

## 滑走路에 繫留중인 航空機의 空氣調和 시스템

### Air Conditioning System of Aircraft Sitting on the Ground

權 五 甲\*, 金 光 洙\*\*  
O. K. Kwon, K. S. Kim

#### 1. 서 언

최근 항공산업의 궁극적 목표는 운항시간의 단축, 높은 안정성, 에너지 절약 등으로 집약될 수 있다. 여기에 관련되는 항공기술은 다른 기술과는 달리 하이테크 기술의 총합으로 현재 몇몇 선진국에서 독점하고 있는 실정이다.

이와 같은 항공기 가운데 가장 많은 기종은 여객운송용 대형 항공기라 할 수 있다.

이러한 대형 항공기는 승객과 승무원의 안락함과 안전성을 유지키 위해 항공기 보조장치로써, 냉난방시스템, 산소공급시스템, 除氷 혹은 防水시스템, 화재경고시스템 등을 갖추고 있다.

이들 시스템 가운데 냉난방시스템은 흔히 냉방, 난방, 환기, 여압(pressurization)의 네가지 계통으로 구성되어 있으며, 위의 네 계통역시 기내의 승객 및 승무원에게 보다 쾌적한 환경을 증대키 위해 고안되어 졌다.

일반적으로 항공기의 공기조화 방식은 크게 비행중일 경우와 활주로에 대기중일 경우에는 상황이 달라 별도의 공기조화시스템을 구성하게끔 되어 있다. 이는 항공기의 구조라든지 사용목적에 따라 요구조건이 전혀 달라지는데 기

인되기 때문이다.

특히 항공기가 활주로에 대기중인 경우, 별도의 지상보조 공기조화시스템(ground support air conditioning system)으로 항공기 냉난방유닛트(aircraft cooling & heating unit)를 들 수 있다. 이는 활주로에 착륙해 있는 항공기내의 공기조화 보조장치로써, 일반 범용 공조장치를 적용시킬 수 없는 각종 특수상황이 고려되어 별도로 설계된 것이다.

따라서 항공기내의 공기조화시스템에 대한 이해와 더불어, 최근 국내에서 연구개발 단계에 진입한 항공기 보조장치에 대하여 알아보고자 한다.

#### 2. 공기조화 방식

##### 2.1 냉방시스템(cooling system)

###### 2.1.1 공기사이클

일반적으로 대형 항공기는 경제성이 있고 비교적 고장이 적은 공기사이클을 적용한 냉각장치를 많이 이용한다.

그림 1은 전형적인 공기사이클 냉방시스템에 대한 개략도이다.

이 장치는 압축기와 터어빈에 의해 구동되며, 압축기에서 나오는 고온고압의 공기는 1

\* 정회원, 경원기계(주) 설계부

\*\* 정회원, 서울산업대학

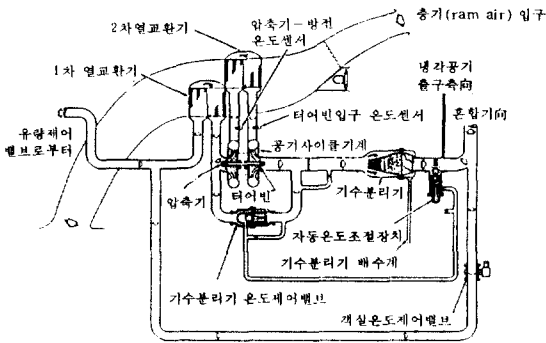


그림 1. 공기사이클 냉방시스템

차 열교환기로 유입된다. 이 때 열교환기는 공기로부터 열을 흡수하는 총기(衝氣, ram air)로 이루어져 있다. 따라서 공기는 냉각되며, 압축된 공기는 공기사이클 냉각장치의 압축기 입구 덕트로 이송된다. 그 후 압축기로부터 공기를 압축시키면서 공기온도를 증가시킨다. 다시 압축공기는 2차 열교환기로 유동된 후, 이곳에서 열교환 되어 팽창터빈으로 유입하게 된다.

