



제58회 발송배전기술사 문제 해설 ②

◆ 자료제공 : 서울공과대학원

○ 해설 ○ 용인송담대 교수 유상봉/기술사
두원공대 교수 김세동/기술사

본 시험정보는 '99. 7. 4 시행한 국가기술자격
검정 기술사분야에 출제된 1교시 ~ 4교시의 시
험문제로서 2교시를 발췌하여 게재합니다.

[회원출판과]

2 교 시

※ 다음 6문제중 4문제를 선택하여 답하시오
(각 25점).

[문제 1] 랭킨사이클의 장치선도 및 T-S선도를
그리고, 각 과정을 설명하시오. 그리고,
열효율을 T-S선도를 이용하여 표시하
시오.

(1) 랭킨사이클의 개요와 장치선도, T-S선도

랭킨 사이클(Ranking cycle)은 카르노 사이클을
증기 원동기에 적합하게끔 개량한 것으로, 증기를
작업 유체로 사용하는 기력 발전소의 가장 기본적
인 사이클로 되어 있다.

랭킨 사이클을 사용하는 발전소의 장치선도 및
T-S선도는 그림 1, 2와 같다.

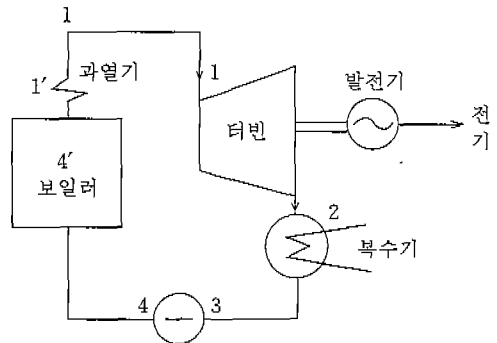


그림 1 장치 선도

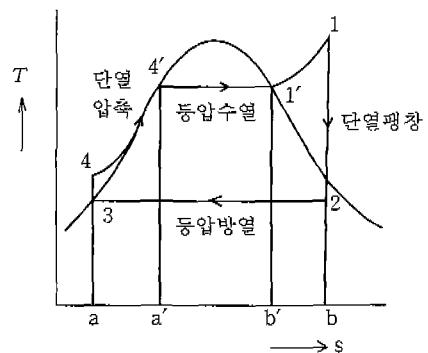


그림 2 T-s 선도

그림 1에서 보는 바와 같이 포화수 3은 급수 펌프로 단열 압축되어 승압된다. 압축수 4는 보일러 내에서 수열하여 포화수 4'로 되고 다시 가열되어 포화증기 1'로 된다. 이 포화증기 1'가 과열기에 보내져서 과열 증기 1로 되어 터빈에 들어간다. 습증기는 복수기 내에서 냉각되어 다시 포화수 3으로 되면서 1사이클을 완료하게 된다.

이 사이클 중 면적 12344'1'가 발생하는 일에 상당하는 열량 AW, 면적 a44'1'1b가 외부(보일러)로부터 공급하는 열량 Q_b, 면적 a32b가 복수기에서 버리는 열량을 나타낸다.

(2) 열효율

그림 2의 T-S선도에서

1, 2, 3, 4의 각 점에서의 엔탈피를 i_1, i_2, i_3, i_4 라 하면

$$\eta_{rk} = \frac{(i_1 - i_2) - (i_4 - i_3)}{(i_1 - i_3) - (i_4 - i_3)} \approx \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3}$$

여기서,

- i_1 : 터빈 입구에서의 증기가 갖는 엔탈피
- i_2 : 터빈 출구에서의 증기가 갖는 엔탈피
- i_3 : 보일러 입구에서 물이 갖는 엔탈피

랭킨 사이클의 열효율을 향상시키기 위해서는 다음과 같은 방법을 들 수 있다.

- ① 터빈 입구의 증기 온도(초기온)를 높여준다.
- ② 터빈 입구의 증기 압력(초기압)을 높여준다.
- ③ 터빈 출구의 배기 압력을 낮게 한다.

이중 ①의 초기온 상승은 고온용 재료의 강도면에서 제약을 받게 되며 ②의 초기압만을 상승시키면 터빈 출구 부근에서 압력이 내려갔을 때 증기 중의 습도가 높아져서 이것이 손실이나 부식을 낳는 원인이 된다. ③의 배기압을 낮추는 것이 터빈에서 일을 마친 증기를 복수기에 유도하여 여기서 냉각해서 물의 상태로 복귀(이것이 곧 복수)시킴으로써 어느 정도 그 목적을 달성할 수 있겠지만 역시 이때에도 냉각수로 사용하는 바닷물이나 하천수의 온도로 제한된다.

