

# 전기철도의 전차선로 계획(상)

문 병 주

한국종합엔지니어링(주) 이사

## 1. 머리말

전차선로는 전기차에 단상 대전력을 직접적으로 공급하는 가선계로서 전기철도에서 핵심이 되고 주체가 되는데, 가선계로서 송·배전선로 및 일반 건축전기설비 수전선로가 전기철도의 전차선로와 다른점이 있다면 전기차의 집전체는 정적인 정지상태로부터 동적인 이동상태에 이르기까지 가선계를 통해 전력을 공급하는데 지장이 생겨서는 아니될 뿐만 아니라, 공급한 전력을 양질의 주전동기 입력으로 다시 변성 또는 제어하는데 지장을 주지 않는 이동차량 이동변전소의 수전선로와 같은 역할도 겸비하고 있기 때문에 같은 가선계라도 그 형태나 의장적 측면 그리고 급전계통 구성적 측면에서 크게 다르므로써 기술적 접근 방법상 상이한 측면이 있다고 본다.

큰 특징 중 하나로서 전차선로는 부하변동이 극심한 순시요소의 견인부하에 전력을 전송하는 기능 이외에 이동하는 고전압 단상변전소에 전력을 직접적으로 공급하는 송전기능도 겸하여 담당하기 때문에 전력수급 측면에서 전기차 집전체와 전차선로 가선체 간에는 접촉력이 매우 중요한 역할을 하는데, 동적인 이동상태에서 접촉상에 문

제가 발생하면, 직접적으로는 전기차에 가속력 약화로 표정속도 유지가 곤란하게 되어 비정상운전으로 인한 운전시간이 늘어나 고속화 운전에서 큰 내적 문제를 일으키고, 간접적으로는 기계적 관점에서 이선시 방전섬광과 Arc 섬락 및 이로 인한 열적손상과 용손마모 촉진에 의한 응력강도 저하를 일으키고, 전기적 관점에서 이선시 변압기 여자돌입현상과 과도현상 및 이로 인한 전자파발생 문제로 절연내력저하 촉진과 보호계전기 오동작 및 무선통신장애 등의 외적 문제를 일으킴에 따라 열차운전 정상화 저해요소와 더불어 계통구성 기계기구에 수명단축 요소로 작용할 우려가 매우 높다.

따라서 동적 상태에서 가선체의 기계적 진동과 이로 인한 집전체의 공진 이선속도 상호간에는 어떠한 정합이 필요하다고 보는데 이는 전차선로의 가선체 응력과 비중, 전기차의 집전체 압상력과 조립체 질량 및 집전체와 가선체 간의 관성과 탄성작용 등에 따른 물리적인 특성은 물리법칙에 따라 정해지는 것이 되므로 이에 관한 정합은 전차선로의 설계 최고속도를 결정함에 있어 전기철도만이 필요한 특징적 평가요소라 본다.

따라서 전기차가 정상운행하기 위해서는 동적 상태에서부터 가선체가 진동할 때 그 접촉력은 가선체에 의존도가

높은데 집전체의 진동추종성은 가선체의 진동과고에 예민하고 탄성복원력에 민감하기 때문에 정적 상태의 정지 부하가 대상이 되는 송배전선로나 건축전기설비와 그 접근방법에서 크게 다른 이유는 여기에 있다고 본다.

따라서 본고에서는 접촉력에 의존하여 양질의 전력을 집전하게 하는 전차선로를 계획, 설계함에 있어 쉽게 의장, 형태 및 구조의 선정과 평가에 접근할 수 있도록 필자가 전기철도기술사 시험을 공부할 때 느낀대로 두서없이 기술하였지만 국내에서는 전기철도의 설계와 계획에 관한 학문적 참고문헌이 다른 학문에 비해 아직은 많이 보급되어 있지 않으므로써 이에 대한 기초학문을 우리 것으로 새롭게 재정립하는데 미력하지만 기여하였으면 하는 바람으로 기고하게 되었다.

## 2. 전기철도의 위치와 분류

### 가. 전기철도의 위치

교통 Mode를 크게 분류하면 도로, 철도, 항공, 공항을 중심으로 이루어지는데, 교통 Mode의 건설투자는 국가의 정책입안과 평가 및 투자효과를 중심으로 이루어지고, 다음의 관점을 고려해야 한다.

- ① 교통 Mode 이용자 중심 측면에서 출발-도착 Total Access 시간, 도로교통 혼잡 완화도 및 환경보전 친화도 등과 같은 인간심성위주의 인간중심지향적 평가로부터 이루어져야 하고,
- ② 운수·운송사업자 서비스 측면에서 대량수송, 고속수송 및 환경보전, 안전수송, 에너지절감 등과 같은 인간활동위주의 객체중심지향적 평가로부터 이루어져야 하되,
- ③ 교통 Mode 선정 정책입안 및 정책평가에 있어서는 위 사항을 상호 모순되게 비교하고, 여기에 Mode

간 상호연계가 대기시간 없이 짧은시간에 물결 흐르듯 이루어지게 하는 에스컬레이터나 엘리베이터와 같은 반송설비를 개제시켜 인간의 경제활동 기여와 국토의 균형발전에 기여토록 배려하고 결정지어야 한다고 본다.

