

論文

시뮬레이션 기반의 지상지연 프로그램 적용방안에 관한 연구

- 제주국제공항을 사례로 -

이영종*, 조지은**, 백호종***

A Study on Simulation-based Method for Implementation of Ground Delay Program for Jeju International Airport

Young-Jong Lee*, Ji-Eun Cho** and Ho-Jong Baik***

ABSTRACT

Being a cost-efficient solution for alleviating the traffic congestion in airspace, Air Traffic Flow Management (ATFM) has drawn more attentions from not only air traffic controllers but also researchers in the field of Air Traffic Management (ATM). Among other ATFM initiatives, it is believed that Ground Delay Program (GDP) could be effectively applied to reduce the congestion particularly in the relatively small airspace with dense traffic demand. This paper introduces a novel way that suggests flights to be delayed on the departing airports together with amount of the delays (in time) for those flights to be delayed. Adopting a fast-time simulation for predicting airspace delay of each flight for a given flight plan, the method is designed to iteratively and incrementally adjust the departure times in the plan towards reducing total airspace delays. Applying the method to Jeju airport with a hypothetically high demand, the paper demonstrates the airspace delay could be significantly reduced by applying GDP at Gimpo airport where more than 60% of Jeju-bound flights departure. Although the simulation model needs to be calibrated and validated for the real-world application, the results clearly shows that the approach can possibly implemented as a tool for preparing the daily plan at the pre-tactical stage defined in the ICAO ATFM manual.

Key Words : 항공교통흐름관리(Air Traffic Flow Management), 지상지연프로그램(Ground Delay Program), 협력적 의사결정(Collaborative Decision Making), Fast-Time 시뮬레이션(Fast-Time Simulation)

1. 서 론

2000년대 이후, 우리나라는 국민소득의 비약적인 증가와 함께 단거리 국제노선에 대한 수요가

급증하여 왔다. 이에 따라, 저비용 항공사의 운항 빈도 또한 높아지고 우리나라의 단거리 국내 및 국제 노선의 거점 공항이라고 할 수 있는 김포, 김해, 제주 공항에 지연과 혼잡이 빈번히 발생하고 있다.

현 시점에서, 우리나라가 이러한 변화에 적극적으로 대처하고, 아울러 항공기 사고, 테러, 공항 폐쇄 등의 비상상황 발생 시 신속하고 안전한 항공기 운항 종합통제 및 효율적인 항공교통 흐름의 수행을 보장하기 위해서는 항공교통흐름관리(Air Traffic Flow Management)가 필요하다.

2015년 03월 11일 접수 ~ 2015년 03월 24일 심사완료
논문심사일 (2014.03.21, 1차)

* 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정 수료

** 한국항공대학교 항공교통학과 대학원

*** 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 부교수

연락처, E-mail : hbaik@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

항공교통흐름관리의 기본적인 개념은 1) 항공 교통상황을 사전에 정확하게 예측하여, 2) 수용 능력의 부족을 미리 감지하고, 3) '수요가 초과되거나, 초과가 예상되는 시간대에 특정한 구역을 출발, 도착, 통과하는 항공교통의 원활한 흐름을 보장하도록 ATC를 지원하여야 한다.'고 정의하고 있다[1-4].

ICAO에서 정의하는 항공교통흐름관리는 3단계로 구성된다[3]. 첫 단계인 전략(Strategic)기획 단계는 항공교통흐름관리(ATFM)를 실시하기 6개월 이전부터 시행 익일 전까지 운영을 위한 전략 및 방침을 수립하는 단계이며, 두 번째 사전전술(Pre-tactical) 기획단계는 비행계획상 출발날짜의 전일부터 실제 출발시간까지의 비행계획을 조정하는 단계이다. 마지막 전술(Tactical)운영 단계는 실제로 항공교통흐름관리(ATFM) 업무를 수행하는 단계를 말한다(Fig. 1 참조).

ATFM measures			
	Strategic	Pre-tactical	Tactical
Vertical			Rerouting (level capping scenarios)
Lateral			Fix balancing Rerouting (mandatory or alternative) Level capping scenarios Collaborative trajectory options
Longitudinal		Collaborative trajectory options	Miles-in-trail Minutes-in-trail Minimum departure intervals
Time	Ground delay programme Airborne holding	Ground delay programme	Slot swapping Ground delay programme Ground stop Airborne holding

source : ICAO Doc 9971 (Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management) II-6-2, 2014.[4]

Fig. 1 ATFM Measures by Operational Phase

항공교통흐름관리를 구현하기 위한 대표적인 교통관리방안에는 본 논문의 주제인 지상지연 프로그램(Ground Delay Programs)외에도 1) 군의 협조 하에 가능한 공역 흐름관리, 2) 정확한 기상관측 및 예보에 기반한 비행고도 변경 프로그램(Level capping), 3) 항공사의 협조를 통한 항로 재배정(우회) 프로그램(Rerouting of aircraft), 4) 항로 폐쇄, 항공기 사고, 테러 등 항공교통에 지대한 영향을 주는 사항이 발생하였을 때 모든 항공기의 운항을 정지시키는 지상정지 프로그램(Ground Stop)등이 있다[5-6].

