

## 항공기 배출가스가 대기환경에 미치는 영향

신 찬 기

국립환경연구원

### Effect of Emission gas from Air craft to Ambient Air

Chanki-Shin

*National Institute of Environmental Research*

#### Abstract

Air pollution problem by air craft was reviewed from emission gas components from air craft and pollutants amount generated in airport with the compareness of domestic transportation data by airplane and foreign data.

It is reported that concentration of emission gas from air craft is lower than that of pollutants from automoblic and factory.

But, transportation frequency is increasing rapidly in Korea. It is recommanded that concerns should be taken on long- term of counterplan device about it.

#### I. 서 론

인간의 사회활동이 활발해짐에 따라 사용되는 에너지가 증대하고 있으며 특히 석유, 석탄 및 천연가스 등의 화석연료를 주로 에너지원으로 사용하는 현대사회에는 그 부산물로 발생하는 대기오염물질에 대하여 고려할 필요가 있다.

항공기도 화석연료를 에너지원으로 사용하

기 때문에 그 사용량의 증가와 함께 부산물에 관심을 가지지 않을 수 없다.

항공기에 있어서 대기오염문제를 생각할 경우 크게 두가지점에 주의하여야 한다.

그 첫째는 대기환경농도에 대하여 항공기배출가스가 영향을 줄 수 있고 그 영향의 정도를 알기 위해서는 배출가스 총량측정과 상시감시측정이 요구된다. 그러나 항공기의 배출원측정은 열고속류의 매우 까다로운 조건이기 때문

에 많은 측정결과를 얻을 수 없는 실정이며 상시감시측정은 공항에서 행하는 자료만 일부 축적되어 있을 뿐이다. 두번째로는 고속으로 배출되는 가스흐름에 의한 영향이며 일본에서는 여기에 관련하여 콩코드기 등의 SST (Super Sonic Transport) 도입을 위한 조사 결과가 발표되었으며 또 배출가스에 의한 냄새문제나 산성비에 미치는 영향 등이 주목되고 있다.

기타 성층권을 비행함에 의한 오존층 파괴, 객실내 공기의 오염 등이 항공기에 관련된 새로운 문제이다.

본 보고서에서는 항공기배출가스를 발생원으로 한 오염물질에 대하여 일본 항공공해연구센터에서 조사한 자료와 국내 정기항공(국내선 및 국제선) 수송자료를 토대로 항공기에 의한 대기오염 문제를 검토해 보았다.

## II. 재료 및 방법

건설교통부, 재단법인 한국항공기 진흥협회 등 국내 항공기운항 관련기관의 조사자료 및 통계자료와 일본항공 연구센터 등 외국의 조사자료를 토대로 항공기에서 배출되는 오염물질이 대기환경에 미치는 영향에 대하여 정리하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 항공기 이착륙의 운항모드

항공기배출가스를 지상의 대기오염과 같이 정의하는 것은 문제가 많지만 현재로는 지상 1,000m의 에크만층 상한까지는 인간생활과의 관계가 깊고 그보다 위는 자유대기로서 이 고

도에서 착륙한 비행기와 다시 1,000m의 고도에 도달하는 사이에 배출하는 배출가스를 대상으로 하는 것이 미국, 일본 등 선진국의 견해이다.

Fig. 1에 항공기 모드를 그림으로 나타냈으며, 이것을 차이륙 싸이클이라 부르며 이 사이의 엔진운전모드를 착륙진입(Approach), 시도유도진입(Idle), 이륙활주(Take off), 상승(Climb)의 4모드로 분류된다.

이 방법은 미국 EPA의 제트 엔진 배출기준안에 기록되어 있다.

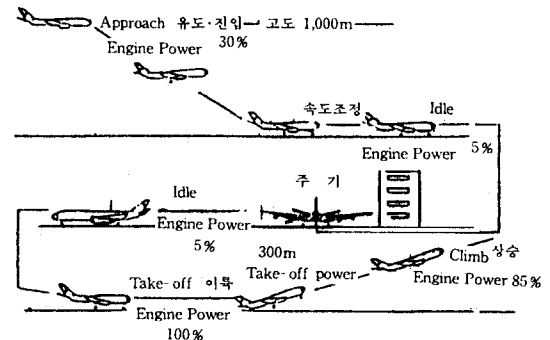


Fig. 1. Take off and approach cycle of air-craft.

