

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2019.27.4.037>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

특정 공항에서의 VFR 항공기 레이더 항적자료 분석 연구

이경한*, 김도현**, 신대원***

A Study on the Radar Data Analysis of VFR Aircraft at an Airport

KyungHan Lee*, DoHyun Kim**, DaiWon Shin***

ABSTRACT

Obstacle limitation surfaces are imaginary space surfaces that must be clear of obstacles for the aircraft to safely take off and land on the aerodrome. These surfaces are closely related to the safety of the VFR aircraft, which require a pilot to be able to see outside the cockpit, to control the aircraft's altitude, navigate, and avoid obstacles and other aircraft. The Republic of Korea, which has a lot of restrictions on the use of airspace, cannot provide a rich operating environment for VFR aircraft. Under these circumstances, safer operation will not be guaranteed if additional factors that directly or indirectly affect existing VFR routes, such as drone delivery services. This study analyzes and models the track distribution of each VFR section based on radar track data around a specific airport. Through this study, we estimate the three-dimensional space for VFR aircraft and provide the data for future research such as airspace analysis of VFR corridors and correlation with obstacle limitation surfaces.

Key Words : VFR Route(시계비행로), CrossTrack Distribution(횡적항적분포), Vertical Distribution(수직항적분포), Radar Data Analysis(항적자료 분석), Traffic Pattern(교통장주)

1. 서 론

장애물제한표면(Obstacle Limitation Surfaces; OLS) 규정에 관한 국제적 재검토 논의는 2015년 5월 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization; ICAO) 아태지역 Working Group

회의에서 대한민국 정부의 제안으로 시작되었다. 그 이후 각국 전문가가 참여하여 운영 중인 ICAO 장애물제한표면 Task Force(TF) 팀에 국토교통부가 적극적으로 동참하여 고도제한 규정에 대한 의견을 제시해 왔으며, 국내에서도 제도적 기반을 마련하기 위한 관련 법령 개정 및 준비를 추진해 왔다.

ICAO는 공항주변 장애물제한표면(OLS) 관련 국제표준 및 권고사항(Standards And Recommended Practices; SARPs) 개정을 추진 중으로, 장애물 제한표면(OLS) TF 회의에서는 2022년까지 개정안을 작성하여 ICAO 항행위원회에 제출하고, 2024년 발효하되 4년의 유예기간을 거쳐 2028년

Received : 07. Nov. 2019. Revised : 20. Dec. 2019.

Accepted : 31. Dec. 2019

* 한서대학교 일반대학원 항공운항관리학과 석사과정

** 한서대학교 항공교통물류학과 교수

*** 한서대학교 항공산업공학과 교수

연락처자 E-mail : dhkim@hanseo.ac.kr

연락처자 주소 : 충남 태안군 남면 곶섬로

한서대학교 태안비행장

각 제약국에 적용하는 일정을 마련하였다[1].

장애물제한표면 중 특히 수평표면은 시계비행항공기의 입·출항을 위한 교통장주(Traffic pattern)와 관련성이 크다. 공역사용에 제약이 많은 우리나라는 시계비행항공기에게 원활한 운항환경을 제공할 수 없는 실정인데, 이러한 여건에서 드론을 이용한 배송서비스 등이 추가될 경우, 기존 시계비행로에 직·간접적으로 영향을 주게 될 경우에는 더욱 안전운항을 보장할 수 없게 될 것이다.

이러한 배경을 고려하여 특정 공항의 훈련용 시계비행항공기 레이다항적 2개월 자료를 바탕으로 시계비행로의 비행구간별 특성에 따라 주어진 비행로의 항적분포를 분석하고 수치화하였다. 이를 통해 시계비행항공기의 비행구간 특성에 따른 비행경로의 3차원 공간을 추정하여 시계비행항공의 회랑구성 등의 공역분석, 공항의 장애물제한표면과의 상관관계 분석 등과 같은 향후 연구에 참고가 될 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

II. 문헌 고찰

2.1 시계비행규칙과 교통장주

시계비행규칙은 조종사가 지형지물을 육안으로 확인하여 항공기의 자세 및 위치를 의도한 대로 유지하는 비행규칙을 말한다. 시계비행방식은 지점간의 이동으로, 해당 지점의 강, 산, 건물, 교량, 언덕과 같은 지형지물(이하, 참조점이라 함) 기준으로 비행로를 인지하여 비행하게 된다.

