

# 철도차량용 하이브리드 비접촉 제동장치의 dc 제동에 관한 연구

## A Study on dc Braking of Hybrid Non-contacting Braking Unit for Railway Application

정환수\*, 한경희\*\*\*, 손원석\*\*, 이장무\*\*†, 장길수\*

Hwan-Su Jung\*, Kyung-Hee Han\*\*\*, Won-Seok Son\*\*, Chang-Mu Lee\*\*†, Gil-Soo Jang\*

**Abstract** Railway vehicles generate braking force primarily in combination with air brakes and regenerative braking, but contact with the pads and disks, they occurred a lack of wear and noise, as well as a change in braking force. Various studies have been conducted in order to improve the eddy current brake problems. In this paper, a miniature model of a hybrid non - contact brake that operates as an eddy current brake during rail vehicle braking and as an auxiliary power source during operation is produced. However, the results showed different values. In order to solve the problem, various elements of hybrid non-contacting brake were analyzed, and the dc braking characteristics were compared and analyzed.

**Keywords** : Non-Contacting Brake, Retarder, Eddy Current Brake

**초 록** 철도차량은 주로 공기제동 및 회생제동을 병행하여 제동력을 발생시키지만, 패드 및 디스크의 접촉으로 마모와 소음 문제가 발생하며 미세먼지를 증가시키는 것 뿐만 아니라 제동력이 변화하는 문제점을 지니고 있다. 문제점 개선을 위해 와전류 제동의 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. 본 논문에서는 철도차량 제동 시에는 와전류 브레이크로서 동작하고, 운행 시에는 보조 동력원으로 동작할 수 있는 하이브리드 비접촉 제동기의 축소 모델을 제작하였으나 상이한 결과값의 문제점을 해결하기 위해 하이브리드 비접촉 제동의 다양한 요소 해석을 진행하고, 비교, 분석하여 dc 제동 특성에 대해 알아보하고자 한다.

**주요어** : 비접촉 제동, 리타더, 와전류 제동

## 1. 서 론

현재 철도차량에서는 대부분 회생제동과 공기제동을 병행하여 제동력을 발생시킨다. 회생 제동이 주 제동력으로 이용되지만 차량이 고속으로 달릴 경우 제동력이 저하되기 때문에 제동력의 부족분을 공기제동을 이용하여 충족시켜주고 있다. 하지만 공기제동시스템은 차지하는 공간이 크고, 응답속도가 느리고, 제동압력의 불균일성, 마찰 면에 따른 마찰력의 변화,

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부(cmlee@krri.re.kr)

\* 고려대학교 공과대학 전기전자공학과, \*\* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

\*\*\* 한라대학교 공과대학 전기전자공학과

높은 유지보수비용 등의 단점이 있으며 마찰로 인해 마모되어 수명이 짧아지고 소음 및 분진 문제가 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 와전류 제동이 개발들이 다양하게 이루어지고 있다. 철도차량 제동 시에는 와전류 브레이크로서 동작하고, 철도차량 운행 시에는 유도 전동기로 동작하여 보조 동력원으로 활용할 수 있는 하이브리드 리타더의 축소 모델을 제작하였다. 하지만 시물레이션과 실험값의 상이한 결과값이 나온다는 것을 확인하여 다양한 요소 분석을 통해 결과 보정을 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 하이브리드 비접촉 제동

#### 2.1.1 하이브리드 비접촉 제동 구성 및 사양

하이브리드 비접촉 제동기는 제동 시에는 와전류 브레이크로 운행 시에는 보조 동력원으로 활용할 수 있는 제동기이다. Fig.1은 하이브리드 비접촉 제동기의 모델이다. 하이브리드 비접촉 제동기의 권선 배치는 보조동력원으로서 활용되기 때문에 3상 권선을 가지고 고조파가 적은 분포권으로 되어있다.

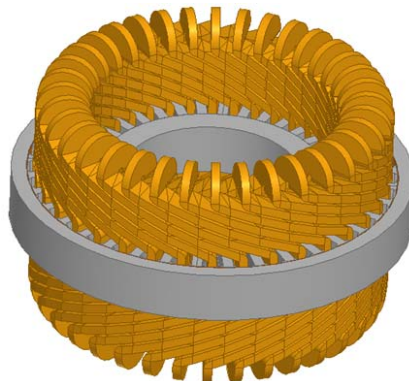


Fig. 1 Schematic Diagram of Hybrid Non-Contacting brake

Table 1 Specifications of Hybrid Non-Contacting brake scaled model

Content	Value	Unit
Scale	1/50	
Demand brake torque	60	Nm
An Extenal&Internal distance of Drum	312 & 288	Mm
Maximum RPM	1000	
Length of Air-gap	1	mm
Number of Slot	36	

요구 제동력은 최대 공기 제동력인 약 89.655[kN]에서 M카 2축과 T카 2축을 고려하여 한 축당 요구 제동력을  $89,655[kN]/4 \approx 22.4[kN]$  구한 뒤, 1/50 scale에 대한 축소모델의 요구 제동력을 구하였다.

