

## 소형무인항공기 항법시스템오차 시험평가 방법

# Methodology of Test for sUAV Navigation System Error

구성관<sup>1</sup> · 안효정<sup>2</sup> · 주요한<sup>3</sup> · 홍석민<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>한서대학교 항공산업공학과

<sup>2</sup>한국항공우주연구원 미래혁신연구센터

<sup>3</sup>한국산업기술시험원 항공국방기술센터

<sup>4</sup>한서대학교 무인항공기학과

SungKwan Ku<sup>1</sup> · HyoJung Ahn<sup>2</sup> · Yo-han Ju<sup>3</sup> · Seokmin Hong<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Aviation Industrial & System Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

<sup>2</sup>Future Innovation Research Center, Korean Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

<sup>3</sup>Department of Aerospace and Defense Technology Center, Korea Testing Laboratory, Gyeongsangnam-do, 52852, Korea

<sup>4</sup>Department of Unmanned Aircraft Systems, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

### [요 약]

최근 무인항공기의 활용 범위와 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 저고도 무인항공기의 경우 유인항공기와 별개의 관리 체계 개발을 통해 별도의 운영 시스템 구축에 관한 연구가 진행되고 있다. 저고도 무인항공기의 경우도 공역을 비행하는 비행체이므로 비행체의 운영에 필요한 기술 기준 및 인증 제도의 수립이 필수적이며, 이에 대한 연구도 함께 진행되고 있다. 비행체의 운영 기준 및 인증 요건이 제시되는 경우, 이를 확인할 수 있는 시험방법도 함께 제시되어야 한다. 특히, 소형무인항공기의 경우는 비행 중 요구되는 항법의 정확도 수준이 유인항공기 또는 대형 무인항공기 보다 정밀한 비행을 요구하므로, 기존의 비행체 비행에서만 확인할 수 있는 비행 결과 정확도 산출이 아닌 별도의 항법오차의 산출이 필요할 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 기존 유인항공기와 다른 장시간의 운영 데이터 획득이 어려운 무인항공기에 적용이 가능한 항법 오차 도출에 관한 시험 방법에 대하여 제시하였고, 실증 시험을 수행하였다.

### [Abstract]

Recently, the range of utilization and demand for unmanned aerial vehicle (UAV) has been continuously increasing, and research on the construction of a separate operating system for low-altitude UAV is underway through the development of a management system separate from manned aircraft. Since low-altitude UAVs also fly in the airspace, it is essential to establish technical standards and certification systems necessary for the operation of the aircraft, and research on this is also in progress. If the operating standards and certification requirements of the aircraft are presented, a test method to confirm this should also be presented. In particular, the accuracy of small UAV's navigation required during flight is required to be more precise than that of a manned aircraft or a large UAV. It was necessary to calculate a separate navigation error. In this study, we presented a test method for deriving navigation errors that can be applied to UAVs that have difficulty in acquiring long-term operational data, which is different from existing manned aircraft, and conducted verification tests.

**Key word** : Unmanned aerial vehicle, Global positioning system, Test and evaluation, Performance based navigation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.510>



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 7 December 2021; Revised 8 December 2021

Accepted (Publication) 26 December 2021 (30 December 2021)

\*Corresponding Author; Seokmin Hong

Tel: +82-41-671-6287

E-mail: hongsm@hanseo.ac.kr

## 1. 서론

최근 AI 하드웨어와 딥 러닝 알고리즘 개발, 모터성능 개선, 배터리 효율성 증대 등 많은 기술적인 진보로 인해 무인항공기 기술 발전을 이루어지면서 기존의 레저용 뿐 만 아니라 재난 지역에 대한 정찰, 실종자 수색, 경찰의 과속차량의 식별, 도난 차량 추적, 방송 및 영화 업계의 항공 촬영 등 다양한 분야에서 무인항공기의 이용이 확대되어 가고 있다. 또한 구글, 아마존, DHL, UPS 등도 드론 배송 상용화를 위해 대규모 서비스 운영에 따른 안전성 및 소음문제 등 상용화를 위한 많은 연구를 진행하고 있다.[1].

무인항공기의 활용범위가 다양화되어 가고 활용영역이 넓어짐에 따라 미국을 중심으로 해서 무인항공기와 기존 유인항공기의 공역 통합 및 운영에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2]. 무인항공기가 기존유인항공기와 통합된 공역에서 비행을 위해서는 필수적으로 무인비행체의 안전성, 원거리 통신에 대한 신뢰성, 지형지물/장애물/주위 항공기 인식 및 자동 회피 기능이 확보되어야 한다. 또한 무인항공기에 대한 인증기준 및 검증방안이 마련되어야 한다. 이에 미국, 유럽에서는 무인항공기 인증규정 및 법체계에 관련된 연구들을 진행하고 있다[3].

