

2013 KAIST 원자력 전력전자 및 로봇연구실 무선전력기술 소개

임춘택

카이스트 원자력 및 양자공학과

ABSTRACT

2013년까지 KAIST 원자력 전력전자 및 로봇 연구실에서 연구한 무선전력전송 관련 연구결과를 소개한다. 본 논문에서는 전력전자를 바탕으로 원자력 발전소의 중대사고 발생 시 원전 내부 상황을 모니터링 하기 위한 로봇 및 계측장비의 전원공급을 위한 무선전력전송 시스템과 사무실이나 작업장과 같은 장소에서 항상 무선전력으로 모바일기기를 충전할 수 있는 시스템을 소개하였다.

1. 서 론

최근 전력전자분야에서 무선전력전송에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 카이스트에서는 2011년 무선으로 전력을 전송하기 위한 방법 중 하나로 자기유도 방식 (Inductive Power Transfer System, IPTS)을 이용하여 OLEV (On Line Electric Vehicle)의 급집전간 공극 20cm에서도 27kW의 전력을 전송하였다.^[1] 2012년에는 IPTS를 이용하여 5m의 장거리에서도 209W의 전력전송이 가능함을 보였다.^[2]

지난 후쿠시마 원전폭발로 원자력 안전의 중요성이 부각되는 가운데, 원자력발전 중대사고 발생 시 무선전력기술을 이용하여 사람 대신 로봇이나 계측장비를 이용하여 사고현장을 모니터링하는 것이 제시되었다. 원자력 사고 시 발생하는 방사능으로 인해 사람이 직접 사고현장으로 투입될 수 없는 경우, 무선으로 전력을 공급받는 로봇을 이용하여 사고현장을 24시간동안 모니터링이 가능하다. 또한 원자력 발전기를 둘러싸는 격납건물 안의 계측장비에 무선으로 전력을 공급하여 중대사고 상황에서도 원전 내부의 계측정보를 수신할 수 있다. 무선전력을 이용한 다른 응용으로 유비쿼터스 IPTS 환경에서의 모바일기기 무선충전이 있다. 집이나 사무실과 같은 한정된 공간에서 무선전력시스템을 구현함으로써 집전장치가 부착된 휴대폰 및 스마트기기와 같은 모바일기기의 무선충전이 가능하다.

본 논문에서는 원전 중대사고시 사고현장을 모니터링하기 위한 TeCoM Nobo (Tethered Contactless Mobile Nuclear monitoring robot)와 무선전력전송 기술이 적용된 원전 격납건물의 개요 및 유비쿼터스 IPTS 환경에서의 무선충전용 모바일기기장치에 대해 소개한다.

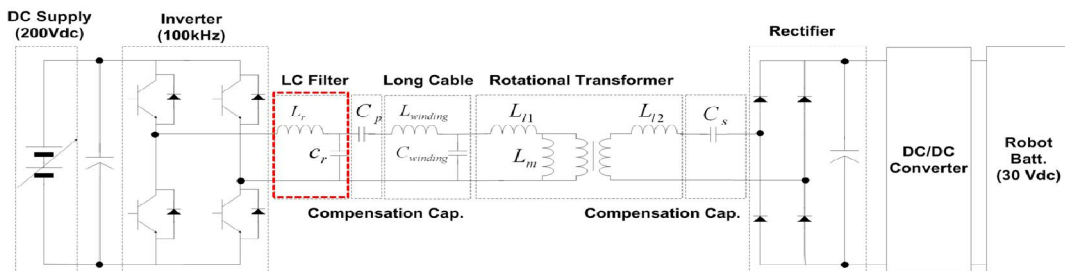


그림 3 제안하는 TCPS 전체 회로도

2. 무선전력전송 기술소개

2.1 TeCoM Nubo 소개

TeCoM Nubo는 그림 1과 같이, 로봇위에 설치되어 있는 고주파 케이블을 이용하여 무선으로 전력을 전달받는 구조로 되어있다. TeCoM Nubo는 무선충전식으로 로봇에 전력을 전달하는 Tethered Contactless Power System (TCPS)과 고주파 케이블이 로봇동작 중에 얽히지 않도록 도와주는 Tension Control System (TCS)로 구성되어 있다.

