

고속전철용 변전시스템과 수변전설비

백 복 만

(효성중공업 기술연구소 부장)

1. 머릿말

고속전철의 전체시스템을 구성하는 썬브시스템에는 차량, 변전시스템, 통신 및 신호시스템, 제어시스템등이 있는데 여기서는 특히 변전시스템에 관하여 개괄적으로 논하기로 한다.

전기철도를 운전하기 위해서는 일반전력계통의 전력을 전기운전에 적합한 형태(예를들면 직류, 단상 교류)로 변환하는 변전소와 변전소로부터의 전력을 전기차(차량)에 공급하는 전선로가 필요하다. 전력은 일반 전력계통으로부터 수전하는 것이 보통이며, 전기철도 전용의 발전소 및 송전선을 갖는 경우도 있다. 변전소로부터 전선로를 통해서 전기차에 전력

을 공급하는 것을 급전이라고 하며 레일등의 복귀선을 포함한 전기회로를 급전회로라 한다. 그림 1에 전철용 급전회로의 전형적인 예를 보인다. [1]

2. 전철용 변전시스템

2.1 Electrification의 변천

전기철도 차량의 동력원으로서의 직류 직권전동기가 우수한 성능을 가지고 있다. 따라서 최종적으로 전동기가 사용하는 전기의 형태는 직류이지만, 지상의 전원으로부터 차량에 급전하는 전기의 형태에 따라서 전기철도에서는 여러가지의 전화방식(Electrification)이 채용되고있다. 현재 세계적으로 사용중인 전기철도의 전화방식을 국별로 가선전압과 주파수에 따라 분류하면 표1과 같다. [6] 1960년대까지는 직류방식이 주로 채용되었으나, 최근에는 교류방식도 크게 증가하고있다. 최초로 전기철도가 출현한 것은 1880년 전후인데 이 당시에는 주로 직류방식이 취해졌었다. 그 후 일반 전력계통은 전면 교류방식으로 변환되었으나, 전기철도는 전동기의 특성상 교류라 할지라도 정류자전동기를 사용하는 것이 유리하기 때문에, 일반적으로 사용되는 50Hz, 60Hz의 상용 주파 전기는 전기철도용 전동기의 정류를 매우 악화시킨다는 이유로 사용되지 않았으며, 25Hz($50\text{Hz} \times \frac{1}{2}$), 16 $\frac{2}{3}$ Hz($50\text{Hz} \times \frac{1}{2}$)등이 주로 사용되었다. 그

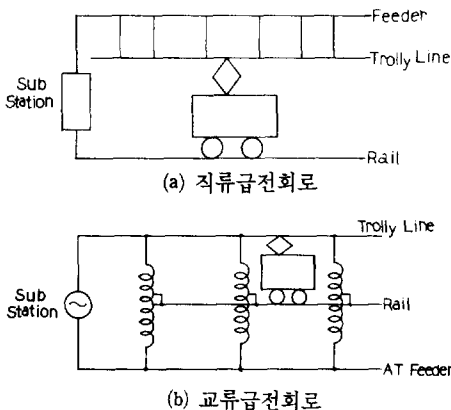


그림 1. 전철용 급전회로의 예

표 1. 세계주요국 전기철도의 전화방식[6]

(1985년 현재)

No.	국명	직류			교류						
		1000V 이하	1200V ~1500V	3000V	60Hz		50Hz		25Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz	
					20kV	25kV	20kV	25kV	11kV	11kV	15kV
1	소련			◎				○			
2	일본	○	◎		○		○				
3	서독		○								◎
4	프랑스	○	◎					◎			
5	스웨덴		○								◎
6	스위스	○	○							○	◎
7	영국	○	○				○				
8	미국	○	○	○					○		
9	한국					○					

