

철도시스템 적용을 위한 영구자석형 Shield moving형 와전류 제동기의 온도 특성에 관한 연구

정환수\*, 한경희\*\*, 이장무\*\*\*, 장길수\*  
 고려대학교\*, 한라대학교\*\*, 한국철도기술연구원\*\*\*

The study on the Temperature Characteristics on Shield Moving ECB with PM for Application of Railway Vehicle

Hwan-Su Jung\*, Kyung-Hee Han\*\*, Chang-Mu Lee\*\*\*, Gil-Su Jang\*  
 Korea University\*, Halla University\*\*, Korea Railroad Research Institute\*\*\*

**Abstract** - ECB(Eddy Current Brake)는 철도시스템의 고속에서 제동력을 안정적으로 나타낼 수 있어서 TGV, ICE, JR-500등과 같은 철도에서 사용되고 있다. 하지만 저속에서는 효율적이지 못하고, 전자석은 경량성에 대한 문제와 에너지를 소비한다는 단점을 가지고 있다.

이 논문에서는 제안된 영구자석형 Shield moving형 와전류 제동기를 사용하였다. 이 와전류 제동기는 Shield의 각을 이동하여 제동력을 조절할 수 있으며 영구자석을 이용함으로써 전자석의 단점을 보완하였다. 하지만 영구자석은 온도에 대해 영향을 받을 수 있으므로 온도 특성은 전류밀도(J(A/m2))와 자속밀도(T)를 'Ansoft Maxell'을 시뮬레이션하여 확인하였다.

와 회전자 사이에 Shield로 구성을 이루고 있다. 기존의 디스크형 와전류 제동기의 고정자가 영구자석으로 이루어진 경우에는 제동력의 크기를 조절하기 위해서 회전자와 고정자의 이격거리를 조절하는 기계적 클러치를 설치해야하는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 회전자와 고정자의 이격거리를 조절하는 대신 사이에 각도 조절이 가능한 Shield를 넣어 제동력을 조절하도록 하였다. 그림 1은 회전자와 고정자, Shield의 구조를 나타낸 것이다. 그림 2는 와전류 제동기를 축방향으로 바라보았을 때의 제동력의 원리를 나타낸 것이다. Shield moving형 와전류 제동기의 고정자에 부착되어 있는 모든 영구자석의 자기경로가 (1)과 같이 형성되면 최대 제동력을 나타나게 되지만, Shield를 조절하여 영구자석이 (2)와 같은 자기경로를 가지게 되면 제동력이 감소하게 된다. 와전류가 발생하는 Disk의 재질은 구리(Copper)로 Yoke와 Shield의 재질은 철(Fe)로 이루어져 있다.

1. 서 론

철도에는 제어장치와 속도제한 및 정차등을 위한 제동장치가 필요하다. 제동이란 움직이는 물체의 에너지를 다른 에너지로 변환해 움직임을 감소하거나 정지 상태로 유지하기 위한 힘이 생기는 과정을 말한다.

제동장치는 제동형태, 제동매개체, 제동방식별로 분류할 수 있다. 제동형태에 따라서는 Drum Type과 Disk Type로 나누어 질 수 있으며, 제동매개체는 유체에 의한 공기제동, 유압제동, 증기제동, 진공제동으로 분류하며, 전기/전자식에 의해서는 발전제동, 회생제동, 와전류제동으로 나뉘어진다. 제동방식별로는 차륜과의 점착과 비점착으로 나뉘어진다. 최근에는 주로 회생제동과 공기제동의 병행하여 사용된다.