국내에서도 최대이륙중량이 25kg 이상의 무인항공기에 대해서는 안전성 인증 대상으로 분류해 기능 및 성능에 대한 검증을 수행하도록 법안을 마련하였다.

기체 제작에 대한 안전성 인증은 정립되어 지고 있으나 무인항공기 항법 무결성에 대한 연구는 아직 미흡하다. 공역 내에 무인항공기의 비행을 위해서는 무인항공기의 항법 정확도 및 무결성에 대한 보장이 이루어져야 한다.[4]. 본 논문에서는 무인항공기의 항법에 필요한 요소 중 무인항공기 위치정확도에 대한 시험평가 방안 기초연구를 진행한다. 이를 위해 무인항공기 임무 조건 확인, 시험 요건 도출, 시험 방법 수립 및 산출식 검토, 실제 데이터 획득을 위한 시험과 결과 분석을 수행하고자 한다.

본 논문에서는 2장에서는 무인항공기의 위치 정확도 시험방안에 대한 수립을 논할 것이며 3장에서는 제시된 시험방안을 이용해 항법시스템오차에 대한 시험 수행에 대한 결과를 제시하고 이를 분석하게 된다. 4장에서는 논문에 대한 결론으로 마무리한다.

## II. 위치정확도 시험방안 수립

### 2-1 무인항공기 위치정확도 시험의 필요성

그림 1과 같이 일반적인 비행체가 경로 비행 중 발생할 수 있는 오차는 설정된 경로의 정확도 차이로 인하여 발생하는 경로 오차(PDE; path definition error), 비행체 제어에서 발생하는 비행 오차(FTE; flight technical error), 항법장치에서 발생하는 항

법시스템오차(NSE; navigation system error) 등이 있을 수 있으며, 이러한 오차를 모두 고려한 전체 오차(TSE; total system error)가 실제 비행 운영에서 발생할 수 있는 항법 오차이다[5].

비행체의 오차 수준에 관한 요구도는 실제 시스템의 운영에 관한 조건을 수립하고 이에 따른 기술개발을 수행하는 방법과 관련 기술의 개발 후 다양한 초기 운영을 통해 습득된 결과를 활용한 조건의 정의 등이 있을 수 있다. 어떠한 방법이 최적화된 것이라 정의하기는 어려우나, 두 방법 모두 실제 운영을 통한 데이터 수집과 분석이 필요하고, 이 과정에서 공통적으로 적용할 수 있는 분석 절차와 기법을 통하여 데이터 분석에서 오차를 최소화 할 필요가 있다.

### 2-2 무인항공기 위치정확도 시험 선행연구

주요한 외 3인이 수행한 선행연구에서는 무인항공기의 호버링(hovering)과 같은 정지비행과 순항비행(cruise flight)과 같은 동적비행 형태를 가지며, 각 비행단계와 상세설명은 표 1에 나타내었다[6]. 이들 비행 형태를 모사하기 위해 정적시험과 동적시험을 정의하고 각각의 시험을 실시하였다. 정적시험은 무인항공기가 호버링(hovering) 또는 비행 중 대기(holding) 등 정지비행 형태를 모사하며, 동적시험은 무인항공기의 순항비행 형태를 모사한다. 무인항공기의 비행 중 위치정확도는 바람의 영향을 고려하여, 지상에서 트랙(track)으로 이동하며 위치정확도를 평가하는 방법을 추가적으로 고려하였다. 다만, 선행 연구에서는 비행 중 발생할 수 있는 전체 비행체 위치오차(TSE; total system error)의 사항을 항법오차(NSE; navigation system error)로 가정하였으나, 실제 비행체의 비행에 의해 도출한 항법오차

표 1. 임무 프로파일에 따른 비행단계  
Table 1. Flight phase in mission profile

Flight Phase	Description
Take-off	Flight plan review and aircraft take-off
Cruise flight	Cruise flight to destination along planned flight path
Arrival	Hovering over the landing site and identify potential hazards for landing
Landing	Aircraft landing

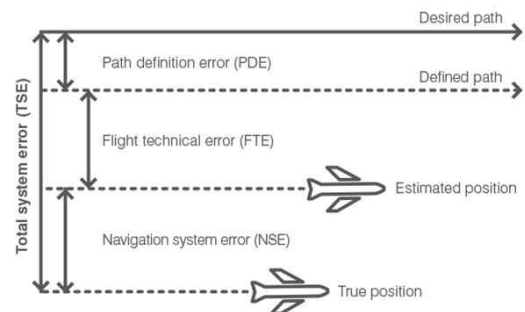


그림 1. 비행체의 비행 중 발생 전체 오차  
Fig. 1. Total System Error of Flight

는 비행오차(FTE; flight technical error)가 반영될 수 있기 때문에 별도의 정밀한 산출이 필요하다.

