

인천공항 도착항공기의 안전 및 효율 향상을 위한 표준접근절차 수정방안 연구

Proposed STAR Procedure of Incheon International Airport Considering Safety and Efficiency

장 재 호

한국항공대학교 항공운항학과

Jaeho Chang

Department of Aeronautical Science & Flight Operation, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 10540, Korea

[요 약]

항공안전 및 공역활용도를 높임과 동시에 항공기 소음, 조종사 관제사간의 교신, 연료소모 및 배기가스 등을 효과적으로 줄일 수 있는 연속강하접근절차는 세계적으로 큰 기대를 모으며 확대 적용되고 있으며 한국에서도 많이 적용되어 환경적, 경제적 차원에서 많은 도움이 될 것으로 예상된다. 그러나 인천국제공항의 표준접근절차들을 면밀히 살펴본 결과 접근절차 중 일부절차의 최초접근지점에서의 고도제한이 다른 절차들에 비해 상대적으로 높아 조종사들이 연속강하접근절차의 목적에 역행하여 불필요한 항력장치를 사용하여야하는 경우가 종종 발생한다. 따라서 일부절차상의 문제점을 검토하여 연속강하접근절차의 취지에 맞도록 절차변경을 함으로써 안전하고 효율적이며 친환경적인 항공운항에 이바지하려한다.

[Abstract]

Since continuous descent operations (CDO) is one of several tools available to aircraft operators and air navigation service providers (ANSPs) to increase safety, flight predictability, and airspace capacity while reducing noise, controller-pilot communications, fuel burn and emissions, widespread implementation of CDO would result in significant reductions in the environmental impact and aircraft operation costs in south korea as well. After analyzing each procedure from standard terminal arrival routes used for the Incheon international airport, it can be noticed that one of the procedures has a relatively high altitude constraint at initial approach fix than others, which lead the pilots to use unnecessary drag device in certain situations. Therefore we came to a conclusion that some arrival procedures need to be revised, so unnecessary procedure required during approach can be minimized, thereby reducing fuel consumption, noise and emissions compared to current approach procedures. And it is going to increase the safety margin significantly during approach phase due to reduced workload.

Key word : Continuos descent operations, Energy management, Point merge procedure, Stabilized approach, Standard terminal arrival route.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.292>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 June 2016; Revised 20 July 2016

Accepted (Publication) 27 August 2016 (30 August 2016)

*Corresponding Author; Jaeho Chang

Tel: +82-2-300-0086

E-mail: jhchang@kau.ac.kr

I. 서 론

국토교통부 보도 자료에 따르면 지난해 인천공항 교통량은 전년대비 연평균 5.1% 증가하였으며 이에 따라 인천공항을 이용하는 항공기도 일평균 2014년 810대에서 2015년 851대로 증가하였다[1]. 많은 양의 항공이 이착륙하는 과정에서 항공안전을 위한 항적간의 효율적인 거리분리, 인구 밀집지역 상공의 소음문제고려, CO₂배출에 관한 환경문제 등 여러 가지 요소를 고려하여 안전하고 효율적인 접근절차를 마련하기 위해 국제적으로 범용되는 포인트 머지 절차(point merge procedure)나 연속강하접근절차(continuous descent operation) 등이 널리 활용되고 있다.

포인트 머지 절차는 전 세계적으로 증가하는 항공 교통량을 보다 효율적으로 처리할 새로운 관제 기법으로 주목 받고 있으며, 유럽을 시작으로 많은 항공 선진국들이 이를 도착절차에 적용하고 있다. 우리나라 또한 인천공항을 필두로 하여 교통량이 많은 공항을 중심으로 포인트 머지 절차를 적용하고 있다. 포인트 머지 기법(point merge system)은 RNAV 표준 도착 절차나 첫 접근 또는 전환 접근 절차, 혹은 그 일부분을 의미한다. 또한 포인트 머지 기법은 교통량을 한곳으로 수렴하게 하는 머지 포인트(Merge Point)와 항공기 경로를 늘리거나 줄여 항공기를 분리할 수 있는 미리 설정된 항공기 분리 레그(sequencing legs)를 가져야 한다[2].