참조점은 조종사가 육안으로 식별이 용이한 지점으로 시계비행항공기가 비행장 접근시 주요 참조점은 항공정보간행물에 포함되어 있고[2], 시계비행로에 최초 진입시에는 육안 참조점을 통과하도록 명시하고 있다. 참조점의 형태와 거리에 따라, 조종사의 역량 및 주변 환경에 따라, 시계비행로의 항적분포는 횡적으로 상이할 것이다.

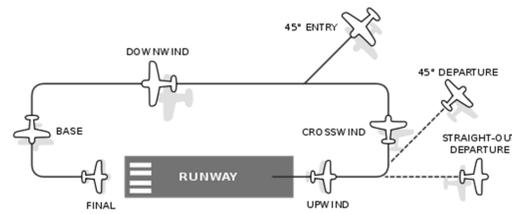


Fig. 1. Traffic pattern

시계비행 조종사를 위해 비행장에 수립된 교통장주에 따른 비행은 시계비행항공기의 입출항을 위한 절차로 활용되며, 폐쇄장주(Closed traffic)의 경우는 학생조종사가 이착륙 훈련을 집중적으로 수행하기 위해 설정된다. Fig. 1은 활주로를 중심으로 일반적으로 설정되는 교통장주의 형태 및 활주로 입출항 방식은 보여주고 있다[3].

2.2 선행연구

“효율적인 항공교통흐름을 위한 항공로 연산 알고리즘 연구(2018)에서는 안전하고 효율적인 항공교통관제를 위한 경로 연산 알고리즘 구현으로 항공교통량에 대한 가중치를 고려한 최적의 알고리즘을 탐색하였다[4]. “ADS-B 신호를 이용한 ILS 최종 접근 구간의 항공기 항적 이격분포 도출(2015)”에서는 수신된 자료에서 시각, 식별코드, 위경도, 고도값을 추출한 후, 원하는 구역을 비행하는 항공기를 추출하여 이격분포를 분석하였다[5].

2018년 연구의 알고리즘에 대한 분석 및 검증에 필요한 수치자료는 본 연구와 같은 레이다항적 분석을 통해 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 탄력적 공역관리를 위해서는 시계비행항공기의 운항 패턴에 관한 연구도 필요할 것이며, 여기에는 시계비행항공기의 횡적이격에 대한 연구도 포함될 것이다. 본 연구는 이러한 선행연구검토와 레이다 항적자료 분석을 통해 참조점으로 연결된 시계비행로 일부 구간에 대해 중심선으로부터의 이격거리와 고도분포를 도출하여 횡적분포 및 수직분포를 수치화 하였다.

III. 연구 내용

3.1 연구모형 설정

본 연구는 특정 공항의 3,718,994개 항적자료 정보를 거리기반의 상대좌표로 변환하여, 항공기 항적의 구간(segment)별 비행경로 분포를 MATLAB을 통해 분석하였다. 이를 위해 시계비행규칙에 따라 비행하는 항공기의 항적분석구간을 3개로 나누어 설정하였다.

첫 번째 분석대상구간은 교통장주를 따라 활주도로로 접근하는 비행로에서 항적분포의 폭이 최소화되는 구간으로, 활주로를 시야로 확보하고 비행하는 Final구간과 Upwind구간이다. 두 번째 대상구간은 Final을 제외한 직선 구간으로, 활주로를 육안 참조하여 비행함에 따라 항적의 횡적 퍼짐정도가 상대적으로 작은 Downwind (D/W)구간이다. 세 번째 구간은 지상의 특정 지역을 참조하여 시계비행규칙에 따라 비행하는 구간(본 연구에서는 Approach(APP)구간이라 함)이다.

