

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2022.30.4.001>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

연속강하운용을 이용한 궤적 기반의 항공기 도착 관리 효과 분석 연구

오은미*, 전대근**

A Study on Effect Analysis of Trajectory-Based Arrival Management
using Continuous Descent Operations

Eun-Mi Oh*, Daekeun Jeon**

ABSTRACT

In this study, we propose trajectory-based arrival management using CDO (Continuous Descent Operations). The operational procedures with TBO (Trajectory-Based Operations) concept were established to allow aircraft and ground system to share the trajectories with each other in real time. The proposed operational concept was validated in the air traffic control simulation environment, which consists of controller working position, pseudo pilot system, air traffic generation system, and controllers' decision support system for arrival management using CDO. Simulation results compared with actual flight data indicate that proposed concept could improve the efficiency of traffic flow management in terms of total descending time and fuel consumption. And it was confirmed that if there is a system that can share and utilize the synchronized trajectory, it can be helpful to control arrival aircraft and apply CDO concept.

Key Words : Trajectory-Based Operations(궤적기반항행), Continuous Descent Operations(연속강하운용), Arrival Management(도착 관리), Decision Support Tool(의사 결정 지원 도구), Air Traffic Control Simulation(항공교통관제 시뮬레이션)

1. 서 론

연속강하운용(CDO, continuous descent operations)을 통해 도착 항공기의 강하 경로를 개선하여 연료 소모를 줄이고 배기가스를 감축 효과를 기대할 수 있다. 하지만 항공기의 효율적인 강하 비행을 보장하기 위해서는 강하를 시작하기 전에 도착 공항 주변의 교통 상황을 고려하여 항공기가 선호하는 강하 비행이 가능한

것을 판단할 수 있어야 한다. 다수 도착항공기를 고려하여 향후의 교통 상황을 판단하는 것은 관제 업무를 복잡하고 어렵게 만들 수 있기 때문에 현재 국내에서는 교통량이 적은 시간대에만 CDO를 제한적으로 활용하고 있다. 이러한 한계를 해결하기 위해 Coppenbarger (2009)는 데이터링크를 통해 항공기의 궤적 정보를 공유하고 관제 지원 도구를 이용하여 교통 상황 파악과 흐름 조정을 하는 시스템을 제안한 바 있다.

복잡한 교통 상황 속에서도 연속강하운용을 안정적으로 운용하려면 정밀한 궤적을 공유하는 운용 환경이 선제적으로 구축되어야 하며, 관제 업무의 부하를 막기 위해 관제 의사 결정을 지원하는 자동화된 도착 관리 시스템이 요구된다. 궤적기반항행(TBO, Trajectory-Based Operations)은 항공기의 예상 비행경로에 대

Received: 21. Jul. 2022, Revised: 22. Oct. 2022,

Accepted: 01. Nov. 2022

* 한국항공우주연구원 항공연구소 선임연구원

연락처 E-mail : emoh@kari.re.kr

연락처 주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84

** 한국항공우주연구원 항공연구소 책임연구원

한 3차원 위치와 시간 정보를 이해관계자들이 서로 공유하는 차세대 항공교통관리 운용 개념으로, TBO를 통해 궤적에 대한 상세한 정보를 취합할 수 있다면 다수의 항공기에 대한 미래 교통 상황을 보다 정밀하게 예측할 수 있고, 선제적인 조정을 통해, 보다 효율적으로 공역을 운용할 수 있다.

본 연구에서는 항공기와 관제 시스템 간의 실시간 궤적 정보 공유가 가능한 운용 환경에서 CDO를 도입하기 위한 방안을 제안하고 항공교통관제 시뮬레이션을 통해 적용 효과를 분석하였다. 항공기와 지상의 관제 시스템 간에 궤적 정보를 실시간 공유하는 항공교통관제 시뮬레이션 환경을 구현하였으며, 도착 항공기의 연속 강하 비행을 지원하고 미래 상황에 대한 관제사의 상황 인식을 돕기 위한 관제 지원 도구를 개발하였다. 새로운 운용 개념과 개발 시스템의 도입 효과를 확인하기 위하여 국내 공역에 대한 실제 비행 데이터를 활용하여 시나리오를 수립하였으며, 항공교통관제 시뮬레이션을 수행하였다. 항적 데이터와의 궤적 비교를 통해 그 결과를 고찰하였으며, 해당 시뮬레이션에 대한 총 비행시간, 연료 소모량을 산출하여 정량적 기대 효과를 확인하였다.