**2-3 무인항공기 위치정확도 산출 방법**

**1) 정적 위치 오차 산출 방법**

일반적으로 정적 위치 오차는 원형공산오차(CEP; circular estimate probability)의 개념을 사용하여 도출한다. 원형공산오차는 위치 신뢰도가 50% 확률인 원의 반지름을 의미하는 것으로, 군사 분야에서 포탄의 정확도를 측정하는데 주로 사용되었던 개념이다[7]. 원형공산오차 산출 방법인 DRMS(deviation root mean square)은 식(1)과 같다[8].

$$DRMS = \sqrt{\left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (Lat - Lat_i) * Dist_{lat}}{N} \right\}^2 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (Long - Long_i) * Dist_{long}}{N} \right\}^2} \tag{1}$$

- N: 표본의 수
- Lat: 무인항공기 고정점의 위도
- Long: 무인항공기 고정점의 경도
- Lat<sub>i</sub>: 측정된 무인항공기 위치의 i번째 위도 데이터
- Long<sub>i</sub>: 측정된 무인항공기 위치의 i번째 경도 데이터
- Dist<sub>lat</sub>: 무인항공기 위치에서 위도의 기준거리
- Dist<sub>long</sub>: 무인항공기 위치에서 경도의 기준거리

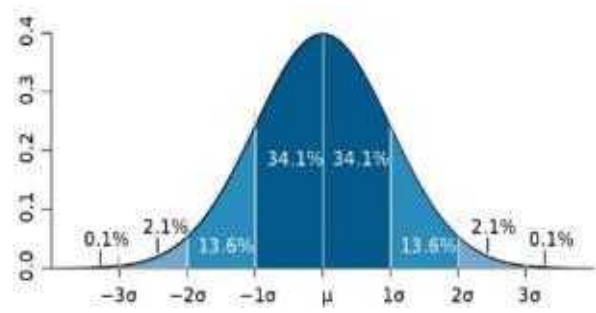
여기서 위도의 기준거리 Dist<sub>lat</sub>와 경도의 기준거리 Dist<sub>long</sub>는 무인항공기의 위치에 따라 달라지며, 이는 별도의 산출 방법으로 계산한다. 하지만, 본 연구에서는 시험 위치의 정밀한 위치 산출을 위한 별도의 장비를 활용하였으므로 기준 거리의 고려 없이 위치 오차의 절대 차이로 인한 DRMS만 산출하고, 이에 식(2)와 같이 보정치 1.2011을 곱하여 최종 CEP를 산출한다[6].

$$CEP = 1.2011 * DRMS \tag{2}$$

**2) 동적시험 위치정확도 산출식**

동적시험은 무인항공기의 이륙에서 착륙까지 모든 비행단계에서 요구되는 위치정확도 수준을 만족하여 안전한 비행이 가능한지 여부를 확인하는 것을 목적으로 한다.

이와 유사한 개념이 유인항공기의 성능기반항행에 있으며, 항공기가 비행하고자하는 공역에서 요구하는 위치정확도를 확보하였음을 입증하여 비행승인을 획득하는 과정을 수행한다. 위치정확도 확보를 위해서는 비행단계에 따라 요구되는 시스템이 상이하나, VOR(VHF omnidirectional radio range),



**그림 2.** 가우시안분포 또는 정규분포 그래프  
**Fig. 2.** Gaussian or Normal distribution curve

DME(distance measurement equipment), GNSS(global navigation satellite system) 등이 사용된다[9].

성능기반항행에서 항공기의 항행성능 평가는 통계학적으로 전체 비행시간동안 항공기 실제 위치의 95%가 항로 범위 내에 있음을 입증하는 것으로 수행되며, 식(3)을 통해 계산된 데이터의 가우시안(gaussian) 분포 또는 정규분포를 이용한다.

$$TSE = \sqrt{NSE^2 + FTE^2 + PDE^2} \tag{3}$$

TSE(total system error)는 각 구성요소 오차의 통계합으로 계산되며 그림 2와 같은 가우시안 분포 또는 정규분포에서 95%의 확률에 대한 오차이다[9].

