

연속강하운항의 기술 동향 및 국내공항 확대적용의 효과

Technical Trends of Continuous Descent Operations and Effects of Extended CDO for Korean Domestic Airports

박태하^{1*}, 문우춘²

한국항공대학교 대학원¹, 한국항공대학교²

초 록

점증하는 항공교통량의 원활한 수용과 안전한 항공기술 저변확대를 위하여 ICAO는 성능기반의 항공교통관리(ATM) 체계와 시스템을 Upgrade할 구체적 이행계획인 ASBU를 개정하고 체약국들의 수용을 촉구하고 있고, 우리나라는 ICAO의 5연임 이사국으로서 ASBU의 주요 Module에 대응하는 모든 Working Paper에 대하여 적극 수용한다는 입장이다. 본 논문은 ASBU의 PIA 4에 해당하는 CDO 및 관련 Module인 TBO의 개념을 살펴보고, 선도적으로 운용되고 있는 사례를 분석해 봄으로써 미래에 대응하는 방안을 찾고자 하였다. CDO는 새로운 장비와 시스템을 갖추지 않더라도 절차의 보완으로 개선할 수 있는 부문에 속하므로 우리나라의 운영 현황을 리뷰하고 그 영향에 대하여 정리해 보았다. 다만, 항공기 고도 강하 단계에서의 개선효과가 상승 또는 순항 단계에 비하여 효율성이 상대적으로 미미한 편이고, ATM 구분 상 기상 등의 외부 변수에 취약하여 효율성 연구에 접근하기 어려운 면이 있으나, 고밀도 공항의 특화된 CDO 기법 개발을 통하여 연료절감 및 탄소배출량 저감, 소음감소의 성과를 이룬 선진 사례를 들어 국내에 적용할 수 있는 방안에 대하여 장기적으로 연구하고자 한다.

1. 서 론

1977년 이후 매 15년 주기로 항공수요가 2배씩 성장할 것이라는 전망을 근거로, ICAO는 2014년의 항공여객이 전년 대비 약 5% 증가한 32억여 명이었고 2030년에는 약 64억여 명에 달할 것으로 예상하였다.

항공기 운항 면에서는 2013년 대비 약 100만 편을 상회하여 3,300만 편에 달하는 새로운 기록을 달성하였는데, 견고한 세계 경제 성장 및 국제 무역 증가에 힘입어 2013년의 5.5% 성장률에 비교하여 2014년에는 5.9%의 성장률을 보였다.

그 중에서도 아시아/태평양 지역은 전 세계 RPK¹⁾의 31%를 차지하여 2014년 세계 최대의 항공여행 시장임이 확인되었다. 그 뒤를 유럽(27%)과 북미(25%)가 뒤따랐고, 12.8%의 빠른 성장률을 보인 중동지역(9%), 중남미(5.9%), 아프리카(1.5%) 순이었다.[1][2]

IATA가 발표한 2015년도 글로벌 항공여객실적은 꾸준한 증가 추이로 7월 실적은 여객 8.2% 증가를 보이는 등 전세계 항공수요는 지속 성장할 것으로 전망되고 있다.

국내 항공수요 또한 증가 추세를 지속하여 왔고 2015년 상반기에는 메르스 사태로 심각한 항공여행 감소의 위기상황을 맞았음에도 불구하고 8월을 지나며 회복세를 보여 9월 국내여객 실적은 16% 증가하였고, 국제여객도 전년 동월대비 2% 증가한 것으로 집계되었다.[3]

특히 국내 항공교통량은 지속적으로 증가하여 항공교통센터의 2015년 9월 통계에 의하면 일평균 약 1910편이 운항 중이며, 9월25일에는 일일 항공교통량 2,086편으로 기록을 경신한 바 있다.[4]

이렇듯 성장일로지의 항공교통은 20세기 후반부터 빈번한 지연과 운항 취소 등 많은 문제점을 경험해 왔고, 이를 해결하기 위한 각종 항공 관련 기술개발과 표준화를 통하여 늘어나는 항공교통량을 수용하고 제한된 공역을 효율적으로 사용하

1) RPK : Revenue Passenger-Kilometers

고자 노력하고 있다.

본 논문에서는 ICAO가 최우선 과제로 삼고 있는 미래항행계획을 개괄적으로 살펴보고, 그 중 효율적 항공로 운영을 위한 성능개선영역 추진 과제의 하나인 CDO²⁾와 TBO³⁾에 관한 선진국의 동향을 통하여 국내공항에의 적용을 위한 아이디어 및 필요성을 제시해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 ICAO GANP/ASBU

항공운송량이 증가함에 따라 제한된 공역을 효율적으로 사용하기 위하여 항공 선진국의 선도적 연구와 ICAO의 범세계적 노력이 진행 중에 있으며, 그 흐름은 성능기반(Performance-Based)의 항공교통관리(Air Traffic Management, ATM) 및 ASBU⁴⁾에 초점을 두고 세부요소(항행, 통신, 감독, 안전, 보안 등)와 공항 수용력 증대를 중시하고 있다.

