

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.1.001>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

제주국제공항의 지연과 Turnaround Time 간의 상관관계 분석

이충섭*, 김동신**, 김혜욱***, 백호종****

Correlation Analysis between Delay and Turnaround Time at Jeju International Airport

Choongsob Lee*, Dongsin Kim**, Hyewook Kim***, Hojong Baik****

ABSTRACT

The capacity of Jeju International Airport has reached its limit due to a surge in air traffic demand such as passengers and cargo and the continuous expansion of Low Cost Carriers (LCC). Despite COVID-19 that has began in November 2019, Jeju International Airport still has continuous demand in terms of passenger and cargo transportation. As a result, it is undeniable that the delay rate also unexpectedly increased as the air traffic volume at Jeju International Airport continued to increase. In this study, the correlation between Turnaround Time and delay rates of national airlines is analyzed based on past flight data at Jeju International Airport, and the cumulative delay time trend for sampled airlines is compared with Turnaround Time. Through this study, it is expected to contribute to securing aircraft operation efficiency and on-time by analyzing delays related to Turnaround Time at Jeju International Airport.

Key Words : Turnaround Time(턴어라운드 타임), Jeju International Airport(제주국제공항), Correlation Analysis(상관관계 분석), Delay Propagation(지연 누적), Flight Schedule(비행 스케줄), Connection Flights(접속 항공기)

1. 서 론

1.1 연구 배경

제주국제공항은 제주특별자치도에 위치한 국제공항으로 동북아시아의 중심부에 위치하여 중국, 일본, 동남아시아를 연결하는 지정학적으로 중요한 공항으로

국내 주요 공항 중에서 인천국제공항 다음으로 항공 수요가 많은 공항이다. 1968년 제주국제공항으로 승격되었고, 2019년 이용객 기준, 3천만 명을 넘어서는 등 최근 빠른 속도의 여객 수요 증가를 나타내고 있다. 특히 2009년에 이미 김포국제공항 실적을 넘어서서 국내 공항 중에 가장 많은 국내선 승객 이용률을 기록하였을 뿐만 아니라 지속적인 승객 수송량의 증가세를 유지하고 있고 화물 수송량 부분도 안정적인 증가세를 보여주고 있다. 비록 최근 코로나19 사태로 인하여 일시적으로 승객 수송량의 감소세를 보이고 있으나 중, 장기적인 관점에서 볼 때 승객 및 화물 운송의 지속적인 증가가 예상된다.

제주국제공항의 경우, Table 1과 같이 출발 승객 기준 2019년에 약 1천 4백만 명에 달하는 등 지속적인

Received: 05. Nov. 2021, Revised: 17. Feb. 2022,

Accepted: 21. Feb. 2022

* 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정

** 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

*** 한국항공대학교 항공정책연구소 연구원

**** 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수

연락처 E-mail : hojongbaik@gmail.com

연락처 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

Table 1. Domestic passenger traffic by airports

(단위: 명, %)

구분	제주	김포	김해	인천
'17	13,956,512	10,351,003	3,749,872	265,761
'18	13,605,622	9,998,645	3,568,620	267,672
'19	14,158,608	10,427,067	3,652,099	278,242
'19/'18(%)	4.1	4.3	2.3	3.9

주: 출발 및 유상여객 기준.

출처: 한국항공협회 자료, 2020.

여객 운송량의 증가가 예상된다. Table 2와 같이 김포-제주 노선의 경우 2019년 기준 국내 노선 전체의 비중 51%, 여객 수송량 기준 약 1천 6백만 명에 달할 정도로 국내선 노선 중 부동의 1위를 기록하고 있고, 제주-김해 노선도 약 4백만 명에 달하는 등 국내선 1, 2위 노선 모두 제주공항을 기반으로 하고 있다. 아래 Table 3에 따르면 국적 대형항공사 및 저비용항공사의 수송 능력은 가파르게 증가하고 있고 특히 국적 저비용항공사의 실적은 총수송량 대비 거의 절반에 육박하는 성장세를 기록하고 있다.

Table 2. Domestic passenger traffic by routes

(단위: 명, %)

구분	2017				2018				2019			
	순위	여객	증감률	비중	순위	여객	증감률	비중	순위	여객	증감률	비중
김포-제주	1	16,770,554	0.9	51.8	1	16,182,682	-3.5	51.2	1	16,812,441	3.9	51.0
제주-김해	2	4,348,464	5.9	13.4	2	4,046,288	-6.9	12.8	2	3,880,487	-4.1	11.8
김포-김해	3	2,709,315	6.5	8.4	3	2,607,334	-3.8	8.3	3	2,889,616	10.8	8.8
제주-청주	4	2,342,272	12.6	7.2	4	2,100,532	-10.3	6.6	4	2,475,018	17.8	7.5
제주-대구	5	1,905,466	12.2	5.9	5	1,834,155	-3.7	5.8	5	1,942,850	5.9	5.9
제주-광주	6	1,714,507	28.9	5.3	6	1,789,151	4.4	5.7	6	1,820,626	1.8	5.5
인천-김해	8	425,493	15.3	1.3	8	459,777	8.1	1.5	7	495,998	7.9	1.5
김포-울산	7	506,237	-1.1	1.6	7	524,038	3.5	1.7	8	457,879	-12.6	1.4
김포-여수	9	350,468	-12.9	1.1	9	309,992	-11.5	1.0	9	331,684	7.0	1.0
제주-울산	19	54,690	-76.6	0.2	11	279,589	411.2	0.9	10	316,258	13.1	1.0
전체 노선		32,406,255	4.8	100.0		31,600,610	-2.5	100.0		32,980,968	4.4	100.0

주: 2019년 기준 상위 10개 노선.

출처: 한국항공협회 자료, 2020.

