

# Identity 3B 발사 데이터 요약 보고서

Hanaro 전자팀 남도현, 김형찬

생성일: 2024.12.21 | 최종 수정일: 2024.12.24

## 1 발사 과정 요약

총 비행 시간은 약 39.3초이며 발사 후 6.5초에 최대 고도 307m를 달성하였다. 아직 값이 정확하지 않아 이후 낙하산이 펼쳐지는 구간에 대한 분석은 충분치 않다.

## 2 그래프

### 2.1 고도 - 시간 그래프

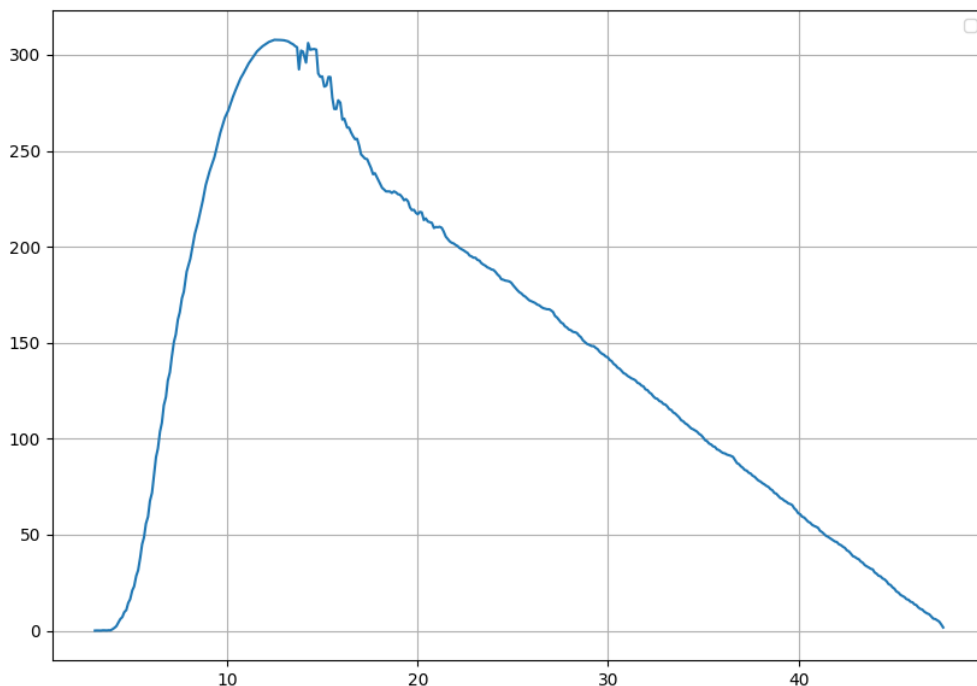


Figure 1: 고도 - 시간 그래프

고도 - 시간 그래프는 동체의 기압 고도계를 바탕으로 산출한 것이며 apogee는 발사 후 6.5초, 327m이다. 그래프를 보면 약 10초가 걸린 것으로 생각할 수 있으며 csv 파일에는 10.4초에 apogee에 도달하였다고 했으나 이는 전원을 켜 이후 10.4초 후에 도달한 것으로, 동체가 "발사"되었다고 판단된 시점으로부터는 6.5초가 걸렸다.

동체의 "발사"는 정지 상태에서 imu 센서의 가속도 값이 중력가속도와 동일하다는 점에서 착안하여 가속도의 크기가 정지 상태 값의 10%를 넘어가는 순간을 launch point, 발사되는 순간으로 지정하였으며 이 기준은 충분히 바꿀 수 있다.

### 3 동체 경로

동체의 경로는 gps + 기압 고도계를 이용한 산출방식, 가속도계 + 각속도계를 통한 적분법, 가속도계 + 각속도계 + 지자기 센서를 이용한 필터링 방식을 통해 얻을 수 있다.