ICAO는 제 38차 총회('13년)에서 미래 항행 계획의 비전과 전략을 구체화한 세부이행 가이드라인으로 ASBU를 GANP⁵⁾에 반영하여 개정하였으며, 우리나라는 ICAO 이사국으로서 우리나라와 연관이 없는 원격관제탑 운영 사항을 제외한 ASBU의 거의 모든 이행항목에 대하여 이미 이행 중이거나 ICAO 세부기준 제시 이후 즉시 수용할 계획이다.[5]

ICAO의 항행시스템 단계별 최신화 계획인 ASBU는 4가지의 성능개선영역(Performance Improvement Area, PIA)을 두고, 5년 단위로 이행 기간을 정의한 Block에 효율적으로 개선할 추진과제를 Module로 지정하여 배치하였으며, 각각의 연관된 Module을 연결한 Thread로 구성되어 있다.

아래 그림 1은 ASBU 전체 개관을 나타낸다. 원편의 4가지 PIA⁶⁾는 각각 다음의 대주제로 나뉜다.

- Airport Operations

- Globally Interoperable Systems and Data
- Optimum Capacity and Flexible Flights
- Efficient Flight Paths

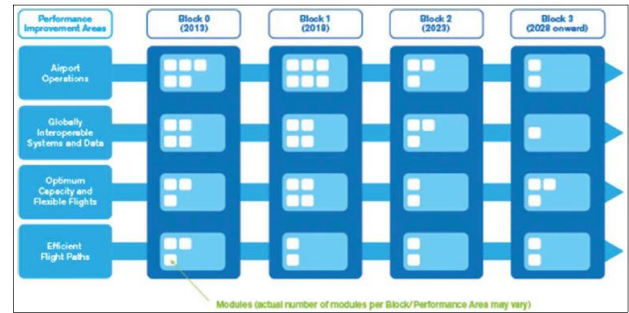


Fig 1. ICAO GANP/ASBU Methodology

그림 1의 윗부분에 가로로 진행되는 부분이 Block으로 기술의 발전에 따라 각각 5년 단위의 이행 기간을 표시하며, Block 0부터 Block 3까지 차례로 진행하게 된다.

- Block 0 (2013년 ~ 2017년)
- Block 1 (2018년 ~ 2022년)
- Block 2 (2023년 ~ 2027년)
- Block 3 (2028년 이후)

각각의 PIA와 Block이 교차하는 박스 위치에 Module들이 자리하고 있으며, Block 별로 진행하게 될 Module의 연결을 Thread라고 표현한다.[6]

2.2 ASBU 성능개선영역 4

본 논문에서 소개하고자 하는 주제인 CDO와 TBO가 속해 있는 4번째 PIA를 살펴보면, 궤적 기반운항을 통한 효율적 항공로 구축을 위하여 3가지의 Thread로 추진과제를 구분하였으며,

- Continuous Descent Operations(CDO)
- Trajectory-Based Operations(TBO)
- Continuous Climb Operations(CCO)

각각의 Thread에 Block 별 진행단계를 구분하여 배치한 Module들이 구성되어 있는데, B0는 Block 0 기간 중 추진할 Module이란 뜻이다.

먼저 첫 번째 Thread인 CDO의 Block 별 진행 단계이다.

- B0-CDO : Improved Flexibility and Efficiency in Descent Profiles(CDO)

2) CDO : Continuous Descent Operations

3) TBO : Trajectory-Based Operations

4) ASBU : Aviation System Block Upgrade

5) GANP : Global Air Navigation Plan

6) PIA : Performance Improvement Areas

- B1-CDO : Improved Flexibility and Efficiency in Descent Profiles(CDOs) using VNAV
 - B2-CDO : Improved Flexibility and Efficiency in Descent Profiles(CDOs) using VNAV, required speed and time at arrival
- 두 번째 Thread인 TBO의 Block 별 진행단계이다.
- B0-TBO : Improved Safety and Efficiency through the initial application of Data Link En-Route
 - B1-TBO : Improved Traffic synchronization and Initial Trajectory- Based Operation
 - B3-TBO : Full 4D Trajectory-based Operations [6]

2.3 Continuous Descent Operation

ASBU의 4번째 성능개선영역의 첫 번째 추진과제 Module은 CDO(연속강하운항)이다.

연속강하운항은 항공기가 고고도에서 최종접근지점(Final Approach Point)까지 최저출력으로 비행할 수 있도록 최적의 강하운항을 말하며, 지역사회의 소음을 감소할 수 있을 뿐 아니라, 일반적인 계단식 강하 접근에 비하여 30% 가량 연료소모를 감소할 수 있다는 장점이 있다.

Block 0에서는 항공기 운영자와 항행업무제공자(ANSP)로 하여금 현존하는 항공기 기능을 통해 소음, 연료소모, 배출가스와 온실가스를 줄일 수 있는 방법을 구현하는 것이다. 이를 통해 조종사와 관제사에게 비행안정성과 비행경로의 예측가능성을 증가시키면서 소음, 연료소모, 배출가스의 감소가 가능하다.

