

다층신경망을 이용한 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델링

Modeling of Shear-mode Rotary MR Damper Using Multi-layer Neural Network

조정목* · 허남** · 조종선*

Jeongmok Cho* · Nam Huh** · Joongseon Joh*

* 창원대학교 제어계측공학과

** 위아(주) 선행연구개발부

요 약

자기변성유체(magnetorheological fluid)에 관한 연구는 MR 장치의 개발, MR 장치의 수학적 모델링 및 시뮬레이션, 그리고 MR 장치를 채용한 시스템의 제어 알고리즘 개발에 관한 연구로 구분된다. 시뮬레이션을 통한 제어 알고리즘 개발을 위해서는 MR 장치의 비선형 응답을 예상하기 위한 신뢰성 높은 수학적 모델이 요구된다. 또한 MR 장치 시스템을 제어하기 위해서는 제어기에서 요구하는 댐핑력을 출력하기 위한 MR 장치의 전류(또는 전압) 입력 값이 필요하며, 이 입력 값을 얻기 위해서는 역댐퍼 모델이 필요하다. 이러한 이유로 MR 장치의 모델링 및 역댐퍼 모델링은 MR 장치개발의 중요한 역할을 담당하며 이에 관한 많은 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델링을 위해 개발된 MR 댐퍼를 이용하여 동특성 시험기를 제작하였으며, 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 특성을 연구하기 위한 실험을 수행하였다. 시험기 시험결과를 통해 모델링에 필요한 시험 데이터들을 획득하였으며 다층신경망을 이용하여 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델 및 역모델을 구하였다.

키워드 : MR(Magnetorheological) 유체, 자기변성유체, 역모델(inverse model), Neural Network, 지능형 유체

Abstract

Scientific challenges in the field of MR(magnetorheological) fluids and devices consist in the development of MR devices, the mathematical modeling and simulation of MR devices, and the development of (optimal) control algorithm for MR device systems. To take a maximum advantage of MR fluids in control applications a reliable mathematical model, which predicts their nonlinear characteristics, is needed. A inverse model of the MR device is required to calculate current(or voltage) input of MR damper, which generates required damping force.

In this paper, we implemented test a bench for shear mode rotary MR damper and laboratory tests were performed to study the characteristics of the prototype shear-mode rotary MR damper. The direct identification and inverse dynamics modeling for shear mode rotary MR dampers using multi-layer neural networks are studied.

Key Words : Semi-active, Fuzzy Sky-hook, MR(Magnetorheological), Damper, Inverse Model

1. 서 론

최근 MR(magnetorheological) 유체를 이용한 반능동 진동제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 고층빌딩의 강풍 및 지진에 의해 발생하는 진동을 감쇄시키기 위한 반능동 제어 및 차량 주행시 발생하는 노면으로부터의 진동을 감쇄시키기 위한 반능동 현가제어에 관한 많은 연구 결과가 발표되었다 [1-4].

MR 유체는 ER(electrorheological) 유체와 더불어 대표적인 지능형 유체(smart fluid)로써, 실리콘 오일 또는 미네랄 오일 등과 같은 용매 속에 수 마이크로 사이즈의 자기장에 강한 자성을 가질 수 있는 물질을 균일하게 분산시킨 용액으로 외부에서 인가되는 자기장에 의해 유체의 특성이 변하게 된다. ER 유체와 MR 유체는 비슷한 시기에 Winslow [5]와 Raninow [6]에 의해 처음으로 발견되었으나, 초기에 MR 효과 메카니즘의 이해부족으로 인해 ER 유체 및 장치들에 관한 연구들이 집중되었다. 1980년대부터 전기전자 및 자성 물질에 관한 기술의 발달로 MR 유체와 장치에 관한 연구가 관심을 받게 되었으며, ER 보다 큰 항복응력(yield stress)과 넓은 온도 동작범위, 그리고 수 kV의 고전압 공급기를 요구하는 ER 장치의 상용화 문제로 인해 MR 유체 및 장치에 관한 연구는 중흥기를 맞게 되었다.

