

High Efficient Inductive Power Supply System Implemented for On Line Electric Vehicles

Jin Huh, Eun-ha Park, Gu-Ho Jung, Chun-Taek Rim

Electronic Group, On-Line Electric Vehicles Project, KAIST
Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea ctrim@kaist.ac.kr

Abstract

The On Line Electric Vehicles(OLEV) that can pick up inductive power from underground coils on driving with high efficiency have been developed this year, and is now proposed in this paper. The IPS(Inductive Power Supply) system consists of power supply inverters, power supply rails, pick up modules, and a regulator. There are 3 generations of IPS have been developed so far, and the 4th generation IPS is being developed. The 1st generation has been demonstrated this Feb. 27, which is equipped with mechanically auto tracking pick-up module with 1cm air gap, and showed 80% power efficiency. The 2nd generation IPS applied to an 120kW (average)/240kW(peak) motor powered electric bus has 17cm air gap with 72% power efficiency. For the 2nd generation IPS, the Power supply inverter has 440V, 3phase input and 200A @ 20kHz output. The test power supply rail of 240m long is segmented by 60m each, where newly developed core structure and power cable are constructed under the road covered with asphalt of 5cm thickness. The pick-up modules which consist of core, winding wire, and rectifiers are fixed to the bottom of the bus which can carry more than 40 passengers and can pick up max. 60kW. To remove parasitic component and to transfer maximum power between them resonant circuit topology is applied to the primary and secondary sides. The EMF level is below 62.5mG at 1.75m from the center of the road to meet the regulation. Several effective ways of reducing EMF levels have been developed. In addition, effective ways to solve problems related high frequency power cables buried in ground and it's proof from soil have been studied also. This development shows that the IPS system is capable of supplying enough power to the pick-up of OLEV and can reduce battery size, weight and cost, which means the IPS with OLEV is one of the best candidate for EV.

1. 온라인 전기자동차 개발 필요성

고유가와 대기오염 및 지구온난화 문제 등으로 인해 오늘날 전 세계적으로 저탄소, 친환경, 에너지 절약형 자동차 개발이 경쟁적으로 이뤄지고 있다. 이에 따라 기존의 가솔린 및 디젤엔진의 성능개량과 함께 전기자동차, 하이브리드 자동차, 대체연료 엔진 등이 개발되고 있다.

주행중 이산화탄소를 전혀 배출하지 않고 소음이 적으며 화석연료에 의존하지 않는 자동차는 전기자동차이다. 최근 일본과 유럽, 중국 등이 속속 미래 자동차 시장의 대안으로서 전기자동차 모델을 내놓고 있는 것도 이 이유 때문이다. 특히 중국은 하이브리드 자동차를 과도기 시장(temporary market)으로 보고 탈석유 정책과도 부합하는 전기자동차 개발을 국가적으로 장려하고 있다.

그런데 현재까지 개발돼온 전기자동차는 전력을 배터리에만 의존하기 때문에 배터리의 중량과 부피가 지나치게 크고 비용이 과도하게 증가하는 심각한 문제를

안고 있다. 예컨대 미쓰비시의 i-MiEV 차량의 경우에 약 대당가격이 5~6천만원 정도하는데, 2/3 정도가 배터리 관련 비용이다[2]. 또한 한번 충전으로 주행 가능한 거리가 160km 정도로 짧으며, 에어컨이나 히터를 켜 경우에는 100km 이내로 단축될 수도 있다. 통상 긴급 충전시에도 30분이 소요되며, 정상 충전에는 8시간 정도가 소요된다.

이스라엘에서 베티플레이스(Project Better Place)가 상용화를 추진하고 있는 배터리 교체방식 전기자동차(Battery Replace Electric Vehicle)가 충전시간 문제의 해법일 수 있지만, 전기자동차의 핵심부품인 배터리를 공용으로 해야 하고 300~500kg 정도의 배터리를 로봇팔을 이용해서 오염이 심한 차량하부에서 탈부착해야 하는 등의 문제점이 있다. 배터리를 공유하는 문제는 자본주의 원칙에도 맞지 않고 개인소유 특성이 강한 자동차 문화에도 배치되며, 전체적으로 값비싼 배터리를 2배 정도 더 보유해야만 하므로 비용이 크게 증가된다. 더 근본적인 문제는 이렇게 하더라도 매 100km 정도마다 배터리 교체를 위해 운행을 중단해야 한다는 점이다.

