

금속 차폐 공간 내 원거리 무선전력전송 기술의 적용 검토

정석용, 최보환, 유승진, 구범우, 임춘택
KAIST 원자력 및 양자공학과

A Study on the Application of Wireless Power Transfer Technologies in Metal Shielding Spaces

S. Jeong, B. Choi, S. Yoo, B. Gu, C. Rim,
Dept. of Nuclear and Quantum Engineering KAIST

ABSTRACT

본 논문에서 금속 차폐 공간 내 원거리 무선 전력전송 기술의 적용방법을 제시한다. 논문에서 고려된 금속 차폐 공간은 무선 전력전송 송수신코일의 후면 및 천장, 바닥에 위치하는 철, 알루미늄, 페라이트 3종류의 금속판들로 구성된다. 본 논문에서는 유한요소해석 시뮬레이션(Ansoft Maxwell)을 통해 송수신코일 간 자기결합 측면에서 철, 페라이트 금속판 보다 우수한 알루미늄 금속판의 특성을 검토하였다.

1. 서론

무선전력전송은 니콜라 테슬라 이후 약 100여 년 동안 그 발전을 거듭해 왔다. 근래 각종 전자기기에 무선(비접촉)으로 전력을 공급하는 연구들이 활발히 진행되었으며 그 결과 휴대전화, 전동 칫솔, 전기자동차 등의 근거리 무선 충전을 위한 기술이 상용화 되었다.^[1] 한편 2007년 MIT에서는 자기공명방식을 이용하여 2m 거리에서 60W를 약 40%의 효율로 전달하는데 성공한 바 있다.^[2] 하지만 4개의 코일로 구성된 송수신코일 설계의 어려움 외에도 자기결합이 온도, 습도 등 주변 환경에 민감하다는 단점으로 인해 널리 사용되고 있지 못하다. 2012년 KAIST에서 제안한 자기유도방식 원거리 무선전력전송은 2개의 송수신코일로 구성되어 있으며 209W를 5m 거리에서 무선으로 전달하는데 성공하였다.^[3]

위 두 가지 기술과 같이 송수신코일 간의 자기결합을 사용하는 원거리 무선전력전달은 주변 금속구조물에 의해 자기결합의 정도와 효율이 크게 영향을 받는다. 일반적으로 건물의 벽면은 철근을 포함하고 있으며 특히 원자력발전소 격납건물의 경우는 그림 1과 같이 벽면과 천장, 바닥이 모두 철판으로 이루어져 있기에 이러한 금속 차폐 공간 내에 원거리 무선전력전달을 적용하는 것은 쉽지 않다. 더욱이 송수신 코일 및 금속 구조물들의 형상과 위치, 재질에 대해 복잡한 상호관계를 가지는 전자기적 현상을 이론적으로 정확히 분석하는 것에는 많은 어려움이 따른다.

본 논문에서는 유한요소해석 시뮬레이션(Ansoft Maxwell)을 사용하여 자기유도 방식의 원거리 무선전력전송 기술을 금속 차폐 공간 내에 적용할 때 발생하는 기술적 문제점을 검토하였으며, 철·페라이트 금속 구조물로 인해 감소된 송수신코일 간의 자기결합을 알루미늄판으로 보상하는 방법을 제시하였다.

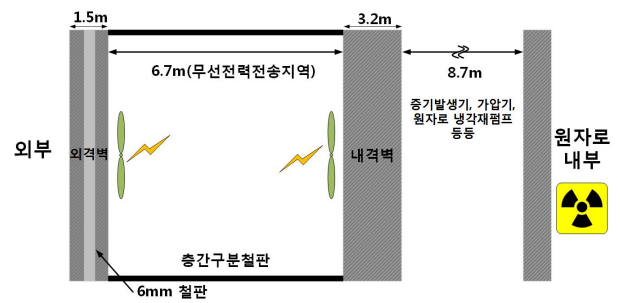


그림 1 원자력 발전소 격납건물 내부 금속 구조물의 구조

2. 시뮬레이션 환경

2.1 송수신코일 및 금속판

그림 2는 그림 1과 같이 원자력 발전소 격납건물 내부에 무선전력전송 기술이 적용될 때 송수신코일 및 주변 철 구조물을 모사한 그림이다. 시뮬레이션 톨의 제한된 해석범위(1,000m³)로 인하여 1/10로 축소된 시뮬레이션을 수행하였다. 오직 송수신 코일만 존재할 때 송수신코일에 300A, 100kHz의 전류를 인가하여 수신코일에 얻어지는 자속의 세기(591μT)를 기준으로 모든 데이터를 정규화 하여 상대비교 하였다.

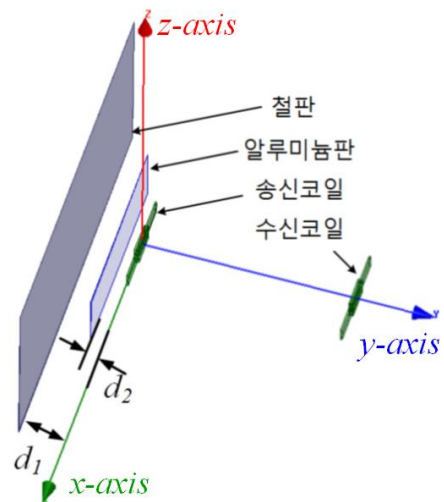


그림 2 송수신코일 및 금속판 모사

표 1 물질에 따른 물성 값 비교

	도전율 (siemens/m)	상대투자율
공기	0	1
철	10,300,000	4,000
알루미늄	38,000,000	1
페라이트	0.01	2,000