[문제 2] 발전기와 전동기는 가역적이다. 이 원리를 다음 적용기준(참조)을 이용하여 관련식을 만들어 설명하시오.

B(Wb/m²): 발전기 자극으로부터 발생한 자속밀도

l(m): 도체 한 개의 길이

V(%) : 도체가 자속 및 자기자신에 직각 방향으로 외부힘에 의한 운동속도

E(V): 도체가 유지되는 기전력

F(N): 도체가 가해진 전자력

W(Watt): 단위시간에 공급해야 할 에너지

(1) 발전기의 원리

1) 개요

도체의 운동에 의한 유도기전력의 방향은 플레밍의 오른손법칙에 따라 결정된다. 손의 엄지손가락, 첫째 손가락 및 가운데 손가락을 서로 직각이 되도록 하면

- 엄지손가락: 도체의 운동방향
 - 첫째손가락: 자속의 방향
 - 가운데손가락: 기전력의 방향(E의방향)
- 의 관계가 있다.

2) 유도기전력의 크기

$$e = B l V [V]$$

여기서,

B: 자속밀도의 크기, V: 도체의 운동속도

3) 전기기기예의 적용

자기장내에 놓여진 도선이 이동하게 되면, 플레밍의 오른손법칙에 따라 도선에 유도전류가 흐른다는 점에서 운동에너지를 전기에너지로 변화하는 발전기에 적용한다.

(2) 전동기의 원리

1) 개요

전류와 자계간에 작용하는 힘은 플레밍의 왼손법칙에 따라 결정된다. 즉 가운데 손가락



을 전류, 둘째 손가락을 자계의 방향으로 잡으면 엄지손가락이 힘의 방향을 가리킨다.

2) 전자력의 크기

$$F = B l I \text{ [N]}$$

여기서, B: 자속밀도[Wb/m²], I: 전류[A]

3) 전기기기에의 적용

자기장내에 놓여진 도선에 전류가 흐르면 플레밍의 왼손법칙에 따라 도선에 힘을 받게 되며, 전기에너지를 운동에너지로 변환하는 전동기에서 회전력을 얻게 된다.

(3) 수식 전개

전동기라는 것은 전기적에너지를 기계적에너지로 변환하는 장치를 말하는 것으로서, 그 구조는 발전기와 다름이 없다.

즉, 발전기가 에너지 변환작용에 있어서 그와는 반대작용을 할 때 그것을 전동기라고 한다.

지금 자속밀도가 B[Wb/m²]인 평등자계내에 놓여 있는 도체의 길이가 l[m]일 때 이에 외부로부터 E[V]의 전압을 가하여 I[A]의 전류를 흘렀다고 하면 도체마다

$$F = B l I \text{ [N]}$$

의 힘이 작용하여 운동을 시작할 것이다. 이 힘과 도체에 가해진 기계적 부하가 평형을 이루어 그 속도가 v[m/sec]가 되었다고 하면 이번에는 발전기작용을 하게 되어 이 도체에는 E=B l v[V]의 기전력이 유기된다.

이 기전력은 외부에서 가한 기전력과는 방향이 반대이고 크기는 같은 것이다. 이 경우에 이 도체가 F[N]의 힘으로 v[m/sec]의 속도로 계속 운전 하려면 위의 역기전력 E[V]에 I[A]를 계속적으로 흐를 수 있도록 외부에서 단위시간에 EI[J]의 전기에너지를 계속적으로 가해야 한다.

이것을 W[W]라고 하면,

$$W = EI = B l v I = Fv$$

즉, 외부에서 공급된 전기에너지는 완전히 기계적 에너지로 변환된 것으로서 전동기가 된 것이다.

[문제 3] 동기발전기(비돌극기)의 출력식을 벡터식을 이용하여 유도하시오.

비돌극기의 출력은 그림 1의 동기임피던스법 벡터도에서 구한다. 여기서,

V: 단자전압

I: 전기자전류

E: 공칭유기기전력

Z_s = r+jX_s: 동기임피던스

φ: 역율각

δ: V와 E사이의 각이며, 이것을 power angle 이라 한다.