Table 3. Passenger traffic and load factor by airlines in 2019

구분	공급식			여객			탑승률(%)			
	'18년	'19년	증감(%)	'18년	'19년	증감(%)	'18년	'19년	증감(%)	
우리 대형 항공사	대한항공	34,581,579	34,122,844	-1.3	27,009,536	27,609,957	2.2	78.1	80.9	2.8
	아시아나항공	23,417,427	23,873,324	1.9	19,856,022	20,154,190	1.5	84.8	84.4	-0.4
	소계	57,999,006	57,996,168	0.0	46,865,558	47,764,147	1.9	80.8	82.4	1.6
저비용 항공사	에어부산	9,484,989	9,576,749	1.0	8,067,575	7,796,557	-3.4	85.1	81.4	-3.6
	에어서울	2,025,990	2,195,602	8.4	1,717,022	1,903,168	10.8	84.7	86.7	1.9
	이스타항공	6,720,627	7,220,370	7.4	5,903,436	6,149,904	4.2	87.8	85.2	-2.7
	제주항공	13,247,853	15,160,068	14.4	11,960,655	13,237,826	10.7	90.3	87.3	-3.0
	진에어	10,131,816	10,002,717	-1.3	8,889,978	8,660,296	-2.6	87.7	86.6	-1.2
	티웨이항공	8,020,065	9,341,853	16.5	7,043,642	7,937,646	12.7	87.8	85.0	-2.9
	플라이강원	-	34,596	순증	-	23,031	순증	-	66.6	66.6
소계	49,631,340	53,531,955	7.9	43,582,308	45,708,428	4.9	87.8	85.4	-2.4	
국적사 계	107,630,346	111,528,123	3.6	90,447,866	93,472,575	3.3	84.0	83.8	-0.2	
외항사 계	33,353,714	37,076,549	11.2	27,078,032	29,894,033	10.4	81.2	80.6	-0.6	
총 계	140,984,060	148,604,672	5.4	117,525,898	123,366,608	5.0	83.4	83.0	-0.3	

주1: 국내선 및 국제선 합산 자료.

주2: 유입, 국내선 출발, 국제선 출발+도착, 화물 우편 및 수하물 포함.

출처: 한국항공협회 자료, 2020.

1.2 연구 목적 및 범위

1.2.1 연구 목적

본 연구의 목적은 제주국제공항에 취항하고 있는 항공사별 Turnaround Time을 파악하고 운항실적자료의 실증적 분석을 통해 제주국제공항에서 빈번히 일어나고 있는 지연과 Turnaround Time의 상관관계를 분석하여 운항 지연 감소를 위한 이론 자료를 제시하고자 한다.

본 연구는 먼저 제주국제공항을 취항하고 있는 항공사의 김포-제주 노선을 근간으로 동일 항공기가 제주국제공항을 왕복 운항하는 항공편을 표본 추출하고 해당 항공기의 Turnaround Time 즉, 제주국제공항에 도착 후 다시 출발 공항인 김포국제공항으로 돌아가는 시간을 조사하여 Turnaround Time이 상대적으로 긴 항공사와 그렇지 않은 항공사의 지연율을 조사하여 그 상관관계를 분석하였다.

이번 연구를 통하여 Turnaround Time 선정이 항공기의 운항 지연 여부 및 지연 정도에 미치는 영향을 분석함으로써 무리한 운항 스케줄이 제주국제공항의 출발 지연율 상승에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고 이를 토대로 항공사의 운항 스케줄 조정 등을 통해 항공사의 운항 지연 최소화 및 공항 운영의 효율성 확보에 도움을 주고자 한다.

1.2.2 연구 범위

본 연구의 공간적 범위는 제주국제공항으로 한정하며 시간적 범위는 코로나19 사태로 인한 교통량의 왜곡이 발생한 2020년을 제외한 이전의 운항 년도 중에서 국적 저비용항공사의 취항이 활발해진 2015년부터 주 활주로(RWY 07/25)의 고속 탈출로(high speed taxi-way)의 정비 및 신설 완료 등 제주국제공항의 운항 여건이 가장 효율화된 것으로 판단되는 2019년까지 총 5년(2015-2019)간으로 설정하였다.

연구의 내용적 범위는 6개의 국내 항공사에 대해 특정 운항 Pattern(김포국제공항을 출발하여 제주국제공항에 도착한 후, 다시 김포공항으로 출발)을 만족하는 총 117,612 항공편이다. 그리고 본 연구의 항공편 지연기준은 Table 4와 같이 15분을 기준을 적용하여

Table 4. Determination of flight delays

지연기준(분)	출발시각 기준
$ATD - STD \geq 30$	활주로 이륙시각

지연 여부를 판단하였다.

II. 본 론

2.1 제주국제공항 지연 현황

최근 국적 저비용항공사의 비약적인 발전과 함께 노선 확대와 수송량 증대로 인한 수용량의 요구가 비약적으로 증가하고 있는 제주국제공항은(Table 5) 운항 지연도 따라서 증가하고 있으며 지연율도 전체 운항편수의 13~22%(2015~2019년 한국공항공사 자료 기준)에 달할 정도로 정시 운항에 좋지 못한 영향을 미치고 있으며, 특히 항공기 연결 관련 출발 지연은 지속적으로 악화되고 있어 경제적 손실은 물론, 공항 이용자의 불편함도 가중되고 있는 것이 현실이다. 한국공항공사 자료에 따르면 제주국제공항 운항 지연의 원인은 Table 6과 같이 공항 기상, 항공기 연결 및 정비, 여객 처리, 복합 원인, 기타 등으로 분석되고 있다. 특히 주요 지연 원인으로 지목되고 있는 항공기 연결 문제는 고질적으로 꾸준한 비중을 차지하고 있고 최근 2년(2018-2019년)간에는 20,000회를 상회하는 등 지연의 주요 원인으로 고착화되는 경향을 나타내고 있어 원인 분석 및 대책 마련에 대한 연구가 필요한 상황이다. 이에 따라 취항 항공사 및 공항 당국의 항공기 연결 문제 관련한 집중적인 원인 분석과 신속하고 정교한 정책적 대응책이 요구되고 있다.

