

## ADS-B와 Mode-S 오픈소스 데이터를 활용한 공중충돌 위험 양상 분류

# Classifying Midair Collision Risk in Airspace Using ADS-B and Mode-S Open-source Data

김종부 · 이두열\*  
국방대학교 국방과학학과

Jongboo Kim · Dooyoul Lee\*

Department of Defense Science and Engineering, Korea National Defense University, Nonsan 33021, Korea

### [요 약]

항공기 공중 충돌사고는 대규모 인명 피해를 초래할 수 있는 위험한 사건이다. 이를 예방하기 위해 민간 항공에서는 TCAS(traffic alert and collision avoidance system) 장착을 의무화하였으며, 새로운 기술의 도움을 받아 더욱 정밀하게 발전하고 있다. 한국에서 개인적으로 TCAS 연구를 위한 데이터를 수집하는데는 절차적인 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 ADS-B(automatic dependent surveillance-broadcast)와 Mode-S(mode-select)를 활용하면 TCAS RA(resolution advisory)의 정보 획득이 가능하다. ADS-B Exchange와 Opensky-Network에서 보관중인 데이터베이스를 제공받아 연구에 활용하였으며, 3건의 TCAS RA 발생 사례를 시각화하였다. 또한 2023년 전반기 국내 TCAS RA 발생사례를 분류한 후 그 특징을 분석하였다. 이를 통해 ADS-B와 Mode-S 데이터의 유효성을 확인하고, 발전방향을 모색하였다.

### [Abstract]

Aircraft midair collisions are dangerous events that can cause massive casualties. To prevent this, civil aviation has mandated the installation of TCAS (ACAS), which is becoming more sophisticated with the help of new technologies. However, there are institutional problems in collecting data for TCAS research in Korea, limiting the ability to obtain data for personal research. ADS-B and Mode-S automatic broadcast various information about the flight status of the aircraft. This data also contains information about TCAS RA, which can be used by anyone to find examples of TCAS RA operation. We used the databases of ADS-B Exchange and Opensky-Network to acquire data and visually represent three TCAS RA cases through Python coding. We also identified domestic TCAS cases in the first half of 2023 and analyzed their characteristics to confirm the usefulness of the data.

**Key word** : ADS-B, Aviation Safety, Decoding, Mode-S, TCAS(ACAS).

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.5.552>



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 4 September 2023; Revised 12 October 2023  
Accepted (Publication) 29 October 2023 (30 October 2023)

\*Corresponding Author; Dooyoul Lee

Tel: \*\*\* - \*\*\*\* - \*\*\*\*

E-mail: stinerk84@gmail.com

## I. 서론

항공기 충돌사고는 대규모 인명 피해를 초래할 수 있는 위험한 사건으로 이를 예방하는 것은 항공 산업 분야에서 매우 중요한 과제 중 하나이다. 이를 위해서 많은 노력이 기울여지고 있으며, 그중에서도 특히 공중충돌 방지장치 (TCAS: Traffic Alert and Collision Avoidance System) 와 같은 시스템은 충돌사고를 막는데 주요한 수단으로 사용되고 있다. 전 세계적으로 TCAS 장착은 의무화되어 모든 민간 화물/여객기는 TCAS를 장착하여 충돌사고의 예방에 도움을 받고 있지만 여전히 여러 인적 오류와 TCAS 장비의 오류 등 복합적인 문제로 인해 항공기 간 충돌 및 근접 비행 사고는 지속적으로 발생하고 있다[1].

TCAS는 항공기 간 제한된 신호의 송·수신을 통하여 충돌 회피 조언 (RA: Resolution Advisory)을 실시하기 때문에 완전한 충돌 방지의 실현에는 제한사항이 있다. 따라서 미국을 비롯한 각국에서는 이를 극복하기 위한 새로운 기술 개발과 이를 접목한 다양한 연구를 실시하고 있다. TCAS 알고리즘에 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)의 기능을 결합하여 ACAS-X (Airborne Collision Avoidance System-X)를 개발하고 있다[2]. ADS-B는 TCAS의 낮은 위치정확도를 GPS의 높은 신뢰도를 가진 위치 정보를 지속해서 송·수신하는 방법으로 극복함으로써 항공관제 및 공중 충돌 회피를 위한 새로운 장을 가져올 것으로 기대하고 있다[2].

TCAS의 연구를 위해서는 방대한 양의 실제 항공 데이터가 필요하다. TCAS가 작동하는 시점의 두 항공기간의 상대적인 거리, 경로, 속도, 고도 등을 분석하면서 다양한 연구를 할 수 있다. 하지만 국내에서 이러한 데이터를 얻기 위해서는 국토교통부가 관리하는 ‘항공 안전 의무보고서’의 형태로만 확인할 수 있다. 따라서 일반적인 조건에서 연구를 위한 데이터를 확보하기 위해서는 복잡한 절차적인 문제가 존재한다. 하지만 Mode-S와 ADS-B 정보는 항공기가 일방적으로 송출하는 정보를 수신하므로 개인적으로 수신기를 설치하거나 여러 기관이 운영하는 데이터베이스에 접속하여 데이터를 확보할 수 있다. 국내에서 ADS-B는 주로 항공교통 모니터링 [3], 항적 데이터를 활용한 각종 알고리즘 연구 및 공중 충돌 위험도 분석등에 활용되었다[4],[5]. 이 논문에서는 ‘ADS-B Exchange’ [6]와 ‘OpenSky-Network’ [7] 데이터베이스를 활용하여 TCAS작동 사례를 확인하고, 항적 데이터를 수집하여 현시 및 비교 분석하는 과정을 수록하였다.

