

# 와이어에 의해 지지된 부재의 축방향 회전운동 제어장치 개발 Development of the Yawing Motion Control Device for Wire-suspended Object

\*추용수<sup>1</sup>, 주백석<sup>1</sup>, 정경모<sup>1</sup>, #홍대희<sup>1</sup>  
\*Y. S. Chu<sup>1</sup>, B. Chu<sup>1</sup>, K. M. Jung<sup>1</sup>, #D. H. Hong(dhhong@korea.ac.kr)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과

Key words : Position feedback control, Yawing motion control, Construction automation, Dynamic analysis

## 1. 서론

철골구조 건설현장에서 H-beam 을 안정적으로 운반하고 적재 적소에 빠르게 위치시키는 것은 작업의 효율성과 작업자의 안전을 위해 필수적인 요소이다. 하지만 크레인에 매달린 H-beam 은 관성과 바람의 영향으로 회전 하기 때문에 작업자의 안전에 큰 위협이 된다. 또한 이로인한 작업 지연 때문에 공사기간이 길어지게 된다.[1]

본 연구는 크레인에 매달린 부재의 동역학 해석을 수행하고, H-beam 의 안정적인 회전방향 자세제어를 가능하게 하는 장치의 설계 및 제어 알고리즘의 개발에 대한 것이다.

## 2. 배경 이론

### 2.1. 시스템의 동역학 해석

본 장치의 작동원리는 외부장치에 연결된 무거운 부재의 회전운동을 내부장치의 서보모터에 연결된 무게추를 이용하여 가속도를 발생시켜 생성되는 토크를 통해 제어하는 것이다. 가령 현재 회전하는 부재의 반대방향 가속도를 발생시킬 경우 생성되는 토크는 회전부재의 운동을 정지시키는 역할을 수행하게 된다. 다음 식 (1)은 외부 부재와 무게추 사이의 모멘트 평형을 표현한다. [2]

$$M_p = I_1\alpha_1 = I_2\alpha_2 \quad (1)$$

$M_p$  : Angular moment

$I_1$  : Moment of inertia of the whole system ( $0.131kg \cdot m^2$ )

$\alpha_1$  : Whole system angular velocity

$I_2$  : Moment of inertia of the revolving mass ( $0.0025kg \cdot m^2$ )

$\alpha_2$  : Mass angular velocity

### 2.2. 회전운동 원리

Fig. 1 에 제시된 본 축방향 회전운동 장치는 작용-반작용의 원리를 이용한 것으로, 끝단에 추가된 서보모터의 회전속도를 제어해서 모터에 의해 발생하는 토크의 크기를 조절할 수 있다. 부재의 무게가 클수록, 회전하는 속도가 빠를수록 모터의 가속도를 크게 하여 부재의 회전운동의 제어가 가능하다.

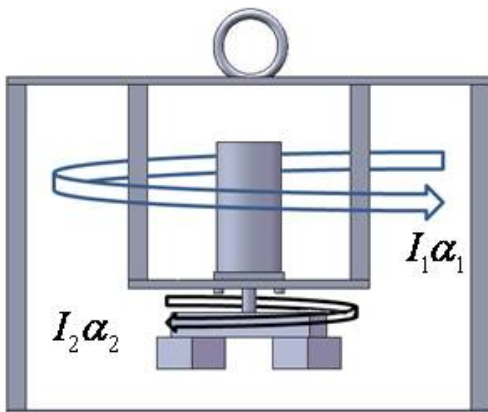


Fig. 1 Operation principle of the yawing motion control device

## 3. H-beam 축방향 회전운동 제어 장치 설계

Fig. 2 는 Solid Works 를 이용하여 축방향 회전운동 제어 장치를 설계한 것이다. Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 H-Beam 의 축방향 회전운동 제어 장치는 무거운 부재에 연결되어 있는 외부장치와 서보모터와 무게추를 포함하고 있는 내부장치로 구성된다. 외부장치와 부재는 서로 상대운동이 발생하지 않도록 강체로 연결된다. 또한 내부장치와 외부장치와의 연결 역시 상대운동이 발생하지 않도록 고안되었다

