

테슬라(TESLA) 전기자동차 핵심 기술동향

배진용[†], 김 용¹

The Core Technical Trends of TESLA EV(Electric Vehicle) Motors

Jin-Yong Bae[†] and Yong Kim¹

Abstract

This paper reviews the core technical trends of TESLA EV Motors. The TESLA EV Motors is explosively popular with a considerable recharging infrastructure, a wide 17-[inch] touch display, 417 [HP], and 378 [km] going distance. The object of this study analyzes the body appearance, motor and, battery cooling system, battery arrangement, battery management system, super charging station, power electronics, and induction motor.

Key words: TESLA Motors, EV(Electric Vehicle), Patent, Design, motor and battery cooling system, Battery arrangement, BMS(Battery Management System), Super charging station, IM(Induction Motor)

1. 서 론

현재 대부분의 도로에서는 가솔린 또는 경유차가 달리고 있으며, 이로 인하여 아직도 많은 사람들은 최초의 자동차에 대해서 가솔린 자동차라고 오해하시는 분들이 많은 것 같다. 하지만, 분명한 것은 최초의 자동차는 완전 무(無)공해 자동차인 전기자동차였다. 세계 최초의 전기자동차는 1824년 헝가리의 발명가 안요스 제드릭(Ányos Jedlik)이 자신이 발명한 전기모터를 적용하여 전기자동차 개발을 세계 최초로 시도하였다.

1800년대 중반 이후에 다양한 발명가가 전기자동차 개발에 뛰어들었고, 대표적으로 영국의 토마스 파커(Thomas Parker) 및 미국의 알버트 포프(Albert A. Pope) 등이 실질적으로 전기자동차 상용화에 성공하여 유럽과 미국에서 전기자동차의 대중화를 위하여 노력하였다.

1880년대 이후에 세계적인 발명왕인 토마스 에디슨(Thomas Edison)은 전기자동차 및 전기철도와 관련하여 총 48건의 특허를 발명하였으며, 충·방전이 가능한 2

차 전지에 관하여 총 135건의 특허를 발명 및 상용화하였다. 에디슨의 이러한 노력으로 인하여 1900년대 초반에는 미국 자동차의 약 38%가 전기자동차였으며, 전기자동차는 휘발유 자동차와 거의 어깨를 나란하게 하였다^[1].

하지만, 1908년 자동차 왕인 헨리 포드(Henry Ford)가 자동차 대량 생산 시스템인 포드 시스템(Ford System)을 발명하여 가솔린 자동차의 혁명을 이루었고, 1920년 미국 텍사스(Texas)에서 원유가 발견됨으로 인하여 전기자동차는 약 70년 이상 역사 속에서 그 이름이 완전히 사라지게 되었다.

1990년대 미국 캘리포니아(California) 주(州)에서는 환경오염을 개선하기 위하여 배기가스 제로법(ZEV: Zero Emission Vehicle)을 제정(制定)하였으며, 이를 개기로 1996년 세계적인 미국의 자동차 기업인 GM(General Motors)사는 시속 130 [km](최고속도 150 [km])/ 1회 충전에 110 내지 130 [km]의 주행이 가능한 전기자동차 EV1을 양산하였고, 1996년부터 2000년까지 미국에서 800대의 전기자동차 EV1을 상용화하여 전기자동차 운전자에게 큰 호응을 얻었다. 하지만, 전 세계의 메이저(Major) 석유 및 자동차 업체는 캘리포니아(California) 주(州) 정부를 압박하며, 동시에 전기자동차의 문제점을 언론에 노출함으로써 인하여 2003년 배기가스 제로법(ZEV)은 철폐(Abolish law) 되었고, 이를 개기로 2005년 GM사는 EV1의 생산라인을 철수하여서 전기자동차 사업을 완전히 정리하게 되었다^[2].

2005년 GM사의 전기자동차인 EV1이 모두 폐차되는

Paper number: TKPE-2017-22-5-6

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: bji@cspatent.kr, Changsung Patent & Law Firm

Tel: +82-2-6250-3010 Fax: +82-2-6250-3055

¹ Dept. of Electronic Engineering, Dongguk University
Manuscript received July 25, 2017; revised Sep. 6, 2017;
accepted Sep. 13, 2017

— 본 논문은 2017년 전력전자학술대회 우수추천논문임

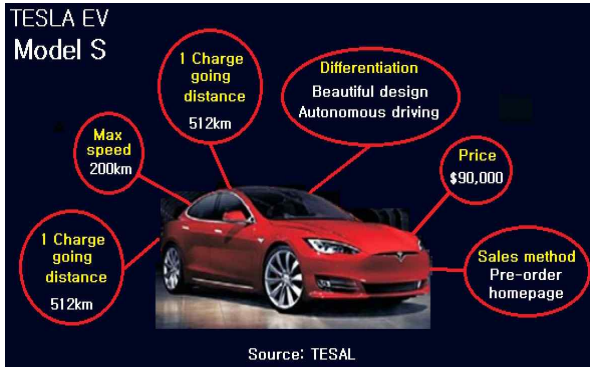


Fig. 1. Key performance of TESLA EV model S.

그 순간, 테슬라(TESLA)社의 엘론 머스크(Elon Reeve Musk)는 최고급 전기자동차의 출시를 준비하고 있었고, 2006년 7월부터 세상에서 가장 아름다운 2인승 스포츠카 로드스터(Roadster, 현재 생산 및 판매 중단), 모델 S(자가용), 모델 X(SUV) 및 모델 3(중·저가)을 출시함으로써 전 세계적으로 전기자동차 열풍(熱風)을 일으키고 있다.

드디어 2017년 3월에는 경기도 하남 스타필드에 대한민국 1호 테슬라(TESLA) 자동차 매장의 오픈(Open)을 시작으로 이제 한국에서도 본격적으로 전기자동차의 시대가 열려지게 되었다.

