

2019년도 인천 FIR 공중 충돌 위험도 분석

2019 Incheon FIR Aerial Collision Risk Analysis

류재영 · 이현웅 · 박배선 · 이학태*
인하대학교 항공우주공학과

Jae-young Ryu · Hyeonwoong Lee · Bae-Seon Park · Hak-Tae Lee*

Department of Aerospace Engineering, Inha University, Incheon, 21999, Korea

[요 약]

항공 교통량이 증가하는 상황에서 공역의 안전도를 유지하기 위해서는 현재의 공중 충돌 위험도에 대한 면밀한 분석이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 무인기의 탐지 회피 시스템을 위해 개발된 위험도 지표인 DWC (detect and avoid well-clear)를 이용해서 2019년에 인천 비행정보구역에 통과한 모든 항공기에 대한 분석을 수행하였다. 항적은 ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast) 데이터를 이용하였으며, 위험도가 높게 나타나는 위치를 파악하고, 공항별, 시기별 국내 공역의 위험도를 분석하였다. 위험도는 교통량이 많은 인천공항과 김포공항 주변, 그리고 8월에 높게 나타났다. 분석 결과는 항로와 절차의 개정, 종사자 교육 훈련 등 각종 항공 안전 증진 활동의 바탕이 될 것으로 기대된다.

[Abstract]

In order to maintain the safety of the airspace with ever increasing traffic volume, it is necessary to thoroughly analyze the collision risk with the current data. In this study, collision risk analysis was conducted using Detect and Avoid (DAA) Well-Clear (DWC) metrics, risk induces developed for the DAA systems of unmanned aerial vehicles. All flights in year 2019 that flew within the Incheon Flight Information Region (FIR) boundary were analyzed using the recorded Automatic Dependent Surveillance-Broadcast(ADS-B) data. High risk regions as well as trends by airports and seasons were identified. The results indicate that the risk is higher around the congested area near Incheon International Airport and Gimpo International Airport. Seasonally, the risk was highest in August that coincides with the Summer vacation period. The result will be useful for the baseline data for various aviation safety enhancement activities such as revision of routes and procedures and training of the field specialists.

Key word : ADS-B, Airport, DAA Well clear, Risk analysis, Trend.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.476>



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 26 November 2021; Revised 1 December 2021
Accepted (Publication) 24 December 2021 (30 December 2021)

*Corresponding Author Hak-Tae Lee

Tel: +82-02-2209-3671

E-mail: dbwodud1213@gmail.com

I. 서론

2021년, 코로나바이러스 감염증(covid-19)에 의하여 전세계적으로 항공기의 수요가 많이 감소했지만 이를 제외하면 국내에서 운행한 항공편은 2009년을 기준으로 2019년까지 빠른 속도로 늘어나는 추세를 보이며, 코로나바이러스 유행이 끝나는 시점부터 다시 늘어날 것으로 예상된다[1].

항공 교통량이 증가하는 상황에서 일정한 수준의 안전도를 유지하기 위해서는 현재 상황에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 특히 최근에 크게 발전하고 있는 빅데이터 분석과 인공지능 기반의 분석 기법들을 적용하면 예전에 간과했던 현상들을 파악할 수 있을 것으로 예상된다.

인하대학교에서는 2017년부터 ADS-B 수신기를 설치하여 항적데이터를 수집하였으며 이를 이용하여 연구를 수행해오고 있다. [4]는 2017년 2월부터 12월까지 얻은 데이터 중 교통량이 많고 수신 품질이 좋은 30일치의 데이터를 이용하여 탐지 범위와 DWC와의 관계를 밝혀낸 연구이다. [5]와 [6]은 2017년부터 2020년까지 기록된 ADS-B 데이터 중 교통량이 많고 수신 품질이 좋은 100일치의 데이터를 이용하여 국내 공역의 위험도를 분석한 연구이다. [4], [5]와 [6]은 제한된 ADS-B 데이터를 사용하여 인하대 부근의 공역만을 연구하고 시기별 교통량의 변화를 연구하지 못한다는 한계가 존재한다.

항공 교통은 계절에 따라 교통량의 변화가 있기 때문에 크게는 1년을 주기로 유사한 패턴을 반복하는 특성이 있다. 따라서 보다 정확한 데이터 기반 연구를 위해서는 최소한 1년의 데이터가 필요한데, 본 연구는 교통량이 정상이던 2019년 국내 공역을 지나간 모든 항공기의 ADS-B 데이터를 이용하여 연구를 진행하였으며 무인항공기용 충돌 위험도 지표인 DWC Phase 1 지표와 DWC Phase 2 지표에 따라 공항별, 시기별 위험도를 분석하였다.