본문의 2.1장에서는 궤적 기반의 항공기 도착 관리를 위한 운용 개념과 절차에 대해 기술하였으며, 2.2장에서는 구축된 궤적 기반의 항공교통관제 시뮬레이션의 구성에 대해 설명하였다. 2.3장에서는 실 데이터 기반의 시나리오 수립 및 시험 수행 절차, 2.4장에서는 시뮬레이션 결과에 대한 분석 내용을 기술하였다.

II. 본 론

2.1 궤적 기반 도착관리 운용개념

도착 항공기의 연속 강하는 항공로에서부터 접근 절차까지의 구간에 대한 자율적 강하를 보장할 수 있어야 한다. 예측 정확도가 높고 예측 시간 범위가 넓어질수록 미리 교통 흐름을 파악하고 선제적으로 대응할 수 있게 되는 반면, 이를 관제사가 직접 계산하고 판단해야 한다면 더 복잡한 업무가 될 수 있다. ICAO(International Civil Aviation Organization)에서 추진하는 미래 항공 교통 전환 계획인 ASBU(Aviation System Block Upgrades)에 따르면, 궤적기반항행의 첫 번째 단계로 궤적 정보와 관제 지시를 공유하기 위한 데이

터링크 구축이 계획되어 있다(ICAO, 2016). 데이터링크를 통해 정보를 교환하기 때문에 충분한 정보를 정확하고 빠르게 처리하여 다양한 궤적 기반의 관제 지원 서비스에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. Oh et al. (2018)는 궤적기반항행에 활용되는 데이터링크를 이용하여 특정 공항에 도착하는 항공기의 관제 흐름을 관리하는 운용 방식을 제안하였다. 이를 기반으로 본 연구에서는 항공기가 제안하는 연속강하 비행경로를 지원하는 도착 관리 운용 방안을 제안하고, 그 효과를 확인하고자 하였다. 다음의 세부 절에서는 TBO의 적용 방안과 항공기 도착 관리 운용 절차를 기술하였다.

2.1.1 궤적 기반 항공교통관리 서비스

ASBU에 따르면 항공기와 지상의 관제 시스템 간의 실시간 비행 정보 공유를 위한 데이터링크 통신은 ADS-C(Automatic Dependent Surveillance-Contract)를, 관제 지시 및 응답을 위한 통신은 CPDLC(Controller-Pilot Data Link Communication)를 활용하는 것으로 계획되어 있다(ICAO, 2016). 또한 국내에서도 조종사와 관제사 간 데이터링크 통신 도입의 필요성이 대두되어 국가항행계획에 따라 항로관제시스템의 CPDLC 도입 및 고도화 사업이 진행 중에 있다.¹⁾ ADS-C를 통해 항공기의 궤적 정보를 전송할 수 있는데, 항공기의 주요 통과 지점에 대한 3차원 위치, 통과 시간, 속도 및 고도 등에 대한 자세한 정보를 포함한다. 지상의 관제 시스템은 궤적 정보를 수신하여 항공기가 계획하고 있는 실시간 정밀 궤적 정보를 관제사에게 제공할 수 있으며, 공유된 궤적을 기반으로 미래의 교통 상황을 파악할 수 있다. 미래의 교통 상황을 기반으로 도착 항공기들의 교통 흐름 조절의 필요성을 미리 판단하고 적절한 비행 조정 지시를 제공할 수 있다. 비행 조정 지시로 CPDLC를 사용하면 정형화된 관제 지시를 제공할 수 있다. 궤적 정보를 공유하여 관제를 수행하는 궤적 기반의 항공교통관리를 위한 운용 절차에 대해서는 Oh et al.(2018)에서 상세히 기술한 바 있다.

2.1.2 항공기 도착 관리

도착 관리 시스템(AMAN, Arrival Manager)은 도착 항공기의 흐름을 예측하고 공항 및 활주로의 수용량(capacity), 항공기 간의 분리 간격 등을 고려하여 착륙 흐름을 조정하기 위한 관제 지원 시스템이다. ICAO

1) 국토교통부, “국가항행계획(NARAE, National ATM Reformation And Enhancement)”, 2021. 8., p.19.

(2010)는 연속강하를 수행하는 도착 항공기의 흐름을 조정하기 위한 방안으로 path stretching, point-merge 시스템 등의 활용을 제안하고 있으며, Oh et al.(2020)는 사전 정의된 비행 우회 경로(sequencing leg)를 활용하는 point-merge 절차를 이용한 도착 관리시스템을 개발한 바 있다. 이 시스템은 계산된 목표 착륙 시각(TLDT, Target Landing Time)을 맞추기 위해 sequencing leg 상의 비행경로를 관제 지원 정보로 제공하는 기능을 포함한다.