본 연구에서는 현재 전 세계에서 전기자동차 돌풍을 일으키고 있는 테슬라(TESLA) 전기자동차의 핵심 기술동향에 대하여 살펴보고자 한다. 이를 위하여 테슬라(TESLA)社의 핵심 기술 및 노하우가 담겨있는 2017년 4월까지 등록된 총 158개의 등록 특허(特許) 및 디자인(Design) 문헌을 검토하였다. 이를 바탕으로 5대 테슬라(TESLA) 기술인 (1)전기자동차의 차체(車體) 외관, (2)모터(Motor) 및 배터리 냉각 기술, (3)배터리 배치 및 배터리 관리 시스템(BMS), (4)배터리 급속 충전기 기술, 및 (5)유도전동기(IM) 및 전력변환 기술에 대하여 구체적으로 살펴보고, 현재 테슬라(TESLA) 전기자동차가 돌풍(突風)을 일으키는 원인을 집중적으로 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 테슬라(TESLA)의 인기 비결 및 특허기술 현황

현재 전 세계에서 테슬라(TESLA) 전기자동차가 인기를 누리는 가장 큰 이유는 자동차의 개념을 완전하게 변화시킨 신(新)개념의 자동차이기 때문이다. 기존의 자동차는 단순하게 사람 및 물건을 이동시키는 운송 수단에 불과하지만, 테슬라(TESLA) 전기자동차는 바퀴달린 움직이는 스마트폰(Smart-Phone)으로 성공적으로 자동차의 개념을 변신시키고 있다.

그림 1은 테슬라(TESLA) 전기자동차 모델 S의 주요 사양(Spec.)을 나타내고 있으며, 그림 2 및 그림 3은 테



Fig. 2. Tesla EV model S driver's seat.



Fig. 3. Tesla EV frunk(left) and trunk(right).

슬라(TESLA) 전기자동차의 운전석, 프렁크(Frunk: Front+Trunk의 합성어) 및 트렁크를 나타낸다.

표면적으로 테슬라(TESLA)社는 전기자동차의 최대 약점인 주행거리 및 출력(파워)을 엄청나게 향상시켰다. 1회 충전 주행거리를 최대 512 [km](한국정부 공인 378 [km])까지 확대시켰으며, 동시에 최대출력 417 [HP], 최고시속 250 [km/h] 및 제로백(0~100 [km/h] 도달시간) 4.4 [Sec]를 보이고 있다. 더불어 운전석 바로 옆에는 시각성이 탁월한 17 [inch] 터치(touch) 디스플레이를 통하여 차량 전체의 상태를 체크(Check) 및 제어할 수 있으며, 배터리 상태, 이미지 센서, 블랙박스(Black Box), 인터넷 및 내비게이션(Navigation) 및 자율주행 운전 등을 모두 통합적으로 제어할 수 있으며, 자동차에 짐을 넣을 수 있는 새로운 수납공간인 프렁크(Frunk)를 만들어 전방 충격을 가장 잘 흡수하고, 동시에 가장 넓은 수납공간을 가진 자동차를 만들게 되었다.

그림 4는 전 세계 테슬라 슈퍼충전소를 나타내고 있다. 전기자동차의 가장 큰 단점은 리튬-이온 배터리의 에너지 저장밀도의 한계로 인하여 주행거리가 짧은 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 주행거리를 고려한 수많은 충전소의 확충은 필수적이다. 테슬라(TESLA) 전기자동차의 인기의 이유는 급속충전(40분 이내, 현재는 20분까지 충전시간 단축시킴)이 가능한 슈퍼충전소를 미국과 서유럽 곳곳에 상당히 확충하였으며, 중국, 일본 및 멕시코, 호주, 대만, 아랍에미리트(UAE)의 대도시 및 고속도로를 중심으로 슈퍼충전소를 구축하고 있다. 그리고 이제는 대한민국에도 슈퍼충전소가 14개 이상으로

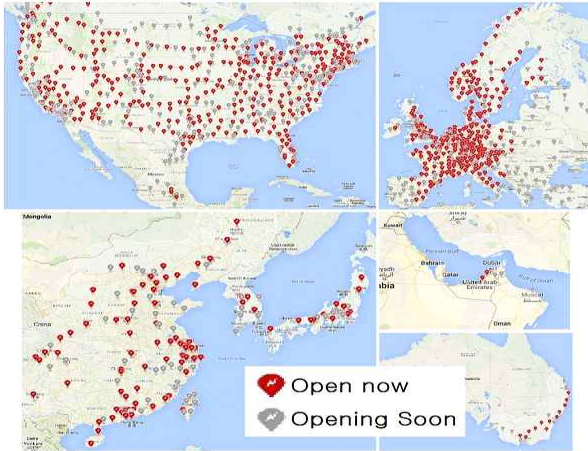


Fig. 4. Tesla Super Charging Station^[3].

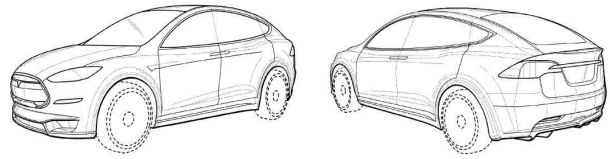


Fig. 5. TESLA EV exterior design patent USD683268^[4].

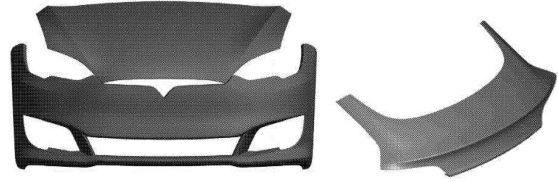


Fig. 6. TESLA EV exterior design patent USD775005^[5], USD775006^[6], and USD780653^[7].

TABLE I
PATENT STATUS OF TESLA EV

Section	Detailed Tech.	US Registered patent	Ratio
Tech. 1	Body Appearance of EV	44	27.8%
Tech. 2	Battery Management System(BMS)	28	17.7%
Tech. 3	Motor and Battery Cooling Tech.	27	17.1%
Tech. 4	Battery Placement Tech	25	15.8%
Tech. 5	power electronics, and induction motor(IM)	13	8.2%
Tech. 6	Battery Charger Tech.	11	7.0%
Tech. 7	EV Control Tech.	5	3.2%
Tech. 8	Overcurrent Protection tech	4	2.5%
etc.	Communication between Cars	1	0.7%
Total		158	100.0%

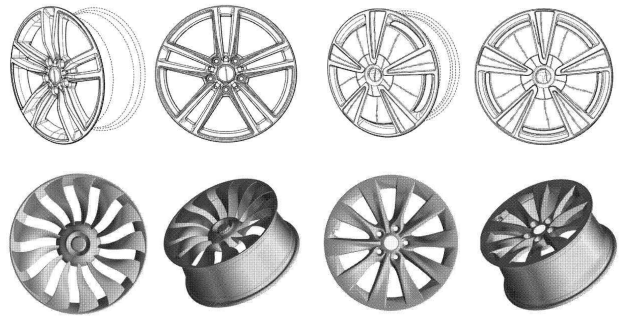


Fig. 7. TESLA EV wheel design patent USD669008^[8], USD660219^[9], USD766802^[10], and USD774435^[11].

설치 중에 있다^[3].

