

# 바이어스 추정을 위한 표본의 추가 취득이 자이로 센서의 드리프트 오차에 미치는 영향

한 철 수\*

## Effect of the Additional Sample Acquisition for Bias Estimation on the Drift Error of a Gyro Sensor

Cheolsu Han\*

### 요 약

자이로 센서의 바이어스 추정 오차는 드리프트 오차의 주된 원인이기 때문에 최소화할 필요가 있다. 바이어스 추정 정밀도를 높이기 위해서는 센서의 움직임을 통제된 상태에서 장시간 많은 수의 표본을 취득해야 한다. 그러나 실사용 환경에서 표본의 취득 시간이 길어지면 센서가 움직일 가능성이 커지기 때문에 바이어스 추정 정밀도가 하락할 가능성도 커진다. 본 논문에서는 센서의 움직임을 통제된 상태에서 취득한 초기의 표본에 더하여 움직임을 발생했다가 사라진 후에 표본을 추가로 취득하여 바이어스를 추정하는 것이 자이로 센서의 드리프트 오차에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 실험 결과, 추가적인 취득을 통해 표본의 수를 100개에서 500개로 늘렸을 때 드리프트 오차의 평균 증가율은 약 70.41% 작아진다. 본 논문의 결과는 실사용 환경에서 표본을 추가로 취득하여 이용하는 것으로 더 정밀한 회전각 검출 시스템을 구축할 수 있음을 보여준다.

### Abstract

The bias estimation error of a gyro sensor is one of the primary causes of drift error and must be minimized. To improve the accuracy of bias estimation, a large number of samples typically need to be collected over an extended period while the sensor remains stationary. However, in real-world environments, longer sampling durations increase the likelihood of sensor movement, which can reduce the accuracy of bias estimation. This paper investigates the effect of acquiring additional samples after motion has occurred and subsided—alongside the initial stationary samples—on the drift error of a gyroscope sensor. Experimental results show that increasing the number of samples from 100 to 500 through additional acquisition reduces the average drift error growth rate by approximately 70.41%. These findings suggest that a more precise rotational angle detection system can be developed by incorporating additional sampling under real-world conditions.

### Keywords

gyro sensor, drift error, bias estimation, inertial measurement unit, motion tracking

\* 청주대학교 전자공학과 조교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9515-4392>

• Received: May 20, 2025, Revised: Jul. 11, 2025, Accepted: Jul. 14, 2025  
• Corresponding Author: Cheolsu Han  
Dept. of Electronic Engineering, Cheongju University, 298  
Daeseongro, Cheongwon-gu, Cheongju, Chungbuk, 28503, Rep. of Korea  
Tel.: +82-43-229-8446, Email: [cheolsuhan@cju.ac.kr](mailto:cheolsuhan@cju.ac.kr)

## I. 서 론

자이로 센서(Gyro sensor)는 회전 각속도를 측정하는 센서이다. 회전 각속도를 이용해 회전각을 추정할 수 있기 때문에, 물체의 회전각 추정에 자이로 센서가 널리 사용되고 있다[1][2]. 특히, 자이로 센서는 가상 현실(VR, Virtual Reality) 분야에서 사용되는 머리 부분 탑재형 디스플레이(HMD, Head Mounted Display)의 핵심 요소로서, 착용자 머리의 회전각을 추정하는 데 사용된다[3]. 또한, 비행기, 배, 드론 등의 이동 장치에서 자율 운행에 필요한 회전각을 추정하는 데에도 사용된다[4][5][6].

자이로 센서의 회전각 추정은 기존에 추정된 회전각에 새롭게 추정된 회전각을 누적시키는 방식으로 이루어진다. 이 과정에서 오차가 지속적으로 누적되어 커지게 되는데 이것을 드리프트 오차(Drift error)라고 한다[1][2][7]. 자이로 센서에서 얻어지는 회전 각속도는 바이어스를 포함하기 때문에, 바이어스를 정밀하게 추정하고 제거해야 한다. 바이어스 추정 오차는 드리프트 오차의 주된 원인 중 하나이고, 바이어스 추정 오차가 클수록 드리프트 오차는 더 빠르게 증가한다.

