

항공기 객실 공조 시스템

Aircraft Cabin Airconditioning and Control System



글 | 李相褸

(Lee, Sang Hee)

항공기체기술사, (주)대한항공 이사,
항공기술사회 회장, 본회 이사.

E-mail: sanghee00@hanmail.net

목 차

1. 머리말
2. 항공기 냉난방시설의 필요성
3. 항공기 실내의 냉난방시설
4. 공조시스템의 운영관계
5. 맺음말

우리의 전통적인 주택에서는 한여름 무더운 여름 밤을 조금이나 식히기 위하여 앞뒷문을 동시에 열어 놓아 실내 공기가 보다 빠르게 흐르도록 함으로써 시원한 느낌을 얻거나, 한겨울 추위 속에서는 모든 창틈을 가급적 밀폐시켜 실내의 공기가 빠져나가지 않도록 하는 보온의 개념 속에서 살아왔다. 그러나 이제는 빌딩이나 아파트가 고급이 되기 위해서는 우선 실내 공기가 최상의 상태 즉 정확, 흐름, 온도, 습도 등이 잘 컨트롤 되느냐가 주요 평가 요목이 되고 있다. 여기에서는 어떻게 보면 이동하는 건물이 라고 할 수 있는 항공기의 실내 공기 조절 방법을 개괄적으로 다루어 보고자 한다.

1. 머리말

비행기를 타고 태평양을 가로지를 때 창 밖으로

This article describes the air conditioning and control system of cabin which commercial aircrafts have adapted extensively upto now. Even though the aircrafts requires the study of the aerodynamics to produce the lift in the air, most of internal system should utilize mechanical, electrical, and electronic system used on conventional appliances of industries.

Therefore, all of industries are invited to pay more interest in this field aggressively and suggested to think the aircraft as a building simply moving in the sky.

비단결같이 깔려 있는 하얀 구름을 내려다 보면서 저 구름 위를 한번 거닐어 본다면 얼마나 좋을까 하고 생각해 본적이 있으리라. 그러나 알고 보면 장거리 비행시 외부의 대기 조건은 가히 우리의 상상을 뛰어 넘는다. 온도는 영하 50°C를 오르내리고, 기압은 지상의 1/5에 불과한 2.8 PSI 정도, 습도는 거의 없다 할 정도인 0.001%여서 인간이 한순간도 견딜 수 없을 만큼 끔찍한 환경이다.

특별한 생존 보조 장치 없이는 단 1 분도 지탱 할 수 없다. 그렇다면 비행기는 무슨 장치를 가졌기에 이처럼 가혹한 대기 조건 속에서도 우리를 안락하게 여행할 수 있도록 하는 것일까?

2. 항공기의 냉난방 시설의 필요성

더운 여름철 지상에 서 있는 항공기는 창문도 열 수 없고 단단한 외피에 둘러 쌓여져 있어 지상의 복사열 및 태양의 직사광선에 의해 더워질 수

밖에 없으며, 승객이 탑승하면 방출된 체온(승객이 휴식을 취할 때는 약 80~100 Watt, 움직일 때는 100Watt 이상 발생)에 의해 온도가 올라갈 수 밖에 없다. 따라서 실내를 식히기 위해 외부에서 찬 공기를 강제로 불러넣어 주거나 항공기 자체의 냉방 장치를 가동시켜 실내 공기를 조절해 주어야 한다. 반대로 항공기가 공중에 올라가면 주위 온도가 섭씨 영하 50~60도 정도로 아주 낮아지기 때문에 따뜻한 공기로 데워 주어야 한다. 이때는 비행중이라 외부 장치 사용이 불가능하여 항공기 자체 시설을 이용할 수 밖에 없다. 또한 장거리 비행을 할 때에는 승객에게 제공할 음식을 장시간 보관할 시설도 필요하다. 다시 말하면 항공기도 우리 일상 생활과 같이 냉방, 난방, 냉장 장치를 필요로 한다.

