

넓은 좌우 허용편차를 갖는 EV 정차중 무선충전용 급집전코일

허진, 이우영, 이성우, 조규형*¹, 조정구*², 임춘택*³

*¹KAIST 전기 및 전자공학과, *²그린파워(주), *³ KAIST 원자력 및 양자공학과

ABSTRACT

전기자동차 무선충전시 문제점이었던 전후, 좌우, 상하 허용편차를 실용화 가능한 수준으로 향상시킨 새로운 형태의 자기 유도방식 급집전코일을 제안하였다. 바닥에 설치되는 급전코일은 넓게 하여 전후 및 좌우 허용편차를 크게 하였고, 차량 하부에 부착되는 집전코일은 작게 하여 경량화했다. 또한, 주변효과(fringe effect)를 이용하여 상하 편차영향을 둔감하게 했다. 그 결과 출력전압이 3dB 감소하는 허용편차가 좌우 30 cm, 전후 10 cm 이상인 급집전코일 특성을 얻었다. 본 논문에서는 제안된 급집전코일을 시뮬레이션하고 출력전압 및 EMF 실험을 통해 기대했던 우수한 성능을 실제로 확인하였다.

1. 서론

배터리 충전기술은 친환경 전기자동차의 보급, 확대를 위한 핵심기술이다. 그런데, 현재 주로 쓰이고 있는 접촉식 충전기술은 전기 안전관리를 위해 접지시스템이 필요하고 충전 시스템의 자동화가 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 비접촉 자기유도방식의 무선충전기술이 개발되고 있는데[1]-[3], 사용자의 편의성이 높아 미래 전망이 밝다. 그러나 기존의 원형 급집전코일 구조[1][2]는 좌우 허용편차가 좁아서 급집전코일의 정렬이 어긋나면 출력전압이 급격하게 감소하는 문제점이 있다. 또한, Double-sided 방식[2]도 급집전코일의 좌우 허용편차는 개선하였지만 전후 허용편차가 여전히 좁고, 집전코일에서 발생한 자기장으로 인한 차체발열, EMF (Electro Magnetic Field) 등의 문제가 있다. 온라인전기자동차(OLEV)에 적용된 것[3]은 현재까지 가장 실용화에 근접한 자기유도방식 무선 급집전기술이다. 하지만 이는 주로 주행중 전력전달을 목적으로 개발되었기 때문에 정차중 충전시스템에 적용하기 위해서는 보다 최적화된 급집전코일 개발이 필요하다.

본 논문에서 사용자가 자유롭게 임의로 주차를 하더라도 자동으로 무선 충전이 이뤄질 수 있는 자기유도방식의 급집전코일을 제안하였다. 차량의 전후, 좌우, 그리고 상하 허용편차를 충분히 크게 하고, 충전차량의 주변에서 EMF 기준을 만족할 수 있게 하였다. 제안된 급집전코일의 특성은 시뮬레이션과 무부하 출력전압 및 EMF 측정을 통해 검증하였다.

2. 급집전코일

비접촉 자기유도방식 충전기술의 실용화를 위해서는 차량의 전후, 좌우, 그리고 상하 허용편차가 큰 급집전코일이 필요하다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위해 차량 진행방향으로 서로 다른 자극을 갖는 새로운 급집전코일 구조를 제안하였다. 그림1과 같이, 제안된 급집전코일은 급전코일과 집전코일의 형상이 서로 비대칭적이고, 집전코일의 길이와 폭이 급전코일에 비해 아주 작은 것이 특징이다. 또한 차량 진행방향으로 급전코일과 집전코일을 길쭉하게 배치하여 차량 측면에서의 EMF

를 줄였다. 급집전코일의 좌우정렬 허용편차는 급전코일을 좌우방향으로 폭이 넓게 해 줌으로써 대폭 개선하였다.