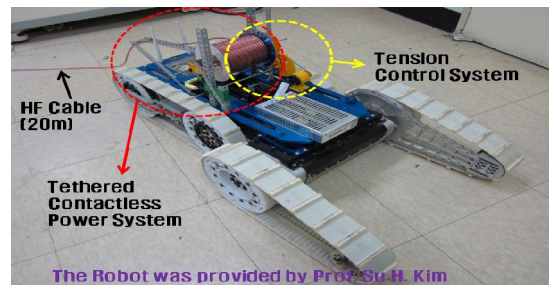


그림 1 제안하는 TeCoM Nubo

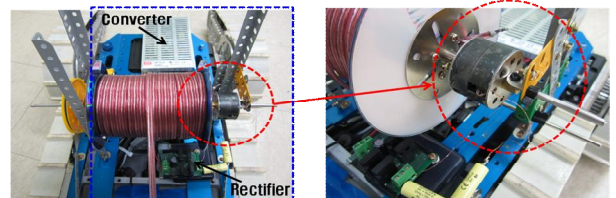


그림 2 제안하는 TCPS (왼쪽)과 비접촉형 회전형 변압기 (오른쪽)

그림 2의 제안하는 TCPS는 장거리 전력전달을 위해 설계되었다. TCPS는 고주파 케이블, 비접촉형 회전형 변압기, 정류기 및 레귤레이터로 이루어져있으며 전체 회로도는 그림 3과 같다.

장거리 전력전달을 위한 TCPS를 구현하기 위해서는 아래의 시스템 요구조건들을 만족시켜야 하며, 실험결과 Nubo 배터리 충전에 필요한 29.5 W의 파워를 안정적으로 공급할 수 있다.

- 1) 장거리 전력전달($\leq 1 \text{ km}$)을 위해서는 제한된 공간의 보빈에 충분한 턴수의 케이블을 감아야 하기 때문에, 케이블의 두께가 충분히 얇아야 한다.

- 2) 비접촉식 회전형 변압기의 크기와 전력케이블의 두께를 줄이기 위해서는 동작 주파수는 충분히 커야($\geq 20 \text{ kHz}$)하고, 전압은 충분히 커야($\geq 100 \text{ V}$)한다.
- 3) Nubo의 안정적인 전원공급을 위해서, 25 W 파워가 연속적으로 공급되어야 한다.

2.2 무선전력 전송을 이용한 원전 중대사고 시 필수 계측기 전원공급



그림 4 후쿠시마 원전 사고 이후 격납건물 내부의 모습

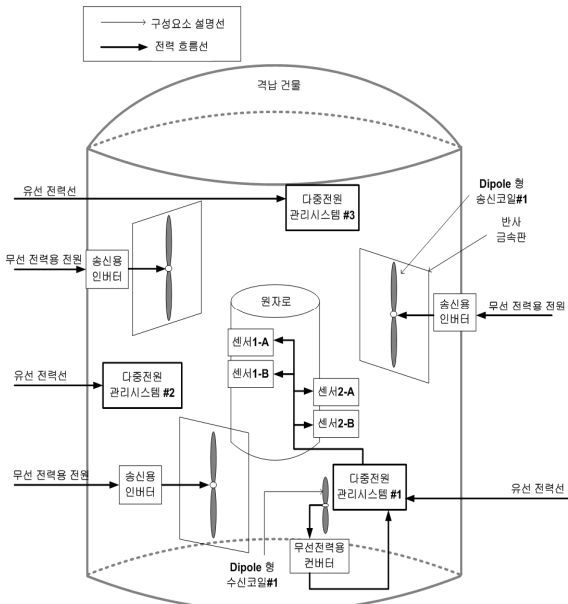


그림 5 무선전력전송기술이 적용된 원전 격납건물의 개념도

후쿠시마 원전 중대사고 이후 중대사고 시 원전 내부 상황을 모니터링 하는 것에 대한 중요성이 강조되고 있다. 통상 계통과 비상발전기 등 모든 교류전원이 끊기는 스테이션 블랙아웃(SBO) 이후 바람직한 중대사고 관리를 위해서는 원전 격납건물 내부 상황에 대한 지속적인 계측이 이루어져야 한다. 하지만 SBO 혹은 중대사고(노심 손상) 이후 격납건물 내부의 고온/고압/폭발 상황에서 계측기의 전원선 및 보조건물과의 계측정보 송수신을 위한 케이블은 그림 4과 같이 손상되어 정상적인 동작을 수행하지 못할 가능성이 크다.