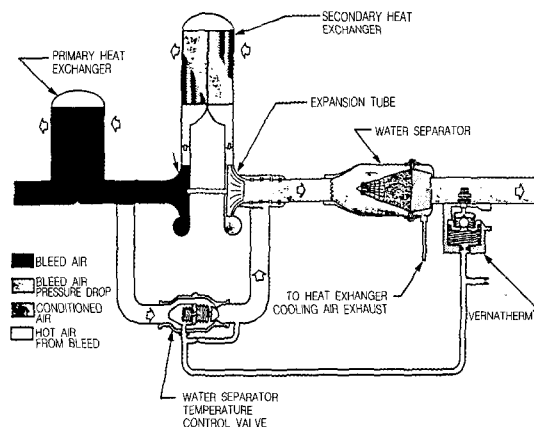
3. 항공기 실내의 냉난방 시설

항공기는 기본적으로 한 개의 모듈(Module)로 된 장치에서 냉난방을 동시에 수행할 수 있도록 하고 있으며 원하는 온도를 얻기 위해 차가운 공기와 더운 공기를 적절히 혼합시켜 필요한 온도를 만들어 낸 후 이를 실내에 제공한다. 즉, 더울 때는 차가운 공기를 보다 많이, 고공에서처럼 주변 대기 온도가 낮을 때는 따뜻한 공기를 많이 불러 넣어 주는 것이다. 그러면 어떻게 차가운 공기와 따뜻한 공기를 생산하는지 살펴보자.

3.1 공기 순환 에어컨 시스템(Air Cycle Air Conditioning System)

열역학 법칙에 의하면 기체는 압축하면 온도가 올라가고, 팽창하면 온도가 내려간다. 공기 순환 에어컨 시스템은 이러한 원리를 이용하여 작동되는 시스템이다. 외부 공기(ram air)가 엔진의 압축기(compressor)를 통과함에 따라 고온, 고압의

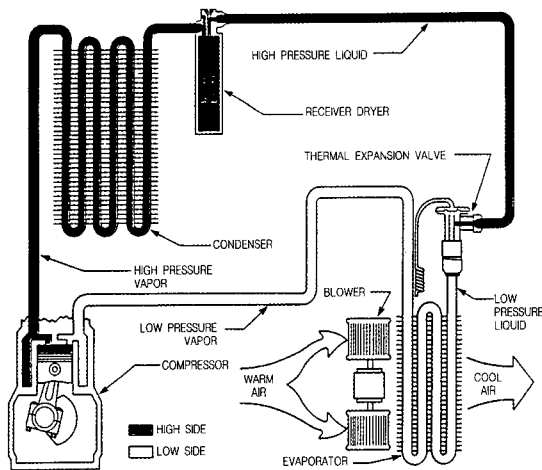
공기가 된다. 이러한 고온 고압의 공기가 공기 순환 에어컨 시스템의 일차 열교환기(primary heat exchanger)를 통과하면서 온도가 내려간다. 이 공기를 다시 한번 압축하여 압력과 온도를 올린 후 이차 열교환기(secondary heat exchanger, 자동차의 라디에이터에 해당)를 거쳐 온도를 떨어뜨린다. 이렇게 온도가 내려간 고압의 공기가 터빈(turbine)을 통하여 급팽창(rapid expansion)됨으로써 온도가 더욱 내려간 차가운 공기가 생성된다. 이 공기가 실내에 공급되는 것이다. 이러한 일련의 역할을 수행하는 장치가 공기 순환기(ACM : air cycle machine)이다. 공기 순환기의 구성을 보면 한쪽은 압축기, 다른 한쪽은 터빈으로 구성되며 공기가 압축과 팽창 과정을 거치게하여 차가운 공기를 만들고 있다(아래 <그림 1> 참조). 그렇다면 난방시는 어떻게 작동하고 있는가? 공기 순환기의 압축기를 거쳐 이차 열교환기를 통과한 뜨거운 공기를 터빈에 통과시키지 않고 직접 실내로 보냄으로써, 더운 공기를 공급하는 것이다. 다시 말하면 실내에 보내는 공기의 온도는 이와 같이 터빈을 통과하는 공기의 양을 적절하게 조절하므로써 얻을 수 있다.



