

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2019.27.3.070>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

정밀접근활주로 등급 상향에 따른 편익산정에 관한 연구

김휘양*, 권필제**, 박장훈***, 백호종****

A Study for Estimation of Benefit from Upgrading Precision Approach Runway Category

HuiYang Kim*, PilJe Kweon**, JangHoon Park***, HoJong Baik****

ABSTRACT

The effects of weather on aircraft operations are predominant. In particular, severe weather, such as fog, strong winds, rainfall and snow, can cause delays, diversion or cancellation of operations. Of these, fog is considered the main reason for restricting aircraft operations. Meanwhile, Precision instrument approach using instrument landing system(ILS) has allowed aircraft to land safely even in situations where visibility is limited. However, the precision instrument approach require not only the performance of the aircraft but also the enhancement of the runway. In November 2018, Gimpo international Airport raised the category of the runway 14R from CAT-IIIa to CAT-IIIb to improve aviation safety and operational efficiency. Based on this, the research presented a methodology for estimating benefits according to the category upgrade of the precision approach runway, and estimated the benefits to Gimpo International Airport based on the methodology presented.

Key Words : Benefit Analysis(편익분석), Benefit Estimation Methodology(편익산정방법), Precision Approach Procedure(정밀접근절차), Precision Approach Runway(정밀접근활주로), Delay and Cancellation(지연 및 결항)

1. 연구 목적

항공기 운항에서 기상이 미치는 영향은 지배적이라고 할 수 있다[1]. 특히 안개, 강풍, 강우 및 강설 등 악기상은 항공기의 지연, 회항 또는

결항을 유발함으로써 항공사의 손실과 여행객의 불편을 초래한다. 이는 2018년 국내선 운항에서 지연의 2.66%와 결항의 75.6%가 기상에 의해 발생했다는 사실에서도 확인할 수 있다[2].

미국에서는 2008년부터 2013년까지 발생한 지연 가운데 69%가 기상으로 인해 발생하였다[3].

특히 안개는 지연과 결항의 주요 원인으로 지목되고 있는데, 항공진흥협회(2002)는 안개가 항공기 지연의 가장 큰 기상요인임을 지적하였으며[4], Beckwith(1971)는 기상으로 인한 지연 중 안개가 가장 큰 비중을 차지한다고 하였다[5].

한편, 항행안전시설과 항법장비의 개발과 발전

Received : 19. Aug. 2019. Revised : 18. Sep. 2019.

Accepted : 23. Sep. 2019

* 한국항공대학교 항공교통물류학과 조교수

** 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

*** 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정

**** 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

연락처 E-mail : igreenbee@kau.ac.kr

연락처 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

은 안개로 시정이 제한되는 상황(이하, “저시정”이라 한다)에서 항공기의 안전한 착륙을 지원하여 지연, 결항 및 회항 빈도를 감소시키고 있다.

저시정 상황에서 항공기가 지상 계기착륙시설 (Instrument Landing System; ILS)을 이용하여 활주로에 접근·착륙하는 비행방식을 정밀접근 계기비행이라 하는바, 결심고도(Decision Height: DH)와 활주로 가시범위(Runway Visual Range: RVR)/시정(Visibility: VIS)을 기준으로 5개 등급으로 구분한다(Table 1 참조)¹⁾. 이 기준에 따라 지정된 특정 등급의 정밀접근 계기비행을 위해 항공기는 해당 등급의 운항 인가를 취득해야 하고,²⁾ 활주로³⁾는 적합한 항행시설과 장비를 설치하여 해당 운용 등급을 확보하여야 한다.

Table 1. Precision approach runway category

등급 구분	결심고도(DH)	RVR(또는 VIS)
CAT-I	DH≥60m	RVR≥550m 또는 VIS≥800m
CAT-II	30m≤DH<60m	300m≤RVR<550m
CAT-IIIa	DH<30m	175m≤RVR<300m
CAT-IIIb	DH<15m	50m≤RVR<175m
CAT-IIIc	제한 없음	제한 없음

* 자료: Annex 14 Volume I, Aerodromes, 8th Edition[6]

Table 1에서 알 수 있듯이 정밀접근 계기비행 등급을 상향할수록 RVR과 DH 기준이 낮아지며, 착륙제한은 감소하게 된다. 예를 들어 활주로 등급을 CAT-IIIa에서 CAT-IIIb로 상향하는 경우 RVR 175m 이상에서 비행이 가능했던 항공기는 RVR 50m의 시정에서도 착륙할 수 있게 된다. 결과적으로 정밀접근 계기비행의 등급 상향은 시정악화로 인한 지연과 결항을 감소시키고, 공항과 항공사의 효율성 향상 및 여객객의 편의를

- 1) 여기에서 등급은 Category(CAT)을 의미하며, 활주로의 운용 등급은 착륙 최저치(Landing Minima)에 따른 등급을 의미한다.
- 2) 정밀접근 계기비행의 운항승인을 위해서는 조종사 자격이 포함되나, 본 연구에서는 조종사의 자격에 대해서는 언급하지 아니한다.
- 3) 활주로는 운용에 따라 비계기와 계기활주로로 구분하고, 계기활주로는 비정밀과 정밀접근활주로로 구분한다. 본 연구에서 활주로는 정밀접근활주로를 의미한다.

증진하는 효과를 기대할 수 있다.

2018년 11월, 김포국제공항은 14R 방향의 활주로 등급을 CAT-IIIa에서 CAT-IIIb로 상향하였는데, 이를 통해 안개로 인한 운항지연, 결항 또는 회항이 감소할 것으로 기대할 수 있다.

이러한 배경으로 본 연구는 정밀계기접근 활주로의 등급 상향에 따른 편익산정 방법을 제시하고, 제시한 방법론에 따라 김포국제공항 활주로 14R에 대한 편익을 실증분석하였다.