## 2.2 하이브리드 비접촉 제동의 dc 제동

### 2.2.1 하이브리드 비접촉 제동 dc 제동 시험

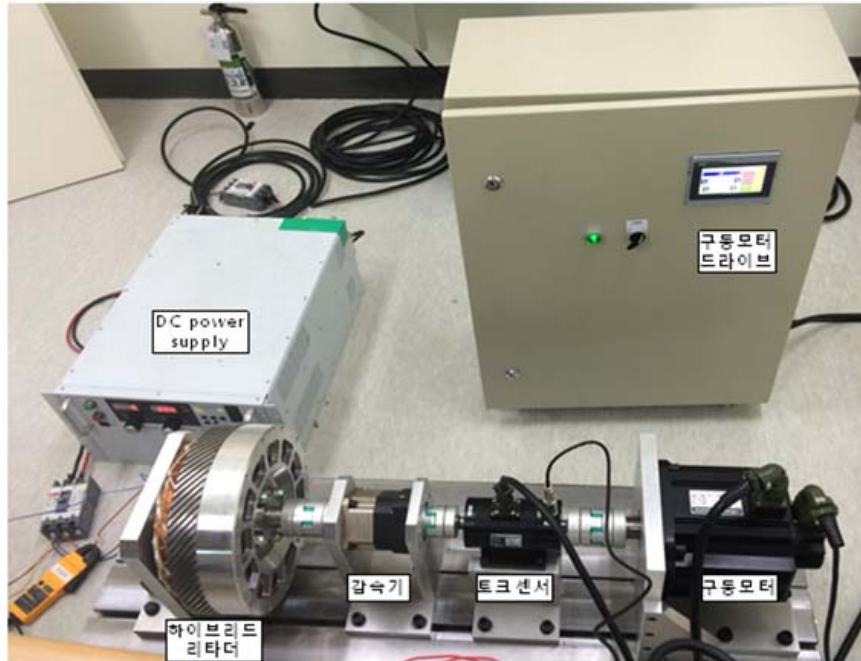


Fig. 2 Test System of Hybrid Non-Contacting braking Unit

Fig.2는 하이브리드 비접촉 제동장치 구성으로 dc 제동 동작 시험을 진행하였다. DC 전원 공급 장치는 119.69[V]를 인가하였으며, 전류는 한 상이 묶인 단은 2.96[A], 두 상이 같이 묶인 단은 각각 1.48[A]가 흐르도록 구성하였다. 속도는 100[rpm]씩 증가시켰으며, 속도 별로 30초씩 시험을 진행하였다.

### 2.2.2 시험 및 시뮬레이션 비교

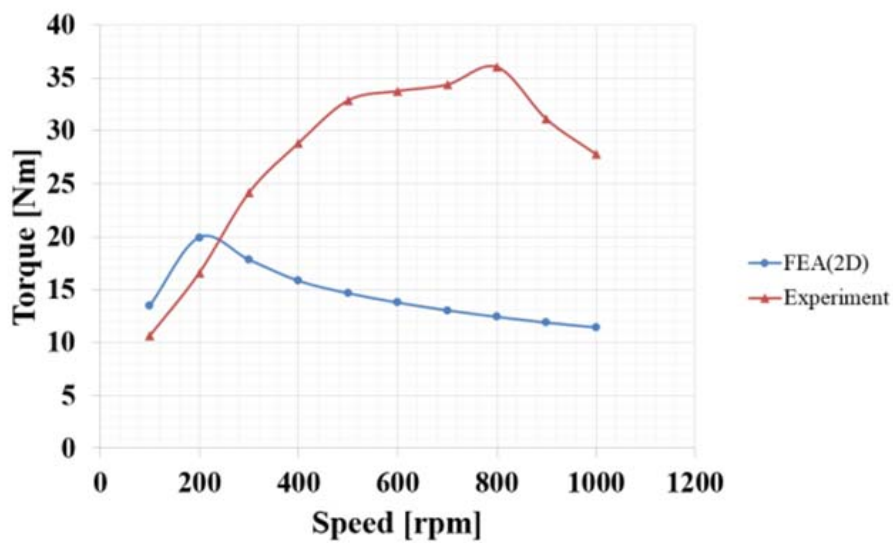


Fig. 3 FEA and Experiment Result Comparison of DC braking

Fig.3은 하이브리드 비접촉 제동의 dc 제동에 대한 유한요소해석 및 시험 결과를 나타낸다. 속도 증가에 따라 전기자반작용 영향이 커져 공극자속밀도가 상당히 작아져, 토크가 작아지게 된다. 유한요소해석은 200[rpm]에서 시험은 800[rpm]에서 토크가 감소함을 볼 수 있다. 이러한 결과의 상이점에 대해 다양한 요소 분석을 통한 분석을 진행하였다.

