

## 동적 드론과 RTK 수신기를 이용한 기압계 보정정보 생성 방법론

# Methodology of Correcting Barometer Using Moving Drone and RTK Receiver

김수열·윤정현·박병운\*

세종대학교 항공우주공학과 지능형드론 융합전공

Suyeol Kim · Jeonghyeon Yun · Byungwoon Park\*

Department of Aerospace Engineering and Department of Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 05006, Korea

### [요 약]

압력계는 고도 산출에 이용되어왔으며 기술의 발달로 큰 부피를 가지던 압력계는 현재 수 mm~cm 정도의 크기로 축소되었다. 압력계를 이용한 고도 산출은 기준 압력과 압력계로 얻어진 압력간 관계를 이용하여 진행되며, 이를 위해 기압계의 사전 보정이 필수적이다. 또한 압력계는 생산과정 특성상 실제 압력과 일정 수준의 바이어스가 존재하며, 많은 스마트폰 제조사들은 이를 제조 과정에서 보정하는 것으로 추정되나 환경변수에 의한 오차는 그 특성상 사전에 보정하기 불가능하다는 단점이 있다. 해당 연구에서는 정적 기준국을 이용한 압력계 보정정보 생성론을 확장하여 이동하는 드론에서 보정 정보를 생성하여 이를 적용함으로써 압력계를 이용한 고도 산출을 목표로 하였으며 실험을 통해 드론 보정정보의 생성 및 적용이 가능함을 확인하였다.

### [Abstract]

Barometers have been used to calculate altitude, and with the development of technology, barometer which had a large volume have now been reduced to about centimeter-level. The altitude calculation using barometer is proceeded using the relationship between reference sea level pressure and the pressure obtained by barometer, and for this, pre-calibration of the barometer is essential. In addition, the barometer has a certain level of bias from actual pressure due to production, and many smartphone manufacturers correct it during the manufacturing process, but it is difficult to correct errors caused by environmental variables. In this paper, we extended methodology of correcting barometer using static reference station to moving drone, and it was possible to calculate the altitude more accurately.

**Key word** : Barometer, Correction, Relative Positioning, Smartphone, Sensor Fusion.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.2.63>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 31 March 2022; Revised 6 April 2022  
Accepted (Publication) 18 April 2022 (30 April 2022)

\*Corresponding Author, Byungwoon Park

Tel: +82-02-3408-4385

E-mail: byungwoon@sejong.ac.kr

## 1. 서론

지구 대기의 특성상 고도에 따른 압력차이가 존재하며, 이를 이용하여 고도를 추정 가능하다. 대기압은 시간에 따라 천천히, 연속적으로 변화한다는 특징이 있으므로 이러한 시간과 공간적인 상관성 덕분에 두 지점의 기압을 알고 있고 측정시간 차이가 크지 않을 경우 두 지점간의 고도 차이를 추정할 수 있다. 한국 기상청에서는 1분 단위로 지역에 따른 해면경정을 거친 정밀한 기압 정보를 제공하기 때문에 사용자가 기준기압 데이터를 이용하여 보정하기를 원할 경우 손쉽게 해당 정보를 얻을 수 있다[1].

대기의 특성을 이용하여 항공기에서는 고전적인 기계식 압력계를 이용하여 고도를 산출하였으며 이러한 방식의 고전적 압력 고도 산출 방법에도 관제탑으로부터 지역의 해면 기압을 전송받는 방법을 사용하였다.

기술의 발전으로 압력계를 미세전자기계시스템(MEMS; Micro Electro Mechanical Systems)으로 구현하는 것이 가능해졌으며, 이에 따라 압력계는 그 크기가 매우 작아졌다. 이와 더불어 최신 MEMS 압력계인 ST사의 ‘LPS22HB’의 경우, 온도 보상부 및 데이터 송수신부를 포함하고 또한 노이즈 수준은 RMS 0.0075, 분해능은 hPa당 4096 LSB 정도의 성능을 보일 정도로 과거에 비해 훨씬 높은 수준의 고도 측정이 가능해졌다 [2][3].



그림 1. 고전적 기계식 압력계와 MEMS 압력계  
Fig. 1. Traditional Mechanical barometer and MEMS barometer

현재 보편적으로 사용되고 있는 Android 기반 스마트폰의 MEMS 센서 역시 기압계를 포함하고 있다[4]. Android 기반 스마트폰을 소지한 사용자의 고도를 기상청에서 제공하는 해면 경정을 거친 고도와 사용자의 대략적인 지점에서의 지오이드 높이를 이용하면 사용자의 고도를 구할 수 있다.

