

»모아는 Challenge다«
전기분야의 Legend, 모아전기학원

제 121회 발송배전기술사

[문제풀이집]

교수: 김영민, 하용일

Legend 모아소방전기학원의 자랑!

모아소방전기학원 2012~2020년

전체 수강생의 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”

김영민 교수 “완벽한 이해 발송배전 강의”



전기 교육전문학원 ———

모아소방전기학원

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 120~160시간 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 혹은 교재 무료제공!

- ▷ 수강 기간 동안 제공되는 복습용 동영상 or 해당 과정 교재 택1 가능
- ▷ 현장강의 수강시 동일과목 동영상강의 무료제공!!

다섯 번째: 스터디 룸 무료제공!

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

발송배전기술사

하용일 교수 / 김영민 교수

CLASS	개강 일정	요일	시간	강의 수	교재
철저한 기본주의 (하용일 교수) 기본반	5월 02일 ~ 8월 01일	토	오후 3시~오후9시	11강(66h)	(송배전 공학) 송길영 동일출판사
고정관념 제거 (하용일 교수) 심화 연구반	5월 23일 ~ 8월 01일	토	오전 9시~오후3시	11강(66h)	자체교재
완벽한 이해 (김영민 교수) 심화반	4월 25일 ~ 6월 27일	토	오후 3시~오후9시30분	10강(66h)	345테마 발송배전기술사 (발전,송전,변전배전계통공학)
Mind Map 학습법 (김영민 교수) 합격반	5월 24일 ~ 8월 09일	일	오전 9시~오후3시	11강(66h)	345테마 발송배전기술사 (발전,송전,변전배전계통공학)
철저한 기본주의 (하용일 교수) 기본반	8월 22일 ~ 11월 07일	토	오전 10시~오후4시	11강(66h)	(발전,전력계통 공학) 송길영 동일출판사
완벽한 이해 (김영민 교수) 심화반	8월 22일 ~ 2021년 1월 16일	토	오후3시10분~오후8시10분	20강(100h)	345테마 발송배전기술사 (발전,송전,변전배전계통공학)
Mind Map 학습법 (김영민 교수) 합격반	8월 23일 ~ 2021년 1월 17일	일	오전 9시~오후2시	20강(100h)	345테마 발송배전기술사 (발전,송전,변전배전계통공학)

제 121회 발송배전기술사 1차 필기문제 (2020년 7월 4일)

제 1교시

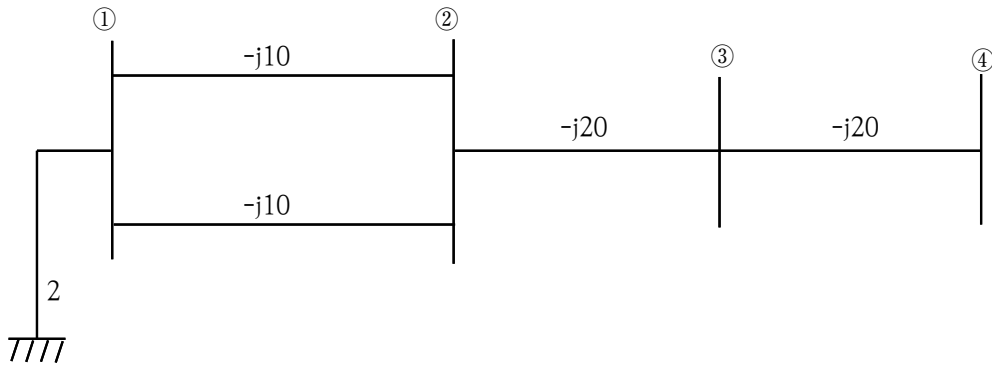
※ 다음 문제 중 10문제를 선택하여 설명하시오. (각 10점)

1. 화력발전소에 사용되는 다음의 용어에 대하여 각각 설명하시오.
 - 1) 증분 연료비(Incremental Fuel Cost of Generation)
 - 2) 등증분연료비 운전(Operation for Equal Incremental Fuel Cost)
2. 기력발전에 사용되는 추기 복수식 터빈과 추기 배압식 터빈에 대하여 각각 설명하시오.
3. 가변속 양수발전에 대하여 설명하시오.
4. AMI(Advanced Metering Infrastructure)연계 BTM(Behind The Meter) 서비스에 대하여 설명하시오.
5. 부하의 특성과 동작을 특정 짓는 부하모델 중 부하응답 모델에 대하여 설명하시오.
6. 직류조류계산법에 대하여 설명하시오.
7. 저압 बैंकिंग 배전방식에서 일어나는 캐스케이딩 현상을 설명하고, 그 대책에 대하여 설명하시오.
8. 직류선로에서의 전압 강하율, 전압 변동율, 전력 손실율에 대하여 설명하시오.
9. 2기 계통에서 발전소 $P_{G1}=147$ MW, 발전소 $P_{G2}=167.7$ MW로 경제운용하고 있다. 발전소 P_{G2} 의 증분 송전 손실이 0.1078 MW 일 때의 발전소 P_{G1} 의 페널티 계수(Penalty Factor)를 구하시오.
 (단, $\frac{dF_1}{dP_{G1}} = 2.0 + 0.04P_{G1}$ [10^3 원/MWh], $\frac{dF_2}{dP_{G2}} = 3.0 + 0.03P_{G2}$ [10^3 원/MWh] 이다.)
10. 변압기의 효율은 철손과 동손이 같아지는 부하일 때 최고 효율로 된다는 것을 증명하시오.
11. 송전선로의 선간전압을 2배로 높였을 경우 동일전선, 동일전력, 동일손실 하에서의 송전거리는 어떻게 되는지 설명하시오.
12. 다음의 보호계전 관련 용어에 대하여 설명하시오.
 - 1) 오차 2) 정동작 3) 정부동작 4) 오동작 5) 오부동작 6) 페일 세이프(Fail Safe)
- 1-13. 소호환(Arcing Ring) 또는 소호각(Arcing Horn)을 설치하는 이유를 설명하시오.

제 2교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

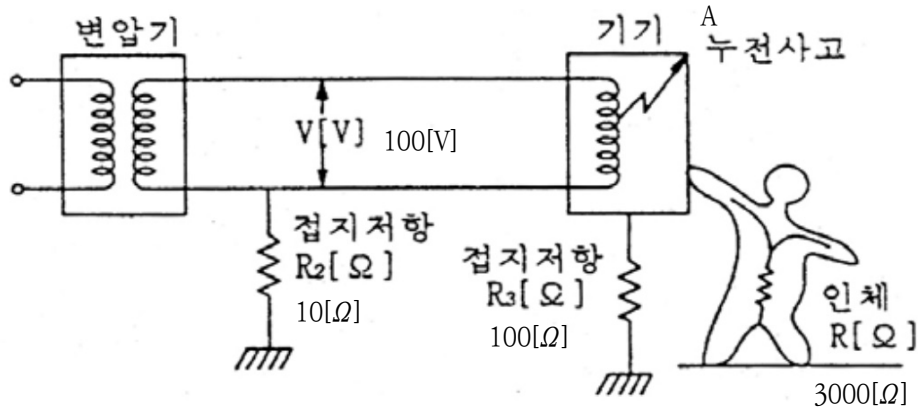
1. 직접접지계통, 고저항 접지계통, 비접지계통에서의 지락과전류계전기 결선 방법에 대하여 각각 설명하시오.
2. 전력설비 충전부에서의 Arc Flash 분석 및 평가절차, 경감대책에 대하여 각각 설명하시오.
3. 그림과 같은 4모선 계통의 Y_{BUS} 행렬을 구하고, 중간에 있는 모선 ③을 소거하였을 때의 축약된 등가 Y_{BUS}^{eq} 를 구하시오.(단, 그림의 숫자는 단위법으로 나타낸 어드미턴스 값이다.)



4. 전력계통에 접속하여 운전 중인 대용량 발전원이 전력계통으로부터 갑자기 탈락하는 경우에 나타나는 현상과 발·변전기에 미치는 영향 및 정전범위 축소를 위한 대책에 대하여 설명하시오.
5. 어느 변전소에서 지상역률 80%인 부하 6000kW에 전력을 공급하고 있었는데, 새로이 지상역률 60%의 부하가 1200kW 더 늘어나게 되어서 콘덴서를 설치하고자 한다. 아래의 경우에 대하여 콘덴서 용량(kvar)을 구하시오.
 - 1) 부하 증가 후 역률을 80%로 유지할 경우
 - 2) 부하 증가 후 변전소의 용량(kVA)을 그대로 유지하고자 할 경우
 - 3) 부하 증가 후 역률을 90%로 유지할 경우

6. 아래 그림과 같은 계통에서 기기의 A점에서 완전지락이 발생하였을 경우

- 1) 이 기기의 외함에 인체가 접촉하고 있지 않을 경우 이 외함의 대지 전압은 몇 V로 되는지 구하시오.
- 2) 이 기기의 외함에 인체가 접촉하였을 경우 인체에는 몇 mA의 전류가 흐르는지 구하시오.
- 3) 인체 접촉 시 인체에 흐르는 전류를 10mA 이하로 하려면 기기의 외함에 시공된 접지 공사의 접지저항 $R_3[\Omega]$ 의 값을 얼마의 것으로 바꾸어 주어야 하는지 구하시오.



제 3교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

1. 발전기의 고정자 권선과 회전자 권선의 과부하 보호 방법에 대하여 각각 설명하시오.
2. 전력계통에 주파수 변동은 전력의 변동과 밀접한 관계가 있다. 발전기 출력 부하전력의 주파수 특성과 주파수 추종운전(Governor Free)에 대하여 설명하시오.
3. 전력계통에 연계되는 대규모 발전소의 절연협조(Insulation Coordination)에 대하여 설명하시오.
4. 발전기 가능출력곡선에 대해 설명하고 발전기의 운전한계를 결정하는 요인 중 열적제한 요인에 대하여 설명하시오.
5. $3\phi 3w$ 식 및 $3\phi 4w$ 식 선로로 평형 3상 부하에 전력을 공급 시 선로 내의 손실비는 얼마인지 구하시오.
(단, 선로의 길이와 전선의 총량은 같고, 4선식의 경우 전력선과 중선선의 굵기는 동일함)
6. 배전선로용 피뢰기의 성능 및 시험과 피뢰기의 설치기준을 각각 설명하시오.

제 4교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

1. IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle)와 IGFC(Integrated Gasification Fuel-Cell Combined Cycle)에 대하여 설명하시오.
2. 전력계통의 안정도 향상대책에 대하여 설명하시오.
3. 전력계통에서 철심포화 현상으로 발생하는 공진현상, 공진종류, 공진조건 및 대책을 각각 설명하시오.
4. 용량 100[kVA] 6600/105[V]인 변압기 철손이 1[kW] 전부하 동손이 1.25[kW]이다. 이 변압기의 효율이 최고로 될 때 부하[kW]인지 구하고 이 변압기가 무부하로 18시간, 역률 100[%]의 1/2부하로 4시간, 역률 80[%]의 전부하로 2시간 운전된다고 할 때 이 변압기의 전일효율을 구하여라. (단, 부하 전압 일정하다.)
5. 교류 단상2선식 배전선로의 말단에 단일 부하가 집중되어 있을 경우 아래 사항에 대하여 설명하시오.
 - 1) 등가회로 및 벡터도(E_r 를 기준벡터로)
 - 2) 전압강하와 전압강하율의 관계식 유도
 - 3) 부하전력과 무효전력을 사용하여 전압강하율 표현
- 4-6. 배전계통에서 발생하는 순시 전압강하에 대해서 설명하시오.

제 1 교 시 문제풀이

1-1. 화력발전소에 사용되는 다음의 용어에 대하여 각각 설명하시오.

- 1) 증분 연료비(Incremental Fuel Cost of Generation)
- 2) 등증분연료비 운전(Operation for Equal Incremental Fuel Cost)

답)

1. 증분 연료비

1) 정의

어떤 출력으로 운전하고 있는 경우 이 운전상태에서 다시 1[kW]의 출력을 더 증가했을 때 소요되는 단위 시간당의 연료비의 증가분을 증분연료비라 한다.

2) 관계식

$$\text{발전단 증분 연료비 } \lambda = \frac{dF}{dP_G} = 2aP_G + b \text{ [원/kWh]}$$

3) 발전비용

- (1) 발전소 운영에 소요되는 경비로 운전요원의 인건비, 소내 전기요금, 운전 보수비등을 말한다.
- (2) 경제 운용을 실시하려면 발전 출력 함수로 표현되어야 하므로 증분연료비의 일정 %로 취급하고 있다.

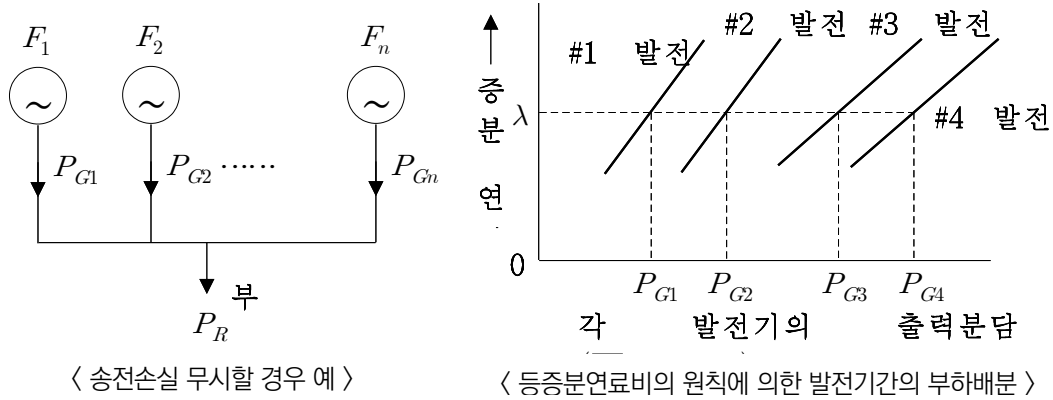
2. 등증분연료비운전(Operation for Equal Incremental Fuel Cost)

1) 정의

등증분연료비운전(Operation for Equal Incremental Fuel Cost)은 각 화력발전기의 증분 발전비용이 같게 되도록 각 발전기 출력을 배분해 주면 가장 경제적인 부하배분이 되며, 이와 같이 각 발전기의 증분연료비가 균등하게 되도록 운전하는 것을 등증분 연료비운전이라 한다.

2) 등증분 연료비의 원칙

(1) 구성도



(2) 수급조건

$$P_{G1} + P_{G2} + \dots + P_{Gn} = P_R [MW]$$

(3) 목적함수

$$F_1(P_{G1}) + F_2(P_{G2}) + \dots + F_n(P_{Gn}) = F [\text{원}/h]$$

(4) 평가함수 ϕ : 라그랑제 미정계수 λ 를 도입하면

$$\phi = F_1(P_{G1}) + F_2(P_{G2}) + \dots + F_n(P_{Gn}) - \lambda(P_{G1} + P_{G2} + \dots + P_{Gn} - P_R)$$

(5) 총 연료비를 최소로 하는 조건 $\frac{\partial \phi}{\partial P_{Gi}} = 0$

$$\frac{\partial \phi}{\partial P_{Gi}} = \frac{dF_1}{dP_{G1}} - \lambda = \frac{dF_2}{dP_{G2}} - \lambda = \dots = \frac{dF_n}{dP_{Gn}} - \lambda = 0$$

$$\lambda = \frac{dF_1}{dP_{G1}} = \frac{dF_2}{dP_{G2}} = \dots = \frac{dF_n}{dP_{Gn}} \text{ 일 때 가장 경제적이 된다.}$$

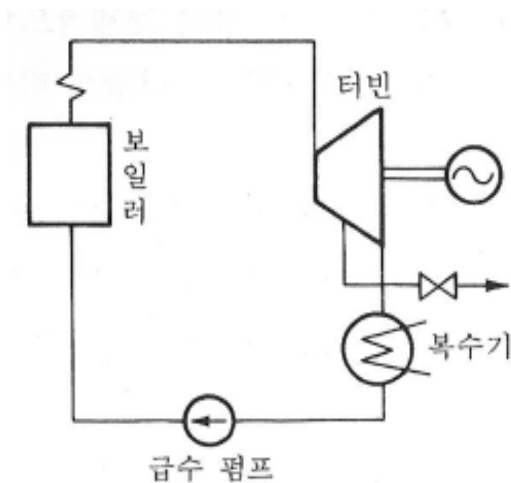
(6) 송전손실을 무시한 경우에 가장경제적인 부하배분은 증분연료비 또는 계통증분비 λ 가 같을 때 가장 경제적인 부하 배분이 된다는 원칙을 말함.(7) λ 는 부하 P_R 의 크기에 의존해서 결정되며 부하가 증가하면 λ 도 증가한다.

1-2. 기력발전에 사용되는 추기 복수식 터빈과 추기 배압식 터빈에 대하여 각각 설명하시오.

답)

1. 추기 복수식 터빈

1) 계통도



〈 추기 복수터빈 방식 〉

2) 방식

터빈중간에서 추기하여 열부하에 증기를 공급하고 터빈 배기(저압증기) 증기는 복수기로 처리하는 방식

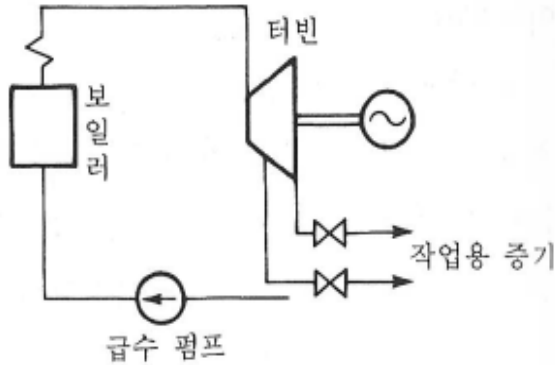
3) 특징

- (1) 추기량을 조정할 수 있어 전기공급과 열공급을 넓은 범위에서 제어할 수 있다.
- (2) 열부하 변동이 있어도 설비이용률이 높다.
- (3) 복수기 설치로 초기투자비가 많이 든다.
- (4) 열효율은 배압터빈 추기배압터빈 보다 낮다.
- (5) 여러 종류의 증기 압력 필요시 유리하며, 필요한 압력 단에서 추기하여 열부하를 담당

4) 적용 : 각기 다른 압력의 열원을 필요로 하는 경우 적용.

