

## 연자성체를 이용한 저주파 무선전력전송 시스템의 누설 자기장 저감

### Reduction of Leakage Magnetic Fields in Low Frequency WPT System Using Soft Magnetic Materials

이인곤 · 김 남\* · 조인귀\*\* · 홍익표

In-Gon Lee · Nam Kim\* · In-Kui Cho\*\* · Ic-Pyo Hong

#### 요 약

본 논문에서는 저주파 자기유도방식의 소형 단말기 충전 기술에 적용되고 있는 상용 코일에 적용 가능한 연자성체 기반 차폐구조를 설계하였다. 연자성 재료는 높은 투자율과 낮은 자기손실 특성 등 강점이 있는데 반해, 낮은 절연 특성으로 와전류에 의한 전력 손실이 큰 단점이 있다. 본 연구에서는 연자성 재료에 격자형태의 패턴을 구현하여 와전류 경로를 줄임으로써 전력 손실을 개선하였으며, 외부로 누설되는 자기장 저감 효과를 가진 차폐구조를 제안하였다. Qi 표준인 WPC 상용 A10 코일을 위한 연자성체 기반 차폐구조를 설계하였으며, 제작 및 측정을 통해 본 논문에서 제안한 구조가 효과적으로 누설 자기장을 저감할 수 있음을 확인하였다.

#### Abstract

This paper presents the electromagnetic shielding structure for low frequency wireless power transfer system with magnetic induction method using soft magnetic materials. Soft magnetic materials have advantages such as high permeability and low magnetic loss, but have undesirable effect of power loss by eddy current. To overcome this, we proposed the patterned soft magnetic material to suppress the eddy current path. For validity of this paper, we simulated the coil transfer efficiency and the radiated electromagnetic field, and fabricated the proposed structure using 79-permalloy. The measured results shows good agreements with the simulated results and reduction of the radiated electromagnetic field compared to commercial ferrite plate.

Key words: Wireless Power Transfer, Magnetic Induction, Soft Magnetic Material, Eddy Current

#### I. 서 론

무선전력전송(WPT: Wireless Power Transfer) 기술은 전

력을 무선으로 부하에 전달하는 전력전송 기술로, 최근 모바일, 웨어러블 기기 및 전기 자동차 등의 무선 충전을 위한 관련 응용연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 10 W

「본 연구는 미래창조과학부와 ETRI가 지원한 2016년 ICT R&D 프로그램과 미래창조과학부의 과학벨트기능지구지원사업 지원을 받아 수행된 연구임(2016K000298)」

공주대학교 정보통신공학부(Department of Information & Communication Engineering, Kongju National University)

\*충북대학교 정보통신공학부(Department of Information & Communication Engineering, Chungbuk National University)

\*\*한국전자통신연구원 전파기술연구부(Radio Technology Research Department, ETRI).

· Manuscript received October 5, 2016 ; Revised December 19, 2016 ; Accepted December 16, 2016. (ID No. 20161005-01S)

· Corresponding Author: Ic-Pyo Hong (e-mail: [iphong@kongju.ac.kr](mailto:iphong@kongju.ac.kr))

이하의 소전력 휴대기기가 주로 개발되고 있으며, 다른 무선전력전송 기술에 비해 높은 전송효율을 갖는 장점을 바탕으로 자기유도 방식(IPT: Inductive Power Transfer)의 민간 표준 WPC(Wireless Power Consortium)를 중심으로 그 적용 범위가 다양한 영역으로 확대되고 있다<sup>[1]</sup>.

최근 수 W급 이내 저전력 전송에 대한 연구 및 상용화로 인해 전자파로 인한 문제가 크게 대두되지 않았으나, 점차 자동차 무선 충전, 원거리 전송 등 고전력 전송으로 응용 범위가 확대되고 있으며<sup>[2]</sup>, 그에 따라 누설되는 자기장 세기 또한 상대적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 무선전력 전송 시스템의 누설된 자기장으로부터 다른 기기에 미치는 전자파간섭, 인체영향 문제 등 위험성 관리를 위한 누설 자기장 차폐 등의 대책이 필요하다<sup>[3]~[5]</sup>. 일반적으로 저주파수 대역(20~205 kHz)을 사용하는 자기유도 방식의 무선전력전송 시스템에서는 자기장을 소재 내부로 끌어 들이는 자기적 특성을 가진 자성 재료를 사용하여 자기장을 흡수 또는 경로 변경을 통해 누설을 줄이고, 높은 자기 결합을 유도함으로써 전송효율 향상이 가능한 페라이트 소재를 사용하고 있다. 페라이트 계열 소재는 비교적 높은 투자율과 높은 비저항 특성으로 낮은 전력손실 갖는 등의 장점이 있는 반면, 무게, 부피와 취성(brittleness)이 크고, 가공 및 적용이 용이하지 않다는 단점이 있다<sup>[6]</sup>.