NSE(navigation system error)는 항법 시스템의 오차를 나타내며, 실제 위치에 대한 측정된 위치의 오차를 의미한다. FTE(flight technical error)는 항로에 대한 비행경로의 오차를 나타낸다. 예를 들어, 경유점을 따라서 직선 비행하는 항공기 또는 곡선의 항로를 비행하기 위해 선회하는 항공기가 항로에서 이탈하여 발생하는 오차가 있을 수 있다. 일반적으로 비행체가 수신 또는 계산한 위치에 따라 비행을 수행하므로, 자동 비행의 경우 FTE가 작게 측정되는 편이다. 즉, 자동비행에서의 FTE는 비행체의 제어의 특성 및 한계 등을 측정할 수 있다. PDE(path definition error)는 항법 시스템이 항로의 설정과정에서 발생하는 오차를 의미한다. 항법 시스템의 성능에 따라 오차는 다르지만, 현대 기술수준에서는 정확한 항로 설정이 가능하므로 무시할 수 있는 수준의 오차를 가진다[5].

**3) 항법시스템오차의 산출**

항법시스템오차(NSE)는 비행체 외부에서 수신한 위치 정보 신호와 이를 사용하여 비행체 내부에서 계산한 결과의 오차로 인하여 발생한다. 이 오차는 식(4)와 같이 실제 비행체의 위치의 참 값(true position)과 측정된 결과 값(navigation position)의 차이로 산출할 수 있다.

$$NSE_i = \sqrt{(Lat_r - Lat_i)^2 + (Long_r - Long_i)^2} \tag{4}$$

- $Lat_r$  : 획득된 GPS 위도 데이터의 참값
- $Long_r$  : 획득된 GPS 경도 데이터의 참값
- $Lat_i$  : 측정된 무인항공기 위치의 i번째 위도 데이터
- $Long_i$  : 측정된 무인항공기 위치의 i번째 경도 데이터

계산된 모든  $NSE_i$ 에 대해 정규분포를 이용하며, 95%에 확률에 대해서 다음의 수식을 적용한다[6]. 이때의 k 값은 정규분포의 확률 범위를 나타내는 것으로 전체의 95% 수준의 값에는  $k = 1.96$ 을 사용하며, 99.6% 수준의 값을 도출할 때는  $k = 3$ 을 사용한다.

$$NSE = k \cdot \sigma \tag{5}$$

### 2-4 GNSS 위치측정 및 고정밀 후보정시스템

GPS(global positioning system)등 위성항법시스템(GNSS; global navigation satellite system)은 기계적 고장 및 시스템 운영국의 정책 여건 변화 등에 따라 지역적 또는 한시적으로 측위 정보 서비스가 중단되어도 사용자가 쉽게 대응할 수 없는 취약성을 가지고 있다. 이는 시스템에서 송신되는 신호의 오차 또는 외부 교란에 의하여 위치 측정 값의 오차가 커지더라도 쉽게 인지하지 못하게 된다. 이러한 GNSS 서비스의 오차와 취약점을 보완하기 위해서 다양한 보정 기술과 관련 시스템이 개발되었다.

PPK(post processed kinematic)은 이러한 보정을 위해 개발된 기술로 본 연구에서는 NovAtel 사의 상용 수신기와 후처리 프로그램인 GrafNav를 이용하여 정밀한 위치 값을 계산하고, 이를 위치의 참값으로 사용하였다. 후처리 프로그램에서는 실험 중 수신된 GNSS 위치 데이터를 정밀 위치에서의 보정 값이 공개되어 있는 기준국에서의 관측 데이터를 바탕으로 순방향 및 역방향 칼만필터(kalman filter)를 이용하여 후처리 한다. 차 과정에서 Carrier의 사이클 수를 결정하는 모호정수 해결 알고리즘을 이용한 검증 작업도 수행되며, 이 결과 보정된 위치 값의 정확도 특성 값인 수평 오차 및 수직 오차를 계산하여 산출한다. 본 연구에서는 참 값의 오차까지 함께 도출하여 실제 NSE의 적정성 여부를 판단할 수 있는 근거로 함께 제시하였다.

### 2-5 NSE 산출 시험 설계

소형무인비행체의 NSE 산출을 위해 각각 적정 위치오차 및 동적 위치오차 산출 시험을 설계하였다.

