

7장

전기 설비 일반

7.1 전기철도 일반

학습목표

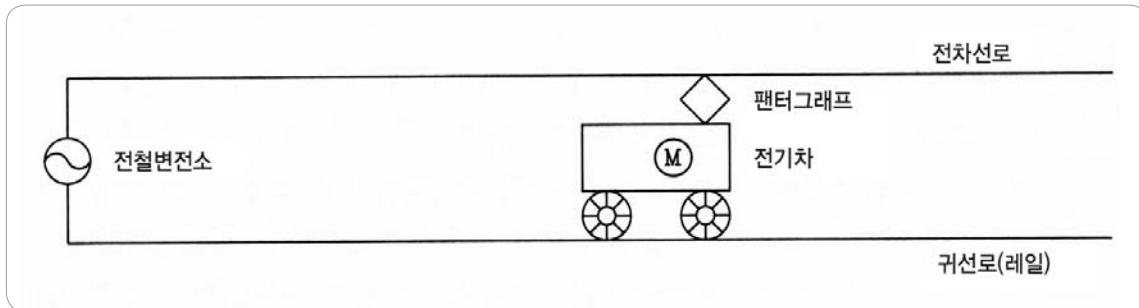
- 전기철도의 개요를 통하여 전기철도의 구성 요소를 설명할 수 있다.
- 전기철도 용어의 정의를 전반적으로 이해하고 설명할 수 있다.
- 세계 및 우리나라의 전기철도 역사를 알고 설명할 수 있다.
- 전기철도의 장·단점에 대하여 알고 설명할 수 있다.
- 전기철도를 전기방식, 급전방식에 따라 분류한 내용을 설명할 수 있다.
- 전기철도의 급전계통 구성과, 운용, 분리에 대한 내용을 설명할 수 있다.
- 우리나라 전철망 현황을 그림을 보고 이해할 수 있다.
- 한국철도의 속도 변화에 대하여 그림을 보고 설명할 수 있다.

【핵심용어】

전철 변전설비, 급전설비, 부하설비, 변전소, 급전구분소, 보조 급전구분소, 단권변압기 급전방식, 직류식 전기철도, 교류식 전기철도, 제3궤조식, 급전계통의 특성, 급전계통의 운용 조건, 급전계통의 분리

7.1.1 전기철도의 개요

전기철도란 전기를 주 동력원으로 하여 차량을 운전하는 철도를 말하며, 아래 그림과 같이 전기차에 필요한 전력으로 변성하여 공급하는 전철 변전소(S/S)와, 전력을 전기차(전기기관차, 전기동차, 고속 열차 등)까지 공급하는 전차선로 및 전기차에 동력을 공급한 후 다시 전철 변전소에 되돌려 보내는 귀 선로로 구성되어 있다. 여기에서 전기차는 전동기, 즉 부하설비로 취급되므로, 전기철도는 전철 변전 설비, 급전설비, 부하설비로 구성되어 있다.



[그림 7-1] 전기철도의 구성

7.1.1.1 전기철도의 정의

철도(鐵道, Railway, Railroad)의 정의를 살펴보면,

“철도”란 여객 또는 화물을 운송하는 데 필요한 철도 시설과 철도차량 및 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송 체계를 말한다(근거: 철도산업발전기본법).

철도를 동력 방식으로 분류하면, 증기철도(steam railway), 전기철도(Electric Railway), 내연기관 철도(internal combustion railway)로 분류되며, 전기철도(Electric Railway)는 『전기를 주 동력으로 하는 전기차를 운행하여 여객 및 화물 수송을 하는 철도를 말한다.』라고 정의할 수 있다.

7.1.1.2 전기철도 용어의 정의

- (1) “전기설비”라 함은 발전·송전·변전·전철·배전 또는 전기 사용을 위하여 설치하는 기계·기구·전선로·보안 통신선로 기타의 설비
- (2) “전철설비”라 함은 전기철도에서 송전선로·변전설비·전차선로와 이에 부속되는 설비를 총괄한 것
- (3) “변전소”라 함은 구외로부터 전송된 전기를 구내에 시설한 변압기·전동발전기·회전변류기·정류기 등 기타의 기계 기구에 의하여 변성하는 장소로서, 변성한 전기를 다시 구외로 전송하는 곳
- (4) “급전구분소”라 함은 급전 구간의 구분과 연장을 위하여 개폐장치를 시설한 곳
- (5) “보조 급전구분소”라 함은 작업 시 또는 사고 시에 정전 구간을 한정하거나 연장 급전할 목적으로 개폐장치를 설치한 곳

- (6) “단말 보조급전 구분소”라 함은 전차선로의 말단에 가공 전차선의 전압강하 보상과 유도 장애를 경감하기 위하여 단권변압기를 시설한 곳
- (7) “전기 관제”라 함은 원격 감시제어에 의하여 변전소 등의 감시제어와 동시에, 전기설비 전반에 대하여 지시와 통제를 하는 곳
- (8) “송전선로”라 함은 발전소 상호 간 · 변전소 상호 간 및 발전소와 변전소 간에 시설된 전선로
- (9) “전차선”이라 함은 전기차의 집전장치에 습동 접촉하여 이에 전기를 공급하는 가공전선
- (10) “합성 전차선”이라 함은 조가선(강체 포함) · 전차선 · 행거 · 드로퍼 등으로 구성한 가공전선
- (11) “가공 전차선”이라 함은 합성 전차선과 이에 부속된 곡선당김장치 · 건널선장치 · 장력조정장치 · 구분장치 · 급전분기장치 · 균압장치 · 흐름방지장치 등을 총괄한 것
- (12) “가공 전차선로”라 함은 가공 전차선 및 이를 지지하는 설비(전주 · 비임 · 하수강 · 애자(碍子) · 브래킷 등)를 총괄한 것
- (13) “급전선”이라 함은 합성 전차선에 전기를 공급하는 전선
- (14) “부급전선”이라 함은 통신유도장애 경감을 위하여 귀선 레일에 병렬로 시설하여 운전용 전기를 변전소로 통하게 하는 전선
- (15) “전차선로”라 함은 가공 전차선로 · 급전선로 · 귀선로 및 이에 부속하는 설비를 총괄한 것
- (16) “병렬급전”이라 함은 1급전 구간에 2이상의 급전점을 가진 급전방식
- (17) “연장급전”이라 함은 2이상의 급전점에서 급전할 수 있는 급전 구간을 1급전점에서 급전하는 방식
- (18) “단권변압기”라 함은 교류 전차선로에서 전압강하 및 유도 장애 등을 경감시킬 목적으로 전차선로에 설치하는 변압기
- (19) “장력조정장치”라 함은 전차선과 조가선을 한꺼번에 잡아주는 장치와, 전차선 또는 조가선을 각각 잡아주는 장치(자동식 및 수동식 포함)
- (20) “이행구간”이라 함은 커티너리(Catenary) 가선 구간과 강체 가선 구간의 접속 구간
- (21) “가고”라 함은 합성 전차선의 지지점에서 조가선과 전차선과의 수직 중심 간격
- (22) “건식 게이지(Gauge)”라 함은 전주 중심과 궤도 중심과의 직선 이격 거리
- (23) “지지물”이라 함은 목주 · 철주 · 강관주 · 콘크리트주 · 철탑 · 전주대용물의 부속 장치
- (24) “저압”이란 직류에서는 1,500V 이하, 교류에서는 1,000V 이하의 전압
- (25) “고압”이란 직류에서는 1,500V를 초과, 교류에서는 1,000V를 초과하여 7,000V 이하인 전압
- (26) “특고압”이란 7,000V를 초과하는 전압
- (27) “공해지역”이라 아황산가스 오염도가 기준치(0.05ppm)를 넘는 공해 발생 장소

- (28) “염해지역”이라 함은 염수의 침입 및 해풍으로 해안 지역의 식물이나 전기 시설물의 피해 우려가 있는 지역

7.1.1.3 전기철도의 역사

7.1.1.3.1 전기철도의 탄생

전기철도는 1835년 미국의 Tomas Davenport가 전지를 동력원으로 하는 모형 전차를 만들어 일반인에게 관람시킨 것이 최초이며, 이후 1840~1842년까지 영국인 Robert Davidson이 중량 5톤의 전기기관차를 시속 6km로 시운전하였다. 이어서 1850년 미국 Boston의 Hall이 제3궤조 방식 2인승 전기차를 주행시킨 것이 전차선의 최초이며, 1875년 미국 G.F Green이 가공식 전차선 및 궤조 귀선 방식을 발명하였다.

7.1.1.3.2 전기철도의 실용화

1879년 독일의 Siemens Halsice 회사가 세계산업박람회에 제3궤조 방식의 직류 150V, 3Hp 2P 직권전동기를 사용하여 시속 12km 20인승 전기기관차를 출품한 후, 1881년 베를린 남부 근교에서 영업을 개시한 것이 전기철도를 최초로 실용화한 것이다.

7.1.1.3.3 우리나라의 전기철도 역사

1899년 5월 4일 미국인 콜브렌(H.Collblen)과 보스트워크(H.D Bostwick) 양인이 조선 왕실의 특별 허가를 받아 서대문~동대문 간에 직류 600V 방식인 노면전차를 처음 운행한 것이 우리나라 전기철도의 시작이라 할 수 있다.

그 후 1931년 경원선(철원~내금강) 116.6km 구간을 직류 1,500V 방식으로 개통하였고, 1937년 경원선 복계~고산 간 53.9km 구간을 직류 3,000V로 전철화하였으며, 1944년 중앙선 단양~풍기 간 23km 구간을 직류 3,000V로 전철화하는 공사를 착수하였으나 한국전쟁으로 중단되고 말았다.

전후(戰後) 우리나라는 경제개발5개년계획의 일환으로 급증된 시멘트 및 무연탄 기타 광석 등의 주요 산업 물자를 수송하기 위하여, 산업선(중앙선, 태백선, 영동선) 전철화를 시작했다. 1969년에 착공하여 1972. 6. 9. 태백선(증산~고한 간) 10.7km 시험 구간을 교류 25kV 방식으로 건설한 후, 1973. 6. 20. 중앙선 (청량리~제천 간) 155.2km를 개통하였고, 1973. 6. 20. 태백선(제천~동백산 간) 103.8km를 개통하였으며, 1975. 12. 5. 영동선(철암~북평 간) 61.5km를 개통하였다.

한편, 수도권의 인구 격증으로 인한 도심지 교통난 해소와 도시 기능의 광역화, 도심지 인구의 교

외 분산 및 대량 수송 수단의 확보 방안을 마련하여, 1974. 8. 15. 국철 구간 경인선, 경부선, 경원선 98.6km는 단상교류 25kV AT 방식으로, 지하철 1호선 서울~청량리 간 7.8km는 DC 1,500V로 건설하여 수도권 전철 교통망을 형성하였다.

고속철도의 경우, 2004. 4. 1. 서울~부산 간 398.2km, 2015. 4. 2. 오송~광주 송정 간 183.8km, 2016. 12. 9. 수서~평택 간 61.1km를 개통하여 현재 운행 중에 있다.

7.1.1.4 전기철도의 효과

7.1.1.4.1 수송 능력 증강

철도의 수송 능력은 열차당의 편성 량수와 운전 속도 등에 의해 정해지는데, 일반적으로 전기기관차는 견인전동기의 출력이 커서 급한 구배에서도 높은 속도로 운전이 가능하며, 정차장 간격이 짧은 도시철도 구간의 전동차는 가속도와 감속도가 크므로 고빈도 운전으로 열차 회수를 높일 수 있어 대량 수송이 가능하다.

열차의 견인력은 동륜 점착 계수(U)에 비례한다.

$$U \propto \frac{F}{W} \quad \langle F : \text{견인력}, W : \text{동력차의 중량(kg)} \rangle$$

일반적으로 디젤기관차의 점착계수는 약 0.25~0.28이며 전기기관차의 점착계수는 약 0.32~0.34이므로 전기차가 약 30%의 견인력이 증가하는 것을 알 수 있다.

7.1.1.4.2 에너지(Energy) 이용 효율 증대

철도 운전 수단별 Energy 이용 효율을 비교하여 보면, 디젤기관차(DL : Diesel Locomotive)와 전기기관차(EL : Electric Locomotive) 간의 에너지 소비율 차이는 약 25% 정도 전기기관차가 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

[표 7-1] 철도 운전 수단별 에너지 이용 효율 비교

EL 운전			DL 운전		증기 운전	
화력발전소 (송전단)	직류	교류	기관 열효율	30	보일러 열효율	60
	37 (87)	37 (87)				
송전선	90	90	기관차	85	증기 효율	11
전철용 변전소	95	98				
전차선	90	95	전달 효율	80	기관 효율	80
기관차	85	80				
견인에 유효하게 이용되는 에너지	24 (57)	25 (58)		20		5

※ ()는 수력발전의 경우 (단위 : %)

※ 출처 : 철도에서의 에너지 이용효율 평가방법에 관한 고찰 (2008.11.7.)

7.1.1.4.3 수송 원가 절감

디젤기관차(DL)에 비해 전기기관차(EL)는 내연기관 등 설비가 적어 유지보수 비용이 40% 정도 감소되고, 차량의 내구연한도 2배가 길며 차량 중량도 줄어 궤도 보수 비용도 절감된다. 또한 장거리 운전이 가능하고 회차율이 높아 적은 차량으로 운용이 가능하며, 열차운행 시간 단축으로 승무원 운용 효율을 증대시킬 수 있다. 이러한 수송 원가의 절감이 결과적으로는 경영의 합리화와 수입을 증대시키는 것이기 때문에, 철도의 경영 개선을 가능하게 한다.

☞ 일 열차 km 및 일 승무 km도 EL이 DL의 약 1.7~1.8배

7.1.1.4.4 환경 개선 및 서비스 제공

전기철도는 매연이 없고 소음이 적어서 도시의 심각한 공해 문제를 고려할 때 그 장점이 돋보이는 환경친화적(親和的)인 설비이다. 또한 도시철도 지하 구간의 전철화는 그 특성상 필수적인 것이다.

[표 7-2] 수송수단별 대기오염 비교(단위 수송량 당)

(단위: 배)

전기철도	승용차	화물차	해운	기 타
1	8.3	30	3.3	단위수송량당

※ 출처 : 전기연감 (1997)

7.1.1.4.5 지역 균형 발전

도시 전철은 인구 및 경제활동의 분산, 도심 도로 혼잡도 완화, 지역 주민의 교통 편의 제공 등 도심에 집중된 도시 기능을 외곽 지역으로 적절히 분산 배치하여 도시 전체의 균형적 발전에 기여하고 있다. 그리고 간선 전철은 인접 도시 및 지역 간 대용량 수송 체계를 구축함으로써 원활한 인적, 물적 교류를 통해 균형 있는 경제 발전에 기여한다. 또한 짧은 시간 간격의 고빈도 운전으로 대량 고속 수송이 가능하며, 높은 품질의 교통 서비스를 제공해 준다.

7.1.1.5 전기철도의 장 · 단점

7.1.1.5.1 장점

(1) 국내 에너지 자원의 유효한 이용

석유 에너지에 의존하던 것을 수력발전, 화력발전, 원자력발전으로 전기차 운전용 에너지 자원을 대체 · 활용할 수 있다. 그리고 전기차 운전용 전력은 전력 공급자 측면에서 볼 때 철도가 대용량 사용자이며 연중무휴 야간 전력도 이용하여 발전소의 부하율을 증가시킬 수 있기 때문에, 전기철도는 에너지를 유효하게 이용하므로 국내 에너지 절감에 적극 호응하고 있다.

(2) 동력비 절감

동력차의 효율은 출력 대 입력의 비율로, 전기차는 증기 및 디젤 기관차보다 훨씬 효율이 높으므로 동력비가 절감된다.

(3) 수송력 증강

철도의 수송력은 열차당 편성 량수와 운전 속도에 의해 정해지는데, 전기철도는 견인력이 크고 가 · 감속 특성이 좋고 점착 성능이 우수하며, 고빈도, 고속 운전이 필요한 구간과 곡선 구간에서 높은 평균속도를 얻을 수 있어 운전 시간을 단축하므로, 디젤기관차 운전보다 약 30% 이상 수송력을 증강시킬 수 있다.

(4) 서비스 향상

전기차 운전은 매연과 소음이 없고, 열차 속도가 빨라서 열차 운행 횟수를 늘릴 수 있어 철도 이용객에게 고품질의 서비스를 제공할 뿐만 아니라, 대도시의 인구 분산과 도시 발전을 위해 전 국토에 친환경 철도를 구축할 수 있다.

(5) 차량 및 설비의 보수비 절감

전기차는 내연기관이 없으므로 보수 유지비가 절감되며, 축중도 줄어 끼어도 유지 보수비도 절감된다.

(6) 전기차는 속도 제어를 임의로 할 수 있고, 1인의 기관사가 수량의 편성 열차를 집중적으로 제어가 가능하여, 운전과 취급이 간단하다.

7.1.1.5.2 단점

(1) 초기 투자비의 증가

전기철도는 송전선로, 변전소, 급전선로 및 전차선로 등의 시설물을 설치하여야 하므로 초기 투자비가 소요되며, 시설물의 유지 보수비가 추가된다.

(2) 전식(전기적인 부식)과 통신유도장애

전기철도는 궤도가 전기적인 회로로 이용되므로, 직류방식의 경우에 누설전류에 의한 수도관 등 지중 금속 관로에 전식을 일으켜 선택배류기나 강제배류기를 설치하여 전식을 방지하여야 한다. 교류 방식은 통신선에 대한 유도 장애가 발생하므로, 차폐선을 설치하는 등 기술적인 대책이 필요하다.

(3) 지장물의 개량이 필요

전기차는 전차선에서 전력을 공급받으므로 역사, 터널, 선로 횡단 등 시설물의 건축한계 부족으로 인한 이격 거리 확보가 필요하여, 기존선을 전철화 할 때 지장물의 개량이 필요하다.

[표 7-3] 한국철도공사의 전철·전력 설비 현황

• 송·변전 설비

2020. 1. 1. 기준

구 분		단 위	계	일반 철도	고속철도	비고
변전소(SS)	직류	개소	5	5	—	
	교류	"	56	43	13	
급전 구분소(SP)	"	66	51	15		
보조 급전 구분소(SSP)	"	157	155	2	(ATP, TP 포함)	
병렬 급전소(PP)	"	41	—	41	"	
급전 제어소(CC)	"	1		1	철도교통관제센터	
송전선로 (연장)	가공	km	173.4	610.3	173.4	
	지중	"	204.4	595.5	204.4	
	계	"	1,205.8	1,205.8	377.8	

• 전차선로설비

구 분	단위	계	일반 철도	고속철도	비고
전철 거리	km	2,990.1	2,332.8	657.3	전철화율 72.1% 철도 거리 4,146.2km
전차선 가선 거리	km	9.059.3	7,353.5	1,705.8	

• 전력설비

구 分	단위	계	일반 철도	고속철도	비고
배전 선로	가선 거리 (영업 거리기준)	km	6,188.1	4,924.9	1,263.2
	가선 연장		18,564.3	14,774.7	3,789.6
수전 변전실	개소	148	130	18	본사 사옥
비상 발전기 (100kW이상)	대	19	14	5	본사 사옥

7.1.2 전기철도의 분류

전기철도(Electric railway)의 형태는 크게 나누어 전기방식, 급전방식, 가선방식, 조가방식 등에 따라 분류하고 있다.



7.1.2.1 전기방식에 의한 분류

전기방식을 크게 나누면 직류 전기철도와 교류 전기철도로 나눌 수 있으며, 교류방식은 상별, 주파수별, 전압별로 분류된다.

