

인천국제공항과 김포국제공항의 비행 절차 위험도 분석

Risk Analysis of Flight Procedures at Incheon International Airport and Gimpo International Airport

이 현웅 · 이 학태*

인하대학교 항공우주공학과

Hyeonwoong Lee · Hak-Tae Lee*

Department of Aerospace Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

[요 약]

본 논문은 기록된 항적 데이터를 이용하여 혼잡한 공항의 비행 절차별 위험도를 분석하는 방법론을 제시하고, ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast) 데이터를 기반으로 재생성된 100일 치의 항적 데이터를 사용하여 인천국제공항과 김포국제공항의 비행 절차별 위험도를 분석한 결과를 보여준다. 위험도 분석은 DWC (detect and void well clear) 를 이용하였으며, 이를 통해 비행 절차별로 가장 높은 위험도가 나타나는 구간과 위험 발생이 잦은 구간을 평가하였다. 그 결과, 인천국제공항의 표준계기출발절차 중 RNAV BOPTA 1L의 SI712 - RANOS Fix 구간에서 가장 높은 위험도가 나타났으며, 표준계기도착절차 중에서는 RNAV GUKDO 1N에서는 SI947-DANAN Fix 구간에서 가장 높은 위험도가 나타났다. 또한 김포국제공항의 표준계기출발절차 중에서는 RNAV BULTI 1X의 SS726 - SS727 Fix, 표준계기도착절차 중에서는 RNAV OLMEN 1D의 KAKSO - KALMA Fix 구간에서 가장 높은 위험도가 나타났다.

[Abstract]

This paper presents a risk assessment methodology for standard flight procedures using recorded automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) data. Utilizing the proposed methodology, the results of risk analyses in RKSI (incheon international airport) and RKSS (gimpo international airport) using trajectories that are regenerated based on 100 days of ADS-B data are presented. For the risk metric, detect and avoid well clear (DWC) is used. With this index, each procedure was evaluated for the sections with highest level of risk. Among the standard instrument departure (SID) of RKSI, the section between SI712 and RANOS of RNAV BOPTA 1L showed the highest level of risk. For the standard terminal arrival route (STAR) of RKSI, section between SI947 and DANAN of RNAV GUKDO 1N was the one with the highest level of risk. For RKSS, the segment between SS726 and SS727 of RNAV BULTI 1X and the segment between KAKSO and KALMA of RNAV OLMEN 1D showed the highest level of risk among the SIDs and STARS, respectively.

Key word : ADS-B, SID, STAR, Route-finding algorithm, DAA well clear.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.500>



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 December 2020; Revised 10 December 2020
Accepted (Publication) 21 December 2020 (30 December 2020)

*Corresponding Author; Hak-Tae Lee

Tel: +82-32-720-9017

E-mail: haktae.lee@inha.ac.kr

1. 서론

2020년 기준, 대한민국에는 8개의 국제공항과 7개의 국내 공항이 있으며, 14개의 국적항공사(대형 2, 소형 1, 저비용 8, 화물 3)와 다수 외국 항공사가 국내 공항을 이용한다 [1]. 항공편의 수는 2020년 감염병의 세계적 유행 (pandemic)으로 인하여 전 세계적으로 급격히 감소하였으나, 2019년도까지만 해도 지속적인 항공 수요로 인하여 꾸준히 증가하는 모습을 보여왔다. 이에 따라 국내 공항에 출/도착하는 항공기뿐만 아니라 국내 공역을 통과하는 항공기들로 인하여 대한민국 공역이 항공기 고밀도화로 이어졌다. 이러한 모습은 항공산업의 발전과 규모의 성장을 보여주지만, 항공 안전 관련 문제들이 증가하는 원인이 될 수 있다.

공역 내 항공기 고밀도화는 항공기 조종사와 항공교통 관제사에게 피로 증가를 초래하며, 관련된 모든 방면에서 안전 문제들을 발생하게 한다. 항공 분야뿐만 아니라 안전에 관련된 문제는 예기치 않은 시점에 발생하는 것이 아닌, 문제 발생 전에 다양한 위해 요인들로 인하여 발생 조짐들이 먼저 나타나는 것이 대부분이다. 이에 따라 항공 안전 관련 문제들을 해결하고 나아가 문제 발생을 예방하려는 노력이 이어지고 있다. 안전 문제의 근본적인 해결은 다양한 위해요소와 발생 조짐을 사전에 식별하고, 원인도출을 통해 문제 발생을 예방하는 절차가 우선시 되어야 한다.

앞서 언급한 문제들을 해결하기 위한 하나의 방법으로, 최근 빅데이터 기반의 분석이 대두되고 있다. 빅데이터 기반의 분석은 많은 양의 데이터의 확보가 우선시 되어야 하며, 이후 데이터 간 상호관계 분석, 기계학습 등의 기법이 합쳐져 항공 안전 문제에 대한 해결 방법을 도출해 낼 수 있다 [2].