이러한 교통관리방안 중, 지상지연 프로그램은 특정 공항에 도착하는 항공기가 특정시간대에 집중되거나, 기상악화 등으로 공항의 수용량이 일시적으로 감소하여 도착항공기의 과도한 공중지연이 예상되는 경우, 출발공항에서 해당 항공기의 이륙을 지연시킴으로서 공중지연을 사전에 흡수하는

항공교통흐름관리 (ATFM)의 한 방법이다[6].

현행 국내 지상지연 프로그램(GDP)은 “특정항로의 항공편에 대한 출발간격을 지정”하는 형태로 운영되고 있다. 하지만 공역 규모가 비교적 작은 우리나라 공역상황(1)을 고려할 때, 이러한 일괄적인 교통량(Flow Rate) 기반의 지상지연 프로그램보다, 각 항공편의 개별적인 EDCT(2)를 조정, 운영하는 것이 제한된 공역을 보다 효율적으로 사용하는 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다 [7].

이러한 배경으로부터, 본 연구에서는 도착지 공항에서의 공중 지연을 예측하고, 필요시 출발지 공항에서 각 항공기 출발시간을 개별적으로 조정하는 지상지연 프로그램(Ground Delay Program, GDP)의 적용 타당성을 확인하고자 한다.

2. 관련문헌조사

2.1 국내외 ATFM 운영현황

2.1.1 우리나라 ATFM 운영현황

우리나라는 항공교통업무기관의 처리능력을 초과하는 항공교통량을 통제하기 위한 목적으로, 2005년 12월부터 항공교통센터(인천ACC) 내에 항공교통흐름관리센터(Air Traffic Flow Management Center, ATFM)를 설치하여 인천 FIR내 항공교통 흐름 관리업무를 총괄하면서 서울/제주 접근관제소 및 인천/김포/제주/관제탑에 흐름관리석(Flow Management Unit, FMU)을 운영해 오고 있다(Fig. 2 참조).

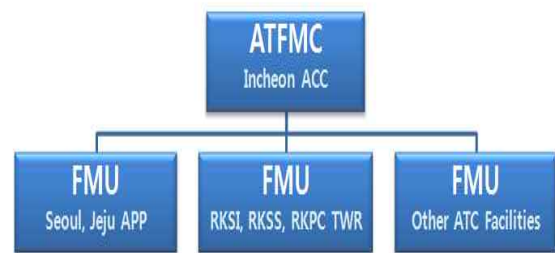


Fig. 2 Current ATFM at Incheon ACC

그러나 항공교통센터(인천ACC) 내의 ATFM은

1) 우리나라의 인천 비행정보구역(FIR)의 면적은 약 43만 km²으로, 국내선의 경우 가장 긴 비행시간이 1시간이 안되며, 그 중 항공로 상에서 인천 ACC의 관제를 받는 시간은 20분~50분밖에 되지 않는다.

2) Expected Departure Clearance Time, Federal Aviation Regulations: Aeronautical Information Manual

항공교통센터의 관제시스템 일부 기능을 활용하는 제한적인 항공교통흐름관리(ATFM)을 수행하고 있기 때문에 그 실질적인 역할과 효과는 미흡한 상황이다.

특히, 협소하고 복잡한 공역의 구조적 특성은 항공로를 운항하는 항공기를 효과적으로 관제하는 데, 현실적인 제약으로 작용하고 있다.

우리나라 ATFM의 항공교통 흐름관리 장비로서, 국내선 민간항공기의 반복 비행계획서와 항공 고정통신망(Aeronautical Fixed Telecommunication Network, AFTN)을 통해 입력된 비행계획서 상의 출발예정시간을 기준으로 관제구역(Sector)별, 주요 지점 및 공항별로 최소 2시간 이후의 교통량을 예측하여 막대그래프로 나타내주는 단순 전시장비가 있다. 해당 장비의 기능은 다음 3가지로 구분된다. 첫 번째, Sector Group Monitor(Total, Arrival, Departure, Over) 기능은 특정섹터를 출발 또는 도착하거나 통과예정인 항공기들의 목록을 Sector Group 감시화면을 이용하여 조회하며, 두 번째는 Fixes Monitor 기능으로 특정지점의 통과항공기와 공항의 출발 및 도착항공기의 목록을 교통량 감시화면을 통하여 조회한다. 세 번째 기능은 특정지점(공항) 및 섹터(Sector)의 예상교통량 상태를 막대그래프로 표시한다[8].

