

## 2축 회전진자의 스윙업제어

### Swing-up control of the 2-link rotational pendulum

° 양 동 훈\*, 유 기 정\*\*, 고 영 길\*\*\*, 홍 석 교\*\*\*\*

- \* 아주대학교 전자공학과(Tel : +82-31-219-2489; Fax : +82-31-212-9531 ; E-mail: yann@madang.ajou.ac.kr)
- \*\* 아주대학교 전자공학과(Tel : +82-31-219-2489; Fax : +82-31-212-9531 ; E-mail: forest73@madang.ajou.ac.kr)
- \*\*\* 아주대학교 전자공학과(Tel : +82-31-219-2489; Fax : +82-31-212-9531 ; E-mail: ykkoh@madang.ajou.ac.kr)
- \*\*\*\* 아주대학교 전자공학과(Tel : +82-31-219-2489; Fax : +82-31-212-9531 ; E-mail: skhong@madang.ajou.ac.kr)

**Abstract** : A strategy for the swing-up control according to states of the 2-link rotational pendulum is proposed. The proposed controller consists of two modes of control such as divergence mode and stabilization mode. When the controller is in divergence mode, control input is generated using sinusoidal and signum function to make the first and second links reach the bottom and top positions, respectively. After the controller finishes divergence mode, stabilization mode is initiated to keep the pendulum around the top position using pole-placement method.

Dynamic models including actuator dynamics are obtained using coordinate changes at each control mode. Simulation results are given to show the effectiveness of the proposed method.

**Keywords** : swing-up, rotational pendulum, divergence mode, stabilization mode, pole-placement,

#### 1. 서론

도립진자의 스윙업 제어기는 안정한 위치(하단 평형점)에 있는 진자를 진동, 발산시켜서 불안정한 위치(상단 평형점)로 이동시키는 제어기이다. 그리고, 안정화 제어기는 상단의 도립진자를 안정화시켜 결과적으로 도립진자를 상단에서 운동에너지를 0으로 수렴시키는 제어기이다. 따라서, 이 두 가지의 제어기는 각각 다른 모델링으로 제어기를 설계하여야 한다. [1-6]

일반적으로, 도립진자는 차량구동형 도립진자의 구조를 갖고 있다. 차량구동 도립진자는 제어대상은 비선형성을 내포하고 있으나, 제어기는 선형으로 동작한다. 따라서, 이 시스템은  $\theta \approx 0$ ,  $\dot{\theta} \approx 0$ 에서 선형화하여 제어하는 것이 약  $\pm 8^\circ$  이내에서는 무리가 없으나 회전진자 시스템은 제어대상뿐 아니라, 제어를 하는 구동기 자체도 비선형성을 갖고 있어, 제어 범위가 차량구동 도립진자에 비해 작다. 따라서, 이 비선형으로 인해 스윙업 제어 또한 많은 제약을 받는다.

여러 논문에서는 이 스윙업 제어를 위해 슬라이딩 모드 제어와 에너지 제어를 적용하였다. 본 논문에서는 보다 적용이 쉬운, 축들의 상태에 따라 제어를 하는 스윙업 제어기를 제안한다. 이 제어기는 시스템의 파라미터에 의해 큰 영향을 받지 않고, 진자의 상태에 따라 제어를 하기 때문에 적용이 용이하다.

스윙업 알고리즘은 먼저, 하단평형점의 진자를 세우고자 하는 축의 진동주기에 맞추어 진동시킨 후, 강한 힘을 주어 도립을 시킨다. 그 상태에서, 안정화 제어기가 진자를 안정화시키는 알고리즘이다.

본 논문에서는 진자를 도립 상태로 만드는 스윙업 제어기와 진자를 안정화시키는 안정화 제어기를 소개하였다. 시뮬레이션을 통해 이 제어기의 성능을 입증하여 보았다. 결과 그래프는 간단한 제어 알고리즘을 통해 진자를 도립시킬 수 있음을 보여준다.

#### 2. 2축 회전진자 시스템의 구성

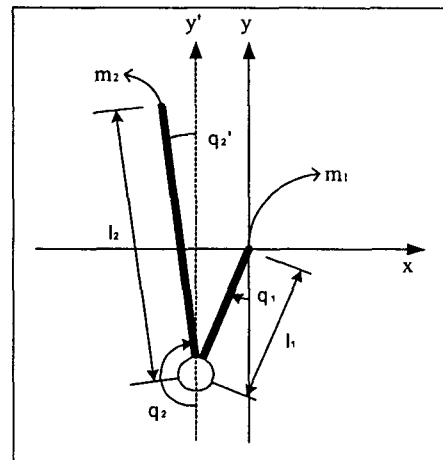


그림 1. 2축회전진자의 구조도 (스윙시)  
Figure 1. Diagram of 2-link rotational pendulum (in swing mode)

그림1은 2축회전진자의 구조를 나타내고 있다. 이 2축 회전진자는 2축 평면 매니퓰레이터와 같은 구조를 가지고 있다. 그러나, 2축 회전진자는 첫 번째 축에는 직류모터가 연결되어 있으나, 두 번째 축에는 아무런 제어 입력이 없는 구조를 가지고 있다. 두 번째 축에는 이 축의 각도 정보를 얻기 위한 엔코더가 연결되어 있다. 첫번째 축의 직류모터는 PC에 의해 제어된다. 이 회전진자는 스윙 제어 시와 안정화제어 시에서 좌표계 설정을 각각 달리하여 동역학 방정식을 세웠다. 위의 그림에서 두 번째 축의 각도 설정을 안