테슬라(TESLA)社は 전기자동차의 주행거리 및 출력을 향상시켰으며, 17 [inch] 터치(touch) 디스플레이를 통한 전기자동차의 통합제어, 프렁크(Frunk)의 설치 및 전 세계 최다(最多)의 슈퍼충전소 인프라(Infra) 구축을 통하여 돌풍(突風)을 일으키고 있다.

하지만, 2013년 3월 테슬라(TESLA)社は 가격이 1억 원 이상의 고가(高價) 전기자동차(모델 S, 모델 X)가 아닌 1/2 정도의 저렴한 전기자동차인 모델 3을 발표하였다. 모델 3은 최고의 가성비(價性比)를 가지며, 저렴한 유지비용으로 인하여 더욱 폭발적인 인기를 누리고 있으며, 사전예약이 40만대를 넘어서고 있다.

이러한 테슬라(TESLA)社 미국, 유럽, 일본, 중국 등을 중심으로 전 세계에 특허를 출원하고 있으며, 2017년 4월까지 미국에 총 158건의 특허를 등록하였다. 아래의 표 1은 2017년 4월까지 등록된 158건의 미국 등록 특허의 8가지 기술 현황을 나타낸다.

이제 세계적인 돌풍을 일으키는 테슬라(TESLA) 전기자동차의 5대 핵심 기술동향에 대하여 보다 구체적으로 살펴보겠다.

2.2 핵심기술1 : 전기자동차의 차체(車體) 외관

테슬라(TESLA) 전기자동차는 무엇보다 차체(車體) 외관이 많은 운전자를 설레게 할 정도로 아름다운 것을 가장 큰 특징으로 한다. 이렇게 테슬라(TESLA)의 독특한 아름다움에 대해서 테슬라(TESLA)社は 모두 디자인 및 특허를 통하여 독점적으로 그 권리를 보호하고 있으며, 전체 등록특허 중에서 27.8%를 차지할 정도로 가장 많은 부분을 차지하는 기술이라고 할 수 있다. 테슬라(TESLA)社は 테슬라의 독특한 이미지를 지식재산권(IP: Intellectual Property)로 보호하기 위한 전략을 사용하였다. 이렇게 자사(自社)의 고유한 이미지를 만드는 전략을 트레이드 드레스(Trade Dress)라고 하며, 타사(他社)의 제품과 구별되는 자사(自社)만의 독특한 외관, 모양, 형상 및 이미지를 의미하며, 테슬라(TESLA)社は 이를 위하여 가장 집중적으로 노력한 것으로 분석된다.

그림 5 내지 그림 11은 테슬라(TESLA) 전기자동차의 외관 및 충전기 형상을 나타낸다.

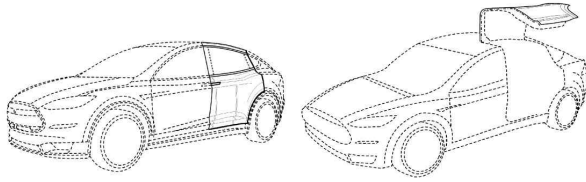


Fig. 8. TESLA EV door design patent USD678154^[12].

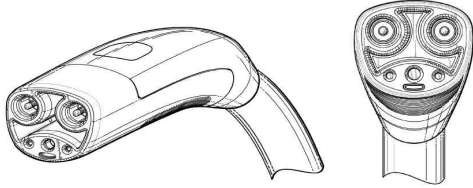


Fig. 9. TESLA EV charger connector design patent USD694188^[13], and US8579635^[14].

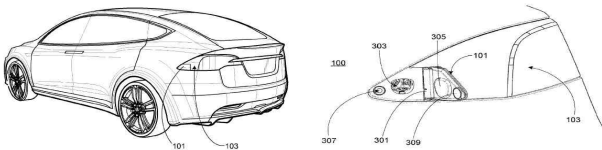


Fig. 10. TESLA EV external charger connector patent US8720968^[15].

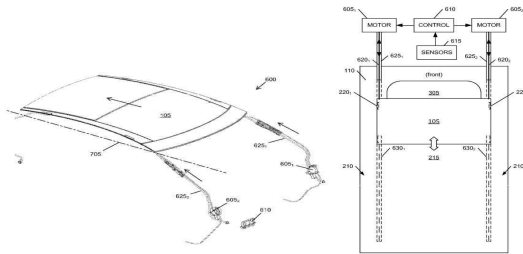


Fig. 11. TESLA EV sunroof patent US8708404^[16], US8807642^[17], US8807643^[18], and US8807644^[19].

테슬라(TESLA)社は 전기자동차의 차체(車體) 외관^{[4]-[7]}, 바퀴 휠(Wheel)^{[8]-[11]}에 테슬라(TESLA)의 독특한 트레이드 드레스(Trade Dress)를 성공적으로 입혔다. 더불어 마치 독수리(Falcon)가 날개를 펴는 형상의 모델 X의 전기자동차의 문(Falcon wing)^[12], SF 영화의 외계인 ET를 닮은 충전기 커넥터^[15] 및 심지어 전기자동차의 선루프^{[16]-[19]}까지 테슬라(TESLA)社は 테슬라다운 이미지를 디자인과 특허로 등록받음을 통하여 자사(自社)의 고유한 브랜드(Brand)에 독특한 이미지를 트레이드 드레스(Trade Dress)로 담는데 가장 성공한 전기자동차 기업이라고 분석된다.

2.3 핵심기술2 : 모터(Motor) 및 배터리 냉각기술

일반적으로 화석연료(휘발유 및 경유) 자동차와 비교하여 전기자동차의 가장 큰 약점은 출력이 약하다는 것이다.

TABLE II
ENERGY DENSITY COMPARISON OF GASOLINE AND LITHIUM-ION BATTERY^[20]

Section	Gasoline	Lithium-ion Battery	Gap
Weight(1kg)	46MJ	0.7MJ	65.71 times
Volume(1L)	36MJ	2.23MJ	16.14 times

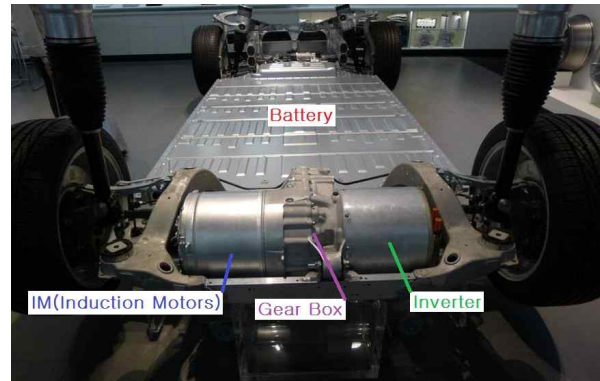


Fig. 12. TESLA EV structure.