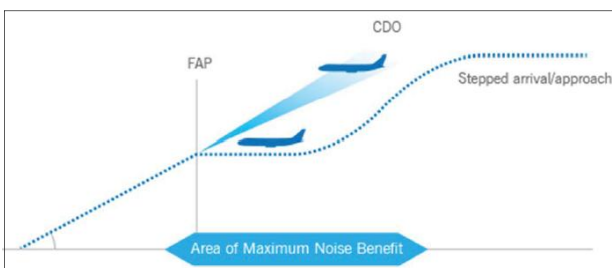


Fig 2. Continuous Descent Operation

Block 1에서는 항공기 강하의 유연성과 효율성 개선을 위해 수직유도정보제공항행(Vertical NAVigation, VNAV)을 사용하여, 항공기가 수직유도를 받기 위해 지상시설에 의지하지 않고 접근절차를 따라 비행하는 것을 가능하게 한다.

Block 2에서는 VNAV를 사용하여 연속강하운항의 유연성과 효율성을 개선하되, 항공기 속도와 도착 예상 시간을 제공해야 한다.

CDO Thread에는 Block 3의 추진과제 Module이 없는데, 이는 B2-CDO 과제가 종료됨에 자연스럽게 B3-TBO와 연계될 예정이기 때문이다. 궁극적으로 PIA 4는 TBO(체적기반운항)으로의 통합을 목표로 추진과제를 세분화하였다고 볼 수 있으며, B2-CDO 단계에서 속도와 시간 정보를 활용한 VNAV 연속강하의 절차가 완성되면 B3-TBO 절차와 거의 동일하기 때문이다.

2.4 CDO 선행연구 및 실적 자료

CDO 연구는 미국공역시스템의 현대화 및 효율성을 증대하기 위한 FAA의 NextGen 연구의 연장선상에 있다. 최초로 발행된 CDO 절차는 2007년 12월 미국 Los Angeles 공항(이하 LAX)에서 구현되었다.

동 절차는 항공기가 순항고도 등의 고고도에서부터 아이들 또는 아이들에 가까운 추력으로 착륙활주로 가까이까지 강하하도록 하는 최적의 수직적 운항구조이다. 이 절차는 항공기가 순항고도에서 더 오래도록 머물게 하며 강하 시에 수평비행을 줄이거나 아예 없앨 수 있도록 하는 것이다.

최소한의 추력으로 모든 강하단계에서의 연료소모를 줄이는 것이 가능하고, 비행로에서의 많은 부분에서 소음을 감소시키고, 온실가스 배출을 줄이는 결과를 가져온다. 그러므로 이러한 절차는 단기적으로나 장기적인 환경적 이익을 획득하는 비용 효율적 의미 이외의 큰 사회적 공헌도 있다.

그로 인하여 LAX 공항에서 동일한 수평 경로를 따라 도착 및 접근한 다양한 항공기 유형을 비교할 때 편당 평균 25갤런의 제트 연료를 절감하여 연간 약 200만 갤런의 제트 연료 절감을 이루어 냈고, 4,100만 파운드의 이산화탄소 배출량 저감으로 해석될 수 있다.

동 절차의 긍정적인 환경적 이익을 감안할 때,

미국공역시스템 내에서의 환경 친화적인 도착절차의 사용을 증가시키는 여러 가지의 연구와 프로젝트가 진행되었으며, LAX 공항에서의 성과는 동기 유발이 되어 Atlanta 공항과 Miami 공항, Charleston 공항, Phoenix 공항 등에 새로운 CDO 절차의 설계를 가능하게 했다. [7]

대표적인 절차는 LAX 공항 TMA에 적용된 CDO로 RIIVR2/SEAVU2/OLDEE1 등의 RNAV STAR가 2008년 9월25일부터 시행되었다. 동 절차는 당시 매일 300~400편의 항공기가 수행하였으며, 이는 LAX 공항에 도착하는 제트 항공기의 절반 가량에 해당한다. 동 절차 수행 시 조종사와 관제사는 무선 교신의 약 50% 가량을 줄일 수 있었고, 매 편당 평균 125 파운드의 연료 소모를 절감할 수 있었다.

이 연료 소모량을 연간 계산하면, 300편/일 x 125 LBS x 365일 = 1,370만 LBS의 항공연료를 절감하였다고 계산되며, 매년 4,100만 LBS 이상의 이산화탄소 배출량 저감 효과를 거두고 있다.

미국의 교통 밀집 공항으로 분류되는 LAX 공항, PHX(Phoenix) 공항, ATL(Atlanta) 공항, LAS(Las Vegas) 공항 등에서 B2-CDO 레벨의 CDO 절차가 현재 운영되고 있다. [6]

2.5 Trajectory-Based Operation

IACO GANP/ASBU PIA 4의 두 번째 Thread인 TBO는 CDO와 결코 분리하여 생각할 수 없는 주제이다.

궁극적으로 항공기의 모든 운항 단계와 각각의 Waypoint에서의 정확한 궤적을 시간을 근간으로 계산하여 어떤 항공기가 언제 어디를 통과하여 목적지에 도착하는지를 계산된 궤적에 의해 Gate-to-Gate 개념으로 관리하는 기법이다.

특히 공항 주변 공역에서의 공역 효율 극대화를 통한 항공교통 수용량 확대, 조종사와 관제사 간의 무선 교신 감소를 통한 workload 감소, 정확한 비행을 통한 비행시간 단축/연료 절감/그린하우스 가스 배출량 저감, 저고도에서의 항공기 소음 감소 등의 다양한 효과를 창출할 수 있다.

