

인천국제공항 초기접근구역에서의 분리 상실 현황 분석

Analysis Loss of Separation at Incheon International Airport Initial Approach Segment

한성민^{1*} · 박배선¹ · 이학태¹
¹인하대학교 항공우주공학과

Seongmin Han^{1*} · Baeseon Park¹ · Hak-Tae Lee¹

¹Department of Aerospace Engineering, Inha University, Incheon, Korea

[Abstract]

Safety is the most important aspect of air traffic. In order to operate safely, aircraft must maintain a safe distance from other aircraft, and failure to do so can lead to serious safety issues, such as being affected by wake vortices or mid-air collisions. This phenomenon is called loss of separation, and the standard of separation varies depending on the airspace. In this paper, we present the current status of aircraft separation in the approach section of Incheon International Airport, the busiest airport in Korea. ADS-B navigation data was used to calculate the LOS, and it was calculated by expanding the scope to aircraft at risk of LOS using separation performance rather than just distance. The calculated LOS was classified by combining and categorizing flights based on the direction of travel on the landing runway and approach.

I. 서론

항공 교통 분야에서 가장 중요한 부분은 안전이다. 안전한 항공 운항을 위해서는 항공기는 다른 항공기와 안전거리를 지켜야 한다. 안전거리를 지키지 않는다면 후류 와류 난기류의 영향을 받거나 공중 충돌이 일어나는 등 심각한 안전 문제로 이어질 수 있다 [1].

항공기간의 안전거리 미분리 현상을 LOS (loss of separation)이라 하며 운항하는 항공기간의 안전거리 미분리가 일어나지 않게 항공기를 제어하는 기존 연구들과는 다르게[2], 본 논문에서는 우리나라 공항에 착륙할 때 발생하는 LOS의 현황을 보여주고자 한다.

가장 교통량이 많은 인천국제공항에 착륙하는 항공기들을 대상으로 하였으며 2019년 1년간의 항적 데이터를 이용하였다. 단순히 거리 기준으로 LOS만을 판별하지 않고 분리 성능 (SC; separation conformance)을 이용하여 LOS 발생 위험이 있는 항공기를 판별하고, 이를 착륙 항공기의 궤적에 따라 분류하였다 [3].

2장에서는 사용된 항적 데이터와 정제 기준에 대하여 설명하고, 3장에서는 분리 성능을 이용한 LOS 산출 과정과 결과를 설명한다. 4장에서는 착륙 항공기의 궤적을 분류하는 과정을 설명하고, 5장에서는 항적에 따른 LOS 결과를 보여준다. 마지막으로 6장에서는 결론을 제시한다.

II. 항적 데이터

* Corresponding Author

항적 데이터는 과거 항공 교통량이 줄어들기 이전 2019년 1년간의 ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast) 데이터를 사용하였으며 1초 단위로 보간하였다. 인천국제공항의 초기접근 구간 (IAS; initial approach segment)에 존재하는 항공기를 확인하기 위해 공항 중심으로부터 10 NM - 15 NM 사이의 항적 데이터만을 추출하였으며 복행 과정을 없애기 위해 도착 활주로까지 비행거리가 20 NM 이내인 지점까지만 사용하였다. 그림 1은 위 기준으로 정제한 데이터 일부를 나타낸 것이다.

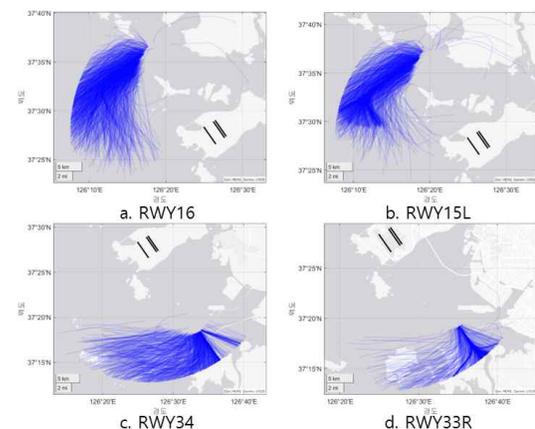


그림 1. 활주로별 접근구간 정제 결과

III. 분리 성능을 이용한 LOS 산출 과정

터미널 영공 (terminal airspace)에서 항공기간 수평거리가 3 NM

이내이고 수직거리 1000 ft 이내이면 LOS가 발생한 항공기이다. 본 논문에서는 분리 성능을 이용하여 LOS가 발생할 위험이 있는 항공기까지 범위를 넓혀 산출하였다. 분리 성능이 1 이하이면 LOS라 판단하였다.

