



항공기 엔진에 의한 대기오염

Air Pollution by Airplane Engines

金 大 植*
Kim, Dae Sik

1. 항공기엔진의 대기오염물질 관리현황
2. 오염물질 배출량 산정 방법
3. 오염물질 배출량 산정결과
4. 결론

Abstract

Air pollutant emissions from airplane engines are estimated about 2 to 4 % of mobile sources of USA and European countries which is not a large portion of current air pollution. But the passengers and airfreights are continuously increasing 5 to 7% annually and potential demands of air transportation services come to present, it could effect air pollution more seriously. It is anticipated that a half or a third of current pollutant emissions of USA will increase within 15 years. In case of our country, there has been continuous increase of air transportation service due to considerable economic growth in recent years and increase of air pollutant emissions of major international airports has followed. Rapid increase of air transportation due to launching of Incheon International Airport could effect air pollution dominantly. By this circumstances environmental specialist as well as mass communication raised necessity of air pollutant emission regulation from airplane engines.

It is estimated that air pollutant emissions from airplane engines in our country is 2.7% of automobile sources, 10,809 ton, which is the same level as USA and European countries. It is increased by 12.2% compared to air pollutant emissions during 1996 and it will be increased more than a half of current air pollutant emission within 15 years due to our country's economic condition. Therefore implementation of airplane engine emissions regulation as well as test standards and accumulation of technology about characteristics of airplane engine emission and reduction method are needed. And continuous estimation of air pollutant emission from airplane engines and monitoring of increment as well as development of countermeasures by long term are necessary.

* 차량기술사, 국립환경연구원 자동차공해연구소.

1. 항공기엔진의 대기오염물질 관리현황

가. 개요

항공기에 의한 대기오염은 미국 등 선진국의 경우 이동오염원에 의한 대기오염의 약 2~4% 정도인 것으로 추정되고 있어 그 기여율이 아직은 미미한 것으로 판단된다. 그러나 항공 운송량이 매년 5~7% 씩 증가하고 잠재적인 수요가 현실화되면 뚜렷한 영향을 미칠 가능성이 크다. 미국의 경우 2015년까지 현재의 대기오염 발생량의 2분의 1내지 3분의 1 정도 증가 할 것으로 예상되고 있다¹⁾. 현재 국내의 상황은 김포 등 국제공항에서 항공기로 인하여 배출되는 오염물질이 대기오염에 미치는 영향이 날로 증가 추세이고 언론 및 환경 전문가들도 항공기 배출가스규제에 대한 필요성을 제기하고 있다. 영종도 신공항의 개항과 더불어 항공 운송량이 급격히 증가하면 그 기여도는 현저히 증가할 것으로 예상된다. 우리나라에서 '97년 연간 발생한 항공기에 의한 배기 오염물 총량은 10,809톤으로 자동차의 2.7%에 해당한다. 그러나 이것은 '96년 발생량에 비해 12.2% 증가한 값이고 우리나라의 항공운송량 증가 상황에 비추어 볼 때 향후 15년간 현재 발생량의 2분의 1 이상 증가할 것으로 예상된다. 따라서 항공기 배출가스의 규제기준 및 시험방법, 항공기 배출가스의 특성, 저감 방법에 대한 정립이 필요하고 항공기에 의한 대기오염물질 발생량의 산정을 통해 그 증가 경향을 감시하고 장기적인 대책을 수립하여 대응해 나가는 것이 필요하다.

나. 국제민간항공기구의 규제현황

국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)는 1947년 UN에 의해 설립되어 최초의 HC, CO, NOx 규제기준을

1970년대에 제정하였으나 1982년까지 상대적으로 항공기가 환경에 미치는 영향이 적은 이유로 규제의 적용이 보류되었다. ICAO는 1981년에 CO, NOx, HC에 대한 기준을 마련하여 1986년 이후에 제작되는 항공기에 적용되도록 하였다. 1990년 기준으로 ICAO규제를 일부 적용하는 나라는 10개국, ICAO 규제를 동일하게 적용하는 나라는 20개국, 아직 대응하고 있지 않는 나라가 130개국이다. ICAO는 강제적인 권한이 없기 때문에 각국이 기준을 도입하는 것을 요구할 수 없다. 미국은 ICAO규제를 적용하고 있으나 적용 시점에 있어 <표 1>과 같은 차이가 있다. 1993년에는 ICAO는 1996년 이후에 새로이 인증 받거나 2000년 이후에 새로 제작되는 엔진에 대하여 NOx를 20% 줄이는 수정안을 발표하였다.²⁾ ICAO의 규제 기준은 신규 인증과 운행중인 항공기 기준으로 차별할 수 있는데 신규 인증시의 규제기준은

