

## 발전소 전동기 모션절환의 적용 방안 ①

글/이 경 재  
ACE기술단

**발** 전소에서나 큰 산업공장에서는 대용전동기가 다수 가동되고 있다. 이러한 전동기가 불  
의에 정전되면 안전한 프랜트 운동을 위하여 자동 절환이 되도록 되어 있다. 이때에 발  
생되는 전동기의 증력감소와 자동절환 수행상 문제점을 소개하였고 해결 방안을 제시하였다.

### 1. 개요

발전소에서는 전동기 부하가 주종을 이루고 있다. 그리고 모든 발전소는 이러한 부하에 대하여 2개 이상의 전원에서 공급할 수 있도록 되어 있다.

전력계통의 동요현상이나 고장으로 발전소내 부하는 정전될 수 있다. 이때, 다른 전원으로 적시에 안전하게 자동절환 되는 것이 바람직하다.

발전소의 보조기기 공급계통의 절환방법에는 다음과 같은 방법이 있다.

1. 병렬(활선)절환
2. 고속 절환방법
3. 저속 절환방법

이러한 방법은 발전소에 따라 다르나 대표적인 단선도가 그림 1에 나타나 있다.

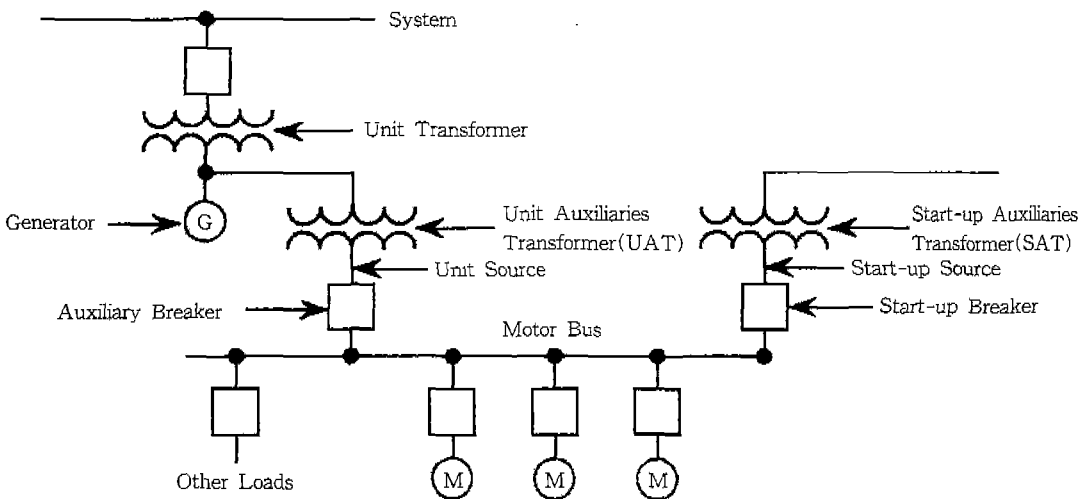


그림 1 UNIT CONNECTED GENERATOR AND MOTOR BUS

정전 절체에는 고속과 저속(Fast and slow "dead" transfer methods)이 있다.

ANSI C50, 41-1982, "발전소의 3상 전동기"에 의하면 전력계통은 전동기의 잔류전압과 순시재 폐로되는 입력 전원간의(위상을 고려한 전압/주파수)는 전동기 전압과 주파수 기준으로 1.33pu 전압/주파수를 초과치 않도록 설계되어야 한다고 하였다.

비록 이 기준은 논의될 대상이나, 전동기와 구동장치의 두 전원간의 위상각과 전압차를 제한하여 파손을 방지하지는 못 목적이 있다.

피크과도Torque와 피크전류는 Volts/Hertz(pu)에 의하여 모의될 수 있다. 여기서는 발전소의 유도전동기에 대하여 논의되었으나 이러한 관점은 동기전동기에도 적용된다.

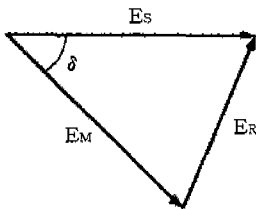


그림 2 모션절체나 재폐로시에 발생하는 Es(Volts/Hz)

$$E_R = \sqrt{E_s^2 + E_M^2 - 2E_s E_M \cos \delta}$$

$E_s = \text{Sys, Equiv, Volts/Hertz (PU)}$   
 $E_M = \text{Motor Residual Volts/Hertz (PU)}$   
 $E_R = \text{Resultant Vectorial Volts/Hertz (PU)}$

## 2. 모션절환의 초기

대부분의 자동절환은 변압기나 발전기가 정상적인 차단기 공급선과 연결된 모션상에 전력 동요에서 시작된다.

