

주변 기구물 재료 및 형상에 따른 누설 자속을 고려한 전동시트용 무선충전 패드 설계

신창수, 조철희, 강소정, 김동희[†]
 전남대학교 전기공학과

Design of Wireless Charging Pad for Power Seat considering Leakage Magnetic Flux according to Material and Shape of Surrounding Fixture

Chang-Su Shin, Choel-Hee Jo, So Jeong Kang and Dong-Hee Kim[†]
 Department of Electornical Engineering Chonnam National University

ABSTRACT

본 논문은 전동시트용 무선충전 패드 주변 기구물에 누설되는 자속에 의한 손실을 분석하며 기구물 소재 및 거리에 따른 영향을 고려한 패드 디자인을 제안한다. 무선충전패드는 충전 중 누설 자속이 발생하며 레일과 프레임 등 주변 기구물에 쇠교되어 손실 및 발열을 야기한다. 기구물과 패드의 거리 및 기구물 소재에 따라 주변 기구물에 누설되는 자속 밀도 및 패드 파라미터 변동 범위가 결정되므로 이를 고려한 패드 설계가 필요하다. 패드 디자인은 FEM 시뮬레이션을 통해 비교 분석되며 100W급 실험 환경에서 발열 및 효율을 검증한다.

1. 서론

배터리를 사용하는 응용분야는 배터리 용량 한계 및 충전과 관련된 편의성 및 안전성 문제를 가지는데, 무선충전 시스템은 별도의 물리적 접촉 없이 에너지를 전달할 수 있어 소비자들의 요구사항을 충족할 수 있는 대표적인 극복 방법이다.

인공지능 및 자율주행의 발전에 따라 EV 탑승자의 내부 활용 시간 및 공간은 증가하고 있으며, 이에 따라 전동시트의 편의성증대 및 고급화를 위해 부피 및 무게가 증가하는 추세이다. 대표적인 무선충전 시스템인 IPT(Inductive Power Transfer) 시스템은 전동시트 경량화, 구조 단순화 및 이동반경 증대를 위한 방법으로 고려할 수 있으나 송수신간 물리적 거리에 의해 에너지 전달 효율이 낮으며 누설 자속에 의해 주변 기구에 영향을 줄 수 있다. 특히, 레일을 포함한 프레임은 전동시트의 주요 구성으로 알루미늄 및 다양한 복합소재를 사용하는데 누설 자속 쇠교에 의해 발열 및 손실이 발생할 수 있으므로 이를 고려한 설계가 필요하다^[1].

본 논문에서는 주파수, 패드 주변 기구물 소재, 이격거리 변동 및 패드 외경 크기에 따른 누설 자속을 비교 분석하여 최적 패드 디자인을 제안하며 100W급 하드웨어를 통해 검증한다.

2. 주변 기구물 영향 분석

IPT 시스템은 에너지 전달 매개체인 무선충전 패드와 VA 정격 감소를 위한 보상 토폴로지로 구성되는데, 본 논문에서는 그림 1과 같이 CC(Constant Current) 출력 특성을 가지는 S-S 공진 네트워크를 보상 토폴로지로서 설계하였다. 그림 2는 코일과 누설 자속 차폐를 위한 자성체 및 알루미늄 쉴드로 구성되는 무선충전 패드 및 차량용 전동시트 구성 중 자기 쇠교에 영향을 줄 수 있는 구조물인 지지 프레임, 언더레일 및 어퍼레일을 FEM 시뮬레이션으로 디자인한 모델이다.