#### 3.1 gps 기반 경로

동체 내의 gps를 바탕으로 동체의 시간에 따른 위도, 경도를 알 수 있다. 이를 각각  $\varphi$ ,  $\lambda$ 라고 하면 동체의 위치는 다음과 같다.

$$x = R\Delta\lambda \cos \varphi_0 \quad (1)$$

$$y = R\Delta\varphi \quad (2)$$

하지만 이때의  $x$ ,  $y$  값은 구면의 위선, 경선을 따른 거리이며 실제로는 구면 위의 두 점을 잇는 원을 따라 잴 거리가 바탕이 되어야 한다. 이를 Haversine distance라고 하며 Haversine formula를 통해 구할 수 있다.

$$d = 2r \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos \varphi_0 \cos \varphi \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

이론적으로는 이렇게 구한 Haversine distance에 대해서  $x$ ,  $y$ 는 다음과 같이 산출되어야 한다.

$$x = d \cos \varphi \Delta\lambda \quad (4)$$

$$y = d * \Delta\varphi \quad (5)$$

이를 그린 경로는 다음과 같다. 시작점은 (0, 0, 0)이다.

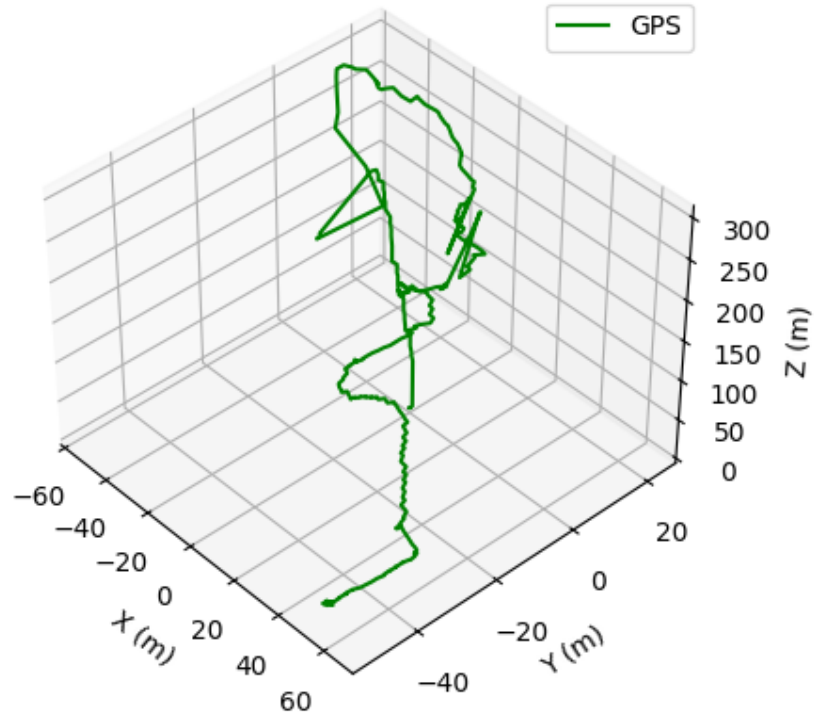


Figure 2: GPS 경로

### 3.2 가속도, 각속도 기반 경로

지자기를 사용하지 않고 가속도와 각속도만을 사용하는 경우 로켓의 3차원 좌표계를 매 순간 각속도 벡터만큼 3차원 회전 한 후 가속도를 변환하여 적분하는 방식이다.

$$\hat{n} = \hat{\omega} \quad (6)$$

$$\Delta\theta = \omega\Delta t \quad (7)$$

$$q = \cos \Delta\theta/2 + \hat{n} \sin \Delta\theta/2 \quad (8)$$

각각의 time step에 대해서 측정한 각속도 벡터가 존재하며 위 식처럼 회전 quaternion을 정의할 수 있다. 이로부터  $i$ 번째 body frame을  $i+1$ 번째 body frame으로 회전할 수 있고 body frame에서 측정한 가속도를 observer frame으로 변환한 후 적분(RK4)하여 동체의 경로를 알 수 있다.

