

»모아는 Challenge다«  
전기분야의 Legend, 모아전기학원

# 제 119회 발송배전기술사

[문제풀이집]

교수: 하용일

## Legend 모아전기학원의 자랑!

모아전기학원 2012~2019년

전체수강생의 1/7을 합격시킨, 진정한 Legend!

“실제 수강생 대비 합격률 대한민국 1위”

강의만족도 90%, 강의 평균 재수강률 80%

“8년간의 검증” 모방이 불가능한 커리큘럼”

열정적으로 2019년을 시작합니다.

## 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 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!

# 2019년 8월 전기기술사 개강일정

### 건축전기기술사

CLASS	개강일정	시간	강의수	교재
건축전기의 중요핵심 <b>SGN 기본반</b>	8월 25일 ~ 11월 03일 (매주 일요일)	오후3시~오후8시30분	10강	모아건축전기기술사2권
영혼있는 답안작성 <b>SBR 연구반</b>	8월 25일 ~ 11월 03일 (매주 일요일)	오전 10시~오후6시	10강	모아건축전기기술사 +보충자료

### 전기안전기술사

CLASS	개강일정	시간	강의수	교재
쓸 수 있는 공부 <b>SGN 기본반</b>	8월 24일 ~ 11월 09일 (매주 토요일)	오후3시~오후8시	11강	모아전기안전기술사 +보충자료
마무리 토론과 모의고사 <b>SBR 연구반</b>	8월 24일 ~ 11월 09일 (매주 토요일)	오전 10시~오후3시	11강	모아전기안전기술사 +보충자료

### 발송배전기술사

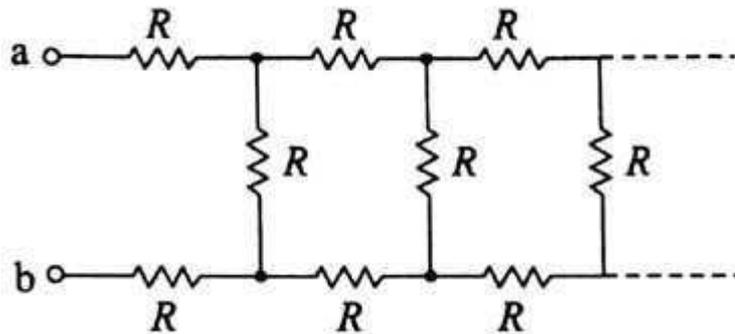
CLASS	개강일정	시간	강의수	교재
철저한 기본주의 <b>기본반</b>	8월 24일 ~ 11월 09일 (매주 토요일)	오후3시~오후9시	11강	발송기본3권(송길영) 동일출판사
고정관념 제거 <b>심화 연구반</b>	8월 24일 ~ 11월 09일 (매주 토요일)	오전 9시~오후3시	11강	자체교재

**제119회 발송배전기술사 1차 필기시험 문제** (2019년 8월 10일)

**제 1교시 문제**

※ 다음 문제 중 10문제를 선택하여 설명하시오. (각 10점)

1. 투자율(Permeability)과 유전율(Permittivity)에 대하여 설명하시오.
2. 전력계통 운용의 자동화를 위한 제어방식 중 부하주파수제어(LFC : Load Frequency Control)에 대하여 설명하시오.
3. 소규모 신재생 발전설비의 증가로 인하여 전력시장에서 발생하는 부작용을 해소하기 위하여 도입된 ‘소규모 전력중개사업’에 대하여 설명하시오.
4. 22.9kV-Y 다중접지 배전선로에서 중성선의 역할 3가지를 설명하시오.
5. 종합고조파왜형률(THD : Total Harmonics Distortion)과 등가방해전류(EDC : Equivalent Disturbing Current)를 설명하시오.
6. 변압기의 실측효율 및 규약효율에 대하여 정의하고, 최대효율 조건을 설명하시오.
7. 가공송전선로에서 사용되는 스페이서 댐퍼(Spacer Damper) 유지보수에 사용되는 공법 중 스페이서 지그(Spacer Jig)공법을 설명하시오.
8.  $R=1\Omega$ 의 저항을 그림과 같이 무한히 연결할 때, ab간의 합성 저항을 구하시오.



9. 6,600/220V인 두 대의 단상 변압기 A, B가 있다. A변압기의 용량은 30kVA로서 2차로 환산한 저항값과 리액턴스의 값은  $r_A = 0.03\Omega$ ,  $x_A = 0.04\Omega$ 이고, B변압기의 용량은 20kVA로서 2차로 환산한 저항값과 리액턴스의 값은  $r_B = 0.03\Omega$ ,  $x_B = 0.06\Omega$ 이다. 이 두 변압기를 병렬 운전하여 40kVA의 부하를 연결한 경우, 각 변압기의 분담부하(kVA)를 구하시오.
10. 송전선로의 4단자 정수가 [A B C D]이고, 송전단 측에는  $Z_S$  변압기, 수전단 측에는  $Z_R$  변압기가 각각 접속되었을 경우 합성 4단자 정수를 구하시오.
11. 풍력발전의 풍력에너지(이론출력), 출력계수, 주속비의 정의 및 관계식을 설명하시오.
12. 운영예비력 중 주파수제어 예비력, 1차 예비력, 2차 예비력, 3차 예비력을 각각 설명하시오.
13. 원자력 발전에 관한 다음 용어를 설명하시오.

1) 붕괴열 2) 전자볼트(eV : Electron Volt) 3)  $\alpha$ 선(Alpha Radiation)

**제 2교시 문제**

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

1. 원자로의 보호대책에 대하여 설명하시오.
2. 지중송전선로 케이블 포설공법인 장경간 와이어 포설공법을 캐터필러(Caterpillar)와 롤러(Roller)를 이용한 방식과 비교하여 설명하시오.
3. 무효전력-전압제어에 대하여 전압특성을 중심으로 설명하고 무효전력 발생원의 종류에 대하여 설명하시오.
4. 집단에너지사업과 구역전기사업을 각각 설명하고, 1) 법적인 측면, 2) 열공급 측면, 3) 전기공급 측면, 4) 전기판매 측면에서 비교하여 설명하시오.
5. 전력계통의 공급신뢰도 향상대책에 대하여 설명하시오.
6. 다음과 같은 조건일 때 원통형 동기발전기의 벡터도를 그리고, 전기자저항을 고려한 출력식에 대하여 설명하시오.

E : 1상의 내부유기기전력	V : 1상의 단자전압
I : 전기자전류	$R_a$ : 전기자권선저항
$X_s$ : 전기자권선동기리액턴스	$\theta$ : 역률각
$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_a}{X_s}$ : 전기자권선임피던스각	$\delta$ : 부하각

**제 3교시 문제**

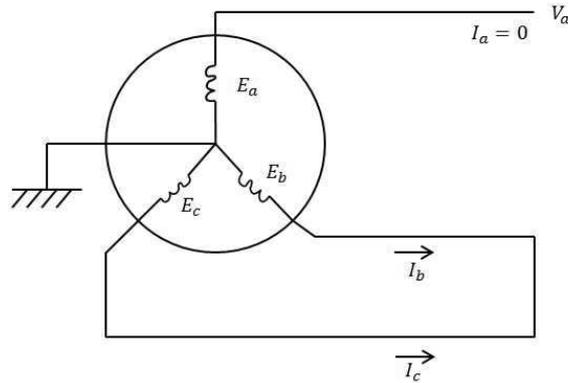
※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

1. 발전기 자기여자 현상의 정의 및 방지대책을 기술하고, 송전전압 345kV 2회선, 선로길이 250km, 선로의 작용정전용량  $0.01 \mu F/km$ 라고 할 때, 이 선로에 자기여자를 일으키지 않고 충전하기 위한 발전기 최소용량(kVA)을 산정하시오.(단, 발전기의 단락비는 1.1, 포화율은 0.12이다.)
2. 최근 정보화기기 및 컴퓨터 등 극히 짧은 시간에 나타나는 파형변화와 전압변화에 민감한 기기들의 보급증가에 따른 전력품질 문제가 대두되고 있다. 전력품질의 정의와 전력품질의 정도를 나타내는 평가지표 및 대책에 대하여 설명하시오.
3. 에너지 저장방식을 역학적, 열적, 전자기적, 화학적 방식으로 구분하여 저장 원리를 설명하시오.
4. 전력거래 및 운영에 있어서 다음 용어를 설명하시오.
  - 1) 발전원가    2) 발전단가    3) 정산단가
  - 4) 구입단가    5) 판매단가    6) 균등화발전원가
5. 배전선로에서 손실 경감 대책에 대하여 설명하시오.
6. 현재 사용 중인 HSTACIR(High-strength Super Thermal-resistant Aluminum alloy Conductors INVAR Reinforced)을 대체하여 송전용량을 증대시킬 수 있는 신소재전선의 종류 및 구조와 특성을 설명하시오.

**제 4교시 문제**

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각 25점)

1. 가공배전선로의 무정전 공법 중 공사용개폐기 공법, 바이패스 케이블 공법, 이동용 변압기차 공법에 대하여 설명하시오.
2. 수력 발전설비의 수차(Water Turbine)에서 발생하는 공동현상(Cavitation Phenomena)과 화력 발전설비에서 발생하는 비등현상(Ebullition Phenomena)을 정의하고, 상평형선도(Typical Phase Diagram)를 이용하여 공통점과 차이점을 설명하시오.
3. 다음 그림과 같이 3상 교류 발전기의 b, c상이 단락했을 경우 흐르게 될 고장 전류 및 각 상에 나타나는 전압을 구하시오.



4. ESS(Energy Storage System)의 활용용도를 발전, 송·배전, 수용가 측면에서 설명하고, ESS 시장을 BTM(Behind the meter)과 FTM(In front of the meter)으로 구분하여 비교하시오.
5. 전압변동률  $\epsilon = p\cos\theta + q\sin\theta$ 가 됨을 증명하시오.(단,  $p$ : %저항강하,  $q$ : %리액턴스강하)
6. 현재 국내에서 건설 중인 500kV HVDC(High Voltage Direct Current) 가공 및 지중송전선로의 개념에 대하여 설명하고, 지중송전선로 구간의 전력구 부대설비 구성에 대하여 설명하시오.

# 제 1 교시 문제풀이

1-1. 투자율(Permeability)과 유전율(Permittivity)에 대하여 설명하시오.

답)

## 1. 투자율 $\mu$

### 1) 정의

자속통과의 수월성을 나타내는 상수로 물질에 따라 자력선이 통과하기 쉬운가의 여부를 나타내는 계수이다.

### 2) 관계식

$$\mu = \mu_0 \times \mu_s$$

$\mu_0$  : 진공의 투자율 =  $4\pi \times 10^{-7} = 1.257 \times 10^{-6} [H/m]$ 이다.

$\mu_s$  ; 비투자율 (공기의 비투자율은 1)

공기의 투자율은 진공의 투자율과 거의 같다.

### 3) 자속밀도와 자계의 세기와의 관계

#### (1) 자속밀도

철심의 단위면적당 자속의 양으로  $B = \frac{\Phi}{S} [Wb/m^2]$ 로 표현된다.

#### (2) 자계의 세기

자기장 중에 어느 점에 단위 자하 1 [Wb]를 주었을 때 이때 자력의 크기로 자기장 중에 임의의 P점에 1 [Wb]를 놓았을 때 작용하는 힘을 자계의 세기라 한다.

원점으로부터 r [m] 떨어져 있는 점에 단위자하 1[Wb]를 주었을 때 자계의 세기 H는

$$H = \frac{m}{4\pi\mu r^2} [A/m]$$

#### (3) 자속밀도 B와 자계의 세기 H의 관계

$$B = \mu H [T] \therefore \mu = \frac{B}{H} [H/m]$$

투자율은 자속밀도와 자계의 세기의 비를 나타낸다.

## 2. 유전율 $\epsilon$

### 1) 정의

유전체(절연체)가 전하를 축적하는 성질로 유전체에 의해 결정되는 상수이다.

**2) 관계식**

$$\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_s \text{ [F/m]}$$

진공의 유전율  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ 이고,  $\epsilon_s$ 를 비유전율이라 한다.

공기의 비유전율  $\epsilon_s = 1.00059$ 로 공기의 유전율과 진공의 유전율은 거의 같다.

**3) 전속밀도와 전기의 세기와의 관계**

(1) 전속밀도

임의의 폐곡면의 단위면적당 전속의 양으로  $D = \frac{Q}{S} [C/m^2]$ 로 표현된다.

(2) 전기의 세기

전기 내에 원점으로부터  $r[m]$  떨어진 임의의 점 P에  $+1C$ 의 전하를 두었을 때 원점으로부터 그 전하에 작용하는 힘을 전기의 세기라 하고  $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} [V/m]$ 로 표현된다.

(3) 전속밀도 D와 전기의 세기 E의 관계

$$D = \epsilon E [C/m^2] \therefore \epsilon = \frac{D}{E} [F/m]$$

유전율은 전속밀도와 전기의 세기의 비를 나타낸다.

**4) 정전용량과의 관계**

(1) 커패시터에 축적된 전하를 Q, 커패시터에 인가된 전압을 V라고 하면  $Q = CV$ 로 된다.

(2) 여기에서 비례상수 C는 전극이 전하를 축적할 수 있는 능력의 정도를 나타내는 상수로서 정전용량(Capacitance)라고 하고 유전체의 전하 축적능력을 의미하는 것이라고 할 수 있다.

(3) 관계식

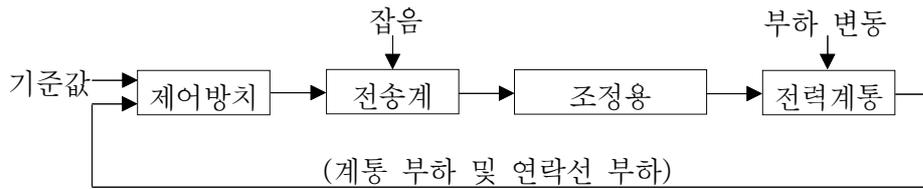
$$C = \frac{\epsilon S}{d} [F], \quad \therefore \epsilon = \frac{Cd}{S} [F/m]$$

단, d : 전극간거리[m], S : 전극 면적[m<sup>2</sup>],  $\epsilon$  : 유전율 [F/m], C : 정전용량 [F]

**1-2. 전력계통 운용의 자동화를 위한 제어방식 중 부하주파수제어(LFC : Load Frequency Control)에 대하여 설명하시오.**

답)

**1. 부하 주파수 제어계 (LFC)**



< 부하주파수 제어계 >

**1) 정의**

부하변동으로 계통주파수, 연락 송전선의 전력조류 등이 변화하면 계통운용상 또는 서비스 기준 유지상 여러 가지 지장을 초래하게 된다. LFC는 이러한 지장을 제거하여 계통 주파수를 일정범위 안에 들도록 해주는 장치를 말한다.

**2) 제어대상 : 전력계통**

**3) LFC의 구성**

(1) 제어장치 : 중앙급전소 또는 조정용 발전소에 위치

- ① LFC의 중추부이며, 계통 주파수 및 전송되어온 연락선 전력 등의 기준값으로부터 편차를 검출한다.
- ② 필요한 제어신호를 전송계를 통하거나 또는 직접 조정용 발전소의 조속기로 보낸다.

(2) 전송계 : OPGW 등

- ① 제어신호를 확실하게 조정용 발전소의 조속기로 보낸다.
- ② 잡음 발생 빈도를 파악하고 잡음 없는 전송방식을 채택한다.

(3) 조정용 발전소 (수력발전소)

- ① 제어신호를 받아 부하 변동량에 대응하는 발전력을 출력하여 편차를 시정한다.
- ② 주파수를 제어하는데 필요한 용량을 확보하고 있어야 한다.
- ③ 조속기는 안정하고 신속한 제어 동작을 실시할 수 있음과 동시에 경제적 및 기술적으로 제어동작을 실시하는데 어떤 지장도 있어서는 안 된다.

(4) 전력계통

LFC의 제어대상으로 계통주파수 변화라든지 연락선 전력조류 변화를 제어장치로 보낸다.

**4) 제어방식 : FFC, FTC, TBC 등**

**5) 동작방식 : 비례동작 (P), 비례+적분동작 (PI), PID**

**6) 조작방식 : 연속조작, 간헐조작**

1-3. 소규모 신재생 발전설비의 증가로 인하여 전력시장에서 발생하는 부작용을 해소하기 위하여 도입된 '소규모 전력중개사업' 에 대하여 설명하시오.

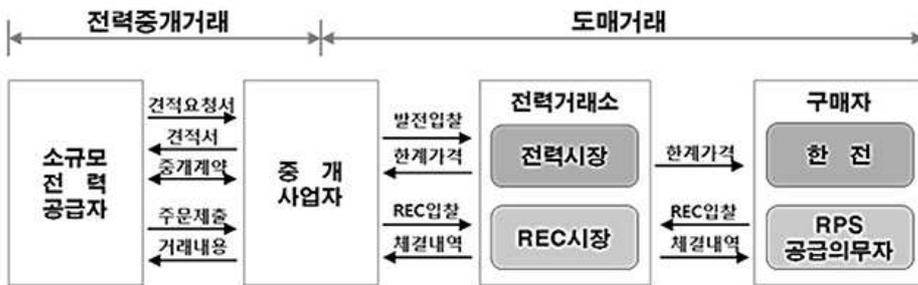
답)

1. 소규모 전력중개사업 개요

1) 정의

1MW 이하의 신재생에너지와 에너지저장장치, 그리고 전기자동차에서 생산한 전력을 중개사업자가 모아 전력시장에서 거래하는 사업을 말한다.

2) 소규모 전력중개사업 개요도



3) 중개시장 사업모델



## 2. 소규모 전력중개사업 필요성

- 1) 현재 1MW 이하 신재생 발전사업자는 직접 전력시장에 참여해 전력을 거래하거나, 별도의 시장 참여 없이도 한전에 전기를 판매할 수 있다. 하지만 대부분의 소규모 발전사업자는 거래절차 등이 복잡한 전력시장보다는 한국전력과의 거래를 선호하는 상황이다.
- 2) 내년도에 전력중개사업이 본격적으로 시행되면 소규모 발전사업자가 전력중개사업자를 통해 쉽게 전력시장에 참여할 수 있을 것으로 전망되고 있다.

