

»모아는 Challenge다«

전기분야의 Legend, 모아전기학원

제 120회 발송배전기술사

[문제풀이집]

교수: 하용일

Legend 모아소방전기학원의 자랑!

모아소방전기학원 2012~2020년

전체수강생의 1/7을 합격시킨, 진정한 Legend!

“실제 수강생 대비 합격률 대한민국 1위”

강의만족도 90%, 강의 평균 재수강률 80%

“8년간의 검증” 모방이 불가능한 커리큘럼

열정적으로 2020년을 시작합니다.

Legend 모아소방전기학원의 최강의 강사진!

황모아 원장 “건축전기 특강반과 기본반, 전기안전 특강반”

하용일 교수 “섬세한 발송배전 기본튼튼 강의”

오부영 교수 “최단기 합격비법 전기안전·전기응용반 강의”



전기 교육전문학원 ———

모아소방전기학원

02) 2068-2851

모아 전기기술사반의 강점

1. 대한민국 명실상부 최고의 강사진
최고의 전문성을 가진 검증된 전기기술사
담당제 강의 중
2. 합격을 위한 탄탄한 커리큘럼
정규반/ 심화반/ 연구반
3. 동영상 제공
수강기간 동안 복습용 동영상 **무료** 제공!!
현장 강의 그대로~ 복습 가능!
(단, 연구반 제외/ 5만원 결제시 이용가능)
4. 스터디룸 운영
담당교수 지도 하에 그룹형 스터디 가능
부족한 부분은 스터디로 보강

모아소방전기학원 / 전기기술사 개강일정

건축전기설비기술사 (배호세/황모아)

CLASS	개강일정 (10주)			교재
건축전기의 중요핵심 “SGN 기본반”	2월 02일 ~ 4월 05일	일요일 15시 10분 ~ 20시 40분	10강	모아건축전기기술사 1권+보충자료
	4월 19일 ~ 6월 21일			
영혼있는 답안작성 “SBR 연구반”	2월 02일 ~ 4월 05일	일요일 10시 ~ 18시	10강	모아건축전기기술사 +Sub note
	4월 19일 ~ 6월 21일			

발송배전기술사 (하용일 교수)

CLASS	개강일정 (11주)			교재
철저한 기본주의 “토요기본반”	2월 08일 ~ 4월 18일	토요일 15시 ~ 21시	11강	발송기본3권(송길영) 동일출판사
	4월 25일 ~ 7월 04일			
고정관념 제거 “심화연구반”	2월 08일 ~ 4월 18일	토요일 09시 ~ 15시	11강	자체교재
	4월 25일 ~ 7월 04일			

발송배전기술사 (김영민 교수)

CLASS	개강일정 (11주)			교재
완벽한 이해 “토요심화반”	2월 08일 ~ 4월 11일	토요일 15시 ~ 21시 30분	10강	345테마 발송배전기술사 (발전, 송전, 변전배전계통공학)
	4월 25일 ~ 6월 27일			
Mind Map 학습법 “일요합격반”	3월 01일 ~ 5월 11일	일요일 09시 ~ 15시	11강	345테마 발송배전기술사 (발전, 송전, 변전배전계통공학)

전기안전(응용)기술사 (오부영 교수 / 황모아 원장)

CLASS	개강일정 (11주)			교재
쓸 수 있는 공부 “SGN기본반”	2월 15일 ~ 4월 18일	토요일 15시 ~ 20시	09강	모아전기안전기술사 +보충자료
마무리토론과 모의고사 “SGN연구반”	2월 15일 ~ 4월 18일	토요일 9시 ~ 15시	09강	모아전기안전기술사 +보충자료

제120회 발송배전기술사 1차 필기시험 문제 (2020년 2월 1일)**제 1교시 문제**

※ 다음 문제 중 10문제를 선택하여 설명하시오. (각10점)

1. 배전선로 전압강하율 및 전압변동률에 대하여 설명하시오.
2. 허용 인체통과전류의 안전 한계에 대하여 설명하시오.
3. 애자의 건조섬락전압과 주수섬락전압에 대하여 설명하시오.
4. 표준 충격전압파형을 그리고, 파두장 및 파미장, 파두준도에 대하여 설명하시오.
5. 태양광 또는 풍력 등을 이용한 신재생에너지 발전과 관련된 아래의 약어를 설명하고, 약어 간의 연관사항을 설명하시오.
 - 1) RPS
 - 2) REC
 - 3) SMP
 - 4) 1)~3) 약어 간의 연관사항
6. 전력계통의 안정도에서 동기화력(Synchronizing Power)을 설명하고, 1기 무한대 계통에서 전력-상차각을 이용한 안정도 판별에 대하여 설명하시오.
7. 화력발전기 운영 변동비의 대부분은 연료비이다. 가동단계별 전력생산비용 구성요소에 대하여 설명하시오.
8. 가공송전선로에서 전선벌어짐현상(Bird Cage)의 발생 원인과 원인별 방지대책을 설명하시오.
9. 수력발전에서 조압수조(Surge Tank)의 기능과 종류에 대하여 설명하시오.
10. 절연재료에 전압을 인가하여 어느 값에 도달하게 되면 급격하게 대전류가 흘러 도체와 같이 되는 현상을 절연파괴라고 한다. 다음 물음에 답하시오.
 - 1) 기체의 절연파괴를 파센의 법칙으로 설명하시오.
 - 2) 고체의 절연파괴를 열적 파괴와 전자적 파괴로 나눠서 설명하시오.
11. 태양광발전시스템에서 인버터의 단독운전 방지를 위한 수동적 검출 방식과 능동적 검출 방식에 대하여 설명하시오.
12. 수차의 공동현상(Cavitation) 발생원인 및 영향, 방지대책에 대하여 설명하시오.
13. 정격출력 240MW 수차발전기가 60MW의 출력으로 60Hz 전력계통에 접속되어 운전하고 있다. 계통의 주파수가 59.5Hz로 갑자기 낮아졌다면 이 발전기의 출력을 구하시오.
(단, 이 수차발전기의 속도조정률은 4%이고 직선허성을 갖는다.)

제 2교시 문제

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

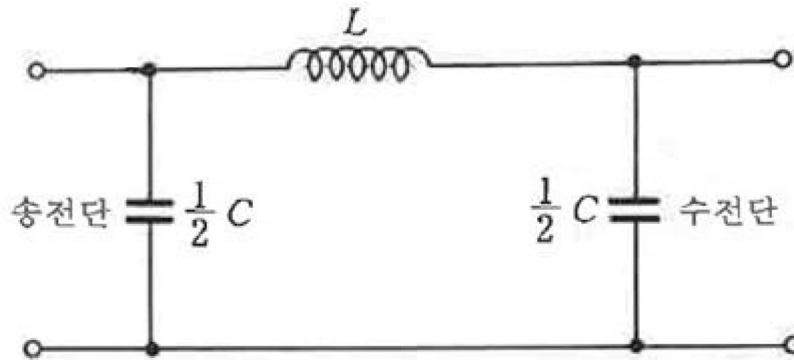
1. 배전계통에 사용하는 보호기기의 다음 사항에 대하여 설명하시오.
 - 1) T-C 특성곡선(Time-Current Characteristic Curve)
 - 2) Pick-Up 배수
 - 3) T-C 특성곡선과 Pick-Up 배수의 상호관계
2. 스마트그리드를 전력계통의 운영 측면과 산업적 측면에서 기존의 전력망과 비교하여 설명하시오.
3. 송전선로에서 발생하는 유도장해의 원인과 대책을 설명하시오.
4. 전력계통의 부하변동에 따른 다음 사항에 대하여 설명하시오.
 - 1) 발전기의 출력 분담
 - 2) 부하추종 예비력에 대하여 정의한 후 이것이 부족할 경우 전력생산비용의 상승 이유
5. 터빈 발전기의 가능 출력 곡선을 나타내고, 전압제어를 위한 무효전력 공급원으로서의 발전기를 설명하시오.
6. 화력발전소의 열효율 향상을 위한 열회수 장치의 종류를 나열하고, 설치 효과에 대하여 설명하시오.

제 3교시 문제

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

1. 배전계통에서 플리커(Flicker)와 고조파의 원인 및 대책에 대하여 설명하시오.
2. 고압 및 저압 배전선로 구성방식과 특성에 대하여 각각 설명하시오.
3. 아래 사항에 대하여 설명하시오.

- 1) 장거리 무부하 송전선을 시송전할 경우 1상당 충전용량 크기
(W_s : 1상당 충전용량, E_s, I_a : 송전전압, 전류, E_r, I_r : 수전전압, 전류)
- 2) 1상분의 등가회로가 아래 그림과 같이 표현되는 무부하 지중 송전선로에 지금 $L=20\text{mH}$, $C=50\mu\text{F}$ 일 때 이 선로의 수전단 전압은 송전단에 비해 몇 % 상승하는지 구하시오. (단, 전원의 주파수는 60Hz이다.)

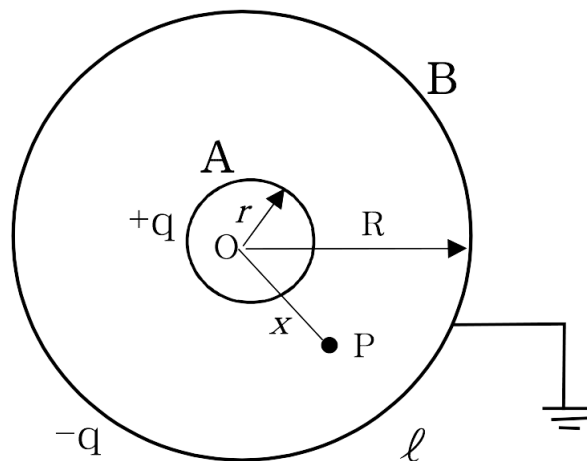


4. 동기조상기, 전력용콘덴서(Static Condenser), 분로리액터를 비교하여 설명하시오.
5. 수요관리(Demand Side Management)를 효율향상 측면과 부하관리 측면에서 설명하시오.
6. 최대출력 200 MW, 평균부하율 85%로 운전하고 있는 화력발전소가 있다. 이 발전소에서 15일간에 $1.6 \times 10^4 \text{kL}$ 의 중유를 소비하였다고 하면 이 발전소의 발전단 열효율 및 연료 소비율은 각각 얼마인지 구하시오. (단, 중유의 발열량은 10000 kcal/L라고 한다.)

제 4교시 문제

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

1. 배전선로에서 역률개선에 따른 효과에 대하여 설명하시오.
2. 아래의 22.9 kV 배전선로 보호장치 정정기준에 대하여 설명하시오.
 - 1) 변전소 계전기(Relay)
 - 2) 자동 재폐로차단기(Recloser)
 - 3) 선로용 휴즈(Fuse)
3. 수변전 설비에서 접지 설계 시 고려할 사항을 설명하시오.
4. 부하전류와 수전단전압과의 관계인 $I-V$ 곡선과 송전전력과 수전단전압과의 관계인 $P-V$ 곡선을 이용하여 안정운전영역과 최대 송전가능점을 표기하고 그 이유를 설명하시오.
5. 차단기의 트립(Trip) 방식은 제어전원에 따라 직류트립방식, 교류트립방식, CTD(Condenser Trip Device) 방식으로 나눌 수 있다. 각각의 트립방식을 회로도들 그려서 설명하시오.
6. 다음 그림과 같은 바깥지름 $R(m)$ 과 안반지름 $r(m)$ 의 두 개의 동심 원통을 양전극 A, B로 하고 B를 접지해서 A, B 사이에 $V(V)$ 의 전압을 인가하면 A, B의 단위길이마다 각각 균등하게 $+q(C/m)$, $-q(C/m)$ 의 전하가 생긴다. 이를 이용한 실제 송전선에서의 코로나 임계전압 $E_0(kV)$ 을 유도하고, 코로나 장애와 대책을 설명하시오. (단, 실제 송전선의 전선은 평행하고, $r \ll R$ 이다.)



동심 원통 전극



제 1 교시 문제풀이

1-1. 배전선로 전압강하율 및 전압변동률에 대하여 설명하시오.

답)

1. 전압강하율

1) 정의

- (1) 전압강하를 수전단전압(E_r)에 대한 비를 백분율로 나타낸 것을 전압 강하율이라 한다.
- (2) 어떤 주어진 시점에서 그때 흐르던 부하전류의 크기에 따라 수전단전압이 송전단전압에 비해서 얼마만큼 강하되는가를 나타낸 것을 말한다.

2) 관계식

$$\varepsilon = \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 [\%]$$

3) 단거리 송전선로나 배전선로에서 전압강하율

(1) 전압강하 식

$$E_s - E_r = I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

(2) 전압강하율 식

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 = \frac{I(R\cos\theta + X\sin\theta)}{E_r} \times 100 [\%] \\ &= \frac{PR + XQ}{E_r^2} \times 100 = \frac{P}{E_r^2} (R + X\tan\theta) \times 100 \end{aligned}$$

4) 전압강하율은 전압의 크기를 대상으로 한다.

5) 배전설비별 전압강하율 한도

- | | |
|------------------|--------------|
| (1) 특고압 선로 : 10% | (2) 변압기 : 2% |
| (3) 저압선로 : 6% | (4) 인입선 : 2% |

2. 전압변동률

1) 정의

임의의 주어진 기간내에서 부하의 변화에 따라 전압이 변동하는 폭을 나타낸다.

2) 관계식

$$\eta = \frac{E_{r0} - E_r}{E_r} \times 100, \quad E_{r0} : \text{무부하시 수전단 전압}, E_r : \text{전부하시 수전단전압}$$

- 3) 전압변동율은 기간과 범위를 나타내며 부하가 갑자기 변화했을 때 그 단자전압의 변화를 나타낸 것이다.
- 4) 변압기에서의 전압변동률

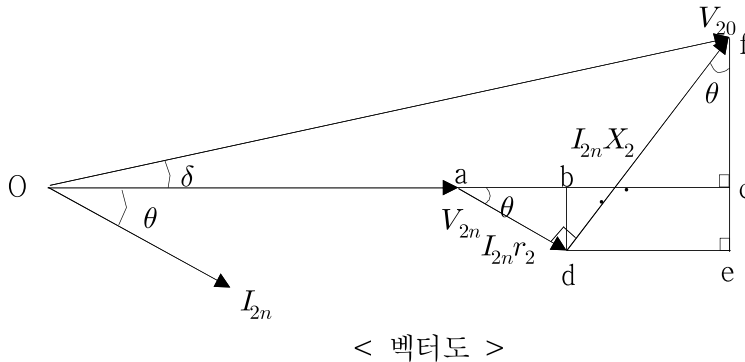
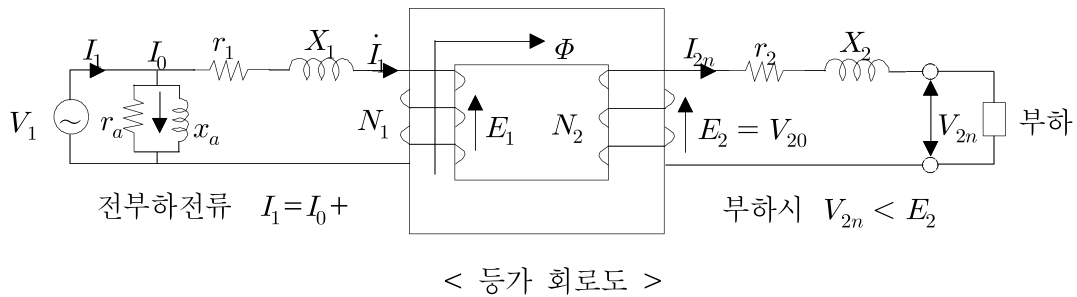
(1) 정의

변압기의 2차 단자에 정격역률을 가진 부하를 접속하고 1차 전압을 유지한 채 2차측 단자전압을 무부하로 했을 때 2차측 정격전압(V_{2n})에 대한 2차측 무부하 전압(V_{20})과 2차측 정격전압(V_{2n})의 차에 대한 백분율로 나타낸 것

(2) 관계식

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%] \quad V_{2n} : \text{변압기 단자2차정격전압}, V_{20} : \text{2차무부하 전압}$$

(3) 등가회로도 및 벡터도



(4) 전압변동률 식

① $\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%]$ 에서

$$\varepsilon = \frac{I_{2n} r_2 \cos \theta + I_{2n} X_2 \sin \theta}{V_{2n}} \times 100 = p \cos \theta \pm q \sin \theta$$

단, $p = \frac{I_{2n} r_2}{V_{2n}} \times 100$: %저항강하, $q = \frac{I_{2n} X_2}{V_{2n}} \times 100$: %리액턴스강하

+ : 지상부하, - : 진상부하

② 역률이 100%이면 %전압변동률은 %동손과 같게 된다.

$$\varepsilon \approx p \approx \frac{\text{전부하동손}}{\text{정격용량}} = \frac{I_{2n} (r_1' + r_2)}{V_{2n}} \times 100 = \frac{I_{2n}^2 (r_1' + r_2)}{V_{2n} I_{2n}} \times 100$$

③ 전력용 변압기의 %전압 변동률

변압기 규격	역률	%전압 변동률 [%]
3 Φ 154/23kV 45/60 MVA	1	2
	0.8	13.5
1 Φ 345/161/23kV 100/133.3/166.7 MVA	1	0.8
	0.8	6.8

1-2. 허용 인체통과 전류의 안전 한계에 대하여 설명하시오.

답)

1. 허용 인체통과 전류의 안전 한계

1) 인체의 감전

인체의 전기적 위험은 심실세동을 일으키기에 충분한 전류가 심장부위를 통하여 흐르는 정도에 달려 있다.

2) 감전에 영향을 주는 요소

- (1) 인체 내 통전 전류의 크기 및 시간
- (2) 접촉전압의 크기 및 시간
- (3) 기타 통전 경로, 인체 저항, 전원의 종류에 따라 감전에 영향을 미친다.

3) 인체의 전기적 특성

(1) 감전을 방지하기 위한 접촉전압을 결정하기 위한 인체의 전기적 임피던스

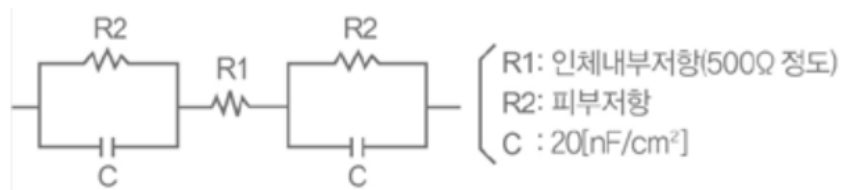
- ① 인체에서 전류 통전이 가능성이 높은 경로 및 환경조건 즉, 물의 존재나 사람과 대지와
의 접촉상태에 따라 그 양상이 달라진다.
- ② 피부상태는 통전전류에 큰 영향을 미치므로 접촉전압의 한계 산정 시 인구의 95%가 그
값을 상회하는 최저 임피던스 값을 고려한다.
- ③ 이 때 통전경로는 양손에서 양발로 흐르는 것으로 가정하며 일반 상황에서의 인체 전기
적 임피던스 Z 는 다음 식으로 나타낸다.

$$Z = 1000 + 0.5Z_{T5\%} [\Omega]$$

여기서, 1000[Ω] : 신발과 바닥저항을 고려해 선정한 값

$Z_{T5\%}$: 인구의 95%가 이 값을 상회하는 것으로 추정하는 인체임피던스로 표 2의 값

(2) 인체 등가회로



4) 인체 통과전류 및 시간관계

- (1) 인체에 미치는 교류전류의 영향과 시간의 관계는 그림 2.처럼 나타난다.
- (2) 곡선 L_c (차단시간과 전류의 함수)는 AC-4 영역 이하로 일정한 안전율을 고려한 것으로
전원 자동차단에 의한 감전보호수단으로 이용하는 추정접촉전압과 차단시간 곡선의 기초
가 되는 곡선이다
- (3) 통전전류 및 시간에 따른 인체의 생리학적 현상은 다음 표 1.과 같다.

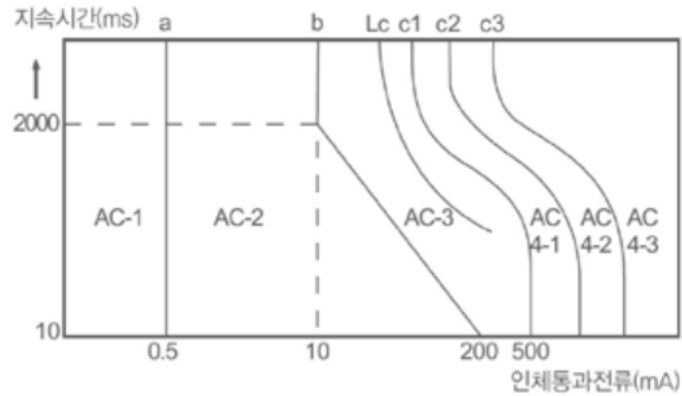


그림 2. 인체 통과정류 및 시간

영역	생리학적 영향
AC-1	보통 반응하지 않는다
AC-2	보통 유해한 생리학적 영향은 없다
AC-3	보통 예상되는 기관장애는 없고 전류가 2초 이상 지속하는 경우 경련성의 근육수축이나 호흡곤란 가능성 있다
AC-4-1	심실 세동의 확률이 5%까지 증대
AC-4-2	심실 세동의 확률이 약 50% 이하
AC-4-3	심실 세동의 확률이 약 50% 초과

표1. 동전전류에 따른 인체의 생리학적 현상

5) 추정접촉전압과 차단시간의 관계

일반상태에서 추정접촉전압과 차단시간의 관계는 인체통과전류 및 시간 곡선에서 Lc곡선을 기초로 그림3.과 같이 나타낸다.