인천 FIR은 규모적으로 미국·일본·중국에 비해 매우 작은 규모의 공역이어서 속도조절 방법만으로는 항공교통흐름관리가 매우 어려운 실정이다. 특히 내륙에 위치한 항공로의 주변은 모두 군작전공역 등의 특수공역으로 둘러싸여 있어 레이더 유도가 제한되어 있을 뿐만 아니라, 항공기 체공구역도 설정할 수 없는 상황이며, 항공로의 구성도 제한되어 있어 흐름관리를 위한 항로 재배정도 극히 제한되는 실정이다. 또한 현 시스템은 교통량을 예측할 때 시간의 흐름에 따라 실시간으로 자료를 전시하는 방식이 아니라 단위시간(현재 15분 간격)별로 자료를 전시하기 때문에 최근 시간대의 문제해결 여부를 파악하기가 어렵다.

본 논문에서는 이러한 지리적, 시스템적 문제점을 해결하기 위한 방법으로 지상지연 프로그램(Ground Delay Programs)을 제시하고자 한다.

2.1.2 해외 ATFM 운영현황

2.1.2.1 미국의 ATFM 운영

미국은 1980년대 중반부터 국가공역시스템(National Airspace System)의 일환으로 ATFM 업무를 시작하였고, 1987년도 버지니아 현둔(Herndon)에 미연방항공청 본부(FAA Headquarter) 소속의 항공교통관제시스템통제본부(Air Traffic Control System Command

Center, ATCSCC)를 설립하고 Fig. 3와 같이 지역관제본부(Air-Traffic Control Center, ACC)와 항로관제소, 대규모 접근관제소 및 관제탑에서 교통관리부서(TMU)를 운영하고 있다.

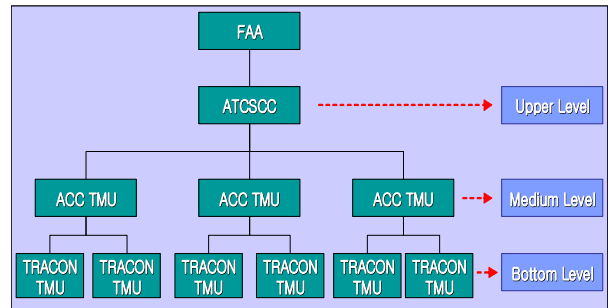


Fig. 3 ATCSCC for ATFM (FAA)

2.1.2.2 유럽의 ATFM 운영

유럽은 1995년 11월부터 1996년 3월까지 비행계획 종합처리시스템의 가동과 더불어 벨기에, 네덜란드, 룩셈부르크 등 5개 국가의 지역적 흐름관리 업무를 통합 운영하였으며, 1988년에 창설한 중앙 흐름관리기구(CFMU)는 Fig. 4와 같이 현재 44개국 73개 ACC, 650~700개 섹터, 554개 공항, 250개 항공사, 84개 흐름관리석(FMP)을 관할하고 있다[5].

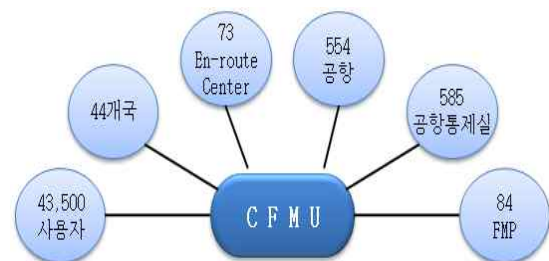


Fig. 4 CFMU in Europe

2.1.2.3 일본의 ATFM 운영

일본은 1994년 6월 항공교통흐름관리센터를 설립하고 2005년 10월 국토교통성 항공국관제과 소속 항공교통관리센터(ATMC)³⁾를 구축하였다. 일본의 항공교통흐름관리업무는 항공교통흐름관리, 공역관리, 대양관제(Oceanic ATM) 3개로 구성되어 후쿠오카 ATMC에서 수행되고 있으며, 항공교통흐름관리 지침에 대한 강제성은 부여하고 있지 않다.

2.2 지상지연 프로그램 관련 기존연구

지상지연프로그램은, 관제기관, 항공사, 공항당국간의 유기적인 협조체제 구축에 기반한 협력적

3) Air Traffic Management Center

의사결정 (Collaborative Decision Making, CDM) 시스템을 통해 항공교통 흐름관리 (ATFM)를 구현하기 위한 한 방법으로 이에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.

GDP문제는 기상변화에 의한 공항의 수용량, 항공사 조업 및 관제에 따른 항공기 출발시간 변화, 항공기 지연에 따른 비용함수(delay cost function) 등 불확실성이 내포된 제약조건을 고려하여, 출발지 공항에서 이륙하는 항공기의 지연대상 항공편 및 지연시간을 결정하는 문제로서, 다양한 불확실 변수를 내포하고 있는 Stochastic optimization 문제로 분류할 수 있다[9].

GDP 구현을 위한 첫 번째 단계는 시간대별 공항 수용량 및 항공기 운항스케줄 (즉, 도착 예정시간)에 따라 각 항공기의 공중지연시간에 대한 예측이다. 다음 단계에서는, 공중 및 지상지연에 따른 비용함수를 설정하고, 예측된 지연시간(projected airborne delay)과 비용함수를 활용하여 비용 최소화를 위한 지상지연 대상 항공기의 선정 및 대기시간을 결정하는 과정을 거치게 된다. 이러한 단계별 비용함수 및 최적화문제에 대한 많은 논의가 이루어져왔으며 Distance-based Ration-by-schedule[10], 동적계획법에 의한 방법[11], Set packing problem[12], Multi-commodity Dynamic Network Flow Model[13], stochastic linear programming with recourse[14], 정적 대기행렬 모형[15]등의 다양한 방법들이 소개되어 왔다.

