

DC Motor와 Ballscrew를 이용한 Electromagnetic Damper Damping 효과 실험

강정호, 이학철, 정영석
부경대학교 전자제어연구실

A Experiment of the damping effect for Electromagnetic Damper using DC Motor and Ballscrew

Jeong-Ho Kang, Hac-Choel Lee, Young-Suk Jeong
Pukyong National University

ABSTRACT

In this Paper, the modeling of the electromagnetic damper for automobile suspension is presented and the validation of the model is demonstrated by experiments. An electromagnetic damper, composed of a rotary DC motor, and a ball screw and nut. The damper then operates as a linear electric actuator. The damper then operate as a linear electric actuator. The results indicate the proposed system is feasible and it is proved that the electromagnetic damper has better than oil damper of passive control system.

1. 서론

운전자이면 누구나 일상적인 운전 상황에서 고급 승용차와 같은 쾌적한 승차감을 가지면서, 고속도로나 급커브에서는 마치 스포츠카처럼 민첩하게 반응하는 자동차를 기대한다. 그러나 이 두 가지 특성 즉, 승차감과 조종안정성은 서로 상반된 특성을 가지며, 기존의 하나의 스프링이나 댐퍼 특성을 가지는 현가장치(Suspension)로는 기존의 기계적인 현가장치로는 승차감과 조종성 모두를 향상시키는 것은 한계가 있기 때문에 유압이나 전자식의 힘을 이용하여 능동적으로 현가장치를 제어하므로 최적의 승차감 및 조종성능을 얻는 장치이다. 능동형 현가장치는 자동차의 주행 시 서스펜션의 구성요소들이 각각의 상황에 따라 적절히 대응하도록 하는 것이다. 본 논문에서는 주행 조건이나 운전자의 가속, 감속, 조향 입력에 따라서 현가장치 각 부품의 특성을 변화시켜서 승차감과 조종안정성을 동시에 향상시킬 수 있는 능동형 현가장치(Active Suspension)의 기존 연구를 바탕으로 이를 직접 설계하고 실험을 통해 그 효과를 확인해 보았다.

2. Electromagnetic Damper의 구성

2.1 Electromagnetic Damper



그림 1. Electromagnetic Damper의 구성

Electromagnetic Damper는 DC Motor와 Ball Screw, Nut로 구성되어 있고 Damper는 액츄에이터 형태로 작동한다. 이 때 토크는 τ , 전류 i , 비례상수 k_t 를 가질 때, 토크와 힘에 대한 관계를 알아보면,

$$\tau = k_t \times i \quad (1)$$

식(1)은 모터에서 전류와 토크의 관계식이다.

$$f_d = \frac{2\pi}{l} \times \tau_d \quad (2)$$

식(2)는 외력(직선력)과 회전력과의 관계식이다.

$$f = \frac{2\pi}{l} \times k_t \times i \quad (3)$$

식(3)은 위의 두 식을 이용하여 힘에 관하여 정리해보면 외력은 전류에 비례함을 알 수 있다. 본 논문에 사용된 DC Motor는 고정자로 영구자석을 사용하고, 회전자(전기자)로 코일을 사용하여 구성한 것으로, 전기자에 흐르는 전류의 방향을 전환하여 자력의 반발, 흡인력으로 회전력을 생성시킨다. DC Motor는 위의 식(2)을 통해 선정하였다. 최대로 가해줄 수 있는 Force를 20kg(=184N)으로 가정하고, 여기서 선택한 Ballscrew의 리드가 0.01m이기 때문에 최종적으로 구한 토크(Torque)는 0.31N·m 가된다. 선택한 DC Geard 모터는 기어비가 3:1이고 최대토크가 0.49N·m이므로 안전율을 고려하여 선정하게 되었다.

