Original Article

https://doi.org/10.12985/ksaa.2023.31.1.079
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공기 강하 성능과 FMS 강하 정보에 기반한 표준계기도착절차와 계기접근절차의 운항 효율성 향상에 관한 연구

이충섭*, 이현진**, 백호종***, 박장훈****

A Study for Enhancing Efficiency of STAR and IAP for the Prospect of Aircraft Descent Performance and FMS Descent Guidance Information

Choongsub Lee*, Hyeonjin Lee**, Hojong Baik***, Janghoon Park****

ABSTRACT

In response to the recent surge in aviation demand, major airports and aviation authorities continue to make efforts to formulate arrival and approach procedures that take into account efficient aircraft separation, noise and environmental issues of carbon (CO2) emissions. In order to ensure efficient traffic control and environmental issues, as a result, a new concept Trombone, Point Merge, etc. have been introduced and widely used in the domestic airspace. However, these new concept procedures which do not properly reflect the characteristics of the aircraft operation performance and the FMS vertical descent guidance hinder flight efficiency as well as bring in turn negative factors such as level-off flight and the use of drag device at the busiest phase of the flight descent operation, like the Continuous Descent Operation (CDO). Accordingly, throughout modification the current Standard Terminal Arrival Route (STAR) and Instrument Approach Procedure(IAP) that reflect the aircraft descent performance and the FMS guidance, the flight operation safety and efficiency is expected to be improved eventually. We herewith analyze and propose the way of improving flight efficiency in the arrival operation procedure by supplementary modification which consequently contribute to the aviation industry international competitiveness.

Key Words : FMS(비행관리시스템), STAR(표준계기도착절차), IAP(계기접근절차), CDO(연속강하접근), Aircraft Descent Performance(항공기 강하성능)

Ⅰ. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현대 상업용 항공기는 착륙하려는 활주로로 유도되는 과정에서 해당 공항에 설치된 표준계기도착절차(Standard Terminal Arrival Route, STAR)와 계기접근절차(Instrument Approach Procedure, IAP)를

Received: 28. Oct. 2022, Revised: 11. Feb. 2023, Accepted: 24. Feb. 2023
* 한국항공대학교 항공교통물류학과 이학박사
** 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정
*** 한국항공대학교 항공교통물류학부 교수
**** 한국항공대학교 항공교통물류학과 이학박사
연락저자 E-mail : ajgaqwsuvnh@gmail.com
연락저자 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

따라 접근한다. 운항승무원은 관제사의 지시 및 운항 환경을 고려할 뿐만 아니라 항공기 비행관리시스템(Flight Management System, FMS)에서 제공되는 강하정보를 적극적으로 활용하여 불필요한 수평비행(level off)이나 접근 기동 없이 착륙하는 것을 우선으로 하고 있다. 그러나 인천국제공항을 비롯한 국내 주요 공항의 표준계기도착절차 및 계기접근절차를 살펴보면, 트롬본(trombone) 및 포인트 머지(point merge) 등의 기법을 표준계기도착절차에 적용하면서도 교통량이 많은 시간대의 관제 편이성, 효율성 그리고 수용량 확대를 목적으로 절차 일부의 비행경로를 연장하거나 고도 제한사항을 상대적으로 높거나 낮게 설정하고 있다. 이러한 설정은 불필요한 추력의 낭비나 항력 장치 사용이 요구되어 항공기 강하성능에 기반한 FMS가 제공하는 최적화된 강하 정보를 활용하는 데 부정적인 요소가 되고 있다. 이에 따라 추가 연료 소모 및 탄소 배출 문제를 발생시키는 등 신개념의 기법들이 오히려 운항 효율성을 저해하는 요소로 작용하는 것이 현실이다.

본 연구는 인천국제공항과 제주국제공항에 설치되어 운영 중인 표준계기도착절차 및 계기접근절차를 항공기 강하성능과 FMS 강하 정보를 효율적으로 반영하는 형태로 개선하기 위한 현황 고찰 및 대안 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구범위, 구성 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 인천국제공항과 제주국제공항이며 내용적 범위는 해당 공항에서 운영 중인 표준계기도착절차와 계기접근절차의 고찰과 FMS가 제공하는 강하 정보를 따라 항공기 강하성능을 최대한 활용할 수 있는 연속강하접근의 실현을 위한 제안을 하는 것이다.

연구의 구성 및 방법은 1장에서 연구 배경과 목적 그리고 범위, 구성 및 방법을 설명하고 제2장 본론에서 항공기 강하성능의 이론적, 기술적인 부분을 고찰하고 항공기에 장착되어 운용되고 있는 비행관리시스템(FMS)에 대하여 알아본다, 그리고 항공기의 강하와 강하 관련 변수의 영향을 분석하고 점검한다. 그리고 현재 설치 운영 중인 표준계기도착절차와 계기접근절차를 FMS를 사용하는 연속강하접근 관점에서 분석한다. 제3장 결론에서 절차 개선을 위한 제안의 제시를 통한 운항의 효율화 및 공항 수용량 증대 효과를 기대한다.

II. 본 론

2.1 항공기 강하성능 및 FMS

2.1.1 안정적 접근(stabilized approach)

항공사는 일정한 수준과 범위(criteria)의 운항 규정을 제정하여 안정적 접근(stabilized approach)과 착륙 조작을 위하여 노력하고 있다. 운항 규정에서 운항승무원은 안정적 접근이 이루어지도록 비행을 계획하고 항공기를 조작해야 한다고 규정하고 있으며, 만약 기준을 충족하지 못하는 경우, 즉시 복행(go-around) 및 실패접근절차(missed approach procedure)를 수행하도록 하고 있다.

A 항공사 운항규정에 따르면, Stabilized Approach Criteria에 관한 내용을 아래와 같이 정하고 있다.

- 모든 항공기는 IMC에서 늦어도 1,000 FT HAT (height above touchdown), VMC[1]에서 500 FT HAT 전에 접근에 필요한 착륙 Briefing 및 착륙 외장과 Checklist를 완료한 아래의 상태를 유지해야 한다.

ⓐ 허용범위 내의 Target Airspeed와 이를 유지하기 위한 Power Setting

ⓑ In Trim 상태로 Correct Lateral/Vertical Flight Path 상에 위치

ⓒ 1,000 FPM을 초과하지 않는 강하율

ⓓ 항공기가 Runway Threshold를 통과할 때는 아래의 상태를 유지해야 한다.

(a) Flare를 할 때까지 허용범위 이내의 Target Airspeed

(b) 정상적 기동으로 안정적인 비행경로에 위치

(c) Touch Down Zone (Landing Runway Threshold로부터 3,000 FT 또는 활주로 길이의 1/3 중 적은 곳)에 정상적으로 착륙을 할 수 있는 위치

마찬가지로 A 항공사에서는 Minimum Stabilization Height 관한 기준도 다음과 같이 운항규정에서 정하고 있다.