대표적으로 이러한 절환은 Lockout relay, 저전압 계전기나 공급중인 차단기의 보조접점에 의해서 수행된다.

어떤 경우 자동절환은 계통을 시험하기 위하여 발전기 정지 과정에서 수행된다. 더욱이 기동과정 중에서 정상적인 전원으로 모션을 절환할 때 이러한 절환은 수동으로 수행된다.

## 3. 병렬(HOT) 절환

흔히 병렬절환은 발전기 기동이나 계획정지 과정에서 수동절환으로 사용된다. 이 방법은 발전기 보조변압기(UAT) 차단기와 기동변압기(SAT) 차단기 2개가 성공적으로 절환이 된 후 공급중인 차단기와 개방되기 전까지 동시에 투입된 상태에 있는 것이다.

이 방법은 비록 계통이 병렬됨으로써 불의의 고장에 대한 검토를 해야 하나 대부분의 모션절환으로 잘 쓰여지고 있으며 신뢰성이 입증된 것이다.

병렬절환은 동기점검 감시기능을 사용하여 자동적으로 수행된다.

주된 검토사항은 공급중이던 차단기가 고장으로 개방되었을 때 UAT 차단기의 차단용량과 발전기가 예비전원에서 역전력이 들어와 Motoring이 될 가능성이다.

결과적으로, 계통을 설계할때에는 2개의 차단기가 투입상태에 있는 시간을 제한하도록 Logic이 구성되어야 한다.

## 4. 고속절환

여기서 고속절환이란 공급되던 차단기가 차단되고 새로 들어오는 차단기로 절환될때까지 모션이 순간적으로 "정전"이 되는 고속도 절환을 말한다.

여기에는 두 가지 방법이 있다.

첫째방법은 공급중단 차단기의 "b"접점이 새로 공급되는 차단기의 투입회로에 사용되는 소위 "투입전에 차단"하는 회로를 사용하는 것이다.

이것은 새로 공급되는 차단기의 투입전에 공급중인 차단기가 개방되는 것을 확인함으로써 두 공급원 간의 병렬을 방지하는 것이다. 이 방식은 보통 무전압대(양측 차단기가 개방되는 시간)가 약 4~10사이클(64~160ms)정도이다.

둘째방법은 공급중이던 차단기와 공급될 차단기에 개방과 투입신호를 동시에 주는 것이며, 이 방법은 무전압대를 약 1~3사이클(16~48ms)로 줄인다.

이것은 짧은 시간동안 두 전원간에 병렬운전될 가능성이 있다. 결과적으로, 이 회로는 공급중이던

차단기의 개방이 늦어질 경우에는 고속 동기 검정 계전기로 감시되어야 한다.

고속절환방법은 전원계통의 위상이 너무 벌어지기 전에 새로운 공급원과의 연결하는데 달려있으므로 공급중이던 차단기가 개방된 다음 전동기 모션전압과 주파수 응답을 생각해야 한다.

한가지 고려되어야 할 점은 초기의 상호 위상차를 생각할 필요가 있다. 때로는 발전소가 1개 이상의 송전계통에서 수전하는 경우가 있다. 보통 보조기 전력공급은 기동전원과 30° 이상의 위상각을 가질 수 있다.

만일 기동전원이 보조기 전원보다 “지상”이면 전동기 감속은 실제적으로 상대 위상차를 감소시킬 것이며 반면 기동전원이 공급중이던 보조기 전원보다 “진상”이면 전동기는 위상이 앞선 기동전원을 갖게 되어 탈조 가능성이 있다.

다른 중요 과제는 어떤 속도로 회전기가 감속하는 가를 결정하는 것이다.

강제통풍기(FD Fan)와 같이 큰 관성을 가진 전동기는 서서히 감속할 것이고 순환수펌프(CWP)와 같이 작은 관성을 가진 전동기는 더 빨리 감소될 것이다.

어느 주어진 모선의 상대전압과 위상차는 절환을 위해 주어진 시간과 어떤 전동기가 모선에 연결되었는가에 달려있다.

그림 3에서 그림 6은 전동기가 단독으로 또는 모선에 같이 연결되었을 때 발생한 위상차와 Volts/Hertz이다. 그림 3은 큰 관성의(PAF) 전동기와 낮은 관성의(LPSP) 전동기가 한 모선에 연결된 것을 나타내고 있다.

