

공통자료

MATERIAL FOR INTERVIEW

열역학 Summary Note ②

TD07030605T

본 Summary Note는 본 Summary Note는 EDUCE에서 대기업 지원자들을 위해서 동안의 각 대기업 기술, 실무 그리고 PT 면접을 분석한 내용을 토대로 면접에 앞서 반드시 필요한 전공/기술 내용을 정리한 기술 자료입니다.

01. 열역학의 기본 개념

1. 엔트로피(entropy) [삼성전자(DA)] PT 면접, [LG이노텍, LG전자(DA)] 기술면접

1) 클라우시우스(Clausius) 부등식

- 사이클을 이루는 열기관에서 출입하는 열량은 그 열을 주고 받을 때 시스템의 온도와 독특한 관계를 갖고 있다. 이상적 가역사이클에 대하여는 등식이 성립하며 실제의 모든 비가역 사이클에 대하여는 다음의 부등식이 성립한다.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

이 식을 클라우시우스의 부등식(Clausius Inequality)이라고 부른다. 가역적인 기관과 비가역적인 기관을 대상으로 일반적인 과정에 대하여 적용되는 클라우시우스의 부등식은 열역학 제 2 법칙과 동등한 의미를 가지고 있다. 식의 의미는 계에 전달되는 열량은 미소의 열전달의 합으로 볼 수 있으므로 $\delta Q/T$ 의 사이클 적분은 미소 열전달을 경 계면의 절대온도로 나눈 값들의 합이다. 사이클이 가역사이클이라면 부등식은 다음과 같다.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

2) 엔트로피의 정의

- 앞서서 언급한 클라우시우스의 사이클 적분은 단지 상태에만 의존하며 과정 경로에 무관하므로 상태량이다. 그러므로 $\delta Q/T$ 은 미분형으로 표현된 상태량이어야 한다. 이 성질을 엔트로피라고 한다. 엔트로피는 S로 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

과정 중의 계의 엔트로피 변화는 초기상태에서 최종 상태까지 적분하여 구할 수 있다.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (kJ/K)$$

앞서 말한 것처럼 위의 식은 가역상태일 때 해당된다는 것을 상기하자. 엔트로피는 상태량이며, 다른 모든 상태량과 같이 정해진 상태에서 정해진 값을 갖는다. 그러므로 어느 두 상태 사이의 엔트로피 변화는 가역이든 비가역이든 과정의 경로에 관계없이 같은 값이다.

2. 엔트로피 증가의 원리

- 비가역일 때 계의 엔트로피 변화는 다음과 같다.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

여기서 S_{gen} 엔트로피 생성 이라고 부르며 항상 양의 값이거나 영이다. 물론 영일 때는 가역상태일 경우이다. 이 방정식은 과정 중에 고립계의 엔트로피는 항상 증가하거나, 가역 과정인 경우에만 일정한 값이라는 것을 나타낸다. 다시 말하면 고립계의 엔트로피는 결코 감소하지 않는다. 이것이 엔트로피 증가의 원리이다. 엔트로피 증가의 원리를 요약하면 다음과 같다.

$$S_{gen} \begin{cases} > 0 & \text{비가역 과정} \\ = 0 & \text{가역 과정} \\ < 0 & \text{불가능한 과정} \end{cases}$$

※ 엔트로피의 특징

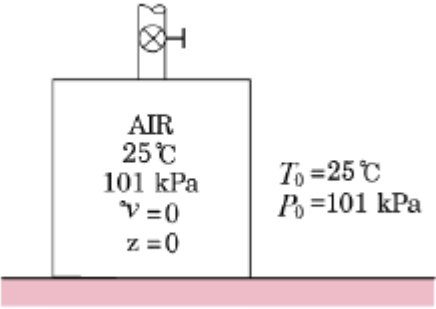
- ① 과정은 정해진 방향으로만 일어날 수 있으며, 임의의 방향으로 일어날 수 없다. 과정은 엔트로피 증가의 원리, 즉 $\Delta S_{gen} \geq 0$ 에 따르는 방향으로 진행해야 하며 이 원리를 위반하는 과정은 불가능하다. 가끔 화학반응이 완전히 이루어지기 전에 멈추게 되는 것도 이 원리 때문이다.
- ② 엔트로피는 비보존적인 상태량이며, 엔트로피 보존의 원리와 같은 것은 없다. 엔트로피는 이상적인 가역 과정 중에만 보존되며 모든 실제의 과정 중에는 증가한다. 그러므로 우주의 엔트로피는 지속적으로 증가하고 있다.
- ③ 공학계의 성능은 비가역성의 존재에 의하여 저하되게 되며, 엔트로피 생성은 과정 중에 있는 비가역성의 크기의 척도가 된다. 비가역성의 정도가 클수록 엔트로피 생성은 크게 된다. 그러므로 엔트로피 생성은 과정과 관련된 비가역성의 양적인 척도로 사용될 수 있다. 또한 엔트로피 생성은 공학 장치의 성능에 대한 기준을 정할 때에 사용될 수 있다.

3. 엑서지(exergy)

- 실제 생활에서 새로운 에너지를 발견하였다고 할 때 먼저 조사해야 할 것은 그 에너지원의 잠재적인 일은 얼마나 되는 것인지 측정하는 것이다. 즉, 에너지원으로부터 얻을 수 있는 유용한 일로써 에너지 양이다. 엑서지 해석에서는 초기 상태가 주어지고 변수가 아니다. 엔트로피에서 보여 주듯이 주어진 두 상태 사이에서 과정이 가역적으로 수행될 때 출력일은 최대가 된다.

1)사장상태(dead state)

--	--

	<p>출력일을 최대가 되도록 하기 위해서 과정의 최종 상태에서 계는 사장상태(dead state) 있어야 한다. 계가 주위와 열역학적 평형을 이루고 있을 때 계는 사장상태에 있다고 말한다. 사장상태에 있는 계의 온도와 압력은 주위와 동일하다. 따라서 그 계는 주위에 대하여 운동에너지와 위치에너지가 없다.</p>
---	--

2) 주위(surroundings), 인접 주위(immediate surrounding), 환경(environment)

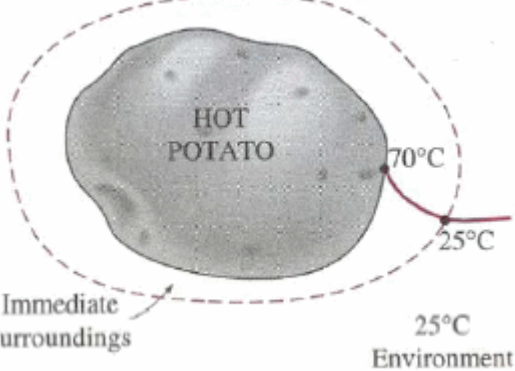
- 사장상태를 정의하기 위해서는 주위, 인접주위 그리고 환경에 대한 구분이 필요하다.

① 주위 - 정의에 의해 주위는 계 경계 밖의 모든 것을 나타낸다.

② 인접한 주위 - 인접한 주위는 과정이 영향을 끼치는 주위의 한 부분을 나타낸다.

③ 환경 - 환경은 인접한 주위의 밖의 영역으로써 어느 곳에서도 과정의 영향을 받지 않는 영역이다. 그러므로 과정 동안 비가역성은 계와 인접한 주위 안에서 일어나고, 환경에서 어떠한 비가역성도 일어나지 않는다.

예를 들면,

	<p>25°C의 실내에서 뜨거운 구운 감자의 냉각을 해석할 때, 감자를 둘러싼 따뜻한 공기는 인접한 주위이고, 그것을 제외한 나머지 실내의 공기는 환경이다. 인접한 공기의 온도는 감자의 경계 온도에서 환경온도인 25°C까지 변한다.</p>
--	---

4. 운동에너지와 위치에너지의 엑서지(잠재일) [Rotem] 기술면접

- 운동에너지는 역학적 에너지의 한 형태이며, 모두 일로 변환할 수 있다. 그러므로 어떤 계가 가지고 있는 운동에너지의 잠재일 또는 엑서지는 주위의 온도나 압력과 관계없이 운동에너지 그 자체이다. 위치에너지 역시 역학적 에너지의 한 형태이고, 그것은 모두 일로 변환할 수 있다. 그러므로 어떤 계의 위치에너지에 대한 엑서지는 주위의 온도나 압력에 관계없이 위치에너지 그 자체이다.

1) 운동에너지의 엑서지

$$x_{ke} = ke = \frac{V^2}{2} \quad (kJ/kg)$$

여기서 V 는 주위에 대한 계의 속도이다.

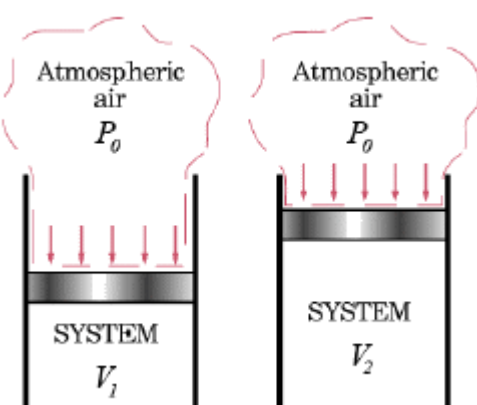
2) 위치에너지의 엑서지

$$x_{pe} = pe = gz \quad (kJ/kg)$$

여기서 g 는 지구 중력 가속도이고 z 는 주위의 기준에 대한 계의 높이이다.

5. 실제일, 가역일 그리고 유용일의 차이

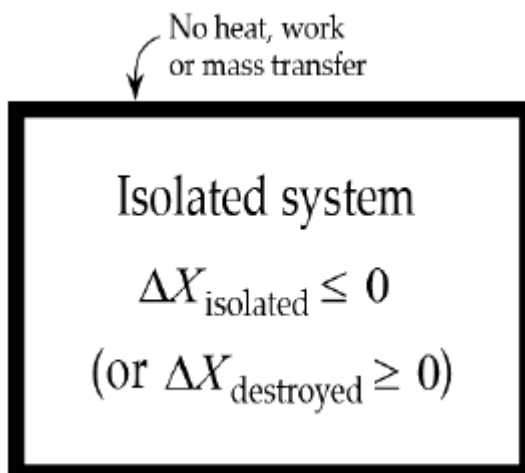
- 열역학에서 필요한 일이 얼마나 유용한 것인지 판단하는 것은 중요하다.

	<p>왼쪽그림과 같은 피스톤에서 피스톤은 팽창하면서 일을 하게된다. 이 때 피스톤이 하는 일은 우리가 필요한 일 외에도 주 위의 대기압을 밀어내기 위한 일이 필요하다. 여기서 주위의 대기압을 밀어내기 위한 일을 주위일이라고 하며 우리가 필요 한 일을 유용일이라고 한다. 주위일과 유용일을 합한 것을 실제일이라고 부르며 만약 실제일이 가역과정을 통해서 얻은 일 이라면 실제일은 가역일이 되는 것이다. 따라서 실 생활에서 비가역성 때문에 실제일에서 가역일로 가역일에서 유용일로 질적인 면에서 일은 떨어진다.</p>
---	---

6. 엑서지 감소의 원리와 엑서지 파괴

1) 엑서지 감소의 원리

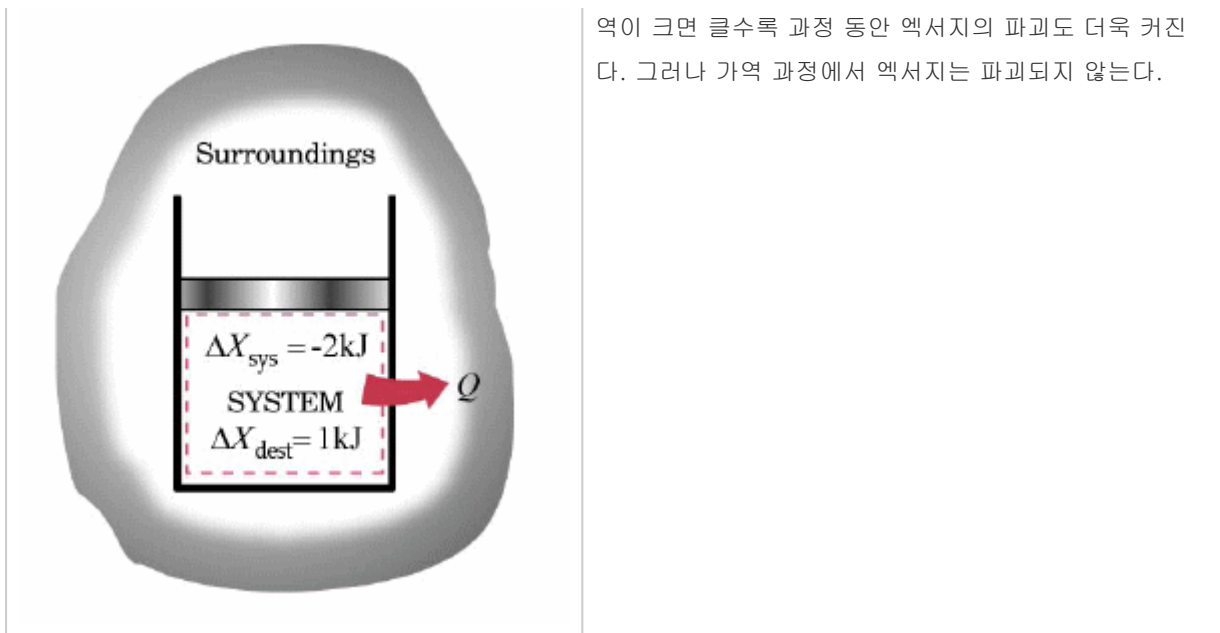
- 앞에서 엔트로피 증가의 원리를 확립하였고, 엔트로피는 생성될 수 있으나 파괴될 수 없다는 것을 보았다. 엑서지 감소의 원리는 엔트로피 증가의 원리와 짝을 이루며 반대 개념으로 생각하면 쉽다.

