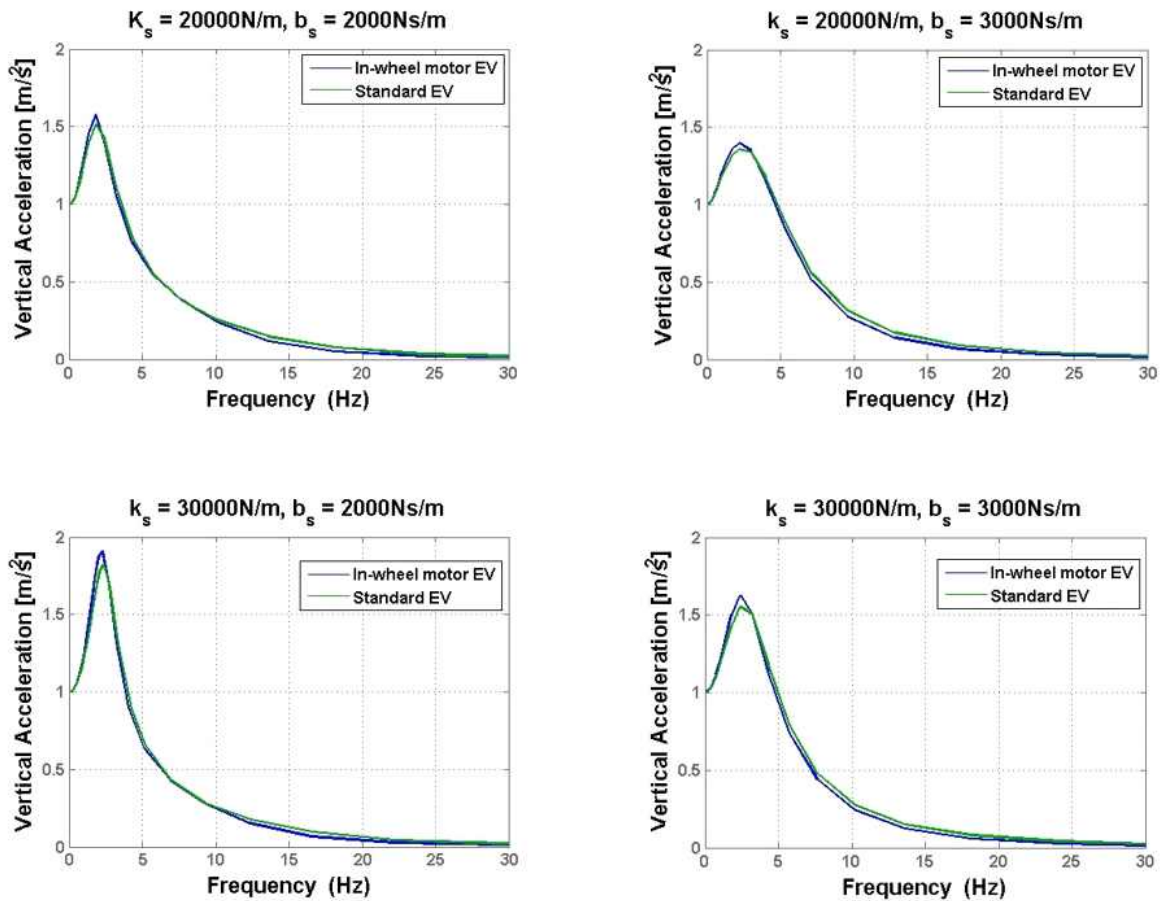


단일 모터 차량(Sprung mass = 127.8 kg , Unsprung mass = 16.7 kg)의 경우 그래프를 보면 Stiffness가 커질수록 가속도의 최댓값도 매우 커지는 현상을 관찰 할 수 있다. Damping은 1000 Ns/m 에서부터 값이 커질수록 최댓값이 작아지다가 3000 Ns/m 이후 다시 최댓값이 커지는 현상을 관찰 할 수 있다. 그러나 공진주파수가 커져 승차감을 개선할 수

있을 것으로 예측된다.(사람은 일반적으로 1~2Hz에서 큰 불쾌감을 느낀다.)



위의 그래프는 Armadillo-T에 대한 정보를 Simulation에 입력한 경우 나타는 그래프의 개형이다. 앞에서 본 단일 모터 차량과 비슷한 개형을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 둘 사이의 비교를 하는 그래프를 그려보아야 한다.



위의 그래프들을 보면 단일모터차량(Standard vehicle)과 Armadillo-T(인휠모터 EV)의

차이가 크게 나지 않음을 알 수 있다. Armadillo-T의 경우 최댓값이 약간 증가하고, 공진주파수가 조금 더 작아지는 모습을 볼 수 있지만 그 차이가 매우 미비하다. 따라서 Unsprung mass에 모터의 무게만큼 증가하는 것은 전체 차량의 능력이나 승차감에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

나. 배터리 전압/SOC 해석

○ RESS 사양 및 특성

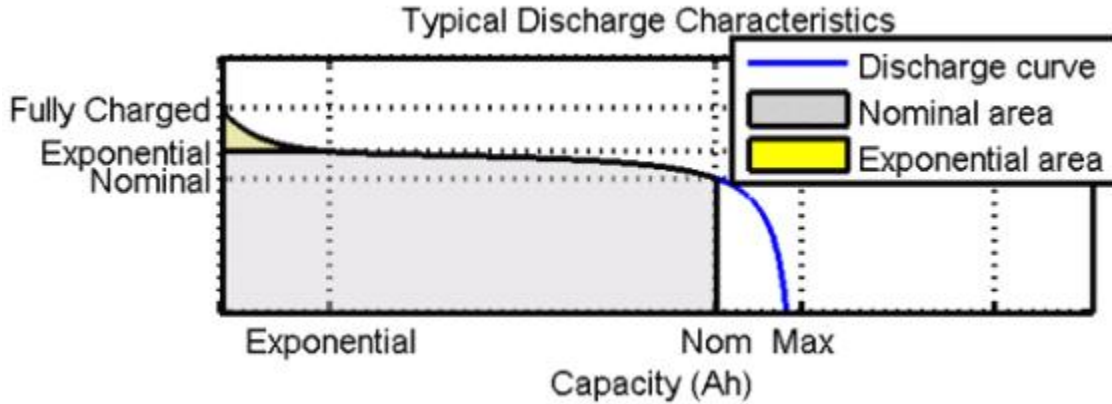
재충전 가능한 에너지 저장장치(RESS)는 전기자동차의 주 동력원으로서, 차량의 운행 가능 거리 및 차량의 무게와 밀접하게 관련되어 있다. 이에 따라 본 과제에서 접이식 차량을 개발함에 있어, 배터리 무게, 전압, 가격 등을 검토하여 RESS를 선택하였으며, 선택된 CALB社의 리튬이온 배터리(Li-Ion battery) 주요 사양은 아래와 같다.

<그림> 접이식 초소형 자동차의 RESS로 사용된 배터리 사양

구분	명칭	전기적 사양
용량	공칭 용량	70Ah@0.3C
	최소 용량	70Ah@0.3C
전압	공칭 전압	3.2V
임피던스	내부 임피던스	$\leq 1\text{m}\Omega$
충전전류	정격 충전전류	0.3C
	최대 충전전류	3.6V
방전전류	정격 방전전류	0.3C
	최대 방전전압	2.5V
SOC	권장 SOC	10% ~ 90%
허용온도	충전 시 허용온도	0 °C ~ 45 °C
	방전 시 허용온도	-20 °C ~ 55 °C
보관온도	보관 온도(1달 이내)	-20 °C ~ 45 °C
	보관 온도(1년 이내)	-20 °C ~ 20 °C
습도	습도	<70%
무게	배터리 셀당 무게	약 2.5kg
재질	표면 재질	플라스틱

리튬이온 배터리(Li-Ion battery)의 SOC 분석에 앞서 사용 측면에서의 리튬이온 배터리 특성을 먼저 설명하면, 리튬이온 배터리의 경우 충전 및 방전을 자주 실시하여 공칭전압 범위에서 사용될 것을 권장하고 있다. 앞서 소개한 배터리 사양으로부터 권장 SOC는 10% ~90%의 범위인 것으로 소개하고 있으며, 즉, 본 구간이 공칭 전압범위라 할 수 있다. 리튬이온 배터리(Li-Ion battery)의 경우, 최대 방전전압 2.5V이하로 떨어지게 되면 배터리의 수명이 급격히 감소하는 특성이 있으며, 이러한 이유로 배터리의 SOC 잔량이

10% 이하로 떨어지는 것을 지양하고 있다.

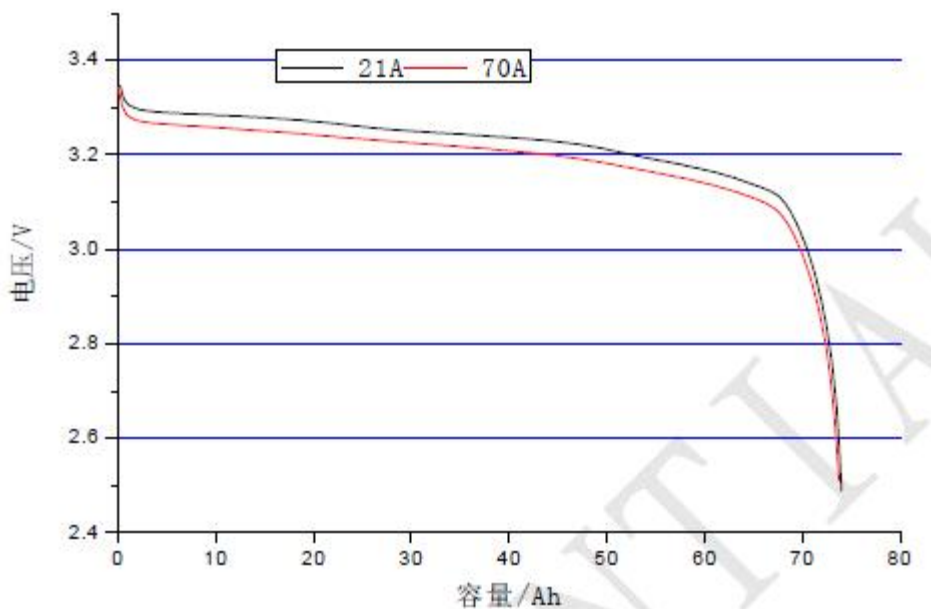


<그림> 구간별 배터리 상태

○ SOC 분석 방법

- SOC 곡선의 구간별 특성

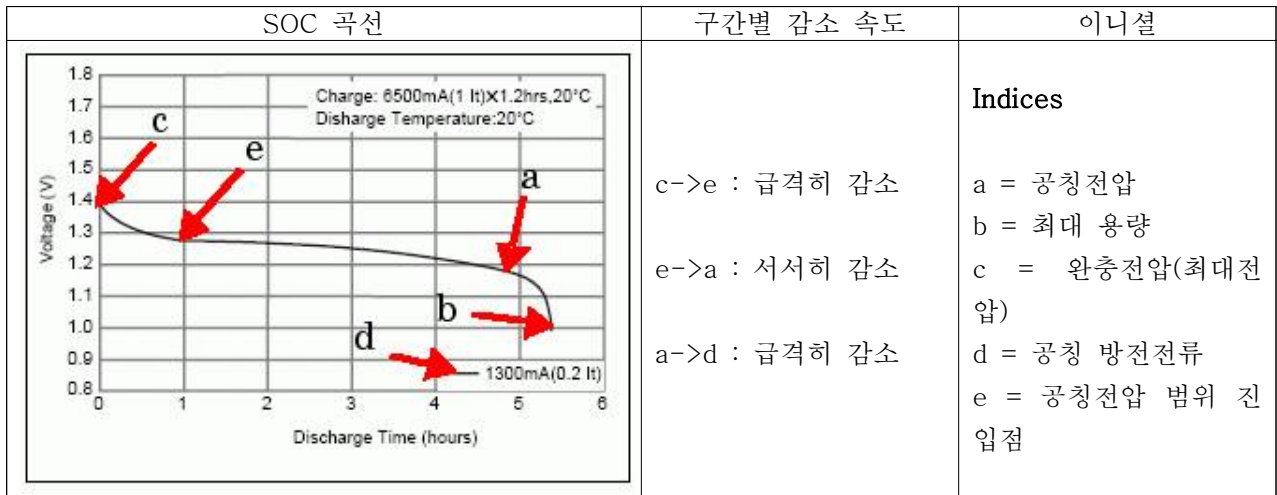
RESS 제조업체인 CALB社에서 제공한 설명서에 제시되어있는 SOC 곡선은 앞서 설명한 리튬이온 배터리의 특성을 그대로 반영하여 추정한 것을 확인할 수 있다. 그래프 상에서 살펴보면, 3.1V를 기점으로 SOC가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있음. 본 그래프에서는 초기 감소 구간이 생략되어 있으며, 약 2.5V에서 커브가 종료되는 것을 확인할 수 있다.



<그림> CALB社에서 제공한 매뉴얼 상의 배터리 SOC 감소 곡선

앞서 소개한 배터리 사양을 바탕으로 리튬이온 배터리(Li-Ion battery)의 SOC 감소 특성을 설명하면, SOC 100%를 나타내는 최대 전압으로부터 SOC 90% 공칭전압 범위의 진입점까지 급격히 감소하게 된다. 이후 SOC 90%에서부터 10% 까지 SOC가 감소하게

되며, 이 구간에서의 전압 평균이 공칭전압을 의미한다. 10% 이하로 SOC가 감소하게 되면 SOC가 급격히 감소하게 되는 형태이다.

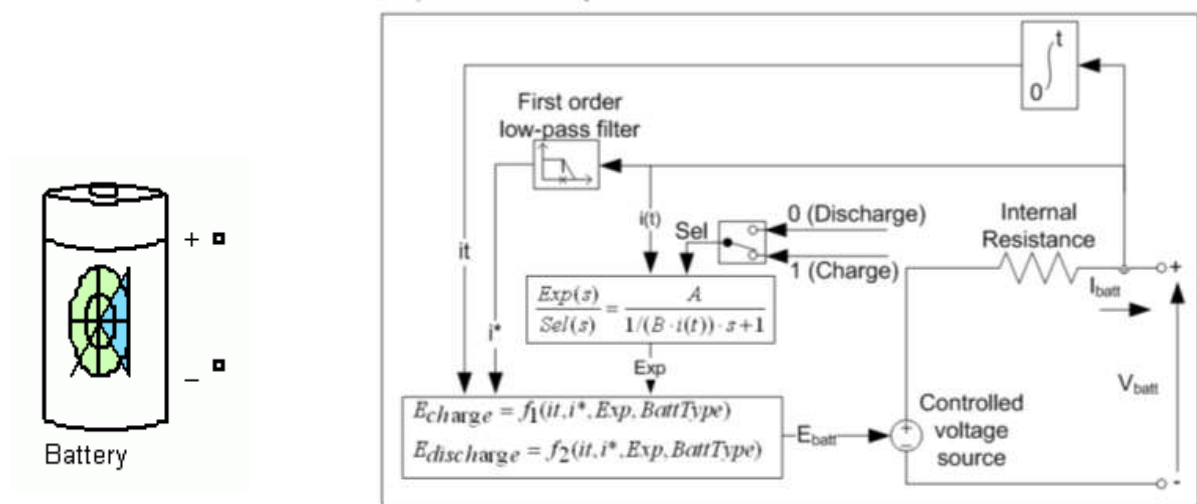


<그림> 배터리 SOC 감소 곡선 및 구간별 속도 특성

- 배터리 SOC 분석 모델링

배터리 SOC를 시뮬레이션으로 분석하기 위해 Mathwork의 MatLab Simulink를 활용하여 배터리에 대한 모델링을 실시하였다. 배터리 모델링에는 소프트웨어에서 제공하는 라이브러리를 활용하였다.

· 배터리 모델



<그림> 배터리 모델

배터리 모델은 배터리 SOC를 추산하기 위한 각 패러미터들이 정의되어 있으며, 이에 따라 원하는 종류의 배터리에 대해 시뮬레이션을 실시할 수 있다. 배터리 모델을 위한 시뮬레이션 수리식은 아래와 같다.

• Indices

E_{batt} = 비선형 전압 (V)

E_0 = 상시 전압 (V)

$\exp(s)$ = exponential zone 동특성 (V)

$Sel(s)$ = 배터리 상태 , 배터리 방전 중일 경우 $Sel(s)=0$

$Sel(s)$ = 배터리 상태 , 배터리 충전 중일 경우 $Sel(s)=1$

K = 극저항(Ohms)

i^* = 저주파 전류 동특성 (A)

i = 배터리 전류 (A)

it = 통전 전류 (Ah)

Q = 배터리 최대 전류 (Ah)

A = Exponential 전압 (V)

B = Exponential 커패시티 (Ah^{-1})

• 충전 모델

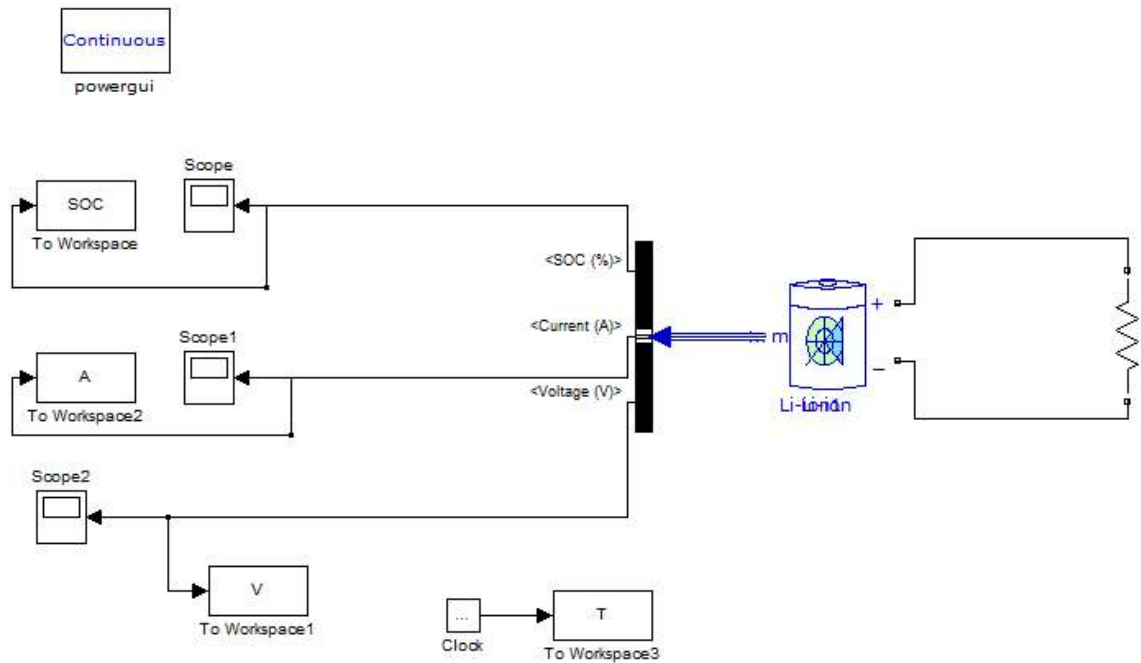
$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it)$$

• 방전 모델

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it)$$

○ SOC 분석 시뮬레이션

SOC 시뮬레이션을 위해 Simulink를 이용하여 시뮬레이션 모델을 작성하였으며, 측정 대상은 전압, 전류, SOC 등 3개이다. 각각의 측정 대상은 row 데이터 형태로 저장되어 이를 그래프로 나타내어 SOC 곡선을 산출하였다. 실제 주행환경을 반영하여 시뮬레이션을 실시할 경우 막대한 시뮬레이션 시간이 요구되기 때문에, 순수한 배터리 SOC의 감소를 확인하는 것이 본 시뮬레이션의 목적이며, 본 시뮬레이션을 통해 배터리에 따른 공칭 전압 및 실제 공칭 전압 범위를 확인할 수 있었다.

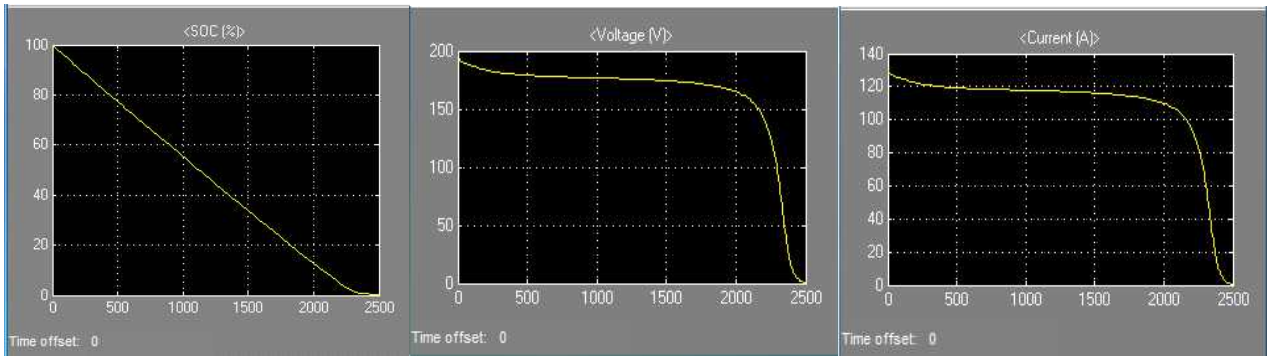


<그림> MatLab-Simulink를 이용한 배터리 시뮬레이션 모델

시뮬레이션을 위해 입력한 패러미터는 총 11개이며, 입력된 사항은 아래와 같다. 공칭전압은 현재 본 접이식 차량에 탑재하는 RESS인 CALB社의 배터리 셀을 54개로 구성하여 총 172.8V를 가진다. 정격 용량은 CALB사에서 제공된 매뉴얼에 있는 값을 입력하였으며, 초기 SOC 상태는 100%로 설정하였다. 완충 전압은 각 셀의 최대 전압인 3.6을 기준으로 하여 194.4V를 입력하였으며, 방전전류 및 내부저항 등은 매뉴얼의 값을 입력하였다.

<표> 시뮬레이션을 위해 입력한 각 패러미터

명칭	값
공칭 전압(Nominal Voltage)	172.8V (3.2*54)
정격 용량(Rated Capacity)	70 A
초기 SOC 상태(Initial State-of-Charge)	100 %
최대 용량 (Maximum Capacity)	75 A
완충 전압 (Full Charged Voltage)	194.4V (3.6*54)
공칭 방전 전류 (Nominal Discharge Current)	21
내부 저항 (Internal Resistance)	0.001
공칭 전압에 대한 용량 (Capacity @ Nominal Voltage)	65
exponential zone	[3.33*54 21]
방전전류 (discharge current)	30
배터리 응답 시간 (Battery response time)	30



<그림> 시뮬레이션에 따른 SOC, 전압, 전류 감소 곡선

공칭 전압 단위	SOC	전압	전류	배터리
SOC 90%	90.35262	183.2987	122.1992	Max : 194.4V Nominal : 172.8V
SOC 50%				
SOC 45%	46.10013	172.7839	115.1892	
SOC 10%	10.89462	162.3601	108.2401	

<그림> SOC 구간 별 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 실시 결과, 공칭 전압구간에 진입하는 90% SOC에서의 전압은 약 183.3V로 나타났으며, 공칭 전압범위가 종료되는 10% SOC에서의 전압은 약 162.4V로 나타났다. 매뉴얼 상에서의 3.2V에 해당하는 공칭전압에 대한 구간은 SOC 46%일 때인 것으로 나타났다으며, 본 전압은 SOC 10%에서 90%의 공칭 전압 범주의 평균에 해당하는 것으로 시뮬레이션 결과가 나타났다.

Time	V	A	SOC	Time	V	A	SOC	Time	V	A	SOC
0	194.2915	129.5276	100	62.54138	188.8985	125.9323	97.05036	804.9445	177.4866	118.3244	63.93357
3.16E-30	194.2915	129.5276	100	71.84872	188.4051	125.6034	96.61683	834.8756	177.3797	118.2531	62.62228
6.31E-30	194.2915	129.5276	100	82.79831	187.8553	125.2368	96.1082	865.3989	177.2731	118.1821	61.28583
6.18E-05	194.2915	129.5276	100	96.17241	187.2245	124.8164	95.48891	896.5466	177.1661	118.1107	59.92288
0.000124	194.2914	129.5276	99.99999	114.3753	186.4321	124.2881	94.64923	928.3619	177.0576	118.0384	58.53155
0.000247	194.2914	129.5276	99.99999	134.8465	185.6231	123.7488	93.70897	960.9065	176.9465	117.9644	57.10922
0.000494	194.2914	129.5276	99.99998	152.7948	184.9783	123.3189	92.8878	994.2727	176.8318	117.8878	55.6519
0.000988	194.2913	129.5275	99.99995	171.0556	184.3779	122.9186	92.05513	1028.608	176.7117	117.8078	54.15324
0.001976	194.291	129.5274	99.99991	189.6547	183.8185	122.5457	91.20971	1064.176	176.5844	117.7229	52.6019
0.003953	194.2906	129.5271	99.99981	208.5656	183.2987	122.1992	90.35262	1101.531	176.4463	117.6309	50.97378
0.007906	194.2898	129.5265	99.99962	227.7929	182.8159	121.8773	89.48358	1142.384	176.2888	117.5258	49.19476
0.015811	194.2881	129.5254	99.99924	247.3431	182.3676	121.5784	88.60218	1172.957	176.1656	117.4437	47.86442
0.031623	194.2847	129.5231	99.99848	267.223	181.9516	121.3011	87.70805	1203.531	176.0372	117.3581	46.53502
0.063245	194.2779	129.5186	99.99697	287.4395	181.5656	121.0437	86.80077	1234.349	175.9016	117.2678	45.19597
0.12649	194.2644	129.5096	99.99393	308.0001	181.2075	120.805	85.87994	1263.185	175.7687	117.1791	43.94402
0.252981	194.2376	129.4918	99.98787	328.9124	180.8755	120.5836	84.94514	1290.92	175.6346	117.0897	42.74078
0.505961	194.1847	129.4565	99.97573	350.1843	180.5675	120.3783	83.99595	1318.972	175.4921	116.9947	41.52479
1.011923	194.0814	129.3876	99.95148	371.8239	180.2819	120.1879	83.03193	1347.288	175.3405	116.8937	40.29835
2.023846	193.8847	129.2565	99.90301	393.8397	180.0169	120.0112	82.05265	1375.208	175.1826	116.7884	39.09011
4.047692	193.5265	129.0177	99.80622	416.2403	179.7709	119.8473	81.05767	1402.604	175.0188	116.6792	37.90564
6.762297	193.1073	128.7382	99.67665	439.0346	179.5425	119.695	80.04653	1429.7	174.8471	116.5648	36.73528
9.801701	192.7031	128.4687	99.53188	462.2316	179.3302	119.5534	79.01879	1456.578	174.6665	116.4444	35.57546
13.16027	192.3166	128.211	99.37224	485.8406	179.1325	119.4217	77.97399	1483.168	174.4767	116.3178	34.42934
16.83541	191.9467	127.9645	99.1979	509.8711	178.9483	119.2989	76.91167	1509.421	174.2772	116.1848	33.29896
20.84167	191.589	127.726	99.0082	534.3326	178.7763	119.1842	75.83137	1535.345	174.0673	116.0449	32.18409
25.20642	191.2375	127.4917	98.80192	559.2351	178.6152	119.0768	74.73262	1560.944	173.8461	115.8974	31.08456
29.97022	190.8858	127.2572	98.57718	584.5885	178.4639	118.9759	73.61495	1586.207	173.6127	115.7418	30.00087
35.18873	190.5274	127.0183	98.33146	610.4028	178.3214	118.8809	72.4779	1611.122	173.3664	115.5776	28.93355
40.93646	190.1561	126.7708	98.06133	636.6885	178.1867	118.7911	71.32098	1635.682	173.1061	115.4041	27.883
47.31292	189.7655	126.5103	97.76225	663.4562	178.0586	118.7057	70.14372	1659.88	172.8308	115.2206	26.84958
54.45252	189.3488	126.2325	97.42809	690.717	177.9363	118.6242	68.94561	1683.706	172.5394	115.0263	25.83366

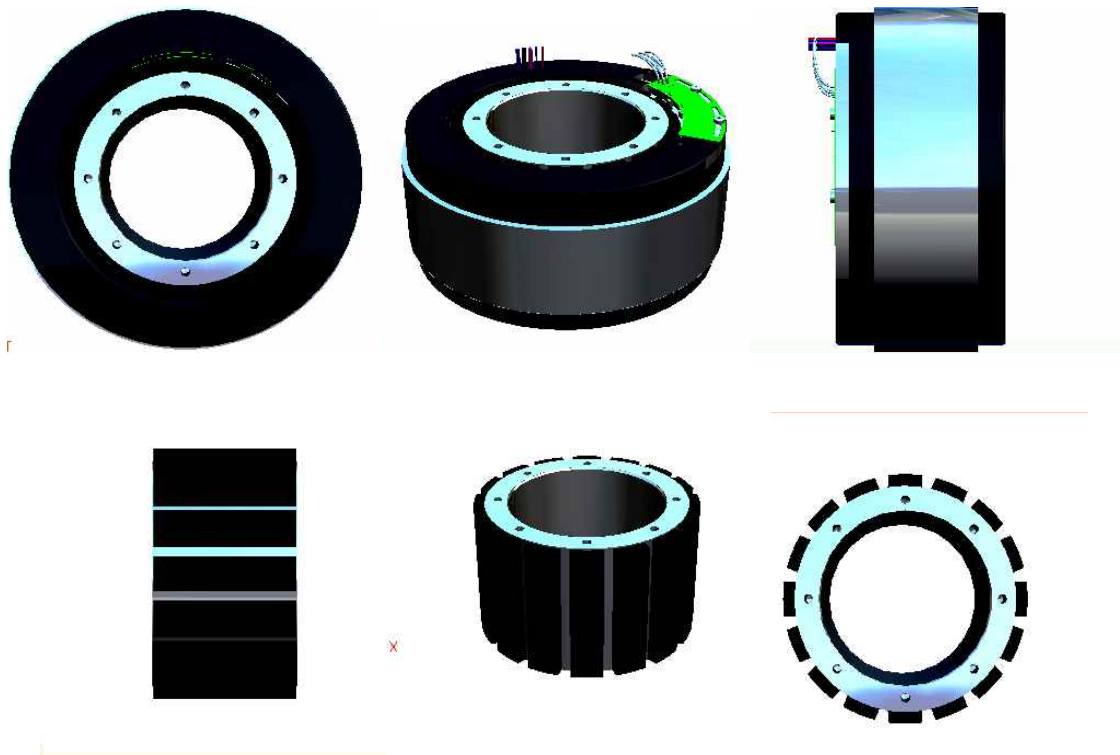
Time	V	A	SOC	Time	V	A	SOC
1775.149	171.1862	114.1241	21.95245	2276.586	112.2292	74.81944	2.411745
1797.01	170.7934	113.8622	21.02947	2284.256	107.234	71.48932	2.203873
1818.459	170.3752	113.5834	20.12604	2291.614	101.9822	67.98811	2.013755
1839.49	169.9295	113.2863	19.24245	2298.676	96.50462	64.33641	1.840631
1860.098	169.4541	112.9694	18.37896	2305.46	90.84234	60.56156	1.683659
1880.279	168.9464	112.6309	17.53582	2311.985	85.04566	56.6971	1.541927
1900.029	168.4036	112.2691	16.71325	2318.271	79.1725	52.78167	1.414458
1919.345	167.8228	111.8819	15.91146	2324.339	73.28582	48.85721	1.300232
1938.222	167.2006	111.4671	15.13064	2330.211	67.45029	44.96686	1.198197
1956.66	166.5332	111.0221	14.37097	2335.91	61.72883	41.15255	1.107299
1974.654	165.8166	110.5444	13.6326	2341.462	56.1792	37.4528	1.026498
1992.205	165.0462	110.0308	12.91567	2346.89	50.85134	33.9009	0.95479
2009.311	164.2172	109.4781	12.22029	2352.219	45.78552	30.52368	0.891225
2025.971	163.3238	108.8825	11.54658	2357.476	41.01154	27.34103	0.83492
2042.185	162.3601	108.2401	10.89462	2362.686	36.5489	24.36593	0.785067
2057.953	161.3193	107.5462	10.2645	2367.874	32.40768	21.60512	0.740937
2073.275	160.194	106.796	9.656256	2373.065	28.58996	19.05997	0.701879
2088.154	158.976	105.984	9.069949	2378.286	25.09135	16.72757	0.667319
2102.59	157.6563	105.1042	8.505604	2383.561	21.90266	14.60178	0.636753
2116.585	156.2249	104.1499	7.963235	2388.916	19.01131	12.6742	0.60974
2130.142	154.671	103.114	7.442841	2394.379	16.4025	10.935	0.585896
2143.263	152.9827	101.9885	6.944404	2399.976	14.06023	9.373489	0.564885
2155.953	151.1473	100.7648	6.467888	2405.736	11.96793	7.978617	0.546414
2168.215	149.1508	99.43385	6.013238	2411.689	10.10893	6.739289	0.530224
2180.053	146.9785	97.98565	5.580378	2417.869	8.466863	5.644575	0.516088
2191.473	144.6148	96.40983	5.169208	2424.31	7.025761	4.683841	0.503804
2202.48	142.0434	94.69558	4.779604	2431.049	5.770236	3.846824	0.493191
2213.08	139.2478	92.83186	4.411408	2438.129	4.685508	3.123672	0.484086
2223.281	136.2116	90.80771	4.06443	2445.589	3.757423	2.504948	0.476342
2233.09	132.919	88.61266	3.738441	2453.471	2.972435	1.981623	0.469825
2242.515	129.3559	86.23726	3.433164	2461.808	2.317554	1.545036	0.46441
2251.567	125.5106	83.67374	3.148274	2470.617	1.780228	1.186819	0.459981
2260.255	121.3752	80.91679	2.883386	2479.88	1.348117	0.898744	0.456429
2268.591	116.9468	77.96453	2.63805	2489.527	1.008685	0.672457	0.453644
				2500	0.736585	0.491057	0.451411

<표> 배터리 SOC raw data

다. 인휠모터 성능 추정 및 해석

○ 표면 부착형 영구자석 동기 모터 특성

모터는 제조사가 Kollmorgen 인 모델명 KBMS-43s03-C인 모터를 사용한다. 모터는 구조상, 구동 방식상으로 분류한다. 구조상 분류한 경우, 표면 부착형 영구자석 모터(SMPM, Surface Mounted Permanent Magnet 모터), 16개의 영구 자석이 회전자의 외측 표면에 부착되는 구조, 마지막으로 고정자에 회전자에 부착된 각각의 영구자석 장착위치에 3개의 coil이 장착되어 3상전원이 회전자 위치에 맞추어 순차적으로 자속을 발생하는 구조가 있다.



<그림> 영구자석 동기화 방식 모터 (회전자와 고정자)

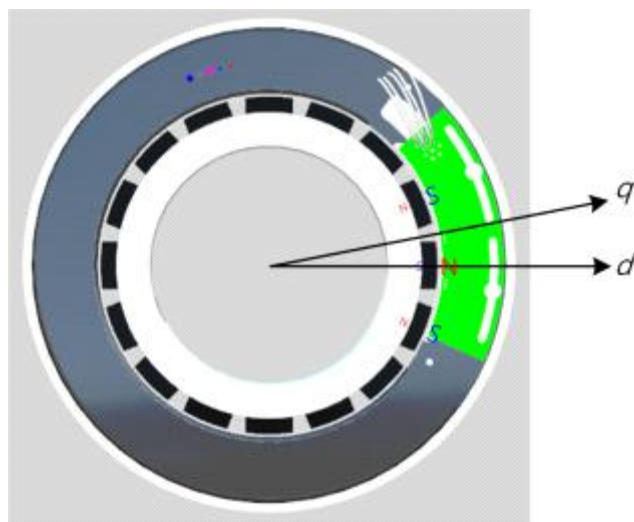
구동 방식 상 분류하는 것은 입력 전력 파형, 혹은 Back-EMF 파형에 따라 분류하는 것으로 세가지 경우가 있으며, 첫째는 동기모터, 둘째는 Back EMF파형이 Sinusoidal 형태인 동기 모터, 마지막으로 Back EMF파형이 Trapezoidal 인 Brushless 직류 모터(DC 모터)가 있다. KBMS 43s03-c는 표면 부착형 영구자석 동기 모터(SMPMSM, Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous 모터)이다. (출처, <전기기기제어론>, 설승기 저)

영구 자석 동기 모터(PMSM)는 부하 또는 회선 전압의 변동에 관계없이 전원의 주파수와 동기화된 상태에서 고정 속도로 회전한다. 즉, 모터는 최대 작동 한계 안에서 부하에 관계없이 공급 전원 주파수와 동기화된 상태에서 고정 속도로 작동하게 된다. 3상 PMSM은 영구 여자 모터(excited 모터)이므로 매우 높은 전력 밀도, 효율성 및 높은 응

답 속도를 제공한다. 기계 설계 분야의 정밀 용도에 대부분 적합하며, 높은 과부하 용량도 갖추고 있다. PMSM은 대부분 유지보수가 필요하지 않으므로 운영 효율성을 극대화할 수 있고, 정밀한 속도 조정이 가능해 특정 산업 공정에 이상적이다. 고마력, 저 rpm 부하의 직접 구동에 가장 적합한 속도/토크 특성을 가진다. 동기 모터는 개선된 역률(power factor)로 작동하므로, 시스템 전체의 역률이 높아지고 공급 전원의 역률 손실이 제거되거나 감소된다. 이렇게 개선된 역률은 또한 시스템의 전압 강하와 모터 단자에서 발생하는 전압 강하를 줄여준다. PMSM에는 여자 권선이 필요하지 않으며, 로터가 고정자 자계와 같은 속도로 회전하고 PMSM 디자인은 로터 동손(copper loss)이 없으므로 기존 유도 모터와 비교하여 매우 높은 피크 효율을 제공할 수 있다. PMSM은 전력 대 중량비도 유도 모터보다 높다. 전력 전자 및 마이크로 전자 분야의 발전으로 인해 이전까지 DC 모터만 사용되어 왔던 고성능 드라이브에 PMSM을 활용할 수 있게 되었다.

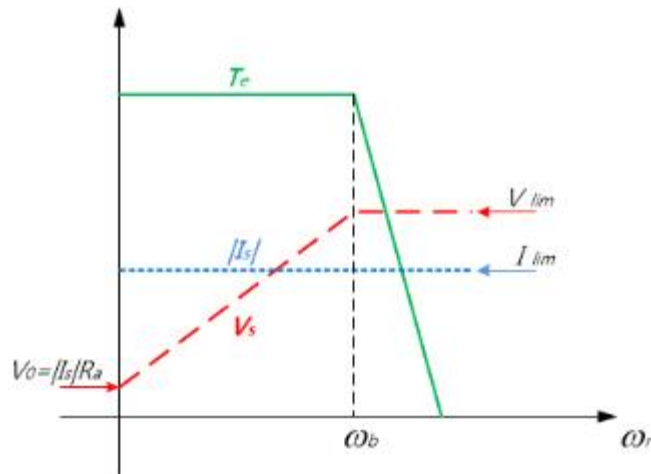
○ 영구자석 동기모터의 제어 이론

PMSM은 벡터 제어와 같은 정밀한 제어 방식으로 고성능 4상한(four-quadrant) DC 드라이브와 동일한 제어 기능을 제공할 수 있다. 벡터 제어는 PM 동기 모터를 정교하게 제어할 수 있는 방식으로, 자속, 전류 및 전압의 공간 벡터를 제어하는 데 자기장 중심(field-oriented)의 원리가 사용된다. 여기에서 벡터를 자기장 발생 부분과 토크 발생 부분으로 분해할 수 있는 좌표 시스템으로 구성할 수 있다. 모터 컨트롤러(벡터 제어 컨트롤러)의 구조가 타려(separately excited) DC 모터와 거의 동일해져 영구자석 동기 모터의 제어가 간단해졌다. 이러한 벡터 제어 기술은 과거에 PM 동기 모터에서 우수한 동적 성능을 달성하기 위해 특별히 개발되었다. 자속과 토크를 별도로 제어하려면 고정자 전류의 자기장 발생 부분과 토크 발생 부분을 분리해야 할 것이다. 여기서는 로터 자기장과 연결된 회전 좌표계를 구성(일반적으로 "d,q-좌표계"로 칭함)하였는데, 회전 좌표계에서 고정 좌표계로 변환하는 작업을 수행하려면 아주 높은 CPU 성능이 필요하다.



