

EOTS에서의 동조자이로스코프의 동작모드에 따른 특성비교

Characteristics Comparison According to Operating Mode of Dynamically Tuned Gyroscope in the Electro-Optical Tracking System

임성운, 마진석, 권우현
(Sung Woon Im, Jin Suk Ma, Woo Hyen Kwon)

Abstract : DTG(dynamically tuned gyroscope) is a sensor detecting disturbance in angle velocity control loop of EOTS(electro optical tracking system), which is used for the stabilization of gimbal. DTG is classified into rate mode or rate integrated mode according to operating mode. In this paper, basic principles and characteristics of DTG, depending on to operating mode, are compared and the model of rate integrated mode DTG is proposed. Also, the validity of the presented model is verified by computer simulations and experiments.

Keywords : dynamically tuned gyroscope, electro optical tracking system, rate mode, rate integrated mode, non-linear column friction

I. 서론

자이로스코프는 관성 좌표계에 대한 항체(vehicle)의 상대적인 회전각이나 각속도를 측정하여 항체의 회전운동에 대한 정보를 제공함으로써 각속도계와 더불어 항체의 위치, 속도, 자세등을 추정 또는 제어할 수 있게 하여주는 관성센서중의 하나이다. 현재 사용되고 있는 자이로스코프 중에서 동조자이로스코프(dynamically tuned gyroscope: DTG)는 다른 자이로스코프들에 비해 정밀도는 다소 떨어지지만 가격이 싸고 부피가 적으며, 기계적으로 간단하고 특히 동작 범위가 넓어서 초정밀을 요하지 않는 시스템에서 더욱 많이 채택되는 추세이다[1-3].

전자광학추적기(electro optical tracking system: EOTS)는 관측자에게 목표물을 인식하게하여 이동하는 목표물을 자동적으로 추적하면서 목표물에 대한 안정된 시선(line of sight: LOS)을 제공할 뿐만 아니라 표적의 위치, 속도, 가속도 등의 표적정보를 제공해주는 장치로서 영상센서부, 영상추적부 및 안정화구동부로 구성되어 있다. 이중 안정화구동부는 EOTS를 탑재한 차량 등에 의한 외란을 차단하기 위하여 짐발에 장착된 자이로스코프로부터 짐발 주위의 외란 정보를 검출하여 제환제어함으로써 LOS를 유지하도록 하는 역할을 한다. 이러한 EOTS에서 사용되고 있는 DTG는 회전 각속도 정보를 감지하는 속도모드(rate mode)와 회전 각 변위 정보를 감지하기 위한 속도적분모드(rate integrated mode)로 사용될 수 있다.

속도모드에서 DTG는 외부에서 인가되는 각속도신호에 비례하여 자이로스코프의 관성휠(inertia wheel)이 편류되고 그 편류량을 자이로스코프의 픽업이 감지하여 출력한다. 그리고 편류된 자이로스코프의 관성휠을 원래의 위치로 되돌려 주기 위하여 재평형루프(rebalance loop)라고 하는 전자부에서 자이로스코프 내부의 토크모터를 구동시키게 된다.

속도적분모드에서 DTG는 외부의 각속도입력이 자이로스코프에 인가되면 각속도신호를 적분한 양에 비례하여 자이로스코프의 관성휠이 편류한다. 이것이 속도모드와 다른 특성이고 속도모드에서의 자이로스코프 출력신호가 각속도신

호인데 반하여 속도적분모드에서는 각도신호가 된다. 그러나 속도적분모드에서는 속도모드에서 자이로스코프 전자부가 수행하던 재평형 동작을 하지 않는 대신 이러한 재평형 동작을 플랫폼 역할을 하는 외부짐발이 수행하게 된다. 즉 외란에 의해 편류된 자이로스코프의 관성휠은 픽업으로 그 편류량을 외부로 보내고 그 신호를 사용하여 편류의 반대방향으로 플랫폼 역할을 하는 외부짐발에 부착된 모터를 구동하여 관성휠을 원래의 위치로 이동시킨다[4-7].

본 논문에서는 EOTS에서 주로 사용하는 DTG를 속도모드와 속도적분모드에 따라 기본 동작원리 및 특성을 비교 분석하고, 기존에 사용되던 간단한 2차 시스템 모델링 대신에 자이로스코프와 전자부까지 포함된 속도적분모드 DTG의 시스템 모델을 정확하게 제시하였다. 그리고 실제적으로 EOTS에서 속도적분모드 DTG를 사용할 때와 속도모드 DTG를 사용할 경우의 차이점을 비교하였으며, 또한 EOTS에서 DTG를 사용할 경우 문제점을 분석 정리하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 위하여 사용한 소프트웨어는 MATLAB의 simulink이다.

