

온라인 전기 자동차용 초박형의 U형 및 W형 급집전 장치 개발

이성우*, 박창병*, 조정구***, 조규형*, 임춘택**

*Dept. of EE,

**Dept. of Nuclear and Quantum Engineering KAIST

335 Gwahangno, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, KOREA

***Green Power Technologies Co., Ltd.

Abstract

일반도로에서 주행 가능한 온라인전기자동차(On-Line Electric Vehicles)에 적용하기 위해 비접촉 자기유도 전력전달 방식의 초박형 급전코일과 집전코일을 개발하였다. 이러한 새로운 구조의 초박형 급전코일은 코어비용을 대폭 절감하고 공극간격을 크게 해주며 차량 좌우편차를 크게 하여, OLEV가 경제적이면서도 성능이 탁월하게 하였다. 그 결과 양산단가 3억원/km 이하이면서도 공극간격 17cm 이상, 효율 83%이상, 출력 60kW 이상 등을 보여 실용화에 근접했다는 평가를 받고있다. 본 논문에서는 제안된 두 가지 방식 급집전코일의 주요 동작특성을 자기장 시뮬레이션 등을 통하여 검증하였다.

1. Introduction

전기자동차는 대표적인 친환경 자동차로서 미래 자동차 시장을 주도할 것으로 기대되고 있다. 하지만 배터리의 잦은 충전 문제, 용량 과다소요 문제, 비싼 가격과 무게 등은 전기자동차의 대중화에 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

전기자동차의 배터리 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 1989~1996년, California PATH(Partners for Advanced Transit and Highways) 프로젝트를 통하여 전자기 유도 방식을 이용한 RPEV(Roadway-Powered Electric Vehicles) 방식이 제안이 되었다^[1]. PATH팀은 급전코일의 코어가 도로하층을 건디게 하기 위해 규소강판을 사용함으로써 손실이 최소화되는 400Hz를 시스템 주파수로 채택하였다. 하지만 낮은 시스템 주파수로 인해 급전코일에 많은 전류를 흘려야 하며, 낮은 유도전압 때문에 집전코일의 턴수를 늘릴 수밖에 없었다. 또한 급전코일의 폭을 약 1m로 넓게 하여 자기회로 저항을 낮추고자 했으나, 공극간격(air gap)은 8cm를 넘을 수 없었다. 그리고 급전코일과 집전코일의 좌우편차가 10cm만 벗어나도 출력 전력이 50%이하가 되어 운전자의 자유를 대폭 제약하였다. 전체 시스템 효율은 최대부하에서 60%이고, 건설단가면에서도 다량의 코어와 도체 사용과 도로공사 비용 등으로 인해 10억원/km 수준에 머물렀다.

KAIST는 2009~2010년, OLEV(On-Line Electric Vehicle) 프로젝트를 통하여 PATH 팀의 문제를 대부분 해결했다^[2]. 우선 페라이트 코어를 사용하여 시스템 주파수를 20kHz로 올렸고, 급전전류를 200A로 낮추며 공극간격 20cm, 출력 60kW, 효율 83%를 달성하였다. 또한 초박형 급집전코일 구조를 개발하여 폭 80cm, 깊이 35cm로 급전선로 공사를 할 수 있고 코어 사용량을 1/4이하로 크게 낮추었다. 건설단가도 3억원/km수준을 달성하여 실용화에 근접했다.

본 논문에서는 KAIST OLEV 코일 개발결과를 소개한다.

2. KAIST OLEV용 급집전코일 개발 과정

2.1 초박형 U-I형상 급집전코일

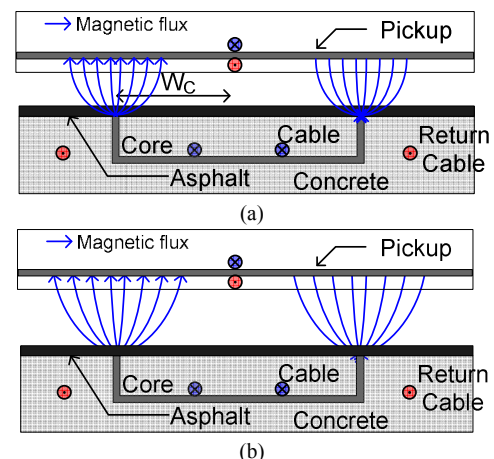


그림 1 (a) 초박형 U-I형 급집전코일 구조
(b) 공극간격 증가에 따른 유효 집전면적 증가 효과

그림 1(a)은 본 논문에서 제안한 초박형의 U형 급전코일 및 I형 집전코일이다. 1쌍의 급전케이블을 U형 급전코어의 안쪽에 두고 바깥쪽으로 EMF(Electro-Magnetic Field) 상쇄용으로 리턴 급전케이블 1쌍을 둔 구조다. 급전코일은 콘크리트 구조물에 묻히게 하여 기계적 하중 강도 기준 (10톤중/20cm x 20cm)을 충족하고, 표면에는 일반도로와 동일하게 아스팔트를 도포하였다. 이렇게 하여 인접 차선이나 인도(도로중앙으로부터 1.75m)에 있는 다른 차량과 인체에는 EMF 기준인 62.5mG 이하가 되도록 하였다.

