

## 철도차량용 와전류 브레이크 축소모델 제작 및 실험

### Scaled Construction and Experiment of the Eddy Current Brake for Railway Application

정환수\*, 이장무\*\*†, 장길수\*

Hwan-Su Jung\*, Chang-Mu Lee\*\*†, Gil-Soo Jang\*

**Abstract** The rail cars are generated the braking torque using the air braking system with regenerative braking. Air braking system, brake friction with the air, results in a change in the braking torque because of high maintenance cost, abrasion, noise and dust. A scale model that corresponds to the size of 1/50 was manufactured, conducted an experiment to verify the Drum-type eddy current brake electromagnet to complete the problems of the air brake system on a railway vehicle application. Designed and manufactured eddy current scaled model were compared to the braking torque changes in the RPM of the drum and analysis the changes in the braking torque due to the temperature rise.

**Keywords** : Eddy-current brake, Non-contacting brake, Braking torque

**초 록** 철도차량에서는 주로 회생제동과 공기제동을 병행하여 제동력이 발생하게 된다. 공기제동시스템은 공기를 이용한 마찰제동으로 높은 유지보수 비용, 마모, 소음과 미세먼지로 인한 제동력 변화를 야기한다. 공기제동시스템의 문제점을 보완 할 Drum 형 전자석 와전류 브레이크를 철도차량 적용에 검증하기 위해 1/50 크기에 해당하는 축소 모델을 제작, 실험을 진행하였다. 설계된 와전류 브레이크 축소모델과 제작된 축소모델의 제동력을 Drum 의 RPM 를 변화시키며 비교, 검증하고 온도 상승으로 인한 제동력의 변화를 분석하였다.

**주요어** : 와전류 제동, 비접촉 제동, 제동 토크

## 1. 서 론

현재 철도차량에서는 대부분 회생제동과 공기제동을 병행하여 제동력을 발생시킨다. 회생 제동이 주 제동력으로 이용되지만 차량이 고속으로 달릴 경우 제동력이 저하되기 때문에 제 동력의 부족분을 공기제동을 이용하여 충족시켜주고 있다. 하지만 공기제동시스템은 차지하 는 공간이 크고, 응답속도가 느리고, 제동압력의 불균일성, 마찰 면에 따른 마찰력의 변화, 높은 유지보수비용 등의 단점이 있으며 마찰로 인해 마모되어 수명이 짧아지고 소음 및 분진 문제가 발생하게 된다. 이러한 공기제동시스템의 단점을 해결하기 위해서 철도차량용 비 접촉 와전류 브레이크를 개념연구 하였고, 검증을 위해 1/50 크기에 해당하는 축소 모델을

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

\* 고려대학교 공과대학 전기전자공학과

\*\* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

제작, 실험하였다. Maxwell을 이용하여 설계된 모델과 제작된 시제품에 대해서 Drum의 RPM에 따른 제동력을 측정해 비교하였으며 Drum의 온도 상승으로 인한 와전류 브레이크 제동력의 영향에 대해서도 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 와전류 브레이크 축소모델

#### 2.1.1 축소모델 구조 선정

철도차량에서 연구되는 와전류 브레이크는 레일 면과 레일 면에 마주보고 있는 부분을 이용한 브레이크 타입이다. 하지만 이러한 와전류 브레이크 시스템은 공극의 길이가 크고 제동력을 요구할 때마다 차상과 레일 사이의 간격이 변동할 수 있기 때문에 일정한 제동력이 나올 수 없다는 단점을 지니게 된다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 Drum 타입의 와전류 브레이크를 선정하였으며, Drum 타입의 와전류 브레이크는 원형 형태를 이루고 있기 때문에 일정한 공극을 유지 할 수 있으며, 공극의 길이가 작아서 누설 자속이 상대적으로 작다는 장점을 지니고 있고 모든 레일 면에 전자석 및 도체를 설치할 필요가 없기 때문에 가격면에서도 레일을 이용한 와전류 브레이크보다 유리하다. Fig.1은 Drum 타입의 와전류 브레이크 구성도이다.