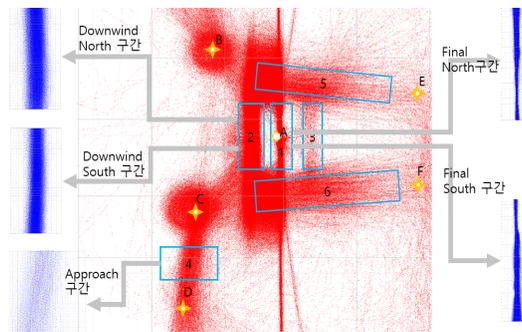


Fig. 2. Track distribution on each segments

Fig. 2는 3개 분석대상구간의 항적자료를 바탕으로 비행구간의 횡적분포(CrossTrack) 및 수직분포(고도변화), 특정위치 횡단면에서의 항적분포를 비교분석한 결과를 보여주고 있다.

3.2 항적분석

활주도로에 정대하여 비행하는 Final구간 및 Upwind구간은 Fig. 3에서와 같이 진행방향과 상관없이 활주로를 기준으로 한 위치에 따라 유사한 형태

의 CrossTrack 항적 분포(단면적)군을 보이고 있다.

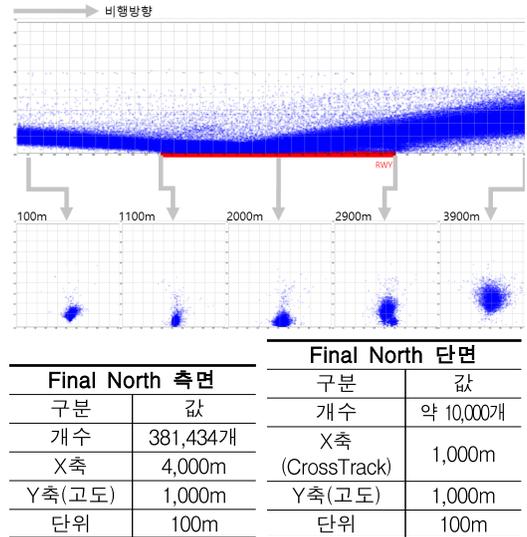


Fig. 3. Vertical and CrossTrack distribution (Final North segment)

Downwind구간의 비행패턴을 살펴보면 Fig. 4와 같이 Final구간과는 달리 일정한 고도(입출항 절차에서 정한 1,500ft)를 유지하고 있고, 횡적분포 역시 원형보다는 좌우로 퍼진 형태를 보인다.

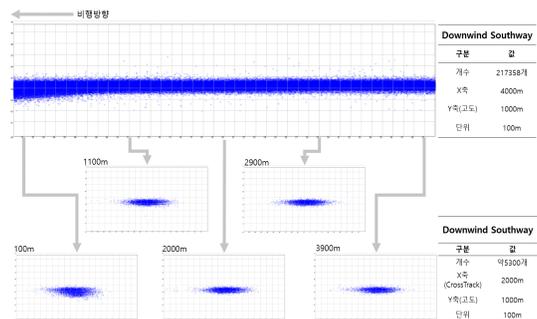


Fig. 4. Vertical and CrossTrack distribution (Downwind Southway segment)

이는 항행장비에 의존하는 계기비행방식과 달리 육안참조에 의존하는 시계비행은 조종기술 및 항공기성능의 차이, 바람성분 및 대기압과 같은 외부환경요인의 변화 등으로 항공기 항적의 횡적분포 및 수직분포에 차이를 나타냄을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 Fig. 5와 같이 Approach구

간에서도 나타나며, 활주로를 참조로 비행하는 Downwind구간에 비해 지상 특정지역의 참조점을 향해 비행하는 Approach구간의 횡적분포(CrossTrack) 및 수직분포(고도변화)는 훨씬 넓게 분포함을 알 수 있다.

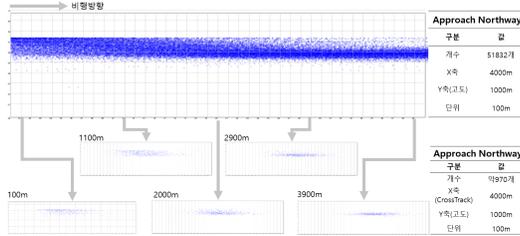


Fig. 5. Vertical and CrossTrack distribution (Approach North segment)

IV. 연구 결과

4.1 CrossTrack 분포 분석결과

시계비행로 중심선을 기준으로 항적분포를 확인하면 Table 1과 같다. Final구간 자료에는 이륙 및 착륙 항적이 포함되어 있어 위치에 따라 주어진 폭이 상이하지만, 비행로 중심선에 집중하여 비행하고 있음을 표준편차 값을 통하여 알 수 있다. 이처럼 비행로 중심선의 밀집된 정도를 Final구간을 기준으로 Downwind구간과 Approach구간을 비교하면 Downwind구간은 4~5배, Approach구간은 10배가 넘는 비행로 공간을 사용하고 있다.