〈그림 1〉 공기 순환 에어컨 시스템

3.2 기화 순환 에어컨 시스템(Vapor Cycle Air Conditioning System)

본 시스템은 우리 주변의 냉장고 작동 원리와 같은 방법으로 차가운 공기를 만들고 있다. 물질이 액체에서 기체로 상태 변화가 일어날 때 주위의 열을 흡수하기 때문에 주위에 있는 공기의 온도가 내려간다. 이렇게 차가워진 공기를 실내에 공급하면 냉방이 되고 난방을 위해서는 압축기를 통하여 뜨거워진 공기를 직접 또는 차갑게 만든 공기와 혼합하여 적절한 온도로 조절하여 실내에 공급하는 것이다. <그림 2>에서와 같이 냉매(refrigerant)가 도관(tube)을 흐르면서 압축기를 통해 고압 기체가 된 후 콘덴서를 통하여 고압 액체로 바뀐 다음 팽창 과정을 거치면서 주위의 열을 빼앗은 후 다시 원 상태인 저압 기체가 된다. 이렇게 이 냉매는 고압 기체-고압 액체-저압 액체-저압 기체의 순환 과정을 반복하는 것이다. 항공기에 사용되는 냉매는 주로 R-12(Refrigerant-12)이나 제품 명칭에 따라 프레온 12(Freon-12), 제네트론 12(Genetron-12), 이소트론 12(Isotron-12), 유콘 12(Ucon-12) 등이 있다. 우리가 가정에서 사용하고 있는 일반 냉

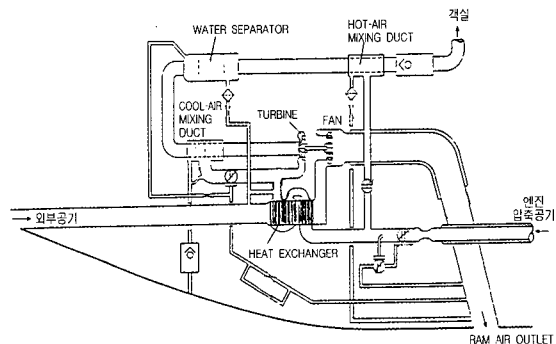


<그림 2> 기화 순환 에어컨 시스템

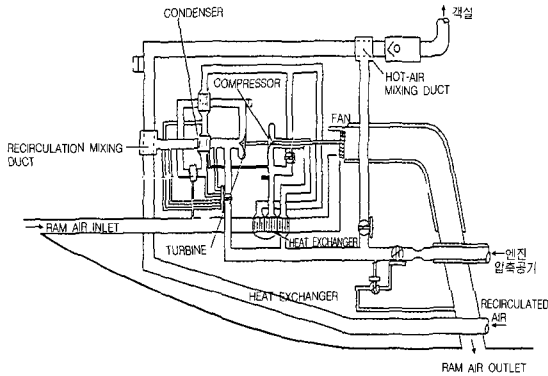
장고의 냉매는 프레온 22(Freon-22) 이다. R-12가 항공기 냉매로 많이 사용되는 이유는 온도와 압력과의 상관 관계가 20°F~80°F 범위에서 압력 변화가 온도 변화에 거의 비례하여 변하므로 냉매의 양을 확인하는데 아주 용이하기 때문이다. 즉 25°F에서는 25 psi인 용액이, 70°F에서는 70 psi가 된다.

3.3 단순 공기 순환 에어컨 시스템(Simplified Air-Cycle Air Conditioning System)

<그림 3>은 단순 공기 순환 에어컨 시스템으로써 <그림 1>의 공기 순환 에어컨 시스템(air-cycle air conditioning system)과 유사하나 압축기(compressor)가 없는 장치로 엔진에서 공급된 뜨거운 압축 공기가 열교환기를 통과할 때 차가운 외부 공기를 이용하여 일차 냉각시킨 후 터빈을 통해 압축 공기를 팽창시켜 온도와 압력을 떨어뜨린 후 객실내에 직접 공급하거나 필요시 뜨거운 공기와 혼합시켜 공급하게 된다. 본 장치는 아주 간단하며 F-100과 같은 소형 항공기에 설치되었으나 우리나라와 같이 무더운 여름철에는 지상에서의 냉방 효과가 빈약하여 <그림 4>와 같이 시스템 개조가 이루어진바 있다. 즉, <그림 1>의 원리를 적용한 시스템이 현재 민간 항공기에서 가장 보편화된 냉난방 시스템이라고 할 수 있다.



