

활주로 점유 시간 개선의 효과성 예측 분석

Estimated Analysis for Runway Occupancy Time Improvement

박광훈¹ · 강금석¹ · 구성관^{2*}

¹한서대학교 대학원 항공운항관리학과

²한서대학교 항공산업공학과

GwangHoon Park¹ · GumSeock Kang¹ · SungKwan Ku^{2*}

¹Department of Flight Operation and Management, Hanseo University Graduate School, Chungcheongnam-do 32158, Korea

²Department of Aerospace Industrial and Systems Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do 32158, Korea

[요 약]

착륙 항공기의 활주로 점유 시간은 활주로 수용량을 결정하는 중요한 요인이다. 본 연구는 기존 공항의 운영 개선을 위해 활주로 점유시간에 대한 개선 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 개선 방안 도출을 위해서 사례 공항의 특정일에 대한 항공기 운영 현황 데이터를 가지고 개선의 효과성에 대하여 비교 분석을 하였다. 개선안에 대한 분석은 FAA REDIM 모델을 사용하였으며, 모델의 개선 적용 기능을 활용하여 고속탈출유도도가 없는 공항에 고속탈출유도도를 추가함으로써 나타나는 활주로 수용량 개선 효과를 확인하였다. 본 연구의 접근 방법은 활주로 개선 방안의 도출과 효과성에 대한 사전 예측에 적용할 수 있으며, 향후 진행되는 공항 건설 사업 또는 공항의 개선 사업 등에 적용할 수 있는 사례를 제시하였다.

[Abstract]

The runway occupancy time of landing aircraft is an important factor in determining runway capacity. The purpose of this study is to suggest improvement measures for runway occupancy time to improve the operation of existing airports. In order to derive improvement measures, a comparative analysis was conducted on the effectiveness of improvement using aircraft operation status data for specific days at the case airport. The FAA REDIM model was used to analyze the improvement plan, and the improvement application function of the model was used to confirm the effect of improving runway capacity by adding a rapid escape taxiway to an airport without a rapid escape taxiway. This study's approach can be applied to the derivation of runway improvement measures and preliminary prediction of effectiveness, and it presents cases that can be applied to future airport construction projects or airport improvement projects.

Key word : Runway occupancy time, Runway, Taxiway, Rapid Exit Taxiway, REDIM.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.5.666>



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 30 September 2023; Revised 12 October 2023

Accepted (Publication) 23 October 2023 (30 October 2023)

*Corresponding Author; SungKwan Ku

Tel: +82-41-671-6246

E-mail: skku@hanseo.ac.kr

I. 서 론

활주로 및 유도로는 항공기가 이착륙하기 위한 기본 시설로서, 활주로 처리 용량은 공항의 수용 능력을 설정하는 주요 지표 중 하나이다[1]. 그리고 착륙하는 항공기가 활주로를 진입하여 유도도로로 이탈할 때까지 걸리는 시간인 활주로 점유시간(ROT ; runway occupancy time)은 활주로 수용량을 결정하는 중요 지표이다. 일반적으로 공항의 활주로 점유시간은 일정 기간 동안 직접 관측하거나, ADS-B(automatic dependence surveillance - broadcast), 공항지상감시레이더 (ASDE ; airport surface detection equipment) 등의 감시장비를 활용하여 정확한 데이터를 측정하고 관리한다. 따라서 정확한 활주로 점유시간 측정을 위해서는 실제 공항의 활주로에서 항공기가 운영되어야 하지만, 공항의 계획 및 설계 단계에서도 활주로 점유시간을 사전에 예측하여 적용해야 할 필요가 있다. 이를 위해서 실제 운영된 데이터를 기반으로 시뮬레이션 모델을 활용하여 활주로 점유시간을 예측하고 검증하는 연구도 수행되고 있다[2].

공항의 운영 효율성 증가를 위해 운영 개선을 위한 지속적인 업무가 수행되고 있다. 이러한 과정에서 다양한 운영 조건이 검토되며, 기존 공항의 수용량 한계에 대한 검토와 개선 방안 등에 대한 확인도 수행되고 있다. 다만, 일부 군 비행장에서 민간항공기가 운영되는 경우 활주로 수용량 결정의 핵심 요소인 활주로 점유시간은 통계의 한계로 인하여 자체적인 가정을 수립한다고 명시하고 있다[3].

민군 복합 공항의 경우 민간에 할당되는 최대 슬롯은 공항의 최대 수용 능력을 고려하여 군 항공작전에 저해되지 않는 범위에서 국방부와 협조에 따라 결정된다. 다만, 일부 민군 복합 공항들의 경우 민간에 배분된 이착륙 횟수인 슬롯이 활주로의 구조와 규모가 비슷하더라도 크게 차이가 나는 경우가 있다. 이는 해당 공항에서 민간항공기 계류장의 제한된 수용 능력 때문인 경우가 많아 민간항공기 이착륙 횟수의 증대하기 위해 계류장 지역의 주기장 및 터미널의 증설이 필요하나, 동시에 군용 항공기만을 위한 활주로·유도로 형상의 개선 또한 고려해 볼 수 있다. 특히 이 형상의 개선은 항공기의 활주로 점유시간 감소를 통한 타기종 항공기 이용 비율의 확대가 효율적이라고 할 수 있으며, 이를 위해 운영되는 항공기의 성능 등을 고려한 고속탈출 유도도로(RET ; rapid exit taxiway)의 설치 또는 신설이 효율적인 대안이 될 수 있다[4].

