

자기동조기법을 이용한 반능동 현가장치의 수정된 스카이훅제어 구현 및 실험

Self-Tuning Modified Skyhook Control for Semi-Active Suspension Systems

정재룡*, 손현철*, 홍금식**

* 부산대학교 대학원 지능기계공학과 (Tel : 82-051-510-1481; Fax : 82-051-514-0685 ; E-mail: jrjung@hyowon.pusan.ac.kr)

** 부산대학교 기계공학부 (Tel : 82-051-510-2454; Fax : 82-051-510-0685 ; E-mail: kshong@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstract : In this paper a self-tuning modified skyhook control for the semi-active suspension systems is investigated. The damping force generation mechanism is modeled. We consider a 2 DOF time-varying quarter car model that permits parameter variations of the sprung mass and suspension spring coefficient. The modified skyhook control algorithm proposed in this paper requires only the measurement of body acceleration. The absolute velocity of the sprung mass and the relative velocity of the suspension deflection are estimated by using integral filters, according to parameter variations. The skyhook gains are designed in such a way that the body acceleration and the dynamic tire force are optimized. An ECU prototype will be discussed.

Keywords : semi-active suspension, self-tuning control, skyhook control, ECU.

1. 서론

현가장치는 차량의 무게지지, 노면으로부터 발생하는 진동의 차단, 타이어와 노면과의 접지력유지 등의 역할을 한다. 이러한 현가장치는 제어입력의 유무에 따라 크게 능동 현가장치와 수동 현가장치로 나뉘어진다. 능동 현가장치는 제어력을 발생시키는 방법에 따라 반능동(semi-active)형과 (완전)능동(full-active)형으로 구분될 수 있다. 반능동형은 오리피스(orifice)의 조절에 따른 감쇠력의 증감으로 제어력을 발생시키는 현가장치이며, 능동형은 피스톤의 양쪽으로 유압을 공급하여 제어력을 발생시키는 현가장치이다. 그러나 능동현가장치는 에너지 소모가 크고 고가의 부품을 필요하므로 능동 현가장치와 유사한 성능을 보이는 반능동 현가장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻³⁾. 현가장치의 성능은 차량의 주행특성으로 결정되는 승차감과 조향안정성의 두 가지 측면에서 매우 중요한 영향을 미친다. 이러한 성능은 차체질량의 가속도, 현가장치의 작동에 필요한 공간, 동적 타이어힘(dynamic tire force) 등에 의해서 결정이 되는데, 능동 및 반능동 현가장치를 채택하는 주된 목적은 승차감 및 조향안정성의 향상에 있다.

현가장치의 승차감 향상을 위해서 많은 제어기법들이 적용되고는 있지만⁽¹⁻³⁾, 승차감 향상을 위한 기본이 되는 원리는 Karnopp의 2인⁽¹⁾에 의해서 제안된 스카이훅이라는 개념이다. 그러나, 이상적인 스카이훅 제어는 승차감 향상에만 초점이 맞추어진 것으로 차량 주행성능의 향상에는 기여하지 못한다. 이러한 관점에서, Besinger와 2인⁽²⁾ 및 Novak과 Valasek⁽³⁾ 및 조영주의 2인⁽⁴⁾은 차량의 주행성능 향상을 위한 수정된 개념의 스카이훅 제어기법들을 소개하고 있다. 본 논문의 목적은 수정된 개념의 스카이훅 제어와 자기동조(self-tuning)기법을 연계하여 차체의 수직 가속도만을 이용한 실용적인 반능동 현가장치의 제어기 설계에 있다.

본 논문에서 제안된 자기동조기능을 갖는 수정된 스카이훅 제어의 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 스카이훅 제어입력의 계산시 차체의 질량과 스프링상수의

변화량이 자기동조기(self-tuner)에 의해서 정확하게 추정된 결과를 이용함으로써 가속도 신호 하나만으로도 뛰어난 성능을 발휘한다. 둘째, 연속가변형 댐퍼의 물리적 특성과 노면의 공간적인 형상특성⁽⁵⁾을 제어이득 설계시에 포함시킴으로서 현실성있는 제어기를 설계한다. 셋째, 제어입력 계산시에 차체의 수직 가속도만을 측정하여 차체의 절대속도, 현가장치의 상대속도 및 노면지수를 계산하므로 차속의 수직 가속도 센서를 절감할 수 있다 또한 차체의 절대속도, 현가장치의 상대속도 및 노면지수등의 계산시에 차량의 동역학을 이용하지 않고 필터를 사용하므로 ECU의 설계시 유리하다. 넷째, 노면의 상태를 추정하여 수동 감쇠계수와 스카이훅 계인을 노면상태에 맞게 계속적으로 조절함으로써 모든 주파수에서 우수한 제어성능을 추구한다. 따라서, 현가장치의 시변요소 또는 불확실성이 반영되어 건설한 제어성능을 갖는다.

2. 반능동 현가장치의 모델링

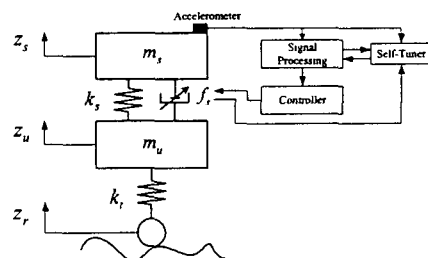


그림 1. 1/4 차량모델의 자기동조 수정된 스카이훅제어
Fig. 1 Self-tuning Modified Skyhook control of the 1/4 car model.

연속가변형 댐퍼의 비선형 감쇠력이 고려된 반능동 현가장치의 모델은 Fig. 1과 같고 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_s \ddot{z}_s &= -k_s(z_s - z_u) - f_s \\ m_u \ddot{z}_u &= k_s(z_s - z_u) + f_s - k_t(z_u - z_r) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, f_s 는 연속가변형 댐퍼에서 발생하는 제어 감쇠력을 나타낸다.