<그림 3> 단순 공기 순환 에어컨 시스템



〈그림 4〉 단순 공기 순환 에어컨 시스템 개조형(F-100)

3.4 주방 또는 국소 냉방 장치(Refrigeration Unit)

공기 순환기를 사용하는 장치의 단점은 고속의 압축기와 터빈을 돌려야 하므로 항상 압축 공기가 공급되는 별도의 장치가 있어야 할 뿐만 아니라 소음이 크고, 냉각 효과도 일차적으로 통과하는 열교환기의 냉각 성능에 상당 부분 의존하므로 외부의 공기 흐름, 온도에 영향을 많이 받게 되어 기온이 높은 무더운 여름날 지상에 장시간 항공기가 주기되어 있을 때에는 적절하지 못하다. 따라서 효과적인 냉방이 필요한 주방 또는 전자 장비품 설치 장소에는 〈그림 2〉와 같은 냉매를 이용하는 일반적인 냉방 시스템의 원리를 적용하는 경우가 많다. 특히 지상에서 항공기가 정지된 상태에서 냉방 작동이 필수인 주방 및 전자 장비품 장착 부위는 냉매를 사용하는 일반적인 냉방 장치 원리를 적용하는 것이 효과적이다.

4. 공조 시스템의 운영 관계

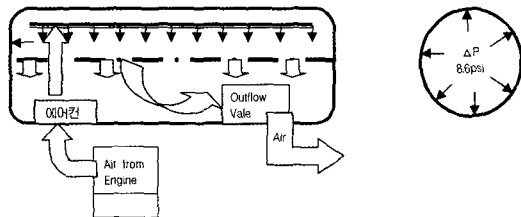
이제까지 항공기내의 온도 조절을 위한 공기의 냉난방 장치에 대해서 설명하였다. 그러나 항공기는 비행중 높은 고도에서 장시간 동안 많은 사람이 밀폐된 공간에서 생활해야 하기 때문에 각종

편의 시설(주방, 화장실)과 여압 장치를 갖춰야 한다. 따라서 온도 조절 기능뿐만 아니라 충분한 산소의 공급, 공기의 순환, 냄새 제거 또는 국소 환기 장치 등 공기의 흐름, 공기의 공급, 배출량의 조절 등이 매우 중요한 요소가 된다.

항공기가 매우 높은 고도로 비행하게 되면 객실 고도도 함께 올라가 산소가 부족하게 되어 호흡에 문제를 일으키게 된다. “인간이 호흡하기 위해 필요한 공기량은 얼마나 될까?” 의학적으로 심한 활동이 없을 경우 인체에 지장이 없을 만큼의 산소 공급을 위해서는 보통 0.24 CFM(cubic feet per minute) 즉 분당 6.8리터 정도의 공기량을 필요로 한다. 그래서 항공기에서는 승객이 일상적인 활동을 하는데 불편함이 없을 정도로 기내에 계속해서 공기를 공급해 주고 있다. 이것을 쉽게 표현하면 비행중인 항공기 객실은 공기로 부풀려진 풍선과 같다고 할 수 있다. 그러면 한정된 공간에 계속해서 공기가 공급되면 어떻게 될까? 그래서 냉난방 장치를 통하여 객실로 들어오는 공기가 있는 반면에 객실에서 빠져나가는 공기도 있다.

이렇게 객실에 공급되는 공기량과 빠져나가는 공기량의 차이만큼 실내의 공기량이 증가하여 압력이 올라가게 되는데 민간 항공기는 법적 설계상 기내와 외부의 압력 차(差)를 최대 8.6 psi로 하고 있다. 그래서 압력차가 8.6 psi 될 때까지는 공기량을 늘려 주게 되나, 그 후부터는 들어오는 공기량만큼을 강제로 빼주어 압력차가 더 이상 커지지 않도록 해주고 있다. 이렇게 기내 압력을 조절하는 것을 객실 여압 장치(cabin pressurization system)라고 한다. 기내와 외부의 압력차가 최대한 상태에서 비행 고도(aircraft altitude)를 계속 상승시키면 객실 고도(cabin altitude)도 당연히 상승하게 되는데, 객실 고도가 8,000 ft 될 때까지 비행 고도를 상승시킬 수 있다. 객실 고도 8000 ft

