

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.037>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공안전 데이터를 이용한 항공기 공중충돌위험식별 모형 검증 및 고도화

백현진*, 박배선**, 김혜옥***

Validation of Mid Air Collision Detection Model using Aviation Safety Data

Hyunjin Paek*, Bae-seon Park**, Hyewook Kim***

ABSTRACT

In case of South Korea, the airspace which airlines can operate is extremely limited due to the military operational area located within the Incheon flight information region. As a result, safety problems such as mid-air collision between aircraft or Traffic alert and Collision Avoidance System Resolution Advisory (TCAS RA) may occur with higher probability than in wider airspace. In order to prevent such safety problems, an mid-air collision risk detection model based on Detect-And-Avoid (DAA) well clear metrics is investigated. The model calculates the risk of mid-air collision between aircraft using aircraft trajectory data. In this paper, the practical use of DAA well clear metrics based model has been validated. Aviation safety data such as aviation safety mandatory report and Automatic Dependent Surveillance Broadcast is used to measure the performance of the model. The attributes of individual aircraft track data is analyzed to correct the threshold of each parameter of the model.

Key Words : Detect-And-Avoid Well Clear(항공기 탐지 및 회피), Aviation Safety Data(항공안전 데이터), ADS-B Data(자동종속감시시설 방송 데이터), Model Validation(모형 성능 검증), Aviation Safety Mandatory Report(항공안전 의무보고서)

1. 서 론

국내 항공통계(한국항공협회, 2021)에 따르면, 2021년 3월부터 8월까지 항공교통 운항 편수는 코로나 19로

인하여 하늘길이 폐쇄되어 있었던 지난해 동기 대비 39.9% 증가하였다. 포스트-코로나 시대가 도래함에 따라 국내 및 국제 항공교통수요가 회복세에 접어들었으며, 지속적으로 증가하는 항공교통량에 대한 대응책이 요구되고 있다. 우리나라의 경우, 인천 비행정보구역(Flight Information Region, FIR) 내 위치한 군작전공역(Military Operation Area, MOA)으로 인하여 국제항공운송사업자가 사용할 수 있는 공역이 매우 한정되어 있다. 항공기가 활용할 수 있는 공역의 크기가 제한되면 항공기 간 공중충돌 위험(TCAS RA 등), 고도·경로 이탈, 분리최저치 미확보 등 공중에서 비행 중인 항공기의 안전문제가 야기될 수 있다.

Received: 17. Nov. 2021, Revised: 10. Dec. 2021,

Accepted: 14. Dec. 2021

* 항공안전기술원 데이터분석연구센터 연구원

연락처 E-mail : hjp@kiast.or.kr

연락처 주소 : 서울특별시 강서구 하늘길 38 김포국제공항

국제선청사 313-1호

** 인하대학교 산업과학기술연구소 연구원

*** 한국항공대학교 항공정책연구소 연구원

이에 과거 연구에서는 무인항공기의 안전한 운용을 위해 제안된 Detect and avoid Well Clear(DWC) 지표(RTCA, 2017)를 기반으로 항공기 간 공중충돌위험 위험도를 계산하는 모형을 개발하였다(이현웅 외, 2017). 해당 모형은 항공기의 궤적 데이터인 Automatic Dependent Surveillance Broadcast(ADS-B) 데이터를 기반으로 항공기간 수평·수직 거리 및 속도, 방위 각 등 특정 매개변수를 계산하여 항공기간 공중충돌 위험도를 계산하는 모형이다. 기존 연구에서는 DWC 기반 공중충돌위험 식별 모형이 실제 관제사가 느끼는 공중충돌 위험도와 상관성이 높다는 점을 밝혔다(이현웅 외, 2018). 또 다른 연구에서는 해당 모형을 기반으로 실제 2016년부터 2019년까지 3년간 인천 비행정보구역에 비행한 항공기의 항적 데이터 중 수신 품질이 좋고 교통량이 많은 일자(100일)를 추출하여 서울 접근관제구역에서의 공중충돌위험도를 분석하였다(이학태 외, 2020). 하지만 해당 모형을 통해 산출한 공중충돌위험 식별결과를 검증하는 연구는 아직 이루어진 바가 없으며, 추후 해당 모형을 실용화하기 위해서는 모형의 위험도 식별 성능 및 유효성 등을 검증하는 과정이 필요하다.

이에 본 연구에서는 항공안전 의무보고서, 항공기 궤적 데이터(ADS-B) 등 항공안전 데이터¹⁾를 기반으로 해당 모형의 공중충돌위험 식별 성능을 검증하였다. 또한, 모형에 사용된 매개 변수의 임계치(threshold)를 수정하여 모형의 위험식별 성능을 향상하고자 하였다.