하지만, GDP구현에 필요한 공중지연시간에 대한 예측과 이에 따른 비용함수에 대한 연구는 상대적으로 많지 않은 상황이다. 이러한 배경 하에서, 본 연구는 Fast-time 시뮬레이션에 기반한 공중지연시간 예측과 특정항공기의 지상지연에 따른 효과를 분석하는 데 일차적인 목적이 있다.

3. 연구방법

3.1 사례공항 및 분석대상일 선정

3.1.1 사례공항 선정

과거 5년간 제주공항은 운항 횟수의 지속적인 증가로 2014년에는 약 13만 여대의 항공기가 운항하였으며, 이는 우리나라에서 가장 많은 항공기가 운항하는 공항 중 하나인 김포국제공항의 연간 운항횟수를 상회하는 수준이다. 그러나 항공수요의 빠른 증가에도 불구하고 제주공항은 활주로 및 공항시설 용량부족으로 주요 공항중에서 가장 많은 1.2만 여건(2014년 기준)의 지연횟수를

기록하고 있다(Fig. 5 참조).

제주공항의 활주로 시설은 2본(07-25, 13-31)의 교차 활주로로 구성되어 있다. 하지만, 활주로 길이 및 지형적인 제약으로 전체 운항항공기의 95% 이상이 07-25 활주로를 이용하여 이착륙하고 있어, 실질적으로는 단일 활주로로 운영되고 있다. 이러한 시설적인 제약은 운항 수요가 일시적으로 증가하거나, 갑작스런 기상변화로 인해 활주로 용량이 감소할 경우, 도착항공기의 공중지연을 가중시키는 주요인으로 작용하고 있다.

본 연구에서는 (일시적인 지연현상을 완화하기 위한 방안으로써) 지상지연프로그램의 적용이 상대적으로 효과가 높을 것으로 예상되는 제주공항을 사례공항으로 선정하여 지상지연프로그램 적용 가능성을 분석하고자 한다.

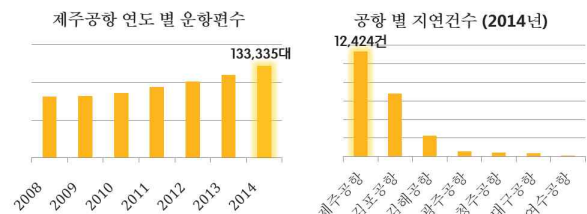


Fig. 5 Number of Flights and Delays (Jeju Airport)

3.1.2 분석대상일 선정

분석대상일로서 2014년 8월2일 태풍 가지키가 우리나라를 통과한 여파로 인해, 제주공항의 국내선 항공기 운항 스케줄이 일시적으로 급증하였던 2014년 8월 3일을 선정하였다. 분석대상일 총 577편의 항공기가 운항하였으며, 이 가운데 제주노선의 국내선 출·도착 항공기는 총 471대로 출발항공기 235대, 도착항공기 236대가 운항하였다. 평상시 1일 항공기운항편수가 420대 내외인 것을 감안하면, 분석대상일의 운항편수는 기록적이라 할 수 있다. Fig. 6는 분석 대상일 제주공항에 이착륙하는 국내선 항공기의 운항수요를 시간대별, 출·도착 공항별로 나타낸 것이다.

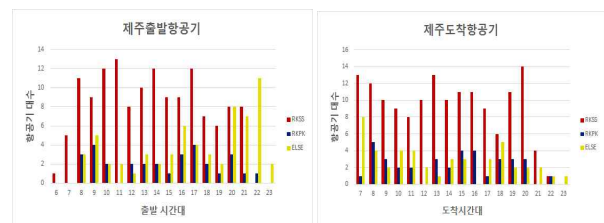


Fig. 6 Departures and Arrivals over 24 hours (Jeju Airport)

3.2 분석 방법

Fig. 7은 본 연구의 분석 방법을 도식화 한 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 본 연구는 크게 두 부분으로 구성되어 진행되었다. 첫 번째 예측부분은 시뮬레이션 모형을 활용하여 항공기의 공중지연 및 도착 항공기의 도착예정시간(Expected Time of Arrival, ETA)을 예측하고, 두 번째 최적화 부분에서는 (예측된 각 항공기의 공중지연을 토대로) 지상지연 대상항공기의 선정 및 지상지연 시간을 결정하였다.

