

WPT 시스템의 누설자계 감소를 위한 전자파 차폐구조 개선

Improvement of Electromagnetic Shielding Structure for Reduction of the Leakage Magnetic Field in WPT System

김종찬 · 이승우 · 강병남 · 홍익표* · 조인귀** · 김 남

Jongchan Kim · Seungwoo Lee · Byeong-Nam Kang · Ic-Pyo Hong* · In-Kui Cho** · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 저주파 대역에서 동작하는 무선전력전송 시스템에서 발생하는 자기장을 저감하기 위한 개선된 자기장 저감 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 자성체와 도체로 구성되었으며, 적용된 다양한 설계 파라미터를 최적화하여 전력전송을 위한 자기장의 상쇄효과는 최소화 하면서 시스템 주변으로 누설되는 자기장 상쇄효과는 개선되도록 하였다. 무선전력전송 시스템의 효율과 주변으로 누설되는 자기장 저감 효과를 컴퓨터 시뮬레이션과 측정을 통하여 분석 및 검증 하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 제안된 구조가 적용된 무선전력전송 시스템의 전력전송효율은 약 77 % 수준으로 기존의 전력전송효율과 동등한 수준을 유지하였다. 또한, 고효율을 유지하는 구조들과 비교하여 최대 근접지점에서 누설되는 자기장의 세기를 약 29~37 % 저감할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose an improved magnetic field shielding structure to reducing the magnetic field generated in the wireless power transfer system operating at a low frequency band. The proposed structure consists of the magnetic material and the conductive material, magnetic field cancelling effect for power transfer is minimized while improving the leakage magnetic field cancelling effect by optimizing the various design parameters in the proposed structure. We analyzed and verified the efficiency of the wireless power transfer system and the reduction effect of the leakage magnetic field through computer simulation and measurement. Analysis results show that power transfer efficiency of the wireless power transfer system utilizing the proposed structure is 77 %, which is maintained at the conventional power transfer efficiency. In addition, compared with the structure maintaining high power transfer efficiency, leakage magnetic field strength is reduced to 29~37 % at the nearest point.

Key words: Wireless Power Transfer(WPT), Magnetic Field Shielding, Shielding Structure

I. 서 론

최근 무선전력전송 기술은 이미 상용화 되어 모바일 폰 충전 등에 사용되고 있으며, 가전기기, 전기 자동차, 고

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

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

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

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

· Manuscript received October 31, 2016 ; Revised December 28, 2016 ; Accepted January 7, 2017. (ID No. 20161031-113)

· Corresponding Author: Nam Kim (e-mail: namkim@chungbuk.ac.kr)

속철도 등 무선충전 및 무선전력전송을 목적으로 하여 다양한 응용분야에 적용하기 위하여 활발히 연구되고 있다^{[1]~[3]}. 무선전력전송 기술은 물리적인 접촉 없이 습하거나 먼지가 많은 환경에서도 동작을 할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다^[4]. 그러나 무선전력전송 기술을 사용하면서 생성되는 시변자기장으로 인한 인체영향 및 주변의 다른 전자기기에 오작동을 유발할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 이러한 전자파 문제를 개선 및 해결하고자 전자파 차폐구조, 차폐물질 등을 이용한 연구가 진행되고 있다^{[4]~[6]}. 무선전력전송 기술을 이용함에 있어서 전력전송효율은 중요한 요소로써 효율을 향상시키기 위해 코일 구조, 매칭회로, 차폐구조 등이 고려되어야 한다^{[7]~[9]}. 기존 연구에서는 자성체가 가진 특성을 이용하여 자속 경로를 조절 및 시변자기장으로부터 도체의 표면에 유도되어 흐르는 와전류를 이용하여 자기장을 상쇄하는 방법을 이용하여 주변으로 누설되는 자기장을 저감하였다^{[10],[11]}. 본 논문에서는 기존에 연구된 자성체와 도체를 조합한 방법을 변형하여 전력전송효율은 기존의 방법과 유지하면서 무선전력전송 시스템 주변으로 누설되는 자기장을 더 효율적으로 저감할 수 있는 구조를 제안한다.

