

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.4.142>

ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

중량에 따른 연료효율 분석을 통한 연료 절감 방안 연구

이준오*, 전제형**, 박정민***

A Study on Fuel Saving Measure by Fuel Efficiency Analysis
Associated with Weight.

Jun-Oh Lee*, Je-hyung Jeon**, Jeongmin Park***

ABSTRACT

In recent years, Korea's aviation industry has been developing rapidly due to the emergence of low-cost airlines. In order to survive in such competition, airlines are making various efforts to save the operation cost as much as possible. Fuel costs account for more than 25% of operating costs. For airlines, reducing aircraft fuel costs is an important part of improving profitability. In this study, analyzing the difference weight between flightplan and W&B Manifest for calculated the fuel that was unnecessarily loaded. As a method to calculate the unnecessary fuel was used by Airbus company flight planning program.

Key Words : Fuel Efficiency(연료효율), Daegu International Airport(대구국제공항), Payload(유상탑재중량), W&B manifest(중량배분), Trip Fuel(운항연료)

I. 서 론

세계 항공운송산업은 자유화와 개방화가 점차 가속화되고, 시장 참여가 보다 용이해짐에 따라 국경을 초월하여 항공사간 경쟁이 치열하게 전개되고 있다[1].

최근 우리나라의 항공산업 또한 저비용 항공사들의 등장으로 인해 비약적인 발전과 동시에 경쟁이 치열해지고 있다. 이러한 경쟁 속에서

살아남기 위해 항공사들은 운영비용을 최대한 절약하고자 다양한 노력을 하고 있다.

운영비용 중에서 약 25% 이상을 차지하고 있는 것이 연료비용이다. 항공기의 연료 소모량은 경제적인 측면에서 수치로 나타낼 수 있는 지표로 활용되며 항공사의 입장에서는 연료비용을 절감하는 것이 수익 개선 효과에 매우 중요한 부분이다.

따라서 항공사들은 최적의 비행경로 선정, 항법 및 보조시설의 활용, 지상 운용 시 연료 소모 최소화 등을 통해 항공기의 연료절감을 위한 노력을 하고 있으며 이외에도 항공기의 법정 연료를 조정하여 근본적으로 항공기의 중량을 줄이고자 노력하고 있다[2][3].

또한 이러한 법정 연료 조정 외에도 항공기의 중량을 관리할 수 있는 다른 요소로는 항공기 자체 중량, 탑재되는 기내식, 서적, 서비스 물품,

Received : 15. Nov. 2018. Revised : 10. Dec. 2018.

Accepted : 23. Dec. 2018

* 한국항공대학교대학원 항공교통물류학과 박사과정

** 한국항공대학교대학원 항공운항관리학과 박사과정

*** 한국항공대학교대학원 항공운항관리학과 석·박사 통합과정

연락처자 E-mail : hypersonic81@naver.com

연락처자 주소 : 46721 부산시 강서구 유통단지1로

57번길 6

정비 부품 등 필수적인 물품만 탑재하고, 불필요한 무게를 최소화하여 운항중량을 감소시키는 방법이 있다[4].

예비연료, 탑재 물품으로 인하여 증가된 항공기 중량은 연료효율을 저하시키는 요인으로 작용될 수 있기 때문에 항공사들은 이를 최소화하여 연료비용을 절감하려 노력하고 있다[5].

현재 국제 원유 가격은 안정세를 보이고 있지만 세계정세에 따라 변동폭이 크기 때문에 안전에 저해되지 않는 범위에서 최적화된 연료를 싣고 운항하는 것이 중요하다.

항공기의 연료 산출은 비행계획단계에서 이루어지는데 승객과 위탁수하물, 화물 등의 무게를 바탕으로 기상, 항로의 복잡도 등을 고려하여 운항관리사가 산출한다.