II. 문헌고찰

2.1 공항부문 편익산정

김강수와 박상준(2014)은 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침연구에서 공항사업의 추진과 관련하여 고려해야 하는 편익항목과 측정단위 및 기준 등을 제시하였다[7].

여기에서는 편익항목을 i) 항공기 운항비용 절감편익, ii) 청사 내 여객·화물 통행시간 절감편익, iii) 전환수요의 통행시간 및 운항비용 절감편익, iv) 초과수요의 통행시간 및 운항시간 절감편익 등 4개 항목으로 구분하고, 공항부문 사업 유형⁴⁾에 따라 필수적으로 고려하는 편익항목을 제시하였다. 이 중 활주로 용량증대는 성격과 유형에서 활주로 등급 상향과 유사하다고 할 수 있는바, 활주로 용량증대 사업의 주요 편익은 항공기 운항비용의 절감에 의한 편익으로써 이는 지연의 완화 또는 해소에 따른 운항시간의 단축으로 발생한다고 하였다(Table 2 참조).

Table 2. Operational cost saving & measures

구분	측정단위
항공기 운항 비용 절감	· 항공기 종류별 운항비용 절감분을 '항공기 시간'으로 측정
여객/화물 통행 시간 절감	· 여객·화물의 통행시간 절감분을 '인 시간' 또는 '톤 시간'으로 측정

* 자료: 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(2014)

- 4) 사업 유형은 신공항 개발, 활주로 용량증대, 유도도 용량증대, 계류장(주기장) 확장, 여객청사 용량증대, 화물청사 용량증대 등 6개 분야로 구분하였다.

2.2 운항 지연에 따른 편익산정

Cook & Tanner(2015)는 유럽 항공사를 대상으로 지연 비용을 산정하기 위한 기준과 항목을 정의하고, 산정결과를 제시하면서 비용 산정을 위해 먼저 지연을 시간적 경과에 따라 구분하고, 각각의 비용을 정의하였다[8] (Table 3 참조)⁵⁾.

Table 3. Types of delay & costs

지연	정의	지연 비용
전략적 (Strategic) 지연	• 사전에 예상되어 스케줄에 반영된 지연	전략적 지연비용
전술적 (Tactical) 지연	• 운항 당일 예기치 않게 발생하는 지연 • 연결편 (Reactionary delay)까지 포함	전술적 지연비용

* 자료: European airline delay cost reference values Final Report(2015)의 내용을 기반으로 작성

다음으로 운항 단계별 지연 비용을 구체적 계산하기 위해 5개 세부 항목을 선정하고, 각각을 정의하였다(Table 4 참조).

Table 4. Detailed items for cost estimation

지연비용 세부 항목	정의
Fleet	• 항공기의 감가상각비와 임대비용
Fuel	• 운항에 필요한 위한 연료비
Crew	• 승무원 인건비
Maintenance	• 항공기의 유지관리비
Passenger	• 지연으로 인한 승객의 시간 가치

* 자료: European airline delay cost reference values Final Report(2015)의 내용을 기반으로 작성

이렇게 정해진 세부 항목을 지연(전략적/전술적) 비용과 연결하면 다음과 같다(Fig. 1 참조).

- i) 전략적 지연 비용
 - Fleet, Fuel, Crew, Maintenance
- ii) 전술적 지연 비용
 - Fuel, Crew, Maintenance, Passenger
 - 연결편 지연에 의한 비용을 포함

5) 전략적 지연은 사전에 예상된 지연으로 스케줄 조정이 가능하여 연결편 지연은 발생하지 않는다.

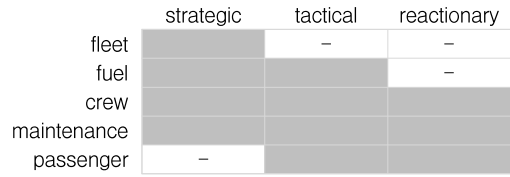


Fig. 1. Delay costs vs. detailed items

* 자료: European airline delay cost reference values Final Report(2015)

또한, 보고서는 지연 비용을 다음과 같이 비행 단계별(주기장/지상/순항/도착)로 구분하여 계산하고, 결과를 제시하였다.

- i) 전략적 지연 비용
 - 주기장(Gate), 지상(Taxi), 순항(En route)의 3단계
- ii) 전술적 지연 비용
 - 주기장(Gate), 지상(Taxi), 순항(En route), 도착관리(Arrival Management)의 4단계

이 연구는 항공기의 운항지연을 중심으로 비용 산정방법과 결과를 제시하였으나, 결항으로 인한 비용 산정과 환경적 비용 산정에 대해서는 방법을 제시하지 않았으며, 추후 연구로 남겨놓았다는 한계점이 있다.

2.3 회항 및 결항감소에 따른 편익산정

박종길 et al.(2007)은 2006년 6월 인천국제공항에서 시정악화로 발생한 항공기 회항과 결항 사례를 통해 경제적 손실을 추정하였다[9]⁶⁾.

회항으로 인한 손실액은 김포공항으로 회항하는 경우와 제주 및 김해공항으로 회항하는 경우로 구분하였다. 김포공항으로 회항하는 운항편의 경우는 김포공항과 인천공항 간 버스요금(편도)을 회항 항공편의 좌석 수에 곱하여 산정하였다.

$$Cfr1 = \sum_{i=1}^n Sn_i \times Be \tag{1}$$

Cfr1: 회항에 따른 경제 손실액

6) 박종길 et al.(2007)의 연구 목적은 정확하고 신속한 안개 예측을 통해 얻을 수 있는 경제적 이익을 추정하고자 하였다.