중전의 디젤철도가 다른 교통 Mode에 비해 상대적으로 낙후된 원인은 인간경제 활동만 고려한 획일적인 물류수송 서비스 수준에 머물렀기 때문이라 보는데, 향후 현대적 감각에 걸 맞는 전기철도로 거듭 태어나기 위해서는 인간심성까지도 고려한 수준은 되어야 한다고 보고 있기 때문에 교통 Access 시간 단축을 위해서는 고속전철화가 가장 시급하다고 생각할 수도 있다.

그러나 필자의 견해로는 고속전철화는 물론 다른 교통 Mode와 연계 이동시 대기시간과 인간프라이버시 침해가 감추어 질 수 있도록 역사터미널이 물류교류 중심지가 되게 하고, 주거지역, 상업지역 및 업무지역을 역사터미널이 동시에 수행하는 거점 중심지구로 개발되게 하여 내륙 교통 Mode에서 허브교통 중심거점이 되도록 정책적인 육성 배려가 뒷받침되어야 전기철도 고속화의 도입목적에 힘이 실릴뿐만 아니라 인간심성 중심의 환경보전과 인간활동 중심의 국토 균형발전과 경제발전에 기여하리라 본다.

### 나. 전기철도의 분류

국내에서 일반적으로 통용되는 전기철도의 분류에 대해서는 다음 표 1~6과 같이 분류하고 있는데 본고에서는 이를 약술코저 한다.

〈표 1〉 전기철도의 분류

조건	급전전압 기준	전기차 기준	기존철도 기준
분류	전기방식	의장형태, 운전속도	수송목적

(1) 전기방식에 의한 분류

〈표 2〉 전차선의 전기방식

전기방식	주파수 (Hz)	상수	전압종별 및 사용전압		
			저압(V)	고압(kV)	특별고압(kV)
직류방식		단상	750	1.5, 3.0	
교류방식	16%	단상			11.0, 15.0
		3상		3.7, 6.0	
	25	단상		6.6	11.0
		3상		6.0	
50	단상	600	6.6	16.0, 20.0, 25.0	
60	단상	600		25.0	

(2) 전기차의 형태에 의한 분류

〈표 3〉 전기차의 형태

분류	경전철	중전철	자기부상전철
수송 능력	2만 4000 (명/시간/방향)	4만 (명/시간/방향)	개발중에 있음
종류	고무차륜 철제차륜식 모노레일식 선형전동력 추진식	중형 전동차 대형 전동차 Set형 고속전동차 전기 기관차	상전도 흡인식(EMS) 초전도 반발식(EDS)

(3) 전기차의 운전속도에 의한 분류

〈표 4〉 전기차의 운전속도

분류	완속 전철	고속 전철	초고속 전철
설계속도	200(km/h) 미만	400(km/h) 미만	400(km/h) 이상
한계요소	회전형 접착력과 가선허성		선형 추진력과 부상 특성

〈표 5〉 설계 최고속도의 개략적인 내용

15℃ 음속	341(m/s)=1,227.6(km/h): 터널구조물과 강구조물 응력하중 계획시 고려
구조물과 열차속도	$\left( \frac{T/A(\text{구조물} \rightarrow \text{면적당 응력})}{W/A(\text{가전체} \rightarrow \text{체적당 밀도})} \right)^{1/2} \geq V_T (\text{열차속도})$ 개략값 요소 설계 최고속도는 무차원화비 $\beta = \frac{V_T}{V_\lambda} \leq 1$ 정도로서 일반적으로 0.6~0.8 범위

전차선로 계획 및 설계에서 고속화에 있어서는 설계 최고속도가 중요하다고 보는데, 이에 관한 개략적인 고려사항은 아래의 표 5와 같다.

(4) 전기차의 수송목적에 의한 분류

〈표 6〉 전기차의 수송목적

분류	시가지용	도시용	교외선용	도시간용	기간선용	산업선용
궤도	무궤도	지하터널	지상고가교	지상고가교	교량평야지	터널산악지
전압	직류저압	직류고압	직류저압	특별고압	특별고압	특별고압
용도	노면전차	중형전동차 대형전동차	소형전동차 대형전동차	대형전동차 고속전동차	대형전동차 전기기관차	전기기관차

3. 전기철도 방식의 좋은 선정요건

전기철도 방식의 좋은 선정요건은 일반적으로 수송조건, 선로조건, 대전력 수급조건, 인접구간 전기적 조건, 장래 수요 전망조건 및 종합경제조건 등을 고려하고 있는데 이는 전기철도를 설계, 계획하는데 있어 가장 기본적인 핵심요건이 되므로 본고에서는 이를 약술하고자 한다.

가. 전차선로의 좋은 선정요건

(1) 수송조건

수송조건은 다음 표 7과 같이 차상전기설비, 지상의 급전설비, 전력설비 및 지상의 궤도설비를 결정짓고 또 전

**기술정보**

차선로의 전기방식, 급전방식, 가선방식 및 조가방식을 설계, 계획하는 선정요건으로 중요하다.

**(2) 선로조건**

전차선로 설계, 계획에 있어 수송조건이 전기적 특성을 결정짓는 것이라면, 선로조건은 기계적 특성을 결정짓는 것이고, 또 가선구조물방식, 가선방식 및 조가방식의 의장과 형태 및 구조 등의 선정요건으로 중요하다(표 8 참조).