II. 본 론

2.1 항공안전 의무보고서

항공안전 의무보고서는 항공기간 분리최저치 미확보 등 항공기 사고, 준사고 및 항공안전장 장애 발생하였거나 발생한 사실을 알았을 때, 관련 종사자가 작성하여 제출한 보고서이다. 해당 보고서에는 사건 경위 및 발생원인 등이 포함되어 있으며, 항공안전법에 따라 데이터를 수집·관리하는 기관(국토교통부, 항공안전기술원 등) 외 다른 기관으로 반출이 금지된 보안 데이터이다. 본 연구에서는 'DWC 기반 공중충돌위험 식별 모형 성능 검증'만을 목적으로 해당 데이터를 활용하였으며, 보안상의 지침을 준수하기 위해 본 논문에서는 보고서

이름, 항공편명, 등록부호, 사건 발생 건수 등 민감정보는 비공개한다.

항공안전 의무보고서의 경우, Fig. 1에 나타난 바와 같이 보고 구분, 분야 구분, 발생단계, 기상, 사업자의 종류 등 보고자가 정해진 항목에서 특정 항목을 선택하는 문항이 있다. 반면, 발생유형, 호출부호, 등록기호, 발생개요 등과 같이 보고자가 직접 사건에 관한 내용을 서술하는 문항도 존재하며, 서면보고양식뿐만 아니라 E-SKY 포털을 통한 전자보고양식도 존재한다.

본 연구에서 검증하는 모형의 경우, 2019년 인천 비행정보구역을 통과(passing)한 항공기의 항적 데이터를 기반으로 구축한 모형이다. 따라서 항공안전 의무보고서 중 동일 기간 인천 비행정보구역 내에서 발생한 항공안전장에 중 '항공기간 분리최저치가 미확보되었거나 확보되지 않을 우려가 있었던 경우(항공안전법 시행규칙 별표20의 2 중 1. 가. 항목에 해당)'를 추출하여 모형의 성능검증을 수행하였다. 항공안전 의무보고서 DB로부터 추출한 항공안전 의무보고 데이터의 구조는 Table 1과 같은 형태이며, 각 항공편에 대한 사건 발생시간, 항공편명, 해당 항공기 등록부호, 비행

항공안전 의무보고서(Aviation Safety Mandatory Report)

보고 구분 (Category of Occurrence)	<input type="checkbox"/> 항공기사고 (Accident)	<input type="checkbox"/> 항공기준사고 (Serious Incident)	<input type="checkbox"/> 항공안전장애 (Incident)
분야 구분 (Fields)	<input type="checkbox"/> 항공기운항 (Flight Operation)	<input type="checkbox"/> 항공기정비 (Maintenance)	<input type="checkbox"/> 항공교통관리 (Air Traffic Control) <input type="checkbox"/> 공항항행시설 (Aerodrome and NAV/D)
발생유형 (Type of Occurrence)	호출부호 (Call Sign) <input type="text"/> 등록기호(Registration) <input type="text"/>		
항공기종·공항· 항행안전시설 명칭 (Type of Aircraft or Name of Aerodrome or N AV/D)	발생장소·공항 (Location of Aerodrome)		
발생일시 (Date, Time)	비행고도 (Altitude)		
발생단계 (Phase of Flight)	<input type="checkbox"/> 정지(standing)	<input type="checkbox"/> 후시행/견인(push-back/towing)	<input type="checkbox"/> 착륙 (landing)
	<input type="checkbox"/> 추도어물(taxi)	<input type="checkbox"/> 이륙(take-off)	<input type="checkbox"/> 기동 (manoeuvring)
	<input type="checkbox"/> 초기 상승 (initial climb)	<input type="checkbox"/> 순항 (en-route)	<input type="checkbox"/> 비상강하(emergency descent)
	<input type="checkbox"/> 접근(approach)	<input type="checkbox"/> 제어불능상태의 고도강하(unccontrolled descent)	<input type="checkbox"/> 충돌발생 후(post-impact)
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
비행구간 (Flight Route)	승무원수 (Number of Crew Members)		비행고도 (Altitude)
승객수 (Number of Passenger)	각상승무원(Cabin Crew)		부상자수 (Number of Injuries)
사망자수 (Number of Fatalities)			
기상(Weather)	<input type="checkbox"/> VMC	<input type="checkbox"/> IMC	
발생 개요(Description of Occurrence)			
사업자의 종류 (Type of Operator)	<input type="checkbox"/> 국내 (Domestic Air Carrier)	<input type="checkbox"/> 국제 (International Air Carrier)	<input type="checkbox"/> 소형 (Small Commercial Air Transport Operator)
보고자의 성명 (Name)	보고자의 연락처 (Telephone)		<input type="checkbox"/> 항공기사용사업 (Aerial Work)
			<input type="checkbox"/> 기타 (Other)
*항공안전법, 제58조제1항, 제62조제5항 및 같은 법 시행규칙 제134조제1항에 따라 항공기 사고 등을 위 외 과이 보고합니다. (In accordance with Paragraph 1, Article 58 and Paragraph 5, Article 62 of the Aviation Safety Act and Paragraph 1, Article 134 of the Ministerial Regulation of Aviation Safety Act, I hereby report the occurrence of mandatory reporting items as described above.)			
년 월 일 Date: _____/_____/_____ (YYYY/MM/DD)			년 월 일 (시행 또는 인) (Signature)
국토교통부장관 또는 지방항공청장 귀하 (Attention : Minister of Ministry of Land, Infrastructure and Transport or Administrator of Regional Aviation Administration)			