표 2는 휘발유와 리튬-이온 배터리의 에너지 밀도를 비교한 것이다. 현재 리튬-이온 배터리 성능이 상당히 발전했지만, 무게 기준으로 휘발유의 약 1/65배, 부피 기준으로 휘발유의 약 1/16배의 엄청난 차이를 보이고 있다. 즉 아직까지 전기자동차의 주행거리의 한계는 바로 리튬-이온 배터리가 저장하는 에너지 밀도의 한계에 기인한다고 할 수 있을 것이다.

더불어 전기자동차의 또 다른 가장 큰 약점은 화석연료(휘발유, 경유)를 사용하는 엔진과 비교하여 전기 모터의 출력이 상당히 약하다는 것이다.

일반적으로 중형차는 약 100 [HP], 대형차는 약 200 [HP], 스포츠카는 300 내지 400 [HP] 이상임을 감안하면, 전기자동차는 100 [HP] 이상이 고(高)출력을 발생시키는 것이 매우 어렵다. 그 이유는 100 [HP]의 모터 길이가 약 90 내지 100 [cm]의 길이를 감안하면, 300 [HP] 이상의 모터의 경우 일정(一定) 길이의 자동차의 폭에 들어가기 어려운 가장 근본적인 문제점이 있었다.

테슬라(TESLA) 전기자동차는 이러한 문제점을 혁신적으로 극복했으며, 약 100 [HP]의 유도전동기를 사용하여 최대 출력이 417 [HP]이라는 경의(敬意)적인 출력을 내는 세계에서 가장 강력한 전기자동차가 되었다.

그림 12 및 그림 13은 테슬라(TESLA) 전기자동차의 구조를 나타내고 있다. 테슬라(TESLA) 전기자동차는 크게 자동차의 바닥을 이루는 배터리, 유도전동기(IM), 전동기 구동을 위한 인버터(Inverter) 및 속도를 가변(可變)시키는 기어박스(Gear Box)로 구성되어 있다.

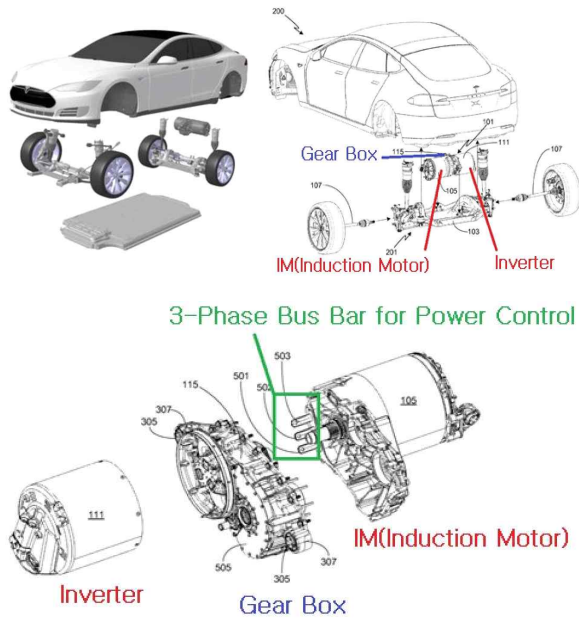


Fig. 13. TESLA EV structure patent US9030063^[21].

System for Cooling Stator of IM(Induction Motor)

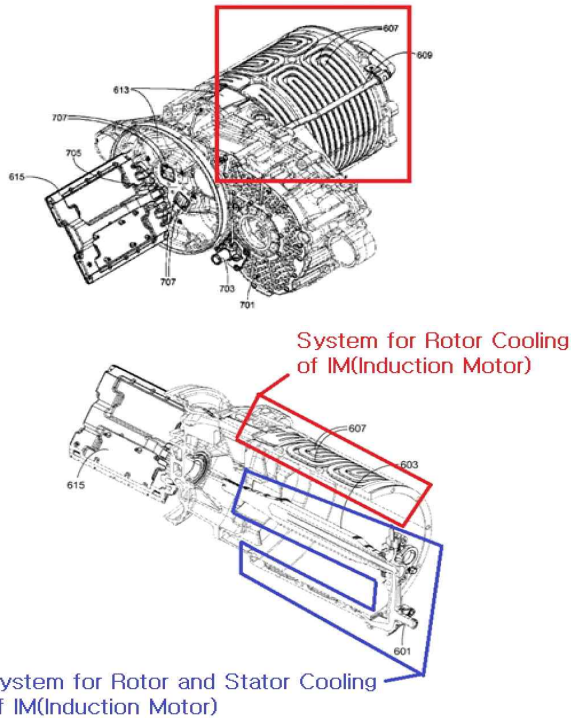


Fig. 14. TESLA EV stator and rotor cooling patent US9030063^[21].

그림 14 및 그림 15는 테슬라(TESLA) 유도전동기(IM)의 고정자 및 회전자 냉각 시스템을 나타낸다. 테슬라(TESLA)社は 약 100 [HP]의 유도전동기(IM)를 사용하여 최대 4배 이상의 출력을 발생시킬 수 전기자동차를 발명했으며, 그 핵심은 유도전동기(IM)에서 히스테리시스(Hysteresis) 및 와전류(Eddy current) 손실로 인하여 발생하는 고정자 및 회전자의 열을 가장 효과적으로

System for Rotor Cooling of IM(Induction Motor)

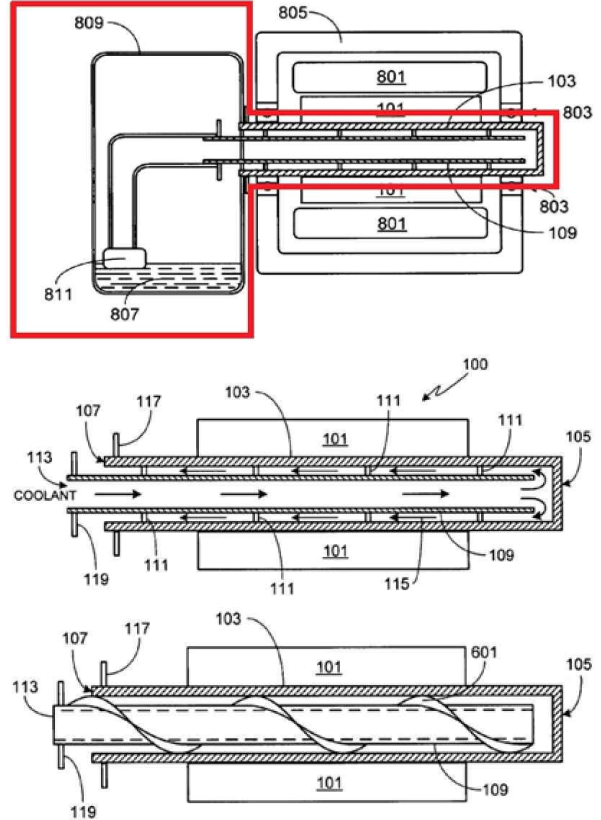


Fig. 15. TESLA EV rotor cooling patent US7489057^[22], US7579725^[23], and US9331552^[24].