S_{ni} : 항공편별 좌석 수, Be : 교통비

제주, 김해공항으로 회항하는 운항편에 대해서는 i) 인천국제공항에 도착하는 항공료와 대체 공항에 도착하는 항공료의 차액 ii) 당일 귀환하지 못하는 경우 숙박료와 식비 iii) 대체공항에서 인천국제공항으로 귀환하는 항공료를 포함하여 비용을 추정하였다.

$$Cfr2 = \sum_{i,j,k=1}^n S_{ni} \times (AA_{jk} + Hb + 2FE + RF_j) \quad (2)$$

AA_{jk} : 대체공항 항공료 차액

Hb : 숙박료, FE : 식비, RF_j : 귀환 항공료

결항편에 대한 손실액은 해당 운항편 좌석 수와 항공료를 곱하여 추정하였으며 항공료는 성수기와 비수기를 구별하였다.

$$Cfr3 = \sum_{i,l=1}^n S_{ni} \times A_l \quad (3)$$

A_l : 항공료(성수기: 1, 비수기: 2)

이 연구에서는 기상악화로 인한 손실액을 추정하면서 항공편의 회항과 결항을 고려하였으나, 지연으로 인한 손실(비용)은 포함하지 않았다는 한계점이 있다.

III. 편익산정 방법론

3.1 편익의 범위 및 정의

활주로 운영등급 상향은 착륙활주위에 대한 정밀접근 등급을 향상⁷⁾하는 것을 의미한다. 정밀 접근활주로의 등급 상향은 항공기가 활주로 등급에 적합한 장비를 장착한다는 것을 전제로 시정악화로 인한 지연과 회항, 결항을 감소하고, 항공사와 공항의 효율성을 개선할 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 기대효과 편익으로 산

정을 위한 방법을 제시하기 전에 우선 다음과 같은 조건들을 정의하였다.

첫째, 편익은 상향된 활주로 등급에 해당하는 등급의 장비를 장착한 항공기에 적용한다. 즉, 활주로 등급이 CAT-IIIa에서 CAT-IIIb로 상향된 경우에 편익은 CAT-IIIb 장비⁸⁾를 이미 장착하였으나, 활주로 등급의 미충족으로 지연 또는 결항했던 항공기에 대해서 추정된다는 것을 의미한다.

둘째, 활주로의 등급 상향은 착륙 활주로의 최저치(Landing Minima)를 낮추는 것으로 이로 인한 편익은 도착항공기를 대상으로 한다.

셋째, 도착항공기의 지연과 결항·회항 감소에 따른 편익은 항공사의 운항부문과 여객·화물부문을 포함한 경제적 측면과 환경적 측면 그리고 안전 측면까지 고려한다.

넷째, 편익은 지연으로 인한 비용 산정과는 달리 장애에 발생하는 효과를 추정하여야 한다. 즉, 과거의 실적과 데이터를 토대로 미래의 교통량을 전망하고, 지연과 결항 또는 회항률 등의 예측이 선행되어야 한다는 것이다.

3.2 편익의 구분

편익은 크게 2개 분야로 i) 지연 또는 결항의 감소로 인해 항공기 운항과 직접 관련된 경제 편익과 ii) 연료 소모감소에 따른 환경 편익으로 구분하였다.

3.2.1 경제 편익

경제 편익은 착륙 공항의 시정악화로 공중에서 착륙을 기다리거나 출발공항에서 대기하던 항공편의 감소에 따라 예상되는 편익으로 i) 연료비, 감가상각비, 인건비 등 항공사 운영에 대한 편익과 ii) 여객과 화물의 대기시간이 줄어들어 발생하는 시간가치에 대한 편익을 포함한다.

구체적으로 경제 편익은 항공기 운항, 여객 및 화물부문에 대한 편익으로 구분하고, 각 부문은 회항과 결항 및 지연감소의 결과로 나타난다. 또한, 지연감소는 공중지연과 지상지연 그리고 연

7) 활주로 등급 상향은 비계기활주로를 계기활주로로, 비정밀활주로를 정밀활주로로 상향하는 것을 모두 포함할 수 있으나, 본 연구에서는 정밀접근활주로의 등급을 상향하는 것으로 국한한다.

8) CAT-IIIb 장비라고 한정한 것은 아직 CAT-IIIc 등급의 장비가 운영되고 있지 않기 때문이다.

결편 지연감소로 구분할 수 있다(Table 5 참조).

Table 5. Economic benefits & detailed items

구분	편익의 정의	
결항감소 편익	출발공항에서 이륙예정 항공기의 운항 취소에 따른 운항·영업손실 및 여객·화물의 지연시간 감소	
회항감소 편익	도착공항에 착륙을 포기하고, 대체공항으로 비행하여 발생하는 운항·영업 비용의 감소	
지연감소 편익	공중	도착공항 인근 공중대기로 발생하는 운항 비용의 감소
	지상	출발공항에서 이륙이 지연되어 발생하는 운항 비용의 감소
	도착	항공기가 도착예정시간보다 지체되어 발생하는 여객과 화물의 지연시간 감소
	연결편	도착항공기 지연으로 연속적으로 출발항공기가 지연되어 발생하는 비용과 지연시간 감소
	결항	항공편 결항으로 후속 항공편을 대기하면서 발생하는 지연시간의 감소

	항공기 운항부분		
	여객부분	화물부분	
결항			
회항	-	-	-
공중지연	-	-	-
지상지연	-	-	-
도착지연	-		
연결편지연			

Fig. 2. Classification of economic benefits

3.2.2 환경 편익

환경 편익은 도착공항 활주로 등급의 상향으로 시정악화로 인한 항공기의 공중·지상 대기 감소함에 따라 예상되는 연료의 감소분을 탄소배출량으로 환산한 편익이다. 따라서 환경 편익은 지상 지연감소 편익과 공중 지연감소 편익으로 구분할 수 있다(Table 6 참조).

Table 6. Environmental benefits & detailed items

구분	편익의 정의
지상지연 감소	출발공항에서 이륙 지연으로 발생하는 연료 소모의 감소
공중지연 감소	도착공항 인근 공중대기로 발생하는 연료 소모의 감소

3.3 편익 산정방법

본 연구는 편익산정을 2개 과정으로 구분하였다. 하나는 기초자료 분석을 통한 지연시간과 편익 대상 항공편 분석으로 여기에는 지연율과 회항률 및 결항률 분석이 포함된다.