분석 결과 항로상으로는 동해상의 미주 항로와 일본 항로, 그리고 제주 남서쪽 해상의 중국 항로, 대만 항로 상에서 충돌 위험도가 높고 특히 두 항로가 교차하는 지역에서의 위험도가 높음을 알 수 있었다. 공항 별로는 김포공항, 인천공항 주변 공역의 위험도가 높고 시기 별로는 교통량이 가장 많은 8월의 위험도가 가장 높은 것으로 나타났다.

2장에서는 ADS-B 데이터와 DWC 지표에 대해 설명한다. 3장에서는 시기별, 공항별 위험도 분석을 진행한 결과를 제시하고 4장에서는 결론과 앞으로의 연구 계획을 제시한다.

II. ADS-B 데이터와 DWC 지표

2장에서는 분석 시 사용한 ADS-B 데이터와 위험도 지표인 DWC에 대해 설명한다.

2-1 ADS-B 데이터

ADS-B 데이터는 항공기가 항공기의 위치, 속도 등을 담은 메시지를 1초 단위로 송출하는 데이터이다. 본 연구에서는 코로나바이러스 감염증이 유행하기 전인 2019년도의 데이터를 사용하였으며 국내 공역을 통과한 모든 항공기의 ADS-B 데이터를 사용하였다.

2020년부터 미국과 유럽의 모든 민간 항공기는 ADS-B 시스템을 의무화하였으며 대부분의 항공기가 이 시스템을 사용하고 있다[2].

2-2 위험도 분석을 위한 ADS-B 데이터 시간 동기화, 좌표 변환

ADS-B 데이터는 1초 단위의 각종 비행 데이터 메시지를 송신하기 때문에 위치 정보가 일정 간격으로 수신되지 않는다. 이에 더하여 항공기의 상황이나 지상 수신기의 상황에 따라 데이터를 받지 못하는 경우도 존재한다. 항공기들의 시간별 상태를 비교하여 위험도 분석이 진행되어야 하므로 시간 동기화가 필요하다.

ADS-B 데이터의 위치 정보는 위도와 경도를 사용하기 때문에 보다 용이한 계산을 위하여 램버트 정각투영법(Lambert Conic Conformal Projection)을 이용하여 지정된 기준으로부터의 상대거리 x, y 값으로 변환할 수 있다. 램버트 정각투영법 계산 시 Standard parallel과 Origin position은 표1의 지표를 이용하여 계산하였다. 사용한 지표는 국내 공역의 위도와 경도를 고려하여 선정하였고 지구 반경은 6400km로 가정하여 계산하였다. 변환한 x, y 를 선형보간법을 이용하여 1초 간격으로 동기화된 데이터를 구성하였다.

2-3 DWC 지표

DWC는 무인기가 주변 항공기들과의 적절한 분리를 유지할 수 있게 해 주는 탐지 회피(DAA) 시스템을 위해 개발된 지표이다. 시간과 공간을 동시에 고려하며 RTCA DO-365A Minimum Operational Performances Standards (MOPS)[8] 문서에 제시되어있다. 본래 무인항공기에 적용되는 지표이지만 항공기들 사이의 분리 간격뿐만이 아닌 속도를 이용하여 위험도를 정량적으로 계산한다는 장점이 있어 위험도 지표로 사용하였다.

위험도 계산에 필요한 수식은 MOPS [7], [8], 그리고 기타 참고 문헌에 자세히 설명되어 있다 [4]-[6]. [4]-[6]은 DWC 위험도 개정되기 전 MOPS의 기준값을 사용하였지만 본 논문에서는 개선된 DO-365A MOPS[8]의 기준값을 사용하여 위험도 분석을 진행하였다. 표 2와 표 3은 각각 DWC Phase 1과 DWC Phase 2의 위험도를 판단할 때 사용되는 기준값으로 DWC Phase 1은 항로에서의 위험도를 판단하며, DWC Phase 2는 접근 관제 구역에서의 위험도를 판단한다. DWC 지표는 preventive alert, corrective alert, warning alert, 그리고 loss of well clear 순으로 위험도가 높음을 의미한다. DAA 시스템의 궁극적인 목표는 loss of well clear 상태가 발생하지 않도록 하는 것이다.

