

# 밀리미터파 탐색기 2축 직구동 김발 서보 시스템의 직접 및 간접 시선안정화 성능 분석

## Analysis of Line of Sight Stabilization Performance based on Direct vs. Indirect of a 2-axis Gimbaled Servo System for Millimeter Wave Seeker

신 승 철\* · 이 성 용\*  
(Seungchul Shin · Sung-Yong Lee)

**Abstract** - Tracking and detecting targets by the millimeter wave seeker is affected by movement of platform. Stabilization equipments use an inertial sensor to compensate for disturbance of stabilizing gimbal or platform. In the direct line of sight stabilization system, an inertial sensor is mounted on inner gimbal to compensate the disturbance directly, so the performance is excellent and the implementation method is simple. However gimbal design requires somewhat larger volume. Since an inertial sensor is mounted on gimbal base in the indirect line of sight stabilization system, additional space of gimbal is not required for the gimbal design. However, this method does not directly compensate for the disturbance of the line of sight stabilization axis, which can degrade performance. In order to perform the tracking performance, two methods are analyzed for line of sight stabilization performance based on direct and indirect of a 2-axis gimbaled servo system for millimeter wave seeker in this study. The simulation and experimental results validate the performance comparison of two methods.

**Key Words** : Line of sight stabilization, Direct LOS, Indirect LOS, PI control, DC motor, 2-axis gimbal

### 1. 서 론

일반적으로 레이더 탐색기는 김발을 포함한 안테나 조립체, 송수신 조립체 및 신호처리 조립체로 구성되어 있고 안테나에서 송출된 후 표적으로부터 반사되어 돌아오는 전파를 수신하여 표적의 정보를 검출하는 기능을 수행한다.

밀리미터파 신호를 이용하여 표적을 탐지/추적하는 능동형태의 탐색기는 정밀 타격분야의 핵심 센서로서 세계 여러 국가에서 공대공, 지대공, 지대지, 함대함 등의 미사일에 폭넓게 활용되고 있다. 지대공 유도무기용(Surface-to Air) 밀리미터파 탐색기는 기존의 마이크로파 탐색기에 비해 광대역(Ka대역)의 주파수 특성과 안테나의 좁은 빔폭을 이용하여 표적의 거리 및 각도 등의 해상도를 높일 수 있다. 이런 장점을 이용하여 항공기 표적뿐만 아니라 고속이면서 불규칙적인 운동을 수행하는 탄도미사일(Ballistic Missile) 형상의 목표물도 직접요격(Hit-to-Kill)할 수 있는 정보를 제공한다[1]. 밀리미터파 탐색기(Millimeter wave seeker)의 안테나는 고속으로 움직이는 표적을 탐색 및 추적을 위해서 보다 정밀하고 slew rate가 높은 구동이 요구되며 플랫폼 외란에 대한 향상된 시선 안정화 기능을 갖추어야 한다. 내부의 서보 시스템은

탐색기에 장착되어 있는 안테나의 시선(Line of Sight)을 목표물에 추적하는 기능과 절대 공간 상에서 플랫폼의 외란에 대하여 안테나의 시선을 안정화하는 기능을 수행한다. 이를 위해 구조적으로 우수한 동특성을 가진 김발을 필요로 하며 내부김발 및 외부김발로 구성된 2축 김발구조의 경우 각각 방위각축(Azimuth axis) 및 고각축(Elevation axis)으로 정의한다. 이러한 시선 안정화 성능을 높이기 위하여 다양한 제어기법 등이 연구되어지고 있다[2-5].

움직이는 플랫폼의 외란에 대한 시선안정화를 위해서 관성센서를 이용한다. 직접(Direct) 시선안정화 방식에서는 관성센서를 김발내부에 장착하며, 간접(Indirect) 시선안정화 방식은 김발 베이스(Gimbal base)에 장착한다[6, 7].