	<p>즉, 고립계의 엑서지는 항상 감소하고, 가역 과정의 경우 일정하게 유지된다. 달리 말하면, 엑서지는 결코 증가하지 않고, 실제 과정 동안 파괴된다. 이것이 엑서지 감소의 원리로 알려져 있다. 고립계의 엑서지의 감소는 파괴된 엑서지와 같다.</p>
---	--

2) 엑서지 파괴

- 마찰, 혼합, 화학반응, 열전달, 자유팽창과 같은 비가역성들은 항상 엔트로피를 생성하고, 엔트로피를 생성하는 것은 항상 엑서지를 파괴시킨다.

	<p>실제 과정에서 파괴된 엑서지는 양의 값이고, 가역 과정에서는 영이다. 파괴된 엑서지는 잃어버린 잠재일을 나타내고, 비가역성 또는 손실 일이라 부른다. 어떠한 실제 과정도 사실상 가역이 아니고, 과정 동안 어느 정도의 엑서지는 파괴된다. 따라서 고립계로 생각할 수 있는 우주도 그 엑서지가 연속적으로 감소하고 있다. 과정의 비가</p>
--	---



02. 여러 가지 기체동력사이클

1. 이상 사이클(ideal cycle) [한라공조] 기술면접

- 실제 사이클을 마찰과 같은 비가역성이 존재한다. 그러나 모든 내적 비가역성과 복잡성을 제거하면, 실제 사이클과 매우 유사하지만 모두 내적 가역 과정으로 구성되는 사이클을 얻게 된다. 이러한 사이클을 이상 사이클이라 부른다. 이상 사이클을 사용하는 이유는 실제 사이클보다 해석하기 쉬울 뿐만 아니라 실제 사이클의 열효율과 비교할 수 있기 때문이다. 이상 사이클은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 1) 사이클은 어떠한 마찰도 없다. 그러므로 작동유체가 관 또는 열 교환기와 같은 장치를 통과할 때 마찰로 인한 어떠한 압력 강하도 없다.
- 2) 모든 압축과 팽창과정은 준평형 과정으로 진행된다.
- 3) 시스템의 여러 구성품들을 연결하는 관은 잘 단열되어 있어서 열전달을 무시할 수 있다.

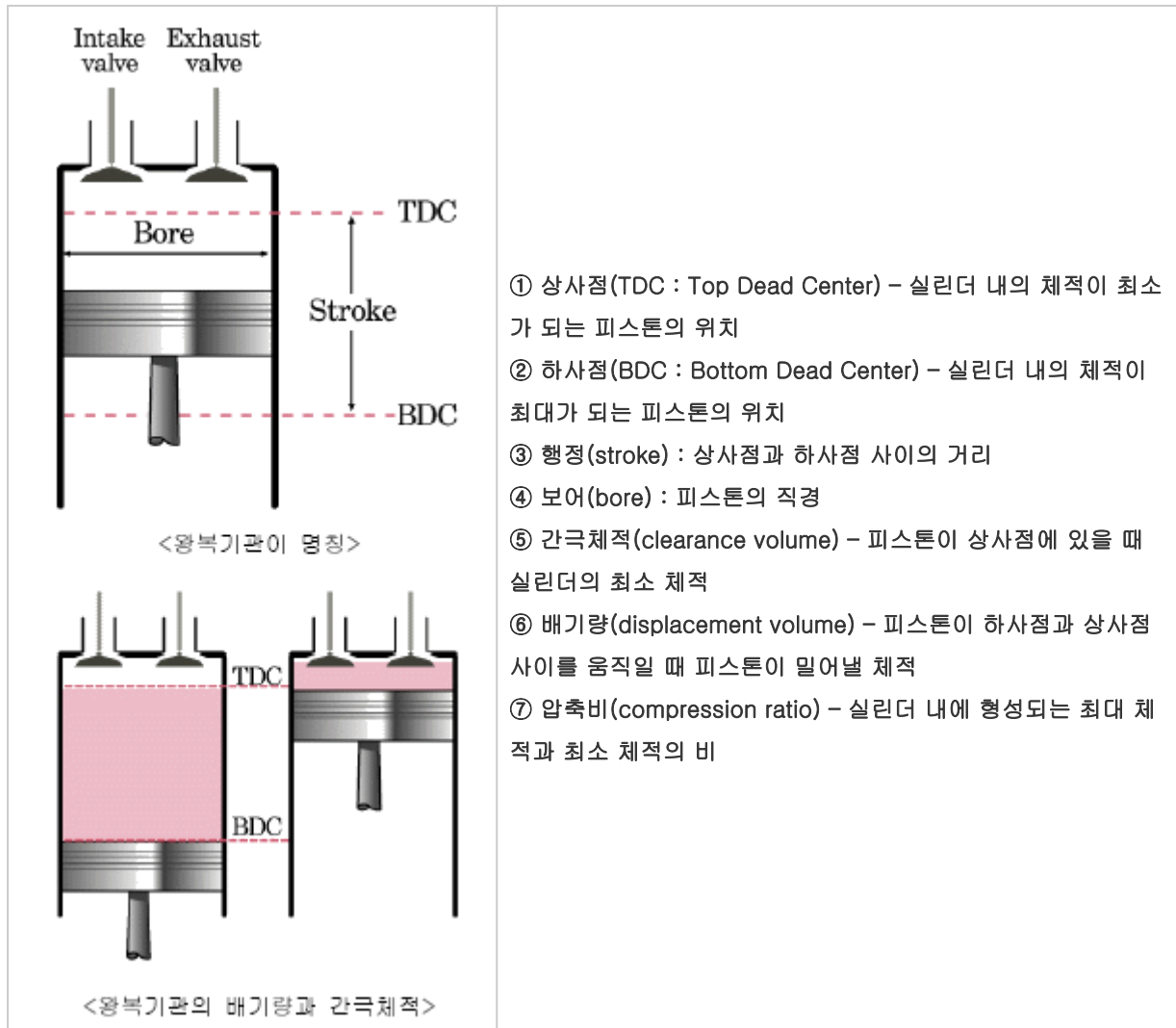
2. 공기표준 가정

- 기체 동력사이클에서 작동유체는 전 사이클에 걸쳐 기체 상태를 유지한다. 예를 들어 불꽃 점화 자동차기관, 디젤 기관 그리고 가스터빈은 기체 사이클로 작동하는 장치들의 잘 알려진 예이다. 이러한 실제기체 동력사이클을 다룰 수 있는 수준으로 해석을 용이하게 하기 위하여, 보통 공기표준 가정으로 알려진 다음과 같은 가정을 사용한다.

- 1) 작동유체는 공기이고, 밀폐회로를 연속적으로 순환하며 항상 이상기체로 거동한다.
- 2) 사이클을 구성하는 모든 과정은 내적 가역이다.
- 3) 연소 과정은 외부 열원에 의한 가열과정으로 대체된다.
- 4) 배기과정은 작동유체가 초기 상태로 복원되는 방열과정으로 대체된다.

3. 왕복기관의 개요

- 왕복기관의 기본적인 장치라고 할 수 있는 피스톤 실린더 장치에 해서 간단히 용어와 과정을 알아보자.

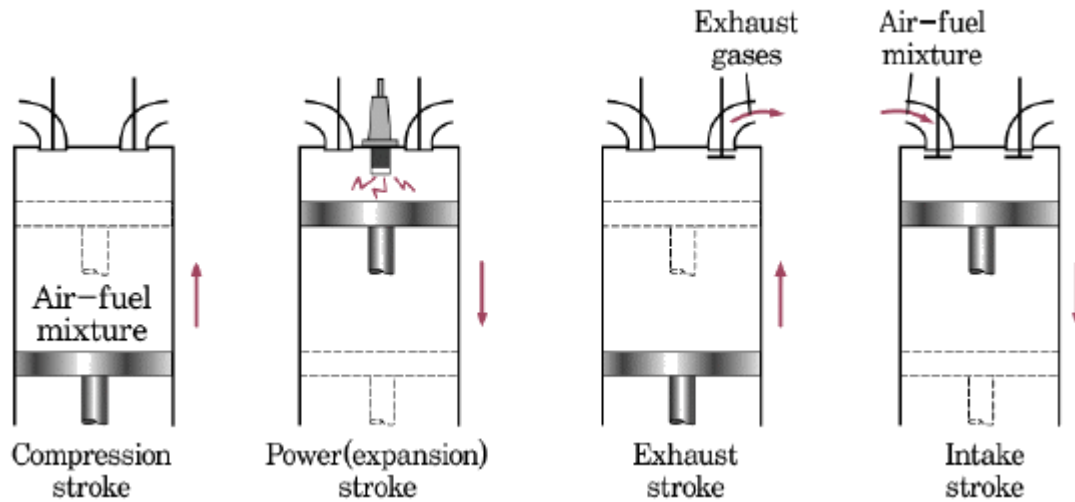


4. 오토사이클 <현대기아 자동차 2005.11.16 기술면접>

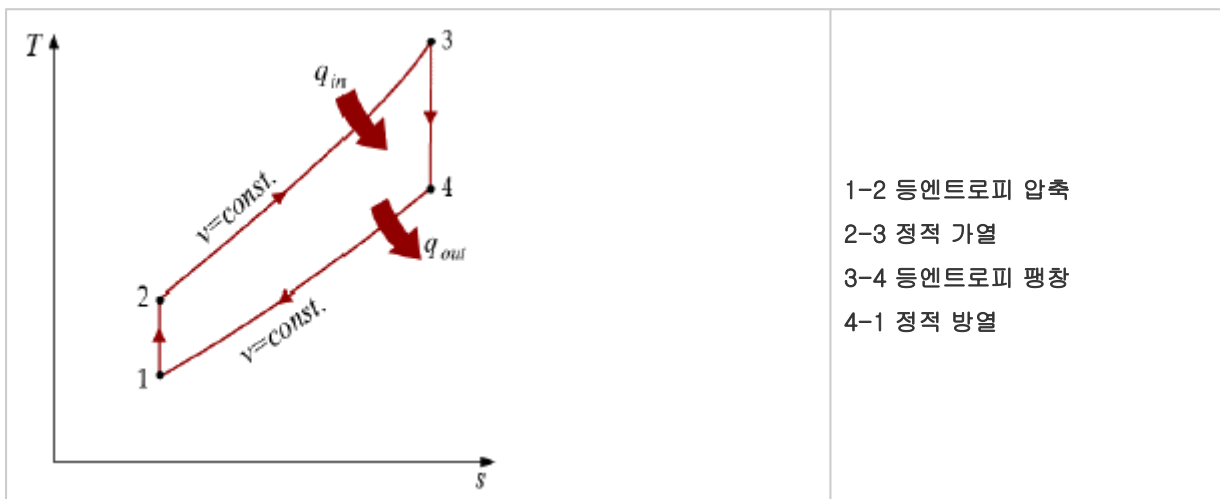
- 오토사이클은 불꽃점화 왕복기관의 이상 사이클이다. 대부분의 불꽃점화 기관에서 피스톤은 실린더 내에서 4번의 행정을 실행하고, 열역학적 사이클마다 크랭크축은 2회전을 하게 된다. 이러한 기관을 4행정 내연기관이라 부른다.