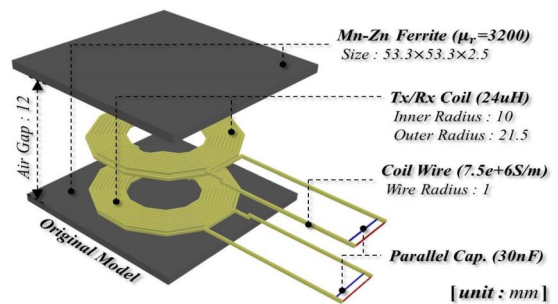
본 논문에서는 이러한 기존 페라이트 계열 차폐 소재의 단점을 개선하기 위해 높은 투자율을 갖고, 소전력뿐만 아니라, 대전력에 대해서도 매우 낮은 자성 손실(magnetic loss)과 높은 열전도도 등의 강점을 갖는 연자성 금속 재료인 79-퍼멀로이(79-permalloy) 기반의 차폐구조를 설계하였다. 퍼멀로이와 같은 연자성 금속 재료는 높은 전도성을 갖는 특징으로 인해 와전류(eddy current) 손실이 쉽게 발생하며, 이로 인한 전력손실이 불가피하기 때문에 절연성이 뛰어난 재료와 복합화하여 제적저항을 높인 연자성 복합재(SMC: Soft Magnetic Composite)를 사용해야 전력손실을 개선할 수 있지만, 소재의 가격이 매우 비싸 적용이 어렵다는 단점이 있다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 얇은 두께를 갖는 79-퍼멀로이를 적층(lamination) 및 패터닝(patterning)과 같은 구조적 변형을 통해 와전류를 억제하여 전력손실을 개선함은 물론, 누설 자기장 저감효과를

얻었다. 시뮬레이션을 통해 설계 파라미터를 얻고, 제안된 구조를 제작하였으며 WPC 상용 Qi-A10 코일에 적용, 효율 및 누설 전자파를 측정하여 성능을 검증하였다.

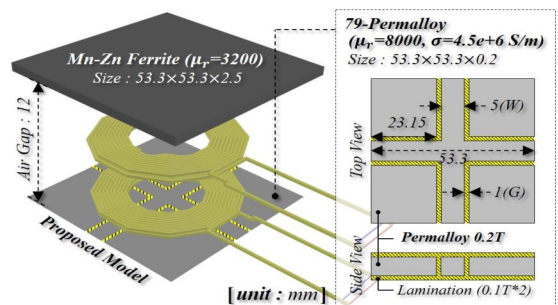
## II. 연자성 금속 기반 차폐구조 설계

앞서 언급한 바와 같이 79-퍼멀로이를 무선전력전송 코일의 차폐구조로 적용하기 위해선 낮은 표면 저항으로 인해 전송효율 저하로 귀결되는 와전류 현상을 억제해야 한다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해 두께 0.2 mm의 79-퍼멀로이를 가정하여 재료 위에 격자형태의 간격을 배치하고 적층하여, 와전류 경로를 줄이는 방식을 적용하여 전력 손실을 개선하였다<sup>[8]</sup>.

설계한 차폐 구조의 성능 검증을 위해 상용 WPC Qi-A10 코일을 모델링<sup>[9]</sup>하였으며, 효율 및 누설 자기장에



(a) 상용 WPC Qi-A10 코일(송/수신)  
(a) Commercial WPC Qi-A10 coil(Tx/Rx)



(b) 79-퍼멀로이 기반 제안된 차폐구조  
(b) Proposed shielding structure based on 79-permalloy

그림 1. 상용 WPC Qi-A10 코일과 제안된 차폐구조  
Fig. 1. Commercial WPC Qi-A10 coil and proposed shielding structure based on 79-permalloy.

영향을 주는 주요 변수로  $W$ ,  $G$ 를 가정하고, 전파 해석 시뮬레이터인 ANSYS HFSS를 통해 설계변수에 변화에 따른 특성 변화를 관찰하고, 최적화된 설계 변수를 얻었다.