포인트 머지 기법은 기존의 레이더 유도 방식에 비해 관제사와 조종사의 업무량을 줄이고, 교통 흐름의 예측성을 증가시켜 항공기 운항의 안전성을 높이며, 연속강하운항을 가능하게 하여 연료소비 절감 효과를 거둘 수 있다고 알려져 있다. 또한 항공기 연료 소모와 소음, 환경오염물질의 감축을 위하여 사용되는 연속강하접근 절차는 항로단계에서부터 착륙을 위해 활주로에 이르기까지 최적의 하강각도를 유지하여 비행안전 및 효율성을 극대화하는 절차로서 그 중요성이 더욱 주목받고 있다.

요즘 대부분의 항공기는 활주로까지 유도되는 과정에서 표준접근절차(STAR; standard terminal arrival route)를 따라 접근하는데 유능한 운항승무원은 항로에서부터 고도, 속도 등 항공기의 운동에너지와 위치에너지에 온도, 기압, 바람 등 항공기 성능에 영향을 미치는 요소들을 고려하여 지속적으로 적절한 수직상의 경로를 계산하고 현 항공기의 수직경로에 대한 적절성을 판단하여 가능한 한 중간에 수평비행이나 불필요한 기동 없이 원하는 활주로로 접근하는 것을 우선시 하고 있다. 그러나 인천공항의 경우 R/W 33나 R/W 34로 착륙접근 시 사용되는 최초접근지점(initial approach fix)중 가장 많이 사용되는 지점중의 하나인 PULUN에서의 고도제한사항이 상대적으로 높아 이로 인한 높은 고도처리를 위하여 조종사는 불필요한 항력발생장치를 사용하여야하고 그로인한 연료소모를 증가시켜 경제적인 손실과 더불어 필요 이상의 탄소배출로 인하여 환경문제도 증가시키고 있다. 뿐만 아니라 기존의 경험으로 이미 높아질 것

을 알고 있는 대부분의 숙련된 조종사들은 많은 에너지를 처리하려고 미리 속도를 줄이는 등 불필요한 절차를 수행하게 되고 그로 인하여 후속항적과의 거리 분리가 줄어들거나 가장 바쁜 시기에 불필요한 업무 발생으로 인하여 업무 부담이 증가하여 안전운항에 저해가 된다. 이에 표준접근절차의 고도제한사항을 개선함으로써 불필요한 경제적 손실을 막고 비행안전을 향상시키는 방안을 제시하려한다.

II. 인천국제공항 표준접근절차

2-1 연속강하접근

연속강하접근은 항공기 소음, 배출가스 발생 및 연료소모가 가장 많은 수평비행구간을 최첨단 항법 장비를 활용, 착륙지점까지 가장 최적의 하강 각도로 비행하여 항공기 소음, 조종사와 관제사간의 통신 및 연료사용 등을 감소시키는 동시에 안전, 비행예측 및 공역 수용량을 증가할 수 있는 방안으로 제시되고 있다[3]. 항공기의 성능에 최적화된 수직경로를 최소한의 엔진작동과 최저 항력 외장을 유지하여 공항 접근 중 연료소모와 배출가스 발생을 줄이는 항공운항기술이며 적절한 공역/접근절차 디자인 및 관제기관과의 협조가 필요하다[4].

연속강하접근을 위해 가장 이상적인 항공기의 수직 경로 각도는 항공기 유형, 실제 중량, 바람, 온도, 대기압, 결빙 상태 및 다양한 항공 역학적 요소 등에 따라 달라지나 효율적인 연속강하접근을 위하여 연료소모율이 비교적 적은 항로단계의 TOD(top of descent)로부터 시작하여 최종접근지점(final approach fix)이나 계기착륙시설(instrument landing system)과 같은 착륙유도시스템으로 연결되도록 계획하여야 하고 저고도에서의 수평비행구간이나 타 항적과의 거리분리를 위한 기동을 최소화 하여야한다[4].

