

강자성 재료에서의 전자기력 발생 지연 측정 방법

A Measurement Method of Electromagnetic Force Delay in Ferromagnetic Material

김우연* · 강민수* · 이종민* · 배용채** · 김승중†

Woo-Yeon Kim, Min Soo Kang, Jong Min Lee, Yong-Chae Bae and Seung-Jong Kim

1. 서론

자기 베어링 또는 회전 및 직선형 모터의 코어(core)는 주로 철손이 적고 투자율이 커서 좋은 자성 특성을 갖는 규소 강판을 코어의 형상으로 가공하여 그 두께만큼 적층하여 제작한다. 하지만 축 방향 자기 베어링의 경우와 같이 반경 방향으로 적층하여야 하는 규소강판을 적층하여 제작하기 어려운 경우가 많다. 손실을 최소화하는 재료를 사용하는 것이 이상적이지만 제작의 어려움으로 규소 강판 대신 연강 재질로 가공하게 되면 규소 강판을 사용한 경우에 비해 히스테리시스 특성 또는 와전류에 의한 지연 효과 및 손실을 야기하게 된다. 이러한 손실은 시스템 제어 시 불안정성의 원인이 될 수 있으므로 사용하는 코어 재료의 전자기력 특성을 현장에서 파악할 필요가 있다.

본 논문에서는 현장적용이 가능한, 인가 전류 대비 발생하는 전자기력을 측정 가능한 기구를 제작하였고, 이를 이용하여 규소 강판과 연강 재질(SM20C) 및 경강 재질(SM45C)에 대한 전자기 특성을 실험하였다. 실험결과로부터 연성 및 강성 재질이 규소강판을 사용할 때보다 측정 재료와 마주한 전자석에 인가한 전류의 주파수 변화에 따른 전자기력의 발생 지연이 커짐을 확인하였다.

2. 전자기적 특성 측정 장치

Fig. 1 은 권선이 감긴 ‘C’ 자 형태의 코어와 힘 센서(force transducer)로 구성된 전자기력 측정 기구를 보여준다. 코어와 힘 센서를 브라켓(bracket)으로 연결하여 스탠드(stand)에 고정함으로써 측정 대상물(target)과의 공극을 일정하게 유지할 수 있고, 스탠드의 고정 위치를 조절하여 코어와 측정할 대상

물 사이의 공극을 변경 가능한 형태로 제작하였다. 본 측정 기구는 ‘C’ 자 코어에 감긴 코일에 전류를 인가할 때 코어와 측정 대상물 사이에 작용하는 전자기력에 따라 힘 센서에 압력이 가해지게 되어 전자기력을 측정할 수 있다. 본 논문에서 제시한 측정 기구의 사양은 Table 1 과 같고, Table 2 에 전류와 공극에 따라 발생하는 전자기력의 계산 결과를 제시하였다.

3. 재질에 따른 전자기 특성 측정

3.1 실험 조건

전자기 특성이 다른 세 금속 재료, 두께 0.35mm의 강판을 적층한 규소강판과 연강(SM20C), 경강(SM45C)을 대상으로 자기 베어링의 제어 시의 조건과 유사하게 공극을 1mm 로 유지하고, 앞서 제시한 측정 기구의 전자석에 바이어스 전류를 인가한 상태에서 전류를 변화시켜 발생하는 전자기력을 측정하였다. 여기서 코일에 인가한 전류는 정전류 1.2 A 에서 전류 진폭이 0.9 A 인 정현파의 형태로 인가하였다. 전자기력을 측정하기 위해 사용된 센서는 PCB사의 힘 센서(모델 208C03)를 사용하였다. 여기서

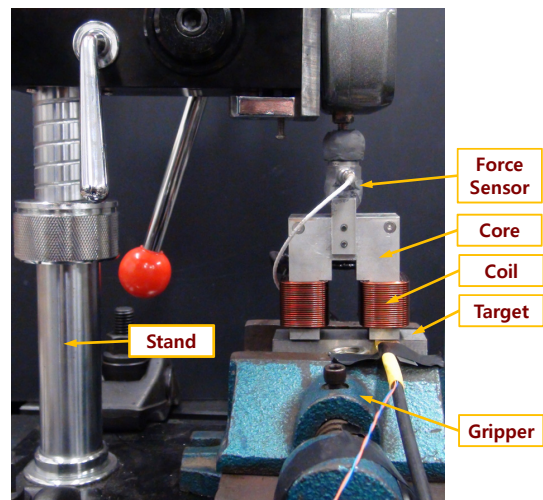


Fig. 1 Device for measuring electromagnetic characteristics

† 정회원; 한국과학기술연구원
E-mail : sjongkim@kist.re.kr
Tel : (02) 958-5610, Fax : (02) 958-5659
* 한국과학기술연구원
** 한국전력공사 전력연구원

힘 센서는 압축력이 작용할 때 (+) 전압을 발생하고, 인장력이 작용할 때 (-) 전압이 출력되는 특성을 갖는다. 각 센서의 사양은 Table 3에 정리하였다.