기존 구조와 새로운 차폐구조가 적용된 구조의 외형과 치수를 그림 1에 나타내었으며, 주요 설계변수에 변화에 따른 효율 및 누설 자기장 특성 변화를 그림 2에 나타내었다. 그림 2로부터 전송효율과 누설 자기장에 영향을 주는 변수는 각각  $W$ ,  $G$ 임을 알 수 있으며, 전송효율, 누설 자기장 그리고 제작 환경을 고려하여  $W=5$  mm,  $G=1$  mm로 정하였다. 제안된 차폐구조를 포함하여 실험에 사용한 차폐구조를 그림 3(a)에 나타내었으며, 코일은 Würth Electronic사의 A10 모델을, 제안된 차폐구조의 79-퍼멀로이는 Carpenter사의 HyMu800, 절연체로 3M사의 Polyester Film(T5630)을 적층하여 제작하였다. 코일 효율 및 누설 자기장 측정은 그림 3(b)와 같이 구성하였으며, 코일 효율은 입력 전력 대비 측정된 출력 전력으로, 누설 자기장은 Aaronia사의 PBS-H4 자체 측정 프로브를 사용하여 측정하였다. 주파수 174 kHz에 대하여 기존 페라이트 차폐구조 및 제안된 차폐 구조에 따라 A10 코일의 인덕턴스, 송/수신 코일 효율 등을 관찰하였으며, 계산 및 측정을 통해 제안된 구조의 성능을 비교 검증하고 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1로부터 인덕턴스는 계산값과 측정값이 차이를 보였으나, 대체로 잘 일치하는 경향을 확인하였으며, 이는

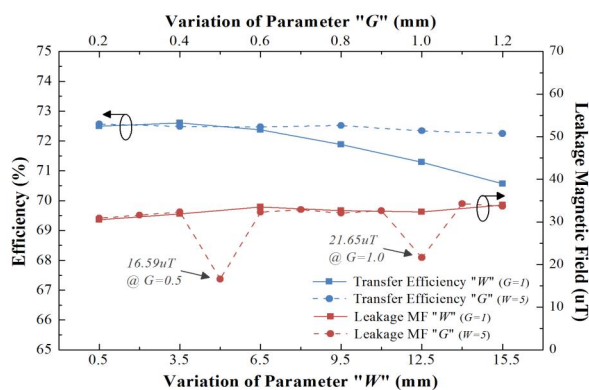
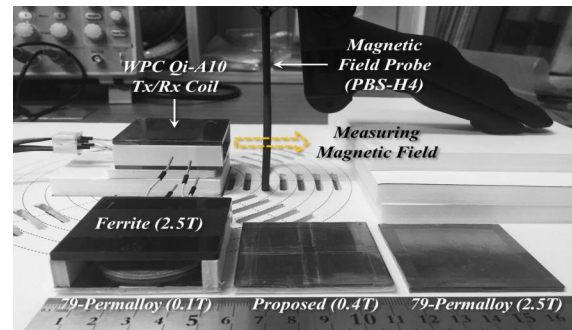


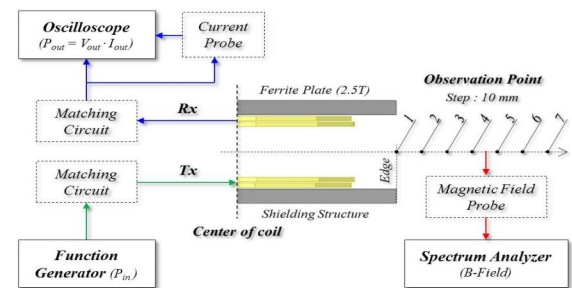
그림 2. 설계 파라미터( $W$ ,  $G$ )에 따른 코일 전송효율 및 누설 자기장

Fig. 2. Simulated A10 coil transfer efficiency & leakage magnetic field for the design parameters( $W$ ,  $G$ ).



(a) 실험에 사용한 차폐구조

(a) Shielding structures used in experiment



(b) 코일 전송효율 및 누설 자기장 측정 구성도

(b) Measurement setup for coil transfer efficiency and leakage magnetic field

그림 3. 제안한 차폐구조 및 측정구성도

Fig. 3. The proposed shielding structure and measurement setup.

표 1. 차폐구조에 따른 A10 코일의 인덕턴스와 전송효율

Table 1. A10 coil inductance and transfer efficiency at each different shielding materials.

