

제 116회 필기시험 문제풀이

발송배전기술사

교수: 하용일



소방전기교육전문학원

모아전기학원

www.moate.co.kr

대표 (02) 2068-2851 FAX, (02) 2068-2881

»모아는 Challenge다«
전기분야의 Legend, 모아전기학원

제 116회 발전배송기술사

[문제풀이집]

교수: 하용일

Legend 모아전기학원의 자랑!

모아전기학원 2012~2018년

전체수강생의 1/7을 합격시킨, 진정한 Legend!

“실제 수강생 대비 합격률 대한민국 1위”

강의만족도 90%, 강의 평균 재수강률 80%

“7년간의 검증” 모방이 불가능한 커리큘럼

열정적으로 2018년을 준비합니다.

Legend 모아전기학원의 최강의 강사진!

왕모아 원장 “건축전기 특강반과 기본반, 전기안전 특강반”

하용일 교수 “섬세한 발송배전 기본튼튼 강의”

오부영 교수 “최단기 합격비법 전기안전·전기응용반 강의”



전기 교육전문학원 ———

모아전기학원

02) 2068- 2851

» 모아전기학원 전기기술사반의 Strength!

첫 번째: 대한민국 최고의 강사진!

- ▷ 최고 전문성을 갖춘 검증된 소방기술사 교수진 5명 강의 중

두 번째: 충분한 공부시간 확보!

- ▷ 정규반/심화반 수업(상/하 총 88~110시간 확보)
- ▷ 별도의 스터디를 통한 학습효과 극대화

세 번째: Class Line-up!

- ▷ 건축전기 2개 Class, 발송배전 2개 Class, 전기안전 2개 Class, 전기응용 1개 Class 운영 중! ▷ 총 7개 Class 개강 운영 중!

네 번째: 동영상 무료제공!

- ▷ 동영상(PC+모바일)을 통한 공부환경의 극대화

다섯 번째: 스터디 룸 무료제공!

- ▷ 토요일/일요일: 정규반, 심화반 오전/오후 별도의 스터디룸 제공
- ▷ 평일 스터디룸(24시간) 무한 제공!

모아소방전기학원 / 전기기술사 개강일정

건축전기설비기술사 (왕모아 원장)			
CLASS	개강일정 (10주)		교재
건축전기의 중요핵심 “SGN 기본반”	9월 02일~11월 11일	일 (15시~20시30분)	모아건축기술사 +보충자료
영혼있는 답안작성 “SBR 연구반”	9월 02일~11월 11일	일 (10시~18시)	모아건축기술사 +Sub note

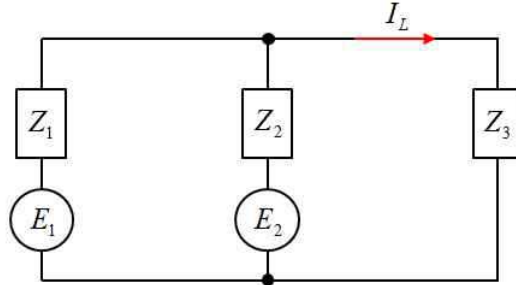
발송배전기술사 (아용일 교수)			
CLASS	개강일정 (11주)		교재
절저한 기본주의 “토요 기본반”	8월 25일~11월 10일	토 (15시~21시)	발송기본3권(송길영) 동일출발사
고정관념 깨기 “심화연구반”	8월 25일~11월 10일	토 (09시~15시)	자체교재

전기안전(응용)기술사 (오부영 교수 / 왕모아 원장)			
CLASS	개강일정 (11주)		교재
쓸 수 있는 공부 “SGN특강반”	8월 25일~11월 10일	토 (15시~20시)	모아전기안전기술사 +보충자료
마무리토론과모의고사 “SGN연구반”	8월 25일~11월 10일	토 (10시~15시)	모아전기안전기술사 +보충자료

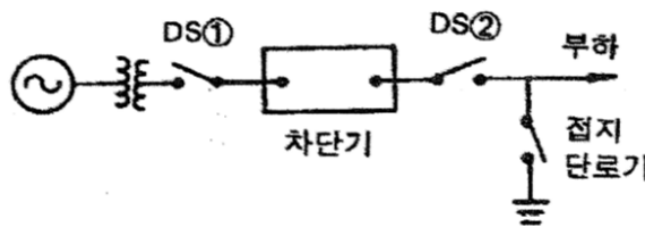
제116회 발송배전기술사 1차 필기시험 문제 (2018년 8월 11일)

1교시

1. 그림과 같은 회로에서 전류 I_L 을 밑만의 정리에 의해 구하시오.



2. 국내 발전소의 냉각시스템에서 일과성 냉각시스템(Once through cooling system)과 재순환 냉각시스템(Recirculation cooling system)의 주요구성에 대하여 설명하시오.
3. 철탑을 사용 목적에 따라 분류하여 설명하시오.
4. 단심 케이블, H지 케이블, SL지 케이블에서 표현하는 절연저항(R_i)에 대하여 설명하시오.
5. R, L, C 회로에서 직렬공진과 병렬공진에 대하여 설명하시오.
6. 지중 송전선 포설에서 프리 스네이크(Free snake) 현상에 대하여 설명하시오.
7. 전류와 자계의 세기에 관한 비오 사바르의 법칙(Biot-Savart's law)에 대해 설명하시오.
8. 가공선로와 지중선로의 파동임피던스(Surge impedance) 및 전파속도를 비교 설명하시오.
9. 랭킨사이클(Rankine cycle)의 T-S 선도를 사용하여 복수기 진공도 변화에 따른 증기터빈의 효율 변화에 대하여 설명하시오.
10. 그림과 같은 발전소에 설치된 선로 단로기(DS①, DS②)와 접지 단로기 및 차단기에 대하여 투입과 개방순서를 설명하시오.



11. 코로나 임계전압의 정의 및 관계식을 쓰고 코로나 방지대책을 설명하시오.
12. n 개의 모선에서 1개의 모선이 감소될 경우 사용할 수 있는 Kron의 행렬 축약 공식에 대하여 설명하시오.
13. 접지전극을 병렬로 설치하는 경우 집합효과에 대하여 설명하시오.

2교시

1. 직류송전시스템의 구성형태에 있어서 다음 아래의 각 항목에 대하여 설명하시오.
 - 1) Point-to-point방식 2) Back-to-Back방식 3) Multi-terminal방식
2. KS C IEC 62305에서 정의된 피뢰구역(Lightning protection zone)과 피뢰레벨(Lightning

protection level)의 기본개념에 대하여 설명하시오.

3. 전력 케이블의 시스(Sheath) 유기전압을 낮추기 위하여 사용되는 접지방식 3가지에 대하여 설명하시오.
4. 기하학적 상사(Geometry Similarity)의 의미를 기술하고, 실제수차와 기하학적 상사인 수차의 비속도(Specific speed)식을 유도하시오.
5. 정격주파수 60Hz의 변압기를 50Hz 계통에 사용할 경우, 다음 사항들이 어떻게 변화하는지 설명하시오.(단, 철심은 포화 상태가 되지 않는다.)
 - 1) 자속밀도 2) 히스테리시스와 와류손
 - 3) 전압변동률 4) 온도상승
6. 도체에 전류가 흐르면 자속이 생겨 도체와 쇠교하게 된다. 반지름 $r[m]$ 의 직선상 도체에 전류 I 가 흐르고 있을 경우 이 도체의 내부와 외부의 단위길이당 자속쇄교수를 구하시오.

3교시

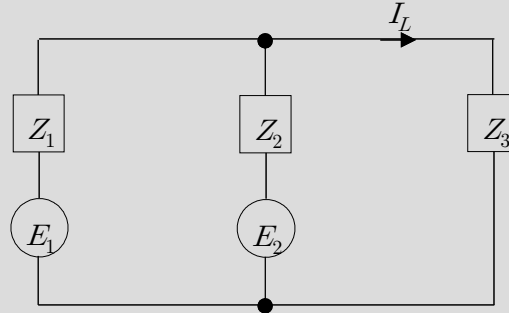
1. 전력계통에 분산전원이 연계되는 경우, 조류의 방향과 역률을 고려하여 전압강하를 계산하는 방법에 대하여 설명하시오.
2. 최근 발전소에 설치되고 있는 냉각수 심층 취·배수 시스템의 계통구성 및 주요특성에 대하여 설명하시오.
3. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 따라 신에너지 및 재생에너지를 각각 구분하여 설명하고 최근의 각 발전원별 발전량 비중과 특성을 설명하시오.
4. 단거리 선로에서 전압강하식을 유도하고, 전압강하가 유효전력 및 무효전력과 관계가 있음을 수식으로 설명하시오.
5. 발전기 기본식을 이용하여 선간 단락전류가 3상 단락전류의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배임을 설명하시오.
6. 변압기의 절연강도를 피뢰기 제한전압과 관련하여 설명하시오.

4교시

1. 스마트그리드의 개념에 대해 설명하고, 소비자 중심의 스마트그리드 구현을 위한 최근 국내 정책과제에 대하여 설명하시오.
2. 선로나 기기에서의 전절연(Full insulation), 저감절연(Reduced insulation), 변압기에서의 단절연(Graded insulation), 균등절연(Uniform insulation)에 대하여 설명하시오.
3. 화력발전소의 열효율에 영향을 미치는 요소가 무엇인지를 쓰고, 설비적인 측면과 운영적인 측면에서의 열효율 향상 대책에 대하여 설명하시오.
4. 계통의 전력·주파수 특성을 발전기와 부하의 경우로 나누어 설명하시오.
5. 유도장해 경감대책으로 전력선과 통신선 사이에 차폐선을 설치하는데, 차폐선 설치에 따른 차폐효과에 대하여 설명하시오.
6. 화석연료의 연소로 인하여 발생하는 배기가스에 대한 영향과 대책에 대해 설명하고, 이때 발생하는 비회(fly ash)를 모으는 집진장치에 대하여 설명하시오.

제 1 교시 문제풀이

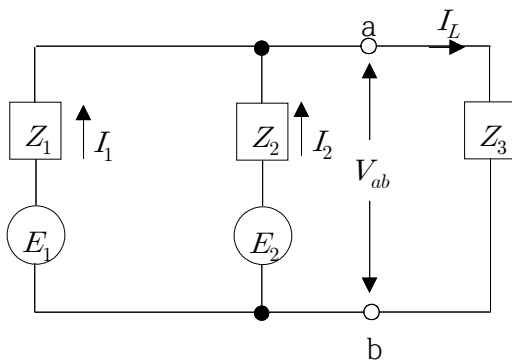
1-1. 그림과 같은 회로에서 전류 I_L 을 밀만의 정리에 의해 구하시오.



답)

1. 밀만의 정리에 의해 전압 V_{ab}

1) 회로도



2) a점에 KCL 적용

$$I_1 + I_2 = I_L$$

$$\frac{E_1 - V_{ab}}{Z_1} + \frac{E_2 - V_{ab}}{Z_2} = \frac{V_{ab}}{Z_3}$$

$$\frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} = \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right) V_{ab}$$

$$\therefore V_{ab} = \frac{\frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} = \frac{Z_2 Z_3 E_1 + Z_1 Z_3 E_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}$$

2. 전류 I_L

$$I_L = \frac{V_{ab}}{Z_3} = \frac{Z_2 Z_3 E_1 + Z_1 Z_3 E_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3} \times \frac{1}{Z_3} = \frac{Z_2 E_1 + Z_1 E_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}$$

1-2. 국내 발전소의 냉각시스템에서 일과성 냉각시스템(Once through cooling system)과 재순환 냉각시스템(Recirculation cooling system)의 주요구성에 대하여 설명하시오.

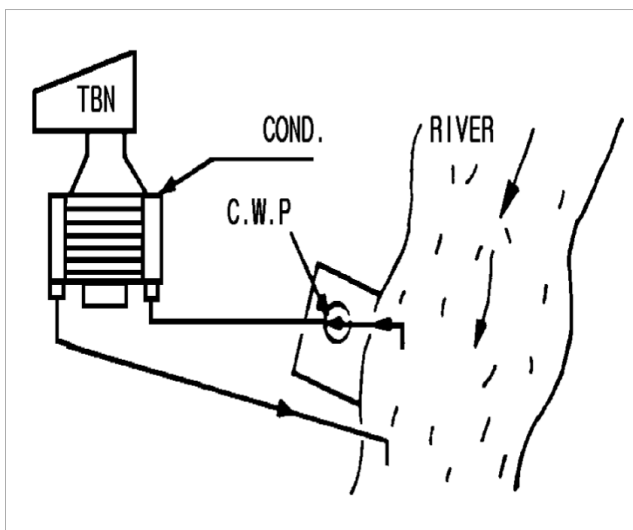
답)

1. 일과성 냉각시스템(Once through cooling system)

1) 정의

취수원으로부터 펌프로 올린 냉각수를 복수기 또는 열교환기로 보내어, 여기서 열이 전달되고 복수기 내에서 증발열을 흡수한 냉각수가 주변으로 직접 방출되는 방식을 말한다.

2) 구성도



< 일과성 냉각시스템 >

3) 구성설비

(1) 복수기

일종의 열교환기로 증기를 물로 만들어 주는 설비를 말한다.

(2) 냉각수 펌프(CWP)

냉각수를 취수원으로부터 방수하는 데까지 압력을 담당한다.

(3) 수로

냉각수가 이동할 수 있는 통로로서 화력 발전소에는 복수기 냉각수를 끌어 들이는 취수로와 배출하는 방수로가 있으며, 수로 형식에는 펌프 압송식, 도수로식, 2 단식이 있다.

(4) 오물제거장치(Screen)

냉각수 중에 쓰레기, 오물, 나무 조각, 조개 등의 각종 이물질을 제거하기 위해 취수구에 스크린을 설치한다. 스크린에는 격자형(格子形)인 고정식 트래쉬 랙(Trash Rack 혹은 Bar Screen)과 금망(金網)으로 된 회전형 스크린이 있다. 먼저 트래쉬 랙에서 큰 이물질의 유입을 막은 후 회전형 스크린에서 작은 이물질을 제거한다.

(5) 프라임 펌프(Priming Pump)

순환수 계통은 냉각수의 순환력을 증대시켜 순환수 펌프 소비 동력을 절감할 수 있도록 사이펀(Syphon)이 형성되어 있다. 그러나 운전 중 수실에 유입된 냉각수 온도 및 압력 변화로 수실내에 공기를 발생시켜 복수기 성능을 저하시키고 순환수 계통의 사이펀 형성을 방해하므로 이를 제거하기 위해 프라임 펌프가 설치된다.

(6) 해수 냉각수 펌프

유니트 정지 후에도 각종 기기들의 냉각을 위하여 보조 냉각수계통은 정지할 수 없다. 따라서 열교환기(Heat Exchange)로 해수 공급하기 위해 순환수 펌프를 계속 운전하는 경우 동력 소비가 커지게 된다. 이를 절감하기 위해 용량이 작은 해수 냉각수 펌프(Sea Water Cooling Water Pump)가 취수구에 설치되어 있다.

(7) 데브리 필터(Debris Filter, 찌꺼기 여과 장치)

데브리 필터는 복수기 냉각수(해수)와 함께 유입되는 이물질과 조개 등으로 복수기 튜브가 폐쇄되어 발생하는 빈번한 출력 감발, 발전 정지 및 조개 부착과 서식으로 인한 복수기 튜브 손상과 진공 저하를 막기 위해 찌꺼기를 여과하는 장치이다. 데브리 필터는 복수기 입구측 순환수 관마다 1개씩 설치되어 있다.

(8) 복수기 튜브 세정 장치(Tube Cleaning System, Taprogge System)

복수기 튜브 내에 부착된 이물질을 운전 중 튜브 내경보다 조금 큰 스폰지 볼을 냉각수와 함께 튜브에 통과시키면서 튜브내의 부착물을 청소하는 설비이다.

(9) 복수기 역세 계통

복수기에 냉각수 흐름이 한 방향으로만 흐르는 경우에 냉각수와 함께 유입된 이물질, 조개 등이 튜브 입구를 막아 냉각 효과를 방해하게 되므로, 운전 중 단시간에 냉각수 흐름을 반대 방향으로 되게 하여 이물질, 조개 등을 복수기 밖으로 제거하는 장치이다.

2. 재순환 냉각시스템(Recirculation cooling system)

1) 정의

일과성 냉각시스템과는 달리 폐열을 주변 환경으로 직접 내보내지 않고 재순환시키는 시스템으로 냉각수로, 냉각못, 냉각탑이 널리 사용되고 있다.

(1) 냉각수로 또는 냉각운하

냉각수로나 냉각운하를 이용하여 장거리의 수로나 운하를 거치면서 대기 냉각된 후 인근 해역으로 방수하거나 재순환시키는 방식

(2) 냉각못

인공적으로 넓은 연못을 만들어 온배수가 주변 수역으로 도달하기 전에 열을 상실하는 완충역할로 이 연못은 취수원인 동시에 열 방출원으로 이용할 수 있다.

(3) 냉각탑

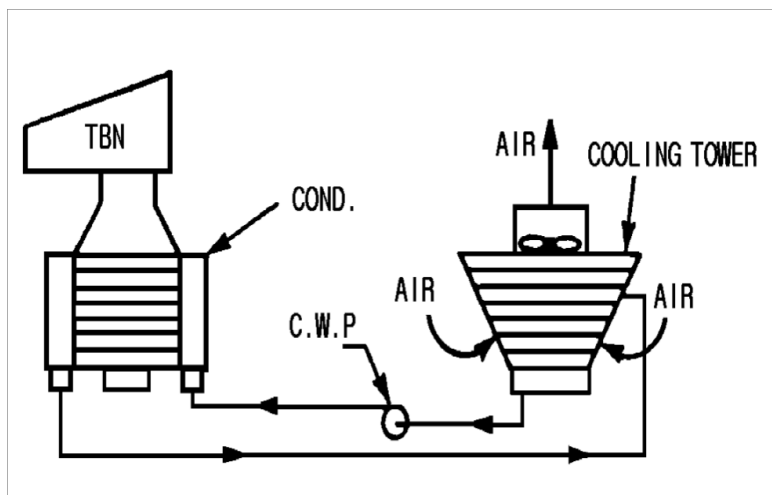
① 습식 냉각탑

복수기에서 증기열을 흡수하고 나온 냉각수를 높이가 높은 통풍 굴뚝 중하단부에서 분지관을 통해 분산하여 자연통풍 효과를 이용한 공기의 상승 작용 시에 공기와 냉각수가 직접 접촉하여 냉각수 온도가 떨어트리는 냉각탑을 자연통풍식이라 한다. 보조통풍 냉각탑에서는 전동 선풍기를 돌려 공기의 흐름을 촉진하는데 이를 보조통풍식이라 한다. 보조통풍식과 자연통풍식을 합쳐 습식 냉각탑이라 한다.

② 건식 냉각탑

냉각핀 또는 벌집 모양의 금속 구조물로 된 방열기로 더운물을 보내고 공기를 통과시켜 간접적으로 냉각하는 방식으로 냉각수가 공기와 직접 접촉하지 않고 증발에 의한 손실이 없다.

2) 구성도



〈 재순환 냉각시스템 〉

3) 구성설비

- (1) 복수기
- (2) 냉각수 펌프
- (3) 냉각수 배관
- (4) 냉각탑
- (5) 쿨링 Fan

1-3. 철탑을 사용 목적에 따라 분류하여 설명하시오.

답)

1. 사용목적에 따른 철탑 분류**1) 직선철탑**

- (1) 수평각도가 3° 이하인 곳에 사용하는 현수애자용 철탑.
- (2) 철탑형 표시는 “A”로 한다.

2) 각도철탑

- (1) 수평각도가 큰 장소에 사용되는 내장형 애자를 사용하는 철탑이다.
- (2) B형: 수평각도 3° 를 넘고 20° 이하의 경각도로 설계한 것.
- (3) C형: 20° 를 넘고 30° 이하의 중각도로 설계한 것.

