



제57회 발송배전기술사 문제 해설 ③

◆ 자료제공 : 서울공과학원

해설 용인송담대 교수 유상봉/기술사
두원공대 교수 김세동/기술사

본 시험정보는 '99. 4. 25 시행한 국가기술자
격검정 기술사분야에 출제된 1교시 ~ 4교시의
시험문제로서 3교시를 발췌하여 게재합니다.

[회원출판과]

3 교 시

[문제 1] 전력 조류계산에서 다음 용어를 설명하시오.

- ① Slack(Swing) Bus
- ② Sparsity
- ③ 가속계수
- ④ Gauss-Seidel법과 Newton-Raphson법을
속도, 신뢰도, 메모리 측면에서 비교

① Slack(Swing) Bus

전력시스템의 모선은 발전기가 연결된 발전기 모
선과 부하만이 연결된 부하모선으로 나눌 수 있다.

발전기 모선의 유효출력은 연료량에 의해 조정
이 가능하며 단자전압의 크기는 여자기의 전압 조
정장치로 일정하게 유지되므로 기지량으로 지정이

가능하다.

부하모선은 유효, 무효전력을 수용가의 크기로
서 알 수 있어 기지량 결정이 가능하다.

그런데 어떤 시스템에 전력이 흐르면 송전손실
이 발생되는데 모든 모선의 유효전력을 기지량으
로 지정하는 것은 송전손실의 크기까지도 지정하
는 모순된 결과를 가져오므로 이를 극복하기 위해
실제의 조류계산 과정에서 발전기 모선 중 1개(주
로 대용량 발전소)를 지정해 시스템 내의 송전손실
을 흡수, 조정하는 역할을 부여하게 되는데 이 모
선은 전압의 크기와 위상각을 기지량으로 정해 유효,
무효전력을 조정한다. 이 모선을 Slack(Swing)
Bus라 한다.

② Sparsity

조류계산을 위해 계통의 어드미턴스 행렬을 만
들면 행렬 각각의 요소들은 인접한 소수 모선을
제외한 나머지 모선들과는 관계가 없으므로 그 요
소들은 0의 값을 갖게 된다. 대각 요소는 자기 어
드미턴스이고 비대각 요소들은 상호 어드미턴스
이므로 결국 수많은 비대각 요소들이 0이 됨을 알
수 있다. 계통이 확대될수록 0인 요소가 늘어나게
된다. 이런 특성을 Sparsity라 한다.

③ 가속계수(Acceleration) : α

계통의 조류계산을 하기 위해 기지량과 미지량을 파악해 보면 각 모선당 변수는 P(유효전력), Q(무효전력), V(전압), θ (전압의 위상각) 4개임을 알 수 있고 이중 2개는 기지량, 2개는 미지량이 됨을 알 수 있다.

그런데 각 모선에서는 2개의 방정식 밖에 세울 수 없으므로 이를 풀기 위해서는 부족한 식의 수만큼 값을 지정하여 반복법으로 계산을 하여야 한다. 이때 반복의 수렴속도를 개선하기 위해 가속계수(α)를 사용하며, α 가 크면 수렴속도가 빨라지고 작으면 느려진다.

그러나 α 가 너무 크면 발산의 우려가 있으므로 적절히 조정하여야 한다.

또한, $\alpha=1$ 일 때 Gauss(or Gauss Seidel) 반복법이 된다.

