

공극 변화에도 일정한 공진 특성을 가지는 무선 전력 전송 시스템

박준형*, 곽형걸**, 정석용**, 임춘택*

GIST 융합기술학제학부*, KAIST 원자력 및 양자공학과**

Wireless Power Transfer System with Constant Resonance Characteristics According to Air-gap Variation

Jun H. Park*, Hyung G. Kwak**, Seog Y. Jeong**, and Chun T. Rim*

Inst. of Integrated Technology, GIST*,

Dept. of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST**

ABSTRACT

본 논문에서는 급전 코일과 집전 코일 간 공극 변화에도 일정한 공진 특성을 가지는 무선 전력 전송 시스템을 제안한다. 공진회로가 적용된 시스템의 회로특성은 인덕턴스나 커패시턴스와 같은 파라미터 값에 크게 의존하는데, 일정한 공진 특성을 가지기 위해서는 공극의 변화에도 일정한 인덕턴스가 유지되어야 한다. 제안하는 무선 전력 시스템은 공극이 감소할 때 페라이트 코어에 의해 인덕턴스가 증가하고 알루미늄 판에 의해 인덕턴스가 감소하는 상보적인 특성을 결합하여 공극변화에도 인덕턴스가 일정하게 유지되게 한다. 페라이트 코어와 알루미늄 판에 위치한 각 코일들의 기자력 비율을 조절할 경우 공극이 7 cm 에서 15 cm 까지 변화더라도 급·집전부의 자기 인덕턴스 변화는 $\pm 1\%$ 이내로 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 서로 상보적인 특성을 가지는 두 구조를 결합하여 공극 변화에도 일정한 자기 인덕턴스를 가지는 무선 전력 전송 시스템을 제안한다. 페라이트 코어와 알루미늄 판을 사용한 각각의 무선 전력 전송 시스템을 나란히 위치시켜 결합할 경우, 페라이트 코어와 알루미늄 판에 의한 자기 인덕턴스 변동폭이 서로 상쇄될 수 있다. 공극변화에도 일정한 자기 인덕턴스를 유지시키기 위해 최적의 턴 비를 시뮬레이션을 통해 확인하고 이를 실험을 통해 검증하였다.

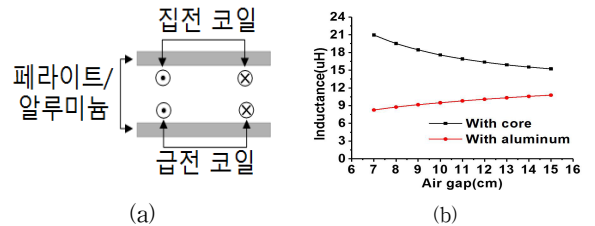


그림 1 (a) 무선 전력 시스템의 정면도
(b) 공극 변화에 따른 급·집전 코일 인덕턴스 변화

1. 서 론

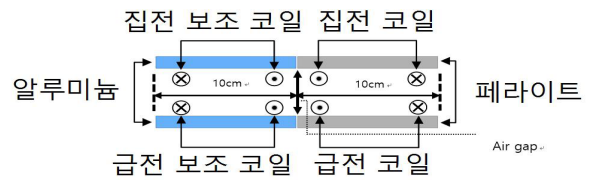
최근 지구온난화 등 환경문제가 대두되면서 내연기관을 대체할 수 있는 전기자동차에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 전기자동차의 제한된 배터리 용량으로 인해 주행거리에 한계가 있어, 이를 극복하기 위한 방안으로 도로에 급전 레일을 설치하여 전력을 무선으로 실시간으로 공급받는 도로급전 전기자동차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[1],[2]}

도로급전 전기자동차의 경우 급·집전 코일 간의 누설 자속을 줄이고 자기 결합 계수를 높이기 위해 페라이트 코어와 금속 차폐체가 주로 사용된다. 또한 급·집전부의 무효전력을 줄이고 전력전송 효율을 높이기 위해 공진회로가 사용된다. 시스템의 Q 인자(Quality Factor)를 증가시킬 경우 전력전송 효율은 일반적으로 증가하지만 파라미터 변화에 따른 대역폭이 좁아지는 단점이 있다. 공극 변화나 좌우 편차에 의해 급·집전 코일 간의 상호 인덕턴스 뿐만 아니라 자기 인덕턴스도 함께 변하게 되는데, 이는 좁은 대역폭 특성을 가지는 공진 시스템에서 전력 전달 효율이 급격히 감소하는 문제가 있다.