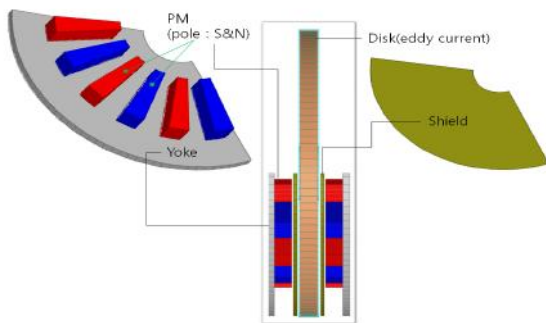
공기제동의 경우에는 오랜 사용기간으로 안정성과 신뢰성이 검증되었음에도 불구하고 공압부품의 차지하는 공간과 높은 유지보수 비용, 제습 및 먼지로 인한 잦은 고장유발, 고속/고중량화 되는 철도시스템에 비해 낮은 제동력 등 철도시스템의 경량화와 고속화를 방해하는 한계요소로 작용하고 있다. 이를 극복하기 위해 와전류제동기를 들 수 있다.

와전류제동기는 속도가 높아짐에 따라 크고 안정적인 제동력을 확보할 수 있지만 저속에서는 효과가 거의 없으므로 다른 브레이크와 병행할 필요가 있다. 경량화 및 에너지 절감을 위해 전자석 대신 영구자석을 사용하였지만 제동력을 조절할 수 없는 한계가 있다. 이를 위해 shield를 부착하여 제동력을 조절하는 와전류 제동기가 제안되었다. 이러한 영구자석을 이용한 와전류제동기는 온도가 높게 올라가면 자성을 잃게 만들어서 제동기로서의 역할을 잃을 수 있다. 이런 온도 특성을 확인하고자 전자장 시뮬레이션으로 살펴봄으로써 철도 시스템에서의 적용 가능성을 알아보려 한다.

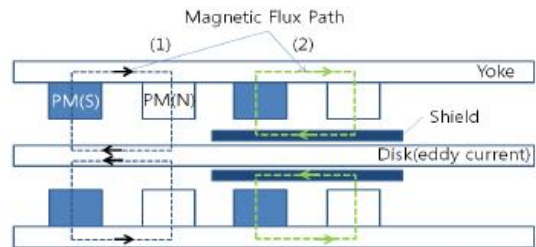
2. 본 론

2.1 제안된 와전류 제동기의 원리 및 구조

본 논문에서 제안된 와전류 제동기는 정지용 와전류 제동기로서 고정자에는 Yoke, 영구자석으로 회전자에는 Disk로 이루어져 있으며 고정자



<그림 1> Shield moving 와전류 제동기 형상



<그림 2> 와전류 제동기의 Shield에 대한 제동력 원리

2.1 제안된 와전류 제동기의 전류 및 자속 밀도 해석

표 2는 영구자석형 와전류 제동기의 주요 제원을 나타내는 표로서 Disk, Magnet과 Shield의 제원을 나타내었다.

<표 1> 비점착제동장치 주요 제원

부품 및 주요부	치수	Unit
Disc Brake 외경	200	mm
Disc Brake 내경	40	mm
Disc Brake 두께	20	mm
Airgap 거리	2	mm
Magnet Shield 두께	2	mm
Shield - Magnet Gap	2	mm
Magnet 두께	10	mm
Magnet 전기각	120	mm
Magnet 외측반경	80	mm
Magnet 내측반경	40	mm
Back Yoke 두께	4	mm

제안된 Shield moving형 와전류 제동기의 온도 특성을 확인하기 위해서 전류밀도와 자속밀도를 확인해 보았다. 전류밀도 J는 도전매질 내에 어떤 점에 대한 전기적 강도를 E, 도전율  $\sigma$ 로 나타낼 수 있다.

$$\vec{J} = \vec{\sigma} E \quad (1)$$

도전율  $\sigma$ 는 전류가 흐르기 쉬운 정도를 나타내는 값으로 저항율의 역

수가 되며 온도가 높은 상태에서는 도전율에 값이 변할 수 있으므로 전류의 흐름에 영향을 주게 된다. 그리고 자속밀도에 대해서 보자면 자속 밀도는 균일하게 자화된 재료에서의 단위면적 당 자속, 자속선 수를 의미하며 B는 자속밀도,  $\mu$ 는 투자율, H는 자계의 세기를 나타낸다.