항공사가 사용하는 승객들의 무게는 자체적으로 승객들의 무게를 측정 후 국토교통부의 인가를 받거나 국토교통부 고시의 참조 값을 사용하고 있다. 따라서 성인, 어린이, 유아의 무게가 따로 구분되어 있고 유아는 무상 승객으로 간주하고 있다. 하지만 대부분의 항공사들은 비행계획단계(Planned Payload)에서 유상 탑재 중량(Payload)¹⁾ 산출을 남녀노소 구분을 하지 않고 유아의 무게도 성인으로 간주해 연료를 산출하고 있다. 하지만 항공기에 탑재되는 실제(Actual Payload) 유상 탑재 중량은 중량 및 균형관리 목록표(Weight & Balance Manifest)를 통해 확인할 수 있으며 A 항공사의 2016년~2017년 데이터를 분석한 결과 W&B Manifest(Actual)의 유상 탑재 중량 값이 비행계획단계(Planned)에서의 유상 탑재 중량 값을 초과했던 경우는 0편이었다.

연료 탑재는 비행계획단계시의 무게를 기준으로 하기 때문에 결과적으로 불필요한 연료를 더 탑재하고 있는 셈이다. 왜냐하면 비행계획단계에서는 승객수를 모두 성인으로 간주해 중량을 산출하기 때문이다. 만약 최초 비행계획단계에서 성인, 어린이, 유아를 구분하여 보다 정확한 유상 탑재 중량을 계산한다면 연료 효율성을 높여 결과적으로 연료비용을 크게 절감할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 저비용항공사의 A항공사를 사례 항공사로 선정하여 2016년~2017년 대구국제공항발 국제선 자료를 바탕으로 비행계획단계와 Weight & Balance Manifest의 중량 차이에 따른 연료 절감 효과와 실제 중량에 따라 운항연료(Trip Fuel)의 차이를 분석하고자 한다. 이를 통해 항공기 연료효율에 있어 가장 기본적으로면서 비용대비 가시적인 효과를 볼 수 있는 중량과 연료 효율성에 대해 논하고자 한다.

II. 본 론

저비용항공사인 A항공사의 전 기종은 Boeing 737-800으로써 186, 189석으로 이루어져 있다. 대구국제공항의 국제선 2,434편을 분석한 결과 실제 중량이 비행계획서 상의 중량을 초과한 편은 0편이었다. 항공기의 연료효율을 증가시키는 방법은 다양하지만 기본적으로 항공기 중량에 따라 성능 및 연료효율이 달라진다. 또한 항공기는 온도에 따라 성능에 영향을 미치는데 온도가 높을수록 성능이 감소하고 낮을수록 증가한다. 대구국제공항의 여름은 다른 공항에 비해 상대적으로 온도가 높고 활주로의 길이와 장애물 제한 등의 영향을 더 받는다.

따라서 동남아시아 노선을 운영하는 A항공사의 경우 온도, 활주로 길이, 장애물 제한 등으로 인해 항공기가 이륙할 수 있는 중량을 초과하는 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우 추력이 높은 항공기로 교체하거나 승객들의 짐을 하기 후 출발해야 하는 경우가 발생하는데 만약 실제에 가까운 유상 탑재 중량을 바탕으로 연료를 탑재했다면 무게가 감소하여 항공기 교체로 인한 지연 방지, 인적 낭비 등을 막을 수 있을 것이다.

2. 용어설명

항공기의 중량과 성능을 바탕으로 한 연료 비용절감 및 연료 효율성에 대하여 논하기 위해 Weight & Balance의 단계에서의 고려 사항 및 사용프로그램에 관해 설명하고자 한다.

1) 유상탑재중량(Payload)이란 승객, 위탁수하물, 화물 등의 중량을 모두 합친 것을 말한다.

2.1 승객무게 측정값

2.1.1 국토교통부 고시

국토교통부에서는 국토교통부고시를 통해 승객중량 참조값을 제공하고 있다.

