

# 제주국제공항의 항공기 지연요인 분석

최영은<sup>1</sup> · 양봄이<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울연구원 서울공공투자관리센터 부연구위원, <sup>2</sup>한국개발연구원 공공투자관리센터 전문위원

## Analysis of Aircraft Delay Factors at Jeju International Airport

CHOI, Youngeun<sup>1</sup>  · YANG, Bomyi<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Associate Research Fellow, Seoul Public Investment Management Service, The Seoul Institute, Seoul 06756, Korea

<sup>2</sup>Specialist, Public and Private Infrastructure Investment Management Center, Korea Development Institute, Sejong 30149, Korea

\*Corresponding author: realbomi@hanmail.net

### Abstract

Jeju International Airport is experiencing heavy congestion and delays due to the rapid increase of passengers. As of 2019, delays occurred in 24,052 aircraft, which account for over 14% of all flights operated. This delay rate is about 1.5 times higher than the average delay rate of 9% at domestic airports. The factors which bring delays at Jeju International Airport may include saturation of runway capacity, poor weather conditions, and limitations in facility layout. However, there are insufficient empirical studies on how these factors have affected aircraft delays. This study analyzed the effects of airport operation characteristics, weather conditions, and aircraft operation characteristics on aircraft delay using tower-log data of Jeju International Airport and Aeronautical Climatological Statistics of Jeju International Airport of Aviation Meteorological Office. The result of the analysis shows, aircraft movements per day, aircraft movements per hour, time of day, wind, route and aircraft occupancy rate have a statistically significant effect on aircraft delay, and the relative importance of variables appeared in the order of aircraft movements per day, wind, visual, and aircraft occupancy rate. In addition, these variables were analyzed to have a statistically significant effect on the delay time of aircraft. The results of this research are expected to be used as a basic data for aircraft delay management in airport planning and operation, and contribute to improve methodology of the feasibility study for airport projects.

**Keywords:** aircraft delay factors, aircraft operation characteristics, airport operation characteristics, Jeju International Airport, weather conditions

### 초록

최근 제주국제공항은 이용객 증가에 따른 공항의 혼잡 및 항공기 지연이 극심해지고 있는 추세이다. 2019년 기준 전체 운항편의 약 14.1%에 해당하는 24,052편의 항공기에서 지연이 발생하였으며, 이는 전국공항의 평균 지연율인 9% 대비 약 1.5배 높은 수준이다. 특히 출발항공기 지연율은 국내공항 출발항공기 평균인 9.91%의 약 2.2배 수준인 21.3%로 제주국제공항의 지연은 매우 심각한 수준이다. 이러한 지연 증가의 원인으로서는 활주로 용량 포화, 불량한 기상여건, 시설배치 한계 등이 언급되고 있으나 실제로 이러한 요인들이 항공기 지연 여부에 미치는

J. Korean Soc. Transp.  
Vol. 39, No. 2, pp. 137-148, April 2021  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.2.137>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 18 January 2021

Revised: 25 February 2021

Accepted: 4 March 2021

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

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.

영향에 대한 실증적 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 2019년 1년간 제주국제공항의 항공기 운항일지(Tower-log) 자료와 항공기상청의 제주국제공항 공항기후통계 자료를 활용하여 공항의 운영특성(일운항횟수, 시간당운항횟수 등)과 각종 기상현상(풍속, 시정, 강우량 등), 항공기 운항 특성(운항노선, 항공기 탑승율 등)이 항공기의 지연 여부 및 지연시간에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 일운항횟수, 시간당 운항횟수, 운항시간대, 강수량, 풍속, 운항노선, 항공기 탑승률과 같은 다양한 변수가 항공기 지연에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 변수의 상대적 중요성은 일운항횟수, 풍속, 시정, 항공기 탑승률의 순으로 확인되었다. 또한 이러한 변수들은 항공기의 지연시간에도 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 공항의 계획 수립 및 운영단계에서 항공기 지연 관리, 그리고 공항부문 사업의 타당성조사 방법론 개선 등에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

**주요어:** 항공기 지연 요인, 항공기 운항특성, 공항 운영특성, 제주국제공항, 기상조건

## 서론

최근 제주도를 방문하는 관광객의 증가 등으로 인해 제주국제공항의 이용객은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 이용객 증가로 인해 제주국제공항의 혼잡과 지연은 날이 갈수록 심해지는 추세로, 2019년 제주국제공항을 운항한 정기편 항공기 총 170,854편 중 약 14.1%에 해당하는 24,052편의 항공기가 지연되었다. 국토교통부의 항공통계 집계 기준 상 항공기 지연의 기준은 국내선은 30분, 국제선은 1시간 이상 지연된 경우로, 제주노선 국내선 항공기의 운항시간이 1시간 내외인 점을 감안한다면 통계상 지연율에 비해 실제 승객이 겪은 체감적인 지연은 더 크다고 볼 수 있을 것이다. 특히, 출발항공기의 경우 전체의 약 21.3%에 해당하는 18,148편이 지연되었는데, 이는 국내공항의 출발항공기 평균 지연율인 9.91% 대비 약 2.2배로 제주국제공항의 지연 발생이 매우 심각한 수준이라는 것을 알 수 있다.

제주국제공항에서 이와 같은 항공기 지연이 발생하는 원인으로는 활주로 용량 포화('19년 기준 활주로 이용률 102%), 불량한 기상여건(윈드시어, 측풍 등), 시설배치 한계(활주로 방향, 유도로 부족 등) 등이 언급되고 있다. 그러나 이러한 요인들이 실제 항공기의 지연 여부 및 지연 시간에 어떠한 영향을 미치고 있는지, 또 어떠한 요인들이 지연에 더 큰 영향을 미치는지 등에 대한 실증적 검토는 부족한 상황으로, 제주국제공항의 극심한 지연 요인에 대한 분석을 통한 해결방안 도출에는 한계가 있는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 2019년 1년간 제주국제공항의 항공기 운항일지(Tower-log) 자료와 항공기상청 제주국제공항 공항기후통계 자료를 활용하여 개별 항공기에 대한 공항의 운영특성(운항횟수 등)과 각종 기상현상(풍속, 강수량 등), 항공기 특성(노선, 탑승률 등) 자료를 구축 후 이러한 요인들이 개별 항공기의 지연에 미치는 영향을 통계적으로 분석하였다. 항공기의 지연 여부에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위해서 로짓모형(Logit model)을 이용하였으며, 랜덤포레스트(Random forest)를 이용하여 각 요인들이 항공기 지연에 미치는 상대적 중요성을 검토하였다. 그리고 항공기의 지연시간에 미치는 영향은 토빗모형(Tobit model)을 이용하여 분석하였다. 이러한 모형의 추정 결과는 항공기의 출도착에 따른 특성을 고려하기 위해 출발 항공편, 도착 항공편, 전체 항공편으로 구분하여 그 결과를 제시하였다.

