

CarSim-MATLAB/Simulink 연동을 통한 시간 지연에 따른 시간 보상 제어기 성능에 대한 연구

전재훈*, 박진영*, 오종석**, 김영준**

*공주대학교 기계공학과, **공주대학교 기계자동차공학부

e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

A Study on the Performance of Time Compensation Controller with Time Delay through CarSim-MATLAB/Simulink Integration

Jae-Hoon Jeon*, Jin-Young Park*, Jong-Seok Oh**, Young-Choon Kim**

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju University

요약

본 논문에서는 기구적인 해결책을 제시하고자 MR 마찰클러치를 제안하여 빠르면서도 부드러운 동력분배가 가능한 Transfer Case용 클러치 시스템을 개발하고 MR 마찰클러치를 설계하였다. 단품 성능을 확인하기 위해서 사륜구동 차량이 필요로 하는 주행 조건에 맞는 동력을 전/후륜으로 분배하는 PI 제어, Smith 예측 제어로직의 시간 지연에 따른 제어 성능을 확인하였다.

1. 서론

최근 우리나라의 여름과 겨울이 뚜렷해지고 강수량이 증가하는 추세이다.[1] 이에 따라서 소비자들은 도로가 미끄러운 상황에서 취약한 앞바퀴 굴림(FF) 또는 뒷바퀴 굴림(FR) 차량들보다 안정적인 사륜구동(4WD) 차량을 선호하고 있다. 따라서 자동차 제작 회사들도 사륜구동(4WD)을 적용한 차량이 출시되고 있다.

사륜구동(4WD) 차량에는 Transfer Case로 인해 엔진과 변속기로부터 발생된 동력을 내부 클러치의 체결을 통해 후륜까지 전달해주는 역할을 한다. 이와 같은 차량은 도로상황에 맞게 전/후륜 동력 분배를 하여 최적의 구동력을 확보할 수 있다. 하지만 클러치의 입력플레이트와 출력플레이트가 동력전달을 위해 체결되는 순간 발생하는 충격은 승차감 및 내구성을 저해하는 요소로 많이 지적받고 있다.

이에 본 연구에서는 기구적인 해결책을 제시하고자 MR 마찰클러치를 제안하여 빠르면서도 부드러운 동력분배가 가능한 Transfer Case용 클러치 시스템을 개발하고 MR 마찰클러치를 설계하였다.[2] 단품 성능을 확인하기 위해서 사륜구동 차량이 필요로 하는 주행 조건에 맞는 동력을 전·후륜으로 분배하는 PI 제어, Smith 예측 제어로직의 시간 지연에 따른 제어 성능을 확인하였다.

제어로직 설계를 위해 MATLAB/Simulink 소프트웨어를

사용하였으며, 제어로직의 Full-Car 모델을 적용하기 위해 차량 동역학 시뮬레이션 프로그램(CarSim)을 사용하였다.

2. 본론

2.1 PI 제어기

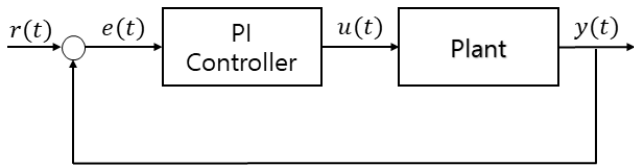
PD, PI, PID 제어기는 구조가 간단하지만 제어성능이 우수하고, 제어이득 조정이 비교적 쉬워 산업 현장에서 전반적으로 많이 사용하는 제어기이다.

본 연구에서는 상수 외란에 대해 정상 상태 오차를 개선하는 성질이 잘 알려져 있고 계단입력에 대한 과도응답의 오버슈트를 제거하는 PI 제어기를 사용했으며, 다음과 같은 식을 기반으로 제어 신호를 계산한다.[3]

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

신호 $u(t)$ 는 플랜트에 입력되어 출력 $y(t)$ 를 얻게 되며 Feed-Back을 통해 $u(t)$ 와 새로운 오차신호 $e(t)$ 를 만들고 PI 제어기를 통해 새로운 오차를 고려한 플랜트 입력 $u(t)$ 를 구한다.



