

항공기 비행단계별 연료소비 분석 및 Tier 3 배출량 산정

An Analysis of the Jet Fuel Consumption and the GHG Emission by the Flight Phase

이주형 · 김용석* · 신흥철

Lee, Ju Hyung, Kim, Yong Seok* and Shin, Hong Chul

교통안전공단 항공안전처

Aviation Safety Division, Korea Safety Transportation Authority, Ansan, Korea

요 지

최근 3년간 항공부문 온실가스 배출량은 연평균 5.7%씩 증가하고 있으며, 국민 소득수준 향상과 국제선 노선 확장 등 저비용 항공사의 성장가속화로 인해 운항 수요가 빠르게 증가하고 있어 항공 부문 온실가스 배출량은 지속적으로 증가할 전망이다. 본 연구에서는 국적 A항공사의 2011년도 비행 데이터(FOQA)를 활용하여 비행단계별 연료소비 패턴과 Tier 3급 온실가스 배출량을 산정하였으며, Tier 2 산정 방법 결과와 비교하였다. 대상 항공기는 보잉계열의 B737-600, B737-700, B737-800이었으며, 국내 노선은 김포-제주, 국제 노선은 인천-나리타를 주요 노선으로 선정하였다. 분석 결과, 1회당 총 연료소비량은 김포-제주는 2,298~2,405 kg이고, 비행단계별로는 순항 78% 차지하였으며, 인천-나리타는 4,763~6,291 kg으로 순항 시 87% 차지하였다. 또한, B737-700의 경우, 1회당 평균 분당 연료소비량은 이륙단계에서 순항단계보다 2.6~3.0배 더 많이 소모되는 것으로 나타났다. 한편, Tier 3급 배출량은 김포-제주는 1회당 평균 7톤, 인천-나리타 1회당 평균 16톤 발생되는 것으로 나타났으며, Tier 3a 방법이 Tier 2보다 2.7% 더 작게 산정된 것으로 나타났다. 이와 같은 통계는 항공기 운항절차별 감축 수단 이행 시 연료절감량과 감축량을 산출하는데 있어 중요한 기초자료로 활용되리라 판단된다.

키워드 : 항공기 온실가스 배출, 연료소비, FOQA, 비행단계, Tier 2, Tier 3

ABSTRACT

The amount of greenhouse gas (GHG) emissions has been increasing steadily over the last 3 years (2009~2011), averaging 5.7 percent a year, due to the growth of low cost carriers and the increased demand for air transportations. The present study attempts to investigate the aviation fuel consumption and GHG emissions of Tier 3a type by the flight phase from three aircraft type such

* Corresponding author : E-mail: yongkim@ts2020.kr

as B737-600(routes between Gimpo-Jeju airport), B737-700(routes between Gimpo-Jeju airport and Incheon-Narita), B737-800(routes between Incheon-Narita) using the Flight Operation Quality Assurance(FOQA) data of the year 2011.

Key words : Aircraft GHG Emission, Fuel Consumption, FOQA, Flight Phase, Tier 2, Tier 3

1. 서론

우리나라 2011년 기준 국내에서 배출되는 항공부문 온실가스 배출량은 1,734천톤으로 수송의 1.4%이며, 국제항공 배출량 11,819천톤을 포함하면 수송의 11% 규모이며, 2009년 이후 3년간 항공부문 온실가스 배출량은 연평균 5.7% 증가하였다(온실가스종합정보센터, 2014). 국민 소득수준 향상과 국제선 노선 확장 등 저비용 항공사의 성장가속화로 인해 운항 수요가 빠르게 증가하고 있어 항공부문 온실가스 배출량은 지속적으로 증가할 전망이다.

정부는 저탄소녹색성장기본법에 따라, 2011년 3월 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(이하, 목표관리제)을 제정·고시하였으며(환경부, 2011), 이를 통해 2012년 항공부문 관리업체는 배출허용량에 비하여 7.5% 감축하였고, 2013년에도 11천여톤 CO₂-eq 감축할 예정이다(국토부/교통안전공단, 2012). 이는 2013년도 교통부문 관리업체 감축량 중 38%에 해당된다. 이와 같이 국내항공부문 온실가스 배출을 규제하는 목표관리제와 별도로 국제항공부문은 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)의 CAEP(Committee on Aviation Environment Protection, 항공환경위원회)와 GIACC(Group on Aviation and Climate Change, 국제항공 및 기후변화에 관한 그룹)을 중심으로 국제항공 온실가스를 감축하기 위한 노력을 기울여 배출권 거래제 등 시장기반조치(MBM: Market based Measures) 도입을 고려하고 있고, 이러한 조치계획에 선제적으로 대응하기 위하여 국토교통부는 대한항공을 포함한 7개 국적항공사가 참여하는 자발

적 감축협약제도를 운영 중에 있으며, 교통안전공단은 자발적 협약의 책임운영기관으로서 참여 항공사의 온실가스 감축 실적에 대한 평가를 수행하고 있다(교통안전공단 2012). 앞으로 온실가스 목표관리제의 확대 및 2015년 배출권거래제 도입 등 항공사의 적극적인 배출량 감축에 대응하기 위한 기초 통계자료가 필요할 것으로 판단된다.

