

고속 철도의 반능동 현가장치용 MR댐퍼의 설계 기법

Design Method of MR-Damper for Semi-active Suspension Based on a High Speed Railway Vehicle

이규섭† · 안채현* · 구형욱**

Gyu-Seop Lee, Chan-Hun An and Hyung-Wook Koo

1. 서 론

철도는 많은 수의 승객을 빠르고 안전하게 이동시킬 수 있으며 효율성이 좋고 환경 친화적인 교통 수단이다. 최근 연구는 고속화와 더불어 고급화 추세에 따라 승객이 느끼는 승차감의 쾌적성이 중요한 요소로 대두되고 있다. 한편 MR댐퍼는 대표적인 반능동 진동 제어 요소로서 제어 신호의 입력에 따라 감쇠력이 제어되는 지능형 댐퍼이다. 이는 항상 거동의 반대방향으로만 제어력이 작용하게 되므로 시스템의 안정성(Stability)이 보장되며, 제어되는 전류 신호는 MR유체의 점도를 조절하고 실제 감쇠력의 대부분은 유체의 오리피스 효과에서 발생시킬 수 있어서 적은 에너지로도 큰 감쇠력을 낼 수 있는 우수한 특성을 가지고 있다. 따라서 철도의 현가장치를 포함하여 진동 제어 분야에서 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 철도 차량의 횡방향 현가 시스템에 적용하여 반능동 현가시스템을 구현하기 위한 기초 연구로 MR댐퍼에 sky-hook 제어기를 적용하여 공진점에서 전달비를 평가하고 이에 따르는 MR댐퍼의 설계 변수를 민감도 분석한다.

2. MR댐퍼의 설계 변수 및 민감도 분석

2.1 MR댐퍼의 모델링과 설계 변수

MR댐퍼는 Fig. 1과 같은 구조를 가지며 준정적

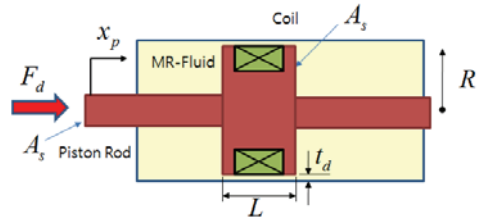


Fig. 1 MR-Damper model

모델링 방법을 적용하면 식(1)과 같이 표현된다.

$$F_d = C_{vis} \dot{x}_p + F_{MR} \text{sgn}(\dot{x}_p) \quad (1)$$

식(1)에서 보는 바와 같이 MR댐퍼의 감쇠력은 점성 감쇠력항과 전단력항으로 분리된다. 코일에 공급되는 전류의 크기에 따라 전단력의 크기가 비선형으로 변화하게 되지만, 실제 사용되는 최대 감쇠력만 고려하여 일정하다고 가정한다.

MR댐퍼의 설계 기준을 설정하기 위하여 1 자유도 점성댐퍼와 비교하여 식(2)와 같이 두 개의 설계 계수를 정의한다.

$$R_c = \frac{C_{vis}}{C_c}, \quad R_f = \frac{F_{MR}}{C_c} \quad (2)$$

식(2)의 R_c 는 임계 감쇠 상수와 MR댐퍼의 점성 감쇠 상수의 비이며, R_f 는 임계 감쇠 상수와 MR댐퍼의 전단력 비이다. 이는 각각 치수 및 MR유체의 점성, 코일에 흐르는 전류로 치환이 가능하다.