## 3. 특징

- 1) 전력거래소 입장에서 다수의 소규모 발전사업자와 거래하는 대신에 중개사업자를 통해 분산된 전력자원을 효율적으로 관리할 수 있다.
- 2) 충전요금이 저렴한 밤에 전기차 배터리를 충전한 다음, 해당 배터리에 남아 있는 전력을 낮 동안 팔아 이익을 남길 수 있다.
- 3) '신재생에너지공급인증서(REC)' 역시 전력중개사업자가 대신 거래하게 되며, 전문성이 요구되는 설비 유지보수 서비스도 함께 제공할 예정이다.
- 4) 전력중개사업자를 통해 소규모 전력자원을 효율적으로 관리할 수 있어서 전력계통의 안정성이 향상될 것으로 기대하고 있다.
- 5) 중개사업자 및 소규모신재생발전기 보유자(중개수요자)에게 태양광 등 신재생에너지에 대한 투자를 확대토록 하는 동기 부여
- 6) 중개사업자를 통해서 거래를 함으로써 신재생발전기의 예측가능성과 출력안정성을 확보할 수 있을 것으로 기대

**1-4. 22.9kV-Y 다중접지 배전선로에서 중성선의 역할 3가지를 설명하시오.**

답)

**1. 개요**

- 1) 중성선은 다선식 전로에서 전원의 중성극에 접속된 전선으로서, 중성선을 이용하여 한상과 중성선에 연결되는 상부하에 흐르는 불평형 전류를 담당하며, 접지선으로부터 흘러들어오는 지락고장전류의 귀환회로를 저임피던스 회로로 구성하여 보호장치의 신속 정확한 동작에 대해 중요한 역할을 한다.
- 2) 22.9 kV 특고압 배전선은 1Km당 5[Ω]이 되도록 배전 선로 군데군데에 중성선을 접지하게 되는데 이를 다중접지 방식이라 함.(병렬로 접지되어 있어서 접지저항을 현저하게 줄일 수 있음) 즉, 전주 하나 마다 1종 접지를 시설하고 이 접지는 중선선과 연결이 되어 있음

**2. 중성선의 역할**

**1) 계통 접지(제2종접지)로서의 역할**

- (1) 상용주파 대지 전위의 상승을 억제
- (2) 서지에 의한 대지 전위의 상승을 억제
- (3) 낙뢰에 의한 역섬락 방지
- (4) 고장 전류의 확실한 검출에 의한 보호 계전기의 동작 담보
- (5) 이상 전압의 진행과 감소
- (6) 고장시 이상 전류의 대지 방전 통로로서의 역할

**2) 보호접지(제1종 및 제3종)로서의 역할**

- (1) 특고압 기계기구의 외함은 제1종 접지하여 인축의 감전사고 예방
- (2) 저압 기기기구의 외함은 제3종 접지하여 인축의 감전사고 예방

**3) 가공지선 겸용으로서의 역할**

- (1) 가공지선의 차폐선 역할로 인근 통신선에 전자, 정전 유도 장애 저감
- (2) 직격뢰로부터의 전력선 보호

**1-5. 종합고조파왜형률(THD : Total Harmonics Distortion)과 등가방해전류(EDC : Equivalent Disturbing Current)를 설명하시오.**

답)

**1. 고조파 종합 왜형률 THD (Total Harmonic Distortion)**

- 1) 정의 : 고조파의 발생정도를 나타낸다.
- 2) 관계식

$$\text{전압 THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m V_n^2}}{V_1} \times 100, \quad V_1 : \text{기본파 전압}, V_n : \text{조파별 고조파 전압}$$

**2. 등가방해전류(EDC)  $J_p$**

전력계통에서 발생한 고조파 전류가 통신선에 영향을 주는 고조파 전류의 한계

$$J_p = \sqrt{\sum_{n=1}^n (S_n I_n)^2} \quad \text{단, } S_n : \text{잡음평가 계수}, I_n : n\text{차수 전류}$$

$S_n = 1$  (16조파 800Hz 일 때)

**3 고조파 제한 규정**

**1) 한전 전기 공급 규정**

전압	지중선로가 있는 S/S에서 공급		가공선로만 있는 S/S에서 공급	
	$V_{THD}$ [%]	EDC	$V_{THD}$ [%]	EDC
66 kV 이하	3	-	3	-
154 kV 이하	1.5	3.8	1.5	-

**2) IEEE 기준**

전압	$V_{THD}$ [%]
69 kV 이하	5
115 kV ~ 161 kV	2.5
161 kV 이상	1.5

**1-6. 변압기의 실측효율 및 규약효율에 대하여 정의하고, 최대효율 조건을 설명하시오.**

답)

**1. 변압기 실측효율 정의**

실부하 상태에서 실측하여 구한 효율로  $\eta = \frac{2차\ 출력}{1차\ 입력} \times 100 [\%]$  이 된다.

**2. 변압기 규약효율 정의**

범용의 규약으로 정해놓은 효율로 일반적으로 변압기 효율하면 규약효율로서 정의한다.

$$\eta = \frac{출력}{출력 + 손실} \times 100 [\%]$$

**3. 최대효율 조건을 설명**

일반적인 변압기 효율은 규약효율로서 정의하므로 규약효율을 이용하여 최대효율조건을 설명한다.

**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. 여기서  $P_1 [kW]$ 를 구하려면  $P_1 = aP [kVA] \times \cos\theta$ 로 구한다.

**3) 규약 효율  $\eta$**

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

식에서 P는 일정하므로  $\eta$ 를 최대로 하기 위해서는  $\frac{W_i}{a} + aW_c$  가 최소가 되면 된다.

**4) 최고효율 조건**

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

즉, 철손이 P1 부하에서의 동손과 같아질 때 최고효율이 된다.

**1-7. 가공송전선로에서 사용되는 스페이서 댐퍼(Spacer Damper) 유지보수에 사용되는 공법 중 스페이서 지그(Spacer Jig)공법을 설명하시오.**

답)

**1. 스페이서 지그(Spacer Jig)공법**

**1) 개발의 필요성**

- (1) 스페이서 댐퍼는 다도체방식 가공송전선로에 설치되는 방진장치로서 각 소도체간의 간격을 유지시키고, 진동발생을 저감시키는 역할을 하는 매우 중요한 송전설비 중의 하나이다.
- (2) 진동으로 인해 전선이나 스페이서 댐퍼가 손상 받게 되면 즉시 유지보수를 하거나 스페이서 댐퍼를 교체해야 한다.
- (3) 송전선로는 매우 큰 장력이 가해져 있는 상태이기 때문에 새로운 스페이서 댐퍼를 기존 스페이서 댐퍼에 인접하여 설치하는 것이 매우 어렵다. 이러한 현상은 특히 765kV 6도체 송전선로에서 가장 심하게 나타난다.
- (4) 스페이서 댐퍼를 교체할 때 많은 작업시간이 요구되고 있으며, 장시간의 작업으로 작업자는 많은 피로를 느끼고, 이로 인해 작업의 안전성이 크게 저하되는 현상이 일어나고 있다. 6도체의 경우에는 작업자 1인 작업이 불가능하여 2인 이상이 작업해야 한다.
- (5) 765kV 송전선로는 활선공법에 의해 유지보수가 수행될 경우, 활선공법에서 가장 중요한 것이 작업자의 안전성 확보이며 이것은 가급적 활선작업시간을 최대한 줄이는 것이 가장 중요하다.
- (6) 위의 문제점을 해결하기 위해 작업자 1인이 스페이서 댐퍼를 쉽고 빠르게 탈착할 수 있고, 정확한 교체위치에 설치할 수 있는 스페이서지그(Spacer jig)와 이를 이용한 스페이서 댐퍼 유지보수 및 교체공법이 개발되어 지난해 말 전력신기술 지정까지 받았다.

**2. 스페이서지그(Spacer jig)의 종류 및 작업모습**



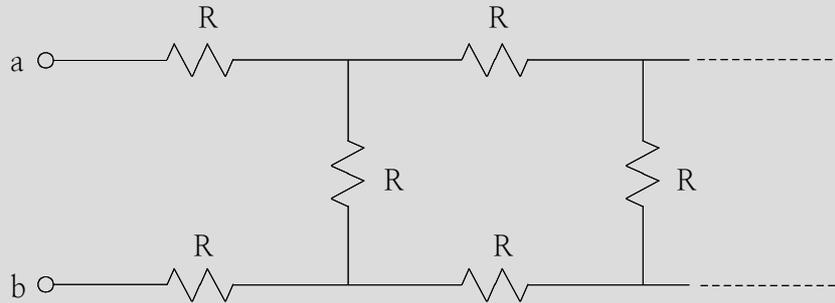
### 3. 공법의 내용

- 1) 손상된 전선이나 스페이서 댐퍼를 유지보수 하기 위해서 기존 스페이서 댐퍼를 해체해야 하는데, 이를 해체하기 위해서는 먼저 스페이서 댐퍼가 해체된 후 전선이 벌어지지 않도록 조치해야 한다.
- 2) 스페이서지그는 장력이 걸려있는 각 전선의 간격을 쉽게 벌리고 좁힐 수 있는 장치로, 전선을 파지하는 클램프가 클램프암의 끝단부에 있는 회전부나 6각 머리볼트를 돌리면 쉽게 방사방향으로 이동을 할 수 있는 구조여서, 작업자가 전선을 쉽게 벌리고 좁힐 수가 있다.
- 3) 스페이서 댐퍼를 유지보수해야 하는 경우, 기존 작업방법과는 달리 작업자 1인이 스페이스지그를 갖고 유지보수 할 스페이서 댐퍼 위치까지 접근한 후, 바로 옆에 스페이서지그를 설치한다.
- 4) 작업자는 스페이서지그의 클램프 간격 조정을 통해 쉽게 설치할 수 있고 스페이서지그를 설치한 후, 전선이 클램프에서 이탈하지 않도록 클램프를 원터치방식 잠금장치로 닫는다.
- 5) 스페이서지그 설치 후, 작업자는 기존 스페이서 댐퍼의 클램프 볼트를 풀고, 스페이서지그의 클램프 암을 회전시켜 전선의 간격을 벌린다.
- 6) 전선의 간격이 어느 정도 벌어지면, 스페이서 댐퍼를 전선으로부터 쉽게 해체해 꺼낼 수 있다.
- 7) 전선 또는 스페이서 댐퍼를 유지보수를 할 경우에는 작업을 한 후, 다시 역순으로 스페이서 댐퍼를 재설치하면 된다.
- 8) 스페이서 댐퍼를 교체할 경우에는 해체된 상황에서 역순으로 새로운 스페이서 댐퍼를 설치하면 된다.
- 9) 이상과 같이 스페이서지그를 이용하게 되면 스페이서댐퍼 유지보수 또는 교체방법이 매우 편리하게 된다.

### 4. 특징

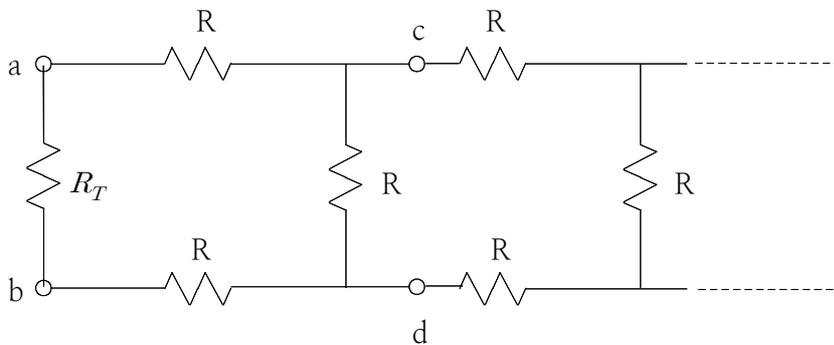
- 1) 송전선로 운영측면에서 시공품질이 향상되고 유지보수 시간이 단축됨에 따라 송전신뢰도가 향상된다.
- 2) 전선 손상방지, 스페이서 댐퍼의 진동저감 성능유지, 스페이서 댐퍼 손상 방지 등으로 송전설비 보호 효과가 크다.
- 3) 작업시간이 단축되고 작업자 1인으로 충분히 작업 가능한 기술로서 작업자에게 주는 작업피로도가 매우 적어, 전체적인 작업 안전성이 매우 향상 된다.

1-8.  $R=1\Omega$ 의 저항을 그림과 같이 무한히 연결할 때 ab간의 합성저항을 구하시오.



답)

1. 무한히 연결할 때 ab간의 합성저항



1) 위 그림과 같이 a-b 사이의 저항을  $R_T$  라 하면

c-d 간의 합성저항 또한  $R_T$  가 되므로, 다음과 같은 관계식을 만들 수 있다.

(무한히 연결되면 1단 붙이나 안 붙이나  $R_T$ 로 같아진다.)

2) a-b 간의 합성저항  $R_T$

(1)  $R_T = 2R + \frac{R \times R_T}{R + R_T}$  (c-d간 합성저항  $R_T$ 와 R이 병렬합성이므로)

(2) 위식을 정리하면

$$R_T^2 + R \times R_T = 2R \times R_T + 2R^2 + R \times R_T$$

$$R_T^2 - 2R \times R_T = 2R^2$$

$$R_T^2 - 2R \times R_T + R^2 = 3R^2$$

$$(R_T - R)^2 = 3R^2$$

(3) 합성저항  $R_T$

$$R_T - R = \sqrt{3} R$$

$$R_T = R + \sqrt{3} R = (1 + \sqrt{3})R$$

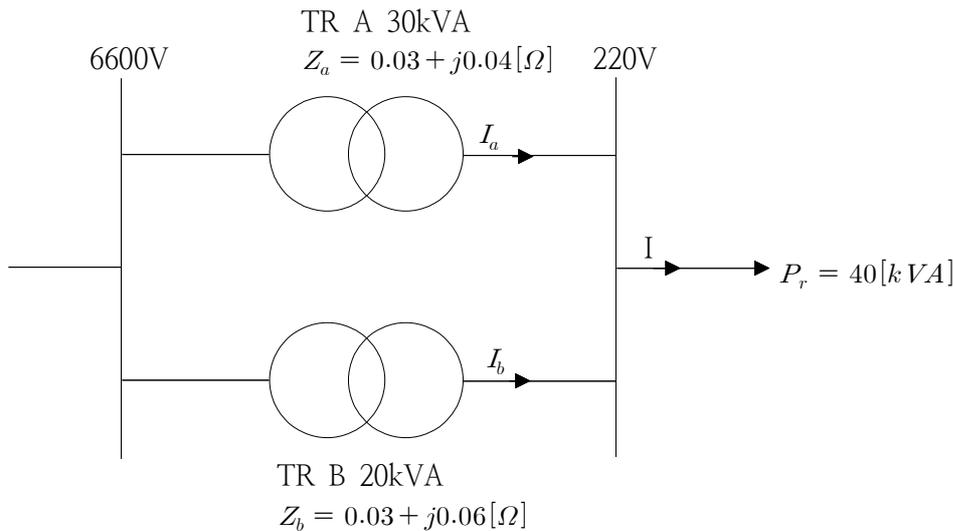
R = 1 이라 했으므로

$$R_T = 1 + \sqrt{3} [\Omega]$$

1-9. 6600/220V인 두 대의 단상 변압기 A, B가 있다. A변압기의 용량은 30kVA로서 2차로 환산한 저항값과 리액턴스의 값은  $r_A = 0.03 [\Omega]$ ,  $x_A = 0.04 [\Omega]$ 이고, B변압기의 용량은 20kVA로서 2차로 환산한 저항값과 리액턴스의 값은  $r_B = 0.03 [\Omega]$ ,  $x_B = 0.06 [\Omega]$ 이다. 이 두 변압기를 병렬 운전하여 40kVA의 부하를 연결한 경우, 각 변압기의 분담부하 (kVA)를 구하시오.

답)

1. 계통도(Ω법 계산)



2. 부하전류 I

$$I = \frac{P_r}{V_L} = \frac{40,000}{220} \approx 181.82 [A]$$

3. 가지전류  $I_a, I_b$

$$I_a = I \times \frac{Z_b}{Z_a + Z_b} = 181.82 \times \frac{0.03 + j0.06}{0.06 + j0.1} \\ \approx 104.28 + j8.02 [A] \approx 104.59 [A]$$

$$I_b = I \times \frac{Z_a}{Z_a + Z_b} = 181.82 \times \frac{0.03 + j0.04}{0.06 + j0.1} \\ \approx 77.54 - j8.02 [A] \approx 77.95 [A]$$

4. A, B 변압기 부하분담

$$P_A = 220 \times 104.59 \approx 23,009 [VA] = 23.009 [kVA]$$

$$P_B = 220 \times 77.95 \approx 17,149 [VA] = 17.149 [kVA]$$

$P_A + P_B = 40.158 [kVA]$ 로 40[kVA]보다 큰 것은 리액턴스 비가 다르기 때문이다.

※ 별해(%Z법 계산)

1. 기준용량  $W_B = 30 [kVA]$ , 기준전압은  $V_B = 220 V$

2.  $\%Z_a$  계산

$$\%Z_a = \frac{W_B}{10 V^2} \times Z_a [\Omega] = \frac{30 \times 10^3}{10 \times 220^2} \times (0.03 + j0.04) [\%]$$

3.  $\%Z_b$  계산

$$\%Z_b = \frac{W_B}{10 V^2} \times Z_b [\Omega] = \frac{30 \times 10^3}{10 \times 220^2} \times (0.03 + j0.06) [\%]$$

4. A, B 변압기 부하분담

$$P_A = \frac{\%Z_b}{\%Z_a + \%Z_b} \times P_r = \frac{0.03 + j0.06}{0.06 + j0.1} \times 40 \approx 23.009 [kVA]$$

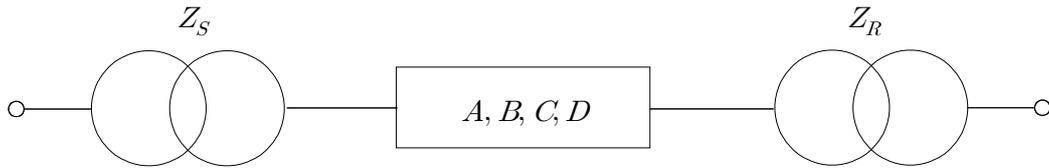
$$P_B = \frac{\%Z_a}{\%Z_a + \%Z_b} \times P_r = \frac{0.03 + j0.04}{0.06 + j0.1} \times 40 \approx 17.149 [kVA]$$

$P_A + P_B = 40.158 [kVA]$ 로  $40 [kVA]$ 보다 크게 된다.

1-10. 송전선로의 4단자 정수가 [A, B, C, D]이고 송전단 측에는  $Z_S$  변압기, 수신단 측에는  $Z_R$  변압기가 각각 접속되었을 경우 합성 4단자 정수를 구하시오.

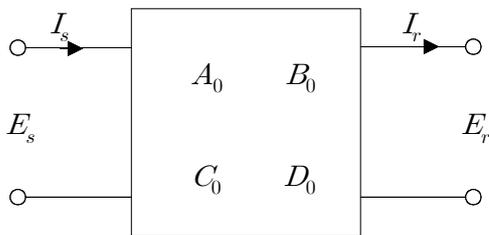
답)

1. 계통도



2. 합성 4단자 정수  $[A_0, B_0, C_0, D_0]$

1) 개념도



2) 행렬식 계산

$$\begin{bmatrix} E_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

$$E_s = A_0 E_r + B_0 I_r$$

$$I_s = C_0 E_r + D_0 I_r$$

3) 합성 4단자 정수  $[A_0, B_0, C_0, D_0]$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & Z_S \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_S \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & AZ_R + B \\ C & CZ_R + D \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} A + CZ_S & AZ_R + B + CZ_S Z_R + DZ_S \\ C & CZ_R + D \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$A_0 = A + CZ_S, \quad B_0 = AZ_R + B + CZ_S Z_R + DZ_S$$

$$C_0 = C, \quad D_0 = CZ_R + D$$

**1-11. 풍력발전의 풍력에너지(이론출력), 출력계수, 주속비의 정의 및 관계식을 설명하시오.**

답)

**1. 풍력에너지(이론출력)**

1) 정의 : 기계적 손실이 없는 이상풍차의 출력

2) 관계식 
$$P = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho A v) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ [W]}$$

$P$  : 공기 운동에너지[W],  $m$  : 질량[kg],  $v$  : 평균풍속[m/s]

$\rho$  : 공기의 밀도(1.225[kg/m<sup>3</sup>]),  $A$  : 회전자의 단면적[m<sup>2</sup>]

3) 실제풍차의 최대출력

$$L_{\max} = \frac{8}{27} \rho A v^3 = \frac{16}{27} P$$

**2. 출력계수  $C_P$**

1) 정의 : 풍차의 이론출력에 대한 실제 출력의 비를 말한다.

