

온라인 전기자동차용 초박형의 U-I형 및 W-I형 급집전코일 설계

李聖祐*, 朴昌柄**, 趙貞九***, 曹圭亨****, 林春澤†

Ultra Slim U-I & W-I Primary and Pick-up Coil Design for OLEV

Sung-Woo Lee, Chang-Byung Park, Jung-Goo Cho, Gyu-Hyeong Cho, and Chun-Taek Rim

요 약

일반도로에서 주행 가능한 온라인전기자동차(On-Line Electric Vehicles)에 적용하기 위해 자기유도 전력전달 방식의 초박형 급전코일과 집전코일을 개발하였다. 이러한 구조의 초박형 급집전코일은 코어비용을 대폭 절감하고 공극간격을 크게 해주며 차량 좌우편차를 크게 하여, OLEV의 성능을 탁월하게 하고 경제적이게 하였다. 그 결과 양산단가 3억원/km 이하이면서도 공극간격 17 cm 이상, 효율 83 %이상, 출력 60 kW이상을 보여 실용화에 근접했다는 평가를 받고 있다. 본 논문에서는 U형과 W형 급집전코일을 설계하고 자장 시뮬레이션을 통해 검증하여 실험결과와 비교하였다.

ABSTRACT

The ultra slim U-I and W-I primary and pick-up coils for OLEV (On-Line Electric Vehicles) are proposed. With the proposed structures, the amount and the cost of the core are dramatically reduced. Not only air gap but also the lateral displacement are improved. The proposed structures are applied to the OLEV bus and SUV, which achieve 83% efficiency at 17cm air gap with more than 60kW output power, and the construction cost is lower than ₩300M/km. The proposed coil structures are verified with simulations and experiments.

Key Words : ultra slim U-I and W-I primary and pick-up coil, On-Line Electric Vehicles

1. 서 론

지구 온실가스의 증가와 환경오염, 원유가격 상승 등으로 인해 전기자동차가 미래의 자동차 시장을 주도

할 것으로 기대되고 있다. 하지만 순수 전기자동차 (Pure Electric Vehicles)는 사용되는 배터리의 크기나 가격, 용량 문제로 인해 널리 실용화되기가 어렵다. 배터리가 경제적으로 개발된다고 해도, 잦은 충전 회수, 긴 충전시간, 급속충전에 따른 효율저하와 배터리 수명단축 문제 등으로 인해 전기자동차의 대중화가 쉽지 않다 [1].

이와같은 전기자동차의 배터리 문제를 해결하기 위해 PATH (Partners for Advanced Transit and Highways) 팀은 전자기 유도방식을 이용한 RPEV (Roadway-Powered Electric Vehicles)를 처음으로 제

†교신저자 : 정희원, KAIST 원자력 및 양자공학과 부교수
E-mail : ctrim@kaist.ac.kr

*학생회원, KAIST 전기 및 전자공학과 석박사 통합과정

**학생회원, KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정

***정희원, 그린파워 대표이사

****정희원, KAIST 전자과 교수

접수일자 : 2010. 8. 2

2차 심사 : 2010. 10. 7

1차 심사 : 2010. 9. 3

심사완료 : 2011. 3. 28

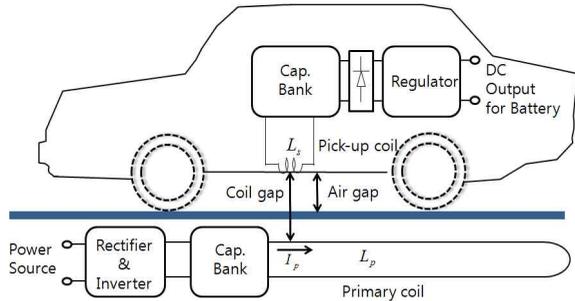


그림 1 OLEV 시스템 개념도
Fig. 1 The conceptual diagram of OLEV system

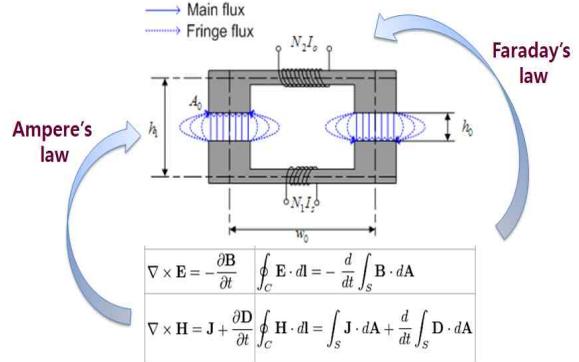


그림 3 자기유도 무선전력전달의 기본 원리
Fig. 3 A fundamental principle of the magnetic induction wireless power transfer

