

DC Motor를 이용한 능동형 댐퍼 시스템에 대한 연구

이학철*, 전진용**, 정영석*

부경대학교 메카트로닉스공학과*, 현대 오토넷(주)**

Study on Active Damper System Applying DC-Motor

Hak-Choel Lee*, Jin-Young Jeon**, Young-Suk Jeong*

Pukyong National University*, Hyundai-autonet co., Ltd**

ABSTRACT

The suspension systems currently in use can be classified as passive, semi-active and active. The passive suspension systems are the most commonly used due their low price and high reliability. However, this system cannot assure the desired performance form a modern suspension system. An important improvement of suspension performance is achieved by the active systems. This paper treats active damper system and applying DC-Motor. In this system, all the energy for active control is supplied from the damper, which regenerates energy. And simulations by sky-hook control.

1. 서 론

자동차의 현가장치는 노면에 의한 진동을 흡수하여 승차감을 향상시키고, 타이어의 노면 접촉력을 유지하여 조정성 및 안정성을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 기존의 수동 현가장치의 경우, 댐퍼의 특성상, 앞에서 언급한 승차감과 조정 성능의 역할에 있어서 서로 상반된 특성을 가지고 있으므로 이를 동시에 향상 시키는 데에는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 노면과 같은 외부 조건에 적절히 대처할 수 있는 능동형 현가장치(Active Suspension) 및 반능동형 현가장치(Semi-Active Suspension)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이 시스템은 1970년대 Karnopp 교수에 의해 제안된 스카이훅(Sky-hook) 댐핑 제어 알고리즘에 근거하여 연구, 개발이 추진되어 수동식(Manual Selectable), 적응제어식(Adaptive Controlled), 반능동식(Semi-Active Controlled)등의 발전을 거듭하여 최근에는 능동형(Active Controlled) 서스펜션 시스템까지 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 Electromagnetic Damper를 능동적으로 제어하기위해 1970년대에 Karnopp 교수에 의해 제안된 스카이훅 댐핑 제어 알고리즘에 근거하여 능동시스템을 설계하기 위한 이론을 제시하고 수동시스템과 능동시스템을 시뮬레이션으로 비교하여 분석해 보았다.

2. 능동형 시스템의 제안

2.1 제안된 시스템의 구성

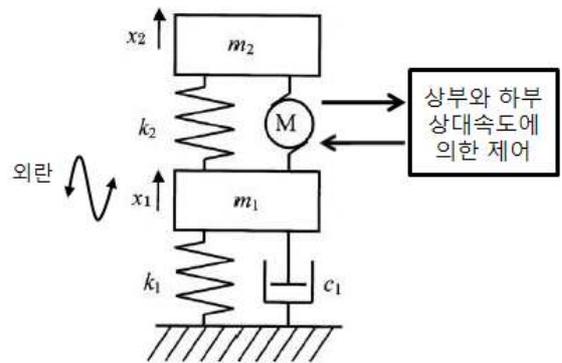


그림 1. 제안된 시스템의 구성

제안된 시스템의 구성은 그림 1에서 나타난 것처럼 스프링 상부와 스프링 하부 사이에 DC-Motor가 위치에 있고 스프링 상부와 하부의 변위에 따라서 제안된 댐퍼가 인장이 되면 DC-Motor가 전동기로 동작을 하고 압축이 되었을 때는 제너레이터로 동작하는 방식으로 시스템을 구성하였다.

2.2 스카이-훅 제어 이론

스카이-훅 제어 이론은 1974년 Karnopp이 제안하였으며, 그림 2.(a)와 같이 스프링상부 질량의 진동을 제어하기 위하여 가상의 관성 기준(inertial reference)과 스프링상부 질량 사이에 댐퍼를 장착한다는 개념이다. 그러면 스프링상부 질량의 절대 속도인 \dot{z}_s 에만 관계되는 감쇠력이 발생된다. 그러나 이상적인 스카이-훅 댐퍼를 실제 시스템에 적용할 수가 없다. 그리하여 그림 2.(b)와 같은 가변 댐퍼를 스프링상부 질량과 스프링하부 질량 사이에 장착하고 등가적인 감쇠계수 c_{cont} 를 이용하여 스카이-훅 댐퍼에 해당하는 감쇠력을 발생시킬 수가 있다. 그림 2.(a)의 이상적인 스카이-훅 댐퍼에서 발생하는 감쇠력은 다음과 같다.

$$F_{sky} = -c_{sky} \cdot \dot{z}_s \quad (1)$$

그림 2.(b)의 실제적인 가변댐퍼에서 발생하는 감쇠력은 다음과 같다.