TBO를 수행하기 위해서는 ADS-C(Automatic Dependent Surveillance-Contact), CPDLC(Controllor Pilot Data Link Communication),

FMS(Flight Management System) 등이 필수이며 FNAS 1/A 및 ATN B1 등의 ATS Data Link가 가능한 장비를 탑재해야 한다. [6]

이는 감시와 통신 기능의 강화로 보다 유연한 비행경로 계획이나, 항공기간 분리 축소, 안전향상을 통한 ATS 기관에서의 TBO 운영의 원활화를 목적으로 하며, 항공기에 탑재된 FMS의 계산값으로 순항고도에서부터 지상의 활주로까지의 비행 궤적을 지상의 관제시스템이 예측하고 적절히 통제할 수 있도록 상호 데이터 교신이 보장되어야 한다. 지상 관제센터에서는 항공기에 TBO 허가를 발부하고 항공기는 FMS가 계산하는 최적의 비행경로로 관제센터가 발부한 시간에 Metering Fix를 통과하여 비행하여야 한다.

여기서 추가로 요구되어지는 것은 바람의 예측이다. 일반적으로 FMS는 무풍 상태에서의 경로 계산 또는 직전 비행구간에서의 측정값으로 비행 경로를 계산하게 되는데, 정확한 TBO의 수행을 위해서는 최신 바람 데이터를 FMS에 입력해야만 한다.

현재 B1-TBO 수준의 운영을 하는 공항은 광범위한 포인트 머지 기법을 활용한 일부 유럽의 공항이 시험 운영하고 있으며, SFO 공항과 LAX 공항, MIA 공항과 같은 미국의 해안가 공항들에서는 이미 Tailored Arrivals 절차로 B1 단계의 TBO를 운영하고 있다. [6]

2.6 TBO 연구 및 TA 실제 자료

보잉사는 TBO의 초기 연구에서부터 실제 비행 테스트에까지 관여하여 개념적 절차를 현실화한 바 있다. 보잉사에서 TBO의 실제 절차로 수립한 Tailored Arrival 절차의 주요 특징으로는

- 순항고도에서부터 활주로 착륙까지 거의 idle Power로 강하
 - 교통량과 환경 맞춤형 접근
 - 다수의 관제기관을 통과하는 동안 One Stop 허가 발부
 - 공역의 특성, 교통, 환경 등에 가장 효율적인 강하 방안
 - 4차원(시간과 공간) 항적 개념 적용
 - 관제사와 조종사는 CPDLC로 데이터 통신
 - 관제기관과 항공사의 사전 협력
- 등이 있으며, 보잉사에서 강조하는 장점으로는

- 매 항공편 100~400Kg의 연료 절감(보수적 계산)
- 비행시간 절약
- 관제사/조종사 간의 통신 Workload 감소
- TBO 개념으로 NextGen과 SESAR의 가교 역할

등이 있다. [8]

보잉사의 기술적 지원에 힘입어 미국의 태평양 관할 ZOAK ARTCC(Oakland 향로관제소)는 미래항행기술의 현업 적용을 위한 각종 프로젝트를 추진하고 있는데, ASBU PIA4에 현재 사용되고 있는 B1-TBO 레벨 절차로 소개되고 있는 Tailored Arrival을 TBO의 예로써 자세히 살펴 보고자 한다.

Oakland ARTCC는 해양 비행하는 장거리 항공편을 대상으로 각종 미래항행기술을 테스트하고 그 결과를 바탕으로 2009년 현업에 적용하였다. 특히 Time-Based Arrivals Management와 Arrivals Optimization의 경우는 태평양 연안의 서부 주요 관문인 SFO(San Francisco) 공항과 LAX(Los Angeles) 공항에 별도의 Tailored Arrival 절차를 수립하여, 그 결과로 연료 절감이 어려운 강하단계에서의 성과를 일정 부분 달성하였으며, 태평양 연안지역에서의 성공적인 탄소배출량 저감 활동은 환경 보전에 크게 기여하였다고 평가받고 있다.

SFO 공항과 LAX 공항은 2009년부터 각각 Pacific 2 TA, LAX 공항은 Catalina 1 TA 라고 명명된 별도의 접근절차를 운영하기 시작하였다.

그림 3은 2011년 11월부터 2015년 7월까지의 SFO 공항과 LAX 공항의 TA 운영 실적 자료이다. SFO 공항과 비교하여 LAX 공항은 2014년 중반 이후 TA 운영 실적이 그리 많아 보이지는 않는다.

