



## 제55회 발송배전기술사 문제 해설 ③

◆ 자료제공 : 서울공과대학원

해설/기술사 용인송담대 교수 유상봉  
기술사 두원공대 교수 김세동

본 시험정보는 '98. 9. 20 시행한 국가기술자  
격검정 기술사분야에 출제된 1교시 ~ 4교시의  
시험문제로서 3교시를 발췌하여 게재합니다.

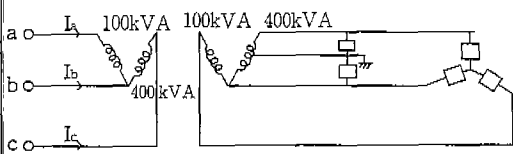
[ 회원출판과 ]

### 3 교 시

【문제 1】 그림과 같이 단상변압기 2대 (100kVA,  
400kVA)를 선간에 V결선하여 2차측에  
단상과 3상부하를 접속하였다. 이 때 1  
차측의 각상의 선전류  $I_a, I_b, I_c$ 를 구하  
라(50점).

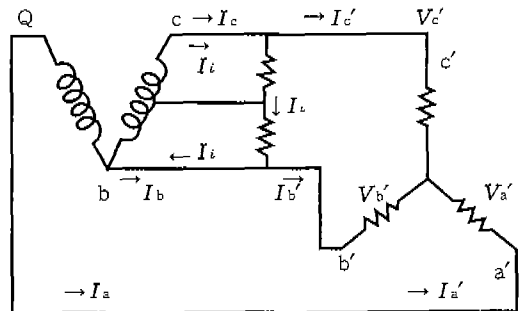
단, 1차측 전압은 22.9 kV 3상 평형이며  
2차측 부하는 각 변압기 각 상 전부하이  
며 역률은 100%이다.

3상 부하는 평형이고, 여자전류는 무시한다.



그림과 같은 변압기의 결선법을 V결선이라고  
한다. 이 결선은  $\Delta-\Delta$ 결선에서 1상을 제거한 것  
으로 Open Delta라고도 한다. 2차측에 평형 3상부  
하를 접속하고, 또 1차측에 평형 3상전압을 가하고  
그때의 전압, 전류의 정방향을 그림과 같이 정하  
고, 각 상의 전압 및 전류를  $V_a', V_b', V_c'$  및  $I_a',$   
 $I_b', I_c'$  라고 하자.

여기서, 변압비를 1: 1로 가정하면, 고압측에 유  
입하는 전류는 그대로 저압측에 흐르는 것으로 생  
각할 수 있다.



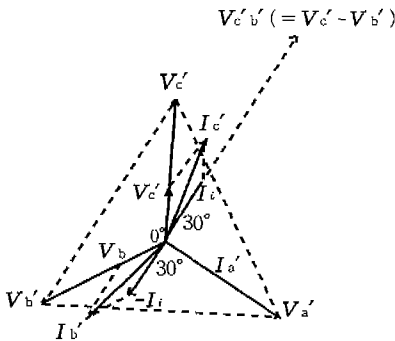
<그림 1>

그림 1에서 보는 바와 같이  $I_a=I_a'$  이고, 이 전류는 100 kVA에 해당하는 전류이다. 따라서,

$$I_a=I_a' = \frac{100,000}{22,900} = 4.37[A]$$

다음에 두 개의 단상 부하가 같다면, 흐르는 전류도 같고,  $I_c$ 로 표시된다. 그런데 단상부하는 역률이 100%이므로 이 전류는 전압  $V_c'$ ,  $V_b'$ 와 위상이 같다.

따라서, 아래 그림의 벡터도에 보이는 바와 같이  $I_c$ 와  $V_c'$ ,  $V_b'$ 는 같은 위상이 된다.