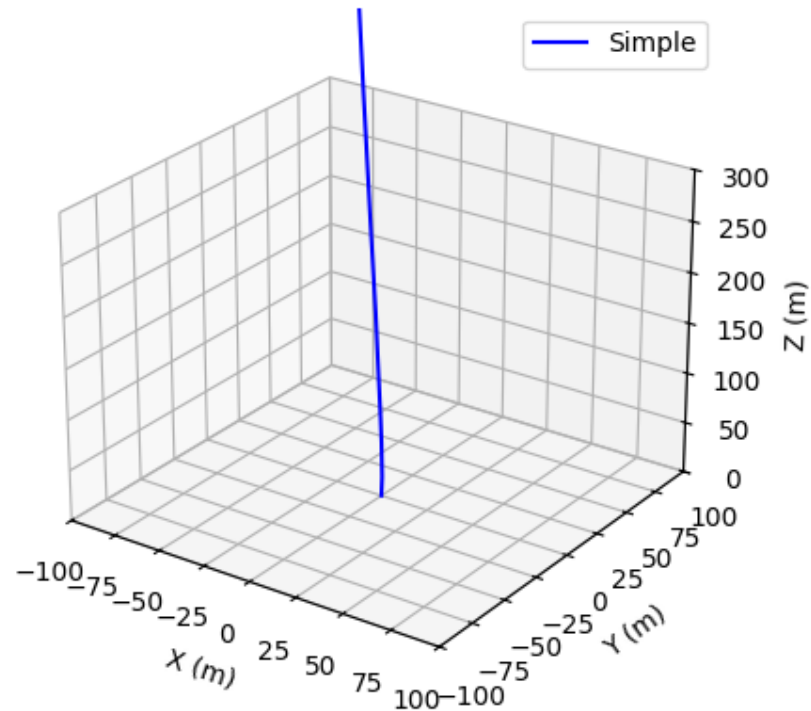


Figure 3: Filtering이 없는 단순 적분 경로

어떤 이유에서인지 경로의 좌표값이 발산하는 것을 볼 수 있다.

### 3.3 imu 기반 경로

지자기 센서 값까지 이용하는 경우 지자기 센서로 동체의 배향을 대표하는 quaternion을 평가할 수 있다. 즉, 필터링이 가능하며 Kalman Filtering을 기반으로 경로를 계산한다. 자세한 알고리즘은 생략하도록 하겠다.

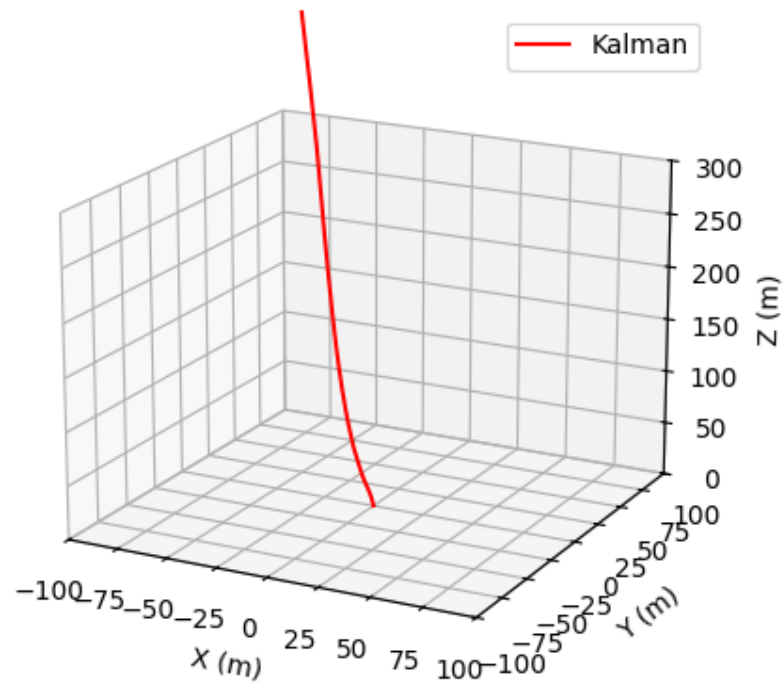


Figure 4: Kalman Filtering 경로

Kalman 경로 또한 단순 적분 경로와 같이 발산한다. 위 3개의 경로를 모두 모아보면 다음과 같다.