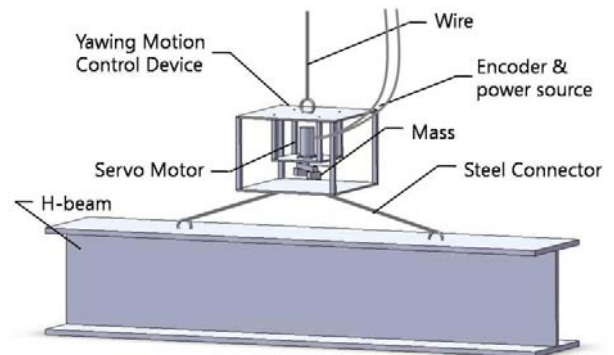


Fig. 2 Schematic diagram of the position control device for wire-suspended H-beam

## 4. 시뮬레이션 및 실험

Fig. 2 를 바탕으로 실제 실험을 위해서 시스템을 구성하였다. Fig. 3 시스템은 Samsung CSM-01B 서보모터를 사용해서 장치에 토크를 발생시키고 이 신호를 DAQ 6024E 보드를 통해서 전달 받는다. 고안된 장치의 실제 현장 적용성을 파악하기 위해 Apem 5000 시리즈 조이스틱을 이용하여 제어신호를 인가한 후, 그 움직임을 확인해 보았다. 그결과 정밀한 제어 알고리즘 없이도 충분히 부재의 회전위치 조절이 가능함을 확인하였다. 속도를 얻기 위해서 3DM-GX1 Gyro sensor 를 이용하였다.

시스템 모델 방정식을 얻기 위해서 실험 데이터의 커브 피팅 작업을 수행하면 Fig. 4 의 그래프를 얻을 수 있다.

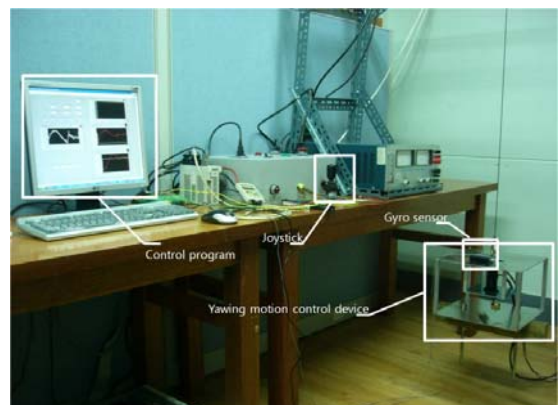


Fig. 3 Experimental setting of yawing motion control system

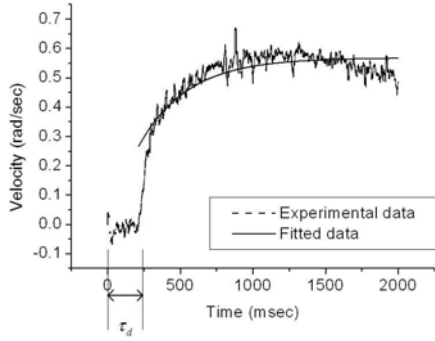


Fig. 4 Experimental data of step response

1 차 전달함수를 구하면 식 (2)를 얻을 수 있다.  $\tau_d = 0.25$  초는 시스템 구동에 따른 지연시간을 나타낸다.

$$\text{Transfer function} = \frac{K}{1 + \tau s} \exp^{-\tau_d \cdot s} \quad (2)$$

위 전달함수를 이용하여 MATLAB Simulink 로 이 연구에 적용된 위치제어 블록선도 다이어그램을 그리면 Fig. 5 와 같다. [3]

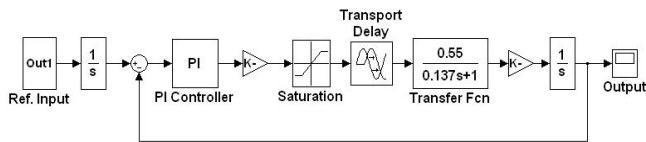


Fig. 5 PI control block diagram with MATLAB simulink

시스템에  $100\text{rad/sec}^2$ 의 가속도를 0.5 초동안 주고  $50\text{rad/sec}$ 의 등속구간을 1 초간 유지시키는 속도 프로파일을 제어입력으로 하였다. 이 경우 시스템의 최종위치가 모멘트 평형방정식(1)에 의해 약 2.2 rad 에 도달하게 된다. MATLAB 을 사용하여 게인값을 조절하면서 시뮬레이션을 수행하면 Fig. 6 의 시스템 위치 데이터를 얻을 수 있다. 시스템의 특성에 맞는 게인값을 Labview 를 이용해서 실제 시스템에 적용시키면 Fig. 7 과 Fig. 8 의 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 7 은 Open-loop 컨트롤의 회전위치 제어 결과이다. 초기 시스템의 반응 속도는 느리고 0.5rad 의 오버슈트가 생긴 것을 볼 수 있다. 시스템은 시간이 지속될수록 시스템이 입력값에 근접하지 않고 원래 위치로 되돌아 가려는 성향을 보인다. 이는 입력 위치를 지난 후에 서보모터의 케이블이 외란으로 작용하여 원점으로 회복시키는 힘이 작용하기 때문이다.