3) 역류지지 철탑

- (1) 전체의 전선을 끌어당겨서 고정할 수 있는 철탑으로서 D형 철탑이라 한다.
- (2) 선로가 구부러져서 수평각도가 30° 이상으로 되어 각도 철탑으로는 충분한 강도를 얻을 수 없는 장소에 세우기도 한다. 내장형 애자를 사용한다.

4) 내장 보강 철탑

- (1) 전선로를 보강하기 위하여 사용하는 철탑이다.
- (2) 전선로의 장경간 개소, 인접 경간의 차이가 크고 현저하게 불평균 장력이 발생할 우려가 있는 개소, 또는 직선철탑이 연속되는 경우 10기 이하마다 1기씩 내장철탑을 사용하여 전선로를 보강한다.
- (3) E형 철탑이라 하고 내장형 애자를 사용한다.

1-4. 단심 케이블, H지 케이블, SL지 케이블에서 표현하는 절연저항(R_i)에 대하여 설명하시오.

답)

1. 절연저항

1) 정의

- (1) 전선의 도체와 대지사이에 절연 정도를 말하며 케이블의 경우 절연체(유전체)의 절연정도를 절연저항이라 한다.
- (2) 절연저항이 높을수록 케이블의 열화정도가 작으며, 절연저항이 작을수록 케이블의 열화정도가 크므로 절연저항이 일정값 이하로 나올 때는 케이블을 교체하거나 보수하여야 한다.

2) 단심 케이블, H지 케이블, SL지 케이블에서 절연저항 관계식

$$R_i = 0.3665\rho \log_{10} \frac{R}{r} [M\Omega/km]$$

단, r : 심선의 반지름[m]

R : 연피의 안지름[m]

ρ : 절연물의 저항률[Ω/cm] (유침지의 경우 $5 \sim 8 \times 10^{14}$)

1-5. R,L,C 회로에서 직렬공진과 병렬공진에 대하여 설명하시오.

답)

1. 공진의 의미

- 1) R-L-C로 구성된 회로에 교류전압을 가할 때 전압과 전류의 위상이 동위상이 되는 경우를 공진 (Resonance)이라 하며, 이때의 주파수를 공진주파수(Resonance Frequency)라 한다.
- 2) 공진 시에는 리액턴스 성분은 서로 상쇄되므로 임피던스는 순 저항성분만 남게 된다. 따라서 어떤 회로의 합성임피던스를 구하고, 이의 허수부가 "0"이 되는 조건을 찾으면 이 조건이 공진조건 이 된다.
- 3) 공진 시에는 리액턴스 성분이 "0"이 되므로 무효전력은 존재할 수 없고, 순 저항성분에서 소모되는 유효전력만 존재하게 되므로 역률(Power Factor)은 "1"이 된다.

2. RLC 직렬공진 회로

1) 회로도

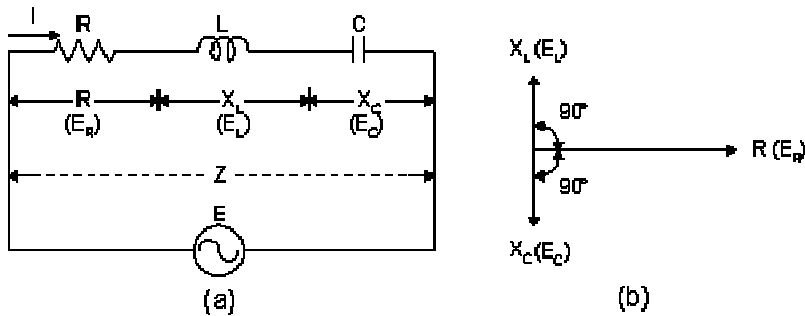


그림 3-13 R-L-C 직렬 회로

2) 합성 임피던스 Z 와 위상

$$\text{임피던스 } Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

$$\text{크기 } |Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\text{위상 } \theta = \tan^{-1} \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R}$$

3) 공진주파수 f_0

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \text{ 이므로 } \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 에서 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4) 공진 시 임피던스 Z_0

$$Z_0 = R \text{ (공진시의 임피던스가 가장 작은 회로가 된다)}$$

5) 공진시 전류

$$I = \frac{E}{Z_0} = \frac{E}{R}$$

R이 매우 작으면 전류는 대단히 크게 된다. R \rightarrow 0에 가깝게 되면 전류는 ∞ 에 가깝게 된다.

6) 적용

선로에 직렬콘덴서를 사용하지 않는 이유는 계통의 L과 직렬 C가 공진을 일으키면 전류가 ∞ 가 흘러 전력이 ∞ 가 되어 SSR등 문제를 일으키기 때문이다.

3. RLC 병렬공진 회로

1) 회로도

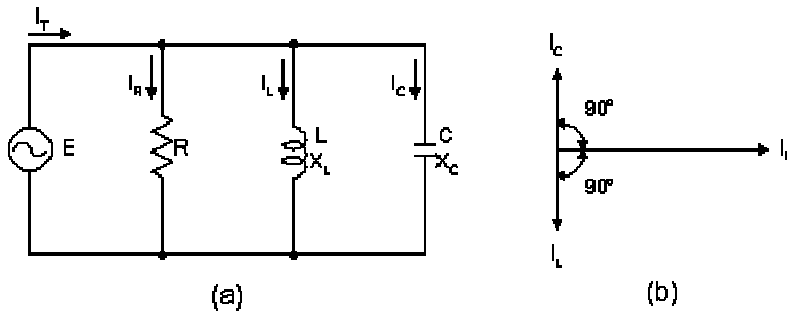


그림 3-14 R-L-C 병렬 연결 회로

2) 합성 임피던스 Z 와 위상

$$\text{임피던스 } \frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

$$\text{크기 } |Z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$$

$$\text{위상 } \theta = \tan^{-1} R\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

3) 공진주파수 f_0

$$\omega_0 C = \frac{1}{\omega_0 L} \text{ 이므로 } \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 에서 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4) 공진시 임피던스 Z_0

$Z_0 = R$ (공진시 임피던스가 가장 큰 회로가 됩니다.)

5) 공진시 전류

$$I = \frac{E}{Z_0} = \frac{E}{R}$$

R이 매우 크면 전류는 0에 가깝게 된다. R \rightarrow ∞ 에 가깝게 되면 전류는 0에 가깝게 된다.

6) 적용

고장전류제한기 등은 이러한 공진현상을 이용하여 직렬공진 시는 $Z \rightarrow 0$ 로 계통 연계 기능을 갖고 병렬공진 시는 $Z \rightarrow \infty$ 로 고장전류 제한 기능을 갖는다.

1-6. 지중 송전선 포설에서 프리 스네이크(Free Snake) 현상에 대하여 설명하시오.

답)

1. 프리 스네이크(Free Snake) 현상

1) 정의

케이블 경과 지중 곡선부에서의 케이블의 이동이 심하고, 그 부분에 신축이 집중되어 케이블이 극단적으로 구부러지는 현상을 프리 스네이크(Free Snake) 현상이라 한다.

2) 영향

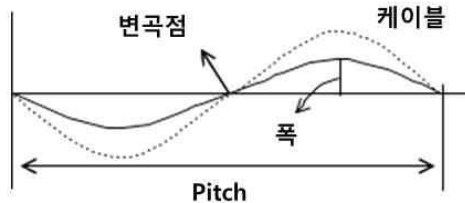
- (1) 열신축에 의한 케이블 시스 파손, 절연체 등에 피로가 가중되어 손상을 일으킨다.
- (2) 경사지에서 케이블이 흘러내리는 활락현상이 발생한다.

3) 스네이크 포설

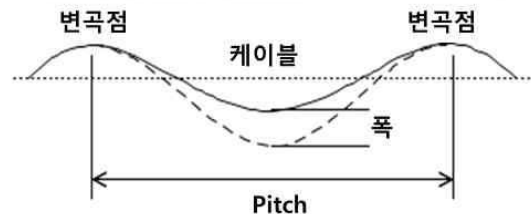
(1) 정의

프리 스네이크(Free Snake) 현상의 대책으로 전력구내에 케이블을 설치할 때에는 뱀이 기어 가는 것과 같이 케이블을 구불구불하게 설치하는 것을 스네이크(snake) 포설이라 한다.

(2) 설치도



< 수평 스네이크 >



< 수직 스네이크 >

(3) 특징

- ① 열신축은 snake 형상의 변화에 따라서 흡수되기 때문에 맨홀에서의 케이블 신축은 현저히 감소되고, off-set 길이를 줄일 수 있다.
- ② snake의 변곡점 또는 끝부분을 cleat로 고정하면 직선적으로 설치할 때 보다 훨씬 작은 구속력으로 고정할 수 있고, 크리트 구조도 간단하게 된다.
- ③ 금속시스에 발생하는 형태 변화는 케이블 전 구간에 걸쳐서 분산되어 off-set 부분에만 집중되지 않는다.
- ④ 케이블을 크리트로 고정하기 때문에 프리 스네이크(free snake)현상이 발생하지 않는다.
- ⑤ 경사지에서는 크리트에 요구되는 구속력이 현저히 감소되고, 간단히 고정할 수 있다. 전력구내 케이블 스네이크는 수평스네이크로 하고, 필요 시 수직 스네이크를 시행.

1-7. 전류와 자계의 세기에 관한 비오-사바르의 법칙(Biot-Savart's law)에 대해 설명하시오.

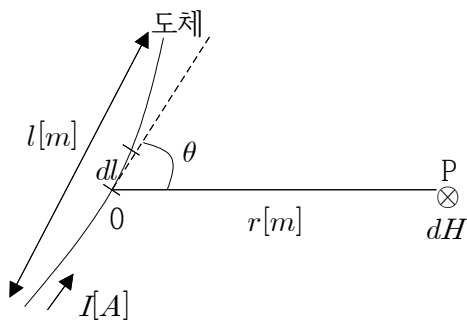
답)

1.비오-사바르 법칙

- 1) 도선에 전류 $I[A]$ 가 흐르고 있을 때 도선상의 임의의 점 O에 있는 미소길이 $dl[m]$ 의 부분에 흐르는 전류에 의해 점 O로부터 θ 의 방향에 $r[m]$ 떨어진 점 P에 생기는 자계의 세기는

$$dH = \frac{Idl}{4\pi r^2} \sin\theta [AT/m] \text{ 이 된다.}$$

- 2) 개념도



- 3) 이때, dH 의 방향은 dl 과 r 의 양쪽에 수직이고, 암페어의 오른나사 법칙에 따르는 방향이다.
- 4) 암페어의 주회적분 법칙에 의한 자계는 도체가 대칭성을 갖는 경우에 적용하는데 반해, 비오-사바르의 법칙은 위 그림과 같이 도체가 임의의 불규칙한 모양일 경우에 자계를 구하는데 적용된다.

1-8. 가공선로와 지중선로의 파동임피던스(Surge impedance) 및 전파속도를 비교 설명하시오.

답)

1. 가공선로 파동임피던스와 전파속도**1) 파동임피던스**

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.4605 \times 10^{-3}}{0.02413 \times 10^{-6}}} \log_{10} \frac{2h}{r} = 138 \log_{10} \frac{2h}{r} [\Omega]$$

2) 전파속도

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0.4605 \times 0.02413 \times 10^{-9}}} = 3 \times 10^5 [\text{km/s}]$$

2. 지중선로 파동임피던스와 전파속도**1) 파동임피던스**

$$Z_w = \sqrt{\frac{0.4605 \times 10^{-3}}{0.02413 \times 10^{-6} \times \epsilon_s}} \log_{10} \frac{R}{r} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_s}} 138 \log_{10} \frac{R}{r} [\Omega]$$

2) 전파속도

$$v = \frac{1}{\sqrt{0.4605 \times 0.02413 \times 10^{-9} \times \epsilon_s}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_s}} \times 3 \times 10^5 [\text{km/s}]$$

3. 비교 설명

- 1) 파동임피던스와 전파속도는 가공에 비하여 지중이 $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_s}}$ 만큼 작아지고 느려진다.
- 2) ϵ_s 값은 2.5 ~ 4 정도이므로 파동임피던스는 가공에 비하여 지중이 0.5 ~ 0.6배 작아진다.
- 3) 전파속도는 가공에 비하여 지중이 50 ~ 60% 느려진다.

1-9. 랭킨사이클(Rankine cycle)의 T-S 선도를 사용하여 복수기 진공도 변화에 따른 증기터빈의 효율 변화에 대하여 설명하시오.

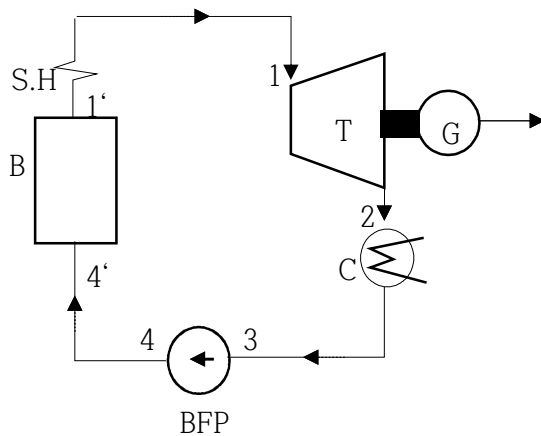
답)

1. 랭킨 사이클의 정의

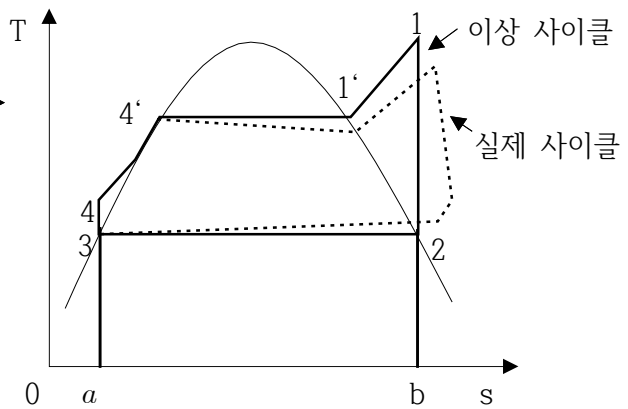
증기원동기에 적합하게끔 카르노 사이클을 개량한 것으로 증기를 작업유체로 사용하는 가장 기본적인 사이클로 카르노 사이클의 등온과정을 등압과정으로 바꾼 것.

2. 랭킨사이클(Rankine cycle)의 T-S 선도 및 터빈 효율

1) 장치선도 및 T-S 선도



< 장치선도 >



< T-S 선도 >

2) 터빈 효율

$$\eta = \frac{\text{면적 } 3,4,4',1',1,2,3}{\text{면적 } a,4,4',1',1,b,a} = \frac{(i_1 - i_2) - (i_4 - i_3)}{(i_1 - i_4)} \doteq \frac{(i_1 - i_2)}{(i_1 - i_3)}$$

여기서, i_1 : 터빈 입구에서의 증기가 갖는 엔탈피

i_2 : 터빈 출구에서의 증기가 갖는 엔탈피

i_3 : 보일러 입구에서의 물이 갖는 엔탈피

3) 랭킨사이클의 열효율 향상

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{P_2}{P_1} \quad \text{식에서}$$

(1) TBN 입구 온도를 높인다.

초 기온 상승은 고온용 재료의 강도면에서 제약을 받는다.

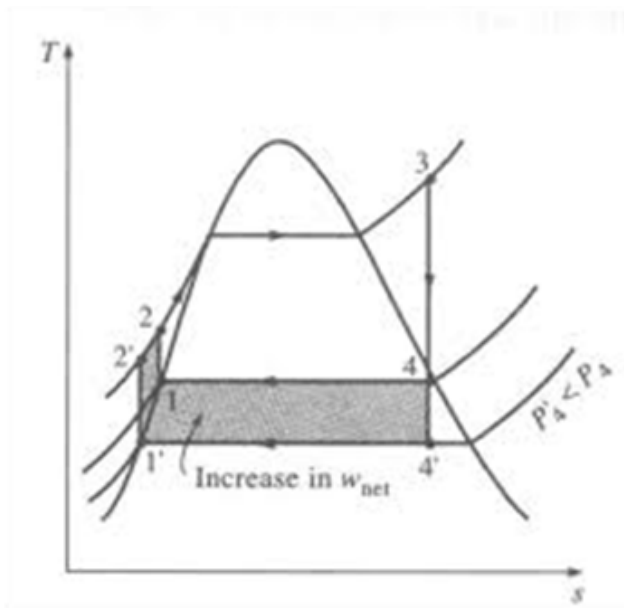
(2) TBN 입구의 증기의 압력을 높인다.

초 기압만을 상승시키면 터빈출구부근의 압력이 내려갔을 때 증기 중에 습도가 높아져서 이것이 손실이나 부식의 원인이 된다. 또한 어느 압력(175 kg/cm²)이상 에서는 초 기압 상승효과가 포화되는 경향이 있다.

(3) TBN 출구의 배기 압력을 낮게 한다.

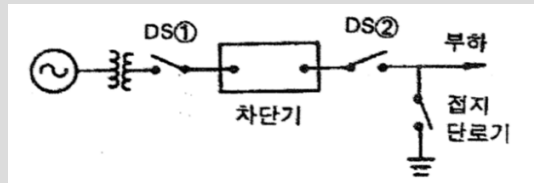
냉각수로 사용되는 바닷물이나 하천수의 온도로 제한된다.

3. T-S 선도를 사용하여 복수기 진공도 변화에 따른 증기터빈의 효율 변화



터빈효율은 빗금 친 면적을 제외한 면적에서 복수기에서 버려지는 열량을 포함하여 빗금 친 부분만큼 증대됩니다.

1-10. 그림과 같은 발전소에 설치된 선로 단로기(DS①, DS②)의 접지 단로기 및 차단기에 대하여 투입과 개방순서를 설명하시오.



답)

1. 오조작 방지 조건(Interlock)

- 1) 선로 측 단로기 투입 상태에서는 접지 측 단로기는 투입할 수 없다.
- 2) 접지 측 단로기 투입 상태에서는 선로 측 단로기를 투입할 수 없다.

2. 단로기, 차단기와 접지 단로기의 투입과 개방순서

- 1) 투입: 접지 측 단로기 개방 → DS② 투입 → DS① 투입 → 차단기 투입
- 2) 개방: 차단기 측 개방 → DS② 개방 → DS① 개방 → 접지단로기 투입

1-11. 코로나 임계전압의 정의 및 관계식을 쓰고 코로나 방지대책을 설명하시오.

답)

1. 코로나 임계전압의 정의 및 의미

1) 정의

전선표면의 전위경도가 코로나 임계전위경도에 도달했을 때 전선의 대지전압을 코로나 임계전압이라 한다.

2) 의미

임계전압이 20kV라면 20kV부터 코로나가 발생한다.

임계전압이 40kV라면 40kV부터 코로나가 발생한다.

즉, 임계전압이 높을수록 코로나 발생이 억제된다.

2. 임계전압 관계식

$$E_0 = 24.3 m_0 m_1 \delta d \log_{10} \frac{D}{r} [kV] \quad (d = 2r)$$

1) m_0 (전선표면에 관계되는 계수)

매끈한 단선1, 표면이 거친단선, 연선순으로 1보다 작아진다.

2) m_1 (일기에 관계되는 계수)

맑은 날 1, 비, 눈, 안개 있는 날 0.8

3) δ (상대공기밀도)

표준기압 760[mmHg], 표준온도 20°C일 때 1

표준 상태가 아닐 경우 $\delta = \frac{b}{760} \times \frac{273+20}{273+t} = \frac{0.386b}{273+t}$ 로 교정한다.

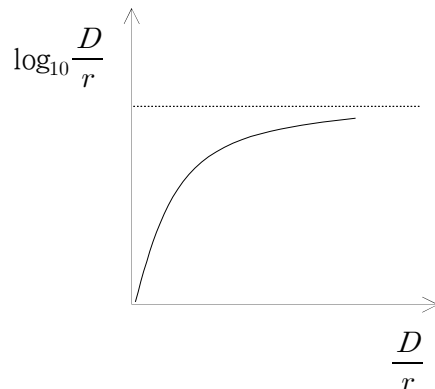
b: 측정 시 기압 t: 측정 시 온도

4) r(전선의 반지름)

전선의 반지름 r은 임계전압과 비례한다.