도착 공항의 흐름은 접근 관제 구역 내에서 조정될 수도 있으나, 도착 항공기의 수가 접근 관제 구역의 수용량을 초과하는 경우라면 상위 흐름인 지역 관제 구역에서도 일정 부분 조정이 요구된다. 또한 대부분의 항공기는 지역관제구역에서 연속 강하가 시작되는데 강하 이전에 도착 흐름에 대한 선제적인 조정이 이루어져야 접근관제구역 내에서도 연속 강하 비행을 유지할 수 있다. Fig. 1은 지역 관제 구역에서 도착 항공기의 연속 강하를 위한 궤적 기반 관제 절차를 도식화한 것이다(KARI, 2022). 순서대로 살펴보면, ① 항공 교통 서비스 시스템(ATSU, Air Traffic Service Unit)은 항공기에게 궤적 정보 제공을 요청하고, ② 항공기는 연속 강하를 포함하는 궤적 정보를 제공한다. ③ ATSU는 궤적 정보와 도착 공항의 상황을 고려하여 해당 항공기의 흐름 조정이 필요하지 판단하고, ④ 강하 전 조정해야 하는 비행시간, point-merge 절차의 sequence leg에서 흡수해야 할 지연 시간 또는 별도 경로 조정 없이 merging point에서 맞춰야 할 목표 통과 시간

등의 형태로 관제 지시 메시지를 전달한다. ⑤ 항공기는 관제 지시에 대한 이행 여부를 판단한 후 비행을 변경하고, 궤적 정보를 다시 공유한다. ⑥ 항공기는 수정된 궤적 정보에 따라 비행을 수행해야 하며, ⑦ ATSU는 공유된 궤적 정보와 항적을 비교하여 이행 상태를 지속적으로 모니터링한다.

이처럼 지역 관제 구역에서 도착 공항의 수요를 미리 파악하여 일부 흐름을 조율해준다면 접근 관제 구역에서의 혼잡을 줄일 수 있고, 저고도에서의 불필요한 비행을 줄일 수 있다.

2.2 항공교통관제 시뮬레이션 시스템

궤적기반항행이 가능한 항행 체계에서 해당 운용 개념의 효과를 확인하기 위한 항공교통관제 시뮬레이션 환경을 Table 1과 같이 구성하였다(KARI, 2022). 시스템은 크게 지상의 항공 교통 서비스 시스템(ATSU)과 항공기 시스템(aircraft system)으로 나뉜다. ATSU는 기본 관제석(CWP, Controller Working Position)과 궤적을 예측하고 도착 스케줄링을 처리하는 프로세서(STAD, Support Tool for Arrival's Descending) 및 궤적 정보와 관제 조언 정보를 현시하는 시스템(TVIEWER, Trajectory Viewer)으로 구성된다. 항공기 시스템은 조종석 모의 화면(PP, Pseudo Pilot)과 비행 모의를 위한 궤적 생성 시스템(TGS, Trajectory Generation System)으로 구성된다. 이 중 TGS는 시나리오 상의 궤적 정보를 제공하고 관제 지시에 따라 비행경로를 변경하는 기능을 포함한다. 그 외에도 시뮬

