

MR 댐퍼를 장착한 상용차 시트 서스펜션의 승차감 평가

Ride Comfort Evaluation of Seat Suspension of Commercial Vehicle with MR Damper

신도균 ‡ · 도쭈웬푸* · 최승복 †

Do-Kyun Shin, Do Xuan Phu and Seung-Bok Choi

Key Words : Magnetorheological Fluid (MR 유체), MR Damper (MR 댐퍼), Seat Suspension(운전석 현가장치), Ride Quality (승차감)

ABSTRACT

This paper presents control performances of a seat suspension system equipped with magnetorheological (MR) dampers using a new adaptive fuzzy sliding mode controller (FSMC). Adaptive fuzzy controller is formulated by considering the acceleration of the seat. It has been demonstrated that the proposed seat suspension system realized by the adaptive fuzzy sliding mode controller can provide effective performances such as reduced vibration.

1. 서 론

운전자의 피로감을 저감하기 위한 운전석 현가장치가 개발되어 사용돼 왔으며 다양한 노면 조건 및 환경 하에서의 운전자의 동적 거동을 고려한 운전석 현가장치의 특성에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 이 중 지능재료를 이용한 반응동형 운전석 현가장치는 지속적으로 연구개발 중이며 수동형과 능동형의 단점을 보완하는 동시에 준수한 진동 저감 성능을 갖고 있다⁽¹⁾.

하지만 기존의 연구에서의 제어목표는 운전석의 움직임 최소화하는데 초점을 맞추는 반면 인간이 실질적으로 느끼는 승차감은 제어에 반영하기 어려웠다. 이러한 단점을 보완하고 제어에 운전자가 느끼는 승차감을 반영하기 위해 본 연구에서는 운전자가 느끼는 가속도를 이용 적응 퍼지 슬라이딩 모드 제어를 운전석 현가장치에 적용하고자 한다. 그리고 이에 따른 운전자가 느끼게 되는 승차감의 변화를 실험을 통해 확인하고자 한다.

2. 시스템 구성

† 교신저자; 인하대학교 기계공학부, 정희원
E-mail : seungbok@inha.ac.kr
Tel : 032)860-7319, Fax : 032)868-1716
‡ 발표자; 인하대학교 기계공학과 대학원
* 인하대학교 기계공학과 대학원

2.1 MR 댐퍼 설계

운전석 현가장치에 장착되는 MR 댐퍼는 flow type이며 피스톤, 실린더, 그리고 가스챔버로 구성된다. 댐퍼는 1.5A의 전류를 인가 하였을 때 800N의 댐핑력을 갖도록 설계되었다.

2.2 운전석 현가장치의 모델링

본 연구에서는 상용차량의 운전석 MR현가장치의 진동제어 성능을 평가하기 위하여 fig. 1과 같은 5자유도의 운전석 현가장치 모델을 사용하였으며 연립 미분 방정식으로서의 표현은 다음과 같다.

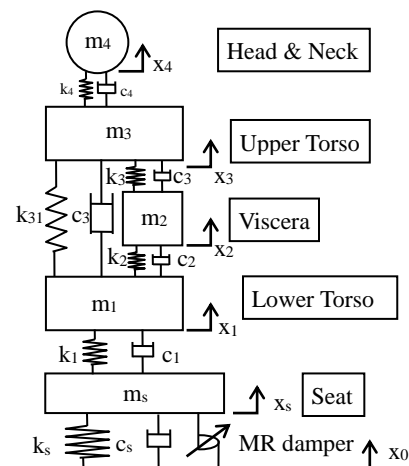


Fig. 1 Mechanical model of MR seat suspension system

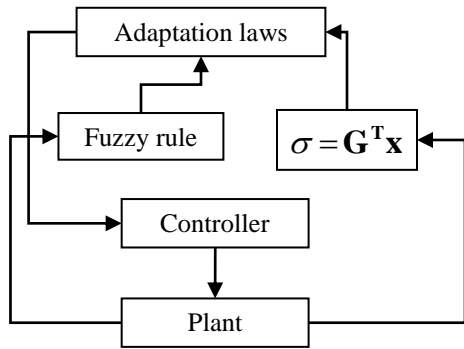


Fig. 2 Closed-loop structure of the proposed controller

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_0 \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_0 u(t) + \mathbf{D} \quad (1)$$

위 식에서 \mathbf{A}_0 는 시스템 매트릭스, \mathbf{B}_0 는 입력 매트릭스 그리고 \mathbf{D} 는 외란을 의미한다.