2) 관계식 
$$C_P = \frac{\text{실제출력(풍력)}}{\frac{1}{2} \rho A v^3}$$

3) 실제의 출력 
$$L = \frac{1}{2} \rho A v^3 \times C_P = C_P \times P$$

4) 출력계수  $C_P$ 의 이론적 최대치

$$C_{P\max} = \frac{L_{\max}}{P} = \frac{16}{27} \approx 0.593$$

**3. 주속비(주변속도비)**

1) 정의 : 풍차의 날개 끝 부분 속도와 풍속의 비율

2) 관계식 
$$D = \frac{u}{V}$$

$u$  : 풍차의 주변속도 ( $u = \pi DN$ )  $N$  : 회전수[rps]

$V$  : 바람의 속도(풍속)

**1-12. 운영예비력 중 주파수제어 예비력, 1차 예비력, 2차 예비력, 3차 예비력을 각각 설명하시오.**

답)

### 1. 운영예비력의 정의

운영예비력이란 평상시 안정적 주파수 유지를 위한 주파수 제어예비력과 고장 발생 시 주파수 회복을 위한 1차 예비력, 2차 예비력, 3차 예비력을 말한다.

### 2. 각 예비력 용어의 설명

#### 1) 주파수제어예비력

주파수제어 예비력이란 발전기의 자동발전제어(AGC) 운전을 통해 5분 이내에 응답하여 30분 이상 출력을 유지할 수 있는 예비력을 말한다.

#### 2) 1차 예비력

1차 예비력이란 발전기의 조속기(Governor Free) 운전 및 전기저장장치의 주파수추종 운전을 통해 주파수 변동 10초 이내에 응답하여 5분 이상 출력을 유지할 수 있는 예비력을 말한다.

#### 3) 2차 예비력

2차 예비력이란 발전기의 자동발전제어(AGC) 운전을 통해 10분 이내에 응답하여 30분 이상 유지할 수 있는 예비력을 말한다.

#### 4) 3차 예비력

3차 예비력이란 중앙급전발전기를 통해 30분 이내에 확보할 수 있는 예비력을 말한다.

1-13. 원자력 발전에 관한 다음 용어를 설명하시오.

1) 붕괴열 2) 전자볼트(eV : Electron Volt) 3)  $\alpha$  선(Alpha Radiation)

답)

### 1. 붕괴열

원자로는 정지한 뒤에도 핵분열 생성물로부터 상당한 시간동안  $\beta$ 선이나  $\gamma$ 선의 방사가 행해지는데 이 붕괴에 따라 발생하게 되는 열을 붕괴열이라고 한다. 그러므로 원자로에서는 정지 후에도 이 붕괴열을 제거하기 위한 설비를 갖추는 필요가 있다.

### 2. eV(electron volt)

이것은 에너지의 단위로서 1[eV]란 전자가 진공 속에서 전위차 1[V]의 전극간을 통과할 때 얻는 에너지를 말한다.

그 크기는  $1[eV] = 1.60 \times 10^{-19} [J]$  의 관계에 있다.

### 3. $\alpha$ 선(Alpha Radiation)

원자핵이 헬륨을 방출해서 보다 안정된 원자핵으로 변환하는 현상을  $\alpha$ 붕괴라고 말하는데 이때 방출되는 것이  $\alpha$ 입자이다. 이  $\alpha$ 입자의 흐름을  $\alpha$ 선이라고 한다.  $\alpha$ 입자는 물질에 쉽게 흡수되며, 또 이것은 통과하는 물질을 전리하는 작용이 강하다.

# 제 2교시 문제풀이

## 2-1. 원자로의 보호대책에 대하여 설명하시오.

답)

### 1. 원자로의 고유의 안정성

1) 정의

원자로가 정상상태에서 벗어날 때, 물리적 특성에 의해 안정한 상태로 되돌아가려는 성질

2) 고유안정특성

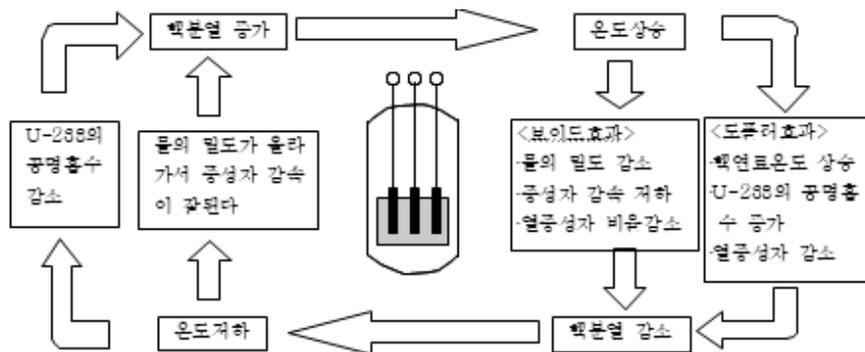
(1) 도플러 효과

- ① 원자로 출력이 상승해서 핵연료의 온도가 상승하면 U238의 공명흡수 영이 넓어져 중성자 흡수가 증가한다.
- ② U235의 핵분열 확률 저하로 출력을 감소시킨다.
- ③ 반대로 핵연료 온도가 낮아질 때는 출력을 증가시킨다.

(2) 감속재의 온도계수(보이드, 밀도효과)

- ① 원자로 출력이 증가하여 감속재의 온도가 올라가면 밀도가 작아진다.
- ② 감속재의 밀도가 낮아지면 중성자 감속효과가 줄어들어 반응도(열중성자와 U235가 반응할 확률)가 줄어든다.
- ③ 감속재 온도가 올라갈 때는 출력이 감소하고, 온도가 내려갈 때는 출력이 상승한다.

(3) 원자로의 고유의 안정성 개념도



[ 원자로의 고유의 안정성 개념도 ]

### 2. 다중 방호 설비

1) 정의

방사성 물질이 발전소 외부로 누출되는 것을 방지하기 위하여 여러겹의 방호벽을 설치하는 것.

2) 종류

(1) 제 1 방호벽 (펠릿, 핵연료 피복관)

우라늄 분말을 굳혀구는 연료체를 지르코늄 합금의 금속관에 넣고 밀봉한 것

(2) 제 2 방호벽 (원자로 압력용기)

25 cm 강철로 만든 원자로 압력용기

(3) 제 3 방호벽 (차폐콘크리트 벽)

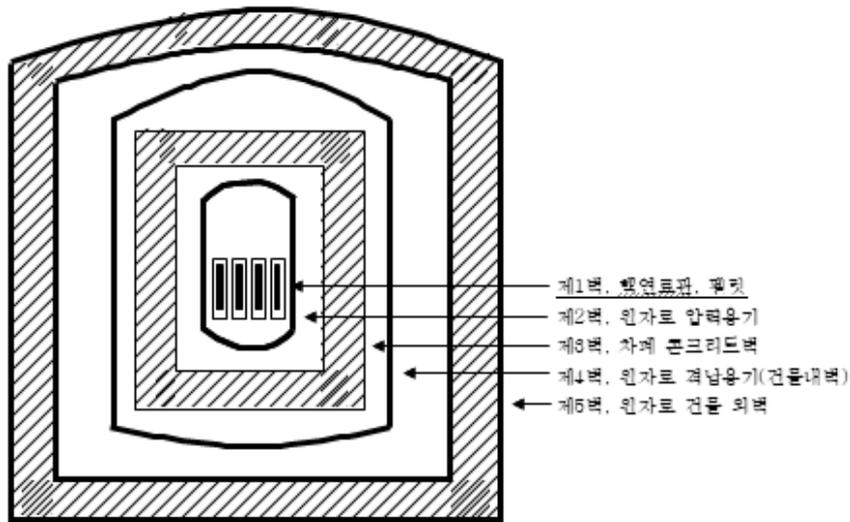
(4) 제 4 방호벽 (원자로 건물 내벽)

6 cm 강철로 만들.

(5) 제 5 방호벽 (원자로 건물 외벽)

120 cm 철근콘크리트 건물 외벽

3) 구성도



[ PWR 에서의 다중 방호 체계 ]

3. 긴급정지(Scram) 장치

1) 정의

원자로 내에 중성자가 이상 상승시 운전원의 대응이 적절하지 않을 때 자동적으로 제어봉이 삽입되어 노내의 반응을 정지 시키는 장치

2) Back-Up 정지장치

제어봉이 정상 작동 하지 않을시 다량의 붕소용액을 주입하여 원자로를 정지시키는 장치.

4. 비상용 노심 냉각장치(ECCS)

1) 정의

1차 냉각계 배관이 파손되어 냉각수가 없어지거나 증기발생기의 세관이 파손되어 냉각수가 빠져나가게 되는 사고시 대량의 물을 일시에 주입해서 원자로를 완전히 물에 담가서 냉각하는 장치.

## 5. 비상용 전원

### 1) 정의

긴급시, 정전시 제어계, 긴급 냉각계, 보조 냉각계, 환기계 등에 전력공급.  
주로 디젤 발전기가 사용됨.

## 6. 내진 설계

- 1) 원자력 발전소 부지는 여러 해 동안 정밀조사를 거쳐 지반이 단단한 두꺼운 암반위에 건설한다.
- 2) 지진이나 공중에서의 낙하물에 대하여 충분히 견딜 수 있게 견고하게 건설한다.

**2-2. 지중송전선로 케이블 포설공법인 장경간 와이어 포설공법을 캐터필러(Caterpillar)와 롤러(Roller)를 이용한 방식과 비교하여 설명하시오.**

답)

**1. 장경간 와이어 포설공법**

**1) 정의**

전력구내 케이블 지지대에 브라켓과 레일을 설치하고 3m 간격으로 슬링벨트를 달아 안착시킨 케이블을 전동원치를 통해 포설하는 방식.

**2) 공법 설명**

- (1) 포설구간에 가이드레일을 설치하고 대차가 레일을 따라 움직이게 해 마찰계수를 줄였으며, 대차에 슬링 벨트를 이용해 케이블에 외력을 가하지 않은 상태로 이송이 되고 와이어 로프를 이용해 케이블을 인취해 케이블을 이송한다.
- (2) 와이어로프는 전동원치로 구동하고 포설구간에 장비를 연동제어함으로써 장경간을 한 번에 포설한다.
- (3) 구동력을 발생하는 장비는 캐터필러와 전동원치를 이용한다. 캐터필러는 모터와 무한궤도를 이용해 케이블을 송출하는 장비이다.
- (4) 케이블을 운송하는 장치는 가이드레일과 대차로 구성된다. 가이드 레일은 터널 내 최상단에 행거를 이용해 설치하고 대차는 가이드레일을 따라 케이블을 운송하는 역할을 한다.
- (5) 가이드레일은 터널 전구간에 걸쳐 설치되며 대차는 케이블의 처짐이 발생하지 않도록 터널 시점부에서 일정간격으로 설치한다.
- (6) 케이블에 대차를 설치할 때 슬링벨트를 이용해 케이블 포설되는 높이에 맞춰 포설할 수 있으며, 케이블이 미끄러짐을 방지하기 위해 슬링벨트와 케이블 사이에 고무패드를 설치한다.
- (7) 수직구 하강, 터널 시종점, 반대편 수직구 상승 시에는 캐터필러를 이용해 포설한다.
- (8) 장경간 포설은 포설 장비간에 작은 속도의 차이가 포설 품질저하의 원인이 되므로 장비간에 속도 연동이 매우 중요하다. 연동제어는 각 장비 전, 후에 케이블의 처짐량을 감지할 수 있는 댄서 및 장력계를 설치하고 이 신호를 바탕으로 각 장비간 속도를 조절한다.

**3) 구성장비**

**(1) 곡률 가이드장치(신규장비)**

케이블 포설시 허용 곡률반경을 확보하고, 강관비계 등 고소 인력작업을 배제하기 위한 장치로 500m의 케이블이 감겨진 드럼을 언더롤러에 안착시킨 후, 간편하게 설치/해체할 수 있는 곡률가이드 장치를 활용하여 케이블을 맨홀 내부로 인입시켜 포설속도를 정격으로 유지하기 위한 전동원치로 케이블 포설을 시행한다.

**(2) 전동원치**

모터를 이용해 와이어로프를 릴 드럼에 감는 장비로 폴리텐션미터를 장착하여 장력, 거리, 속도가 컴퓨터에 실시간으로 감시, 저장되어 시공이 적절치 못할 경우 바로 조정이 가능하다.

## (3) 언더롤러

전력구 내 포설 시에도 정, 역회전이 가능한 언더롤러를 곡률가이드 장치와 같이 사용함으로써 시공품질을 확보할 수 있다.

**4) 캐터필러(Caterpillar)와 롤러(Roller)를 이용한 방식과 비교**

## (1) 케이블을 한 번에 포설한다.

국내 최장 구간 5.2km에 케이블을 한 번에 포설해 케이블 상호간을 연결하는 접속 개소가 설치되지 않도록 했으며 이는 순시 및 유지보수에서 많은 장점을 가질 수 있을 것으로 보인다.

## - 기존방식

육지의 전력구나 터널에 건설되는 지중송전선로는 500~700m 구간마다 공장에서 생산된 케이블 운반해 현장에서 포설장비와 인력 등을 활용해 포설한 이후에 케이블 상호연결 작업을 통해 접속하는 공정으로 이뤄져 터널이나 전력구에 많은 케이블 접속점을 가진다.

## (2) 장경간 포설에 적합하다.

터널 전력구 지지대에 레일을 설치하고 이 레일의 슬링벨트에 케이블을 안착시켜 장거리를 케이블 접속 없이 안전하게 포설할 수 있으며, 이는 기존의 공법들이 갖는 포설한계거리를 훨씬 뛰어넘는 획기적인 방법이다.

## - 기존공법

30m 간격으로 캐터필러를 포설한다고 가정할 때 전 구간에 약 180개의 캐터필러가 설치돼야 하고 전압강하를 고려한 전원케이블 연결, 캐터필러 간 속도의 차이 보상, 포설 정지 시 손상발생 우려 등으로 장경간 포설에는 부적합하다.

## (3) 케이블 포설시 효율이 좋다.

케이블을 포설한 후에는 슬링벨트를 풀어 케이블을 아래로 내림으로써 행거에 안착이 가능해 기존의 캐터필러 방식이 인력을 사용해 케이블을 들어 올리는 방식 대비해 또한 효율적이다.

## (4) 수직스네이크 작업 시 장치 탈부착이 용이하다.

터널형 전력구에서 수직스네이크 작업 시 유압장치를 천정에 별도로 고정해야 하는 단점이 있는데 이 공법은 상부 레일에 유압장치를 지지해 사용이 가능하다.

## (5) 케이블 손상을 방지할 수 있다.

케이블에 외력을 가하지 않으므로 포설장비의 압착력에 의한 케이블의 손상을 방지할 수 있으며 전동원치 1대당 약 1.7km 포설이 가능해 장거리 포설에 적합하다.

## (6) 제어가 용이하고 케이블 포설 품질을 높일 수 있다.

제어해야 하는 장치 개수가 적기 때문에 장치간에 상호 유기적인 연동제어가 용이하며, 비상 상황 발생 시 동시에 장비가 정지되므로 포설에 따른 케이블 품질을 높일 수 있다.

## (7) 장거리 HVDC 케이블 포설공사에 적합하다.

**2-3. 무효전력-전압제어에 대하여 전압특성을 중심으로 설명하고 무효전력 발생원의 종류에 대하여 설명하시오.**

답)

**1. Q - V에 대하여 전압특성을 중심으로 설명**

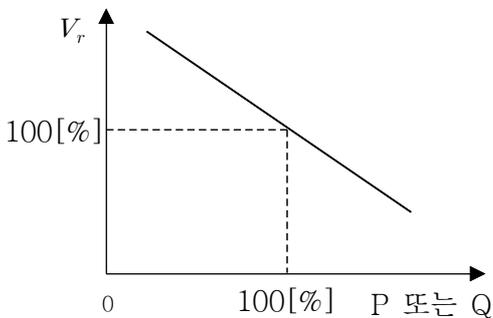
**1) 전압·무효전력 제어의 특징**

- (1) 전압과 무효전력의 변화는 검출하는 곳에 따라 각각 그 값이 다르다는 국지적인 성질을 지니고 있다.
- (2) 전압에 사용되는 조상설비의 종류가 많고 이들이 계통 각 지점에 산재해서 각각 개별적인 제어를 하고 있으므로 제어에 어려움이 있다.
- (3) 계통이 대규모화 되고 발·변전소 사이의 임피던스가 작아져서 전압제어 범위가 확대되고 있다.
- (4) 전압·무효전력 제어는 단순한 전압조정에서 계통 운용 비용의 최소화까지 포함한 이른바 종합적인 계통운용의 실현을 목표로 추진되고 있다.

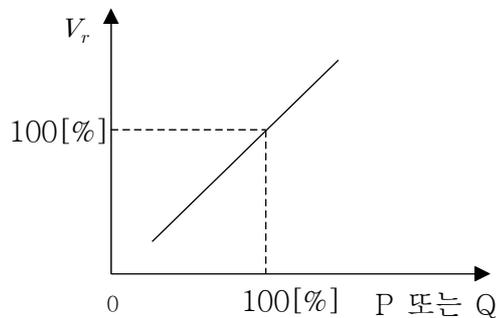
**2) 전압 전력 특성**

(1) 계통 측에서의 전압 특성

유효전력과 무효전력이 증가하면 ( $\Delta P > 0, \Delta Q > 0$ ) 전압은 강하( $\Delta V < 0$ )하는 특성을 갖는다.



< 전압 전력 특성 >

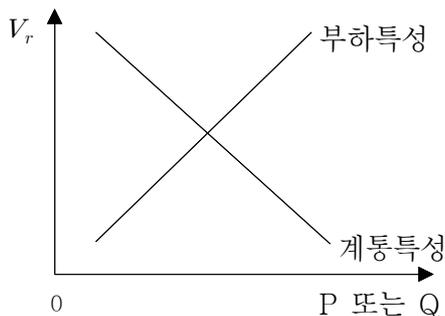


< 전압 전력 특성 >

(2) 부하 측에서의 전압 특성(부하의 자기제어 특성)

전압이 내려가면 무효전력, 유효전력의 소비도 줄어들어 감소하는 특성을 갖는다.

(3) 계통과 부하에서의 전압특성곡선이 교차하는 점에서 균형을 유지하게 된다.



< 전압 전력 특성 >

## 2. 무효전력 발생원의 종류 설명

### 1) 발전기

- (1) 발전기는 정격출력에서 85 ~ 95% 정도의 역률에 상당하는 무효전력을 공급할 수 있다.
- (2) 발전기의 계자전류를 여자기로 제어하여 진, 지상의 무효전력을 연속제어 할 수 있다.
- (3) 과여자 운전(지상운전) - 무효전력을 발생하여 전압을 상승시킨다.

### 2) 전력용 콘덴서 (SC)

- (1) 지상 무효전력을 발생할 수 있으며 무효전력의 소비는 할 수 없다.
- (2) 연속제어가 불가능 하고 계단제어를 하며 계통 투입 시 전압이 상승한다.
- (3) 설비비가 매우 싸다.

### 3) 동기조상기

- (1) 회전기를 이용하여 무효전력을 진상에서 지상까지 연속으로 제어하여 전압조정이 가능하게 한 설비로 무효전력 발전기라고도 불린다.
- (2) 계통의 전압이 낮으면 과여자로 운전하여 직류의 계자회로의 저항을 감함으로서 전기자에 흐르는 전류의 위상을 90° 앞서게 하여 진상전류를 흡수하여 지상 무효전력을 발생하여 전압을 높인다.
- (3) 속응성이 좋고 연속제어가 가능하다.
- (4) 회전기이므로 유지보수비용이 들고 손실이 크며 가격이 비싸다.