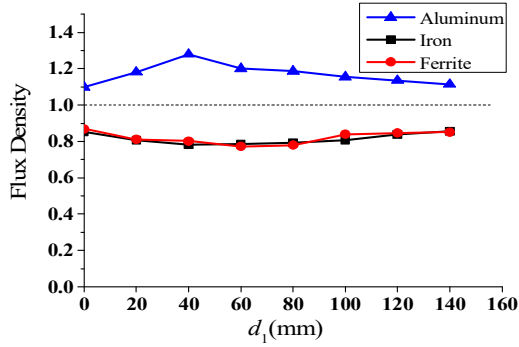


그림 3 금속판 위치에 따른 수신부 자속밀도

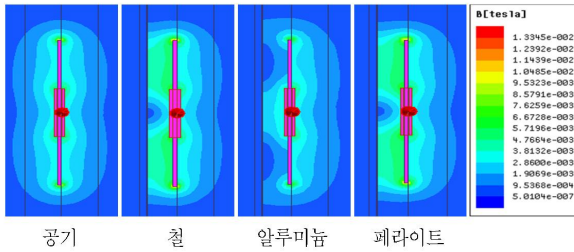


그림 4 금속의 종류에 따른 수신부 자속밀도 분포

2.2 금속판의 재질

금속판의 재질에 따라 달라지는 전자기현상을 분석하기 위해 표 1과 같이 3가지 종류의 금속판이 고려되었다. 높은 도전율 및 상대투자율을 가지는 철, 높은 도전율을 가지나 상대투자율은 1인 알루미늄, 아주 낮은 도전율과 높은 상대투자율을 가지는 페라이트에 대한 결과를 각각 비교하여 금속의 도전율과 상대투자율이 송수신코일의 자기적 결합에 미치는 영향을 분석하였다.

3. 금속판의 영향

3.1 송수신코일 후면 금속판의 영향

송수신코일 후면에 충분히 큰 크기(1200mm*600mm*0.6mm)의 금속판이 위치할 때 송수신코일과의 거리 d_1 의 변화에 따른 수신코일 자속밀도는 그림 3과 같다. 높은 도전율만을 가진 알루미늄의 경우 수신부 자속밀도를 금속판이 없는 경우에 비해 최대 28% 증가시킨 반면 높은 상대투자율을 가진 철, 페라이트는 수신코일 자속밀도를 감소시키는 경향을 보인다. 철은 높은 도전율의 특성도 가지나 높은 투자율로 인한 자속 감소 영향이 더 큼을 알 수 있다. 금속판 종류에 따른 송수신코일에서의 자속 밀도 분포를 그림 4에 정리하였다. 다른 금속판과 차이를 보이는 알루미늄판과 송수신코일 사이의 자속밀도 분포는 유기된 와전류로 인해 발생한 자속에 영향을 받는 것으로 보인다.

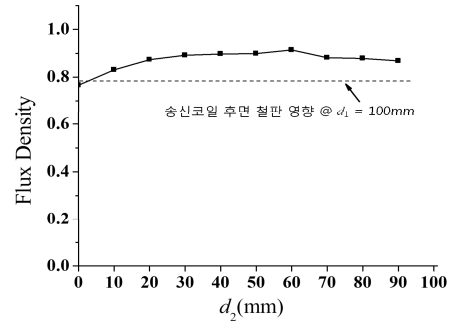


그림 5 알루미늄판을 추가한 경우에 대한 거리에 따른 수신부 자속밀도

3.2 철판의 영향 보상

원자력 발전소 격납건물에 송수신코일을 설치 할 경우 송수신코일 후면의 철판은 수신코일의 자속밀도를 감소시킴을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이를 보상하기 위해 송수신코일과 철판 사이에 적당한 크기(600mm*200mm*0.6mm)의 알루미늄판을 삽입하여 d_2 의 변화에 따른 수신코일의 자속밀도를 그림 5와 같이 측정하였다. 알루미늄판이 송수신코일로부터 60mm 떨어져 있을 때 최대의 보상효과를 가짐을 확인하였다.

3.3 천장/바닥 철판의 영향

천장 및 바닥에 철판이 있는 경우 송수신코일 후면에 철판 및 보상용 알루미늄판이 존재할 때에 비해 35% 감소함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서 원자력 발전소 격납건물과 같은 금속 차폐 공간이 무선전력전송 송수신코일 사이의 자기결합에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 검토하였다. 송수신코일 주변 철판은 수신코일 자속밀도를 크게 감소시키지만 알루미늄판을 송수신코일 후면에 삽입하여 감소하는 자속밀도를 보상할 수 있음을 확인하였다. 향후 금속판의 두께, 송수신코일 전류의 주파수 등에 따른 상관관계에 대한 지속적인 연구를 진행할 계획이며 본 연구를 통해 무선전력전송 기술을 다양한 공간에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20121610100030)

참고 문헌

- [1] 임춘택, "무선전력전송의 애로기술," 전력전자학회지, vol. 15, No. 6, pp. 32-39, Dec. 2010.
- [2] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," Science, vol. 317, no. 5834, pp. 83-86, Jul. 2007.
- [3] C. Park, S. Lee, C. Rim, "5m off Long Distance Inductive Power Transfer System Using Optimum Shaped Dipole Coils," IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (ECCE Asia), Jun. 2012, pp. 1137-1142.