

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.3.095>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항적기반 인천공항의 효율적인 STAR 절차에 관한 연구: Non-Peak Time 시간대를 중심으로

김성현*, 김규왕**

A Study on the Efficient STAR of Incheon Airport based on Trajectory: Focusing on Non-Peak Time Hours

Sunghyun Kim*, Kyuwang Kim**

ABSTRACT

Recently, the aviation industry has experienced a significant surge in air traffic, and Incheon Airport is no exception. The Trombone STAR procedure, introduced in June 2021, needs to be managed efficiently to cope with the increased air traffic. This study aims to analyze the current STAR procedures at Incheon Airport, identify existing issues, and propose improvements to enhance efficiency. The study compares flight trajectories and fuel consumption based on real flight data from Korean Air B747 aircraft. The results suggest that optimized STAR procedures can contribute to better fuel management, reduced flight time, and decreased carbon emissions.

Key Words : STAR Procedure(STAR절차), Incheon Airport(인천공항), Air Traffic Management(항공 교통 관리), Fuel Efficiency(연료 효율), Carbon Emissions(탄소 배출)

1. 서 론

IATA Global Outlook for Air Transport에 따르면, 2023년 현재 기준으로 2040년에는 여객 운송량이 두 배로 증가할 것으로 전망¹⁾하고 있다. 인천공항 또한 코로나 팬데믹 종료 이후 2022년 171,253편 대비 2023년 운송실적이 337,299편으로 거의 두 배로 증가²⁾했다.

인천공항은 2021년 6월 제4활주로 운영 개시와 동

시에 STAR 절차를 Trombone 절차로 변경³⁾하였다. 그러나 이 시기는 코로나 팬데믹으로 인해 Trombone 절차가 도착 항공기에 효율적인지 검증하기 어려운 시기였다.

인천공항 구역개선 및 제4활주로 비행절차 수립 관련 회의 발표 자료에 의하면 트롬본 절차는 평균비행 시간: Point Merge 대비 13% 절감효과, 평균연료소

Received: 31. Jul. 2024, Revised: 09. Aug. 2024,

Accepted: 13. Aug. 2024

* 한서대학교 운항관리학과

** 한서대학교 항공운항학과 교수

연락처자 E-mail : kimchi1230@hanseo.ac.kr

연락처자 주소 : 충남 태안군 남면 신온리 105 본관214

1) Global Outlook for Air Transport Deep Change-JUNE2024(pp.10)<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport-june-2024-report/>

2) 인천공항 통계보기 (시계열 통계) <https://www.airport.kr/co/ko/cpr/statisticCategoryOfTimeSeries.do>

3) AIM 항공정보통합관리-RKSI AIP 01JUL2021 <https://aim.koca.go.kr/eaipPub/Package/2021-07-01/html/index-en-GB.html>

모양: Point Merge 대비 17% 절감효과, 관제량은 포인트 머지(point merge)대비 신 절차(Trombone) 약 48% 관제사 개입 횟수 감소할 것으로 예상되었다(서울지방항공청, 2020.6.22.).

그러나 항공진흥 통관69호 "인천공항 제4활주로 운영준비 추진계획 및 성과"에 따르면, 해당 절차의 검증은 3차례에 걸쳐 항공사 모의 비행장치(B737, B747, B777)를 사용하여 이루어졌으며, 실제 비행 검증은 수행되지 않았다(하성희, 2021).

현재 인천공항에서 운영되는 Trombone 절차에서는 많은 관제사들이 트래픽 상황에 따라 전통적인 vectoring 방법으로 전환해 항공기를 유도하는 경향을 보이고 있다. 이에 본 연구는 인천공항의 Trombone 절차가 얼마나 효율적으로 사용되고 있는지를 조사하고, 개선 가능성을 탐색하여 더 효율적으로 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

1.1 연구 범위 및 방법

연구의 범위는 인천공항 STAR 절차이고, 시간범위는 2023년 6월~2024년 6월 인천공항 접근하는 대한항공 B747항공기를 기준으로 하였다. 시간대는 가능한 Peak Time 위주로 데이터 추출하려 하였으나, 도착 항공기의 시간대 제약으로 peak time과 non peak time의 항적 비율은 1:2로 하였다.

연구 방법은 대한항공 B747 항공기의 ADS-B Flight Track을 분석하였으며, 연료소모량은 IFSET⁴⁾ 계산자료와 MyFuelCoach⁵⁾의 실제 사용 연료량을 바탕으로 분석하였다.