본 논문에서는 빅데이터 기반의 분석을 위한 첫 단계로 방대한 항적 데이터를 활용하여 비행 절차에 대한 잠재적 위험을 도출하는 방법을 제시한다. 분석의 기반이 되는 항적 데이터는 방송형 자동 종속 감시, ADS-B 데이터를 사용한다. ADS-B는 차세대 항행시스템을 위한 중요한 요소의 하나로, 송신기 (transponder)를 장착한 항공기가 자신의 비행 정보를 송출하면, 지상 관제소 또는 주변 항공기에서 수신하면서 비행 정보를 공유하는 시스템이다. 또한 ADS-B가 사용하는 주파수인 1,090 MHz의 안테나를 보유하고 있다면 누구나 지상국을 구축하여 데이터를 획득할 수 있으며, 암호화된 데이터의 복호화 방법도 공개되어 있어 손쉽게 내용을 열람할 수 있다 [3]. 복호화된 ADS-B 데이터에는 항공기 식별정보(icao address, callsign)와 현재 위치 및 속도 정보(위도, 경도, 고도, 속도, 방향), 그리고 기타정보(위험, 응급, 기타상태 등)를 확인할 수 있다. ADS-B 데이터는 수신 용이성과 항적 자료화를 통해 항공 교통상황 식별 및 분석에 높은 활용성을 가지고 있다. 이에 따라 인하대학교에서는 2016년 말부터 자체 지상국을 구축하였고, 2017년부터 현재까지 ADS-B 데이터를 상시 기록하며 관리하고 있다 [4], [5].

기록된 ADS-B 데이터는 항공편별로 항적 데이터로 분류할 수 있으며, 동 시간의 항적 데이터들을 위치와 상태 비교 분석하여 공역에서의 위험도를 분석할 수 있다. 이 방법을 기반으로 본 논문에서는 ADS-B 항적 데이터를 통해 비행 절차를 추정하고 해당 비행 절차별 위험도가 나타난 구간들에 대하여 분석한 결과를 보여준다. 다만, ADS-B 항적 데이터는 원시 데이터 그대로 분석에 사용하기에는 시간동기화, 수신 불량영역의 보완 등 몇 가지 문제가 존재한다 [5]. 본 논문의 2장에서는 위 문제를 해결하기 위하여 ADS-B 데이터를 분석활용에 알맞은 형태로 전처리하여 재생성하는 과정을 담고 있다. 3장에서는 무인항공기의 위험도를 계산하기 위한 지표인 DWC를 기반으로 재생성된 항적 데이터를 이용한 비행 절차별 위험도를 평가하는 방법을 제시하고 그에 따른 결과를 보여준다. 마지막으로 4장에서 결론과 향후 계획을 제시한다.

II. ADS-B 기반의 항적 데이터 재생성

2장에서는 ADS-B 데이터의 특징과 분석에 활용될 시 발생하는 문제들을 제시하며, 이를 해결하는 방법을 설명한다.

2-1 위험도 분석을 위한 ADS-B 데이터의 문제 식별

ADS-B는 앞서 언급한 바와 같이, 누구나 지상국을 구축하여 데이터를 수신할 수 있는데, 수신 안테나의 설치 위치는 주변 환경을 상당히 고려해야 한다. 안테나 주변에 상대적으로 높은 건물이나 지형, 지상 물체가 있다면 수신장애로 인해 데이터 수신이 불량한 영역이 발생할 수 있다. 이로 인해 항적 데이터의 품질이 떨어지게 되는데, 그 예를 그림 1에서 확인할 수 있다. 그림 1은 2020년 7월 27일 인천공항으로 도착하는 BOX550편의 ADS-B 데이터로 일부에서 수신이 안 된 영역이 존재하는 경우를 보여준다. 본 연구에서 사용된 ADS-B 수신기는 1대로 해발고도 54 m에 설치되어 있으나, 주변 고층 건물들로 인하여 일부 항적 데이터에 미수신된 영역이 다소 존재한다.

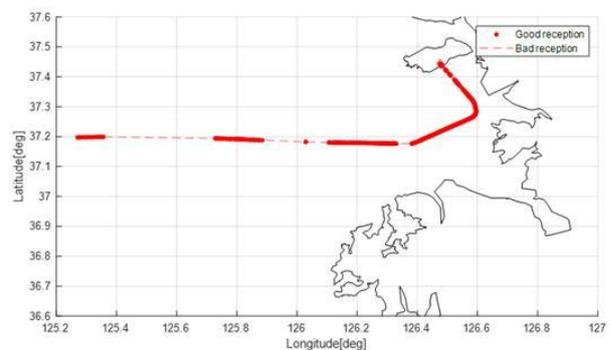


그림 1. 수신 불량 구간이 포함된 항적 데이터의 예시
Fig. 1. Example of trajectory with bad reception.