**나. 전철 변전소의 좋은 선정요건**

**(1) 대전력 수급조건**

대전력 수급조건은 전기차에 원활한 전력공급원, 전차선로에 전압변동 경감원 및

〈표 7〉 수송조건

구분	수송대상	수송거리	수송물량	수송목적
고려요소	여객전용: 고속도 화물전용: 저속도 여객병용: 중속도	단거리: 시격단축 장거리: 시간단축	소물량 경구조물 대물량 중구조물	노면버스, 도시전철 교외, 도시간전철 기간, 산업선전철
기술검토	차량 성능, 형태 및 전원방식	가선 전압강하 및 각종 장애대책	가선 전류용량 및 전철 변전소용량	궤도선로 용량 및 구조물의장, 형태
	차상 전기설비	지상 급전설비	지상 전력설비	지상 궤도설비
전철방식	전기방식 및 가선방식	전기방식 및 급전방식	급전계통 구성방식 및 가선방식	가선구조물방식 및 가선방식

〈표 8〉 선로조건

구분	궤도선로 구조물	선주 주변 지장물	선구내 건조물	기상, 외적 환경
고려요소	지상과 지하철도 고가와 노면철도 궤도와 석도철도	구름다리, 고가교 터널, 교량 및 문화재, 보호수목	건축과 차량한계 절연과 이격한계 승강장 감전한계	갑, 을, 병 풍압하중 적재 및 충격하중 대기공해, 염전해
기술검토	가선구조물방식	가선체 의장, 형태 가선체 지지, 배치	건축, 차량한계 절연 이격거리	구조물 허용응력 지지를 안전도
전철방식	가선방식 및 조가방식		강구조물방식 및	지지를 구조 안전도

〈표 9〉 대전력 수급조건

구분	표준화 정격	전압 변동	전압 불평형	보안 경비입지
고려요소	정격전압 표준주파수 계통 최고전압 계통 절연협조 보호계 전기협조 중성점 접지협조	허용전압 변동률 허용전압 강하율 단락전류 억제대책 차단회복 전압대책 열적 강도대책 기계적 강도대책 역률 개선대책	허용전압 불평형률 역상전류 억제대책 고조파 억제대책 회생실효방지대책	부하 중심점, 인출선 출입 편리 변전소 앞 평탄구간 기기 반출입 용이 공, 염해 우려 적고 지반 견고지역 침수, 산사태 적고 보호구역 지점가능
기술검토	이상과 전압 이상대지전위경도	이상과 전류	역상전류 고조파	전압강하
변전장치 계획	변전시스템 선정	전원측 %Z	주변압기 결선방식	변전소 위치 선정
	〈변전시스템 선정방식의 골격요소〉 1. 변전설비 : 모선구성, 변전방식, 변압기 뱅크 구성과 결선방식, 뱅크 운전방식 등의 골격 구성 계획으로서 주변압기를 중심으로 하는 의장과 형태를 Skeleton으로 표현하는 기초계획 2. 보호설비 : 이상전압보호, 이상전류보호, 이상대지전위보호 등의 보호방식 계획으로서 전력계통의 절연협조, 보호계전기 협조, 중성점 접지협조를 경제적으로 합리화시켜 사고파급을 차단기, 계전기 등에 의해 중첩시켜면서 계통을 구축하고 Section으로 표현하는 절연설계, 보호계전방식 설계 및 중성점 접지방식 설계 등을 Skeleton으로 표현하고 부기하는 구성계획 3. 감시제어설비 : 수동제어방식, 반자동 제어방식, 전자동 제어방식, 원격제어방식 등의 계획으로서 전력계통의 운전상황을 경제적으로 합리화시켜 감시하고 제어할 수 있도록 수전반, 배전반 등에 계기류, 조작기류, 계전기류 및 인터페이스장치 등을 배치하고 조작계통 오조작방지와 운용현황 기록을 한눈에 알아 볼 수 있도록 Skeleton으로 표현하고 부기하는 구축계획			

〈표 10〉 인접구간 전기방식 조건

조건	전기차 직통운전	인접계통의 구획	급전계통의 구분	급전계통의 연장
고려요소	인접구간 직통운전 인접구간 환승운전	인접계통 사고파급 역 구내 사고파급 차량기지 사고파급	선로사고 고장 선로보수 정전	전철 변전소내 사고 터널, 교량내 사고
구성설비	절연 사구분장치 환승역 승강설비	절연 사구분장치 교직구간 유류저지	변전소 급전모선 급전구분소 보조급전구분소	급전구분소 보조급전구분소 상하선 타이포스트
구분방식 결정요소	구분조건 : 급전별간 분리, 본선간 분리, 본선-축선 분리 및 본선-기지 분리			
	구분방식 : 전기적 구분방식, 기계적 구분방식			
	구분설비방식 : 급전구분소, 보조급전구분소, 전철 변전소 모선			
	구분기기 : 차단기, 개폐기, 단로기 및 터널과 교량 전·후에는 Air Joint			
	전기적 구분장치 : Air Section, Section Insulator 기계적 구분장치 : Air Joint와 인류장치			
경제검토	차량공유 호환성 차량투자 중복성	케도신호 왜곡방지 계전기 오동작방지	전력운용 융통성 연장범위 중첩성	정전시간 단축효과 사고범위 축소효과

급전계통 사고시 급전연장 역할과 고장구간 선택 차단역할 등에 필요한 전철 변전소의 의장과 형태 및 위치를 결정짓고, 전철 변전소 설계, 계획시 송변전시스템 선정요건으로 중요하다(표 9 참조).

