

ADS-B를 이용한 착륙 항공기의 활주로 점유 시간 분석

Analysis of Runway Occupancy Time Using ADS-B Message about Landing Airplane

구성관¹ · 백호종^{2*}

¹한서대학교 항공학부 항공레저산업학과

²한국항공대학교 항공교통물류학부

SungKwan Ku¹ · Hojong Baik^{2*}

¹Department of Aviation Leisure & Industry Management, School of Aeronautical Science, Hanseo University, Chungcheongnam-do 32158, Korea

²School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

[요 약]

활주로 및 유도로는 항공기가 이착륙하기 위한 기본 시설로서, 활주로 처리 용량은 공항의 수용 능력을 결정하는 주요 지표 중 하나이다. 항공기의 활주로 점유 시간은 이러한 활주로 처리 용량에 영향을 미치는 요소이다. 활주로 점유시간 확인을 위해서는 공항의 지상 감시 항적자료를 분석하여 항공기가 사용한 유도로를 확인하고 각 지점의 통과 시간을 측정하는 것이 일반적인 방법이다. 본 연구는 항공기에서 송신하는 ADS-B 메시지를 이용한 착륙 항공기의 활주로 점유 시간에 대한 연구로 착륙 항공기의 활주로 점유 시간에 대한 분석과 고속 탈출 유도로를 포함한 활주로 사용 이력에 대한 분석을 수행 하였다. 분석 결과 공항의 구조로 인하여 동일한 활주로를 사용할 때에도 착륙 방향과 항공기 등급에 따라 활주로 점유시간이 차이가 나는 것을 확인하였다. 또한 분석된 활주로 점유시간은 항공교통시뮬레이션을 위한 기본 자료로 사용될 수 있을 것이다.

[Abstract]

Runway and taxiway is base facilities for aircraft take off and landing and runway capacity is one of major factor for airport capacity. Runway occupancy time is affect on the runway capacity. The identification of aircraft using taxiway by analysis of airport ground surveillance data and the measurement of pass time on the points is general method for the confirmation of the runway occupancy time. This study is runway occupancy time analysis of landing airplane using ADS-B message, in this study we surveyed landing aircraft runway occupancy time and analysis of serviced record using taxiway include rapid exit taxiway. The result of analysis is to confirm the different of landing direction and aircraft category on the same runway caused by structure of airport. Also the result of runway occupancy time analyzed data, it is base input data for the air transportation simulation.

Key word : Runway occupancy time, Rapid exit taxiway, Trajectory analysis, Automatic dependent surveillance - broadcast, Airfield surveillance.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.167>



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 13 April 2016; Revised 25 May 2016
Accepted (Publication) 24 June 2016 (30 June 2016)

*Corresponding Author; Hojong Baik

Tel: +82-2-300-0373

E-mail: hbaik@kau.ac.kr

I. 서 론

활주로 및 유도로는 항공기가 이착륙하기 위한 기본 시설로서, 활주로 처리용량은 공항의 수용 능력을 설정하는 주요 지표 중 하나이다[1]. 이착륙 하는 항공기는 이착륙 단계에서 안전성을 보장하기 위하여 항공기간에 일정 거리를 분리된 상태로 운영하게 되며, 분리된 거리 이내에는 해당 항공기가 활주로를 사용하고 있는 것으로 취급하여 다른 항공기의 사용을 금지하고 있다.

일반적인 항공기 이착륙 단계에서 활주로 사용은 ‘도착 항공기 착륙접근 - 출발 항공기 활주로 진입대기 - 도착 항공기 착륙 - 출발 항공기 활주로 진입 - 도착/착륙 항공기 활주로 이탈 - 출발 항공기 이륙 활주 시작’ 이 반복되는 순서로 이루어진다. 이때 착륙 항공기가 활주로를 진입한 후 유도도로로 이탈까지 걸리는 시간인 활주로 점유시간 (ROT : runway occupancy time)은 활주로 처리 용량과 관련된 중요 지표이다. 이는 활주로 1분을 운영하는 소형 공항뿐만 아니라, 2분 이상의 활주로를 운영하는 대형 공항의 경우도 활주로 용량에 중요하게 영향을 미친다.

각 공항 운영자 및 항공 당국은 활주로의 효율적인 운영을 위한 항공기의 활주로 점유 시간을 줄여야할 필요성에 의해, 착륙 항공기가 빠른 속도로 활주로를 이탈하는데 필요한 고속 탈출 유도도로 (rapid exit taxiway)를 비행장 설계 시 적용한다[2]. 또한, 공항 운영 중 활주로 용량 증대 필요성에 의해, 운영 중인 활주로에도 고속 탈출 유도도로 증설을 통한 활주로 효율성을 증대하기도 한다. 이때는 실제 착륙항공기에 대한 활주로 및 유도도로 사용 이력 관리와 분석을 통하여 적절한 유도도로 위치 선택이 필요하며, 이는 비용 대비 효과를 극대화 할 수 있는 방법이다.