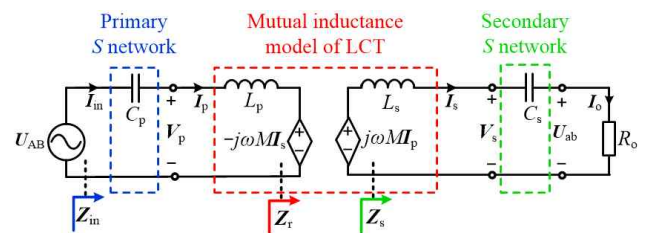


그림 1 S-S 공진 보상 토폴로지
 Fig. 1 S-S Resonant compensation topology

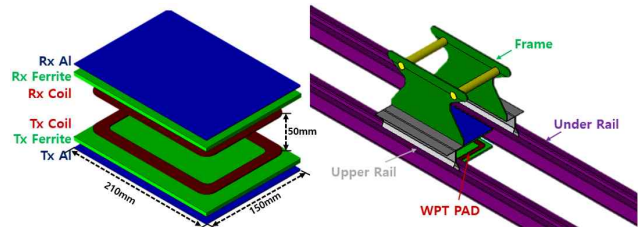


그림 2 무선충전 패드 사양 및 주변 기구물 구조
 Fig. 2 IPT PAD and peripheral structures

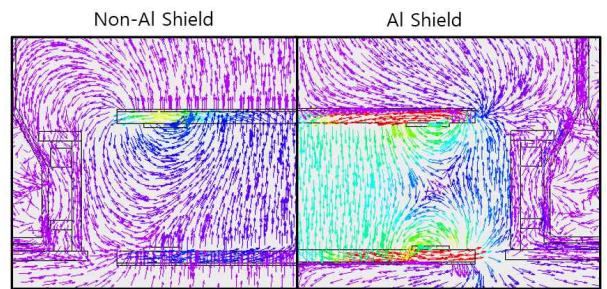


그림 3 알루미늄 유무에 따른 자속 벡터 변화
 Fig. 3 Changes in magnetic flux vector with/without Aluminum

표 1 차폐 종류 및 특징
 Table 1 Shielding types and feature

차폐 종류	차폐 방법	특징
수동 차폐	강자성 소재	높은 투자율, 결합계수 증가, 누설 인덕턴스 감소
	금속 소재	와전류 발생, 기존 자기장 상쇄, 결합계수 및 인덕턴스 감소, 와전류 손실 발생
능동 차폐	역방향 전류 코일	별도의 설계 및 제어 필요, 다른 차폐 방법 대비 무게 및 부피 저감

일반적으로 자속 차폐 방법 및 특징은 표 1과 같으며, 패드의 알루미늄 쉴드는 금속 소재로 수동 차폐 역할을 한다. 알루미늄 유무에 따른 자속 벡터는 그림 3과 같다. 알루미늄 쉴드가 있을 때 자속은 알루미늄을 통과하지 못하고 와전류 발생

표 2 차량용 무선충전 패드 주변 기구물 소재 및 특징

Table 2 Material and characteristics of equipment around IPT PAD

기구물	기구물 소재	특징
지지 프레임 & 어퍼레일	CFRP & GFRP	플라스틱 탄소 섬유, MHz 단위에서 차폐효과, MHz 이하 비투자율 1
	SAPH & SPFH	열연강판 스테인리스 소재, 철강의 한 종류, 재료비에 따라 높은 투자율을 가짐
언더레일	알루미늄	차량용의 경우 경도 및 강도가 높으나 전자기 해석에 차이 없음

표 3 패드 사양 및 기구물 소재에 따른 파라미터

Table 3 PAD specification & Parameters according to material

		내경	외경	턴 수
패드파라미터	송신부 코일	128mm x 188mm	92mm x 144mm	7 turns
	수신부 코일	128mm x 188mm	97mm x 160mm	8
	송수신 코어	210mm x 150mm x 3T		
	송수신 알루미늄	210mm x 150mm x 1T		
		Lp	Ls	k
기구물 소재	알루미늄	35.33 uH	42.57 uH	0.239
	스테인리스	35.34 uH	42.58 uH	0.239
	FRP	35.95 uH	43.35 uH	0.249

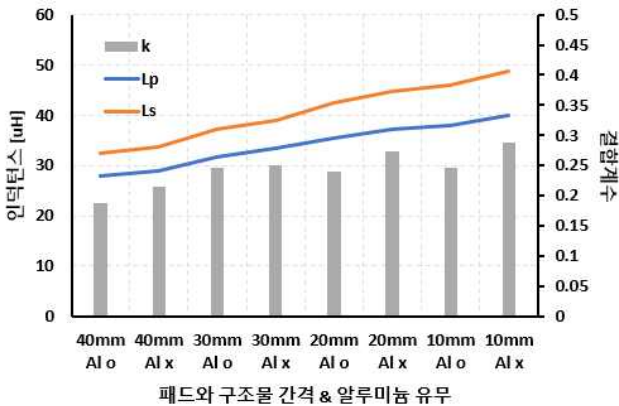


그림 4 패드 구조물 간격 및 알루미늄에 따른 파라미터 변화
Fig. 4 Variation of parameters according to spacing and Aluminum