Table 1. CrossTrack distribution of each segments

구분	Final North	Final South	D/W North	D/W South	APP. North
개수(개)	381,434	445,494	235,577	217,358	51,832
표준 편차(m)	34.37	40.39	208.52	165.30	526.53
68.27% (1σ) (m)	±34.0	±33.0	±203.0	±153.0	±551.0
95.45% (2σ) (m)	±75.0	±82.0	±431.0	±339.0	±1,117.0
99.73% (3σ) (m)	±166.0	±208.0	±734.0	±589.0	±1,749.0

따라서 조종사는 지상의 특정 지역에 설정된 추상적인 참조점보다는 활주로와 같이 조종사의 위치인지 차이가 적고, 진행방향의 연장선을 명확히 알 수 있는 참조점을 기준으로 비행하는 것이 가상의 항적 중심선에 보다 근접하여 비행할 수 있다고 해석할 수 있다.

4.2 수직분포(고도) 분석결과

Final구간자료에는 Touch and Go, 착륙, 이륙, Over Flight, 착륙을 시도하지 않은 항적자료가 모두 포함되어 있으므로, 수직분포 분석에서는 이 구간을 제외하였다. Downwind구간과 Approach구간을 비교하면, 두 구간 모두 계획된 비행고도를 잘 유지하여 비행함을 확인할 수 있다.

이는 육안으로 식별하여 참조점을 따라 비행할 때의 횡적 퍼짐과는 달리 항행장비인 고도계를 이용하여 주어진 고도를 유지할 때 항적의 수직분포의 퍼짐정도가 상대적으로 작다고 할 수 있다.

Table 2. Vertical distribution of each segments

구분	Final North	Final South	D/W North	D/W South	APP. North
개수(개)	381,434	445,494	235,577	217,358	51,832
표준 편차(m)	78.89	81.76	27.26	26.16	51.59
68.27% (1σ) (m)	78.89	81.76	27.26	26.16	51.59
95.45% (2σ) (m)	78.89	81.76	27.26	26.16	51.59
99.73% (3σ) (m)	78.89	81.76	27.26	26.16	51.59

4.3 구간별 횡단면 분석결과

Final구간은 활주로에서의 거리에 따라 비행로의 사용정도가 다르기 때문에 Downwind구간 및 Approach구간과는 다른 관점에서의 분석이 필요하다.

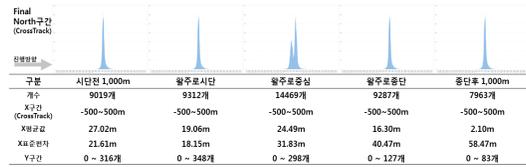


Fig. 6. CrossTrack distribution (Final North segment)

따라서 본 연구에서는 활주로를 기준으로 활주로시단 1,000m 이전, 활주로시단, 활주로중심, 활주로종단, 활주로종단 1,000m 후 등의 5개 지점에서 횡단면의 항공기 분포를 분석하였다. Fig. 6 CrossTrack 분포를 보면, 5개 지점 모두 활주로의 연장선에 밀집되어 횡적으로 분포되어 있고, 고도에 있어서도 활주로에 진입하는 단계에서는 진입각에 해당되는 고도에 밀집되어 있다. 다만, 활주로를 벗어나는 Upwind구간에서는 항공기들의 airborne 시점에 차이가 있어 횡단면에서의 수직분포에 차이가 분포로 나타나고 있다(Fig. 7 참조).

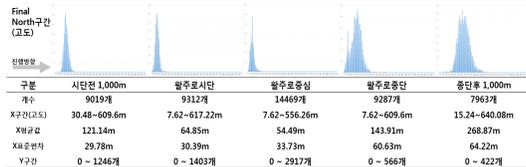


Fig. 7. Vertical distribution (Final North segment)

Downwind구간과 Approach구간은 수평비행 (Level-off)이 이루어지므로, 구간의 지점별로 항공기 항적의 CrossTrack과 수직(고도)분포 차이가 없는 것으로 확인되었다.