II. 본론

1. 동조자이로스코프

DTG의 구조적 특징으로는 FRIG(Floated Rate Integrating Gyro)의 float에 해당되는 부분이 없으며, DTG 회전자는 유니버설 조인트(universal joint) 형태를 갖는 지지기구(suspension element)에 의해 모터의 회전축과 연결되어 회전축과 함께 회전하게 된다. 그러므로 회전자와 짐발은 모터의 회전속도와 그들의 관성에 의해 결정되는 각 운동량을 가지게 된다. 따라서 외부로 부터 각속도입력이 들어오게 되면 케이스와 회전축은 그 들어온 각도만큼 기울어지게 되지만 회전자는 관성공간에 대해 원래의 자세를 유지하려고 하게 된다. 따라서 회전자는 회전축 및 케이스에 대하여 가해진 입력만큼 기울어지게 되고 따라서 회전자는 비틀림자로 부터 스프링효과에 의한 힘을 받는다. 또한 회전자는 회전하는 회전자와 짐발의 역학적인 효과에 의해 음의 스프링 효과에 의한 힘을 받게 되는데 이 효과의 크기를 나타내는 음의 스프링 계수의 크기는 회전자의 회전속도의 제곱에 비례한다. 따라서 회전자의 회전속도가 증가함에 따라 음의 스프링 계수가 점점 증가하여 마침내는 원래 탄성체인 비틀

립자의 양의 탄성계수와 그 크기가 같아져서 회전자와 회전축 사이의 스프링 결합률이 영(zero)이 되는데 이와같은 상태를 동조(tuned)상태라 하고, 이때의 주파수를 동조주파수(tuning frequency)라 하며, 다음과 같다.

$$N = \sqrt{\frac{K_x + K_y}{J_x + J_y - J_z}} \quad (1)$$

여기서 N은 동조주파수, K_x, K_y 는 비틀림자의 탄성계수, J_x, J_y, J_z 는 짐발의 관성모멘트이다.

따라서 짐발의 관성모멘트와 회전주파수가 (1)과 같은 관계가 될 경우 비틀림자에 의한 탄성토크와 짐발의 관성모멘트가 서로 상쇄되어 외부의 움직임에 의해 자이로스코프의 회전자는 외란을 받지 않으므로 자유 회전자(free rotor)의 특성을 갖게 된다. 따라서 (1)과 같은 동조조건을 만족하도록 설계된 자이로스코프를 동조자이로스코프라 하며, 그림 1은 자이로스코프 블록선도이다. 그림에서 H는 회전자의 운동량이며, K_m 은 회전 토크계수이고 J는 결합 관성량이다. 그리고 그림에서 상자안에 표시된 숫자는 입력과 출력의 번호를 나타낸다.

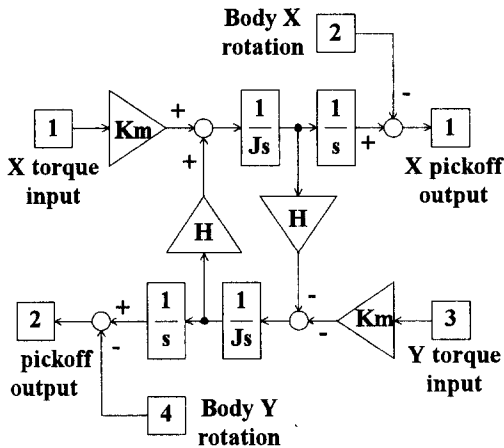


그림 1. 자이로스코프 블록선도.
Fig. 1. Block diagram of gyroscope.

X축 토크 입력에 대한 자이로스코프 자체의 출력은 (2)와 같으며, X축 몸체의 변화에 대한 자이로스코프 자체의 출력 특성은 (3)과 같다.

$$\frac{X \text{ pickoff}}{X \text{ torque}} = \frac{JK_m}{J^2s^2 + H^2}, \quad \frac{Y \text{ pickoff}}{X \text{ torque}} = -\frac{K_m H}{s(J^2s^2 + H^2)} \quad (2)$$

$$\frac{X \text{ pickoff}}{X \text{ body}} = 1, \quad \frac{Y \text{ pickoff}}{X \text{ body}} = 0 \quad (3)$$

위의 (2)에서 보면 자이로스코프의 출력은 토크 입력에 대한 X축과 Y축이 결합되어 나타난다. 그러나 몸체의 변화에 대해서는 X축과 Y축이 서로 독립적임을 (3)에서 알 수 있으며 Y축에 대해서도 같은 관계임을 찾을 수 있다.

본 논문에서 사용한 자이로스코프는 DTG의 하나인 SAGEM사 제품인 GSL82-21을 사용하였으며 GSL82-21 모델에서 사용한 변수는 표 1과 같다[7].

따라서 표 1의 변수를 사용하여 자이로스코프 자체의 주파수 응답은 그림 2와 같으며, X축과 Y축으로 몸체가 변화할 경우에는 변화분이 그대로 자이로스코프 출력으로 나타난다. 반면 토크 입력에 대해 실제 사용되고 있는 주파수 대역인 낮은 주파수에서는 X축 입력에 대해서 Y축 출력은 크게 나타나나 X축 출력은 거의 무시할 수 있으므로 X축과 Y축은 서로 결합되어 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 토크

입력에 대해서는 자이로스코프 출력이 적분기 형태로 동작하며, 약 500Hz 근방에서 공진하고 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. GSL82-21 자이로스코프 모델 및 성능사항.
Table 1. GSL82-21 gyroscope model and performance.