본 논문은 항공기 항적 자료를 사용하여 항공기의 활주로 점유 시간을 측정하고, 유도도로 사용 내역 등에 대한 운영 이력 분석을 수행하였다. 사용한 항적 자료는 GNSS (global navigation satellite system) 항행장비의 일종으로 항공기가 자신의 위치 정보 - 위경도 및 고도 등을 주변 항공기 또는 지상의 관제 시설에서 확인할 수 있도록 지속적으로 송신하는 ADS-B (automatic dependent surveillance - broadcast) 신호를 사용하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 활주로 개요, 활주로 점유시간의 정의 등과 점유시간 단축을 위한 고속 탈출 유도도로에 대하여 살펴보고, 3장에서 본 연구를 위한 ADS-B 메시지 및 데이터 수집 방법과 분석 과정에 대해서 설명한다. 4장에서는 실제 데이터의 분석과 결과를 기술한 후, 5장에서 결론을 도출하였다.

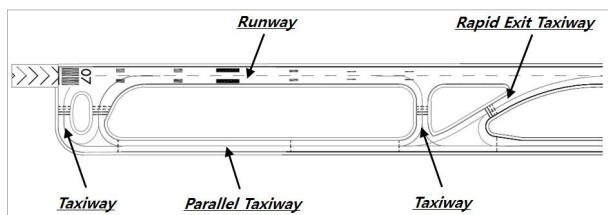


그림 1. 활주로의 구조
Fig. 1. Runway and taxiway.

II. 활주로 및 활주로 점유 시간

2-1 활주로

활주로는 중요 공항 시설 중 하나로서, 항공기가 이착륙하기 위한 일정한 구역의 공간을 의미한다. 항공기의 안전한 이착륙을 위하여 활주로의 사용 중일 때는 다른 항공기, 장비, 사람이 동시에 활주로 구역 내에는 침입하지 못하게 되어 있으며, 만약, 이러한 상황이 발생하는 경우 활주로 침범 (runway incursion)의 준사고 상황으로 별도로 관리하도록 ICAO (International Civil Aviation Organization)는 규정하고 있다.

그림 1은 공항의 활주로 및 유도도로(taxiway)를 포함한 항공기 이동 구역을 보여주는 것이다. 항공기는 지상 이동시에 유도도로로 공항 지상의 장애물 및 다른 항공기와의 충돌 방지를 위하여 유도도로를 따라서만 이동할 수 있다. 이륙을 위한 항공기가 활주로로 시작 지점으로 이동하거나, 착륙 후 계류장 지역 등으로 이동하기 위하여 활주로의 평행하게 구축된 유도도로를 평행유도도로 (parallel taxiway)라 하며, 일부 소형 공항의 경우 평행유도도로가 설치되지 않을 수 있다. 평행유도도로에서 활주로 진입 및 이탈을 위한 유도도로가 일반적으로 활주로의 90°의 교차 각도로 설치되어 있고, 90°의 각도로 연결된 유도도로 이외 항공기가 착륙시 고속의 상태에서 활주로를 이탈하기 위한 고속 탈출 유도도로가 활주로의 사선으로 연결된다.

2-2 활주로 점유 시간

활주로 점유 시간은 공항 활주로의 효율적인 운영과 관련하여 관찰과 분석이 필요한 부분으로, 국외에서는 교통량이 많은 공항을 중심으로 관련 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

활주로 점유 시간의 일반적인 정의는 항공기가 활주로 진입 순간부터 이탈 순간까지 걸리는 시간을 측정하는 것이다[3], [4]. 즉, 그림 2와 같이 활주로의 절대적 구역에 진입한 순간부터 이탈 순간까지를 의미하며, 선행 연구 등에서는 감시 장비의 측정시간 간격에 의한 오차를 고려하고, 활주로 이탈 여부를 명확히 식별하기 위해 착륙 후 활주로를 25 ft 벗어난 시점까지의 시간을 측정하였다. 또한, 착륙항공기와 이륙항공기에 대한 활주로 점유시간을 구분하고, 활주로 처리 용량에 영향을 미치는 착륙항공기의 점유시간에 대해서만 중점적으로 연구하였다.

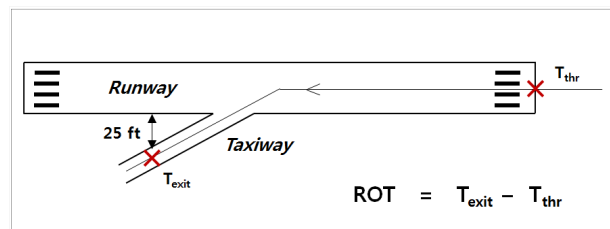


그림 2. 활주로 점유 시간 정의
Fig. 2. Defined of runway occupancy time.

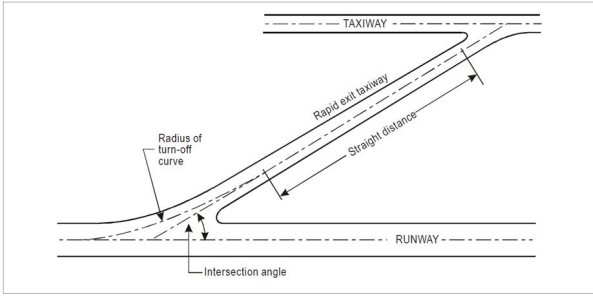


그림 3. 고속 탈출 유도도로[6]
Fig. 3. Rapid exit taxiway[6].

항공기의 크기가 커질수록 착륙 접근 속도는 증가하며, 이로 인하여 착륙 후 감속에 필요한 시간이 증가하게 된다. 이에 따라 활주로 점유 시간은 항공기 크기에 따라 차이를 보일 수 있으며, 이전에 수행된 연구 등에서는 데이터 수집을 위한 공항에서 운영되는 항공기의 후류 요란 등급에 따라 점유시간이 일부 차이날 수 있음을 제시하였다[5].