5) $\log_{10} \frac{D}{r}$

선간거리 D[cm]와 반지름 r[cm]와의 관계는 우측 그림과 같이 대수적으로 변한다.



3. 코로나 방지대책

코로나 임계전압 식에서 인위적인 조정이 가능한 것은 전선의 반지름 r 뿐이므로 전선의 반지름 r 을 키우면 임계전압이 커져서 코로나 발생을 방지한다.

1) 굵은 전선을 사용한다.

임계전압 식 $E_0 = 24.3 m_0 m_1 \delta d \log_{10} \frac{D}{r} [kV]$ 에서 d 를 크게 함으로써 E_0 가 커져 공기 절연이 튼튼하게 되어 전위경도가 낮아져서 코로나 발생을 방지한다.

2) 복도체를 사용한다.

복도체를 사용하면 굵은 전선을 사용하는 것과 같은 효과가 있으므로 임계전압 E_0 가 높아져서 코로나 발생을 방지한다.

3) 가선금구 개량

전선표면 등을 매끄럽게 해서 전계의 집중을 방지하여 코로나 발생을 방지한다.

1-12. n개의 모선에서 1개의 모선이 감소될 경우 사용할 수 있는 Kron의 행렬 축약 공식에 대하여 설명하시오.

답)

1. Kron의 행렬 축약 공식

1) 개념도

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} \uparrow \\ n-m \\ \downarrow \end{array} \begin{array}{c} I_a \\ \vdots \\ I_2 \\ I_1 \end{array} \\
 \begin{array}{c} \uparrow \\ m \\ \downarrow \end{array} \begin{array}{c} I_b \\ \vdots \\ I_3 \\ I_4 \end{array} \\
 \text{소거분}
 \end{array}
 = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \vdots \\ Y_{BUS} \\ \vdots \end{array} \right] = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{array} \right] \begin{array}{c} V_a \\ V_b \end{array} \end{array} \xrightarrow{\text{소거후}} \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} I_1 \\ I_2 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} Y_{BUS} \end{array} \right] = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} V_1 \\ V_2 \end{array} \right]$$

< Kron의 행렬 축약 개념도 >

2) 유도

- (1) $I_{BUS} = Y_{BUS} \cdot V_{BUS}$ 의 형태로 유도한다.
- (2) 행렬 표현에서 I_b, V_b 가 소거 대상이다.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} \\ Y_{ab}^t & Y_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix}$$

- (3) I_b, V_b 를 I_a, V_a 형태로 표현한다. 행렬식으로부터 소거분은 0가 되어야한다.

$$I_b = Y_{ab}^t V_a + Y_{bb} V_b = 0 \quad \therefore V_b = -Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t V_a \quad \text{단, } Y_{ab}^t : \text{전치행렬}$$

- (4) 소거되고 남는 부분을 $I_a = Y_{BUS}^{eq} \cdot V_a$ 형태로 변형한다.

$$I_a = Y_{aa} V_a + Y_{ab} (-Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t V_a) = Y_{aa} V_a - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t V_a = [Y_{aa} - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t] V_a$$

- (5) n에서 n-m으로 축약된 등가 Y_{BUS}^{eq}

$$Y_{BUS}^{eq} = Y_{aa} - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t$$

3) 특징

- (1) $n \times n$ 행렬에서 $(n-m) \times (n-m)$ 행렬로 축약된다.
- (2) 모선 소거시 소거전 Y_{BUS} 를 구한 후 소거하고자 하는 모선의 열을 먼저 가장 바깥으로 이동한 후 행을 가장 하단으로 이동시켜 소거한다.

1-13. 접지전극을 병렬로 설치하는 경우 집합효과에 대하여 설명하시오.

답)

1. 접지전극의 집합효과

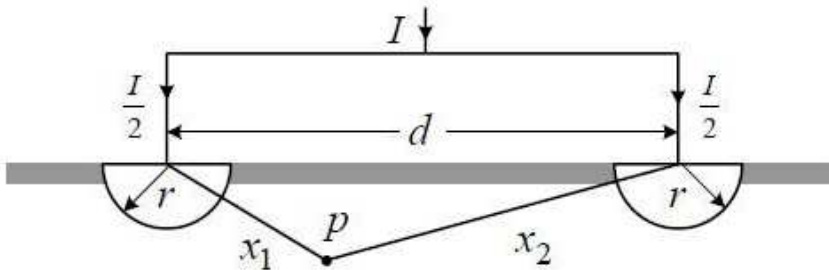
1) 정의

보통 저항의 경우에 병렬 접속하면 저항값은 1/2로 감소하지만 접지의 경우는 두 개의 접지저항이 대지의 일부를 공유하기 때문에 병렬로 접속한다고 해서 접지저항이 1/2로 되지는 않고 1/2 보다는 약간 커지게 되는데 이런 현상을 병렬접지의 집합효과라고 한다.

2) 반구상의 접지극을 통해서 I [A] 의 전류가 대지로 방류될 때 접지극의 전위 V

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} [V]$$

3) 병렬 접지의 개념도



4) P점의 전위

(1) 병렬 접지극에 전류 I 가 유입되면 양쪽 접지극에는 각각 $I/2$ 의 전류가 흐른다.

(2) 지중의 임의의 점에 양쪽 접지극으로부터 x_1 , x_2 되는 거리에 점 P의 전위는 양쪽 전극에

의한 전위의 합이 되므로 $V_p = \frac{\rho \times \frac{I}{2}}{2\pi x_1} + \frac{\rho \times \frac{I}{2}}{2\pi x_2} [V]$ 가 된다.

(3) 점 P를 한쪽의 반구 전극 표면에 잡았을 때 전위 V

$$V = \frac{\rho \times \frac{I}{2}}{2\pi r} + \frac{\rho \times \frac{I}{2}}{2\pi d} = \frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d} \right) [V]$$

5) 합성 접지저항 R

$$(1) R = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d} \right) = \frac{\rho}{4\pi r} \left(1 + \frac{r}{d} \right) [\Omega]$$

(2) 즉, 반구상 접지극 두 개가 병렬로 설치되었으면 합성저항은 $R = \frac{R_1}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{\rho}{4\pi r}$ 로 되

어야 하겠으나 실제로는 $R = \frac{\rho}{4\pi r} \left(1 + \frac{r}{d} \right)$ 로 되어 1/2 보다는 약간 커지게 되는데 이것이 집합효과이다.

6) 집합효과는 두 접지극 사이의 거리가 가까울수록 커진다.

7) $d \rightarrow \infty$ 이거나 $d \gg r$ 이면 집합효과는 무시할 수 있을 정도로 작아진다.

제 2교시 문제풀이

2-1. 직류송전시스템의 구성형태에 있어서 다음 아래의 각 항목에 대하여 설명하시오.

- 1) Point-to-Point 방식
- 2) Back-to-Back 방식
- 3) Multi-terminal 방식

답)

1. Point-to-Point 방식

1) 정의

두 지점 간을 가공선이나 케이블을 사용하여 연결하는 HVDC의 기본적인 구성 방식으로 단극(monopole) 및 양극(bipole)시스템으로 나뉘어진다.

2) 단극(monopole)시스템

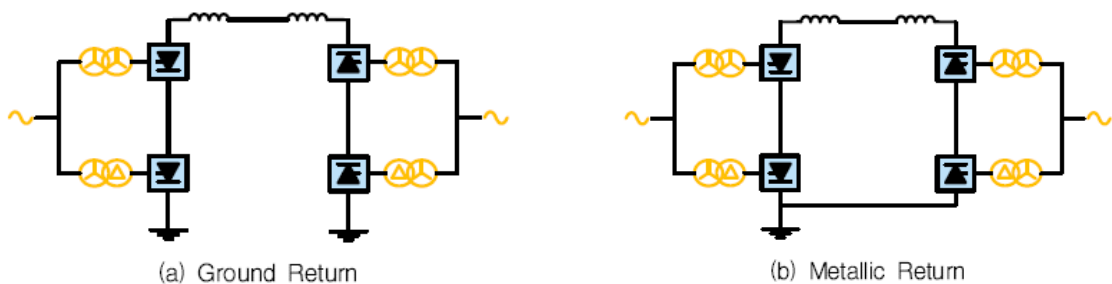
(1) 단극시스템은 하나의 송전선과 2개의 변환기로 이루어진다.

(2) 종류

단극 시스템의 경우 전극소를 이용한 대지귀로(Ground Return) 및 해수귀로방식과 전극소를 사용하지 않고 별도 선로를 이용하는 도체귀로(Metalic Return) 방식으로 나뉘어진다.

(3) 대지귀로 방식

대지귀로 방식의 경우 육지에서는 전식 등의 영향으로 적절한 장소를 찾기 힘들기 때문에 가공 전송방식에는 이용되지 않는 추세이다.



< 단극(monopole)시스템 >

(4) 해수 귀로 방식

① 국내 최초 설치된 제주-해남간 HVDC는 해수 귀로 방식이 사용되었다.

② 특징

해수는 매우 우수한 도체이며 전극소(sea electrodes)의 위치선정이 용이하다. 전극소는 10~20kV의 저전압 직류선로로 변환기의 중성점에 연결된다.

3) 양극(bipole)시스템

(1) 구성

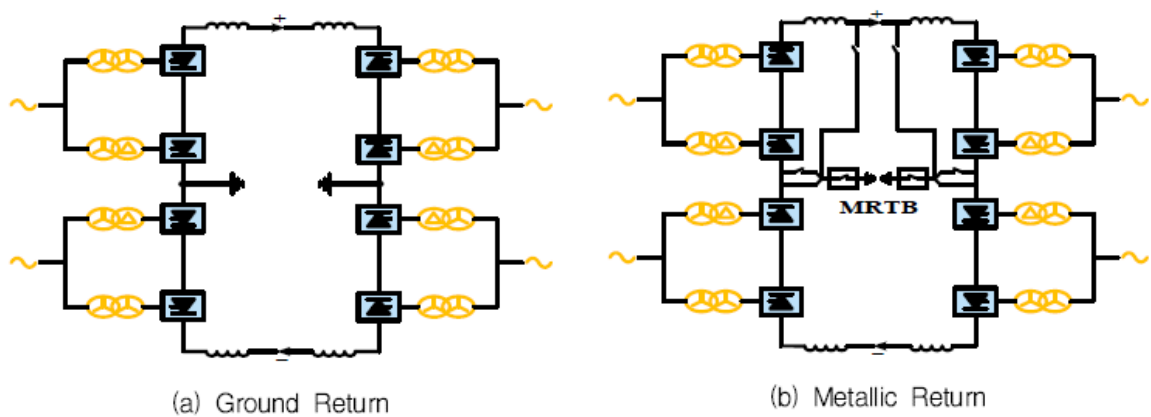
대부분의 가공선 방식은 양극성(bipole) 구성방식으로 양극(+)과 음극(-)에 각각 1개의 도체를 사용한다.

(2) 특징

이 방식은 2개의 극중 한극에 고장이 발생하더라도 다른 한극만으로 운전이 가능하다는 장점을 갖는다.

(3) PTP 방식에서 송전전압은 최소의 투자비와 최소의 송전손실에 대하여 최적화된 값으로 결정된다.

(4) 구성도



< 양극(bipole)시스템 >

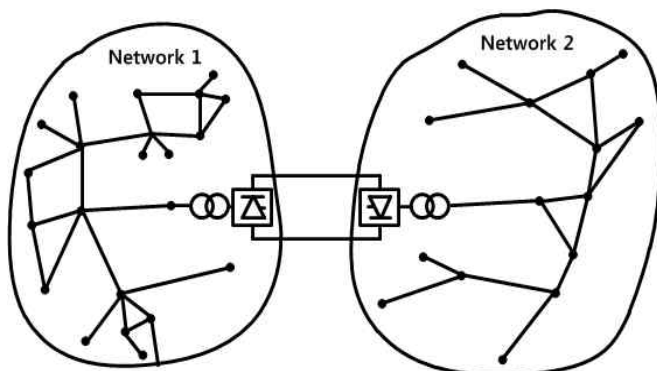
2. Back-to-Back 방식

1) 2개의 변환기가 동일 장소에 존재하는 BTB (Back-to-Back) 방식은 PTP (Point-to-Point)방식에서 직류 송전선이 없는 시스템으로 볼 수 있다.

2) 직류 송전선이 없으므로 PTP에 비해 저전압, 대전류로 설계가 가능하여 절연설계 측면에서 유리한 장점이 있다.

3) BTB는 설치장소와 기타 설비의 공유로 인해 PTP방식보다 비용이 15~20% 더 경제적이다.

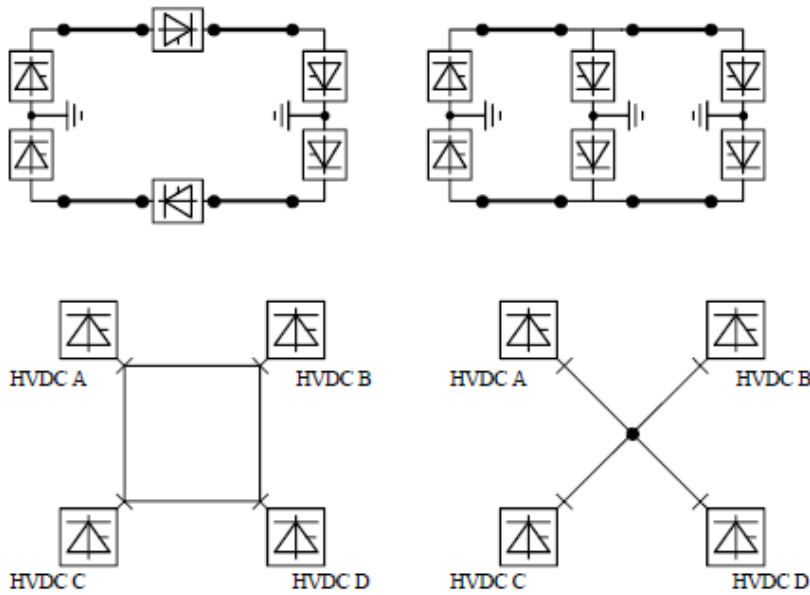
4) 구성도



< Back-to-Back 방식 >

3. 다단자(multi-terminal)방식

- 1) 다단자 방식은 2개 이상의 터미널을 갖는 방식이다.
- 2) 이러한 시스템은 일반적인 PTP 방식보다 복잡하기 때문에 보다 정교한 제어시스템이 요구되며 변환소간의 통신이보다 중요하게 된다.
- 3) 이렇게 병렬 연결된 다단자 구성에서, 점호각의 제어나 기계식 스위치로 터미널의 접속을 역전시킴으로써 각각의 변환기는 정류기나 인버터로 동작하여 전력조류의 방향과 크기를 제어할 수 있다.
- 4) 구성도



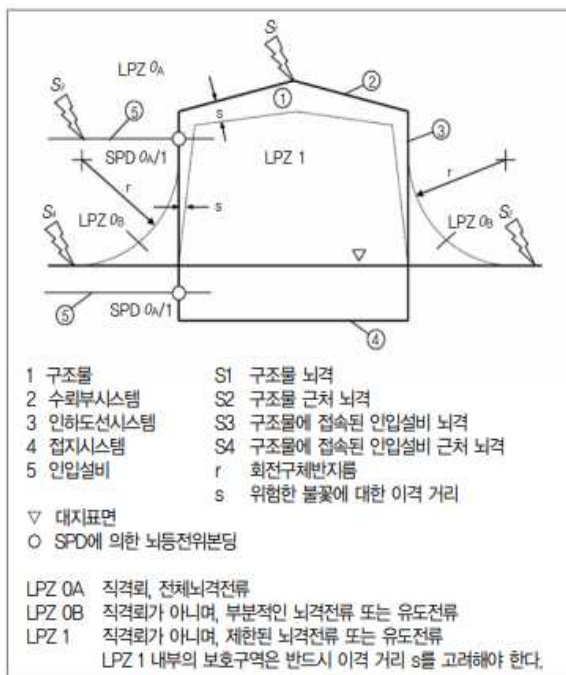
< 다단자(multi-terminal)방식 >

2-2. KS C IEC 62305에서 정의된 피뢰구역(Lightning protection zone)과 피뢰레벨(Lightning protection level)의 기본개념에 대하여 설명하시오.

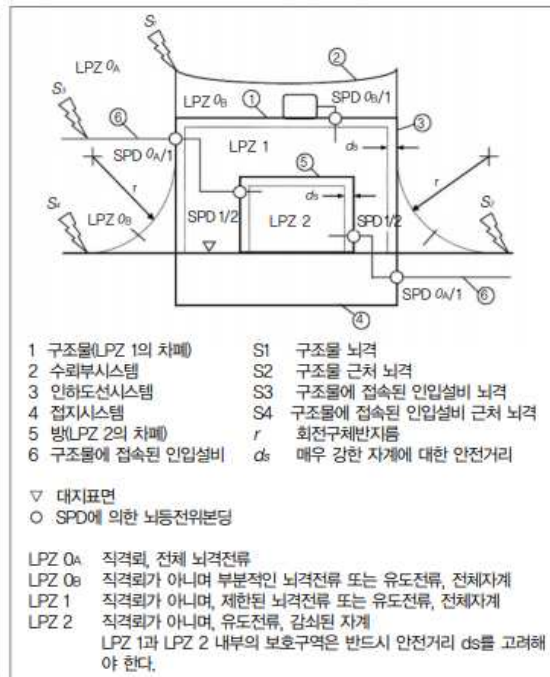
답)

1. 피뢰구역(LPZ)의 기본개념

- 1) 뇌 전자기적 환경이 정의된 구역을 피뢰구역이라 하며 뇌보호시스템(LPS), 차폐선, 자기차폐, 서지보호장치(SPD)와 같은 보호대책은 피뢰구역(LPZ)을 결정한다.
- 2) 하위 LPZ의 보호대책은 상위 LPZ의 보호대책보다 뇌전자 임펄스(LEMP)가 현저하게 감소하는 특징이 있다.
- 3) 뇌격의 위협에 대하여 아래의 피뢰구역(LPZ)들이 정의된다(그림2, 3 참조)



【그림 2】 LPS에 의해 정의된 LPZ (KS C IEC 62305-3)



【그림 3】 LPMP에 대한 보호대책에 의해 정의된 (KS C IEC 62305-4)

4) 보호구역의 구분

(1) LPZ 0A

직격뢰에 의한 뇌격과 전반적인 뇌전자계의 위협이 있는 지역. 내부시스템은 뇌 서지 전류의 전체 또는 일부분이 흐르기 쉽다.

(2) LPZ 0B

직격뢰에 의한 뇌격은 보호되나 전반적인 뇌전자계의 위협이 있는 지역. 내부시스템은 뇌서지 전류의 일부분이 흐르기 쉽다.

(3) LPZ 1

경계지역의 전류의 분류나 SPD에 의해서 지전류가 제한된 지역 뇌격에 의한 전자계를 약화시키기 위해서는 공간 차폐가 이용된다.

(4) LPZ 2,...,n

전류의 분류나 경계지역의 SPD에 의해서 지전류가 더욱 제한된 지역 뇌전자계의 형성을 더욱 약하게 하기 위해 추가적인 공간차폐가 이용된다.

[비고]일반적으로, 개개의 구역의 수가 많을수록 전자계의 환경 파라미터들의 값이 적어진다.

- 5) 보호에 대한 일반적인 법칙으로서, 보호대상물은 줄이고자하는 손상수준(물리적 손상, 과전압에 의한 전기·전자 시스템의 고장)의 스트레스에 견딜 수 있는 능력에 상응하는 LPZ 내부에 있어야 한다.

[비고]대부분의 전기·전자시스템 및 기구들이 견딜 수 있는 레벨에 관한 정보들은 제조자에 의해 제공된다.