이러한 운전모드위 엔진은 여기에 필요한 출력을 공급한다. 예를들면 Idle의 경우 정지시킨 비행기로부터 이륙점까지의 이동과 착지점부터 정지점까지의 주행으로 엔진출력의 5% 정도의 출력이 걸린다. 또 Take-off의 경우는 활주로 끝에서 엔진출력을 100%의 상태로 수백m 고도에 달하며, 통상 100%·출력으로 5분이상을 위협하다.

여기서 그 이후는 Climb 상태로서 출력을 85% 정도로 낮추어 3~5도의 각도로 상승을 계속한다(상승시의 항공기 몸체는 8~15도 경사를 보임). 이 출력으로 1000m를 통과하

여 상승을 계속하여 1000m상공을 크루즈 (Cruise)라고 하며 출력 45~70%로 순항한다.

착륙의 경우는 상공에서 1000m 부근까지 가속성을 가지고 강하한 후 출력 30~40%로 접근상태로 착지한다.

위와 같이 운항하기 때문에 각 모드별로 배출가스성분은 다르게 나타나며, 이 때문에 각 모드별로 배출가스성분을 알려면 다음과 같이 각 모드의 소요시간을 알아야 하며 항공기의 대기오염을 고려할 필요가 있다.

각 모드별 소요시간은 기종에 따라, 또 공항의 상태에 따라 다르나 평균적 시간으로서 미국 EPA는 제트기 및 터보프로브기를 대표로 하고 있다.

일본에서는 각 항공회사와 항공공해방지협회가 항공국의 의뢰에 따라 소요시간을 조사하고 있으며 그 값을 Table 1에 나타냈다.

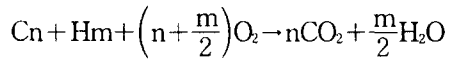
이 결과와 각 기종의 수, 모드별 배출성분농도, 이착륙수와 병행하여 항공기로부터의 오염성분의 총 배출량을 산출할 수 있다.

2. 제트 엔진의 배출가스 성분

제트 연료로서는 미국군용규격(MIL-T-

5624G)에 정하고 있는 JP-4의 휘발유형과 JP-5의 등유형이 사용되고 있으며, 민간규격에는 미국 ASTM규격의 A형(또는 A-1형)과 B형이 있고 A형은 등유계로 거의 JP-5에 상당하며 또 B형은 휘발유계로 거의 JP-4에 상당한다.

이들의 연료가 연소되어 항공기의 추진력으로 되며, 이때 연료는 자동차배출가스의 경우와 같은 성분 즉 두종류의 탄화수소(CnHm)이 사용되어 다음식에 따라 연소한다.



따라서 배출가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 물(H<sub>2</sub>O) 이외에 질소(N<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>)를 주성분으로 하여 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 알데히드, 매연, 발암물질 등이 포함되어 대기오염을 일으킨다.

이들 유해물질의 농도 및 배출량은 엔진의 종류나 비행모드에 따라 변화한다.

유도진입 및 정지가동상태(Idle)는 설계치에 비해 압축기의 회전수가 50% 정도이기 때문에 연소실의 압력은 설계상태에 비해 상당히 낮은 값을 나타낸다.

Table 1. Standard cycle of Take-off Approach.

운 항 구 분	미국 EPA		동경 국제공항		오오사카 국제공항	
	제트	터-보 프로펠러	제트	터-보 프로펠러	제트	터-보 프로펠러
시도유도진입(Idle)	19분	19분	14분 56초	10분 54초	10분 6초	7분 29초
이륙활주(Take-off)	42초	35초	35초	24초	38초	25초
공중(-)	-	-	47초	40초	1분 1초	32초
상승(Climb)	2분 12초	2분 30초	45초	2분 15초	35초	2분 34초
착륙진입(Approach)	4분	4분 30초	6분 5초	5분 56초	4분 22초	5분 33초
착지진행정지(Idle)	7분	7분	5분 15초	4분 48초	4분 54초	4분 43초
평균Cycle	32분 54초	33분 30초	28분 33초	24분 57초	21분 36초	21분 16초

따라서 유도진입 및 정지가동에는 연소실의 압력이 낮고, 더욱이 연료질량유량도 적기 때문에 연료의 압력을 낮게하면 분무의 미립화가 낮아져 불완전연소가 일어난다. 이때문에 유도진입 및 정지가동모드에는 불완전연소산물인 CO와 HC의 발생량이 커진다.

