



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 50(1), 67-74(2022)

DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2022.50.1.67>

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## ADS-B, 기상, 지형 데이터의 통합을 통한 대기속도 추정

김효중<sup>1</sup>, 박배선<sup>2</sup>, 유창경<sup>3</sup>, 이학태<sup>4</sup>

## Airspeed Estimation Through Integration of ADS-B, Wind, and Topology Data

Hyo-Jung Kim<sup>1</sup>, Bae-Seon Park<sup>2</sup>, Chang-Kyung Ryoo<sup>3</sup> and Hak-Tae Lee<sup>4</sup>

Inha University, Incheon, Republic of Korea

### ABSTRACT

To analyze the motion of aircraft through computing the dynamics equations, true airspeed is essential for obtaining aerodynamic loads. Although the airspeed is measured by on-board instruments such as pitot tubes, measurement data are difficult to obtain for commercial flights because they include sensitive data about the airline operations. One of the commonly available trajectory data, Automatic Dependent Surveillance-Broadcast data, provide aircraft's speed in the form of ground speed. The ground speed is a vector sum of the local wind velocity and the true airspeed. This paper present a method to estimate true airspeed by combining the trajectory, meteorological, and topology data available to the public. To integrate each data, we first matched the coordinate system and then unified the altitude reference to the mean sea level. We calculated the wind vector for all trajectory points by interpolating from the lower resolution grid of the meteorological data. Finally, we calculate the true airspeed from the ground speed and the wind vector. These processes were applied to several sample trajectories with corresponding meteorological data and the topology data, and the estimated true airspeeds are presented.

### 초 록

일반적으로 동역학 방정식을 이용하여 항공기의 거동을 분석하기 위해서는 공기 역학적 성분이 필요하고, 이를 위해서는 진 대기속도가 필수적이다. 대기속도는 피토관과 같은 항공기의 탑재 장비를 이용하여 측정할 수 있으나, 상업용 항공기의 측정 데이터는 항공사 내규 관련 보안성 데이터를 포함할 수 있으므로 확보하기 어렵다. 일반인들이 이용할 수 있는 항적 데이터 중 하나로 방송형자동종속감시 데이터가 있으며 항공기의 속도를 대지속도 형태로 제공한다. 대지속도는 진 대기속도와 바람 속도의 합으로 표현된다. 본 논문에서는 일반인들이 획득 가능한 항적, 기상, 지형 데이터를 결합하여 진 대기속도를 추정하는 방법을 제시한다. 각 데이터를 통합하기 위해 좌표계를 일치시킨 후 고도 기준을 평균 해수면 고도로 통일하였다. 또한, 해상도가 가장 낮은 기상 데이터의 격자를 기준으로 보간을 수행하여 항적 데이터의 모든 점에 대한 바람 벡터를 산출하였다. 이러한 과정을 여러 항적에 적용하여 기상, 지형 데이터의 통합을 통해 진 대기속도를 추정하였다.

Key Words : ADS-B(방송형자동종속감시), LDAPS(국지예보모델), DEM(수치표고모델), TAS(진 대기속도)

† Received : November 30, 2021 Revised : December 22, 2021 Accepted : December 26, 2021

<sup>1</sup> Graduate Student, <sup>2</sup> Postdoctoral Researcher, <sup>3</sup> Professor, <sup>4</sup> Associate Professor

<sup>4</sup> Corresponding author, E-mail : [haktae.lee@inha.ac.kr](mailto:haktae.lee@inha.ac.kr), ORCID 0000-0002-0674-9931

© 2022 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

## I. 서 론

운항 중인 항공기의 대기속도는 항공기에 장착된 피토크관(Pitot tube)을 통해 계측할 수 있으며, raw data에는 계기 위치, 장착 에러, 공기의 압축성, 밀도 등 다양한 영향에 의한 왜곡이 존재한다. 진 대기속도는 이러한 영향을 보정한 실제 대기속도를 의미하며 항공기의 운동 특성을 비롯한 다양한 분석을 수행하기 위해 사용된다. 일반적으로 사용되는 항공기 운동 모델인 6자유도 운동 방정식의 바람 좌표계에서는 공력, 자세각, 실제 대기에서의 기수 방향 등의 계산이 수행된다. 바람 좌표계 도출에는 진 대기속도가 필수적이지만 획득하기 어려운 정보이므로 이를 추정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

우선 계측 데이터를 사용하여 진 대기속도를 획득한 연구는 다음과 같다. Vü. H는 항공기의 계측 데이터를 특정 수신자에게 주기적으로 송출하는 시스템인 Mode-S 데이터를 이용하여 진 대기속도를 획득하였다[1]. Cho. A는 피토크관을 이용하여 측정된 대기속도를 대지속도를 이용하여 보정하였다[2]. 이 연구에서는 바람이 일정하다는 가정하에 대지속도를 진 대기속도로 대체하여 보정을 수행하였다. Park. Y. G는 대기속도 센서가 없는 항공기의 INS/GPS로 측정된 자세각, 각속도, 대지속도를 이용하여 확장 칼만 필터를 통해 대기속도를 추정하였다[3]. 이러한 계측 데이터는 직접 운용하여 수집해야 하며, 상업용 항공기의 경우는 보안성으로 인해 확보가 어렵다.