<그림> KBMS 43s03-c의 d-q axis 정의

영구자석 동기전동기의 성능 곡선은 아래 그림과 같다.



<그림> 표면부착형 영구자석 동기모터의 성능곡선

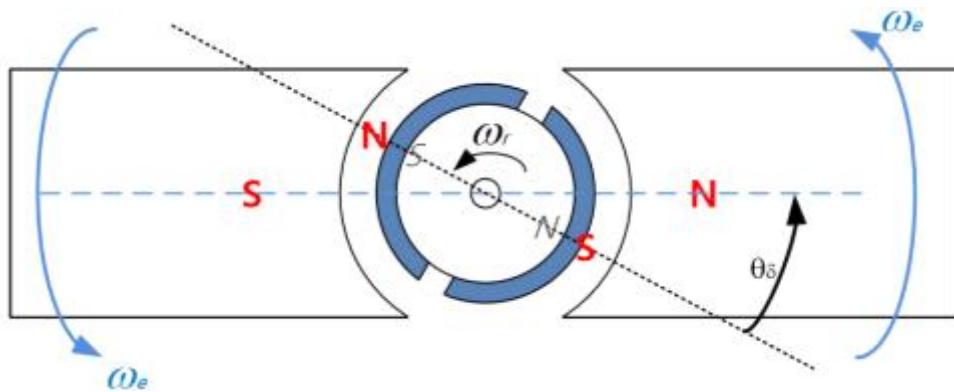
T_e 는 토크(부하), V_s 는 단자 전압(Voltage in the Stator winding), I_s 는 단자 전류(Current in the Stator winding), R_a 는 권선 저항(Winding Resistance), I_{lim} 는 전류 제한, V_{lim} 는 전압 제한, ω_b 는 기저속도(Base Speed), ω_e 는 회전자 속도를 나타낸다.

다음은 3상 전력회전자계의 등가모형을 설명하고, 등가회로를 해석한 후 발생 토크에 대한 것이다. 3상 전력-회전자계 등가 모델은 회전자계의 각도(3상 전원의 위치) θ_e 와 회전자의 회전각도 θ_r 의 차이는 θ_r 로 정의되며 정상상태일 때, 아래와 같은 관계를 가진다.

이 때, 회전속도(ω_r)와 외력은 일정하다. 아래에서 $\theta_r = \theta_{real} \frac{N_{pole}}{2}$ 이며, θ_{real} 은 회전자의 실제 회전각, N_{pole} 은 영구자석의 개수를 나타낸다.

$$\theta_e - \theta_r = \theta_\delta \text{ (회)}$$

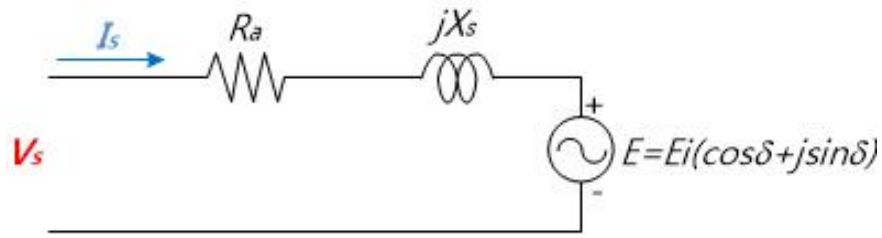
아래 그림과 같이, 표면부착형 영구자석 동기모터의 경우, 3상 전원을 이용한 자속 생성은 외부의 자석이 회전하면서 회전자의 자석에 힘을 발생시키는 구조로 등가화할 수 있다. ($\omega_e t = \theta_e$)



<그림> 회전자계의 등가화 (Pole이 2개인 경우, 모터ing)

(120° 의 위상차를 가지고 ω_e 의 주파수를 가지는 3상 전원을 ω_e 의 각속도를 가지고 회전하는 자석으로 등가화)

아래 그림은 등가 회로 해석(정상상태 해석)한 것이다. 동기모터의 정상 상태 등가회로이며, $\delta = -\theta_\delta$ 으로 부하각으로 정의된다. 즉 부하로 인하여 회전자계의 등가화를 설명한 위 그림의 θ_δ 가 커지는 경우이다.



<그림> 동기모터의 정상상태 등가 회로

부하로 인하여 회전자계와 회전자의 각도 차이가 $\theta_\delta(-\delta)$ 만큼 발생하면 이때 고정자 권선에 흐르는 전류는 R_a 를 무시했을 때, 아래 식으로 정의될 수 있다.

$$I_s = \frac{V_s - E_i(\cos\delta - j\sin\delta)}{jX_s}$$

이때 3상 전력에 대해 모터에 입력되는 전력을 더하면 아래와 같다.

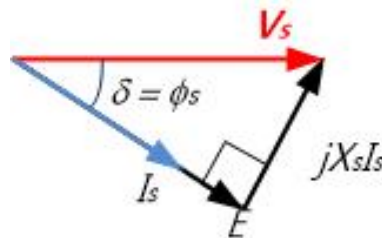
$$P_s = 3Re[V_s \cdot I_s^*] = \frac{-3V_s E_i \sin\delta}{X_s}$$

이때 $\delta < 0$ 이면 ($\theta_\delta > 0$) 모터는 전동기로, $\delta > 0$ ($\theta_\delta < 0$)이면 발전기로 작용할 것이다.

E_i = 기자력(EMF)은 아래와 같이 정의되며 회전자에 영구자석을 사용하는 경우, I_f 는 일정값(Constant)을 유지한다.

$$E_i = K_f I_f \omega_r = \lambda_f \omega_r \quad (\text{단, } \lambda_f \text{는 PM의 자속})$$

통상 인버터로 구동되는 표면부착형 영구자석 동기 모터는 단위전류 당 발생토크 (Torque/Ampere)를 최대화하기 위해 I_s 와 E (EMF)가 같은 위상을 유지하도록 제어 된다.



<그림> 표면 부착형 영구자석 동기모터의 단위 전류 당 최대 토크 운전 시 페이서도

X_s 는 동기임피던스로, L_s 는 동기인덕턴스와 함께, $X_s = \omega_e L_s$ 로 정의된다. ϕ_s 는 V_s 와 I_s 의 위상차(역률)이다.

다음은 발생 토크(부하)에 관한 설명이다. 고정자 권선을 포함한 전동기 내부 손실을 무시하면 정상 상태의 발생 토크와 마찰부하토크는 같다. 위의 전력 $P_s = T_L \omega_e$ 이고, 발생 토크는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$T_e = T_L \simeq \frac{P_s}{\omega_e} = -\frac{N_{pole}}{2} \frac{3V_s E_i \sin\delta}{\omega_e X_s}$$

이 때, N_{pole} 는 모터의 극수(Number of Pole))이다.

회전자에 인가되는 외력이 커질수록 부하각 δ 의 절대 값은 커지므로 전동기의 발생토크 역시 증가한다. 이 때 단위전류 당 발생토크는 $\delta = 90^\circ$ 에서 최대 값을 가진다.

$E_i = \lambda_f \omega_r$ 이므로 단위전류 당 최대 토크($\delta = 90^\circ, \sin\delta = 1$) 운전영역에서 토크는 아래와 같

이 정리할수 있다.

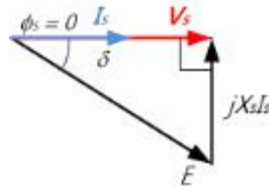
$$T_e = \frac{3}{2} N_p |I_s| K_f I_f = \frac{3}{2} N_{pole} |I_s| \lambda_f \quad (K_f I_f = \lambda_f = constant)$$

영구자석모터에서 N_p, λ_f 는 상수이므로 $K_T = \frac{3}{2} N_{pole} \lambda_f$ 일 때, $T_e = K_T I_s$ 로 표현할 수 있다. 즉, 최대토크는 I_{lim} 에 의해 제한되어 $T_{max} = K_T I_{lim}$ 와 같다.

만약, ω_e 가 낮은($\omega_e < \omega_b$)영역 에서는 R_a 의 효과를 무시할 수 없으므로 $V_s = R_a I_s + K_a \omega_e$ 로 제어한다.

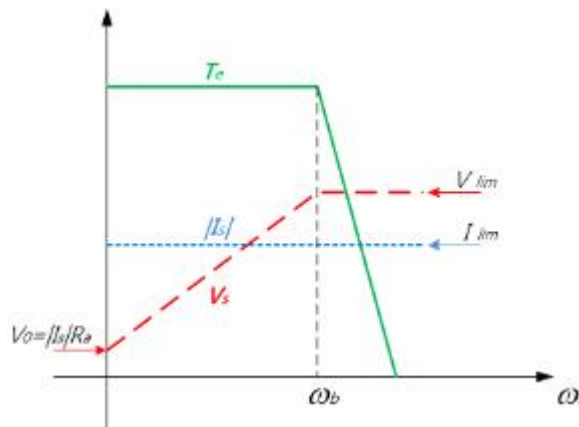
영구자석이 아닌 동기전동기의 경우에는 V_s 가 V_{lim} 에 도달한 경우(ω_e 가 ω_b 에 도달하면) 계자권선에 흐르는 I_f 를 제어하여 ω_e 가 증가함에 따라 단자전압의 크기 $|V_s|$ 가 증가하지 않고 V_{lim} 으로 유지되도록 한다.

최대 입력전력을 유지하여 T-N curve를 그리려면, I_s 와 V_s 간의 위상차 $\phi_s=0$ (역률=1)으로 유지하도록 한다. 또한 아래 그림과 같이 단자전압(V_s)과 인덕턴스에 의한 전압강하가 직각삼각형이 유지되도록 I_f 를 제어하여 E 를 제어하여야 한다.



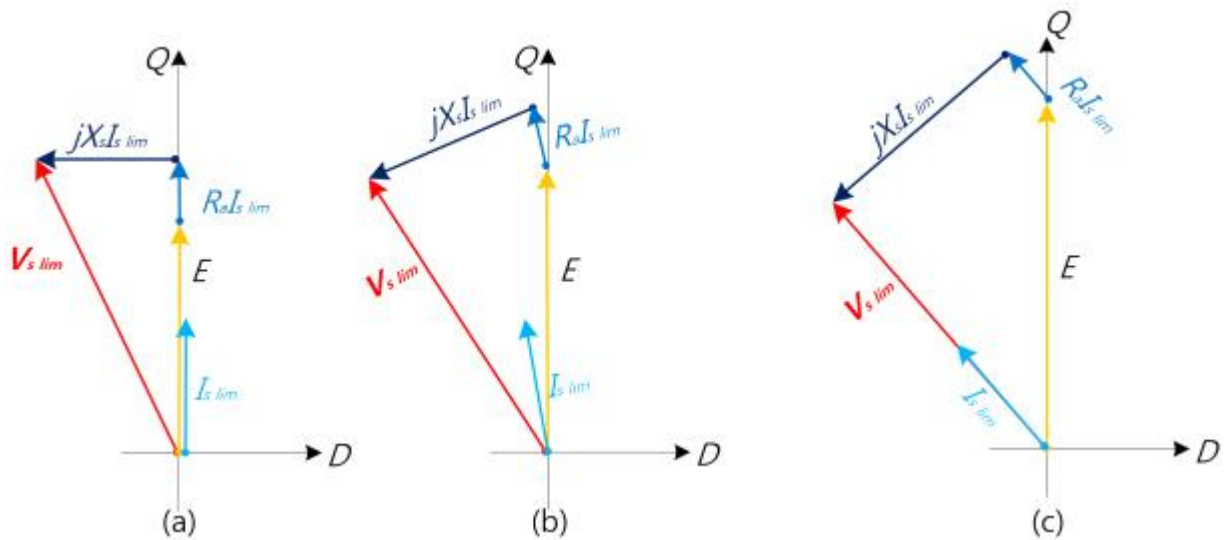
<그림> 전압과 전류가 최대치일 때 계자권선을 가지는 동기전동기의 최대토크 운전 시 페이서도

하지만 영구자석을 사용하는 경우, 자속 λ_f 가 고정되므로 위와 같이 약자속운전영역의 제어를 수행 할 수 없어서 자속제어가 가능한 동기전동기와 달리 그림8과 같이 ω_b 이후에 토크가 급속하게 낮아진다.



<그림> 표면부착형 영구자석 동기모터의 성능곡선

성능곡선에서의 기저속도(ω_b)는 아래 그림의 페이서도로부터 추정 할 수 있다. I_s 와 $jX_s I_s$ 는 항상 $\frac{\pi}{2}$ 만큼의 위상차 존재하고, 기자력 E 와 인덕턴스 X_s 는 회전속도에 비례한다.

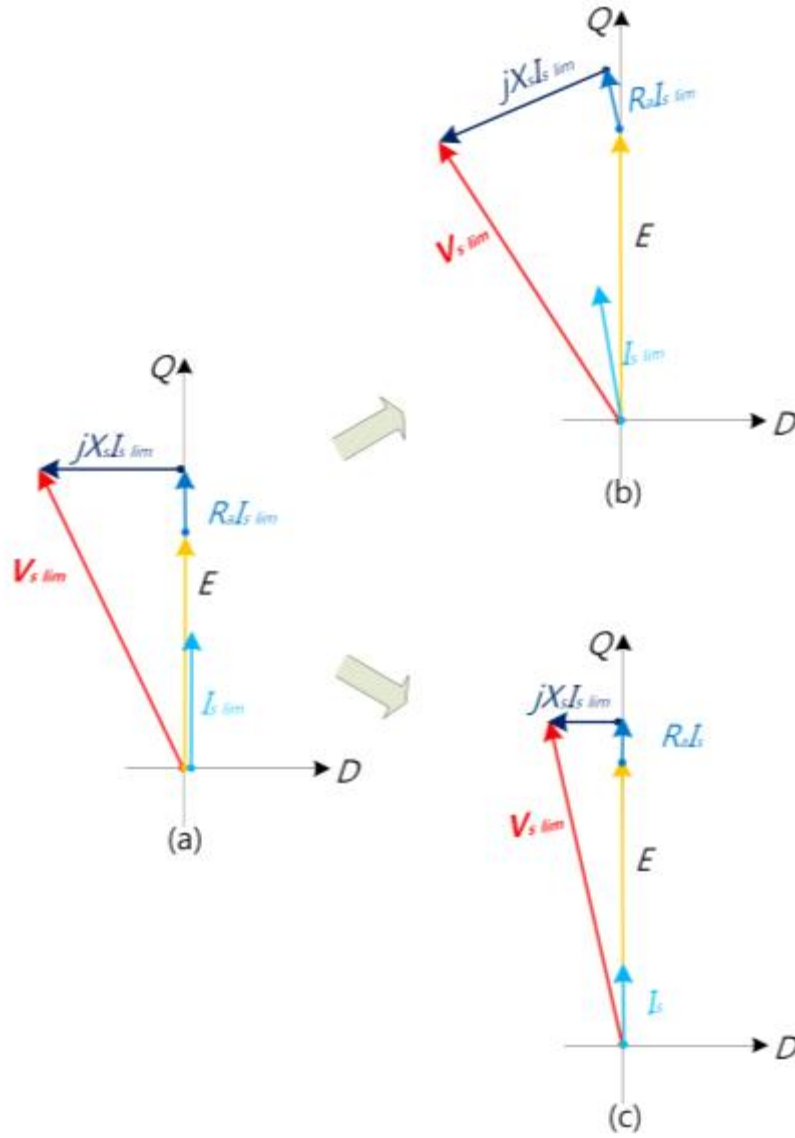


<그림> 단위전류 당 토크출력을 고려하지 않는 경우의 페이서도

모터제어기는 단위입력전류 당 최대 토크를 얻기 위하여 Q축에 전류성분이 최대가 되도록 제어한다. 즉, 출력토크가 Q축의 전류성분($I_q = I_s \sin \theta$)와 비례($T_{out} = K_t I_q$)하므로 전기각 θ 가 90° 를 유지하여 입력전류 I_s 대비 I_q 가 최대가 되도록 제어한다.

$$I_d = I_s \sin \theta = I_s \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = I_s$$

하지만 모터의 속력이 증가할수록 기자력 E 도 비례하여 증가하며 기저속도 ω_b 에 도달하면 아래 그림의 (a)와 같은 페이서도에서 (b)와 같은 페이서도로 변화함. 즉, 최대 토크를 유지하면서 기저속도이상으로 속도를 증가시키려는 경우, 단위전류 당 토크가 낮아진다. 기저속도 ω_b 이후에는 아래 그림의 (b)와 같이 I_s 를 최대값으로 유지하는 것보다 (c)와 같이 I_s 의 크기를 줄여서 단위공급전류 당 최대토크를 얻을 수 있도록 페이서도를 유지한다. (b)의 경우, 전류 공급량은 많지만 θ 가 90° 보다 커짐으로 인하여 $I_q = I_s \sin \theta$ 만큼만 토크로 사용되며 나머지 $I_d = I_s \cos \theta$ 성분은 불필요해지기 때문이다. 따라서 (c)와 같이 I_s 의 크기를 줄여서 $I_s = I_d$ 로 제어하여 단위공급전류 당 최대 토크를 얻도록 조절한다.



<그림> 단위입력전류 당 최대전류 유지를 위해 (c)로 운행

이와 같이, ω_r 이 ω_b 에 도달 시 페이서도의 관계를 이용하여 ω_b 를 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V_s^2 &= E^2 + (X_s I_s)^2 \\
 \therefore \left(\eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} \right)^2 &= \left(\frac{\sqrt{3}}{2} R I_p + K_b \omega_b \right)^2 + \left(L I_p \frac{N_{pole}}{2} \frac{2\pi}{60} \omega_b \right)^2 \\
 \left(K_b^2 + L^2 I_p^2 \left(\frac{N_{pole}}{2} \right)^2 \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 \right) \omega_b^2 &+ \sqrt{3} K_b R I_p \omega_b + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 R^2 I_p^2 = \eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} \\
 a &= K_b^2 + L^2 I_p^2 \left(\frac{N_{pole}}{2} \right)^2 \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 \\
 b &= \sqrt{3} K_b R I_p \\
 c &= \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 R^2 I_p^2 - \eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} \\
 \therefore \omega_b &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}
 \end{aligned}$$

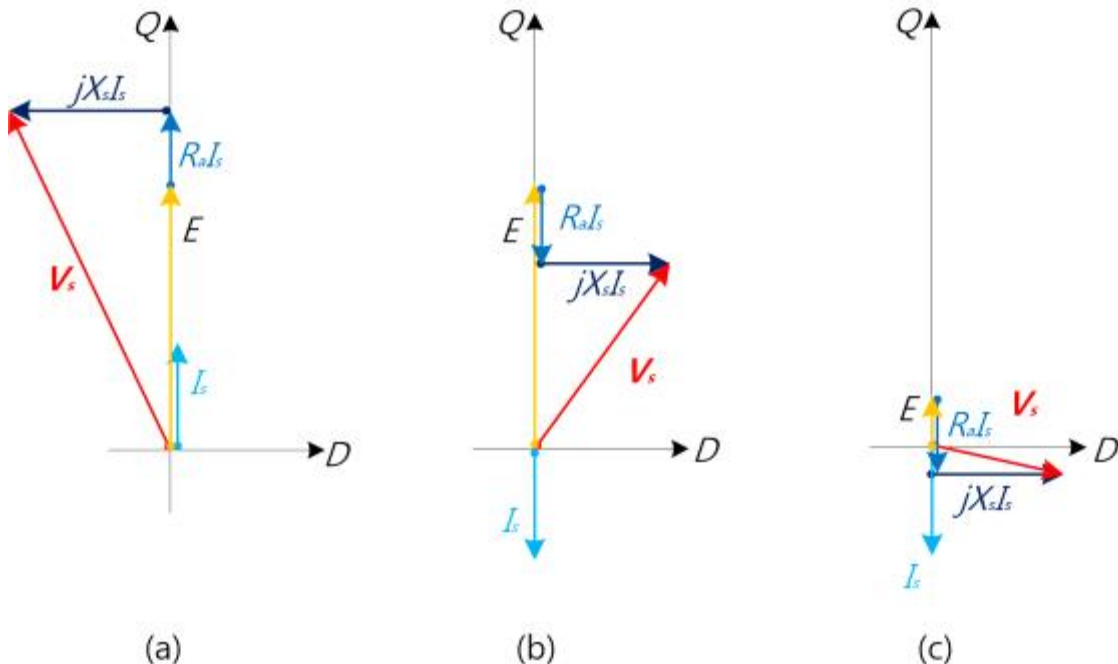
KBMS 43s03-c의 경우, $K_b = 0.316 [V_{peak}/RPM] = 0.223 [V_s/RPM]$, $L = 13.00 [mH]$,

$$I_p = 22.80[A_{RMS}], \quad R = 3.20[ohm], \quad \eta = 0.97, \quad V_{bus} = 169.00[V_{peak}], \quad V_s = \eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} = 115.91[V_{RMS}]$$

를 이용하여 계산하면, 기저속도는 $\therefore \omega_b = 200.19[RPM]$ 와 같다.

다음은 PMSM의 전류/전압 추정 및 변환 (D-Q Vector Transformation)과정이다. 고정자에 흐르는 전류는 아래 그림에서 볼 수 있듯 각 구동 상황에서 변수를 D-Q 복소수 공간벡터로 변환 하여 추정 가능하다.

D축(회전자의 자속발생부를 기준으로 하는 축, 표면에 부착된 자석의 N,S극)으로 변환된 고정자의 전류(I_d)는 고정자 자속을 제어하고, Q축(D축과 전기각 90° 차이, 실제 모터에서는 표면에 부착된 자석간의 사이 공간을 기준으로 하는 축)으로 변환된 고정자 전류는 모터의 토크를 제어한다. 즉 토크는 I_q 에 비례한다. i_{qs}^r 은 회전자의 q축으로 변환된 고정자 전류일 때, $T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \lambda_f i_{qs}^r$ 와 같다. I_s 와 $jX_s I_s$ 의 위상차 $\frac{\pi}{2}$, $E_i = K_f I_f \omega_r = \lambda_f \omega_r$, $X_s = \omega_e L_s$ ($\omega_e = \omega_r$)에 따라 아래 페이스도드를 형성한다.



<그림> D-Q 변환, (a) : driving control mode (b): braking mode start (c): braking mode in low speed

(I_s 를 제외한 전압 벡터 성분 간 벡터루프 형성)

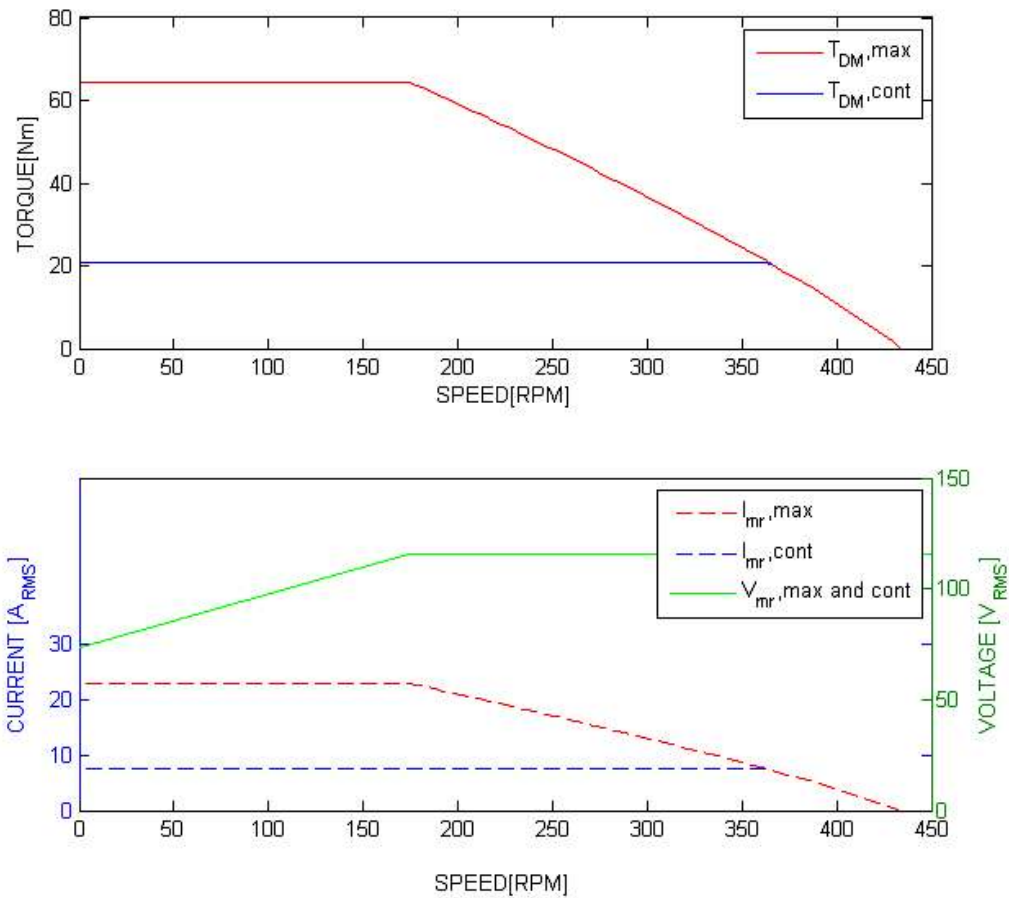
위 그림의 (a)는 Driving mode 로 $T_e > 0$ 일 때이다. 기자력 E 와 고정자 전류 I_s 는 같은 위상을 가지도록 제어한다. 단위 전류 당 최대 토크 발생할 때이다. 기자력 E 의 방향은 회전방향, 고정자 전류 I_s 의 방향은 토크 발생방향과 같다.

(b)는 Braking mode start 로 $T_e < 0$ 일 때이다. Braking mode에서는 I_s 의 위상이 기자력 E 와 반대방향을 나타내고, V_s 와 I_s 의 위상차가 90° 이상이 되기 시작하면(= $I_s < 0$ then $T_e < 0$) 모터는 에너지를 배터리로 전달한다.

(c)는 Braking mode in low speed를 나타내고, 이 때) $T_e < 0$ 이고 $\omega_r \simeq 0$ 와 같다. 모터의 속도가 감소하고 음의방향 토크 크기를 계속 유지하는 경우 V_s 와 I_s 의 위상차가 90° 이하 이므로 배터리가 Braking Energy를 제공하고 모터는 그 에너지를 소비하게 된다.

차량에는 유압 브레이크를 장착할 예정으로, Braking mode (b)에서 모터가 반대방향

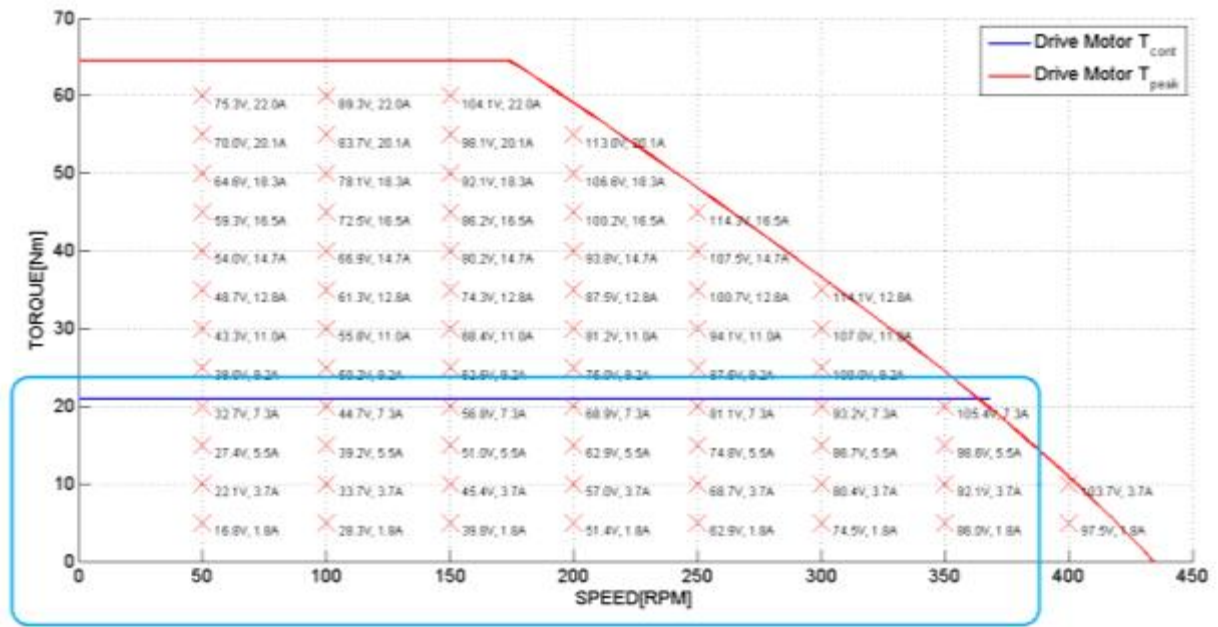
토크를 발생시키지 않거나, 적은 양의 토크만 발생하도록 하는 경우 I_s 의 크기가 적기 때문에 리젠은 극히 제한될 것이다. 또한 (c)의 경우에서 볼 수 있듯 낮은 속도에서 모터로만 브레이크를 하려는 경우 모터는 전력을 회생 하지 않고 오히려 전력을 소모하게 된다.



<그림> 169V 입력 시 성능곡선 (T-N curve 구동 시 소모 전류 및 전압)

실제 차량이 300RPM(약 30kph)로 주행 할 경우에는 4개의 각 모터당 필요 토크는 약 10Nm이다. 300RPM, 10Nm에서는 모터 당 소비전류는 약 7~9 A(RMS) 이므로 Elmo(Driver)의 Continuous 전류 12 A(RMS) 보다 적음을 확인 가능할 수 있었다.

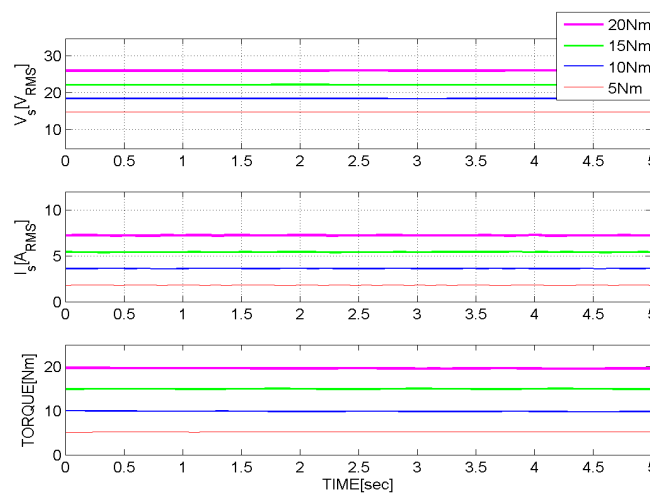
아래 그림은 실험 결과를 (Continuous Zone) 종합한 내용이다.



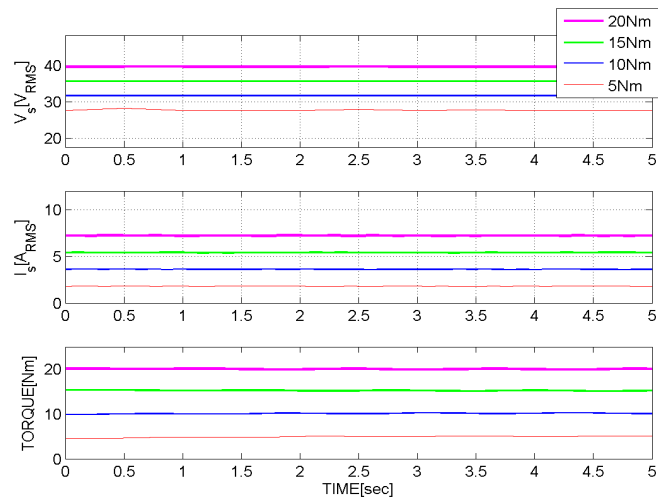
<그림> Test Points within the Continuous Zone 169V입력 시

실험 조건은 다음과 같다. Load 모터이 Speed mode, Drive 모터이 Torque mode를 나타내고, Load 모터이 지정속도까지 회를 구동시킨 후 Drive 모터에서 같은 방향의 토크 발생한다. 속도는 50RPM부터 50RPM씩 350RPM까지, 토크는 5Nm부터 5Nm 씩 20Nm 까지 증가한다. Fluke Power Logger 이용하여 0.5초 마다 3상 전류, 전압을 측정하고, 프로그램을 이용 하여 정보를 저장한다. Elmo solo GUI와 통신하여 I_d , I_q 측정 및 $I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$ 를 이용해 I_s 를 추정, Load cell 정보 이용 출력토크 추정한다. 또 Load 모터의 Encoder 정보로 모터의 속도 추정하게 된다.

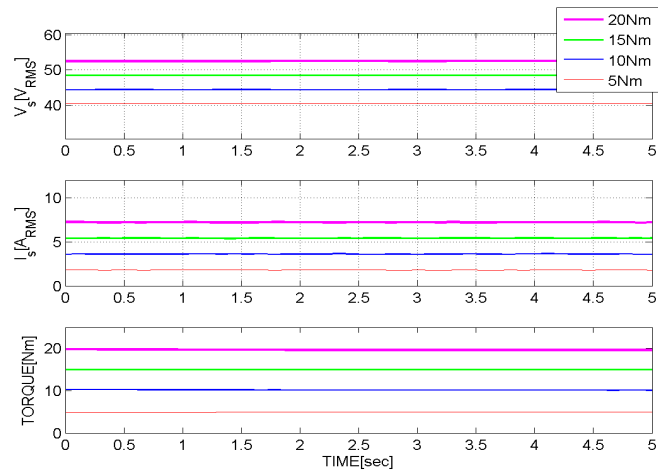
이 때 실험결과는 다음 그림과 같으며 각각 50RPM, 100RPM, 150RPM, 200RPM, 250RPM, 300RPM, 350RPM일 때 실험결과를 나타내었다.



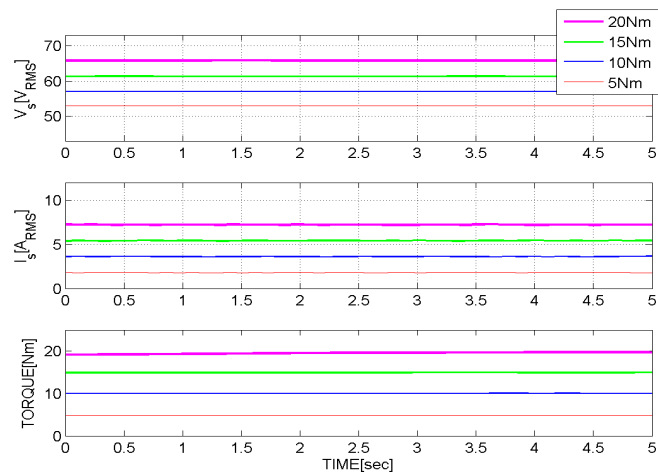
<그림> 50RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



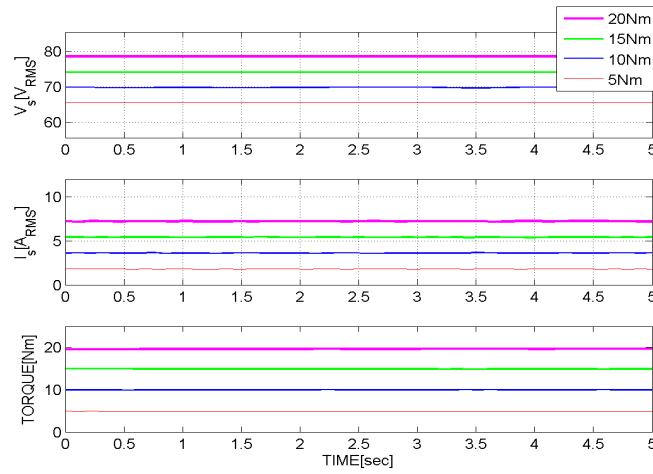
<그림> 100RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



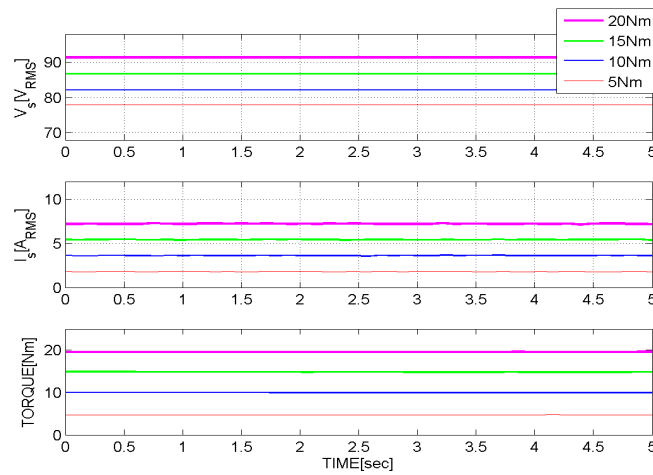
<그림> 150RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



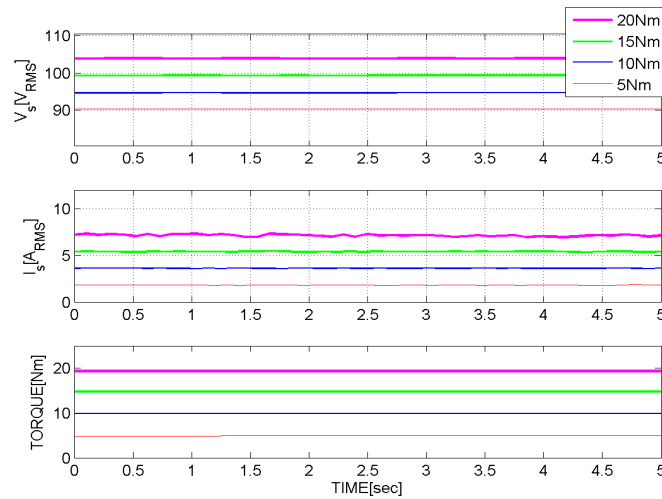
<그림> 200RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



<그림> 250RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



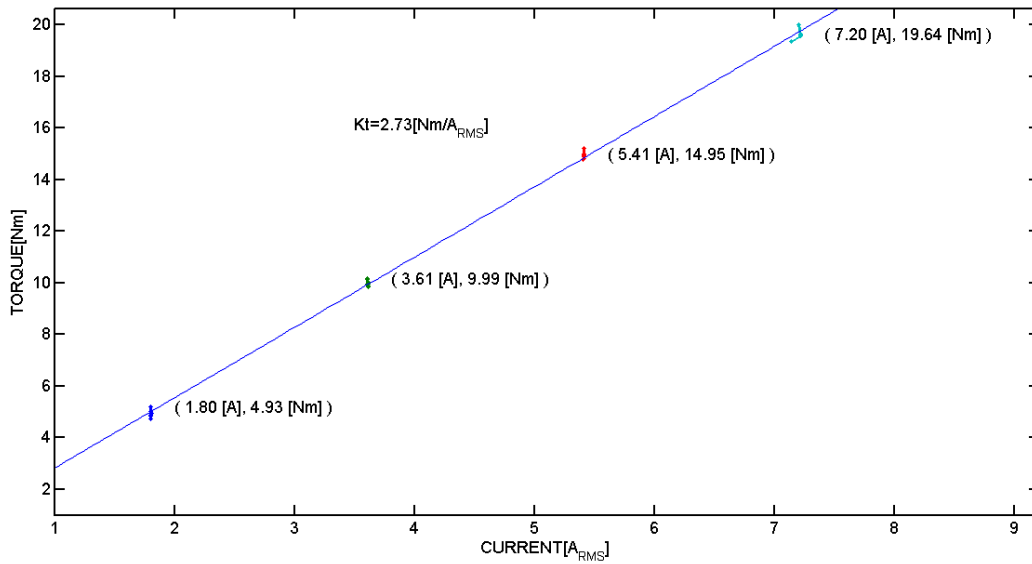
<그림> 300RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})



<그림> 350RPM에서의 입력전압(V_s), 입력전류(I_s) 및 출력토크(T_{out})

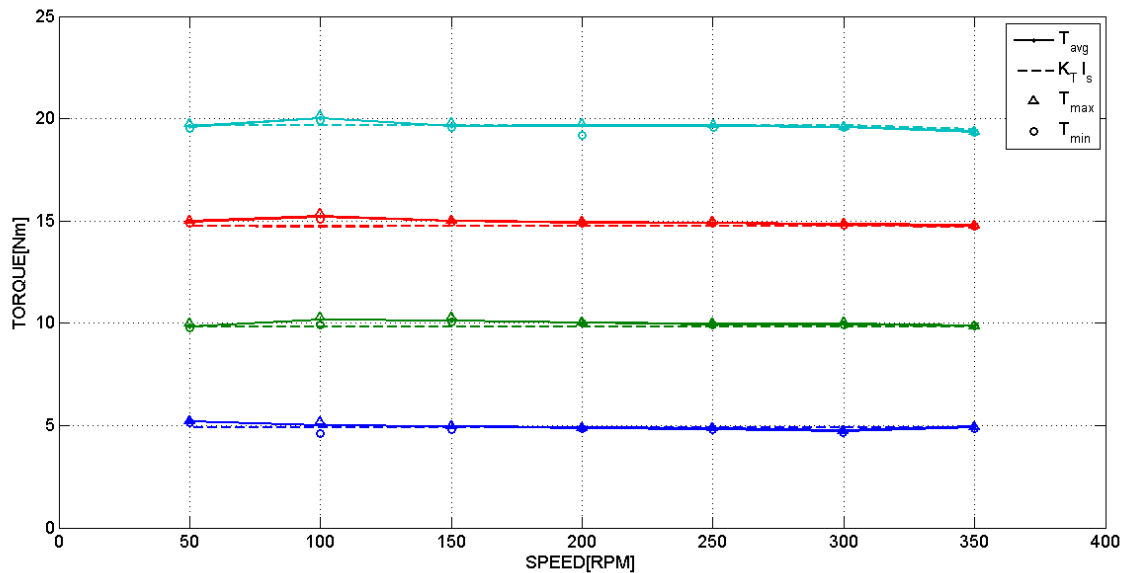
350RPM에서 20Nm출력 시와 15Nm출력 시의 I_s 값의 안정성을 비교 하면 속도 및 토크가 성능곡선과 가까울수록 I_s 값이 불안정하다. 이는 앞서 설명한 대로 성능곡선에 가까울수록 이상적인 페이서도를 유지하기 힘들어지기 때문으로 추정 할 수 있다. 토크 출력에 변동이 없는 이유는 적용한 Load Cell정보에 적용한 Kalman Filter에 시스템모델이

반영되지 않았기 때문에 추정 할 수 있다.
 입력 전류 대 출력 토크 $K_T = 2.73[Nm/A_{RMS}]$ 에 대한 그래프는 아래와 같다.