HC : 19.6g/kN, CO : 118g/kN(터보 제트 엔진만 적용) 이고 '95년 12월31일 이전 항공기모델 혹은 엔진제작이 '99년 12월31일 이전인 경우 NOx : $40+2x(\text{rated pressure ratio})$ g/kN

'95년 12월31일 이후 항공기모델 및 엔진제작이 '99년 12월 31일 이후 인 항공기에 대해서는 NOx : $32+1.6x(\text{rated pressure ratio})$ g/kN 이다. 여기에서 rated pressure ratio는 최대 이륙추력을 발생할 때의 압축기의 입구에서의 압력과 마지막 압축기 출구에서의 압력의 비이다.

매연(Smoke Number)은 $83.6x(\text{표준대기상태에서의 추력})^{-0.724}$ 혹은 50중 작은 값이고 운행중인 항공기의 규제기준은 매연(Smoke Number) :

<표 1> Comparison between ICAO and EPA standards

Organization	Regulation	Standards	Remarks
ICAO	ICAO Annex 16, Volume II	CO, HC, NOx, Smoke (1983)	No enforcement
EPA	CFR Part 87 /FAA Part 34	Smoke(1974) HC(1984) CO, NOx (1997)	EPA make rules, FAA enforce.



83.6x(표준대기상태에서의 추력)^{-0.724} 혹은 50중 작은 값이다.

다. 미국의 규제현황

① 규제활동

미국에서는 1974년부터 매연과 연료 venting 배출가스를 규제하다가 1984년에 HC 규제를 추가하였으며 1997년에 CO와 NOx규제를 추가하였다. EPA는 국제적인 항공기의 배출가스 규제개발을 미국 교통부(DOT)의 연방항공국(FAA)과 공동으로 하여왔고 FAA는 EPA가 제정한 규제를 강제 적용하는 책임이 있다. EPA는 ICAO의 규제개발을 지원했고 이 때문에 EPA는 ICAO의 규제를 채택하게 되었다. 항공기는 국제적으로 운행하는 운송도구이기 때문에 규제치와 제어 프로그램의 요구조건에 일관성이 있어야 한다. 이것은 제조자가 미국의 규제를 만족하게 되면 ICAO의 규제를 만족할 수 있게 되어 국제 시장에 있어 용이하게 인증을 받게 해준다. 현재 운행되고 있는 항공기 중 많은 대수가 1984년 이전에 제작되어 HC규제의 적용이 면제되고 있다. 항공기의 엔진 수명은 약 35년 정도로 이러한 오염발생량이 많은 항공기들이 2020년까지 운행될 수 있다. EPA와 ICAO규제기준의 차이점은 HC, CO, NOx기준에 대해 적용일자가 다르다.

② 인증절차

미연방항공국(Federal Aviation Administration)은 교통성(Department of Transportation)의 한 기관으로 항공기엔진에 대해 EPA의 규제기준을 적용하는 책임을 가지고 있다. 강제 이행의 전반적인 책임의 일부로써 FAA는 엔진 배기가스 시험시 제작사에 책임자를 파견하고 시험 데이터의 분석을 실시하며 법규의 적용을 평가하고 인증서를 발행한다. FAA는 엔진을 시험하기 위해서 자체적인 장비와 재원을 가지고 있지 않기 때문에

제작사가 인증시험을 할 때에 각각의 제작사로부터 기술자를 선발하여 FAA의 대표로 파견한다. 이러한 지명 파견자들은 엔진 배기가스 시험의 준비를 감독하고 최종 승인을 위해서 시험결과를 FAA에 보낸다.⁴⁾