일반적으로 배터리 전기자동차(Battery Powered Electric Vehicle: BPEV)는 도로주변이나 각 가정마다 충전소를 설치해야 하므로 막대한 인프라 구축비용이 소요되며, 더군다나 싼 전기료 때문에 충전소의 상업성이 매우 낮다.

전기자동차의 실용화를 위해 반드시 해결해야 할 문제는 배터리와 충전문제로 요약된다. 이 문제 해결을 위한 한 방안은 배터리의 획기적 개선이다. 배터리는 전 세계적으로 충전시간 단축, 수명 증가, 단가 하락, 용량 증가, 경량화 등을 위해 연구가 활발히 진행되고 있다. LG화학, SK에너지, 삼성SDI 등 국내업체들도 세계적인 수준의 경쟁력 확보 대열에 동참하고 있다. 향후 꾸준히 성능과 단가가 개선될 것이지만, 근본적 한계 중 하나는 차량용으로 유명한 리튬계열 배터리의 원료인 리튬이 경제적으로 채굴가능한 양이 천만톤 정도밖에 없다는 점이다. 이는 현재의 모든 차량을 전기차로 겨우 바꿀 수 있는 분량밖에 안 된다.

현존하는 배터리 기술만으로도 전기자동차를 실용화할 수 있는 유력한 방안은 도로상에서 주행 중에 전기를 공급받는 것이다.

100년 정도 오랫동안 사용해온 한 가지 방법은 전기 접촉식이다. 이는 공중가선 전기버스 형태로 실용화되어 있으며, 지하철이나 고속철로 진화해오고 있다. 이 방식의 장점은 배터리가 거의 필요하지 않고, 급집전 효율이 통상 80%이상으로 높다는 점이다. 하지만 이와 같이 정해진 레노만 운행하는 방식으로는 승용차나 트럭, 일반 버스처럼

자유롭게 일반도로를 주행할 수는 없다. 또한 이 방식은 정해진 차량 외에는 집전을 할 수가 없으며, 공중가선이 도시 미관상 부적절하고 지락 및 감전사고가 발생할 위험도 있어 특단의 대책이 요구된다 [3].

또다른 방안은 자기 비접촉식으로서, 비교적 최근에 연구되고 실용화되고 있다. 자기 비접촉식으로 정해진 궤도를 달리는 전철에 적용한 사례는 독일 봄바디어(Bombardier)가 대표적이다. 이 경우 포장도로에서 도로바닥의 급전선로와 차량하부에 설치된 집전장치간 공극간격이 6.5cm이고 92%의 효율을 달성한 것으로 알려져 있다. 전기버스에 적용한 사례는 일본의 쇼와비행기가 개발한 정차중 충전장치가 대표적인 사례이며, 공극 10cm에 92%의 효율을 달성하고 있다. 하네다공항에 시험운영되고 있으며, 와세다 대학이 2002년부터 일본 정부의 지원을 받아 전기버스에 적용하는 방안을 연구 중이다. 정차중 충전 방식의 한계는 주행중에 교통정체로 인해 배터리가 모두 닳을 위험이 있다는 점과 배터리 용량이 커진다는 점이다.

이를 해소할 수 있는 방안은 주행중 급전을 받을 수 있도록 하는 것이다. 이와 관련하여, 미국 버클리대를 중심으로 PATH(Partners for Advanced Transit and Highways)팀이 1989년부터 8년간 연구한 것이 대표적 사례다[4]. 이 연구를 통해 공극간격(air gap) 3인치(7.6cm)로 60%의 효율을 달성하였다. 하지만, 이 연구는 석유업체와 자동차업체의 반대로비, 낮은 효율과 이로 인한 CO2 절감효과 제한으로 인한 환경단체들의 문제제기, 높은 도로건설단가(10억원~15억원/km) 등으로 인해 개발이 정체되고 있는 상태다.