<그림> 입력 전류(I_s)-출력 토크(T)

각각의 속도에 대해 토크 출력 값의 평균을 내고 각각의 전류에 대해서 표시하여 아래 그림에 나타내었다.



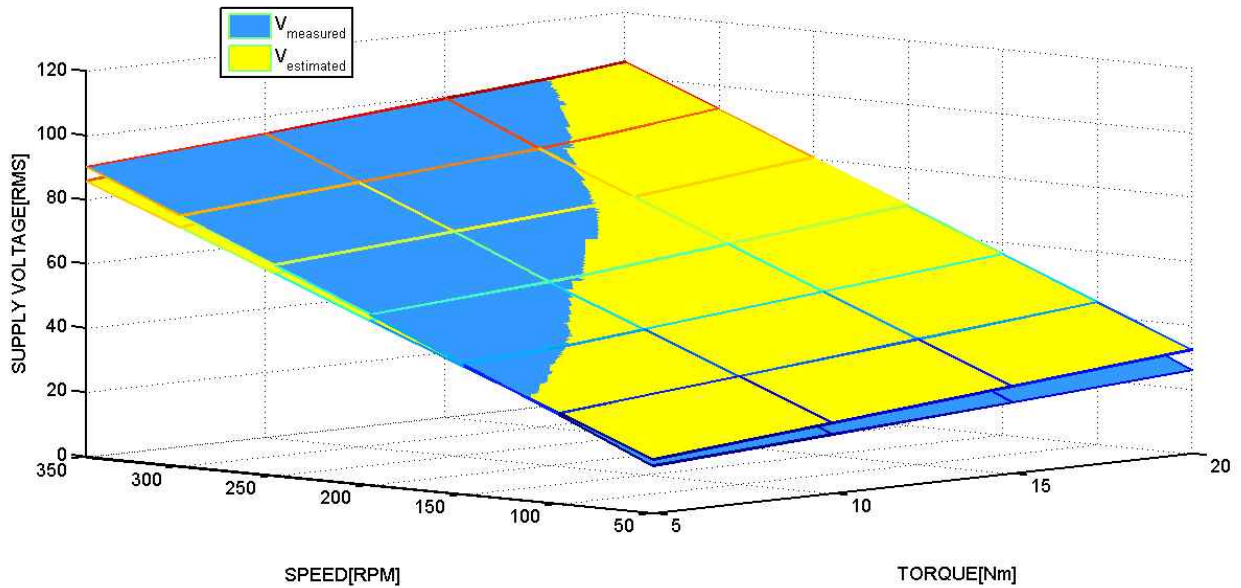
<그림> S-T 선도에 나타난 실험데이터

입력 전류(I_s)-토크(T)의 출력 선도를 보면 속도에 대하여 출력토크 값에 큰 변동이 없음을 알 수 있다. 즉, 20Nm 출력토크를 보면 20Nm에 조금 모자라는 출력을 보이지만 속도가 증가함에 따라 토크가 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 단, 350RPM은 성능곡선에 근접하여 토크가 떨어진다.

오차의 원인이 Load cell정보의 오차 때문인지에 대하여 검증이 필요하다. 결과적으로, 출력 토크와 입력전류의 관계를 아래와 같음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

$$T_{out} = K_T I_s$$

전압 추정치과 실험값을 비교한 결과는 아래 그림과 같다.



<그림> 전압 추정치와 $V_{estimated}[V_{RMS}]$ 및 실험값의 비교 $V_{measured}[V_{RMS}]$

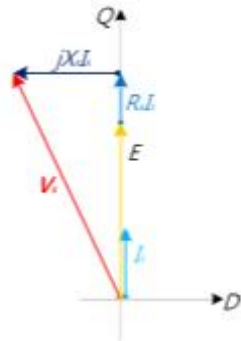
아래 그림과 같이 페이서도와 아래 벡터 식을 이용하여 출력 전압을 추정할 수 있다.

$$V_s^2 = E^2 + (X_s I_s)^2$$

$$\therefore \left(\eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} R I_p + K_a \omega_b \right)^2 + \left(L I_p \frac{N_{pole}}{2} \frac{2\pi}{60} \omega_b \right)^2$$

$$V_s = \eta \frac{V_{bus}}{\sqrt{2}} \text{ 이므로}$$

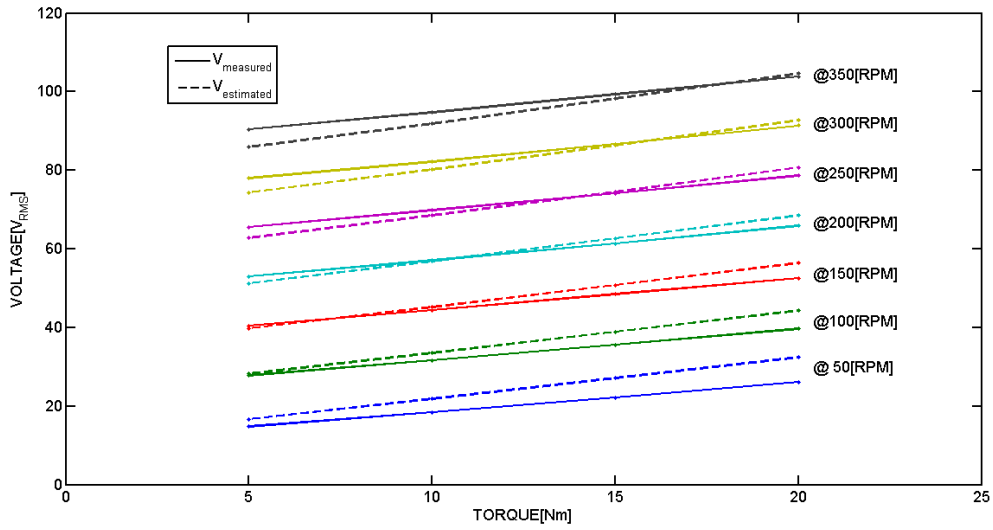
$$\therefore V_{estimated} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} R I_p + K_a \omega_b \right)^2 + \left(L I_p \frac{N_{pole}}{2} \frac{2\pi}{60} \omega_b \right)^2}$$



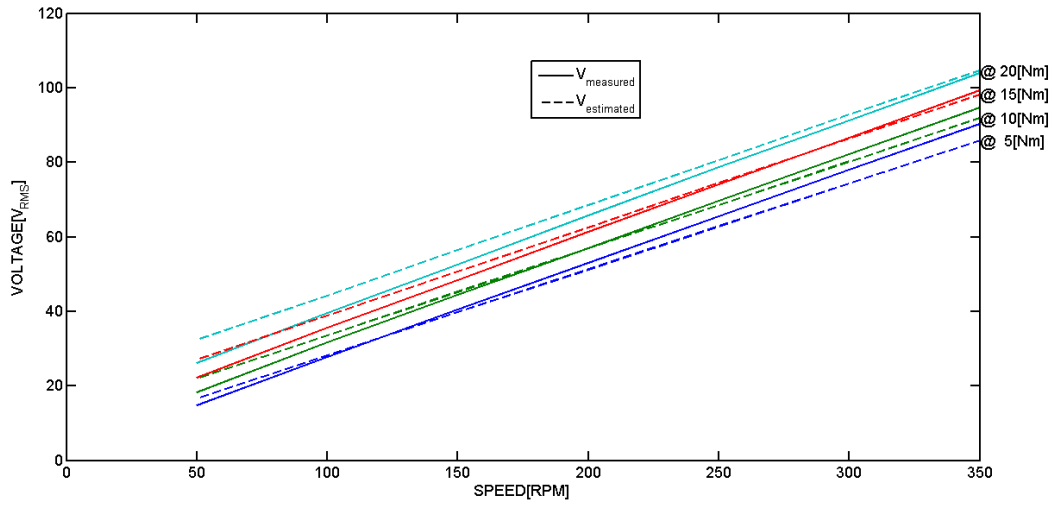
<그림> 영구자석 동기화 모터의 페이서도

측정한 3상 전압을 이용하면 전압 측정값은 다음과 같았다.

$$V_{measured} = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2}$$



<그림> 전압 추정치와 측정값의 비교

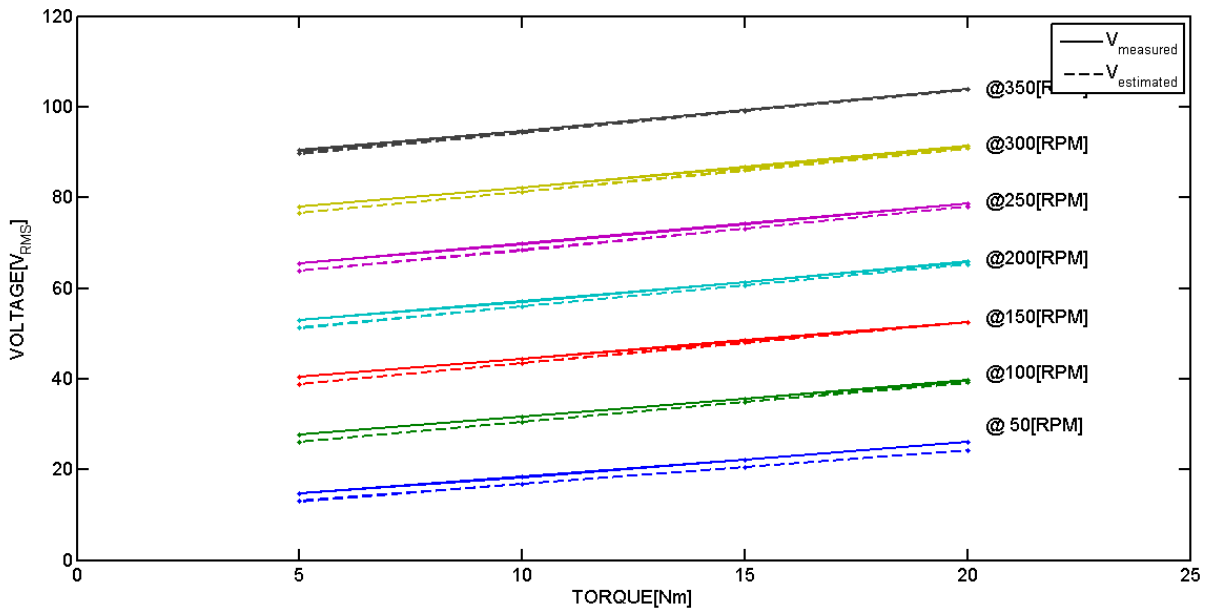


<그림> 전압 추정치와 측정값의 비교

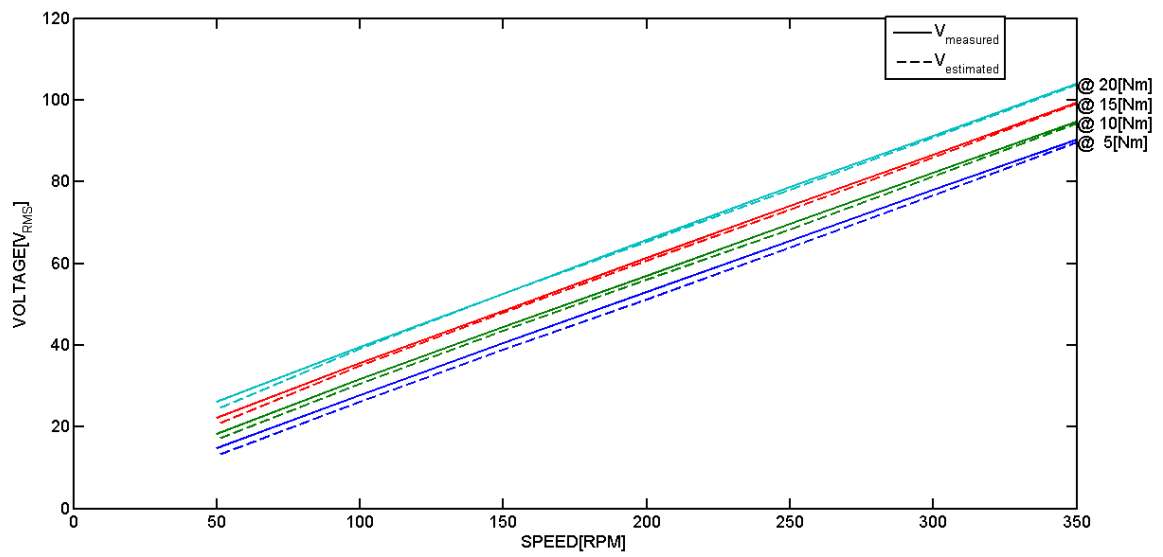
추정치와 측정값사이에 약 5~10%의 오차가 발생함을 볼 수 있다. 오차의 원인은 실제 모터의 스펙과 모터 카탈로그 스펙과의 차이, 온도조건, 선간저항의 차이 등으로 추정해 볼 수 있다. 즉, 드라이버-모터의 효율을 모든 속도 및 토크에서 0.97로 가정하였기 때문에 발생하는 오차이다. 카탈로그 상 모터 스펙은 $L = 13[mH]$, $R = 3.2[\Omega]$, $K_b = 0.223[V_{RMS}/RPM]$ 와 같다.

모터의 스펙은 그대로 두었을 때 드라이버-모터 효율 η 를 속도, 토크에 대해 최적화 한 결과는 아래와 같다.

$$\eta = 1 - \frac{\omega}{4000} + \frac{I_s}{110} + e^{-\frac{\omega}{35}} < 1$$



전압 추정치와 측정값의 비교



전압 추정치와 측정값의 비교

라. 차량 프레임 강성 해석

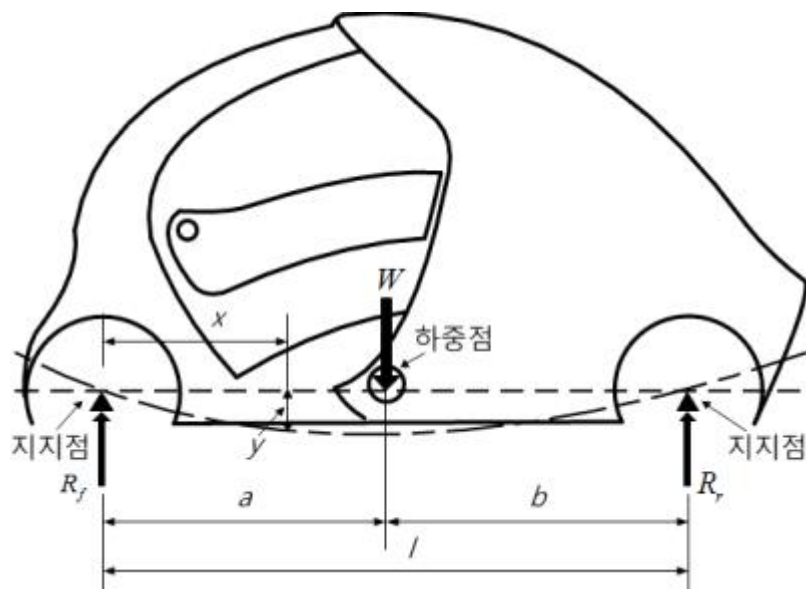
접이식 자동차의 접이 방법은 슬라이딩, 폴딩 등 다양한 형태로 구현 가능하며, 이러한 접이 방법을 적용할 경우, 프레임의 강성 특성이 일반 차량과 다르기 때문에 이에 대한 강성 해석이 필요하다. 또한 차량이 접히는 중심축을 고정시키는 고정 장치의 경우, 주행 중 변형 발생 시 위험상황이 발생할 수 있으며, 접힘과 펴짐 동작의 반복이 예상되는 만큼 실제 사용 환경을 반영한 적절한 분석이 요구된다. 차량에 굽힘 또는 비틀림 변형을 최소화하여 접힘 장치에 발생할 수 있는 문제를 방지하고, 횡 및 굽힘 저항력을 높여 운동성능을 보장하기 위하여, 프레임은 충분한 굽힘 및 비틀림 강성을 확보해야한다.

<표> 접이식 초소형 전기자동차의 재질

	재질	밀도	항복점	극한응력
전체 프레임	Steel	7.85 g/cm^3	250 MPa	460 MPa
프레임 하단	Aluminium	2.77 g/cm^3	280 MPa	310 MPa
고정 핀	SM45C	7.85 g/cm^3	620 MPa	690 MPa

전체적인 프레임은 철을 사용하였으며, 접힘 시 올라가는 뒷 프레임의 무게 감소를 위하여, 하중을 받지 않는 프레임 하단은 알루미늄을 사용하였다.

차량 전체 프레임과 차량이 접히는 중심축의 고정 장치에 대한 강성 특성을 분석하였다. 분석에는 ANSYS Workbench 14.0을 사용하였으며, 유한요소해석(Finite Element Method : FEM)을 이용하여 전체 프레임의 굽힘 및 비틀림 강성에 대해 해석하였다. 또한 고정 핀이 받게 되는 응력을 해석함에 있어 회전과 접촉 등 실제 작동 조건을 반영하였다.



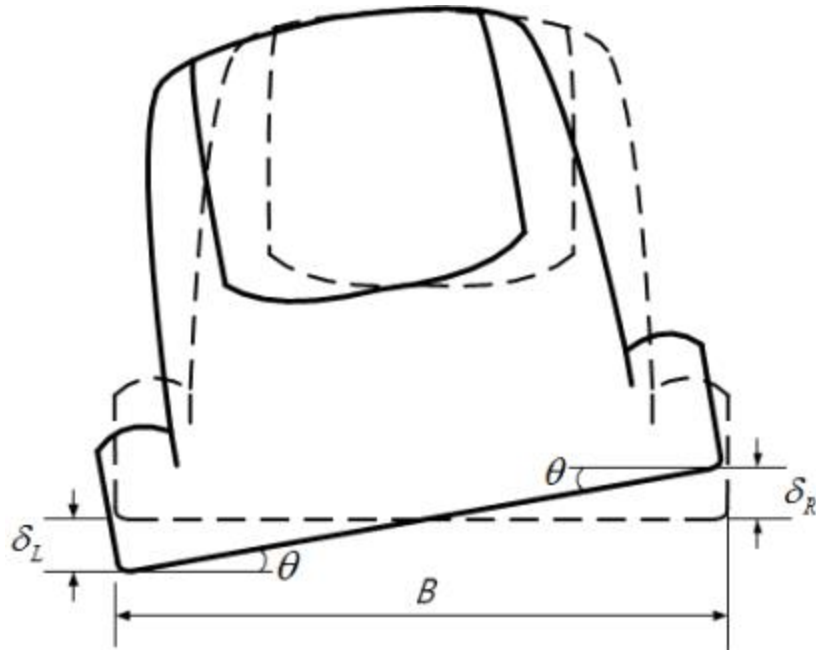
<그림> 굽힘 강성 계산 방법

휠베이스 사이의 임의의 위치 x 에서의 처짐 y 를 하중 점의 왼쪽에 놓고 차체를 균일한 빔으로 가정하면, 프레임의 굽힘 강성 EI 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y = \frac{Wbx}{6EI}a(a+2b) - x^2$$

$$\therefore EI = \frac{Wbx(l^2 - b^2 - x^2)}{6ly} [kgf \cdot m^2]$$

여기서, w : 차량에 가한 하중, l : 축간거리, a : 앞 차축과 하중 점 거리, b : 뒷 차축과 하중 점 거리, x : 앞 차축과 변형량 측정 위치 거리, y : 프레임 수직 변형량을 나타낸다.



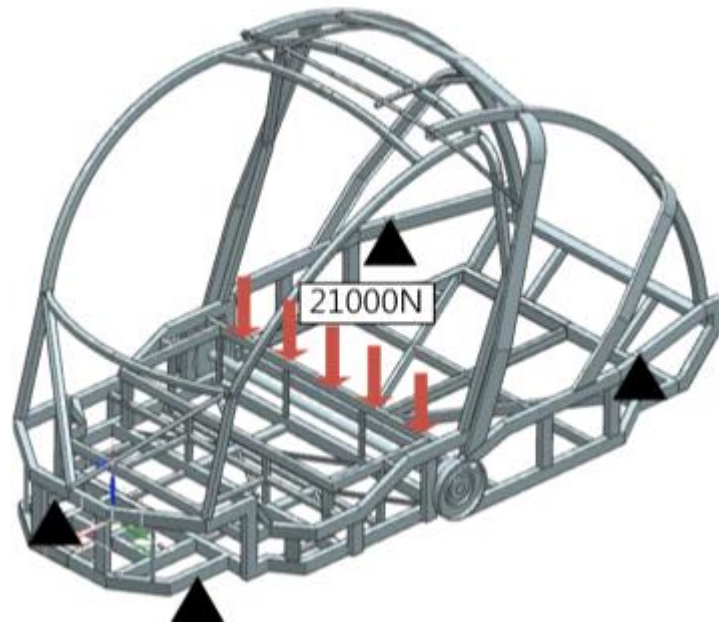
<그림> 비틀림 강성 계산 방법

차량의 뒷 차축위치를 고정시키고 앞 차축위치에서 모멘트가 발생하도록 하중을 설정하면 비틀림 강성 GJ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$GJ = \frac{T}{\theta/l} = \frac{Tl}{\theta} = \frac{TBl}{\delta_R + \delta_L} [kgf \cdot m^2/rad]$$

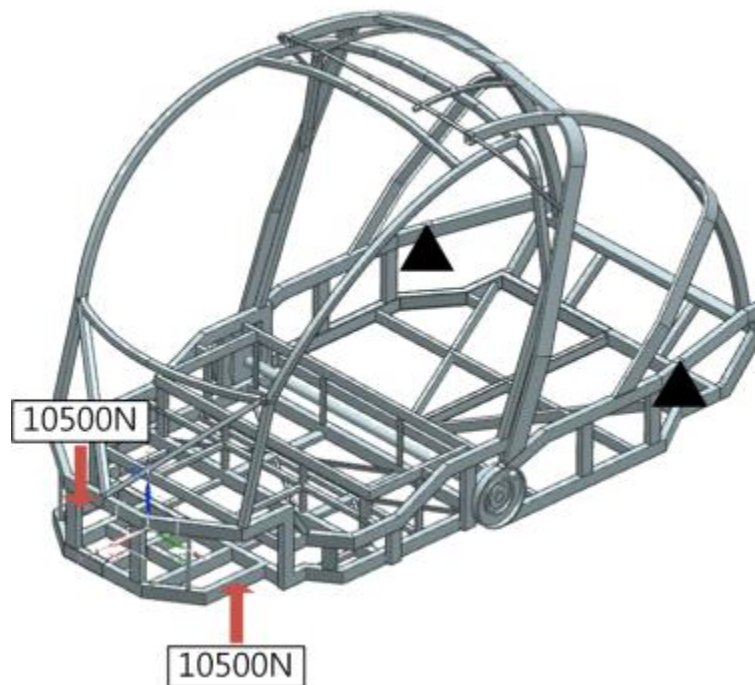
여기서, T : 앞 차축에 작용한 토크, B : 윤간거리, θ : 앞 차축의 비틀림 각, δ_L, δ_R : 좌측, 우측의 수직 변형량이며, 앞 차축의 비틀림 각 θ (rad)가 작은 경우 $\theta \approx \tan \theta = \frac{\delta_R + \delta_L}{B}$ 로 나타낼 수 있다.

접이식 초소형 전기자동차의 앞 프레임과 뒷 프레임의 구속조건 설정을 통하여 회전축을 기준으로 회전이 가능하도록 구속 설정 하였다. 이 조건을 통하여 차량의 굽힘, 비틀림 강성을 보다 정확하게 측정할 수 있고, 주행 중 프레임을 고정하는 주 고정 장치에 걸리는 응력을 정확하게 분석 가능하다. 작용 하중은 큰 포트홀(Pothole)에 빠졌을 때의 수직 하중을 가정한 3G bump 를 적용하여 차량 총 중량에 3배의 하중을 작용한다.



<그림> 굽힘 강성 해석 조건

굽힘 강성을 해석하기 위하여 앞뒤 두 차축을 고정하고 앞 차축으로부터 1.00m 떨어진 위치에 차량 총 중량의 3배에 해당하는 21000N의 하중을 작용하였다.



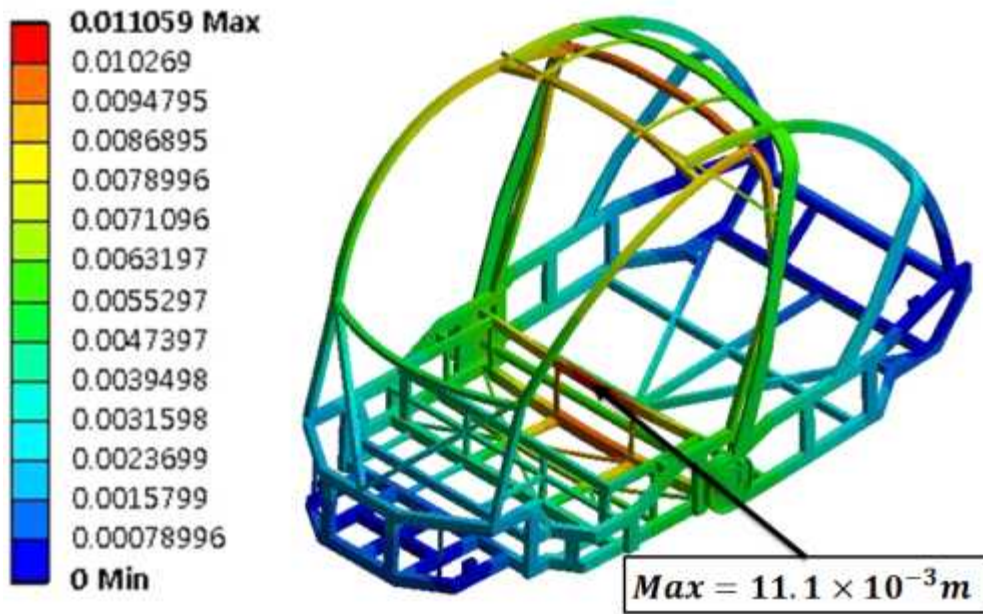
<그림> 비틀림 강성 해석 조건

비틀림 강성을 해석하기 위하여 차량의 뒤 차축의 서스펜션위치를 구속하고 앞 차축에 10500N의 힘을 각각 반대방향으로 작용하였다.

주 고정 장치의 안전성을 확인하기 위하여 보조 고정 장치를 해제하고 주 고정 장치만이 프레임을 지지하는 조건에서 해석을 진행하였다.

굽힘 강성 해석에서 21000N의 하중을 작용했을 때 최대 변형은 힘을 작용한 앞 차축에서 1.00m 떨어진 위치에서 11.1mm로 매우 작은 값을 확인할 수 있었다. 비틀림 강성

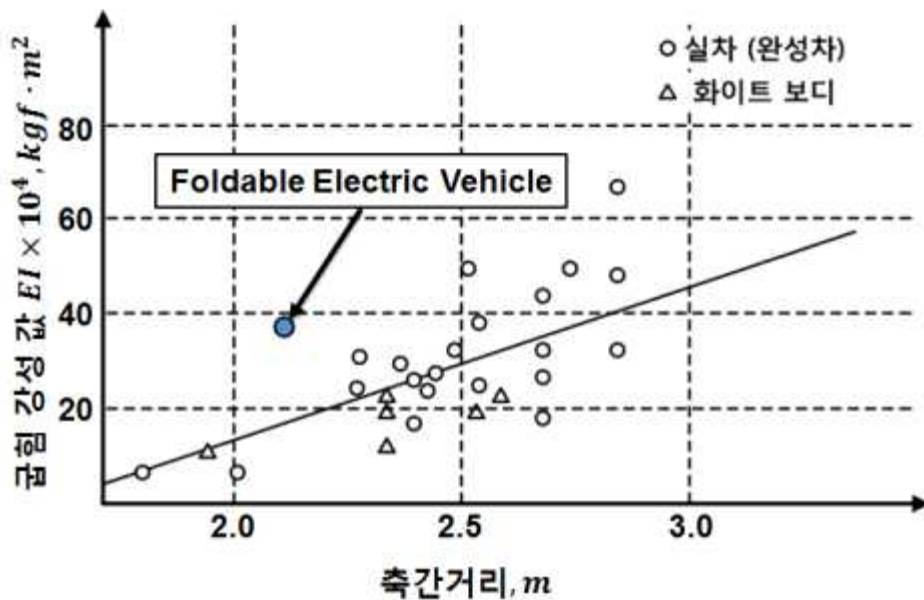
해석에서 10500N을 각각 작용한 경우에 A-필러에서 최대 26.0mm의 변형이 발생하였다.



<그림> 굽힘 강성 해석 총 변형량

굽힘 강성 해석 결과는 그림과 같다. 휠베이스(l) 2.11m 사이의 임의의 위치(x)인 1.00m 지점에서 최대 변형(y)은 $11.1 \times 10^{-3}m$ 가 발생하였으며, 이를 이용하여 계산한 굽힘 강성 값은 다음과 같다.

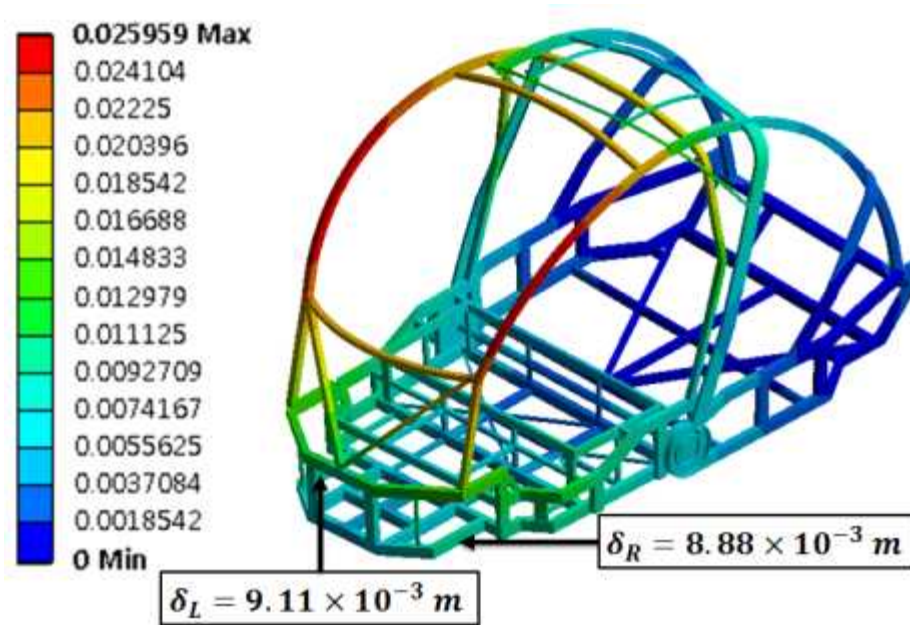
$$EI = \frac{Wbx(l^2 - b^2 - x^2)}{6ly} = \frac{21000 \times 1.11 \times 1.00(2.11^2 - 1.11^2 - 1.00^2)}{6 \times 2.11 \times (11.1 \times 10^{-3})} = 3.72 \times 10^5 [kgf \cdot m^2]$$



<그림> 계산한 굽힘 강성 값과 다른 차량들 비교

위 그림에 접이식 초소형 전기자동차의 굽힘 강성 값과 다른 차량들의 굽힘 강성 값을

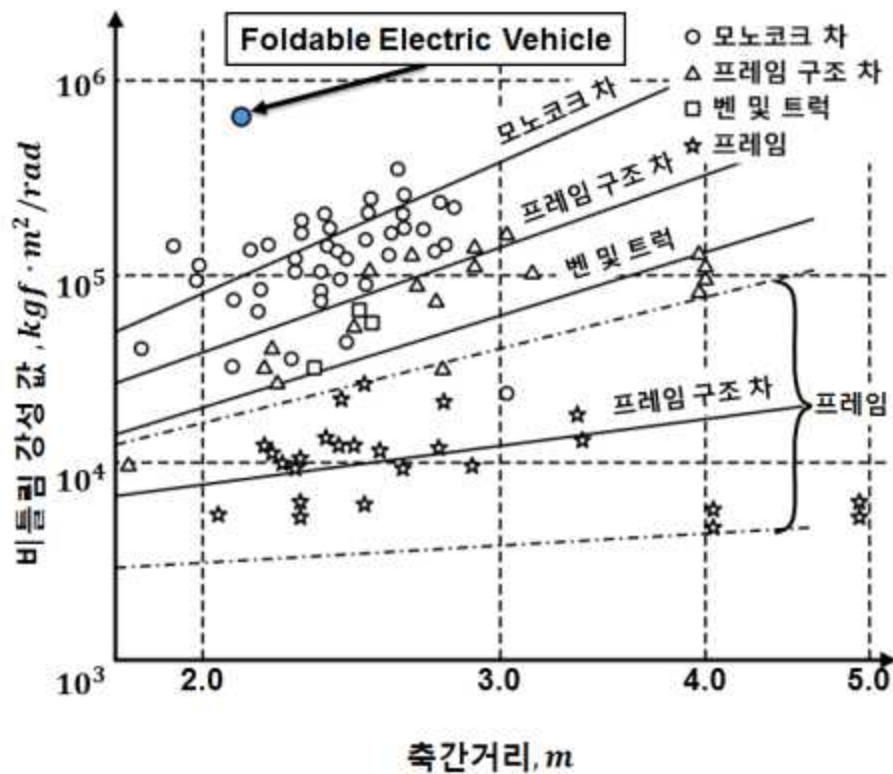
표시하였다. 접이식 초소형 전기자동차의 굽힘 강성 값은 $3.72 \times 10^5 [kgf \cdot m^2]$ 로 다른 차량들에 비하여 큰 굽힘 강성 값을 확보하였음을 알 수 있다.



<그림> 비틀림 강성 해석 총 변형량

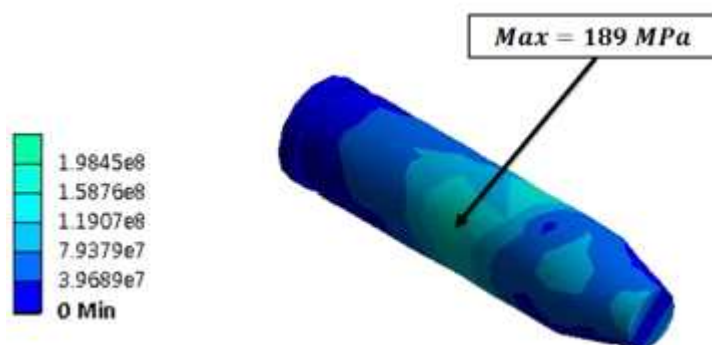
비틀림 강성 해석 결과는 그림과 같다. 프레임의 현가장치 고정 거리(B) 0.730m에서의 이동 변위(δ)는 $\delta_R = 8.88 \times 10^{-3} m$, $\delta_L = 9.11 \times 10^{-3} m$ 이며, 변형 각(θ)은 1.41° 이다. 이 값을 토대로 계산한 비틀림 강성은 다음과 같다.

$$GJ = \frac{TBl}{\delta_R + \delta_L} = \frac{(21000 \times 0.365) \times 0.730 \times 2.11}{(8.88 + 9.11) \times 10^{-3}} = 6.56 \times 10^5 [kgf \cdot m^2 / rad]$$



<그림> 계산한 비틀림 강성 값과 다른 차량들 비교

프레임의 뒤틀림이 발생하면 고정 장치에 큰 하중이 발생할 수 있으므로 이를 방지할 수 있도록 프레임의 비틀림 강성을 충분히 확보하여야 한다. 그림에 접이식 초소형 전기자동차의 비틀림 강성 값과 다른 차량들의 비틀림 강성 값을 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯 초소형 전기자동차의 비틀림 강성은 $6.56 \times 10^5 \text{ [kgf} \cdot \text{m}^2/\text{rad]}$ 이므로 다른 프레임 구조 차량 보다 큰 비틀림 강성을 확보하였음을 알 수 있다.



<그림> 주 잠금장치 응력 분포 (Von Mises)

앞 프레임과 뒷 프레임을 고정하는 주 고정 장치의 고정 핀이 3G-bumping시에 걸리는 응력은 그림과 같다. 즉, 차량이 주행 중에는 고정핀 부위에 작용하는 동적하중이 정적하중보다 약 3배의 하중이 작용함을 고려한 것이다. 하중 작용 시 두 베어링 사이의 간극이 있는 지점에서 최대 응력이 작용하는 것을 확인할 수 있다. 이때의 최대 응력은 189MPa으로 고정 핀 항복강도인 620MPa 보다 3배 이상 낮은 값을 보인다. 또한 주 고정 장치 이외에도 보조 고정 장치와 프레임을 접고 펴는 장치인 모터 및 감속기어레일이 프레임

을 고정하고 있으므로, 고정 핀의 강성을 충분히 확보하였음을 확인할 수 있다.