PAF 전동기만 연결되었을 경우에 위상차는 LPSP전동기만 연결되었을 때 보다 서서히 증가한다.

그리고 두 전동기가 모선에 같이 연결되면 완만하게 증가한다.

그림 4는 LPSP와 PAF 전동기가 단독일 때 발생한 Volts/Hertz의 시간에 대한 변동이다.

여기에서 LPSP가 단독조건일 때 ANSI 기준 권고 한계를 초과치 않으려면 “무압” 시간은 약 4사이클 이내가 되어야 한다.

그림 5와 6은 2개의 낮은 관성을 전동기(Hot Well Pump와 Condensate Booster Pump

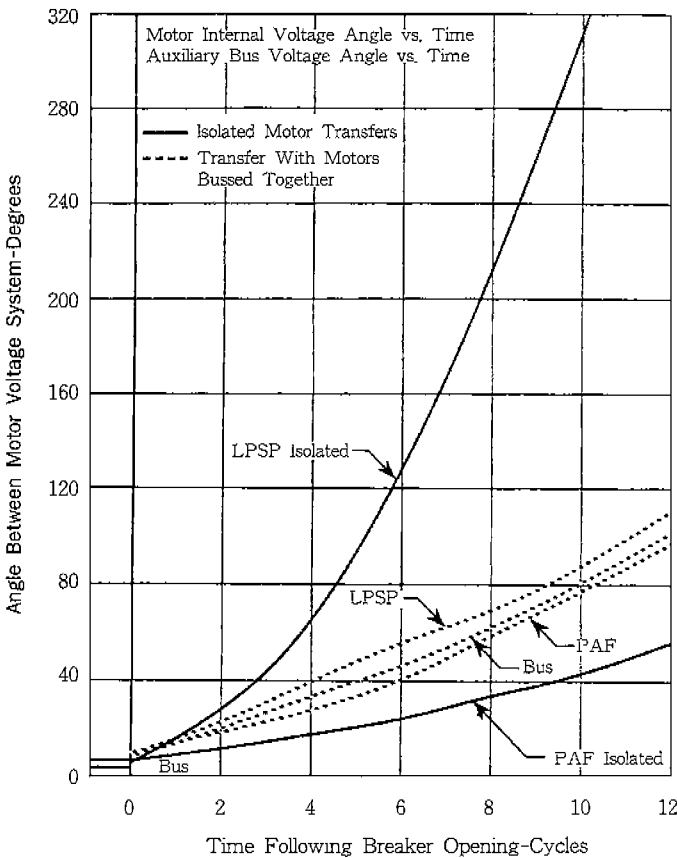


그림 3 공급중 차단기 개방시 전동기 내부전압과 전력계통 전압간 위상차 - PRIMARY AIR FAN MOTOR와 LOW PRESSURE SERVICE PUMP MOTOR 단독 운전시와 모선에 같이 연결된 경우 -

Motor)를 나타낸 것이다. 여기서도 “무압” 시간은 ANSI 한계치를 넘지 않기 위해서 4C/S로 한정되어야 할 것이다.

위 결과로서 추정하면 최악의 경우 순차적인 고속절환방법은 기공급과 공급될 두 전원간의 요구되는 위상차보다 큰 값에서 허용된다.

### 5. 저속 절환방법

저속절환방법은 정상공급전원 차단기가 개방된 후 전동기 모선전압이 충분히 감소되는 것을 기다

리는 것이다.

이것은 전압이 어느정도 시간이 경과된 후 인정될 만한 수준까지 저하된다고 가정을 하는 것이다. 잔류 전압절환은 저전압계전기로 감시제어되어 절환되는 것을 제외하고는 위 방법과 동일하다.

여러 가지 정정방법이 적용될 수 있으나 전동기 모선과 기동전원간에 전위차는 ANSI(50.41-1982)에 따라 1.33 pu. Volts/Hertz로 한정되어야 한다.

결과적으로 보통 저전압계전기는 기동용 차단기의 투입을 감시제어된다. 여러가지 정정이 적용되나 순시는 정상전압의 25%로부터 60~80%의 반환시 시간지연 간에서 조정된다.

어느 계전기는 주파수 보상 기능이 적용되고 있다.

또한, 저주파수 계전기가 “잔류 전압” 상태를 판단하기 위하여 적용되어 왔다.