표 1. 램버트 정각투영법 기준값

Table 1. Lambert conic conformal projection Values.

Threshold	Standard Parallel 1	Standard Parallel 2	Origin Position
latitude	33°	38°	33°
longitude	125°	127°	126°

표 2. DWC Phase 1 기준값

Table 2. DWC Phase 1 Threshold Values.

Threshold	Preventive	Corrective	Warning	Loss of Well Clear
τ^*_{mod}	35 sec	35 sec	35 sec	35 sec
HMD*	4,000 ft	4,000 ft	4,000 ft	4,000 ft
d^*_{h}	700 ft	450 ft	450 ft	450 ft
Time of Alert	55 sec	55 sec	25 sec	0 sec

표 3. DWC Phase 2 기준값

Table 3. DWC Phase 2 Threshold Values.

Threshold	Preventive	Corrective	Warning	Loss of Well Clear
τ^*_{mod}	-	-	0 sec	0 sec
HMD*	-	-	1,500 ft	1,500 ft
d^*_{h}	-	-	450 ft	450 ft
Time of Alert	-	-	45 sec	0 sec

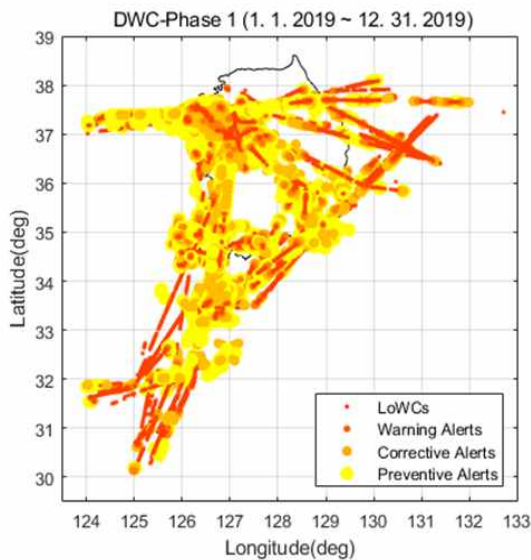


그림 1. 2019년 인천 FIR 내 DWC Phase 1 경보가 일어난 지점

Fig. 1. Locations of DWC Phase 1 alerts inside Incheon FIR in 2019

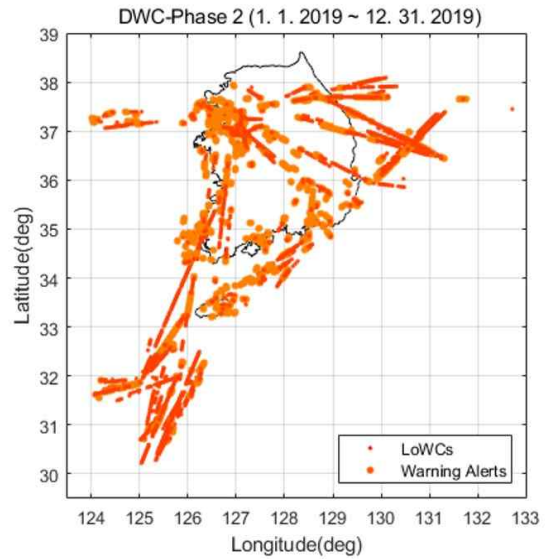


그림 2. 2019년 인천 FIR 내 DWC Phase 2 경보가 일어난 지점

Fig. 2. Locations of DWC Phase 2 alerts inside Incheon FIR in 2019

III. 공항별, 시기별 위험도 분석

3장에서는 보완한 ADS-B 데이터와 DWC 지표를 이용하여 공항별, 시기별 위험도 분석을 한 결과를 제시한다. 그림 1과 2는 2019년 인천 FIR 전역에서 DWC Phase 1, DWC Phase 2 경보가 일어난 지점이다.

향로상으로는 동해상의 일본 항로와 미주 항로에서 위험도가 높았으며 특히 두 항로가 교차하는 AGSUS 지점 근처에서 위험도가 높음을 알 수 있었다. 또한 제주도 남서쪽 해상의 중국 항로와 대만 항로에서 위험도가 높았으며 특히 두 항로가 교차하는 지역의 위험도가 높음을 볼 수 있다.