## II. 원리 및 주요 체계

### 2-1 TCAS(ACAS)

TCAS는 항공기에서 충돌 위험 상황을 감지하고 회피하는 시스템이다. 항공기가 서로의 고도 및 위치 정보를 교환하여 다른 항공기와의 충돌 위험을 감지하고, 필요한 경우 경보 및 회피 조치를 취하도록 설계되었다. TCAS는 미연방항공청 FAA: Federal Aviation Administration에서 사용하는 명칭이며 국제민간항공기구 (ICAO: International Civil Aviation Organization)에서는 ACAS (Airborne Collision Avoidance System)라는 명칭으로 사용하고 있다. 상위 규정인 ICAO를 따라 미 FAA에서 사용하는 세부적인 시스템이 TCAS라고 이해하면 편리하지만 두 용어를 함께 적어 사용해도 무방하다[8].

TCAS는 1978년과 1986년에 미국에서 발생한 두 차례의 항공기 충돌사고를 계기로 미 교통안전위원회(NTSB: National Transportation Safety Board)에서 항공교통관제 장치 (ATC: Air Traffic Control)와 자동화시스템만으로 충돌 예방에 한계가 있음을 지적하였고, TCAS 시스템의 개발을 시작하였다. 이후 1993년 미국 내 TCAS 장비 장착을 의무화하였으며, 1999년에 ICAO 규정에 따라 전 세계적으로 충돌 방지 장치의 장착이 의무화되었다. 우리나라도 ICAO 규정에 따라 1998년부터 장착을 의무화하였다[9].

TCAS System은 항공기 Mode-C(현재의 위치와 고도 정보 송신)와 Mode-S(고도 및 수직 속도를 송신) 정보를 바탕으로 주변 항적에 대한 정보를 조종사에게 제공하며, 상대 항공기 접근으로 인해 항공기간 충돌이 예상될 경우 충돌 40초전 TA (Traffic Alert) 경보를 제공하고, 충돌 25초전에는 음성경보, 회피기동 등을 포함한 RA (Resolution Advisory)가 작동한다. RA가 작동하게 되면 각 항공기 조종사는 항공기 자세계 상에서 제공하는 회피기동 경로를 준수하여 비행하여야 하며 관제기구에 관련상황을 통보하여야 한다. 그 이후 모든 경보 상황이 해제되면 CC (Clear of Conflict)라는 음성 메시지를 제공하여 상황종료를 조종사에게 알려준다.

TCAS는 현재 7.1 Version까지 개발되어 약 50 ft의 수평거리 정확도와 약 5°의 방위정확도를 가지고 있다. 항공기 트랜스ponder를 사용하는 한계점으로 인해 자체적인 정확도는 더 이상 높아지기 힘들다. 하지만 최근의 항공기들은 ADS-B를 탑재하여 디지털 데이터링크를 통해 항공기의 현재 비행 상태(수평 및 수직 위치, 속도 등)를 1초 간격으로 맹목 방송하여 더욱 정밀한 위치 정보를 획득할 수 있게 되었다. 본래 레이더의 Blind Area에 있는 항공기에 대한 관제를 목적으로 사용하였지만 TCAS와 같은 1,090 MHz 대역의 주파수를 사용하여 정보를 제공하므로 TCAS와 연동하여 정보를 주고받는 것도 가능하다. 이를 활용하였을 때 TCAS와 유사한 수준 또는 그 이상의 거리 정확도와 더욱 뛰어난 수준의 방위정확도를 보이는 것을 이론적으로 확인할 수 있다[2]. 이러한 이점을 활용하여 최근에는 TCAS와 ADS-B를 혼합하여 더욱 정확하고 보다 많은 조언이 가능한 ACAS-X가 개발되고 있다. 미국은 2013년부터 비행시험

및 개발을 하고 있으며[10], 유로콘트롤은 최근 발표한 보고서에서 ACAS-Xa가 어떤 경우에서든 TCAS-II V7.1보다 아주 작은 이점이라도 있는 것을 확인하였다[11].

**2-2 Mode-S 와 ADS-B**

Mode-S (Mode Select Beacon System)는 MIT Lincoln LAB에서 1970년에 처음으로 설계되었다. 1980년대 소프트웨어와 하드웨어의 발전을 근간으로 1990년대부터는 항공 교통 관제 분야에서 Mode-S는 항공기 감시의 주요한 소스 중 하나가 되었다. 통신 채널의 용량을 크게 개선하여 Mode-A의 제한된 고유 식별코드(4,096개)와 달리 24비트 트랜스폰더 코드로 식별되어 최대 16,777,216(2<sup>24</sup>)개의 고유 주소를 지원할 수 있다. 이러한 두 가지 주요 장점 외에도 Mode-S 프로토콜은 다운 링크할 수 있는 다양한 유형의 정보를 도입하였다.

**표 1.** Mode-S의 업링크 및 다운링크 양식  
**Table 1.** Mode-S uplink and downlink formats

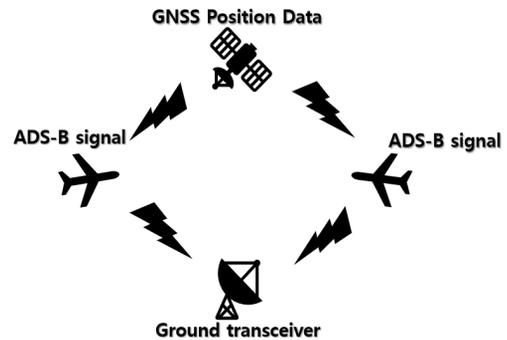
UF/DF	Bits	Uplink Type	Downlink Type
0	56	Short air-air surveillance(ACAS)	
4	56	Surveillance, altitude request/reply	
5	56	Surveillance, identity request/reply	
11	56	Mode S All-Call	All-Call reply
16	112	Long air-air surveillance(ACAS)	
17	112	-	Extended squitter
18	112	-	Extended squitter /non transponder
19	112	-	Military extended squitter
20	112	Comm-A, altitude request	Comm-B, altitude reply
21	112	Comm-A, identity request	Comm-B, identity reply
24	112	Comm-C(ELM)	Comm-D(ELM)