냉각(冷却)시키는 기술이다.

바로 테슬라(TESLA)社가 전기자동차의 심장인 모터를 회전자에 영구자석이 박혀있는 영구자석 동기전동기(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)를 선택하지 않고, 유도전동기(IM)를 채택한 가장 큰 이유는 바로 회전자의 속을 파내고 냉각(冷却)시키기 위한 것으로 분석된다.

테슬라(TESLA)社를 제외한 전 세계 다른 전기자동차 회사는 제어특성이 우수한 영구자석 동기전동기(PMSM)를 주력 모터로 선택하였다. 하지만, 테슬라(TESLA)社は 전기자동차 출력의 한계를 극복하는 발상의 전환으로 회전자 냉각(冷却) 기술을 채택했으며, 회전자가 알루미늄 다이캐스팅(Aluminum Diecasting)된 유도전동기(IM)의 경우, 제어 성능은 다소 떨어지지만, 회전자를 파내고, 냉매(Coolant)를 흐르게 함으로서, 우수한 냉각(冷却) 특성을 가질 수 있었다. 그래서 이러한 냉각(冷却) 기술을 기반으로 유도전동기(IM)의 파워(Power)를 혁신적으로 향상시키기에 가장 좋은 전기자동차의 모터(Motor)이라고 할 수 있을 것이다. 따라서 테슬라(TESLA)社の 회장 엘론 머스크(Elon Musk)는 그들이 출시한 전기자동차를 유도전동기(IM)의 세계 최초 발명가인 니콜라 테슬라(Nikola Tesla, 1856년-1943년)의 이름에서 “테슬라(TESLA)”로 명명(命名)하고, 그

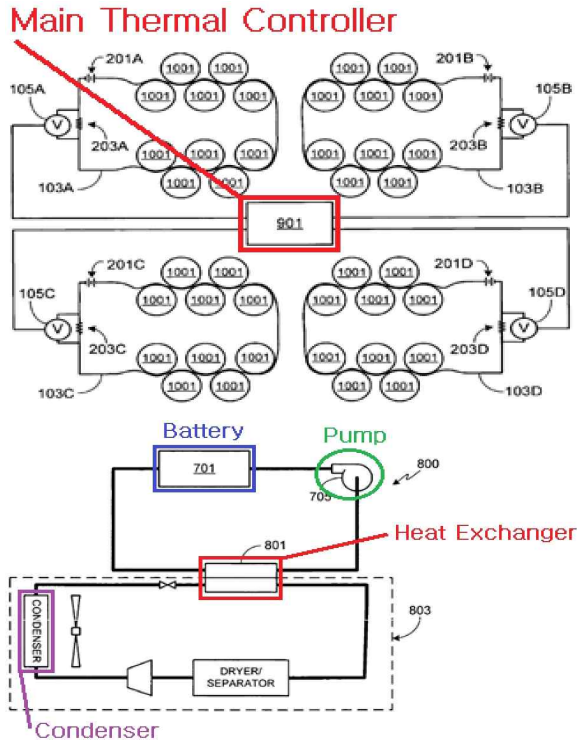


Fig. 16. TESLA EV battery cooling patent US8154256^[25], and US8263250^[26].

들의 혁신을 회사의 이름 속에서 나타내었다.

특히 테슬라(TESLA)社 미국특허 US9030063^[21], US7489057^[22], US7579725^[23] 및 US9331552^[24]는 유도전동기(IM)의 출력을 향상시키기 위한 냉각(冷却) 기술에 관한 특허로서 가장 핵심적인 기술로 분석된다.

테슬라(TESLA)社의 미국특허 US9030063^[21]에는 유도전동기(IM)의 고정자 외부에 냉매(Coolant)가 흐를 수 있는 냉각(冷却) 통로와 유도전동기(IM)의 회전자 중심을 파내어 냉매(Coolant) 통해서 회전자의 열을 빼내는 냉각(冷却) 기술을 제안하고 있다. 또한, 테슬라(TESLA)社의 미국특허 US7489057^[22], US7579725^[23] 및 US9331552^[24]에는 유도전동기(IM)의 회전자 냉각(冷却) 시스템에 대한 가장 핵심기술을 소개하고 있다. 유도전동기(IM)의 회전자 중심을 파내어, 회전 가능한 핀(Fin)이 있는 튜브(Tube)를 배치하고, 먼저 냉매(Coolant)가 튜브(Tube)의 중심에 유입(流入)되고, 튜브(Tube) 외측(外側)의 핀(Fin)을 통하여 회전자의 열을 외부로 전달시키는 것을 가장 핵심적인 기술로 한다.

테슬라(TESLA) 전기자동차가 약 100 [HP]의 유도전동기(IM)를 사용하여 최대 출력 417 [HP]을 발생시키는 비결(秘訣)은 바로 유도전동기(IM)의 고정자 및 회전자 냉각(冷却) 기술이며, 특히 그 중에서 회전자 냉각(冷却) 기술^{[22]-[24]}은 테슬라(TESLA)社만의 가장 독보적인 기술로서, 유도전동기(IM)가 가지는 파워(Power)의 한계를 뛰어넘는 최고의 기술이라고 할 수 있을 것이다.

그림 16은 테슬라(TESLA)社의 배터리 냉각 시스템을 나타낸다. 테슬라(TESLA) 전기자동차는 약 7000여개

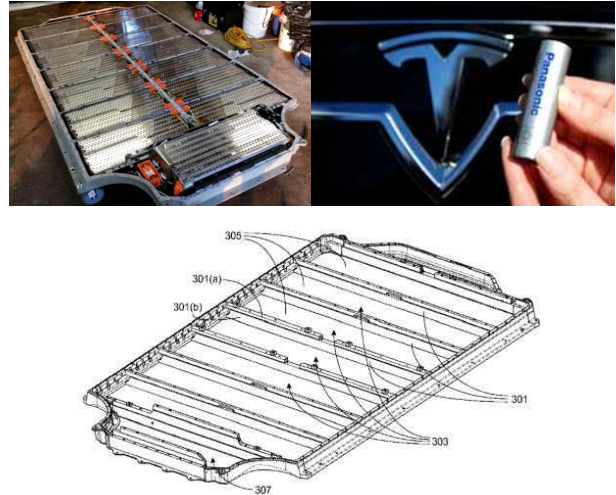


Fig. 17. TESLA battery pack(left) and 18650 battery(right) battery pack patent US8268469^[27], and US8293393^[28] (bottom).