또한, 활주로 점유 시간은 활주로 표면 상태 등과 같은 환경적인 외부 요인에 따라 차이를 보인다. 항공기가 착륙 후 최대 제동을 할 수 있는 마른(dry) 상태의 활주로 표면보다, 바퀴의 제동성능이 저하될 수 있는 표면이 젖은(wet) 상태의 활주로에서는 항공기 접근 카테고리과 상관없이 활주로 점유시간이 증가하였다[5].

2-3 고속 탈출 유도도로

고속 탈출 유도도로는 활주로에 착륙한 항공기가 완전히 감속하지 않은 고속의 상태에서 활주로를 이탈하기 위하여 활주도에 사선으로 연결된 유도도로를 말하는 것으로, 그림 3과 같은 형태를 갖는다. 항공기가 고속의 지상 활주 상태에서 활주로 이탈이 가능하므로 착륙 항공기의 활주로 점유 시간을 감소시키며, 다음 항공기의 이륙 또는 착륙을 위한 대기 시간을 감소 시켜 활주로 처리 용량을 증가시키게 된다.

표 1. 고속 탈출 유도도로의 설계 권고 기준

Table 1. Recommendation for rapid exit taxiway design.

Contents	Aircraft group code			
	1	2	3	4
Radius of turn-off curve	275 m	275 m	550 m	550 m
Exit speed under wet condition	65 km/h	65 km/h	93 km/h	93 km/h

표 2. 고속 탈출 유도도로의 교차 각이 30°인 경우 최소 직선거리
Table 2. Minimum straight dist when intersection angle 30°.

Contents	Aircraft group code			
	1	2	3	4
Minimum straight distance after curve	35 m	35 m	75 m	75 m

항공기가 고속 탈출 유도도로 진입을 위해 고속의 회전 운동을 하므로 일정한 수준 이상의 회전 반경이 필요하다. 고속 탈출 유도도로와 활주로와의 교차 각도는 25°에서 45° 사이로 설치 가능하나, 30°를 권장 각도로 ICAO에서 명시하고 있다[2], [6]. 또한, 고속 탈출 유도도로 상에서도 항공기는 지속적인 감속이 필요하므로 일정 거리 이상의 직선 구간을 갖도록 권장하고 있다 [2]. 표 1과 표 2는 고속 탈출 유도도로 관련 ICAO 규정으로, 항공기 접근 속도 별로 구분된 그룹에 따라 고속 탈출 유도도로 접속부의 원호 반경, 항공기의 최대 속도 및 고속 탈출 유도도로의 최소 직선거리 등이다[6].

III. 데이터 수집 및 분석 과정

3-1 공항 지상 감시 및 ADS-B

공항 지상 감시는 항공기의 안전한 지상 이동을 위하여 필요한 부분으로 항공기의 이동, 지상 조업 장비 및 필요시 사람의 이동까지 감시가 필요하다. 현재 대부분의 대형 공항에서는 ASDE (airport surface detection equipment)를 사용하여 지상감시를 수행하고 있다. ASDE는 지상의 물체를 탐지하는 레이더의 일종으로, 일반적으로 1초에 1회 회전하는 안테나를 통하여 지상 목적물의 위치를 관제사 등에게 제공하는 장비이다. ASDE를 운영하지 않는 공항은 관제사의 시각 및 조종사의 위치 보고에 의해서 지상 감시를 수행하며, 이는 저시정 과 같은 관제사의 시야가 제한되는 상황에서는 감시의 효율성을 저해시키는 요인이 된다.

ADS-B는 GNSS를 이용하여 항공기 자신의 위치 정보 - 위경도, 고도, 속도, 방향 등을 확인하고, GNSS 사용이 불가능하거나 추가적인 정보가 필요한 경우 항공기에 탑재된 다른 항법 시스템에 의하여 측정된 값을 표준 프로토콜을 따르는 형식의 메시지를 주변에 자동으로 송신하는 시스템이다[7].

항공교통관제 (air traffic control) 시스템에서 ADS-B 운용과 관련된 RTCA (radio technical commission for aeronautics) 규격은 총 3가지이며, 이중 공항 지상감시를 위한 기준은 DO-321 'Safety, performance and interoperability requirements document for ADS-B airport surface surveillance application(ADS-B-APT)'로 정의되어 있다[8]. 그림 4는 DO-321에서 제시한 공항 지상 감시 업무를 위한 감시 기능의 아키텍처이다.

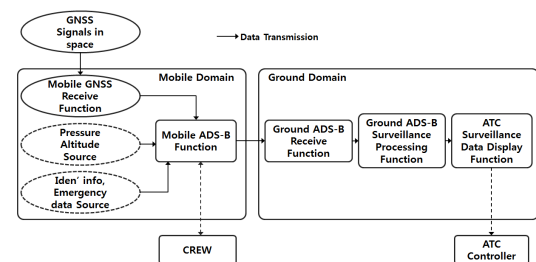


그림 4. DO321 ADS-B 감시 기능 아키텍처
Fig. 4. DO321 ADS-B surveillance architecture.