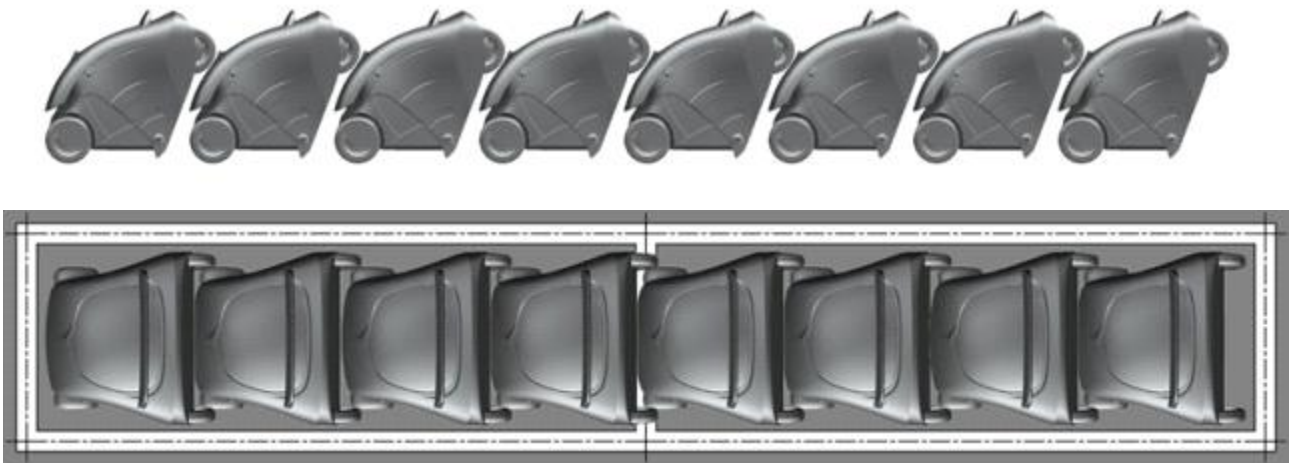
3. 접이식 초소형 전기자동차의 주차 공간 효율 비교 분석

가. 1차년도 계획과 2차년도 실제 제작 차량의 차이

○ 겹침개념 설계

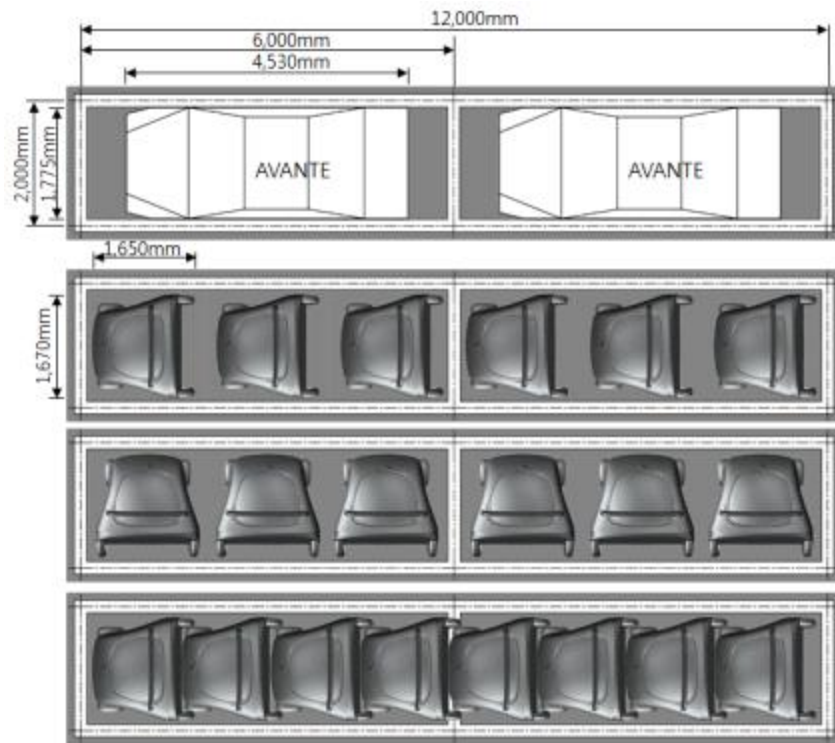
2차년도 실제 제작된 시제품의 전폭은 1차년도 계획과 같으나, 차량이 접힌 후 전장이 늘어났다. 그러나 주차 시 차량 겹침 개념을 적용할 수 있다는 장점이 있다.

아래의 그림과 같이 겹침 개념을 적용하여 주차공간 점유면적을 획기적으로 줄일 수 있고, 주차구획 당 주차 가능한 차량의 대수가 1차년도에 발표한 주차구획 당 주차 가능한 차량의 대수는 동일하다.



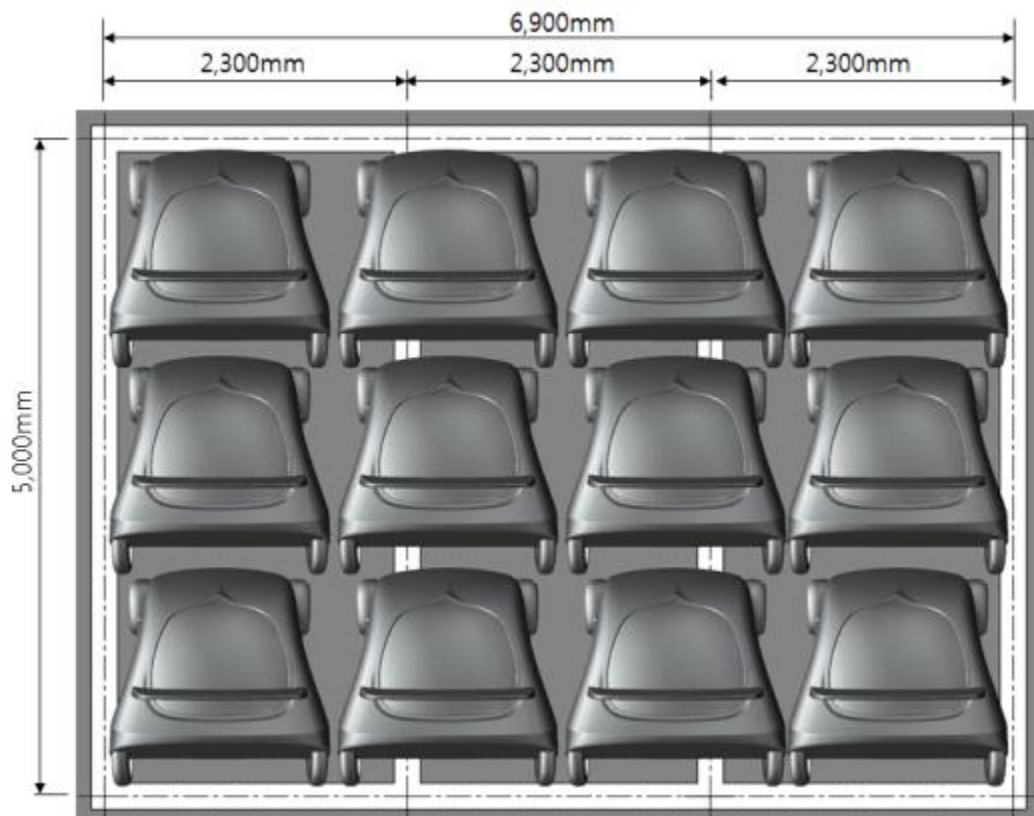
아래의 그림은 평행주차형식의 주차구획(일반형 / 2,000×6,000mm)에 Armadillo-T 차량을 주차한 경우를 보여주고 있다.

중형차의 경우 2대의 차량을 수용하는 면적이지만, Armadillo-T 차량의 경우 방향에 관계 없이 6대 수용 가능하고, 차량 겹침 개념 적용 시 최대 8대 까지 수용 가능하다. 이는 중형차 대비 4배 높은 공간 효율성을 보여주고 있다. 1차년도 계획의 내용과 비교 했을 때, 일반 주차의 경우 1대 적게, 차량 겹침 개념 적용 시 1대 많게 수용 가능하다.



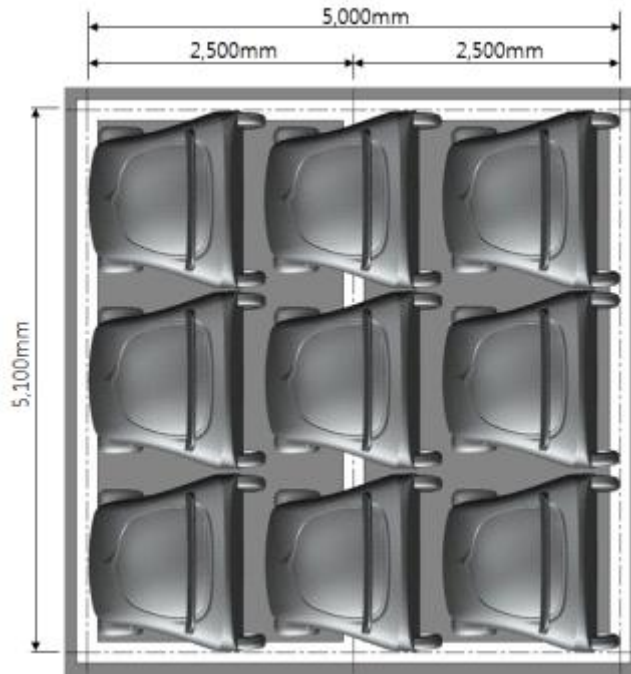
○ 평행주차형식 외의 주차구획/ 일반형

아래의 그림은 평행주차형식 외의 주차구획(일반형 / 2,300×5,000mm)에 Armadillo-T 차량을 주차한 경우를 보여주고 있다. 중형차 3대의 차량을 수용하는 면적이지만, Armadillo-T 차량의 경우 최대 12대 까지 수용 가능하다. 즉, 중형차 대비 4배 높은 공간 효율성을 보여주고 있다.



○ 평행주차형식 외의 주차구획 / 확장형

아래의 그림은 평행주차형식 외의 주차구획(확장형 / 2,500×5,100mm)에 Armadillo-T 차량을 주차한 경우를 보여주고 있다. 중형차 2대의 차량을 수용하는 면적이지만, Armadillo-T 차량의 경우 차량 겹침 개념을 적용하여 최대 9대 까지 수용 가능하다. 즉, 중형차 차량 대비 4.5배 높은 공간 효율성을 보여주고 있다.



나. 접이식 초소형 전기자동차전용 주차장 설계 변동사항

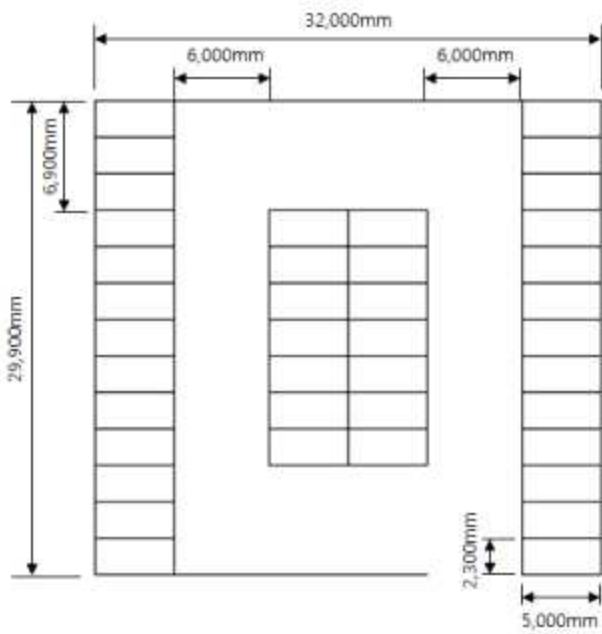
1차년도에 접이식 차량 전용주차장을 설계 시에 주차 1면의 dimension을 1,900mm×1,900mm로 설정하였기 때문에 실제 제작 차량의 전장이 늘어났지만 여전히 충분한 여유 공간이 있으므로 추가적인 계산은 무의미하다.

왼쪽 그림은 중형차의 주차 법규에 따라 구획된, 차량 40대를 수용할 수 있는 주차장 도면이다. 차량 한대 당 주차구획은 2,300×5,000mm으로 평행주차형식 외의 주차구획 법규 중 최소 크기에 해당한다.

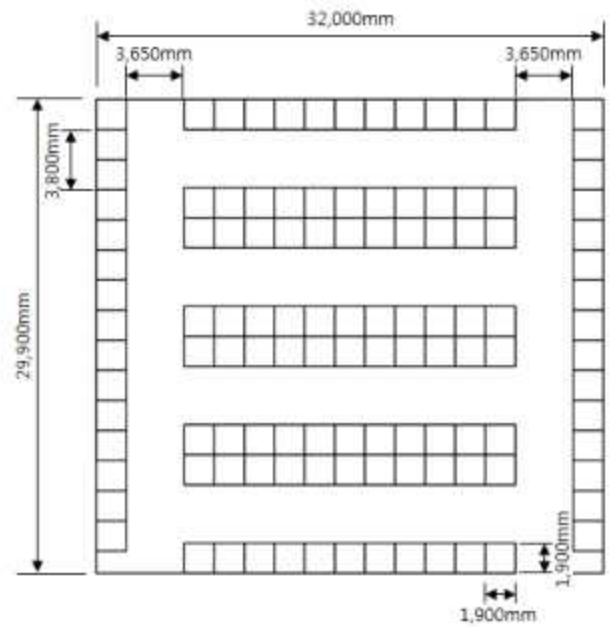
오른쪽 그림은 동일한 면적의 부지를 접이식 차량 전용주차장으로 구획하였을 때의 도면이다. 이때, 118대의 Armadillo-T 차량을 수용할 수 있음을 알 수 있다. (주차구획의 방법에 따라 주차가능 대수가 증가할 수 있다.)

차량 겹침 개념을 적용할 경우 차량 한대를 주차하는데 필요한 길이는 1,650mm로서 총 130대의 Armadillo-T 차량을 수용할 수 있다.

즉, 기존의 주차장을 접이식 차량 전용주차장으로 변경하였을 경우 2.95배 많은 차량을 수용 할 수 있고, 추가로 차량 겹침 개념을 적용할 경우 3.25배 많은 차량을 수용 할 수 있다.



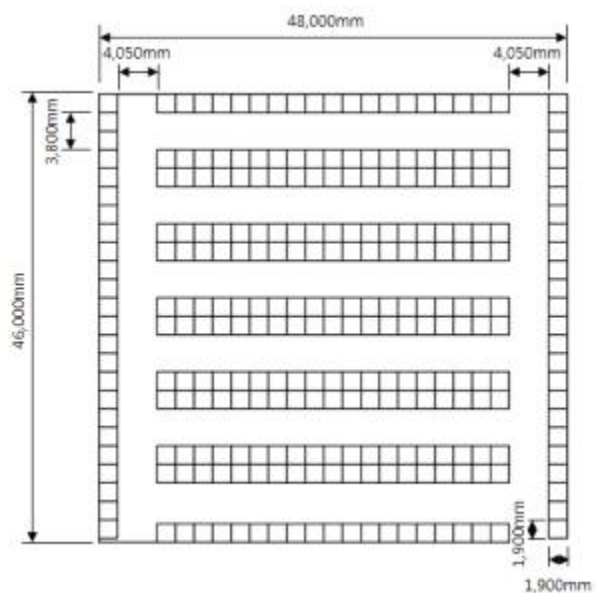
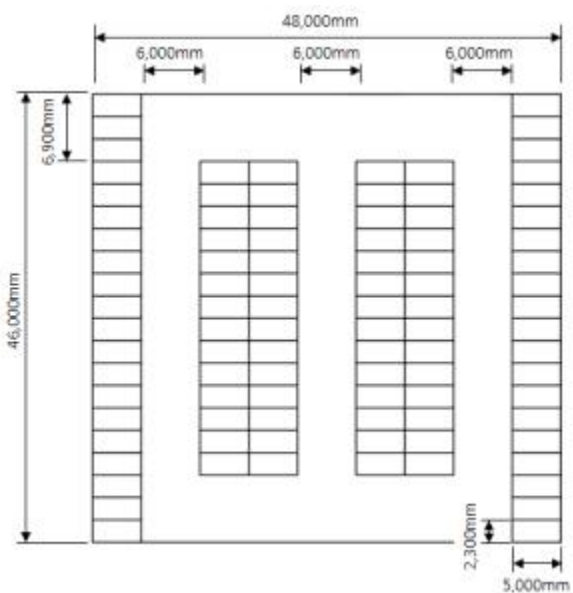
<기존 주차장>



<설계주차장>

아래의 왼쪽 그림은 기존의 주차 법규에 따라 구획된, 차량 96대를 수용할 수 있는 주차장 도면이다. 차량 한대 당 주차구획은 2,300×5,000mm으로 평행주차형식 외의 주차구획 법규 중 최소 크기에 해당한다.

오른쪽 오른쪽 그림은 동일한 면적의 부지를 접이식 차량 전용주차장으로 구획하였을 때의 도면이다. 이때, 276대의 Armadillo-T차량을 수용할 수 있음을 알 수 있다. (주차구획의 방법에 따라 주차가능 대수가 증가할 수 있다.)



차량 겹침 개념을 적용할 경우 차량 한대를 주차하는데 필요한 길이는 1,650mm로서 총 306대의 Armadillo-T 차량을 수용할 수 있다.

즉, 기존의 주차장을 접이식 차량 전용주차장으로 변경하였을 경우 2.87배 많은 차량을 수용 할 수 있고, 추가로 차량 겹침 개념을 적용할 경우 3.18배 많은 차량을 수용 할 수

있다.

4. 접이식 초소형 전기자동차 시제품 제작

가. 바디 및 프레임 제작

○ 바디 적용 소재 검토

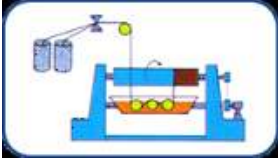
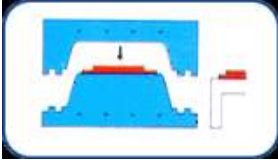
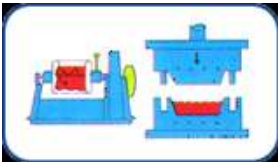
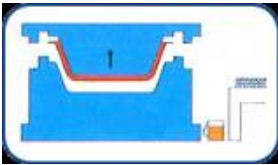
접이식 초소형 전기자동차의 바디 및 차체는 미래지향 디자인 및 접이식 메커니즘을 가지므로 제작에 있어 복잡한 구조의 구현 및 수정이 용이하며, 차체 강성의 확보와 동시에 경량화 목표를 충분히 달성 할 수 있는 물성을 가지는 소재를 사용하여야 한다. 이러한 복잡한 형상의 바디를 구현하기에 적합한 소재로는 FRP(Fiber Reinforced Plastics), 철판재, 레진, 플라스틱 등이 있다. 하지만 철판재의 경우는 시제품의 제작에 적용하기에는 철판재를 성형하기 위한 금형의 설계/제작에 드는 시간적/비용적 투자비용이 높아 단품 제작에는 적합하지 않다. 또한 소재의 비중이 8~10정도로 높아 차량의 목표 중량(450kg)을 달성하기 어렵다. 레진의 경우는 가볍고 소재의 성형이 쉽지만 강도가 매우 낮으며 얇게 성형할 경우 자중에 의한 변형이 국부적으로 발생하여 구조를 유지하기가 쉽지 않다. FRP소재는 비중이 철의 1/5정도이며 비중대비 강도가 높아 경량화 설계를 적용하여도 강성의 확보가 용이하다. 또한 복잡한 형상의 성형이 가능하며 산, 알칼리, 염 등의 부식성 용제에 대해 우수한 내식성을 가진다. FRP 소재는 섬유의 소재에 따라 탄소섬유를 사용한 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)와 유리섬유를 사용하는 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastics), 아마리드 섬유를 사용하는 ArFRP(Armarid Fiber Reinforced Plastics) 등으로 나눌 수 있으며 탄소 혹은 유리섬유를 보강재로 하여 폴포화 폴리에스터 수지를 적층하여 경화 가공한 복합구조체이다. 석유화학, 건축, 자동차 산업 등 전 산업분야에서 광범위하게 사용되는 소재이다. 아래 표에는 각 FRP 별 소재의 특성치를 정리하였다.

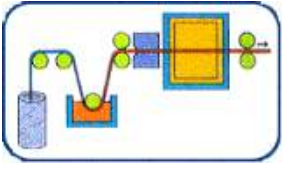
<표> FRP의 섬유소재별 물성 비교

재료	비 중	인장 강도 kgf/mm^2	인장 탄성률 kgf/mm^2	굽힘 강도 kgf/mm^2	휨 탄성율 kgf/mm^2	선팽창 계수 $10^{-3}/^{\circ}C$	열전도율 $kcal/mh^{\circ}C$	체적 저항율 $\Omega \cdot cm$	연속 사용 온도 (유리전이 점) $^{\circ}C$
<CFRP> T300~T800 고강도 섬유 (0도 방향) PAN계 섬유 Vf:60	1.5	160 ~ 450	12,000 ~ 15,000	130 ~ 200	9,000 ~ 13,000	0.2 ~ 0.4	3 ~ 3.5	4×10^{-5}	120 ~ 200
<CFRP> M24~M85 고강도 섬유 (0도 방향) 피치계 섬유 Vf:60	1.7	150 ~ 200	24,000 ~ 19,000	60 ~ 120	15,000 ~ 42,000	-0.8 ~ -1.3	4~5	2×10^{-5}	120 ~ 200
<GFRP> 유리 섬유 (0도 방향) Vf:60	2	110	4,5000	115	4,500	7	0.24 ~ 0.28	1×10^{15}	120 ~ 200
<ArFRP> 아라미드 섬유 (0도 방향) 케브라 49 섬유 Vf:60	1.4	150 ~ 200	7,000	60	7,000	-1.5	0.1 ~ 0.2	1×10^{12}	120 ~ 200

<SicFRP> 탄화규소 섬유	2	150	15,000	190	14,000	2.6	0.3	1×10^4	120 ~ 200
알루미늄 A5052	2.7	25	7,200	-	-	23.6	100	2.65×10^{-6}	250
스텐레스 SUS304	7.9	60	21,000	-	-	17.5	12.9	4.45×10^{-6}	600

<표> GFRP 가공방법 비교 (출처:한국하수처리시설협회)

방법	방법	그림	용도
Hand Lay up	형에 이형제를 도포한 후에 롤러를 사용하여 시행한다. 0.3mm~0.5mm 두께의 Surface Mat을 적층 후 Mat, Roving Cloth등을 필요한 두께, 필요한 강도까지 적층한다. 복잡한 형상 또는 소형에서 대형까지 광범위하게 응용되고 있는 일반적인 성형방법이다. 또 적층 공정 중 부분적으로 섬유의 구성을 바꾸거나 다른 강화재 등을 넣을 수 있기 때문에 필요에 따라 강도 또는 두께를 바꿀 수 있다.		자동차 시제품, 레저용품 등 소규모 시작품
Spray Up	형에 이형제를 도포한 후 유리섬유와 수지의 혼합물을 Spray Gun으로 Mold 표면에 일정한 두께에 이를 때까지 뿌려 성형한다.		자동차 시제품, 레저용품 등 소규모 시작품
Filament Winding	Roving사를 사전에 수지에 함침시켜 과잉한 수지는 짜낸 후 회전 맨드릴에 강도를 가하며 감은 후 경화시킨다		원통형 관, 부식성 용재 이동 등
S.M.C.	금형과 Press를 사용하여 가열, 가압 성형함. Glass Mat를 형상대로 재단해서 형에 놓고 수지를 유입 후 가압한다.		Panel Tank, 욕조 및 Unit Bath, 정화조, 자동차 부품, 냉각탑, Parabola Antenna 등 비교적 대형 성형품
B.M.C	수지 filler, 유리섬유, 촉매 등을 가해 반죽한 것을 가열, 가압 성형한다.		BMC는 비교적 작은 부품으로서 복잡한 형상의 물건이 많으며, Head Reflector 나 Air Intake 등 자동차 부품, 복사기나 프린터 등의 기구 부품, 각종 Housing 등에 응용
Cold Press	보온성이 좋은 압, 수 한쌍의 간이 Mold를 사용하여 상온 혹은 상온보다 높은 온도(상온~60℃)에서 성형하는 방법이며, Mold는 Press에 고정되어 Press로 개방된 Mold속에 Glass fiber 등의 강화재와 수지(통상적으로 불포화폴리에스터)를 함께 공급한다. 이어서 서서히 Mold를 닫아 잠그면서 가압 성형하여 탈형 가능한 경화상태가 될 때까지 유지한후 Mold를 열고 성형품을 꺼내는 방법이다.		건축자재, 욕조, 수조, 등 설비기계, 콘크리트 거푸집, 자동차 부품 등

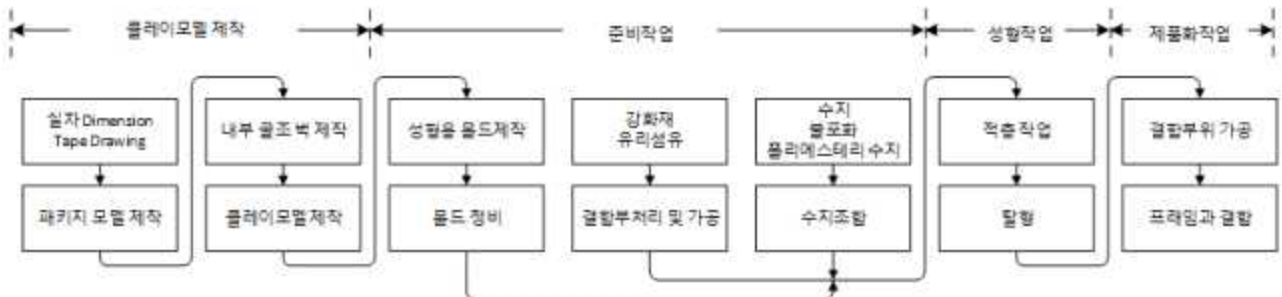
Protrusion	구조물 보강재(Fiberglass Roving과 Mat)를 열경화 수지(Resin)와 함침시켜 제품 모양의 금형을 통과시키면서 높은 열을 가하여 성형한 후 Puller로 당겨내어 제품을 생산하는 방법이다.		제품의 특성이 철강보다 높고 강도가 높으며 내열성이 우수하고 내식성이 강하다. 또한, 접이식 초소형 전기자동차에 사용된다.
------------	--	--	--

CFRP는 무기대비 강도와 강성이 뛰어나 항공기 구조재료, 경주용 차량의 차체소재 등으로 사용이 늘어나고 있는 추세이지만 가격이 비싸고 가공이 어려워 경항공기의 외피소재로도 제한적으로 사용되고 있다. 이에 반하여 GFRP는 CFRP와 비교하면 무기대비 강도는 비슷하게 좋으나 강성은 다소 떨어진다. 하지만 CFRP와 비교하면 가격이 싸고 작업이 비교적 쉬워 경항공기의 외피재료로 많이 사용되고 있다. 이러한 예를 토대로 하여 접이식초소형 전기자동차에는 GFRP를 이용하여 바디를 제작하였다.

GFRP는 가공방법에 따라 여러 가지로 구분될 수 있다. Hand Lay up 법, Spray Up 법, Filament Winding 법, Lining 법, S.M.C.(Sheet Molding Compound)법, B.M.C(Bulk Molding Compound) 법, Cold Press법, Pultrusion법 등의 다양한 방법이 존재하며 소재를 적용할 구조물에 따라 제조법을 달리하여 적용한다. 아래 표에 각각에 대한 제조방법에 대해 설명하였다.

위의 표에서 볼 수 있듯 접이식 차량의 경우 외관의 복잡도, 차량이 크기 등을 고려하면 몰드를 수작업으로 제작하여야 하며 시제품 1대 제작이므로 Hand up 법이나 spray up 법으로 제작하여야 함을 알 수 있다. 접이식 차량 바디 제작에 적용한 방법은 Hand up법이며 적층 공정 중 부분적으로 섬유의 구성을 바꾸거나 다른 강화재 등을 넣을 수 있기 때문에 필요에 따라 강도 또는 두께를 바꿀 수 있어 강성에 영향을 주지 않는 부분에 대해서 부분적으로 두께를 변화시켜 제작이 가능한 장점이 있다.

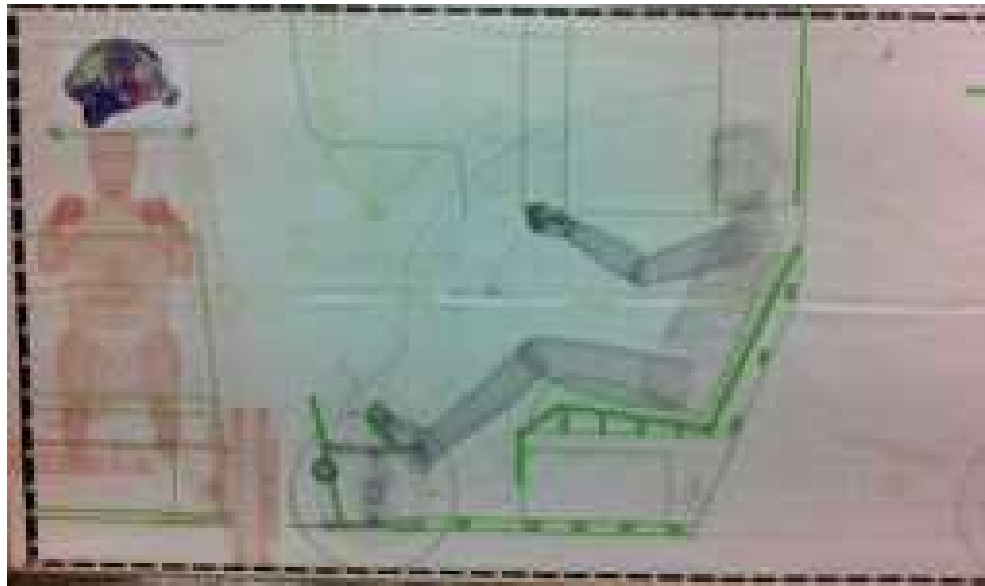
아래 그림에는 접이식 전기자동차 시제품의 바디 제작을 위한 프로세스를 표시하였다.



<접이식 차량 바디 제작을 위한 전체 프로세스>

○ 클레이 모델 제작

클레이 모델은 GFRP의 성형을 위한 음각 몰드 성형을 위해 제작되었다. 즉 클레이 모델은 음각몰드의 성형, 음각몰드는 바디성형을 위해 사용된다. 클레이 모델은 수작업으로 진행되므로 3D설계 데이터를 직접적으로 반영할 수 있는 방법이 없다. 그러므로 클레이 모델을 실제 원하는 크기대로 제작하기 위한 제반작업이 필요한데 일반적으로 2D Tape Drawing을 사용한다. 3D 설계데이터를 2D로 사영시킨 후 실제 크기로 프린트하여 사용한다. 아래 사진은 Dimension 확인 및 패키지 모델 제작을 위한 Tape Drawing을 보여준다. 운전자 모델은 대한민국 남성 키를 정규분포로 보았을 때 상위 95%인 남성을 기준으로 설계에 반영하였다.



<그림> Tape Drawing

아래 그림은 Seat, Steering, 가속 페달, 브레이크 페달 등 차량 내부부품의 위치를 확인하고 인테리어 디멘전 확인을 위해 제작한 패키지 모델을 보여준다. 아래 모델은 인테리어의 클레이모델을 제작하기 위하여 사용된다.

즉, 2D Tape drawing 은 차량 외부 바디를 제작하기 위해 사용되며, 패키지모델은 내부 공간 인테리어 제작을 위하여 사용된다.



<그림> 패키지 모델



<그림> 내부골조 벽 제작



<그림> 클레이 모델 제작을 위한 내부 골조

위 그림은 클레이 모델 제작을 위한 내부 골조 벽을 보여준다. 순수 클레이로만 클레이 모델을 제작하면 클레이의 양이 많아지고 무게가 증가하므로 몰드 성형 중에 클레이모델이 소손될 수 있기 때문에 내부에서 자중을 지탱해주기 위하여 사용된다. 클레이를 위에 덧대는 과정에서 증가하는 크기를 줄이기 위하여 실제 크기보다 약 50~60mm 정도 offset 이 있게 제작하였다.

내부 골조에 20mm 두께의 스티로폼을 덧댄 모습을 보여준다. 스티로폼은 내부골조와 클레이의 고정을 위하여 사용된다. 또한 내부골조에 사용된 목재가 클레이의 수분을 흡수하여 작업도중 클레이가 빠르게 건조되어 제작 후 변형/손상되는 현상을 방지하기 위하여 사용된다.

아래그림은 클레이를 목조외관에 붙인 결과를 보여준다. 목표 스킨데이터보다 약 10~20mm 정도 두껍게 제작하여야 클레이를 가공할 때 스킨데이터와 일치하는 클레이 모델을 제작할 수 있다.



<그림> 클레이 붙임 작업(외관)

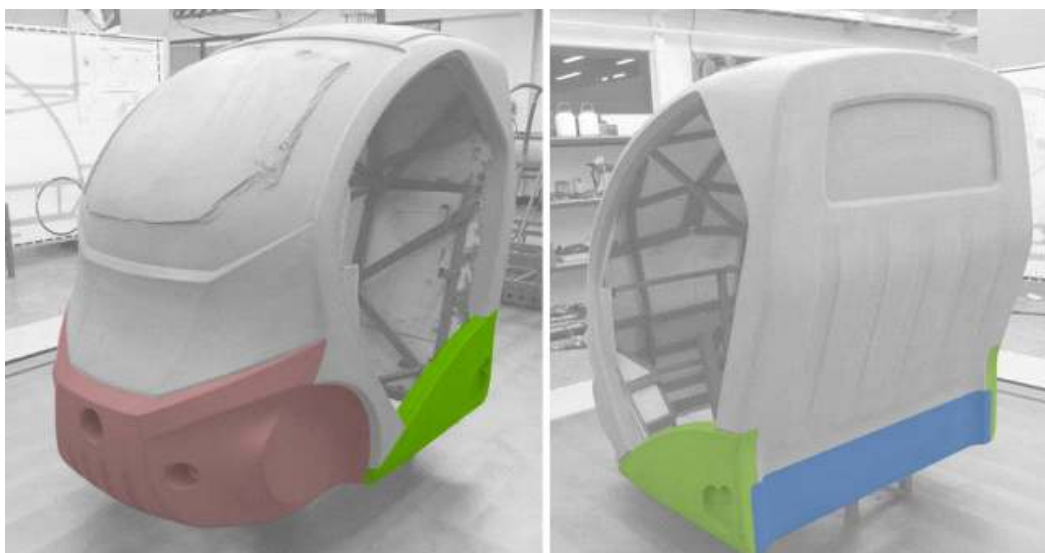
위 그림은 Tape drawing과 비교를 위하여 레이아웃 머신을 이용하여 실제데이터 (x, y, z) 데이터를 추출하는 모습을 보여준다. 레이아웃머신으로 포인트를 체크하여 실제 3D 스킨데이터와 특징점의 point 좌표를 확인하여 실제데이터와 일치시키는 작업을 반복한다. 레이아웃 머신을 이용하여 전체적인 좌표가 3D 스킨데이터와 일치하면 차량의 디자인적인 요소로 추가된 요소들에 대하여 세부적으로 다듬어 클레이 모델을 완성한다. 아래 그림들은 세부적인 다듬기 과정을 보여준다.

○ 바디 몰드 제작

클레이상태에서 이형처리한 후 FRP 메트(Mat)로 8~10mm 두께의 음각 몰드를 성형한다. 이형처리하는 클레이모델과 몰드의 분리를 용이하게 하기 위하여 사용된다. 이형제를 사용하지 않은 경우 클레이가 몰드에 접착되어 몰드의 품질을 저해하는 요소가 된다.

접이식 초소형 전기자동차의 경우 일반차량과 달리 차량의 전방부와 후방부가 두 부분으로 각각 나뉘어 제작되어야 하므로 후방부분 몰드를 제작한 이후 후방부분의 클레이모델을 제거하여 전방부의 몰드를 제작하기 위한 클레이모델로 변형시킨다.

아래 그림에 몰드 성형을 완료한 후 차체 프레임과 결합시키기 위한 분리부분을 표시하였다



<그림> 전방 바디 파티 분리 부분

몰드를 분리한 후에는 hand up 방법을 이용하여 GFRP를 몰드에 적층시킨다. 몰드 적층 방법은 앞서 설명한 대로 몰드에 이형제를 도포한 후에 롤러를 사용하여 시행한다. 0.3mm~0.5mm 두께의 Surface Mat을 적층 후 Mat, Roving Cloth등을 필요한 두께, 필요한 강도까지 적층한다. 적층을 완료한 후에는 제품을 분리하여 이형제 등의 이물을 제거하고 퍼티 등을 이용하여 결함부위를 보정하며 표면을 매끄럽게 처리하여 바디 판넬의 제작을 완료 한다. 아래 사진에 완성된 바디부품을 표시하였다.



<그림> 완성된 전방 바디



<그림> 차량 하부 클레이 모델 및 바디

○ 차체 프레임 제작

차체 프레임은 기본적으로 폭 40mm 높이 20mm 두께 2T의 각관으로 제작하였다. 사용한 각관의 재료는 SM45C로 아래 분류표에서 볼 수 있듯 기계구조용 탄소강이며 45C는 탄소함유량 0.42~0.48%이다. 열처리가 완료되어 각관형태로 제작된 제품이다. 열처리가 완료된 SM45C는 인장항복강도 620MPa, 극한강도 690MPa를 가진다.

<표> 기호에 따른 금속재료의 분류

기호	재 질 명	비 고	기 호	재 질 명	비 고
Al	알루미늄	aluminum	F	철	ferrum
AlBr	알루미늄 청동	aluminum bronze	MS	연강	mild steel
Br	청동	bronze	NiCu	니켈 구리 합금	nickel-copper alloy
Bs	황동	brass	PB	인 청동	phosphor bronze
Cu	구리 또는 구리 합금	copper	S	강	steel
HBs	고강도 황동	high strength brass	SM	기계 구조용강	machine structure steel
HMn	고망간	high manganses	WM	화이트 메탈	white metal

차량의 프레임 설계 데이터와 해석결과를 바탕으로 3D데이터에 맞추어 제작하였다.

차량의 프레임을 제작할 때에는 차량의 최하단 프레임부터 순서대로 용접하여 적층하여 제작하였다. 용접 후 용접부가 식으며 발생하는 변형을 방지하기 위하여 아래 그림과 같이 지그를 이용하여 고정하였다. 지그로 변형을 막은 후 용접을 수행하거나 용접으로 인한 변형을 구조적으로 막게 되면 프레임 내부에 응력이 잔류하게 된다. 이러한 잔류응력은 장기적으로 프레임에 변형을 발생시킬 수 있다. 이러한 잔류응력을 제거하기 위하여 아래 그림과 같이 변형방지를 위한 철판 막대를 덧대어 주었다. 이렇게 프레임의 변형을 지속적으로 막아주면 잔류응력은 점차적으로 Relaxation하여 사라지게 된다. 후방 프레임의 경우에는 접합 구조로 인하여 프레임의 사용이 제한적이므로 옆 부분에는 기본 프레임에 사용한 40mm X 20mm 보다 더 큰 60mm X 30mm의 각관을 사용하였다. 또한 프레임에 직접 접합메커니즘의 구동을 위한 레일이 장착되므로 변형에 대해서 민감하게 작용한다. 잔류응력의 제거를 위한 철판봉에 더하여 목판을 사용하여 좌우 뒤틀림변형을 최대한 방지하였다.