이를 식으로 나타내 보면

$$X^{n+1} = X^n + \alpha f(X^n)$$

여기서, X^{n+1} : $n+1$ 번째 수정값

X^n : n 번째 수정값

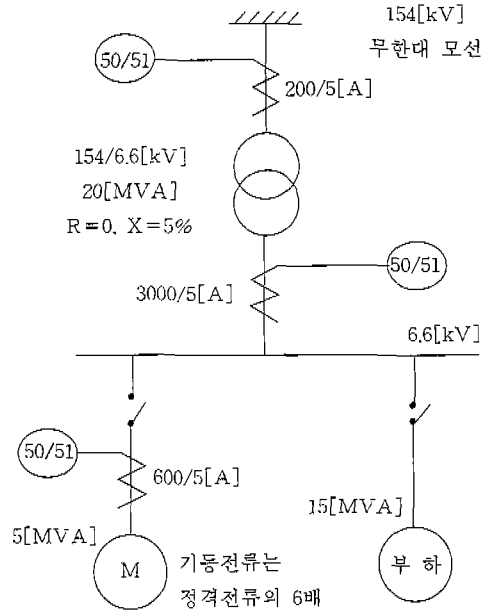
$f(X^n)$: n 번째 함수값

④ Gauss-Seidel과 Newton-Raphson법을 속도, 신뢰도, 메모리 면에서 비교

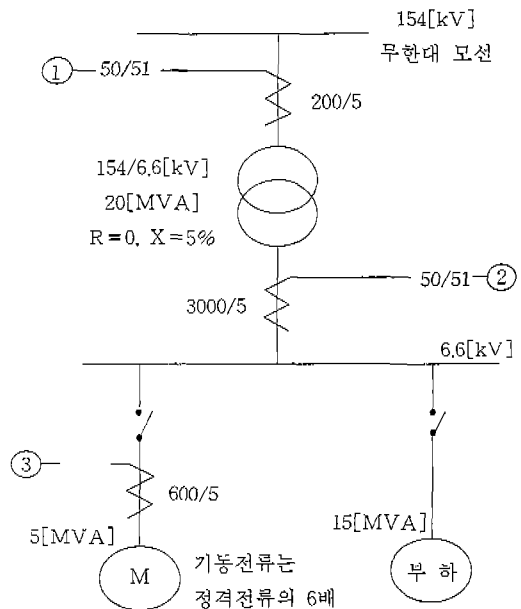
Gauss-Seidel 반복법은 어드미턴스 행렬을 이용하여 계산하고, Newton-Raphson법은 Taylor 급수 전개하여 Jacobian 행렬로 계산을 하므로 Gauss-Seidel의 반복법은 계산이 간편하며 1회 반복 소요시간이 짧으나 전체적인 반복횟수가 Newton-Raphson법에 비해 많으므로 전체적인 소요시간이 길어지게 된다.

메모리면에서는 Newton-Raphson법은 매 반복마다 Jacobian 행렬의 역행렬을 구해야 하므로 Gauss-Seidel의 반복법에 비해 큰 메모리를 요구한다. 신뢰도면은 Gauss-Seidel 반복법이 반복횟수가 많아 계산과정에서 오차가 크게 발생할 소지가 있으나 두방법 모두 초기치 설정값에 따라 수렴, 진동, 발산을 할 수 있으므로 두 방법의 적절한 병행이 바람직하다(처음 Gauss-Seidel 반복법 2~3회 수행 후 Newton-Raphson법 수행).

[문제 2] 다음 수변전 설비의 단선도에서 보호계 전기를 설정하고 협조곡선을 그려라.



[해설]





1) 계전기의 정정

① 변압기 1차측 계전기 (50/51)

$$\text{정격전류 } I_n = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 154} = 75A$$

- 한시전류 정정 Tap : 최대 부하전류의 150% 적용(한전 기준)

- 명판 전류의 200 ~ 300% 정정

$$75 \times 1.5 \times \frac{5}{200} = 2.8A$$

한시 Tap 3A 선정

- 순시전류 정정

- 2차측 3상 단락전류의 130% 정정 (추천값 :

3상 단락전류의 125 ~ 200% 정정)

2차측 3상 단락전류

$$I_{s1} = \frac{I_n}{\%Z} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6} = \frac{1750}{0.05} = 34992A$$

$$34992 \times \frac{6.6}{154} \times \frac{5}{200} \times 1.3 = 48A$$

순시 정정은 48A보다 큰 정정 가능한 첫번째 Tap

② 변압기 2차측 계전기 (50/51)

- 한시전류 정정 : 최대 부하전류의 130% 적용

$$I = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6} \times 1.3 = 2275A$$

$$2275 \times \frac{5}{3000} = 3.8A$$

한시 Tap : 4A

- 순시전류 Tap : 정전 범위 확대를 고려하여 제거함

③ 모터회로 보호용 계전기 (50/51)

Long Time 인버터 타입 계전기 사용

기동시간은 15초 이내로 본다. 한시 정정 115%로 한다.

