

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.3.205>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공기 지연 개선을 위한 적정 수준의 Turnaround Time 도출 연구

박재우*, 조현수**, 구성관***

Study on Determining Appropriate Turnaround Time to
Improve Aircraft Delay

JaeWoo Park*, HyunSoo Cho**, SungKwan Ku**

ABSTRACT

The aircraft delay rate has increased nearly three times in 2023 due to change in Korea policy of delay criteria. One of the primary causes of delays in domestic flights is related to reactionary delays, with Turnaround Time being a key factor. To mitigate reactionary delays and reduce aircraft delays, it is essential to establish an appropriate Turnaround Time and integrate it into flight schedules. This study aims to analyze the appropriate Turnaround Time for aircraft operating at Gimpo, Gimhae, and Jeju International Airports, which handle a high frequency of domestic flights. The research applies air traffic simulation, using variables such as current flight schedules, actual flight times, Turnaround Time, and flight routes to simulate actual conditions. Based on this analysis, the study seeks to identify the fitting Turnaround Time across various scenarios. The findings are expected to address reactionary delays and help reduce overall delay rates in domestic flights.

Key Words : Turnaround Time(항공기연결시간), Aircraft Delay(항공기지연), ACDM(공항협동운항관리시스템), Flight Schedule(운항스케줄), Air Traffic Simulation(항공교통시뮬레이션)

1. 서 론

우리나라 항공교통량은 2009년 이후 연평균 6.6% 성장하였으며, 2019년은 전년 대비 4.6% 증가하였다. 2020년에 발생한 COVID-19의 영향으로 국제선 항공교통량은 2019년 대비 3.6%(321만 명)로 급감하였지만, 2023년에는 약 70% 수준으로 회복되었다. 하지

만, 국내선 항공수요는 COVID-19가 발생한 2020년 초기에 일시적으로 감소한 이후 국내로 집중된 여행수요로 인하여 2022년 역대 최대의 항공여객 실적을 달성하였다(Korea Aiports Corporation, 2022).

항공교통량 증가는 항공기 지연에도 영향을 미친다. 2018년과 2019년 항공기 지연율은 각각 11.2%, 9.5%이며, COVID-19가 발생한 이후인 2022년 지연율은 7.7%로 감소되었으나, 우리나라 지연기준이 2023년부터 변경된 이후 지연율은 22.7%로 3배 증가하였다. 국내선 및 국제선 지연기준이 30분/60분에서 모두 15분 초과로 국제민간항공기구(ICAO), 유럽 등과 동일하게 강화되었고, 지연 측정지점도 활주로에서 게이트로 변경되었다(Ministry of Land infrastructure and Transport Civil Aviation Office, 2022).

Received: 08. Aug. 2024, Revised: 15. Aug. 2024,

Accepted: 28. Aug. 2024

* 한서대학교 항공산업공학과 주임연구원

** 한국공항공사 항공산업연구원 선임연구원

*** 한서대학교 항공산업공학과 교수

연락처자 E-mail : skku@hanseo.ac.kr

연락처자 주소 : 충남 태안군 남면로 236-49, 한서대학교

항공산업공학과

국내선 항공기 지연이 발생하는 가장 많은 원인은 77%를 차지하는 항공기 연결(reactionary)이다. 유럽 등에서도 단거리 운항노선의 경우, 항공기 연결로 인한 지연이 가장 많이 발생하는 것으로 확인되므로 단거리 노선을 운영하는 국가별로 가지고 있는 공통 문제이다(Eurocontrol CODA, 2022).

항공기 연결 지연과 항공기 연결시간(turnaround time)은 연관이 있다. 항공기 연결시간이란, 항공기가 도착 공항에서 다음 운항편으로 게이트를 출발하는데 소요되는 시간으로 정의할 수 있다. 즉, 공항에서 수행되는 여객 승·하기, 수화물 취급 작업, 청소, 급유 등 다양한 작업을 수행하는 시간과 운항하면서 발생한 불확실한 요소로부터 정시 출발을 할 수 있도록 버퍼시간(schedule buffer)을 포함한다(Ball et al, 2020).

본 연구는 현재 운영 중인 운항스케줄을 반영한 적절한 항공기 연결시간을 항공교통 시뮬레이션을 활용하여 찾고자 한다. 연구에 사용되는 시뮬레이션은 미연방항공청(FAA)에서 개발한 SIMMOD Pro를 활용하였으며, 공항, 구역 등 실제 운영 환경을 개선하는데 시뮬레이션으로 분석 가능한 강점을 가진 모델이다. 본 연구에 활용한 자료는 2022년부터 2023년까지이며, 단거리 운항으로 인한 연결편 영향을 확인하기 위하여, 한국공항공사가 운영하는 14개 공항을 대상으로 분석을 실시하였다.

II. 본 론

2.1 선행연구 및 시뮬레이션 구축절차

2.1.1 선행연구

Ball에 따르면, 항공기 연결시간(turnaround time)은 항공기가 도착한 이후 다시 출발하는데 소요되는 작업공정 시간과 이전 운항편에서 발생한 지연을 감소시키기 위한 스케줄 여유시간(buffer time)을 합한 시간으로 정의하며, 미국 내 지연 발생에 따른 손실 비용을 산출하는 방법을 제시하였다(Ball et al, 2020).