2. 추기 배압식 터빈

1) 계통도



〈 추기 배압터빈 방식 〉

2) 방식

터빈중간에서 추기하여 열부하에 증기를 공급하고 터빈 배기(저압증기) 증기로 난방 또는 작업용 증기로 공급하는 방식

3) 특징

- (1) 사용증기 압력이 2종류 이상시 적용
- (2) 시스템 제어가 배압터빈보다 복잡하다.
- (3) 추기량을 조절할 수 있어 약간의 열전비 조정이 가능하다.
- (4) 1단 추기 또는 2단 추기가 주로 적용된다.
- (5) 지역난방과 같이 열부하율이 낮은 경우 설비이용률이 떨어진다.

4) 적용 : 열부하율이 높은 산업체 공정용 열공급 시 가장 이상적이다.

1-3. 가변속 양수발전에 대하여 설명하시오.

답)

1. 가변속 양수발전

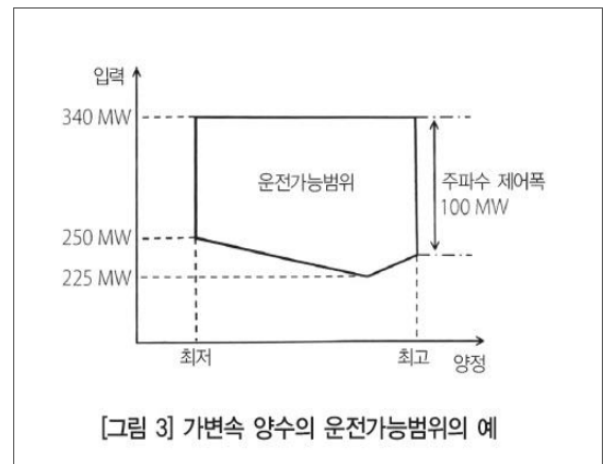
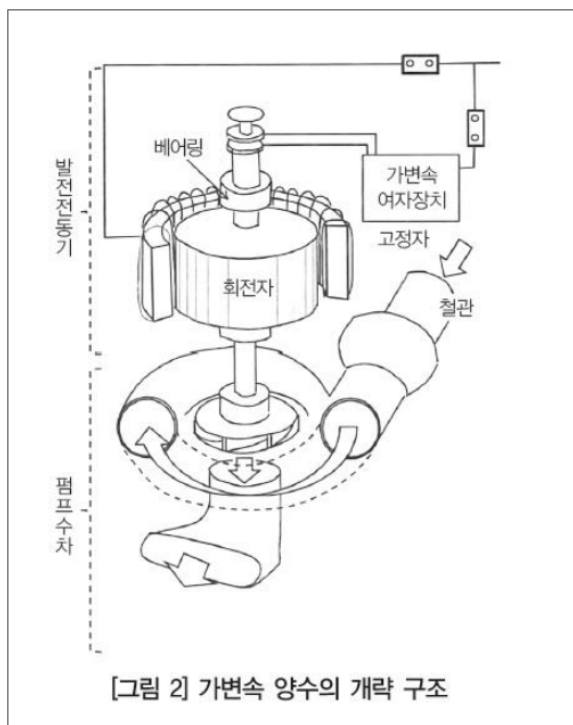
1) 정의

가변속 양수 발전은 회전자를 3상권선의 원통형으로 하고 그 회전자에 가변주파수 변환장치(Cyclo Converter 또는 GTO 등)를 사용해서 가변의 저주파 교류전류를 공급해서 회전속도를 가변시킬 수 있는 양수발전을 말한다.

2) 특징

- (1) 가변속 양수발전기는 기존의 양정에 의한 일정한 양수동력을 회전속도에 변화를 주어 가변시킬 수 있기 때문에 주파수 조정 능력이 부족한 야간에 있어 계통운용상 귀중한 조정력이 된다.
- (2) 가변속 양수기에서 회전속도의 변화는 정격의 $\pm 10\%$ 정도 이하이지만, 기존의 동기기와 동등 이상의 계통제어 성능을 가지며, 특성상 동기기에 준하는 것으로 간주할 수 있다.
- (3) 가변속 양수기는 계통의 이상상태에서도 운전을 계속 할 수 있어야 하며, 특히 여자회로에 발생하는 과전압·과전류에도 견뎌야 하기 때문에 지락, 단락 등 전압저하 시에도 변환기가 동작 가능하도록 설계되어 있다.

3) 구조도



4) 장점

- (1) 펌프수차의 특성으로서 양수운전, 발전운전 모두 댐 수위의 변화 및 입출력 변화에 따라 최고효율이 되는 최적 회전속도가 변하지만, 이에 맞게 속도 제어함으로써 효율이 향상되고 출력의 변화폭도 크게 얻을 수 있다.
- (2) 전력을 변화시킬 수 있으며 그 속도도 기존의 10~100배로 매우 빠르다. 이것은 계통 내의 부하 급변에 재빨리 응답할 수 있다는 것을 의미하며, 주파수 제어 성능이 현격하게 향상되어 기동 후 정격운전까지의 시간 단축에도 효과적이다.
- (3) 여자제어에 의해 유효·무효전력을 독립제어 할 수 있다.
- (4) 계통 외란에 있어서 문제가 되는 탈조현상도 원리적으로 회피 가능하며, 일반적으로 계통 교란 발생 시 전력동요의 크기도 작게 억제할 수 있다.
- (5) 자연에너지 발전의 도입을 추진할 시에 변동흡수용의, 이른바 커다란 축전지로서의 능력도 기대된다.

1-4. AMI(Advanced Metering Infrastructure)연계 BTM(Behind The Meter) 서비스에 대하여 설명하시오.

답)

1. 개요

1) BTM(Behind The Meter)이란?

전력량계 이후 고객측에 있는 분산발전 설비나 ESS 등으로 계통에 직접 연결되는 순수 분산전원 설비를 제외한 상계 거래 고객의 소형 분산발전 설비를 의미하며 최근에는 좀 더 영역을 확장하여 전력량계 이후단의 수요관리가 가능한 전력부하와 HEMS(Home Energy Management System) 등 운영시스템 및 Smart Home까지 BTM에 포함시키는 추세이다.

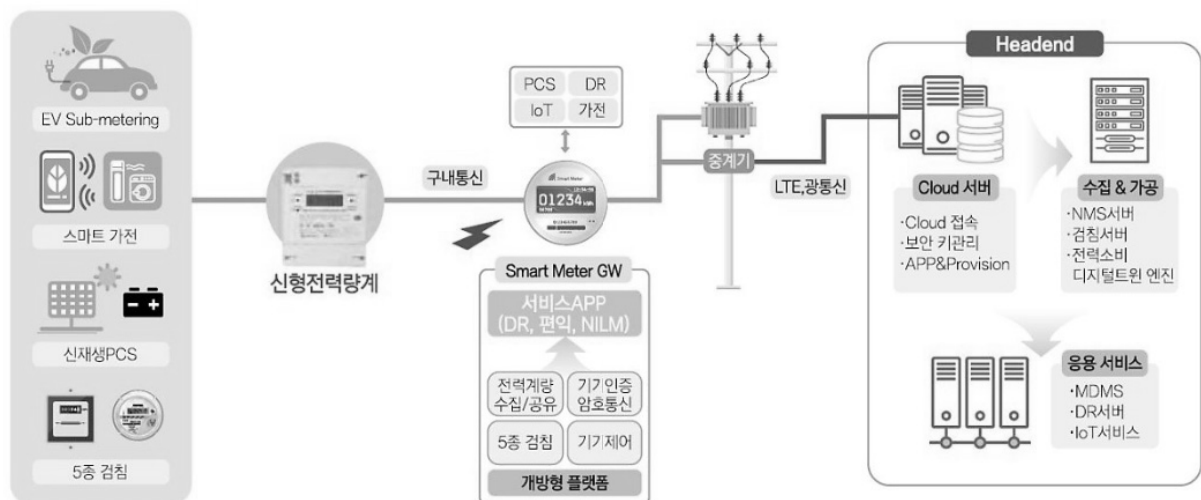
2) AMI란?

전력량계와 PLC, 무선통신 등 통신망을 접속하여 실시간으로 양방향 전력사용량을 수집하거나 고객에게 전력소비 정보를 안내하는 시스템이다.

3) 많은 전력회사들이 빅 데이터 포털 시스템 또는 APP을 통해 제공하고 있는 전력소비 정보는 통상 1시간 정도 지연된 정보로서, 고객이 실시간으로 전력사용량을 파악하고 시장이나 계통상황에 맞추어 반응하기에는 현 시스템의 기술적 구성과 규격 상 어려운 실정이다.

2. AMI(Advanced Metering Infrastructure)연계 BTM(Behind The Meter) 서비스

1) 서비스 개념도



Smart Meter Gateway기반 BTM 서비스 플랫폼

2) 기술의 개요

- (1) AMI 연계 BTM 서비스 플랫폼은 최신 IT기술인 IoT, Edge Computing 및 개방형 Cloud 플랫폼을 적극적으로 수용하여 고객 구내에 설치된 Gateway(이하 GW)에서 전력량계의 전력소비 정보와 전력품질 정보를 실시간으로 수집한다.
- (2) 수집된 정보는 전처리하여 고객 구내의 스마트 가전이나 EMS 장치에 전송되거나, 전력사와 부가 서비스 사업자에게 전송되어 다양한 서비스 제공에 활용된다.
- (3) BTM 서비스는 GW상에서 운영되는 어플리케이션 프로그램을 통하여 전력량계 이후 고객영역에서 전력시장 요금에 대응하고 전력계통 안정성을 확보하기 위하여, 옥외의 AMI 시스템을 고객 구내로 확장하고 실시간 계량 정보를 연동하여 다양한 수요관리와 상계 발전량 조절하는 기술로서, 최근 이슈가 되고 있는 AMI, V2G 등 다양한 ICT 기술들과 융합하여 구성된다.

3) 향후전망

- (1) 전력산업 전반의 다양한 전력 빅 데이터를 제공하고 전력산업 부분 간 공유생태계를 조성하는 에너지 마켓플레이스 사업을 적극적으로 추진하고 있다.
- (2) 이러한 에너지 마켓플레이스 사업의 일환으로 AMI의 실시간 계량정보를 Meter Gateway를 통하여 BTM 기기들과 연계하여 다양한 서비스를 제공하는 개방형 플랫폼 기술을 2019년 시작품을 개발하여 실증하고 2020년부터 본격적으로 개발하고 조기 구축할 예정이다.

1-5. 부하의 특성과 동작을 특정 짓는 부하모델 중 부하응답 모델에 대하여 설명하시오.

답)

1. 부하응답모델 개요

부하의 전압특성을 나타낸 모델을 부하응답모델이라 한다.

- 1) 부하 모션에서의 전압과 주파수 변동은 부하의 유효전력과 무효전력에 영향을 준다.
- 2) 부하 모션 전압이 제어함수로 주어질 경우 제어동작과 부하와의 관계를 파악하는 것이 필요하다.
- 3) 표현

$$P \propto V^m \quad P : \text{부하전력}, \quad V : \text{부하전압}$$

4) 특성

m 값이 작을수록 전압안정도 면에서 가혹해진다.

2. 부하응답모델 종류

1) 일정 임피던스 모델 ($P \propto V^2$)

(1) 정의

부하의 P, Q는 V^2 에 비례한다. 전압이 저하함에 따라 전압의 제곱으로 소비전력이 감소하는 특성을 가진다.

(2) 관계식

$$Z = \frac{V}{I}, \quad W = VI^* = P + jQ, \quad V^* I = P - jQ, \quad V^* \times \frac{V}{Z} = P - jQ$$

$$\therefore Z = \frac{|V|^2}{P - jQ}, \quad P \propto V^2$$

2) 일정 전류 모델 ($P \propto V^1$)

(1) 정의

부하의 P, Q는 V^1 에 비례한다. 전압이 저하함에 따라 소비전력도 저하 하는 특성을 가진다.

(2) 관계식

$$W = VI^* = P + jQ, \quad V^* I = P - jQ, \quad I = \frac{P - jQ}{V^*} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2} \angle -\phi}{|V| \angle -\theta}$$

$$\therefore I = |I| \angle \theta - \phi, \quad V = |V| \angle \theta, \quad \phi = \tan^{-1} \frac{Q}{P}$$

3) 일정 전력 모델 ($P \propto V^0$)

(1) 정의

전압의 변화에 관계없이 소비전력은 일정하다. 전압이 저하하면 전류가 증대한다.

(2) 특징

중부하시 전압불안정 현상의 주원인이 된다. (인버터 부하, 에어컨등)

(3) 관계식

- ① $P = \sqrt{3} VI \cos \theta$ 에서 전압이 저하하면 전류가 증가해서 일정전력을 유지한다.
- ② 그 결과 $\Delta V = \sqrt{3} I(R \cos \theta + X \sin \theta)$ 전압강하 식에서 전류증대로 전압강하가 증대한다.
- ③ 전압강하 증대로 전압이 저하하면 더욱더 전류가 증대한다.
- ④ 위 과정을 되풀이하면 수전단에는 전압이 모두 전압강하로 돼서 전압붕괴가 진행된다.

1-6. 직류조류계산법에 대하여 설명하시오.

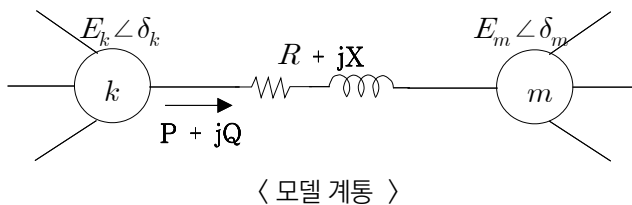
답)

1. 직류조류계산법 설명

- 1) 직류조류 계산법(DC 법)은 선로의 유효전력 P와 모선전압의 위상각 δ 만을 근사적으로 구하는 간략 계산법이다.
- 2) 전력의 흐름을 알아보기 위해서는 전력조류 계산처럼 모든 변수를 벡터로서 취급하여 계산 하므로 정확하지만 비선형 방정식을 풀어야 하므로 매우 복잡하고 전자계산기를 활용하여야 한다.
- 3) 직류조류 방정식은 정석화된 비선형 전력방정식(계산기를 이용한 전력조류계산)을 선형 모델로 근사화 하여 그 개략적인 값을 근사적으로 구하는 것이다.
- 4) 계통 확충 계획의 입안, 상정사고 해석 시 등 계통 상태체크용으로 사용된다.

2. 직류조류 기본방정식

1) 모델계통



2) 근사화 조건

- (1) $R \approx 0$ 선로의 저항은 무시할 정도로 작다.
- (2) $E_k = E_m \approx 1.0 [p.u.]$ 평상시 계통운용에서는 모선전압이 거의 정격전압으로 유지 된다.
- (3) $\sin(\delta_k - \delta_m) \approx (\delta_k - \delta_m) \approx \delta_{km}$ 양 모선간 상차각은 매우 작아서 거의 0에 가깝다.

3) 직류조류 기본 방정식의 계산

송, 수전단 전력계산식을 활용하여 유효전력만을 근사적으로 구하면

$$P = \frac{\delta_{km}}{X} \text{ (직류조류 기본 방정식) 이 된다.}$$

3. 직류조류 방정식 계산절차 (정상적인 전기회로를 이용한 계산절차)

- 1) 직류 조류 방정식은 리액턴스와 같은 크기의 저항만으로 구성된 직류회로에서 이 회로에 흐르는 전류를 전력조류의 변화로 보고, 회로의 각 모선에 나타나는 전압을 실제의 모선전압의 위상각 변화에 대응시켜 생각하면 된다.
- 2) 송전선이나 변압기의 저항, 중성점에 대한 어드미턴스를 생략해서 직렬 리액턴스만으로 된 회로를 구성한다. 리액턴스와 같은 값을 갖는 저항만으로 구성된 직류회로로 취급한다.
- 3) 이 등가회로에서 모선 i ($i = 1, 2, \dots, n-1$)로부터 기준모선 n 에 대해서 P_i 와 같은 직류전류를 흘려준다.
- 4) 이 때 기준모선에 대한 모선 i 의 전압(직류)은 모선 i 와 기준모선간의 상차각 δ'_i 와 같고 각 선로를 흐르는 전류는 그 선로를 흐르는 전력조류와 같아진다.

4. 전력계통에서의 실질적인 직류조류 방정식의 계산 절차

- 1) 계통 모선중 하나의 모선을 기준모선으로 정한다.
- 2) 기준모선을 제외한 $(n-1)(n-1)$ 행렬 Y_{BUS} 를 구한다.
- 3) 위에서 구한 Y_{BUS} 를 K 라 하고 K 행렬의 역행렬로 Z_{BUS} 를 구한다.
리액턴스의 표현으로 바꾸기 위하여 Z_{BUS} 를 구한다.
- 4) 위상차 각을 구하기 위해 $Z_{BUS} \times P$ 로부터 δ' 를 구한다. (P 값은 모선에서 유입, 유출 전력값으로 주어진다.)
rad 단위이므로 각도 $^\circ$ 로 바꾸어 구한다.
- 5) 직류조류 방정식 $P = \frac{\delta_i - \delta_j}{X}$ 을 이용하여 상호조류 P_{ij} 를 구한다.
- 6) 실제 전자계산기를 활용한 전력조류 계산법(AC법)과 비교하면 근사적으로 같다.

1-7. 저압 뱅킹 배전방식에서 일어나는 캐스케이딩 현상을 설명하고, 그 대책에 대하여 설명하시오.