이에 동일 노선과 동일 기종에 대한 비행단계별 연료소비량과 온실가스 배출량을 파악할 수 있다면 향후 비행운항절차에 따른 감축 이행 시 효과적으로 연료절감량 및 감축량을 산출할 수 있어 온실가스 감축에 대응할 수 있는 자료로서의 가치가 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 국적 A항공사의 FOQA(Flight Operation Quality Assurance, 비행자료 분석시스템) 데이터를 이용하여 B737-600, B737-700, B737-800에 대한 국내 및 국제노선별, 비행단계별 운항시간당 연료소비패턴을 분석하였다. 또한, Tier 3a 산정 방법에 따라 비행단계를 5단계로 구분하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 이 산정 결과를 국가 항공부문 온실가스 배출량 산정 방법인 Tier 2 결과와 비교·분석하였다.

2. 자료수집 및 분석방법

2.1 자료 수집

항공사고 예방과 지속적인 항공안전을 위하여 민간 항공기에는 비행 상황을 구체적으로 기록할 수 있는 비행 기록장비를 갖추고 있다. 이러한 장비는 법적으로 설치하여야 하며, 이를 위해 모든 국적 항공사는 FOQA 프로그램을 구축·운영

Table 1. The example of FOQA data

ID	Data
Route	GMP-CJU
Flight No	XXX
Flight data	2011. 2. 1.
Fight time(hr/min/second)	07/26/36
Type	HLXXXX
Gross weight take-off(pound)	116,800
Flaps take-off(min)	5
Engine start~Take-off(kg)	234.1
Engine start~Take-off(min)	11.70
Take-off~3,000 ft(kg)	136.8
Take-off~3,000 ft(min)	1.28
Cruise(kg)	1,746.9
Cruise(min)	44.57
3,000 ft~Touch down(kg)	112.4
3,000 ft~Touch down(min)	4.18
Touch down~Engine shutdown(kg)	59.8
Touch down~Engine shutdown(min)	4.30

하고 있다(강현철 2001). 지난 수십 여 년간 기술의 발달로 광범위한 데이터를 과학적으로 수집·분석하는 것이 가능해졌으며, 세계 유수 항공사들이 그들의 운항안전 품질을 위해 FOQA와 같은 형태의 프로그램을 운영하고 있다(Lowe *et al.*, 2012).

Table 1과 같이 국적 A항공사 FOQA에서 생산된 2011년 항공기 운항 원본 데이터를 이용하여 기종별 주요 노선별 비행단계별 연료소비 패턴 분석 시 활용하였다. 더불어 Tier 3a급의 항공기 온실가스 배출량도 산정하였다. FOQA에서 생산되는 자료 중 출·도착공항 및 비행단계별 연료소모량 등은 Tier 3a 배출량 산정에 있어 가장 중요한 활동자료이며, FOQA 데이터를 활용한 Tier 3a 배출량 산정은 국내에서는 처음 시도하는 것으로 배출량 검증 차원에서 동일노선과 동일기종에 대해 국가 산정방식인 Tier 2 배출량 결과와 비교하였다.