주 1) ◎ : 전철거리 3000Km 이상

○ : 전철거리 3000Km 미만

2) 「Railway Directory & Yearbook」, 1985년판

러나 상용주파 교류전화방식은 일반 전력계통으로부터 그 전압을 변환시키는 것만으로 직접 전력을 사용할 수 있기 때문에 각국에서는 이 방식의 실현을 위하여 많은 노력을 해왔다. 이 방식의 실용화는 대개 2차세계대전 후에 이루어졌으며, 프랑스와 일본에서 최초로 성공하였다. 최근에는 반도체정류기의 진보에 의해 상용주파 교류전화방식이 급속하게 발전되었다.[1]

전기철도에서는 가선과 레일사이에 전압을 인가해서 열차의 동력원으로 이용하고 있다. 이것은 전원측으로부터 보면 단상부하가 된다. 일반 전력계통은 3상교류회로인데 전기철도에서는 1개소의 부하가 크기 때문에 단순히 3상의 전력계통을 전철부하에 연결시키면 심한 3상불평형이 일어나며 여러가지 악영향을 미친다.

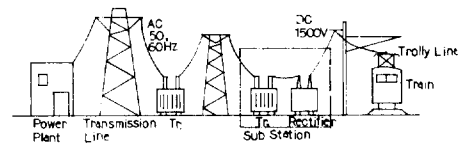
이에 따라 교류전화방식의 지상변전소에서는 특수

2.2 Electrification의 방식

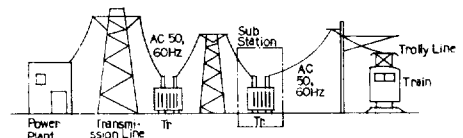
(1) 직류전화와 교류전화

전기철도의 전화방식에는 직류방식과 교류방식이 있는데, 이것은 차량이 지상변전소로부터 공급받는 전기의 형태에 의해서 구별된다. 그림2에 직류전화방식과 교류전화방식의 개략도를 보이며, 표2에 두 전화방식의 장단점을 비교하였다. 실제 전기철도에서 전화방식을 선택할 때에는 표2의 특징외에도 변전소와 송전선건설비, 전원공급의 용이성 및 기설치된 전철구간과의 차량운용문제등을 종합적으로 고려하여야한다.[3]

(2) 단상전하의 3상평형대책[3]



(a) 직류전화방식



(b) 교류전화방식

그림 2. 전화방식의 개략도

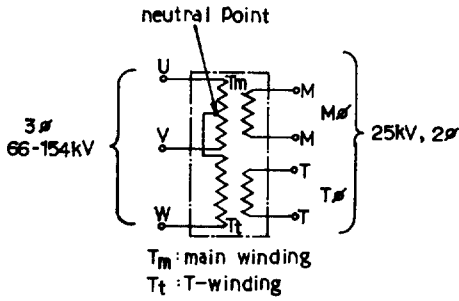


그림 3. 스코트결선

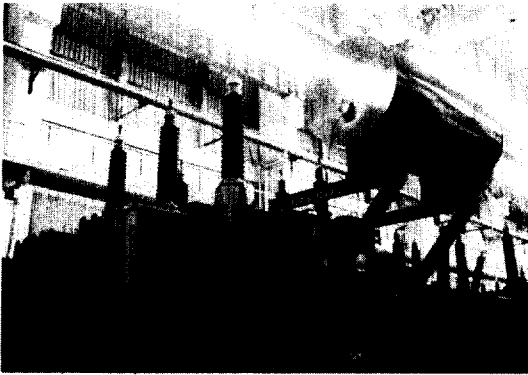


그림 4. 154/55kV, 33MVA 스코트결선변압기

한 구조의 변압기를 사용해서 3상교류를 2상교류로 변환(3상의 전력을 2개조의 단상전력으로 변환)하고

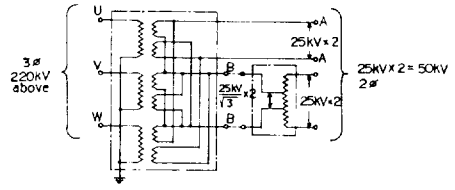


그림 5. 변형우드브리지 결선 변압기

얻어진 2개의 상을 각각의 부하가 균형있도록 급전하고있다.