대부분의 시스템은 모선에 연결된 전체 전동기가 동시에 재가속되는 것을 방지하기 위하여 일부전동기의 부하분리를 요구하고 있다.

다른 형태의 저속절환은 상일치 절환(In-phase transfer)이라고 불리우는 것이다. 상일치 절환은 공급중이던 전원 차단기를 차단하고 공급될 전원 차단기의 투입지연은 1사이클 차이로 하려는 것이다.

이 방법은 들어오는 차단기의 투입 초기조건을 위상차 측정으로 하는 것이므로 최소화된 위상차로 투입된다. 마치 자동동기 장치와 같다.

이 방법의 관건은 차단기 투입 회수를 반복시킬 수 있다.

이 접근법은 특히 전압과 주파수가 서서히 감소하는 전동기 모선에서 매우 효과적이다.

표 1은 상일치 절환에서 2사이클 진상 또는 지상에서 발생한 전압차/주파수를 나타낸다.

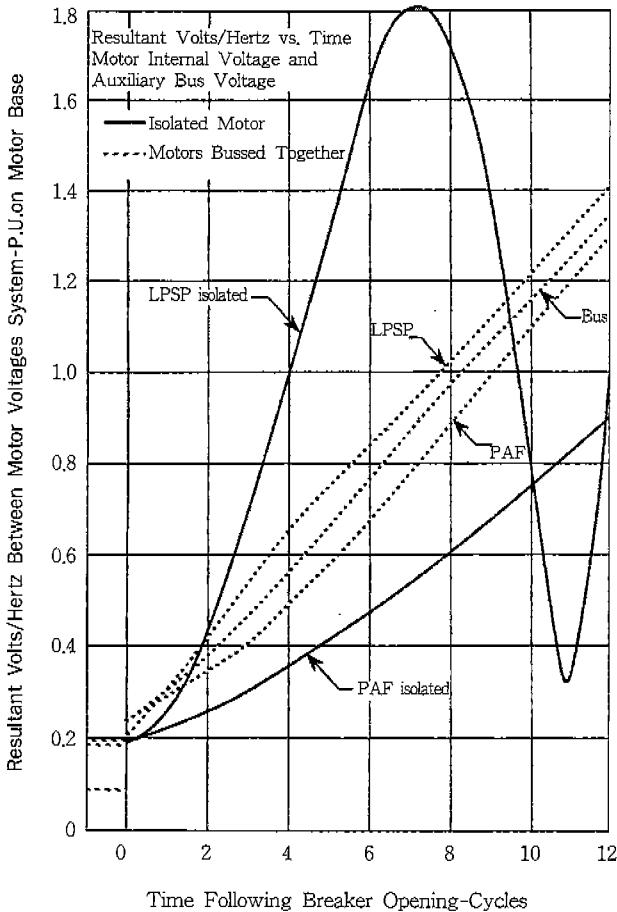


그림 4 전동기 내부와 전력계통간의 발생된 전압/주파수 VS 공급차단기 개방시간

- PRIMARY AIR FAN MOTOR와 LOW PRESS. SERV. PUMP MOTOR: MOTOR 단독일 때와 모선에 연결될 때 -

표 1 절환이 완료된 순간 전후에 발생된 전압 / 주파수

- Motor가 절환중 같이 연결되었을 때 -

(상일치 절환 완료 시간별)

구 분	전동기 내부와 전력계통간에 발생된 전압 / 주파수 (P.U.: 전 동 기 전압과 주파수 기준)				
	2C/S 지연	1C/S 지연	최적시간	1C/S 진상	2C/S 진상
HOT WELL PUMP	1.233	0.722	0.319	0.654	1.120
CWP	1.195	0.661	0.301	0.720	1.193
COND. BOOST PUMP	1.207	0.659	0.279	0.720	1.204
6.9kV AUX. BUS	1.158	0.683	0.380	0.713	1.146