6) 해설

- (1) LEMP에 의해서 발생하는 전자계에 의해서 건축물 내부의 설비나 전기전자기기에 장애가 발생하지 않도록 LEMP의 세기가 다른 영역 즉, 피뢰구역을 정하며, 피뢰구역 내부에 이상전압이 발생하지 않도록 금속물이나 전력선, 통신선, 수도관 등을 피뢰 영역의 경계부분에서 확실하게 공통접지로 본딩하여 등전위화가 이루어지도록 한다.
- (2) 외부구역(LPZ 0)과 내부구역(LPZ 1)의 구분은 명확하지만 그 외의 피뢰구역의 구분은 명확하게 규정되어 있지 않다. 피뢰구역 내의 설비에 대한 구체적인 예는 다음의 표와 같다.

피뢰영역	구체적인 대상설비의 예
LPZ 0a	외동(가로동, 보안동), 감시카메라 등
LPZ 0b	상수전(큐비클)설비, 공조옥외기, 항공장해동, 안테나 등
LPZ 1	건물내 인입부분의 설비 : 수변전설비, MDF, 전화교환기 등
LPZ 2	방재센터, 중앙감시실, 전산센터 등

2. 피뢰레벨(LPL)의 기본개념

1) 정의

자연적으로 발생하는 뇌방전을 초과하지 않는 최대 그리고 최소 설계값에 대한 확률에 관련된 일련의 뇌격전류 파라미터로 정해지는 레벨을 피뢰레벨(LPL)이라 한다.

- 2) 여러 가지 보호레벨에 대한 뇌격전류 파라미터의 최대값을 표 5에 나타내었으며, 이는 피뢰시스템 구성요소(예, 도체의 단면적, 금속판의 두께, SPD의 전류용량, 위험한 방전에 대한 이격거리)를 설계하는데 이용되며, 그러한 구성요소에 대한 뇌격 영향을 모의하는 시험파라미터를 정의하는데 이용된다.(부속서 D 참조)

【표 5】 피뢰레벨에 따른 뇌격전류 파라미터의 최대값

최초 단시간 뇌격			피뢰레벨			
전류파라미터	기호	단위	I	II	III	IV
피크전류	I	kA	200	150	100	
단시간 뇌격 전하량	Q_{short}	C	100	75	50	
비에너지	W/R	MJ/C	10	5.6	2.5	
시간파라미터	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	10/350			
후속 단시간 뇌격			피뢰레벨			
전류파라미터	기호	단위	I	II	III	IV
피크전류	I	kA	50	37.5	25	
평균준도	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
시간파라미터	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	0.25/100			

장시간 뇌격			피뢰레벨			
전류파라미터	기호	단위	I	II	III	IV
장시간 뇌격 전하량	Q_{long}	C	200	150	100	
시간파라미터	T_{long}	s	0.5			
뇌방전			피뢰레벨			
전류파라미터	기호	단위	I	II	III	IV
뇌방전 전하량	Q_{flash}	C	300	225	150	

- 3) 뇌방전에 대한 피뢰시스템의 보호효율을 시설상태에 따라서 확률적으로 고려하는 것이 적절하며, 피뢰레벨(보호레벨)은 I, II, III, IV의 4단계로 설정한다.
- 4) 피뢰레벨(보호레벨)은 피뢰시스템 등급(보호등급)과 동의어로 사용한다.
- 5) 보호효율은 표 7에 제시되어 있는 바와 같이 표 6에 정의된 최소 피크전류보다 큰 확률의 낙뢰에 대하여 보호레벨 I 은 99%, 보호레벨 II는 97%, 보호레벨 III은 91%, 보호레벨 IV는 84% 이상으로 된다.

【표 6】 뇌격전류 파라미터의 최소값과 LPL에 상응하는 회전기체의 반지름

수뢰기준			LPL			
	기호	단위	I	II	III	IV
최소 피크전류	I	kA	3	5	10	16
회전기체반지름	r	m	20	30	45	60

【표 7】 뇌격전류 파라미터의 제한에 대한 확률

뇌격전류 파라미터의 확률	LPL			
	I	II	III	IV
표 5에 정의된 최대값 보다 작은 확률	0.99	0.98	0.97	0.97
표 6에 정의된 최소값 보다 큰 확률	0.99	0.97	0.91	0.84

- 6) 보호대상물의 종류, 중요도에 따라 실제로 타당한 것으로 생각되는 보호레벨을 설계자 또는 소유자가 선정하며, 이에 대응하는 피뢰시스템을 시설해야 한다.
- 7) 또한 KS C IEC 62305-2의 부속서 J의 구조물의 위험성 평가를 위한 간이소프트웨어를 이용하여 피뢰설비의 보호레벨을 결정할 수도 있다.
- 8) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제20조 (피뢰설비)에는 위험물저장 및 처리시설에 설치하는 피뢰 설비는 보호등급 II 이상을 적용하도록 규정되어 있다.
- 9) 또한 피뢰설비를 구성하는 수뢰부 시스템, 인하도선시스템과 접지시스템의 모든 부품은 10/350 μ s의 뇌격전류에 대한 전기적, 기계적, 열적내력을 가지는 것이어야 한다.

2-3. 전력 케이블의 시스(Sheath) 유기전압을 낮추기 위하여 사용되는 접지방식 3가지에 대하여 설명하시오.

답)

1. 완전접지(Solid Bonding)

1) 정의

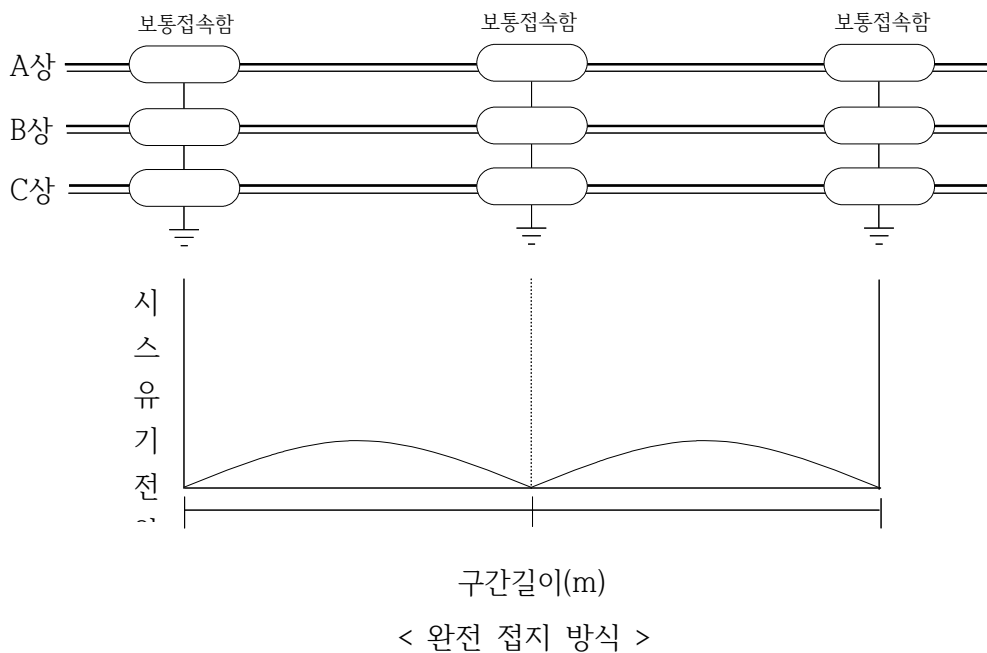
케이블 시스를 2개소 이상에서 일괄접지 하는 방식

2) 적용

시스 전위는 낮지만 긴 선로에서는 시스 전류가 크게 되어 시스 회로손이 많아지기 때문에 다음과 같은 경우에 적용한다.

- (1) 허용전류 면에서 충분한 여유가 있으며 시스 회로손이 문제가 되지 않는 경우
- (2) 장거리 해저케이블등과 같이 시스전압 저감방식을 적용하지 못하는 경우

3) 접속도



2. 편단접지(Single Point Bonding)

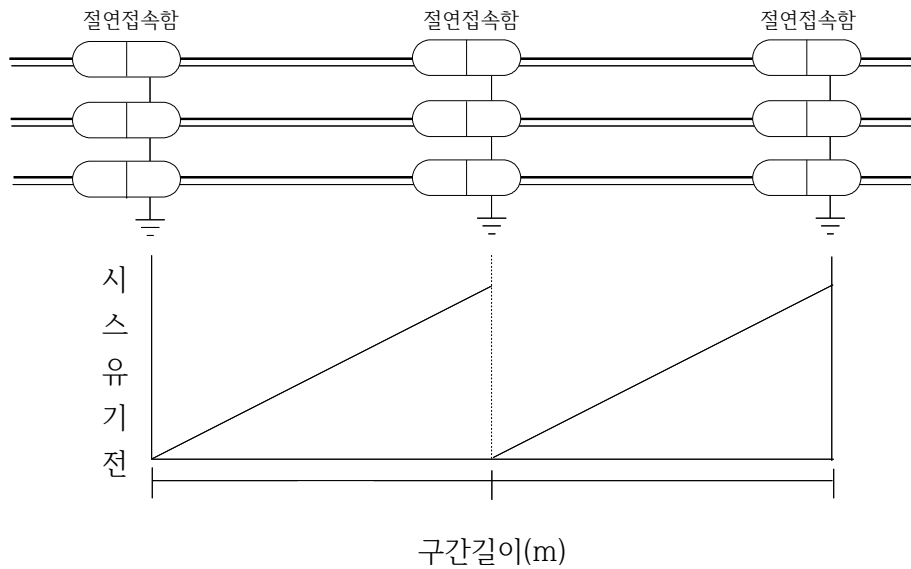
1) 정의

케이블의 편단에서 시스를 접지하고 다른 단을 개방하여 시스회로손이 0이 되게 하는 방식

2) 적용

- (1) 발, 변전소 인출용 선로와 같이 공장이 짧은 단구간 케이블의 경우 적용되는 방식
- (2) 양단을 접지하면 시스 유기전압은 현저히 감소하지만 시스에 큰 전류가 흘러 시스 손실이 커지고 송전용량이 감소되므로 장거리 케이블 및 양단접지 방식으로는 적용하지 않는다.

3) 접속도



< 편단접지 방식 >

3. 크로스본딩 접지(Cross Bonding)

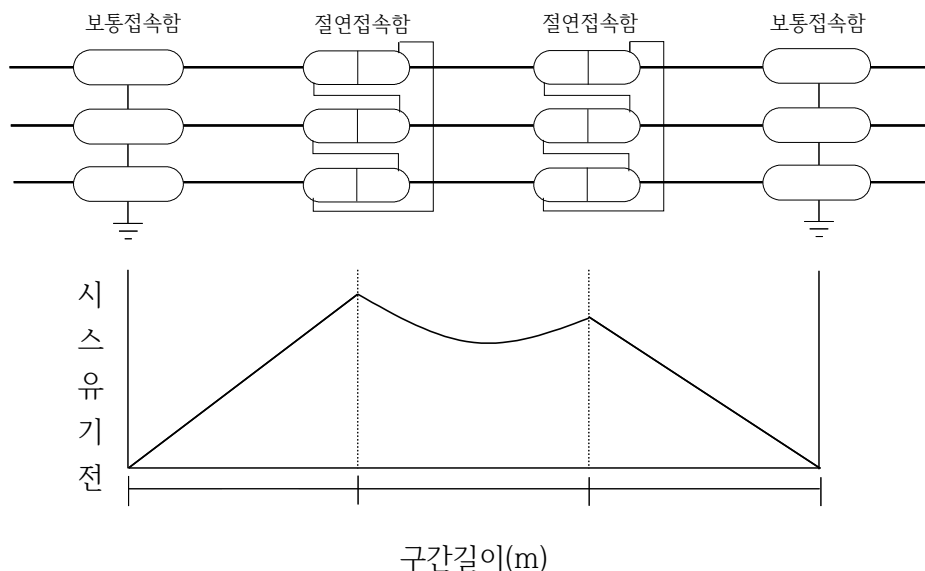
1) 정의

본드(bond)선으로 3상을 연가한 후 접지하는 방식

2) 적용 및 특징

- (1) 금속시스의 유기전압은 심선에 흐르는 전류의 크기와 선로 공장에 비례하여 증대하므로 선로 공장이 길어 편단접지로 효과가 없을 때 적용
- (2) 경간이 다를 경우에는 잔류전압에 의한 시스 전류가 흐르지만 경간을 조절하면 잔류전압을 작게 할 수 있다.
- (3) 이 접지방식이 다른 접지방식보다 유기전압 및 상시전류의 종합적인관점에서 가장 유리하다.

3) 접속도



< 크로스 본딩 접지 >

2-4. 기하학적 상사(Geometry Similarity)의 의미를 기술하고, 실제수차와 기하학적 상사인 수차의 비속도(Specific speed)식을 유도하시오.

답)

1. 정의

특유속도란 어떤 러너와 기하학적으로 닮은 러너를 가상하여 이것을 단위낙차 1[m]의 위치에서 단위출력 1[kw]를 발생시키기 위한 1분당 필요 회전수를 말한다.

$$\text{즉, } N_s = N * \left(\frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \right) [m \cdot kw]$$

2. 기하학적 상사(Geometry Similarity)의 의미

- 1) 모형은 원형이 상응하는 기하학적 변수의 비가 같을 경우 기하학적 상사라 하며 기하학적으로 러너모양이 같으면 수차의 특성이 같아진다.
- 2) 실제수차의 특성을 알아보기 위하여 기하학적으로 러너모양이 같은 소형 수차를 제작하여 주어진 낙차와 유량에 따라 가장 효율이 좋고 운전이 안정하며 또 고장이 적은 수차를 선정하기 위하여 수차의 특성을 알아보기 위한 것이 기하학적 상사의 의미이다.

3. 비속도(Specific speed)식 유도

실제수차를 1번, 상사형 수차를 2번 이라하고 설계유량을 각각 Q1, Q2 [m3/s], 러너의 지름을 D1, D2 [m], 낙차를 H1, H2 [m]라 하면

1) 러너의 주변속도 ($v = \sqrt{2gH}$)

$$V_1 = K_1 \sqrt{2gH_1} = K_1 H_1^{\frac{1}{2}}, \quad V_2 = K_2 \sqrt{2gH_2} = K_2 H_2^{\frac{1}{2}} \quad \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

2) 유량 ($Q = VA = V \times \frac{\pi D^2}{4}$), $K_3 = \frac{\pi}{4}$

$$Q_1 = K_3 V_1 D_1^2, \quad Q_2 = K_3 V_2 D_2^2$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

3) 출력 ($P = 9.8QH$) $K_4 = 9.8$

$$P_1 = K_4 H_1 Q_1, \quad P_2 = K_4 H_2 Q_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \left(\frac{H_1}{H_2} \right) = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right) = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

4) 회전수 [$V = \pi DN$, $N = \frac{1}{\pi} \frac{V}{D}$] $K_5 = \frac{1}{\pi}$

$$N_1 = K_5 V_1/D_1, \quad N_2 = K_5 V_2/D_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{K_5 \frac{V_1}{D_1}}{K_5 \frac{V_2}{D_2}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \left(\frac{D_2}{D_1} \right) = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\frac{5}{4}} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

5) $H_2 = 1[m]$, $P_2 = 1[kw]$ 라고 하면, 특유속도 정의에 의해 $N_2 = N_s$ 로 되기 때문에

$$\frac{N}{N_s} = (H)^{\frac{5}{4}} \left(\frac{1}{P} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \therefore N_s = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} [m \cdot Kw]$$

2-5. 정격주파수 60Hz의 변압기를 50Hz 계통에 사용할 경우, 다음 사항들이 어떻게 변화하는지 설명하시오.

(단, 철심은 포화 상태가 되지 않는다.)

- 1) 자속밀도
- 2) 히스테리시스와 와류손
- 3) 전압변동률
- 4) 온도상승

답)

1. 자속밀도

$E = 4.44Kf\Phi N$ 식에서 자속과 주파수는 반비례관계에 있고,

자속밀도 $B_m = \frac{\Phi}{S}$ 이므로 자속밀도는 주파수와 반비례 관계가 된다. ($B_m = \frac{1}{f}$)

$\frac{B_{m50}}{B_{m60}} = \frac{60}{50}$, $B_{m50} = 1.2B_{m60}$ 가 된다. 자속밀도는 1.2배로 증가한다.

2. 히스테리시스손 과 와류손

1) 철손 = 히스테리시스손 + 와류손

2) 히스테리시스손 P_h

$P_h = \eta_h \cdot f \cdot B_m^n \cdot V [W]$ 식으로부터

η_h : 히스테리시스 손실계수, f : 주파수 [Hz], B_m : 최대자속밀도 [Wb/m^2],

V : 철심의 용적 [m^3], n : 열간압연 규소강판 : 1.6, 방향성 규소강판 : 2.0~2.5

열간 압연 규소강판 사용 시 n : 1.6적용

$\frac{P_{h50}}{P_{h60}} = \frac{50}{60} \times \frac{(1.2B_m)^{1.6}}{B_m^{1.6}} = 1.116$, $P_{h50} = 1.116P_{h60}$ 이 된다.

3) 와류손 P_e

$P_e = \eta_e (k_f t f B_m)^2 V [W]$, η_e : 재료의 계수, k_f : 파형율, t : 강판의 두께 [m]

$\frac{P_{e50}}{P_{e60}} = \left(\frac{50}{60}\right)^2 \times \frac{(1.2B_m)^2}{B_m^2} = 1$, $P_{e50} = P_{e60}$ 로 된다. 와류손은 변화가 없다.

4) 철손은 1.116배 증가한다.

3. 전압변동률

- 1) $X = 2\pi fL [\Omega]$ 이므로 주파수와 리액턴스는 비례하게 된다.
- 2) $\frac{X_{50}}{X_{60}} = \frac{k50}{k60} \doteq 0.833$, $X_{50} = 0.833X_{60}$ 리액턴스는 83.3%로 감소한다.
- 3) 리액턴스의 감소로 전압변동률 $\epsilon = p\cos\theta + q\sin\theta$ 에서 q의 감소로 감소한다.

4. 60Hz 변압기를 50Hz에서 운전할 경우 온도상승

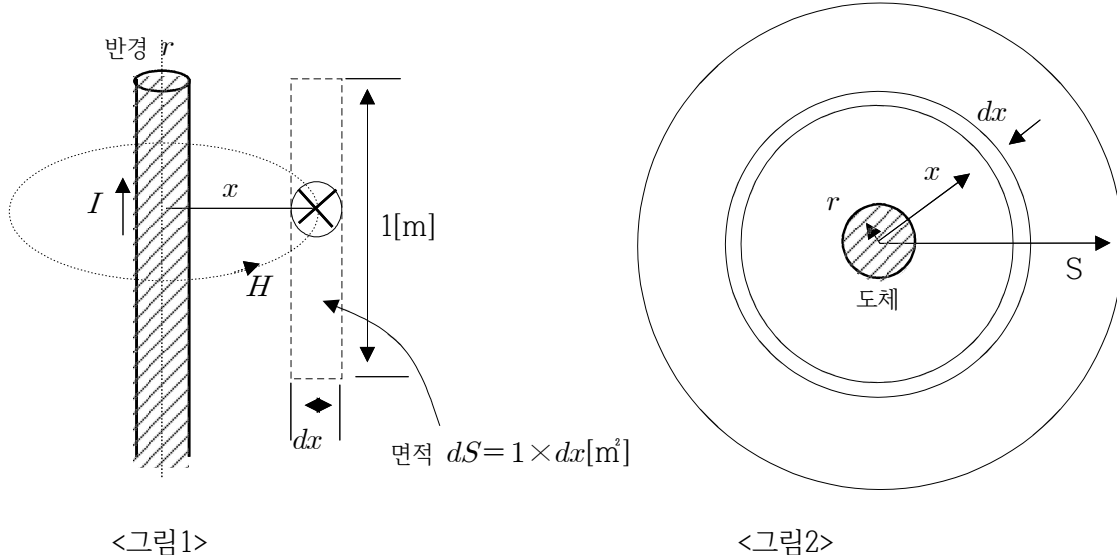
철손이 1.116배로 증가하여 온도가 올라간다.