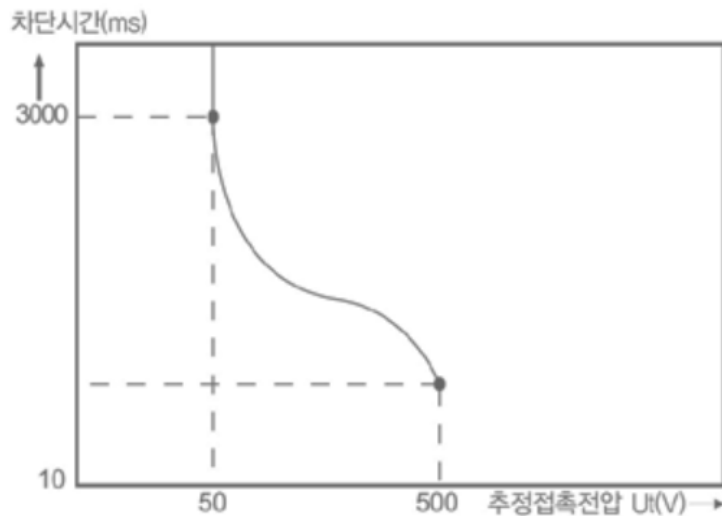


그림3. 추정접촉전압과 차단시간

또한 IEC 61200에서는 추정접촉전압과 최대차단시간의 관계를 표 2.로 나타내고 있다.

추정접촉전압(U _t) [V]	인체저항 Z [Ω]	통과전류 I [mA]	차단시간 t [sec]
≤ 50	1,725	29	∞
75	1,625	46	0.60
100	1,600	62	0.40
125	1,562	80	0.33
220	1,500	147	0.18
300	1,460	205	0.12
400	1,425	280	0.07
500	1,400	350	0.04

표2. 추정접촉전압과 최대차단시간

그림 3.과 표 2.에서 접촉전압은 최대 500V까지 허용되며 인체 통과전류가 30mA 이상인 경우 그 크기가 커질수록 차단시간은 짧아야 함을 알 수 있다.

1-3. 애자의 건조섬락전압과 주수섬락전압에 대하여 설명하시오.

답)

1. 애자의 섬락전압

애자의 상하금구사이에 전압을 인가하여 아크를 발생하면 애자가 단락되는데 이때의 전압을 섬락전압이라 한다.

2. 건조 섬락전압

1) 정의

공기 중에서 깨끗하고 건조한 애자의 양전극에 상용주파전압을 인가했을 때의 전압을 말한다.

2) 조건

(1) 온도 : 20℃ (2) 기압 : 760[mmHg] (3) 상대습도 : 65 ~ 85[%]

(4) 위 조건을 만족할 때의 전압 실효치를 표준으로 한다.

(5) 위 조건(표준조건)이 만족하지 않을 때는 상대공기 밀도에 따라 보정한다.

$$\text{상대공기 밀도 } \delta = 0.386 \times \frac{b}{273+t}$$

b : 측정기의 기압[mmHg] t : 측정시의 온도[℃]

3) 현수애자 건조 섬락전압은 80kV 정도임.

3. 주수 섬락전압

1) 정의

비가 와서 애자가 젖었을 때의 섬락특성을 나타낸 것으로 실제 송전 선로는 뇌우, 주수상태에서 섬락이 많이 발생하므로 중요하다.

2) 주수시험조건

(1) 주수각도 : 45° (2) 주수량 : 매분 3[mm]

(3) 주수에 사용한 물의 고유저항 : 10,000[Ω-cm]를 표준으로 한다.

3) 현수애자 건조 섬락전압은 50kV 정도임.

4) 애자의 섬락전압중 가장 가혹한 섬락전압으로 애자련 개수를 선정할 때 사용되는 전압이다.

5) 154kV 애자 1련의 개수 산정

상규 최대 대지전압에 4배의 전압에 견디는 개수에 불량률을 고려하여 1 ~ 2개 추가하고 해안가와 같이 염해대책이 필요하면 1 ~ 2개 더 추가한다.

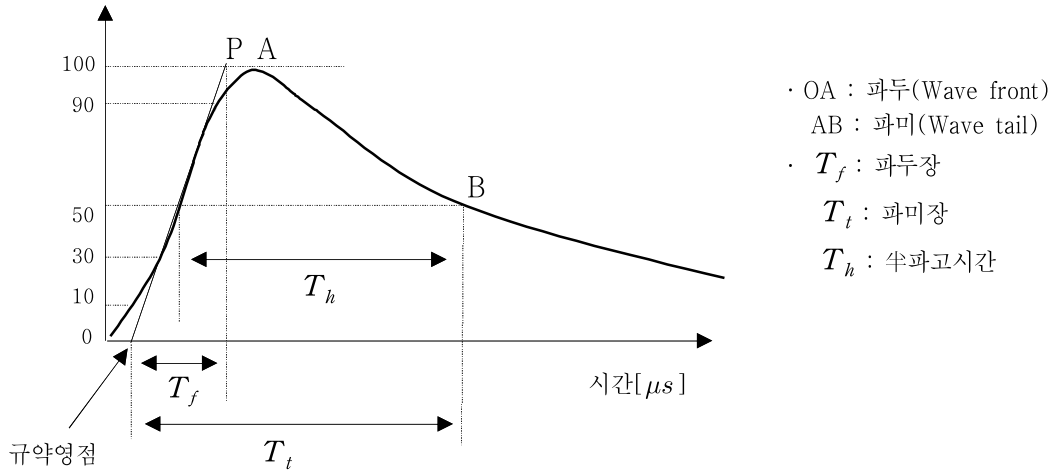
$$\text{애자 1련의 개수} = \frac{154}{\sqrt{3}} \times 4 \times \frac{1}{50} = 7.2 \text{ 개}$$

불량애자를 고려하여 1개 추가하여 9개로 선정

1-4. 표준 충격전압 파형을 그리고, 파두장 및 파미장, 파두준두에 대하여 설명하시오.

답)

1. 표준충격파형 도시



< 표준 충격파형 >

1) 규약영점

파고값의 30% (전류의 경우 10%)와 90% 점을 잇는 직선이 시간축과 교차하는 점을 말한다.

2) 충격파의 크기

(1) 표시 : 1000 [kV] $1.2 \times 50\mu s$

$E = 1000$ [kV] T_f (파두길이) : $1.2\mu s$ T_t (파미길이) : $50\mu s$ 로 나타낸다.

(2) 실제 충격파의 파고값은

수 100 [kV]이상 T_f : $1 \sim 10\mu s$, T_t : $10 \sim 100\mu s$ 정도이다.

3) 충격파의 진행

송전선로가 직격뇌를 받으면 충격파가 진행파로 되어 정해진 전파속도로 송전선로 좌, 우로 진행한다.

2. 파두장(길이) T_f

파두장은 규약영점으로부터 위의 직선이 A점을 통과하는 수평선과 마주치는 점까지의 시간 즉, 규약영점으로부터 P점까지의 시간

3. 파미장(길이) T_t

규약영점으로부터 파미부분으로 파고값이 50%까지 감쇠하는 시간을 말한다.

4. 파두준두

파두준두란 충격파형의 규약영점파형의 기울기를 말한다. 파두준두가 급격할수록 충격파형이 기기에 미치는 영향은 크나 시간은 짧은 특징을 갖는다.

1) 관계식

$$\text{규약파두준두} = \frac{\text{전압파고치}[kV]}{\text{규약파두시간}[\mu s]}$$

2) 규약 파두시간 : T_f

(1) 전압파

파고치의 30%에서 90%까지 순시치가 상승하는데 필요한 시간을 1.67배한 값

(2) 전류파

파고치의 10%에서 90%까지 순시치가 상승하는데 필요한 시간을 1.25배한 값

1-5. 태양광 또는 풍력 등을 이용한 신재생에너지 발전과 관련된 아래의 약어를 설명하고, 약어 간의 연관사항을 설명하시오.

- 1) RPS
- 2) REC
- 3) SMP
- 4) 1) ~ 3) 약어 간의 연관사항

답)

1. RPS(Renewable Portfolio Standard) : 신재생 에너지 의무 할당제

1) 정의

RPS란 신재생에너지 의무 할당 제도로 에너지 사업자들에게 발전 판매하는 총 발전량의 일정 비율을 신재생에너지로 공급하도록 의무화한 제도로 우리나라는 2012년부터 시행하고 있다.

2) 공급인증기관

(1) 에너지 관리공단 신재생에너지 센터

인증서발급, 의무공급량 산정 및 의무이행 실적확인

(2) 한국 전력 거래소

거래시장 개설 및 운영, 대금정산 및 결제

3) 공급의무자

(1) 신재생 에너지 설비를 제외한 발전설비 50만 kW 이상의 발전설비 보유자

(2) 해당기업

한국 수자원 공사, 지역난방공사, 한국 수력 원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전, SK E&S, GS EPS, GS 파워, 포스코에너지, CGN 울춘전력, 평택에너지 서비스, 대륜발전, 에스파워, 포천파워, 동두천 드림파워, 파주에너지 서비스, GS동해전력, 포천 민자발전 등

4) 공급 의무량

공급 의무량 = 공급의무자의 총발전량(신재생 제외) × 의무 비율(%)

5) 공급인증서 발급대상

- (1) 2010년 9월 17일 이후 사용 전 검사에 합격한 신재생에너지 발전설비
- (2) 설비용량 5 MW 초과 수력설비
- (3) 건축물의 신재생에너지 설비

6) 연도별 시행 계획

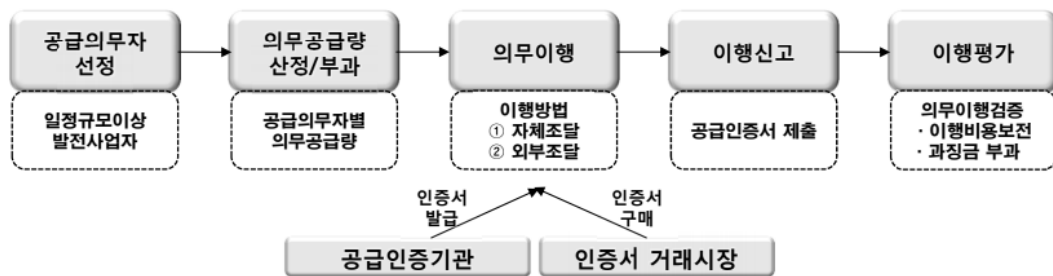
공급의무 발전 사업자는 신재생에너지 공급의무비율을 2012년 2%에서 단계적으로 늘려 2024년 10%까지 늘려야 함.

연도(년)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
의무비율(%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

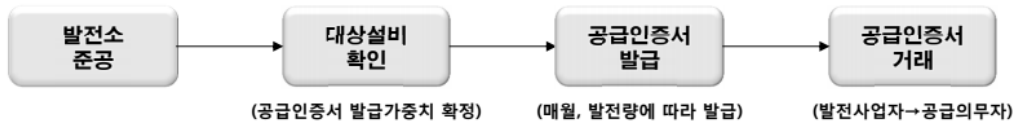
7) RPS제도 운영절차 및 주요내용

● **공급의무자는 인증서 확보 후 공급인증기관에 제출함으로써 의무이행 사실 증명**

- 인증서 확보 방법 : 자체조달(발전소 건설) 또는 외부조달(인증서 거래시장을 통해 공급인증서 구매)
- 이행분에 대해 이행비용 보전, 미이행분에 대해 과징금 부과(평균거래가격의 150%이내)



● **발전사업자는 공급인증기관으로부터 공급인증서를 발급받아 거래시장을 통해 거래**



2. REC (Renewable Energy Certificate) : 공급 인증서

1) 정의

공급인증서의 발급 및 거래단위로서 공급인증서 발급대상 설비에서 공급된 MWh 기준의 신·재생에너지 전력량에 대해 가중치를 곱하여 부여하는 단위를 말한다.

2) REC 가중치

발전형태가 어려울수록 가중치가 높다.

표 1. 신·재생에너지원별 가중치

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광 에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100kw미만
	1.0		100kW부터
	0.7		3,000kW초과부터
	0.7	임야에 설치하는 경우	-
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000kW이하
	1.0		3,000kW초과부터
	1.5	유지 등의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
	1.0	자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	5.0	ESS설비(태양광설비 연계)	2018년부터 2020년 6월30일까지
	4.0		2020년 7월1일부터 12월말일까지
기타 신·재생 에너지	0.25	IGCC, 부생가스, 폐기물에너지(비재생폐기물로부터 생산된 것은 제외), Bio-SRF	
	0.5	매립지가스, 목재펠릿, 목재칩	
	1.0	수력, 육상풍력, 조력(방조제 有), 기타 바이오에너지(바이오중유, 바이오가스 등), 자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	1.0~2.5	지열, 조력(방조제 無)	고정형
			변동형
	1.5	수열, 미이용 산림바이오매스 혼소설비	
	2.0	연료전지, 조류, 미이용 산림바이오매스(바이오에너지 전소설비만 적용)	
	2.0	해상풍력	연계거리 5km이하
	2.5		연계거리 5km초과 10km이하
	3.0		연계거리 10km초과 15km이하
	3.5		연계거리 15km초과
	4.5	ESS설비(풍력설비 연계)	2018년부터 2020년6월30일까지
	4.0		2020년 7월 1일부터 12월 말일까지

목재펠릿, 목재칩, Bio-SRF의 경우 표 1.에도 불구하고 아래의 기준에 해당하는 경우 각각에 해당하는 가중치를 적용할 수 있다.

구분	가중치	기준
목재펠릿, 목재칩	1.0	2019년 6월 30일까지 전기사업법 제61조에 따른 공사계획 인가(신고) 또는 집단에너지사업법 제22조에 따른 공사계획 승인(신고)을 받은 경우(단, 발전사업허가 또는 집단에너지사업 허가를 받고 2018년 6월 26일 이전에 상업운전을 개시한 경우는 제외)
Bio-SRF	0.5	

3. SMP(System Marginal Price) : 계통한계가격

1) 정의

계통한계가격이란, 발전소에서 생산된 전력의 시간대별 가격으로 거래시간별로 원자력이나 석탄화력을 제외한 일반 발전기에 대해 적용 된다. 계통한계가격에 따라 발전소의 수익여부가 결정이 된다. 한전이 발전사업자로부터 구입하는 전력 가격.

2) 계통한계가격의 개념

- (1) 각 발전소의 전력은 한국전력거래소를 통해서 가격이 책정이 된다.
- (2) 전력 가격은 용량가격(CP · Capacity Payment)과 계통한계가격(SMP · System Marginal Price)으로 구성된다.
- (3) 용량가격은 전력설비에 이미 투입된 고정비를 보전하고 계통한계가격은 변동비를 보전한다.
- (4) 시간대별로 발전하도록 돼 있는 발전기의 유효 변동비 가운데 가장 높은 것의 가격으로 결정된다. 이를 UCP(Unit Clearing Pricing)이라고 한다.

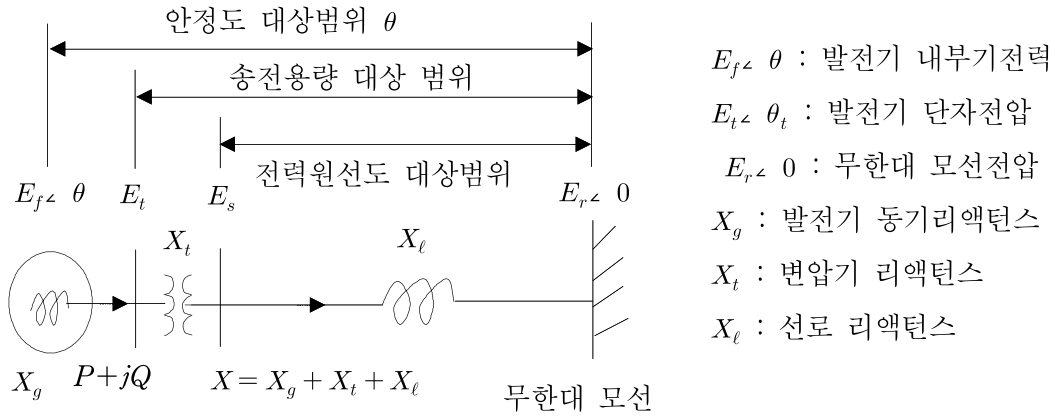
4. 약어간 연관사항

- 1) RPS제도 시행으로 해당 공급의무자들은 전력거래소에서 할당량만큼의 신재생에너지 공급인증서(REC)를 거래를 통하여 확보하여야 한다.
- 2) REC 거래시장은 계약시장과 현물시장으로 나눌 수 있다,
- 3) 계약시장은 발전사업자와 공급의무자 당사자 간의 장기계약이다.
계약은 $SMP + REC$ 로 구성된다. 장기간 안정적으로 전력을 판매할 수 있다.
- 4) 입찰에서 떨어진 발전 사업자는 현물거래시장으로 이동해서 REC를 매매 거래한다.
- 5) 공급의무자의 공급의무이행률이 60 ~ 70%정도이므로 계약시장에서 의무량을 채우지 못한 의무량은 현물시장에서 REC를 구입하여 보충한다.
- 6) REC가격은 변동가격이며 여러 가지 복합적인 요인으로 변동되지만 SMP가격도 변동요인의 하나이다.

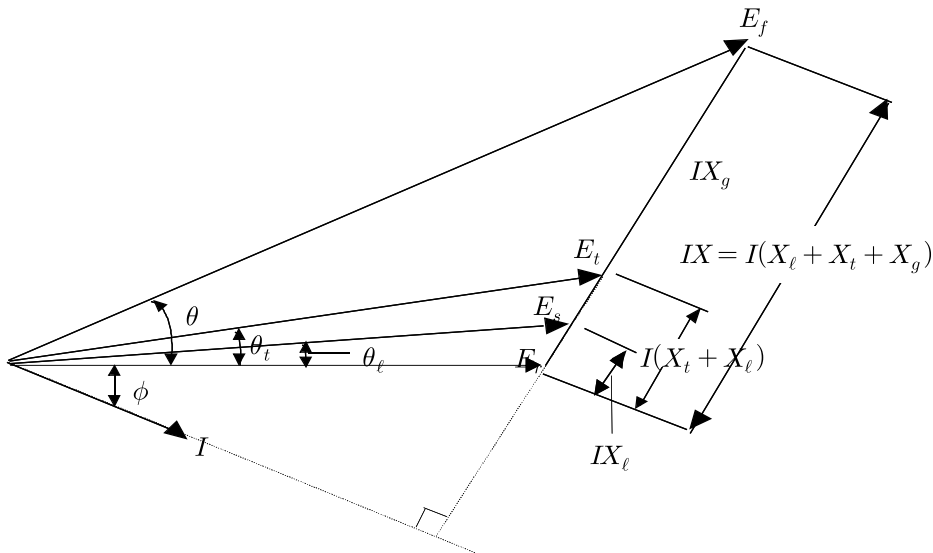
1-6. 전력계통의 안정도에서 동기화력(Synchronizing Power)을 설명하고, 1기 무한대 계통에서 전력 - 상차각을 이용한 안정도 판별에 대하여 설명하시오.

답)

1. 1기 무한대 모선 계통



< 모델 계통 >



< 벡터도 >

2. 전력과 상차각의 관계를 나타내는 기본식과 특성곡선

1) 전류

$$I = \frac{E_f \angle \theta - E_r \angle 0}{jX}$$

2) 전압

$$E_r \angle 0 = E_r \quad E_f \angle \theta = E_f (\cos\theta + j\sin\theta)$$

3) 송전전력

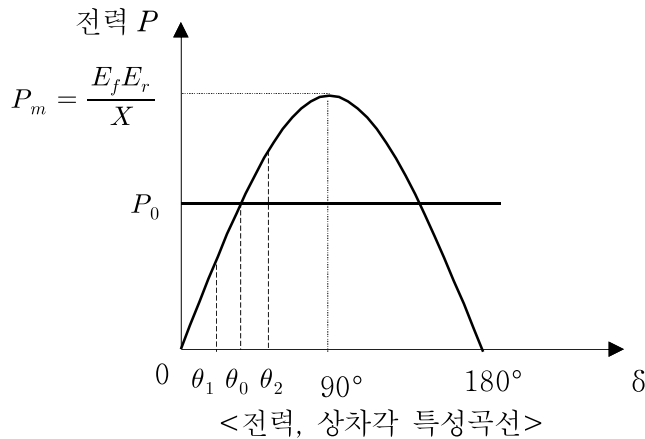
$$\begin{aligned} W_f &= P + jQ = E_f I^* \\ &= E_f \angle \theta \cdot \left(\frac{E_f \angle \theta - E_r}{jX} \right)^* = E_f \angle \theta \cdot \frac{E_f \angle -\theta - E_r}{-jX} = \frac{E_f^2 - E_f E_r \angle \theta}{-jX} \\ &= \frac{E_f^2 - E_f E_r (\cos\theta + j\sin\theta)}{-jX} = \frac{E_f E_r \sin\theta + j(E_f^2 - E_f E_r \cos\theta)}{X} \end{aligned}$$

4) 유효전력 P, 무효전력 Q

$$P = \frac{E_f E_r \sin\theta}{X}, \quad Q = \frac{E_f^2 - E_f E_r \cos\theta}{X}$$

위 의 P식을 전력, 상차각 특성을 나타내는 기본식이라 한다.

5) 전력상차각 특성곡선



3. 동기화력

1) 정의

동기란 같은 속도로 돈다는 의미로 주파수가 같다는 의미이다. 동기화력이란 회전속도를 일치시키는 즉, 주파수를 같게 하려는 힘을 말한다.

2) 위의 전력 상차각 곡선에서 기계적 입력과 전기적 출력이 일치한 θ_0 에서 운전하고 있던 중 어떤 원인으로 상차각이 θ_1 으로 이동하면 입출력간의 차가 발생하게 된다.

3) 발전기의 출력은 기계적 입력보다 $P_0 - P_m \sin\theta_0$ 입력이 과잉되어 발전기는 남은 에너지를 회전 에너지로 방출하기 위해 가속하게 된다.

