



# 국제민간항공분야의 기후변화 대응 전략 연구

유광의

한국항공대학교 항공교통물류학부 교수

## Strategies for International Aviation to Respond to Climate Change

Yoo, Kwang Eui

Professor, School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University, Goyang City, South Korea

### ABSTRACT

The growth rate of international aviation is expected to be higher than that of most industries and the proportion of carbon emissions from the aviation industry will become very significant as the year 2050 approaches. Constraining the growth of this industry is not desirable because it is essential for human welfare as well as the development of related industries. However, reduction of carbon due to aviation is not easy because it is difficult to improve fuel efficiency in a significant way. The ICAO (International Civil Aviation Organization), which is the main organization responsible for handling this problem, developed a program named CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). The present study analyzes various strategies for countries and airlines to comply with CORSIA using a fuel-efficient system. We conclude that countries should improve their airspace utilization systems, airport facilities, and air navigation systems. Additionally, based on the results of a flight data analysis, airlines should improve their operational efficiency in terms of operations control, flight operation, and maintenance management.

**Key words:** Aircraft Emission, CORSIA, Airlines, Flight Operation, Fuel Consumption

### 1. 서 론

항공산업에서는 항공기엔진 배출가스가 주요 온실 가스 배출원이고, 엔진 배출가스가 기후에 미치는 영향은 직접적인 영향과 간접적인 영향으로 나눌 수 있다. 직접적인 영향은 항공기 엔진에서 배출되는 온실가스에 의한 것으로서 이산화탄소, 그을음과 황산화물이 포함된 에어로졸에 의한 것이다. 반면 간접적인 영향은 항공기의 배출가스가 2차적인 물리화학 작용을 거쳐서 결과적으로는 복사강제력 (Radiative Forcing)을 유도하는 것인데, 항공기에서 배출된 질산화물( $\text{NO}_x$ )은 대류권의 오존의 양을 증가시키고 메탄을 파괴하여 대기 중 온실가스의 농도를 바꾼다. 항공기가 고고도에서 비

행할 때는 콘트레일 (Contrail)을 형성하며 적란운 (Cirrus Cloud)의 양을 증가시킨다. 아래의 표는 항공기 엔진배출물이 기후변화에 미치는 영향을 정리한 것이다<sup>1)</sup>.

항공기에 의한 이산화탄소 배출량은 전체 인류 활동에 의한 온실가스 배출량의 2% 수준으로 기후변화에 끼치는 영향은 미미하다. 그러나, 항공산업은 연간 약 5% 수준의 성장이 예상되어 2050년 쯤에는 항공운항으로 발생하는 온실가스가 전체 온실가스에서 상당 부분을 차지할 것으로 보인다<sup>2)</sup>. 또한, 항공기엔진은 이미 열효율 성 수준이 극도로 발달해 왔기 때문에 추가적인 기술 개발에 의한 획기적인 탄소 배출 감축은 쉽지 않다. 또한 기존 항공기의 생애주기 (Life Time)가 매우 길다는 사실을 감안해 본다면, 현재 보유중인 항공기는 상당기간 동안 이용될 것이다. 따라서 단시간 내에 혁신적인 기

\*Corresponding author: keyoo@kau.ac.kr ( 76, Hanggongdaehak-ro, Deogyang-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea Aerospace University)

Received August 29, 2018 / Revised September 28, 2018 / Accepted October 19, 2018

술 개발을 통해 항공기 운항으로 발생한 온실가스를 줄이는 것은 사실상 어렵다. 그러나 항공교통은 인류의 보편적 복지 향상이나 경제 발전에 필수 불가결한 측면이 있기 때문에 동 산업의 성장을 억제하여 온실가스 배출을 줄이는 것도 바람직한 방법은 아니다.

Table 1. The main effect of aircraft on climate

Effects	Significant Influences
Emission of carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> is the most important greenhouse gas emitted by human activities.</li> <li>• It has a warming effect</li> </ul>
Emission of Nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NO<sub>x</sub> cause the enhancement of tropospheric ozone</li> <li>• NO<sub>x</sub> deplete CH<sub>4</sub></li> </ul>
Emission of water vapor(H <sub>2</sub> O)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Its effect is currently small but in the future with supersonic aircraft the impact will be significant.</li> </ul>
Emission of soot particles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It causes small localized warming.</li> <li>• It also acts as cloud condensation nuclei.</li> </ul>
Sulphate particles derived from emission of SO <sub>x</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It causes small cooling effect.</li> <li>• It also acts as cloud condensation nuclei.</li> </ul>
Contrails	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warming effect</li> <li>• It may cause a formation of cirrus cloud.</li> </ul>
Enhanced cirrus cloudiness	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potential warming effect</li> </ul>