비교적 항적이 적은 공항을 위해 쉽게 표준계기절차를 디자인 할 때는 접근 강하각을 2°에서 3.3°사이에서 디자인하면 크게 무리는 없으나 대부분의 정밀계기접근절차의 경우 활주로에서 최종접근지점까지는 3°로 디자인하고 최종접근지점에서 중간접근지점(intermediate fix)사이에는 3°보다 완만한 경사로 디자인하여 항공기별 착륙외장에 적합한 속도로 감속할 여력을 제공하며 안정된 접근을 할 수 있도록 하고 있다[4].

참고로 우리나라 항공운송사업용으로 가장 많이 운용하는 기종 중에 하나인 보잉사의 B-737-800기종의 제작사 교범을 검토해본 결과 연속강하접근을 계획할 시 대략 300 ft/NM의 수직 경로 각도, 즉 3°로 강하를 계획할 것을 추천하고 있으며[5] 보잉사의 다른 기종 및 에어버스사의 기종도 크게 차이가 없다. 따라서 강하계획 시 300 ft/NM의 경사도에 속도감속을 위한 여력을 고려하여 접근을 계획하는 것이 추천되며 3°강하각보다 큰 강하각으로 접근이 이루어질 경우에는 상대적으로 많은 위치에너지를 상쇄하기 위하여 항력장치를 사용하여 원하는 수직경로로 재진입하여야 한다[6].

2-2 인천국제공항 표준접근절차 현황

인천국제공항에서 현재 항로에서부터 최초접근지점까지 수립·운용 중에 있는 표준계기접근절차에 대한 개요는 그림 1과 같고 각각의 절차를 활주로 및 최초접근지점 등 유형 별로 요약 정리하면 표 1과 같다.

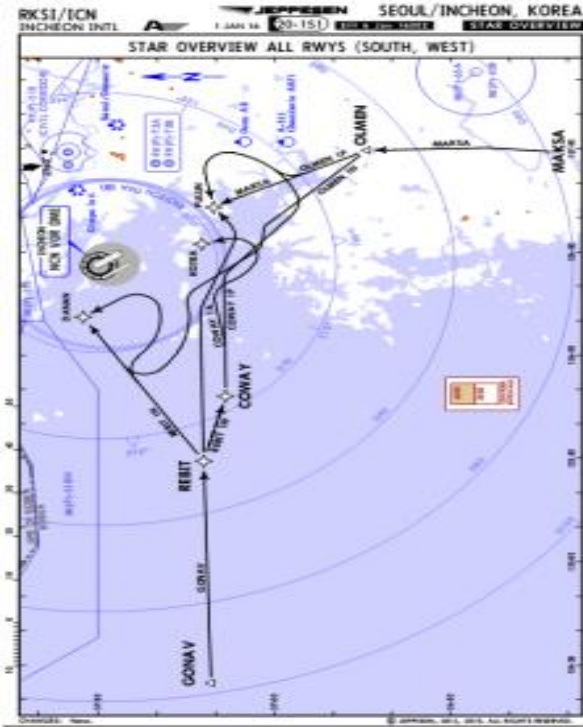


그림 1. 인천국제공항 표준계기접근절차
Fig. 1. RCSI STAR overview.

표 1. 인천국제공항 표준계기접근절차 운용현황
Table 1. RCSI STAR summary.

RUNWAY	STAR	Initial Approach Fix	IAF Altitude (AT of above)
RWY 15L/R	ANYANG 1T	TIMON	4000'
	ANYANG 2E	BENSE	6000'
	GUKDO 1A	COPUS	6000'
	KARBU 1A		
RWY 15L/R, 16	GUKDO 1N	DANAN	5000'
	KARBU 1N		
	OLMEN 1N		
	REBIT 1N		
RWY 33L/R	BIKSI 1M	PULUN	7000'
	CUN 1M		
	GONAV 2M		
	MAKSA 1M		
RWY 33L/R, 34	COWAY 1P	KOTRA	4000'
	OLMEN 1P		
	GUKDO 1P		
	KARBU 1P		
	COWAY 1A		