직접 시선안정화 방식에서는 김발구동축에 장착되어 동체 외란을 직접 보상하게 되므로 성능이 우수하며 구현방식도 간단하여 보편적으로 사용되는 시선안정화 방식이다. 그러나 관성센서를 내부김발에 장착하게 되므로 다소 큰 부피를 요구하게 되는 단점이 있다. 간접 시선안정화 방식은 관성센서가 김발 베이스에 장착되고 김발축에 장착된 위치센서와 혼용하여 외란을 간접적으로 보상하여 시선안정화를 하게 된다. 이는 김발에 추가적인 관성센서를 장착하지 않으므로 김발의 추가적인 공간을 요구하지 않는 반면 시선안정화 축의 외란을 직접적으로 측정하여 보상하는 방식이 아니므로 성능저하를 초래하게 된다.

본 논문에서는 2축 김발 및 서보 제어용 하드웨어를 구성하여 직접 및 간접 구동 방식의 시선안정화 성능을 비교 분석하고 시

† Corresponding Author : Power Control Team, Hanwha Systems Co., Ltd.

E-mail : seungchul11.shin@hanwha.com

\* Dept. of Power Control team, Hanwhasystems Co., Ltd.

Received : August 30, 2018; Accepted : October 22, 2018

물레이션 및 실험을 통해 두 가지 시선안정화 방법에 대한 성능 비교를 검증한다[8, 9].

## 2. 밀리미터파 탐색기 서보 시스템

### 2.1 밀리미터 웨이브 탐색기 김발

그림 1은 제안된 밀리미터파 탐색기용 김발(Gimbal)을 나타낸 것이다. 제안된 밀리미터파 탐색기의 김발 구조물은 안테나를 방위각, 고각 방향으로 회전운동하기 위하여 2축 김발 구조로 이루어져 있으며 각 축은 정밀 각도 측정을 위해서 안테나 각 구동축에 회전 각도를 추출하는 센서인 레졸버가 장착되어 있다. 안테나의 넓은 시야 확보를 위해서는 김발의 회전각 확보가 필수적이고 안테나 신호 수신 및 신호 정보 획득을 위한 안테나 구동축과 각 축의 모터가 장착되어 있다. 2축으로 구동하기 위한 모터는 직류 전동기(DC motor)를 사용하였으며 안테나 장착 마운트 하단에 자이로를 장착하여 플랫폼의 움직임으로부터 안테나의 움직임을 분리하는 시선 안정화 기능을 수행하는데 사용된다.



그림 1 제안된 밀리미터 웨이브 탐색기 김발  
Fig. 1 Proposed gimbal for millimeter wave seeker

그림 2는 안테나의 시선 확보를 위한 김발의 최대 움직임을 나타낸 것이다. 안테나의 시선 축을 기준으로 방위각, 고각 축의 최대 구동 각도 및 김발의 좌표계를 나타내었다. 안테나의 시선을 X축으로 정의하고 구동 중심축에서 Z축 중심으로 회전을 방위각, Y축 중심으로 회전을 고각으로 정의하였다.

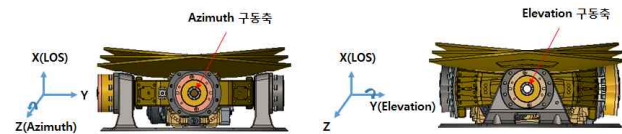


그림 2 탐색기 김발 구동축 좌표계  
Fig. 2 Driving structure of 2-axis gimbal coordinate system

### 2.2 하드웨어 구성 및 특성

서보시스템을 구성하고 있는 제어기의 구성은 그림 3과 같이 크게 서보제어모듈과 서보증폭모듈로 나누어져 있다. 서보제어모

듈은 레졸버, 자이로 등의 센서 인터페이스를 통해 얻은 센서 정보를 신호 처리하여 서보제어 알고리즘을 수행한다. 또한 외부 장비와 연동하여 사용자가 원하는 각도 명령 및 운용 모드를 수신 하고 그에 따른 김발의 움직임을 제어 하며 현재 안테나가 지향하는 각도 및 상태를 전송한다. 또한 빠른 응답 특성과 제어 정밀도 향상을 위한 실시간 제어를 수행하기 위해서 고속의 DSP(TMS320F28335)를 사용하여 하드웨어를 구성하였다. 서보증폭모듈은 방위각, 고각 두 축을 각각 구동하는 브러시형 DC 모터를 구동 하는 기능을 수행한다.



