

# 유도형 탄약의 4축 조종 날개 제어를 위한 Sensorless BLDC 전동기 구동시스템의 HILS를 통한 검증

이태형, 김상훈  
강원대학교 전기전자공학과

## A verification of a Sensorless BLDC Motor Drive System to Control 4-axis Fins for a Guided Artillery Muniton by HILS

Tae Hyung Lee, Sang Hoon Kim  
Kangwon National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 유도형 활공 탄약의 방향과 자세 제어를 위한 4축 조종 날개의 위치 제어용 Sensorless BLDC 전동기 구동 시스템을 개발하였다. HILS(Hardware in the loop system)를 이용하여 유도형 탄약의 발사 조건과 비행 환경을 시뮬레이션 하면서 비행 시 발생하는 공력 부하를 기구부로 재현하였고 이러한 조건하에서 4축 조종 날개의 위치 제어 특성을 확인함으로써 개발된 구동 시스템의 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

유도형 활공 탄약은 사거리와 타격 정밀도를 향상시키기 위해 정밀 유도 기술과 활공 개념을 도입한 초장사정 무기체계이다. 그림 1은 유도형 탄약의 구조가 보인다. 이러한 유도형 탄약의 성능은 비행에 따른 공력 부하 하에서 탄두에 위치한 상 위제어기 FCU(Flight control unit)으로부터 받은 4축 조종 날개의 위치 지령에 대한 추종 능력에 의존한다. 우수한 추종 능력을 얻기 위해 고신뢰성과 고성능의 조종 날개 위치 제어 시스템의 개발이 요구되며, 개발된 시스템의 실제적인 검증 방법도 필요하다. 본 논문에서는 먼저 4축 조종 날개 제어를 위해 비행 시 신뢰성 확보와 소형화가 가능한 Sensorless BLDC 전동기 구동시스템을 개발하였다. 연구 대상의 특성상 실제 시스템에서의 개발된 구동시스템의 검증은 어려우므로 본 논문에서는 다양한 비행 환경을 시뮬레이션 할 수 있는 HILS 환경을 구축하여 개발된 조종 날개 구동시스템의 성능을 검증할 수 있도록 하였다.

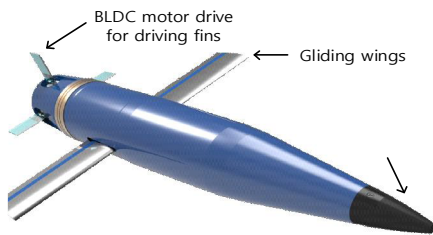


그림 1 유도형 탄약의 구조  
Fig. 1 Structure of a guided artillery muniton

### 2. 조종 날개 위치 제어시스템과 HILS

#### 2.1 조종 날개 위치 제어 시스템

4축 조종 날개의 한 축에 대해 개발된 위치 제어 시스템의 제어 블록이 그림 2에 보인다. BLDC 전동기의 Sensorless 기법으로는 시스템의 소형화를 위해 구현이 쉬운 Unipolar upper switching PWM 방식에서 역기전력의 ZCP(Zero crossing point)를 검출하여 상전환 신호를 추출하는 방법을 적용하였다.<sup>[1][2]</sup> 탄약의 상위 제어기인 FCU로부터 20 ms마다 4축 조종날개의 위치 추종 명령이 주어지면 현재 조종 날개의 위치와 변위를 계산해 지령 속도 패턴이 출력된다. Sensorless 제어기에서 역기전력의 ZCP로부터 추정된 속도를 사용하여 비례 적분제어기로 지령 속도 패턴에 따라 속도 제어를 수행한다. 최종적으로 전류 제어기는 속도 제어기의 출력인 전류 지령을 입력받아 전류 제어에 필요한 전압 지령을 출력하고 PWM 기법을 통해 전압을 생성한다.

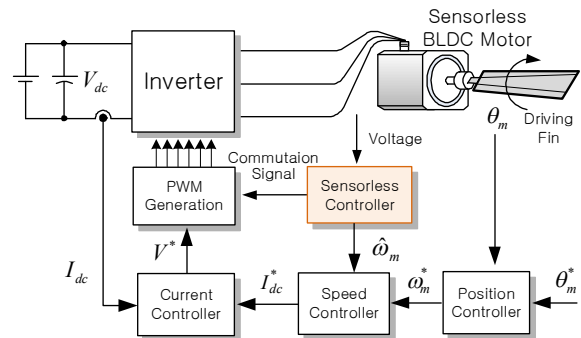


그림 2 한 축의 조종 날개에 대한 위치 제어 시스템  
Fig. 2 Position control system for a one-axis driving fin

#### 2.2 조종 날개의 제어 특성 검증을 위한 HILS

개발된 유도형 탄약의 조종 날개 위치 제어 시스템의 성능 평가를 위해 그림 3에 보이는 HILS를 구축하였다. HILS의 구성은 가상의 목표물 위치와 비행 환경을 재현하도록 Matlab 기반으로 운영되는 dSPACE 보드의 실시간 시뮬레이션 환경과 비행 시 발생하는 공력 부하를 재현해주는 장치(그림 4), 4축 조종 날개 세트와 개발된 조종 날개 제어를 위한 Sensorless BLDC 전동기 구동 시스템으로 되어있다.