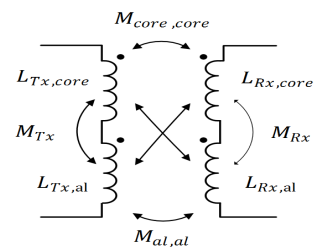
그림 1 (a)는 페라이트 코어 또는 알루미늄 판이 적용된 무선 전력 전송 시스템이며, 공극 변화에 따른 급·집전 코일의 자기 인덕턴스 변화를 그림 1 (b)에 나타내었다. 급·집전 코일 주변에 페라이트 코어가 위치할 경우 공극이 감소할수록 자기 인덕턴스가 증가하는 특성을 지니며, 알루미늄 판의 경우 이와는 반대로 공극이 감소할수록 자기 인덕턴스가 감소하는 특성을 보인다.

2. 제안하는 무선 전력 시스템

제안하는 시스템은 그림 2 (a)와 같이 페라이트 코어, 알루미늄 판, 급·집전 코일 및 보조 코일들로 구성되어 있으며, 각 코일들은 직렬로 결선되어 있다.



(a) 정면도



(b) 급·집전코일 등가 회로

그림 2 제안하는 무선 전력 시스템

제안하는 시스템의 등가회로는 그림 2 (b)와 같이 표현 할 수 있으며, 급·집전부 코일의 자기 인덕턴스는 아래 식으로 정의된다.

$$L_{Tx,self} = L_{Tx,core} + L_{Tx,al} + 2M_{Tx} \quad (1)$$

$$L_{Rx,self} = L_{Rx,core} + L_{Rx,al} + 2M_{Rx} \quad (2)$$

페라이트 코어와 알루미늄 판이 자기 인덕턴스에 미치는 영향을 분석하기 위해 보조 코일들의 크기를 급·집전 코일과 동일하게 가정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 급·집전부가 대칭적 구조로 이루어져 있기 때문에 급전부 자기 인덕턴스에 대해서만 시뮬레이션이 수행되었다.

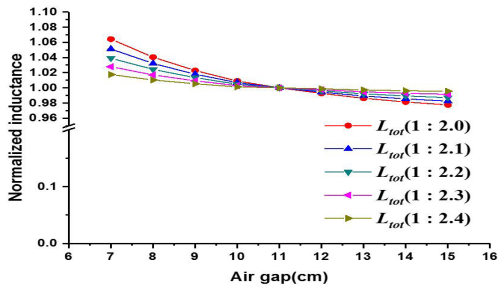
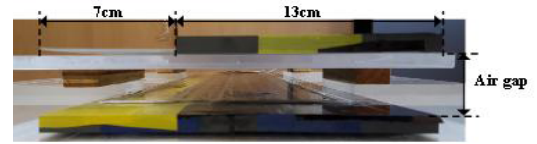


그림 3 공극변화에 따른 급전부 자기 인덕턴스 변화

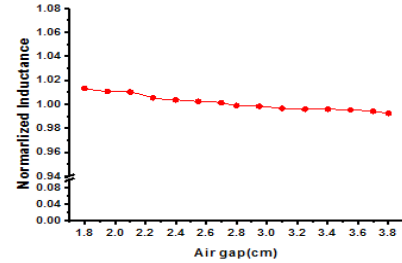
그림 3은 급·집전 코일의 턴 수는 일정하게 유지하고 보조 코일들의 턴 수를 조정하면서 공극 변화에 따른 자기 인덕턴스 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 급·집전 코일과 각 보조 코일 간 상호인덕턴스 M_{Tx} , M_{Rx} 는 급·집전 코일의 자기 인덕턴스에 비해 무시가능 한 수준으로 자기 인덕턴스 계산에서 생략 가능하다. 페라이트 코어와 알루미늄 판에 급·집전 코일과 보조 코일의 턴 비가 1:2.4 가 되도록 기자력을 조절하면, 공극이 7 cm에서 15 cm 까지 2배 이상 변화더라도 자기 인덕턴스 변화는 $\pm 1\%$ 이하가 유지되는 것을 확인하였다.

