

와 전류 측정을 위한 탐침법의 적용 및 실험적 검토

엄 용수

에비하라 다이키

(경상대학교)

(일본 무사시공업대학)

Application and Experimental Investigation of the Search Needle Method

for the Measurement of the Eddy Current

Yongsu UM

Daiki EBIHARA

(Gyeon Sang Uni.) (Musashi Institute of Technology, Japan)

Abstract – 일반적으로 와 전류를 포함하는 자계의 특성 해명은 실험적으로 검증하는 것이 곤란한 이유로 유한 요소 법 또는 경계 요소 법등의 수치 해석 법에 의존하고 있다. 본 연구에서는 그러한 실험적 검증의 어려움을 극복하기 위해 전압 강하의 원리를 이용한 탐침 법을 이용, 와 전류의 계측을 수행하고 있다.

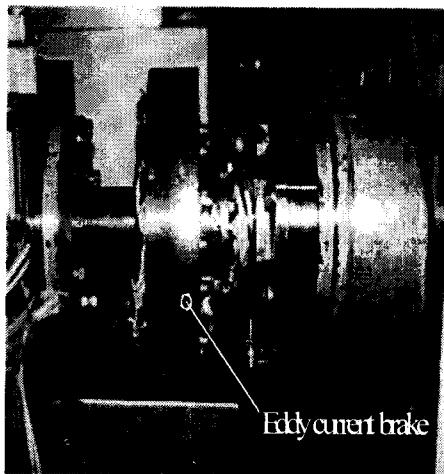
1. 서론

현재, 도체 내부에서의 자속 변화에 의해 생기는 와 전류를 이용한 전기기는 소재 특성의 개량과 전자계 해석 수법의 고도화와 함께 산업계의 여러 분야에서 개발, 연구되고 있다. 그러나, 기기 내부의 자속 및 와 전류 등의 특성 파악은 주로 수치 해석에 의존하고 있고, 그 타당성의 검증을 위한 실험적 고찰 법이 아직 완전히 확립되어 있지 않은 것이 현 상황이다.[1]

지금까지, 그것들의 특성 해명을 위해 서치 코일 및 탐침 등을 이용한 계측 방법이 몇 편의 논문에 의해 보고 되어왔다. 구체적으로 언급하면, 금속판에 복수의 탐침을 심어, 탐침간의 전압 강하로부터 금속판에 흐르는 와 전류를 구하는 방법이 보고 된 적이 있다.[2] 그러나, 당시에는 탐침의 설치 시 발생하는 설치의 불균일성에 의한 데이터의 신뢰성 등의

문제가 발생하고 있었다. 이러한 문제점을 타개하기 위해 와 전류를 계측하는 비교적 출력 레벨이 높은 탐침 법의 제안이나 2 차측의 와 전류 뿐만 아니라 발생력을 포함한 순시치 분포의 계측도 보고 된 적이 있다.[3][4]

도전성 금속판, 또는 봉에 있어서 이러한 계측 방법은 비교적 양호한 와 전류 분포를 관측할 수 있게 해주었다.[5] 그러나, 주자속이 크게 변화하는 자성체 중의 와 전류 계측에서는 주 자속의 변화와 함께 유도 기전력이 와 전류 계측에 커다란 영향을 미치기 때문에, 비자성체의 와 전류 계측과는 다른 대책이 필요하다. 그래서, 필자들은 철판 내의 와 전류 계측을 목적으로, 탐침 법의 적용에 검토를 해왔고 비교적 양호한 측정치를 얻었다.[6] 본 논문에서는 먼저 탐침 법의 적용에 있어서 주의할 몇 가지 사항에 대해 논하고 다음에 본 계측 법에 의해 얻어진 결과를 보고한다.



2. 본론

2.1 탐심 법의 적용 모델

본 연구에서는, 대형차량의 새로운 보조 브레이크인 전자식 와 전류 브레이크를 그 기본 모델로서 채택하여 검토했다.