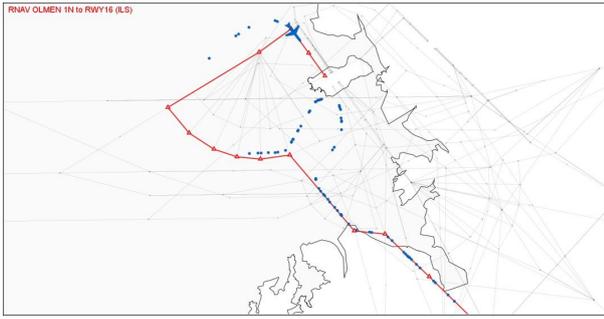
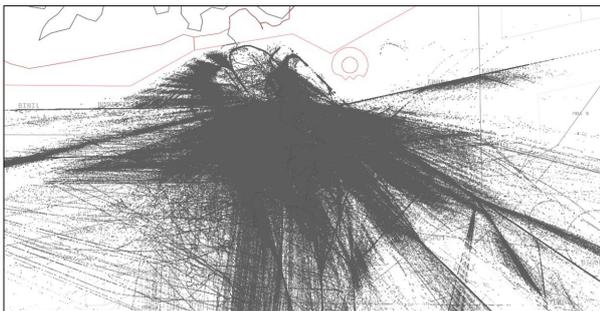
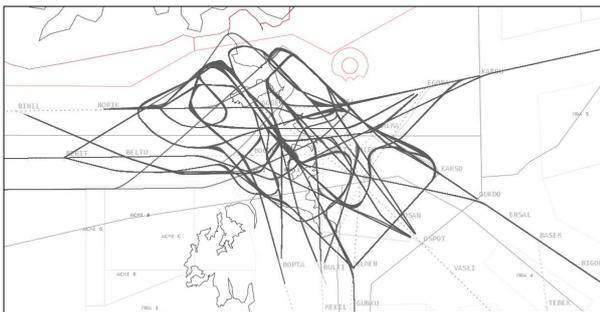


그림 2. 항로 찾기 알고리즘을 이용한 비행계획 추출의 예시
Fig. 2. Example of waypoint extraction through route finding algorithm.



(a) ADS-B Trajectories



(B) Regenerated Trajectories

그림 3. ADS-B 항적 데이터와 재생성된 항적 데이터 비교
Fig. 3. Comparison of ADS-B and regenerated trajectories.

미수신 또는 수신이 불량한 영역의 항적 데이터가 분석에 사용되면, 다수의 항공기에 대하여 같은 시간 서로의 상태를 비교/분석하여 위험도를 계산하는데 문제를 일으키며 결과의 신뢰도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 항적 데이터들은 시간동기화가 이루어져야 한다[5]. 이를 위하여 일반적으로 사용되는 방법은 선형보간법과 같이 간단한 보완 및 시간동기화 방법이 있지만, 이는 실제 항공기의 움직임과 비교해 비현실적인 항적 데이터로 보완될 가능성이 있다.

위 문제와 더불어 ADS-B 데이터를 그대로 이용하여 위험도 분석을 수행하면 목적과는 달리 위험도가 상당히 낮게 나타나는 문제가 있다. 그 이유는 ADS-B 데이터는 이미 항공교통관제사의 관리에 의하여 항공기 간 충분한 분리와 위험 해

소가 수행되었거나 수행 중인 상태에서 수신이 이루어지기 때문에 본래의 위험도가 포함된 분석이 이루어지지 못하기 때문이다.

2-2 항로 찾기 알고리즘을 이용한 항적 데이터 재생성

앞 절에서 언급한 문제를 해결하고 분석에 알맞은 형태로 항적 데이터를 재생성하기 위하여 자체 개발한 항로 찾기 알고리즘과 궤적생성기를 이용하였다 [5], [6]. 항로 찾기 알고리즘은 관련된 내용을 별도의 논문을 통해 자세히 기술할 예정으로, 간략한 설명은 항적 데이터를 통해 본래의 비행계획 즉, 출/도착 비행 절차와 항로를 추정하는 알고리즘이다. 이를 통해 추정된 비행 절차 및 항로에 대하여 경로점을 추출하고 항공기 운동모델이 포함된 궤적생성기 [6]를 통해 시간동기화된 항적을 얻어내는 방식으로 재생성하였다. 이러한 방법은 관제사가 개입하여 백터링 또는 기동이 이루어지기 이전의 항공기의 움직임과 공역 상황을 모사할 수 있어 본래의 위험도를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 그림 2는 항로 찾기 알고리즘을 이용하여 백터링된 항적 데이터에 대하여 본래의 비행 절차를 찾아 경로점을 추출한 결과를 보여준다. 여기서 청색 점들은 ADS-B로부터 수신된 항공기의 위치이며, 적색 실선과 점은 항로 찾기 알고리즘으로 찾아낸 항로를 의미한다.