- 1,000 FT above airfield elevation (IMC)
- 500 FT above airfield elevation (VMC)

2.1.2 항공기 강하 및 최종 접근 속도

강하에서 중요한 고려사항은 강하속도와 항공기에 축적된 에너지의 소진 계획이다. 감속 특성(aircraft deceleration characteristics)이 항공기의 종류, 중량 등에 따라 크게 차이가 있으므로 한정된 접근 비행경로상에서 감속 특성을 고려한 안정적 접근(stabilized

approach)이 이루어질 수 있도록 사전에 계획을 수립하는 것이 매우 중요하다. 강하시작지점(Top of Descent, TOD)에서 계획된 강하속도로 강하를 시작하여 대략 10,000 FT 고도를 기준으로 250 KT로 1차 감속한 후, 고양력장치를 사용하지 않은 상태(clean configuration)의 최저 운항속도로 상황에 따라 감속하여 최종접근구간에 도달하게 된다. Table 1~3은 각각 A330, B737, B777 항공기의 긴급참고교범(Quick Reference Handbook, QRH)에서 정리하고 있는 최종접근성능 관련 운항속도 정보 표이다. 각 표에 설명된 속도는 외장 변경에 따른 속도 변화를 의미하는 것으로 최저접근속도(Vapp)로 감속하는 기준을 나타내며, 항공기 제작사별로 정의하는 용어가 다소 상이하나 기본적인 개념은 같다.

Table 1. Operating speed for approach (A330-300 QRH)

Operating speed (kt) (A330-300)

Weight (1,000 LB)	S	VLS CONF 1	F(1)	VLS CONF 2	VLS CONF 3	V Ref
520	204	185	166	164	158	155
480	196	175	160	157	152	149
440	187	170	153	150	145	142
400	178	162	146	143	138	135
360	170	154	139	136	131	128
320	159	145	131	128	126	126
280	149	136	131	126	126	126

(1) For approach:
in CONF 2: Add 14% F is limited to 141kt (low limit)
in CONF 3: Add 4% F is limited to 136kt (low limit)

Green DOT speed (A330-300)

Weight (1,000 LB)	At or below FL 200	FL 300	FL 400
520	249	259	269
480	238	248	258
440	227	237	247
400	216	226	236
360	205	215	225
320	194	204	214
280	183	193	203

N.B.) Green dot speed with one or two engines inop: Subtract 10kt from these values.

Table 2. Operating speed for approach (B737-800 QRH)

V Ref (B737-800)

Weight (1,000 LB)	FLAPS		
	40	30	15
180	157	165	174
170	153	160	169
160	148	156	164
150	144	151	159
140	139	146	154
130	133	141	148
120	128	135	142
110	122	129	135
100	116	123	129
90	109	116	122

Flap maneuver speeds (B737-800)

Flap position	Maneuver speed
UP	V REF 40 + 70
1	V REF 40 + 50
5	V REF 40 + 30
10	V REF 40 + 30
15	V REF 40 + 20
25	V REF 40 + 10
30	V REF 30
40	V REF 40

Table 3. Operating speed for approach (B777-300 QRH)

V Ref (B777-300)

Weight (1,000 LB)	V Ref (KIAS)		
	FLAPS		
	30	25	20
660	169	174	183
640	165	172	181
620	163	169	178
600	160	167	175
580	157	164	172
560	155	161	169
540	152	158	166
520	149	155	163
500	146	152	160

Table 3. Continued

V Ref (B777-300)

Weight (1,000 LB)	V Ref (KIAS)		
	FLAPS		
	30	25	20
480	143	149	157
460	140	146	154
440	137	143	150
420	133	139	147
400	130	136	143
380	126	132	139
360	123	128	135
340	119	124	131

Flap maneuver speeds (B777-300)

Flap position	Maneuver speed
UP	V REF 30 + 80
1	V REF 30 + 60
5	V REF 30 + 40
15	V REF 30 + 20
20	V REF 30 + 20
25	V REF 25
30	V REF 30

2.1.3 항공기 접근 감속 성능

최종접근 단계의 개별 항공기 강하성능은 중량과 온도, 기압 등의 요소 등에 따라 차이를 보이고 있으나 일반적으로 최종접근구간에서 3° 강하각을 유지하면 속도 140 KT 기준 대략 NM당 300 FT 또는 분당 700 FT의 강하성능을 보이는 것으로 알려져 있다[2]. 조건별 감속 성능은 아래와 같다.

1) 수평비행에서의 감속 성능
(Deceleration in level flight)
With approach flaps extended :
10 to 15 KT / NM
With L/G down & flaps full :
20 to 30 KT / NM

2) 3도 강하각을 유지한 감속 성능
(Deceleration on 3° glide path)
With landing flaps and gear down :
10 to 20 KT / NM

항공기가 활공각(glide slope)신호를 따라서 140 KT의 속도로 3°의 강하각을 유지하는 정률강하를 진행하고 있다는 가정하에 항공기의 SLAT을 내린 상태에서 감속을 시작하면 최종접근속도(target final approach speed)와 착륙에 필요한 외장을 갖추는데 대략 3.0 NM당 1,000 FT의 강하율이 필요한 것으로 알려져 있다[2]. 필요한 경우 항력 장치(speedbrakes)를 적극적으로 사용하여 신속하게 운항 속도를 줄일 수 있으나 일부 기종에 따라 사용 제한사항이 있거나 1,000 FT 이하의 고도에서는 사용이 금지될 수도 있다.

최종접근지점(Final Approach Fix, FAF)을 기준으로 적어도 3.0 NM 전에는 일반적으로 SLAT, FLAP 등을 내려 착륙에 필요한 외장으로 변경, 유지하여야 하고 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근을 수행하는 경우, 활공각 신호기(glide slope)의 신호를 포착할 때는 최소한 SLAT을 내린 상태에서 절차를 수행하여야 한다[3]. 아래의 Fig. 1은 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근을 수행하고 활공각 신호기(glide slope)의 유도를 따라 강하를 수행하는 경우를 가정하여 보수적으로 NM 당 3 KT의 감속 성능을 근거로 하여 추천되는 OM(Outer Marker)의 위치를 제시한 그림이다[4]. 접근 중에 감속이 가능한 속도의 최대치를 추론하면 Outer Marker(일반적으로 Runway Threshold로부터 6 NM에 위치)를 기준으로 1,000 FT에 항공기 외장 변경이 완료된다고 가정하면 약 30 KT 정도로 추산이 되어 Fig. 1과 같이 OM 또는 그 부근에서 유지가 가능한 최대속도는 160 KT로 추론해 볼 수 있다.

주요 항공사에서 일반적으로 운항승무원을 대상으로 하는 훈련 프로그램과 기준을 살펴보면 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근의 경우 가장 보수적인 저시정 운항기준인 CAT II, III 운항을 위하여 실질적으로 1,500 FT HAT(Height Above Touchdown)

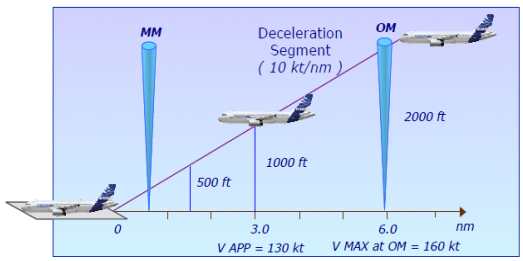

Fig. 1. Deacceleration on FAS

전에 항공기의 외장 변화가 완료되고 착륙에 필요한 landing checklist를 완료하는 것을 표준절차로 추천하고 있어 실질적인 OM의 위치는 6 NM 정도에 위치하는 것이 바람직하다. 이러한 감속 성능을 고려하면 대략 15 NM 부근에 첫접근지점(Initial Approach Fix, IAF)을 3,500~4,000 FT 정도의 고도 제한으로 설정한 후 추가적인 감속 과정을 거쳐 12 NM에 활공각 신호기(glide slope)의 신호을 포착하면 무리 없이 안정적인 접근을 실현할 수 있을 것으로 판단된다.