- 4) 전동기는 반대로 입력부족으로 감속하게 된다.
- 5) 그 결과 상차각은 증대하여 원래의 상차각 θ_0 로 안착하게 된다.
- 6) θ_2 일때는 반대로 $P_m \sin \theta_2 - P_0$ 만큼 입력부족으로 발전기는 감속하고, 전동기는 가속하게 된다. 그 결과 상차각은 감소하여 원래의 상차각 θ_0 로 안착하게 된다.
- 7) 이 때 θ_1 에서 θ_0 로 이동시키고, θ_2 에서 θ_0 로 이동시킨 힘을 동기화력이라 한다.
- 8) θ 의 변화에 의해 생기는 출력증가분 ΔP_G 또는 그 미분계수 $\frac{dP_G}{d\theta}$ 를 발전기 동기화력이라 한다.

$$\frac{dP_G}{d\theta} = \frac{E_f E_r \cos \theta}{X}$$

4. 안정도 판별

- 1) 전력상차각 곡선에서 90° 이내 범위에서는 상차각이 운전점을 벗어나도 원래의 운전점을 회복 하지만 90° 를 넘어가는 범위에서는 전력이 감소함에 따라 상차각은 더 벌어져가서 안정운전을 할 수 없게 된다.
- 2) 전력상차각 곡선이 90° 일 때를 안정운전의 한계점으로 보고 이 때의 전력을 정태안정 극한전력이라 한다. $\frac{dP_G}{d\theta} = 0$
- 3) 안정성을 유지하기 위해서는 동기화력이 $\frac{dP_G}{d\theta} > 0$ 일 때가 안정조건이 된다.
- 4) 동기화력이 $\frac{dP_G}{d\theta} < 0$ 일 때는 불안정으로 판정된다.

1-7. 화력발전기 운영 변동비의 대부분은 연료비이다. 가동단계별 전력생산비용 구성요소에 대하여 설명하시오.

답)

1. 가동시 전력생산비용 구성요소

1) 가동비용 산정기준

발전기별 열간(hot)가동 운전실적을 기준으로 산정한다.

2) 가동비용 구성요소

가동비용 구성요소 = 가동연료비 + 소내 소비전력비 + 용수비

(1) 가동연료비

가동 및 정지시 사용되는 주연료 및 보조연료 비용

(2) 소내소비전력비

가동 및 정지시 보조기기 운전 등을 위해 소비되는 소내전력 비용

(3) 용수비

가동 및 정지시 사용되는 용수(순수) 비용으로 ‘원수료 + 전력료 + 원수처리 약품비 + 여재수지 교체비 + 기타비용’

3) 가동비용 적용기준

(1) 원자력 및 수력·양수발전기

원자력 및 수력·양수발전기는 가격결정 발전계획 수립시 가동비용을 적용하지 않음

(2) 기력 발전기

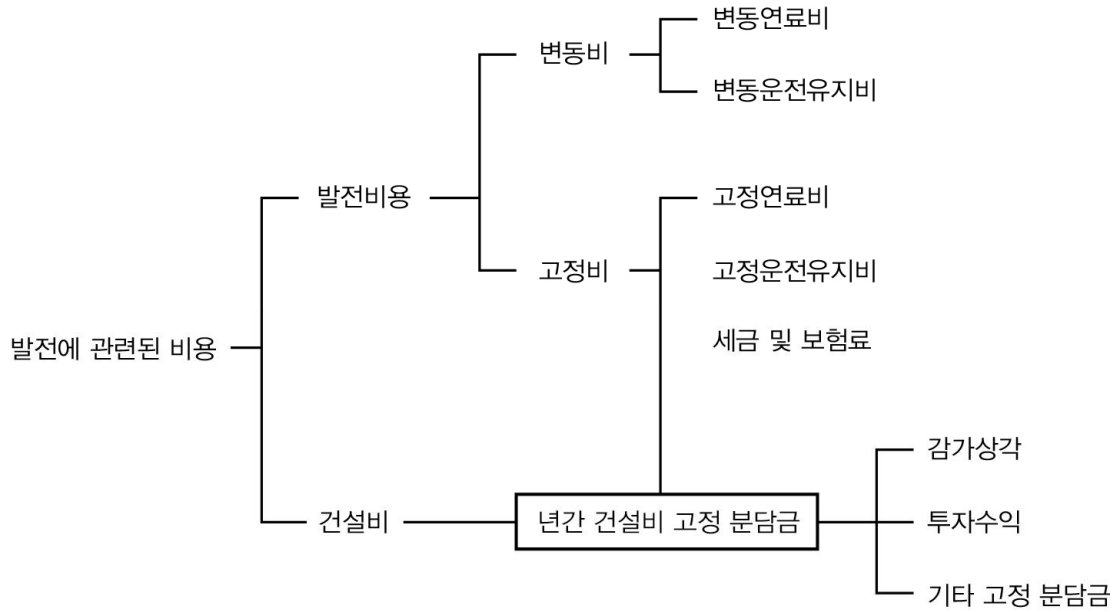
분기별로 전력거래소에 제출된 발전기별(유류, 국내탄, 역청탄)가동비용 중 평균값 이상의 발전기는 평균가동비용 단가를 적용하며, 평균값 이하의 발전기는 자기가동비용을 적용함.

(3) 복합화력 발전기

구 분		가동비용 반영수준
GT모드	GT:ST=3:1이하	GT 1대 비용
	GT:ST=4:1이상	GT 2대 비용
CC모드	GT:ST=3:1이하	GT 1대 + ST 비용
	GT:ST=4:1이상	GT 2대 + ST 비용

2. 정격운전시 전력생산비용 구성요소

- 일반적으로 발전에 관련된 비용은 발전기 부지 매입을 포함한 건설비, 연료비, 운전유지비, 폐기물 저장 및 처리비, 발전기 폐지비용 등으로 구성된다.
- 발전비용은 크게 고정비와 변동비 부분으로 구성되는데, <그림 1>에는 이들 비용요소들이 개략적으로 설명되어 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 연료비 및 운전유지비는 고정 요소와 변동 요소로 분류된다.



〈그림 1〉 발전단가의 구성 요소

(1) 고정비

보일러나 원자로, 또는 터빈/발전기(turbine/generator) 등과 같이 장기간에 걸쳐 이용되는 설비와 관련된 비용을 의미하며, 발전량에 비례하여 변동하지 않는 부분을 말한다.

- ① 건설비 가운데 연간 건설비 고정부담분(Annual Fixed Investment Charges)은 발전기의 준공시점에서 본 건설비와 등가인 수명기간 중의 연간등가금액(Annuity), 폐로기금(원자력 발전기의 경우) 등으로 구성된다.
- ② 고정 운전유지비(Fixed O&M Cost)의 예로는 인건비가 있으며, 고정연료비(Fixed Fuel Cost)의 예로서 연료저장(유연탄 등)에 소요되는 비용을 들 수 있다.
- ③ 연간 등가금액과 운전유지비, 세금, 보험료 등을 포함한 비용을 준공시점에서 본 건설비로 나눈 것을 고정비율(FCR: fixed charge rate)이라 한다.

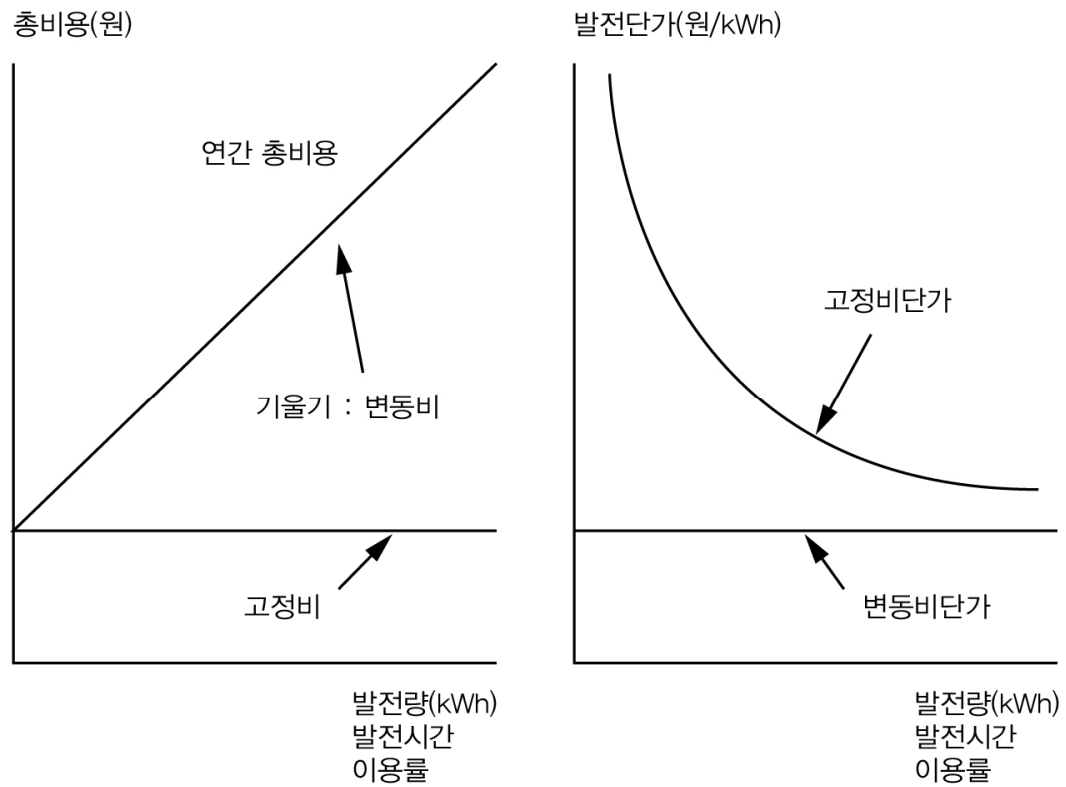
(2) 변동비

비교적 짧은 기간(보통 1년 이내)에 걸쳐 소요되는 재화 및 서비스에 관련된 비용.

- ① 변동비는 일반적으로 발전량(kWh)에 따라 변화하며, 변동 연료비(Variable Fuel Cost) 및 변동 운전유지비(Variable O/M Cost)로 구성된다.
- ② 변동비 원가는 상수처럼 나타나 있는데 이것은 발전기효율을 상수라고 가정하였기 때문이다.

3) 발전량과 발전단가의 관계

〈그림 2〉는 발전시간에 따른, 즉 발전량의 변화에 따른 변동비, 고정비, 고정비 단가, 변동비 단가의 변화를 보여준다.



〈그림 2〉 발전량과 발전단가의 관계

1-8. 가공송전선로에서 전선벌어짐현상(Bird Cage)의 발생 원인과 원인별 방지대책을 설명 하시오.

답)

1. 원인

일반적으로 ACSR전선의 가선공사 중 전선벌어짐 현상이 일어나는데 그 원인은 다음과 같다.

- 1) 전선회전
- 2) AI소선의 늘어남
- 3) 전선의 밀림 등

2. 원인별 대책

1) 전선회전의 방지

- (1) 연선작업시 연선 Wire와 전선간 Counter Weight를 달아서 wire의 회전력이 전선에 미치지 않도록 한다.
- (2) 전선자신의 회전력에 의하여 전선이 회전하는 것을 방지한다.
- (3) 중각도(수평각 30°이상)의 연선은 가급적 피한다.
- (4) 각도개소에서 사용하는 활차는 될 수 있으면 가벼운 활차를 사용한다.
예를 들면 2륜 금차를 피하고 1륜 금차를 사용한다..

2) AI소선의 늘어남을 작게 한다.

- (1) 직경이 큰 활차를 사용한다. 통상 활차의 직경은 전선외경의 15배 이상 일 것
- (2) 고장력 연선은 피하고 통상 연선장력은 전선인장하중의 10% 정도로 한다.

3) 전선의 밀림을 작게 한다.

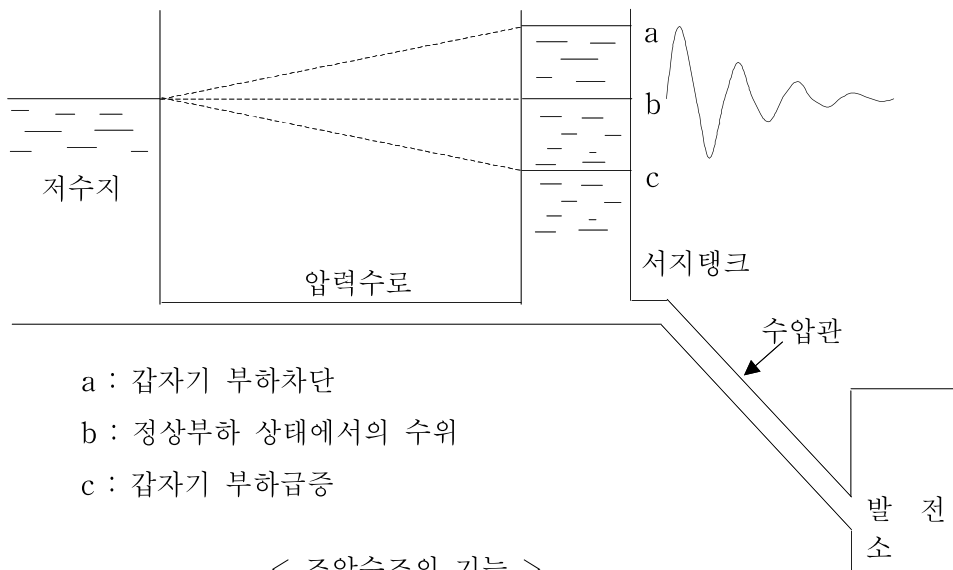
- (1) 저항이 큰 활차는 사용하지 않고 직경이 큰 활차를 사용한다.
- (2) 연선차로서 Slip type의 것(unicycle sheave 1륜 연선차)은 피하고 Shoe chain Type의 것을 사용한다.
- (3) 전선의 표면의 기름이 건조한 경우에는 연선차에 들어가기 전에 약간의 주유를 해서 미끄럼을 양호하게 한다.

1-9. 수력발전에서 조압수조(Surge Tank)의 기능과 종류에 대하여 설명하시오.

답)

1. 조압수조의 기능

- 1) 수력발전소의 부하가 급격하게 변화 하였을 때 유속의 변화로 압력이 상승하는 수격작용을 흡수한다.
- 2) 수차의 사용유량의 변동에 의한 서징작용을 흡수한다.
- 3) 서징작용 개념도

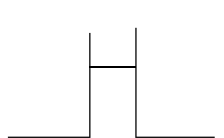


< 조압수조의 기능 >

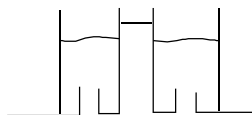
- (1) 부하가 차단되면 조압수조내의 수위가 순간적으로 상승해서 a가 된다.
- (2) 조압수조의 수위가 저수지 수위보다 높아져 물은 압력수로로 역류해서 c점에서 정지한다.
- (3) (1),(2) 과정을 되풀이 한후 b에서 정지한다.
- (4) 이처럼 부하증가에 따라 조압수조내의 수위가 시간과 더불어 상하로 진동하는 현상을 서징작용이라 한다.

2. 조압수조의 종류 및 특징

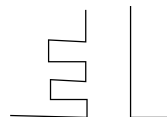
- 1) 종류



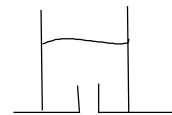
< 단동형 >



< 차동형 >



< 수실형 >



< 제수공형 >

2) 단동 서지탱크

(1) 구조 : 수조와 수로를 연결한 구조.

(2) 특징

- ① 큰 용량의 수조를 필요로 한다.
- ② 수격작용의 흡수가 확실하다.
- ③ 발전소의 운전이 안정된다.

3) 차동 서지탱크

(1) 구조

수조내부에 단면적의 70 ~ 100%의 단면을 갖는 라이저를 세워서 이것과 수로를 직결함과 동시에 수조와 수로를 작은 구멍(포토)으로 연결한 구조.

(2) 특징

- ① 구조가 복잡하다.
- ② 수격의 감쇠가 빠르다.
- ③ 수조 용량이 작아진다.(단동식의 50%정도)

4) 수실 서지탱크

(1) 구조 : 수조의 상, 하단에 수실을 설치한 구조.

(2) 특징

저수지의 이용수심이 크고 지형에 따라 원통형 수조를 설치할 수 없는 경우 수실을 적당히 맞추어 시공할 수 있다.

5) 제수공 서지탱크

(1) 구조

차동 서지탱크의 라이저를 제거하고 수조와 수로를 조그마한 제수공으로 결합한 것.

(2) 특징

- ① 구조가 간단하며 경제적이다.
- ② 수격작용을 충분히 다 흡수할 수 없기 때문에 채용 시는 주의가 필요하다.

1-10. 절연재료에 전압을 인가하여 어느값에 도달하게 되면 급격하게 대전류가 흘러 도체와 같게 되는 현상을 절연파괴라고 한다. 다음 물음에 답하시오.

- 1) 기체의 절연파괴를 파센의 법칙으로 설명하시오.
- 2) 고체의 절연파괴를 열적 파괴와 전기적 파괴로 나눠서 설명하시오.

답)

1. 파센의 법칙

1) 정의

평등전계에 걸리는 불꽃전압(V_s)은 온도가 일정할 경우, 기압 P 와 갭의 간격 d 와의 곱인 ($P \cdot d$)만의 함수가 된다는 것을 파센의 법칙(Paschen's law)이라 한다.

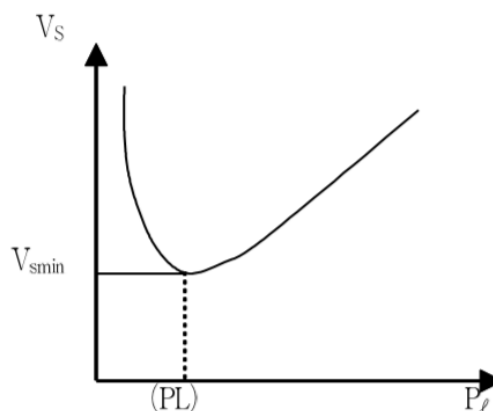
2) 불꽃전압 식

$$V_s = f(Pd) = B \times \frac{Pd}{\text{const} + \log Pd}$$

여기서, V_s 는 불꽃전압, P 는 기압, d 는 갭의 간격거리이다.

3) 기체의 절연파괴

- (1) 이 법칙은 (Pd)의 넓은 범위에 걸쳐서 성립한다.
- (2) 파센의 법칙을 일반화하여 전극 및 갭의 간격을 일정한 모양으로 n 배하고, 기압을 $1/n$ 배 하면 불꽃전압은 동일하며, 이 경우 방전에 의하여 흐르는 전류도 변하지 않는다. 이들 법칙을 총괄하여 상사율(相似律 : Law of Similarity)이라 한다.
- (3) 이것은 어느 상태에서 얻은 값으로부터 다른 상태를 비교하는 경우에 중요한 법칙이다. 그림과 같이 불꽃전압이 어느 값(Pd) c 에서 최소치 V_{\min} 로 되는 V 곡선 이 나타나며, Pd 값 이 이 값보다 크게 되어도, 적게 되어도 불꽃전압을 증가한다. 기체의 절연이 파괴된다.
- (4) 온도가 변화할 때에는 P 대신에 기체밀도 δ 를 쓰면(δd)만의 함수로 된다. 그러나 기압이 너무 증가하면(공기에서 약 $50[\text{kg}/\text{cm}^3]$) 불꽃방전 전압은 기압의 증가율보다 적게 증가한다.



2. 고체의 절연파괴

1) 절연파괴

(1) 정의

전압을 증가시키면 어떤 임계치에서 절연체 내부를 통해 방전이 일어나고 절연체는 파괴되어 절연성이 사라지는 현상을 말한다.

(2) 절연파괴강도 E

$$E = \frac{V_d}{d} \quad (V_d : \text{인가전압}, d : \text{전극간 거리})$$

절연파괴현상은 대단히 복잡하며 파괴강도는 온도, 전극형태, 전원종류, 전압상승속도, 인가시간, 주위매질 등에 의해 크게 변한다.

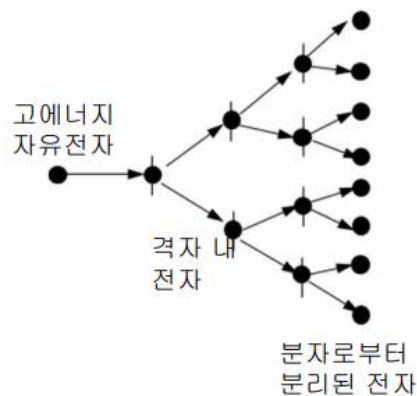
2) 전기적 파괴

(1) 정의

전자의 충돌에 따른 이온화 작용에 의한 전자사태(Electron avalanche)에 의해서 절연파괴가 발생하는 현상을 전기적 파괴라 한다.

(2) 전자사태

- ① 자유전자가 높은 전계에 의해 가속되면 격자와의 충돌로 연쇄적으로 자유전자의 수가 증가하게 되는데 이 결과로 결정격자가 깨어져 절연성이 파괴된다.
- ② 이 기구는 절연파괴의 전형적이고 본질적인 것으로 사태파괴(Avalanche breakdown)라 한다.
- ③ 전자사태 개념도



(3) 원인

- ① 불순물에 잡힌 전자가 전계에 의해 자유롭게 이동
- ② 전극의 전계방출에 의한 영향

- (4) 전기적 파괴는 전압이 가해져서 파괴가 일어날 때까지의 시간이 $10^{-6} \sim 10^{-8}[\text{s}]$ 로 대단히 짧다.