이러한 특수 변압기에는 스코트결선변압기(Scott Connected Transformer)와 변형우드브리지결선변압기(Modified woodbridge connected Transformer)가 채용되고있다. 수전측의 전압이 154kV이하에서는 스코트결선 변압기가, 전압 220kV 이상에서는 변형우드브리지결선 변압기가 사용된다. 그림3에 스코트결선방식을, 그림4에 스코트결선 변압기를 보이며 그림5는 변형우드브리지결선 방식이다.

2.3 변전소의 구성

(1) 직류변전소의 구성

전기철도 운전용 직류변전소는 일반 전력계통으로부터 3상교류 특별고압전력을 수전하고, 이것을 변압기에 의해서 적절한 전압으로 강압한 후 이를 정류기에의해 직류로 변환해서 급전한다. 또 필요에

표 2. 직류전환방식과 교류전환방식의 비교[1][3]

항 목	직 류 전 화 방 식	교 류 전 화 방 식
1. 원 리	· 지상변전소에서 교류전력을 수전하고, 변압기에서 강압된 전압(600V, 1500V, 3000V)을 정류기에의해 직류로 변환시킨후 전기차에 공급한다.	· 지상변전소에서 교류전력을 수전하고, 특수변압기를 사용하여 강압된 단상교류(20kV, 25kV)를 전기차에 공급한다.
2. 장 점	· 전기차의 경량화 · 전기차 가격이 저렴 · 급전선 절연비저렴	· 급전전압이 높으므로 가선 및 집전장치의 경량화 · 변전소수가적고 간단하다 (변전소간격 40~100Km) · 고속집전에 유리
3. 단 점	· 변전소수가 많고 복잡하다 (변전소간격 5~10Km) · 급전전압이 낮으므로 가선및 집전장치가 대형화 · 고속집전에 불리	· 차량내에 변압기, 정류기 탑재에 의한 전기차 비용 상승 · 통신유도장해 · 급전선 전압상승으로 인한 절연비 상승

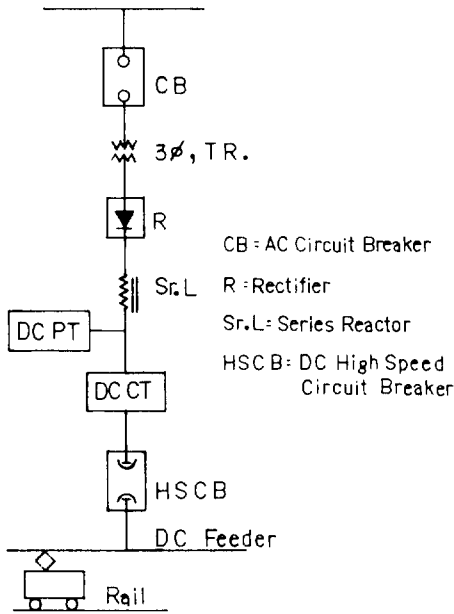


그림 6. 직류변전소의 결선도

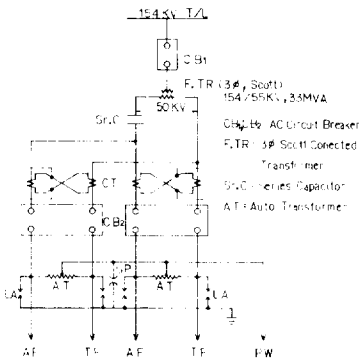


그림 7. 교류변전소의 결선도(구로전철변전소)

따라서 신호전원 및 전동전원의 고압배전선에 배전한다. 그 결선도의 일례를 그림 6에 보인다. [1]

(2) 교류변전소의 구성

전기철도용전용 교류변전소는 직류변전소와 똑같이 일반 전력계통으로부터 3상교류특별고압전력을 수전해서 이것을 급전용변압기에 의해 적절한 전압으로 떨어뜨려 급전한다. 또 필요에 따라서 신호전원 및 전동전원의 고압배전선에 배전한다. 그 결선도의 일례를 그림7에 보인다. [1]