다른 하나는 앞의 분석결과를 이용한 편익분석으로 경제 편익과 환경 편익으로 구분하여 방법을 제시하였다.

아울러 본 연구에서는 산정과정의 이해도모를 위해 활주로 등급을 CAT-IIIa에서 CAT-IIIb로 상향하는 것으로 하여 방법론을 제시하였다.

Fig. 3은 기초자료의 분석과 편익산정을 위한 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.

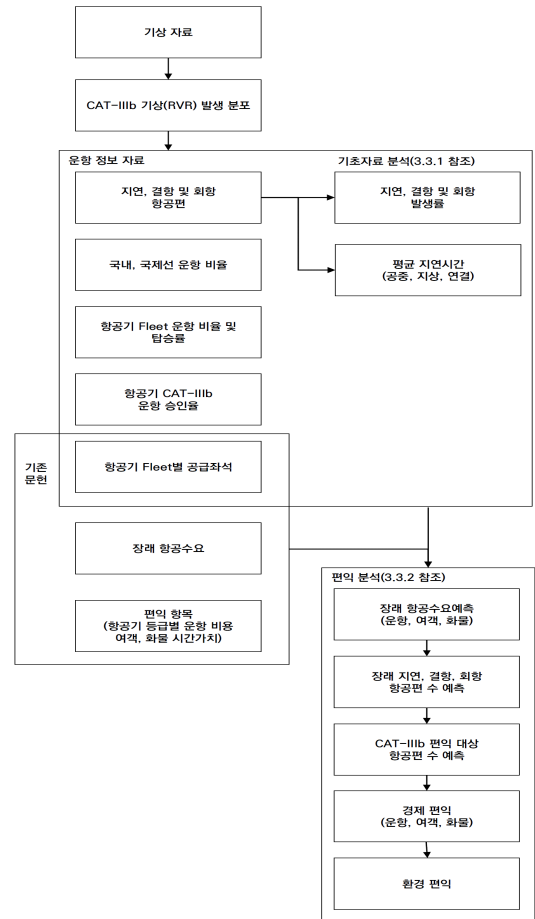


Fig. 3. Flow charts of data analysis & benefits estimation

3.3.1 지연시간 및 편익 항공편 분석

편익은 CAT-IIIb 기상조건에서 착륙을 위한 성능을 갖추었으나, 활주로 등급의 미충족(CAT-IIIa 이하) 지연, 결항 또는 회항하는 항공편을 대상으로 한다. 대상 항공편의 대수는 과거 10년간 지연율, 결항률 및 회항률이 장래에 동일하게 적용된다는 가정하에 해당연도 도착 항공편 대수와 CAT-IIIb 정밀접근 운항승인율에 따라 결정된다.

지연과 결항 및 회항률은 과거 CAT-IIIb 기상이 발생한 시간대에 지연, 결항 및 회항한 운항편 수와 전체 도착 운항편 수의 비율로 결정되며, 식(4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_{dla} &= \frac{1}{N} \times \sum_k^n N_{dla_k} \\
 R_{cnl} &= \frac{1}{N} \times \sum_k^n N_{cnl_k} \\
 R_{div} &= \frac{1}{N} \times \sum_k^n N_{div_k}
 \end{aligned} \tag{4}$$

k 과거 자료수집연도

N : 자료수집 기간의 총 도착 운항편 수

R_{dla} , R_{cnl} , R_{div} : 지연, 결항, 회항율(%)

N_{dla_k} , N_{cnl_k} , N_{div_k} : 해당연도 CAT-IIIb 기상에서 지연, 결항 및 회항 운항편 수

CAT-IIIb 운항승인율은 전체 운항편과 운항승인을 취득한 항공편의 비율로 계산되며 편익산정 연도의 CAT-IIIb 운항승인율은 과거 운항승인율을 통해 추정할 수 있다. 이에 따라 편익 대상이 되는 항공편 수는 지연과 결항 및 회항으로 구분하여 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 NB_{dla} &= R_{dla} \times N_{ac} \times AC_{cat} \\
 NB_{cnl} &= R_{cnl} \times N_{ac} \times AC_{cat} \\
 NB_{div} &= R_{div} \times N_{ac} \times AC_{cat}
 \end{aligned} \tag{5}$$

NB_{dla} , NB_{cnl} , NB_{div} : 각 지연, 결항, 회항에 대한 편익 대상 항공편 수

N_{ac} : 편익산정 연도 도착 항공기 대수(공항개발 중 장기 종합계획 등 자료 인용)

AC_{cat} : 편익산정 연도, CAT-IIIb 운항승인율

또한, 편익의 주요 항목인 지연시간은 과거

10년간 항공기당 평균지연시간이 장래에도 동일하게 적용된다고 가정하였다. 평균지연시간은 지연의 유형과 편익 대상에 따라 지상·공중·도착·결항·연결지연으로 구분하고, 연결지연은 편익의 대상에 따라 출발과 도착으로 구분하였다⁹⁾.

유형별로 계산(Table 7 참조)된 항공편 지연시간은 노선별로 가중평균하였다(식(6)).

$$\begin{aligned}
 AVGD_{gnd} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{dep_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{dep_k}}) \\
 AVGD_{air} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{air_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{air_k}}) \\
 AVGD_{arr} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{arr_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{arr_k}}) \\
 AVGD_{cnt} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{cnl_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{cnl_k}}) \\
 AVGD_{dcon} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{dcon_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{dcon_k}}) \\
 AVGD_{acon} &= \frac{1}{n} \times \sum_k^n \sum_l^m (DLA_{acon_{k,l}} \times \frac{1}{NF_{acon_k}})
 \end{aligned} \tag{6}$$

k 자료의 연도, l 운항노선

$AVGD_{gnd}$: 평균지상지연시간(min/flight)

$AVGD_{air}$: 평균공중지연시간(min/flight)