Wong은 항공기 출·도착 지연에 대한 단계적인 원인 분석을 수행하였다. 다수의 공항에서 항공기 지연 발생을 모델링하기 위해 생존분석의 Cox 비례위험 모델 적용하였다 그 결과, 항공기 출발 지연의 원인은 연결의 여유시간, 화물 작업 처리시간, 승객 승·하기 등이며, 도착 지연의 원인은 비행 버퍼시간(block

buffer time), 날씨 등인 것으로 분석 결과를 제시하였다(Wong et al, 2020).

Postorino는 계획된 출발시간(STD, schedule time for departure)과 계획된 도착시간(STA, schedule time for arrival)를 활용한 EbE 접근방식을 사용해 항공기 연결시간(turnaround time)을 모델링하는 방법을 제시하였다. 이탈리아 굴리엘모 마르코니 공항을 항공기 지상 운영 활동의 확실적인 특성을 고려한 시뮬레이션을 진행하였으며, 시뮬레이션 결과, 지상 운영에 필요한 자원이 부족하면 평균 항공기 연결시간이 길어지는 것을 확인하였다(Postorino et al, 2020).

김명현은 항공기 운항자료에서 비행시간(block time)과 지상대기시간(ground time)의 버퍼 개념을 기반으로 생존분석 및 지연 파급효과 분석을 수행하였다(Kim et al, 2020).

이충섭은 제주국제공항을 대상으로 지연과 항공기 연결시간의 상관관계 분석을 통해 계획된 항공기 연결시간(STAT) 중 30-40분 구간에서 상관관계가 있는 것으로 확인하였으며, 그리고 항공기 운항 Legs가 증가할수록 지연율에 영향이 높은 것으로 분석 결과를 제시하였다(Lee et al, 2020).

본 연구는 항공기 지연과 공항 운영상의 영향 발생 여부를 분석하기 위해 항공교통 시뮬레이션을 활용하여 상세 분석하였다는 점에서 기존 연구들과 차별성을 갖는다.

2.1.2 시뮬레이션 구축 절차

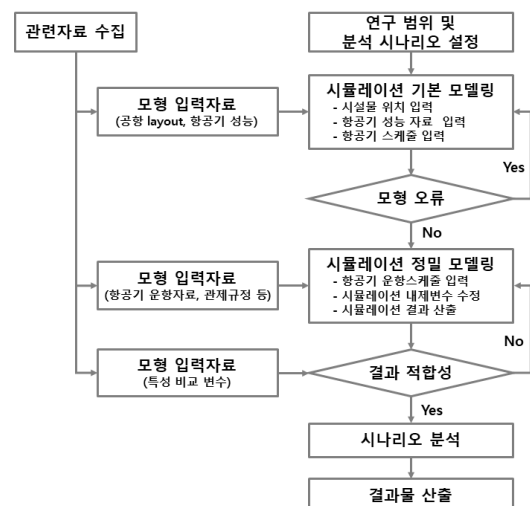


Fig. 1. Procedure for configuring a simulation

시뮬레이션 모델 구축은 자료 수집 및 분석을 기반으로 하여 실제 환경을 유사하게 재현하는 과정을 포함한다. 먼저, 공항의 레이아웃(layout) 및 항공기 성능과 같은 모델 구축을 위한 기초 자료를 철저히 분석하여 입력 변수를 설정한다. 구축된 시뮬레이션 모델이 실제 환경을 얼마나 정확하게 반영하고 있는지를 비교 검증하는 과정을 거쳐 모델의 정교화를 진행한다. 시뮬레이션 모델이 검증 과정을 통해 충분한 설명력을 지니고 있는 것으로 판단될 경우, 다양한 시나리오를 설정하여 그에 따른 분석 결과물을 도출한다(LEE et al, 2022).

2.2 시뮬레이션 입력 자료

2.2.1 활주로 방향 설정

우리나라 국내선을 운항하는 14개 공항의 2022년 운항실적 자료를 조사하여 활주로 운영 방향을 결정하며, 시뮬레이션에 입력하는 공항별 활주로 방향은 Table 1과 같다.

2.2.2 항공기 등급별 유도로 사용 비율

김포, 김해, 제주국제공항은 국내선 교통량이 집중되므로 해당 연구의 분석 결과에 영향을 미칠 수 있다.

Table 1. Runway directions used per airport

공항	출발	도착	운항비율 (%)
김포	RWY 32R	RWY 32L	38.8, 33.5
김해	RWY 36R	RWY 36L	54.9, 87.2
제주	RWY 07		76.2, 56.4
대구	RWY 31L		68.3, 67.9
청주	RWY 24		90.9, 91.6
양양	RWY 33		99.5, 98.7
무안	RWY 01		96.9, 90.7
군산	RWY 36		82.1, 83.1
광주	RWY 04		60.4, 63.0
포항경주	RWY 10		50.4, 50.7
여수	RWY 35		84.9, 84.7
울산	RWY 36		67.0, 67.4
원주	RWY 03		64.0, 61.9
사천	RWY 06		56.6, 62.7



Fig. 2. Program configuration of REDIM-V4

이에 3개 공항의 레이아웃은 게이트, 활주로, 출발 및 도착 운영규칙 등을 구체화가 필요하다. 특히 항공기의 활주로 점유시간(runway occupancy time)은 활주로 수용량에 영향을 미치는 중요한 영향 요소로, 정밀한 수치의 적용이 필요한 부분이다. 본 연구에서는 활주로 점유 시간을 상세히 적용하기 위하여 분석 대상이 되는 주요 공항에서 운항된 실제 항공기 자료를 바탕으로 REDIM-V4¹⁾을 활용하여 기종별 활주로 탈출유도로 사용 빈도율을 분석하여 적용하였다.