Model		
H(Kinetic momentum)	$8420 \times 10^{-7} \text{Kgm}^2 \text{rad/s}$	
J(Cross inertia)	$2.44 \times 10^{-7} \text{Kgm}^2$	
K_m (Torque efficiency)	$64 \times 10^{-7} \text{mN/A}$	
Performance		
Range	Continuous	$\pm 500^\circ/\text{s}$
	Transient	$\pm 1500^\circ/\text{s}$
Drift	g. insensitive drift	$\leq \pm 0.01^\circ/\text{s}$
	day-to-day drift	$< \pm 0.01^\circ/\text{s}$
	temp. sensitivity	$\leq \pm 1.5^\circ/\text{h}/^\circ\text{C}$
	g. sensitive drift	$\leq \pm 0.03^\circ/\text{s/g}$

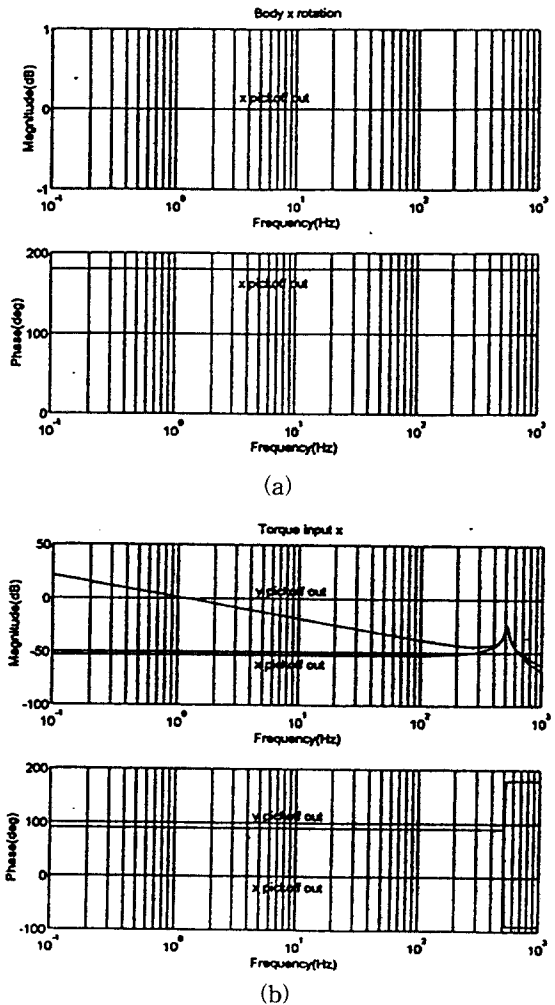


그림 2. 자이로스코프의 주파수 응답(X축).
(a) 몸체변화, (b) 토크입력.
Fig. 2. Frequency responses of gyroscope(X axis).
(a) body variation, (b) torque input.

2. DTG의 동작모드에 따른 특성분석

DTG는 각속도 정보를 감지하기 위한 속도모드와 각도 정보를 감지하기 위한 속도적분모드로 사용될 수 있다. 이러

한 DTG 동작모드의 선택은 자이로스코프와 함께 사용되는 전자부(electronics)에서 모드 선택 단자와 약간의 외부 회로 변경으로 쉽게 전환될 수 있지만, 동작모드에 따라 자이로스코프 내부의 제어신호흐름과 외부의 출력정보의 단위가 달라지므로 각각의 동작모드에 따라 자이로스코프의 성능을 비교 분석하고, 향후 자이로스코프의 응용시 최적의 동작상태를 결정할 수 있도록 하여야 한다.

2.1 속도모드 DTG

일반적인 전자광학추적기는 각속도제어루프와 각도제어루프를 가지고 있으며, 자이로스코프는 각속도제어루프내에서 외란의 각속도를 감지하여 짐발(gimbal)을 안정화시키기 위하여 사용되며 속도모드를 가지는 DTG와 짐발과의 신호흐름은 그림 3과 같다.

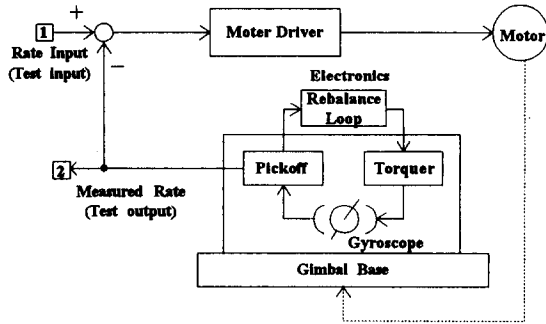


그림 3. 속도모드 DTG와 짐발의 신호흐름도.
Fig. 3. Signal flowchart of rate mode DTG and gimbal.

속도모드 DTG는 외부에서 인가되는 각속도 신호에 비해하여 자이로스코프의 관성휠이 편류되고 그 편류량을 자이로스코프의 픽업이 감지하여 자이로스코프 외부로 전압신호를 출력하게 된다. 이때 자이로스코프의 전자부에서는 외부 출력 신호량에 비해하는 음극성의 신호를 자이로스코프 내부의 토크모터에 인가하여 편류된 자이로스코프의 관성휠을 원래의 위치로 되돌려 주게 된다. 이것을 수행하는 부분을 재평형루프라고 하며, 속도모드에서 자이로스코프를 사용할 때 반드시 필요한 부분이 된다. 따라서 자이로스코프가 속도모드로 동작할 경우는 재평형루프를 내부 계환으로 사용하여 짐발의 회전속도를 검출하는 안정된 각속도검출기가 되고, 일반적인 동작영역에서는 단순한 2차 시스템으로 모델링되어질 수 있다. 그러나 검출이득이 떨어지므로 정밀 제어에는 어려움이 따른다.