이상의 18650 리튬-이온 배터리를 사용하고 있으며, 배터리 폭발방지 및 보호를 위하여 배터리의 열 관리가 핵심적인 기술이다. 이를 위하여 배터리의 전압, 전류 및 온도를 검출하며, 배터리를 통합적으로 냉각(冷却)시키는 냉각(冷却)시스템에 대하여 미국특허 US8154256^[25], 및 US8263250^[26]으로 등록받아서, 테슬라(TESLA) 전기자동차의 안정성을 향상시켰다.

2.4 핵심기술3 : 배터리 배치 및 배터리 관리 시스템(BMS)

테슬라(TESLA)社는 전 세계 자동차 기업 중에서 유도전동기(IM)를 사용하고 있으며, AAA건전지처럼 생긴 18650 리튬-이온 배터리를 유일하게 사용하고 있다. 특히 18650 리튬-이온 배터리는 일반적으로 노트북 또는 휴대용 가전제품의 배터리로 사용되는 것이며, 다른 전기자동차 회사는 박스(Box)형 리튬이온 배터리를 사용하는 것과 차별화되게 테슬라(TESLA)社는 약 7000여개 이상의 18650 리튬-이온 배터리를 사용하고 있다.

그림 17은 테슬라(TESLA) 전기자동차의 배터리 팩(Pack) 및 18650 리튬-이온 배터리를 나타내며, 그림 18은 BMS(battery management system)를 나타낸다.

테슬라(TESLA)社는 휘발유와 비교하여 에너지 밀도가 상당히 낮은 리튬-이온 배터리의 한계(限界)를 절실하게 인식하고, 배터리의 용량을 최대로 하며, 동시에 자동차 충격시 안정성을 극대화하는 설계방안을 채택하였다. 테슬라(TESLA)社는 전기자동차의 배터리 배치에 있어서, 아주 단순하고 최고의 핵심기술을 가진 것으로 분석된다. 테슬라(TESLA)社의 배터리 배치와 관련된 최고의 핵심기술은 (1) 18650 리튬-이온 배터리를 수직(垂直)으로 배치시키는 것^[29]이고, (2) 7000 여개의 18650 리튬-이온 배터리 팩(Pack)의 주변을 강판으로 감싸며, 전기자동차의 바닥에 배치시키는 것^{[27]-[28]}이다.

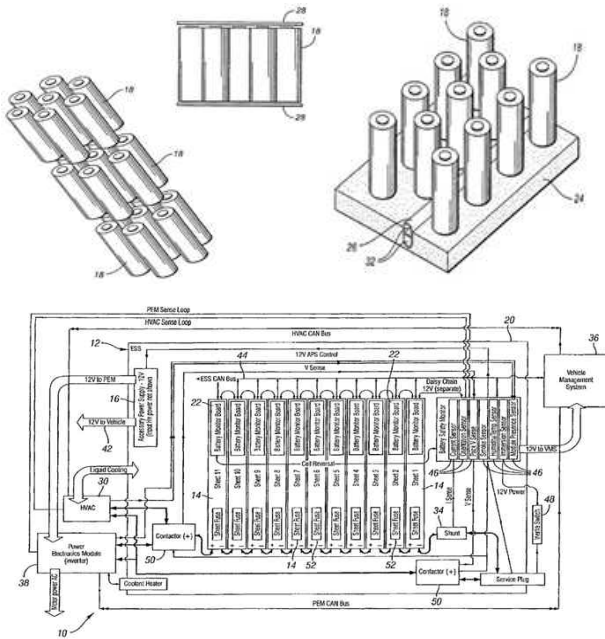


Fig. 18. TESLA BMS patent US7433974^[29].

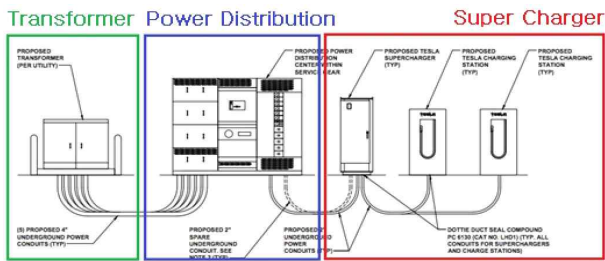


Fig. 19. TESLA super charger structure^[30].

이를 통하여 테슬라(TESLA) 전기자동차는 전 세계의 모든 자동차 중에서 가장 무게 중심이 낮은 장점이 있으며, 동시에 자동차 충돌 사고에서 배터리를 안정적으로 보호할 수 있게 되었다. 더불어 7000 여개의 18650 리튬-이온 배터리의 충·방전 특성이 일부 상이하기 때문에 특정(特定) 배터리에 과(過)충전 및 과(過)방전을 방지하기 위하여 7000 여개의 배터리를 14 내지 17개의 배터리 셀(Cell)로 나누어서 각 배터리 셀(Cell)이 거의 비슷하게 충전 및 방전되도록 제어하는 BMS(battery management system) 기술을 미국특허 US7433974^[29]로 등록받았다.

테슬라(TESLA) 전기자동차의 배터리 배치 및 BMS(Battery Management System) 기술은 전기자동차의 무게 중심을 가장 낮추며, 400 [HP] 이상의 강력한 출력에서 안정적인 전기자동차 주행을 가능토록 하였으며, 동시에 충돌사고에서도 배터리 안정성을 극대화하는 기술로 평가할 수 있다.

2.5 핵심기술4 : 배터리 급속 충전기 기술

그림 19 및 표 3은 테슬라 슈퍼 충전소의 구조 및 주요 스펙(Spec.)을 나타낸다.