II. 본 론

2.1 트럼본(Trombone), 포인트머지(Point Merge), 레이더 벡터(RADAR Vector) 비교 분석

그림 1의 (a), (b)는 포인트머지절차로 여러 항공기가 하나의 지점(머지 포인트)에 순차적으로 합류하도록 하는 절차로 자동화된 시스템으로 관제사의 업무량을 감소시키는 효율성을 높이는 절차이다. 그림 1의 (c)는 트럼본 절차로서, 트럼본 모양의 긴 경로를 설정하여

복잡한 공항에서 항공기의 간격과 시간을 유연하게 조절할수 있게 설계된 절차이다.

각 절차는 고유한 장단점을 가지고 있다. 공역 환경, 교통량, 운영 목표 등을 고려하여 적절한 절차를 선택해야 한다. 경우에 따라서는 여러 절차를 조합하여 사용하는 것이 효과적일 수 있다. 각 절차별 장단점은 Table 1에 정리하였다.

2.2 항적자료

인천공항의 지난1년(2023년 6월~2024년 6월)간의 항적자료는 Table 2와 같다. 오전시간대 peak time은 0600~0759, 오후시간대 peak time은 1500~1759이다. 비율로는 전체 208,262대 중 65,313대로 31%에 해당된다. CDO 운영시간인 1400~1900 UTC 시간대의 항적은 전체 항적 중 4.6%에 해당된다.

본 연구에서는 최대한 운영비용을 맞추기 위해 315편중 peak time편은 109편(35%), non peak time편은 206편(65%)으로 자료를 설정하였다. 야간 CDO 운영시간대 비중은 30편(9.5%)으로 설정하였다.

Table 1. 트럼본, 포인트머지, 레이더벡터 비교표

구분	Trombone	Point merge	RADAR vector
장점	여러 항공기 동시 접근, 효율성	자동화된 항공 교통 시스템, 효율적 관리	유연성, 즉각적인 대응 가능
단점	연료 및 시간 증가, 복잡한 절차	혼잡시 대응의 유연성 부족	관제사의 실시간 지시 필요, 조종사의 즉각적인 대응 필요
적용 상황	항공 교통량이 많은 공항	항공 교통 흐름 효율적 관리 필요	기상, 비행 경로 변경, 비상 상황

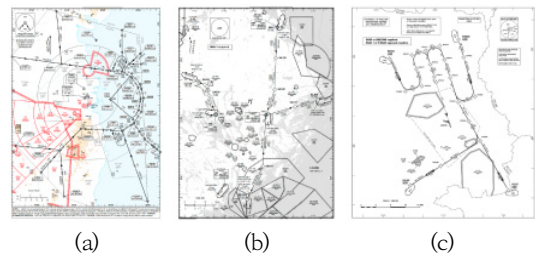


Fig. 1. The point merge procedures at Dublin runway 28L (a), STARs at Stockholm-Arlanda runway 01L/01R (b) and trombone procedures at Vienna runway 16 (c) (Sources: Irish AIP, Swedish AIP and Austrian AIP)

4) ICAO Fuel Savings Estimation Tool(IFSET)

5) 실제비행시 사용된 연료량을 제공하는 모바일 앱(<https://www.openairlines.com/pilot-engagement-app/>)

Table 2. 인천공항 2023년 6월~2024년 6월 시간대별 접근 항적 자료

(단위: 편, 명, 톤)