③ 미국의 항공기 산업

1992년 기준으로 미국에 약 7,000대의 상업용 항공기가 있으며 전세계적으로는 11,000대의 상업용 항공기가 있다. 이러한 숫자는 매년 5~7%의 비율로 증가되고 있다. 미국의 상업용 항공기는 25개 이상의 항공기 기종과 20개의 서로 다른 엔진 패밀리로 구성되어 있다. 주요 엔진생산 회사의 전세계 시장 점유율은 아래와 같고 미국으로 수입되는 엔진보다 해외로 수출되는 엔진이 2배 이상 많다.⁴⁾

Pratt & Whitney : 45%

General Electric : 11%

Rolls Royce : 11%

CFM International : 9%

International Aero Engines : 1%

기타 : 23%

④ 규제의 영향

미국의 배기가스 규제를 만족하는 항공기는 ICAO규제를 만족하게 된다. EPA의 조사결과 현재의 규제치를 만족하지 못하고 있는 엔진 기종은 2개뿐이다. 이 두 엔진의 제작사는 Pratt & Whitney와 Rolls Royce로써 ICAO규제를 만족시키기 위한 신기술을 이미 개발하였다. EPA는 이러한 현재의 규제가 항공기 산업에 추가적인 비용을 부담하지 않을 것으로 판단하고 있다.⁴⁾

라. 우리 나라의 현황

국내의 항공기 산업의 특성상 대부분의 항공기가 미국이나 유럽에서 생산되어 수입되기 때문에

배기가스 규제를 만족시키기 위한 연구 및 설비가 미흡한 상태이다. 대한항공 및 아시아나항공에서 운행되고 있는 대부분의 상업용 항공기는 미국의 보잉 등 제작사에서 생산될 때 미국 환경청의 인증을 받은 기종이기 때문에 ICAO 규제를 채택하고 있는 국가를运行时 문제가 없는 것으로 파악된다. 그러나 국제적으로 운행하는 항공기의 특성상 국내에 취항중인 모든 항공기가 ICAO 규제 기준을 만족한다고 할 수 없으므로 항공기에 의한 대기오염의 피해를 줄이기 위해서는 ICAO의 규제기준을 국내법화 하여 규제 부적합 항공기에 대해서 부과금을 물리는 등 규제가 필요하다.

2. 오염물질 배출량 산정 방법

가. 항공기 배출가스 발생 현황

항공기로부터 배출되는 배기가스는 미국의 경우 총 이동오염원에서 발생하는 NOx 및 CO의 2% 정도이다. 그러나 어떤 공항지역에서는 4%에 해당하는 지역도 있는 것으로 밝혀지고 있다. 상업용 항공기의 배기가스는 교통오염원 중에 급격히 증가하고 있고 로스앤젤레스 지역에서는 2010년에 질소산화물의 증가가 약 2배가 될 것으로 예측되고 있다.²⁾

이러한 항공기 배출가스의 증가는 다른 이동오염원과 고정오염원에서 현격히 배출가스가 감소하는 시점에서 발생하기 때문에 중요시되고 있다.

국내 항공사에서 보유중인 항공기는 국제민간항공기구(ICAO) 및 미국 EPA의 인증하에 제작되어 수입된 것이기 때문에 배출가스 수준 자체는 미국에서 조사된 것과 동일한 수준이고 총 발생 오염물질량은 항공기 운항특성 및 보유대수의 조사에 의해 산정이 필요하다.

나. 시험모드 및 배출가스 측정

항공기 배출가스는 항공기의 이륙, 착륙 및 공회전 사이클(Landing Take Off Cycle, LTO Cycle)에서 엔진에서 발생하는 최대 오염물을 대표하는 가스 샘플에 의해 측정된다. 총 4사이클에서 소요된 시간은 항공기가 지상에서 2000피트까지 공항주변에서 소요한 시간의 평균치이다. 항공기 엔진을 엔진 동력계상에 장착한 후 다음의 LTO 모드로 부하를 가하여 배기가스를 채취·분석한다.⁵⁾

① 시험 모드 : LTO Cycle(Landing Take Off Cycle, 이착륙 사이클)

이륙(Take-Off)	100% 추력	0.7분
상승(Climb)	85% 추력	2.2분
착륙(Approach)	30% 추력	4.0분
지상 공회전	7% 추력	26.0분

② 대기조건 : 표준 대기상태

③ 측정장치 : 스테인레스 스틸로 제작한 검침 오리피스를 가능한 한 엔진에 가깝게 설치하되 엔진성능을 고려한다.