그러나 기압계의 특성상 노이즈와 바이어스가 존재하는데, 노이즈는 필터링을 통해 제어 가능하지만 바이어스의 경우 사전에 보정을 하지 않았을 경우 추정하기가 어렵다. 오차는 센서의 특성 및 실제 현장에서의 온도, 습도 등의 환경변수에 따라 그 크기가 달라지는 특징이 있으며, 선행 연구에서는 이를 사용자 근처에 고가의 안테나와 수신기 및 기압계가 장착된 정적 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기준국을 설치하여 극복하고자 하였다[5].

그러나 이를 위해서는 GNSS 기준국에 기압계가 설치되어야 하는데, 현재 그림 2와 같이 국토지리정보원에서 제공하는

상시 정적 GNSS 기준국은 기압계를 장착하고 있지 않으므로 현실적인 대안이라고 할 수 없다[6]. 따라서 본 연구에서는 사용자가 높은 고도성능을 요청할 경우, 드론과 같은 이동식 기준국으로부터 보정을 받는 방식을 제안한다. 즉, 기준이 되는 기압계의 바이어스 보정장치를 드론에 탑재하고, 드론을 동적 기준국으로 설정하여 기압계 보정정보를 생성한 뒤 이를 사용자 스마트폰에 적용함으로써 사용자 기압계를 통한 고도 추정의 정확도를 높이는 결과를 기대할 수 있다.

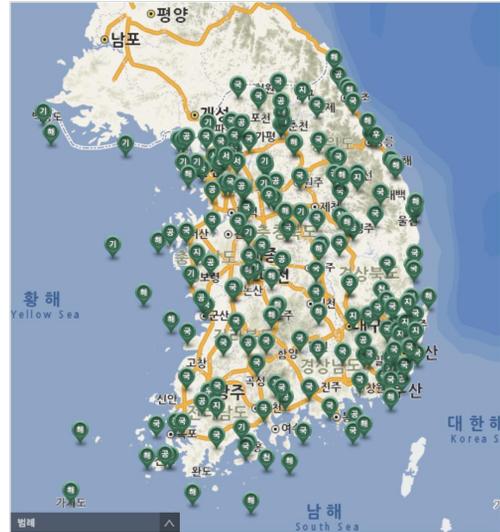


그림 2. 전국 GNSS 기준국 현황  
Fig. 2. Current status of GNSS observation station

이를 위해 본 논문에서는 아두이노와 압력계 모듈, GNSS 안테나, 2km정도의 송수신 범위를 지원하는 송수신기 및 아두이노의 부정확한 발진기(Oscillator)를 대체하기 위한 GNSS 수신기를 드론에 장착하였다. 실제 드론을 비행시켜 매 초마다 압력계의 정보를 기록하고 이와 동시에 가상 기준국(VRS; Virtual Reference Station) GNSS 보정정보를 적용하여 실시간 RTK(RTK; Real-Time Kinematics) 위치를 획득함으로써 cm 수준의 정확도로 도출된 GNSS 고도를 획득한다.

이후 압력계를 통해 도출된 고도를 비교하고, 해당 정보에 기반하여 보정정보를 생성한 뒤 스마트폰에 탑재된 기압계를 이용한 고도 정보에 적용한 뒤 결과를 분석하였다.

## II. 고도 추정론 및 보정방법

### 2-1 일반적인 고도 추정 방법 및 좌표계 통합

압력을 통한 고도 추정은 일반적으로 모델링된 대기 및 압력계 값을 이용하는 방법 혹은 기준 기압과 압력계의 기압값을 이용하여 추정하는 방법 두 가지가 존재한다.

모델링된 대기를 이용하여 고도를 추정하는 방법은 기준 기압이 필요 없다는 장점이 있으며 따라서 인터넷 연결이나 별도

의 처리 없이 간단한 수식을 통해 고도를 추정할 수 있다. NASA 표준 대기식에서 온도와 압력은 각각 식 1, 식 2와 같다 [7]

$$T = 15.04 - 0.00649H \quad (1)$$

$$P = 101.29 \times \left[ \frac{T + 273.1}{288.08} \right]^{5.256} \quad (2)$$

여기서 T,P,H는 각각 온도, 압력, 고도를 나타내고 각각의 단위는 °C, kPa, meter이다. 편의를 위해 압력 단위를 kPa에서 hPa로 변환하고 식 1,2를 연립하여 고도와 압력의 식으로 표현하면 식 3과 같다.

$$Alt_{Press} = \frac{1}{0.00649} \times (288.14 - 288.08 \times \sqrt[5.256]{\frac{P}{1012.9}}) \quad (3)$$

그 다음으로 두 지점의 기압차를 이용하여 고도를 산출하는 방법이 있다. 해당 방법의 경우 표준 대기압인 1 atm, 즉 1013.25를 사용하는 방법 혹은 해당 지역에서의 해면기압을 이용하는 방법이 있으며 해당 식은 식 4와 같다.

$$Alt_{diff} = \frac{10^{\frac{\log_{10}(PF/PS)}{5.2258797}} - 1}{-6.8755856 \times 10^{-6}} \div 3.281 \quad (4)$$

여기서 PF는 기압계 측정기압, PS는 해면기압을 의미한다. 이렇게 얻어진 기압고도는 해발고도로 GNSS 좌표계에서 사용하는 타원체고와는 차이가 있다. 해발고도는 기준이 되는 해수면의 기준점과의 차이를 고도로 둔 것이고, 타원체고는 지구 타원체를 모델링하여 해당 타원체로부터 얼마만큼의 차이를 가지는지를 고도로 둔 것이다.