1) 4행정 내연기관

- 4행정 내연기관에 대한 각 행정의 개략도가 다음 그림에 나타나 있다.



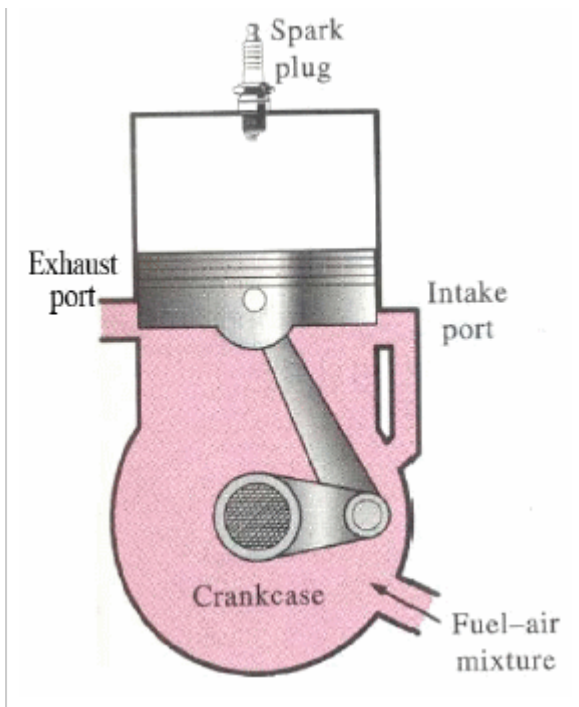
- ① 초기에 흡기와 배기 밸브는 모두 닫혀 있고 피스톤은 하사점에 있다. 압축 행정동안 공기-연료 혼합기를 압축하면서 피스톤은 위로 이동한다.
- ② 피스톤이 상사점에 도착하기 직전에 점화플러그에 의해 혼합기가 점화되고, 기체의압력과 온도는 증가하게 된다.
- ③ 팽창과정 동안 고압의 기체는 피스톤을 아래로 밀면서 크랭크축을 회전시키고, 유용한 출력일을 발생시킨다. 이 행정의 최종 단계에서 피스톤은 하사점에 있고(첫번째 기계적 사이크의 완료), 실린더는 연소 생성물로 채워지게 된다.
- ④ 이때 피스톤이 다시 위로 이동하면서 배기가스를 배기 밸브를 통해 배출하고(배기행정), 피스톤이 두 번째로 아래로 이동하면서 새로운 공기-연료 혼합물을 흡기 밸브를 통해 유입된다(흡기행정).
- ⑤ 오토사이클은 다음과 같이 네 개의 내적 가역 과정으로 구성되어 있다. 또한 $T-s$ 선도는 다음과 같다.



2) 2행정 내연기관

- 2행정 기관은 4행정의 기능이 단지 2행정 즉, 동력행정과 압축행정으로 실행된다.

그림처럼 2행정 기관에서 크랭크실을 밀폐되어 있고, 피스톤의 운동은 크랭크실 내의 공기-연료 혼합물을 약간 가압하는데 이 용된다. 또한 흡기밸브와 배기밸브는 실린더 벽면의 하부에 있는 두 개의 구멍으로 대체된다. 동력 행정의 후반부에서 내려가는 피스톤은 먼저 배기구를 열



고 배기가스를 부분적으로 내보낸다. 그 다음 흡기구가 열리면서 새로운 공기-연료 혼합물이 유입되면서 잔류하고 있는 대부분의 배기가스를 실린더 밖으로 밀어낸다. 그 다음, 압축행정 동안 피스톤이 상승함에 따라 이 혼합물은 압축되고, 그 후에 점화플러그에 의해 점화되게 된다.

3) 4행정과 2행정 내연기관의 비교

- 일반적으로 2행정기관은 4행정 기관보다 효율이 낮다. 그 이유는 배기가스의 불완전한 배출과 새로 유입된 공기-연료 혼합물의 일부가 배기가스와 함께 배출되기 때문이다. 그러나 2행정기관은 상대적으로 간단하고 저렴하며, 무게당 또는 체적당 매우 높은 동력발생비를 가지고 있다. 이것은 2행정기관이 매 회전마다 동력을 발생시키기 때문이다

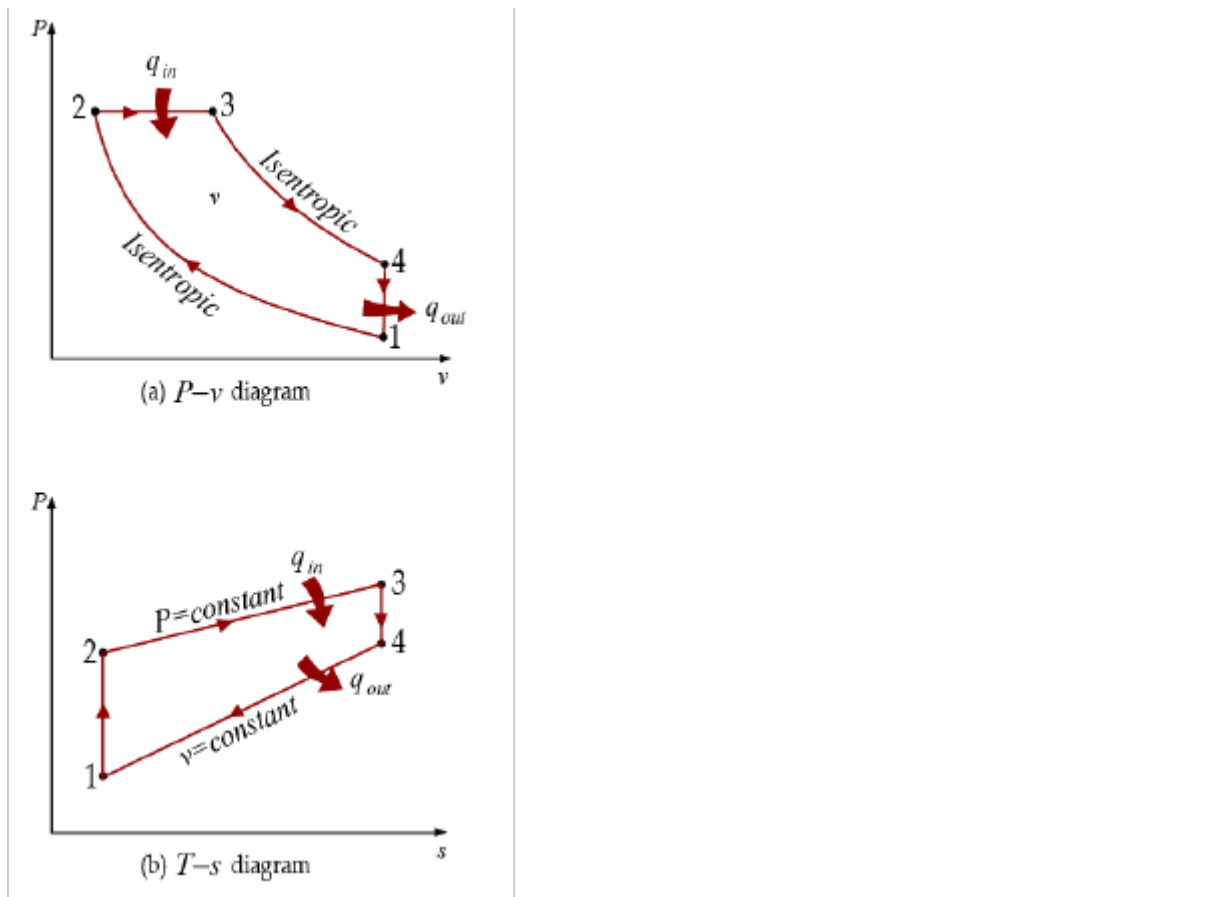
5. 디젤사이클 [현대기아차] 기술연접

- 디젤사이클은 압축착화 왕복기관에 대한 이상 사이클이다. 불꽃점화기관에서 공기-연료 혼합물은 연료의 자연 발화 온도 이하의 온도까지 압축되고, 연소 과정은 점화플러그의 점화에 의해 시작된다. 그러나 디젤기관에서 공기는 연료의 자연발화 온도 이상까지 압축되고, 연소는 연료가 이 고온의 공기 속으로 분사되어 접촉함으로써 시작된다.

그러므로 휘발유기관의 점화플러그와 기화기는 디젤기관의 연료분사기로 대체된다.

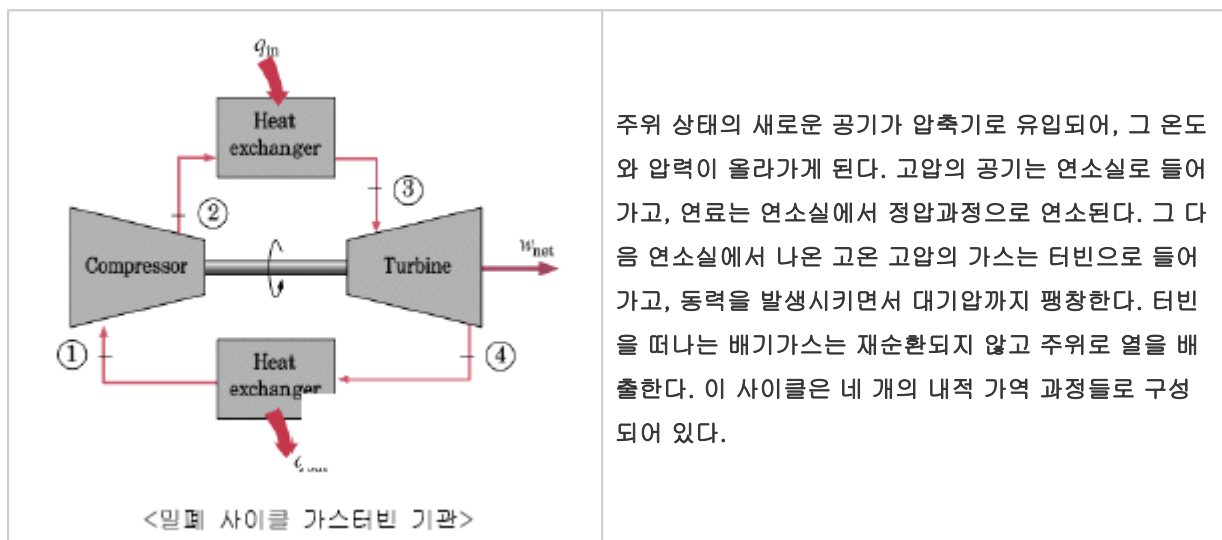
1) 디젤사이클의 $P - v$ 선도과 $T - s$ 선도

디젤기관의 연료분사 과정은 피스톤이 상사점에 접근할 때 시작하고, 동력행정의 초기의 일부 기간 동안 계속된다. 그 연소 과정은 긴 기간에 걸쳐 일어난다. 이러한 긴 기간으로 인해 디젤사이클의 연소 과정을 정압가열 과정에 접근시킬 수 있다. 사실 이것 이 오토사이클과 디젤사이클이 서로 다른 유일한 과정이다. 나머지 세 과정은 동일하다. 즉, 1-2는 등엔트로피 압축, 과정 3-4는 등엔트로피 팽창, 그리고 과정 4-1은 정적 방열이다.