④ 분석방법 :

<가스상물질>

- 탄화수소 : 화염 이온 검출기(FID) 사용
- 일산화탄소, 이산화탄소 : 비분산 적외선 분석기(NDIR) 사용
- 산화질소물 : 화학 발광법(CLD) 사용

<매연>

- 주어진 양의 배기표본이 필터를 통과할 때 오염으로 인한 필터 투과율 감소를 측정한다.

$$SN = 100(1-Rs /Rw)$$

Rs : 오염된 각 필터의 절대 반사율

Rw : 깨끗한 필터의 절대 반사율

⑤ 배기가스 산출

$$\text{각 오염물질 } D_p = (EIn)(Wfn)(t)$$

여기에서

D_p = 기준배출의 이착륙동안 배출되는 가스
 오염 물질의 질량
 (EIn) = 배출지수(각 성분의 측정된 질량 / 사용된 연료의 질량)
 Wfn = 연료유량(kg/분)
 t = 이착륙 주기의 시간(분)

⑥ 추력

$F = M_s \times (V_2 - V_1) / g$
 M_s = 엔진을 통과하는 공기의 총량
 $(V_2 - V_1)$ = 배기노즐로 나가는 공기의 속도-엔진 입구로 들어오는 공기의 속도
 g = 중력 가속도

다. 배출계수 및 배출량 산정

주요 항공기의 이륙, 착륙 및 공회전 사이클 (LTO Cycle)에서 발생하는 LTO당 CO, HC, NOx의 오염물질 배출계수는 미국 환경청의 상업용 항공기 배출가스 측정데이터(Commercial Aircraft Example Fleet)⁶⁾를 이용하였다. 1대의 항공기가 이착륙시 배출하는 CO, HC, NOx의 값에 연간 이착륙 횟수를 곱하여 연간 발생하는 총배출량을 얻는다.

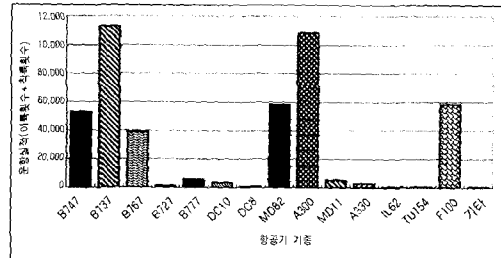
총배출량(톤/년) = \sum 항공기종별 ((CO/LTO, HC/LTO, NOx/LTO) X 연간이착륙횟수)

3. 오염물질 배출량 산정결과

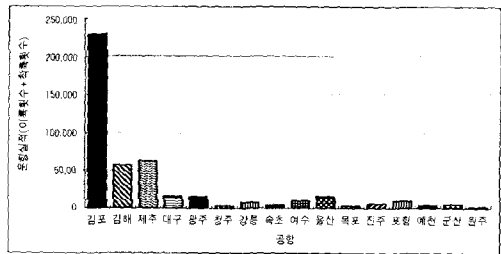
가. 항공기 운항현황

항공기의 운항 실적으로 집계된 데이터는 이륙 횟수와 착륙횟수를 합한 값을 나타내며 연간 이착륙 횟수는 연간 운항실적을 2로 나눈 값이다. '97년에 우리 나라 공항에서의 총 운항실적은 451,359회로 '96년의 411,511회에 비해 10.4% 증가한 실적을 나타내었다.⁷⁾

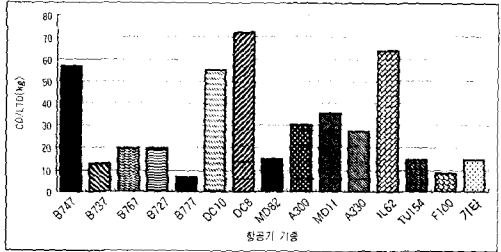
이중 김포공항을 이용한 항공기의 운항실적이 228,629로 전체의 50.6%를 차지하여 김포공항 주변에서 대기오염이 집중되는 것을 알 수 있다. '97년도 우리 나라에 이착륙한 항공기 기종별 운항실적은 <그림 1>과 같고 공항별 운항실적은 <그림 2>와 같다. 총배출량을 산정할 때 사용하는