○ IP/Trim 제작

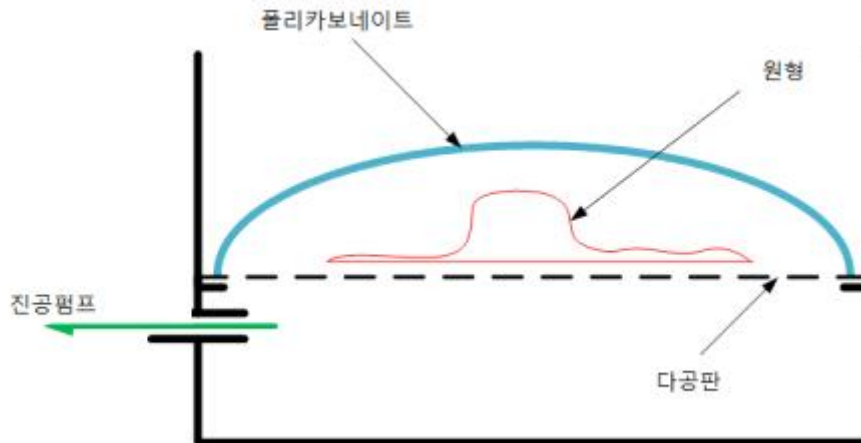
패키지 모델은 전방 프레임의 하단부와 동일한 형상으로 제작되었다. 스티로폼을 이용하여 기본 골조를 제작하였으며 기본 골조위에 클레이를 커버링하고 몰드성형없이 바로 클레이모델 위에서 성형작업을 수행하였다. 이를 제외한 기본적인 FRP 성형방법은 앞서 차체 바디를 제작할 때와 동일하다.

○ 윈드 스크린 제작

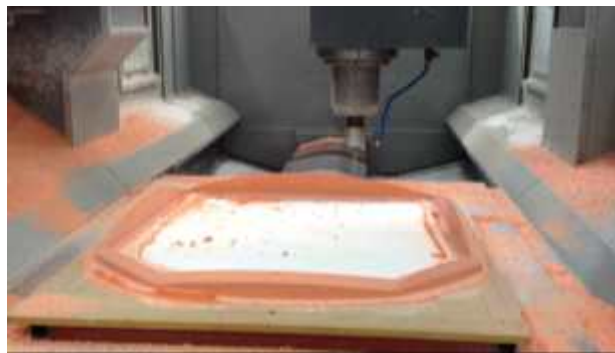
윈드스크린(차량 전면창)은 폴리카보네이트 제질로 제작하였다. 폴리카보네이트(Polycarbonate Resin)는 투명 플라스틱 중 가장 발전된 엔지니어링 플라스틱으로 비스페놀A가 원료이며 내충격성, 내열성, 채광성, 내후성, 자기소화성, 곡면성형성 등에서 타 재료에 대비하여 탁월한 성능을 가지고 있다. 건축, 전기, 전자, 산업용에 광범위하게 사용되며 자유로운 조형성과 다양한 색상첨가로 널리 사용되고 있다.

폴리카보네이트를 성형하는 방법은 사출성형과 진공성형 그리고 압출성형 방법이 있으며 본 연구과제에서는 진공성형방법으로 전면 윈드실드를 성형하였다. 진공성형 방법은

원형이 되는 지그와 금형을 ABS소재를 MCT로 가공하며 아래 그림과 같은 예시와 같이 다공판위에 원형을 올려두고 다공성 판 하부의 압력을 낮추고 폴리카보네이트를 가열하여 원형위에 압착시킨다. 압착된 폴리카보네이트를 냉각시킨 후 차량의 윈드실드 데이터와 일치하도록 모서리를 가공하여 완성한다. 폴리카보네이트의 두께는 5mm로 설정하였다.



<그림> 폴리카보네이트 성형 개념도



<그림> ABS 이용 MCT 가공



<그림> 폴리카보네이트 성형 및 모서리 다듬기 완료

○ 기타 단품 제작

전조등은 야간 주행 시 시야의 확보를 위해 중요한 사항이며 차량의 외관에 있어 미적으로 중요한 요소 중의 하나이다. 최근에는 주간에도 도로에서 전 방향에 있는 타 차량 운전자에게 차량의 존재를 효과적으로 알려주는 데이라이트(Day Light)기능이 고급차 위

주로 추가되고 있는 실정인데 타 운전자가 보았을 때 가시성이 있으면서도 눈에 부담을 주지 않는 면발광 LED가 각광받고 있다. 접이식 초소형 전기차에도 면발광 LED를 구현하였다. 면발광 LED는 아래와 같이 LED, 하우징, LED발광면으로 구성된다. LED발광면과 하우징은 ABS소재를 MCT로 가공하여 제작하였다.

나. 접이 메카니즘 시스템 제작 및 부품패키징

○ 가이드 및 기어 제작

가이드 및 레일은 각형 봉을 가공하여 제작하였다. 재료는 SM45C(기계구조용 강)을 사용하였으며 CNC가공을 통해 기어의 이를 가공하였다. 가이드는 랙기어와 랙기어 고정용 지지프레임으로 구성되며 원호길이 1.6m이다. 피니언 기어의 피치원 반지름은 60mm이고 이수가 적어서 랙기어(가이드)와 접촉 시 언더컷이 발생할 수 있다. 이를 피하기 위하여 전위 치형을 가지도록 제작하였다.

○ 접이 모터 및 감속기 어셈블리

접이 모터와 감속기는 어셈블리는 아래그림과 같이 구성된다. 모터는 정격파워 400W 정격토크 12.3kg.cm, 최대속도 3000RPM 의 DC 모터이다. DC모터의 전원단에는 4.5kW, 180V의 TVS(Transient Voltage Suppressor)를 장착하였다. 모터의 회전축은 감속비 1:60의 중공 웜기어 감속기를 통하여 피니언기어와 연결된다.



<그림> 접이 모터 어셈블리

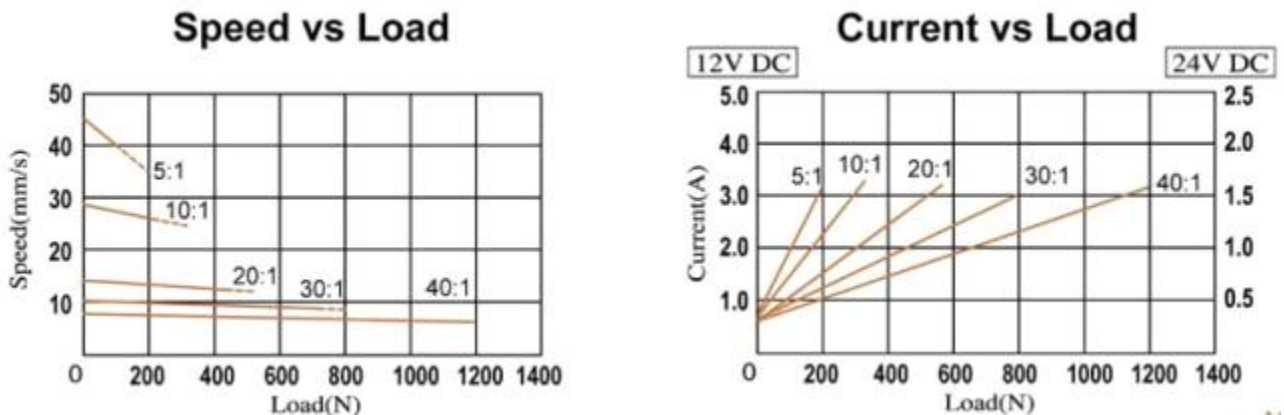
○ 랜딩기어 제작

랜딩기어는 아래 그림과 같이 액츄에이터와 45°offset 바, 보조바퀴로 구성된다. 보조바퀴는 우레탄재질의 타이어나 철제 휠, 베어링으로 구성되며 차량이 접힌 후에 차체를 지지하며, 접힘과 펴짐 동작 중 배터리의 무게중심을 중력방향으로 움직이지 않도록 한다.



<그림> 랜딩기어 제작

랜딩기어의 액츄에이터는 100mm 스트로크 25% duty cycle을 가지며 기어비는 10:1이다. 최대 하중이 1200N이므로 랜딩기어가 움직이는 경로에 요철이 있더라도 정확한 위치 제어가 가능하다.



<액츄에이터 로드별 특성>

다. 인휠 구동 시스템 제작

인휠 구동 시스템 어셈블리는 아래와 같이 구성된다. 인휠 모터의 하우징은 유지보수의 용이성을 위하여 서스펜션, 타이로드와 연결되는 힌지를 따로 분리할 수 있도록 구성되었다. 하우징과 휠허브는 CNC 머신 및 선반을 이용하여 절삭 가공하였다. 재료는 기계구조 용강 SM45C이다.



<그림> 인휠모터 어셈블리

라. 현가 장치 및 조향 시스템 제작

서스펜션에 사용되는 스프링과 댐퍼는 아래 사진과 같이 멀티링크로 구성되었다. 이 링게 직접 스프링을 서스펜션에 장착하지 않고 링크를 통하여 힘을 전달하게 하면 강성이 낮은 스프링을 사용할 수 있어 스프링의 크기를 획기적으로 감소시킬 수 있으며 Unsprung mass에서 스프링이 차지하는 비율을 줄일 수 있다. 또한 서스펜션의 댐퍼비, 스프링 강성을 조절하기 쉬워 실차 주행 후 성능향상을 위한 튜닝이 간편하다.



<그림> 스프링/댐퍼 어셈블리



〈그림〉 조향장치 및 조향 모터 어셈블리

바. 후가공 및 조립

○ 프레임-바디 체결 방법

프레임 및 바디의 체결은 스팟 용접과 리벳으로 구조고정을 하며 실리콘건을 사용하여 틈새를 메꾼다. 실리콘건을 사용하여 프레임과 바디사이의 틈새를 세밀하게 메꾼다. 최종적으로 프레임의 녹방지와 바디와의 틈에서 발생할 수 있는 누수등을 막기 위하여 표면에 방수코팅제를 도포한다.

○ 가조립 및 차량 완성

차량을 도색하기 전 가조립을 통하여 단차를 조절하고 기구적인 결함이 있는지 확인 및 수정작업을 수행한다. 기구적인 결함은 주행 시 휠 어셈블리의 간섭확인, 조향 동작 시 타이로드와 휠 어셈블리간의 간섭확인, 브레이크 라이닝과 전장부품간의 간섭 확인, 접힘 동작 시 Side mirror용 카메라, 앞부분 뒷부분 결합부위사이에 간섭등을 확인하였다. 주행제어, 조향제어, 접힘/펴짐 제어, 랜딩기어동작제어, Light제어, 각종 스위치의 입력확인, VCU와 모터 드라이버간의 CAN통신 제어등 전체적인 차량제어기의 점검도 동시에 수행하였다. 이렇게 가조립 및 확인 작업이 완료되면 모든 부품을 분리하고 전체 도색작업을 수행한다.



<그림> 차량 가조립 및 점검



<그림> 차량 가조립 및 점검 (전면)



<그림> 차량 가조립 및 점검 (후면)



<그림> 차량 가조립 및 점검 (접힌 상태)



<그림> 접이 제어 알고리즘 검증



<그림> 접이식 초소형 전기자동차 시제품 완성

5. 초소형 차량에 대한 법규 검토

가. 국내외 법규 동향

○ UNECE Category L7의 Quadricycle의 정의 및 유사 국내의 기준

UNECE 규정에 의하면 Quadricycle은 4개의 바퀴를 가지는 차전거(Cycle)을 의미한다. 전기, 연료 뿐만 아니라 인력으로 작동하는 모든 개념을 포함하며 동력원이 인력이 아닌 경우는 Motorised Quadricycle로 구분한다. 용도의 측면에서 차전거와 유사한 기능을 수행하는 수준의 Micro Car로서 인식되며, 해당 규정에는 UNECE의 Category-L6, L7과 미국의 LSV가 있다. 국내에서는 아래와 같이 저속 전기자동차에 대한 규정으로 일반승용차에 예외적인 규정을 두어 저속전기차로 구분하는데, 본 과제에서 제안하는 초소형 전기차 또는 친환경 Micro-segment에 대해서는 별도 규정 제정이 필요하다.

○ UNECE의 관련 분류 기준

<UNECE R.E.3에 따른 quadricycle의 분류기준>

구분	조문	비고
Category L6 (L i g h t quadricycle)	A vehicle with four wheels whose unladen mass is not more than 350 kg, not including the mass of the batteries in case of electric vehicles, whose maximum design speed is not more than 45 km/h, and whose engine cylinder capacity does not exceed 50 cm ³ for spark (positive) ignition engines, or whose maximum net power output does not exceed 4 kW in the case of other internal combustion engines, or whose maximum continuous rated power does not exceed 4 kW in the case of electric engines.	•not more than 350 kg(excluding battery) •Max speed 45km/h •Power output 4kW •No mandatory collision certification required
Category L7 (H e a v y quadricycle)	A vehicle with four wheels, other than that classified for the category L6, whose unladen mass is not more than 400 kg (550 kg for vehicles intended for carrying goods), not including the mass of batteries in the case of electric vehicles and whose maximum continuous rated power does not exceed 15 kW.	•not more than 400 kg(excluding battery) •550 kg (intend carrying goods) •No speed limit •No mandatory collision certification required •Power output 15kW
Category M1	Vehicles used for the carriage of passengers and comprising not more than eight seats in addition to the driver's seat.	•No mass limit •No speed limit •Power output 4kW

○ 미국에서의 차량 분류

미국의 경우 NHTSA와 US EPA 등의 분류 기준이 존재한다. NHTSA는 차량의 총 중량(Curb weight)을 기준으로 승용차의 등급을 구분하며, US EPA는 차량 실내면적을 기준으로 차량의 등급을 구분한다. 그 기준은 아래 표와 같다.

<NHTSA 기준>

Class	Mini	light	compact	medium	heavy	SUV	Pickup truck	Vans
Curb weight	(680-907 kg)	(907-1,134 kg)	(1,134-1,360 kg)	(1,361-1,587 kg)	(1,588 kg) and over	—	—	—

<US EPA 기준>

Class	Two seaters	Mini Car	Subcompact Car	Compact Car	Midsize Car	Large car	Small S- wagon	Mid S- wagon	Large S- wagon
Interior volume index	Any (designed to seat only two adults)	under 85 cu ft (2.4 m3)	85-99.9 cu ft (2.4-2.83 m3)	100-109.9 cu ft (2.8-3.11 m3)	110-119.9 cu ft (3.1-3.40 m3)	120 cu ft (3.4 m3) or over	under 130 cu ft (3.7 m3)	130-160 cu ft (3.7-4.5 m3)	over 160 cu ft (4.5 m3)

<US EPA 기준>

규정	일반적 사양
Mini Car	seats only the driver and a single passenger a 1 cylinder 49 - 500cc engine 1 wheel drive cable operated brakes on 2 or 4 wheels (no longer permissible in countries such as the UK) simple suspensions 6" - 8" road wheels
Subcompact Car	A subcompact car is an American definition to indicate an automobile with a class size smaller than that of a compact car, usually not exceeding 165 inches (4,191 mm) in length, but larger than a micro car. According to the United States Environmental Protection Agency (EPA), a passenger car is classified as subcompact if it has between 85 cubic feet (2,407 L) and 99 cu ft (2,803 L) of interior volume.
Compact Car	Current compact car size, for US and international models respectively, is approximately 4,100 mm (161 in) and 4,450 mm (175 in) long for hatchbacks, or 4,400 mm (173 in) and 4,750 mm (187 in) long for convertibles, sedans (saloon) or station wagons (estate car). Multi-purpose vehicles and sport utility vehicles based on small family cars (often called compact MPVs and compact SUVs) have similar sizes, ranging from 4,200 mm (165 in) to 4,500 mm (177 in) in the U.S., and from 4,400 mm (173 in) to 4,700 mm (185 in) in international-based models.
Midsize Car	Mid-size vehicles today usually have wheelbases between 105 inches (2,667 mm) and 110 inches (2,794 mm). Another widely used definition is that of the EPA, which classifies cars between 110 cubic feet (3.11 m3) and 119 cubic feet (3.37 m3) of interior volume as mid-size.
Large	Full-size cars are usually denoted for their length, nearing 5,000 mm (197 in) in

car	basic sedans, with luxury models often tending to reach 5,350 mm (211 in). Previously, a wheelbase greater than 2,790 mm (110 in) was the criterion. The term first appeared in the early 1960s to define what also became known as "standard"-size cars from the new compact and intermediate models then being introduced. Full-size is also defined in space measurement as greater than 3,300 L (120 ft ³) of combined passenger and cargo interior volume.
-----	---

○ FMVSS 500에 따른 저속자동차의 기준 (Low-Speed-Vehicle: LSV)

규정	세부기준	비고
operation	4 wheels in contact with the ground in normal operation,	4-wheel
Speed	Has a speed attainable in 1.6 km (1 mile) of more than 32 kilometers per hour (20 miles per hour) and not more than 40 kilometers per hour (25 miles per hour) on a paved level 5 surface	Max. 40km/h Average 32km/h
Weight	Has a gross vehicle weight rating (GVWR) of less than 1,361 kilograms (3,000 pounds).	1,361 kg
Equipment	Each LSV shall be equipped with ten items of safety equipment and a compliance certification label.	Ten items, related safety are required

○ 국내차량 분류 기준

<자동차의 분류 기준>

구분	기준
경형	•배기량이 1000cc미만 •길이 3.6미터 · 너비1.6미터 · 높이2.0미터 이하
소형	•배기량이 1,600cc미만인 것 •길이 4.7미터 · 너비1.7미터 · 높이2.0미터 이하
중형	•배기량이 1,600cc이상 2,000cc미만 •혹은 길이 · 너비 · 높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하는 것
대형	•배기량이 2,000cc이상 •혹은 길이 · 너비 · 높이 모두 소형을 초과 하는 것

〈자동차 유형별 분류 기준〉

유형	세부기준
일반형	•2개 내지 4개의 문 •전후 2열 또는 3열의 좌석을 구비 •유선형 차체
승용겸 화물형	•차실안에 화물을 적재하도록 장치된 것
다목적형	•후레임형이거나4륜구동장치 또는 차동제한장치를 갖추는 등 험로운 행이 용이한 구조로 설계된 자동차 •일반형 및 승용겸화물형이 아닌 것
기타형	•위 어느 형에도 속하지 아니하는 승용자동차인 것

○ 저속전기자동차의 법적 근거

규정	세부기준	비고
환 경 친 화 적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률	"전기자동차"란 전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원(動力源)으로 사용하는 자동차를 말함 (환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 제2조 3항)	제2조 3항
자동차관리법	전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기자동차 중 국토해양부령으로 정하는 최고 속도 및 차량 중량 이하의 자동차(이하 "저속전기자동차"라 한다)에 대하여 제29조 제1항의 자동차안전기준을 달리 정할 수 있음 (자동차관리법 제 35조의 2)	제 35조의 2
국토해양부령 제 222호	"국토해양부령으로 정하는 최고속도 및 차량중량 이하의 자동차"란 최고속도가 매시 60킬로미터를 초과하지 않고, 차량 총중량이1,361킬로그램을 초과하지 않는 전기자동차(이하 "저속전기자동차"라 한다)를 말함 (국토해양부령 제 222호 제 57조의 2)	제 57조의 2
결론	국내에서는 전기에너지를 동력원으로 사용하며, 최고 속도가 매시 60킬로미터를 초과하지 않는 승용 자동차 혹은 이륜 자동차로 분류 가능	바퀴 수에 대해 명시된 바가 없으며, 제시된 정량적 기준은 모두 기준 이하일 경우 만족

○ 항목별 분류 기준

대상	UNECE			국내 규정					U.S
종류	Categ o r y L6	Categ o r y L7	Categ o r y M1	경형	소형	중형	대형	저속 전 기 차	LSV (NEV)
무게	350kg 이하 (배 터 리 제 외)	400kg 이하 (배 터 리 제 외)	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	1,36 1kg (Gr o ss)	1,361 kg (Gros s)
크기	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	길 이 3.6× 폭 1.6× 높 이 2 . 0 (m)	길이 4.7× 폭 1.7× 높 이 2 . 0 (m)	길 이 , 폭 , 높이 중 어느 하 나 라 도 소형 을 초과 하는 것	길 이 · 너 비 · 높이 모 두 소형 을 초과 하는 것	명 시 없음	명 시 없음
용도	승용	승용	승용	승용	승용	승용	승용	승용	승용
동력원	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전 기 혹 은 화 석 연료	전기	명 시 없음
출력	4 k W 이하	15 k W 이하	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음
배기량	명시 없 음	명시 없 음	명 시 없음	1000c c 미만	1600c c 미만	1600이 상 ~2000c c미만	2000cc 이상	명 시 없음	명 시 없음
속도	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	60km /h	40km/ h
좌석수 (승용차 기준)	명 시 없음	명 시 없음	8 이 하	10인 이하	10인 이하	10 인 이하	10 인 이하	2 인 이하	명 시 없음

차륜수	4개	4개	4 개 이하	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	4개	4개
문 수	명 시 없음	명 시 없음	명 시 없음	2~4	2~4	2~4	2~4	명 시 없음	4개

○ 분류 기준 분석

아래 표에 본 과제의 결과물인 접이식 초소형 전기자동차의 사양의 적용 결과를 명시하였다.

항목	단 위	사양	C-L7	경형	소형	중형	대형	저속 전기차	LSV
전 장 (folding)	mm	2820 (1650)	없음	3.6	4.7	전장, 전 폭, 전고 중 어느 하나라도 소형 초과	전장, 전 폭, 전고 모두 소형 초과	없음	없음
전 폭	mm	1660	없음	1.6	1.7			없음	없음
전 고 (folding)	mm	1660 (1830)	없음	2.0	2.0			없음	없음
출력	kW	13.5	15	없음	없음	없음	없음	없음	없음
배기량	cc	-	없음	1000cc 이하	1000cc ~ 1600cc	1600cc ~ 2000cc	2000cc 이상	없음	없음
최고속도	Kph	60	없음	없음	없음	없음	없음	60	40
동력원	Type	전기	전기, 연료	없음	없음	없음	없음	전기	전기, 연료
용도	-	승용	승용	승용	승용	승용	승용	승용	승용
무게	kg	450	450	없음	없음	없음	없음	1,361	1,361
좌석 수	개	2	없음	10인 이하	10인 이하	10인 이하	10인 이하	없음	없음
차륜 수	개	4	4	없음	없음	없음	없음	없음	없음

문 수	개	2	없음	2~4	2~4	2~4	2~4	없음	없음
등판각도	%	10	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
접힘 소요 시간	Sec	11	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
급 속 총 전 시간	hou r	8	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
완 속 총 전 시간	hou r	0.5	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
배터리 용 량	kWh	13.6	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
주행가능거 리	Km	100	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음

- 전장

UNECE 및 미국의 규정은 전장에 대한 명시가 없으며, 국내 경차의 기준은 3600mm이므로, AT는 접힘/펴짐 모두에서 기준을 만족한다.

- 전고

UNECE 및 미국의 규정은 전폭에 대한 명시가 없으며, 국내 경차의 기준은 2000mm이며, AT는 접힘/펴짐 모두에서 기준을 만족한다.

- 출력

UNECE는 출력을 15kW 이하로 규정하고 있으며, AT는 본 기준을 만족한다. 국내 및 미국 규정에서는 출력에 대한 명시 규정 없다.

- 최고속도

미국 저속전기차 기준은 40km/h이며, 국내 저속전기차 기준은 60km/h이다. UNECE에는 최고속도에 대한 명시가 없다.

- 동력원

국내 저속전기차는 전기 동력원을 활용하는 것이 규정화되어 있지만 UNECE 및 미국은 전기 뿐만 아니라 연료 또한 동력원으로 허용된다.

- 용도

UNECE, 미국, 국내 저속전기차 규정 모두 승용을 기준으로 하지만, 국내 차량 분류 기준의 경우 준용하는 일반형, 승용겸 화물형, 특수목적형, 기타형 등의 세분 기준이 있지만 분류기준은 그대로 준용하며, 부가적인 기준이 제시된다.

- 무게

UNECE의 L7은 공차 중량 450kg 이며, 국내 및 미국의 저속전기차 기준은 배터리 포함 차량의 무게와 함께 탑승자 및 물품 적재 모두를 고려하였을 때 1361kg 이하를 만족하여야 한다.

- 좌석수

UNECE, 국내 및 미국 저속전기차 등에는 좌석 수에 대한 규정이 없으며 국내 차량 분류에 따른 좌석 수는 10인 이하의 좌석을 기준으로 한다.

- 차륜수

Category L은 최대 차륜 수는 4개이며, L7은 4개의 차륜으로 규정하며, 미국 저속전기

차 규정 또한 정상 동작 시 4개의 차륜이 지면에 접촉되는 것을 기준으로 한다.

- 문 수

국내 차량 분류에서는 2~4개의 문을 장착 가능한 것으로 규정한다. UNECE, 미국, 국내 저속전기차는 명시된 규정은 없다.

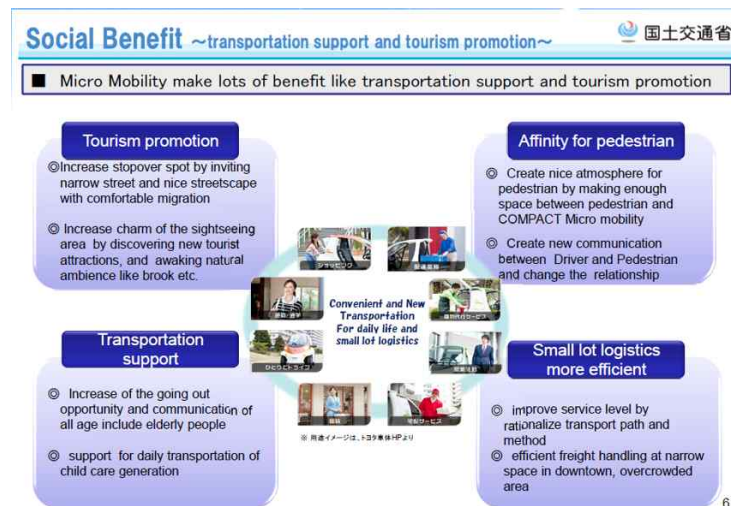
○ 정량적 사양 차이 비교

항목	단위	사양	C-L7	경형	소형	중형	대형	저속전기차	LSV
전장 (folding)	mm	2820 (1650)	X	-780 (-1950)	-1880 (-3050)	전장, 전폭, 전고, 전중, 전고모두 소형을 초과하는 나라도 소형을 초과	전장, 전폭, 전고모두 소형을 초과	X	X
전폭	mm	1660	X	+110	0			X	X
전고 (folding)	mm	1660 (1830)	X	-340 (-170)	-340 (-170)			X	X
출력	kW	13.5	-1.5	X	X	X	X	X	X
최고속도	Kph	60	X	X	X	X	v	0	+20
동력원	Type	전기	X	X	X	X	X	X	X
용도	-	승용	-	-	-	-	-	-	-
무게	kg	450 (690)	0	X	X	X	X	-671	-671
좌석 수	개	2	X	X	X	X	X	X	X
차륜 수	개	4	0	X	X	X	X	X	X
문 수	개	2	X	X	X	X	X	X	X

등판각도	%	10	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
접힘 소요 시간	Sec.	11	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
급 속 충 전 시간	hour	8	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
완 속 충 전 시간	hour	0.5	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
배터리 용 량	kWh	13.6	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
주 행 가 능 거리	Km	100	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음

※ ‘-’는 규정 대비 Armadillo-T가 낮은 수치이며, ‘+’ 붉은색은 규정 대비 초과한 수치
 ※ ‘X’는 해당 명시가 없거나 해당사항이 없음
 ※ ‘0’은 숫자

○ 일본 초소형 자동차 실증 사업 및 법규 제정



<그림 일본 초소형 자동차 실증 사업 결과 요약>

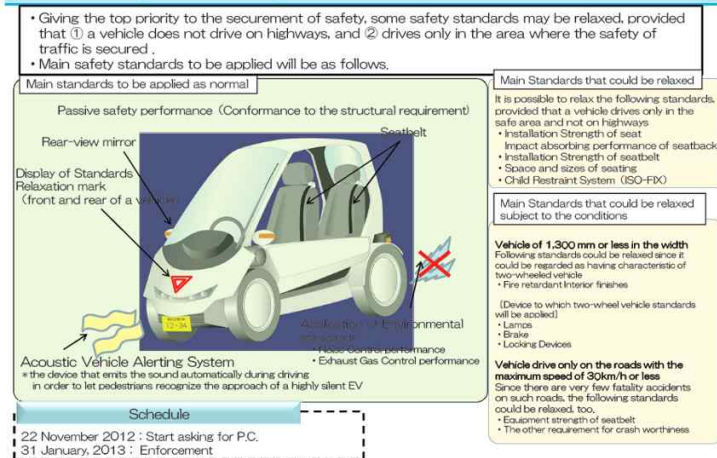
Rated Output (Electric Vehicle)		0.6kW and less	Exceeding 0.6kW
Engine Capacity		50cc or less	from 50cc to 660cc
Three/Four Wheeled Vehicle	Wheeled Walking Aids (No license required) • 6 km/h, or less • No Vehicle Inspection • Overall Length: 1,200mm • Overall width: 700mm • Overall Height: 1,090mm 	Quadricycle • Overall length: 2,500mm • Overall width: 1,300mm • Overall Height: 2,000mm • 1 passenger • Driving on a highway not allowed 	Mini-sized Vehicle • Overall length: 3,400mm • Overall width: 1,480mm • Overall Height: 2,000mm • Vehicle Inspection • 4 passengers • Allowed its driving on a highway 

* Japan's Rated Output 8kW is equivalent to Maximum Continuous Rated Power 15kw of Category L7

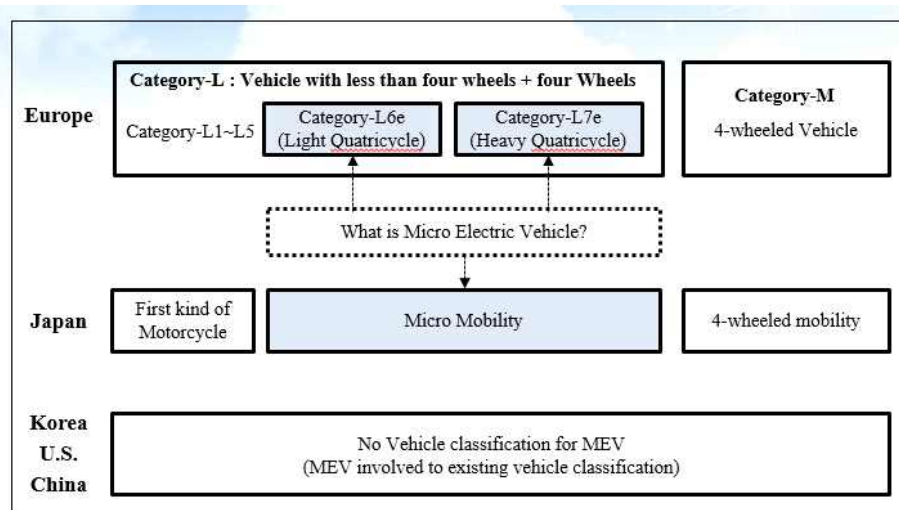
<그림> 일본 국토교통성의 초소형차 차량 분류 시안

Main concepts of Safety Standards

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



<그림> 일본 국토교통성의 초소형 자동차 차량 인증 기준 검토 내용



<그림> 한국 초소형 자동차 도입 제안

나. 접이식 초소형 전기자동차 정책적 분석

- 접이식 초소형 전기자동차에 요구되는 인증분석



< Armadillo-T에 요구되는 인증 분석 >

- 자동차 안전기준에 관한 규칙

번호	규정
1	제4조 (길이 · 너비 및 높이)
2	제5조(최저지상고)
3	제6조(차량총중량등)
4	제7조(중량분포)
5	제8조(최대안전경사각도)
6	제9조(최소회전반경)
7	제10조(접지부분 및 접지압력)
8	제11조(원동기 및 동력전달장치)
9	제12조(주행장치)
10	제12조의2(타이어공기압경고장치)
11	제13조(조종장치등)
12	제14조(조향장치)
13	제15조(제동장치)
14	제16조(완충장치)
15	제17조(연료장치)
16	제18조(전기장치)
17	제18조의2(고전원전기장치)
18	제18조의3(구동축전지)

19	제19조(차대 및 차체)
20	제20조(연결장치 및 견인장치)
21	제21조(후드걸쇠장치)
22	제22조(도난방지장치)
23	제23조(승차장치)
24	제24조(운전자의 좌석)
25	제25조(승객좌석의 규격)
26	제25조의2(접이식좌석)
27	제26조(머리지지대)
28	제27조(좌석안전띠장치등)
29	제27조의2(어린이보호용 좌석부착장치)
30	제28조(입석)
31	제29조(승강구)
32	제30조(비상구)
33	제31조(통로)
34	제32조(물품적재장치)
35	제33조(가스운송장치)
36	제34조(창유리 등)
37	제35조(소음방지장치)
38	제36조(배기가스발산방지장치)
39	제37조(배기관)
40	제38조(전조등)
41	제38조의2(안개등)
42	제38조의3(바닥조명등)
43	제38조의4(주간주행등)
44	제39조(후퇴등)
45	제40조(차폭등)
46	제41조(번호등)
47	제42조(후미등)
48	제43조(제동등)
49	제44조(방향지시등)
50	제44조의2(옆면표시등)
51	제45조(비상점멸표시등)
52	제46조(군용화 장치)
53	제47조(그 밖의 등화의 제한)
54	제48조(등화에 대한 그 밖의 기준)
55	제49조(후부반사기 등)
56	제50조(후사경 등)
57	제51조(창닫이기장치등)
58	제53조(경음기)
59	제54조(속도계 및 주행거리계)
60	제56조(운행기록계)
61	제57조(소화설비)

- 자동차안전도평가지험 등에 관한 규정

규정	해당사항	기준
정면충돌 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 2
제동 안전성	바퀴잠김방지식주제동장치(ABS)가 설치된 승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 4
주행전복 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 5
보행자 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차(다만, 자동차전륜 중심축에서 운전자 좌석의 착석기준점까지 거리가 1000밀리미터 이하인 승합자동차는 제외한다.)	별표 6
좌석 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 7
부분정면충돌 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 8
기동측면충돌 안전성	승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 9
사고예방 안전성	전방충돌경고장치, 차로이탈경고장치, 안전띠미착용경고장치가 설치된 승용자동차, 총중량4.5톤 이하 승합자동차 및 소형화물자동차	별표 11 별표 12 별표 13

○ 신규 법규 제안에 대한 검토

- Quadricycle의 필요성

Quadricycle은 장거리 교통수단이 아닌 근교(Neighborhood)에서의 이동을 목적으로 주로 활용되며 고속도를 이용하지 않고 대부분 최고속도 100km/h 미만의 속도로 주행하는 차량을 의미한다. 르노의 트위지 및 마힌드라의 Reva가 이러한 차종에 해당되며, 이들 차량은 이미 UNECE의 규정에 의거 상용화되어 개인용 및 차량공유제에 운행되고 있으며, 차량충돌 안전의 인증없이 차량이 판매, 운행되고 있다. 이러한 Quadricycle은 교통약자의 이동수단으로서 효과적인 활용이 예상되고, 카 셰어링 등을 통해 위치가 고정되어

있는 대중교통을 더욱 용이하게 활용할 수 있는 연계교통수단의 역할을 수행할 것으로 예상된다.

- Quadricycle의 실정

Quadricycle의 경우는 현재 국제적으로 통일화된 정의가 존재하지 않다. 즉, UNECE 규정은 Category-L, 미국은 LSV, 일본은 초소형 자동차 등의 각각 차량 구분 기준의 차이가 존재하고 있는 실정이며, 국내에서의 ‘저속전기자동차’ 기준 또한 각 국가의 분류 규정과 명확히 일치하지 않는다.

- Quadricycle의 쟁점

- ① Quadricycle을 사용하며 발생 가능한 상황에 대한 실증 기반의 규정 수립
- ② 주로 활용이 예상되는 지역 등의 환경 및 활용 목적에 충실한 기능
- ③ 활용 목적의 달성을 위한 기능의 적절성 및 평가방법
- ④ 요구되는 성능은 비슷하지만, 활용 목적이 다른 경우에 대한 차량의 세분류
- ⑤ 카 셰어링과 같은 비즈니스 모델에 대한 규정 및 대중교통 연계 수단을 위해 필요한 요구성능의 규정화
- ⑥ 교통 약자 등 주 활용 대상을 고려한 적절한 장치 및 안전기준 수립
- ⑦ 주행가능 도로에 대한 검토

- Armadillo-T 관점에서의 주요 쟁점

- ① 접이/펼치기 기능에 대한 안전 규정
- ② 주차시 차량의 차지하는 면적이 변화하는 것에 대한 차량 크기 관련 규정
- ③ 유지보수 인력에 대한 대안
- ④ 신규 세그먼트에 대한 차량 인증 및 안전도 평가 절차 제정 필요

- 각국 OEM의 Quadricycle 사양 현황

주요 국가의 OEM이 소개한 Quadricycle은 대부분 UNECE의 Category-L7 기준을 충족하는 것을 확인하였다. 이에 따라 Quadricycle의 정의가 UNECE를 중심으로 이동하는 것으로 분석할 수 있다.

모델명	OEM	길이 [mm]	너비 [mm]	무게 [kg]	좌석 [수]	출력 [kW]	최고속도 [km/h]	구동방식
Twizy	Renault	2338	1237	350	2	15	80	전기모터
BB1	Peugeot	2500	1600	600	4	15	90	전기모터

Hiriko	Hiriko	2630	1750	400	2	15	70	전기모터
Newton	Estrima	1747	1030	220	2	4	45	전기모터
Mobility Concept	Nissan	2337	1191	450	2	8	80	전기모터
Micro Commuter	Honda	2500	1250	470	2	15	80	전기모터
E-zone	CT&T	2665	1440	620	2	7	60	전기모터
REVA	RECC	2638	1324	1510	2	13	80	전기모터

- UNECE의 규정 관련 동향

UNECE R.E.3에 따라 Category-L7에 적용되는 규정을 살펴보면, 조향장치, 방향지시등과 같은 차량의 구성 부품에 대한 기준이 요구되지만, 충돌시험 등 안전평가가 요구되지 않는다. 이에 대한 예로, REVA의 경우는 Quadricycle로서 Category-L7으로 분류되었고 이에 따라 충돌시험 없이 현재 판매가 허가되어 운행되고 있으며, Twizzy의 경우에도 Category-L7으로 분류된 차량이며, New Jersey에서 평가 면제가 이루어진 사례가 있다. 또한 L7 차량이 증가함에 따라 기존에 면제되었던 안전평가에 대해 재검토를 하려는 논의가 이루어지고 있으며, 이에 따라 2014년에서부터 점차적으로 차량의 규격, 평가, 요구장치 등에 대해 기존보다 더욱 정교한 규정을 수립하려는 움직임이 진행되고 있다.

- 국내기준의 적절성 분석

국내에서는 ‘저속 전기자동차’로 분류되기 위한 기준으로, 최대출력, 최대속도, 총 무게, 동력원 등 4개의 요소를 제시하고 있다. 경차에서 대형차까지에 해당하는 국내법에 따른 차량분류를 실시하고, 2차적으로 저속 전기자동차로의 분류 기준을 검토하여 차량을 구분하고 있으며 저속전기차의 경우, 기 제정된 평가항목의 일부를 제외하는 방식이며, 기존의 차량분류에 따른 평가가 선별적으로 이루어진다.

이는 해당되는 평가 항목이 저속차에 적절한 평가인지, 평가가 제외되는 항목의 경우에는 평가를 하지 않는 것에 대한 적절성 등의 측면에서 저속전기자동차의 검증이 어렵다고 분석된다.

- 결론

국내 기준의 경우는 Quadricycle은 기본적으로 차량분류 기준을 유지하게 되며, 추가적

으로 저속자동차의 요구사항에 대한 만족 여부를 적용하므로, 사실상 별도의 차량 분류가 존재한다고 보기는 어렵다. 또한 명확한 차량 구분이 존재하지 않음에 따라 적절한 안전 평가를 수립하는 것이 어려워지는 결과로 이어진다.