전기자동차의 실용화를 위한 최선의 대안으로 주행중 도로바닥에서 급전을 받고 배터리도 충전을 하면서 급전선로가 없는 구간에서는 배터리만으로 주행하도록 하는

온라인 전기자동차(On-Line Electric Vehicles: OLEV) 방식이 제안되었다. 이는 PATH팀의 기술적 한계였던 공극간격과 효율을 획기적으로 개선하고 도로건설단가를 훨씬 낮추면서도 최신의 IT기술이 접목된 것이다. 이는 현재까지 개발되고 있는 전기자동차들이 정차중에만 전력망에 연결되고 주행중에는 전력망과 통신망과는 단절되는(off line) 것과 대응되는 개념으로 “온라인(on line) 전기자동차”라고 부르게 된 것이다.

본 논문에서는 KAIST의 온라인 전기자동차 개발사업단이 2009년 1월부터 현재까지 개발한 원천기술을 소개하고자 한다. 즉, 현재까지 개발된 1세대에서부터 제3세대 급집전기술에 대한 특징을 소개하고 시험결과를 제시한다. 그리고 2세대 급집전기술이 적용된 OLEV 버스와 3세대기술을 적용한 SUV(Sports Utility Vehicles)차량에 대해 구체적으로 설명한다.

2. 온라인 전기자동차 개발 경과

OLEV는 KAIST 자체연구로 2009년 2월 27일 기계식 집전방식(1세대 기술)의 프로토타입 전기차를 개발하고, 7월 14일에는 모노레일 전자식 집전방식(2세대 기술)의 전기버스를, 8월 14일에는 듀얼레일 전자식 집전방식(3세대 기술)의 프로토타입 SUV차량을 각각 개발하였다. 2009년은 가능한 모든 종류의 OLEV에 대해 원천기술을 개발하여 특허 포트폴리오를 구축하는 것이 목표이기 때문에, 짧은 시간에 3가지 서로 다른 방식의 기술을 개발했고, 지금은 4세대 기술을 개발하고 있다. 따라서 각 세대별 특징은 표에 보이는 바와 같이 판이하게 다르며 꾸준히 진화하고 있다. 이하는 구체적으로 구성하는 장치별로 설명하기로 한다.

표1. OLEV 급집전 장치의 세대별 특징 (Table1. The characteristics of the IPS for OLEV)

구분		1세대	2세대	3세대	4세대
공개일		2009. 2. 27	2009. 7. 14	2009. 8. 14	2009. 12 (예정)
적용차량		ATTR&D, CT&T	대우-현중버스	무쏘 SUV	대우-현중 /한국화이버 버스
급집전 사양		기계식/E코어 공극 1cm, 효율80%	전자식/모노레일 공극17cm, 효율72%	전자식/듀얼레일 공극17cm, 효율71%	전자식/초슬림레일 공극20cm, (효율 75%)
급전 EMF@1.75m		10mG 이하	51mG	50mG	(< 5mG)
급전 선로	선로폭	20cm	140cm	80cm	(≤10cm)
집전 장치	출력	3kW / 픽업	6kW / 픽업	15kW / 픽업	-
	특징	E-type Single winding	Flat type Single winding	Flat type Multi winding	-
	무게	20kg / 개	80kg / 개	110kg / 개	(60kg / 개)
	크기(cm)	18×55×4	160×60×11	170×80×8	(100×70×8)

2.1 급전선로와 집전픽업

OLEV 시스템은 크게 전력공급을 위한 급전인프라와 이로부터 전력을 공급받아 운행되는 전기차량으로 구성된다. 급전인프라는 선로에 고주파 전기를 공급하는 급전인버터와 급전코일에 의해 도로에 자장을 발생시키는 급전선로로 구분된다. 전기차량은 차량하부에 장착되어 도로로부터 전기를 받아들이는 집전픽업, 이로부터 차량탑재 배터리에 전기를 공급하는 레귤레이터로 구성된다. OLEV 시스템을 경제성이 있고 에너지 효율이 높게 하려면 이 중에서 급전선로와 집전픽업을 저렴하고 손실이 적게 하는 것이 특히 중요하다.