항공기의 공중지연예측을 위해, 1970년대 미국 FAA에 의해 개발된 SIMMOD 모형이 활용되었다. SIMMOD모형은 공항의 활주로, 유도로 등의 Air-side와 항로 및 접근관계지역의 표준절차를 Node-Link의 형태로 표현하고, 항공기의 운항성능에 따른 항공기 이동을 분석하는 미시적 항공교통시뮬레이션 모형이다. SIMMOD 모형은 개발 이후로, 수많은 검증을 거친 안정화된 모형으로, 미국 내 많은 공항 및 엔지니어링 회사에서 폭 넓게 사용되고 있다.

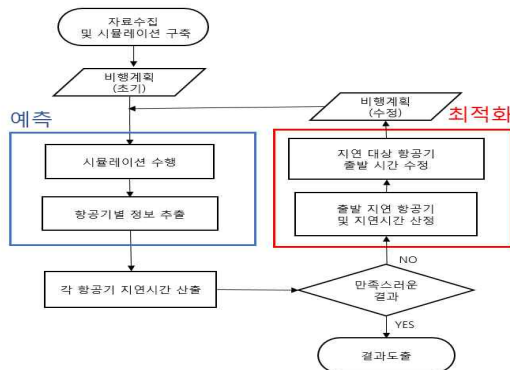


Fig. 7 Flow Chart for Computational Process

본 연구에서는 AIP(Aeronautical Information publication)에 제공된 항공로, 표준 출·도착 절차, 공항시설과 항공기 운항스케줄, 관계규정 등의 자료를 활용하여 우리나라 FIR 전역에 대한 SIMMOD 시뮬레이션 모형을 구축하였다. Fig. 8은 구축된 SIMMOD 시뮬레이션 모형을 나타낸 것으로, 시뮬레이션 분석을 통해 항공기의 운항시간 정보에 따른 각 항공기의 공중지연(Air delay)을 산정하였다.

이 후, 수치해석 및 프로그래밍 환경을 통한 알고리즘 구현을 제공하는 MATLAB 소프트웨어를 활용하여 각 항공기별 공중지연(Air delay)시간에 따라 최대 지연항공기를 선택하고, 해당 항공기의 출발시간을 일정 시간(본 연구에서는 10분으로 고

정) 지연시키는 단순한 형태의 GDP 알고리즘을 구현하였다. 이에 따라 새로운 스케줄을 생성하고, 시뮬레이션을 통한 산출값에 따라 스케줄을 재조정하는 과정을 반복하는 점진적 조정(Incremental Adjustment) 방법을 통해 전체 항공기의 지연시간을 줄여나가는 과정을 수행하였다.

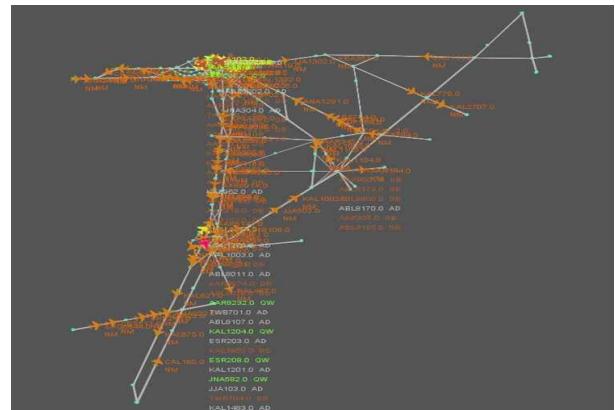


Fig. 8 An Snapshot of SIMMOD Simulation

4. 자료수집 및 분석결과

4.1 자료 수집

공역 및 항로상에서 발생하는 공중지연을 분석하기 위해서는 인천FIR을 운항한 모든 항공편(통과 항공편 포함)의 운항 스케줄이 함께 고려되어야 한다. 기술적으로 시뮬레이션 분석에 필요한 국제선 도착항공기 및 영공통과항공기의 인천FIR 진입시간은 항적자료 분석을 통해서만 수집이 가능하다. 하지만, 현실적으로 제주공항을 제외하고 분석대상일인 2014년 8월 3일 항적자료 수집이 불가능하여, 항공기 운항스케줄 및 FIR 진입시간은 기존에 수집된 2011년 5월의 항적자료 분석을 통해 나타난 자료를 활용하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다⁴⁾.

분석대상일의 항공기 운항스케줄은 국내선 항공기 620대, 국제선 항공기 667대(출발 330대, 도착 337대), 영공통과 항공기 275대를 합한 전체 1562대의 항공기 운항스케줄로 구성되어 있다.

4) 본 논문의 일차적인 목표는 Fast-time 시뮬레이션을 활용하여 공중지연시간을 예측하고, 선정된 항공기의 지상지연에 따른 효과를 분석하는 데 일차적인 목적이 있다. 즉, 본 연구는 전체 항공기의 공중지연 비용을 최소화하기 최적화 문제의 이전 단계로, 지상지연 대상 프로그램의 운영개념을 증명하는 Proof-of-Concept 연구로 이해되는 것이 타당하다.