각 공항에 구성된 활주로에서 연결된 유도로를 상세히 설정하고, 공항별 이·착륙하는 기종을 분류한 후 항공기종 및 등급별로 사용한 탈출유도로를 빈도수로 사용 비율을 결정하였다.

아래는 산출된 각 공항의 유도로 사용 비율로, 김포 국제공항은 대부분 B738, A321기종으로 C급 기종이 가장 많이 운항하며, 기종별 크기가 증가함에 따라 등급별로 사용하는 유도도가 다르다. C급 항공기는 E1, D급 항공기는 G1, E급 항공기는 G1 유도도를 많이 사용하며, E1 유도로는 고속탈출 유도도이므로 기종이 변경되어도 사용율이 상대적으로 높은 편이다(Table 2).

김해국제공항은 C급과 E급 항공기만 운항하며, C2와 C4유도도가 고속탈출유도도이지만, C급과 E급 항공기 모두 C2 유도도 이용률이 높다(Table 3).

제주국제공항은 E급 항공기가 2,050m 지점에 위치한 고속탈출유도도보다 RWY31 활주로를 유도도를 사용하는 비율이 높다. 타 공항의 경우 2,000m 지점의 고속탈

1) REDIM-V4(Runway Exit Design Interactive Model V4)는 미국 Virginia Tech에서 개발, FAA가 인증하는 활주로 탈출 유도도 분석 프로그램으로 활주로 구성에 따른 유도도별 사용 빈도 및 활주로 점유시간을 산출.

Table 2. Gimpo Airport's runway exit taxiway usage ratio

구분	D1	E1	G1	합계
C	8.9%	54.0%	37.1%	100%
C(터보프롭)	42.4%	43.0%	14.6%	100%
D	3.5%	46.4%	50.1%	100%
E	1.6%	37.8%	60.6%	100%

Table 3. Gimhae Airport's runway exit taxiway usage ratio

구분	C4	C3	C2	C1	합계
C	53.8%	16.4%	21.8%	8.0%	100%
E	32.1%	19.2%	30.1%	18.6%	100%

출유도로가 높은 반면, 제주국제공항은 2,634m 지점의 RWY31 유도도로가 사용율이 높다. 이것은 타 공항보다 유도도로가 많아 조종사가 다양한 유도도로를 선택하는 이점이 있지만, 활주로를 유도도로로 사용하므로 타 공항보다 활주로 점유시간이 증가하는 단점도 있다(Table 4).

2.2.3 항공기 연결시간(Turnaround Time)

김포, 제주, 김해국제공항의 항공기 연결시간을 협동운항관리시스템(A-CDM) 자료를 기반으로 분석하였다. 본 연구에서 분석 구간은 연결시간이 최소 120분에서 최대 120분까지로 설정되었다. 이는 연결시간이 120분을 초과하는 경우, 해당 항공편이 운항 관계에서 분리되거나 독립적인 것으로 판단하여, 연결 지연에 영향을 미치지 않는 것으로 설정하였다.

김포국제공항의 계획된 항공기 연결시간(STAT, sche-

Table 4. Jeju Airport's runway exit taxiway usage ratio

구분	P6	P5	P4	RWY 31	P3	P2	P1	합계
C	4.7%	27.7%	36.2%	27.8%	2.6%	0.8%	0.2%	100%
C(터보프롭)	36.9%	33.9%	18.4%	9.8%	0.7%	0.2%	0.1%	100%
D	2.3%	20.0%	35.4%	35.2%	4.7%	1.7%	0.7%	100%
E	1.0%	15.7%	33.4%	41.2%	5.4%	2.5%	0.8%	100%

duled turnaround time)은 평균 55.4분, 표준편차 21.95분으로 나타났으며, 실제 연결시간은 평균 56.4분, 표준편차 20.28분으로 분석되었다. 실제 연결시간이 계획된 시간보다 더 길게 나타나는 이유는, 대부분 항공기 계획시간이 30분, 35분, 40분에 집중되어 있으나, 실제 연결시간은 35분, 40분, 45분 등으로 약 5분 정도 추가 소요되기 때문이다(Table 5).

김해국제공항 항공기 연결시간은 계획 평균 55.08분, 표준편차 24.03분, 실제 평균 56.66분, 표준편차 21.06분으로 분석되었다. 김해공항도 계획은 30분, 35분, 40분에 집중되지만, 실제시간은 35분, 40분, 50분에 많이 분포된다. 또한, 김해국제공항은 대형항공기가 운항하므로, 계획 시간 60분에 분포된 비율이 주변 시간보다 많다(Table 6).