급전선로와 집전픽업은 등가적으로 변압기의 1차 및 2차에 각각 해당한다. 본 연구를 통해 이 둘 사이의 공극간격을 최대한 높이면서도 전력전달이 효율적으로 이루어지고, 급전코일의 단가를 최저로 낮출 수 있는 방법을 찾아내었다[5-13].

급전주파수는 가청주파수보다 높게 20kHz 정도로 맞추었다. 주파수가 15kHz이하이면 급전 및 집전측 코어와 전선에서 자기력에 의한 가청주파수 소음이 발생하는 것도 주파수 선정의 한 요소이다.

1차측 급전선로에는 고주파용에 적합한 코어와 도체표면의 표피효과(skin depth)를 줄이기 위해 리츠선(Litz wire)을 사용하였다. 또한 선로의 누설 인덕턴스 성분을 제거하기 위해 공진 회로를 사용하였다. 2차측 집전픽업에서 유기된 고주파 전압은 고주파 정류기를 거쳐 직류로 변환된다.

2.1.1 1세대 기술

급전코일은 도로를 따라 연장되는 급전선과 코어로 구성된다. 자극과 자력선 분포를 도로의 길이방향 어디에서나 동일하게 만들어 줌으로써 정차중인 경우나 주행 중인 경우에 상관없이 집전코일에 유기되는 전압을 동일하게 유지할 수 있다. 급전선로는 20cm 폭과 높이 5cm 하우징에 급전코일이 들어가고 안전장치가 부가되는 형태로 구성하였다. 집전픽업은 시연 목적상 골프카의 후단부에 장착하여 좌우제어를 3mm이내의 정확도로 하여 차량이 좌우로 움직이더라도 급전선로의 정중앙을 따라 갈 수 있도록 했다.

시험 결과, 공극간격 1cm에서 집전픽업 당 3kW의 전력과 80%의 효율을 달성하였다. 이는 포장도로에서 주행가능한 자기유도방식의 비접촉 전기차량을 국내 최초로 선보인 역사적 의미를 갖는다.



그림1. 온라인 전기차 (1세대 프로토타입)
Fig. 1 On Line Electric Golf car (1st Generation Prototype)

2.1.2 2세대 기술

2세대 기술은 1세대 기술의 가장 큰 한계였던 공극 간격 1cm를 도로규격인 12cm이상으로 높인 것이 특징이다.

이를 위해 급전선로와 집전픽업의 크기를 대폭 늘리고, 코일구조를 새롭게 개발하였다. 이를 통해 도로표면과 집전픽업간 공극간격을 17cm 이상으로 크게 하면서 시스템의 효율을 72% 까지 달성하였다. 이 구조로 현재 OLEV 전기버스 하부에 집전픽업 10개를 장착하여 최대 60kW까지 집전할 수 있도록 하였다.

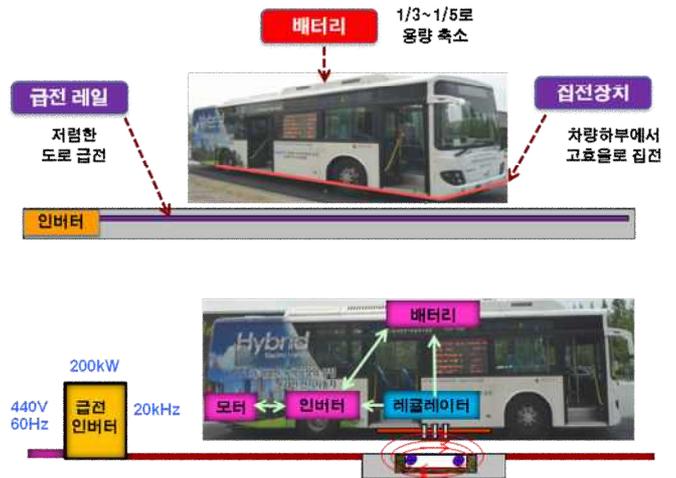


그림2. 온라인 전기버스
Fig. 2 On Line Electric Bus

2.1.3 3세대 기술

3세대 기술은 급전선을 듀얼레일로 하면서 별도의 자기장 차폐선을 두지 않은 것이 특징이다. 이를 통해 2세대보다 단위 픽업당 전력을 3배이상 증가시켜 집전픽업의 수를 대폭 줄일 수 있었다. 또한 코어의 소요량을 기존의 방식보다 1/5이하로 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 구조를 고안하여 적용하였다. 시험결과 출력 17kW, 효율 71%를 달성하였으며, 이 장치는 SUV 차량에 장착되어 시험 중에 있다.