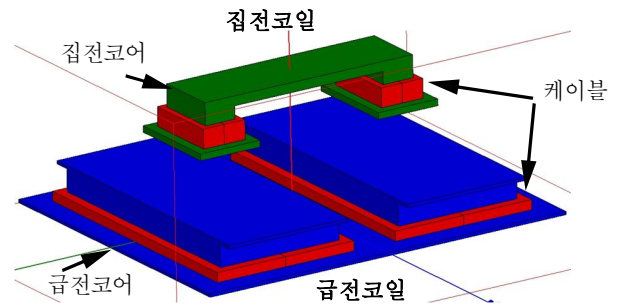


그림1. 제안된 급집전코일 구조

2.1 급집전코일의 자화인덕턴스

제안된 자기유도방식의 급집전코일은 주변효과(fringe effect)를 이용해서 공극높이에 따른 출력 편차를 둔감하도록 하였다. 페라이트 코어의 투자율이 2000 이상으로 매우 크기 때문에 코어의 자기저항을 무시하면 제안된 급집전코일의 자화인덕턴스(L_m)는 다음과 같다. 여기서 n 은 턴수비, h 는 공극높이, A_{eff} 는 급집전코일을 공통으로 쇠교하는 자속에 대한 등가 유효면적이다.

$$L_m = \frac{n^2}{R_m} \approx \frac{n^2 \mu_o A_{eff}}{2h} \quad \because R_m \approx \frac{2h}{\mu_o A_{eff}} \quad (1)$$

그림2는 (1)의 등가 유효면적을 시뮬레이션을 통해 구한 것이다. 공극높이 20 cm 이하에서는 주변효과(fringe effect)에 의해 이 값이 39% 정도 증가하였고 공극높이 20 cm 이상에서는 누설 자속의 증가로 인해 감소하였으나, 전반적으로 큰 변화는 없다.

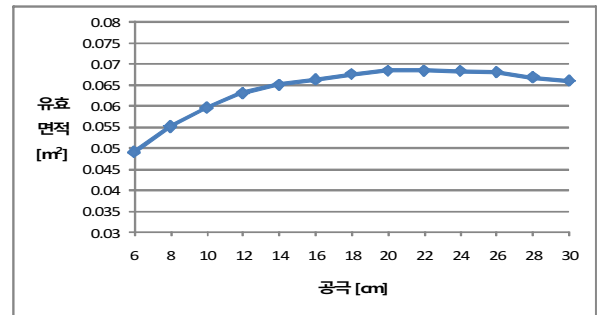


그림2. 공극높이에 따른 등가 유효면적

2.2 급집전코일의 등가회로 모델

제안된 급집전코일은 전류원 입력방식의 급전인버터를 사용하였다[4]. 따라서 출력전압은 그림3의 등가회로로부터 입력전류(I_s), 자화인덕턴스, 스위칭 각주파수(ω_s), 그리고 턴수비(n)로써 (2)와 같이 계산할 수 있다. 출력전압에 대한 측정결과와 시뮬레이션, 그리고 실험결과는 그림4와 같이 잘 일치하였다.

$$|V_{out}| = n\omega_s L_m I_s \quad (2)$$

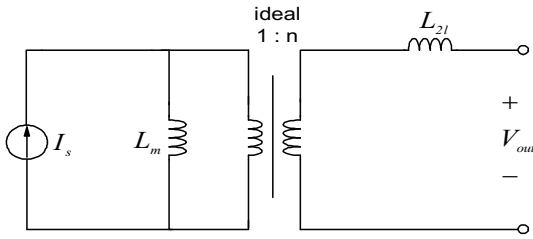


그림3. 제안된 급집전코일의 등가회로

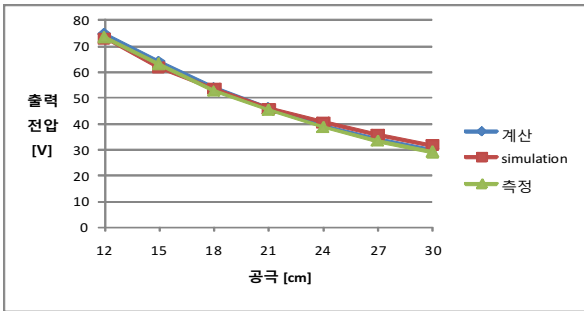


그림4. 급집전코일의 무부하 출력전압 비교

3. 실험결과

3.1 출력전압특성

그림5는 입력전류가 30 A일 때 집전코일에 유도되는 무부하시 전압을 실험한 결과다. 공극변화에 따른 특성 및 공극 15 cm 일 때 대한 전후, 좌우 편차특성을 조사했다. 공극높이가 11 cm에서 17 cm로 54 % 증가하더라도 출력전압은 22 %만 감소하였다. 집전코일이 급전코일의 중심에서 좌우로 39 cm가 벗어나더라도 출력전압은 최대전압의 29 %만 감소하였다. 전후편차가 15 cm일 때 출력전압이 최대전압에서 3 dB 감소하였다.