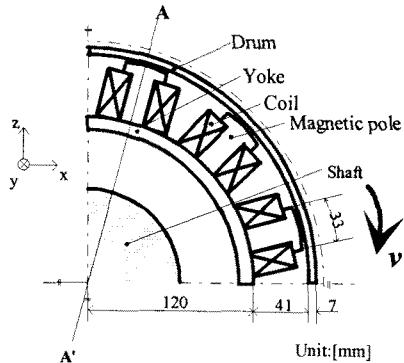
그림 1에 전자식 와 전류 브레이크의 실험 장치를, 그림 2에 그 단면 구조를 보여주고 있다. 그리고, 표 1에는 주요 사양을 나타내고 있다. 그림 2에서 보여주고 있듯이 전자식 와 전류 브레이크의 구조는 크게 나누어 자극(1 차측)과 드럼(2 차측)으로 구성이 되어 있다.

1 차측인 자극은 차량의 트랜스 미션의 바로 뒤에 고정되어 있고 2 차측인 드럼은 샤프트와 직접 연결되어 회전하는 구조로 되어 있다. 드럼의 주 재료는 철재(S15C)로 되어 있고, 그 내부에는 도전율을 향상 시키기 위해 두께 0.086 [mm]의 동으로 도금이 되어 있다. 또, 2 차측의 외측에는 방열 대책과 강성을 증가시키기 위해 Fin 이 설치되어 있다.(본 실험에서는 탈착시켰음) 그리고, 1,2 차측 사이의 gap 은 약 0.8 [mm]로 설정 되어 있다. 제동의 동작 원리로서, 1 차측인

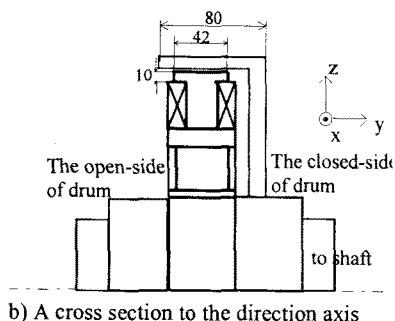
전자석에 직류 여자 전류를 흐르게 하면, 각 전자석에는 N, S 극이 교차로 발생하게 되고, 이 자계에 의해, 회전하는 2 차측인 드럼의 표면에 와 전류가 발생하게 된다. 2 차측에 흐르는 와 전류와 1 차측에서 발생하는 자속과의 상호 작용(즉, 프레밍의 원손 법칙)에 의해 2 차측인 드럼의 회전 방향과는 반대의 방향으로 제동력이 발생하게 된다. 일반적으로 이 전자식 와 전류 브레이크는 엑셀 연동형으로 설정 해놓으면, 엑셀 페달을 떼었을 때, 자동적으로 동작을 하게 되어 제동력을 얻고 있다.

Table 1. Specification of an eddy current brake

Item	Value and Unit
Weight	20 (kgf)
Number of Pole	12
Pole Pitch	84 (mm)
Length of Gap	0.8 (mm)
Excitation Current	40.1 (A)
mmf	2307 (A)



a) A cross section to the rotating direction (A-A')



b) A cross section to the direction axis

Fig.2 Structure of an eddy current brake

2.2 탐심에 의한 와 전류 계측 법 및 문제점

탐심 법이란, 여러 개의 탐심을 도체에 심어 그들 탐심간의 전압 강하를 균원으로 도체에 흐르는 와 전류의 크기와 방향을 예측하는 방법을 말한다. 와 전류 브레이크의 회전 드럼에 복수의 탐심을 설치한 모습을 그림 3에서 보여주고 있다. 탐심 ($\phi 0.8$ [mm]의 에나멜선)은 2 종류가 설치되어 있다. 즉, 2 차축의 내부에 흐르는 와 전류를 다수의 선 전류의 집합체라고 상정하여, 회전 방향과 직각 방향의 전압을 계측하는 탐심 b, d 와 회전 방향의 전압을 계측하는 탐심 a, c 를 그림과 같이

회전하는 드럼의 전폭에 걸쳐 설치하였다. 그럼 3 과 같이 2 차축 드럼에 탐심을 설치하여, 일정 속도로 회전시켰을 때, 샘플링 시간마다 x,y 방향에 대해서 탐심간의 전위차(와 전류에 의한 전압 강하분) e_x , e_y 를 측정하여, 샘플링 시간에 맞는 위치 위치로 환산하여, 그 결과를 합성함으로써 2 차축 내부의 x-y 평면상의 와 전류의 방향 및 그 크기를 예측할 수 있다.