Fig. 1. 항공안전 의무보고서 서면보고 양식

1) 항공안전법 제2조 10의4(“항공안전의 유지 또는 증진을 위하여 사용되는 각 목의 자료를 말한다”)에 따른 12종의 자료를 의미하며, 의무보고서는 ‘라’목, 항공기 궤적 데이터는 ‘다’목에 해당한다.

Table 1. 항공안전 의무보고 데이터 구조 (예시)

보고 번호	발생시간	편명	등록 부호	비행위치 (narrative)	발생개요 및 조치내용 (narrative)
1	'19.01.01. 00:00	XX111	HL1111	ICN 접근 중 (1,500 ft)	ICN 접근 중 YY111 항공기로 인해 ACAS RA 발령
2	'19.02.02. 00:00	XX222	HL2222	AGAVO 상공 (29,000ft)	비행 중 상승 중인 YY222 항공기로 인해 ACAS RA 발령
3	'19.03.03. 00:00	XX333	HL3333	GMP 남쪽 10NM 부근	훈련 중인 군용기로 인해 ACAS RA 발령
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

위치 및 발생개요를 포함한다. 비행위치와 발생개요의 경우, 정해진 작성 양식이 없으므로 보고자가 자유롭게 사건 발생 위치 및 사건의 경위에 관해 작성한 서술식 (narrative) 데이터이다.

DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형의 산출물과 의무보고서에 따른 실제 결과를 비교·분석하기 위해서는 의무보고서에 따른 실제 사건의 발생 위치 및 양 항공기(pair)에 관한 정보가 필요하다. 따라서 사건 발생 위치(위도, 경도)의 경우, 보고자가 작성한 '비행 위치'를 참조하거나, '비행 위치'만으로 정확한 위치를 파악하는 것이 어려운 경우에는 발생개요에 포함된 내용을 참고하여 사건 발생 위치를 추정하였다. 또한, 발생개요에 포함된 '항공편명' 또는 '등록부호' 및 '군용기' 등 키워드를 기반으로 상대 항공기(intruder)에 대한 정보를 추정하였다.

2.2 DWC 기반 항공기 공중충돌위험 식별 모형

RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)는 유인 항공기와 무인 항공기 간 안전한 통합 운용을 위하여 DWC 지표에 관한 기준(Detect And Avoid Minimum Operational Performance Standards, DAA MOPS)을 수립하였다(RTCA, 2017). DWC 지표는 TCAS(Traffic Collision Avoidance System)에서 사용하는 개념과 유사한 방식으로 무인 항공기의

공중충돌 위험도를 정량적으로 계산한 지표이다. DWC 지표는 본래 무인 항공기의 공중충돌을 방지하기 위해 개발되었으나, 선행 연구에서는 해당 지표가 관제사가 느끼는 위험도와 상관관계가 높으며, 이를 유인 항공기 항적 데이터에 적용하여 그 유효성을 입증하였다(이현웅 외, 2018). 본 연구에서도 해당 지표를 국제운송사업용 항공기 등 유인 항공기에 적용하였으며, 2019년 1월부터 12월까지 인천 비행정보구역 내를 통과한 항공기의 항적 데이터를 사용하여 구축한 DWC 기반 항공기 공중충돌위험 식별 모형의 성능을 검증하였다.

기존 연구에서 제안한 DWC 기반 항공기 공중충돌 위험 식별 모형은 특정 항적의 위치(위도, 경도), 고도 등을 입력 변수로 하며, Fig. 2에 나타난 바와 같이 수평면 분리 기준치 위반으로부터 남은 시간을 의미하는 modified tau(τ_{mod}), 수평면 분리 기준치 위반으로부터 남은 거리를 의미하는 horizontal miss distance (HMD), 수직면 분리 기준치인 vertical separation (d_h)를 기준으로 공중충돌 위험도를 4가지 단계의 경보 (preventive alert, corrective alert, warning alert, loss of well clear)로 계산한다.