6. 브레이튼 사이클(Brayton cycle) [대우일렉(R&D)] 기술면접

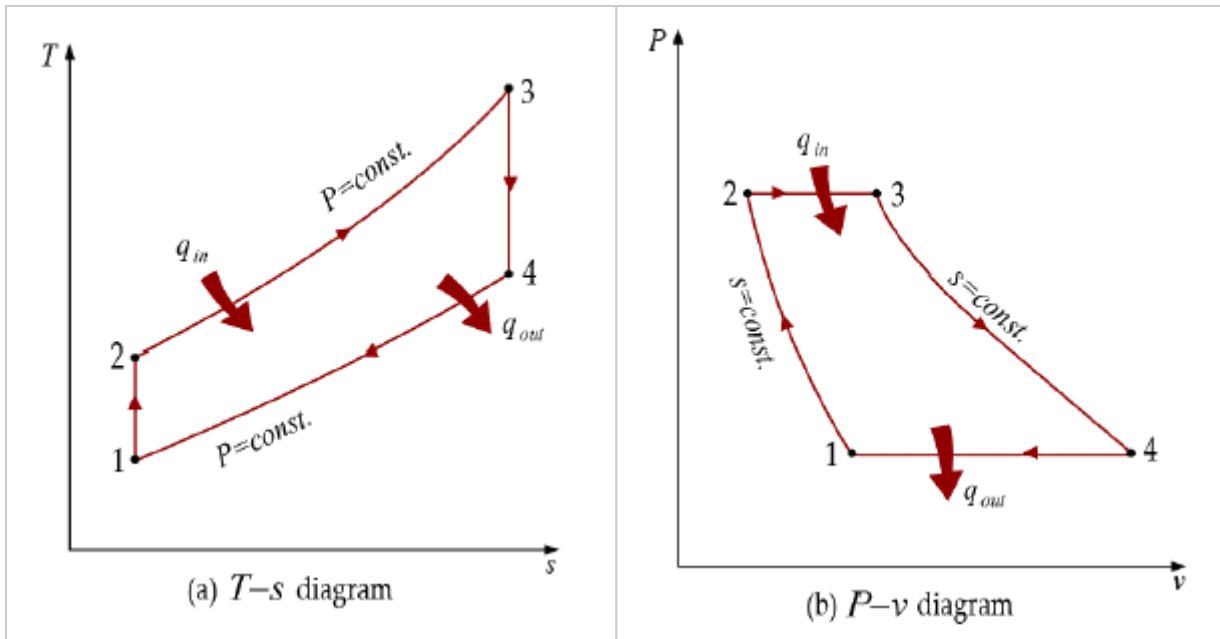
- 브레이튼 사이클은 가스터빈 기관의 이상 사이클로 압축과정과 팽창과정이 모두 회전기계에서 일어나는 가스터빈에서만 사용된다. 가스터빈 사이클은 다음 그림에서 보듯이 공기표준 가정을 이용하여 밀폐 사이클로 모델화 할 수 있다.



주위 상태의 새로운 공기가 압축기로 유입되어, 그 온도와 압력이 올라가게 된다. 고압의 공기는 연소실로 들어가고, 연료는 연소실에서 정압과정으로 연소된다. 그 다음 연소실에서 나온 고온 고압의 가스는 터빈으로 들어가고, 동력을 발생시키면서 대기압까지 팽창한다. 터빈을 떠나는 배기가스는 재순환되지 않고 주위로 열을 배출한다. 이 사이클은 네 개의 내적 가역 과정들로 구성되어 있다.

- 1-2 등엔트로피 압축(압축기)
- 2-3 $P = \text{일정}$, 가열
- 3-4 등엔트로피 팽창(터빈)
- 4-1 $P = \text{일정}$, 방열

브레이튼 사이클의 $T-s$ 선도와 $P-v$ 선도는 다음과 같다.



브레이튼 사이클의 모든 과정은 정상유동 장치에서 실행되고, 따라서 그 과정들은 정상 유동 과정으로 해석해야 한다. 선도들은 네 개의 내적 가역 과정을 그래프 형태로 나타낸 것이다. 따라서 그래프를 보면서 해석할 수 있는 능력을 키워야 되겠다. 우선 $T-s$ 선도를 살펴보자.

1-2 과정은 압축기로 공기를 압축하는 과정으로 압력과 온도가 높아진다. 이 과정은 압축기의 일을 받는 과정이라고도 할 수 있다. 가역 과정이므로 등엔트로피 과정이다. 2-3 과정은 열교환기에서 열을 흡수하는 과정이므로 일정한 압력하에서 온도와 엔트로피가 증가한다. 3-4 과정은 높은 일잠재력을 가지고 있는 3의 상태를 터빈을 돌리면서 일을 발생하는 과정이다. 일을 발생하므로 등엔트로피 온도 하강 과정이다. 마지막으로 4-1 과정은 열 교환기에서 열 저장조로 폐열을 방출하는 과정이다. 일정한 압력하에서 온도와 엔트로피가 감소하면서 다시 1의 상태로 돌아가게 되고 하나의 사이클을 구성하게 된다. $P-v$ 선도는 $T-s$ 선도를 해석하는 것과 같이 해석하면 쉽게 이해 할 수 있을 것이다.

7. 현명한 운전 [현대기아차] 기술연접

- 이 파트는 사이클과는 관계없지만 면접에서 몇 번 출제된 적이 있는 부분으로 기억해 두면 도움이 될 것이다. 주로 자동차업계 면접에서 출제 되었다.

1) 최소 옥탄가의 연료를 사용하라

- 대부분의 오늘날의 차들은 보통 무연 연료로 작동하도록 설계되어 있다. 만약 소유자의 안내 책자가 비싼연료를 요구하지 않는다면, 보통 휘발유가 아닌 어떤 것을 사용하는 것은 돈의 낭비일 뿐이다. 옥탄가는 연료의 동력 또는 품질의 척도가 아니며, 단순히 조기점화로 초래되는 엔진노크에 대한 연료의 저항의 척도일 뿐이다.

2) 연료통을 가득 채우지 말라

- 연료통을 끝까지 채우는 것은 주유 중 연료의 역류를 초래할 수 있다. 또한 더운날, 지나치게 가득한 연료통은 열 팽창으로 인해 연료가 넘쳐흐를 수 있다. 또한 연료의 증발을 막기 위해서 연료통 뚜껑을 단단히 막는 지해도 필요하다.

3) 적절히 차를 출발시키고 긴 시간의 공회전을 피하라.

- 오늘날의 차들은 출발하기 전에 우선 가속 페달을 반복적으로 밟아 엔진을 웅웅거리게 할 필요가 없다. 공회전은 연료를 낭비하고 환경을 오염시킨다. 그리고 예열될 때까지 차가운 엔진으로 달리는 것은 엔진내부의 윤활작용이 잘 되지 않는 상태이므로 엔진에 무리를 준다.

4) 타이어를 추천한 최고 압력까지 팽창시키고 유지하라

- 연비를 향상시키기 위해 해야 할 가장 쉽고 가장 중요한 것은 타이어를 적절한 팽창상태로 유지하는 것이다. 압력이 부족한 타이어는 주행시 타이어의 과열과 안전을 위태롭게 하고, 타이어의 조기 마모를 초래하고, 차량 핸들 조작에 나쁜 영향을 미치고, 구름 저항을 증가시켜 연비를 나쁘게 한다. 또한 바퀴를 정렬된 상태로 유지하는 것이 중요하다. 정렬상태에서 벗어난 앞바퀴를 가지고 있는 차량의 운전은 핸들조작 문제와 불균일 타이어 마모를 초래하면서 구름저항을 증가시키고 이에 따른 연료소비도 증가시킨다.

5) 급발진과 급정거를 피하라.

- 돌발적이고 공격적인 급발진은 연료를 낭비하고, 타이어를 마모시키고, 안전을 위태롭게 하고, 차량의 부품과 연결부에 심한 충격을 준다. 킥킥 울리는 급정거는 브레이크 패드의 조기 마모를 초래하고, 운전자로 하여금 차량의 제어를 못하게 할 수도 있다.

6) 경제속도로 운전하라.

- 고속도로 운전에서 엔진에서 발생된 동력의 50% 이상은 공기역학적 항력을 극복하기 위해 사용된다. 90 킬로 이상의 속도에서는 항력에 의한 연비는 높아진다. 따라서 70~80 킬로 속도인 경제속도로 운전하는 것이 돈을 절약하는 방법이 되겠다.

03. 증기 동력사이클

1. 랭킨 사이클(Rankine cycle) [삼성전자(DA)] PT면접

- 랭킨사이클은 증기 동력사이클에 대한 이상 사이클이면서 어떠한 내부적 비가역성이 존재하지 않으며 다음의 네가지 과정들로 구성되어 있다.

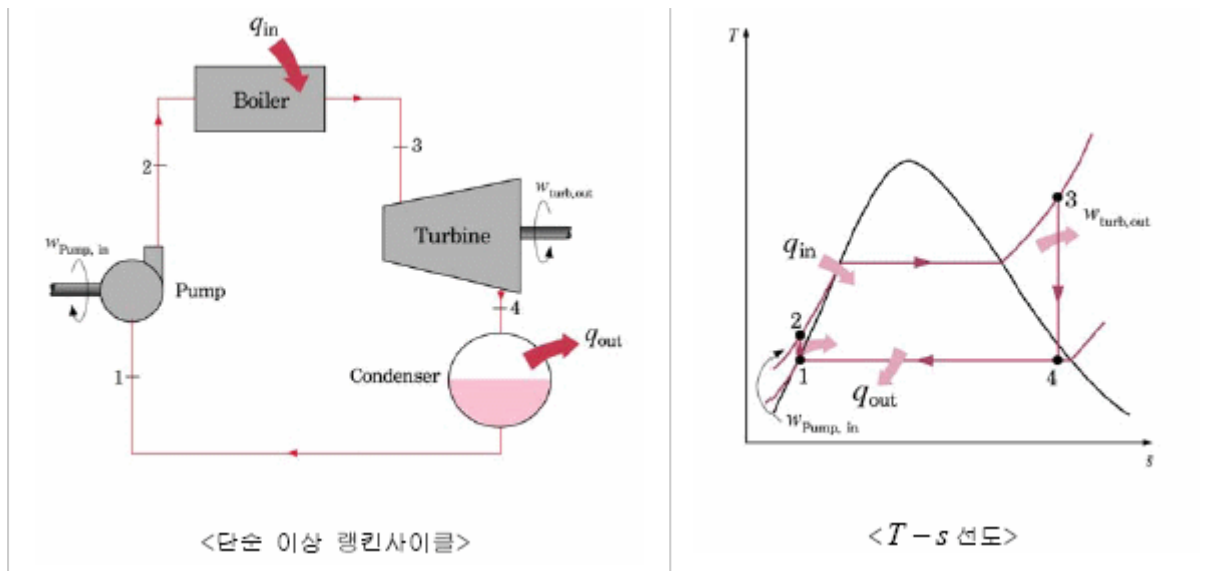
1-2 펌프에서의 등엔트로피 압축

2-3 보일러에서의 정압 가열

3-4 터빈에서의 등엔트로피 팽창

4-1 응축기에서의 정압 방열

--	--

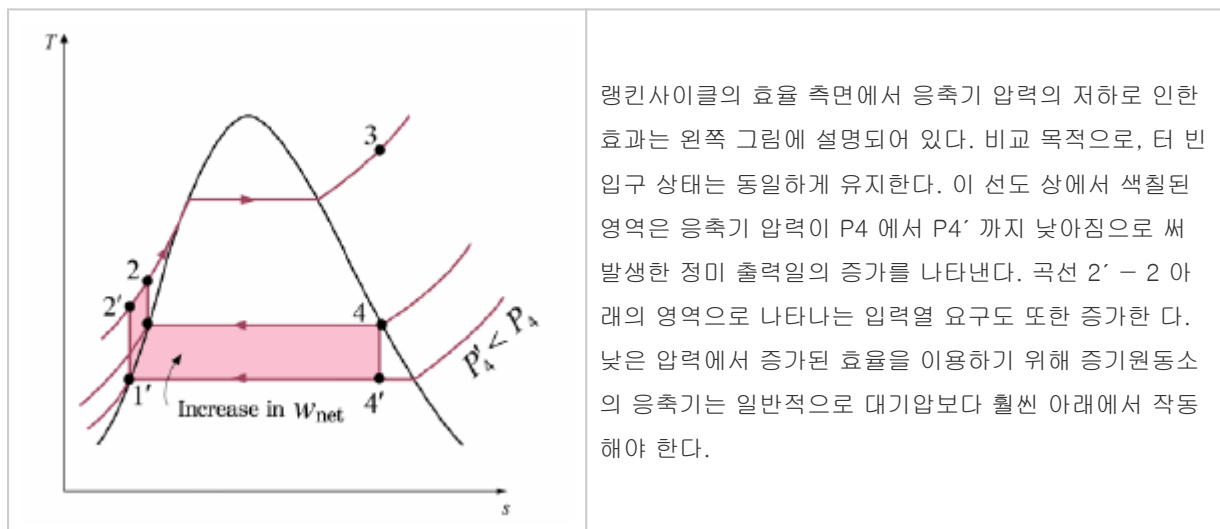


물은 상태 1에서 포화된 액체 상태로 펌프에 들어가고 보일러의 작동 압력까지 등엔트로피로 압축된다. 이러한 등엔트로피 압축과정 동안 물의 비체적이 약간 감소하기 때문에 물의 온도는 다소 증가한다. $T-s$ 선도상에서의 상태 1과 2 사이의 수직 거리는 명확하게 나타내기 위해 상당히 과장되어 있다. 물은 상태 2에서 압축된 액체 상태로 보일러에 들어가고 상태 3에서 과열증기로 나간다. 보일러는 기본적으로 연소가스, 핵반응로 또는 다른 공급원 등으로부터 발생된 열이 정압과정에서 물에 전달되는 대형 열교환기이다. 증기를 과열시키는 과열기와 함께 보일러를 종종 증기 발생기라고 한다. 상태 3에서 과열된 증기는 터빈에 들어가 등엔트로피로 팽창하면서 일을 발생시켜 발전기에 연결된 축을 회전시킨다. 이 과정 동안 수증기의 압력과 온도는 상태 4의 값으로 내려간 후, 응축기에 들어가게 된다. 이 상태에서 증기는 일반적으로 높은 건도를 갖는 포화 기체-액체 혼합물이다. 수증기는 일정한 압력으로 일정한 대형 열교환기인 응축기에서 응축되는데, 여기서 수증기가 폐열을 열저장조로 방출한다. 이어 수증기는 포화된 액체 상태로 응축기를 떠나 펌프로 들어감으로써 한 사이클이 완성된다.