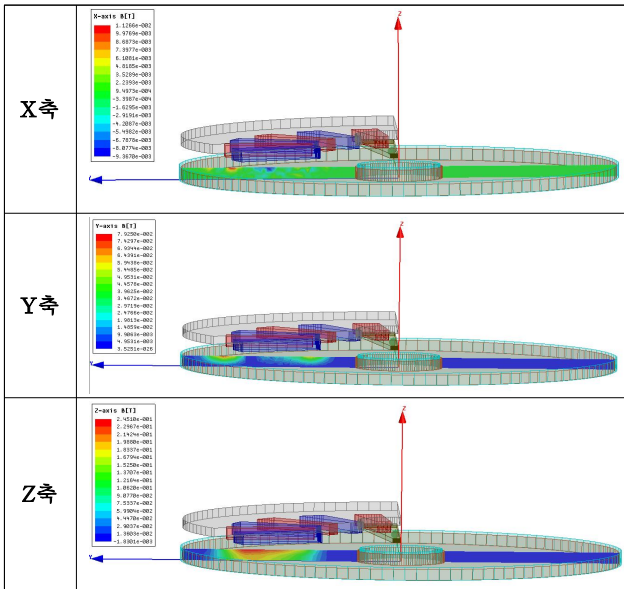
$$B = \mu H \quad (2)$$

$\mu$ 인 투자율은 자속이 얼마만큼 쉽게 통과하는지를 나타내는 값으로 높은 투자율을 가질수록 자속이 더 쉽게 통과할 수 있다. 어떤 한 면적에 대해서 관통하는 자속을 보기 위해서는  $\Phi$ 를 보아야 한다.

$$\Phi = \int B \cdot dS \quad (3)$$

위 식은  $\Phi$ 는 면적에 대해 관통하는 자속, B는 자속밀도, S는 면적이다. 식 (1)과 (3)을 이용하여 YZ 평면의 X축, Y축, Z축의 관통하는 자속 밀도와 전류밀도를 확인해 보았다.

<표 2> YZ 평면의 축에 따른 Disk 내 자속밀도



<표 3> YZ 평면의 축에 따른 Disk 내 전류밀도

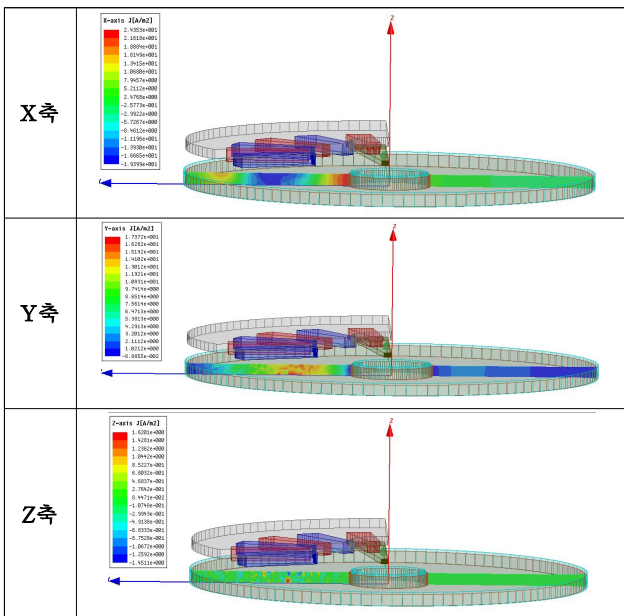
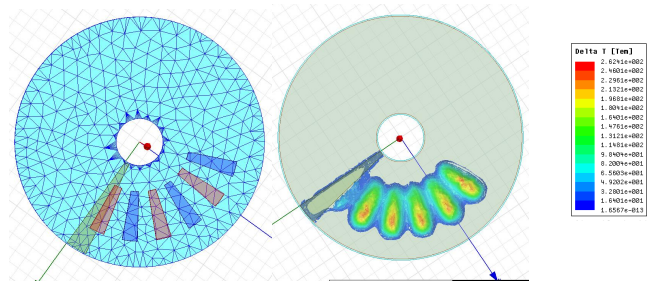