MR 장치를 개발할 경우, 유체와 장치의 상대운동에 따라

접수일자 : 2007년 11월 10일

완료일자 : 2007년 12월 1일

교신저자 : 조종선

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업 및 2006년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음

세 가지 동작모드로 분류할 수 있다. 첫 번째가 전단모드 (shear-mode)로써 두 개의 평행한 평판 중 한 평판은 고정되어 있고 다른 한쪽은 수평 이동이나 회전하는 형태의 유동 모드로 유체의 이동과 장치의 움직임이 평행하게 일어난다. 클러치, 브레이크 및 칩킹(chucking)과 록킹(locking) 시스템 등이 전단모드를 이용한다. 밸브모드(valve mode)는 고정된 유로 사이로 유체가 이동하는 형태로, 밸브 및 댐퍼 등과 같이 일반적으로 유체가 관내에서 유체의 압력 변화와 유량 변화가 동시에 일어나는 형태이다. 마지막으로 압착모드(squeeze mode)는 유체의 유동과 장치의 움직임이 수직인 방향으로 일어나는 형태로 움직이는 거리에 비해 비교적 큰 힘을 요구하는 제어 가능한 진동 절연기와 엔진 마운트 또는 스마트 구조물과 같은 응용분야에 적당하다.

본 논문에서는 협지 주행 및 장애물 극복을 위해 무한회전형 암(unlimited rotating arm)을 채용한 무인지상전투로봇(unmanned ground combat robot)의 회전형 반능동 현가장치 구현을 위해 개발된 전단모드 회전형 MR 댐퍼에 관한 연구를 수행하였다.

회전형 MR 댐퍼의 동특성 시험을 위해, MR 댐퍼를 회전을 위한 AC 서보모터, MR 댐퍼의 전단력 측정을 위한 토크 센서, MR 댐퍼 구동을 위한 드라이버/제어기, 데이터 획득을 위한 NI사의 PXI 시스템 등을 이용하여 MR 댐퍼 동특성 시험기를 설계 및 제작하였다. 제작된 MR 댐퍼 시험기를 이용하여 MR 댐퍼의 동특성을 나타내는 MR 댐퍼의 회전속도, MR 댐퍼의 입력전류, 그리고 MR 댐퍼의 출력토크의 관계 데이터를 획득하였다.

MR 유체 및 장치에 관한 연구는 MR 장치의 개발 및 시험평가, MR 장치의 수학적 모델링 및 시뮬레이션, 그리고 제어 알고리즘 개발에 관한 연구로 구분된다. MR 장치 시스템의 제어 알고리즘 개발을 위해서는 MR 장치의 비선형 특성을 잘 표현하는 MR 장치의 수학적 모델이 필요하며, MR 장치 시스템에서 요구되는 출력을 내기위한 MR 댐퍼의 입력 전류(또는 전압)를 결정하기 위해서는 MR 장치의 역모델이 필요하다.

빙행 모델은 MR 유체의 거동을 표현하는 가장 일반적인 방법으로, 이상적인 빙행 모델은 최소 항복응력을 초과할 때 가지는 고체(solid)와 같은 거동을 나타내지만 이를 초과할 경우 응력과 전단변형률(shear rate) 사이에 선형적인 관계를 나타낸다. 빙행모델의 경우 설계목적으로 유용하게 사용되지만, 제어 시뮬레이션 등에 사용되기에는 모델링 오차가 크기 때문에 MR 유체의 거동을 보다 정확하게 표현하기 위한 모델이 요구된다. Dyke는 전단모드 댐퍼를 표현하기 위해 보웬(Bouc-Wen) 히스테리시스 모델을 사용하였으며, 개선된 보웬 히스테리시스 모델도 제안하였다 [7, 8]. Choi는 MR 댐퍼를 6차 다항식(six-order polynomial)의 형태로 모델링하였으며, 자기장의 영향을 1차 선형식으로 표현함으로써 MR 댐퍼의 역댐퍼 모델을 간단한 계산에 의해 쉽게 구할 수 있도록 하였다 [9]. Xia [10]와 Cho [11]는 다층신경망을 이용한 역댐퍼 모델을 제안하였으며, Wang은 Feed-Forward와 Recurrent 신경망을 이용하여 개선된 보웬 히스테리시스 모델에 대한 역댐퍼 모델을 구하였다 [12]. Tse는 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 히스테리시스 거동을 표현하기 위해 보웬 히스테리시스 모델을 사용하였으며, 댐핑력이 전압입력에 비례하는 역댐퍼 모델을 제안하였다 [13].