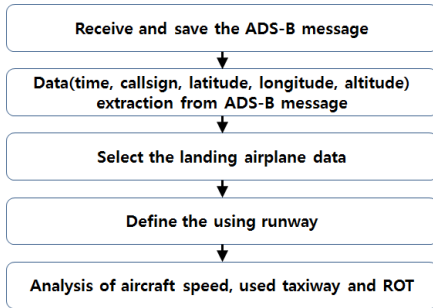


그림 5. 분석 절차
Fig. 5. Analysis procedure.

3-2 분석 방법 및 절차

본 연구의 항적 자료의 수집과 분석에는 그림 5와 같은 절차를 사용하였다. 우선, ADS-B 메시지를 송신중인 모든 항공기의 자료를 수신 및 저장하고, 수신된 전체 자료에서 수신시간, call sign, 위경도, 고도 정보를 추출한 후, 제주국제공항에 도착하는 항공편만 구분하였다. 이후, 각 항공편 별로 활주로 착륙 방향을 구분한 후, 활주로 점유 시간(ROT), 속도, 활주로 이탈 시 사용 유도도로 등의 분석을 수행하였다.

3-3 분석을 위한 ADS-B 항적 자료 수집

분석에 필요한 항공기 ADS-B 항적정보는 2015년 6월 7일 저녁부터 6월 9일 오전까지 국내 공항 중 단일 활주로 이착륙 횟수가 가장 많은 제주국제공항 인근에서 수집하였다. 수신된 데이터는 MATLAB 프로그램을 사용하여 데이터 추출과 분석을 수행하였다. 분석을 위한 코드(code)는 선행 연구에 사용된 것을 활용하여 수정/발전시켜 사용하였다[7].

그림 6은 수신된 ADS-B 데이터 중 제주국제공항 이착륙 항적에 해당하는 일부만 도식한 것이다. 데이터는 ADS-B 메시지를 송신하는 모든 이착륙 항공기 및 공역 통과 항공기에 대해서 수신하였으나, 본 연구를 위해서는 해당 항적 중 분석 범위에 해당하는 제주국제공항 착륙 항공기만 구분하여 사용하였다.

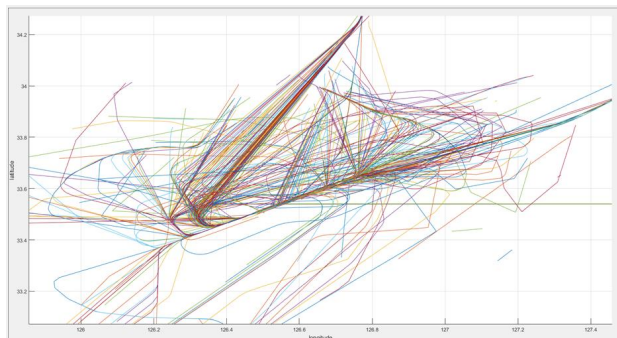


그림 6. 수신된 ADS-B 항적
Fig. 6. Received ADS-B trajectory.

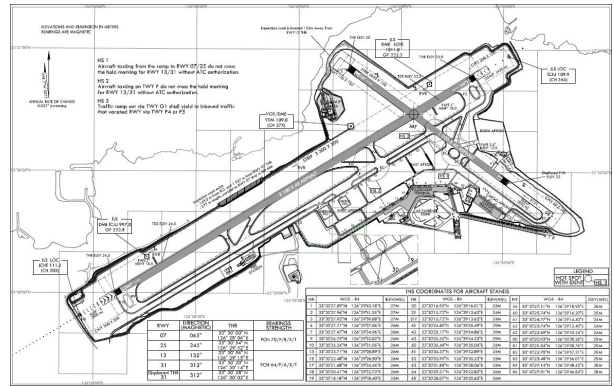


그림 7. 제주국제공항 AIP aerodrome chart
Fig. 7. Jeju international airport AIP aerodrome chart.

IV. 활주로 점유 시간 분석

4-1 제주 공항 유도도로 및 활주로 점유 시간 분석 범위

그림 7은 데이터 수집 시점인 2015년 6월의 제주국제공항의 구조를 보여주는 항공정보간행물 (AIP; aeronautical information publication)의 Aerodrome chart이다. 제주국제공항은 주사용 활주로인 07/25 활주로 이외에 B737급 항공기가 북서쪽 방향의 이륙시 간헐적으로 사용하는 13/31 활주로 등 총 2개의 활주로를 갖고 있다. 2015년 6월의 07/25 활주로에는 착륙 방향별로 1개씩의 고속 탈출 유도도로가 설치되어 있으며, 활주로 07로 착륙한 항공기가 계류장으로 이동하기 위해서 활주위에 연결된 유도도로 이외에 13/31 활주로를 유도도로로 사용하기도 한다.

본 연구에서는 활주로 점유 시간 분석을 위해서 제주공항의 도착/착륙 하는 항공기가 활주로 상공을 진입하는 순간부터 착륙 후 유도도로를 사용하여 활주로 외곽선을 25 ft 이탈할 때까지 소요 시간을 측정하였다. 이는 해외 선행 연구[3],[4]에서 사용한 방법으로 항적 자료를 사용하여 활주로 이탈 여부를 확인하는데 사용하는 방식이다.

