

항공기 배출가스 규제의 국제 동향 및 배출저감 기술

International Trends on Aircraft Emission Control and Reduction Technology

한재현*, 박찬엽(한국교통연구원)

1. 서 론

항공기의 운항이 환경에 유발하는 부정적 영향은 소음, 유해 배출가스, 폐기물, 수질오염 등 다양하지만 이 중에서 현재 가장 심각한 문제로 대두되고 있는 것은 주로 소음과 배출가스이다.

부정적 환경영향을 감소시키기 위한 노력은 제도적 규제 및 관련기술 개발 등으로 일정부분 개선이 진행되어 왔다. 그러나 향후 항공자유화의 확산 등 다양한 변화요인에 따라 항공시장의 성장이 예상되고 있어 환경 문제는 장래 항공 산업이 성장하는데 장애요인으로 대두되고 있다.

이러한 주장에 힘입어 미국, 특히 유럽지역을 중심으로 환경문제에 대한 관심이 증폭되면서 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 더 나아가 국제적으로 영향력 있는 규제가 실행에 옮겨지고 있음에도 불구하고 아직까지 국내에서는 이의 중요성이 크게 부각되고 있지 못한 실정이다. 이에 본 연구에서는 소음과 더불어 항공 환경의 주요 이슈인 배출가스와 관련한 국제동향과 이의 저감 기술 방안 등을 살펴봄으로써 국내에서 인식의 저변을 확대하는 기회를 갖고자 한다.

2. 본 론

현재 항공기 엔진으로부터 배출되는 가스의 총량은 전 세계 화석연료 연소에 의한 배출 가스 총량 중 약 2~3% 수준으로 알려져 있어서 환경에 부정적인 영향은 타 교통수단 등에 비하여 상대적으로 미미한 것으로 평가되고 있다. 그러나 국제공항협의회(Airports Council International, ACI) 등 상당수 관련기관에서 향후 20~30년간 항공수요가 3배 이상 급증할 것으로 전망하고 있어 이와 비례하여 배출 가스량도 증가하게 될 것으로 보인다. 항공기 배출 가스는 연료의 연소에 의해 필연적으로 발생하는데 이의 주된 요소는

지구온난화와 관계있는 것으로 알려진 CO₂, H₂O 이다. 또한 부생성물질로 알려진 NO_x, CO, HC, Soot 등도 배출가스에 포함되어 있으며 NO_x, CO, HC, Soot의 경우 ICAO에서 엔진의 출력 및 압축비에 의한 배출 기준이 정해져 있다. 특히, CO₂, NO_x는 민간 여객 항공기가 주로 비행하는 대륙권 상층부 및 성층권 하부에서 오존을 감소시켜 지구 온난화로 연결된다. 환경문제에 있어 지구온난화의 문제는 국제적 이슈로서 이에 관한 대응이 활발하게 진행되고 있다.

2.1 ICAO의 배출가스 규제 경과

항공분야의 국제적 동향을 파악하기 위해서는 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)의 관련활동을 파악하는 것이 선행되어야 하며 이는 환경분야에 있어서도 마찬가지이다.

ICAO의 환경분야는 최초 1971년 소음문제를 담당하는 위원회(Committee on Aircraft Noise, CAN)가 발족된 것으로부터 출발한다. 즉, 배기가스 분야는 소음을 필두로 한 항공 환경문제에서 파생된 것이다. 이후, 1977년 항공기 엔진 배출물 위원회(Committee on Aircraft Engine Emissions, CAEE)가 발족되면서 배출가스에 관한 활동을 전담하게 되었다. 1981년 6월에는 ICAO Annex 16을 『Environmental Protection』으로 개명하면서 Vol. I 과 II를 각각 Aircraft Noise, Aircraft Engine Emissions로 구분하였다.

1982년 CAN과 CAEE가 통합된 CAEP(Committee on Aircraft Environmental Protection)체제로 재편되었으나 제1회 CAEP 본위원회는 약 4년이 경과한 1986. 6월에 실시되었다.