## 2.3 하이브리드 비접촉 dc 제동 결과 보정

### 2.2.1 하이브리드 비접촉 제동 dc 제동 시험

Fig.3에서 나타나듯이 dc 제동의 유한요소 해석과 시험 결과가 상이하게 나타났다. 다양한 요소 해석을 분석하여 상이한 부분에 대한 영향을 파악하였고, 요소 해석에 대한 목록은 다음과 같다.

- 극당상당슬롯수 및 단절권, 전절권 변화
- 축 방향 길이
- 공극 길이
- 코일 위치
- 인덕턴스 값
- 턴수 변경
- 인가전류
- Drum 도전을 변경

### 2.2.2 하이브리드 비접촉 제동 dc 제동 요소 해석 결과

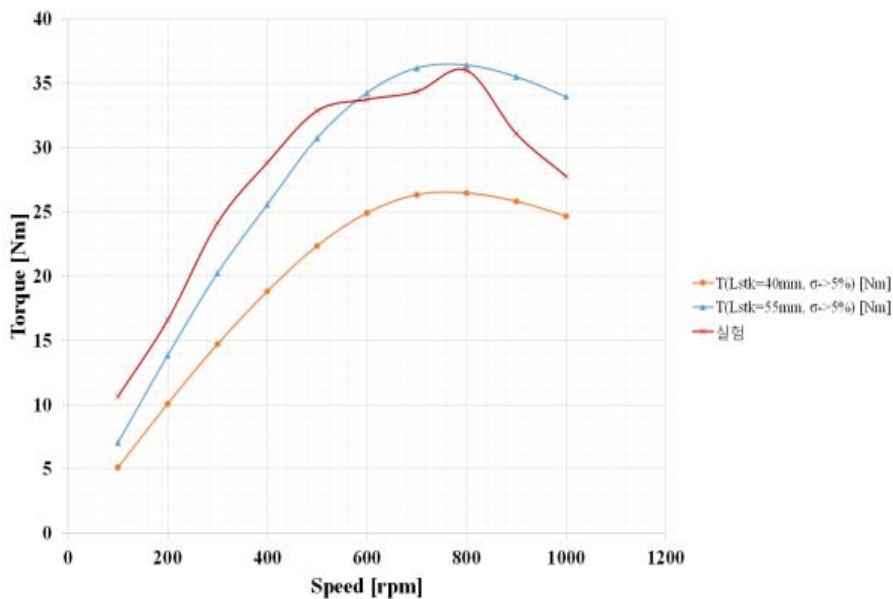


Fig. 4 Comparison of Calibrated FEA Result and Experiment Result

Fig.4는 결과 보정을 통한 유한요소 해석과 시험결과를 나타낸다. 다양한 요소 해석을 통해 은 현재 수준의 5[%]로 보정을 하고, 축 방향 길이를 15[mm] 증가시켰을 경우 실험결과와 유사함을 확인하였다. 도전율이 낮아질수록 고속에서 토크가 더 커지게 되어 경향성에 영향을 주게 되며, 축 방향 길이는 길어질수록 엔드핀에서도 토크가 발생할 수 있기 때문에 출력값이 커진다.

### 3. 결 론

본 논문은 공기 제동을 대체하면서 보조동력원으로 이용 가능한 하이브리드 비접촉 제동장치의 dc 제동에 관한 논문이다. 유한요소 해석과 실제 시험결과값을 비교한 결과 상이한 부분이 나타나는 것을 확인하였고, 다양한 요소 해석을 통해 문제점이 있는 요소에 대해 파악하고 분석하였다. 도전율이 현 수준에 5[%]이고 축 방향 길이가 15[mm] 증가하였을 때 시험 결과값과 가장 비슷한 경향성을 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이후 Drum의 도전율에 대한 정확한 값과 축 방향 길이에 대한 정확한 설계가 필요하다고 보여진다.

### 참고문헌

- [1] Sooyoung Cho, Chang-Mu Lee, Hyun-Jun Park et al (2016) Study on the hybrid type eddy current brake for railway application, *KIEE Summer Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers, 1630-1631*
- [2] Chang-Mu Lee, Hyun-Jun Park, Sooyoung Cho, et al (2015) Analysis of Multiple Factor of the Eddy Current Brake for Railway Application, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 64, No. 9, 1385-1390*
- [3] Tae-Chul Jeong, Mi-Jung Kim, Ki-Deok Lee, et al (2013) Eddy Current Brake performance improvement and analysis for commercial vehicle auxiliary brake application, *KIEE Summer Conference, The Korean Institute of Eleotriol Engineers, 647-648*