

운동 범위 제약을 가진 기계의 연착륙을 위한 위치-속도 모드전환 PID제어기 설계

허태광, 이우택
창원대학교

The Design of Position-Speed Mode Switching PID Controller for the Soft Landing of A Machine Having Travel Range Limitation

Taekwang Heo, Wootaik Lee
Changwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 위치-속도 모드전환 제어기를 제안하고 이 제어기를 활용한 운동범위 제약을 가진 기계의 연착륙 방법을 제시한다. EGR 밸브와 같은 기계제품들은 이동할 수 있는 범위를 가지며 범위 내에서 위치를 제어한다. 위치제어 중 양끝 위치로 이동 시 기계는 빠른 속도로 충돌할 수 있다. 속도가 빠르면 빠를수록 충돌 시, 충격력이 커지며, 충격력으로 기구물은 빠르게 마모되고 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 양끝 위치 이동 시, 일시적으로 속도를 제어할 수 있는 제어기가 필요하다. 제안된 위치-속도 모드전환 제어기는 Hanus Scheme을 사용하여 모드전환 시, 범프효과로 인한 부작용을 감소시켰으며, 모드전환 이후 모드 전환된 제어기의 지령을 빠르게 추종한다. 마지막으로, EGR 밸브 양끝 위치 학습알고리즘에 적용시켜 시험하였다.

1. 서 론

EGR 밸브와 같은 기계는 운동 할 수 있는 범위가 제한되어 있다. 이들 제품을 양끝 위치로 위치제어기를 사용하여 이동 시, 빠른 속도로 양끝 위치에 부딪칠 수 있으며 기계에 큰 충격을 가할 수 있다. 따라서, 양끝 위치로 이동 시에는 연착륙 방법이 필요하다. 연착륙 방법은 양끝 위치 근처까지 기계가 이동 후, 속도를 조절하며 양끝 위치에 부드럽게 착지하여 충격력을 줄이는 방법이다. 따라서 기계의 양끝 위치에서 연착륙을 위해서는 일시적으로 속도제어모드로 전환할 수 있는 제어기가 필요하다.

제어기 모드전환 방법에는 대표적으로 범프전환, 상태전이방법, Hanus Scheme 등의 방법이 있다. 이 논문에서는 Hanus Scheme을 사용하여 위치-속도 모드전환 제어기를 설계하였으며, EGR 밸브 양끝 학습알고리즘을 수행하여 제어기를 시험하였다. 또한, 범프전환, 상태전이방법을 적용한 위치-속도 모드전환 제어기로 같은 알고리즘을 수행하여 Hanus Scheme을 적용한 위치속도 모드전환 제어기와 비교하였다.

2. 모드전환 제어기 특성과 모드전환 방법

2.1 모드전환 제어기 특성

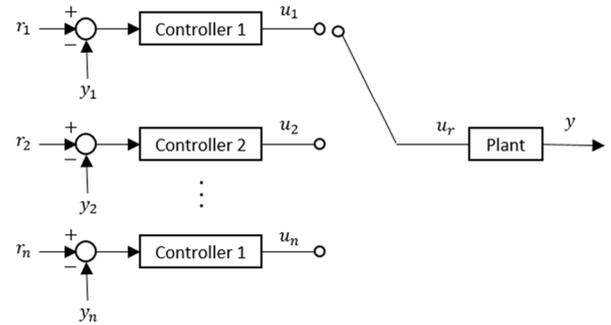


그림 1 모드전환 제어기

모드전환 제어기는 그림과 같이 여러 제어기 중 제어목적에 따라 한 가지 제어기를 선택하여 운용하는 제어기이다.