본 연구에서는 형태가 유사한 공항의 현재 활주로 점유시간의 비교 분석한 후 고속탈출 유도도로가 없는 공항에서 적절한 위치에 고속탈출 유도도로를 추가함으로써 나타나는 개선 효과를 예측하고자 한다. 본 논문의 구성은 2에서 활주로 수용량과 관련한 선행연구의 수행 및 분석 대상으로 선택한 공항의 현황을 확인하고, 3에서 분석을 위해 적용하는 모델의 설명, 4에서 대상 공항의 개선 효과에 대한 분석을 적용한 후, 5에서 결론을 도출한다.

II. 선행 연구 및 분석 대상 공항

2-1 선행연구 고찰

연구를 위해 국내에서 운영되는 다양한 공항에서 다양한 방법으로 수행된 활주로 수용량과 관련된 선행연구를 분석하였다. 구성관(2016)은 ADS-B 항적데이터를 이용, 제주국제공항에 착륙하는 항공기의 양방향의 활주로 점유시간을 획득한 후 고속탈출유도로(RET)의 증설과 관련한 착륙하는 항공기의 활주로 점유시간 단축 효과를 제시함으로써 정확한 활주로 점유시간 측정 방법 및 활주로 수용 능력 증대 방안을 제안하였다[2]. 인천국제공항공사(2017)는 시뮬레이션 모델을 이용하여 인천국제공항에서 활주로 운영 개수에 따른 활주로 수용량을 연구하여[5] 시뮬레이션을 이용한 정확한 수용 능력의 산정을 시도하였다. 허태성(2003) 등은 활주로 점유시간 예측 소프트웨어를 이용하여 인천국제공항 제3활주로의 활주로 점유시간과 적절한 고속탈출 유도도로의 위치와 개수를 연구하였고[6]. 방준(2019)은 SIMMOD를 이용하여 인천국제공항의 연간 수용량을 산정하고, 가장 효율적인 RET 재배치 또는 증설의 필요방안을 연구하였다[7]. 박정우(2021)는 국내 공항의 RECAT 도입 필요 여부를 확인하고, 활주로 절대 수용량 계산 방법의 하나인 Harris 모델을 이용하여 인천국제공항의 절대 수용량을 산출하였는데[8], 활주로 절대 수용량과 관련된 주요 지표 항목으로 활주로 점유시간의 활용에 대하여 본 연구에서 참조되었다.

2-2 분석 대상 공항 현황

공항의 수용량은 활주로 수용량, 계류장 수용량, 터미널 수용량, 구역 및 관제 수용량 중에 가장 낮은 값을 적용하여야 한다. 즉, 공항 수용능력 전체를 비교하기 위해서는 공항의 주기장, 터미널, 구역 및 관제능력에 대한 전반적인 현황에 대한 분석이 필요하나, 본 연구는 활주로 점유시간과 고속탈출 유도도로에 한정된 연구이므로 활주로와 유도도로에 대한 자료만이 요구된다.

본 연구는 민군 복합 공항 중 민간항공기의 운용 수요가 높은 김해국제공항 및 대구국제공항을 대상으로 하였다. 국토교통부 항공통계 자료에 따르면 코로나 발생년도(2020년) 이전인 2019년도의 연간 운항편수는 김해국제공항 55,672편, 대구국제공항은 15,614편으로 각각 일일 평균 153편, 43편을 운항하였다. 2019년 중 일일 최대 도착운항 편수는 하계 휴가철인 7월 28일 ~ 8월 3일 기간 중인 김해공항 163편, 대구공항 49편 수준이었다. 다만, 최근 항공수요가 회복 국면을 보이고 있으나, 양 공항의 최근 운항실적은 코로나 이전 최대 실적 대비 55 ~ 70% 수준에 머무르고 있다.

김해국제공항의 형상은 그림1과 같다. 길이 3,200 m, 폭 60 m의 18R/36L 활주로(서)와 길이 2,743 m, 폭 46 m의 18 L/36 R 활주로(동) 2개가 있다. 주로 민간항공기가 사용하는 서편활

주로는 동편활주로의 비해 규모가 크고, 일반적인 군공항과는 달리 북쪽으로 2개, 남쪽으로 1개 등 총 3개의 고속탈출 유도도로가 설치되어 있다. 두 활주로 중심선 간 거리는 214 m로써 동시 이착륙이 불가능한 비독립 평행활주로이다.

대구국제공항의 형상은 그림2와 같다. 길이 2,755 m, 폭 45 m의 13R/31L 활주로(서)와 길이 2,743 m, 폭 45 m의 13L/31R 활주로(동) 등 2개의 유사한 평행 활주로를 운영하며, 김해공항 같은 고속탈출 유도도로 없이 전형적인 군공항의 형태를 갖추고 있다. 활주로 중심선 간 거리는 128 m의 비독립 평행활주로이므로 두 공항의 활주로를 동시에 운영하는 독립 운영의 여부에 따른 수용 능력의 차이는 발생하지 않는다.

원칙적으로 두 공항에서 민간항공기와 군용기가 두 활주로 모두 사용 가능하나, 실제로 민간항공기는 주로 서편활주로만 쓰기 때문에 모든 민간항공기가 서편활주로를 사용하고, 남에서 북으로 접근, 착륙(김해공항 RWY 36L, 대구공항 RWY31L) 하는 것을 가정하여 분석을 수행하였다. 분석에 필요한 자료는 국토교통부 항공정보간행물(AIP ; aeronautical information publication)에 명시된 활주로 정보를 사용하였으며, 활주로 정보 및 유도도로 형상 정보는 표 1부터 표 3까지와 같다.