DWC 지표 산출을 위해 사용되는 매개변수들은 식 (1)-(6)을 통해 계산되며, 각 매개변수에 따른 DWC 지표 산출 기준은 Table 2 및 Table 3과 같다. Table 3에서 DWC phase 1은 초기에 정의된 DWC 지표로, 일반적인 비행 공역이나 항로상 순항 중인 항공기들을 대상으로 하는 지표이다. 반면 DWC phase 2의 경우, 접근 관제 공역에서 비행 중인 항공기들을 대상으로 하며, phase 1 경보가 지나치게 자주 울린다는 점을 개선하기 위하여 기존보다 더 완화된 기준을 적용한 지표이다(RTCA, 2020). DWC 지표 산출에 사용되는 매개변수 중 τ_{mod} 의 경우 아래 식 (1)과 같이 계산한다.

$$\tau_{mod} = \frac{-(r^2 - DMOD^2)}{r\dot{r}} = \frac{DMOD^2 - r^2}{d_x v_{rx} + d_y v_{ry}} \quad (1)$$

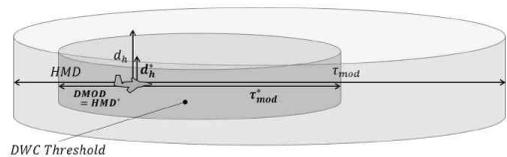


Fig. 2. DWC 기반 공중충돌위험 식별 기준 정의 (이현웅 외, 2020)

Table 2. DWC 지표 산출을 위한 매개변수 정의

매개변수 임계치 (Thresholds)	제한조건 (Constraint)
τ_{mod}^* (Modified Tau Threshold)	$0 \leq \tau_{mod} \leq \tau_{mod}^*$
HMD^* (Horizontal Miss Distance Threshold)	$HMD \leq HMD^*$
d_h^* (Vertical Separation Threshold)	$-d_h^* \leq d_h \leq d_h^*$

Table 3. DWC 매개변수 제한치 기준

Thresh- hold	Phase	Preven- tive alerts	Correc- tive alerts	Warning alerts	Loss of well clear
τ_{mod}^*	1	35sec	35sec		
	2	-	0sec		
HMD^*	1	4,000ft	4,000ft		
	2	-	1,500ft		
d_h^*	1	700ft	450ft		
	2	-			
Time of alert	1	55sec	55sec	25sec	0sec
	2	-			

여기에서 상대거리(r) 및 상대속도(\dot{r})는 아래 식 (2), (3)을 통해 계산되며, v_{rx} 와 v_{ry} 는 x축 및 y축 방향에서의 상대속도를 나타내고, d_x , d_y 는 x, y축에서의 항공기 간 수평거리를 의미하고, $DMOD$ 는 항공기 간 직선거리를 의미한다.

$$r = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (2)$$

$$\dot{r} = \frac{d_x v_{rx} + d_y v_{ry}}{r} \quad (3)$$

다음으로, HMD 는 아래 식 (4)와 같이 계산한다.

$$HMD = \begin{cases} \sqrt{(d_x + v_{rx} t_{CPA})^2 + (d_y + v_{ry} t_{CPA})^2} & \text{for } t_{CPA} \geq 0 \\ -\infty & \text{for } t_{CPA} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

여기에서 두 항공기 사이의 최소 근접거리까지 남은

시간을 의미하는 t_{CPA} 는 아래 식 (5)와 같다.

$$t_{CPA} = -\frac{d_x v_{rx} + d_y v_{ry}}{v_{rx}^2 + v_{ry}^2} \quad (5)$$

마지막으로 d_h 는 아래 식 (6)과 같이 계산하며, h_1 과 h_2 는 각 항공기의 고도를 의미한다.

$$d_h = h_2 - h_1 \quad (6)$$

기존 연구에서는 DWC 지표를 실제 국내 공역에서 운용되는 항공기 공중충돌위험 식별에 적용하기 위해 요구되는 항공기 탐지(Detect And Avoid, DAA) 센서의 성능을 계산하였다(이현웅 외, 2018). 해당 연구에서는 Table 4에 나타난 바와 같이 수평 방위 각도, 수직 고도 각도, 거리 등 항공기 탐지 센서 운용범위의

Table 4. 공중충돌위험 식별 모형 민감도 분석 시나리오(이현웅 외, 2018)