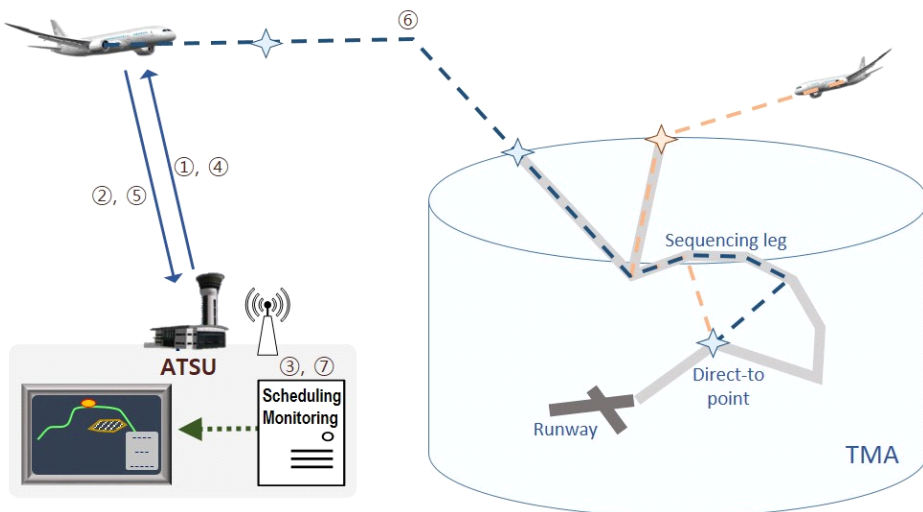


Fig. 1. Concept of CDO procedures

Table 1. List of subsystem for simulation

| 구분 | 식별 코드 | 기능 |
|--------------------|---------|-------------|
| ATSU | CWP | 관계적 모의 |
| | STAD | 궤적기반 서비스 처리 |
| | TVIEWER | 관계 지원 정보 현시 |
| Aircraft system | TGS | 항공기 궤적 생성 |
| | PP | 항공기 조종석 모의 |
| Simulation manager | SIMC | 시뮬레이션 제어 |
| | SIMS | 시뮬레이션 서버 |

레이션 관리를 위한 시스템이 구성에 포함된다.

시스템의 구성 및 주요 데이터 흐름은 Fig. 2와 같다. 현 운용 체계와 동일하게 비행 계획과 항적을 기본적으로 제공하며, 궤적기반의 운용을 위해 ADS-C와 CPDLC 통신에 사용되는 표준 형식의 데이터 교환을 모의하였다.

2.3 항공교통관제 시뮬레이션

앞서 제안된 운용 개념과 구현된 도착 관리시스템에 대한 효용성을 확인하고, 비행경로 관점에서 연속강하

운용이 어느 정도 효과가 있는지 분석하기 위한 검증 시험을 수행하였다. 실제 비행 데이터를 이용하여 시나리오를 수립하고 모의하였으며, 그 결과를 항적과 비교하였다. 세부 절에서는 모의된 항공 교통 환경에 대한 시나리오와 운용 절차에 대해 기술하였다.

2.3.1 항공 교통 시나리오

연속강하를 포함하는 도착 관리 시스템의 효과를 분석하기 위해 항공 교통 시나리오의 구성이 필요하다. 도착 관리 대상 공항 선정을 위해 교통 흐름 조정이 필요한 수준의 충분한 교통량을 가지며, 연속강하를 활용할 수 있는 충분한 국내 지역 관제 공역을 포함하는지를 고려하였다. 실 데이터를 확보한 기간인 2019년 11월을 기준으로, 제주국제공항은 국내 공항 중 두 번째로 최다 운항 실적(8,177편)²⁾을 가지는 공항으로, 도착 관리의 필요성이 대두되어 시범운용과 관련 기술 연구가 수행된 바 있다(Oh et al., 2015). 또한 제주-김포, 제주-김해, 제주-청주 노선은 해당 공항의 81.7%를 차지³⁾하며, 이 노선은 국내 공역 상에서 하강 시점과 하강 전 흐름 조정이 가능한 지역 관제 구역을 확보하고 있다. 또한, 제주국제공항은 point-merge 절차를 표준 도착 절차로 운용⁴⁾하고 있으므로 대상 도착 공항으

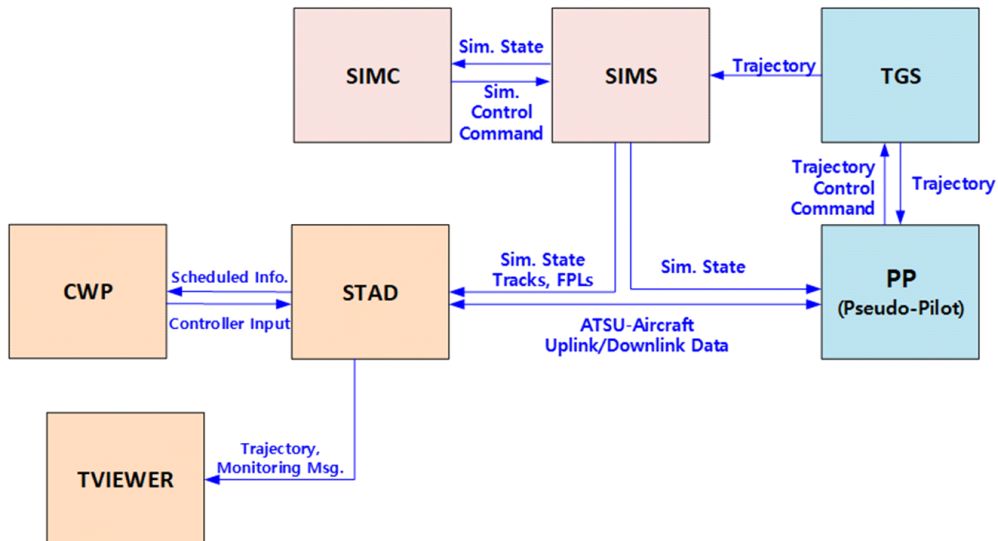


Fig. 2. Air traffic simulation system

2) 국토교통부 항공정책실, 항공시장동향 제90호(ISSN 2289-0726), 2019. 12., pp.17-18.