계측 데이터 없이 진 대기속도를 활용한 연구는 통상적으로 항적 데이터의 대지속도를 이용한다. Sun. J는 방송형자동종속감시(ADS-B, Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 데이터의 대지속도를 진 대기속도로 가정하여 사용하였다[4]. 그러나 항공기 운동 모사의 신뢰성을 높이기 위해 대지속도를 그대로 사용하기보다는 기상의 영향이 고려된 진 대기속도를 사용할 필요가 있다. 기상 모델을 이용한 연구[5]에서는 원시 방정식을 이용하여 기상 모델을 구축한 후 관측 데이터를 입력하여 원하는 지점의 기상을 예측하였다. 그러나 관측 지점으로부터 멀어질수록 추정의 정확성이 감소하므로 적절한 간격마다 관측 데이터를 얻을 수 있는 시스템이 필요하다.

본 논문에서는 이전 연구[6]에서와 마찬가지로 일반인들이 이용할 수 있는 데이터를 통해 진 대기속도를 추정하였다. 고가의 감시 장비를 추가적으로 도입하지 않고도 기상의 영향을 고려한 진 대기속도 추정이 가능한 장점이 있다. 각 데이터의 여러 특성을 일치시켜서 같은 좌표계에서 표현되도록 변환하였으며 대지속도와 바람을 결합하였다. 진 대기속도를 통해 보다 정확한 항적을 추정할 수 있으므로 대부분의 항공교통관리 분야에 활용이 가능하다.

Table 1. Description of Data Features

Data	Flight Path	Meteorology	Topology
Type	ADS-B	LDAPS	DEM
How to Obtain	Measurement	Open Met Data Portal	National Geographic Information Institute
Coordinate	WGS84 Lat/Lon	Grid Coordinate	GRS80 Lat/Lat
Altitude Type	MSL	AGL	MSL
Resolution	Continuous	1.5km	90m

## II. 데이터 종류 및 특성

데이터 변환 및 결합을 위해서는 데이터 특성에 대한 이해가 필수적이다. 2장에서는 본 논문에서 사용하는 항적, 기상, 지형 데이터의 좌표계, 기준, 해상도 등 특성에 대해 설명하였다. 각 데이터는 직접 수집하거나 공공기관을 통해 이용할 수 있다. 데이터 특성에 대한 요약은 Table 1과 같다.

### 2.1 항적 데이터

본 논문에서는 인하대학교에서 실시간으로 수집 및 저장하는 ADS-B 데이터를 사용하였다. ADS-B는 일반인들이 이용할 수 있는 항적 데이터 중 하나로 항공기가 주기적으로 송출하는 감시 정보를 주변 항공기나 지상 관제소에서 수신함으로써 감시 정보를 공유하는 시스템이다. 지상 관제소는 1,090 MHz의 안테나를 통해 누구나 구축이 가능하다[7]. 본 연구에서는 Table 2의 ADS-B 데이터를 이용하였으며, 데이터의 필드로는 항공기 식별정보, 위치/속도 정보가 존재한다. 식별정보로는 ICAO에서 부여한 등록번호, 콜사인 형태로 제공된다. 일반적인 항공기는 GPS를 이용하므로 데이터는 WGS84 타원체 상에서 정의된다. 위치 정보로는 WGS84 타원체 상의 위/경/고도가 제공되며, 고도는 평균 해수면 고도(MSL, Mean Sea Level) 기준을 갖는다. 운항 중인 항공기의 위치 정보를 나타내므로 공간에 대한 해상도는 연속적이라고 할 수 있다. 속도 정보는 수신된 GPS 위치 정보로부터 시간에 대한 변화율을 통해 계산할 수 있으며 대지속력과 Track Angle(TA)의 형태로 제공된다. ADS-B 시스템을 통해 주기적으로 항공기의 위치, 속도 등 데이터를 수신할 수 있으며, 본 논문에서는 각 데이터를 수신 시각에 따른 한 행으로 처리하였다.

Table 2. Available Data List of ADS-B[6]

Data	Description	Range
Call Sign	Aircraft identification information granted by ICAO	
Lat/Lon	Lat/Lon on the WGS84 measured from GPS	-90° ~ +90°
Altitude	Distance to WGS84 surface, Mean Sea Level	-1,000 ft ~ +100,000 ft
Ground Speed	Rate of change of displacement on WGS84	~ 4,000 knot
Track Angle	Horizontal right angle from true north	0° ~ +360°

