

전기차 제작 마티즈II 사례 연구

The Electric Vehicle Conversion Of MatizII : A Case Study

이용재 (자동차기계과), 성기룡 (자동차기계과)

Eung J. Lee (Department of Automotive and Mechanical Engineering),

Ki R. Sung (Department of Automotive and Mechanical Engineering)

Abstract: This study shows a technological attempt to convert Matiz II gasoline-car to the electric vehicle. A schematic diagram of the electric vehicle is suggested to replace the internal combustion engine system with an induction motor system powered by a 302.4V of 6 packs of 4 lead acid batteries. Here, each 50.4V battery pack can be recharged by a 48V adapter popularly used in electric golf carts. To back up all the existing electric wiring systems, a 12.6V lead acid battery system remains without any modifications, being recharged by a DC-DC converter system instead of the generator. The hydraulic motor of the power handle system is eliminated and the oil entrance of the pipe is simply sealed. The break power booster is modified with a vacuum pump to produce the negative pressure. A cradle structure in the engine room is designed to install all the components including an induction motor with inverter, a manual transmission, a precharging relay, a DC-DC converter and a water pump.

Key Words: 전기차, 리튬배터리, 납배터리, 유도 모터, 인버터, 충전기

1.개론

전기차 개발은 1900년대 에디슨 시대로부터 이미 오랜 역사를 가지고 있으나 1910년대부터 헨리포드에 의해 시작된 내연기관 차량의 대량 보급에 따라 급격히 쇠퇴하였다. 그 후 1990년대에 접어들어 GM에 의해 내연 기관 차량에 견줄 수 있는 정도의 파워 및 에너지 용량을 가진 EV-01 전기차가 개발되어 시내 주행이 가능한 수준에 도달하였다는 보고가 있다.[1]

현재의 친환경 자동차 기술은 토요타사의 하이브리드 차량 개발을 통해 촉발되어 전 세계적으로 보급이 확산되어가는 시점이지만 동시에 전기차 도입의 중요성도 부각되고 있다. 테슬러사의 고급형 세단을 필두로 65km의 거리를 전기로 주행할 수 있는 GM사의 Chevy Volt [2] 차량도 이미 국내에서 판매되고 있다. 그밖에 전 세계 굴지의 자동차 회사들 대부분이 이미 국제 모터 쇼를 통해 미래 시장 선점을 위해 자사의 전기차 홍보를 전개하고 있다. 한편 이미 전기차 개발이 완료된 해외 자동차 회사들의 경우 한국의 교통 안전 관리법의 개정과 정부의 보조금 지급 제도 시행에 맞춰 전기차 개발 경험이 일천한 한국에서 시장 진입을 위한 기회를 노리고 있다.

기존 차량의 차체를 활용한 전기차의 제작은 기술적인 측면뿐 아니라 경제적 관점에서 관심을 끌 수 있다. 충돌 안전성이 검증된 차체를 활용할 경우 전기 모터로 동력기관의 교체를 통해 전기차 제작이 용이해진다. GM사의 Chevy Volt, Nissan의 Leaf, 현대차의 블루온 등이 대표적인 개조의 사례들이다.

이미 국내에서도 대통령의 2009년 10월 현대기아차 방문을 통해 세계 전기차 시장에서 주도권 확보를 위해 국내의 전기차 양산을 2년 앞당길 것을 산업계에 공식적으로 요청한 바 있다.

하지만 아직은 학계나 산업계로부터 전기차 설계 및 제작에 관한 기술 문헌을 전혀 찾아보기 어려운 실정이다.[3] 이러한 전기차 연구 개발의 시급성을 감안하여 본 연구에서는 기존 차체를 최대한 활용하면서, 엔진을 전기 모터로 대체하는 개조 과정을 통해 엔진 룸 레이아웃을 설계하고 연구용 시험 차량 제작을 진행하였다.