현재 Quadricycle의 동향은 UNECE의 기준으로 점차 이동하고 있는 것이 파악되었으며, Category-L7에 대한 규정의 전면적인 재검토가 이루어지고 있는 시점임을 고려할 때, 국제규정과와의 부합성 측면에서 UNECE에서 제시하는 규정을 먼저 확인/도입하는 절차가 필요한 것으로 분석할 수 있다.

○ 국내에서의 Quadricycle 규정

AT의 경우는 접이식 차량임을 감안할 때, 접힘과 펴짐 과정에서 발생할 수 있는 안전 장치에 대한 규정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 일본에서의 실증사례를 통해 살펴본 바, 주행가능 거리 측면에서도 실제 활용성과 차량의 물리적 특성을 고려하여 규정이 필요하다. 결론적으로, UNECE의 Category-L7의 규정을 준용함과 더불어 차량이 가지는 고유한 특성을 정의하여, 이에 필요한 규정을 추가하는 방향으로 설정하는 것이 국제기준의 부합 및 국내 활용 측면에서의 합리성을 모두 확보할 수 있는 방안이 될 것으로 예상할 수 있다.

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

1. 최종 제원 및 성능

주요제원	단위	목표 제원(1차년도 계획)	최종 제원
1. 차량 전장(folding 전)	mm	2500	2820
2. 차량 전장(folding 후)	mm	1500	1650
3. 공차 중량 (배터리제외)	kg	450	450
4. 모터 출력	kW	12~15kW 급	13.5
5. 배터리 용량	kWh	15	13.6 (194V*70Ah)
6. 차량 주행 가능 거리	km	100	124
7. 최고 속도	km/h	60	60
8. 등판 각도	%	10	10
9. 차체 접힘 소요 시간	초	10초 내외(잠정)	12
10. 충전 시간(완속)	시간	8	8
11. 충전 시간(급속)	시간	.5내외	.5

<표> 초소형 접이식 전기자동차 시제품의 목표제원 및 최종 제원

항목	세부항목	목표성능	시험성능
접이동작시험	소요시간	접힘모드 변경: 15초 이내 주행모드 변경: 12초 이내	12[sec]
차량운행시험	누적주행거리	총 누적주행거리 15km 이상	80 [km]
	1회 충전 당 주행거리	1회 충전 당 주행거리 100km 이상(해석)	최대 124 [km]
	에너지 소비율 대 주행거리	1kWh 당 10 km 이상	최대 13 [km/kWh]
운전제어시험	직선제어	100m 주행 시 직각방향 편차 5m 이내	0.5 [m]
주행성능시험	최고속도시험	60km/h 이상	60 [km/h]
	가속시험	0~30km/h : 10초 이내 0~60km/h : 25초 이내	0~30km/h : 11초 0~60km/h : 39초

	최소선회반경	12m 이내 (8m)	6.5 [m]
	등판성능	10%이상	10%이상
	제동성능	30km/h 주행 중 제동거리 13.22m 이내	10.9 [m]

<표> 초소형 접이식 전기자동차 시제품의 목표성능 및 시험 성능

2. 차량 운행 시험

가. 차량 운행 시험장

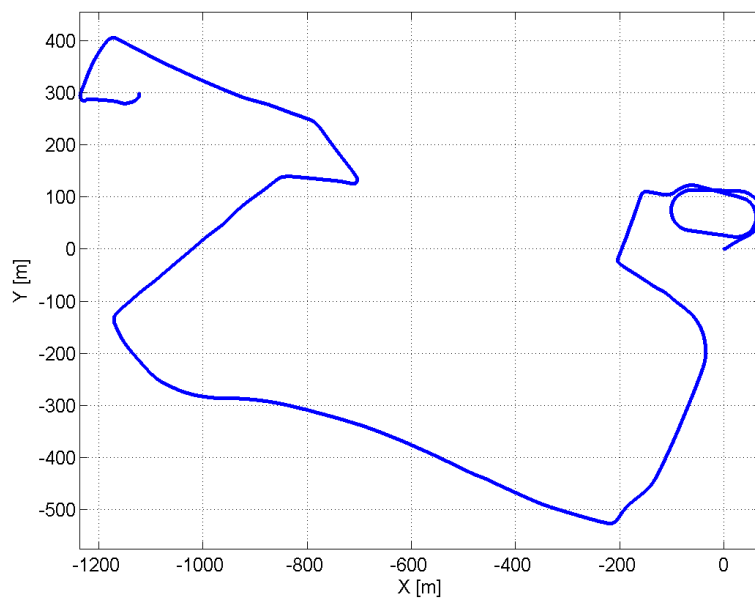
- KAIST 캠퍼스내 도로



<그림> 카이스트 캠퍼스 내 도로 위성사진 (출처: Google Earth)

카이스트 대전 캠퍼스에서의 운행을 통하여 차량의 기본적인 기능인 주행능력 및 조향능력을 확인 하였다. 위 그림은 카이스트 캠퍼스의 위성지도 및 운행한 경로를 대략적으로 보여준다.

카이스트 캠퍼스에서의 운행을 통하여 가속도 센서정보, 각속도 센서 정보 등의 자세 정보의 처리능력을 확인하였다. 또한 각 휠에 장착된 엔코더로부터 추정한 속도정보 및 전류 센서로부터 추정한 토크 정보 등 취득 가능한 정보의 신뢰성을 확인하였다. 아래 그림은 차량에 탑재된 각종 센서 정보로부터 추정한 운행경로를 보여준다.



<그림> 카이스트 캠퍼스 운행 시 기록한 정보로부터 추정한 차량 경로

○ KAIST 운동장 트랙

KAIST 캠퍼스 내 운동장 트랙에서 주행시험을 실시하였다. 아래 그림은 운동장 트랙 주행 시 촬영한 사진 및 위성사진을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯 운동장 트랙은 총 길이 400m로 구성되어 있으며 직선 주행 100m, 선회 주행 100m를 시험 할 수 있다.



<그림> 운동장 트랙 주행 사진



<그림> 운동장 트랙 위성 사진

○ 대구 지능형 자동차 부품 주행시험장

대구 지능형 자동차 부품 주행시험장은 2014년 완공되어 직선거리 1.5km를 제공하므로 최고속도 및 가속도 측정 시험을 진행하기에 적합하다. 트랙 총길이는 약 3.7km (직선로 1.5km)로 아래 그림에 트랙의 경로를 표시하였다. 대구 지능형 자동차 부품 주행시험장에서는 가속성능, 최고속도 시험, 운전성능 시험 및 원선회 시험을 수행 하였다.



<그림> 대구 지능형 자동차 부품 주행시험장 위성사진



<그림> 대구 지능형자동차부품주행시험장, 최고성능시험



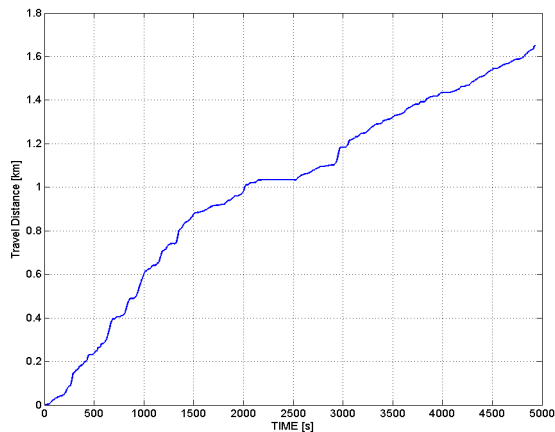
<그림> 대구 지능형 자동차 부품 주행시험장, 원선회 시험

나. 운행 시험 내역

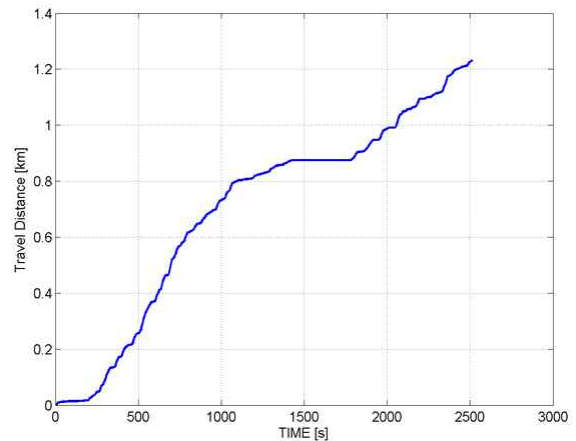
○ 총 누적주행거리: 79.9 km 이상

총 누적주행거리는 차량의 휠에 탑재된 엔코더 정보를 시간에 대해 누적하여 추정하였다. VCU에서는 실시간으로 4바퀴의 엔코더 정보를 수집하며 수집된 정보는 하드디스크에 ascii 포맷으로 저장된다. 저장된 정보는 년, 월, 날짜, 시간, 분, 초의 파일명으로 기록되어 추후 구별이 쉽도록 하였다.

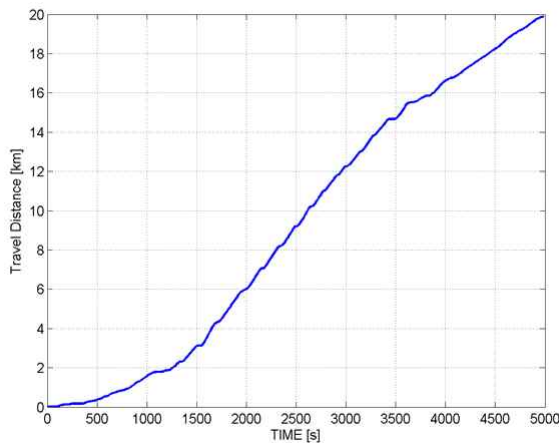
본 보고서에는 각종 시연 및 행사로 인한 누적거리는 포함하지 않았으며 1일 1km 이상의 주행을 한 경우에만 그림으로 표시하였다.



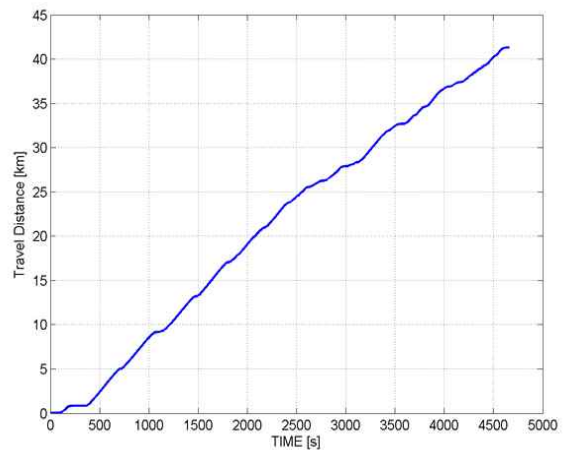
<그림> 2014.01.28. : 1.6 km, KAIST 캠퍼스



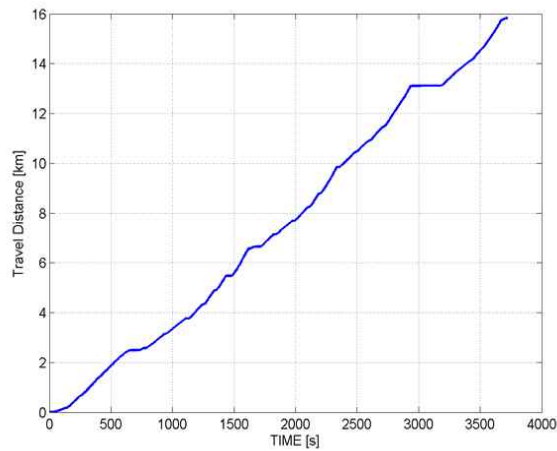
<그림> 2013.11.06. : 1.2 km, KAIST 캠퍼스



<그림> 2014.02.28. : 20.0 km, KAIST 운동장



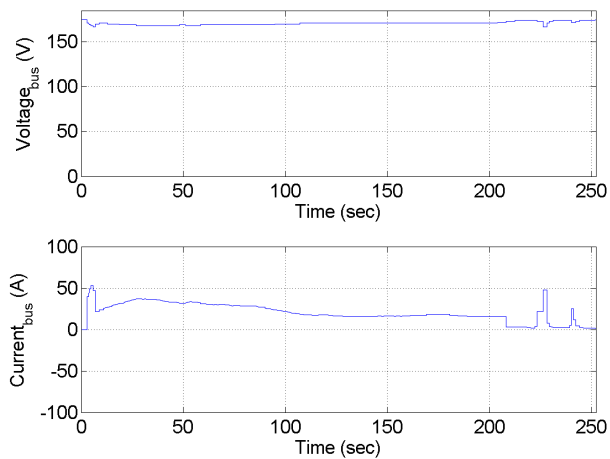
<그림> 2014.03.07. : 41.3 km,
대구지능형자동차부품시험장



<그림> 2014.05.27. : 15.8 km, KAIST 운동장

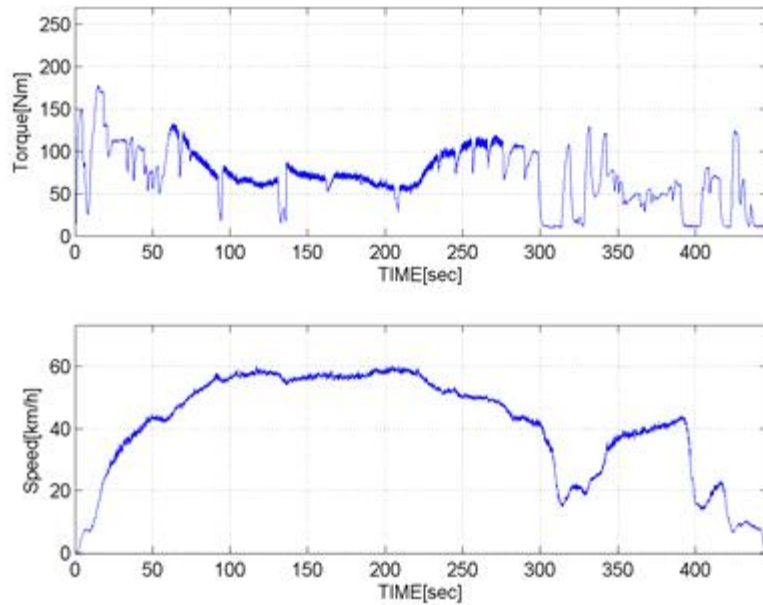
○ 에너지 소비율 대 주행거리

에너지 소비율 대 주행거리를 추정하기 위하여 배터리의 전압, 전류 정보 및 모터의 속도정보를 이용하였다. 배터리로부터 얻는 정보는 BMS에 설치된 전압센서 및 전류 센서 정보를 이용한다. 아래 그림에는 시험에 사용된 배터리의 전압 및 전류 정보를 표시하였다.



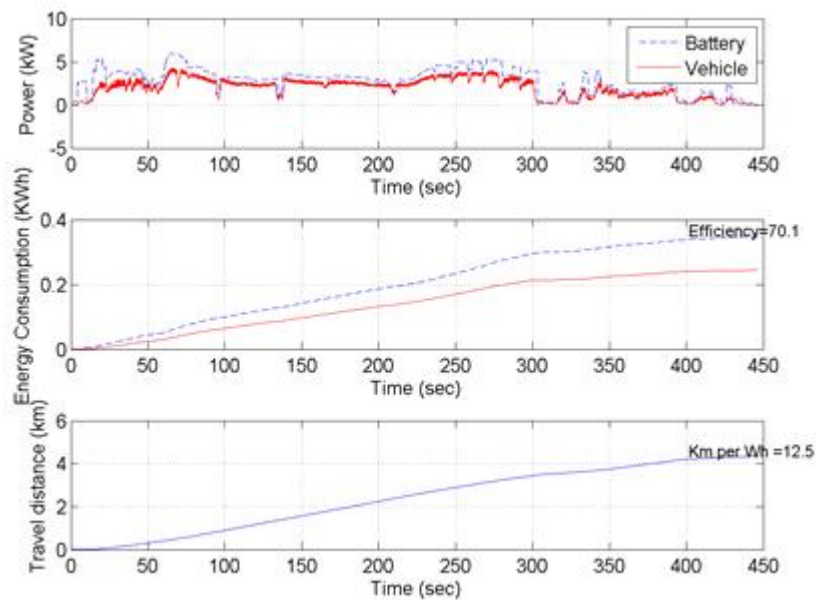
<그림> 배터리의 출력 전압 및 출력 전류

아래 그림에는 4개 모터의 전류센서 정보로부터 추정한 토크의 합 및 각 휠의 평균 속도를 표시하였다.



<그림> 각 모터의 토크의 합 및 평균속도

아래 그림은 배터리의 전압 및 전류 정보, 모터의 토크 및 속도 정보를 이용하여 추정된 파워, 에너지, 주행거리를 보여준다. 이때 그림에서 볼 수 있듯 에너지 소비율 대 주행거리는 평균 12.5 km/kWh 로 추정된다. 배터리의 1회 충전 시 배터리의 총 에너지 13.5kWh 의 80%인 10.8 kWh를 충전한다고 가정하면 1회 충전 시 주행 거리는 약 124km 로 추정된다.

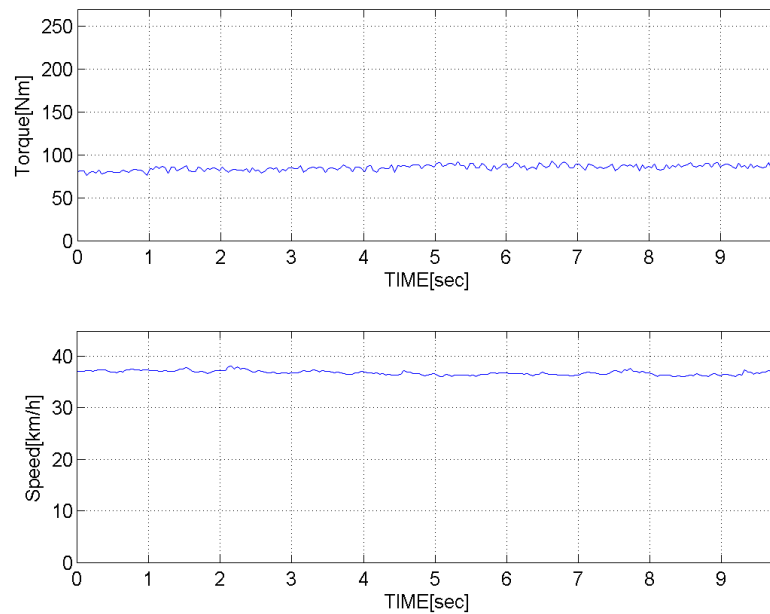


<그림> 전력, 에너지 누적, 주행거리 누적량

○ 운전제어시험

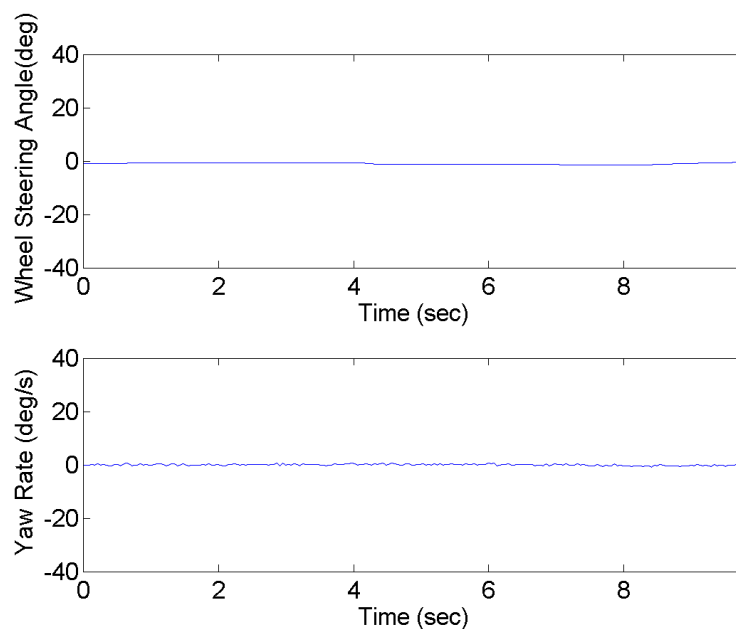
운전제어시험은 스티어링 휠을 고정시킨 상태에서 약 37km/h로 정속주행 시작시점을 기준으로 100m 직선주로에 대해서 최종점에서 좌우방향으로 직각방향의 거리를 추정함

으로 확인하였다. 아래 그림에는 운전제어시험 시의 4개의 모터의 토크합과 속도의 평균을 시간에 대해 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯 정속 주행을 위해 토크값은 고정된 상태이며 차량은 약 37km/h의 속도로 정속 운행하는 것을 확인 할 수 있다.



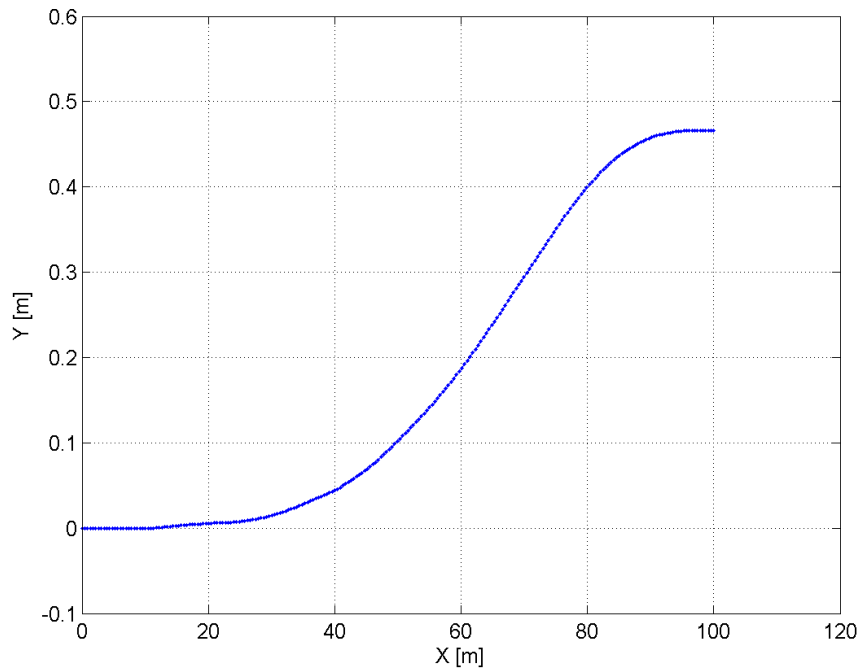
<그림> 운전제어 시험 시의 토크 및 속도

아래 그림은 운전제어 시험 시의 전륜의 조향각도 및 차량의 z축 방향 회전 각속도를 보여준다. 전륜의 조향각은 0도로 고정된 상태이며 z축 방향 회전 각속도에 변화가 없음을 확인 할 수 있다.



<그림> 운전제어 시험 시의 전륜의 조향각도 및 차량의 회전각속도

아래 그림은 각 휠의 엔코더로부터 추정한 각속도 정보와 차량의 z축방향 각속도 정보를 융합하여 추정한 차량의 궤적을 보여준다. 차량의 궤적에서 볼 수 있듯 차량은 100m 주행 시에 y축 방향으로 약 0.45m 정도 치우치는 것을 확인 할 수 있다.

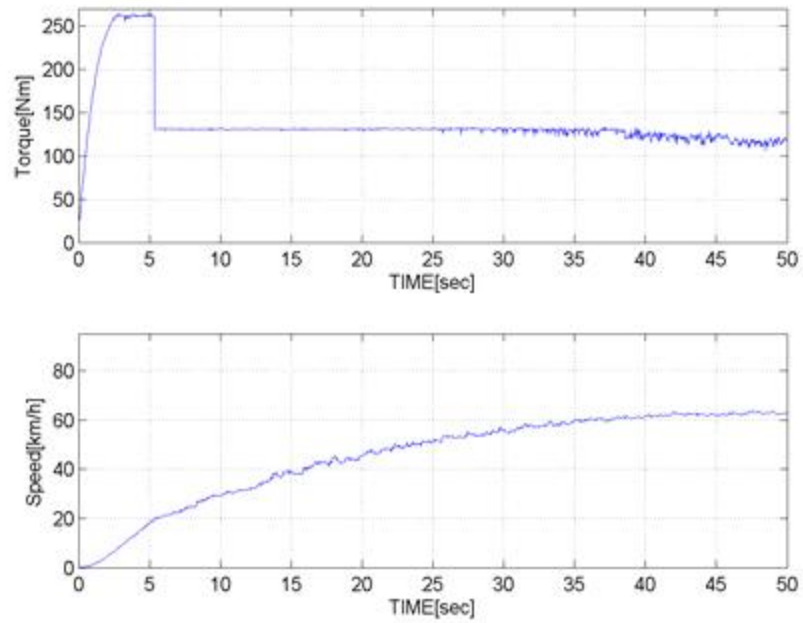


<그림> 운전제어 시험 시의 차량의 궤적

○ 주행성능시험

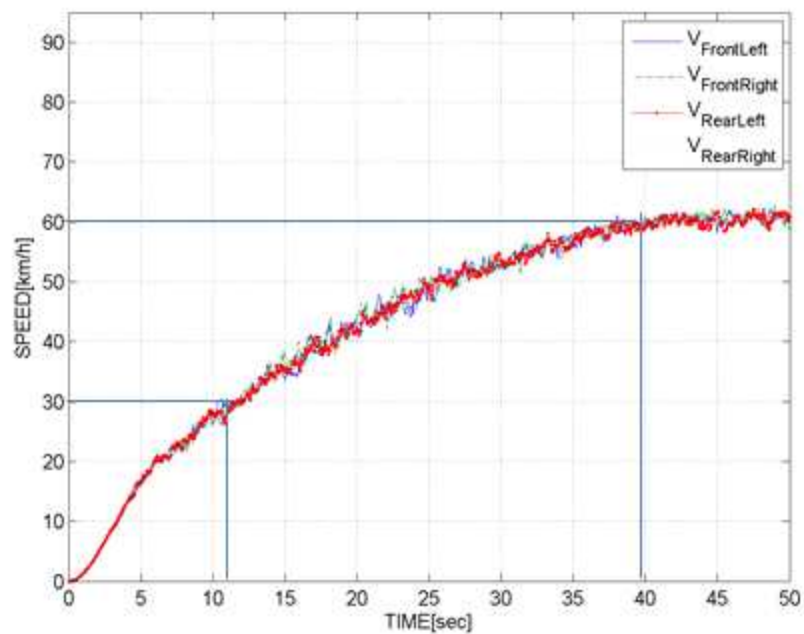
- 최고 속도 시험 및 가속 시험

최고 속도 및 가속 시험은 동시에 이루어 졌다. 배터리의 전압은 180V 입력 상태이며 사용한 모터제어 드라이버는 ELMO Motion 사의 GUI17/200 이며 최대 전류값인 24A에 도달한 이후 3.0 초간만 24A를 출력할 수 있는 사양이다. 3초 이후에는 12A를 연속적으로 출력할 수 있다. 이로 인하여 아래 그림에서 볼 수 있듯 최대 전류에 도달 한후 3초 뒤의 토크 값이 절반 정도로 떨어짐을 확인 할 수 있다.



<그림> 주행성능 시험 시 각 휠의 토크의 합 및 평균 속도

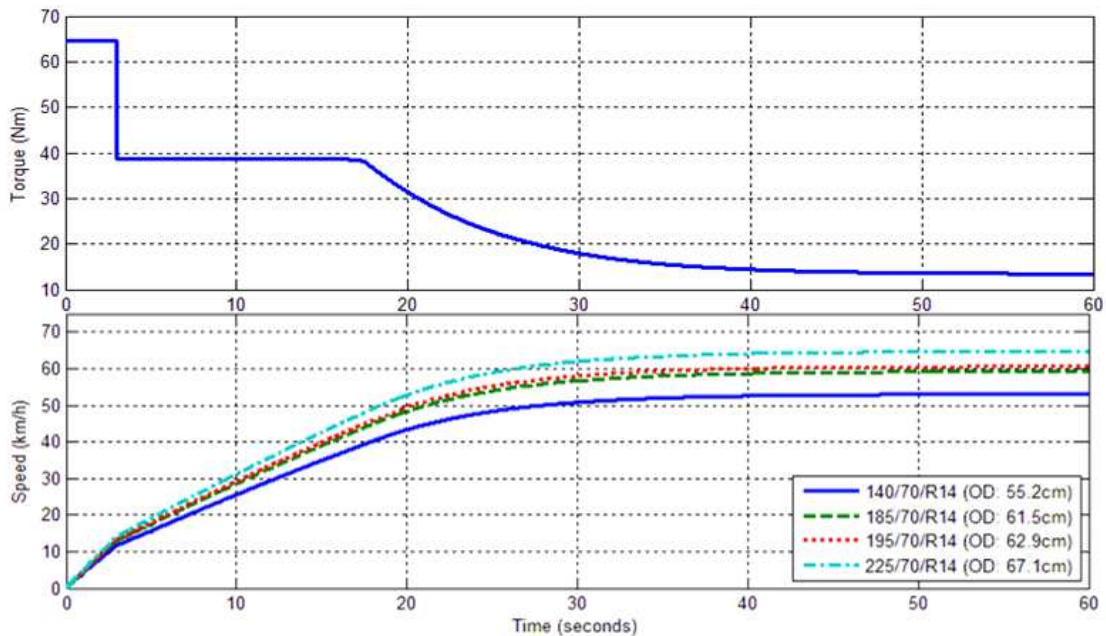
시험 결과 최고 속력은 약 60km/h이다. 30km/h 도달 시간은 11.0초 60km/h 도달 시간은 39.0초이다. 아래 그림에 결과를 표시하였다.



<그림> 주행성능시험 시 각 휠의 속도

차량의 최고 속도 및 가속도는 모터 및 드라이버의 성능에 영향을 받는다. 본 연구에서 사용한 드라이버인 GUI17/200 은 3초 전류 제한이 있어 모터의 토크를 최대한 출력하는데에 제한이 있다. 또한 GUI 17/200 의 입력전압은 195V로 제한되므로 모터의 최대 속도를 제한하게 된다. 모터의 사양은 400V 까지이므로 400V 입력 시 최대 속도는 2배정도 증가할 수 있다.

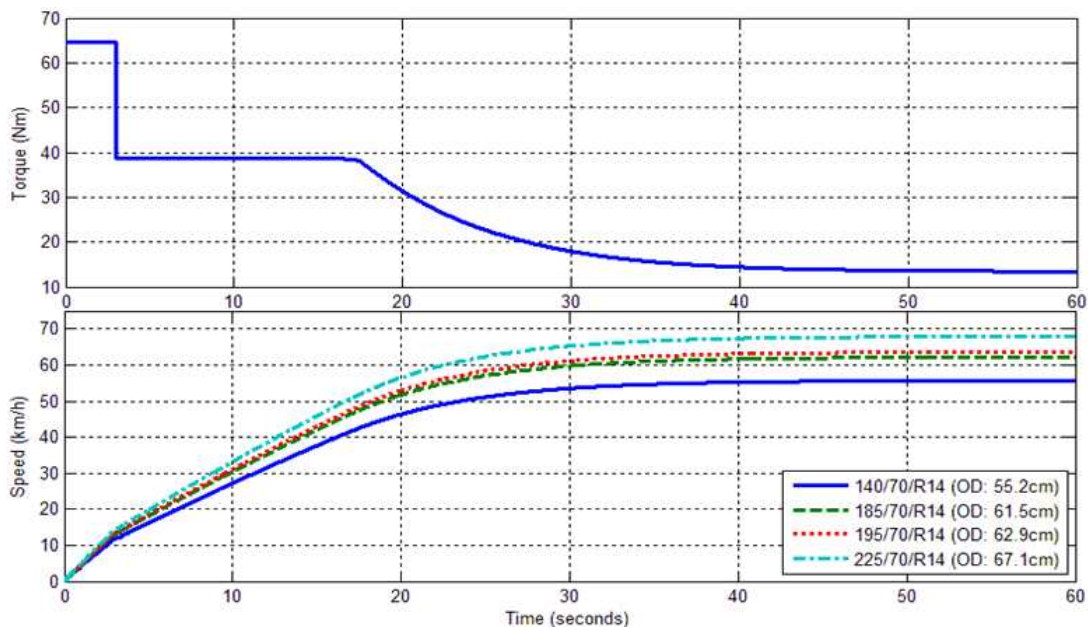
아래 그림은 배터리의 전압을 185V로 올리고 GUI 17/200을 사용하는 경우 각 타이어 직경의 변화에 대해 주행성능 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯 타이어의 직경에 대해 최고속도가 변화함을 알 수 있다.



<그림> 185 V 입력 시 각 타이어 직경 변경에 대한 주행성능 시뮬레이션

타이어 225/70/R14를 사용하는 경우 최고 속도는 약 65km/h, 30km/h가속 시간은 약 9.5초 60km/h 가속시간은 약 27초 정도 소요될 것으로 확인 된다.

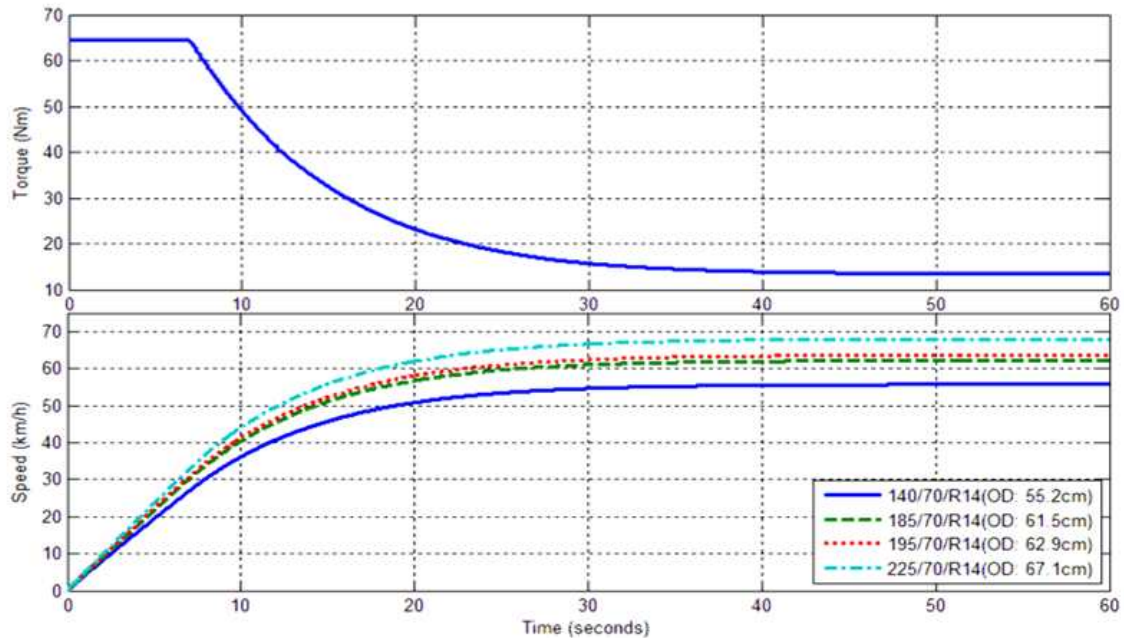
아래 그림은 입력 전압을 195V 로 바꾸는 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 타이어 225/70/R14를 사용하는 경우 최고 속도는 약 68km/h, 30km/h가속 시간은 약 8.5초 60km/h 가속시간은 약 22초 정도 소요될 것으로 확인 된다.



<그림> 195 V 입력 시 각 타이어 직경 변경에 대한 주행성능 시뮬레이션

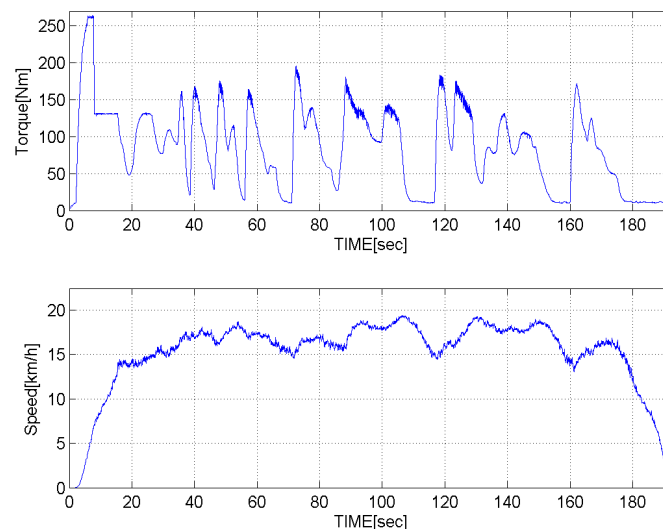
아래 그림은 입력 전압을 195V 로 바꾸고 ELMO Motion 사의 DRU18/400R을 사용한

경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. DRU18/400R 은 최고전류 출력 제한시간이 없고 입력 전압을 400V까지 허용한다. 타이어 225/70/R14를 사용하는 경우 최고 속도는 약 68km/h, 30km/h가속 시간은 약 6.5초 60km/h 가속시간은 약 17.6초 정도 소요되는 것으로 확인 된다.



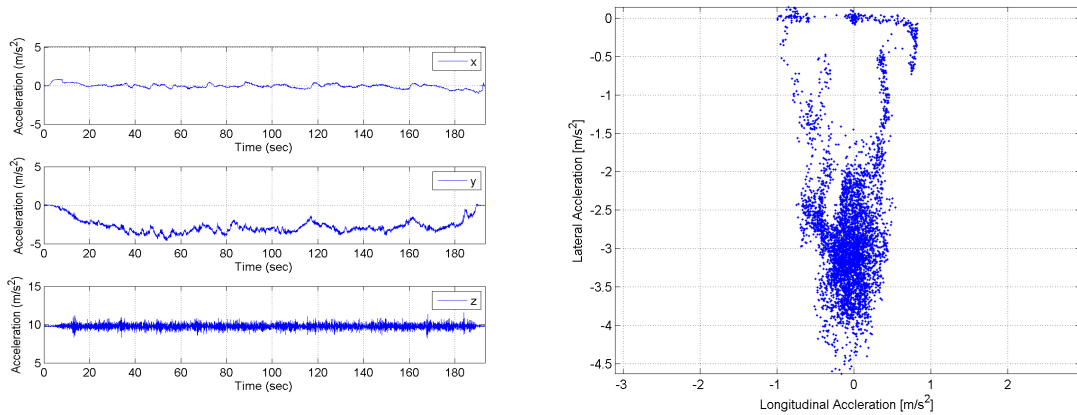
- 최소선회반경 시험

최소선회 반경시험은 대구 지능형 자동차 부품 주행시험장의 원선회로에서 이루어졌다. 차량의 속도를 약 15km/h로 정도로 유지하면서 조향각은 약 6.5 도로 고정된 상태로 주행하였다. 아래 그림은 최소선회반경 시험 시 토크와 속도를 보여준다.



<그림> 최소선회반경 시험 중 토크와 속도

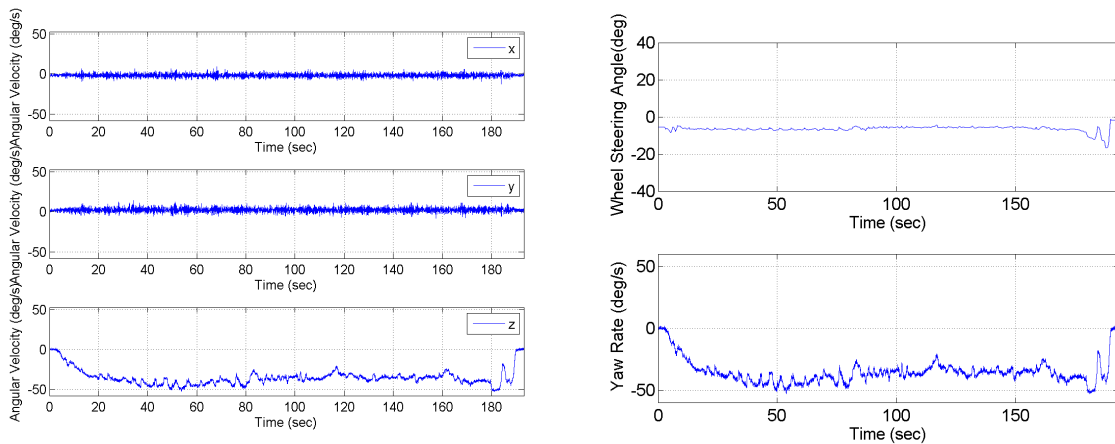
아래 그림은 최소선회반경 시험 중 차량기준의 x, y, z방향의 가속도 값을 보여준다. 차량의 y 축방향 가속도가 약 3m/s^2 정도임을 확인할 수 있다.