Table 1. MOLIT standard passenger weight

표준 평균 승객 중량	승객 1인당 중량
하절기 중량	
평균 성인 승객 중량	75kg
평균 성인 남성 승객 중량	81kg
평균 성인 여성 승객 중량	69kg
어린이 중량(2세부터 12세까지)	36kg
동절기 중량	
평균 성인 승객 중량	77kg
평균 성인 남성 승객 중량	83kg
평균 성인 여성 승객 중량	71kg
어린이 중량(2세부터 12세까지)	37kg

출처 : 항공기 중량 및 평형 관리기준

2.1.2 A항공사의 탑재중량 산출방법

A항공사는 비행계획단계에서 계절 및 남녀노소 구분 없이 항공사 자체적으로 측정 후 국토교통부로부터 인가받은 무게 88kg를 적용한다. 하지만 W&B Manifest에서는 성인(남녀 구분없음), 어린이, 유아를 구분하여 실질적인 중량을 계산하고 있다. 또한 대구국제공항발 국제선의 경우 화물은 실지 양기 때문에 비행계획서 작성시 승객과 위탁수하물 무게만을 계산하였고 위탁수하물의 경우 모든 승객은 A항공사가 무료로 허용하는 15kg을 실는 것으로 가정하였다.

Table 2. A airline standard passenger weight

평균 승객 중량	1인당 중량	위탁수하물
평균 성인 승객 중량	73kg	15kg
평균 어린이 중량	37kg	15kg
평균 유아 중량	10kg	-

2.2 중량 및 균형관리 목록표

(Weight & Balance Manifest)

중량 및 균형관리 목록표인 Weight & Balance Manifest란 항공기에 승객 탑승과 화물 탑재에 있어서 위치 및 허용중량 등에 대하여 안전하고 경제적인 항공 운항을 할 수 있도록 조절하는 것이 목적이다. 항공기의 중량은 항공기 무게 이외에 기내에 탑승하는 승무원, 기내식 및 기내 물품, 화물, 수하물, 연료, 승객 등 탑재되는 모든 무게의 합산으로 이루어지며 일정한 기준선으로부터의 각각의 거리 및 그 위치에 따라 적용되는 힘의 합계를 통하여 항공기의 무게중심을 산출한다.

항공기 운항 시 기체에 가해지는 역학적인 힘의 작용에 대한 구조적 안전을 위하여 제작사에서 설정한 항공기의 중량 및 무게중심에 대한 허용범위에 따라 Weight & Balance 적용 시 항공기에 탑재될 중량의 합계 및 그 위치에 대한 한계를 초과하지 않아야 한다[6].

2.3 연료의 종류

2.3.1 운항연료 (Trip Fuel)

출발공항에서 이륙부터 착륙예정공항까지 비행에 필요한 연료량을 말하고 다음과 같은 사항들을 고려한다.

- 1) 이륙 경로를 고려한 Take-off 및 Initial Cruising Level/altitude 까지 상승 연료
- 2) 각 단계에서 Step Climb/Descent를 포함한 TOC 부터 TOD 까지 연료
- 3) Arrival 절차를 고려하여 TOD부터 Approach 시작 지점까지 강하 연료
- 4) 목적공항에서 접근 및 착륙에 필요한 연료
- 5) 특별한 환경 또는 절차가 있는 공항의 연료보정

2.3.2 예비연료(Extra Fuel)

PIC 또는 운항관리사가 다음의 상황 등의 발생 가능성을 고려하여 추가로 탑재하는 연료를 말한다.

- 1) De-icing 에 따른 지연
- 2) ATC가 요구하는 운항 제한
- 3) 항로상 상층풍 또는 상층기온 예보에 신뢰가 없을 경우
- 4) 항로상, 목적공항 또는 교체공항의 기상 예보에 따라 필요하다고 판단될 경우
- 5) 안전 등 기타 예기치 않은 상황에 대비하여 필요하다고 판단될 경우

예비연료의 탑재는 예기치 못한 상황으로부터의 안정성을 확보하는 반면 증가된 중량으로 인하여 연료효율은 저하되게 된다.

따라서 최근 국제사회에서는 예비연료 소모 및 탑재 자료에 대하여 정량적인 접근을 통해 충분한 안전 수준을 유지하면서 연료 탑재량을 일정 수준까지 감소시켜 항공사의 경제적 편익을 증가시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[5].

3. 데이터 분석 방법

A항공사의 대구국제공항발 국제선을 대상으로 비행계획서의 중량과 W&B Manifest 중량간의 오차를 분석 후 그 차이를 통해 불필요하게 실렸던 연료량을 계산하였다.