II. WPT 코일 시스템

무선전력전송을 위해 사용된 코일을 그림 1에 나타내었다. 무선전력전송용 송/수신 코일은 Qi 표준의 A10 코일을 사용하였으며, 내부반경은 10.8 mm, 외부 반경은 20.92 mm, 턴수는 10, 그리고 각각 2층 구조로 구성되어 있다. 송신코일로의 입력은 175 kHz의 200 mW 신호를 인가하였다. 그림 2에서는 무선전력전송 시스템에서 발생하여 누설되는 자계를 저감하기 위한 기존의 차폐방법이 송신 코일에 대하여 적용된 코일구조를 나타내었다. 그림 2(a)는 자성체를 송수신 코일에 적용한 구조를 나타내었으며, 크기는 53.3 mm×53.3 mm×2.5 mm이며, 투자율은 3200의 페라이트를 사용하였다. 이 경우, 자기저항이 작은 자성체를 이용함으로써 자기장이 자기저항이 작은 쪽으로 집중되는 원리를 이용하였다^[11]. 하지만 자성체의 가장자리에 자기장이 여전히 남아 있게 된다^[11]. 그림 2(b)는 송신코일에 자성체와 도체를 적층한 방법을 적용하였다. 사용된

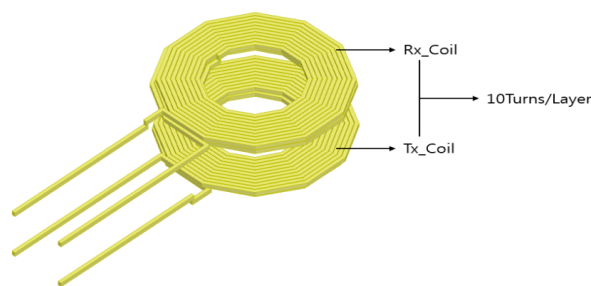


그림 1. WPT 시스템에 사용된 코일 모델

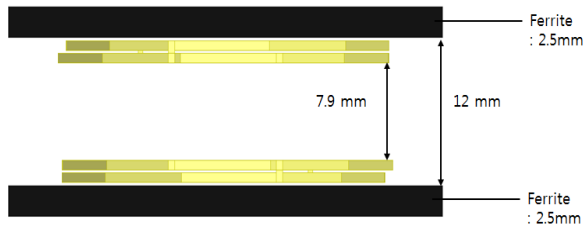
Fig. 1. Coil model used in WPT system.

자성체는 크기 53.3 mm×53.3 mm×2.5 mm의 페라이트를 사용하였으며, 도체는 크기 53.3 mm×53.3 mm×0.2 mm의 알루미늄을 사용하였다. 이 경우는 자성체만을 사용한 방법을 개선하기 위한 방법으로써 도체와 자성체를 함께 사용한 경우에는 자성체의 특성과 코일에서 형성되는 시변자기장으로 인해 도체의 표면에 흐르게 되는 와전류로부터 형성되는 유도 자기장을 이용하여 무선전력전송 시스템 주변으로 누설되는 자기장의 경로를 조절함과 동시에 자기장을 상쇄함으로써 주변으로 누설되는 자기장을 저감하는 원리를 이용한 방법이다^{[10],[11]}. 그림 2(c)에서는 유전체와 도체를 적층한 방법이 적용된 무선전력전송 코일을 나타내었으며, 사용된 유전체는 크기 53.3 mm×53.3 mm×2 mm의 FR4를 사용하였으며, 도체는 그림 2(b)와 동일한 크기를 가지는 알루미늄을 사용하였다. 이 경우에는 도체의 특성만을 이용방법으로써 코일에서 생성된 자기장이 주변으로 누설되는 것을 저감하기 위하여 도체에서 유도된 자기장과 상쇄되는 원리를 이용한 방법이다^[11]. 그림 2(b)에서는 자성체인 페라이트를 투과한 시변자기장으로 인해 와전류가 형성되고, 그림 2(c)에서는 직접적으로 코일에서 형성된 자기장으로 인해 와전류가 형성되는 차이점을 가지고 있으며, 이로 인해 송/수신 코일의 전력전송 효율에 미치는 영향의 정도가 다르며, 이후 시뮬레이션과 측정을 통하여 비교/검증을 진행하였다.