본 논문에서는 다층신경망을 이용한 개발된 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델 및 역모델에 관한 연구를 수행하였다. 다층신경망을 이용한 모델링에 필요한 학습용 데이터를 획득

하기 위하여 전단모드 회전형 MR 댐퍼 시험기를 설계 및 제작하였으며, 제작된 시험기를 이용해 동특성 시험평가를 수행하였다. 획득된 학습용 데이터를 이용하여 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델과 역모델을 구하였다.

2. 전단모드 회전형 MR 댐퍼 시험기

2.1 하드웨어 구성

그림 1은 본 연구에서 설계 및 제작한 UGCV의 현가시스템용 전단모드 회전형 MR 댐퍼이며, 표 1은 설계 사양을 보여준다. 제작된 MR 댐퍼의 동특성 시험과 MR 댐퍼의 모델 및 역모델을 얻기 위한 실험 데이터 획득을 위하여 그림 2와 같이 시험기를 설계하였다. 회전형 MR 댐퍼의 경우, 노면으로부터 전달되는 진동은 회전형 MR 댐퍼와 회전형 스프링(토션바)에 의해 감쇄되며, 이때 MR 댐퍼의 댐핑력은 댐퍼의 회전속도에 비례하여 나타난다. 즉, MR 댐퍼의 특성은 MR 유체에 인가되는 자속을 결정하는 전류와 MR 댐퍼의 회전속도에 의해 출력이 변하게 된다.

동특성 시험에서 MR 댐퍼의 회전속도를 구현하기 위해 AC 서보모터를 사용, MR 댐퍼 구동 드라이버/제어기를 이용해 전류를 공급, 그리고 토크센서를 이용하여 MR 댐퍼의 출력을 측정하였다.

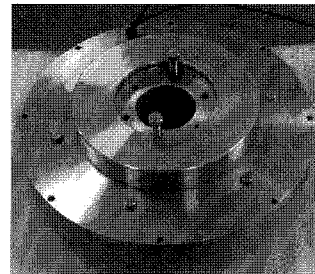


그림 1. 전단모드 회전형 MR 댐퍼
Fig. 1. Shear-mode rotary MR damper

표 1. 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 사양
Table 1 Specifications of shear-mod rotary MR damper

크기	D300 x L100
전기적 특성	DC 24V, 최대입력전류 3A
무게	20 kg 내외
코일사양	D0.7, 턴수 210회, 저항 8Ω

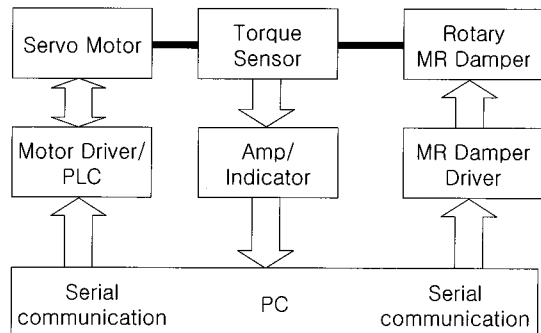


그림 2. MR 댐퍼 시험기 구성도
Fig. 2. Configuration of MR Damper Test Bench

그림 3은 제작된 전단모드 회전형 MR 댐퍼 시험기이다. AC 서보모터로는 KOMOTEK사의 KANS-50을 사용하였으며, AC 서보모터의 속도제어를 위해 그림 4와 같이 PANASONIC사의 DV83500KT AC 서보모터 드라이버와 MITSUBISHI사의 FX3u-16M PLC 제어기를 이용하였다. 그림 5는 TMS320LF2406 DSP를 이용하여 제작한 MR 댐퍼에 전류를 공급하기 위한 MR 댐퍼 구동 드라이버/제어기이다.