<그림 2>

그런데, 그림 1에서  $I_c = I_c + I_c'$ ,  $I_b = -I_c + I_b'$  이고, 또  $I_c = I_b$ ,  $I_c$ 와  $I_c'$ 와의 위상차와  $-I_c$ 와  $I_b'$ 와의 위상차는 모두 30도로서(상전압과 선간전압간의 상차각) 결국  $I_b = I_c$ 이다. 이것은 100 kVA 상당 전류이다. 따라서

$$I_b = I_c = \frac{400,000}{22,900} = 17.47[A]$$

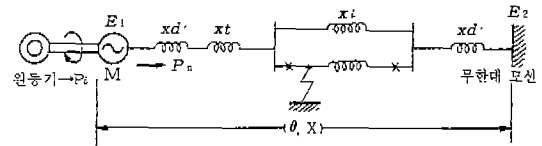
**[문제 2]** 전력계통 안정도 향상대책에 대하여 논하시오(25점).

일반적으로 사고가 발생하면 발전기는 가속해서 드디어는 탈조에까지 이르게 되는 것이므로 안정도 향상을 위해서는 우선 무엇보다도 발전기의 가

속을 억제하는 대책을 취하지 않으면 안된다.

지금 그림 1 과 같은 1기 무한대 계통을 사용해서 설명해 보면 발전기의 운동 방정식이 다음과 같을 때

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{\omega}{M} (P_i - P_e) = \frac{\omega}{M} (P_i - \frac{E_1 E_2}{X} \sin \theta) \quad \dots (1)$$



$P_i$ : 원동기로부터의 입력       $x$ : 발전기, 변압기, 송전선로  
 $P_e$ : 전기적 출력                      의 각 리액턴스의 합계  
 $E_1$ : 발전기 내부 전압               $\theta$ :  $E_1 \sim E_2$  간의 상차각  
 $E_2$ : 무한대 모선 전압               $M$ : 관성 정수

<그림 1> 1기 무한대 계통

발전기가 가속 탈조하게 된다는 것은 식 1의 우변이 고장 중에 급격히 커지든지 또는 고장 제거 후(가령 1회선 차단 후)에서도 상당한 시간 동안正的 값을 계속해서 취하기 때문에 일어난다. 곧,

① 고장 계속 중 ...  $P_i \gg \frac{E_1 E_2}{X'} \sin \theta$   
 ( $X'$ 는 고장 중의 전달 임피던스)

② 고장 제거 후 ...  $P_i \gg \frac{E_1 E_2}{X''} \sin \theta$   
 ( $X''$ 는 고장 중의 전달 임피던스)

의 시간이 지속될 경우에는 가속 탈조하기 쉽다. 이 때문에 발전기의 가속을 억제하기 위해서는 강제적으로 전기적 출력( $P_e$ )을 증대 시키거나 원동기로부터 공급되는 기계적 입력( $P_i$ )을 경감시켜 주면 된다는 것을 알 수 있다. 이밖에 관성

정수  $M$ 을 크게 하는 것도 ( $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ ) 를 작게 해서 발전기 가속(감속)의 억제책이 될 수 있다.



이처럼 계통의 안정도에는 수많은 요소가 영향을 미치기 때문에 안정도의 향상 대책으로서도 여러가지 것을 생각할 수 있겠으나 일반적으로는 다음과 같은 4가지로 나누어 볼 수 있다.

- ① 계통의 전달 리액턴스를 감소시킨다.
- ② 고장시를 비롯해서 계통 전압의 변동을 작게 한다.
- ③ 계통에 주는 충격을 작게 한다.
- ④ 고장시 등의 전력 변동을 억제한다.

다음에 이들에 관하여 간단히 설명하면

#### (1) 계통 직렬 리액턴스의 감소

송전전력( $P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta$ )은 전달 리액턴스  $X$ 에 반비례하여 증가하므로, 이의 감소방식은 다음과 같다.

##### ① 병렬회로의 증가

송전선로의 병렬회선을 증가하거나, 목도체를 사용하여 계통의 전달 리액턴스를 줄인다.