III. 전자파 차폐 구조 설계 및 측정

3-1 전자파 차폐 구조 설계 및 시뮬레이션

본 논문에서는 무선전력전송 코일 시스템에서 발생하



(a) 페라이트를 이용한 WPT 코일시스템
(a) WPT coil system using a ferrite



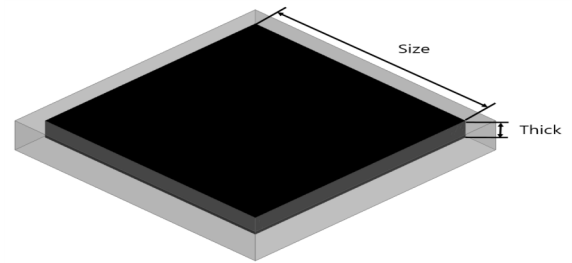
(b) 페라이트와 알루미늄을 이용한 WPT 코일시스템
(b) WPT coil system using ferrite and aluminum



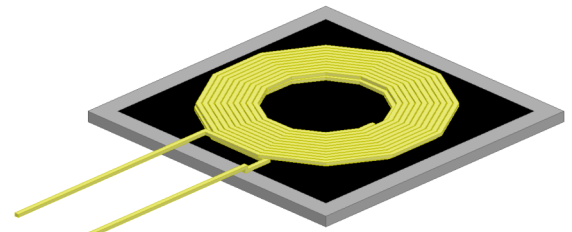
(c) FR4와 알루미늄을 이용한 WPT 코일시스템
(c) WPT coil system using FR4 and aluminum

그림 2. 기존 전자파 차폐구조를 적용한 WPT 시스템
Fig. 2. WPT system using conventional electromagnetic shielding structure.

는 자기장이 시스템 주변으로 누설되는 것을 저감하기 위한 기존의 연구된 방법인 페라이트와 알루미늄을 적용한 방법을 기반으로 하였다^[11]. 제안된 차폐구조는 가장자리에서 적층된 페라이트를 제거함으로써 도체의 표면에 흐르게 되는 와전류로부터 형성된 유도자기장을 직접적으로 코일에서 형성된 자기장과 상쇄될 수 있도록 하였다. 제안된 차폐구조의 설계 및 해석을 위하여 상용 시뮬레이터인 ANSYS사의 HFSS를 사용하였다. 그림 3에서는 제안된 구조를 나타내었으며, 제안된 차폐구조는 무선전력전송 코일 시스템의 송신부에 적용되었다. 그림 3(a)에



(a) 제안된 전자파 차폐 구조의 파라미터
(a) Geometry parameters of electromagnetic shielding structure



(b) 제안된 구조를 이용한 WPT 코일시스템의 송신부
(b) Transmission unit of WPT coil system using proposed structure



(c) 제안된 구조를 이용한 WPT 코일시스템의 측면
(c) Side view of the WPT coil system using proposed structure

그림 3. 제안된 차폐구조를 이용한 WPT 시스템
Fig. 3. WPT system using proposed electromagnetic shielding structure.

서는 제안된 구조에 적용된 파라미터를 나타내었으며, 53.3 mm×53.3 mm×2.7mm의 크기를 갖는 알루미늄 판에 페라이트를 삽입하여 면적(size)과 두께(thickness)에 변화를 주었다. 표 1에서는 알루미늄 판에 삽입되는 페라이트의 면적을 나타내었다. 페라이트의 면적은 전체 알루미늄 면적인 53.3 mm×53.3 mm를 7단계로 나누어 분류하였다. 시뮬레이션을 통하여 각 사이즈에 따른 송/수신 코일간의 전력 전송 효율 결과를 얻었으며, 무선전력전송 시스템 주변으로 누설되는 자기장의 세기는 그림 4에 나타난 위