2.1.4 비행관리시스템 FMS(flight management system)

현대 항공기를 운영하는 운항승무원은 경제적이고 정밀한 운항을 위하여 비행관리시스템(FMS)을 적극적으로 사용하고 있다. 비행관리시스템은 강하 접근을 위한 기본적이고 기술적인 정보를 제공할 뿐만 아니라 항공기의 위치, 에너지 상태, 강하 중간의 수평비행 시점, 이상적인 외장 변경 시점 등 항공기 운항 외적 환경변화에 따라 적절한 정보를 계산하여 제공함으로써 매우 정밀한 비행을 실현할 수 있도록 보조한다.

FMS의 구성을 살펴보면 Fig. 2와 같이 비행 관리 컴퓨터(Flight Management Computer, FMC), 자동비행 시스템(Auto Flight System, AFS), 위성 항법 시스템(GPS Navigation System), 전자중앙항공기감시 시스템(Electronic Centralized Aircraft Monitoring, ECAM) 등의 컴퓨터들이 각각 독립적인 시스템으로 존재하며 단독 또는 상호 결합하여 작동한다. 즉 FMS라는 용어는 독립적인 구성요소를 통합된 시스템으로 운용함을 의미한다. Fig. 3은 FMS를 사용한 기본 강하 과정을 보여주는 것으로 입력된 기상 자료를 활용하여 최소한의 추력과 외장 변경으로 최초 강하속도인 MACH 0.78이 전이고도에서 IAS 320 KT로 변경되고, 10,000 FT 부근에서 250 KT로 감속하여 최종접근속도(Vapp)에 이르는 과정의 계산 논리와 개요를 보여준다[5].

FMC는 운항승무원이 입력하는 CI(Cost Index)라

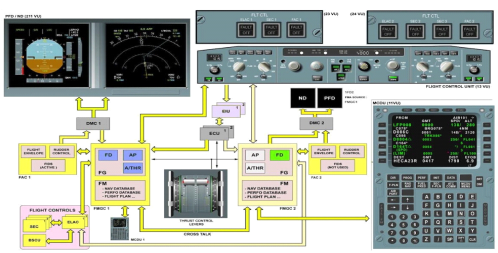

Fig. 2. FMS vertical descent guidance concept

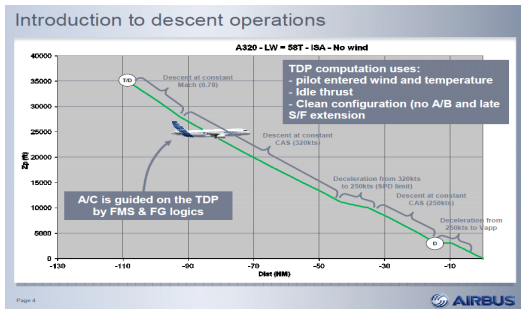

Fig. 3. FMS vertical descent guidance concept

고 부르는 지표를 기준으로 연료소비량 또는 비행시간의 최소화를 목표로 하는 비행 운영 방식을 결정하며, 이를 기준으로 하여 비행 단계별의 항공기의 속도 제어 및 이륙, 상승, 순항, 강하의 수직 방향 기동 정보를 제공한다. Cost Index를 0으로 설정하게 되면 단위 연료소비량 당 최대항속거리를 얻을 수 있도록 상대적으로 저속의 경제속도로 항공기의 속도를 제어한다. 이와 반대로 Cost Index에 큰 값을 설정하게 되면 비행시간이 최소화되도록 각 비행 단계의 기동이 프로그래밍 된다. FMC는 항공기의 현재 중량, CG(Center of Gravity) 등을 고려하여 최적화된 비행고도(optimum altitude)와 최고 비행한계고도(maximum altitude)를 제시하여 주는데, 특히 권장 고도와 현재 고도의 차이를 기준으로 FCC(Flight Control Computer) 및 엔진출력 조절 장치(Full Authority Digital Engine Control, FADEC) 등을 제어함으로써 항공기의 자세 및 엔진 추력(thrust)을 조절하게 되는데 이 부분이 강하접근절차가 조화롭게 설계되어야 하는 중요한 이유이다.

FMS는 항공기의 현재 위치로부터 입력된 비행경로를 근거로 다음 단계의 비행을 예측하고 계산한다. 경로에 설정된 고도 제한을 충족하지 못할 경우는 운항승무원에게 필요한 조치에 대한 정보를 제공한다. 최적의 강하성능과 강하 목표지점의 고도와 속도 제한사항을 준수하기 위하여 현재의 고도, 속도 정보에 추가하여 풍속, 온도변화 등의 자료를 항공기 장비로부터 수집하여 계산하고 목표 고도의 도달 예상지점 및 새로운 강하시작지점(TOD)과 강하 정보를 제공한다. 만약 관제상의 이유로 radar vectoring이 제공되는 경우는 운항승무원은 기본 비행(basic flight mode)으로 전환하여 비행하게 되고 FMS가 제공하는 정보는 참고용으로만 활용되기 때문에 최적화된 비행이 이루어지기 어렵게 된다.

2.2 강하(Descent)

2.2.1 강하 시작 지점(TOD)

FMS는 이상적인 강하접근를 위하여 표준계기도착절차와 최종접근절차에 따라 사전 프로그래밍 되어 있는 속도와 고도 제한사항(speed & altitude constraints)을 근거로 지속적인 계산을 수행하여 강하시작지점(TOD)을 제공한다. 제작사 AIRBUS社의 경우 착륙을 위해 FMS에서 추천하는 최초 감속 지점인 “Decel Point”라 불리는 지점으로부터 역으로 계산하여 강하시작지점(TOD)을 설정하고 있으며, 제작사 Boeing社 계열 항공기의 경우는 “The End of Descent (E/D) point”라 불리는 착륙 활주로 시단 50 FT 지점을 기준으로 강하시작지점(TOD)을 계산한다[6].

그러나 관제 등의 사유로 순항고도의 변경에 따른 TOD의 변화가 생기거나, 강하가 조기에 시작된 경우는 일반적으로 초기에 일정한 강하율(1,000 FPM)을 유지하다가 FMS에서 다시 계산한 이상적인 강하 경로를 따라 계속 비행하게 되는데 실질적으로 관제사의 고도, 속도 지시등 많은 변수에 따라 강하각 및 강하율 그리고 강하경로(descent path) 변동이 발생하게 된다. 만일 표준계기도착절차(STAR)에 트롬본(trombone), 포인트 머지(point merge) 등의 기법을 적용한 절차가 설정된 경우는 실제로 운항하는 거리(track mile)보다 더 많은 거리(distance to go)를 강하에 고려하게 되어 실질적인 TOD 계산에 오류가 발생할 가능성이 크다.