첫째, 국내외에서의 전기차 부품 조달 가능성을 검토한 후 구성 설계를 수행하였다. 둘째로 구동 모터 시스템인 교류 유도 모터의 동력 특성을 분석하였다. 셋째, 전기차 구동 동력원으로서는 배터리 시스템을 검토하였다. 리튬배터리가 당연히 전기차 동력원으로 채택되어야 하나 아직까지 대중적으로 보급되지 않아 납배터리 시스템으로 대체 방안을 수립하였다. 넷째로 전기차로 개조함에 따라 엔진 동력에 종속적이었던 시스템들 즉 냉각수 펌프, 엔진 부압을 이용하는 파워부스터 시스템의 전동화 문제와 유압식 파워스티어링 시스템의 처리 방안을 논의 하였다. 아울러, 다섯째로 기존 차량의 전기 배선을 아무런 손상 없이 사용하기 위한 방안으로서 발전기의 역할을 대신하기 위한 직류-직류 변환기(DC DC Converter)와 인버터 배선을 검토하였다. 여섯째로, 계기판의 클러스터 기능 중 회전수 및 속도계 처리 문제가 언급되며 특히 연료시스템을 제거하고 배터리로 개조함에 따른 배터리 게이지 시스템을 검토하였다.

2. 전기차의 구성

전기차는 Fig. 1처럼 모터 및 인버터, 새시시스템, 에너지 저장장치, 공조장치, 탑재형 충전기 등으로 구성된다. 내연기관 차량과 달리 별도로 ECU(Engine Control Unit)가 없으며[4], 현재로서는 많은 역할을 인버터가 담당하고 있다. 새시 시스템은 일반적으로 제동장치, 조향장치, 현가장치 및 변속기로 구성되나 전기차에서는 동력으로 분류되는 유도모터를 제외하고도 기존 유압 시스템으로부터 전동화에 따른 직류-직류변환기 시스템이 도입됨에 따라 새시시스템의 범위가 확장되고 있다. 특히 전기차용 유도모터는 자체의 rpm 변속능력이 있으나 토크 및 출력 특성이 대체되는 엔진과 비슷하므로 바퀴의 회전력을 주행에 적합한 수준으로 조절하기 위해서는 반드시 수동변속기나 전용 기어 감속기를 사용하여 적절하게 감속할 필요가 있다.

수동 변속기에서는 엔진의 한 방향 회전 동력을 입력 후 기어 조합별 단수를 선택하여 종감속 장치를 통해 출력하며 후진의 경우에도 추가로 후진기어를 조합하여 회전 방향을 변화시킬 수 있다. 하지만 전기차에서는 유도모터 자체의 역방향 회전이 가능하기 때문에 이 기능을 이용할 수 있도록 전용감속기를 만들게 되면 경량화를 달성할 수 있는 이점도 있을 수 있다.

전기차 유도모터 구동을 위한 직류 배터리 구성은 300V 이상의 고전압이 유리하며 이 전압은 인버터에 의해 3상 교류로 변환된다. 인버터는 전압 변환과 더불어 가속 페달로부터의 아날로그 입력에 따른 회전속도 조절 및 모터 제동을 비롯한 제어기 역할을 수행한다.

전기차에 있어서 기본적으로 주행동력과 공조 동력은 인버터와 결합된 유도모터로부터 얻어지며 감속 시 회생전류에 의한 에너지 회수과정이 필수적이지만 사용하는 배터리의 종류에 따른 기술적인 제약이 있을 수 있다.

전동조향 MDPS(Motor Driven Power System), 냉각팬 구동, 냉각수 펌프, 부스터 진공펌프 등은 직류 모터 시스템으로서 납배터리나 또는 직류-직류 변환기로부터 직접 전기를 공급받아 작동하도록 구성된다. 조향장치가 유압식인 경우에는 더 이상 엔진동력을 이용할 수 없으므로 유압라인을 밀봉하여 간단히 수동식으로 개조가 가능하다. 전기차의 유도모터 및 인버터의 냉각기준은 60°C 이하로 요구되므로 냉각팬 시스템은 별도의 온도측정장치를 도입하여 제어회로를 구성할 필요가 있다. 브레이크에 의한 기계적인 제동 시스템은 그대로 유지되나 엔진의 부압을 이용하던 파워부스터 시스템은 별도의 진공펌프 시스템으로 개조가 필요하다.