$AVGD_{arr}$: 평균도착지연시간(min/flight)

$AVGD_{cnt}$: 출발항공편 결항 후 후속 항공편까지의 평균지연시간(min/flight)

$AVGD_{dcon}$, $AVGD_{acon}$: 연결(출발·도착) 지연시간(min/flight)

Table 7. Types and calculations of delay

구분	지연 유형	지연시간 계산
• DLA_{dep}	출발지연	$ATD-STD$ (최초출발 기준)
• DLA_{air}	공중지연	$ATA-ATD-Nominal Flight Time^{(9)}$
• DLA_{arr}	도착지연	$ATA-STA$ (도착기준)
• DLA_{cnl}	결항지연	결항편과 후속편 간 시간: 후속편 STD -결항편 STD
• DLA_{dcon}	연결지연	$ATD-STD$ (연결편 출발기준)
• DLA_{acon}		$ATA-STA$ (연결편 도착기준)

NF_{dep} , NF_{air} , NF_{arr} , NF_{dcon} , NF_{acon} : 각각 단계별 CAT-IIIb 기상으로 지연된 운항편 수

9) 연결편 지연에서 운항은 출발을 기준으로 하고, 여객과 화물은 도착을 기준으로 지연시간을 계산하였다.

10) 노선별 비행시간 최솟값 중 상위 5%를 평균하였다.

그 외 장래의 항공기 Fleet, 노선(국내·국제) 별 비율 등 예측자료와 세부 편익항목은 공항개발에 관한 보고서 등 문헌을 활용한다.

3.3.2 편익분석

편익분석은 경제 편익(BF)과 환경 편익(BE)으로 구분하였다. 세부적으로 경제 편익은 대상에 따라 운항과 여객 및 화물부문(식(7) 이하 참조)으로 구분한 후, 유형에 따라 결항과 회항 및 지연감소에 따른 편익으로 분류하고, 환경 편익은 지상 지연 및 공중지연 감소에 따른 편익(식(15) 이하 참조)으로 분류하여 전체 편익을 산정하였다.

각각의 부문별 편익산정 방법은 다음과 같다.

3.3.2.1 경제 편익

경제 편익은 다음과 같이 산정한다.

$$BF = BF_0 + BF_p + BF_c \tag{7}$$

BF, BF₀, BF_p, BF_c: 경제, 운항, 여객, 화물 부문 편익

운항부문의 편익은 다음과 같이 산정한다.

$$BF_0 = BF_{0_1} + BF_{0_2} + BF_{0_3} + BF_{0_4} + BF_{0_5} \tag{8}$$

BF_{0₁}, BF_{0₂}, BF_{0₃}, BF_{0₄}, BF_{0₅}: 각각 결항, 회항, 지상 지연, 공중지연 및 연결편 지연감소로 인한 편익

운항부문의 편익 중 결항과 회항 감소에 따른 편익 산정방법은 다음과 같다.

$$BF_{0_1} = \sum_i \sum_j (NBcnl \times ACf_{i,j} \times PCnl_{i,j})$$

$$BF_{0_2} = NBdiv \times OCdiv \tag{9}$$

NBcnl, NBdiv: 결항, 회항에 대한 편익 대상 항공편수
 i: 항공기 등급(i=1: C급, 2: D급, 3: E급, 4: F급)
 j: 운항노선(j=1: 국내선, 2: 국제선)
 ACf: 항공기 등급(Fleet Mix) 비율(%)
 PCnl: 편당 영업이익
 OCdiv: 회항으로 인한 추가 운항 비용, 식(1)과 식(2)를 참조하여 계산

운항부문의 지연감소에 따른 편익은 대상 항

공편을 항공기 등급(fleet)과 노선별로 구분하고, 지연시간과 운항 비용을 곱하여 계산한다.

$$BF_{0_3} = \sum_i \sum_j (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDynd \times COynd_{i,j})$$

$$BF_{0_4} = \sum_i \sum_j (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDair \times COair_{i,j})$$

$$BF_{0_5} = \sum_i \sum_j (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDdcon \times COgnd_{i,j}) \tag{10}$$

NBdla: 지연에 대한 편익 대상 항공기 대수
 COynd: 등급별 시간당 지상지연비용(원/hr)
 COair: 등급별 시간당 공중지연비용(원/hr)

시간당 지연비용의 계산을 위해서는 항공기 등급별 운항 비용을 추정해야 하는바, 등급별 운항 비용은 문헌에서 참조할 수 있다. 다만 문헌에서 조사된 비용은 물가상승률을 고려하여 기준연도 소비자물가지수로 환산하여야 한다. 운항 비용에 포함되는 항목은 다음과 같다 (Table 8 참조).

Table 8. Operating costs by aircraft class

(기준: 2017년, 단위: 원/시간)

구분	항공기 등급		
	C급	D급	E급
· 승무원 인건비	911,920	2,623,444	2,623,444
· 유류비	1,190,189	3,825,367	3,825,367
· 유지관리비	987,354	2,774,313	2,774,313
· 임대료	598,446	2,137,311	2,137,311
· 감가상각비	301,739	1,314,236	1,314,236
· 보험료	25,144	70,406	70,406
합계	4,014,792	12,745,076	12,745,076

* 자료: 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(3판, 2014)에 2017년 물가지수를 반영하여 환산

다음은 경제 편익 중 여객·화물부문에 대한 편익산정 방법으로 이 부문의 편익은 시간가치로 산정된다는 점에서 영업이익 또는 운항 비용으로 계산되는 운항부문의 편익과 차이가 있다.