### 4) 정지형 무효전력 보상장치 (SVC)

- (1) 전력용 반도체 소자를 이용하여 지상에서 진상까지 무효전력을 연속으로 제어하는 설비로 계통전압과 기준전압을 비교하여 계통전압이 기준전압보다 낮으면 SVC로 흐르는 전류의 위상을 전압보다 앞서게 하여 지상무효전력을 발생시켜 전압을 높인다.
- (2) 설비비가 비싸다.
- (3) 무효전력의 연속제어가 가능하고 속응성이 좋다.

### 5) STATCON (Static Condenser)

- (1) IGBT 소자를 이용하여 자력식 인버터를 구성함으로써 무효전력을 공급할 수 있는 새로운 방식으로 SVC의 성능을 혁신적으로 개선하여 무효전력의 연속제어 성능을 갖는 장치.
- (2) 계통전압과 기준전압을 비교하여 계통전압이 기준전압보다 낮으면 STATCON으로 흐르는 전류의 위상을 전압보다 앞서게 하여 지상무효전력을 발생시켜 전압을 높인다.
- (3) Storage(DC) Capacitor가 있어 약간의 유효전력 제어도 가능하다.
- (4) 속응성이 좋고 계통 동요억제 및 전압 제어로 안정도를 증진시키고 배전계통에서 전력 품질 향상 및 전력공급능력 향상 목적으로 사용된다.
- (5) 가격이 매우 비싸다.

### 6) 부하시 탭 조정 장치 (ULTC)

부하에 전력을 공급하면서 권선의 탭을 절체하여 권선간의 권수비를 단계적으로 바꾸어 지상 무효전력을 발생시켜 전압을 올린다.

### 7) 송, 배전선로의 충전용량(특히 케이블의 정전용량)

**2-4. 집단에너지사업과 구역전기사업을 각각 설명하고, 1) 법적인 측면, 2)열공급 측면, 3)전기공급측면, 4)전기판촉 측면에서 비교하여 설명하시오.**

답)

**1. 집단에너지사업과 구역전기사업 설명**

**1) 집단에너지사업**

(1) 정의

집단에너지란 1개소 이상의 집중된 에너지 생산시설(열병합발전소, 열전용보일러, 자원회수시설 등)에서 생산된 에너지(열 또는 열과 전기)를 주거, 상업지역 또는 산업단지 내의 다수 사용자에게 일괄적으로 공급·판매하는 사업이다.

- 다수 사용자는 개별적으로 에너지 생산시설을 설치하지 않음

(2) 사업의 종류

집단에너지사업은 지역냉난방사업과 산업단지 집단에너지사업으로 구분한다.

구 분	사 업 내 용
- 지역냉난방사업	- 일정지역 내에 있는 주택, 상가 등 각종 건물을 대상으로 난방용, 급탕용, 냉방용 열 또는 열과 전기를 공급하는 사업
- 산업단지 집단에너지사업	- 산업단지 입주업체를 대상으로 공정용 열 또는 열과 전기를 공급하는 사업

(3) 사업의 효과

- ① 에너지 이용효율 향상에 의한 대규모 에너지 절감 및 온실가스 감축
- ② 집단에너지 공급에 의한 주거 및 산업부문의 편의 제공
  - 지역냉난방 : 24시간 연속냉난방에 의한 쾌적한 주거환경 조성
  - 산업단지 : 양질의 저렴한 에너지공급으로 기업경쟁력 강화
- ③ 분산형 전원확보로 국가 전력수급다양화 기여
  - 발전소 부지난 해소 및 송전손실 감소
- ④ 지역냉방 보급확대로 하절기 전력 첨두부하 완화에 기여
- ⑤ 미활용에너지 활용증대로 국가 에너지이용효율 향상 및 석유의존도 감소
  - 산업공정 폐열, 쓰레기 소각수열, 매립가스(LFG) 등을 열원으로 활용

**2) 구역전기사업**

(1) 정의

전기를 생산하여 이를 전력시장을 통하지 아니하고 특정한 공급구역내의 전기사용자에게 직접 공급하는 사업을 말한다.

빌딩, 호텔, 병원 및 재개발지구와 같은 밀집된 수요처 인근에 열병합발전설비를 건설하여 전기와 냉·난방을 공급하고 실질적으로 발전·배전 및 전기판매를 겸업한다.

(2) 사업자의 종류

- ① 지역난방, 집단에너지난방 등 복합발전기를 이용하여 열과 전기를 동시에 공급하는 사업자
- ② 대체에너지(매립지가스, 풍력 등)를 이용하여 전기를 생산하는 사업자

(3) 사업의 특징

- ① 전력의 안정공급을 확보하기 위한 분산형전원의 보급이 확대되고 있으며 구역전기사업자 제도가 활성화될 경우 전기, 가스, 집단에너지 사업자간 경쟁이 촉진되어 에너지시장의 새로운 변화를 초래할 것으로 기대되고 있다.
- ② 종래 전기사업의 종류는 발전사업, 배전사업, 송전사업 및 전기판매사업의 4종이었으나, 이에 구역전기사업이 새로이 추가됨
- ③ 구역전기사업은 전력시장을 통하지 아니하고 전기를 공급함으로써 현행 전기사업법이 채택한 강제풀(Gross Pool)의 예외가 됨.
- ④ 자가열병합이나 한시적으로 전기를 직판하던 집단에너지사업이 활성화되는 계기

2. 법적인 측면 설명

1) 집단에너지사업

구분 항목	집단에너지 공급타당성 협의대상	집단에너지 사업허가 기준	집단에너지공급시설 공사계획 승인
법적근거	집단에너지사업법 제4조	집단에너지사업법 제9조	집단에너지사업법 제22조
대 상	동법 시행규칙 제3조 참조 (산업단지 및 택지개발사업 등)	열생산 용량 (동법 시행령 제2조 참조) - 지역난방 : 5Gcal/h - 산업 단지 : 30Gcal/h	집단에너지사업 허가를 득한 사업자

2) 구역전기사업

집단에너지사업법 제9조의 규정에 의하여 사업허가를 받은 집단에너지사업자 중 일정한 자는 집단에너지사업법 제9조의 규정에 의하여 허가 받은 공급구역 안에서 전기 공급 가능(법 제 92조의2) 이 경우 당해 집단에너지사업자는 구역전기사업자로 의제됨.

종래의 직판 집단에너지사업자는 계속적 직판 가능(법 부칙 제2조)

내용	전기사업법	시행령	비고
구역전기사업자 설비용량 상한	협회의 구역전기사업자 ⇒ 대통령령이 정하는 규모 이하	3만5천kW 이하	현재 운영중인 자가열병합 및 직 판 집단에너지사 업자의 설비용량 감 안
	의제 구역전기사업자 ⇒ 30만kW이하 (구역전기사업자로 의제)	지역난방 : 15만kW이하 산업단지 : 25만kW이하	
구역전기사업자 설비용량 비율	당해 공급구역 전력수 요의 50% 이상	당해 공급구역 전력수 요의 70% 이상	평균부하율 감안 (평균전력/피크전력)

### 3. 열공급 측면

#### 1) 집단에너지사업

- 사업허가기준 : 자기소비량을 제외한 열생산용량이 시간당 5 Gcal/h 이상 (집사법)
- 도입기준 : 최대열부하, 열사용량, 열밀도 고려하여 공급대상지역 지정 (산자부고시)

구 분	최대열부하 (Gcal/h)	열사용량 (Gcal/y)	열밀도 (Gcal/㎥h)
C E S	5 ~ 30	60,000	30
기존 지역 냉·난방(대규모)	150	300,000	30

#### ■ 기존 지역난방사업과 CES사업의 비교

구 분	기존 지역난방사업	CES 사업
서비스	난방위주, 제한적 전기냉방	난방, 냉방, 전기 일괄 공급
주요 대상	신도시 택지지구의 대규모 아파트단지	업무상업지역, 아파트, 병원 등 에너지소비 밀집구역
시스템	대형 열병합발전, 쓰레기 소각시설, 열전용보일러사용	소형 열병합발전(가스엔진, 가스터빈), 냉동기
투자 형태	대규모 집중투자	소규모 분산투자

### 4. 전기공급측면

제4차 전력 수급 계획상 발전소 건설 계획		
발전소 유형	전력 공급량(MW)	투자 금액(억 원)
원자력	1만 5200	26조 2,155
유연탄	9480	5조 7,087
가스복합	7162	4조 3,801
양수	800	5,290
신재생	2387	14조 2,776
집단에너지	1876	4조 626
구역전기 사업 (구역형 집단에너지)	544	3조 904
합계	3만 7489	58조 2,639

- 주) 1. 가스복합, 신재생, 집단에너지(구역전기 사업 포함)는 발전 설비 용량에 준공 이행률 또는 피크 기여도를 반영.  
 2. 구역전기 사업은 총 건설비에서 배전비 제외.  
 3. 구역전기 사업의 총 투자비 3조 6,346억 원 중에서 1MW당 3억 원의 배전 설비비.  
 4. 442억 원을 제외해 산출한 발전 설비 투자 금액 3조 904억 원은 소규모 발전 설비로 중대형에 비해 단위 금액이 크고, 도심지 내 입지해 부지 구입비가 높은 점 등을 반영.

#### 1) 집단에너지 사업보다 전력 공급 효과 미약

(1) 제4차 전력 수급 기본 계획'에 따르면 2008년부터 2022년까지 우리나라 발전 설비 전력 공급 용량은 4만 1057MW(전력 공급은 3만 7489MW)며, 여기에 총 58조 2,639억 원을 투자할 계획이다.

- (2) 이 계획에 따르면 구역전기 사업은 총 투자비(58조 원)의 5.3%에 해당하는 3조 904억 원을 투자해 총 발전량(37GW)의 1.5%에 해당하는 544MW를 생산할 예정이다.
- (3) 실제 전력 공급이란 최근 3년간 피크 기여도(전력수요가 최대일 때 전력 공급 실적)를 반영한 것으로, 집단에너지 사업은 설비 용량의 60%를, 구역전기 사업은 설비 용량의 30%를 인정한다.
- (4) 즉, 발전설비 공급의 불확실성을 감안해 신재생에너지 사업 및 집단에너지 사업은 피크 기여도를 반영하는데, 중앙 급전 지시를 따르는 대부분의 집단에너지 사업은 설비 용량(3128MW)의 60%를, 비중앙 발전 시설에 해당하는 구역전기 사업은 설비 용량(1814MW)의 30%(544MW)를 전력 예비율에 기여한다고 인정하는 것이다.

5. 전기 판촉측면

연도별 구역전기 사업자 재판매 수익 현황						
연도	한전 → 구역전기 사업자			구역전기 사업자 → 구내 고객		
	판매량(ㄱWh)	금액(원)	단가 (원/ㄱWh)	재판매 단가 (원/ㄱWh)	단가 차이 (원/ㄱWh)	재판매 차이 (원)
2004	9279만 6480	64억 9352만 1,996	70.0	116.7	46.7	43억 3,266만 7,651
2005	6639만 5280	51억 5959만 7,843	77.7	116.7	39.0	25억 8,920만 2,913
2006	8161만 4621	58억 475만 6,655	94.2	117.4	23.2	14억 2,855만 9,175
2007	1억 8127만 3276	137억 5400만 3,419	85.3	117.2	31.9	51억 3,734만 8,565
2008	1억 8161만 8492	150억 6713만 5,902	83.0	114.4	31.4	57억 615만 1,808
2009	5억 7만 3744	418억 1292만 373	83.6	111.5	27.9	139억 5,148만 2,297
2010(상반기)	1억 9878만 6886	168억 705만 1,414	84.5	107.6	23.1	45억 9,564만 9,340
소계	12억 6255만 8759	1048억 9898만 7,602	83.1	113.0	29.9	377억 4,106만 1,768

\* 조경태 의원실, 2010년 지경부 국정감사 자료.

한전과 구역전기 사업자의 전력 구입 · 판매 단가 비교(2009년)		
구분	구매(ㄱWh당)	판매
한전	68.58원	주택용: 114.45원
		일반용: 98.40원
구역전기 사업자	한전 구매: 94원	주택용: 114.45원
	전력 시장 구매: 83원	일반용: 98.40원

\* 자료 : 지경부 2010년 국정감사 자료

계절별 구역전기 사업자의 자체 전력 공급 현황(2008. 1~2009. 7)	
구분	자체 공급 비율(단위 : %)
봄	37.2
여름	13.2
가을	41.1
겨울	54.7
연평균	36.1

## 2-5. 전력계통의 공급신뢰도 향상대책에 대하여 설명하시오.

답)

### 1. 개요

- 1) 공급신뢰도란 어떤 장치나 System내의 정해진 조건하에서 전력의 주 공급지점 까지 확실한 품질로 공급하는 것을 공급신뢰도라 한다.
- 2) 규정된 주파수와 전압을 정전없이 공급해야 한다.
- 3) 공급 신뢰도에 영향을 미치는 요소
  - (1) 유효전력 수급 불균형에 의한 주파수 이상 변화
  - (2) 무효전력 수급 불균형에 의한 전압의 이상 변화
  - (3) 송전선 사고에 의한 계통에서의 탈락
  - (4) 송전선의 과부하
  - (5) 이상전압 전파에 의한 사고 발생

### 2. 공급 신뢰도 향상 대책

#### 1) 충분한 예비력 확보

전력거래소는 수급운영 및 실시간 급전운영을 위하여 적정수준의 운영예비력을 확보, 운영하여야 한다.

#### 2) 설비 용량의 적정선정

- (1) 설비용량을 증대하여 공급시에 대규모 전원설비가 어떤 원인으로 탈락 시 공급신뢰도에 많은 영향을 미친다.
- (2) 따라서 대용량 설비 한 대보다 소용량의 설비를 여러대 설치하여 운전하면 한대가 고장나도 계통에는 영향이 없다.

#### 3) System 의 구성

계통구성을 병행 2회선이나 Network, Loop화 하여 공급한다.

#### 4) System 연계

타 계통과 연계하면 계통용량이 증대되어 계통의 사고에 대하여 대응이 가능하다.

#### 5) 보수 계획의 합리화

- (1) 전원설비의 보수점검은 최대수요 시기를 피하여 보수점검 한다.
- (2) 봄, 가을에 보수점검하여 하절기, 동절기에 공급한다.

#### 6) 복구 능력의 향상

- (1) System 사고로 인해 정전이 발생하더라도 가능한 정전을 짧게 해야 한다.
- (2) 복구시간의 단축을 위해 안전도제어 System을 도입한다.

### 7) 부하 및 출수 예측의 정밀화

- (1) System의 신뢰도가 어느 정도 확보되는 가는 부하예측의 정확성에 달려있다.
- (2) 부하예측을 Micro 법이나 Macro 법에 의해 정확하게 예측하여 예비력을 충분히 확보한다.
- (3) 부하예측 방법
  - ① Micro 방법 : 전력수요내용을 상세히 분석하여 예측하는 방법
    - a) 주택용 수요에 있어서 가정용 전기 기기별 보급율, 기기별 원단위를 추정하여 예측한다.
    - b) 개개 산업의 전력 원단위를 추정하여 예측한다.
  - ② Macro 방법 : 수요전체에 대한 어떠한 법칙성을 찾아내어 예측하는 방법
    - a) 시계열법 : 시간의 경과에 따른 과거의 실적 경향이 장래에도 계속된다는 전제하에 예측한다.
    - b) 회귀분석법 : 수요성장의 요인이 되는 경제지표, 인구, 전력요금과 수요와의 관계를 찾아내어 예측한다.

### 8) 보호계전 장치의 신뢰성 향상

- (1) 다중화와 자동감시를 통하여 사고율 감소
- (2) Digital Relay 채용

2-6. 다음과 같은 조건일 때 원통형 동기발전기의 벡터도를 그리고, 전기자 저항을 고려한 출력식에 대하여 설명하시오.

E : 1상의 내부유기기전력

V : 1상의 단자전압

I : 전기자 전류

$R_a$  : 전기자 권선저항

$X_s$  : 전기자 권선 동기리액턴스

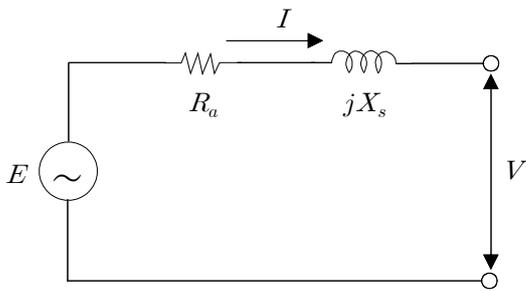
$\theta$  : 역률각

$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_a}{X_s}$  : 전기자 권선 임피던스각       $\delta$  : 부하각

답)

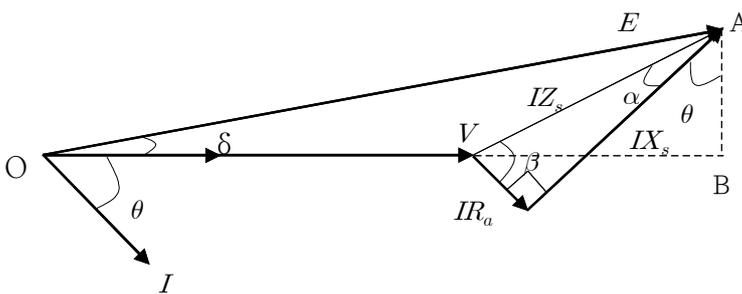
1. 원통형 동기발전기의 벡터도

1) 등가회로도



< 등가회로도 >

2) 벡터도



< 벡터도 >

2. 전기자 저항을 고려한 출력식 유도

1) 출력식 P

$$P = VI \cos \theta \text{ [W]}$$

2) 벡터도에서  $\overline{AB}$ 와  $\overline{OB}$

$$\overline{AB} = IZ_s \cos(\theta + \alpha) = E \sin \delta$$

$$\overline{OB} = V + IZ_s \sin(\theta + \alpha) = E \cos \delta$$

여기서  $Z_s = \sqrt{R_a^2 + X_s^2}$   $\angle \beta = \tan^{-1} \frac{X_s}{R_a}$

- 3) 삼각함수의 가법정리를 적용하면

$$IZ_s (\cos \theta \cos \alpha - \sin \theta \sin \alpha) = E \sin \delta$$

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

- 4) 위 식에 각각  $\cos \alpha$ ,  $\sin \alpha$ 를 곱하여 더하면

$$IZ_s \cos \theta (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = E \sin \delta \cos \alpha + E \cos \delta \sin \alpha - V \sin \alpha$$

- 5)  $I \cos \theta$ 에 대하여 정리하면

$$I \cos \theta = \frac{E \sin(\delta + \alpha) - V \sin \alpha}{Z_s}$$

- 6) 출력식 P

$$P = VI \cos \theta = \frac{EV}{Z_s} \sin(\delta + \alpha) - \frac{V^2}{Z_s} \sin \alpha \text{ [W]}, \quad \alpha = \tan^{-1} \frac{R_a}{X_s}$$

# 제 3교시 문제풀이

**3-1. 발전기 자기여자 현상의 정의 및 방지대책을 기술하고, 송전전압 345[kV] 2회선, 선로길이가 250[km], 선로의 작용정전용량 0.01[μF/km] 라고 할 때, 이 선로에 자기여자를 일으키지 않고 충전하기 위한 발전기 최소용량(kVA)을 산정하시오.**  
 (단, 발전기의 단락비는 1.1, 포화율은 0.12 이다.)