## 선행연구 고찰

미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)에 따르면 2008년부터 2013년 기준 날씨(Weather)가 국가 공역 시스템(National airspace system) 상 전체 지연에서 차지하는 비중이 약 69%<sup>1)</sup>에 달할 정도로 기상(날씨)은 항공교통 지연의 가장 큰 원인 중 하나로 꼽힌다. 이처럼 기상은 항공 및 항행에 큰 영향을 미치는 항공업계의

1) 미국 FAA 홈페이지(<https://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/faq/>).

주요 관심사로(Kulesa, 2003), 국내외적으로 기상(날씨)이 항공기의 지연에 미치는 영향에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다.

먼저 관련 해외연구를 살펴보면, Borsky and Unterberger(2019)는 2012년 1월부터 2017년 9월까지 10개의 대형 미국 공항 간 비행데이터를 분석하여 악천후가 출발 항공기 지연에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 기상상황 및 그 강도에 따라 출발지연시간은 최대 23분까지 증가하는 것으로 나타났다. Christopher J. Goodman and Griswold(2019)는 미국 77개 공항에 대한 항공기 운항자료와 기상자료를 활용하여 날씨 유형에 따른 항공기의 지연 및 결항을 분석하였다. 그 결과, 공항별로는 차이가 있으나 공항의 운영효율과 날씨 간에는 강력한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 한편 FAA(1983)는 회람(Advisory circular 150/5600-5)을 통해 활주로의 용량 대비 수요 비율에 따른 항공기의 평균 지연을 제시하였는데, 해당 그래프에 따르면 활주로 용량 대비 운항횟수 비율이 올라갈수록 항공기의 평균지연은 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. Cheng et al.(2019)는 2016년 중국의 국제 허브공항을 대상으로 공간오차모형(SEM), 공간지연모형(SLM), 최소제곱회귀(OLS) 등을 이용하여 항공기 지연에 대한 요인을 분석하였으며, 그 결과 기상 조건과 항공기 등에 대한 기술적 결함이 출발지연에 큰 영향을 미치며, 이러한 요소들이 운항횟수의 영향보다 더 크다고 하였다. Bai(2006)은 올란드 국제공항을 대상으로 다변량 회귀, 로짓모형을 이용하여 출발항공기의 지연요인을 분석하였으며, 그 결과 강수량, 풍속, 상대공항의 출발지연이 주요 요인으로 나타났으며, 공항의 수용규모가 미치는 영향은 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다. 다음으로 국내연구를 살펴보면, Lee et al.(2011)은 김포, 제주, 김해국제공항을 대상으로 항공기 운항에서 기상현상이 결항 및 지연에 미치는 영향을 분석하였다. 기상현상을 안개, 강설, 강우 등 7개로 구분한 후 교차분석, Duncan의 Multiple range test, 그리고 t-test를 이용하여 통계적 분석을 수행하였다. 그 결과 기상요인이 항공기 결항과 지연에 통계적으로 유의한 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. Park et al.(2019)은 인천국제공항을 운항한 항공기의 운항 및 비행정보시스템(Flight Operation and Information System, FOIS) 자료와 항공기상청의 통계자료를 활용하여 다항로지스틱 회귀분석, 판별분석, 랜덤 포레스트 모형을 통해 기상자료를 활용한 지연 및 결항을 예측하였다. Kim(2016)은 제주국제공항을 대상으로 기상요인별 항공기의 결항빈도를 분석하였으며, 제주국제공항의 기상요인에 의한 항공기 결항 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 바람과 태풍으로 분석하였다. Park et al.(2015)는 제주국제공항을 대상으로 항공기 지연시간을 고려한 활주로의 연간 용량을 산정하였으며, TAAM(Total Airspace and Airport Modeller) 시뮬레이션을 활용하여 분석한 결과 항공기의 지연이 공항의 연간 용량에 영향을 미치며, 제주국제공항의 경우 연간 용량이 약 16.9만회 수준이라고 제시하였다.

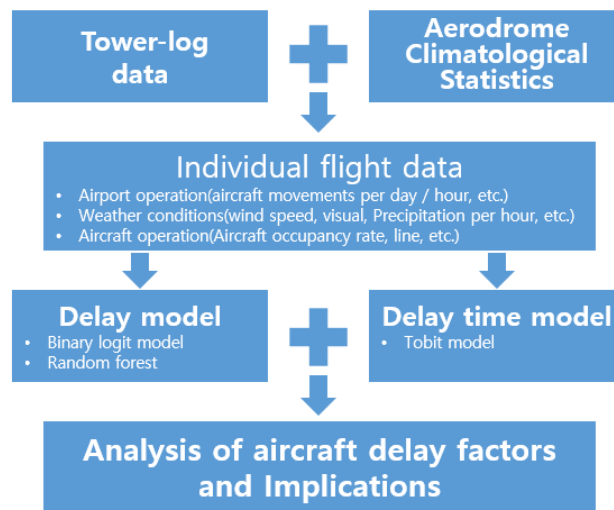


Figure 1. Research process

이상으로 항공기의 지연 여부에 미치는 요인에 대한 국내외 연구를 살펴본 결과, 기상요인(날씨), 공항의 운항 조건 등이 공항의 지연에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있으며, 그 결과는 지역 및 공항의 특성별로 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 제주국제공항을 대상으로 항공기 운항일지 자료와 공항기후통계 자료를 토대로 공항의 운영특성과 각종 기상현상, 항공기 특성이 항공기 지연에 미치는 영향을 종합적으로 분석하여 그 결과를 제시하였으며, 본 연구의 흐름을 개략적으로 도식화하면 Figure 1과 같다.