##### ② 기기 리액턴스의 감소

송전선의 리액턴스를 적게하면 단락비가 커지며, 따라서 가격이 비싸지만 관성정수도 커지게 되므로 결국 안정도는 증가된다.

#### (2) 고장시간, 고장전류의 감소

고장시간과 고장전류를 적게하면 안정도가 증진되며, 이들을 줄이는 방법은 다음과 같다.

① 고속도 계전기, 고속도 차단기를 사용하여 고장점을 빨리 계통에서 제거시키며 재폐로 방식을 사용하여 일시적 고장을 복구시킨다.

##### ② 적당한 증성점 접지방식의 사용

소호리액터 접지방식 등을 사용하여 지락전류를 적게한다.

#### (3) 전압변동의 감소

사고시에는 단자전압의 강하가 많아지므로 이것을 높이는 방법을 강구하면 단락전류는 많아지지만

안정도는 증진된다.

##### ① 속응여자방식의 채용

정격전압 200[V]의 자여자기의 전압 상승률은 30[V/s]정도이지만, 고성능 자동전압조정기를 도입하여 속응여자방식을 쓰면 이것을 수 1,000[V/s]로 올릴 수 있고, 정상전압도 1,000[V]정도로 높일 수 있다.

이 결과, 고장발생으로 발전기의 전압이 저하하더라도 즉각 변동하여 발전기 전압을 일정 수준까지 유지시킬 수 있으므로 그 만큼 안정도 증진에 기여하게 된다.

##### ② 계통의 연계

몇 개의 계통을 부하단, 혹은 다른 적당한 곳에서 연계시키면 용량이 커지므로 과도시에 전압변동이 감소하며 계통은 완고하여지므로 안정도가 높아진다.

##### ③ 중간보상방식 채용

이것은 선로 도중에 조상기를 설치하고, 이 점의 전압을 일정하게 유지함으로써 송전전력을 증가시킬 수 있으므로 안정도가 증진된다.

#### (4) 고장시 발전기 입출력차의 감소

발전기의 입출력차가 적으면 발전기가 적어지고, 따라서 안정도가 증진된다.

##### ① 조속기 동작의 신속화

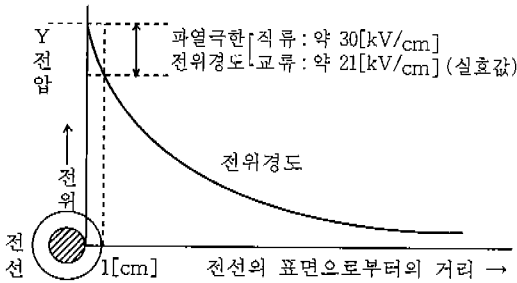
일반적으로 원동기의 조속기는 부동작시간과 동작시간을 합쳐서 2~3초 정도인데 과도 안정도의 판정은 최초의 1초 정도에서 결정되므로 조속기동작의 영향은 보통 무시한다. 그러나 조속기의 동작이 빠르면 그만큼 안정도 증진에 유효하게 될 것이다.

##### ② 발전기 회로에의 저항투입

고장발생과 동시에, 발전기 회로에 저항을 넣어 줌으로써 입출력의 불평형을 완화시켜 줄 수 있다.

**[문제 3] 송전선로의 코로나 임계전압을 설명하고, 산출방법을 설명하시오(25점).**

공기는 보통 절연물을 취급하고 있지만 실제로는 그 절연내력에 한도가 있다. 즉, 기온 기압의 표준상태(20[°C], 760[mmHg])에 있어서는 직류에서 약 30[kV/cm], 교류(실효값)에서는 그  $1/\sqrt{2}$  인 약 21[kV/cm]의 전위경도를 가하면 절연이 파괴되는데 이것을 파열극한 전위경도  $g_0$ 라고 말하고 있다.