<그림> 최소선회 반경 시험 시 x, y, z 축 가속도 값

<그림> 최소선회반경 시험 시 가속도의 x, y 성분

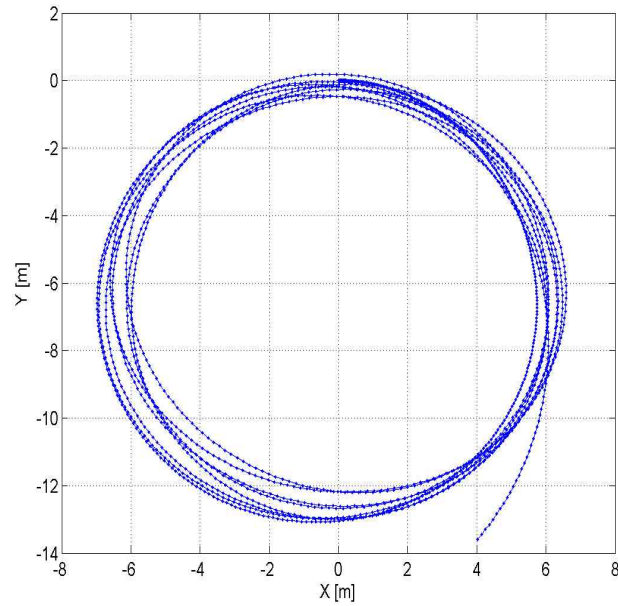
아래 그림은 최소선회반경 시험 시의 3축의 각속도 정보를 보여준다. 또한 조향각도가 고정되어 있으므로 z축 방향 각속도가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.



<그림> 최소선회반경 시험 시 x, y, z 축 각속도 값

<그림> 최소선회반경 시험 시 조향각도와 차량의 회전각속도

최소선회반경 시험 중 차량의 궤적 변화를 아래 그림에 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯 차량의 회전 반경이 최대 6.5m 내에서 유지되고 있는 것을 알 수 있다.



<그림> 최소선회반경 시험 시 차량의 궤적 (반경 6.5m)

- 등판 성능 시험

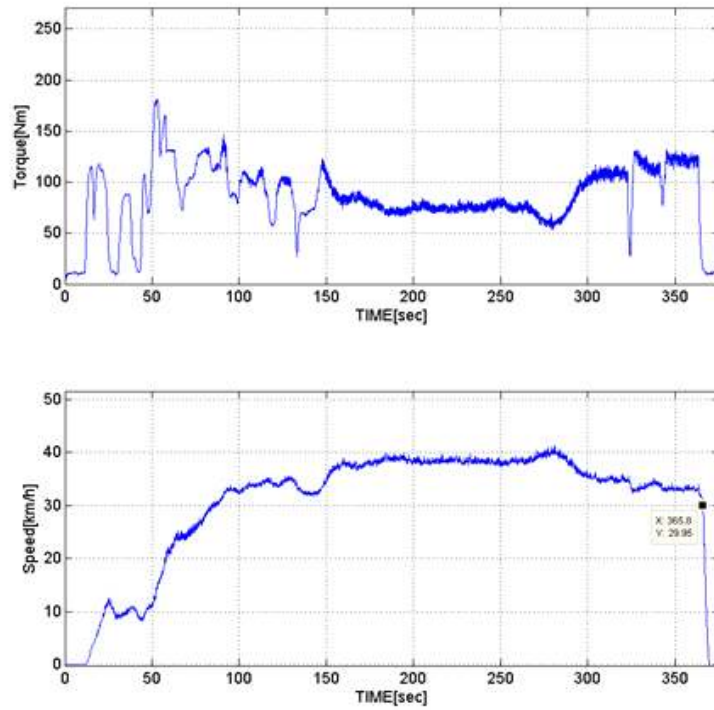
아래 그림은 대구 지능형자동차 부품 주행 시험장의 등판각 시험장에서의 차량의 움직임을 보여준다. 대구 지능형 자동차 부품 주행 시험장에는 최소 12%의 등판로가 존재하며 시험을 통하여 12%의 등판각에서의 등판성능을 만족시켰다.



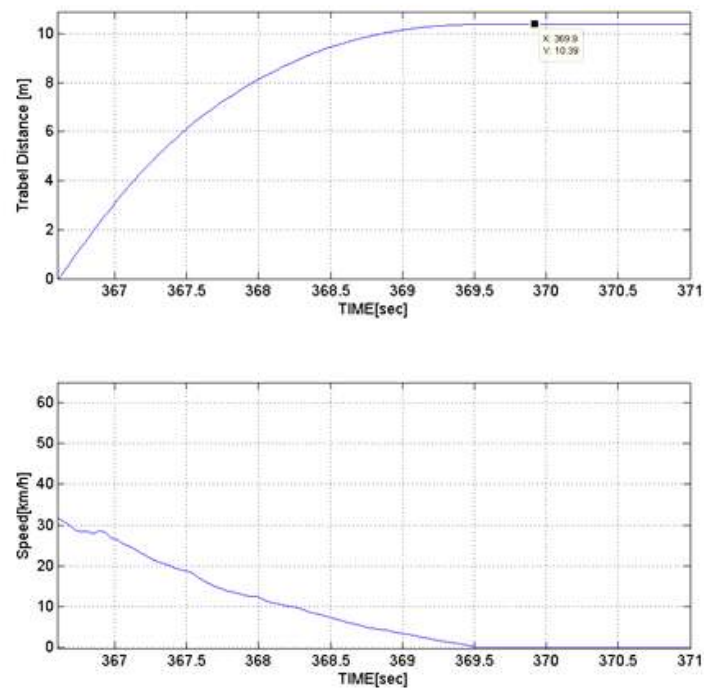
<그림> 등판성능 시험 시 차량의 움직임

- 제동성능시험

제동성능시험은 도로에서 30km/h 속도 도달한 순간부터 브레이크 페달을 최대로 밟은 상태로 이동한 거리를 측정하였다. 아래 그림은 제동 성능 시험 시의 차량의 토크 및 속도에 대해 보여준다. 제동 성능은 30km/h 의 속도부터 제동거리 10.9 m를 기록하였다.

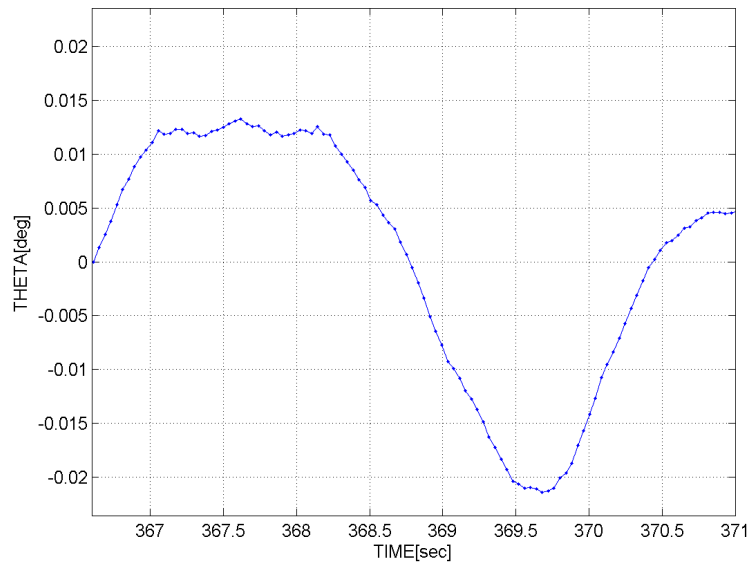


<그림> 제동성능 시험 시 차량의 토크와 속도



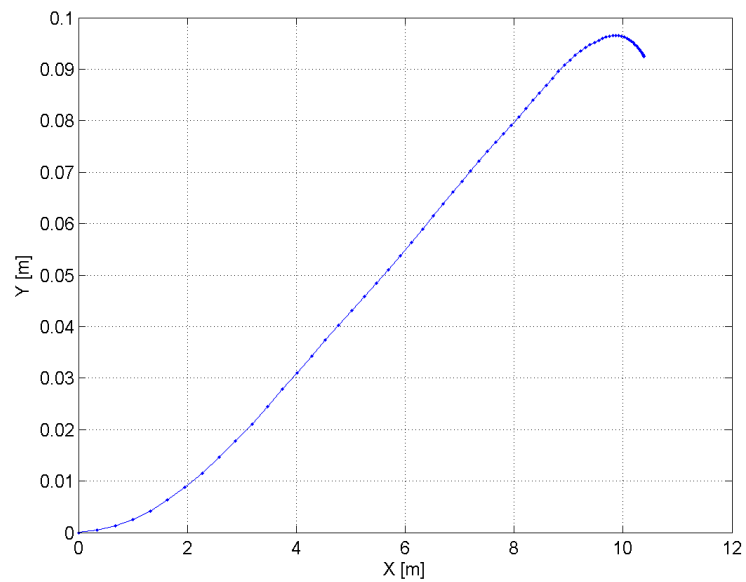
<그림> 제동성능 시험 시 차량의 토크와 속도 (확대)

아래 그림은 30km/h에서 최대 제동시의 편향각도를 보여준다. 최대 편향각이 약 0.02 도 정도로 매우 적은 값을 가지는 것을 확인 할 수 있다.



<그림> 제동 시 편향각도

아래 그림은 제동 시 편향거리를 보여준다. 10.9m 이동에서 약 0.01m 움직인 것으로 확인되며 이는 매우 작은 수치임을 확인 할 수 있다.



<그림> 제동 시 편향거리

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 접이식 초소형 전기자동차 시제품 제작

1. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

가. 논문게재 성과

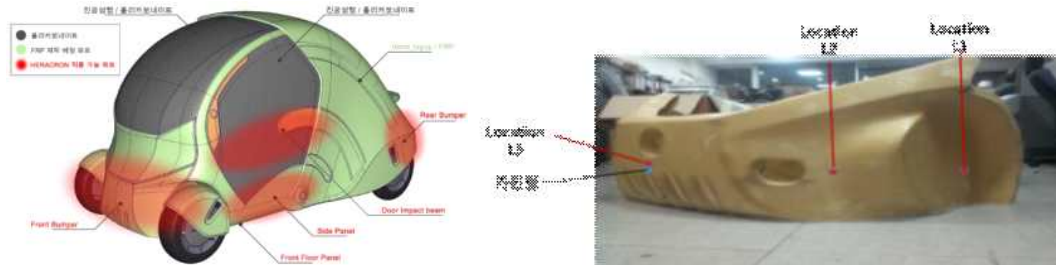
연번	게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분	성과 기준표
			주저자	교신 저자	공동 저자					
1	2011	On-Road Electrification for Optimized Power Supply in OLEV Application	서인수	서인수		J. Int. Design and Process Science	15(3)	국외	No	1-2
2	2012	초소형 개인 이동수단용 차량 기술 현황	서인수		김제독 이민영	교통기술과 정책	9(5)	국내	-	
3	2013	Implementation Cost Comparison of Electric Vehicle Energy Replenishment Technologies for Public Transit Bus Systems	Filho, Paulo Kemper	서인수		TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	Transit Vol. 3	국외	SCI	
4	2013	Design of an open-wheel on-Line Electric Vehicle Prototype	Dinh Dung Vu	서인수		International Journal of Automotive Technology	Accepted	국외	SCI	
5	2014	An investigation on motor-driven power steering-based crosswind disturbance compensation for the reduction of driver steering effort	Kyuwon Kim	Kyongsu Yi	Suh, In-Soo et.al.	VEHICLE SYSTEM DYNAMICS	52(7)	국외	SCI	

나. 학술대회 발표 성과

연번	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분	성과 기준표
1	2012.4.27	인 휠 모터를 이용한 마이크로 전기자동차의 파워트레인	Paulo Kemper Filho, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
2	2012.4.27	미래 교통수단으로의 자율주행 자동차 : 도전과 기회	Dinh Dung Vu, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
3	2012.4.27	접이식 전기 자동차의 기술현황 및 car sharing 적용	이호진, 김성환, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
4	2012.4.27	개인 휴대 도심차량 (PMV) 기술 현황	황가람, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
5	2012.4.27	SMFIR을 이용한 무선급속충전을 위한 지능형관리시스템	이민영, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
6	2013.05.14	In-Wheel Motor Application in a 4WD Electric Vehicle with Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Karam Hwang, Minyoung Lee, and Jedok Kim	The 9th IEEE International Electric Machines and Drives Conference	국외	
7	2013.02.23	초소형 개인 이동수단용 차량(PMV) 보급 활성화를 위한 대응 방안	서인수, 김제독, 이민영	대한교통학회 춘계학술대회	국내	
8	2012.11.03	Feasibility Study on Personal Mobility Vehicles and Car Sharing in Urban Applications	서인수, 황가람	한국 ITS 학회 추계 학술대회	국내	
9	2013.05.03	4륜구동 접이식 초소형 전기자동차 개발을 위한 In-Wheel 모터 제어 시험장치 개발과 해석	정광우, 이기범, 이민영, 서인수	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	
10	2013.05.02	접이식 초소형 전기자동차의 강성 해석을 통한 안전성 검증	이기범, 서인수, 이민영, 김제독	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	
11	2014.06.05	Assessment of Electric Mobility Technologies	In-Soo Suh, Karam Hwang, Gianni Campatelli, Riccardo Barbieri	2014 FISITA world automotive congress	국외	
12	2014.06.03	Design and Development of Micro Electric Vehicle with a Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Minyoung Lee, Karam Hwang	2014 FISITA world automotive congress	국외	
13	2014.01.12	Strategic Planning on Electric PMV for Sustainable Mobility	In-Soo Suh, Jedok Kim, Hojin Lee	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	
14	2014.01.12	User Based Intelligent Parking System (UBIPS) Incorporating Wireless Charging for Electric Vehicles	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Karam Hwang	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	

다. 기술 실시 및 적용사례

○ 코오롱 헤라클론 소재 접이식 전기자동차에의 적용 연구과제 진행 완료 ('12-'13.10)



<코오롱 헤라클론 소재 적용 연구과제>

○ 비클시스템(주) 인휠모터 적용 스마트 골프카트 연구과제 진행 완료 ('13-'14.7)



기술실시 적용 사례

○ 산업통상자원부, 광역경제권거점기관지원사업, 디자인융합 Micro-모빌리티 신산업생태계 구축사업 RFP(기반구축) 과제 창출 기여

- 과제명: Micro-모빌리티 핵심부품 연구기반 구축
- 과제 규모: 350억(기반구축 260억, 핵심부품개발: 90억)
- 과제 개념

- 거대도시화 등 미래사회 교통환경 대응을 위한 新개념 전기동력 기반 운송수단인 Micro-모빌리티 및 핵심부품의 지속적 연구·개발을 위한 필수 인프라 구축
- 핵심부품의 고도화 및 창의적 신기술 개발을 위해, Micro-모빌리티 및 핵심부품에 특화된 성능시험, 신뢰성 평가, 내구시험을 위한 장비 집적화 및 관련 시설 구축
- Micro-모빌리티 및 핵심부품 산업을 주도할 중소·중견기업 연구·개발 지원, 부품평가 지원 등을 위한 체계적 지원 프로세스 및 지원센터 구축

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 1차년도 목표 및 달성도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		연차 성과검증 기준			가중치	정량목표	
					질적목표(측정방법)	목표치	달성치		목표	달성
1차 년도	1	접이식 차 체 개념 설 계	1-1	경량 접이 차체 설계	① 차체설계도	도면			특허 : 출원 4 건 등록 2 건 논문 : 2 건 수치해석 : 5 건	특허 : 출원 4 건 등록 2 건 논문 : 6 건 수치해석 : 5 건
			1-2	액츄에이터 제어 알고리즘 설계	① 패키징,사양결 정	패 키 징 도 면 , 사양서				
			1-3	개발 차량 기초 feasibility 검증	① 수치해석 수행	결 과 보 고서				
					② 차량 종합성능 해석	결 과 보 고서				
	2	원격조종개 념설계	2-1	wheel assembly 사양 및 개념 설계, 무선조 종시스템 사양 구축	① 알고리즘 해석	로 직 사 양결정				
					② 수치해석	결 과 보 고서				
	3	차량제어시 스템 설 계	3-1	차량전자식 제어/ 조향장치설계	① 조향장치설계 도	도면				
계							100%	100%		

가. 논문게재 성과

연번	게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI 구분	성과 기준표
			주저자	교신 저자	공동 저자					
1	2011	On-Road Electrification for Optimized Power Supply in OLEV Application	Suh, I. S.	Suh, I. S.		J. Int. Design and Process Science	15(3)	국외	No	1-2

※논문은 보고서 작성시점에서 게재완료된 건만 작성

※성과기준표 : 성과기준표 상(level2) 수준 해당 Code 작성

나. 학술대회 발표 성과

연번	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분	성과 기준표
1	2012.4.27	인 휠 모터를 이용한 마이크 로 전기자동차의 파워트레인	Paulo Kemper Filho, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학 술대회	국내	
2	2012.4.27	미래 교통수단으로의 자율주행 자동차 : 도전과 기회	Dinh Dung Vu, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학 술대회	국내	
3	2012.4.27	접이식 전기 자동차의 기술현황 및 car sharing 적용	이호진, 김성환, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학 술대회	국내	
4	2012.4.27	개인 휴대 도심차량 (PMV) 기술 현황	황가람, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학 술대회	국내	
5	2012.4.27	SMFIR을 이용한 무선급속충 전을 위한 지능형관리시스템	이민영, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학 술대회	국내	

다. 특허 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	
1	2012	지능형 주차장 관리 시스템 및 방법	서인수, 이민영, 황가람	국내	10-2012-0076757	
2	2012	전기자동차의 허브모터 제어장치	서인수, 이민영	국내	10-2012-0075293	
3	2012	카트 시스템을 이용한 지능형 주차장 관리 시스템 및 방법	서인수, 김성환	국내	10-2012-0076761	
4	2012	차량의 듀얼 레버식 조향장치	서인수, 황가람	국내	10-2012-0075295	

2. 2차년도 목표 및 달성도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		연차 성과검증 기준			가중치	정량목표	
					질적목표(측정방법)	목표치	달성치		목표	달성
2차 년도	1	접 이 식 차체제작	1-1	차체 제작	① 차량 설계	사양서/ 도면	100%	25%	특허: 출원 <u>4건</u> 논문 (학회): <u>2건</u> 사양서/성적서 <u>10건</u> 국제협력: <u>2건</u>	특허: 출원 <u>8건</u> 논문 (학회): <u>6건</u> 사양서/성적서 <u>10건</u> 국제협력: <u>2건</u>
			1-2	엑츠크에이터 시 스템통합제작	① 엑츠크에이터시 스템제작	사양서/ 도면/시 제품 작동상 태 확인	100%	25%		
	2	차량통합 제작 및 기타물품 조달	2-1	휠 조향 제어 성 능점검	① 휠 조향 제어 시험	사양서/ 시험성 적서	100%	25%		
				구동 시스템 성 능 점검	② 구동성능	사양서/ 시험성 적서	100%			
	3	차량 구 동/ 조 향 제어시스 템 제작	3-1	CAN 통신/HM 구축	① CAN 인터페잇 모듈 설치	사양서/ 도면	100%	25%		
				차량 내 조향제 어시스템 제작 및 통합	② 프로토콜 정의 및 프로그래밍	사양서/ 성적서	100%			
	계							100%		

가. 논문게재 성과

연번	게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI 구분	성과 기준표
			주저자	교신 저자	공동 저자					
1	2012	초소형 개인 이동수단용 차량 기술 현황	서인수		김제 독, 이민 영	교통기술 과 정책	9(5)	국내	-	

나. 학술대회 발표 성과

연번	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분	성과 기준표
----	-----	-----	----	-------	--------	-----------

1	2013.05.14	In-Wheel Motor Application in a 4WD Electric Vehicle with Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Karam Hwang, Minyoung Lee, and Jedok Kim	The 9th IEEE International Electric Machines and Drives Conference	국외	
2	2013.02.23	초소형 개인 이동수단용 차량(PMV) 보급 활성화를 위한 대응 방안	서인수, 김제독, 이민영	대한교통학회 춘계학술대회	국내	
3	2012.11.03	Feasibility Study on Personal Mobility Vehicles and Car Sharing in Urban Applications	서인수, 황가람	한국 ITS 학회 추계 학술대회	국내	
4	2013.05.03	4륜구동 접이식 초소형 전기자동차 개발을 위한 In-Wheel 모터 제어 시험장치 개발과 해석	정광우, 이기범, 이민영, 서인수	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	
5	2013.05.02	접이식 초소형 전기자동차의 강성 해석을 통한 안전성 검증	이기범, 서인수, 이민영, 김제독	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	

다. 특허 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	
1	2012	접이식 차량 및 그 제어 방법1	서인수, 신인건	PCT	PCT/KR2012/010623	
2	2012	접이식승용차의 디자인	서인수	국내	30-2012-0049207	
3	2012	주차 시스템과 이를 사용한 차량	서인수, Dinh Dung Vu	국내	10-2012-0097047	
4	2012	노면정보 제공 시스템 및 방법과 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	국내	10-2012-0097048	
5	2012	접이식 차량 및 그 제어 방법2	서인수, 신인건	국내	10-2012-0095661	
6	2012	면적 조절식 차량 및 그 제어 방법	서인수, 김성환, 황가람	국내	10-2012-0095658	
7	2012	차량 이동 경로 제공 단말기 및 방법과, 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	국내	10-2012-0095657	
8	2012	이동 경로의 그리드 화를 통한 교통 및 물류 시스템의 자동화 방안	서인수, 이호진	국내	10-2012-0082049	

3. 3차년도 목표 및 달성도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		연차 성과검증 기준			가중치	정량목표	
					질적목표(측정방법)	목표치	달성치		목표	달성
3차 년도	1	차량제작 완료 및 차량 조정 성능 평가	1-1	접이식차체 제작 완료 및 성능평가, 시연완료	① 접이동작시험	성적서	100%	25%	특허: 출원 4건 논문 (학회): 2건 사용서/성적서 10건 국제협력: 2 건	특허 : 출원 8 건 특허 등록 12건 특허 :PCT 등록 3 건 논문 (학회): 7 건 사용서/성적서 10 건 국제협력 : 4 건
			1-2	통합 제어 시스템 평가	① 운전제어시험	성적서	100%	25%		
	2	운전성, 안정성 및 편의성 평가	2-1	도로주행 성능 평가	① 차량 운행 시험	성적서	100%	50%		
				안정성, 편의성 평가	② 주행 성능 시험	성적서	100%			
	계							100%		

가. 논문게재 성과

연번	게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI 구분	성과 기준표
			주저자	교신 저자	공동 저자					
1	2013	Implementation Cost Comparison of Electric Vehicle Energy Replenishment Technologies for Public Transit Bus Systems	Filho, Paulo Kemper	Suh, In-So o		TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	Transit Vol. 3	국외	SCI	
2	2013	Design of an open-wheel on-Line Electric Vehicle Prototype	Dinh Dung Vu	Suh, In-So o		International Journal of Automotive Technology	Accepted	국외	SCI	
3	2014	An investigation on motor-driven power steering-based crosswind disturbance compensation for the reduction of driver steering effort	Kyuwon Kim	Kyong su Yi	Boemjun Kim, Youngil Go, Jaeyong Park, Joonhong Park, Suh, In-So o	VEHICLE SYSTEM DYNAMICS	52(7)	국외	SCI	

나. 학술대회 발표 성과

연번	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분	성과 기준표
1	2014.06.05	Assessment of Electric Mobility Technologies	In-Soo Suh, Karam Hwang, Gianni Campatelli, Riccardo Barbieri	2014 FISITA world automotive congress	국외	

2	2014.06.03	Design and Development of Micro Electric Vehicle with a Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Minyoung Lee, Karam Hwang	2014 FISITA world automotive congress	국외	
3	2014.01.12	Strategic Planning on Electric PMV for Sustainable Mobility	In-Soo Suh, Jedok Kim, Hojin Lee	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	
4	2014.01.12	User Based Intelligent Parking System (UBIPS) Incorporating Wireless Charging for Electric Vehicles	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Karam Hwang	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	

다. 특허출원 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	
1	2013	차량 접힘 제어 시스템 및 그 제어 방법	서인수, 황가람	국내	10-2013-0061088	
2	2013	차량 동적 거동 특성을 고려한 전기 자동차 동력 통합제어 시스템	서인수, 황가람	국내	10-2013-0159321	
3	2013	접이식 전기자동차를 위한 원격구동 제어	서인수, 이민영	국내	10-2013-0160470	
4	2013	인휠모터를 장착한 차량을 위한 조향제어방법	서인수, 이민영	국내	10-2013-0162411	
5	2013	접이식 차량의 프레임 구조 및 그 구성	서인수, 황가람	국내	10-2013-0165342	
6	2013	이동수단의 집단 제어를 위한 장치 및 방법	서인수, 이호진, 김제독	국내	10-2013-0165314	
7	2013	접이식 자동차의 구조 및 그 제어방법	서인수, 황가람	PCT	US 14/280,811	
8	2013	인휠모터 구동 자동차의 조향장치 및 이를 이용한 조향 제어방법	서인수, 이민영	PCT	US 14/280,790	

라. 국제화/협력 성과

- 교환학생 유치: benjamin Bernard Wa-Hime
- 공동연구: Oliver Winter(Austria Institute of Technology (AIT))
- 국제학회 주최: IFEV 2013, IFEV 2014 등 전체 4건

4. 성과 종합

가. 논문 게재 성과

연번	게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분	성과 기준표
			주저자	교신 저자	공동 저자					
1	2011	On-Road Electrification for Optimized Power Supply in OLEV Application	서인수	서인수		J. Int. Design and Process Science	15(3)	국외	No	1-2
2	2012	초소형 개인 이동수단용 차량 기술 현황	서인수		김제독 이민영	교통기술과 정책	9(5)	국내	No	
3	2013	Implementation Cost Comparison of Electric Vehicle Energy Replenishment Technologies for Public Transit Bus Systems	Filho, Paulo Kemper	서인수		TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	Transit Vol. 3	국외	SCI	
4	2013	Design of an open-wheel on-Line Electric Vehicle Prototype	Dinh Dung Vu	서인수		International Journal of Automotive Technology	Accepted	국외	SCI	
5	2014	An investigation on motor-driven power steering-based crosswind disturbance compensation for the reduction of driver steering effort	Kyuwon Kim	Kyongsu Yi	Suh, In-Soo et.al.	VEHICLE SYSTEM DYNAMICS	52(7)	국외	SCI	

나. 학술대회 발표 성과

연번	발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분	성과 기준표
1	2012.4.27	인 휠 모터를 이용한 마이크로 전기자동차의 파워트레인	Paulo Kemper Filho, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
2	2012.4.27	미래 교통수단으로의 자율주행 자동차 : 도전과 기회	Dinh Dung Vu, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
3	2012.4.27	접이식 전기 자동차의 기술현황 및 car sharing 적용	이호진, 김성환, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
4	2012.4.27	개인 휴대 도심차량 (PMV) 기술 현황	황가람, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
5	2012.4.27	SMFIR을 이용한 무선급속충전을 위한 지능형관리시스템	이민영, 서인수	한국 ITS 학회 춘계학술대회	국내	
6	2013.05.14	In-Wheel Motor Application in a 4WD Electric Vehicle with Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Karam Hwang, Minyoung Lee, and Jedok Kim	The 9th IEEE International Electric Machines and Drives Conference	국외	
7	2013.02.23	초소형 개인 이동수단용 차량(PMV) 보급 활성화를 위한 대응 방안	서인수, 김제독, 이민영	대한교통학회 춘계학술대회	국내	
8	2012.11.03	Feasibility Study on Personal Mobility Vehicles and Car Sharing in Urban Applications	서인수, 황가람	한국 ITS 학회 추계 학술대회	국내	
9	2013.05.03	4륜구동 접이식 초소형 전기자동차 개발을 위한 In-Wheel 모터 제어 시험장치 개발과 해석	정광우, 이기범, 이민영, 서인수	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	
10	2013.05.02	접이식 초소형 전기자동차의 강성 해석을 통한 안전성 검증	이기범, 서인수, 이민영, 김제독	한국자동차공학회 부문종합학술대회	국내	
11	2014.06.05	Assessment of Electric Mobility Technologies	In-Soo Suh, Karam Hwang, Gianni Campatelli, Riccardo Barbieri	2014 FISITA world automotive congress	국외	
12	2014.06.03	Design and Development of Micro Electric Vehicle with a Foldable Body Concept	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Minyoung Lee, Karam Hwang	2014 FISITA world automotive congress	국외	
13	2014.01.12	Strategic Planning on Electric PMV for Sustainable Mobility	In-Soo Suh, Jedok Kim, Hojin Lee	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	
14	2014.01.12	User Based Intelligent Parking System (UBIPS) Incorporating Wireless Charging for Electric Vehicles	In-Soo Suh, Kibeom Lee, Karam Hwang	Transportation Research Board 93rd Annual Meeting	국외	

다. 특허 성과

○ 특허출원 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	
1	2012	지능형 주차장 관리 시스템 및 방법	서인수, 이민영, 황가람	국내	10-2012-0076757	
2	2012	전기자동차의 허브모터 제어장치	서인수, 이민영	국내	10-2012-0075293	
3	2012	카드 시스템을 이용한 지능형 주차장 관리 시스템 및 방법	서인수, 김성환	국내	10-2012-0076761	
4	2012	차량의 듀얼 레버식 조향장치	서인수, 황가람	국내	10-2012-0075295	
5	2012	접이식 차량 및 그 제어 방법1	서인수, 신인건	PCT	PCT/KR2012/010623	
6	2012	접이식승용차의 디자인	서인수	국내	30-2012-0049207	
7	2012	주차 시스템과 이를 사용한 차량	서인수, Dinh Dung Vu	국내	10-2012-0097047	
8	2012	노면정보 제공 시스템 및 방법과 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	국내	10-2012-0097048	
9	2012	접이식 차량 및 그 제어 방법2	서인수, 신인건	국내	10-2012-0095661	
10	2012	면적 조절식 차량 및 그 제어 방법	서인수, 김성환, 황가람	국내	10-2012-0095658	
11	2012	차량 이동 경로 제공 단말기 및 방법과, 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	국내	10-2012-0095657	
12	2012	이동 경로의 그리드 화를 통한 교통 및 물류 시스템의 자동화 방안	서인수, 이호진	국내	10-2012-0082049	
13	2013	차량 접힘 제어 시스템 및 그 제어 방법	서인수, 황가람	국내	10-2013-0061088	
14	2013	차량 동적 거동 특성을 고려한 전기자동차 동력 통합제어 시스템	서인수, 황가람	국내	10-2013-0159321	
15	2013	접이식 전기자동차를 위한 원격구동제어	서인수, 이민영	국내	10-2013-0160470	
16	2013	인휠모터를 장착한 차량을 위한 조향제어방법	서인수, 이민영	국내	10-2013-0162411	
17	2013	접이식 차량의 프레임 구조 및 그 구성	서인수, 황가람	국내	10-2013-0165342	
18	2013	이동수단의 집단 제어를 위한 장치 및 방법	서인수, 이호진, 김제독	국내	10-2013-0165314	
19	2013	접이식 자동차의 구조 및 그 제어방법	서인수, 황가람	PCT	US 14/280,811	
20	2013	인휠모터 구동 자동차의 조향장치 및 이를 이용한 조향 제어방법	서인수, 이민영	PCT	US 14/280,790	

○ 특허 등록 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	등록연도	특허명	출원인	출원국	등록번호	
1	2013	지능형 주차장 관리 시스템 및 방법	서인수, 이민영, 황가람	한국	101343102	
2	2014	전기자동차의 허브모터 제어장치	서인수, 이민영	한국	101364758	
3	2014	카트 시스템을 활용한 지능형 주차장 시스템	서인수, 김성환	한국	등록결정	
4	2013	차량의 듀얼 레버식 조향장치	서인수, 황가람	한국	101343088	
5	2014	접이식 차량 및 그 제어 방법1	서인수, 신인건	한국	101390874	
6	2014	접이식 차량 및 그 제어 방법2	서인수, 신인건	한국	101390399	
7	2013	접이식승용차의 디자인	서인수	한국	300717164	
8	2014	주차시스템과 이를 이용한 차량	서인수, Dinh Dung Vu	한국	101354589	
9	2014	노면정보 제공 시스템 및 방법과 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	한국	101377204	
10	2014	면적 조절식 차량 및 그 제어 방법	서인수, 김성환, 황가람	한국	101390873	
11	2014	차량 이동 경로 제공 단말기 및 방법과, 이를 사용한 차량	서인수, 이민영	한국	101401063	
12	2014	이동 경로의 그리드 화를 통한 교통 및 물류 자동화 시스템 및 방법	서인수, 이호진	한국	등록결정	

라. 해외PCT 등록 성과

연번	출원된 특허의 경우					성과 기준표
	출원연도	특허명	출원인	출원국	등록번호	
1	2012	힌지 구조를 이용해 휠베이스를 조절할 수 있는 전기차량	서인수, 황가람	PCT	US 14/280,811	
2	2014	인휠모터 구동 자동차의 조향장치 및 이를 이용한 조향 제어방법	서인수, 이민영	PCT	US 14/280,790	
3	2014	접이식 차량 및 그 제어 방법1	서인수, 황가람	PCT	PCT/KR2012/010623	

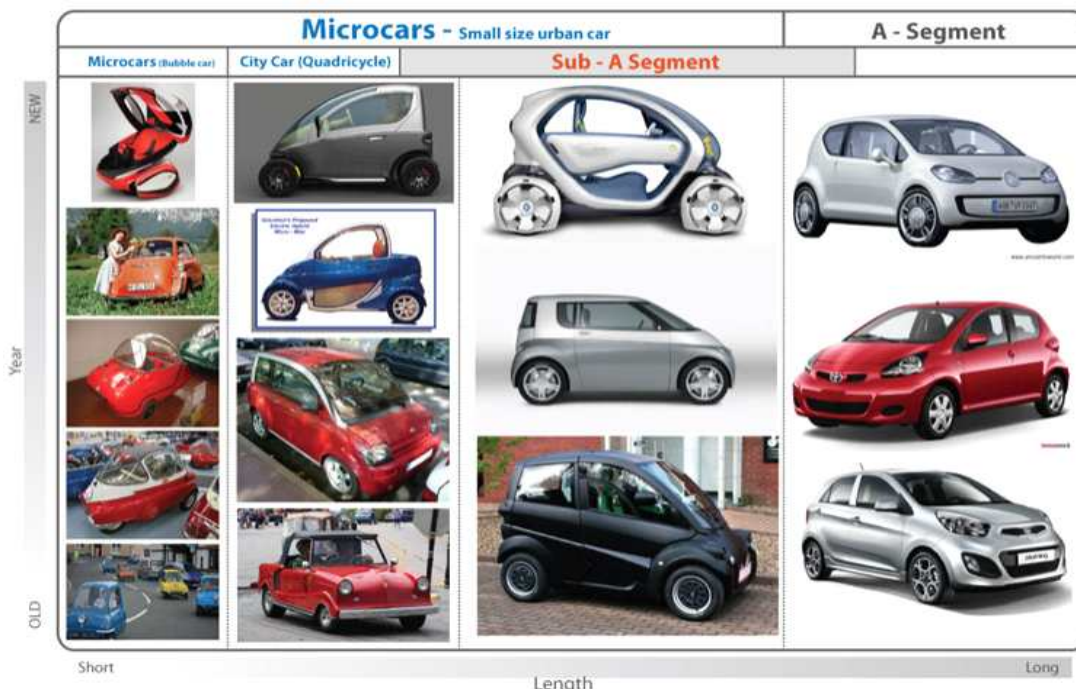
제2절 연구개발 결과의 활용방안 및 기대효과

1. 초소형차 관련 정책 및 법규 현황

가. 초소형차 관련 해외 정책

○ 일본

- 일본은 현재 고령화 사회, 이산화탄소 배출 등의 문제점에 대한 심각성을 인식한 후 이에 대한 해결책으로 초소형차의 보급을 제시
- 이에 따라 일본 국토교통성에서는 효과적으로 초소형차를 보급할 수 있도록 2012년 6월 “초소형차 도입을 위한 지침”을 발표
- 이 지침에서는 초소형차를 경차와 제 1종 원동기 부착 자전거 사이의 차종으로 구분하고 있으며, 전체 길이 3.4m이하, 폭 1.48m 이하 등으로 기존 경차의 최저 기준을 초소형차의 최대 기준으로 채택
- 또한 승차 정원에 대해서는 성인 2인 이하 혹은 성인1인과 아이 2인 등의 기준을 가지며, 배기량에 있어 125cc~660cc 이하로 구분됨
- 이러한 구분에 따라 초소형차를 차량의 한 종류로 분류하여 도로 주행이 가능하도록 규제를 완화하고, 일본의 각 현에서는 관광 지원, 노인 복지의 일환으로 초소형차를 보급하고 활용할 계획을 검토하여 국가적 이익 및 사회적 문제점에 대한 해결방안을 모색하기 위해 검증을 실시 중



<그림> 일본에서의 초소형 전기차 세그먼트

○ 미국

- 미국은 “The American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) of 2009”의 입법화를 기점으로 차세대 전기자동차 및 전지의 개발에 꾸준한 노력을 기울이고 있음

- 이 결과, GM의 전기자동차 Volt의 생산에 2억4100만 달러가 지원 되는 등 친환경 자동차로 전환하려는 움직임을 점차적으로 실행 중
- 과거 미국은 다른 국가에 비해 비교적 큰 차량을 선호하는 경향이 있었지만, 연방정부에서 '11년 27mpg의 연비 기준을 적용하였고 '16년까지 평균 36mpg의 연비 기준 충족을 의무적으로 규정
- 이에 따라 점차적으로 소형 차량이 증가하고 있으며, 이러한 영향은 초소형차로 이어질 것이라 전망
- 이러한 영향은 기술개발의 활성화로 이어질 것이며, 향후 세계 시장을 주도할 수 있는 기술력 확보로 이어질 것이라 전망된다.