2-6. 도체에 전류가 흐르면 자속이 생겨 도체와 쇠교하게 된다. 반지름 r [m]의 직선상 도체에 전류 I 가 흐르고 있을 경우 이 도체에 내부와 외부의 단위길이 당 자속쇠교 수를 구하시오.

답)

1. 도체 외부의 쇠교자속수

1) 개념도



2) 자화의 세기 H

- (1) 직선도체에 전류가 흐를 때 도체 외부 주위에는 자계가 형성된다.
- (2) 그림1에서 도체 중심으로부터 거리 x 인 점의 자계의 세기는

$$H = \frac{I}{2\pi x} [\text{A/m}]$$

3) 자속밀도는

$$B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi x} [\text{Wb/m}^2]$$

4) 자속 $d\phi$

그림1에서 길이 1[m]인 도체 주변의 단면적 $ds = 1 \times dx = dx [\text{m}^2]$ 부분을 지나는 자속을 $d\phi [\text{Wb}]$ 라 하면

$$d\phi = B ds = \frac{\mu I}{2\pi x} dx [\text{Wb}]$$

5) 쇠교자속 수 $d\phi_o$

전류 $I[\text{A}]$ 와의 쇠교자속 수를 $d\phi_o$ 라 하면 $I[\text{A}]$ 의 권수가 $N=1$ 회이므로

$$d\phi_o = N d\phi = 1 \times d\phi = \frac{\mu I}{2\pi x} dx [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

6) 도체 외부의 쇄교자속 수 Φ_o

그림 2에서처럼 도체반경 r 로부터 거리 s 인 점간의 도체 외부의 쇄교자속 Φ_o 를 구하면 다음과 같다.

$$\Phi_o = \int_r^s d\varphi_o = \int_r^s \frac{\mu I}{2\pi x} dx = \frac{\mu I}{2\pi} [\ln x]_r^s = \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{s}{r} [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

2. 도체 내부의 쇄교자속수

- 1) 전체 전류 I 가 반경 r 인 도체에 고르게 분포하여 흐르고 있다고 하면 중심으로부터 도체 내부의 거리 x 인 점 내부의 전류를 i_x 라 두면 전류는 단면적에 비례하므로

$$I : i_x = \pi r^2 : \pi x^2 \quad \text{에서} \quad i_x = \frac{x^2}{r^2} I [\text{A}]$$

2) 그 점의 자계 H

$$H = \frac{i_x}{2\pi x} = \frac{I}{2\pi r^2} x [\text{A/m}]$$

3) 자속밀도 B

$$B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi r^2} x [\text{Wb/m}^2]$$

4) 자속 $d\phi$

역시 길이 1[m]인 단면적 $ds = 1 \times dx = dx [\text{m}^2]$ 부분을 지나는 자속을 $d\phi [\text{Wb}]$ 라 하면

$$d\phi = B ds = \frac{\mu I}{2\pi r^2} x dx [\text{Wb}]$$

5) 전류 i_x 와의 쇄교자속 수 $d\varphi_i$

전류 i_x 와의 쇄교자속 수를 $d\varphi_i$ 라 두면 반경이 x 인 원통 내부에 해당하는 부분만 쇄교하므로

자속 $d\phi$ 가 전류 $i_x = \frac{x^2}{r^2} I$ 와의 쇄교자속 수는 $d\phi \times \frac{x^2}{r^2}$ 이다. 한편 권수는 $N=1$ 이므로

$$d\varphi_i = N d\phi \times \frac{x^2}{r^2} = \frac{\mu I}{2\pi r^4} x^3 dx [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

6) 도체 내부의 쇄교자속수 Φ_i

$$\Phi_i = \int_0^r d\varphi_i = \frac{\mu I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3 dx = \frac{\mu I}{2\pi r^4} \left[\frac{x^4}{4} \right]_0^r = \frac{\mu I}{8\pi} [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

3. 직선도체의 내 · 외부의 전 쇠교자속수

$$\Phi = \Phi_i + \Phi_o = \frac{\mu I}{8\pi} + \frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{s}{r} [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

여기서 외부는 공기중이므로 투자율이 $\mu \doteq \mu_o = 4\pi \times 10^{-7} [\text{H/m}]$ 이고, 내부는 비자성체인 경우 역시 비투자율이 $\mu_s \doteq 1$ 이어서 $\mu \doteq \mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ 이다. 결국 직선 도체 단위길이 당 내·외부의 모든 쇠교자속 수는 다음과 같다.

$$\Phi = \frac{\mu_s \mu_o I}{8\pi} + \frac{\mu_o I}{2\pi} \ln \frac{s}{r} = (0.5 + 2 \ln \frac{s}{r}) I \times 10^{-7} [\text{Wb} \cdot \text{T/m}]$$

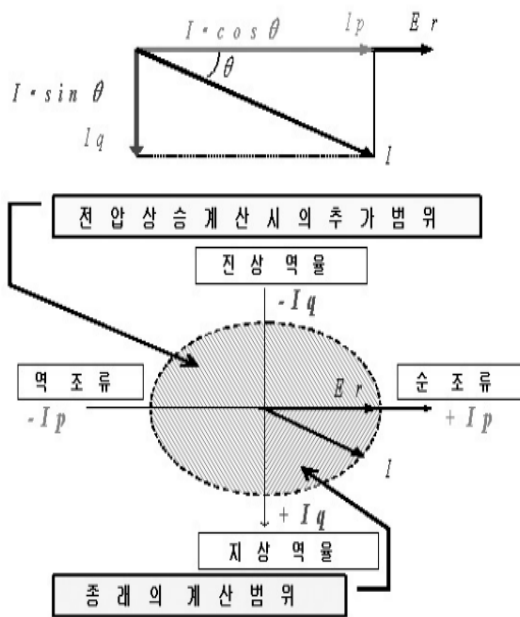
제 3교시 문제풀이

3-1. 전력계통에 분산전원이 연계되는 경우, 조류의 방향과 역률을 고려하여 전압강하를 계산하는 방법에 대하여 설명하시오.

답)

1. 종래의 전압강하 계산식의 개념

1) 개념도



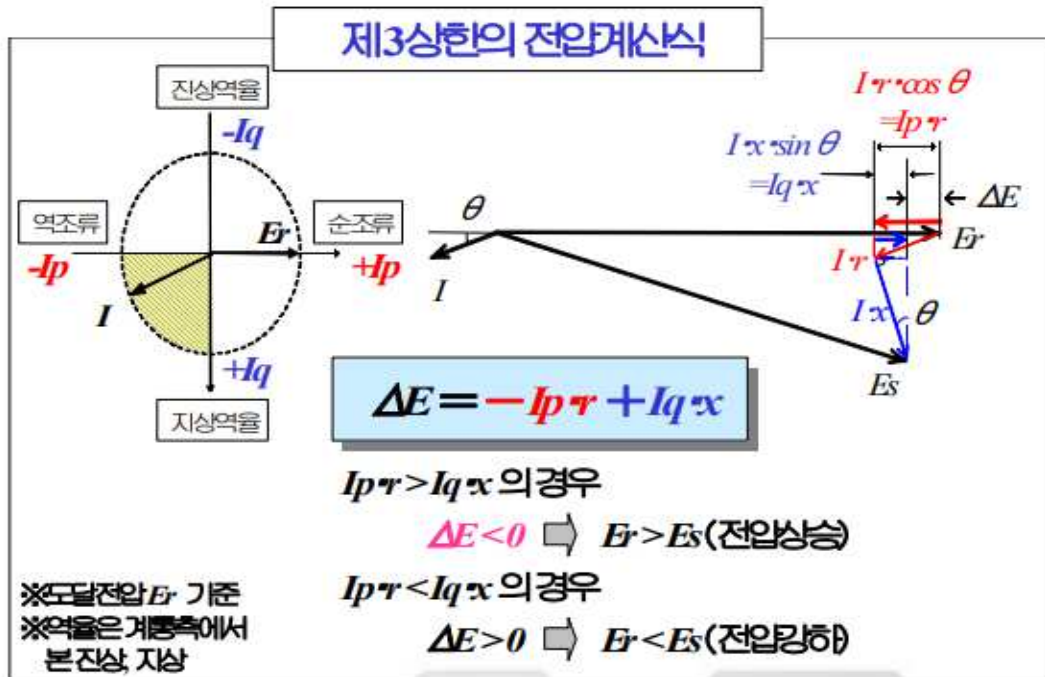
< 종래의 전압강하 계산범위 >

- 2) 종래 배전계통의 조류는 그림과 같이 전원 측에서 부하 측으로의 단 방향으로 가정하여 제4상한만을 고려한 전압강하를 계산해도 큰 문제점이 없었다.
- 3) 그러나 역 조류가 발생하는 분산전원이 연계되는 경우, 조류 방향(유효전력의 방향)과 무효전력을 적절하게 반영해서 전압강하뿐만 아니라 전압상승도 계산할 필요가 생기게 되었다.
- 4) 따라서 부하전류(I)를 유효전류 분(I_p)과 무효전류 분(I_q)으로 분해하고, 조류의 방향과 역률을 고려하여 4개의 상한을 모두 고려한 전압강하 계산이 필요하게 되었다.

2. 조류의 방향과 역률을 고려하여 전압강하를 계산하는 방법

1) 전압강하 계산식의 개념

- (1) 아래 그림과 같이 제3상한은 순 조류와 지상 역률이 존재하지 않으며, 역 조류와 진상 역률만을 고려하여 계산할 수 있는 영역이다. 분산원전원이 전원 측으로 공급(역조류)되어 전압상승이 발생한다. 따라서 전압강하는 없고 전압상승만 존재 가능한 영역이다.
- (2) 한편 제1상한은 역 조류와 지상역률이 존재하지 않으며, 순 조류와 진상역률만을 고려하여 계산하는 영역이다. 따라서 전압상승과 전압강하가 모두 존재 가능한 영역이다. 즉 진상역률의 크기에 따라 전압상승이나 전압강하가 모두 나타날 수 있다. 마찬가지로 제2상한도 전압상승이나 전압강하가 모두 나타날 수 있다.



< 제3상한의 전압강하 계산식 >

2) 부하분포를 고려한 전압강하 계산식

- (1) 상기의 4개의 상한에 관한 전압강하 식들을 바탕으로 평등 부하분포와 말단 집중 부하분포를 동시에 고려하고, 각 구간에서의 유출전류와 유입전류를 개별적으로 고려하면 아래 식과 같이 역 조류를 고려한 전압강하 계산식을 구할 수 있다.

$$\Delta V_{(n)} = k \times \left\{ \frac{I_{Sp(n)} + I_{Rp(n)}}{2} \times r_{(n)} + \frac{I_{Sq(n)} + I_{Rq(n)}}{2} \times x_{(n)} \right\}$$

여기서,

I_{Sp} : 구간유입 유효전류[A]
 I_{Sq} : 구간유입 무효전류[A]
 I_{Rp} : 구간유출 유효전류[A]
 I_{Rq} : 구간유출 무효전류[A]
 r : 배전선 구간 저항값[Ω]
 x : 배전선 구간 리액턴스값[Ω]
 ΔV_n : 구간 전압 변동값[V]

※ 유효전류는 「역조류」를 「-」 함
 ※ 무효전류는 「진상역률」을 「-」 함
 ※ 전압변동값은 「전압상승」을 「-」 함

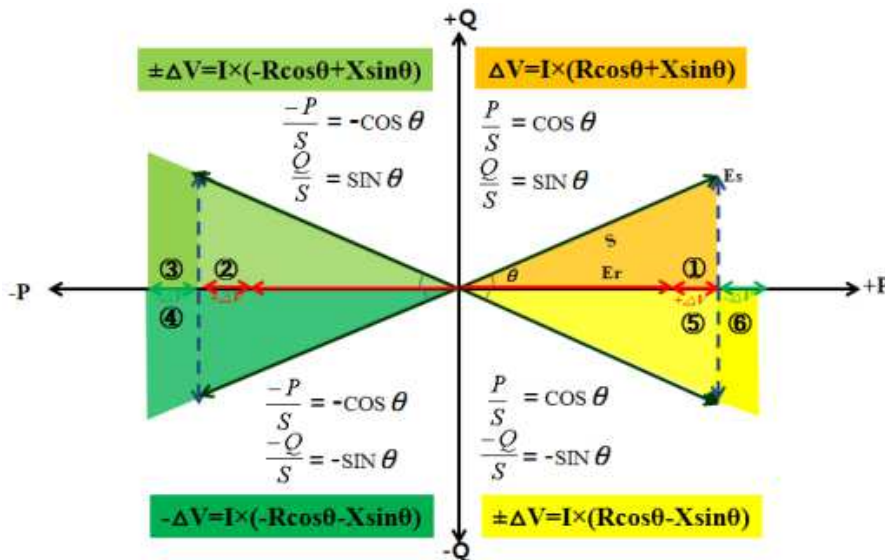
- (2) 역 조류를 고려한 전압강하 계산식은 종래의 부하산정 기법을 그대로 이용할 수 있으므로 기존의 전압계산 수법과 크게 바뀌지 않아서 실용적이고 업무에의 적용에도 용이하다.
- (3) 고압 배전선에서 모든 구간의 부하(P, Q)를 계측할 수 없기 때문에, 송전계통에서 이용되고 있는 조류계산의 적용은 곤란한 상황이다(부하 P, Q의 지정 불능).
- (4) 또한, 배전선은 수지상으로 공장이 짧아서 손실 전력도 작으므로, 근사 계산식만으로도 충분한 정도를 얻을 수 있고, 일반적인 기술지침이 모두 간략 전압강하 계산 방법에 근거하고 있으므로 설득성이 있고 알기 쉬운 장점이 있다.

※ 추가 참고자료

1. 역조류 대응형 전압강하해석 알고리즘

- 1) 수학적인 삼각함수의 좌표평면 해석방법에 기반하여, 유·무효 전력에 따른 피상전력을 기준으로 역률(Cos θ)과 Sin θ 의 크기와 방향을 정하여 계산한다.

2) 개념도



< 분산형전원 대응형 전압강하 개념도 >

- 3) 선로조건에 따라 6가지의 경우로 해석이 가능하다.
- 4) 선로의 전압강하(+ ΔV) 및 상승(- ΔV)을 쉽게 확인할 수 있고, 전압의 상승 또는 강하분을 계산하여 계통해석이 가능하다.
- 5) 단거리 선로에서의 전압강하 식은 $\Delta V = I \times (R \cos \theta + X \sin \theta)$ 이다.
- 6) 유·무효전력에 따라 역률(Cos θ), Sin θ 값이 결정되며, 분산형 전원과 부하용량에 따라 역조류 유·무가 결정되며, 이 3가지 Parameter (Cos θ , Sin θ , 조류)에 의해 선로 전체의 전압이 상승 또는 하강하게 된다.
- 7) 그리고 수직점선을 기준으로 송전단전압(E_s)과 수전단전압(E_r)관계에 의한 $\pm \Delta V$ 값을 좌표에 표시함으로써 2차원적으로 전압 상승·강하를 쉽게 해석할 수 있다.
- 8) 표 1의 ①, ⑤, ⑥은 부하용량이 분산형 전원보다 큰 경우, 유도성부하(+Q)와 용량성부하(-Q)에 대한 전압 상승·강하의 알고리즘을 나타낸 것이다.
- 9) 1상한은 부하용량이태양광전원보다 큰 경우로 전압강하만 발생하며, 표 1의 ①지점을 통해서 쉽게 확인할 수 있다.

10) 4상한의 경우에는 2가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다.

(1) 선로조건 중 $R\cos\theta > X\sin\theta$ 일 경우

$\Delta V = I \times (R\cos\theta - X\sin\theta)$ 에서 $(R\cos\theta - X\sin\theta)$ 부분이 (+)가 되어 전류(I)가 양수라는 가정 하에 전압강하(+ Δ)로 해석할 수 있으며, 그림에서 ⑤로 확인할 수 있다.

(2) $R\cos\theta < X\sin\theta$ 인 경우

$(R\cos\theta - X\sin\theta)$ 이 (-)가 되어 전압상승(- ΔV)으로 해석할 수 있으며, 이때 수전단 전압(E_r)이 송전단 전압(E_s)보다 커짐을 알 수 있고, 표 1의 ⑥으로 확인할 수 있다.

[표 1] 분산형 전원의 전압강하 특성 분석표(I)

비교 조건	부하용량 > 태양광전원		
	유도성 부하(+Q)	용량성 부하(-Q)	
상 한 별 벡 터 도			
선로 조건	$R\cos\theta > 0,$ $X\sin\theta > 0$ [①]	$R\cos\theta >$ $X\sin\theta$ [⑤]	$R\cos\theta$ $< X\sin\theta$ [⑥]
전압강 하식	$\Delta V = I \times (R\cos\theta + X\sin\theta)$		
선로 전압	$+\Delta V$ (전압강하)	$+\Delta V$ (전압강하)	$-\Delta V$ (전압상승)

[표 2] 분산형 전원의 전압강하 특성 분석표(II)

비교 조건	부하용량 < 태양광전원		
	용량성 부하(-Q)	유도성 부하(+Q)	
상 한 별 벡 터 도			
선로 조건	$R\cos\theta > 0,$ $X\sin\theta > 0$ [④]	$R\cos\theta < X\sin\theta$ [②]	$R\cos\theta > X\sin\theta$ [③]
전압강 하식	$\Delta V = I \times (-R\cos\theta - X\sin\theta)$	$\Delta V = I \times (-R\cos\theta + X\sin\theta)$	
선로 전압	$-\Delta V$ (전압상승)	$+\Delta V$ (전압강하)	$-\Delta V$ (전압상승)

- 11) 표 2의 ②, ③, ④는 부하용량이 분산형 전원보다 작은 경우로서, 유도성부하(+Q)와 용량성 부하(-Q)에서의 전압 상승과 전압강하의 알고리즘을 나타낸 것이다.
- 12) 3상한의 경우, 부하용량이 분산형 전원보다 작아, 분산형 전원이 전원 측으로 공급(역조류) 되어 전압상승이 발생하며, 그림 ④에서 쉽게 확인할 수 있다.
- 13) 2상한의 경우에는 2가지의 경우로 나누어 해석할 수 있다.
- (1) 선로 조건 중 $R\cos\theta < X\sin\theta$ 인 경우
 $\Delta V = I \times (-R\cos\theta + X\sin\theta)$ 에서 $(-R\cos\theta + X\sin\theta)$ 부분이 (+)가 되며, 전류(I)는 양수라는 가정 하에 전압강하(+ Δ)로 해석할 수 있으며, 표 2의 ② 로 확인할 수 있다.
 - (2) $R\cos\theta > X\sin\theta$ 인 경우
 $(-R\cos\theta + X\sin\theta)$ 이 (-)가 되어 전압상승(- ΔV)으로 해석할 수 있다. 이때 수전단 전압(E_r)이 송전단 전압(E_s)보다 커짐을 알 수 있으며, 표 2의 ③에서 확인할 수 있다

3-2. 최근 발전소에 설치되고 있는 냉각수 심층 취·배수 시스템의 계통구성 및 주요특성에 대하여 설명하시오.