2. 랭킨 사이클의 열효율 증대 방법

- 동력사이클의 열효율을 증가시키기 위한 수정안들은 다양하지만 바탕에 깔려 있는 기본적인 개념은 동일하다. 보일러에서 열이 작동유체로 전달되는 평균 온도의 증가, 또는 응축기에서 열이 작동유체로 방출되는 평균온도의 감소, 즉 평균 유체 온도는 가열과정 동안에는 가능한 한 높아야 하고 방열과정 동안에는 가능한 한 낮추는 것이다.

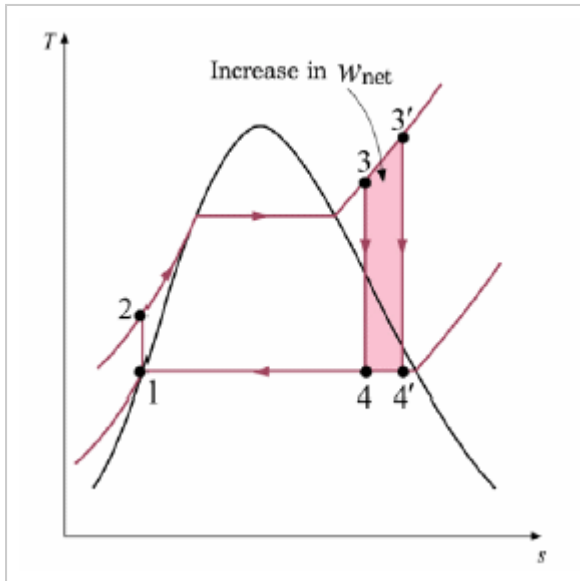
1) 응축기 압력 낮추기



랭킨사이클의 효율 측면에서 응축기 압력의 저하로 인한 효과는 왼쪽 그림에 설명되어 있다. 비교 목적으로, 터빈 입구 상태는 동일하게 유지한다. 이 선도 상에서 색칠된 영역은 응축기 압력이 P_4 에서 P'_4 까지 낮아짐으로써 발생한 정미 출력일의 증가를 나타낸다. 곡선 2'-2 아래의 영역으로 나타나는 입력열 요구도 또한 증가한다. 낮은 압력에서 증가된 효율을 이용하기 위해 증기원동소의 응축기는 일반적으로 대기압보다 훨씬 아래에서 작동해야 한다.

2) 증기를 고온으로 과열하기

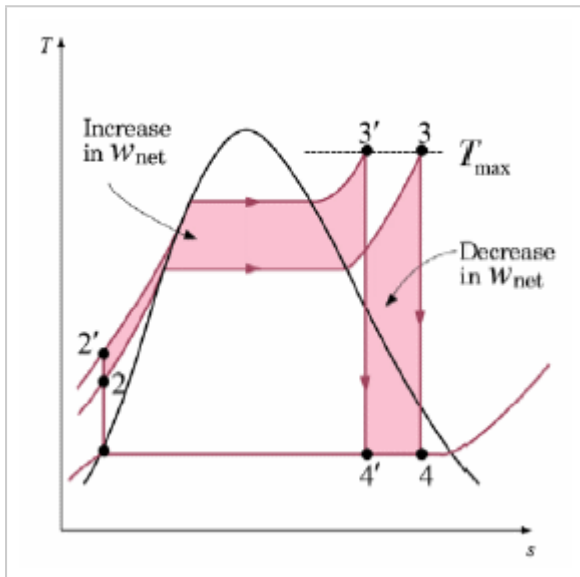
- 열이 증기로 가해지는 평균 온도의 상승을 위해서는 증기를 고온으로 과열시켜 과열증기를 이용함으로써 보일러 압력을 증가시키지 않고도 증가될 수 있다.



증기 동력사이클의 성능에 대해 과열의 효과는 왼쪽 그림에 있는 선도에 나타나 있다. 이 선도 상에서 선택된 영역은 정미 일의 증가를 나타낸다. 과정 곡선 3 - 3' 아래에 있는 전체 영역은 입력열의 증가를 나타낸다. 따라서 수증기를 보다 높은 온도로 과열시킴으로써 정미 출력일과 입력열 모두 증가한다. 그러나 열이 가해지는 평균 온도가 증가하기 때문에 전체적인 효과는 열효율의 증가로 나타난다. 증기를 보다 높은 온도로 과열하는 것은 터빈 출구에서의 증기의 수분 함유량을 감소시키는 또 다른 효과를 가져온다.

3) 보일러 압력을 증가시키기

- 보일러의 작동 압력을 증가시키는 방법은 자동적으로 비등이 일어나는 온도를 올리게 된다. 따라서 이것은 열이 수증기로 가해지는 평균 온도를 올리는 것이 되고, 따라서 이 사이클의 열효율은 증가하게 된다.

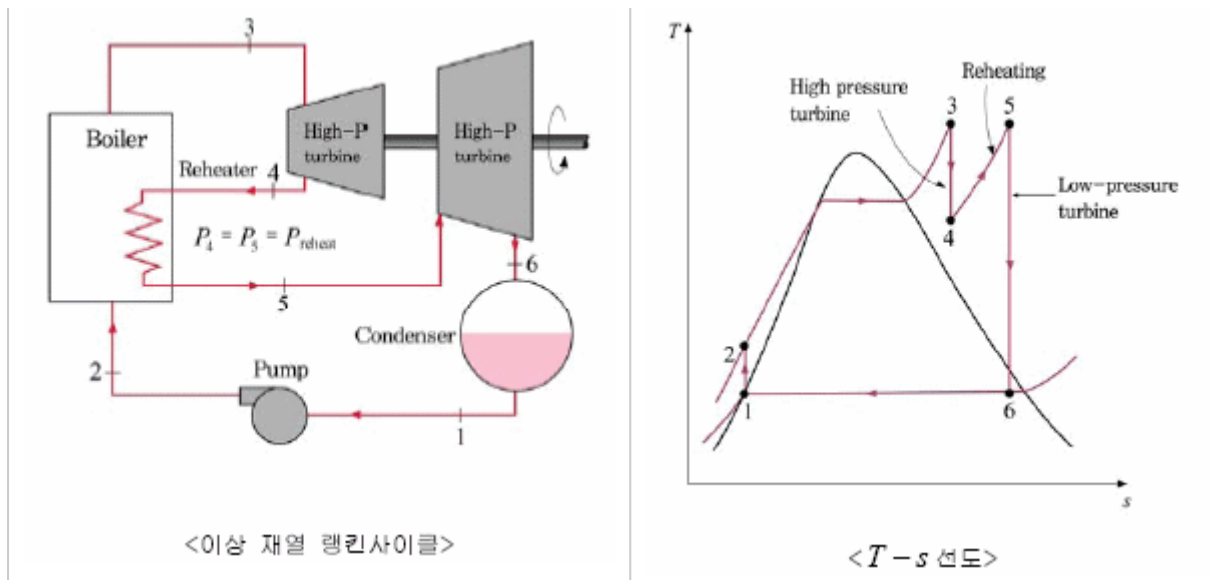


증기 동력사이클의 성능에 있어 보일러 압력이 증가함으로써 생기는 효과는 왼쪽 그림에 설명되어 있다. 고정된 터빈 입구 온도에 대해 사이클은 왼쪽으로 옮겨지고 터빈 출구에서 증기의 수분 함유량이 증가함을 유의해야 한다.

3. 이상적 재열 랭킨사이클

- 앞에서 보일러 압력을 증가시킴으로써 랭킨사이클의 열효율은 증가하지만 이것은 또한 증기의 수분의 함유량을 허용수준 이하까지 증가시킴을 보았다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 만든 것이 재열 랭킨사이클이다.





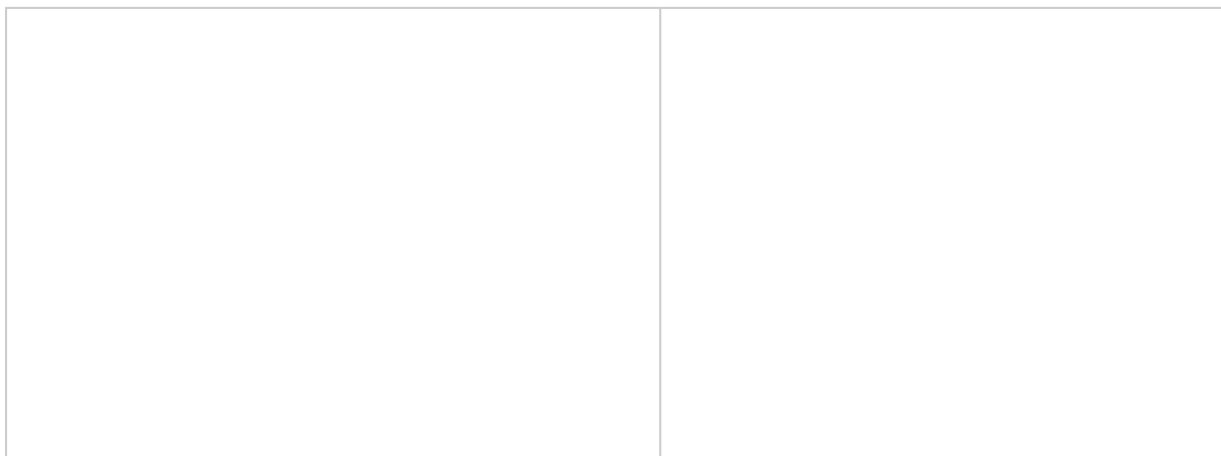
터빈에 있는 증기를 두 단으로 팽창시킨다. 그리고 두 단 사이에서 재열한다. 바꿔 말하면 단순 이상 랭킨사이클에 재열 과정을 추가한다. 재열은 터빈에서의 과잉 수분 문제에 대한 실제적인 해결책이 된다. 그래서 이것은 오늘날의 증기원동소에 널리 사용되고 있다. 이상적 재열 랭킨사이클의 $T-s$ 선도과 이 사이클 상에서 작동하는 원동소의 개략도가 위 선도에 나타나 있다. 이상 재열 랭킨사이클은 팽창과정이 두 단계로 일어난다는 점에서 단순 이상 랭킨사이클과는 다르다. 첫 번째 단(고압 터빈)에서 증기는 등엔트로피로 중간 압력까지 팽창된다. 이어 압력을 일정하게 유지한 채로 증기는 보일러로 되보내어져서 다시 첫 번째 터빈 단계의 입구 온도까지 재열된다. 이어서 증기는 두 번째 단계(저압 터빈)에서 응축기 압력까지 등 엔트로피적으로 팽창된다.