제어기 모드전환 시, 두 가지 문제가 발생할 수 있다. 첫째로, 모드전환 시, 현재 사용중인 제어기와 모드 전환할 제어기의 출력이 동일하지 않아 플랜트 입력에 점프현상이 발생할 수 있다. 점프현상을 가진 상태로 모드 전환하는 것을 범프전환(Bump Transfer)라고 하며, 범프전환으로 플랜트에 문제를 야기할 수 있다. 두 번째로, 모드전환 이후 모드 전환된 제어기 지령 추종시간이 길어질 수 있다. 이로 인해 모드전환 이후 제어성능이 일시적으로 떨어질 수 있다.

2.2 제어기 모드전환 방법

2.2.1 상태전이방법

제어기 상태전이방법은 모드전환 시, 제어기의 상태를 다음 모드 전환할 제어기로 넘겨주는 방법이다. 상태를 그대로 넘겨주기 때문에 범프현상에 의한 부작용이 가장 적고, 직관적이어서 구현하기 쉬운 방법이다.

2.2.2 Hanus Scheme^[1]

Hanus Scheme은 역연산 방법구조를 바탕으로 만들어진 방법이다. 이 방법은 Realizable Reference라는 개념을 사용하여 모드전환 제어기를 마치 단일제어기처럼 분석할 수 있는 방법을 제시하였다. 그리고 이 개념을 사용하여 모드전환 이후, 새로운

지령을 빠르게 추종할 수 있는 방법을 제시하였다.

3. 제안하는 위치-속도 모드전환 PID제어기 설계

기계의 연착륙을 위한 위치-속도 모드전환 PID제어기를 그림2와 같이 설계하였다. 이 제어기는 위치제어기로는 PID제어기를 사용하고, 속도제어기로는 PI제어기를 사용하였다. 그리고 각각의 제어기에 Hanus Scheme을 추가하였다.

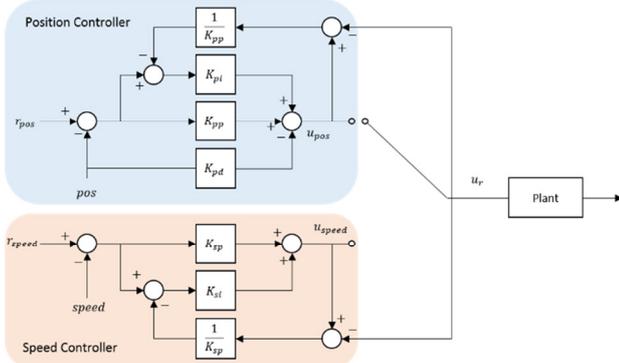


그림 2 위치-속도모드 전환제어기

4. 실험 및 검증

4.1 실험 환경

위치-속도 모드전환 제어기를 시험하기 위한 테스트 벤치를 그림3과 같이 구성하였다. 제어기시험을 위해 28400-2F000 EGR 밸브를 사용하였다. 이 EGR 밸브는 밸브가 시작지점에서 끝지점까지 6 mm이며 이 사이를 밸브가 이동한다. 또한 EGR 밸브를 구동하기 위한 MCU와 모터드라이버를 사용하였으며, PC로 결과값을 모니터링하였다.

EGR 밸브로 모드전환 시 나타나는 현상을 관찰하기 위해 양끝 학습알고리즘을 수행하였다. 양끝 학습 알고리즘은 밸브를 직접 양끝 위치로 이동하여 밸브가 운동 할 수 있는 운동범위를 알 수 있는 알고리즘이다. 이 실험에서 밸브가 4.8 mm까지는 위치제어모드로 이동하고, 끝 지점까지 3 mm/s 속도로 속도를 제어하여 연착륙한다. 그 후, 반대로 1.2 mm까지의 위치를 제어하고, 시작지점까지 다시 -3 mm/s로 속도를 제어하여 연착륙한다.

또한, 범프전환, 상태전이방법, Hanus Scheme을 사용한 모드 전환 방법을 각각 적용하여 양끝 학습알고리즘을 수행하고 비교하였다.