항공기는 중량의 무게에 따라 Trip Fuel이 변동되는데 유상탑재중량이 적을수록 Trip Fuel이 적게 필요하고 중량이 커질수록 Trip Fuel은 많이 필요하다. 불필요하게 실렸던 연료를 계산하기 위한 방법으로는 유상탑재중량 1,000kg 당 Trip Fuel의 변동 값을 계산하였으며 이를 위해 Airbus사의 비행계획 프로그램²⁾을 사용하였다.

3.1 노선분류

A항공사의 9개 노선을 대상으로 총 2,434편을 분석하였고 운항노선은 일본, 대만, 중국, 동남아시아 국가이며 거리는 NM로 나타났다.

- 2) NAVblue는 Airbus사가 개발한 디지털 항공교통관리 프로그램으로 FAA, EASA의 인가를 획득하였고 Airbus의 자료 및 데이터를 통해 Flight Plan, Tracking, Performance 등의 서비스를 제공한다.

Table 3. A airline route list

노선	국가	편수	거리 (NM)	Load Factor
A	일본	515	181	73.9%
B	일본	416	376	88.1%
C	일본	196	650	82.3%
D	일본	310	752	81.0%
E	대만	224	779	81.5%
F	중국	160	1,246	75.8%
G	필리핀	224	1,629	85.6%
H	베트남	293	1,852	86.3%
I	태국	96	2,236	94.6%

3.2 연료비용 분석

3.2.1 노선별 중량차이

각 노선별로 비행계획단계에서의 총 중량과 W&B Manifest 상의 총 중량은 다음과 같다.

Table 4. Difference value between Planned weight and W&B Manifest

(Unit : KG)

노선	비행계획단계 ①	W&B Manifest ②	차이값 ①-②
A	6,382,260	5,592,316	789,944
B	6,113,800	5,356,031	757,769
C	2,690,900	2,246,495	444,405
D	4,205,200	3,778,558	426,642
E	3,054,900	2,794,323	260,577
F	2,034,400	1,809,282	225,118
G	3,214,300	2,761,613	452,687
H	4,223,600	3,789,909	433,691
I	1,514,700	1,415,693	99,007

C, G 노선이 편수에 비해 차이값이 큰 이유는 어린이 및 유아가 상대적으로 많이 탑승했기 때문이다. 왜냐하면 비행계획서 작성 시 유상탑재중량을 일관된 무게로 계산하기 때문에 실제무게와 많은 차이를 보이고 있고 이는 불필요한 연료를 더 실어 연료비용을 증가시키고 있는 것이다.

3.2.2 중량에 따른 연료분석

노선별 분석 결과 비행계획서의 중량과 W&B Manifest의 중량 값은 많은 차이를 보였다. 유상 탑재중량 1,000kg 당 Trip Fuel을 계산하기 위해 비행계획 프로그램의 월평균 기상자료를 바탕으로 유상탑재중량 1,000kg 당 Trip Fuel의 결과값은 다음과 같다.

Table 5. Monthly variation value Trip Fuel per 1,000kg Payload

(Unit : KG)

월 노선	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	22	22	23	23	23	23	24	24	23	23	23	22
B	30	30	31	31	32	32	33	34	32	31	31	30
C	52	51	51	50	50	50	49	50	50	50	51	52
D	49	49	50	51	51	52	54	55	53	51	50	49
E	65	64	63	61	59	58	57	57	58	60	62	64
F	99	98	97	93	90	87	85	86	87	89	94	98
G	115	114	113	112	110	111	111	111	111	111	113	115
H	133	133	131	127	123	120	118	119	120	122	127	132
I	165	165	162	157	151	147	145	146	147	150	156	162

Table 5의 데이터를 바탕으로 Table 4의 차이값을 월별로 나누어 연료절감 비용을 분석하였다. 대구국제공항의 1KG 당 연료가격은 2018년 2월 기준 \$0.81457로 환율은 1\$당 1081.2원으로 계산하였다.