2.2.2 강하 접근

항공기가 강하를 시작하면 항공기 종류 및 중량, ENGINE 종류, 그리고 바람 등 많은 요소가 강하성능에 영향을 미치게 된다. 관제 기관의 강하 허가 시점도 항공기 강하성능과 경제성에 많은 영향을 미치게 된다. 표준계기도착절차 및 계기접근절차의 고도 제한사항도 강하성능과 운항 경제성에 많은 영향을 미치게 된다. Fig. 4는 최적 강하경로 전에 고도 제한사항(constraints)이 절차에 있는 경우 그 거리에 따라 추가적인 연료 사용의 예시를 보여주고 있는데, 각각 10 NM과 20 NM 전에 고도제한이 있는 경우, 21KG과 34KG의 연료가 더 소모됨을 보여준다[5]. 바람도 큰 영향을 끼치게 되는데 바람의 방향과 속도가 사전 FMS에 입력한 값과 차이가 있는 경우, FMS가 계산한 강하각과 실제 강하

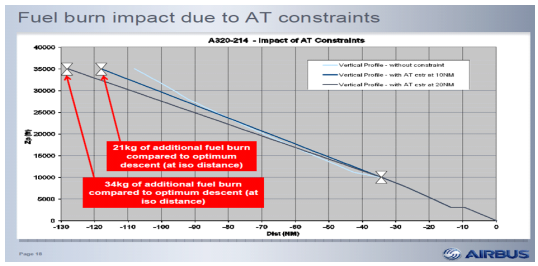

Fig. 4. The effect of the altitude restriction on fuel consumption

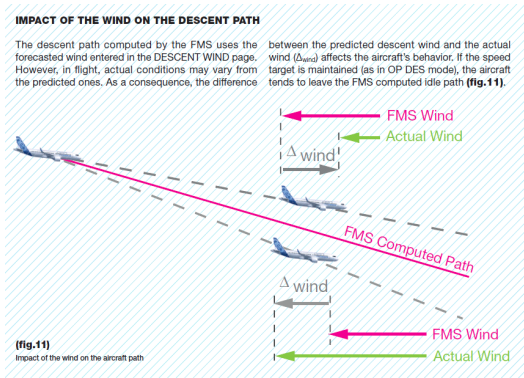

Fig. 5. The effect of wind on fuel consumption

각이 차이를 보이게 된다. Fig. 5는 바람 속도와 방향에 따른 강하각의 차이를 보여주고 있다. 정풍(headwind) 성분의 바람의 경우, 강하각이 보다 깊어지게 되어 신속한 강하가 이루어지게 되고 배풍(tailwind)의 경우는 그 반대가 된다[6].

2.2.3 최종 접근 비행의 감속 구간

운항승무원은 일반적으로 Fig. 6과 같은 과정을 거쳐 강하를 수행한다[6]. 10,000 FT 이하의 강하 구간은 강하속도에서 250 KT 이하의 속도로 접근하는 구간으로 접근관제구역(Terminal Maneuvering Area, TMA)의 직접적인 관제 구간이고 많은 입, 출항하는 항공기의 분리 관제 등으로 공항의 규모가 클수록 설치된 표준계기도착절차나 계기접근절차가 현실적으로 이루어지기 힘든 구간이다. 이 구간에 다수의 고도와 속도 제한사항을 포함한 트럼본, 포인트 머지 등의 기법이 절차에 설치될 경우, 실질적인 의미에서의 FMS를 이용한 연속강하접근(CDO)이 구현되기 어렵다. 이 구간에서 실질적으로 경제적 운항이 가능한 구간은

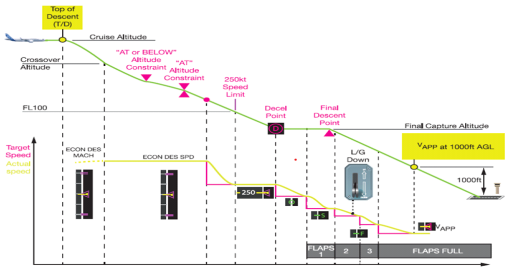

Fig. 6. Concept profile of aircraft descent

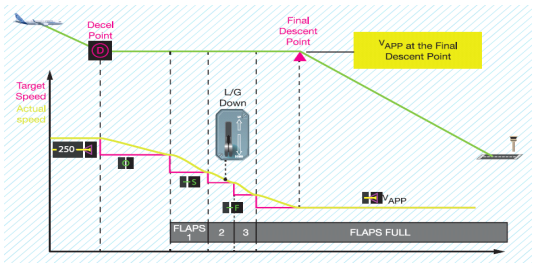

Fig. 7. Concept profile about aircraft approach

Fig. 7과 같이 최초 감속이 이루어지는 최초접근지점(IAF) 또는 그 부근부터 최종 외장의 변경이 완료되는 대략 1,500 FT 지점까지로 이 구간이 운항승무원의 업무가 가장 바쁜 시점이기도 하고 관제사와의 호흡이 가장 중요한 시점이라고 할 수 있다[6].

2.2.4 최종 접근 비행의 저해 요인 및 energy management

강하하는 항공기의 에너지 수준은 크게 중량과 속도, 고도, 외장 정도, 기타 항력 장치 등의 작용에 따라 결정되며 운항승무원은 강하 비행 단계별로 항공기의 에너지의 적절한 수준으로 관리하며 표준계기도착절차를 수행함에 무리가 없도록 자동조종장치와 장비 등을 활용하여 외장 변화와 비행경로 등을 조절한다. 안정적인 접근 과정을 거쳐 최종접근속도(vapp)에 이르게 되고 이를 유지하기 위한 필요 추력(required thrust)으로 증가될 때까지 최소한의 추력(idle power)으로 접근이 지속되는 것이 가장 바람직하고 이를 구현하는 것이 경제적 운항의 근간이라 할 수 있다.

일반적으로 최종접근단계에서 항공기의 강하율은 기종, 무게, 진대기속도(true air speed), 기상 조건 등에 따라 좌우된다. 바람 방향에 따라 항공기의 대지속도(ground speed)도 영향을 받게 된다. 정풍(headwind)의 경우에 같은 거리를 진행하는 동안 더 많은 고도를 강하할 수 있지만 배풍(tailwind)의 경우는 반대의 결과로 불가피하게 항력 장치를 사용해야 하는 경우도 발생한다. 항공기의 진고도(true altitude)도 많은 영향을 미치게 되는데 외부온도가 높아질수록 진고도는 지시고도보다 높아지며 온도차가 클수록 오차가 증가한다.

계기접근절차가 높은 고도로 지정되어 있고 절차 중간에 수평비행 구간 없이 연속강하접근 개념으로만 설계된 경우는 계절에 따라서는 실제 진고도가 설정 고도보다 높아져 고도 및 속도의 처리는 물론 착륙 외장을 갖추는 것도 어려워져 불가피하게 항공기의 항력장치(speedbrake)뿐만 아니라 착륙장치(landing gear)를 사용하여 강하율을 증가시키거나 속도를 줄여야 하는 경우도 발생한다. 따라서 AIRBUS社에서는 이런 요소들을 감속 구간의 설치 여부와 항공기 강하성능과 함께 종합적으로 고려하여, 활주로 말단으로부터 대략 잔여거리 30 NM일 때 9,000 FT, 15 NM일 때 3,000 FT 정도의 최저고도제한을 절차에 반영하는 것을 추천하고 있다[7].

2.3 국내 표준계기도착절차 및 계기접근 절차 현황

항공기 강하성능과 FMS 장비의 조화로운 조합을 가능하게 하는 마지막 조각은 공항에 설치된 표준계기도착절차와 계기접근절차이다. 이런 절차들이 최소한의 제한사항으로 설계될 수 있다면 항공기의 안전 운항은 물론 경제성도 향상될 수 있을 것이다. 그러나 국내 주요 공항들의 절차를 고찰해 보면 FMS 장비에 근간한 효율적인 강하를 저해하는 요소들이 다수 존재하고 있어 불가피한 공역의 제한사항이 없다면 가능한 범위에서의 조정이 필요한 것으로 판단된다.