## 연구의 방법론

### 1. 모형 설정

#### 1) 항공기 지연 여부

항공기의 지연 여부는 지연발생(1) 혹은 지연 미발생(0)의 이항(Binary)의 형태로 나타나므로, 이산선택모형(Discrete choice model)을 통해 추정이 가능하다. 로짓모형은 이산선택모형 중 가장 적용이 간편하고 널리 사용되는 모형으로(Train, 2009), 통계학적으로 배반사건(Mutual exclusive event)이고 확률적 선택 하에 놓인 경우 사용이 가능하다(Lee et al., 2005). 이에 본 연구에서는 이항로짓모형(Binary Logit Model)을 이용하여 공항의 운영 특성과 기상현상, 항공기 운항 특성 등이 개별 항공기의 지연 여부에 통계적으로 유의미한 영향을 미쳤는지 분석하였다. 본 연구에서 항공기의 지연 여부는 항공기통계작성매뉴얼(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에 따라 계획시각 대비 실제시각의 차이(지연)가 국내선 30분, 국제선 1시간을 초과할 경우에는 지연(1)으로 구분하였으며, 해당 기준시간 이하일 경우, 그리고 계획시간보다 일찍 도착하는 경우는 미지연(0)으로 구분하였다. 항공기 지연에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수로는 시간당 운항횟수, 일운항횟수, 운항노선, 항공기 탑승률, 풍속, 강수량, 각종 기상현상 발생 여부(안개, 낙뢰, 강수 등) 등이 있다. 항공기 지연 여부에 대한 이항로짓모형을 수식으로 나타내면 Equation 1과 같다.

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \text{logit}(P_i) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \quad (1)$$

여기서,  $P_i = Pr(Y=1|X=x)$

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{if delayed} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$x_i = \text{Explanatory variables}$

로짓모형의 추정 결과를 통해 각 변수들이 항공기 지연에 통계적으로 유의한 영향을 미치는지 여부에 대한 파악은 가능하나, 변수간 측정 단위와 스케일 등이 상이함에 따라 어떠한 변수가 지연 여부에 더 큰 영향을 미치는지는 알 수 없는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 머신러닝(Machine learning) 기법 중 하나인 랜덤포레스트(Random forest) 모형을 이용하여 항공기 지연 여부에 어떠한 변수들이 상대적으로 더 큰 중요도를 갖는지 분석하였다. 랜덤포레스트는 종속변수가 분류형과 연속형일 때 모두 적용이 가능한 비모수 추정법으로, 학습 데이터에 따라 결과가 크게 달라질 수 있는 의사결정나무(Decision tree)의 단점을 보완할 수 있다. 주어진 데이터로부터 임의(Random)의 일부 데이터를 추출하여 여러 개의 모형을 구축한 후 이들의 결과를 종합적으로 고려해 예측하는 앙상블 학습 방법론으로, 부트스트랩(Bootstrap)을 통해 서로 다른 훈련데이터를 기초로 훈련된 모형들을 결합시키는 배깅(Bagging)의 과정을 수행한다. 이 과정에서 학습에 사용되지 않은 데이터를 이용하여 모형을 검증(Validation)하는 과정을 거치게 되는데, 이때 산출되는 OOB 오차(Out of bag error)를 이용하여 모형의 오분류률, 즉 모형의 정확도를 산출할 수 있다. 랜덤포레스트는 비모수 추정법이므로 개별 변수의 모수(Parameters)가 추정되지는 않으나 각 변수들이 중

속변수에 미치는 상대적인 중요성을 파악할 수 있다. 변수가 제외될 때 정확도가 줄어드는 정도(Mean decrease accuracy)와 노드 불손도 개선(Mean decrease gini)을 통해 각 변수의 상대적 중요도를 파악할 수 있으며, 즉 두 개의 값이 클수록 중요한 변수라는 것을 의미한다(Lee, 2019).

## 2) 항공기 지연 시간

항공기의 지연 여부 외에도 공항의 운영 특성과 기상요인, 항공기 운항 특성이 실제 항공기의 지연시간에 미치는 영향을 분석하였다. 제주국제공항의 항공기 출도착은 다수의 경우 계획시간보다 늦게 발생하나, 일부 정시에 운행되거나 계획시간 대비 일찍 출도착하는 경우도 있다. 본 연구의 목적은 공항의 운영조건과 기상요인, 항공기 특성이 정상운항 대비 항공기의 지연시간에 미치는 영향을 살펴보는 것으로, 계획시간보다 조기 도착한 항공기 자료를 포함하여 일반적인 OLS로 분석할 경우 공항의 운영, 기상 등 특정 조건을 만족할 경우 항공기가 계획시간보다 더 빨리 운항할 수도 있다는 적절하지 못한 결론을 도출할 수 있다. 이에 본 연구에서는 중단회귀모형(Censored regression model)의 대표적 모형인 토빗모형(Tobit Model)을 이용한다. 종속변수인 항공기 지연시간은 항공기 운항일지(Tower-log)의 계획시간과 실제시간 차이를 통해 구축하며, 다만 지연시간이 음수인 조기 출도착 항공기의 경우 모형 추정 시 종속변수가 0으로 처리된다. 본 연구와 같이 0을 기준으로 좌측 절단된(Left censored) 토빗모형은 종속변수  $y$ 가 0이거나 그 미만인 표본 또한 모집단으로 간주하므로, 설명변수가 종속변수에 미치는 한계효과( $dy/dx$ )는 확률에 미치는 한계효과와 절단평균에 미치는 한계효과에 의존한다(Min and Choi, 2015). 이에 따라 본 연구에서는 계수 추정치와 함께 각 변수별 한계효과( $dy/dx$ )를 별도로 산출하여 제시하였다. 본 연구에서 항공기 지연 시간 검토를 위해 활용한 토빗모형의 식은 Equation 2와 같다.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \epsilon_i \quad (2)$$

$$\text{여기서, } Y = \begin{cases} y_i^* & \text{if } y_i^* > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$x_i = \text{Explanatory variables}$$

## 2. 자료 구축

본 연구에서는 제주국제공항의 항공기 운항일지(Tower-log) 자료와 항공기상청에서 제공하는 제주국제공항의 공항기후통계 자료를 활용하여 개별 항공기의 지연 여부 및 지연시간, 공항의 운영 특성, 기상상황, 항공기 운항특성에 대한 자료를 구축하였다. 먼저 항공기 운항일지(Tower-log) 자료는 2019년 1년간 제주국제공항을 이용한 개별 항공기 운항 약 17.5만회에 대한 기록으로, 항공기 운항일시, 항공사, 운항노선, 계획시간, 실제시간, 좌석수, 여객수, 항공기 종류(여객기/화물기) 등의 항공기 운항과 관련된 다양한 정보가 포함되어 있다. 이 자료를 통해 개별 항공기의 지연 여부 및 지연시간, 해당 항공기가 운항한 날짜 및 시간의 운항횟수, 항공기의 탑승률, 상대공항, 운항노선 등의 공항 운영 및 항공기 운항 특성과 관련된 정보를 확인할 수 있다. 다음으로 공항기후통계자료는 제주국제공항의 2019년 1년간 기후정보를 1시간 단위로 기록한 자료로, 관측일시, 일기코드4677, 풍향, 풍속, 시정, 기온, 강수량, 습도 등 공항의 기상상태와 관련된 정보가 포함되어 있다. 이 중 일기코드4677은 국제기상전보식코드로 2자리 숫자를 이용하여 기상을 나타낸다. 예를 들어 일기코드 20은 “관측 전 1시간 이내 이슬비”, 63은 “보통 비 계속” 등을 의미하며, 각 코드별 일기는 항공기후통계지침(Aviation Meteorological Office, 2019)에서 확인이 가능하다. 즉 본 자료를 이용하면 2019년 1월1일 0시부터 2019년 12월31일 23시까지 1시간 단위로 1년간 제주국제공항의 기상상황에 대한 정보를 파악할 수 있다.