본 논문에서는 움직임이 없는 초기의 짧은 대기 시간 동안 취득한 표본에 더하여, 돌발적인 움직임이 발생하고 다시 움직임이 멈춘 이후에 추가로 표본을 취득하고 바이어스 추정에 이용하는 것이 회전각 추정 시스템의 드리프트 오차에 미치는 영향에 대하여 검토한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 소개하고 본 연구의 필요성과 중요성에 대하여 논한다. 3장에서는 검토에 사용할 목적으로 장시간 많은 수의 표본을 실측하기 위해 구축한 측정 시스템과 실측 결과를 설명한다. 4장에서는 표본의 추가 취득이 자이로 센서의 드리프트 오차에 미치는 영향을 검토하기 위한 시뮬레이션 실험에 관해 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션 실험의 결과를 고찰한다. 6장은 결론 및 향후 과제이다.

## II. 관련 연구

선행 연구에 따르면 자이로 센서가 움직이지 않는 상태에서 더 많은 수의 표본을 취득해 바이어스를 추정함으로써 바이어스 추정 정밀도를 더 높일 수 있다[8]. 선행 연구에서는 회전각 추정 시스템의 초기 대기 시간 동안 센서에 움직임이 가해지지 않는 것을 가정하고 그 시간 동안만 표본을 연속해서 수집하고 이용하였다. 이 때문에 선행 연구에서는 각 응용 분야의 시스템에서 이용할 수 있는 초기 대기 시간을 고려하여 바이어스 추정에 이용할 표본의 수를 허용할 수 있는 범위에서 적절하게 미리 선정해 이용할 것을 제안하였다[8].

그러나 실사용 환경의 적지 않은 응용 분야의 시스템들은 센서에 움직임이 가해지지 않는 초기 대기 시간을 충분히 길게 보장받지 못한다[1][2]. 이 경우 선행 연구의 제안에 따라 허용 범위에서 표본의 수를 선정하더라도 초기 대기 시간이 짧아 허용 최대치도 작아지기 때문에 바이어스 추정 정밀도가 그다지 높지 않다는 문제에 봉착하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법을 찾기 위해 본 연구에서는 선행 연구와 같이 초기 대기 시간 동안 표본을 취득하고, 그것에 더하여 초기 대기 시간 이후에도 표본을 추가 취득해 이용함으로써 바이어스 추정 정밀도를 더 높일 수 있는지에 대하여 검토하고자 한다.

본 검토 방식과 같이 표본을 추가 취득하는 것이 바이어스 추정 정밀도 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 기대되지만 관련 연구는 존재하지 않는다. 또한, 본 연구의 검토 결과는 초기 대기 시간 동안만 표본을 취득하는 선행 연구의 방식에서 한 단계 나아가, 초기 대기 시간을 포함해 더 긴 시간 동안 움직임을 고려하지 않고 자유롭게 더 많은 수의 표본을 수집하고, 그 후 움직임을 고려하여 표본을 선별함으로써 충분한 양의 표본을 확보하고 이용하는 더 유연한 시스템의 개발 가능성을 보여주는 근거가 될 수 있기 때문에 매우 중요하다.

## III. 표본 실측시스템

본 장에서는 본 논문의 검토에 사용할 목적으로 장시간 많은 수의 표본을 수집하도록 구축한 표본

실측시스템과 실측 결과를 설명한다. 본 장에서 수집한 대량의 실측 표본 데이터를 이용하여 3장에서 시뮬레이션 실험을 통해 움직임이 없는 초기의 짧은 대기 시간 동안 취득한 표본에 더하여, 돌발적인 움직임이 발생하고 다시 움직임이 멈춘 이후에 추가로 표본을 취득하고 바이어스 추정에 이용하는 것이 회전각 추정 시스템의 드리프트 오차에 미치는 영향을 체계적으로 검토하고자 한다.

실측시스템의 블록 다이어그램을 그림 1에 나타낸다. 마이크로 컨트롤러(MCU, Microcontroller Unit) 보드(Arduino Nano[9])는 약 5ms 간격으로 I2C(Integrated Circuit) 통신을 통해 자이로 센서(Gyro Sensor) 모듈(MPU6050[10])로부터 회전 각속도 데이터를 수신한다. 그 후, 수신된 각속도 데이터와 측정 시간을 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 통신을 통해 PC(Personal computer)로 전송하고, PC는 수신한 데이터를 파일로 저장한다.

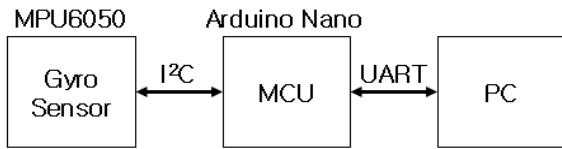


그림 1. 실측시스템의 블록 다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of the measurement system

측정의 개요는 표 1과 같다. 각각의 표본에서 측정 데이터는 자이로 센서의 회전 각속도와 측정 시간이다. 측정하는 표본의 수는 14,000개이고, 표본의 측정 시간 간격은 약 5ms이다. 전체 측정 시간은 약 75초이다. 측정은 자이로 센서의 움직임이 통제된 상태에서 시작하고, 약 10초부터 20초까지의 구간에서 자이로 센서를 자유롭게 좌우로 회전시켜 움직임을 가한 후, 다시 움직이지 않게 통제한다. 측정은 총 10회에 걸쳐 반복한다.