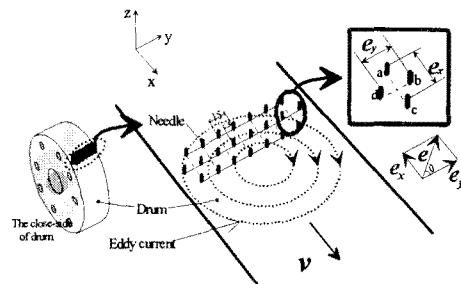


Fig.3 Measuring method of an eddy current by search needles

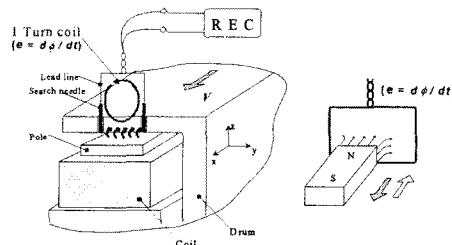


Fig.4 Problem on the measuring method of Fig.3

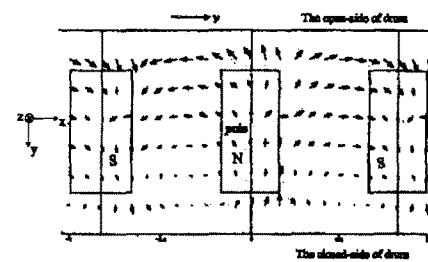


Fig.5 Eddy current distribution obtained by the measuring method of Fig.3

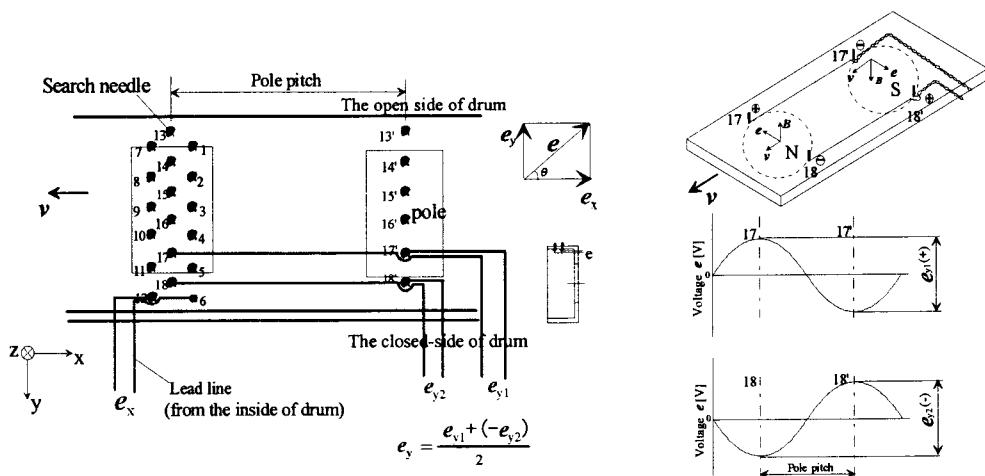


Fig. 6 Measuring method for the cancellation of $d\Phi / dt$

그러나, 이 계측 방법은 탐심을 설치하는 드럼이 비자성체일 경우는 문제가 되지 않지만, 주 자속 회로를 구성하는 철판 중의 와 전류 계측에서는 문제를 발생시키게 된다. 즉, 주 자속이 크게 변화하는 철판 중에 이 탐심 법을 적용시킬 경우, 그림 4 와 같이 탐심간의 와 전류에 의한 전압 강하 성분 $e_e = I_e r$ 외에 탐심과 드럼의 외측으로부터의 리더 선이 1turn 의 코일을 만드는 이유로, 주 자속 ϕ 의 변화와 함께 $e_\theta = d\phi / dt$ 에 상당 하는 유도 기전력 및 속도 기전력이 강하게 영향을 미치게 된다. 이것은 1turn 의 코일에 자석을 접근 또는 멀리하여 자속을 변화 시키면 기전력이 발생하는 현상과 같은 것이다.