이상의 두 가지 자료를 1시간 단위로 결합한 후 재구성하여 개별 항공기에 대해 운항 당시 공항의 운영 특성, 기상 상황 그리고 해당 항공기의 운항 특성에 대한 자료를 구축하였다. 먼저 항공기의 지연 여부는 앞서 논의한 바와 같이 항공기 운항일지(Tower-log) 자료 상 개별항공기의 계획시간과 실제시간의 차이가 각각 국내선 30분, 국제선 1시간을 초과할 경우 지연(1), 그렇지 않을 경우 미지연(0)으로 구분하였다<sup>2)</sup>. 항공기 지연시간은 항공기의 계획시간과 실제시간의 차이를 계산하여 분단위로 자료를 구축하였다. 제주국제공항의 운영 특성에 대한 변수로는 해당 항공기가 운항한 날짜의 일운항횟수(movpd), 해당 항공기가 운항한 일시의 시간당 운항횟수(movph), 운항시간 더미변수(13시에서 18시(time\_d\_1318), 19시에서 23시(time\_d\_1923))이며, 기상과 관련된 변수로는 시간당강수량(rain), 풍속(wind), 시정(visual) 각종 기상현상 더미변수(낙뢰, 안개, 눈, 비) 등이다. 마지막으로 항공기 운항특성과 관련된 변수로는 국제선 더미(ind\_d), 국내선 대형공항(김포, 김해) 더미(dom1\_d), 항공기 탑승률(occu) 등으로 구축하였다. 이상의 과정을 통해 총 14개의 변수를 구축하였으며 각 변수에 대한 세부 내용은 Table 1과 같다.

**Table 1. Variable description**

Variable	Description
movpd	Aircraft movements per day
movph	Aircraft movements per hour
time_d_1318	1 if 13:00-18:00; 0 otherwise
time_d_1923	1 if 19:00-23:00; 0 otherwise
rain	Precipitation per hour (mm)
wind	Wind speed (kt)
visual	Visual (m)
cli_thunder	1 if thunder and lightning; 0 otherwise
cli_fog	1 if fog; 0 otherwise
cli_snow	1 if snow; 0 otherwise
cli_rain	1 if rain; 0 otherwise
int_d	1 if international flights; 0 otherwise
dom1_d	1 if domestic flights from/to GMP or PUS; 0 otherwise
occu	Aircraft occupancy rate

한편, 공항은 태풍, 윈드시어 등 심각한 악기상이 장기간 발생할 경우 계획된 항공기의 대부분이 결항되는 상황이 발생하는데, 항공기의 지연을 대상으로 하는 본 연구의 목적 상 이러한 특정일에 발생한 극심한 일부 지연 항공편이 표본에 포함될 경우 모형의 추정 결과에 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 2019년 중 태풍 및 윈드시어 등으로 인해 제주국제공항의 대부분 항공기가 결항된 8일간<sup>3)</sup>의 운항자료는 표본에서 제외하였다. 또한 기체결합 등의 사유로 인해 매우 긴 시간동안 지연된 항공편 또한 표본에서 제외할 필요가 있다. 그러나 항공기 운항일지(Tower-log)에서는 개별 항공기의 지연 원인에 대한 정보는 확인이 불가능한 한계가 있다. 이에 전체 운항횟수에서 약 90% 이상을 차지하는 국내선 항공기의 운항시간이 1시간 내외인 점, 60분 이상 지연되는 항공기의 비율이 전체 운항횟수 대비 3% 미만(5,183편)으로 그 비중이 매우 미미한 점 등을 감안하여, 최대 지연시간이 60분 이상인 항공기는 표본에서 제외하였으며, 이상의 과정을 통하여 총 167,853개의 표본을 구축하였다. 예를 들어, 2019년 9월 1일 19시 44분에 제주국제공항에서 김포국제공항으로 이륙한 국내선 항공기의 경우, 해당 일의 일운항횟수는 512회, 해당 일시의 시간당 운항횟수는 31회이며, 해당 항공기의 탑승률은 약 99%이다. 당시 기상상황은 풍속 12kt, 시정 4,000m이며, 시간당 강수량은 8.5mm로 확인된다. 해당 항공기의 예정 출발시간은 19시 15분, 실제 출발시간은 19시 44분으로 29분이 지연되었으며, 항공통계작성매뉴얼(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)에 따라 지연발생 여부는 미발생(0)으로 구분된다.

2) 항공기 지연 여부 판단을 위한 시간 기준은 연구자의 주관을 최소화하기 위해 국토교통부 업무 매뉴얼을 준용하였으며, 지연시간 기준 변경(국내/국제 동일하게 30분 혹은 1시간 등)에 따른 모형 추정 결과 차이는 미미한 것으로 확인하였다.

3) 7.19-20(5호 대나스), 9.6-7(13호 링링), 9.22(17호 타파), 10.2(18호 미탁), 3.20(윈드시어), 4.9(윈드시어).

