

論文

온실가스배출 감소와 연료절감을 위한 최적 운용절차 방안에 관한 연구

황정현*, 이태광**, 황사식***

A Study of Optimized Operation for
CO₂ Emission and Aircraft Fuel Reduced Operation Procedures

Jeong-hyun Hwang*, Tae-Gwang Lee**, Sa-Sik Hwang***

ABSTRACT

As the aviation industry looks to the future, fuel saving and CO₂ emission reduction play a dominant role in meeting the business challenges presented by global financial uncertainty. The IATA and International Government effort to save fuels, and then save 4 billion gallons of fuel burned, while reducing CO₂ emissions by 34 million tons. The various reduction methods adapted airlines and airports. We focused on optimized flight operation procedures for saving fuel and reduction emission cases. IATA and Canada government research reports focused on four methods that Engine Core Washing, Portable Water Management, Single Engine Taxi, APU limit operation. Apply to domestic airlines fuel data, Engine Core washing was saving more than Twenty-four thousand tons CO₂ emissions.

Key Words : Aircraft Operation Environment(항공기 운항환경), Fuel Saving measures(연료 감축수단), IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:기후변화정부간 협의체), ETS(Emissions Trading Scheme:탄소배출권 거래시스템)

1. 서 론

2012년 유럽연합(EU)은 역내 27회원국에 취항하는 모든 역내외 국가 항공사들에 대해 이산화탄소 배출 부담금, 이른바 탄소세를 부과하기로 하고 올해 1월1일부터 시행에 들어갔다.

지구온난화를 일으키는 이산화탄소 배출을 줄일 국제적 대책이 마련되지 않는 한 유럽연합은

유럽의 독자적인 'ETS(Emissions Trading Scheme :탄소배출권 거래시스템)을 유지할 것이라고 강조하였으며, 이에 따라 국내항공사에도 탄소세 부과를 통보받아 이제 국내에서도 유럽으로 비행하는 대형항공사들도 탄소세를 내게 되었다.

2012년 1월 유럽연합은 국내항공사에게 탄소세 부과를 통보하여 국내 대형항공사들에게 각각 205만톤, 78만3,000톤의 탄소 배출 상한선을 제시했다. 또한, 이를 초과 배출한 탄소량에 대해 연간 단위로 정산해 배출권을 구매토록 하였다. 두 항공사가 부담하게 될 탄소세는 대략 60억원 규모로 추정 된다. 현재 항공부문에서는 온실가스 배출이 상대적으로 지구에 미치는 영향이 적은 요인이었지만, IPCC에서는 모든 분야에서 배출량 산정과 신속한 조치에 대해 제시하였다. 항공

2013년 10월 30일 접수 ~ 2013년 12월 18일 심사완료
논문심사일 (2013.11.01, 1차), (2013.12.04, 2차)

* 한국항공우주연구원 항공안전기술개발사업단

** 한국항공대학교 항공교통물류학과 대학원

*** 한국항공대학교 항공운항학과

연락처, E-mail : hyh8204@kari.re.kr

대전광역시 유성구 과학로 115 한국항공우주연구원

부문 온실가스 배출량 추정은 항공분야의 연료사용량에 따른 복잡하고 광범위한 자료를 필요로 한다. 이에 국가 온실가스 배출통계를 위한 IPCC 가이드라인을 기준으로 한 국가의 온실가스 배출 목표설정 방식이 국제적으로 동일한 기준으로 설정될 수 있다. 이와 같이 온실가스 배출은 단순히 탄소세 부과만의 문제가 아닌 항공사의 연료사용절감 활동들을 연구, 분석하여 전세계적인 관심사항이 되고 있는 이산화탄소배출과 연료절감을 위한 최적운용방안을 제시하고자 한다.

2. 국제적 온실가스 관련활동 현황

2.1 온실가스 배출량 산정 활동 분석

IPCC(기후변화정부간 협의체)의 제 4차 평가 보고서에 의하면 향후 기후전망을 예측하기 위한 시나리오를 통해 화석연료에 의존한 대량 소비형 사회가 지속될 경우 1980~1999년에 비해 금세기 말(2000~2099년)의 지구 평균기온은 최대 6.4℃, 해수면은 59cm 상승될 것으로 전망하고 있으며, 환경 친화적으로 현재의 배출량을 유지할 경우 기온은 1.1℃, 해수면은 18cm 상승할 것으로 전망하였다¹⁾.