	Azimuth	Elevation	Distance
Case 1	$\pm 65^\circ$	$\pm 20^\circ$	56,000ft
	Detection rate	Preventive	81.99%
		Corrective	84.61%
		Warning	93.66%
	Lowc	58.95%	
Case 2	Azimuth	Elevation	distance
	$\pm 70^\circ$	$\pm 25^\circ$	56,000ft
	Detection rate	Preventive	88.00%
		Corrective	88.23%
Warning		97.56%	
	Lowc	64.59%	
Case 3	Azimuth	Elevation	Distance
	$\pm 70^\circ$	$\pm 30^\circ$	56,000ft
	Detection rate	Preventive	99.55%
		Corrective	89.95%
Warning		98.58%	
	Lowc	70.34%	

임계치(threshold)에 따른 시나리오를 설정하여 공중충돌위험 식별률을 분석하였다. 하지만 가용할 수 있는 데이터의 범위가 한정되어 해당 모형이 식별한 항공기에 실제로 공중충돌위험이 발생하였는지 그 여부를 확인할 수 없었다. 또한, 모형이 식별하지 못한 항공기 중 일부 항공기에는 실제로 공중충돌위험이 발생하였을 수도 있다. 즉, 현재까지 공중충돌위험 식별 모형의 공중충돌위험 식별 성능 또는 식별 정확도에 관한 검증이 이루어지지 않았기 때문에, 해당 모형을 실제 항공기 관제업무나 운항업무에 활용하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 의무보고서, 항공기 항적 데이터 등 실제 항공안전 데이터를 기반으로 해당 모형의 공중충돌 위험식별 성능을 검증하여 모형의 실제 활용 가능성을 높이고자 하였다. 또한, 공중충돌위험 식별 모형을 이용하여 의무보고서상 누락된 상대 항공기에 관한 정보를 추정하여 의무보고서 데이터의 품질을 향상하고자 하였다. 나아가, 모형에서 사용되는 3가지 매개변수(τ_{mod} , HMD , d_h)의 임계치(threshold)를 조정하여 해당 모형의 위험식별 성능을 개선하고자 하였다.

2.3 데이터 전처리 및 상대 항공기(intruder) 항적 정보 추정 및 검증

항공안전 의무보고서의 경우, 보고자가 보고한 항목 중 일부 내용을 미기입하여 관련 정보가 누락된 경우가 다수 존재한다. 또한, 보고자에 따라 항공편명을 작성할 때 ICAO 항공사 코드(3 letter)를 따라 편명을 작성하는 보고자가 존재하는 한편, IATA 항공사 코드(2 letter)를 따라 편명을 작성하는 등 동일 보고항목에 대해 다른 형식으로 해당 항목을 작성한 경우가 존재한다. 이에 본 연구에서는 의무보고서와 항적 데이터 및 모형의 산출물을 비교·분석하기 위하여 의무보고서에 포함된 발생시간, 편명, 등록번호 등 기록된 항목 간 형식을 통일하였고, DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형을 사용하여 보고서에 누락된 정보를 추정하였다.

항공기 항적 데이터의 경우, Flight Aware(항공편 추적 데이터 플랫폼)를 통해 구매한 ADS-B 데이터를 사용하였다. 2019년 인천 비행정보구역을 비행한 항공기를 연구대상으로 선정하였으며, 데이터의 구조는 Table 5와 같다. 해당 데이터에는 보안상의 이유로 운용기의 항적 데이터가 포함되어 있지 않으며, 본 연구에서도 운용기에 의해 공중충돌위험이 발생한 경우는 연구대상 항공기에서 제외하였다.

TCAS RA 발령 등 공중충돌위험이 발생하는 경우,

Table 5. 항공기 항적 데이터(ADS-B) 구조

시간	편명	기종	위치 (위도,경도)	고도 (ft)	그 외
'19.01.01. 00:01	XX111	A333	26.1929 127.646	700	출발지/도착지, 대지속도
'19.01.01. 00:02	XX111	A333	26.21974 127.6441	1,350	상승률(fpm), 방위각(deg)
'19.01.01. 00:02	XX111	A333	26.23654 127.6361	1,900	등
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

특정 이벤트에 2대 이상의 항공기가 관여한다. 모형의 위험식별 성능을 측정하고, 의무보고서상 보고된 내용을 검증하기 위해서는 보고대상 항공기(ownership)에 관한 정보(편명, 등록번호 등)뿐만 아니라, 상대 항공기(intruder)에 관한 정보가 필요하다. 하지만 대부분(94.3%)의 의무보고서에는 상대 항적에 관한 정보가 포함되어 있지 않았다. 이에 본 연구에서는 DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형을 기반으로 상대 항공기에 대한 정보를 추정하였다.