$$LC = \frac{\text{lateral separation [NM]}}{3NM} \quad (1)$$

$$VC = \frac{\text{vertical separation [ft]}}{1000ft} \quad (2)$$

$$SC = \sqrt{\frac{(LC)^2 + (VC)^2}{2}} \quad (3)$$

식 1과 2는 수평 성능 (LC; lateral conformance)과 수직 성능 (VC; vertical conformance)을 나타낸다. 식 3은 수평 성능과 수직 성능을 이용하여 분리 성능을 보여준다. 분리 성능이 1보다 작아지면 LOS가 발생할 위험이 있다고 판단했다.

분리 성능은 같은 시간에 기준 범위에 존재하는 항공기들을 대상으로 계산하였다. 위에서 정제한 데이터를 2019년 01월 01일 00시 00분 00초부터 2019년 12월 31일 11시 59분 59초까지 1초마다 기준 범위에 존재하는 항공기를 추출하여 분리 성능을 계산하였다. 그림 2는 산출 과정을 보여주며 그림 3과 표 1은 산출 결과를 보여준다.

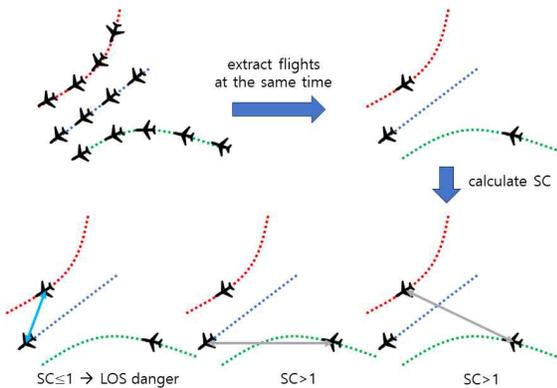


그림 2. LOS 산출 과정

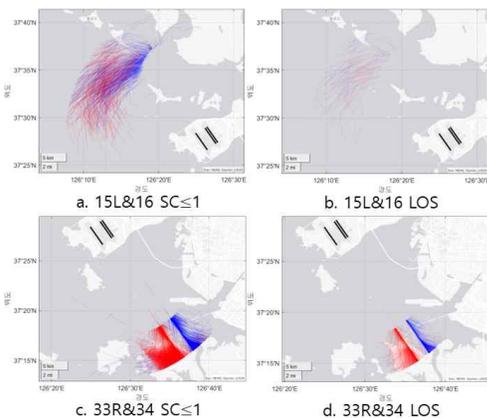


그림 3. LOS 산출 결과

그림 3은 LOS 산출 결과를 지도위에 도식한 것이다. 분리 성능이 1 이하일 때 두 궤적을 붉은색과 푸른색으로 나누어 도식하였다.

표 1. LOS 산출 통계

Arrival RWY	Arrival flight	LOS(SC ≤ 1)	LOS(actual)
15L&16	46940	766	96
33R&34	149894	8641	2595

표 1에서 33R 활주로와 34 활주로에 착륙하는 항공기수가 15L 활주로와 16 활주로에 착륙하는 항공기수보다 약 3배 많으며, 분리 성능이 1 이하인 경우의 수는 10배가 넘는 것을 볼 수 있다. 실제 LOS가 발생하는 비율도 33R 활주로와 34 활주로에 착륙하는 항공기가 더 큰 것을 볼 수 있다.

IV. 착륙 활주로 방향 별 LOS 분류

그림 1에서 착륙하는 활주로의 방향에 따라 접근구간에서 궤적이 다른 것을 볼 수 있다. 15L 활주로와 16 활주로에 착륙하는 항공기들은 대부분 우 방향으로 선회하는 반면, 33R 활주로와 34 활주로에 착륙하는 항공기들은 여러 방향에서 접근한다. 착륙하는 활주로의 방향에 따라 다음 그림과 같이 분류하였다.