그림 3 테스트 벤치

4.2 실험 결과

그림4, 그림5, 그림6은 각각 범프전환, 상태전이방법, Hanus Scheme을 사용한 위치-속도 모드전환 제어기로 학습알고리즘을 수행한 결과이다.

이 실험에서 사용된 위치제어기와 속도제어기의 튜닝 파라미터는 표 1과 같다.

튜닝 파라미터	값
K_{pp}	7.5
K_{pi}	15.0
K_{pd}	0.05
K_{sp}	0.1
K_{si}	4.0

표 1 제어기 튜닝파라미터

Table 1 Controller Tuning Parameter

모드전환 방법의 정량적인 비교를 위해 모드전환 이후 제어기의 상승시간, 정착시간, 정상상태 에러, 범프크기를 측정하였다. 속도제어모드에서 정착시간, 정상상태에러는 측정하지 못했다. 이 시스템에서 속도정보는 위치를 미분했다. 위치신호가 아날로그 신호이므로 미분 후 노이즈를 많이 포함하기 때문이다.

범프전환 실험에서 두 번째 위치제어→속도제어 모드전환 시, 범프의 크기가 크고, 이러한 범프로 인해 밸브가 반대 방향으로 0.6 mm 정도 이동한 것을 볼 수 있다. 또한 Hanus Scheme은 속도제어→위치제어 모드전환 시, 정착시간이 빠르고, 정상상태에러가 없는 것을 확인 할 수 있다.

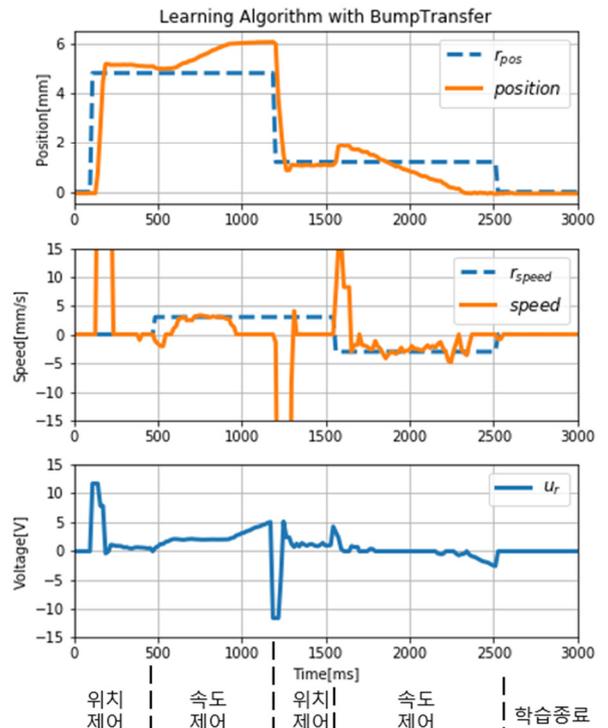


그림 4 범프 전환 학습알고리즘 수행결과

	위치->속도	속도->위치	위치->속도
Rise Time [ms]	149	48	107
Settling Time [ms]	X	110	X
Steady-State Error	X	0.14 mm	X
Bump 크기 [V]	0.58	16.7	3.19