SFO와 LAX에 출도착하는 항공편은 태평양 노선 항공편보다는 미국 내륙으로의 노선이 절대적으로 더 많은 노선 구조이며, 미국 내륙에서 SFO 또는 LAX로 도착하는 West Bound 항공기는 RNAV STAR 절차를 사용한 CDO로 설계되고 태평양 연안에서 접근하는 East Bound 항공편을 대상으로는 TA가 설계되었다는 점을 고려한다면, 전 세계 공항 중 고밀도의 교통량을 소화하기로 손꼽히는 공항인 LAX 공항에서 동쪽에서 접근하

는 항공편의 50% 가량을 RNAV STAR 절차로 성공적인 CDO 운영을 하고 있다고 할 수 있다. [6]

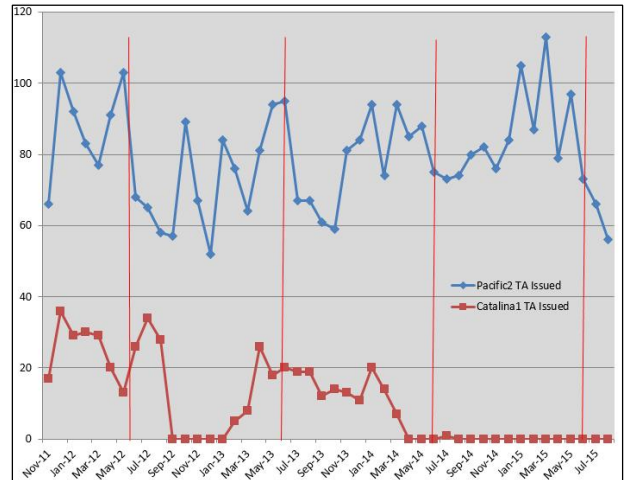


Fig 3. TA Clearances on SFO & LAX Airport (2011.11월 ~ 2015.8월 Updated)[9]

San Francisco 공항(이하 SFO)에서 시행되고 있는 Tailored Arrival은 장거리 해양공역 운항 항공기에 대하여 TOD(Top Of Descent)부터 착륙에 이르기까지 적용하는 장거리 접근절차이다.

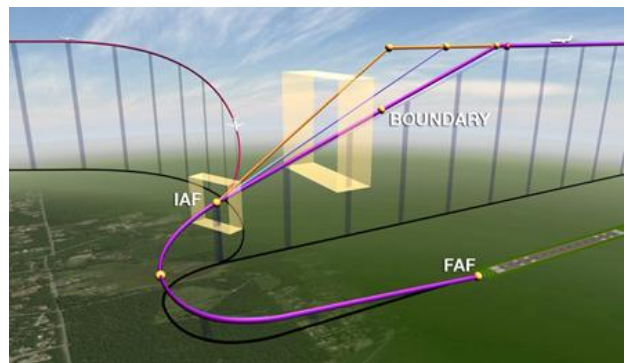


Fig 4. Tailored Arrival 3D Plan

순항고도인 고고도에서부터 Metering Fix를 거쳐 착륙에 이르기까지의 궤적 진입을 위한 TA Entry Point는 각각 200NM 전후의 거리를 가진 PAINT, ALCOA, CREAM, MAFIC 등의 4개의 Waypoint이며, 이는 고고도의 순항고도에서 TOD가 시작될 경우에도 충분히 FMS로 고도차리를 하여 SFO 공항에 도착할 수 있는 거리이다.

(그림 4, 5)



Fig 5. SFO Pacific 2 TA Lateral Track

참고로 MLDW(Maximum Landing Weight)인 B777-200ER 항공기가 무풍 상태에서 순항고도 39,000 feet에서 경유고도 제한 없이 활주로에 착륙하고자 할 경우,

- 비행거리 148 NM
- 연료 1,500 LBS
- 27분의 시간이 소요된다.[10]

아래의 그림 6, 7, 8은 K 항공사의 정기편 여객기가 SFO 공항에 Pacific 2 TA 절차를 통해서 접근을 한 실제 자료이다. 그림 6은 비행 차트에 작도된 수평계획으로 아래와 같이 비행허가를 받았다.(Oakland ARTCC 제공 자료)

At PAINT cleared to

- SUPER -----/21000A
- PASIF -----/21000B
- PIRAT 250/15000B
- BRINY 250/12000B
- N3722 W12223 --/6000A
- OSI
- MENLO 210/4000A
- ILS28R Approach



Fig 6. SFO Pacific 2 TA from PAINT

그림 7은 상기 항공편의 고도강하 수직 단면도로 고도 강하 중 수평비행을 하지 않고 착륙까지 강하하였다는 것을 볼 수 있으며, 그림 8은 동 TA의 실제 궤적을 3D로 재구성한 자료이다.