3. 실험 결과

대칭적 구조일 경우 급·집전부의 자기 인덕턴스가 동일하기 때문에 급전부의 자기 인덕턴스만을 측정하기 위해 그림 4 (a)와 같이 실험세트를 구성하였다. 이 경우 집전부는 코일을 설치하지 않고 급전 코일과 급전 보조 코일만 설치하였다. 앞장에서는 페라이트 코어와 알루미늄 판의 크기를 동일하게 가정하였지만, 와전류에 의한 손실과 코어 손실을 줄이기 위해 알루미늄 판의 크기를 페라이트 코어의 크기보다 작게 설정하였으며, 급·집전부의 폭과 길이는 각각 20 cm, 100 cm, 페라이트 코어의 폭과 알루미늄 판의 폭은 각각 13 cm, 7 cm 로 제작되었다. 제작된 실험세트 환경으로 시뮬레이션을 새롭게 수행하였고, 이때 급전 코일과 보조 코일의 턴 비가 1:1.8 일 때 공극이 1.8 cm 에서 3.8 cm 변할 경우 자기 인덕턴스의 변화율이 최소인 것을 확인하였다. 이는 페라이트 코어의 면적이 알루미늄 판의 면적보다 상대적으로 증가하였으므로 보조 코일의 턴 비가 줄어든 것으로 볼 수 있다.



(a)



(b)

그림 4 (a) 제안하는 무선 전력 전송 실험 세트 구성
(b) 공극 변화에 따른 급전부 자기 인덕턴스 변화

동손 및 케이블 사용량을 고려하여 최적 턴 비를 1:1.6으로 설정하여 실험을 수행하였고, 공극 변화에 따른 급전부 자기 인덕턴스 변화는 그림 4 (b)에 나타내어있다. 공극이 1.8 cm 에서 3.8 cm 변하는 조건에서 자기 인덕턴스는 최대 $\pm 1.4\%$ 변하는 것으로 측정되었으며, 시뮬레이션과 잘 일치하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 급전 코일과 집전 코일 간 공극의 변화에도 일정한 공진 특성을 유지하는 급·집전 코일 구조를 제안하였다. 페라이트 코어와 알루미늄 판에 위치한 각 코일들의 기자력 비율을 조절하여 공극이 2배 이상 변화더라도 자기 인덕턴스 변화는 $\pm 1\%$ 이내로 비교적 일정하게 유지되는 것을 확인하였다. 향후 알루미늄 판의 사용에 따른 효율변화, 급·집전 코일의 결합계수 변화 등에 대해서도 지속적인 연구를 진행할 계획이며, 본 연구를 통해 무선전력 전송 시스템의 복잡한 제어 시스템 없이도 일정한 전력을 공급할 수 있을 것으로 사료된다.

This work was supported by the Technology Innovation Program (10052912, Development of Induction/magnetic resonance type 6.6kW, 90% EV Wireless Charger) funded by the Ministry of Trade, industry & Energy (MI, Korea)

참고 문헌

- [1] V. X. Thai; S. Y. Choi; B. H. Choi; J. H. Kim and C. T. Rim, "Coreless Power Supply Rails Compatible with Both Stationary and Dynamic Charging of Electric Vehicles", Future Energy Electronics Conference (IFEEEC), 2015
- [2] S. Y. Choi; B. W. Gu; S. Y. Jeong; C. T. Rim, "Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway powered Electric Vehicles", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Volume: 3, pp 18-36, March 2015