측정 데이터의 일례를 그림 2에 나타낸다. 가로축은 표본의 번호이다. 그림 2에서 위의 그림은 표본의 측정 시간을 나타낸다. 측정 시간의 기울기가 거의 일정한 것으로부터 표본의 측정이 매우 균일한 시간 간격마다 이루어진 것을 알 수 있다. 아래의 그림은 자이로 센서의 회전 각속도를 나타낸다. 초기 약 2,000개의 표본은 자이로 센서에 움직임이 가해지지 않은 상태에서 얻어졌고, 이후 약 1,500개

의 표본은 움직임이 가해진 상태에서 얻어졌다. 그 이후의 표본은 다시 움직임이 가해지지 않은 상태에서 얻어진 것을 알 수 있다.

표 1. 측정의 개요  
Table 1. Measurement overview

Measurement data	Rotational angular velocity (deg/sec)
	Measurement time (μs)
Number of samples	14,000
Sample interval	about 5 ms
Measurement time	about 75 s
Time of movement	from 10 to 20 s
Number of measurements	10

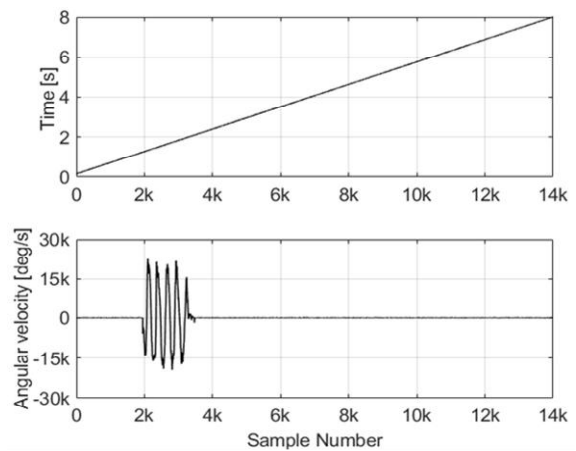


그림 2. 측정 데이터의 일례  
Fig. 2. Example of measured data

10회에 걸쳐 반복 실측한 표본을 그림 3에 나타낸다. 가로축은 시간을, 세로축은 회전 각속도를 나타낸다. 가로축의 시간은 10회의 반복 실측마다 모든 표본의 측정 시간에서 첫 측정 시간을 빼어 구한다. 그림으로부터 약 10초에서 20초 사이에서 다양한 방식으로 움직임이 가해진 것을 알 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 실험

본 장에서는 움직임이 없는 초기의 짧은 대기 시간 동안 취득한 표본에 더하여, 돌발적인 움직임이 발생하고 다시 움직임이 멈춘 이후에 추가로 표본을 취득하고 바이어스 추정에 이용하는 것이 회전각 추정 시스템의 드리프트 오차에 미치는 영향을 검토하기 위한 시뮬레이션 실험을 시행한다.

