

상태궤환 제어기를 이용한 엘리베이터 안티롤백 기능 개발

이은우, 변성훈, 홍찬욱

LS 산전(주)

경기도 안양시 동안구 호계동 533

초 록

일반적인 엘리베이터 시스템에서는 로드셀이라고 하는 센서가 설치되어 탑승자를 포함한 모터에 걸리는 전체부하를 측정한다. 그리고 이 무게 정보는 브레이크가 풀리고 엘리베이터가 움직이기 시작하기 전에 토크 전향보상을 하는데 사용되고, 엘리베이터는 브레이크 개방 과정에서 정지상태를 유지하여 엘리베이터가 부드럽게 출발하도록 한다. 안티롤백은 로드셀없이 브레이크가 열리는 동안에 위치 편차를 억제하는 기능이다. 다른 회사에서는 이 기능을 기존의 PI 제어기를 사용하여 개발하였다. 반면에 이 논문에서는 안티롤백 기능을 위하여 상태궤환 위치제어기를 사용하였으며 그 적절성을 논의한다.

1. 서론

비용을 감소시키고, 신뢰성을 높이기 위해서 시스템에서 센서를 제거하는 경향이 있다. 대표적인 예로서, 위치나 속도를 제어하기 위해서 엔코더를 필요로 하지 않는 고주파 주입 센서리스 백터 제어를 들 수 있다. 센서드 제어에서는 엔코더의 고장으로 신뢰성이 낮아질 수 있다. 이러한 추세는 엘리베이터 시스템에도 적용된다. 여기에서는 로드셀이라는 무게측정 장치를 제거하려는 요구가 증가하고 있다. 야스까와와 후지와 같은 주요 인버터 제조사는 전통적인 P-PI제어기를 이용한 안티롤백 기능을 발표하였다. 이 논문에서는 상태궤환 위치제어기를 가지고 안티롤백 기능을 구현할 수 있음을 확인한다.

2. 각 제어기의 전달함수

2.1 기존 P-PI 제어기

그림1에는 기존의 P-PI 제어기가 나와 있다. 여기에서는 비례 위치제어기와 비례적분 속도제어기가 직렬로 연결되어 있다. 전류제어기의 제어대역폭은 속도제어기의 대역폭보다 훨씬 높아서 전달함수가 1이라고 가정하여 생략하였다.

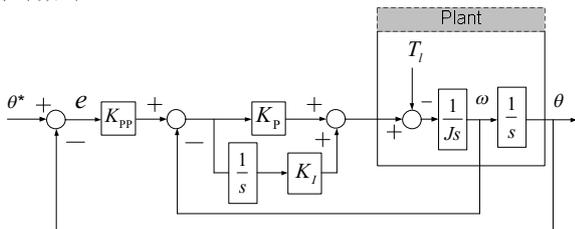


그림 1 기존의 P-PI 제어 방법

위치 전달 함수는 (1) 과 같다. 여기에서 위치는 위치지령과 토크 외란에 의해서 영향을 받음을 알 수 있다. 그리고 안티롤백에서 위치 지령은 0으로 고정된다. 따라서, 위치응답은 (1)과 같이 외란 토크에 대한 함수이다.

$$\theta = \frac{K_{pp}K_p s + K_{pp}K_t}{Js^3 + K_p s^2 + (K_t + K_{pp}K_p)s + K_{pp}K_t} \theta^* - \frac{s}{Js^3 + K_p s^2 + (K_t + K_{pp}K_p)s + K_{pp}K_t} T_l \quad (1)$$

전달함수의 계수들은 각각 독립적이지 않고 계인들의 곱과 합으로 이루어져 있어서 한 계인을 변경시키면 2개 이상의 계수가 변하게 됨으로 인하여 극점을 자유롭게 설계할 수 없는 단점이 있다. 또한 3중근의 극점배치가 불가능한데, 자세한 설명은 부록 1에서 기술한다.

2.2 상태궤환 제어기

상태궤환 제어기[1]의 구성도가 그림2에 나타나있다.

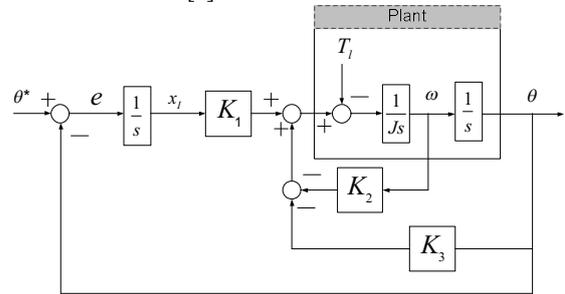


그림 2 상태궤환 위치 제어기

전달함수는 (2)와 같이 얻을 수 있다. (1)의 전달함수와 비교하면 3개의 계수가 독립되어 있기 때문에 근의 배치가 자유롭다.

$$\theta = \frac{K_1}{Js^3 + K_2 s^2 + K_3 s + K_1} \theta^* - \frac{s}{Js^3 + K_2 s^2 + K_3 s + K_1} T_l \quad (2)$$

다양한 근배치 방법 중에서, 3중근에 의한 계인 식은 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} K_1 &= -J\alpha^3 \\ K_2 &= -3J\alpha \\ K_3 &= 3J\alpha^2 \end{aligned} \quad (3)$$

3. 실험 결과

그림3에는 실험세트 구성도를 보여준다. 시료모터의 엔코더는 Heidenhain 사 엔코더 ECN-413으로서 1회전당 2000개의 sin/cos 신호가 출력된다. 자사의 sin/cos 옵션카드를 사용하면 sin/cos 신호는 1회전당 32768개의 A/B 펄스로 변환된다. 변환된 펄스는 위치제어를 하는데

사용된다. 시스템의 전체 관성은 0.084 kgm²이다. 또한, 시료모터에는 브레이크가 달려 있고, 엘리베이터의 브레이크를 모사하는데 사용되었다.