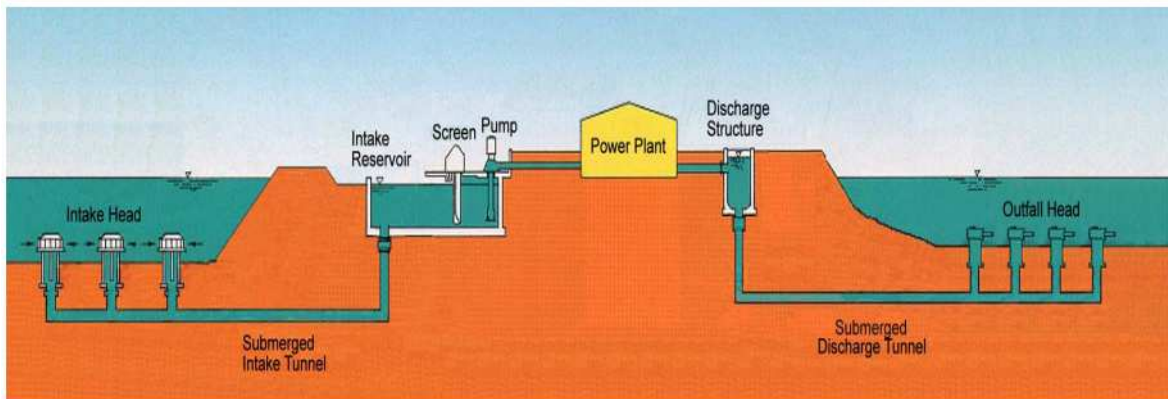
답)

1. 개요

발전소의 온배수에 의한 영향은 인근해역의 온도를 상승시켜 연안수역의 해양 물리특성 변화, 해수의 열불균형 등의 환경장해를 일으킨다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 도입된 것이 심층 취·배수 시스템이다.

2. 심층 취·배수 시스템의 계통구성

1) 구성도



심층취수구 → 심층취수관로 → 취수조 → 취수구조물 → 육상취수관로 → 복수기 → 육상배수관로 → 배수조 → 심층배수관로 → 심층배수구

2) 구성설비

(1) 취수구

심해에서 냉각수를 취수하는 곳으로 Velocity Cap 등으로 취수구에 이물질이 유입되는 것을 방지한다.

(2) 수중 취수 터널

심층에서 취수된 물을 취수조로 보내준다.

(3) 취수조

심층에서 취수된 물을 저장하는 수조

(4) 스크린

취수조에서 취수펌프로 물이 유입될 때 이물질을 제거하기 위한 장치.

(5) 취수펌프

취수에서 방류까지 압력을 담당한다.

(6) 복수기

증기를 물로 바꾸어 주는 설비

(7) 배수조

배수된 물을 저장하는 수조

(8) 수중 배수터널

배수조로부터 배수를 배출헤드까지 보내주는 역할

(9) 배출헤드

배수를 심해로 배출한다.

3. 주요특성

- 1) 저온의 냉각수 취수 및 초기 희석 효과를 통해 온배수 영향을 최소화 한다.

심층 취수로 온배수의 온도를 낮추고 심해로 방출하므로 온배수 영향을 최소화 한다.

- 2) 수온 상승영역 최소화로 해양생태계 영향을 최소화 한다.

표면 배수에 따른 수온상승으로 해양 생태계에 생태변화 및 환경파괴를 방지한다.

- 3) 매립면적 최소화로 해양환경을 보전한다.

지형변화나 환경파괴가 비교적 적은 침매터널(Immersed Tunnel, 육상에서 제작한 구조물을 가라앉혀 물속에서 연결시켜 터널을 만드는 토목공법)로 시공하여 환경영향을 최소화 한다.

- 4) 해양 부유생물의 유입 최소화로 발전소 운영 안정성을 확보한다.

심층에서 취수하므로 따가비 등 조개류 및 해양생물의 흡착이 최소화 되어 발전소 운영이 안정 된다.

- 5) 기존 발전소의 재순환온도를 저감한다.

복수기에서 복수 효과를 높일 수 있다.

※ 참고도



3-3. 『신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법』에 따라 신에너지 및 재생에너지를 각각 구분하여 설명하고 최근의 각 발전원별 발전량 비중과 특성을 설명하시오.

답)

1. 신에너지 및 재생에너지를 구분하여 설명

1) 신에너지

"신에너지"란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소·산소 등의 화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 에너지로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

(1) 수소에너지 설비

물이나 그 밖에 연료를 변환시켜 수소를 생산하거나 이용하는 설비

(2) 연료전지 설비

수소와 산소의 전기화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 생산하는 설비

(3) 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질잔사유(重質殘渣油)를 가스화한 에너지 설비

석탄 및 중질잔사유의 저급 연료를 액화 또는 가스화시켜 전기 또는 열을 생산하는 설비

2) 재생에너지

(1) 태양에너지 설비

① 태양열 설비

태양의 열에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 에너지원으로 이용하는 설비

② 태양광 설비

태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하거나 채광(採光)에 이용하는 설비

(2) 풍력 설비

바람의 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 설비

(3) 수력 설비

물의 유동(流動) 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 설비

(4) 해양에너지 설비

해양의 조수, 파도, 해류, 온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 설비

(5) 지열에너지 설비

물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 변환시켜 에너지를 생산하는 설비

(6) 바이오에너지 설비

「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」(이하 "영"이라 한다) 별표 1의 바이오에너지를 생산하거나 이를 에너지원으로 이용하는 설비

(7) 폐기물에너지 설비

폐기물을 변환시켜 연료 및 에너지를 생산하는 설비

(8) 수열에너지 설비

물의 표층의 열을 변환시켜 에너지를 생산하는 설비

(9) 전력저장 설비

신에너지 및 재생에너지(이하 "신·재생에너지"라 한다)를 이용하여 전기를 생산하는 설비와 연계된 전력저장 설비

2. 각 발전원별 발전량 비중

- 1) 2016년 신재생에너지 발전량은 40,656GWh로 2015년 37,079GWh 대비 9.65% 증가
 - 국내 총발전량 대비 신·재생에너지 발전비중은 6.61%에서 2016년 7.24%로 0.63%p 증가
- 2) 각 발전원별 발전량 비중

<표> 전년대비 신재생에너지 발전량 및 증가율(원별)

(단위 : MWh)

구 분		2015		2016		전년대비 증감		기여도 (%)
		발전량	비중(%)	발전량	비중(%)	발전량	증감율(%)	
총 발 전 량		560,973,575	100.0	561,825,749	100.0	852,174	0.15	-
신재생에너지		37,078,863	6.61	40,655,803	7.24	3,576,940	9.65	100.0
	재 생 에 너 지	35,983,514	6.41	39,151,720	6.97	3,168,206	8.80	-
	신 에 너 지	1,095,349	0.20	1,504,083	0.27	408,734	37.32	-
재 생 에 너 지	태 양 광	3,979,159	10.7	5,122,441	12.6	1,143,282	28.7	32.0
	풍 력	1,342,439	3.6	1,683,142	4.1	340,703	25.4	9.5
	수 력	2,150,013	5.8	2,858,714	7.0	708,701	33.0	19.8
	해 양	496,354	1.3	495,556	1.2	△798	△0.2	△0.0
	바 이 오	5,546,583	15.0	6,237,564	15.3	690,981	12.5	19.3
	폐 기 물	22,468,966	60.6	22,754,303	56.0	285,337	1.3	8.0
신 에 너 지	연 료 전 지	1,089,260	2.9	1,143,402	2.8	54,142	5.0	1.5
	I G C C	6,089	0.0	360,681	0.9	354,592	5,823.5	9.9

주) 국내 총발전량은 사업자+상용자가+신재생자가용 합계임

- 3) 신재생에너지에서 가장 큰 부분을 차지하는 발전은 폐기물발전이지만 점차 태양광과 풍력발전의 비중이 증대되고 있는 추세이다.

3. 각 발전원별 특성

1) 태양광 발전

- (1) 설치 장소에 제약이 없다
- (2) 태양광 모듈의 수명은 20에서 30년으로 내구성이 좋다.
- (3) 공배물질은 배출하지 않으므로 환경친화적이다.
- (4) 연료단가가 싸다.

2) 풍력발전

- (1) 공해물질 배출이 없어서 청정성, 환경친화적 특성을 지닌다.
- (2) 풍력단지의 관광자원화가 가능하다.
- (3) 깨끗하고 고갈될 염려가 없지만, 에너지 밀도가 낮아 바람이 안 불면 발전을 할 수가 없으므로 특별한 지점에만 설치가 가능하지만 우리나라의 경우는 삼면이 바다로 되어 있어 풍력발전에 유리하다고 할 수 있다.
- (4) 바람이 불 때만 발전을 할 수가 있으므로 지속적 발전이 곤란하여 저장장치의 설치가 필요하다.
- (5) 소음발생문제는 최근에는 풍력발전기가 대형화되면서 소음문제를 해결했다.

3) 수력설비

- (1) 소수력발전은 설비 규모가 작기 때문에 지형의 변화를 최소화하고 주변 생태계에 미치는 영향이 적은 친환경 에너지이다.
- (2) 발전 설비가 간단하여 단기간 건설이 가능하고 유지보수 또한 용이하다.
- (3) 태양광 발전이나 풍력 발전 등의 기후와 관련된 신재생에너지에 비하여 공급 안정성이 우수하다.

4) 수소에너지

- (1) 수소에너지는 공기 중에 산소와 결합하여 연소하는 경우 물이 되기 때문에 배기가스 등 공해물질이 거의 생성되지 않아 환경오염의 염려를 줄일 수 있습니다.
- (2) 직접 연소하거나 연료전지의 연료로 활용하게 되면 전기에너지로 쉽게 전환하여 사용할 수 있으며, 자동차의 연료로 사용되는 경우에는 석유와 달리 연소를 통해 에너지를 얻는 원리가 아니기 때문에 소음이 적습니다.

5) 연료전지 설비

- (1) 전기화학 반응을 거쳐 직접적으로 발전을 하기 때문에 에너지 효율이 높다.
- (2) 화력발전과 같이 연소과정이 없기 때문에 전기와 물, 열만을 발생시키며 이산화탄소 및 질소산화물, 황산화물 등의 배출이 전혀 없는 무공해 에너지이다.
- (3) 모듈형태로 제작이 가능하여 발전규모 조절이 용이하고 설치장소의 제약이 적다.
- (4) 고도의 기술과 고가 재료 사용으로 인해 경제성이 떨어지는 점과 원료의 대량 생산과 저장, 운송, 공급 등의 기술적 문제들이 있어 연료전지의 상용화를 어렵게 한다.

6) 석탄가스화 복합발전

- (1) 석탄을 가스화하여 질소산화물, 황산화물 등의 배출이 없는 청정에너지다.
- (2) 석탄을 연료로 하므로 연료 수급이용이하고 연료가격이 안정적이다.
- (3) 플랜트 비용이 비싸다.

7) 해양에너지 발전

- (1) 해양에너지 자원은 고갈될 염려가 전혀 없고, 일단 개발되면 태양계가 존속하는 한 이용이 가능하고 오염문제가 없는 무공해 청정에너지이다.
- (2) 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 해양에너지 부존자원이 풍부하다.
- (3) 현재는 조력발전 외에는 상용화된 해양에너지가 없으며, 선진국과의 기술수준 격차도 존재한다.

- (4) 조력발전의 경우 날씨나 계절에 상관없이 에너지 공급량이 규칙적이고 대규모 전력 생산이 가능하지만 높은 투자비용과 해양생태계를 파괴한다는 단점이 있다.
- (5) 파력발전은 환경오염이 없고 지속적으로 사용 가능하다는 장점이 있지만 투자비용에 비해 발전 효율이 낮다는 단점이 있다.
- (6) 조류발전은 조력발전과 달리 방파제를 건설할 필요가 없어 비용이 절감되는 효과가 있지만 조차보다 조류가 빠른 곳에 설치가 가능하여 입지 조건이 까다롭다는 단점이 있다.
- (7) 온도차 발전은 에너지 공급원이 무한하며 예측이 가능하여 계획적인 발전이 가능하다는 장점이 있지만 전력 생산 효율이 낮고 미생물로 인한 오염에 취약하다는 것이 단점이다.

8) 지열에너지 발전

- (1) 지열은 다른 신·재생에너지 발전과는 달리 외부 기후에 의존하지 않고 연중 24시간 연속 운전이 가능하며 건축물과 조화 및 높은 경제성 등으로 보급 잠재력이 높다.

(2) 지열발전

지상 설비면적이 작고, 오염물질 배출이 거의 없으며 기상 영향 없이 지속적으로 전기 생산이 가능하다는 장점이 있지만 심부 천공기술이 아직까지 실증연구단계이고 투자비가 많이 소요되며, 땅의 침전 등 환경파괴 우려된다는 단점이 있다.

(3) 히트펌프

일반 냉난방에 비해 안정된 지열을 이용함으로써 고효율의 냉난방이 가능하고 유지 및 관리비가 저렴하지만 초기 천공비 부담이 크고 지중열교환기 부동액 누수 시 환경오염 가능성 있다.

9) 바이오 에너지 설비

- (1) 석유 연료에 비해 공해물질을 현저하게 적게 배출하기 때문에 친환경적이라는 점과 원료로 사용되는 바이오매스는 화석연료와 같이 사용 시 없어지는 것이 아니라 재생성을 가지고 있어 원료 고갈 문제가 없다는 장점이 있다.
- (2) 다른 신재생에너지의 경우 생산 가능한 에너지 형태가 열 또는 전기이기 때문에 저장이 어렵다는 문제점이 있지만 바이오에너지는 열과 전기뿐만 아니라 난방 또는 수송용 연료의 형태로도 생산이 가능하여 에너지 사용 측면에서 활용도가 높다는 특징을 가지고 있다.
- (3) 바이오에너지는 아직까지 식용식물을 주원료로 사용하고 있어 원료확보를 위한 넓은 면적의 토지가 필요하고 자원량의 지역적 차이가 크며, 식량부족 문제 등이 발생한다는 점이 단점으로 꼽히고 있다. 이러한 이유로 최근에 유기성폐기물과 미세조류 등 비식량계 원료를 기반으로 하는 연료 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

10) 폐기물에너지

- (1) 폐기물에너지는 원료인 폐기물의 가격이 낮고 폐기물 수거비용을 받을 수 있어 경제성이 높고 쓰레기 매립 문제 완화 및 폐기물 발생을 줄여 이에 따른 환경오염 방지 효과를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.
- (2) 문화나 산업의 특성에 따라 많은 처리기술이 필요하기 때문에 고도의 기술과 연구 개발이 요구되며 이로 인해 초기 투자비용이 많이 들게 된다는 점과 폐기물 소각과정에서 또 다른 환경오염을 유발할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

11) 수열에너지

- (1) 수열에너지는 자연 상태로 존재하는 에너지원으로 온도의 계절간, 일간 변동이 적고 어는점이 일반 물보다 낮은 -1.9°C 이기 때문에 저온까지 열 이용이 가능하며, 여름에는 대기보다 약 7°C 가 낮고 겨울엔 10°C 정도 높아 열펌프의 열원으로 매우 우수하다.
- (2) 부존량이 거의 무한해 대규모 열수요에 이용이 가능하고 우리나라의 경우 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 해수를 쉽게 이용할 수 있다는 지리적 특성을 가지고 있다.

12) 전력 저장 설비

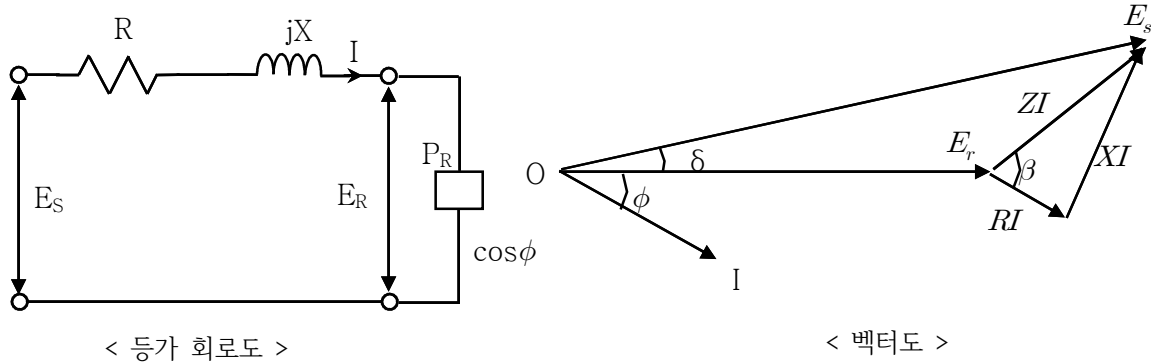
- (1) 전기는 생산과 동시에 소비되는 특징이 있는데 전력저장설비는 전력저장을 가능하게 해서 필요할 때 전기를 사용할 수 있는 편의성을 제공한다.
- (2) 분산전원 연계 시 전력을 저장 했다가 피크시나 필요시 사용할 수 있게 한다.
- (3) 심야에 남는 전기로 저장했다가 주간에 첨두시에 사용하므로 부하율 향상에 기여한다.

3-4. 단거리 선로에서 전압강하식을 유도하고, 전압강하가 유효전력 및 무효전력과 관계가 있음을 수식으로 설명하시오.

답)

1. 단거리 선로에서 전압강하식을 유도

1) 등가회로 및 벡터도



2) 전압강하식 유도

$$\dot{E}_s = \dot{E}_r + \dot{I}Z = \dot{E}_r + I(\cos\phi - j\sin\phi)(R + jX)$$

$$= (\dot{E}_r + IR\cos\phi + IX\sin\phi) + j(IX\cos\phi - IR\sin\phi)$$

$$E_s = \sqrt{(E_r + IR\cos\phi + IX\sin\phi)^2 + (IX\cos\phi - IR\sin\phi)^2}$$

E_r 값이 매우 크므로 $\sqrt{\quad}$ 안의 2항은 1항에 비해서 매우 작기 때문에 무시하면

$$E_s \approx E_r + IR\cos\phi + IX\sin\phi$$

$$\text{전압강하 } e = E_s - E_r = I(R\cos\phi + X\sin\phi)$$

$$\text{선간전압으로 표현하면 } e = V_s - V_r = \sqrt{3} I(R\cos\phi + X\sin\phi)$$

2. 전압강하가 유효전력 및 무효전력과 관계가 있음을 수식으로 설명

1) 전압강하 식에서 분자분모에 수전단 전압을 곱하면

$$e = \frac{\sqrt{3} IV_r \cos\phi \cdot R + \sqrt{3} IV_r \sin\phi \cdot X}{V_r} = \frac{PR + XQ}{V_r}$$

전압강하는 유효, 무효전력에 비례한다.

3-5. 발전기 기본식을 이용하여 선간 단락전류가 3상 단락전류의 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배임을 설명하시오.

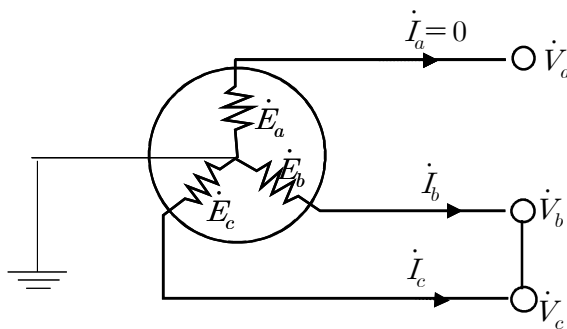
답)

1. 개요

- 1) 2상 단락고장은 불평형 고장으로서 일반적인 회로 해석으로는 해석되지 않으므로 대칭좌표법을 활용하여 해석한다.
- 2) 대칭좌표법이란 3상의 불평형 문제를 해석하는 방법으로 불평형적인 전류나 전압을 그대로 취급하지 않고 대칭적인 3개의 성분으로 나누어서 각각의 대칭분이 단독으로 존재하는 경우의 계산을 3번 실시한 다음 그들 각 성분의 계산 결과를 중첩시켜서 불평형인 값을 계산하는 방법을 말한다.
- 3) 3상 단락고장은 평형고장이므로 일반적인 회로 해석으로 해석한다.