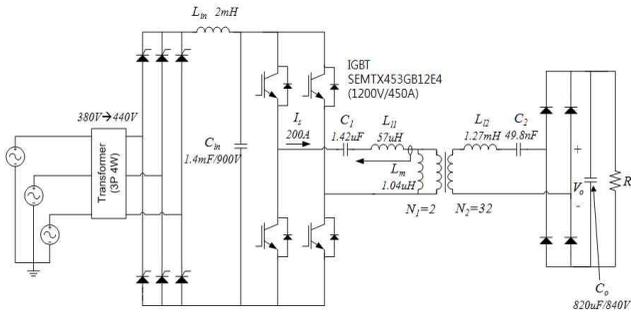


그림 2 KAIST OLEV 시스템 회로도
Fig. 2 The circuit diagram of KAIST OLEV

안하였다 [2][3]. 이와 같이 자동차가 도로로부터 무선으로 전기를 공급받음으로써, 차량에 탑재되는 배터리 크기를 크게 줄일 수 있었다.

RPEV에서는 차량 안전과 도로파손 방지를 위해 도로에 매설된 급전코일과 차량하부에 설치되는 집전코일(Pick-up)간의 공극(air gap)이 12cm 이상으로 충분히 커야 한다. 또한 RPEV 차량을 차선 중앙으로만 정확히 운전할 수가 없으므로 급전코일과 집전코일간의 좌우 허용편차도 20 cm 이상으로 충분히 커야 한다. 그리고 도로에 매설되는 특성상, 급전코일은 주행 차량의 하중과 가혹한 기후변화를 견디어야 하며, 급전 도로 시공단가 또한 낮아야 한다. PATH 팀의 RPEV는 공극이 7.6 cm, 좌우 허용편차가 10cm 이하, 효율 60% 이하로서 [2][3], 실용화에는 근접하지 못했다.

KAIST는 2009~2010년, OLEV (On-Line Electric Vehicles) 개발을 통해 PATH 팀의 문제를 대부분 해결했다 [4][5][8][10][12]. 페라이트 코어를 사용하여 동작 주파수를 20 kHz로 올렸고, 급전전류를 200 A로 낮추며 공극간격 20 cm, 출력 60 kW, 효율 83 %를 달성하였다. 또한 본 논문의 초박형 급집전코일 구조를 개발하

여 폭 80 cm, 깊이 35 cm로 급전선로 공사를 할 수 있고 코어 사용량을 1/4이하로 크게 낮추었다. 건설단가도 양산기 기준으로 3억원/km을 달성하여 실용화에 근접했다.

본 논문에서는 개발된 OLEV 시스템 및 자기유도 전력전달원리를 간단히 소개하고, U-I형 및 W-I형 급집전코일 설계결과를 제시한다.

2. OLEV 시스템 소개

그림 1은 OLEV 시스템 구성도다. 이 시스템은 크게 급전장치와 집전장치로 구성된다 [4][5]. 급전장치는 입력전원, 입력단 정류기, 인버터, 도로에 매설되는 급전코일로 구성되며, 집전장치는 집전코일과 레귤레이터로 구성된다.

KAIST에 의해 개발된 OLEV 시스템 회로도는 그림 2와 같다 [5][16-19]. 3상 380 V 전원을 440 V로 승압하여 입력단에 필요한 최대전압을 확보한 후 정류기를 통해 DC 링크 전압을 제어한다. 이를 인버터를 통하여 20 kHz 교류 전압으로 변환하고, 200 A의 일정한 전류가 급전코일에 흐르도록 제어한다. 하나의 인버터가 60 m의 급전선로를 담당한다. 급전코일의 인덕턴스는 57 μH로서, 1 m당 약 1 μH의 인덕턴스가 측정되었다. 공극이 12 cm 이상으로 상당히 크기 때문에 급전코일에서 발생된 자기장이 집전코일에 효과적으로 전달될 수 있는 최적 구조의 급집전코일 설계가 필요하다.

3. OLEV용 급집전코일 설계

3.1 OLEV 전력전달 원리 및 조건

OLEV에 사용된 자기유도 무선전력전달의 기본원리는 암페어의 법칙과 페르데이의 법칙에 의해서 설명될 수 있다. 그림 3과 같이 공극간격에 비해 공극의 폭이 넓은 일반적인 급전코일과 집전코일의 구조^{[2][3][6]}를 예로 들어 설명하면, 주변자속(Fringe flux)을 무시하였을 때 다음과 같다.