3.2 실험 결과

Fig. 2는 각 세 금속 재료를 대상과 측정 기구의 전자석 사이 공극이 1mm 일 때 전자석에 인가된 전류에 대한 전자기력의 주파수 응답(FRF)을 나타낸 결과이다. 1 ~ 600 Hz의 인가 전류의 주파수 변화에 따라 측정 재료(규소강판, SM20C, SM45C)의 전자기력 발생 지연을 확인할 수 있다. Fig. 2에서 주파수 5 Hz의 전류가 전자석에 인가되었을 때 전자기력의 발생은 규소강판, SM20C, SM45C의 순서로 약 1.52°, 3.7°, 3.94°의 위상 지연이 발생하고, 최대 600 Hz에서 약 41°, 52°, 71°의 위상 지연이 발생하였다. 이것은 인가전압의 주파수에 비례하여 재료의 손실이 증가하므로 예상한대로 주파수 증가에 따라 위상 지연이 더욱 두드러지게 나타나는 결과를 보여준다. 또한 규소 강판에 비해 연, 경강의 응답 지연이 확연히 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 전자기력 발생 지연은 전체 시스템의 응답 지연을 유발시켜 제어 성능을 저하시키는 원인이 될 수 있다.

Table 1 Specifications of the measuring device

	Parameter	Value
Core	Core area (mm ²)	225
	Size (LxWxH) (mm)	26.4 x 27.6 x 22.3
	Weight (Kg)	0.386
Wire	Diameter (mm)	1
	No. turn	200
	Resistance (Ω)	0.67
	Inductance (mH)	9.26

Table 2 Calculated electromagnetic forces
(Unit: N)

		Current (A)	
		1	3
Air gap (mm)	0.25	41.70	255.35
	0.5	11.37	97.57
	1	3.13	28.25
	1.5	1.49	13.36

Table 3 Specifications of force transducer

Parameter	Value
Measurement range Compression (kN) Tensile (kN)	22.24 2.224
Sensitivity (V/kN)	2.25
Height (mm) Sensing surface (mm)	15.88 Φ 12.7

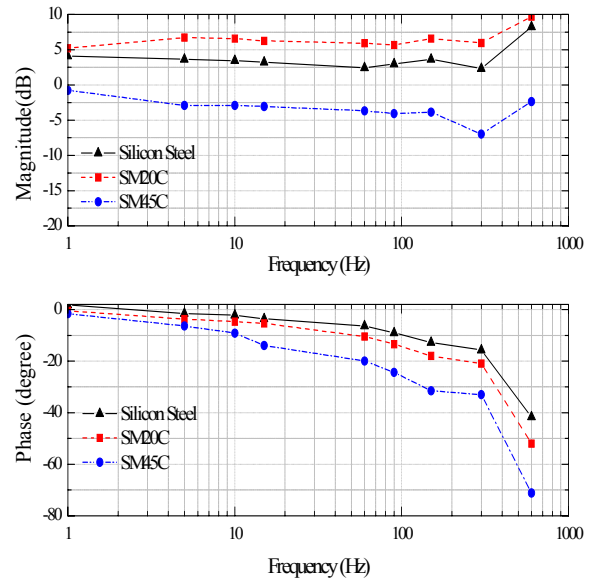


Fig. 2 Frequency response functions: Magnitude and phase response of electromagnetic force vs. supply current.

4. 결론

본 논문은 자성 재료에서 인가되는 자속에 의해 발생하는 전자기력의 지연 현상을 측정할 목적으로 자기 베어링과 유사한 형태의 전자기 특성을 측정할 수 있는 기구를 설계하였고, 실험 결과를 통해 자기 손실이 적은 규소 강판에 비해 연강, 경강의 재료의 인가되는 전류에 대한 전자기력의 위상 지연이 더 큼을 확인하였다. 전자기 특성이 상이한 세 금속 재료를 대상으로 전자기력 발생의 지연 현상을 측정하는 방법을 제시하고, 주파수 응답을 통해 각 재료의 전자기특성의 지연을 가시화한 점에서 의미가 있다.

후 기

본 연구는 전력산업연구개발사업의 일환으로 전력 연구원의 지원을 받아 수행하였기에 감사 드립니다.