2.2 기존 문헌 고찰

2.2.1 지연의 정의

본 연구는 제주국제공항의 출발 항공기의 지연에 초점을 두었다. 국제적으로는 <운항 시각표 + 15분>을 기준으로 지연을 판단하여 통계치를 일반적으로 산출하고 있다. 국토교통부(2013)에서 발행한 항공통계 작성 매뉴얼에 따르면 “지연”은 비행 계획서상의 운항 시간에서 이, 착륙 시간을 기준으로 국내선은 30분 초과, 국제선은 1시간 초과한 경우를 말한다. 이에 반하여 항공사의 정시 운항 기준시간은 항공사별로 스케줄 출발 시각 대비 0분, 5분 및 15분 이내 출발 시 정시 운항으로 간주하는 자체 기준을 선정하여 운영하고 있다. 류연길(2008)은 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)¹⁾ 기준을 반영하여 출발 정시율은 <STD + 15분> 이내, 도착 정시율은 <STA + 15

Table 5. Passenger and freight statistics at Jeju International Airport

	2015년			2016년			2017년			2018년			2019년		
운항(편수)	158,691			172,743			167,280			168,331			175,366		
여객(명)	26,237,362			29,707,364			29,604,363			29,455,305			31,316,394		
화물(TON)	278,718			271,494			275,129			266,370			258,847		
	운항(편수)			여객(명)			화물(Ton)								
	도착	출발	계	도착	출발	계	도착	출발	계						
2015	79,336	79,355	158,691	13,121,331	13,116,231	26,237,562	126,668.70	152,049.30	278,718.00						
2016	86,316	86,427	172,743	14,846,593	14,860,771	29,707,364	133,099.60	138,394.20	271,493.80						
2017	83,642	83,638	167,280	14,793,321	14,811,042	29,604,363	127,567.20	147,561.50	275,128.70						
2018	84,156	84,175	168,331	14,726,651	14,728,654	29,455,305	124,371.80	141,998.60	266,370.40						
2019	87,669	87,697	175,366	15,657,540	15,658,854	31,316,394	121,197.40	137,649.10	258,846.50						
합계	421,119	421,292	842,411	73,145,436	73,175,552	146,320,988	632,904.70	717,652.70	1,350,557.40						

출처: 한국항공협회 자료, 2020.

Table 6. Jeju International Airport delay statistics

년도	출/도착	운항(편수)	기상	A/C 접속	A/C 정비	여객 처리	복합 원인	기타	계
2015	출발	77,254	117	14,750	93	58	0	122	15,140
	도착	77,321	258	4,478	112	39	2	204	5,093
	계	154,575	375	19,228	205	97	2	326	20,233
2016	출발	84,467	136	26,396	87	38	0	142	26,799
	도착	84,910	321	9,730	106	90	3	353	10,603
	계	169,377	457	36,126	193	128	3	495	37,402
2017	출발	81,862	179	16,572	131	69	0	170	17,121
	도착	81,816	265	4,856	122	38	0	250	5,531
	계	163,678	444	21,428	253	107	0	420	22,652
2018	출발	82,098	254	19,060	202	107	2	238	19,863
	도착	82,190	356	5,934	105	42	0	195	6,632
	계	164,288	610	24,994	307	149	2	433	26,495
2019	출발	85,389	280	17,354	180	141	2	191	18,148
	도착	85,465	430	5,021	162	65	5	221	5,904
	계	170,854	710	22,375	342	206	7	412	24,052

출처: 한국항공협회 자료, 2020.

분) 이내를 기준으로 해야 한다고 제시하였다. 미국 내 공항을 운항하는 주요 항공사들로부터 지연 원인을 포함한 정시 운항 자료를 접수하여 매월 미국 교통부(Department of Transportation, DOT)의 산하기관인 교통 통계국(Bureau of Transportation Statistics,

BTS)을 통해서 공시하고 있다.

그러나, 김휘양 외(2019)에서 각 지역의 기준을 살펴보면 실제 출발시각(ATD)과 실제 도착시각(ATA)의 기준이 상이하다. 예컨대, 우리나라 항공 통계는 출발 항공기가 활주로에서 이륙 후, 감시레이더에 최초로 포

1) 미국 연방항공청은 미국 내의 민간 항공안전을 위한 주요 임무를 위해 설립된 정부 기관이다.

착되는 시각을 기준으로, 항공사는 항공기가 주기장에서 이동을 시작하는 시각(actual off-block time, AOBT)을 기준으로, 미국 연방항공청은 항공기가 브레이크를 해제(release)하는 시각(taxi-out)을 기준으로 실제 출발 시각을 적용한다. 또한, 도착 항공기에 대해 우리나라 항공 통계는 항공기가 활주로에 접지하는 시각을, 항공사는 항공기가 주기장에 도착하는 시각(actual in-block time, AIBT)을 기준으로, 미국 연방항공청은 지상 주행 도착(taxi-in) 시각을 기준으로 실제 도착 시각을 적용하고 있다.

2.2.2 Turnaround Time의 정의

항공기가 목적지 공항에 도착해서 지상조업과 출발 준비를 하고 다시 출발하는 일련의 과정을 Turnaround²⁾라고 하며 이 절차를 수행하기 위해 소요 시간을 산정하여 항공기 운영 스케줄에 반영한 시간을 의미하는 표현으로 다른 용어로 Ground Time 또는 Turnover Time이라고 할 수 있다. 항공사들은 경쟁력의 확보를 목적으로 보유 항공기의 가동율을 최대한 높이기 위해 이 Turnaround Time을 줄이거나 최대한 효율적으로 운영하는데 다양한 방법으로 노력을 기울이고 있다. 특히, 저비용항공사의 경우 지상조업 등에 필요한 시간의 합리화, 최소화를 반영한 항공기 운영계획을 매우 중요한 요소로 인식하여 대형항공사와의 차별화 전략을 꾀하고 있다.

Wong and Tsai(2012)는 Turnaround Time을 좀 더 세밀하고 분석적으로 설명하기 위하여 actual turnaround buffer time과 actual block buffer time의 개념을 식 (1)과 같이 설명하고 있다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Actual turnaround buffer time} \\
 &= \text{Scheduled time of departure(for next flight)} \\
 &\quad - \text{Actual time of arrival} \\
 &\quad - \text{Required ground handling time}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Actual block buffer time} \\
 &= \text{Scheduled time of arrival(for next flight)} \\
 &\quad - \text{Actual time of departure} \\
 &\quad - \text{Required block operating time}
 \end{aligned}$$

위의 개념은 실질적으로 항공사가 운항 스케줄에 반

영한 scheduled turnaround time을 분석하여 필수적으로 필요한 ground handling time과 operation time을 고려, 차감한 가용 가능한 여유 시간인 buffer time을 추산한 수식이다. 먼저 actual turnaround buffer time은 항공기가 도착하여 다음 정해진 스케줄 시간에 출발할 때(scheduled time of departure)까지의 사용한 시간을 의미하고 이 시간과 필수적으로 필요한 required ground handling time과 비교하여 주어진 시간의 과부족에 따라 지연이 결정된다. Turnaround Time에 추가적으로 포함되어 있는 buffer time의 크기에 따라 지연의 정도가 차이를 보이게 된다. 즉, buffer time이 여유가 있을 경우 지연 가능성이 상쇄되거나 지연의 정도를 완화시킬 수 있는 여유를 가지게 된다는 의미이다.

