

고속 차량 충돌 사고 대비를 위한 충격 흡수용 자기식 댐퍼 설계

이현*, 김용대, 왕세영, 박기환
광주과학기술원 기전공학과

Design of a New Linear Magnetic Damper for Shock-Absorbing from Crash Accident of High Speed Vehicles

Heon Lee, Yougdae Kim, Semyung Wang and Kyihwan Park
Department of Mechatronics, GIST

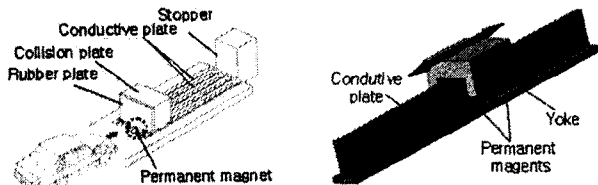
Abstract - This paper proposes a new linear magnetic damper for absorbing shock from a crash accident involving high speed vehicles. The magnetic damper is composed of a conductive plate, a yoke and permanent magnets which are constructed to a Halbach array to improve the damping force. In order to calculate the damping force, finite element analysis (FEA) using J-Mag, a commercial FEA tool, is performed and the results are validated by the experiment. Also, the design optimization of the plate generating the eddy current causing the damping force performed to obtain the most efficient damping force. Finally, the specifications and the performance of the proposed magnetic damper are represented.

1. 서 론

최근 대부분의 기계 시스템은 마모나 소음이 적은 전기-기계 시스템으로 바뀌고 있다. 대표적인 전기-기계 시스템 중의 하나인 와전류 제동 시스템은 고속 전철 및 놀이 기구의 제동 장치에 적용되고 있으며, 본 연구에서는 와전류 제동 시스템 고속 차량 충돌 사고 대비를 위한 충격 흡수용 자기식 댐퍼에 적용하였다. 현재까지, 대부분의 충격 흡수용 댐퍼는 고무타이어나 판재 스프링 등을 주로 사용하는데, 운전자의 안전 문제나 일회성 사용에 따른 파단 문제 제작비 사용에 대한 문제점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복할 수 있는 대체 시스템이 필요하며 자기식 댐퍼가 대안으로 제시될 수 있다. 본 연구에서는 실제 시스템에 적용될 수 있는 안정적인 자기식 댐퍼의 설계를 위해, 정확한 댐핑력을 계산할 수 있는 유한요소해석을 상용 유한 요소 해석 툴인 J-Mag를 이용하여 진행하며 최대의 댐핑력을 얻을 수 있는 댐퍼 도전판의 최적설계를 수행한다[1]. 위의 결과로부터, 고속 차량 충돌 사고대비를 위한 충격 흡수용 자기식 댐퍼를 설계하고, 자기식 댐퍼의 성능 및 요구 조건을 제시한다.

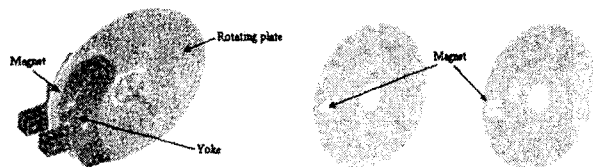
2. 본 론

2.1 자기식 댐퍼의 유한 요소 해석



〈그림 1〉 자기식 댐퍼의 구조

그림 1은 본 연구의 대상체인 자기식 댐퍼를 나타내며, 도전판, 요크 및 영구 자석으로 구성되어 있다. 운행 중인 자동차가 충돌판에 부딪힐 때, 영구자석과 고정된 도전판 사이에 상대적인 운동이 발생하게 되는데, 이 때 도전판에 와전류가 유기되며 자속과 와전류의 상관관계에 의해 댐핑력을 발생한다. 실제의 자기식 댐퍼의 정확한 성능을 얻기 위해 선형 자기식 댐퍼가 해석되야 하지만, 실험의 용이성 때문에 선형 자기식 댐퍼 대신 회전형 자기식 댐퍼를 사용한다.

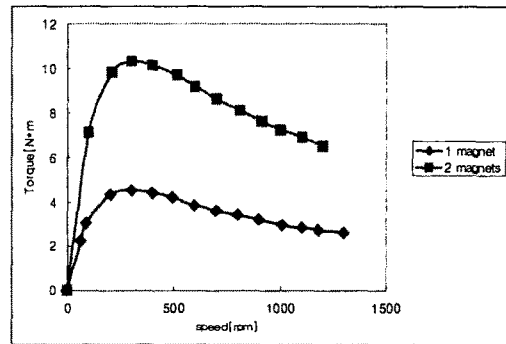


〈그림 2〉 (1) 유한 요소 모델 (2) 1쌍 (3) 2쌍

〈표 1〉 자기식 댐퍼 각 파트의 물성치

	재질	비투자율	잔류자속밀도 [T]	도전율 [mho/m]
회전판1	구리	1	-	5.8e7
회전판2	S45C	B-H Curve	-	1.03e7
영구자석	-	1	1.2	-
요크	S45C	B-H Curve	-	1.03e7

회전형 자기식 댐퍼의 댐핑력을 계산하기 위한 유한 요소 해석을 위해 사용된 유한 요소 모델과 물성치가 그림 2와 표 1에 나타나 있으며, 영구 자석의 개수를 고려한 두 개의 유한 요소 모델을 가지고 해석을 진행한다.