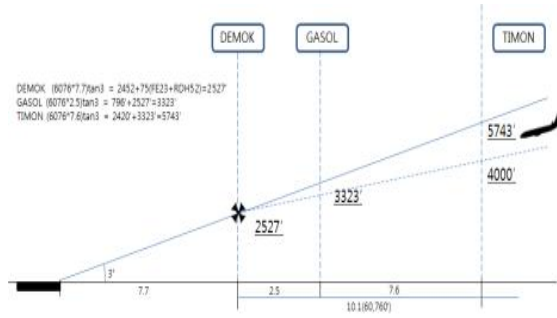


그림 2. 활주로 15L/R ILS Z 접근절차 측면도
Fig. 2. ILS Z RW 15L/R Profile View.

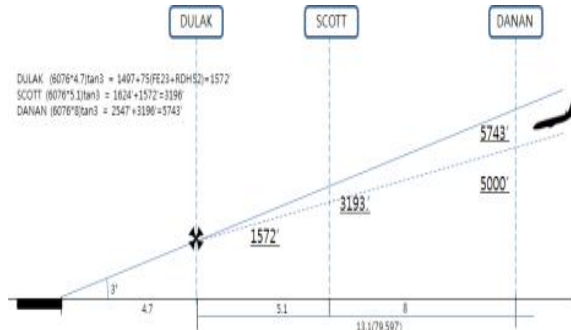


그림 3. 활주로 15L/R ILS Y 접근절차 측면도
Fig. 3. ILS Y RW 15L/R profile view.

2-3 인천국제공항의 다른 절차와의 비교분석

인천국제공항의 정밀계기접근에 사용되는 최초접근지점에 따라 다음과 같이 접근단계에서의 거리에 따른 고도를 비교 분석함으로써 속도 및 고도를 안정적으로 처리하면서 착륙의 장 및 착륙접근속도로의 감속에 적절한지를 살펴보려한다.

1) TIMON을 경유하는 접근절차

활주로 15L/R을 위한 정밀계기접근의 경우 그림 2와 같이 활주로 끝에서부터 TIMON까지의 거리에 3°강하각을 계산하면 5,743 ft이고 절차상의 고도는 4,000 ft 이상을 유지하도록 되어 있어 항공기가 TIMON을 4,000 ft로 통과 시 1,743 ft의 여유 고도를 가지게 된다. 조종사는 이를 활용하여 정상적으로 속도를 줄이면서 착륙외장을 갖추고 안정된 접근을 하는데 문제가 없다.

2) DANAN을 경유하는 접근절차

활주로 15L/R을 위한 정밀계기접근의 경우 그림 3과 같이 활주로 끝에서부터 DANAN까지의 거리에 3°강하각을 계산하면 5,743 ft이고 절차상의 고도는 5,000 ft 이상을 유지하도록 되어 있어 항공기가 DANAN을 5,000 ft로 통과 시 743 ft의 여유 고도를 가지게 된다. 조종사는 이를 활용하여 정상적으로 속도를 줄이면서 착륙외장을 갖추고 안정된 접근을 하는데 문제가 없다.

2-4 기상 여건을 고려한 에너지관리 분석

항공기의 강하율은 다양한 조건에 따라 유동적이지만 일반적으로 최종접근단계에서는 항공기의 종류, 항공기의 무게, 항공기의 외장에 따른 진대기속도 (true air speed), 기상여건에 따라 좌우된다. 동일 기종 항공기의 무게 및 외장은 동일하다고 가정하고 정풍이 많이 불 경우에는 접근에 적합한 진대기속도는 변함없으나 대지속도 (ground speed)는 작아져 같은 거리를 진행하는 동안 더 많은 고도를 강하할 수 있다. 반대로 배풍이 많이 부는 경우에는 같은 거리를 진행하는 동안 강하할 수 있는 고도가 상대적으로 작아서 접근절차 디자인상에서 고도처리에 충분한 여유가 없다면 항력장치를 사용하여야하는 경우가 자주 발생한다.