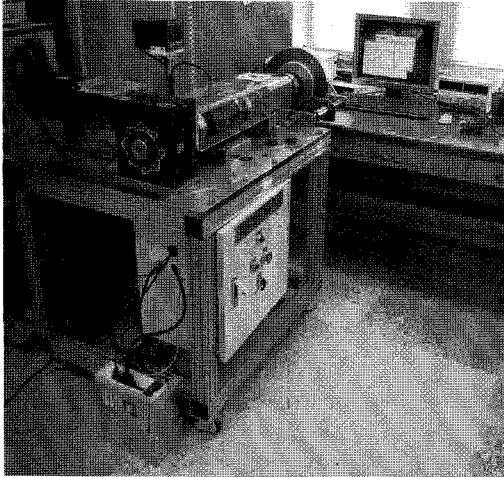


그림 3. 전단모드 회전형 MR 댐퍼 시험기
Fig. 3. Shear-mode rotary MR damper test bench

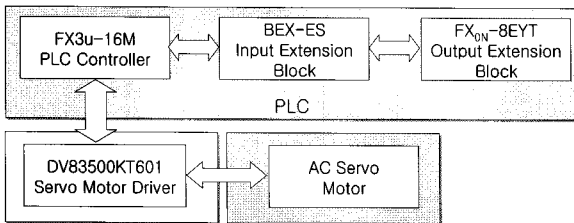


그림 4. AC 서보모터 및 제어기 구성도
Fig. 4. Configuration of Motor and Controller

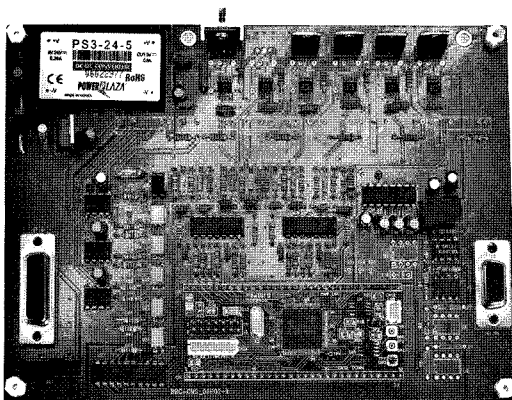


그림 5. MR 댐퍼 구동 드라이버/제어기
Fig. 5. MR damper driver/controller

시험기에 사용된 FX3u PLC의 특징은 PLC에서 직접 배선하는 입출력(최대 256점)과 네트워크(CC-Link)상의 I/O(최대 256점) 합계 최대 384개의 접점을 가지며, 입출력의 증설기기는 FX2N 시리즈 입출력 증설 유닛/블럭을 접속할

수 있으며 또한 FX0n/FX2n 시리즈 특수 증설 유닛/블럭도 최대 8대까지 접속할 수 있는 장점을 가지고 있다. FX3u는 64k 스텝의 메모리를 내장하고 있으며, 메모리 카세트를 사용함으로써 프로그램 메모리를 플래시 메모리로 사용가능한 특징을 갖고 있다. 그리고 부동소수점, 문자열 처리 명령 외에 스케일링 명령 등 풍부한 명령을 구비하고 있으며, 내장 스위치로 RUN/STOP 조작이 가능하다.

2.2 소프트웨어 구성

전단모드 회전형 MR 댐퍼 시험기에서 MR 댐퍼에 인가되는 전류 값과 서보모터의 회전속도 값을 PC로부터 각각의 제어기와 직렬통신을 통해 전달된다. 전류 값을 입력하기 위한 소프트웨어는 랩뷰(LABVIEW)를 이용하여 그림 6과 같이 만들었으며, 동특성 시험을 위한 서보모터의 속도 프로파일 입력과 PLC와 통신을 위한 프로그램을 그림 7과 같이 프로그래밍 하였다.

전류지령용 프로그램에서 전류는 듀티비(duty ratio)의 값으로 입력하며, 듀티비 0-100%는 0-3A의 전류 값에 해당한다. 모터제어 프로그램은 PLC와 RS422 통신으로 연결되어 있으며, 2가지 동작모드로 모터를 구동시킬 수 있다. 수동모드(manual run mode)는 원하는 속도를 수동으로 변화시키면서 시험하는 방법이며, 자동모드(auto step run mode)는 원하는 속도프로파일을 속도 값과 동작시간 값을 미리 입력시킨 후 동작시키는 방법이다.