구분	운항			여객			화물		
	도착	출발	합계	도착	출발	합계	도착	출발	합계
00:00 ~ 00:59	2,039	4,269	6,308	191,608	465,222	656,830	33,728	98,185	131,912
01:00 ~ 01:59	1,023	3,896	4,919	73,608	396,930	470,538	25,809	86,378	112,187
02:00 ~ 02:59	717	2,943	3,660	30,206	226,848	257,054	25,272	86,872	112,145
03:00 ~ 03:59	2,169	1,043	3,212	334,625	42,914	377,539	24,609	35,276	59,884
04:00 ~ 04:59	6,769	914	7,683	1,393,523	5,696	1,399,219	42,110	38,554	80,664
05:00 ~ 05:59	9,641	816	10,457	1,952,850	5,746	1,958,596	51,574	28,340	79,913
06:00 ~ 06:59	12,294	2,204	14,498	2,283,660	294,772	2,578,432	78,870	16,765	95,636
07:00 ~ 07:59	11,935	7,320	19,255	1,891,673	1,205,487	3,097,160	112,527	22,760	135,287
08:00 ~ 08:59	8,837	14,924	23,761	1,438,825	2,595,120	4,033,945	105,389	50,336	155,724
09:00 ~ 09:59	8,096	14,516	22,612	1,351,103	2,743,312	4,094,415	93,459	62,568	156,027
10:00 ~ 10:59	7,703	14,836	22,539	1,040,332	2,993,395	4,033,727	77,209	92,351	169,560
11:00 ~ 11:59	11,246	12,118	23,364	1,647,191	2,217,106	3,864,297	79,577	84,046	163,623
12:00 ~ 12:59	10,523	12,463	22,986	1,532,418	2,020,574	3,552,992	67,877	83,139	151,016
13:00 ~ 13:59	11,303	11,829	23,132	1,821,222	1,835,728	3,656,950	64,334	68,520	132,853
14:00 ~ 14:59	11,180	11,479	22,659	1,917,113	1,677,708	3,594,821	63,896	74,474	138,370
15:00 ~ 15:59	12,672	10,639	23,311	2,318,831	1,886,784	4,205,615	80,431	41,771	122,202
16:00 ~ 16:59	14,011	10,170	24,181	2,876,110	1,730,573	4,606,683	102,448	52,314	154,762
17:00 ~ 17:59	14,401	8,808	23,209	3,024,637	1,553,718	4,578,355	90,441	48,213	138,654
18:00 ~ 18:59	10,795	9,417	20,212	1,978,016	1,801,094	3,779,110	65,821	50,960	116,782
19:00 ~ 19:59	10,446	12,016	22,462	1,677,324	2,397,609	4,074,933	48,734	54,503	103,236
20:00 ~ 20:59	11,637	11,791	23,428	1,763,437	2,456,164	4,219,601	74,766	49,735	124,501
21:00 ~ 21:59	8,931	11,961	20,892	1,475,080	2,275,812	3,750,892	62,505	47,942	110,447
22:00 ~ 22:59	6,366	10,483	16,849	894,977	1,463,638	2,358,615	49,978	105,850	155,828
23:00 ~ 23:59	3,528	7,349	10,877	374,624	907,131	1,281,755	45,268	158,350	203,618
합계	208,262	208,204	416,466	35,282,993	35,199,081	70,482,074	1,566,632	1,538,200	3,104,832

2.3 실증분석

2.3.1 항적 분석 방법

대한항공 B747기의 2023.6~2024.6 기간동안 항적 자료 분석 방법은 Flight Radar24의 ADS-B 항적 자료를 Fig. 2와 같이 Google Earth에 투영한 후 각 Entry Point별로 나누어(Table 1) Entry Point부터 Runway Touchdown까지의 Flight Track과 거리, 시간을 추출하였다.

AIP상의 거리와 실제 Flight Track과 비교하여, 평균, 표준편차, T-검증, P-value 값을 계산하여 자료를 검증하였다.

이 자료를 바탕으로 실제 Flight Track의 평균값으로 비행할시 시간, 연료 절약 수치를 산출하였다.

각 Entry Point별 접근 항적 자료의 수는 Table 3과 같다.

Table 3. Entry point별 접근 항적

	33L/34L	15R/16R	합
OLMEN	42	31	73
GUKDO	72	28	100
KARBU	32	16	48
REBIT	71	23	94
합	217	98	315

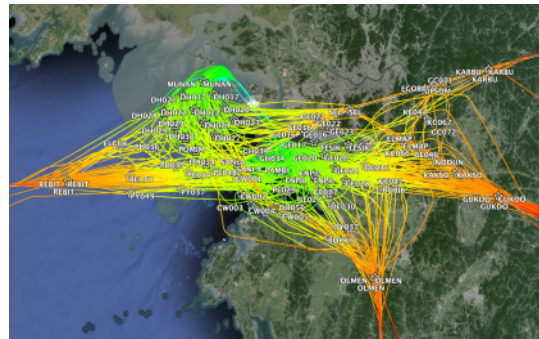


Fig. 2. B747 ADS-B flight track 자료

2.3.2 항적 통계 분석 자료

항적자료의 평균, 표준편차, T-검증, P-value값은 Table 2에 제시되어 있다. 표에서 첫 번째 열은 AIP상 STAR 이름과 거리를 표시하였고, 다른 열은 실제 Flight Track의 값을 의미한다.

Flight Track 거리는 AIP와 비교하여 Rwy 33/34: -48.2NM, Rwy 15/16: -31.1NM, 평균 -39.7NM 적게 비행하였다. 이는 AIP Track NM의 67%에 해당하며, 시간으로는 평균속도 250kts기준 9분 30초에 해당한다. 이는 대부분의 비행에서 AIP Track을 따르지 않는다는 의미로 해석될 수 있다. 표준편차는 최소 5.5NM에서 최대 10.6NM로, 대부분의 값이 비교적 데이터의 중심에 집중