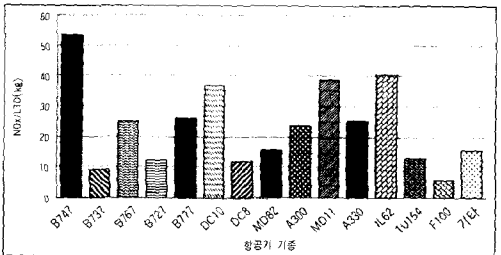
<Fig. 1> Annual Landing and Take Off Records by Airplane type during 1997



<Fig. 2> Annual Landing and Take Off Records by Airport during 1997



<Fig. 3> CO Emission Factors of various Airplanes.

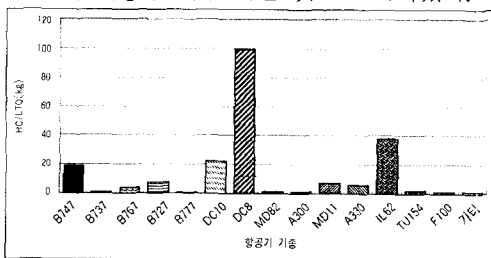


<Fig. 4> NOx Emission Factors of various Airplanes.

이착륙횟수는 이 운항실적을 2로 나눈 값이다.

나. 오염물질 배출계수

미국 환경청의 상업용 항공기 배출가스 측정 데이터⁶⁾를 이용한 CO, HC, NOx의 배출계수는 <그림 3>, <그림 4>, <그림 5>와 같다. 한 항공기에 여러 종류의 엔진기종이 탑재된 경우는 이들 엔진기종의 평균 LTO당 배출량을 배출계수로 사용하였다. 한 예로 B747의 경우 탑재되는 엔진이 PW4056, JT9D-7Q, JT9D-7A가 있는데 각 엔진기종의 평균치를 계산하여 56.7kg/LTO로 하였다. CO의 배출계수는 B747, DC8, DC10, IL62의 4기종이 크고 나머지 기종은 30이하로 작은 것으로 나타났다. NOx는 B747, DC10, MD11, IL62 기종이 다른 기종에 비해 큰 것을 알 수 있다. HC는 DC8 기종이 99로 다른 기종에 비해 월등히 크고 B747, DC10, IL62를 제외한 나머지 기종은 매우 작은 것으로 나타났다.



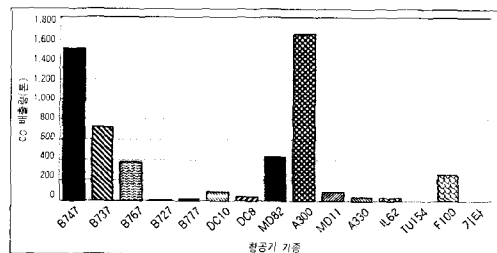
<Fig. 5> HC Emission Factors by Airplane types.

다. 오염물질 배출량

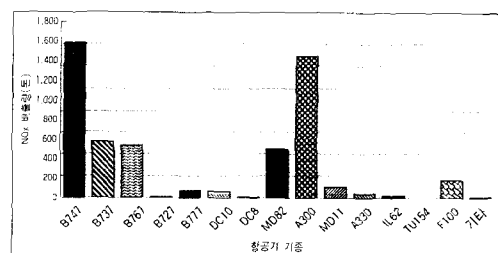
LTO당 배출계수와 각 항공기의 이착륙횟수를 곱하여 CO, HC, NOx 배출량을 구한 결과 <그림 6>, <그림 7>, <그림 8>과 같다. CO의 경우 A300이 1,643톤으로 가장 많고 B747이 1500톤으로 다른 기종에 비하여 기여율이 큰 것을 알 수 있다. NOx 배출량은 B747이 1,405톤으로 가장 많고 A300이 1,288톤이고 나머지 기종은 500톤 이하로 기여율이 낮다. HC의 경우 B747이 490톤으로 가장 많이 발생하고 나머지 기종은 오

염물질 발생량이 매우 낮은 것을 알 수 있다.