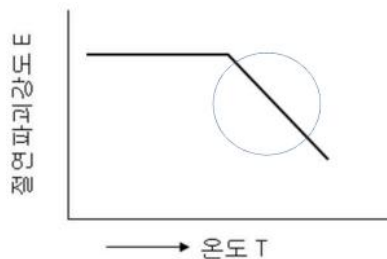
3) 열적파괴

(1) 정의

어느 온도 이상에서 파괴강도(E)가 고온영역에서 감소하는 현상이 열적파괴이다. 이와 같은 현상은 고온 영역에서는 별도의 파괴기구가 작용한다는 것을 나타낸다.

(2) 원리

- ① 전계가 인가되면 전자 및 이온의 이동으로 전류가 흐르므로 주열열이 발생되어 온도가 상승한다.
- ② 이때 열의 대부분은 표면으로 방출되므로 일정 온도에서 평형을 이룬다.
- ③ 그런데 평형이 깨져서 주열열에 의해서 온도가 상승하면 도전율이 커지게 되고 전류증가로 주열열이 더욱 증가하게 되어 마침내 열적파괴로 이어진다.
- ④ 고온영역에서의 절연파괴 전계의 저하



- ⑤ 이와 같이 주열열에 의한 온도가 평형값 이상으로 상승하면 주열열에 의한 전자의 격렬한 운동으로 인해 전자가 연쇄반응으로 발생되므로 절연파괴에 이르게 된다.
 - ⑥ 열적 파괴는 비교적 천천히 일어나기 때문에 냉각효과를 잘 이용하면 절연피해를방지할 수 있다.
- (3) 실제의 경우는, 전기적 파괴와 열적 파괴가 동시에 발생하기 때문에 두 기구를 분별하기 어렵다.
- (4) 그러므로 순수한 전기적 파괴를 측정하려면 충격전압(Impulse voltage)을 인가하는 파괴 시험을 해야 한다.
- (5) 이 방법은 열의 축적이 안 되고 또 공간전하의 영향이 없으므로 전자사태만 발생한다.

1-11. 태양광발전시스템에서 인버터의 단독운전 방지를 위한 수동적 검출 방식과 능동적 검출방식에 대하여 설명하시오.

답)

1. 단독운전 검출기능

1) 수동적 방식

개방점 전력이 제로에 가까운 조건에서 단독운전상태가 되면 전압과 주파수 변화는 아주 적기 때문에 국한화 계전기로 이 상태를 검출할 수 없다. 때문에 주파수와 위상변화 등에 고감도로 응답하는 다음의 수동적 방식으로 단독운전을 검출해야 한다.

- (1) 주파수 변화율 검출방식
- (2) 전압위상도약 검출방식
- (3) 3차 고조파전압 왜곡검출방식

2) 능동적 방식

(1) 종래형 능동적 방식

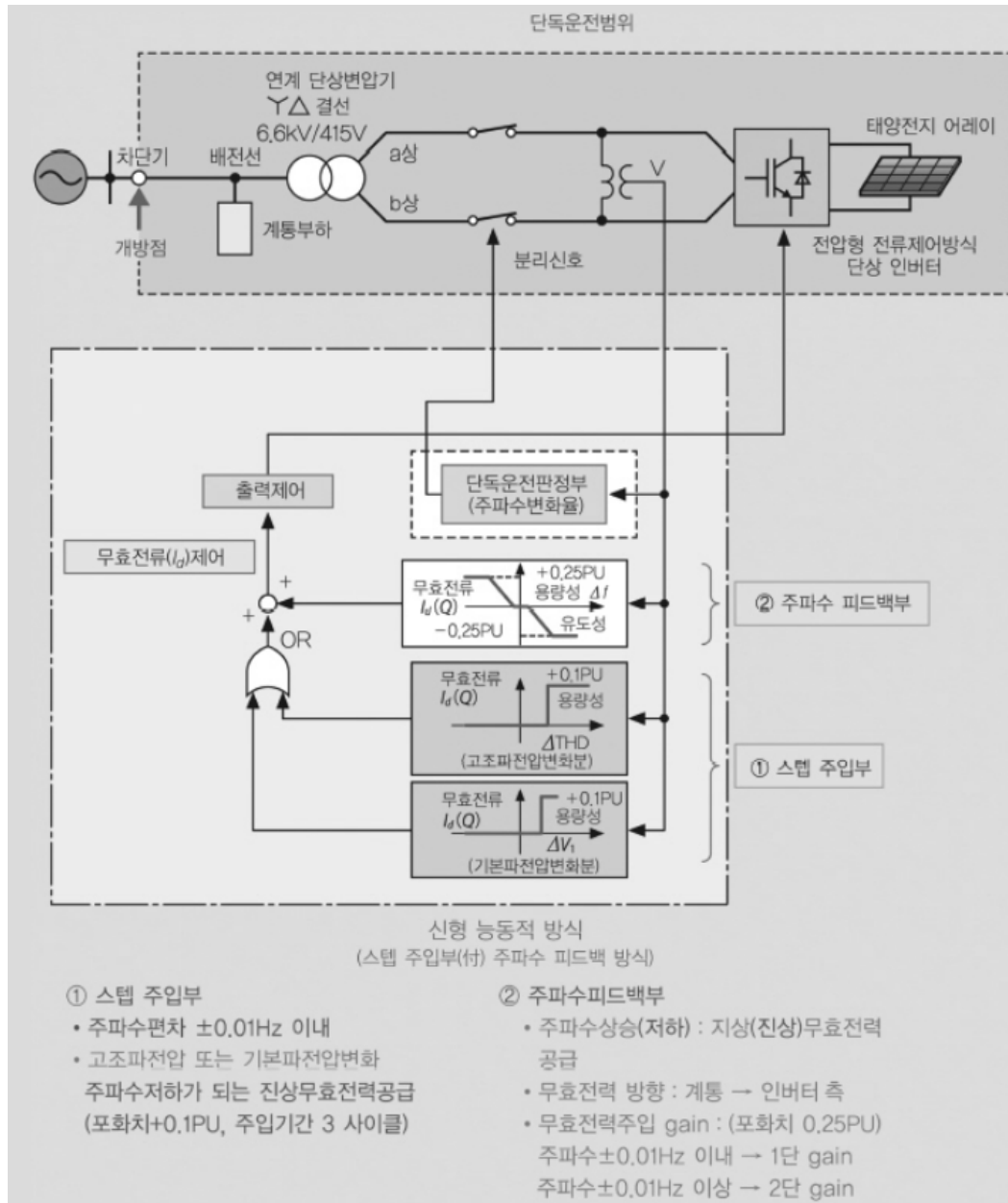
개방점 전력이 완전히 제로인 조건에서 단독운전상태로 이행하면 주파수와 전압은 변하지 않기 때문에 능동적 방식으로 단독운전상태를 검출해야 한다. 이 방식은 역변환장치(인버터)의 제어회로 등에 대해 상시 전압과 주파수 변동(능동신호)을 제공하고 단독운전이행 후에 현저해지는 주파수 등의 변화로 단독운전상태를 검출하는 것이며, 다음의 종래형과 이것보다 고성능의 신형이 있다.

- ① 주파수 시프트 방식
- ② 슬립 모드 주파수 시프트 방식
- ③ 유효·무효 전력변동방식
- ④ 차수간 고조파주입방식
- ⑤ 부하변동방식

(2) 신형 능동적 방식(「계통연계규정 2020」의 추가규정)

- ① 주상변압기에서 고저압 혼촉사고 시 접지점의 전위가 600V를 초과하지 않도록 B종 접지공사가 행해지고 있는 경우는 1초 이내에 혼촉 사고는 제거되어야 한다. 고저압 혼촉 사고가 발생한 후 배전용 변전소의 지락계전기가 동작하여 배전용 변전소의 인출구 차단기가 개방되기까지 0.5~0.9초의 시간이 걸린다.
- ② 태양광발전 설비 등이 연계된 상태에서 이 차단기가 개방된 후에는 단독운전상태가 되고 여기에 흐르고 있는 전력이 제로에 가까운 조건에서는 수동적 방식과 능동적 방식으로 단독운전을 검출해야 한다.
- ③ 혼촉사고를 1초 이내로 제거하기 위해서는 이러한 방식으로 인한 단독운전 검출시간과 분산형 전원 차단시간의 합계는 0.1~0.5초 이내여야 한다.
- ④ 그러나 다수대(多數臺)의 태양광발전설비 등이 연계되어 있는 경우에는 종래형 능동적 방식으로는 능동신호의 상호간섭 등으로 인해 이 시간 내에 단독운전을 검출하는 것이 곤란하다는 점이 상정된다. 이 때문에 「계통연계규정 2020」에는 신형 능동적 방식이 규정됐다.

- ⑤ 신형 능동적 방식은 스텝 주입부 주파수 피드백 방식이라고 하며 인버터용으로 개발된 것으로 주파수 변동을 검출하면 그 변동을 조장하는 방향으로 급속히 무효전력을 주입하는 주파수 피드백부와 주파수 변동이 근소한 경우에는 고조파 전압과 기본파 전압 변화로 인해 용량성 무효전력을 주입하여 주파수가 저하하는 방향으로 변동을 일으켜 주파수 피드백부를 가능하게 하는 스텝 주입부로 구성된다.
- ⑥ 신형 능동적 방식(스텝 주입부(付) 주파수 피드백 방식)



이 방식은 고속으로 단독운전을 검출할 수 있어 동일 방식 간에 상호간섭이 없고 다수대 연계 시에 능동신호가 계통전압과 주파수에 영향을 주지 않는 특징이 있다. 현재는 단상용이 개발되어 사용되고 있다.

2. 단독운전 검출기능의 여러방식

[표 2] 단독 운전 검출기능의 여러 방식					
방식		계통 종별		검출 원리	특징
		저압	고압		
수동 방식	전압 위상 도약 검출	○	○	발전 출력과 부하의 불평형에 의한 전압 위상 급증을 검출한다.	발전 출력과 부하가 완전히 평형을 이루면 검출할 수 없다.
	3차 고조파 전압 왜형 급증 검출	○		변압기에 의존하는 3차 고조파 전압 급증을 검출한다.	불평형이 없는 3상 회로에는 적용할 수 없다. 저압 계통의 단상 연계만 적용.
	주파수 변화를 검출	○	○	발전 출력과 부하의 불평형에 의한 주파수 급증을 검출한다.	대용량의 안정된 전원을 연계하면 검출할 수 없다.
능동 방식	주파수 이동	○		역변환 장치의 내부 발진기 등에 주파수 바이어스를 공급해 단독 이행 시 나타나는 주파수 변화를 검출한다.	주파수 바이어스가 너무 크면 평상시 운전 역할이 나빠진다.
	슬립 모드 주파수 이동	○		정격 주파수의 주파수 변화에 대해, 출력 전류 위상이 급속히 회전하는 특성을 가지게 함으로써 아주 작은 주파수를 정위함으로써 주파수 이상으로 검출한다.	인버터 전원만 대상으로 한다.
	QC 모드 주파수 이동		○	계통 주파수 변동(변화율)의 극성과 크기에 맞춰 발전기 출력을 요동시켜 단독 이행 후 정위한 루프에 따라 증폭하는 주파수 변동을 검출한다.	동기 발전기만 대상으로 한다.
	유효 전력 변동	○		발전기에 주기적으로 유효 전력 변동을 줘 단독 이행 시 나타나는 주기적인 전압 변동, 전류 변동 또는 주파수 변동을 검출한다.	여러 대 설치할 경우, 유효 전력 변동 주기가 상호 간섭해 검출 감도가 떨어질 수 있다.
	무효 전력 변동	○	○	발전기에 주기적으로 무효 전력 변동을 줘 단독 이행 시 나타나는 주기적인 주파수 변동 또는 전압 변동을 검출한다.	여러 대 설치할 경우, 유효 전력 변동 주기가 상호 간섭해 검출 감도가 떨어질 수 있다. 유도 발전기에는 적용 불가.
	무효 전력 보상		○	무효 전력 변동 방식과 원리는 같으나, 정지형 무효 전력 보상 장치 등을 함께 설치해 그 장치의 전압 설정 값에 주기적으로 변동을 주는 방식이다.	보상 장치 외에 무효 전력 보상 장치를 설치해야 한다.
	부하 변동	○	○	부하 저항을 주기적으로 단시간 삽입하고 그때 계통 측 전류와 발전기 측 전류의 비율(전류 분담 비율) 변화를 이용해 검출한다.	여러 대 설치할 경우, 상호 간섭해 검출 감도가 떨어질 수 있다. 운전 중에 전력 손실이 발생한다.
	치수 간 고조파 주입		○	계통에 미량의 치수 간 고조파 전류를 주입해 주입 치수의 고조파 전압, 전류를 측정함으로써 계통 임피던스를 감시하고 단독 운전 이행 후 계통 서셉턴스의 변화로 검출한다.	장거리 배전선 등으로 계통 임피던스가 클 경우, 검출이 어렵다.

1-12. 수차의 공동현상(Cavitation) 발생원인 및 영향, 방지대책에 대하여 설명하시오.

답)

1. 정의

운전중인 수차의 어느 부분에서의 압력이 그때의 수온의 포화증기압 이하로 저하하면 그 부분의 물은 증발해서 수증기로 되어 유수중에 미세한 기포가 발생한다.

이 기포가 주위의 물과 함께 흘러서 압력이 높은곳에 도달하면 더 이상 기포를 유지하지 못하고 터져서 매우 높은 압력이 발생해 부근의 물체에 큰 충격을 주어 수차의 각 부분(러너와 버킷)을 침식하게 되는 현상을 캐비테이션이라 한다.

2. 발생원인

- 1) 수차의 비속도가 너무 높은 때 발생한다.
- 2) 수차의 흡출고가 너무 높을 때 발생한다.
- 3) 과도한 부분부하 운전, 과부하 운전으로 운전하면 발생한다.
- 4) 러너의 재질이 부식에 약할 경우 캐비테이션 영향이 심화된다.
- 5) 기타 압력변화가 심한 상태변화를 겪을 때 물이 포화증기압 이하로 압력저하가 발생하면 발생한다.

3. 캐비테이션의 영향

- 1) 수차의 효율, 출력, 낙차가 저하된다.
- 2) 유수에 접한 러너나 버킷에 침식이 발생한다.
- 3) 수차에 진동을 일으켜 소음이 발생한다.
- 4) 흡출관 입구에서 수압의 변동이 심해진다.

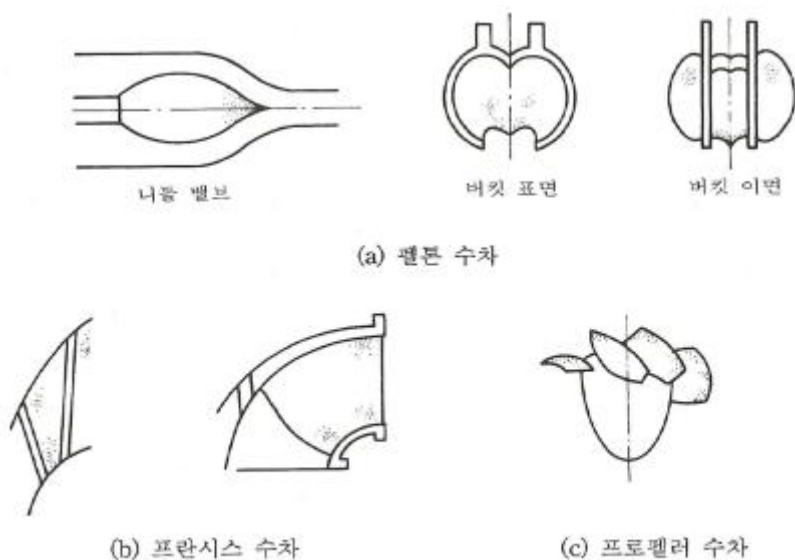


그림 6.29 캐비테이션에 의한 침식 예

4. 캐비테이션 방지대책

- 1) 수차의 비속도를 너무 크게 잡지 않는다.
(Ns의 값이 큰형식의 수차에서 많이 발생)
- 2) 흡출관의 높이를 너무 높게 취하지 않을 것.
- 3) 침식에 강한재료(스테인레스강)로 러너를 제작한다.
- 4) 러너표면을 매끄럽게 가공 정도를 높일것.
- 5) 과도한 부분부하, 과부하 운전을 가능한 피할 것.

5. 캐비테이션 계수(토마계수)

- 1) 정의 : 캐비테이션 발생을 나타내는 계수
- 2) 관계식

$$\sigma = \frac{H_a - H_v - H_s}{H} \doteq \frac{H_a - H_s}{H}$$

단, H : 유효낙차[m]

H_a : 대기압에 상당하는 수두[m] (10.33 [m])

H_v : 현재의 물의 증기압에 상당하는 수두[m] (≒0)

H_s : 흡출고[m]

- 3) 특징

- (1) Toma 계수가 클수록 H_s 가 작을수록 캐비테이션은 발생하지 않는다.
- (2) 흡출고 H_s 는 이론적으로 10.33 [m]까지 가능하지만 이것이 너무 높으면 캐비테이션이 발생하기 쉬우므로 실제로는 6 ~ 7 [m] 이내로 하고, 저낙차의 대용량 수차에서는 2 ~ 3 [m]로 설계하고 있다.

1-13. 정격출력 240MW 수차발전기가 60MW의 출력으로 60Hz 전력계통에 접속되어 운전하고 있다. 계통의 주파수가 59.5Hz로 갑자기 낮아졌다면 이 발전기의 출력을 구하시오. (단, 이 수차발전기의 속도조정률은 4%이고 직선허성을 갖는다.)

답)

1. 발전전력 주파수 특성정수 K_G

$$K_G = -\frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{100P_n}{\delta F_n} [MW/Hz] = \frac{100 \times 240}{4 \times 60} = 100 [MW/Hz]$$

단, ΔP : 전력 변화량[MW], ΔF : 주파수 변화량[Hz], P_n : 발전기 정격출력[MW],
 δ : 속도조정률[%], F_n : 정격주파수[Hz], 우리나라 60[Hz]

2. 발전기 출력 계산

- 1) $\Delta F = -0.5 [Hz]$
- 2) $\Delta P = -K_G \cdot \Delta F = -100 \times (-0.5) = 50 [MW]$
- 3) 발전기 출력은 50 [MW] 더 증가하여 110 [MW]가 된다.



제 2교시 문제풀이

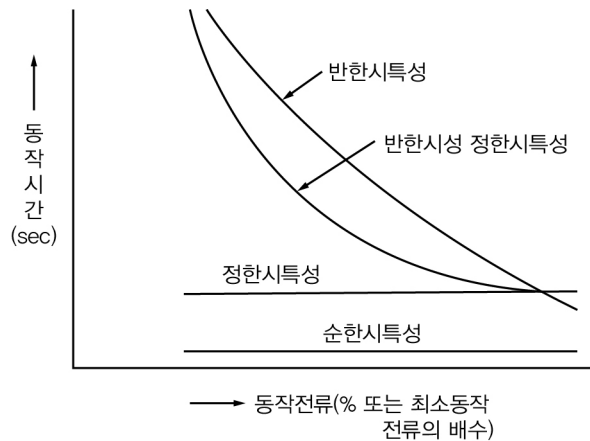
2-1. 배전계통에 사용하는 보호기기의 다음 사항에 대하여 설명하시오.

- 1) T-C 특성곡선(Time-Current Characteristic Curve)
- 2) Pick - Up 배수
- 3) T-C 특성곡선과 Pick - Up 배수의 상호관계

답)

1. T-C 특성곡선(Time-Current Characteristic Curve)

- 1) T-C 특성이란 입력전류와 동작시간간의 관계를 나타내는 보호기기의 고유한 특성 중의 하나이다.
- 2) 보호기기의 종류에 따라 T-C 특성이 서로 다를 뿐만 아니라 어떤 보호기기는 사용자가 선택할 수 있도록 T-C 특성을 여러 개 가지고 있다.
- 3) T-C 특성을 X-Y 좌표에 나타내면 곡선이 그려지는데 이를 T-C 특성곡선이라 한다.
- 4) X축에는 입력전류 요소(Pick - Up 배수 단위)를 그리고 Y축(Sec 또는 Cycle 단위)에는 동작시간요소를 나타내는데 X,Y축 모두 Log축척(Scale)을 사용한다.
- 5) 보호계전기 종류별 T-C 특성곡선



- (1) 순한시 계전기
 - ① 일정한 값 이상일 경우 즉시 동작.(보통 0.3 sec)
 - ② 고속도계전기 : 0.5~2Hz에서 동작하는 계전기
- (2) 정한시 계전기

입력치에 관계없이 일정시간후 동작하는 것
- (3) 반한시 계전기

입력치의 증감에 따라 동작속도가 반대적 요소를 갖는 것.

 - 입력량이 클 때 : 신속 차단

- 입력량이 적을 때 : 정한시 차단

이러한 경향이 강한 것을 강반한시라 한다.

(4) 반 정한시 (반한시 + 정한시)

입력치의 어느 범위까지는 반한시 특성을, 그 이상이 되면 정한시 특성을 가지는 것.

(5) 단한시

① 순시동작 : 송전선 주 보호 구간에 고장이 발생시

② 한시동작 : 인접외부 동작시

2. Pick - Up 배수

1) Pick - Up (동작 값)

입력이 없는 상태에 있는 계전기의 가동부가 입력이 가해져서 최종 동작위치로 이동하는 것.

2) Pick - Up 배수

(1) 고장전류 값을 최소동작전류 값으로 나눈 값을 말한다.

(2) 예

최소동작전류가 400A로 정정되어 있는 보호기기에 4,000A의 고장전류가 흐르면 Pick - Up 배수는 $4,000 \div 400 = 10$ 배(1,000%)가 된다.

(3) 최소동작전류를 Pick - Up 전류라고도 하니까 Pick - Up 배수는 고장전류가 최소동작전류에 몇 배인가를 표시하는 것이다.

3. T-C 특성곡선과 Pick - Up 배수의 상호관계

1) T-C 특성곡선은 동작시간과 Pick - Up 배수간의 관계이다.