식 4에 표준 대기압을 대입하면 식 3과 매우 미미한 차이가 존재하며, 결정적으로 식 4는 기준 기압항인 PS가 존재하여 식 3 대비 기상청 데이터를 보정정보로써 활용 가능하다는 이점이 존재하기에 해당 연구에서는 식 4를 활용하여 기압계 압력값을 이용해 고도를 산출하는 방향으로 진행하였다.

압력계로 얻어진 압력고도는 해발고도로서, 일반적으로 사용되는 타원체고로의 변환이 필요하다. 해발고도와 타원체고의 차이는 지오이드 높이 혹은 지오이드고라고 한다. 해발고도, 타원체고, 지오이드고의 관계는 식 5와 같다[9].

$$H = h - N \quad (5)$$

여기서 H는 해발고도, h는 타원체고, N은 지오이드고를 의미한다. 한국 내 지오이드고의 경우 국토지리정보원 서비스에 데이터 파일의 형태로 제공하고 있으며, 경도 0.5도 (약 5.5km) 스케일로 아주 점진적으로 변화한다는 차이가 있다. 그

림 3은 한국의 지오이드고를 나타낸다[10].

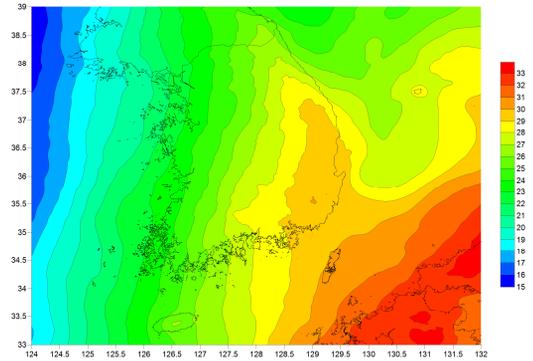


그림 3. 한반도의 지오이드고  
Fig. 3. Geoid height of Korean peninsula

### 2-2 정적 기준국을 활용한 보정정보 적용 방법론

압력계를 이용한 고도 산출시 보정정보는 일반적으로 고정 기준국의 데이터를 활용한다. 고정 기준국의 장점으로는 위치가 알려져 있으며 변하지 않고, 부피와 무게의 제한이 없어 고가의 장비 및 고품질의 데이터 처리 및 제공이 가능하다는 점이 있다[11].



그림 4. 기상청 자동 기상관측장비  
Fig. 4. Automatic weather station of KMA(korean meteorological administration)

대표적인 사례로 항공기의 비행 준비 단계 혹은 비행중 관제탑에서 기준 기압을 무전으로 받아 조종사가 이를 항공장비에 입력하는 것이 있으며 사전 바이어스가 보정된 장비의 경우 해당 방법을 이용한다면 더욱 향상된 정확도를 가진 높이를 압력계로 추정 가능하다. 이러한 경우 식 4에서 해면기압을 PS, 측정기압을 PF로 대입하여 고도 추정이 가능해지게 된다.

그림 5는 기상청에서 실시간으로 제공하는 1분 단위의 자동 기상 관측장치에서 측정 및 해면경정된 해면기압값을 나타낸다. 사용자는 해당 웹페이지에서 원하는 지점의 해면기압을 얻어 식 4에 적용함으로써 압력계의 보정이 가능하다[1].



그림 5. 실시간 해면기압값 제공 웹페이지  
 Fig. 5. Webpage that serves sea level pressure in real time

2-3 동적 기준국을 활용한 보정정보 적용 방법론

기압계 보정정보를 생성하기 위해서 기준이 되는 정확한 높이가 필요하다. 기상청 정적 기준국의 경우 위치가 알려져 있으며, 선행 연구에서는 고가의 안테나 및 수신기를 이용하여 정밀한 고도를 추정하고 해당 지점에 압력계를 설치한 뒤 식 4를 이용, 고도를 추정하여 이를 항법방정식에 통합함으로써 오차를 극복하고자 하였다.