2.2 속도적분모드 DTG

2.2.1 구성

속도적분모드 DTG를 이용하여 짐발과 함께 각속도제어루프를 구성하면 그림 4와 같은 신호흐름선도를 가지게 된다. 속도적분모드 DTG에서는 속도모드 DTG에서 자이로스코프 전자부가 수행하던 재평형 동작을 하지 않으며, 이 재평형동작을 짐발이 수행하게 된다. 즉 자이로스코프 자체가 각도제어루프에서 전달된 각속도신호와 외부에서 인가된 각속도신호의 차를 적분하여 최종적으로 짐발의 각 편류량을 출력하고, 이 각 편류 신호는 제어를 거친 뒤 다시 모터로 인가되어 외란과 반대방향으로 인가됨으로써 결과적으로 시선의 안정화를 이룬다. 따라서 자이로스코프를 속도적분모드로 동작시킬 경우에는 전자부의 재평형루프가 끊어지고 자이로스코프는 기계구동부와 함께 순방향 위치루프를 형성하게 되고, 속도모드보다 속도적분모드로 사용할 경우 더 높은 개루프 이득을 가지고 있으므로 항체의 속도량을 직접

측정하는데 있어 속도적분모드를 사용하는 것이 정밀도와 외란감지의 주파수대역 측면에서 우수하나 자이로스코프의 위치 검출이득을 계환없이 그대로 사용하는 상태가 되므로 시스템의 안정도가 나빠지게 되며, 보다 정확한 DTG의 모델이 필요하다.

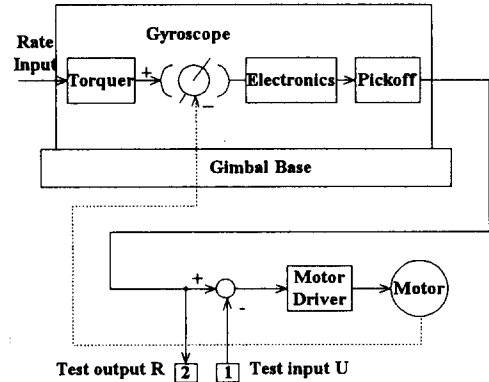


그림 4. 속도적분모드 DTG와 짐발의 신호흐름도.
Fig. 4. Signal flowchart of rate integrated DTG and gimbal.

2.2.2 모델링 및 해석

속도적분모드 DTG는 외부의 각속도입력이 자이로스코프에 인가되면 각속도신호를 적분한 양에 비례하여 자이로스코프의 관성휠이 편류한다. 이것이 속도모드와 다른 특성이고 속도모드에서의 자이로스코프 출력신호가 각속도 신호인데 반하여 속도적분모드에서는 각 변위 신호가 된다.

본 논문에서 사용한 자이로스코프의 전자부는 프랑스 SAGEM사 제품인 20BM00-52-08을 사용하였으며[1,7] 전자부의 동작모드 선택 단자와 약간의 외부회로 변경에 의해 속도모드에서 속도적분모드로 전환될 수 있다. 속도적분모드로 DTG를 사용할 경우 자이로스코프를 구동할 전자부의 블럭선도는 그림 5와 같다.

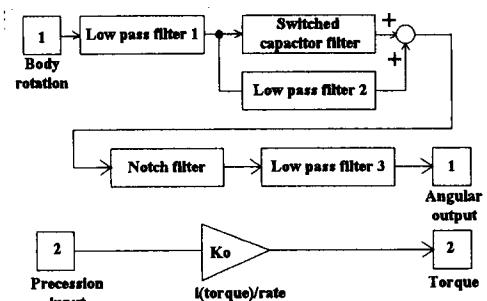


그림 5. 전자부 블럭선도.
Fig. 5. Block diagram of electronics.

그림 5의 각 블럭에 대한 전달함수는 (4)-(9)와 같으며, 각 변수들은 표 2와 같다.

• Low pass filter 1: $\frac{1}{1 + \tau_0 s}$ (4)

• Switched capacitor filter:
 $\frac{K_2(1 + \lambda)}{2} \cdot \frac{1 - e^{-ts}}{1 - \lambda e^{-ts}} \cong \frac{K_2(1 + \lambda)}{2} \cdot \frac{ts}{\lambda ts + 1 - \lambda}$ (5)

($\because e^{-ts} = 1 - ts + \frac{(ts)^2}{2!} + \dots \cong 1 - ts$)

• Low pass filter 2: $\frac{K_3}{1 + (\tau_1 + \tau_2)s + \tau_2 \tau_3 s^2}$ (6)

• Notch filter: $\frac{1+2\alpha\tau_4s+\tau_4^2s^2}{1+2\beta\tau_4s+\tau_4^2s^2}$ (7)

• Low pass filter 3: $\frac{K_1}{1+(\tau_5+\tau_6)s+\tau_5\tau_6s^2}$ (8)

• i(torque)/rate: K_0 (9)

표 2. 전자부의 회로 모델 변수.
Table 2. Circuit model parameter of electronics.