2019년 국내에서 출발/도착한 국제선 중 일본과 중국을 왕래한 항공기의 수가 가장 많았다[2]. 이에 중국과 일본 항로에 교통량이 많았음을 짐작할 수 있다. 위의 결과를 살펴보면 교통량이 많은 일본, 중국 항로와 다른 항로가 교차되는 지역에서 위험도가 높아지는 것을 볼 수 있다.

3-1 주요 공항별 위험도 분석

본 연구에서는 14개의 공항 중 주요 지표(항공 교통량, 공항 이용자 수 등)가 가장 높은 네 개의 공항(김포, 인천, 제주, 김해)을 주요 공항으로 선정하여 위험도를 분석하였다.

항공교통이 복잡한 지역은 입항하는 항공기의 비행 인가 전달 절차를 간소화하기 위한 표준 입항 경로 STAR (standard terminal arrival routes)가 존재한다. 앞에서 선정된 주요 공항들은 다수의 STAR가 존재하며, 각 STAR의 시작점인 Initial

Approach Fix가 존재한다. 본 논문에서는 Initial Approach Fix 중 공항 기준점과의 거리가 가장 먼 fix까지의 거리, R 을 반경으로 설정하고 공항기준점으로부터 반지름이 R 인 원을 공항의 영역으로 가정하였다. 이는 통상적으로 공항에 사용되는 Class B, C, 또는 D 공역보다 크게 설정한 것이다. 표 4는 공항별 거리가 가장 먼 Initial Approach Fix와 공항 사이의 거리를 나타내었다.

충돌 위험이 있던 항공기 쌍 중 한 항공기라도 DWC 경보가 발생 시에 공항 영역 내에 위치했으면 해당 공항의 DWC 경보라고 가정하였다.

그림 3, 4는 각각 주요 공항 주변에서 DWC Phase 1, DWC Phase 2 경보가 일어난 총 누적 시간을 표현한 것이다. 그림 5, 6은 각각 주요 공항 주변에서 DWC Phase 1, DWC Phase 2 경보가 일어난 항공기의 Pair 수를 표현한 것이다. 위의 결과를 토대로 그림 7, 8에서는 주요 공항 주변에서 DWC Phase 1, DWC Phase 2 경보가 일어난 경우 DWC 위험도별 발생하는 평균 시간을 표현하였다.

분석 결과 김포공항과 인천공항의 주변에서 DWC가 일어난 시간이나 항공기 Pair 수가 다른 공항보다 많은 것을 볼 수 있다. 이는 두 공항을 포함한 공역의 교통량과 복잡성 때문이다. 인천공항과 김포공항은 앞에서 설명한 공항의 영역이 그림 9와 같이 대부분 겹치는 것을 볼 수 있다.

제주공항의 경우 DWC Phase 1의 LoWC가 일어난 평균 시간이 인천, 김포공항에 비해 약 두 배 정도 높다. DWC Phase 2 기준을 적용했을 때에는 평균 시간이 인천, 김포공항보다 약간 작게 나타난다. 이는 제주공항 주변에서 항공기간의 분리가 전반적으로 더 작게 운용되고 있음을 의미한다.

김해공항은 다른 세 공항보다 경보가 발생하는 Pair의 수, Pair 당 경보가 유지된 평균 시간이 모두 작아서 다른 공항에 비해 공중 충돌 위험은 상대적으로 작은 것을 알 수 있다.

표 4. 공항 영역의 기준이 된 Initial Approach Fix와 거리
Table 4. Initial Approach Fix and Distance for Setting Airport Boundary.

Airport	Initial Approach Fix	Distance
RKSS	GUKDO	66 nmi
RKSI	REBIT	63 nmi
RKPC	MAKET	46 nmi
RKPK	KALEK	48 nmi

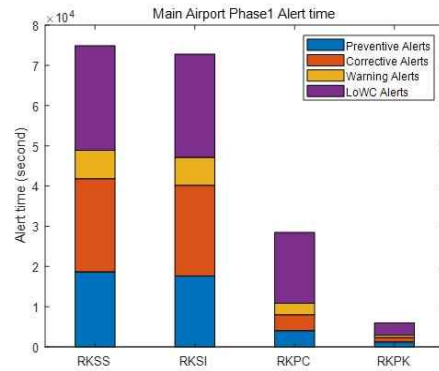


그림 3. 주요 공항 주변에서 DWC Phase 1 경보가 일어난 누적 시간 (초)

Fig. 3. DWC Phase 1 alert times near major airports (seconds)