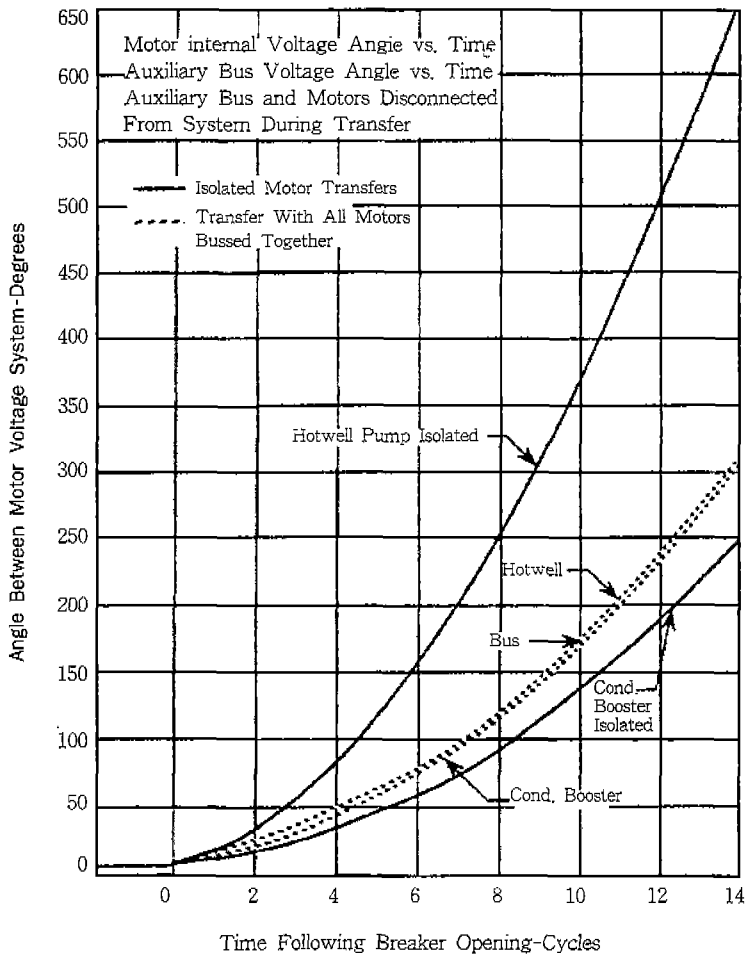


그림 5 전동기 내부와 전력계통간의 상대 위상각 VS 공급차단기 개방시간

- HOT WELL PUMP MOTOR와 COND, BOOSTER PUMP MOTOR  
: MOTOR 단독일 때와 모선에 연결될 때 -

## 6. 기타 절환방법 고찰

몇 가지 자동 및 수동절환 방법을 생각해 보기로 한다.

예를들면, 기저부하 발전기는 일반적으로 주기 운전이나 피크 발전기보다 모션절환 회수가 적다.

중요한 것은 발전소와 그 부하는 모션절환에 사용되는 감시량과 절환방법에 따라 충격을 받게 된다.

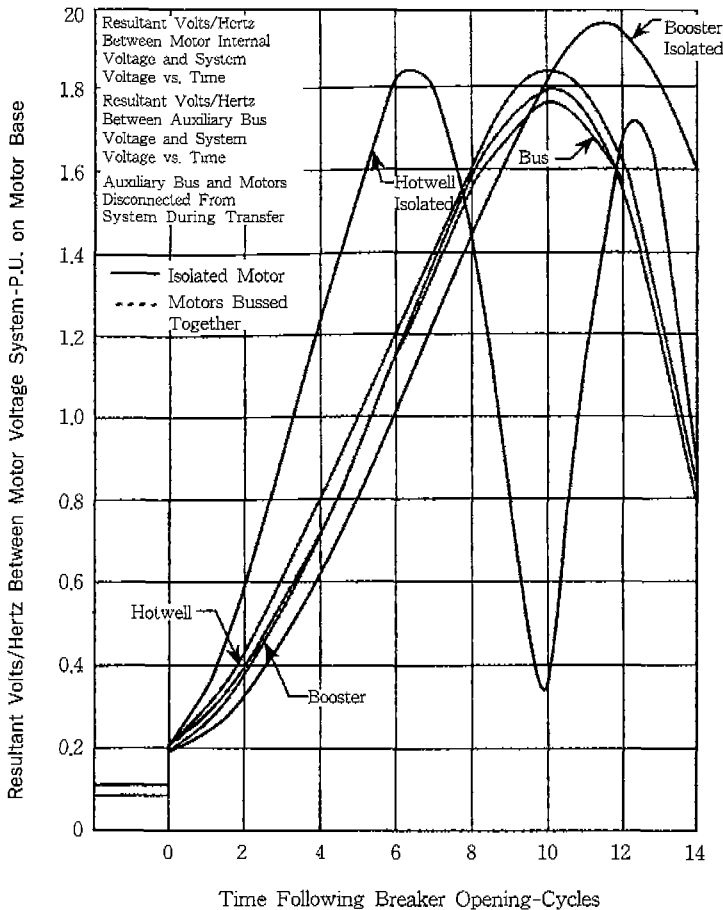
예를들면, 저전압계전기는 정전된 모선에 전동기 부하를 절환하는 것을 방지하는데 사용된다.