제주국제공항 항공기 연결시간은 계획 평균 47.24분, 표준편차 17.53분, 실제 평균 55.07분, 표준편차 16.28분으로 분석되었다. 가장 많이 계획된 시간은 30분과 45분이지만, 실제 45분과 55분에서 집중된다. 제주국제공항은 활주로 한 개, 주기장 부족 등 공항시설 용량 제약이 있지만, 교통량은 인천국제공항에 이어 많으므로 항공사가 타 공항대비 실제 항공기연결시간(ATAT, actual turn around time)을 상대적으로 적게 소요하고 있다(Table 7).

국내선 교통량이 많은 김포, 김해, 제주국제공항은 계획된 항공기 연결시간보다 실제 항공기 연결시간이 더 걸리는 것으로 확인하였으며, 이는 항공기 연결로 인한 지연이 발생하면, 지연 상황이 상쇄되지 않고 연쇄적인 지연이 발생할 수 있다는 것으로 판단할 수 있다.

2.2.4 기타 고려사항

활주로에서 선행 및 후행 항공기 분리간격은 Wake Turbulence 카테고리에 따라서 결정되며, Super, Heavy, Medium, Light 4개 등급에 따라 5~8NM로 구분하여 적용하였다(Table 8).

항공기 운항 속도는 유로컨트롤에서 제공하는 항공기 성능 데이터베이스를 활용하여 설정하였다. 운항 단계별로 이륙(takeoff), 초기상승(initial climb), 상승(climb), 순항(cruise), 강하(descent), 접근(approach), 착륙(landing) 속도로 세분화하였으며, 각 항공기 등급에 따른 가중 평균과 표준편차를 고려하여 속도를 적용함으로써, 현실적인 항공기 운항 조건을 반영하고자 하였다(Eurocontrol, 2019).