항공기 기술이나 운영 부문에서 획기적인 개선을 통한 온실가스 배출 감축이 어렵기 때문에 국제항공분야 기후변화 대응책은 산업 내부의 혁신에 의존하기 보다는 외적인 연계를 통하여 인류의 전반적 기후변화 대응에 보조를 맞출 수밖에 없다. 즉, 타 산업에서 온실가스 배출 감축에 의하여 생성된 배출권이나 CDM (Clean Development Mechanism) 등으로 산출된 배출권을 구매하여 항공부문의 초과 배출을 상쇄하는 전략을 고려할 수밖에 없다.<sup>3)</sup>

본 연구는 국제민간항공기구 (ICAO)가 중심이 되어 추진하고 있는 국제항공분야의 온실가스 감축 대응 정책 및 전략을 살펴보고 이에 따른 회원국 정부와 항공사 및 항공산업의

참여 방안을 고찰해보는데 목적이 있다. ICAO는 국제항공분야에서 온실가스 배출을 충분히 줄일 수 있는 기술적 가능성이 희박하므로 배출상쇄 (Offsetting) 방안을 추진하면서 CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)라는 사업명을 부여했다. 따라서, 본 연구는 ICAO의 CORSIA 프로그램 내용을 검토하고 이에 따르기 위한 국가와 항공산업의 대응책을 제시함으로써 ICAO 회원국과 국제운송 항공사들이 기후변화 대응 전략을 수립하는데 도움이 될 수 있도록 했다.

## 2. 국제민간항공분야 기후변화 대응 전략 개요

국제항공운송 분야의 기후변화 대응 정책 수립을 UN으로부터 위임받은 국제민간항공기구는 지난 10여 년에 걸친 체계적인 연구와 논의를 거쳐 드디어 2016년에 기본적인 정책 및 장기 전략을 확정하였다. 주로 동 기구의 이사회 소속의 환경보존위원회 (CAEP: Committee on Aviation Environmental Protection)가 연구와 전문가 협의를 거쳐 초안을 마련하고 이사회의 승인과 총회의 결의를 거쳐 정책과 전략이 결정되었다<sup>4)</sup>.

국제민간항공기구 항공산업 기후변화 대응 정책의 전반적 개요를 살펴보면 다음과 같다. 항공산업은 인류 사회의 세계화 (globalization)와 경제, 사회, 문화적 활동의 국제적 역동성 증대로 인해 평균적 산업보다 성장률이 높을 것으로 예측되고 있다. 따라서, 수요 증가에 따른 공급 증가는 항공 운항편의 증대가 불가피하고 온실가스 배출을 기술적이나 운항절차 등에 의해서 감축시키는 것은 한계가 있기 때문에 다른 산업의 온실가스 배출 감축 분을 활용하여 상쇄시키는 정책이 불가피하다. 물론, 아직도 항공기 기술적 측면 또는 운항 절차적 측면의 개발에 의한 온실가스 감축의 여지가 있기 때문에 이 방향의 노력도 장려해야할 필요는 있다. 아래 그림은 이러한 개념에 의한 정책적 목표를 보여주고 있다.

즉, 항공산업의 수요 증가에 따라 현재 기술 수준으로 항공기 운항을 수요에 맞추어 늘린다면 동 산업의 온실가스 배출량은 그림의 최 상위의 곡선처럼 증가할 것으로 예측되는데, 국제민간항공기구는 국제운송의 온실가스 배출량을 2020

1) Daley, B., Air Transport and the Environment, Ashgate, 2010  
 2) IPCC, Aviation and the Global Atmosphere, Cambridge University Press, 1999.  
 3) P. Upham, J. Maughan, D. Raper and C. Thomas, Towards Sustainable Aviation, Earthscan Publications, 2003  
 4) ICAO, CAEP Report, 2016.