4.4 구간별 비교분석결과

Final구간은 활주로시단 1,000m전 위치에서의 횡단면을, Downwind구간과 Approach구간은 중앙지점의 횡단면을 대상으로 항적분포를 분석하면 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

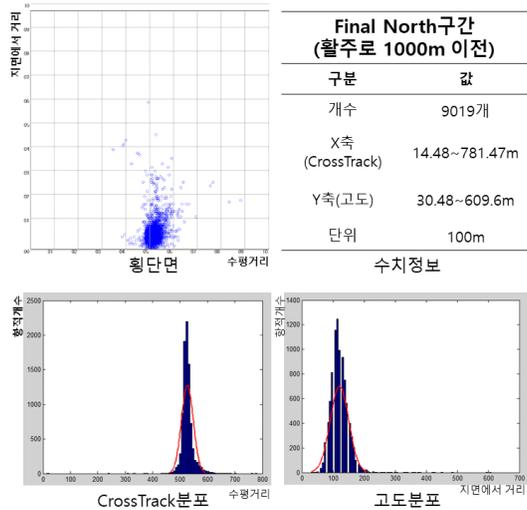


Fig. 8. Cross-section distribution (Final North segment)

각 구간 모두 CrossTrack 및 고도분포가 정규분포 형태를 나타내고 있다. CrossTrack 분포는 Downwind구간이 Final구간보다는 횡적 퍼짐이 넓은 분포를 보이고 있으나, 역시 정규분포형태를 보인다 (Fig. 9 참조).

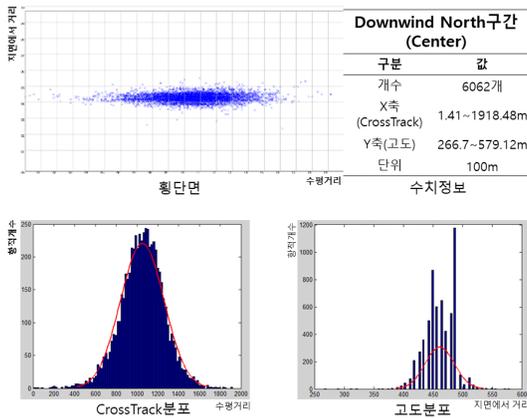


Fig. 9. Cross-section distribution (Downwind North segment)

Approach구간도 CrossTrack에 있어서 Fig. 10과 같이 정규분포의 형태를 보여주고 있다. Downwind구간보다 거친 분포를 보이는 것은 자료의 개수 차이이며, 그럼에도 분포의 형태를 분석하기에는 무리가 없다. 각각의 퍼짐의 차이는 시계비

행을 위한 참조방식이 활주로, 활주로 참조, 특정 지점 참조와 같은 지향점의 명확성에 기인한 것으로 분석되었다.

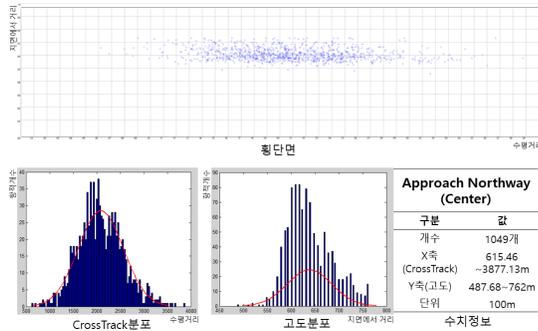


Fig. 10. Cross-section distribution (Approach Northway segment)

수직(고도)분포를 Gauss함수로 생성하면, Table 3과 같은 분포를 대표하는 수식이 생성된다. 이 수식 중 특히 Approach구간에서 R-square가 0.8410, RMSE는 10.954로 나타나, 해당 함수식이 구간 의 고도분포를 의미 있게 설명하고 있음임을 확인할 수 있다.