정적 GNSS 기준국은 고가의 안테나와 수신기로 장시간 측정을 통한 정밀한 위치 산출이 가능하나, 본 연구에서는 움직이는 드론을 동적 GNSS 기준국으로 사용한다. 동적 GNSS 기준국 특성상 안테나와 수신기의 크기와 무게가 제한되어 보다 작고 가벼운 안테나와 수신기가 필요하며, 필연적으로 정확도는 정적 GNSS 기준국 대비 낮은 것이 현실이다.

이러한 단점에도 불구하고 동적 GNSS 기준국이 정적 GNSS 기준국 대비 가지는 장점으로는 GNSS 및 기압계 보정정보를 사용자와 근접한 위치에서 생성할 수 있으며 또한 필요시 사용자에게 이동할 수 있다는 점이 있다.

GNSS의 RTK를 위한 보정정보의 가용범위는 단일 기준국일 경우 일반적으로 10km 이내, Network RTK인 경우는 100km 이내로 알려져 있으며[7], 기압계 보정정보는 사용자와 거리가 가까울수록 환경원인에 의한 오차를 제거함에 있는 이점을 가진다.

본 연구에서는 다중 위성군의 이중 주파수 및 반송파, RTK를 지원하는 소형 수신기와 안테나를 이용해 수평, 수직방향 모두 cm 수준의 정확도를 가지는 위치정보와 기압계를 이용하여 실시간으로 변하는 고도에서 계산한 보정정보를 고도 보정정보로써 활용하는 방법론을 적용하였다. 이를 식6, 그림 6 및 그림 7으로 각각 나타내었다.

$$B = Alt_{RTK} - Alt_{Baro} \quad (6)$$

여기서 B는 고도 보정정보, Alt<sub>RTK</sub>는 RTK 수신기가 도출한 고도, Alt<sub>Baro</sub>는 압력계로 계산한 고도를 의미한다.

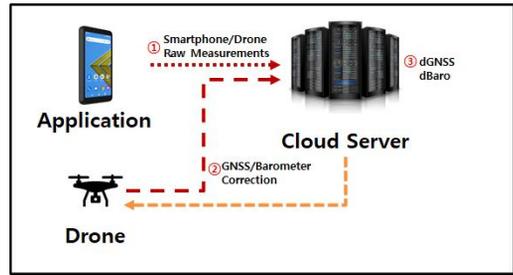


그림 6. 기압계 보정정보 생성 및 전송 개요도 - 1  
 Fig. 6. Overview of generating and transmitting barometer correction - 1

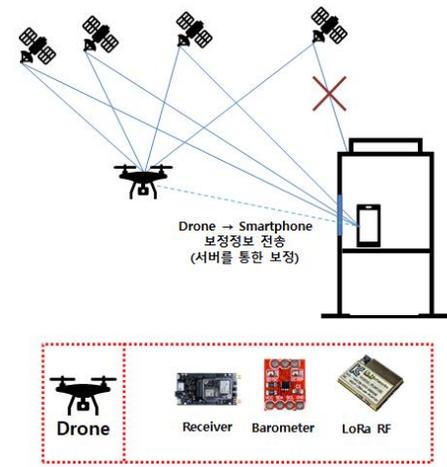


그림 7. 기압계 보정정보 생성 및 전송 개요도 - 2  
 Fig. 7. Overview of generating and transmitting barometer correction - 2

실험 진행을 위해 이를 그림 7의 장비를 실제 상용 드론에 구축하였으며, 추가적으로 GNSS 데이터 기록을 위한 GNSS 안테나와 데이터 처리 및 전송을 위해 아두이노 및 안테나를 장착하였다. 완성된 모습은 그림 8과 같다.



그림 8. 기압계, GNSS 수신기, 안테나 및 통신장비를 장착한 드론  
 Fig. 8. Drone equipped with barometer, GNSS receiver, antennas and communication device

## 2-4 보정정보 적용 필요성

GNSS 신호는 지구 상공 약 20,183km에서 신호를 방송하기 때문에 전 지구에서 신호를 수신할 수 있다는 장점이 있지만 창문 등의 장애물에 따라 그 신호가 차단되거나 회절, 반사될 수 있다.

따라서 실내 환경 등 GNSS 신호의 품질이 좋지 않은 장소에서의 고도 추정에는 GNSS 신호만을 이용하여 진행하는 것은 불가능하며, 이를 극복하기 위해 창가에서 신호를 수신하더라도 열악한 수신 품질과 높은 DOP(Dilution of Precision)로 인해 양질의 고도를 추정하는 것은 사실상 불가능하다.

그림 9는 창가에 스마트폰을 위치하고 약 10분간 고도를 추정하였을 때의 오차를 나타낸 그래프로 같은 고도임에도 그 변화가 약 -30m 정도인 것을 확인할 수 있다.