구축된 HILS를 통한 검증 과정은 그림 5에 보이는 HILS의 운영도에 따라 실행하였다. 먼저 dSPACE 보드에 Matlab으로 설계된 유도형 탄약의 시뮬레이션 비행 환경을 설정한다. 이러한 가상의 시뮬레이션 비행 중 dSPACE 보드에서는 공력 부하

구현 장치로 4축 조종 날개에 비행에 따른 공력 토크를 발생을 위한 토크 지령을 주는 반면에, 조종 날개의 위치 제어 시스템으로는 목표물로의 유도 비행을 위한 자세 제어와 방향 제어에 필요한 조종 날개의 위치 지령을 발생한다. 이에 따라 공력 부하 구현 장치에서는 조종 날개에 공력 토크 지령에 해당하는 토크를 인가하고, 위치 제어 시스템은 공력 토크 하에서 위치 지령에 따라 조종 날개를 제어하면서 전체적인 실시간 비행 시뮬레이션이 수행된다.

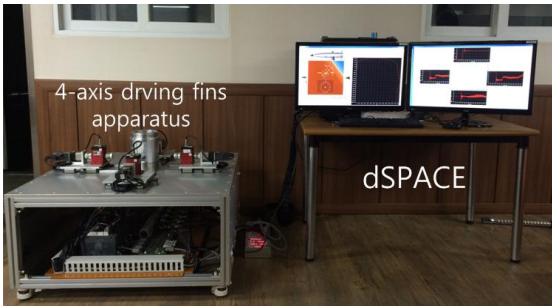


그림 3 HILS set의 구성  
Fig. 3 Configuration of a HILS set



그림 4 공력 부하 구현 장치  
Fig. 4 Apparatus for aero dynamic torque production

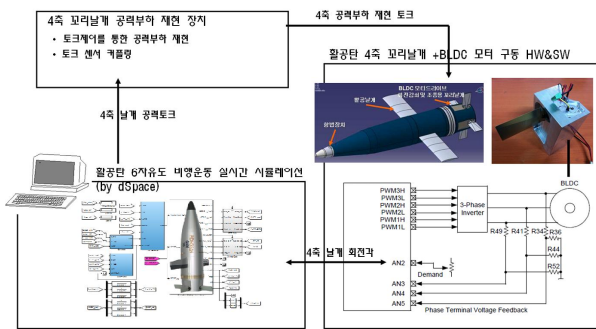


그림 5 HILS 시스템 운영도  
Fig. 5 Operation concept of HILS

### 3. 실험 결과

조종 날개 위치 제어 시스템을 위한 구동 전동기는 7.4V, 2.7A의 BLDC 전동기이며 감속기를 통해 조종 날개와 연결된다. 제어 시스템에 사용된 프로세서는 STMicroelectronics사의 STM32 F103이다. 구동 인버터의 스위칭 주파수는 20kHz이다.

그림 6은 유도 비행 시뮬레이션 동안 4축 조종 날개의 움직임 변위를 보이고 있다. 그림 7은 4축 조종 날개의 위치 제어 특성을 각각 보인다. 유도형 탄약 조종 날개의 위치 제어 요구

응답성인 150[degree/s]의 충족여부를 확인하는 실험을 위해 정현파 0.417Hz의 위치 지령을 내보내어 HILS를 통해 위치 제어 성능 확인하였다. 그림은 조종 날개의 위치 센서인 포텐서미터의 출력으로서 0.417Hz의 위치 지령을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.

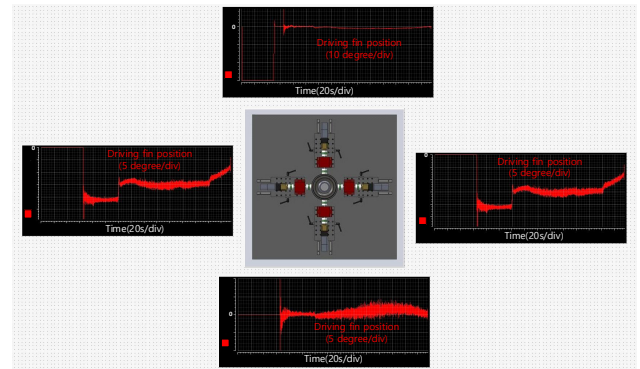


그림 6 유도 비행 시 4축 조종 날개 위치 변화  
Fig. 6 Position of fins during the flight

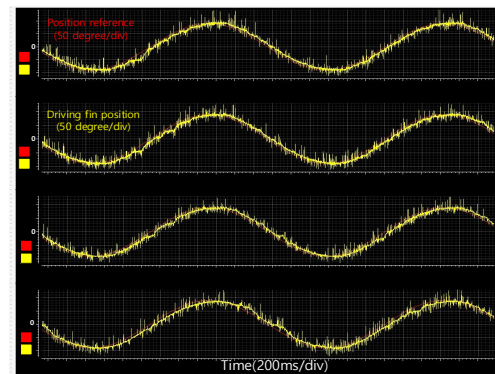


그림 7 HILS를 이용한 위치 제어 특성 검토  
Fig. 7 Position control performance by using HILS

### 4. 결론

본 논문에서는 Sensorless BLDC 전동기를 이용한 유도형 탄약의 4축 조종 날개 위치 제어 시스템을 개발하였다. 다양한 비행 환경에 대한 시험과 검증이 가능하도록 HILS를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 구축된 HILS를 통해 개발된 시스템의 위치 제어 성능을 입증하였다

### 참고 문헌

[1] Jianwen Shao, "An Improved Microcontroller Based Sensorless Brushless DC(BLDC) Motor Drive for Automotive Applications," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 42, no. 5, pp. 1216-1221, Sep/Oct., 2006.  
[2] Tae Hyung Lee, Sang Hoon Kim, Chang yoen Cho, Chang Ho Pak, and Jae Ho Kim, "Sensorless BLDC Motor Control to Drive Fins for Flight Attitude Control of a Guided Artillery Munition," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 116, No.4, pp. 342-348, Aug., 2014.