

링크구조를 활용한 구동장치의 고각도 제어 설계 및 구동 특성

오우석*, 장수영, 한별, 신명환
한화시스템

Elevation control design and driving characteristics of a driving device using a link structure

Woo Seok Oh*, Su Young Jang, Byeol Han, Myeong Hwan Shin
Hanwha Systems

ABSTRACT

본 논문은 링크구조를 활용한 구동장치의 고각도 제어 설계 및 구동 특성에 대해 기술한다. 제안하는 고각 구동장치는 링크구조와 고각 방향으로의 구동을 위한 볼러스크류로 구성되어, 대용량 부하 장치의 고각도 제어에 이용된다. 이러한 링크구조는 고각도의 변화에 따라 볼러스크류의 변화량이 비선형적이기 때문에 고각 각속도를 일정하게 구동하면 모터의 속도와 토크가 일정하지 않다는 단점이 있다. 본 논문에서는 고각 각도에 따라 볼러스크류의 속도를 선형적으로 제어하는 방식을 제안하며, 고각 0°에서 90°까지의 구동 특성을 분석한다. 제안하는 논문의 유효성은 시뮬레이션 결과를 통해 입증한다.

1. 서론

고각도 제어가 가능한 구동장치는 다양한 분야에 적용될 수 있다. 대표적으로 미사일을 쏘는 발사대나 레이더를 사용하는 안테나와 같이 고각을 조절하면서 원하는 목표물의 지향이 필요한 분야에 이용된다. 이러한 고각 구동장치는 다양한 형태가 존재하는데, 그중에서 링크구조를 활용한 형태는 한 축의 링크 길이를 늘임으로써 대용량 부하를 들어 올리는 데 유리하며 사용에 따라 사이 공간 활용이 가능하다는 장점이 있다. 예전에는 주로 유압 실린더를 사용하여 구동했지만 유지·보수 문제와 더 정밀한 제어를 위해 모터를 이용하는 경우가 늘어나고있다. 링크 길이를 조절할 수 있도록 한 축을 볼러스크류와 모터로 구성하여 각도제어를 하게되면, 제어 방식은 고각의 각속도를 일정하게 제어하는 방식과 볼러스크류의 선속도를 일정하게 제어하는 방식이 존재한다.

본 논문에서는 볼러스크류의 선속도를 일정하게 제어하면서 삼각함수 계산식을 통해 각도 제어를 하는 방식에 대해 기술한다. MATLAB Simulink를 활용하여 고각 0°에서 90°까지 사다리꼴 속도 프로파일을 그리며 구동하는 위치제어를 설계하였고 이동에 따라 변하는 부하의 추력을 적용한 구동 특성을 분석하였다.

2. 본론

2.1 고각 구동장치

그림 1은 고각 구동장치 형상과 추력을 나타낸다. 고각 구동

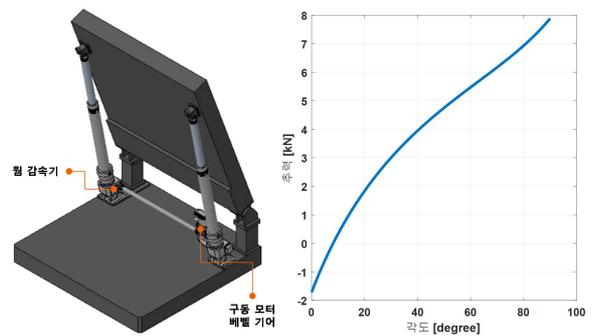


그림 1 고각 구동장치 형상 및 추력
Fig. 1 A figure of elevation driving equipment and thrust graph

장치의 형상은 그림 1 <좌>와 같다. 안정적인 지지를 위해 두 개의 축이 볼러스크류로 구성되고 두 볼러스크류는 워م 감속기를 통해 동기축에 연결된다. 워م 감속기는 전기적 제어 없이도 고정되는 self-locking이 가능하므로 원하는 목표물을 지향하면서 부하를 지지해야 하는 고각 구동장치의 안정적인 자립 필요하다. 동기축은 베벨기어로 연결된 모터에 의해 회전하게 되는 구조이다. 구동장치의 부하는 300kg으로 선정하였고 구동장치 구조에 따른 고각 0°에서 90°까지의 추력은 그림 1 <우>와 같다. 부하에 의해 볼러스크류에 전달되는 최대 추력은 7.89kN이고 이 추력에 따른 볼러스크류의 요구 토크는 식 (1)에 의해 계산된다.

$$T = \frac{F \times l}{2\pi \times \eta} \tag{1}$$

(T : 볼러스크류 토크, F : 추력, l : 리드, η : 효율)

계산된 볼러스크류의 토크는 56.48Nm이며 워م기어와 베벨기어의 감속비 1:90을 적용하면 구동모터의 정격토크는 1.74Nm 이상의 조건을 만족하여야 한다. 위 조건을 만족하면서 선택한 구동모터의 제원은 표 1과 같다.