본 연구에서는 2017년 초부터 현재까지 기록 중인 ADS-B 항적 데이터에서 날짜별로 데이터 크기가 큰 날짜를 기준으로 100일을 선정하여 그림 2와 같이 항적 데이터를 재생성하였다. 다만, 고고도에서 대한민국 공역을 단순 통과하는 항공편에 경우 비행 절차를 수행하는 항공편과 충분히 분리된 상태이기 때문에 분석에는 제외하였다. 또한 궤적생성기에는 BADA (base of aircraft data) 가 요구되는데, BADA에서 해당 기종이 없는 항공편에 대해서는 Being 737-800 또는 Cessna 172로 대체하거나 제거하여 총 136,254편을 사용하였다.

항로 찾기 알고리즘에 사용된 항로는 인천국제공항과 김포국제공항의 출/도착 비행 절차이며, 국토교통부에서 제공하는 AIP (aeronautical information publication) [7]를 통해 데이터를 획득할 수 있다. AIP에서는 일부 비행 절차가 2020년 8월 27일 시점으로 변경되거나 제거되었지만, 분석에 기반이 된 ADS-B 데이터는 해당 시점 이전의 데이터이므로, 2019년 12월 19일을 기준으로 업데이트된 자료를 사용하였다. 이에 따라 인천국제공항의 표준 계기 출발 절차, SID 18개와 표준 계기 도착 절차, STAR 14개, 김포국제공항의 SID 12개와 STAR 11개이다.

그림 3은 ADS-B 항적 데이터로부터 항로 찾기 알고리즘과 궤적생성기로부터 재생성된 항적 데이터를 보여주는 것으로, 항공기가 기동함에 따라 넓은 영역으로 분포되어 수신된 항공기의 위치들이 정해진 절차를 따라 비행하는 형태로 변화 있음을 보여준다. 또한 그림 3에서 볼 수 있듯, 비행 절차에 point merge가 포함된 경우는 sequencing leg를 모두 사용하도록 경로점을 설정하여 모든 비행 절차 구간을 분석하고자 하였다.

III. 비행 절차별 위험도 분석

3장에서는 위험도 분석에 사용되는 지표인 DWC를 설명하고 분석 방법을 제시하며, 그 결과를 보여준다.

3-1 위험도 분석 지표

DWC는 RTCA DO-365 MOPS (minimum operational performance standards) [8] 문서에서 무인항공기의 최소 운용 기준을 정의하여 위험 예측과 함께 계산하기 위해 제시되었다. 즉, DWC의 정의는 항공기가 주변 항공기로부터의 충돌을 회피하기 위한 최소한의 시/공간의 분리 기준이다. 이 지표는 무인항공기에 적용되는 기준이지만 본연구에서는 여객기, 화물기와 같이 일반적인 항공기로 확장하여 적용하였다. DWC의 특징은 항공기들 사이의 분리 간격뿐만 아니라 수평/수직 속도를 통하여 위험도를 예측할 수 있다는 장점이 있다.

DWC는 두 항공기 사이의 위치와 상태로부터 표 2에 해당하는 기준으로부터 각 파라미터가 모두 조건을 만족했을 경우 해당하는 위험 단계의 경보를 나타내게 된다.

그림 4는 DWC를 계산하기 위한 파라미터들의 정의를 간략히 보여주는 것으로, 수평면상에서 분리 기준 위반으로부터 남은 시간을 의미하는 modified tau (τ_{mod}), 수평면상에서 분리 기준 위반으로부터 남은 거리를 의미하는 horizontal miss distance (HMD), 수직분리 거리인 vertical Separation (d_h)가 있다. 여기서 사용되는 파라미터들은 식 (1) - (6)을 통하여 계산할 수 있는데, 여기서 계산에 사용되는 위도와 경도는 AIP의 GEN 2.1 [7]에서 제시하는 투영법에 따라 램버트 정각원추도법 (lambert conic conformal projection)을 이용하여 x, y로 변환하여 사용하였다.

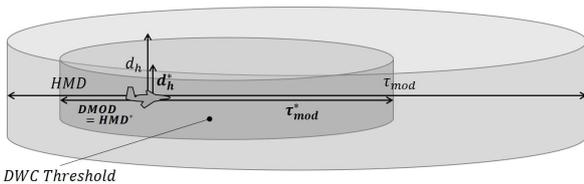


그림 4. DWC thresholds의 정의
Fig. 4. Definition of DWC thresholds.

표 1. DWC thresholds 정의
Table 1. DWC thresholds definition.

Thresholds	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)	$-d_h^* \leq d_h \leq d_h^*$

표 2. DWC phase 1과 phase 2의 기준 비교
Table 2. DWC phase 1 and phase 2 thresholds.

Threshold	Phase	Preventive Alert	Corrective Alerts	Warning Alerts	Loss of Well Clear
τ_{mod}^*	1	35 sec	35 sec		
	2	-	0 sec		
HMD^*	1	4,000 ft	4,000 ft		
	2	-	1,500 ft		
d_h^*	1	700 ft	450 ft		
	2	-			
Time of Alert	1	55 sec	55 sec	25 sec	0 sec
	2	-			

τ_{mod} 는 식 (1)과 같이 계산된다.