여기서 팽창터빈은 공기로부터 에너지를 흡수하여 압축기를 구동시키며, 터빈 출구로부터 배출된 공기는 팽창에 의해 냉각된다. 이곳으로부터 온도가 강화된 공기는 공기중의 수분을 응축시켜, 이때 발생된 수분은 기수분리기(water separator)를 통해 분리된다.

이와 같은 냉각공기로서 객실(cabin)내의 설정된 공기온도에 적합하게 조절가능하게 된다. 또한 객실온도가 설정온도에 도달한 경우에는, 냉각공기가 더 이상 필요치 않게 되므로 조절 밸브가 설치된 바이패스 덕트에 의해 냉각공기를 곧 바로 바이패스 시킨다.

한 예로써 제트수송에서는 하계절을 기준으로 할 때, 이륙한 직후에는  $1.8\text{ kg/s}(10^\circ\text{C})$ , 운항중일 때는  $1.4\text{ kg/s}(12.8^\circ\text{C})$ 의 냉각공기를 필요로 한다.

공기사이클 냉방시스템 장치의 주요 장점으로서는 무게가 경량으로 사용하기가 편리하며, 단점으로는 효율이 좋지 못해 지상에서의 냉방효과가 적절치 못하다는 점이다.

따라서 공기사이클 시스템이 설치되어 있는 항공기에서는 지상에서의 쾌적한 냉방을 위해서는 별도의 공기조화유닛트를 기내로 연결시켜 사용하는 것이 실례이다.

일반적으로 대형 항공기에서는 용량 158kw까지의 별도 공기조화유닛트 장치를 필요로 하며, 대개 가스터빈 기관을 이용하여 고압의 공기를 다량으로 공급하게끔 되어있다.

### 2.1.2 증기사이클

이 시스템은 공기사이클 시스템 보다 효율이 높은 반면에, 중량이 무겁다는 단점이었다. 하지만 증기사이클의 주요 장점은 지상에서 전원공급만으로도 냉방이 가능하며, 또한 증기 압축기와 송풍기 구동에 있어서 공기사이클 보다도 소량의 고압공기를 필요로 하여 경제적이라는 것이다.

위의 시스템을 적용한 항공기에서는 400Hz의 교류발전기가 사용되는데, 이는 상대적으로 높은 회전수 구동이 가능하므로 기존 60 Hz 직류전원에 비해 중량을 경감시킬 수가 있다.

요즈음 공기터빈에 의해 구동되는 냉매 압축기는 회전수가 매초당 13,333회전까지 가능하게 되었다.

하지만 이러한 압축기의 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 것은 무엇보다도 축에 대한 시일링 및 회전수 제어라 하겠다.

보통 제트 항공기에 적용되는 증기사이클 시스템의 용량은 대개 14~91.5 kw 범위이다.

이 보다 적은 소용량의 경우에는 기내 주방의 냉장고와 전자장비에 대한 냉각을 위해 사용된다.

증기사이클 냉방시스템에 대한 개략도는 그림 2와 같다.

이 시스템에서는 항공기가 지상에 계류중인 경우, 객실의 공기는 팬(fan)으로써 증발기를 통해 재순환된다. 외부로부터 흡입되는 압축공기는 기관이 구동된 후에는 수동으로 작동되며, 이륙 후에는 기내의 여압(pressurization)을 유지키 위해 압축공기는 자동적으로 순환이 이루어지게 된다.