7.1.2.1.1 직류식 전기철도

직류식 전기철도는 전압을 직류로 사용하며, 3상으로 수전된 교류를 전철용 변전소에서 직류로 변환시킨다. 교류를 직류로 변환시키는 설비로는 회전변류기, 수은정류기, 실리콘정류기를 사용하고 있다. 직류 사용 전압으로는 600V, 750V, 1,500V, 3000V 등이 사용되고 있으나, 절연 문제와 정류 문제로 DC 1,500V 방식을 가장 많이 사용하고 있다. 우리나라 지하철은 DC 1,500V 방식, 경량 전철은 DC 750V을 사용하고 있고, 직류 전기철도는 세계 전기철도의 약 43%를 점유하고 있다.

(1) 직류방식의 장점

- 1) 직류 직권전동기의 특성이 전철용으로 가장 적합하다.
- 2) 철도 연변의 통신선에 대한 전자유도장애가 없다.
- 3) 전압이 낮아 절연이 용이하다.
- 4) 신호 궤도회로에 교류 사용이 가능하다.
- 5) 활선작업이 용이하다.

(2) 직류 방식의 단점

- 1) 정류 장치가 필요하여 변전소의 건설비가 높다.
- 2) 전압이 낮으므로 전류가 커서 전차선, 급전선의 건설비가 높다.
- 3) 전압강하 방지를 위하여 변전소 수를 증가시켜야 한다.
- 4) 귀선로의 누설전류에 의한 지하 금속 관로에 대한 전식의 피해가 크다.
- 5) 운전 전류가 커서 사고 전류의 선택 차단이 곤란하다.
- 6) 보호 방식이 복잡하다.

7.1.2.1.2 교류식 전기철도

교류식은 상별, 주파수별, 전압별로 분류된다.

1889년 스위스에서 처음으로 3상 2선식 42Hz 750V의 교류 전철이 시작되었다. 최근에는 상용 주

파수 50Hz, 60Hz 25kV 교류식 전철이 소련(러시아), 프랑스, 영국, 인도, 일본, 중국에서 널리 보급되었으며, 일본에서는 20kV 방식이 공급되다가 신간선부터 25kV 방식이 도입되었다. 교류 전기 철도를 사용하는 나라는 세계 전기철도의 약 57% 정도이다.

[표 7-4] 전기방식의 분류

전기 방식	전압 종별
직류식	600V, 750V, 1,500V, 3,000V
단상교류식	16 2/3Hz : 11kV, 15kV 25Hz : 6.6kV, 11kV 50Hz : 6.6kV, 16kV, 20kV, 25kV 60Hz : 25kV
3상 교류식	16 2/3Hz : 3.7kV, 6kV 25Hz : 6kV

(1) 교류방식의 장점

- 1) 집전 전류가 적고 가벼운 팬터그래프를 사용하므로 집전이 용이하다.
- 2) 차내에서 임의로 교류 전원을 얻을 수 있다.
- 3) 점착 성능이 우수하다.
- 4) 사고 시 급전 차단이 확실하다.
- 5) 건설비가 적게 든다.
- 6) 전식의 피해가 없다.

(2) 교류 방식의 단점

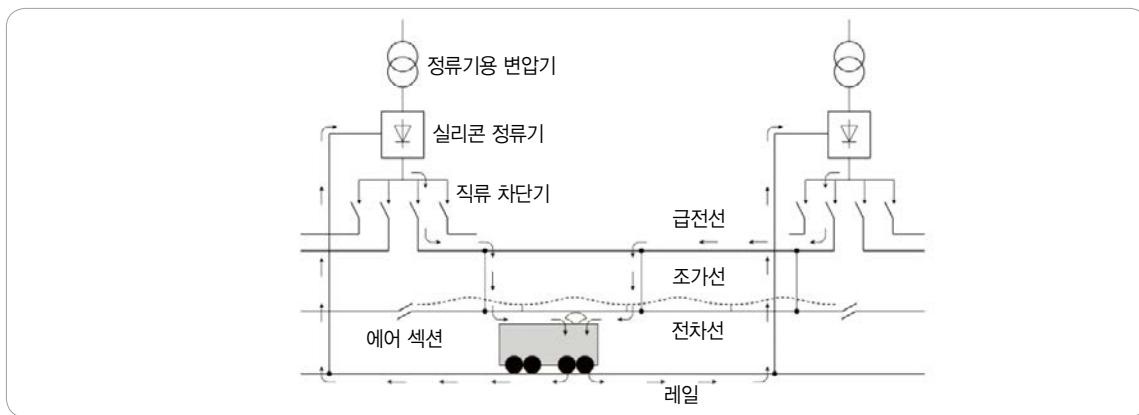
- 1) 급전 전압이 높아 절연도가 높아야 하므로 절연비가 고가이다.
- 2) 차량에 변압기와 정류기가 탑재되어야 하므로 차량이 복잡하다.
- 3) 통신선로에 대한 유도장애 대책이 필요하다.
- 4) 3상을 단상으로 변환하므로 전압의 불평형이 발생한다.

7.1.2.2 급전방식에 의한 분류

7.1.2.2.1 직류 급전방식

(1) 병렬 급전방식

직류 급전방식은 양측 변전소로부터 급전하는 병렬 급전방식이 표준이며, 전류용량 증대 및 전압 강하 보상을 위하여 전차선과 병렬로 급전선을 설치하고 레일을 귀선으로 이용한다.



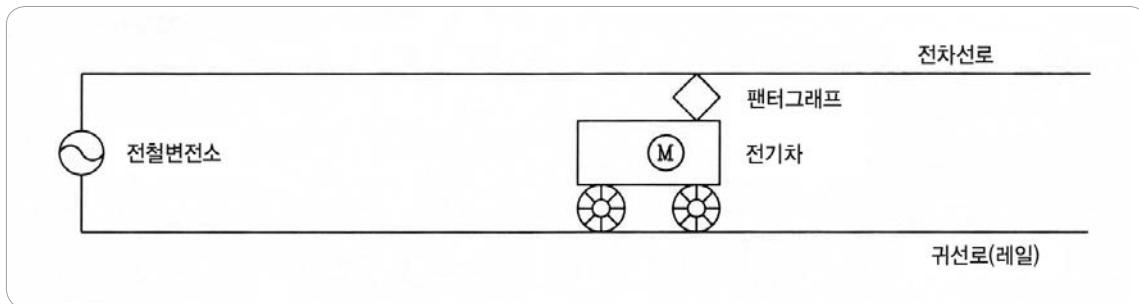
[그림 7-2] 직류 급전방식(병렬급전)

※ 자료 : 한국철도기술연구원 블로그 (<https://blog.naver.com/krriblog/221356770315>)

7.1.2.2.2 교류 급전방식

(1) 직접 급전방식(Simple Feeding System)

가장 간단한 급전 회로로 전차선로를 구성하는 방법은 전차선과 레일만으로 구성하는 것과 레일과 병렬로 별도의 귀선(歸線)을 설치하는 것으로 2가지 방법이 있다. 이 방식은 회로 구성이 간단하기

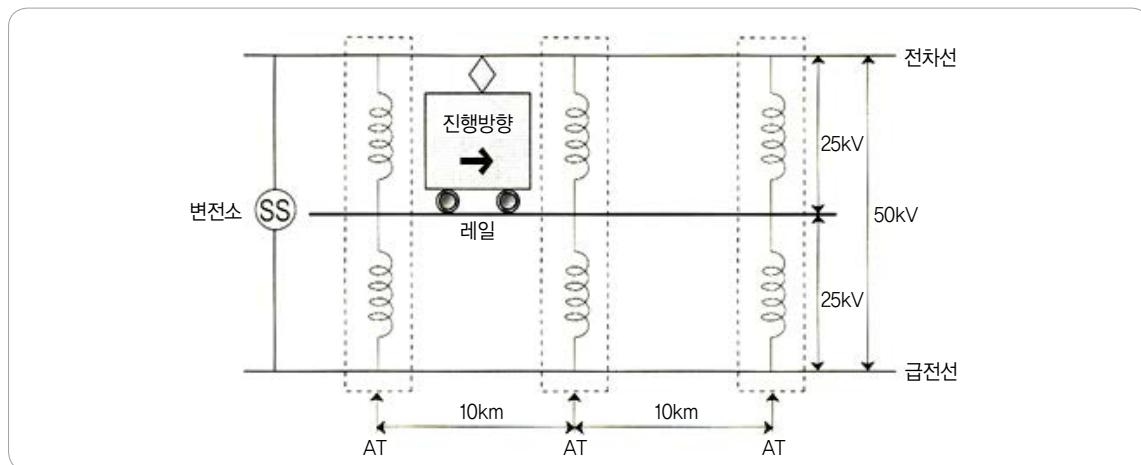


[그림 7-3] 직접 급전방식

때문에 보수가 용이하며 경제적이지만, 전기차 귀선 전류가 레일에 흐르므로 레일에서 대지 누설전류에 의한 통신 유도 장애가 크고 레일 전위가 다른 방식에 비해 크다는 단점이 있다.

(2) 단권변압기 급전방식(AT 급전방식)

AT(Auto-Transformer) 급전방식은 급전선과 전차선 사이에 약 10km 간격으로 AT를 병렬로 설치하여 변압기 권선의 중심점을 레일에 접속하는 방식으로, 권선비는 1:1이며, 대용량 열차 부하에서도 전압 변동, 전압 불평형이 적어 안정된 전력 공급이 가능하므로 고속 전철에서도 이 방식을 채택하고 있다. 레일에 흐르는 전류는 차량을 중심으로 크기는 같지만 각각 반대 방향의 AT 쪽으로 흐르기 때문에, 근접 통신선에 대한 유도장애가 적다는 장점이 있다.



[그림 7-4] 단권변압기 급전방식

※ 자료 : 철도산업정보센터 철도상식 – 통신선에 생기는 잡음은 AT방식으로 간단히 해결 –

7.1.3 전기철도의 급전계통

7.1.3.1 급전계통의 구성 및 특성

7.1.3.1.1 급전계통의 구성

전철 급전계통이란 변전소로부터 급전 거리, 전압강하, 사고 시의 구분, 보수 등을 고려하여 전차선로를 적당한 구간으로 나누어 급전, 정전이 가능하도록 한 전기적인 계통 구성을 말한다. 급전 계통은 전압강하, 사고 시의 구분, 보호계전기의 보호 범위 및 가선 범위 등과 관련하여 전철화 계획

시 고려되어야 할 중요한 요소들 중의 하나이다.

7.1.3.1.2 급전계통의 특성

전철 급전계통은 동력원인 전기가 정전되면 열차 운행이 정지되므로 고(高)신뢰도, 고(高)안정도의 전원 설비가 요구되며, 전철 부하는 차량의 특성상 기동, 정지가 빈번하게 반복되고 그 위치가 이동하기 때문에 부하의 크기 및 시간적 변동이 극히 심한 것이 특징이다.

7.1.3.2 급전계통의 운용 및 분리

7.1.3.2.1 급전계통의 운용 조건

열차를 안전하고 신속하며 확실하게 운행하게 하기 위해서는 전차선 전압이 차량의 운전에 영향을 주지 않는 일정한 범위를 유지하여야 하고, 전류용량이 차량 부하에 충분히 견딜 수 있도록 하여야 한다.

7.1.3.2.2 급전계통의 분리

(1) 급전별 분리

급전별 분리는 인접 변전소와 상호 계통 운전을 원칙으로 하고, 각 변전소별로 전압 위상별, 방면별, 상하선별로 구분하여 급전할 필요가 있다.

(2) 본선 간의 분리

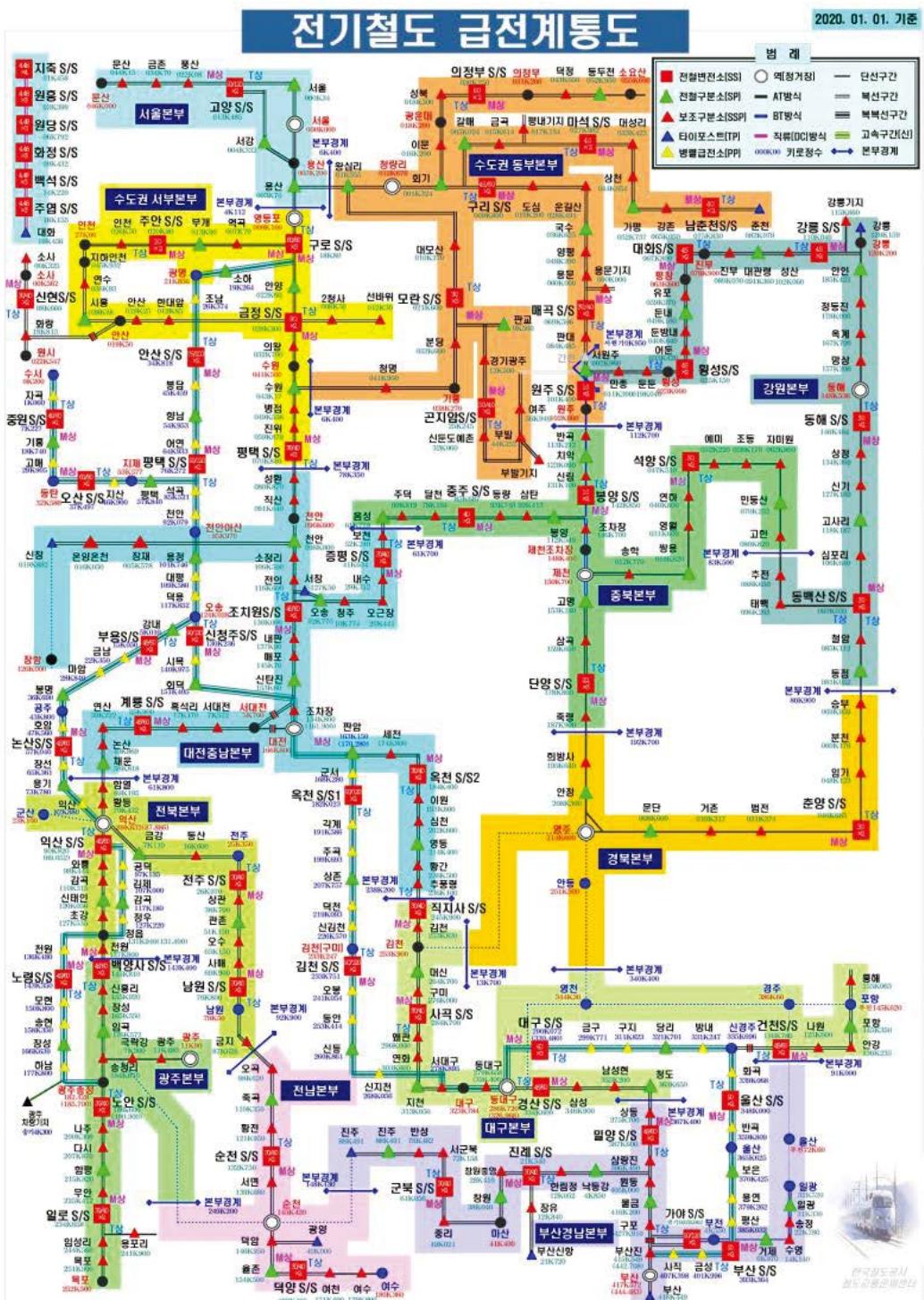
본선 간의 분리는 동일 계통 급전 구간에 사고 발생 시, 해당 구간을 분리하고 급전할 수 있도록 급전구분소(SP) 및 보조 급전구분소(SSP)를 두어 구분한다.

(3) 본선과 측선의 분리

주요 역 구내에서는 사고 시 사고 구간의 단선 운전 또는 도중 운전 중지 등을 할 필요가 있기 때문에, 주요 역 구내의 전차선을 분리하여 상하선별 다른 급전 계통으로부터 상호 급전이 가능하도록 하거나, 측선에서 사고 발생 시 본선과 분리하여 열차 운행을 할 수 있도록 하는 것이다.

(4) 차량 기지와 본선과의 분리

전동차 및 전기기관차의 차량기지에서는 수많은 열차가 대기 및 정비를 하고 있기 때문에, 본선 계통의 사고에 의한 구내의 검수 등에 영향을 받는다. 따라서 본선으로부터 분리하여 별도의 급전을 할 필요가 있다.



[그림 7-5] 전기철도 급전계통도

※ 자료 : 한국철도공사 제공

7.1.4 한국철도의 속도 변화

한국철도의 속도 변화를 살펴보면, 1899년 증기기관차(모갈)가 50km/h를 시작으로, 1986년도에는 디젤기관차와 새마을 동차가 150km/h로 열차의 운행 속도를 향상시켰으며, 2004년에는 서울~부산 간 경부고속철도가 개통되면서 최고 속도 330km/h로 주행하여 전국을 반나절 생활권으로 만들었다. 이로써 지역 사회의 균형적인 발전을 도모하고 국민의 삶의 질을 높이게 되는 등 한국철도의 속도 혁명을 이루었다.

2009년에는 한국형 고속철도(산천 HSR-350X) 차량을 개발하여 호남선과 경부선에 운행을 시작하였으며, 2013.3.28. 차세대 고속 열차인 HEMU-430X를 호남선 일부 구간에서 최고 속도 421.4km/h로 주행(시운전)하는 데 성공하였다.



[그림 7-6] 한국철도의 속도 변화

핵심정리

>>>

1. 전기철도는 (), 급전설비, ()로 구성되어 있다.
2. 우리나라의 전기철도는 1899. 5. 4 서대문 ~ 동대문 간에 직류 600V 방식인 노면전차를 처음 운행한 것이 전기철도의 시작이라 할 수 있다.
3. 전기철도의 효과로는 (), 에너지 이용 효율 증대, 수송 원가 절감, 환경 개선, () 등이 있다.
4. 전기철도의 전기 방식은 ()와 ()로 나눌 수 있으며, 교류 방식은 상별, 주파수별, 전압별로 분류된다.
5. 단권변압기(AT) 급전 방식은 급전선과 전차선 사이에 약 () 간격으로 AT를 ()로 설치하여 변압기 권선의 중심점을 레일에 접속하는 방식이다.
6. ()는 차량의 특성상 기동, 정지가 빈번하게 반복되고 그 위치가 이동하기 때문에 부하의 크기 및 시간적 변동이 극히 심하다.

7.2 전차선로 설비

학습목표

- 전차선로의 가선 설비와 부속하는 설비의 특징과 구성에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 전차선로 가선방식인 가공식과 강체식, 제3궤조식에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 가공 전차선로의 조가방식에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 강체조가방식인 R-Bar와 T-Bar에 대한 구성도를 보고 이해하고 설명할 수 있다.
- 전차선로의 지지물인 전철주와 가동브래킷 등의 역할에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 교류 가공 전차선로의 주요 설비에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 직류 가공 전차선로의 주요 설비에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 전차선로와 열차 운전에 대하여 표지류와 절연구간에서의 운전 취급 방법 대하여 설명할 수 있다.