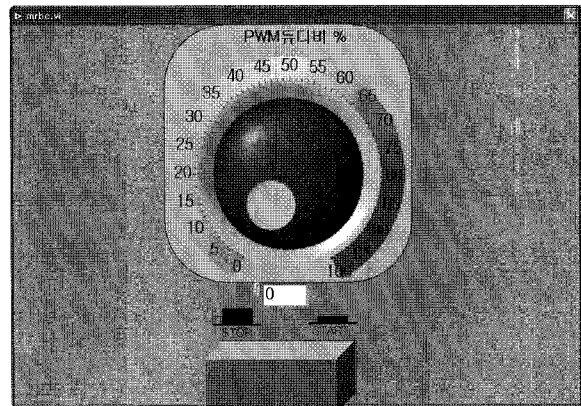


그림 6. MR 댐퍼 제어 프로그램
Fig. 6. MR damper control program

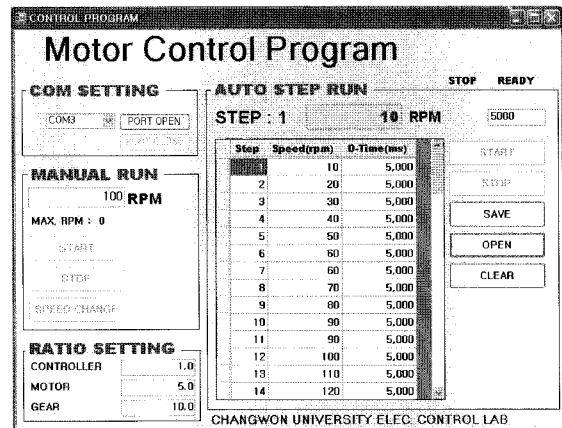


그림 7. 모터 제어 프로그램
Fig. 7. Motor control program

3. MR 댐퍼 동특성 시험

전단모드 회전형 MR 댐퍼의 동특성 시험은 댐퍼의 입력 전류, 댐퍼의 회전속도, 그리고 출력토크의 관계 그래프를 얻는 과정이다. 본 연구에서는 전단모드 MR 댐퍼의 구동을 위해 제작한 MR 댐퍼 제어기의 성능시험을 수행하였으며, 입력전류, 회전속도, 그리고 출력토크의 관계 그래프를 시험을 통해 획득하였다.

제작된 시험기를 통해 MR 댐퍼의 동특성뿐만 아니라 개발된 MR 댐퍼 구동 드라이버/제어기의 성능시험도 가능하며, 그림 8은 시험결과를 보여준다. 사용자가 입력한 듀티비(duty ratio)의 값이 5%까지는 출력전류가 0A이지만, 그 이후의 값에 대해서는 입력 듀티비에 대해 선형적인 전류출력 특성을 보여준다.

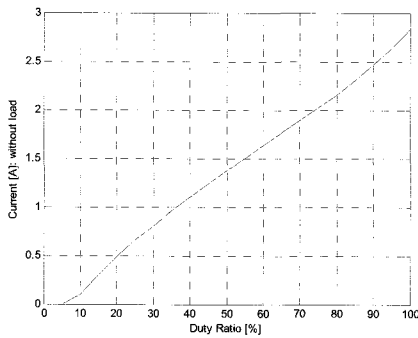


그림 8. 듀티비 입력에 대한 출력 전류
Fig. 8. Duty ratio vs. Output current

전단모드 회전형 MR 댐퍼에 0A, 0.25A, 0.5A, 0.75A, 1A, 1.25A, 1.5A, 1.75A, 그리고 2A의 전류를 각각 입력시킨 후 모터의 회전속도에 따른 출력 토크를 측정하였다. 서보모터의 속도는 0 rpm에서 150 rpm까지 10 rpm의 간격으로 150 rpm까지 속도가 증가시킨 후, 다시 150 rpm에서 -150 rpm까지 10 rpm의 간격으로 속도를 감소시키고 그리고 마지막으로 다시 -150 rpm에서 150 rpm으로 속도를 증가시키면서 출력 토크를 측정하였다. 그림 9는 시험기를 이용한 동특성 시험결과를 보여준다.

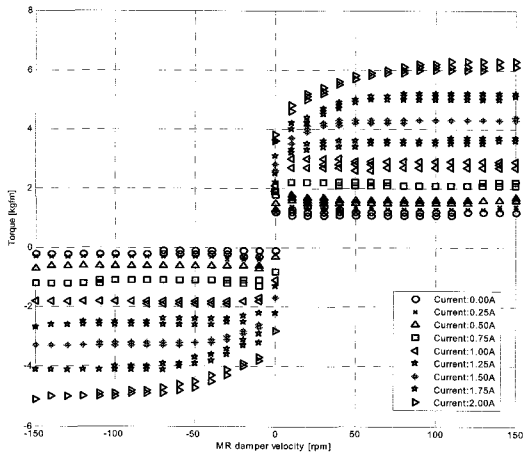


그림 9. 동특성 시험결과
Fig. 9. Experimental results

시험결과로부터 얻은 데이터를 다층신경망을 이용하여 모델링할 경우, 학습용 데이터의 수를 충분히 확보하기 위하여 Curve Fitting을 이용하여 그림 10과 같은 데이터를 얻었다.