## 2.2 기상 데이터

본 논문에서는 기상청에서 제공하는 한반도 상공의 고해상도 수치예보모델 데이터를 기상 데이터로 사용하였다. 최근 10년 동안의 데이터가 제공되며 세계기상기구에서 제시한 표준규격인 GRIB2 포맷을 갖는다. GRIB2 포맷은 많은 양의 데이터를 모듈화와 객체 지향을 이용하여 압축한 이진파일 형식으로써 wgrib2 프로그램을 통해 처리가 가능하다. 수치예보모델의 종류로는 전지구, 지역, 국지예보모델(LDAPS, Local Data Assimilation and Prediction System)이 있으며, 이 중 가장 작은 단위영역을 다루는 LDAPS를 사용하였다. LDAPS의 제원은 Table 3과 같다[8]. 데이터의 종류로는 모델면, 등압면, 단일면이 있으며, 본 논문에서는 모델면 데이터를 사용하였다. 등압면 데이터는 모델면 데이터를 기압에 대해 보간하여 제공되며 본 논문에 적용하기 위해서는 다시 보간해야 하는 단점이 있다. 단일면은 지표면 부근의 기상 데이터만 제공하므로 항적에 적용하는 것은 적합하지 않다. 모델면의 전체 분석 영역은 [32.257°N, 121.834°E] 지점에서 시작하며 격자를 통해 한반도 전역을 아우른다. 격자는 지표면과 평행한 방향으로 1.5km 간격, 연직 방향으로 AGL(Above Ground Level) 기준 40km까지 약 70층으로 구성된다. 전체 분석 영역과 인천공항 부근 지표면과 평행한 방향의 격자 예시는 Fig. 1과 같다. 연직 방향의 격자는 Arakawa-C Grid를 적용하여 기상 파라미터마다 다르게 나타난다. 또한, 지표면에 가까울수록 격자 간격이 좁으며 고도가 상승할수록 넓어진다. 연직 층수에 따른 고도와 전체 분석 영역에 대한 격자 예시는 Fig. 2와 같다. LDAPS는 전지구모델로부터 경계장을 제공받아 3시간 주기로 분석을 수행하며, 분석된 데이터를 바탕으로 이후 4시간 또는 48시간 후까지 예측한다. 본 논문에서는 분석 데이터와 2시간 후까지의 예측 데이터를 활용하여 하루치 기상 데이터를 1시간 간격으로 구성하였다. 모델면 출력 파라미터 중 수평/연직속도 데이터를 활용하면 바람 벡터를 산출할 수 있다.

Table 3. Specifications of LDAPS

Spec.	Description	Value
Reference Point	Located at the lower left corner as the grid origin	32.257°N 121.834°E
Grid Interval	Spatial Resolution	1.5 km
Num. of grid	Number of grids in the analyzed area	602(EW) × 781(NS)
Num. of Vertical Floors	Number of floors divided up to an altitude of 40km	about 70 floors (different by parameter), Above Ground Level
Analysis Cycle	Analysis cycle through meteorological models	3hours (8 times a day)
Prediction Cycle	48 hours prediction using 00h, 06h, 12h, 18h's analysis data 4 hours prediction using 03h, 09h, 15h, 21h's analysis data	
Output Parameter	U,V,W-component of wind, Potential temperature, Specific humidity, Cloud ice water content, Density, Cloud liquid water content, Exner pressure, Rain, Cloud graupel water content	

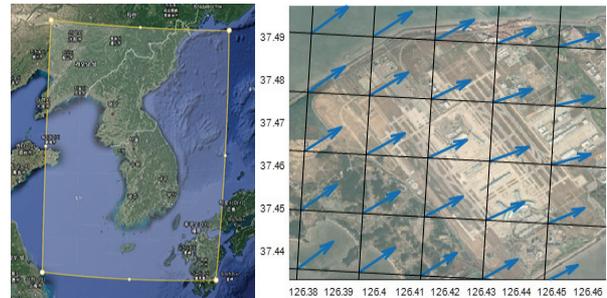


Fig. 1. Analyzed Area(L) / Grid Example in Incheon Airport(R)

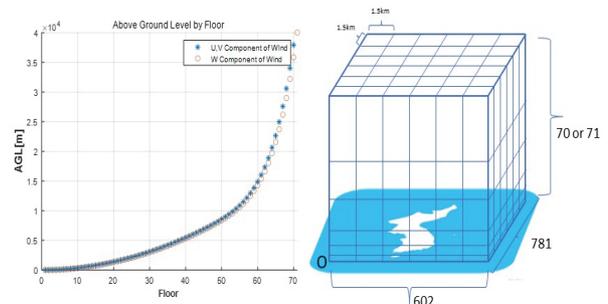


Fig. 2. AGL by Floor(L) / Grid Example in Analyzed Area(R)

Table 4. Example of DEM

X-Coordinate(TM)	Y-Coordinate(TM)	Ground Level
541461.61	142988.91	7.42m
541371.61	142988.91	9.08m
541281.61	142988.91	13.25m

Table 5. Specification of Coordinate System in Bessel1841 and GRS80[9]

Spec.	Bessel1841		GRS80
Semi-Major axis	6,377,397.155 m		6,378,137 m
Flattening	1/299.152815		1/298.257722
Axis Direction	X-Axis: South to North, Y-Axis: West to East		
Origin of Coordinate	Western [38°N 125°E]	Central [38°N 127°E]	Eastern [38°N 129°E]
Initial Value of Coordinate	$\Delta_x$ : 600,000 m(Jeju, $\Delta_x$ : 650,000 m), $\Delta_y$ : 200,000 m		

### 2.3 지형 데이터

본 논문에서는 국토지리정보원에서 제공하는 수치 표고모델(DEM, Digital Elevation Model)을 지형 데이터로 사용하였다. 한반도 전체 지형 고도를 행정구역 시/군/구 당 하나의 Ascii 형식의 파일로 제공한다. 하나의 파일은 열 3개로 이루어져 있으며, 인천공항의 위/경도인 [37.469°N, 126.451°E] 부근에서의 예시는 Table 4와 같다. 앞의 두 열은 Bessel 1841 타원체 기준 TM(Transverse Mercator)좌표계의 평면직각 좌표를 나타내며, 각 행은 90m의 간격을 가지고 있다. TM좌표계의 제원은 Table 5에 포함되어 있다.  $x$  축은 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 증가하고,  $y$  축은 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 증가하는 방향을 의미한다. 투영원점(Origin of Coordinate)으로는 중부(Central) 원점을 사용하며, 원점가산좌표(Initial Value of Coordinate)는 투영원점의 좌표값을 의미한다. 마지막 열은 고도를 나타내며 1913~1916년에 걸쳐 측정한 인천만의 평균 해수면을 기준점으로 한다.