[핵심용어]

가공 단선식, 강체식, 제3궤조식, 심플 커티너리조가방식, T-Bar, R-Bar, 가동브래킷, 평행틀, 하수강, 전차선(높이, 편위, 구배, 가고, 경사), 건널선장치, 장력조정장치, 구분장치(에어섹션, 에어조인트), 이상 절연구분장치, 이중절연방식, 절연구간(교-직, 교-교), 표지류(예고표, 타행표, 구분표, 역행표, 가선종단표, 팬터내림예고표, 팬터내림표)

7.2.1 전차선로의 개요

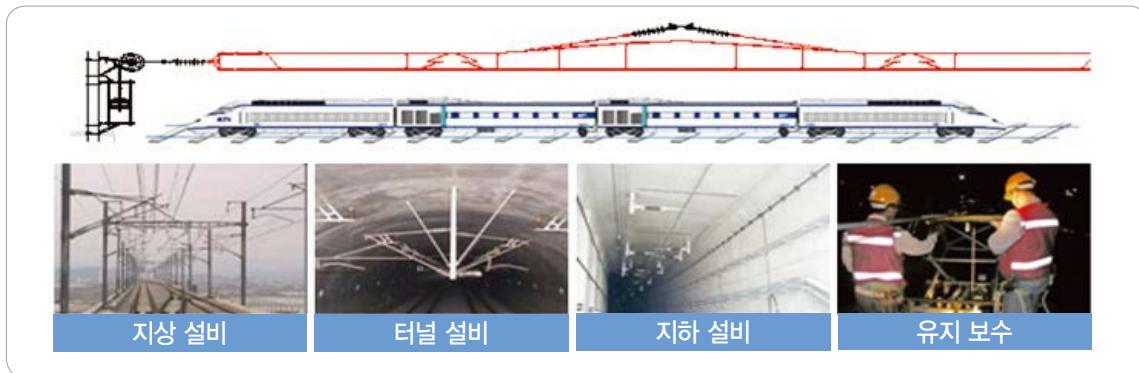
“전차선로”라 함은 가공 전차선로 · 급전선로 · 귀선로 및 이에 부속하는 설비를 총괄한 것을 말하며, 집전장치를 통하여 전기차에 전력을 공급하기 위한 설비이다.

7.2.1.1 전차선로의 특징

전차선은 전기차의 팬터그래프에 동력을 전달하는 설비로, 신뢰도가 높고 공공성이 강하며, 전기차의 운전에 따라 부하점이 이동하는데 그 부하는 급격한 변동을 수반한다. 또한 전기차의 팬터그래프와 전차선은 불완전 접촉 상태이고, 레일을 귀선(–)으로 하는 1선 접지 회로로 구성되어 있으며, 예비 선로가 없어 열차 운행 선로에서 사고 및 장애 시 열차 운행에 직접적인 영향을 주게 된다.

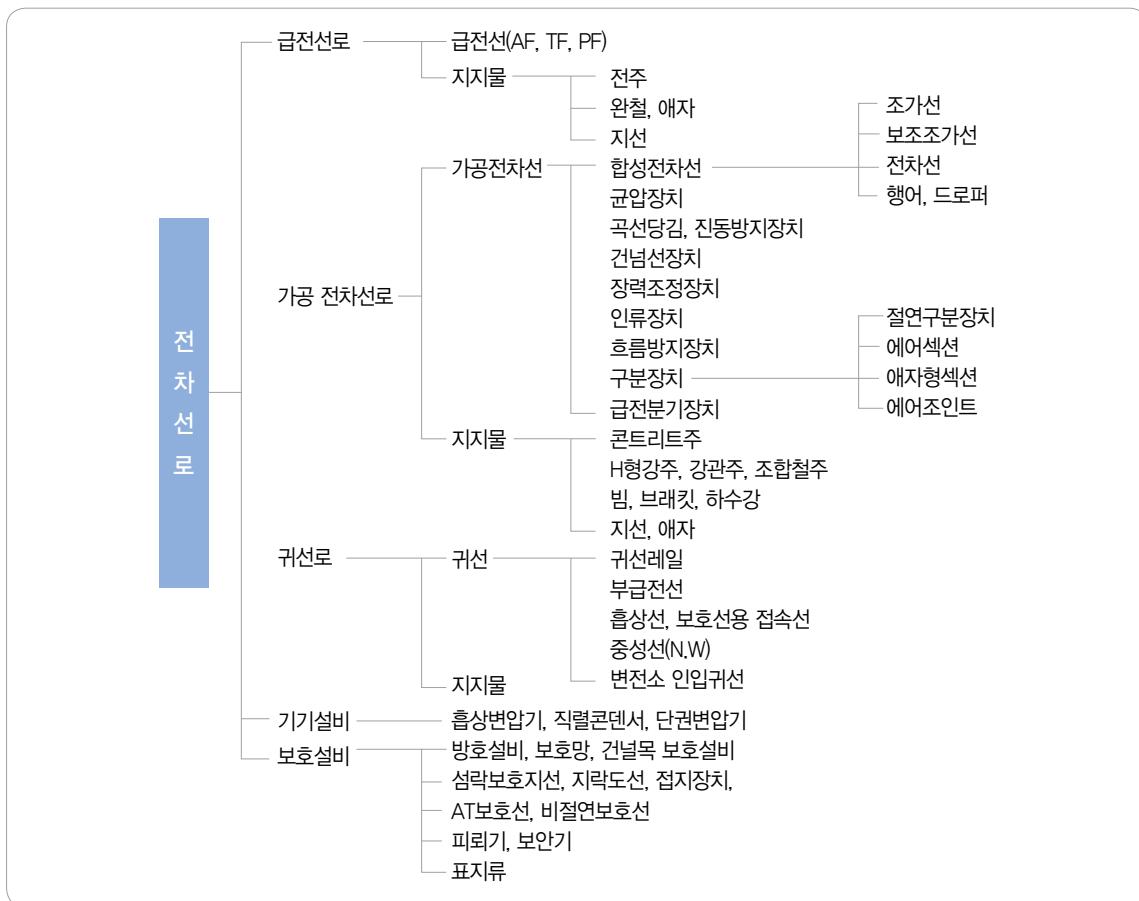
7.2.1.2 전차선로 시스템과 구성

7.2.1.2.1 전차선로의 시스템



[그림 7-7] 전차선로 시스템

7.2.1.2.2 전차선로의 구성



[그림 7-8] 전차선로의 구성

7.2.2 전차선로 가선 방식

전기차에 전원을 공급하는 전차선의 가선 방식에는 전기를 급전하는 방식에 따라 가공식과 제3궤조식이 있으나 철도의 건설기준에 관한 규정에서 가공 전차선의 가선 방식은 가공 단선식인 심플 커티너리(Simple Catenary)방식 또는 강체 가공방식으로 설치하도록 되어 있다.

7.2.2.1 가공식

(1) 가공 단선식

궤도 상부에 1조의 가공 전차선을 설치하고 전철 변전소로부터 전차선에 전원을 급전하며, 전기차는 상부에 설치된 팬터그래프에 의해 전차선과 접촉하여 전기차 모터에 전원을 공급하고 주행 레일을 귀선으로 하여 남은 전력을 변전소로 귀환하는 방식이다.

가공 단선식은 가장 대표적인 전차선로 가선 방식으로 직류, 교류 전기철도에 널리 사용하는 방식이다. 귀선으로 레일을 사용하는 1선 접지 회로로, 직류에서는 누설전류에 의해 전식이 발생하며 교류에서는 통신유도장애가 발생하므로 이에 대한 대책이 필요하다.

(2) 가공 복선식

궤도 상부에 대지와 전선 상호 간에 절연된 2조의 가공 전차선을 설치하고, 전기차는 2조의 팬터그래프에 의해 접전하는 방식이다. 전차선로 구조가 복잡하고 건설비가 높아, 노면전차 및 무궤조인 트롤리버스(Trolley bus) 등에 사용하고 있다.

7.2.2.2 강체식

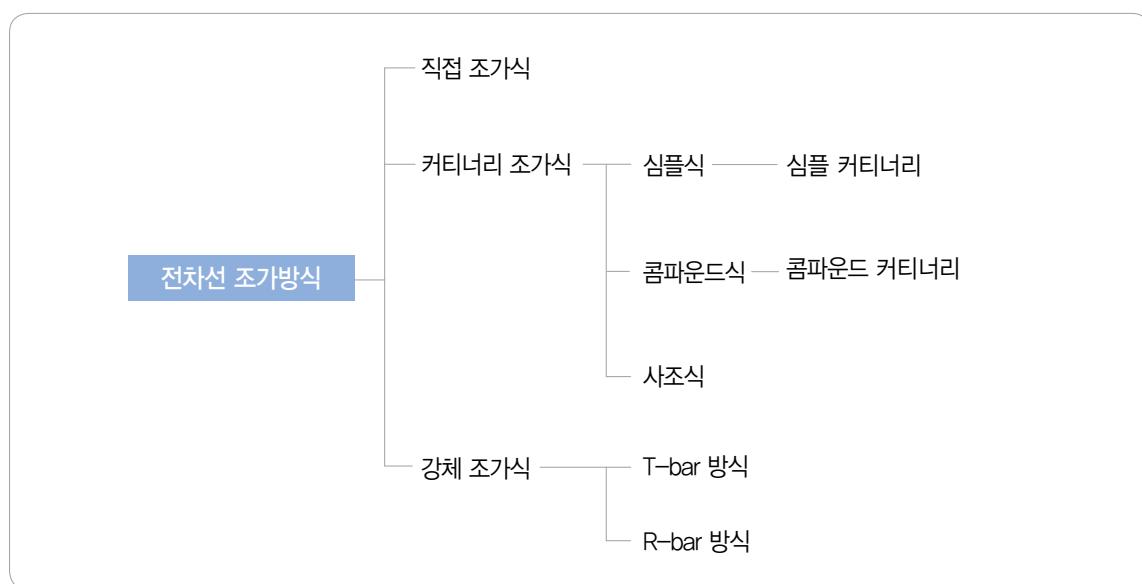
지하 구간에 적합하도록 개발된 도시 지하철 구간의 대표적인 방식이다. 강체 전차선을 강체에 완전히 일체 시켜서 고정한 것으로, 터널 등의 천장에 애자를 달아매고 측면에 브래킷을 연결하여 여기에 강체 전차선을 조가하는 방식이다.

7.2.2.3 제3궤조식

주행용 레일 측면에 설치된 제3레일로부터 전기차에 전원을 공급하고, 귀선으로 주행 레일을 사용하는 방식이다. 지지 구조가 간단하고 가공 설비가 필요하지 않아 터널 단면적을 적게 할 수 있어 우리나라에서는 DC 750V를 사용하고 있다.

7.2.3 가공 전차선의 조가방식

전차선(Contact wire)을 지지하는 방법에 따라 직접조가(弔架)방식, 커티너리(현수)조가방식, 강체 조가방식으로 나눈다. 직접조가방식은 조가선을 설치하지 않고 직접 전차선을 가선하는 방식으로 저속 주행하는 역 구내 측선이나 노면전차 등에 사용되고, 우리나라에서는 커티너리조가방식을 주로 사용하고 있으며, 터널 구간 등에서는 강체조가방식을 사용한다.



[그림 7-9] 가공 전차선 조가방식

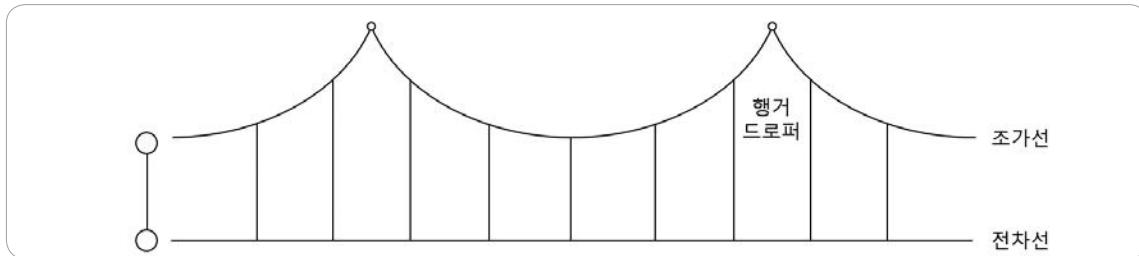
7.2.3.1 커티너리(Catenary) 조가식

7.2.3.1.1 심플 커티너리(Simple Catenary)조가방식

조가선과 전차선의 2조로 구성되어 있고, 조가선에서 행거(Hanger)나 드로퍼(Dropper)로 전차선이 궤도면에 평행하게 조가된 구조의 조가방식이다. 이 방식은 커티너리 조가방식의 가장 기본적이고 대표적인 것으로, 110km/h 정도의 중속도용으로 우리나라 지상 전철 구간의 전차선 방식으로 채택하고 있다. 이 방식은 드로퍼의 간격을 조정하고 장력을 크게 하는 등 설비를 일부 보완하여 300km/h 이상 고속 운전에 사용되고 있다. 또한 심플커티너리조가방식의 장력과 전선의 단면적을 크게 한 것을 ‘해비심플커티너리(Heavy Simple Catenary)’라 한다.

우리나라에서는 강체 조가식을 설치한 지하 구간 등을 제외하고, 본선 및 부본선은 해비심플커티

너리방식(차량 기지 및 측선과 건널선은 심플커티너리방식)을 사용하고 있다.



[그림 7-10] 심플 커티너리 조가방식

7.2.3.2 강체 조가식

커티너리 방식으로는 터널의 단면적이 커질 수밖에 없기 때문에 지하철 등에서는 강체 조가방식이 사용된다. 터널 천장에 알루미늄합금제의 T-bar를 애자에 의해 지지시켜 놓고, 이 아랫부분에 알루미늄제 이어(Ear)에 의해 전차선을 연결 고정한다. 알루미늄합금제인 T-Bar가 급전선을 겸하면서 단선의 위험이 없고 터널의 높이를 낮게 할 수 있는 것이 최대의 장점이다.

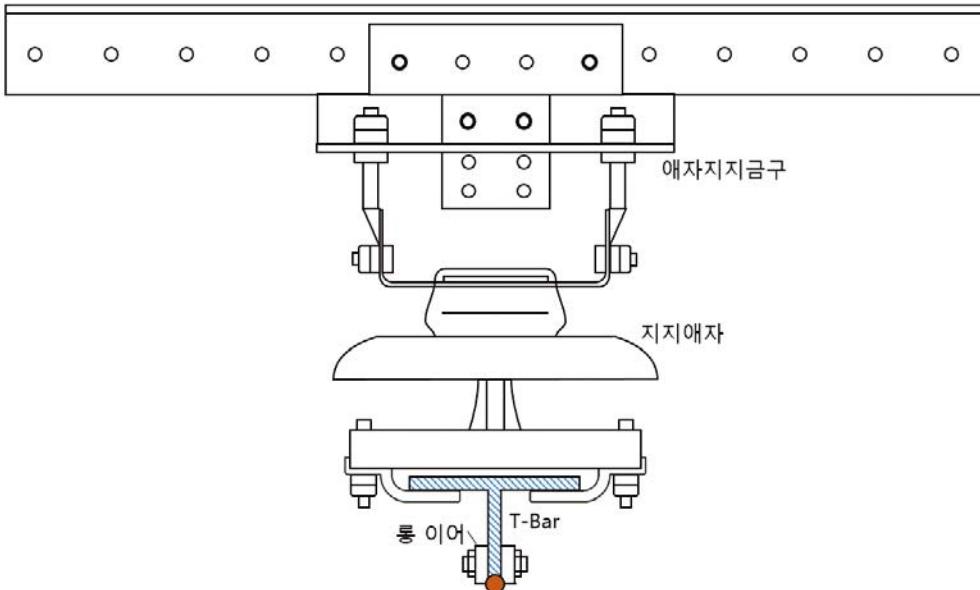
최근 건설된 과천선과 분당선, 신분당선에는 지하 구간에 교류 25,000V 방식으로 건설하면서 강체 조가방식 중에서도 R-bar 방식을 채택하였다. 이 방식은 지하 구간을 기존의 교류 25,000V 방식으로 시공할 경우, 지지물과 이격 거리 확보가 곤란한 것을 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 전차선 지지점 간격이 T-bar에 비해 2배이며 자동 가선 도르래를 이용하여 가선할 수 있어 시공상 예산을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

7.2.3.2.1 강체 가선방식의 특징

- (1) 전차선이 강체(Bar)와 일체가 되어 커티너리 가선과 같이 단선 사고의 위험이 없다.
- (2) 건널선 등 교차 개소에서 팬터그래프가 전차선에 끼이지 않는다.
- (3) 전차선의 압상(壓上)이 거의 없으며, 터널의 단면적을 적게 할 수 있다.
- (4) 곡선당김장치나 진동방지장치가 필요 없다.

7.2.3.2.2 T-Bar 방식

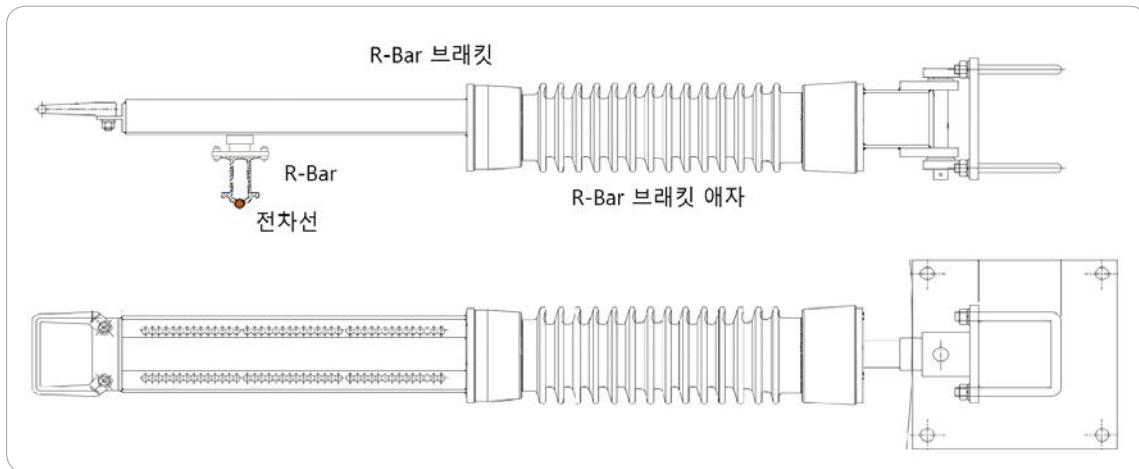
우리나라 지하철에 사용하는 T-Bar 방식은 T-Bar의 표준길이를 10m로 하여 2,100mm² 알루미늄 합금 압출형제를 사용하고 아랫면에 롱이어(Long ear)에 의해 전차선을 볼트로 지지하는 방식이며 5m 간격으로 애자지지금구에 고정되어 있다.



[그림 7-11] T-Bar 방식

7.2.3.2.3 R-bar 방식

교류 방식의 지하 구간에 사용하고 있는 R-bar의 표준 길이는 12m이고 단면적은 $2,214\text{mm}^2$ 로, 가선 도르래를 이용하여 자동으로 R-bar에 전차선을 삽입하는 가선 방식이다. 시공이 간단하고 가선 시간을 단축할 수 있다. R-bar의 지지 간격은 10m로 R-bar 브래킷에 의해 지지되며 과천선, 분당 선, 신분당선 AC25kV 지하 구간에 사용되고 있다.



[그림 7-12] R-Bar 방식

7.2.4 전차선로의 구조물

7.2.4.1 개요

가공 전차선, 급전선, 귀선, 보호선 및 그 부속물을 지지하고 있는 설비 전체를 전차선로의 지지물이라 한다. 지지물을 구성하고 있는 주요 설비는 전주, 전주기초, 비임, 가동브래킷, 지선, 완철, 하수강, 평행틀, 전주방호설비 등이다. 이들은 가공 전차선과 강도 협조, 수명 협조가 이루어져야 하며, 내부식성이 우수하고 내구연한이 길고 열차의 진동에 풀림이 없어야 하며, 경제성과 유지 보수성, 시공성, 편리성, 안전성, 취급성 등을 고려하여 설치하여야 한다.

7.2.4.2 전주의 표준 경간

커티너리식 가공 전차선로 지지물의 표준 경간은 전차선로 속도 등급이 300킬로급 이상은 65m이하(터널 50m)로 하고 250킬로급 이하는 다음 표에 의하고, 인접하는 경간의 차는 10m 이하로 한다. 다만 부득이한 경우, 20m로 할 수 있다.