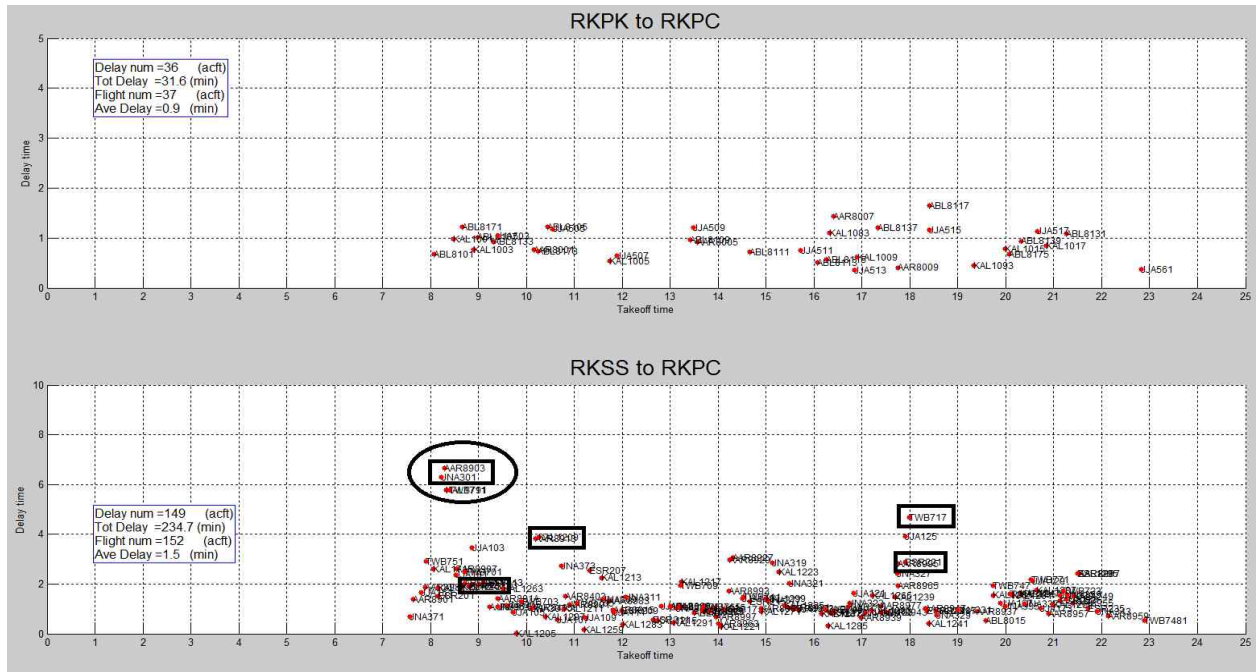


Fig 9. Airborne Delay by Flight (before GDP Application)

국내선 항공기 가운데, 제주공항의 출·도착 항공기는 총 471대(출발 235대, 도착 236대)이며, Table 1은 분석 항공기 운항대수를 노선별로 정리한 것이다.

Table 1. Number of Flights for a Single Day

항공기 노선		항공기 대수
국내선		620대
국제선	출발	330대
	도착	337대
영공통과		275대
총합계		1,562대

4.2 분석 결과

4.2.1 지상지연 프로그램 적용 전

Fig. 9는 지상지연을 적용하기 이전의 김해-제주, 김포-제주 운항항공기의 공중지연(Air Delay)을 도식한 것이다.

총 152편이 운항한 김포-제주노선의 경우 149편의 항공기가 총 234.7분(지연항공기당 평균 1.5분, 최대 7분)의 공중지연이 발생할 것으로 분석되었다. 김해-제주노선 항공기의 경우 총 운항항공기 37편 가운데 36편의 항공기가 총 31.6분(지연항공기당 평균 0.9분, 최대 1.8분)의 지연시간이 발생할 것으로 분석되었다.

4.2.2 지상지연 프로그램 적용 후

Fig. 9에 나타난 지상지연 적용 이전 각 항공기의 공중지연 분석결과를 토대로, 공중지연이 상대적으로 많은 6대에 도착항공기를 선정하고 이에 대해 지상지연 프로그램을 적용하였다. 해당 항공기들의 기존 출발시간과 지상지연 프로그램 적용 출발시간은 Table 2와 같다.

Table 2. Changes in Departure Times

대상항공기	변경전 출발시간	변경후 출발시간	차이
AAR8903	7시50분	8시	10분
JNA301	8시57분	9시7분	10분
KAL1209	9시45분	9시55분	10분
KAL1201	8시10분	8시20분	10분
ESR221	17시15분	17시25분	10분
TWB717	17시30분	17시40분	10분

Fig. 10은 지상지연 프로그램 적용 이후의 김해-제주, 김포-제주 운항항공기의 공중지연(Air Delay)을 도식한 것이다. Fig. 9과 Fig. 10의 사각형으로 표시된 항공기는 지상지연이 적용된 항공기를 표시한 것으로, 두 그림의 비교를 통해 해당항공기의 공중지연이 감소하고 있음을 알 수 있다.

5) 항공기 공중지연 시간으로 각 노선 전체항공기 비행시간 상위 5%의 평균값을 지연이 없는 기준 비행시간이라고 정하고, 각 항공기의 비행시간에 기준 비행시간을 뺀 값을 공중지연으로 정의하였다.