(2) 인접구간 전기방식 조건

인접구간 전기방식은 전기차의 직통운전 또는 환승운전 조건에 따라, 그리고 본선의 열차 운행에 지장이 없도록 도모하는 급전계통의 사고구분조건 또는 고장복구 정전구분조건 및 연장급전조건 등에 따라 표 10과 같이 급전계통 구성방식 선정에 중요하고 또한 구분설비 또는 구분장치의 구조와 의장 및 형태를 결정짓는 요소로서 중요하다.

〈표 11〉 장래 수요전망 조건

구분	장래 확장시 투자조건	장래 수요 증가시 여유조건
고려요소	도시계획, 공업단지 배치, 배후 도시계획 주택개발단지 계획, 전원개발계획	수용률, 부동률, 여유율, 부담률 등 하 Factor 선정계획
평가요소	장래 2중 투자비 잠재요인 전철 변전소 위치와 전기차 성능 및 용량 전철화 방식 계획과 선정의 적정성	장래 유지보수비 및 운전비 증가요인 수·변전 시스템과 가선 구조물 의장, 형태 유지보수 및 운용의 적정성

다. 전기철도의 좋은 LCC(Life Cycle Cost) 평가

(1) 장래 수요전망 평가

장래 수요전망 조건은 표 11과 같이 전기철도 건설 후 운용과정에서 2중 투자요인이 될 수 있는 설계 수명 이내에서 개량, 개선 및 부하증가 요인에 의한 중설, 변경 등을 사전에 예측하여 중장기적인 안목을 가지고 보안성능 및 보전성능이 높은 최상의 방식을 선정하거나 평가하는데 필요한 요소이다.

(2) 종합 경제성 평가

전기철도방식은 전차선로의 전기방식, 급전방식, 가선 방식, 조가방식 및 가선구조물 방식과 전철 변전소방식 및 전차선로의 급전계통 구성방식의 설계, 계획을 결정짓는 것이지만, 이러한 결정은 LCC(Life Cycle Cost) 평가 이외에, 설계, 계획 과정에서는 표 12와 같은 종합 경제성 평가조건을 상호 상반되고 모순되게 비교 평가하여 2중 투자요인을 최소화

〈표 12〉 종합 경제성 평가조건

구분	경제성과 타협될 수 없는 조건	경제성과 타협될 수 있는 조건
평가 조건	시설관련 직접안전도와 간접안전도 부하관련 품질신뢰도와 정전신뢰도 물류관련 승객보안도와 비상보안도	전기품질수준 관련 전압 변동률 유지보수 관련 구조 간편성 수리점검 관련 운용 보전성 직접위해와 간접장애관련 환경친화성 장래확장과 2중 투자관련 장래확장성

시키고, 건설과정에서 계획 변경이 최소화되도록 결정하는 것이 중요하다.

#### 4. 전기철도방식의 계획 순서

##### 가. 급전계통의 전기방식

수송조건과 관련지어 전기차의 구성과 용량이 동일하다는 조건하에서 제 조건을 비교하면 다음 표 13과 같다.

〈표 13〉 전기방식 비교

제 조건	직류방식	교류방식
차상 변성설비	간단(변압기 불필요)	복잡(변압기 필요)
지상 변성설비	복잡(주변압기와 정류장치 필요)	간단(주변압기만 필요)
전차선 전압	DC 1500V	AC 25000V
전차선 전류	수천A (선로손실 큼)	수백A (선로손실 적음)
급전선 전류	레일중량에 크게 영향을 받음	레일중량에 거의 무관함
전차선 전압강하	큼(변전소 간격 수km 단위)	적음(변전소 간격 수십km 단위)
전압강하 구제	복잡하고 고가	간단하고 저가
절연 비용	저가	고가
활선 보수작업	가능	곤란
지하터널 단면	적음(토목 굴착건설비 저렴)	큼(토목 굴착건설비 고가)
궤도 누설전류	지중매설물 전식장해대책 필요	통신선로 유도장해대책 필요
회생제동 적용	실효대책 반드시 필요	실효대책 거의 불필요
전차선로 하중	전류밀도 커서 지지하중 중량구조	전류밀도 적어 지지하중 경량구조
전차선로 파속	$\sqrt{\frac{T}{W}}$ 관계로부터 설계속도 낮아짐	$\sqrt{\frac{T}{W}}$ 관계로부터 설계속도 높아짐
수송목적 적합성 평가	역간거리 짧고 수송밀도 큰 선구	역간거리 길고 수송물량 큰 선구
	도시내 전철	도시간 고속화 전철 기간선 광역화 전철 산업선 산업화 전철

#### 나. 급전계통의 급전방식

전기철도는 전기회로 구성상 궤도의 주행 레일을 귀선로로 활용하게 되는데, 궤도는 자갈 또는 콘크리트 도상 위에 침목을 사이에 두고 주행레일이 고정되게 되어 있는 관계로 전기적인 관점에서 도상 위에 주행레일은 대지에 대하여 저저항 접지회로가 구성되게 되는데, 귀로전류의 일부는 주행레일이 아닌 도상의 저저항 접지회로를 통해 누설전류가 되어 전철 변전소로 귀로하게 되기 때문에 궤도에 연하여 시설되어 있는 지중금속체나 통신선로 상에는 전식장해나 통신유도장해를 발생시키게 되는 원인이 된다.