Table 4. AIP상 STAR(거리), flight track의 평균, 표준편차, T-검증, P-value

Track	Mean distance (NM)	Standard deviation (NM)	T-statistic	P-value
STAR				
OLMEN2E (101.7NM)	58.2	7.1	-39.71	2.39E-34
OLMEN2H (120.7NM)	87.2	5.5	-14.65	3.27E-15
GUKDO2H (167.4NM)	105.8	10.6	-30.75	1.95E-18
GUKDO2E (102.6NM)	69.2	6.6	-43.21	1.00E-52
KARBU2H (154NM)	95.3	6.7	-34.82	9.17E-16
KARBU2E (106NM)	74.0	6.8	-24.65	2.20E-22
REBIT2H (101.5NM)	62.5	9.5	-20.17	4.02E-16
REBIT2A (89.2NM)	73.7	8.6	-27.45	3.33E-39

되어 있음을 의미한다. 또, T-검증값이 최소 -14에서 최대 -43이라는 것은 AIP상 거리와 실제 Flight Track 간의 차이가 매우 크다는 의미이며, 우연에 의한 가능성이 매우 낮다는 것을 나타낸다. 이에 따라 P-value값도 거의 0에 수렴 AIP상 거리와 실제 Flight Track간의 차이가 명확히 존재하는 대립가설이 채택된다고 판단할 수 있다. 이는 인천공항의 STAR 절차의 최적화가 필요하다는 시사점을 제공한다.

2.3.3 대체 절차의 필요성

최근 연구⁶⁾에 따르면 인천공항의 접근절차 활용도는 80%를 하회하는 수준을 보이고 있다. 저자는 절차의 개선이 필요하며, 세분화된 표준계기접근 절차의 필요성을 논문에서 언급하였다.

인천공항의 STAR 절차는 각 접근 Entry에 대해 단일 STAR 절차(CDO 제외)를 사용하고 있다. Fig. 3은 NRT 공항의 SWAMP Entry Point에서 접근하는 34L/R 접근 절차를 보여준다. 항적이 많은 피크 시간대에는 SWAMP

T 절차가, 항적이 적은 시간대에는 SWAMP E 절차가 사용된다. 운항 승무원은 착륙 준비 시 이러한 사항을 인지하고, 이에 맞게 STAR 절차를 FMS에 유동적으로 설정한다.

반면, 인천공항은 단일 STAR 절차만을 사용하여 착륙 준비 시 유연성이 떨어진다. 따라서 인천공항도 NRT 공항과 같이 복수의 절차를 수립하여 보다 유연하게 접근 절차를 운용할 필요가 있다.

이 연구에서는 각 Entry별 실제 비행시의 평균 비행 경로(average flight path)를 바탕으로 NRT 공항과 유사한 대체 절차를 구현하고, 이를 통해 연료 및 시간 절약 효과를 분석하고자 한다.

2.3.4 Average Flight Path 산출

각 Entry별 항적자료를 분류하고, 평균치를 선형보간법(interpolation path) 방식으로 구현하였다. 선형보간법으로 산출된 Track을 바탕으로 유사한 STAR 절차를 기존의 STAR waypoint를 활용하여 구현하였다. 표현방식은 Goole Earth에 기존 STAR Track을 흰색으로 표시하였고, 선형보간법으로 계산된 실제 Track의 평균값은 빨간색으로 표시하였다. 수정된 STAR 절차는 실제 Track 평균값과 유사한 경로를 컴퓨터 Flight Simulator Xplane(대한항공 B747 항공기와 동일한 AIRAC 사용)의 FMS와 ND를 활용하여 표시하였다.

다음은 인천공항 8개 접근 절차별로 위의 언급한 사항들을 표기하였다.

2.3.4.1 OLMEN 2E

OLMEN2E는 33L 접근항적과 34L 접근항적이 Fig. 4와 같이 좌우로 분리되어 접근한다. 중간선은 모든 OLMEN2E 항적에 대한 평균치이다. OLMEN 2E의 절