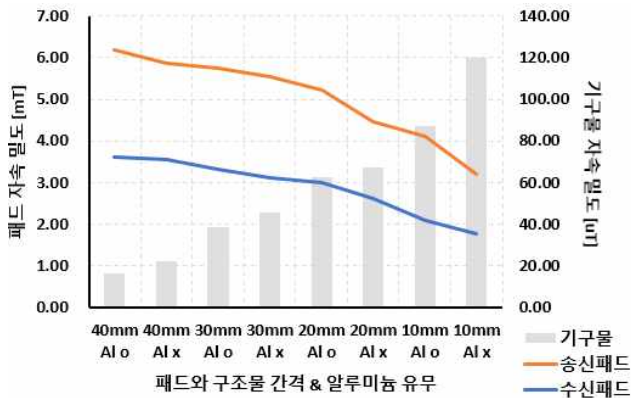


그림 5 패드 구조물 간격 및 알루미늄에 자속 밀도 변화
Fig. 5 Variation of flux density according to spacing and Aluminum

및 결합계수 감소를 야기하지만 주변 기구물에 쇄교되는 자속이 저감하는 것을 확인할 수 있다.

무선충전 패드 주변 기구물의 소재는 표 2와 같으며 무선충전 중 영향을 미치는 소재는 알루미늄 및 스테인리스 소재이다. FRP 소재는 IPT시스템에서 공기와 같은 투자율을 가지므로 자기 쇄교로 인한 와전류가 발생하지 않는다. 무선충전 패드 규격 및 소재에 따른 파라미터 변화는 표 3과 같다.

기구물이 금속 소재일 때 차폐 영향은 패드와 기구물 간 거

리에 따라 변하며, 거리에 따른 파라미터 변화는 그림 4와 같다. 구조물은 자기 차폐 역할을 하며 자속 경로를 유도하므로 패드와 구조물의 간격이 가까울수록 인덕턴스 및 결합계수가 증가하지만 파라미터 증가만큼 자속 쇄교로 인한 와전류 손실이 증가한다. 그림 5는 패드와 기구물 간 거리 및 알루미늄 유무에 따른 자속 밀도 변화 그래프이다.

3. 제작 및 실험

파라미터 및 기구물에 쇄교하는 자속 밀도를 고려하여 패드와 기구물 간 거리는 10mm로 선정하였으며, 이를 토대로 패드를 제작하여 실험을 진행하였다. 실험 조건은 표 4와 같으며, 실험 결과 최대 86% 효율을 달성하였다.

표 4 제작된 패드 파라미터 및 실험 조건

Table 4 Fabricated pad parameters and experimental condition

패드 파라미터	Lp [uH]	25.196	공진 주파수 & 공진 커패시터	Cp [nF]	83.09
	Ls [uH]	32.506		Cs [nF]	64.4
	k	0.226		fs [kHz]	110
입출력 조건	U_DC-Link [V]	25	출력 전력 [W]	100	
	Vo [V]	24 - 48			



그림 6 실험 환경 및 제작된 패드
Fig. 6 Experimental environment and fabricated pad



그림 6 실험 결과
Fig. 6 Experiment result

4. 결론

본 논문에서는 차량용 전동시트의 무선충전 설계 시 고려해야 하는 주변 기구물의 영향을 분석하였다. 기구물의 소재가 금속 소재일 경우 인덕턴스 및 결합계수가 감소하며 거리가 가까울수록 패드 인덕턴스, 결합계수 및 기구물에 쇄교되는 자속 밀도가 증가한다. 따라서, 패드 파라미터 변화 및 자속 밀도를 비교하여 패드를 설계해야 한다.

- 본 연구는 2023년도 한국산업기술평가관리원의 자동차산업기술 개발사업의 지원에 의한 연구임 [20018829]
- This work was supported by the Technology development Program(20018829) funded by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology(KEIT, Korea)

참고 문헌

[1] Haisen Zhao, "Shielding Optimization of IPT System Based on Genetic Algorithm for Efficiency Promotion in EV Wireless Charging Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 58, No. 1, pp. 481-482, 2022, February.