3) 국토교통부 항공정책실, 항공시장동향 제90호(ISSN 2289-0726), 2019. 12., pp.17-18.

4) 국토교통부 항공정보간행물(AIP, Aeronautical Information Publish) Part 3 Aerodrome, RKPC AD 2.22 Flight Procedure, 1.5 Procedures for arriving IFR flight comply with STAR(2022.9.22.)

로 선정하였다. 기상 이변, 임시 공역 폐쇄 등 특별한 이벤트가 발생하지 않은 임의의 날(2019년 11월 20일)에 대한 실제 비행 계획과 항적을 활용하여 모의 시나리오를 구성하였다. 본 시뮬레이션은 도착항공기의 도착 흐름 조정과 연속 강하 비행의 효과를 확인하기 위한 것이므로, 대상 공항의 도착 항공기만 운용 시나리오에 포함하였다. 제주국제공항의 주 사용 활주로는 출발과 도착 항공기가 함께 사용하는 단일 활주도로, 시나리오에 반영하지 않은 출발 항공기로 인한 도착 수용량의 영향이 실제와 유사하도록, 도착 항공기의 시간당 착륙 대수를 도착 관리 시스템의 스케줄링의 분리 간격으로 변환 설정하였다.

시나리오에 반영할 시간 구간을 선정하기 위해 실 항적 데이터를 분석하였다. 시뮬레이션 상에서 첫 번째 도착 항공기는 지연의 요소가 없으므로, 항적 중에서 앞선 항공기로 인한 지연이 없는 항공기를 찾아 시나리오의 시작 시점을 정하였다. 또한 착륙 간격이 일정한 상황을 비교하여 시뮬레이션과 실제가 유사한 교통 흐름을 가지도록 하였다. 조건에 부합하는 구간으로 UTC 기준 3시 26분에서 4시 15분 사이를 시나리오 구간으로 선정하였으며, 해당 시간 동안 제주 공항에 착륙한 전체 항공기를 대상으로 총 15대에 대한 도착 관리를 수행하였다. 항적에서 추출한 대상 항공기의 실제 착륙 시각과 궤적은 Fig. 3, 4에서 확인할 수 있으며, ‘항적(track)’으로 명기하였다.

시나리오 상에서 사용되는 비행계획의 정보는 callsign, 항공기 기종, 출발 및 도착 공항 정보 그리고 항공로상의 비행경로이다. Callsign은 항공기 식별에 활용되는 기본 정보이다. 항공기 기종은 이에 따라 항공기의 기동 성능이 결정되므로, 궤적의 모의하고 연료소모율 등을

추정하는 데 활용하였다. 비행경로(planned route)는 항공기의 궤적 모의의 기본이 된다.

본 시뮬레이션은 연속 강하의 비행 효율성을 분석하기 위함으로, 비행 구간 중 하강 이전의 이륙, 상승, 순항 상태는 비교 구간에서 제외하였다. 실 항적에서 순항 구간에 진입한 시점을 각 항공기 모의의 시작 시점으로 정의하였으며, 시각, 위/경도, 고도, 속도를 활용하였다. 비교 구간은 하강 시점에서 착륙까지로 정의하였다. 실 항적에서 별도 순항 비행이 식별되지 않거나 기록상 실 항적의 위치가 이미 접근 관제 구역 내에서 시작하는 경우에는 별도 연속강하 없이 표준절차를 따라 도착하는 비행으로 적용하였다.

2.3.2 항공교통관제 시뮬레이션 수행

항공교통관제 시뮬레이션은 2.1장에서 제시한 운용 개념과 절차에 따라 수행된다. SIMC 화면에서, 시나리오를 선택하여 실행하면, 교통 상황이 모의되고, 관제석(CWP)과 모의 조종석(PP) 화면에 항공기 상태가 표시된다. 관제석에 구현된 궤적 정보 요청 기능을 이용하여 항공기로 궤적 요청 메시지를 송신한다. 메시지가 수신되면, TGS는 자동으로 궤적 정보를 송신하고 제공되었다는 메시지는 모의 조종석에서 확인할 수 있다. 궤적 기반 도착 관리 프로세서인 STAD에서는 수신된 궤적 정보를 기반으로 도착 스케줄링을 수행하고 관제 지시를 위해 CPDLC 메시지를 전달한다. 모의 조종석에서 수신된 CPDLC 메시지를 확인할 수 있으며, 이행 여부를 선택하면 관제 지시를 따르는 비행을 모의한다. 관제석에서 관제 지시에 대한 이행 응답이 수신되면 변경된 비행경로에 대한 정보를 재수신하고 항공기가 지시된 경로와 시각을 맞춰서 비행하는지에 대해 모니터링을 수행, 이탈 시 TVIEWER에서 알람을 제공한다.