항공기 크기에 따른 활주로 점유 시간 차이를 확인하기 위하여 항공교통관제의 항공기 분리 기준에 사용되는 항공기 후류요란 등급 분류를 적용하였으나, 당일 비행편 중 light 등급의 소형 항공기의 운항은 없어 B737 및 A320 급의 medium 등급 및 B767 급 이상의 heavy 등급만 구분하였다. 표 3은 ICAO에서 구분한 항공기 등급 기준이다[9].

표 3. ICAO 후류 요란 항공기 등급
Table 3. Wake turbulence category by ICAO.

Category	Maximum take off weight	Examples of aircraft
light	7,000 kg or less	C172, Caravan
medium	7,000 kg ~ 136,000 kg	B737, A320
heavy	136,000 kg or more	B767, A330, B747

활주로 노면 상태도 활주로 점유 시간에 영향을 주는 요소로서, 활주로 노면이 많은 양의 눈/비 등으로 젖어 있는 경우 항공기 감속 성능을 저하시켜 활주로 점유 시간을 증가시키게 된다. 본 연구의 데이터 수집 기간의 총 강수량은 3.5mm로 활주로 표면은 마른(dry) 상태로 항공기 감속 성능으로 인한 활주로 점유 시간에는 영향을 미치지 않았다.

4-2 분석 항목

제주공항에 착륙을 위한 항공편 중 총 156 편의 항적을 분석에 사용하였다. 해당 시간 동안 착륙한 모든 항적에 대한 수집을 수행할 수 없었는데, 이는 국내에서 운항하는 모든 항공기가 ADS-B 장비를 장착하지 않기 때문이며, 일부 항적은 송신한 위치 정보의 오류(11 편) 등으로 인하여 분석에 사용할 수 없었다. 해당 156편의 모든 총 항적 점의 수는 18,067개 이다.

그림 8은 활주로 07로 착륙한 60개 비행편의 항적 중 분석 범위의 항적을 도식한 것이고, 그림 9는 활주로 25에 96개 비행편의 항적 중 분석 범위의 항적을 도식한 것이다. 대부분의 항공편이 착륙 후 고속 탈출 유도도를 사용하여 이탈한 것을 확인할 수 있으나, 착륙 방향에 따라 고속 탈출 유도도의 사용 빈도가 상이함도 확인할 수 있다.

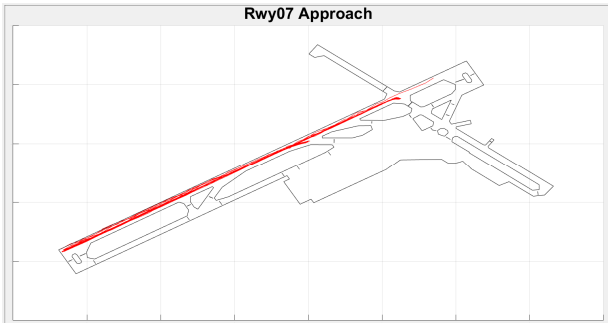


그림 8. 활주로 07 착륙 항공기 항적
Fig 8. Trajectory of runway 07 landing aircraft.

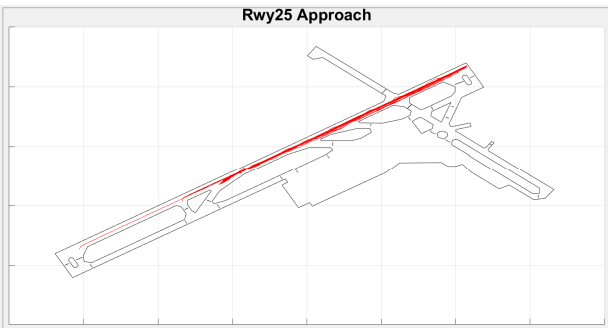


그림 9. 활주로 25 착륙 항공기 항적
Fig 9. Trajectory of runway 25 landing aircraft.

표 4. 활주로 07 활주로 점유 시간

Table 4. Runway occupancy time of runway 07.

Category	Count	Mean	Std	Max	Min
medium	33	55.2 s	13.5 s	83 s	36 s
heavy	3	58.7 s	18.4 s	89 s	43 s

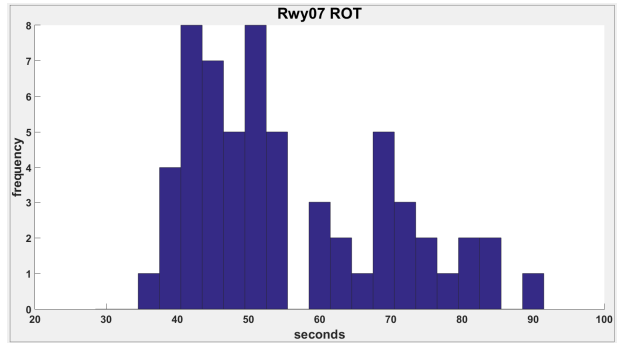


그림 10. 활주로 07 활주로 점유 시간 히스토그램
Fig. 10. Histogram of runway 07 runway occupancy time.

4-3 활주로 점유 시간 분석

활주로 점유 시간을 활주로와 항공기 카테고리 별로 구분한 것은 표 4 와 표 5 이다.

활주로 07로 착륙한 medium 등급 항공기의 활주로 점유 시간은 평균 55.2초, 표준편차 13.5초, 최대 83초, 최소 36초 이고, heavy 등급 항공기의 활주로 점유 시간은 평균 58.7초, 표준편

표 5. 활주로 25 활주로 점유 시간

Table 5. Runway occupancy time of runway 25.