Mode-S 업링크 신호에는 항공 교통 관제사가 얻을 수 있는 정보를 나타내는 매개변수들이 포함되어 있다. Mode-S 질문은 Short Interrogation과 Long Interrogation 두 가지로 나누어진다. Short Interrogation은 56비트의 정보가 데이터 블록에 포함되고, Long Interrogation에는 112비트의 정보가 데이터 블록에 포함되어 있다. Mode-S 통신 프로토콜은 다양한 정보들을 다룰 수 있도록 여러 형태의 업링크 및 다운 링크 메시지 포맷으로 이루어져 있다. 메시지의 첫 다섯 비트는 업링크 및 다운 링크 포맷(UF/DF)을 정의하며, 이 UF/DF에 따라 각 데이터 블록이 나타내는 정보의 구조 또한 달라진다. 현재는 총 11가지 종류의 포맷이 사용되고 있으며 Table 1에서 확인할 수 있다. 표에서 사용되지 않는 번호들은 미래에 사용을 위한 예비 번호가 되겠다[12].

Table 1에서 UF17~19는 사용되지 않는데 이는

DF17~19가 SSR의 질문 없이 자동으로 방송(브로드캐스트)되도록 설계되었기 때문이다. 이러한 확장된 스쿼터의 가장 일반적으로 사용되는 응용 프로그램 중 하나는 ADS-B이다.

ADS-B는 항공기가 질문할 필요 없이 정기적으로 비행 상태를 방송할 수 있도록 설계된 감시 기술이다. Fig.1에서 볼 수 있는 것처럼 위성항법 시스템에서 획득한 위치 정보를 바탕으로 디지털 데이터링크를 통해 항공기의 비행 상태(위치 정보 및 속도 등) 및 여러 가지 항공기 정보를 주기적으로 맹목 방송하는 시스템이다. ADS-B는 5~12초 주기의 레이더 탐지 간격에 비해 1초 단위의 짧은 주기의 정보 전송을 통해 매우 정확한 수준의 항공기 위치 탐지를 가능하게 한다. 레이더의 작동 여부와는 상관없이 정밀한 위치 정보를 맹목 방송하기 때문에 지상 관제센터는 시야에서 벗어난 항공기의 더욱 정밀한 관제와 통제가 가능해지고, 항공기 간의 충돌 방지에 있어서도 효과적인 감시 기능을 제공할 수 있게 된다 [1]. 또한 일부 항공기는 항공기 내에 송신은 물론 수신 장비까지 갖추으로써 다른 항공기들의 위치를 실시간으로 파악하며 더욱 안전한 항행을 가능하게 한다.



**그림 1.** 간략한 ADS-B 작동 원리  
**Fig. 1.** Simple ADS-B principles

**III. 데이터 수집 방법**

**3-1 데이터 형식**

정보의 다운 링크를 위해 사용되는 가장 일반적인 데이터 포맷은 4, 5, 20, 21이다. 4와 5는 항공기 고도 및 Identity를 획득하도록 설계된 짧은 메시지이다. Comm-B 메시지로 알려진 20과 21의 다운 링크 메시지에선 고도 및 Identity 외에도 여러 가지 정보가 포함된다. Mode-S 및 Comm-B는 이론적으로 최대 255개의 서로 다른 메시지 유형을 지원할 수 있다. 이 중 BDS(Comm-B Data Selector)는 Mode-S 메시지에 포함된 추가 정보를 식별하도록 설계된 새로운 매개변수다. BDS는 ADS-B 메시지에서 사용하는 코드와 유사하게 작동한다

다.

이러한 BDS 코드를 그룹으로 조합하여 여러 가지 ModS-S 서비스를 정의할 수 있다. 대표적으로 ELS(Mode-S Elementary Surveillance)와 EHS(Mode-S Enhanced Surveillance)가 있다. ELS는 4개의 BDS코드(10, 17, 20, 30)로 구성된다. 고도 또는 Identity(Squawk 코드)와 같은 기본적인 정보를 제공한다. EHS는 3개의 BDS코드(40, 50, 60)로 구성된다. 고도, 진대기속도, 계기속도, 마하수, 항공기 기울기, 선회량 등의 더 많은 정보를 제공한다. ELS, EHS외에도 MRAR(Meteorological Routine Air Report : 일상 항공기상 보고서)과 MRH(Meteorological Hazard Report: 기상위험 보고서)도 포함될 수 있다. 또한 ACAS는 Mode-S 트랜스폰더를 사용하여 통신하고 있다. 아래 Fig. 2에서 확인할 수 있다[12].

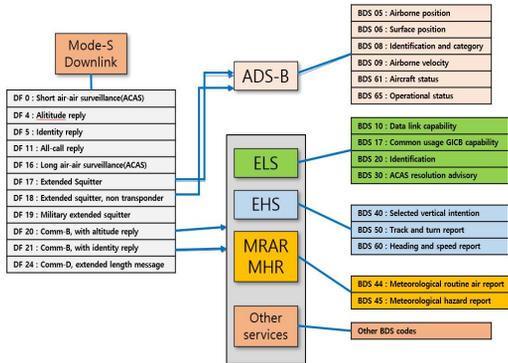


그림 2. Mode S 다운링크 양식과 서비스  
Fig. 2. Mode S downlink formats and services

따라서 우리는 Mode-S 데이터를 확인하면 여러 항적들의 다양한 정보를 확인할 수 있는데 특히, BDS 3,0 메시지에는 활성 충돌 회피조언(ACAS Active Resolution Advisory)에 관련된 정보가 포함되므로 해당 데이터를 확인하여 ACAS가 작동된 항공기의 정보를 확인할 수 있다.

### 3-2 BDS 3,0

BDS 3,0 메시지에는 ACAS Resolution Advisory 정보가 포함되어 있다. BDS 3,0 메시지에는 ELS로 구분되는 Comm-B 메시지 중 DF20과 DF21에서 확인할 수 있다. 해당 DF의 구조는 아래 Table 2와 같다[12].