<그림 1> 전위경도

일반적으로 전극의 어느 일부분에 있어서 전위경도가 위에서 보인 한도를 넘으면 그 부분만의 공기의 절연이 파괴되어 전체로서는 섬락에까지 이르지 않는다. 이와 같이 공기의 절연성이 부분적으로 파괴되어서 낮은 소리나 옅은 빛을 내면서 방전하게 되는 현상을 코로나 또는 코로나방전이라고 한다.

즉, 코로나는 불꽃방전 일보직전의 극부적인 방전 현상이다.

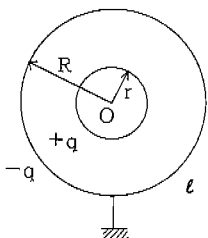


그림 2 동심 원통 전극

따라서 그림 2와 같이 반지름이  $r[m]$ 인 전선의 표면에  $q[C/m]$ 인 전하가 실렸을 때 전선 표면의 전위경도는

$$g = \frac{2q}{r} \times 9 \times 10^9 \text{ [V/m]} \quad \dots (1)$$

로 되고 이 값이 코로나의 파열 극한값  $g_0$ 를 넘으면 코로나가 발생하게 된다.

그러나, 실제의 송전선은 전선이 평행하고 있고, 또 그 반지름  $r$ 은 선간의 절연 거리  $D$ 에 비해서 훨씬 작기 때문에 앞서 그림 2에 보인 동심 원통 전극의 바깥지름이 아주 큰 경우에 해당한다. 여기서 전선의 중성점에 대한 정전용량, 즉 작용용량을 단위 길이당  $C_n[F/m]$ 이라고 나타내면 전하  $Q$ 는  $C_n E[C/m]$ 로 표시되므로 이것을 식 1에 대입하면

$$g = \frac{2q}{r} \times 9 \times 10^9 = \frac{2C_n E}{r} \times 9 \times 10^9 \\ = \frac{2E}{r} \cdot \frac{1}{2 \log_{10} \frac{D}{r}} \text{ [V/m]} \text{ 로 된다.}$$

단,  $D$ 는 송전선 3가닥의 등가 선간거리이다.

여기서  $E[V]$ ,  $r[m]$ ,  $D[m]$ ,  $g[kV/cm]$ 를 각각  $E[kV]$ ,  $r[cm]$ ,  $D[cm]$ ,  $g[kV/cm]$ 의 단위로 바꾸어 주면 전위의 기울기  $g$ 는 다음과 같이 된다.

$$g = \frac{E}{r} \cdot \frac{0.4343}{\log_{10} \frac{D}{r}} \text{ [kV/cm]}$$

중성점에 대한 코로나의 임계전압  $E_0[kV]$ 는 위 식의  $g$ 를  $g_0=21.1[kV/cm]$ 로 두어서 정리하면

$$21.1 = \frac{0.4343}{r \log_{10} \frac{D}{r}} E_0$$

$$\therefore E_0 = 24.3 \times 2r \times \log_{10} \frac{D}{r} = 24.3d \log_{10} \frac{D}{r}$$

단,  $d = 2r =$  전선의 지름[cm]

위 식에서 알 수 있듯이 전선의 굵기가 커지면 코로나의 임계전압이 높아져서 코로나의 발생은 억제된다. 반대로 전선이 가늘어지면 코로나의 임계전압이 내려가서 코로나가 일어나기 쉬워진다.



실제로는 위 식 대신에 전선의 표면의 상태라든가 일기 등에 관계하는 여러가지 계수를 고려해서  $E_0$  는 보통 다음과 같이 나타내고 있다.

$$E_0 = 24.3 m_0 m_1 \delta \log_{10} \frac{D}{r} \text{ [kV]}$$

단,  $m_0$ : 전선의 표면 상태에 의해서 정해지는 계수로서 표 1의 값을 취한다.