2) 보호협조가 잘되게 하기 위하여 고장전류를 사용하지 않고 Pick - Up 배수로 환산하여 사용한다.

3) 만약 T-C특성에 Pick - Up 배수가 아닌 고장전류를 사용한다면 같은 곡선을 사용하는 보호기기간에는 보호협조를 맞추기가 매우 곤란하다.

4) 왜냐하면 고장전류 값은 고장점 전원 측으로는 거의 같기 때문이다. 즉, 같은 T-C특성곡선에 서는 고장전류 값이 같으면 동작시간 값도 같을 것이므로 두 보호기기간에 동작시간차가 나지 않기 때문에 협조가 불가능해진다.

5) 최소동작전류란 보호기기가 동작하게 되는 최소 입력전류 값이다.

6) 보호기기는 정상전류가 흐를 때 동작하지 않아야 하므로 최소동작전류는 최대부하전류보다 커야하는데 보통 안전계수를 계상하여 최대부하전류에 1.5배 이상으로 정정하고 있다.

7) 보호기기의 최소동작전류 값은 그 설치점의 최대부하전류 값에 비례하게 된다.

8) 따라서 Pick - Up 배수는 최대부하전류 값에 반비례하게 되고 동작시간은 최대부하전류 값에 비례하게 된다.

$$\text{동작시간} \propto \frac{1}{I_{ck}-U_p \text{배수}} \propto \text{최소동작전류} \propto \text{최대부하전류}$$

9) 보통은 후비보호기기 최소동작전류가 전위 보호기기의 최소동작전류보다 크므로 보호협조가 가능하게 된다.

2-2. 스마트그리드를 전력계통에 운영 측면과 산업적 측면에서 기존의 전력망과 비교하여 설명하시오.

답)

1. 정의

기존 전력망에 정보·통신기술을 접목하여, 공급자와 수요자간 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 지능형 수요관리, 신재생 에너지 연계, 전기차 충전 등을 가능케 하는 차세대 전력인프라 시스템을 말한다.

2. 전력계통에 운영 측면에서 기존전력망과 비교하여 설명

구 분	현재 전력망	스마트 그리드
통제시스템	아날로그	디지털
발전	중앙집중형	분산형
송·배전	공급자 위주 (단방향)	수요·공급 상호작용 (양방향)
전력공급원	중앙전원, 화석연료 위주	분산된 전원의 증가 (태양력, 풍력, 전기차)
고장진단	불가능	자가진단
고장제어	수동복구	반자동복구 및 자기 치유
설비점검	수동	원격
제어 시스템	국지적 제어	광범위한 제어
가격정보	제한적 (한 달에 한 번 총액만)	실시간으로 모든 정보 열람
가격제	사실상 고정가격제	실시간 변동가격제
전력수요	급변(수요에 의존)	거의 일정(가격에 의존)
소비자 구매 선택	제한적	다양

3. 산업적 측면에서 기존의 전력망과 비교하여 설명

산업구분	2009년	2030년
전력산업	화석연료 위주의 발전원	신재생·분산 전원의 일반화 (스마트그리드)
	기저발전(원자력·석탄), 첨두발전	기저발전(원자력·석탄) 위주 ※스마트그리드→효율적 전력수요관리→첨두발전원 수요감소
	전력산업 영역이 계량기까지	전력산업 영역이 계량기이후 가전 제품까지 확대 ※전기절약 컨설팅 사업의 일반화
	공급자 위주의 제한된 전력시장	다수의 공급자와 수요자가 참여하는 완전경쟁 전력시장
충전산업 통신산업	각각 고유한 산업영역으로 구분	충전기기와 IT 기술의 융합 제품 일반화 ※Smart Meter 등 신전력설비의 일반화
가전산업	기능·성능 위주	전력상황에 반응하는 스마트 가전제품(Smart Appliance) 개발 ※조명·에어콘·TV 등이 전기요금에 연동되어 전력사용 최적화
건설산업	편의성·디자인을 고려한 건물 설계	효율적 전력이용이 가능한 스마트 건물(Smart Building) 확대 ※스마트그리드·신재생에너지 수용으로 전력효율 극대화
자동차산업	가솔린·디젤엔진 위주	플러그인 전기자동차 일반화 ※수송분야의 電化 촉진, 탄소배출 경감
에너지산업	석유판매 위주	전력판매(전기충전소) ※전기자동차 활성화를 위한 新에너지 인프라

2-3. 송전선로에서 발생하는 유도장해의 원인과 대책을 설명하시오.

답)

1. 정전 유도장해의 원인과 대책

1) 정의

대전된 도체에 대전되지 않은 도체가 근접했을 때 대전되지 않은 도체에 전하가 유겨되는 현상

2) 발생 원인

영상전압 또는 상호C의 불평형으로 발생한다.

- (1) 지락고장 등의 발생으로 영상전압이 존재할 때
- (2) 차단기가 동시에 개폐되지 않거나 단선고장 발생 시
- (3) 연가불충분으로 정전용량의 불균형 발생 시

3) 정전유도전압의 크기

$$I_a = j\omega C_a (E_a - E_s)$$

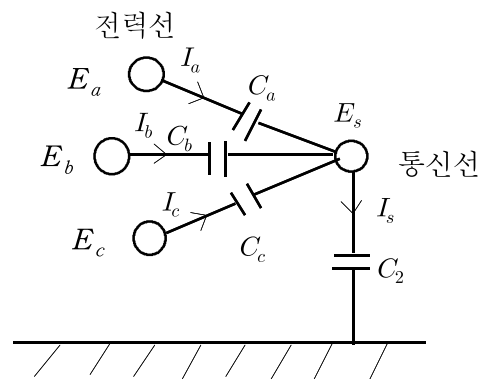
$$I_b = j\omega C_b (E_b - E_s)$$

$$I_c = j\omega C_c (E_c - E_s)$$

$$I_s = j\omega C_2 E_s$$

$$I_a + I_b + I_c = I_s \quad \text{이므로}$$

[정전유도 전압]



$$j\omega C_a (E_a - E_s) + j\omega C_b (E_b - E_s) + j\omega C_c (E_c - E_s) = j\omega C_2 E_s$$

$$C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c = E_s (C_a + C_b + C_c + C_2)$$

$$E_s = \frac{C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c}{C_a + C_b + C_c + C_2}$$

E_a 를 기준벡터로 하여 $E_a = E$, $E_b = a^2 E$, $E_c = a E$ 인 조건을 대입하면

$$|E_s| = \frac{\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c + C_2} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

4) 영향

통신기기의 오동작, 인명 감전 위험, 통신용 피뢰기 방전, 통신 · 통화 잡음이 발생.

5) 대책

(1) 충분한 연가를 취한다.

$C_a = C_b = C_c$ 일 때 정전유도전압 $E_s = 0$ 가 된다.

2. 전자 유도장해의 원인과 대책

1) 정의

전원을 갖는 폐회로에 전원이 없는 폐회로가 근접 했을 때 전원이 없는 폐회로에 전압이 유기 되는 현상

2) 발생원인

영상전류와 상호인덕턴스에 의해서 발생 한다.

(1) 부하 불평형 등에 의해 중성점으로 고장전류가 흐를 때.

(2) 지락고장 등으로 불평형 전류가 흐를 때

(3) 제 3고조파에 의한 영상전류가 흐를 때

(4) 통신선과 평행하게 병행하여 길이가 현저히 길 경우

(5) 고장발생 후 보호계전기가 신속히 동작하지 못할 때

3) 전자유도전압의 크기

$$E_m = -j\omega M \ell (I_a + I_b + I_c) = -j\omega M \ell (3I_0)$$

ℓ : 전력선과 통신선의 병행길이[km], $3I_0$: 기유도전류[A], M ; 상호인덕턴스[H/km]

위 식으로부터 M , ℓ , $3I_0$ 를 줄이는 것이 전자유도장해를 줄이는 유효한 대책이 된다.

4) 전력선측에서의 전자 유도장해 경감대책

(1) 상호인덕턴스(M)의 병행길이(ℓ)의 축소 방안

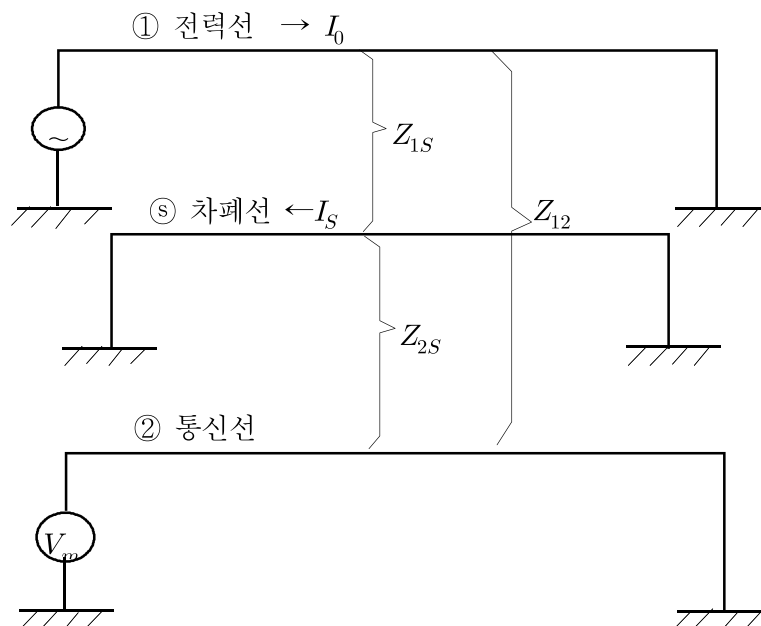
① 상호이격거리 증대(멀리 떨어져서 건설)

② 병행길이 축소

③ 통신선과의 교차는 가급적 직각으로 한다.

(2) 차폐선의 시설

① 차폐선 효과 : 상호인덕턴스 M을 저감시킨다.



I_0 : 전력선 영상전류, I_s : 차폐선 유도전류, Z_0 : 차폐선 자기임피던스

< 차폐선의 차폐 효과 >

② 차폐계수

$$V_m = -Z_{12}I_0 + Z_{2s}I_s = -Z_{12}I_0 + Z_{2s}\frac{Z_{1s}I_0}{Z_s} = -Z_{12}I_0\left(1 - \frac{Z_{1s}Z_{2s}}{Z_sZ_{12}}\right)$$

③ 여기서 $Z_{12}I_0$ 는 차폐선이 없을 경우 유도전압이기 때문에 차폐선을 설치함으로써 $\left(1 - \frac{Z_{1s}Z_{2s}}{Z_sZ_{12}}\right)$ 만큼 줄어든다는 저감비율을 나타나게 되므로 이것을 차폐계수라 한다.

④ 여기서 Z_s 가 작을수록 단락전류 I_s 가 커져서 차폐효과가 커지므로 차폐선은 철선을 쓰지 않고 전력선에 준하는 동선이나 알루미늄 선을 쓴다.

⑤ 실제 가공지선이 차폐선의 역할을 동시에 수행하고 있다.

(3) 기유도 전류(영상전류)를 줄인다.

전력계통에 중성점 접지방식을 고저항 접지나 소호리액터 접지를 채용한다.

(4) 고장지속시간을 단축시킨다.

고속도 지락 보호 계전방식을 채용해서 고장선을 신속히 차단.

(5) 전력선에 케이블을 사용한다.(M의 저감)

(6) 코로나등에 의한 고조파 발생 억제한다.(기유도전류 저감)

(7) 변압기를 △결선하여 제3고조파를 억제한다.(기유도전류 저감)

5) 통신선측의 전자 유도장해 경감대책

(1) 통신선의 도중에 중계코일(절연변압기)을 넣어서 구간을 분할 한다.

(병행길이의 단축)

(2) 연피 통신 케이블을 사용한다.(M의 저감)

(3) 통신선에 우수한 피뢰기를 설치한다.(유도전압의 강제 저감)

(4) 배류코일, 중화코일등으로 통신선을 접지해서 저주파수의 유도전류를 대지로 흘려준다.
(통신잡음의 저감)

2-4. 전력계통의 부하변동에 따른 다음 사항에 대하여 설명하시오.

1) 발전기의 출력 분담

2) 부하추종 예비력에 대하여 정의한 후 이것이 부족할 경우 전력생산비용의 상승 이유

답)

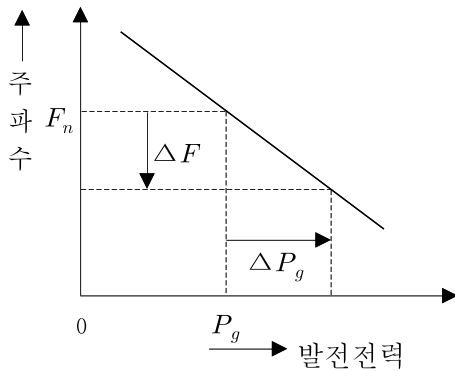
1. 발전기 출력분담

1) 전력계통에서의 전력·주파수 특성

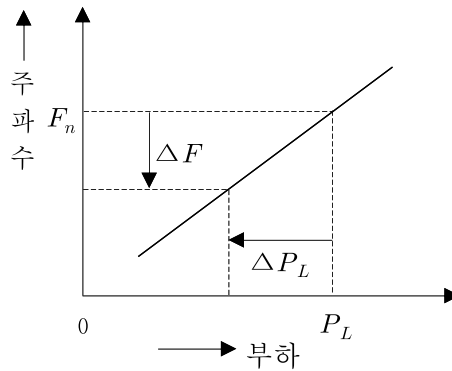
(1) 정의

전력변화와 주파수 변화와의 관계, 즉 전력이 변화하면 주파수가 어떻게 변하는가 하는 것을 전력·주파수 특성이라 한다.

(2) 전력 계통의 전력·주파수 특성 곡선



< 발전기 주파수 특성 >



< 부하의 주파수 특성 >

(3) 발전전력·주파수 특성 (G, F 운전)

- ① 조속기에 의해 발전기 회전수가 증가하면 발전기 출력을 감소시키고 발전기 회전수가 감소하면 발전기 출력을 증가시킨다.
- ② 관계식

$$\frac{\Delta P_G}{\Delta F} = -K_G$$

(4) 부하의 주파수 특성 (부하의 자기 제어성)

- ① 주파수가 상승하면 소비전력은 증가하고, 주파수가 저하하면 소비전력이 감소해서 주파수의 변동을 억제하려는 성질을 부하의 자기 제어성이라 한다.
- ② 관계식

$$\frac{\Delta P_L}{\Delta F} = K_L$$

(5) 전력 계통의 전력·주파수 특성정수 K

① 관계식

$$K = K_G + K_L [MW/0.1 Hz], \quad K_G = \sum_{i=1}^n K_{gi} \text{ 이므로 } K = K_L + \sum_{i=1}^n K_{gi}$$

$$\Delta L = \Delta P_G - \Delta P_L, \quad \frac{\Delta L}{\Delta F} = -(K_G + K_L) = -K, \quad \therefore K = -\frac{\Delta L}{\Delta F}$$

(6) 속도조정률과 전력·주파수 특성정수와의 관계

① 발전기의 전기출력과 주파수와의 관계는 조속기의 작용과 발전기의 회전 부분의 관성에너지로부터 정해져서 조속기를 정정해서 수하특성을 지니게 하고 있다.

② 이때의 지표로서 사용되는 것이 속도조정률 이다.

③ 속도조정률

a) 관계식

$$\delta = \frac{\frac{N_1 - N_2}{N_n}}{\frac{P_2 - P_1}{P_n}} \times 100[\%] = -\frac{\frac{\Delta N}{N_n}}{\frac{\Delta P}{P_n}} \times 100[\%]$$

여기서 임의의 출력 $P_2 = P_n$, 변화 후의 출력 $P_1 = 0$ 라 하면 $\delta = \frac{N_1 - N_2}{N_n} \times 100[\%]$ 이

되고, 계통주파수는 발전기의 회전수와 일정한 비례관계가 있으므로 ($N_1 = F_0$, $N_n = F_n$) $\delta = \frac{F_1 - F_2}{F_n} \times 100[\%]$ 로 된다.

b) δ 의 값은 수력 발전기에서는 3~5[%] 정도, 화력 발전기에서는 4~5[%] 정도이다.

c) δ 의 값이 작다는 것은 조속기가 민감하고, 동일한 부하 변화에 대해 주파수 변화가 작다는 것을 나타낸다. 주파수 변동에 대한 발전기 출력의 응답이 커진다.

d) 속도조정률은 병렬운전시의 부하분담을 결정하는 것으로 δ 의 값을 크게 설정해 놓은 발전기의 부하분담은 작고, δ 의 값을 작게 설정해 놓은 발전기에서의 부하분담은 커진다.

④ 속도조정률 δ 로 정해진 값에 따라 출력을 내게끔 발전기를 운전하는 것을 조속기 프리(G.F)운전이라 한다.

⑤ 속도조정률과 발전전력·주파수 특성정수와의 관계

$$\delta = -\frac{\frac{\Delta F}{F_n}}{\frac{\Delta P_G}{P_n}} \times 100[\%] = -\frac{\Delta F}{\Delta P_G} \cdot \frac{P_n}{F_n} \times 100 = \frac{100P_n}{K_G F_n}, \quad \therefore K_G = \frac{100P_n}{\delta F_n}$$

2. 부하추종 예비력

1) 정의

부하 변동으로 인한 주파수의 변화에 발전기가 자동으로 출력을 조절하여 계통 주파수를 미리 정해진 범위 내에서 유지시킬 수 있도록 하는 예비력으로 느린 출력 증감발속도와 출력변화량이 큰 특징을 갖는다.

2) 부족할 경우 전력생산비용의 상승 이유

- (1) 변동성이 심한 발전설비가 증대되면 (예를 들어 풍력발전설비 등) 전통적인 대형 발전설비들의 발전비용은 감소하는 대신에 부하추종예비력이 급격히 필요하게 되고 이러한 부하추종예비력 비용 또는 증대되게 된다.
- (2) 부하 변동 곡선에 따라 부하추종 예비력이 증대되면 발전기의 기동, 정지 비용이 증대되므로 전력생산 비용이 증대된다.

2-5. 터빈 발전기의 가능 출력 곡선을 나타내고, 전압제어를 위한 무효전력 공급원로서의 발전기를 설명하시오.

답)

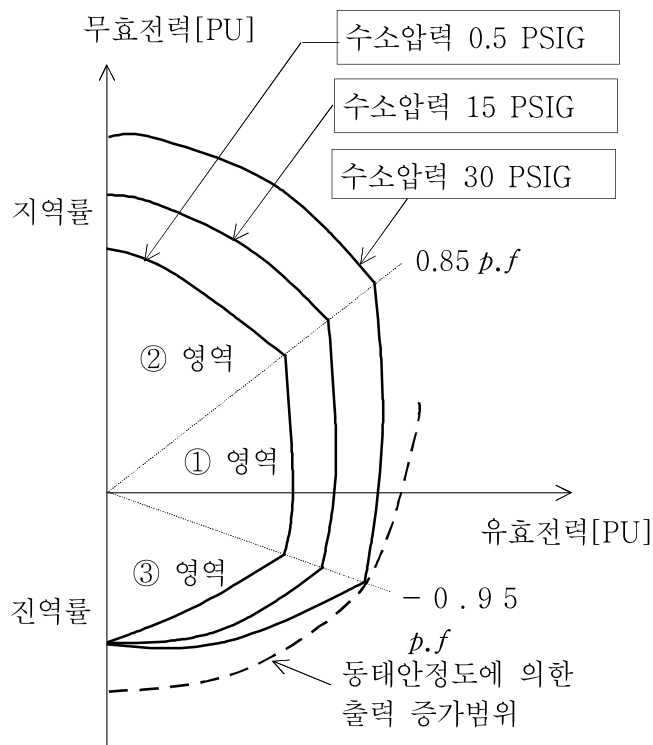
1. 개요

1) 정의

발전기가 계통에 접속하여 계통이 요청하는 역률과 출력을 낼 때 발전기 각부가 온도 상승 한도를 넘지 않고 연속적으로 낼 수 있는 출력범위의 한계를 종축은 무효분 횡축은 유효분을 취해서 표시한 곡선

2) 출력한계를 결정하는 요인에는 온도상승, 안정도, 여자기, 냉각방식, 전압, 전류 등이 있다.

2. 가능출력곡선 도시



[가능 출력 곡선]

1) 발전기 정격출력에 의한 요인(① 영역) = 전기자 전류에 의해 출력이 제한되는 범위

정격역률 부근에서의 운전은 전기자 전류 크기에 의한 전기자 권선의 온도상승이 문제가 되어 출력이 제한을 받는다. 전기자 권선의 온도가 상승하면 권선사이의 절연물이 열화되어 출력이 제한된다.

(1) 발전기 출력식

$$P = kD^2\ell N \quad D: \text{회전자의 지름}, \ell: \text{회전자의 길이}, N: \text{회전수}$$

k : 출력계수

고정자(전기자)	공기	수소	수소	물
회전자(계자)	공기	공기	수소	수소
k	1	2	3	4

2) 발전기의 지상 무효전력에 의해 제한되는 범위(영역 ②)

= 계자전류, 전압에 의해 출력이 제한되는 범위

발전기의 정격역률 이하의 지상 영역에서는 계자전압, 전류가 증가하여 계자권선의 온도가 상승하므로 이 온도상승에 의해 출력이 제한된다.

3) 발전기의 진상 무효전력에 의해 제한되는 범위(영역③)

= 고정자 단부 과열에 의해 출력이 제한되는 범위

역률이 95%를 넘는 진상영역에서는 계자전류가 감소하기 때문에 누설자속이 증가하여 고정자 단부에 와류손 및 히스테리시스손을 발생시켜 온도를 상승시키므로 발전기 출력이 제한된다.

2. 무효전력 공급원으로서의 발전기

1) 발전기는 정격출력에서 85 ~ 95% 정도의 역률에 상당하는 무효전력을 공급할 수 있다.