그러나 연소온도가 낮기 때문에 NO<sub>x</sub>의 발생량은 비교적 적다.

여기에 비해 이륙(Take-off) 모드에는 연소실의 압력이 높고 연료의 미립화도 촉진되므로 연소는 완전해 가까워 CO와 HC의 발생은 저해된다. 그러나 이 모드의 공연비는 유도진입 및 정지가동시의 2배 정도되므로 연소실에서 온도상승도 커지며 따라서 고온연소시에 온도에 비례하여 급속히 NO<sub>x</sub>발생량이 증가한다.

운전모드에 의한 오염물질의 변화는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 CO, HC와 NO<sub>x</sub>의 경향은 확실히 대칭적이다.

또 이산화황(SO<sub>2</sub>)의 발생량은 CO, HC 및 NO<sub>x</sub>와 달리 연료중의 유황분에 의해 결정된다.

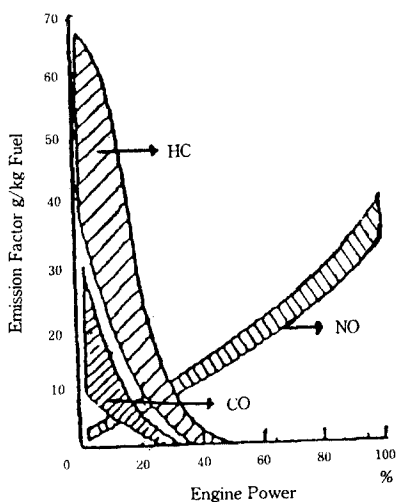


Fig. 2. Emission characteristics of aircraft engine.

따라서 SO<sub>2</sub> 농도는 공연비에 비례하여 변화하며 연료질량당 유량당 SO<sub>2</sub>의 배출량은 운전 mode와는 관련이 없다.

최근 사용되는 항공용 연료에 있어 유황분은 0.3% 이하이며 배출가스중의 농도는 약 수 ppm 이하이다.

Table 2는 JT3D엔진 및 JT9D엔진의 배출가스의 분석결과와 일례를 나타낸 것으로 CO 농도는 7.4~973ppm 농도는 추진력(Engine Power)이 상승하면 현저히 낮아진다.

JT3D와 JT9D엔진의 배출가스중의 CO농도를 각 모드별로 비교하면 JT3D가 JT9D엔진보다 1.6~4.5배 값을 나타낸다.

또 CO농도는 공항내의 유도진입 및 정지가동상태인 Idle시에 JT3D는 81%, JT9D 87% 배출되고 있으나 자동차에 비해 농도는 낮고 1/20~1/1000정도이다.

NO<sub>x</sub>농도는 7.2~517pp으로 농도는 추진력이 상승함에 따라 높게 된다. 이 경향은 CO와 HC의 결과와 확실히 역의 경향을 나타내고 있다. JT3D와 JT9D엔진의 배출가스중의 NO<sub>x</sub>농도를 각 모드별로 비교하면 높은 출력이 얻어지는 JT9D 엔진의 쪽이 2~5배 높은 값을 나타낸다.

성능이 좋은 JT9D엔진은 JT3D엔진 보다 NO<sub>x</sub>의 배출량이 많은 것은 당연하다.

또 두가지 엔진 모두 지상 100~1000m사이에 이륙, 상승시에 총 배출량의 83%(JT3D), 91%(JT9D)를 배출한다.

보통 NO<sub>x</sub>는 보일러배출가스중에 200~500ppm 자동차배출가스중에 100~1000ppm 정도 함유하고 있어 이들에 대하여 항공기 배출가스중의 농도는 매우 높다.