2.2 시스템 구성

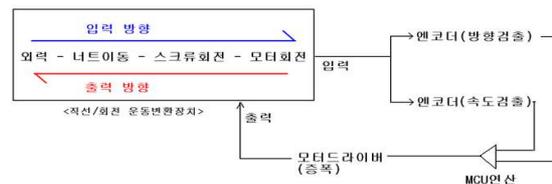


그림 2. Electromagnetic Damper의 시스템 구성

그림 2는 본 연구에 사용된 Electromagnetic Damper 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 시스템 구성도는 개략적으로 DC Motor, Motor driver, Encoder, Ballscrew, Nut로 구성되어있다. Electromagnetic Damper 은 구동 원리는 DC Motor와 Ballscrew로 구성된 기계로 진동의 직선운동을 DC모터를 위한 입력토크로 변환하여 준다. 입력된 토크는 엔코더를 통하여 방향과 속도를 검출하고 MCU연산을 통하여 Motor driver로 PWM 출력하고 Motor driver는 이 신호를 증폭하여 DC Motor로 출력한다. 이러한 시스템을 통하여 Electromagnetic Damper 제어된다. 제안된 댐퍼는 아래 두 가지의 중요한 특징을 가진다. 회전에 대한 감쇠력과 능동현가장치에 의해 컨트롤이 가능하다.

2.3 제어 시스템 설계

모터드라이버의 주요 구성요소는 MCU(ATmega32), L298N, Shunt Resistance(1Ω2W)로 구성되어 있다. 그림 3은 모터 드라이버 회로구조는 다음과 같다.

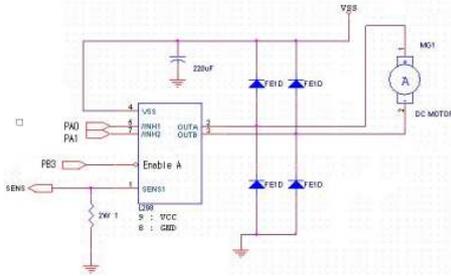


그림 3. 모터 드라이버 회로구조

위의 회로도에서 L298은 역할은 모터의 회전방향을 결정하고 PWM신호를 인식하여 속도제어를 한다. 그리고 전류 센싱 핀에 Shunt Resistance(1Ω2W) 연결하여 전압은 전류에 비례하는 성질을 이용하여 간접적으로 전류를 측정한다. 그림 4는 외력에 따른 전류센서부의 전류 변화이다.



그림 4. 외력에 따른 전류센서부의 전류 변화

전류센서부의 흐르는 전류의 변화를 확인하기위해 duty ratio를 70%가량 인가하고 너트부에 힘을 가한다. ⇨ 가한힘(외력)의 크기는 1 < 2 < 3 순이다. ⇨ duty ratio 는 70%로 유지되면서 크기가 변하는 것을 관찰 할 수 있다. ⇨ 센싱부에 걸리는 전압을 아날로그-디지털변환(ADC)하면 외력의 크기를 인식 할 수 있다. ⇨ 외력이 크면 duty ratio 를 늘려 반력을 높이고, 외력이 작으면 duty ratio를 줄여 반력을 줄인다.

MCU(ATmega32)은 8bit 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 본 연구에 ATmega32의 역할은 PWM 출력 및 ADC설정, 주파수 설정, Encoder 정보 수신 기능을 한다. 위에서 확인한 바와 같이 섀트저항에 걸리는 전압을 확

인하면 모터에 흐르는 전류를 인식할 수 있다. 하지만 이것은 오실로스코프로 측정하였을 때 알 수 있는 값이다. MCU(ATmega32)에 인식을 시켜줄려면 ADC변환이 필요하다. 아날로그 디지털변환을 통해 전류값을 MCU에 인식시켜 주고 그 값을 이용하여 모터를 제어 할 수 있다. ADC를 할 때 주의사항은 전압PWM의 주기와 ADC의 주기가 동일해야한다. 이번 프로젝트에서는 전류를 측정하기위한 ADC 변환 작업이 필요한데 이를 정확하게 수행하기 위해서는 너무 높은 주파수를 사용하지 못한다. 실험적으로 ADC가 가능한 가장 낮은 주기의 duty를 계산해보니 약 30μs가 적당하였다. 기본 duty를 30μs로 설정하면 조절 가능한 duty범위는 60~100%로 사용범위가 상당히 좁아지기 때문에 민감한 사람만 인식할 수 있을 정도의 약한 소음이 발생하는 10kHz의 전압 주파수(주기:100μs)를 인가하였다. 10kHz의 전압 주파수와 30μs의 ADC time을 고려한 기본 duty를 대입하여 조절 가능한 주파수를 계산한 결과 30% ~ 100% 까지 조절할 수 있는 범위가 생기기 때문에 전압주파수 10kHz, 기본 duty 30%를 인가하였다.