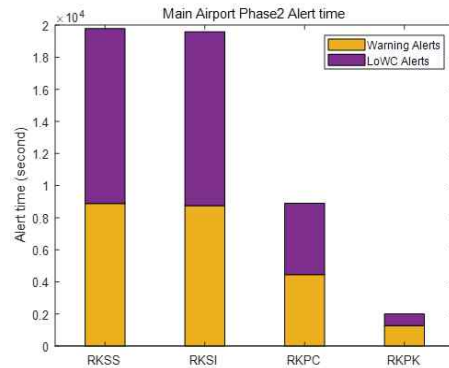


그림 4. 주요 공항 주변에서 DWC Phase 2 경보가 일어난 누적 시간 (초)

Fig. 4. DWC Phase 2 alert times near major airports (seconds)

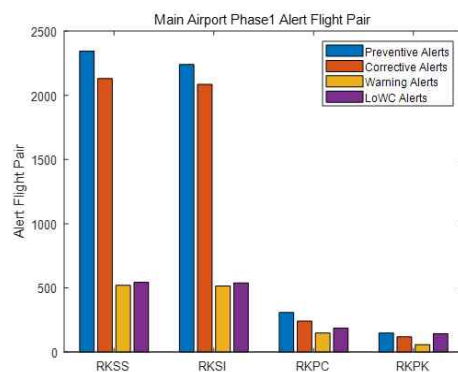


그림 5. 주요 공항 주변에서 DWC Phase 1 경보가 일어난 항공기 Pair의 수

Fig. 5. Number of flight pairs with DWC Phase 1 alert near major airports

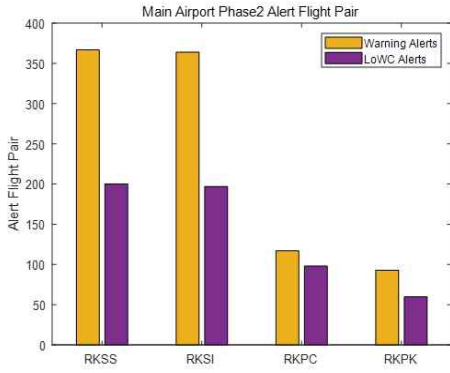


그림 6. 주요 공항 주변에서 DWC Phase 2 경보가 일어난 항공기 Pair의 수

Fig. 6. Number of flight pairs with DWC Phase 2 alert near major airports

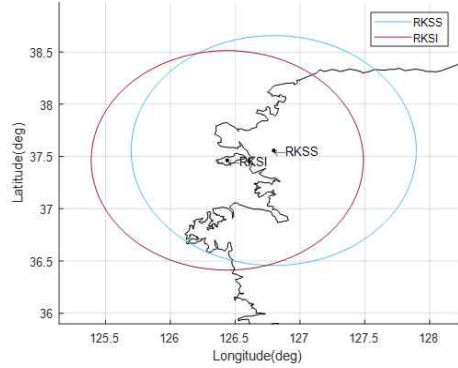


그림 9. 인천 공항과 김포 공항의 주변 지역
Fig. 9. Areas near RKSI and RKSS

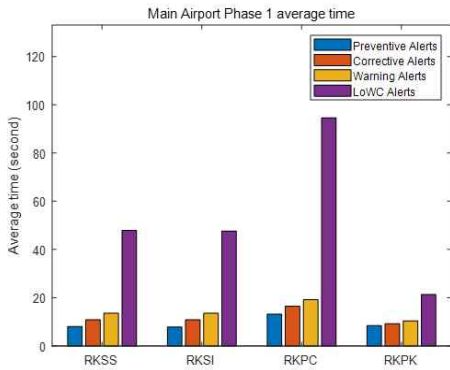


그림 7. 주요 공항 주변에서 각 pair 당 평균 DWC Phase 1 경보 발생 시간 (초)

Fig. 7. Average DWC Phase 1 alert time per pair (seconds)

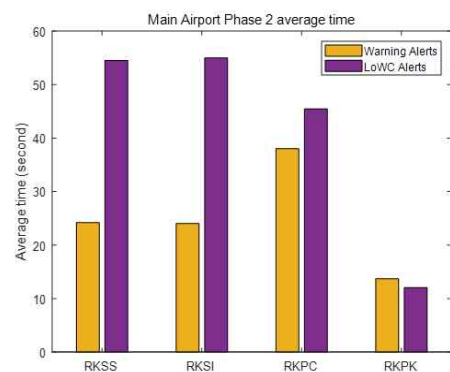


그림 8. 주요 항 주변에서 각 pair 당 평균 DWC Phase 2 경보 발생 시간 (초)

Fig. 8. Average DWC Phase 2 alert time per pair (seconds)

3-2 시기별 위험도 분석

항공 교통량에는 시기별 차이가 존재한다. 2019년을 기준으로 일 수가 적은 2월을 제외하고 교통량이 가장 많았던 8월과 가장 적었던 11월의 차이는 약 7,000 대였다.