2.3.1 인천국제공항

2.3.1.1 표준계기도착절차(STAR)

현재 인천국제공항의 표준계기도착절차는 Table 4와 같이 11개의 절차가 있다. 입항하는 항공기는 활주로 방향에 상관없이 공항을 기준으로 대략 60 NM 지점에 설정된 entry point를 거쳐서 입항 절차를 수행해야 하고 이 지점들을 기준으로 첫접근지점(Initial Approach Fix, IAF)까지 표준계기도착절차가 설정되어 있다. 이 Entry Point의 관제 허가 고도 또는 설정고도가 강하속도와 함께 강하시작지점을 결정하는 중요한 변수라고 할 수 있다. 통상적인 관제는 entry

Table 4. RKSI STAR summary

STAR	IAF	Runway	IAF altitude	Distance (From entry point to IAF)
GUKDO 2C	BITIM	15L/R, 16L/R	3,000 ~ 3,500	91.4
KARBU 2C				81.8
OLMEN 2C				111.5
OLMEN 2H	MUNAN	15L/R	3,000	103.6
REBIT 2H				82.4
GUKDO 2H		16L/R	1,600 ~ 2,000	150.3
KARBU 2H				140.7
GUKDO 2E	ENPIL	33L/R	7,000	82.4
KARBU 2E				85.8
OLMEN 2E				81.5
REBIT 2A	PAMBI	33L/R, 34L/R	1,600 ~ 3,600	67.3

point를 대략 FL 180로 통과 허가를 발부하고 있는데 이 entry point 이후의 지점에 같은 고도 제한이 설정되어 있어 불필요한 수평비행으로 이어져 연속강하접근이 어렵다는 것이다.

현재 운영 중인 절차인 GUKDO, KARBU & OLMEN 2C (Fig. 8 참조), GUKDO, KARBU & OLMEN 2E (Fig. 9 참조), GUKDO, KARBU 2H(Fig. 10 참조), OLMEN, REBIT 2H(Fig. 11 참조)의 경우, 수용량 증대를 목적으로 트럼본, 포인트 머지 등의 기법이 포함된 절차가 설정되어 있다. FMS 장비는 현재 설정된 트롬본 및 포인트 머지 기법을 포함하는 절차의 최대 비행거리를 기준으로 최적의 강하시작지점(TOD)을 계산

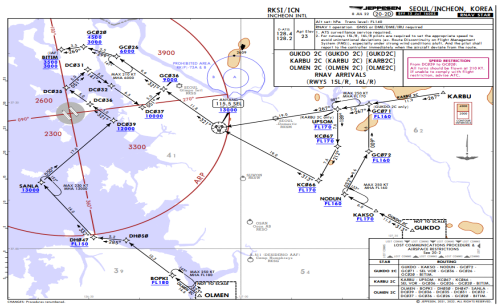

Fig. 8. GUKDO, KARBU & OLMEN 2C RNAV

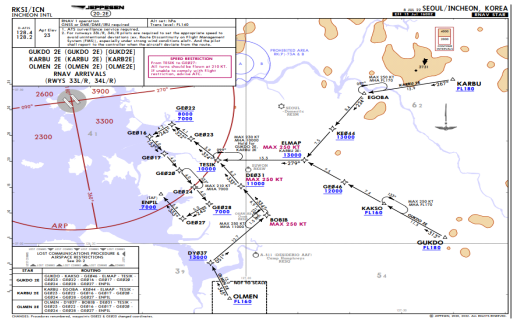

Fig. 9 GUKDO, KARBU & OLMEN 2E RNAV

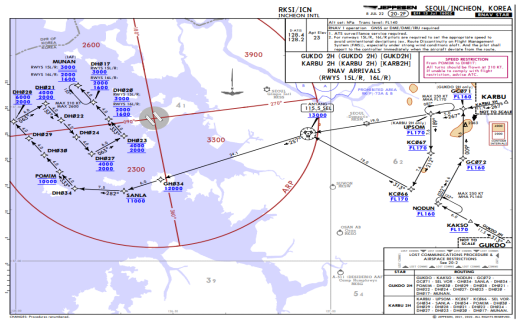

Fig. 10. GUKDO, KARBU 2H RNAV

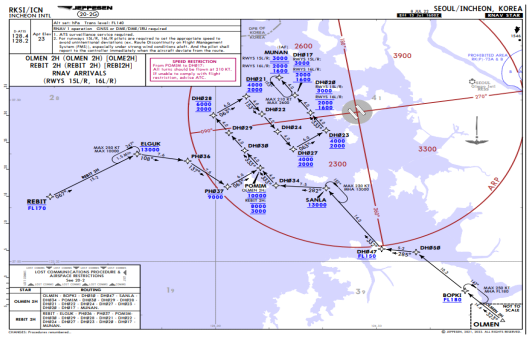

Fig. 11. OLMEN & REBIT 2H RNAV

하여 제시한다. 하지만 실제 비행거리와 절차상의 최대 비행거리가 상이한 경우가 대부분이다. 예를 들어 Table 4의 GUKDO 2H 절차의 경우, 설치 거리 150.3 NM 대 비 실제 비행거리는 설치 거리의 80% 수준을 보이는 등 다소 과도하게 설정된 항로는 강하시작지점 결정에 왜곡을 유발하여 강하접근으로의 전환이 늦어지게 되어 경제적 운항에 부정적 영향을 미치게 한다. 추가적인 항로의 설정 지점도 강하시작지점(TOD)전의 외곽 항로가 아닌 10,000 FT 이하 공역의

최종접근구간 위주로 설치되어 있어 경제성 있는 비행이 어려워 개선의 여지가 있다고 할 수 있다.

2.3.1.2 계기접근절차(IAP)

2.3.1.2.1 BITIM, MUNAN을 경유하는 접근절차

활주로 15L/R와 16L/R의 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근절차를 강하 프로파일을 기준으로 분석하면 Figs. 12~17과 같다. 활주로 15L/R(Fig 12~15)의 경우 활주로 말단에서부터 MUNAN IAF까지 거리를 계산하면 각각 17.4, 17.1 NM이고 설정된 고도는 각각 3,000 FT로 일반적인 3도의 강하각으로 대략