제안된 5자유도의 모델에 대한 상태변수들을 모두 고려하는 것은 실제 제어기를 설계에 어려움이 따른다. 이에 제어설계의 단순화와 속도 향상을 위하여 균형모델축소법(balanced model reduction)을 이용, 모델을 조금 더 간략화 시켜 4개의 상태변수를 갖는 균형축소 모델을 적용하였다.

2.3 적응 퍼지 슬라이딩 모드 제어기 설계

제어기의 슬라이딩 서피스는 다음 식과 같다.

$$\sigma(t) = \mathbf{G}^T \mathbf{x}(t) \quad (2)$$

서피스 계수 $\mathbf{G} = [g_0, g_1, g_2, \dots, g_n]$ 는 상수이고, 슬라이딩 모드의 조건은 다음과 같다.

$$\sigma \cdot \dot{\sigma} < 0 \quad (3)$$

$\dot{\sigma}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{\sigma} = \mathbf{G}^T \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{G}^T (\mathbf{A}_0 \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_0 u(t) + \mathbf{D}) \quad (4)$$

외란이 $\mathbf{D} \approx \mathbf{0}$ 이라 가정하에 제어 입력은 다음과 같다

$$u = (\mathbf{G}^T \mathbf{B}_0)^{-1} (-\mathbf{G}^T \mathbf{A}_0 \mathbf{x}(t) + \eta \text{sgn}(\sigma)) \quad (5)$$

인간이 느끼는 승차감은 가속도와 연관되어있다. 본 연구는 Takagi-Sugeno 퍼지를 이용, 운전자가 느끼는 승차감을 운전석의 가속도에 근거하여 제어에 적용하였으며 퍼지 룰의 근거로 ISO2631-1을 적용하였으며 fig. 2의 알고리즘을 통해 제어에 반영되었다. 운전석 현가장치에서 얻어진 가속도와 슬

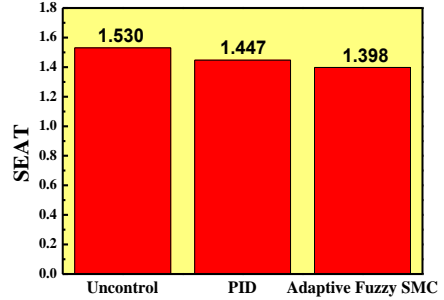


Fig. 3 SEAT values under bump excitation

라이딩 서피스의 정보를 adaptation law에 반영, 이에 따른 힘을 MR댐퍼에 적용해 진동을 저감하였다.

3. 운전석 가진 실험 및 평가

본 연구에서 제안한 운전석의 가속도를 적용한 적응 퍼지 슬라이딩 모드 제어기의 성능을 확인하고자 실험장치를 구성하였다. 가진장비를 이용하여 버스 바닥에서 운전석으로 전달되는 진동을 구현하였으며 이에 따른 운전석 현가장치의 움직임을 LVDT 센서와 가속도 센서를 이용하여 측정하였다. 사인파의 가진신호를 주어 제어 유무에 따른 운전석 현가장치의 전달률을 측정하였으며 실제 노면에서 들어올 수 있는 과속방지턱의 경우를 가진하여 이에 따른 반응을 측정하였다. Fig. 3의 SEAT(seat effective amplitude transmissibility) 값은 운전석의 전달률을 비교하는 값으로 제안된 적응 퍼지 슬라이딩 모드 제어의 성능이 우수함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 운전석의 가속도를 제어에 적용하여 운전자가 느끼는 승차감을 제어에 반영할 수 있는 방안을 제시하였다. 그리고 이를 버스 운전석 현가장치에 MR댐퍼를 장착하여 실험적으로 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Nam, M. H., Lee, B. K. and Choi, S. B., 2000, "Vibration Control of MR seat damper for commercial vehicles," Journal of Intelligent Material Systems and Structures 11, pp.936-944.