2.2 분석 방법

Table 2와 같이 FOQA 데이터를 입수한 국적

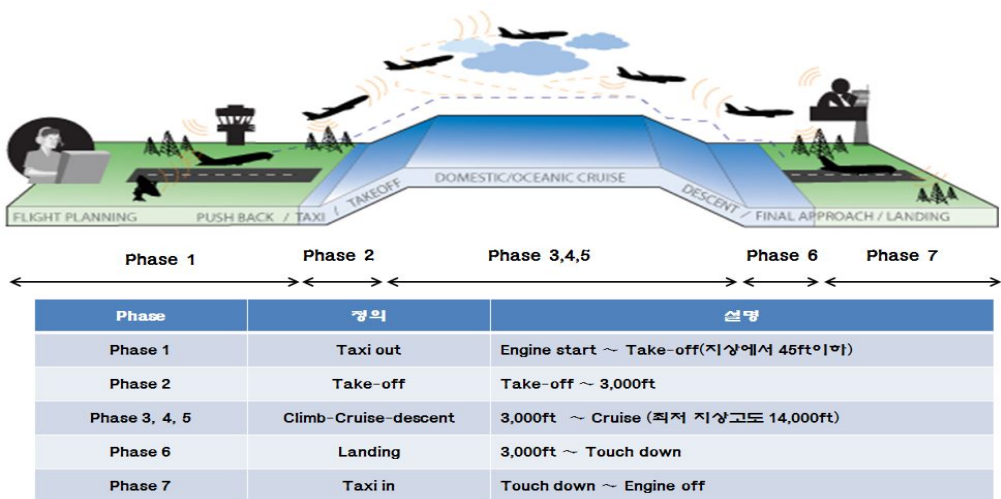


Fig. 1. Standard flying cycles of the civil air traffic.

Table 2. Aircraft types

	B737-600	B737-700	B737-800
Fuel consumption (kg/hr)	2,186	2,250	2,372
Seatings	131	149	186
Critical routes	GMP-CJU	GMP-CJU ICN-NRT	ICN-NRT

A항공사는 B737-600, B737-700, B737-800 기종을 보유하고 있으며, 이를 대상으로 연료소비 패턴을 분석하여 배출량을 산정하였다. 더불어 B737 기종은 모든 국적 항공사 중 가장 많이 보유한 기종으로써의 그 대표성이 크다고 할 수 있다. B737-600은 평균 시간당 연료소비량은 2,186 kg이며, 좌석수는 131석으로 주요 노선은 김포-제주이다. B737-700은 평균 시간당 연료소비량은 2,250 kg, 좌석수는 149석, 주요 국내 노선은 김포-제주, 인천-청주이며, 주요 국제 노선은 인천-나리타, 인천-방콕 등이다. B737-800은 국제 노선 전용기로 평균 시간당 연료소비량은 2,372 kg, 좌석수는 186석, 주요 노선은 인천-나리타와 인천-방콕 등이다.

Fig. 1과 같이 일반적으로 항공기 비행 사이클은 크게 7단계로 구분된다. Phase 1은 항공기 엔진 시동에서 이륙 직전(지상에서 45 ft 이하) 단계, phase 2는 항공기가 이륙에서 고도 3,000 ft까지의 이륙단계, phase 3은 고도 3,000 ft 상승해서 순항비행 전 단계, phase 4는 순항비행단계, phase 5는 순항비행단계에서 고도 3,000 ft까지의 하강단계, phase 6은 고도 3,000 ft에서 착륙단계, 마지막으로 phase 7은 착륙해서 엔진 정지까지의 단계이다. 본 연구에서는 FOQA 데이터를 활용하여 항공기 비행단계 중 phase 3, 4, 5(climb-cruise-descent, CCD)는 하나의 단계로 합쳐 총 5단계로 구분하여 기종별, 노선별 연료소모량 패턴을 분석하고, 배출량을 산정하였다.

3. 산정 방법

국가 온실가스 배출량은 기본적으로 기후변화 협약(UNFCCC) IPCC 가이드라인을 기본으로 하여 산정하고 있다. 크게 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분된다. Tier 1 산정 방법은 연료사용량과 IPCC 가이드라인 기본배출계수의 곱으로 배출량을 산정하여 비교적 간단하고 단순하다(환경부/환경관리공단, 2008). Tier 2 산정 방법은 기종별 연료사용량 외에 기종별 운항횟수 자료가 필요하므로 Tier 1 산정 방법보다는 복잡한 방식이다. 3,000 ft 이상과 이하로 구분하여, 이착륙 단계와 순항 단계에서 발생하는 배출량을 합산하여 산정하며, 그 식은 다음과 같다(온실가스종합정보센터 2014).

$$E = \sum [(LTO \times EF_{LTO}) + (A_{cruise} \times EF_{cruise}) \times F_{eq}]$$

$$A_{cruise} = A_{total} - (LTO \times A_{LTO})$$

E : 온실가스 배출량(kg CO₂, CH₄, N₂O)

LTO : 이착륙횟수(Landing & take-off)

A_{total} : 총 연료사용량(ton)

A_{LTO} : 이착륙 단계에서의 연료사용량(kg/ton)

A_{cruise} : 순항 단계에서의 연료사용량(ton)

EF_{LTO} : 이착륙 단계 배출계수(kg/LTO)