구축된 자료의 기술통계를 살펴보면, 항공통계작성매뉴얼(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013) 기준으로 전체 표본의 약 12%에 해당하는 19,859편의 항공기에서 지체가 발생하였다. 이러한 수치는 2019년 전체 제주국제공항의 지연율인 14% 대비 다소 낮는데, 이는 앞서 수행한 대규모 결항 및 지연 항공기에 대한 표본 제외 과정에서 영향이 있었을 것으로 판단된다. 노선별 운항횟수는 국제선이 약 1.7만회, 국내선이 15.1만회이며, 이중 국내선 대형공항(김포공항, 김해공항) 노선이 10.5만회로 가장 높게 나타났다. 항공기의 지연시간은 평균 11.98분, 중앙값은 13분으로 나타났으며, 전체 항공기의 약 76%(127,113편)가 예정시각보다 늦게, 나머지 약 24%(40,740편)가 정시 혹은 예정시각보다 빨리 출도착하였다. 다음으로 시간당 운항횟수는 평균 30.9회, 최대 42회, 1일 운항횟수는 평균 483.8회, 최대 557회 수준으로 나타났다. 항공기의 탑승률은 평균 약 91%로 매우 높은 수준이다. 기상과 관련된 통계를 살펴보면, 시간당 평균 강수량은 약 0.2mm/h, 풍속은 약 8kt, 평균 활주로 시정(visibility)은 약 9,300m로 나타났다. 본 연구에서 활용한 변수들의 히스토그램 및 기술통계량은 Figure 2, Table 2와 같다.

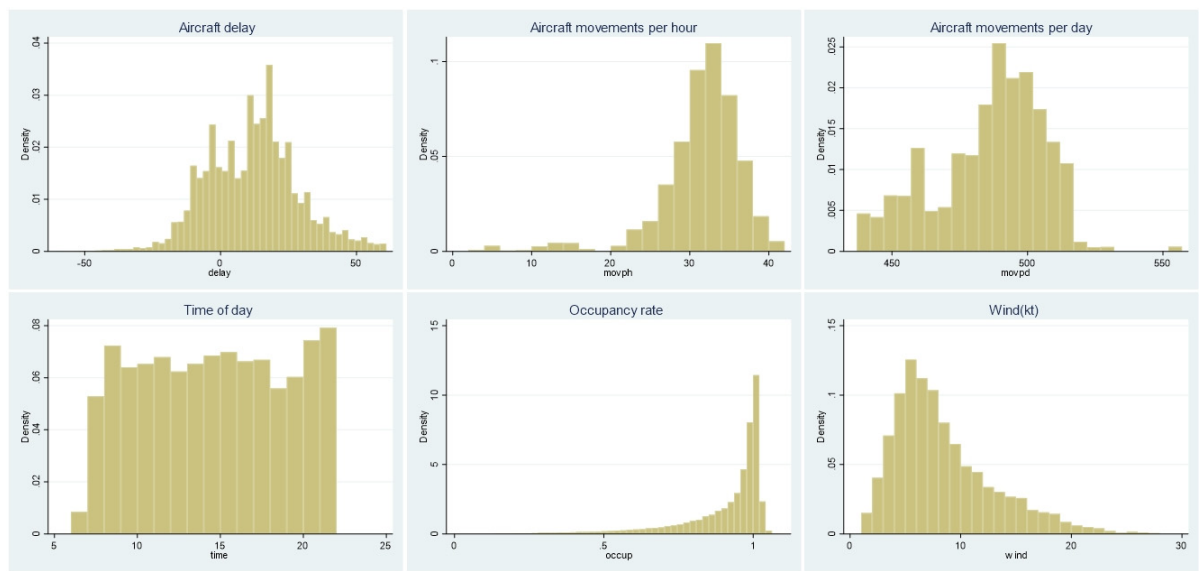


Figure 2. Histogram of variables

Table 2. Descriptive statistics of variables (unit: number of aircraft movements)

Delay		Time of day		Route		Days of week	
Delayed	19,859	06-12h	66,034	INT	16,682	Weekday	116,512
Not delayed	147,994	13-18h	65,920	DOM (GMP, PUS)	105,124	Weekend	48,341
		19-23h	35,899	DOM (etc)	46,047		

## 분석 결과

항공기 지연 여부에 대하여 전체항공기, 출발항공기, 도착항공기의 3개로 표본을 구분하여 이항로짓모형(Binary logit model)을 추정<sup>4)</sup>한 결과는 Table 3과 같다. 먼저 공항의 운영특성 변수로, 시간당 운항횟수와 일운항횟수, 운항시간 더미(13-18시, 19-23시) 변수는 99% 수준에서 양의 부호로 유의하게 추정되었다. 이는 해당 항공기가 운항하는 날짜와 시간대의 항공기 운항횟수가 많아질 경우 혼잡 증가로 인해 항공기 지연의 발생 가능성이 높아진다는 것을 의미한다. 운항시간 더미의 추정 결과는 오전시간 대비 오후 및 저녁시간에 있어 지연이 발생할 가능성이 높다는 것을 의미하는데, 이는 이른 시간대부터 발생한 항공기의 누적 지연이 오후 및 저녁시간에 영향을 미치기 때문

4) 본 연구에서 이항로짓모형과 토빗모형은 STATA, 랜덤포레스트는 R을 이용하여 추정하였다.

으로 판단된다.

다음으로 기상과 관련된 변수로는 강수량, 풍속, 시정 변수가 99% 수준에서 유의하게 추정되었다. 강수량과 풍속 변수는 양의 부호로, 시정 변수는 음의 부호로 각각 추정되었으며, 이러한 결과는 기상악화에 의해 항공기 지연이 발생할 수 있을 것이라는 상식에 부합하는 결과이다. 즉 강수량 많아지고 풍속이 강해질수록 항공기의 지연 가능성은 높아지며, 이와 반대로 시정이 좋아질수록 항공기의 지연 가능성은 낮아진다는 의미로 해석할 수 있다. 한편, 더미 변수로 처리된 변수 중 뇌전, 강설은 통계적으로 유의하지 않게 나타났으며, 안개와 강우는 유의한 것으로 나타났다. 이는 뇌전은 발생 빈도가 낮고, 강설 또한 제주국제공항의 지리적 특성 상 발생 빈도가 낮기 때문으로 판단된다.

마지막으로 항공편의 특성과 관련된 변수로는 국제선, 국내선 대형공항, 탑승률 변수 모두 99% 수준에서 유의하게 추정되었다. 상대공항이 국제선일 경우 지연이 감소, 국내선의 경우 대형공항(김포공항, 김해공항)과의 운항 노선일 경우 지연 가능성이 증가하였는데, 이는 두 공항을 직접 연결하는 항공기의 운항 특성 상 상대공항의 혼잡에 따른 항공기의 출도착 지연이 제주국제공항에도 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 탑승률 또한 항공기의 지연 여부에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 탑승률이 높은 출발 항공기의 경우 승객 탑승, 이륙전 기내 정리 등에 필요한 시간으로 인해 지연이 발생할 수 있으며, 또한 탑승률이 높은 시간대의 경우 항공기 운항에 있어 침두시간일 가능성이 있기 때문으로 판단된다. 3가지 모형의 계수 추정치는 유사하며 카이제곱 검정 결과 모형은 통계적으로 유의하게 추정되었다.