항공정보간행물(AIP)에서 활주로 개방을 위한 유도도로 정보에 따르면 김해국제공항에서는 서편활주로인 36L에서 활주로 개방에 사용할 수 있는 고속탈출 유도도로가 30° 각도로 연결된 2본이 있으며, 대구국제공항에는 직각 유도도로만 3본이 설치되어 있다.

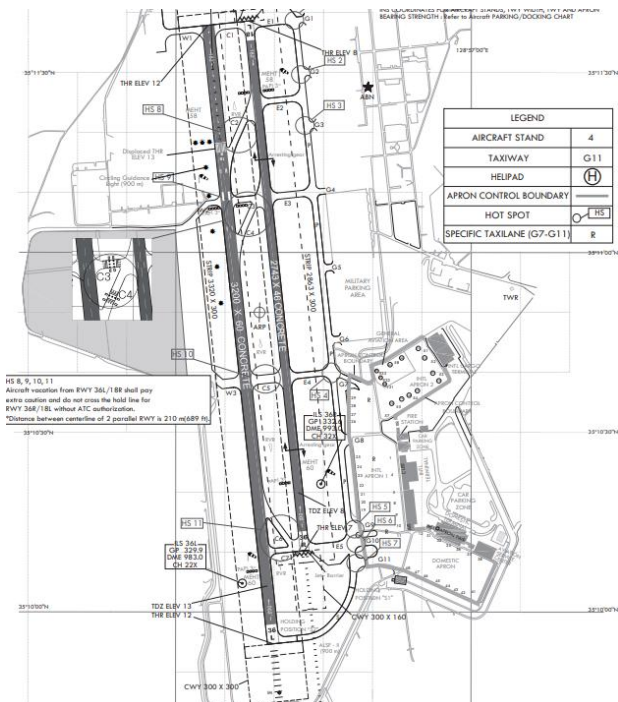


그림 1. 김해국제공항 지상 레이아웃
Fig. 1. Gimhae international airport ground layout

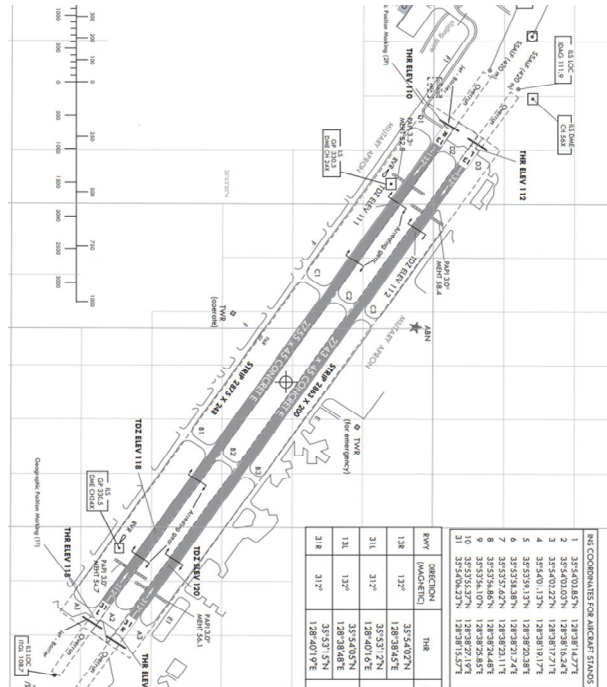


그림 2. 대구국제공항 지상 레이아웃
Fig. 2. Daegu international airport ground layout

표 1. 김해국제공항 및 대구국제공항 활주로 정보
Table 1. Gimhae and Daegu international airport runway information

Division	Gimhae international airport Runway 36L	Daegu international airport Runway 31L
Runway elevation	4 m	120 m
Reference temperature	25 °C	25 °C
Runway distanced	3,200 m	2,755 m
Runway width	60 m	45 m

표 2. 김해국제공항 유도도로 정보
Table 2. Gimhae international airport taxi-way information

Taxiway	Exit distance	Intersection angle
C5	1,341 m	90°
C4	1,397 m	30°(RET)
C3	2,253 m	90°
C2	2,478 m	30°(RET)
C1	3,200 m	90°

표 3. 대구국제공항 유도도로 정보
Table 3. Daegu international airport taxi-way information

Taxiway	Exit distance	Intersection angle
B1	914 m	90°
C1	1,824 m	90°
D1	2,750 m	90°

III. REDIM 이해 및 적용

3-1 REDIM 개요

REDIM(runway exit design interactive model)은 공항에서 최적의 유도로 위치별 활주로 운영 특성을 파악하기 위해 미국 연방항공청(FAA ; federal aviation administration)에서 개발한 컴퓨터 시뮬레이션 모형으로, 활주로 설계 단계 및 운영 단계에서 실제 운영되는 항공기 성능 특성, 환경적 특성 등을 고려한 활주로 점유시간을 산출할 수 있다. 이 모형은 해당 활주소에 접근하는 항공기 기종별 운동방정식을 사용, 항공기 착륙 역학을 특성화하고, 다항식 시간, 동적 프로그래밍 알고리즘을 사용하여 가장 평균된 활주로 점유시간을 산출 및 고속탈출 유도로를 포함한 최적화된 유도로 위치 산출에 활용할 수 있다. 미연방항공청에서는 1974년부터 활주로 개방을 위한 최적의 유도로를 찾기 위한 프로그램의 개발을 시작하였으며, 그 노력을 이어 1991년 미국 버지니아공대에서 1세대 REDIM이 개발된 이후 미연방항공청으로부터 사용성이 확인되어 현재까지도 후속 모형의 개발이 이루어지고 있고, 실제 공항 설계에도 활용되고 있다[9].