### III. 데이터 통합을 통한 바람 벡터 산출

3장에서는 항적, 기상, 지형 데이터의 좌표계, 고도 기준, 해상도를 일치시켜 통합하였다. 전체 통합 과정은 Fig. 3과 같으며, 데이터의 변환과 흐름을 나타

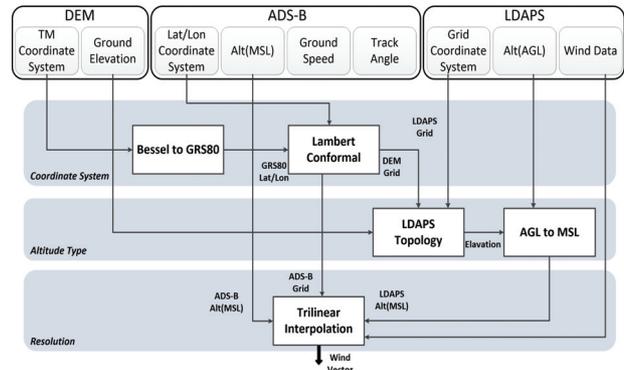


Fig. 3. Structure of Data Integration

내었다. 각 데이터의 좌표계를 일치시킴으로써 항적의 모든 점에 대해 바람 벡터 산출이 가능하다. 바람 벡터는 ADS-B의 대지속도와 함께 진 대지속도 추정에 이용되며, 이는 4장에서 다루기로 한다.

### 3.1 좌표계 일치

좌표계 일치는 크게 타원체 변환 과정과 람베르트 정각원추도법에 의한 좌표 변환 과정으로 나눌 수 있다. ADS-B의 좌표계는 WGS84 타원체에서의 위/경도이고 DEM의 좌표계는 Bessel1841 타원체에서의 TM좌표계이다. LDAPS에서는 기상청에서 자체적으로 구성한 격자 좌표계를 사용한다. 본 논문에서는 ADS-B와 DEM의 좌표계를 LDAPS 격자 좌표계로 일치시켰다.

우선, 타원체 변환 과정은 국토지리정보원이 제시하는 좌표계변환 표준작업지침을 따른다[9]. Fig. 4는 해당 문서에 작성된 변환 과정을 나타내었으며, 이를 통해 Bessel1841 타원체의 TM좌표계를 GRS80 타원체의 위/경도로 변환할 수 있다.

ADS-B와 DEM의 위/경도는 각각 WGS84, GRS80 타원체에서 표현되지만 각 타원체의 단반경이 약 0.06mm 차이에 불과하므로 실용적으로는 이를 같다고 볼 수 있다.

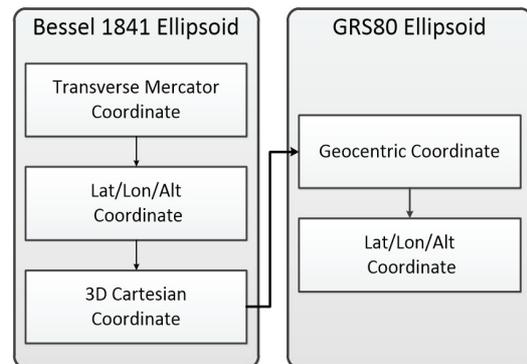


Fig. 4. Process of Conversion from Bessel1841 to GRS80

다음으로, 람베르트 정각원추도법을 이용하여 위/경도를 LDAPS의 격자 좌표계로 변환시켰다. 람베르트 정각원추도법은 중위도 지역에서 지도를 투영할 때 주로 사용되며, 특히 항공용으로 적합하다. LDAPS의 메타 데이터를 통해 람베르트 정각원추도법의 파라미터를 알 수 있다. 격자 간격은 1.5km, 투영 위도는 [30°N, 60°N], 기준점은 [32.257°N, 121.834°E]이다.

### 3.2 고도 기준 일치

고도 기준 일치는 지형 데이터를 통해 LDAPS 지형을 모사하는 과정과 MSL에서 AGL로 변환하는 과정으로 나뉜다. 기상청의 수치예보모델은 격자데이터로 수치적인 연산을 수행하며, 실제 지형이 아닌 격자에 대한 지형을 고려한다. LDAPS에서의 지형은 격자 내 지형의 평균 고도로 모델링하고 있다[10]. 해상도 90m의 DEM을 사용하여 수평 방향 격자 간격이 1.5km인 LDAPS의 지형을 모사하기 위해 격자 하나에 포함된 DEM의 평균 고도를 산출하였다. DEM과 LDAPS 격자의 한 변의 길이는 약 16배 차이 나므로 격자 하나의 지형을 모사하기 위해 200개 이상의 DEM 데이터가 사용된다. 이러한 절차로 모사한 LDAPS 지형의 등고선은 Fig. 5와 같다.

