

제5장 추진기관

5.1 추진기관의 요구조건

- ▶ 낮은 마력당 중량비(weight/power) : 가볍고 높은 추력을 발생하는 엔진
 - 왕복기관 : 0.68 ~ 1.3 kg/HP
 - 제트기관 : 0.18 ~ 0.23 kg/HP
 - cf) 자동차용 gasoline 기관 2.27~5 kg/HP
- ▶ 신뢰성 : 고장이 적고 부품이나 장비의 작동이 원활해야 한다.
- ▶ 내구성 : 기관의 수명을 말하며, TBO(Time Between Overhaul)가 길수록 내구성이 좋다.
- ▶ 높은 열효율 : 열효율이 높으면 연료소모율이 낮아지고 항속거리(range) 또는 유효하중(payload)이 늘어나 경제적 운용이 가능해 진다.
- ▶ 정비성 : 정비와 부품의 교환이 쉬울수록 정비시간 단축 및 항공기 가동시간 증가
- ▶ 항상성 : 온도와 밀도의 변화에 따른 작동 상태나 출력의 변화가 작아야 한다.
- ▶ 적은 진동 : 과도한 진동이 반복되면 기관파괴와 같은 기계적 문제와 진동 및 소음 발생

5.2. 추진기관의 분류

- ▶ 축동력 기관
 - 프로펠러-왕복동 엔진 (Propeller-reciprocating engine)
 - 터보샤프트 엔진 (turboshaft engine)
 - 터보프롭 엔진 (turboprop engine)
 - ▶ 분사추진 기관
 - 터보제트 엔진 (turbojet engine)
 - 터보팬 엔진 (turbofan engine)
 - 램제트 엔진 (ramjet engine)
 - 로켓 엔진(rocket engine)
- 가스터빈 기관
(gas turbine engine)

5.2.1. 가스터빈 기관의 종류

(1) 터보제트 기관(turbojet engine) : F-5

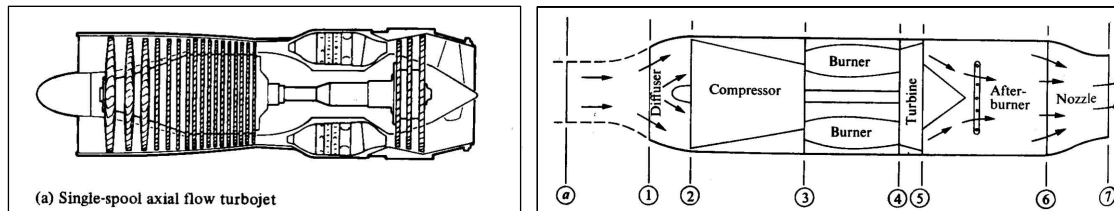


그림 5-1. 터보제트 기관

- 구성 : 디퓨저(diffuser)
압축기(compressor)
연소실(burner 또는 combustion chamber)
터빈(turbine)
배기노즐(exhaust nozzle)
- 특징
 - 비행 속도 빠를수록 효율이 좋다.
 - 저속에서 효율이 감소하고 연료 소모율이 증가하며, 소음이 심하다.

(2) 터보팬 기관(turbofan engine) : F-4, F-14, F-15

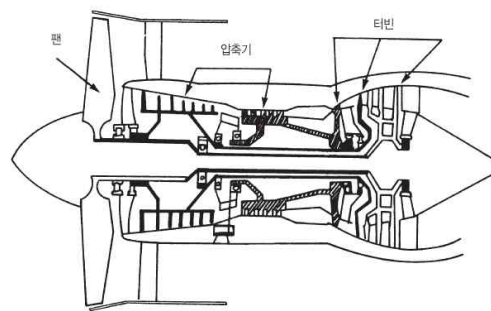
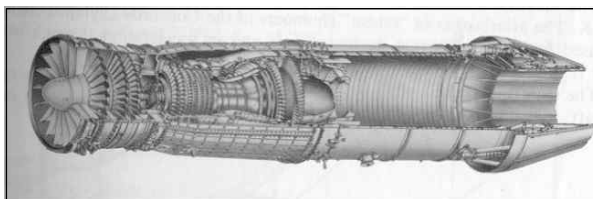