먼저, 암페어의 법칙에 따라 자속은 다음과 같이 결정된다.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = H_{core}\{2w_0 + 2(h_1 - h_0)\} + H_{air}2h_0 = N_1 I_s \quad (1)$$

또한 급집전 코어 내부와 공극 간격 사이에 존재하는 자속(magnetic flux)은 연속적이기 때문에 다음과 같이 코어 내부와 공극에 존재하는 자속의 양이 동일하게 된다.

$$\phi_{core} = B_{core} A_0 \cong B_{air} A_0 = \phi_{air} \quad (2)$$

$$B_{core} = \mu_c \mu_0 H_{core} = B_{air} = \mu_0 H_{air} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & H_{core}\{2w_0 + 2(h_1 - h_0)\} + H_{air}2h_0 \\ & \cong \frac{B_{air}}{\mu_c \mu_0} 2(w_0 + h_1) + \frac{B_{air}}{\mu_0} 2h_0 = N_1 I_s \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)를 B_{air} 에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$B_{air} = \frac{\mu_0 N_1 I_s}{\frac{2(w_0 + h_1 - h_0)}{\mu_c} + 2h_0} \cong \frac{\mu_0 N_1 I_s}{2h_0} \quad \text{for } \mu_c > 100 \quad (5)$$

식 (5)와 같이 공극의 자속밀도는 공극 간격과 급전코일의 턴수, 그리고 급전코일에 흐르는 전류로 결정된다. 급전코어 내부에 존재하는 자속은 다음과 같다.

$$\phi_{core} \cong B_{air} A_0 \cong \frac{\mu_0 N_1 I_s A_0}{2h_0} \quad (6)$$

따라서, 자화 인덕턴스의 정의에 의해서,

$$L_m \cong \frac{N_1 \phi_{core}}{I_s} \cong \frac{N_1 \mu_0 N_1 I_s A_0}{I_s 2h_0} = \frac{N_1^2 \mu_0 A_0}{2h_0} \quad (7)$$

식 (7)과 같이 자화인덕턴스가 정해지게 된다.

또한 페르데이의 법칙에 의해서 출력 전압은 다음과 같다.

$$V_o \cong N_2 \omega_s \phi_{core} \cong N_2 \omega_s B_{air} A_0 \cong \frac{N_1 N_2 \omega_s \mu_0 I_s A_0}{2h_0} \quad (8)$$

위와 같은 과정을 통하여 출력전압이 결정되는데, 이를 물리적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저, 급전코일의 전류에 의해서 발생하는 자기장은 급전코일과 집전코일의 공극간격과 단면적, 그리고 급전코일의 턴수와 급전코일에 흐르는 전류에 의해서 결정된다. 출력전압은 페르데이의 법칙에 따라 급전코일에 의해서 발생된 자기장에 집전코일의 턴 수, 그리고 주파수의 곱으로 정해지게 된다. 따라서 일반적인 평면형 급집전코일의 출력전압은 공극간격에 반비례하고 시스템 동작 주파수 및 입력전류에 비례한다.

OLEV(버스) 시스템이 실질적으로 도로에서 원활히 운용되기 위해서는 적어도 그림 4와 같은 요구조건을 충족해야 할 것으로 판단된다. KAIST OLEV(버스) 시스템에서는 도로와 집전코일 사이에 12 cm 이상의 공극간격을 확보하도록 하고, 10개의 집전코일을 통해 총 60 kW 이상의 출력전력을 얻도록 하였다. 또한, 30 cm 이상의 좌우 허용편차 달성을 최종적인 달성목표로 하고, 보행자 위치에서 자기장을 국제권고치인 62.5 mG

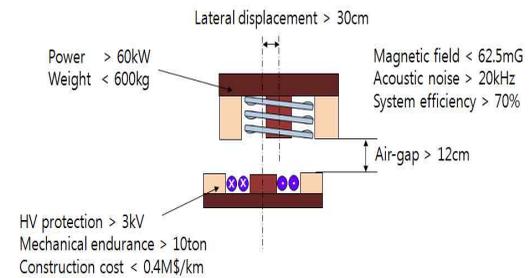


그림 4 OLEV(버스) 급집전코일 요구조건
Fig. 4 Requirements of primary and pick-up coil of KAIST OLEV Bus

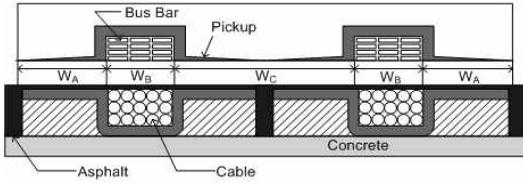


그림 5 PATH 팀의 급전코일 및 집전코일 구조
Fig. 5 Primary and pick-up coil structure of the PATH team [2][3]

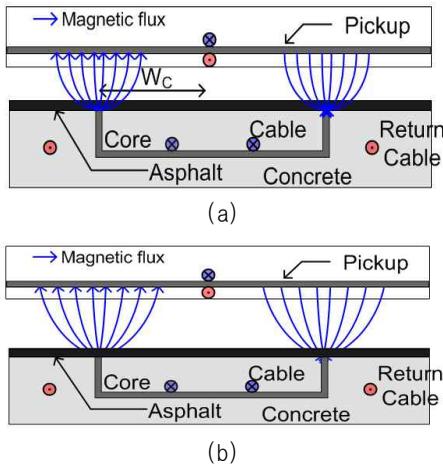


그림 6 (a) 초박형의 U-I형 급집전코일 구조
(b) 공극간격 증가에 따른 유효 집전면적 증가 효과
Fig. 6 (a) Ultra slim U-I primary and pick-up coil
(b) Increase of effective pick-up area with the air gap

이하로 낮추도록 하였다. 그림 3과 같은 구조의 일반적인 급집전코일에서는, 앞에서 설명 하였듯이 자기장의 세기가 공극에 비례하여 줄어들기 때문에 위 요구 조건을 만족시킬 수 없다.