$$F_{cont} = -c_{cont} \cdot (\dot{z}_s - \dot{z}_u) \quad (2)$$

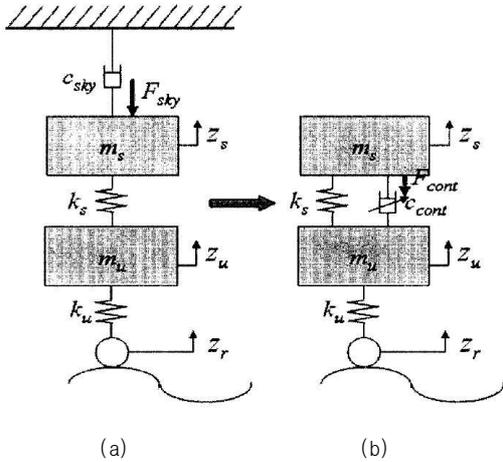


그림 2. (a) 이상적 스카이-훅 댐퍼 (b) 실제 스카이-훅 댐퍼

식(1)에서의 실제 감쇠력은 식(2)의 이상적인 감쇠력과 같아야하므로 다음과 같이 식(3)과 (4)가 성립된다.

$$c_{cont} = c_{sky} \frac{\dot{z}}{(\dot{z}_s - \dot{z}_u)} \quad (3)$$

$$c_{cont} = c_{sky} \cdot \dot{z}_s \quad (4)$$

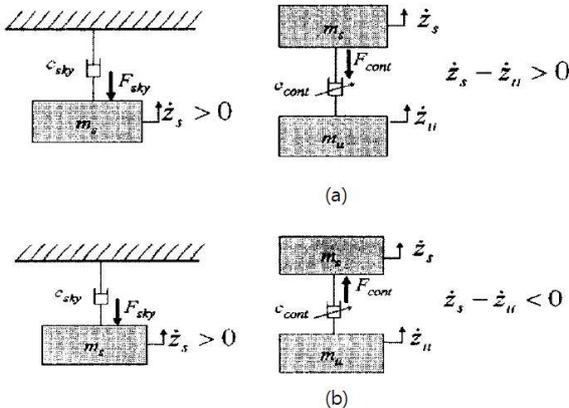


그림 3. 스카이-훅 감쇠력의 상대속도

그림 3에서는 절대속도 \dot{z} 와 상대속도 $(\dot{z}_s - \dot{z}_u)$ 의 부호에 따른 감쇠력의 방향을 나타내었다. 그림 3.(a)와 같이 절대속도 \dot{z} 와 상대속도 $(\dot{z}_s - \dot{z}_u)$ 의 부호가 같으면 같은 방향의 감쇠력이 작용한다. 그러나 절대속도 \dot{z} 와 상대속도 $(\dot{z}_s - \dot{z}_u)$ 의 부호가 반대가 되면 감쇠력도 반대방향으로 나타내게 된다. 이것을 다음의 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{cases} \dot{z}_s \cdot (\dot{z}_s - \dot{z}_u) > 0 \\ \dot{z}_s \cdot (\dot{z}_s - \dot{z}_u) \leq 0 \end{cases} \quad \begin{cases} F_{cont} = c_{sky} \cdot \dot{z}_s \\ F_{cont} = -c_{sky} \cdot \dot{z}_s \end{cases} \quad (5)$$

2.3 액츄에이터의 해석

Electromagnetic Damper는 DC Motor 구성되어 있고 Damper는 액츄에이터 형태로 작동한다. 이 때 토크는 τ , 전류 i , 비례상수 k_r 를 가질 때, 토크와 힘에 대한 관계를 알아보면,

$$\tau = k_r \times i \quad (6)$$

식(6)은 모터에서 전류와 토크의 관계식이다.

$$f_d = \frac{2\pi}{l} \times \tau_d \quad (7)$$

식(7)는 외력(직선력)과 회전력과의 관계식이다.

$$f = \frac{2\pi}{l} \times k_r \times i \quad (8)$$

식(8)은 위의 두 식을 이용하여 힘에 관하여 정리해보면 외력은 전류에 비례함을 알 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 DC-Motor를 이용하여 스카이-훅 제어 시스템의 알고리즘을 개발하였고, Electromagnetic Damper 시스템에 적용을 하기 위해 시뮬레이션을 시행하였다. 시뮬레이션을 하기 위해 PSIM과 MATLAB/Simulink를 이용하여 Electromagnetic Damper 시스템을 시뮬레이션을 하고자 한다.

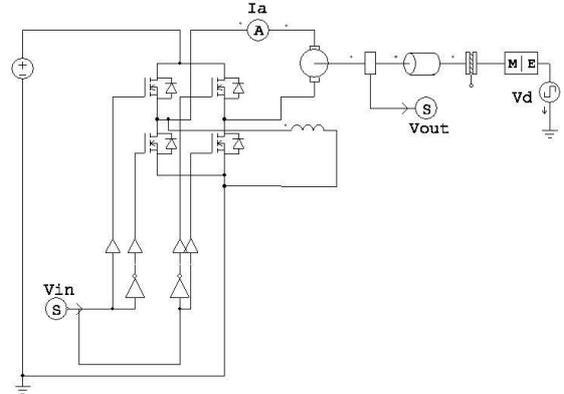


그림 4. DC-Motor H-bridge 회로

그림 4는 PSIM 프로그램을 이용하여 DC-Motor의 H-bridge 회로를 이용하여서 DC-Motor를 전동기와 제너레이터가 동시에 수행 될 수 있도록 하였다.