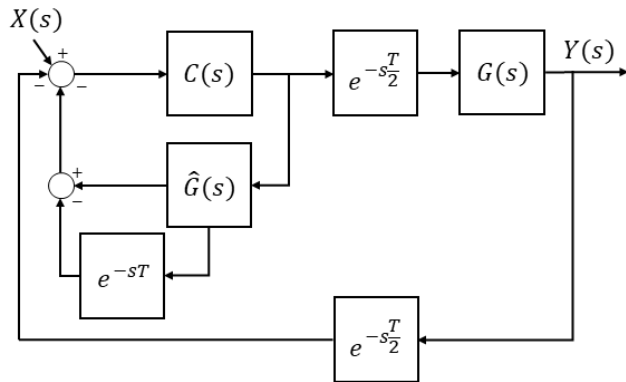
[그림 1] PI 제어를 이용한 폐루프 시스템

[표 1] 폐루프 시스템에서 K_p , K_I 에 대한 영향

제어이득	상승시간	오버슈트	설정시간	정상상태 오차
K_p 증가	감소	증가	조금변화	감소
K_I 증가	감소	증가	증가	제거

2.2 Smith 예측기

Smith 예측기 구조는 시간 지연 보상, 예측 및 동적 보상의 세 가지 기본 특징을 갖는다.



[그림 2] Smith 예측기를 가지는 시스템

그림 2에서 Smith 예측기가 정확하게 플랜트를 모델링할 수 있다면 $G(s) = \hat{G}(s)$ 라고 할 수 있으며, Smith 예측기를 가지는 전체 제어 시스템은 다음 식(3)과 같다.

$$G \quad (3)$$

식(3)을 통해 제어의 불확실성 요소는 상쇄되고 최종적으로 시간지연 성분만 제어 루프 바깥에 놓이게 되어 안정성에 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있다.[4-6]

2.3 차량 동역학 시뮬레이션(CarSim)

CarSim은 27자유도의 차량 모델을 가지는 차량 동역학 시뮬레이션 프로그램으로 차량의 모의시험을 통해 차량의 반응을 분석할 수 있다. 또한 다양한 입·출력 변수를 사용자 환경에 맞게 설정할 수 있는 MATLAB/Simulink를 통해 PI 제어기와 Smith 예측기의 제어 로직을 설계 하였으며, CarSim과의 연동을 통해 제어기 성능을 확인하였다. [7] [8]

2.3.1 CarSim 모의 주행시험 조건

모의주행시험 대상 차량 모델은 그림 3에 나타난 차량 모델이며 차량의 주요 특성은 표 2 와 같다.



[그림 3] 모의 주행시험 대상 차량모델

[표 2] 차량 모델의 주요 특성

Sprung Mass	1590 kg
Unsprung Mass	100 kg
Fornt Wheel - Rear Wheel	2950 mm
Internal Engine Model	200 kW
Speed of Vehicle	100 km/h

도로 마찰계수 $[M_u]$ 별 주행 도로를 다음과 같이 설정하고 직진 주행 시 차량의 최적 전/후륜 토크 분배비를 확인하였으며 결과는 표 3과 같다.

[표 3] 도로 마찰계수별 Zero-Back Time

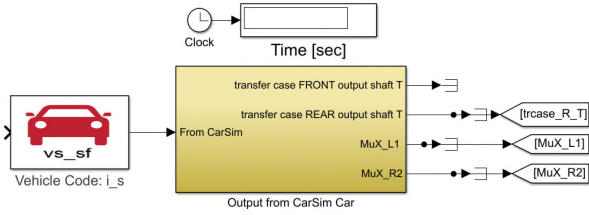
0 → 100 [km/h] 가속		
Initial Speed [km/h]	0	
Gear Status	2 nd Gear	
Throttle	Full Throttle	
Road Friction Coefficient $[M_u]$	F : R	Time [sec]
0.9 (Dry Asphalt)	4 : 6	6.9310
0.5 (Wet Asphalt)	5 : 5	7.4120
0.2 (Snow Asphalt)	6 : 4	14.7190