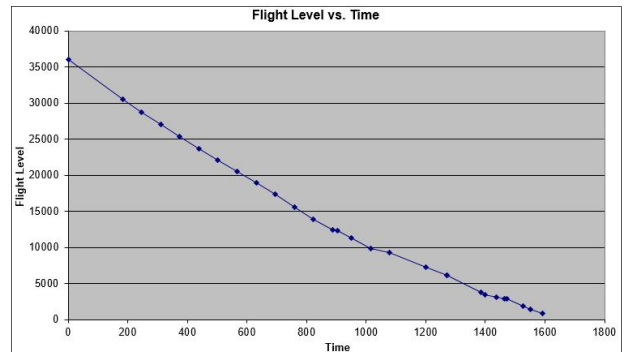


Fig 7. SFO Pacific 2 TA Vertical Profile

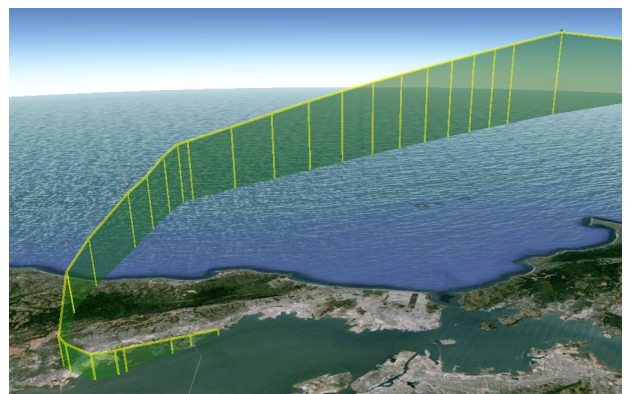


Fig 8. SFO Pacific 2 TA 3D Trajectory

위의 예에서 보는 바와 같이 전 구간 TA 항공편은 Full TA, 교통상황에 따라 일부 제한이 있었던 항공편은 Partial TA라고 구분한다.

FAA 자료를 참조하면 미국 내에서 Full TA

수행 항공편 당 350갤런 이상의 연료가 절감되어 연간 100만 불 이상의 연료절감 효과가 있으며, Partial TA의 경우 편당 110갤런 이상의 연료절감으로 연간 30만 불 이상의 효과를 획득하였고, CDO 절차로 편당 약 50갤런 가량의 연료절감을 달성한 것으로 발표하고 있다.

이를 연간 탄소배출량 저감효과로 환산하면, Full TA는 연간 123만톤, Partial TA는 39만톤, OPD는 17만톤 가량의 CO₂ 발생을 줄였다고 보고되고 있다.

더욱이 Oakland ARTCC는 SFO 공항의 Pacific 2 TA 운영 경험을 바탕으로 새로운 RNAV PIRAT1 STAR를 개발 중에 있으며, 2015년 12월 10일부터 SFO 공항에 접근하는 non-FANS 항공기에게도 OPD(Optimized Profile Descent) 서비스를 제공할 예정이다. [9]

2.7 이상적 고도 강하 Profile

최적화된 연속강하운항을 위하여 강하단계의 비행거리와 고려사항, 그리고 한계점 등을 알아보자면, TMA(Terminal Area)에서는 항공교통 혼잡에 의한 분리 목적의 관제 지시 및 기상 등 여러 가지 조건으로 인하여 OPD(Optimized Profile Descent: 최적화된 고도 강하) 수행을 하지 못할 경우가 많다.

최적화된 고도 강하 계획은 적절한 속도와 자세로 목적 공항에 착륙하도록 계산하여 수행된다. 강하율은 추력과 항력, 속도와 항공기의 무게에 따라 달라지지만, 일반적으로 고도 강하 거리는 무풍에서 경제속도(ECON Speed)를 사용하여 1,000 feet 당 약 3 NM 가량으로 계산할 수 있다.

바람직한 고도 강하 Profile은 목적 공항으로부터 30 NM 지점에서 250 knots의 속도로 10,000 feet AGL을 통과하는 것이다. 감속에 필요한 시간과 거리는 310 knots에서 250 knots로 감속하는데 60초 동안 6 NM을 비행하게 되고, flaps up maneuvering 속도로 감속하기 위해서는 평균 중량일 때 추가적으로 50초 동안 4 NM을 더 필요로 하게 된다. 고도 강하를 시작하는 지점(TOD, Top of Descent)의 거리는 바람의 영향에 의해서 증가 또는 감소하게 되며, 모든

필요 조작을 감안한 TOD 거리가 항공기 운용 매뉴얼에 제공되고 있다.[10][11][12]

가장 이상적인 강하 프로파일은 FMS(Flight Management System)가 정한 강하시점으로부터 공항으로의 마지막 접근 구간고도에 이르기까지 추력을 증가시키거나 스피드 브레이크를 사용하지 않고 Idle Power로 강하하게 되는 경우이다. 이상적인 3도 강하각에서 벗어나는 구간이 있다고 하더라도 항공기가 가능한 한 오래, 긴 구간 동안 고고도에서 비행을 하는 것이 가장 연료절감에 도움이 된다.[13]

이상과 같이 살펴 본 이상적인 고도 강하 Profile은 CDO 절차가 특정 Waypoint에서 시작하거나 CDO 절차를 수행하기 위하여 RADAR VECTOR를 통한 수평비행을 최소화하는 것이 중요하다. 그런 의미에서 미국 Los Angeles 공항에서의 CDO 절차 운영 실적 및 Boeing사와 Oakland ARTCC에서 테스트하여 현재 사용 중인 Tailored Arrival은 매주 중요한 시사점을 던져 준다.

2.8 우리나라의 CDO 현황

서울지방항공청의 연속강하접근(CDO)에 대한 설명을 인용하면, 유럽 및 미국에서 시험운영 단계에 있으며 아시아지역에서는 최초로 도입하는 비행절차로 항공기의 첨단항법시스템을 이용하여 항공기 성능에 맞게 연속적으로 강하하는 비행방식이며, 항공기 연료 소모와 소음 및 환경오염물질을 획기적으로 감축할 수 있는 접근절차이다. 기존의 접근 방식은 강하와 수평 비행의 반복으로 수평 비행 구간에서 높은 항력을 발생시켜 불필요한 항공기 연료 소모와 과도한 소음 및 환경오염 물질 배출을 유발한다.