Table 5. Turnaround time analysis of Gimpo Airport

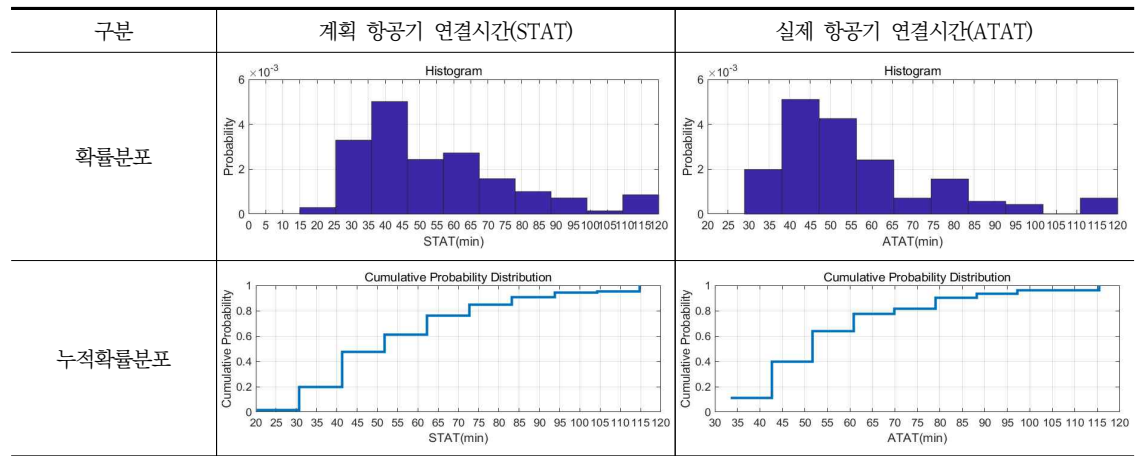


Table 6. Turnaround time analysis of Gimhae Airport

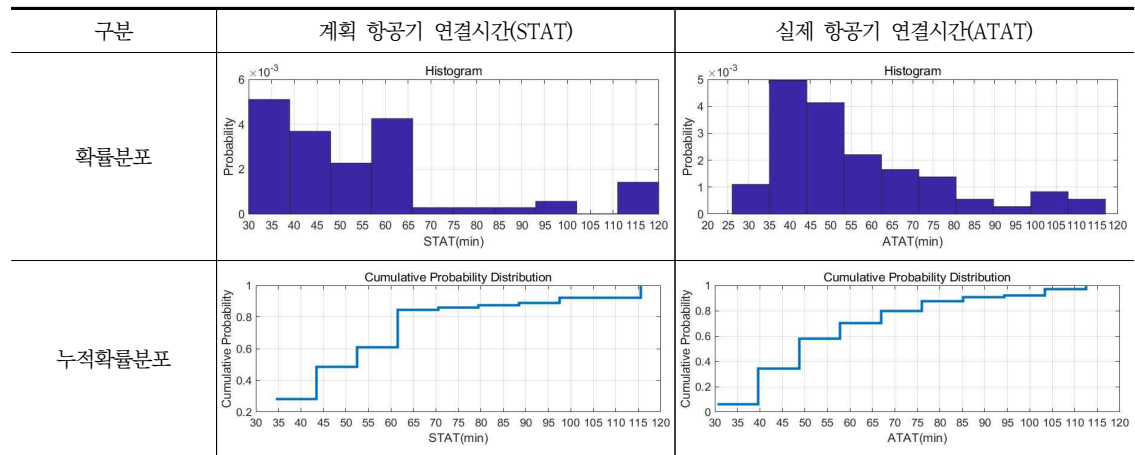


Table 7. Turnaround time analysis of Jeju Airport

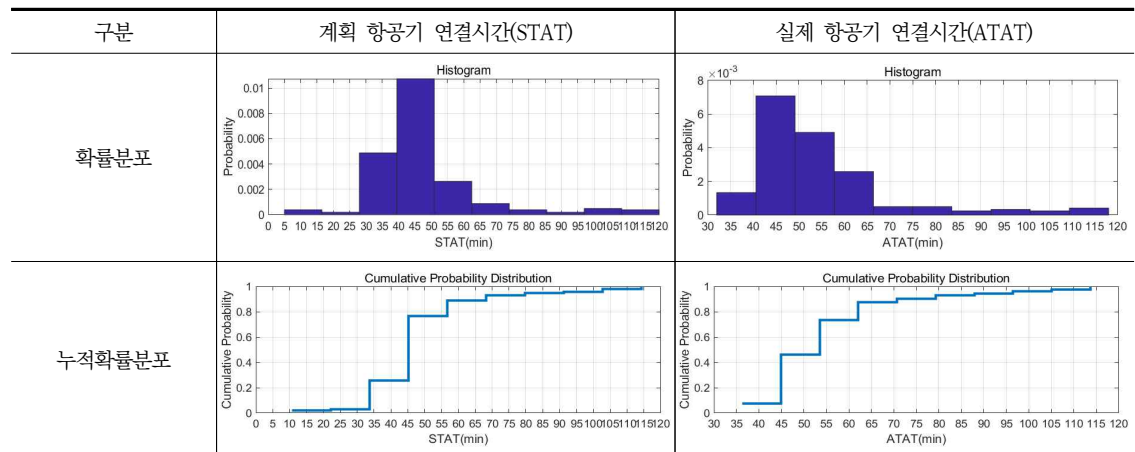


Table 8. Weighted average and standard deviation of operating speeds by aircraft class and flight segment

WTC	Heavy		Medium		Turbo-prop AT75
	평균	편차	평균	편차	
이륙	15.02	7.36	146.7	4.84	110
초기상승	180.5	8.02	169.1	4.92	140
상승	290.9	2.48	289.4	2.41	210
순항	472.7	5.89	455.5	5.39	280
강하	290.6	4.29	281.8	9.37	275
접근	224.9	7.37	241.2	13.38	200
착륙	140.2	1.03	144.6	3.86	120

2.3 시뮬레이션 모델

2.3.1 시뮬레이션 모델 구축

시뮬레이션 모델 구축에서 가장 우선적으로 고려해야 할 요소는 운항스케줄이다. 본 연구에서는 실제 하루 동안의 운항스케줄을 입력하여 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 기간은 2022년 1월부터 2023년 3월까지로 설정하였으며, 기상 조건, 공항 운영 제약, 항공기 고장 등 외부 요인으로 인한 지연 및 결항이 상대적으로 적었던 날짜를 선정하여 분석의 신뢰성을 확보하고자 하였다(Table 9). 이러한 기준에 따라 2022년 10월 16일을 분석 대상으로 선정하였으며, 해당 일에 총 1,370회의 운항이 이루어진 것으로 확인하였다.

각 공항별 운항 횟수는 김포국제공항, 김해국제공항, 제주국제공항을 중심으로 세분화하여 분석되었으며, 이를 통해 해당 공항들의 일일 운항 변동성과 특성을 정확하게 파악하였다.

김포, 제주, 김해국제공항에 대한 분석은 항공정보간행물(AIP)을 기반으로 활주로, 유도로, 게이트 위치, 항공기의 지상이동 규칙 등을 세부적으로 입력하여 수행되었다. 이러한 정보를 바탕으로 각 공항의 실제 운영 환경을 보다 정확하게 반영하였으며, 김포국제공항에 대한 세부 내역은 Fig. 3과 같다.

공항별 운항노선은 항공정보간행물(AIP)에서 발간하는 우리나라 항공로와 동일하게 구축하며, 노선별 운항시간은 앞서 도출한 항공기 등급별 운항속도와 표준편차를 고려하여 무작위 설정 값을 설정하도록 하여, 실제 운영 상황과 유사할 수 있도록 설정하였다(Fig. 4).

Table 9. Number of flights per airport on the selected date

공항	도착(편)	출발(편)	운항횟수(회)
RKSS	219	213	432
RKTN	20	19	39
RKPK	104	107	211
RKPC	251	252	503
RKTU	28	27	55
RKNY	5	5	10
RKPU	14	14	28
RKJJ	19	19	38
RKTH	3	3	6
RKJK	4	4	8
RKJY	12	12	24
RKPS	3	3	6
RKJB	3	3	6
RKNW	2	2	4
합계	687	683	1,370



Fig. 3. Gimpo airport's layout in SIMMOD

2.3.2 시뮬레이션 모델 검증

시뮬레이션 모델 검증은 실제 운항한 결과와 시뮬레이션으로부터 도출된 결과간 유사성으로 판단한다. 검증 방법은 김포, 김해, 제주공항의 출도착 항공기 처리량을 시각적 검증과 통계적 검증으로 수행한다.

본 연구에서 시간적 검증은 구축된 모형의 적절성과 항공기 이동상의 충돌 또는 중첩과 같은 비정상 상황이 발생하는지를 확인하였고, 지상이동의 규칙 등을 설정하여 구축된 각 공항의 모형의 적절성을 확인하였다.