그림 3 서보 시스템 하드웨어 구성  
Fig. 3 Hardware configuration of servo system

### 2.3 제어기 구성 및 특성

제안된 탐색기용 서보제어기 블록도는 그림 4와 같다. 서보제어기는 안테나로부터 전송받은 목표물의 정보를 이용하여 신호 처리의 결과로부터 인가되는 각도 지정 명령을 지정 각도로 고속, 정밀하게 제어하는 각도지정(Designation)루프, 외부의 플랫폼에 움직임에도 시선을 안정화하는 것을 담당하는 안정화(Stabilization)루프로 구성 되어 있다.

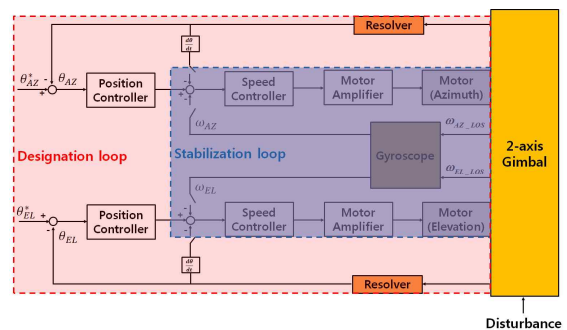


그림 4 서보 시스템 제어기 블록도  
Fig. 4 Control configuration of servo system

비례-적분 제어기는 산업현장에서 가장 많이 쓰이며 간단하고 직관적으로 이득을 조정할 수 있는 제어기법이며 각도지정 루프

및 안정화 루프 제어기 모두 비례-적분 제어기가 사용되었다 [10,11]. 안정화 루프는 안테나에 장착된 자이로에 의해서 관성 평면상 안테나의 방위각, 고각 축의 회전량을 측정한다. 즉 2축 김발에 인가되는 플랫폼의 움직임 외란과 안테나 시선의 움직임을 분리하는 기능을 수행한다. 제안된 시선 안정화 성능은 1Hz에서 플랫폼 모션에 대한 안테나 움직임은 1%미만으로 요구되었고 제안된 제어기의 안정화 루프는 -40dB 이상의 동체 절연 효과를 기대할 수 있도록 설계하였다.

### 3. 시스템 모델링 및 서보제어 시선 안정화 비교

#### 3.1 시스템 모델링

직류 모터 및 김발의 동역학식은 아래와 같이 상태 방정식 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(-B\omega + K_t i - T_L) \\ \dot{i} &= \frac{1}{L}(v - Ri + K_b \omega) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $v$ 와  $i$ 는 각각 전압[V] 및 전기자 권선의 전류[A]이다.  $R$ 은 전기자 권선의 저항[Ω],  $L$ 은 전기자 권선의 인덕턴스[H]이며,  $\theta$ 는 회전자의 각도[rad],  $\omega$ 는 회전자의 각속도[rad/s],  $B$ 는 마찰계수 [N·m·s/rad],  $K_t$ 는 토크상수[N·m/A],  $J$ 는 전동기의 관성[Kg·m<sup>2</sup>],  $T_L$ 은 부하 토크[N·m]이다.

#### 3.2 직접 및 간접 시선안정화 방식 비교

직접 시선안정화 방식에서는 관성센서를 내부김발에 장착하여 시선안정화 축의 외란을 측정하여 안정화 루프를 통해 이를 제거하여 보상한다. 직접 시선안정화 방식을 그림 5와 같이 구성하여 나타낼 수 있다.