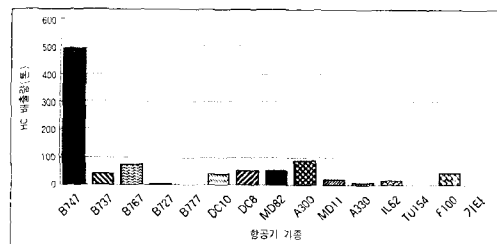
'97년에 발생한 오염물질은 각 기종별 CO, NOx, HC 발생량을 더하면 CO가 5,267톤, NOx가 4,624톤, HC가 918톤이 발생하여 총발생량은 10,809톤이다. '97년 항공기에 의해 발생한 총오염물질 10,809톤은 '97년 자동차로부터 발생한 총오염물질 388,000톤의 2.7%에 해당하는 값으로 아직은 미미한 수준인 것으로 파악되었으나 동일한 방법으로 계산한 '96년 발생량 9,633톤에 비하여 12.2% 증가한 값이다. 향후 잠재되어 있는 항공 운송수요가 폭발하고 영종도 신공항 개항과 더불어 동북아의 관문으로 도약하려는 우리의 계획에 비추어 볼 때 항공기에 의한 대기오염



<Fig. 6> Total CO Emission by Airplane Type during 1997



<Fig. 7> Total NOx Emission by Airplane Type during 1997



<Fig. 8> Total pollutant Emission from Airplane during 1997



은 급격히 증가할 것으로 예상된다.

라. 오염물질 저감방안

미연소 HC와 CO는 터빈엔진이 높은 연소효율을 유지하기 위해서는 높은 회전수와 온도가 필요하기 때문에 저출력 상태에서 가장 많이 발생한다.

그러나 고출력 상태에서는 높은 온도로 말미암아 NOx의 발생이 많다. 연소실에서의 온도와 압력을 높이면 연소에서의 이용 가능한 에너지는 증가한다. 이것은 연료, 공기 혼합기의 보다 완전한 연소를 가능케 함으로써 HC와 CO의 발생을 줄여준다. 연소실에서의 최대압력과 최대 온도는 연소실 라이너와 터빈 블레이드의 재질에 의해 제한을 받는다.

세라믹의 이용과 연소실 주위로의 바이패스 공기의 사용으로 압력과 온도의 상한값이 향상될 수 있다. 또한 연소를 촉진하기 위해서 연료 입자와 공기의 혼합을 개선하는 고와류 과정이 필요하다. 연소실의 온도를 낮추기 위해 연소실에 혼합기가 지나갈 때 다른 지점에서 연소시키는 다단계 연소 방법이다. 점화를 촉진하기 위해 능후한 혼합기 지역을 만들어 놓고 회박한 지역으로 연소를 확산시킨다. 이러한 점진 연소방법은 한 시점에서의 최고 연소온도를 낮출 수 있고 전체 연료-공기 혼합비를 낮출 수 있다. 일반적으로 예혼합, 높은 스웰, 다단계 연소가 HC와 CO를 줄이면서 NOx를 줄일 수 있는 좋은 잠재력을 가진 방법이다. 1995년 ICAO의 CAEP III회의(항공기 환경보호 위원회)에서 현재 적용 가능한 연소실의 최고 기술을 적용하면 1986년 ICAO NOx 기준보다 40% 낮은 값을 얻을 수 있는 것으로 발표되었다.⁴⁾

항공기의 오염물질 배출에 관련된 주요 특성으로 다음과 같은 인자를 들 수 있고 이러한 특성

의 제어에 의해 효과적으로 배출가스를 저감할 수 있다.⁸⁾

1) 연소효율

연소에 의한 유입공기의 엔탈피 증가와 공급열량과의 비를 연소 효율이라 부른다. 연소효율은 유입 공기의 압력과 온도가 높을수록 향상되고 유입속도 및 공연비가 클수록 떨어진다. 보통 제트엔진이 지상에서 이륙 출력시에는 연소효율이 거의 100%에 이르지만 부분 출력시, 특히 고공에서 저 출력시에는 효율이 현저히 떨어진다.