또한 냉매의 증발온도가 상승 및 강하함에



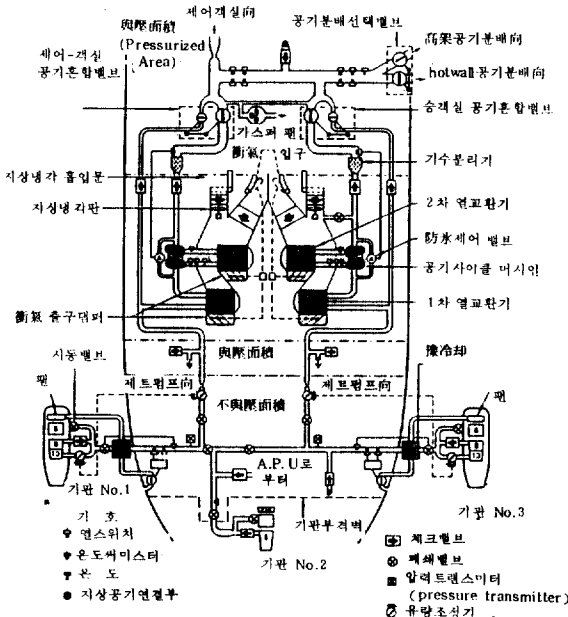


그림 4. 보잉 727 항공기의 공기조화시스템

재료로서 이루어져 있다. 다시 말해 열전달계수가 높은 재료로서 구성되었기 때문에 기내의 쾌적한 온도유지가 더욱 어렵고, 무엇보다도 장착된 각종 전자장비에 대한 온도제어는 매우 중요한 과제로 대두된다.

일반적으로 항공기의 냉난방 부하는 전열 및 태양열에 대한 해석, 탑승인원, 전기, 전자장비 등에 의한 발열량에 따라 결정된다.

특히 전열해석은 복잡한 구조체, 즉 스트링거(stringer), 격판(intercostals), 골격(frame), 표피(skin) 등의 구조를 통한 관련 유동해석이 고려되어야 한다. 이 때 공기에 대한 경막계수 역시 고도에 따른 함수로서 표현되어야 할 것이다.

적용환경에 대해서는 지상에서와 비행중일 때의 요구조건이 각각 다르기 때문에 이 같은 문제도 해결되어야 한다.

예를 들면 밝은 태양 아래서 계류중인 항공기는 국부적으로 태양광선에 수직인 면에 접하는 경우에는 대개 주위온도 보다 약 33°C 이상 높게 마련이다.

대책으로는 기체를 페인팅 하지 않거나, 기체의 상부를 흰색으로 도장함으로써 위와 같

은 영향을 가급적 줄일수가 있다.

대부분 페인팅 하지 않는 기체의 평균 표면온도는 주위온도에 비해 약 11°C, 페인팅된 표면은 약 8°C 정도 높다.

아울러 지상작동시의 풀다운(pull down), 준비(warm up), 도어 개방시간에도 영향을 받게 된다.

#### 4. 항공기별 소요부하

항공기에 적용되는 공기조화유닛트 용량은 대체로 크기, 탑승인원, 온도조건 등에 의해 상당한 차가 유발되나 전형적인 장치용량에 대한 소요부하는 다음과 같이 산정된다.

##### 4.1 소요 냉방부하

보잉 727을 기준으로 항공기가 계류하는 동안의 소요규정을 살펴보면,

- 1) 최대 탑승인원—156명
- 2) 주위온도 기준—밝은 태양 아래서 37.7°C(D. B)/25.5°C(W. B)
- 3) 승객 및 승무원의 탑승 소요시간—1시간 15분 기준(모든 탑승시간 2시간 기준)
- 4) 장비는 외기온도—35°C(D. B)/25.6°C(W. B)의 조건 아래서 각종 도어를 닫은 후, 기내온도 43.3°C를 21.1°C 까지 45분 이내로 유지하여야 하며, 최악의 경우 기내온도를 23.8°C 까지 유지시켜야 한다.

위의 조건들을 기준으로 하여, 각 기종별 냉방부하를 산정하면 표1과 같다.