또 다른 개념인 actual block buffer time은 실질 출발 시간(actual time of departure)에 따른 사전 가용 운항 스케줄 시간 중의 여유 시간, 즉 buffer time을 추론하는 개념이다. 즉 운항 스케줄의 설정 여유에 따라 지연의 정도에 영향을 준다는 의미로 이해할 수 있다. 상대적으로 비행시간에 여유가 있게 스케줄 시간이 책정되어 있을 경우 출발이 다소 지연되더라도 여유 있는 운항시간을 통해 지연 가능성이 상쇄되거나 지연의 정도를 완화시켜 정시성 확보의 가능성을 높일 수 있다는 의미이다. 이상의 두 가지 개념을 통해 항공사별 Turnaround Time과 운항 스케줄을 종합적으로 분석함으로써 Turnaround Time과 지연 가능성의 상관관계를 분석할 수 있다.

2.2.3 접속 지연의 상쇄

연결 항공편의 전후 스케줄 사이에는 비행시간을 뜻하는 블록타임(block time, B/T)과 이륙 준비를 위한 그라운드타임(ground time, G/T)이 존재한다. 그리고 B/T와 G/T에는 불확실한 상황을 대비한 여유 시간, 즉 버퍼(buffer)가 포함되어 있다. 예를 들어, Fig. 1에서 계획된 비행시간(B/T_s)은 점선으로 표현되며 실제 비행시간(B/T_A)은 실선으로 표현된다. 이때, B/T 버퍼는 B/T_s와 B/T_A의 차이로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Delay}_i &= \text{ATD}_i - \text{STD}_i \\
 &= (\text{ATA}_{i-1} + G/T_A) - (\text{STA}_{i-1} + G/T_S) \\
 &= (\text{ATD}_{i-1} + B/T_A + G/T_A) - (\text{STD}_{i-1} + B/T_S + G/T_S) \\
 &= (\text{ATD}_{i-1} - \text{STD}_{i-1}) - (B/T_A - B/T_S) - (G/T_A - G/T_S) \\
 &= (\text{ATD}_{i-1} - \text{STD}_{i-1}) - (\text{Block Buffer}_{i-1}) - (\text{Ground Buffer}_i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

2) International Air Transport Association (IATA), "Airport Handling Manual (AHM) 810 41st Edition 2021", Jan. 2021.

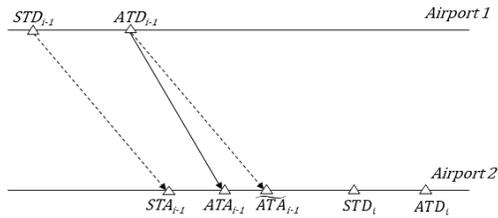


Fig. 1. Relationships among flight delays in an airline schedule

B/T과 G/T의 버퍼는 공중 및 지상에서의 여러 불확실성 및 접속 지연($ATD_{i-1} - STD_{i-1}$)을 상쇄하기 위한 주요 요소이다. Table 7과 같이 제주국제공항의 5년(2015-2019)간의 항공기 운항 자료를 분석한 결과, 김포-제주 노선의 B/T은 주로 65분, 70분, 75분으로 계획되었으며, 각 계획 B/T에 따른 실제 B/T의 편차(σ)가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 실제 비행시간에 대한 예측이 잘 이루어졌음을 의미한다.

김포-제주 노선 G/T의 경우(Table 8 참조), 각 계획 G/T에 따른 실제 G/T 간 편차(σ)가 상당히 큰 것을 알 수 있다. 이는 여러 불확실성으로 인해 G/T을 정확히 계획하는 것은 어려운 일이며, 따라서 보다 여유로운 G/T 버퍼 타임이 요구됨을 의미한다. 결론적으로 접속 지연을 상쇄하기 위해서는 B/T보다 G/T에 대한 자세한 분석이 요구된다.

2.3 연구 방법

본 연구의 근간으로 분석에 활용된 자료는 국토교통부 항공정보시스템(UBIKAIS)에서 제공하는 운항 및 비행정보시스템(flight operation information system, FOIS)을 통해 수집된 제주국제공항의 5년(2015-2019)

Table 7. Mean and standard deviation of actual block time

B/T(분)	65	70	75
계획(μ/σ)	65/-	70/-	75/-
실제(μ/σ)	72.1/4.9	72/5.2	72.6/5.5

Table 8. Mean and standard deviation of actual ground time

G/T(분)	30~40	40~50	50~60	60~70
계획(μ/σ)	34.1/1.9	42/2.4	52.2/2.5	61.6/2.3
실제(μ/σ)	35.4/6.8	40.1/7.5	46.5/9.2	54.1/9.2

간의 항공기 운항 정보 통계 자료이다. 이 자료는 항공기 호출부호(call sign) 및 항공기 기종(aircraft type), 항공기 등록 번호(aircraft registration number), 운항 스케줄 출, 도착 공항(origin/destination airports), 운항 날짜(date), 운항 스케줄 출, 도착 시각(scheduled time of departure/arrival), 실제 항공기 출, 도착 시각(actual time of departure/arrival) 등의 정보를 포함하고 있다.

수집된 항공기 운항 정보 가운데 앞서 설명된 기준(즉, $ATD - STD \geq 30$) 이상으로 지연된 항공편을 추출하였으며, 이 가운데 Turnaround Time이 70분 이상으로 지연과 상관관계가 다소 미약할 것으로 추정되는 항공편과 25분 미만으로 일반적인 항공기 연결 Turnaround Time 문제가 아닌 Data 기입 오류 등 다른 사유로 추정되는 항공편 자료를 제외한 후 자료의 전 처리 과정을 수행하였다.