는 일반 승객들이 지장 없이 활동할 수 있는 최대 고도이며 만약 이 고도보다 올라가게 되면 비상 조치를 취하여야 한다. 또한 급격한 비행 고도 (aircraft altitude) 변화에 관계없이 승객들을 안락하게 하기 위해 객실 고도(cabin altitude)의 변화를 원만하게 해주어야 한다. 이러한 목적으로 객실의 공기량을 적절히 배출해주는 외부 방출기 (outflow valve)라는 장치가 있다. 당연히 객실 고도 변화율(rate of cabin altitude)이 작을수록 우리 신체는 부담 없이 적응하나 만약 급격한 변화가 발생하면 귀에서 엄청난 고통을 느끼게 된다. 보통 민간 항공기에서는 고도 상승시 분당 600 ft에서 750 ft, 하강시 분당 350 ft에서 750 ft까지 조종사가 변화율을 조정한다. 이와 같은 여압 장치 개념을 간단히 그림으로 도해하면 아래와 같다.



〈그림 5〉 공조 시스템 개요

실제 객실에 공급되는 공기량은 승객 1인당 필요 공기량보다 8배 정도 많은데 이것은 호흡을 위한 산소 공급 측면보다 순환 공기량을 많게 하기 위한 것이다. 공기 순환을 자주 할수록 호흡으로 발생된 이산화탄소(CO₂)를 제거하고 객실 내부 전체에 균일한 온도를 유지시켜 승객들에게 쾌적성을 높여 주게 된다. 또한 객실에 열을 전달하는 매개체는 공기의 흐름이므로 많은 양의 공기가 공급될수록 온도 조절 효과가 빨라진다. 대형기의 경우 객실 온도를 설정하여 안정화 될 때까지는

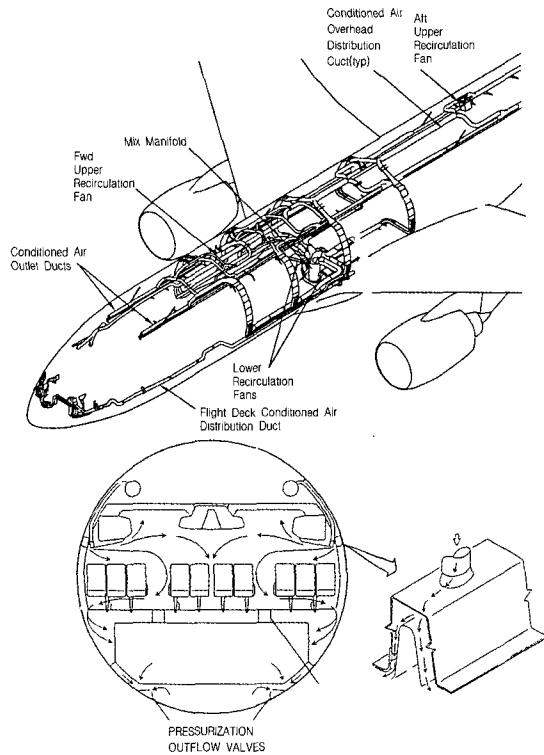
약 20분이 소요되는데, 공기 온도 안정화에 10분, 기체 구조물 및 내장재 온도 안정화에 10분 정도 걸리기 때문이다.

그러나 엔진에서 압축한 공기가 추력이 아닌 속칭 에어컨 용도로 사용됨으로써 비행기의 연료 소모율이 약 3~4% 정도 증가한다. 그래서 실제 객실에 공급되는 공기량의 약 40%는 객실에서 배출된 공기를 여과시켜 재공급하고 있다. 이렇게 한번 사용한 공기를 재사용하는 것은 연료 절약을 꾀할 수 있을 뿐만 아니라, 충분한 공기량을 순환 공급함으로써 객실내 균일한 온도 분배와 이산화탄소 제거에 도움이 되고 적절한 습도 유지에도 기여하게 된다.