표 2. Comm-B, altitude, Identity reply(DF=20,21)  
Table 2. Comm-B altitude, Identity reply(DF=20,21)

FIELD	DF	MSG	BITS
Downlink Format	DF	1-5	5
Flight Status	FS	6-8	3
Downlink Request	DR	9-13	5
Utility Message	UM	14-19	6
Altitude Code (DF=20)	AC	20-32	13
Identity Code (DF=21)	ID	20-32	13
Message, Comm-B	MB	33-88	56
Parity		89-112	24

BDS는 Message, Comm-B(MB) 필드에서 8비트 코드로 확인할 수 있다. 따라서 MB 필드를 확인함으로써 BDS 3,0 정보를 디코딩 할 수 있는데 해당 MB 필드는 아래 Table 3와 같이 구성되어 있다[13].

표 3..BDS 3,0 MB 필드  
Table 3. BDS 3,0 MB Field

FIELD	MSG	MB	BITS
BDS Code[0011 0000]	1-5	1-8	5
Active resolution advisories	6-8	9-22	3
Resolution advisory complements record	9-13	23-26	5
RA terminated	14-19	27	6
Multiple threat indicator	20-32	28	13
Threat type indicator	33-88	29-30	56
Threat identity data	89-112	31-56	24

### 3-3 Open Source Data

공개된 Mode-S 데이터를 획득하기 위해서 Opensky-Network의 Historical Database와 ADS-B Exchange의 ACAS Data Sample을 활용하였다. Opensky-Network에서는 Impala Shell 기반의 데이터베이스에 접속하여 Raw data 형식의 Mode-S 및 ADS-B 데이터를 조회할 수 있다. 또한 공개된 Python 라이브러리를 활용해 조회된 데이터를 저장하고 데이터를 기반으로 해당 항적의 항적도를 현시할 수 있다. 이때 사용되는 라이브러리는 Traffic, PyModeS, pyOpenSky를 활용하였다. Traffic 라이브러리는 수집된 데이터를 시각적으로 보여주기 위해 사용되었고, PyModeS와 pyOpenSky는 Mode-S 데이터를 데이터베이스에서 수집하여 디코딩 하는 용도로 활용하였다.

ACAS가 작동한 항적의 ICAO24 address와 작동 시간의 확인을 위해서 ADS-B Exchange에서 제공하는 ACAS Data Sample을 활용하였다. 해당 데이터는 특정 항적의 Mode-S를 Decoding 하여 Threat Identity를 제공하는 정보를 얻을 수 있어서 ACAS가 작동하여 상호 작용한 두 개의 항적을 정확히 매칭시켜 데이터를 확인하고, 시각적으로 표현하였다.

## IV. 결과 및 분석

4-1 데이터 수집 결과

본 논문에서 사용한 ADS-B Exchange의 ACAS Data Sample은 2023년 5월 1일에 발생한 ACAS 데이터이다. ACAS 데이터에는 ACAS 신호가 발생한 시간, ICAO24 항공기 주소, 좌표, 고도, 상승률(fpm), RA의 종류 및 TID(상대 항공기 ICAO24 항공기 주소 : Threat Identity)정보가 포함되어 있다. 데이터에서 확인한 ACAS가 발생한 시간 및 ICAO24 정보를 바탕으로 Opensky-Network의 datatool인 Traffic 라이브러리를 활용하여 해당 항적들을 시각적으로 표현하였다. 데이터 수집을 위해 분석한 Sample 항적들은 아래 Table 4와 같다. 그리고 국내에서 발생한 TCAS RA의 유형과 특징을 파악하기 위해 ACAS 데이터 샘플에서 2023년 1월~6월까지의 데이터를 필터링하였다. 이에 대해서는 4-3에서 상세히 다루었다.

표 4. 분석을 위한 ACAS 항적 샘플  
Table 4. ACAS Tracking samples for analysis

No.	TIME	ICAO24	TID(ICAO 24)	Nearest Airport
		RA	RA	
1	01:08:25	a6f831	a8b3c2	Livermore Municipal Airport
		Maintain vertical speed, Crossing maintain	-	
2	02:34:14	e495b1	e0645a	Airway
		Descend	Climb	
3	03:25:31	aa2ba1	a146f1	Phoenix Sky Harbor International Airport
		Level Off		

항적 현시를 위해서 ACAS 발생 시간 기준 전후 1분간의 데이터를 다운로드 하여 항적 데이터 두 개를 같은 시간을 기준으로 동시에 현시하여 두 항적이 가장 가까워지는 위치를 표시하고, 동시에 고도 및 속도 정보를 같이 나타내었다. 현시된 항적들의 ACAS 발생 상황을 명확히 이해하기 위해 경우에 따라서 전, 후 약 10분간의 항적을 다운로드 하여 확인하기도 하였으나 해당 항적도는 별도로 논문에 수록하지 않았다. 사용한 Python Code는 코드 웹 호스팅 플랫폼인 Github 에 공유되어 있다([https://github.com/stinerk/TCAS\\_RA\\_Tools](https://github.com/stinerk/TCAS_RA_Tools)).

4-2 조우 형태에 따른 위험 분류

Table 4의 샘플 항적들은 모두 미국에서 발생한 항적들이며, 이를 순차적으로 분석해 보았다. 먼저 첫 번째 데이터는 이륙 후 상승 중인 항공기가 이륙 경로를 정면으로 통과하는 항공기와 근접 조우하는 상황이다. “GDC548”은 리버모어 공항에서 이륙하여 상승 중 약 3,500ft를 유지하여 동쪽으로 비

행 중이던 “N66VG”와 근접하면서 ACAS RA가 작동하였다. 작동한 RA는 ‘Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain’으로 두 항공기가 수평적으로 가까워지면서 경보가 작동하고, 현재의 상승률을 유지하며 상대 항공기를 지나치는 형태의 기동을 유지하되, 수평적인 회피를 하라는 지시이다[14]. Fig. 3과 Fig. 4를 보면 “GDC548”은 지속적인 상승률을 유지하면서 접근 중인 “N66VG”를 회피하고 있으며, “N66VG”는 현재의 고도를 유지하며 수평적인 기동을 통해 회피하였다.