모터 정격전류

$$I_n = \frac{5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6.6} = 437A$$

- 한시전류 정정

한시는 정격전류의 115%로 정정함

$$437 \times 1.15 \times \frac{5}{600} \approx 4A$$

한시 Tap : 4A

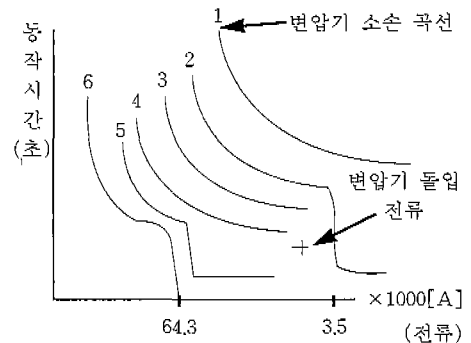
- 순시전류 정정

모터의 돌입전류(정격전류의 12배 정도)로 동작하지 말아야 하고 2상 단락전류에 동작하여야 한다.

- 정격전류의 1200% 정정

$$437 \times 12 \times \frac{5}{600} = 44A$$

44A보다 큰 사용가능 첫 번째 Tap



◎ 보호협조 곡선

1. ①번 곡선 : 변압기 소손 곡선
2. ②번 곡선 : 변압기 1차측 계전기 동작 곡선 (계전기 ①) 변압기가 소손하기 전에 동작되고 변압기의 돌입전류에 동작하지 말아야 한다.
3. ③번 곡선 : 모터 소손 곡선
4. ④번 곡선 : 변압기 2차측 계전기 동작 곡선 (계전기 ②) 분기 휘더(Feeder)의 후비보호로 동작 되어야 하므로 ①번 계전기 보다 빨리. ③번 계전기보다 늦게 동작되어야 한다.
5. ⑤번 곡선 : 모터 보호용 계전기 동작곡선 (계전기 ③) 모터가 소손하기 전에 동작되고 기동전류에 동작되지 말아야 한다.
6. ⑥번 곡선 : 모터의 기동전류 곡선

【문제 3】 3상 3선식 송전선로 말단에 3000 (kW) 역률 80(%) 지상의 부하가 있을 때 송전단 전압과 전압강하율은 얼마인가? 단, 수전단 정압은 6000(V)이고 선로 임피던스는 $Z = 0.5 + j1.0(\Omega)$ 이다.

송수전단 전압을 각각 $V_s, V_r[V]$, 부하역률을 $\cos \theta$, 부하전력을 $P_r[W]$, 부하전류를 $I [A]$ 라고 하면

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

로 표시된다. 여기서 부하전류 I 는

$$I = \frac{P_r}{\sqrt{3} V_r \cos \theta} = \frac{3000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6000 \times 0.8} = 360.84[A]$$

임피던스가 $0.5 + j 1.0[\Omega]$ 이므로 $R = 0.5[\Omega]$, $X = 1.0[\Omega]$ 이다.

따라서, 송전단 전압

$$V_s = 6000 + \sqrt{3} \times 360.84(0.5 \times 0.8 + 1.0 \times 1 - 0.8^2)$$

$$= 6,625[V] \text{ 이며, 전압강하율은}$$

$$\epsilon = \frac{6625 - 6000}{6000} \times 100 = 10.4(\%) \text{ 가 된다.}$$

【문제 4】 변압기 중성점 접지방식 4가지를 나열하고 보호계전, 유도장해, 과도안정도, 1선 지락시의 전류와 전압관계를 비교 평가하라.

중성점 접지방식은 그림 1에 보는 바와 같이 중성점을 접지하는 접지 임피던스 Z_N 의 종류와 그 크기에 따라 다음과 같은 여러가지 방식으로 나누어 진다.

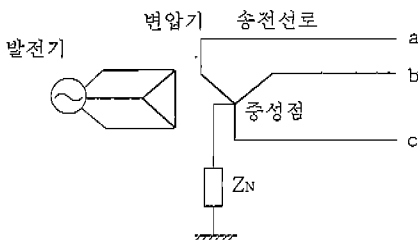


그림 1 중성점 접지방식

- $$Z_N \begin{cases} = 0 : \text{직접 접지} \\ = R : \text{저항 접지} \begin{cases} \text{저저항 접지} \\ \text{고저항 접지} \end{cases} \\ = L : \text{리액터 접지} \begin{cases} \text{리액터 접지} \\ \text{소호 리액터 접지} \end{cases} \\ = \infty : \text{비 접지} \end{cases}$$

- ① 비 접지방식
- ② 직접 접지방식
- ③ 저항 접지방식(저저항 및 고저항 접지 방식 이 있다.)
- ④ 리액터 접지방식(리액터 및 소호 리액터 접 지방식이 있다.)