EF_{cruise} : 순항 단계 배출계수(kg/ton)

F_{eq} : 온실가스의 CO₂ 등가계수(CO₂-eq)

(CO₂=1, CH₄=21, N₂O=310)

본 연구에서 산정하고자 하는 Tier 3 산정 방법은 크게 Tier 3a와 3b로 구분된다. Tier 3a 방법은 출도착별, 기종별 운항횟수 자료 및 비행 단계별 연료사용량도 산정 시 고려하여야 한다. Tier 2 방법에 비해 배출량 산정의 정교함은 높아지나, 그 만큼 산정을 위한 방대한 자료가 요구된다(조준행 등, 2008). 비행단계별 연료사용량은 FOQA 데이터의 비행단계별 연료사용량을 활용하였으며, CH₄와 N₂O 이착륙 및 순항 배출계수는 ICAO와 EMEP/CORINAIR 자료(MacCarthy

et al., 2011), 항공유 탄소함량은 교통안전공단 자동차안전연구원(유선아 등, 2012) 자료를 활용하였다. 본 연구의 Tier 3a식은 다음과 같다.

$$E_{CO_2} = \sum [(C \times A_{cycle} \times 44/12) \times F_{eq}]$$

$$E_{nonCO_2} = \sum [(A_{cycle} \times EF_{cycle}) \times F_{eq}]$$

E_{CO_2} : 온실가스 배출량(kg CO₂)

E_{nonCO_2} : 온실가스 배출량(kg CH₄, N₂O)

C : 항공유 탄소함량(83.68%)/100

A_{cycle} : 비행단계별 연료사용량(kg)

EF_{cycle} : 비행단계별 배출계수(kg/kg)

F_{eq} : 온실가스의 CO₂ 등가계수(CO₂-eq)
(CO₂=1, CH₄=21, N₂O=310)

참고로, Tier 3b는 경도, 위도, 고도, 시간뿐 아니라, 항공기, 엔진, 공항, 지역별 연료소비량과 항공기 성능, 궤도 등을 다양한 변수를 이용하여 배출량을 산정하므로 복잡한 시뮬레이션 모델이 필수적이다. ICAO에서 승인된 대표적인 시뮬레이션 모델로는 SAGE와 AERO2k 등이 있다(국토교통부/교통안전공단, 2011).

4. 비행단계별 연료소비

4.1 1회당 연료소비량(kg/LTO)

Fig. 2(a)와 같이 A항공사 B737-600의 주요 노선은 김포-제주 출도착별 노선이며, 2011년 기준으로 김포-제주(이하, 김포공항 출발-제주공항 도착 의미) 1,458회, 제주-김포(이하, 제주공항 출발-김포공항 도착 의미) 1,207회 운항하였다. 이를 분석한 결과, 비행단계별 1회당 연료소비량 비중은 순항 78%, 택시 12%, 이착륙 10%인 것으로 나타났으며, 운항시간은 평균 64~65분 걸리는 것으로 분석되었다. 1회당 총 연료소비량은 김포-제주 2,350 kg/LTO, 제주-김포 2,298 kg/LTO로 동일 항적임에도 불구하고 김포-제주 운항할 때 보다 제주-김포 운항 시 연료가 2.2% 덜 소모되

는 것으로 나타났다. 비행단계 중 순항단계(김포-제주 1,834 kg/LTO, 제주-김포 1,796 kg/LTO)에서 연료 소모 비중이 2.1%로 가장 크게 차이가 나타났으며, 기상 및 바람의 영향도 한 요인으로 보이나, 이에 대해서는 좀 더 세밀한 분석이 향후 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Fig. 2(b)와 같이 B737-700의 국내선의 경우, 주요 노선은 김포-제주 출도착별 노선이며, 2011년 기준 김포-제주는 3,436회, 제주-김포는 3,421회 운항하였다. 이를 분석한 결과, 비행단계별 1회당 연료소비량 비중과 평균 운항횟수는 B737-600 김포-제주 출도착 노선 데이터와 유사하였다. 1회당 총 연료소비량은 김포-제주 2,405 kg/LTO, 제주-김포 2,336 kg/LTO로 B737-600과 유사하게 김포-제주 운항 시 보다 제주-김포 운항 시 2.9% 연료가 덜 소모되는 것으로 나타났다. 비행단계 중 순항단계(김포-제주 1,881 kg/LTO, 제주-김포 1,834 kg/LTO)에서 연료소모 비중이 2.6%로 가장 큰 것으로 나타났다.