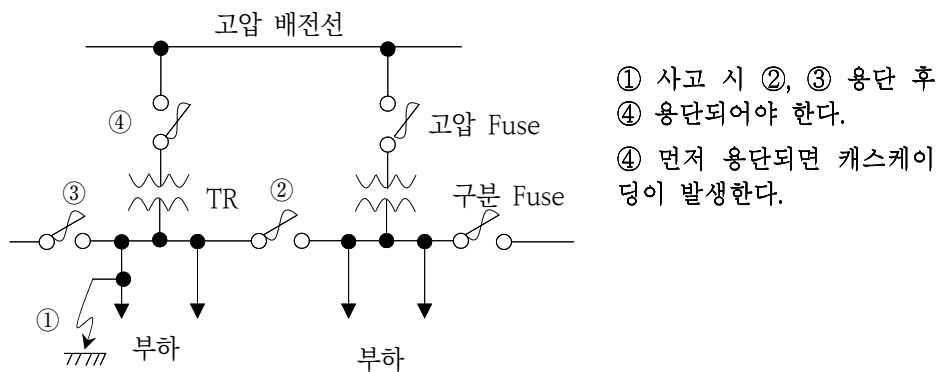
답)

1. 캐스케이딩 현상 및 대책

1) 현상

- (1) 캐스케이딩 현상이란 뱅킹 내에서 선로 또는 변압기에서 사고 발생 시 보호협조가 적절하지 않으면 뱅킹 내 건전한 변압기 일부 또는 전부가 차단되는 현상을 말한다.
- (2) 아래 그림에서 ①번 사고 시 ④번 고압퓨즈가 먼저용단 되면 사고가 제거되지 않아 모든 변압기가 사고로 인식되므로 ②, ③ 구분퓨즈가 용단 될 때 까지 고압퓨즈 용단으로 건전한 변압기가 동시에 차단된다.

2) 대책



- ① 사고 시 ②, ③ 용단 후
- ④ 용단되어야 한다.
- ④ 먼저 용단되면 캐스케이딩이 발생한다.

〈 캐스케이딩 방지 예 〉

- (1) 변압기 고압측에 Fuse를 설치하고 병렬로 접속되는 변압기 사이에는 구분 Fuse를 설치한다.
- (2) 구분 Fuse가 고압 Fuse보다 먼저 용단되게 한다.

1-8. 직류선로에서의 전압 강하율, 전압 변동율, 전력 손실율에 대하여 설명하시오.

답)

1. 직류선로의 특징

- 1) 직류선로에서는 인덕턴스를 고려할 필요가 없다.
- 2) 전압강하는 IR 이 된다.
- 3) 2선식 직류선로로 된다.

2. 전압 강하율, 전압 변동율, 전력 손실율

- 1) 직류선로는 인덕턴스를 생각할 필요가 없기 때문에 전압 변동률과 전압 강하율은 서로 같게 된다.
- 2) 직류 2선식에서 왕복 전체 길이의 저항을 R 이라 하고 전부하 전류를 I 라고 하면

$$\begin{aligned} \text{전압변동률} &= \frac{E_{r0} - E_r}{E_r} \times 100 = \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 = \text{전압강하율} = \frac{IR}{E_r} \times 100 \\ &= \frac{I^2 R}{E_r I} \times 100 = \frac{P_L}{P_r} \times 100 = \text{전력손실율} \end{aligned}$$

- 3) 전압 변동률과 전압 강하율, 전력 손실율은 모두 같게 된다.
- 4) 가령 10%의 전압 강하율이 나타내는 선로이면 전력손실도 부하의 10%가 된다는 것을 알 수 있다.

1-9. 2기 계통에서 발전소 $P_{G1}=147$ MW, 발전소 $P_{G2}=167.7$ MW로 경제운영하고 있다. 발전소 P_{G2} 의 증분 송전 손실이 0.1078 MW 일 때의 발전소 P_{G1} 의 페널티 계수(Penalty Factor)를 구하시오.

(단, $\frac{dF_1}{dP_{G1}} = 2.0 + 0.04 P_{G1}$ [10^3 원/MWh], $\frac{dF_2}{dP_{G2}} = 3.0 + 0.03 P_{G2}$ [10^3 원/MWh] 이다.)

답)

1. 수급조건

$$P_1 + P_2 = P_r + P_L(P_1, P_2)$$

2. 목적함수

$$F_1(P_1) + F_2(P_2) = F$$

3. 평가함수 ϕ (라그랑제 미정계수 λ 도입)

$$\phi = F_1(P_1) + F_2(P_2) - \lambda [P_1 + P_2 - P_r - P_L(P_1, P_2)]$$

4. 총 연료비 최소 조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial P_n} = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial P_1} = \frac{dF_1}{dP_1} - \lambda(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_1}) = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial P_2} = \frac{dF_2}{dP_2} - \lambda(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_2}) = 0$$

$$\lambda = \frac{\frac{dF_1}{dP_1}}{(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_1})} = \frac{\frac{dF_2}{dP_2}}{(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_2})}$$

5. 페널티 계수 L_i

$$L_i = \frac{1}{(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i})} \text{ 를 페널티계수라 하고 } \lambda = L_1 \frac{dF_1}{dP_1} = L_2 \frac{dF_2}{dP_2} \text{ 로 된다.}$$

1) 송전손실의 영향은 페널티 계수로 표시된다.

2) 증분 발전 비용이 L_i 배 만큼 커진 효과를 갖는다

3) 모든 발전소로부터 부하점에서의 증분 발전비용이 균등하게 된다는 것을 의미한다.

6. 계산

$$\frac{dF_1}{dP_{G1}} = 2 + 0.04 \times 149.7MW = 7.988 [1000\text{원}/MWh]$$

$$\frac{dF_2}{dP_{G2}} = 3 + 0.03 \times 167.7MW = 8.031 [1000\text{원}/MWh]$$

$$L_2 = \frac{1}{(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_2})} \text{에서 } \frac{\partial P_L}{\partial P_2} = 0.1078MW \text{이므로 } L_2 \doteq \frac{1}{(1 - 0.1078)} = 1.1208$$

$$\lambda = L_1 \frac{dF_1}{dP_1} = L_2 \frac{dF_2}{dP_2} \text{에서 } L_1 = L_2 \frac{dF_2}{dP_{G2}} \times \frac{1}{\frac{dF_1}{dP_{G1}}} = \frac{1.1208 \times 8.031}{7.988} \doteq 1.1268$$

그러므로 발전기 1의 페널티 계수 $L_1 \doteq 1.1268$ 이 된다.

1-10. 변압기의 효율은 철손과 동손이 같아지는 부하일 때 최고 효율로 된다는 것을 증명하시오.

답)

1. 조건

부하가 P_1 [kW], 변압기 정격용량을 P [KVA], 전부하 동손을 W_c [kW],

철손은 W_i [kW]라 하면 P_1 [kW]에서의 동손 = $W_c \left(\frac{P_1}{P} \right)^2$ 가 된다.

2. 부하와 변압기 용량과의 비 a

$a = \frac{P_1}{P}$ 이고, $P_1 = aP$ 가 된다.

3. 규약 효율 η

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + W_i + W_c \left(\frac{P_1}{P} \right)^2} = \frac{aP}{aP + W_i + a^2 W_c} = \frac{P}{P + \frac{W_i}{a} + a W_c}$$

식에서 P 는 일정하므로 η 를 최대로 하기 위해서는 $\frac{W_i}{a} + a W_c$ 가 최소가 되면 된다.

4. 최고효율 조건

$$\frac{d}{da} \left(\frac{W_i}{a} + a W_c \right) = -\frac{1}{a^2} W_i + W_c = 0 \quad W_i = a^2 W_c = \left(\frac{P_1}{P} \right)^2 W_c$$

즉, 철손이 P_1 부하에서의 동손과 같아질 때 최고효율이 된다.

1-11. 송전선로의 선간전압을 2배로 높였을 경우 동일전선, 동일전력, 동일손실 하에서의 송전 거리는 어떻게 되는지 설명하시오.

답)

1. 전력 P_r

1) 송전전압을 2배로 하기 전 전력

$$P_r = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos\theta \quad \text{전류 } I_1 = \frac{P_r}{\sqrt{3} V_1 \cos\theta}$$

2) 송전전압을 2배로 승압한 후 전력($V_2 = 2 V_1$)

$$P_r = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos\theta \quad \text{전류 } I_2 = \frac{P_r}{\sqrt{3} V_2 \cos\theta}$$

3) 전류비 $\frac{I_1}{I_2}$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{2V_1}{V_1} = 2$$

2. 손실전력 P_ℓ 및 전선거리

1) 송전전압을 2배로 하기 전 손실전력

$$P_\ell = 3I_1^2 R_1 = 3I_1^2 \rho \frac{\ell_1}{A}, \text{ 여기서 } R = \rho \frac{\ell}{A}$$

ρ : 고유저항률, A : 전선의 단면적, ℓ_1 : 승압 전 전선의 길이, ℓ_2 : 승압 후 전선의 길이
동일 전선이므로 단면적은 같다.

2) 송전전압을 2배로 승압한 후 손실전력

$$P_\ell = 3I_2^2 R_2 = 3I_2^2 \rho \frac{\ell_2}{A}$$

3) 송전거리 비

$$\frac{\ell_1}{\ell_2} = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2, \ell_2 = 4\ell_1, \therefore \frac{I_1}{I_2} = 2$$

4) 전압을 2배로 승압하면 송전선로의 송전거리는 4배로 늘어난다.

1-12. 다음의 보호계전 관련 용어에 대하여 설명하시오.

1) 오차 2) 정동작 3) 정부동작 4) 오동작 5) 오부동작 6) 페일 세이프(Fail Safe)

답)

1. 오차

정상값에서 벗어난 정도를 말한다.

벗어난 정도가 정상범위 안이면 문제가 없으나 정상범위 밖이면 보호계전기가 오동작하거나 오부동작 한다.

2. 정동작

계전기 동작해야 할 때 동작하는 것

3. 정부동작

계전기 동작하지 말아야 할 때 동작하지 않는 것

4. 오동작

계전기 동작하지 말아야 할 때 동작하는 것

5. 오부동작

계전기 동작해야 할 때 동작하지 않는 것으로 사고가 차단되지 않으므로 사고가 파급되어 계통에 미치는 나쁜 영향(안정도 등)이 커진다.

6. 페일 세이프(Fail Safe)

1) 보호계전기의 동작신뢰도를 향상시키기 위하여 주요소를 포함한 2개 이상의 요소가 동작하면 Trip신호가 발생되도록 하는 것을 페일 세이프라 한다.

2) 이것을 구현하는 방법은

(1) 주요소와 별도의 고장검출 요소 사용

(2) 주요소 2개를 직렬로 사용

(3) 주요소 3개중 2개 이상이 동작하면 출력을 내는 방법(2 out of 3)등이 있다.

1-13. 소호환(Arcing Ring) 또는 소호각(Arcing Horn)을 설치하는 이유를 설명하시오.

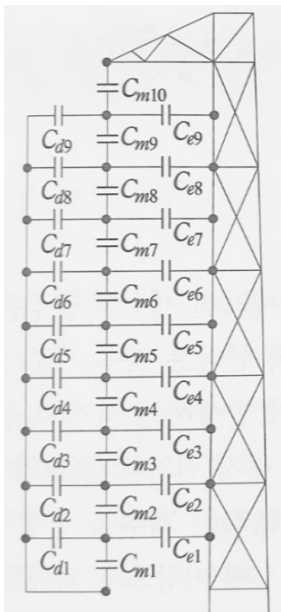
답)

1. 소호환(Arcing Ring) 또는 소호각(Arcing Horn)을 설치하는 이유

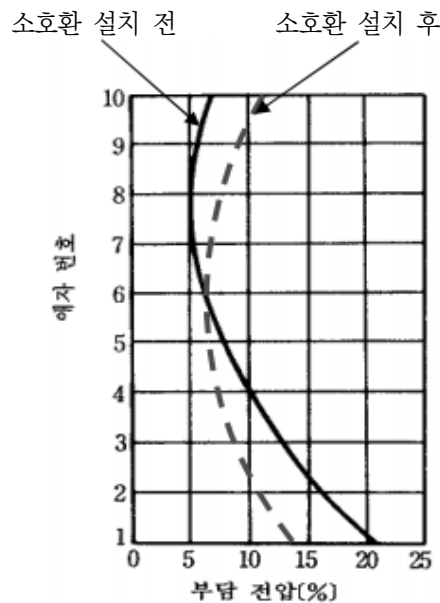
1) 애자의 전압분포를 균등이 하기 위해 설치한다.

연능률을 1로 하는 방법으로 철탑에 대한 $C(C_e)$ 와 선로에 대한 $C(C_d)$ 를 같게 하여 서로 상쇄시키는 방법으로 소호환, 소호각이 사용된다.

(1) 애자련의 전압분포



〈 애자련의 등가회로 〉



〈 애자련의 전압분포 〉

(2) 애자련의 등가회로에서 보듯이 소호환을 붙이면 전선에 대한 정전용량 C_d 가 늘어나서 전압분포가 개선된다.

$C_d = \frac{\epsilon S}{d}$ 에서 d 값이 감소하여 C_d 값이 증대된다.

(3) 소호환 설치 전 전압 분담비 → 1번 : 8번 = 21% : 5%

(4) 소호환 설치 후 전압 분담비 → 1번 : 8번 = 13% : 8%

2) 이상전압 내습 시 애자를 보호한다.

- (1) 외부 이상전압에 대하여 애자는 반드시 섬락하여야 한다.
- (2) 애자가 섬락함으로서 이상전압의 전파를 방지하고 사고를 최소화 할 수 있다.
- (3) 보통 송전선로에는 선로용 피뢰기가 설치되어 있어 이상전압을 제거하지만 피뢰기가 동작하지 않을 때는 애자가 섬락하여야 한다.
- (4) 애자가 섬락한다는 의미는 애자가 도통된다는 의미로 애자의 절연이 파괴되어 절연체의 역할을 하지 못한다는 것을 의미한다. 곧 대지와 접촉된 상태 지락사고가 된다.
- (5) 이로부터 애자를 보호하기 위하여 설치하는 것이 소호환, 소호각이다.
- (6) 외부 이상전압(낙뢰)이 내습하면 초호환 또는 초호각 사이에서 아크가 직접 연결되어서 애자의 자기부에는 아무런 손상을 입히지 않아 애자를 보호하고 있다.

제 2교시 문제풀이

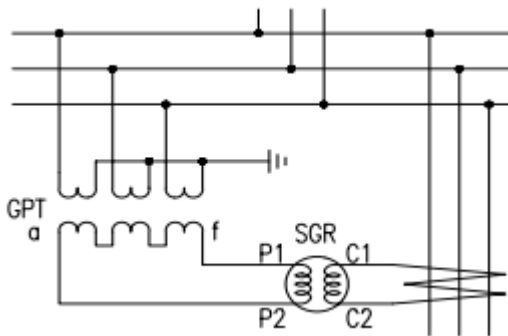
2-1. 직접접지계통, 고저항 접지계통, 비접지계통에서의 지락과전류계전기 결선 방법에 대하여 각각 설명하시오.

답)

1. 비접지 계통에서 지락 과전류 계전기 결선방법

비접지 계통은 지락전류 값이 매우 작아서 검출에 어려움이 있고 고장전류의 귀로에 어려움이 있으므로 GPT 설비와 ZCT를 조합하고 SGR 또는 DGR을 이용하여 지락고장을 보호하고 있다.

1) 결선도



〈 비접지 계통의 지락보호 〉

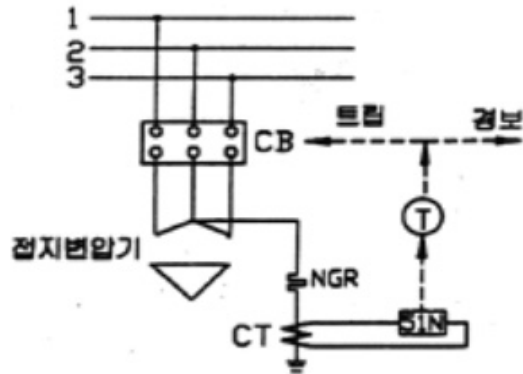
- 2) 비접지 계통에서는 지락 사고 시 GPT를 이용하여 영상전압을 검출하고 ZCT로 영상전류 (지락전류)를 검출하여 방향선택 지락계전기(SGR 또는 DGR)를 설치하여 보호한다.
- 3) 분기회로와 후비보호 협조를 위해 시간지연 요소로써 지락 과전압계전기(OVGR)를 주회로에 사용한다.
- 4) 계통의 케이블 충전전류가 충분하게 흐르는 경우, 고압전동기 기동반 또는 말단 분기회로에 지락계전기 (GR)를 사용하면, 고속 선택차단을 시킬 수가 있고 GPT 설치개소를 최소화하여 영상전압 감도를 향상시킬 수도 있다.
- 5) SGR 또는 DGR은 GPT에서 영상전압과 ZCT에서 영상전류를 공급받아서 그 위상차에 의해서 동작 되는 원리의 방향성 보호계전기이므로 결선이 잘못되어 극성이 바뀌면 오동작을 하게 되므로 결선에 주의하여야 한다.

2. 저항접지 방식의 지락과전류 계전기 결선방식

1) 지락보호

- (1) 지락사고 발생시 중성점으로 흐르는 고장전류를 검출한다.
- (2) 지락과전류 계전기가 동작하여 차단기가 전로를 차단한다.