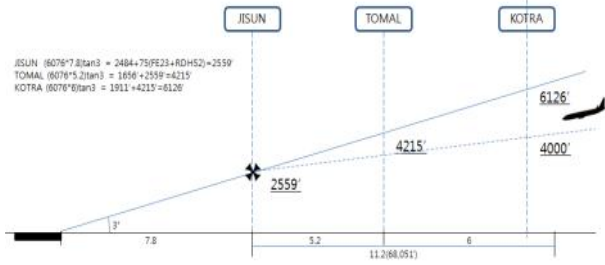


그림 4. 활주로 33L/R ILS 접근절차 측면도
Fig. 4. ILS RW 33L/R profile view.

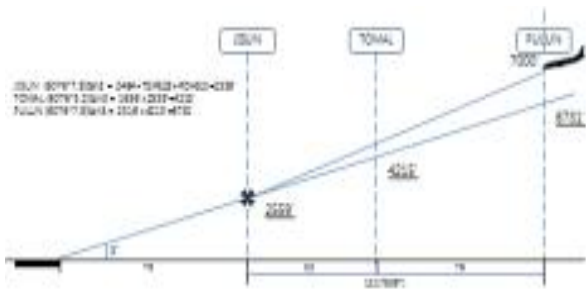


그림 5. 활주로 33L/R ILS 접근절차 측면도
Fig. 5. ILS RW 33L/R profile view.

3) KOTRA를 경유하는 접근절차

활주로 33L/R을 위한 정밀계기접근의 경우 그림 4와 같이 활주로 끝에서부터 KOTRA까지의 거리에 3°강하각을 계산하면 6,126 ft이고 절차상의 고도는 4,000 ft 이상을 유지하도록 되어있어 항공기가 KOTRA를 4,000 ft로 통과 시 2,126 ft의 여유 고도를 가지게 된다. 조종사는 이를 활용하여 정상적으로 속도를 줄이면서 착륙외장을 갖추고 안정된 접근을 하는데 문제가 없다.

4) PULUN을 경유하는 접근절차

활주로 33L/R을 위한 정밀접근절차의 경우 그림 5와 같이 활주로 끝에서부터 PULUN까지의 거리에 3°강하각을 계산하면 6731 ft이고 절차상의 고도는 7000 ft 이상을 유지하도록 되어있어 항공기가 PULUN을 7000 ft로 통과할 경우 착륙외장을 갖추기 위해 속도를 줄일 수 있는 여유 고도가 전혀 없고 오히려 적절한 고도보다 높은 고도에 위치하게 된다. 따라서 미리 속도를 많이 감속시켜 최초접근지점을 통과하거나 통과 후 다양한 항력장치를 사용하여 고도를 처리해야만 겨우 정상적인 접근경로로 재진입 할 수 있으며 여름처럼 평균해수면의 외기온도가 국제표준대기 (international standard atmosphere) 온도인 15 °C보다 높거나 접근 경로 상에 배풍이 부는 경우에는 속도 및 고도를 처리하는데 더욱 곤란한 상황에 처한다.

그리고 간과하지 말아야하는 또 한 가지 중요한 사항은 항공기의 고도계는 측정된 기압을 수치로 해석하여 시현하는 지시고도 (indicated altitude)이며 진고도 (true altitude)를 나타내는 것이 아니어서 외부 기상상태에 따라 오차를 발생한다. 여러 가지 기압고도계 오차 중 기준 기압 차이에 따른 오차는 최근의 기준기압정보를 보정해 줌으로써 크게 오차가 발생하지 않지만 온도 변화에 따른 오차는 그러하지 아니하다.

그림 6에서처럼 국제표준대기 온도보다 온도가 낮아질수록 진고도는 지시고도보다 낮아지고 온도가 높아질수록 진고도는 지시고도보다 높아지며 온도차가 많을수록 오차가 증가한다. 이와 같은 외기 온도에 따른 진고도와 계기고도와의 상관관계로 인하여 겨울철에는 비행장 온도가 0 °C 이하가 되면 적절한 장애물안전고도를 지속적으로 유지하기 위해 저온에 따른 온도보정절차 (cold temperature correction)를 실시하도록 규정되어 있으나 여름철에는 진고도가 지시고도보다 높아 장애물안전고도에 특별한 영향이 없어 온도보정절차는 실시하지 않는다.