그림 5-2. 터보팬 기관

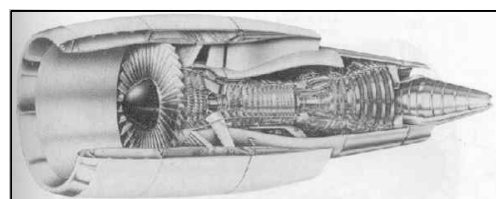
- 구성 : 터보제트 + 덕트팬(ducted fan), 바이패스 덕트(bypass duct)
- 특징
 - 다량의 공기를 저속으로 분출시켜 배기가스의 운동 에너지를 줄이고 저속에서의 효율을 높게 한다.
 - 천음속에서 기관 효율이 증가하고 연료 소모율은 감소
 - 배기 소음 감소

※ 터보제트와 터보팬 기관(low bypass & high bypass)의 비교

	BPR	Thrust(N)	tsfc	% Thrust from Gas Generator
Turbojet	0.0	892	24.1	100
Turbofan (low bypass)	2.0	1269	16.9	63.9
Turbofan (high bypass)	5.0	1813	11.9	35.8



< low bypass turbofan engine >



< high bypass turbofan engine >

(3) 터보프롭 기관(turboprop engine)

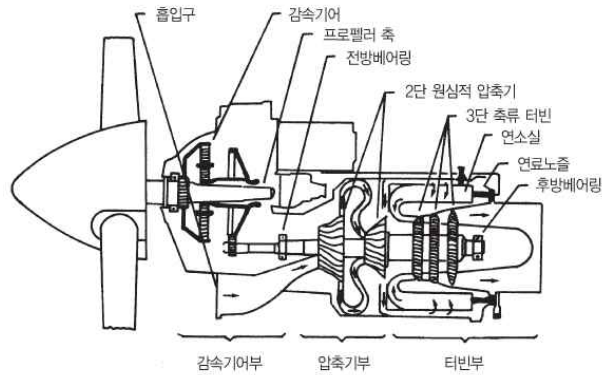


그림 5-3. 터보프롭 기관의 개략도

- 구성 : 터보제트 + 감속기어, 프로펠러
- 특징
 - 대부분 출력을 축동력으로 사용하여 감속기어를 거쳐 propeller를 구동함으로써 추력을 발생시킨다. (전체 추력의 75~90%)
 - cf) 배기가스 분사(전체 추력의 10~25%)
 - 제트엔진의 고속, 고고도 특성 + propeller의 저속, 저고도 특성
 - ⇒ 중속, 중고도 비행에서 높은 효율

(4) 터보축 기관(turboshaft engine)

- 전체 출력을 모두 축동력으로 발생
- 헬리콥터용 동력 장치로 사용

5.2.2. 왕복기관의 종류

(1) Cycle에 따라 : 4행정기관, 2행정기관

(2) 냉각 방식에 따라 : 공랭식 기관, 수냉식 기관

(3) 실린더 배열 방법에 따라

- 직렬형(in-line type)
- V형, X형, 이중 V형
- 수평 대향형(flat or opposed type)
 - 경비행기용
 - 구조가 간단하고 전방면적이 적어 공기저항이 작다
 - 실린더가 많을수록 기관의 냉각이 어렵다.
- 성형(radial type) 또는 2열성형
 - 대형 및 중형기관에 적합
 - 기관당 실린더 수를 많이 할 수 있어 진동이 적고 마력당 중량비가 작다.
 - 전면면적이 넓어 공기저항이 크다.
 - 2열인 경우 뒷열의 냉각이 어렵다.

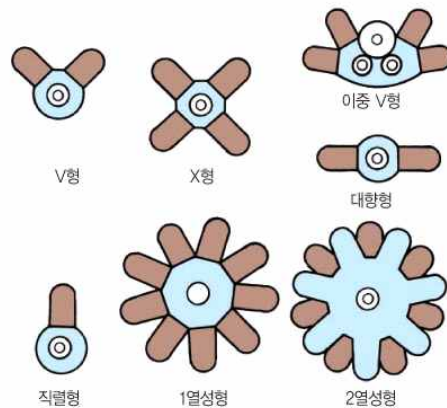


그림 5-5. 왕복기관의 분류

5.2.3. 기타 분사추진 기관

(1) 램제트 기관 (ramjet engine)

- compressor, turbine이 없다.
→ 비행속도에 의한 ram 압력을 이용하여 공기를 압축
- 공기흐름이 아음속 상태에서 연소
- 비행속도가 음속의 2배 정도 되어야 성능 발휘
- 추력당 중량비가 작고 전면 면적당 추력이 크다.