한편 차량의 기존 전기배선들 즉 전조등, 차폭등, 브레이크등, 실내등, 오디오 등의 전장시스

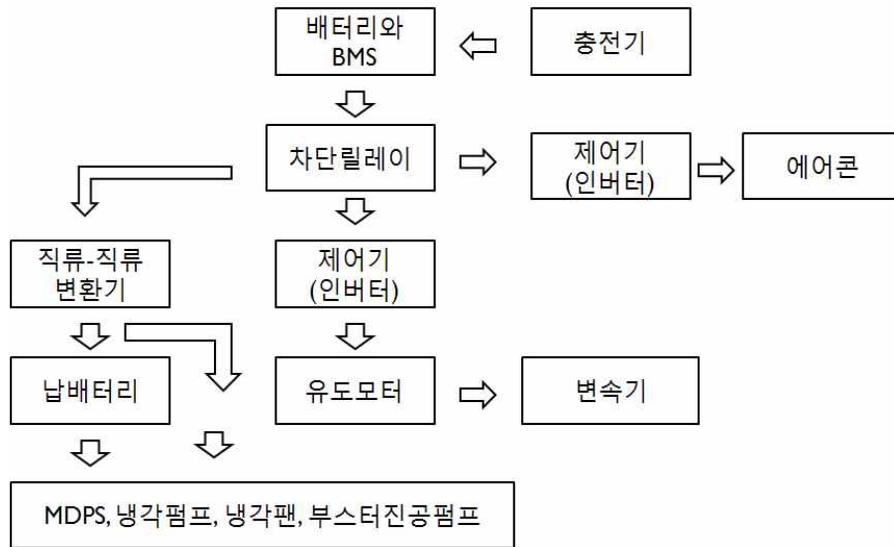


Fig. 1 Configuration of Electric Vehicle

템은 12.6V 납축전지에 의해 유지되어야 한다. 하지만 엔진에 연동된 발전기 제거에 따라 소모된 납축전지의 충전을 위해서 직류-직류 변환기가 필요하다. 주전원인 고압의 2차전지 시스템으로부터 감압에 의해 12.6V의 전압을 공급하고 아울러 납축전지를 미세전류로 충전해 줄 필요가 있다.

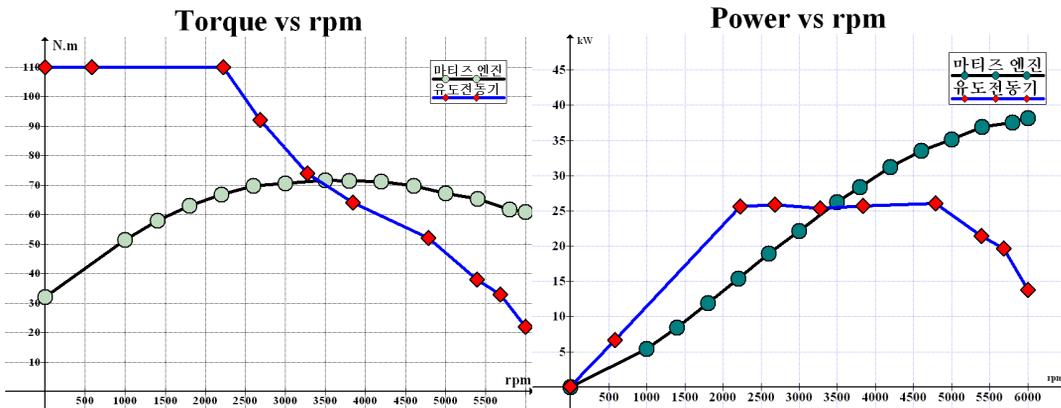


Fig. 2 Toque Performances

Fig. 3 Power Performances

3. 유도모터 동력 성능 및 2차전지 시스템

3.1 전기차와 내연기관의 동력성능 비교

전기차에 채용되는 유도모터는 공랭식 산업용 유도모터를 수냉식으로 개조하여 사용한다. Fig. 2에 정격 30KW 급 전기차용 유도모터와 마티즈 엔진과의 토크 특성을 비교하였다. 유도모터의 성능을 얻기 위한 다이내모 시험은 직류 300V조건에서 이루어졌다. 회전수 2200rpm 범위까지 토크 성능이 균일하며 그 이상의 회전수 영역에서 토크 성능이 저하된다. 유도모터 시스템에 있어서도 엔진처럼 넓은 범위의 회전수 조절이 가능하지만 토크와 출력 특성 측면에서 내연기관과 크게 다를 수 있다.