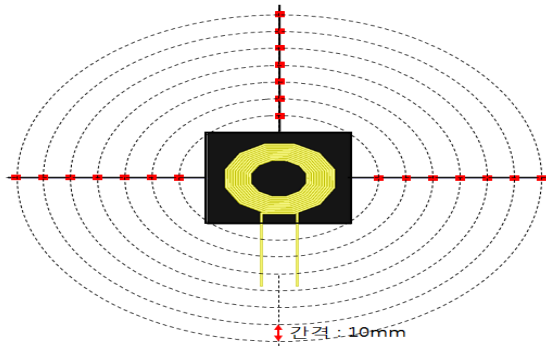


그림 4. 자기장의 시뮬레이션 및 측정 결과 획득 위치
Fig. 4. Simulation and measurement result obtained point of the magnetic field.

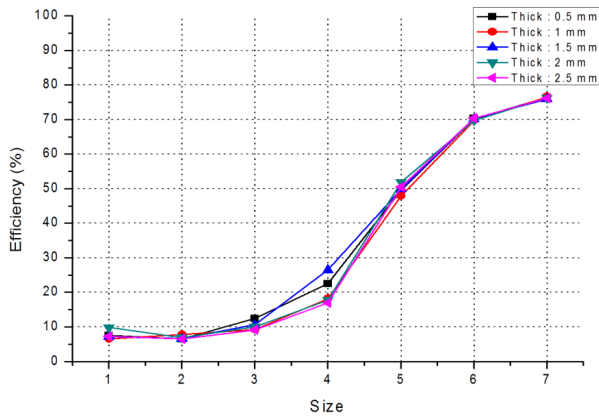


그림 5. 제안된 구조에서 페라이트 면적의 변화에 따른 전력전송 효율
Fig. 5. Power transfer efficiency of variation of size in proposed structure.

표 1. 제안된 구조의 size 파라미터 값
Table 1. Size parameter value of the proposed structure.

Size	Value
1	6.6 mm×6.6 mm
2	13.3 mm×13.3 mm
3	19.9 mm×19.9 mm
4	26.6 mm×26.6 mm
5	33.3 mm×33.3 mm
6	39.9 mm×39.9 mm
7	46.6 mm×46.6 mm

치에서 얻었으며, 세 방향에서의 자기장의 평균 값으로 나타내었다.

그림 5와 그림 6은 시뮬레이션을 통하여 제안된 구조에 삽입된 페라이트의 면적과 두께 파라미터 변화에 따른 전력전송 효율을 나타내었다. 그림 5와 그림 6의 결과에서 보이듯이, 송/수신 코일간의 전력전송 효율은 삽입된 페라이트의 두께에 따라서는 모든 면적의 경우에서 큰 변화를 보이지 않지만, 면적이 변화함에 따라서는 모든 두께의 경우에서 큰 변화를 나타내었다. 이는 페라이트의

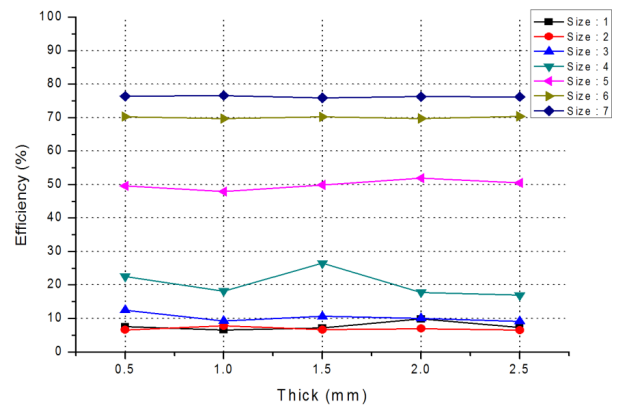


그림 6. 제안된 구조에서 페라이트 두께의 변화에 따른 전력전송 효율
Fig. 6. Power transfer efficiency of variation of thickness in proposed structure.