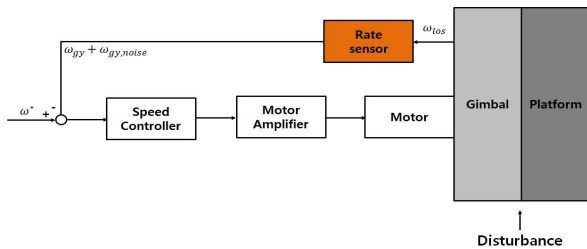


그림 5 직접 시선안정화 제어기 블록도  
Fig. 5 Control configuration for direct LOS stabilization

그림 5로부터 직접 시선안정화 오차를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} e_\omega &= \omega^* - \omega_{gy,los} \\ \omega_{gy,los} &= \omega_{gy} + \omega_{gy,noise} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\omega^*$ 는 각속도 명령이고  $\omega_{gy}, \omega_{gy,noise}$ 는 각각 관성센서를 통한 각속도 측정값 및 관성센서의 노이즈로 분리할 수 있다. 제어기로부터의 모터 입력을 다음과 같이 PI제어기로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} u &= K_p e_\omega + K_i \int e_\omega \\ &= K_p (\omega^* - (\omega_{gy} + \omega_{gy,noise})) \\ &\quad + K_i \int (\omega^* - (\omega_{gy} + \omega_{gy,noise})) \end{aligned} \quad (3)$$

간접 시선안정화 방식은 관성센서가 김발 베이스에 장착되고 김발에 장착된 위치센서를 같이 이용하여 외란을 간접적으로 보상하여 시선안정화를 하게 된다. 김발 베이스에 장착된 관성센서가 외란을 측정하고, 위치센서 값을 미분하여 각속도를 추정하여 서로 상쇄시켜 시선안정화를 하게 된다. 간접 시선안정화 방식을 그림 6와 같이 구성하여 나타낼 수 있다.

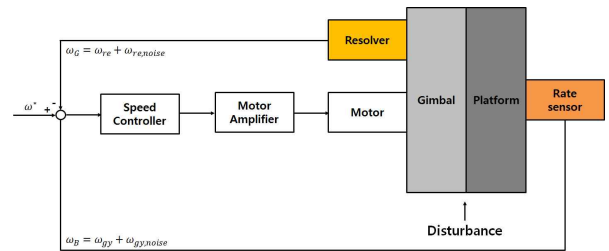


그림 6 간접구동방식 안정화제어기 블록도  
Fig. 6 Control configuration for indirect LOS stabilization

그림 6로부터 간접 시선안정화 오차를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} e_\omega &= \omega^* - (\omega_B + \omega_G) \\ \omega_B &= \omega_{gy} + \omega_{gy,noise} \\ \omega_G &= \omega_{re} + \omega_{re,noise} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $\omega^*$ 는 각속도 명령이고  $\omega_B, \omega_G$ 는 각각 관성센서를 통한 각속도 측정값 및 레졸버 각도를 미분하여 얻은 각속도 추정값이다.  $\omega_{re}, \omega_{re,noise}$ 은 각각 레졸버를 통한 각속도 추정값 및 각도 미분에 의한 노이즈 성분으로 분리할 수 있다. 제어기로부터의 모터 입력을 다음과 같이 PI제어기로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} u &= K_p e_\omega + K_i \int e_\omega \\ &= K_p (\omega^* - (\omega_{gy} + \omega_{gy,noise} + \omega_{re} + \omega_{re,noise})) \\ &\quad + K_i \int (\omega^* - (\omega_{gy} + \omega_{gy,noise} + \omega_{re} + \omega_{re,noise})) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (2), (4)에서와 같이 각 센서는 노이즈 성분을 포함한다. 또한, 직접 시선안정화 방식에서는 관성센서의 노이즈만 포함되어 있는 반면, 간접 시선안정화 방식에서는 관성센서 노이즈뿐만 아니라 레졸버의 미분에 의한 노이즈가 포함되어 있어 안정화 성능

에 저하를 초래한다.

### 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

#### 4.1 시뮬레이션 결과

본 논문에서 분석하였던 직접 및 간접 시선안정화 방식의 성능 비교를 위하여 그림 7과 같이 MATLAB/Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템 매개변수 및 제어 파라미터는 표 1에 나타내었다.