**Table 3. Estimation results of binary logit model**

Variable	All aircraft		Departure aircraft		Arrival aircraft	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
movph	0.0176***	0.0019	0.0075***	0.0022	0.0572***	0.0041
movpd	0.0083***	0.0004	0.0104***	0.0005	0.0040***	0.0008
time_d_1318	0.6983***	0.0186	0.6558***	0.0221	0.8332***	0.0396
time_d_1923	0.7972***	0.0219	0.6990***	0.0262	1.0284***	0.0456
rain	0.0462***	0.0049	0.0574***	0.0073	0.0497***	0.0076
wind	0.0258***	0.0017	0.0270***	0.0020	0.0264***	0.0033
visual	-0.0001***	0.0001	-0.0000***	0.0000	-0.0001***	0.0001
cli_thunder	0.0801	0.1391	-0.1964	0.1773	0.0534	0.2484
cli_fog	0.5419***	0.1708	0.6648***	0.2061	0.4178	0.3730
cli_snow	-0.0483	0.1558	0.1560	0.1898	-0.2052	0.3130
cli_rain	0.5362***	0.0229	0.5212***	0.0285	0.7007***	0.0431
int_d	-5.1128***	0.2894	-5.2586***	0.3345	-4.9049***	0.5784
dom1_d	0.1619***	0.0175	0.1970***	0.0210	0.1183***	0.0353
occu	0.0128***	0.0007	0.0130***	0.0008	0.0086***	0.0012
intercept	-8.1777***	0.2034	-8.3539***	0.2426	-7.9512***	0.4090
No. of obs	167,853		83,009		84,844	
LogLikelihood	-56,522		-36,432		-16,099	
LR chi2 (14)	8,999		6,863		2,566	
Prob>chi2	0.0000		0.0000		0.0000	

note: significance level 0.01 \*\*\*, 0.05 \*\*, 0.1 \*.

다음으로 랜덤포레스트(random forest)를 이용하여 각 변수들이 항공기 지연에 미치는 상대적인 중요도가 어떠한지 살펴보기로 한다. 분석대상은 항공기 지연 여부이며, 이때 사용된 변수는 앞선 이항로짓모형에서 사용된 총 14개의 변수를 사용하였다. 배깅과정에서 학습에 포함되지 않은 데이터를 이용하여 검증한 결과인 OOB 오차율(OOB estimate of error rate)은 전체 표본 모형은 11.79%, 출발항공기 대상 모형은 5.21%로 나타남에 따라 모형의 정확도는 높은 수준으로 판단되며, 도착항공기 대상 모형은 18.25%로 두 모형에 비해 다소 정확도는 낮은 수준으로 나타났다.

모형의 정확도 측면에서는 일운항횟수, 국제선 여부, 풍속, 시정, 항공기 탑승률의 순으로 중요하게 나타났다. 불순

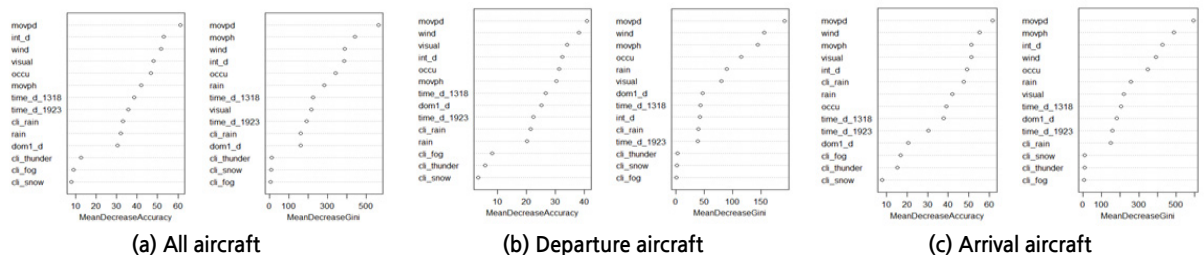


도 개선 측면에서도 모형의 정확도와 동일하게 일운항횟수가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 시간당 운항횟수, 풍속, 국제선 여부, 항공기 탑승률의 순으로 나타났다. 다음으로 출발항공기만을 대상으로 추정된 결과 분류의 정확도는 1일운항횟수, 풍속, 시정, 국제선 여부, 탑승률의 순으로, 불순도 개선은 일운항횟수, 풍속, 시간당운항횟수, 탑승률, 강수량의 순으로 나타났다. 마지막으로 도착항공기의 경우 분류의 정확도는 1일운항횟수, 풍속, 시간당운항횟수, 시정, 국제선 여부의 순으로, 불순도 개선은 일운항횟수, 시간당운항횟수, 국제선 여부, 풍속, 탑승률의 순으로 나타났다.

3가지 모형 모두에서 항공기의 지연 여부에 미치는 변수의 상대적 중요성은 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 항공기 지연 여부 결정에 있어 가장 중요하다고 분석된 변수는 일운항횟수로, 이는 일운항횟수가 증가할 경우 공항의 전반적인 혼잡 증가 및 항공기의 누적 지연 발생으로 인해 개별 항공기의 지연 발생 확률이 높아지기 때문으로 판단된다. 기상요건에 있어서는 일반적으로 항공기 운항에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 알려진 바람(풍속)의 영향이 가장 크게 나타났다. 또한 국제선 여부도 항공기 지연에 있어 중요한 요소로 나타났는데, 이는 국제선의 경우 상대적으로 항공기 운항시간이 길기 때문에 항공기 출도착 시간의 지연을 상쇄시킬 요소가 있기 때문으로 판단된다. 또한 국내선은 국제선 대비 탑승수속 마감시간 여유가 더 짧기 때문에<sup>5)</sup> 공항에 늦게 도착하는 여객의 항공기 탑승 지연 등이 영향을 미칠 수 있을 것이다. 한편 항공기 탑승률도 항공기 지연에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이 변수는 도착항공기보다 출발항공기에서 더 높은 상대적 중요성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 앞서 이항로짓 모형에서 살펴본 바와 같이 높은 탑승률로 인한 승객 탑승 및 이륙전 기내 정리 등에 추가 시간이 소요될 수 있기 때문으로 판단된다. 랜덤포레스트 추정 결과 및 각 변수별 중요도는 Table 4 및 Figure 3과 같다.