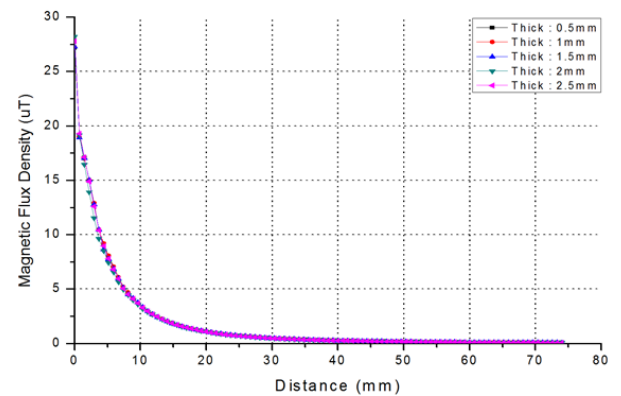
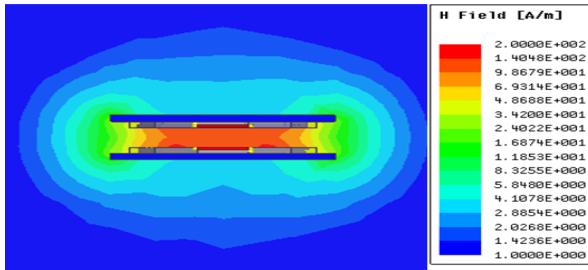
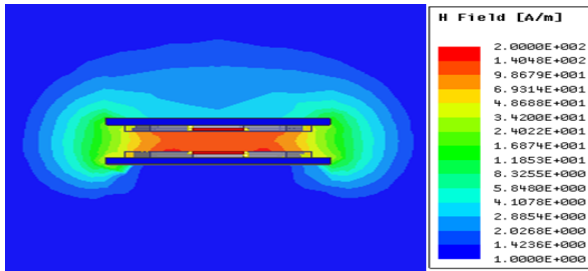


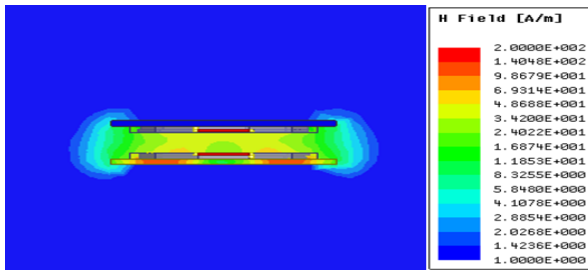
그림 7. 제안된 구조의 페라이트 두께의 변화에 따른 누설자속밀도 세기
Fig. 7. Leakage magnetic flux density of variation of thickness in proposed structure.



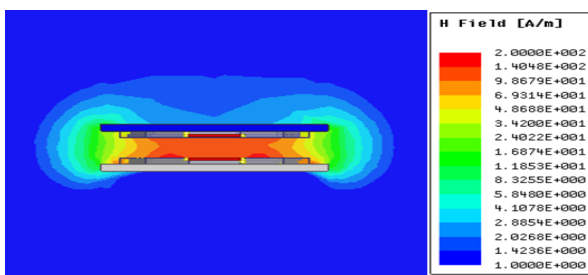
(a) 페라이트를 이용한 WPT 시스템
(a) WPT system using a ferrite



(b) 페라이트와 알루미늄을 이용한 WPT 시스템
(b) WPT system using ferrite and aluminum



(c) FR4와 알루미늄을 이용한 WPT 시스템
(c) WPT system using FR4 and aluminum



(d) 제안된 구조를 이용한 WPT 시스템
(d) WPT system using proposed structure

그림 8. 각 차폐 구조에 따른 자기장 분포 비교
Fig. 8. Comparing the magnetic field distribution of each shielding structure.