Fig. 4. Aircraft operation routes in SIMMOD

통계적 검증 방법으로 결정계수(R^2)와 RMSE를 활용하였으며, 김포, 김해, 제주국제공항의 시간대별 항공기 운항 횟수를 바탕으로 이 두 지표를 산출하였다.

결정계수(R^2)는 모델이 데이터의 분산을 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 지표로, 0에서 1 사이의 값을 가진다. R^2 값이 1에 가까울수록 모델이 데이터의 변동을 잘 설명한다는 뜻이며, R^2 값이 낮을수록 모델의 설명력이 떨어진다는 의미이다. RMSE는 모델이 예측한 값과 실제 값 간의 차이를 측정하는 지표로, 예측 오차의 크기를 나타내는 대표적인 방법이다. RMSE는 예측 오차의 제곱 평균을 구한 후 그 값을 제곱근으로 변환하여 계산된다. RMSE 값이 작을수록 모델의 예측이 실제 값에 더 가까움을 의미하며, 이는 모델의 성능이 우수함을 나타낸다.

본 연구에서는 모형의 정산(calibration) 과정에서 결정계수(R^2)를 높이기 위하여 공역에서의 항공기 속도, 이·착륙 분리간격, 활주로 진입 대기시간, 항공기 지상이동 속도 및 Push-back 소요시간 등을 조정하였다. 각 조건별 설정 값을 적용하여 결정계수를 확인한 후 Table 11과 같은 상대적으로 높은 수준의 신뢰성을 갖는 모형을 활용하였다. 결정계수가 0.8 수준인 것은 시뮬레이션에 14개의 공항과 공역 운영이 포함되면서 모델의 복잡성이 증가하였기 때문이다.

김포, 김해국제공항의 출·도착 항공기 처리량을 비교한 결과, 시뮬레이션 결과가 실제 항공기 처리량 대비 유사한 패턴이 생성되는 것을 확인하였다. 특히 공항별 야간운항 제한시간(curfew time) 초과 여부를 확인한

Table 10. Simulation calibration (R^2 , RMSE)

공항	최초 모형		수정 모형 Ver.1		수정 모형 Ver.2	
	결정계수 (R^2)	RMSE	결정계수 (R^2)	RMSE	결정계수 (R^2)	RMSE
RKSS	0.69	6.37	0.75	5.94	0.78	4.29
RKPK	0.54	3.91	0.71	3.47	0.76	2.71
RKPC	0.77	6.92	0.72	6.12	0.81	5.54

Table 11. Simulation calibration result (R^2 , RMSE)

공항	결정계수(R^2)	RMSE(대)
김포국제공항	0.78	4.29
김해국제공항	0.76	2.71
제주국제공항	0.81	5.54

결과 23시전까지 운항이 종료되는 것으로 확인하였다.

제주국제공항은 24시간 운영되는 공항으로 야간 운항제한은 없지만, 통상적으로 23시 - 익일 6시까지 운항하지 않는다. 따라서, 제주국제공항 항공기 처리량도 김포, 김해국제공항과 동일하게 시각적 검증으로 분석

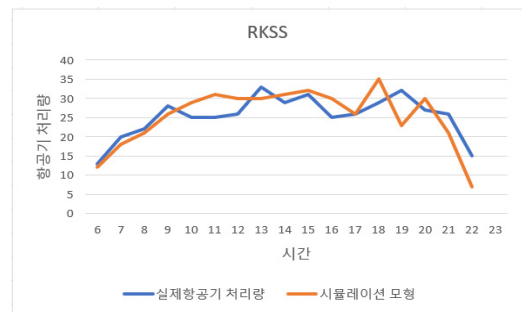


Fig. 5. Arrival and departure throughput at Gimpo International Airport

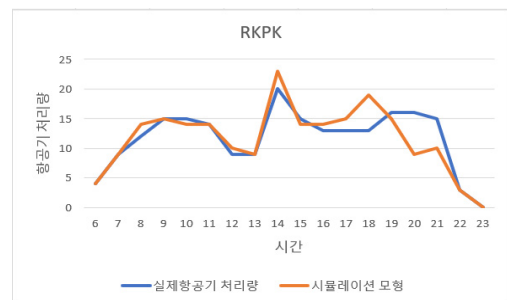


Fig. 6. Arrival and departure throughput at Gimhae International Airport

한 결과는 Fig. 7과 같다.

2.4 시뮬레이션 분석 결과

2.4.1 시나리오 구성

본 연구에서는 김포, 김해, 제주공항을 대상으로 항공기 연결시간의 변화를 통해 항공기 처리 종로 시점을 비교 분석하는 시나리오를 설계하였다. 구체적으로, 연결시간을 40분에서 55분까지 5분 단위로 변화시켜 4개의 시나리오를 구성하였으며, 모든 항공기가 기준 시간에 정확히 출발하지 않고 ± 10 분 범위 내에서 누적 확률분포에 따라 출발하도록 시뮬레이션을 구현하였다(Table 12).

각 시나리오는 실제 운영 결과와 유사한 상황을 반영하기 위해 주요 설정 요소에 무작위 난수 값을 적용한 10회의 반복 실행을 통해 분석하였다. 이를 통해 도출된 항공기 연결시간, 항공기 사용 Gate 배정 등의 값은 확률적 요소를 고려한 현실성 있는 설정을 반영한 결과로, 해당 연구에서 중요한 변수로 간주되는 항공기 연결시간은 누적 확률분포를 바탕으로 입력되었다.