여객과 화물부문의 편익은 결항, 도착지연 및 연결편 지연감소에 따른 여객과 화물의 시간가치를 편익으로 환산하여 계산한다. 여기에서 회

항 감소로 인한 편익은 도착지연시간 감소에 따른 편익으로 포함하였다.

$$BFp = BFp_1 + BFp_2 + BFp_3$$

$$BFc = BFc_1 + BFc_2 + BFc_3 \quad (11)$$

BFp : 여객편익, BFc : 화물편익

$$BFp_1 = \sum_i^m \sum_j^n (NBcnl \times ACf_{i,j} \times AVGDcnl \times Npax_{i,j} \times VTpax_j)$$

$$BFc_1 = \sum_i^m \sum_j^n (NBcnl \times ACf_{i,j} \times AVGDcnl \times Acgo_{i,j} \times VTCgo_j) \quad (12)$$

BFp_n , BFc_n : 결항감소에 의한 여객, 화물 편익
 $Acar$: 연간 평균화물량(ton/flight)
 $Npax$: 탑승객 수(No. of pax/flight), 항공기 등급별 공급 좌석과 탑승률의 곱
 $VTpax$: 여객의 시간가치(원/명 · hr)
 $VTCgo$: 화물의 시간가치(원/ton · hr)

$$BFp_2 = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDdrr \times Npax_{i,j} \times VTpax_j)$$

$$BFc_2 = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDdrr \times Acgo_{i,j} \times VTCgo_j) \quad (13)$$

BFp_2 , BFc_2 : 도착지연 감소에 의한 편익

$$BFp_3 = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDacon \times Npax_{i,j} \times VTpax_j)$$

$$BFc_3 = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDacon \times Acgo_{i,j} \times VTCgo_j) \quad (14)$$

BFp_3 , BFc_3 : 연결편 항공기 지연감소에 의한 여객 · 화물 편익

3.3.2.2 환경 편익

환경 편익은 항공기 지연감소와 함께 연료 소모가 감소하면서 간접적으로 발생하는 편익이다.

환경 편익은 대상 항공편의 지연시간을 연료 소모량과 탄소가스 배출계수 및 거래가격으로 곱하여 계산하였다.

$$BE = BEg + BEa \quad (15)$$

$$BEg = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDgnd \times FCgnd_i \times CEF \times CP)$$

$$BEa = \sum_i^m \sum_j^n (NBdla \times ACf_{i,j} \times AVGDair \times FCair_i \times CEF \times CP) \quad (16)$$

BE , BFg , BFa : 환경, 지상, 공중 편익
 $FCgnd$, $FCair$: 지상, 공중에서의 시간당 연료소모량(Kg/h)
 CEF : 탄소가스 배출계수(CO₂ kg/fuel kg)
 CP : 탄소가스 거래가격(원/kg)

IV. 실증 분석

본 연구는 활주로 등급 상향에 따른 편익산정 방법론을 제시하였으며, 이를 토대로 구체적 사례를 활용한 실증 분석을 진행하였다.

실증 분석은 최근 정밀접근등급을 CAT-IIIb로 상향한 김포공항 활주로 14R 방향을 대상으로 하였으며, 편익 기간은 2019년으로 한정하였다.

또한, 지연율, 결항율 및 평균지연시간 등 기초분석을 위해 과거 10년(2008~2017년)간의 운항자료와 항공기상자료를 수집하여 활용하였다¹¹⁾. 다만, 운항자료의 부족과 정확성의 한계로 일부 변수에 대해서는 정확한 값을 적용하지 못하였다.

4.1 지연시간 및 편익 대상 항공편 분석

과거 10년간 도착 운항편은 총 676,487대였으며, CAT-IIIb 기상으로 지연 또는 결항한 운항편은 각각 106편, 165편이었다. 여기에서 지연율과 결항률(식(4))은 0.0157%와 0.0244%임을 알 수 있으나, 수집된 자료에서 회항 항공편을 구분하기 곤란하여 회항률을 별도로 고려하지 않고 결항항공편으로 포함하여 계산하였다.

CAT-IIIb 운항승인율은 과거 자료를 통해 추정되어야 하나, 자료의 한계로 최근의 2017년 항공사별 운항승인율 42.0%를 적용하였다.

한국항공공사(2013)는 2019년 항공수요에 대해 170,000대로 예측하고, 도착 항공편은 85,000대로 예측하였다[10]. 이에 따라 편익산정을 위한 대상 항공편을 다음과 같이 계산하였다(식(5)).

11) 항공기상자료는 항공기상청에서 제공되었으며, 운항 자료는 국토교통부에서 제공하는 운항 및 비행정보 시스템(<https://ubikais.fois.go.kr>)에서 수집하였다.

Table 9. Expected no. of flight to be benefited

(단위: 대, %)

도착 항공편	지연·결항 예측				CAT-IIIb 운항 승인율	편익 대상 항공편		
	지연율	결항률	지연	결항		지연	결항	합계
85,000	0.0157	0.0244	13	21	42.0	5.6	8.7	14.3

* 자료: 김포공항 마스터플랜 재정비 보고서(2013)

다음으로 Table 9에서 계산한 편익 대상 항공기를 국제·국내노선 및 항공기 등급(fleet)으로 세분화하여 구분하였다(Table 10, 11 참조).

Table 10. Classification of flight to be benefited: domestic vs. international

편익 대상 항공기		노선 비율(%)		국내선		국제선	
지연	결항	국내	국제	지연	결항	지연	결항
5.6	8.7	82	18	4.6	7.1	1.0	1.6

* 자료: 김포공항 마스터플랜 재정비 보고서(2013)

Table 11. Classification of flight to be benefited: aircraft class

구 분	편익 대상		항공기 등급 비율(%)			편익 대상 운항편 수					
	지연	결항	C급	D급	E급	지연			결항		
						C급	D급	E급	C급	D급	E급
국내	4.6	7.1	92	4	4	4.2	0.2	0.2	6.5	0.3	0.3
국제	1.0	1.6	39	3	58	0.4	0.03	0.6	0.6	0.05	0.9

* 자료: 김포공항 마스터플랜 재정비 보고서(2013)

편익산정을 위한 기초자료로써 과거 운항자료에서 계산된 유형별 지연시간의 합을 취항노선에 따라 가중평균한 결과(식(6))는 다음과 같다.