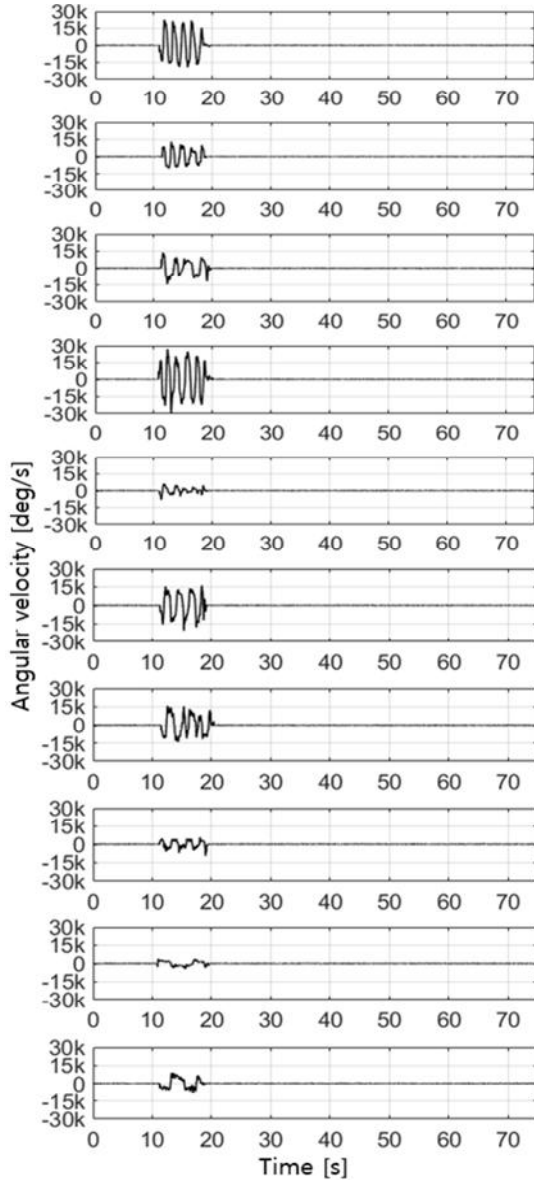


그림 3. 실측 표본  
Fig. 3. Measured samples

시뮬레이션 실험에는 2장에서 실측한 대량의 표본 데이터가 이용된다.

검토 조건은 총 3가지로 다음과 같다. 조건 1에서는 자이로 센서의 움직임이 통제된 초기의 연속된 표본 100개만을 가지고 바이어스를 추정한다. 조건 2에서는 초기의 연속된 표본 100개에 더하여 움직임이 가해진 구간의 연속된 표본을 100개 추가로 취득하고 바이어스를 추정한다. 조건 3에서는 초기의 연속된 표본 100개에 더하여 움직임이 발생했다가 사라진 구간의 연속된 표본을 400개 추가로 취득하고 바이어스를 추정한다.

조건 1은 선행 연구에서 이용한 일반적인 바이어스 추정 방법으로서 다른 조건을 평가하기 위한 기준을 나타낸다[1][2]. 조건 2는 자이로 센서에 움직임이 가해진 상태에서 표본을 추가 취득한 악조건을 나타낸다. 조건 3은 움직임이 없는 초기의 짧은 대기 시간 동안 취득한 연속된 표본에 더하여, 자이로 센서에 가해지던 돌발적인 움직임이 사라지고 나서 연속된 표본을 추가 취득한 조건을 나타낸다.

자이로 센서의 바이어스는 식 (1)과 같이 얻어진다.  $Z_{raw}(i)$  ( $i=1,2,\dots,N$ )는 바이어스 추정에 사용된 표본을 나타내고,  $N$ 은 사용한 표본의 수이다.

$$Z_{bias} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{raw}(i) \tag{1}$$

회전각은 식 (2)와 같이 얻어진다.  $Yaw(n-1)$ 은 직전 단계에서 구한 회전각을 나타내고, 회전각의 초깃값은 0도이다.  $Z_{calib}(n)$ 는 식 (1)로부터 얻어진 센서의 바이어스를 빼줌으로써 교정한 회전 각속도를 나타내고,  $\Delta t(n)$ 는 현 단계와 직전 단계의 측정 시간의 차이이다.

$$Yaw(n) = Yaw(n-1) + Z_{calib}(n) \cdot \Delta t(n) \tag{2}$$

2장에서 10회의 측정마다 실측한 표본의 수는 매 회 14,000개이다. 앞부분 7,000개 중에서 검토 조건에 따라 바이어스 추정을 위한 표본을 추출하고, 뒷부분 7,000개를 회전각을 추정하는 데 모두 사용한다. 이때 뒷부분 7,000개의 표본은 자이로 센서에 움직임이 가해지지 않은 상태에서 측정한 것이기 때문에, 이 데이터를 이용해 추정된 회전각은 이상적으로는 0도로 수렴해야 한다. 그러나 회전각을 추정하는 기본 원리로부터 드리프트 오차가 발생하고 회전각은 서서히 0도를 벗어나게 된다. 이때 회전각이 얼마나 빠르게 변하는지를 통해서 드리프트 오차의 증가율을 추정할 수 있다[8].

### V. 실험 결과 및 고찰

전 장에서 설명한 것과 같이 14,000개의 표본 10회분을 이용하여 3가지 조건에서 시뮬레이션 실험

험을 진행하였다. 각 조건에서 표본을 수집하여 바이어스를 추정하고 그것을 이용해 회전각을 추정하였다.

회전각의 추정 결과를 그림 4, 5, 6에 나타낸다. 그림에서 가로축은 시간을 나타내고, 세로축은 추정된 회전각의 크기를 나타낸다. 단위는 각각 초(s)와 도(deg)이다. 세로축의 0도는 정면을 나타내고, 양수는 반시계 방향으로 회전한 것을, 음수는 시계방향으로 회전한 것을 의미한다.