THC농도는 1,1~1933ppm으로 CO와 같이

Table 2. Emission Factors for Gases of Air-Craft Engine (JT3D and JT9D).

		JT3D 엔진				JT9D 엔진			
		Idle	착륙 진입	상승	이륙	Idle	착륙 진입	상승	이륙
추진력	kg	424	3,228	6,953	8,157	1,080	6,378	17,188	20,653
연료유량	kg/時間	493	1,615	3,506	4,358	776	2,309	6,071	7,457
CO	ppm	937	180	33	15.8	620	74	7.4	9.5
NOx(NO <sub>2</sub> 로서)	ppm	7.2	29.4	74	103	19	62.3	323	517
전탄화수소(메탄으로서)	ppm	1,933	62	6.3	4.9	303	7.9	1.2	1.1
전알데히드 (포름알데히드로서)	ppm	26	0.8	1.1	6.8	13.6	0.3	1.1	1.6
시아화물(시아화수소로서)	ppm	0.22	0.07	0.12	0.09	0.22	0.04	0.10	0.08
CO	g/sec	17.405	9.182	2.586	1.354	16.478	4.824	0.758	1.148
NOx(NO <sub>2</sub> 로서)	g/sec	0.211	2.441	9.403	14.382	0.827	6.506	52.589	94.063
전탄화수소(메탄으로서)	g/sec	14.733	1.334	0.212	0.178	34.45	0.215	0.049	0.054
전알데히드 (포름알데히드로서)	g/sec	0.005	0.043	0.092	0.624	0.383	0.021	0.118	0.190
시아화물(시아화수소로서)	g/sec	0.004	0.006	0.013	0.006	0.007	0.007	0.013	0.007

추진력이 상승함에 따라 낮아진다.

JT3D, JT9D엔진과 배출가스농도는 유도진입 및 정지기동상태 > 착지진입 > 상승이륙 순으로 된다.

THC는 CO와 같은 형태로 JT3D가 96%, JT9D 97%를 공항내의 유도진입 및 정지기동시에 배출된다.

그러나 이륙, 상승시에는 그 배출은 JT3D가 0.6%, JT9D가 0.7%로 거의 무시할 수 있는 농도이다.

JT9D의 이륙시의 농도는 1.1ppm은 Background농도 1.5ppm보다 매우 낮은 것은 연소상태가 특히 좋기 때문이며, 자동차에 비해 농도가 낮다.

### 3. 국제공항에서의 오염물질 발생량

항공기 배출가스중의 오염물질은 예를들면 자동차배출가스에 비하여 농도는 낮지만 배출

량이 특히 많다.

따라서 오염물질의 총배출량은 꽤 달하는 것으로 고려되고 있다.

일본 환경청의 계산에 의하면 동경국제공항에서의 1일 오염물질의 총 배출량은 1일 이착륙을 426기로 볼 경우 CO 10.2톤 NOx(NO<sub>2</sub>로서) 3.2톤, HC(메탄으로) 6.2톤이 되며 승용차에 대비할 경우 예를들면 B-7411기에서는 CO배출량은 1600cc 승용차의 341대분, HC배출량은 374대분, NOx의 배출량은 2,787대분에 상당한다.

이들의 수치는 대개의 배출비율을 나타낸 것으로서 실제 대기오염에의 영향을 나타내는 것과는 다르지만 결국 항공기 배출가스는 전체의 대기오염에 큰 영향을 주는 것은 적을 것으로 생각된다.

이들의 조사결과로부터 CO는 대부분 자동차배출가스에서 HC로 자동차와 석유공업에서

대부분 발생하여 NOx는 자동차발전소, 공장에서 배출되는 것으로 나타났다.

4. 우리나라의 항공수송 현황

우리나라에서 운항되는 정기항공수송현황을 보면 표 3, 4에서 보는 바와 같이 국내선의 경우 1983년부터 1993년까지 최근 10년간의 운항횟수는 6배이상 증가하였고 국제선의 경우 최근 10년간 2.6배이상 증가하였다.