차량하부에 부착되는 집전코일(Pick-up)은 초박형의 I형 코어에 수십 턴의 집전케이블을 둔 구조다. 이와 같이 급집전코일을 U-I형으로 하면 그림 1(b) 같이 공극간격이 커져도 집전면적이 비례해서 넓어지는 효과가 있다. 그 결과 그림 2(a)와 같이 자기유도 자장 세기가 대략적으로 $\sqrt{\text{공극}}$ 에 반비례하는 우수한 특성이 있으며, 20cm의 높은 공극간격을 달성하여 도로기준치(한국: 12cm, 일본: 16cm)를 충족하게 되었다.

한편, PATH팀이 사용한 주파수의 50배인 20kHz를 사용함에 따라 소음방지를 할 필요가 없고, PATH팀에 비해 급전코어의 두께를 아주 작게 할 수 있다. 그 결과 사용되는 코어의 양이 대폭 감소하고, 급전코어 끝의 폭도 아주 작아져서 급집전코일의 좌우편차도 크게 할 수 있다. 그림 2(b)와 같이 급전코일 폭의 1/4인 20cm만큼 좌우 편차가 발생해도 출력 50%(자장세기 71%)가 유지된다.

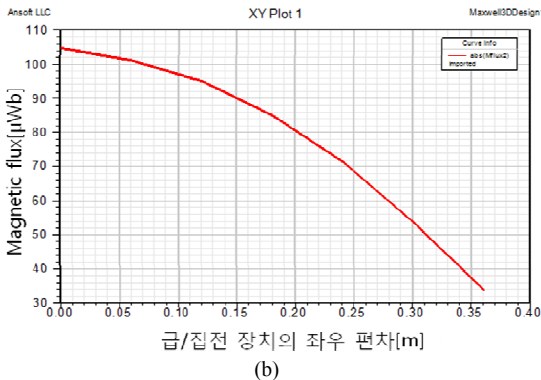
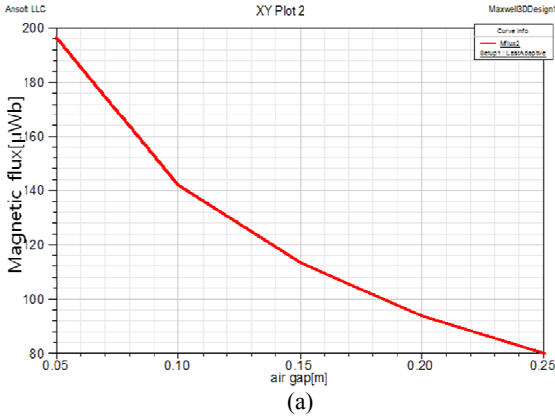


그림 2(a) 공극간격에 따른 집전코일 자장 시뮬레이션 결과
 (b) 좌우편차에 따른 자장 시뮬레이션 결과
 (급전코일의 폭이 72cm인 경우)

그림 2는 별도의 실험에 의해서도 확인되며, 좌우편차 20cm 정도까지 최대출력 50% 이상이 보장된다.