표 1. 항공기 기종별 소요 냉방부하

기종	탑승인원	냉방부하(R/T)	공기량(kg/min)	소요정압(mm H <sub>2</sub> O)	기내유지온도(°C)
B-727	156	30.5	86.2	330	23.8 (기준)
DC-9	94	16.3	47.6	178	
B-737	113	21.9	63.5	229	26.7
B-747	375	110.0	254.0	864	

\* 상태 주위온도; 37.7°C(D. B)/25.5°C(W. B)  
날씨; 맑음

4.2 소요 난방부하

계류중인 B-727을 기준으로 소요규정을 살펴보면,

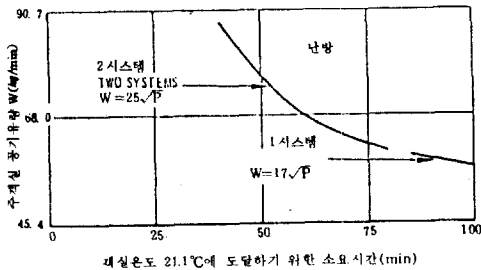
- 1) 탑승인원-최대인원 대비 25%의 승객이 탑승
- 2) 주위온도 기준-날씨가 흐린 상태에서 -23.3℃
- 3) 장비는 주위온도 -17.8℃ 아래서 태양이 없고, 승객이 탑승하지 않은 경우에 기내온도를 1.67℃에서 21.1℃까지 45분 이내로 상승 유지시켜야 한다.

위의 조건들을 기준으로 하여, 각 기종별 난방부하를 산정하면 표2와 같다.

표2. 항공기 기종별 소요 난방부하

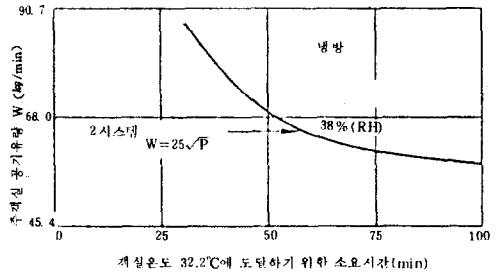
기종	탑승인원	난방부하(kcal/h)	공기유량(kg/min)	소요정압(mm H <sub>2</sub> O)	기내유지온도(℃)
B-727	39	45,360	52.2	127	21.1 (기준)
DC-9	24	63,000	72.6	432	
B-737	28	27,720	31.8	102	
B-747	94	207,900	181.4	457	

\* 상태 주위온도; -23.3℃  
날씨; 흐림



- \* 주 1) P; 지상연결부(ground connection)에서의 절대압력  
2) 각종 도어 및 승강구(hatch); 폐쇄
- \* 상태 1) 초기 객실온도; -17.8℃  
2) 취사실 부하; 0 kcal/h 전기 부하  
3) 승객 및 승무원; 0명  
4) 지상연결부온도; 232.2℃

그림 5-1 B-707-320 기종의 공기조화 요구조건 (pull up/pull down)



- \* 주 1) P; 지상연결부에서의 절대압력  
2) 각종 도어 및 승강구; 폐쇄
- \* 상태 1) 초기 객실온도; 39.4℃ 외기온도  
2) 태양열부하; 1,380 kcal/h  
3) 취사실부하; 0 Kcal/h 전기부하  
4) 승객 및 승무원; 0명  
5) 지상연결부온도; 232.2℃

그림 5-2 B-707-320 기종의 공기조화 요구조건 (pull up/pull down)

그림 5-1, 5-2는 B-707-320의 모델인 320 B, 320C, 420에 대한 냉난방시의 객실온도에 도달하는 소요시간과 주객실공기유량(main cabin airflow)과의 관계를 각각 나타낸 것이다.

그림 6은 그림 5의 동일 기종 모델에서 냉난방시의 흡입온도에 대한 공기유량과의 관계를 나타낸 것이다.