Shielding structure	Inductance( $\mu$ H)		Coil efficiency(%)	
	Sim.	Mea.	Sim.	Mea.
Ferrite 2.5 T	23.49	24.29	76.45	79.86
79-Permalloy 0.1 T	19.78	22.13	67.03	66.51
79-Permalloy 1.0 T	19.81	22.25	66.95	67.28
79-Permalloy 2.5 T	19.83	22.23	67.02	65.09
Proposed 0.4 T	20.82	22.74	72.25	74.53

79-퍼멀로이에 대하여 100 kHz 이상 대역에 대한 물성 정보를 제공하지 않아 정확한 모델링이 어렵다는 점에서 발생한 오차라 사료된다. 누설 자기장 측정은 효율 측정과 같은 구성으로 차폐 재료에 따른 누설 자기장을 측정

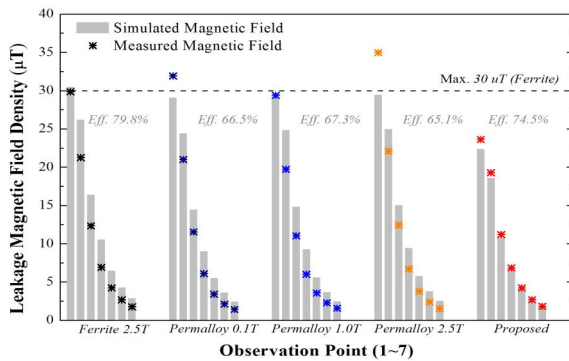


그림 4. 상용 A10 코일의 페라이트, 두께별(0.1, 1, 2 T) 퍼멀로이와 제안된 차폐구조의 측정된 누설자기장 비교  
Fig. 4. Measured leakage magnetic field for ferrite, different thickness permalloys and proposed shielding structure.

하였으며, 송/수신 코일 중심에 자기장 측정 프로브를 위치시켜 차폐구조의 외각으로부터 70 mm 떨어진 지점까지 10 mm 간격으로 관찰하고, 그림 4에 차폐구조에 따른 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 측정 결과로부터 제안된 구조는 기존 페라이트 구조(2.5 T)에 비해 얇은 두께(0.4 T)를 가짐에도 기존 구조와 대등한 전송효율(약 74.53 %)을 가짐을 확인하였으며, 누설 자기장은 코일에서 가장 크게 누설되는 지점에서 측정한 세기를 기준으로 29.9  $\mu$ T에서 23.6  $\mu$ T로 약 20.9 % 저감되는 것을 확인하였다.

### III. 결 론

본 논문에서는 자기유도방식의 상용 무선충전 시스템에 적용이 가능한 연자성 금속 기반 차폐구조를 설계하였다. 기존 차폐 재료인 페라이트의 부피, 가공성 등의 단점을 개선하기 위해 연자성 금속인 79-퍼멀로이를 이용하여 차폐구조를 설계하였으며, 적층과 패터닝 등 구조적 변형을 통해 와전류를 억제함으로써 연자성 금속의 가장 큰 단점인 전력손실 문제를 개선하였다. 측정 결과로부터 기존구조에 비해 얇은 두께를 가지면서도 전송효율은 74.5 %로 대등하고, 측면에서의 누설 자기장은 20.9 % 저감되는 우수한 성능을 확인하였다. 제안된 구조는 얇은 두께로 인해, 수직 방향 자기장 누설은 기존구조 대비 증가할 것으로 예상하며 추후, 차폐 재료의 복합 구성을 통

해 성능 보완을 위한 연구를 수행할 계획이다.

### References

- [1] 김성민, 김상원, 문정익, 조인귀, "무선전력전송 기술 동향과 발전방향", 전자통신동향분석, 31(3), pp. 32-41, 2016.
- [2] K. Knaisch, et al., "Comparison of coil topologies for inductive power transfer under the influence of ferrite and aluminum", *11th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, pp. 1-9, 2016.
- [3] X. L. Chen, et al., "Human exposure to close-range resonant wireless power transfer systems as a function of design parameters", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 56, no. 5, pp. 1027-1034, 2014.
- [4] Y. Yashima, et al., "Leakage magnetic field reduction from wireless power transfer system embedding new eddy current-based shielding method", *International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*, 2015.
- [5] S. Kim, et al., "Design and analysis of a resonant reactive shield for a wireless power electric vehicle", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 62, issue. 4, pp. 1057-1066, 2014.
- [6] M. S. Carmeli, et al., "Contactless energy transmission system for electrical vehicles batteries charging", *2015 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, 2015.
- [7] 이경섭, "노이즈 억제용 연자성 금속 / 고무 복합 시트의 기술 동향", 한국전자과학회논문지, 25(1), pp. 40-51, 2014년.
- [8] J. Salvia, et al., "Tunable on-chip inductors up to 5 GHz using patterned permalloy laminations", *IEEE International Electron Devices Meeting(IEDM)*, vol. 5, pp. 943-946, 2005.
- [9] Wireless Power Consortium, *Qi System Description: Wireless Power Transfer Part. 1*, vol. 1, Apr. 2012.