

# 수소연료전지 철도차량 견인용 314kW급 IPMSM의 전자계 특성분석

## Analysis of the Electromagnetic Characteristics of 314kW Class IPMSM for the Traction of Hydrogen Fuel Cell Railway Vehicles

임재현\*, 이형우\*, 이재범\*, 조익현\*\*, 안준선\*, 박찬배\*†

Jae-Hyeon Lim\*, Hyung-WooLee\*, Jae-BumLee\*, Ik-HyunJo\*\*, Junsun Ahn\*, Chan-BaePark\*\*†

**초 록** 기존의 디젤 철도 차량들에서 많은 양의 대기 오염 물질을 배출해왔다. 이를 해결하고자 일본 및 기타 국가에서 디젤과 2차전지를 이용한 하이브리드형 철도차량에 대한 연구가 이루어졌다. 하지만, 여전히 사용되는 디젤로 인해 대기 오염의 문제가 지속되고 있다. 이를 해결하고자 친환경적인 수소연료전지를 이용하여 철도차량 견인용 314kW급 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)의 설계를 진행하였으며, 그에 대한 전자계 특성 분석을 하였다.

**주요어** : 수소연료전지, 매입형 영구자석 동기전동기, 동기전동기, 전자계, 전자계 특성 분석

### 1. 서 론

기존의 디젤 철도차량은 많은 대기 오염물질을 배출해왔다. 일본 등의 국가에서 대기 오염의 주범인 디젤을 줄이는 노력을 해왔다. 그 결과 디젤과 2차전지를 이용한 하이브리드형 철도차량에 대한 연구가 이루어졌다[1].

그러나 지속적인 디젤연료의 사용은 대기오염, 연료 운반 및 내연기관 저효율 등의 단점 등의 한계가 있다. 이를 해결하고자 차세대 철도차량에는 수소전지를 동력원으로 사용하고 회생전력을 이용하여 2차전지에 충전할 수 있는 충전식 배터리를 결합한 신형 하이브리드 구조의 동력시스템을 적용한다[2].

본 논문에선 수소연료전지를 이용한 철도차량 견인용 314kW급 매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor, 이하 IPMSM)를 설계하여 요구사항에 만족하는 모델을 도출하고 전자계 특성 분석을 진행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 314kW급 IPMSM 기초설계

설계 사양은 다음 Table 1과 같다. 정격출력은 314kW이며 정격속도는 1,810.8rpm, 최대속도는 5,031.5rpm이다. 사이즈 제한은 고정자 외경이 513mm, 적층길이가 273mm이다. SVPWM 제어방식이며 DC링크 전압은 1500V이다. 그러므로 상-역기전력 제한치는 866V이다.

Fig. 1은 설계 사양을 토대로 기초 설계를 진행한 314kW급 IPMSM의 전자계 특성이다. 해당 모델의 상-역기전력은 805.69V이며 토크는 1,705Nm로 처음 목표로 했던 설계 요구사항에 만족한다는 것을 확인 할 수 있다.

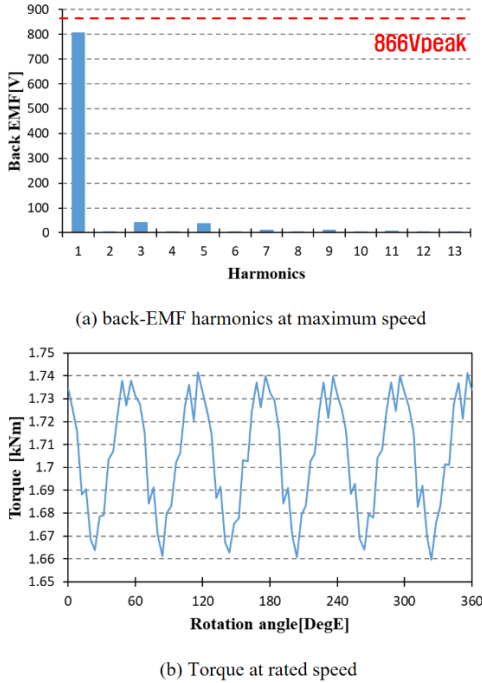
**Table 1** Specification of a 314kW-class IPMSM