REDIM은 활주로와 유도로에 관련된 기본자료와 이착륙하는 항공기의 종류와 비율을 입력하고 몬테카를로 시뮬레이션 방법으로 기종별 총 10,000회의 접근 및 착륙 수행의 결과를 산출한다. 이를 통하여 첫째, 입력 데이터에 따라 생성된 접근 항적이 시뮬레이션되어 각각의 접근/접지속도, 착륙활주거리, 개방 활주로 결과를 비롯하여 이 값에 따른 평균 또는 최대, 최소 활주로 점유시간 등의 결과를 산출하는 활주로 평가, 둘째, 고속탈출 유도로의 위치 변경을 추천하거나, 유도로 증설 여부와 증설 개수와 위치를 결정해 주는 활주로 개선, 셋째, 공항의 활주로 신규 건설 시 최적의 고속탈출 유도로 위치를 결정하는 근거를 제공하기 위한 활주로 설계 등의 3가지 범위에 활용할 수 있다. 본 연구에서는 분석 대상으로 설정한 두 공항의 현 데이터에 따른 활주로 평가를 수행하여 산출된 활주로 점유시간을 비교하고, 대구국제공항에 고속탈출 유도로를 추가하여 활주로 점유시간의 개선 효과를 확인하기 위한 활주로 개선 효과 분석을 수행하였다. 두 공항 모두 민간항공기는 주로 서편활주로를 사용하고 있으며, 연구의 취지와 규모를 고려하여 남쪽에서 북쪽으로 접근 및 착륙(김해 36L, 대구31L) 하는 경우만으로 한정하였다. 활용된 모델은 미연방항공청에서 2022년 12월 22일에 배포한 REDIM Ver 4.0.2이다.

REDIM이 산출하는 활주로 점유시간의 결과는 운용되는 항공기들의 성능에 따라 달라진다. 즉, 모형에 입력된 기종별 중량, 착륙 성능 및 운영 여건의 차이에 따라 세부적인 산출 값이 달라지며, 여기에 항공기 운영 이력이 반영된 가장 평균을 결과로 도출한다. 따라서, 해당 활주소에 운영되는 항공기 비율을 변수로 입력해야 하며, 운항 기종은 항공사별로 보유 항공기와 운영 노선에 따라 확정된 수치이므로 운항 횟수가 기종 비율의 변화에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다. 본 연

구에는 최근 운영된 무작위 일인 2023년 6월12일의 김해국제공항의 운영 결과(표4)와 대구국제공항의 운영 결과(표5)의 실제 항공기 착륙 편수와 기종별 비율 데이터를 활용하였다. 입력 변수 중 항공기 성능 요소에 영향을 미칠 수 있는 활주로 고도는 각 공항의 항공정보고시보에 명시된 고도 정보를 적용하고, 온도는 국제표준대기조건(ISA : international standards atmosphere)인 섭씨 15도(ISA + 15℃)를 적용하였다. 활주로 개방 기준 시점은 동체가 활주로에서 완전히 이탈하는 시점으로 정의하여 활주로 점유시간을 산출하였다.

표 4. 김해국제공항 운항 현황 (23년 6월 12일)

Table 4. Gimhae international airport operation result (12 JUN 2023)

Aircraft type	Number of flight	Rate
A320NEO	2	2%
A321NEO	13	11%
A320	19	16%
A321	18	16%
A330-300	1	1%
B737-700	8	7%
B73-800	33	29%
B737-900	9	8%
A220-300	12	10%
합계	113	100%

표 5. 대구공항 운항 현황 (23년 6월 12일)

Table 5. Daegu international airport operation result (12 JUN 2023)

Aircraft type	Number of flight	Rate
A320	2	8%
A321	1	4%
B737-700	5	18%
B737-800	18	67%
A220-300	1	3%
합계	27	100%

3-2 김해국제공항 시뮬레이션 적용 결과

김해국제공항 운영 결과 시뮬레이션은 표6과 같이 산출되었다. 전체 운영 기종에 대한 활주로 점유시간은 평균 60.4초(표준편차 11.5초)이며, 기종에 따른 사용 유도로별 상세 내역은 표7과 같다. 유도로 사용 비율은 C4에서 가장 높게 나타났으며, 기종별 유도로 사용 내역은 그림3과 같다.

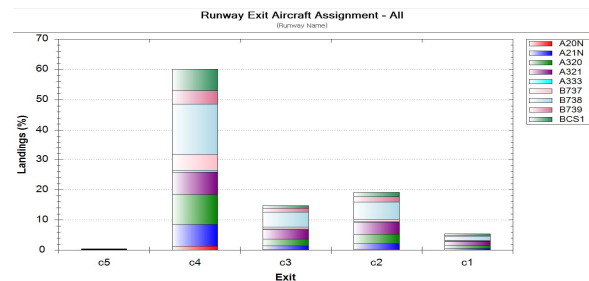


그림 3. 김해국제공항 기종별 유도로 사용 비율

Fig. 3. Gimhae international airport taxiway used rate

표 6. 김해국제공항 기종별 운영 시뮬레이션 결과

Table 6. Gimhae international airport operation simulation result

Aircraft type	Mean of landing distance	Mean of ROT	Approach speed
A320NEO	2,339 m	63.3 s	124 kts
A321NEO	2,344 m	61.6 s	127 kts
A320	2,371 m	61.1 s	129 kts
A321	2,450 m	60.9 s	137 kts
A330-300	2,535 m	71.1 s	130 kts
B737-700	2,268 m	58.8 s	130 kts
B737-800	2,373 m	58.4 s	141 kts
B737-900	2,392 m	59.0 s	143 kts
A220-300	2,324 m	64.0 s	121 kts