기존 DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형의 경우, RTCA에서 정의한 최소운항성능기준(Minimum Operation Performance Standards, MOPS)을 기준값으로 매개변수를 설정한다. 해당 모형을 연구대상 항공기들에 적용한 결과, 상대 항공기 정보가 누락된 항공기 중 불과 6.1%에 해당하는 항공기에 대한 상대 항공기 정보만을 식별하였다. 즉, 기존 공중충돌위험 식별 모형은 실제 공중충돌위험이 발생한 사건 중 대부분(93.9%)을 식별하지 못하였다.

이에 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 상대 항공기에 대한 항적 정보를 추정하였다. 첫째, 상대 항공기에 관한 정보가 누락된 항공편 및 날짜를 추출한다. 둘째, 해당 항공편에 대하여 DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형을 적용한다. 이때, 공중충돌위험 식별 시, 매개변수(τ_{mod} , HMD , d_h)를 점차 증가시키며 상대 항공기 항적을 탐색한다. 각 매개변수의 경우, RTCA에서 정의한 항공기 최소운항성능기준($d_{h1} = 450ft$, $HMD_1 = 4,000ft$, $\tau_{mod1} = 35sec$)을 시작점으로 하여 국제민간항공기구(ICAO) Doc 4444에서 정의한 수평·수직 분리 기준치($d_{h2} = 1,000ft$, $HMD_2 = 5NM$) 및 TCAS 능동감시주기($\tau_{mod2} = 60sec$)까지의 값을 순차적

으로 탐색한다. 셋째, 상대 항공기 항적이 1대 이상 탐지되면 탐색을 멈추며, 탐지가 이루어진 시점의 매개변수 값을 기록한다. Fig. 3은 상기 탐색 과정을 그림으로 나타낸 것으로, 대상 항공기(ownship) 주변에 형성된 탐색 범위를 점차 증가시켜 공중충돌위험이 있는 상대 항공기(intruder)의 항적을 찾아내는 과정을 나타낸다.

상대 항공기 항적 정보 추정 결과, Table 6에 나타난 바와 같이 상대 항공기 정보가 누락된 항공기 중 약 69.7%에 해당하는 항공기의 항적 정보를 산출할 수 있었다. 결과적으로, 모형의 매개변수를 조정하여 상대 항공기 항적을 탐지하는 과정을 반복(iteration)함으로써 전체 연구대상 항공기 중 71.4%에 해당하는 항공기의 상대 항공기 정보를 식별할 수 있었다. 의무보고서 특성상 상대 항공기가 균용기였으나 보고자가 관련 내용을 누락하였거나, 보고자가 항공편명 등 일부 내용을 오기입하는 경우 등을 고려하면 상기 식별률은 더 높아질 것으로 추정된다.

대상 항공기와 추정한 상대 항공기 사이에 실제로 공중충돌위험이 발생하였는지를 확인하기 위하여, 산출한 항공기 쌍(pair)의 항적 데이터(ADS-B)를 분석하였다. Fig. 4는 대상 항공기와 추정한 상대 항공기의

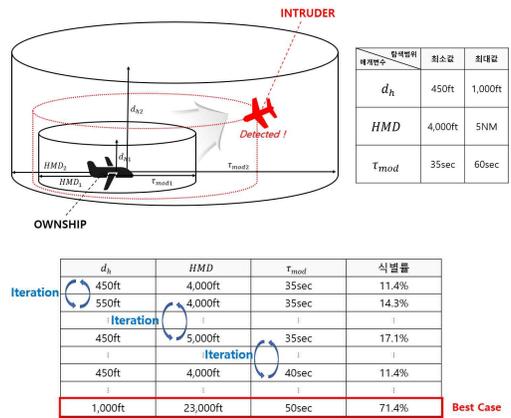
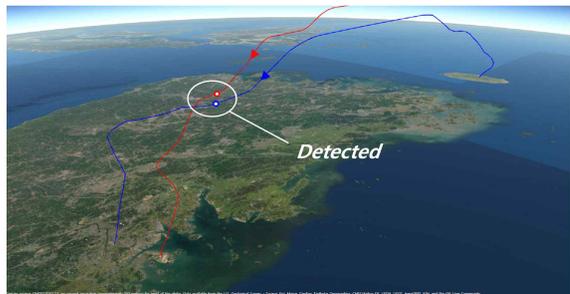
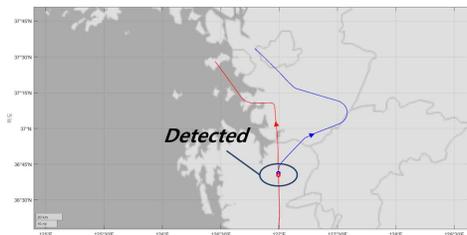
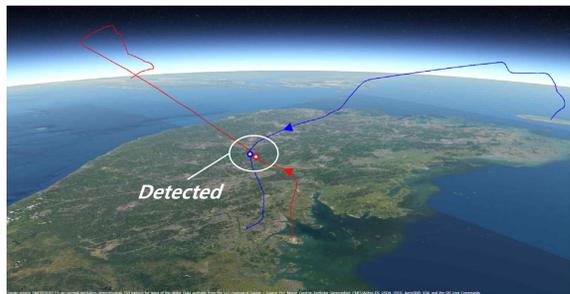
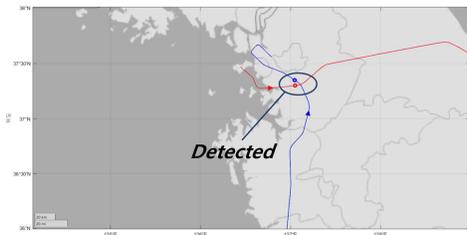