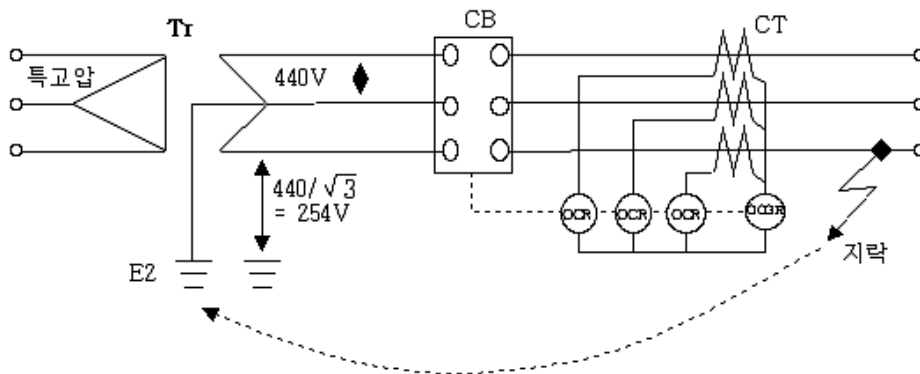
2) 결선도



〈 저항접지 지락보호 〉

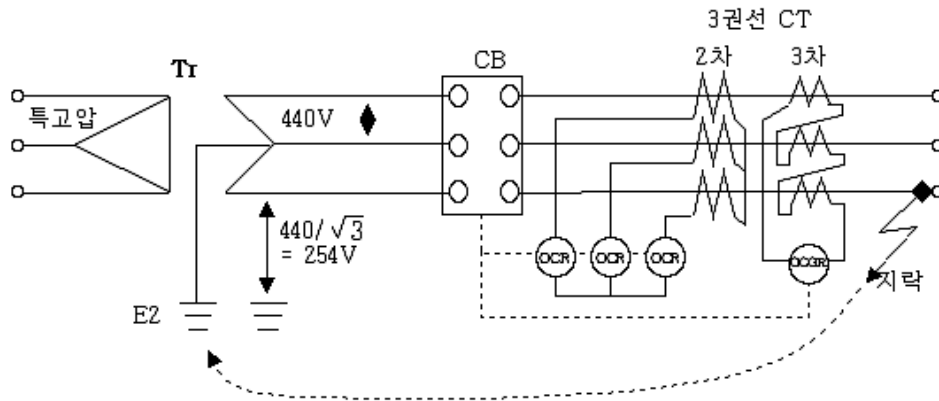
3. 직접접지 계통 지락과전류 계전기 결선방법

1) Y결선 잔류회로에 의한 OCGR결선



CT Y결선의 잔류회로를 이용 지락전류를 검출하는 방식으로 CT비가 400/5 이하인 비교적 시설 용량이 작은 설비에 적용한다.

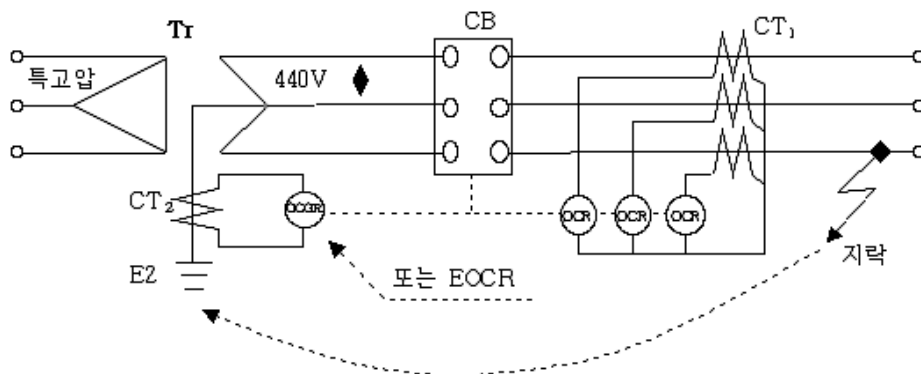
2) 3권선 영상 분로 회로에 의한 OCGR결선



(1) 3권선 CT를 이용하는 방식으로 2차 권선은 Y결선하여 OCR을 접속하고 3차 권선은 영상분로 접속하여 지락전류를 검출하는 방식이다.

(2) CT 오결선 시 OCGR 오동작 우려가 있다.

3) 접지선 CT에 의한 OCGR결선



(1) CT1은 과부하, 단락보호용으로 하고 CT2는 지락보호용으로 한다.

(2) CT2의 변류비는 OCGR의 Tap 범위를 고려하여 100/5를 사용한다.

2-2. 전력설비 충전부에서의 Arc Flash 분석 및 평가절차, 경감대책에 대하여 각각 설명하시오.

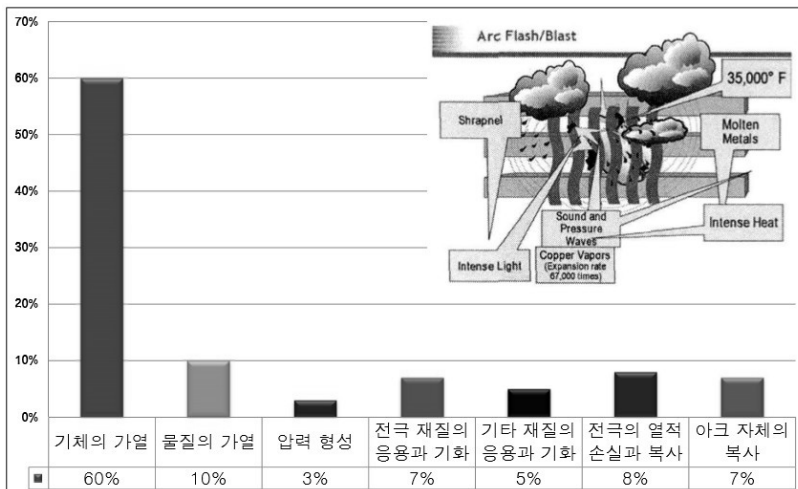
답)

1. Arc Flash 위험분석 필요성

- 1) Arc Flash 사고로 인한 전력설비 및 작업자에 심각한 영향을 초래
- 2) Arc Flash 위험으로 부터 작업자 보호를 위한 적용기준 개선 필요
- 3) 고객의 요구

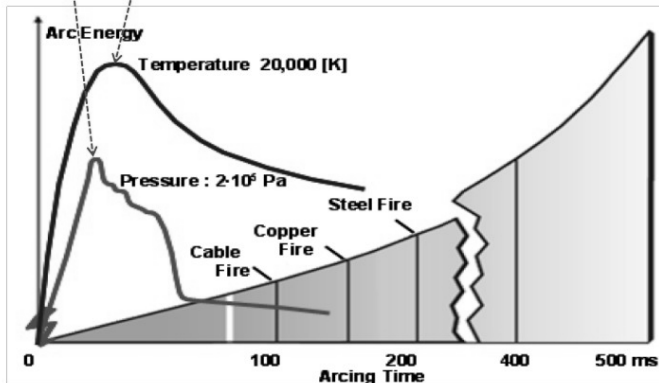
2. Arc Flash의 정의

- 1) Arc Flash는 공기를 통해 전파되는 고온의 플라즈마
- 2) 전력설비 상간도체가 공기 중에서 단락 또는 이온화로 전기적 폭발
- 3) Arc 중심부 온도는 $35,000^{\circ}F$ (약 $20,000^{\circ}C$)로서 매우 높은 열 방출
- 4) Arc Flash는 단위면적당 칼로리(cal/cm²)인 열에너지로 표시
- 5) Arc Flash의 구성요소



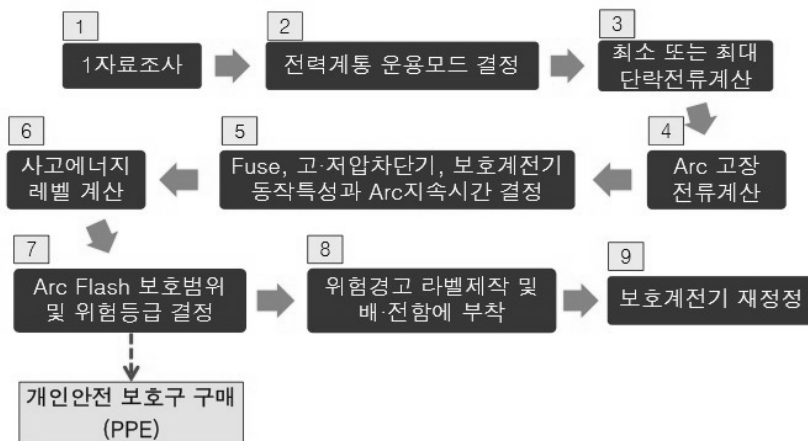
6) 시간에 따른 Arc Energy의 피해

▶ Arc 의 압력 및 온도는 Arc 발생 후 약10~15ms에 최대값



3. Arc Flash 위험도 분석 및 평가절차

1) Block Diagram



2) 각 항목별 세부 분석내용

(1) 자료조사

- ① Utility Data, Transformer Data, Capacitor Data, MV Motor Capacity 수집사례(전동기 용량은 37kW 이상만 적용)
- ② 계통접지방식 조사(고저항 접지방식은 비접지로 취급)
- ③ Latest Single Line Diagram

(2) 전력계통 운전모드 결정 : 각종 차단기의 투입/ 개방여부, 1회선/2회선 수전여부, Bus-tie 차단기의 투입, 개방 등

(3) 단락전류 계산

- ① I_{bf} (Bolted Fault current) : 대칭분 3상 단락전류 계산
- ② 계통 운용모드에 따른 최소 단락전류와 최대 단락전류를 구분하여 계산한다.

(4) Arc 고장전류 계산

- ① 계산모델을 정하여 계산함.
- ② 고장지점의 Arc Impedance 때문에 3상단락전류보다 낮게 계산된다.
- ③ 3상 단락전류의 70%로 감소하는 Arc 고장전류에서 사고에너지는 가장 크게 변화
- ④ Arc 고장전류를 계산한 후 계산값의 85%를 사고에너지 산출에 사용
(보호기기 반한시 특성에 의해 사고전류가 작으면 동작시간이 지연되어 사고에너지 크기가 증가하기 때문임.)

⑤ Arc 고장전류 계산

- 1,000V 이하 시스템

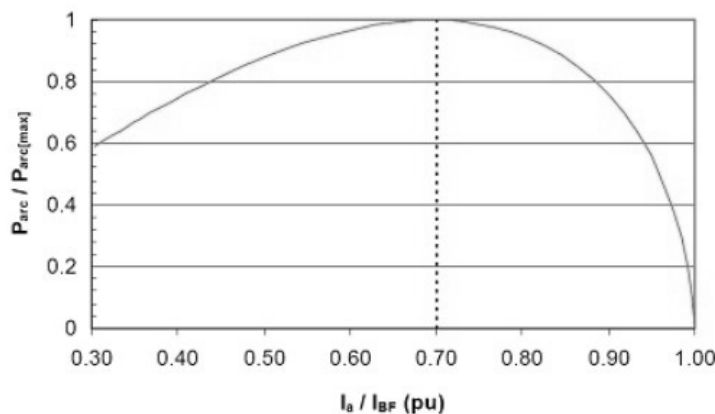
$$\log I_a = K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.558 V (\log I_{bf}) - 0.00304 G (\log I_{bf})$$

여기서, I_a : 아크 고장전류, K : open 형태(-0.153), box 형태(-0.097)

I_{bf} : 대칭 3상 단락전류[kA], V : 계통전압[kV], G : 도체사이의 간격

- 1,000V 이상 시스템

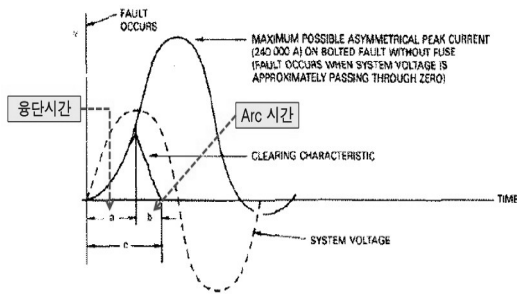
$$\log I_a = 0.00402 + 0.983 \log I_{bf}$$



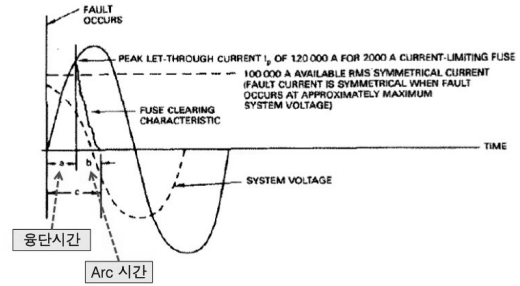
(그림, Arc 고장전류 변화에 따른 사고에너지 변화 특성)

(5) 보호기기 동작시간과 Arc 지속시간

- ① 과부하, 단락사고 발생시 전력기기를 보호 : 과전류 보호계전기, Fuse, 차단기
- ② 보호계전기, Fuse, 차단기 상호간 보호협조를 통해 고장지점 선택 차단 및 Arc Flash 위험으로부터 작업자를 보호할 수 있어야 함.
- ③ Fuse 차단 특성
평균 용단시간은 알고 아킹 제거시간은 모를 때
 - 평균 용단시간 0.03초 이하 +15[%]
 - 평균 용단시간 0.03초 초과 +10[%] 아킹시간을 더해서 아킹 지속시간을 구한다.



(그림, 전류 영점일 때 단락전류 제한)



(그림, 전압 최대일 때 단락전류 제한)

④ 저압 차단기

- 고장 제거시간은 아크시간까지 포함되어 있으므로 이를 감안

⑤ 보호계전기

- TCC곡선과 차단기 표준 동작시간을 감안할

(표, 차단기 동작시간)

구 분	정격 차단시간(cycles)	정격 차단시간(초)
저압 MCCB	1.5	0.025
저압 차단기	3.0	0.050
1~35kV 차단기	5.0	0.080
>35kV 차단기	8.0	0.130

(6) BUS 간격

구 분	부스 간격(mm)
15kV switchgear	152
5kV switchgear	104
저압 switchgear	32
저압 MCC and panel boards	25
cable	13
기타	적용하지 않음

(7) 작업거리(접근거리)

- ① 고장지점과 작업자의 안면, 가슴부분과의 거리
- ② 최소안전 작업거리

구 분	작업 거리(mm)
15kV switchgear	910
5kV switchgear	910
저압 switchgear	610
저압 MCC and panel boards	455
cable	455
기타	현장 조건 적용

(8) Arc Flash 사고에너지 계산

- ① 아크 지속시간 0.2초, 작업거리 610[mm]를 기본 조건으로 계산

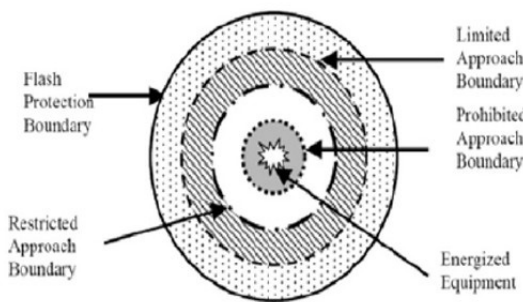
$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \log I_a + 0.0011 G [J/cm^2]$$

여기서, K_1 ; 개방형태(-0.0792), 박스형태(-0.555)

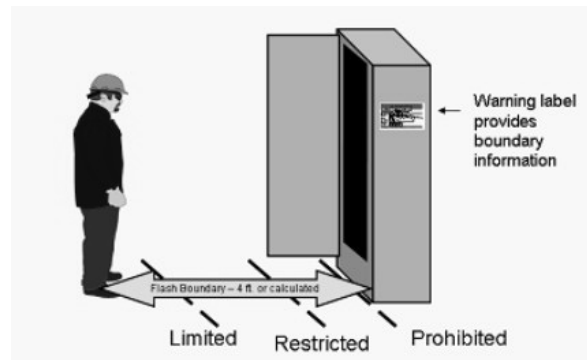
K_2 ; 직접접지(-0.113), 비접지, 고저항 접지(0)

(9) Arc Flash 보호범위 계산

- ① Arc Flash 보호범위는 고장지점으로부터 작업자의 피부에 떨어지는 아킹전류를 사고에너지로 계산했을 때 판단할 수 있는 보호거리이고, 치료가 가능한 2도 화상을 일으키기 직전의 보호에 해당됨.
- ② 노출된 충전부위로 부터 전격(Electrical shock)을 보호하기 위해 접근제한, 접근한계, 접근금지 로 정하고 있으며, 충전부 제한 접근거리를 규정하고 있다.



(그림, Arc Flash 보호범위)



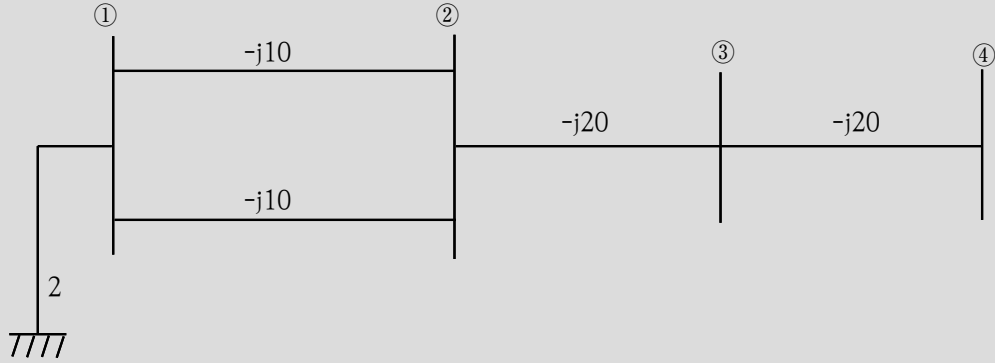
(그림, 노출된 충전부 접근 제한거리)

4. 경감대책

- 1) Arc-Flash 사고에 대한 가장 확실한 대책은 당연히지만 사고를 미연에 예방하는 것으로 지속적인 예방정비와 더불어 가압된 상태에서의 작업금지 등이 이에 대한 대책이 될 수 있다. 하지만 현실적으로는 충전선로에서의 작업은 피할 수 없으므로 이에 대한 대책이 필요하다.
- 2) Arc-Flash 위험도를 낮게 하는 방법 중 하나는 Arc 사고의 크기와 제거시간을 줄이는 것으로 Arc 사고의 크기를 줄이기 위해서는 한류형 퓨즈나 차단기를 사용하고, 가능한 단락전류를 제한하는 방법이 있고, 제거시간을 줄이기 위해서는 보호기기의 동작시간을 줄이는 방법

- 3) 저압계통의 주 차단기는 후비차단기와의 보호협조를 위해 순시차단기능을 사용하지 않고 있는데 만약 순시 차단기능을 사용한다면 보호기기의 동작시간과 위험도를 크게 줄일 수 있다.
- 4) 배전반 점검 시 점검모드로 최소값에 정정된 순시차단기능을 자동으로 사용할 수 있고, 점검이 완료 후 정정 값들이 자동으로 회복된다면 아주 효과적이며 이러한 제품이 상용화되고 있다.
- 5) 지멘스사의 다이내믹 Arc-Flash 감지기는 안전정격감지 장치와 함께 사용되는 경우, 작업자가 전압이 가해진 기기에 일정한 거리 이내로 접근하면 자동 감지하여 Arc-Flash 에너지를 감소시키기 위해 차단기의 트립 시간을 자동으로 감소시킨다. 즉, Arc-Flash 보호 범위로 알려진 이 거리는 주배전반으로부터 약 3 내지 6피트의 범위이다.
- 6) 최소값에 정정된 순시차단 기능을 자동으로 사용하는 외에 Arc-Flash 광센서를 이용하여 차단기를 2 사이클 이내에 차단하는 차단기도 출시되고 있다.
- 7) Arc-Flash 광센서는 과전류와 Arc 시 발생하는 빛을 감지하여 트립 신호를 내므로 단순히 빛에 의해 오동작하는 것을 방지하고 있다. 또한, 가압되어 있는 상태에서 작업 시에는 반드시 적정 도구를 이용하여 위험도 등급을 분석하고 OSHA, ASTM규정 또는 한국산업안전보건공단 기술지침에 부합하는 개인보호장구(PPE)를 사용하여야 한다.