K_0	0.027×10^{-3} A/volt
K_1	2.27
K_2, K_3	2.15
λ	0.76
t	3.1×10^{-3} sec
τ_0	1×10^{-3} sec
τ_1, τ_2, τ_3	3.16×10^{-3} sec
τ_4	312.7×10^{-6} sec
τ_5	214.8×10^{-6} sec
τ_6	33×10^{-6} sec
α	0.021
β	0.7

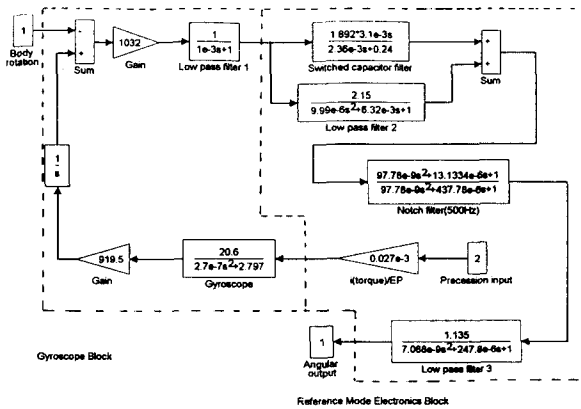


그림 6. 속도적분모드 DTG의 등가모델.
Fig. 6. Equivalent model of rate integrated mode DTG.

그림 6은 그림 5의 전자부를 포함한 속도적분모드 DTG의 등가적인 모델이며, 속도모드 DTG의 등가모델[1]에서는 자이로스코프와 전자부가 페루프를 구성하여 동작하므로 외부에서 별도의 회로를 추가하지 않아도 재평형이 이루어지는 반면, 속도적분모드 DTG에서는 자이로스코프와 전자부가 그림 6과 같이 개루프로 이루어지므로 외란에 의해 편류된 자이로스코프의 판성회를 원래의 위치로 이동시키기 위하여 외부에서 별도의 회로를 추가하여 짐발에 부착된 모터를 구동시켜 주어야 한다. 그리고 속도모드 DTG에서는 전자부에 따로 노치 필터를 사용하지 않아도 자이로스코프와 전자부가 페루프를 구성하여 자이로스코프 자체의 공진이 제거 되었으나[1] 속도적분모드 DTG에서는 자이로스코프와 전자부가 개루프로 구성되므로 전자부에 자이로스코프의 공진을 제거하기 위하여 노치 필터를 삽입해 주어야 한다. 그리고 그림 5의 상자안에 표시된 숫자는 입력과 출력의 변호를 나타낸다.

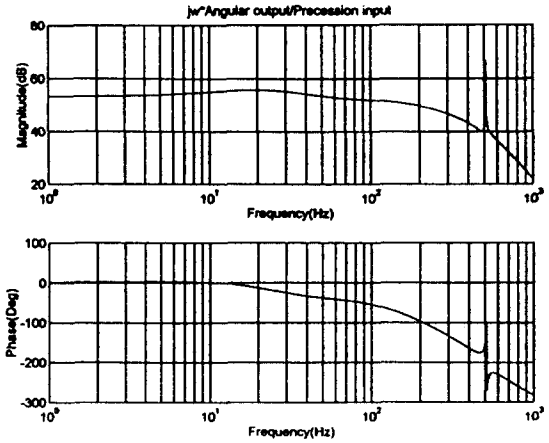


그림 7. 외부 세차 입력에 대한 자이로스코프 출력 (주파수응답).
Fig. 7. Gyroscope output for precession input (frequency response).

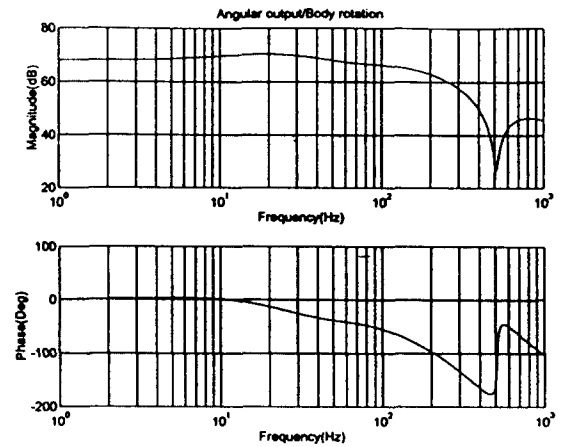


그림 8. 자이로스코프 몸체에 대한 자이로스코프 출력 (주파수응답).
Fig. 8. Gyroscope output for body rotation (frequency response).

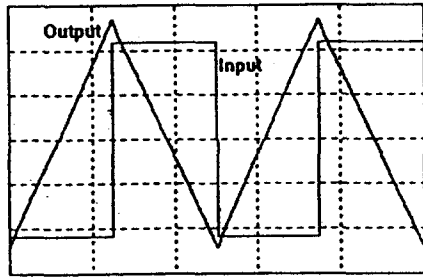
그림 7과 그림 8은 그림 6의 모델로부터 구한 주파수 응답특성이다. 그림 7은 외부 세차 입력에 대한 자이로스코프 위치 출력 전달특성이고, 그림 8은 자이로스코프 몸체에 대한 자이로스코프 위치 출력 전달특성이다. 그림에서 보면 DC 이득도 외부 세차 입력에 대해서는 위치 출력이 약 55dB정도이고 자이로스코프 몸체에 대한 위치 출력은 약 70dB 정도로 아주크며, 속도모드에서는 주파수 대역폭이 약 70Hz 정도인데[1] 반하여 속도적분모드에서는 그림 7에서 볼 수 있듯이 약 200Hz로 주파수 대역폭이 더 넓다는 것을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 그림 6의 속도적분모드 DTG의 모델로부터 구한 시간응답 특성으로 외부 세차 입력에 대한 자이로스코프 출력이며, 그림 9는 입력이 구형파일 때의 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험파형이고, 그림 10은 입력이 정현파일 경우의 파형이다. 그림 9와 그림 10에서 볼 수 있듯이 실험파형과 컴퓨터 시뮬레이션파형이 매우 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