비록 항공기 배출가스가 자동차 배출가스나 공장배출가스에 비해 오염물질이 훨씬 낮은 농도로 배출된다 하더라도 운항횟수가 급격히 증가하면 이에 비례하여 항공기 오염물질이 대기중으로의 방출량이 증가할 것이므로 우리나라도 이에 대한 장기적 전망을 세울 대책에 관심을 가져야 할 것으로 사료된다.

Table 3. Trend of Flight Transportation in Domestic Air Line(1983~1993).

구분 연도별	운항횟수	운항키로	비행시간	여객수
1983	20,749	6,970,016	17,867	2,240,824
1984	26,015	8,822,158	22,681	2,763,623
1985	32,783	11,237,361	28,567	3,329,593
1986	34,514	11,693,626	30,586	3,905,639
1987	40,073	13,441,583	35,370	4,725,318
1988	49,838	16,664,201	41,712	6,023,608
1989	76,567	26,970,454	64,294	8,726,742
1990	84,140	30,128,102	69,713	10,833,303
1991	87,737	31,569,768	72,800	11,889,704
1992	107,530	38,562,926	89,849	14,134,246
1993	127,793	45,128,405	106,661	15,053,625

IV. 결 론

본 보고서에서는 항공기 배출가스성분과 공항에서의 오염물질 발생량에 대하여 일본 항

Table 4. Trend of Flight Transportation in International Air Line(1983~1993).

구분 연도별	운항횟수	운항키로	비행시간	여객수
1983	23,608	99,273,363	131,160	3,646,823
1984	25,275	118,115,295	160,113	3,869,849
1985	26,863	126,738,323	170,017	4,253,944
1986	30,971	145,356,218	209,260	4,780,720
1987	32,864	155,750,759	201,992	5,244,484
1988	36,378	194,046,359	256,848	6,175,245
1989	42,664	209,058,616	275,099	8,118,179
1990	51,014	244,280,442	324,163	9,383,213
1991	56,716	259,442,408	347,492	9,998,898
1992	62,306	295,519,762	396,089	10,900,877
1993	61,953	300,940,713	403,509	10,960,924

공공해연구센터에서 조사한 자료와 국내정기항공(국내선 및 국제선) 수송자료를 토대로 항공기에 의한 대기오염문제를 고찰해 보았으며 대표적인 결과는 아래와 같다.

1. 우리나라에서 운항하는 정기항공수송 현황은 국내선의 경우 1983년부터 1993년까지 최근 10년간 6배이상 증가하였으며, 국제선의 경우 이상 증가하였다.
2. 항공기에 의한 대기오염을 감소시키는 대책은 근본적으로는 무공해엔진의 개발이 있으며 당면과제로는 현재 존재하는 엔진의 개량과 적절한 운용이라 할 수 있겠다.
3. 항공기배출가스의 산성우에 미치는 영향에 대하여는 현재로서는 명확히 밝혀지지 않았으며 항공기에서 다량의 오염물질이 대기중으로 방출됨으로서 이들이 자동차나 공장 등에서 배출되는 오염물질이 가산되어 대기오염을 보다 악화시키는 것은 사실이다.
4. 주요공항에 있어서 발착기수가 현재보다 대폭 증가하고 결국 항공기가 대형화되면 오

염은 진행되며 또 지방공항도 젯트화가 추진되어 기수가 증편되면 배출가스 문제는 close-up 될 것이다.

이상에서와 같이 항공기 배출가스는 비록 자동차나 공장에서 배출되는 오염물질에 비해 배출량이나 농도가 훨씬 낮은 정도라 하더라도 우리나라의 경우 운항횟수가 급격히 증가하고 있으므로 이에대한 장기적인 대책에 관심을 기울여야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Airport environmental handbook, FAA Order 50504, Federal Aviation Administration, Washington, D.C, 1985.
2. Compilation of air pollutant emission factors EPA Report No. AP-42, 1983.
3. Roger I. Wayson et al: Inventorying Airport Air pollutant Emissions 1~20, 1988.
4. 公害の對策, Vol. 26, No.14, 1990.
5. 항공통계자료, 재단법인 한국항공기 진흥협회, 1994.