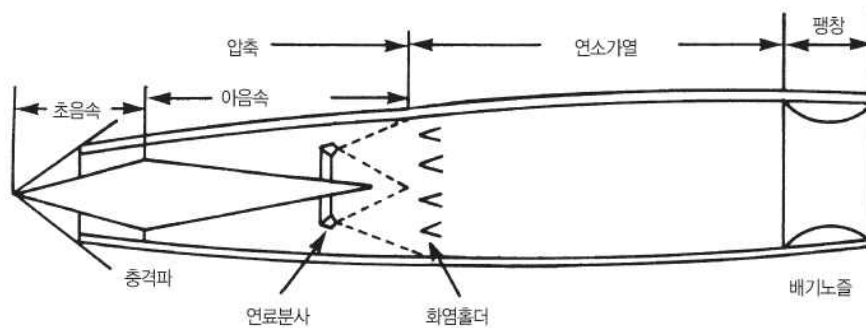


그림 5-6. 램제트 기관의 개략도

(2) 스크램제트 기관 (scramjet engine)

- 램제트 기관의 구조와 비슷하나 초음속 상태에서 연소
- 비행속도가 음속의 5배 정도 되어야 성능 발휘

5.2.4. 로켓 기관

- 공기를 흡입하지 않고 기관 자체에 산화제를 탑재
- 에너지원에 따라 화학, 원자력, 전기, 태양 rocket이 있다.
- 수중에서도 작동 가능하다.

※ 화학 rocket

(1) 액체 로켓

- 연료와 산화제 따로 저장
- 중·대형 로켓 기관에 사용

(2) 고체 로켓

- 연료와 산화제가 혼합된 상태로 저장
- 구조는 간단하지만 연소제어가 어려워서 소형 로켓 기관에 사용

(3) 하이브리드 로켓

- 고체 연료에 액체 산화제를 사용
- 연료와 산화제가 분리되어 있어 안정성이 있다.
- 추력제어, 소화 및 재점화가 가능하다.
- 비추력이 높다.

5.3. 항공기용 가스터빈 기관

- 압축기 형태에 따라 : 원심(centrifugal) 방식
축류(axial flow) 방식
원심-축류 방식
- 추력 발생 방법에 따라 : Turbojet engine
Turbofan engine
Turboprop engine
Turboshaft engine

• 가스터빈 기관의 특징

(1) 장점

- 중량당 추력이 크다.
- 시동이 쉽고 윤활유의 소비량이 적다.
- 연료의 값이 싸다.
- 비행 속도가 커질수록 효율이 좋아진다.

(2) 단점

- 연료 소비량 많다.
- 소음이 심하다.

5.3.1 가스터빈 기관의 구조

(1) 압축기(compressor) : 공기를 흡입, 압축하여 연소실로 보내는 장치

- 원심 압축기(centrifugal compressor)
 - 중심부에서 흡입된 공기를 임펠러, 디퓨저를 거치면서 압축시킨 후 매니폴드를 통해 연소실로 보낸다
 - 단당 압력비가 높고 제작이 쉬우며 구조가 튼튼하고 값이 싸다.
 - 전 압력비와 효율이 낮으며 추력에 비해 전면면적이 크다.
 - 소형기관에 사용된다.

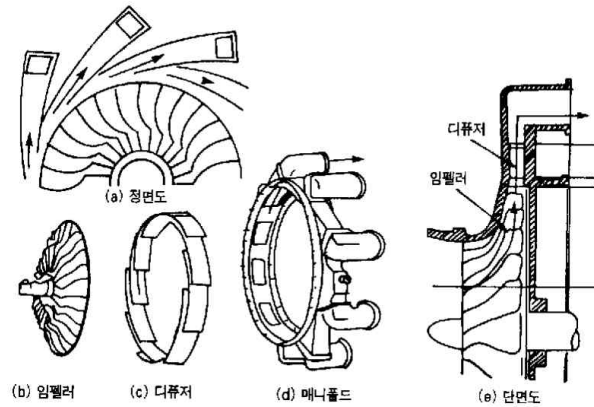


그림 5-10. 원심 압축기의 기본 구성품

- 축류 압축기(axial flow compressor) : 회전자(rotor)와 고정자(stator)로 구성
 - 전면 면적에 비해 많은 양의 공기를 흡입·압축할 수 있다.
 - 다단 제작이 용이하고 압축기 효율 높아서 고성능 기관에 많이 사용된다.
 - 구조가 복잡하고 외부 물질에 의해 손상을 입기 쉽다.