<표 1> 전선의 표면계수

전선의 표면상태	$m_0$
잘 다듬어진 단선	1
표면이 거친 단선	0.98~0.93
7개 연선	0.87~0.83
19~61개 연선	0.85~0.80

$m_1$ : 일기에 관계하는 계수로서 공기의 절연내력의 저하도를 나타내고 맑은 날은 1.0 우천시(비, 눈, 안개 등)는 0.8로 잡고 있다.

$\delta$ : 상대 공기 밀도로서 기온  $t[^\circ\text{C}]$ 에서의 기압을  $b[\text{mmHg}]$ 로 하면

$$\delta = \frac{0.386 b}{273+t}$$

로 표시된다. 표준기압  $b=760[\text{mmHg}]$ , 표준기온  $t=20[^\circ\text{C}]$ 의 경우  $\delta=1$ 로 된다.

$b$ 의 값은 토지의 높이에 따라 달라지는데 그 개략값은 표 2와 같다.

<표 2> 표고와 대기압과의 관계

표고[m]	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
기압b [mmHg]	760	711	688	627	590	555	521	489

**[문제 4]** 전력 계통 보호용 계전기의 전압-전류 특성을 계전기 별로 설명하시오.

- 전력계통에는 정상상태와 과도상태(고장)로 구분할 수 있으며, 보호계전기는 과부하보호 및 단락 지락 고장으로 부터의 설비보호와 정전범위의

확대를 예방하는 목적으로 사용되며 계전기는 주 보호와 후비보호용으로 사용된다.

계전기의 종류 및 특성은 극히 많겠지만 그중에서 많이 쓰이는 것을 대별하면 아래와 같다.

### 1. 전류형 계전기

전류의 크기에 대응해서 동작하는 계전기로서 예정 동작치 이상의 전류가 흐르면 동작하는 과전류계전기가 대표적이며, 동작특성은 전류가 증가하면 동작시간이 짧아지는 아래와 같은 반한시성 및 순시동작 특성을 갖는다.

$$T = \frac{K}{\left(\frac{I_s}{I_n}\right)^a - 1} \times m$$

$I_n$ : 정정 전류

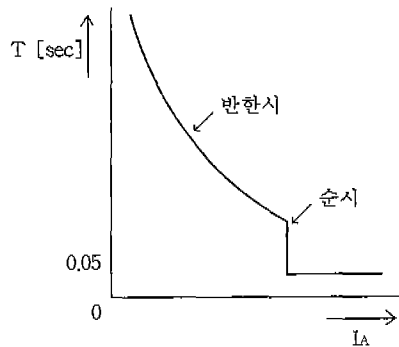
$I_s$ : 통전 (사고) 전류

$a$ : 고유상수

$k$ : 고유상수

$m$ : 특성곡선 선택 lever

$t$ : 동작시간



### 2. 전압형 계전기

전압계전기는 전압의 크기에 대응해서 동작하는 계전기로 반한시특성, 정한시특성, 순시특성이 있다.

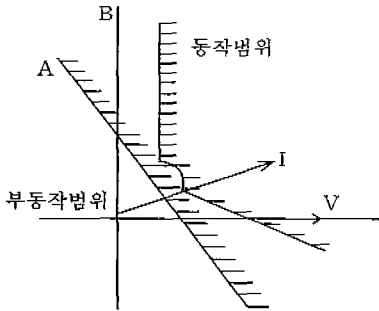
종류로는 부족전압 계전기(U.V.R)는 단락사고 검출용 정전시 경보용 등으로 사용되며 과전압 계전기(O.V.R)은 높은 전압 발생이 우려 될 때 사용되며 지락 과전압계전기(O.V.G.R)은 영상전압을 입력으로하여 지락사고를 검출한다.