2) 압력손실

연소실 입구에서 출구까지의 전체압력손실을 연소실 압력손실이라 한다. 압력손실은 벽면의 마찰손실, 소용돌이 발생 등에 의한 형상손실과 연소에 의한 가열 팽창손실을 서로 합친 것이다.

3) 연소 부하율

연소실에 있어서 단위시간내의 단위 압력 용적당 발열량을 연소 부하율이라 한다. 연소 부하율이 클수록 소형 경량으로 할 수 있다.

4) 출구 온도분포

연소실 출구의 온도 분포는 균일하기보다 오히려 루트 쪽이 낮고 팁쪽이 약간 높은 것이 바람직하다. 이것은 터빈 로터에 작용하는 원심력 및 굽힘응력이 루트가 최대이고 팁이 최소이므로 루트에 걸리는 열응력을 최소화해서 로터의 내구성을 최대한 늘리는 것이다.

5) 고공 재점화 성능

연소실 입구의 압력 및 온도는 비행 고도의 증가와 더불어 강하하여 동시에 연소효율의 저하, 안정 연소 범위의 감소, 재점화 성능의 약화 등을 발생시키고 결국 어느 고도 이상에서 재점화

가 불가능하게 된다. 이것은 항공기 속도에 따라서 크게 영향을 받는다.

6) 엔진 제어

최근의 디지털 전자기술의 발달로 유압기계식 제어 유닛 대신에 디지털 전자식 엔진 제어 장치가 출현했다. 엔진 전자제어 유닛은 고성능 마이크로 컴퓨터 2대를 내장하고 있어 각종 비행 상태에서 조종사의 요구에 부응하여 최적의 엔진조정을 수행하기 위해 다량의 입력신호를 공급받아 전산처리하며, 출력은 엔진 연료 유량뿐 아니라, 압축기 가변 스테이터 베인각도, 압축기 bleed valve 등의 엔진 제어 계통의 모든 부품을 종합적으로 조정하고 있다.

7) 연료계통

연료계통은 기체연료 계통과 엔진 연료 계통으로 나뉘어 진다. 기체연료 계통은 부스터 펌프에 의하여 가압되어 선택 및 차단 밸브를 거쳐 튜브를 거쳐 엔진에 공급된다.

8) 배기계통

배기 덕트는 덕트의 후방에서 배기노즐로 배출되기 이전에 배출가스의 속도를 증가시키고 터빈으로부터 나오는 가스흐름을 한 곳에 모으고 직선화 하여 외부로 배출함으로써 엔진의 추력을 증가시킨다.

4. 결론

우리 나라에서 발생하는 항공기에 의한 대기오염물질은 선진국에서 산정한 것과 유사한 수준으로 자동차의 대기오염 발생량의 2.7%에 해당하는 10,809톤으로 파악되었다. 이것은 '96년에 비하여 12.2% 증가한 값이고 항공 운송량이 매년 5~7% 씩 증가하는 세계적 추세와 영종도 신공항 개항에 따른 항공 운송량의 급격한 증가가 예상되는 우리 나라의 여건상 향후 15년간 현재 발생량의 2분의 1이상 증가 할 것으로 예상된다. 따라서 우리 나라도 국제민간항공기구의 항공기 엔진의 배출가스규제기준을 도입하여 시험기준 및 배출가스 인증을 제도화하고 항공기에 의한 대기오염 발생량을 지속적으로 파악하는 것이 필요하다. (원고 접수일 1999. 7. 6)

참고문헌

1. 항공운송과 환경문제, 한국항공진흥협회, 1996
2. Environmental Fact Sheet, Adopted Aircraft Engine Emission Standard, USA EPA, 1997/4
3. Control of Air Pollution from Aircraft and Aircraft Engines, USA EPA, 1997/4
4. Regulatory Support Document, USA EPA, 1997
5. 항공기 엔진 시험기준, Annex 16-Volume II, ICAO
6. U.S. Commercial Aircraft Example Fleet Rankings, USA EPA, FAA, EEA Inc., 1995/9
7. '97년도 항공기 운항실적, 건설교통부, 1998
8. 항공기엔진, 대한항공, 1996