Category	Count	Mean	Std	Max	Min
Medium	80	43.9 s	6.1 s	64 s	33 s
Heavy	11	45.4 s	7.2 s	62 s	37 s

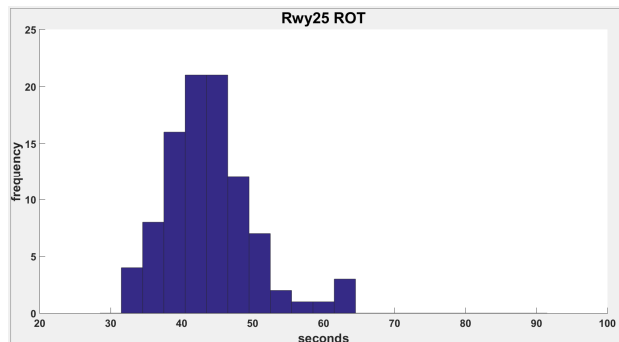


그림 11. 활주로 25 활주로 점유 시간 히스토그램
Fig 11. Histogram of runway 25 runway occupancy time.

차 18.4초, 최대 89초, 최소 43초 이다. 그림 10은 활주로 07의 활주로 점유 시간 히스토그램이다.

활주로 25로 착륙한 medium 등급 항공기의 활주로 점유 시간은 평균 43.9초, 표준편차 6.1초, 최대 64초, 최소 33초 이고, Heavy 등급 항공기의 활주로 점유 시간은 평균 45.4초, 표준편차 7.2초, 최대 62초, 최소 37초 이다. 그림 11은 활주로 25의 활주로 점유 시간 히스토그램이다.

4-4 사용 유도로 분석

그림 12는 활주로 07로 착륙한 항공기의 항적으로 측정된 위치(x축) 및 속도(y축) 그래프이다. 항공기가 착륙 후 감속을 실시하여 활주로 시단으로부터 1,750 m 위치에 있는 고속 탈출 유도로 진입이 가능한 경우 해당 유도로를 사용하였고, 불가능한 경우 2,634 m 위치의 13/31 활주로를 이용한 것을 확인할 수 있다. 이외 1대의 항공기는 활주로 말단까지 이동하였다. 표 6은 활주로 07로 착륙한 항공기의 유도로 사용 비율이다. 활주로 07로 착륙한 전체 항공기 중 60 % 항공기는 고속 탈출 유도로를 사용하였고, 38.3 % 항공기는 13/31 활주로를 사용하였다.

그림 13은 활주로 25로 착륙한 항공기의 항적으로 측정된 위치(x축) 및 속도(y축) 그래프이다. 활주로 시단으로부터 1,750 m 위치에 있는 고속 탈출 유도로로 진입이 가능한 경우 해당 유도로를 사용하였고, 불가능한 경우 다음 유도로인 2,235 m 위치의 P7을 이용한 것을 확인할 수 있다. 이외 1대의 항공기는 활주로 말단까지 이동하였다. 표 7은 활주로 25로 착륙한 항공기의 유도로 사용 비율이다. 활주로 25로 착륙한 전체 항공기 중 94.8 %의 항공기는 고속 탈출 유도로를 사용하였다.

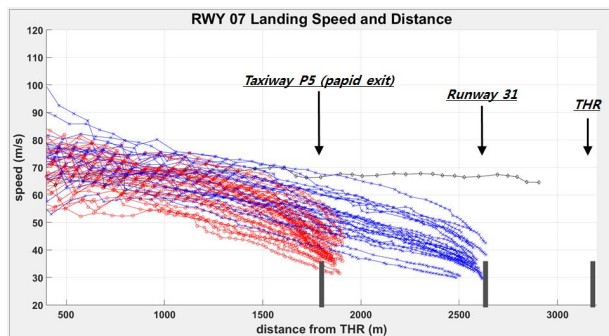


그림 12. 활주로 07 착륙 항공기 위치와 속도 그래프
Fig. 12. Distance and speed of runway 07 landing aircraft.

표 6. 활주로 07 유도로 사용 비율
Table 6. The rate of used taxiway on runway 07.

Category	P5 (1,750 m)	Rwy 13/31 (2,634 m)	Threshold (3,180 m)	Sum
medium	55.0 %	33.3 %	1.7 %	90.0 %
heavy	5.0 %	5.0 %	0 %	10.0 %
sum	60.0 %	38.3 %	1.7 %	100 %

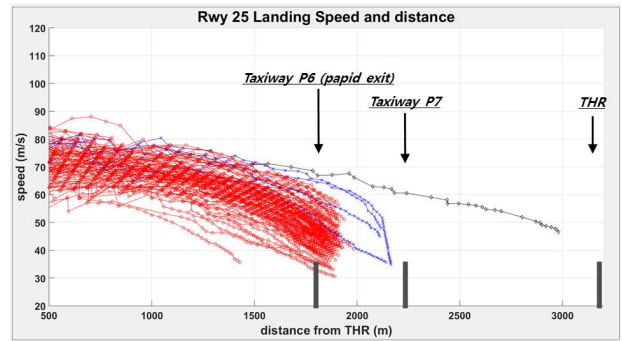


그림 13. 활주로 25 착륙 항공기 위치와 속도 그래프
Fig 13. Distance and speed of runway 25 landing aircraft.