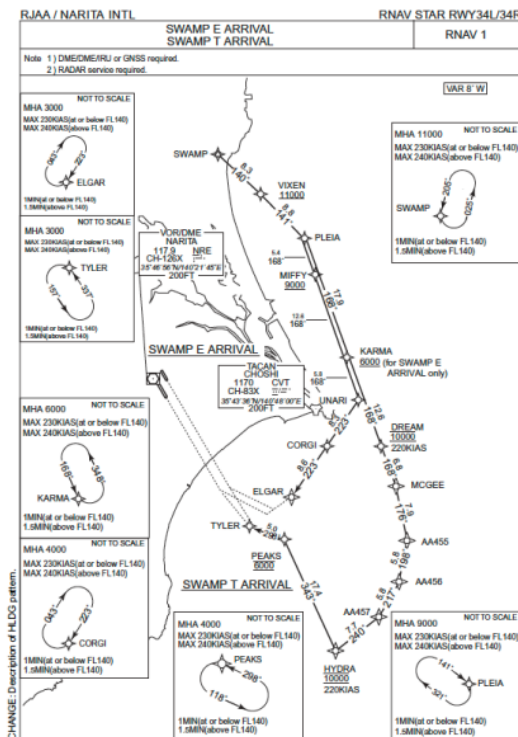


Fig. 3. NRT 공항 SWAMP E/T arrival

- 6) 이충섭, 국내 표준계기도착절차(STAR)의 활용도 및 연속강하접근 운항비율 분석, pp.12

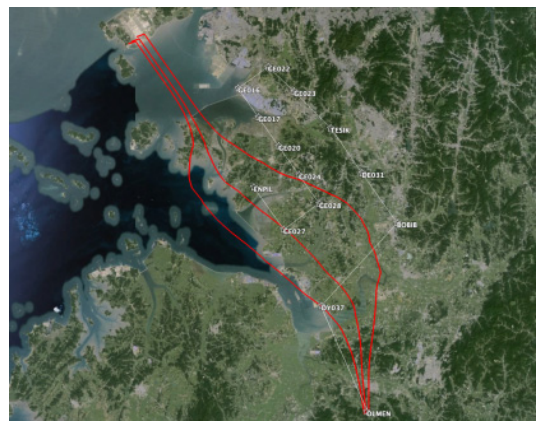


Fig. 4. OLMEN2E(흰), Avg. flight track(적)

차상 거리는 102.6NM, Average Flight Track Distance는 69.2NM이다.

Fig. 4의 OLMEN2E Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 5와 같이 수정된 STAR절차를 구현하였다.

2.3.4.2 OLMEN 2H

OLMEN 2H의 Average Flight Track은 Fig. 6과 같으며, 절차상 거리는 120.7NM, Average Flight Track Distance는 87.1NM이다.

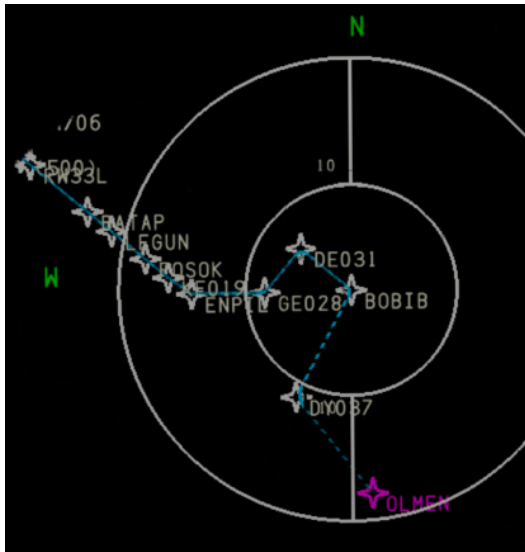


Fig. 5. OLMEN 2E(M)-modified

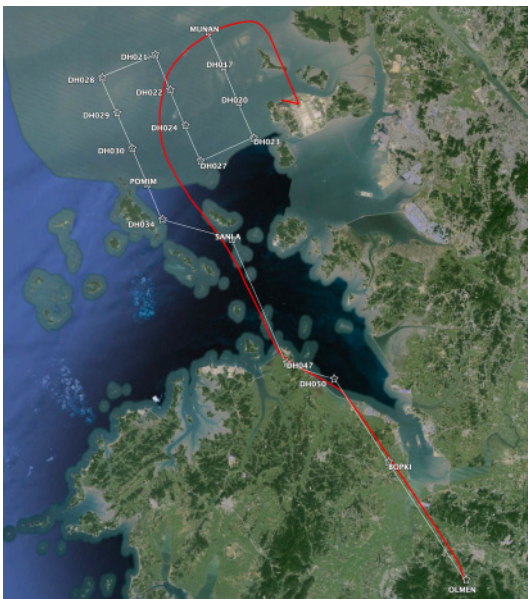


Fig. 6. OLMEN2H(흰), Avg. flight track(적)

Fig. 6의 OLMEN2H Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 7과 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

2.3.4.3 GUKDO 2E

GUUKDO 2E의 Average Flight Track은 Fig. 8과 같으며, 절차상 거리는 102.6NM, Average Flight Track Distance는 69.2NM이다.

Fig. 8의 GUKDO 2E Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 9와 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

2.3.4.4 GUKDO 2H

GUUKDO 2H의 Average Flight Track은 Fig. 10과 같으며, 절차상 거리는 167.4NM, Average Flight Track Distance는 105.8NM이다.