이들 접지방식에는 표 1에 보인 바와 같은 특징 및 장단점이 있다.

일반적으로 송전선로에 발생하는 이상전압의 억제, 전선로 라돈라 기기의 절연 경감, 피뢰기 및 차단기 동작의 신뢰성 및 확실성 등의 관점에서는 될 수 있는 대로 저 임피던스로 중성점을 접지해서 고장시 중성점을 통해서 흐르는 중성점 전류의 값을 크게 하는 것이 바람직하다. 그러나 과도안정도의 증대나 전자 유도장해의 경감, 고장점의 손상 저하 및 차단 용량의 감소화라는 관점에서는 될 수 있는 대로 고 임피던스로 중성점을 접지해서 고장시 중성점을 통해서 흐르는 중성점 전류의 값을 작게 할 필요가 있다.

이와 같이 저 임피던스와 고 임피던스의 접지방식에서는 서로 상반되는 내용을 포함하고 있기 때문에 중성점 접지방식의 선정에 있어서는 이들의 사항을 충분히 검토해서 각 계통의 실정에 맞는 방식을 채택하지 않으면 안된다.

【문제 5】 증기터빈의 긴급정지 보안장치에 대해 설명하라.

1) 증기터빈의 개요와 종류

증기터빈은 보일러에서 보내 온 고압 고온의 증기를 팽창시켜 기계 에너지로 변환하고, 그 에너지로 발전기를 회전시켜 전기를 만드는 원동기이다.



표 1 증성점 절지방식 비교

항 목	비접지	직접접지	고저항 접지	소호 리액터 접지
지락 사고시의 건전상의 전압 상 승	크다. 장거리 송전선의 경우 이상전압을 발생함	작다. 평상시와 거의 차이가 없다	약간 크다 비접지의 경우보다 약간 작은 편이다	크다 적어도 $\sqrt{3}$ 배까지 올라간다
절연 레벨, 애자개수, 변압기	감소불능 최고, 전절연	감소시킬 수 있다 최저, 단절연 가능	감소 불능 전절연, 비접지보다 낮은 편이다	감소불능 전절연. 비접지보다 낮 다
지락전류	작다. 송전 거리가 길어 지면 상당히 큼	최 대	중간정도 증성점 접지 저항으로 달라 진다(100 300[A])	최 소
보호계전기 동작	곤 란	가장 확실	확 실	불가능
1선 지락시 통신선 에의 유도장해	작 다	최대. 단, 고속차단 으로 고장 계속시간의 최소화 가능(0.1초)	중간정도	최 소
과도안정도	크 다	최소. 단, 고속도 차단, 고속도 재폐로 방식으로 항상 가능	크 다	크 다

보일러에서 발생한 고온 고압의 증기는 노즐(Nozzle)을 사용해서 저압까지 자유로이 팽창시키고 있는데 이때 증기가 작용하는 동작 원리에 따라 충동 터빈(Impulse Turbine)과 반동 터빈(Reaction Turbine)의 2가지로 나누어 진다.

- 메인 스톱 밸브 또는 컨트롤 밸브가 잠길 때
- 과속도 12% 트립
- ④ 추력 베어링의 마모
- ⑤ 복수기의 저진공
- ⑥ 터빈의 수동 트립

2) 터빈의 정지조건

보호장치가 동작하여 터빈을 정지하기 위해서는 다음의 조작이 이루어져야 한다.

- ① Steam Stop 밸브가 닫힐 것
- ② 조속기 제어 밸브가 닫힐 것
- ③ 추기 배관의 Positive Check 밸브가 닫힐 것

3) 터빈의 트립 조건

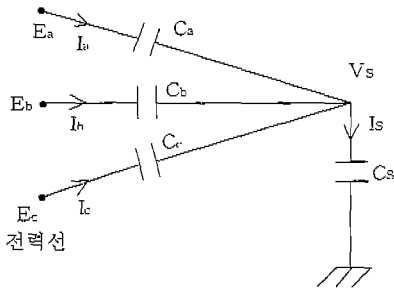
터빈의 트립 원인을 보면 다음과 같다.