답)

### 1. 발전기 자기여자 현상의 정의

- 1) 장거리 무부하 송전선로에서는 선로의 정전용량에 의한 충전전류가 흐른다. 이 충전전류는 발전기 전압보다 위상이 90° 앞선다.
- 2) 위상이 90° 앞선 충전전류에 의해 발전기 전기자 반작용 증자작용에 의해 발전기 단자전압이 상승한다.
- 3) 용량이 작은 발전기로 장거리 송전선로를 충전할 경우 발전기의 여자 회로를 개방한 채 발전기를 송전선로에 접속해도 발전기 전압이 이상 상승하는 수가 있다. 이러한 현상을 발전기 자기여자 현상이라 한다.

### 2. 발전기 자기여자 현상의 방지 대책

- 1) 단락비가 큰 발전기로 충전
  - (1) 발전기가 자기여자 현상을 일으키지 않고 충전할 수 있는가를 나타내는 것이 단락비 이다.
  - (2) 
$$K_s \geq \frac{Q'}{Q} \left( \frac{V}{V'} \right)^2 (1 + \sigma)$$
    - $V'$  : 충전전압 [kV],  $V$  : 발전기 정격전압 [kV]
    - $\sigma$  : 정격전압에 있어서 포화계수 (0.05 ~ 0.15)
    - $Q$  : 발전기의 정격용량 [MVA],  $K_s$  : 단락비
    - $Q'$  : 충전전압  $V'$ 에 대한 송전선의 소요 충전용량
 위 식에서  $K_s$ 가 큰 발전기가 송전선로 충전에 적합하다.
- 2) 수전단에 병렬 리액터를 설치한다.
 

리액터의 지상용량으로 진상인 충전용량을 상쇄한다. 선로의 길이를 전기적으로 짧게 하는 효과를 나타낸다.
- 3) 발전기 2대를 병렬운전 한다.
- 4) SVC, STATCON 등을 수전단에 설치하여 충전용량을 상쇄하여 전기적 거리를 짧게 한다.
- 5) 동기조상기, 발전기 저여자 운전으로 무효전력을 소비한다.

### 3. 계산문제 풀이

- 1) 선로의 충전용량을 산출하기 위해서는 먼저 1선을 흐르는 충전전류  $I_c$ 를 계산해야 한다.

$$I_c = 2\pi f C l \frac{E}{\sqrt{3}}$$

$$= 2\pi \times 60 \times 0.01 \times 10^{-6} \times 250 \times \frac{345,000}{\sqrt{3}} = 187.2[A]$$

- 2) 2회선 선로의 충전용량

$$\sqrt{3} \times EI_c \times 2 = \sqrt{3} \times 345 \times 187.2 \times 2 = 223,725[kVA]$$

- 3) 필요한 최소의 발전기 용량(정격 출력)

$$Q \geq \frac{Q'}{K_s} \left(\frac{V}{V'}\right)^2 (1 + \sigma) = \frac{223,725}{1.1} \times (1 + 0.12) = 227,793[kVA]$$

즉, 227,793[kVA] 이상의 발전기 용량이 있으면 자기여자를 일으키지 않고 이 선로를 충전할 수 있다.

∴ 자기여자 일으키지 않는 발전기용량은 약 228MVA

**3-2. 최근 정보화기기 및 컴퓨터 등 극히 짧은 시간에 나타나는 파형변화와 전압변화에 민감한 기기들의 보급증가에 따른 전력품질 문제가 대두되고 있다. 전력품질의 정의와 전력품질의 정도를 나타내는 평가지표 및 대책에 대하여 설명하시오.**

답)

**1. 전기품질의 정의**

- 1) 전기품질이란 규정된 전압과 주파수를 유지율을 나타내며 이러한 확실한 품질로 정전없이 공급하는 것을 신뢰도라 한다.
- 2) 일반적으로 전통적인 의미에서 전력품질은 주파수 유지율, 규정전압 유지율 및 정전 등 3대요소로 규정하였으나, 최근 정밀기기, 정보화기기, 자동화 생산시설 및 컴퓨터 등 극히 짧은 시간에 나타나는 파형변화와 전압변화에 민감한 기기들의 보급이 증대되고 있으며, 태양광, 풍력 등 전력품질을 유지하기 어려운 신재생에너지원 보급이 확대 되고 있으므로, 기존에는 문제가 되지 않았던 고조파, 플리커, 순간전압변동, 전압불평형, 순간정전 및 서지(surge) 등과 같은 새로운 개념의 전력품질에 대한 규정 및 관리가 필요하다.

**2. 전기품질 평가지표**

IEEE-1159에서 전력품질을 표준화하였으며, 과도특성, 단주기변동, 장주기변동 및 파형왜곡의 4가지 주요 특성과 전압변동, 주파수 변동 등으로 구분되어 있다.

**1) 과도특성(Transient characteristic)**

항 목		일반 유형	구분	크기
임펄스 (Impulsive)	나노 Sec (Nano second)	5 ns 상승	< 50 ns	-
	마이크로 Sec. (Micro second)	1 ms 상승	50 ns - 1 ms	-
	밀리 Sec. (Mili Second)	0.1 ms 상승	> 1 ms	-
진동 (Oscillatory)	저주파수 (Low Freq.)	< 5 kHz	03-50 ms	0~4 pu
	중간주파수 (Medum Freq.)	5~500 kHz	20 ms	0~8 pu
	고주파수 (High Freq.)	0.5~5 MHz	5 ms	0~4. pu

**2) 단주기 변동(Short duration variation)**

항 목		구 분	크 기
순시 (Instantaneous)	순간전압강하 (Sag)	0.5 ~ 30 cycle	0.1~0.9 pu
	순간전압상승 (Swell)	0.5 ~ 30 cycle	1.1~1.8 pu

항 목		구 분	크 기
순 간 (Momentary)	정전 (Interruption)	30 cycle ~ 3 s	<0.1 pu
	순간전압강하 (Sag)	30 cycle ~ 3 s	0.1~0.9 pu
	순간전압상승 (Swell)	30 cycle ~ 3 s	1.1~1.4 pu
일 시 (Temporary)	정전 (Interruption)	3 s ~ 1 min	<0.1 pu
	순간전압강하 (Sag)	3 s ~ 1 min	0.1~0.9 pu
	순간전압상승 (Swell)	3 s ~ 1 min	1.1~1.2 pu

3) 장주기 변동(Long duration variation)

항 목	구 분	크 기
영구 정전 (Sustained Interruption)	> 1 min	0.0 pu
저전압 (Under Voltage)	> 1 min	0.8~0.9 pu
과전압 (Over Voltage)	> 1 min	1.1~1.2 pu

4) 파형왜곡(Waveform distortion)

항 목	일반 유형	구 분	크 기
DC 오프셋 (DC Offset)		정상상태	0 ~ 0.1 %
고조파 (Harmonics)	0 - 100차 고조파	정상상태	0 ~ 20 %
차수간 고조파 (Inter Harmonics)	0~6 kHz	정상상태	0 ~ 2 %
나침 (Notching)		정상상태	
노이즈 (Noise)		정상상태	0 ~ 1 %

5) 전압불평형(Voltage unbalance/ Imbalance)

항 목	구 분	크 기
전압불평형 (Voltage Unbalance)	정상 상태	0.5~2 %

6) 전압변동(Voltage fluctuation, Flicker)

항 목	일반 유형	구 분	크 기
전압변동 (Voltage fluctuation)	< 25 Hz	간헐적	0.1 ~ 7 %

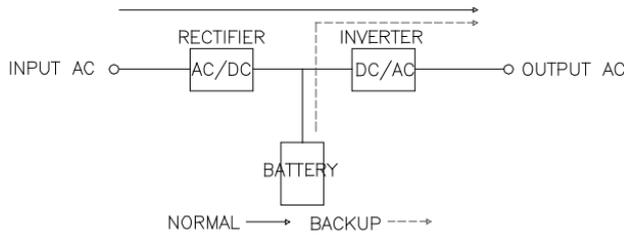
7) 주파수 변동(Power frequency variation)

항 목	구 분
주파수 변동 (Power frequency Variation)	< 10 S

### 3. 전기품질 대책

#### 1) 무정전 전원장치 UPS(Uninterruptible Power Supply)

##### (1) 기본구성



##### (2) 동작원리

- ① 정상 시는 교류 입력(상용 전압)을 정류기에서 직류로 변환하고 인버터에서 고 정밀도인 교류 전력으로 변환해서 부하에 공급한다.
- ② 교류 입력 정전 시에는 축전지로부터 인버터에 직류 전력을 공급함으로써 순간 없이 운전을 계속한다.

#### 2) 서지보호기 (Surge Protective Device)

##### (1) 정의

SPD는 과도전압과 노이즈를 감쇄시켜 서지로부터 기기를 보호하는 설비를 말합니다.

##### (2) 동작 원리

- ① 어떠한 이유로 해서 계통에 서지 전류가 들어올 때, 그 전류가 부하를 통해 흐르지 않고 서지보호기 자신을 통해 흐르도록 하여 부하에서 발생하는 전압강하가 과다하게 상승하는 것을 막아서 부하를 보호한다.
- ② 계통에 서지가 들어올 경우에, 임피던스가 낮은 통로 (즉 SPD)를 통해 서지 전류를 흘려줌으로써 계통의 보호가 가능합니다.
- ③ MOV(Metal Oxide Varistor)는 정상상태에서 매우 큰 임피던스를 가지는 부품입니다. 여기에 전압 서지(정격전압에 125%정도)가 걸리면 MOV의 임피던스가 급격히 낮아지면서 서지를 부하가 아닌 다른 통로로 흘려보내는 저 임피던스 통로가 형성됩니다. 서지 보호기에는 막대한 전류가 흘러도 전압이 크게 상승하지 않습니다.  
MOV(Metal Oxide Varistor) : 산화아연(ZnO)이 90%정도 들어가고 첨가물이 10% 정도인 소자

#### 3) 서지 흡수용 콘덴서

송변전 선로와 대지간에 접속하여 선로에 전파 가능한 뇌서지 및 차단기 개폐 시에 발생될 수 있는 서지를 흡수, 저감하여 변압기나 회전기 등을 보호하는 목적으로 설치된 콘덴서

#### 4) 바리스터(Varistors)

- (1) 외부에서 들어오는 과전압, 서지신호등을 제거하여 내부 부품을 보호하기 위해 사용한다.
- (2) 외부의 서지전압 등을 차단해주는 역할을 한다. 전화기나, 모뎀등과 같이 외부와 통신하는 기기에서 외부 입력에 장착하여 외부 서지, 노이즈를 GND로 흘려보내는 역할을 한다.
- (3) 바리스터를 GND가 아닌 출력 쪽으로 보내도 되는데, 그럴 때는 출력이 어떤 식으로 구성되어 있느냐에 따라 달라진다. 출력이 서지전압이나 과전압을 충분히 흡수할 수 있는 형태여야 한다는 것이다. 즉, 충분히 낮은 임피던스를 갖게끔 한다면 출력으로 연결해도 되지만 서지 신호에 대해 출력에서 제대로 흡수할 수 없다면 결국 입력과 출력사이에 있는 장치나 부품에 과전압이 흐르게 되어 파손할 수 있게 된다.

5) 피뢰기(Lightning arrester)

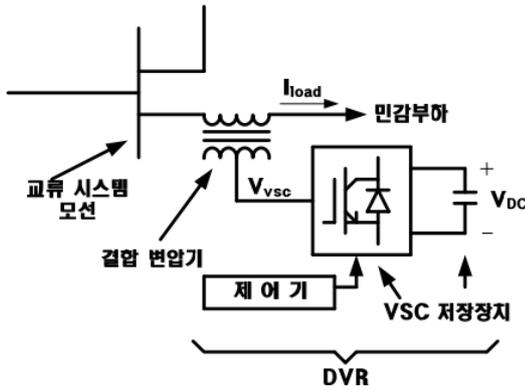
피뢰기란 전기설비 기기를 이상전압으로부터 보호하는 장치이다. 단자전압이 이상전압으로 인해 일정 전압 수준으로 올라갔을 때 재빨리 동작하여 보호레벨 이하로 이상전압을 억제하는 기능과 이상전압을 처리한 후 원상태로 회복(속류차단)하는 기능을 가지고 있다.

6) 동적 전압강하 보상기(DVR : Dynamic Voltage Restorer)

(1) 정의

배전선로에 발생하는 고조파나 전압의 순간 급강하 또는 급상승으로부터 민감한 부하를 보호하는 설비를 말한다.

(2) 동작 원리

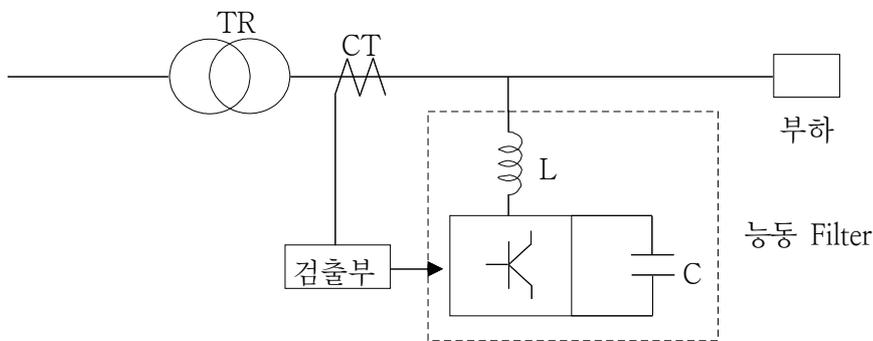


VSC : Voltage Source Converter

- ① 주입되는 전압의 위상각과 진폭은 DVR과 교류시스템 사이의 양(전력공급)과 음(전력흡수)의 제한값에 의한 유효전력과 무효전력에 의해 제어가 됨
- ② 전원 측과 부하 측 사이에 직렬연결로 전원 측의 전압 변동이 부하에 전달되지 않도록 보상전압을 직렬로 인가해 준다.

7) 능동필터 (Active filter)

공진 특성을 이용하지 않고 인버터 기술을 응용하여 역위상의 고조파를 발생시켜 고조파를 소거하여 깨끗한 정현파를 얻는다.



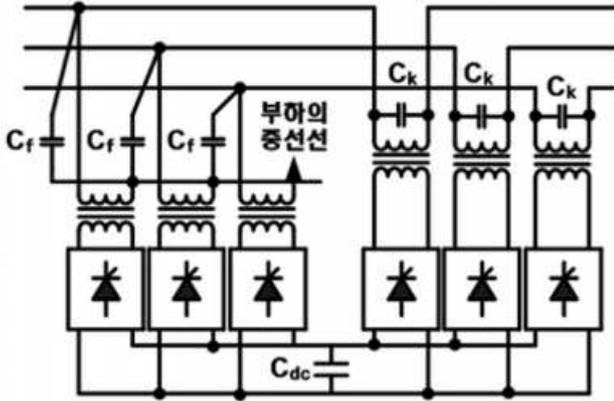
< 능동 Filter >

8) 전기품질 보상기 (UPQC : Unified Power Quality Conditioner)

(1) 정의

배전선로의 공통 접속점(PCC : Point of Common Coupling)에 위치해 효율적인 선로관리를 하는 것이 주 목적이다. 직렬과 병렬 컨버터가 직류 캐패시터를 공유하는 형태이며 선로의 전압변동, 고조파 전류 및 전압 등을 보상하여 전력 품질을 향상시키고 전력조류를 제어하는 장치를 말한다.

(2) 동작 원리



- ① UPQC는 독립운전으로 동작할 때 UPS(Uninterruptible power supply)와 같이 동작한다.
- ② 계통과 연계할 시에 직렬 인버터는 전압을 보상하고, 병렬 인버터는 전류를 보상하도록 동작한다.
- ③ 정전 시에는 직렬 인버터와 병렬 인버터를 오프시켜 전력 계통과 연결을 끊고 인버터가 전압원이 되어 부하의 전압을 보상한다.
- ④ 정전 시에 ESS를 연결하면 안정적으로 전력을 공급할 수 있어 독립형 마이크로그리드를 구성할 수 있다.
- ⑤ 정상상태에서는 직렬 인버터는 부하에 전력을 공급하고 병렬 인버터는 축전지에 충전전력을 공급한다.
- ⑥ 입력 측에서 전압 sag, swell이나 저전압 고전압 상태가 발생하면 직렬 인버터가 동작하여 정상전압으로 보상하며, 병렬 인버터는 축전지 충전 및 무효전력을 보상한다.
- ⑦ 정전 상태에서는 병렬 인버터만 동작하여 축전지에 충전된 전력으로 부하에 전력을 공급한다.

**3-3. 에너지 저장방식을 역학적 , 열적 , 전자기적, 화학적 방식으로 구분하여 저장 원리를 설명하시오.**

답)

**1. 개요**

각종 에너지의 저장방식은 역학적 , 열 , 전자기, 화학 에너지 등으로 구분할 수 있다.

	저장 에너지의 형태	저장 기술의 예
I. 역학적 에너지	운동 에너지 위치 에너지 탄성 에너지 압력 에너지	플라이휠 양수발전 용수철 압축공기(기체)
II. 열 에너지	현열 잠열(증발, 용해, 승화)	현열축열(암석, 물) 잠열축열(용융염)
III. 전자기 에너지	정전 에너지 전자(電磁) 에너지	콘덴서 초전도 코일
IV. 화학 에너지	전기화학 에너지 화학 에너지	축전지 합성연료, 화학축열 등

(표, 각종 에너지의 저장방식)

**2. 에너지 저장 원리**

**1) 역학적 에너지**

- (1) 역학계가 그 자신이 에너지를 방출할 수 있는 상태에 있을 때 계(system)는 포텐셜 에너지(위치 에너지)를 갖는다고 한다.
- (2) 가령 높은 곳에 있는 물은 포텐셜 에너지(위치 에너지)를 가지고 있다. 지금 시스템으로부터 외부에 끄집어낼 수 있는 에너지 W는

$$W = \int F dx$$

여기서, F : 시스템이 외부에 대해 작용하는 힘, x : 변위량

① 위치에너지

양수로 물을 높은 곳에 퍼올려서 저장하였을 경우의 위치에너지의 증가 W는

$$W = \int_0^h F dx = \int_0^h Mg dx = Mgh$$

여기서, h : 낙차, M ; 양수량(질량), g : 중력 가속도, F = Mg

② 회전체에의 축적 에너지

운동에너지 형태로 에너지를 저장할 경우 저장장치는 플라이휠과 같은 회전체로 될 경우가 많다.

$$W = \frac{1}{2} I w^2$$

여기서,  $I$  : 회전체의 관성 모멘트,  $w$  : 회전체의 각운동 속도

2) 열에너지

저장 에너지  $W$ 는  $W = m \int_{i(T_1)}^{i(T_2)} di$

$m$  : 축열재 총중량  $i(T)$  : 온도  $T$ 의 축열재의 엔탈피

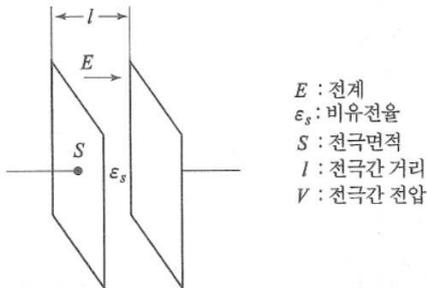
$T_1, T_2$  : 축열 전, 후의 축열재 온도

엔탈피의 변화는 크게 축열재이 온도변화에만 의한 경우와 상변화를 일으키는 잠열이 가해질 경우의 2가지로 나누어진다.