면적이 줄어들게 되면서 도체의 면적이 늘어나게 되고, 이로 인해 도체의 표면에 와전류로부터 형성되는 유도자기장이 무선전력전송시스템 주변으로 누설되는 가장자리의 자기장뿐 아니라, 내부의 전력전송을 위한 자기장까지 함께 상쇄시킴으로써 전력전송효율에 영향을 미치는 것으로 예상할 수 있다. 그림 5와 그림 6의 결과를 기반으로 페라이트의 사이즈를 7단계에 고정시킨 후, 페라이트의 두께 변화에 따른 누설자기장에 대한 결과를 그림 7에 자속밀도로 나타내었다. 그림 7의 결과에서 확인할 수 있듯이, 무선충전 시스템의 주변으로 누설되는 자기장의 세기는 페라이트의 두께의 변화에 따른 큰 변화를 보이지 않았으며, 그림 8에서는 기존의 차폐구조와 최적화된 제안된 차폐구조를 적용한 무선전력전송 코일 시스템의 자기장 분포를 나타내었다.

3-2 차폐구조 제작 및 측정

그림 9에서는 시뮬레이션을 통하여 얻어진 전력전송 효율과 누설자기장에 대한 결과의 비교/검증을 위하여 무선전력전송 시스템을 구현하였다. 무선전력전송시스템은 송/수신 코일, 매칭회로, 신호를 인가하기 위한 함수발생기, 전력전송 효율을 측정하기 위한 오실로스코프, 누설자기장을 측정하기 위한 EMC 프로브와 스펙트럼 분석기로 구성하였다. 그림 10에서는 시뮬레이션과 측정을 통하

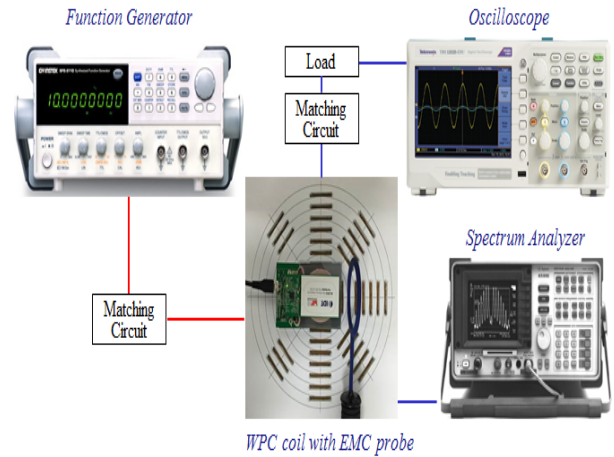


그림 9. WPT 시스템의 효율 및 자기장 측정 셋업
Fig. 9. Efficiency and magnetic field measurement setup of WPT system.

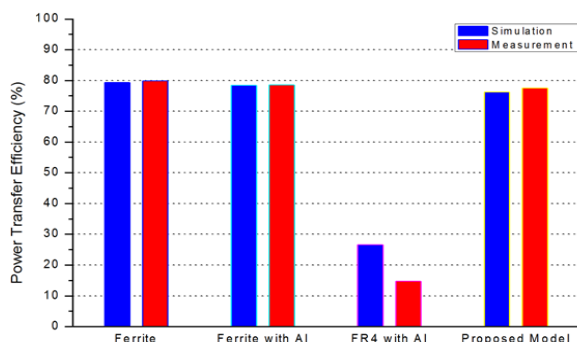


그림 10. 전력전송효율 시뮬레이션 및 측정 결과

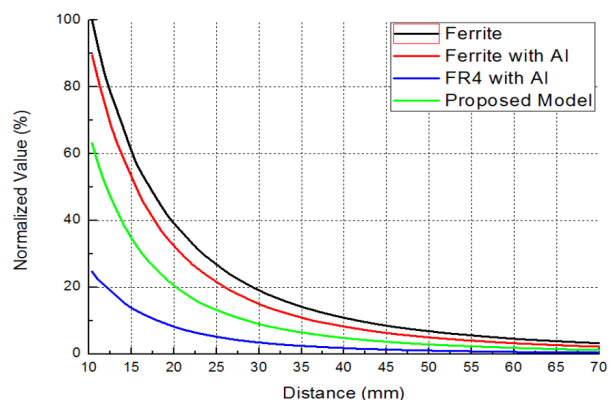
Fig. 10. Measurement result of the power transfer efficiency compared with the simulation result.