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

여기서 상대 거리(r)과 상대속도(\dot{r})은 식 (2), (3)과 같으며 v_{rx} 와 v_{ry} 는 x축과 y축 방향의 상대속도를 의미한다.

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

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

HMD는 식 (4)와 같이 계산된다.

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

여기서 두 항공기 사이의 최소 근접거리까지 남은 시간 (t_{CPA})은 식 (5)와 같다.

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

d_h 은 식 (6)과 같다.

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

만일 현재 시점($t=0$)에서 계산된 파라미터 값들이 DWC threshold의 조건에 모두 해당하면 LoWC (loss of detect and void well clear)라 하며, 이 단계 이전에 위반상태를 예방하고 예측하기 위하여 단계별로 별도의 시간개념과 기준이 존재한다. 이는 마찬가지로 MOPS에서 확인할 수 있다. 앞서 언급한 MOPS에서는 항로(enroute)에 적용 가능한 DWC thresholds을

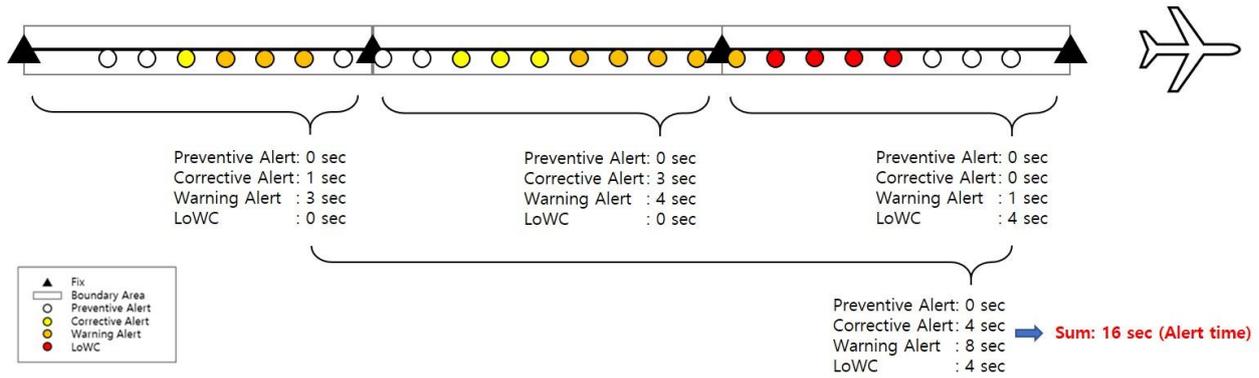


그림 5. 비행 절차에 대한 항적 데이터의 위험도 적용 방식
 Fig. 5. Definition of how the risk of track point is applied to flight procedures.

제시하였다면, 2020년 3월에 발간된 RTCA DO-365A MOPS [9]에서는 접근관제구역(terminal area)에서도 적용 가능한 DWC thresholds를 제시하였다. 이를 기반으로 본 연구에서는 표 3와 같이 기준을 지정하여 위험도를 계산하였다. 여기서 DWC phase 1은 항로에서의 기준을 의미하며, DWC phase 2는 접근관제 구역에서의 기준을 의미한다. 또한, time of alert는 MOPS에서 제시한 minimum average time of alert를 사용하였으며, 현재 시점에서 두 항공기의 상태를 통해 해당 시간만큼 위치를 예측하는 데 사용된다. 따라서 이 시간 내에 계산된 파라미터들이 이 threshold 조건을 만족한다면 항공기는 해당 위험 단계에 있음을 나타낸다.

본 연구에서는 모든 항적 데이터에 대하여 이 조건을 적용하여 같은 시점에 다수의 항공기에서 나타나는 위험도 결과를 도출하였다.

3-2 비행 절차의 위험도 적용 및 분석 결과

재생성된 항적 데이터는 항로 찾기 알고리즘을 통해 얻은 비행계획을 통해 적용된 비행 절차를 확인할 수 있다.

비행 절차에서 경로점을 의미하는 fix들은 두 fix가 이루는 구간들로 분리할 수 있다. 또한, DWC로부터 계산된 위험도는 항적 데이터를 이루는 궤적 점(track point)들과 대치(mapping)되어 결과를 도출한다. 즉, 그림 5와 같이 항적 데이터를 이루는 궤적 점들에 대하여 비행 절차 정보를 결합하여 비행 구간별로 위험도를 도출한다. 여기서 boundary는 비행 절차에 사용되는 지형항법 기준이 RNAVI임을 착안하여 RNAVI의 최소 운용기준 1 nmi를 폭으로 설정하여 생성된 것이다 [10]. 이를 통해 위험도가 나타난 궤적 점들과 boundary를 비교하여 구간별로 위험도를 합산한다. 또한 궤적생성기를 1초 단위로 궤적 점을 얻을 수 있도록 설정하였으므로, 각 점을 1초로 환산하였다. 이와 같은 방식을 앞서 언급한 SID와 STAR에 대하여 모든 항적 데이터로부터 계산된 위험도 결과를 적용하였으며, 위험 발생이 잦은 절차와 가장 높은 위험이 있는 절차를 식별하였다.