다음으로 LDAPS의 지형고도를 이용하여 연직 층수의 고도 기준을 AGL에서 MSL로 변환하였다. LDAPS 데이터를 획득하기 위해서는 항공기의 위/경/고도를 Fig. 2의 오른쪽 그림과 같은 LDAPS 3차원 격자에서 표현할 필요가 있다. 위/경도는 3.1절의 과정을 수행하여 수평 방향 격자 좌표로 변환할 수 있다. 위의 과정으로 인해 격자의 지형고도는 알고 있으며, 항공기의 MSL 고도에서 지형고도만큼 감소시켜 AGL 고도를 구할 수 있다. 이는 Fig. 2의 왼쪽 그래프의  $y$  값을 의미하며,  $x$  값은 연직 층수를 의미한다. 즉, 항공기의 위치를 LDAPS 3차원 격자에서 표현할 수 있으므로 그 점에서의 기상을 알 수 있다.

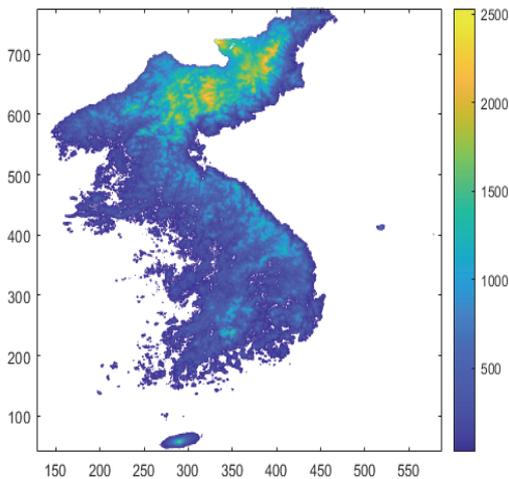


Fig. 5. Contour of LDAPS Topography

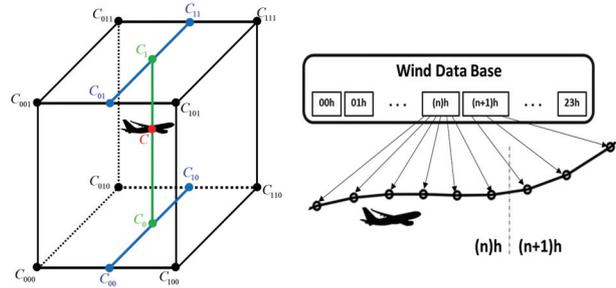


Fig. 6. Trilinear Interpolation(L) / Example of Parsing LDAPS Data Base(R)

### 3.3 해상도 일치

본 논문에서는 ADS-B와 LDAPS의 해상도를 공간, 시간에 대해 일치시켰다. ADS-B의 공간 해상도는 연속적이고, LDAPS는 수평 방향 격자 간격 1.5km, 연직 방향 격자는 Fig. 2와 같은 공간 해상도를 가지고 있다. 본 논문에서는 공간 해상도를 일치시키기 위해 Fig. 6의 왼쪽과 같이 삼선형 보간을 수행하였다. 삼선형 보간은 선형 보간법을 3차원으로 확장시킨 기법으로써 3차원 격자에서 사용되는 다변량 보간 방법 중 하나이다. 기준점 C는 항공기의 위치이고, 이 점에서의 값은 구하고자 하는 기상 데이터이다. 직육면체의 꼭짓점에서의 값은 LDAPS로부터 주어진 기상 데이터이다. 우선, 8개의 꼭짓점 중에서 인접한 두 꼭짓점으로 선형 보간을 수행하여 면에 위치한 보간점 4개를 얻는다. 다음으로, 마주보고 있는 면에 위치한 보간점끼리 다시 선형 보간을 수행하여 면에 위치한 보간점 2개를 얻는다. 마지막으로, 면에 있는 보간점끼리 선형 보간을 수행하여 기준점 C의 값을 도출한다. 삼선형 보간은 총 7번의 선형 보간을 수행하여 3차원 공간에 위치한 점의 값을 계산할 수 있다.

ADS-B는 약 1초 간격, LDAPS 데이터는 1시간 간격의 시간 해상도를 가지고 있다. 본 논문에서는 시간 해상도를 일치시키기 위해 Fig. 6의 오른쪽 그림과 같이 ADS-B가 측정된 시간에 해당하는 LDAPS 데이터를 파싱하였다.

예를 들어 19시 59분에 수신된 데이터는 19시 기상 데이터를 사용하고 20시 00분에 수신된 데이터는 20시 기상 데이터를 적용하였다. 이러한 과정을 통해 ADS-B 데이터의 모든 점에서 기상 데이터를 적용하였다. 기상 데이터로는 바람 성분을 고려하므로 항공기 위치에서의 바람 벡터를 산출할 수 있다.