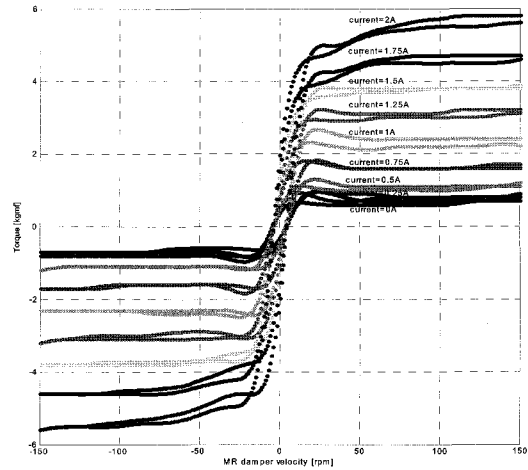


그림 10. Curve Fitting 결과 데이터
Fig. 10. Results data of curve fitting

4. MR 댐퍼의 모델링

Curve Fitting을 통해 ‘속도-전류-토크’의 쌍으로 구성된 5409개의 데이터집합을 확보하였으며, 이중 2705개의 데이터 집합은 학습용으로 사용하고, 나머지 2704개의 데이터 집합은 얻어진 다층신경망의 검증용으로 사용하였다. 시험결과로부터 얻은 데이터에는 히스테리시스 특성이 포함되어 있으므로, 회전속도가 150rpm에서 -150rpm으로 감속할 때의 비선형 함수와 -150rpm에서 150rpm으로 가속할 때의 비선형 함수로 나누어 모델링하였다.

그림 11은 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 모델링에 사용된 다층신경망의 구조를 보여준다.

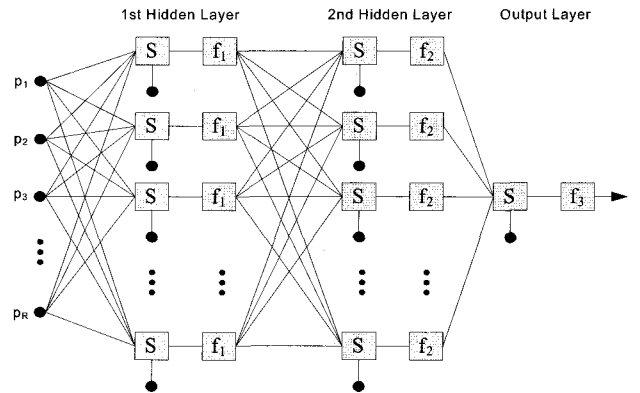


그림 11. 다층신경망의 구조
Fig. 11. Structures of multi-layer Neural Network

감속모드의 비선형 함수 모델링에는 10개의 뉴런으로 구성된 2개의 은닉층(hidden layer)과 하나의 출력층(output layer)으로 구성된 다층신경망을 사용하였으며, Levenberg-Marquardt 알고리즘으로 오차목표치를 10⁻⁴로 하여 학습

시켰다 [14]. 그림 12와 같이 547 Epochs에서 학습을 종료하였다. 그림 13(a)는 학습된 결과를 보여주며, 그림 13(b)는 검증용 데이터를 이용하여 다층신경망의 출력과 목표 값을 비교한 결과이며, 시뮬레이션결과 만족스럽게 모델링된 것을 확인하였다.

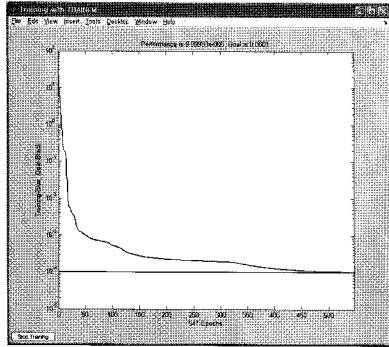
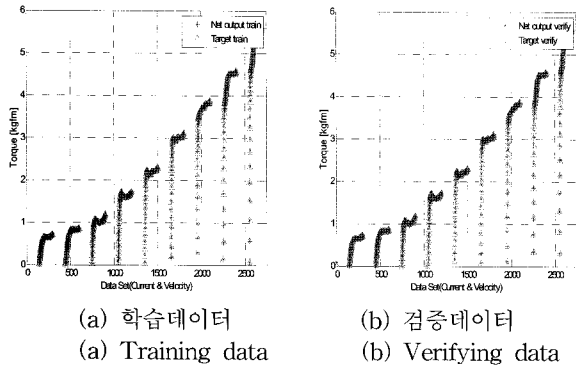