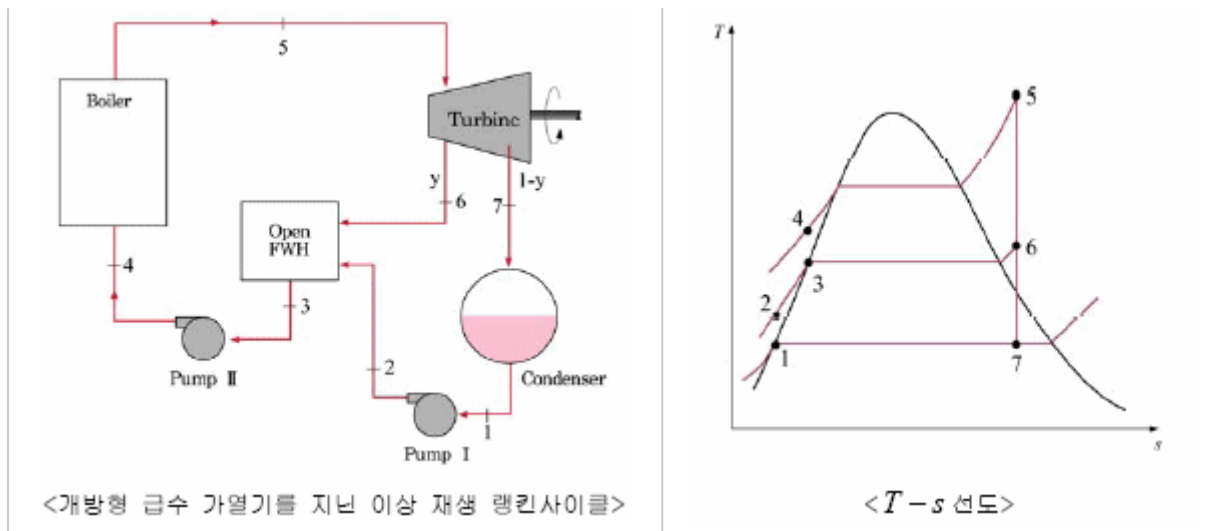
4. 이상적 재생 랭킨사이클

- 랭킨사이클의 $T-s$ 선도를 주의 깊게 살펴보면 열은 상대적으로 낮은 온도에서 작동유체에 가해진다. 이것은 작동유체의 평균 가열온도를 낮추고 따라서 사이클의 효율을 낮추게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 펌프를 떠나는 급수가 보일러에 들어가기 전에 이 급수의 온도를 올릴 방법을 찾게 된다. 그렇게 해서 찾은 방법이 재생 랭킨사이클인데 이것은 터빈 내에 장착된 열교환기에서 팽창되는 증기로부터 급수 측으로 열을 전달시키는 것이다. 즉, 재생(regeneration)을 사용하는 것이다. 증기 원동소에서 실제적인 재생과정은 터빈의 여러 지점에서 수증기의 일부를 추출하거나 빼어냄으로써 구현될 수 있다. 터빈에서 훨씬 더 팽창하여 보다 많은 일을 만들어 내는 대신에 추출된 증기는 급수에 열을 가한다. 급수가 재생에 의해 가열되는 장치를 재생기(regenerator)라고 한다.

1) 개방형 급수 가열기

- 하나의 개방형 급수 가열기가 있는 증기원동소의 개략도와 선도가 다음 그림에 있다.

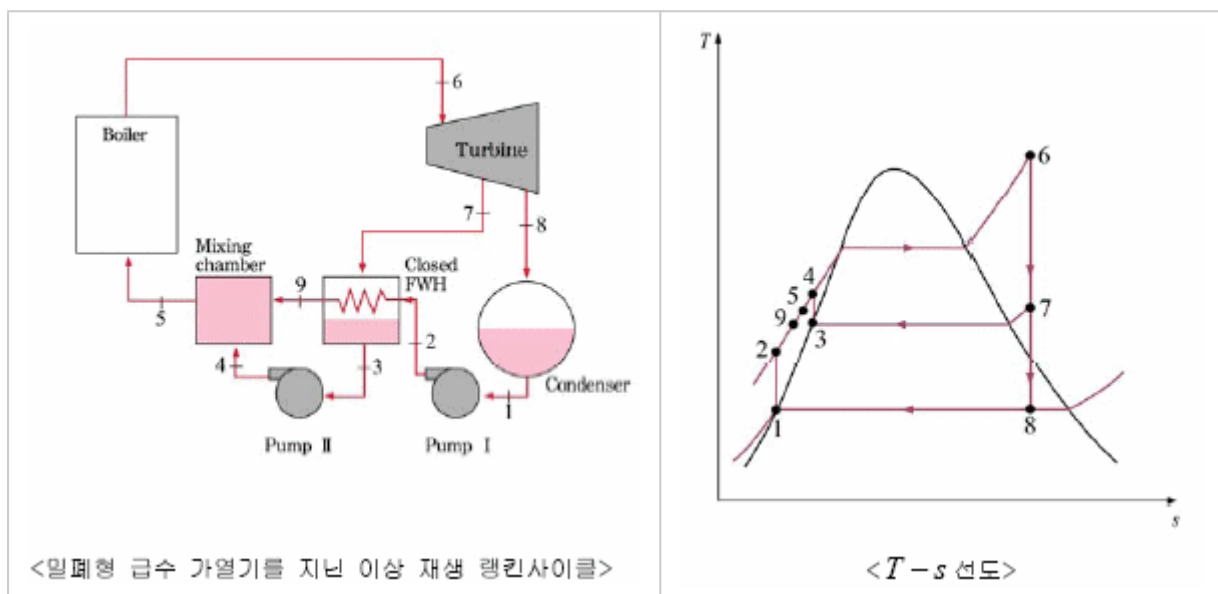




이상적 재생 랭킨사이클에서 증기는 보일러 압력으로 터빈에 들어가서(상태5) 등엔트로피로 중간 압력까지 팽창한다(상태6). 수증기의 일부는 이 상태에서 추출되어 급수 가열기로 보내지고, 나머지 증기는 응축기 압력까지 등엔트로피로 팽창을 계속한다(상태7). 완전히 팽창된 증기는 응축기 압력에서 포화된 액체로 응축기를 떠난다(상태1). 그 다음엔 급수라고 불리는 응축된 물이 등엔트로피적인 펌프로 들어간다. 그리고 이것은 급수 가열기 압력까지 압축이 되어(상태2), 터빈으로부터 추출된 증기와 혼합이 되는 급수 가열기로 보내진다. 이렇게 하여 이 혼합물은 급수 가열기 압력에서 포화된 액체로써 가열기를 떠난다(상태3). 두 번째 펌프는 보일러 압력까지 물의 압력을 올린다(상태4). 이 사이클은 터빈 입구 상태(상태5)까지 보일러에서 물을 가열함으로써 완성된다.

2) 밀폐형 급수 가열기

- 증기 원동소에서 자주 사용되고 있는 또 다른 유형의 급수 가열기는 두 유체 사이에 어떠한 직접적인 혼합도 일어나지 않으면서 추출된 증기로부터 급수로 열이 전달되는 밀폐형 급수 가열기이다. 두 가지의 유체 유동은 섞이지 않기 때문에 서로 다른 압력상태로 작동될 수 있다. 하나의 밀폐형 급수 가열기가 있는 증기원동소의 개략도와 $T-s$ 선도가 아래 그림에 나타나 있다.



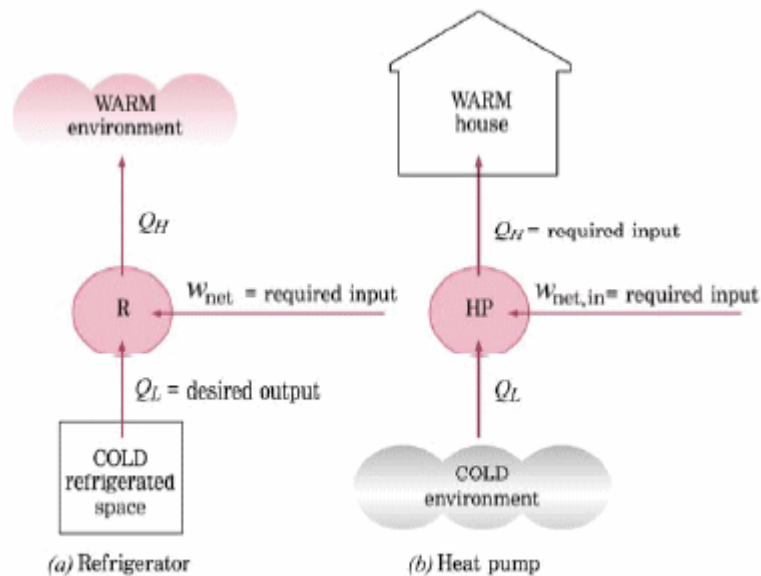
이상적인 밀폐형 급수 가열기에서 급수는 추출된 증기의 출구 온도까지 가열되며, 이 때 추출증기는 이상적으로 추출증기 압력을 유지하면서 포화된 액체로 급수 가열기를 떠난다. 응축된 수증기는 그 후에 급수관으로 보내지거나 또는 다른 가열기나 트랩(trap)이라 불리는 장치를 통해 응축기로 보내진다. 트랩은 액체만을 보다 낮은 압력

영역까 지 교축시키지만 증기는 붙잡는 기능을 한다. 이 교축 과정 동안 수증기의 엔탈피는 일정하게 유지된다. 개방형과 밀폐형 급수 가열기는 다음과 같이 비교될 수 있다. 개방형 급수 가열기는 간단하고 저렴하며 좋은 열전달 특성을 가진다. 이것은 또한 급수를 포함한 상태까지 되게 한다.

04. 냉동 사이클

1. 냉동기와 열펌프

- 냉동기는 사이클형 장치로서 냉동사이클에 사용되는 작동유체를 냉매(refrigerants)라고 한다. 일반적인 냉동기의 개략도는 다음과 같다.

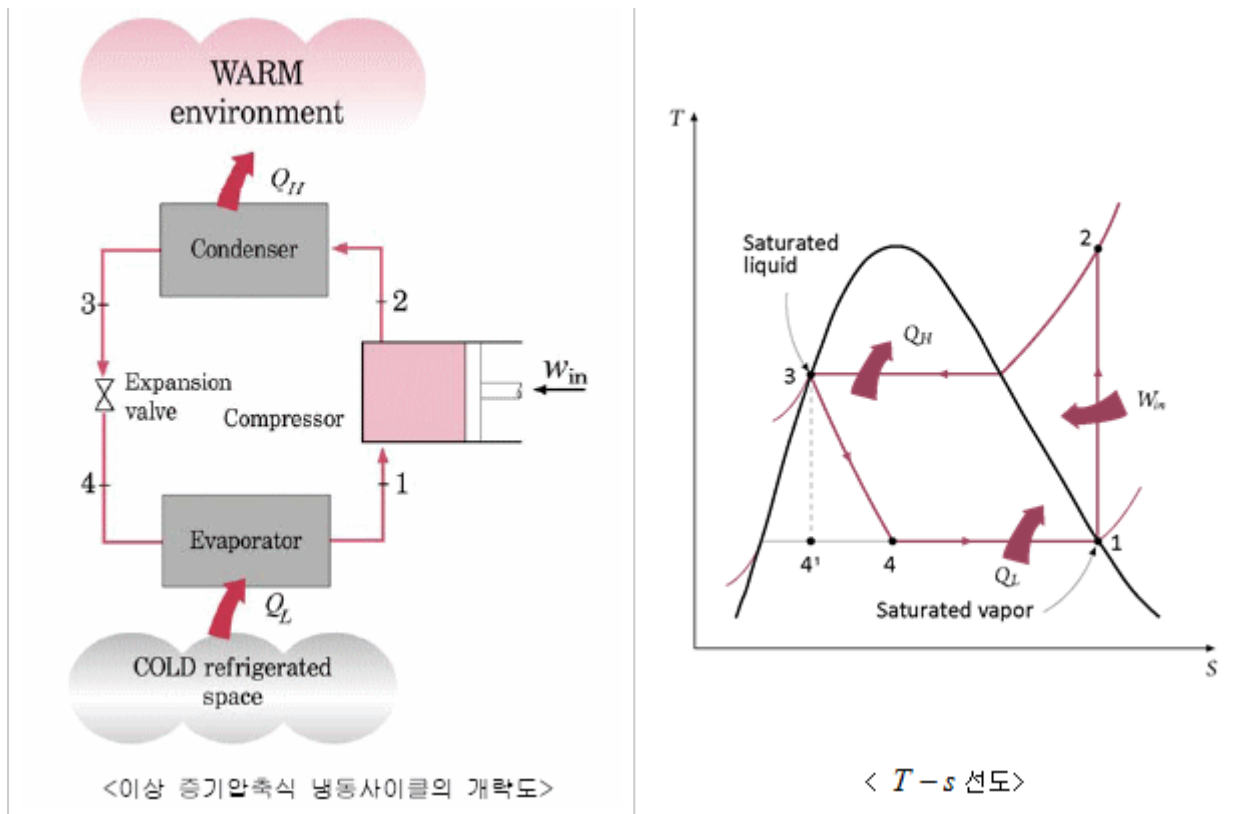


여기서 Q_L 은 온도 T_L 의 냉동된 공간에서 뽑아낸 열량이고, Q_H 는 온도 T_H 의 상대적으로 더운 공간으로 방출된 열량이며, $W_{net, in}$, 은 냉동기 내부로 들어가는 정미 입력일을 뜻한다. 저온에서 고온으로 열을 전달하는 또 하나의 장치가 있는데 바로 열펌프이다. 냉동기와 열펌프는 본질적으로 같은 장치이다. 다른 점은 단지 목적이 서로 다르다는 점이다. 냉동기의 목적은 저온의 냉동실을 유지하기 위하여 그 공간으로부터 열을 뽑아내는 것이다. 이때, 이러한 열을 고온의 매체로 방출하는 것이 단순히 작동에 의한 기능일 뿐이지 목적은 아니다. 반면에, 열펌프의 목적은 가열된 공간을 따뜻한 온도로 유지하는 것이다.