그림 5와 같이 PATH 팀이 제안한 급집전코일 [2][3]의 경우에도 공극간격에 비례하여 자기장이 감소하기 때문에 공극간격을 8 cm 이상으로 할 수 없다. 또한 이러한 급집전코일 구조의 경우 허용 가능한 좌우 편차가 $W_B/2$ 로서 너무 작기 때문에 실제 도로에 적용하는데 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 큰 공극간격을 확보하기에 유리하고 급전코일과 집전코일의 좌우 편차에 둔감한 새로운 형태의 급집전코일 구조를 제안하였다.

3.2 초박형 U-I 형상 급집전코일 설계

그림 6(a)은 본 논문에서 제안한 초박형의 U형 급

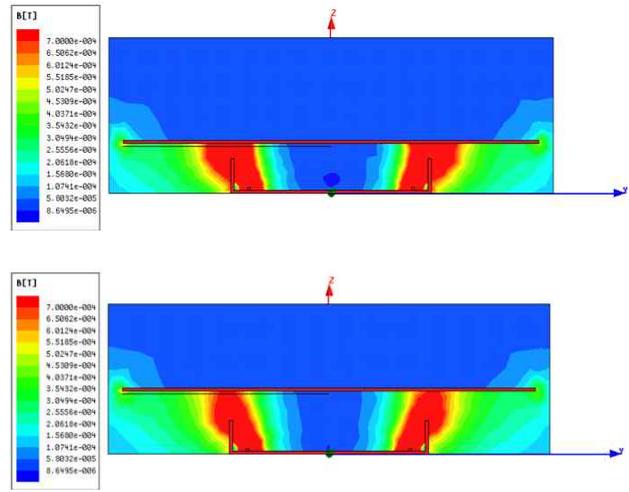


그림 7 공극간격 증가에 따른 자기장 시뮬레이션
Fig. 7 Magnetic flux simulation with the air gap

전코일 및 I형 집전코일이다 [7][9][13]. 1쌍의 급전케이블을 U형 급전코어의 안쪽에 두고 바깥쪽으로 EMF (Electro-Magnetic Field) 상쇄용으로 리턴 급전케이블 1쌍을 둔 구조다. 급전코일은 콘크리트 구조물에 묻히게 하여 도로의 기계적 하중강도 기준 (10톤중 / 20 cm x 20 cm)을 충족하도록 하고, 표면에는 일반도로와 동일한 마찰력을 유지하게 아스팔트를 도포하였다. 이렇게 하여 인접 차선이나 인도 (도로중앙으로부터 1.75 m)에 있는 다른 차량 과 인체에는 EMF 허용기준인 62.5 mG 이하가 되도록 하였다.

차량하부에 부착되는 집전코일은 초박형의 I형 코어에 수십 턴의 집전케이블을 둔 구조다. 본 논문에서 제안된 구조는, PATH 팀에서 제안된 것과 같이 급전코일과 집전코일이 대칭적인 형상을 가지는 것이 아니라, 비대칭적인 형상을 가지고 있다. 급전코일의 끝은 ‘선’으로 이루어져 있으며, 집전코일은 ‘면’으로 이루어진 것이 특징이다. 따라서 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이, 급전코일에서 발생된 주변자속 (Fringe flux)에 의해서 공극간격이 증가해도 유효 집전면적이 비례해서 넓어지게 된다.

U-I형 급집전코일에 의해서 발생하는 주변자속 효과를 자기장 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

그림 7에서 볼 수 있듯이, 공극간격이 증가함에도 불구하고 자기장의 세기는 크게 감소하지 않는다. 집전코일까지 전달된 자기장의 세기를 공극간격에 따라 나타내게 되면, 그림 8과 같이 자기장이 $1/\sqrt{h_o}$ 에 비례하게