그림3. 온라인 전기 SUV
Fig. 3 On Line Electric SUV

2.1.4 4세대 기술

그동안 개발해온 1, 2, 3세대 기술에 비해 경제성을 대폭 증진시키고 자기장 세기를 획기적으로 낮출 수 있는 새로운 방식의 기술이 개발 중이다. 4세대 기술은 급전선로의 폭을 10cm 정도로 매우 좁게 할 수 있으며, 급전선로 주변의 자기발생량(Electro Magnetic Field)을 획기적으로 줄일

수 있도록 고안되었다. 실험결과 EMF 레벨이 1/10 이하로 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, 현재 출력과 집전궤의 좌우편이에 대한 특성 등을 확인 중에 있다.

2.2 급전인버터 및 급전도로

현재 KAIST 문지동 캠퍼스에 OLEV시험용 급전도로와 급전인버터가 240m 구간에 대해 설치되어 있는데, 이는 2세대 기술을 적용한 것이다. 이는 60m로 세그먼트된 4개의 트랙으로 구성되어 있고, OLEV 차량이 도로위에 있을 때만 해당되는 트랙에 전력이 공급되도록 하여, 타 도로에는 다른 차량이나 사람들이 건너도 자기장의 영향을 전혀 받지 않도록 하고 있다. 향후 세그먼트 구간을 더 짧게 하여 정류장 등 번잡한 곳은 보행자들이 자기장에 노출되지 않도록 할 계획이다. 전용도로에서는 세그먼트 길이를 길게 하여 보다 저렴하게 하면 된다.

급전인버터는 440V 3상 입력 전원을 이용해서 20kHz 출력을 내도록 했고, 절체 스위치를 통해 2개의 트랙에 선택적으로 전원을 공급하여 총 120m를 감당하게 하였다. 급전코일은 교량구간의 아스팔트 포장깊이 4cm이하인 도로규격을 참조하여 아스팔트 표면 5cm 아래에 매립하였다. 지하에 매립된 고주파 급전선은 급전선 보호 기구물에 의해 기계, 전기, 화학적으로 보호될 수 있도록 하였다.

2.3 OLEV 버스 및 SUV 차량

OLEV 급집전장치 실용화 기술을 시험적용하기 위해 기존의 하이브리드 전기버스와 일반 SUV 차량을 각각 온라인 전기버스(OLEV Bus)와 온라인 전기승용차(OLEV SUV)로 개조하였다. 개조된 전기버스에는 평균전력 120kW, 최대전력 240kW 모터와 340V, 20kWh의 납축전지가 장착되어 있고, 전기 SUV 차량에는 340V 13kWh 리튬폴리머 배터리가 장착되어 있다.

3 온라인 전기자동차 성능시험 결과

3.1 출력 및 효율

시스템의 입출력 효율을 측정하기 위해, 입력전력은 3상 440V, 60Hz 입력단에서 파워미터기(Yokogawa)를 이용해서 측정 하였고 출력전력은 레귤레이터 출력(DC 340V)에서 저항부하를 사용하여 측정하였다.

$$\eta = \frac{Power_{output}}{Power_{input}} \times 100[\%]$$

무부하 상태에서 급전선 및 코어, 그리고 인버터에서 발생하는 손실은 약 8kW 수준이며, 부하를 연결한 상태에서는 부하전력에 따라서 급집전 장치 각 부분에서 발생하는 손실이 증가하였다. 부하를 연결 한 조건에서 최대 효율은 출력 전력 30kW에서 72%다.

전력손실량을 측정하기 위해 급집전 장치의 각 부분에서 입출력 전력의 차이를 측정하였다. 그 결과, 출력이 40~50kW일 때 급전인버터와 급전선로/집전궤의 손실은 각각 10kW 수준으로 합하면 전체 손실의 약 85%를 차지하였다. 인버터의 손실이 상대적으로 큰 이유는 고주파 선로측과 60Hz 상전을 분리(isolation)시키기 위한 고주파 변압기의 사용과 냉각 팬 등 부가장치 때문이다.