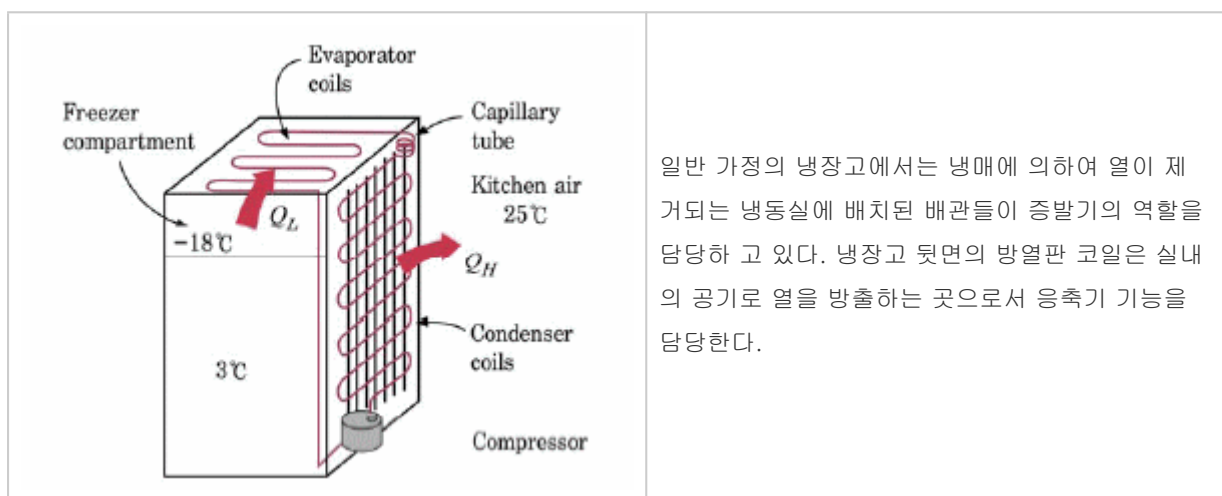
2. 이상적 증기압축식 냉동사이클 [삼성전자(DA)] PT면접

- 증기압축식 냉동사이클은 현재 냉동기, 공기 조화 장치, 열펌프등에 가장 널리 사용되는 냉동 사이클이다. 이는 네 개의 과정으로 구성되어 있다.

- 1-2 압축기에서의 등엔트로피 압축
- 2-3 응축기에서 정압 방열
- 3-4 팽창 장치에서 교축
- 4-1 증발기에서 정압 흡열



이상적인 증기압축식 냉동사이클에서 냉매가 상태 1의 포화증기 상태에서 압축기로 들어가 응축기 압력까지 등엔트로피로 압축된다.(과정 1-2). 등엔트로피 압축과정에서 냉매의 온도가 주변 매체, 즉 대기 온도 이상으로 증가하게 된다. 이어서 냉매는 상태 2에서 과열증기로 응축기에 들어가고, 주변으로의 열방출 결과로 상태 3에서 포화액 상태로 응축기를 떠나게 된다. 이 상태에서의 냉매 온도는 여전히 주변 온도보다 높은 상태이다. 상태 3에서 포화액 상태의 냉매는 팽창밸브나 모세관 장치를 통과하게 함으로써 냉매의 압력을 증발기 압력으로 강화시킨다. 이 과정 동안 냉매의 온도가 냉동시키고자 하는 공간의 온도보다 더 낮은 온도로 떨어진다. 냉매는 상태 4에서 낮은 건도의 포화 혼합물 상태로 증발기에 들어가 냉동실로부터 열을 흡수함으로써 완전히 증발된다. 이어 냉매는 증발기를 포화증기 상태로 떠나서 압축기로 되돌아감으로써 사이클을 완성하게 된다. 다음 그림은 이러한 원리를 이용한 냉장고이다.

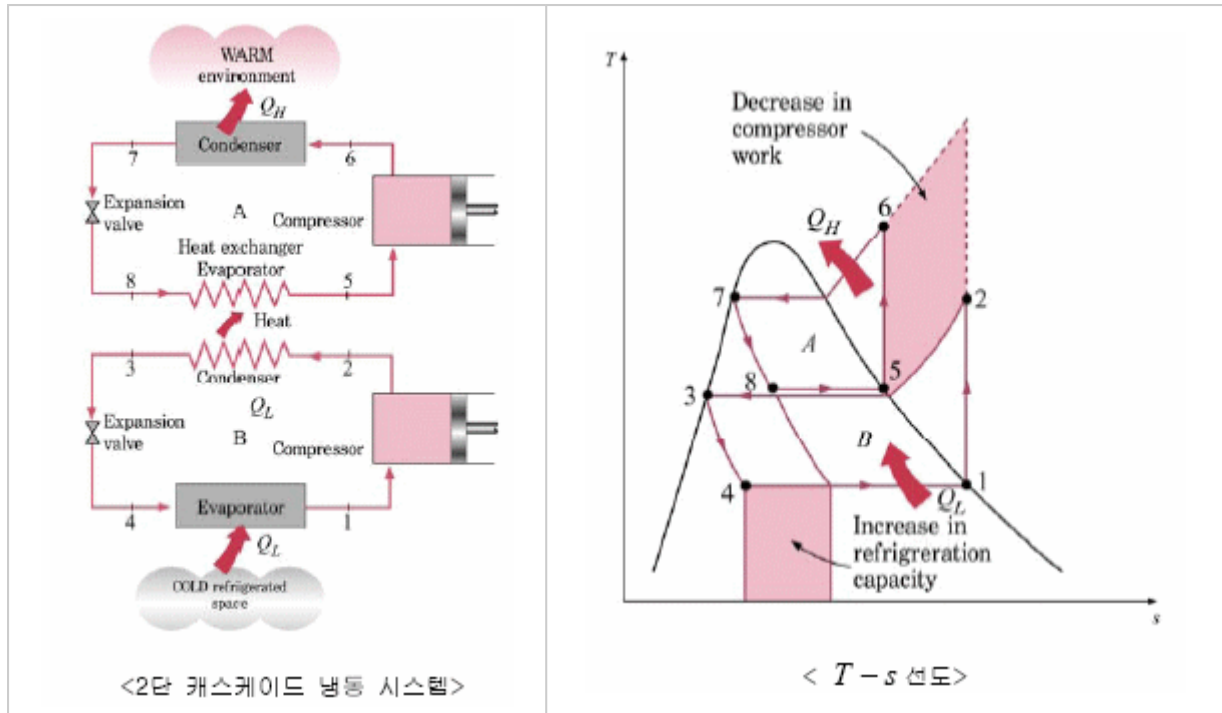


한가지 기억할 점은 $T-s$ 선도에서 과정 곡선 밑의 면적은 내부가역 과정에 대한 열전달을 의미한다. 과정 곡선 4-1 밑의 면적은 증발기에서 냉매가 흡수한 열량을 나타내고, 과정곡선 2-3 밑의 면적은 응축기에서 방출된 열량을 나타낸다.

3. 캐스케이드(Cascade) 냉동시스템 [LG전자(DA)] 기술연접

- 어떤 산업용으로는 상당히 낮은 온도를 요하고 있고, 그러한 응용분야가 관계하는 온도범위가 단일 증기압축식 냉동사이클로서는 너무 커서 실용적이지 못하다. 넓은 온도범위를 갖는다는 것은 또한 냉동사이클의 압력범위 또한 넓은 것을 뜻하게 되어 왕복압축기의 경우에는 저조한 성능을 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하는 하나의 방법이 단계별로 냉동과정을 작동시키는, 즉 연속적으로 작동하는 두 개 이상의 냉동사이클을 조합하는 것이다. 그러한 냉동 사이클을 흔히 캐스케이드 냉동사이클이라 한다.

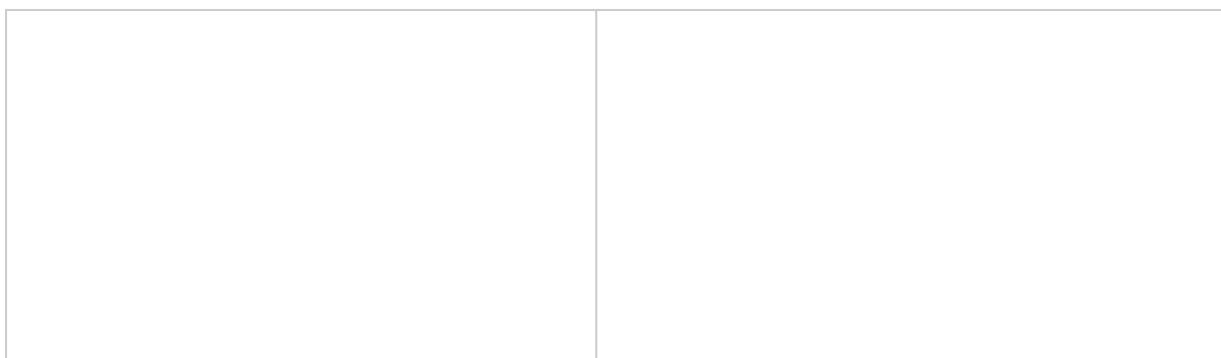
2단 캐스케이드 냉동사이클이 다음 그림에 나타나 있다.

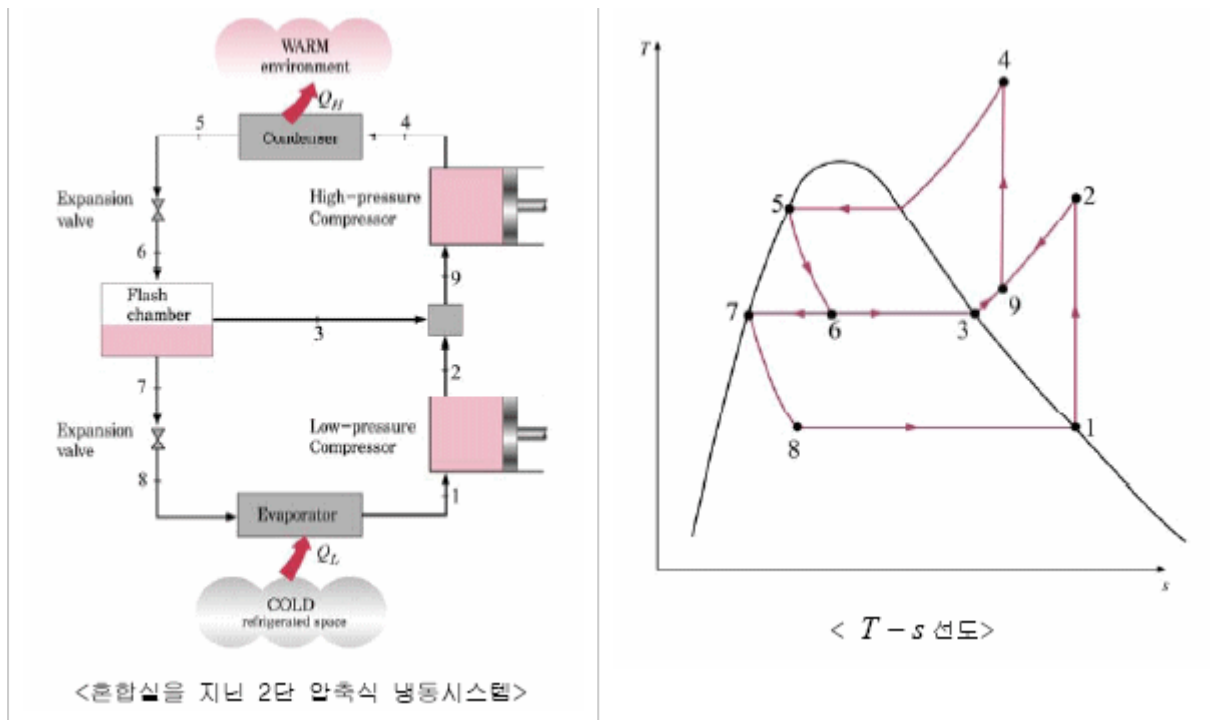


두 개의 사이클이 중간의 열교환기를 통하여 연결되어 있는데, 이 열교환기는 상부 사이클(사이클A)에게는 증발기의 역할을 하고, 하부 사이클(사이클B)에는 응축기로 작용을 한다. 열교환기에서 어떠한 혼합도 일어나지 않기 때문에 두 사이클의 냉매가 동일 물질일 필요는 없다. 선도에서 알 수 있듯이 캐스케이드 사용 결과 압축일은 감소하고, 냉 동실로부터 흡수된 열량은 증가한다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 캐스케이드 방법은 냉동시스템의 성능 계수를 향상시킨다.