2-3. 그림과 같은 4모선 계통의 Y_{BUS} 행렬을 구하고, 중간에 있는 모선 ③을 소거하였을 때의 축약된 등가 Y_{BUS}^{eq} 를 구하시오.(단, 그림의 숫자는 단위법으로 나타낸 어드미턴스 값이다.)



답)

1. Kron의 행렬 축약 공식

1) 개념도

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

〈 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 되어 한다.

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

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

$$\begin{aligned}
 I_a &= Y_{aa} V_a + Y_{ab} (-Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t V_a) = Y_{aa} V_a - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t V_a \\
 &= [Y_{aa} - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t] V_a
 \end{aligned}$$

(5) n 에서 $n-m$ 으로 축약된 등가 Y_{BUS}^{eq}

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

2. Y_{BUS} 행렬 계산

1) 1번 모선의 자기 어드미턴스 Y_{11}

Y_{11} 은 1번 모선에 연결되어있는 모든 어드미턴스의 합이므로

$$Y_{11} = 2 + (-j10) + (-j10) = 2 - j20$$

2) 1번 모선과 2번 모선 사이의 상호 어드미턴스 Y_{12}

Y_{12} 는 1번 모선과 2번 모선 사이의 가지 어드미턴스의 부호만 바꾸어주면 되므로

$$Y_{12} = -(-j10 - j10) = j20 = Y_{21}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = 0, \quad Y_{14} = Y_{41} = 0$$

3) 2번 모선의 자기 어드미턴스 Y_{22}

$$Y_{22} = -j10 - j10 - j20 = -j40$$

4) 2번과 3번 모선사이 상호 어드미턴스 Y_{23}

$$Y_{23} = Y_{32} = -(-j20) = j20, \quad Y_{24} = Y_{42} = 0$$

5) 3번 모선의 자기 어드미턴스 Y_{33}

$$Y_{33} = -j20 - j20 = -j40$$

6) 3번과 4번 모선사이 상호 어드미턴스 Y_{34}

$$Y_{34} = Y_{43} = -(-j20) = j20$$

7) 4번 모선의 자기 어드미턴스 Y_{44}

$$Y_{44} = -j20 = -j20$$

8) Y_{BUS} 행렬

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0, & 0 \\ j20, & -j40, & j20, & 0 \\ 0, & j20, & -j40, & j20 \\ 0, & 0 & j20, & -j20 \end{bmatrix}$$

3. 모선 ③을 소거하였을 때 등가 Y_{BUS}^{eq}

1) 모선 ③의 배치를 바꾸어서 행, 열 맨 끝으로 보내 ①, ②, ④, ③ 순으로 조정한다.

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0, & 0 \\ j20, & -j40, & 0, & j20 \\ 0, & 0, & -j20, & j20 \\ 0, & j20, & j20, & -j40 \end{bmatrix}$$

2) 각 분할 부분 행렬

$$Y_{aa} = \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0 \\ j20, & -j40, & 0 \\ 0, & 0, & -j20 \end{bmatrix},$$

$$Y_{ab} = \begin{bmatrix} 0 \\ j20 \\ j20 \end{bmatrix}, \quad Y_{ab}^t = Y_{ba} = [0, j20, j20], \quad Y_{bb} = [-j40], \quad Y_{bb}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 \\ -j40 \end{bmatrix}$$

3) Kron의 행렬 축약 공식을 적용하여 모선 ③을 소거한 Y_{BUS}^{eq}

$$\begin{aligned} Y_{BUS}^{eq} &= Y_{aa} - Y_{ab} Y_{bb}^{-1} Y_{ab}^t \\ &= \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0 \\ j20, & -j40, & 0 \\ 0, & 0, & -j20 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ j20 \\ j20 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ -j40 \end{bmatrix} \times [0, j20, j20] \\ &= \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0 \\ j20, & -j40, & 0 \\ 0, & 0, & -j20 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0, & 0, & 0 \\ 0, & -j10, & -j10 \\ 0, & -j10, & -j10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2-j20, & j20, & 0 \\ j20, & -j30, & j10 \\ 0, & j10, & -j10 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

2-4. 전력계통에 접속하여 운전 중인 대용량 발전원이 전력계통으로부터 갑자기 탈락하는 경우에 나타나는 현상과 발·변전기기에 미치는 영향 및 정전범위 축소를 위한 대책에 대하여 설명하시오.

답)

1. 개 요

- 1) 제작기술의 진보, 전원입지 확보의 어려움 등이 원인이 되어 대용량 발전설비 증가 추세
- 2) 대용량 발전설비 증가에 따른 경제성 등 여러 이점이 있으나 계통 운용상 발전설비 탈락 시 여러 장애의 요인이 된다.

2. 대용량 발전원이 전력계통으로부터 갑자기 탈락하는 경우에 나타나는 현상

1) 계통 주파수의 저하

- (1) 전원탈락에 따른 주파수 저하
- (2) 다른 전원의 부담 증가

$$\therefore \Delta f = - \frac{\Delta P_G}{K_g} [\text{Hz}]$$

2) 동기탈조의 위험

- (1) 동기기 운동방정식에 따라

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{W}{M}(P_i - P_n) [\text{rad/s}^2] \quad (\text{단, } P_i : \text{기계적 입력} \quad P_n : \text{발전기 전기적 출력})$$

- (2) $P_i - P_n$ 차 커져 안정도 저하하고 심할 경우 동기탈조 위험

3) 계통의 연계선 과부하

- (1) 전력조류의 급변동에 따른 특정 연계선 과부하

4) 전압 안정도 하락

- (1) 다른 동기기 부담 증가로 전압저하 발생
- (2) 수송능력의 저하에 따른 전압안정도 저하

2. 발·변전기기에 미치는 영향

- 1) 발전기 소내동력의 저하
- 2) 발전기 회전수 저하에 따른 과여자로 발전기 과열된다.
- 3) 회전기 회전수 저하로 제어설비 정밀동작 불가
- 4) 과부하에 의한 변압기 전압저하
- 5) 변전소 무효전력 공급설비의 투입
- 6) 발전기 위상각 안정도 저하, 및 변전소 전압안정도가 저하한다.

3. 정전범위 축소를 위한 대책

1) 예비력의 충분한 확보

- (1) 예비전력을 통한 주파수, 전압 저하 방지
- (2) 전력저장 장치를 통한 신속한 대응 system 구축

2) 계통의 연계 강화

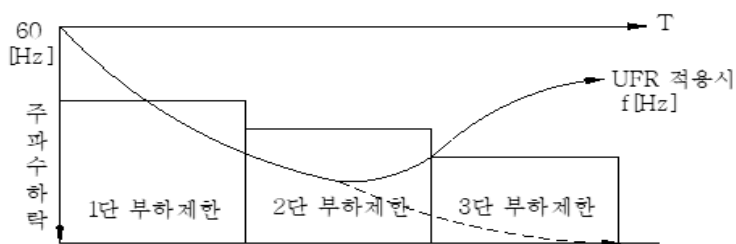
- (1) 운전 전력 확충 통한 계통 운용 신뢰 확보

3) 발전기 단위기 용량 감소, 수량 증대

- (1) 대용량 탈락 부담에 대해 단위기 용량 감소, 수량 증대로 전원의 구성변화로 부담경감

4) 부하 제한

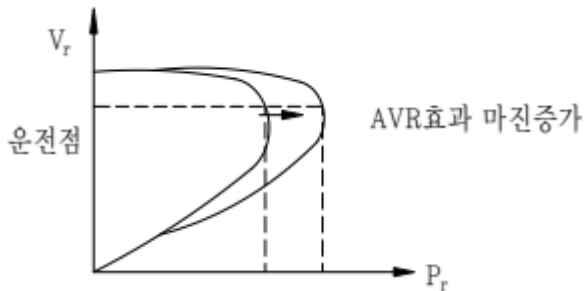
- (1) UFR 방식 채용 주파수 저하 방지



〈 순차적 제한 주파수 회복 〉

5) 속응여자 방식 채용

- (1) 사고시 출력저하 방지, 계통안정도 향상



6) 수도권에 집중된 발전설비 및 수요에 의해 발생하는 고장전류저감

- (1) 변전소 모선분리, 한류리액터 등 도입
 (2) 한류기는 고장전류는 저감할 수 있으나, 전압안정도뿐 아니라, 과도안정도 문제를 발생시키기 때문에 적절한 대안이 될 수 없는 문제가 있다.

7) BTB(Back to Back), HVDC 도입

- (1) 수도권에 고장전류 저감을 목적으로 BTB HVDC를 도입하는 것은 계통운영 측면에서 또 다른 문제를 야기할 수 있다.
 (2) 수도권 발전기의 운전 상황, 송전망의 운영 상황에 따라서 적절한 HVDC 조류를 결정하는 문제 뿐 아니라, 송전망에서 발생하는 사고에 대비하여 HVDC 운전전략을 수립하는 것은 지금까지 경험하지 못한 새로운 문제를 야기하며 이러한 기술적 난제를 해결하는 것은 고장전류해소 문제만큼이나 어렵다.

8) 송전망의 구조 변화에 의한 전력망의 안정화

- (1) 전체 환상망을 부분적으로 분리하는 것을 생각할 수 있으며, 이 방법은 현재 수도권에 154kV 망을 중심으로 부분적으로 적용하고 있다.

9) 전원의 분산화

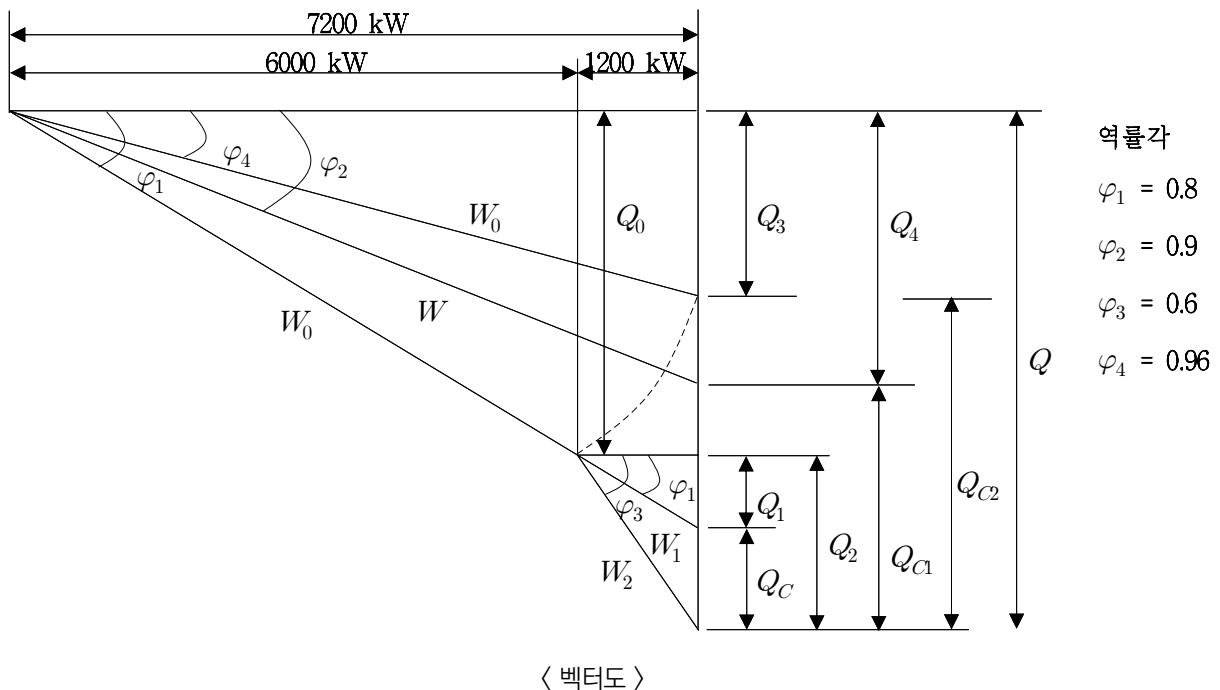
- (1) 대형발전기를 대체하여 소규모 분산전원을 도입하여 고장전류 감소
 (2) 고장전류가 큰 지역의 발전기를 소형 분산 전원화 함으로써 고장전류 문제 해소

2-5. 어느 변전소에서 지상역률 80%인 부하 6000kW에 전력을 공급하고 있었는데, 새로이 지상역률 60%의 부하가 1200kW 더 늘어나게 되어서 콘덴서를 설치하고자 한다. 아래의 경우에 대하여 콘덴서 용량(kvar)을 구하시오.

- 1) 부하 증가 후 역률을 80%로 유지할 경우
- 2) 부하 증가 후 변전소의 용량(kVA)을 그대로 유지하고자 할 경우
- 3) 부하 증가 후 역률을 90%로 유지할 경우

답)

1. 벡터도



2. 부하 증가 후 역률을 80%로 유지할 경우

$$1) W_2 = \frac{P_1}{\phi_3} = \frac{1200}{0.6} = 2000 \text{ [kVar]}$$

$$2) Q_2 = \sqrt{2000^2 - 1200^2} = 1600 \text{ [kVar]}$$

$$3) W_1 = \frac{P_1}{\phi_2} = \frac{1200}{0.8} = 1500 \text{ [kVar]}$$

$$4) Q_1 = \sqrt{1500^2 - 1200^2} = 900 \text{ [kVar]}$$

5) 부하 증가 후 역률을 80%로 유지할 Q_C

$$Q_C = Q_2 - Q_1 = 1600 - 900 = 700 \text{ [kVar]}$$

3. 부하 증가 후 변전소의 용량(kVA)을 그대로 유지하고자 할 경우

$$1) W_0 = \frac{P_0}{\phi_1} = \frac{6000}{0.8} = 7500 \text{ [kVar]}$$

$$2) Q_0 = \sqrt{7500^2 - 6000^2} = 4500 \text{ [kVar]}$$

$$3) Q = Q_0 + Q_2 = 4500 + 1600 = 6100 \text{ [kVar]}$$

$$4) Q_3 = \sqrt{7500^2 - 7200^2} = 2100 \text{ [kVar]}$$

5) 부하 증가 후 변전소의 용량(kVA)을 그대로 유지할 콘덴서 용량 Q_{C2}

$$Q_{C2} = Q - Q_3 = 6100 - 2100 = 4000 \text{ [kVar]}$$

4. 부하 증가 후 역률을 90%로 유지할 경우

$$1) W = \frac{P}{\phi_2} = \frac{7200}{0.9} = 8000 \text{ [kVar]}$$

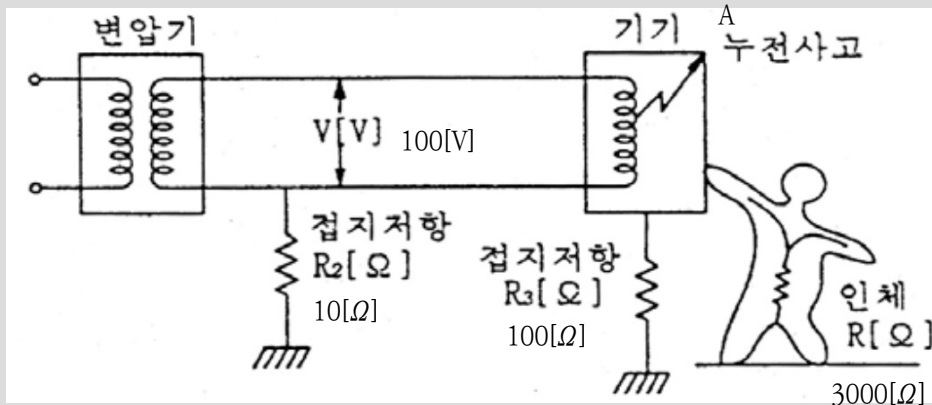
$$2) Q_4 = \sqrt{8000^2 - 7200^2} = 3487 \text{ [kVar]}$$

3) 부하 증가 후 역률을 90%로 유지할 콘덴서 용량 Q_{C1}

$$Q_{C1} = Q - Q_4 = 6100 - 3487 = 2613 \text{ [kVar]}$$

2-6. 아래 그림과 같은 계통에서 기기의 A점에서 완전지락이 발생하였을 경우

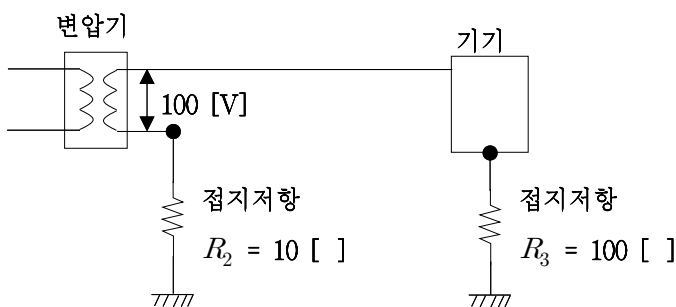
- 1) 이 기기의 외함에 인체가 접촉하고 있지 않을 경우 이 외함의 대지 전압은 몇 V로 되는지 구하시오.
- 2) 이 기기의 외함에 인체가 접촉하였을 경우 인체에는 몇 mA의 전류가 흐르는지 구하시오.
- 3) 인체 접촉 시 인체에 흐르는 전류를 10mA 이하로 하려면 기기의 외함에 시공된 접지 공사의 접지저항 $R_3[\Omega]$ 의 값을 얼마의 것으로 바꾸어 주어야 하는지 구하시오.