본고에서는 주행레일에 귀로전류로부터 누설전류를 억제하기 위하여 전차선로에는 다음과 같이 각종 급전방식을 적용하여 전식과 통신유도 장애를 방지하고 있는데 이에 대한 선정요소와 제조건에 대해서는 표 14와 같다.

#### 다. 전차선로의 전차선 가선방식

가선방식의 계획은 선구의 선로조건과 전기차의 인접구간 직통운전조건 및 궤도의 점착조건 등에 따라 가선구조물 방식과 가선배치방식으로 나누고 이에 대한 의장과 형태 및 구조를 결정하고 다음과 같이 계획한다.

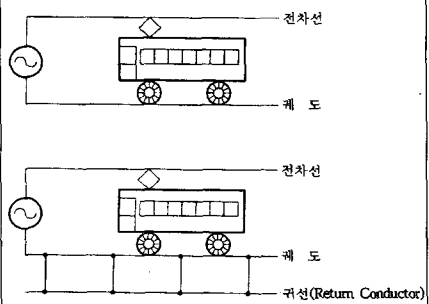
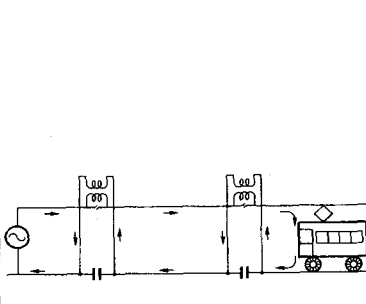
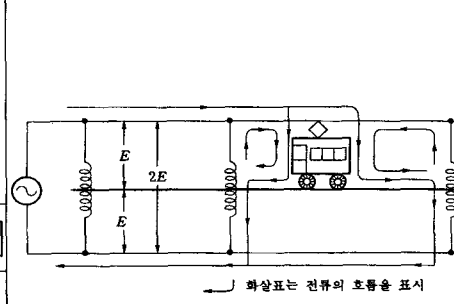
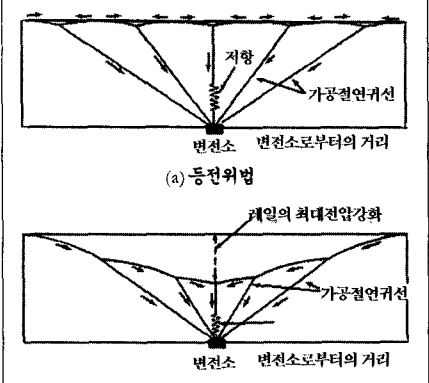
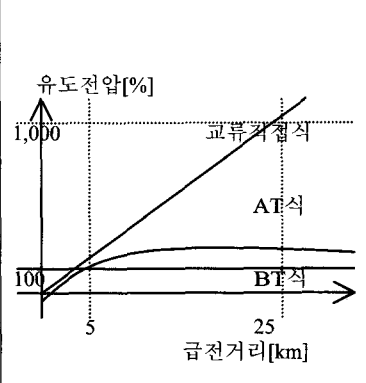
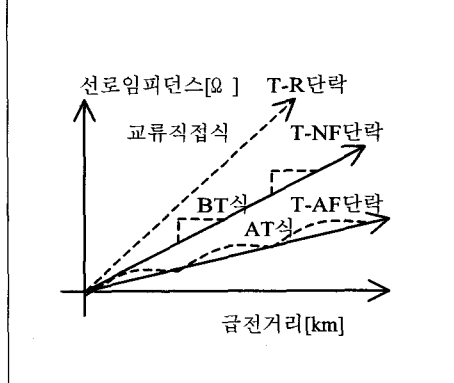
##### (1) 전차선의 가선 배치방식

표 15 참조

##### (2) 가선 구조물방식

표 16 참조

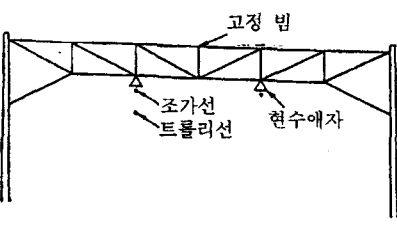
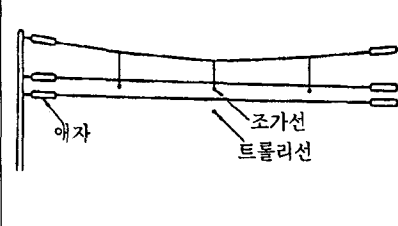
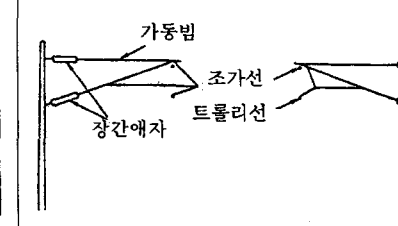
〈표 14〉 급전방식의 비교

조건	직접식	흡상변압기(BT)식	단권변압기(AT)식
응용도	저속 단거리 도시철도	저속 중거리 산업선철도	고속 장거리 광역선철도
구성 회로도	 <p>(그림 1) 직접 급전방식</p>	 <p>(그림 2) BT 급전방식</p>	 <p>(그림 3) AT 급전방식</p>
전식방식 및 특성도	 <p>(그림 4) 가공절연귀선 전식방지</p>	 <p>(그림 5) 유도전압 특성</p>	 <p>(그림 6) 선로임피던스 특성</p>
평가	도시내 전철	교외선 전철	도시간 고속화 전철 기간선 역역화 전철