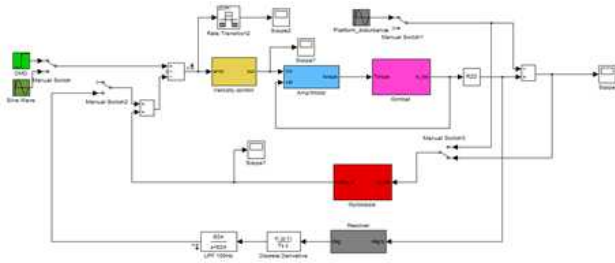


그림 7 서보 시스템 시뮬레이션 모델링  
Fig. 7 Simulation modeling configuration for servo system

표 1 모터, 김발, 제어기 파라미터  
Table 1 Motor, gimbal and controller parameter

	제원	값	단위
DC 모터 및 김발 매개변수	$R$	7.8	$\Omega$
	$L$	0.84	H
	$J$	0.002	$\text{Kg}\cdot\text{m}^2$
	$B$	0.005	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$
PI 제어 파라미터	$K_i$	0.029	$\text{N}\cdot\text{m}/\text{A}$
	$K_p$	1	
	$K_f$	40	

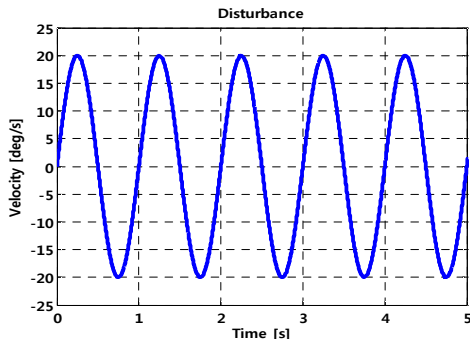


그림 8 정현파 외란 입력(simulation)  
Fig. 8 Sinusoidal disturbance input(simulation)

시뮬레이션은 그림 8과 같이 20[deg/s]의 1Hz 정현파 외란을 인가하여 수행하였다. 관성센서 노이즈는 실효값으로 약 0.08 [deg/s]로 설정하였다. 리졸버의 양자화 잡음(Quantization noise)은 약 0.0055 [deg]로 설정하였다.

외란 입력에 대한 직접 및 간접 시선안정화 방식에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 9-12에 나타내었다. 그림 9, 10을 살펴보면 직접 시선안정화 방식에 비해 간접 시선안정화 방식에서 안정화 오차가 매우 크게 나타났으며 실효값 기준으로 직접 시선안정화 방식은 0.14 [deg/s], 간접 시선안정화 방식은 0.91 [deg/s]로 약 6.5배 차이를 나타내었다.

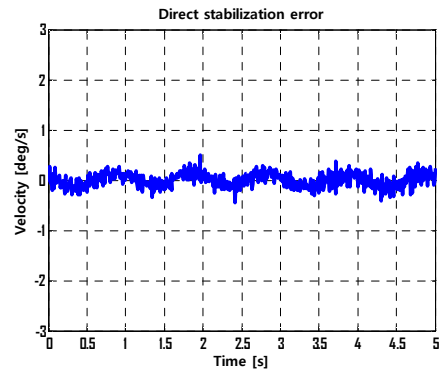


그림 9 직접 시선안정화 방식 안정화 오차  
Fig. 9 Direct LOS stabilization error

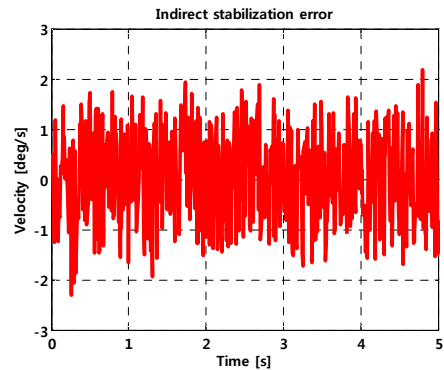


그림 10 간접 시선안정화 방식 안정화 오차  
Fig. 10 Indirect LOS stabilization error

그림 11, 12는 안정화 오차에 대한 고속 푸리에 변환한 결과를 나타내었다. 그림 11과 같이 직접 시선안정화 방식의 안정화 오차는 외란과 같은 1 Hz에서 약 0.12의 진폭을 타나낸 반면, 간접 시선안정화 방식에서는 그림 12와 같이 여러 주파수 대역에서 매우 큰 안정화 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 간접 시선안정화 방식에서는 직접 시선안정화 방식에 비해 매우 큰 노이즈 성분이 포함되어 나타나는 현상임을 알 수 있다.