표 4과 표 5은 인천국제공항의 비행 절차에 대하여 DWC phase 1과 phase 2 기준에서의 결과를 보여준다. 각 결괏값은 모든 위험 단계를 합산한 것으로, 표 3에서와 같이 phase 2가 상대적으로 기준이 완화된 만큼 전체 위험 발생의 수 역시 절반 이하로 줄어든 것을 볼 수 있다. 이는 enroute 영역보다 터미널 영역에 더 높은 밀도로 항공기가 분포되기에 불필요한 위험경보를 줄이기 위하여 기준을 완화한 것에 따른 결과다. 이는 이후 표 5~ 표 7에서 보여지는 결과와도 같은 형태로 나타난다.

DWC phase 1 기준에서의 SID는 제주 방향으로 향하는 RNAV BOPTA 1L에서 위험 발생이 가장 많은 것으로 나타났다. 기준이 비교적 기준이 완화된 phase 2에서도 같은 경향을 보였다.

STAR에 경우 RNAV GUKDO 1N에서 두 기준 모두에 대하여 위험 발생이 가장 많은 것으로 나타났다. RNAV GUKDO 1N은 OLMEN 1N, KARBU 1N, REBIT 1N과 함께 북서 방향 활주로로 들어가기 위해 모인 항공기가 긴 구간을 함께 공유하기에 간섭이 가장 많은 절차다.

표 5와 표 6은 김포국제공항의 비행 절차에 대하여 DWC phase 1과 phase 2 기준에서의 결과를 보여준다. 결과 값은 인천국제공항보다 상대적으로 작게 나타났다. SID는 RNAV BULTI 1X에서 위험 발생이 집중적으로 나타났다. 이 절차는 북서 방향으로 이륙한 후 제주 방향으로 향하는 가장 바쁜 항로로 알려진 Y711 항로로 이어지는 절차이다 [1]. STAR에 경우 RNAV OLMEN 1D에서 마찬가지로 두 기준 모두에 대하여 위험 발생이 가장 많은 것으로 나타났다.

인천국제공항 SID에서 가장 잦은 위험 발생을 보인 RNAV BOPTA 1L을 구간별로 확인하면 표 8과 같이 잦은 위험 발생 구간과 높은 위험 발생 구간을 분석하였다. 여기서 잦은 위험 발생 구간은 모든 위험도의 합이 가장 큰 구간이며, 높은 위험 발생 구간은 LoWC 단계의 위험이 가장 많은 구간이다. 인천국제공항 STAR에서 가장 잦은 위험 발생을 보인 RNAV GUKDO 1N에 경우 approach에 진입하기 직전의 구간인 SI947-DANAN 구간에서 높고 잦은 위험 발생 구간으로 나타났다.

표 3. 인천국제공항 SID의 DWC 계산 결과 (모든 위험단계)
Table 3. DWC results for SID at RKSI (All alerts).

Flight Procedure	Phase 1 (sec)	Phase 2 (sec)
RNAV BOPTA 1L	5,615	3,141
RNAV EGOBA 1G	5,382	2,490
RNAV BOPTA 1Y	4,210	2,242
RNAV EGOBA 1L	1,132	534
RNAV EGOBA 1K	961	440
RNAV BINIL 1S	1,972	439
RNAV BINIL 1K	1,888	348
RNAV OSPOT 1G	582	337
RNAV BOPTA 1K	367	296
RNAV BOPTA 1S	463	258
RNAV NOPIK 1L	337	230
RNAV OSPOT 1L	442	197
RNAV OSPOT 1K	209	162
RNAV NOPIK 1Y	220	135
RNAV OSPOT 1Y	4	5
RNAV EGOBA 1S	2	2
RNAV EGOBA 1Y	4	2
RNAV OSPOT 1S	0	0

표 4. 인천국제공항 STAR의 DWC 계산 결과 (모든 위험단계)
Table 4. DWC results for STAR at RKSI (All alerts).

Flight Procedure	Phase 1 (sec)	Phase 2 (sec)
RNAV GUKDO 1N	12,940	3,678
RNAV OLMEN 1N	5,415	1,407
RNAV GUKDO 1P	2,037	499
RNAV MAKSA 1M	761	322
RNAV GONAV 2M	829	197
RNAV KARBU 1N	390	137
RNAV REBIT 1N	1102	120
RNAV OLMEN 1P	186	116
RNAV CUN 1M	383	97
RNAV KARBU 1P	129	62
RNAV COWAY 1P	182	57
RNAV COWAY 1A	175	53
RNAV BIKSI 1M	142	12
RNAV SEL 1T	0	0

표 5. 김포국제공항 SID의 DWC 계산 결과 (모든 위험단계)
Table 5. DWC results for SID at RKSS (All alerts).