항공기 엔진으로부터 배출되는 온실가스의 총량은 전 세계 화석연료 연소에 의한 배출 가스 총량 중 약 2~3% 수준으로 알려져 있으며 전체 대기 환경에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타나고 있으나, 국제공항협의회를 포함한 많은 관련 기관에서는 아시아 시장의 성장을 비롯하여 향후 20~30년간 항공수요가 3배 이상 급증할 것으로 전망하고 있다²⁾. 항공기 엔진에서 배출되는 CO₂, H₂O, SF₆, NO_x와 같은 배출물질들은 지상에서 배출되는 오염원과는 다르게 직접적으로 대류권 상층부와 성층권 하부에 영향을 주는 것으로서, 배출물질이 고고도에서 미치는 영향에 대해서는 많은 논란이 있지만, SF₆와 같은 배출물질들은 이산화탄소에 비해 더 치명적인 온실가스 효과를 내고 있으며, 이들 효과는 항공부문에서의 배출량이 타 산업에 비해 적은 양에도 불구하고 상층부에서의 직접적인 영향으로 인해 부정

적인 영향을 미치고 있다는 데에 의견을 같이 하고 있다.

항공부문에서의 온실가스는 넓은 의미와 좁은 의미로 설명될 수 있다. 온실가스 범주 내에서 넓은 의미의 항공은 항공기, 건물(공항 및 항공사), 지상조업 차량 등에서 배출되는 모든 원천을 말한다. 항공기는 이착륙을 포함한 국제 및 국내 민간항공기의 운항과정에서 배출되며, 국제/국내항공은 비행기의 국적이 아닌 각 비행의 이착륙지점을 근거로 한다. 항공기운항지원 건물에서는 보일러를 가동시키는데 사용하는 화석연료에 의한 배출과 비상시 가동되는 발전기에서의 화석연료 사용으로 인하여 배출되며, 그 외 육상 교통(수송차량 및 특수차량 등)에 의한 연료 사용에 의한 배출은 기타 교통에 들어가기 때문에 항공에서는 제외하고 있다.

또한, 온실가스 범주 내에서 좁은 의미의 항공은 항공기 내연기관에서 제트연료(Jet Kerosene)나 항공 휘발유(Aviation Gasoline) 등의 연소에 의해 온실가스가 발생하는 배출원천을 의미한다.

온실가스 배출량 중 가장 많은 비율을 차지하는 것이 이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄)이며 적은 비중이지만 산화이질소(N₂O), 육불화황(SF₆), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC) 등 6종의 온실가스가 전체 온실가스 배출량의 1/3에 해당한다.

각각의 온실가스는 복사열을 흡수하는 정도가 다르며 보통 CO₂를 기준으로 CH₄는 적은 배출에도 불구하고 25배 이상, SF₆는 무려 22,800배 더 큰 온실가스 효과를 보는 것으로 알려져 있다.

항공기에서 발생하는 이들 온실가스는 대기권과 성층권 하부에서 배출되며 이는 지상에서 배출되는 온실가스 수준과 증가되는 항공수요를 가늠할 때, 대기에 직접적인 영향을 미치는 정도가 더 클 수 있음을 의미한다. 제트 항공기가 지나가면서 발생하는 오염물질로 인해 나타나는 권운(Cirrus Clouds)의 경우, 기후변화에 미치는 영향과 발생여부에 관한 측정법에 대해 현재까지도 명확하게 해결이 나지 않았지만 이러한 형태의 구름이 배출가스에 의한 온실효과를 상당부분 증가시킨다는 결론을 도출하였다.

2.2 항공기 온실가스 관련 국제적 규제동향

온실가스 배출 저감을 위한 노력은 국가 간 협의체인 'IPCC(기후변화정부간 협의체)'에 의해 정부 간 온실가스 관리 및 제도의 효율성을 위한 매개체로 활동하고 있다. 또한 이를 기준으로 ICAO와 IATA 및 각 국가에서 자체적인 규제

1) 항공부문 온실가스 배출량 인벤토리 검증방안 연구, 교통안전공단, 김용석, 신홍철, 2010

2) 한재현, 박찬엽, "항공기 배출가스 규제의 국제 동향 및 배출저감 기술, 한국항공운항학회 춘계학술대회, p.29, 2007

또는 법제화를 통한 관리체제로 효율적인 온실가스 관리를 시행하고 있으며, 국내에는 환경부의 주관으로 국가온실가스센터가 설립되어 관리 시행중에 있다. 항공부문에서는 국토교통부와 교통안전공단이 이를 관리 감독뿐만 아니라 결과 분석 및 컨설팅업무를 시행하고 있다.

2.2.1 기후변화정부간 협의체(IPCC)활동현황

유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국은 제4조 및 제12조에 따라 국가 온실가스 배출량을 산정하여 보고하여야 하며, 각 국가는 매년 또는 2~3년 주기로 당사국총회(The Conference of the Parties, COP)로 국가보고서가 제출되도록 하고 있다.

기후변화협약은 1992년 브라질 리우에서 개최된 UN 환경개발회의에서 체결되었고, 교토의정서는 1997년 12월 제3차 당사국총회에서 개최되었으며, 당사국은 2008-2012년 온실가스배출량을 1990년 수준보다 최소 5% 감축하는 것을 목표로 하였다. 특히, 우리나라는 2007년 제13차 COP 회의에서 2013년부터 의무 감축대상국이 되는 것에 합의하였다.