### 3. 방향계전기

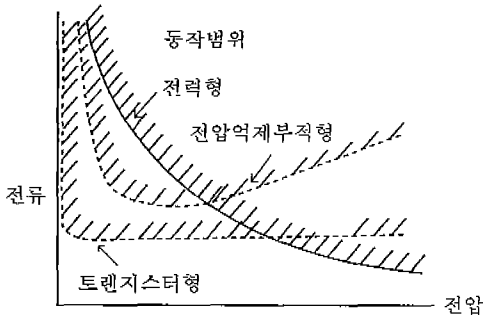
방향계전기에는 기준전압에 대하여 전류 방향을 감지하여 고장 회선을 선택하여 차단할 수 있는 계전기로서 단락 방향계전기(D.S.R)는 전류값이 정정값 이상이라도 정해진 방향의 고장시에만 동작하며 선간전압과 선전류가 이용된다.

지락 방향계전기(D.G.R)는 지락 전류방향이 정해진 방향일 때만 동작하게 되며 G.P.T 에 의한 영상전압과 영상전류로서 동작한다.

방향성 계전기의 동작특성은 아래와 같다.



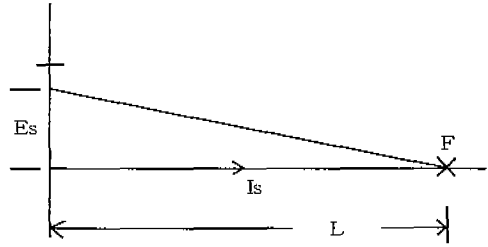
<그림 1> 방향계전기의 위상특성



<그림 2> 방향계전기의 전압-전류특성

### 4. 거리 계전기

가공송전선 고장점의 거리를 감지 할 수 있는 계전기로 계전기 설치점에서 고장시 전압과 전류 값으로부터 선로의 임피던스를 계산해서 단위 길이 당의 임피던스로 나누어 거리를 감지할 수 있는 특성을 갖으며 지락저항의 변동으로 오차가 발생할 수 있으므로 저항 성분을 배제하고 리액턴스 X만으로 거리를 감지하는 계전기가 사용된다.



$$Z = X \cdot L$$

$$Z = \frac{E_s}{I_s}$$

$$Z = x \times L$$

$$L = \frac{Z}{x}$$

- $Z_l$  = Relay 설치점에서 고장점까지의 리액턴스
- $E_s$  = 고장시 Relay 설치점의 전압
- $x$  = 송전선로 단위 길이당 리액턴스
- $L$  = 고장점까지의 거리
- $I_s$  = 고장 전류

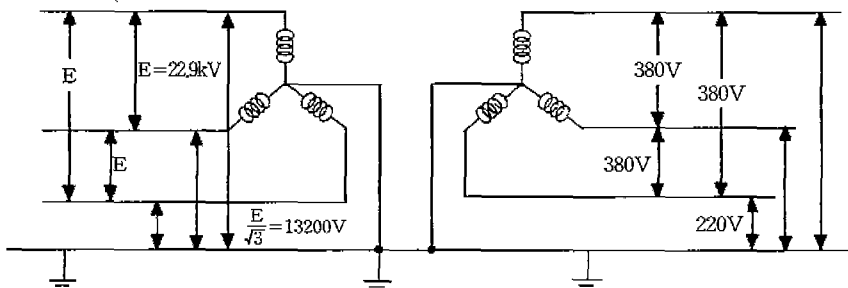
**[문제 5]** 22.9 kV-Y 다중접지 배전선로의 중성선의 역할 3가지를 설명하시오.

전력계통에는 중성점을 접지하는 방식과 비접지 또는 비접지 방식으로 구분할 수 있으며 접지방식에는 직접접지와 저항접지, 소호리액터접지 방식이 있다.

직접접지 방식은 중성점을 단일접지 하는 방식과 다중접지하는 방식으로 구분할 수 있으며 이방식은 우리나라의 22.9 kV-Y 계통에서 사용하는 방식으로 중성선을 그림과 같이 변압기의 2중접지와 공동으로 사용하며 중성선의 역할은 아래와 같다.