Table 6. Fuel saving cost

노선	편수(편)	차이값(kg)	절감비용(원)
A	515	789,944	16,038,278
B	416	757,769	20,972,422
C	196	444,405	19,685,038
D	310	426,642	19,284,306
E	224	260,577	13,958,568
F	160	225,118	17,873,303
G	224	452,687	44,729,498
H	293	433,691	47,630,674
I	96	99,007	14,001,032
Total	2,434	3,889,570	214,173,119

A 노선의 경우 편수가 많아 차이값이 크지만 연료절감비용이 상대적으로 적은 이유는 단거리 노선이기 때문이다. 반대로 I 노선의 경우 차이값이 가장 적음에도 불구하고 연료절감비용이 큰 이유는 장거리일수록 Payload 당 Trip Fuel의 값이 커지기 때문이다.

위의 표에서와 같이 비행계획서와 W&B Manifest의 중량 차이로 인해 약 2억 1천4백만 원의 연료비용이 추가적으로 발생하였음을 알 수 있다. 다시 말하면 정확한 중량 산출을 통해 비행계획서를 작성했다면 약 2억 원 이상의 연료비용을 절약할 수 있었을 것이다. 또한 유가변동을 고려해 연료 가격이 1\$씩 증가할 때마다 연료비용은 약 8천8백만 원 이상 증가하는 것으로 나타났다.

3.2.3 Trip Fuel 비교분석

비행계획서와 W&B Manifest의 중량차이에 따라 Trip Fuel이 실제로 차이가 있었는지를 알아보기 위해 비행계획서의 Trip Fuel과 실제 사용한 Trip Fuel을 분석하였다.

Table 7. Difference value between Planned Trip Fuel and Actual Trip Fuel

(Unit : KG)

노선	Planned Trip Fuel	Actual Trip Fuel	차이값	평균 예비연료
A	978,100	861,770	-116,330	680
B	1,191,300	1,159,275	-32,025	803
C	940,330	925,710	-14,620	852
D	1,466,500	1,388,060	-78,440	907
E	1,326,100	1,326,258	158	1012
F	1,338,300	1,354,640	16,340	1394
G	2,479,100	2,467,462	-11,638	1535
H	3,501,500	3,518,406	16,906	1174
I	1,456,000	1,470,340	14,340	900
Total	14,677,230	14,471,921	-205,309	824

일부 노선을 제외하고는 Trip Fuel의 차이값이 큰 것으로 나타났고 편수가 많아질수록 Trip Fuel의 차이가 커지는데 이는 그만큼 허수의 중량이 많았다고 할 수 있다.

G노선의 경우 차이값이 음수임에도 불구하고 평균 예비연료가 많은 이유는 Fuel Tankering을 했기 때문이다. Fuel Tankering이란 출발지 공항의 연료 가격이 도착지 공항의 연료 가격보다 저렴한 경우 연료 가격 절감 차원에서 더 많이 싣고 가는 것을 말한다.

E, F, H, I 노선의 경우 차이값이 양의 값을 나타냈는데 이는 중량과 Trip Fuel의 상관관계가 주 원인이기 보다는 탑재된 예비연료량을 통해 그 이유를 알 수 있다. F공항의 경우 세계에서 혼잡한 공항 중 하나로 복잡한 항로 및 공항복잡도 등의 이유로 계획대비 실제 Trip Fuel을 더 많이 소모했고 E, H, I 노선의 경우 야간시간대 동남아시아로 가는 항로가 복잡했기 때문에 이륙 지연, 항공기 간격 분리 등의 이유로 계획 대비 Trip Fuel을 더 많이 소모한 것으로 나타났다.

이는 각 노선에 탑재된 평균 예비연료 값이 전체 평균보다 더 많이 탑재되었다는 점과 Table 4의 차이값이 모두 양의 값이라는 것을 고려할 때 중량과 Trip Fuel의 관계가 아님을 뒷받침할 수 있을 것이다. 앞서 언급했듯이 예비연료란 항로, 공항 사정, 기타 사유 등의 이유로 운항관리사 및 조종사가 판단해 법적 연료 외에 추가로 탑재하는 연료이다.