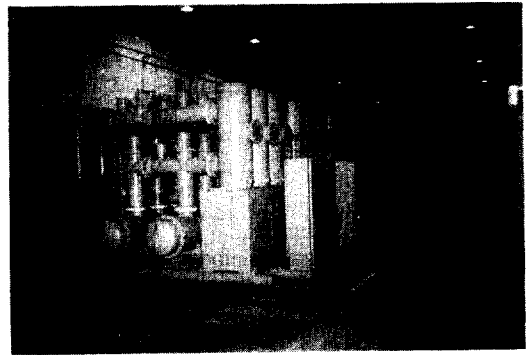


그림 8. 전철용 옥내변전소(154kV수전축)

3. 주요 수변전설비[2] [4] [5]

고속전철용 변전소시스템은 높은 안전성과 신뢰성이 요구되며, 주위환경과의 조화, 사회적여전에 의해 날로 그 규모는 축소화되는 경향이 있다. 본 절에서는 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 최근의 고속전철용 수변전설비에 대해서 설명한다. 그림8은 전철용 옥내변전소(전압 170kV 수전축)의 전경을 보인다.

3.1 교류용설비

교류용설비에는 신뢰성이 높고 환경과의 조화, 기기의 축소화 및 보수의 용이성등으로부터 개폐기에는 SF₆개스절연 개폐장치(Gas Insulated Switchgear)가 채용되고있으며, 변압기에는 안전성을 고려하여 방재성이 뛰어난 몰드전식변압기 또는 SF₆개스절연변압기가 채용되고 있다.

(1) SF₆개스절연개폐장치

SF₆개스절연개폐장치는 화학적으로 불활성·불연성이고, 절연·소호특성이 우수한 SF₆개스로 충전된 밀폐용기내에 도전부를 갖고있는데 다음과 같은 특징이있다.

첫째, 절연내력이 우수한 SF₆개스를 사용하기 때문에 기기의 대폭적인 축소화가 가능하고 변전소설치면적 또한 대폭 축소될 수 있다.

둘째, SF₆개스는 불연성이고 도전부가 접지탱크내에 내장되어있으므로 안전성이 높다.

셋째, 중요부위가 용기내에 완전히 밀폐되어 있으

므로 주위환경의 영향을 거의 받지 않기 때문에 신뢰성이 매우 높다.

넷째, 보수·유지가 매우 간편하고 밀폐형이므로 운전소음이 적다.

전철변전소용으로 최근에는 특히 큐비클형 GIS가 널리 채용되고 있는데, 큐비클형GIS의 내부차단기는 SF₆개스차단기와 진공차단기가 사용되고있다. 그러나 진공차단기는 인덕턴스회로 차단에 문제가있어, 일반적으로는 인덕턴스회로에서의 소호성능이 뛰어난 SF₆개스차단기가 널리 사용되고있다. 그림9에 SF₆개스차단기 내장의 큐비클형GIS를 보인다.