먼저, 제주국제공항을 취항하고 있는 항공사의 김포-제주 노선을 근간으로 동일 항공기(즉, 동일 등록 기호)가 제주국제공항을 왕복 운항하는 운항 pattern을 표본 추출하고 그 항공기의 제주공항에 도착 후 다시 출발 공항인 김포국제공항으로 돌아가는 시간(즉, Turnaround Time)을 조사하여 기준을 선정하고 김포-제주 노선을 운항하는 항공사별 Turnaround Time의 운영 실태를 분석하여 구간별로 출발 편수와 지연율을 분석하였다. 또한 Turnaround Time이 상대적으로 긴 항공사와 그렇지 않은 항공사에 대해 동일 또는 유사 운항 조건에서 누적 지연의 크기와 추이를 조사하여 그 상관관계를 분석하였다.

본 연구에서는 자료의 한계 등으로 도착지 공항에 도착한 후 다시 출발할 때까지의 지상에서의 Turnaround Time만을 고려하여 연구를 수행하였다. 보다 실질적인 연구를 위하여, 연구 대상 운항편은 최대 50분까지 지연이 발생한 운항편으로 제한하였다. 연구 대상 항공사는 국내 대형항공사 2개 회사와 저비용항공사 4개 회사를 선정하여 연구, 분석하였으며 연구의 편의상 연구 대상 항공사들의 이름은 공식 명칭이 아닌 FSC1, LCC1 등의 가칭으로 설정하였다.

2.4 Turnaround Time과 지연율 분석

2.4.1 항공사별 Turnaround Time

김포-제주 노선을 운항한 6개 국적 항공사의 총 117,612편의 Turnaround Time의 분포를 조사, 분석한 결과는 Table 9와 같다. 대형항공사의 경우를 보

면, 특히 FSC 1 항공사가 저비용항공사와 비교하여 대형 기재의 운영 비율이 높아 Turnaround Time을 다소 긴 50-70분으로 비교적 길게 운영하고 있었고 그 비중도 상당히 높은 수준에서 운영하고 있음을 알 수 있었다.

다른 FSC 2는 저비용항공사와 비교하여 약간 긴 40-50분의 간격으로 Turnaround Time을 운영하고 있었다. 반면 저비용항공사들의 경우는 단일 기재를 활용하여 대부분의 운항 스케줄을 35-45분의 Turn-

around Time으로 운영하고 있었고, 특히 다소 짧은 시간인 35분의 Turnaround Time을 높은 비중으로 운영하는 등 기재 운영을 최대화하려는 경향이 나타났으며, 대형항공사들의 경우는 35분의 Turnaround Time 운영 비중이 매우 낮아 기재 운영의 효율성보다는 정시성에 초점을 둔 여유 있는 기재 운영 경향을 보여주었다.

항공사의 기종별 Turnaround Time은 Table 10과

Table 9. Analysis of turnaround time by airlines (Unit: Number of flights)

T/T	FSC 1	FSC 2	LCC 1	LCC 2	LCC 3	LCC4
25분	17	277	78	111	37	127
30분	37	1,336	905	3,911	3,048	768
35분	1,980	6,313	8,050	7,723	7,028	6,478
40분	2,158	8,203	1,137	3,067	2,917	1,876
45분	1,362	9,644	310	939	957	526
50분	1,552	3,235	844	681	1,662	1,285
55분	1,758	1,692	655	1,011	369	2,484
60분	6,547	1,603	99	716	34	1,651
65분	2,244	560	83	447	164	664
70분	3,507	166	62	180	196	141
합계	21,162	33,029	12,223	18,786	16,412	16,000

Table 10. Analysis of turnaround time by airlines and aircraft types (Unit: Minutes)

	FSC 1	FSC 2	LCC 1	LCC 2	LCC 3	LCC 4
A320	-	avg.: 39.7 min: 25.0/ max: 70.0	-	-	-	-
A330	avg.: 57.8 min: 40.0/ max: 70.0	avg.: 55.0 min: 30.0/ max: 60.0	-	-	-	-
B737	avg.: 46.2 min: 25.0/ max: 70.0	-	avg.: 38.0 min: 25.0/ max: 70.0	avg.: 38.8 min: 25.0/ max: 70.0	avg.: 38.3 min: 25.0/ max: 70.0	avg.: 40.2 min: 25.0/ max: 70.0
B744	avg.: 64.1 min: 40.0/ max: 70.0	-	-	-	-	-
B767	-	avg.: 46.4 min: 25.0/ max: 70.0	-	-	-	-
B777	avg.: 62.0 min: 25.0/ max: 70.0	avg.: 53.0 min: 45.0/ max: 70.0	-	-	-	avg.: 56.8 min: 35.0/ max: 70.0
B787	avg.: 61.4 min: 50.0/ max: 70.0	-	-	-	-	-
CS300 (A220)	avg.: 49.5 min: 30.0/ max: 70.0	-	-	-	-	-

같이 분석되었으며 대형 기재(A330, B777, B744, B787)를 높은 비중으로 운영하는 FSC1의 경우 대부분을 60분 이상으로 운영하고 있었고, 저비용항공사와 비교하여 동일 기재인 B737의 경우에도 46분을 운영함으로써 저비용항공사의 다소 짧은 37-40분의 운영 시간과 차이를 보여주고 있었다. 그리고 또 다른 대형 항공사인 FSC2는 FSC1과 동일 기재(A330, B777)를 운영함에도 같은 수준이거나 10분 정도 짧은 시간의 Turnaround Time을 운영하고 있었다. 그리고 Table 11의 분석 자료를 참고하면 FSC 1의 경우 대형 기재에서는 최대 17%의 지연율을 보이고 있으나 Turnaround Time을 가장 짧게 운영한 소형기재인 B737에서 가장 높은 26% 지연율을 보이는 등 기재별 Turnaround Time과 지연율에서 차이를 보여주었다. FSC 2의 경우는 가장 짧은 Turnaround Time을 유지한 A320에서 가장 높은 지연율을 보여주었다.