3. 실험 방법

차량모델은 표 3에서 언급한 도로 마찰계수 $[M_u]$ 별로 일정하게 나누어진 총 1000m 도로를 주행하며, 제어기는 차량 모델로부터 도로 마찰계수 $[M_u]$ 를 전달받아 앞서 구한 전/후륜 토크 분배비를 차량 Transfer Case 클러치에 인가했다. 또한 통신에 따른 지연 시간이 존재한다고 가정하여 각 제어기로부터 지연된 시간에 따라 입력된 신호에 대한 오버슈트, 응답시간, 정상상태 오차를 차량모델로부터 출력된 Transfer Case 후륜 축 토크를 전달비로 변환하여 확인하였다. 그림 4는 CarSim 모의 주행시험 화면이며, 그림 5는



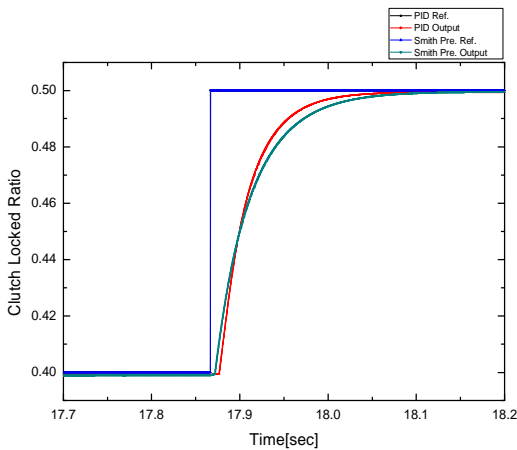
[그림 4] CarSim 모의 주행시험 화면



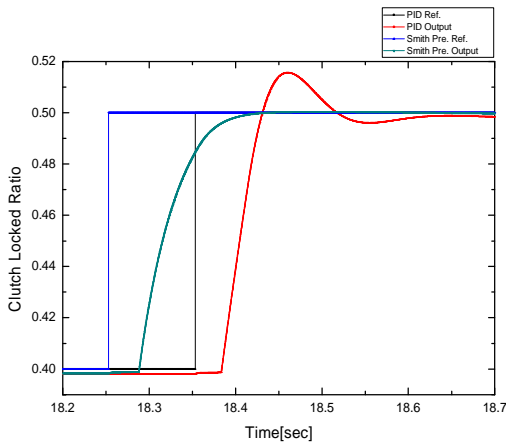
[그림 5] MATLAB/Simulink 블록도

4. 모의 주행시험 결과

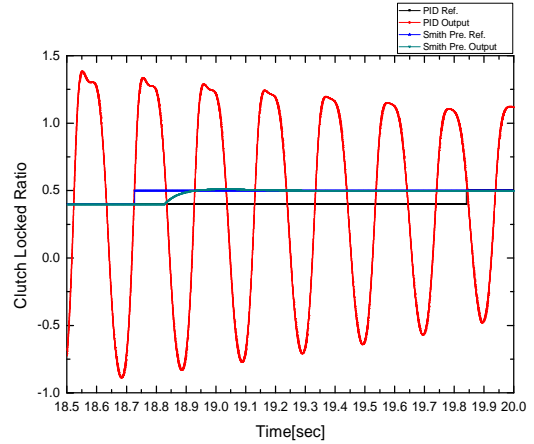
PID 제어기와 Smith 예측기 적용 시 Transfer Case 후륜 축 토크의 전달비를 출력하였다.