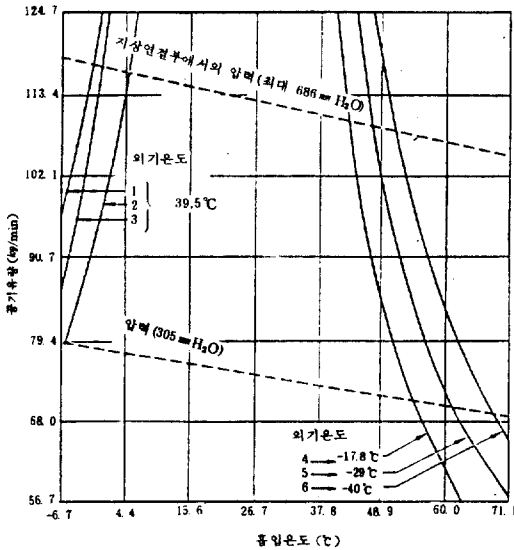
5. 지상보조 공기조화 시스템 구성

이미 기술한 바와 같이 지상에서 항공기에 공급되는 별도의 공기조화유닛에 대한 구성 요소는 크게 네 가지 기능을 갖추어야 한다. 즉 냉난방유닛, 공기분배 또는 덕트, 차체, 발전기 혹은 기관으로 구성되며, 보조장치의 구상이라든지 활주로에서의 신속한 이동기능상 적절한 구조로써 이루어져야 한다.

5.1 냉난방유닛

이 유닛은 주요 공조장치의 하나로써 경제적인 공조장치 운용을 위해서는 우선적으로 냉난방부하를 경감시키는 것이 상례이다.

하지만 항공기에서는 계류기간이 짧고, 무엇보다도 기내 환기를 위해서는 모든 외기를 흡



- \* 주 1) 각종 도어 및 승강구; 폐쇄
- \* 상태 1) 객실온도; 24°C  
 승객 및 승무원; 130명  
 취사실부하; 0 kcal/h  
 전기부하; 2,370 kcal/h  
 태양열부하(맑은날); 1,260 kcal/h
- 2) 객실온도; 26.7°C 기타조건은 상태 1과 동일
- 3) 객실온도; 21°C  
 승무원; 3명  
 취사실부하; 2,060 kcal/h  
 전기부하; 2,220 kcal/h  
 태양열부하(맑은날); 1,275 kcal/h
- 4), 5), 6) 객실온도; 24°C  
 승객 및 승무원; 0명  
 기타 열부하; 0 kcal/h

그림 6. B-707-320 기종의 공기조화 요구조건

입시켜 기내로 송출한다. 따라서 이미 공급된 지상보조 공기는 도어 혹은 해치(hatch)를 통해 대기중으로 방출된다.

그러므로 이와 같은 냉난방유닛트는 시각별로 변하는 외기를 계속 흡입하는 관계로 외기 조건에 따라 신속하게 작동 가능한 증발기를 채택하여야 한다.

예를 들면 하절기인 경우에는 35°C(D, B) 정도의 외기를 0~5°C 정도까지 냉각하여 기내로 공급하여야 한다.

한편, 동절기의 보조난방을 위해서는 주로 전기가열코일을 사용하든지 기관 또는 발전기의 방열기 등의 폐열을 회수하여 난방하는 시스템이 주종을 이룬다.

하지만 비교적 온화한 지방에 위치한 비행장의 경우에는 냉방사이클을 역사이클로 회전시켜 열펌프를 이용하는 경우도 흔히 있다.

대부분 기관 또는 발전기에 의한 전력을 이용하여 전기적으로 스텝제어(step control)함으로써 기내 난방을 시도하고 있다. 이와 같은 방법으로 동절기의 경우, -30°C 정도의 공기를 가열시켜 40~70°C 정도의 고온공기로 실내에 공급한다.

### 5.2 공기분배 또는 덕트

대부분의 항공기는 각 좌석에 배출되는 고속의 공기유동을 승객이 조정할 수 있도록 별도의 부가적인 공급공기 분배시스템을 갖추고 있다.

따라서 승객은 각 노즐을 개폐시키거나 방향조정을 통해 공기유동 제어기능이 가능하다.