Fig. 3. DWC 지표 기반 공중충돌위험 식별 모형을 활용한 상대 항공기(intruder) 항적 정보 추정 방법

Table 6. DWC 지표 기반 항공기 공중충돌위험 식별 모형 적용 이전, 이후 상대 항적 식별률 비교

상대 항공기 항적 정보 식별률	
매개변수 수정 이전	매개변수 수정 이후
6.1%	69.7%



Date	Ownship				Intruder				Horz_Dist (NM)	Vert_Dist (FT)	Dist (NM)
	Callsign	Lat	Lon	Alt (FT)	Callsign	Lat	Lon	Alt (FT)			
2019.01.18	AA1111	36.6876	126.9930	15975	BB1111	36.6738	126.9929	18000	0.8253	2025	3.6810
2019.01.25	CC2222	36.5708	127.0031	16216	DD2222	36.5791	126.9973	15124	0.5739	1092	2.0178
***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

Fig. 4. (上) 대상 항공기 및 추정 항공기 비행궤적(2d, 3d) [8]
(下) 공중충돌위험 발생 시점에서 양 항공기 위치, 고도 및 분리치

궤적(2-d, 3-d) 및 해당 궤적을 기반으로 계산한 항공기 간 분리치를 나타낸다. 항공기 간 분리치를 기반으로 공중충돌위험 발생 여부를 확인한 결과, 산출한 항공기 쌍 모두 그림에 나타난 바와 같이 실제 공중충돌 위험이 존재하였던 것을 확인할 수 있었다.

2.4 DWC 지표 기반 항공기 공중충돌위험식별 모형 위험식별 성능검증 및 고도화

기존 DWC 지표 기반 항공기 공중충돌 위험 식별 모형의 경우, 실제 공중충돌 위험이 발생한 항공기 중 11.4%의 항공기에 대한 공중충돌 위험만을 식별할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 해당 모형의 매개변수를 조정하여 공중충돌위험 식별률을 향상시키고자 하였다. 모형의 매개변수를 조정하는 과정은 상기 상대 항공기 항적 정보 추정 과정과 유사하며, 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

첫째, 연구대상 항공기에 대해 항공편별로 해당 모형을 적용하여 공중충돌 위험이 있는 상대 항공기 항적을 탐지한다. 이때 모형의 매개변수는 상대 항공기 항적 정보 추정 과정에서 사용한 매개변수와 동일한 범위의 변수를 사용한다. 둘째, 상대 항공기 항적을 최초로 탐지하는 시점에서의 매개변수(τ_{mod} , HMD , d_h) 값(value)을 기록한다. 항공편별로 상대 항적을 최초로 탐지 시점의 매개변수는 공중충돌 위험식별을 위해 필요한 최소한의 탐지성능을 의미한다. 셋째, 모든 항공편에 대하여 해당 과정을 수행한 후 매개변수별 최대값을 계산한다. 산출한 매개변수의 최대값은 Table 7에 나타난 바와 같으며, DWC 지표 기반 항공기 공중충돌 위험식별 모형에 해당 매개변수를 적용한 결과, Table 8에 나타난 바와 같이 공중충돌 위험 식별률을 71.4%까지 향상시킬 수 있었다. 결과적으로, 기존 모형

Table 7. 매개변수 임계치 비교(수정 전/후)

매개변수	기존 임계치	수정 임계치 (최대값)
τ_{mod} (Modified tau)	35sec	50sec (48.9)
HMD (Horizontal miss distance)	4,000ft	23,000ft (22,685.3)
d_h (Vertical separation)	450ft	1,000ft (1,000)

의 매개변수를 조정함으로써 상대 항적 식별률 및 공중충돌위험 식별률을 Table 9와 같이 개선할 수 있었다.