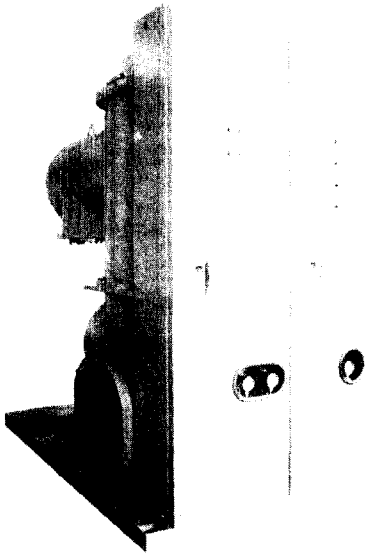


그림 9. 24/36kV 큐비클형 GIS

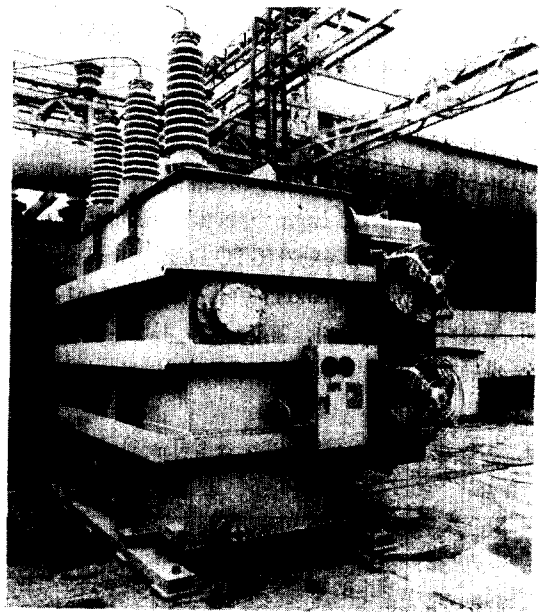


그림10. 6MVA SF₆개스절연변압기

표 3. 각종 변압기의 비교[2][4][5]

No.	항 목	SF ₆ 개스절연변압기		몰드진식변압기		유입변압기	
1	불 연 성	◎	—	○	—	△	인화점140°C
2	비 폭 발 성	○	—	◎	—	△	—
3	내 열 성	○	E종, H종	◎	H종	△	A종
4	냉 각 성	○	—	△	—	◎	—
5	전 압 적 용 범 위	○	154kV이하	△	33kV이하	◎	UHV
6	용 량 적 용 범 위	○	50MVA이하	△	10MVA이하	◎	1500MVA
7	유 지 · 보 수	◎	—	○	—	△	—

주) ◎우수, ○양호, △보통

에 옥내설치용의 전압33kV, 용량 10MVA이하에서 주로 채용되고있다. 전압 154kV, 용량 50MVA이하에서는 SF₆개스절연변압기가 채용되고 있으며, 몰드 변압기의 영역까지도 채용될 전망이다. 그림 10에 SF₆개스절연변압기의 외관을 보이며, 표3에 각종 변압기의 특징을 비교하였다.

3.2 직류용설비

(1) 직류개폐기

전철용 직류변전소에는 기기 및 급전회로의 보호를 위해 직류전류를 차단해야 하는데, 직류전류 차단 시에 회로인덕턴스에 축적되는 에너지의 처리능력이 우수한 직류차단기가 채용되고있다. 이러한 직류차단기로서는 직류고속차단기(HSCB:High Speed Circuit Breaker), 직류고속진공차단기(HSVCB:High Speed Vacuum Circuit Breaker), 무접점차단기(GTO·CB:Gate Turn Off Thyristor Circuit Breaker)등이 있으며 표4에 이들의 특성비교를 보인다. 표4로부터 전철용 직류변전소 차단기로서는 직류고속진공차단기가 가장 적합

하다는 것을 알 수 있다. 그림11에 직류고속진공차단기의 외관을 보인다.

(2) 직류변환기기

직류변환기기는 전철부하의 변동이 크고, 전차선로 및 전기차의 고장에 의해 자주 커다란 단락전류가 발생하기 때문에 단시간과부하내력이 크게 요구된다.

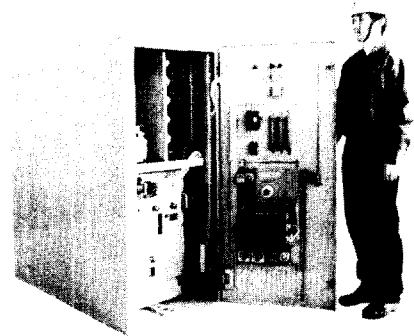


그림11. Dc1500V, 15kA 직류고속진공차단기

표 4. 급전용 직류차단기의 특성비교[2][4][5]