표 1 고각 구동모터 제원
Table 1 Parameters of elevation driving motor

R	0.94 [Ω]	Power	1.58 [kW]
L	0.19 [H]	Inertia	2.7 [kg-cm ²]
Kt	0.69 [Nm/A _{rms}]	Viscous Damping	0.021 [Nm/k _{rpm}]

2.2 링크구조의 제어

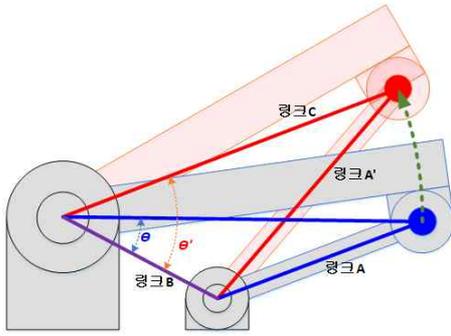


그림 2 고각 구동장치 링크 구조
Fig. 2 Structure of elevation driving equipment link

그림 2는 고각 구동장치 링크 구조를 나타낸다. 고각 구동장치의 제어는 현재 각도와 목표 각도를 기반으로 하여 롤러스크류의 이동거리만큼 사다리꼴 형태의 속도 프로파일을 생성하고 속도 제어하는 방식을 사용한다. 기본적으로 링크 B와 링크 C의 길이는 고정이며 고각 각도 θ 의 변화에 따라 링크 A의 길이가 변하게 된다. 이때 롤러스크류 이동거리의 변화량은 선형적이지 않고 제2 코사인법칙에 따라 정해진다.

$$A = \sqrt{B^2 + C^2 - 2BC \cos \theta} \quad (2)$$

고각의 현재 각도는 링크 B와 링크 C 사이 축에 엔코더 센서를 장착하여 전달받으며 목표로 설정한 각도를 바탕으로 θ 및 θ' 값을 구한다. 이때 식 (2)를 이용하여 링크 A 및 A'의 길이를 계산할 수 있다. 링크 A와 A'의 길이 차이만큼 롤러스크류의 목표 이동거리를 설정하면 그에 맞는 모터의 속도 프로파일을 생성한 뒤 속도제어를 수행한다. 속도 프로파일은 사다리꼴 형태로 생성하여 롤러스크류의 안정적인 선속도 제어를 만든다.

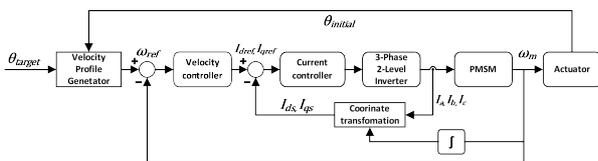


그림 3 제안하는 제어기 블록도
Fig. 3 Block diagram of proposed controller

그림 3은 제안하는 고각 구동장치 링크 제어기 블록도를 나타낸다. 고각 구동모터는 영구자석 동기전동기를 사용하며, 3상 2레벨 인버터로 구동한다. 생성된 속도 프로파일을 바탕으로 속도 제어가 이루어지고 벡터 제어 기법을 적용하여 d, q 축 전류 제어를 수행한다. 인버터의 게이팅 신호는 SVPWM으로 인가한다.

3. 시뮬레이션 결과

설계한 제어기는 MATLAB Simulink에 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 제어기 내부의 속도 프로파일의 최대속도는 3000 RPM으로 설정했으며 가속도는 300 RPM/s, 감속도는

300 RPM/s으로 설정하였다. 그림 4는 제안하는 고각 구동장치의 속도, 각도 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 고각 0°에서 90°까지 구동 모터의 속도와 그에 따른 각도 변화를 나타낸 그래프이며. 그림 5는 q축 전류 시뮬레이션 결과를 나타낸다. q축 전류는 고각 각도에 따른 추력에 따라 제어되는 것을 확인했다.

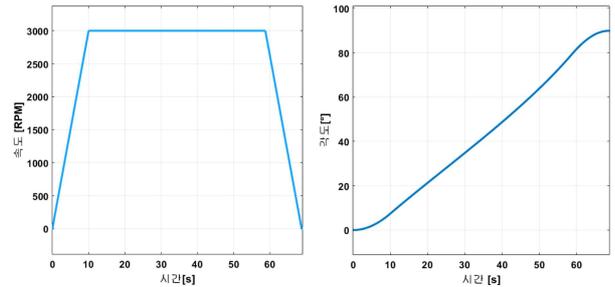


그림 4 속도 각도 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation results of motor speed and elevation degree

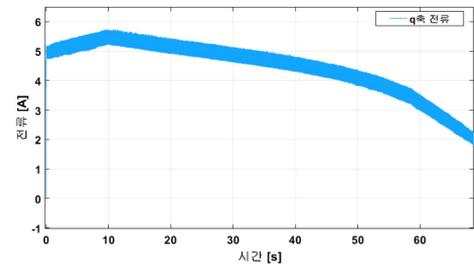


그림 5 고각 구동모터 q축 전류 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result of q-axis currents of elevation driving motor

4. 결론

본 논문에서는 링크구조를 활용한 구동장치의 고각도 제어 설계 및 구동 특성을 제안하였다. 고각 구동장치 한 축의 링크 속도를 선형적으로 구동하면서 고각 0°에서 90°까지 위치 제어하는 구동장치를 설계하였고, 이동에 따라 변하는 부하의 추력을 적용한 구동 특성을 분석 및 적용하였다. 그 결과, 모터의 속도는 사다리꼴 형태의 일정한 속도를 유지하는 형태이며 그에 따른 각도를 확인하였고, 부하 추력에 따른 전류 변화를 주어 다양한 부하의 발사대와 안테나와 같은 분야에 적용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] S. H. Kim, "Motor Control," bokdoo, 2018, ISBN 979-11-5906-417-3
- [2] S.-Y. Lee, W.-S. Jin, I.-J. Shin, and M.-S. Kwon, "The study on the Elevation drive of Radar equipment with Large Antenna," in Proc. CICS'19 of KIEE, 2019, pp. 162-163.