

# 착자방식을 고려한 마그네틱 커플링의 고출력화 연구

## A Study on the Power Enhancement of Magnetic Coupling Considering Magnetization Method

이호준\*<sup>†</sup>Ho-Joon Lee\*<sup>†</sup>

**초 록** 철도 분야에서 철도차량 건인전동기 분야뿐만 아니라 전동화 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서, 철도 차량용 전동화 분야에서 기존 시스템 대비 유지 보수성 및 시스템 효율 향상을 할 수 있는 새로운 기술 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 마그네틱 커플링은 이를 충족할 수 있는 기술 중 하나이다. 특히, 마그네틱 커플링은 영구자석을 이용하여 모터와 기계를 연결하고 물리적 접촉 없이 공극을 통해 힘을 전달하는 것으로, 철도 분야의 혁신에 이바지할 수 있다. 본 논문에서는 마그네틱 커플링에 관한 설계법 연구를 다루고, 출력 및 효율 향상을 위해 Halbach array를 적용하여 최적 모델을 도출하였다. 이는 전자기적 유한요소법(FEM)을 적용하여 도출된 모델의 특성을 비교 분석하여 유효성을 검증한다.

**주요어** : 마그네틱 커플링, 착자방식, 할바흐 배열, 전동화, 폴아크비

### 1. 서론

최근 세계적으로 철도 분야의 전동화에 관한 수요가 급증하고 있다. 철도 차량용 전동화 분야에서 기존 시스템을 대체할 수 있는 기술 중 하나로 마그네틱 커플링에 관한 연구 및 수요도 급증하고 있다. [1]-[4] 마그네틱 커플링은 영구자석을 이용하여 모터와 기계를 연결하는 것으로, 물리적 접촉 없이 공간을 통해 힘을 전달할 수 있는 장치이다. 영구자석의 인력 및 반발력을 이용한 자기력은 철도 분야뿐만 아니라 선형 및 회전 방식에 모두 응용이 가능하다. 특히 외관은 특정 기계장치의 동적 밀봉에 존재하는 누출문제를 해결할 수 있어 화학, 재지, 식료품, 약국 등과 같은 다양한 산업 및 분야에서 널리 사용될 수 있다.

본 논문은 철도 차량용 마그네틱 커플링 관련 전자계 설계법에 관하여 제안한다. 이를 통해

방사방향의 기본모델을 도출하고, 고출력화를 위해 할바흐 배열을 도입하였다. 최종적으로 최적모델을 도출하고, 전자기적 유한요소법(FEM)을 적용하여 도출된 모델의 특성을 비교 분석하고 유효성을 검증하였다.

### 2. 본론

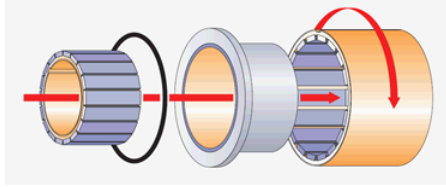
#### 2.1 마그네틱 커플링의 기본 개념도

##### 2.1.1 구조와 특징

마그네틱 커플링은 기계적 결합 없이 마그네틱 회전자의 강한 자력이 공극을 통해 모터측의 회전자로 유도되어 동력을 전달하는 것이다. 가장 간단한 형태의 마그네틱 커플링은 드라이버(driver)와 팔로워(follower)로 구성된다. 드라이버는 모터에 연결된 메커니즘의 일부이며, 자기 상호 작용을 통해 팔로워는 드라이버의 움직임에 반응하여 기계에너지를 비접촉으로 전송한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 외부 회전자, 내부 회전자, 절연커버 및 토크 커플링으로 구성된다.