Fig. 2(c)와 같이 B737-700 국제선의 경우, 주요 노선은 인천-나리타 출도착별 노선이며, 2011년 기준 인천-나리타(이하, 인천공항 출발-나리타공항 도착 의미) 173회, 나리타-인천(나리타공항 출발-인천공항 도착 의미) 170회 운항하였다. 그에 따른 비행단계별 1회당 연료소비량 비중은 순항 87%, 택시 8%, 이착륙 5%인 것으로 나타났다. 인천-나리타의 운항시간은 평균 133분, 1회당 총 연료소비량은 4,763 kg/LTO이고, 나리타-인천의 운항시간은 평균 154분, 1회당 총 연료소비량은 5,235 kg/LTO인 것으로 분석되었다. 인천-나리타 운항 시보다 나리타-인천 운항할 때 연료가 9.0% 더 소모되었고, 운항시간도 평균 21분 더 소요된 것으로 나타났다. 비행단계별 보면 순항단계(인천-나리타 4,127 kg/LTO, 인천-나리타 4,599 kg/LTO)에서 11.4% 가장 큰 차이를 보이고 있다.

Fig. 2(d)와 같이 B737-700보다 좌석수가 많고,

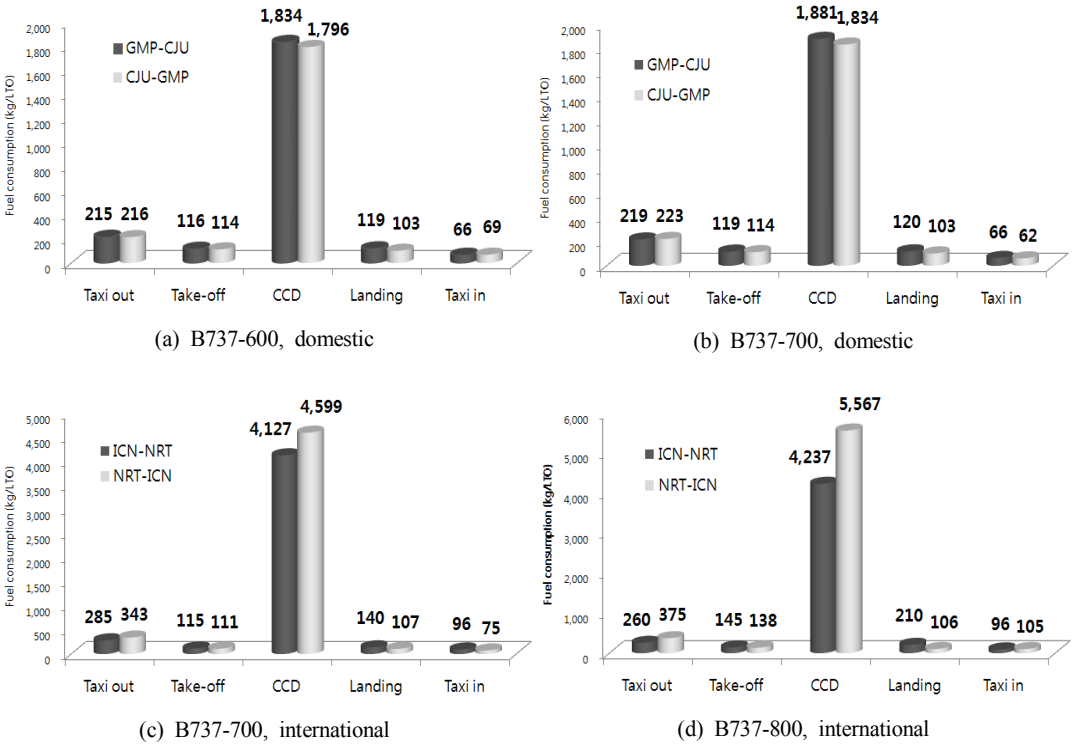


Fig. 2. Results of the fuel consumption(kg/LTO) by the 5 flight phase(taxi out, take-off, CCD, landing, taxi in).