## IV. 진 대기속도 추정 결과

### 4.1 진 대기속도 추정

ADS-B 데이터와 3장에서 구한 바람벡터를 결합하여 진 대기속도를 추정하였다. 항공기가 무풍 상태에

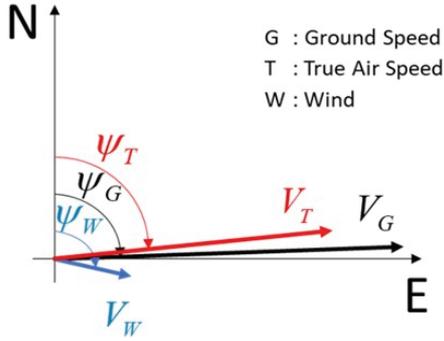


Fig. 7. Relations among TAS, GS, Wind Vector

서 어떤 위치로부터 진대기속도를 가지고 일정 시간 비행할 때의 도착 지점은 바람의 영향을 받은 경우에서의 도착 지점과 다르다. 대지속도는 출발 지점부터 도착 지점까지의 변화율로 나타난다. 무풍인 경우 진 대기속도와 대지속도가 같은 벡터로 나타난다. 바람이 있는 경우 진 대기속도, 대지속도, 바람의 관계를 벡터 형태로 나타내면 Fig. 7과 같다. 진북 방향을  $y$ 축이라고 하고 각 벡터를  $x, y$ 축에 대해 분해하면 식 (1), (2)와 같다.

$$V_{Tx} = V_G \cos \psi_G - V_W \cos \psi_W \quad (1)$$

$$V_{Ty} = V_G \sin \psi_G - V_W \sin \psi_W \quad (2)$$

$V_T$ 는 진 대기속도의 크기, 아래첨자  $x, y$ 는 축에 대한 성분,  $V_G$ 는 대지속도,  $\psi_G$ 는 TA를 의미한다.  $V_W$ ,  $\psi_W$ 는 각각 바람의 속력과 방향을 의미한다. ADS-B 데이터에는 항공기의 위치와 대지속도가 존재하고, 3장을 통해 각 위치의 바람 벡터를 획득하였으므로 식 (1), (2)를 적용할 수 있다.

#### 4.2 실제 항적에서의 진 대기속도

본 논문에서 제시한 진 대기속도 추정 방법을 확인하기 위해 실제 데이터에 적용하였다. 2020년 8월 6일 인천공항 부근에서 순항, 착륙하는 항적과 각 시간대의 기상 데이터, 각 위치의 지형 데이터를 사용하였다.

Figures 8, 12는 순항, 착륙의 2차원 항적과 주위의 바람을 나타낸다. 항적에서 일부 연속적이지 않은 데이터 구간이 존재한다. ADS-B 데이터의 특성 상 항공기와 수신기 사이에 전파 방해가 있을 경우 수신기 지연되거나 누락되는 경우가 있을 수 있다. 그러나 전체적인 경향 분석에는 큰 영향을 끼치지 않는다. 순항 항적에서는 약 41,000ft 부근에서 고도 변화가 거의 없이 운항한다. 인접한 위, 아래 연직 층수의 고도는 39,961ft, 42,520ft이며, 이 고도에서의 바람은 비교적 일정하게 부는 것을 알 수 있다. 착륙 항적에서는 Fig. 11과 같이 약 16,000ft부터 550ft까지 고도가 감소하면서 29개의 연직 층수를 통과한다. 이

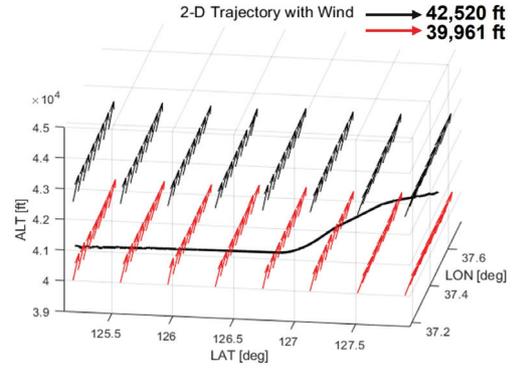


Fig. 8. Cruise 2D Trajectory with Wind

에 따라 여러 연직 층수의 기상 데이터를 사용하여 바람벡터를 계산한다. Fig. 12에서는 1,000ft, 5,000ft, 10,000ft, 15,000ft에서의 바람 벡터를 보간을 통해 계산한 후에 도시하였으며, 고도가 감소하는 동안 다양한 기상 상황을 경험하는 것을 알 수 있다.

Figures 9, 13은 진 대기속도와 대지속도를 2차원에서 속력과 기수 방향으로 분해하여 도시한 그래프로써 각각의 차이가 바람의 속력과 방향을 의미한다. Fig. 9의 순항 항적의 속도 추이에서는 대지 속력은 530knots, 진 대기속도의 크기는 490knots 전후로 유지되는 것을 알 수 있다. 전체 구간에서 평균 바람속력은 약 52.4knots로 나타나며, 성층권 제트기류에 의해 비교적 바람 세기가 크고 방향은 일정한 것을 알 수 있다. 약 500초부터 650초 구간에는 조종사의 기동에 따라 기수방향이 크게 변하며, Fig. 8에서 볼 수 있듯이 배풍으로 인해 대지 속력은 감소하지만 진 대기속도의 크기는 증가한다. Fig. 9의 한 시점에서의 기하 관계는 Fig. 10에서 확인할 수 있으며 Fig. 7의 관계와 일치한다. Fig. 13의 착륙 항적의 속도 추이에서는 착륙 과정이 진행됨에 따라 속력이 감소하고 있으며 고도가 낮아짐에 따라 바람의 세기가 작아지는 것을 알 수 있다. 또한, 300초 이후에는 조종사의 착륙 절차에 따라 기수 방향이 크게 변하