- ① 터빈의 과속도
- ② 베어링의 윤활유 압력 저하
- ③ 솔레노이드 트립 : 터빈 트립 솔레노이드는 터빈 마스터 트립 계전기에 의해서 여자되며, 터빈 마스터 트립 계전기는 다음에 의해 동작된다.
 - 비상정지 푸시버튼

〈참고〉 터빈 보호장치 설계 사례

No.	Decription	Design	Test
1	Low Vacuum Alarm	653mmHg	560mmHg
2	Low Vacuum Trip	559mmHg	523mmHg
3	Speed Trip	3990 rpm	3800 rpm
4	Low Bearing Oil Trip	5~6 psi	5 psi
5	Low Bearing Oil alarm	8 psi	50 psi
6	Hydroulic Thrust Trip	50 psi	50 psi
7	Hydroulic Thrust Alarm		30 psi
8	Solenoid Trip	30 psi	good
9	Turning Gear Motor	2~4 psi	off 1~75 psi on 2.2 psi
10	Emergency Oil Pump	on 3psl off 4psl	on 3.5 psi off 4.5 psi
11	Turning Gear Oil Pump	off 8psl on 6psl	off 8.2 psi on 7.2 psi
12	Aux Oil Pump	off 10psl on 8psl	off 10 psi on 9 psi

【문제 6】 그림과 같이 345kV 송전선 2회선의 각 상과 정지회선의 1선간의 상호 정전용량은 $C_a=0.002(\mu F/km)$, $C_b=0.003(\mu F/km)$, $C_c=0.004(\mu F/km)$ 이고, 대지간 작용 정전용량은 $C_s=0.005(\mu F/km)$ 이라고 할 때
 ① 정지회선의 1선에 생기는 상시 유도 전압 V_s 를 구하라.
 ② 송전회선의 1선 지락시에 정지회선 1전선에 생기는 유도전압을 구하라.



① 정지회선의 1전선에 생기는 상시 정전 유도 전압 (V_s)

정전 유도전압은 송전 회선의 영상전압과 양회선의 상호 커패시턴스의 불평형에 의해서 정지회선에 靜電的으로 유도되는 전압으로서 이는 고장시 뿐만 아니라 정상시에도 발생하는 것이다.

상기 그림에 나타낸 바와 같이 3상 각 전선의 전위를 E_a, E_b, E_c , 정지회선의 유도전압을 V_s , 정전용량을 C_a, C_b, C_c 및 C_s 라고 하면

$$I_a + I_b + I_c = I_s$$

즉,

$$\omega C_a(E_a - V_s) + \omega C_b(E_b - V_s) + \omega C_c(E_c - V_s) = \omega C_s V_s$$

$$V_s = \frac{C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c}{C_a + C_b + C_c + C_s} \text{로 된다.}$$

송전선 전압은 3상이 평형되고 있을 경우에는 ($E_a = E, E_b = a^2 E, E_c = a E$) V_s 의 절대값은 다음과 같이 계산된다.

$$V_s = \frac{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times E$$

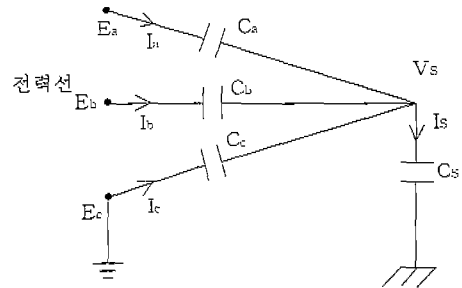
단, $E = V/\sqrt{3}$, V 는 전력선의 선간 전압이다. 따라서 상시 정전 유도전압

$$V_s = \frac{0.002(0.002 - 0.003) + 0.003(0.003 - 0.004) + 0.004(0.004 - 0.002)}{0.002 + 0.003 + 0.004}$$

$$\times \frac{345,000}{\sqrt{3}} + 0.005$$

$$= \frac{0.001732}{0.014} \times \frac{345,000}{\sqrt{3}} = 24,643 \text{ [V]}$$