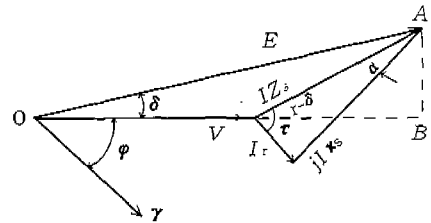


그림 1

또 그림 1에서

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{I}{Z_s}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{X_s}{r}$$

그러면, 발전기의 출력 P는

$$P = VI \cos \phi = \frac{VI Z_s \cos \phi}{Z_s}$$

벡터도에서 ΔOAB의 AB는

$$I Z_s \sin(\gamma - \phi) = I Z_s \cos(\phi + \alpha) = E \sin \delta$$

또 OB는

$$V + I Z_s \cos(\gamma - \phi) = V + I Z_s \sin(\phi + \alpha) = E \cos \delta$$

따라서

$$I Z_s (\cos \phi \cos \alpha - \sin \phi \sin \alpha) = E \sin \delta$$

$$I Z_s (\sin \phi \cos \alpha + \cos \phi \sin \alpha) = E \cos \delta - V$$

위의 식에서

$$I Z_s \cos \phi (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)$$

$$= E \sin \delta \cos \alpha + (E \cos \delta - V) \sin \alpha$$

$$I Z_s \cos \phi = E \sin(\delta + \alpha) - V \sin \alpha$$

그러므로

$$P = \frac{EV}{Z_s} \sin(\delta + \alpha) - \frac{V^2}{Z_s} \sin \alpha$$

E, V를 각 상의 전압치라하면, 3상동기발전기의 출력 P는

$$P = \frac{3EV}{Z_s} \sin(\delta + \alpha) - \frac{3V^2}{Z_s} \sin \alpha$$

전기자저항은 매우 적으므로 이것을 무시하고 $Z_s = x_s, \alpha = 0$ 이라 하면 각상의 출력 P는

$$P = \frac{EV}{x_s} \sin \delta$$

이 식에서 비돌극기의 출력은 $\delta = 90^\circ$ 에서 최대가 된다.

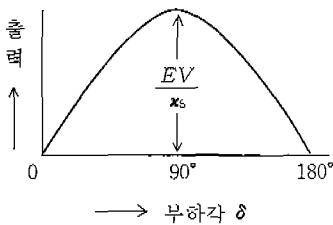
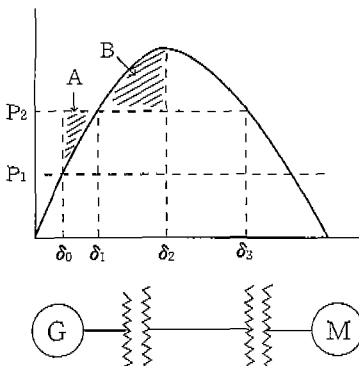


그림 2

그림 2는 유기기전력 E와 단자전압 V를 일정하게 하고 출력과 부하각 δ 와의 관계를 표시한 것이다.

[문제 4] 아래 그림을 이용하여 부하각 δ 가 변하면서 계통이 안정되는 과정을 설명하고, 정태 및 과도안정 극한전력이 무엇인지 설명하시오.



1. 부하각 δ 가 변하면서 계통이 안정되는 과정

일반적으로 정상적인 운전 상태에서 서서히 부하를 조금씩 증가했을 경우 안정 운전을 지속할 수 있는가 어떤가 하는 능력을 정태안정도(steady state stability)라 하는데 전력 상차각 특성을 나타내는 기본식

$$P = \frac{E_f E_r}{X} \sin \delta$$

를 이용하여 다음과 같이 설명할 수 있다.

앞의 그림에서 상차각이 90° 보다 어느 정도 작은 δ_1 에서 정상 상태의 출력 P_1 를 송전하고 있다고 한다. 이때 부하가 조금 증가해서 δ 가 δ_1 보다 $\Delta\delta$ 만큼 증가하여 δ_2 로 되었다면 이에 따라 발전기 출력도 그만큼 증가하게 된다($P_1 \rightarrow P_2$).

그러나, 이 짧은 시간 동안에서는 발전기의 기계적 입력(원동기인 수차나 화력 터빈으로부터의 출력)은 일정하다고 볼 수 있으므로 결국 발전기의 출력 증가분(B)에 해당하는 에너지는 발전기의 회전 에너지로부터 방출되어서 발전기의 회전 속도는 이 때문에 감속되고 상차각을 원래의 δ_1 으로 되돌리려고 하게 되므로 안정 운전이 계속된다($P_1 \rightarrow P_2$ 복귀).