설계 조건	단위	값
정격 출력	kW	314
정격 속도	rpm	1,810.8
최고 속도	rpm	5,031.5
고정자 외경	mm	≤ 513
적층길이	mm	≤ 273
상-역기전력(최대속도)	V	< 866
정격토크	Nm	> 1,657.5

† 교신저자: 한국교통대학교 철도대학 철도공학부 (cbpark@ut.ac.kr)

\* 한국교통대학교 철도대학 철도공학부

\*\* 한국교통대학교 일반대학원 철도차량운전시스템공학과



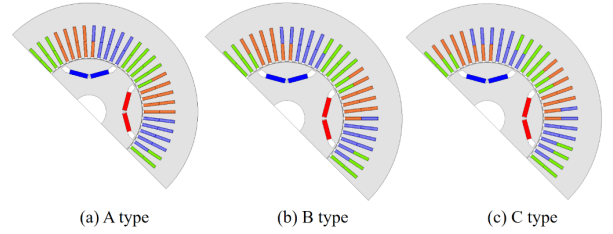
**Fig. 1** Electromagnetic characteristics of 314kW-class IPMSM

## 2.2 단절계수 변화를 통한 Type별 비교

Fig 2는 단절계수 변화를 유형별로 나누었다. 기본적으로 54슬롯에 4극 모델이라 극간격인 슬롯 수에 극수를 나눠도 정수가 되지 않으며, 이로 인해 코일간격도 하나의 정수로 떨어지지 않는다. 코일간격을 셀 때 코일이 이층 모두 감겨있는 곳부터 다음 코일까지 셈을 하면 A type은 13, 14가 되며 B type은 코일간격이 13개, C type은 12개가 된다.

보통의 철도차량용 IPMSM은 정격속도이상에서 타행운전 시 역기전력을 제어하여 인버터로 전달했다. 그렇기에 정격속도에서 상-역기전력을 제한했었다. 하지만, 본 논문의 수소전지를 이용한 314kW급 IPMSM은 최대속도에서 타행운전으로 운행 시 역기전력 제어를 따로 하지 않는 것을 목표로 설계하였다. 그러므로 최대속도에서 상-역기전력 제한치를 만족시키는 모델을 설계하였다.

Table 2에서 단절계수 변화에 따른 유형별 전자계 특성을 비교하였다. 정격속도에서 요구토크를 만족하며 최대속도에서 상-역기전력 866V를 만족시키는 모델들을 설계하였으며, 설계 방향은 제어에 용이하도록 상-역기전력에서의 THD가 낮은 모델을 도출하는 방향으로 진행하였다.



**Fig. 2** Comparison of model shape by type through the change of short pitch factor

**Table 2** Comparison of electromagnetic characteristics by type

	정격토크 [Nm]	토크리플 [%]	상-역기전력 (최대속도) [V]	상-역기전력 THD [%]
A type	1,705	4.8	805.69	6.9
B type	1,700	4.14	794.79	5.4
C type	1,665	2.61	773.16	3.8

## 3. 결론

본 논문에서는 수소연료 전지를 이용한 철도차량 견인용 314kW급 IPMSM을 기초설계 하였으며, 설계 모델에 대한 전자계 특성분석을 진행하였다. 또한 각 모델 별 단절계수를 변화시켜 전자계 특성을 비교 및 분석하였다. 그 결과 설계사양을 만족하며, 토크리플과 상-역기전력 THD가 개선된 모델을 도출하였다.

## 후 기

본 논문은 2019년도 정부(국토교통부) 재원으로 진행 중인 국토교통기술촉진연구사업(19CTAP-C151867-01-1차년도) 및 한국교통대학교의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] J.J. Mwambeleko, T. Kulworawanichpong (2018) Battery and accelerating-catenary hybrid system for light rail vehicles and trams, *Proceedings of 2017 International Electrical Engineering Congress*, pp.1-4.
- [2] J. S. Lee (2019) Hydrogen Fuel-Cell/Battery Hybrid Train, *Journal of the Korean Society for Railway*, 22(1), pp.19-26