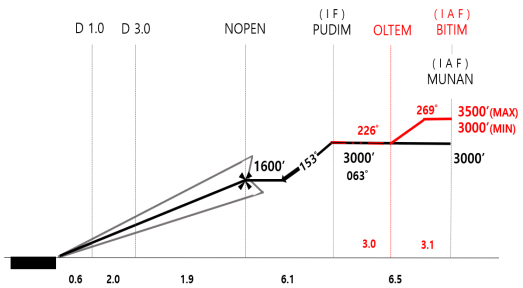

Fig. 12. ILS Y 15L

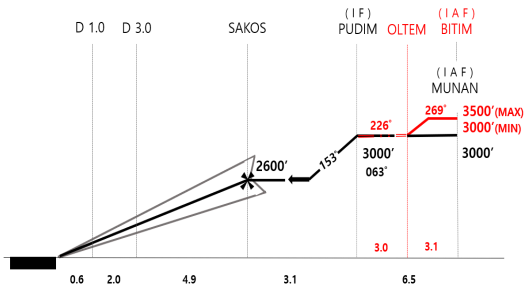

Fig. 13. ILS Z 15L

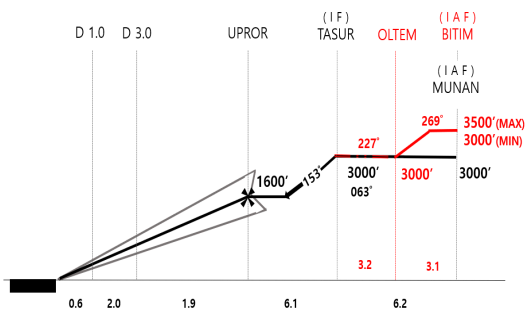

Fig. 14. ILS Y 15R

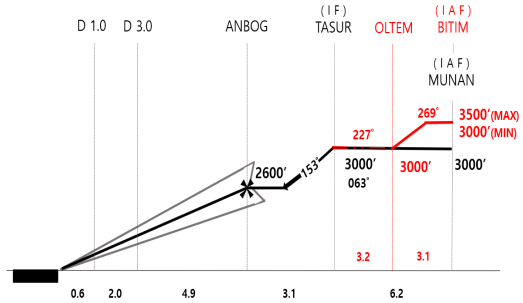

Fig. 15. ILS Z 15R

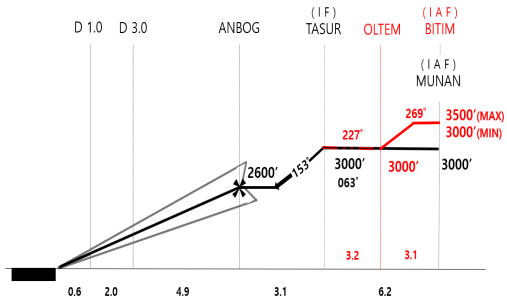

Fig. 16. ILS 16L

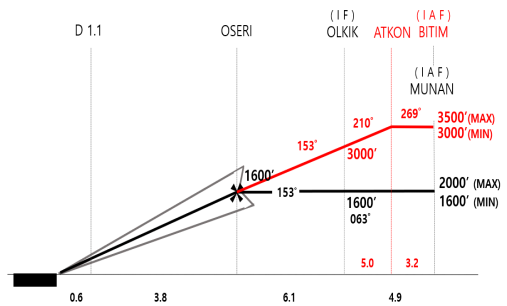

Fig. 17. ILS 16R

4,500 FT 정도가 경제적인 강하 접근을 위한 적절한 고도임을 고려하면 다소 낮게 설정되어 있어 경제적인 비행이 어렵고 수평비행을 할 수 밖에 없는 설계 구조로 되어 있다. 활주로 16L/R(Figs. 16~17)의 경우, 활주로 말단에서부터 MUNAN IAF까지 거리를 계산하면 각각 15.8 NM이며 특히 동일 MUNAN IAF를 사용하는 16L/R 접근의 설정 고도는 1,600-2,000 FT로 되어 있어 경제적인 비행을 하기 매우 어려운 구조로 되어 있다. 또한 MUNAN 이후 접근 비행을 통한 LOC Capture 각도가 90도로 설정되어 있어 Radar Vectoring을 통한 유도가 아닌 경우에는 Overshoot

될 가능성이 상존한다.

2.3.1.2.2 PAMBI, ENPIL을 경유하는 접근절차

활주로 34L/R와 33L/R을 위한 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근의 경우를 강하 프로파일을 기준으로 분석하면 Figs. 18~21과 같다. 활주로 34L/R와 33L/R의 경우 활주로 말단에서부터 PAMBI IAF까지 거리를 계산하여 보면 각각 20.3, 20.5, 21.6, 21.9 NM이지만 설정된 고도는 각각 활주로 34L/R의 경우는 1,600 FT, 33L/R의 경우는 3,600 FT로써 일반적인 접근 강하각인 3도를 고려하면 다소 낮게 설정되어 있음을 확인할 수 있다. 특히 34L/R의 경우는 고도가

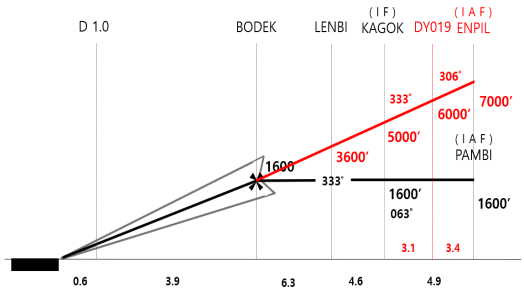

Fig. 18. ILS 34L

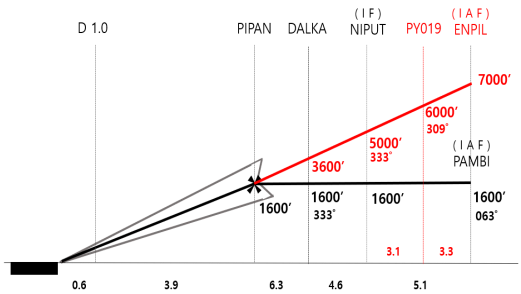

Fig. 19. ILS 34R

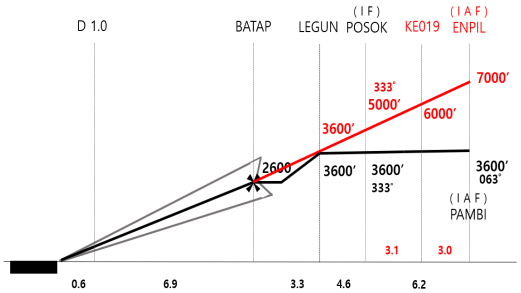

Fig. 20. ILS 33L

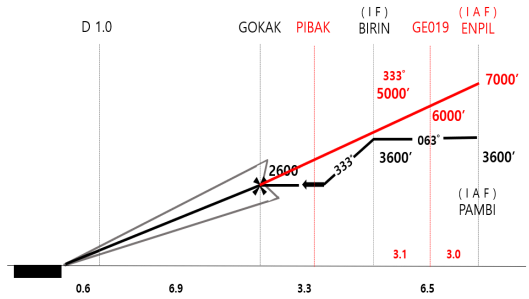

Fig. 21. ILS 33R

과도하게 낮게 설정이 되어 특히 34L/R 접근의 경우 PAMBI의 이전 FIX인 CW005로부터 거리가 10.0 NM인데, 처리하여야 할 고도가 5,600 FT로 사실상의 고도 처리가 매우 어렵게 설정되어 있고 과도한 수평비행 구간으로 인하여 경제적인 접근 비행에는 상당히 저해 요인으로 작용한다.

ENPIL IAF를 기점으로 하는 접근 절차는 34L/R와 33L/R가 동일하게 7,000 FT로 설정되어 있지만 활주로 말단으로부터 거리가 각각 21.9, 21.8, 21.5, 21.5 NM로 다소 여유없이 설정되어 있고 그 거리 또한 IAF의 역할 측면에서 보면 다소 먼 거리에 설정된 것이 사실이다. 그리고 강하각의 설정이 일률적인 3도로 되어 있고 1,000 FT 강하를 위한 지점간의 거리도 3.0 NM로 다소 좁게 설정되어 있어 기상 조건에 따라서는 고도와 속도의 처리에 어려움이 있다. 특히 여름철과 같이 기온이 높아지는 경우는 진고도가 상승하여 고도와 속도 처리에 어려움이 가중되고 있는 것이 현실이다.