온실가스 배출량 산정을 위한 IPCC (기후변화정부간 협의체) 가이드라인은 UNFCCC에 보고하기 위해 온실가스 인벤토리를 작성할 때 각 국가에서 통용할 국제적으로 합의된 방법론으로 UNFCCC 요청에 의해 만들어졌다. IPCC는 1996 IPCC 가이드라인(1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)과 이와 연관된 우수실행지침(Good Practice Guidance, GPG 2000/GPG 2003)을 보완하기 위해 2006 IPCC 가이드라인(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)을 발간하였다.

현재 우리나라는 1996 IPCC 가이드라인을 이용하여 환경부의 주관아래 국가온실가스종합관리시스템을 구축하여, 그 결과를 국가보고서 형태로 작성하여 UNFCCC에 보고하고 있다.

2.2.2 국제민간항공기구(ICAO)의 규제동향

UN은 1997년 교토의정서³⁾를 통해 선진국들의

3) 1997년 12월 제3차 당사국 총회(COP3)를 일본 교토에서 개최하여 교토프로토콜이라고도 부름. 선진국의 감축의무를 합의하고, 교토의정서를 채택하여 온실가스로 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF 총 6종을 지정하여 1999년 대비 평균 5.2%를 감축하기

온실가스 배출에 대한 감축을 요구하고, ICAO를 통한 감축방안을 마련 및 권고하였다. 지난 2009년부터 개발도상국을 포함한 UN차원의 협상을 현재까지 진행 중에 있으나, EU는 국가별 차별이 없는 강제적인 감축을 주장하고 있어 EU-ETS라는 제도를 통해 유럽을 취항 및 통과하는 항공기에 대해 배출권을 거래하도록 규제하고 있어, 국내의 항공사들도 유럽에 취항하는 항공편에 대해 배출권거래를 시행하고 있다.

ICAO는 이러한 기후변화 및 온실가스 배출 규제에 대한 각 국의 입장 차이 및 업무의 공조를 위한 논의를 위해 지난 2008년 GIACC(Group on International Aviation and Climate Change, 국제항공기후변화그룹)회의를 개최한 바 있다. 현재 국제사회는 항공기 온실가스 배출의 감축 필요성에 대해서는 긍정적인 시각이나, 유럽의 배출권 거래제도와 같은 금전적인 규제방안에 대해서는 아직까지도 국가 간의 입장 차이를 완전히 해소하지는 못한 상태이다.

지난 2010년 ICAO 제37차 총회에서 항공기 기후변화 결의안을 채택하고, 10월 8일 캐나다 몬트리올에서 성공리에 폐막되었으며 결의안의 주요내용은 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

첫째, 2050년까지 연료 효율성을 연간 약 2% 씩 향상시킨다.

둘째, 항공업계가 탄소배출량 상한목표를 2020년부터 달성할 수 있도록 각국 정부와 항공업계가 공동으로 노력한다.

셋째, 2013년까지 항공기 엔진의 글로벌 CO₂ 표준을 설정한다.

이 결의안은 2013년으로 예정된 제38차 총회 전까지 시장왜곡 최소화, 항공업계 내 '공정한 처우(fair treatment)'보장, 탄소 배출 저감을 위한 글로벌 프레임워크를 개발하도록 명시하고 있다⁴⁾.

또한, 이 총회에서 ICAO는 온실가스 배출 등 국제항공과 관련된 환경 문제에 관해 지속적인 리더십의 이행과 함께, 과학적이고, 원활한 정보의 공유를 위한 포럼을 지속적으로 제공하기를 강조하였다⁵⁾. 이러한 결의안에 대해 ICAO는 기후변화에 대한 대응 수준의 차이가 국가별로 다름을 인정하고, 개발도상국을 포함한 과학적이고

로 하였다.

4) 교통개발연구원, ICAO, 항공부문 기후변화 결의안 채택, 항공정책 Brief, p.6, 2010

5) 항공부문 온실가스 배출량 인벤토리 검증방안 연구, 교통안전공단, 김용석, 신홍철, 2010

업무역량의 도움을 필요로 하는 국가들에 대한 지원을 강조하고 있다.

ICAO 산하의 항공환경보호위원회(CAEP, Committee on Aviation Environmental Protection)은 유럽의 배출권 거래제도를 시장경제에 기초한 배출권 거래제도가 비용효과적으로 이산화탄소 배출을 줄이거나 제한하는 방법이 장기적인 안목으로는 효과적이라는 결론을 내었지만, 각국의 합의를 도출하기에는 무리가 있어, 국제적인 안목으로 자발적인 감축 및 감축의지를 권고하고 있는 실정이다⁶⁾.