[표 7-5] 곡선반경에 따른 경간

곡선 반경(m)	경간(m)
곡선 반경 2,000 초과	60
곡선 반경 1,000초과 ~ 2,000까지	50
곡선 반경 700초과 ~ 1,000까지	45
곡선 반경 500초과 ~ 700까지	40
곡선 반경 400초과 ~ 500까지	35
곡선 반경 300초과 ~ 400까지	30
곡선 반경 200초과 ~ 300까지	20

- (1) 터널 브래킷의 설치 표준 경간은 20m(강체 가선 방식의 경우 10m이하) 이하를 원칙으로 한다.
- (2) 커티너리 가선 구간의 터널 입·출구의 경간은 20m를 표준으로 한다.
- (3) 승강장, 화물 적하장 등에 건식하는 전주는 흄의 연단에서 1.5m 이상 이격한다.
- (4) 자동차 등이 통과하는 건널목에 인접하는 전철주는 건널목 양단에서 5m 이상 이격한다.
- (5) 인류주 등 차막이 후방에 건식하는 전주는 10m 이상 이격한다.

7.2.4.3 전철용 전주

7.2.4.3.1 콘크리트주(PC)

전차선로에 사용하는 콘크리트주는 월심력을 이용한 철근 콘크리트주를 사용하고 있으며, 우리나라 전철화 초기에 사용하였으나 최근에는 철주를 주로 사용하고 있다.

7.2.4.3.2 철주

(1) 조합 철주

조합 철주는 주재는 L형강을 사용하고 사재에는 L형강 또는 평강을 사용하는 4각 철주와, 인류 개소 등에 T형강을 사용하고 사재는 L형강 또는 평강을 사용하는 인류용 찬넬주 등이 있다.

(2) 강관주

강관주는 중량이 가볍고 미관이 좋으며, 최근에는 콘크리트주 대용으로 사용하고 있다.

(3) H형강주

H형강주는 단일재로 제작이 용이하고 시공이 간편하여 최근 전철주로 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 비틀림 현상이 있으므로 주의가 필요하다.

7.2.4.3.3 전주의 안전율

(1) 철근 콘크리트주는 파괴하중에 대하여 2이상

(2) 철주는 소재 허용응력에 대하여 1이상

(3) 목주는 신설 시에 있어서 파괴하중에 대하여 3이상

7.2.4.4 가동브래킷

가동브래킷은 조가선과 전차선이 온도 변화에 의하여 신축함으로써 생기는 전선의 이동에 따라 동시에 그 방향으로 이동할 수 있는 구조로 되어 있으며, 장간애자에 의해 전주와 절연되어 있다.

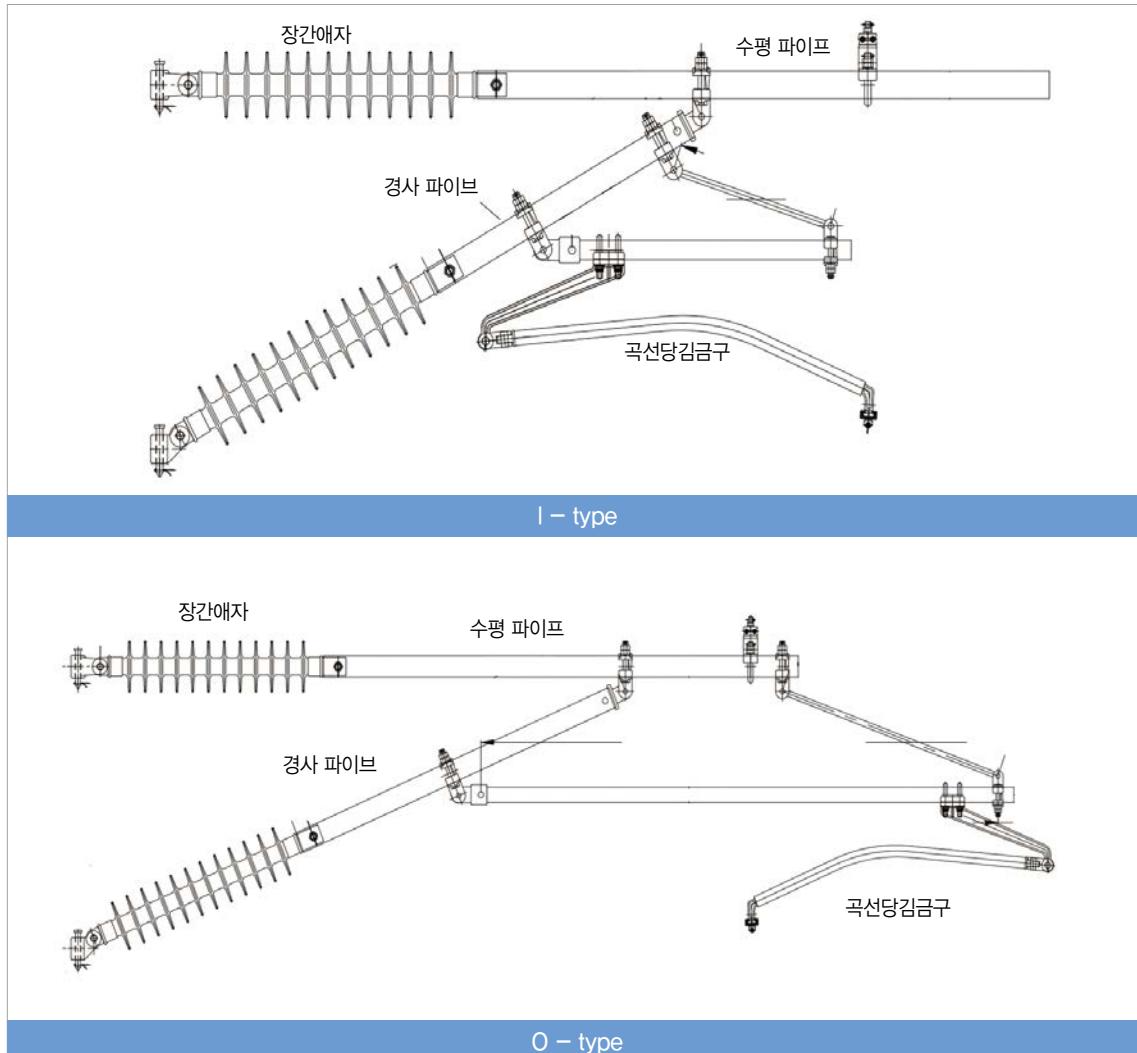
7.2.4.4.1 가동브래킷의 종류

(1) I형(In Type)

곡선로에서 선로의 외측에 지지물을 설치하고 가동브래킷의 곡선당김금구를 지지물 측에 설치하는 방법이다.

(2) O형(Out Type)

곡선로에서 선로의 내측에 지지물을 설치하고 가동브래킷의 곡선당김금구를 지지물의 반대측에 설치하는 방법이다.



[그림 7-13] 가동브래킷의 종류

※ 자료 : “철도용품 공사규격서” 한국철도공사

7.2.4.5 평행틀

전차선 평행 개소(Over Lap) 등에서 1본의 전주에 2개(고속철도 구간은 3개)의 가동브래킷을 지지하기 위한 지지물을 평행틀이라 한다.



[그림 7-14] 평행틀

7.2.4.6 하수강

전주의 건식이 곤란한 개소에서 고정비임이나 터널의 천장 아래로 가동브래킷 또는 곡선당김장치 등을 지지하기 위한 구조물이다.

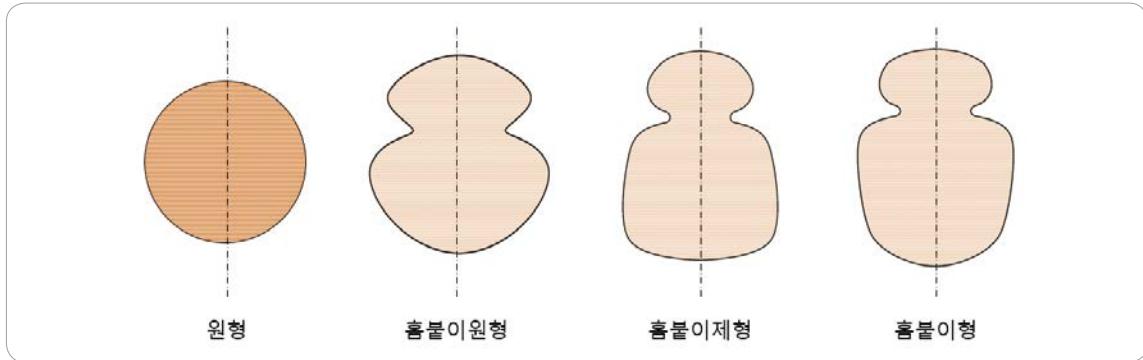
7.2.5 가공 전차선

7.2.5.1 전차선(Trolley Wire or Contact Wire)

전차선은 레일면상 일정한 높이로 가선되어 전기차의 팬터그래프와 직접 접촉하여 전기차 모터에 전원을 공급하기 위한 전선으로, 전차선로에서 열차의 안전 운행과 직결된 전선을 말한다.

7.2.5.1.1 요구 조건

- (1) 가선 장력에 대하여 충분히 견딜 수 있도록 인장 강도가 클 것
- (2) 팬터그래프 통과 및 집전에 지장이 없도록 도전율이 높고, 전류용량이 크며, 내열성이 우수할 것
- (3) 내마모성 및 내식성이 우수하고 피로 강도에도 충분할 것
- (4) 접속 개소의 통전 상태가 양호할 것



[그림 7-15] 전차선 단면 형상

7.2.5.1.2 전차선의 단면 형상

전차선의 단면 형상은 원형, 제형, 이형 등으로 분류하며, 직류방식의 지하 구간은 제형을, 교류 방식의 지상 구간은 원형을 사용하고 있으며, 경부고속철도 구간에는 팬터그래프와의 접촉면이 큰 이형 홈붙이 전차선을 사용하고 있다.

7.2.5.1.3 전차선의 설치 높이

가공 전차선의 높이는 레일 면에서 전차선까지의 높이를 말한다. 전차선 공칭 높이는 5,000mm에서 5,200mm까지로 하고, 일반철도에서 표준 높이는 5,200mm, 고속철도에서는 전차선로의 설계 속도, 차량 재원을 고려하여 최적의 높이로 한다. 전동차 전용 지하구간에서 강체 전차선의 높이는 레일면 상 4,750mm 이상으로 하고 차량 구조에 따라 조정 할 수 있다.

7.2.5.1.4 전차선의 편위

전차선과 궤도 중심선과의 거리를 편위라 한다. 전차선의 편위가 지나치게 크면 팬터그래프가 전차선에서 벗어나 사고가 일어나므로, 궤도 중심에서의 편위는 다음과 같은 시설 기준에 맞게 시공 또는 유지 보수를 하여야 한다.

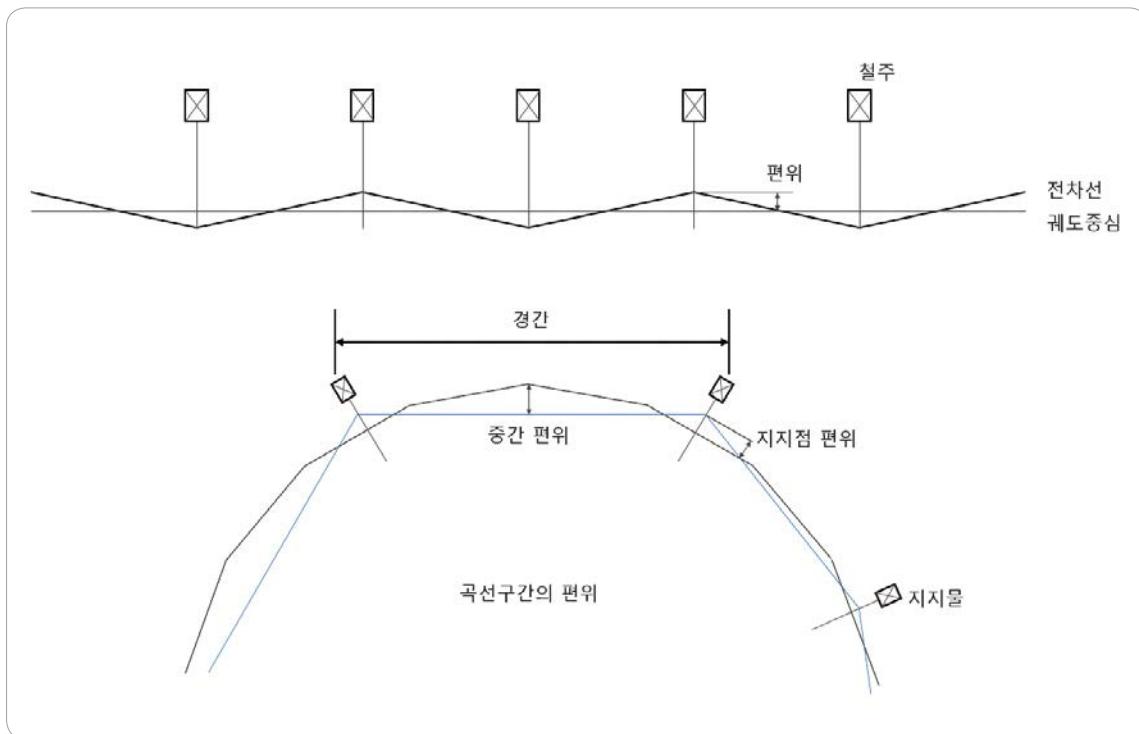
(1) 전차선의 편위를 정하는 요소

- 1) 차량 동요에 의한 팬터그래프의 편위
- 2) 풍압에 의한 전차선의 편위
- 3) 곡선로에서 전차선의 편위
- 4) 가동브래킷, 진동방지금구의 회전에 의한 전차선의 편위

5) 지지물 경사에 의한 전차선의 편위

(2) 전차선의 편위 시설 기준

- 1) 레일 면과 수직인 궤도 중심 면에서 200mm를 표준으로 하고 최대 250mm까지 할 수 있다.
- 2) 본선의 직선로 및 곡선 반경 1,600m 이상의 곡선로에서는 좌·우 각각 200mm, 곡선 반경 1,600m 미만인 곡선로에서는 선로 외측으로 200mm의 편위를 둔다.
- 3) 강풍 구간 및 승강장 구간은 100mm 이하로 한다.
- 4) 곡선로의 경간 중앙에서 편위는 150mm로 한다.



[그림 7-16] 전차선 편위

(3) 전차선의 편위 250mm 근거

전기차의 궤도면상 585mm인 점을 중심으로 좌우 610mm인 점이 수평에서 상하 최대 32mm 이동한다고 볼 때, 팬터그래프의 편위는 $(5,200 - 585) \times 32/610 = 242\text{mm}$ 이다.

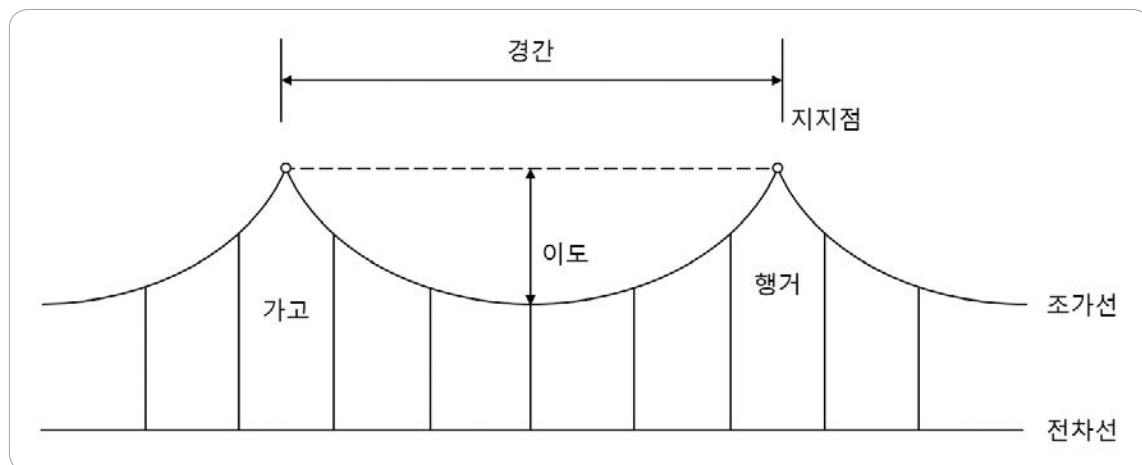
팬터그래프가 가공 전차선과 접촉하는 유효 폭을 약 1,000mm라 보면, 가공 전차선의 허용 수평 거리는 $1,000/2 - 242 = 258\text{mm}$ 으로 이것을 250mm로 정한 것이다.

7.2.5.1.5 전차선의 기울기

- (1) 열차 속도 150km/h 이상 1,000분의 1 이하, 150km/h 미만 1,000분의 3 이하
- (2) 터널, 구름다리, 건널목 등이 인접한 장소는 1,000분의 4 이하
- (3) 측선은 1,000분의 15 이하
- (4) 지하 강체 구간은 1,000분의 1 이하
- (5) 고속철도는 열차 속도 250km/h 이상에서 구배는 0이며, 250km/h 미만 200km/h 이상은 1,000분의 1 이하이다.

7.2.5.1.6 전차선의 가고

커티너리 전차선에서 지지점에 대한 조가선과 전차선과의 중심 간격을 가고라 한다. 심플, 헤비 심플 커티너리 표준 가고는 960mm로 하며, 교량, 터널, 구름다리 밑 등 부득이한 경우는 710mm, 500mm, 180mm로 단축할 수 있다. 열차 속도 향상에 따라 전차선의 압상량이 증대됨으로써 1,100mm, 1,250mm로 증대되고 있으며, 고속철도에서는 가고를 1,400mm 이상으로 크게 하고 있다.



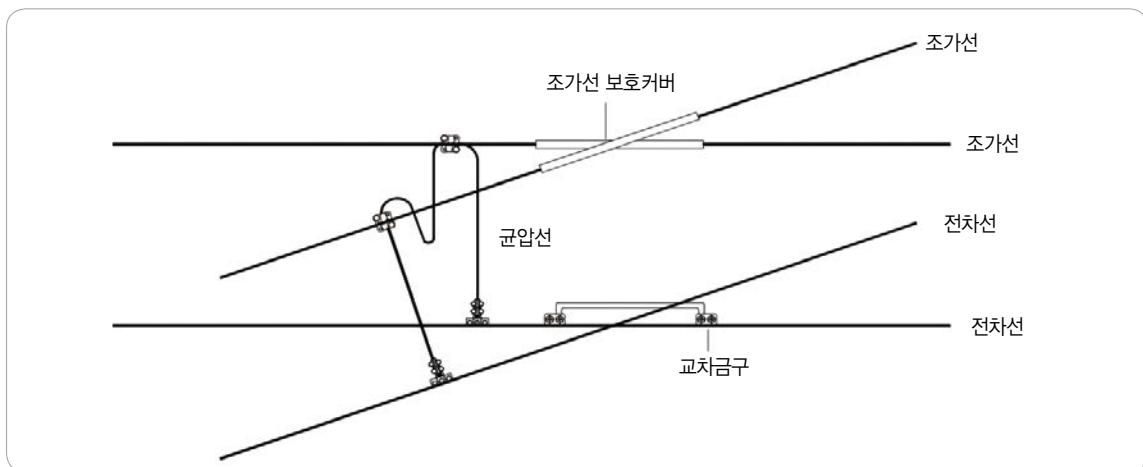
[그림 7-17] 전차선 가고

7.2.5.2 건널선장치

선로가 교차하는 분기 장소에서 각 선로에 전기차를 운행할 수 있도록 전차선을 교차시켜 팬터그래프의 집전을 가능하게 하는 설비이며, 교차하는 두개의 전차선의 레일 면상 높이를 같게 유지하여 팬터그래프의 통과에 지장이 없도록 하기 위한 설비이다.