Table 12. Estimated average delay by minutes

구분	지연 운항편	지연 시간(분)	시간(분)	관련 편익항목
AVGDgnd	101 ¹²⁾	12,447.3	123.2	운항
AVGDair	101	1,216.3	12.0	운항
AVGDarr	101	11,752.8	116.4	여객, 화물
AVGDcnl	97 ¹³⁾	22,729.3	234.3	
AVGDdcon	68	6,616.0	97.3	운항, 여객, 화물
AVGDacon	68	5,584.0	82.1	

4.2 편익산정

경제 편익산정을 위한 세부 항목별 비용 및 시간 비용은 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(2014)에서 조사한 자료를 인용하였으며 [11], 환경 편익의 연소소모량과 탄소가스 배출계수 및 탄소가스 거래가격은 한국거래소와 유럽의 자료를 참고하였다[12, 13, 14].

경제 편익(식(7))에서 운항부문 편익은 결항과 회항 및 지연시간 감소에 따른 운항 비용의 감소 또는 영업이익 증가에서 발생한다(식(8)).

결항에 대한 편익산정을 위해 김포공항을 운항하는 항공사의 편당 영업이익을 산출하여 편익을 계산하였다(식(9)). 다만, 본 연구는 자료의 한계로 인해 회항을 별도 계산하지 않았으며, 항공기 등급 별(fleet) 영업이익을 구별하지 않았다.

지연 편익에 대해서는 Table 8의 운항 비용을 기준연도 물가로 환산하여 계산하였다(식(10)).

Table 13. Operational benefits: Cancellation

(단위: 천원)

노선 구분		편당 영업이익		편익	
국내	국제	국내	국제	국내	국제
7.1	1.6	3,437	34,679	24,401	55,487

* 자료: 한국항공협회 에어포탈(<http://www.airportal.go.kr/>)의 국적 항공사 실적자료를 이용하여 계산

Table 14. Operational benefits: Delay

(단위: 천원)

구분	국내			국제		
	C급	D급	E급	C급	D급	E급
지상	16,670	2,424	2,424	1,601	412	7,962
공중	3,398	469	469	313	77	1,478
연결	13,253	1,927	1,927	1,221	314	6,074

* 자료: 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(3판)의 운항 비용을 참고하여 계산

경제 편익에서 여객과 화물부문은 결항과 지연감소를 시간가치로 환산한 편익으로 여객의 수

- 인천공항에서 출발하여 김포공항에 도착하는 항공기는 유상운송에 해당하지 않아 제외하였다.
- 김포공항행 항공편이 일 1편이거나 당일 후속편이 없는 경우는 제외하였다.

와 화물의 양을 항공기 등급 및 국내·국제노선으로 구분하여 지연시간과 환산가치를 곱하였다.

편당 예상 탑승객 수는 항공기 등급별 공급 좌석에 탑승률 83%¹⁴⁾를 곱하였으며, 국내·국제선으로 구분하였다. 이와 달리 편당 화물량은 연간 화물량을 도착 항공편으로 나누어 계산하였으며, 항공기 등급으로 구분하지 않고¹⁵⁾, 국내·국제노선에 대해서만 구별하였다(식(12, 13, 14)).

Table 15. Expected no. of passenger to be benefited

구분	편익 대상		등급별 공급 좌석			편익 대상 여객 수					
	지연	결항	C급	D급	E급	지연			결항		
						C급	D급	E급	C급	D급	E급
국내	4.6	7.1	163	274	299	576	42	46	889	65	71
국제	1.0	1.6	174	203	321	57	5	155	91	8	249

* 자료: 김포공항 마스터플랜 재정비 보고서(2013)

Table 16. Expected the amount of cargo to be benefited

구분	편익 대상		연간 화물량(톤)	연간 항공 수요(도착)	편당 화물량(톤/편)
	지연	결항			
국내	4.6	7.1	128,488	69,300	1.9
국제	1.0	1.6	41,024	15,700	2.6

* 자료: 김포공항 마스터플랜 재정비 보고서(2013)

여객 시간가치는 국내와 국제노선에 대해 각각 시간당 14,321원, 16,390원으로 하고, 화물은 국내·국제노선 모두 87,311원으로 하여 지연된 시간을 곱하여 계산하였다(Table 17, 18 참조).

Table 17. Benefits: Passengers sector

(단위: 천원)

구분	국내			국제		
	C급	D급	E급	C급	D급	E급
결항	49,626	3,627	3,958	5,792	520	15,890
도착	15,980	1,168	1,275	1,799	162	4,936
연결	11,281	825	900	1,270	114	3,485

* 자료: 공항부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(3판)의 시간비용을 참고하여 계산

14) 서울지방항공청 내부자료에서 확인하였다.

15) 항공기 등급별(fleet)로 구분해야 하나, 화물 수요가 연간 단위로 예측되어 등급별 구분이 곤란하였다.

Table 18. Benefits: Cargo sector

(단위: 천원)

구분	국내			국제		
	결항	도착	연결	결항	도착	연결
	4,473	1,440	1,017	1,422	442	312

환경 편익은 지연감소에 따라 절감된 연료소모량에 탄소가스 배출계수와 거래가격을 곱하여 계산하였다(식(15, 16)). 여기에 연료소모량은 지상과 공중으로 구별하고, 항공기 등급별로 구분하였다(Table 19 참조).

Table 19. Expected the amount of carbon emission

구분	연료 소모량(kg/h)			탄소가스 배출계수	탄소가스 거래가격
	C급	D급	E급		
지상	406.8	997.2	1368.0	3.2	21.1
공중	2,530	7,500	7,500	CO ₂ · kg/fuel · kg	CO ₂ · kg

Table 20. Environmental benefits

(단위: 천원)

구분	국내			국제		
	C급	D급	E급	C급	D급	E급
지상	236	25	35	22	4	109
공중	143	18	18	13	3	58

지금까지 김포국제공항 활주로 14R의 등급 상향에 따른 예상 편익을 2019년 기준으로 산정하였으며, 이를 종합하면 다음과 같다(Table 21 참조).