그림 3. 1번 샘플 두 항공기의 시간별 위치  
Fig. 3. Location of two flights by time of No.1

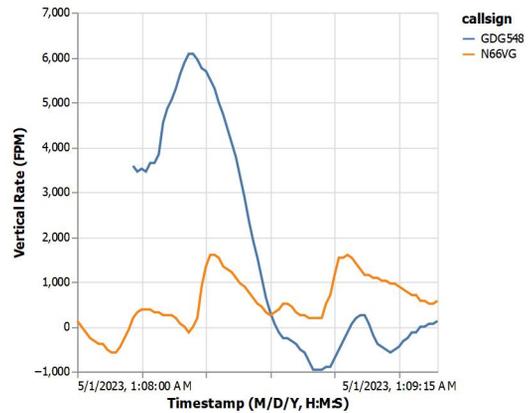


그림 4. 1번 샘플 두 항공기의 시간별 상승률  
Fig. 4. Vertical Rate of No. 1

두 번째 데이터는 항로에서 상호 교차하며 발생한 근접 조우이다. 북동쪽으로 진행하는 “ARG1246”과 남서쪽으로 진행하는 “AZU2865”가 서로 약 1,500ft의 고도차를 가지고 1.22 NM까지 근접하여 교차하면서 발생한 ACAS RA이다. Fig. 5와 Fig. 6을 보면 “AZU2865”가 27,225ft에서 마주 오는 29,225ft의 “ARG1246”항공기를 향해 상승 조작이 일어나면서 ‘Descent’ 경보가 발생하였다. 반대로 “ARG1246”은 ‘Climb’ 경보가 발생하여 서로 반대로 상승/강하 조작을 함으로써 충돌을 회피하였다.

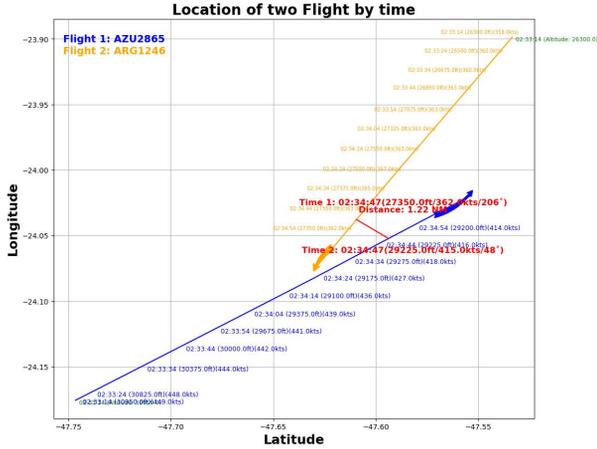


그림 5. 2번 샘플의 두 항공기의 시간별 위치  
Fig. 5. Location of two flights by time of No.2

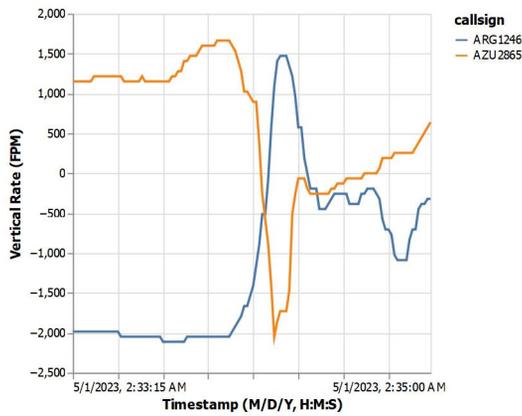


그림 6. 2번 샘플 두 항공기의 시간별 승강률  
Fig. 6. Vertical Rate of No. 2

마지막 세 번째 데이터는 첫 번째와 유사한 이륙 항공기와 이륙 경로를 통과하는 항공기 간의 조우이지만 회피 조언이 다른 형태이다. Fig. 7을 보면 피닉스 스카이허버 공항에서 이륙한 “SWA1348”이 항로를 타기 위해 상승 중이고, 반대로 “UAL2078”은 스카이허버 공항에 착륙하기 위해 고도를 강하하는 중이었다. “SWA1348”의 높은 상승률로 인해 ACAS RA가 작동하였고, 두 항공기에는 모두 ‘level off’ 경고가 작동하였다. Fig. 8를 보면 두 항공기 모두 상승 및 강하 조작을 멈추고 수평 조작함으로써 약 1,500ft의 고도 분리를 하면서 1.15 NM의 수평거리를 유지하며 서로를 통과하였다.

첫 번째와 세 번째의 경우 저고도에서 특히 이륙 중인 항공기는 충분한 여유 에너지가 없는 상황에서 회피는 쉽지 않기에 위험할 수 있다. 그 중 첫 번째 상황이 더욱 위험한 것은 6,000fpm에 달하는 높은 상승률로 인해 상승률 조절을 통한 회피가 어려운 상황이며, 수평으로 진행하는 접근 항공기의 입장에서는 육안으로 상승 중인 항공기를 확인하는 것이 어려울 수 있다. 결과적으로도 약 100ft 고도차에 0.87NM거리로 통과한 것은 매우 근접하여 통과한 상황으로 상당히 위험했던

상황으로 판단할 수 있다.