<sup>†</sup> 교신저자: 청주대학교 융합전자공학부 전기 제어전공 (hjlee@hcju.ac.kr)

\* 청주대학교 융합전자공학부 전기제어전공



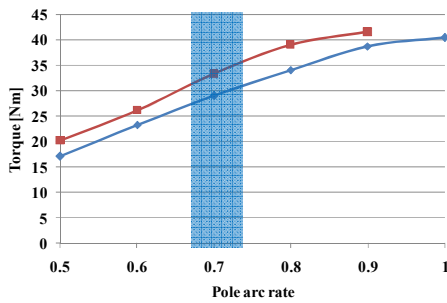
**Fig. 1** The structure of the magnetic coupling system

### 2.1.2 마그네틱 커플링 기본모델 설계

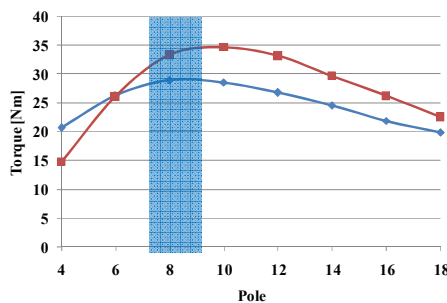
마그네틱 커플링 기본모델을 도출하기 위해 영구자석의 두께(5~15mm), 극효율(0.5~1), 극수(4~18극)에 따른 파라미터 분석을 통해 도출하였다. 영구자석의 두께 및 극효율은 클수록, 극수는 특정한 수에서 가장 큰 토크를 전달할 수 있었다. 즉, 영구자석 두께는 10mm, 극효율은 0.7, 극수는 8극으로 설정하였다.

### 2.1.3 착자 방식에 따른 전자기적 특성 분석

본 연구에서는 고효율화를 위해 착자 방향에 따른 전자기 특성 분석을 통해 최적모델을 도출하였다. 그림 2와 3은 방사방향(파) 및 할바흐 배열(빨)의 전자기적 특성 분석한 것으로 그림 2는 영구자석의 극효율, 그림 3은 극수에 따른 유효요소해석 결과이다.



**Fig. 2** Analysis of torque according to pole arc rate



**Fig. 3** Analysis of torque according to poles

표 2는 기본모델과 할바흐 배열의 기본모델 및 최적화 모델을 비교한 것이다.

**Table 2** Comparison of detailed dimensions

Contents	Radial Array Parallel	Halbach Array		Unit
		Basic	Optimized	
D_Shaft	40	32	16	mm
D_ro	190	114	80	mm
L_stk	200	68	50	mm
Pole_width	10	9	9	mm
Steel Gap width	3	2	3	mm
Air-gap width	3*2	1*2	1.5*2	mm
Pole	12	12	12	-
Pole arc rate	0.7	0.25/0.5/0.25	0.25/0.5/0.25	-
Magnetization direction	Parallel	Halbach	Halbach	
Speed	4800	4800	4800	RPM
PM type	Ferrite	Sm2Co17	Sm2Co17	
Maximum torque	24/29	105	28	Nm

## 3. 결론

본 논문에서는 철도 분야의 전동화를 위해 필수적으로 연구가 필요한 마그네틱 커플링의 설계법에 대한 연구를 수행하였다. 추가적으로 고효율화를 위해 할바흐 배열을 적용하여 최적 모델을 도출하였다. 향후 시작품을 제작하여 최종모델에 대한 검증의 추가적인 진행이 필요할 것이다.

## 후기

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2020R1I1A3069569)

## 참고문헌

- [1] R. Ravaut (2009) Torque in permanent magnet couplings: Comparison of uniform and radial magnetization, *Journal of Applied Physics*, 105(5), p. 053904.
- [2] R. Ravaut (2010) Analytical design of permanent magnet radial couplings, *IEEE Transactions on Magnetics*, 46(11), pp.3860-3865.
- [3] B. Kim (2013) Rotordynamic analysis and experimental investigation of the turbine-generator system connected with magnetic coupling, *The KSFM Journal of Fluid Machinery*, 16(3), pp.32-38.
- [4] S. Hong (2014) Torque Analysis and Experimental Testing of Axial Flux Permanent Magnet Couplings Using Analytical Field Calculation Based on Two Polar Coordinate System, *IEEE Transactions on Magnetics*, 50(11), p. 14787202.