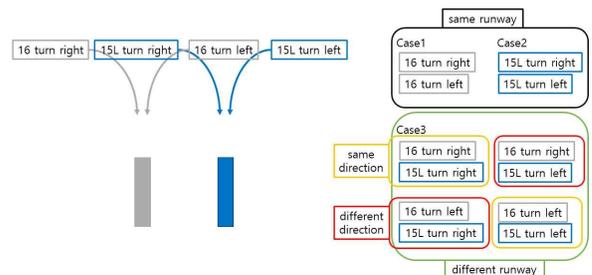


그림 4. 15L & 16 활주로 착륙 항공기 분류 방법

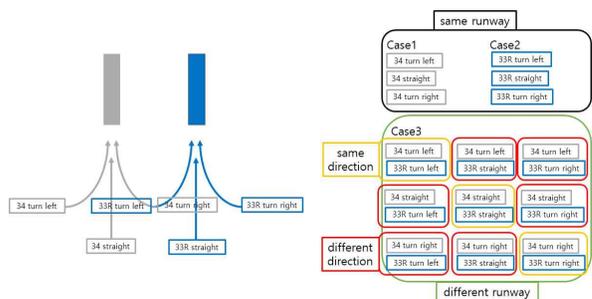


그림 5. 33R & 34 활주로 착륙 항공기 분류 방법

그림 4는 15L 활주로와 16 활주로에 착륙하는 항공기를, 그림 5는 33R 활주로와 34 활주로에 착륙하는 항공기를 분류한 것이다. 과거 연구 알고리즘 이용하여 비행거리가 15 NM 남은 지점에서 착륙 활주로까지 이탈 거리가 100 m 이내이며 직진, 15 NM

지점에서 착륙 활주로 좌에 위치하면 좌 방향 선회, 우에 위치하면 우 방향 선회로 판단하였다 [4]. 착륙하는 활주로의 조합에 따라 3개의 경우로 분류하였으며, 서로 다른 활주로에 착륙하는 case 3은 진행 방향의 조합에 따라 더 세세하게 분류하였다.

V. 분류 결과

4장에서 진행 방향으로 분류한 총 항적의 수는 표 2와 같다.

표 2. 진행 방향별 항공기 수

Arrival RWY	Turn right	Straight	Turn left
15L	33602	0	137
16	13185	0	16
33R	34791	54658	17723
34	6041	10720	25961

3장에서 산출한 LOS를 4장에서 제시한 기준으로 분류하면 다음과 같다.

표 3. 15L & 16 활주로 LOS 분류 결과

case	Number of Event(SC ≤ 1)				
	case 1 (15L)	63			
case 2 (16)	9				
case 3 (15L & 16)				16	
				right	left
	15L	right	691	1	
		left	0	2	

표 4. 33R & 34 활주로 LOS 분류 결과

case	Number of Event(SC ≤ 1)				
	case 1 (34)	60			
case 2 (33R)	94				
case 3 (33R & 34)				33R	
				left	straight
	34	left	325	1905	2578
		straight	67	1564	1486
		right	34	180	238

15L 활주로의 16 활주로의 착륙하는 항공기들은 대부분 우 방향 선회를 하며, 서로 다른 활주로에 착륙할 때 LOS가 많이 발생했다. 표 5는 33R 활주로의 34 활주로의 착륙하는 항공기의 case 3부분을 비율로 나타낸 것이다. 하나의 LOS가 발생한 것은 한 쌍의 항공기가 발생한 것이므로 비율은 식 4를 이용하였다. 식 4에서 t_i 와 t_j 는 진행 방향별 항공기 수, LOS_{ij} 는 진행 방향이 t_i 와 t_j

일 때 LOS가 발생한 수, p_{ij} 는 LOS가 발생한 비율이다.