표 2.1 IATA의 온실가스 감축 기술 로드맵

기술 사례	영향
기술적 개선	7-13%
윙렛 장착 연소 향상을 위한 개선된 엔진 부품의 개발 객실 내 경량재료 사용 에너지 저감형 조명 권장	
생산 개선	7-18%
항공기 구조에 경량형 복합재료 소재 사용 진보된 항공기 엔진 개발	
2020년까지 신기술 적용 항공기 설계	25-35%
기어드 터보팬(Geared Turbofan) 엔진 개발(10-15% 감축) 개방형 로터 엔진 개발(25% 감축) 카운터 로테이팅 팬 개발 (10-15% 감축) 개선된 터보팬 개발(15% 감축) 충류유동에 의한 항력 감소(15% 감축)	
2020년 이후의 신기술 적용 항공기 설계	25-50%
블랜드드 윙바디 적용 혁신적인 엔진기술 개발 연료전지 시스템 적용	

출처 : IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 2009

2.2.3 국제민간항공운송협회(IATA)동향

국제민간항공운송협회(International Air Transport Association, IATA)는 항공부문 탄소 중립을 목표로 기술개발, 운용개선 등 추진을 통해 연료소비를 2005년 대비 2020년까지 20% 저감을 목표로 제시하였다. 이를 위해 IATA는 관련기술의 개발, 운영개선, 인프라개선 및 연료효율 개선을 제시하고 회원사들이 이를 따를 수 있

6) "Market-Based Measures:" Report from working Group 5 to the fifth meeting of the Committee on Aviation Environmental Protection. CAEP/5-IP/22. 5/01/01.

도록 권고하였다.

2.2.4 국제 항공온실가스 배출량 산정방식

IPCC의 보고서에 따르면, 항공교통부분 연료 사용량 산정방식은 항공기의 연료 사용량을 기준으로 연간 배출량에 따라 산정방법론(Tier 1~3)을 선택하여 배출량을 산정할 수 있으며, 본 연구는 제트 연료를 사용하는 Tier 2 산정방식으로 산정 방식은 다음과 같다.

$$E_{i,j} = \sum((E_{i,j,LTO} + E_{i,j,cruise}) \times Feq_{j,j})$$

$$E_{i,j,LTO} = \sum(LTO_{i,j} \times EFi_{j,LTO})$$

$$E_{i,j,cruise} = \sum((Q_i - (LTO_i \times EG_i)) \times EFi_{j,cruise}) \times 10^{-6}$$

- $E_{i,j}$: 연료(i) 사용에 따른 온실가스(j) 배출량
- $E_{i,j,LTO}$: 연료 (i) 사용에 따른 온실가스 (j)의 LTO 배출량
- $E_{i,j,cruise}$: 연료 (i) 사용에 따른 온실가스 (j)의 순항과정 배출량
- $LTO_{i,j}$: 연료 (i) 사용에 따른 온실가스 (j)의 기종별 이착륙 횟수(LTO)
- $EF_{i,LTO}$: 연료 (i) 사용에 따른 온실가스 (j)의 기종별 LTO 당 배출계수(kg-GHG /LTO)
- Q_i : 연료 (i)의 사용량(추정값, kg-연료)
- LTO_i 연료 (i)의 기종별 이착륙 횟수(LTO)
- EG_i 연료 (i)의 기종별 LTO당 연료소비량
- $EF_{i,j,cruise}$: 연료 (i)에 대한 온실가스 (j)의 순항단계 배출계수(kg-GHG / ton-연료)
- $Feq_{j,j}$: 온실가스 (j)의 CO₂ 등가계수 (CO₂ = 1, CH₄ = 21, N₂O = 310)
- 배출계수(EFi,j, EFi,j,LTO 등)

Tier 2 배출량 산정과정은 “총 연료소비량 산정, 이착륙과정 연료소비량 산정, 순항과정의 연료소비량 산정, 이착륙과 순항과정에서의 온실가스 배출량 산정” 순으로 진행된다⁷⁾.

3. 국내외 항공사의 연료절감 활동분석

3.1 국내 항공사 연료절감절차 운영 현황

국내 대형항공사 및 저비용항공사는 지속되는 고유가 행진에 따른 연료비용의 규모가 점차 늘

7) 국토해양부/교통안전공단, “저비용항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구”, 2011. 11.

어나면서, 연료절감 운용에 많은 노력을 기울이고 있다.

