

반능동 제어알고리즘을 적용한 철도차량 현가장치의 제어성능 평가

Control Performance Evaluation of Railway Vehicle Suspension Featured by Semi-active Control Algorithm

하성훈* · 최승복† · 이규섭** · 유원희***

Sung Hoon Ha, Seung-Bok Choi, Gyu-Seop Lee and Won Hee You

1. 서 론

차세대 고속철도 개발과 도시 간 전철 노선 확충으로 인한 도로 교통 수송수단에서 철도차량이 가지는 수송 분담 구조가 증가하고 있다. 이런 수송 능력의 향상은 철도차량을 이용하는 여객도 맞물려 증가되었다. 이에 따라 차량의 편의성 특히 승차감에 대한 중요성이 대두되고 있다. 철도차량의 승차감은 차량에 부착된 각 현가장치의 성능에 밀접한 연관성을 지니고 있으며, 특히 차체 내부 승객이 느끼는 승차감과 밀접한 연관성을 가지는 현가장치는 횡 방향 현가장치이다.

철도차량은 크게 차체, 대차 및 윤축으로 연결되어 있고 각각의 요소들은 차량의 승차감, 고속주행 안정성, 비탈선화를 위해 요구조건에 합당한 현가장치로 결합되어 있다. 이와 같은 현가장치는 장착된 위치에 따라 1, 2차 현가장치로 나뉘어 지며, 이들 현가장치들은 각각 탄성지지 및 감쇠의 능력을 가지게 된다. 이러한 인자들은 철도차량의 안정성과 승차감에 중요한 영향을 미치는 인자들이며, 대부분의 철도차량에서 1차 현가장치는 차량의 안정성을 최우선으로 설계되며 2차 현가장치에서 승차감을 고려하여 설계되고 있다.

일반적으로 차량에 진동이 들어올 경우 그에 상응한 현가장치의 능력에 따라 진동 저감 정도가 결정되는데 진동 절연 효과를 크게 하기 위해서는 각 진동 대역에서 능동 및 반능동적으로 제어를 할 수

있는 현가 시스템 도입이 필수적이다. 또한 현가장치의 작동으로부터 발생하는 반력에 의하여 현가장치 고정단 또는 타 위치의 진동이 증가되며 이로 인해 시스템의 안정성이 저하되는 경우가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 현가 시스템 작동시 시스템의 안정성을 고려하는 등 적절한 제어 알고리즘을 고안하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 철도차량 현가장치 중 승차감과 밀접한 연관인 있는 횡 댐퍼에 반능동 현가장치인 MR 현가장치를 모델링 하여 이를 제어하기 위한 알고리즘을 구현할 것이다. 이를 위해 철도차량을 간략히 9자유도로 모델링하고 차량의 안정성과 승차감을 동시에 제어할 수 있는 퍼지 스카이그라운드혹 제어 알고리즘을 제안하고 그에 대한 성능도 파악할 것이다.

2. 제어알고리즘 설계 및 성능 평가

2.1 퍼지 스카이 그라운드 혹 알고리즘 설계

일반적으로 알려진 스카이 혹 제어 알고리즘은 차량의 승차감에 중점을 두어 설계가 수행되었다. 그러나, 철도차량의 경우는 승차감뿐만 아니라 차량의 안정성과 연계한 성능 향상이 절대적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 새로운 형태의 퍼지 스카이그라운드혹 (fuzzy sky ground-hook) 제어 알고리즘을 제안 하겠다.

본 연구에서 제안된 퍼지 스카이 그라운드 혹 제어 알고리즘은 차체와 천장뿐만 아니라 대차와 지면 사이에도 가상의 댐퍼가 구성되게 알고리즘 설계하였다. 이렇게 구성된 가상의 댐퍼에서 발생하는 댐핑력을 요구댐핑력으로 사용하고, 이 때 요구댐핑력은 차체의 진동을 제어하기 위한 댐핑력과 대차의 진동을 제어하기 위한 댐핑력으로 나뉜다. 이 두 댐핑력을 적절히 조합한다면 승차감과 차량의

† 교신저자; 정회원, 인하대학교 기계공학부

E-mail : seungbok@inha.ac.kr

Tel : 032)860-7319, Fax : 032)868-1716

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** RMS 테크놀로지

*** 한국철도기술연구원

안정성을 동시에 향상시킬 수 있다. 차체와 대차의 상대 속도를 v 라고 가정하고 i 번째 대차에 대한 새로운 형태의 제어기를 다음과 같이 설계함으로써 앞에서 설명한 두 댐핑력을 조합하는 방법을 사용하여 식(1)과 같은 제어 입력값을 도출하였다.