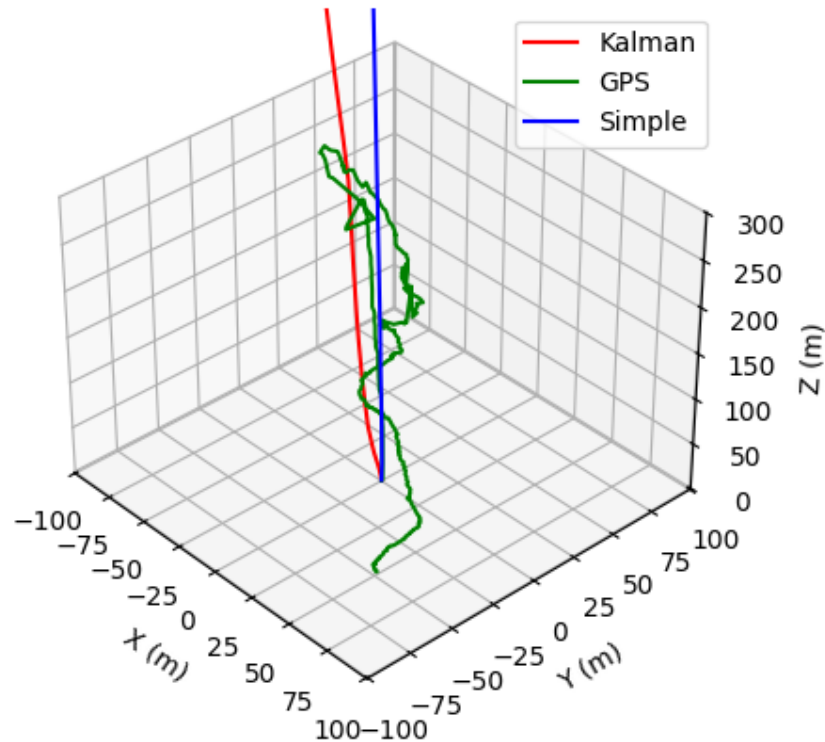


Figure 5: 다양한 방식으로 산출한 동체 경로

발산한 경로의 잔해 때문에 3개의 경로가 모두 나오는 깨끗한 각도를 찾기가 어려웠다. 3개의 경로 중 기준이 되는 것은 GPS 기반 경로이다. 실제로 이 결과를 3D로 보면 Kalman 경로는 시작부터 GPS와 맞지 않는다. 단순 적분 경로는 고도 100m까지는 GPS와 비슷하지만 점점 틀어져 apogee에서는 약 50m가 넘는 수평 오차가 발생하게 된다.

#### 4 고찰

코드 상의 가장 큰 문제는 사원수 처리 과정이다. 사원수 rotator를 선언하여 연속적으로 좌표계를 회전시키며 body frame의 가속도를 observer frame으로 변환하는 것이 발산한 두 경로의 특징이다. 사원수 처리가 불안정하다는 의미이며 값의 스케일을 다시 한 번 따져보아야 한다. 발산 문제는 남도현이 만든 프로젝트의 적분 코드에서 발생한 것이며 김형찬의 적분 과정에서는 문제가 없었기 때문에 코드 통합 과정에서 손을 볼 수 있을 것으로 보인다 (여전히 시도 중임).

데이터 상의 문제는 각속도 센서의 측정한계로 인하여 apogee 도달 이후 특정 구간에서 값이 발산한다는 것이다. 즉, 측정값이 최댓값으로 일관된 구간이 존재하며 정확한 경로를 알 수 없는 주된 이유이다. GPS 경로를 보면 apogee 도달 이후 상당히 구불구불하고 불안정한 경로를 따라 동체가 이동하는 것을 볼 수 있는데 필터링을 통해 이 경로를 실제로 구현하려면 더 큰 차원의 state vector 및 정밀한 error covariance를 필요로 한다.

현실적으로 현재 고칠 수 있는 문제는 코드 상의 고도 발산 문제이며 이를 다음 회의, 12.26 (목)까지 해결할 수 있도록 노력하겠다. 나아가, 새로운 필터링 알고리즘이 설계되면 바로 테스트할 수 있는 시스템을 구축하는 것을 그 다음 목표로 한다. 메리 크리스마스.