표 7. 김해국제공항 기종 별 유도도로 사용에 따른 ROT

Table 7. Gimhae international airport ROT of taxiway used

Aircraft type	C5	C4	C3	C2	C1
A320NEO	42.5 s	58.1 s	66.5 s	71.3 s	101.9 s
A321NEO	44.2 s	56.6 s	67.0 s	68.0 s	99.8 s
A320	41.3 s	55.3 s	63.3 s	67.4 s	96.8 s
A321	41.8 s	52.8 s	61.0 s	64.0 s	93.3 s
A330-300	-	60.3 s	68.2 s	73.3 s	103.6 s
B737-700	41.7 s	56.1 s	63.8 s	68.4 s	98.2 s
B737-800	39.9 s	52.8 s	60.5 s	64.3 s	93.5 s
B737-900	38.9 s	52.4 s	61.9 s	64.8 s	95.7 s
A220-300	43.7 s	59.2 s	68.6 s	72.7 s	105.7 s

3-3 대구국제공항 시뮬레이션 적용 결과 및 운영 비교 분석

대구국제공항 착륙 항공기의 기종별 성능을 고려한 운영 결과 시뮬레이션은 표8과 같이 산출되었다. 전체 운영 기종에 대한 활주로 점유시간은 평균 71초, 표준편차 16.5초로 나타났으며, 기종에 따른 사용 유도도로별 상세 내역은 표9와 같다. 유도도로 사용 비율은 D1에서 가장 높게 나타났으며, 기종별 유도도로 사용 내역은 그림4와 같다.

고속탈출 유도도로가 있는 김해국제공항에 비해 대구국제공항의 활주로 점유시간이 10초 이상 큰 것은 이 두 공항의 활주로 및 유도도로 구조에 따른 항공기 처리 능력 차이로 나타난 것이다. 대구국제공항은 전체 유도도로 중 D1에서 개방하는 비율이 60.4%로 가장 높게 나타났다. 항공기가 착륙 후 사용이 가능한 C1으로 개방하기 위해서는 연결된 유도도로가 직각 유도도로 이므로 항공기 지상이동 속도를 10 kts 이내로 완전히 감속이 필요하며, 이는 착륙 조작 중인 조종사의 업무 부하를 크게 하는 요인이 된다. 또한, 터미널이 31L 활주로 말단보다 북쪽에 위치하여 굳이 무리하여 중간 유도도로로 개방할 필요가 없기 때문에 D1에 비해 C1 개방 선호도가 낮은 것으로 판단된다. 이런 이유로 D1의 사용 비율이 C1에 비해 높고 결과적으로 활주로 점유시간이 높게 나타나는 것으로 볼 수 있다. C1으로 개방하지 못하고 D1으로 개방하면서 활주로 점유시간이 최대 25초 이상 증가될 수 있는 것은 높은 표준편차 16.5초를 적용함으로써 추측할 수 있다.

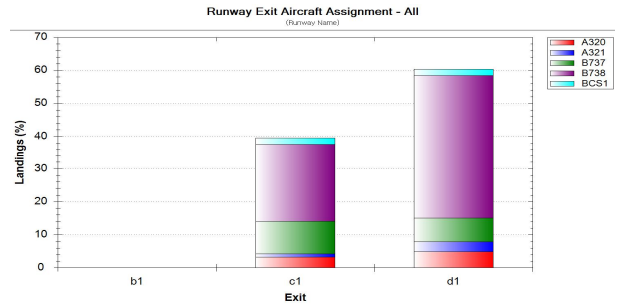


그림 4. 대구국제공항 기종별 유도도로 사용 비율

Fig. 4. Daegu international airport taxiway used rate

표 8. 대구국제공항 기종별 운영 시뮬레이션 결과

Table 8. Daegu international airport operation simulation result

Aircraft type	Mean of landing distance	Mean of ROT	Approach speed
A320	2,464 m	72.3 s	130 kts
A321	2,602 m	75.0 s	137 kts
B737-700	2,294 m	67.3 s	130 kts
B737-800	2,510 m	71.6 s	142 kts
A220-300	2,368 m	73.2 s	123 kts

표 9. 대구국제공항 기종 별 유도도로 사용에 따른 ROT

Table 9. Gimhae international airport ROT of taxiway used

Aircraft type	B1	C1	D1
A320	-	52.6 s	85.1 s
A321	-	51.8 s	82.8 s
B737-700	-	53.2 s	86.2 s
B737-800	-	50.8 s	82.6 s
A220-300	-	56.2 s	89.9 s

3-4 대구국제공항의 유도도로 개선 적용 결과

대구국제공항 활주로에 30도 각도로 연결되는 고속탈출 유도도로를 추가하는 경우 착륙 항공기가 일정 수준 이상의 속도로 이상으로 활주로를 이탈할 수 있게 되어 활주로 점유시간을 단축할 수 있다. 활주로 점유시간 단축은 활주로 항공기의 활주로 사용에 대한 절대적 시간은 낮추게 되며, 단축된 시간만큼 다른 항공기가 활주로를 이용할 수 있게 되어 활주로 수용량 증가가 가능하게 된다. 기존 유도도로를 유지한 상태에서 고속탈출 유도도로를 1본 추가 설치한다면, B1 유도도로와 C1 유도도로 사이에 1본 또는 C1 유도도로와 D1 유도도로 사이에 1본 증설하는 방안 2가지를 생각해 볼 수 있다.

