

# 전기식 Yard Tractor용 무선전력 전송시스템

문상호, 최길용, 강제봉, 유효열, 문용기  
(주) 그린파워

## Wireless Power Transfer System for Electric Yard Tractor

Sang-Ho Moon, Gil-Yong Choi, Jae-Bong Kang, Hyo-Yol Yoo, Yong-Ky Moon  
Green Power Co.Ltd

### ABSTRACT

항만 내 대표적인 하역장비로는 RTG와 YT가 있으며 주로 디젤엔진을 사용하고 있다. 항만의 그린화 및 무인화를 위해 물류장비의 전기동력 전환의 필요성 증가 및 전기동력 충전을 위한 유선 또는 무선 충전기술 등이 고려되고 있다. 본 논문에서는 항만에서 운영되는 전기식 YT의 운영 패턴을 고려해 수시로 충전이 가능한 무선전력 전송시스템을 제안하였다. 또한 제안한 시스템의 검증을 위해 실험용 시스템을 구축하여 전력전송 용량 및 효율실험 결과를 통하여 타당성을 확인하였다.

### 1. 서론

항만에서 사용하는 하역장비중 안벽 크레인(QC)이나 야드 크레인(RMGC) 등은 대부분 릴 케이블 방식이나 컨덕터 바 방식으로 전기동력 전환이 되었지만, 디젤 YT의 경우 높은 개조 비용과 적합한 충전 방법의 미비로 전기동력 전환이 미진하다. 검토된 전기식 YT 충전 기술은 다음과 같은 문제점이 있다. 유선충전 방식은 YT 운용을 위한 대용량의 배터리를 탑재해야 하고, 최소 40분 이상의 별도 충전 대기 시간이 필요하여 장비 운영 효율성이 떨어지는 문제점이 있고, 배터리 교환형은 별도의 공간에 고가의 배터리 교환소를 설치하고 여분의 배터리를 확보해야 하므로 초기 투자비가 많이 들어가게 된다. 이에 대한 해결방법으로 KAIST에서 제안한 주행중 충전(OLEV)<sup>[1]</sup>은 YT가 이동하는 경로에 무선급전 라인을 설치하고 운행중에 수시로 충전하므로 YT에 장착되는 배터리 용량을 줄일 수 있지만 YT 작업 영역에 무선급전 라인을 설치하는 비용 대비 효율성이 떨어진다. 이에 YT의 운영 환경을 고려하여 크레인 아래에서 컨테이너의 하역/승역 작업을 위한 대기시간에 무선으로 충전을 하는 방법이 제안된 바 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 전기 RMGC에서 컨테이너 하역 또는 승역을 위해 대기하는 YT에 무선으로 전력을 전송하는 시스템을 제안하였다. 릴 케이블 방식으로 전력을 공급받는 RMGC의 여유 전력을 이용하여 최적화된 배터리를 장착한 전기식 YT를 수시로 충전하므로 YT의 운영 효율성을 확보할 수 있다.

### 2. 무선전력 전송시스템

#### 2.1 Yard Tractor 운영 및 충전

그림 1에서는 항만 컨테이너 터미널에서 운영되는 YT의 작업 유형을 보여준다. QC가 컨테이너 선에서 컨테이너를 하역하여 YT에 승역하면, YT는 야드 내에서 컨테이너 하역 위치로 이동하고 RMGC는 YT의 컨테이너를 하역작업을 하게 된다. YT는 RMGC에서 컨테이너 하역/승역을 위해 대기하게 되는데, 이 때에 RMGC의 여유 전력을 이용하여 전기식 YT를 충전하게 되면, YT 운영에 영향을 주지 않으면서 충전이 가능한 충전시스템 구축이 가능하고, 수시로 충전을 하므로 YT에는 운영을 위한 최소의 배터리를 장착할 수 있게 된다.

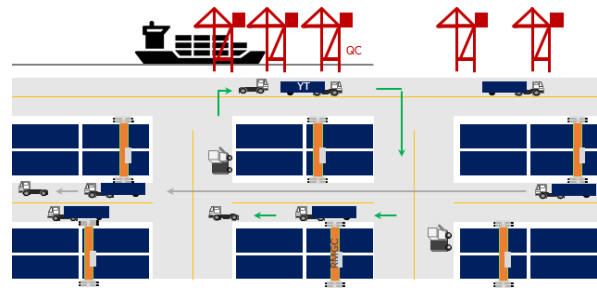


그림 1 컨테이너 터미널에서 YT 운영

#### 2.2 무선전력 전송시스템 설계

전기식 YT를 충전하는 무선전력 전송시스템은 급전패드와 집전패드간의 이격 거리가 수 m에 이르고, 적재되는 컨테이너의 사이즈 및 적재 위치에 따라 YT의 정차 위치 차이가 발생하므로 이를 보정하는 위치정렬 장치가 필요하다. 본 논문에서는 YT의 정차 위치를 미리 항만 운영 시스템으로부터 정보를 받아 크레인의 급전패드를 지정된 위치로 이동시키는 위치정렬 장치를 고려한 시스템을 설계하였다.

본 논문에서는 무선전력 전송을 위한 급전부는 크레인에 설치되고, 집전부는 YT에 설치되어 전기식 YT가 정차하면 급전패드가 집전패드로 이동하여 충전이 이루어진다. 동작 주파수는 SAE 표준 동작 주파수 범위에서 81.4[kHz]를 선택하였고, 무선전력 전송시스템은 공극 및 편차가 있는 조건에서도 200[kW]의 전력전송이 가능하도록 설계하였다.