Fig. 10의 GUKDO 2H Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 11과 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

2.3.4.5 KARBU 2E

KARBU 2E의 Average Flight Track은 Fig. 12와

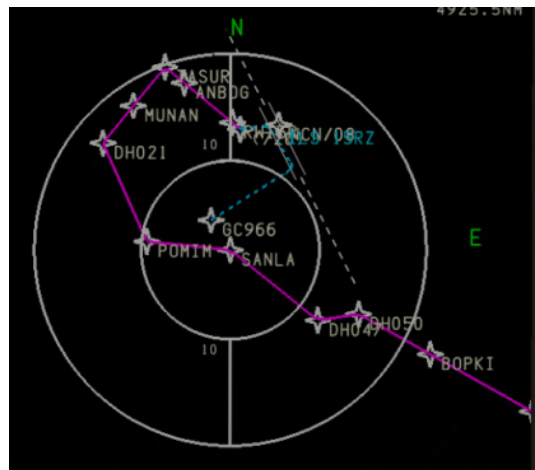


Fig. 7. OLMEN 2H(M)-modified

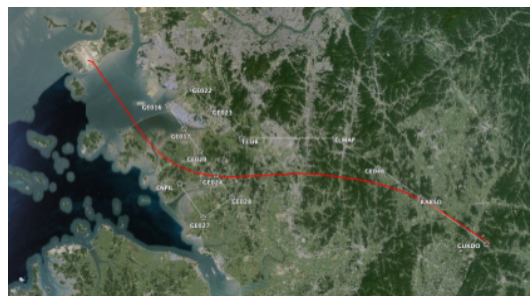


Fig. 8. GUKDO 2E(흰), Avg. flight track(적)

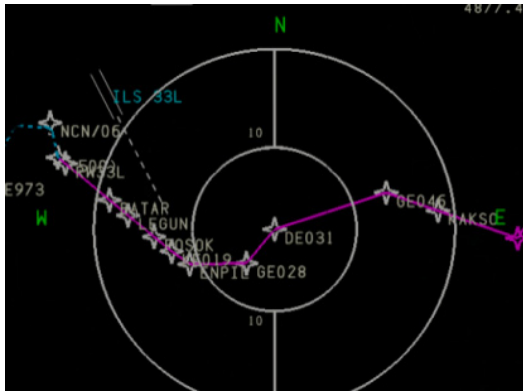


Fig. 9. GUKDO 2E(M)-modified



Fig. 10. GUKDO 2H(흰), Avg. flight track(적)



Fig. 11. GUKDO 2H(M)-modified

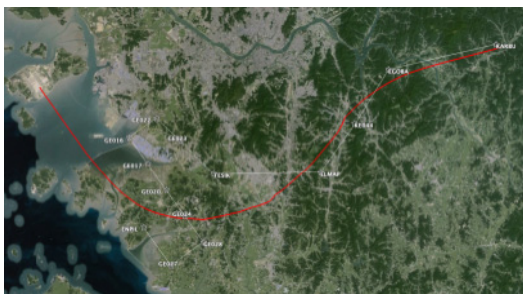


Fig. 12. KARBU 2E(흰), Avg. flight track(적)

같으며, 절차상 거리는 106NM, Average Flight Track Distance는 74.1NM이다.

Fig. 12의 KARBU 2E Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 13과 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

2.3.4.6 KARBU 2H

KARBU 2H의 Average Flight Track은 Fig. 14와 같으며, 절차상 거리는 154NM, Average Flight Track Distance는 95.3NM이다.

Fig. 14의 KARBU 2H Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 15와 같이 수정된 STAR절차를 구현하였다.

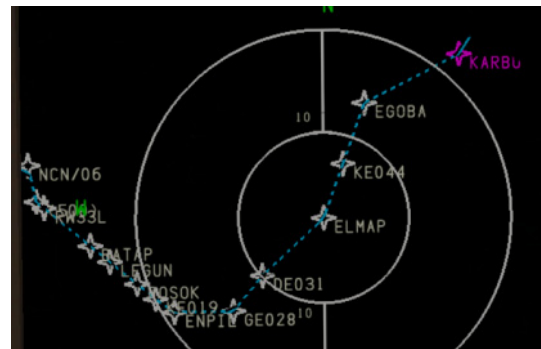


Fig. 13. KARBU 2E(M)-modified



Fig. 14. KARBU 2H(흰), Avg. flight track(적)

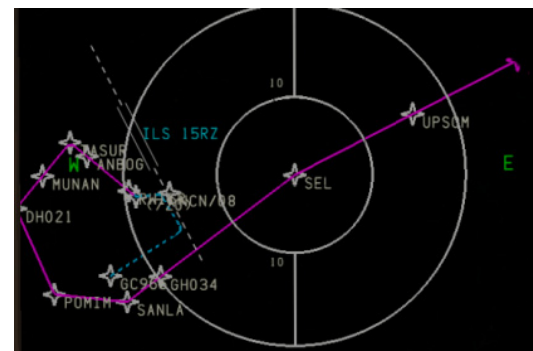


Fig. 15. KARBU 2H(M)-modified

2.3.4.7 REBIT 2A

REBIT 2A의 Average Flight Track은 Fig. 16과 같으며, 절차상 거리는 89.2NM, Average Flight Track Distance는 73.7NM이다.