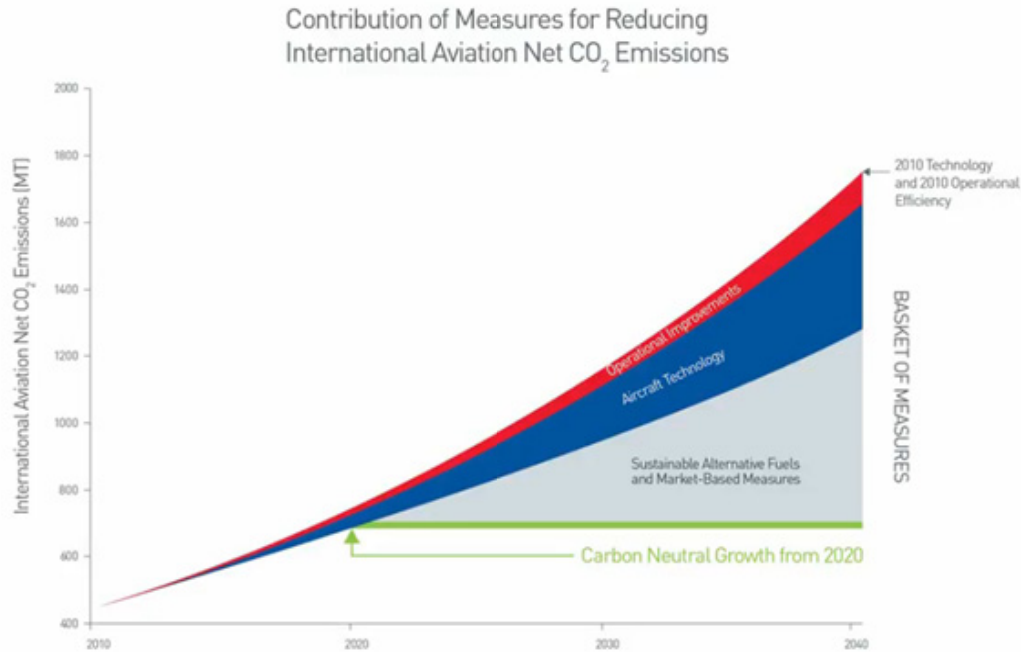


Fig. 1. Total CO<sub>2</sub> emissions and CNG of international air transport (based on technology of 2010).

년 수준으로 동결하는 것을 목표로 한다. 2020년부터 탄소중립성장 (CNG: Carbon Neutral Growth) 유지를 목표로 하면 그림에서 보이는 2020년 이후로 그어진 초록색 직선 윗부분의 탄소 배출량은 총체적조치 (basket of measures)로 절감시켜야 할 목표치가 된다<sup>5)</sup>. 그러나 항공기 운영적 측면의 개선에 의해서 감축시킬 수 있는 배출 탄소량은 그림의 붉은색 수준으로 예측되고, 항공기 기술발전에 의해 감축할 수 있는 양은 그림의 짙은 청색 부분만큼 밖에 안 된다. 이는 지난 수십년간 항공기 제작산업이 연료 효율성 향상을 극도로 개선하여 더 이상의 획기적 개선이 기술적으로 어렵기 때문이다. 따라서 열은 청색부분으로 표시된 배출량은 항공산업 내에서 감축할 가능성이 없으므로 대체 연료 기술에 의존하든지 다른 산업 부문에서 배출권을 구매해서 상쇄시켜야 한다는 논리이다.

결국, 국제항공분야는 기후변화 대응을 주로 배출권 구매에 의한 상쇄에 의존할 수밖에 없기 때문에 국제민간항공기구는 “국제항공운송부문 탄소상쇄 및 감축체제 CORSIA라는 프로그램을 개발했다. 배출권 구매에 의한 탄소 배출 상쇄 개념은 근본적으로는 시장기반대책 (MBM: Market Based Measure), 즉, 경제적 동기를 활용하는 것이다. MBM의 장점

은 탄소배출 감축이 쉬운 산업부문에서 우선 감축하고 감축 비용이 상대적으로 높은 부문은 자체적 배출 감축 노력과 병행하여 배출권을 구매하여 목표를 달성할 수 있도록 하여 전체 산업 발달의 제한을 최소화하는 것이다. 특히, 항공사들은 자체적 탄소 배출 감축이 어려워 배출권 구매에 의한 상쇄에 집중하게 될 것이고 이는 항공사의 비용 상승으로 이어져 항공산업 발전에 다소 간 제약 요인이 될 것이다.