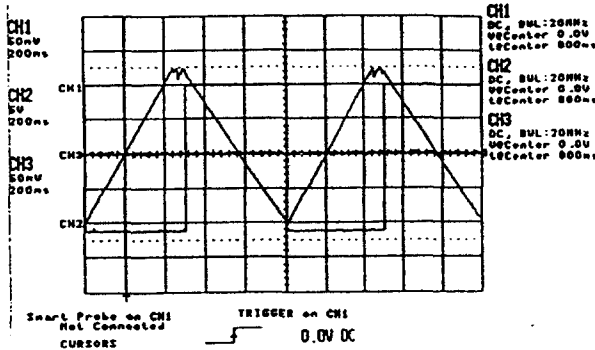
3. 시스템 구성 및 해석

EOTS는 영상신호를 이용하여 목표물을 자동적으로 추적

하면서 목표물에 대한 안정된 시선을 제공할 뿐만 아니라 표적의 위치, 속도, 가속도 등의 표적정보를 제공해주는 장치로서 영상센서부, 영상추적부 및 안정화구동부로 구성되어 있다. 안정화구동부는 EOTS의 부시스템으로서 영상센서를 지지하고 표적방향으로 구동하며, 또한 외란이 인가되더라도 시선을 한곳에 고정시키는 역할, 즉 관성평면에 대하여 고정된 시선 위치를 유지시키는 역할을 한다. 관성평면에 대한 각도 혹은 가속도의 측정은 자이로스코프의 속도 모드 혹은 속도적분모드를 이용하며, 측정된 양을 입력에 되먹임하여 기준입력과 비교함으로써 오차를 발생시킨다. 제어기는 이 오차를 적절히 처리하여 영상센서의 시선을 원래 위치로 되돌려주므로써 시선의 안정화를 이루게 된다.



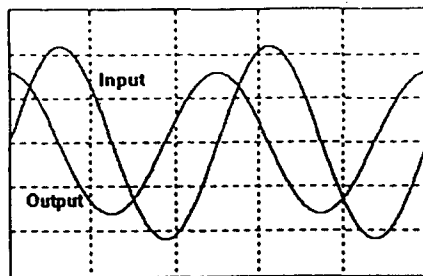
(a)



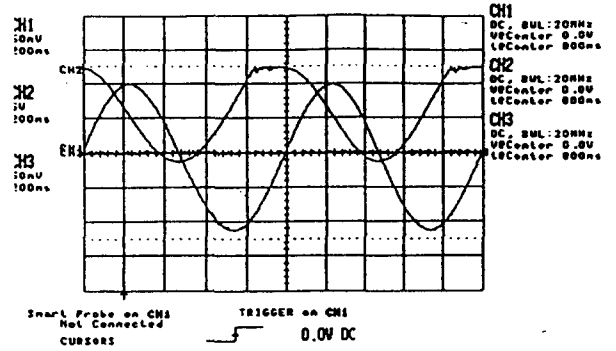
(b)

그림 9. 외부 세차 입력에 대한 자이로스코프 출력 (구형파 입력) (a) 시뮬레이션파형, (b) 실험파형.

Fig. 9. Gyroscope output for precession input (square waveform input) (a) simulated waveform, (b) experimental waveform.



(a)



(b)

그림 10. 외부 세차 입력에 대한 자이로스코프 출력 (정현파 입력) (a) 시뮬레이션파형, (b) 실험파형.

Fig. 10. Gyroscope output for precession input (sinusoidal waveform input) (a) simulated waveform, (b) experimental waveform.

3.1 속도모드 DTG[1]

그림 3에서 볼 수 있듯이 속도모드 DTG에서는 외부에서 인가되는 가속도 신호에 비례한 출력을 얻을 수 있으므로 시스템의 가속도 움직임을 직접 측정하는 것이 가능하다. 그러므로 그림 3과 같이 속도모드 DTG를 시스템의 케환루프에 포함시켜 관성평면에 대한 가속도를 측정하여 입력에 케환하므로써 시선의 안정화를 이루게 된다. 속도모드 DTG를 이용한 EOTS 속도제어에 대한 특성은 참고문헌 [1]을 참고하기 바란다.

3.2 속도적분모드 DTG

그림 4에서 볼 수 있듯이 속도적분모드 DTG에서는 자이로스코프 자체가 위치루프에서 전달된 속도신호와 외부에서 인가된 속도신호의 차를 적분하여 최종적으로 집발의 각 편류량을 출력하므로 속도모드 DTG와는 다르며, 블럭선도에서 보면 자이로스코프에 해당하는 블럭이 속도모드에서는 케환루프에 위치해 있는데 반해 속도적분모드에서는 전향루프에 있다는 것을 알 수 있다.

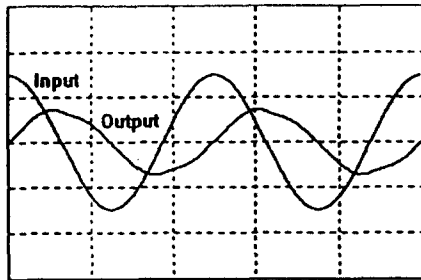
그림 11과 그림 12는 그림 3의 속도제어 블럭선도에 대한 시간응답으로 입력 주파수가 1Hz와 5Hz일 경우이고, 실험과 비선형 마찰이 포함된 컴퓨터 시뮬레이션 특성이 거의

표 3. 모터 사양(모델 : Magnetic Technology사의 4590C-095-043).