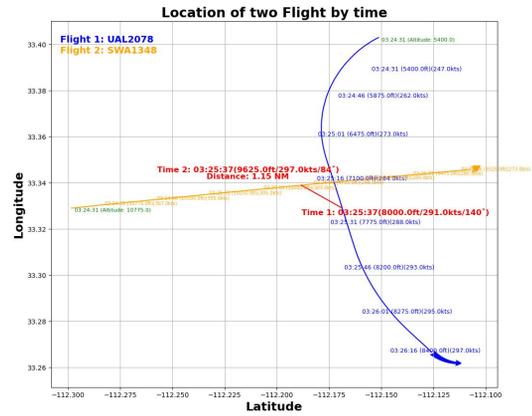


그림 7. 3번 샘플의 두 항공기의 시간별 위치  
Fig. 7. Location of two flights by time of No.3

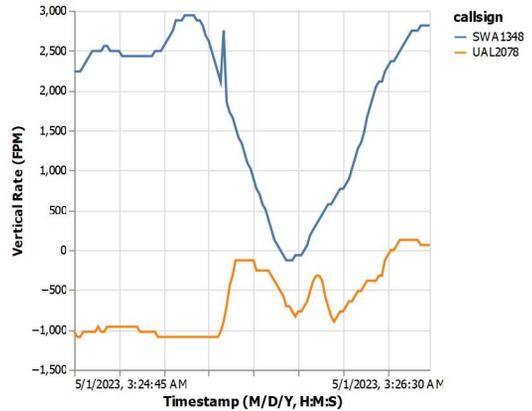


그림 8. 3번 샘플 두 항공기의 시간별 승강률  
Fig. 8. Vertical Rate of No. 3

### 4-3 항공기 종류에 따른 위험 분류

위의 데이터들은 정확히 두 항적의 비교 분석을 위해 TID가 명확히 나와있는 3개의 항적을 분석하였다. 하지만 TID가 나와있지 않은 항적 역시 ADS-B Exchange의 ACAS 데이터와 Opensky-Network의 데이터베이스를 활용하면 확인 가능하다. ACAS 데이터에서 확인한 TCAS 발생 항적의 발생 시간과 위치 정보(좌표 및 고도)를 기준으로 pyOpenSky 라이브러리를 활용하여 TCAS 발생 당시 좌표 반경 10 NM 내의 항적 정보들을 다운로드한다. 이후 TCAS가 발생한 항적과 다운로드 받은 데이터의 항적 정보들을 Traffic 라이브러리를 활용하여 일일히 표시하며 TCAS가 발생할 가능성이 있는 항적을 구분해 낼 수 있다.

이런 방법을 통해 2023년 상반기 국내에서 수집된 TCAS 발생 항적을 확인하였다. 2023년 상반기 국내에서 발생한 TCAS는 총 50건으로 식별되었다. ADS-B 및 Mode-S 정보 수집의 특성 상 모든 항적의 정보가 완전히 기록되지 않으며, 군용기의 항행량이 매우 많은 국내 비행 공역의 특성상 완전

한 정보는 아니지만 50건의 발생사례는 충분히 유의미한 것으로 보인다. 50건의 발생사례 중 TID가 기록된 항적은 총 13건이며, 이 중 제대로 항적을 확인한 것은 7건이었다. 나머지 43건에 대해서 최대한 근접한 항적을 확인하였고, 군용기로 추정된 경우는 TCAS가 발생한 위치를 기준으로 상황을 추정하였다.

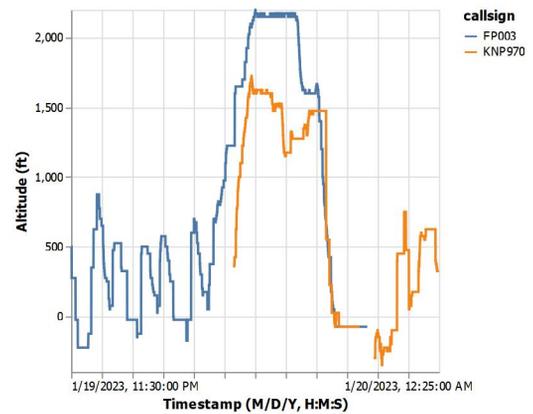


그림 9. RA 발생 분류  
Fig. 9. Categorizing RA occurrences

Fig. 9를 보면 50건의 발생사례 중 군용기가 포함된 사례는 31건으로 절반 이상을 차지한다. 이 중 미 군용기로 확인된 RA가 20건이며 나머지 10건 중에서도 확인되지 않은 미 군용기와의 RA가 있을 것으로 추정된다. 군용기를 제외한 나머지 중 16건이 헬기에서 발생한 사례이다. 특이사항은 특정 소방헬기(응급헬기)로 추정되는 항공기가 무려 8건을 발생시킨 것으로 확인되었는데 이는 소방헬기의 특성상 긴급하게 출동하면서 주변 항적들과 근접했을 것으로 추정된다. 특히 1월 20일과 4월 2일에는 서울 개포마을 화재와 인왕산 화재가 발생한 것으로 확인되어 긴급한 상황에서 소방헬기나 응급헬기들의 TCAS RA 장비 사용에 대한 기준과 절차가 필요할 것으로 판단된다. 군용기와 헬기를 제외한 민간 여객기끼리 발생한 사례는 3건으로 확인된다. 하지만 이 중 한 건은 오류가 발생한 것으로 보이므로 실제로는 2건 정도가 민간 여객기 간에 발생한 것으로 생각된다. Fig. 10은 개포마을 화재(2023년 1월 20일) 당시 두 헬기의 수평 항적도(Fig. 10(a))와 수직 항적도(Fig. 10(b))를 나타낸다. 여기서 두 헬기가 상당히 근접하여 비행하였고, 한강에서 소방수 보충을 하였다는 것을 확인할 수 있다.