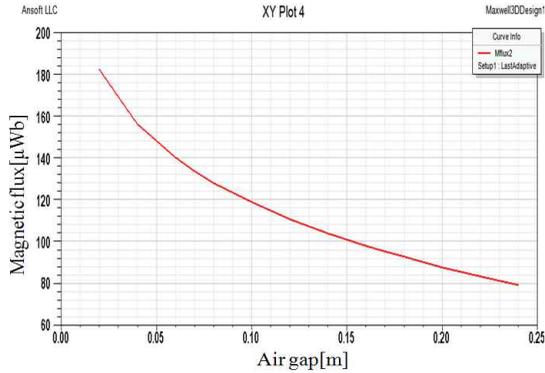


그림 8 공극간격 증가에 따른 자기장 변화 데이터
Fig. 8 Magnetic flux variation with the air gap

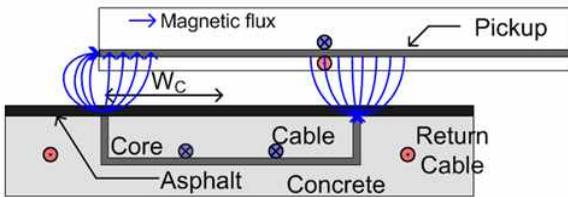


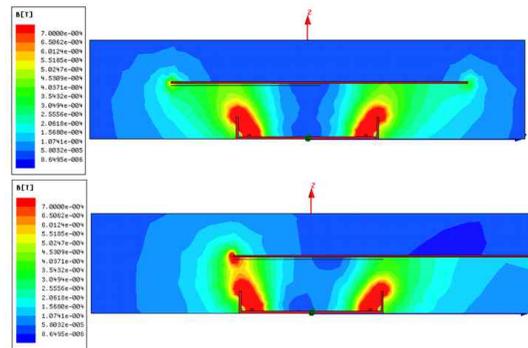
그림 9 급전집전 장치의 좌우 허용편차 (WC) 개념도
Fig. 9 Allowable lateral misalignment of U-I primary and pick-up coil

된다. 그 결과 20 cm의 높은 공극간격에서도 전력을 원활히 전달할 수 있어, 도로 기준치 (한국: 12 cm, 일본: 16 cm)를 충족할 수 있게 되었다.

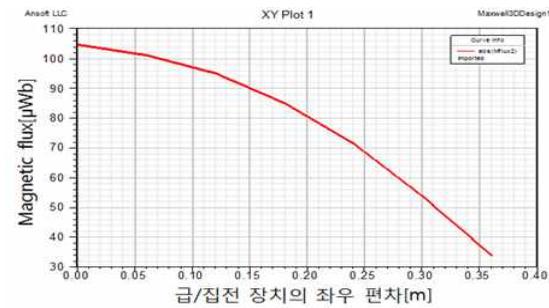
한편, KAIST OLEV에서는 PATH팀이 사용한 주파수 400 Hz의 50배인 20 kHz를 사용함에 따라 가청주파수 소음방지를 할 필요가 없고, PATH팀에 비해 급전코일의 두께를 아주 작게 할 수 있다. 그 결과 사용되는 코어의 양이 대폭 감소하고, 급전 코어 끝의 폭도 아주 작아졌다. 급전코어 끝의 폭은 아주 작고 집전코어의 폭은 매우 크기 때문에, 그림 9에서 볼 수 있듯이 허용가능한 급전코일의 좌우편차가 급전코일 폭의 1/2로 넓어졌다.

이를 자기장 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 급전코일과 집전코일이 급전코일 폭의 1/2 만큼 좌우로 어긋나 있어도 자기장이 충분히 전달됨을 알 수 있다.

급전코일과 집전코일의 좌우편차 정도에 따라 집전코일로 전달된 자기장을 그림 10(b)에 나타내었다. 급전코일 폭의 1/4인 20 cm만큼 좌우 편차가 발생해도 출력 50% (자장세기는 최고일 때의 71%)가 유지된다.

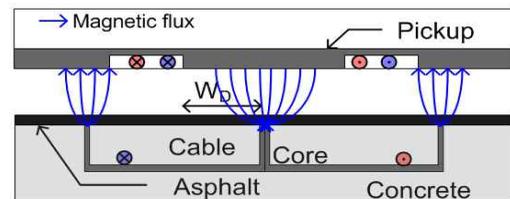


(a)

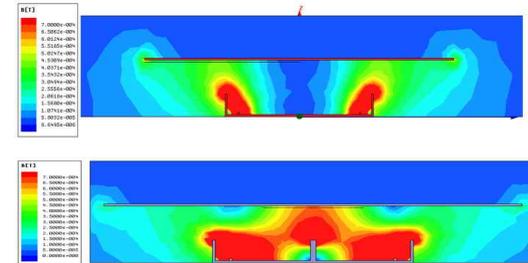


(b)

그림 10 급전장치의 좌우 편차에 따른 자기장 시뮬레이션
Fig. 10 Magnetic flux simulation with the lateral misalignment



(a)



(b)

그림 11 (a) 초박형의 W-I형 급전전코일 구조
(b) U-I 형과 W-I형 급전전코일 자기장 비교
Fig. 11 (a) Ultra slim W-I primary and pick-up coil
(b) Magnetic flux comparison of U-I and W-I coil

표 1 U-I형과 W-I형의 특징 비교

Table 1 Characteristics of U-I and W-I coil

| 구분 | U-I | W-I |
|----------|-------------------|------------------|
| 좌우 허용편차 | 급전코일폭의 1/2 | 급전코일폭의 1/4 |
| 집전코일 크기 | 급전코일폭의 2배 | 급전코일폭의 1.5배 |
| 외부 누설 자속 | 급전 코일 간격에 비례하여 증가 | 급전 전류간 상쇄작용으로 적음 |
| 집전 전력 | 동일전류시 불리 | U-I형의 약 2배 |