2.4.2 시나리오 분석 결과

공항별로 출발 및 도착하는 항공기의 연결시간에 따라 야간운항 제한시간 이후 도착하는 사례가 발생하는 것으로 나타났다. 김포국제공항의 경우, 항공기 연결시간이 50분, 제주국제공항은 55분일 때 이러한 사례가 발생하였으나, 김해국제공항은 연결시간을 증가시켜도

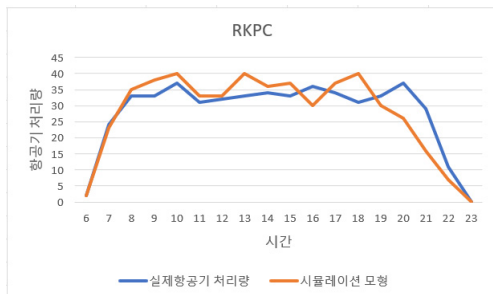


Fig. 7. Arrival and departure throughput at Jeju International Airport

Table 12. Scenario configuration

구성	시나리오1	시나리오2	시나리오3	시나리오4
STAT	40분	45분	50분	55분
ATAT	40 \pm 10분	45 \pm 10분	50 \pm 10분	55 \pm 10분

야간운항 제한시간에 대한 영향이 없는 것으로 분석되었다.

김포국제공항의 적정 연결시간은 40분과 45분으로 도출되었으며, 연결시간이 50분으로 증가할 경우 약 10%의 확률로 항공기가 김포국제공항에 도착하지 못할 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 그러나 항공기 연결시간이 증가함에 따라 17시에서 18시 사이의 교통량이 증가하는 현상이 관찰되었으며, 이는 새로운 첨두시간(peak time)이 발생함을 시사한다(Table 13).

김해국제공항 분석 결과 항공기 연결시간(TAT)을 증가하여도 야간운항 제한시간을 초과하는 항공기는 없는 것으로 분석 결과가 도출되었다. 김해국제공항의 운항댓수가 211대로 김포, 제주국제공항 대비 50%미만으로 적은편이다. 이에 운항스케줄 구성이 21시 이후 이륙하는 항공기 댓수는 1대, 22시부터 출발 항공기는 없으며, 도착하는 항공기도 22시에 1대이다. 김해국제공항의 혼잡한 시간대는 14시와 17시이며, 항공기 연결시간이 증

Table 13. Hourly aircraft throughput by scenario at Gimpo Airport

Time interval	시나리오(STAT 기준)			
	① 40분	② 45분	③ 50분	④ 55분
06:00-07:00	11.4	11.7	11.5	11.6
07:00-08:00	18.2	18.1	18	17.8
08:00-09:00	23.4	22.5	21.5	20.2
09:00-10:00	26.6	27.2	26	26.4
10:00-11:00	32.5	30.1	30	28.2
11:00-12:00	32.7	31.5	30.8	29.5
12:00-13:00	31.9	31.2	29.4	26.2
13:00-14:00	32.8	30	28.9	31.3
14:00-15:00	33.5	32.5	32.8	32.9
15:00-16:00	35.9	36.2	35	33.2
16:00-17:00	29.7	28.6	26.9	27.6
17:00-18:00	29	31.2	32.2	31.9
18:00-19:00	29.6	27.5	28.7	27.5
19:00-20:00	26.6	29.3	29.1	28.8
20:00-21:00	22.3	25.5	26.7	28.2
21:00-22:00	11.3	12.7	17.3	20.4
22:00-23:00	4.6	6.2	7.1	9.2
23:00-24:00	0	0	0.1	1.1

가에도 불구하고 14시에 운항하는 항공기 운항 댓수의 변화는 타 시간대 변화에 비하여 적다(Table 14).

제주국제공항의 운항 횟수는 503대로, 김포, 김해국 제공항보다 가장 많음에도 불구하고 항공기 연결시간의 증가에 따라 23시를 초과하는 처리량은 55분에서 발생하였다. 21시 이후 김포국제공항 운항스케줄은 도착하는 교통량이 많아 항공기 연결시간(TAT)과 비행시간의 영향을 받지만, 제주국제공항 운항스케줄은 대부분 출발하는 항공기 운항스케줄이 많고, 22시 이후 제주국제공항의 운항스케줄은 7대이므로 김포국제공항의 18대보다 적으므로 김포국제공항보다 늦은 시간에 운항하는 항공기가 발생한다(Table 15).