○ 유럽

- 환경규제가 엄격한 유럽은 전기자동차의 확산속도가 다른 지역에 비해 빠르게 진행 될 것으로 분석됨
- 전기자동차를 활성화하기 위해 유럽 각국이 제시한 전기자동차 지원 정책을 살펴보면, 스페인의 경우 접이식 초소형차인 'Hiriko' 개발 및 Car Sharing 활용방안 등 타 유럽국가 대비 활발한 움직임을 보이고 있음
- Iberdrola' 社は 현재까지 스페인 전역에 100여개의 전기차 충전소를 구축하였고, 정부의 지원 정책을 바탕으로 지속적 확충이 있을 것으로 전망됨
- 충전 인프라의 확충으로 전기차를 활용하는 데 불편함이 없도록 지원함과 동시에 Car-Sharing 등의 사업을 장려하여 국가적인 교통수단으로서 활용하는 방안이 검토 중

구분	내용
스페인	- '12년까지 총 5억 9000만 유로 지원 - '14년까지 전기자동차 100만대 보급 목표 - 지자체에 2만대 규모의 전기자동차 보급 - Hiriko와 같은 국가적 투자 기반 기술 확보 - 정부 지원에 기반한 충전 인프라 구축 - Car Sharing 등을 통한 국가적 교통수단으로서의 활용
독일	- '20년까지 전기자동차 100만 대 공급 - 노후 차량 폐차 후 친환경 소형차 구매 시 최대 2,500유로 지원 구매 후 운행세 5년간 면제
프랑스	- '12년까지 전기자동차 10만대 보급 - 전기자동차 보유 대수 '20년 200만 대, '25년 400만 대 예상 - 정부주도 10년 동안 전기자동차 연구개발, 기반시설 확충 등 25억 유로 지원 - 노후차량 폐차 후 친환경 소형차 구매 시 1000유로 지원
영국	- '11년부터 전기차 구입 시 2,000~2,500 파운드의 보조금 지급 - 1,700만 파운드 규모의 재원을 투자하여 '13년까지 7,500 여개의 전기자동차 충전소를 설치 예정

나. 초소형차 관련 국내 정책

- '10년 2월, 지식경제부에서 발표한 '스마트그리드 국가로드맵'에 따르면, <표 5>과 같이 단기, 중기 및 중장기의 과제로 전기자동차의 활성화를 위해 도로주행 근거 마련,

보조금, 인프라 구축에 노력을 기울이고 있음을 확인할 수 있음

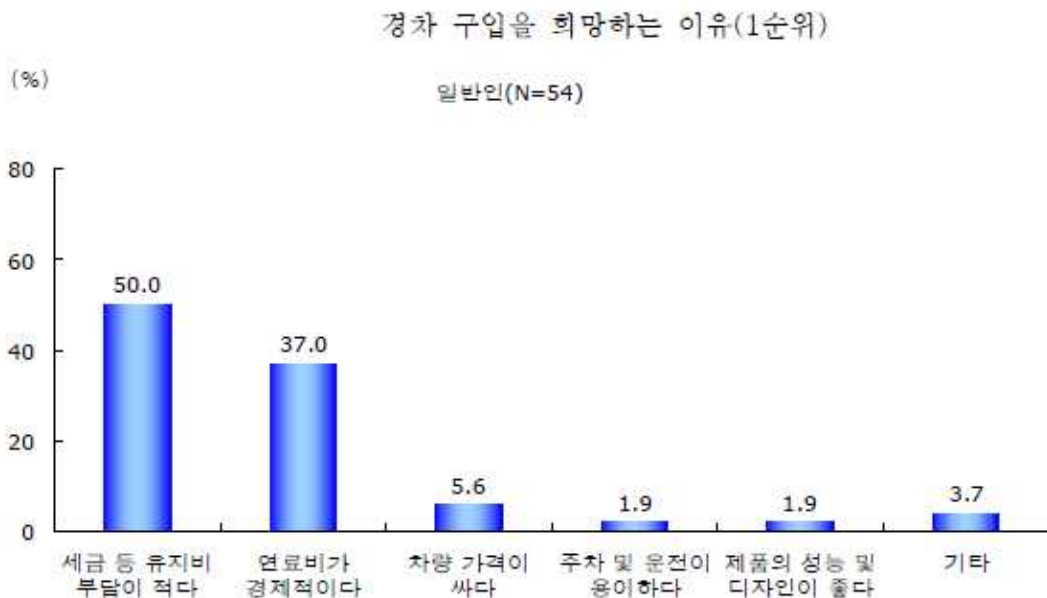
- 하지만 초소형차가 포함되는 저속 전기차의 도로 주행 근거에 대해 살펴보면, '09.12.29 개정된 운행구역의 지정은 시장, 군수, 구청장 등이 교통흐름을 고려하여 지정하는 형태
- 국내에서도 차량운행 실정을 반영한 초소형차 기준 정립이 필요
- 현재 UN/ECE와 같은 국제 규정을 살펴보면, 초소형차에 대한 기준 및 적용 규정이 현재까지는 정립이 되지 않은 상태임을 확인할 수 있음
- 이러한 사항은 국내의 실정 또한 마찬가지이며, 초소형차에 대한 규정 정립은 현재 진행중임을 알 수 있음
- 이에 국내에서의 초소형차 보급 활성화를 저해하는 요소와 이를 해결하기 위한 접근 방향을 살펴보면 아래와 같음

구분	내용
단기 과제	1. 기술개발 및 표준화 지원 - 배터리 등 핵심기술 개발 지원 - 그린 네트워크를 활용한 부품경쟁력 강화 2. 관련 법·제도 정비 - 세액공제 대상 인정 - 안전성 및 성능평가 기준 마련 - 충전소 설치 근거규정 마련 - 저속전기차 도로주행 허용 - 내연기관차의 전기차 개조 허용
중기 과제	3. 시범생산 및 실증사업 - 소규모 시범생산 지원 - 도로운행 실증사업 실시 4. 보급 활성화 - 공공기관 대상 보급 사업 - 일반 소비자 대상 구매 인센티브 지원 - 충전소 설치 지원 - 전기차 인식 제고 노력 전개
중장기 검토	5. 중장기 검토 과제 - 전기차 구매·판매 의무비율 할당 - 발전소 등 전력인프라 확충 - 에너지 수급 전략과 연계

- 전기차의 도로 주행 근거에 대해 살펴보면, '09.12.29 개정된 운행구역의 지정은 시장, 군수, 구청장 등이 교통흐름을 고려하여 지정하는 형태
- 하지만 저속 전기자동차가 기존 도로를 주행할 경우 교통흐름을 방해할 것이란 우려를 이유로 지정이 미비한 실정이며 운행구역을 벗어날 경우 과태료가 부과됨
- 환경부에서 제시한 전기자동차 구매 보조금 업무처리 지침에 따르면, △저속 전기차에 578만원 △고속 경형차에 1720만원 △고속 중형차에 1940만원 △전기버스에 1억 545만원의 보조금을 책정
- 이는 저속전기자동차가 주로 보조차량의 역할이므로 실질적 공해절감 효과가 낮다는 이유에서로 파악됨
- 또한, 초소형차가 고속도로를 제외한 도로를 주행 시 주행속도에 따른 교통혼잡이

발생할 수 있다는 관점에서 보급이 저해될 수 있음

- 이는 장기적인 관점에서 초소형차를 활용할 목적으로 도입을 실시한 후 최고 속도 등을 점차적으로 개선해 나가는 방향 또한 가능할 것으로 분석됨
- 이런 이유로 실증사업 등을 시범적으로 시행하여 국내 차량 운행 실정에 대입한 후 개정이 필요할 경우 이에 따라 조정할 필요성이 있음
- 도로 운행 규정이 개편된다면, 초소형차의 활용성 또한 증가할 것이며 이는 보급 활성화와 경형차와 비견될 수 있는 실질적 공해절감 효과 등을 얻을 수 있게 됨
- '07년 건설교통부의 보고서에 따르면 경형차 구입을 희망하는 이유 중 1위부터 3위까지 모두 금전적 혜택과 관련된 이유이며, 이러한 사실로 보조금 및 세제 혜택은 초소형차 보급에 있어 중요한 요소임을 확인할 수 있음.



<그림> 경차 구입을 희망하는 이유에 대한 설문조사

- 초소형차의 공간 효율 또한 개선이 필요할 것으로 분석되며, 일본 지침을 기준으로 성인 2인 혹은 성인 1인에 아이 2인을 최대 탑승 정원 기준으로 볼 경우 적정 인원 탑승 시 대부분의 공간이 소진됨
- 이는 초소형차의 활용성을 저해하는 원인이 될 것이라 분석되며, 관광, 복지 관점에서의 활용 또한 고려되어야 하기 때문에 이러한 측면에서의 활용성을 극대화 할 수 있는 방안 마련 필요
- 이러한 문제점 파악 및 개선을 위해선 일본에서의 경우와 마찬가지로 실증사업 등을 실시하여 최적의 초소형차 규정을 마련하기 위한 운행특성을 도출하고 이를 반영함으로써 보급을 촉진할 수 있을 것으로 기대됨
- 교통 흐름을 지연한다는 이유로 초소형차 운행구역 지정을 하지 않는 것은 현재의 교통체계를 유지하는 측면에서 타당할 수 있음
- 하지만 미국에서의 중속 전기차에 대한 규정을 예로 들어본다면 장기적인 관점에서 초소형차를 활용할 목적으로 도입을 실시한 후 최고 속도 등을 점차적으로 개선해 나가는 방향 또한 가능할 것으로 분석됨

- 이런 이유로 실증사업 등을 시범적으로 시행하여 국내 차량 운행 실정에 대입한 후 개정이 필요할 경우 이에 따라 조정할 필요성이 있음

보급 저해 요소	접근 방향
교통 흐름 지연	최고 및 평균속도 향상
낮은 보조금	경형차 수준의 지원
표지판 등 인프라	운행구역 확대 (80km/h 이하 도로)
실질적 활용성 미흡	시범사업을 통한 운행특성 도출 및 이에 대한 반영

- 초소형차에 대한 국제 기준이 미흡한 현 시점에서 초소형차 시장을 주도하기 위한 적극적인 국내의 움직임이 요구됨

2. 연구결과의 활용방안 및 기대효과

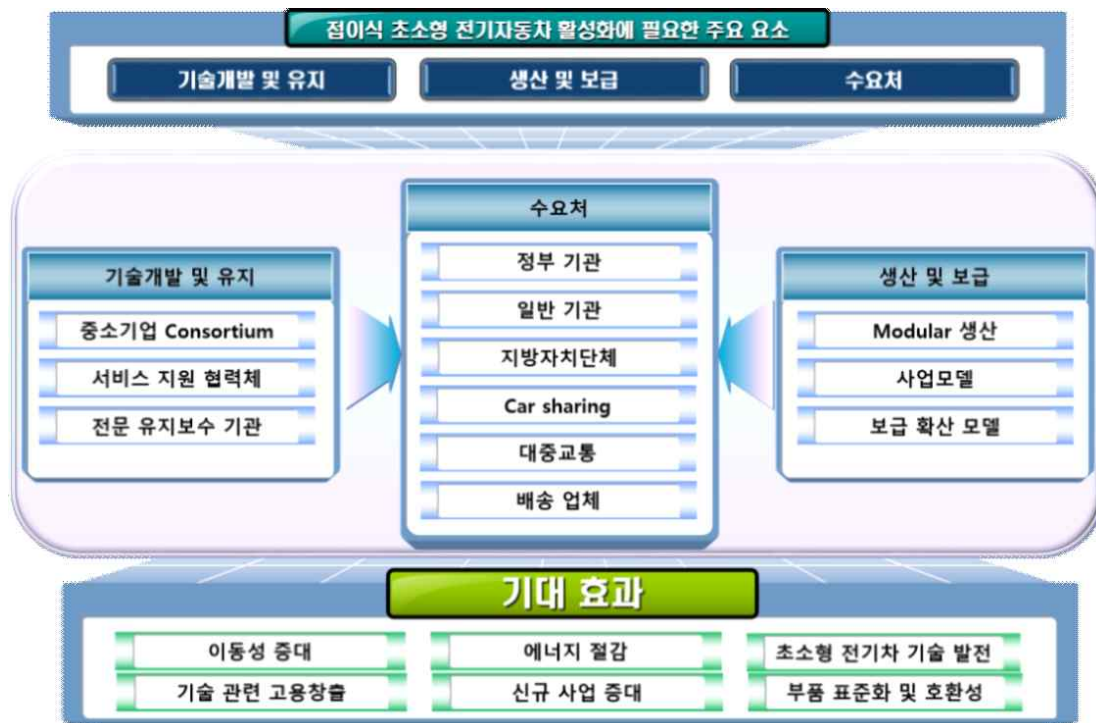
가. 보급 확산 모델

- 초소형 전기자동차는 차량의 수요, 활용성, 사용자의 만족도 등 다양한 사항이 고려되어야 함
- 이러한 사항에 대한 검증을 위해서는 실증사업을 통해 경제적, 기술적, 사회적 측면에서의 활용에 대한 접근이 필요
- 또한, 초소형 자동차의 보급 및 확산을 위해서는 관,공서에서의 업무적인 활용과 함께 관광지 및 일정 지역에서의 반복적인 운송업무 등에 대한 활용 등의 사업 모델이 제시될 수 있음
- 일본에서는 초소형 전기자동차의 보급을 위한 실증사업을 실시한 사례가 존재하며, 앞서 제시한 사항에 대해 사회적 활용성 측면에서 실험 및 분석을 실시하였음



<그림> 일본에서의 초소형 전기자동차 실증사업

이러한 사항을 참조하여, 본 과제에서의 접이식 초소형 자동차를 활용할 수 있는 방안 및 보급/확산 모델을 아래와 같이 제시



<그림> 초소형 자동차 활성화를 위한 요소 및 기대효과

○ 세부 구성요소 분석

- 기술개발 및 유지

· 중소기업 Consortium

- ✓ 국외에서 개발된 접이식 전기자동차 ‘Hiriko’는 MIT에서 개발한 City-car의 라이선싱을 받아 설계한 차량으로, 스페인 북부 바스크 지역의 중소기업 7곳이 컨소시엄을 구성해 개발됨
- ✓ 국내의 경우도 이와 마찬가지로 중소기업의 Consortium 구성을 통한 기술개발이 필요
- ✓ 모터, 파워트레인, 차체 등 전기자동차를 구성하는 부품을 모두 포괄할 수 있도록 Consortium을 구성하여 중소기업 협력에 의한 기술개발이 이루어져 중소기업 경쟁력 강화의 발판으로 활용
- ✓ 중소기업 간 교류 및 상호 협력적 기술 개발을 통해 관련 기술의 발전을 이룸과 동시에 중소기업의 발전을 바탕으로 한 고용창출 및 전문 인력 양성을 바탕으로 국가 기반산업에 대한 기술 경쟁력 향상을 도모

· 서비스 지원 협력체

- ✓ 전기자동차는 충전인프라가 요구되며, 이에 따라 충분한 충전 인프라의 구축이 선행되어야 함
- ✓ 기존 주유소와 같이 전기자동차의 충전을 위한 충전소 설치와 함께, 주차장을 이용한 충전 인프라의 구축에서부터, 비접촉식 충전까지 다양한 충전 서비스를 제공할 수 있음
- ✓ 카 셰어링 등과 같은 사업모델의 경우, 초소형 차량과 충전인프라 뿐만 아니라, 이를 뒷받침하기 위한 제반 서비스 기술이 요구됨
- ✓ 초소형 자동차의 활성화는 관련 기술의 육성을 도모하여, 기술의 동반성장 측면에서 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예측되며, 이에 따른 국가 기술력 향상이 전 방위적으로 증대되는 결과로 이어질 것으로 예측
- ✓ 이러한 서비스 지원 협력체는 중소 규모로 운영될 수 있으며, 통신사업자와의 연계, 기존 렌트카와의 혼합 사업 등 다양한 형태로 서비스가 제공될 수 있음



<그림> 카 셰어링 서비스 예시

· 전문 유지보수 기관

- ✓ 전기자동차는 기존 자동차와는 달리 유지보수인력 및 유지보수 시설이 충분하지 않음
- ✓ 본 접이식 초소형 전기자동차의 활용에 있어 필요한 차량 및 인프라 유지보수 전문 인력을 양성하여 새로운 사업의 기회로 활용
- ✓ 기존 유지보수 인력의 재교육을 통해 기술자의 역량 고급화 및 사업 경쟁력 확보의 방안으로 활용
- ✓ 이를 바탕으로 정기적인 대규모 차량 점검이 예상되는 관공서 및 배송 관련 업체의 경우는 자체적인 기술인력을 고용하는 방안과 함께 전문 유지보수 기관을 활용하여 사용자, 공급자와 함께 동반 성장 예상

- 생산 및 보급

· Modular 생산

- ✓ 차량 부품의 표준화를 바탕으로 주요 부품의 호환성을 확보하여, 부품의 개발 단가를 최소화하며, 이에 따른 가격 경쟁력 확보
- ✓ 가격 경쟁력의 확보를 통해 차량 및 서비스를 더욱 합리적인 가격으로 소비자에게 제공할 수 있음
- ✓ Modular 생산은 표준화된 부품을 사용하므로 이에 대한 표준 제정이 동시에 이루어

지게 되며, 생산업체의 입장에서는 일관되지 않은 부품의 생산에 따른 불필요한 추가 생산 비용을 최소화 할 수 있으므로, 이에 따른 리스크를 감소할 수 있음

✓ 또한, 주요 부품의 호환성 확보를 바탕으로 기존에 관련 기술을 생산하는 업체 간 서플라이 체인을 구축하여 새로운 사업의 기회를 제공할 수 있음.

· 사업 모델

✓ 초소형 자동차는 현재로서는 생소한 분류의 차량이며, 이에 따라 초기 보급을 위해서는 공공적인 활용 측면에서 잠재 소비자에 대한 인식 제고 필요

✓ 이러한 방안에는 관광지에서의 활용, 카 셰어링, 교통 연계형 환승 등 다양한 형태의 사업모델이 있으며, 이러한 수요처를 바탕으로 초기보급이 이루어지는 것이 바람직할 것으로 예측

✓ 사업 모델은 수익이 바탕이 되는 상태에서 이루어져야 하며, 이에 따라 기존에 존재 하던 사업과 연계되는 방향으로 제안될 수 있음

✓ 관광지 활용에 대한 사업의 경우, 관광지 및 여행사와의 제휴를 바탕으로 초소형 전기차를 옵션으로 하는 여행 패키지를 제공할 수 있음

✓ 카 셰어링은, 통신 사업자, 인터넷 관리 업체, 차량 유지보수, 과금 중계 업체 등이 종합적으로 요구되는 사업으로서, 이러한 제반사항을 충족할 수 있는 협의체를 구성하여, 수익모델 분석을 통한 사업이 이루어질 수 있음

✓ 기존의 대중교통을 이어주는 교통 연계형 환승으로의 활용은 대중교통 과금체계와의 연계를 통해 고정적인 수익을 창출할 수 있으며, 이를 위해선 기존에 도입된 지하철, 버스 간 환승에 새로운 형태의 환승으로 활용하여 충분한 수익이 보장된 사업 모델을 제시

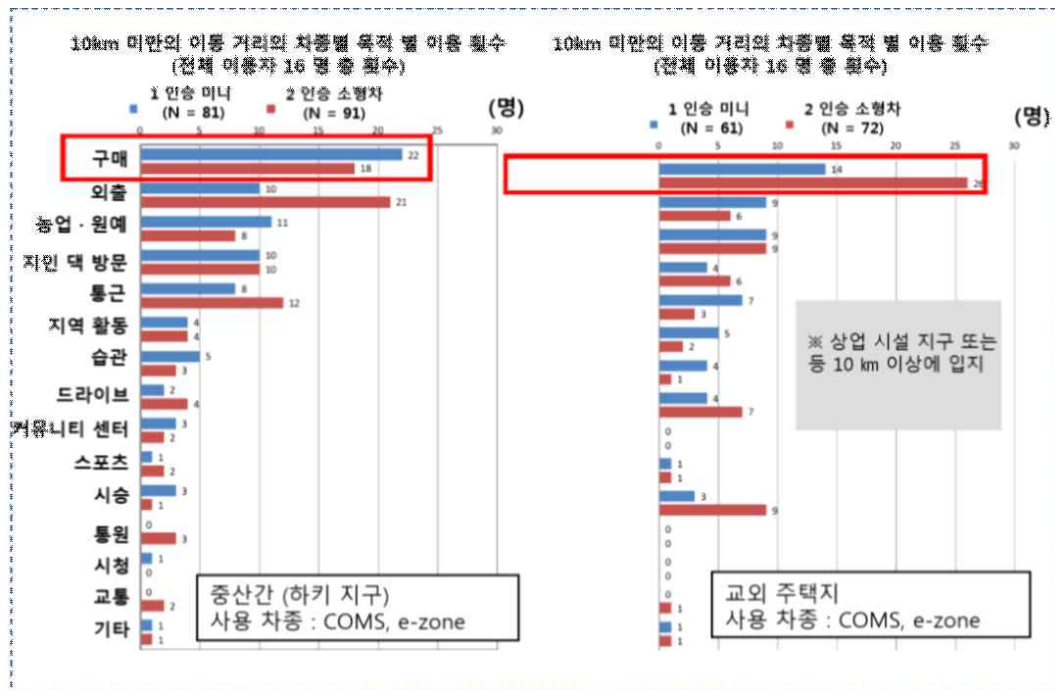
· 보급 확산 모델

✓ 국내에서 교통에 요구되는 문제는 교통 혼잡, 고령화 등 다각화되어 있음

✓ 일본의 초소형차 실증 사례에서 고려되었던 사항은 (1)활용 지역, (2)차량의 종류, (3)활용 목적 등으로 구분

✓ 초소형 전기차의 활성화를 위해선 획일화된 사양의 초소형 자동차가 아닌 실제 사용자의 측면에서 다각적 접근이 필요

✓ 르노의 초소형 자동차인 ‘Twizy’의 경우, 차량의 사양을 최고속도 45km/h 및 최고 속도 80km/h 등 2개의 종류로 제작하여, 더욱 폭넓은 사용자층을 확보할 수 있도록 시도



<그림> 일본에서의 차종 및 목적별 이용 횟수

- ✓ 본 접이식 초소형 자동차의 경우도 전방위적 보급 확산을 위해선 사용자의 활용 특성을 반영한 맞춤형 차량으로 다각화되어 개발되어야 할 것으로 전망됨
- ✓ 이를 통해 학생, 가정주부, 노인, 업무 등 다양한 활용형태에 따른 특색을 반영하여 폭넓은 사용자 층을 확보함과 동시에 더욱 편리한 활용이 가능하도록 보급 확산이 이루어져야 함
- ✓ 이를 바탕으로 교통약자에 대한 이동성 증대를 도모하고, 초소형 자동차 보급을 통한 교통혼잡의 감소 및 에너지 절감을 바탕으로 보급을 가속화하는 방향으로 확산 모델을 제시

- 수요처

· 초소형 자동차 클러스터 기획

- ✓ 전남 영광 지역에서는 초소형차 육성을 목표로 초소형 전기자동차의 활성화를 위한 준비 중
- ✓ 지역 주민들에게 초소형 전기차를 보급하고 인식을 개선하기 위해 영광군청에 초소형차를 우선 도입하여 운행하기 위한 제도적 장치 마련 준비 중
- ✓ 이러한 측면에서 영광군은 노령 인구, 외각지의 측면에서 초소형 전기차의 실증에 적합한 장소가 될 것으로 전망
- ✓ ‘대마 전기자동차 산업단지’가 구축되어 전기자동차 및 부품의 제조 등 연구개발에도 두각을 나타낼 것으로 전망됨
- ✓ 이러한 점은 초소형차의 기능적 분석이 제품의 개발로 유연하게 이어질 수 있다는 점에서 긍정적으로 검토됨
- ✓ 이러한 이점을 활용하여, 영광군에서 초소형 접이식 자동차를 활용할 수 있는 활용

모델에 대한 검증과 더불어 실제 사회적 측면에서의 활용을 검증할 수 있는 발판을 마련



<그림> 영광지역에서의 전기자동차 육성 계획

· 관광지에서의 활용

- ✓ 비즈니스 모델의 측면에서 관광지에서의 활용이 검토될 수 있음
- ✓ 경주, 제주 등 주요 관광도시의 경우, 일대 전체가 관광지이며, 이에 따라 일정 수준 이상의 반복적 이동이 요구됨
- ✓ 이러한 반복적 이동이 요구되는 국내의 주요 관광지에 초소형 자동차가 활용될 수 있음
- ✓ 주요 관광지에서의 초소형 전기차 활용은 관광 활성화에 대한 기여와 함께 초소형 자동차에 대한 인식 증대 효과가 기대됨
- ✓ 또한, 초소형 자동차 결합형 여행상품 등의 마련을 통해 장기적 관점에 비즈니스 모델로서의 연계가 가능하며, 향후 활용에 대한 지속적 수요를 발굴하여 점차적인 보급 확산의 발판을 마련



<그림> 경주의 주요 관광지역 분포

· 카 셰어링으로의 활용

- ✓ 르노에서 현재 시판중인 'Twizy'의 경우, 차량의 판매와 함께 카 셰어링 사업인 'Twizy way'를 함께 실시하여, 향후 초소형 자동차의 활용을 위한 사업모델과 더불어 초소형 자동차 자체 홍보방안으로 활용하고 있음



<그림> 르노 Twizy의 카 셰어링

- ✓ 본 초소형 접이식 전기자동차는 카 셰어링에 대한 활용에 있어 이용 대기 중 차지하는 공간을 최소화할 수 있으며, 이에 따라 국소 지역에서 산발적인 셰어링 거점을 구축하는데 최적화되어있음.
- ✓ 이를 통해 어디서나 이용하기 쉬운 형태로 카 셰어링을 도입할 수 있으며, 차량의 보관을 위해 요구되는 인프라가 획기적으로 감소됨



<그림> 차량 보관면적의 감소 예시

- ✓ 이를 바탕으로 초소형 자동차를 쉽게 접할 수 있는 환경 조성에 용이하며 대중교통으로서의 활용성 또한 제시 가능
- ✓ 카 셰어링을 통해 초소형 자동차의 잠재 수요자들에 대한 홍보효과 및 초소형 자동차의 구입에 대한 부담을 저감
- ✓ 또한 카 셰어링은, 차량 자체의 대여 뿐만 아니라, 결제 방식, 유지보수 등의 서비스가 동반되어야 하기 때문에, 이에 따른 신규 사업이 동시에 발생하여 고용창출 효과 또한 기대할 수 있음
- ✓ 초소형 자동차의 예상 수요는 학생에서부터 노인에 이르기까지 다양하며, 이에 따라 활용 이동 수단을 다양화하여 대중교통과 비슷한 수준으로 활용성을 극대화할 수 있음

· 교통 연계형 환승시스템

- ✓ 버스, 기차 등 장거리 이동을 위한 대중교통은 일정 지역에 소수만 마련되어 있으며, 이를 효과적으로 활용하기 위한 교통 연계 수단으로 접이식 초소형 전기차의 활용이 예상됨
- ✓ 장거리 대중교통을 효과적으로 이용할 수 있는 수단으로서의 활용을 바탕으로 자가 차량을 소유한 수준의 높은 활용성을 확보

· 운송을 위한 활용

- ✓ 택배, 혹은 음식의 배달 등은 일정 반경에서 반복적으로 이루어지며, 이에 따라 이동 거리가 일정하므로, 초소형 전기차를 경제적인 배송수단으로 활용할 수 있음



<그림> 배송을 위한 초소형 차량 예시

- ✓ 접이식 초소형 자동차의 경우, 차량 후측은 물품의 적재를 위한 충분한 공간이 확보되어 있으며, 이에 따라 배송을 위한 활용 측면에서도 활용이 가능
- ✓ 택배의 경우, 1대의 기존 배송차량이 부담하는 구역을 다수의 초소형 자동차를 활용하는 방향으로 활용할 수 있으며, 배송 시스템의 선진화를 통한 배송 작업자의 업무 저감과 함께 소비자에게는 빠른 배송 서비스 제공 가능
- ✓ 음식물 등의 배달의 경우, 기존의 이륜차 운행과 비슷한 수준의 이동성을 보장하며, 안전 및 겨울철 업무 수행 측면에서 더욱 향상된 기능을 제공

· 대규모 기관의 운영에 대한 활용

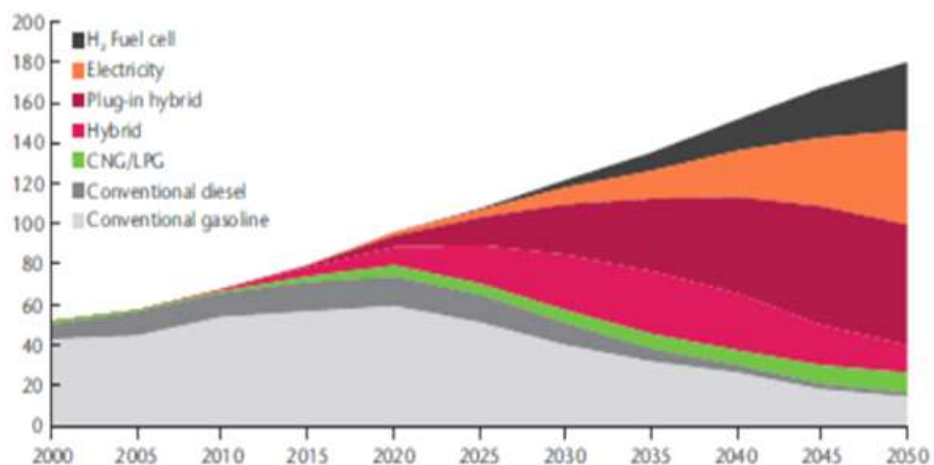
- ✓ 접이식 초소형 자동차의 경우, 차량 후측은 물품의 적재를 위한 충분한 공간이 확보되어 있으며, 이에 따라 배송을 위한 활용 측면에서도 활용이 가능
- ✓ 택배의 경우, 1대의 기존 배송차량이 부담하는 구역을 다수의 초소형 자동차를 활용하는 방향으로 활용할 수 있으며, 배송 시스템의 선진화를 통한 배송 작업자의 업무 저감과 함께 소비자에게는 빠른 배송 서비스 제공 가능
- ✓ 음식물 등의 배달의 경우, 기존의 이륜차 운행과 비슷한 수준의 이동성을 보장하며, 안전 및 겨울철 업무 수행 측면에서 더욱 향상된 기능을 제공



<그림> 관공서에서의 초소형 전기차 활용 예시

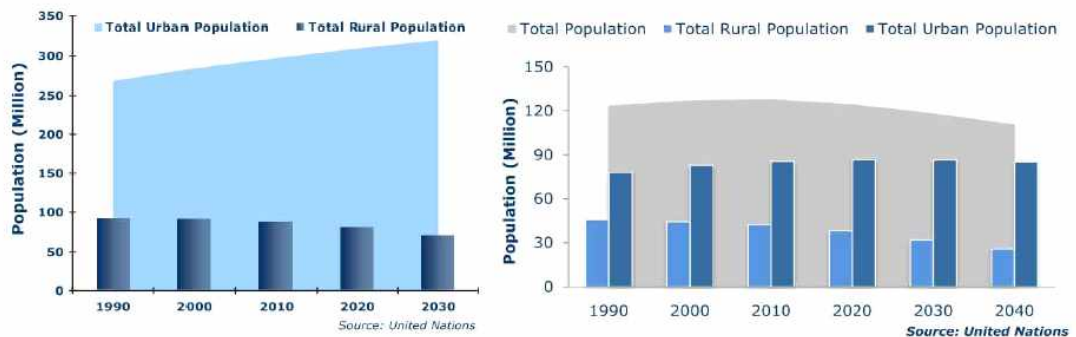
나. 기술개발 성과의 국내의 시장 전망

- 대기오염, 지구온난화 등에 따른 국제환경규제는 지속적으로 강화되고 있으며, 이에 따라 탄소배출의 비중이 높은 자동차 또한 다양한 형태의 친환경 차량으로 변화하고 있음
- 현재 선진국 등을 중심으로 이러한 개발이 본격화됨에 따라 기술경쟁 또한 가속화되고 있음
- 이러한 변화를 바탕으로 향후 친환경 차량에 대한 수요는 꾸준히 증가할 것이라 예측되고 있음.



<그림> IEA의 2050년 친환경 차량 증가 추이 예측

- 현재 도시의 거대화가 지속적으로 진행되고 있으며, 이에 따라 주차 공간 부족 및 교통 혼잡 등 도심지에서의 교통 문제가 대두되고 있음



<그림> 유럽의 도시 인구변동추이(좌) 및 일본의 도시 인구변동추이(우)

- 이러한 변화를 바탕으로, 친환경 에너지를 기반으로 하는 초소형 자동차에 대한 수요가 점차적으로 증가할 것으로 예측되고 있음
- Prost & sullivan의 보고에 따르면, 초소형 차량의 판매량은 2011년을 기점으로 꾸준히 증가하는 추세를 보일 것으로 예측되고 있음
- 이는 초소형 자동차가 환경오염 및 도심지에서의 교통혼잡 등에 효과적인 대안이 될 수 있다는 인식으로부터 비롯되는 것으로 분석됨.



<그림> 초소형차 판매량 예측

- 국내에서 또한 환경오염과 도심지에서의 교통문제가 중요한 사회적 문제점으로 지적되고 있는 바, 초소형 자동차에 대한 수요가 점차적으로 증가할 것으로 기대되고 있음.
- 또한 일본과 마찬가지로, 우리나라 또한 현재 급격한 고령화 사회에 접어들고 있지만, 노령층이 손쉽게 사용할 수 있는 이동수단으로 전동 휠체어 수준의 이동

수단 외에는 특별한 대안이 제시되고 있지 않은 실정

- 초소형 자동차는 조작이 용이하여 노령층이 손쉽게 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 전동 휠체어로 이동하기 어려운 거리를 이용하는 데 용이하므로 고령화와 함께 초소형 자동차의 수요가 증가할 것으로 기대됨
- 또한, 고속 열차 및 버스 환승 체계 등 장거리 대중교통 장려의 측면에서도, 초소형 차량이 대중교통 사이를 연결해 주는 연계형 교통수단으로서의 역할도 기대되는 바, 초소형 자동차의 활용이 점차 증가할 것으로 예측됨.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1. 타 부처 과제 진행

산업통상부 광역경제권 거점기관사업으로 Micro Mobility 및 핵심부품 개발 사업에 국비 90억으로 과제 진행 중이며, Micro Mobility 핵심부품 연구기반 구축으로 국비 140억, 지방비 120억 등 260억을 투입하여 연구개발 사업을 2014년 10월 3년의 기간으로 시작하였다.

미래부에서는 SW기반 스마트카 개발 사업을 기획, 2015년 스마트카 범용플랫폼 개발을 추진 예정이다.

2. Test Bed 구축

본 과제의 결과물을 상업화하기 위해서는 시범사업을 통하여, 초소형차 세그먼트에 대한 친환경성, 안전성 및 사회인프라 효율 제고, 및 사회복지 등 범 국민적 수용성을 확보할 필요가 있고, 관련 법규 및 시행세칙 등의 마련이 필요하며, 서울시와 같은 도심, 경주, 부여 등과 같은 지방 관광도시, 평창, 카이스트 캠퍼스 등 제한된 지역의 근거리 이동 수단으로의 Test Bed 구축이 필요하다.

3. 추가연구 필요성 등

초소형 전기차 및 접이식 자동차의 상용화를 위해서는 핵심 부품에 대한 개발, 인증 및 내구/신뢰성 개발 등이 필요하며, 차량 안전 및 충돌 안전 등에서의 평가 및 인증 절차에 대한 검토가 필요하며, 사업화 생태계 조성을 위한 초기 수요 서비스 개발 등이 필요하다.

참고문헌(보고서 작성 시 인용된 모든 참고 문헌을 열거)

1. J. Luoma, M. Sivak, S. Zielinski, "THE FUTURE OF PERSONAL TRANSPORTATION IN MEGACITIES OF THE WORLD", Rep. no. UMTRI-2010-2. The University of Michigan Transportation Research Institute, 2010, print.
2. Liotta, H. Peter, and F. M. James, The Real Population Bomb: Megacities, Global Security & the Map of the Future. Potomac Books, Inc., 2012.
3. J. Canton, "The extreme future of megacities", Significance, 8(2), 53-56. (2011).
4. UNFPA and HelpAge International. "Ageing in the twenty-first century: A celebration and a challenge", New York: United Nations Population Fund, 2012. Available at: <http://unfpa.org/ageingreport/> (accessed 14 February 2013).
5. J. Hairault, F. LAANGOT and T. Sopraseuth, "How can we increase the elderly's participation rate? The effectiveness of incentive schemes in a model of retirement behavior and wealth", In First Young researchers Workshop on pension reforms, saving, markets & life cycle, Université Paris Dauphine (2003, January).
6. S. Jansuwan, K. Christensen and A. Chen, "Assessing the Transportation Needs of Low-Mobility Individuals: Case Study of a Small Urban Community in Utah." J. Urban Plann. Dev., 139(2), 104 - 114 (2013).
7. I. S. Suh, K. Hwang, M. Lee and J. Kim, "In-Wheel Motor Application in a 4WD Electric Vehicle with Foldable Body Concept" in Proc. IEEE International Electric Machines and Drives Conference, pp.1307-1312, Chicago, May, 2013.
8. M. Y. Lee, J. D. Kim and I. S. Suh, "Technology Overview on Personal Mobility Vehicle", Transportation Technology and Policy, Vol.9, No.5, 38-47, 2012.
9. E. Cahill, B. Taylor, and D. Sperling, "Low-Mass Urban Microcars for Emerging Market Megacities", Transportation Research Board 92nd Annual Meeting (2013)
10. K. Hirota, "Policy for Better Air Quality in Asia - Proposal for a Policy Evaluation Method for four ASEAN Countries", Studies in Regional Science, Vol. 38, 2008, number 4, pp 1093 - 1104.
11. F. Posada, F. Kamakate, and A. Bandivadekar, "Sustainable Management of Two- and Three-Wheelers in Asia", The International Council on Clean Transportation, ICCT Working Paper 2011-13, December 2011.
12. The Verge, "Hyundai dreams up egg-shaped E4U personal transporter", available at <http://www.theverge.com/2013/4/2/4173522/hyundai-e4u-personal-mobility-vehicle-tron-concept>. Accessed 2/4/2013
13. D. Lu, M. Ouyang, J. Li, L. Xu, "Economic operating Characteristics of Permanent Magnet Synchronous Motor in Electric Vehicle," in Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.110-114, Seoul, Korea, 2012.

14. M. Zeraoulia, M. H. Benbouzid, D. Diallo, "Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comprative Study," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 55, No. 6, pp. 1756-1764, November 2006.
15. Z. Rahman, M. Ehsani, and K. L. Butler "An investigation of electric motor drive characteristics for EV and HEV propulsion systems," presented at the SAE Technical Paper Series, Paper # 2000-01-3062.
16. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Law of Parking Lot Enforcement Regulations," Korea.
17. L. Parsa, and H. A. Toliyat, "Fault-tolerant interior-permanent-magnet machines for hybrid electric vehicle applications," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 56, no. 4, pp.1546-1552, Jul. 2007
18. CarSim®, V.8.02, Mechanical Simulation Corporation, Mar. 2010
19. MATLAB®/SIMULINK®, V.7.10.0.499, The MathWorks Corporation, Feb. 2010.
20. K. L. Butler, M. Ehsani, and P. Kamath, "A matlab-based modeling and simulation package for electric and hybrid electric vehicle design," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 48, no. 6, pp.1770-1778, Nov. 1999
21. B. K. Bose, "A high-performance inverter-fed drive system of an interior permanent magnet synchronous machine," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 24, pp. 987-997, 1988.
22. X. Yuan, and J. Wang, "Torque distribution strategy for a front- and rear-wheel-driven electric vehicle," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 61, pp. 3365-3374, 2012.
23. S. Sul, Control of Electric Machine Drive Systems, New Jersey: IEEE-Wiley, 2011, Ch. 2.
24. S. Bolognani, M. Zordan, and M. Zigliotto, "Experimental fault-tolerant control of a PMSM drive," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 47, no. 5, pp.1134 - 1141, Oct. 2000.
25. S. Sakai, H. Sado, and Y. Hori, "Motion control in an electric vehicle with four independently driven in-wheel motors," in IEEE/ASME Trans. Mechatronics, Vol. 4, pp. 9-16, 1999.
26. S. Kim, C. Kim, J. Choi, M.A. Ali, S. Back, and C. Han, "A study on the tire force distribution method for rear wheel drive electric vehicle with in-wheel motor," KSAE 2012 Annual Conf., pp. 703 - 709, 2012.
27. A. Haddoun, M. El Hachemi Benbouzid, D. Diallo, R. Abdessemed, J. Ghouili, and K. Srairi, "Modeling, analysis, and neural network control of an

EV electrical differential,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 55, pp.2286–2294, 2008.

28. D. Kim, S. Hwang, and H. Kim, “Vehicle stability enhancement of four-wheel-drive hybrid electric vehicle using rear motor control,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol.57, no.2, pp.727–735, Mar. 2008
29. H. Tan, and J. Huang, “Experimental development of a new target and control driver steering model based on DLC test data,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.13, no. 1, pp. 375–384, Mar. 2012

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술연구촉진사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.