그림 4, 5, 6에서 0초의 0도에서 시작한 회전각을 나타내는 10개의 선은 시간이 흐를수록 0도를 벗어나고 있다. 여기서 10개의 선은 2장에서 10회에 걸쳐 실측한 데이터를 각각 이용했을 때의 결과를 나타낸다. 같은 조건일지라도 이용한 실측 데이터가 다르면 바이어스 추정에 이용한 표본도 달라지고 그 결과 바이어스 추정 오차도 미세하게 달라진다. 따라서 시간이 흐를수록 누적되는 오차의 크기도 달라지기 때문에, 같은 조건일지라도 10개의 선에 기울기의 차이가 발생하게 된다. 또한, 드리프트 오차의 주된 원인 중 하나는 바이어스 추정 오차이지만, 그 외에도 온도, 미세 진동 등 다른 원인도 존재한다[7]. 이 때문에 다른 원인에 비해 바이어스 추정 오차의 영향이 큰 그림 5에서는 선들이 매우 직선에 가깝지만, 상대적으로 바이어스 추정 오차의 영향이 작은 그림 4와 6에서는 선들이 다소 흔들리는 듯한 직선의 형태를 보인다. 이러한 흔들림은 바이어스 추정 오차 이외의 다른 원인에 의한 것으로 생각된다[7].

그림 4, 5, 6의 3가지 조건 모두에서 시간이 흐름에 따라 회전각이 0도에 수렴하지 않고 점점 벗어나는 드리프트 현상을 관찰할 수 있다. 조건 1과 조건 3의 결과는 35초간  $\pm 1$ 도 미만의 작은 변화가 관찰되는 반면에, 조건 2의 경우 35초간 최대 약  $\pm 2,000$ 도의 매우 큰 변화가 관찰된다. 조건 2는 자이로 센서에 움직임이 가해진 상태에서 연속된 표본을 추가 취득한 경우로서 움직임에 의해 바이어스 추정 오차가 매우 커졌고 결과적으로 회전각 추정 시 누적되는 오차의 증가율이 매우 커졌기 때문으로 생각된다.

그림 4와 그림 6을 통해 조건 1과 조건 3의 회전각 추정 결과를 비교하면 조건 3의 회전각 추정 결

과가 0도로부터 더 적게 벗어나고 있다는 것을 알 수 있다. 조건 3과 같이 초기의 표본에 더해서 센서에 움직임이 가해졌다가 사라진 이후에 표본을 추가로 취득하는 것이 바이어스의 추정 정밀도 향상에 도움이 되었고, 그로 인해 회전각 추정 시 누적되는 오차의 양이 더 적기 때문에 0도를 더 느리게 벗어나고 있다고 생각된다.

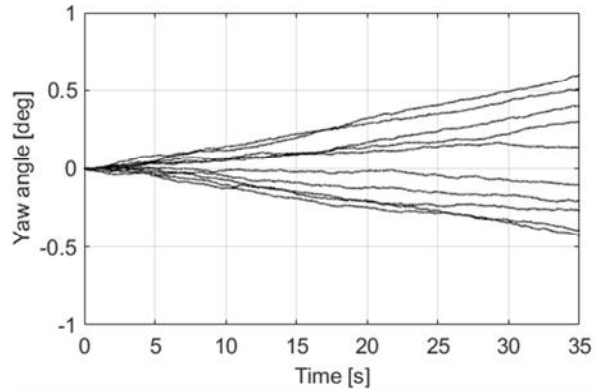


그림 4. 회전각(조건 1)  
Fig. 4. Rotation angle(Condition 1)

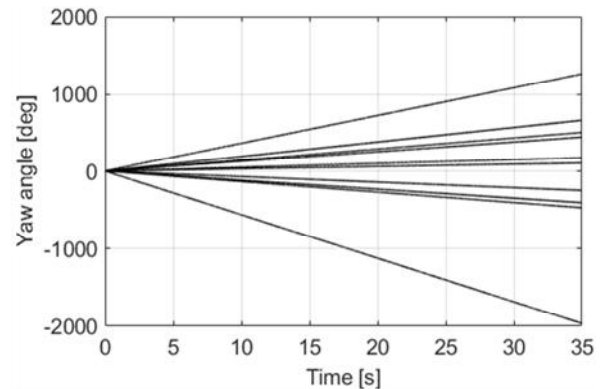


그림 5. 회전각(조건 2)  
Fig. 5. Rotation angle(Condition 2)