따라서 예비연료가 평균보다 많이 탑재되었다는 것은 각 노선에 특이사항이 있었다는 것이다. 다만 I공항의 경우 A항공사가 운영할 수 있는 노선 중 가장 장거리 노선으로 항로가 혼잡하지만 추가 연료를 실을 수 있는 항공기 구조적 용량이 부족하기 때문에 차이값이 양의 값이지만 평균 예비연료 값은 적은 것으로 나타났다.

III. 결 론

항공산업은 유가와 원화의 변동에 매우 민감한 산업이다. 앞서 살펴본 바와 같이 유가가 1\$ 상승 시 약 8천 8백여만의 추가 비용이 발생한다는 것을 알 수 있었다. 이는 대구국제공항이 A 항공사의 모기지자 아니라는 점을 감안할 때 모기지인 인천국제공항과 김포국제공항 등의 운항편수를 감안한다면 유가의 상승은 항공사에게 매우 큰 추가 비용이 발생할 것이다. 연료비용

을 절감하는 방법 중 하나인 기종교체 또는 엔진교체는 저비용항공사의 특성상 비용부담이 크기 때문에 한계가 있다. 따라서 저비용항공사들은 주기적인 엔진세척, Taxing Fuel 절약 등 비용대비 가시적인 효과를 볼 수 있는 방법을 통해 연료비용을 줄이고 있다.

본 연구는 항공기 연료효율에 있어 가장 기본적인 비용대비 가시적인 효과를 볼 수 있는 중량과 연료효율성에 대해 알아보았다.

연구결과 유상탑재중량의 정확한 예측을 통한 비행계획서 작성은 편도노선에서만 약 2억 1천 만원의 연료비용 절감 효과와 왕복으로 가정했을 경우 약 4억원의 연료비용 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 나타났다. 이는 대구국제공항이 A항공사의 취항공항 중 한 곳이라는 점을 감안한다면 정확한 중량산출을 통해 항공사의 전체적인 연료비용 절감 효과는 몇 배 이상을 기대할 수 있을 것이다. 특히 연료가격이 저렴한 인천국제공항의 경우 Fuel Tankering을 실시하고 있는데 비행계획단계와 W&B Manifest 사이의 중량차를 Tankering Fuel로 탑재한다면 연료비용 절감효과는 더욱더 극대화 될 것이다.

현재 원유와 환율이 안정세를 보이고 있어 항공사들이 느끼는 부담은 상대적으로 크지 않다. 또한 연료비용이 총 지출비용에서 큰 부분을 차지하는 것을 인지하고 있으나 중량측정에 따른 비용, 시스템 구축 등 추가 비용이 발생하기 때문에 신뢰성 있는 중량산출 및 연료탑재에 미온적이다. 하지만 환율과 원화의 변동은 불규칙적이고 이에 따라 연료비용의 변동폭이 매우 크기 때문에 미리 대비해야 할 것이다. 따라서 연료 절감 노력을 위한 항공사의 인식변화와 시스템 등이 구축된다면 고유가 시대가 도래해도 굳건히 발전할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] Y. S. Lee, J. C. Kim, S. M. Huh, D. H. Lee (2006). Economies of Scale in Multiproduct Firms : Evidence from Air Transport Industry. Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 14(4)

- [2] Jang-Hoon Park, Sung-Kwan Ku, Ho-Jong Baik (2014). Estimation of Flight Fuel Consumption Based on Flight Track Data and Its Accuracy Analysis. Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 22(4)
- [3] K. S. Noh, Y. C. Choi, K. E. Yoo. (2005). A Study on Aircraft Fuel Requirements. Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 13(1)
- [4] J.Y. Lee (2008). "A Study on Fuel Cut for Safe and Economical Flight", Master Thesis, Korea Aerospace University, Goyang-si, Gyeonggi-do, 2008.6
- [5] Sihyun Yoo, Kwang-Eui Yoo, Seung-Hoi Choi, Hyoseok Chang (2017). A Study on Reducing Aircraft Fuel Consumption by Reserve Fuel Reduction. Journal of the Aviation Management Society Of Korea, 15(3)
- [6] G. J. Lee, Y. C. Lee (2015). A Study on Result differences of Flight's Weight and Balance by Load Master. Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 23(3)