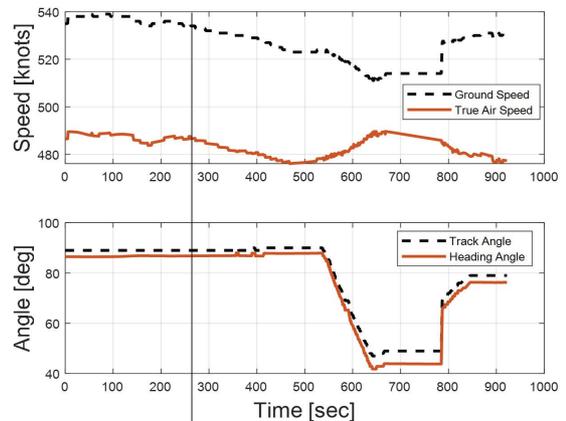


Fig. 9. TAS, GS Profile at Cruise

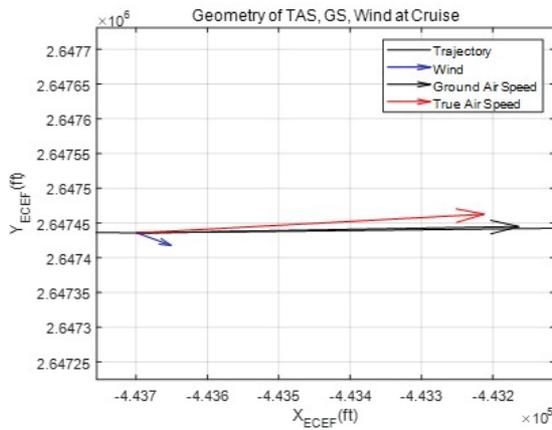


Fig. 10. Geometry of TAS, GS, Wind at Cruise

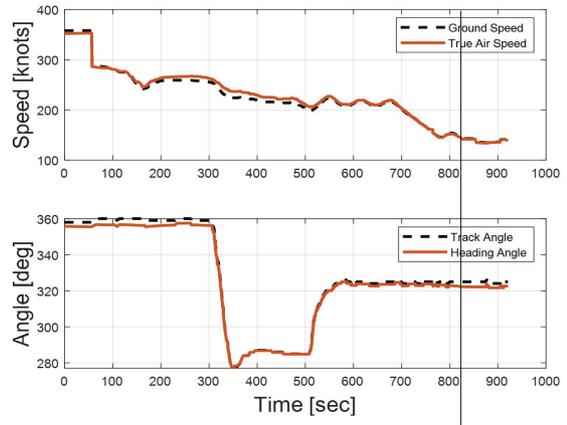


Fig. 13. TAS, GS Profile at Landing

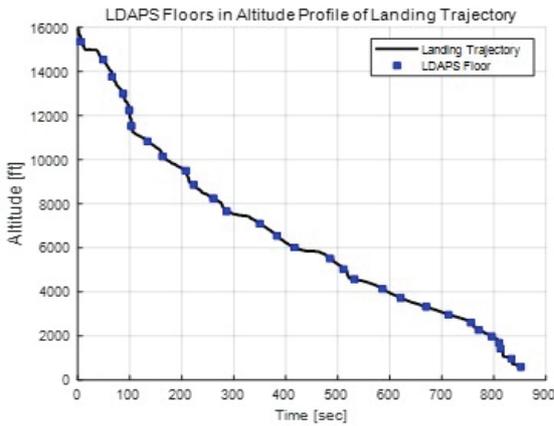


Fig. 11. LDAPS Floors in Altitude Profile of Landing

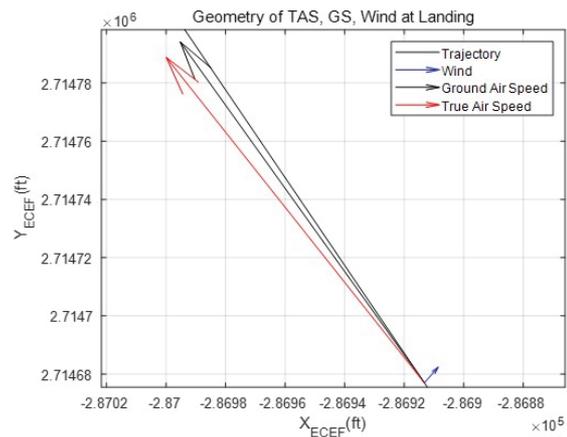


Fig. 14. Geometry of TAS, GS, Wind at Landing

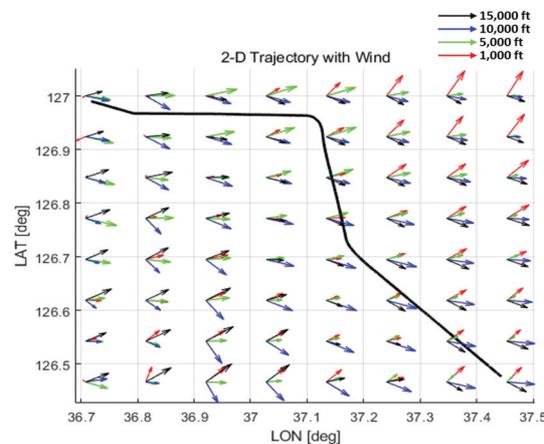


Fig. 12. Landing 2D Trajectory with Wind

며 약 600초부터는 활주로 접근을 위해 기수 방향이 유지되고 속력이 일정하게 감소하여 중형기의 일반적인 착륙속력인 130knots 전후에 도달한다. Fig. 13의 한 시점에서의 기하 관계는 Fig. 14에서 확인할 수 있으며 Fig. 7의 기하 관계와 일치한다. 또한, 착륙 과정에서 측풍이 불고 있지만 바람의 영향이 적어서 비교적 안정적인 착륙을 수행하고 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 진 대기속도를 추정하기 위해 항적, 기상, 지형 데이터를 통합하였다. 기상의 영향을 고려하였으며, 누구나 이용할 수 있는 데이터를 사용하였다. 인하대학교에서 직접 수집하는 ADS-B 데이터와 공공기관에서 제공하는 기상, 지형 데이터를 이용하였다. 각 데이터의 특성에 따라 좌표계와 기준을 일치시켰으며, 보간을 통해 항적에 바람을 적용하여 진 대기속도를 산출하였다. 지형 데이터의 경우 우선 평면 좌표계를 위/경도로 변환하였으며, 항적 데이터의 위/경도와 같이 람베르트 정각 원추도법을 통해 LDAPS의 격자 좌표계로 투영하였다. 지형 데이터를 이용하여 LDAPS의 지형 고도를 모사하였고, LDAPS의 연직 층수의 고도에서 지형 고도를 고려하여 항적 데이터의 고도 기준과 일치시켰다. 기상 데이터로는 출력 파라미터 중 수평/연직 속도를 이용하여 항적 주변의 바람 데이터를 추출하였다. 이를 삼선형 보간을 통해 항적 데이터의 공간 해상도와 일치시키고, 파싱을 통해 시간 해상도를 일치시켜 항적의 모

든 점에서 바람 벡터를 산출하였다. 바람 벡터와 ADS-B 데이터를 결합하여 진 대기속도를 추정하였고 이를 여러 항적에 적용하였다. 이를 통해 진 대기속도, 대지속도, 바람의 관계를 이용하여 각 항적에서의 비행 상황에 대한 추정 및 분석이 가능함을 확인하였다. LDAPS는 약 10년 동안의 데이터를 제공하므로 본 논문에서 제시한 방법을 통해 과거의 여러 항적에 대한 분석을 수행할 수 있다. 향후에는 인하대학교에서 수집 및 저장한 과거의 여러 항적과 기상 데이터를 결합한 통합 항적 데이터베이스 구축하고, 이를 기반으로 운동 특성 분석을 비롯하여 항공 안전, 스케줄링, 흐름관리 등 항공교통관리 분야의 다양한 연구를 수행할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부의 '빅데이터 기반 항공안전 관리 기술개발 및 플랫폼 구축(21BDAS-B158275-02)' 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## References

- 1) Vũ, H., Sun, J., Ellerbroek, J. and Hoekstra, J. M., "ADS-B and Mode S Data for Aviation Meteorology and Aircraft Performance Modelling," *Master Thesis*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2018.