〈표 15〉 전차선의 가선 배치방식

조건	전기적 측면	구조적 측면	가선체 측면
고려요소	전기방식, 급전방식 및 궤도귀선로 방식	터널, 교량 구조물의 형상척수와 건축적 구조	탄성도선과 관성강체의 가선구조물방식
평가요소	전철 변전소의 위치 구분소, 보조구분소 위치	아래 표와 같은 지지물의 가선구조물방식	가선구조물과 가선배치의 형식
	전압강하와 사고선택차단 급전선, 보호선의 배치	건축한계와 차량한계 본선, 역구내, 차량기지	절연 이격거리와 선로청수 전차선, 조가선의 배치
가선배치 방식	1. 가공 전차선의 도체방식 : 단선식, 복선식 2. 가공 전차선의 강체방식 : 단선식, 복선식 3. 비가공 전차선의 강체방식 : 제3 궤조방식, 선형 추진 궤조방식		

〈표 16〉 가선 구조물방식의 예

고정법식	스팬션식	가동법식
		
고장력, 고비중 전차선로 복복선 궤도, 차량기지	고장력 저비중 전차선로 복복선 궤도, 역사 구내	고장력 저비중 전차선로 단선 또는 복선 궤도

(3) 가선방식의 계획시 고려요소

가선방식은 가선구조물방식과 전차선의 배치방식으로 분류할 수 있는데, 가선구조물방식은 부재단면 및 의장과 형태 측면에서 터널, 교량 및 건식계이지의 폭, 높이 등을 좌지우지하기 때문에 토목구조물 분야 건설공사비에 미치는 영향이 크고, 또 전차선의 배치방식은 절연이격거리, 전차선 높이와 편위, 경사 및 구배 경점을 좌지우지하기 때문에 궤도선로부설분야 건설공사비에 미치는 영향이 클뿐만 아니라, 역설적으로 일단 결정된 가선방식으로 시행된 이후에는 토목구조물과 궤도선로부설 설계 변경을 쉽게 바꿀 수 없는 복잡한 이해관계가 발생하기 때문에 다음의 관점도 충분히 검토하고 고려한 연후에 결정되는 것이 바람직하다는 견해이다.

① 연변주민 및 이용고객에 미치는 영향

지상에 전기철도가 건설되면 도심분단으로 인해 주민 통행불편 및 소음, 진동, 분진환경 그리고 각종 위해와 장애 및 건널목 보안사고와 같은 인간의 심성 자극으로 인하여 결국에는 인간 내면에 생리, 심리 및 심미작용이 움직여 외면적으로 표출되는 인간 정신적 정서감정과 인간 사회적 행동 관행은 크게 다르게 나타난다.

인간 정신적 정서감정은 불안감, 불면감 및 불쾌감 및

패적감, 안락감, 쾌속감, 상쾌감, 피로감과 같은 기분이나 분위기 전환상 양극화를 불러오고 인간사회적 행동 관행이란 경제적 실익에 따라 이전 촉구나 유치경쟁과 같은 집단민원 양극화를 모두다 유발할 우려가 높다.

따라서 전기철도의 가선방식은 가선구조물의 의장과 형태를 계획함에 있어서는 인간의 정서감정과, 행동관행에 미치는 영향을 고려해야 한다고 본다.

② 장래 수요전망이 미치는 영향

가선구조물의 의장과 형태는 경제적으로 쉽게 변경하거나 바꿀 수 없기 때문에 장래 확장이나 내구수명 등을 염두해 두고 어느 정도 여유를 주게 되는데 전기철도는 신뢰성 측면에서 연속정격, 1시간 정격, 순시정격 상호간에는 어느 정도 여유는 모두 필요하고 또 설비 기계기구의 용량을 결정짓기 위해서는 부하 Factor가 반드시 필요하므로 이러한 조건이 미치는 영향을 고려하여 전기철도건설이 미래 지향적이면서 보전성이 높은 최상방식이 되도록 LCC(Life Cycle Cost) 평가를 통해 계획하고 결정해야 바람직하다고 본다.

③ 위해와 장애가 사회적 불안에 미치는 영향

전기철도는 고압 또는 특별고압의 전기방식이 주류를 이루는데 위해적 요소로는 인축에 대한 감전사고이고 장



〈표 17〉 의장과 형태에 대한 영향과 기술검토 요소

구분	가선체 이도	전차선 마모	집전체 도약
원인영향	온도변화와 강풍 횡장력 전차선로의 가고변위	탄성력과 관성력 부정합 전차선로의 장력변위	구배경점과 질량가중경점 전차선로의 압상력 변위
마 모	절연파괴 Arc 용착마모	전차선 기계적 절삭마모	전차선 도약후 국부마모
파급영향	밀립, 흐름시 장력 불균일 조가체(행거, 드롭퍼)경사	마모응력저하 완속단선 파속저하로 이선증가	도약점응력급변 급속단선 파속급저로 집전체파손
고려대책	자동장력조정 구간평가 흐름방지장치 조성 Pre Sag 적정유지 가선 Pre Stretch 시행후 가선	전차선로의 대이선 평가 직선선구에 편위조성 곡선선구에 경사조성 전차선로에 조가선조성	곡선당김, 진동방지 평가 가동브라켓장치 조성 진동방지금구 IO 교호배치 전차선 횡드림말이 발주