7.2.5.2.1 건널선장치의 구성

역 구내의 본선 및 측선에 가선된 전차선은 선로의 분기 개소에 있어서 서로 교차하므로, 2조의 커티너리 가선이 1개의 교차 금구로 기계적으로 연결되고 균압선에 의해 전기적으로 연결된 구조로 되어 있다.



[그림 7-18] 건널선장치 구성

※ 자료 : 국가철도공단 2016.08.24 KR E-03190 “건널선 장치”

7.2.5.2.2 건널선장치 시설 방법

- (1) 운전 빈도가 높은 주요 선(본선)을 하부로 시설한다.
- (2) 전차선이 교차하는 개소에는 교차금구를 시설하고 조가선 상호 간 및 전차선 상호 간 또는 조가선과 전차선을 일괄 균압선으로 접속한다.
- (3) 교차금구는 팬터그래프의 통과에 지장을 주지 않도록 시설한다.
- (4) 교차금구의 표준 길이는 다음과 같다.
 - 1) 12번 분기 이하 : 1,400mm
 - 2) 15번 분기 이상 : 1,800mm

7.2.5.3 장력조정장치

전선로는 온도 변화에 의해 신축하며, 외기 온도가 상승하면 전차선이 늘어나 장력이 감소하고, 이로 인하여 전차선의 치짐 현상이 일어난다. 전차선 치짐 개소에 팬터그래프가 통과하게 되면 가선 진동이 증대하여 이선(離線)과 아크(arc)가 발생하고, 전차선이나 팬터그래프 집전판에 마모가 발생

하여 전차선 단선 사고가 발생한다. 이것을 방지하기 위하여 전차선의 장력을 일정한 크기로 유지하기 위한 설비를 장력조정장치라 한다.

7.2.5.3.1 장력조정장치의 종류

(1) 활차식

활차의 원리를 이용한 것으로 소활차에 전차선을 고정하고 대활차에 중추를 걸어 내린 것이다. 활차비는 3:1, 4:1, 5:1 등이 사용되고 있으며, 전차선과 조가선을 한꺼번에 조정하는 방식과 각각 조정하는 방식으로 2톤, 3톤용이 사용되고 있다.



[그림 7-19] 활차식 자동장력조정장치

※ 자료 : 제룡산업주식회사 제공



[그림 7-20] 스프링식 자동장력조정장치

※ 자료 : 제룡산업주식회사 제공

7.2.5.4 구분장치(Section Insulator)

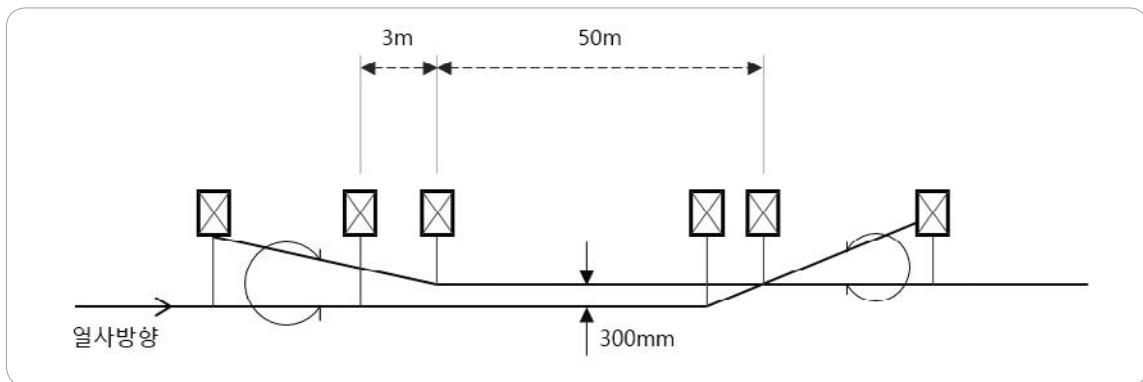
7.2.5.4.1 개요

전차선로의 일부 구간에 단선 및 장애 등의 사고가 발생한 경우, 또는 정전작업의 필요가 생긴 경우에 정전 구간을 한정하고, 다른 구간의 열차 운전 확보를 목적으로 하여 팬터그래프의 습동에 지장을 주지 않으면서 전차선을 전기적으로 또는 기계적으로 구분하는 장치를 말한다.

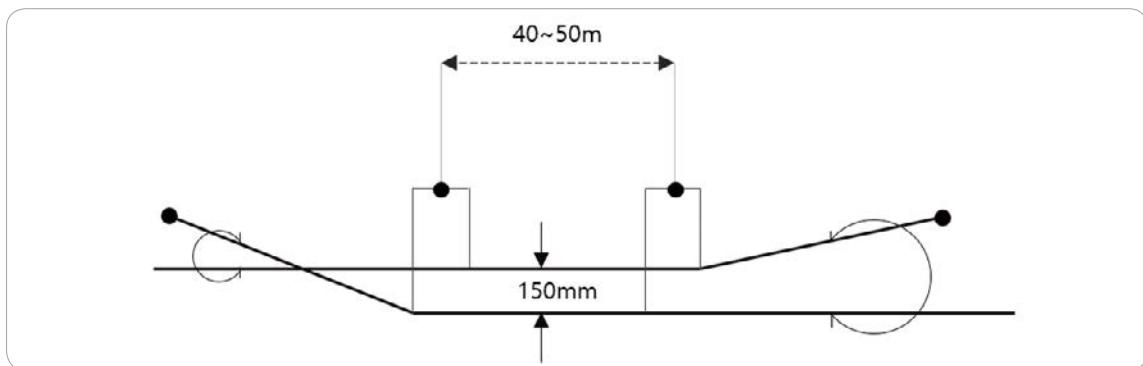
7.2.5.4.2 구분장치의 종별

(1) 에어섹션(Air section)

집전 부분의 전차선에 절연물을 넣지 않고 전차선 상호 간의 평행 부분을 일정 간격으로 유지시켜 공기의 절연을 이용한 구분 장치이다. 철도 전철전력설비 설계지침에는 평행 부분의 경간 길이가 40m 이상인 경우 1경간으로 하고, 40m 미만인 경우 2경간으로 구성하도록 되어 있다.



[그림 7-21] 에어섹션



[그림 7-22] 에어조인트 (한 경간)

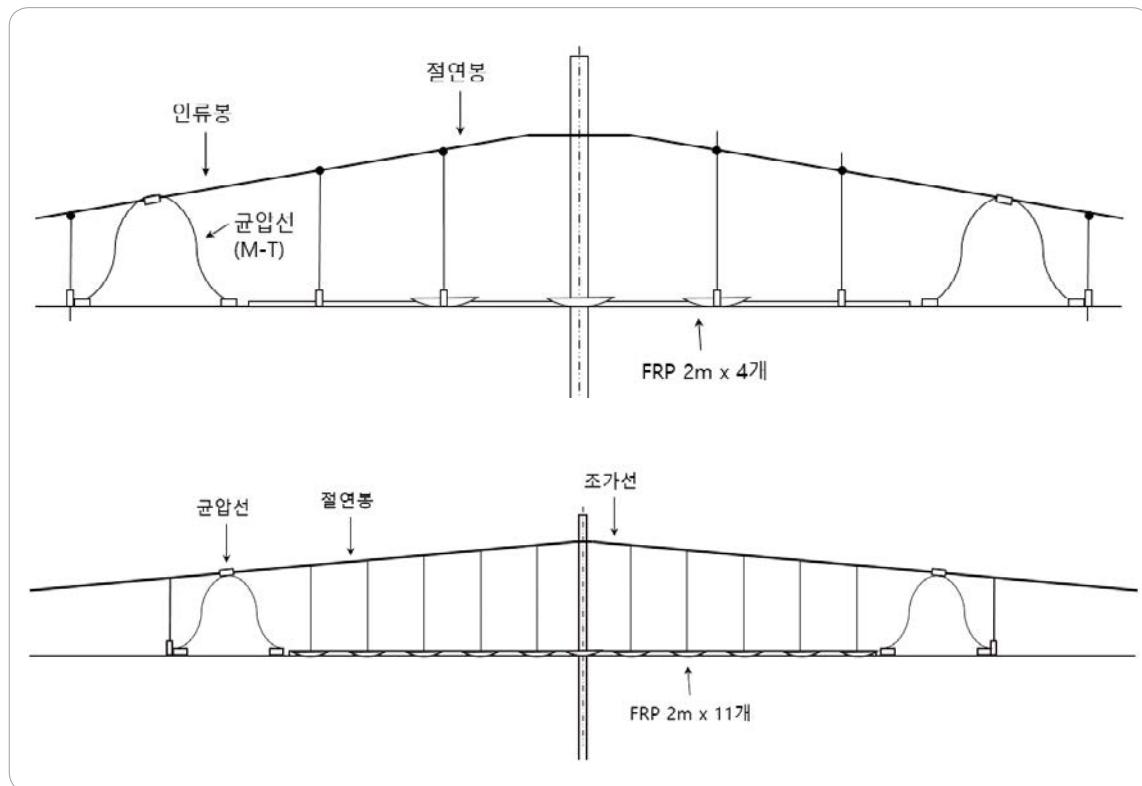
(2) 에어조인트(Air joint)

전차선 가선 시 무한정 가선할 수 없으므로 작업의 편리성을 위해 온도 변화 등에 의한 전차선의 신축 때문에 전차선을 일정 길이마다 인류하기 위해 설치하는 기계적인 구분장치이다. 경간이 40m 이상일 때 1 경간으로 하고, 40m 미만일 때에는 2경간으로 구성한다.

(3) 이상 절연구분장치

1) FRP(Fiberglass Reinforced Plastics) 방식

변전소(SS) 및 급전 구분소(SP) 급전 인출구 등에서는 서로 다른 전원의 상호 접촉을 방지하기 위하여 전차선을 전기적으로 구분하여야 한다.



[그림 7-23] FRP 절연구분장치 8m용(위)과 22m용(아래)

2) 이중 절연방식

절연구분장치 개소에 절연체를 사용하지 않고 에어센션을 양측에 2중으로 설치하고 중간에 전차선 무가압 구간을 약 47m 정도 삽입한 구조로, 경부고속철도 절연구분장치에 사용하는 방식이다.

7.2.6 직류 가공 전차선로

7.2.6.1 개요

직류 전차선로 방식은 지상 구간, 지하 구간 및 지상과 지하 구간이 만나는 이행 구간으로 분류되며, 가공선 방식으로 우리나라 지하철에는 DC 1,500V 방식을 사용하고 있다. 지상 구간은 헤비 심플커티너리 방식을, 차량기지 등에는 심플 커티너리 방식을 사용한다.

이행 구간은 트윈 심플커티너리 방식으로 설치되어 있으며, 지하 구간은 부산 지하철의 경우 콤파운드 커티너리 방식을 서울 등 5개 광역 도시철도는 강체 가선방식으로 시설되어 있다.

7.2.6.2 강체 전차선로

전차선을 조가하기 위한 별도의 조가선을 사용하지 않고 강체 bar를 사용하여 직접 조가하는 방식으로 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) 터널 구조물의 단면적을 축소할 수 있어 건설비가 절감된다.
- (2) 전차선이 알루미늄 bar에 시설되어 장력조정장치, 곡선당김장치, 진동방지장치가 필요하지 않다.
- (3) 유지 보수가 쉽고, 전차선의 단선 사고가 발생하지 않는다.
- (4) 직류 방식에서는 급전선 및 조가선을 별도로 설치할 필요가 없다.
- (5) 집전 특성이 좋지 않아 열차 운행 속도가 제한된다.
- (6) 유연한 가요성(可撓性)이 없어 이선에 의한 전차선의 마모가 심하다.

7.2.6.2.1 T-bar 방식

터널 천장에 전식 방지를 위하여 절연매립전을 설치하고 애자지지금구를 5m 간격으로 설치하여 애자로 T-bar를 고정시키고 T-bar의 아래 면에는 롱이어(Long ear)로 전차선을 볼트로 지지하는 구조이다.

T자형의 알루미늄합금제로 단면적은 2,100mm²이고, 1본의 길이는 10m이며, 아르곤 가스용접으로 T-bar 상호 간을 접속한다.

7.2.6.2.2 R-bar 방식

(1) 개요

교류 터널 구간에 전차선을 조가선 없이 Rigid bar에 삽입하는 방식으로, 알루미늄 합금제를 사용하며, R-bar의 표준 지지 간격은 10m이고, 우리나라에서는 과천선, 분당선, 신분당선에 사용하고 있다.

(2) R-bar 전차선로의 구성

1) 급전선(Positive feeder)

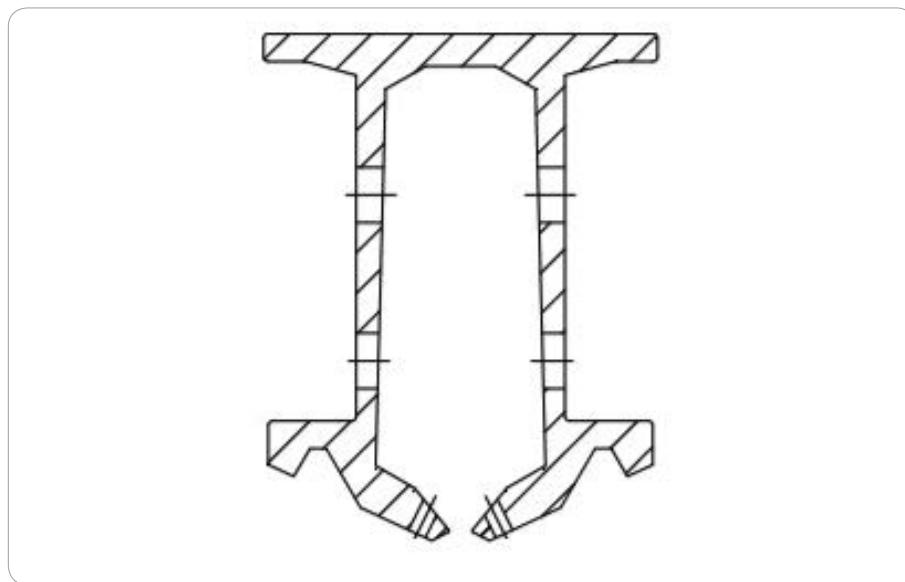
AT 급전방식의 터널에 설치하는 전선으로, 지지애자(NSP 50)에 의해서 Cu-OC 200㎟를 사용하고 있다.

2) 비절연 보호선(FPW)

철제류, 지지물 등을 귀선 레일에 접속하는 비절연 방식으로, 대지에 대하여 절연하지 않는 전선으로 Cu 75㎟를 사용한다.

3) R-bar

R자형의 알루미늄합금제로 단면적은 2,214㎟이고 1본의 길이는 12m이며, R-bar 상호 간은 접속 금구로 연결한다.



[그림 7-24] 강체 R-Bar

※ 자료 : 국가철도공단 2018.12.27 KRSA-3072-R2 “강체전차선(R-Bar) 시스템”

4) R-bar 브래킷(Bracket)

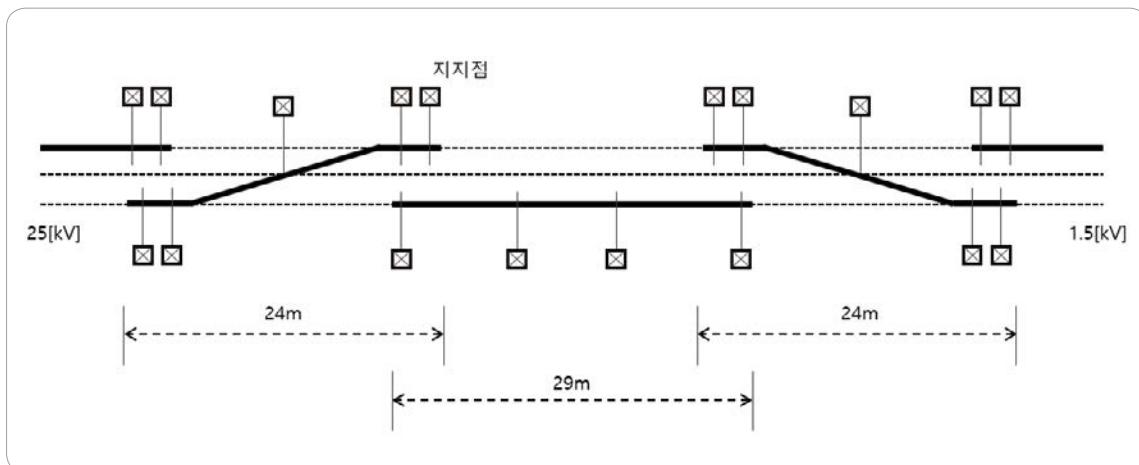
H형강주 등 지지물에 설치하여 R-bar를 지지하며 꼬리금구, 머리금구, 접지봉 연결금구, 장간 애자로 구성되어 있다.

5) 신축 장치(Expansion Device)

R-bar의 온도 신축에 따라 400~600m를 기준으로 접속 개소를 두는 것을 말하며, 최대 500mm 상호 신축이 가능하고, 커렌트 브릿지는 구리리본(300mm)으로 상호 연결되어 있다.

6) 절연 구분 장치

AC 25kV와 DC 1,500V의 교/직류 절연구분장치와 변전소 이상(異相) 구분장치는 그림과 같이 2중 에어섹션을 설치하여 구분하며, 약 70mm 정도 강체의 끝부분을 위로 구부린다.



[그림 7-25] 절연 구분 장치

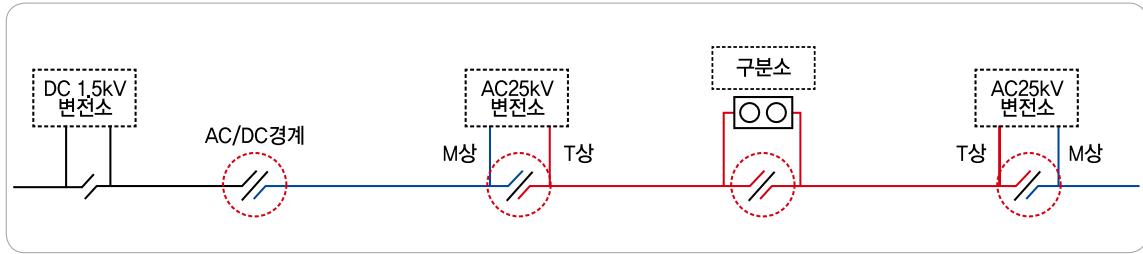
7.2.7 전차선로와 열차 운전

7.2.7.1 절연구간과 열차 운전

7.2.7.1.1 절연구간(Neutral Section)의 필요성과 설치 기준

(1) 절연구간(絶緣區間 Neutral Section)이란

전기차에 공급되는 이종(異種)의 전기 방식인 교/직류 방식 간의 연결 부분이나, 교류 방식에서 전기 공급 변전소가 다른 경우, 또는 변전소와 변전소 간 및 동일 변전소에서 공급되는 이상(異相)의 전기를 구분하기 위하여 전차선의 일정 구간을 전기가 통하지 않는 물체(FRP)로 구분하는 장치를 말한다.