온도에 따른 정확한 안전고도는 국제민간항공기구 (ICAO; International Civil Aviation Organization) 교범에 나오는 수식이나 그림 7과 같은 도표를 이용하여 정확하게 계산할 수 있으며 대략적으로는 국제표준대기 보다 10°C 낮아질 때마다 현재 유지하는 고도의 대략 4%정도를 더하여 높게 유지하면 된다.[4]

이를 반대로 적용하면 비행장 외기온도가 국제표준대기보다 10 °C 높아질수록 현재 유지하는 계기고도보다 실제로는 4% 높은 고도를 유지하는 결과를 초래한다. 예를 들어 인천국제공항의 외기온도가 35 °C이며 공항표고 (23 ft)에 따른 오차를 무시하면 국제표준대기보다 20°C가 높기 때문에 PULUN에서의 진고도를 계산하면 대략적으로는 계기고도 보다 8% 높은 7,560ft, 정확히 계산하면 7,465 ft이다. 따라서 그림 8에서처럼 조종사가 계기고도로 7,000ft를 정확히 유지하여 PULUN을 통과하더라도 실제고도는 7,465 ft로써 3° 강하각 유지를 위한 고도인 6,731 ft보다도 700 ft 이상 높아 착륙외장을 갖추기 위한 여유고도는 고사하고 정상적인 방법으로는 고도 및 속도를 처리하기 어렵게 되어 상황에 따라서는 원거리에서부터 착륙장치 (landing gear)를 사용하여야 한다. 여기에 오히려 배풍까지 고려해야 하는 날씨라면 정상적인 방법으로는 속도처리 및 착

륙의장을 갖추어 안정된 접근을 하기는 더욱더 힘들어진다.

2-5 운항절차 개선안

최초접근지점 중에서도 가장 많이 사용되는 지점중의 하나인 PULUN 주변의 장애물제한고도나 공역제한을 살펴본 결과 제한고도 조정에 특별한 문제점은 없는 것으로 보이며 항공교통관제기관과의 협의 및 이해가 이루어진다면 PULUN상공의 제한고도를 다소 하향조정함으로써 항공안전 및 항공기간의 적절한 분리유지에 도움이 되고 불필요한 항력장치 및 기동을 최소화 하여 연료 소모 및 배기가스 배출을 줄여 항공사의 경제성을 제고하고 효율적이고 친환경적인 항공운항을 도모할 수 있다.

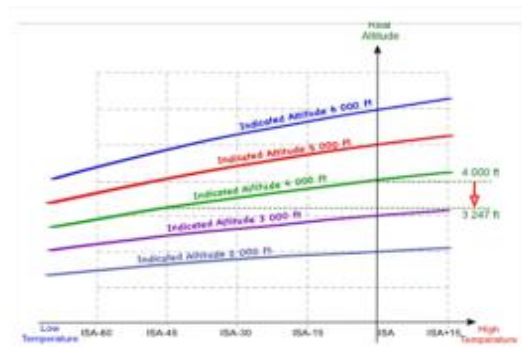


그림 6. 온도에 따른 지시고도와 진고도의 관계[7]
 Fig. 6. Relationship between Indicated Altitude and True Altitude[7].

Aerodrome temperature (°C)	Height above the elevation of the altimeter setting source (feet)													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0	20	30	30	30	40	40	50	50	60	90	120	170	230	280
-10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	290	390	490
-20	30	50	60	70	90	100	120	130	140	210	280	420	570	710
-30	40	60	80	100	120	140	150	170	190	280	380	570	760	950
-40	50	80	100	120	150	170	190	220	240	360	480	720	970	1210
-50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	450	590	890	1190	1500

그림 7. 안전고도 유지 위한 보정고도(ft)[8]
 Fig. 7. Values to be added by pilot to minimum promulgated heights/altitudes(ft)[8].