III. 결 론

2023년부터 항공기 지연기준이 국제기준으로 변경되면서 항공기 지연율은 2022년 대비 약 3배 정도 증가하였으며, 국내선 항공기 지연원인 중 가장 많은 비

Table 14. Hourly aircraft throughput by scenario at Gimhae Airport

Time interval	시나리오(STAT 기준)			
	① 40분	② 45분	③ 50분	④ 55분
06:00-07:00	4	4	4	4
07:00-08:00	9.4	9.3	9.1	9.5
08:00-09:00	13.6	13.5	13.6	12.9
09:00-10:00	16.7	16.2	15.4	14.9
10:00-11:00	15.1	14.8	14.7	14.9
11:00-12:00	13.8	13.4	13.5	13.1
12:00-13:00	10.3	10.7	11	10.1
13:00-14:00	14.5	13.1	12.2	11.2
14:00-15:00	20.3	19.5	19.6	18.8
15:00-16:00	8.9	10.8	10.9	12.9
16:00-17:00	19	16.3	14	14.5
17:00-18:00	19.4	17.5	17.3	14.5
18:00-19:00	11.9	15.3	15.4	13.1
19:00-20:00	14.1	14.2	15.9	18.5
20:00-21:00	11.8	11.5	10.1	10.8
21:00-22:00	6.1	8.2	10.5	13.1
22:00-23:00	2.1	2.7	3.8	4.2
23:00-24:00	0	0	0	0

Table 15. Hourly aircraft throughput by scenario at Jeju Airport

Time interval	시나리오(STAT 기준)			
	① 40분	② 45분	③ 50분	④ 55분
06:00-07:00	2	2	2	2
07:00-08:00	22.1	22	21.4	21.4
08:00-09:00	38.6	38.1	37.4	35.3
09:00-10:00	39.3	38.3	38.1	38
10:00-11:00	40.2	39.2	37.9	36.7
11:00-12:00	35	33.4	31.4	30.6
12:00-13:00	35.8	34.1	33.1	33.7
13:00-14:00	40.4	40.8	41.2	38.1
14:00-15:00	40.4	38.1	35.9	36
15:00-16:00	39.1	37.8	37.4	37.5
16:00-17:00	36.6	36.4	36.4	34.4
17:00-18:00	34.7	35.9	33.7	32.6
18:00-19:00	37.4	38.2	39.5	39.4
19:00-20:00	27.7	29.5	31.9	33.3
20:00-21:00	16.6	19.9	24.7	27.8
21:00-22:00	11	12.3	13.3	17
22:00-23:00	6.1	7	7.7	8.9
23:00-24:00	0	0	0	0.3

율을 차지하고 있는 항공기 연결은 항공기 연결시간과 연관이 있다.

실제 공항 환경에서 적절한 항공기 연결시간을 산출하기 위해 항공기를 운영한 실험을 실시하는 것은 공간적, 시간적으로 제한되어 현실성이 낮다. 따라서 본 연구에서는 항공교통 시뮬레이션을 활용하여 실제 공항 환경과 유사한 정밀한 모델을 구축하고자 하였으며, 구축된 시뮬레이션 모델을 바탕으로 실제 항공기 운항스케줄을 적용해 항공기 연결시간 시나리오에 따른 시뮬레이션을 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 김포, 김해, 제주국제공항에서 모든 항공기의 실제 항공기 연결시간이 50분±10분이면 김포국제공항의 야간 운항제한을 지키지 못하는 항공편이 발생한다. 공항의 야간운항 제한을 이내에 운항할 수 있는 항공기의 연결시간은 45분±10분이며, 항공기 운항스케줄 계획 시 이를 반영한다면 항공기 연결 지연을 감소 및 발생하는 지연으로 인한 운항 처리량을 유지하면서 항공기 운영을 할 수 있다.

현재 항공기 운항스케줄은 계획된 항공기 연결시간이 주로 30분~40분 사이에 분포하고 있어, 항공기 연

결 지연이 상쇄되지 못하고 있다. 항공기 지연 기준이 변경됨에 따라 항공기 지연율이 크게 증가한 시점에서 적절한 항공기 연결시간을 산출해 이를 항공기 운항스케줄에 반영해 계획되어야 할 필요가 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 한국공항공사 항공산업연구원의 “항공기 지상 이동시간 분석을 통한 지연개선 연구” 연구와 국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: RS-2021-KA163373)으로 수행되었습니다.

References

1. Korea Aiports Corporation, "Aviation statistics", 2022.
2. Ministry of Land infrasturcture and Transport Civil Aviation Office, "Aviation statistics compilation manual", 2022.
3. Eurocontrol CODA, "All-causes delay to air transport in Europe", 2022.
4. Ball, M., Barnhart, C., Dresner, M., Hansen, M., Neels, K., Oadini, A., Peterson, E., Sherry, L., Trani, A., and Zou, B. Total delay impact study. NEXTOR final report prepared for the U.S. Federal Aviation Administration. 2010.
5. Jinn-Tsai Wong, Shy-Chang Tsai., "A survival model for flight delay propagation", Journal of Air Transport Management, 23, 2012, pp.3-8.
6. Paolo, M., Chiara, M., Renato, R., Stefano, P., "Theturnaround tactic and on-time performance: Implications for airlines' efficiency", Research in Transportation Business & Management, 46, 2023, pp.2-5.
7. Kim, M, H., Park, S, W., and Bae J, H., "Flight delay and cancellation analysis and management strategies", The Korea Transport Institute basic-RR-20-10., 2020.
8. Lee, C. S., Kim, D. S., Kim, H. W., Baik, H. J., "Correlation analysis between delay and turnaround time at Jeju International Airport", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 30(1), 2022, pp.2-10.
9. Lee. H. J., and Kim D. H., "A comparative study on delay calculation method of airport capacity", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 28(2), 2022, pp.47-52.
10. Eurocontrol., "Aircraft performance summary tables: Base of Aircraft Data", 2019.