[그림 6] 10msec 시간 지연 일 때 Transfer Case 후륜 축 토크 전달비 그래프



[그림 7] 30msec 시간 지연일 때 Transfer Case 후륜 축 토크 전달비 그래프



[그림 8] 50msec 시간 지연 일 때 Transfer Case 후륜 축 토크 전달비 그래프

클러치 체결비가 0.4→0.5 경우의 시뮬레이션 결과를 살펴 보면 시간 지연이 10msec일 때, PI 제어기와 Smith 예측기의 성능은 비슷한 결과를 보였으며, Smith 예측기 경우 시간 지연 값이 그대로 적용되어 제어의 지연이 발생된 것을 확인할 수 있었다. 시간 지연이 30msec일 때 두 제어기 모두 주행 초반에 제어가 불안정 했지만 Smith 예측기의 출력이 조금 더 안정적이었다. 또한 PI 제어기는 정상 상태 도달까지 약 0.3sec정도 소요되는 것을 확인하였고, Smith 예측기는 클러치 체결비가 변경될 때 PI 제어기에 비해 약 0.1sec정도 안정적이고 빠른 응답을 보였다. 시간 지연이 50msec일 경우, PI제어기 적용 시 안정화되기까지 23sec 정도 소요되었으며, Smith 예측기는 15sec 정도 소요되었다. 클러치 체결비가 0.5→0.6 경우의 시뮬레이션 결과에서는 세 가지 조건 모두 Smith 예측기가 PI 제어기 보다 응답 시간이 0.1sec 빨랐으며 오버슈트도 발생하지 않았다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 MR 유체 클러치의 단품 성능을 확인하기 위해서 외부의 통신 지연 시간이 존재한다고 가정하고 각 제어기로부터 지연된 시간에 따라 입력된 신호에 대한 오버슈트, 응답시간, 정상상태 오차를 차량모델로부터 출력된 Transfer Case 후륜 축 토크를 전달비로 변환하여 CarSim과 MATLAB/Simulink의 연동을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

시간 지연이 10msec보다 클 경우 초반 제어가 불안정한 모습을 보였으며, 정상상태 도달시간이 증가하는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 모델 추정과 지연 시간 추정이 부정확하여 발생하며 추후 모델에 대한 근사화가 필요할 것으로 사료된다.

시간 지연이 30msec이상일 경우에 PI 제어기를 적용한 출력에서 오버슈트가 발생하는 것은 PI 제어기의 단점이며 반면, Smith 예측기는 시간 지연에 대한 보상이 비교적 잘 이루어지는 것으로 확인된다.

향후 인공지능망을 이용한 근사화된 모델을 PID 제어기, Smith 예측기에 적용하여 연구를 진행해볼 필요가 있으며, 실제 외부 장치의 통신을 이용하여 수치적 시간 지연이 아닌 실제 시간 지연을 적용한 실험을 진행하고자 한다.

후기

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(No.2018R1D1A3B07050288)

참고문헌

- [1] 이경미, 백희정, 조천호, 권원태. (2011). 한국의 최근 10년의 기온과 강수 변화. , 45(2), 237-248.
- [2] 박진영, 김영춘, 오종석, 전재훈, 정준홍. (2020). MR 유체를 적용한 Multi-Plate Clutch의 최적설계. 한국산학기술학회 논문지, 21(5), 77-83.
- [3] 정구중, 김인혁, 손영익. (2010). 입력 시간지연이 존재하는 소형 1축 로봇 팔 위치제어를 위한 강인 제어기 설계. 전기학회논문지, 59(6), 1179-1185.
- [4] A. C. Smith and K. Hashtrudi-Zaad, "Smith predictor type control architectures for time delayed teleoperation", The International Journal of Robotics Research, vol. 25, no.8, pp. 797-818, 2006.
- [5] 최호진, 정슬. (2011). 원격 제어 시스템에서의 신경망을 이용한 시간 지연 보상 제어기 설계. 한국지능시스템학회 논문지, 21(4), 449-455.
- [6] 최호진. "공병 로봇의 힘제어를 위한 지능형 원격제어 알고리즘 구현." 국내석사학위논문 忠南大學校 大學院, 2009. 대전
- [7] 김지혜, 김진호. (2018). CARSIM- Simulink연동 해석을 이용한 전자기 현가장치의 상대변위 해석. 한국산학기술학회 논문지, 19(5), 82-88
- [8] 황태훈, 박기홍. (2006). CarSim과 퍼지제어기를 이용한 차량 동력학 제어기 설계. 한국자동차공학회 춘 추계 학술대회 논문집, (), 1546-1551.