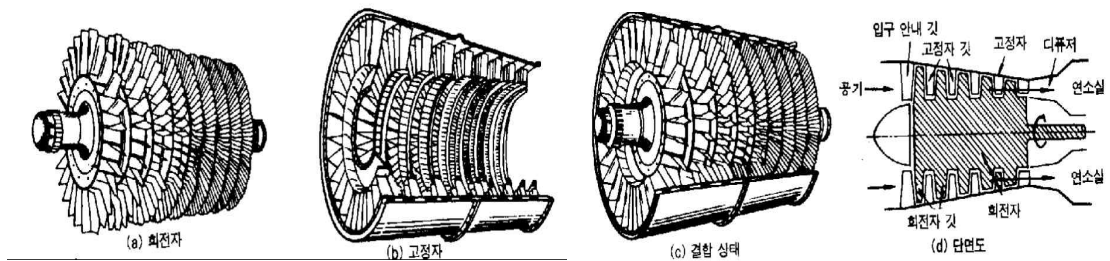


그림 5-11. 축류압축기의 구성품과 단면도

(2) 연소실 : 압축기에서 압축된 고압 공기에 연료를 분사하여 연소시키는 장치

- 연소에 필요한 공기와 연료의 혼합비 : 이론 15:1, 실제 60~130:1
- 1차 연소 영역 - 14~18:1의 혼합비가 되도록 공기량을 조절하여 연소시킴
혼합냉각 영역 - turbine 입구에 알맞은 온도로 연소가스에 차가운 공기를 혼합·냉각
⇒ 압축기 통과하는 공기 중에서 연소에 기여하는 공기량은 20~30%

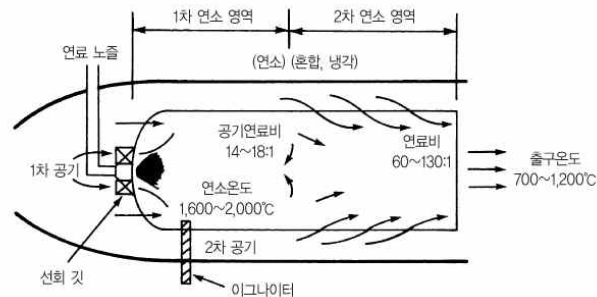
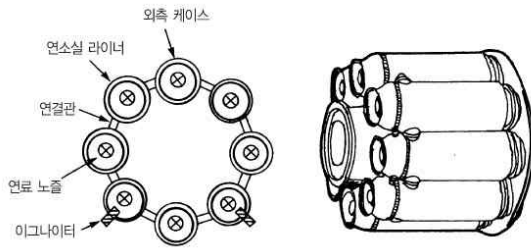


그림 5-15. 연소실의 연소영역

- 연소실 형태

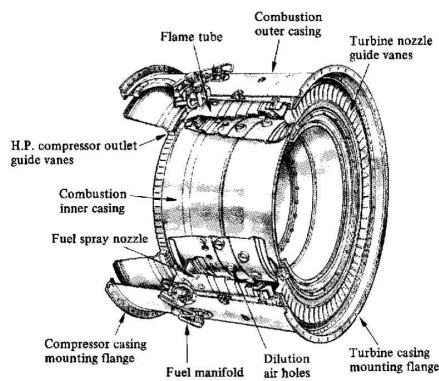
- Can type : 압축기 구동축 주위에 독립된 원통형 연소실



장점 : 설계와 정비 간단

단점 : 고공에서 대기압 낮아지면 연소 정지(flame out) 현상이 있으며, 과열시동을 일으키기 쉽고, 출구 온도 분포가 불균일

- Annular type : 압축기 구동축을 둘러싸고 있는 한 개의 고리 모양으로 된 연소실
현재 가스터빈 기관의 연소실로 많이 사용

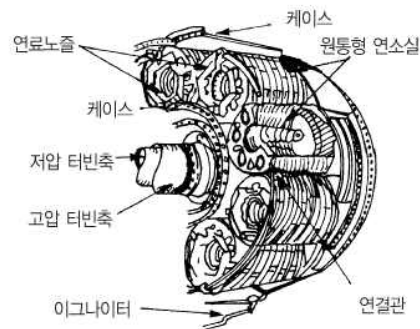


장점 : 구조 간단, 길이가 짧다.

연소 안정, 출구 온도 분포 균일
연소 효율 좋다.