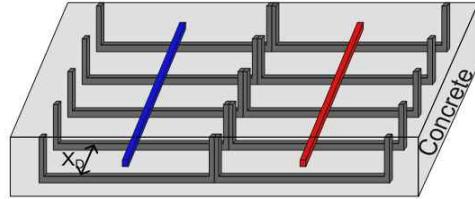


그림 12 뼈대 구조의 W-I 형 급전코일 구조
Fig. 12 Bone structure of W-I primary coil

3.3 뼈대구조가 추가된 초박형 W-I 형상 급집전 코일 설계

그림 11과 같이 급전코어의 구조를 W형으로 하고 급전케이블을 코어 사이에 두면 동일한 공극간격에 대해 U 형보다 자기회로의 저항이 3/4배로 줄어들고 급전코일의 폭도 절반 정도로 줄어든다 [8][15]. 그 결과, 그림 11(b)에서 볼 수 있듯이 U 형에 비해 집전출력이 향상되어, 집전코일 1개당 출력이 U-I형의 경우 6 kW 수준이었던 것에 비해 W-I형의 경우에는 15 kW가 되었다. 또한 급전코일 매설 폭이 1.4 m에서 0.8 m로 감소하여 도로공사 비용도 절감된다. 그리고 U형 급전코일과 달리 EMF 상쇄용 급전케이블 없이도 동일한 EMF 특성을 보인다. 다만, W-I형 급집전코일은 좌우 편차가 U-I형에 비해 절반 가까이 줄어드는 것이 단점이다.

표 1을 통하여 U-I 급집전코일과 W-I 급집전코일의 특성을 비교하였다.

그림 12는 본 논문에서 제안하는 새로운 뼈대형 구조의 급전코일이다 [4][6]. 급전코어를 차량 진행방향으로 도로에 연속적으로 설치하지 않고 그림 12처럼 절편으로 단절된 코어를 일정간격(X_0)으로 설치해도 무선전력전달에는 별 차이가 없다는 것이 핵심적인 기술사상이다.

구체적으로는, 코어간격(X_0)이 공극간격보다 충분히 작지만 하면 그림 13과 같이 코어간격이 커져도 자장의 감쇄가 거의 없다. 이는 마치 급전코어가 연속으로 구성되어 있는 것과 같은 효과다. 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.

뼈대 구조는 집전코일에도 적용가능하며, 급집전코일의 경량화와 재료비용 절감, 시공 간편화, 기계적 내

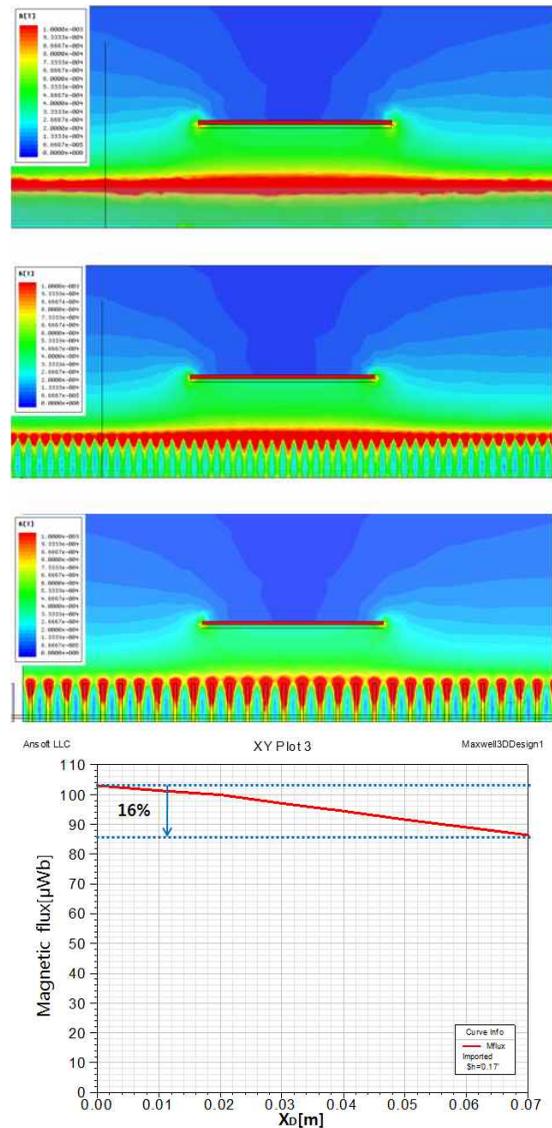
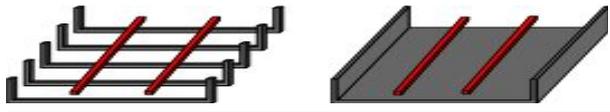


그림 13 뼈대 간격에 따른 자기장 시뮬레이션
Fig. 13 Magnetic flux simulation with gap (X_0) of bone structure

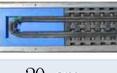
구성 강화 등에 탁월한 효과가 있는 것으로 판단된다. 그 결과 KAIST OLEV 시스템의 신뢰성과 경제성을 획기적으로 증진시켰다.