**Table 4.** Variable importance in random forest

Variable	All aircraft		Departure aircraft		Arrival aircraft	
	MDA	MDG	MDA	MDG	MDA	MDG
movph	42.00	442.02	30.27	144.86	51.21	487.30
movpd	61.18	565.86	40.95	191.99	61.62	594.13
time_d_1318	38.71	226.04	26.58	43.26	37.78	205.13
time_d_1923	35.73	191.25	22.45	39.30	30.49	157.84
rain	32.09	284.94	20.09	90.03	42.12	256.54
wind	51.62	390.40	38.20	155.89	55.24	393.03
visual	48.14	218.23	33.99	80.47	51.19	218.59
cli_thunder	12.80	10.23	5.76	3.31	15.21	9.65
cli_fog	8.92	4.94	8.14	0.95	16.79	7.08
cli_snow	7.93	9.20	3.25	2.21	7.84	10.52
cli_rain	33.12	163.03	21.45	39.46	47.66	149.92
int_d	52.90	387.29	32.45	43.02	49.18	427.69
dom1_d	30.61	161.15	25.15	47.60	20.51	181.97
occu	46.68	343.07	31.36	114.92	39.22	347.83
OOB estimate of error rate	11.79%		5.21%		18.25%	



**Figure 3.** Variable importance in random forest

5) 대한항공 기준, 국내선은 항공기 출발 20분 전, 국제선은 항공기 출발 40분 전에 탑승 수속이 마감된다.

마지막으로, 항공기 지연시간에 대한 토빗모형의 추정 결과는 Table 5와 같으며, 앞서 기술한 바와 같이 각 계수별 한계효과(dy/dx)는 별도로 계산하여 제시하였다. 변수의 통계적 유의성을 살펴보면, 항공기 운항횟수, 운항시간 더미, 강우량, 풍속, 노선, 탑승률 등 앞선 로짓모형에 통계적으로 유의하게 추정된 변수들이 본 토빗모형에서도 유의하게 추정된 것을 알 수 있다. 각 변수별 한계효과를 살펴보면, 먼저 시간당 운항횟수가 1회 증가할 경우 약 0.17분, 일운항횟수가 1회 증가할 경우 약 0.035분의 항공기 지연이 발생하는 것으로 나타났다. 13시에서 18시까지 운항하는 항공기는 오전 시간 대비 약 3.15분, 19시 이후 항공기는 약 3.24분 지연이 증가하는 것으로 나타남에 따라 출도착 시각이 늦어질수록 지연시간 또한 커지는 것으로 나타났다. 강수량이 1mm/h 증가 시 0.29분, 풍속이 1kt 증가 시 약 0.14분 지연이 증가하였으며, 활주로 시정은 음의 값으로 미미하게 나타났다. 안개가 발생할 경우 항공기 지연은 약 2.25분 증가하여 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편 노선별로 살펴보면 국제선은 약 7분이 감소, 국내선 대형공항이 상대공항일 경우 약 1.22분 지연이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 국제선의 경우 앞서 살펴본 바와 같이 상대적으로 장거리 운항으로 인한 지연 상쇄가 가능하며, 김포공항, 김해공항과 같은 국내선 대형공항의 경우 해당 공항에서 발생한 지연이 제주국제공항의 출도착에도 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 마지막으로 탑승률의 경우 1% 증가 시 약 0.05분 지연이 증가하는 것으로 나타났는데, 도착항공기(0.055분)에 비해 출발항공기(0.069분)에서 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 5. Estimation results of tobit model

Variable	All aircraft			Departure aircraft			Arrival aircraft		
	Coef.	Std. Err.	dy/dx	Coef.	Std. Err.	dy/dx	Coef.	Std. Err.	dy/dx
movph	0.2213***	0.0089	0.1656	0.1383***	0.0077	0.1349	0.6300***	0.0158	0.2980
movpd	0.0474***	0.0022	0.0354	0.0574***	0.0020	0.0560	0.0315***	0.0036	0.0149
time_d_1318	4.1699***	0.0981	3.1518	3.2473***	0.0882	3.1722	5.0074***	0.1592	2.4318
time_d_1923	4.2128***	0.1176	3.2424	3.0900***	0.1060	3.0266	5.7127***	0.1918	2.9113
rain	0.3919***	0.0359	0.2931	0.3637***	0.0338	0.3549	0.5273***	0.0535	0.2495
wind	0.1916***	0.0098	0.1433	0.1439***	0.0087	0.1404	0.3086***	0.0156	0.1460
visual	-0.0002***	0.0000	-0.0002	-0.0002***	0.0000	-0.0002	-0.0002***	0.0000	-0.0001
cli_thunder	0.6922	0.8227	0.5222	-0.4525	0.7539	-0.4409	1.8232	1.2771	0.8991
cli_fog	2.2553**	1.0875	1.7334	2.3801**	0.9821	2.3348	2.9792*	1.7319	1.5073
cli_snow	-0.2601	0.8368	-0.1939	1.2278	0.7680	1.2015	-1.6862	1.3246	-0.7667
cli_rain	3.8589***	0.1448	2.9895	3.1443***	0.1310	3.0844	6.0136***	0.2275	3.1506
int_d	-7.1186***	0.1745	-4.9127	-9.1574***	0.1556	-8.6451	-2.8598***	0.2855	-1.2810
dom1_d	1.2261***	0.0987	0.9135	0.8748***	0.0882	0.8529	2.1703***	0.1602	1.0137
occu	0.0670***	0.0030	0.0501	0.0710***	0.0026	0.0693	0.1169***	0.0051	0.0553
intercept	-27.1520***	1.0607	-	-18.0405***	0.9414	-	-52.0584***	1.7426	-
No. of obs (censored)	167,853 (45,116)			83,009 (2,049)			84,844 (43,067)		
Log likelihood	-562,870			-310,964			-207,333		
LR chi2 (14)	10,798			13,022			7,001		
Prob>chi2	0.0000			0.0000			0.0000		

note: significance level 0.01 \*\*\*, 0.05 \*\*, 0.1 \*.

## 결론


본 연구에서는 2019년 1년간 제주국제공항 항공기 운항일지(Tower-log) 자료와 공항기후통계자료를 이용하여 제주국제공항의 운영특성과 기상현상, 항공기 운항 특성이 개별 항공기의 지연 여부 및 지연시간에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 로짓모형 추정 계수의 통계적 유의성과 랜덤포레스트의 변수별 중요도 추정 결과 일운항횟수와 점두시 운항횟수의 영향과 상대적 중요도가 높게 평가되었고, 오후 및 저녁 시간대 항공기의 더미 계수 추정치 또한 양의 값으로 유의하게 추정된 점을 볼 때, 항공기 운항횟수 증가에 따른 공항의 시설용량 포화 및 이로 인한 누적 지연이 개별 항공기의 지연에 큰 영향을 미치는 것으로 볼 수


있다. 기상에 있어서는 풍속, 시정과 같은 요인들의 영향이 큰 것으로 나타났으며, 개별 항공기의 특성에 있어서는 특히 출발 항공기에 있어 탑승률이 높아질 경우 지연 발생 가능성 또한 높아지며, 운항노선에 따라 지연에 미치는 영향에 차이가 있는 것을 알 수 있었다.