2.2 뼈대구조가 추가된 초박형 W-I형상 급집전코일

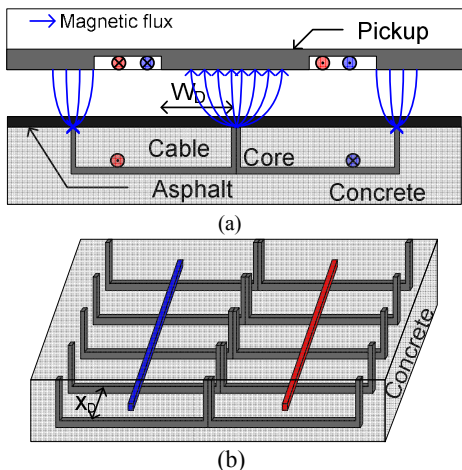


그림 3 (a) 초박형 W-I형상 급집전코일 구조
 (b) 뼈대구조가 추가된 초박형 W형 급전코일의 구조

그림 3(a)와 같이 급전코일의 구조를 W형으로 하고 급전케이블을 코어 사이에 두면 동일한 공극간격에 대해 U형보다 자기회로의 저항이 3/4배로 줄어들고 급전코일의 폭도 줄어든다. 그 결과 U 형에 비해 집전출력이 향상되어, 집전코일 1개당 출력이 U-I형의 경우 8kW 수준이었던 것에 비해 W-I형의 경우에는 15kW가 되었다. 또한 급전코일 매설 폭이 1.5m에서 0.8m로 감소하여

도로공사 비용도 절감된다. 그리고 U형 급전코일과 달리 EMF 상쇄용 급전케이블 없이도 동일한 EMF 특성을 보인다. 다만, W-I형 급집전코일은 좌우편차가 U-I형에 비해 절반 가까이 줄어드는 것이 단점이다.

그림 3(b)는 KAIST OLEV팀이 새롭게 개발한 뼈대형 구조의 급전코어다. 급전코어를 도로진행방향으로 연속적으로 설치하지 않고 그림 3(b)처럼 단절된 코어를 일정간격(X_D)으로 설치해도 전력전달에는 무리가 없다는 것이 핵심 아이디어다. 구체적으로는 코어간격(X_D)이 공극간격보다 충분히 작기만 하면 그림 4와 같이 자장의 감쇄가 거의 없이 마치 급전코어가 연속으로 구성되어 있는 효과를 보이게 된다. 이러한 뼈대형 구조를 채택함으로써 급전코어의 소요량을 1/4이하로 대폭 줄이는 것이 가능하다. 그리고 뼈대형 코어 사이로 콘크리트를 타설하는 것이 가능해져 도로작업이 용이해지고 급전코일의 기계적 강도가 콘크리트에 준하게 강해져서 급전선로를 일반도로보다 더 강하게 할 수 있다.

뼈대구조는 집전코일에도 적용가능하며, 급집전코일의 경량화와 재료비용 절감, 시공간편화, 기계적 내구성 강화 등에 탁월한 효과가 있는 것으로 판단된다. 그 결과 KAIST OLEV 시스템의 신뢰성과 경제성을 획기적으로 증진시켰다.

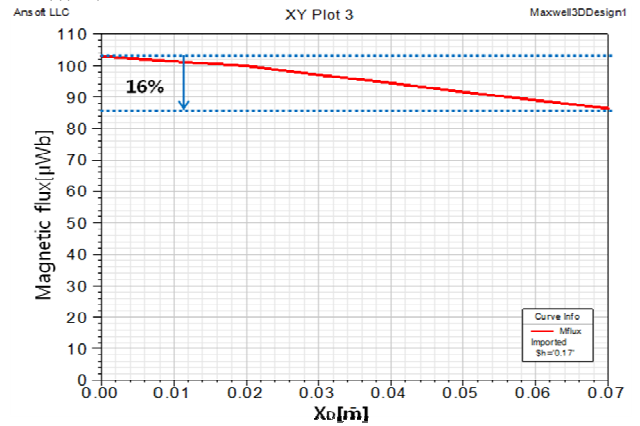


그림 4 뼈대형 코어간격(X_D) 변화에 따른 집전코일 자장 변화 시뮬레이션 결과 (공극 간격 17cm인 경우).

3. Conclusion

본 논문에서 KAIST OLEV 시스템에 적용된 초박형의 U-I 형상과 W-I형상의 급집전코일 및 뼈대구조 급전코일 개발결과를 소개했다. 새롭게 제시된 급집전코일은 높은 공극간격과 넓은 좌우편차, 큰 출력전력, 낮은 EMF 수준, 높은 시스템 효율, 강인한 기계적 구조, 획기적으로 낮은 건설단가 등이 가능하도록 하였다. 이는 KAIST OLEV 버스(U-I, W-I), SUV(W-I), 열차(W-I)에 각각 적용되어 실용성있는 원천기술로 대내외적으로 평가되었다.

Acknowledgment

본 연구는 교육과학기술부에서 지원한 카이스트 온라인 전기자동차 원천기술개발 사업의 일환으로 진행되었다.

Reference

- [1] California Partners for Advanced Transit and Highways, (<http://www-path.eecs.berkeley.edu>)
- [2] 서남표, 조동호, 조규형, 임춘택, 조정구, “전기자동차용 초박형 급전장치와 집전장치” 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0029671, 2009년 4월 6일.