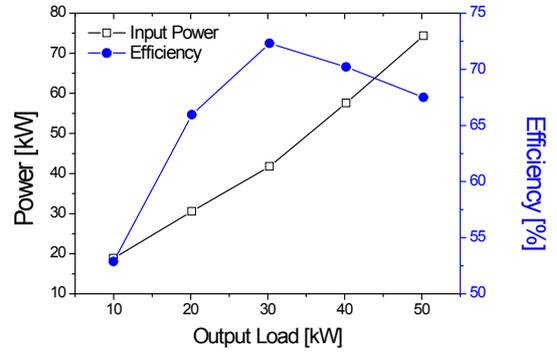
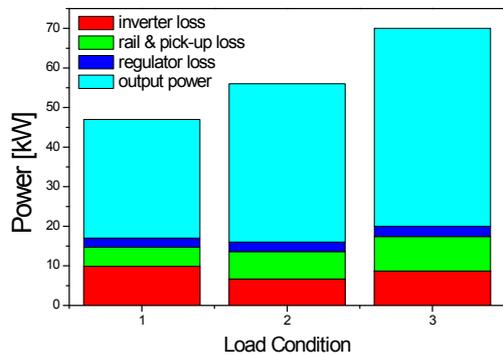
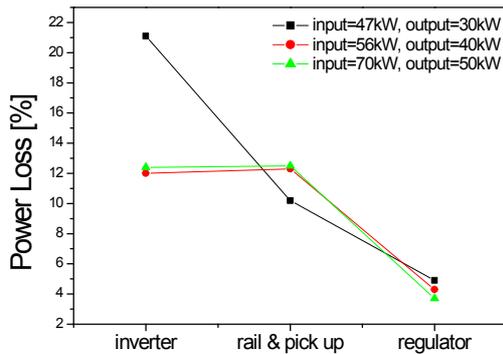


그림4. 출력전력에 따른 입력 전력 및 효율
Fig.4 Input power and efficiency vs. output power



a) OLEV 시스템 각 부분별 소비전력



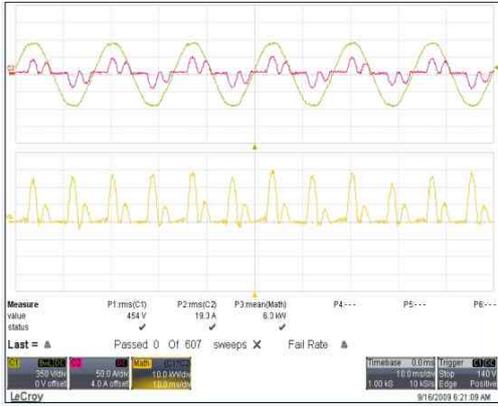
b) 출력 전력에 따른 OLEV 시스템 전력손실 비율

그림 5. OLEV 소비전력 및 전력손실

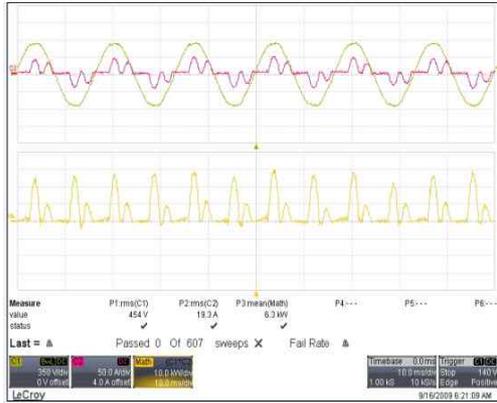
Fig. 5 Power consumption and power loss of the OLEV system