3) 전자기 에너지

(1) 정전에너지

평행판 콘덴서에서의 정전용량  $C = \epsilon_0 \epsilon_s [s/l]$ 이므로 여기에 저장될 정전에너지  $W$ 는



(콘덴서에 저장될 정전 에너지)

$$W = \frac{1}{2} C(E)^2 = \frac{1}{2} CV^2$$

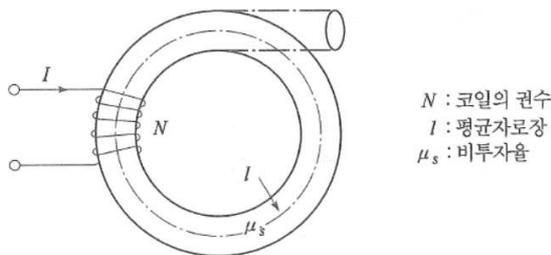
여기서,  $V$  ; 전극 간 전압

(2) 자기에너지

자기회로에 저장될 자기 에너지  $W$ 는

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

$L$  : 솔레노이드의 인덕턴스,  $I$  : 솔레노이드 코일의 전류



(솔레노이드 코일에 저장된 자기 에너지)

#### 4) 화학 에너지

에너지를 화학 에너지의 형태로 저장하는 데에는 다음과 같은 2 가지가 있다.

##### (1) 화학전지

- ① 화학에너지를 전기 에너지로 끄집어낼 수 있는 장치로 전극과 활성화(전해) 물질로 이루어진다.
- ② 전해물질이 전지에 내장되어 있는 장치로 충전이 불가능한 것을 1차전지, 충전에 의해 활성화 물질을 재생할 수 있는 전지를 2차 전지라 한다.

##### (2) 합성연료

- ① 화석연료 이외의 연료를 넓은 의미에서 합성연료라 한다.
- ② 원자로부터 발생하는 대량의 열에너지라든지 태양 에너지를 사용하여 물을 분해해서 얻어지는 수소처럼 화학 에너지이외의 에너지를 화학에너지로 변환하였을 때 이 연료를 좁은 의미에서의 합성연료라 한다.

**3-4. 전력거래 및 운영에 있어서 다음 용어를 설명하시오.**

- 1) 발전원가      2) 발전단가      3) 정산단가  
 4) 구입단가      5) 판매단가      6) 균등화 발전원가

답)

**1. 발전원가(發電原價, Generating Cost)**

(1) 정의

발전원가란 전력생산에 소요된 총비용을 생산된 발전량으로 나눈 값으로, 단위전력 생산량 당 비용을 나타낸다.

$$\text{발전원가} = \frac{\text{발전에 소요된 총비용(총원가)}}{\text{발전량}} \text{ (원/kWh)}$$

(2) 발전원가는 고정비원가와 변동비원가로 구성되며 다음과 같이 산정한다.

$$\text{고정비 원가} = \frac{\text{총건설비(원)} \times \text{고정비율(\%)}}{\text{시설용량(kW)} \times 8.760(h) \times \text{이용율(\%)} \times (1 - \text{소내전력률})}$$

$$\text{연료비 원가} = \frac{860(kcal/kWh) \times \text{연료비 단가(원/kg,ℓ)}}{\text{열효율(\%)} \times \text{연료발열량(kcal/kg,ℓ)} \times (1 - \text{소내전력률})}$$

**2. 발전단가**

발전단가에 대한 공통된 정의는 아직 없습니다. 발전단가를 발전회사가 발전전력을 전력시장 또는 한전에 판매한 단가로 보는 시각이 50~60% 정도로 가장 많고, 발전원가의 의미로 사용하는 비율이 30~40% 정도이며, 일부에서는 전력시장 정산단가, 연료비 단가를 발전단가로 사용하기도 합니다. 따라서 발전단가라는 용어는 어떤 의미로 사용되었는지 살펴 볼 필요가 있습니다.

**3. 정산단가**

전력시장에서 전력거래 시 전력공급자(전력구매자)가 받아야 할 금액(부담해야 할 금액)을 산출하여 계산한 단위당 가격

$$\text{정산단가} = \frac{\text{전력시장에서의 총정산금액}}{\text{전력거래량}} \text{ (원/kWh)}$$

**4. 구입단가**

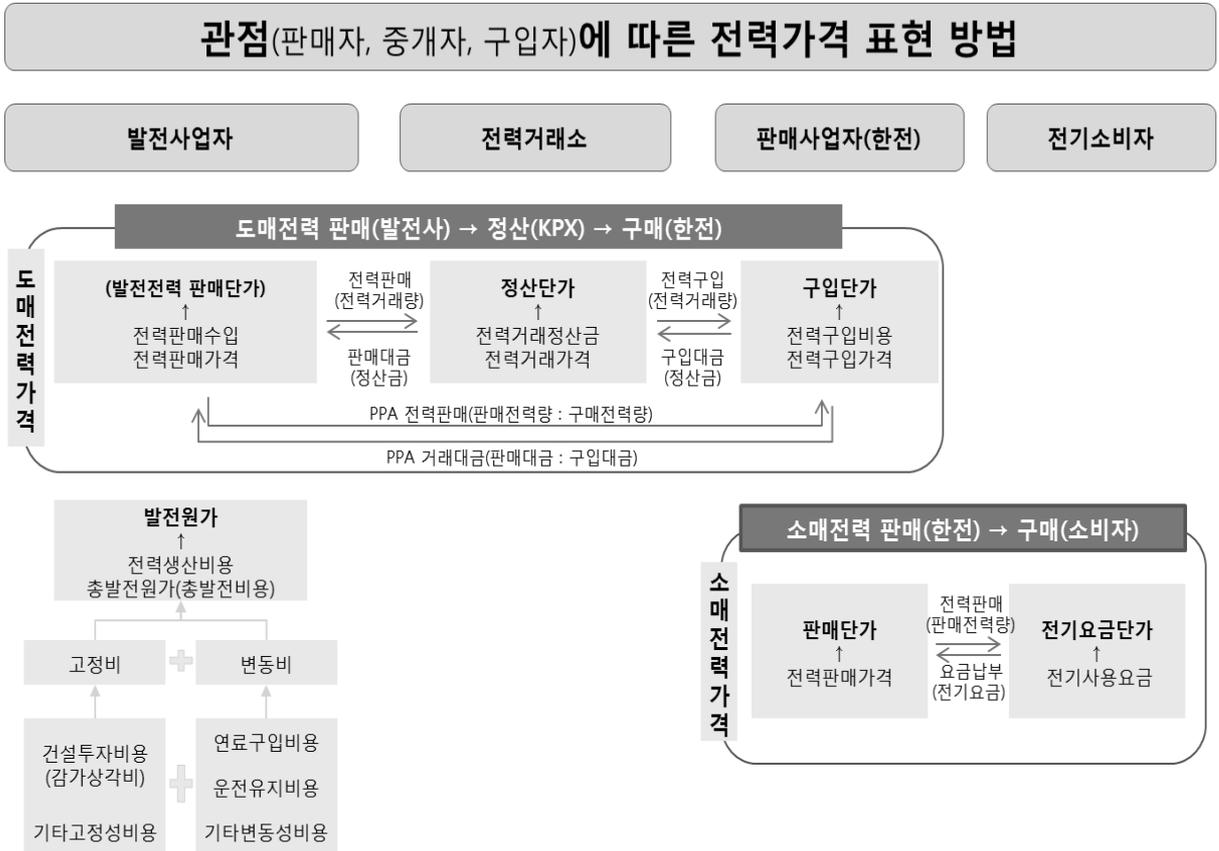
한국전력공사가 전력시장 또는 발전사업자(PPA)로부터 구입한 전력의 단위당 가격

$$\text{구입단가} = \frac{\text{전력구입금액(전력시장+PPA)}}{\text{구입전력량(전력시장+PPA)}} \text{ (원/kWh)}$$

### 5. 판매단가

한국전력공사가 전력시장 또는 발전사업자(PPA)로부터 구입한 전력을 전기 소비자에게 판매한 단위당 가격

$$\text{판매단가} = \frac{\text{전력판매수입(기본요금+사용량요금)}}{\text{전력판매량}} \quad (\text{원/kWh})$$



### 6. 균등화 발전원가(LCOE, Levelized Cost Of Electricity)

#### 1) 정의

균등화발전원가는 발전원의 경제성 비교를 위하여 사용되며 연도별로 불규칙하게 발생하는 발전량과 비용(건설비, 연료비, 운전유지비 등)을 연도별로 균일하게 증가화(화폐의 시간적 가치를 고려하여 발전량과 비용을 일정시점으로 할인)하여 산정한다.

$$\text{균등화발전원가} = \left( \sum_{t=1}^n \frac{\text{투자비}_t + \text{운전유지비}_t + \text{연료비}_t}{(1 + \text{할인율})^t} \right) \div \left( \sum_{t=1}^n \frac{\text{발전량}_t}{(1 + \text{할인율})^t} \right)$$

#### 2) 실제 적용 예

균등화발전원가 = 고정원가 + 변동원가

$$= \frac{\text{건설단가(원/kW)} \times \text{고정비율(\%)}}{8,760 \times \text{이용률(\%)}(1 - \text{발전소소비전력률})} + \frac{\text{열소비율(kcal/kWh)} \times \text{연료비단가}}{\text{발열량(kcal/kg)} \times (1 - \text{발전소소비전력률})}$$

실제 균등화발전원가 산정시에는 고정비율(자본회수비, 운전유지비, 법인세, 제세/보험료 합계의 투자비에 대한 비율) 적용 여부, 발전량의 할인 여부, 물가상승 고려 여부 등을 사용 목적에 따라 선택적으로 적용하고 있음

- 3) 균등화발전원가는 발전소 건설사업의 경제성 평가, 전력수급기본계획 수립시 발전원간 비교 분석을 위해 제한적으로 사용하고 있습니다.
- 4) 균등화발전원가는 원가 산정의 기본 전제인 건설투자비, 내용년수, 할인율, 연료비 등은 통계 자료로 확정될 수 없고, 조사시점, 기술발전 및 의사결정 방향에 따라 변하게 되며, 공식적으로 조사 발표되는 자료가 없습니다. 또한 실적발전원가는 기업의 영업비밀에 속하여 공식적으로 원가를 발표하는 기업은 없습니다.

**3-5. 배전선로에서 손실 경감 대책에 대하여 설명하시오.**

답)

**1. 개요**

- 1) 일반적인 전력계통에서의 전력손실은 송전거리 및 송전용량에 영향을 주는 전원의 입지 및 구성비, 전압에 관계하는 수용구성과 송배전전압, 역률에 관계하는 부하상태와 부하율, 배전 방식에 따라 좌우된다.
- 2) 배전선로의 전력손실은 전압강하와 밀접한 관계가 있어 전력손실의 경감은 전압강하, 전압변동의 경감과 직결되며 선로의 저항손(옴손) 및 배전변압기의 저항손(동손)과 철손으로 대별된다.
- 3) 선로의 저항손은 전류의 제곱과 전선의 저항에 비례하므로 전력손실을 경감시키는 기본은 전선의 전류밀도를 어떻게 감소시킬 것인가가 중요하다.
- 4) 부하전력 P[kW], 선로전류 I[A], 선간전압 V[kV], 부하역률 cosθ, 1선의 저항 R[Ω]이라고 하면

$$I = \frac{P_r}{\sqrt{3} V \cos\theta} [A], \text{ 3선식의 전력손실은 } P_\ell = 3I^2R = \frac{3P^2R}{3V^2\cos^2\theta} = \frac{\rho l P^2}{AV^2\cos^2\theta} [W]$$

- 5) 배전선로의 손실경감책
 

(1) 적정 배전방식 채택	(2) 전류밀도의 감소와 평형
(3) 전력용 콘덴서의 설치	(4) 고압선로에서의 대책
(5) 저압선로에서의 대책	(6) 배전전압의 승압
(7) 저손실 배전변압기 채용	

**2. 적정 배전방식 채택**

어떤 부하에 동일한 전력을 공급할 경우 선간전압, 배전거리, 전선의 총중량이 동일할 경우의 각 배전방식을 비교하면 다음 표와 같다.

(단위 : %)

전선 방식	전 압	전 류	전압강하	전선의 굵기	전력손실
단상2선식	선간전압	100	100	100	100
단상3선식		50	37.5	66.6	37.5
삼상3선식	선간전압	57.8	75	66.6	75
삼상4선식		33.3	33.3	50	33.3

( 단상3선식과 삼상4선식의 중성선을 상선과 동일 굵기로 간주 )

- 1) 이 표로부터 전압강하, 배전손실이 가장 적은 것은 삼상4선식이고, 다음으로 단상3선식, 삼상3선식, 단상2선식의 순서임을 알 수 있다.
- 2) 따라서 동일한 부하조건이라면 3상4선식과 단상3선식을 채택하여야 한다.

### 3. 전류밀도의 감소와 평형

- 1) 배전선로의 전류밀도 감소는 켈빈의 법칙(kelvin's law)에 따르며 이에 적당한 값으로 하는 것이 가장 경제적이다.
- 2) 송압에 의하지 않을 경우에는 전선을 굵은 것으로 바꾸어 주어야 하며, 이에 소요되는 투자비와 손실경감에 따른 이득을 먼저 비교 검토하여야 한다.
- 3) 일반적인 배전선로에서는 각 상의 부하전류가 불평형으로 되는 것이 보통이며, 심할 경우에는 손실증가가 일어나므로 부하의 재분배 등으로 불평등을 시정하여야 하며, 장래 예상되는 부하증가, 선로의 구간 연장 등에 대비해서 부하 불평형이 일어나지 않도록 하여야 한다.

### 4. 전력용 콘덴서의 설치

- 1) 선로전류는 부하의 역률에 반비례해서 증가한다. 따라서 선로손실은 부하역률의 제곱에 반비례해서 증가하므로 역률개선은 손실경감과 직결된다.
- 2) 배전선로의 역률개선은 전력용콘덴서를 부하와 병렬로 접속해서 실시하고 있다.

### 5. 고압선로에서의 대책

- 1) 배전계통은 도시발전이나 부하증가에 응해 왔기 때문에 긴 선로로 되어 있거나, 급전점이 부하의 중심점에서 멀리 떨어지게 되는 경우가 많다.
- 2) 이러한 경우 배전선로를 재검토하여 급전선의 변경, 증설, 선로의 분할은 물론 변전소의 증설에 의한 급전선의 단축화 등 가능한 대책을 강구하여야 한다.

### 6. 저압선로에서의 대책

- 1) 변압기의 적절한 배치와 용량을 정함
- 2) 저압배전선의 길이를 합리적으로 정비
- 3) 변압기의 사용효율 향상

### 7. 배전전압의 승압

- 1) 전력손실은 전압의 제곱에 반비례하여 감소되므로, 배전전압을 승압한다는 것은 손실 경감책으로나 전압변동 경감책으로서 극히 효과적이다.
- 2) 우리나라 1차 배전전압은 22.9kV-Y로서 예전의 3.3, 5.7, 6.6, 11.4 kV선로가 거의 승압 완료된 상태이다.
- 3) 2차 측 저압배전전압중 기존의 단상110V와 3상220V를 없애고, 단상은 220V를 3상은 380V-Y를 표준전압 화하여 승압을 완료한 상태이다.

### 8. 저손실 변압기의 채용

현재 배전용 변압기는 적철심형보다 철손이 적은 권철심형을 사용하고 있다.

이 변압기의 철심으로는 규소강판을 사용하고 있으나 새로 개발된 저손실 철심재료인 3차 재결정박방향성 규소강판이나 비정질(아몰퍼스)철심재료를 사용한 변압기로 대체하면 기존의 규소강판 변압기에 비해 철손을 1/3~1/4 수준으로 낮출 수 있다.

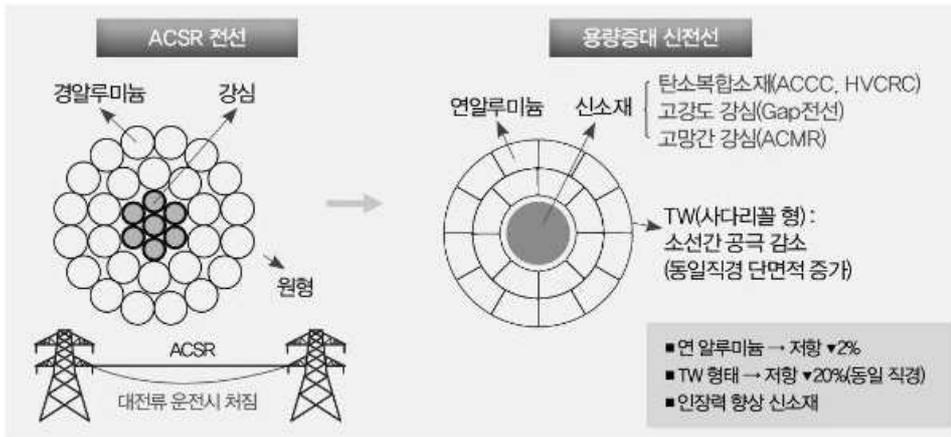
3-6. 현재 사용 중인 HSTACIR(High-strength Super Thermal-resistant Aluminum alloy Conductors INVAR Reinforced)을 대체하여 송전용량을 증대시킬 수 있는 신소재 전선의 종류 및 구조와 특성을 설명하시오.

답)

1. 신소재 전선의 종류 및 구조와 특성을 설명

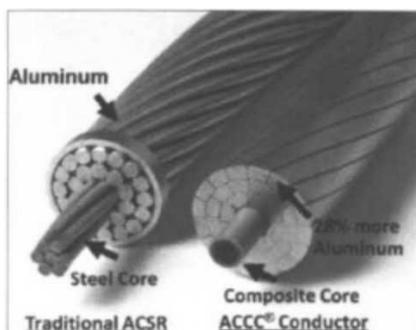
1) 탄소 복합소재 심 알루미늄연선 ACCC(Aluminum Conductor Composite Core), 복합소재 강화 고압 케이블 HVCRC(High Voltage Composite Reinforced Cable)

- (1) ACCC 전선은 2004년 미국 CTC사에서 개발되었으며, HVCRC 전선은 2006년 미국 Mecury사에서 개발되었다. 두 전선은 제작사가 다르지만 같은 종류의 전선이다.
- (2) 구조



전선 구조는 유리섬유와 탄소섬유로 이루어진 복합소재 지지선을 사용한다.

구분	ACCC <sup>1)</sup>	HVCRC <sup>2)</sup>	ACMR <sup>4)</sup>
적용사유	장경간	저이도	국내 고유모델
형상	허용 전류	1,706A (201%)	1,588A (187%)
	이도	11,82m (84%)	11,91m (85%)
	1,585A (187%)		15,05m (107%)



(3) 특성

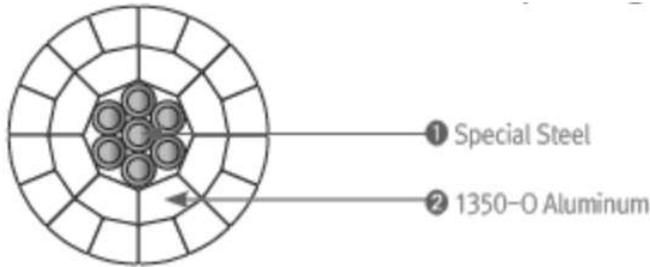
- ① 경량, 고강도, 내부식, 이도특성이 우수하다.
- ② 낮은 저항의 연알루미늄 평각소선을 적용하여 저항손실이 동급 HSTACIR 전선대비 20% 절감된다.
- ③ 기존 송전선에 비해 송전용량이 2배 이상 높고 기존 송전탑을 철거하지 않고도 활용 할 수 있다.
- ④ 고온(200°C 이상)시 장기성능이 불리하며, 저탄성계수로 착빙시 처짐의 우려가 있어 현장적용 시 검토가 필요하다.
- ⑤ 복합소재 지지선을 사용함에 따른 특수 금구류를 사용해야 하며, 시공시 전선 굴곡반경 유지 및 취급에 주의하여야 한다.
- ⑥ ACCC 전선은 해외에서 20,000km의 설치실적이 있으며, HVCRC 전선은 해외 4개국에 설치될 것으로 알려져 있다.