정적 위치정확도는 소형무인비행체와 PPK 측위시스템을 동일한 위치에 놓고 15분 이상 데이터를 측정하여 비교하는 것으로 산출하였다. 이때 기록시간 15분은 GNSS 수신신호의 안정화 및 실제 소형무인비행체의 현실적 임무 비행시간 등을 고려하였다.

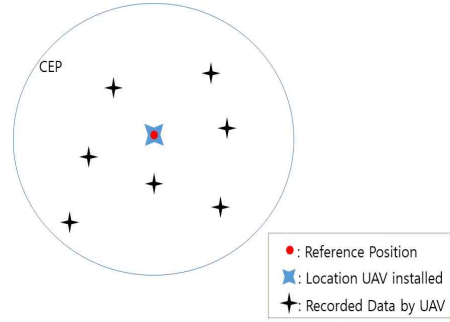


그림 3. 정적 NSE 시험 구성도  
Fig. 3. Diagram for the static NSE experiment

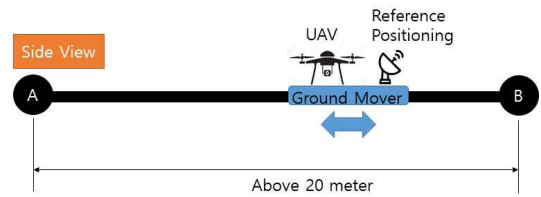


그림 4. 동적 NSE 레일시험 구성도  
Fig. 4. Diagram for the dynamic NSE experiment

동적 위치정확도는 소형무인비행체와 PPK 측위시스템을 동일한 위치에서 놓고, FTE의 영향이 없는 순수 NSE 산출을 위하여 레일을 설치하여 자체 이동시키는 환경을 구성하여 산출하였다. 레일의 총 길이는 24m로 설치하였고, 이 중 20m 길이를 약 1 m/s + 0.5 m/s로 20회 왕복시키는 시험 환경 및 조건을 구성하였다.

### III. NSE 산출 시험수행

정적시험, 레일이동시험은 2-5절에서 도출된 시험방법에 따라 각각 수행하였다. 시험위치는 외부와의 통제 및 GNSS 수신을 위한 개방된 하늘이 있는 곳에서 수행하였다. 본 연구에서는 태안비행장 본관 옥상에 해당 시설을 구성하여 2021년 8월부터 2021년 11월까지 분석을 위한 데이터를 수집하였으며, 이중 레일 이동시험은 중심극한정리에 의한 실험 데이터의 모집단 추정을 위해 총 31회(자유도 30) 수행하였다.

시험에 사용한 소형무인비행장치는 DJI사의 MATRIX 100을 사용하였으며, PPK 측위시스템은 NovAtel사의 GNSS 수신기 PwrPark7D, GNSS-502 안테나, GrafNav 소프트웨어를 사용하였다. 시험대상 무인비행장치와 정밀 GNSS 값의 시간 차이에 의한 오차(time sync) 문제를 논외로 하기 위해 두 장비 모두 1 Hz로 위치를 기록 후 기록 시간을 데이터를 절대 비교하였다.

#### 1) 정적시험 수행

정적시험은 그림5와 같이 시험위치 고정점에서 총 30분 동



그림 5. 정적 NSE 시험 사진  
 Fig. 5. Photo of the static NSE experiment

표 2. 정적 NSE 시험 결과

Table 2. Result of Static NSE test

Duration time	NSE mean(m)	NSE STD(m)	PPK HOR STD	PPK VER STD
5min	1.8373	0.1284	0.014	0.019
10min	2.1523	0.3471		
15min	2.5769	0.6689		
20min	2.7992	0.7185		
25min	2.8203	0.6551		
30min	2.8892	0.6450		
total	2.51	0.53		