엔코더는 모터의 축에 부착하여 모터의 회전속도, 회전량 및 회전방향을 인식 할 수 있는 장치이다. 너트 및 스크류를 제어하기 위해서는 스크류가 얼마나 회전하였는지 그 양을 알아야 한다. 모터의 출력 단과 볼스크류가 커플링에 의해 맞물려 돌아가기 때문에 모터의 회전량과 스크류의 회전량이 동일하다. 모터의 회전량을 알아보면 전체 시스템이 얼마나 어떻게 움직였는지 판단할 수 있다. 본 연구에 사용한 엔코더는 ROTARY ENCODER로 NPN 오픈 콜렉터 출력 방식이며 분해능 500 펄스이다. 그림 5은 회전속도에 따라 펄스 발생량을 오실로스코프로 측정한 것이다.

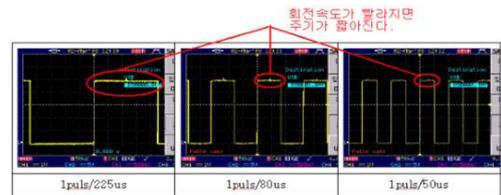


그림 5. 회전속도에 따른 펄스 발생량

회전속도가 증가함에 따라 펄스의 발생량이 증가하는 것을 수치적으로 확인 할 수 있다. 이 값을 MCU(ATmega32)에서 인식시키기 위해 엔코더의 출력단을 interrupt0 포트인 PD2단에 연결하여 펄스마다 인터럽트를 발생시켜 회전량을 검출하였다. 회전방향 검출은 상의 상태에 따라 정/역방향을 검출 할 수 있으며 A 상에 펄스 입력이 있을 때 B상의 상태를 확인하면 회전방향을 검출 할 수 있다. 그림 6은 펄스의 상에 따른 회전방향 검출을 오실로스코프로 확인한 것이다.

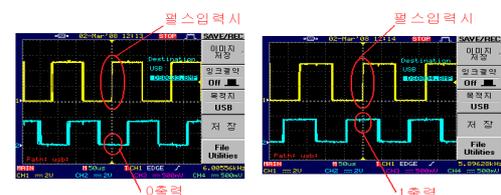


그림 6. 펄스의 상에 따른 회전방향 검출

2.4 Electromagnetic Damper 모델링

프레임은 일본의 Yoshihiro SUDA 교수의 논문을 참고하여 구상하였으며 설계상의 오차를 줄이고 볼 스크류를 이용한 서스펜션 모델을 구현하기 위하여 UG를 이용하여 설계했다. UG를 이용한 설계는 3차원 Modeling을 포함한 Predictive Engineering이 가능한 설계로 설계상의 오류를 발견하고 검증하고 수정하기에 편리하다. 이러한 틀을 사용함으로써 Electromagnetic Damper를 설계하고 검증하였으며 각 파트들을 결합하고 가상으로 구동을 시켜 작동을 확인하여 모델링 하였다. 그림 7은 UG로 설계된 Electromagnetic Damper 프레임의 최종 완성모델과 파트별 모델링이다.

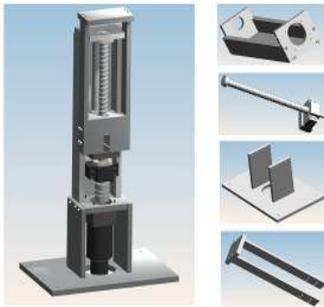


그림 7. UG로 설계한 Electromagnetic Damper

이러한 모델링을 통하여 검증된 파트들은 실제 가공을 위하여 2D도면으로 변환하여 제작하였으며 전체적으로 외관에 사용된 재료는 가볍고 단단한 알루미늄을 사용하였다. 그림 8은 설계를 바탕으로 제작, 완성된 모델이다.