답)

1. 인체가 접촉하고 있지 않을 경우 외함의 대지 전압 V

1) 등가회로



〈 등가회로 〉

2) 대지전압 계산

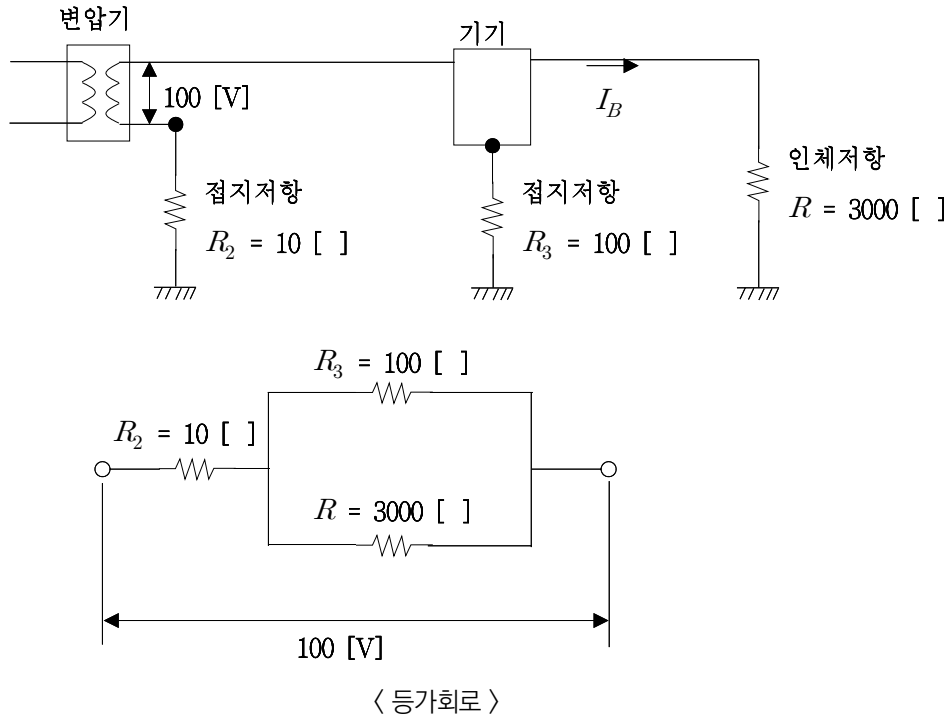
R_2 와 R_3 는 대지를 통하여 직렬회로가 되고 단상전원 100 [V]를 가한 것과 같다.

기기에 걸리는 전압은 R_3 에 걸리는 전압과 같으므로

$$V_{R3} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times V = \frac{100}{10 + 100} \times 100 \approx 90.91 \text{ [V]}$$

2. 외함에 인체가 접촉하였을 경우 인체에 흐르는 전류

1) 등가회로



2) 전체 저항 R_t

$$R_t = R_2 + \frac{R_3 \times R}{R_3 + R} = 10 + \frac{100 \times 3000}{100 + 3000} \approx 106.77 [\Omega]$$

3) 총전류 I_t

$$I_t = \frac{V}{R_t} = \frac{100}{106.77} \approx 936.59 [\text{mA}]$$

4) 인체에 흐르는 전류 I_B

$$I_B = \frac{R_3}{R_3 + R} \times I_t = \frac{100}{3000 + 100} \times 936.59 \approx 30.21 [\text{mA}]$$

3. 인체에 흐르는 전류를 10mA 이하로 하려할 때 접지저항 $R_3[\Omega]$ 의 값

1) 인체에 걸리는 전압 V_R

인체에 흐르는 전류 I_R 이 0.01[A] 이면 인체에 걸리는 전압 V_R

$$V_R = I_R \times R = 0.01 \times 3000 = 30 [\text{V}] \text{가 된다.}$$

2) R_2 에 걸리는 전압 V_{R2}

$$V_{R2} = V - V_R = 100 - 30 = 70 \text{ [V]}$$

3) R_2 에 흐르는 전류 I_t

$$I_t = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{70}{10} = 7 \text{ [A]}$$

4) R_3 에 흐르는 전류 I_{R3}

$$I_{R3} = I_t - I_R = 7 - 0.01 = 6.99 \text{ [A]}$$

5) I_R 이 10mA 이하로 하려할 때 접지저항 R_3 [Ω]의 값

$$R_3 = \frac{V_{R3}}{I_{R3}} = \frac{V_R}{I_{R3}} = \frac{30}{6.99} \approx 4.29[\Omega]$$

제 3교시 문제풀이

3-1. 발전기의 고정자 권선과 회전자 권선의 과부하 보호 방법에 대하여 각각 설명하시오.

답)

1. 개요

1) 발전기의 사고는 절연열화의 진전 등에 의한 내부적인 요인과 돌발적인 외부요인에 의해 발생하며 이들 사고의 검출은 주로 전기적 변화를 통해 검출한다.

2) 사고별 대응조치

항목	내용
비상정지(86-1)	전기적인 사고로 발전기의 급정지
급정지(86-2)	기계적인 사고로 원동기 입력 서서히 감소 후 정지
무부하 및 무여자(86-3)	외부 사고로서 발전기의 보호
경보(86-4)	경미한 사고로 운전원의 진단으로 조치

2. 발전기 권선 과부하의 원인

1) 과부하 운전

2) 사고 및 냉각계통의 고장

3. 고정자 권선의 과부하 보호

1) 과전류계전기(51)

(1) 발전기의 과부하 또는 외부 단락사고에 의해 발전기의 과전류 보호를 위한 것

(2) 기능

- ① 발전기에 과전류가 흐를 경우 동작하여 발전기 전기자권선의 소손을 방지함
- ② 사고 점에 고장 전류공급을 방지한다.

2) 전압억제부 OCR (51VG)

(1) 동작 시간을 발전기가 연결된 송전계통의 보호 방식과 충분히 협조해야 하므로 적용

(2) 기능

① 단락 사고가 발생할 경우 전압이 저하되는 원리를 이용하여 사고를 검출한다.

② 모선, 송전 선로(T/L)등 외부 단락 사고의 제거가 지연될 경우 동작하여 단락 사고의 후비 보호 및 과부하사고를 보호한다.

3) 발전기 비율 차동계전기(87): 후비 보호

- 발전기 내부 사고 확대를 방지한다.

4) 거리계전기

-Off set Mho형 거리계전기 적용하여 후비보호를 실시한다.

4. 회전자 권선의 과부하 보호

1) VF 계전기를 통한 보호 (24)

(1) 원인

① 철심포화 및 누설자속에 의한 와류손이 증가하여 철심을 과열된다.

② 발전기의 유기기전력 $E = 4.44Kf\phi N$ 이므로 $\phi = \frac{E}{f}$ (주파수 f 일정하면) E 증가 자속 ϕ 증가 하여 과열된다.

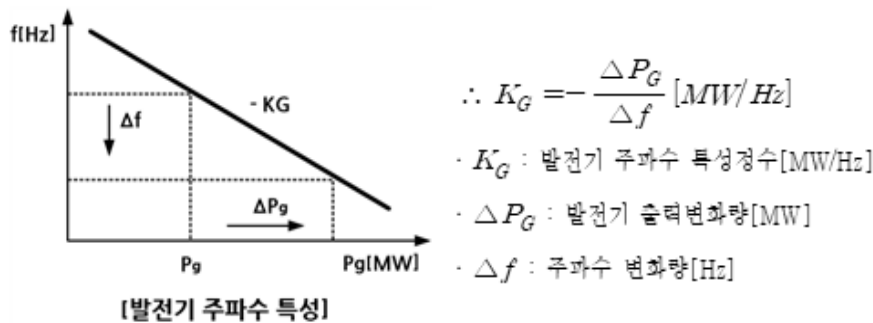
3-2. 전력계통에 주파수 변동은 전력의 변동과 밀접한 관계가 있다. 발전기 출력 부하전력의 주파수 특성과 주파수 추종운전(Governor Free)에 대하여 설명하시오.

답)

1. 발전기 출력 부하전력의 주파수 특성의 의미

1) 발전 전력 주파수 특성

- (1) 전력계통 부하의 증감에 따라 주파수가 상승하면 발전기 출력은 감소하고 주파수가 감소하면 발전기 출력이 증가시켜 주파수 변동을 억제하는 특성

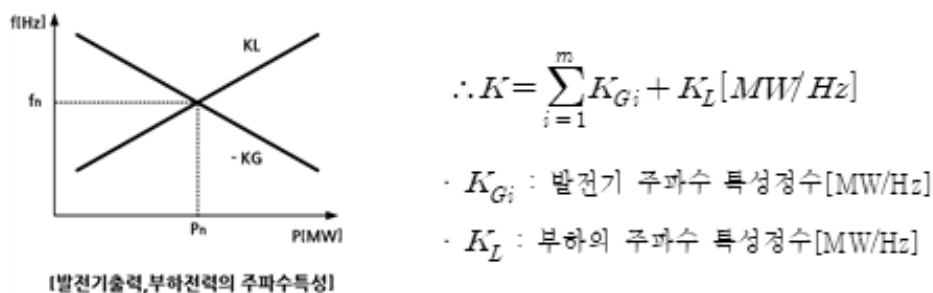


(2) 특징

- ① 조속기의 동작에 의해 발전기 출력의 변화가 발생한다.
- ② 조속기 운전하는 발전기 대수가 많을수록 K_G 는 증가한다. ($K_G \propto P_n$)

2) 부하의 자기제어성 (부하의 주파수 특성)

- (1) 전력계통 주파수가 상승하면 부하 측에서 전동기의 회전수를 증가해 소비전력을 증가하고 주파수가 감소하면 전동기의 회전수를 감소해 소비전력을 감소시켜 주파수 변동을 억제하는 특성

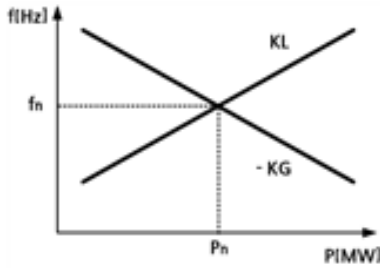


(2) 특성

- ① 전동기의 회전수 변화로 부하 소비전력이 변동되는 부하의 자기제어 특성이다.
- ② 계통 내 회전기 부하가 많으면 K_L 증가한다.

3) 정특성 (계통 특성 정수)

- (1) 전력계통의 주파수가 변동했을 경우 발전력의 주파수특성(K_G)과 부하의 주파수 특성(K_L) 일치점에서 주파수가 정해진다.
- (2) K_G 와 K_L 의 일치점을 주파수 특성정수(정특성) K 라하며, 주파수를 제어 시조정용량을 결정하는데 필요한 특성이다.



[발전기출력,부하전력의 주파수특성]

$$\therefore K = \sum_{i=1}^m K_{Gi} + K_L [MW/Hz]$$

· K_{Gi} : 발전기 주파수 특성정수[MW/Hz]

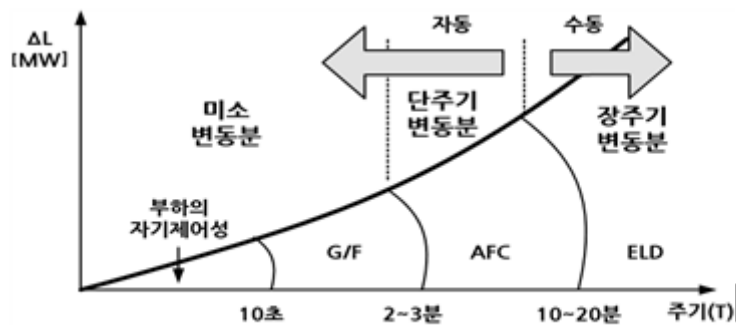
· K_L : 부하의 주파수 특성정수[MW/Hz]

3. 주파수 추종운전

1) 개념

- (1) 개별 발전기의 조속기(Governor)에 설정되어 있는 속도 조정율에 의해서 계통의 주파수 변동시 발전기의 출력이 변동되는 동작을 말한다.
- (2) 주파수 추종 응답 출력은 일반적으로 10초 이내에 발생하여 30초 이상을 유지하도록 전력시장운영 규칙에 명시되어 있다.

2) 부하변동의 제어분담

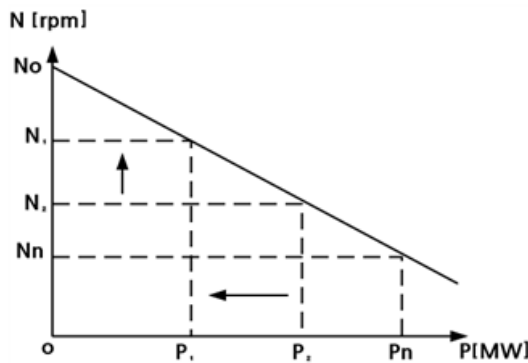


[부하변동의 분담 개요도]

변동 주기	설명
미소 변동성분	① 10초 이하로 조속기 불감대 ② 원동기의 회전력으로 흡수한다. (부하의자기제어성)
	① 10초~수분 (2~3분정도) ② 조속기 Free 운전에 의해 자동으로 조정된다.
단주기 변동성분	① 수분~10수분 (10~20분정도) ② AFC에 의해 발전기 출력을 자동으로 조정한다.
장주기 변동성분	① 10~20분 이상 ② 운전 예비력으로 발전기 출력을 수동으로 조정한다. ③ 경제 부하배분(ELD) 운전을 실시한다.

3) 속도조정률

(1) 속도 조정률 크기



P_2 : 부하 변화 전 발전기 출력 [MW]

P_1 : 부하 변화 후 발전기 출력 [MW]

N_2 : 부하 변화 전 회전수 [rpm]

N_1 : 부하 변화 후 회전수 [rpm]

P_n, N_n : 정격 출력 및 회전수

$$\text{속도조정률 } \delta = \frac{N_o - N_n}{N_n} \times 100[\%] = \frac{\frac{N_1 - N_2}{N_n}}{\frac{P_2 - P_1}{P_n}} \times 100$$

(2) 속도조정률 특징

- ① δ 가 작으면 부하변동에 따른 주파수 변동이 작다.
- ② δ 가 작으면 주파수변동에 대한 발전기 출력응답 커진다.
- ③ 발전기 병렬 운전 시 부하분담의 결정요소이다.

c) 주파수 조정용 발전소처럼 발전력 변동을 크게 해서 부하변동 시 분담을 많이 하는 발전소는 속도조정률을 작게 해야 한다.

(3) 전원별 속도 조정률

전원분류	속도 조정률
ESS 설비	2 [%]
수력 발전	3 ~ 4 [%]
화력 발전	4 ~ 5 [%]
원자력 발전	8 [%]

3-3. 전력계통에 연계되는 대규모 발전소의 절연협조(Insulation Coordination)에 대하여 설명하시오.

답)

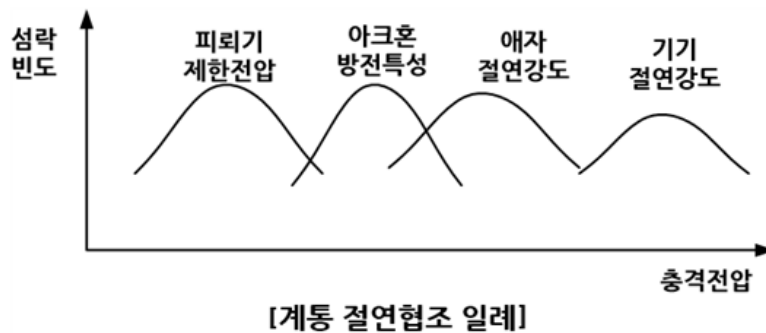
1. 개요

1) 절연협조의 의미

- 전력계통의 절연설계를 보다 합리적이고 경제적으로 하기위해 피뢰기 제한 전압을 기준으로 계통내의 각 기기, 기구 및 애자 등의 상호간에 적절한 절연 강도를 지니게 하는 것

2) 절연협조의 합리화 방안

- (1) 내부이상전압 : 기기자체의 내력으로 보호
- (2) 외부이상전압 : 피뢰장치로 기기절연을 안전하게 보호



2. 발전소의 절연 협조

1) 개념

- 발전소 절연협조의 뇌에 대한 완전한 차폐와 과전압 억제를 통해 기기를 보호하도록 설계하여야 한다.

2) 절연협조 방법

(1) 가공지선의 설치

- 구내 및 인근 근거리(1~2[km])의 송전선에 뇌 차폐용 가공지선을 설치한다.

(2) 피뢰기 설치

- ① 이상전압의 내습 시 신속한 방전을 통해 기기를 보호한다.
- ② 피 보호기기와 피뢰기 이격거리를 최소화하여 피뢰효과를 증대한다.