ICAO에 따르면 항공기는 1.8km 비행하는 동안 11kg의 연료를 소모하며, 이 과정에서 사용된 연료의 무게 3배에 달하는 35kg의 이산화탄소와 질소산화물 등을 배출한다. 연속강하운항(CDO) 시에는 항공기 연료소모량 40%, 배출가스(CO₂, NO_x) 및 공항주변 항공기 소음 50% 이상 감소 효과가 발생한다.

국내에서는 2008년 Airbus 추진 프로젝트의 일환으로 김포공항에 입항하는 항공편을 대상으로 CDO를 시험한 적이 있으며, 일선 관제기관을

중심으로 교통량이 허용하는 범위에서 CDO를 운영하고 있으나 아직은 그 성과가 종합적으로 정리/보고되어 학계에 공유된 바는 없다.

국내의 CDO 관련 절차는 AIP 인천공항 부분에 수록된 CDO(Continuous Descent Operation) PROCEDURE FOR INCHEON AD를 참고할 수 있다. 주요 내용은 Y644, Y722, G585, G597 항로를 경유하여 인천공항으로 입항하는 항공기는 효율적인 접근을 할 수 있는데, 운영시간은 23시부터 04시까지이며 사용 활주로는 33L/R이다. [14]

아래 그림은 2015년 5월 인천공항에 입항하는 일부 항공편들의 Vertical Profile 이다.

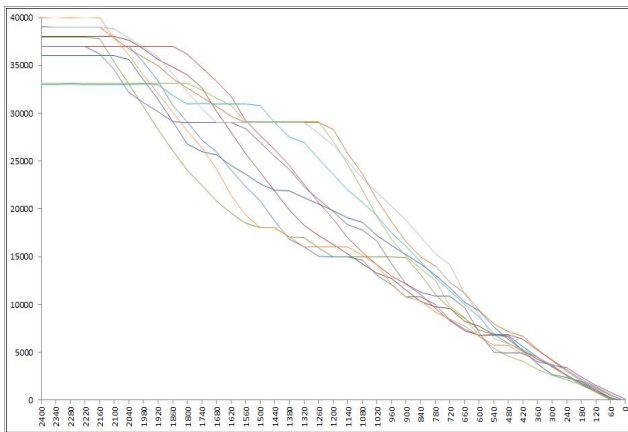


Fig 9. 2015년 5월 ICN 공항 입항 항공편들의 Vertical Profile

국내 관제기관에서는 인천국제공항과 제주국제공항에 포인트 머지 방식의 선진형 항공기분리 기법을 도입하여 수용량을 늘리는 노력을 경주하고 있으며, RNAV STAR 절차를 통한 연속강하운항과 병행 적용 중이다. 단, 포인트 머지 방식의 경우에 표준 RNAV STAR와 비교하여 비행거리가 더 멀어지는 단점을 내포하고 있어 장기적인 절차 개선의 여지가 있다.

그림 9에서 보는 바와 같이 2015년 5월의 인천국제공항 및 제주국제공항에 입항하는 6일간의 항적 700여 건에 대하여 추적한 결과로 추출한 샘플 자료를 기준으로 약 76%의 항공기가 불특정 고도에서 1분~6분 사이의 수평비행을 하는 것으로 나타났다.

연속강하운항 시의 연료소모율을 대형기와 소형

기의 대표 샘플로 B777-200ER 항공기와 B737-800 항공기로 나누어 비교하면 다음과 같다.

먼저 B777-200ER의 경우 착륙중량 460,000 LBS 기준으로 39,000 feet에서 연속강하운항 시 27분 동안 148 NM의 거리를 비행하여 1,500 LBS의 연료를 사용하게 되나, 10,000 feet에서의 수평비행 시 분당 소모 연료는 227 LBS를 소모하게 된다.(FF 13,660 LBS/HR)

착륙중량 130,000 LBS의 B737-800의 경우 39,000 feet에서 연속강하운항 시 25분 동안 123 NM의 거리를 비행하여 720 LBS의 연료를 사용하게 되나, 10,000 feet에서의 수평비행 시 88 LBS의 연료를 소모하게 된다.(FF 5,320 LBS/HR) 여기서의 수평비행 소모연료는 각 항공기의 제작사 Manual인 Flight Planning and Performance Manual의 Holding Fuel을 참조하였다. [10][16]

2.9 국내공항의 CDO 확대 적용 시의 효과

상기의 조사된 자료를 근거로 인천/김포/제주/김해 등을 포함한 국내공항에 CDO를 확대 적용했을 경우의 효과를 1)연료 절감을 통한 경제적 효과와 2)탄소배출량 저감의 환경적 효과, 두가지로 고려해 보고자 한다.

우선 수평비행을 한 평균 시간(분)의 소모 연료량을 절감 가능액(편익)으로 간주하고 전체 도착 항공편수에 사분위수범위의 평균시간 2.7분을 적용하였다.

대형기와 소형기의 분포는 국내공항 전체를 기준으로 했을 경우의 대형기 38%, 소형기 62%를 기준으로 고려하였다.