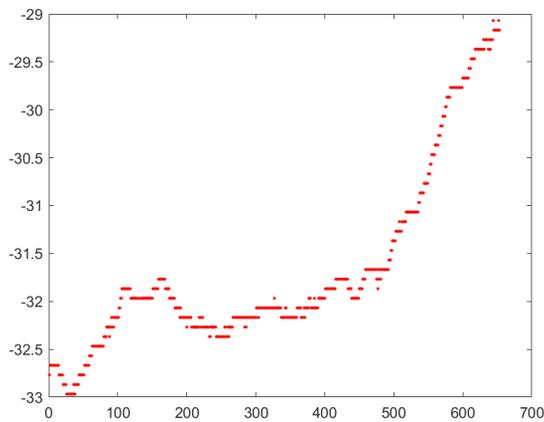


그림 9. 창가에서의 NMEA(national marine electronics association) 메시지 고도 오차

Fig. 9. Altitude error of NMEA message, calculated near by the window

일반적으로 GNSS와 압력계 등 다양한 측위 정보를 결합하여 NMEA 형태로 출력하게 되며, 해당 정보들이 부족한 경우 스마트폰의 내부 알고리즘으로 생성되는 NMEA 메시지는 수평과 수직방향에서 큰 오차를 보인다.

이러한 오차는 사용자의 위치를 특정하기 어렵게 하며, 화재 등 재난 상황에서 사용자의 위치를 신속하게 추정하여야 하는 상황에서 큰 단점이 된다. 사용자의 고도를 층 내부 수준에서 추정하는 것이 가능하다면 이러한 상황에서 신속히 사용자의 위치를 얻는 것에 큰 도움을 주게 되므로 양질의 고도 데이터를 얻는 것은 매우 중요하다.

## III. 실험 및 결과 분석

### 3-1 기압계 특성 및 오차 원인

MEMS 기압계는 실제 기압의 경향성을 매우 잘 측정하는 장점이 있으나, 센서의 특성상 노이즈가 많고 생산과정에서 발생하는 바이어스가 존재한다. 다음은 LT사의 “LPS22HB” 3개의 동시간 정적 환경 측정 데이터를 나타낸 그래프이다. 정적 환경은 외란을 최소화하기 위해 스폰지로 구멍을 막은 인클로저 내부에 구현하였으며 그림 10의 모습과 같고, 압력계 측정 결과는 그림 11의 그래프와 같다.

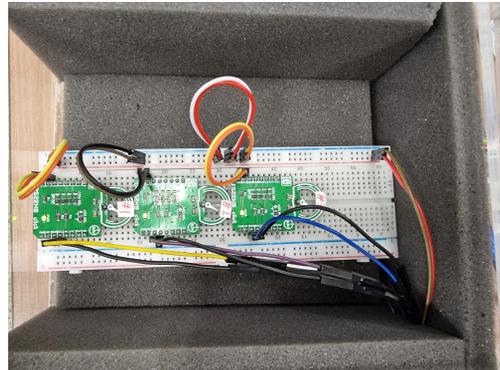


그림 10. 동일 압력계간 바이어스 추정을 위한 실험장비

Fig. 10. Testing instrument for estimating bias between same barometers

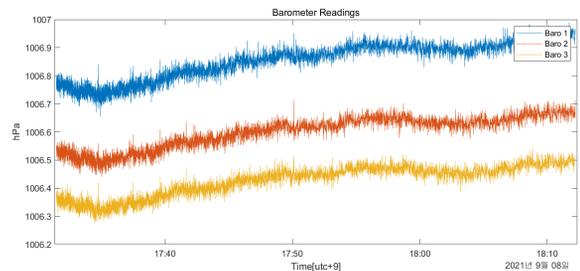


그림 11. 동일 환경 하 동일 기압계간 측정값 차이

Fig. 11. Differences in measured atmospheric pressure between the same barometer under the same environment

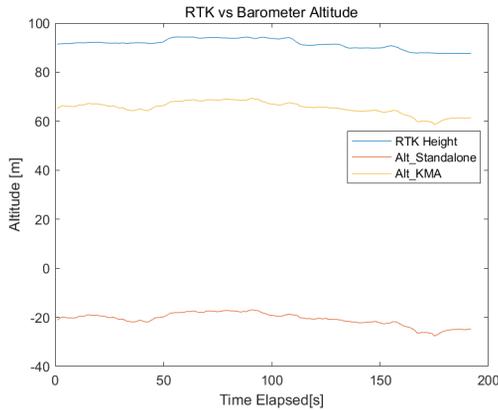
이러한 동일 기압계간 바이어스는 고도 오차를 일으키며, 기압계 1을 기준으로 식 4를 활용하여 기압계 2, 3으로 취득한 압력을 고도로 환산할 시 각각 2.1m, 3.5m 정도의 차이를 일으키게 된다. 이렇듯 동일한 제조사의 동일한 기압계 간에도 바이어스가 존재하므로 동적 드론에서 압력계 보정정보를 적용하여도 경우에 따라 수 m 정도의 오차가 존재하는 것을 감안하여야 한다.