CAEP의 활동 중 배출가스 규제기준 수립은 1991. 12월 개최된 제2회 본위원회에서 질소산화물(NO_x)의 20% 감소를 합의함으로써 주목을 받기 시작한다. 이후 1995년 12월 제3회 CAEP 본

위원회에서는 배출가스 기준을 더욱 강화하여 NOx를 기존 20% 상태에서 부가적으로 16% 추가하여 감소하는 방안을 상정하였으나 부결되고 이 방안은 부결 이후에도 재검토를 거듭하여 의제로 논의되지만 끝내 합의에는 이르지 못한다.

한편, CAEP는 재래식 항공기의 운항 규제, 시장원리에 입각하여 배출물을 제한하는 방안으로써 환경세를 도입하는 등의 타당성 검토를 병행하면서 배출가스와 관련한 대응체계의 기반을 조성하고 있다. 이러한 연구 성과를 바탕으로 2004년 2월에 개최된 제6회 본위원회에서 각국의 다양한 의견이 절충된 합의점에 도달하게 된다. 이의 주요 내용은 NOx 기준을 2008년에 12% 수준으로 감소하는 것이며 2010년에 보다 강화된 기준적용을 위하여 재검토를 실시하기로 되어 있다. 이는 환경문제에 민감한 유럽지역 국가들이 2008년 15~20% 수준으로 급진적 강화를 주장하였던데 반해 미국, 캐나다, 개발도상국 등은 10%를 고수하였기 때문에 이와 같은 절충안이 도출된 것이다.

마지막으로 2007년 2월 캐나다 몬트리올에서 개최된 제7차 본회의에서는 배출권 거래(Emission Trading) 수행을 위한 최선의 방안으로 7개 항목으로 구성된 제안서를 발표하였다.

- 항공기 운항 회사는, Emission Trading 달성을 위해 책임 있는 국제 항공 독립체일 것.
- 그 제도에 포괄되는 운항 회사는 모든 비행의 중화 Emission에 책무를 진다.
- 참가 각국은 모든 항공수송 방법 및 그 오염물의 배이스가 되는 기체 중량에 배려
- 각국은 CO2만의 Emission Trading Scheme로 시작한다.
- 각국은 민간 항공에 적용해야 할 온실 가스 산정의 취지를 국내 정부기관에 채용한다.
- 국제항공의 Emissions 산정기관은 따로 하지만 교토 의정서의 삭감 목표는 반하지 않음
- Trading과 관련하여 각국은 선택시의 경제 효과, 환경 통합, 주식, 경험을 고려하여야 한다.

2.2 유럽의 배출가스 규제 동향

일찍부터 환경문제에 대한 관심이 어느 대륙보다 높은 유럽지역은 항공분야의 환경목표 수준을 아래 표와 같이 정량화하여 이를 달성하기 위한 노력을 경주하여 오고 있다.¹⁾

표 1. 유럽의 2020 환경 목표

항 목	목 표
CO ₂ 발생량	현 수준보다 50% 감소(여객/Km당)
NO _x 발생량	현 수준보다 50% 감소

항공분야에서는 1997년 9월 스위스 취리히 공항에서 배출가스세(Green Tax)를 도입하여 항공기를 5개의 범주로 구분하여 착륙료에 최대 40%의 할증을 부과한바 있으며 이후 제네바 공항으로 확산(1998. 1)되었다.

무엇보다 중요한 유럽의 배출가스 규제는 2006. 12월 EU에서 제안한 배출권거래시스템(Emission Trading System, ETS)의 적용이다. 이는 흔히 교토의정서(Kyoto Protocol)로 대변되는 국제기후변화 협약을 이행하는 방안으로 EU의 배기가스 절감 노력을 대변하고 있다. ETS의 계획에 따르면 유럽 역내외를 운항하는 항공기는 2004년~2006년의 CO₂ 배출량을 기준으로 이를 초과하는 경우 유럽거래시장에서 배출권을 매입하여야 한다. 이는 향후 항공운송량 증가에 따라 배기가스 발생 총량이 증가하더라도 2006년 수준으로 억제할 것임을 의미한다. 다만, 역내노선을 운항하는 항공기는 2011년부터, 역내외 역외를 연계하여 운항하는 항공기는 2012년부터 적용하기로 되어 있었다. 그러나 미국과 아시아 국가를 중심으로 반대의견이 높아 역내외 항공기는 2013년으로 늦추는 것에 최종 합의한 상태이다.