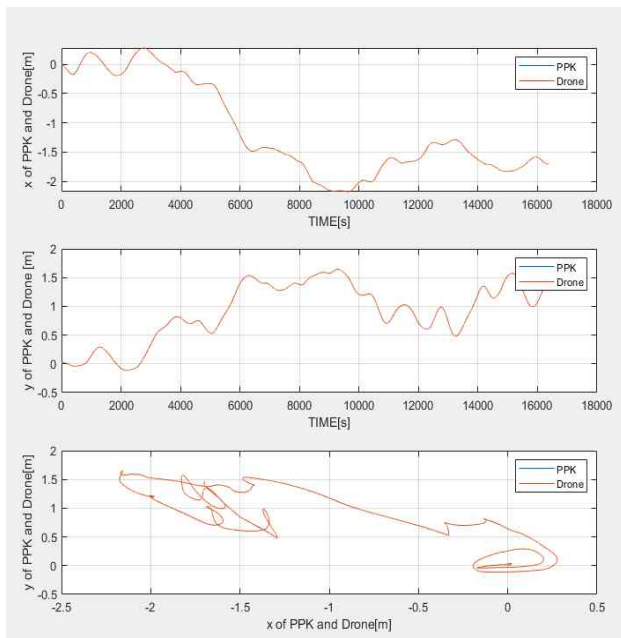


그림 6. 동적 NSE 시험 결과 데이터  
 Fig. 6. Result data of the dynamic NSE experiment



그림 7. 동적 NSE 시험사진  
 Fig. 7. Photo of the dynamic NSE experiment

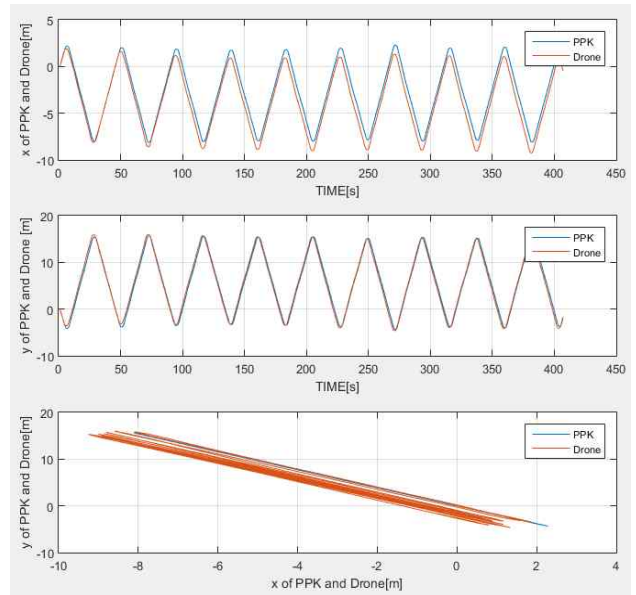


그림 8. 동적 NSE 시험 결과 데이터  
 Fig. 8. Result data of the dynamic NSE experiment

안 위치 데이터를 수집 후 절대 비교하였다. 2-5절에서는 15분의 위치 데이터를 수집하는 것으로 하였으나, 시간의 차이에 따른 오차 확인을 함께하기 위해 30분까지 데이터를 수집 후 5분 단위로 비교하였다. PPK 측위장비 및 소형무인비행체의 동작 후 초기 수집되는 위치 오차를 고려하지 않기 위해 초기 10초 및 마지막 10초 간 수집된 데이터는 분석에서 제외하였다.

시험 시간 30분 동안 수집된 총 데이터는 14397개 이며, 표 2와 같이 누적 시간 5분 NSE 평균 1.84m · 편차 0.13m, 10분 평균 2.15m · 편차 0.35m, 15분 평균 2.58m · 편차 0.67m, 20분 평균 2.80m · 편차 0.72m, 25분 평균 2.82m · 편차 0.66m, 30분 NSE 평균 2.89m · 편차 0.65m로 시간이 지날수록 평균이 커지나 일정 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이는 적정한 시간 동안은 NSE를 측정하는 것이 필요하다고 할 수 있으나, 대상 소형무인비행체의 경우 30분 전후 시간으로는 특성을 파악할 수 있음을 확인할 수 있다.

2) 레일이동시험 수행

레일이동시험은 그림 7과 같이 레일에 이동용 지그를 설치

하여 소형무인비행체와 PPK측위 장비를 동시에 이동시키는 절차로 수행하였다. 레일의 총길이 및 속도 등은 2.5절에서 제시한 조건으로 적용하였으며, 장비 동작 후 초기 수집되는 위치 오차를 고려하지 않기 위해 데이터 수집 초기 10초 및 마지막 10초간 수집된 데이터는 제외하였다.

레일 이동시험은 총 31회 시행하였고, 시행된 결과는 표 3과 그림 9와 같다. 31회의 시험 평균은 1.83m, 편차는 0.37m로 산출되었으며, 각 횟수별 NSE의 평균과 편차의 오차가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터를 확인하기 위한 시험을 5개월 동안 수행하였으므로, GNSS 서비스에 영향을 미칠 수 있는 전과 환경, 기온 등 자연 환경과 같이 야외 시험에서 통제할 수 없는 요인으로 인한 오차는 일부 발생한 것으로 판단된다.