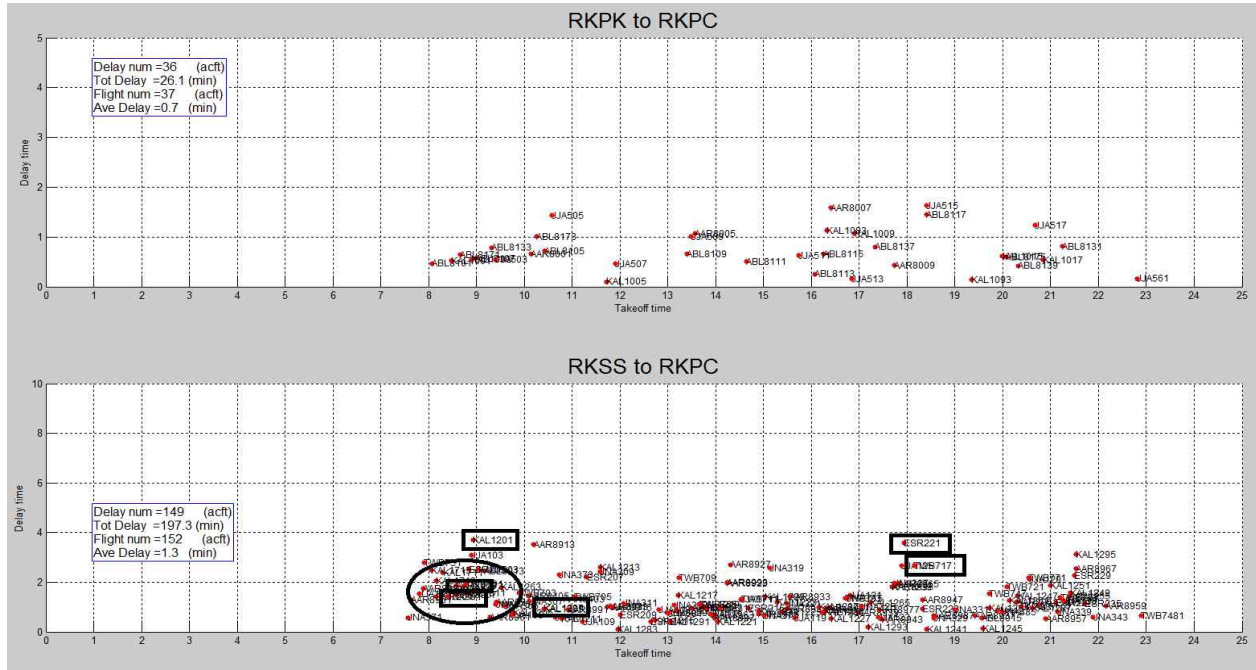


Fig 10. Airborne Delay by Flight (after GDP Application)

대표적으로 그래프 내 원으로 표시된 첫 번째 지상지연프로그램 적용 항공기 AAR8903, JNA301의 경우 지상지연 프로그램 적용이후 Fig. 10과 같이 현격히 공중 지연시간이 줄어드는 것을 알 수 있다.

지상지연 프로그램을 적용이후 전체적으로 김해-제주노선 항공기의 경우 총 운항항공기 37편 가운데 36편의 항공기가 총 26.1분(지연항공기당 평균 0.7분, 최대 1.6분)의 지연시간이 발생할 것으로 분석되었다. 반면, 총 152편이 운항한 김포-제주노선의 경우 149편의 항공기가 총 197.3분(지연항공기당 평균 1.3분, 최대 3.9분)의 공중지연이 발생할 것으로 분석되었다.

4.2.3 종합분석

제주공항 운항노선의 80%를 차지하는 김포-제주, 김해-제주노선 항공기 중, 공중지연이 가장 많이 발생하는 항공기에 대하여 10분의 지상지연을 적용한 결과, 전체 공중지연시간이 266분에서 223분으로 감소되어 전체 지연시간의 약 16%가 감소되는 것으로 분석되었다. Fig. 11과 Table 3은 항공기의 공중지연시간 분포를 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 제주공항에 도착하는 항공기의 공중지연평균의 1.4분(좌측 그림)에서 1.2분(우측 그림)으로, 분산은 1분(좌측 그림)에서 0.7분(우측 그림)으로 줄어드는 것으로 분석되었다.