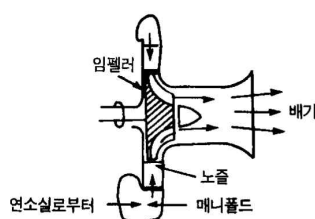
단점 : 정비가 불편

- Can-annular type : 캔형과 애눌러형의 중간 형태로 중·대형 기관에 사용



(3) 터빈(turbine) : 연소가스에 의한 회전동력으로 압축기를 구동시키거나 터보프롭 및 터보축 기관의 동력축을 회전시키기 위한 동력을 발생하는 장치

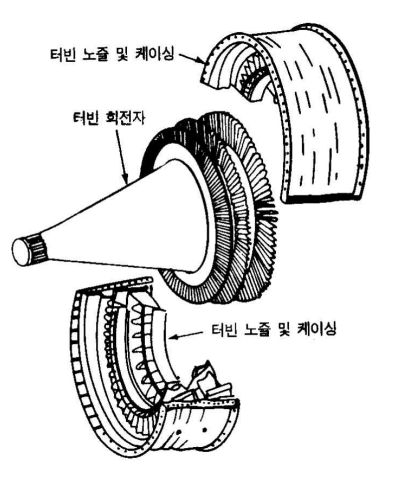
- 방사류 터빈(radial flow turbine) : 소형 기관에 사용



장점 : 제작이 간편하고 단 팽창비가 높으며 효율이 좋다.

단점 : 단수 증가하면 효율이 낮아지고 구조가 복잡해진다.

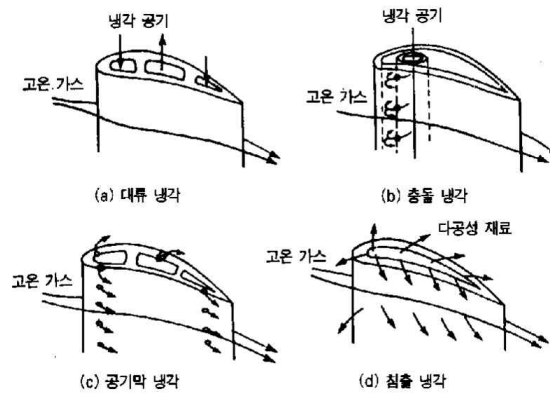
- 축류 터빈(axial flow turbine) : rotor와 stator로 구성



- 반동터빈(reaction turbine) : stator와 rotor에서 동시에 팽창되어 압력 감소
- 충동터빈(impulse turbine) : stator에서만 팽창이 이루어짐
- 실용 turbine에선 반동과 충동 turbine을 같이 사용한다.

Blade root 부분에선 충동 turbine이고 blade tip 부분에선 반동 turbine이 되도록 rotor blade를 비틀어 주어 전체적으로 걸리는 torque를 일정하게 해 준다.

- 터빈 냉각



(4) 공기흡입 덕트

- 고속으로 들어오는 공기의 속도를 감소시키면서 압력을 상승시킨다.
- 아음속 항공기 : 단면적을 증가시켜 속도를 감소시키고 압력을 증가시킴.
- 초음속 항공기 : 충격파를 이용하여 속도를 감소시키고 압력을 증가시킴.

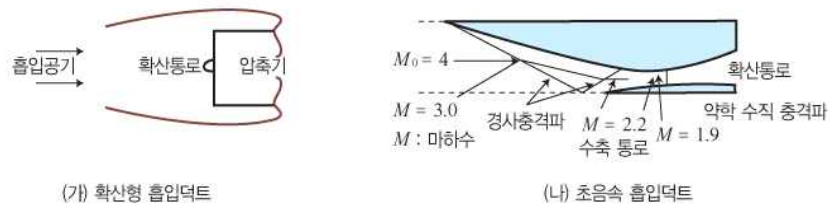


그림 5-23. 흡입 덕트

(5) 배기 덕트(exhaust duct) : 터빈을 통과한 배기가스를 대기중으로 방출하는 통로 장치

- 배기 파이프 또는 테일 파이프(tail pipe)라고도 한다.
- 배기가스의 압력에너지를 속도에너지로 바꾸어 추력을 발생시킨다.