### 3. 국제항공분야의 탄소배출 상쇄 접근법 (CORSIA) 소개

#### 3.1. 국제항공운송 부문전체 (SECTOR WIDE)의 상쇄 요구량

국제연합 (UN)에 의한 전체 산업의 기후변화 대응책이 2020년 기준 탄소중립성장 (Carbon Neutral Growth: CNG)을 추구하므로 CORSIA체제도 2020년 이후 국제항공운송부문 탄소 배출량을 2020년 수준에서 동결하는 것을 목표로 한다. 2019년과 2020년 배출량의 평균값을 기준으로 하여 매년 초과되는 배출을 기술개발이나 운영개선으로 감축시키고 그래

5) ICAO, CORSIA online training materials

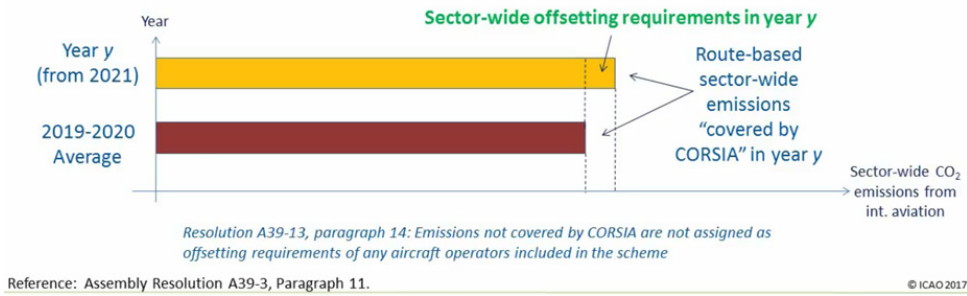


Fig. 2. Calculation method of offset demand ICAO, Assembly Resolution A39-3, Paragraph 11.

도 초과되는 양은 배출권 구매에 의해 상쇄하도록 계획하고 있다. 예를 들어 2021년의 상쇄 요구량은 아래의 그림과 같이 기준량 초과분을 국제항공운송 부문전체 (SECTOR WIDE)의 책임 상쇄 량으로 설정한다.

3.2. CORSIA 체제의 이행계획<sup>6)</sup>

국제민간항공기구의 기후변화 대응책의 포괄적이고 궁극적인 목표는 항공산업 발전에 의한 인류 복지 증진을 최소한도로 훼손하면서 전 인류적인 기후변화 대응 수준에 보조를 맞추는 것이다. 부연하면, 소외 지역이나 미개발지역의 항공 교통에 대해서는 초과배출에 대한 상쇄의무에서 제외시키고, 국제운송 중 인도적인 목적의 운항에 의한 비행 또한 상쇄 부담 대상에서 제외하는 등 CORSIA 면제 운항 (국가)을 규정했으며, 국제항공사 중심의 구성원들이 점진적으로 대응 할 수 있는 적응 시간도 고려했다. 결국, 국제민간항공기구는 CORSIA이행을 단계적으로 적용하기로 계획하여 다음과 같은 3단계로 적용하기로 했다:

- 예비적용단계 (PILOT PHASE) : 2021 - 2023
- 1단계 적용 (FIRST PHASE) : 2024 - 2026
- 2단계 적용 (SECOND PHASE) : 2027 - 2035

국제민간항공기구는 예비단계와 1단계에는 자발적 지원국에게만 적용하고 2단계부터는 일부 면제국가를 제외한 모든 회원국이 참여하는 것을 목표로 하고 있으나, 가능하면 모든 회원국이 예비단계부터 참여할 것을 독려하고 있다. 실제로 2017년 5월말 기준 70개국이 예비단계부터 자발적으로 참여하기로 했는데 이 국가 소속 항공사들의 온실가스 배출량은 항공운송 부문 전체 배출량의 87.68%를 차지하고 있으므로

참여도는 매우 높다고 볼 수 있다. 2단계부터는 면제운항 (국가)들을 제외한 모든 회원국들이 의무적으로 CORSIA 체제에 참여하도록 하고 있다.

4. CORSIA 이행에 따른 국가 및 항공사의 예상 대응

4.1. 국가의 자국 항공산업 탄소배출 감축을 위한 대책

국가는 민간의 항공운송활동에 여러모로 관여하게 되는데, 동 산업의 국가적 경쟁력 향상이나 국민의 교통편의를 위한 기반 조성에 투자하고 운영에도 참여한다. 특히, 국민의 생명과 재산보호를 위한 안전확보에 적극적으로 간섭한다. 이러한 활동들이 항공사의 탄소배출 감축에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 안전성 강조로 인하여 항공기 분리 간격을 넓히고 운항고도를 제한하면 항공사의 운항활동은 제한을 받게 되고 비효율적인 운항으로 연료 소모가 많아지고 탄소배출 또한 줄이기 어려워진다. 반면에 정부가 공역관리를 효율적으로 이행하고 관제 서비스를 정밀하게 수행하여 항공기들이 연료 소모를 줄이면서 비행할 수 있는 환경을 조성하면 탄소배출 감축에 긍정적 영향을 미치게 될 것이다. 긍정적 영향을 최대화하기 위한 정부 역할들을 정리하면 다음과 같다.