2) 발전기의 계자전류를 여자기로 제어하여 진, 지상의 무효전력을 연속제어할 수 있다.

3) 제어특성

(1) 과여자 운전 - 무효전력 공급 - 전압 상승

(2) 저여자 운전 - 무효전력 소비 - 전압 저하

2-6. 화력발전소의 열효율 향상을 위한 열회수 장치의 종류를 나열하고, 설치 효과에 대하여 설명하시오.

답)

1. 열회수 장치 종류

- 1) 보일러의 배기가스에는 상당량의 열이 포함되어 있다. 이러한 여열을 그대로 대기로 내보내는 것은 열효율 측면에서 상당한 손해이다.
- 2) 절탄기와 급수가열기를 이용하여 연도로 배출될 배기가스에서 여열을 회수하여 열효율을 향상시키고 있다.

3) 절탄기

(1) 정의

절탄기는 보일러에서 배출되는 연소가스의 남은 열을 이용하여 보일러에 공급되는 급수를 예열하는 장치이다.

(2) 설치 효과

- ① 연소가스의 남은 열을 이용하여 급수를 예열하므로 보일러 효율이 상승된다.
- ② 급수를 예열하면 연료소비량을 4 ~ 11% 감소시킬 수 있다.
- ③ 급수를 가열하므로 드럼과 급수 온도 차가 적어져 드럼의 열응력 발생을 저감시킨다.
- ④ 급수의 일시 경도를 줄일 수 있으므로 관벽에 부착되는 불순물(Scale)의 발생이 감소된다.

(3) 단점

- ① 연도의 통풍저항이 증가하며 연도가스의 온도 저하에 따른 통풍력의 저하 및 저온부식의 우려가 있다.
- ② 청소 및 점검이 어렵고 취급이 까다롭다.

(4) 절탄기 위치

절탄기는 급수 기준으로 최종 급수가열기와 드럼 사이에 위치하며, 연소가스 기준으로 가스 온도가 약 400℃ 정도 되는 보일러의 후부 통로 1차 과열기와 공기에열기 사이에 위치한다.

4) 공기 예열기

(1) 정의

공기에열기는 절탄기(Economizer)를 통과한 연소가스의 남은 열을 이용하여 연소공기를 예열하는 장치이다.

(2) 설치 효과

- ① 보일러에서 열손실이 가장 큰 배기가스 손실을 감소시키므로 보일러 효율이 상승된다.
- ② 연소공기 온도상승으로 연소효율이 증가되어 작은 공기비(과잉공기율)로써 완전 연소시킬 수 있다.
- ③ 석탄연소 보일러에서 발열량이 낮은 저질탄을 연소시킬 수 있으며, 석탄 건조용 공기를 가열하므로써 미분기의 분쇄 능력이 향상된다. 미분탄 전소 보일러에서는 석탄 건조용 고온 공기를 쉽게 얻을 수 있다.

④ 연소속도가 증대되어 연소실 열 발생률[kcal/ $m^2 \cdot h$]이 커지므로 연소실 체적을 작게 할 수 있다.

(3) 설치위치

일반적으로 절탄기 뒤쪽에 설치한다.

제 3교시 문제풀이

3-1. 배전계통에서 플리커(Flicker)와 고조파의 원인 및 대책에 대하여 설명하시오.

답)

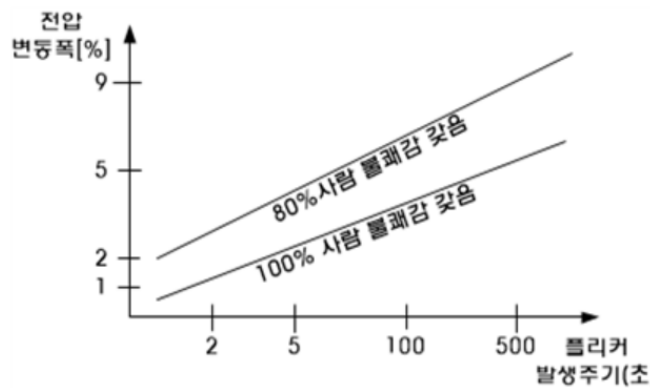
1. 플리커

1) 개요

- (1) 부하특성에 기인한 급격한 전압변동 현상으로 조명이 깜박이거나 TV영상이 일그러지는 등 시각적 불쾌감을 유발하는 현상
- (2) 플리커 크기표현
 - ① 10[Hz]로 환산한 전압변동을 ΔV_{10} =플리커 1[%]라 한다.
 - ② ΔV_{10} 은 전압이 100~99[V]사이를 1초 동안 10회변동 의미한다.
 - ③ 국내 적용: ΔV_{10} (일본연구)기준으로 플리커 적용

$$\therefore \Delta V_{10} = \sqrt{\sum_{n=1}^m (a_n \times \Delta V_n)^2}$$

단, a_n : 깜박임 민감도계수
 ΔV_{10} : f_n [Hz]에서 전압변동



[플리커 불쾌감 한계곡선]

2) 플리커 발생원인

- (1) 유도전동기 기동부하
- (2) 임피던스변동 심한 제강용 아크로 및 저항로 등
- (3) 용접기, X선 촬영기 등 간헐적 부하
- (4) 과도현상

3) 플리커 경감대책

(1) 공급자측 대책

- ① 전용변압기 및 전용계통으로 공급
- ② 공급전압의 격상
- ③ 단락용량 큰 계통에서 공급
- ④ $1\phi 3W$ 방식일 경우 Balancer를 설치

(2) 수용가측 대책

- ① 전원계통의 리액턴스를 보상 ($\Delta V \propto X$)
 - 직렬 콘덴서를 설치
 - 3권선 보상변압기 방식 채용
- ② 전압 강하의 보상
 - 부스터 방식 채용
 - 상호 보상 리액터 설치
- ③ 부하의 무효전력 변동분을 흡수 ($\Delta V \propto Q$)
 - 동기조상기와 리액터방식
- ④ 플리커 부하전류의 변동분을 억제
 - 직렬리액터 방식 채용
 - 직렬리액터 가 포화 방식 채용

2. 고조파

1) 개요

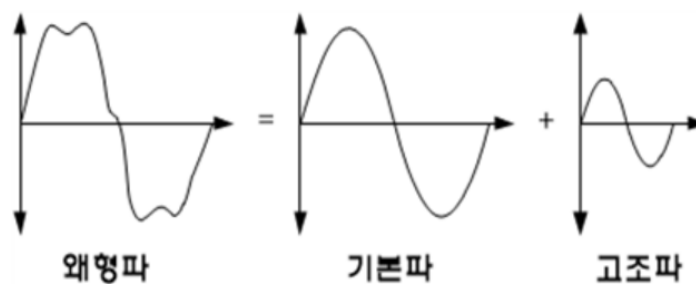
- (1) 기본주파수 성분의 정수배를 갖는 전압, 전류의 왜곡파형으로 일반적으로 50조파까지를 고조파로 분류한다.
- (2) 고조파전류(I_n)의 크기

$$\therefore I_n = \frac{I_1}{n} \times K_n$$

I_1 : 기본파 전류[A]

K_n : 고조파 저감계수

n : 고조파 차수

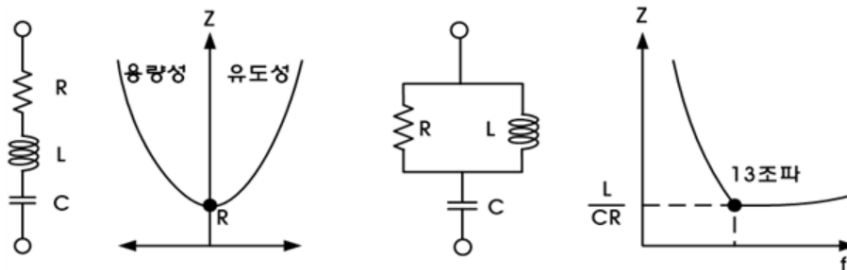


2) 고조파 발생 원인

- (1) 대표적 원인으로 Thyristor, 인버터 등 전력변환장치
- (2) 아크로, 유도로 등 비선형 부하
- (3) 3고조파 주성분인 변압기의 자기특성
- (4) 송전선의 코로나방전
- (5) 방전등용 안정기
- (6) 컴퓨터, 복사기 와 같은 OA 기기 등

3) 고조파 억제 대책

- (1) 발전기 측 대책
 - 전기자권선 분포권, 단전권의 채용하여 고조파를 억제한다.
- (2) 계통 측 대책
 - ① 계통 단락용량의 증대
 - ② 과대한 위상제어의 회피
 - ③ 고조파 부하를 계통으로부터 분리
 - ④ 고조파 부하를 전용배전선으로 공급
- (3) 수용가 측 대책
 - ① 고조파 Filter를 채용(효과우수)
 - L-C 수동필터: 콘덴서와 리액터로 구성되어 해당 고조파 전류를 흡수하는 방식



- 능동필터: 인버터를 이용하여 역위상의 고조파를 발생시켜 방생 고조파를 상쇄시킨다.
 - 하이브리드 파워필터(Hybrid Power Filter): 수동, 능동필터 장점을 혼합한 성능을 가진다.
- ② 변환장치의 다펄스화
 - ③ 변압기 Δ 결선
 - 영상분 고조파를 변압기 결선을 통해 흡수하는 가장 효과적인 방법이다.
 - ④ 변압기 제작시 K-factor 제작반영
 - K-factor를 제작에 반영하고 변압기의 고조파 내량을 증대시킨다.
 - ⑤ PWM (인버터 다펄스 변환방식) 방식의 채용
 - ⑥ 기기자체 고조파 내량 증대
 - ⑦ 콘덴서 공진현상을 회피

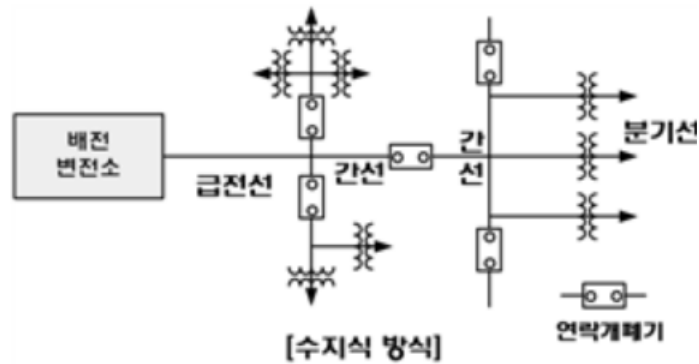
3-2. 고압 및 저압 배전선로 구성방식과 특성에 대하여 각각 설명하시오.

답)

1. 고압배전선로의 구성

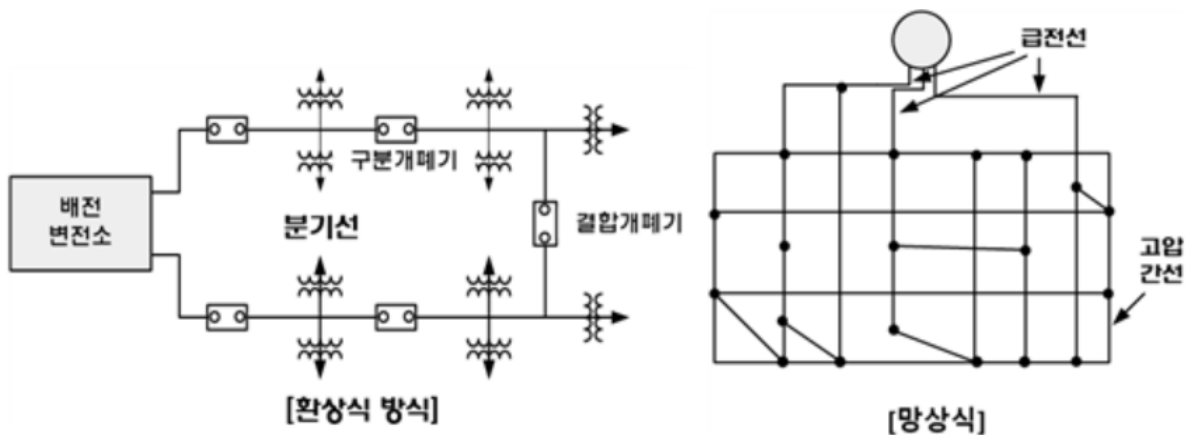
1) 수지식

- (1) 구성이 간단한 기본형태의 배전방식
- (2) 특성
 - ① 수용가 증가에 따른 증설이 용이하다
 - ② 전압변동, 전력손실이 크고 사고 발생했을 경우 정전이 불가피하다



2) 환상식

- (1) 선로를 환상망으로 구성한 배전방식
- (2) 특징
 - ① 선로 도중의 사고 발생했을 경우에도 전력공급이 원활하여 공급신뢰도가 우수하다
 - ② 전력손실 및 전압강하 작다
 - ③ 보호방식 복잡하며 설비비가 비싸다.



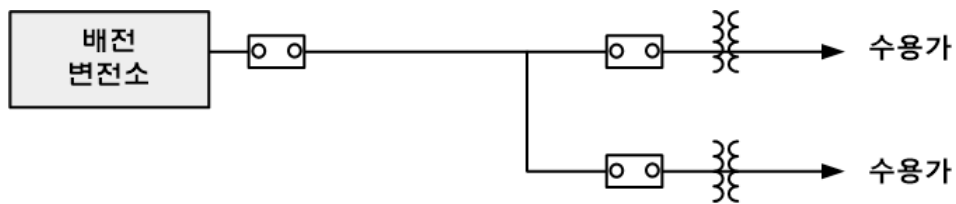
3) 망상식

- 1) 선로를 망상 망으로 구성한 배전방식
- 2) 특징
 - (1) 무정전 배전방식으로 신뢰도가 우수하다.
 - (2) 전압변동, 전력손실이 적으며 설비 이용률이 우수하다.
 - (3) 보호방식 매우 복잡하며 설비비가 매우 비싸다.

2. 고압 지중 배전선로 구성

1) 방사상 방식

- (1) 전원 변전소로부터 1회선을 인출하여 수용가에 공급하는 배전방식

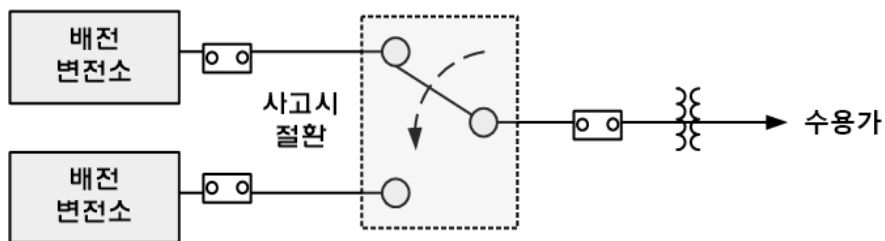


[방사식 방식]

- (2) 특징
 - ① 다른 방식에 비해 경제적이며 신규부하 증설 시 적용이 용이하다
 - ② 선로에 사고 발생 시 정전이 불가피하다.

2) 예비선절체 방식

- (1) 다른 변전소 또는 동일 변전소의 다른 बैं크에서 본선과 예비선을 인출하여 수용가에 공급하는 배전 방식

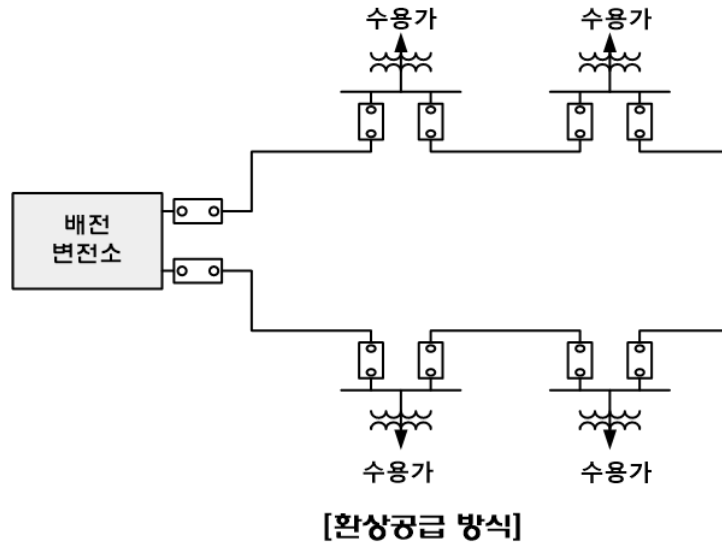


[예비선 절체 방식]

- (2) 특징
 - ① 공급신뢰도가 우수하다
 - ② 절체 시 순간 또는 단시간 정전 발생한다.

3) 환상공급방식

- (1) 모든 수용가를 1개의 환상망으로 구성하는 배전방식
- (2) 특징
 - ① 사고발생에 따른 영향이 적어 공급신뢰도 우수하다
 - ② 선로를 환상망으로 구성하므로 제어방식이 복잡하고 설비비가 비싸다.



4) Spot-Network 방식

- (1) 동일 배전변전소로부터 단일 수용가에 특고압 3회선을 공급받아 수용가 변압기(TR) 2차 측을 병렬로 접속하여 운전하는 특수한 배전방식
- (2) 특징
 - ① 무정전 시스템으로 공급 신뢰도가 우수하고 손실이 적다.
 - ② 시스템이 복잡하고 가격이 비싸다.

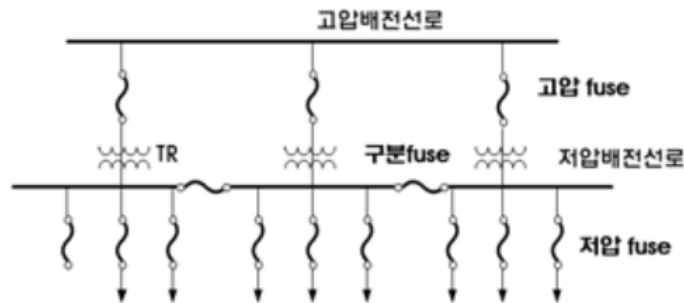
3. 저압배전선로의 구성

1) 방사상 방식

- (1) 변압기 뱅크단위로 저압 배전선을 시설해서 그 변압기 용량에 맞는 범위의 수요를 공급하는 방식
- (2) 특징
 - ① 구성이 단순하고 공사비 저렴하다.
 - ② 사고시 정전범위가 확대되어 신뢰성이 낮다.

2) 저압 뱅킹방식

- (1) 동일 고압배전선로에 접속되어 있는 2대 이상의 배전변압기의 저압 측을 병렬접속한 저압 배전방식



[선상 저압뱅크방식 구성도]

- (2) 특징
 - ① 변압기 용량 및 저압선 동량을 절약할 수 있다.
 - ② 전압강하 및 전력손실이 감소한다.
 - ③ 부하증대에 대응한 탄력성이 향상된다.
 - ④ 캐스케이딩 장애 발생우려: 구분퓨즈설치로 장애 해결

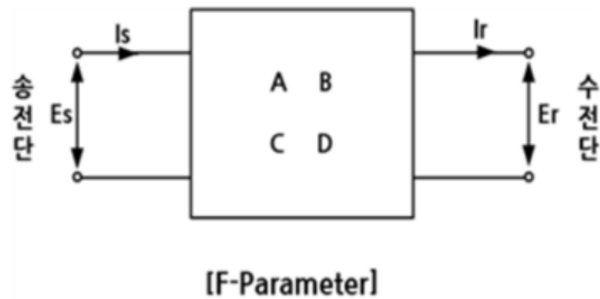
3) 저압 네트워크 방식

- (1) 배전변전소의 동일 모선으로부터 2회선 이상의 급전선으로 전력을 공급하는 방식
- (2) 특징
 - ① 무정전 공급이 가능하여 공급신뢰도가 우수하다.
 - ② 기기의 이용률이 높고 전력손실이 감소된다.
 - ③ 플리커 전압변동률이 적고 부하 증가에 따른 적응성이 뛰어나다.

3-3. 아래사항에 대하여 설명하시오.

- 1) 장거리 무 부하 송전선을 시 송전 할 경우 1상당 충전용량 크기
(W_s :1상당 충전용량, E_s , I_s :송전전압, 전류, E_r , I_r : 수전전압, 전류)
- 2) 1상분의 등가회로가 그림과 같이 표현되는 무부하 지중 송전선로에 $L=20[mH]$, $C=50[\mu F]$ 일 때 이 선로의 수전단 전압은 송전단 전압에 비해 몇 %상승 하는지 구하시오. (단 주파수는 $60[Hz]$ 이다.)