2) 고망간 강심 알루미늄 연선 ACMR(Aluminum Conductor Metallink Steel Reinforced) 전선

(1) ACMR 전선은 최근 한국전기연구원과 메탈링크의 국내 순수기술로 개발되었다.

(2) 구조

전선구조는 고망간 강선지지선을 사용한다.



(3) 특성

- ① 고온강도, 내열성, 내부식 특성이 우수하고, 자화손실이 감소된다.
- ② 연알루미늄 평각소선을 적용하여 도전을 및 송전용량을 증대시켰다.
- ③ 시공 시에는 기존과 동일한 시공금구 및 방식을 적용할 수 있어 시공성이 좋으나, 전선 손상 방지를 위해 취급에 주의하여야 한다.
- ④ 전선가격이 HSTACIR 전선대비 약 59%의 경제성을 가진다.
- ⑤ 아직까지 시제품 단계로 설치 및 운용실적은 없다.

# 제 4교시 문제풀이

**4-1. 가공배전선로의 무정전 공법 중 공사용개폐기 공법, 바이패스 케이블 공법, 이동용 변압기차 공법에 대하여 설명하시오.**

답)

### 1. 개요

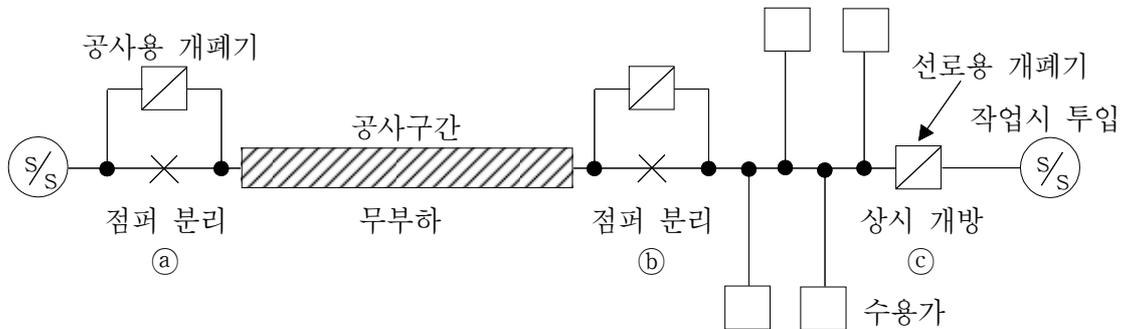
최근 우리사회는 정보화, 자동화, 전산화되어 정전이 발생 시에는 산업사회 전반에 걸쳐 막대한 손실을 가져오므로 배전선로 신·증설, 개·보수 공사 시에도 정전 없이 공사를 시행해야 한다. 무정전 공법의 대표로서 공사용개폐기 공법, 바이패스 케이블 공법, 이동용 변압기차 공법이 많이 사용된다.

### 2. 공사용 개폐기 공법

#### 1) 적용 장소

공사구간 내에 부하가 없고 공사구간 이후의 부하는 타 선로로 전환할 수 있는 장소에 적용한다.

#### 2) 공사 방법



< 공사용 개폐기 공법 >

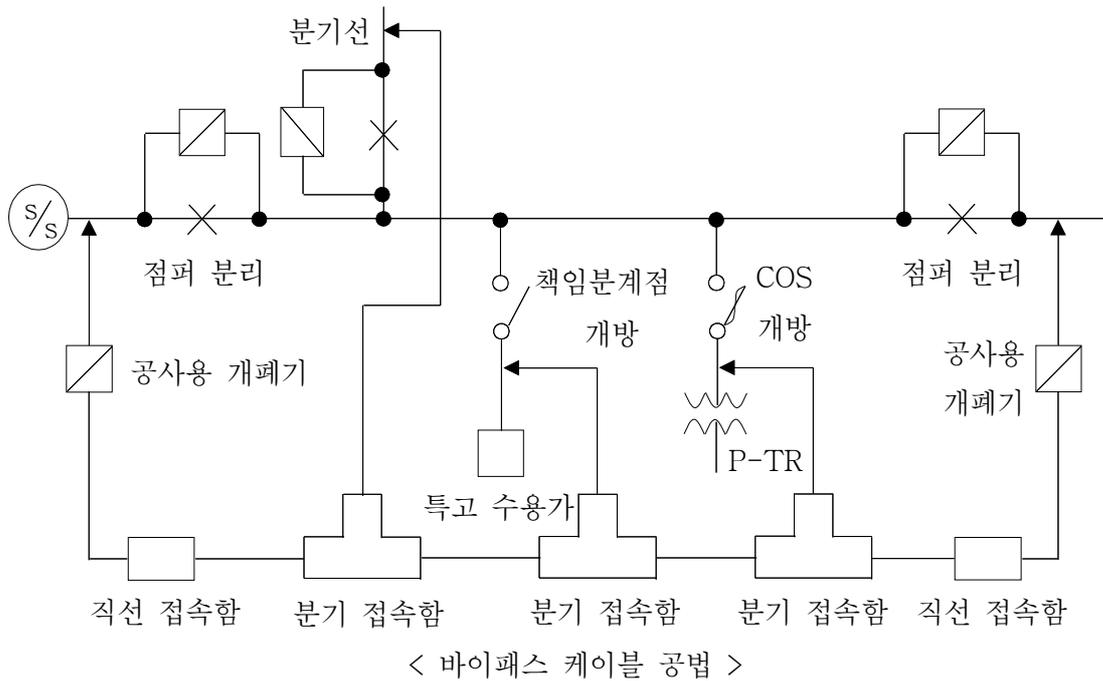
- (1) 선로용 개폐기 ㉓를 투입하고 공사구간 이외 수용가에 공급한다.
- (2) 공사용 개폐기로 ㉑, ㉒를 점퍼 분리 후 개방한다.
- (3) 공사 후에는 위의 역순으로 공급한다.

### 3. 바이패스 케이블 공법

#### 1) 적용 장소

공사구간 내 분기선로, 특고수용가, 변대주등의 설비가 있을 경우 전원 및 부하 측을 바이패스 케이블로 임시 연결하여 공급한다.

2) 공사 방법



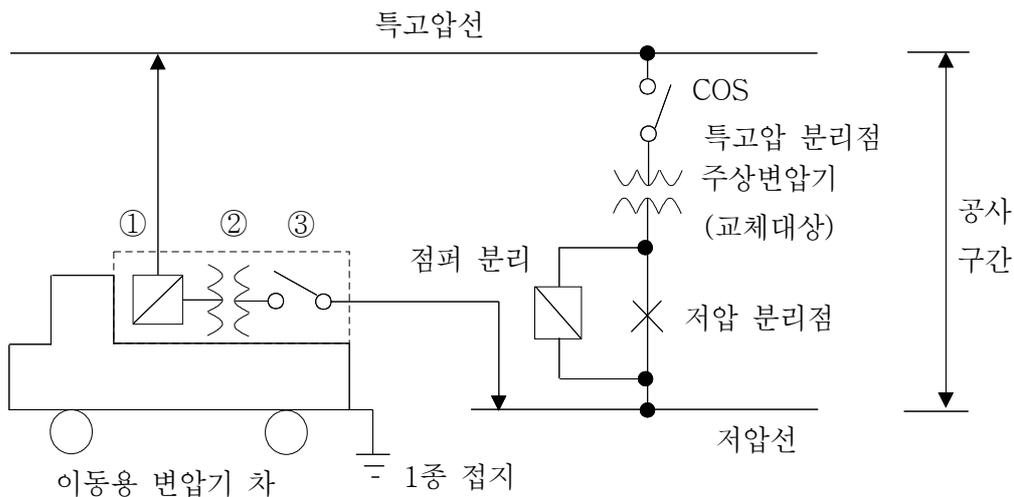
- (1) 공사구간에 부하가 있고 대규모 배전공사에 적합하다.
- (2) 장비가 많고 복잡하며 대도시의 경우 교통장애를 일으킬 수 있다.

4. 이동용 변압기차 공법

1) 적용장소

주상에 설치된 변압기를 교체 또는 점검하는 경우 적용한다.

2) 작업 개요도



- ① 공사용 개폐기    ② 변압기    ③ 저압 차단기

4-2. 수력 발전설비의 수차(Water Turbine)에서 발생하는 공동현상(Cavitation Phenomena) 과 화력 발전설비에서 발생하는 비등현상(Ebullition Phenomena)을 정의하고, 상평형 선도(Typical Phase Diagram)를 이용하여 공통점과 차이점을 설명하시오.

답)

**1. 공동현상(Cavitation Phenomena) 정의**

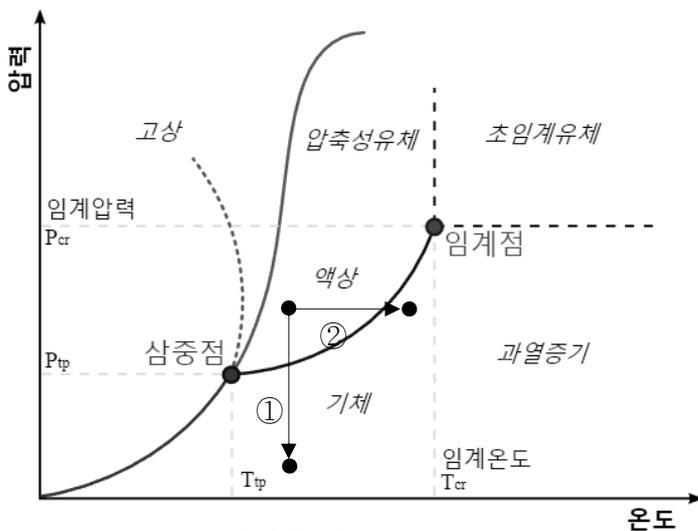
- 1) 운전중인 수차의 어느 부분에서의 압력이 그때의 수온의 포화증기압 이하로 저하하면 그 부분의 물은 증발해서 수증기로 되어 유수중에 미세한 기포가 발생한다.
- 2) 이 기포가 주위의 물과 함께 흘러서 압력이 높은곳에 도달하면 더 이상 기포를 유지하지 못하고 터져서 매우 높은 압력이 발생해 부근의 물체에 큰 충격을 주어 수차의 각 부분(러너와 버킷)을 침식하게 되는 현상을 캐비테이션 이라 한다.

**2. 비등현상(Ebullition Phenomena) 정의**

- 1) 일정한 압력 하에 액체를 가열하여 액체의 표면과 내부에서 기포가 발생하며 기체로 변하는 현상이다.
- 2) 끓음 이라고도 하고 비등이 시작되는 온도를 끓는점이라 한다. 압력이 높아지면 끓는점 또한 높아진다.
- 3) 기화현상의 하나로 증발과 비등이 있는데 증발이 액체 표면에서만 일어나는 기화라면 비등은 액체표면 및 액체내부에서도 기화가 일어난다.

**3. 상평형선도(Typical Phase Diagram)를 이용하여 공통점과 차이점**

1) 상평형선도



< 상평형 선도 >

① : 캐비테이션 현상, ② : 비등 현상

**2) 공통점**

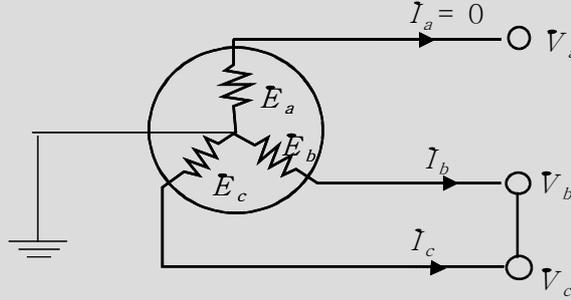
두 현상 다 액체에서 기체로 변한다.

- (1) 캐비테이션 현상은 압력의 저하에 의해 액체에서 기체로 변한다.
- (2) 비등 현상은 온도의 증가에 의해 액체에서 기체로 변한다.

**3) 차이점**

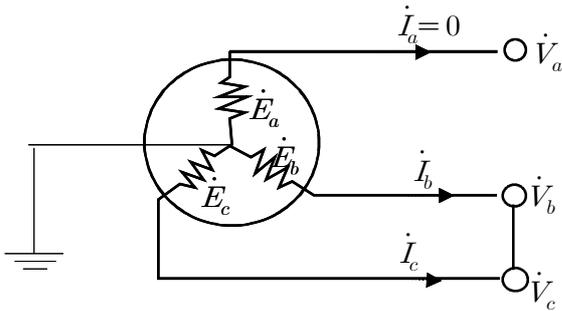
- (1) 캐비테이션은 등온상태에서 압력의 변화이다.
- (2) 비등현상은 등압상태에서 온도의 변화이다.

4-3. 다음 그림과 같이 3상 교류 발전기의 b, c상이 단락했을 경우 흐르게 될 고장 전류 및 각 상에 나타나는 전압을 구하시오.



답)

1. 회로도



$E_a, E_b, E_c$  : 무부하 발전기 내부유기기전력  
 $V_a, V_b, V_c$  : 각상단자전압  
 $I_a, I_b, I_c$  : 각상전류

2. 기지값

$I_a = 0, I_b = -I_c, V_b = V_c$  b,c선 완전단락

3. 미지값

$I_b, I_c, V_a, V_b, V_c$

4. 대칭분 전압, 전류

1) 대칭분 전압

$V_b = V_c$ 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) 대칭분 전류

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

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

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

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

3) 발전기 기본식 활용

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

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

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

$$\therefore I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}, I_2 = -\frac{E_a}{Z_1 + Z_2}, V_1 = V_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} E_a$$

$Z_0$  : 영상임피던스,  $Z_1$  : 정상임피던스,  $Z_2$  : 역상임피던스

5. 미지값 전압, 전류

1) 각 상전압

$$(1) V_a = V_0 + V_1 + V_2 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} E_a$$

$$(2) V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = \frac{(a^2 + a)Z_2}{Z_1 + Z_2} E_a = \frac{-Z_2}{Z_1 + Z_2} E_a = V_c$$

2) 고장전류

$$(1) I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = \frac{(a^2 - a)E_a}{Z_1 + Z_2} = \frac{E_{bc}}{Z_1 + Z_2}$$

$$a^2 E_a = E_b, a E_a = E_c \quad E_{bc}, E_{cb} : \text{선간전압}$$

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

$$(3) I_b = \frac{(a^2 - a)E_a}{Z_1 + Z_2}, a^2 - a = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = -j\sqrt{3}$$

$$|I_b| = |I_c| = \frac{\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2} E_a$$

**4-4. ESS(Energy Storage System)의 활용용도를 발전, 송·배전, 수용가 측면에서 설명하고, ESS 시장을 BTM(Behind the meter)과 FTM(In front of the meter)으로 구분하여 비교하십시오.**

답)

**1. ESS(Energy Storage System)의 정의**

- 1) 생산된 전력을 저장하였다가 전력이 필요한 시기에 공급하는 시스템으로 필요할 때 사용할 수 있어서 에너지 효율을 향상시키고, 전기품질 개선과 전력계통 안정화에 기여한다.
- 2) ESS는 저장용량(MWh)과 순시출력(MW)을 직접 설정할 수 있으며 ESS의 사용처는 발전소, 송전소 및 배전소, 수요처의 세 곳으로 구분할 수 있다.

**2. 발전 측면에서 ESS(Energy Storage System)의 활용용도**

**1) 회전예비력(Spinning Reserve)을 제공한다.**

발전기는 부하에 맞춰 운전을 하는데, 부하가 증가하면 발전기의 출력도 증가한다. 출력의 증가가 한계에 도달하면 ESS로 추가 전력을 공급하여 예비력을 제공한다.

**2) 주파수 조정(Frequency Regulation)용으로 활용한다.**

- (1) 우리나라 전력은 60 Hz의 교류로 공급된다.
- (2) 전력 공급 계통에서 수요와 공급의 불일치로 생기는 주파수 변화를 우리나라 표준 주파수인 60±0.5 Hz로 맞춰주는 작업이 필요하다.
- (3) ESS는 발전기와 비교했을 때 주파수 조정을 조금 더 빠르게 할 수 있다.
- (4) 부하량보다 발전량이 부족할 경우 전력을 내보내 주파수를 조금 낮추고, 반대의 경우에는 전력을 저장해서 주파수를 높이는 방식으로 균형을 맞춰준다.

**3) 부하 조정 기능**

발전량이 과다할 때 전력을 저장했다가 발전량이 부족할 때 전력을 공급해 준다.

**4) 발전단가 절감**

- (1) 일반적으로 발전 비용은 2차 함수로 증가한다.
- (2) 이는 발전량이 많아질수록 발전비용이 급격히 증가한다.
- (3) 이렇게 피크 부하 시에 ESS로 추가 전력을 공급하면 발전 단가의 상승을 억제할 수 있다.

**5) 신재생에너지 측면에서의 활용용도**

- (1) 간헐적으로 발전이 이루어지는 태양광이나 풍력 발전소의 경우, 외부에 안정적으로 전력을 공급하기 위한 용도로 ESS를 사용한다.
- (2) 바람이나 태양의 양에 따라 생산되는 에너지의 양이 일정하지 않아서 전력 공급이 불안정할 때, ESS에 저장해뒀던 전력을 방출해 출력을 안정화 시킨다.

### 6) 발전소용 UPS(Uninterruptible Power Supply, 무정전 전원공급장치) 용도로 활용

- (1) 발전소의 전력 생산이 중단되더라도 항상 비상 전력은 공급되어야 하는데, 이를 위해 ESS가 필요하다.
- (2) 만약 원자력 발전소에 문제가 발생할 경우 안전 관련 설비들은 정상적으로 가동되고 있어야 하는데, 이를 위해 ESS(또는 비상용 발전기)가 반드시 필요하다.

## 3. 송배전 측면에서 ESS(Energy Storage System)의 활용용도

송배전소용 ESS는 발전소용보다는 작은 저장용량 및 순시용량을 가진다.

### 1) 송전선의 안정성 확보

- (1) 각 송전선은 흘릴 수 있는 전력량의 한계치가 정해져 있다.
- (2) 그런데 과도한 전력수요로 인해 한계를 넘어서면 정전이 발생한다. 잘못하면 연속적인 대규모 정전이 일어날 수도 있다.
- (3) ESS는 송전선에 과도한 전력이 공급되는 것을 막아 송전선의 안정성을 높여준다.

### 2) 전압 조정 기능

전력계통 내에 전압이 낮아지면 ESS를 이용해서 전압을 보상해 준다.

### 3) 송배전소용 UPS 기능

송배전소에 ESS를 설치할 경우 전력망의 안정성이 개선되므로, 전력망 자체의 보강을 위한 투자시기를 연기할 수 있는 장점이 있다.

## 4. 수용가 측면에서 ESS(Energy Storage System)의 활용용도

수용가용 ESS는 보통 수 MW 이하의 소용량이다. 주로 수요자의 경제적 이익을 높여주는 용도로 사용되며 결과적으로 전체 전력망 운용을 효율적으로 할 수 있게 도와준다.