TABLE III
TESLA SUPER CHARGER SPECIFICATION^[30]

Section	Charge Specification
Input Voltage	AC 200~480[V]
Input Current	280A @200~240VAC / 160A@480VAC
frequency	50 또는 60 Hz
Output Voltage	DC 40~410[V]
Output Current	Max. 210[A]
temperature	-30℃ ~ 50℃
weight	1320Lbs / 600Kg

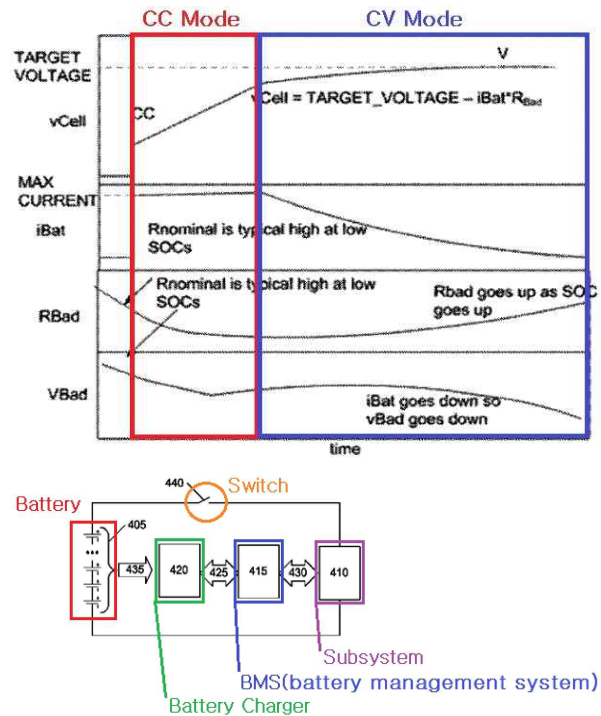


Fig. 20. TESLA super charger patent US8754614^[31], and US8970182^[32].

테슬라(TESLA)사는 테슬라 전기자동차 모델 S 및 모델 X 운전자에게 슈퍼 충전소 이용을 무료로 제공하는 테슬라(TESLA)사의 정책을 추진하고 있다. 무엇보다 테슬라(TESLA) 전기자동차 완속(緩速) 충전시간은 약 7~8시간이며, 급속(急速) 충전시간은 현재 20분까지 단축시켰다. 그림 20은 테슬라(TESLA)사의 슈퍼 충전기에 관한 기술을 나타낸 것이다. 테슬라(TESLA) 슈퍼 충전기는 배터리 셀을 약 80~90%까지 가장 빠른 시간에 충전시키기 위하여 전력전자 기술을 이용하여 정전류(CC: Constat Current) 모드 충전시간을 가장 최대로 하는 기술을 제안하였다.

이를 통하여 리튬-이온 배터리의 약 80~90%까지 가장 빠른 시간에 충전시키는 정전류(CC: Constat Current) 모드 충전을 수행하고, 그 후에 남은 약 20~10%의 잔여 충전을 위한 정전압(CV: Constant Voltage)

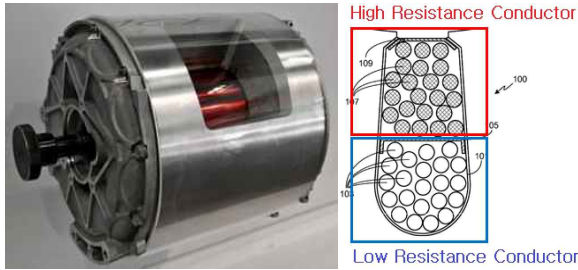


Fig. 21. TESLA model S IM(Induction Motor)(left) and IM patent US8122590^[33], and US8154166^[34](right).

모드 충전을 수행하는 것을 기술적 특징으로 한다.

테슬라(TESLA)社は 배터리 교환(Battery Change) 방식과 급속 충전기(Super Charger) 기술 중에서 현재는 급속 충전기 기술을 자사(自社) 충전방식으로 채택했으며, 현재 최소 20분의 급속충전 시간을 5분까지 단축시키기 위하여 지속적으로 연구개발 중에 있다.

2.6 핵심기술5 : 유도전동기 및 전력변환 기술

테슬라(TESLA) 전기자동차의 5대 기술 중에서 마지막은 유도전동기(IM) 및 전력변환 기술이다.

그림 21은 테슬라(TESLA) 전기자동차 모델(Model) S의 유도전동기(IM) 및 슬롯(Slot) 단면을 나타낸다. 테슬라(TESLA)社は 미국 등록특허 US8122590^[33] 및 US8154166^[34]를 통하여 3상(Phase) 4극(Pole)의 유도전동기를 사용하고 있으며, 특히 기동(機動) 토크의 향상을 위하여 이중농형(Double squirrel case)과 심구농형(Deep bar rotor)을 결합시켜 새로운 방식의 테슬라(TESLA) 유도전동기를 제안하였다.

이중농형은 유도전동기(IM)에서 고정자의 슬롯(Slot)이 2중(2층)의 구조로 되어있으며, 초기에 기동전류를 줄이고, 큰 기동토크를 얻는 기술이며, 심구농형은 유도전동기(IM)에서 슬롯(Slot)이 깊은 구조로 형성되어 기동 및 정지가 빈번하게 일어나는 경우 냉각(冷却) 효과가 우수한 기술이다.

자동차는 기본적으로 기동 및 정지가 빈번하며, 전기자동차의 출력(Power)을 극대화하기 위하여 유도전동기(IM) 냉각(冷却) 기술은 필수적이다.

테슬라(TESLA)社は 초기에 기동전류를 줄이고, 큰 기동토크를 얻는 이중농형의 장점과, 냉각(冷却) 효과가 우수한 심구농형의 장점을 결합하여, 새로운 유도전동기(IM)의 이중 권선배치(Dual Layer)를 미국 등록특허 US8122590호^[33], US8154166호^[34]로 등록하였다.

이를 통하여 기동(機動) 토크는 회전자 저항에 비례하며, 기동(機動)시 저항이 높은 상부도체에 흐르는 전류에 의해서 (1) 큰 기동(機動) 토크가 생성되며, (2) 기동(機動) 전류를 줄이며, 동시에 (3) 냉각(冷却)이 우수한 새로운 테슬라(TESLA) 유도전동기(IM)를 제안하였다. 이를 통하여 2016년 8월에 발표한 테슬라 모델(Model) S P100D의 경우 제로백 0~100[km] 도달하는 시간이

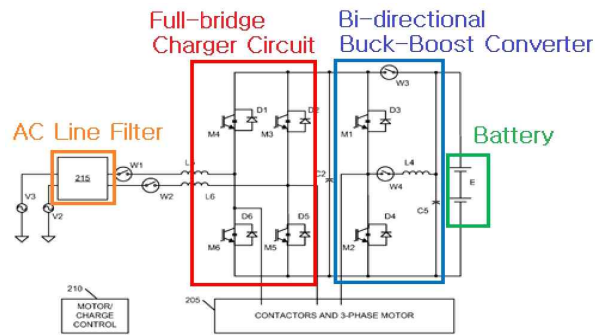


Fig. 22. TESLA power electronics patent US8493032^[35], and US8638069^[36].