답)

1. 무부하 충전용량 크기 Q_c **1) 4단자 정수**

$$E_s = AE_r + BI_r \quad - \text{①}$$

$$I_s = CE_r + DI_r \quad - \text{②}$$

2) 무 부하 선로의 시 충전 시 ($I_r = 0$)3) ①과 ②식에 $I_r = 0$ 을 대입하면

$$E_s = AE_r \text{ 이므로 } E_r = \frac{E_s}{A}$$

송전단 전류 $I_s = CE_r$ 이므로 위 식을 정리하면4) 1선당 충전용량 Q_c

$$Q_c = E_s I_s^* = E_s C^* E_r^* = E_s C^* \frac{E_s^*}{A} = E_s^2 \frac{C^*}{A}$$

$$\therefore Q_c = E_s^2 \frac{C^*}{A}$$

2. 수전단 전압상승분

1) 수전단 전압, E_r 이라하면 수전단측 정전용량에 의한 전류 I

$$(1) \quad I = j\omega C E_r$$

$$= j2\pi \times 60 \times 50 \times \frac{1}{2} \times 10^{-6} \times E_r$$

$$\therefore I = j9.42478 E_r \times 10^{-3} [\text{A}]$$

2) 선로 L에 발생하는 전압

$$(1) \quad I Z_L = j9.42478 E_r \times 10^{-3} \times j(2\pi \times 60 \times 20 \times 10^{-3})$$

$$= -0.071061 E_r [V]$$

(2) 이것은 전압강하인데 전압강하가 (-)이므로

$$E_s = E_r(1 - 0.071061) = 0.928 E_r [V]$$

$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{1}{0.928} = 1.0765$$

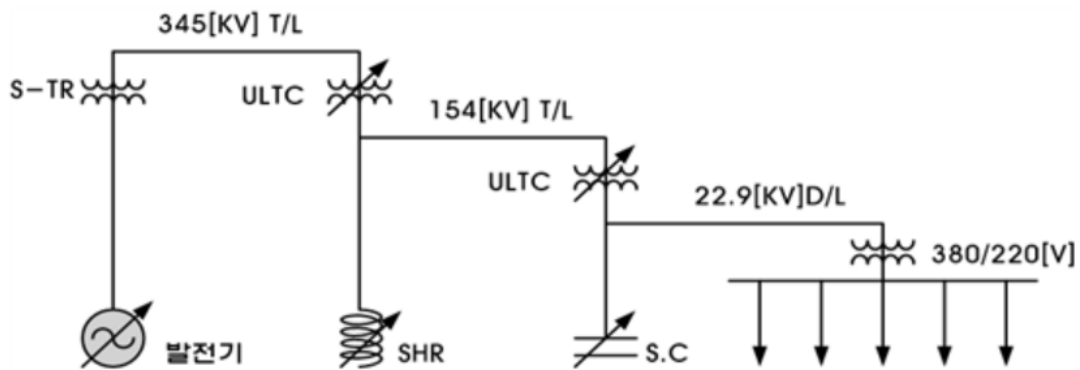
$$\therefore \text{약 } 7.66 [\%] \text{ 상승}$$

3-4. 동기조상기, 전력용 콘덴서(Static, Condenser), 분로 리액터를 비교하여 설명하시오.

답)

1. 개요

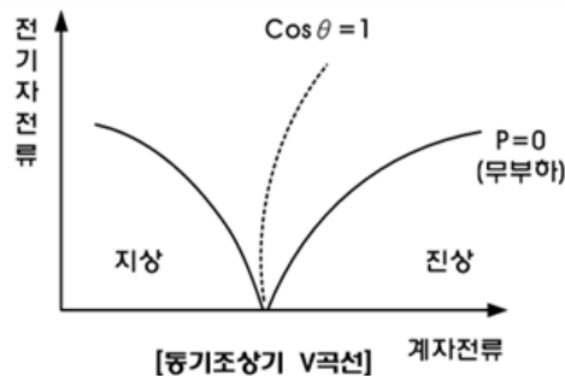
- 1) 전력계통에서 전압은 국지적 성격으로 계통의 상태, 부하의 특성 등 여러 요소에 의해 구간별로 그 크기가 달라진다.
- 2) 전압이 규정범위를 벗어났을 경우 전력용 기기의 손실 증가, 성능 및 효율저하 그리고 계전기의 오동작 및 오부동작을 초래하므로 계통 각 지점에서 규정된 전압의 유지는 매우 중요하다.



[전력계통 전압조정 개념도]

2. 동기조상기 (Synchronous Compensator)

- 1) 동기전동기를 무 부하로 운전해서 전기자 반작용에 기인하는 위상 특성으로 진상 및 지상무효 전력 연속 공급하는 조상기기
- 2) 특징
 - (1) 연속제어가 가능하다
 - (2) 회전기로서 가격이 비싸고 유지 및 보수비용이 비싸다.



3. 전력용 콘덴서 (SC: Static Condenser)

- 1) 계통에 병렬로 설치되어 중 부하 시 진상 무효전력의 공급으로 전압하락을 방지한다.
- 2) 특징
 - (1) 부하증감에 따라 단계적으로 제어한다.
 - (2) 설비비가 저렴하고 손실이 적다

변압기 용량[kVA]	커패시터 용량
500이하	변압기 용량 × 5%
500~2000	변압기 용량 × 4%
2000 이상	변압기 용량 × 3%

4. 분로 리액터 (ShR: Shunt Reactor)

- 1) 전력계통의 분포된 정전용량에 의해 모선 전압이 상승할 경우 지상 무효전력을 공급하여 전압 상승을 억제한다.
- 2) 적용
 - 주로 송전용 1차변전소 조정권선(△권선)에 용량 10~40[MVar]정도 사용.

5. 조상설비 특징

항 목	동기조상기	SC	ShR
무효전력제어	지상, 진상	진상	지상
조정형태	연속제어	단계적	연속제어
전압유지능력	크다	작다	작다
보수 난이도	복잡	용이	용이
가격/연경비	고가	저가	저가

3-5. 수요관리(Demand Side Management)를 효율 향상측면과 부하관리 측면에서 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 소비자의 전기사용형태를 합리적 방향으로 유도 및 조정함으로써 예측수요의 절감 및 부하평준화로 전력공급 설비의 신규투자지연, 기존 설비의 이용율 향상, 전력공급의 합리화와 경제성 확보를 위한 공급자의 계획된 활동을 말한다.

2) 수요관리의 필요성

- (1) 부하율의 악화
 - 전력소비형 산업구조로의 변화
- (2) 전력수요의 급신장
 - 산업발달에 따른 일반용 전력수요의 증가
- (3) 발전설비 확충의 어려움

2. 효율 향상 및 부하관리

1) 개념

- (1) 효율향상 측면
 - 에너지 이용효율향상은 에너지 사용자의 소비를 줄이도록 유도하고, 적은 에너지를 소비하면서도 소비자가 요구하는 수준을 만족시킴으로써 전체적으로 에너지 사용량을 감소시키는 것
- (2) 부하관리 측면
 - 전력 수요가 특정 시간대에 집중되는 것을 억제하는 최대부하억제와 에너지공급설비 이용 효율성을 높이는 활동

2) 수요관리 유형

유형	내용	형태
최대수요 억제 (Peak clipping)	① Peak시 발전원가 높은 설비의 가동을 줄인다. ② 냉, 난방설비 가동중단 유도 및 Peak시 차등요금 적용	
최대부하이전 (Peak Shifting)	① Peak시 전력수요를 경부하로 이동한다. ② 계절별, 시간대별 차등요금제 및 전력저장 개념의 설비 적용	
기저부하 증대 (Valley filling)	① Off Peak시 전력수요를 증대시킨다. ② 축열 난방, 심야온수설비의 적용	
전략적 소비절약 (Statigic Conservation)	① 전력수요의 감소를 유도한다. ② 전기 사용방법 개선 및 절전을 유도	
전략적 부하증대 (Load Growth)	① 공급이 수요를 초과할 경우 설비이용률을 향상시킨다. ② 이중연료사용 냉난방설비의 보급	
가변부하 조성 (Flexible Shep)	① 불필요부하 전력공급 중단시켜 전력수요를 정정한다. ② 직접부하제어	

3) 수요관리 방법

(1) 직접 수요 관리

- ① 방법 : 선택된(계약) 소비자 전력수요설비를 원격으로 제한하는 수요관리 기법

(2) 간접 수요 관리

- ① 방식 : 절전기법, 제도개선과 홍보를 통한 자발적 참여를 유도하는 수요관리 기법
- ② 수요관리 요금제도
- ③ 기기의 효율개선
- ④ 제도 개선(ESCO)
 - 고효율 제품에 대한 자금지원을 통한 보급확대

4) 수요관리 신뢰도 향상 위한 고려사항

- (1) 전력수요의 불확실성의 개선
- (2) 수용가 Data 부족의 개선
- (3) 분석 모델 기법의 개발

3-6. 최대출력200[MW], 평균부하율 85%로 운전하고 있는 화력발전소가 있다. 이 발전소에서 15일간에 $1.6 \times 10^4 kL$ 의 중유를 소비하였다고 하면 이 발전소의 발전단 열효율 및 연료 소비율은 각각 얼마인지 구하시오. (단, 중유의 발열량10,000[kcal/L]라고 한다.)

답)

1. 평균출력계산

1) 평균전력=부하율 \times 200[MW] = $0.85 \times 200[MW] = 170[MW]$

2) 발전단 열효율계산

(1) 관련수식

$$\eta_g = \frac{860P_g}{BH} \times 100[\%]$$

B : 연료소비량[l/h]

H : 중유 발열량[kcal/h]

P_g : 발전기 출력[kW]

(2) 연료소비량 B

$$B = \frac{1.6 \times 10^4 \times 10^3}{15 \times 24} = 44.44 \times 10^3 [l/h]$$

(3) 열효율 η_g

$$\eta_g = \frac{860 \times 170 \times 10^3}{44.44 \times 10^3 \times 10,000} \times 100[\%] = 32.895[\%]$$

3) 연료소비율 f

(1) 관련수식

$$\eta_g = \frac{B}{P_g}$$

B : 연료소비량[l/h]

P_g : 발전기 출력[kW]

(2) 연료소비율 계산

$$f = \frac{44.44 \times 10^3}{170 \times 10^3} = 0.261$$

제 4교시 문제풀이

4-1. 배전선로에서 역률개선에 따른 효과에 대하여 설명하시오.

답)

1. 역률의 의미

- 1) 교류에는 인덕턴스L, 정전용량C가 영향으로 전압과 전류사이에 위상차가 발생하는데 이때의 위상차에 대한 Factor를 회로의 역률(Power factor)이라 한다.

2) 역률 수식

$$\cos\theta = \frac{P[KW]}{W[KVA]} = \frac{P}{VI} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + P_r^2}}$$

P : 유효전력[kW] P_r : 무효전력[kVar]

P_a : 피상전력 V : 전압[V] I : 전류[A]

2. 역률저하의 원인, 영향

1) 원인

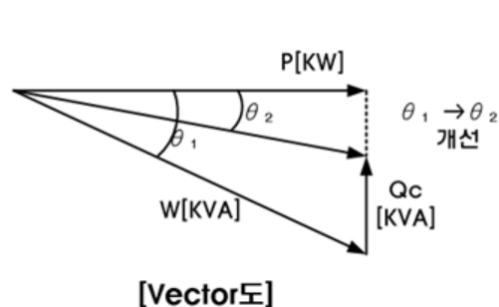
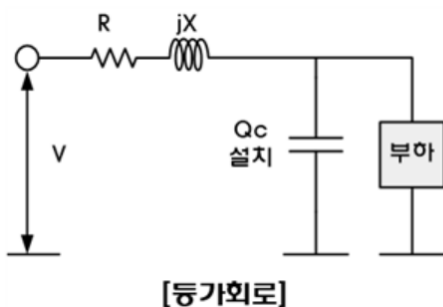
- (1) 대표적으로 유도전동기 부하
- (2) 방전등용 안정기 및 가정용 단상 유도 전동기
- (3) 선로 리액턴스
- (4) 주상변압기의 여자전류

2) 영향

- (1) 전력손실의 증가
- (2) 전압 강하의 증가
- (3) 설비여유도의 감소

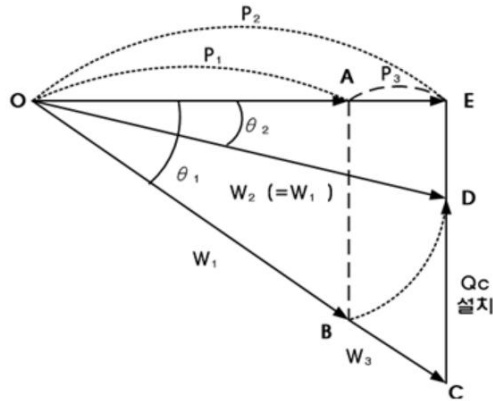
3. 역률개선 원리

- 1) 수전단에 콘덴서 Q_c 설치했을 경우역률 각 $\theta_1 \rightarrow \theta_2$ 이동되어 역률이 개선된다.



4. 역률 개선 효과

1) 설비 용량의 여유 증가



W_1, P_1, θ_1 : 개선 전

W_2, P_2, θ_2 : 개선 후

P_3, W_3 : 증가 분

(1) 추가 공급가능 부하 $W_3 [kVA]$

$$W_3 = \overline{OC} - \overline{OB} = \frac{P_2}{\cos\theta_1} - W_1 = \frac{W_1 \cos\theta_2}{\cos\theta_1} - W_1 \quad (W_1 = W_2)$$

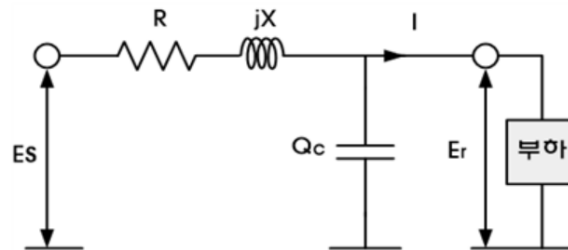
$$\therefore W_3 = W_1 \left(\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} - 1 \right) [kVA]$$

(2) 전력증가분 $P_3 [kW]$

$$P_3 = P_2 - P_1 = W_1 \cos\theta_2 - W_1 \cos\theta_1$$

$$\therefore P_3 = W_1 (\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$$

2) 전압 강하의 경감



[등가회로]

(1) 개선 전 ΔE_1

$$\Delta E_1 = I(R \cos\theta_1 + X \sin\theta_1) = \frac{P_r}{E_r} (R + X \tan\theta_1)$$

(2) 개선 후 ΔE_2

$$\Delta E_2 = I(R \cos\theta_2 + X \sin\theta_2) = \frac{P_r}{E_r} (R + X \tan\theta_2)$$

(3) 개선전, 후 ΔE

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = \frac{P_r X}{E_r} (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

(4) $\tan \theta_1 > \tan \theta_2$ 이므로 $\Delta E_1 > \Delta E_2$ 가 되므로 전압강하가 경감된다.

(5) 전압강하 경감률

$$\frac{\Delta E_1 - \Delta E_2}{E_r} \times 100 = \frac{P_r X}{E_r^2} (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \times 100 \approx \frac{Q_c}{R_c} \times 100 [\%]$$

$$\text{여기서 } R_c = \frac{E_r^2}{X} (\text{콘덴서 설치모선의 단락용량})$$

$$Q_c = P_r (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) (\text{콘덴서 용량})$$

3) 변압기 및 배전선로 전력손실 경감.

(1) 개선 전: $P = EI_1 \cos \theta_1$

(2) 개선 후: $P = EI_2 \cos \theta_2$

$$(3) \text{ 전류비: } \frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{P}{E \cos \theta_2}}{\frac{P}{E \cos \theta_1}} = \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}$$

$$(4) \text{ 전력손실비: } \frac{P_{L2}}{P_{L1}} = \frac{I_2^2 R}{I_1^2 R} = \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)^2$$

(5) 전력손실 감소율

$$K = \left[1 - \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)^2 \right] \times 100 [\%]$$

$$P_{Loss} \propto \frac{1}{\cos^2 \theta} \text{ 비율로 전력손실이 감소된다.}$$

4) 전기요금의 경감된다.

5) 기기 수명이 연장된다.

4-2. 아래의 22.9kV 배전선로 보호 장치 정정기준에 대하여 설명하시오.

- 1) 변전소 계전기(Relay)
- 2) 자동 재폐로 차단기(Recloser)
- 3) 선로용 휴즈(Fuse)

답)

1. 변전소 계전기**1) 과전류계전기/지락과전류계전기**

구분		정정지침
순시Tap	OCR	①전위R/C(또는 OCR)설치점의 3상단락전류 $\times 1.5$ 배이상 -단 R/C(또는 OCR)가 없는 경우에는 회선당 운전전류 $\times 60$ 이상
	OCGR	①전위R/C(또는 OCGR)설치점의 최대1선지락전류 $\times 1.4$ 배이상 -단 R/C(또는 OCGR)가 없는 경우에는 회선당 운전전류 $\times 30$ 이상
한시Tap	OCR	①회선당 운전전류 $\times 1.5$ 배(일반배전선로:10MW) ②보호구간 최소고장전류치가 한시요소 동작치의 1.5배이상
	OCGR	①회선당 운전전류 $\times 0.3$ ②보호구간최소1선 지락전류/1.5이하
한시 Lever	OCR	①변전소 인출점 3상 단락전류에서 0.5초(30Cycle)이하로 동작 배전선로 보호협조가 곤란할 겨우 0.6초 이하로 정정가능
	OCGR	①변전소 인출점 최대1선 지락고장에서 0.5초 이하로 동작

2) 재폐로계전기(79)**(1) 재폐로 횟수**

- ① 지중구간30%미만 :2회
- ② 지중구간30%이상: 1회
- ③ 전구간 지중: 재폐로 적용안함

(2) 재폐로 시간

- ① 1회:0.5초
- ② 2회:15초

(3) 복귀시간: 180초

- (4) 비고: OCR,OCGR와 전위보호장치인 보호협조가 필요한 경우는 재폐로 계전기 1회 동작 후 OCR 및 OCGR의 순시요소를 동작억제할 수 있다.

2. 자동재폐로 차단기(Recloser)

1) Recloser 정정기준

구분		정정지침
최소 동작 전류	상	① 최대부하전류의 2.8배 이상, 4.0배 이하 ② 후비보호기기의 상 최소동작전류 정정치 이하
	지락	① 최대부하전류 × 0.3 이상 ② Recloser 부하 측 최대 단상분기의 최대부하전류 이상 ③ 보호구간 최소 1선 지락전류/2 이하 ④ 후비보호기기 지락 최소동작전류 정정치 이하
총 동작 횟수		① 후비에 Recloser가 있을 경우 : 후비 Recloser의 총 동작횟수 - 1 이하
순시동작 횟수		① 총 동작횟수 이하 ② 상과 지락의 순시동작 횟수 일치
재폐로 시간		① 변전소 R/y가 아날로그일 경우 : R/y원판 복귀시간 이상 ② R/C 몸체가 투입준비를 할 수 있는 시간 이상 ③ 상과 지락의 재폐로 시간 일치
복귀시간		① 30초
X 배수	상	① (설치점 최대부하전류 × 10) / 상 최소동작전류 이상
	지락	① (설치점 최대부하전류 × 10) / 지락 최소동작전류 이상

2) 선로용 퓨즈(Fuse)

구분	정정지침
Fuse 정격	① 설치점 최대 부하전류이상 ② 보호구간 최소1선 지락전류/20이하 ③ 후비보호기기가 R/C일 경우 아래 조건을 만족할 것 -R/C의 순시동작시간×승률<Fuse의 최소용융시간 -R/C의 지연동작시간>Fuse의 최대고장제거 시간 후비보호기기가 선로용Fuse일 경우 아래 조건을 만족할 것 -후비 Fuse의 최소 용융시간×0.75>전위Fuse의 최대 고장제거시간

4-3. 수변전 설비에서 접지 설계 시 고려할 사항을 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 수변전 설비의 접지설계를 할 경우에는 공급신뢰도 확보를 위한 확실한 기기보호가 가능하며 종사자의 안전에 지장이 없도록 검토 후 설계하여야 한다.
- 2) 접지의 분류
 - (1) 목적에 따른 분류: 뇌보호 접지, 기기접지, 계통접지, 통신용접지
 - (2) 기능적 방법에 따른 분류: 단독접지, 모선접지, 연접접지
 - (3) 접지공법별 분류: 접지봉, 접지극, 매설지선, 메쉬접지

2. 접지의 목적

- 1) 기기의 절연파괴 방지한다.
- 2) 접지전위 상승을 억제하여 감전사고와 화재를 방지한다.
- 3) 정전기로 인한 통신기기 보호
- 4) 뇌 방전전류를 대지로 신속히 방전한다.
- 5) 약전회로와의 혼축을 방지한다.
- 6) 확실한 보호계전기의 동작 전류를 확보한다.

3. 접지 설계시 고려사항

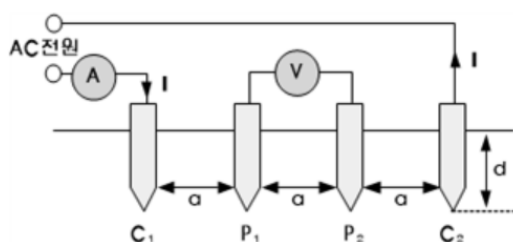
1) 토양특성의 검토

(1) 토지저항률의 결정 요소(건기와 기온이 낮을때 시공한다.)

① 토질 ② 수분의 양 ③ 온도 ④ 용해물질의 농도

(2) 대지 고유저항 측정법

① Winner의 4전극법



[Winner 4전극법]

ρ : 대지 고유저항[Ωm]

a : 전극간의거리[m]

($a = 20d$, $\rho = 2\pi a R = 40\pi d R$)

d : 전극의 매설깊이[m]

- 4개 전극을 일직선상의 동일 간격으로 배치 C_1 과 C_2 에 교류전원을 공급하여 P_1, P_2 간의 전위차를 측정하는 가장 대표적인 방법이다.