항 목	세 부 내 용	HSCB	HSVCB	GTO.CB
구 성	차 단 원 리	기중아크의 냉각·소호	진공밸브	소자의Turn-off
	조 작 기	슬레노이드, 공기	전동스프링	—
정 격	정 격 전 압	DC1500V	DC1500V	DC1500V
	정 격 전 류	10,000A이하	3,000A이하	1,000A이하
	정 격 차 단 전 류	25 kA	15kA	4.5kA
	소 자 구 성			4500V2000A×3P
특 성	개 극 시 간	4-8ms	0.8-1.2ms	—
	아 크 시 간	10-15ms	0.1ms	—
	차 단 시 간	15-25ms	1.8+2.2ms	(0.6+1.6ms)
	한 류 치	20-25kA	10.5kA	(7.4kA)
특 징	보 수 성	△	○	○
	신뢰성	○	○	△
	설치공간	○	◎	△
	비용	○	△	△

주) ◎우수, ○양호, △보통

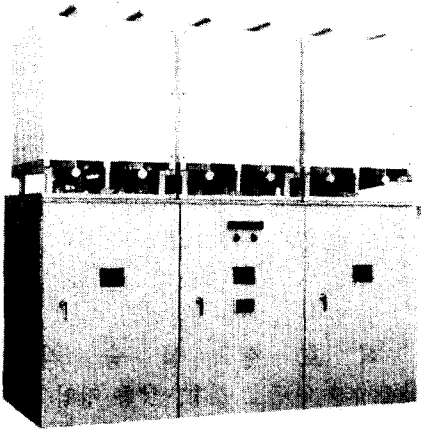


그림12. 6MW, 1500V, 4000A 실리콘정류기

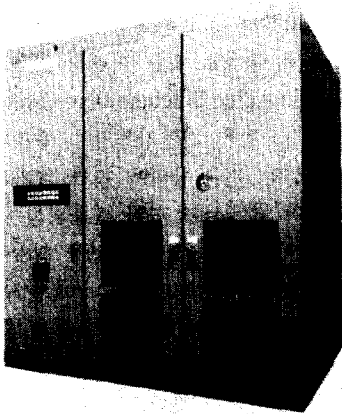


그림13. 1.5MW, 1500V 히트파이프 자냉식 회생인버터

직류변환기로서 초기에는 수은정류기가 주로 사용되었으나, 최근에는 반도체제조기술의 진보에 의해 실리콘정류기 및 사이리스터정류기가 많이 채용되고 있다. 그림12에 6MVA, 1500V, 4000A 실리콘정류기를 보인다.

실리콘정류기의 경우에는 전압변동율이 6~8%이

기때문에 정격전압 1500V의 경우 무부하전압은 1600V로 상승된다. 이에 반해 사이리스터 정류기에는 전압제어기능이 있어서 경부하시의 전압 변동이 거의 없는 특징이 있다. 또 사이리스터 정류기는 전력회생인버터와의 조합에 의해 인버터의 직류전압을 낮게 설정할 수 있어 회생차의 회생률도 향상시킬 수 있다. 이러한 반도체정류기는 소형, 경량, 불연성, 무잡음 및 유지보수의 용이성등의 많은 특징을 가지고 있으나 사이리스터의 대용량화에 따라 발생열량이 커져 우수한 냉각방식이 필요로된다. 냉각방식에는 초기 유냉각방식이 채용되었으나 이것은 프론트등냉각방식으로 되었으며 최근에는 히트파이프(Heat Pipe) 자냉식도 채용되고 있다.

그림 13에 1.5MW, 1500V 히트파이프자냉식 회생인버터를 보인다.

4. 맺음말

이상으로 고속전철용 변전시스템과 주요 수변전설비에 대하여 설명하였다.

참 고 문 헌

- [1] Oyama Matzuziro 신편 전기철도강의안(제3판), OHM사, 1981
- [2] Watanabe Koji Recent Technology for Traction Power Supply Systems, Hitachi Hyoron, vol.70, no. 7, PP.57~64, 1988
- [3] JARTS편 The SHINKANSEN, OHM사, 1980
- [4] Eigo Oga의 Railway Substation System with Generative Inverter, Hitachi Review, vol.36, no.6, PP.323~328, 1986
- [5] Jyunchiro Tanaka Traction Power Supply System, Mitsubishi Denki Giho, vol.61, no.2, PP.38~41, 1987
- [5] JIEE Electric Engineering HandBook (1st), P1568, 1988