Table 3. Modelling of track distribution (Cross and vertical section)

함수식 (Gauss Mode)		$f(X) = a \cdot \exp(-(x - b) / c)^2)$	
구간	상수값	R-square (편차)	RMSE
Final North	a = 1,133 b = 116.7 c = 33.49	0.9854	41.469
Final South	a = 1,155 b = 121.8 c = 32.34	0.9763	53.154
Downwind North	a = 725.5 b = 5.436 c = 36.89	0.7354	157.614
Downwind South	a = 791.8 b = -6.467 c = 29.41	0.9538	62.316
Approach North	a = 73.56 b = 16.44 c = 58.52	0.8410	10.954

* RMSE: Root Mean Squared Error

이러한 수식은 연구대상 공항에서 시계비행로를 따라 비행한 VFR 항공기들이 어느 정도의 3차원 공간을 활용하였는지 유추할 수 있고, 이를 통해 해당 지역에서의 항공기 운항특성과 공역과의 상관관계를 분석할 수 있으리라 판단된다.

Table 4. CrossTrack distribution of cross-section (each segments)

구분	Final North	Final South	D/W North	D/W South	APP. North
개수	9,019개	9,019개	6,062개	5,539개	1,049개
표준 편차	21.61m	19.09m	210.08m	163.93m	479.76m
68.27%(1σ)	±30.00m	±26.00m	±206.00m	±149.00m	±472.00m
95.45%(2σ)	±67.00m	±48.00m	±439.00m	±338.00m	±1,046.00m
99.73%(3σ)	±131.00m	±104.00m	±786.00m	±776.00m	±1,602.00m

Table 5. Vertical distribution of cross-section (each segments)

구분	Final North	Final South	D/W North	D/W South	APP. North
개수	9,019개	9,019개	6,062개	5,539개	1,049개
표준 편차	29.78m	30.16m	24.72m	22.61m	46.87m
68.27%(1σ)	±75.29m	±83.29m	±29.20m	±22.80m	±46.40m
95.45%(2σ)	±113.29m	±121.29m	±45.80m	±45.80m	±120.60m
99.73%(3σ)	±227.29m	±205.29m	±90.20m	±75.80m	±151.60m

5개 위치에 대한 분석값의 표준편차 및 분포 정보를 비교하면 CrossTrack분포는 Final구간과 Downwind구간에서 편차값이 10배 정도의 차이를 보이지만, 수직(고도)분포는 각 구간에서 의미 있는 차이를 나타내지 않았다.

V. 결론

본 연구는 교통장주를 기반으로 시계비행로의 항적분포를 레이자료를 활용하여 분석 및 수치화한 것으로, 결과는 정규분포의 형태를 보이고 있으나, 구간별 퍼짐차이는 뚜렷하였다. 이는 구간별 비행로중심선에 밀집되어 있는 정도가 육안 참조점이 비행진로에 어느 정도 명확성을 부여하는가에 기인한 것으로 분석되었다. 다만, 특정 공항에서의 혼련용 시계비행항공기를 대상으로 한 점과 분석된 항적자료가 2개월치라는 연

구범위의 한계를 고려할 때, 시계비행 조종기술과 항공기 성능차이 등에 따른 VFR 항공기의 항적분포가 모든 장주비행 환경에서 동일하게 적용될 수 없음은 본 연구의 한계이다.

그러나 시계비행로의 물리적 공간 추정연구, 비행로간 적정 이격거리 제안 등 공역구조를 분석하고 설정할 때, 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 공항 장애물제한표면과의 상관관계 등과 같은 항공학적 검토 및 위험 평가를 할 때 적용할 수 있는 방법론 중 하나가 될 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Land, "Infrastructure and transport", Press Release-Revision of Altitude Limits around Airport, 2019.04.
- [2] <http://ais.casa.go.kr/>, Aeronautical Information Publication (ENR 1.2 VISUAL FLIGHT RULES)
- [3] Hanseo University, Manuals of the Flight Procedures for Taejeon airfield, 2019.
- [4] Kim Y. K. et al. 5, "A study on route calculation algorithm for effective air traffic flow management", The Journal of KoNI, 14(2), 2010.
- [5] Ku S. K. et al., "The deviation distribution of target on the ILS final approach segment using ADS-B message", The Journal of KoNI, 19(5), 2015, pp.403-410.