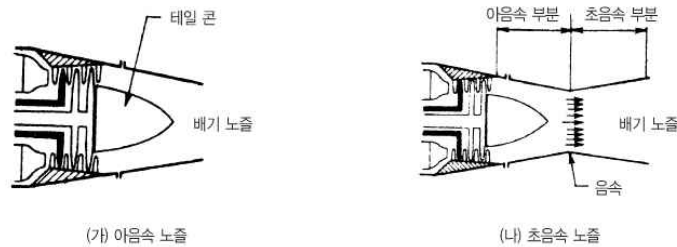


그림 5-24. 배기 노즐

5.3.2. 가스터빈 기관의 각 계통

(1) 시동 및 점화 계통

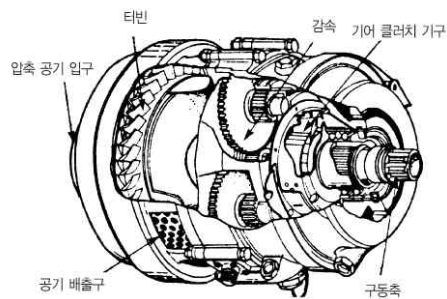
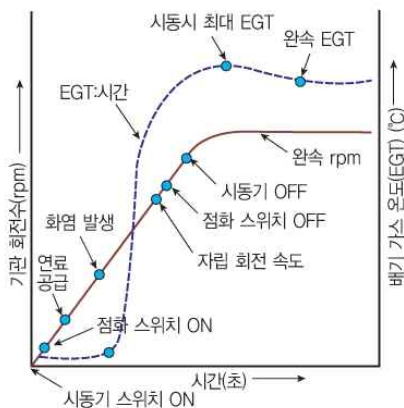


그림 5-29. 공기 터빈 시동기



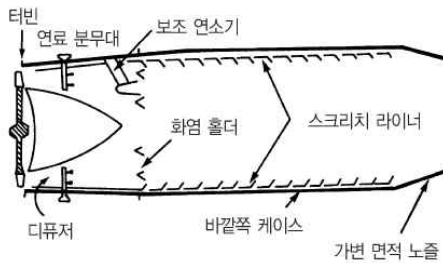
1. 시동기 스위치 작동
2. 시동기가 압축기를 회전시키고 규정된 회전속도에 이르면 점화장치 작동
3. 연료가 분사되어 연소 시작
4. 기관의 자립회전속도에 도달하면 시동기 및 점화장치의 작동 중단

그림 5-28. 가스터빈 기관의 시동 절차

- 점화 계통 : 기관을 시동하는 몇 초 동안만 점화하고, 타이밍 장치가 필요 없다.

(2) 추력 증가 장치

- 후기연소기(after burner)



- 배기덕트에서 연료를 분사하여 연소시킴
- 전체 추력의 50%까지 추력을 증가시킬 수 있으나 연료소모량은 거의 3배에 이른다.

- 물분사장치 : 압축기의 입구와 출구에서 물 또는 물-알콜 혼합물을 분사하여 공기를 냉각시킴으로써 추력을 증가시킴

5.3.3. Gas turbine 기관의 성능

(1) 브레이턴 사이클(Brayton cycle) - gas turbine 기관의 ideal cycle

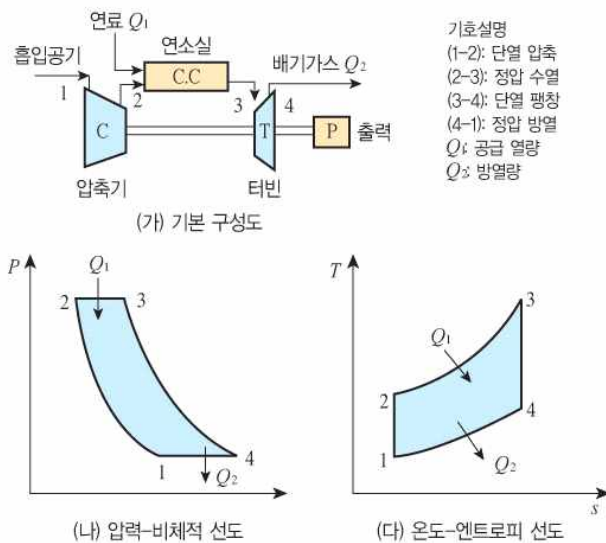


그림 5-31. Brayton cycle

- Brayton cycle의 이론 열효율은 공급 열량에는 관계없고 압축기의 압력비에 의해서만 영향을 받는다.
- 압력비를 높이면 열효율과 출력은 증가하지만 압축기의 출구압력과 온도가 상승하여 연소실과 터빈 재질에 문제가 발생