Table 3. Motor specification(Model : 4590C-095-043 of Magnetic Technology Co.).

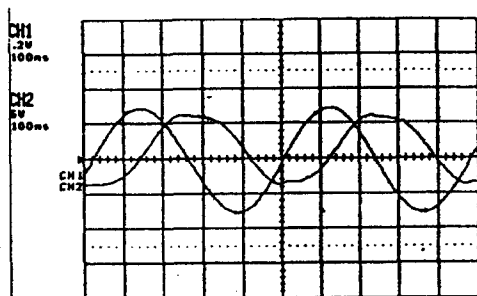
No load speed	80 rad/sec
Moment of inertia	3.31×10^{-5} kg-m-sec ²
Load inertia	1.58×10^{-3} kg-m-sec ²
Viscous friction	69.584×10^{-6} kg-m
Inductance(L _m)	1.5 mH
Resistance(R _m)	9.5 Ω
Torque sensitivity	0.0339 kg-m/amp
Back EMF	0.333 volts/rad/sec
Voltage at T _p (V _p)	28.2 volts

일치한다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 사용한 모터의 사양은 표 3과 같다. 실제 시스템은 비선형 마찰특성을 가지고 있으며, 이러한 마찰은 시스템의 성능을 정확하게 파악하지 못하게 하고 최악의 경우 시스템의 성능을 극도로 떨어뜨리는 결과를 초래하게 되므로 정밀한 제어를 할 경우 어려운 문제점으로 대두된다. 본 시스템에서는 그림 11과 그림 12에서 볼 수 있듯이 입력 주파수가 낮은 경우 시스템의 비선형 마찰특성이 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 그림 13은 비선형 쿨롱마찰에 대한 특성 및 비선형 마찰력을 가지는 시스템의 구조이다.



Input: 0.2V/DIV
Output: 5V/DIV
Time: 0.2s/DIV

(a)



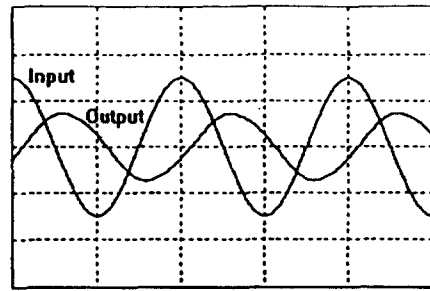
Smart Probe on CH1 Not Connected CURSORS TRIGGER on CH1 0.0V DC

(b)

그림 11. 정현파 입력에 대한 시간응답 : 입력 주파수 1Hz (a) 시뮬레이션파형, (b) 실험파형.

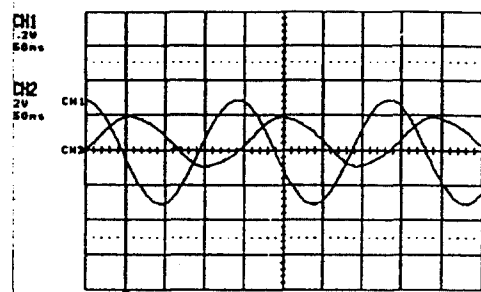
Fig. 11. Time response for sinusoidal waveform input : input frequency 1Hz (a) simulated waveform, (b) experimental waveform.

EOTS의 경우 외부 짐발을 가지고 있으며, 이것이 플랫폼 역할을 하여 자이로스코프를 역으로 돌려주므로 속도적분모드를 사용할 경우 최대 허용입력 각속도 이상의 외부 신호가 인가되더라도 재평형루프를 사용하지 않더라도 자이로스코프가 속도모드에서 처럼 안전모드(safe mode)로 들어가서 시스템이 더이상 동작하지 않는 경우가 발생되지 않기 때문에 실제 운용상에서 더욱 안전하게 사용할 수 있다. 그리고 속도적분모드를 사용하는 것이 속도모드보다 정밀도와 외란감지의 주파수대역 측면에서 우수하므로 현재 시선안정화 목적으로 사용하고 있는 DTG에서는 대부분 속도적분모드를 사용하고 있다. 또 재평형루프를 사용하지 않으므로 향후 자이로스코프만 사용하고 전자부는 용도에 맞추어 설계하여 사용하면 시스템 비용도 상당히 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 속도적분모드에서는 자이로스코프 자체에 적분기가 추가되며, 이로 인하여 발생하는 위상 지연이 속도모드에 비해 심하게 되므로 제어기 설계에 많은 제약을 받게된다. 또 이득이 크므로서 편류에 의한 영향이 크



Input: 0.2V/DIV
Output: 2V/DIV
Time: 0.1s/DIV

(a)

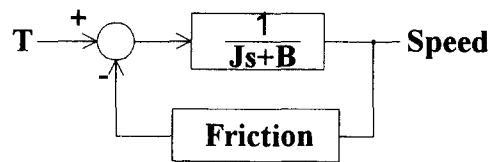


Smart Probe on CH1 Not Connected CURSORS TRIGGER on CH1 0.0V DC

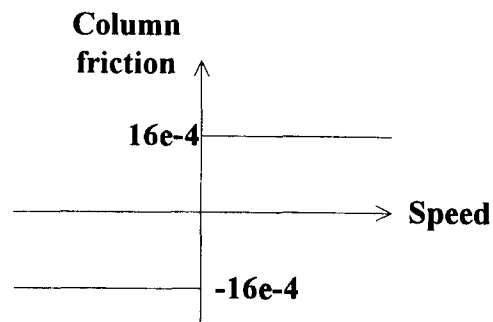
(b)

그림 12. 정현파 입력에 대한 시간응답 : 입력 주파수 5Hz (a) 시뮬레이션파형, (b) 실험파형.