2.4 결과 분석

항공교통관제 시뮬레이션 상에서 모의된 항적은 이를 수신하는 STAD에 저장하였으며, 시뮬레이션 종료 후 항적과 비교하였다. 항공기 도착 관리의 결과인 착륙 시각을 비교하면 Fig. 3과 같으며, 항공교통관제 시뮬레이션의 결과는 ‘시뮬레이션(Simulation)’으로 명기하였다. Fig. 3에서의 시뮬레이션의 도착순서는 대부분 항적과 유사하나 ‘4’번 항공기의 경우 크게 차이나는 것을 확인할 수 있다. 이는 해당 항공기가 관제 지시에 따라 표준 도착 절차를 따르지 않는 최단 경로

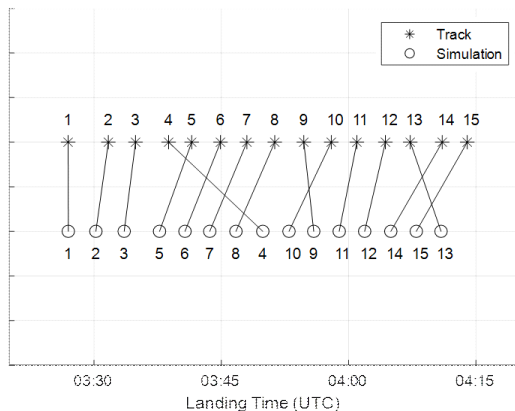


Fig. 3. Sequence of landing time

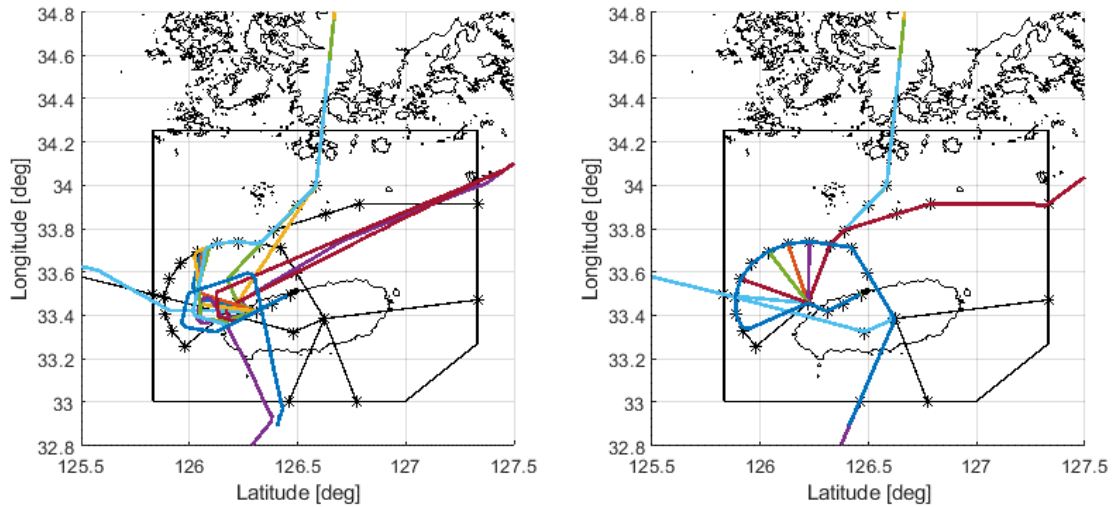


Fig. 4. 2D trajectory (left: track, right: simulation)

를 통해 착륙한 경우로, 표준 절차를 가정한 항공교통 관제 시뮬레이션에서는 예상 착륙 시각에 따른 순서가 뒤로 밀려난 결과이다. 그 외의 경우에 대해서는 인접 항공기간의 순서 차이는 있으나 흐름의 큰 변화는 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 접근 관제 구역 내에서의 항적과 시뮬레이션 궤적을 비교한 그래프이다. 항적의 경우 관제사의 판단에 의해 표준 절차를 벗어난 우회 비행 또는 단축 비행이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 다만 표준 절차를 벗어난 경우, 선회, 하강 등 비행 변경 사항에 대하여 관제사가 실시간 지시를 수행해야 하며 즉각적인 판단이 필요하다. 제안된 운용 방식을 이용한 시뮬레이션의 경우, 하강 비행을 시작하기 전인 지역 관제 구역에서 이미 합의된 경로를 따라 비행을 유지한 결과이다.