Table 11. Analysis of percentage of departure delay by airlines and aircraft types (Unit: %/ # of Dep. Delays/ # of Departures)

	FSC 1	FSC 2	LCC 1	LCC 2	LCC 3	LCC 4
A320	-	24.0 4,117/ 17,122	-	-	-	-
A330	16.4 254/ 1,549	21.1 298/ 1,410	-	-	-	-
B737	26.0 2,040/ 7,855	-	27.0 3,301/ 12,223	22.4 4,211/ 18,786	20.8 3,415/ 16,412	29.2 3,585/ 12,282
B744	17.0 900/ 5,305	-	-	-	-	-
B767	-	21.3 3,086/ 14,487	-	-	-	-
B777	13.5 663/ 4,902	0.3 3/10	-	-	-	17.5 650/ 3,718
B787	5.7 18/ 317	-	-	-	-	-
CS300 (A220)	16.5 204/ 1,233	-	-	-	-	-

2.4.2 지연율 분석

항공사별 Turnaround Time에 따른 지연율 분석은 Fig. 2와 같으며, 그림의 좌측 비율은 Turnaround Time 구간별 운항편수의 비중율을 우측 비율은 지연율을 표시하였다. 분석 결과 Turnaround Time과 지연율 간에는 일정한 반비례의 관계가 존재함을 확인하였다. 항공사 규모에 상관없이 대체적으로 19-27% 수준의 출발 지연율을 보여주고 있었으며, 특징적인 면으로 저비용항공사의 경우 대체로 35-40분대의 짧은 Turnaround Time을 높은 비율로 운영하고 있고 그에 따른 지연율도 상당히 높았다. 대형항공사인 FSC1의 경우 대형 기종의 운항 비중이 높아 다소 여유가 있는 50-70분대의 Turnaround Time을 전체 대상 편수의 70% 이상의 비중으로 운영하였고, Turnaround Time 55분보다 길게 운영하는 구간의 지연율이 상대적으로 낮은 수치를 보여주었다.

2.4.3 지연 누적율 추이 분석

동일 항공기의 누적 지연은 김포-제주 노선의 하루 운항 LEG를 조사하여 항공사별 항공기 운항 Turnaround Time 실태 파악 및 LEG의 진행에 따라 지연율 및 지연시간의 누적 정도를 5년간의 축적된 DATA로 분석하였다.

Fig. 3은 5년간 김포-제주 노선을 왕복 pattern 형태로 운항한 항공사별 일당 LEG와 그 Turnaround Time 시간을 분석한 것으로 비교적 긴 Turnaround Time을 유지한 대형항공사인 FSC 1을 제외한 다른 항공사는 비슷한 수준의 Turnaround Time을 유지하고 있었다.

Fig. 4와 Fig. 5는 연구 대상 항공사 전체를 고찰하여 분석한 자료로서 Turnaround Time과 지연율 및 지연시간의 상관관계를 분석한 것으로 역의 상관관계가 실증적으로 존재함을 보여주고 있다. 그리고 Fig. 6과 Fig. 7은 항공사별 Turnaround Time과 LEG 진행에 따른 지연율 및 지연시간의 누적 추이, 추세를 도식화한 것으로 그래프가 우상향하고 있는 것은 LEG 진행에 따른 지연율 및 지연시간의 누적과 추세적인 상승을 의미하는 것으로 현재와 같은 Turnaround Time의 운항환경이 지속된다면 제주국제공항의 지연은 불가피함을 의미한다.

또한, 김포-제주 노선을 왕복 운항한 연구 대상 항공사 중 대형항공사 FSC 1는 비교적 긴 Turnaround Time을 유지, 운영하여 동일 항공기가 LEG를 추가함