표 3.1 IATA 이행방법에 따른 국내항공사의 이행 유무

이행 분류	IATA의 이행 방법	항공사		
		A	B	C
비행계획	1. 재비행계획(Redispatch)	o	o	x
	2. 경계고도 산출	o	o	△
	3. 경계항로 산출	o	o	△
	4. ETOFS	o	o	o
연료관리	5. 비용지수(CI)	o	o	o
	6. 연료 과공급(Over fueling) 최소화	o	o	x
무게중심관리	7. 유효하중 편차감소	o	o	x
	8. 무게와 균형(W & B) 최적화	o	o	△
지상	9. 보조동력장치(APU) 사용억제	o	o	o
	10. 단일엔진 활주(Engine-Out Taxi)	o	o	x
상승과 순항	11. 저항력 플랩 이륙	o	o	△
	12. 가속고도 최적화	△	△	△
접근과 착륙	13. 최적 하강 포인트 산출	o	o	△
	14. Idle Reverse Thrust	o	o	x
유지보수	15. 기체 및 엔진 성능 모니터링	o	o	△
	16. 주기적인 연료탱크 청소	o	o	△
	17. 항력 감소	o	o	△
	18. 고출력 이륙 제한	o	o	△
	19. 엔진 세척	o	o	x
	20. 이동형 냉난방장치(PC-Air) 권장	o	o	o
	21. 항행장비 업그레이드	o	o	△
	22. 워렛장착 권장	△	△	△
기체중량	23. Weight & Balance 실시	o	o	△
장비중량	24. Fly Away Kit 감량	o	o	o
탑재중량	25. 화물 및 수화물 컨테이너	o	o	△
	26. 탑재음료(Portable water) 관리	o	o	o
순항과 항로	27. 성능기반항법(PBN) 도입	o	o	o
접근과 착륙	28. 연속강하접근	o	o	x

o : 시행 중, x : 시행불가, △ : 미 시행

IATA는 회원 항공사의 연료절감 우수 사례를 책자로 발간하여, 회원사 및 관련 정부를 상대로 세미나 등 다양한 경로를 통해 연료 절감 운영 방안에 대해 지속적인 교육과 정보를 공유하고 있다. 표 3.1은 IATA의 연료절감 제시안에 대하여 국내의 대형 항공사(A, B 항공사) 및 저비용 항공사(C 항공사)의 연료절감 이행 유무를 비교한 것이다⁸⁾.

국내의 대형항공사들은 이미 IATA가 권고하는

연료절감 정책의 대부분 시행하고 있음을 알 수 있다. 하지만 저비용항공사인 C항공사의 경우, 대형항공기의 운용이 없는 상태임과 동시에 국내선의 비중이 대형항공사에 비해 큰 편이기 때문에 부분적인 시행 및 시행 예정으로 인해 IATA의 권고안을 모두 이행하지는 못하고 있는 상태이다.

표 3.2 C항공사의 미 시행 사유

IATA 이행 방법	미시행 사유
재비행계획 (Redispatch)	운용 중인 노선 상 국내 비중이 큰 만큼 추후 Redispatch 가능한 노선 생길 시, 시행 예정
연료 과공급 최소화	국내선 비중이 큰 만큼 turn-around time이 짧아 계획된 연료 탑재 이외에 따른 관리는 하고 있지 않음
Idle Reverse Thrust	국내 공항은 활주로 경사와 길이로 인해 적극적인 권장을 하고 있지 않음. 단, 인천국제공항은 일부 시행 중에 있음
단일엔진 활주 Engine-out taxi	안전에 위해 요소 발생 가능성에 따른 실행 보류
유효하중 편차감소	화물 운송이 아닌 승객 운용만 하고 있음
연속강하접근	인천국제공항 연속강하접근 시간대(15:00~19:00 UTC)는 C항공사의 운용시간대와 맞지 않음

3.2 온실가스 배출 절감운영절차별 효과분석

캐나다 항공청(Transport Canada)은 홈페이지를 통해 자국의 항공사가 연료절감 노력을 통해 기존의 비행방식에 비해 약 5.01%의 연료 절감 효과를 낼 수 있었다고 발표하였다. 특히, 지상운용 시 절감할 수 있는 방안으로 APU 사용제한과, Single-engine Taxi(Engine out Taxi), Engine water wash 등을 통해 약 연 평균 약 0.92% 이상의 연료 절감이 가능하다고 하였다.

본 논문에서는 IATA와 국내 항공사의 연료 절감산출 자료 및 배출량 활동 계획에 관한 자료 조사 중 관련 자료가 각 항공사의 제한적인 자료인 관계로 Transport Canada의 연료절감 운용으로 소개가 되어 있는 표 3.3의 4가지 방안을 중심으로 효과분석을 해보고자 한다.

8) 국토해양부/교통안전공단, “저비용항공사 온실가스 관리 표준모델 개발 연구”, 2011. 11.

표 3.3 캐나다 항공청(Transport Canada)의 지상운용 시 연료절감활동

연료 절감 방안	연료 감소량(%)
엔진 세척	0.42
APU 사용제한	0.10
단일엔진 지상활주	0.40
기내식 아이템 감량	0.42

3.2.1 APU 사용제한을 통한 효과

IATA는 지상운용 시 가장 많은 연료소모를 나타내는 항목으로 APU사용이 가장 많은 연료소모를 나타낸다고 분석하였다. APU는 A330항공기를 기준으로 비행 당 70분 이상의 APU 사용을 제한할 경우, 약 84US Gallons이 절감되며, 연간 전체 사용량의 0.2% 절감 효과가 있다고 보고되었다.