또는, 어떤 주어진 노력으로 한번의 모션 절환보다 더 시도하는 것이 바람직하다.

예를들면, 고속절환이 시도되었다가 만일 실패하면 (동기점접계전기 감시에 의하여 저지되었을 때)한번 또는 두번의 저속 절환시도를 만들 수 있다.

이것은 요구되는 기능에 따라 추가적인 감시와 제어장치나 어떤 형태의 제어가 필요하게 된다.

비록 자동절환은 대개 전력동요 때문에 시도되나, 자동회로의 시험은 발전기 정지시에 수행된다.



Time Following Breaker Opening-Cycles  
 그림 6 MOTOR 내부전압 및 전력계통간에 발생한 전압/주파수 VS 공급차단기 개방시간  
 - HOT WELL PUMP MOTOR와 COND, BOOSTER PUMP  
 : MOTOR 단독일 때와 모선에 연결될 때 -


## 7. 원자력 발전소에서의 적용사례

원자력 발전소는 유일무이하게 문제와 검토가 필요하다. 안전 관련(CLASS E1)시스템 구성상 현장에 비상발전 전원에 추가하여 최소한 외부로부터 2개의 전원이 필요하게 되어있다.

대표적인 단선결선도가 그림 7에 나와 있다.

대개 같은 방법이 사용된다. 그러나 어느 원자력 발전소는 이따금 별도의 외부전원으로부터

Class E1 부하를 공급받고, 발전소 기타 부하만 자동절체를 적용하고 있다.

대부분의 원자력 발전소는 고속 모션절환이 들어난 추세이고 비록 고속이나 감시제어 절환이라 할지라도 모션절환은 최소화시키도록 권장되어 왔다. 

➔ 다음호에 계속 됩니다

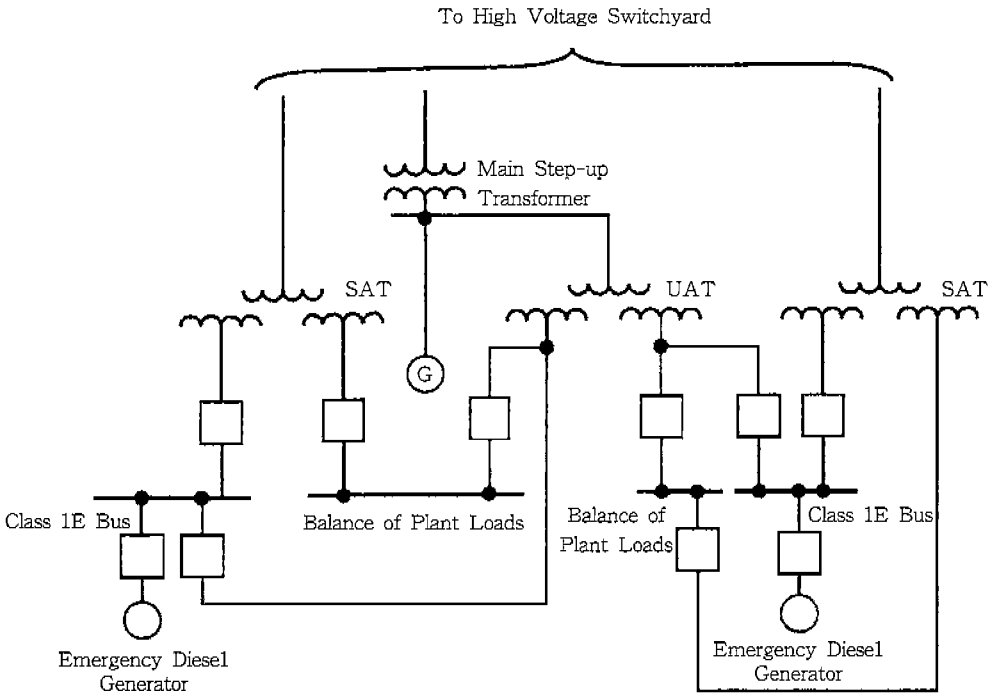


그림 7 원자력 발전소 구내 보조기 부하는 주발전기로부터 UAT(S)를 통하여 공급된다.

지난호에 게재되었던 논단(평화통일의 남북관계 ①)은 3회에 걸쳐 연재될 예정이었으나 지면 관계상 중단하오니 이점 양해하시기 바랍니다.