다음의 변환 공식을 사용하여 유도모터와 엔진의 출력을 계산하여 Fig. 3에 도시하였다.

$$P = \int_0^{\Omega} T d\omega = \frac{2\pi}{60} \int_0^{RPM} T d(rpm) \quad (1)$$

(1) 식에서 P, T, ω 는 각각 유도모터의 출력, 토크 및 각속도를 나타낸다. 유도모터는 3500 rpm 이상의 영역에서 엔진보다 출력이 약해지며 4800 rpm 이상의 영역에서 출력이 급격히 저하되는 특성을 보여준다. 전기차의 고속 주행을 감안한다면 10,000rpm 영역 안팎 범위까지 모터 다이내모 시험 결과가 필요하다.

3.2. 납배터리 2차전지 시스템

전기차의 1회 충전 당 주행거리는 충전 가능한 2차전지 기술에 크게 의존한다. GM사 Chevy Volt 배터리 팩의 기본 요구 수명은 10만 마일 즉 16만 km 주행을 위한 1000회의 충방전이 가능한 배터리 성능을 요구하고 있다. 모든 2차전지는 충방전 회수가 늘어날수록 점차적인 성능 저하가 일어나므로 80%까지 용량이 남아 있는 전까지의 회수로 정의한다.

현재까지의 차량 모터 구동용 2차전지 기술은 토요타 하이브리드 차량에서 채택되었던 Ni-MH 배터리 기술이었으나 보다 출력 특성이 우수한 리튬배터리로 급속하게 대체되어가는 시점이다. GM사의 리튬배터리 공급사인 Compact Power사[5]의 에너지 밀도 기술자료에 의하면 납배터리, Ni-MH배터리 및 리튬배터리 순으로 각각 30-35KW/kg, 70KW/kg, 100-125KW/kg 인데, 리튬배터리는 납배터리에 비해 무려 3배 이상의 에너지 밀도이지만 아직도 만족스러운 주행거리를 주지는 못하고 있다. 현재까지는 에너지 경제성 관점에서 전기차는 공차중량이 적은 800kg 수준의 경차나 1000kg 급의 소형차를 개조할 경우가 1500kg을 넘어가는 중대형 차량보다 성능 면에서 월등히 유리하다. 또한 리튬배터리의 실용화에 있어서 중요한 기술적 문제는 충방전 화학반응 중 순간적인 열 안정성 문제로서 리튬 배터리 팩 설계 시에 과전류 차단성능, 과방전 및 과충전 성능을 반드시 참고해야하며 냉각장치 설계도 요구된다. 배터리 팩 내부에는 보호회로(PCM, Protection Circuit Module)가 내장되어 있으며 배터리 팩 전체 시스템을 제어 관리하는 BMS(Battery Management System)가 필수적이다. 비록 현존 전기차용 2차전지 기술로는 리튬배터리가 유력하지만 이러한 불안정성 문제로 인해서 전해질의 작동 온도가 300°C 이상인 ZEBRA 배터리가 유럽에서 상용차에 이미 실용화 되었다는 사실은 시사하는 바가 크다.

납배터리 시스템의 적용 사례는 1990년대 GM사의 EV-01에서 찾아 볼 수 있다. 에너지 밀도가 낮은 관계로 공차중량 1400kg에 장착된 배터리 무게가 1175kg로 공차중량의 84%를 차지하였다. 본 연구에서도 납배터리 시스템을 기반으로 설계 제작을 진행하였다. 마티즈II의 적재 하중량 300kg 및 공간을 감안하여 40AH, 10kg급 승용차용 소형 납배터리 4개를 1팩으로 6팩을 직렬로 연결하여 총중량 240kg, 302.4V 직류 전압원을 구성하였다. 납배터리는 비록 에너지 밀도가 적은 것이 단점이나 방전과정이 발열반응이 아니므로 순간적인 과전류에 폭발위험성이 없다는 점에 주목한다. 급속 충전과정에서는 발열 및 수소가스 발생에 따른 위험성이 있으므로 반드시 완속 충전 할 필요가 있으며, 소형자동차용 납배터리는 전극판이 얇아서 무리한 구동으로 과전류가 오래 흐르게 되면 배터리 수명이 급격히 감소할 우려가 있음에 유의해야 할 필요가 있다.