김해국제공항에 시뮬레이션을 적용한 평가 결과에 따라 1,397 m 지점에 위치한 유도도로 C4의 개방 비율이 가장 높으므로, 유사한 지점인 대구공항 활주로의 B1과 C1 사이의 지점으로 예상하여 시뮬레이션 해 본 결과, 모형에서 최적으로 산출한 지점은 1,600 m이다. 이 지점에 고속탈출 유도도로를 증설하는 경우, 활주로 점유시간은 평균 68.1초, 표준편차는 19.4초로 산출되었다. 그러나 시뮬레이션 결과 신규 고속탈출 유도

로로 개방하는 비율이 높지 않고, 그림 5에서와 같이 여전히 기존 직각 유도도로 D1에서 개방하는 비율이 60%에 육박하여 적절하지 않은 것으로 판단된다.

대구국제공항 유도도로 개선의 다른 방안인 고속탈출 유도도로를 유도도로 C1과 유도도로 D1 사이에 추가하여 시뮬레이션한 결과, 모형에서 최적으로 산출한 지점은 2,300 m 지점으로, 활주로 점유시간은 58.2초, 표준편차 7.8초로 산출되어 상대적으로 명확한 감소 효과가 표 10과 같이 확인된다.

이는 2개의 고속탈출 유도도로를 운용하는 김해국제공항의 현재 활주로 점유시간 예측 값인 60.4초 보다도 낮은 수치로서 활주로의 절대 수용량을 증대시킬 수 있는 효과적인 방안이라고 판단할 수 있다. 김해국제공항보다 활주로 점유시간이 낮아진 것은 운항되는 항공기가 B737 및 A320 등과 같은 C·D급 항공기만 있는 것도 영향을 미칠 수 있으나, 국내선은 B777 및 A330과 같은 E급 항공기의 운항비율이 높지 않아 영향이 적을 것이므로, 고속탈출 유도도로가 최적 위치에 선정됨으로 인하여 예측되는 효과라고 할 수 있다. 이는 그림 6에서 확인할 수 있듯이 활주로 끝에서 위치한 유도도로 D1에서 개방하는 비율이 60.4%에서 4.4%로 감소되어 55.7%의 항공기가 신규 위치의 고속탈출 유도도로를 사용함에 따라 활주로 점유시간 감소 효과가 명확하게 나타났음을 확인할 수 있다. 그림 7은 최적의 결과를 도출한 개선안에서 제시한 유도도로 위치를 표기한 결과이다.

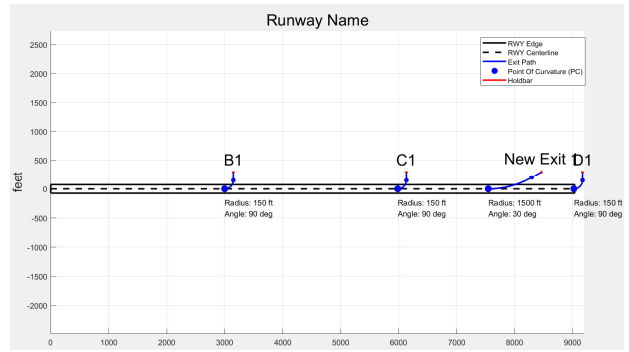


그림 7. 대구국제공항 개선 최적인 유도도로 위치
 Fig. 7. Daegu international airport taxi way optimized position

표 10. 대구국제공항 개선 2안의 평균 ROT 산출 결과
 Table 9. Daegu international airport 2nd Improvement ROT result

Aircraft type	B1	C1	NEW	D1
A320	-	52.5 s	63.1 s	78.4 s
A321	-	51.5 s	60.7 s	75.2 s
B737-700	-	53.4 s	64.0 s	79.9 s
B737-800	-	50.8 s	60.5 s	75.6 s
A220-300	-	56.2 s	67.1 s	85.0 s

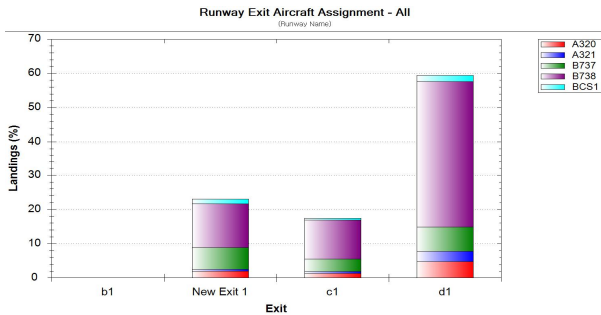


그림 5. 대구국제공항 개선 1안 유도도로별 개방 비율
 Fig. 5. Daegu international airport 1st improvement rate

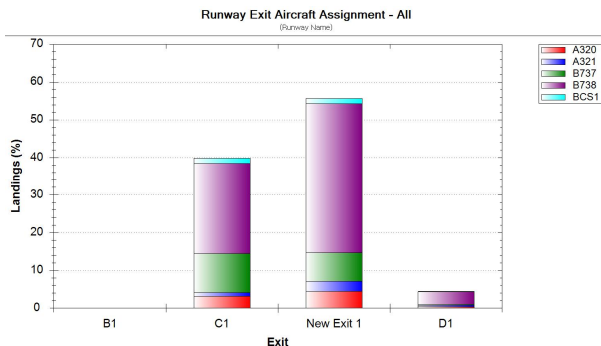


그림 6. 대구국제공항 개선 2안 유도도로별 개방 비율
 Fig. 6. Daegu international airport 2nd improvement rate

3-5 안전 효과에 대한 추가 분석

REDIM은 기종별로 시뮬레이션된 모든 항공기의 시뮬레이션 데이터를 확인할 수 있는데 두 공항에서 가장 많이 운영되는 B737-800 기종의 결과를 분석해 보면 안전 측면에서 의미 있는 효과를 확인할 수 있다. 김해국제공항에 착륙한 B737-800 기종의 활주로 점유시간은 50~55초를 기록한 비율이 가장 높고 일부 90~100초를 보이기도 한다. 그림 8은 가장 가까운 고속탈출 유도도로인 C4에서 개방하는 비율이 높기 때문으로 정상적인 거리별 사용 빈도의 분포도이다. 또한 활주로의 미끄러운 상태와 정상 상태의 차이도 확인할 수 있다.