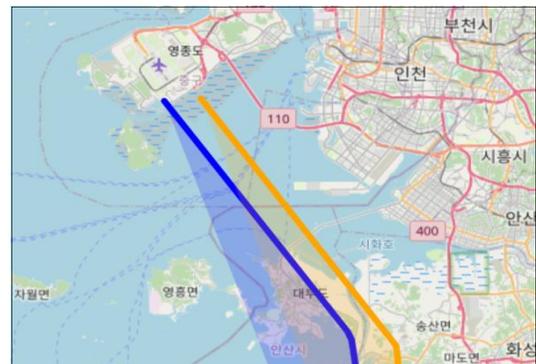
(a)



(b)

그림 10. 개포마을 화재(23.01.20.) 당시 소방헬기 (a) 수평 및 (b) 수직 항적도  
Fig. 10. (a) Horizontal and (b) Vertical flight locations of Fire Helicopters during the Gaepo Village fire(23.01.20.)

Fig. 11은 2023년 전반기 국내에서 민항기 간 발생한 RA 중 가장 명확한 항적을 현시한 것이다. 두 항공기는 각각 남쪽에서 동시에 평행한 활주로로 착륙을 위해 접근하였다. 발생한 RA는 Level Off 이었다. Londner와 Moss의 연구[15]에서 볼 수 있듯이 평행한 활주로 접근은 RA 발생에 있어서 주요한 변수로 볼 수 있다. TCAS RA의 작동 원리상 RA가 발생하는 경우이지만 관제사의 완전한 통제와 조종사들의 인지가 명확하기 때문에 위험한 상황으로 판단되지는 않는다.



(a)

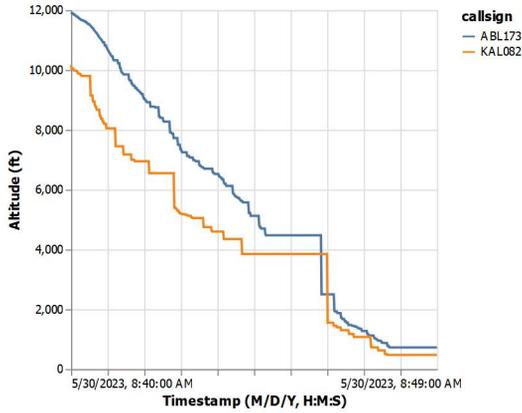


그림 11. 인천공항 착륙(23.05.30.) (a) 수평 및 (b) 수직 항적도  
 Fig. 11. Landing at ICN Airport(23.05.30.) (a) Horizontal and (b) Vertical Flight locations

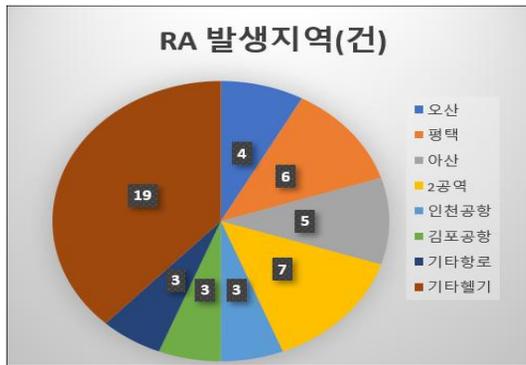


그림 12. RA 발생지역  
 Fig. 12. RA occurrences region

Fig. 12에서 RA가 발생한 위치를 살펴보면 오산, 평택, 아산, MOA-2(군작전구역-2)에서 발생한 것이 22건인데 이는 미군 기지와 한국군 기지가 밀집되어 있고, 오산 미군 관제권과 한국군 MCRC, 청주기지 관제권이 겹쳐지는 구역이다. 서해와 내륙 지역의 군 작전구역에 진입하는 군용기가 많고, 청주 공항을 이용하는 민간항공기도 존재하는 복잡한 항행 상황에서 관제권이 통일되지 않아 발생하는 RA로 추정된다. 청주기지 근무 경험상 특히 이 구역에서는 각 관제 기구가 유선으로 협조를 요청하는 시간에 항공기 간 분리가 제대로 이루어지지 않는 상황이 많이 발생한다. 또한 미군이 한국군 관제기구인 MCRC의 통제를 받는 경우 의사소통이 제대로 되지 않아 발생하는 RA의 빈도도 높을 것으로 추정된다. 해당 결과를 볼 때 미군 관제 기구와 한국군 관제 기구, 인천 ACC 간에 유선을 통한 음성 협조가 아닌 통합된 시스템을 통해 직관적인 협조가 가능하다면 보다 안전한 항행이 될 것으로 생각된다.

4-4 종합 분석결과

공중에서 발생한 TCAS(ACAS)의 발생 양상과 위험 요소

를 분석하기 위해서는 기본적으로 TCAS가 발생한 두 항공기의 위치, 고도, 속도, 발생한 TCAS RA의 종류, 항공기의 범주(카테고리), 공역(클래스 A,B,C,D,E,G 등), TCAS 민감도, 경로, 수평거리, 근접거리 등의 데이터가 필요하다. 해당 데이터가 있다면 Londner와 Moss[15]의 연구에서 Bayesian Network를 활용하여 조종사 반응 TCAS 모델을 만드는 것과 같은 연구를 하는 것이 가능하다.

논문에서 분석한 데이터를 보면 두 항적의 TCAS RA가 발생한 시간, 위치는 물론 항적의 고도, 속도, 경로, RA의 종류에 대한 정보가 모두 포함되어 있어 여기에서 파생되는 상대 경로, 상대 속도, 상대 고도 및 최인접 지점의 수직거리와 수평거리까지 필요한 정보를 모두 획득하는 것이 가능하다. 미국의 경우 TRAMS 등의 시스템을 통해 자동으로 다운링크한 TCAS 정보를 분석하여 지속적인 연구를 하고 있다면 우리나라는 해당 정보를 얻기 위해서는 국토교통부의 허가를 받아 항공 안전 장애 보고서를 기준으로 데이터를 얻어야 하기에 많은 제약점이 발생한다. 하지만 각 항공기가 맹목적으로 발신하는 Mode-S와 ADS-B 데이터를 기반으로 한 오픈소스 데이터를 활용한다면 위에서 한 기본적인 형태의 TCAS 발생 상황에 관한 연구는 물론 Londner, Moss와 같은 TCAS 알고리즘을 학습시키는 데도 문제가 없는 충분한 양의 데이터를 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