III. 결 론

항공안전 의무보고서는 보고자가 작성한 내용에 따라 일부 정보가 누락되어 분석 데이터로 활용하기 어려운 경우가 존재한다. 특히 공중충돌위험 발생과 관련된 의무보고서의 경우, 대상 항공기에 대한 정보뿐만 아니라 상대 항공기에 대한 정보를 모두 활용하여 양 항공기 궤적의 형태, 고도 차이, 수평·수직 거리 차이 등을 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 DWC 지표 기반 항공기 공중충돌 위험식별 모형을 기반으로 의무보고서에 누락된 상대 항공기에 대한 정보를 추정하고, 해당 항공기 궤적 데이터를 분석하여 실제 공중충돌 위험 발생 여부를 확인하였다.

2019년에 보고된 항공안전 의무보고서(공중충돌위험 발생 건)를 기반으로 기존 DWC 지표 기반 항공기 공중충돌 위험식별 모형의 식별률을 계산한 결과, 전체 항공기 중 11.4%에 해당하는 항공기의 공중충돌 발생위험을 식별하였다. 본 연구에서는 해당 모형의 공중충돌 발생위험 식별률을 개선하기 위하여 모형의 산출물과 의무보고서를 비교·분석하여 모형의 매개변수(τ_{mod} ,

Table 8. 공중충돌위험 식별률 비교(고도화 전/후)

공중충돌위험 식별률	
고도화 이전	고도화 이후
11.4%	71.4%

Table 9. 공중충돌위험 식별 모형 고도화에 따른 상대 항적 식별률 및 공중충돌위험 식별률 비교표 (총괄)

항공안전 의무보고서		비율
전체 데이터 中 상대 항적 정보 포함 여부	포함	5.7%
	누락	94.3%
누락 데이터 中 상대 항적 식별률	고도화 이전	6.1%
	고도화 이후	69.7%
전체 데이터 中 MAC 위험 식별률	고도화 이전	11.4%
	고도화 이후	71.4%

HMD, d_n)를 조정하였다. 결과적으로, Table 8에 나타난 바와 같이 식별률을 11.4%에서 71.4%까지 증가시킬 수 있었다.

본 연구에서는 항공안전 의무보고서, 항공기 궤적 데이터(ADS-B) 등 항공안전 데이터와 DWC 지표 기반 항공기 공중충돌 위험식별 모형이 서로 누락된 정보를 추정하고, 모형의 성능을 개선하는 등 부족한 부분을 상호 보완하는 데 사용되었다. 실제 항공안전 데이터를 바탕으로 모형의 유효성을 검증할 수 있었고, 모형을 통해 항공안전 데이터를 보완함으로써 해당 데이터의 활용 가능성을 증대시킬 수 있었다.

후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발 및 플랫폼 구축”(20BDAS-B158275-01)의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

1. “Korea civil aviation association domestic and international aviation statistics”, Oct. 29, 2021.
2. “DO-365: Minimum operational performance standards(MOPS) for detect and avoid(DAA) systems”, RTCA Special Committee 228, 2017.
3. Lee, H. W., Park, B. S., Lyu, H. G. and Lee, H. T., “Analysis of conflict risk in terminal maneuvering area using recorded ADS-B trajectories”, 2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, Seoul, Korea, Oct. 16, 2017, pp.1-9.
4. Lee, H. W., Park, B. S. and Lee, H. T., “Analysis of ads-b trajectories in the republic of Korea with daa well clear metrics”, Proceeding of the 37th IEEE/AIAA Digital Avionics System Conference, London, UK, Sep. 2018, pp.1-6.
5. Lee, H. T. and Lee, H. W., “Risk analysis of aircraft operations in Seoul TMA based on DAA well clear metrics using recorded ADS-B data”, Journal of Advanced Navigation Technology, 24(6), Dec. 2020, pp.527-532.
6. “DO-365A: Minimum operational performance (MOPS) for detect and avoid(DAA) systems”, RTCA Special Committee 228, 2020.
7. Lee, H. W., Park, B. S. and Lee, H. T., “Analysis of alerting criteria and DAA sensor requirements in terminal area”, 38th Digital Avionics Systems Conference, San Diego, California, USA, Sep. 2019, pp.1-9.
8. MATLAB and Mapping Toolbox Release 2020b, The Mathworks, Inc. Natick, Massachusetts, United States.