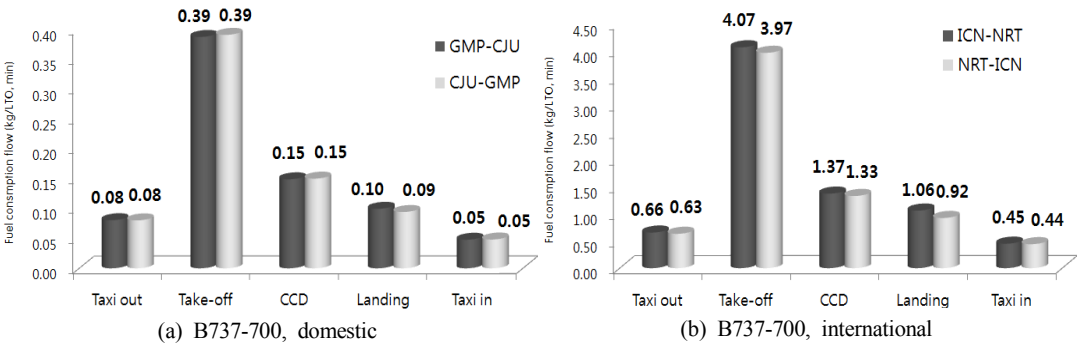


Fig. 3. Results of the fuel consumption flow(kg/LTO, min) from B737-700 by the 5 flight phase.

연료 소모가 큰 B737-800의 주요 노선은 인천-나리타 출도착별 노선이며, 2011년 기준으로 인천-나리타 3회, 나리타-인천 2회 운항하여 동일 노선의 B737-700보다는 운항실적이 적은 편이었다.

그에 따른 비행단계별 1회당 연료소비량 비중은 순항 87%, 택시 7%, 이착륙 6%로 동일 노선의 B737-700과 유사하였다. 인천-나리타 운항시간은 평균 131분, 1회당 총 연료소비량은 4,948 kg/

LTO이고, 나리타-인천 운항시간은 평균 174분, 1회당 총 연료소비량은 6,291 kg/LTO인 것으로 분석되었다. 인천-나리타 운항 시보다 나리타-인천 운항할 때 연료가 21.3% 더 소모되었고, 운항 시간도 평균 43분 더 소요된 것으로 나타났다. 동일 노선의 B737-700과 유사하게 나리타-인천으로 운항할 때 인천-나리타 운항 시보다 더 연료 소모가 더 큰 것은 일반적으로 제트류 등 기상학적 요인이 주요 원인으로 보이나, 좀 더 자료 수집 후 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 분당 연료소비량(kg/LTO, min)

1회당 비행단계별 연료소비량과 별도로 B-737-700 김포-제주 출도착 노선과 인천-나리타 출도착 노선을 대상으로 1회 운항 시 평균 분당 연료소비량을 분석하여 보았다.

Fig. 3(a)와 같이 김포-제주와 제주-김포 모두 이륙단계에서 분당 0.39 kg/LTO로 순항단계의 분당 0.15 kg/LTO보다 2.6배 정도 연료가 더 많

이 소모된 것으로 나타났다. Fig. 3(a)와 달리 Fig. 3(b)는 인천-나리타/나리타-인천의 비행단계별 평균 분당 연료소모에 있어 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 평균적으로 이륙단계에서 분당 3.97~4.07 kg/LTO로 순항단계의 1.33~1.37 kg/LTO보다 2.6배~3.0배 정도 연료가 더 많이 소모된 것으로 분석되었다. 이와 같이 비행단계별로 보면 이륙하는 순간에 연료가 가장 많이 소모된다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 배출량 산정

Tier 3a 산정 방법을 활용하여 B737-600, B-737-700, B737-800에 대하여 비행단계별 노선구간별 온실가스 배출량을 산정하여 Table 3에 나타내었다.

B737-600 김포-제주 출도착 노선의 2011년 배출량은 총 19,213톤 CO₂-eq이며, 순항단계 15,004톤 CO₂-eq, taxi in/out 2,338톤 CO₂-eq, take-off/landing 1,871톤 CO₂-eq으로 1회당 평균 7톤

Table 3. Results of GHG emission from aircraft by the flight phase(Tier 3a)

Aircraft types	Airport			Emission (tons CO ₂ -eq)					
	Departure	Arrival	LTOs	Taxi out	Take-off	CCD	Landing	Taxi in	Total
B737-600	GMP	CJU	1,458	972	523	8,287	538	297	10,617
	CJU	GMP	1,207	809	426	6,717	384	260	8,596
	Total		2,665	1,781	949	15,004	922	557	19,213
B737-700	GMP	CJU	3,436	2,335	1,266	20,028	1,283	703	25,615
	CJU	GMP	3,421	2,369	1,210	19,445	1,092	661	24,778
	Total		6,857	4,704	2,476	39,473	2,375	1,364	50,392
B737-700	ICN	NRT	173	153	62	2,213	75	52	2,554
	NRT	ICN	170	181	59	2,423	56	40	2,759
	Total		343	333	121	4,636	132	91	5,313
B737-800	ICN	NRT	3	2	1	35	1	1	39
	NRT	ICN	2	2	2	39	2	1	46
	Total		5	5	2	74	3	2	85