Fig. 8 은 PI 컨트롤을 하였을 때 나타난 시스템의 위치 제어 결과이다. Open-loop 과 비교해 보면 시스템이 반응속도는 증가하였고 오버슈트는 더 크게 발생하였다. 시간이 지속될수록 서보모터에 연결된 케이블의 외란으로 원래 위치로 되돌아 가려는 성향은 더 크게 나타났다. [4]

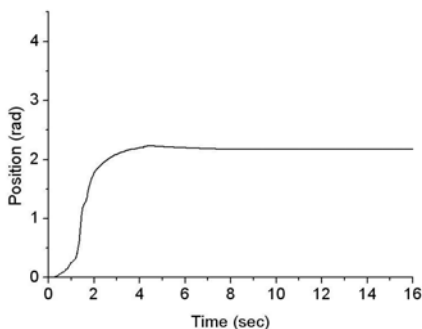


Fig. 6 Simulation result of yawing motion with PI control (Desired position  $\approx 2.2\text{rad}$ )

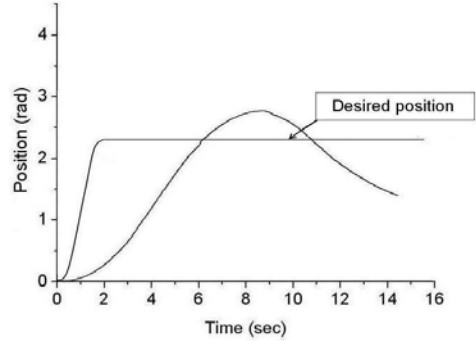


Fig. 7 Experimental result of yawing motion with open-loop control system (Desired position  $\approx 2.2\text{rad}$ )

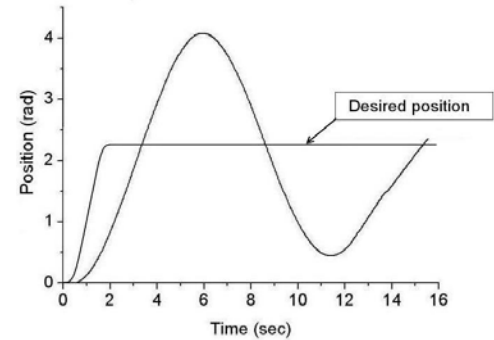


Fig. 8 Experimental result of yawing motion with PI control system (Desired position  $\approx 2.2\text{rad}$ )

### 5. 결론

H-beam 의 안정적인 회전방향 자세제어를 가능하게 하는 장치를 설계하고 제어기를 구성하였다. 시뮬레이션 작업과 실제 실험을 통해서 제어기의 성능을 테스트 하였다. PI 컨트롤을 이용한 실험 결과를 보면 시뮬레이션 결과보다 실제 실험에서 오버슈트가 크게 발생하고 지연시간이 길게 나타나는 것을 확인하였다. 1 차 지연형 시스템 모델로는 시스템을 정확히 설명하기 부족하다고 판단된다. 그 이유는 서보모터의 케이블이 탄성체 역할을 하고 시스템 구성이 단순하기 때문이다. 따라서 고급제어 기법을 사용하여 시스템의 낮은 반응속도 개선이 필요하고 본 실험에서 해결하지 못한 서보모터 케이블 힘의 영향을 덜 받도록 하는 실험환경 개선이 필요하다.

### 후기

본 연구는 2008 년 건설교통부가 지원한 “로보틱 크레인 기반 고층 건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(과제 번호: 06 첨단융합 D01)”사업을 통해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. K. Jung, K. Bae, D. Kim and D. Hong, “Development of the Gripping Control Algorithm for Wire-Suspended Object in Steel Construction,” International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.151-155, 2007.
2. J.L. Meriam , L.G. Kraige “ Engineering Mechanics: Dynamics,” John Wiley & Sons, Inc, 2004.
3. James B. Dabney, Thomas L. Harman “ Mastering Simulink,” Pearson Prentice Hall, 2004
4. 곽두영 “ 컴퓨터 기반의 제어와 계측 Labview ,” Ohm 사, 2006