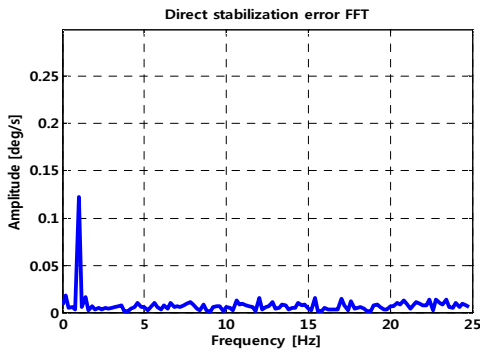


그림 11 직접 시선안정화 방식 안정화 오차 FFT  
Fig. 11 Direct LOS stabilization error FFT

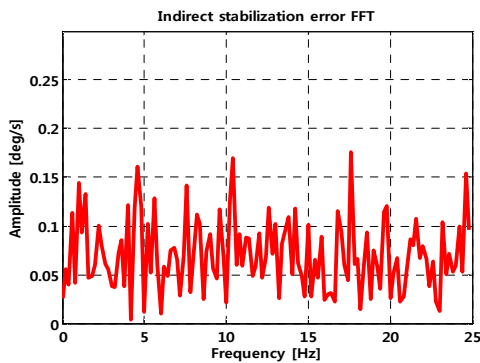


그림 12 간접 시선안정화 방식 안정화 오차 FFT  
Fig. 12 Indirect LOS stabilization error FFT

4.2 실험 결과

본 논문에서 분석하였던 직접 및 간접 시선안정화 방식의 성능 비교를 위하여 실험을 수행하였다. 시스템 매개변수 및 제어 파라미터는 시뮬레이션에서 수행되었던 값과 동일하다. 시험 장비를 이용하여 그림 13과 같이 20[deg/s]의 1 Hz 정현파 외란을 인가하여 수행하였다.

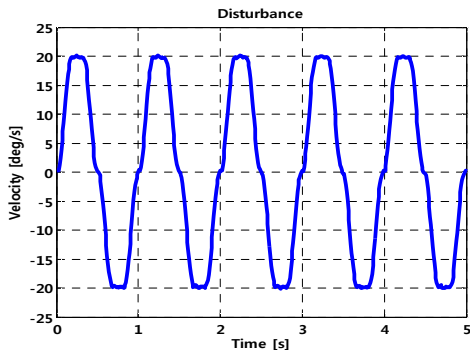


그림 13 정현파 외란 입력  
Fig. 13 Sinusoidal disturbance input

빠른 응답 특성과 제어 정밀도 향상을 위한 실시간 제어를 수행하기 위해서 고속의 DSP(TMS320F28335)를 사용하여 하드웨어를 구성하였다. 또한 제어 알고리즘은 Code Composer Studio를 이용하여 C언어로 코딩하였다.

외란 입력에 대한 직접 및 간접 시선안정화 방식에 대한 실험 결과를 그림 14-17에 나타내었다. 그림 14, 15을 살펴보면 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 직접 시선안정화 방식에 비해 간접 시선안정화 방식에서 안정화 오차가 매우 크게 나타났으며 실효값 기준으로 직접 시선안정화 방식은 0.16 [deg/s], 간접 시선안정화 방식은 0.92 [deg/s]로 약 5.75배 차이를 나타내었다.