3.3.2차전지 충전기 시스템

300V 납배터리용 전용 충전기가 없으므로 12.6V 4개에 해당하는 1팩 기준 50.4V 단위로 40AH 배터리 용량의 5-10%인 2-4A 범위의 전류로 완속 충전을 할 필요가 있다. 6개 팩을 동시에 충전하려면 병렬 충전회로를 구성해야 하며 팩들 간에 전압이 일정치 않아 역전류가 흐

를 수 있으므로 역전류 방지를 위한 다이오드 회로를 설치하도록 한다.

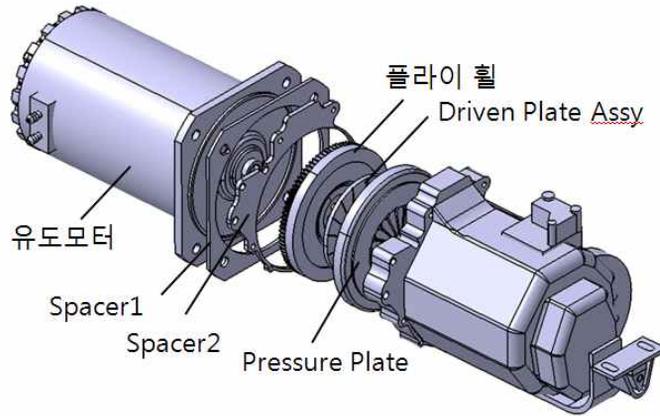


Fig. 4 Fastening Structure of Induction Motor and Manual Transmission

4. 전기차 파워트레인 구성

4.1 파워트레인 구조 설계

Fig. 4에서처럼 유도모터에서 공급되는 회전력은 스플라인 연결에 의해 플라이 휠을 회전시키며 클러치가 작동함에 따라 수동변속기 구성품인 압력판(Pressure Plate)이 구동판(Driven Plate Assy)을 밀어서 플라이 휠에 접촉시켜 마찰력을 발생시켜 동력 전달이 일어난다. 클러치 작용에 따른 축방향 힘이 상당히 크기 때문에 유도모터 축 방향으로 추력베어링 설치가 필수적이다. 추력 베어링의 설치 위치는 파워트레인 구성도에서 유도모터와 플라이 휠 사이가 향 후의 정비를 위해서 적절하다고 판단한다.

유도모터와 수동변속기를 구조적으로 체결하기 위한 스페이서는 유도모터 플렌지 형상과 수동변속기 하우징 모양을 체결할 수 있도록 제작하며 두께는 연결 스플라인 및 추력 베어링의 크기에 영향을 받는다.

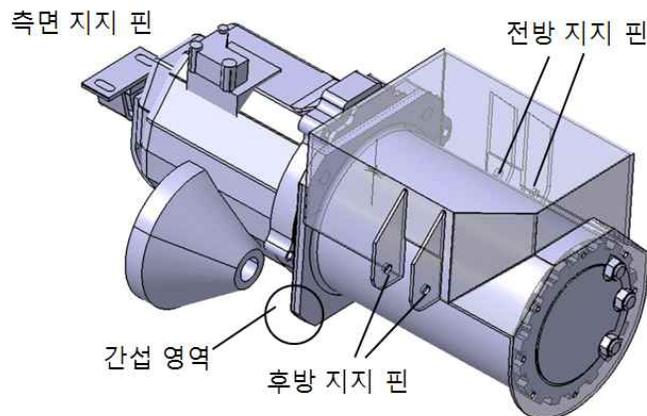


Fig. 5 Support Structure

4.2. 유도모터지지 구조

Fig. 5는 함께 체결된 유도모터와 수동변속기 구조의 엔진 룸 내 지지 방식을 나타낸다. 기본적으로 전후방 핀들에 의해 지지되며 측면에서는 수동변속기의 끝 부분이 외팔보 방식으로 엔진룸 차체에 고정된다. 아울러 Fig. 5에 표시하지는 않았지만 엔진과 마찬가지로 상단에 지지대가 하나 더 있음에 유의한다.