$$u_i = -\sigma c_{sky} v_i - (1 - \sigma) c_{ground} v_i \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

여기서 c_{sky} 는 스카이 훅 제어계인이며, c_{ground} 는 그라운드 훅 제어계이다. σ 는 제어입력에서의 스카이 훅에 대한 가중치이며 $0 \leq \sigma \leq 1$ 이다. 만일 σ 가 0이라면 승차감 보다는 주행안정성에 중점을 둔 제어입력이 현가장치에 공급되게 된다. 반대로 σ 가 1 이라면 승차감에 중점을 둔 제어입력이 공급되게 된다. 이 σ 를 적절히 조절하는 것이 중요한데, 본 연구에서는 전문가의 경험적 지식에 기초한 언어적 제어전략을 기계적인 시스템에 구현할 수 있는 수단을 제공하는 퍼지 알고리즘을 사용하여 조절하였다. Fig. 1은 퍼지 스카이 그라운드 훅 제어 시스템의 블록선도로 퍼지화부, 추론부, 비퍼지화부로 구성된 퍼지알고리즘과 제어계인을 인가하는 스카이 그라운드 훅 제어 부로 구성하였다. 대차로 들어오는 외란과 시스템으로부터 도출된 댐핑력을 통하여 제어 입력 전류값을 결정하고 이를 현가장치의 요구댐핑력으로 사용한다. 각 현가장치에 대한 제어입력은 반응동 조건을 만족할 때만 공급되도록 하였다.

2.2 제어 성능 평가

본 연구에서는 철도차량용 MR 현가장치의 제어 성능을 평가하기 위하여 2개의 대차를 가지는 철도 차량 1량을 모델로 사용하였다. Fig. 2 (a) 수학적으 로 모델링 된 첫 번째 대차의 횡 방향 변위를 나타 낸 것으로 제어를 수행하지 않았을 때, sky-hook 제어 알고리즘, Fuzzy sky ground-hook 제어 알고 리즘을 이용하여 제어한 경우를 도시하였으며, 각 제어 알고리즘에 따른 진동 성분의 rms 값은 Uncontrolled=0.042782, Sky-hook Controlled=0.046761, Fuzzy Controlled=0.043297로 측정되었 다.

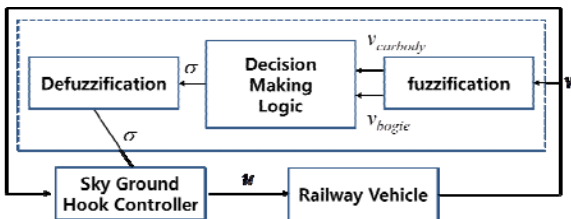
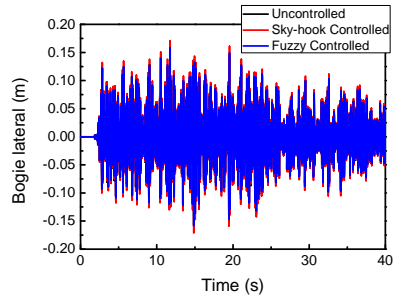
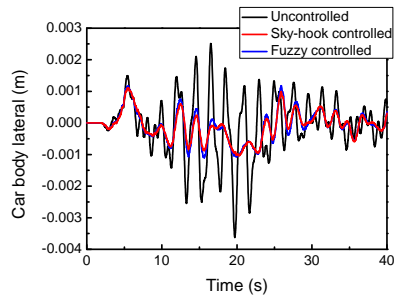


Fig. 1 Control algorithm of fuzzy sky ground hook



(a) lateral response of bogie



(b) lateral response of car body

Fig. 2 Results of control algorithm

Fig. 2 (b)는 고안된 Fuzzy sky ground-hook 제어기의 성능을 비교하기 위해 차체의 횡 방향 응답을 나타내었다. 이에 따르면 고안된 제어 알고리즘을 통해 대차의 변위가 제어 되면서 차체의 횡 방향 진동도 MR 댐퍼로 인해 제어됨을 알 수 있다.

3. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 MR 댐퍼를 적용한 철도차량의 횡 방향 진동을 제어하기 위한 반응동 제어 알고리즘을 고안하고 이에 대한 제어 성능을 평가하였다. 제안된 제어 알고리즘을 통해 차체의 횡 방향 성분이 적절히 제어됨을 확인하였고, 차량의 안정성 확보를 위한 대차의 진동도 어느 정도 제어됨을 확인하였다. 향후에는 횡 방향 성분의 제어 성능 향상을 위해 보다 고차원적인 제어알고리즘을 통해 성능을 평가할 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업기술개발사업 철도차량용 능동현가장치 기술개발 지원에 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.