(2) 가스터빈 기관의 사이클

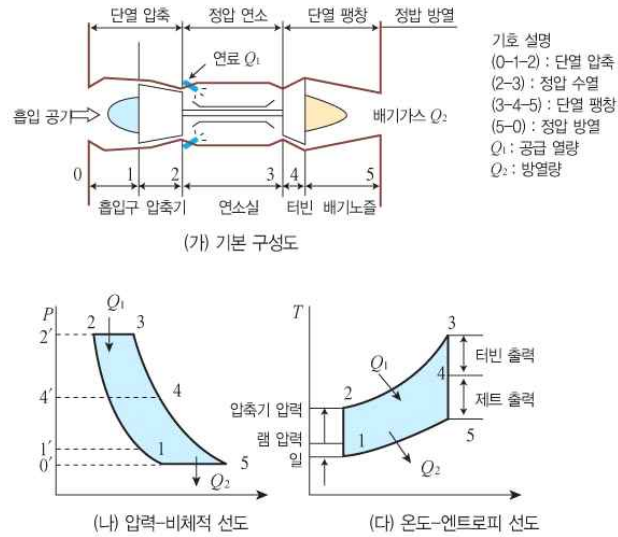


그림 5-32. 가스터빈 기관과 사이클

- 진추력(net thrust): 기관이 비행 중에 발생하는 추력
- 총추력(gross thrust): 공기와 연료의 유량을 고려하지 않은 경우의 추력(정지추력)
- 비추력(specific thrust): 기관으로 흡입되는 공기유량 당 추력
- 추력비연료소모율(TSFC, thrust specific fuel consumption): 단위 추력당, 단위 시간당 연료소모율로서 비연비라고도 한다.
- 추력중량비(thrust weight ratio): 기관의 단위 중량당 추력

• Turbojet engine 효율

- 열효율: engine에 공급된 열에너지가 운동에너지로 바뀐 비
- 추진효율: 공기가 engine을 통과하면서 얻은 운동에너지 중 추력으로 바뀐 비
- 전효율: 공급된 총E가 추력 동력으로 바뀐 비, (= 열효율 × 추진효율)

5.4 항공기용 왕복기관

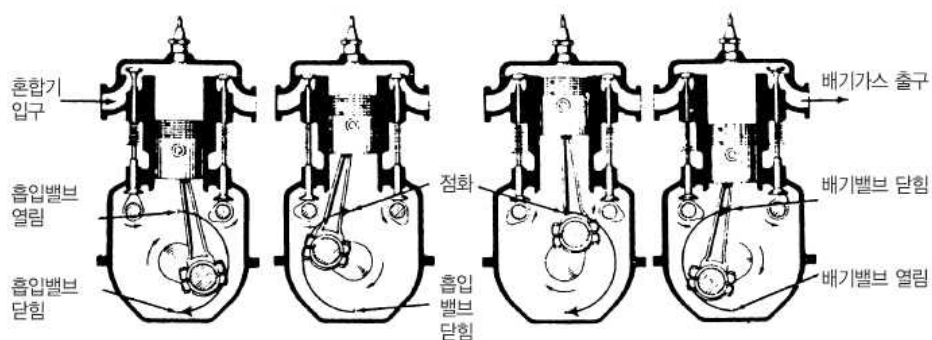


그림 5-58. 왕복 4-행정 사이클

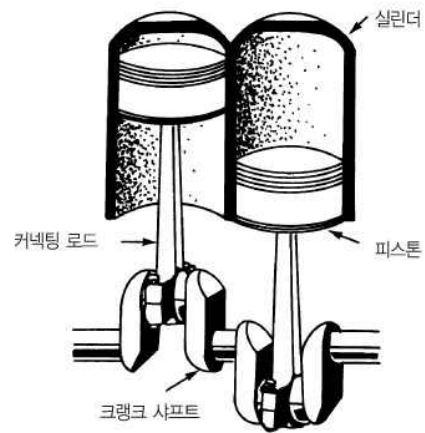


그림 5-57. 왕복 4-행정기관의 기본 구성품

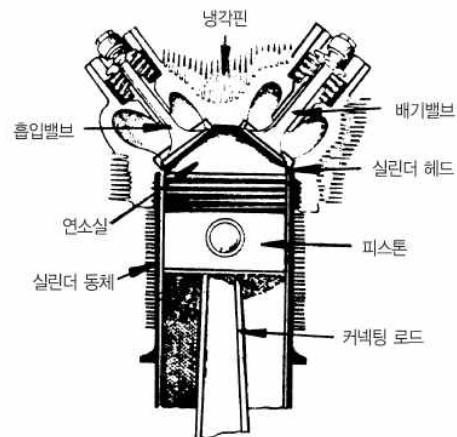


그림 5-39. 실린더의 구성

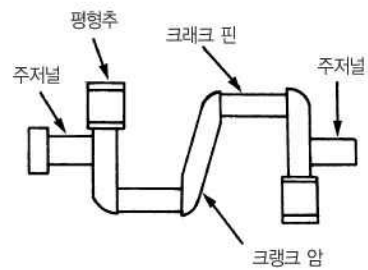


그림 5-46 크랭크축의 구조

5.5 프로펠러(propeller)