표 2 뼈대형 구조^{[4][6]}와 판형 구조^{[11][14]}의 급전코일 비교
Table 2 Comparison of bone and plate primary coil



| 구분 | 뼈대 구조 | 판 구조 |
|---------|-------------------|-------------------|
| 도로와 결합성 | 별도 연결 장치 없이 밀결합 | 연결 기구를 사용하여야 함 |
| 시공 용이성 | Roll로 감아 운반 시공 용이 | 급전코일 별도 운반, 시공 불편 |
| 용통성 | 경사나 굽어진 도로 가능 | 직선 도로만 가능 |
| 내구성 | 강함 (콘크리트 시공) | 약함 (콘크리트 시공 불가) |

표 3 1~3 세대 KAIST OLEV 급집전코일 구조
Table 3 1~3 generations of KAIST OLEV

| 구분 | E 형 | U-I 형 | W-I 형 |
|-----------|---|---|---|
| 공개일 | 2009. 2. 27 | 2009. 7. 14 | 2009. 8. 14 2010. 3. 9 |
| 적용차량 |  |  |  |
| 급집전 사양 | 기계식 집전 공극 1 cm 효율 80 % | 전자식 집전 공극 17 cm 효율 72 % | 전자식 집전 공극 20 cm 효율 83 % |
| EMF@1.75m | 10 mG | 51 mG | 50 mG |
| 개념도 |  |  |  |
| |  |  |  |
| 코일폭 | 20 cm | 140 cm | 80 cm |
| 개념도 |  |  |  |
| |  |  |  |
| 출력 | 3 kW / 픽업 | 6 kW / 픽업 | 15 kW / 픽업 |
| 특징 | E-type Single winding | Flat type Single winding | Slim E-type Multi winding |
| 무게 | 20 kg / 개 | 80 kg / 개 | 110 kg / 개 |
| 크기(cm) | 55x18x4 | 160x6x11 | 170x80x8 |

4. KAIST OLEV 시스템 적용 결과

본 논문에서 제안한 급집전코일 구조를 KAIST OLEV 시스템에 적용하여 시험하였다.

1 세대의 KAIST OLEV는 E형의 급집전코일 구조를 사용하였으며, 집전코일을 기계식으로 모터제어하여 급전코일과의 위치를 3 mm 이내로 정확히 일치시켰다. 이는 2009년 2월 27일에 처음 공개 되었으며, 1 cm 공극간격에서 80 %의 높은 효율을 얻었다. 이 때의 급집전코일에서도 초보적인 형태의 뼈대형 구조를 채택하였는데, 이 경우에는 급전선로에서 뼈대형 코어 구조가 차지하는 비율이 50 %다.

2 세대의 KAIST OLEV는 전자식 집전장치를 사용하여 기계적으로 유동하거나 제어하는 부분을 없앴다. 이를 통해 급전장치와 집전장치의 위치 제어 문제를 해결할 수 있었으며, U-I 형 급집전코일 구조를 통하여 공극간격을 17 cm로 획기적으로 증가 시킬 수 있었다. 3상 입력전원에서 차량의 레귤레이터 출력에 이르기까지의 모든 손실을 포함하여, 시스템 효율 72 %를 얻었으며, 2009년 7월 14일 공개되었다. 그림 14와 같이, KAIST 문지동 캠퍼스에 설치되었으며, OLEV 버스에 적용되어 본 논문의 코일이 충분히 실용성이 있음을 확인하였다.



그림 14 KAIST 문지캠퍼스에 설치된 OLEV 버스 및 SUV
Fig. 14 OLEV Bus and SUV in KAIST ICC campus



그림 15 서울대공원에 설치된 OLEV 코끼리열차
Fig. 15 OLEV Train in Seoul Grand Park

3 세대의 KAIST OLEV는 W-I형 급집전코일 구조를 채택하였으며, 2009년 8월 14일 공개되었다. 그림 14에서 볼 수 있듯이 KAIST 문지동 캠퍼스에서 SUV로 본 논문의 급집전코일의 실용성을 검증하였다. 한편, 2010년 2월에는 신형 버스에 장착하여 20 cm 공극 간격에 83 %의 시스템 효율을 달성하였다. 또한, 서울대공원의 코끼리열차에도 적용되어 2010년 3월 9일에는 성공적으로 시운전에 성공하였다.