정도 온실가스가 발생하였다. B737-700 김포-제주 출도착 노선의 2011년 배출량은 총 50,392톤 CO₂-eq이며, 순항단계 39,473톤 CO₂-eq, taxi in/out 6,068톤 CO₂-eq, take-off/landing 4,851톤 CO₂-eq으로 동일 노선 B737-600과 유사하게 1회당 평균 7톤 정도 온실가스가 발생하였다. 동일 B737-700의 인천-나리타 출도착 노선의 2011년 배출량은 총 5,313톤 CO₂-eq이며, 순항단계 4,636톤 CO₂-eq, taxi in/out 425톤 CO₂-eq, take-off/landing 252톤 CO₂-eq으로 1회당 평균 15톤 정도 온실가스가 발생하였다. B737-800의 인천-나리타 출도착 노선의 2011년 배출량은 총 85톤 CO₂-eq이며, 순항단계 74톤 CO₂-eq, taxi in/out 6톤 CO₂-eq, take-off/landing 5톤 CO₂-eq으로 1회당 평균 17톤 정도 온실가스가 발생한 것으로, 동일 인천-나리타 출도착 노선 B737-700보다 더 많은 양이 배출되었다.

6. Tier 2와 Tier 3a 산정 방법 비교

항공기에 대한 국가 공식 온실가스 배출량은 Tier 2이다(온실가스종합정보센터, 2013). 동일 노선, 동일 기종을 대상으로 국가 산정방식인 Tier 2와 본 연구에서 적용한 Tier 3a를 비교·분석함으로써 배출량을 검증해 보고자 하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 김포-제주와 인천

-나리타 출도착 노선의 B737-700 배출량을 비교해 보면 Tier 3a에 의한 배출량은 55,705톤 CO₂-eq, Tier 2에 의한 배출량은 57,246톤 CO₂-eq로 Tier 3a 방법이 Tier 2 방법보다 2.7% 더 적게 산정되는 것으로 나타났다. 좀 더 세부적으로 살펴보고자 순항(CCD)과 이착륙(LTO)을 구분하여 보았다. 그 결과, 김포-제주 출도착 노선은 Tier 2 방법일 때 순항단계와 이착륙단계 배출기여도는 각각 67.0%와 33.0%를 나타낸 반면, Tier 3a는 78.3%와 21.7%의 배출기여도를 보여주어 Tier 3a 방법이 Tier 2 방법보다 순항단계에서 배출 기여점유율이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 인천-나리타 출도착 노선도 이와 유사하였으나, Tier 3a의 순항단계에서의 배출기여도는 87%로 제주-김포 출도착 노선보다 높았다. 이런 배출량 결과는 배출계수 등 산정방식에 기인하고 있으며, 비록 일부 데이터에 근거하지만 본 연구를 통해 거리에 비례하여 순항단계 기여율도 커지는 것을 파악할 수 있었다.

또한 Tier 2는 단순 기종에 대한 배출현황 정도만 파악이 가능하지만, Tier 3a는 기종뿐만 아니라 출도착 공항별 노선에 대한 비행단계별 연료소비 및 배출량 현황을 파악할 수 있어, 향후 비행운항절차에 따른 감축 수단 이행 시 효과적으로 연료절감량 및 감축량을 어느 정도 정확하게 산출할 수 있어 국내외적으로 항공기 온실가

Table 4. Comparison of the GHG emission results for Tier 2 and Tier 3a

Aircraft types	Airport	Emission (tons CO ₂ -eq)			
		Tier 2		Tier 3a	
		LTO	CCD	LTO	CCD
B737-700	Gimpo-Jeju	17,094	34,696	10,919	39,473
	Sub-total	51,790		50,392	
B737-700	Inchon-Narita	855	4,601	677	4,636
	Sub-total	5,456		5,313	
Total		57,246		55,705	

스 감축에 대응할 수 있는 기초자료로서 활용되리라 사료된다(김용석 등, 2013).

7. 결론 및 토의

국적 A항공사의 FOQA 데이터를 이용하여 비행단계별 B737-600, B737-700, B737-800 주요 노선의 연료소비 패턴을 분석하였으며, 이를 통해 Tier 3a 산정 방법으로 온실가스 배출량을 산정하고, Tier 2 산정 방법과 비교하여 보았다.