4. 다단 압축식 냉동시스템(multi-stage compression)

- 캐스케이드 냉동시스템에 쓰이는 작동유체들이 같은 유체일 때, 각 단(stage) 사이의 열교환기를 혼합실(mixing chamber 또는 flash chamber)로 바꿀 수 있다. 이렇게 하면 보다 나은 열전달 특성을 이룰 수 있다. 이와 같은 시스템을 다단 압축식 냉동시스템이라 부른다. 2단 압축식 냉동시스템이 다음 그림에 있다.

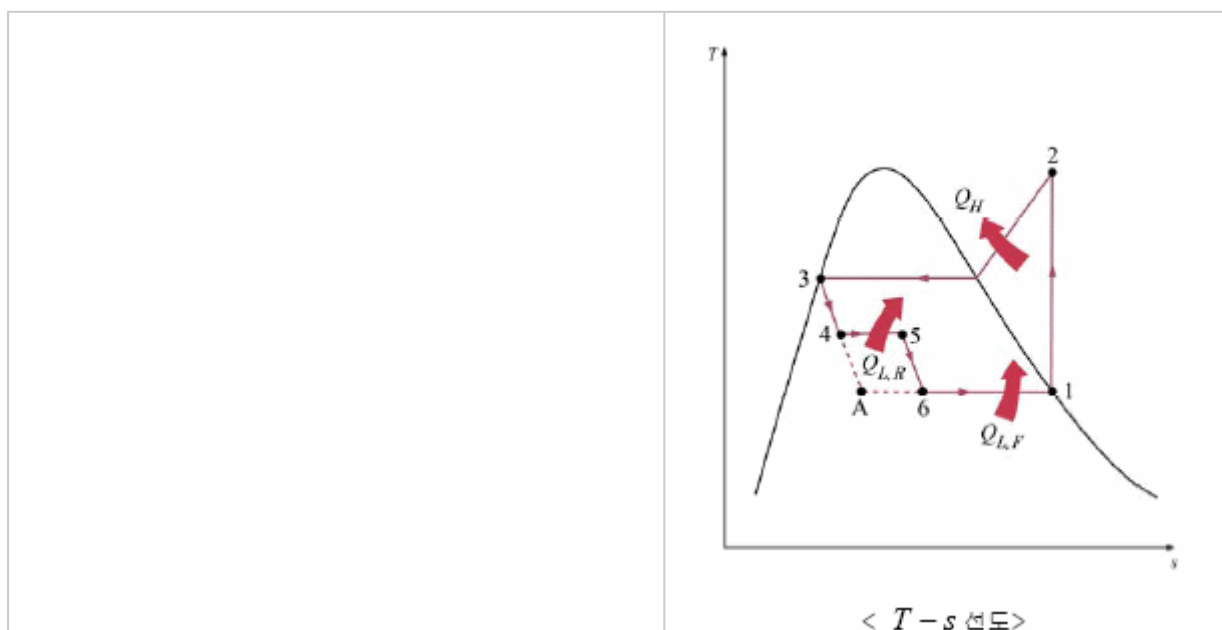


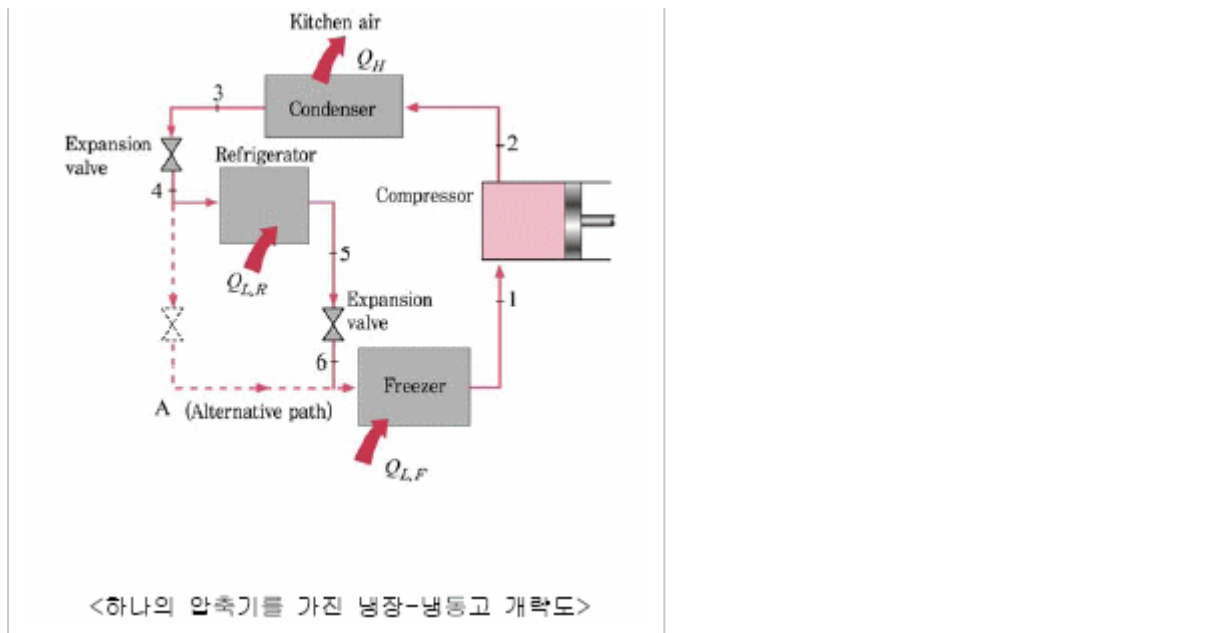


이 시스템에서 액체 냉매는 첫 번째 팽창밸브에서 혼합실 압력으로 팽창하게 되는데, 이 혼합실의 압력은 두 개의 압축기 사이의 중간 단계 압력과 동일하다. 액체의 일부는 이 과정에서 증발된다. 이러한 포화증기(상태3)는 저압 압축기로부터 나온 과열증기(상태 2)와 혼합되고, 이 혼합물이 고압 압축기 입구(상태9)로 들어간다. 이는 냉동과 정의 필수 요소이다. 포화액(상태7)은 두 번째 팽창밸브를 통과하면서 팽창한 후 증발기로 들어가 냉동실로부터 열을 제거하게 된다.

5. 단일 압축기를 가진 다목적 냉동시스템

- 어떤 냉동 응용분야에서는 하나 이상의 온도를 가진 냉동시스템을 필요로 한다. 이러한 필요는 별도의 교축밸브와 각기 다른 온도에서 작동하는 각 증발기마다 별도의 압축기를 사용함으로써 해결될 수 있다. 그러나 그러한 시스템은 크기가 커질 뿐만 아니라 아마도 비경제적일 것이다. 좀더 실용적이고 경제적인 접근 방법으로서 모든 증발기의 출구 유동을 하나의 압축기 쪽으로 흐르게 하고, 그 하나의 압축기가 전체 시스템의 압축을 담당하도록 하는 것이다. 다음은 그 개략도와 선도이다.

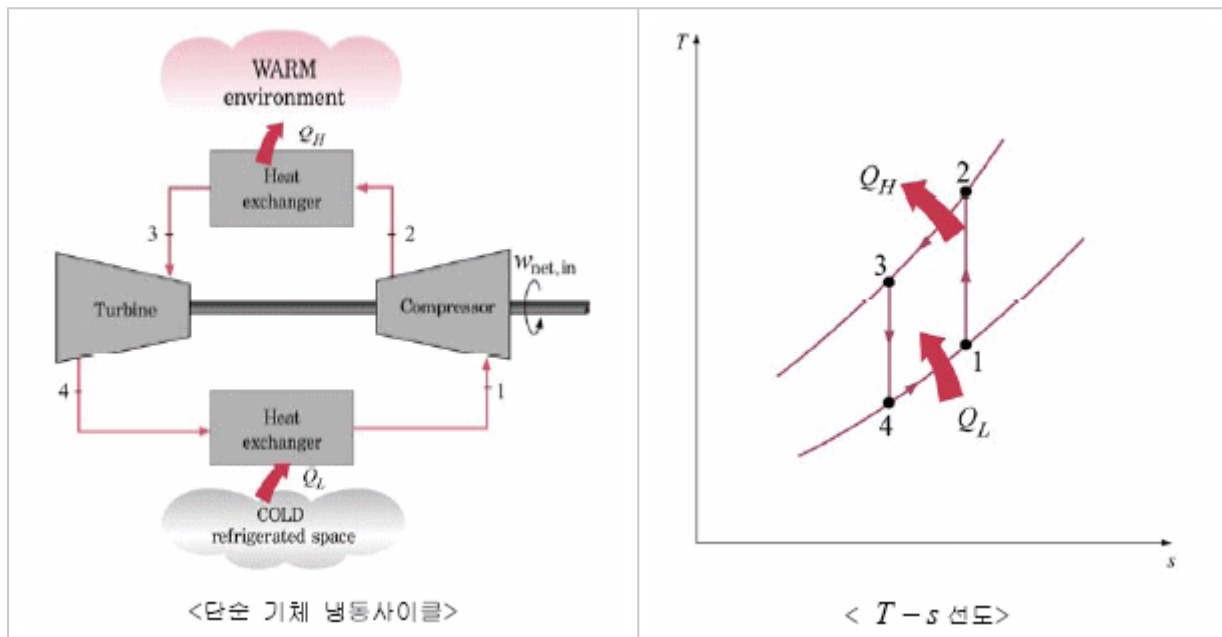




대부분의 냉장 상품들은 수분을 많이 포함하고 있어서 냉장실은 반드시 빙점온도 이상으로 유지되어야 한다. 그러나 냉동실 부분은 약 -18°C 정도로 유지되어야 한다. 그러므로, 냉매는 냉동실에 대략 -25°C 로 들어가 적절한 수준의 열전달을 가져야 한다.

6. 기체 냉동사이클

- 역브레이튼 사이클로 잘 알려진 기체 냉동사이클이 있다. 다음 그림은 기체 냉동사이클의 개략도와 선도이다.



주위의 온도는 T_0 이고, 냉동실 온도는 T_L 로 유지되고 있다. 기체는 과정 1-2를 거치면서 압축된다. 상태 2의 고압, 고온의 기체는 정압 하에서 주위로 열을 방출하면서 T_0 로 냉각된다. 이어서 터빈에서의 팽창과정이 잇따르면서 기체의 온도는 T_4 까지 떨어진다. 마지막으로 냉각된 기체는 냉동실에서 열을 흡수하면서 온도가 다시 T_1 으로 상승하게 된다. 위에 설명된 모든 과정들은 내적 가역이고, 실행되는 사이클은 이상적인 기체 냉동사이클이다. 실제 냉동 사이클에서는 압축 및 팽창과정이 등엔트로피적인 것에서 이탈되고, 열교환기가 무한히 길지 아니하면

T3 가 T0 보 다 높게 될 것이다. 이다. T - s 선도 상에서 과정곡선 4-1 밑의 면적은 냉동실에서부터 제거된 열을 나타내고, 내부면적 1-2-3-4-1은 정미 입력일을 나타낸다.



에듀스의 유료컨텐츠를 불법으로 이용하거나 무단 전재·배포할 경우 그에 상응하는 손해배상 청구 또는 법적인 처벌을 받을 수 있음을 알려드립니다.
Copyright (c) 2013 by EDUCE.co.kr All Rights Reserved.