Flight Procedure	Phase 1 (sec)	Phase 2 (sec)
RNAV BULTI 1X	3,905	930
RNAV BULTI 1R	277	223
RNAV BULTI 1J	217	139
RNAV SOT 1J	279	138
RNAV OSPOT 1X	81	57
RNAV BULTI 1M	65	27
RNAV EGOBA 1J	35	24
RNAV OSPOT 1R	34	20
RNAV NOPIK 1R	15	12
RNAV NOPIK 1J	8	5
RNAV OSPOT 1M	7	4
RNAV EGOBA 1R	7	1

표 6. 김포국제공항 STAR의 DWC 계산 결과 (모든 위험단계)
Table 6. DWC results for STAR at RKSS (All alerts).

Flight Procedure	Phase 1 (sec)	Phase 2 (sec)
RNAV OLMEN 1D	329	141
RNAV GUKDO 1B	192	102
RNAV GUKDO 1D	78	47
RNAV OLMEN 1B	24	6
RNAV REBIT 1D	3	3
RNAV COWAY 1F	4	1
RNAV COWAY 1W	6	1
RNAV WIKEN 2S	3	0
RNAV WIKEN 2A	2	0
RNAV KARBU 1B	0	0
RNAV KARBU 1D	0	0

김포국제공항의 경우 SID인 RNAV BULTI 1X에서 AMSAN-SS725 구간에서 잦은 위험 발생, SS725-SS726-SS727 구간에서 높은 위험 발생 구간으로 나타났다. 김포공항의 STAR인 RNAV OLMEN 1D는 KAKSO-KALMA 구간에서 높고 잦은 위험 발생 구간으로 나타났다. 나아가 표 9을 앞서 보인 비행 절차에 따른 결과와는 달리, 단순히 구간만을 비교하여 나타낸 것으로, 다수의 비행 절차가 동일한 구간을 공유하는 것을 포함하여 모든 구간에 대해 phase 2 기준의 위험 발생이 잦은 주요 구간을 나타낸 결과이다. 여기서 모든 구간이란, 모든 절차와 항로에 대해 AIP에서 확인할 수 있는 모든 fix to fix 구간을 의미한다. 이에 따라 표 9은 서로 다른 절차에서도 일부에서는 같은 구간을 사용할 수 있으며, 이를 통해 절차별 분석이 아닌 비행 영역 또는 위치로 분석하기 위해 도출된 결과다. 도출된 결과의 예로, 인천국제공항의 출발 절차 중 SI173-RANOS 구간에서 가장 많은 위험 발생을 보였으며, 해당 구간을 사용하는 비행 절차 또는 해당 구간 주변을 비행하는 항공기는 잠재적 충돌 위험이 상대적으로 높음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 국의 주요 공항인 인천국제공항과 김포국제공항의 비행 절차를 DWC 지표를 이용하여 위험도를 분석하는 기법을 제시하였다. 분석 기법은 항로 찾기 알고리즘을 이용하여 ADS-B 기반으로 재생성된 항적 데이터를 비행 절차별로 분류하고 DWC의 계산 결과를 비행 절차와 대치하여 비교/분석하는 방식이다. 그 결과 가장 위험 발생이 잦은 절차는 인천국제공항의 STAR인 RNAV GUKDO 1N으로 인천국제공항으로도 착하기 위해 사용되는 다수의 비행 절차가 모여 긴 구간을 공유하는 절차 중 하나이다. 이 비행 절차 내에서도 가장 높은 위험 발생 구간과 잦은 위험 발생 구간이 앞서 언급한 다수 비행 절차와 함께 공유하는 구간임을 보였다. 이는 항공기들이 모이는 구간에서 위험이 가장 많이 발생함을 뜻한다. 이는 매우 타당한 결과임을 보여주고 있으며, 마찬가지로 인천국제공항의 STAR와 김포국제공항의 SID, STAR의 경우 같은 경향을 보였다.

표 7. RNAV BOPTA 1L의 구간별 위험도 분석
Table 7. Section analysis of RNAV BOPTA 1L.

Section	Level	Phase 1 (sec)	Phase 2 (sec)	Remark
SS702 → SS703	Preventive Alerts	149	-	-
	Corrective Alerts	38	58	
	Warning Alerts	38	72	
	Loss of Well Clear	292	210	
SS703 → AMSAN	Preventive Alerts	136	-	-
	Corrective Alerts	6	6	
	Warning Alerts	2	10	
	Loss of Well Clear	91	88	
AMSAN → SS725	Preventive Alerts	163	-	Frequent risk zone
	Corrective Alerts	180	57	
	Warning Alerts	63	2	
	Loss of Well Clear	557	69	
SS725 → SS726	Preventive Alerts	58	-	High risk zone
	Corrective Alerts	85	2	
	Warning Alerts	57	2	
	Loss of Well Clear	769	32	
SS726 → SS727	Preventive Alerts	13	-	High risk zone
	Corrective Alerts	0	0	
	Warning Alerts	7	0	
	Loss of Well Clear	610	221	
SS727 → BULTI	Preventive Alerts	15	-	
	Corrective Alerts	126	22	
	Warning Alerts	54	20	
	Loss of Well Clear	396	59	

표 8. 위험 발생이 가장 많았던 구간의 상위 10
Table 8. Top 10 at risk-occurring sections.