표 7. 활주로 25 유도로 사용 비율
Table 7. The rate of used taxiway on runway 25.

Category	P6 (1,750 m)	P7 (2,235 m)	Threshold (3,180 m)	Sum
medium	83.3 %	4.2 %	1.0 %	88.5 %
heavy	11.5 %	0 %	0 %	11.5 %
sum	94.8 %	4.2 %	1.0 %	100 %

4-5 분석 및 제언

항공기 등급에 따른 활주로 점유 시간 차이를 비교하면 활주로 07 및 활주로 25 모두 heavy 등급의 항공기가 medium 등급의 항공기 보다 약 2.5초의 더 소요 되었으며, 이는 항공기 크기에 따라 활주로 점유 시간이 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

항공기 착륙 방향(활주로 07/25)에 따른 활주로 점유 시간을 비교하면, 활주로 07을 사용할 때의 점유 시간이 활주로 25를 사용할 때보다 평균 약 12초 정도 더 많은 것으로 나타났다. 활주로 25로 착륙하는 경우 대부분의 항공기가 고속 탈출 유도로를 사용하는 반면에 활주로 07로 착륙하는 경우, 고속 탈출 유도로의 사용 비율이 적어지기 때문이며, 이로 인하여 활주로 점유 시간의 표준 편차도 커지는 것을 확인할 수 있다.

이는 제주국제공항의 계류장 위치에 따른 구조적인 차이로 인하여 발생하는 것으로, 착륙 항공기가 계류장으로 이동할 수 있는 접근성 등은 활주로 07로 착륙하는 것이 활주로 25로 착륙하는 것보다 용이하기 때문이다. 즉, 활주로 07로 착륙하는 경우 고속 탈출 유도로를 사용하지 않아도, 그 다음 유도로 또는 활주로 13/31을 사용하는 등 바로 계류장 인근으로 진입할 수 있는 방법이 다양하지만, 활주로 25로 착륙하는 경우 고속 탈출 유도로를 사용하지 않은 경우 계류장으로부터 거리가 멀어지게 되어 지상 이동 시간을 늘어나는 구조이다. 따라서 활주로 25로 착륙하는 경우 계류장에서 가까운 고속 탈출 유도로를 사용해야 지상 이동 시간을 단축하게 된다.

그림 15는 현재 제주국제공항의 유도로 형태로서, 활주로에 수직으로 연결되었던 그림 14의 P4 유도로(2015년 6월)가 P3

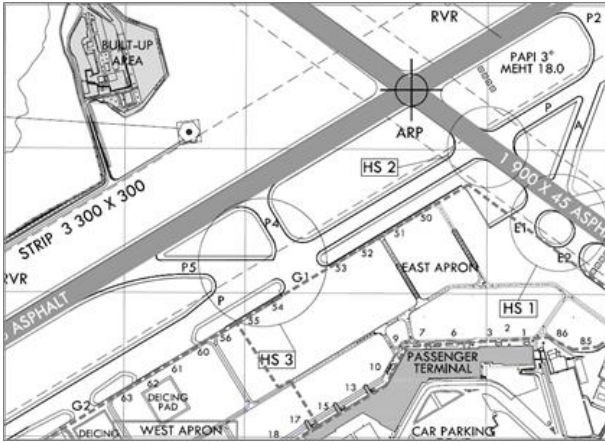


그림 14. 2015년 6월 제주국제공항 계류장 구역 고속 탈출 유도도로
 Fig. 14. Jeju airport apron area rapid exit taxiway on Jun 2015.

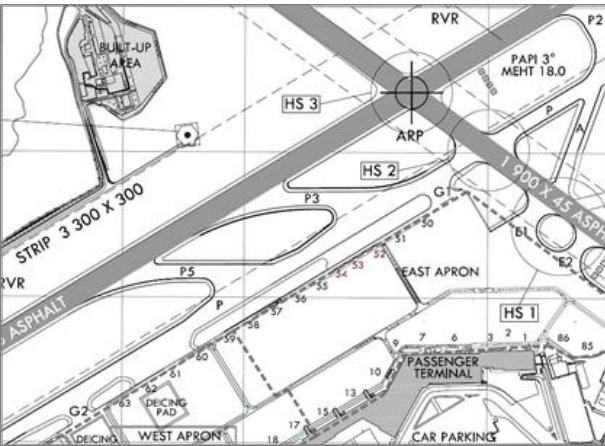


그림 15. 2016년 3월 제주국제공항 계류장 구역 고속 탈출 유도도로
 Fig. 15. Jeju airport apron area rapid exit taxiway on Mar 2016.

고속 탈출 유도도로로 변경된 것을 확인할 수 있다. 활주로 07로 착륙하는 항공기의 경우 2015년 6월에는 고속 탈출 유도도로인 P5를 사용하지 않는 경우 완전히 감속하여야 사용할 수 있는 P4 유도도로 대신 감속의 시간적 여유가 있는 활주로 13/31을 계류장 진입을 위한 유도도로로 사용하여 활주로 점유 시간이 증가 하였으나, 현재는 기존 유도도로를 변경 증설한 고속 탈출 유도도로 P3를 사용하게 되어 활주로 점유 시간이 단축 될 것으로 기대 된다. 이것은 변경된 P3의 유도도로가 활주로 용량 증대를 위하여 적절하게 변경 및 증설된 것으로 판단할 수 있으며, 향후 이로 인한 효과에 대한 연구도 필요할 것이다.