[그림 7-26] 절연구간

(2) 절연구간의 필요성

1) 교/직 절연구간

직류방식(DC 1,500V)을 사용하는 서울교통공사와 교류방식(AC 25,000V)을 사용하는 한국철도공사(코레일) 구간을 전기적으로 구분하기 위하여 설치(이종(異種) 전기 구분)한다.

2) 교/교 절연구간

변전소 앞이나 변전소 간에 이상(異相)의 전기를 구분하기 위하여 설치한다.

(3) 절연구간의 설정 기준

1) 절연구간 통과 시에는 전기차가 동력이 없는 상태인 무동력(타행)으로 운행 시 운전을 원활히 하기 위하여 가급적 평坦지 또는 하(下)구배 및 직선구간에 설치한다.

2) 절연구간 적정 위치 선정 조건

곡선 반경 (R) = 800m 이상, 평지 또는 하(下)구배에 설치함을 원칙으로 하나, 상(上)구배일 경우 5% 이내인 곳에 설치한다.

7.2.7.2 절연구간 안전 설비

(1) 고속선 구간은 절연구간에서 ATC 불연속 정보를 수신하여 절연구간 표시 램프가 점등되고 주회로 차단기(MCB)가 자동 개방 및 투입된다.

(2) 수도권 및 산업선(ATS 설치 구간)은 절연예고장치를 설치하여 절연구간 통과 시 기관사에게 음성으로 경고한다.

(3) 경부선 및 호남선 전철화 구간

열차방호장치(ATP)의 지상장치(Balise)를 통해 차상장치에서 주 회로차단기(MCB)가 자동 개방 및 투입된다.

[표 7-7] 절연구분장치 설치 현황

구 분	형식	수 량	비 고
교류/교류	이중 공기 절연 (2중 오버랩)	127	경부고속선(30), 호남고속선(18), 경부선(24), 가야선(3), 경전선(6), 중앙선(2), 경의선(6,R-bar), 경강선(8), 동해남부선(1), 전라선(16), 분당선(2×R-bar), 경강선(1×R-bar), 수서평택선(8), 호남선(2)
	애자 절연 (NS-25)	46	호남선(18), 경부선(8), 태백선(2), 중앙선(6), 건천연결선(2), 대구북연결선(2), 동해선(2), 경강선(4), 경전선(2)
	합성수지 절연 (FRP)	91	경부고속선(2), 경인선(12), 가야선(1), 중앙선(7), 태백선(5), 영동선(9), 경원선(4), 경춘선(8), 오송선(2), 안산선(2), 충북선(9), 경의선(4), 경부선(19), 분당선(2), 수인선(2), 대불선(1), 대전선(1), 망우선(1)
교류/직류	FRP	6	1호선[경부선(2), 경원선(2)], 4호선[과천선(2)]
합 계		270	

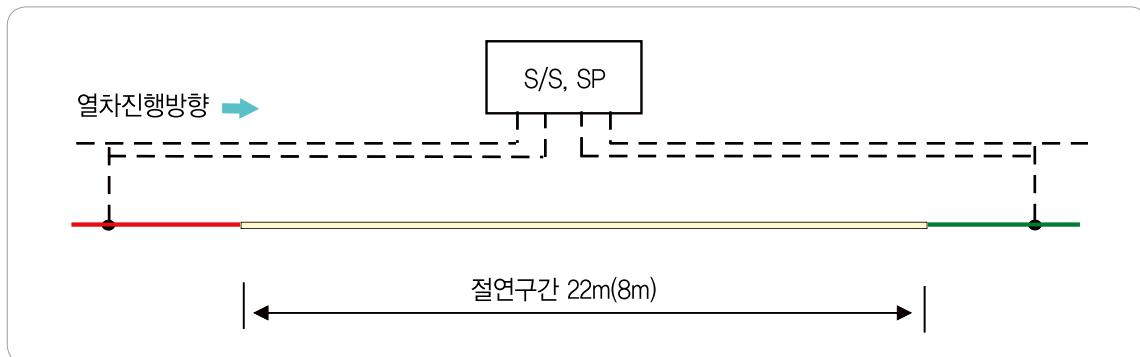
[표 7-8] 전동차 운행 구간의 절연 구분 장치

선 별	구 간	구 분	길 이
1호선	• 지하서울역 ~ 남영역 간 • 지하청량리역 ~ 회기역 간	직류/교류	66m
4호선	• 남태령역 ~ 선바위역 간	"	66m
경원선	• 회룡역 ~ 의정부역 간 • 서빙고역 ~ 이촌역 간	교류/교류	22m 22m
망우선	• 광운대역 ~ 망우역 간	"	22m
중앙선	• 회기역 ~ 종량역 간 • 구리역 ~ 도농역 간	"	22m 22m
경의선	• 서울역 ~ 신촌역 간	"	22m
경부선	• 구로역 ~ 가산디지털단지역 간	"	22m
	• 금천구청역 ~ 안양역 간		22m
	• 군포역 ~ 의왕역 간		22m
	• 수원역 ~ 세류역 간		22m
	• 서정리역 ~ 평택역 간		22m
고속선	• 금천구청역 ~ 광명역 간	"	22m
경인선	• 구일역 ~ 개봉역 간	"	22m
	• 송내역 ~ 부개역 간		22m
	• 도화 ~ 제물포 간		22m
안산선	• 수리산역 ~ 대야미역 간	"	22m
분당선	• 모란역 ~ 야탑역 간	"	22m

7.2.7.3 절연구간의 열차 운전

7.2.7.3.1 절연구분장치의 구조

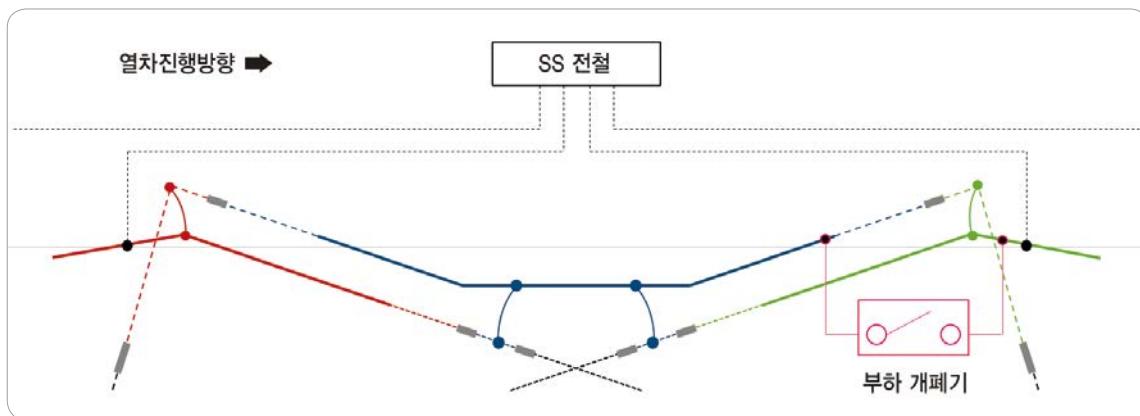
(1) 교류/교류 절연구간의 길이는 22m이며, 2m 용 FRP(절연체)를 11개 연결한 구조이다.



[그림 7-27] 교류/교류 절연구간

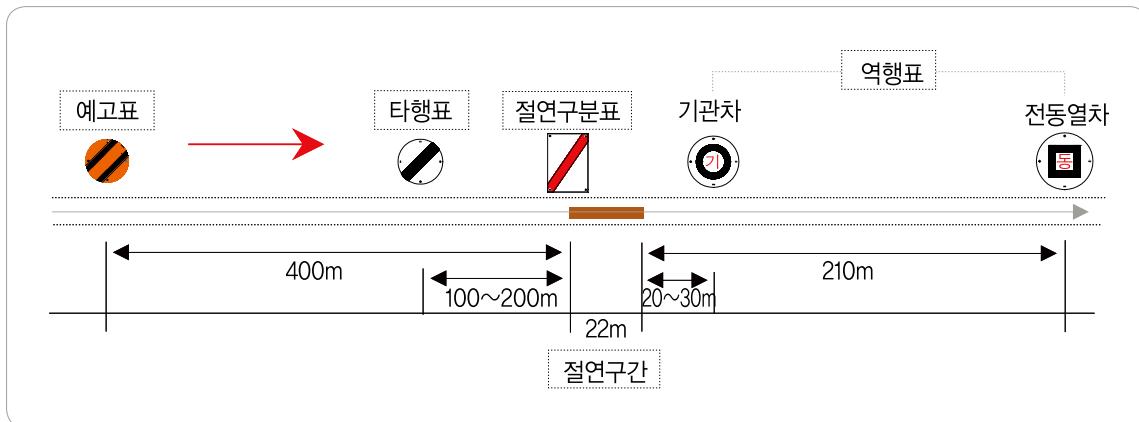
(2) 교류/직류 절연구간의 길이는 66m로서 2m(FRP) × 11개 + 22m(전차선) + 2m(FRP) × 11개로 (확인/22+22+22=66m로 반복되는 것입니다.)되어 있으며, 전차선은 항상 가압되어 있지 않다.

(3) 기타 열차 운행 속도 및 선로 상태, 운행 차량의 특성에 따라 에어섹션 2개를 이용하여 절연구간을 구성하는 이중 절연방식이 있다.



[그림 7-28] 이중 절연방식

7.2.7.3.2 운전 관련 절연구간 각 표지류와 설치 기준



[그림 7-29] 운전 관련 절연구간 각 표지류와 설치 기준

7.2.7.3.3 절연구간의 열차 운전 방법

(1) 교/교 절연구간

절연구간에 열차 진입 전 회생제동 차단, 동력핸들(Notch) off 하고 절연구간을 무동력(타행)으로 통과한 후 동력 운전(역행) 취급한다.

(2) 교/직 절연구간

절연구간에 열차 진입 전 회생제동 차단, 동력핸들(Notch) off 한 후 교/직절환스위치를 조작하고 절연구간을 무동력(타행)으로 통과한 후 동력 운전(역행) 취급한다.

7.2.7.3.4 절연구간 운전 미(未)취급 시 시설 장애

(1) 모든 절연구간을 동력핸들(Notch) off 하지 않고 통과할 경우, 절연구간에서는 아크(Arc)가 발생하여 절연구분장치의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라, 이상전압 등으로 인해 변전소의 계전기 를 동작시켜 트립(Trip) 등이 발생한다.

(2) 특히 교/직 절연구간에서 교/직절환스위치 미(未)조작 상태로 절연구간을 통과할 경우, 전기 차는 무전압을 감시하여 전동차 주 회로를 자동 차단하는 보호회로 기기가 작동되나, 보호 회로 기기가 작동하기 전에 직류 및 교류 구간으로 진입하면 전동차의 퓨즈(Fuse)나 피뢰기 (Arrester)가 동작하는 사고가 발생한다.

7.2.7.3.4 절연구간 열차 정지 시 조치 방법

(1) 전기동차가 교/교 절연구간에 정차한 경우

- 1) 후진 운전(퇴행)일 경우, 운전 관제사에게 보고하여 후진 운전(퇴행) 승인을 얻는다.
- 2) 회생제동을 차단하고 차장과 협의하여 적당한 지점까지 후진 운전(25km/h 이하)한 후, MCB 차단 시 투입 후에 계속 운전한다.

(2) 전기동차가 교/직 절연구간에 정차한 경우

- 1) 전부(前部) 팬터그래프 1개가 절연구간에 정차하거나, 또는 전부(前部) 팬터그래프가 절연구간에 인접하여 정차한 경우

- ① 전차선 전원과 ADS(교/직절환스위치) 위치를 합치시켜 MCB를 투입한다.
- ② 후진 운전(퇴행)일 경우, 운전 관제사에게 보고하여 후진 운전(퇴행) 승인을 얻는다.
- ③ 회생제동을 차단하고 차장과 협의하여 일정 거리까지 후진 운전(ATC구간 15km/h 이하, ATS구간 25km/h 이하)한 후, 절연구간 전방에서 교/직 절환하여 계속 운전한다.

- 2) 전부(前部) 팬터그래프 이후의 팬터그래프가 절연구간에 정차한 경우

- 앞의 유닛의 MCB가 투입되어 있으므로, 그대로 인출하여 전도 운전한다.

7.2.7.4 열차 운전 관련 각종 표지류

7.2.7.4.1 가선종단표

- (1) 전차선로가 끝나는 지점에 설치하여 더 이상 전차선이 없음을 표지

(2) 운전 방법

전기기관차, 전기동차(이하 전기차)는 이 표지를 넘어서 운전하지 못한다.

7.2.7.4.2 구분표

- (1) 전차선의 절연구분장치 시작 지점에 설치

- (2) 전기적 구분장치가 있음을 알림(즉, 같은 상(相) 전기를 분리할 때나 측선 또는 본선 등 작업 시 정전으로 분리될 경우)

(3) 운전 방법

전기차 운전 중 팬터그래프가 절연구분장치에 정지하지 않도록 하여야 한다.(머무르거나 정지하면 장애가 발생)

7.2.7.4.3 팬터내림예고표와 팬터내림표

- (1) 전차선 작업 시에 작업 장소를 알려 운전에 지장이 없도록 하기 위한 표시
- (2) 팬터내림예고표는 작업 전방 200m 이상(곡선은 400m 이상) 지점에 설치
 - 팬터내림표는 작업 전방 20m 이상 지점에 설치
- (3) 운전 방법

예고표지를 확인하고 관계처(관제사, 역 운전)에 무선 교신으로 작업을 확인한 후 지시에 따르거나, 작업 장소 접근 시(내림표 지점) 먼저 주의 기적을 올리고 팬터그래프를 하강시켜 타력으로 통과하여야 한다.

7.2.7.4.4 전차선 작업 표시

- (1) 역 구내외 본선에서 작업을 할 때, 그 작업 지점을 표시하기 위하여 전차선 작업 장소 200m(곡선 구간 400m 이상) 전방에 설치한다.
- (2) 운전 방법

전차선 작업 표지를 확인하였을 경우에는 주의 기적을 올려 열차 접근을 알려야 한다.



[그림 7-30] 운전 관련 각종 표지류

핵심정리

>>>

1. 전차선로의 특징은 전기차의 집전장치와 () 접촉 상태이며, 레일을 귀선으로 하는 1선 접지 회로로서 예비 선로가 없어 사고 · 장애 시 열차 안전 운행과 직결되는 설비이다.
2. 전차선로는 (), 가공 전차선로, (), 기기 설비와 보호설비로 구성되어 있다.
3. 가공 전차선의 조가방식은 직접 조가식, (), 강체 조가식이 있으며, 우리나라 일반 철도와 고속철도는 심플 커티너리 방식과 헤비 심플 커티너리 방식을, () 구간은 R-Bar와 T-Bar방식을 사용하고 있다.
4. 전차선의 높이, 편위, 구배 등은 () 와 ()에 적용하는 시설 기준이 다르므로 이에 대한 학습이 필요하다.
5. ()는 선로가 교차하는 분기 장소에서 각 선로에 전기차를 운행할 수 있도록 전차선을 교차시켜 팬터그래프의 집전을 가능하게 하는 설비이며, 교차하는 양 전차선의 레일 면상 높이를 같게 유지하여 팬터그래프의 통과에 지장이 없도록 하기 위한 설비이다.
6. ()는 전차선로의 일부에 단선 및 장애 등의 사고가 발생한 경우, 또는 정전작업의 필요가 생긴 경우에 정전 구간을 한정하고, 다른 구간의 열차 운전 확보를 목적으로 하여 전기적으로 또는 기계적으로 구분하는 장치이다. 에어섹션, 에어조인트, 이상 절연구분장치, 이중절연방식 등이 있으므로 이에 대한 학습이 필요하다.(에어조인트는 기계적인 구분장치이다.)
7. ()에서의 열차 운전 방법과 전차선로 표지류의 형상을 숙지하여 열차 안전 운행에 기여 할 필요가 있다.

7.3 변전 설비

학습목표

- 변전설비는 한국전력공사 변전소에서 154kV 또는 22.9kV를 공급받아 전철 변전소에서 열차 운전에 필요한 전압(AC 또는 DC)으로 변성하는 설비로, 그 역할과 기능에 대하여 설명할 수 있다.
- 직류 전철 변전소의 구성과 단선 결선도, 기기 등에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 교류 전철 변전소의 구성과 기기에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.

[핵심용어]

직류 고속도차단기, 실리콘정류기, 직류 부족전압계전기(80), 스코트결선변압기, 차단기, 가스절연개폐장치(GIS)

7.3.1 개요

변전설비는 전압을 변성시키는 설비이지만, 전철 변전설비는 일반 변전설비와 달리 전기차의 전원 공급을 주목적으로 하고 있다. 직류 전철변전소는 한국전력공사(KEPCO)에서 22.9kV를 공급받아 정류기를 통해 직류 600V, 750V, 1,500V, 3,000V로 전압을 바꾸어, 전차선로를 통하여 전기차에 전원을 공급한다. 우리나라의 직류전압은 직류 1,500V를 표준으로 사용하고 있다.

교류 전철변전소는 한국전력공사(KEPCO)에서 154kV를 공급받아 주 변압기(스코트 결선 변압기)를 통해 단상 55kV로 전압을 바꾸어, 전차선로를 통하여 전기차에 전원을 공급한다.

7.3.2 직류 전철 변전소의 구성

7.3.2.1 수전설비

수전설비는 한전에서 특별 고압 전원을 받기 위한 설비로 교류차단기, 단로기, 계기용변성기, MOF(Metering Out Fit), 수전 모션, 보호계전기 등으로 구성되어 있다.

7.3.2.2 변성설비

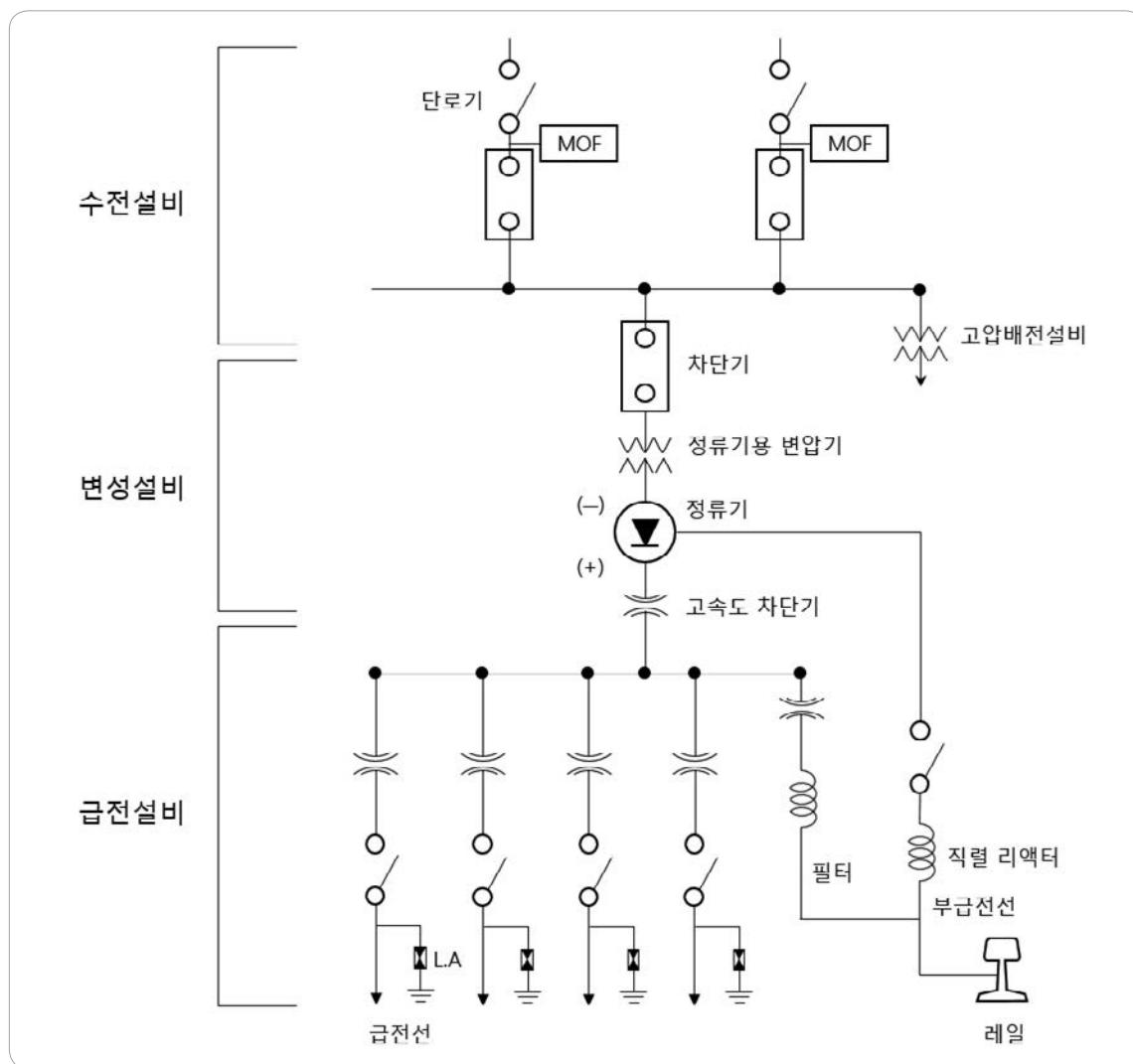
정류기용 변압기, 실리콘정류기, 교류차단기, 직류 고속도차단기, 변류기, 보호계전기 등으로 구

성되며, 특별 고압을 정류기용 변압기로 3상 AC 1,200V로 변환하고 정류기에서 DC 1,500V로 변성하여 전기차에 전원을 공급한다.