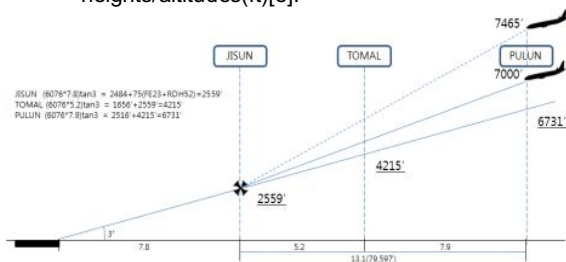


그림 8. 외기온도 35°C에서 PULUN 실제고도
 Fig. 8. True altitude over PULUN based on OAT(Outside Air Temperature) 35°C.



그림 9. Punun을 경유하는 R/W 33L 정밀 계기 접근
 Fig. 9. RW 33L ILS approach chart.

III. 결 론

인천공항을 이용하는 항공기는 일평균 대략 900대에 달하며 매년 가파르게 증가하고 있다. 이렇게 많은 양의 항공이 이착륙하는 과정에서 항공안전을 위한 항적간의 효율적인 거리분리, 인구 밀집지역 상공의 소음문제고려, CO2배출에 관한 환경문제 등 여러 가지 요소를 고려하여 안전하고 효율적인 접근절차를 마련하기 위해 이해당사자간의 다각적인 노력이 이루어지고 있다. 이런 환경에서 쉽게 간과할 수 있는 절차를 하나씩 합리적으로 개선해나감으로써 항공안전을 유지, 향상시키며 친환경 및 항공사의 경제성까지 향상시킬 수 있는 인천국제공항 표준접근절차 수정방안을 제안하는 바이다.

PULUN 주변의 장애물을 조사한 결과 2000'를 넘는 장애물은 없으며 그림 9를 통해 최저안전고도가 3300'인 것으로 확인되었다. 또한 항공교통관제기관에 문의한 결과 특별한 공역제한사항이 확인되지 않았다. 따라서 앞으로 관계기관과 적절하고 긴밀한 협의를 거쳐 고도제한을 6000'이하로 설정하거나 위치를 조정한다면 보다 효율적이고 안전한 비행환경을 조성할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 한국항공대학교 교비지원으로 수행된 연구의 결과이며 이에 대해 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Press Releases, Air traffic by 2015 was all-time high, [Internet]. Available: http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95076929
- [2] B. M. Park, A Simulation Study on Point Merge System in Arrival Phase, M.S. dissertation, Korea Aerospace University, Goyang-city, Feb. 2013.
- [3] S. R. Park, W. C. Moon, “A Study on Economic Effects of Airlines caused by introduction of Continuous Descent Approach,” Journal of The Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 19, No. 2, pp. 52-57, Jun. 2011.
- [4] ICAO, Doc 9931 Continuous Descent Operation Manual, chap. 1, 2010.
- [5] Boeing, 737NG Flight Crew Training Manual, chap. 4, 2014.
- [6] Korean Air, Flight Crew Reference Manual, chap. 5, 2014.
- [7] The International Federation of Air Line Pilots’ Associations, “Cold Temperature Corrections”, Air Traffic Services Briefing Leaflet, 2014, [Internet]. Available: <http://www.ifalpa.org/downloads/Level1/Briefing%20Leaflets/Air%20Traffic%20Services/15ATSBL02%20-%20Cold%20Temperature%20Corrections.pdf>
- [8] ICAO, Doc 8168 Aircraft Operations, vol1 part III section 1 chap. 4, 2006.



장 재 호 (Jaeho Chang)

2003년 12월 : 미국 Embry-Riddle Aeronautical Univ, MAS (Master of Aeronautical Science)
 2010년 4월 ~2011년 2월 : 한서대학교 비행대우교수
 2011년 2월 ~2015년 8월 : 진에어 운항승무원
 2015년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 교수
 ※관심분야 : 인적요소, 비행안전, CRM, 항공운항