제주국제공항의 급격한 항공기 지연 증가 원인으로 다양한 요소들이 지적되어 왔으나 이에 대한 실증적 연구는 부족했던 실정으로, 본 연구는 어떠한 요소들이 실제로 개별 변수들의 항공기의 지연에 영향을 미치는지 통계적 모형을 통해 분석했다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 본 연구의 분석 결과를 통해 추가적으로 아래와 같은 시사점을 도출할 수 있을 것이다. 먼저 공항 활주로 처리용량에 대한 서비스 수준(Level of service) 개념의 도입 필요성이 있다. 활주로 처리용량에 대한 국내 기준이라고 볼 수 있는 제5차 공항개발 중장기 종합계획(2016-2020)에 제시된 값은 항공기 지연과 같은 서비스 수준을 고려하지 않고 있다. 반면 여객터미널의 적정 시설용량은 여객이 침두 시 일정 수준 이상의 혼잡을 겪지 않도록 적정 서비스 수준의 개념에서 계획이 수립되고 있으며, 이러한 개념은 도로의 적정 차로 수 산정, 철도의 적정 배차간격 산정 등 교통부문의 계획 수립에 있어 널리 사용되고 있다. 비용-효율성을 만족시키는 범위 내에서 서비스 수준을 고려한 활주로의 처리용량 기준 도입 및 이를 고려한 시설규모 계획을 통해 적정 수준에서의 항공기 지연 관리를 통한 항공 서비스 수준 개선은 물론 항공 이용객 편의 증진 등의 개선 노력이 필요할 것이다. 다음으로 운영 단계에서는 적절한 슬롯배정과 수요관리를 통한 항공기의 지연 감소 노력 또한 필요하다. 여유 시간대의 인센티브 제공 등의 방법을 통하여 오후시간대 누적지연을 감소시킴으로써 연간 동일한 항공편을 처리하더라도 상대적으로 공항의 전반적인 지연을 최소화할 수 있을 것이다. 마지막으로 공항 부문 타당성 분석 방법론의 개선 필요성이다. 현재 국내 관련 지침에서는 항공기 지연 감소를 주요 편익 항목으로 설정하고 있는데, 이때 시간당 운항횟수가 시간당 용량을 초과하지 않을 경우 결정적 대기모형 상 지체가 전혀 발생하지 않는다고 가정하고 있다. 그러나 본 연구의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 항공기의 지연 시간에는 시간당 운항횟수 외에도 매우 다양한 요소가 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

본 연구는 제주국제공항의 1년간 자료를 활용함에 따라 연구의 공간적·시간적 범위에 있어 일부 한계가 있다. 향후 국내 다수 공항의 장기간 패널자료(Panel data) 분석을 통한 공항별, 연도별 지연에 대한 세부 원인 분석, 상대공항에 의한 지연 요인 영향 등을 검토한다면 공항의 지연요인 분석에 대한 보다 일반론적인 접근이 가능할 것이다. 본 연구의 이러한 한계점을 극복하여 공항의 지연에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대한 연구가 지속된다면 공항시설의 효율적 활용 및 지연 최소화 방안 수립은 물론 보다 체계적인 공항계획의 수립 과정에 도움이 될 것이다.

## ORCID

CHOI, Youngeun  <http://orcid.org/0000-0003-0594-2294>

YANG, Bomyi  <http://orcid.org/0000-0003-2586-6698>

## References

- Aviation Meteorological Office (2019), Manual on Aeronautical Climatological Statistics.
- Bai Y. (2006), Analysis of Aircraft Arrival Delay and Airport On-time Performance, MS dissertation, The University of Central Florida.
- Borsky S., Unterberger C. (2019), Bad weather and flight delays: The impact of sudden and slow onset weather Event, *Economics of Transportation*, 18, 10-26.
- Cheng S., Zhang Y., Hao S., Liu R., Luo X., Luo Q. (2019), Study of Flight Departure Delay and Causal Factor Using Spatial Analysis, *Journal of Advanced Transportation*, 2019.

- FAA (1983), Airport Capacity and Delay, Advisory Circular AC: 150/5060-5
- Goodman C., Griswold J. (2019), Meteorological Impacts on Commercial Aviation Delays and Cancellations in the Continental United States, *Journal of Applied Meteorology and AND Climatology*, 58, 479-494.
- Kim T. Y. (2016), Characteristics and Implications of Flight Cancellation Due to Weather Factors at Jeju International Airport, *JDI Policy Issue Brief*, 258, Jeju Development Institute.
- Kulesa G. (2003), Weather and Aviation: How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airport and Aviation, and How Does FAA work to Manage Weather-Related Effects?, *Conf. on the Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, Washington DC, U.S. Department of Transportation.
- Lee J. W., Ko K. K., Kwon T. S., Lee K. K. (2011), A Study on the Critical Meteorological Factors Influencing the Flight Cancellation and Delay: Focusing on Domestic Airports, *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 19(1), 29-37.
- Lee S. M. (2019), *Big Data Analytics-Methodologies for Human Sciences*, YoonSeongSa.
- Lee S. W., Min S. H., Park J. Y., Yoon S. D. (2005), *The Practice on Logit & Probit Model*, PakYoungSa.
- Min I. S., Choi P. S. (2015), *Advanced Panel Data Analysis*, JiPhil.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), *Reference Manual on Air Transport Statistics*
- Park J. S., Son H. K., Kim M. H., Son J. W., Park S. W. (2019), Predictive Analysis of Delays and Cancellations Using Aviation weather Data, *Monthly KOTI Magazine on Transport*, 257, 25-29.
- Park J. S., Yun S. J., Lee Y. J., Baik H. J. (2015), Estimation of Annual Runway Capacity for Jeju International Airport Considering Aircraft Delays, *J. Korean Soc. Transp.*, 33(2), Korean Society of Transportation, 214-222.
- Train K. (2009), *Discrete Choice Methods With Simulation 2nd Edition*, Cambridge University Press.