2011년 김포-제주 출도착 노선의 B737-600의 1회당 총 연료소비량은 2,298~2,350 kg, B737-700은 2,336~2,405 kg이고, 순항 시 전체 배출량의 78%를 차지하고 있었으며, 인천-나리타 출도착 노선의 B737-700의 1회당 총 연료소비량은 4,763~5,235 kg, B737-800은 4,948~6,291 kg이며, 순항 시 전체 배출량의 87%를 차지하였다. 기종 중량, 최대이륙중량 및 탑승률 등에 따라 차이가 있지만, B737-700의 경우 1회당 평균 분당 연료소비량은 이륙단계에서 0.39~4.07 kg/LTO로 이륙 시 분당 연료소비가 순항단계보다 2.6~3.0배 더 많이 소모되는 것으로 나타났다. 또한, 동일항적 노선임에도 불구하고, 순항단계에서 1회당 총 연료소비량에 적게는 2.2%, 많게는 21.3% 차이가 발생하였으며, 이에 따라 운항절차별 감축수단 및 항로 등에 대한 좀 더 세밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 더불어, Tier 3a 방법을 통해 출도착 공항별, 비행단계별 배출량 산정이 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며, FOQA 데이터를 활용한 Tier 3a에 의한 배출량 검증에 Tier 2와 비교한 결과, Tier 3a 방법이 Tier 2 방법보다 2.7% 더 적게 산정되는 것으로 나타났다. 이런 차이는 배출계수 등 산정방식에 기인하고 있지만, 본 연구를 통해 알 수 있듯이 Tier 3a 방법이 Tier 2 방법보다 출도착 공항별 노선에 대한 비행단계별 연료소비와 배출량 현황을 파악할 수 있고, 더불어 이를 통해 비행 운항절차에 따른 감축 수단 이행 시 감축량 산출

이 어느 정도 가능하다고 판단되므로, 활용 측면에서는 Tier 3a 방법이 Tier 2 방법보다는 더 정교하고 유연하다고 할 수 있다. 다만, Tier 2 방법과 Tier 3a 방법 중 어느 것이 더 정확한지에 대한 판단은 본 연구에서는 유보하며, 이를 위해서는 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

국내외적으로 목표관리제와 배출권거래제 도입에 따라 배출규제가 강화되고 있는 시점에서 국내에서는 처음으로 항공온실가스 배출량을 Tier 3a 방법으로 산정하였고, 이러한 배출통계는 향후 국가 감축정책을 추진하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 데이터의 신뢰성을 확보하고, 보다 발전된 항공부문 온실가스 감축정책 추진을 위해 향후 산정 방법론별에 대한 보다 상세한 비교를 수행하고자 하며, 보다 의미 있는 시사점을 찾아내고자 노력할 것이다.

사사

본 논문은 국적 A항공사의 비행자료와 국토교통부와 환경부의 지원으로 작성되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 강현철, 2001, 항공안전과 FOQA 데이터, 항공진흥, 2호, 136-162.
- 교통안전공단, 2012, 항공온실가스 감축을 위한 자발적협약 이행매뉴얼 개발에 관한 연구.
- 국토교통부/교통안전공단, 2011, 저비용항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구.
- 국토교통부/교통안전공단, 2012, 2012년도 교통물류 온실가스 배출량 조사.
- 김용석, 이주형, 2013, 저탄소 운항절차에 따른 연료절감 효과분석, 한국항공운항학회지, 21권 1호, 39-44.
- 온실가스종합정보센터, 2013, 국가 온실가스 통계

- 산정 · 보고 · 검증지침.
 온실가스종합정보센터, 2014, 2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서.
- 유선아, 정애라, 정혁, 이현우, 권해봉, 박용성, 2011, 국내 연료의 고유특성 및 CO₂ 배출계수 산정연구, 한국자동차공학회 부분종합 학술대회 논문집, 400-405.
- 조준행, 신승식, 정경화, 2008, 수송부문 온실가스 배출통계체계 구축 및 관리방안, 한국교통연구원, 경제 · 인문사회연구회 협동연구총서, 74-78
- 환경부/환경관리공단, 2008, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인, 2권.
- MacCarthy, J., K. Brown, N. Webb, N. Passant, G. Thistlethwaite, T. Murrells, J. Watterson, L. Cardenas, A. Thomson, and Y. Pang, 2011, UK Greenhouse Gas Inventory 1990 to 2009, **AEA Technology**, 414-421.
- Lowe, Shelley E., Elaine M. Pfleiderer, and Thomas R. Chidester, 2012, Perceptions and Efficacy of Flight Operational Quality Assurance (FOQA) Programs Among Small-Scale Operators. Federal Aviation Administration.