3.2 급전 선로상의 도전체에 의한 손실

급전도로 위에 온라인 전기자동차가 없는 상태에서 도전성 물체에 의한 손실 발생유무를 측정하였다. 실험은 효율측정과 동일한 조건에서 진행하였다. 무부하 상태에서 전도체가 없는 경우의 손실과 1m x 50cm 크기의 알루미늄, 구리판 등 전도체가 있는 경우에 대해 파워미터와 오실로스코프를 이용해서 측정한 결과 10W이상 차이가 없었으며 오실로스코프의 출력파형도 거의 동일하였다. 온도상승을 측정한 결과 비철금속인 경우에는 대부분 1~2도C 정도로 온도상승이 경미하였으며, 철제인 경우에는 약 5도C 정도 상승하는 경우도 관찰되었다.



a) 무부하 상태 고정 손실 측정 결과



b) 도로 위에 도전체(손실)가 있는 경우

그림 6. 도로 위 도전체 유무에 따른 손실 측정 결과
Fig. 6 Power loss due to the conductor on the road

3.3 EMF

온라인 전기자동차는 인체에 안전하도록 국제적(ICNIRP)인 허용기준치에 해당하는 $62.5\text{mG} @20\text{kHz}$ 이하가 되도록 개발되고 있다. 이 조건을 만족시키기 위하여 급전선로에는 EMF를 상쇄할 수 있는 코일 구조와 자기차폐재를 사용, 최적화 하였으며 집전픽업 역시 EMF 감쇄를 위한 코일구조를 도출하였다. 그 결과 현재 개발완료된 2세대 급집전 장치의 EMF는 전력을 전달하는 부위를 제외한 곳은 다음과 같이 기준을 만족한다. 차량 내부는 50mG 이하로 안전하며(측정결과: $1\sim 20\text{mG}$ 수준) 인접차선(급전선로 중앙 기준 1.75m 이상 거리)에서도 평균 허용기준치를 만족하고 있다. 특히 인도(급전선로 중앙 기준 2.25m 이상거리)에서는 35mG 이내로서 안전하다.

현재 개발 중인 4세대 구조에서는 자기력선의 방향을 상쇄할 수 있는 특이한 구조를 채택하여, 도로 중앙 기준 70cm 에서 허용기준치를 만족하는 것으로 실험결과 확인되었다.

기본적으로 OLEV 급전선로는 세그멘테이션 기술을 적용한다. 급전선로의 길이를 짧게 모듈화하여 온라인 전기자동차가 급전모듈 위에 있을 때만 전기를 공급함으로써 온라인 전기자동차가 아닌 타 자동차나, 보행자, 이륜차량 운전자에 대한 전자파 노출을 원천적으로 차단하고 있다. 이 경우 절체 스위치와 체결장치 등이 추가되어 선로단가가 상승하므로 이를 저감할 수 있는 기술을 개발하고 있으나, 필요한 최소구간에만 적용하는 것이 바람직하다.

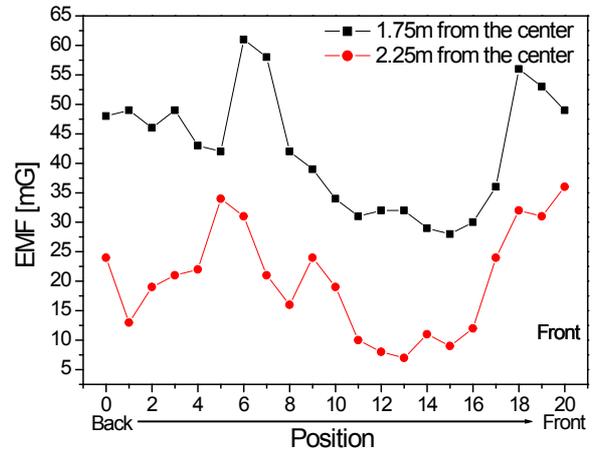


그림7. 버스주변 위치 별 EMF 측정 결과
Fig. 7 EMF around the On Line Electric Bus

3. Conclusion

주행중 비접촉 자기유도 전력전달을 특징으로 하는 온라인 전기자동차는 미래 자동차의 유력한 대안 중 하나다. 지금까지 KAIST를 중심으로 국내 16개 대학 및 연구기관, 그리고 그린과워, 현대중공업 등 10여개 업체가 참여하여 4가지 새로운 방식의 원천기술을 개발하여 46건의 특허를 출원하였다. 현재 서울대공원 2.2km 구간에 시험인프라를 구축 중이고 제주도 등 지자체를 중심으로 OLEV 버스노선에 우선적으로 적용될 예정이다. 향후 급전선로의 폭을 대폭 줄이고 집전픽업을 소형경량화하며 급전인버터와 레귤레이터의 효율과 응답속도를 개선하여 경제성과 신뢰성을 충분히 확보하여 실용화하는 연구를 진행할 계획이다.