이러한 기능으로써 국부적으로 평균 객실온도 보다 낮은 유효온도를 얻을 수 있다.

이때 별도의 공급공기는 가스퍼(gasper) 혹은 아이볼(eyeballs)이라는 노즐을 통해 기내에 공급된다.

실제 공기속도에 대하여는, 여러 계층의 사람들, 즉 나이, 체중, 신장, 항공여행 경험을 등을 기준으로 실험한 결과, 기내온도에서의 공기속도는 약 3.6m/sec 정도 혹은 이 보다 낮은 공기속도가 적합한 것으로 나타났다.

아울러 상대속도에 대하여는, 29.4~35°C 사이에서 상대습도가 68%가 될 때까지 기내온도에서의 상대습도는 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 발표되었다.

또한 지상보조 공기조화에 있어서 기내에 공급되는 공기유량 정압(static pressure)은 이미 기술한 조건들을 만족시키기 위해서는 상당히 높은 압력으로 송출되어야 한다는 것이다.

즉 B-747의 경우는 최대 1,016mm H<sub>2</sub>O까지의 정압이 요구되기도 하지만 대부분 254~764mm H<sub>2</sub>O 정도의 정압이 필요하므로 이를 위해 2단 터어보팬이 적용된다.

그림 7은 각 항공기 기종별 공급 공기유량

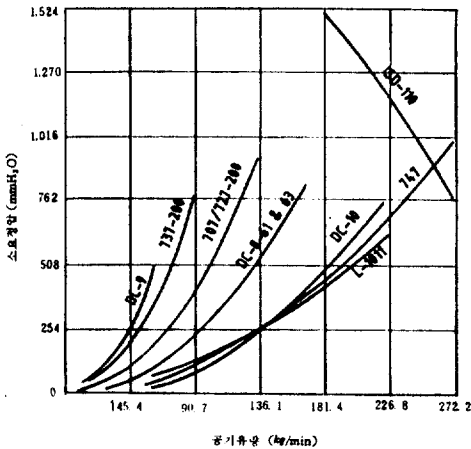


그림 7. 항공기 기종별 공기유량 및 소요정압

에 대한 소요정압과의 관계를 도식한 것이다.

하, 동절기를 제외한 나머지 계절에는 별도의 냉난방시스템 가동없이 팬 구동으로 실내의 오염공기를 제거한다.

5.3 자 체

지상보조 공기조화시스템을 실은 차체는 항공기가 활주로에 착륙한 후, 정차하면 곧 기내 옆으로 이동하여 운전자로 하여금 공조시스템을 기내 연결부에 설치시켜 냉난방장치를 가동시켜야 한다. 이와는 반대로 항공기가 이륙시에는 기내연결부에서 단시간내에 냉난방장치 제거가 가능하게 차체는 기동성 있는 설계구조로써 이루어져야 한다.

아울러 차체는 비교적 기체에 가까이 접근하여 가동되므로 전기적인 스파크로 인한 화재 위험성이란지 각종 재해를 방지할 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

5.4 발전기 혹은 기관(engine)

항공기는 주로 활주로 상의 임의위치에 정지해 있으므로 전원을 공급받기가 매우 곤란하다. 따라서 항공기의 보조 공기조화시스템은 기기가동을 위해 자체 발전기라든지 기관을 별도로 갖추어야 한다.

이러한 발전기 또는 기관을 통해 공급전원

을 발생시켜 공기조화유닛과 팬을 구동시킨다.

아울러 이와 같은 유닛트의 용량조절에 대하여는, 발전기의 경우에는 주파수를 조정하여 압축기의 회전수를 변화시킴으로써 결국 냉난방용량 조절이 가능하게 된다.

또한 기관의 경우에는 기관 자체의 회전수를 직접 조정함으로써 소요목적을 달성하게 되며, 필요한 경우에는 발전기 혹은 기관을 구동시켜 보조전원으로 사용하기도 한다.