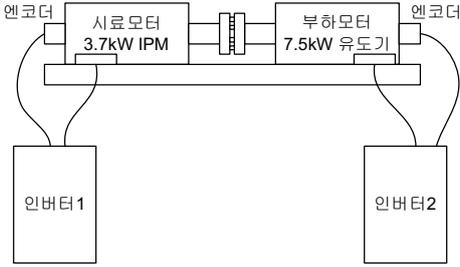


그림 3 실험 세트 구성도

항 목	값
정격전압	220V
정격전류	20.2A
Ld	1.11mH
Rs	0.059Ohm
극수	8

표 1 시료모터 파라미터

그림 4는 제안된 상태궤환 제어기를 사용한 실험결과이다. 위치제어 편차가 0.5도 이내로 제어가 됨을 확인할 수 있다. 또한 실험에서는 상태궤환제어기의 속도 피드백값으로 3차속도관측기([2], [3])가 사용되었는데, 이를 사용함으로써 M/T를 사용한 경우보다 제어 대역폭을 더 올릴 수 있었다. 상태궤환제어기는 1ms인터럽트에서 계산되고, 관측기는 125us PWM인터럽트에서 수행된다.

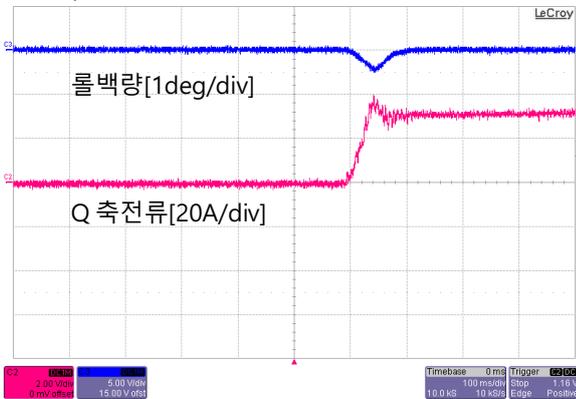


그림 4 실험파형($\omega_c=90$ [rad/s], 관측기 $\omega_c=250$ [rad/s])

4. 결론

본 논문에서는 엘리베이터의 안티롤백 기능을 위하여 상태궤환 제어기를 적용한 내용이 제시되었다. 그리고 실험을 통해서 그 성능이 확인되었다. 차후에, 실제 엘리베이터 타워에서 알고리즘을 검증할 필요가 있다.

부록 1.

계인은 (4)와 같이 나타내어진다. 관성은 알 수 있는 값이라고 가정하였다.

$$\begin{aligned}
 K_p &= J\omega_c \\
 K_I &= K_p k_1 \omega_c = k_1 J \omega_c^2 \\
 K_{pp} &= k_2 \omega_c
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

이 계인을 전달함수의 분모에 대입하면 (5)가 된다.

$$Js^3 + J\omega_c s^2 + J(k_1 + k_2)\omega_c^2 s + Jk_1 k_2 \omega_c^3 \tag{5}$$

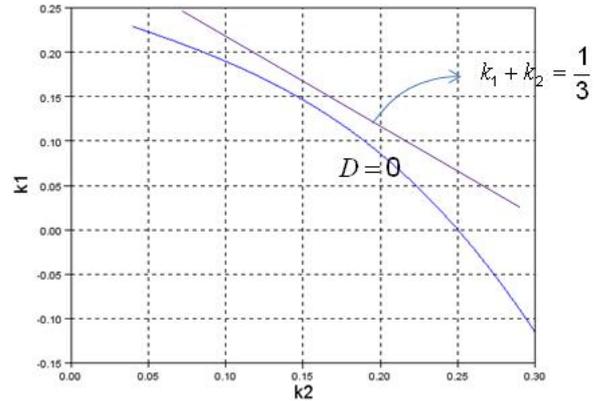
3차 판별식, (6), 에 의해서, 근의 종류가 결정된다. 3중근을 갖기 위해서는 판별식 D가 0이어야 한다.

$$\begin{aligned}
 D &= J^4 \omega_c^6 \left(18k_1 k_2 (k_1 + k_2) + (k_1 + k_2)^2 \right. \\
 &\quad \left. - 27k_1^2 k_2^2 - 4(k_1 + k_2)^3 - 4k_1 k_2 \right)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

또한 3차 방정식의 미분식의 판별식도 0이어야 하고 그 조건은 (7)과 같다.

$$k_1 + k_2 = \frac{1}{3} \tag{7}$$

두 조건을 나타내는 그래프를 그림 3에 도시하였고,



두 그래프의 교점이 존재하지 않으므로 근을 갖지 않음을 알 수 있다. 따라서 P-PI 제어기에서 3중근은 불가능함이 증명된다.

참고 문헌

[1] Jong Sun Ko, Jung Hoon Lee, Se Kyo Chung, Myung Joong Youn, "A Robust Digital Position Control of Brushless DC Motor with Dead Beat Load Torque Observer", IEEE Trans. on Ind. Elec. Vol. 40, No. 5, October 1993

[2] Robert D. Lorenz and Keith W. Van Patten, "High-Resolution Velocity Estimation for All-Digital, ac Servo Drives", IEEE Trans. on Ind. App. Vol. 27, No. 4, JUL/AUG 1991

[3] K. Kubo, M. Watanabe, F. Kozawa and K. Kawasaki, "Disturbance Torque Compensated Speed Observer for Digital Servo Drives", IECON '90