반대로 δ 가 δ_1 보다 $\Delta\delta$ 만큼 감소되어 δ_0 로 되었을 경우에는 이에 따라 발전기 출력도 감소되지만($P_1 \rightarrow P_0$) 원동기로부터 입력은 일정하므로 발전기는 그 에너지의 차(A)만큼 속도를 올리면서 δ 를 증가시켜서 원래의 δ_1 으로 되돌아가게 되므로 ($P_0 \rightarrow P_1$)역시 안정 운전이 계속된다.

즉, 상술한 바와 같이 양기의 내부 유도 전압간의 위상차각에 그 어떤 변동이 생기더라도 언제나 그 변동을 방해하고 원래의 상태로 되돌려 주려는 작용을 하게 되어서 계통은 안정 운전을 계속하게 된다.

곧 이예의 δ 와 P와의 관계는

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad \dots \dots (1)$$

으로 되어 있다.

이 $\frac{dP}{d\delta}$ 의 값을 발전기의 동기화력이라고 부르고 있는데, 식(1)의 조건을 만족하는 출력 상태(범위)를 안정 운전 영역이라고 말할 수 있다.



2. 정태안정 극한전력

$\delta=90^\circ$ (즉 δ_0)에서 운전하고 있을 경우에는 상기의 경우와 양상이 달라진다. 이때 부하가 변화해서 δ 가 조금만 증가하더라도 발전기 출력은 함께 감소되어서 회전속도가 가속되기 때문에 δ 는 원상태로 회복되지 않고 계속 벌어지게 되어 끝내는 무한대 모선과 병렬을 유지할 수 없게 된다. 즉, 이 경우에는 P_m 점이 정태 안정의 극한 전력으로 되는 것이다.

이때 $P_m = \frac{E_f E_r}{X}$ 로서 최대가 된다.

3. 과도안정 극한전력

부하가 갑자기 크게 변동한다든지, 뜻하지 않게 계통 사고가 발생해서 계통에 커다란 충격을 주었을 경우에도 계통에 연결된 각 동기가 동기를 유지해서 계속 운전할 수 있을 것인가 하는 능력을 과도안정도(Transient Stability)라 하고, 이때의 극한전력을 과도안정 극한전력(Transient Stability Power Limit)이라고 한다.

일반적으로 계통에서는 언제, 어떠한 부하 변동이나 사고가 일어날지 모른다. 그렇기 때문에 실제로 계통을 운전할 경우에는 이러한 돌발사고나 급격한 부하 변동이 일어나더라도 송전을 안정하게 계속할 수 있게끔 운전 상태를 극한 전력값 이하로 낮추어서 운전하도록 하고 있다. 따라서 과도안정 극한전력은 정태안정 극한전력에 비해서

상당히 작은 값으로 되는 것이 보통이며, 또 과도안정도에는 고장전의 부하 상태라든가 계통에서의 외란의 종류, 회전자의 관성 모멘트외에 고장 차단 시간 및 원동기의 조속기 동작 특성등의 여러 가지 요소가 영향을 미치게 되어 그 현상은 아주 복잡하게 된다.

종래 과도안정 극한전력은 정태안정 극한전력의 40~50[%]정도로 잡고 왔었으나 최근에는 고속계전기라든가 고속도 차단기가 많이 보급됨으로써 과도안정 극한전력은 정태시의 70~80[%]까지 높게 잡을 수 있게 되었다. 그밖에 최대 상차각도 조건에 따라 다르겠지만 130~140°에 달하여도 안정하게 운전되는 경우도 있다.

[문제 5] 태양광 발전의 원리를 설명하시오.

1. 태양광 발전의 개요와 원리

태양광 발전이란 태양으로부터 지상에 내리쬐이는 방사 에너지를 태양 전지로 직접 전기로 변환해서 출력을 얻는 방식이다.

그림 1은 태양전지의 발전 원리를 나타낸 것이며, P형과 N형을 접합한 실리콘 반도체에 태양광 에너지를 입사시키면 부(-)의 전기와 정(+)의 전기가 발생하고, 부의 전기는 N형 실리콘으로,