### 3-2 보정정보 생성

보정정보 생성에 앞서, 본 실험에서는 그림 8의 드론을 비행시켜 압력계 값을 기록한 다음 이를 정적 기준국에서 식4를 이용하여 각각 1atm과 기상청 제공 해면기압을 대입해 얻은 결과

를 비교하고자 하였다.

다음은 동적 실험으로, 그림 12는 층무관 옥상에서 약 3분간 그림 3의 드론을 사각형의 궤적으로 비행시켜 얻은 기압 데이터를 이용해 식 4에 각각 표준대기와 기상청 제공 해면기압을 이용하여 산출한 고도와 GNSS RTK로 얻은 cm수준의 정밀한 고도 데이터를 비교한 결과이다.



**그림 12.** RTK 고도와 압력계 값을 표준기압과 기상청 제공 해면기압을 이용하여 얻은 고도 그래프  
**Fig. 12.** Graph of RTK altitude and altitude calculated by its own pressure and using sea-level pressure provided by KMA

푸른색 선은 실제 고도차이를, 노란색 및 주황색 선은 드론의 기압계로 측정된 압력을 이용하여 식 4에 기상청 제공 해면기압 및 표준대기압 1013.25hpa를 대입하여 얻은 고도를 나타낸다.

또한 해당 실험에서 취득한 데이터는 노이즈를 갖고 있기에 이를 보상하기 위해 노이즈 제거 및 데이터 평활화용 칼만 필터를 설계하였다. 데이터의 특성상 평활화를 위한 칼만 필터의 시스템 예측값과 센서 입력값은 식 7 및 8과 같다.

$$x_{k+1} = x_k + w_k \tag{7}$$

$$z_k = Hx_k + v_k \tag{8}$$

상태 예측 단계는 다음과 같다.

$$\hat{x}_k^- = A \times \hat{x}_{k-1} \tag{9}$$

A와 Q는 각각 상태 천이 방정식 및 상태 노이즈를 의미한다. 평활화 칼만 필터의 특성상 천이는 이루어지지 않으므로 A는 1으로 설정하였다.

그 다음 시스템의 불확실성을 추정한다.

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \tag{10}$$

P는 오차 공분산, Q는 시스템 오차 공분산을 의미한다. P의 초기값은 5로 설정하였으며 시스템 오차의 경우 보정정보의 오차 변화율을 고려하여 표준편차값이 0.017m 수준을 가지므로 해당 값의 제곱으로 설정하였다.

그 다음 칼만 이득인 K를 계산한다.

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \tag{11}$$

여기서 R은 입력값, 즉 센서의 오차 공분산을 의미하며, 평활화 시에는 같은 변수간 공분산을 구하기 때문에 분산을 사용한다. 본 연구에서는 정적 상태에서 취득한 압력계의 식 4를 이용한 고도 환산값의 분산의 제곱근, 표준편차값인 0.5802의 제곱을 사용하였다.

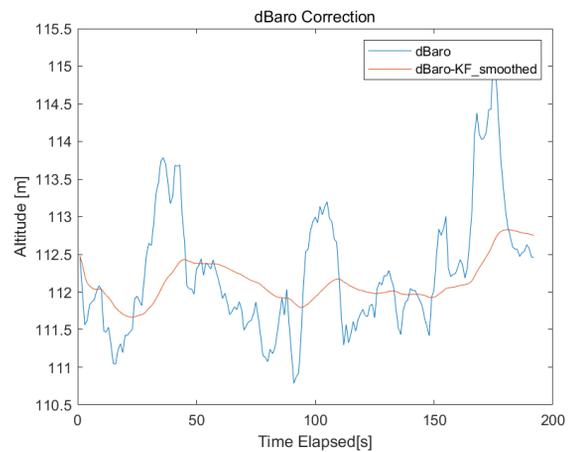
다음으로, 측정치 z를 이용하여 예측을 업데이트한다.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \tag{12}$$

마지막으로, 오차 공분산을 업데이트한다.

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \tag{13}$$

해당 필터를 이용하여 동적 실험에서 얻은 RTK 고도와 압력계를 이용하여 얻은 고도의 차이, 즉 보정정보의 평활화 전후의 결과는 그림 13과 같다.



**그림 13.** 필터를 이용한 보정정보 평활화 전후 결과  
**Fig. 13.** Results before and after smoothing barometer correction

그림 13에서 원시 보정정보가 일정하지 않고 2m 이내의 노이즈가 존재함을 확인할 수 있다. 그림 14는 기압 외란의 영향이 측정치에 어떤 영향을 끼치는지를 가시화하기 위해 드론 압

력계의 바이어스를 임의로 보정한 그래프로, 실제 보정에 쓰이지 않는 정보이며 노이즈의 원인 그 정도를 파악하기 위해 생성한 정보이다.