그림 8. 제작 완성된 Electromagnetic Damper

3. Damping 실험 결과

본 논문에서는 Electromagnetic damper의 설계 내용을 기술하였다. 설계한 자료를 토대로 제작하여 모터와 스크류의 회전 시 전류가 발생하게 되는데 나온 전류를 전류 센싱을 하여 L298을 통해 ADC변환을 거치게 된다. 이렇게 나온 값을 통하여 duty비를 설정하고 L298은 Damping계수에 따라 전압을 인가하는 원리를 이용해 duty비를 5단계로 나누어 설정하였다. Damper의 성능을 확인하기 위해 중량을 늘려가며 모터 및 볼 스크류의 회전속도를 측정하였다. 그림 9는 중량에 따라 Damping계수를 달리하여 측정한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 보게 되면 중량이 증가함에 따라 속력이 점차 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있는데 하중이 22kg일 때

Damping계수가 없을 때에는 12(rev/s)의 속력을 보이지만 Damping계수를 4단계로 설정하였을 때에는 8.5(rev/s)로 감소되는 것을 결과에서 확인할 수 있었다.

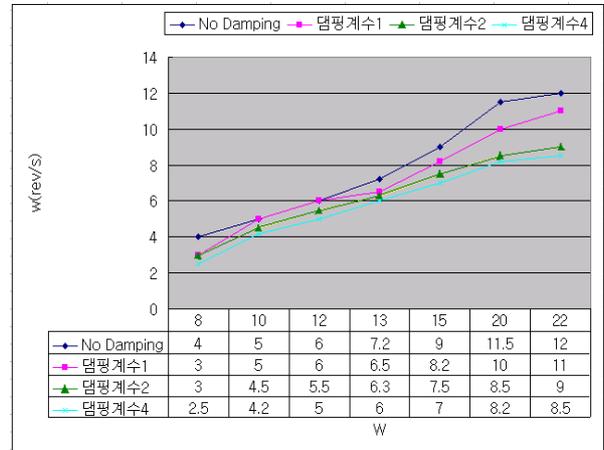


그림 9. 중량에 따른 Damper 효과 실험 그래프

4. 결론

본 연구에서는 주행 시 운전자의 가속, 감속, 조향 입력에 따라 차량의 승차감과 조정안정성을 향상 시켜줄 수 있는 Electromagnetic Damper를 제안하고, 설계 및 제작하여 그 성능 실험 결과를 기술하였다.

실험 결과 중량에 따라 속도가 감쇠함을 확인 할 수 있었고 Electromagnetic Damper의 유용성을 확인한 계기가 되었다. 향후 본 논문에서 설명된 기술을 토대로 수정 보완된 연구를 통하여 DC모터의 약점인 주위 환경의 변화 등에 의해 쉽게 파라미터 값의 변화를 초래할 수 있고 이러한 동력학의 변화와 그 밖의 다른 비선형 특성들로부터 파라미터 변화에 덜 민감하고 빠른 구동 성능을 갖는 DC모터 제어기를 설계가 필요하다 그리고 새로운 유형의 모터와 효율적인 제어 기법을 이용해 최적화 디자인을 달성해야 하며, 신뢰성을 달성하고 비용을 낮추기 위해서 최상의 모터 제어 성능을 이용한 연구가 필요하다.

이 논문은 부경대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] Kimihiko Nakano, "A Single type Self-Powered Active Suspension using an Electromagnetic Actuator", Proc. of ACMD06, 2006.
- [2] Yoshihiro Suda "Modeling of electromagnetic damper for automobile suspension", Proc. of ACMD06, 2006.
- [3] Yoshihiro Kawamoto. "Modeling of electromagnetic damper for automobile suspension", Journal of System Design and Dynamics, pp. 526-535. Vol1, No3., 2007.
- [4] Yoshihiro Suda, "Study on Active Control Using Regenerated Vibration Energy", Asia-Pacific Vibration Conference '97, pp. 1216-1221, 1997.