포장도로에서 자유롭게 주행 가능하면서도 효율이 70% 이상인 OLEV가 우리나라에서 개발되면서, 일본과 중국 등이 이에 가세하고 있다. 최근 일본의 닛산자동차와 쇼와비행기회사가 공동으로 포장도로에서 주행중 급전받을 수 있는 시스템을 시험하였고, 중국의 쉐너스카이는 수개월 전에 칭화대와 공동으로 우리와 동일한 방식의 시스템 개발에 착수한 것으로 확인되고 있다. 전 세계적으로 한 해 2조 달러에 달하는 자동차 시장의 미래를 놓고, 한치 양보없는 경쟁을 하고 있는 것이다. 현재까지는 우리가 개발경쟁에서 앞서 있지만 미래를 장담할 수는 없다. 전력전자학회를 비롯하여 국내 전문가들의 적극적인 참여를 기대한다.

Acknowledgment

온라인 전기자동차 원천기술개발사업은 교육과학기술부를 중심으로 하여 국토해양부, 지식경제부, 기획재정부 등 정부부처와 서울시, 제주도 등 지자체의 지원에 의해 추진되고 있다. 본 연구는 서남표총장, 장순흥부총장, 조동호사업단장 등 KAIST 주요 보직자와 조규형, 정용훈, 김정호, 김경수, 이인, 이행기, 박경진 교수 등이 직접 참여하여 진행되고 있다. 적극 지원해준 정부와 예산을

승인해준 국회, 연구에 참여한 교수들과 연구원들에게 감사드린다.

Reference

- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April. (9 Points)
- [2] <http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev/>
- [3] 임춘택, "전기자동차시스템", 대한민국특허 출원번호10-2008-0135426.
- [4] California Partners for Advanced Transit and Highways, <http://www.path.berkeley.edu/>
- [5] 서남표, "전기 자동차를 이용하는 운송 시스템", 대한민국특허 출원번호 10-2008-0086259.
- [6] 서남표, 장순홍, 조동호, 조규형, 임춘택, 조정구, "전기자동차용 초박형 급전장치와 집전장치", 대한민국특허 출원번호 10-2009-0029671.
- [7] 서남표, 장순홍, 조동호, 임춘택, 조규형, 조정구, 정구호, 허진, 이경훈, 송보윤, 조양진, 임채훈, "전기자동차용 급전 레일 장치", 대한민국특허 출원번호 10-2009-0095761.
- [8] 서남표, 장순홍, 조동호, 조규형, 임춘택, 조정구, 김정호, "전기자동차용 급전장치 및 집전장치" 대한민국특허 출원번호 10-2009-0088773.
- [9] 서남표, 장순홍, 조동호, 조규형, 임춘택, 정용훈, 김종우, 허진, 최주영, 김윤호, 조정구, 손호섭, 송두익, "방전 방지 케이블", 대한민국특허 출원번호 10-2009-0091335.
- [10] 서남표, 장순홍, 조동호, 조규형, 임춘택, 조정구, 김정호, "전기자동차용 급전장치 및 집전장치", 대한민국특허 출원번호 10-2009-0091802.
- [11] 서남표, 장순홍, 조동호, 조정구, 임춘택, 정구호, 이경훈, 송보윤, 조양진, 임채훈, "콘크리트 구조물에 의해 보호되는 전기자동차용 급전장치", 대한민국특허 출원번호 10-2009-0098982.
- [12] 임춘택, 김종우, 손영동, 최주영, 장지철, "이중 절연 안전 변압기" 대한민국특허 출원번호 10-2009-0098973.
- [13] 서남표, 조동호, 임춘택, 정구호, 허진, "EMF 감소장치를 구비한 전기자동차용 모노레일방식 급전장치" 대한민국특허 출원번호 10-2009-0098977.