최소 2.5 [Sec]라는 루디크로스(Ludicrous, “터무니없는”이라는 의미임) 모델을 성공적으로 발표하게 되었다.

테슬라(TESLA) 유도전동기(IM)의 고정자 및 회전자 냉각 기술^{[21]-[24]}과 유도전동기(IM)의 슬롯(Slot) 상에 이중 권선배치(Dual Layer) 기술^{[33]-[34]}로 인하여, 고(高)출력 가솔린 자동차에서도 달성하기 매우 어려운 제로백(0~100 [km/h] 도달시간) 2.5 [Sec](루디크로스 모델)를 도달 할 수 있는 것으로 분석된다.

그림 22은 테슬라(TESLA) 전기자동차의 전력변환 회로를 나타낸다. 테슬라(TESLA) 전기자동차는 풀-브리지(Full-Bridge) 방식의 배터리 충전 회로를 통하여 교류(AC) 전원에서 배터리 충전을 수행하며, 양방향(Bi-directional) 승·강압 컨버터를 이용하여 유도전동기(IM)에서 회생되는 에너지를 배터리로 전달하는 시스템을 완성하였고, 미국 등록특허 US8493032^[35] 및 US8638069^[36]로 등록하였다.

테슬라(TESLA) 전기자동차는 배터리 배치^{[27]-[29]}, BMS(Battery Management System) 기술^[29], 배터리 냉각 기술^{[25]-[26]}, 배터리 급속 충전기 기술^{[31]-[32]} 및 전력변환 기술^{[35]-[36]}은 서로 협조하여 차량의 주행성능 향상과 동시에 배터리의 안정성을 극대화한 것으로 분석된다.

3. 결 론

본 연구에서는 158건의 테슬라(TESLA)社 미국 등록특허 문헌을 바탕으로 현재 전 세계에서 전기자동차 열풍(熱風)을 일으키고 있는 테슬라(TESLA) 전기자동차의 핵심 기술동향에 대하여 살펴보았다. 구체적으로 5대 테슬라(TESLA) 핵심 기술인 (1)전기자동차의 차체(車體) 외관, (2)모터(Motor) 및 배터리 냉각 기술, (3)배터리 배치 및 배터리 관리 시스템(BMS), (4)배터리 급속 충전기 기술, (5)유도전동기(IM) 및 전력변환 기술에 대하여 구체적으로 분석하였다. 이를 통하여 전기자동차가 가지는 근본적인 한계를 신선한 발상의 전환을 통하여 극복하여 세계적인 자동차 기업으로 급성장하는 테슬라(TESLA)社의 기술에 대하여 집중적으로 고찰하였다.

본 연구에서 소개한 테슬라(TESLA) 전기자동차의 도

전적인 기술개발 현황을 우리정부, 기업 및 대학이 참고하여 미래의 핵심적인 운송수단인 전기자동차에 대하여 원천기술 개발 및 원천특허 확보를 위한 집중적인 투자가 더욱 절실하게 필요한 것으로 생각된다.

References

- [1] J. Y. Bae, "Thomas edison's dream, footsteps and edison DNA," *Thehasim Publisher Book*, pp. 69-81, Feb. 2017.
- [2] Y. U. Jeong, "Electric vehicle(second edition)," *GS Intervision Publisher Book*, pp. 38-39, Aug. 2013.
- [3] <https://www.teslamotors.com/supercharger>
- [4] TESLA Motors Inc., Design Patent USD683268, May. 2013.
- [5] TESLA Motors Inc., Design Patent USD775005, Dec. 2016.
- [6] TESLA Motors Inc., Design Patent USD775006, Dec. 2016.
- [7] TESLA Motors Inc., Design Patent USD780653, Mar. 2017.
- [8] TESLA Motors Inc., Design Patent USD669008, Oct. 2012.
- [9] TESLA Motors Inc., Design Patent USD669219, May. 2012.
- [10] TESLA Motors Inc., Design Patent USD766802, Sep. 2016.
- [11] TESLA Motors Inc., Design Patent USD774435, Dec. 2016.
- [12] TESLA Motors Inc., Design Patent USD678154, Mar. 2013.
- [13] TESLA Motors Inc., Design Patent USD694188, Nov. 2013.
- [14] TESLA Motors Inc., Patent US8579635, Nov. 2013.
- [15] TESLA Motors Inc., Patent US8720968, May. 2014.
- [16] TESLA Motors Inc., Patent US8708404, Apr. 2014.
- [17] TESLA Motors Inc., Patent US8807642, Aug. 2014.
- [18] TESLA Motors Inc., Patent US8807643, Aug. 2014.
- [19] TESLA Motors Inc., Patent US8807644, Aug. 2014.
- [20] Energy density, https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density
- [21] TESLA Motors Inc., Patent US9030063, May. 2015.
- [22] TESLA Motors Inc., Patent US7489057, Feb. 2009.
- [23] TESLA Motors Inc., Patent US7579725, Aug. 2009.
- [24] TESLA Motors Inc., Patent US9331552, May. 2016.
- [25] TESLA Motors Inc., Patent US8154256, Apr. 2012.
- [26] TESLA Motors Inc., Patent US8263250, Sep. 2012.
- [27] TESLA Motors Inc., Patent US8268469, Sep. 2012.
- [28] TESLA Motors Inc., Patent US8293393, Oct. 2012.
- [29] TESLA Motors Inc., Patent US7433974, Oct. 2008.
- [30] <http://www.teslamotorsclub.com/showwiki.php?title=Supercharger>
- [31] TESLA Motors Inc., Patent US8754614, Jun. 2014.
- [32] TESLA Motors Inc., Patent US8970182, Mar. 2015.
- [33] TESLA Motors Inc., Patent US8122590, Feb. 2012.
- [34] TESLA Motors Inc., Patent US8154166, Apr. 2012.
- [35] TESLA Motors Inc., Patent US8493032, Jul. 2013.
- [36] TESLA Motors Inc., Patent US8638069, Jan. 2014.



배진용(裴辰容)

1975년 8월 17일생. 1998년 동국대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2008년 충남대 특허법무학과 졸업(법학석사). 2005년 8월~2016년 12월 특허청 전기분야 특허심사관(사무관). 2016년 12월~현재 창성특허법률사무소 변리사.



김용(金龍)

1957년 3월 20일생. 1981년 동국대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년~현재 동국대 전기공학과 교수