4.1.1. 항공사 운항 효율화를 위한 환경조성

정부가 조성하는 항공사 운영 환경이나 항공교통 기반체계가 항공사 운항 효율성에 적지 않은 영향을 미칠 수 있다. 첫째로, 항공기가 최적의 연료 소모로 비행할 수 있는 항공로를 제공해야 한다. 공항지역 입출항 절차와 항공로 (EN ROUTE) 운항 효율성을 고려해야 하는데, 공항지역 입출항

6) ICAO, CORSIA Tutorial : CORSIA 소개를 위한 온라인 교육 자료, 2018년 5월 검색

절차는 연속 강하기법 (CDO: Continuous Decent Operation)에 의한 접근로 개발 등을 통해서 실현할 수 있고, 항로 운항 효율성은, 항공기들이 최소 연료 소모 고도에 더욱 가깝게 비행하도록 할 수 있는 RVSM (Reduced Vertical Separation Minima) 항로를 많이 개발하여 증진시킬 수 있다. 둘째로는, 주요 공항 인프라의 개선을 통한 항공기 지상 이동에 따른 연료 효율성 향상 환경 조성이다. 항공기 지상 이동의 효율성은 이착륙과 연계되는 지상 이동단계에서의 효율성을 의미하는데, 게이트 배정, 유도로 체계 개선, 지상 이동 관제 절차 개선 등을 통하여 항공기의 탄소 배출 감축에 기여할 수 있을 것이다.

#### 4.1.2. 항공교통관리 (ATM) 체제 개선

대부분의 국가에서 항공교통관리 (ATM : Air Traffic Management)서비스는 정부가 제공한다. 조종사들은 비행 스케줄에 따라 비행계획서를 제출하고 관제사와 교신하면서 비행계획서대로 비행하도록 노력하는데, 실제의 운항환경은 스케줄에 따라 비행계획서대로 비행할 수 없는 경우도 많고 비행계획서대로 비행한다 하더라도 관제사의 지시에 따라야 한다. 따라서, 관제사의 통제가 비효율적이거나 기상 여건 등에 의해 스케줄대로 비행할 수 없는 경우에 관제시스템의 유연성이나 관제사의 능력 등은 항공기 운항 효율에 영향을 줄 것이다. 그러므로 관제시스템 개선이나 관제사의 기능 향상을 위한 정부의 노력이 유효할 것이다.

## 4.2. 항공사의 이산화탄소 배출 감축 노력

### 4.2.1. 항공기 기단 편성 및 항공기 획득 분야

항공기운항에 따른 탄소 배출량은 항공기 기종 및 항공기 및 엔진의 노후화 등 항공기 자체 요인에 우선 크게 영향을 받는다. 항공사들은 항공연료 비용이 항공사 총운영비에서 차지하는 비중이 높기 때문에 연료비 절감을 고려한 기단 편성을 해왔다. 그러나, 연료 자체 비용에 추가하여 탄소 상쇄 비용까지 고려한다면 열효율이 높은 항공기 획득과 연료비 절감을 위한 항공기 정비 유지 활동에 더 많은 투자를 할 것이다.<sup>7)</sup>

### 4.2.2. 운항관리 (종합통제) 분야

항공사의 항공기 운항관리 또는 종합통제 업무는 운항관

리사에 의해 수행되는 비행계획, 연료 탑재량 산정, 비행 감시 등을 포함하는데, 항공기 운항의 연료 효율성에 직접적 영향을 미치는 업무분야이다. 다행히도 오늘날의 항공사 항공기 운항활동의 계획 및 이행 결과는 정교한 컴퓨터 시스템에 의하여 데이터로 축적되므로 운항관리사들은 FDR (Flight Data Recorder)<sup>8)</sup> 등을 통해 확보할 수 있는 데이터를 이용하여 연료소모 감소 및 탄소배출 감축 전략을 수립할 수 있을 것이다.