2.3 미국의 배출가스 규제 동향

미국에서는 1960년대부터 시각적으로 강한 인상을 주는 Smoke Emission과 Exhaust Pollution의 영향에 관심을 갖기 시작하면서 배출가스와 관련한 규제가 시작되는 것으로 이해할 수 있다.

항공분야를 대상으로 한 가장 최초의 활동은 1970년 EPA(Environmental Protection Agency)가 Clean Air Act 제231조에 근거해 항공기로부터의 대기오염 물질에 관한 조사를 개시한 것이다. 이를 바탕으로 1973년 7월에는 항공기와 항공기용 엔진에 의한 대기오염 물질의 배출량 규제에 관한 법률을 제정하였다. 이에는 헬리콥터를 제외한 모든 민간 항공기로부터 발생하는 모든 가스 성분(CO, HC, NOx), 스모그, 방출 연료 등을 대상으로 한다. 이후, 수차에 걸친 개정으로 대부분 ICAO 기준과 동일한 수준이 되고 있으나 CO와 NOx의 규제는 완화된 기준을 적용하고 있다.

1) EC(European Communities, 2001), European Aeronautics : A Vision for 2020

1990년 발표된 대기 청정법(Clean Air Act of 1990)에서는 자동차의 배출 가스에 대하여 대폭적인 규제 강화를 모색하고 있는 반면 항공기의 배출 가스 대책은 상대적으로 낮은 수준의 기준을 제시하고 있는 것으로 평가된다. 1997년 5월에는 EPA도 ICAO와 같이 현재의 NOx 삭감 기준의 적용을 결정한다. 이것은 현재의 터보팬이나 제트 엔진 뿐만이 아니라, 신개념의 엔진도 대상으로 하고 있다.

2.4 항공기 배출가스 저감 기술

상술한 바와 같이 항공기 배출가스의 주된 발생원은 엔진이다. 따라서 엔진가동 시간 및 연료 소비량은 항공기 배출가스 총량과 비례한다. 현재까지 진행되어 온 배출가스 저감 노력도와 같은 차원에서 주로 엔진의 개선측면에서 진행되어 왔다. 연료 소비량의 저감은 배출가스를 줄이는 효과도 있지만 사실 근본적으로는 항공사의 운용비용 절감과 직접적으로 관련이 있기 때문에 이와 관련한 연구개발이 부각된 것이다. 근래에는 이러한 대응만으로는 부족하다는 주장이 높아지면서 엔진 이외의 기체 등의 개발도 진행되고 있다. 그러나 ICAO CAEP는 배출가스 주 발생원으로써 항공기에 대한 대책만으로는 한계가 있음을 인식하고 운항방법개선, 운항제한, 공항주변 토지이용 관리 등의 방안을 균형 있게 조합함으로써 기술적·경제적으로 환경 개선을 도모할 수 있음을 밝히고 있다. 이것이 이른바 "Balanced Approach"의 기본적인 틀을 구성하는 핵심이다.

(1) 경량화

경량화의 기본적인 내용은 기체중량 및 크기를 줄임으로써 엔진부하 및 연료소비량을 감소시키는 방안으로써 이의 대표적 내용은 복합재 및 첨단 합금의 사용, 유압시스템의 시스템 경량화 등으로 대표된다.

a. 복합재의 사용 확대

재료의 강도를 비중량(比重量)으로 나눈 값을 비강도(比強度, specific strength)라고 한다. 로켓·항공기·선박·차량 등 가볍고 튼튼한 재료의 구조를 요구하는 분야에서 중요한 척도가 된다. 항공기의 기체 구조재료는 비강도가 높고 가공성이 좋은 알루미늄 합금이 가장 많이 사용되고 있어 구조 중량의 약 70%이상을 차지하는 경우가 대부분이다. 수지를 유리 섬유나 탄소섬유로 강화한 복합재는 알루미늄 합금과 비교하면 비강도가