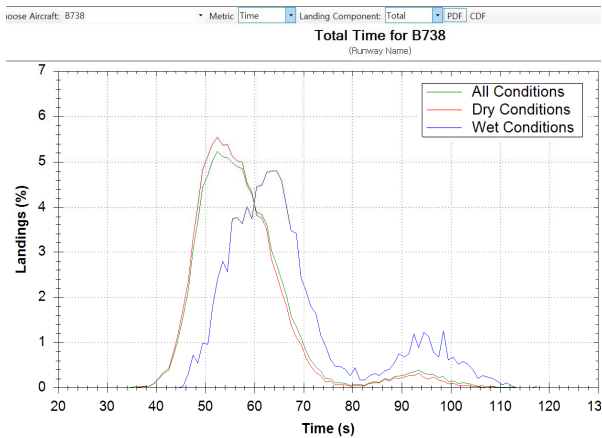


그림 8. 김해국제공항 B737-800 시뮬레이션 결과
 Fig. 8. Simulation result of B737-800 on Gimhae international airport

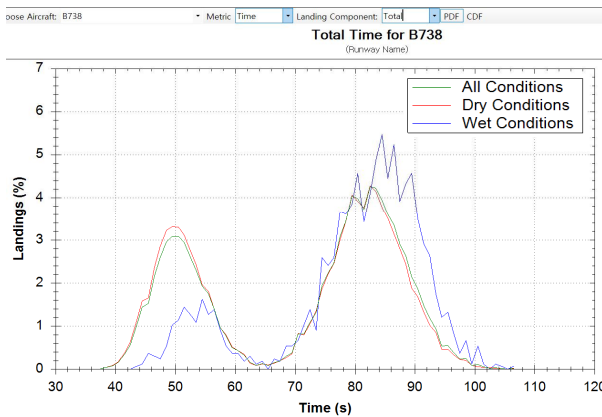


그림 9. 대구국제공항 B737-800 시뮬레이션 결과
 Fig. 9. Simulation result of B737-800 on Daegu international airport

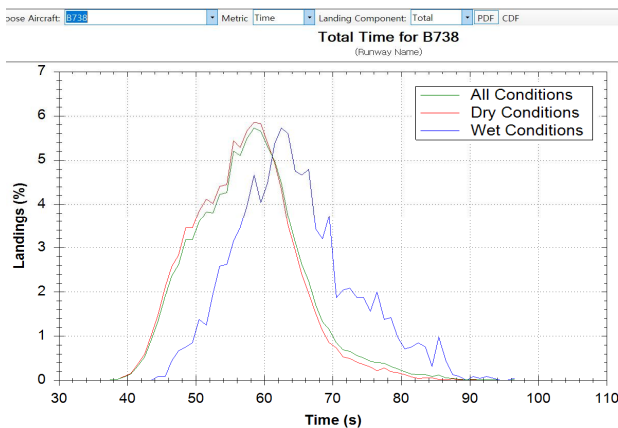


그림 10. 대구국제공항 개선안의 B737-800 시뮬레이션 결과
 Fig. 10. Simulation result of B737-800 on Daegu international airport for Improvement

그림 9는 대구국제공항의 737-800 기종의 활주로 점유시간 분

포를 나타내는 것으로 80~90초 지점이 가장 많으나, 활주로의 상태가 미끄럽지 않은 마른 상태인 경우 50초 지점에도 유의미한 유도로 사용에 관한 양상을 확인할 수 있다. 이는 두 번째 직각 유도로인 1,824 m 지점에 위치한 C1으로 개방하지 못하여 활주로 끝인 D1으로 개방하게 되면 활주로 점유시간이 25초 이상 더 지연되므로 C1으로 개방을 시도하는 항공기가 다수 있음을 의미한다. 이러한 분포는 감속에 의한 부담 등으로 무리한 속도 처리 시도의 가능성을 나타내는 결과이다. 활주로의 2/3 지점이자 직각유도로인 C1에서 개방하기 위해서는 활주속도를 10KTS 이하로 완전히 감소시켜야 하므로 접근단계부터 정확한 접근속도를 유지하고 짧은 접지역역 내 접지를 위한 노력을 기울여야 하기 때문에 조종사의 업무부하를 증대시키는 요인이 된다. 이러한 점을 고려해 볼 때 REDIM으로 산출된 해당 데이터는 활주로 절대수용량 개선 등 효율의 증대 뿐만 아니라 안전 측면에서 활주로/유도로의 구조적인 개선의 필요성을 제기할 수 있는 데이터로 판단된다.

그림 10은 대구국제공항에 최적 개선이 예상되는 그림7과 같은 지점에 고속탈출 유도로를 설치한 이후 B737-800 항공기의 착륙을 시뮬레이션 결과로 2,300 m 지점에 고속탈출 유도로를 증설하면 활주로 점유시간의 최대 빈도 위치가 55초~60초인 정규분포의 형태를 보이게 된다. 이는 착륙 단계에서 항공기 감속을 위한 조종사의 업무부하를 감소시키는 등 안전 측면의 개선 효과로 판단할 수 있다.