특히 전 후방 핀들의 위치를 변경 없이 그대로 유지하면서 유도모터 플렌지 부분 간섭 영역을 제거하면 양산된 기존 차량의 등속 축을 그대로 사용할 수 있는 경제성 있는 설계가 가능해진다.

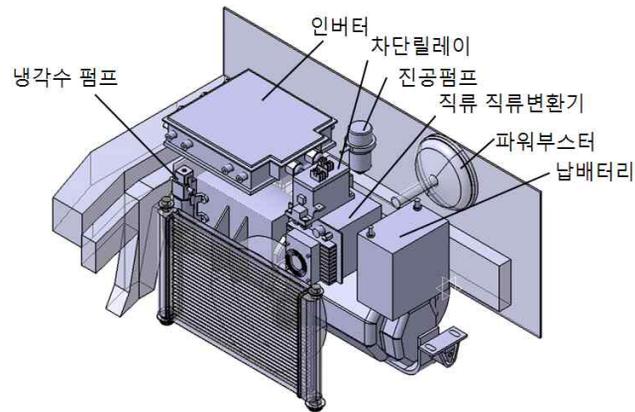


Fig. 6 Layout in Engine Room

5. 새시 시스템 구성

5.1. 엔진 룸 배치

Fig. 6에서처럼 좁은 엔진 룸에 파워트레인 이외에도 제어기, 차단릴레이, 직류/직류변환기를 포함하는 부품들의 적절한 배치를 고려할 필요가 있다. 차량 주행 중에 일어나는 진동을 감안하여 부품들과 배선 및 배관들 간의 마모 접촉을 방지하고 정비 공구를 사용할 수 있는 적절한 공간이 확보되어야 한다. 특히 Fig. 6에서처럼 공냉식 직류/직류변환기를 사용하는 경우 주행 중 바닥으로부터 물이 튀는 경우를 대비하여 방수 문제를 점검해야 한다.



Fig. 7 Installed Power Booster and Vacuum Pump

5.2. 브레이크 파워부스터

그 외에 엔진 제거에 따라 작동에 문제가 생기는 구성품으로는 제동력을 기계적으로 증폭해주는 부스터, 유압구동 방식에 따른 파워스티어링시스템 및 냉각수 순환을 위한 냉각펌프, 냉공조 시스템 등이 있다.

부스터는 직류전원의 진공펌프로 대체되어야 한다. 엔진 흡입관로에서의 공기압이 대체로 0.5 기압 이하이므로 이 정도 부압을 실현할 수 있는 진공 펌프를 선택해야 한다. Fig. 7에서처럼 파워부스터에서 내연기관을 연결하던 배관을 진공펌프 위치에 맞도록 재단하여 설치한다.

5.3. 파워스티어링시스템

최근의 조향장치 개발 추세는 전동식으로 전환되고 있으며 고속 주행 및 저속 주행 시 핸들링 무게감을 조절 제어한다. 따라서 정지 및 저속 주행 상태에서 가벼운 핸들링 감을 생성할 수 있도록 전동 모터의 회전속도를 엔진의 아이들링 회전속도인 800 rpm 근방에 맞춰 고정해도 무방하며 일단 차량이 주행이 시작되면 유압의 도움이 없이도 핸들링이 가벼워지므로 일시적으로 모터 구동을 중지해도 된다. 전동식이 아닌 유압식인 경우에는 유압 라인 부위를 밀봉하여 간단히 수동식으로 전환하는 것도 하나의 방법이다.