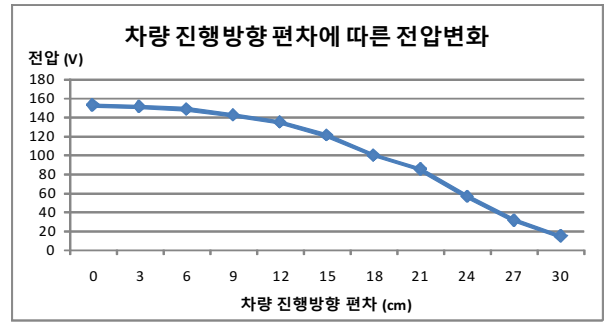
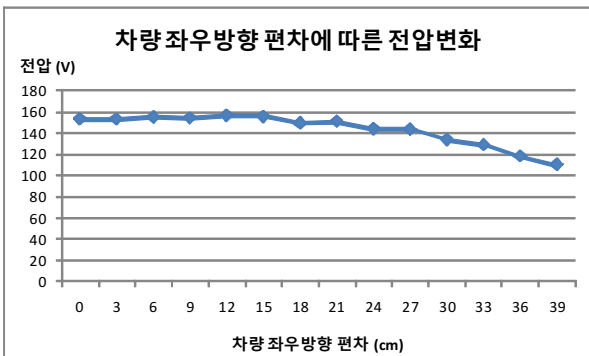
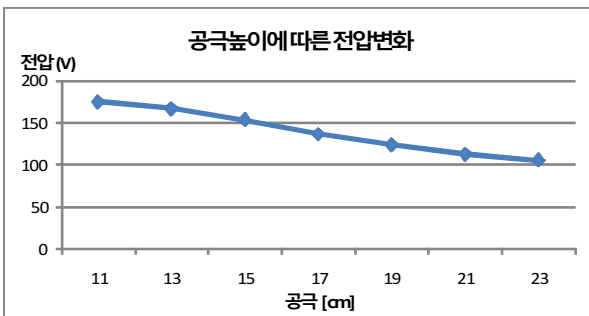


그림5. 제안된 급집전코일의 편차에 따른 출력전압 특성

3.2 EMF 특성

제안된 급집전코일은 충전차량의 길이방향으로 서로 다른 극성의 교류 자극을 형성하기 때문에 서로 상쇄작용을 일으켜 차량 주변의 EMF가 급격히 감소한다. 측정결과, 그림6과 같이 차량의 측면방향으로 1.1 m 이격거리에서 41 mG로 20 kHz의 규격인 62.5 mG를 만족하였다.

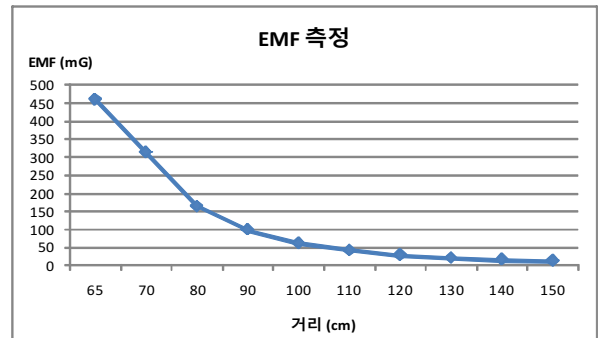


그림6. 제안된 급전코일의 측면방향 EMF 특성

4. 결론

본 논문에서 제안한 급집전코일은 충전차량의 전후, 상하, 특히 좌우 허용편차가 충분히 크고, 급전코일에서 발생하는 EMF가 20 kHz 주파수의 규격인 62.5 mG 이하이기 때문에 매우 실용적이다. 따라서 제안된 급집전코일을 적용해서 편리하고 안전한 전기자동차용 비접촉 충전장치의 구현이 가능하다.

참고 문헌

- [1] Y. Kamiya, et al., "Development and performance evaluation of an Advanced Electric Micro Bus Transportation System," JSAE Annual Spring Congresses, pp. 7-14, 2006.
- [2] Y. Nagatsuka, et al., "Compact contactless power transfer system for electric vehicles," IPEC 2010, pp. 807-813, 2010.
- [3] J. Huh, et al., "High performance inductive power transfer system with narrow rail width for On-Line Electric Vehicles," ECCE2010, pp. 647-651, 2010.
- [4] 허진 외, "전류원 급전-변압기 공진형 자기유도 전력전달시스템 특성연구," 춘계전력전자학술대회논문집, pp. 355-356, 2010.