Fig. 16의 REBIT 2A Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 17과 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

2.3.4.8 REBIT 2H

REBIT 2H의 Average Flight Track은 Fig. 18과 같으며, 절차상 거리는 101.5NM, Average Flight Track Distance는 62.6NM이다.



Fig. 16. REBIT 2A(흰), Avg. flight track(적)

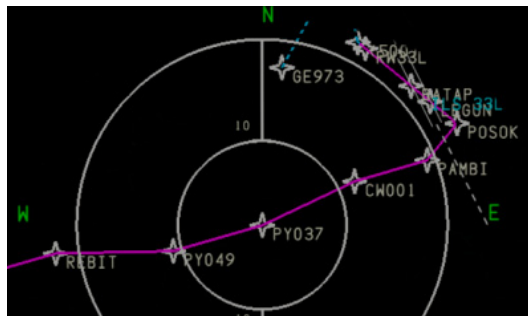


Fig. 17. REBIT 2A(M)-modified



Fig. 18. REBIT 2H(흰), Avg. flight track(적)

Fig. 18의 REBIT 2H Average Flight Track을 바탕으로 Fig. 19와 같이 수정된 STAR 절차를 구현하였다.

위의 8가지 접근 절차를 종합해 보면 Table 5와 같다.

2.3.5 시간, 연료 절감 분석

각 STAR별 시간 연료 분석 자료는 Table 6과 같으며, 시간절약 평균은 10분 31초, 연료절약 평균은 1480lbs이다. 연료 참조는 IFSET(1,600lbs)과 MyfuelCoach(1,480lbs)를 비교하여 더 보수적으로 결과값이 산출된 MyfuelCoach 기준으로 선행보간법을 사용하여 거리와 비례하게 계산을 하였다. 이를 바탕으로 단순히 항공기 탑재 연료에서 1,480lbs를 덜 탑재하게 된다고 가정하면,

- 대한항공 B747의 2024.06월간 총 비행 횟수: 456회 기준
- 항공유의 가격: 1갤런당 3달러(2024.06현재)
- JET A 1Gal = 6.7lbs
- 월간 연료비 절감액: 약 302,185달러
- 연간 연료비 절감액: 약 3,626,221달러이다.

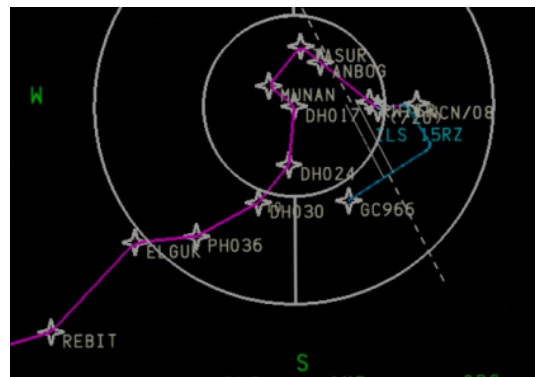


Fig. 19. REBIT2H(M)-modified

Table 5. Entry point별 접근 STAR 거리, 평균 flight track 거리, 수정된 STAR 거리

	절차상 거리	Average flight track	수정된 STAR 거리
OLMEN2E	102.6	69.22	70.5
OLMEN2H	120.7	87.1	89.8
GUKDO2E	102.6	69.22	68.9
GUKDO2H	167.4	105.77	116.1
KARBU2E	106	74.1	74.4
KARBU2H	154	95.3	110.1
REBIT2A	89.2	73.7	71.9
REBIT2H	101.5	62.57	65.6

Table 6. 각 STAR별 절차 대비 flight track, 시간 연료절감 비교표

절차	절차상 거리 (NM), 시간	Flight track distance(NM), time	연료 절감량 *B747-8기준 (lbs)
OLMEN2E	101.7 25:46	58.2 14:45	1,600
OLMEN2H	120.7 27:44	87.1 20:01	1,250
GUKDO2E	102.6 20:12	69.2 13:30	1,248
GUKDO2H	167.4 38:12	105.8 24:09	2,300
KARBU2E	106 26:38	74.0 18:36	1,200
KARBU2H	154 35:07	95.3 21:44	2,200
REBIT2A	89.2 21:04	73.7 17:25	580
REBIT2H	101.5 24:54	62.6 15:22	1,460

이 분석은 대한항공의 B747 단일 기종에 한해 수행한 것이지만, 만약 전 기종, 전 항공사에 적용된다면 연료비 절감 효과가 극대화될 것으로 예상된다.