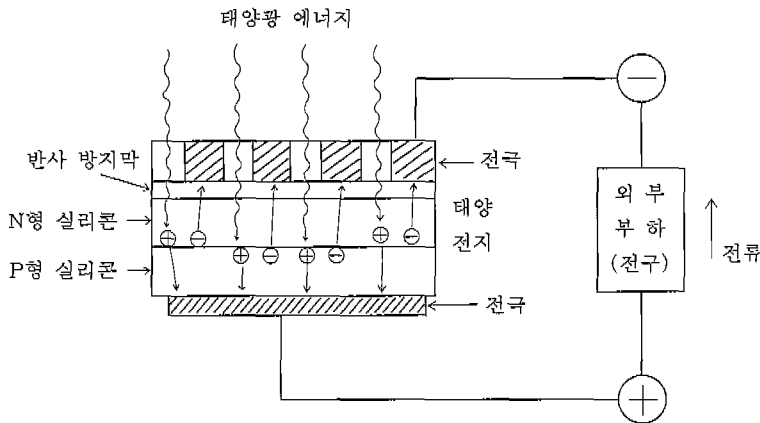


그림 1 태양 전지의 발전 원리

정의전기는 P형 실리콘으로 분리되어 전극에 전압이 발생하고, 이것에 외부 부하, 가령 전구를 접속하면 전류가 흘러서 전구가 커지게 된다.

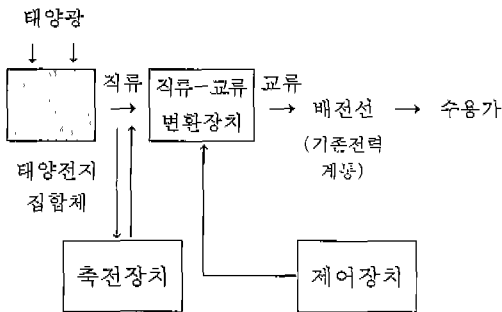
2. 태양전지의 종류

태양전지의 종류는 결정구조에 따라 단결정, 다결정, 아몰퍼스 등이 있다.

- 1) 단결정: 효율이 12~16% 높지만, 가격이 비싸다.
- 2) 다결정: 효율이 10~12%, 제조공정은 간략화할 수 있다.
- 3) 아몰퍼스: 재료 및 제조를 하는데 필요한 에너지를 절감할 수 있고, 대폭적으로 가격을 낮출 수 있지만 효율 및 장기 안정성은 떨어진다.

3. 태양광 발전시스템의 구성

이 발전 시스템은 태양 전지의 중심에 일사 변동을 고려한 축전지라든가 직류 출력을 교류로 변환하는 변환 장치, 그 밖에 송, 배전 계통에 접속하는 연계 장치로 구성된다.



4. 태양광 발전시스템의 특성

- ① 시스템이 단순하여 보수하기가 쉽다.
- ② 환경오염이 없는 무공해이고 소음과 진동이 없다.
- ③ 규모에 따라서 수요지에서 발전할 수 있는 장점이 있다.
- ④ 에너지 밀도가 낮고 면적이 넓다.
- ⑤ 우천이나 하늘이 흐릴 때는 발전능력이 저하함과 동시에 야간은 발전을 하지 않는다.

5. 향후 기술적 과제

- ① 태양전지로부터의 효율적인 집전 기술의 개발
- ② 축전지장치 등을 적절히 운용함으로써 비나 흐린날씨에도 안정하게 전기를 공급할 수 있는 시스템의 개발
- ③ 태양광 발전소의 전기를 전력회사의 송전선과 연계시키면서 운용하는 기술의 개발
- ④ 발전소 건설의 비용 저감

6. 적용성

- ① 등대, 무선중계소에 적용
- ② 도서벽지의 소전원, 공공시설의 조명용 전원으로 적용
- ③ 분산전원용 개념으로 적용이 기대

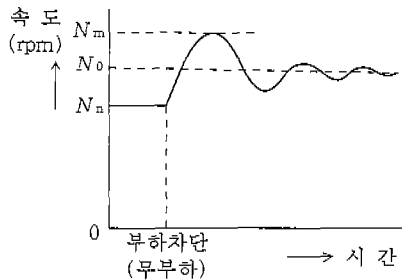
【문제 6】 수차발전기에서 속도변동률을 크게 할 때의 장단점을 설명하시오.

부하의 변동으로 수차의 속도가 조정되어 새로운 상태에 따른 속도에 안정될 때까지의 사이에 과도적으로 도달하게 될 최대속도는 관성, 변동 부하의 크기, 조속기 특성, 특히 그 부동 시간과 폐쇄시간등에 관계하게 되는데 일반적으로 다음과 같은 식으로 표시되는 δ_m 을 속도변동률(speed variation)이라고 한다.

$$\delta_m = \frac{N_m - N_n}{N_n} \times 100[\%]$$

여기서, N_m : 최대 회전속도[rpm]

N_n : 정격 회전속도[rpm]



부하 차단시의 속도 특성