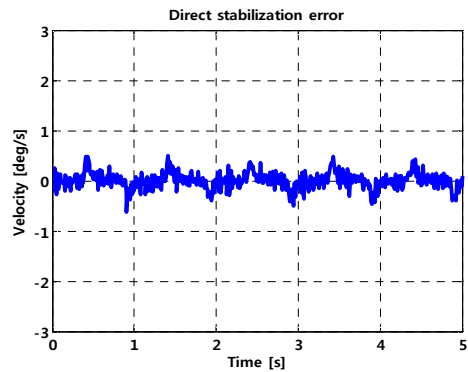


그림 14 직접 시선안정화 방식 안정화 오차  
Fig. 14 Direct LOS stabilization error

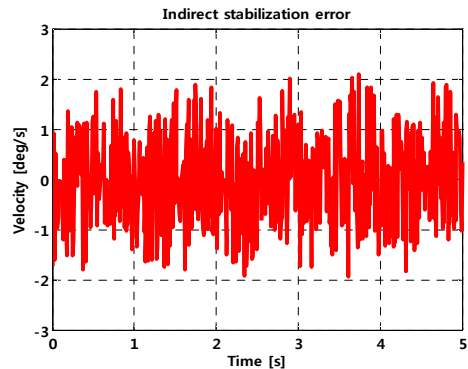


그림 15 간접 시선안정화 방식 안정화 오차  
Fig. 15 Indirect LOS stabilization error

그림 16, 17은 안정화 오차에 대한 고속 푸리에 변환한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 그림 16과 같이 직접 시선안정화 방식의 안정화 오차는 외란과 같은 1Hz에서 약 0.13의 진폭을 타나낸 반면, 간접 시선안정화 방식에서는 그림 17과 같이 여러 주파수 대역에서 매우 큰 안정화 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 시뮬레이션 결과에서 분석된 결과와 마찬가지로 간접 시선안정화 방식에서는 직접 시선안정화 방식에 비해 큰 노이즈 성분이 포함되어 나타나는 현상임을 알 수 있다.

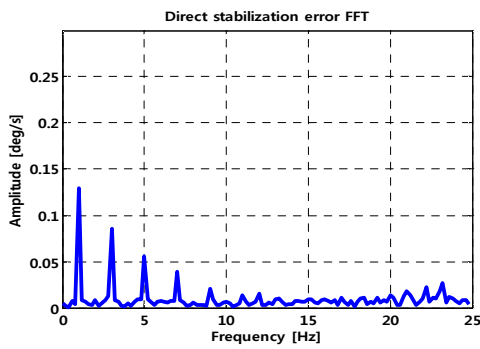


그림 16 직접 시선안정화 방식 안정화 오차 FFT  
 Fig. 16 Direct LOS stabilization error FFT

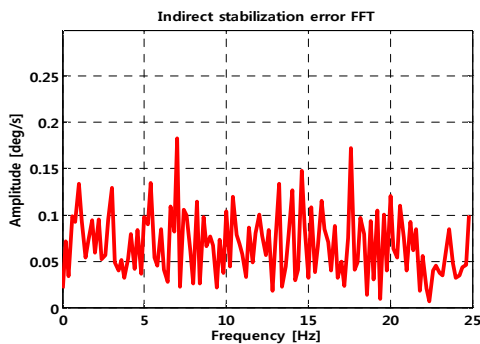


그림 17 간접 시선안정화 방식 안정화 오차 FFT  
 Fig. 17 Indirect LOS stabilization error FFT

### 5. 결 론

본 논문에서는 직접 및 간접 구동 방식의 시선안정화 성능을 비교 분석하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 두 가지 시선안정화 방법에 대한 성능 비교를 검증하였다. 직접 시선안정화 방식에서는 시선안정화 축에 장착되어 외란을 직접 보상하게 되므로 주로 사용되고 있으며 구현방식 또한 간단하다. 그러나 관성센서를 내부김발에 장착하게 되므로 다소 큰 부피를 요구하게 되는 단점이 있다. 간접 시선안정화 방식은 관성센서가 김발 베이스에 장착되고 김발에 장착된 위치센서를 같이 이용하여 외란을 간접적으로 보상하여 시선안정화를 하게 된다. 이는 김발에 관성센서를 장착하지 않으므로 김발 크기를 감소할 수 있다. 그러나 직접 시선안정화 방식에서는 관성센서의 노이즈만 포함되어 있는 반면, 간접 시선안정화 방식에서는 관성센서 노이즈뿐만 아니라 레졸버의 미분에 의한 노이즈가 포함되어 있어 안정화 성능에 저하를 초래한다. 시뮬레이션 및 실험 결과를 통해 직접 시선안정화 방식에 비해 간접 시선안정화 방식에서 안정화 오차가 매우 큰 것을 확인하였다.