V. 결 론

본 논문은 항공기 항적 자료를 사용하여 항공기의 활주로 점유 시간을 측정하고, 유도도로 사용 내역 등에 대한 운영 이력 분석을 수행하였다. 본 논문에서 사용한 항적 자료는 항공기가 자신의 위치 정보(위경도 및 고도) 등을 주변 항공기 또는 지상의 관제 시설 등에서 확인할 수 있도록 지속적으로 송신하는 ADS-B 신호를 사용하였다. 분석을 위하여 국내 공항 중 단일 활주로 이착륙 횟수가 가장 많은 제주국제공항 인근에서 ADS-B 신호를 수신하여 항적 자료를 수집하였다. 자료 수집 기간 동안 항공기의 감속 성능을 저하시켜 활주로 점유 시간에 영향을 미칠 수 있는 활주로 포면 상태는 마른(dry) 상태를 유지하였다.

활주로 점유 시간을 측정한 결과 활주로 07로 착륙하는 항공기의 경우 medium 등급의 항공기는 평균 55.2초, 표준편차 13.5초, heavy 등급의 항공기는 평균 58.7초, 표준편차 18.4초 이고, 활주로 25로 착륙하는 항공기의 경우 medium 등급의 항공기는 평균 43.9초, 표준편차 6.1초, heavy 등급의 항공기는 평균 45.4초, 표준편차 7.2초로 확인되었다.

사용 유도도로 분석에서 확인할 수 있듯이 고속 탈출 유도도로의 사용 비율은 활주로 25로 착륙하는 경우 전체 항공기의 94.8%인 것에 비하여 활주로 07로 착륙하는 경우 60%로 낮은 편이다. 이것은 첫 번째 고속 탈출 유도도로가 활주로 방향과 관계없이 같이 위치에 있는 조건에서 비교적 많은 차이를 보이는 것이라고 할 수 있으며, 이로 인하여 활주로 07로 착륙하는 경우 더 많은 활주로 점유 시간을 소요하는 것으로 볼 수 있다.

활주로 및 유도도로는 항공기가 이착륙하기 위한 기본 시설로서, 활주로 처리 용량은 공항의 수용 능력을 결정하는 주요 지표 중 하나이다. 항공기의 활주로 점유 시간은 이러한 활주로 처리 용량에 영향을 미치는 요소로서, 항공기 이착륙 단계에서 보다 적은 활주로 점유 시간을 갖는 것은, 다른 항공기의 활주로 사용 기회를 확대하는 효과로 활주로 처리 용량을 증대 시키게 된다.

이러한 관점에서 현재 시행된 제주국제공항 활주로 07의 유도도로 변경 및 고속 탈출 유도도로 증설은 해당 활주로로 착륙하는 항공기의 활주로 점유 시간을 단축하게 되어 활주로 용량 증대를 기대할 수 있을 것이며, 본 연구에서 실시하지 못한 유도도로 증설로 인한 효과에 대해서도 추가 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공기술연구사업 연구비지원(14ATRP-C069188-02)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] FAA AC150/5060-5, Airport capacity and delay, Federal Aviation Administration, Sep. 1983.
- [2] ICAO Doc9157 Part2, Aerodrome design manual - Taxiway, aprons and holding bays, International Civil Aviation Organization, 2005.
- [3] A. G. Hobeika, A. A. Trani, H. D. Sherali and B. J. Kim, "Microcomputer model for design and location of runway exits," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 119, No. 3, pp. 385-401, May 1993.
- [4] V. Kumar, L. Sherry and R. Kicingner, Runway occupancy time extraction and analysis using surface track data, Research report, George Mason University, Jul. 2009.
- [5] D. D. Lee, A. Smith, R. Cassell and B. Abdul-Baki, "NASA low visibility landing and surface operations (LVLASO) runway occupancy time(ROT) analysis," in *Digital Avionics System Conference, 1999. Proceedings 18th*, St Louis: MO, pp 5.D.5-1 - 5.D.5-9 vol.1, Oct. 1999.
- [6] ICAO Annex14, Volume 1, Aerodrome design and operations, , Jul. 2013.
- [7] S. K. Ku, Y. J. Lee and D. W. Shin, "The deviation distribution of target on the ILS final approach segment using ADS-B message," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 5, pp. 403-410, Oct. 2015.
- [8] S. K. Ku and H. J. Baik, "Analysis of ADS-B ground trajectory data using non-aviation approval public data," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 23, No. 4, pp. 6-11, Dec. 2016.
- [9] ICAO Doc8643, Aircraft type designators, International Civil Aviation Organization, Apr. 2015.



구 성 관 (SungKwan Ku)

2014년 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사수료
 2009년 9월 ~ 2014년 2월 : 한국산업기술시험원 기계시스템본부 연구원
 2014년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공레저산업학과 조교수
 ※ 관심분야 : 항공교통, 시험평가인증, 시뮬레이션, 안전성평가



백 호 종 (Hojong Baik)

2000년 : Virginia Tech (공학박사)
 2007년 8월 ~ 2010년 8월 : 미주리 주립대 조교수
 2010년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수
 ※ 관심분야 : 항공교통, 시뮬레이션, 최적화(Optimization), ATM