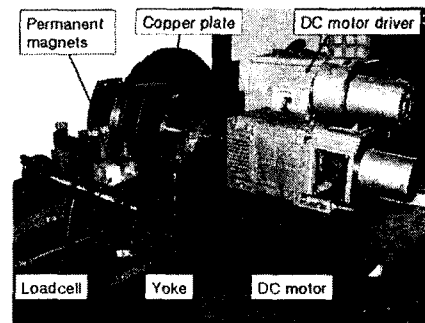


〈그림 3〉 회전속도에 따른 댐핑력 곡선

각각의 회전속도를 고려한 댐핑 토크 값이 그림 3에 나타나 있는데, 임의의 회전 속도가 지난 후의 댐핑 토크 값이 점차 감소함을 알 수 있다. 이는 회전 속도가 증가함에 따라, 와전류에 의해 발생한 2차 자속 밀도가 댐핑력을 감소시키는 또 다른 와전류를 발생시키기 때문이다. 본 연구에서의 자기식 댐퍼의 주요 작동 회전속도는 400rpm에서 1100rpm 정도이며, 그 범위의 댐핑력을 정확히 계산하는 것이 새로운 자기식 댐퍼의 설계를 위해 매우 중요하다.

2.2 자기식 댐퍼의 댐핑력 측정 실험 및 해석 결과의 검증

2.2.1 댐핑력 측정 실험

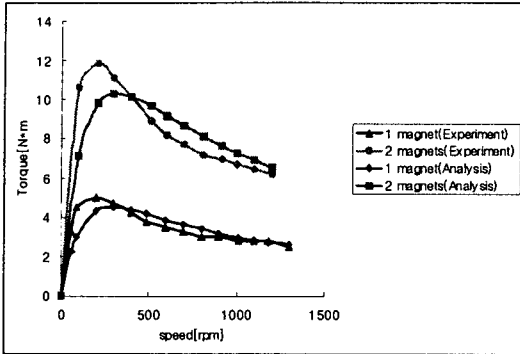


〈그림 4〉 댐핑력 측정 실험 장치

해석 결과의 검증을 위해, 회전형 자기식 댐퍼의 댐핑 토크를 측정하는 실험을 진행한다. 그림 4는 유기된 와전류에 의해 발생된 댐핑력을 측정하는 실험 장치를 나타내고 있으며, DC 모터, 도전판, 영구 자석, 요크 및 로드셀로 구성되어 있다. DC 모터는 안정적인

힘-속도 특성을 얻기 위한 일정한 속도를 내는데 사용되고 있다. 도전판이 회전할 때 변화하는 자속 때문에 와전류가 발생하며 회전 방향과 반대 방향으로 댄핑 토크가 발생하는데, 뉴턴의 제 3법칙을 고려한 작용 및 반작용 원리에 의해 고정된 영구 자석에 도전판에서 발생하는 댄핑력과 같은 힘이 발생하며, 이 힘을 로드셀을 이용하여 측정한다.

2.2.2 해석 결과의 검증



〈그림 5〉 자기식 댄퍼의 댄핑력 해석 결과와 실험 결과의 비교

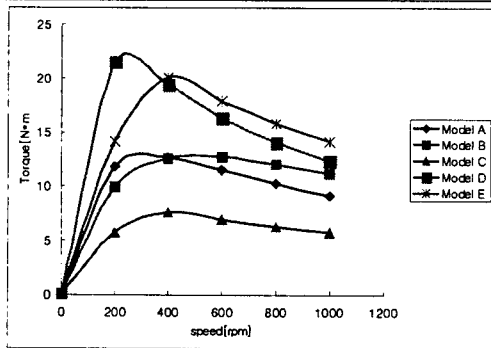
그림 5는 자기식 댄퍼의 댄핑력 해석 결과와 실험 결과를 비교하고 있다. 그림 5로부터, 0rpm에서 400rpm까지의 두 결과가 조금 다름을 알 수 있다. 하지만 본 자기식 댄퍼의 동작 속도인 400rpm부터 1100rpm까지의 두 결과가 거의 같기 때문에, 해석 모델이 검증되었다고 할 수 있다. 검증된 해석 모델을 이용해 새로운 선형 자기식 댄퍼의 설계를 진행한다.

2.3 자기식 댄퍼 회전판의 최적 설계

자기식 댄퍼의 더 높은 댄핑력을 얻기 위해 와전류가 유기되는 도전판의 재질 및 개수를 고려한 5개의 모델을 이용하여 최적 설계를 수행하였으며, 표 2에 5개의 모델의 재질 및 도전율이 나타나 있다.