2. 2상 단락사고 시 전류크기 해석

1) 회로도



E_a, E_b, E_c : 무부하발전기 내부유기기전력

V_a, V_b, V_c : 각상 단자전압

I_a, I_b, I_c : 각상전류

2) 기지값

$$I_a = 0, I_b = -I_c, V_b = V_c \quad b, c \text{ 선 완전단락}$$

3) 미지값

$$I_b, I_c$$

4) 대칭분 전압, 전류

$$(1) (V_b = V_c \text{에서 } V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2, V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) V_1 - (a^2 - a) V_2 = 0$$

$$(a^2 - a)(V_1 - V_2) = 0 \quad a^2 - a \neq 0 \quad V_1 = V_2$$

$$(2) I_a = 0, I_b + I_c = 0 \text{으로 부터 } I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$I_b = I_c \text{에서 } I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 0, I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0$$

$$I_b + I_c = (a^2 + a) I_1 + (a^2 + a) I_2 = (a^2 + a)(I_1 + I_2) = 0$$

$$-(I_1 + I_2) = 0 \quad \therefore I_1 = -I_2$$

(3) 발전기 기본식 활용

$$V_0 = -Z_0 I_0 \quad V_0 = I_0 = 0$$

$$V_1 = E_a - Z_1 I_1 \quad I_1 = -I_2, \quad V_1 = V_2 \text{이므로}$$

$$V_2 = -Z_2 I_2 \quad E_a - Z_1 I_1 = Z_2 I_1$$

$$\therefore I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}, \quad I_2 = -\frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

(4) 2상 단락전류의 크기

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = \frac{(a^2 - a)E_a}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_c = -I_b = \frac{(a - a^2)E_a}{Z_1 + Z_2}$$

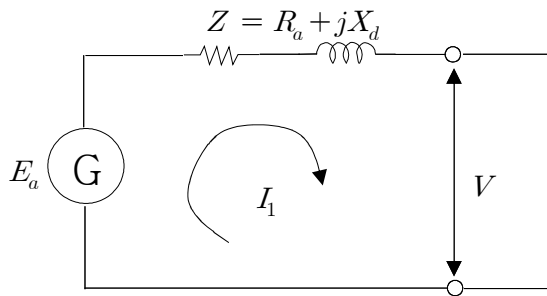
$$a^2 - a = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = -j\sqrt{3} \text{이므로}$$

$$I_b = \frac{(a^2 - a)E_a}{Z_1 + Z_2} = -\frac{j\sqrt{3}E_a}{Z_1 + Z_2}, \quad I_c = \frac{j\sqrt{3}E_a}{Z_1 + Z_2}$$

3. 3상 단락전류의 크기

3상 단락고장은 평형고장이므로 일반적인 회로해석으로 해석하며 이것을 대칭분으로 표현하면 영상분과 역상분이 없으므로 정상분만 표시한다.

1) 등가회로도



< 등가회로도 >

2) 3상단락전류 I_s

$$I_s = \frac{E}{Z} = \frac{E_a}{Z_1}$$

4. 2상 단락사고 시 전류의 크기가 3상 단락사고 전류크기의 86.6[%]가 됨을 설명

동기기의 정상, 역상 임피던스는 사고 시 대략 30%로 같으므로 $Z_1 = Z_2$ 로 된다.

$$\left| \frac{I_{2s}}{I_{3s}} \right| = \frac{\frac{j\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2} E_a}{\frac{E_a}{Z_1}} = \frac{\frac{j\sqrt{3}}{2Z_1} E_a}{\frac{E_a}{Z_1}} = \left| -j\frac{\sqrt{3}}{2} \right| = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

3-6. 변압기의 절연강도를 피뢰기 제한전압과 관련하여 설명하시오.

답)

1. 피뢰기의 정의

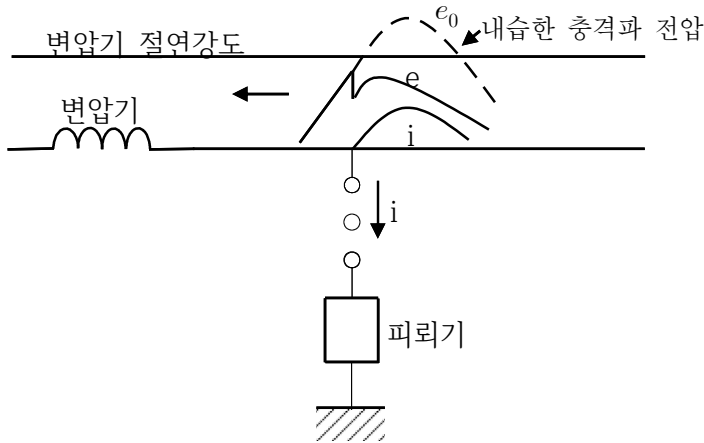
피뢰기는 피보호기기 선로와 대지사이에 접속하여 뇌 또는 회로개폐에 기인하는 이상전압의 파고값을 대지방전으로 저하시켜 기기를 보호하고 상용주파 속류를 신속히 차단하여 전력계통을 원상태로 회복하는 장치를 말한다.

2. 피뢰기 제한전압

1) 정의

방전으로 저하되어 피뢰기 단자 간에 남게 되는 충격전압

2) 개념도



< 피뢰기 제한전압 >

3) 관계식

$$e_i + e_r = e_t, \quad i_i + i_r = i_t + i_a \quad i_i = \frac{e_i}{Z_1}, \quad i_r = -\frac{e_r}{Z_1}, \quad i_t = \frac{e_t}{Z_2}$$

$$\frac{e_i}{Z_1} - \frac{e_r}{Z_1} = \frac{e_t}{Z_2} + i_a \quad \text{양변에 } Z_1 Z_2 \text{를 곱하면 } Z_2 e_i - Z_2 e_r = Z_1 e_t + Z_1 Z_2 i_a$$

$$Z_2 e_i + Z_2 e_r = Z_2 e_t \text{에서 위의 식을 더하면 } 2Z_2 e_i = (Z_1 + Z_2) e_t + Z_1 Z_2 i_a$$

$$e_a = e_t = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} e_i - \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} i_a$$

4) 피뢰기 제한전압 이상의 이상전압이 내습하면 피뢰기는 변압기를 보호하기 위해 방전을 개시하는데 이것은 이상전압의 원전압 $e_t = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} e_i$ 에서 $\frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} i_a$ 전압만큼 차감한 효과를 나타내게 된다.

3. 변압기 절연강도

변압기 절연강도 > 피뢰기 제한전압 + 피뢰기 접지저항 전압강하

피뢰기의 접지에도 접지저항이 존재하므로 피뢰기가 방전하면 피뢰기 자체에 전압이 올라가게 된다.

4. 변압기 절연설계 방법 (154kV 유효접지기준)

1) 피뢰기 정격전압의 결정

피뢰기 정격전압 $V = \alpha\beta V_m$ α : 접지계수, β : 여유계수, V_m : 계통최고전압

$$\text{ex) } 154 \text{ [kV]} = \frac{154}{1.1} \times 1.15 \times \frac{1.3}{\sqrt{3}} \times 1.15 = 144 \text{ [kV]}$$

2) 피뢰기 제한전압의 결정

피뢰기 제한전압은 피뢰기 정격전압 \times (2.6 ~ 3.2)

$$\text{ex) } 144 \times 3.2 = 460 \text{ [kV]}$$

3) 기기의 절연강도 결정

변압기 절연강도 > 피뢰기 제한전압 + 피뢰기 접지저항 전압강하

$$\text{ex) 변압기 절연강도} > 460 + 10 \text{ [kA]} + 10 \text{ [\Omega]} = 560 \text{ [kV]}$$

이 의미는 이상전압이 내습하더라도 피뢰기가 보호해준다는 전제로 변압기의 절연강도를 560 [kV] 이상만하면 된다는 의미이다.

4) 변압기의 BIL

$$(1) \text{ 전절연시 BIL} = 5E + 50 = 5 \times 140 + 50 = 750 \text{ [kV]}$$

(2) 유효접지 계통에서는 저감절연이 가능하므로 피뢰기 제한전압을 기준으로 위의 변압기 절연강도 식을 만족하는 범위에서 저감절연이 가능하다.

(3) 저감절연을 적용하면 1단저감하여 650 [kV]로 절연한다.

(4) 변압기의 절연강도를 낮출 수 있는 것은 피뢰기가 보호해 주기 때문이며 그러므로 피뢰기 제한전압이 낮을수록 변압기 절연강도 값이 낮아지므로 2단, 3단 저감절연 까지 가능해진다.

(5) 1000kV 이하시는 1단저감할 때 마다 100kV씩 저감하고 1000kV 초과 시는 1단저감할 때 마다 250kV씩 저감한다.

제 4교시 문제풀이

4-1. 스마트그리드의 개념에 대해 설명하고, 소비자 중심의 스마트그리드 구현을 위한 최근 국내 정책과제에 대하여 설명하시오.

답)

1. 스마트 그리드의 개념

< 지능형전력망 (Smart Grid) 이란? >

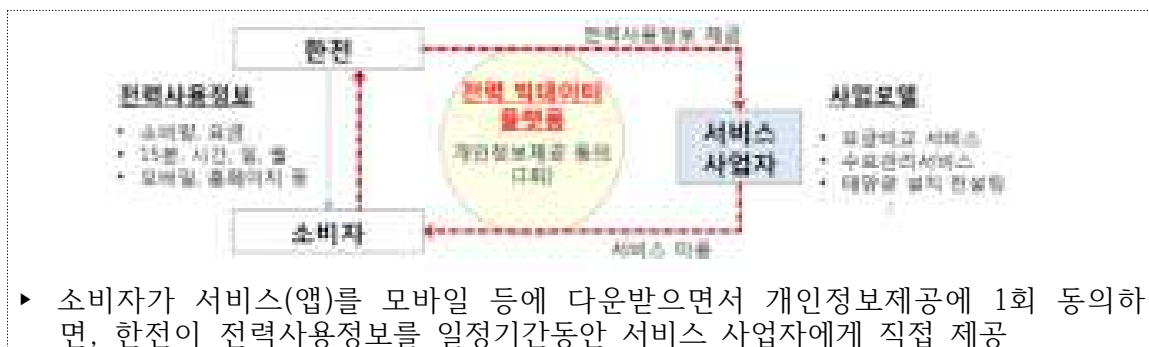
- ◇ 정의: ①전력망에, ②정보통신기술을 적용하여, ③전기의 공급자와 사용자가 실시간으로 정보를 교환하는 등의 방법을 통하여 전기를 공급함으로써, ④에너지 이용효율을 극대화하는 전력망 (지능형전력망법 제2조제2호)
- ◇ 구성: (인프라) 전력·통신망, (기기) 지능형 전력량계, (서비스) 요금제, 수요자원거래



2. 소비자 중심의 스마트그리드 구현을 위한 최근 국내 정책과제

1) 스마트그리드 新서비스 활성화

- (1) 현재 산업용과 일반용에 적용되는 계시별 요금제*를 주택용으로 확대하기 위한 시범사업 추진('18~'20년, 2천가구 대상)
 - ① 3계절(봄가을, 여름, 겨울)×3개 시간대(최대, 중간, 경부하) 전기요금 단가를 차등
- (2) 현재 대형 공장·빌딩이 참여하는 수요자원 거래시장은 소형 상가·주택도 참여하는 국민 DR 시장으로 확대 개편('19년 하반기)
 - ① 참여율, 감축수단 등을 시범사업('18.6~11월)에서 검증, 참여용량·인센티브 등 제도 정비
- (3) '19년부터 소비자의 전력사용정보 제공절차를 간소화하는 전력 빅데이터 플랫폼을 본격 운영하여 전력분야 새로운 비즈니스 모델 확산



(4) 소규모 전력자원을 모아 전력을 거래하는 전력중개사업 도입·시행

- ① 법적 근거 신설(전기사업법 개정, '18.6월)에 따라, 금년말까지 세부 운영규정 정비와 전력 중개시장 개설을 마무리하고 '19년부터 본격 시행

2) 스마트그리드 서비스 체험단지 조성

(1) 新기술·서비스 실증을 위한 스마트그리드 서비스 체험단지 조성

* 스마트그리드 서비스 체험단지란? 계시별 요금제, 전력중개사업, V2G 등 다양한 스마트그리드 기반 서비스를 체험할 수 있는 시범단지로서 분산형 전력설비를 가장 효율적으로 이용하는 친환경 에너지공동체

- ① 2개 도시 지역에 AMI, 태양광, ESS, 전기차 충전기 인프라를 집적·구축하고, 요금제, 전력중개사업 등의 서비스를 단계적으로 도입
- ② '19년부터 3단계 사업을 통해 검증된 서비스는 '21년말 완공되는 세종 스마트시티 시범도시에 적용

< 스마트그리드 서비스 체험단지 추진방안 >

단계	실증단계 (체험도시)					시범단계
	1단계	2단계		3단계		4단계
설비	AMI	태양광, ESS		태양광, ESS, 전기차		
주요 서비스 (예시)	계시별 요금제	아파트용 ESS	전력중개사업	DR기반 V2G	마이크로그리드	▶ 세종 스마트시티 서비스 선별 적용
	시간대별로 전기요금 차등 부과	요금이 저렴한 밤에 전기를 저장해 낮에 사용	태양광 생산 전기를 모아서 판매	전기차 배터리를 DR 자원으로 활용	단지내에서 전력을 자급	
일정	'19년~			'21년~		'21년말~

3) 스마트그리드 인프라 및 설비 확충

(1) AMI 인프라는 전국 2,250만호에 지속 확충

- ① 다만, 업계·전문가 등으로 구성된 AMI 전문위원회를 운영하여 그간 AMI 성과를 평가한 후 사업내용을 조정·보완
- ② '20년까지 실시간으로 신재생발전소를 감시·제어하는 신재생통합관제시스템을 전력거래소에 구축하고, 관련 운영 제도도 정비

(2) 전력망의 ICT 인프라 확충에 향후 5년간 2.5조원 투자



4) 스마트그리드 확산 기반 구축

- (1) (정책 추진체계) 민·관, 유관기관이 참여하는 ‘스마트그리드 정책 협의회’를 운영하여 정책 추진 상황 주기적 점검 및 지원
 - ① 특히, 소비자단체·산업계·전문가 등이 참여하는 AMI·기술 전문위원회를 운영하여 현장의 의견을 정책에 지속 반영
- (2) (기술개발) AICBM·블록체인 등 요소기술을 활용한 기술개발을 지원(5년간 약 4,000억원)하여 산업계의 혁신역량 강화
 - ① (서비스) 미터링, 빅데이터, 수요관리, (전력망 통합) 전력중개, ESS연계, 마이크로그리드, (요소기술응용) AICBM, 블록체인, (기반기술) 표준, 보안 등
- (3) (표준) 신재생, ESS 등 개별기기와 전력망과의 상호운용을 위한 로드맵을 ‘20년까지 개정 완료하고, 표준 개발 및 테스트베드 구축*
 - ① ‘18년, 통신·정보처리·보안 등 AMI 표준 개발 착수 → 향후 DR, 전력중개사업으로 확대
- (4) (산업진흥) 양자·다자협력 등을 통해 기업의 해외진출을 지원하고, 지능형전력망 사업에 관한 기초통계 조사 시행(‘18년~)
- (5) (정보보호) 개인정보보호 등 소비자·사업자의 의무와 책임을 규정한 서비스 사업(DR, 전력중개사업 등) 표준약관을 제정
- (6) (인력양성) 전력망 운영기술, 서비스 개발 부문 중심으로 연구인력 양성
 - ① 대학원 선도기술 연구거점(5억원/년), 박사졸업생 창업·후속연구 지원(2억/년) 등

4-2. 선로나 기기에서의 전절연(Full Insulation), 저감절연(Reduced Insulation), 변압기에서의 단절연(Graded Insulation), 균등절연(Uniform Insulation)에 대하여 설명하시오.

답)

1. 전절연(Full Insulation)

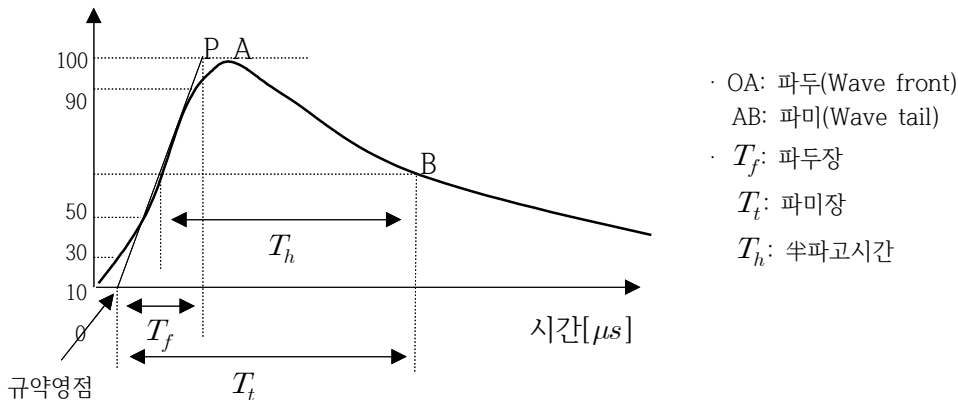
1) 정의

전력계통에 기기나 선로의 절연을 기준충격절연강도(BIL: Basic Impulse Insulation Level)로 절연한 것.

2) 비유효 접지 계통에 접속되는 권선에 채용

$$BIL = 5E + 50 \text{ [kV]} \quad E: \text{최저전압} \left(\frac{\text{정격전압}}{1.1} \right)$$

뇌 임펄스 내전압 시험값으로 절연레벨의 기준을 정하는데 기준이 되는 값을 BIL이라 하며 20호 (24kV) 이상 비유효 접지계통에서 사용한다.



[기준 충격 파형]

2. 균등절연(Uniform Insulation)

1) 정의

변압기 권선의 절연을 선로단자와 중성점 단자를 같은 절연 강도로 절연 한 것.

2) △결선시의 권선절연

3) 권선의 모든 부분이 대지에 대해 그 선로 단자의 교류시험 전압에 견딜 것.

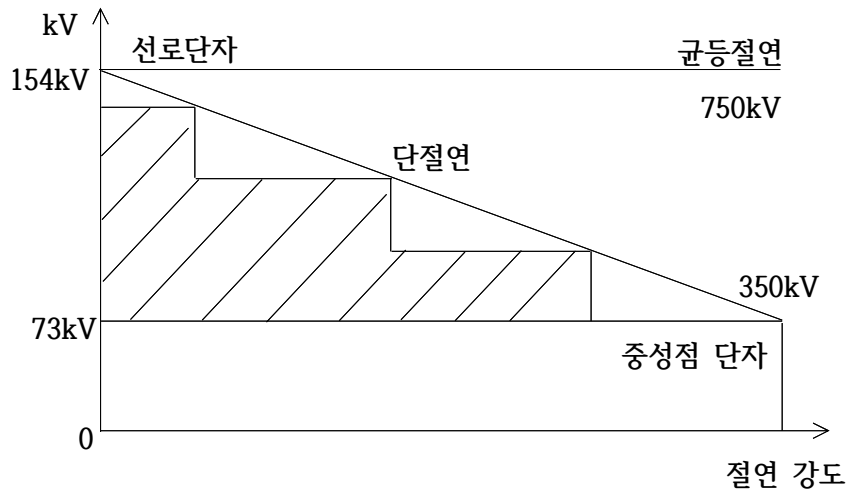
3. 단절연(Graded Insulation)

1) 정의

직접접지에서는 중성점 전위가 0 전위이므로 변압기 권선의 절연을 선로 단자로 부터 중성점 단자로 갈수록 단계적으로 낮추어서 절연하는 것.

2) 유효접지 계통에서 적용

3) 변압기의 중량, 부피, 가격 등이 저감 된다.



[154 kV 절연]

4. 저감절연(Reduced Insulation)

- 1) 유효접지 계통에서 1선 지락 사고 시 건전상의 전위상승이 낮으므로 정격전압이 낮은 피뢰기를 채용 할 수 있다.

$$V = \alpha\beta V_m \quad \alpha : \text{접지 계수}(0.75) \quad \beta : \text{여유}(1.15) \quad V_m : \text{계통 최고전압}$$

- 2) 피뢰기 정격전압이 낮으므로 제한전압도 낮아진다.

$$e_a = V(2.6 \sim 3.2) \quad e_a : \text{제한전압} \quad V : \text{피뢰기 정격전압}$$

- 3) 피뢰기 제한전압을 기준으로 기기나 선로의 절연을 BIL보다 낮추어서 절연 하는 것을 저감절연 이라 한다.