7.3.2.3 급전설비

변성된 DC 1,500V를 전차선을 통하여 전기차에 공급하기 위한 설비이며, 직류 고속도차단기, 단로기, 직류 변류기, 분류기, 직류 모션, Z 모션, 보호계전기 등으로 구성되어 있다.

7.3.2.4 직류 전철변전소 구성 및 단선 결선도



[그림 7-31] 직류 전철변전소 구성 및 단선 결선도

7.3.3 직류 전철변전소의 기기

7.3.3.1 직류 고속도차단기(HSCB)

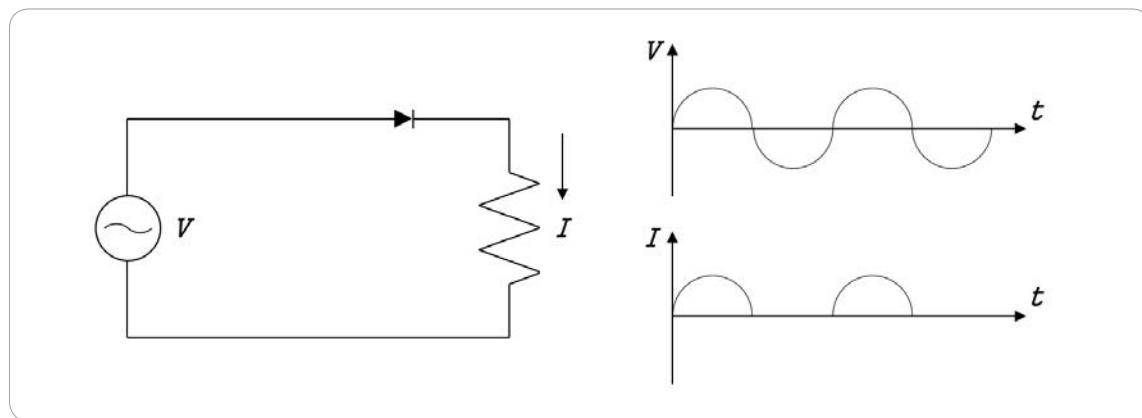
직류 변전소에서 정류기로부터 출력된 DC 1,500V를 전차선에 공급하는 주 차단기 및 피더(Feeder)용 차단기를 직류 고속도차단기(HSCB : high speed circuit breaker)라 하는데, 직류회로에서는 교류회로와 달리 고장 전류의 극성이 일정하며 교류와 같이 $\frac{1}{2}$ 싸이클마다 0점을 통과하지 않는다. 그러하기 때문에 낮은 전압의 아크(arc) 단락이라도 고장 전류가 지속되고 자연적으로 소멸할 가능성은 적다. 따라서 고장 개소의 확대를 방지하기 위하여 되도록 빨리 고장 회로를 분리시켜야 하므로 직류 고속도차단기를 사용한다. 이 차단기는 사고 전류와 과부하 전류를 구별하여 선택 차단하는 능력이 필요하다. 사고 시 차단은 직류회로의 이상(異常) 전류 발생 시에 고속도로 개극(開極)하는데, 이때는 단위시간당 전류 증가율(Δi)을 가지고 부하 전류와 구별하여 차단하게 한다.

7.3.3.2 실리콘정류기

직류 전기철도에서 교류를 직류로 변환하는 장치는 당초 회전변류기, 수은정류기를 사용하였는데 1960년대 반도체 기술의 발전으로 실리콘정류기를 사용하고 있다.

7.3.3.2.1 정류 작용

실리콘정류기의 소자는 P형 반도체와 N형 반도체를 결합한 것이다. P형과 N형 반도체에 역방향으로 전압을 인가하면 캐리어의 양 소자 간에 이동이 곤란해지며, 순방향으로 전압을 인가하면 캐리어는 상대의 경계를 넘어 자유롭게 이동이 이루어진다.



[그림 7-32] 정류 작용

7.3.3.2 실리콘정류기의 특성

- (1) 구조, 취급이 간단하며 보수나 운전이 용이하다.
- (2) 냉각을 충분히 수행하면 온도 제어나 진공 유지의 필요가 없다.
- (3) 효율이 높고, 소형 경량으로 설치 면적도 적고, 가격도 저렴하다.
- (4) 순방향의 전압강하가 적고(0.8~1.5V), 역내전압이 높고 역전류도 대단히 적다.
- (5) 허용 온도가 높다.
- (6) 단시간 과부하 및 과전압 내성이 작다.
- (7) 내수성이 풍부하다.

7.3.3.3 직류 부족전압계전기(80)

급전 변압기 선로 측 양단에 80F, 전차선의 중간 지점(mid point)에 80A를 설치하여 전차선의 전압이 900V 이하가 되면 사고로 판단하여 작동함으로써 전압강하를 감지하여 회로를 보호하고 사고가 파급되는 것을 방지하는 효과가 있다.

7.3.4 교류 변전설비

7.3.4.1 개요

교류 전철변전소는 한국전력공사(KEPCO)에서 154kV를 공급받아 주 변압기에서 전압을 변성하여 단권변압기를 거쳐 급전선, 전차선을 통하여 부하설비인 전기차에 전원을 공급한다. 우리나라의 교류전압은 단상 55,000V를 최고 전압으로 사용하고 있다.

7.3.4.2 교류 전철 변전소의 구성

(1) 수전설비

수전설비는 한국전력공사에서 3상 154kV 특별 고압 전원을 받기 위한 설비로, 상용·예비 2회선을 수전하여 무정전을 확보하고 있으며, 차단기, 단로기, 계기용 변성기, MOF(Metering Out Fit), 수전 모션, 피뢰기, 보호계전기 등으로 구성되어 있다.

(2) 변압기설비

전차선로에 필요한 전압을 공급하기 위하여 구성된 급전용 주 변압기는 수전 전압인 3상 154kV]를 단상 55kV 2상(M상, T상)으로 변압하기 위하여 스코트결선변압기를 사용하고 있다.



[그림 7-33] 교류 변전설비

(3) 급전설비

주 변압기 2차 측의 급전용 모션으로부터 급전 인출 설비까지를 말하며, 차단기, 단로기, 피뢰기, 보호설비 및 단권변압기(AT) 등으로 구성되어 있다.

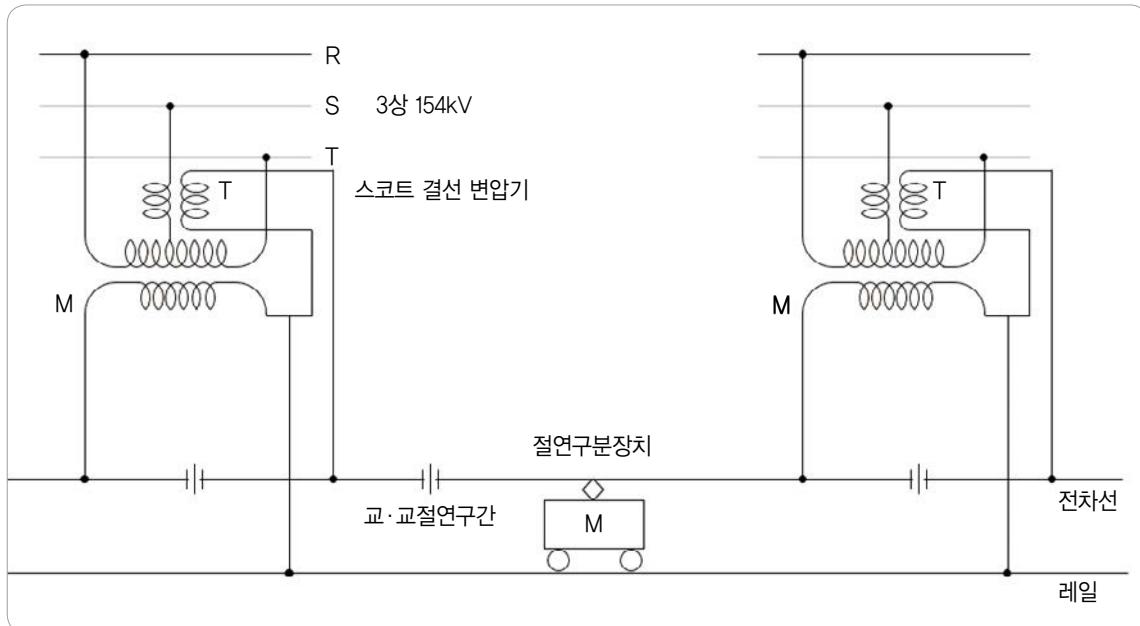
7.3.4.3 주요 변전기기

(1) 주 변압기(교류)

전철 변전소에서 사용되는 변압기는 스코트결선변압기로서, 이 변압기는 T결선방식의 변압기라고도 하며, 3상을 2상으로, 또는 2상을 3상으로 변환하는 방식의 변압기이다. 스코트결선(Scott Connection) 변압기에서는 아래 그림에서 보는 바와 같이, 1차 측은 역 T형으로 결선하여 3상에 접속하고, 2차 측은 역 L형으로 결선하여 단상 부하에 접속하는 것이다. 여기서 2차 측의 M상(Main Phase) 측과 T상(Teaser Phase) 측의 위상은 각각 90° 위상 차이를 가지고 있다.

(2) 차단기

전로를 개폐하기 위한 기기를 크게 나누면 무부하 상태에서 전로를 개폐할 수 있는 단로기 (Disconnecting Switch), 상시의 부하 전류 또는 과부하 정도의 전류를 안전하게 개폐할 수 있



[그림 7-34] 스코트결선 변압기에 의한 방식

는 부하 단로기(Load Disconnecting Switch), 그리고 유입 차단기 등과 같이 상시의 부하 전류는 물론 고장 시의 대전류도 지장 없이 개폐할 수 있는 차단기(Circuit Breaker)가 있다. 이 개폐 장치는 사용 목적에 따라 단독, 또는 조합에 의하여 사용되고 있으며 전력 계통 구성상 중요한 기기이다.

(3) 가스절연개폐장치(GIS)

전력 수요 증가에 따라 최근의 변전소는 점차 고(高)전압화되고 있는 추세로, 대도시 주변이나 도심지에 변전소가 위치하게 되므로 변전소의 위치 선정이 어려워졌다. 뿐만 아니라 염해, 먼지, 분진 등에 의한 오손, 소음 공해, 안전성 등의 문제를 해소하기 위하여 충전부를 접지된 탱크 내에 내장하고, 절연내력이 우수한 SF₆ 가스를 이용하여 절연 이격 거리를 대폭 축소시킨 가스절연개폐 장치(Gas Insulated Switch gear)를 사용하고 있다.

1) GIS에 내장되는 기기

GIS에 내장되는 기기는 차단기, 모선, 단로기, 접지 개폐기, 피뢰기, 계기용 변압기, 계기용 변류기 등이며, 지중 케이블인 경우 Cable Sealing end, 가공 선로인 경우 Air Bushing 등이 GIS에 내장된다.

2) GIS의 특징

- ① 종전의 옥외형 변전 설비에 비해 설치 면적이 약 1/4 축소된다.
- ② 모든 충전부는 접지된 탱크 내에 내장되고 SF6 가스로 절연되어 감전 및 화재의 위험이 없고 안정성이 높다.
- ③ 도전부, 접속부, 절연부 등의 충전부가 전부 가스로 충전된 탱크 내에 완전 밀폐되어 염해, 먼지, 분진 등에 의한 오손이나 강풍, 낙뢰 등의 외부 영향을 받지 않아 신뢰성이 높다.
- ④ 열화나 마모가 적어 모선이나 단로기 등의 보수가 필요 없다.
- ⑤ 가능한 각 유닛별로 완전 조립된 상태로 공급하므로 설치가 간편하고 설치 기간이 단축된다.
- ⑥ 조작 중에 발생하는 소음이 적고 라디오, TV의 방해 전파를 줄일 수 있다.

 핵심정리

>>>

1. 전철 변전설비는 일반 변전설비와 달리 전기차의 ()을 주된 목적으로 하고 있으며, 직류 전철 변전소는 한전에서 22.9kV를 수전하여 직류 600V, 750V, 1500V, 3000V로 변성하여 전기차에 공급하며, 우리나라 지하철은 직류 1500V, 경전철은 750V를 사용하고 있다.
2. 직류 전철변전소는 수전설비, (), 급전설비, 고압 배전설비, 소내용 전원설비로 구성되어 있다.
3. 직류 전기철도에서 교류를 직류로 변환하는 장치로서, 예전에는 회전변류기, 수온정류기를 사용했으나, 최근에는 구조, 취급이 간단하고 유지 보수, 운전이 용이한 ()를 사용하고 있다.
4. 교류 전철변전소는 수전설비, (), 급전설비, (), 고압 배전설비, 소내용 전원설비로 구성되어 있다.
5. 교류 전기철도의 급전용 변압기(MT)는 3상 154kV를 단상 55kV로 변환하는 ()를 사용한다.
6. 교류 전기철도의 개폐장치는 절연내력이 뛰어나고 유지 보수자의 안전을 고려하여 ()를 사용하고 있다.

7.4 원격제어장치(SCADA)

학습목표

- 원격제어장치(SCADA System)의 개념과 역할 수행에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 원격제어장치(SCADA System)의 주요 기능에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 원격제어장치(SCADA System)의 구성도를 보고 각 장치들의 역할 수행을 이해할 수 있다.
- 중앙제어소장치(CC)의 구성과 각 장치들의 역할 수행에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 원격소장치(RTU)의 구성과 각 장치들의 역할 수행에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.

[핵심용어]

원격제어장치(SCADA System), 중앙제어소장치(CC), 원격소장치(RTU), 통신장치(CU)

7.4.1 시스템의 개요

SCADA System은 Supervisory Control And Data Acquisition의 약자로서, 원격감시제어와 데이터 수집 시스템을 총칭하여 원격감시제어 시스템이라고 한다.

- (1) 지정한 장치를 제어할 수 있는 능력을 제공하고, 지시하는 대로 작동하는지 운전 상태를 확인하는 일을 한다.
- (2) 제어할 위치와 제어될 장치 사이의 거리가 직접 제어로는 불가능한 경우에 사용된다.
- (3) 일반적으로 한 개 이상의 특별한 장치들의 운전에 국한하지 않고, 전반적인 전력 시스템 운전에 관련된 대량의 데이터를 수집하도록 구성되어 있다.

7.4.2 시스템의 주요 기능

- (1) 원격 감시 기능
 - ① 시스템의 운용 및 통신 상태
 - ② 전철 · 전력 계통망의 상태(차단기, 단로기, 개폐기, 보호계전기, 출입문 등)
 - ③ 원격소 장치 및 통신회선의 상태 변화
- (2) 원격 제어 기능
동작 전 확인 방식(Select-Before-Operate)으로 3단계 제어

(3) 원격 계측 기능

- ① 아날로그 데이터를 순시 또는 주기적 측정
- ② 계측 포인트의 상·하한치를 설정 운용

(4) 기록 기능

(5) 경보 발생 기능

- ① 시스템 및 원격소 장치 고장 발생 시
- ② 전철·전력 계통상 사고, 장애 발생 시
- ③ 감시 포인트 상태 변화 시
- ④ 계측값의 상·하한치 초과 시

(6) 표시 화면 기능

(7) 일괄 제어 기능

수전 변전소의 정전 또는 급·단전 작업 시, 운용자의 선택에 의하여 컴퓨터가 자동으로 제어

(8) 자동 구간 검색 기능

계통 장애 시 자동으로 장애 구간을 검색하여 운용자에게 알려 주는 기능

7.4.3 시스템의 구성

전기철도 구간의 각 변전소, 급전구분소, 보조 급전구분소 등은 관제실(Control Center)에서 원격으로 감시제어 운용할 수 있도록 하고 있다. 원격 제어, 감시 서비스는 크게 나누어, 제어를 하는 중앙 제어 장치와 피(被)제어 장치가 되는 원격소장치(RTU)로 구성된 시스템과, RTU 없이 통신장치(CU)를 통하여 직접 상위 감시 제어소로 전송 및 수신할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다.

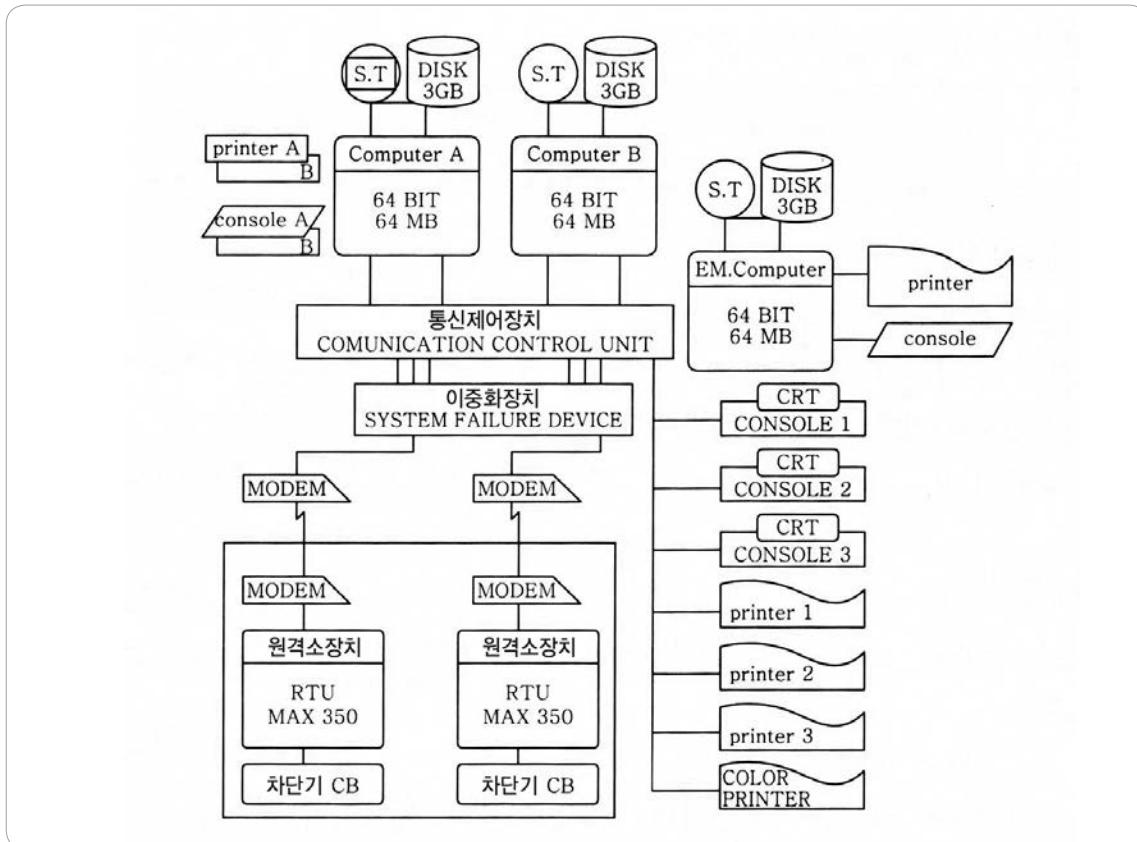
7.4.3.1 중앙제어소장치

(1) 주 컴퓨터장치

원격감시제어 시스템의 중추적인 역할을 담당하는 장치로, 수집된 각종 정보를 처리하며 제어 명령을 발생시키는 일을 수행한다.