이상에서 언급한 지상보조 공기조화시스템이 최근 국내에서 개발되어 이미 가동중에 있다.

이 시스템에 대한 제원을 표 3에 수록하였다.

표 3. 항공기용 지상보조 공기조화시스템

내 용	제 원
냉방부하	154,000 kcal/h
난방부하	61,920 kcal/h(전기난방) 80,000kcal/h(발전기 난방) 방열기
냉 매	R-22
압 축 기	반밀폐형 냉매압축기(semihermetic gas comp.) 44.5 kw × 4 pole 1,720 rpm
응 축 기	다통로 크로스 핀관형(multipass cross fin tube type) 팬모우터 : 0.75 kw × 6 EA
냉매제어	팽창밸브
증 발 기	다통로 크로스 핀관형
송풍기	송풍기 : 터보 송풍기 모우터출력 : 30 kw × 4 pole 풍 량 : 180 m³/min 송출공기압력 : 700 mm H₂O
공기필터	1 차 비닐염화물(vinyl chloride) 2 차 폴레우레탄포움(polyurethane foam)
발 전 기	145kw 3φ 220V 60 Hz 1φ 110V 60 Hz

작 동 주위온도	-30~54℃
상대습도	20~80%
냉 각 외기온도	35℃(D. B) 27℃(W. B) (표준상태)
내부온도	25.5℃(D. B) 18.3℃(W. B)
안전장치	압력스위치 (dual pressure switch) 압축기 모우터용 과전류 릴레이 압축기 모우터용 내부 자동온도조절 장치 제빙방지용 자동온도조절장치 제어단락용 퓨우즈(fuse for control outlet) 가용진 (fusible plug) (용점 72 ± 2℃)

## 6. 결 언

지금까지 항공기의 공기조화시스템, 시스템 방식, 소요부하 산정, 지상보조 공기조화시스템 구성에 대해 간략하게 살펴 보았다.

이와 같은 장치들은 국내에서도 이제 기술적인 검토단계에 들어선 최첨단 기술인 항공산업에 따른 필수 불가결한 보조장치라 할 수 있다.

장차 1990년대 이후에는 본격적으로 국내에서도 초현대식 정밀기기 분야, 즉 기계, 재료, 금속, 전기, 전자, 계측, 제어, 통신, 정보, 컴퓨터 등 관련분야가 총망라된 새로운 하이테크 기술의 결합체이며, 부가가치가 엄청난 항공산업이 전략산업으로 본 궤도에 오를 전망이다. 이 때에는 항공산업 관련기술

뿐만 아니라 항공기 보조장치 역시 현재와는 다른 양상으로 보다 효율성 있는 소형화된 장치로써 연속적으로 기술개발이 선행되어야 할 것이다.

이를 위해서는 관련업체 뿐만 아니라 정부 기관, 대학, 연구소 등에서 이들 관련분야에 대하여 계획성있게 공동적으로 연구협력하여 향후 2000년대 전략산업에 대한 끊임없는 연구기술개발에 주력하여야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. ASHRAE HAND BOOK, APPLICATION, CHAPTER 9, AIRCRAFT, 1982.
2. 林種奎, 鄭夏雄共著, 航空機 機體, CHAPTER 7 보조장치, 1984.
3. LSI, LEAR SIEGLER INC, TECHNICAL BULLETIN, D6-58324, 1969.
4. 경원기계 기술표준, AIR CRAFT COOLER, 1985.
5. E. J. Overmyer, "Successive Developments that led to the Vapor Cycle System for the Boeing 707", ASHRAE Journal, December 1961.
6. E. J. Overmyer, "How Face Air Velocity affects Airplane Passenger Comfort ", ASHRAE Journal, August 1961.
7. E. J. Overmyer & K. T. Tanemura, "Ram Cooling Air Modulation in Aircraft Air Conditioning", ASHRAE Journal, June 1962.