② 비저항 검출법

$$R = \frac{\rho}{2\pi a}$$

$$\rho = 2\pi a R = 2\pi a \frac{V}{I} \left(d \leq \frac{a}{20} \right)$$

ρ : 토양의 고유저항 [Ωm]

a : 전극간의거리 [m]

R : 저항값 [Ω]

2) 최대 지락전류 결정

- (1) 최대 지락 전류는 그 계통의 고장용량을 통해 계산한다.

$$\therefore I_E = 0.6 I_R$$

I_E : 최대접지 전류[A]

I_R : 지락전류[A]

3) 소요 접지저항의 결정

- (1) 소내 기기의 내전압을 검토한다.

$$\therefore R_o = \frac{V_g}{I_E} = \frac{\text{허용접지 전압 상승값}(1,500 \sim 2,000[V])}{\text{최대 접지 전류}} [\Omega]$$

4) 허용 보폭전압 및 허용접촉전압 검토

- (1) 허용보폭전압(E_{step})

- 발, 변전소 구내에 서 있는 경우 접지전위 상승에 따른 양다리사이 걸리는 전압

$$\therefore E_{step} = (R_b + 2R_f)I_k = (1,000 + 6\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

단, R_b : 인체저항(1,000 [Ω])

R_f : 발과 지면접촉 저항($3\rho_s$)

ρ_s : 표토층 고유저항 [Ωm]

I_k : 인체허용전류[A]

- (2) 허용접촉전압(E_{touch})

- 인체가 철구등에 접촉했을 경우 손과 발끝사이 걸리는 전압

$$\therefore E_{touch} = (R_b + \frac{R_f}{2})I_k = (1,000 + 1.5\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

단, R_b : 인체저항(1,000 [Ω])

R_f : 발과 지면접촉 저항($3\rho_s$)

ρ_s : 표토층 고유저항 [Ωm]

I_k : 인체허용전류[A]

(3) 두 조건을 만족하는 소요접지저항(R_0) 결정

$$R_0 \leq E_i \times \frac{\alpha_1}{I_E} \quad R_0 \leq E_i \times \frac{\alpha_2}{I_E} \quad I_E: \text{최대접지전류[A]}$$

α_1, α_2 : 안전율

5) 접지 제원의 결정

(1) 접지도체의 굵기 선정

$$\therefore A = I_c \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-8} \times S}{\log_{10} \left(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} \right)}} \quad [mm^2]$$

I_c : 1선 지락 전류 실효 값[A]
 A : 접지도체의 단면적[mm]
 S : 전류 통과시간[s]
 T_m : 최고 허용온도[℃] T_a : 주위온도[℃]

(2) 소요접지도체의 길이

$$E_{mesh} = K_m K_i \rho_s \frac{I_g}{L} = \frac{116 + 0.17 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$\therefore L = \frac{K_m K_i \rho_s I_g \sqrt{t}}{116 + 0.17 \rho_s} \quad [m]$$

K_m : 접촉계수(0.2~0.4)
 K_i : 불규칙계수(2~4)
 E_{mesh} : Mesh 중성점간 접촉전압
 t : 전류유입시간[s]

6) 전위경도의 계산(메쉬접지 경우)

$$E_{step} = (0.1 \sim 0.15) \rho_s \frac{KI_E}{L}$$

$$E_{touch} = (0.6 \sim 0.8) \rho_s \frac{KI_E}{L}$$

단, L : 땅상전장 ρ_s : 표토 층 저항
 K : 수정계수(보통1 접지 망 주변 1.2~1.3)

7) 소내 인접도체에 대한 대책

- (1) 저압회로, 통신회로: 절연 변압기(TR)에 의해 절연한다.
- (2) 궤도: 절연 조이트를 사용한다.
- (3) 가스관, 수도관: 구내 여러 곳에서 접지한다.

8) 안정성 검토 및 대책

- (1) 조작 핸들: 절연재료를 상용한다.
- (2) 울타리: 접지계로 포함하여 접지한다.

4-4. 부하전류와 수전단 전압과의 관계인 I-V곡선과 송전전력과 수전단 전압과의 관계인 P-V 곡선을 이용하여 안전운전영역과 최대 송전가능점을 표기하고 그 이유를 설명하시오

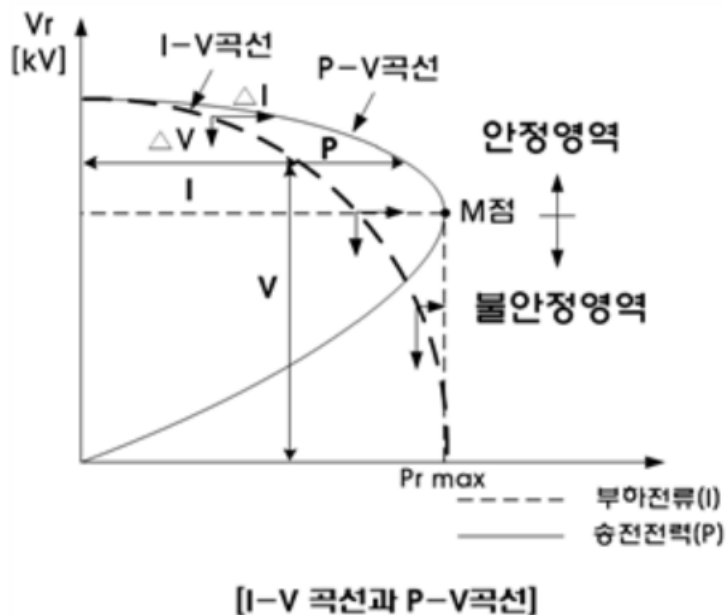
답)

1. 개요

- 1) 전압안정도는 전력의 수송 한계에 따른 전압의 유지능력으로서 전압의 안정성을 의미하는 것으로 모든 모선의 전압을 허용 가능 범위 내 유지할 수 있는 능력을 논하는 것을 말한다.
- 2) 전압안정도는 무효전력의 수송능력에 관한 문제로 공급이 충분하고 사고가 없어도 전압불안정현상에 의해 발생하는 특징이 있다.

2. I-V곡선에 의한 전압안정도

- 1) 전력계통에서 부하전류(I)가 증가하면 수전단 전압(V)는 저하하게 되는데 이것의 형태를 통해 안정유무를 판별하게 위해 그런 곡선을 말한다.
- 2) 모델계통 활용 I-V곡선 해석



1) 안정영역 : M 점보다 상부영역

- (1) 전압저하(ΔV)보다도 전류 증가(ΔI)가 증가하는 부분
- (2) 부하가 증가할 경우에도 전력계통에 에너지 전송이 가능한 영역

2) 임계점: M 점

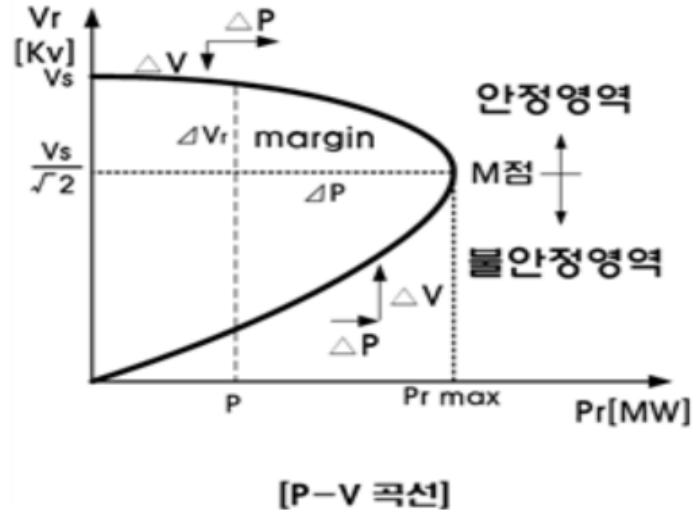
- (1) 전압저하(ΔV)보다도 전류 증가(ΔI)가 1이 되는 점
- (2) 전력계통에 에너지를 전송할 수 있는 최대 임계점

3) 불안정영역: M점보다 하부영역

- (1) 전류 증가(ΔI)가에 비해 전압저하(ΔV)가 급격한 부분
- (2) 부하증가에 따른 전력계통에 에너지 전송력을 상실하는 영역

3. P-V곡선에 의한 전압안정도

- 1) 전력계통에서 전력 (P)가 증가하면 수전단 전압(V)는 저하하게 되는데 이것의 형태를 통해 안정유무를 판별하게 위해 그린 곡선을 말한다.
- 2) 모델계통 활용 P-V곡선 해석



$$\therefore V_r = V_s \frac{\cos(\delta + \theta)}{\cos \theta} P_r = \frac{V_s^2 [\sin(2\delta + \theta) - \sin \theta]}{2X \cos \theta}$$

1) 안정영역 : M 점보다 상부영역 ($\frac{dV_r}{dP_r} < 0$)

- (1) 유효전력 (ΔP) 증가할 경우 전압(ΔV)이 감소하는 영역
- (2) 운전 점에서 전압 및 전력의 여유(margin)이 존재하는 영역

2) 임계점: M 점

- (1) 안정도 임계점
- (2) 전력계통에 최대전력을 전송할 수 있는 최대 임계점

3) 불안정영역: M점보다 하부영역 ($\frac{dV_r}{dP_r} > 0$)

- (1) 유효전력 (ΔP) 감소할 경우 전압(ΔV)이 감소하는 영역

4. 전압안정도 향상대책

- 1) 전력계통의 고전압 운전으로 종래의 운전보다 최고 5[%]정도 높게 운전한다.
- 2) 고성능 조상설비의 보강한다.
- 3) 직접부하제어 실시한다.
- 4) Q-V 종합제어 방식의 도입
- 5) 송전선로 임피던스 경감 설계한다.
- 6) 송전선로 수송전력의 역률 유지
- 7) 고속도 재폐로 방식을 채용한다.

4-5. 차단기트립(Trip) 방식은 제어전원에 따라 직류트립방식, 교류트립방식, CTD (Condenser Trip Device) 방식으로 나눌 수 있다. 각각의 트립방식을 회로도를 그려서 설명하시오.

답)

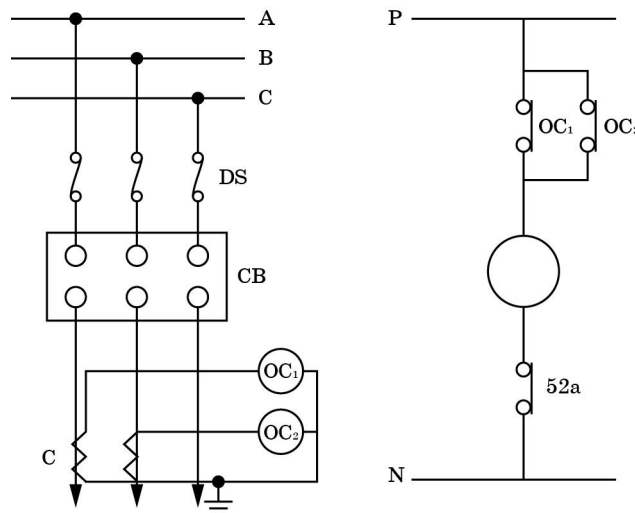
1. 개요

- 1) 배전선상에 고장이 발생했을 경우 보호 계전기가 동작하여 차단기를 Trip 시키는 방식
- 2) 종류
 - (1) 직류트립방식
 - (2) 교류트립방식
 - (3) CTD트립방식

2. 직류 트립방식

1) 동작 개념

- 배전선상에 고장이발생시 보호 계전기가 동작하여 차단기를 Trip 시키는 방식의 일종으로서 발변전소의 제어전류인 직류를 차단기의 Trip Coil에 흘려 차단시키는 것을 말한다.



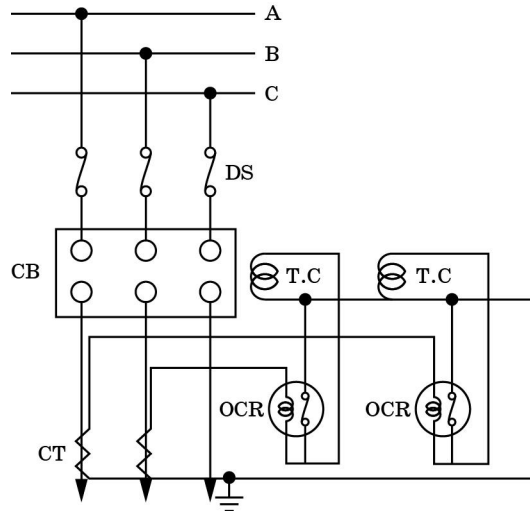
2) 특성

- 동작의 확실성이 가장 우수하다.

3. 교류 트립방식

1) 동작 개념

- 배전선상에 고장이발생시 보호 계전기가 동작하여 차단기를 Trip 시키는 방식의 일종 발변 전소에 설비비등의 면에서 제어용 직류전원(축전지)를 설치할 수 없을 때 사고전류(교류전류)자체로서 계전기 및 차단기도 Trip시키는 것을 교류 Trip방식이라고 한다.



- (1) 사고시 CT 2차전류는 처음 OCR의 b접점을 통해서 OCR코일이 여자된다.
- (2) 이 전류는 Trip Coil을 통해서 차단기를 Trip시킨다.

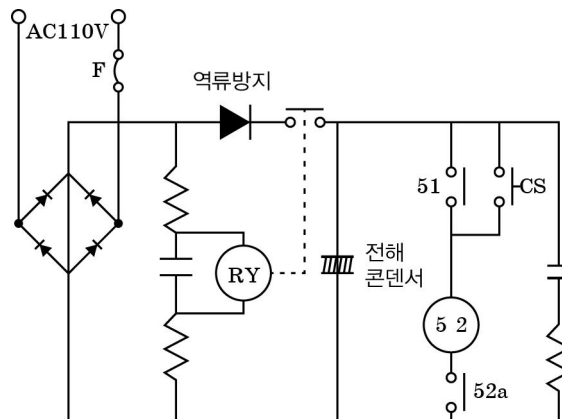
2) 특성

- 성능이 가장낮다

4. CTD 트립방식

1) 동작 개념

- 배전선상에 고장이 발생시 보호 계전기가 동작하여 차단기를 Trip 시키는 방식의 일종으로서 정류기를 통하여 상시 콘덴서(약 $200[\mu F]$)에 충전하여 놓고, 고장이 발생하면 보호계전기의 동작에 의해서 콘덴서가 방전된다. 이때의 방전전류가 차단기의 Trip Coil을 동작시켜 Trip 시키는 방식



2) 특성

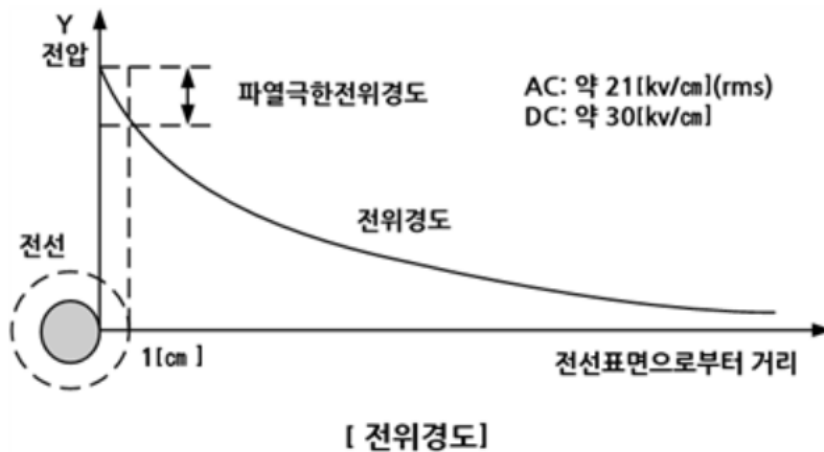
- 성능은 직류 트립방식보다는 못하나 교류Trip방식보다는 더 효과적인 방법이다.

4-6. 다음 그림과 같은 바깥반지름 $R(m)$ 과 안반지름 $r(m)$ 의 두 개의 동심 원통을 양전극 A, B로 하고 B를 접지해서 A, B사이에 $V[V]$ 의 전압을 인가하면 A, B의 단위길이 마다 각각 균등하게 $+q[C/m]$, $-q[C/m]$ 의 전하가 생긴다. 이를 이용한 실제 송전선에서의 코로나 임계전압 E_0 을 유도하고, 코로나 장애와 대책을 설명하시오.(단, 실제 송전선의 전선은 평행하고, $r \ll R$ 이다.)

답)

1. 코로나 현상의 개요

- 1) 전선 주변 공기의 절연성이 국부적으로 파괴되어 낮은 소리와 엷은 빛을 동반하는 방전 현상으로 불꽃 발정 직전의 국부적인 방전 현상
- 2) 전선에 고전압이 인가되면 전선표면의 전위경도가 주변공기의 파열극한 전위 경도를 초과하게 되고 전선 주변 공기의 절연성이 국부적으로 파괴되어 낮은 소리와 엷은 빛을 발하며 방전하게 된다.



2. 코로나 임계 전압식 유도

1) Gauss 법칙

- (1) 임의의 폐곡면 S 를 관통하는 전기력선의 총수는 그 폐곡면 S 내에 존재하는 전하량 Q 의 $\frac{1}{\epsilon_0}$ 배와 같다.

(2) 관련수식

$$\oint E \cdot ds = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\lambda \ell}{\epsilon_0}$$

E : 전기의 세기 $[V/m]$, Q : 전하량 $[C]$

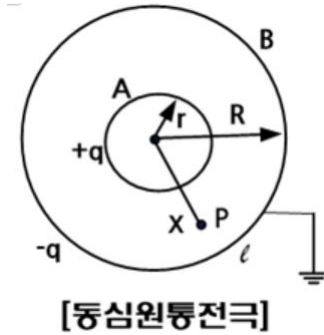
λ : 선 전하 밀도 $[C/m]$

ϵ_0 : 진공 중의 유전율 $[8.854 \times 10^{-12} F/m]$

2) 전계의 세기 E

- 그림에서 선 전하 밀도 λ [c/m]인 선 전하의 중심으로부터 x [m] 떨어진 점의 전계의 세기는

$$E \cdot 2\pi x \ell = \frac{\lambda \ell}{\epsilon_0} \quad \text{이므로} \quad \therefore E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 x}$$

3) 도체간 전위차 V

$$\begin{aligned} V &= - \int_D^r E dx = \int_r^D E dx \\ &= \int_r^D \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 x} dx = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0} [\ln x]_r^D = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0} [\ln D - \ln r] \\ \therefore V &= \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{D}{r} \end{aligned}$$

4) λ 를 구하면

$$\therefore \lambda = \frac{2\pi \epsilon_0 V}{\ln \frac{D}{r}}$$

5) 상기식에서 λ 를 전계의세기 E 에 대입하면

$$E = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 x} \times \frac{2\pi \epsilon_0 V}{\ln \frac{D}{r}} = \frac{V}{\ln \frac{D}{r}} [V/m]$$

6) 표준상태에서 공기의 전위경도 G

$$(1) G = 21.1 [kV/cm]$$

(2) 전계의 최대점은 $x = r$ 일 때

$$\textcircled{1} E = G = 21.1 = \frac{V}{r \ln \frac{D}{r}} = \frac{V}{r \frac{\log_{10} \frac{D}{r}}{\log_{10} e}} = \frac{0.4343 V}{r \log_{10} \frac{D}{r}}$$

② 위의 식에서 V를 구하면

$$V = E_0 = \frac{21.1 \times r \log_{10} \frac{D}{r}}{0.4343} = 48.6 \times r \log_{10} \frac{D}{r} = 24.3 \times 2r \log_{10} \frac{D}{r}$$

$$\therefore E_0 = 24.3 d \log_{10} \frac{D}{r} [kV], \quad (d = 2r)$$

6) 코로나 임계전압 E_0

(1) 전선의 표면 상태(m_o), 날씨 계수(m_1), 상대공기밀도(δ)를 고려하면

$$\therefore E_0 = 24.3 m_o m_1 \delta d \log_{10} \frac{D}{r} [kV]$$

3. 코로나 장애

1) 코로나 손실 발생

- (1) 코로나에 의해 전력손실 및 송전효율 저하
- (2) $F.W. \text{peeK}$ 손실 실험식

$$P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{d}{2D}} (E - E_0)^2 \times 10^{-5} [kW/km/Line]$$

E : 전선의 대지 전위[kV]

E_0 : 코로나 임계전압[kV]

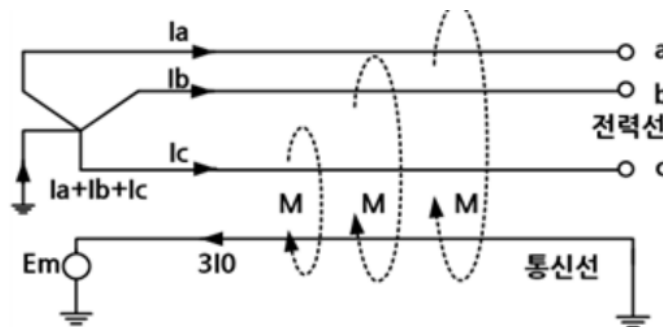
d : 전선의 지름[cm]

D : 등가 선간 거리[cm]

δ : 상대 공기밀도

2) 통신선에 유도장애 발생

- (1) 코로나 발생 시 영상분 고조파에 의해 선로 부근 통신선에 유도장애를 유발한다.
- (2) 전자유도 전압 $E_m = -j\omega M \ell 3I_o [kV]$



[통신선 유도장애 개념도]

3) 전선의 부식 촉진

- 코로나에 의한 화학 작용(오존과 산화질소가 반응하여 질산(초산)이 발생)으로 지지점 등 부식이 발생한다.

4) 코로나 잡음

- 코로나 방전 시 선로 인근에 전파 수신 장애 및 소음 등을 유발한다.

5) 소호리액터의 소호 능력 저하

- 1선 지락 등에 의한 코로나 발생 시 고장 점 잔류전류 유효분 증가 원인이 된다.

6) 오존(O_3) 발생으로 환경오염을 유발

7) 전선에 코로나 진동 유발

4. 코로나 방지대책

1) 굵은 전선의 채용

- (1) 임계전압 상승($E_o = 24.3m_o m_1 d \delta \log_{10} \frac{D}{r}$ [kV], d증가)

- (2) 전선표면의 전위 정도가 완화된다.

2) 다도체 사용

- 코로나 임계 전압상승 (2도체 분할시 E_o 약20[%] 상승)한다.

3) 아킹혼, 아킹링 채용

- 애자련의 전위분포 개선하여 지지점의 코로나 발생을 억제한다.

4) 전선표면의 가공도 향상

- 전선의 표면 계수 m_o 향상하면 임계전압이 상승($E_o \propto m_o$)된다.

5) 가선 금구 개량

- 금구류 개량을 통한 국부적으로 전계의 집중을 방지한다.

6) 애자의 세정 및 오염물질을 제거한다.

7) 상배열 최적화, 적정한 지상고 및 상간 이격 확보한다.

8) 환경을 고려하여 경과지를 선정한다.