2~5배나 높다. 때문에 항공기 재료를 복합재로 바꾸어 경량화를 도모할 수 있다. 복합재는 성능을 중시하는 군용기 분야에서 1980년대부터 적극적으로 진행되어 오다가 민간항공기 용은 조금 늦게 그 움직임이 진행되어 왔다. 1980년대 개발된 보잉 767은 복합재 사용률이 약 3%, 1990년대 777은 12%였으나 현재 개발 중인 787의 경우 50%로 상승하여 주익, 동체 등이 거의 복합재(CFRP)화 되어있다.(그림 1 참조)

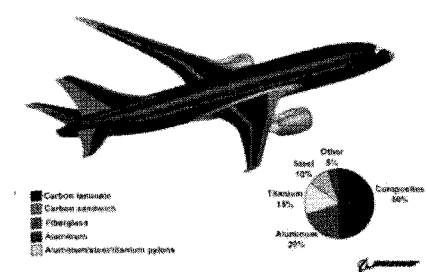


그림 1 787의 구조재료 분포 (출처: 보잉사 발표자료)

복합재는 알루미늄 합금에 비해 경량이며 피로에 의한 강도 저하가 적고 부식하지 않는 성질 및 정비 비용을 대량 절감할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 복합재에 대해서는 제조, 검사, 수리법 등이 충분히 확립되어 있지 않기 때문에 이러한 과제를 확립하기 위한 노력이 전개되고 있다

b. 알루미늄 리튬 합금 사용

최근 알루미늄 리튬 합금이 주목을 끌고 있다. 이는 알루미늄 합금에 리튬을 1% 더할 때 마다 밀도가 3% 감소하여 탄성률이 6% 증가하는 특성이 있어 종래의 알루미늄 합금에서 알루미늄 리튬 합금을 사용하면 경량화가 가능하다. 단거리용 여객기로 현재 개발 중인 A350은 구조 중량의 20%가 알루미늄 리튬 합금(복합재는 40%)로 피로나 부식이 문제가 되는 부분에는 복합재를 사용하며, 간단하게 응급 수리가 필요한 부분에는 알루미늄 리튬 합금을 사용하고 있다. 알루미늄 리튬 합금 및 복합재 등의 신재료를 사용하여 구조 중량을 8톤 절감할 수 있다고 알려져 있다.

c. 시스템 경량화

유압시스템의 고압화는 시스템 경량화의 주요한 부분이다. 종래에는 3,000psi였으나 개발 중인 단거리용 여객기 A380 및 보잉 787의 경우 5,000psi로 증가한다. 이를 통하여 유압 배관이 가늘어지

고 작동유도 적어지며 Actuator의 실린더 지름도 작아져 시스템의 경량화를 도모할 수 있게 된다. 또한, 유압 Actuator를 전기 기계식(EMA, Electro-mechanical Actuator)이나 전기 유압식(EHA, Electro-hydraulic Actuator)으로 바꾸어 유압계통을 제거하게 되어 경량화를 도모하는 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

(2) 항공 역학적 특성 개선

이는 항공기에 작용하는 역학적 특성의 개선을 통하여 엔진의 부하를 감소시킴으로써 궁극적으로 연료 소비량을 감소시키는 방안이다. 그러나 현재의 민간 여객기 동체의 중심으로 주 날개와 후방의 수직 안정판 및 수평 안정판이 장착된 형태는 항공 역학적으로 상당히 성숙한 단계이므로 그 공력 특성의 대폭적인 개선은 기대하기 어렵고 작은 개선을 기할 수 있는 것으로 알려져 있다. (향후 BWB : Blended Wing Body 등의 혁신적인 변경이 진전될 것으로 기대되고 있음)