표 3. 동적 NSE 레일시험 결과

Table 3. Result of dynamic NSE rail test

Test No	NSE mean(m)	NSE STD(m)	PPK HOR STD	PPK VER STD
1	1.5881	0.2117	0.0211	0.0396
2	1.5601	0.137	0.0187	0.0346
3	1.5588	0.2053	0.0273	0.043
4	1.5993	0.3415	0.0174	0.0297
5	2.2902	0.4015	0.0201	0.0305
6	1.9398	0.3213	0.0205	0.0306
7	1.8405	0.6243	0.0196	0.0289
8	1.6225	0.8102	0.0204	0.0303
9	4.0243	0.6863	0.0196	0.0301
10	3.5391	0.4253	0.017	0.0243
11	0.6226	0.3115	0.0188	0.0281
12	0.5544	0.3315	0.0182	0.0295
13	1.832	0.1508	0.0173	0.0308
14	0.9289	0.1348	0.0173	0.0286
15	0.9811	0.1973	0.0182	0.0312
16	1.0118	0.1687	0.0184	0.0292
17	1.2444	0.5299	0.0316	0.0473
18	1.256	0.5119	0.0377	0.0528
19	2.2035	0.697	0.0317	0.0483
20	1.5598	0.3564	0.0274	0.0419
21	1.3099	0.3133	0.0184	0.0268
22	3.7457	0.7042	0.0178	0.0276
23	3.709	0.1732	0.0228	0.0404
24	3.1762	0.1688	0.0204	0.0375
25	2.6812	0.1951	0.0185	0.0333
26	0.5593	0.1874	0.0209	0.0581
27	0.7639	0.1441	0.0249	0.0587
28	0.7006	0.1191	0.0244	0.0494
29	1.4567	0.6588	0.0216	0.0303
30	1.7399	0.7569	0.0582	0.0974
31	3.2694	0.6066	0.0176	0.028
Total	1.83	0.37	0.02	0.04

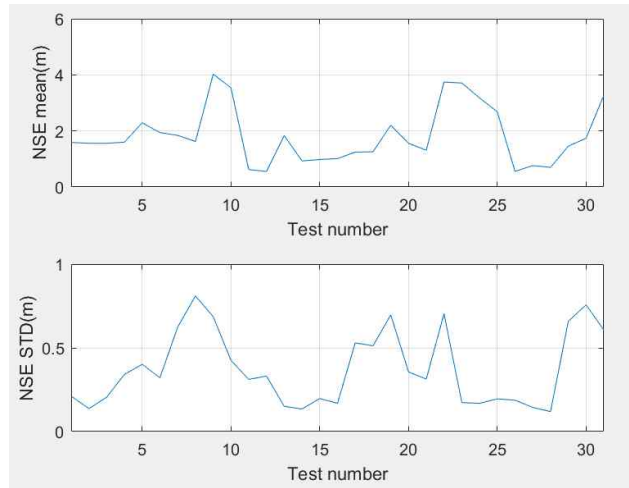


그림 9. 동적 NSE 시험의 평균값과 표준편차

Fig. 9. Mean and standard deviation of the dynamic NSE experiment

#### IV. 결 론

본 논문은 무인항공기 위치정확도 시험평가 방안 기초연구를 위해 무인항공기 임무 조건 확인, 시험 요건 도출, 시험 방법 수립 및 산출식 검토, 실제 데이터 획득을 위한 시험 과 결과 분석을 수행하였다. 실제 데이터 획득을 위한 시험은 소형무인비행체의 비행에 따른 오차를 최소화하기 위해 고정점에 의한 정적 시험과 레일을 이용한 동적 시험으로 비행기술오차(FTE)를 제외한 항법시스템오차(NSE)만 산출하기 위한 시험으로 수행하였다.

각 시험 수행 결과 시험대상 소형무인항공기의 항법시스템 오차(NSE)를 산출할 수 있었다. 정적비행 시 누적 시간에 의한 오차를 확인하기 위해 5분부터 20분까지 5분 단위 오차를 확인한 결과 차이가 미비한 것을 확인하였다. 레일시험 시 통계적 유의성을 보장하기 위해 총 31회의 시험을 실시하였으며, 도출된 결과 차이가 미비한 것도 확인하였다.