### 4.2.3. 항공기 운항분야<sup>9)</sup>

항공기 운항 연료 감축을 위해서는 조종사들의 역할이 가장 중요하다. 제일 중요한 것은 연료 소모량 감축과 안전성을 최적으로 고려한 비행계획서의 확정이다. 항공기 운항환경은 수시로 변하기 때문에 최신 정보를 반영할 수 있는 체제를 구축하는 것이 효율적 운항을 위한 필수적인 전제조건이 된다. 바람의 세기 및 방향, 항로의 기온, 대양 횡단 비행의 경우 고도의 선정 등은 항공기 연료 소모량에 영향을 주는 주요 요소가 되므로, 수시로 변하는 기상 데이터를 최적으로 활용할 수 있어야 한다. 비행 중에도 기상여건 변화가 발생하므로 지상의 운항관리사와 교신으로 비행 계획을 수정하면서 운항하여야 한다.

### 4.2.4. 항공기 정비분야

정비 정보 시스템 (MIS: Maintenance Information System)을 활용하여 항공기의 기술적 요인에 의한 효율성 개선을 추구해야 한다. 예를 들면, APM (Aircraft Performance Monitoring) 데이터는 개별 항공기들의 실제 순항 연료 소모량을 측정할 수 있으므로 각 항공기의 연료 효율성을 항공기의 설계 성능과 비교할 수도 있고 효율성 변화 추이를 파악할 수 있도록 도움을 주기도 한다. 또한, 각 항공기별로 연료 효율성을 파악할 수 있으므로 효율성이 좋은 항공기를 보다 많이 운항할 수 있도록 하여야 할 것이다.

## 5. 결론

항공기 기술 및 운영적 측면의 개선에 의해서 감축시킬 수 있는 배출 탄소량은 제한적이기 때문에 국제항공분야는 기후

7) Lee Geun Young, 2013. A Study on Airline Management Considering Aircraft Emission Charges, Korea Aerospace University

8) FDR records time, speed, altitude and fuel consumption along with flight of the aircraft.

9) IATA, Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 5<sup>th</sup> edition, 2011

변화 대응을 주로 배출권 구매에 의한 상쇄에 의존할 수밖에 없다고 결론짓고 CORSIA 프로그램을 개발했다. 본 논문은 CORSIA 프로그램 이행에 따른 정부 및 항공사의 대응 방안을 논의했다. 우선, 정부는 항공기가 최적의 연료 소모로 비행할 수 있는 공역 및 공항 환경을 조성해 주어야 하고, 관제 시스템 개선이나 관제사의 기능 향상을 위한 노력으로 항공사의 탄소 배출 감축에 기여해야 할 것이다.

항공사는 국제민간항공기구의 CORSIA 프로그램 적용에 따른 경제적 이해 당사자이다. CORSIA의 이행은 탄소 배출량 자체가 항공사의 비용 부담이 되기 때문이다. 항공기 기종 및 항공기 및 엔진의 노후화 등은 연료 효율성과 탄소 배출량에 근본적으로 영향을 미칠 것이므로 항공기 기령관리나 신기종 도입 전략을 재고해야 한다. 둘째로는 운항관리(종합통제) 분야에 합리적, 효율적 운항통제 체제가 도입되어야 하는데, 특히, 운항 데이터의 활용과 위험관리(risk management)에 의한 통제가 이루어지도록 해야 할 것이다. 셋째로는 운항 분야에서 조종사의 비행 방식이 연료 절약형으로 되도록 해야 한다. 정보의 제공과 최신 통신시스템에 의한 비행 중 연료관리 등이 도움이 될 것이다. 끝으로, 항공기 정비부문에서도 APM(Aircraft Performance Monitoring) 데이터 등을 활용한 연료 효율성 향상노력이 필요하다. 개별 항공기들의 실제 순항 연료 소모량을 측정하여 효율성이 좋은 항공기를 보다 많이 운항할 수 있도록 하여 전사적인 연료 절약을 가능토록

할 것이다.

## REFERENCES

- Chang HS. 2018. A Study on the Proper Amount of Discretionary Fuel Range for Economical Operation in Airlines, Korea Aerospace University
- Daley B. 2010. Air Transport and the Environment, Ashgate
- IATA. 2011. Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 5<sup>th</sup> edition
- ICAO. 2016. CAEP Report
- ICAO. 2018. CORSIA Tutorial
- IPCC. 1999. Aviation and the Global Atmosphere, Cambridge University Press
- Lee GY. 2013. A Study on Airline Fleet Management Considering Aircraft Emission Charges, Korea Aerospace University
- Mayara Conde Rocha Murca. 2018. Collaborative Air Traffic Flow Management: incorporating airline preferences in rerouting decision, JATM
- Upham P, Maughan J, Raper D, Thomas C. 2003. Towards Sustainable Aviation, Earthscan Publications