② 송전회선의 1선 지락시에 정지회선 1전선에 생기는 유도전압



본 문제는 1선 지락시 건전상의 대지전압 상승을 구하여야 정확한 유도전압을 계산할 수 있으나 송전회선의 Z_0, Z_1, Z_2 값이 주어지지 않았으며, 또한 지락된 상이 어느상인지 주어지지 않았으므로, C상이 지락 되었다고 가정하고 a상 b상의 전압 상승을 무시하고 개략적으로 계산하면 다음과 같다.

$$I_a = \omega C_a(E_a - V_s)$$

$$I_b = \omega C_b(E_b - V_s)$$

$$I_c = \omega C_c(E_c - V_s) = -\omega C_c V_s$$

$$(E_c = 0: C\text{상 지락})$$



$$I_s = \omega C_s V_s$$

에서 $I_a + I_b + I_c = I_s$ 이므로

$$\omega C_a(E_a - V_s) + \omega C_b(E_b - V_s) - \omega C_c V_s = \omega C_s V_s$$

$$C_a E_a + C_b E_b = (C_a + C_b + C_c + C_s) V_s$$

$$V_s = \frac{C_a E_a + C_b E_b}{C_a + C_b + C_c + C_s}$$

E_a 를 기준 벡터로 하면 $E_b = a^2 E_a$ 이므로

$$V_s = \frac{(C_a - \frac{1}{2} C_b) - j \frac{\sqrt{3}}{2} C_b}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times E$$

$$\therefore |V_s| = \frac{C_a^2 + C_b^2 - C_a C_b}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times E$$

따라서

$$V_s = \frac{0.002^2 + 0.003^2 - 0.002 \times 0.003}{0.002 + 0.003 + 0.004 + 0.005} \times \frac{345,000}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0.002646}{0.014} \times \frac{345,000}{\sqrt{3}} = 37,646[V]$$

만약 345[kV] 직접 접지방식에서 1선 지락시 전압상의 전압상승을 상전압의 1.3배로 간주하면

$$V_s = \frac{0.002646}{0.014} \times \frac{345,000}{\sqrt{3}} \times 1.3$$

$$= 37,646 \times 1.3 = 48,940[V]$$

로 계산할 수 있다.

전기 기술사 소방강좌

• 노동부 • 교육부 • 지자체 지정교육기관

“전기에 관한 한 최고의 명문임을 자부합니다”

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

- 전기공사(산업)기사반 ▶ 강의시간 • 오전반 10:00~12:30 • 각 과정 교대근무자 수강가능
- 전기(산업)기사반 • 야간반 7:00~ 9:30 • 학원 자가발당으로 최고의 시설완비
- 전기기능사반 ▶ 개강 • 정규반: 매월 10일 • 기초부터 상세히 책임지도
- 소방설비기사(전기&기계)반 • 필기/실기특강: 공단원서접수 첫날 • 최고의 권위를 자랑하는 전임강사진
- 전기철도(산업)기사반

발송배전 건축전기 전기철도 기술사

- 개강 • 수요일 9월 8일 • 일요일 9월 6일 • 토요일 9월 5일
- 강의시간 • 수요일 19:00~22:00 • 일요일 10:00~15:00 • 토요일 16:00~20:00
- 강사진: 분야별, 파급별로 세분화된 최고의 권위강사진
- 유상봉: Y대교수/국내최대 5종목기술사(발송배전 건축전기 전기안전 전기응용 소변설비)
- 김세동: D대교수/ 기술사/ 한전, 한국건설기술연구소 수석연구원 역임
- 전영수: 기술사/ H콘설립도 전무이사/ 한국전력기술인협회 기술전문위원
- 임철교: 기술사/ 경영지도사/ 동일출판사 저자 외 2인 ~ 전기철도 3인 불모

실직자 무료교육

- 모집대상: 전기공사(산업)기사 전기(산업)기사 또는 전기 기술사를 취득하고자 하는 실업자 및 실직자
- 모집인원: 000명(전액 국비지원) ■ 교육기간 6개월
- 재충서유: 주민등록등본, 통장사본(수당 입금용) 사진, 구직료, 각2부
- 특 전: - 수강료 교재비 등 일체무료
- 교육중 교육수당 고용비 가족수당 지급(전액국비지원)
- 노동부전선망을 통한 취업안전, 노동부인정 수료증 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)