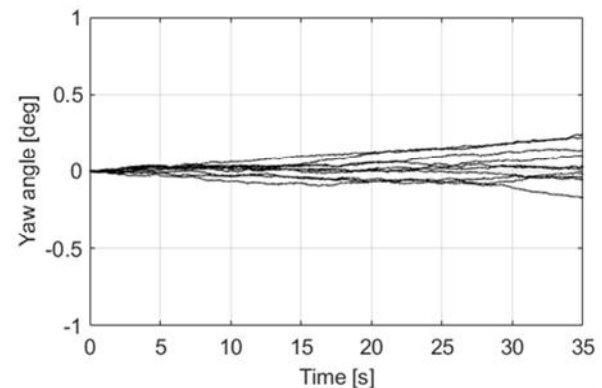


그림 6. 회전각(조건 3)  
Fig. 6. Rotation angle(Condition 3)

그림의 결과는 이상적으로 0도에 수렴해야 하지만 드리프트 오차에 의해 점점 변하게 된다. 이때 회전각 추정 결과의 절댓값을 드리프트 오차의 크기로 생각할 수 있다. 또한, 절댓값의 기울기를 드리프트 오차의 증가율로 생각할 수 있다[8]. 각 조건에서 회전각 추정 결과에 절댓값을 취하고, 선형 최소 제곱 회귀(Linear least squares regression)를 이용해 드리프트 오차의 기울기, 즉, 드리프트 오차의 증가율을 추정하였다[11].

3가지 조건에서 추정된 드리프트 오차의 회귀 계수를 표 2, 3, 4에 나타낸다.

표 2. 드리프트 오차의 회귀 계수(조건 1)  
Table 2. Regression coefficients of the drift errors(Condition 1)

		Intercept	Slope	Coefficient of determination
Round	1	0.0303	0.0072	0.9185
	2	-0.0064	0.0060	0.9707
	3	-0.0376	0.0180	0.9875
	4	-0.0464	0.0132	0.9902
	5	0.0118	0.0108	0.9861
	6	-0.0549	0.0123	0.9714
	7	0.0179	0.0042	0.9110
	8	-0.0238	0.0033	0.8286
	9	-0.0105	0.0148	0.9982
	10	-0.0117	0.0083	0.9742
Average	-0.0131	0.0098	0.9536	
Standard error	0.0089	0.0015	0.0167	

표 3. 드리프트 오차의 회귀 계수(조건 2)  
Table 3. Regression coefficients of the drift errors(Condition 2)

		Intercept	Slope	Coefficient of determination
Round	1	0.3449	56.1341	1.0000
	2	0.0873	14.3593	1.0000
	3	0.0682	18.9143	1.0000
	4	0.0631	2.9717	1.0000
	5	0.0769	11.6287	1.0000
	6	0.1306	13.4854	1.0000
	7	0.2206	36.1860	1.0000
	8	0.0547	4.9014	1.0000
	9	0.0507	7.1023	1.0000
	10	0.0590	12.6177	1.0000
Average	0.1156	17.8301	1.0000	
Standard error	0.0302	5.1692	0.0000	

표 4. 드리프트 오차의 회귀 계수(조건 3)  
Table 4. Regression coefficients of the drift errors(Condition 3)

		Intercept	Slope	Coefficient of determination
Round	1	-0.0230	0.0031	0.6932
	2	0.0069	0.0007	0.3167
	3	-0.0365	0.0077	0.9334
	4	0.0093	0.0008	0.1813
	5	-0.0110	0.0043	0.9159
	6	0.0550	-0.0004	0.0321
	7	-0.0175	0.0045	0.9215
	8	0.0258	0.0001	0.0044
	9	-0.0094	0.0066	0.9903
	10	0.0120	0.0014	0.5140
Average	0.0012	0.0029	0.5503	
Standard error	0.0084	0.0009	0.1243	

회귀 분석을 통해 얻은 직선의 기울기가 Slope이고 y절편이 Intercept이다. 각각 단위는 deg/s와 deg이다. Coefficient of determination은 결정 계수로서 회귀 분석의 결과가 얼마나 잘 데이터를 설명하는지를 나타내는 값이다[11]. Average는 총 10회분의 표본에 대한 평균값이고, Standard error는 표준오차이다.