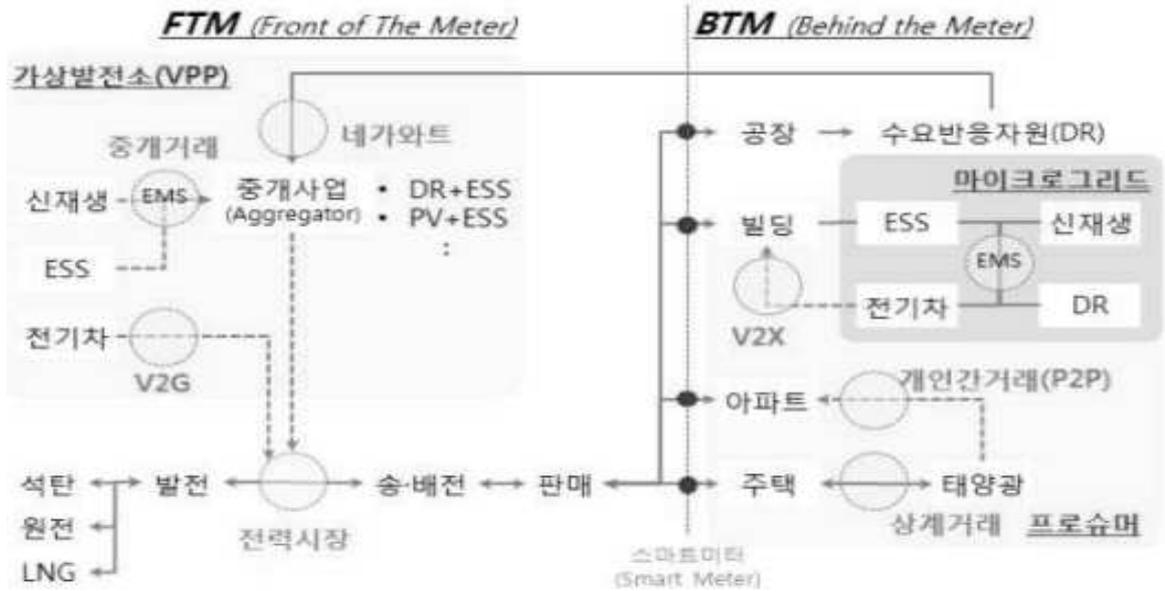
### 1) 피크 전력 저감

- (1) 100kW 이상의 전력을 사용하는 사업장의 경우, 피크 전력 사용량에 따라 1년 기본요금 이 산정되는데 ESS를 이용하여 이를 낮추면 전력비용을 절감할 수 있다.
- (2) 보통 전기 요금이 싼 심야시간에 ESS를 충전하는데 태양광 발전과 ESS를 결합하여 사용할 경우에는 피크 전력 저감효과를 더 높일 수 있다.

## 5. ESS 시장을 BTM(Behind the meter)과 FTM(In front of the meter)으로 구분하여 비교

### 1) 개요

- (1) 글로벌 에너지저장 시장은 사용목적과 용량에 따라 BTM(Behind The Meter, 소비자측) 시장과 FTM(Front The Meter, Utility-Scale 측 전기공급자측) 시장으로 구분된다.
- (2) 아직까지는 용량이 큰 Utility-scale의 에너지저장 시장이 약 84% 이상을 차지하는 것으로 추정되지만 리튬배터리 가격이 점차 내려가고 주택용 태양광 PV 등과 같은 소용량 신재생자원이 많이 보급되면서 앞으로 BTM의 비중은 점차 커지는 역전현상이 일어나 2030년에는 전체 누적용량의 50%가 넘는 약 69GW/157GWh가 될 것으로 전망된다.



**2) FTM(Front The Meter, Utility-Scale 즉 전기공급자 측) 시장**

- (1) 주파수조정용 및 신재생에너지용이 시장 주도
- (2) 도매전력시장을 대표하는 FTM 시장은 전통발전기(원자력, 석탄, LNG 등)와 분산중개자원, 신재생, 수요반응자원 등이 자유롭게 참여가 가능하고 도매전력시장 또한 선물 및 선도시장, 하루 전 시장, 실시간 시장 등 시간대별로 다양화됨과 동시에 에너지시장, 용량시장, 보조서비스 시장도 극단적으로 진화할 필요가 있다.

**3) BTM(Behind The Meter, 소비자 측) 시장**

- (1) 현재까지 BTM ESS시장은 가정, 빌딩, 공장 등에 태양광 PV(photo voltaics)+ESS를 설치하여 직접 발전한 전기를 ESS에 저장하였다가 필요할 때 소비하고 잉여전력은 이웃에 파는 비즈니스모델이 주도하고 있다.
- (2) BTM 시장은 MG(Micro grid)의 활성화와 이를 통한 최적화, DR(Demand Response : 수요반응)의 선진화, 프로슈머(생산자와 소비자의 역할을 동시에 하는 사람) 사이의 개인 간 거래 등 또한 극도로 발전해야 하며 궁극적으로 소비자의 에너지 선택권이 보장되어야 한다.
- (3) EU 및 북미의 전력시장은 이러한 형태로 급속하게 발전하고 있다.

4-5. 전압변동률  $\varepsilon = p\cos\theta + q\sin\theta$ 가 됨을 증명하시오.

(단, p : %저항강하, q : %리액턴스 강하)

답)

1. 전압변동률  $\varepsilon = p\cos\theta + q\sin\theta$ 가 됨을 증명

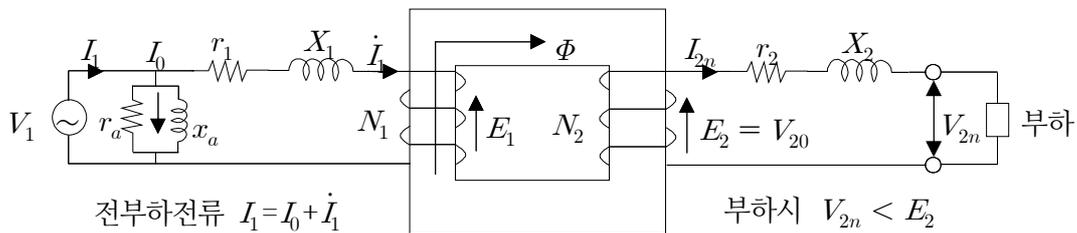
1) 정의

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

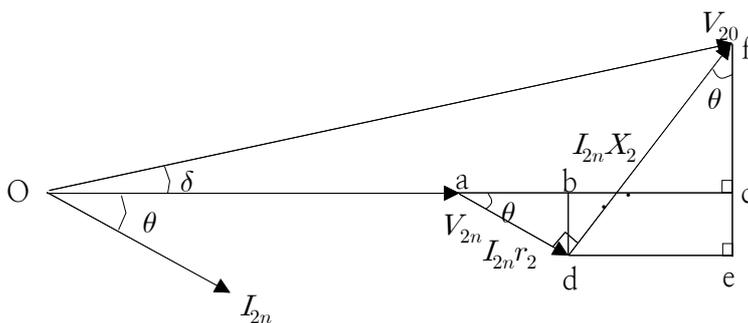
2) 관계식

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%] \quad V_{2n} : \text{변압기 단자2차 정격전압}, \quad V_{20} : \text{2차 무부하 전압}$$

3) 등가회로도 및 벡터도



< 등가 회로도 >



< 벡터도 >

4) 전압변동률 계산

- (1)  $\overline{ab} = I_{2n}r_2 \cos\theta$ ,  $\overline{bc} = \overline{de} = I_{2n}X_2 \sin\theta$ ,  $\overline{fe} = I_{2n}X_2 \cos\theta$ ,  $\overline{bd} = I_{2n}r_2 \sin\theta$
- (2)  $\overline{fc} = \overline{fe} - \overline{bd} = I_{2n}X_2 \cos\theta - I_{2n}r_2 \sin\theta$
- (3)  $\overline{0c} = V_{2n} + \overline{ab} + \overline{bc} = V_{2n} + I_{2n}r_2 \cos\theta + I_{2n}X_2 \sin\theta$

(4)  $V_{20} = \sqrt{0c^2 + cf^2}$  으로 되지만 상차각이 매우 작고,  $V_{2n}$ 이 매우 크므로  $\overline{0c} \gg \overline{cf}$  인 관계가 성립하므로  $V_{20} \doteq \overline{0c} = V_{2n} + I_{2n} r_2 \cos\theta + I_{2n} X_2 \sin\theta$  로 된다.

(5)  $V_{20} - V_{2n} = I_{2n} r_2 \cos\theta + I_{2n} X_2 \sin\theta$

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

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

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

여기서 부호가 + 인 것은 부하가 지상부하이기 때문이다.

(7) 역률이 100%이면 %전압변동률은 %동손과 같게 된다.

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

(8) 전력용 변압기의 %전압 변동률

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

4-6. 현재 국내에서 건설중인 500kV HVDC(High Voltage Direct Current) 가공 및 지중 송전선로의 개념에 대하여 설명하고, 지중송전선로 구간의 전력구 부대설비 구성에 대하여 설명하시오.

답)

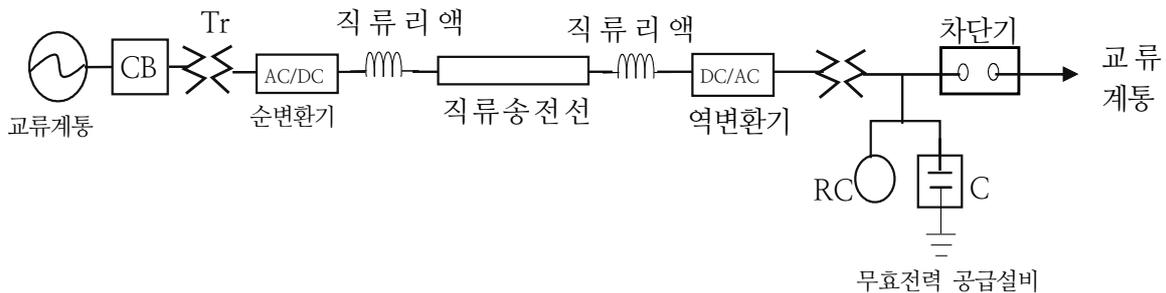
### 1. HVDC(High Voltage Direct Current)란

초고압직류시스템(HVDC ; High Voltage Direct Current)은 발전소에서 발전된 교류형태의 전력을 직류형태의 전력으로 변환하는 정류시스템(Rectifier ; AC→DC)으로 변환하여 직류송전선로로 송전하고, 수전단에서는 직류전력을 교류로 변환하는 변환시스템(Inverter ; DC→AC)으로 재 변환하여 전력을 공급하는 방식이다.

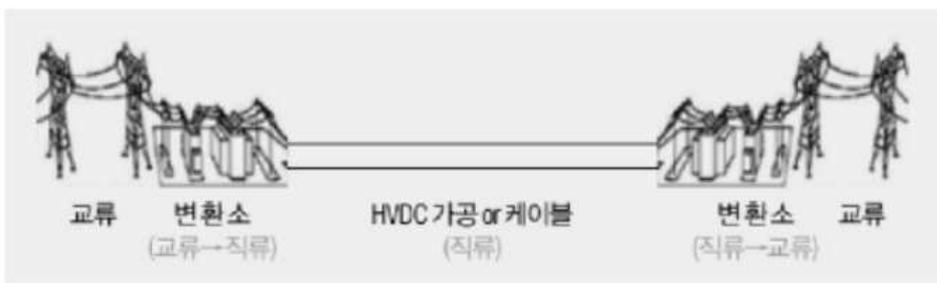
### 2. 500kV HVDC(High Voltage Direct Current) 가공 송전선로의 개념

가공 HVDC는 송전선로를 가공 철탑을 이용하여 송전하는 방식이다.

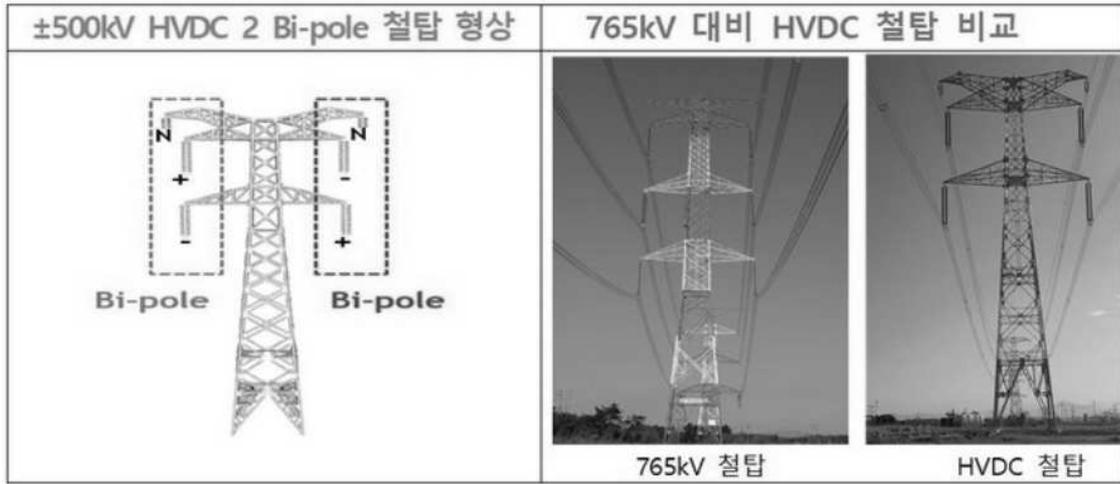
#### 1) 구성도



[ 직류송전 계통도 ]

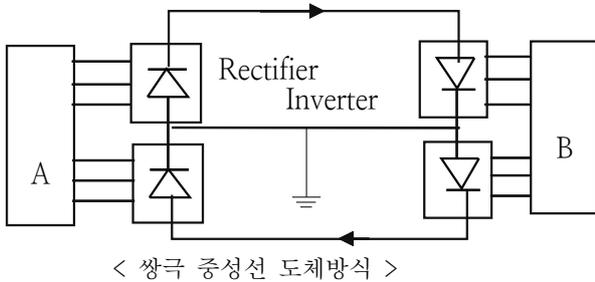


#### 2) 기존철탑과의 비교



3) 적용방식 및 사양

(1) 쌍극 도체귀로방식 ±500kV HVDC 2 Bi-pole



(2) 고장 실증선로

① 시험선로

10,000평 규모 (철탑 4기, 3경간, 600m), 전기환경 시험경간 (#2~#3)의 철탑은 가변형 구조

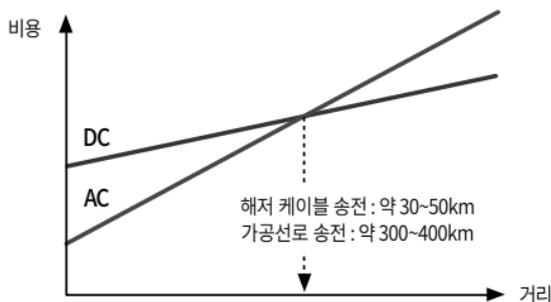
② 전원설비 : ±500kV DC Converter (200mA at 600kV)

③ 계측장비 : 전기환경 장애량 측정설비(RI, AN, Ion, 전계, 유도전압)

4) 특징

(1) 장거리 송전 유리

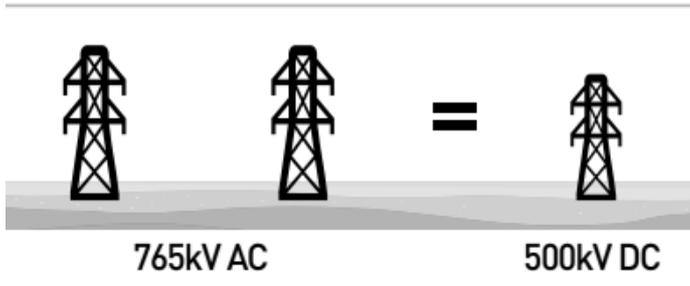
300km가 넘는 가공송전이나 40km가 넘는 해저 및 지중송전 시, 같은 크기의 전선에서는 직류가 교류보다 2배 이상 송전될 수 있어 교류 송전에 비하여 직류송전이 경제적으로 유리하다. ±500kV HVDC 2 Bi-pole 방식은 기존 AC 765kV 방식대비 전력선을 2/3 수준으로 줄일수 있어 콤팩트화가 가능하다.



(2) 친환경적인 송전방식

AC송전선에 비하여 철탑 면적과 수량이 감소되어 자연에 미치는 영향이 적으며 기존 AC 철탑을 활용하여 직류송전을 하면 더 많은 전력을 송전할 수 있다.

±500kV HVDC 2 Bi-pole 방식은 기존 AC 765kV 방식대비 철탑 크기가 75% 수준으로 줄일 수 있다.



(3) 송전계통 운영 최적화

발전소에서 생산된 대규모 전력을 수용가 또는 부하집중 지역에 직접 송전이 가능하여 기존 AC송전 계통에 대한 과부하 영향을 최소화 합니다.

(4) 산악지형에 인구밀도가 높은 국내 환경에 적합하다.

(5) ±500kV HVDC 2 Bi-pole 방식을 EP(East West Power Grid) 프로젝트(동해안 발전력을 수도권으로 전송하기 위한 HVDC프로젝트)에 적용하여 2021년 12월 준공할 예정이다.

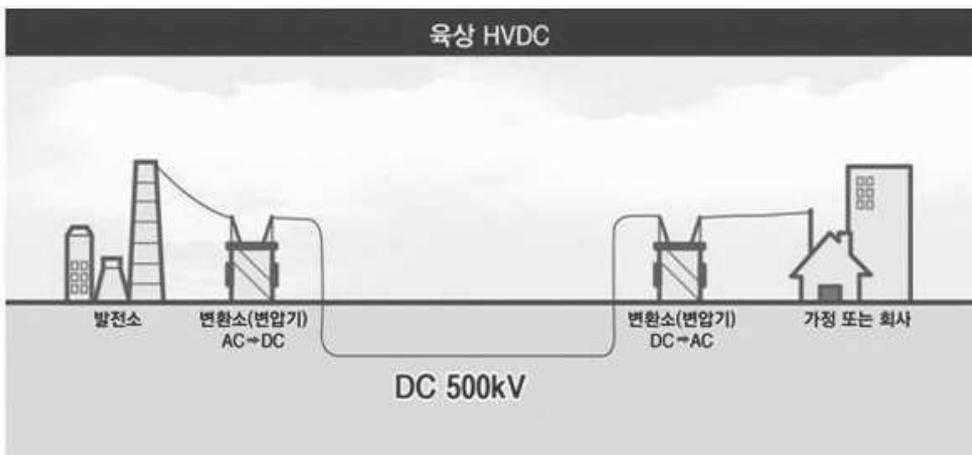
2. 500kV HVDC(High Voltage Direct Current) 지중 송전선로의 개념

지중 HVDC는 송전선로를 지중 케이블을 이용하여 송전하는 방식이다.

500kV급 북당진~고덕 HVDC 지중송전선로 건설

1) 구성도

가공 HVDC 구성도와 선로부분에서 지중 케이블을 사용하는 차이만 있다.



## 2) 케이블



## 3. 지중송전선로 구간의 전력구 부대설비

- 1) 케이블 지지대
- 2) 조명설비
- 3) 장경간 와이어로프 포설공법으로 연결점 없이 한번에 포설
- 4) 배수설비
- 5) 환기설비
- 6) 전력구 감시시스템 (CCTV 포함)