### 2.2.1 급전부

급전부는 그림 2와 같이 인버터 입력전압을 제어하는 쇼퍼, 급전코일에 고주파 전류를 공급하는 인버터 및 LC 공진회로로 구성된다. 급전 인버터의 제어 듀티는 50%로 고정하고 인버터 입력전압을 제어하므로 급전코일에 공급되는 전압을 제어하여 집전코일 전류를 제어하거나, 급전코일에 흐르는 전류를 제어하여 집전코일에 유기되는 전압을 제어한다. 또한 급전부가 설치되는 환경을 고려하여 설치 공간이 최소화 되도록 수냉식 냉각구조로 설계하였다.

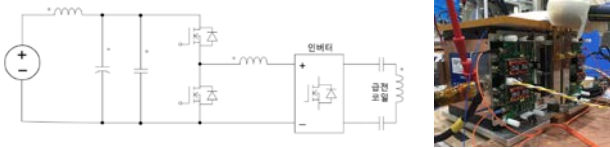


그림 2 무선전력 전송시스템(급전부)

### 2.2.2 급/집전 장치

YT의 정차 위치는 이적된 컨테이너의 크기 및 적재 위치에 따라 패드간 거리 및 전후/상하 위치 편차가 발생하게 된다. 이를 고려한 급전/집전 패드간의 위치정렬 장치 및 급전/집전 패드는 그림 3과 같이 설계하였다. 위치정렬 장치는 패드간 거리를 0~20mm 이내로 제어하고, ±70mm 이내의 전후/상하 편차에서도 충전이 가능한 급전/집전 패드를 설계하였다.



그림 3 위치정렬 장치 및 급전/집전 패드

### 2.2.3 집전부

집전부는 그림 4와 같이 LC공진회로와 정류회로로 구성되며, 공진 커패시터 및 정류부는 수냉식 냉각구조로 설계 하였다.

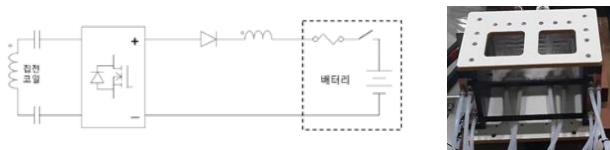


그림 4 무선전력 전송시스템(집전부)

## 3. 실험 결과

설계된 급전패드와 집전패드간의 공극 및 편차에 대한 무선전력 전송특성 실험을 그림 5와 같이 구성하여 진행하였다. 그림 6에서는 인버터 입력전압에 대한 전후 편차 및 패드간 거리 변화에 따른 용량 및 효율을 측정 한 실험 결과를 보여준다. 그림 7에서는 패드간 거리가 20mm, 입력전압이 700[Vdc]에서 급전 및 집전 코일에 흐르는 전류를 나타낸다. 실험 결과에서 패드간 이격 및 편차가 있는 조건에서도 200[kW] 이상의 전력전송이 가능하며, 정 위치에서는 입력전압이 550[Vdc]에서 효율

96%를 만족하는 것을 확인하였다.

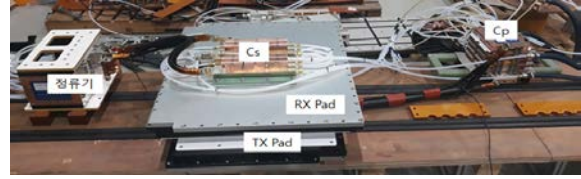


그림 5 실험 구성도

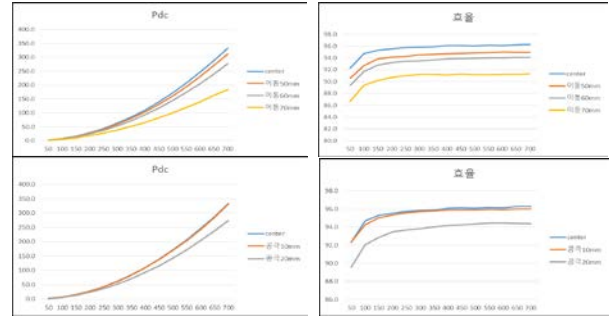


그림 6 용량 및 효율(공극/편차)

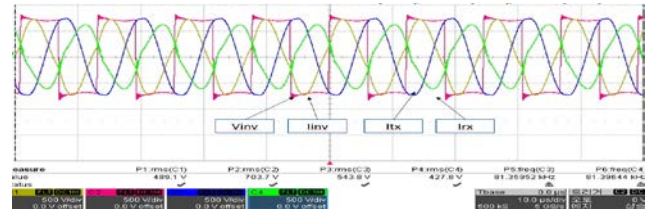


그림 7 급전전류(I<sub>tx</sub>) 및 집전전류(I<sub>rx</sub>)

## 4. 결론

본 논문에서는 전기식 YT용 무선전력 전송시스템을 제안하였다. 제안한 무선전력 전송용 급전부, 집전부 및 급전/집전 패드를 제작하여 시스템의 타당성을 실험을 통하여 검증하였다. YT용 무선전력 전송시스템의 상용화를 위한 신뢰성 확보를 위해서는 YT의 무선충전 시스템의 실증 연구가 지속적으로 필요하다.

이 논문은 산업통상자원부, 중소벤처기업부 월드클래스300 프로젝트 기술개발지원사업의 연구비지원(S2641343)에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

[1] J. Shin, S. Shin, Y. Kim, S. Ahn, S. Lee, G. Jung, S.-J. Jeon and D.-H. Cho, "Design and implementation of shaped magnetic-resonance-based wireless power transfer system for roadway powered moving electric vehicle," IEEE Trans. Ind. Electronics, vol. 61, no. 2, pp. 1179-1192, 2014.  
 [2] J. Heo, D.-S. Lee, S.-J. Jeon, and N. H. Kim, "Furtive Charging System for Electric Yard Tractor," in Proceedings of IEEE ITEC 2016, 2016, pp. 712-716.