표 3.4 APU 사용제한 적용 시 예상 효과분석 (IATA)

전 기종	APU 연료 사용량(t)	CO2 배출량 (tCO2)	목표 이행률	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
	26,000 t	81,900	25%	6,500 t	20,475
기종	APU 연료 사용량(t)	CO2 배출량 (tCO2)	목표 이행률	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
A320	6,127 t	19,300	25%	1,532 t	4,826
B737NG	4,692 t	14,779	25%	1,173 t	3,695

IATA는 연료절감 시행항공사를 통하여, 연간 약 26,000톤의 APU 연료가 사용되고 있음을 발표하였으며, 이는 약 81,900(tCO2)에 해당하는 양이다. IATA와 시행항공사는 기종별 APU 저감운행 이행노력을 통해 약 25%의 이행목표를 세우고, 노력한 결과 약 6,500톤의 연료절감 효과를 가져왔으며, 이는 다음의 표 3.5와 같다.

표 3.5 국내 항공사의 연간 APU 사용량

항공사	APU 사용량(t)	CO2 배출량 (tCO2)	연료 절감량	CO2 절감량 (tCO2)	이행 실적
대형 항공사	48,300 t	152,145	9,660 t	30,429	0.2%
저비용 항공사	1256 t	3,956.4	590 t	1,858.5	0.46%

국내 대형항공사는 연간 약 48,300ton의 APU 연료를 소비하였으며, APU 제한 운용 노력을 통한 감축량은 약 9,660톤에 달한다. 대형항공사의 APU 사용 제한 운용을 통한 배출량 감소 효율은 0.2%로 나타났으며, C 저비용항공사의 경우에는 대형항공사에 비해 적은 항공기 운영 및 배출량으로 인해 대형항공사에 비해 높은 0.46%의 배출량 저감 실적을 나타내었다. B737NG 기종만을 운용하는 C 저비용 항공사의 이행을 IATA와 같은 25%로 가정하여 이행하였을 경우, 예상되는 배출량 저감량은 다음 표 3.6과 같다.

표 3.6 C 저비용 항공사 APU 사용제한 적용 시 예상 효과분석

기종	APU 사용량(t)	CO2 배출량 (tCO2)	목표 이행률	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
B737NG	4,692 t	14,779	25%	1,173 t	3,695

주) 3.15 Kg CO2 / Kg fuel 적용

3.2.2 단일엔진 지상활주(Single Engine Taxi) 효과

항공기의 지상운용 시 가장 연료 절감 효과가 큰 비중을 차지하는 절차 중 하나인 단일엔진 지상활주에 대해, IATA는 B737NG 기종을 대상으로 시행한 결과 평균 12분 지상활주 및 39,760회의 운용횟수를 기준으로 연간 약 3,288 톤의 연료를 절약할 수 있으며 단일엔진 지상활주 이행을 50%로 가정했을 시, 약 3,300톤의 이산화탄소 배출 감소가 가능하다고 조사하였다).

국내의 항공사들도 표준운항절차(SOPs) 및 비행 운항교범(FOM)를 통해 운항승무원들에 최소한의 작업량으로 지상에서의 운용을 할 수 있도록 관련 절차를 명시하였다. C, J 저비용항공사

표 3.7 단일엔진 지상활주 적용 시 예상 효과분석(IATA)

전 기종	운항 횟수	평균 활주 시간	연료 소비량	목표 이행률 (%)	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
	203,824	8~12 분	-	10~70*	8,916 t	28,085.4 t
기종	운항 횟수	평균 활주 시간	연료 소비량 (t)	목표 이행률 (%)	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
A320	48,160	12 분	7,705	40	3,641t	11,469 t
B737NG	39,760	12 분	5,566	50	3,288t	10,357 t

* 보유 기종에 따른 목표 이행률

는 지난 2011년 6대의 B737NG 기종으로 약 12,000회 이상의 운항실적을 기록하였으며, 평균 지상활주 시간은 김포국제공항을 기준으로 C, J 저비용항공사의 평균 데이터를 조사한 결과 약 6~7분가량으로 조사되었다.

표 3.8 국내 항공사의 단일엔진 지상활주 연료 사용량

항공사	단일엔진 지상활주 연료사용량	CO2 배출량 (tCO2)	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)	이행실적
대형 항공사	21,740 t	68,481	5,870 t	18,490	0.27 %

C 저비용항공사는 안전 위해 요소 발생 가능성에 따라 단일엔진 지상활주는 현재 시행을 하지는 않고 있으며, 추후 조종사들의 교육과 훈련을 통한 숙달을 통해 이행할 계획이다. 국내 저비용 항공사들이 사용하는 A320, B737NG 기종으로 단일엔진 지상활주 이행률을 IATA와 비슷하게 적용하여 40~50%로 가정 및 적용하였을 때 예상 효과는 아래 표 3.9의 결과와 같다.