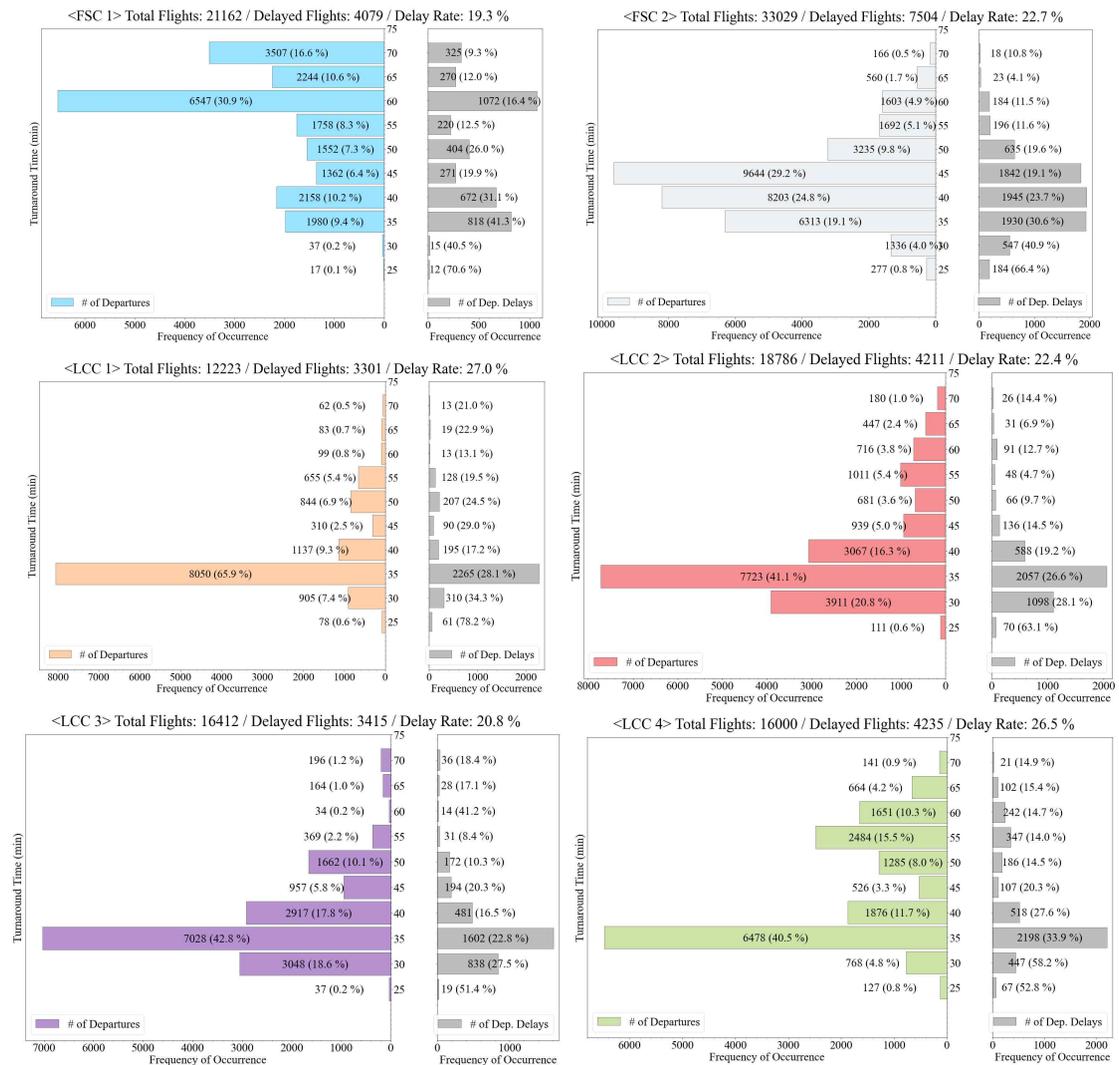


Fig. 2. Analysis of turnaround time and delay rate by airlines

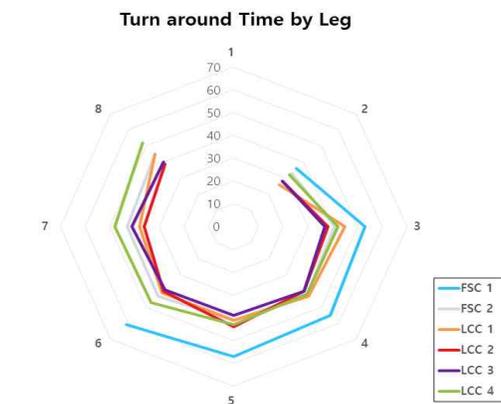


Fig. 3. Analysis of average turnaround time with LEGs by airlines (Unit: Minutes)

에 따라 어느 정도의 누적 지연을 상쇄하고 있음을 볼 수 있는 반면, 짧은 Turnaround Time을 지속적으로 운영하는 저비용항공사들의 경우는 지연이 추세적으로 누적되는 것으로 나타났다. 다시 말해 운항 당일 시작 LEG에 지연이 발생하는 경우 상대적으로 짧은 Turnaround Time을 운영하는 항공사는 비행LEG가 진행됨에 따라 그 지연이 만회되어 정시성이 회복될 수 있는 가능성이 상대적으로 낮아지게 되어 지연이 누적됨을 의미한다.

마지막으로, 본 연구는 Leg의 횟수와 Turnaround Time이 지연시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음의 식 (3)과 같이 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 수행하였다.

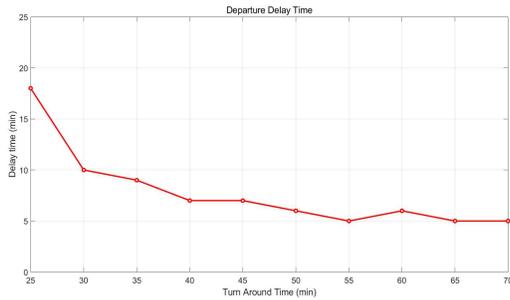


Fig. 4. Analysis of a correlation between turnaround time and delay time

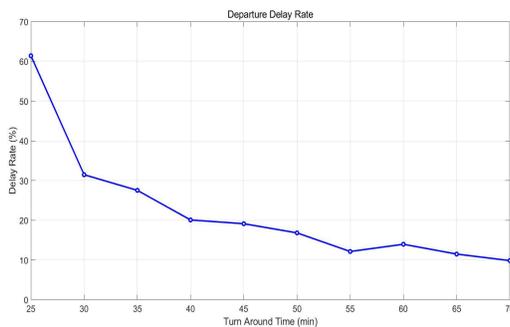


Fig. 5. Analysis of a correlation between turnaround time and delay rate

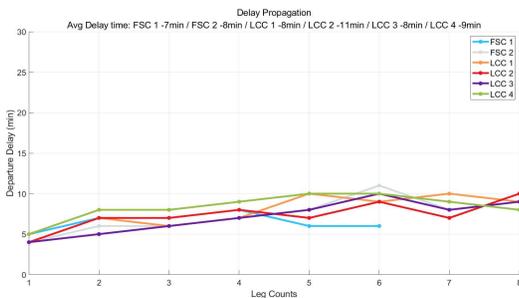


Fig. 6. Propagation of departure delay time by airlines

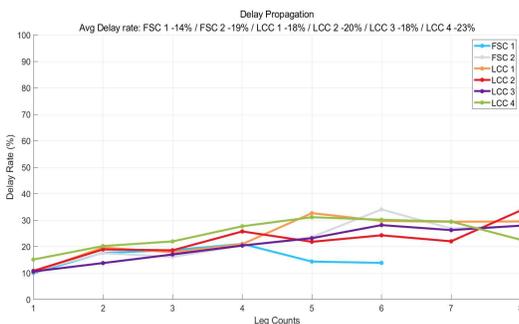


Fig. 7. Propagation of departure delay rate by airlines

$$Delay = \beta_0 + \beta_{LN}X_{LN} + \beta_{TA}X_{TA} + \beta_{AL}X_{AL} \quad (3)$$

본 수식에서 독립변수는 Leg의 횟수(X_{LN}), Turn-around Time(X_{TA}), 그리고 항공사 범주에 따른 터미 변수(X_{AL} , FSC: 1, LCC: 0)이며, 종속변수는 지연 시간(Delay)으로 지정하였다.

회귀 분석 결과, 각 독립변수의 계수(β_{LN} , β_{TA} , β_{AL})는 유의수준($p \leq 0.05$) 내에서 약 1.16, -0.02, -0.57로 산출되었으며, 이는 지연시간이 Leg의 횟수와는 정비례 관계(1.16)이며, Turnaround Time과는 반비례 관계(-0.02, -0.57)임을 보여준다. 하지만 3개의 독립변수만을 통해 지연 시간을 정확하게 예측하는 것에는 무리(조정된 결정계수: 0.04)가 있기에 항공기의 지상이동시간 등 관련있는 변수를 추가하여 분석한다면 보다 설명력이 높은 모형을 구축할 수 있으리라 본다.