표 2과 표 3는 YZ 평면을 기준으로 한 Disk 내부의 자속밀도 및 전류밀도에 관한 해석 결과를 나타낸다. 표 2은 YZ 평면의 축에 따른 Disk 내 자속밀도를 나타낸 것으로 자속은 두 방향으로만 흘러야 이상

적이지만 X축 방향에서와 Y축 방향에서도 자속이 존재한다는 것을 볼 수 있다. 표 3는 YZ 평면의 축에 따른 Disk 내 전류 밀도를 나타낸 것으로 X축을 보면 이론적으로는 전류가 한 방향으로 흘러야 하지만 두 방향으로 흐르는 것을 확인할 수 있으며 Z축에서는 흐르지 않아야 하지만 약간의 전류가 흐를 것을 확인할 수 있다. 실제 전류 밀도는 본 결과 m2당에 전류 밀도는 그다지 높지 않은 것으로 확인되었다.

### 2.2 제한된 와전류 제동기의 온도 특성

그림 3는 Disk 표면의 Mesh를 나타내는 것이며 그림4는 Disk의 온도 변화를 나타낸 것이다.

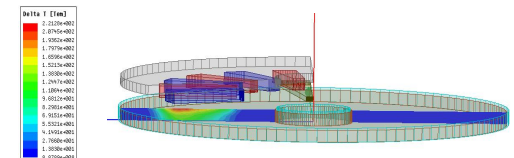


<그림 3> Disk 표면의 Mesh <그림 4> Shield 10deg 일 때의 온도변화  $\Delta T$

비접촉 제동장치의 온도특성을 확인하기 위해서 그림 4과 같이 아래의 식을 적용하여  $\Delta T$ 를 보았다.

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} \quad (4)$$

위와 같은 공식을 이용하여 온도에 대한 특성을 알아볼 수 있다. Q는 열량(cal), c는 비열(cal/g·°C), m은 질량(g),  $\Delta T$ 는 온도 변화율을 나타낸 것이다. 위의 그림 4에서 나와 있는 역학적 에너지(J)는 열량(cal)으로 표현할 수 있다. 1cal = 4.184J로 표현되어 변환할 수 있다.



<그림 5> YZ평면에서의 Disk내  $\Delta T$

그림 5는 YZ 경계에서의 Disk 내  $\Delta T$ 를 나타낸 것이다. 당  $m^2$ 전류 밀도는 그다지 높지 않은데, 그 이유는 에너지 분포 결과에 대한 결과 표현이 자속 밀도 Z축과 연관성이 있는 것으로 보인다. 따라서 디스크를 실제로 가열하는 전류는 유효하게 디스크를 관통하고 있는 자속에 의한 전류이기보다는 Disk와 자석사이의 공극을 통해 쇄교하는 비유효 자속에 의한 전류로 인해 디스크 표면이 탈곡진다는 것을 유추할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 철도시스템 적용을 위한 영구자석형 Shield moving형 와전류 제동기의 온도 특성에 관해 연구하였다. 온도 상승에는 전류 밀도 보다는 Disk와 자석 사이의 공극에서의 유효하게 쇄교하지 못하는 자속에 의해 발생한 전류로 인해 Disk 표면이 탈곡진다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 영구자석 사이에 거리에 대한 비율과 Disk와 영구자석에 사이에 대한 거리에 관하여 재검토할 필요가 있으며, 유효하게 Disk를 통과하는 자속설계를 위해 Disk쪽에 추가적인 설계가 필요할 것으로 보인다.

### [참 고 문 헌]

[1] 이상무, 한경희, 최유영, “영구자석을 이용한 Shield moving형 와전류 제동기의 철도시스템 적용연구”, 전기학회논문지 제63권 제12호 pp.1737-1741, 2014. 12  
 [2] Do-Hyun Kang, Yong-Joo Kim, Soo-Tae Kwak “Conceptual Design of Braking System in High-Speed Train” KIEE Summer Conference 342-345, 1997