

자동평형저울의 비선형 모델 유도 및 평형회복 알고리즘

고병관*(군산대학교 대학원), 최준혁(군산대학교 대학원), 정현술(군산대학교 교수)

주제어 : 자동평형저울, 비선형 시뮬레이션, 소프트 파라미터 추정, DC모터 제어, PID제어

자동평형 저울이란 지렛대 상에서 움직이는 고정 질량의 수레와 한 점에 고정되어 회전운동을 하는 지렛대로 구성되어진, 제어 실험을 위한 교육용 장비이다. 기본 동작 원리는 고정 무게추인 수레가 지렛대 위에서 DC모터와 볼/리드 나사에 의해 직선으로 움직이며, 리드나사와 안내 가이드, 그리고 프레임으로 구성된 지렛대가 수레의 위치에 따라 회전을 하게 된다. 이렇게 구성된 평형저울을 이용하여 측정 물체의 무게를 측정하기 위해서는 우선적으로 지렛대의 평형회복이 과정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 평형저울의 불안정한 지렛대가 빠른 시간 내에 안정되게 평형을 회복할 수 있도록 하기 위한 제어 알고리즘에 대하여 연구를 수행하였다.

회전하는 지렛대 위에서 직선 운동을 하는 수레는 원심력을 받게 된다. 또한 지렛대가 경사짐에 의해 수레가 경사면을 따라 미끄러져 내려가려 하는 힘이 발생하게 되고, 이 힘은 볼 나사와 리드 나사를 통해 모터를 역구동 시키려는 부하 토크로 작용하게 된다. 한편, 지렛대는 평형저울의 각 요소 부품들이 중력에 의해 발생하는 모멘트를 받게되며, 수레의 직선운동과 지렛대의 회전운동에 의해 관성력이 발생하게 된다. 이러한 힘과 토크들을 고려하여 평형저울의 비선형 운동방정식을 유도하였으며, 최종 결과 식에는 회전하는 물체에 작용하는 코리올리 토크도 포함되어 있다.

한편, 평형저울의 비선형 모델에는 모터 토크상수, 역기전력상수 그리고 직선감쇠계수, 회전감쇠계수와 같은 직접 측정이 곤란한 파라미터들을 포함하고 있다. 이러한 파라미터들은 임의의 파라미터 값을 선정한 후, 앞에서 유도된 평형저울의 운동방정식을 이용하여 작성한 비선형 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 계산한 결과와 실험을 통해 측정된 결과를 비교하여 두 결과가 일치할 때의 값을 찾는 시행착오법을 통해 간접적으로 측정하였다.

평형저울의 지렛대는 수레가 지렛대의 균형위치에서 조금이라도 벗어나게 되면 회전을 하게되는 불안정한 상태이며, 이러한 지렛대의 안정화를 위해 본 논문에서는 수레의 위치와 지렛대의 각도를 고려한 이중루프 제어 알고리즘 $u = K_{\theta}(r - \theta) - K_x x$ 을 제안하였다. 여기서 시스템이 안정하기 위한 제어기의 두 이득의 안정성 영역은 선형화시킨 모델의 근궤적 해석을 통해 확인하였다. 이 제어기는 비록 불안정한 지렛대를 안정화시켰지만, 측정 접시에 추가 분동을 올려놓은 경우와 같은 외란 입력에 대해서 시스템이 불안정해지고 평형회복도 수행하지 못하였다. 따라서 평형저울 지렛대가 적절한 감쇠를 가지면서 빠른 시간 내에 평형을 회복할 수 있도록 PID 제어기를 추가하여 $u = (K_{\theta} + K_{\theta}^d s + K_{\theta}^i / s)e - K_x(x - x_{Bo})$ 와 같은 형태의 제어기를 구성하였다. 그 결과 추가 분동을 올려놓은 경우와 같은 큰 외란 입력에 대해서도 성공적으로 평형회복을 수행하였다. 또한 지렛대의 목표 각도가 평형회복 뿐만 아니라 임의의 각도로 주어질 경우와 시간에 따라 연속적으로 변화하는 임의의 사인함수로 주어질 경우에 대한 실험을 통해 제어기의 성능을 검증하였다. 하지만 외란이 추가된 경우 평형회복시간이 비교적 오래 걸리고, 임의의 궤적추종 실험에서 목표 궤적인 사인함수의 주파수가 빨라질수록 시간 지연이 발생하는 문제점이 있어, 이 부분에 대해 앞으로 더 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

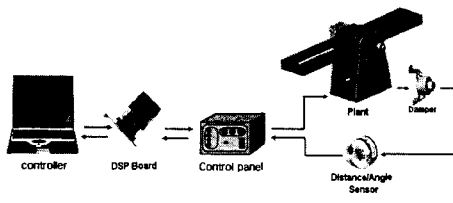


Fig. 1 Construction of automatic balancing lever system

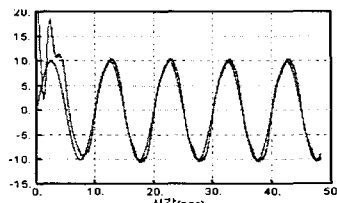


Fig. 2 Trajectory tracking experience of balance