논문에서 수집한 데이터는 일부 한계점을 가지고 있다. 이 데이터는 전문 기관이 아닌 민간 기관에서 수집한 정보로 일부가 누락되거나 오류가 포함될 수 있다. 특히 TCAS의 경우, 두 항적을 정확하게 식별해야만 연구가 가능하므로 데이터의 누락 및 오류는 연구 결과에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 그러나 확인된 바와 같이 이러한 데이터는 충분히 신뢰성 있고 정확하며 연구에 사용될 수 있을만큼 실용적이다. 국내에서 발생한 TCAS 관련 사례를 연구할 때 군용기 정보를 제외하면 큰 문제가 없으며, 또한 국내에서는 각 기관이 TCAS RA 발생을 관리하기 때문에 국토부에 보고되지 않은 RA 발생 사례까지 확인할 수 있는 장점이 있다. 향후 Mode-S에서 얻은 BDS 3.0 메시지에서 TID를 추출할 수 있다면 ADS-B Exchange에서 얻은 ACAS 데이터를 넘어서 국내 TCAS 관련 사례를 더 다양하게 연구할 수 있을 것으로 보인다.

이 연구는 초기에 국내 TCAS 발생 사례를 분석하여 기존의 TCAS 모델링의 타당성과 국내 TCAS 발생 사례들의 특이점을 연구하려는 목적으로 시작되었지만 국내에서 데이터 획득과 법적 절차의 어려움을 알게 되어 데이터를 얻는 방법에 대한 고찰에서 출발하였다. 논문에서 제시한 방법은 국제적으로 널리 알려진 방법으로 이를 활용한 많은 연구가 이미 해외에서 이루어지고 있다. 그러나 국내에서는 이러한 방법을 활

용한 연구가 상대적으로 부족하므로 이를 보완하고자 하였다. 더불어 국내 항공 안전을 위해 연구 목적의 데이터 제공이 더욱 용이해져야 한다고 생각한다. 항공안전 장애 보고서와 같은 데이터는 모두에게 쉽게 공유되어 항공 안전에 더 많은 기여를 할 수 있기를 기대한다.

### Acknowledgments

We would like to thank “Opensky-Network” and “ADS-B Exchange” for providing data for this study.

### References

[1] J. S. So, G. Y. Hong, “Detection Performance Comparison of ADS-B and TCAS Using Simulation,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol.19, No.6, pp. 465–472, Dec. 2015.

[2] J. S. So, A study on TCAS horizontal avoidance algorithm using ADS-B, Master’s Thesis, Dept. of Aeronautical System Engineering Graduate School of Hanseo University, Feb, 2017.

[3] I. S. Song, E. M. Jang, W. O. Yoon, S. B. Choi, “A Design and Implementation of an ADS-B Monitoring System Capable of Displaying Air Traffic Situation,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol 18, No.4, pp. 278-287, Aug. 2014.

[4] Y. H. Ju, S. K. Ku, G. Y. Hong, “A Study for Avoidance Alarm Algorithm with ADS-B Message,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol.19, No.5, pp. 379-388, Oct. 2015.

[5] J. Y. Ryu, H. W. Lee, B. S. Park, H. T. Lee, “2019 Incheon FIR Aerial Collision Risk Analysis,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol.25, No.6, pp. 467-483, Dec. 2021.

[6] ADS-B Exchange. Historical Data [Internet]. Available: <https://www.adbexchange.com/products/historical-data/>

[7] Opensky-network. Historical Database [Internet]. Available: <https://opensky-network.org/data/impala>

[8] O. S. Shin, “A Study on Reestablishment of the Concept of AIRPROX for prevention of Mid Air Collision,” *Journal of Korea Civil Aviation Development Association*, Vol. 50, pp. 90 - 114, Mar. 2009.

[9] Korea Transportation Safety Authority, *2015 Korea Aeronautical Information Manual*, 6th ed. Gim Cheon, GC: Aviation Safety Dep., pp. 370-371, Dec. 2015.

[10] M. J. Kochenderfer, J. E. Holland, and J. P. Chryssanthacopoulos, “Next-Generation Airborne Collision Avoidance System,” *Lincoln Laboratory Journal*, Vol.19, No.1, pp. 17–33, 2012.

[11] EUROCONTROL Innovation Hub & Headquarters Safety nets team, European Airborne Avoidance System(ACAS) Xa Change Proposal(CP)1 validation report, 2022.

[12] Junzi Sun, The 1090 Megahertz Riddle, *TU Delft OPEN Publishing*, 2nd ed. 2021.

[13] International Civil Aviation Organization, *Aeronautical Telecommunications Volume IV Surveillance and Collision Avoidance Systems*, 5th ed. Jul. 2014.

[14] Eurocontrol, ACAS Guide, 4th ed. Dec. 2021.

[15] E. H. Londner, R. J. Moss, “Bayesian Network Model of Pilot Response to Collision Avoidance System Resolution Advisories,” *Journal of Air Transportation*, Vol.26, No.4, pp. 171–182, Oct, 2018.



**김종부 (JongBoo Kim)**

2006년 2월 : 공군사관학교 산업공학과 졸업(공학사)  
현재 : 국방대학교 국방과학학과 무기체계 석사과정  
※관심분야: 무기체계, 항공전자, 항공안전



**이두열 (Dooyoul Lee)**

2002년 2월 : 공군사관학교 항공공학 학사  
2008년 : 서울대학교 재료공학 석사  
2015년 : 노스웨스턴대학교 기계공학 박사  
현재 : 국방대학교 국방과학학과 무기체계 교수  
※관심분야: 신뢰도/위험도평가, 진단/예측, 피로 및 파괴