그림 10, 11은 2019년 8월 인천 FIR 전역에서 DWC Phase 1 과 DWC Phase 2 경보가 일어났던 지점이다. 그림 12, 13은 각각 시기별 DWC Phase 1, DWC Phase 2 경보가 일어난 총 누적 시간을 표현한 것이고, 그림 14, 15는 시기별 DWC 경보가 일어난 항공기 Pair 수를 표현한 것이다. 그림 16, 17은 위에서 나온 결과를 토대로, DWC 위험도별 Pair 당 경보가 유지된 평균 시간을 표현하였다.

분석 결과 8월에 DWC Phase 1 경보가 가장 많이 일어난 것을 알 수 있다. DWC 경보가 일어난 항공기 Pair 수도 가장 많기 때문에, 교통량이 가장 많은 8월의 위험도가 높음을 알 수 있다.

누적 경보 시간 기준으로는 DWC Phase 2 경보는 12월에 가장 많이 일어났으며 11월부터의 증가 추세를 볼 수 있다. 그러나 경보가 발생한 Pair의 숫자는 오히려 11월과 12월에 감소 추세를 보여준다. 따라서 경보가 유지된 평균 시간의 경우, 그림 17에서와같이 12월이 월등히 높은 값을 보여준다.

12월의 각 Pair에 대한 조사 결과, 특정한 1 Pair의 DWC Phase 1 LoWC가 6,000회, DWC Phase 2 LoWC가 5,100회 정도 일어난 것을 찾을 수 있었다. 이를 제외하면 다른 시기랑 차이가 크게 나지 않은 것을 확인하였다.

11월은 항공편이 가장 적지만, 누적 DWC Phase 2 경보 시간이 상당히 큰 값을 가지고 있음을 볼 수 있다. 11월은 12월처럼 하나의 비정상적인 Pair도 없었기 때문에, Pair 당 평균 DWC Phase 2 경보 지속 시간이 다른 시기보다 크다. 이는 추가 분석을 필요로 하는데, 이렇게 추가 분석이 필요한 상황을 식별하는 것이 본 연구의 중요한 의의 중 하나이다.

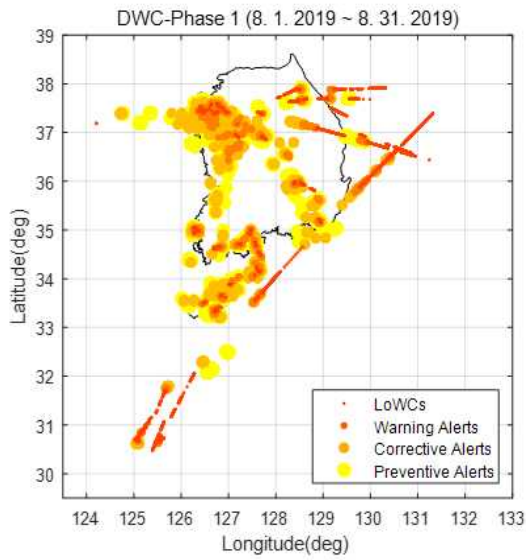


그림 10. 2019년 8월 DWC Phase 1 경보가 일어난 지점
 Fig. 10. Locations of DWC Phase 1 alerts inside Incheon FIR in August, 2019

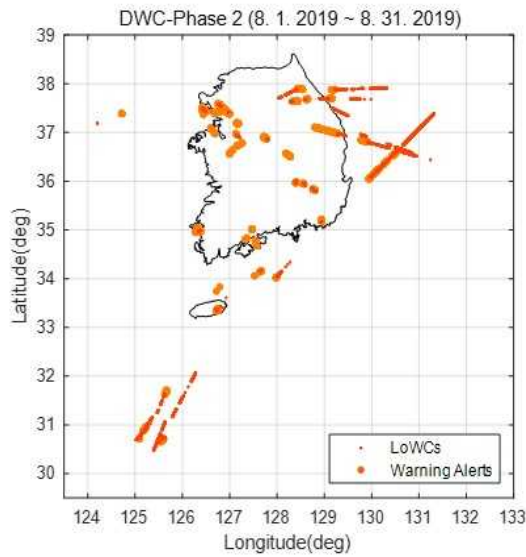


그림 11. 2019년 8월 DWC Phase 2 경보가 일어난 지점
 Fig. 11. Locations of DWC Phase 2 alerts inside Incheon FIR in August, 2019