(3) 접지저항의 저감

- 접지저항 $10[\Omega]$ 이하로 억제하여 기기를 보호한다.

$$e_t = e_a + \frac{2S\ell}{V} [kV]$$

· ℓ : 피보호 기기와의 이격거리[m]

· e_a : 피뢰기 제한전압[kV]

· e_t : 변압기 단자전압[kV]

· S : 파두 준도[kV/ μs]

· V : 진행파 전파속도[m/ μs]

3-4. 발전기 가능출력곡선에 대해 설명하고 발전기의 운전한계를 결정하는 요인 중 열적제한 요인에 대하여 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 발전기가 계통의 요구출력으로 운전 중 발전기 각 부분의 열적 한계를 초과하지 않고 발전기가 연속해서 낼 수 있는 유효, 무효전력의 출력범위를 나타낸 곡선
- 2) 발전기 출력 결정 요인 : 온도, 냉각 방식, 여자기, 안정도 등에 의해 결정

2. 발전기 운전영역 및 근거식

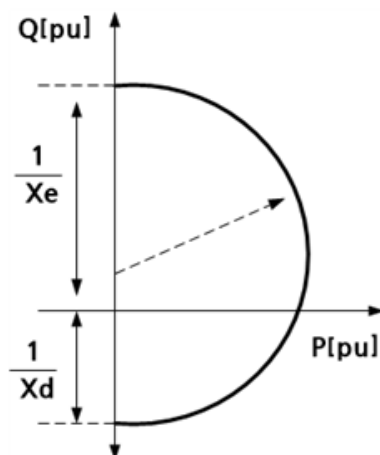
- 1) 정태안정도 한계식



[1기 무한대 모델계통]

$$P^2 + \left[Q - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_d} \right) V_t^2 \right]^2 = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_e} + \frac{1}{x_d} \right) V_t^2 \right]^2$$

- 2) 정태운전한계 곡선

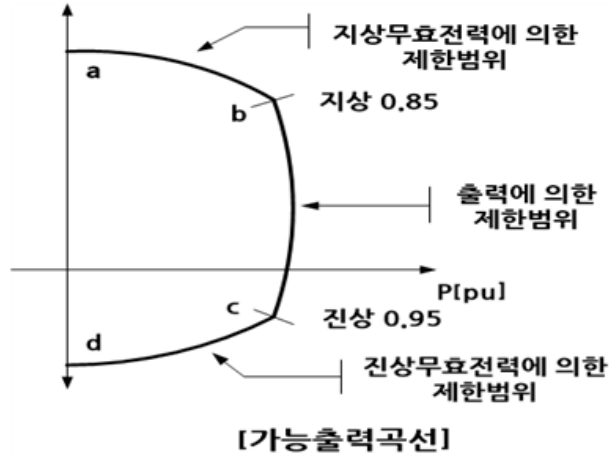


$$\text{중심} : \left(0, \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_d} \right) V_t^2 \right)$$

$$\text{반지름} : \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x_e} + \frac{1}{x_d} \right) V_t^2$$

3. 발전기 열적 운전영역의 한계

1) 온도 상승



(1) 발전기 출력에 의한 제한 (b~c구간)

- ① 정격출력 부근에서 운전 : 전기자전류에 의한 전기자권선의 온도상승으로 출력이 제한된다.
- ② 정격용량에 의한 정격 역률 : 약 0.85(지상) ~ 0.95(진상)

(2) 발전기 지상무효전력에 의한 제한(a~b구간)

- ① 정격 지상 역률 0.85 이하 범위
 - 계자전류 증가에 따른 계자권선의 온도 상승에 의한 출력제한 범위
- ② 계자전류가 정격출력으로 운전할 경우는 정격 역률점을 넘지 않는다.

(3) 발전기 진상무효전력에 의한 제한(c~d구간)

- ① 정격 진상 역률 0.95를 넘는 영역
 - 계자전류는 감소하며, 전기자의 누설자속으로 인해 고정자단부의 온도가 상승 하여 출력이 제한되는 범위
- ② 고정자 단부의 구성재료, 발전기 특성(단락비)에 따라 다르다.

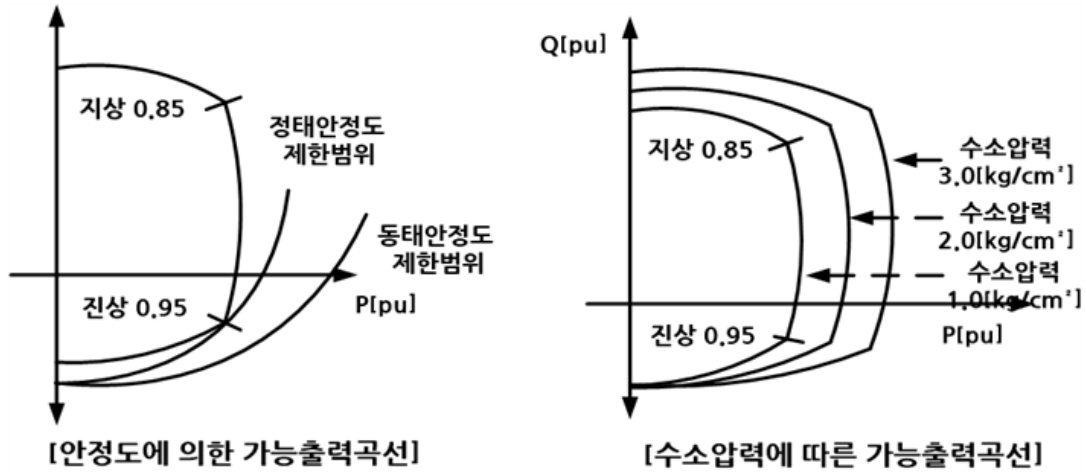
2) 안정도

(1) 정태안정도에 의한 제한

- ① 발전기 동기 리액턴스(x_d)와 계통의 리액턴스(x_e)에 의해 출력을 제한
- ② 발전기 용량과 단락비가 일정해도 송전선로 증가 될 경우 x_e 가 증가하여 출력을 제한

(2) 동태안정도에 의한 제한

- 제어장치(AVR, 여자기)을 조정할 경우 진상 영역에서 출력의 확대 가능하다.



3) 냉각방식

- (1) 냉각방식에 따라 출력이 제한된다.
- (2) 수소냉각일 경우 수소압력에 따라 출력범위가 제한된다.

$$P = KD^2 LN [kW]$$

- K : 냉각계수
- D : 회전자 지름
- L : 회전자 길이
- N : 회전수

항 목	냉각 방식			
고정자	공기	수소	수소	물
회전자	공기	공기	수소	수소
K 값	1	2	3	4

4) 여자기

- (1) OQL에 의한 제한
 - 과 여자에 의한 과도한 지상 영역 운전을 제한한다.
- (2) UEL에 의한 제한
 - 저 여자에 의한 과도한 진상 영역 운전을 제한한다.

3-5. $3\phi 3w$ 식 및 $3\phi 4w$ 식 선로로 평형 3상 부하에 전력을 공급 시 선로 내의 손실비는 얼마인지 구하시오. (단, 선로의 길이와 전선의 총량은 같고, 4선식의 경우 전력선과 중선선의 굵기는 동일함)

답)

1. 부하의 공급전력은 별다른 조건이 없으므로 같음으로 취급

1) $3\phi 3w$

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta$$

2) $3\phi 4w$

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta$$

2. 전선의 총량 및 길이가 동일함으로

1) $3\phi 3w$ 의 전선 총량 = $3\phi 4w$ 전선 동량

$$3A_{33}\ell = 4A_{34}\ell$$

$$3A_{33} = 4A_{34}$$

2) 저항은 전선의 단면적과 반비례하므로

$$4R_{33} = 3R_{34}$$

3. 손실비 계산

$$\frac{3I^2 R_{34}}{3I^2 R_{33}} = \frac{R_{34}}{\frac{3}{4}R_{34}} = \frac{4}{3}$$

4. 결론

1) $3\phi 3w$ 공급에 비해 $3\phi 4w$ 공급시 손실이 $\frac{4}{3} = 1.33$ 임

2) 손실이 33% 증가됨

3-6. 배전선로용 피뢰기의 성능 및 시험과 피뢰기의 설치기준을 각각 설명하시오.

답)

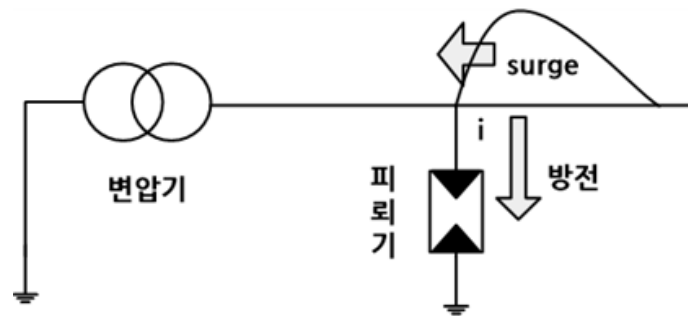
1. 피뢰기의 개념

1) 피뢰기의 정의

- 전력계통에 이상전압 내습 시 이상전압을 즉시 대지로 방전하여 기기를 보호하는 보호기기

2) 피뢰기의 동작책무

- (1) 이상전압의 내습으로 피뢰기 단자전압이 상승할 경우 이상전압을 대지로 방전하여 전압상승을 억제한다.
- (2) 이상전압이 소멸되면 즉시 정상상태로 복귀한다.

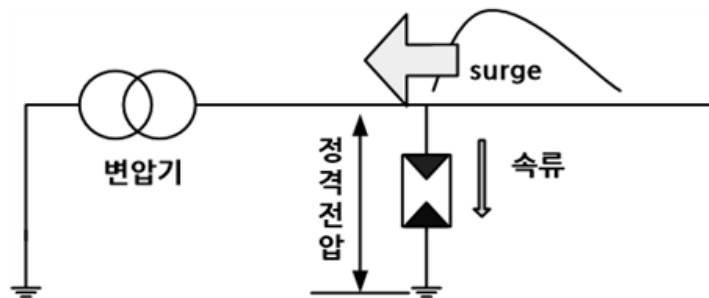


피뢰기 개념도

2. 배전용 피뢰기 성능

1) 정격전압

- (1) 피뢰기 방전 후 속류를 차단할 수 있는 최대 교류전압의 실효치(RMS)



정격전압 개념도

(2) 정격전압의 결정

$$E_m = \alpha \beta V_m [kV]$$

① α : 접지 계수② β : 여유 계수

㉠ 유효 접지 계통 : 1.1

㉡ 비 유효접지 계통 : 1.15

③ V_m : 최대허용 전압㉠ V_m : 공칭전압 $\times 1.05 \sim 1.1$ 배, 또는 $\frac{\text{공칭전압}}{1.1} (\text{기준전압}) \times 1.15$

전력계통		피뢰기 정격전압[kV]	
공칭전압	중성점 접지 방식	배전선로	변전소
3.3	비접지	7.5	7.5
6.6	비접지	7.5	7.5
22.9	3상4선 다중접지	18	21

2) 공칭방전전류 (Discharge Current)

(1) 피뢰기를 통해 대지로 흐르는 방전전류로 피뢰기의 보호성능 및 자동복귀 성능을 표현하기 위하여 쓰이는 방전전류의 규정 값

(2) 최대허용치를 방전 내량이라 한다.

공칭방전전류 [kA]	정격전압[kV]	적용 개소
2.5	18	배전선용

3) 유효이격거리

(1) 변압기에 단자 전압

$$e_t = e_a + \frac{2S\ell}{V} [kV]$$

 \therefore 거리(ℓ)가 짧을수록 e_t 감소하여 피뢰기 효과 좋아짐

(2) 전압별 최대 유효 이격거리

공칭전압 [kV]	22.9
이격거리 [m]	20

3. 피뢰기 성능시험

1) 절연내력시험

- 피뢰기 애관 외부 절연 성능을 확인하는 시험

2) 제한 전압시험

- 공칭방전전류 또는 급준파 뇌 임펄스 전류에 대한 제한 전압값을 확인

(1) 급준 충격 전류 제한 전압시험

(2) 뇌 충격 제한 전압 시험

3) 단로기 시험

4) 오손 시험

- 애자형 피뢰기가 표면 오손시 운전 전압에 대한 내구성을 확인하고 내부 부분방전과 소자의 온도 상승 정도를 검사

5) 장시간 충격 전류 시험 :개폐서지에 의해 피뢰기가 동작할 때 특성요소의 방전내량을 검증

6) 동작 책무 시험

- 실제 계통에서 피뢰기에 규정의 상용 주파 전압이 인가된 상태에서 시험 항목에 준한 뇌격, 대전류 과 장시간의 충격 전류 등의 서지를 수 회에 걸쳐 연속으로 중점시켜 피뢰기에 가해도 매회 그 책무에 견디고 정상상태로 회복되는가를 확인하는 시험

7) 피뢰기의 상용 주파 전압-시간(V-t)특성시험

- 특성요소의 손상 또는 열폭주 없이 피뢰기에 인가해도 좋은 상용주파 전압의 인가 시간 및 전압으로 전압-시간 곡선상의 TOV내량을 검증한다

8) 기밀시험

- 흡습에 의한 사고를 억제하기 위해 시행하는 평가 항목

9) 열충격시험

- 피뢰기 애관 및 조립부의 온도 변화에 따른 충격내구성을 확인하는 시험

10) 가속 수명 시험

-상시 사용 전압의 장시간 인가에 따른 전압에 의한 소자특성 변화를 검토하는 시험

4. 피뢰기 설치기준(피뢰기 설치 장소)

- 1) 발전소, 변전소의 가공선로 인입구 및 인출구
- 2) 가공전선로에 접속하는 배전용 변압기의 고압 측 및 특별 고압 측
- 3) 고압 및 특 고압 수용가의 인입구
- 4) 가공전선과 지중 전선로 접속점

제 4교시 문제풀이

4-1. IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle)와 IGFC(Integrated Gasification Fuel-Cell Combined Cycle)에 대하여 설명하시오.

답)

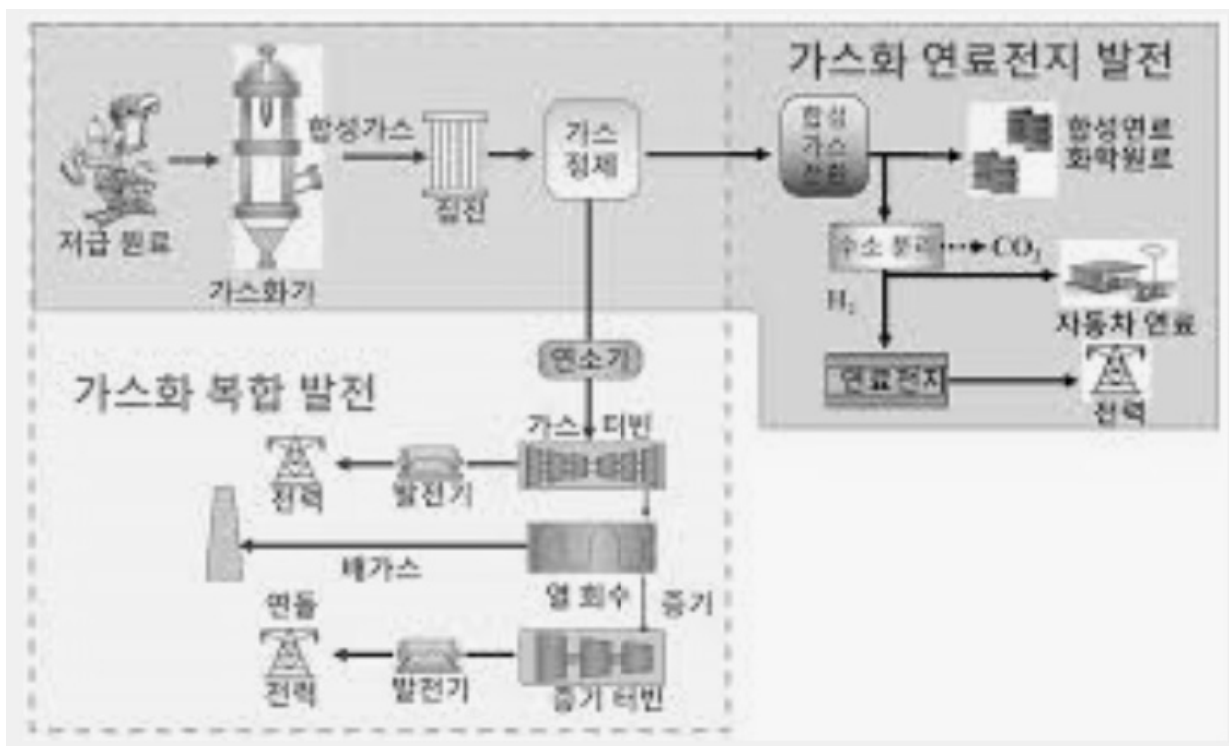
1. 개념

1) IGCC의 개념

- 석탄을 고온, 고압 하에서 가연성 가스로 전환 정제 후 생성된 석탄가스를 이용하여 가스 터빈을 구동 하고 그 배열을 HRSG에서 증기로 회수 증기터빈을 구동하는 친환경 복합사이클 발전 방식

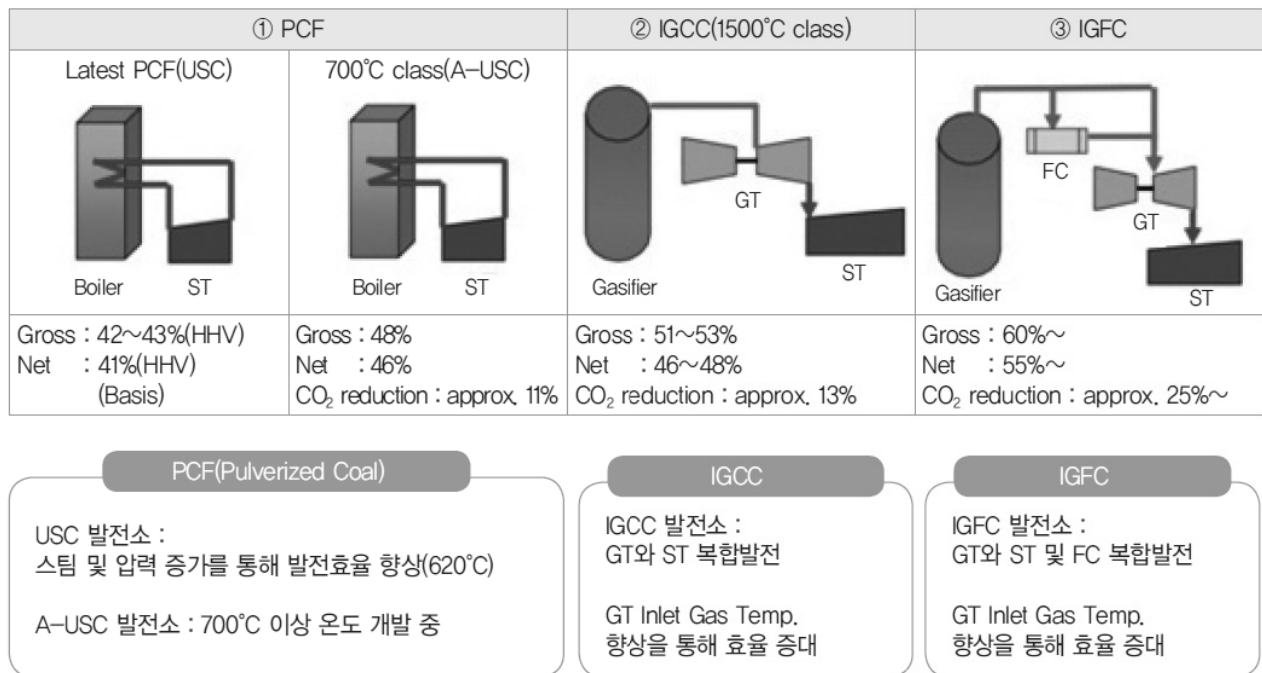
2) IGFC의 개념

- 석탄을 고온, 고압 하에서 가연성 가스로 전환 정제 후 생성된 석탄가스를 이용하여 가스터빈, 연료전지를 구동 발전하고, 그 배열을 HRSG에서 증기로 회수 증기터빈을 구동하는 친환경 복합사이클 발전방식으로 단일 연료를 사용해 3가지 발전 방식으로 운용되는 복합발전 방식이다



2. IGCC 및 IGFC의 필요성

- 1) 석탄의 유효한 활용통한 자원 절감
- 2) 환경규제 대응
- 3) 석유대체 에너지 확보
- 4) 저탄소 녹색산업 성장 동력 확보



[그림 1] 미분탄 화력 발전의 개발 방향 및 특성

3. IGCC 및 IGFC의 장단점

1) 장점

- (1) 사용연료의 다양화가 가능하다.
 - 저질탄 등의 사용이 가능하여 다양한 석탄을 사용할 수 있다.
- (2) 복합사이클방식의 한 종류로 열효율이 우수하다.
- (3) 발전원가를 줄일 수 있다.
- (4) 환경보존성 우수하다.
- (5) 부하 추종성이 우수하다.