그림 5는 중대사고 시 필수계측기에 전원을 공급하기 위해 무선전력 전송을 원전 격납건물에 적용한 개념도이다. 원전 중대사고 관리를 위해서는 격납건물 내부 수소농도, 방사능 값, 압력, 온도, 및 노심 수위, 온도 등의 필수 계측정보가 필요하다. 약 7m 거리의 격납건물 외벽과 내벽에 송신코일과 수신코일이 각각 설치되고, 수신된 전력은 다중 전원 관리 시스템을 통해 계측기의 동작과 계측기 보호(냉각) 등에 사용된다.

표 1 디자인 파라미터 값

a (width)	200 mm	L_i	1.75 mH
b (length)	175 mm	R_i	2.6 Ω
d (gap)	0.6 mm	C_p	28 pF
N (turns)	80 turns	C_L	35 nF
f_s	20.43 kHz	R_L	3.0 Ω

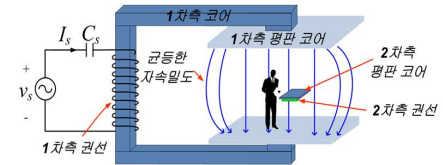


그림 6 제안하는 WPTS의 동작원리

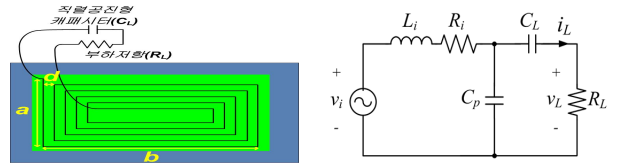


그림 7 제안하는 무선충전용 모바일기의 집전장치(왼쪽) 및 등가회로(오른쪽)

2.3 무선충전용 모바일 집전장치 소개

유비쿼터스 모바일 무선충전시스템은 그림 6과 같이 1차측 권선 및 코어를 이용하여 균등한 자기장을 방출하는 WPTS (Wireless Power Transfer System)를 구현할 수 있으며, 이 범위내에 있는 집전장치가 부착된 모바일기는 무선으로 전력을 전송받을 수 있다.

무선충전용 모바일기 집전장치는 그림 7의 왼쪽과 같이 나선형 코일, 평판코일로 구성되어 있다. 그림 7 오른쪽의 등가회로에서는 코일의 인덕턴스 L_i , 코일의 내부저항 R_i , 코일 선간의 기생 캐패시터 C_p , 공진 캐패시터 C_L , 부하저항 R_L 로 구성되어 있다. C_L 은 L_i 와의 직렬공진을 위한 캐패시터이며, C_L 을 제외한 나머지 파라미터는 집전장치 설계시 정해진 값으로 계측장비를 통해 측정가능하며 각 값들을 표 1에 정리하였다.

실험결과, C_L 과 L_i 이 동작주파수에서 직렬공진하고 부하저항 R_L 은 R_i 와 동일할 경우 최대전력전달이 가능하며, 이 경우 부하에 전달되는 전력은 약 0.85 W임을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 원자력 중대사고시 원자력 내부상황을 모니터링하기 위한 로봇인 TeCoM Nubo와 무선전력전송기술이 적용된 원전내부의 개념도, 모바일기기를 유비쿼터스 환경하에 무선충전할 수 있는 WPTS 및 충전용 집전장치를 소개하였다.

참 고 문 헌

[1] J. Huh, S.W. Lee, W.Y. Lee, G.H Cho, and Chun T. Rim, "Narrow width inductive power transfer system for on line electrical vehicles," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp.3666 3679, Dec. 2011

[2] C. B. Park, S. W. Lee, and C. T. Rim, "5m off long distance inductive power transfer system using optimum shaped dipole coils," *Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC)*, Jun. 2012, vol. 2, pp. 1137 1142.