- 2) Cho, A., Kim, J. H., Lee, S. H. and Kee, C. D., "Wind Estimation and Airspeed Calibration using a UAV with a Single-Antenna GPS Receiver and Pitot Tube," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 47, No. 1, 2011, pp. 109~117.
- 3) Park, Y. G. and Park, C. G., "Robust Filter Based Wind Velocity Estimation Method for Unpowered Air Vehicle Without Air Speed Sensor," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 47, No. 2, 2019, pp. 107~113.
- 4) Sun, J., Ellerbroek, J. and Hoekstra, J. M., "Modeling and Inferring Aircraft Takeoff Mass from Runway ADS-B Data," *7<sup>th</sup> International Conference on Research in Air Transportation*, 2016.
- 5) Sun, J., Vũ, H., Ellerbroek, J. and Hoekstra, J. M., "Weather field reconstruction using aircraft surveillance data and a novel meteo-particle model," *PloS One*, Vol. 13, No. 10, 2018.
- 6) Kim, H. J., Park, B. S., Ryoo, C. K. and Lee, H. T., "Airspeed Estimation through Integration of ADS-B, Wind, and Topology Data," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference*, July 2021, pp. 438~439.
- 7) Lee, H. W., Park, B. S. and Lee, H. T., "Analysis of Alerting Criteria and DAA Sensor Requirements in Terminal Area," *Proceeding of the 38<sup>th</sup> IEEE/AIAA Digital Avionics System Conference*, San Diego, September 2019, pp. 1~9.
- 8) Korea Meteorological Administration Numerical Modeling Center, "The User Manual of Numerical Data," Korea Meteorological Administration, 2016, p. 17.
- 9) National Geographic Information Institute, "Standard Work Instruction of Coordinate System Conversion for 1/1000 Digital Topographic Map," Ministry of Land&Infrastructure and Transport, October 2005.
- 10) Korea Meteorological Administration, "The Technical Book for Forecaster Training - Numerical Weather Prediction," Korea Meteorological Administration, 2014, p. 9.