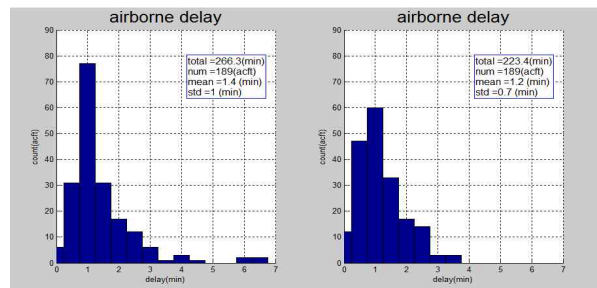


Fig. 11 Distribution of Airborne Delay (before and after GDP)

Table 3. Computational Result (unit : min)

구분	노선	적용 전			적용 후			분산	
		전체 지연	평균 지연	최대 지연	전체 지연	평균 지연	최대 지연		
공중지연	김포-제주	234.7	1.5	7.0	1.0	197.3	1.3	3.9	0.7
	김해-제주	31.6	0.9	1.8		26.1	0.7	1.6	

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 제주공항을 사례공항으로 선정하고, 항공기 운항 1일전 비행계획을 기준으로 사전전술(Pre-tactical) 기획단계에서 지상지연 프로그램(GDP)의 적용에 따른 효과 및 타당성을 확인하고자 하였다. 분석을 위해 제주 공항을 포함한 우리나라 전 공항 및 모든 항로에 대한 Fast-time

시물레이션 모형을 구축하였으며, (상당한 공중 지연이 발생했던) 2014년 8월3일의 운항스케줄에 대한 시물레이션 분석을 수행하여 제주공항 도착 항공기의 공중지연을 예측하였다. 과도한 공중지연이 예상되는 항공기의 (출발지 공항에서) 출발 시간을 조정하고 이에 대한 효과를 분석하였다.

분석결과 교통량이 집중되는 시간대의 교통량이 분산됨에 따라, 구역 내 혼잡성 감소로 도착 항공기의 공중지연이 상당 수준 개선될 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 매우 고무적인 것으로 지상지연 프로그램이 효율적인 항공 교통흐름에 크게 기여할 것으로 예상된다.

본 연구의 한계 및 향후연구과제는 다음과 같다.

1) (항적자료 수집의 제약으로) 일부 가정에 의한 항공기 운항스케줄을 활용하여 연구를 진행하였다. 향후 연구에서는 실제 항적자료에 기반하여 보다 현실적인 상황에 대한 분석이 필요하다.

2) 또한, 분석에 사용된 시물레이션 모형에 대한 검증이 이루어지지 않았다. 본 논문의 목적이 지상지연프로그램의 적용 타당성을 증명하는, 소위 'Proof of Concept'이라는 관점에서는 받아들여질 수 있으나, 본 논문에서 제시된 방법이 실무적으로 적용되기 위해서는 시물레이션 모형에 대한 검증작업이 반드시 수행되어야 한다.

3) 최적화 기법이 아닌 단순방법에 의해 지상지연 대상 항공기의 선정 및 선정된 항공기의 지상지연시간을 결정하였다. 향후 정수계획법, FSFC Greedy Algorithm 등을 활용한 보다 체계적인 최적화 알고리즘 구현 노력이 필요하다.

이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 지상지연 프로그램의 국내적용에 따른 타당성을 입증하였다는데 그 의미가 있다고 할 수 있다. 아울러, 추가적인 연구를 통해 본 연구의 한계점이 보완, 개선된다면, 본 연구의 분석결과는 지상지연프로그램의 운영을 위한 지원도구로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) ICAO PANS-ATM Doc 4444(Air Traffic Management) 3.2.1-3.2.2, 2006.
- 2) ICAO Doc 7030(ICA0 (Regional Supplementary Procedures) 17.1.1, 1995.
- 3) ICAO Doc 9426(Air Traffic Services Planning Manual) 1.2.41, 1988.
- 4) ICAO Doc 9971(Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management), 2014.

5) 국토해양부, "항공교통흐름관리(ATFM) 시스템 구축을 위한 타당성조사 최종보고서", 2011. 12.

6) 국토교통부, "항공안전종합통제시스템(ATFMS) 구축 실시설계용역 종합보고서", 2014.12.

7) 2014년 항공교통센터 교통량 분석자료

8) 임대준, "항공교통흐름관리를 통한 효율적 공역사용에 관한 연구", 석사학위, 한국항공대학교 대학원, 2012.8.

9) Ball, M. and G. Lulli, "Ground Delay Programs: Optimizing over the included flight set based on distance.", Air traffic Control Quarterly. 12(1), 2004, P1-25.

10) Ball, M., R. Hoffman and A. Mukherjee, "Ground delay program planning under uncertainty based on the Ration-by-distance principle.", Transportation Science 44(1), 2009, P1-14.

11) Bard J. and D. N. Mohan, "Reallocating arrival slots during a ground delay problem.", Transportation Research Part B, 42, 2008, P113-134.

12) Rossi, F. S. "Set packing model for the ground holding problem in congested network.", European Journal of Operations Research, 131 (2), 2001, P400-416.

13) Bertsimas, D. and S Patterson, "The Traffic Flow Management Rerouting problem in air traffic control: A Dynamic Network Flow Approach.", Transportation Science. 34(3) 2000, P239-25.

14) Richetta, O., and A. R. Odoni, "Dynamic solution to the ground-holding problem in the air traffic control.", Transportation Research Part A. 28(3) 1994, P228-238.

15) Liu, Y. and M. Hansen, "Ground delay program decision-making using multiple criteria: a single airport case.", Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2013)