Airport	Type	Section	Phase 2 (sec)
RKSI	SID	SI713-RANOS	2,571
		SI753-SI754	2,084
		BELTU-BINIL	2,023
		RANOS-SOSIK	1,948
		SEL-EGOBA	1,934
		SOSIK-IROMA	1,689
		SI713-RANOS	1,511
		SI707-SI713	1,337
		RANOS-SOSIK	1,141
		SI753-SI754	1,128
RKSS	STAR	SI947-DANAN	5,683
		SI942-SI943	1,188
		SI945-SI946	1,107
		SI943-SI944	1,061
		SI946-SI947	1,054
		SI944-SI945	966
		SI942-DANAN	781
		BIANY-PULUN	708
		SI946-DANAN	698
		SI363-PULUN	541
RKSI	SID	AMSAN-SS725	987
		SS725-SS726	985
		SS726-SS727	630
		SS727-BULTI	591
		SS702-SS703	534
		SS702-SS703	360
		SS703-AMSAN	303
		SS726-SS727	221
		AMSAN-SS733	190
		SS703-AMSAN	151
RKSS	STAR	GUKDO-KAKSO	182
		KAKSO-KALMA	174
		KALMA-HODOL	156
		GUKDO-KAKSO	97
		KAKSO-KALMA	95
		SS804-DOKDO	52
		SS804-DOKDO	36
		KALMA-HODOL	22
RKSS	STAR	SS808-SS804	18
		KAKSO-SS807	14

본 논문에서 제시하는 분석 방법은 기록된 대용량의 항적 데이터를 항공 안전 분야에 활용될 수 있도록 하며, 이를 통해 얻은 결과는 항공 위험을 예측하고 예방하는데 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다. 이에 따라 본 연구를 확장하여 분기, 계절, 시간대에 따라 나타나는 결과를 비교할 예정이며, 분석의 대상이 되는 공항을 확대하여 항공 안전 분석에 관련하여 유의미한 결과를 얻고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부의 ‘빅데이터 기반 항공안전관리 기술 개발 및 플랫폼 구축 (20BDAS-B158275-01)’ 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] Airportal. Aviation Statistics [Internet]. Available: <https://www.airportal.go.kr/knowledge/statsnew/main.jsp>.
 [2] J. H. Kim, T. U. Kim, and D. H. Yoon, “Analysis of the factors and patterns associated with death in aircraft accidents and incidents using data mining techniques,” *Journal of Digital Convergence*, Vol. 17, No. 9, pp. 79-88, 2019.

[3] The 1090MHz Riddle. ADS-B Basics [Internet]. Available: <https://mode-s.org/decode/adsb.html>.
 [4] H. W. Lee, B. S. Park, H. K. Lyu, and H. T. Lee, “Analysis of conflict risk in terminal maneuvering Area using recorded ads-b trajectories,” in *Proceeding of 2017 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)*, Seoul: Korea, Unpublished, 2017
 [5] H. W. Lee, B. S. Park, and H. T. Lee, “Analysis of alerting criteria and daa sensor requirements in terminal area,” in *Proceeding of the 38th IEEE/AIAA Digital Avionics System Conference*, San Diego: CA, pp. 1-9, Sep. 2019.
 [6] B. S. Park, and H. T. Lee, “Simple model for aircraft trajectory generation using bada,” in *Proceeding of 2016 The Korean Navigation Institute Conference*, Seoul: Korea, Vol. 20, pp. 190-193, 2016.
 [7] Aeronautical Information Services, Aeronautical Information Publication [Internet]. Available: <http://ais.casa.go.kr>.
 [8] DO-365: Minimum operational performance standards (mops) for detect and avoid (daa) systems, RTCA Special Committee 228, 2017.
 [9] DO-365A: Minimum operational performance standards (mops) for detect and Avoid (daa) systems, RTCA Special Committee 228, 2020.
 [10] ICAO, Air Traffic Services: ANNEX 11 to the Convention of International Civil Aviation, July 2001.



이 현 응 (Hyeonwoong Lee)
 2016년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2018년 8월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학석사)
 2018년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 박사과정
 ※관심분야 : 항공교통, M&S



이 학 태 (Hak-Tae Lee)
 2006년 1월 : Dept. of Aeronautics and Astronautics, Stanford University 공학 박사
 2006년 12월 ~ 2013년 8월 : 미국 NASA Ames 연구소 연구원
 2013년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 교수
 ※관심분야 : 항공교통관리, 무인항공기, 항공기 설계