비자성체에서의 와 전류계측에 있어서는, 통상 $e_e \gg e_\theta$ 이기 때문에 간단히 계측이 되지만, 철판 중의 계측에서는 주 자속의 변화에 상당 하는 e_θ 가 상당히 큰 이유로 와 전류 계측에 새로운 대책이 필요하다. 주 자속의 변화가 큰 철판 중의 와 전류

계측에 있어서, e_θ 성분이 크게 영향을 미치는 방법(기존의 방법) [6]으로 측정된 와 전류 분포 결과(드럼의 회전 수 1000[rpm])를 그림 5에서 보여주고 있다.

e_θ 성분을 제거하지 않은 경우, 와 전류는 드럼의 open 사이드에서 강하게 발생하고 있고, 와 전류의 루프 또한 닫혀져 있지 않은 결과가 나타나게 되어 본 브레이크의 제동력 생성 메커니즘을 검토하는 것이 곤란하다.

2.3 e_θ 성분의 제거 법과 측정 결과

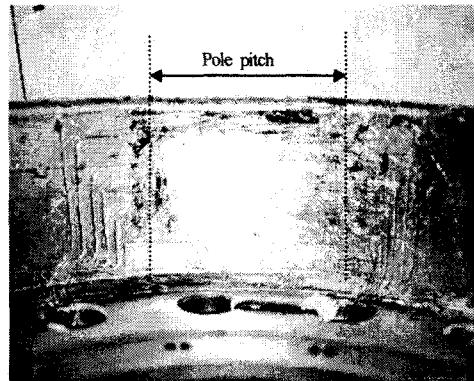
철판 중의 주 자속 ϕ 의 변화에 의한 유도 기전력 성분 e_θ 를 제거하기 위한 계측 법을 그림 6에 나타내고 있다. 그림 7에 탐심을 드럼에 설치하였을 경우, 드럼의 내면과 외면으로부터 보았을 때의 실물 도를 보여주고 있다. 원주 방향에 있어서 전위차 e_x 의 측정은 종래의 방법과 같은 측정을 하였지만 e_θ 성분의 영향이 커지게 되는 축 방향의 전위차 e_y 의 측정에는 옆의 자극(1 피치 떨어진 위치)에 일련의 탐심을

심어 e_ϕ 성분을 소거하는 측정을 했다.

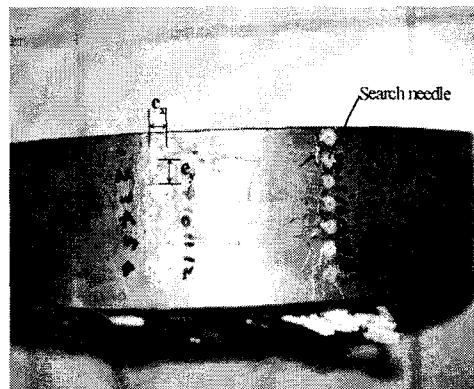
예를 들어, 탐심 17' 및 18'에서 생기는 전위는 탐심 17 및 18에서 생기는 전위와는 극성만 다를 뿐 그 크기는 같기 때문에 탐심 17과 17'와의 전위차 e_{y1} 과 탐심 18과 18'와의 전위차 e_{y2} 를 구해, 그것들을 합성하여 2로 나눔으로써 탐심 17과 18 사이의 전압 강하 성분 e_y 만을 얻을 수 있어 e_ϕ 성분을 소거 할 수가 있다. 이때, 탐심 17과 18 사이에 흐르고 있는 와 전류에 의한 전위차의 방향성을 결정하기 위해 그림 6의 파형과 같이 탐심 17과 17'와의 전위차를 정(+), 탐심 18과 18'과의 전위차를 부(-)로 한다. 또, 종래의 방법에서는 탐심과 연결되어 있는 리더 선을 드럼의 외경으로부터 빼내고 있어 탐심과 드럼의 외측으로 연결되어 있는 리더 선이 1개의 권선 코일로 되어, 주 자속 ϕ 의 변화에 의한 유도 기전력 성분이 크게 영향을 미치게 된다. 그래서, 본 계측 법에서는 이러한 영향을 피하기 위하여 리더 선을 내경에서부터 빼내고 있다. 그림 8은 탐심 15와 16 사이에 흐르는 와 전류 밀도의 속도 특성을 보여 주고 있다. 와 전류 밀도는 속도의 증가와 함께 증가함과 동시에 자극의 탈출부에서 강하게 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 9는 신계측 수법에 의해 얻어진 드럼 내측 표면에서의 와 전류 분포(드럼의 회전 수 1000[rpm])를 보여주고 있다.