표 3.9 국내 저비용항공사 단일엔진 지상활주 적용 시 예상 효과분석

기종	평균 활주 시간(분)	평균 연료 절감량	운항 횟수	목표 이행률	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
A320	7	43.8 Kg	5,000	40%	98t	308.5 t
B737NG	6	35 Kg	12,000	50%	210t	661.5 t

3.2.3 엔진 코어 세척(Engine Core Washing) 효과

항공사들이 연료효율을 향상 시키기 위한 방안으로 고안해낸 방법 중 하나는 엔진 코어(Core)를 세척하는 것이다. 기존의 방식은 엔진 외부에서 물을 쏘아 팬을 포함한 엔진 전체를 세척하는 방식이었지만 대부분의 세척 물이 팬 덕트에서 소진되고, 엔진 코어까지 들어가는 물의 양이 많지 않아 현재는 엔진 내부의 코어부분에 직접 물을 분사하여 세척하는 방식으로 이루어지고 있다.

항공사는 지난 몇 년간 엔진세척 시행을 통해 항공기의 연료 효율 향상을 시도하고 있다. IATA의 엔진 코어 세척 시행항공사를 통해 전 기종을 상대로 연료소비(SFC)향상 효과를 확인한 결과 0.5~0.8%의 연료소비(SFC) 향상 효과를 확

인하였으며, 연료 절감 및 CO2 배출 감소량 결과는 다음 표 3.10과 같다.

표 3.10 엔진 코어 세척 시 연료 절감량(IATA)

기종	SFC 개선	연료 절감량	목표 이행률	CO2 저감량 (tCO2)
A320	0.7 %	687 t	50%	2,164
B737NG	0.5 %	456 t	50%	1,436

시행 항공사는 매 6개월 주기로 엔진 코어 세척을 시행하였으며, 엔진 수리 후 가능한 엔진 코어 세척을 시행하였다.

국내 대형항공사들도 엔진 코어 세척 활동을 시행하여 엔진 코어 세척 활동을 미시행한 것에 비해 약 0.13%의 온실가스 감축 효과를 나타내었다.

표 3.11 국내 항공사 엔진 세척 시 연료 절감량

항공사	미 시행 시 연료 사용량	CO2 발생량 (tCO2)	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)	개선효율 (%)
국내 항공사	56,200 t	177,030	7,740 t	24,381	0.13 %

국내 저비용항공사의 주요 항공기인 A320과 B737NG 기종을 초점으로 하여 IATA의 사례를 보았을 때, 주기적인 세척 활동을 시행할 경우, B737NG 항공기를 기준으로 항공기 당 연간 약 1,436 tCO2의 온실가스 배출량 감소 효과를 가져 올 것으로 기대할 수 있다.

3.2.4 탑재 음료 관리(Potable Water Management) 효과

항공기의 연료 효율 개선방안 중 기내에 탑재되는 중량을 감소시키는 방안이 있다. 특히, 서비스 목적으로 탑재되는 물품 중 항공사의 정책으로 인한 탑재기준을 가지고 있는 음용수(Potable Water)는 비행시간과 탑승 승객 수를 감안하여 기종별 특별서비스에 따른 최적정량의 음료를 탑재하게 된다.

IATA는 탑재 음료 관리 시행항공사를 통해 운영 기종 별 최적 탑재 기준을 제시하였으며, 시간 별 승객 당 소비 음료를 평균 0.3리터로 계산하여 감소시킬 수 있는 음료의 양을 다음 표 3.12와 같이 제시하였다.

9) IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 2009

표 3.12 항공사 탑재 음료 관리 시 중량 감소량 (IATA)

기종	탑재	승객 좌석수	음료 소비율 (ltr/pax/hr)	음료 요구량	탑재	예상 감소량
	음료량				정책	
A320	120 ℓ	120	0.3	69 ℓ	100 %	51 Kg
B737NG	108 ℓ	108	0.3	71 ℓ	100 %	37 Kg

국내 대형항공사들은 항공기 운용에 따른 장시간의 노하우를 바탕으로 노선과 탑승 승객 수에 맞는 최적의 탑재 음료 관리를 시행하고 있으며, 저비용항공사들의 경우에는 짧은 지상운용 시간과 노선운용으로 최적화 탑재까지는 못하고 있는 실정이었다. 국제선의 비중이 조금씩 늘어나고 있는 상황에서 몇몇 저비용항공사는 음료 탑재 정책에 대한 IATA의 권고 및 항공사 자체의 탑승객 수요 관리를 통해 조금씩 이행을 하고 있는 상태이다. 다음의 표 3.13은 국내 대형항공사와 저비용항공사의 탑재 음료 관리를 통한 배출량 실적을 나타내었다.