2) 단점

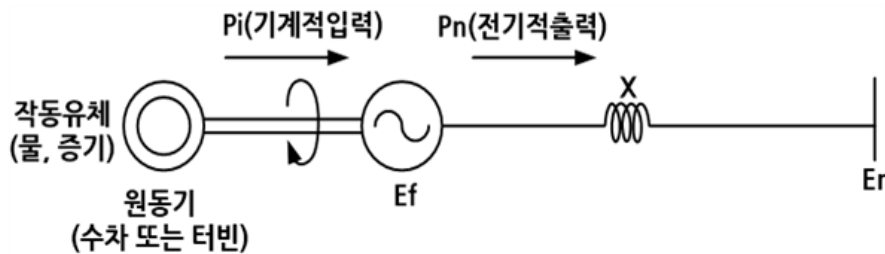
- (1) 초기 투자비용이 크다.
- (2) 연료화 공정으로 인해 System 구성이 대규모 된다.
- (3) 고성능 가스화로 개발이 필요하다.
- (4) CCS(Carbon Capture and Storage)기술의 개발이 필요하다.

4-2. 전력계통의 안정도 향상대책에 대하여 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 전력계통의 안정도를 향상시키기 위해서는 계통의 전력-상차 각 특성에 대한 시간적 변화에 대해 동기 상태를 유지하며 전력을 공급할 수 있도록 해야 한다.
- 2) 사고 발생 시에 안정도를 유지하기 위해서는 사고 초기에 발전기의 가속을 억제하는 대책을 취하여야 된다.



[발전기 입,출력 관계]

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{w}{M}(P_i - P_n) & \cdot P_i : \text{원동기 기계적 입력 (정감)} \\ & & \cdot P_n : \text{발전기 전기적 출력 (증대)} \\ &= \frac{w}{M} \left(P_i - \frac{E_f E_r}{X} \sin \theta \right) & \cdot M : \text{회전체 관성정수 (증대)} \end{aligned}$$

2. 안정도 향상 대책

1) 계통의 리액턴스 감소

- (1) 단락비가 큰 발전기 채용한다.
- (2) 단권 변압기 채용한다.
- (3) 다도체 방식의 채용한다.

① 다도체 방식의 인덕턴스 및 정전용량

$$L = \frac{0.05}{n} + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{r_e} [mH/km] \quad (n : \text{소도체수})$$

$$C = \frac{0.02413}{\log_{10} \frac{D}{r_e}} [\mu F/km]$$

- (4) 계통의 병렬 회선수를 증대시킨다.

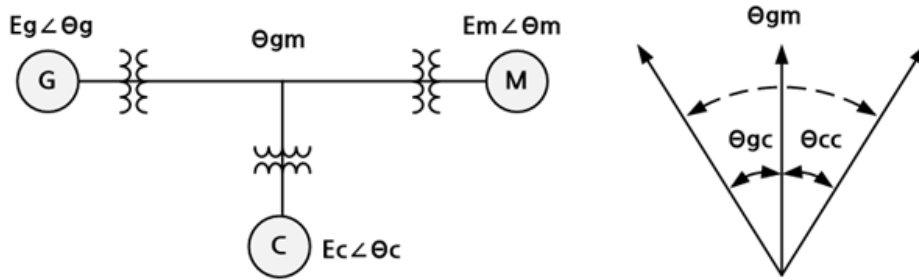
(5) 선로의 중간에 직렬 Capacitor설치한다.

- 직렬 Capacitor설치할 경우 차동기 공진(SSR)이 발생할 수 있다.

2) 계통의 전압변동 억제

(1) 속응 여자방식을 채용한다.

(2) 중간 조상방식 채용



[중간조상방식 개념도]

(3) 전력계통 연계

(4) PSS방식 채용

- 속응 여자 방식을 채용할 경우에 발전기 부제동 현상을 방지한다.

(5) 계통 전압을 승압한다.

3) 계통에 주는 충격의 감소 (현실적 대책)

(1) 고속도 차단기 및 고속도 보호 계전System을 채용한다.

(2) 고속도 재폐로 방식 채용하여 사고 발생시 X 증대되는 것을 억제한다.

(3) 중간 개폐소 설치한다.

4) 고장 시 전력 변동의 억제

(1) 초고속 조속기 채용하여 기계적 입력(P_i) 제어를 제어한다.

(2) 제동저항(TCBR)설치하여 사고 시 발전기의 가속을 억제한다.

(3) 초고속 터빈 밸브 (EVA : Early Valve Actuator) 제어를 채용한다.

5) 기타 안정도 향상 대책

(1) HVDC 송전방식을 채용한다.

(2) ESS의 채용한다.

(3) FACTS 설비 채용한다.

(4) 전력 계통 안정 운영시스템을 채용(SPS : Special Protection System)한다.

4-3. 전력계통에서 철심포화 현상으로 발생하는 공진현상, 공진종류, 공진조건 및 대책을 각각 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 수 변전계통에서 변압기, 리액터 등의 철심이 어떤 원인으로 포화되어 L-C 직렬공진에 의해 이상전압을 발생하는 현상
- 2) 철공진은 선로의 단선, 지락사고의 아크 및 차단기의 비 동기 투입 등의 원인에 의해 변압기나 PT등의 철심이 포화되어 계통의 대지정전용량과 공진이 발생하게 된다.

2. 기본파 철공진 이상전압

1) 현상

- 회로 단선 등의 사고가 발생했을 경우 변압기 여자인덕턴스와 선로정전용량과의 기본파 직렬공진에 의한 이상전압이 발생한다.

2) 조건 및 대책

조건	대 책
① 선로의 단선사고 ② 개폐기류 등의 불 평형 투입 ③ Fuse용단에 따른 불 평형 발생	① 사고가 발생했을 경우 철공진이 일어나지 않도록 회로를 구성한다. ② 차단기, 개폐기류 등의 확실한 동작을 확보한다.

3. 특수(고조파) 철공진 이상전압

1) 현상

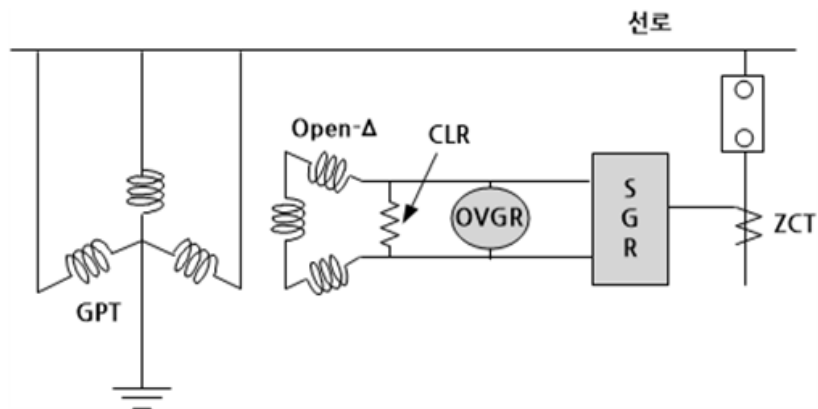
- 철심의 Reactor의 포화로 고주파 전압, 전류가 발생하여 고주파 공진에 의해 큰 이상전압이 발생하는 현상

2) 조건 및 대책

조건	대책
① 계통이 비접지일 때 PT를 접지한 경우	① GPT 2차 개방단에 CLR 설치
② 접지계통에서 일시적 계통분리로 비 접지가 된 경우	
③ PT의 2차 부담이 매우 작은 경우	

4. 한류저항

- 1) 계통에 특수 철공진에 의해 에너지를 주고받는 상태가 지속되지 않도록 에너지를 소비시키기 위해 계통의 대지정전용량과 병렬로 한류저항을 설치한다.



2) CLR 설치 목적

- (1) 철심이 포화되었을 경우 철공진에 의한 이상전압을 방지한다.
- (2) 지락방향계전기(SGR) 유효 동작전류를 확보한다.
- (3) Open-Δ회로를 단락시켜 3고조파를 억제한다.
- (4) 한류저항의 크기

4-4. 용량 100[kVA] 6600/105[V]인 변압기 철손이 1[kW] 전부하 동손이 1.25[kW]이다. 이 변압기의 효율이 최고로 될 때 부하[kW]인지 구하고 이 변압기가 무부하로 18시간, 역률 100[%]의 1/2부하로 4시간, 역률 80[%]의 전부하로 2시간 운전된다고 할 때 이 변압기의 전일효율을 구하여라. (단, 부하 전압 일정하다.)

답)

[풀 이]

1. 변압기의 효율이 최고가 될 때의 부하 [KW]

$$P_i = P_c \left(\frac{P[kW]}{P[kVA]} \right)^2 \text{ 이므로 } P[kW] = \sqrt{\frac{1}{1.25}} \times 100$$

$$\therefore P = 89.44 \text{ [KW]}$$

2. 변압기가 전일 효율(η)

1) 반 부하 : $4 \times 50 \times 1 = 200 \text{ [kWh]}$

2) 전 부하 : $2 \times 100 \times 0.8 = 160 \text{ [kWh]}$

\therefore 총사용부하 = 360 [kWh]

3) 손실

(1) 철손 = $24 \times 1 = 24 \text{ [kWh]}$

(2) 전부하 동손 = $2 \times 1.25 = 2.5 \text{ [kWh]}$

(3) 반부하 동손 = $4 \times 1.25 \times 0.5^2 = 1.25 \text{ [kWh]}$

4) 효율

$$\eta = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \times 100 = \frac{360}{360 + 24 + 2.5 + 1.25} \times 100 = 93 \text{ [%]}$$

$\therefore \eta = 93 \text{ [%]}$

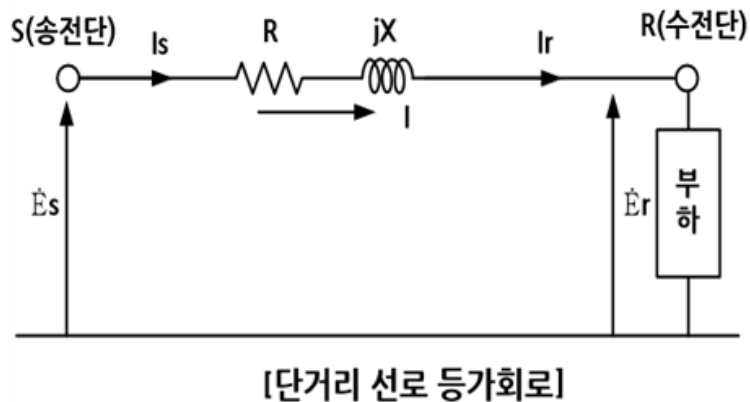
4-5. 교류 단상2선식 배전선로의 말단에 단일 부하가 집중되어 있을 경우 아래 사항에 대하여 설명하시오.

- 1) 등가회로 및 벡터도(E_r 를 기준벡터로)
- 2) 전압강하와 전압강하율의 관계식 유도
- 3) 부하전력과 무효전력을 사용하여 전압강하율 표현

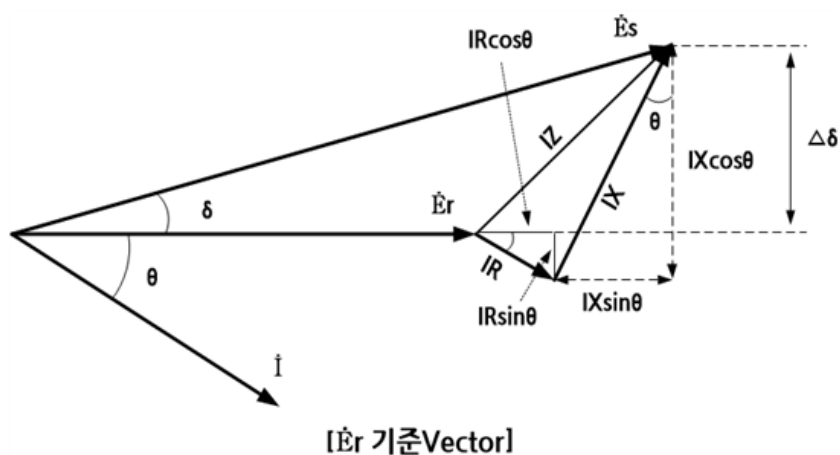
답)

1. 등가회로 및 벡터도(E_r 를 기준벡터로)

1) 등가회로



2) Vector도



2. 전압강하와 전압강하율의 관계식 유도

$$\begin{aligned}
 1) \quad \dot{E}_s &= \dot{E}_r + \dot{I} \dot{Z} \\
 &= E_r + I(\cos\theta - j \sin\theta)(R + jX) \\
 &= E_r + (IR\cos\theta + IX\sin\theta) + j(IX\cos\theta - IR\sin\theta) \\
 |E_s| &= \sqrt{(E_r + IR\cos\theta + IX\sin\theta)^2 + (IX\cos\theta - IR\sin\theta)^2}
 \end{aligned}$$

2) 위 식에서 $\sqrt{\quad}$ 내 제2항은 제1항에 비해 매우 작은 값으로 무시하면
 송전단 전압 $|E_s| = E_r + I(R\cos\theta + X\sin\theta)$

3) 전압 강하 ΔE

$$(1) \quad \Delta E = E_s - E_r = I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

(2) 또는 양변을 E_r 로 정리하면 전압강하 ΔE

$$\Delta E = \frac{E_r I(R\cos\theta + X\sin\theta)}{E_r} = \frac{PR + QX}{E_r}$$

$$\therefore \Delta E = E_s - E_r = I(R\cos\theta + X\sin\theta) = \frac{PR + QX}{E_r}$$

(3) 송, 수전단 전압이 선간전압일 경우 전압강하 ΔE

$$\therefore \Delta E = V_s - V_r = \sqrt{3} I(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

4) 전압 강하율 ϵ

$$\therefore \epsilon = \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 = \frac{I(R\cos\theta + X\sin\theta)}{E_r} \times 100[\%]$$

3. 부하전력과 무효전력을 사용하여 전압강하율 표현

$$\therefore \epsilon = \frac{PR + QX}{E_r^2} \times 100[\%]$$

4-6. 배전계통에서 발생하는 순시 전압강하에 대해서 설명하시오.

답)

1. 순시전압 강하

- 정격주파수 0.5~30 Cycle 이내 전압크기 0.1~0.9[pu]의 전압저하 현상

2. 발생원인

1) 전력 계통 측

- (1) 차단기 동작 책무로 인한 재폐로 동작
- (2) 배전선로 Recloser의 재폐로 동작
- (3) 낙뢰, Surge 에 의한 단락, 지락사고
- (4) 작업에 의한 정전

2) 수용가 측

- (1) 대용량 전동기의 기동
- (2) 대용량 설비의 돌입 전류
- (3) 아크로, 전기로, 용접기 등의 사용

3. 영향

기 기	상 태
컴퓨터, OA기기 유도전동기 방전등 보호계전기 측정기기	<ul style="list-style-type: none"> - 기능정지, Data상실, 오동작 - 회전수 변동으로 성능의 저하 - 재점 등 시까지 시간소요 - 오동작 발생 (UVR 동작) - 측정 값 오차발생, 기기고장 유발

4. 방지대책

1) 공급자측 대책

(1) 발생 정도의 감소

- ① 가공배전선의 절연강화
 - 수목접촉 등 예방, ABC Cable
- ② 배전선의 지중화
- ③ 가공지선 및 피뢰기의 설치

(2) 고장지속시간 단축

- ① Spot Network 방식의 채용
- ② 배전자동화 (DAS system)

2) 수용가측 대책

- (1) 무정전 전원장치(UPS)의 설치
- (2) 공급자측과 보호협조