III. 결 론

3.1 연구 결과

인천 Inbound 비행 시 STAR 절차를 FMS에 설정하면 FMS의 시간(기내 Airshow와 연동되어 승객에게 시연되는 시간)과 실제 착륙 시간 사이에 대략 5~10 분 정도의 차이가 발생하고, 거리는 30~50NM의 차이를 보이는 경우가 많다. 이는 운항 승무원에게 에너지 관리 및 시간 관리를 어렵게 하며, 객실 승무원과 승객에게 틀린 정보를 제공해 정시 운항의 신뢰도를 떨어뜨린다. 경제적 측면에서도 탑재 연료량 증대로 인해 비용 증가 및 이산화탄소 배출 증가를 초래하게 된다.

국토부는 GANP를 기반으로 한 NARAE 차세대 항공교통시스템 구축 계획을 발표했다(관계부처합동, 2021.8). 이 계획에 따르면, 앞으로 TBO(궤적기반운영) 방식으로 비행 계획 단계부터 비행 종료 시까지 4D 개념(위도, 경도, 고도, 시간)을 통해 항공기의 위치를 정밀하게 예측하고 관리할 예정이다. 이에 따라 인천공항의 접근 절차도 궤적 기반의 최적화된 절차로 수립될 필요가 있다.

또한, 최근 연구 결과에 따르면 Point Merge 절차는 도착 용량 향상과 더 유연한 순서 위치 이동 측면에서 Trombone 절차보다 더 나은 성능을 보였다(Henrik Hardell, 2024). 인천공항의 제4활주로 개항과 동시에 STAR 절차가 Trombone 절차로 변경되었는데, 이 시점에서 절차의 효과를 다시 한번 검증하고 효율성 있는 절차를 재수립할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이는 에너지 절약 및 이산화탄소 감소를 위한 중요한 단계가 될 것이다.

3.2 추가 고려사항

본 연구는 대한항공 B747 항공기에 한정된 데이터를 기반으로 하였기 때문에, 다른 항공기 기종 및 항공사에 대해서도 유사한 연구를 진행할 필요가 있다. 추가적으로, 인천공항 이외의 다른 주요 공항에서도 STAR 절차의 효율성을 비교 분석함으로써 보다 일반화된 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한, 항적 데이터와 연료 소비 데이터 외에도 기상 조건, 항공 교통량 변화, 항공기 성능 등의 다양한 변수를 포함한 종합적인 연구가 더 필요하다. 이를 통해 보다 정확하고 포괄적인 STAR 절차 최적화 방안을 제시할 수 있을 것이다.

References

- Henrik H., Anastasia L., Tatiana P., and Lucie S., "Evaluation of the sequencing and merging procedures at three European airports using opensky data", Engineering Proceedings, 2021, pp.9.
- Lee C. S., "A study on improvement of continuous descent operation(CDO) at Incheon International Airport with consideration of aircraft descent performance", Ph.D. Dissertation, Korea Aerospace University, 2023, pp.49, 50, 52, 64.
- Henrik H., "Optimization of aircraft arrival operations for improved environmental efficiency", Linköping University, 2024, pp.25.
- ICAO, "ICAO's Doc 8168 (PANS-OPS)", ICAO Doc - Standard Instrument Arrival, pp.181.
- Eurocontrol, "European CCO / CDO action plan appendix f: Airspace / procedure design", Eurocontrol. pp.4.

6. Eurocontrol, "Point merge implementation", Enrocontrol, pp.13.
7. Chang, J. H., "Proposed STAR procedure of Incheon International Airport considering safety and efficiency", Journal of Advanced Navigation Technology, pp.5.
8. Lee, J. H., "An analysis on status and effects of CDO (Continuous Descent Operation) at Incheon International Airport", KSAS 2023 Fall Conference, pp.2.
9. 관계부처합동, "국가항행계획-NARAE", pp.4.
10. ICAO, "2016-2030 Global air navigation plan", ICAO, pp.46.
11. 인천공항공사, "인천공항 구역개선 및 제4활주로 비행절차수립 관련 회의", ALPAK, <http://alpak.or.kr/2020/06/29/newsletter/>
12. 하성희, "인천공항 제4활주로 운영준비 및 추진계획 및 성과", 항공협회-항공진흥 69호, pp.7.