〈표 2〉 각 모델의 재질 및 도전율

Model	재질	도전율[mho/m]
Model A	구리	5.80e7
Model B	알루미늄	3.82e7
Model C	동	1.0e7
Model D	구리	5.80e7
	알루미늄	3.82e7
Model E	구리	5.80e7
	동	1.0e7



〈그림 6〉 각 모델의 회전 속도 변화에 따른 댄핑 토크

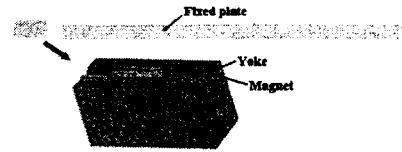
그림 6은 각 모델의 회전 속도 변화에 따른 댄핑 토크의 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것처럼 Model B가 본 연구에서의 자기식 댄퍼의 동작 속도인 400rpm에서 1100rpm사이에서 각 모델 중에서 최소 재질 및 제작비 대비 가장 높은 댄핑 토크를 내고 있음을 알 수 있다. 따라서 높은 댄핑력을 낼 수 있는 자기식 댄퍼의 최적 설계를 위해 와전류가 유기되는 도전판의 재질 및 개수를 Model B로 제안할 수 있다.

2.4 선형 자기식 댄퍼의 설계

선형 자기식 댄퍼를 대체해 사용된 회전형 자기식 댄퍼의 정확성이 확인되었기 때문에 실제 모델로 확대 적용될 수 있다. 검증된 유한 요소 모델과 도전판의 최적 설계 결과를 토대로 선형 자기식 댄

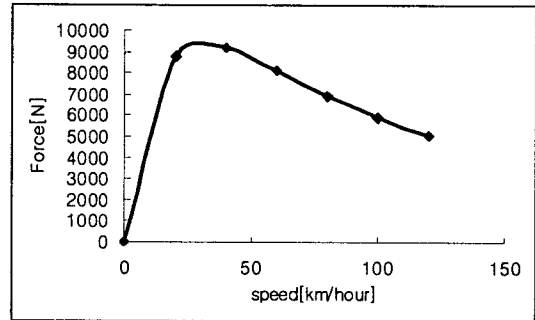
퍼의 효율적인 설계가 진행된다.

그림 6은 실제 선형 자기식 댄퍼를 설계하기 위해 사용한 유한 요소 모델이며, 고정된 도전판, 요크 및 영구자석으로 구성되어 있다. 특히, 도전판은 최적 설계 결과를 토대로 한 알루미늄 재질을 사용하였으며, 공극의 자속 밀도를 증가시킬 수 있는 Halbach 배열을 영구자석의 배치 방법으로 사용한다[2].



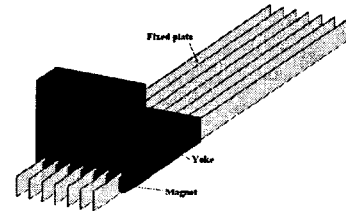
〈그림 6〉 선형 자기식 댄퍼의 유한 요소 모델

유한 요소 해석을 통해 얻은 선형 자기식 댄퍼의 속도 변화에 따른 댄핑력 결과가 그림 7에 나타나 있다.



〈그림 7〉 선형 자기식 댄퍼의 속도 변화에 따른 댄핑력

그림 7의 해석 결과를 토대로 실제 자기식 댄퍼의 설계가 진행되었으며, 그림 7과 같이 7열로 구성된 알루미늄 판과 25쌍의 영구자석을 사용하여 실제 자기식 댄퍼를 최종 설계하였다.



〈그림 8〉 실제 자기식 댄퍼의 최종 설계 구조

또한, 최종 설계된 자기식 댄퍼는 국제적으로 규정한 교통 안전 법규를 만족하고 있음을 확인하였다[3].

3. 결 론

본 논문에서, 고속 차량 충돌 사고 대비를 위한 충격 흡수용 자기식 댄퍼의 설계가 연구되었다. 상용 유한 요소 해석 툴인 J-Mag를 이용하여 댄핑력을 계산하였으며, 댄핑력 측정 실험 결과를 통해 해석 결과를 검증하였다. 또한, 도전판의 재질 및 개수 변화를 고려하여 더 높은 댄핑력을 얻을 수 있는 최적 설계를 수행하였다. 검증된 회전형 자기식 댄퍼는 실제 자기식 댄퍼인 선형 자기식 댄퍼로 확대되었으며, 실제 자기식 댄퍼로 적용될 수 있는 설계 내용을 제안하였다.

본 연구 결과를 토대로 하여, 제안된 선형 자기식 댄퍼의 설계 내용이 실제 자기식 댄퍼 시스템에 적용될 수 있다.

4. 후 기

이 연구는 중소기업청의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Japan Research Institute, Limited, www.iri.co.jp
- [2] S.M.Myeong, S.S.Jeong, and S.D.Cha "The Application of Linear Halbach Array to Eddy Current Rail Brake System," IEEE Trans. Magn., vol.37, pp. 2627-2629, No.4, 2001
- [3] European Committee for Standardization, Road Restraint System, 1997