표 2 범프 전환 학습알고리즘 수행결과

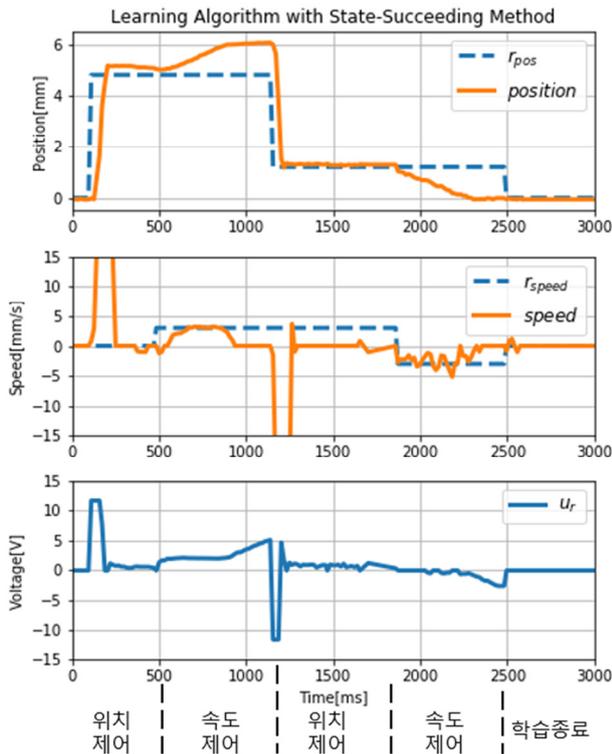


그림 5 상태전이방법이 적용된 학습알고리즘 수행결과 Method

	위치->속도	속도->위치	위치->속도
Rise Time [ms]	141	47	14
Settling Time [ms]	X	78	X
Steady-State Error	X	-0.1 mm	X
Bump 크기 [V]	1.36	16.7	0.36

표 3 상태전이방법이 적용된 학습알고리즘 수행결과

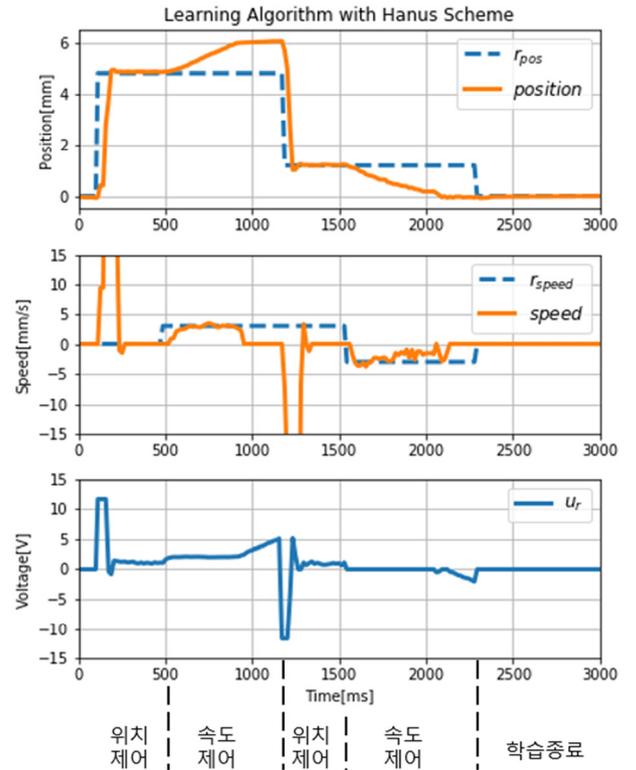


그림 6 Hanus Scheme이 적용된 학습알고리즘 수행결과

	위치->속도	속도->위치	위치->속도
Rise Time [ms]	92	31	34
Settling Time [ms]	X	63	X
Steady-State Error	X	0 mm	X
Bump 크기 [V]	0.03	16.7	1.13

표 4 Hanus Scheme이 적용된 학습알고리즘 수행결과

6. 결론

본 논문에서는 운동 범위 제약을 가진 기계의 양끝 위치로 연착륙시 사용할 수 있는 위치-속도 모드전환 제어기를 제안하였다. 제안한 위치-속도 모드전환 제어기로 EGR 밸브 양끝 학습알고리즘을 구동하여 모드전환 이후 정상상태 에러가 작으며, 모드전환 된 제어기지령을 빠르게 추종하는 것을 확인 할 수 있다.

참고 문헌

[1] Peng, Youbin, Vrancic, D., Hanus R.: "Anti-windup, bumpless, and conditioned transfer techniques for PID controllers", IEEE Control Systems, Vol. 16, Issue 4, pp. 48-57, 1996, Aug.