〈표 18〉 가선방식의 의장과 형태가 인간의 마음을 움직이는 영향

좋은 구조	전기적 회로 단순구조	기계적 의장 간단구조	기하학적 형태 대칭구조
인간영향	생리적 인지능력 향상	심리적 긴장완화 향상	심미적 판별능력 향상
효과	보수 안전도 증진도모	자신감 증진도모	안정감 증진도모
	점검 오조작 사고 방지도모	오결선 사고방지 도모	구조물 사고방지 도모
사회부담	산업재해 예방과 설비 점검보수 등의 영향에 미치는 영향이 큼		

해적 요소로는 누설전류로 인한 지하매설물 전식사고와 지구자기관측장해, 유도장해로 인한 전격 Shock 사고나 통신선 유도누화잡음 및 궤도신호 보안설비 신호왜곡사고이며, 전차선 이선 현상이나, 선로정수 불평형에 의한 무선통신 주파수 왜곡사고 등과 같은 사고는 정치, 사회적으로 미치는 영향이 매우 크다고 본다.

따라서 가선구조물의 도체 배치에 있어서는 귀선로에 누설전류를 고려한 급전계통 구성과 급전방식을 고려하여 선로정수가 평행이 되도록 기술을 검토해야 한다고 본다.

또 가선방식은 전차선로의 의장과 형태를 결정하게 되는데 이러한 의장과 형태가 미치는 영향은 표 17과 같고 이에 대한 기술검토가 필요하다.

따라서 전기철도에서 발생하는 위해와 장애가 정치, 사회적으로 미치는 영향을 충분히 고려하여 기술적인 안목을 가지고 설계, 계획해야 한다.

또 인간의 심성을 고려한 가선방식의 의장과 형태가 인간의 마음을 움직이는 영향은 없는지를 표 18로 제시해 본다.

④ 건설비의 2중적 투자에 미치는 영향

선구에 역사는 허브공간 및 물류 유통 중심점이 되어야 하므로 건축적 조형미와 더불어 이동하는 동선을 따라 가는 통로조명에는 휘도레벨에 고저차가 없는 낮은 조도가 좋고, 상황에 따라서 대합실 조명에는 휘도레벨차가 없는 높은 조도의 명시적 조명이 좋으며, 근린 편익시설 조명에는 휘도레벨차를 크게 주는 분위기적 조명이 좋다.

또, 플랫폼 중앙부 조명에는 휘도레벨차가 없는 낮은 조도와 플랫폼 난간부 조명에는 동적 플리카가 적은 높은 조도의 명시적 조명이 좋다.

따라서 역사는 인간의 심리, 심미 및 생리적 영향으로부터 받는 직접적인 부담이 적어야 하고, 정치, 사회적으로는 지자기 관측장해, 무선통신장해, 상용전파장해, 지중매설물 전식장해 및 통신유도장해, 인축감전상해 등과 같은 간접적인 부담이 없도록 해야 하므로 전차선로는 절연한계 및 차량한계 및 곡선로 차량편기한계 등으로부터 항상 안전하게 운전할 수 있도록 다각적으로 기술을 검토해야 한다.

따라서 건축, 토목, 궤도 및 전기, 통신, 소방, 신호, 감시 제어설비 등을 시스템적으로 결합시켜 평가하고 향후 가선방식의 설계 변경이 다른 분야의 설계 변경의 원인으로 파급되지 않도록 하며, 2중적 투자요인이 있다면 과감히 도려내어 예산절감이 가능한 신공법, 신기술로 대체하는 예산절감 효과가 있도록 열린 설계와 열린 계획이 되도록 노력해야 한다고 본다.

⑤ 구조물의 응력강도에 미치는 영향

전기철도의 가선구조물의 강도계산에 있어서는 강구조물이 외부로부터 받는 하중은 풍압하중, 적설하중 및 곡

〈표 19〉 구조물 응력의 분류 벡터

하중	수평하중	수직하중
대상	풍압하중, 곡선개소 횡장력	자체하중, 적설하중, 기계기구 적재하중

선로 횡장력, 작업원이나 기계기구의 적재하중, 단선시 충격하중 그리고 풍속 5m/s 정도의 미풍진동 및 차량동요로 인한 지지점에 진동스트레스 충격 등이 가해지고 있어 이러한 하중은 구조물 응력강도에 미치는 영향이 크다.

또, 고속화 계획에 있어서 터널구조물에 고속열차가 진입하게 되면 펌프효과에 의해 가선구조물에는 압력이 작용하여 안전율과 파동진파속도를 저하시킬 우려가 있고, 열차의 동요로 인한 가선진동으로 접촉력이 왜곡될 우려도 있으므로 응력강도를 계산함에 있어서는 터널진입 후에 펌프효과와 터널 진입 직전에 대항음속(15°C에서 341m/s)을 고려해야 한다고 본다.

따라서 응력강도를 계산함에 있어서는 표 19와 같이 벡터적 개념을 바탕으로 수직하중과 수평하중으로 분류할 수 있는 벡터적 안목이 있어야 하므로 가선방식의 선정에 있어서는 가선구조물의 의장과 형태를 기본으로 하여 가선구조물이 외부로부터 받는 응력강도가 허용안전을 이상이 되도록 평가하고 열차운행에 지장이 없도록 계획해야 한다.