$$p_{ij} = \frac{LOS_{ij} \times 2}{t_i + t_j} \times 100 \quad (4)$$

표 5. 33R & 34 case3의 LOS 비율

percentage(%)	33R			
	left	straight	right	
34	left	1.49	0.81	1.07
	straight	2.29	0.99	1.43
	right	2.74	1.07	1.59

표 4에서 33R 활주로의 우 방향으로 선회하여 착륙하는 항공기와 34 활주로의 좌 방향으로 선회하여 착륙하는 항공기의 LOS 발생 수가 가장 많았다. 단순하게 착륙하는 항공기의 수가 증가하면 LOS 발생 수도 증가함을 알 수 있다. 하지만 표 5에서는 33R 활주로의 좌 방향으로 선회하여 착륙하는 항공기와 34 활주로의 우 방향으로 선회하여 착륙하는 항공기의 LOS 비율이 가장 높음을 알 수 있다. 표 5에서 33R 활주로 기준으로 직진하는 항공기의 LOS 비율이 가장 적고, 좌 방향 선회를 하는 항공기의 LOS 비율이 가장 큰 것을 확인할 수 있으며, 34 활주로 기준으로 좌 방향 선회하여 착륙하는 항공기의 LOS 비율이 가장 적고, 우 방향 선회하여 착륙하는 항공기의 LOS 비율이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

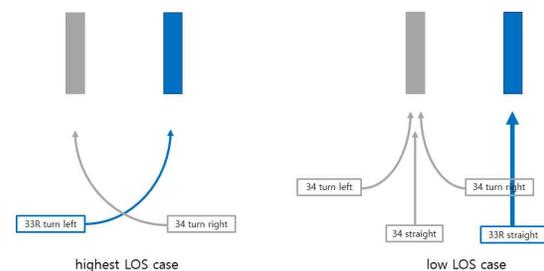


그림 6. 가장 높은 LOS 비율과 낮은 LOS 비율의 진행 방향

IV. 결론

본 논문에서는 ADS-B 항적 데이터를 이용하여 인천국제공항에 착륙하는 항공기의 접근구간에서 LOS 현황을 확인하였다. LOS를 판별하는 방법으로 단순히 거리 내에 항공기가 있는 것이 아닌, 분리 성능을 이용하여 LOS 발생 위험이 있는 항공기까지 범위를 넓혀 산출하였다. 접근구간에서 진행 방향에 따라 항적을 분리한 뒤 분류된 항적을 조합하여 여러 경우에서의 LOS 현황을 확인하였다.

15L과 16 활주로의 착륙하는 경우와 33R과 34 활주로의 착륙하는 항공기를 비교하면 착륙하는 항공기의 수가 많아질수록 LOS 발생 비율이 높아짐을 알 수 있다.

33R 활주로와 34 활주로의 case 3에서 33R 활주로에 좌 방향 선회를 하여 착륙하는 항공기와 34 활주로에 우 방향 선회를 하여 착륙하는 항공기의 조합이 가장 높은 LOS 비율을 나타낸다. 이는 그림 6과 같이 진행 방향이 교차하기 때문이라 판단한다.

33R 활주로 기준으로 직진하여 착륙하는 항공기의 경우 34 활주로의 진행 방향과 관계없이 가장 적은 LOS 비율을 보여준다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부의 ‘빅데이터 기반 항공안전관리 기술개발 및 플랫폼 구축 (22BDAS-C158275-03)’ 연구의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] Skybrary. Loss of Separation [Internet]. Available: <https://skybrary.aero/articles/loss-separation>
- [2] Erzberger, Heinz, et al. "Algorithms for control of arrival and departure traffic in terminal airspace." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of aerospace engineering*, 230.9, pp. 1762-1779, 2016.
- [3] Saam Ahmadi, and Andrew K. Hunter, Data Requirements for Deriving 5 Safety Metrics: Support Services for the Big Data-Based Aviation Safety Technology Development and Data Management Platform Construction Project, MITRE Corporation, Technical Report MP210997, November, 2021.
- [4] S. M. Han, B. S. Park, and H. T. Lee, "Development of Final Approach Overshoot Calculation Algorithm," *Proceeding of the 2023 KSAS Spring Conference*, pp. 1019-1020, 2022.