푸른색 선은 드론 비행 실험시 RTK로 얻은 수 cm급 정밀도를 가지는 고도이며, 붉은색 선은 기압계로 추정된 고도를 나타낸다.

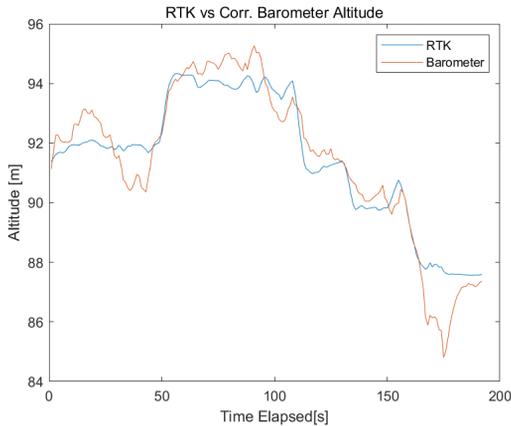


그림 14. RTK 고도와 보정 전 기압계로 취득한 고도  
 Fig. 14. RTK altitude and altitude calculated by calibrated barometer

0~50초 및 150~200초 구간은 그 오차가 2~5m 수준으로 오차의 크기가 1m 이내인 50~150초 구간에 비해 상대적으로 그 오차가 크다. 이 구간은 이륙 전 및 착륙 후의 데이터로, 드론의 바람이 지면에 반사되어 압력계 인클로저의 통기구에 직접 교란을 일으켜 실제 고도와 차이를 유발하는 것으로 추정된다.

따라서 이착륙이나 급격한 기동시 발생하는 높은 노이즈 수준으로 인해 호버링과 같은 안정적 비행시의 보정정보를 사용하는 것이 더 나은 결과를 도출 가능함을 알 수 있으며 정적 기준국 대비 압력계 수신치 품질의 저하는 필연적임을 알 수 있다.

### 3-3 보정정보 스마트폰 적용 결과

마지막으로 앞서 생성된 보정정보를 스마트폰에 적용함으로써 보정정보의 타당성을 확인하였다. 실험은 스마트폰을 정적 실험장비와 같은 위치에 두고 데이터를 취득한 뒤 칼만 필터를 통과시켰다.

스마트폰의 압력계 단독 고도 측정치, 기상청 제공 기준기압 적용결과 및 드론의 보정정보를 적용하는 방법은 식 6의 B를 압력계 단독 고도 추정결과에 반영하는 방법이 있으며 그 수식은 식 14와 같고, 결과는 그림 15와 같다.

$$Alt_{dBaro} = Alt_{Standalone} + B \quad (14)$$

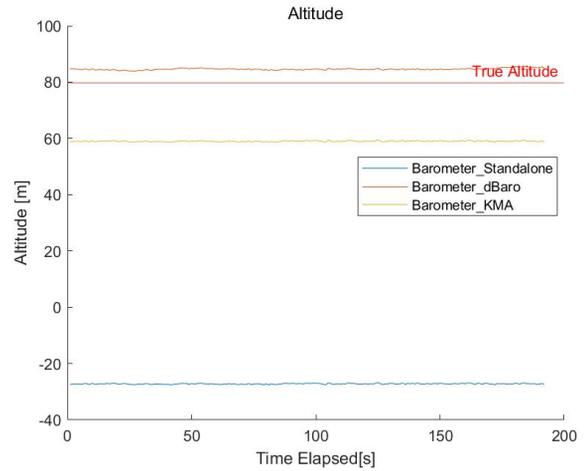


그림 15. 스마트폰 단독, 기상청 보정정보 및 드론 보정정보 적용 결과 그래프  
 Fig. 15. Graph of the application results of smartphone standalone, KMA correction information, and drone correction information.

보정 전후의 데이터를 분석하면 그 결과는 다음과 같다.

표 1. 보정방법 오차 분석  
 Table 1. Error analysis of corrections

Error	RMS	Mean	Std
Standalone	106.990	-106.989	0.169
KMA	20.769	-20.768	0.169
dBaro	4.845	4.855	0.326

동적 기준국을 이용하여 고도 추정시 RMS 및 평균 기준 스마트폰 단독 압력계 추정값 대비 각각 95% 향상되었음을 알 수 있다. 기상청 제공 해면기압을 이용하여 보정하는 경우 대비 RMS 및 평균 기준 76% 향상되었음을 확인할 수 있다.