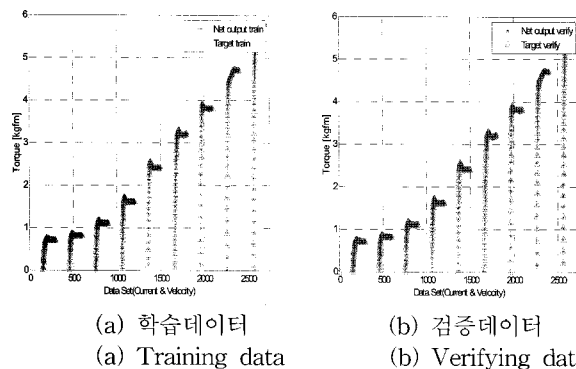
그림 12. LM 알고리즘으로 학습하는 과정
Fig. 12. Training with LM algorithm



(a) 학습데이터 (a) Training data
(b) 검증데이터 (b) Verifying data

그림 13. 감속모드 모델링
Fig. 13. Deceleration-mode Modeling

감속모드와 동일한 방법으로 가속모드에 대한 모델링을 위해 다층신경망을 학습시킨 결과 117 Epochs만에 수렴하였으며 그림 14는 가속모드에 대한 모델링이다.

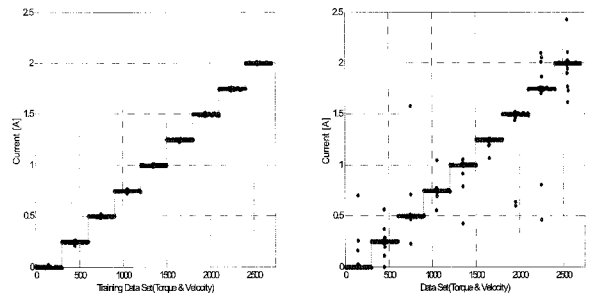


(a) 학습데이터 (a) Training data
(b) 검증데이터 (b) Verifying data

그림 14. 가속모드 모델링
Fig. 14. Acceleration-mode Modeling

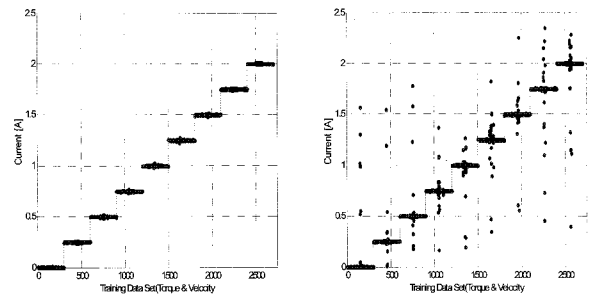
MR 댐퍼 모델링 방법과 같이 역댐퍼 모델도 구할 수 있다. 이때 역댐퍼 모델의 입력은 '속도-댐핑력'이며 출력은 전

류 값이 된다. 그림 15와 그림 16은 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 역모델을 다층신경망을 이용하여 구하였다. 감속모드에서는 15개의 뉴런을 가진 2개의 은닉층과 1개의 출력층으로 된 다층신경망을 이용하였으며, 1135 Epochs에서 학습을 종료하였다. 가속모드에서는 15개의 뉴런을 가진 3개의 은닉층과 1개의 출력층으로 구성된 다층신경망을 이용하여 역댐퍼 모델을 구하였다. 역댐퍼 모델의 경우, 함수 자체의 비선형성이 크기 때문에 댐퍼의 회전속도가 0부근에서는 오차가 발생하는 것을 확인 할 수 있다.



(a) 학습데이터 (a) Training data
(b) 검증데이터 (b) Verifying data

그림 15. 감속모드 역모델링
Fig. 15. Deceleration-mode Inverse Modeling



(a) 학습데이터 (a) Training data
(b) 검증데이터 (b) Verifying data

그림 16. 가속모드 역모델링
Fig. 16. Acceleration-mode Inverse Modeling

5. 결론

본 논문에서는 개발된 전단모드 회전형 MR 댐퍼의 동특성 시험 및 MR 댐퍼의 모델링에 필요한 데이터를 획득하기 위한 시험기를 제작하였다. 제작된 시험기를 통해 회전형 MR 댐퍼의 동특성을 살펴보았으며, 획득된 데이터를 Curve Fitting을 통해 보다 많은 데이터를 확보하였다.