5. 결 론

본 논문에서 KAIST OLEV 시스템에 적용된 U-I형상과 W-I형상의 초박형 급집전코일 및 뼈대구조 급전코일 설계결과를 소개했다. 새롭게 제시된 급집전코일은 높은 공극간격과 넓은 좌우 허용편차, 큰 출력전력, 낮은 EMF 수준, 높은 시스템 효율, 강인한 기계적 구조, 획기적으로 낮은 건설단가 등을 가능하게 하였다. 이는 KAIST OLEV 버스 (U-I, W-I), SUV (W-I), 열차(W-I)에 각각 적용되어 실용성있는 원천기술로 국내외의 평가를 받았다.

참 고 문 헌

[1] N. P. Suh, D. H. Cho, C. T. Rim, "Design of On-Line Electric Vehicle (OLEV)", Plenary lecture at the 2010 CIRP Design Conference in Nantes, France, April 19-21, 2010.

[2] C. E. Zell, J. G. Bolger, "Development of an engineering prototype of a roadway powered electric transit vehicle system : A public private sector program," 32nd IEEE vehicular Technology Conference, vol. 32, pp. 435-438, May, 1982.

[3] K. Lashkari, S.E.Shladover, and E.H.Lechner, "Inductive Power Transfer to an Electric Vehicle," Proceedings of Eighth International Electric Vehicle Symposium, Washington, DC., October, 1986.

[4] 서남표 외 4명, "전기자동차용 초박형 급전장치와 집전장치" 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0029671, 2009년 4월 6일.

[5] G. H. Jung, C. T. Rim, et al., "Power Supply and Pick-up for On-Line Electric Vehicle," in 2010 Power Electronics Annual Conference, 2010, pp. 218-219.

[6] Y. Nagatsuka, et al., "Compact Contactless Power Transfer System for Electric Vehicles," 2010 International Power Electronics Conference, pp.

807-813, June, 2010.

[7] 임춘택, "전기자동차 시스템", 대한민국 특허, 출원번호 10-2008-0135426, 2008년 12월 29일.

[8] 서남표 외 6명, "전기자동차용 급전장치 및 집전장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0088773, 2009년 9월 19일.

[9] 서남표 외 12명, "방전 방지 케이블", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-091335, 2009년 9월 25일.

[10] 임춘택 외 6명, "전기자동차용 급전장치 및 집전장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-091802, 2009년 9월 28일.

[11] 서남표 외 6명, "전기 자동차용 급전 레일 장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-095761, 2009년 10월 8일.

[12] 임춘택 외 10명, "변압기 철심", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-098973, 2009년 10월 16일.

[13] 서남표 외 11명, "EMF 감소장치를 구비한 전기자동차용 모노레일방식 급전장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-098977, 2009년 10월 16일.

[14] 서남표 외 9명, "콘크리트 구조물에 의해 보호되는 전기 자동차용 급전장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-098982, 2009년 10월 16일.

[15] 임춘택 외 6명, "온라인 전기자동차용 듀얼레일 급전 시스템의 전자기장 차폐장치 및 방법", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0131285, 2009년 12월 24일.

[16] 임춘택 외 6명, "온라인 전기자동차용 가변전력 송출 시스템 및 방법", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0134970, 2009년 12월 30일.

[17] 임춘택 외 3명, "온라인 전기 자동차용 DC-DC 컨버터", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0134971, 2009년 12월 30일.

[18] 임춘택 외 3명, "고속 응답 특성을 갖는 양방향 DC/DC 컨버터 제어 장치 및 방법", 대한민국 특허, 출원번호 10-2009-0134972, 2009년 12월 30일.

[19] 임춘택 외 6명, "전류원 입력 자기공명 전력전달장치의 공진장치", 대한민국 특허, 출원번호 10-2010-067162, 2010년 7월 13일.

저 자 소 개



이성우(李聖祐)

1982년 9월 7일생. 2007년 고려대 공대 전기 및 전자공학과 졸업. 2007년~현재 KAIST 석박사 통합과정.



박창병(朴昌柄)

1986년 9월 10일생. 2008년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업. 2010년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2010년~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정.



조정구(趙貞九)

1963년 3월 28일생. 1986년 경북대 전자공학과 졸업. 1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기 및 전자 공학과 졸업(공학). 1993년~1994년 Virginia Tech. 연수. 1995년~2002년 한국전기연구원(선임). 1999년~현재 (주)그린파워 대표이사.



조규형(曹圭亨)

1953년 4월 16일생. 1974년 한양대 전자공학과 졸업. 1976년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1980년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학). 1981년~1983년 Westinghouse Electric Corp 연구원. 1983년~현재 KAIST 전자과 교수.



임춘택(林春澤)

1963년 2월 11일생. 1984년 기술고등고시 합격. 1985년 KIT(국립) 전자공학과 졸업. 1987년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학). 1989년~1995년 ROTC 장교 국방부/육군 근무. 1995년~2003년 국방과학연구소 선임연구원. 2003년~2007년 청와대 안보실 행정관(국방정책), 2007년~2009년 KAIST 항공우주공학과 전문교수. 2009년~현재 KAIST 원자력 및 양자공학과 부교수. 당 학회 무선전력전 문위원장.