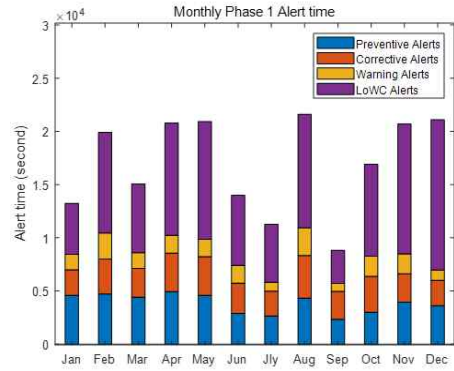


그림 12. 월별 DWC Phase 1 경보가 일어난 누적 시간 (초)
 Fig. 12. DWC Phase 1 alert times by month (second)

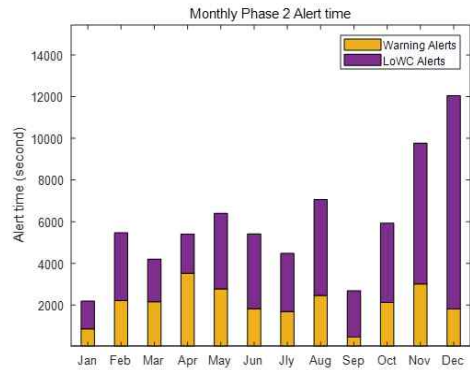


그림 13. 월별 DWC Phase 2 경보가 일어난 누적 시간 (초)
 Fig. 13. DWC Phase 2 alert times by month (second)

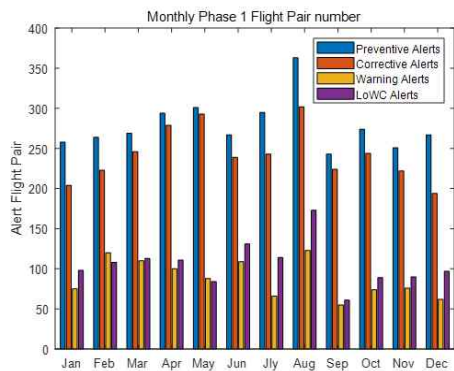


그림 14. 월별 DWC Phase 1 경보가 일어난 항공기 Pair 수
 Fig. 14. Number of flight pairs with DWC Phase 1 alert by month

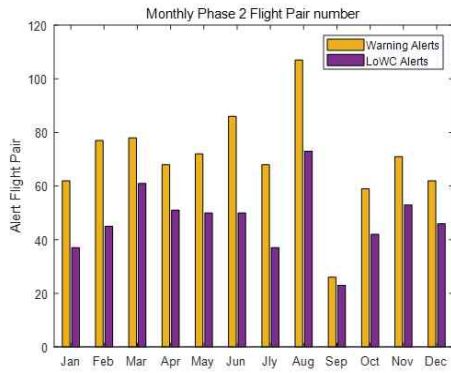


그림 15. 월별 DWC Phase 2 경보가 일어난 항공기 Pair 수

Fig. 15. Number of flight pairs with DWC Phase 2 alert by month

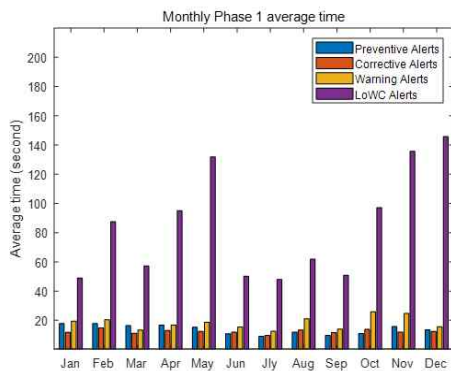


그림 16. 월별 각 pair 당 평균 DWC Phase 1 경보 발생 시간 (초)

Fig. 16. Average DWC Phase 1 alert time per pair by month (seconds)