표 3.13 국내 항공사 탑재 음료 관리를 통한 배출량 저감 실적

항공사	연료 절감량 (ton)	CO2 저감량 (tCO2)
A 항공사	2,600 t	8,190 t
B 항공사	314 t	989 t
C 항공사	40 t	126 t

국내 저비용항공사의 연간 운항횟수인 5,000회와 12,000회를 기준으로 저비용항공사의 탑재 음료 정책이 활성화될 경우 예상되는 온실가스 배출 감축량은 표 3.14와 같다.

표 3.14 국내 저비용항공사 탑재 음료 관리 시 감축량

기종	탑재 음료량	연간 운항 횟수	음료 요구량	목표 이행률	연료 절감량	CO2 저감량 (tCO2)
A320	120 ℓ	5,000 회	69 ℓ	50 %	345 t	1,087 t
B737NG	108 ℓ	12,000 회	71 ℓ	50 %	426 t	1,342 t

항공기의 탑재 음료정책은 운항 편수 당 감소율은 승객 1인의 평균 몸무게에도 미치지 못하지만 연간 운항횟수를 고려하여 이행하였을 경우, B737NG 항공기 기준으로 1,342톤의 이산화탄소 배출량이 감소할 것으로 예상되었다.

4. 결론

항공기 연료절감과 온실가스배출 감소를 위해서는 항공기의 성능과 운항방식, 외부환경 등의 요소들이 종합적으로 고려되어야 한다. 본 논문에서는 항공운송을 통한 국제사회에서 대두되고 있는 온실가스 배출 감소를 위한 IATA의 연료절감 효과가 좋은 사례를 통해 국내 항공사들의 연료 절감활동을 비교 분석하였으며, 이들 중 이행 가능성 여부를 판단하여 잠재적 연료절감 및 온실가스 배출 감소의 가능성을 예측하였다.

국내 저비용항공사들의 경우, 지상에서의 짧은 계류시간과 안전성 여부에 따라 미시행 사유들이 나타난 부분이 있었지만, 국내 여건에 최적화된 항로 및 이착륙 절차 등의 개선과 승무원 및 직원들의 교육과 훈련을 통해 적극적인 연료절감 활동이 이행이 된다면 장기적으로 더 효과적인 연료절감과 온실가스 배출 감소의 결과가 나타날 것으로 분석되었다.

하지만, APU 사용제한의 경우, 공항시설의 GPS, GPU 등 지원장비의 추가확보가 되어야 하며, 단일엔진 지상활주와 항공기 엔진세척은 장비와 시간, 인원 등 부가비용이 추가적으로 반영이 되어 항공기 운용시간, 정비시간이 올라가 항공사 경영 및 요금에 적지 않게 부담이 될 것으로 보인다. 이러한 현실적인 제한사항을 바탕으로 추후에는 경영쪽의 입장으로 비용환산을 통한 경제성 비교가 가능할 것으로 판단된다.

또한, 제시된 국내 공항 및 국제 항공사들의 연료절감 모범사례 등을 가이드화하여 서로 공유하고, 본론에서 검토와 제시된 분석들을 통하여 최적 운용절차를 적용한다면, 정시성과 안전성에서 세계적으로 인정을 받고 있는 국내 항공사들이 항공기 온실가스 배출 감축 및 연료 절감 활동에 크게 기여 될 것이라고 제안한다.

참고문헌

- [1] 김용석, 이주형, “저탄소 운항절차에 따른 연료저감 효과분석”, 한국항공운항학회 춘계학술대회, 2013
- [2] 한국항공진흥협회, “국제공항협회 수요예측 (2010~2029), 2011
- [3] 김용석, 신희철, 이주형, 이강준, “저비용항공사 온실가스관리 표준모델 개발”, 교통안전공단,

2011

- [4] 노건수, "항공기 경제속도 적용에 관한 연구", 한국항공경영학회지 제 7권 제 3호, pp.27, 2009
- [5] 고유리, "공항특성에 따른 저소음 운항절차의 적용", 한국항공대학교 대학원 석사학위논문, 2011
- [6] 한재현, 박찬엽, "항공기 배출가스 규제의 국제 동향 및 배출저감 기술", 한국항공운항학회 춘계학술대회, p.29, 2007
- [7] 신대원, 김용석, "강하비행시의 연료소모량 비교분석", 한국항공운항학회지, 2011, 제19권 2호, pp.58~63
- [8] NLR, Identification of Noise Sources on Civil Aircraft in Approach Using a Phased Array Of Microphones, 2004
- [9] J.P Clarke, N. T. Ho. L. Ren, J.A. Brown, K.R.Elmer, K.O. Tong and J.K. Wat, "Coutinuous Descent Approach : Design and Flight Test for Louisville International Airport", AIAA Journal of Aircraft, Vol. 41, No. 5, pp. 1054~1066, Sep-Oct, 2004
- [10] IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 2009