본 연구는 향후 무인항공기가 항로비행에 필요한 항법 기술 기준에 적합여부를 확인하기 위해 필요한 시험기법을 기초 연구한 것으로 실제 환경에 적용하기 위해서는 다음의 가정 사항들에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

첫째는 본 연구는 항법시스템(NSE) 오차를 산출하기 위한 연구로, 비행기술오차(FTE)와 이를 고려한 전체항법오차(TSE)는 별도의 검토가 필요할 것이다. 둘째 데이터의 유의성을 확보하기 위해 장기간의 데이터를 획득하고 분석하였으나, 통제되지 못한 환경 요인에 의한 오차를 제외하기 위한 시험 조건의 추가 검토가 필요하다. 셋째, 산출된 오차 값은 PPK로 후처리된 참값과 소형무인비행장치에서 측정된 GNSS 값의 절대 비교를 수행한 것이었으나, 위치의 참값으로 사용한 PPK 후처리 위치 정보도 오차를 가지고 있으므로 이를 고려한 산출 방법에 대한 검토가 필요하다.

본 연구로 저고도 무인비행장치 관리 체계 등에서 활용할 수 있는 항법정확도 시험에 대한 기초자료 확보 방법을 제안하고 실증 시험을 수행하였다. 본 연구 결과가 향후 무인비행장치 관리체계의 완성도를 높이는데 활용될 것으로 기대한다.

### Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 무인이동체 미래선도 핵심 기술개발사업의 연구과제(과제고유번호: NRF-2017M1B3A2A 01049995)의 지원으로 수행되었습니다.

### References

[1] S. J. Kim, J. H. Bae and C. Y. Choi, "A study on introduction of drone delivery service policies and development plans in countries," *Korea Logistics Review*, Vol. 26, No. 1, pp. 27-28, Feb. 2016.

[2] J. W. Kim, D. H. Kim, "Challenges; interoperability of UAV in the NAS," *Korea Aerospace Research Institute*, Daejeon, Korea, pp. 136~144, 2010.

[3] J. W. Kim, "Challenges; The status of UAV certification

system," *Korea Aerospace Research Institute*, Daejeon, Korea, pp. 125~130, 2010.

[4] K. W. Kim, Flight technical error modeling for deriving safe separation between UAVs, Master dissertation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea, 2015.

[5] ICAO, *Performance Based Navigation Operational Approval Handbook*, Original Ed, Quebec, Montreal, 2010.

[6] Y. H. Ju, K. H. Moon, B. S. Gang, J. W. Jung, H. K. Son, J. H. Cho, "Feasibility Study on the Methodology of Test and Evaluation for UAV Positioning," *The Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol 22, No. 6, pp. 530-536, Dec. 2016

[7] H. Robert, NAVSTAR global positioning system surveying, *US Army Corps of Engineers*, 2nd ed, Washington D.C., pp. 25-28, 1996.

[8] Y. H. Ju, S. K. Ku, G. Y. Hong, "A study for avoidance algorithm with ADS-B message," *The Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 5, pp. 379-388, Oct. 2015.

[9] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, The final report of the third PBN changing service, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Sejong-si, Technical Report, 2012



**구 성 관 (SungKwan Ku)**

2017년 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 이학박사  
 2009년 9월 ~ 2014년 2월 : 한국산업기술시험원 기계시스템본부 연구원  
 2015년 6월 ~ 2016년 8월 : Virginia Tech 방문 교수  
 2014년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공산업공학과 부교수  
 ※ 관심분야 : 항공교통, 시험평가인증, 시스템분석, 시뮬레이션, 안전성평가



**안 호 정 (Hyojung Ahn)**

2020년 : 한국과학기술원 항공우주공학과 공학박사  
 2010년 12월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원  
 ※ 관심분야 : 항공교통, 인공지능, 전기추진시스템, 무인항공기, 이상(고장)진단



**주 요 한 (Yo-han Ju)**

2015년 2월 : 한서대학교 항공기시스템학과  
 2015년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술시험원 연구원  
 ※ 관심분야 : GPS, 항행시스템, 시험평가 등



**홍 석 민 (Seokmin Hong)**

2014년 : 과학기술연합대학원대학교 공학박사  
 2014년 3월 ~ 2015년 12월 : 한국과학기술연구원 박사후과정  
 2016년 1월 ~ 2017년 3월 : 인체감응솔루션연구단 연구원  
 2017년 4월 ~ 현재 : 한서대학교 무인항공기학과 조교수  
 ※ 관심분야 : 로봇자세제어, 휴머노이드 보행제어, 로봇동작제어