(2) 인간/기계연락장치(MMI : Man Machine Interface)

운용자와 컴퓨터 시스템 간의 대화를 가능하게 해 주는 장치로, 운용자가 운용 상태를 점검할 수 있고 피(被)제어소를 선택해서 임의의 제어가 가능하도록 한다.



[그림 7-35] 전철 급전 원격제어 계통도

(3) 시스템 이중화장치

주 시스템의 장애가 발생하면 자동으로 통신 장치를 예비 시스템으로 절체(切替)를 하여 작업의 중단을 방지하는 장치이다.

(4) 근거리 통신 네트워크(LAN)

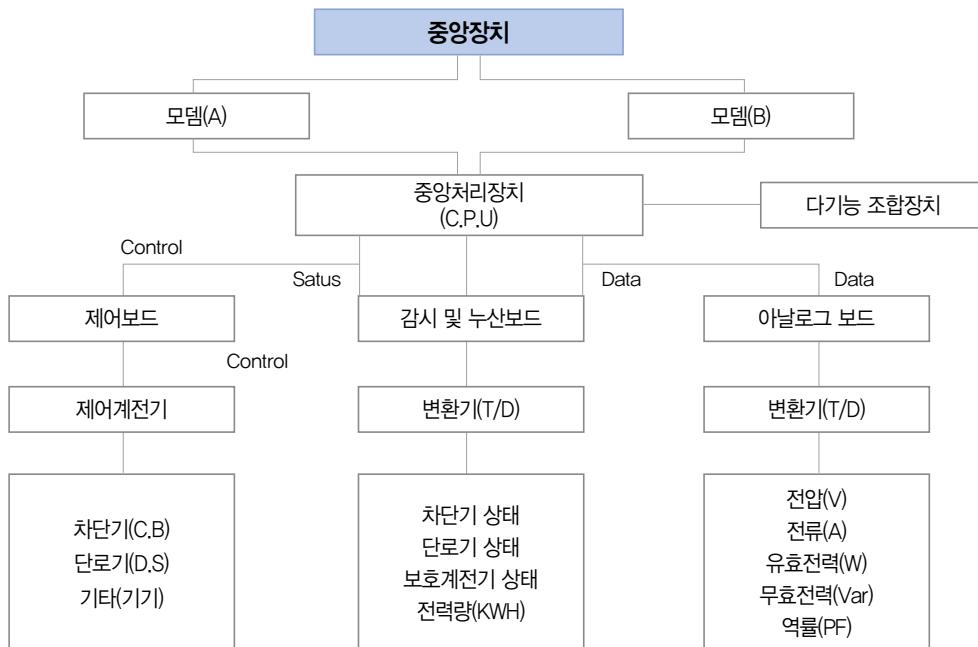
각 장치들 간의 고속 근거리 통신(LAN)이 가능하도록 해 주는 케이블 및 장치들과 용이하게 접속되도록 해 주는 장치이다.

(5) 무정전 전원장치(UPS)

상용 전원 또는 예비 전원의 전압, 주파수 변동 및 정전 시, 안정된 교류 전원을 중앙제어장치에 공급하는 장치이다.

7.4.3.2 원격소장치(Remote Terminal Unit – R.T.U)

RTU(Remote Terminal Unit) 장치는 피(被)제어소에 설치되어 변전설비로부터 현장 정보를 취득, 분석하여 제어소의 통신제어장치로 송신하고 통신제어장치로부터 제어 명령을 수신 처리할 수 있도록 설치된 장치로, 아래와 같이 구성되어 있다.



[그림 7-36] 원격소장치(Remote Terminal Unit)

▣ 핵심정리

>>>

- SCADA System은 Supervisory Control And Data Acquisition의 약자로서, 원격감시제어와 데이터 수집 시스템을 총칭하여 ()이라고 한다.
- 시스템의 주요 기능으로는 원격감시, (), 원격계측, 기록, (), 표시 화면, 일괄 제어, 자동구장구간 검색 기능 등이 있다.
- 원격제어, 감시 서비스는 크게 나누어, 제어를 하는 (), 와 피(被)제어 장치가 되는 ()로 구성된 시스템과, RTU 없이 통신장치(CU)를 통하여 직접 상위 감시 제어소로 전송 및 수신할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다.
- ()는 주 컴퓨터장치, 인간/기계 연락 장치, 통신제어장치, 시스템 이중화장치, 근거리 통신 네트워크(LAN), 맵보드(Map Board), 소프트웨어(Software)로 구성되어 있다.

7.5 경량전철 전기시스템

학습목표

- 경량전철(Light Rail Transit)의 특징과 종류에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.
- 안내궤조식 경량전철(AGT)의 전차선로 시스템의 구성도를 이해하고 설명할 수 있다.
- 선형 유도전동기 추진 시스템(LIM)의 특징을 이해하고 설명할 수 있다.
- 자기부상열차(MAGLEV)의 부상 원리(흡인식, 반발식)를 이해하고 설명할 수 있다.

[핵심용어]

안내궤조식 경량전철(AGT), 선형 유도전동기 추진 시스템(LIM), 흡인식, 반발식

7.5.1 개요

경량전철(Light Rail Transit)은 시간 / 방향당 5,000~30,000명 정도의 수송 능력을 갖고 차량 규모나 수송 인원은 기존의 중량 지하철보다는 작으나, IT 기술의 개발로 첨단 H/W 및 S/W를 탑재하여 운행 효율을 극대화하고 있다. 전용 궤도로 운행함으로써 도로 교통에 비해 정시성, 안전성, 친환경성을 갖춘 대중교통수단인 신(新)대중교통 시스템으로, 현재 용인, 김해, 의정부, 우이신설선 등에서 운행 중이다.

7.5.2 경량전철 전기시스템

7.5.2.1 안내궤조식 경량전철(AGT)

7.5.2.1.1 개요

AGT(Automated Guideway Transit)는 고가 등의 전용 궤도를 고무타이어 또는 철제 차륜을 이용한 소형 경량 차량이 가이드웨이를 따라 운행하는 경량전철로, 무인운전도 가능한 시스템이다.

7.5.2.1.2 AGT의 특징

- (1) 차량이 소형으로 터널 및 구조물 설치 등 건설 비용 감소
- (2) 무인운전 도입으로 운용 효율 향상

- (3) IT 기술 도입으로 탄력적 수송 수요 대응 가능
- (4) 운행 자동화로 승무원 수 감소
- (5) 산악 지형이 많은 지역에도 운행 가능
- (6) 전기 동력 사용으로 친환경 기여

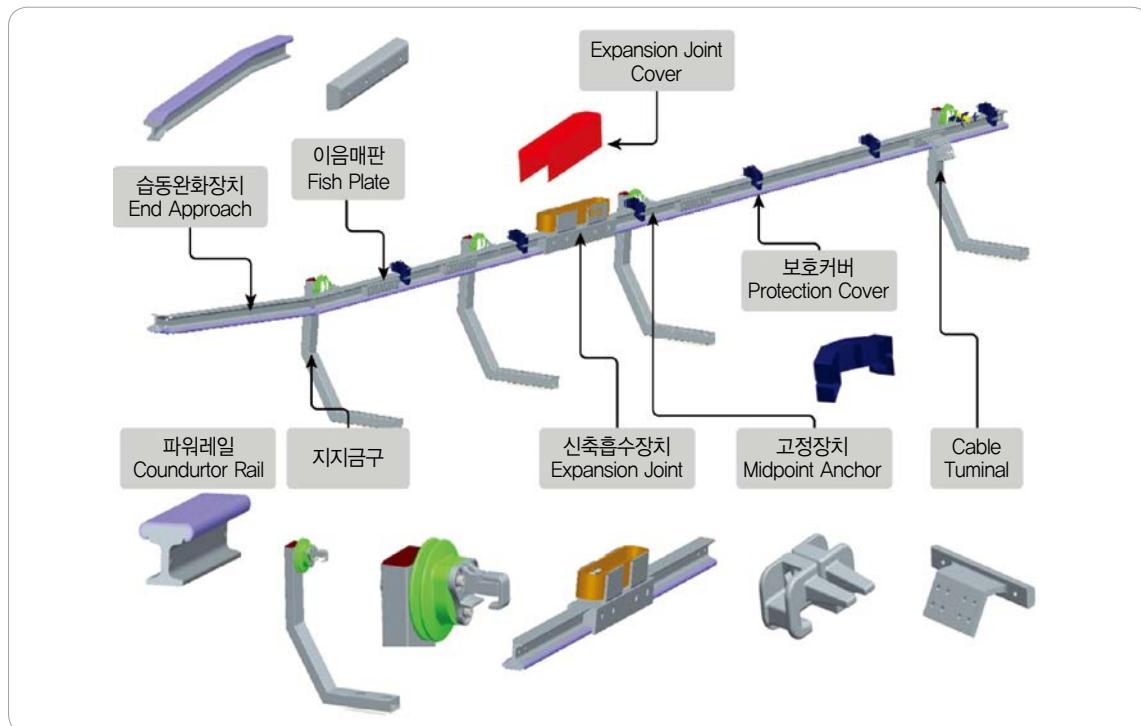
7.5.2.1.3 AGT 시스템의 구성

- (1) 지지 방식은 하부 지지 방식으로 철제 차륜 및 고무 차륜 사용
- (2) 안내 방식은 안내 궤조를 따라 차량의 안내 바퀴가 운행하는 방식으로, 중앙안내방식과 중앙 측구안내방식, 측방안내방식이 있다.

7.5.2.1.4 AGT 시스템의 전차선로 구성

전차선로 구성은 크게 나누어 볼 때 차량이 전기를 집전하는 도전부(제3레일), 변전소 급전반과 도 전부를 연결하는 급전 케이블, 급전 구분용 단로기, 스텅거(stinger), 비상 급전 차단 시스템(BLS) 등으로 이루어져 있다.(※ 자료 : 김포도시철도 실시설계보고서)

(1) 도전부 전체 구성도





(2) 급전 레일(Conductor Rail)



- 차량의 집전장치와 접동하며 차량의 부하 전력을 공급하는 설비로서, 알루미늄 몸체에 스테인리스 접동판을 덧붙인 구조
- 한 본의 길이는 12m 이상이며, 차량 운행 부하 전류를 충분히 흘릴 수 있는 도체 단면적을 선정

(3) 신축 흡수 장치(Expansion Joint)



- 급전 레일이 온도 변화로 인하여 팽창 및 수축되는 것을 흡수하는 설비로서, 120m 이하를 표준으로 설치
- 재질 : 급전 레일과 동일(알루미늄+스테인리스 스틸)
- 간극 : 좌, 우측 각 100mm (여유 포함)

(4) 지지대(Support)



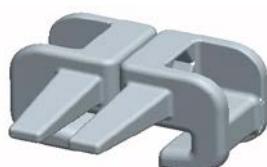
- 급전 레일을 애자와 함께 고정하는 장치
차량 집전장치(corrector) 압상력 및 전기적 사고에 대하여 충분히 견딜 수 있는 구조로, 전차선 공급사에서 보장하는 지지 간격으로 직선, 곡선을 구분하여 설치
- 표면 처리 : 용융 아연 도금
- 재질 : 스틸

(5) 지지애자(Insulator)



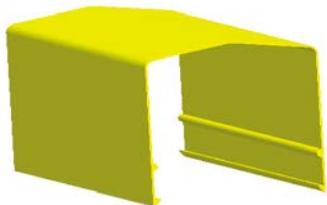
- 급전 레일을 구조물과 전기적으로 절연
- 재질 : 전기적, 기계적으로 충분한 강도를 가지며, 유지 보수성(우수 세정 및 인공 세정 효과 좋음) 및 오손, 내전압 성능, 내트래킹성이 좋은 에폭시 재질

(6) 중앙점 고정 장치(Midpoint Anchor, Fixed Anchor)



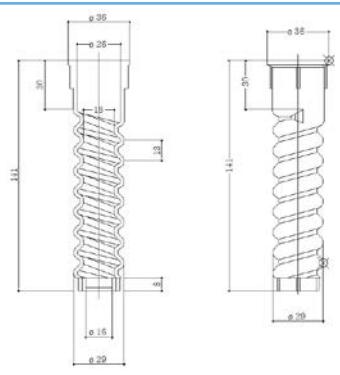
- 신축 장치와 신축 장치의 중앙 및 분기기를 필요 개소에 설치
- 온도 변화에 의한 신축 및 집전장치의 마찰력 등으로 인한 급전 레일의 흐름을 방지
- 재질 : 가단주철 + 용융 아연 도금, 또는 알루미늄, 스테인리스 스틸

(7) 보호 커버(Protection Cover)



- 급전 레일의 접촉에 의한 감전 사고와 추락물에 의한 접지 사고를 방지하기 위하여 도전 레일의 상부에 설치
- 적용 개소 : 차량 기지, 정거장, 본선 분기기, 건널목
- 옥외(차량 기지) : 자외선 차단, 난연 (PVC)
- 터널 : 저독, 난연 (GRP 또는 PCAB)
- 112[kg/m]의 수직 하중 인가 시 문제없는 제품

(8) 매립전(Insert)



- 지지대를 침목(또는 도상)에 고정하기 위하여 차량 기지 PC 침목, 본선 콘크리트 도상에 개소별로 2개소 매립
- 급전 레일을 애자에서 1차 절연하고, 2차로 누설전류 방지 대책으로 절연 매립전 설치
- 재질 : 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)

(9) 단로기(Disconnection Switches)



- 본선 및 차량 기지에 설치하여 급전 계통 분리 및 유지 보수 시 안전을 확보한다.
- 투입, 개방 및 접지의 3단계 전동 조작이 가능한 구조로 되어 있다.

(10) 비상 급전 차단 시스템(Blue Light Station)



- 승강장 연단의 계단 인근, 차량 기지 선로 진입 출입구 인근에 설치하고, 급전 차단기반 또는 관제실과 연계하여 비상시 급전을 차단할 수 있는 설비로, 관제 실과의 통화가 가능하고 급전측에 표시등이 있어 유지 보수자의 안전을 확보할 수 있다.
- 변전소, 차량 기지, 본선 Type 3가지로 구성되어 있다.

7.5.2.2 선형 유도전동기 추진 시스템(LIM)

7.5.2.2.1 개요

원형 전동기 회전자의 회전력을 이용하여 추진력을 얻는 방식이 아니라, 회전형 전동기를 절개한 평면구조의 리니어 모터 1차 측을 차량에 부착하고 2차 측인 리액션 프레이트(Reaction plate)는 지상에 설치하여 차상자와 지상자 상호 간의 자력에 의해 직선운동을 발생시켜 추진력을 얻는 방식이다.

7.5.2.2.2 LIM의 특징

- (1) 건설 비용 절감과 편리성 향상에 크게 기여할 수 있다.
- (2) 좌우의 차륜이 독립적으로 회전이 가능하여 급곡선(50R)에서도 주행이 가능하다.
- (3) 소음이 적고 보수 비용을 절감할 수 있다.
- (4) 차륜과 레일의 마찰력을 이용하지 않아 급구배(약 80%)에서 주행이 가능하다.
- (5) 터널의 단면적을 대폭적으로 축소(약 50%)하는 것이 가능하다.
- (6) 구동장치의 형상이 평편하여 감속장치가 필요하지 않아서 차륜의 직경을 작게 할 수 있어 차체를 저상화할 수 있다.

7.5.3 자기부상열차(MAGLEV)

7.5.3.1 개요

자기부상열차는 기존 차륜과 레일의 마찰력에 의한 진동, 소음 문제의 개선과 열차 속도 한계를 해결하기 위해 개발된 시스템으로, 전자력(흡인력 및 반발력)을 이용하여 궤도로부터 차량을 부상하고 선형 전동기(LIM)로 추진하는 시스템이다. 차체 부상 방식으로 나누면 일반 전자석의 자력을 이용한 상전도 방식이 있고, 초전도체가 극저온에서 전기저항이 제로(0)가 되는 초전도 현상을 응용한 초전도 전자석의 강력한 자기력을 이용한 초전도 방식이 있다.

7.5.3.2 자기부상방식

7.5.3.2.1 흡인식

자석의 흡인력을 이용하여 자체에 걸리는 중력과 평형을 유지하면서 일정한 부상 높이(약 1cm)를 일정하게 유지하기 위하여 정밀한 센서를 이용한다.

7.5.3.2.2 반발식

자석의 반발력을 이용한 것으로 중력과 평형한 부상 높이를 얻기 위해 2개의 자석이 접근하면 반발력이 증가하고, 멀어지면 약화되어 물체의 무게에 의해서 낙하하는 원리를 이용한 것이다.

핵심정리

>>>

1. ()은 시간/방향당 5,000~30,000명 정도의 수송 능력을 갖고 있는 전철이다.
2. ()(Automated Guideway Transit)는 고가 등의 전용 궤도를 고무타이어 또는 철제 차륜을 이용한 소형 경량 차량이 가이드웨이를 따라 운행하는 경량전철로, 무인운전도 가능한 시스템이다.
3. ()의 지지 방식은 하부 지지 방식으로 철제 차륜 및 고무 차륜을 사용하고, 안내 방식은 안내 궤조를 따라 차량의 안내 바퀴가 운행하는 방식으로 중앙안내방식과 중앙측구안내방식, 측방안내방식이 있다.
4. ()의 전차선로 구성은 크게 나누어 볼 때, 차량이 전기를 집전하는 도전부(제3레일) 변전소 급전반과 도전부를 연결하는 급전 케이블, 급전 구분용 단로기, 스텁거(stinger), 비상 급전차단시스템(BLS) 등으로 이루어져 있다.
5. () 흡인식은 자석의 흡인력을 이용하여 자체에 걸리는 중력과 평형을 유지하면서 일정한 부상 높이(약 1cm)를 일정하게 유지하기 위하여 정밀한 센서를 이용한다.
6. () 반발식은 자석의 반발력을 이용한 것으로, 중력과 평형한 부상 높이를 얻기 위해 2개의 자석이 접근하면 반발력이 증가하고, 멀어지면 약화되어 물체의 무게에 의해서 낙하하는 원리를 이용한 것이다.