그림 9로부터 와 전류는 자극의 탈출부에서 강하게 발생하고 있고, 또 와 전류의 루프가 닫혀져 있는 것을 알 수가 있다. 이 결과는 필자들이 행한 다른 시점으로부터 와 전류 분포를 예측한

결과와 일치하고 있다. [7] 즉, 서치 코일을 이용한 동 자속 밀도의 특성 결과로부터 와 전류 분포를 구한 방식으로 제동력이 자극의 탈출부에서 크게 형성된다는 예상 결과와 일치하여, 와 전류의 특성 파악을 위해 본 계측 수법이 유효함을 뒷받침 해주고 있다.



a) Inside of the drum



b) Outside of the drum

Fig.7 Install scene of the search needle

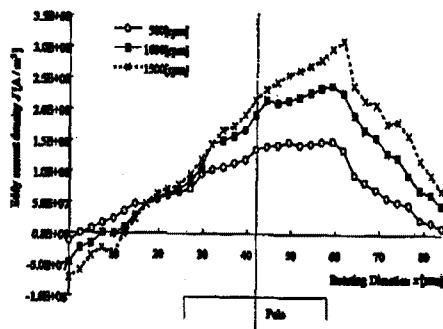


Fig.8 The characteristics of an eddy current density between search needle 15 and 16 for the velocity

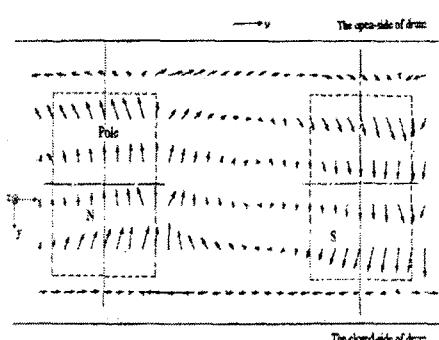


Fig.9 Distribution of the eddy current

3. 결론

본 논문에서는, 철판에서의 와 전류 계측을 위하여 전자식 와 전류 브레이크를 기본 모델로서 채택하여, 탐침 법을 적용하였다. 그러나, 주 자속이 크게 변화하는 자성체 중의 와 전류 계측에서는, 비자성체의 와 전류계측과 달리 주자속의 변화에 의한 유도 기전력이 와 전류 계측에 강하게 영향을 미치게 되어 그 대책이 필요하게 된다. 그래서, 본 연구에서는 철판에서의 주 자속 변화에 의한 유도 기전력의 영향을 소거 시키는 방법에 대해 검토하여 종래의 방식에 비해 유효한

결과가 얻어져 와 전류 브레이크의 제동력 발생 메커니즘을 파악할 수가 있었다.

参考文献

- [1] K.Muramatsu, N.Takahashi, T.Hasio, "3D Eddy Current Analysis in Moving Conductors of Permanent Magnet Type Retarders Using Moving Coordinate System", IEEE IEMDC Conference Record, MC1-5.1 (1997)
- [2] 小柳・松宮・高木：「リニアモータの2次電流に関する実験」明治大学工学部研究報告 30,155(1975)
- [3] 海老原・片木：「リニア誘導モータの2次電流検出」SICE 論文集、第 19 卷、第 5 号、pp.45-77(1983)
- [4] 毛利：「アモルファス磁界センサによる2次電流検出」、電気学会マグネティクス研資、MAG83-113(1983)
- [5] 海老原・片木：「リニア誘導モータにおける2次側緒量の瞬時値分布の測定」電気学会論文集、vol.104-B、No.12、pp.857-864(1984)
- [6] 谷・市川・海老原：「ドラム型渦電流ブレーキの渦電流計測について」平7電気学会全国大会 No.1006(1995)
- [7] 厳・鳥居・海老原他：「うず電流ブレーキの実験的考察によるうず電流算出法の検討」電気学会リニアドライブ研資、LD98-29, pp.17-21(1998)