드리프트 오차의 평균 기울기는 조건 2에서 약 17.8301 deg/s로 다른 조건들에 비해 상대적으로 큰 값을 갖는다. 반면에 조건 1에서 약 0.0098 deg/s이고, 조건 2에서 약 0.0029 deg/s이다. 드리프트 오차의 평균 기울기는 오차의 증가 속도를 나타내므로 작을수록 더 좋다. 조건 3과 같이 초기의 표본에 더해져 센서에 움직임이 가해졌다가 사라진 이후에 표본을 추가로 취득하는 것이 드리프트 오차의 증가 속도를 낮추는 데 도움을 준다고 해석할 수 있다.

자이로 센서에 움직임이 가해지지 않은 상태에서 표본을 취득한 조건들만을 비교한다. 그림 7에 조건 1과 조건 3의 드리프트 오차의 평균 증가율을 나타낸다. 가로축은 조건 번호를 나타내고, 세로축은 드리프트 오차의 평균 증가율을 나타낸다. 오차 범위는 표준오차이다.

통계적 유의성을 검증하기 위해서 그림 7에 나타난 조건 1과 조건 3의 드리프트 오차의 평균 증가율에 대해서 일원배치법의 분산분석을 실시하였다. 그 결과, 그림 7의 두 조건은 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.001$ ).

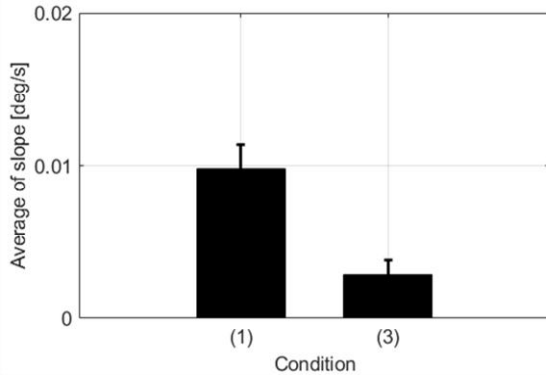


그림 7. 드리프트 오차의 평균 증가율  
Fig. 7. Average increase rate of the drift errors

그림 7의 결과는 조건 1과 같이 초기의 표본만을 사용하는 것보다 조건 3과 같이 초기의 표본에 더해 센서에 움직임이 가해졌다가 사라진 이후에 표본을 추가로 취득하는 것이 드리프트 오차의 평균 증가율을 낮출 수 있다는 것을 보여준다. 조건 1에서 초기 연속된 표본 100개를 이용한 경우에 비해 조건 3에서 초기 연속된 표본 100개에 더하여, 돌발적인 움직임이 발생하고 다시 움직임이 멈춘 이후에 연속된 표본을 400개 더 취득했을 때 드리프트 오차의 평균 증가율은 약 70.41% 작아졌다. 이것은 표본의 추가 취득 때문에 표본의 수가 증가하여 바이어스 추정 정밀도가 향상된 결과라고 생각된다[8].

오차에 대한 검토에는 평균값뿐만 아니라 최댓값의 비교도 중요하다. 그림 8에 조건 1과 조건 3의 드리프트 오차의 최대 증가율을 나타낸다. 그림에서 최대 증가율도 평균 증가율과 마찬가지로 조건 3에서 더 작은 값을 갖는다. 조건 1보다 조건 3에서 드리프트 오차의 최대 증가율이 약 57.22% 작아졌다.

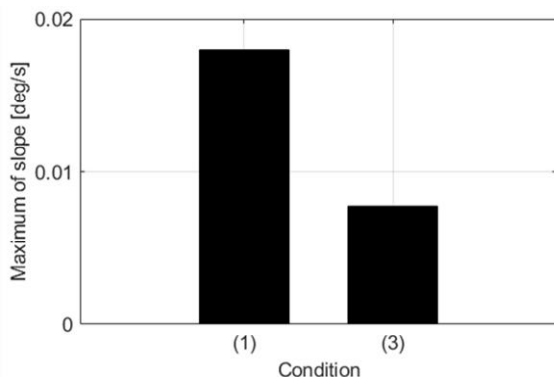


그림 8. 드리프트 오차의 최대 증가율  
Fig. 8. Maximum increase rate of the drift errors

이상의 실험 결과로부터 조건 3과 같이 돌발적인 움직임이 발생하고 다시 움직임이 멈춘 이후에 표본을 추가로 취득하여 사용하는 것이 바이어스 추정 정밀도를 향상하고 나아가 드리프트 오차의 평균 증가율을 감소시킬 수 있다. 그러나 표본을 추가로 취득하더라도 조건 2와 같이 움직임이 가해진 상태에서 취득하게 되면 성능을 크게 악화시킬 수 있으므로 주의가 필요하다.