Table 21. Estimation of benefit from upgrading runway category

(단위: 천원)

구분	경제 편익			환경 편익		합계
	운항	여객	화물	지상	공중	
편익	142,300	122,604	9,105	430	254	274,693

V. 결 론

전 세계적 항공수요의 증가는 항공교통시스템 특히 공항과 항공로의 혼잡과 지연을 심화시키

고 있으며, 이러한 현상은 앞으로도 계속될 것으로 전망된다. 이를 극복하기 위해 여러 국가에서는 항행시스템의 발전을 토대로 공역과 공항의 효율성 개선을 적극적으로 추진하고 있다.

이와 반대로 갑작스러운 기상악화 특히 안개의 발생은 운항지연과 결항을 유발하여 공항과 공역의 수용량을 저해하는 요인이 되기도 한다.

전통적으로 정밀접근 계기접근은 안개로 인한 시정의 악화에도 항공기의 안전한 착륙을 유도하여 항공기 운항과 공항운영의 효율성을 증진하는 방법으로 활용되었다.

2018년 11월, 김포국제공항은 14R 방향의 활주로 등급을 CAT-IIIa에서 CAT-IIIb로 상향하였다. 이에 따라 안개로 인한 운항지연, 결항 또는 회항이 감소시켜 공항뿐 아니라, 항공사의 효율성을 개선하는 역할을 할 것으로 기대한다.

이러한 배경에서 본 연구는 정밀계기접근 활주로의 등급 상향에 따른 편익산정 방법을 제시하고, 방법론에 대한 실증 분석을 진행하였다.

이를 위해 편익을 경제 및 환경 편익으로 구분하고, 경제 편익은 운항과 여객 및 화물부문으로 분류하였으며, 편익항목을 결항·회항·지연으로 세분화하였다. 또한, 환경 편익에 대해서는 운항 단계별 연료소모량 차이를 고려하여 지상과 공중으로 편익을 분류하였다.

편익의 실증적 분석은 제시된 방법론을 토대로 실제 기초자료를 활용하여 김포공항 활주로의 등급 상향에 대해 분석하였으며, 이를 통해 방법론에 대한 실효성을 확인하였다.

본 연구는 공항운영의 효율성이 강조되고, 이를 위해 다양한 시스템이 개발·구축되는 상황에서 활주로 등급 상향에 따른 편익산정의 필요성에 주목하고, 국내에서는 처음으로 산정방법을 제시하였다는 점에 의의가 있다고 할 수 있겠다.

다만, 경제와 환경 편익은 계량적 방법을 제시하였으나, 안전편익에 대해서는 과거 축적된 자료 부족으로 정량적 방법을 제시하지 못하였다. 또한, 편익산정 방법을 제시하면서 활주로 등급 상향을 위한 소요 비용에 대한 분석을 포함하지 않았다. 향후, 안전 자료와 투입·유지 비용에 대한 자료를 확보하여 추가 연구를 진행하고자 한다.

아울러, 실증 분석 과정에서 다음의 한계가 존재함을 확인하였다. 하나는 환경 편익분석에서 배출 가스에 관한 자료 한계 또는 부재로 탄화수소(H₂O)와 아황산가스(SO₂) 등 추가적인 배출 가스에 대한 편익산정이 곤란하다는 점이며, 다른 하나는 편익분석에 투입되는 자료의 부족으로 결과의 부정확성이 야기될 수 있다는 점이다.

그러나, 이러한 한계에도 불구하고, 본 연구는 활주로 운영과 관련한 편익산정 방법을 일반화하여 제시하였다는 점에서 의의가 있으며, 국내 항공교통시스템의 객관적 평가 기준 마련에 도움이 될 수 있을 것이다.

References

- [1] Lee, J. W., Ko, K. K., Kwon, T. S., and Lee, K. K., "A study on the critical meteorological factors influencing the flight cancelation and delay: Focusing on domestic airports", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, The Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 19(1), 2011, pp.29-37.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "2018 Air Traffic Service Report", 2019, pp.51-53.
- [3] United States Department of Transportation, FAA, Homepage, <https://www.faa.gov/nextgen/programs/weather/faq/>
- [4] Choi, H. S., Lee, I. H., Kim, W. E., and Sim, K. H., "Factor analysis on the aviation limitation caused by fog", *Korea Civil Aviation Association*, 2002, pp.132.
- [5] Beckwith, W. B., "The effect of weather on the operations and economics of air transportation today", *Bulletin American Meteorological Society, American Meteorological Society*, 52(9), 1971, pp.864.
- [6] ICAO, "Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I, Aerodrome", 8th Edition, 2018.
- [7, 11] Kim, K. S., and Park, S. J., "A study on the standard guidelines for preliminary

- feasibility study of the airport sector project”, Korea Development Institute, 2014, pp. 174-205.
- [8] Cook, A. J., and Tanner, G., “European airline delay cost reference values final report”, Eurocontrol Performance Review Unit, 2015, Brussels, pp.3-7.
- [9] Park, J. K., Jung, W. S., Lee, J. W., Choi, H. J., Kwon, T. S., and Back, J. H., “Analysis of the economic disaster scale for fog case occurred at the Incheon international airport”, Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, The Korean Society for Aviation and Aeronautics, 15(2), 2007, pp.40-47.
- [10] Korea Airports Corporation, “Reorganization of Master Plan of Gimpo Airport”, 2013, pp.147-242.
- [12] Korea Exchange, “The Trend of the Emissions Market in 2017”, 2018, pp1-4.
- [13] European Union Aviation Safety Agency (EASA), “ICAO Aircraft Engine Emissions Databank”, 2019.
- [14] European Organisation for the Safety of Air Navigation (Eurocontrol), “Standard Inputs for EUROCONTROL Cost Benefit Analysis”, 2018, pp.5-7.