V. 결 론

공항은 대규모의 예산이 투입되는 국책사업으로 최적의 항공기 운영과 안전을 고려한 설계가 필요하다. 활주로 점유시간은 활주로 수용량을 결정하는 주요한 지표로서 공항 설계 단계에서 면밀하게 예측되어야 하는 요소이다. 또한, 공항 운영 단계에서도 활주로의 효율적 운영을 모니터링 할 수 있으며, 활주로 시설 개선의 효과성을 확보할 수 있는 검토 요소이다. 우리나라에서 다양하고 면밀한 관점에서 공항 운영의 효과성에 대한 연구가 시도된 것은 오래되지 않았다. 이는 미국과 같은 항공 선진국에 비하여 연구 인프라와 수요가 부족하기 때문이기도 하다.

본 연구는 김해국제공항과 대구국제공항의 현황 파악과 개선 방안을 도출을 수행한 것으로, 한국에서 운영 개선의 방안으로 상세한 검토 사례가 적은 고속탈출 유도로의 최적 위치와 효과성에 대하여 적용한 것에 의미가 있다. 또한, 모형의 산출 결과를 면밀히 분석함으로써 조종사의 업무 부하에 따른 안전 효과를 예측한 것에 의미를 추가할 수 있다.

본 연구에 사용한 REDIM은 착륙 후 유도로를 사용하는 항공기 성능 요소까지 고려된 상세한 운영 형상을 비교적 쉽고 명확하게 도출할 수 있는 모형이다. 유도로의 형상과 위치에 따라 예측되는 효과를 확인할 수 있고, 후속 연구를 위한 기반

데이터를 생성하는 것도 가능한 것으로 판단된다. 다만, 본 연구는 시뮬레이션 모형에서 필요한 정산을 통한 모형의 타당성 검증하는 과정은 검증용 지상 운영 데이터의 확보가 어렵기 때문에 적용하기 어려운 점과 정보가 완전히 공개되지 않는 공항이기 때문에 적용이 어려운 변수가 있다는 점은 연구의 한계가 될 것이다. 추후, 실제 공항의 운영 결과를 기반하기 위한 ASDE 또는 ADS-B 등의 감시장비로부터 관측된 항적 데이터 또는 실제 운영 내역을 측정된 데이터 등을 통하여 획득된 활주로 점유시간과 본 연구의 결과를 비교, 분석해 보면 이 한계를 일부분 보완해 줄 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 국토교통부 데이터 기반 항공교통관리 기술 개발 사업 연구비 지원 (과제번호 : RS-2021-KA163373)에 의해 수행되었습니다. 지원 기관에 감사드립니다.

References

[1] FAA, AC150/5060-5, Airport capacity and delay, Federal Aviation Administration, Sep. pp.1-4, 1983.
 [2] S. K. Ku, D. H. Shin and Y. J. Lee, "Analysis of Runway Occupancy Time Using ADS-B Message about Landing

Airplane", *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 20, No.3, pp. 167-174, Jun, 2016
 [3] J. H. Oh, Preliminary feasibility study on new airport in Gyeongnam region the Korea, Ministry of land, transport, pp.119, 2017
 [4] ICAO, Doc 9157 Part 2, Aerodrome design manual – Taxiway, aprons and holding bays, International Civil Aviation Organization, pp.1-30, 2005.
 [5] IIAC, "Long-term development strategy rearrangement service by Incheon International Airport terminal relocation", Incheon International Airport Corporation, 2017
 [6] T. S. Heo, H. J. Yun and C. H. Chang, "The study on the layout plan of rapid exit taxiway" in The Korean Society of Transportation 2003 fall conference, Seoul. Oct 2003
 [7] J. Bang, "Estimation of Incheon International Airport Capacity by using Aircraft Delay Simulation Model", *Journal of Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 27, No. 1, pp.20-25, Mar. 2019
 [8] J. W. Park, and S. K. Ku, "Comparative Analysis of Runway Ultimate Capacity using Wake Turbulence Re-Categorization", *Journal of Advanced Navigation Technology*. Vol 25, No 6, pp. 498-509, Dec. 2021
 [9] A. A. Trani, Runway Exit Designs for Capacity Improvement Demonstrations, Springfield, pp.18-21, 1992



박 광 훈 (GwangHoon Park)

2009년 : 미국 National Test Pilot School
 2020년 3월 - 현재 : 한서대학교 대학원 항공운항관리학과 박사과정
 2022년 7월 - 현재 : 한국항공우주산업 고정익비행시험팀 수석조종사
 ※ 관심분야 : 비행시험, 시뮬레이션 분석, 안전성평가, 사고조사



강 금 석 (GumSeok Kang)

2019년 : 한국항공대학교 항공운항관리학과
 2022년 9월 - 현재 : 한서대학교 대학원 항공운항관리학과 박사과정
 2019년 3월 - 현재 : 티웨이항공 B737 기장
 ※ 관심분야 : 조종실 안전, 시뮬레이션 분석, 안전성평가



구 성 관 (SungKwan Ku)

2017년 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 이학박사
 2009년 9월 ~ 2014년 2월 : 한국산업기술시험원 기계시스템본부 연구원
 2015년 6월 ~ 2016년 8월 : Virginia Tech 방문 교수
 2014년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공산업공학과 부교수
 ※ 관심분야 : 항공교통, 시험평가인증, 시스템분석, 시뮬레이션, 안전성평가