(3) 클린 에너지화

화석연료보다 배출 가스가 적은 에너지원을 사용하는 것이 클린 에너지화이다. 궁극적으로는 화석연료의 대체 연료가 될 것이지만 현실적으로 향후 수 십년간은 화석연료에 의존할 수 밖에 없는 상황이므로 단계적으로 클린 에너지화 하는 방안을 고려하여야 한다. 이의 대표적인 방안으로는 연료전지(Fuel Cell)이다. 연료 전지는 PEFC(Polymer Electrolyte Fuel Cell), SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)등의 종류가 있으나 아직 개발 단계이며 연료의 탑재 방법 등 항공기용으로서 해결해야 할 과제도 많다. 단계적 활용방안으로 처음 적용에는 RAT(Ram Air Turbine, 램 에어를 이용한 긴급시의 동력원)의 적용방안을 고려한 이후, 다음으로 APU(Auxiliary Power Unit)로 적용하는 방안 등을 검토할 수 있다.

(4) 운항 방법의 개선

지금까지는 환경 부하를 유발하는 발생원적인 측면에서 항공기의 배출 가스 저감 기술이었으나 운항방법의 개선은 Hardware적 개념보다는 제도적, Software적 개념이 적용된 방안이다.

a. CNS/ATM의 운용

CNS/ATM²⁾은 위성기반의 통신, 항법 및 감시

기능 등의 관제 기능을 강화하여 항공로 및 항공기의 효율화와 안전성의 향상을 목표로 ICAO에서 추진중인 차세대 항공교통의 핵심이다. 항공운항 효율 향상의 결과 2020년까지 연료 소비량이 약 6~12% 수준으로 감소될 것으로 기대되고 있다.

- 수직 간격 분리기준의 단축에 의한 연비향상
- 항법 및 통신위성 기반 해양 항공로의 효율화
- 육상 및 연안지역 항공로 설정의 자유도 확대
- 자유비행(free flight)에 의한 4차원 항법의 시행
- 신호보강시스템 기반 운항 효율화
- 공항 혼잡 완화(ATC 개선, Taxing 거리 감소)

b. 운항 회사의 대응

운항 회사에서는 적극적 대응책으로서 다음의 운항 방법을 연구하고 있으며 단기적인 효과 증대방안으로 활용가치가 높다.

- 기체 운용 중량 감소 (탑재 중량 감소)
- 탑재 연료의 체계적 관리
- 지상에서 APU 사용 저감(지상 전원의 사용)
- 지상 엔진 운전의 저감

- 실기 훈련·심사의 시뮬레이터화
- ETOPS의 운용 확대
- GSE(지상 지원 설비)의 전기 동력화

3. 결 론

항공 자유화의 확대와 네트워크 강화를 지원하 는 LCC의 대두, 문화적 교류 활성화 등의 요인 으로 장래 항공 운송량의 증가는 필연적인 것으로 대부분의 연구결과에서 전망하고 있다. 통상 적으로 항공환경 규제 강화는 자국의 항공 산업을 보호하려는 차원에서 이루어지는 경향이 있다. 본문에 소개된 유럽과 소극적인 기타 국가와 의 갈등은 이를 잘 표현하는 예가 될 것으로 보

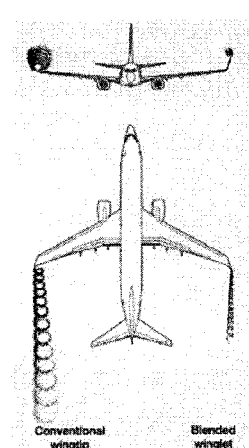


그림 2 윙렛 효과

인다. 향후 우리나라가 항공 대국으로서 국제적 지위를 인정받고 국제 협약 등을 통하여 국가적 권익을 확보하기 위해서 다각적인 방안으로 대응책을 수립할 필요가 있다. 지속적 관심을 통하여 관련 산업계의 적절한 대응수립을 유도하는 한편 조기적응을 정착시킬 필요가 있다. 또한, 항공환경 관련 국제회의는 물론 실무그룹에도 적극 참여하여 우리나라의 위상을 확고히 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) International Aircraft Development Fund, "航空機の環境保全技術の現状と動向", 2005, 5
- 2) European Communities(EC), "European Aeronautics : A Vision for 2020", 2001
- 3) ICAO, ANNEX 16, Vol. 2 "Aircraft Engine Emissions", second edition, 1993