5.4. 냉각 펌프

엔진제거에 따라 냉각수 순환 펌프의 필요성이 없어지나 한편으로는 수냉식 교류 모터의 채택으로 인해 여전히 전동 방식의 냉각 펌프가 필요하게 된다. 냉각수는 자동차와 마찬가지로 동과 방지를 위해 글리콜 용액을 사용한다. 전기차의 유도모터 및 인버터의 냉각기준은 60°C 이하로 요구되며 냉각팬 시스템은 별도의 온도측정이 가능한 수온조절기를 설치하여 냉각 기준 온도 상회 시 릴레이 구동 출력이 가능한 냉각 수온 조절기를 설치하여 제어회로를 구성할 필요가 있다.

5.5. 공조 시스템

엔진에 부착된 컴프레서로부터 구동되던 에어컨은 모터 방식에서는 별도의 모터 시스템을 구성하여 작동시켜야 하며, 전력 소모가 적은 방식의 전기차 전용시스템 개발이 필요하다. 전기차에서 공조시스템은 심지어 정지 상태에서도 가동될 필요가 있으므로 인해 주행 동력 이상으로 전기 에너지 소모가 클 수 있다. 특히 80-110°C에 달하는 뜨거운 엔진 냉각수를 활용할 수 없으며 60°C 이하의 미열을 사용한 히트코어 난방 적용은 전혀 대안이 될 수 없다. 토요타의 RAV4 EV 사례에서 보듯이 히트펌프를 도입하여 출발 전의 Pre 공조 기능과 함께 냉난방 및 김서리 제거 기능을 갖춰야 할 필요가 있다.[6]

Key Box 배선 모드	전기차	내연기관 차량	
Lock	핸들 조향 잠김		
Accessory	오디오, 시거라이트		
On	전조등, 직류/직류변환기, 진공펌프, 냉각수펌프, 냉각팬, 차단릴레이, 인버터, 유도모터	IG2	전조등
		IG1	연료계통, 점화계통
Start(ST)	-	시동모터	

Table 1 Key Box Wiring

6.전기시스템 배선

6.1.전기차 Key 스위치 배선

전기차 Key 스위치 개조는 상기의 Table 1을 참고하여 Key Box의 On 모드를 중심으로 배선이 이루어진다. 아직은 전기차 전용의 상용 제어기가 없고 내연기관 자동차의 ECU가 제거되기 뿐만 아니라 세분화된 IG1,IG2,ST 배선 활용이 어렵기 때문에 On 모드 배선에 의해서 운전자가 우선 순위에 따라 전기차를 작동 시켜야 한다.

한편 유도모터를 끄기 위해서는 Key를 Acc 모드로 되돌리면 On 배선이 차단되며 차단릴레이와 인버터 작동이 멈추게 된다. 인버터 제조사에 따라 차이가 있을 수 있으므로 제공되는 매뉴얼을 참고하도록 한다.[7]