공기를 재사용한다고 해서 혹시 혼탁한 실내 공기가 순환되는 것이 아닌가 하고 염려할지 모르지만 그렇지 않다. 가장 최신의 기술로 만들어진 여과 장치를 사용하여 3/10,000 mm 이상 크기의 이물질들을 99.95% 이상 거의 완벽하게 걸러내기 때문이다. 이것은 우리 가정의 먼지, 담배 연기, 박테리아, 대부분의 바이러스 등까지도 걸러 낼 수 있을 정도이다. 이러한 여과 수준은 병원의 수술실 기준에 해당된다. 실제 항공기가 지상에 있을 때 이렇게 여과되어 재순환된 공기는 소위 신선한 외부 공기보다 더 깨끗하다고 할 수 있다. 객실에 공급되는 공기의 양은 시간당 30회 이상 완전히 교체할 수 있을 만큼의 충분한 양이 공급되고 있으며 재순환되는 공기의 양을 제외하고라도 시간당 18회 이상 완전히 교체할 수 있는 분량이다.

이러한 공기를 실내에 분배하기 위해 〈그림 6〉과 같이 객실내의 조종석부터 동체 맨뒤까지 객실 천장에 큰 배관을 설치하여 객실 전체에 골고루 공기를 내뿜도록 하고 있으며 실내를 순환한 공기는 객실 바닥 양옆에 위치한 그릴을 통해 아래에 위치한 화물칸으로 공급되어 화물칸을 난방 시킨

후 임무를 마치고 외부 방출기(outflow valve)를 통해 항공기 밖으로 빠져나간다.



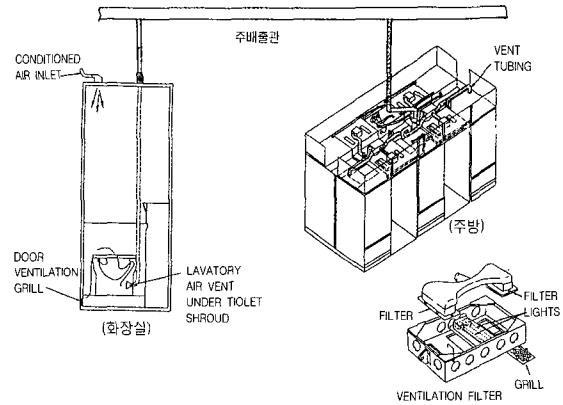
<그림 6> 객실 공기 순환 흐름도

주방과 화장실의 악취 제거도 공조 시스템의 중요한 역할중의 하나이다. 주방에서 조리(cook)할 때나 화장실(toilet)을 사용할 때 발생하는 악취를 효과적으로 제거하지 않으면 근처 좌석에 있는 승객들에게 불쾌감을 주게 될 것이다. 그래서 주방 및 화장실에는 독립적인 배기 및 환기 시스템을 마련하여 순환 공기에 합류되지 않도록 하고 외부 방출기(Outflow Valve)에 직접 연결하여 악취(odor)가 항공기 외부로 빨리 빠져나가게 한다.

주방에는 천장에 위치한 배출구를 통해 음식 요리시 발생하는 각종 냄새를 주 배출관을 통해 항

공기 외부로 방출한다.

화장실은 천장에서 신선한 공기를 공급하여 불쾌한 냄새가 위로 떠오르지 않게 하면서 아래방향으로 흐르게 하고 바닥 근처 변기통 주변에 배출구를 설치하여 주 배출관을 통해 항공기 외부로 직접 빠져나가게 한다. <그림 7>에서 보듯이 일반 지상 시설물에서 고려하는 환기 장치 개념과 특별한 차이가 없음을 알 수 있다.



<그림 7> 주방과 화장실 환기 시설

5. 맺음말

위에서 소개한 바와 같이 항공기의 공조 시스템도 일반 공조 시스템의 원리에서 벗어난 것이 하나도 없다고 해도 과언이 아니다. 다시 말하면 일반 산업계에서도 항공기는 특별한 기계 장치라는 심리적인 고정 장벽을 깨고 일반 기계 장치나 설비가 충분히 증명한 원리를 적용하고 있음을 인식하여 과감히 항공기 분야에 적용할 수 있는 기술력 개발에 도전할 수 있기를 바라 마지않는다.

(원고 접수일 2000. 11. 6)