Fig. 5는 시간에 따른 고도 변화를 비교하여 보여준다. 직관적으로 볼 때, 실제 항공기는 단계적인 하강 없이 비행하는 것으로 보이는 반면, 시뮬레이션의 경우 저 고도에서 수평 비행이 확인된다. 시뮬레이션에서 보이는 결과는 제주공항의 표준 도착 절차인 point-merge 절차에서 규정된 고도 제한에 따른 것으로 유의할 필요가 있다. 또한, 연속강하운용의 핵심은 개별 항공기의 최적의 하강률에 따라 결정되는 하강 궤적과 하강 시점을 운용하는 데에 있으므로, 해당 궤적에 대한 비행 경로의 효율성 분석이 필요하다.

해당 시나리오에 대하여 연속강하운용의 효율성 효과를 확인하기 위해 대상 항공기들의 비행시간과 연료

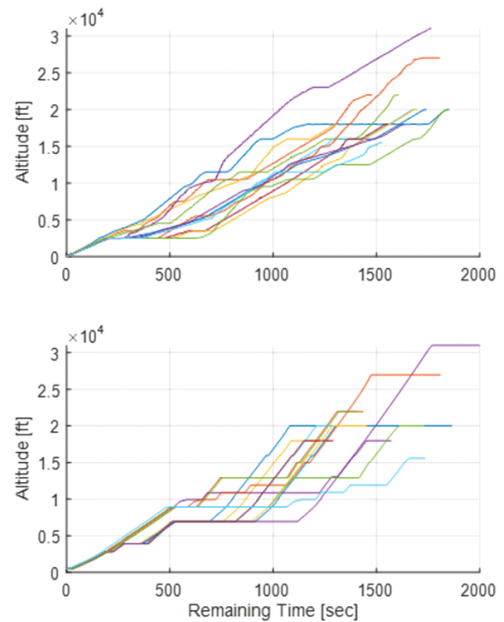


Fig. 5. Altitude profile (up: track, down: simulation)

소모량을 계산하였다. 비행시간은 항적 기준의 하강 시작 시점에서 활주로 시단까지이며, 동일 구간에 대하여 연료 소모량을 추정하였다. 연료 소모율은 항공기 기종별 성능 데이터베이스인 BADA와 Total-energy method를 이용하여 추력을 추정하고 연료 소모율을 계산하였다(EUROCONTROL, 2013). Fig. 6과 7은 항공기 별 비행시간과 연료 소모량 비교 결과이며,

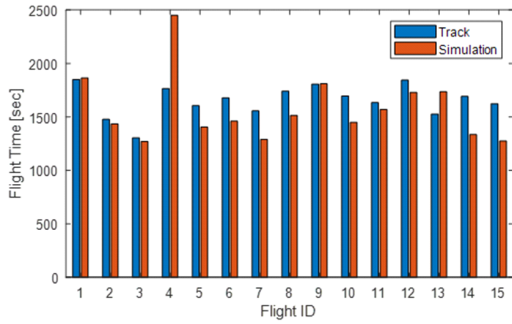


Fig. 6. Flight time comparison

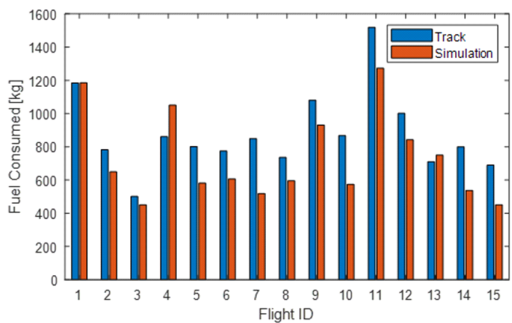


Fig. 7. Fuel consumption comparison

Table 2는 대상 항공기 전체의 비행시간과 연료 소모량의 합을 수치로 나타낸 결과이다. 본 연구에서 제안한 연속강하운용 기반 도착관리를 적용한 경우, 표준 절차의 고도 제한에 의해 일부 구간에서 연속적인 강하가 이루어지지 않았음에도, 실제 운용 결과(track) 대비 총 비행시간과 연료 소모량이 각각 감소한 것을 확인할 수 있다. 특히 비행시간의 감소율은 5%, 연료 소모량의 감소율은 16%로, 비행시간 대비 연료 소모량이 크게 감소하였다. 이를 통해 해당 항공교통관제 시뮬레이션의 결과는 연속강하운용의 운용 개념에 따라 효율적인 비행 궤적이 적용되었음을 확인할 수 있으며, 시나리오와 유사한 환경에 해당 운용 방식을 적용할 경우, 비행 효율성에 따른 개선 효과를 기대할 수 있음을 확인하였다.