#### 1. 2가지 전압의 취득

중성선과 상과의 사이에 선간전압( $E[V]$ )의  $1/\sqrt{3} E[V]$ 의 전압과  $E[V]$ 의  $1\phi$  또는  $3\phi$ 의 전압을 구할 수 있으므로 단상 부하와 3상 부하를 공용할 수 있으며 이에 따른 불평형 전류의 귀로 역할을 한다.



<22.9kV-Y 다중 접지 계통도>

2. 1선 지락시 지락계전기의 동작을 확실시 한다.

3. 1선 지락 고장시 건전상 전위상승 억제

1선 지락 고장시 지락전류가 크므로 FUSE 또는 과전류계전기로 확실하게 고장 선로를 구분하여 차단할 수 있다.

1선 지락 고장시 건전상 또는 저압측의 전위상승을 방지하며 중성선의 접지저항은 값이 적을수록 건전상의 전위상승은 적게 나타난다. **ㄱ**

# 전기 기술사 소방강좌

• 노동부 • 교육부 • 지자체 지정교육기관

“전기에 관한 한 최고의 명문임을 자부합니다”

1964년 국내최초로 설립한 이래— 34년간 150,000여명의 전기기술자를 배출한 최고의 명문!!

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 전기공사(산업)기사반</li> <li>■ 전기(산업)기사반</li> <li>■ 전기기능사반</li> <li>■ 소방설비기사(전기&amp;기계)반</li> <li>■ 전기철도(산업)기사반</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 강의시간 • 오전반 10:00~12:30</li> <li>• 야간반 7:00~ 9:30</li> <li>▶ 개 강 • 정규반: 매월 10일</li> <li>• 필기/실기특강: 공단원서접수 첫날</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 각 과정 고대근무자 수강가능</li> <li>• 학원 자가발달으로 최고의 시설완비</li> <li>• 기초부터 상세히 책임지도</li> <li>• 최고의 권위를 자랑하는 전임강사진</li> </ul> |
|---|---|--|

## 발송배전 기술사

- 개 강 • 수요일: 4월 28일 • 일요일: 5월 2일 • 토요일: 5월 1일
- 강의시간 • 수요일 19:00~22:00 • 일요일 10:00~15:00 • 토요일 16:00~20:00
- 강 사 진: 분야별, 과목별로 세분화된 최고의 권위강사진
  - 유상영: Y대교수/국내최대 5종목기술사(발송배전, 건축전기, 전기안전, 전기응용, 소방설비)
  - 김재동: 0대교수/ 기술사/ 한전, 한국건설기술연구원 수석연구원 역임
  - 전영수: 기술사/ H콘설립전 직무이사/ 한국전력기술인협회 기술전문위원
  - 양철교: 기술사/ 경영지도사/ 동일출판사 저자 외 2인 \*전기특도 3인 별도

## 실직자 무료교육

- 모집대상: 전기공사(산업)기사, 전기(산업)기사 또는 전기 기술사를 취득하고자 하는 실업자 및 실직자
- 모집인원: 000명(전액 국비지원) ■ 교육기간 6개월
- 재학비용: 주민등록증본, 통장사본(수당 입금용) 사진, 구직표 각2부
- 특 전: - 수강료, 교재비 등 일체무료
  - 교육중 교육수령, 교통비, 가족수당 지급(전액국비지원)
  - 노동부전선망을 통한 취업알선, 노동부인정 수수료 발급

■ 서신강좌: 지방거주자 및 직접수강이 어려운분 대상 • 실시종목: 전기(산업)기사, 전기공사(산업)기사, 소방설비(산업)기사

# 서울공과학원 676-1113~5

서울 영등포구 당산동1가 455번지 (지하철 2,5호선 영등포구청역 하차, 5번출구에서 70m)