5.5.1 프로펠러의 구조

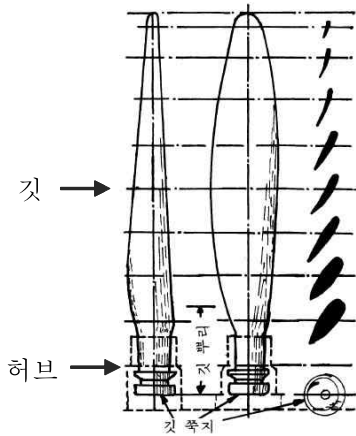


그림 5-61. 프로펠러의 구조

- 깃각(blade angle) : 프로펠러의 회전면과 시위선이 이루는 각도로서 깃뿌리에서 가장 크고 깃끝으로 갈수록 작아진다. 프로펠러를 대표하는 깃각은 프로펠러의 중심으로부터 75% 반경인 점에서의 깃각으로 한다.
- 기하학적 피치 : 프로펠러를 1회전 시킬 때 전진하는 거리
- 깃의 전 길이에 걸쳐서 기하학적 피치를 일정하게 유지하도록 깃에 비틀림을 주어 깃각을 변화시킨 것이다.

5.5.2 프로펠러의 종류

- 고정피치(fixed-pitch) 프로펠러
깃각이 하나의 고정된 크기로 만들어진 프로펠러로서 경비행기에 많이 사용된다.
- 조정피치(adjustable pitch) 프로펠러
지상에서 공구를 이용하여 깃각을 조절할 수 있는 것으로 경비행기에 사용된다.
- 가변피치(variable-pitch) 프로펠러
 - 비행 중에 조종사에 의해서 또는 자동적으로 깃각을 변경시킬 수 있는 프로펠러
 - 이단 가변피치 프로펠러 : 저피치와 고평치의 두 가지 중 조종사가 선택할 수 있다.
 - 정속(constant speed) 프로펠러 : 기관의 회전속도(rpm)를 일정하게 유지할 수 있도록 깃각을 자동적으로 변경한다.
- 페더링(feathering)
깃각이 거의 직각이 되도록 깃각을 증가시키는 것으로서, 비행 중 기관 고장으로 정지되었을 때 프로펠러의 회전을 중지시킴으로써 고장의 확산을 방지하고 항력을 감소시킨다.

5.5.3. 프로펠러의 성능 해석

(1) 운동량 이론(momentum theory)

- 프로펠러 앞에 있던 공기가 프로펠러를 거치면서 속도가 빨라지므로 발생하는 운동량의 변화로 추력을 예측하는 방법
- 깃각의 비틀림 정도와 깃의 기하학적 형태를 고려하지 않으므로 구체적인 성능해석 방법으로는 적합하지 않다.

(2) 깃요소 이론(blade element theory)

깃의 모든 단면에 걸쳐 받음각과 그에 따른 공기력을 계산함으로써 프로펠러 축에 공급한 동력과 추력의 관계를 구하는 이론

※ 프로펠러 효율

- 프로펠러에 공급된 동력에 대한 추력의 비로서 1.0보다 작은 값을 갖는다.
- 고정된 깃각에서는 단지 하나의 진행비만이 가장 좋은 효율을 가지므로, 효율을 최대화하는 비행속도는 하나뿐이다.
- 비행속도가 클수록 깃각을 크게 해야 효율이 좋아진다.

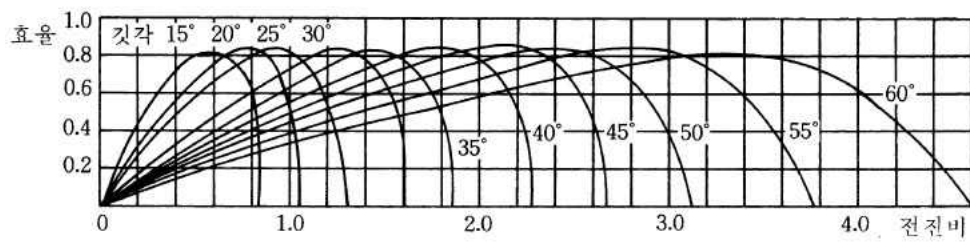


그림 5-63. 프로펠러의 효율