Fig. 12. Time response for sinusoidal waveform input : input frequency 5Hz (a) simulated waveform, (b) experimental waveform.



(a)



(b)

그림 13. 비선형 쿨롱마찰 특성 및 시스템 구조. (a) 비선형 쿨롱마찰 특성, (b) 시스템 구조.

Fig. 13. Nonlinear column friction characteristic and system configuration. (a) nonlinear column friction characteristic, (b) system configuration.

게 나타나며, 모터 및 기구물의 비선형적인 마찰이나 점성이 전체시스템의 안정도에 크게 영향을 주게되는 문제점이

발생한다. 즉 모터나 기구물의 정도가 속도적분모드 자이로스코프의 성능보다 못하면 시스템 구성 조차도 불가능하므로 시스템 설계자는 전체시스템의 성능을 좌우하는 DTG의 성능을 고려하여 시스템을 설계하여야 한다. 또한 EOTS의 주기능은 플랫폼 안정화이므로 특수한 경우의 속도모드 사용외에는 주로 속도적분모드를 사용하고 있으며, 이 경우는 기구적인 특성이 아주 우수해야만 시스템이 안정한 상태가 되므로 정밀한 기구가공이 필요하다. 그러나 김블구조가 없는 스트랩다운시스템에 사용되는 DTG인 경우 각속도 동작범위가 $100^\circ/\text{sec} \sim 200^\circ/\text{sec}$ 로 넓으며, 주로 속도모드를 사용하고 있다.

III. 결론

본 논문에서는 프랑스 SAGEM사의 GSL82-21 자이로스코프와 20BM00-52-08 전자부를 사용하였으며, 전자광학추적기에서 주로 사용하는 DTG의 동작모드에 따른 기본원리 및 특성을 비교 분석하고, 자이로스코프가 속도적분모드로 동작할 경우 모델을 제시하였다. 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 모델의 타당성을 확인하였으며 제시된 모델이 실제 시스템의 특성과 유사하다는 것을 알 수 있었다. 그 결과 일반적인 속도적분모드 DTG에서도 본 논문에서 제시된 모델의 필터계수만 수정하면 적용할 수 있을 것이라 사료된다.

속도적분모드 DTG에서는 속도모드와는 달리 최대 허용입력 각속도 이상의 외부신호가 인가되더라도 자이로스코프 스핀축이 케이징되지 않으므로 실제 운용상에서 더욱 안전하게 사용할 수 있으나 자이로스코프 자체의 추가된 적분기에 의해 발생하는 위상지연이 속도모드에 비해 심하게 되므로 전체시스템의 시험과 제어기설계는 좀 더 어려워지는 결점이 있다. 이는 속도적분모드상태에서는 전체시스템의 안정성 때문에 자이로스코프 자체의 동작범위가 매우 축소되

고 개루프 이득 측정시 발생하는 편류를 방지하기가 어려워짐에 기인하며, 또 모터 및 기구물의 비선형적인 마찰과 점성이 크게 작용하는 상황에서는 시스템의 구성 조차도 실현하기가 힘들다. 따라서 시스템 설계자는 이러한 문제점을 사전에 인식하고 각각의 동작특성에 맞는 시험용 회로를 부가하는 것이 필요하다.

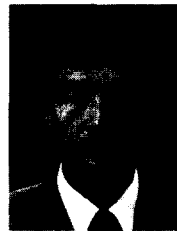
참고문헌

- [1] 임성운, "동조자이로스코프의 해석 및 응용(전자광학추적기의 회전각속도 센서)," 한국센서학회지, 제 5권, 제 4호, pp. 47-56, 1996.
- [2] R. J. G. Craig, "Theory of operation of an elastically supported, tuned gyroscope," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-8, no. 3, pp. 280-288, 1972.
- [3] R. Carroll, "Inertial technology for the future, part VII : Dynamically tuned gyroscope," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES 20, no. 4, pp. 425-426, 1984.
- [4] M. Iecovich, "Line of sight stabilization requirements for target tracking systems," *SPIE*, vol. 1304, pp. 100-111, 1990.
- [5] W. J. Bigley and S. P. Tsao, "Optimal motion stabilization control of an electro-optical sight system," *SPIE*, vol. 1111, pp. 116-120, 1989.
- [6] C. F. Lin, *Modern navigation, guidance, and control processing*, Prentice-Hall, 1991.
- [7] *Two axes gyroscopic system 20BM00-52-** description manual*, SAGEM.



임 성 운

1987년 경북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1991년), 동 대학원 박사(1995년). 1995년 ~ 현재 경일대학교 제어계측공학과 전임강사. 관심분야는 시스템 모델링 및 해석, 전력변환.



권 우 현

1977년 서강대 전자공학과 졸업. 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사, 동 대학원 박사(1993년). 1993년 ~ 현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수. 관심분야는 시스템 모델링 및 해석, 전력변환, 전동기제어.



마 진 석

1995년 경북대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1997년), 현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 시스템 모델링, 선안정화시스템, 전력전자.