- 4) 1000 [kV] 이하 시는 1 단 저감할 때 마다 100 [kV]씩 저감

1000 [kV] 초과 시는 1 단 저감할 때 마다 250 [kV]씩 저감

- 5) 예) 345 [kV] BIL: 1550 [kV], 피뢰기 제한전압: 750 [kV](뇌충격) 따라서 2단저감하여 1050 [kV]로 절연한다.

4-3. 화력발전소의 열효율에 영향을 미치는 요소가 무엇인지 쓰고, 설비적인 측면과 운영적인 측면에서의 열효율 향상 대책에 대하여 설명하시오.

답)

1. 화력발전소의 열효율에 영향을 미치는 요소

1) 사용연료

사용연료에 따라 화력발전소의 형식이 결정되며 사용연는 석탄, 중유·석유, 가스 등이 사용되고 있다. 열효율은 석탄화력, 가스화력, 중유·석유 화력 순으로 좋아진다.

2) 사용증기

사용증기의 온도와 압력이 높을수록 열낙차가 커져 열효율은 좋아진다.

3) 복수기의 진공도

복수기의 진공도가 낮을수록 배기 속도가 빨라지므로 열낙차가 커져 열효율은 좋아진다.

4) 보일러의 형식

관류형 보일러는 변압운전을 채용하여 주증기 밸브 손실 등을 줄이므로 열효율이 좋아진다.

5) 추기단수 및 급수온도

추기단수가 높을수록 급수온도가 높을수록 열효율이 좋다.

6) 재열기의 사용 유무

1단 재열보다는 2단 재열일 때가 열효율이 좋다.

7) 공기량과 공기온도

공기량이 많고 공기온도가 높을수록 열효율이 높다.

8) 발전형식

복합발전, 열병합 발전을 채용하면 열효율이 향상된다.

9) 보일러, 터빈, 발전기 등의 기타 손실.

2. 설비적인 측면과 운영적인 측면에서의 열효율 향상 대책

1) 설비 측면에서의 향상 대책

(1) 보일러 관계설비

- ① 외부로 방출되는 배기가스의 열을 회수한다.
 - 연도에 절탄기를 설치하여 배기가스의 여열을 급수로 가열한다.
 - 절탄기 뒤에 공기 예열기를 설치하여 연소용 공기를 예열한다.
- ② 연소 상태: 연소용 공기량을 적정화하여 미연소에 의한 손실을 방지한다.
- ③ 전열면 청소: 보일러 전열면을 청소하여 열전달이 잘되게 한다.
- ④ 적정부하운전: 보일러 효율이 커지도록 적정부하로 운전한다.

(2) 터빈 설비

① 저압터빈 날개를 길게 한다.

복수기에 배기되는 증기 에너지를 회수하기 위해 저압터빈의 최종단 날개를 기계력이 허용하는 한도까지 길게 한다.

② 터빈 날개 개량: 동익내 손실저감을 위해 날개의 형태를 개량한다.

③ 변압운전 채용: 저부하시에는 변압운전을 실시한다.

(3) 열 사이클 관계

① 고온, 고압의 증기채용: 증기터빈 입구 증기의 온도, 압력을 가능한 높인다.

② 복수기 진공도 향상

복수기 내의 진공도를 높여 터빈에서 이용할 수 있는 열낙차를 크게 한다.

③ 재생재열 사이클의 채용

재생사이클과 재열사이클은 서로 접촉되지 않으므로 각 사이클의 특징을 살리면 전 사이클의 열효율을 향상 시킬 수 있다.

- 재생사이클: 추기증기로 급수가열 함으로서 열역학적으로 열효율 향상

- 재열사이클: 습기 제거로 터빈의 내부손실을 경감시켜 열효율향상

2) 운영 측면에서 향상대책

(1) 소내 소비전력 절감

① 고효율 전동기 사용

② 진상용 콘덴서 설치

③ 각종 Fan, Motor의 속도제어

④ 계절성 소비전력 억제

(2) 기동 정지비용 절감

① 기동 정지횟수 감소

② 정지 시 Bottle - Up 방식 운영으로 기동비용 최소화

(3) 저부하 운전효율 향상

① 저부하 시 Thruttle Loss를 절감하기 위해 감압운전

② 경제부하 배분에 의한 적정부하운전

4-4. 계통의 전력·주파수 특성을 발전기와 부하의 경우로 나누어 설명하시오.

답)

1. 전력계통에서의 전력·주파수 특성

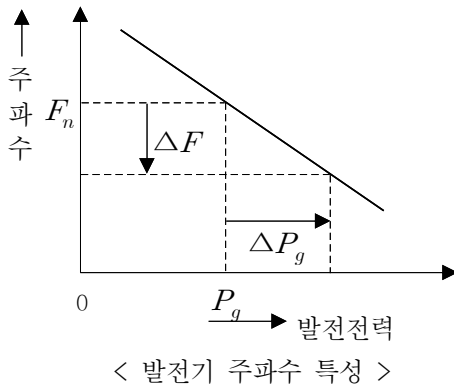
1) 정의

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

2) 발전전력·주파수 특성 (G.F 운전)

(1) 조속기에 의해 발전기 회전수가 증가하면 발전기 출력을 감소시키고 발전기 회전수가 감소하면 발전기 출력을 증가시킨다.

(2) 개념도



(3) 관계식

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

(4) 의미 설명

- ① 부호가 (-)인 이유는 부하가 증가하면 주파수가 하락한다는 의미이다.
- ② 부하가 증가하면 발전기 측은 총발전력 = 총부하 + 총손실을 맞추기 위해서 조속기에 어떠한 조정을 가하지 않아도 속도조정률에 의해 각 발전기가 출력분담을 하는데 이를 G.F 운전이라 한다.
- ③ 속도조정률이 작은 발전기는 속도조정률이 큰 발전기에 비해 더 많이 부하를 분담한다.
- ④ 그 결과 총발전력 = 총부하 + 총손실의 균형은 맞추어 졌지만 발전전력·주파수 특성에 의해 주파수는 하락한 상태가 된다.
- ⑤ 여기에 어떠한 인위적인 조정은 가해진 것이 아니고 계통이 갖고 있는 특성에 의해 이루어진다.
- ⑥ 저하된 주파수를 원래대로 회복시키기 위해서는 인위적인 제어를 가해야 하는데 이것이 주파수 제어인 것이다. 이것을 자동으로 행한 것을 AFC라 한다.
- ⑦ 우리나라는 AFC와 ELD를 가미한 AGC 운전을 행하고 있다.

(5) 속도조정률과 발전전력·주파수 특성정수와의 관계

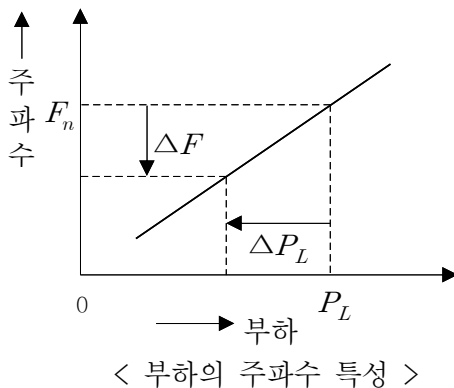
$$\delta = -\frac{\frac{\Delta F}{F_n}}{\frac{\Delta P_G}{P_n}} \times 100[\%] = -\frac{\Delta F}{\Delta P_G} \cdot \frac{P_n}{F_n} \times 100 = \frac{100P_n}{K_G F_n}, \quad \therefore K_G = \frac{100P_n}{\delta F_n}$$

2) 부하의 주파수 특성 (부하의 자기 제어성)

(1) 정의

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

(2) 개념도



(3) 관계식

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

(4) 의미 설명

- ① 부호가 (+)인 이유는 부하가 증가해서 주파수가 하락하면 부하전력이 감소한다는 의미이다.
- ② 부하의 대부분은 회전기기로 이루어 졌고 주파수는 전계통적이므로 부하의 증대로 주파수가 하락하면 회전기 부하의 회전수도 하락하게 되고 이는 회전기가 내는 출력을 감소시켜 부하전력은 하락하게 된다.
- ③ 부하의 자기제어성이라고 하는 이유는 부하가 증대할 때 부하증대를 억제하려는 부하의 성질을 나타낸 것이다.

3) 전력 계통의 전력·주파수 특성정수 K

- (1) 전력 계통의 전력·주파수 특성정수 K는 발전전력·주파수 특성정수 K_G 와 부하전력·주파수 특성정수 K_L 의 합으로 구해진다.

(2) 관계식

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

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

4) 전력·주파수 특성정수의 표현

전력계통의 크기에 대한 비율로 나타내면

$$\%K_G = K_G \times \frac{100}{\text{병렬 발전기의 정격용량의 합계}} [\%MW/0.1Hz]$$

$$\%K_L = K_L \times \frac{100}{\text{부하 용량}} [\%MW/0.1Hz]$$

5) 전력계통 특성정수의 성질

- (1) 조속기 운전을 하는 발전기 대수가 많을수록, 속도조정률이 작을수록 K_G 는 커진다.
- (2) 계통 내에 회전기 부하가 많을수록 K_L 은 커진다.
- (3) 심야보다는 주간, 휴일보다는 평일 쪽이 발전기 병렬 대수가 많기 때문에 계통 특성 정수 K는 커진다.

4-5. 유도장해 경감대책으로 전력선과 통신선 사이에 차폐선을 설치하는데, 차폐선 설치에 따른 차폐효과에 대하여 설명하시오.

답)

1. 개 요

유도장해는 전력선과 통신선 사이의 정전용량에 의한 정전유도장해와 전력선의 지락 시 영상전류에 의한 전자유도작용에 의해 통신선에 유도장해를 일으키는 현상으로 구분한다. 따라서 실제로 통신선에 큰 영향을 미치는 유도장해는 전자유도장해이고, 이러한 영향을 감소시키기 위해 전력선과 통신선 사이에 차폐선을 가설하게 된다.

2. 유도장해의 현상

- 1) 전력선에 지락이 발생하면 영상전류가 흘러 통신선에 전자 유도작용에 의해 통신선에 유도전압이 발생하게 된다.
- 2) 이러한 유도전압의 발생은 $E = -j\omega M(3I_0)$ 식에 의하며, 여기서 차폐선은 상호인덕턴스 M 을 감소시키게 된다.
- 3) 따라서 일반적으로 전력선의 가공지선을 차폐선으로 이용하여 통신선에 대한 유도전압의 크기를 경감시켜 주기도 한다.

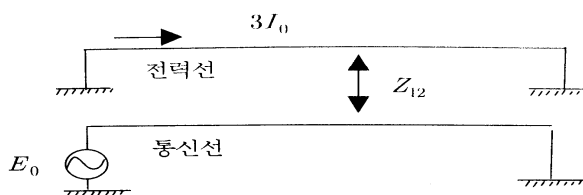
3. 차폐선 이론과 차폐계수 유도 및 설치에 따른 차폐효과

1) 차폐선이 없는 경우

차폐선이 없는 경우의 통신선 유도전압(V_m)은 아래와 같다.

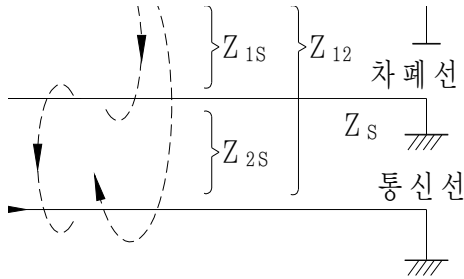
$$V_m = -Z_0 I_0 + Z_{2s} I_1 \quad (\text{이때 } Z_{2s} I_1 = 0)$$

$$= -Z_{12} I_0 \quad (\text{여기서 } Z_{12}: \text{통신선과 전력선의 상호 리액턴스})$$



[그림, 차폐선이 없는 경우의 예]

2) 차폐선이 있는 경우



[그림, 차폐선이 있는 경우]

 Z_s : 차폐선 Z Z_{1s} : 전력, 차폐선 상호 Z Z_{2s} : 차폐, 통신선 상호 Z Z_{12} : 전력, 통신선 상호 Z I_0 : 전력선 영상 전류 I_1 : 차폐선 유도 전류(1) 차폐선이 있는 경우 통신선 유도전압(V_m)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_m &= -Z_{12}I_0 + Z_{2s}I_1 \\
 &= -Z_{12}I_0 + Z_{2s}\left(\frac{Z_{1s}I_0}{Z_s}\right) \quad (\because \text{우변 } \frac{Z_{12}}{Z_{12}} \text{ 대입정리}) \\
 &= -Z_{12}I_0 \frac{Z_{2s}Z_{1s}I_0Z_{12}}{Z_sZ_{12}} \\
 \therefore V_m &= -Z_{12}I_0 \left(1 - \frac{Z_{1s}Z_{2s}}{Z_sZ_{12}}\right)
 \end{aligned}$$

(2) 차폐선 차폐계수 λ

차폐계수는 차폐선이 없는 경우의 유도전압에 대한 차폐선 존재시의 유도전압이므로 차폐선 설치에 따른 유도전압의 경감 비율을 나타낸다.

$$\therefore \lambda = \left|1 - \frac{Z_{1s}Z_{2s}}{Z_sZ_{12}}\right|$$

즉, 차폐계수 λ 배 만큼 유도전압이 경감된다.

3) 차폐선 설치 위치별 λ (1) 전력선 측 근접설치 ($Z_{2s} \approx Z_{12}$)

$$V_m = -Z_{12}I_0 \left(1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s}\right) \quad \therefore \lambda = \left|1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s}\right|$$

(2) 통신선 측 근접설치 ($Z_{1s} \approx Z_{12}$)

$$V_m = -Z_{12}I_0 \left(1 - \frac{Z_{2s}}{Z_s}\right) \quad \therefore \lambda = \left|1 - \frac{Z_{2s}}{Z_s}\right|$$

4. 차폐선의 설치

- 1) Z_s 가 작을수록 단락전류 I_s 가 커져서 차폐효과가 커지므로 차폐선은 철선을 쓰지 않고 전력선에 준하는 동선이나 알루미늄선을 쓴다.
- 2) 실제 가공지선이 차폐선의 역할을 동시에 수행하고 있다.

4-6. 화석연료의 연소로 인하여 발생하는 배기가스에 대한 영향과 대책에 대해 설명하고, 이때 발생하는 비회(fly ash)를 모으는 집진장치에 대하여 설명하시오.

답)

1. 배기가스에 대한 영향과 대책

1) 화석연료를 연소해서 그 에너지를 이용하는 발전방식이므로 화석연료의 연소에 의해서 발생하는 오염물질이 주가 된다.

2) SOx 발생

SOx는 화석연료에 포함된 유황성분이 연소중 산소와 결합하여 아황산가스(SO₂)가 발생하고 과잉증기로 인해 무수황산(SO₃)이 발생한다.

(1) 영향

- ① 수분과 친화력으로 황산이 생성
- ② 폐의 순환기 장애 발생
- ③ 산성비의 원인
- ④ 건축물 금속 등의 부식

(2) 대책

- ① 중질유 탈유
연소 전 연소상태에서 유황분을 제거 수소화 탈유법으로 유황성분 30 ~ 40% 제거
- ② 배연탈유
연소 후 배출가스에 포함된 유황산화물을 제거하는 방법으로 석회석고탈유법을 적용한다.
- ③ 연소방법 개선: 석탄가스화 복합발전, 가압유동층 연소발전 적용.

3) NOx 발생

연료 중 질소분이 산소와 반응하여 발생하는 NOx와 연소 중 공기 중의 질소와 산소가 반응하여 생성된다.

(1) 영향

- ① 0.01ppm의 미량에도 기관지염을 유발.
- ② 산성비, Smog의 원인
- ③ 오존층이 파괴된다.

(2) 대책

- ① 연료개선: 연료에 함유된 질소를 가능한 감소시킨다.
- ② 연소개선: 1300°C이하의 저온연소로 NOx 발생을 작게 한다.
- ③ 배연탈질: 선택적 촉매 환원법을 적용하여 NOx 감소.

4) CO2 발생

연료에 포함된 탄소가 산소와 반응하여 발생.

(1) 영향

① 지구온난화의 주요인(교토의정서)

② 식물 성장 저해

(2) 대책

① 발생억제

탄소 함유량이 적은 연료사용, 신재생에너지로 전환, PFBC, IGCC 발전방식 도입.

② CO2 제거: 화학 흡수법, 물리 흡수법, 연료 개질법, 산소 분리법

③ CO2 고정화: 육상 및 해양생물에 의한 고정.

④ CO2 제거장치는 탈황, 탈질보다 기술적으로 어려워 현재 실용화 단계에 있지 않다.

5) 분진

(1) 영향

① 피부, 안질환 발생

② 재료의 침식, 도장 변색

③ 식물 성장 방해

(2) 대책

기계식 집진기와 전기식 집진기를 적용하여 미세한 분진을 제거 한다.

2. 집진장치 설명

1) 정의

집진기는 연도로부터 배출되는 회를 포집하는 장치를 말한다.

2) 집진장치의 설치목적

(1) 비산회를 포집하여 발전소 주위에 발생하는 분진을 제거한다.

(2) 회에 의한 도색의 변색, 식물의 성장억제 등을 방지한다.

(3) 회속에 포함된 기타 산성물질에 의한 환경장해를 방지한다.

3) 집진장치의 종류

(1) 기계식 집진기(1차 집진기)

① 적용

유속이 빠른 곳에 적용하여 1차적으로 회분을 제거한다.

② 종류

가. 수세식 집진기

미세한 물분자를 분사하고 이곳에 비산회가 통과하면 물과함께 회를 포집하는 집진기를 말한다.

나. 싸이클론 집진기

원심력을 이용하여 비산회를 회전시켜 아래쪽 중앙으로 떨어뜨려 포집하는 집진기를 말한다.

(2) 전기식 집진기

① 적용

유속이 느린 곳(유속 3 m/s 이하)에 적용하며 2차적으로 회분을 제거한다.

② 원리

가. 집진극을 양쪽 극을 양극으로 하고 중앙에 절연시킨 피아노선을 방전극 음극으로 한다.

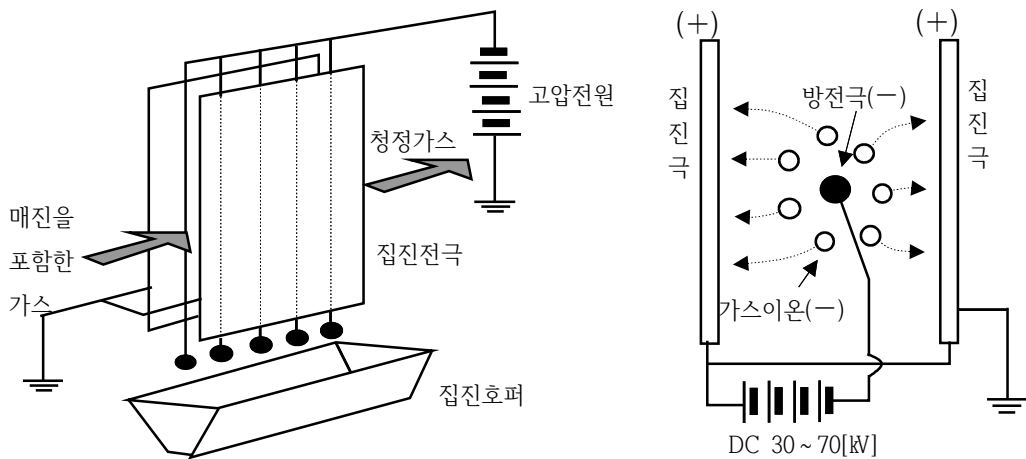
나. 이들 사이에 3만 ~ 6만V를 가한다.

다. 양극과 음극 사이에 연소가스를 통과시키고 방전극에서 코로나 방전원리를 이용하여 먼지를 (-)로 대전시킨다.

라. (-)로 대전된 먼지는 양쪽에 집진극으로 이동하여 흡착된다.

마. 타종추를 이용하여 흡착된 먼지를 회반이에 포집한다.

③ 원리도



< 코트렐 집진기 >