다층신경망을 이용하여 회전형 MR 댐퍼의 모델과 역댐퍼 모델을 획득하였으며, 검증용 데이터를 이용하여 얻어진 다층신경망을 검증하였다.

향후, 얻어진 댐퍼모델과 역댐퍼 모델을 이용하여 회전형 MR 댐퍼를 이용한 반응동 현가제어 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] B. F. Spencer, S. J. Dyke, and M. K. Sain, "Phenomenological Model for Magnetorheological Dampers," *Journal of Engineering Mechanics*, pp. 230-238, 1997.

[2] K. M. Choi, et al., "Semi-active fuzzy control for seismic response reduction using magneto-rheological dampers," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 33, pp. 723-736, 2004.

[3] H. Du, K. Y. Sze, and J. Lam, "Semi-active H_{∞} control of vehicle suspension with magneto-rheological damper," *Journal of Sound and vibration*, Vol. 283, pp. 981-006, 2005.

[4] J. Cho, T. Jung, and J. Joh, "Fuzzy Skyhook Control of A Semi-active Suspension System," *International Journal of fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 6, No. 2, pp. 121-126, 2006.

[5] W. M. Winslow, "Method and Means for Translating Electrical Impulses into Mechanical Force," *US Patent*, No. 2417850, 1947.

[6] J. Rabinow, "Magnetic fluid torque and force Transmitting Device," *US Patent*, No. 2575360, 1951.

[7] L. M. Jansen and S. J. Dyke, "Semiactive control strategies for MR dampers: Comparative study," *Journal of Eng. Mech.*, Vol. 126, No. 8, pp. 795-803, 2000.

[8] S. J. Dyke, et al., "Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction," *Smart Mater. Struct.*, Vol. 5, pp. 565-575, 1996.

[9] S. B. Choi, et al., "A Hysteresis model for the field-dependent damping force of a magneto-rheological damper," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 245, No. 2, pp. 375-383, 2001.

[10] P. Q. Xia, "An inverse model of MR damper using optimal neural network and system identification," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 266, pp. 1009-1023, 2003.

[11] J. Cho, et al., "Inverse Model Control of An ER Damper System," *International Journal of fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 64-69, 2006.

[12] D. H. Wang and W. H. Liao, "Modeling and control of magnetorheological fluid dampers using neural networks," *Smart Mater. Struct.* Vol. 14, pp. 111-126, 2005.

[13] T. Tse and C. C. Chang, "Shear-mode Rotary Magnetorheological Damper for Small-scale Structural Control Experiments," *Journal of Structural Engineering*, pp. 904-911, 2004.

[14] M. T. Hagan and M. B. Menhaj, "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 5, No. 6, pp. 989-993, 1994.

저 자 소 개



조정목(Jeong-mok Cho)
 1999년 : 창원대학교 (공학석사)
 2000년~현재 : 동 대학원 제어계측공학과 박사과정

관심분야 : 지능제어, MR Fluid 응용 시스템 설계 및 제어
 Phone : +82-55-285-7550
 E-mail : jmcho@chol.com



허남(Nam Huh)
 2000년 : 부산대학교 (공학석사)
 1999년~현재 : 위아(주) 선행연구개발부
 2003년~현재 : 부산대학교 박사과정

관심분야 : 전기자동차용 휠인모터 제어 및 자율주행로봇의 주행제어 시스템
 Phone : +82-2-2033-8108
 E-mail : huhnam@wia.co.kr



조종선(Joong-seon Joh)
 1991년 : Georgia Institute of Technology, Department of Mechanical Eng. (공학박사)
 1991년~1993년 : 국방과학연구소
 1993~현재 : 창원대학교 제어계측공학과 교수
 2001년 : IEEE Trans. of Fuzzy Systems 최우수 논문상 수상

관심분야 : 지능 제어, 인공지능의 공학적 응용, Hybrid 글삭기 설계 및 제어, Hybrid 자동차 설계 및 제어
 Phone : +82-55-213-3665
 Fax : +82-55-262-5064
 E-mail : jsjoh@sarim.changwon.ac.kr