2.3.2 제주국제공항

2.3.2.1 표준계기도착절차(STAR)

현재 제주국제공항에 입항하는 항공기를 위한 표준계기도착절차(STAR)는 Figs. 22, 23과 같고 모든 entry point에서 포인트 머지(point merge)절차가 설치되어 있다. 본 연구에서는 설치된 절차의 거리와 설정된 고도 및 속도의 제한사항을 고려하여 절차의 합리성을 고찰하였다. 제주국제공항은 입지적으로 한라산을 배경으로 하는 섬이라는 특징이 있어 입항하는 항공기가 표준계기도착절차를 시작하는 entry point가 6개 설치되어 있으며, 이를 연결하는 표준계기도착절차가 다소 복잡한 형태의 포인트 머지(point merge) 절차로 구성되어 있다. 활주로 07의 절차는 Fig. 22와 같이 YUMIN IAF로 수렴되도록 설계되어 있는데 17.0 NM

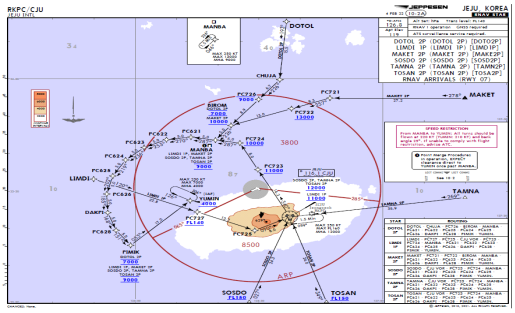

Fig. 22. STAR for Runway 07

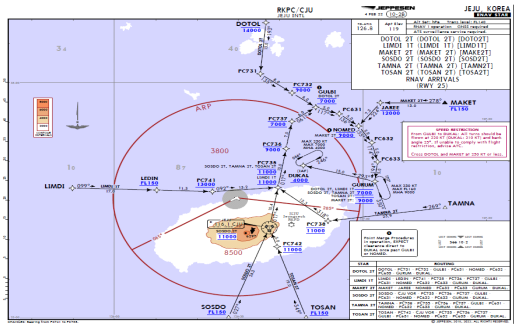

Fig. 23. STAR for Runway 25

떨어진 그 이전 FIX인 PIMIK의 고도가 7,000 FT 또는 9,000 FT로, 그리고 그 이전 FIX 제한되어 있어 전체적인 입항 절차의 거리를 고려하면 과도하게 낮게 설정되어 있어 구조적으로 수평비행을 하도록 설계되어 있다.

2.3.2.2 계기접근절차(IAP)

2.3.2.2.1 YUMIN, AKBIN을 경유하는 접근절차

활주로 07을 위한 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근절차의 경우 Fig. 24와 같이 활주로 시단에서부터 YUMIN까지 거리 15.4 NM에 3° 강하각을 고려하면 설정된 4,000 FT는 정상적인 감속 과정을 거쳐 착륙에 필요한 외장 변경을 하고 안정된 접근을 하는데 문제가 없다. 9.4 NM에 위치한 다음 FIX인 LIMSO는 약 1.0 NM 정도 앞으로 이동하여 설정하면 현행 절차보다 LOCALIZER INTERCEPT 각이 작아지게 되어 보다 유연하게 최종 접근구간에 진입할 수 있음은 물론 항적의 간격 분리가 보다 용이할 것으로 판단된다.

Fig. 25의 AKBIN IAF를 경유하는 절차는 YDM

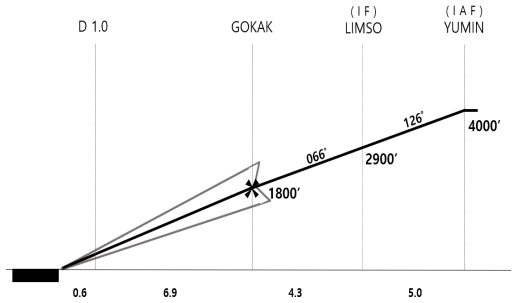

Fig. 24. ILS Z 07

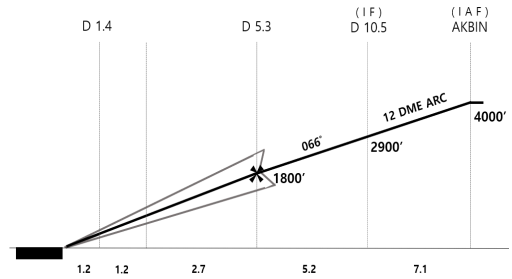

Fig. 25. ILS Y 07

VOR 12NM DME ARC를 이용한 절차로써 활주로 말단 기준 대략 14 NM의 거리에 설정되어 있어 역시 안정된 접근에 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.3.2.2.2 DUKAL을 경유하는 접근절차

활주로 25를 위한 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근의 경우 Fig. 26과 같이 활주로 끝에서부터 DUKAL까지의 거리가 15.4 NM이며 3도의 강하각을 계산하면 절차상의 설정 고도는 4,000 FT로 이를 활용하여 정상적인 감속 과정을 거쳐 착륙에 필요한 외장을 변경하고 안정된 접근의 실현에 문제가 없다.

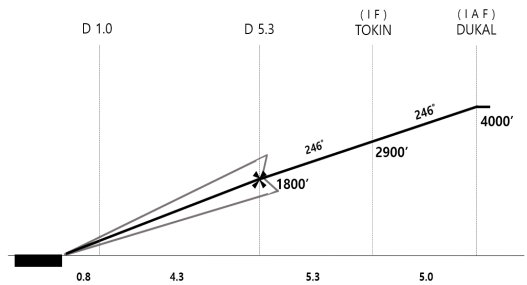

Fig. 26. ILS Z 25

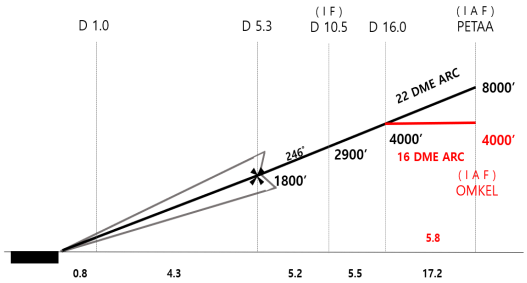

Fig. 27. ILS Y 25

2.3.2.2.3 OMKEL, PETAA를 경유하는 접근절차

활주로 25를 위한 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 정밀계기접근의 경우 Fig. 27과 같이 활주로 끝에서부터 OMEKEL, PETAA 까지 거리가 각각 15.4 NM이며 3도의 강하각을 계산하면 절차상의 고도는 각각 4,000 FT와 8,000 FT로 설정되어 있어 이를 활용하여 정상적으로 속도를 줄이면서 착륙 외장을 갖추고 안정된 접근을 하는 데 문제가 없는 것으로 보인다. 실제로 이 첫접근지점(IAF)를 경유하는 접근은 드물게 이루어지지만 OMKEL을 경유하는 접근의 경우 접근 경로의 거리에 대비하여 고도가 4,000 FT로 지나치게 낮게 설정되어 있어 경제성 있는 강하 접근이 이뤄지기 어렵다고 볼 수 있다.