여 각 차폐구조에 따른 전력전송효율의 비교 결과를 나타내었다. 무선전력전송코일에서 형성된 시변자기장으로 인해 도체에 흐르게 되는 와전류로부터 생성된 유도자기장의 영향이 가장 크게 작용하는 경우인 FR4와 알루미늄을 사용하였을 때 전력 전송 효율이 급격하게 떨어지는 경향을 확인할 수 있었다.

이외의 경우에는 페라이트로 인해 도체에서의 와전류로 인한 영향이 줄어들기 때문에 전력전송 효율에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 그림 11에서는 누설되는 자기장 세기의 최댓값을 기준으로 각 지점에서의 자기장 세기를 정규화 하여 비율로 나타내었으며, 각각의 차폐구조의 거리에 따른 누설자기장의 세기가 저감되는 경향을 확인하였다. FR4와 알루미늄을 사용한 경우에는 누설되는 자기장의 세기가 가장 큰 폭으로 저감되었지만, 그림 10에서의 전력전송 효율 결과를 함께 고려하였을 때 무선전력전송 시스템에 적용하기에는 부적합하였다. 이를 제외한 나머지 차폐방법 중에서는 제안된 차폐구조를 적용한 경우에 주변으로 누설되는 자기장의 세기가 가장 큰 폭으로 저감되었으며, 전력전송효율은 동등한 수준으로 유지하여 무선전력전송 시스템에 보다 적합하게 개선할 수 있었다.

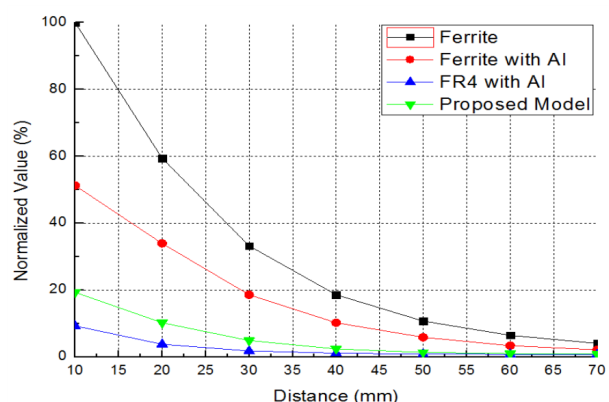
IV. 결 론

본 논문에서는 무선전력전송 시스템을 사용함에 있어서 중요한 요소인 효율을 저하시키지 않으면서 주변으로



(a) 정규화된 누설자기장 세기의 시뮬레이션 결과

(a) Simulation result of normalized leakage magnetic field strength



(b) 차폐구조에 따른 누설 자속 밀도 측정 결과

(b) Measurement result of normalized leakage magnetic field strength

그림 11. 차폐 구조에 따른 누설 자속 밀도 세기 비율

Fig. 11. Magnetic flux density rate of the each shielding structure.

누설되는 자기장의 세기를 저감하기 위한 차폐구조를 설계, 제작하였다. 무선전력전송 시스템에서 발생하는 자기장의 누설을 저감하기 위한 기존의 연구된 방법과 비교하여 제안된 구조를 사용함으로써 전력전송 효율을 유지하면서 주변으로 누설되는 자기장의 세기를 더욱 효과적으로 저감할 수 있도록 개선하였으며, 이를 시뮬레이션과 측정을 통하여 비교 및 검증을 진행하였다. 제안된 구조를 대전력 무선전력전송 시스템에 응용하여 적용한다면 무선전력전송 시스템을 보다 안전한 환경에서 사용할 수 있을 것이며, 주변의 전자기기들과의 전자파 장애 문제와 인체영향 문제 등을 효율적으로 해결에 도움을 줄 수 있

을 것으로 예상된다.