그림 5는 MATLAB/Simulink와 PSIM의 SimCoupler를 인터페이스 하였다.

그림 6는 MATLAB/Simulink를 이용하여 스카이-훅 제어 알고리즘을 통해 차량의 제어에 필요한 감쇠력을 계산하여 주는 블록이다.

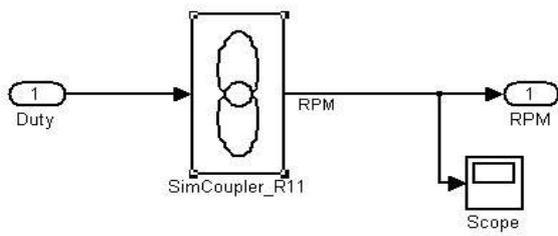


그림 5. MATLAB/Simulink와 PIMS의 인터페이스

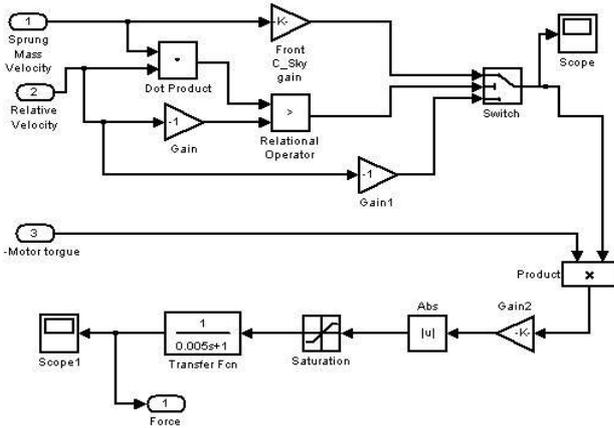


그림 6. 스카이-훅 제어 알고리즘

위의 그림 4. 5. 6의 블록을 바탕으로 시뮬레이션한 결과가 그림 7이다. 그림 7에서 보는 것처럼 수동제어를 시행했을 때 보다 스카이-훅 제어 알고리즘을 이용하여서 더 효과적으로 스프링상부의 진동을 절연할 수 있다는 것을 보여준다.

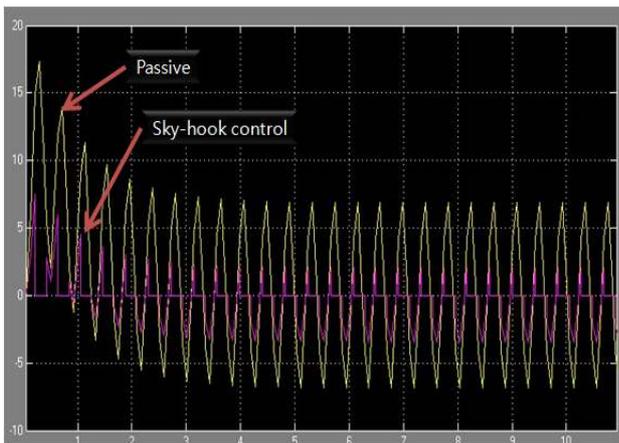


그림 7. 수동제어와 스카이-훅 제어 알고리즘 비교

4. 결론

본 연구에서는 운전자에게 전달되는 진동을 효과적으로 절연하기 위하여 기존에 사용되는 유압식 댐퍼가 아닌 Electromagnetic 댐퍼를 이용하여 시뮬레이션을 시도 하였다. 시뮬레이션 결과에서도 보았듯이 DC-Motor를 이용하여서 새로운 능동형 댐퍼를 디자인 및 설계를 할 수 있다.

차후 연구로는 지금까지 고안된 알고리즘을 이용하여 제어기와 액추에이터를 꾸며서 실험을 통한 검증 작업이 필요될 것이다. 그리고 새로운 유형의 모터와 효율적인 제어 기법을 이용해 최적화 설계를 해야 하며, 신뢰성을 달성하고 비용을 낮추기 위해서 최상의 모터 제어 성능을 이용한 연구가 필요하다.

이 논문은 부경대학교의 누리사업 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] D. Karnopp, M. J. Crosby and R. A. Harwood, "Vibration Control Using Semi-Active Force Generators", J. Engineering for Industry, ASME No. 73-DET-122, pp. 619-626, 1973
- [2] Yoshihiro Suda, "Study on Active Control Using Regenerated Vibration Energy", Asia-Pacific Vibration Conference '97, pp. 1216-1221, 1997.
- [3] Kimihiko Nakano, "self-powered active vibration control using a single electric actuator", Journal of Sound and Vibration, pp. 213-235, 2002.
- [4] Yoshihiro Suda "Modeling of electromagnetic damper for automobile suspension", Proc. of ACMD06, 2006.
- [5] Kimihiko Nakano, "A Single type Self-Powered Active Suspension using an Electromagnetic Actuator", Proc. of ACMD06, 2006.
- [6] Yoshihiro Kawamoto. "Modeling of electromagnetic damper for automobile suspension", Journal of System Design and Dynamics, pp. 526-535. Vol1, No3., 2007.