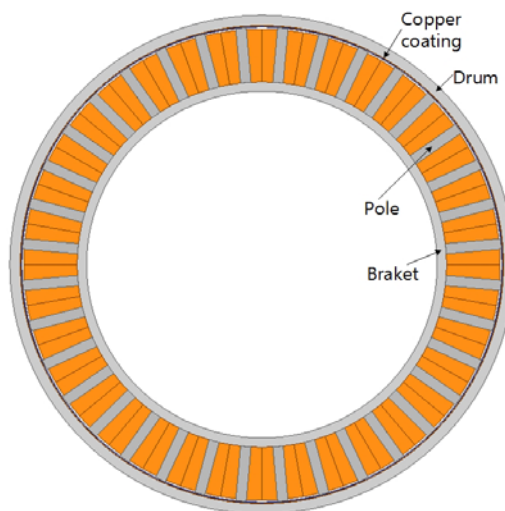


Fig. 1 Schematic diagram of Eddy-Current brake

#### 2.1.2 축소모델 목표 사양 선정

와전류 브레이크는 공기제동을 대체하는 것으로서 목표 사양 선정 시 공기제동의 요구 제동력을 파악해야 한다. 철도차량 편성은 M-T카로 이루어지며 제동작용에서 M카는 회생제동, T카는 공기제동을 맡고 있다. 이러한 M-T카 한 유닛에서 만차 시 최고 속도에서 필요한 공기 제동력은 89.655[kN]이므로 이를 바탕으로 와전류 브레이크 축소 모델의 요구 제동력을

도출할 수 있다. M-T카 한 유닛에서 요구되는 제동력은 축 당 약 20[kN]되며, 이와 같은 값으로 1/50 크기의 와전류 브레이크 시제품 목표 사양을 선정하였다.

**Table 1** Target Specifications of scaled model

Scale	1/50
Demand brake torque[Nm]	60
Maximum rotor distance[mm]	300
Maximum RPM	1000

### 2.1.3 축소모델 제작

Table 2는 와전류 브레이크 축소 모델의 기본 파라미터들으로써 Drum, Braket, Pole, Shoe 등의 인자들은 출력 제동력에 미치는 영향을 고려하여 도출하였다. Fig.2은 도출한 파라미터를 바탕으로 시제품을 제작한 와전류 브레이크 시스템으로 1:5의 기어박스를 이용하여 전체 시스템을 구성하였다.

**Table 2** Specifications of scaled model

content	Value	Unit
An External diameter of Drum	300	mm
Width of Drum	6	mm
Width of Braket	10	mm
Width of Pole	8	mm
Length of Coating	0.15	mm
Length of Air-gap	1	mm
Input Voltage	171	V
Number of parallel circuit	1	mm



**fig. 2** Entire system of eddy-current brake

## 2.2 실험 결과

축소모델의 실험 조건은 브레이크 Coil에 DC 전압이 인가 된 후 실시하고, Drum 초기온도는 20℃ 전후로 Drum 속도는 100[rpm]부터 900[rpm]까지 100[rpm]씩 올라가며 시험을 실시한다.

### 2.2.1 Drum 온도 측정 실험

제동력 측정 실험 후 Coil에 가까이 맞닿아있는 부분의 온도를 측정하였다. Drum의 RPM이 높아짐에 따라 온도의 상승도 같이 높아짐을 확인하였다.