References

- [1] 박종민, 남상욱, "무선 전력 전송에 관한 기본적인 고찰", 한국전자과학회논문지, 25(10), pp. 959-965, 2014년 10월.
- [2] 박영진, "WPT의 이해", 전기공학회지, pp. 32-38, 2012년 8월.
- [3] 윤제훈, "미래에 대응하기 위한 국내 무선전력전송 산업방향 정책제언", 한국전자과학회논문지, pp. 699-709, 2015년 8월.
- [4] Hongseok Kim, Chiuk Song, Jonghoon Kim, Jiseong Kim, and Jungho Kim, "Shielded coil structure suppressing leakage magnetic field from 100 W-class wireless power transfer system with higher efficiency", *Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission, Technologies, Systems, and Applications (IMWS)*, pp. 83-86, 2012.
- [5] Jonghoon Kim, Hongseok Kim, In-Myoung Kim, YOUNG-II Kim, Seungyoung Ahn, Jiseong Kim, and Joungho Kim, "Reduction of electromagnetic field from wireless power transfer using a series-parallel resonance circuit topology", *Journal of Electromagnetic Engineering and*

Science, vol. 11, no. 3, pp. 166-173, Sep. 2011.

- [6] 배석, 최돈철, 현순영, 이상원, "휴대단말기 무선전력 전송모듈용 전자기파 차폐소재", 한국자기학회지, 23(2), pp. 68-76, 2013년 4월.
- [7] T. Batra, E. Schaltz, and S. Ahn, "Effect of ferrite addition above the base ferrite on the coupling factor of wireless power transfer for vehicle application", *Journal of Applied Physics*, vol. 117, 17D517, 2015.
- [8] 이승환, 김현민, 김희제, 김수원, "자기유도방식과 LC 공진을 이용한 WPT기기", 전기학회논문지, 62(3), pp. 349-354, 2013년 3월.
- [9] 정상훈, 안혜린, 김용준, 서준교, "자기유도방식의 WPT을 위한 최적 코일 구조", 한국정밀공학회 학술 발표대회 논문집, pp. 325-326, 2011년 10월.
- [10] Yoshiki Yasima, Hideki Omari, Yoshimitsu Morizane, Noriyuki Kimura, and Mutsuo Nakaoka, "Leakage magnetic field reduction from wireless power transfer system embedding new eddy current-based shielding method", *Electrical Drives and Power Electronics(EDPE)*, pp. 241-245, 2015.
- [11] Seungyoung Ahn, Chulsoon Hwang, and Hyun Ho Park, "Optimized shield design for reduction of EMF from wireless power transfer systems", *IEICE Electronics Express*, vol. 11, no. 2, pp. 20130930, 2014.

김 중 찬



2015년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)

2015년 3월~현재: 충북대학교 정보통신 공학전공 석사과정

[주 관심분야] 무선 전력 전송

이 승 우



2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)

2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2012년 7월~2015년 8월: 충북대학교 리

서치 펠로우

2015년 9월~2016년 9월: 충북대학교 전임연구원

2016년 10월~현재: 한국전력공사 전력연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체영향, 무선전력전송

강 병 남



2016년 2월: 충북대학교 정보통신공학부 (공학사)
2016년 3월~현재: 충북대학교 정보통신
공학전공 석사과정
[주 관심분야] 무선전력전송, 안테나 설계

조 인 귀



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학
사)
1999년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학
석사)
2006년 8월: KAIST(구 ICU) 전자공학과
(공학박사)
1999년 5월~현재: 한국전자통신연구원

책임연구원

[주 관심분야] 무선전력전송기술, 안테나 기술, 전파 측정 기술

홍 익 표



1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
사)
1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
석사)
2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학
과 (공학박사)
2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 무선

사업부 책임연구원

2006년 2월~2007년 2월: Texas A & M University, Visiting Scholar

2012년 2월~2013년 2월: Syracuse University, Visiting Scholar

2003년 3월~현재: 공주대학교 정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 전자기 수치 해석, 주파수 선택구조

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석
사)
1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박
사)
2011년~현재: 한국무선전력전송포럼 운
영위원회 위원장

2013년~현재: 미래창조과학부 통신정책자문위원회 위원

2014년~현재: BEMS 부회장, 회장

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로해
석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격