Table 2. Total flight time and fuel consumption results

| | Track | Simulation |
|-------------|-------|------------|
| 비행 시간[min.] | 413 | 393 |
| 연료 소모량[ton] | 13.2 | 11.0 |

III. 결 론

궤적 기반의 연속강하운용을 활용한 항공기 도착 관리 방안과 항공교통관제 시뮬레이션을 통한 비교 분석을 수행하였다.

항공기와 지상의 관제 시스템이 실시간으로 궤적을 공유할 수 있는 환경을 가정하여 항공교통관리 방안을 제안하였으며 항공교통관제 시뮬레이션 환경으로 구현하였다. 해당 운용 개념에 대한 효과를 분석하기 위해 비행계획과 항적을 이용하여 실제와 유사한 교통 상황에 기반을 둔 시나리오를 구성하였으며, 항적과 비교/분석하였다. 비행시간 및 연료 소모량 분석 결과, 연속강하운용 기반 도착 관리를 적용하였을 경우 기존 대비 연료 소모나 배기가스 감축 측면에서 효율적인 교통흐름관리가 이루어질 수 있음을 확인하였다. 또한, 제안된 방법에 따르면, 항공기는 지역 관제 구역에서부터 미리 합의된 궤적을 이행함에 따라, 비행 중 궤적 변경이 최소화될 수 있음을 확인하였다. 따라서 궤적 기반의 실시간 데이터 공유가 활발히 이루어진다면, 항공기의 흐름을 예측하는 데 있어 정밀도가 높아질 것이며, 자동화된 시스템을 활용하여 관제사의 업무 하중에도 큰 감소 효과를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

본 시뮬레이션의 대상 공항의 경우, 표준 도착 절차의 고도 제한 조건에 따라 일부 구간에 대해 불가피한 수평 비행이 포함되어 연속 강하의 효과를 충분히 나타내지 못하였다. 연속강하가 가능한 절차를 적용할 수 있다면 그 효과는 더욱 커질 것이므로, 연속강하운용을 적용하고자 하는 경우 이를 고려한 표준 절차 설계가 선행되어야 할 것이다.

또한, 새로운 운용 개념의 도입 효과를 정량적 개선 효과를 분석하기 위해서는 다양한 상황에 대하여 다수 시뮬레이션 통해 그 결과를 산출해야 한다. 제안된 항공교통관제 시뮬레이션 환경과 효과 분석 방법은 새로이 제안되는 항공교통관리 운용 개념의 환경적, 경제적 실효성을 파악하는 데에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국가과학기술연구회에서 지원하는 기본사업 '한국형 위성항법 및 미래 항공교통관리 기반 기술 연구(1711135077)' 과제와 '차세대 항공 모빌리티 안전성 향상 핵심기술연구(1711170903)'에 의해 연구비 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Coppenger, R. A., "Field evaluation of the tailored arrivals concept for datalink-enabled continuous descent approach," *Journal of Aircraft*, 46(4), 2009, pp.1200-1209.
2. Ih, E. M., Eun, Y. J., Kim, H. K., and Jeon, D. K., "Study on trajectory prediction accuracy analysis method for performance improvement of a trajectory prediction module of arrival manager," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 23(3), 2015, pp.28-34.
3. ICAO, "Aviation System Block Upgrades: The Framework for Global Harmonization", 2016, pp.333-355.
4. Errico, A., and Vito, V. D., "Study of point merge technique for efficient continuous descent operations in TMA," *International Federation of Automatic Control*, 51(9), 2018, pp.193-199.
5. Oh, E. M., Eun, Y. J., Kim, H. K., and Jeon, D. K., "Development of scheduling system for trajectory based air traffic management," *Journal of Advanced Navigation Technology*, 22(5), 2018, pp.367-374.
6. Oh, E. M., Eun, Y. J., Kim, H. K., and Jeon, D. K., "Development of real-time arrival scheduler using point-merge procedure in terminal maneuvering area," 2020 KSAS Fall Conference, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Korea, Nov. 18-20, 2020, pp.914-915.
7. Nuic, A., "User Manual for The Base of Aircraft Data (BADA)," EUROCONTROL, 2012.
8. ICAO, "Continuous Descent Operations (CDO) Manual," 2010.
9. Korea Aerospace Research Institute, "Fundamental Research for Korea Satellite Navigation System and Future Air Traffic Management", 2022, pp.310-328.