2.2 설계 변수의 민감도 분석

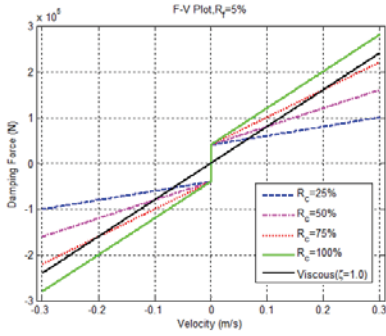
MR댐퍼는 반능동 진동제어 요소로 제어기가 사용된다. 따라서 제어동작이 수행되는 상태에서의

† 교신저자; 정회원, 알엠에스 테크놀로지(주)
E-mail : rmstech@rmstech.co.kr

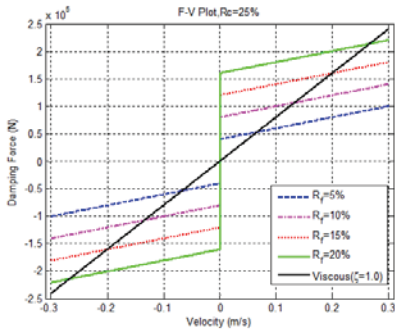
Tel : 041) 556-7600, Fax : 041) 556-7603

* 한국생산기술연구원

** 알엠에스 테크놀로지(주)



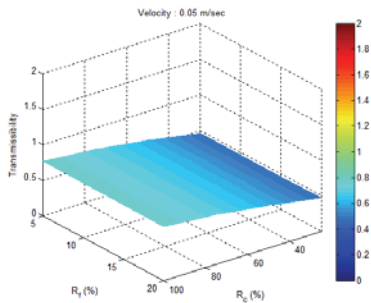
(a) changing R_c



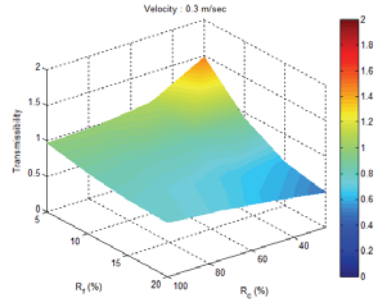
(b) changing R_r

Fig. 2 F-V plot of MR-Damper with parameters

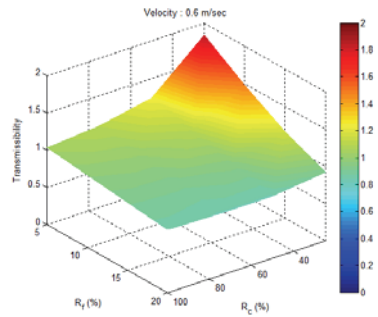
성능 평가가 필요하다. 본 연구는 1 자유도 전달비 모델에 대하여 공진영역에서 우수한 방진성능을 보이는 sky-hook 제어 알고리즘을 적용하고, 공진점에서 R_c , R_r 를 변화시켜 MR댐퍼의 전달비 민감도를 비교 분석한다. 한편 MR댐퍼의 감쇠력은 속도에 따라 임계 감쇠력과 교차하게 되므로 이에 대한 상관관계를 분석하기 위하여 지반 가진 속도를 저속(0.05 m/s)과 중속(0.3 m/s), 고속(0.6 m/s)으로 구분하여 해석한다.



(a) 0.05 (m/s)



(b) 0.3 (m/s)



(c) 0.6 (m/s)

Fig. 3 Transmissibility with base velocity

Fig. 3은 그 해석 결과로 저속에서는 전달비가 R_c 에 반비례 관계를 가지지만, 속도에 따라 비선형적으로 급격하게 특성이 변화한다. MR댐퍼의 전달비는 R_c 가 작고 R_r 가 큰 것이 유리함을 알 수 있다.

철도용 차량에 대하여 다자유도계의 다양한 주파수와 크기의 외란에 대하여 비선형으로 응답하므로 작은 전달비가 반드시 좋다는 것을 의미하지는 않는다. 따라서 이에 대한 최적 설계가 요구된다.

3. 결 론

MR댐퍼의 설계 계수를 정의하였고, 제어된 상태에서 공진점의 전달비를 지반 가진 속도에 따라 민감도 분석하여 MR댐퍼의 설계 지표를 마련하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업기술개발사업 철도차량용 능동현가장치 기술개발 지원에 이루어졌으며 이에 감사드립니다.