실사용 환경에서 움직임에 대한 우려로 바이어스 추정에 한정된 수의 초기 표본만을 이용하는 경우가 많다. 본 논문의 결과는 초기 대기 시간 동안만 표본을 취득하는 선행 연구의 방식에서 한 단계 나아가, 초기 대기 시간을 포함해 더 긴 시간 동안 움직임을 고려하지 않고 자유롭게 더 많은 수의 표본을 수집하고, 그 후 움직임을 고려하여 표본을 선별함으로써 충분한 양의 표본을 확보하고 이용하는 더 유연한 시스템을 구축할 수 있음을 보여준다.

## VI. 결론 및 향후 과제

실사용 환경에서 바이어스 추정 시 센서에 가해지는 움직임을 회피하고자 표본의 취득 시간을 제한하고 적은 수의 표본만을 이용하는 경우가 많다. 그러나 바이어스 추정 정밀도는 표본의 수와 비례하므로 성능이 제한적일 수밖에 없다.

본 논문에서는 움직임이 없는 초기의 짧은 시간 동안 취득한 표본에 더하여, 움직임이 발생하고 다시 멈춘 이후에 표본을 추가로 취득하고 바이어스 추정에 이용하는 것이 드리프트 오차에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 검토하였다. 실험 결과, 움직임이 발생하고 다시 멈춘 이후에 표본을 추가로 취득했을 때 드리프트 오차의 증가율이 감소하는 것을 확인하였다. 특히, 표본의 수를 초기 100개에서 추가로 400개를 더 취득했을 때 드리프트 오차의 평균 증가율은 약 70.41% 작아졌고, 최대 증가율은 약 57.22% 작아졌다.

본 논문에서는 검토를 위해 표본을 미리 다량으로 실측하고 그것을 실험 조건에 맞게 이용해 시뮬레이션 실험을 진행하였다. 실제 환경에서 움직임이 가해지지 않는 상태의 표본만을 추가로 수집하기 위

해 움직임은 고려하여 표본의 취득 여부를 판별하는 알고리즘의 검토를 본 논문의 향후 과제로 한다.

## References

- [1] M. Seo, "Build an Arduino drone and code it yourself", Answerbook, Apr. 2016.
- [2] C. Han and H. Kim, "A Real-time Yaw Rotation Angle Measurement System for Human Heads Using a Gyro Sensor", Journal of KIIT, Vol. 15, No. 8, pp. 59-66, Aug. 2017. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2017.15.8.59>.
- [3] D. Jeong, "Latest technology trends and prospects for virtual reality", The Korea Multimedia Society Review, Vol. 20, No. 4, pp. 1-8, Dec. 2016.
- [4] M. Wu and X. Yin, "Research on Gyro Drift Two Position Calibration Method for Vehicle Strap-down Inertial Navigation System", ICEDME, pp. 706-709, May 2020. <https://doi.org/10.1109/ICEDME50972.2020.00166>.
- [5] S. Jung and B. Park, "Development of Anti-Drone in Korea at the Center of Drone War", Journal of IIBC, Vol. 24, No. 3, pp. 163-169, Jun. 2024. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.3.163>.
- [6] J. Ok, S. Yoo, and H. Jung, "Perception Survey for Demonstration Service using Drones", Journal of IIBC, Vol. 24, No. 1, pp. 125-132, Feb. 2024. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.1.125>.
- [7] Y. Tu and C. Peng, "An ARMA-Based Digital Twin for MEMS Gyroscope Drift Dynamics Modeling and Real-Time Compensation", IEEE Sensors Journal, Vol. 21, No. 3, pp. 2712-2724, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3028140>.
- [8] C. Han, "Effect of the Number of Samples for Bias Estimation on the Drift Error of a Gyro Sensor", Journal of KIIT, Vol. 21, No. 6, pp. 83-91, Jun. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.6.83>.
- [9] Arduino Nano, <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. [accessed: Jun. 20, 2025]

- [10] MPU-6050, <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050>. [accessed: Jun. 20, 2025]
- [11] D. A. Freedman, "Statistical Models: Theory and Practice", Cambridge University Press, Apr. 2009. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815867>.

## 저자소개

한 철 수 (Cheolsu Han)



2006년 2월 : 청주대학교  
전자공학과(공학사)  
2008년 2월 : 청주대학교 대학원  
전자공학과(공학석사)  
2013년 9월 : 일본 도호쿠대학  
대학원 정보과학연구과(공학박사)  
2015년 9월 ~ 현재 : 청주대학교

전자공학과 조교수

관심분야 : 신호처리, 알고리즘, 프로그래밍