시뮬레이션 및 실험을 통해 분석된 결과와 마찬가지로 간접 시선안정화 방식에서는 직접 시선안정화 방식에 비해 큰 노이즈 성분이 포함되어 나타나는 현상임을 알 수 있다. 또한 김발의 크

기가 제한적인 조건에서 관성센서를 김발내부에 장착하지 못하는 경우, 안정화 오차 규격이 실효값 기준 약 7% 이내를 허용한다면 간접 시선안정화 방식이 적용 가능하다. 그러나 실험 결과 실효값 기준 직접 시선안정화 방식에서는 안정화 오차가 약 1.1%인 반면 간접 시선안정화 방식에서는 약 6.5% 이므로 직접 시선안정화 방식에 비해 간접 시선안정화 방식의 안정화 성능이 현저히 저하되는 것을 알 수 있다.

### References

- [1] M. R. Nicholls, and C. A. Rowatt, "A millimeter wave integrated seeker subsystem for guided weapons", *Microwave Exhibitions and Publishers*, pp. 179-184, 1986.
- [2] S. Liu, H. Che and L. Sun, "Research on stabilizing and tracking control system of tracking and sighting pod", *Journal of Control Theory and Applications*, Vol. 10, no. 1, pp. 107-112, 2012.
- [3] F. Liu and H. Wang, "Fuzzy PID tracking controller for two-axis airborne optoelectronic stabilized platform", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 13, no. 4, pp. 1307-1322, 2017.
- [4] Nourallah Ghaeminezhad, Wang Daobo, Fahad Farooq, "Stabilizing a Gimbal Platform using Self-Tuning Fuzzy PID Controller", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 93, 2014.
- [5] K. Bansal and L. Dewan, "Stabilization of a gimbal system using PID control and compensator - a comparison", *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communications*, Vol.2, No.1, January 2014, pp.5-8.
- [6] A. K. Rue, "Stabilization of precision electro-optical pointing and tracking systems", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. AES-5, pp. 805-819, Sept. 1969.
- [7] Peter J. Kennedy and Rhonda L. Kennedy, "Direct Versus Indirect Line of Sight (LOS) Stabilization", *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, Vol. 11, no. 1, pp. 3-15, Jan 2003.
- [8] P. C. Krause, *Analysis of Electric Machinery*, McGraw-Hill, 1986.
- [9] S. H. Kim, *DC & AC Motor Control*, Bogdoo, 2007.
- [10] M. Moradi, A. Ahmadi, and S. Abhari, "Optimal control based feedback linearization for position control of dc motor", in *Proc. IEEE. Int. Conf. Adv. Computer Contr.*, 2010, pp. 312-316.
- [11] J. B. Hea, Q. G. Wang, and T. H. Leeb, "PI/PID controller tuning via LQR approach", *Chemical Eng. Science*, Vol. 55, pp. 2429-2439, July 2000.

---

저 자 소 개



**신 승 철 (Seungchul Shin)**

2014년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사).  
2014년 1월~현재 한화시스템(주) 전원제어  
팀 선임연구원.

Tel: 031-8020-7573

Fax: 031-8020-7889

E-mail: seungchul11.shin@hanwha.com



**이 성 용 (Sung-Yong Lee)**

2003년 금오공과대학교 전자제어공학과 졸  
업(석사). 2002년 8월~현재 한화시스템(주)  
전원제어팀 수석연구원.

Tel: 031-8020-7570

Fax: 031-8020-7889

E-mail: sy0103.lee@hanwha.com