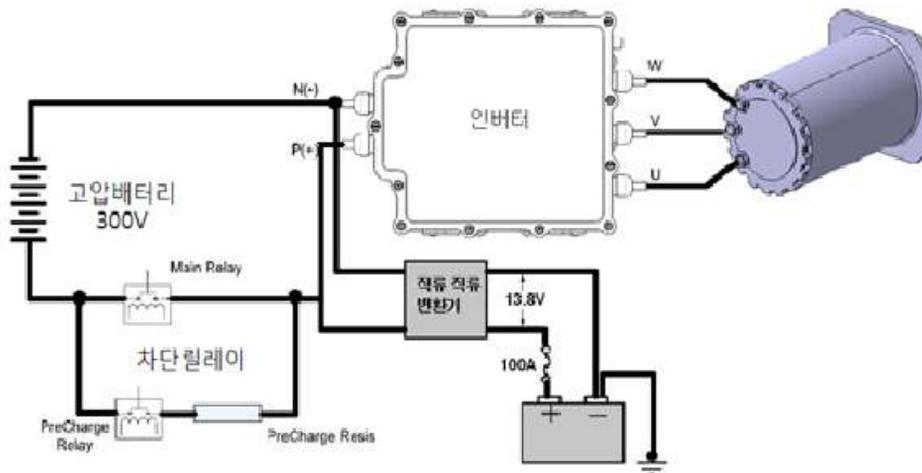


Fig. 8 Electrical Wiring Diagram

6.2.인버터 및 직류-직류 변환기 배선

Key On 시 차단릴레이에 포함된 예비충전(Precharge)릴레이가 먼저 작동되어 10초 안팎의 일정 시간이 경과함에 따라 주릴레이(Main Relay)가 작동되어 고압의 300V 배터리가 전기적인 스파크 없이 연결되어 인버터 및 유도모터 작동이 가능해진다. 차단 릴레이는 300V 내외의 고전압 직류상태에서 100A 안팎의 고 전류를 순간적으로 개폐하는 경우 일어날 수 있는 회로 내의 순간적인 스파크에 의한 전기적 손상을 방지하며 아울러 모터의 순간적인 정지 또는 역전에 의해서 발생할 수 있는 회생 전류(regenerative current)에 대한 배터리의 보호 역할도 하게 된다.

직류-직류 변환기도 차단릴레이가 연결되어야 작동하도록 배선한다. 납배터리는 전기차 Key On 시동 시에 차단릴레이 작동을 위한 전압을 제공한다.



Fig. 9 Modified Dash Board including SOC Indicator

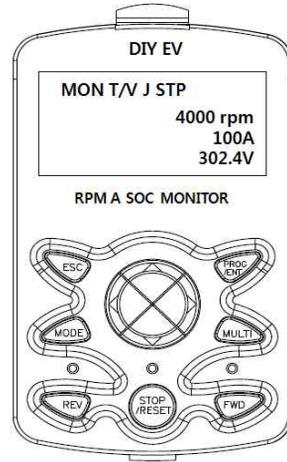


Fig. 10 Digital Reading By Inverter Remote Controller

6.3. 계기판

계기판 구성에서 속도계는 그대로 기존 배선을 이용한다. 경차의 경우 모터의 회전수 즉 rpm 계기판이 없는 사례도 있으나 전기차에서는 rpm 계기판이 필수적이다. 아울러 연료잔량게이지를 대신하는 SOC(State Of Charge)로 교체할 필요가 있다. 사용전압 감시 범위가 방전종지 전압 수준 256.8V로부터 100% 충전 상태의 302.4V이므로 Fig. 10의 인버터용 리모컨으로 디지털 값을 읽는 것도 좋은 대안이 될 수 있다.



Fig. 11 Prototype EV



Fig. 12 Isometric View of EV Engine Room

7. 결론

경차를 고속 주행이 가능한 전기차로 개조하기 위한 전체적인 제작과정을 제시하였다. Fig. 11과 12는 시제작된 전기차 외관과 엔진 룸 레이아웃을 보여 준다. 본 논문에서 제시된 제작 방법론은 타 차종의 개조에도 유용할 것으로 본다. 리튬배터리 팩 구매의 어려움으로 인해 다소 중량 효율이 떨어지지만 전압 및 전류 성능이 충분한 300V급의 납배터리 시스템을 구현하였다. 아울러 전기차 시제작에 필수적인 중요 부품들의 국산화가 전혀 이루어지지 않은 상태에서 내구성 있는 전기차의 시제작은 아직도 지난하다는 점을 지적한다. 이미 전기차의 성능 시

험과 관련된 개별 시스템의 시험이 부분적으로 진행되었고 주행시험을 위한 전동 파워트레인 및 완차량 전체의 시험평가는 계속되는 차기 연구의 좋은 주제가 될 것이다.

참고문헌

1. Who killed ev1, http://en.wikipedia.org/wiki/Who_Killed_the_Electric_Car%3F.
2. <http://www.gm-volt.com> , GM사 전기차 Volt 전용 블로그.
3. 전기차 개조 방안 사례 연구, 이응재, 용인송담대학교 논문집, ISSN 1226-9387, 제9집, 2009, pp.3-19.
4. 신편 자동차 전기전자 공학, 정용욱,한성철,정주윤,이응재,임하영 공저, 미전사이언스, 2009년 1월, chapter 15,pp. 491-520.
5. <http://www.compactpower.com/lithium.html> , CPI 사 홈페이지 참조.
- 6.전기자동차 핸드북, 대광서림, 2003년 출판, 대광서림.
7. GEI-018/030 18KW/30KW(DC140V-250V) LSIS Variable Frequency Drives For Electric Vehicle Operating Manual, LS산전.