Table 1. 주요공항 연속강하운항 일일편익

공항	2014년 연간 비행횟수	일일 평균 비행횟수	일일수평비행 연료소모량 (대형기)	일일수평비행 연료소모량 (소형기)	일일편익 (USD)
인천	144,967	397	70,301	44,466	23,986
김포	69,390	190	33,650	21,284	11,481
김해	39,331	108	19,073	12,064	6,508
제주	72,787	199	35,298	22,326	12,043
기타	26,870	74	13,031	8,242	4,446

주1) Jet Price 1 Gallon 당 1.41USD

주2) 1 Gallon = 6.7 LBS로 환산

주3) Jet Fuel Price : 1.41 USD/Gallon(2015.10월)

위 표에서 보는 바와 같이 국내 주요공항 및 기타 공항의 일일평균 교통량을 이용해 연속강하운항 시의 수평비행에서의 연료소모량을 편익으로 추정했을 때, 2014년 일평균 착륙 항공편의 76%를 대상으로 한 연료절감량은 일 TTL 108,382 LBS이며, 1 Gallon 당 1.41 USD 기준으로 한 연간 연료절감액은 약 247억원의 경제적 효과가 있다.

상기의 계산에 의해 산출된 연간 연료소모 절감량을 잠재적 CO2 배출 저감량으로 계산하기 위해서는 배출상수인 3.157CO₂/kg을 절감한 연료 무게에 곱하여 얻을 수 있는데, 연간 약 14만 6,186 CO₂/톤의 배출을 저감하여 환경보호에도 큰 효과가 있다는 것을 증명하였다. [17]

3. 결 론

3.1 한국형 CDO 및 TBO 설계의 필요성

본 연구에서 소개하고자 하는 바는 항공기 강하 단계에서의 연료절감 및 탄소배출량 저감, 저고도 소음감소, 조종사와 관제사의 워크로드 감소 등의 다면적 효과였으며, ICAO의 차기 Block 추진 과정의 성공적 수행을 위해서 국내공항에 특화된 CDO 및 TBO를 추가로 설계하여 운영할 필요성을 제기하고 향후 한국형 절차 설계를 위한 기본 방향을 제시하고자 하는데 목적이 있다.

비록 짧은 지면의 한계로 본 논문은 일부 사례 소개에 한정되어 있지만 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다는 점, 국내에서도 좁은 공역을 보다 효율적으로 운영할 다양하고 체계적인 기법의 연구가 필요하다는 점, 국민의 항공안전을 책임지는 관계기관과 운영자가 함께 연구에 동참하여야 한다는 점, 안전을 고려한 효율성 보장을 위한 꾸준하고 오랜 시뮬레이션이 필요하다는 점 등을 주장하며 글을 마치고자 한다.

더불어 앞으로 지속 연구해야 할 과제는 제한된 공역 운영 효율 극대화를 위한 한국형 CDO 및 TBO의 기본 설계 방향 CDO/TBO 구축 해법과 시뮬레이션을 통한 검증 등이다.

후 기

이 논문은 국토교통부의 항공인력 양성을 위한 특성화 대학 지원 사업의 일환인 국제항공전문가 과정에서 지원받았습니다.

참고문헌

- [1] ICAO(International Civil Aviation Organization), 2015, Air Navigation Report
- [2] ICAO, 2013, 2013-2028 Global Air Navigation Plan(GANP, 세계항행계획) Doc9750-AN/963 4th Edition - 2013
- [3] 국토교통부, 2015, 항공시장동향 제39호 (2015.9월)
- [4] 항공교통센터, 2015, 2015년 9월 항공교통량
- [5] 국토해양부, 2012, ICAO 세계항행회의(ANC) 대응 방안 연구
- [6] ICAO, 2013, Working Document for the Aviation System Block Upgrades - The Framework for Harmonization(항행시스템 단계별 최신화 계획), March 2013
- [7] J.P.Clarke, J.Brooks, A.Scacchioli, W.White, S.R.Liu, 2013, Optimized Profile Descent Arrivals at Los Angeles International Airport, Journal of Aircraft, Vol.50,No.2,March-April 2013
- [8] Suzanne Meador, Christie Maldonado, 2010, Tailored Arrivals help reduce aviation's environmental impact, IEEE 2010
- [9] FAA ZOAK ARTCC, 2015, OWG(Oceanic Work Group Meeting) 발표 자료(2015년 9월)
- [10] Boeing, B777-200ER Flight Planning and Performance Manual
- [11] Boeing, B777-200 Airplane Flight Manual
- [12] Koeran Air, B777-200 Operational Data Manual
- [13] 이승영, 2009, 항공기의 강하 방법에 따른 연료 절감 효과 연구, 한국항공대학교 대학원
- [14] 대한민국 AIP, RCSI AD 2-37, 1.7 CDO(Continuous Descent Operation) PROCEDURE FOR INCHEON AD
- [15] 박선래, 문우춘, 2011, 연속강하접근 도입에 따른 항공사의 경제적 효과에 관한 연구, 한국

항공대학교 대학원

[16] Boeing, B737-800/CFM56-7B24 Flight
Planning and Performance Manual

[17] 이근영, 2013, 항공기 배출가스 부담금을
고려한 항공사 기단관리에 대한 연구, 한국항공대
학교 대학원