## IV. 결 론

본 논문에서 기압계와 cm수준 정확도를 가지는 RTK 수신기를 드론에 장착하고 해당 드론을 이용하여 이를 동적 압력계 기준국으로 사용하는 연구를 진행하였다. 이를 위해 반복적인 실험이 가능하게 LABSAT 및 아두이노를 이용한 데이터 로깅 시스템을 구축하였다.

먼저, 기압계의 기기특성인 바이어스를 추정하기 위해 정적 실험을 진행하였다. 같은 장소에서 약 10분간 세 개의 같은 제조사의 동일 모델 압력계로 압력을 측정하였으며, 압력 경향성은 동일하나 센서간 바이어스가 존재함을 확인하여 같은 제조사의 동일 모델간에도 센서간 바이어스로 인해 수m 수준의 오차가 발생함을 확인하였다.

그 다음, 드론에 GNSS 안테나, 아두이노, 송수신 모듈, 기압계 및 GNSS 수신기를 장착하여 실시간 GNSS 원시 방송 데이

터 및 1초 단위로 기압계 정보를 기록함과 동시에 VRS 보정 정보를 별도의 소프트웨어로 기록하였고 이를 RTK 지원 수신기에 재방사함으로써 cm 단위의 정확도를 가지는 고도를 얻은 뒤, 기록된 기압을 필터링하여 실제 고도와와의 차이를 구하였다.

마지막으로 해당 데이터를 분석하여 이를 실제 스마트폰에 적용함으로써 실제로 적용 가능한 방법인지에 대한 평가를 진행하였다. 그 결과 해당 보정정보는 타당한 값을 가지며 고도 추정 결과에 도움이 되는 것을 확인하였다, 그러나 보다 정확한 고도 추정을 위해 드론과 대기의 불안정성이 만드는 노이즈 추정 및 스마트폰과 드론 탑재 압력계의 바이어스 추정이 추가적으로 필요할 것으로 예상된다.

## Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korean government(Motie : Ministry of Trade, Industry&Energy) (No. N0002431).

## References

[1] Korea Meteorological Administration(KMA). Auto Weather Station(AWS) Data[Internet], Available: [https://web.kma.go.kr/weather/observation/aws\\_table\\_popup.jsp](https://web.kma.go.kr/weather/observation/aws_table_popup.jsp)

[2] STMicroelectronics(ST). MEMS nano pressure sensor [Internet], Available:<https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00140895.pdf>

[3] Er. Naser.F.AB.Elmajdub, Dr.A.K. Bharadwaj, "Important

Pitot Static System in Aircraft Control System", American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. 3, No. 10, pp. 138-144, Jan.2014

[4] Google Developers. Environment Sensors[Internet], Available:[https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors\\_environment](https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_environment)

[5] J. H. Yun, B. W. Park, L. C. Lim, Y. L. Lee, Y. B. Lee, and E. Y. Lee, "Integrated Positioning using GNSS and Barometer in Poor Satellite Observation Environments," in Proceeding of 2021 Korean Navigation Institute, pp. n-m, 2020

[6] GNSS data Center. GNSS Stations[Internet], Available:<https://gnssdata.or.kr/download/getDownloadView.do>

[7] National Aeronautics and Space Administration(NASA). Earth Atmosphere Model[Internet], Available:<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html>

[8] C. S. Lim, B. W. Park, "Performance Comparison of VRS and FKP Network RTK User According to Baseline Length, Journal of Advanced Navigation Technology, 24, 6, 540-548, Dec. 2020.

[9] Korea Meteorological Administration(KMA). Vertical Reference [Internet], Available:<http://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/vertclStdOpenLctre.do>

[10] National Geographic Information Institute. Geoid height map [Internet], Available:<http://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/geoidIntro.do>

[11] Korea Meteorological Administration(KMA). Automatic Weather Station [Internet], Available:<https://www.kma.go.kr/kma/biz/observation02.jsp>



**김 수 열 (Suyeol Kim)**

2016년 2월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학부 학사과정

※ 관심분야 : GNSS, Sensor Fusion, Android



**윤 정 현 (Jeonghyeon Yun)**

2019년 8월 : 세종대학교 항공우주공학 (공학사)

2019년 8월 : 세종대학교 전자공학 (공학사)

2021년 2월 : 세종대학교 대학원 항공우주공학 (공학석사)

2021년 2월 : 세종대학교 대학원 지능형드론융합전공 (공학석사)

2021년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 대학원 항공우주공학 박사과정

2021년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 대학원 지능형드론융합전공 박사과정

※ 관심분야 : Android, GNSS, INS, Smart Device



**박 병 운 (Byungwoon Park)**

2001년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학사)

2003년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학석사)

2008년 2월 : 서울대학교 항공우주공학과 (공학박사)

2012년 8월 : LX 국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원/책임연구원

2012년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 부교수

※ 관심분야 : DGPS, WADGPS, RTK, Network RTK, GNSS