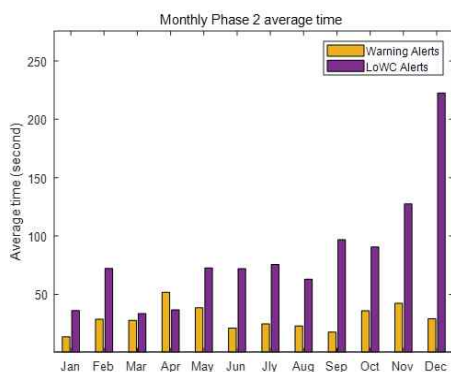


그림 17. 월별 각 pair 당 평균 DWC Phase 2 경보 발생 시간 (초)

Fig. 17. Average DWC Phase 2 alert time per pair by month (seconds)

IV. 결 론

본 논문에서는 기록된 항적을 이용하여 국내 공역의 전반적인 충돌 위험도를 분석하였다. 비행 기록은 ADS-B 데이터 기반의 재생성된 항적 데이터를 이용하였으며, 위험도는 무인항공기 탐지 회피 시스템을 위해 개발된 DWC를 이용하여 계산하였다.

2019년 전체의 데이터를 이용하여 분석한 결과 지역적으로는 김포공항과 인천공항 주변의 위험도가 가장 높았다. 동해상의 미주 항로와 일본 항로, 그리고 제주 남서쪽 해상의 중국 항로와 대만 항로 상도 충돌 위험도가 높았으며 특히 두 항로가 교차되는 지역의 위험도가 높은 것으로 나타났다.

시기 별로는 교통량이 가장 많은 8월의 위험도가 가장 높았음을 알 수 있었으며, Phase 2 기준 Pair 당 경보 지속 시간의 경우 2019년 전체 기간동안 점진적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다.

2가지의 기준을 이용하여 인천 FIR 내에서의 충돌 위험 분석을 다양하게 진행하였으며, 이를 통하여 실제 종사자들이 느끼는 위험도와 더 상관관계가 높은 기준을 개발하고, 또한 특이 사항이 발견된 지역이나 시기에 대한 추가 분석을 진행할 예정이다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부의 ‘빅데이터 기반 항공안전관리 기술 개발 및 플랫폼 구축(21BDAS-B158275-02)’ 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] Airportal. Aviation Statistics [Internet]. Available: <https://www.airportal.go.kr/knowledge/statsnew/main.jsp>
- [2] The 1090 Megahertz Riddle [Internet]. Available: <https://mode-s.org/decode/content/ads-b/1-basics.html>
- [3] H. W. Lee, B. S. Park, and H. T. Lee, “Waypoint Extraction from Recorded ADS-B Trajectory Data,” in *Proceeding of 2016 The Korean Navigation Institute Conference, KONI*, Vol. 20, No. 1, pp. 194-196, 2016.
- [4] H. W. Lee, B. S. Park, and H. T. Lee, “Analysis of ads-b trajectories in the Republic of Korea with daa well clear metrics,” in *Proceeding of the 37th IEEE/AIAA Digital Avionics System Conference*, London: UK, pp.1-6, Sep. 2018.
- [5] H. T. Lee, and H. W. Lee, “Risk Analysis of Aircraft Operations in Seoul TMA Based on DAA Well Clear Metrics

using Recorded ADS-B Data,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 24, No 6, pp.527-532. Dec.2020.

[6] H. W. Lee, and H. T. Lee, “Risk Analysis of Flight Procedures at Incheon International Airport and Gimpo International Airport,” *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 24, No 6, pp.500-507, Dec. 2020.

[7] DO-365: Minimum operational performance standards (mops) for detect and avoid (data) system, RTCA Special Committee 228, 2017

[8] DO-365A: Minimum operational performance standards (mops) for detect and avoid (data) system, RTCA Special Committee 228, 202



류 재 영 (Jae-young Ryu)

2020년 8월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2020년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 석사과정
※ 관심분야 : 항공교통, M&S



이 현 웅 (Hyeonwoong Lee)

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



박 배 선 (Bae-Seon Park)

2014년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2020년 8월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학박사)
2020년 12월 ~ 현재 : 인하대학교 산업과학기술연구소 박사후연구원
※ 관심분야 : 항공교통, M&S



이 학 태 (Hak-Tae Lee)

2006년 1월 : 미국 스탠포드대학교 항공우주공학과 (공학박사)
2013년 9월 ~ 2017년 8월 : 인하대학교 항공우주공학과 조교수
2017년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 부교수
※ 관심분야 : 항공교통, 항공기 공력 설계