Ⅲ. 결 론

인천국제공항과 제주국제공항의 표준계기도착절차는 관제사의 업무부담을 줄이고 공역을 효과적으로 관리할 수 있는 신개념의 절차로 주목받고 있으나, 국내 여건상 물리적으로 좁은 공역과 여러 제한공역 등의 이유로 절차의 비행경로 거리나 고도 제한사항을 특수하게 설정하고 있다. 이러한 설정으로 항공기 강하성능과 FMS를 활용한 연속강하접근 관점에서 비효율성의 존재를 확인할 수 있었다.

연구 대상 공항들의 표준계기도착절차(STAR)에서 확인된 비효율성을 극복하기 위해서는 절차를 기준으로 계산된 FMS 강하시작지점(TOD)에서 운항승무원의 요구에 따라 강하가 이루어질 수 있도록 하고, 절차의 수정을 통해 수평비행 구간의 최소화가 필요하다고 판단된다. 특히, 신개념의 트롬본, 포인트 머지 절차에 수용량 확대를 위해 설정된 추가적인 경로는 연속강하접근에 방해가 되는 요소로 작용하고 있어 실제 항적 기준으로 현실을 반영하여 최적화하거나, 항적이 많지 않은 시간대를 위한 별도의 절차 운영 검토가 필요한 것으로 생각된다. 그리고 표준계기도착절차의 최종지점인 첫접근지점(IAF)를 Figs. 28, 29의 예시와 같이 이원화하면 합리적인 고도 설정이 가능하게 되어 연속강하접근의 실현에 도움이 될 것으로 판단된다.

항공기의 강하속도를 규정화하는 방법도 강하속도 차이에 따른 거리 분리를 위한 관제 개입을 줄일 수 있는 합리적인 대안이 될 수 있다. 강하접근시작지점(TOD)전 또는 강하경로에 HOLDING 지점을 설정, 입항 순번을 사전에 배정하고 강하 이후에는 연속강하접근이 가능하도록 절차 개선을 하는 것도 가능한 대안이다.

계기접근절차의 경우, 접근구역내에 특별한 장애물이나 제한사항이 존재하지 않고 공역에 여유가 있는 경우에는 계기착륙장치(ILS)를 사용하는 절차를 Fig. 30의 예시를 참고하여 설계하는 것을 제안한다. 먼저 첫접근지점(IAF)에 상관없이 15 NM에 중간접근지점(IF)을 지정, 4,000 FT의 고도제한, 11 NM에 190 KT의 속도제한, 그리고 9 NM에 최종접근지점(FAF)을 고도 2,600 FT로 각각 설정한다. 이렇게 설계하면 운항승무원은 대략 17~18 NM 지점에 4,000 FT를 목표로 설정하여 강하를 계획할 수 있다. 4,000 FT에서 감속을 시작하

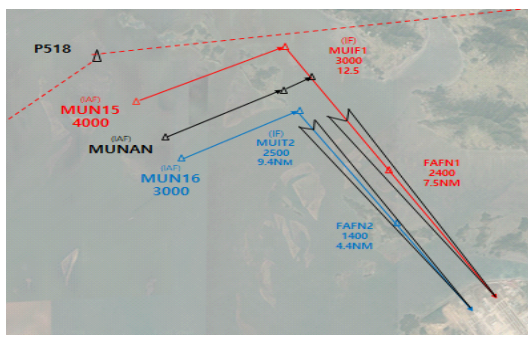

Fig. 28. RWY 15/16 IAF 이원화 개념도

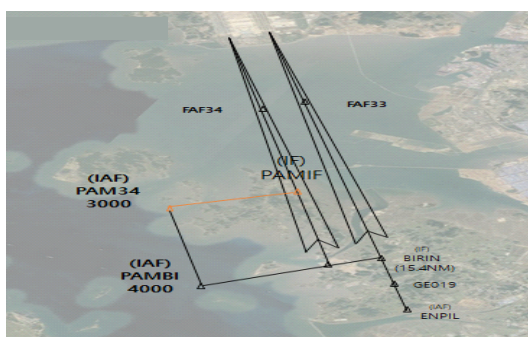

Fig. 29. RWY 33/34 IAF 이원화 개념도

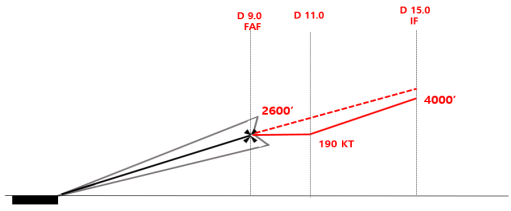

Fig. 30. Alternation 1 for IAP (ILS APP 기준)

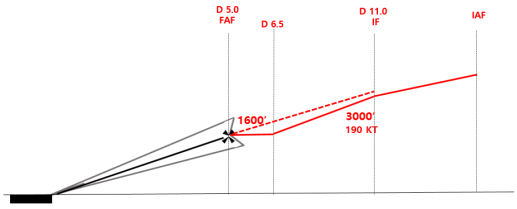

Fig. 31. Alternation 2 for IAP (ILS APP 기준)

여, 항공기 외장 변경 없이 가능한 최저속도(Table 1, 2, 3 참조)인 약 210 KT까지 1차 감속하고, 고양력장치인 SLAT 또는 FLAP을 내려 2차 감속한다. 이후 다음 설정 고도인 11 NM에 2,600 FT와 190 KT를 위해 추가로 강하하거나, 접근 허가를 득하였을 때는, 수평비행을 통한 활공각 신호(glide slope)를 capture하고 최종적인 착륙 외장을 완성함으로써 안정적인 접근과 공역 활용도를 높일 수 있을 것이다.

다른 예시인 Fig. 31은 공역의 여유가 없을 경우를 위한 절차 설계로 첫접근지점(IAF)부터 곡선 구간 등을 통하여 11.0 NM 지점에 중간접근지점(IF) 설정하고 3,000 FT의 고도 제한과 190 KT의 속도 제한을 둔다. 계속하여 최종접근지점(FAF) 1,600 FT로 추가 강하하거나, 접근 허가를 취득하였을 경우는 수평비행을 통한 효과적인 감속을 거쳐 활공각 신호를 Capture하고 접근을 계속할 수 있다.

아울러 국내 표준계기도착절차 및 최종접근절차의 효과적 개선을 위해서는 관계기관의 유기적인 협력과 지속적인 노력이 절실히 필요하며, 실제 항적과 항공기 운항성능을 현실적으로 반영한 시뮬레이션 연구 도입이 적극적으로 검토되어야 할 것이다. 끝으로 본 연구 결과가 절차 설계에 고려됨으로써 항공기 운항 안정성 및 경제성 제고에 이바지할 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 “데이터기반 항공교통관리 기술개발(과제번호 : RS-2021-KA163373)”의 연구지원으로 수행되었습니다.

References

1. 항공 안전법 시행규칙 제172조, “시계 운항 기상기준”, 2022.
2. AIRBUS社, “Flight Operations Briefing Notes, Approach Techniques”, 2005.
3. AIRBUS社, “A330 Flight Crew Operation Manual”.
4. AIRBUS社, “Aircraft Energy Management during Approach”, 2005.
5. AIRBUS社, “Aircraft Energy Management in Descent Phase using FMS”, 2013.
6. AIRBUS社, “Control Your Speed during Descent, Approach & Landing”, 2017.
7. AIRBUS社, “Flight Operations Briefing Notes Descent Management”, 2006.