III. 결 론

3.1 연구결과 종합

본 연구에서는 2015년 1월부터 2019년 12월까지 5년간의 제주국제공항의 운항 data를 기준으로 6개 항공사의 Turnaround Time과 항공기 지연 간의 상관관계를 분석하였다. 총 117,612편의 항공기 운항 data를 기준으로 분석, 연구한 결과 Turnaround time이 충분할수록 지연율은 상대적으로 낮아지는 것으로 밝혀졌다.

5년간의 data 분석을 통하여 실질적으로 평균 19-27%의 지연 출발이 대형항공사, 저비용항공사 공히 제주국제공항에서 이루어지고 있었고 그 분포는 Turn-around Time의 운영 시간에 따라 상이하게 발생하고 있었다. 실제로 표본으로 삼은 대형항공사의 경우 5년간의 평균 지연율보다 50분 이상의 Turnaround Time을 운영 시간대가 지연율이 상당히 낮게 유지되고 있는 것을 발견할 수 있었다. 또한, 저비용항공사의 경우 상대적으로 짧은 Turnaround Time을 유지하고 있을 때의 지연율이 평균치를 상회하고 있는 것으로 분석되었다. 즉 지연과 Turnaround Time이 역의 상관관계를 실증적으로 보여주고 있다고 할 수 있다.

지연 누적 추이 분석도에서 알 수 있듯이 저비용항공사들의 경우 소형 기재를 주로 운영하고 있어 다수의 운항편들이 상대적으로 짧은 간격인 30-40분의 Turnaround Time을 지속적으로 유지하고 있고, 이

로 인하여 지연이 추세적으로 누적되는 결과가 발생하는 것으로 분석되었다. 일부 저비용항공사의 경우는 항공기 운영 스케줄 중간에 비교적 긴 시간의 Turnaround Time을 부여하여 사전에 누적된 지연을 다소 완화하는 항공기 운영을 하고 있음도 발견할 수 있었다. 대형항공사들의 경우에는 지연 누적 추이가 큰 의미 있는 누적 즉 지연의 축적이 없이 비교적 충분한 Turnaround Time을 통하여 상쇄시키고 있음을 알 수 있었다.

3.2 한계점 및 향후 과제

연구 대상 운항 data의 한계점으로 인하여 김포-제주 노선에 한정된 연구를 시행하여 다소 아쉬움이 남지만, Turnaround Time과 지연과의 상관관계를 실증적으로 연구하였다는 데 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 지난 10년간의 국적 저비용항공사의 눈부신 발전과 노선 확대에는 비교적 짧은 Turnaround Time을 기반으로 하는 운항 가용 시간 최대화의 영업전략이 주효했음은 틀림이 없으나, 반대로 현실적으로 다소 무리한 운항 스케줄을 유지함으로써 지연의 누적을 초래하여 실질적인 항공기 운항의 정시성 훼손과 승객 및 화물 운송의 비효율성을 초래했다는 점도 연구 과정에서 알 수 있었다.

본 연구는 제주국제공항을 기점으로 하는 김포-제주 노선에 국한된 연구로서 제주국제공항을 기점으로 하는 지방 공항으로 연결되는 지선망에 대한 종합적인 연구를 반영하지 못한 한계를 가지고 있다. 또한 대형기를 많이 운영하는 대형항공사와 소형기 위주의 저비용항공사의 Turnaround Time을 단순 비교하는 연구의 한계점을 가지고 있다. 또한 항공기 운항의 다양성을 반영한 구간별 Turnaround Time을 종합적으로 분석하고 이와 관련한 복잡한 항공기 연결 스케줄과 지연과의 상관관계를 종합적이고 기술적인 시각에서 분석하지 못한 점은 향후 연구해야 할 과제로 남았다고 생각된다.

그리고 이번 연구를 통하여 현재 제주국제공항은 최근 늘어난 운항 편수로 인하여 배분된 slot이 현실적인 측면에서 포화 상태이고 저비용항공사의 상대적으로 부족한 Turnaround Time으로 인한 구조적인 항공기 연결 문제가 출, 도착 지연의 원인이 되고 있다는 사실을 발견할 수 있었으며, 향후 보다 실질적인 연구를 통하여 항공사의 항공기 운항 pattern과 그로 인한 항공기 연결 관련 지연, 기상과의 상관관계 등을 종합적이고 체계적인 연구의 틀 속에서 과학적으로 분석하여 출발지연 뿐만 아니라 제주공항 출, 도착 지연의 심도

있는 원인 분석과 이를 바탕으로 하는 효율적 운영 방안 마련이 시급하다는 것이 이번 연구 과정을 통해 향후 과제로 대두되었다.

이번 연구에 활용한 최근 5년간의 항공기 운항 및 Turnaround Time data뿐만 아니라 향후 제주국제공항의 기상 및 운항 관련 big data를 활용한 체계적이고 종합적인 연구가 실행되어 지연 원인 간의 상관관계와 정책적 분석이 실행되어진다면, 보다 효율적인 공항 운영을 실현할 수 있고 이를 통한 정시성 확보와 승객 불편 최소화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 “데이터기반 항공교통관리 기술개발(과제번호: 22DATM-C162722-02)”의 연구지원으로 수행되었습니다.

References

1. Kim, M. H., Park, S. W., and Bae, J. H., “Flight delay and cancellation analysis and management strategies”, Korea Transport Institute, Nov. 2020.
2. Kim, H. Y., Yoon, J. S., Song, H. Y., and Baik, H. J., “A study on measuring airlines’ on-time performance: Focusing on departure delays”, Journal of Transport Research, 26(3), 2019, pp.1-12.
3. Ryu, Y. G., “A study on the causes of the gap between on-time departure and arrival performance in airline industry”, M.S. Thesis, Korea Aerospace University, Goyang, Feb. 2009.
4. Fricke, H., and Schultz, M., “Delay Impacts onto Turnaround Performance - Optimal Time Buffering for Minimizing Delay Propagation”, Jun. 2009.
5. Wong, J. T., and Tsai, S. C., “A Survival Model for Flight Delay Propagation”, May 2012.
6. Yu, T. G., “A heuristic approach for mitigation of flight delay propagation”, M.S. Thesis, Korea Aerospace University, Goyang, Feb. 2019.