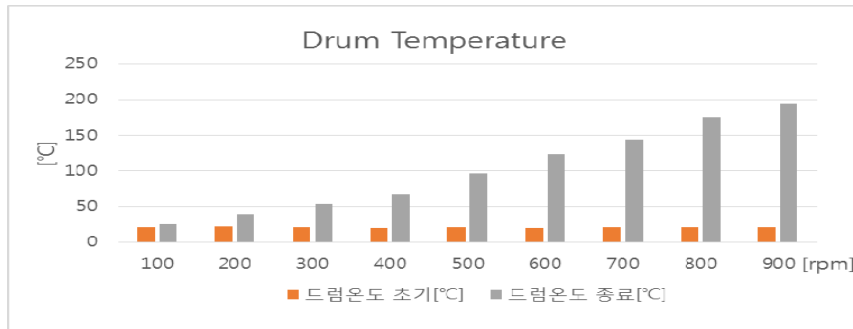


Fig. 3 Drum temperature

### 2.2.2 제동력 측정 실험

제동력 측정 실험은 와전류 브레이크의 Coil에 DC 전압이 인가 된 후 Drum을 회전시켜 약 30초 정도의 시간을 두고 측정하였다. Drum의 속도는 100[rpm]씩 높여가며 900[rpm]까지의 제동력을 측정하였다. Fig.4에서 제동력이 체결된 후 시간이 지남에 따라 제동력이 감소한다는 것을 볼 수 있다. Drum에서 Coil에 의해 와전류가 생성되면 Drum의 온도가 올라가게 된다. 온도 상승은 Coil의 자화를 방해하여 전류를 떨어뜨리고 제동력을 낮아지게 한다. Drum의 RPM이 높아짐에 따라 온도의 상승이 더 높기 때문에 저속에 비해 급격하게 제동력이 낮아지는 것을 확인했다.

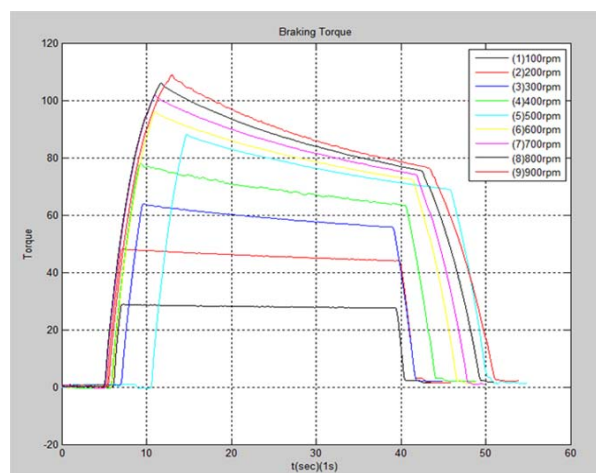


Fig. 4 Braking torque

### 2.2.3 시험 결과 비교

Table 3은 Maxwell 2D, 3D 시뮬레이션과 축소모델과의 400[rpm]부터 700[rpm]까지의 제동력 평균값 결과를 비교한 표이다. 400[rpm]과 500[rpm]에서 축소모델 평균 측정 제동력이 2D보다 미치지 못하지만 나머지 부분에 대해서는 만족하는 값을 가진다. 2D와 축소모델 간에는 오차율이 평균적으로 3.7%이고, 3D와 축소모델 사이의 오차율은 평균 16.75%이다. 축소 모델에 더 근접한 값으로 나와야 할 3D 모델 시뮬레이션보다 2D 모델 시뮬레이션이 더 오차율이 적게 나왔다.

**Table 1** Target Specifications of scaled model

Drum speed[rpm]	2D T-avg[Nm]	3D T-avg[Nm]	Scaled model T_avg[Nm]
400	-81.94	-67.39	-77.89
500	-88.56	-74.05	-88.12
600	-92.32	-78.61	-96.01
700	-96.53	-81.96	-101.79

### 3. 결론

본 논문에서는 철도차량의 공기 제동에 대체 할 수 있는 와전류 브레이크의 축소 모델을 제작하고 제동력과 Drum 온도에 관련하여 실험하였다. 시제품은 설계 모델과 비교하였을 때 제동력 부분에서 거의 만족하는 값을 보였지만, 제동력이 체결된 시간이 지남에 따라 온도 상승으로 인해 Coil에 영향을 주어 제동력이 떨어지는 것을 확인하였다. 또한 시제품과 비교하여 2D 시뮬레이션에 비해 3D 시뮬레이션의 오차율이 더 높다는 것을 확인하였다. 이전의 공기제동의 단점을 보완하며, 제동력을 충족하는 와전류 브레이크에서 온도 변화로 인한 제동력 저하에 대해서는 좀 더 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 기관 주요산업인 ‘철도 운영효율 개선을 위한 신개념 요소기술 개발’ 과제(PK1503D)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 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 Electrical Engineers*, 647-648
- [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