⑥ 전차선로의 계획이 미치는 영향

전기철도의 전차선로의 구조물은 외형적으로는 건축 및 토목구조물에 큰 영향을 주고받으며, 전기차로부터는 전기, 기계 및 환경적으로 크게 영향을 받거나 주게 되는 상반된 특성이 있다고 보는데, 전차선로가 미치는 영향은 표 20과 같다.

〈표 20〉 전차선로의 계획이 미치는 영향

조건	구조물의 단면형상과 크기 요소	가선체의 응력과 비중 요소	구조물의 의장과 형태
강 구조물 가선방식	전기차의 형태 건축한계와 차량한계	전기차의 운전속도 토목구조물: 크기, 높이	전기차의 수송목적 궤도선로: 궤간, 중량

따라서 역설적으로 전기차 형태와 운전속도 및 수송목적에 적합한 가선방식 그리고 토목구조물의 단면형상에 적합한 건설비를 결정하려면 표 21과 같이 분류하고 있는 가선방식이 전차선 배치방식과 가선구조물방식의 형태와 의장에 큰 영향을 미치게 되므로 이의 설계, 계획은 전차선로의 골격을 형성하는데 있어 매우 중요하다.

(4) 전차선로의 전차선 조가방식

전차선 가선방식은 전철 구조물의 가선구조물의 의장과 형태 및 가선구조물에 전차선을 배치하는 형태가 되므로 횡적(수평) 관계의 의장과 형태의 계획이라 한다면, 조가방식은 가선구조물에 조가선이 장력을 부담하고 여기에 전차선을 지지하는 형태가 되므로 종적(수직) 관계

〈표 21〉 가선방식의 분류

분류	가공(Over Head)식		강체(Rigid Bar)식		제3궤조(Third Rail)식	
	단선식	복선식	단선식	복선식	습동식	자기부상식
분류방식	단선식	복선식	단선식	복선식	습동식	자기부상식
집전위치	차량상부	차량상부	차량상부	차량상부	차량하부	차량하부
도체수	1본 도체	정,부 도체	1본 강체	정,부 강체	1본 강체	추진/부상 코일
귀로전류	레일이용	가선 도체	레일이용	가선 강체	레일이용	불필요
터널면적	대형	작보다 큼	중간	작보다 큼	소형	가장 소형
인축감전	낮음	매우낮음	낮음	매우낮음	매우높음	중간
전기방식	AC 특고압	AC 저압	DC 고압	DC 저압	DC 저압	AC 저압
전기차 형태	지상궤조물 철제차륜	도로구조물 고륜차륜	지하궤조물 철제차륜	고기구조물 고무차륜	지상궤조물 철제차륜	고기구조물 비차륜
	중전철	경전철	중전철	경전철	경전철	경, 중전철
전기차 수송목적	교외철도	노면전차	교외철도	교외철도	교외철도	교외철도
	도시간철도		도시철도	도시철도		
	산업철도					
	광역철도					
고속철도						
토목구조	크기, 형상에 제한 적음		크기, 형상에 제한 큼		크기, 형상에 제한 큼	

〈표 22〉 접촉성능과 접촉패턴

접촉성능	접촉패턴
설계 최고속도 결정과 직결된 요소이고 열차 운전시간에 관한 운용 효율적 요소임	내구수명 마모율 결정과 직결된 요소이고 전차선 유지보수에 관한 수명 효율적 요소임

〈표 23〉 조가방식이 미치는 영향

구분	조가의장과 형태	접촉성능	접촉패턴
경제성	조형미관 조성효과	열차운용 수입증대	유지보수 비용지출
영향력	주변환경과 조화가 중요	열차속도와 정합이 중요	전차선마모, 보수가 중요

〈표 24〉 조가방식의 계획시 고려 관점

관점	전기적	기계적	물리적
기획점	접촉력과 이선율	집전체 관성과 신축응력	압상량과 탄성, 관성 작용
문제점	이선시 견인력 감퇴 이선 Arc시 용착마모	마찰계수와 질삭마모 경점 도약과 국부마모	가선체의 진동과 동요 파속 초과시 집전체 파손
계획점	가선체의 등고성의 유지 가선체의 등강성의 유지 가선체의 등요성의 유지	직선로 편위의 시행 곡선로 경사의 시행 자동장력 조정의 시행	Pre Stretch의 시행 Pre Seg의 시행 진동 및 곡선당김 시행

〈표 25〉 조가방식의 문제점

구분	전차선과 조가선 절연 곤란	온도열 응력과 강풍 횡장력	선로손실과 온도상승	전차선로 경점이선과 마모
문제점	순환전류 국부가열단선	안전율 저하 가선진동왜곡	선로신축 응력변화 단선	전차선 용손마모 전차선 국부마모
대책	안전균압 또는 완전절연	자동장력 조정장치 진동, 곡선당김장치	기계적 구분장치	경점 구배완화장치

〈표 26〉 조가방식의 분류

조가분류	Deep 방식	Catenary 방식			Rigid 방식
조가형태	비 조가	수직 조가		경사 조가	비 조가
조가의장	직접식	Simple식	Compound식	Simple식	직접식
의장분류	기본식 변Y선식	기본식 변Y형식 Twin식 Heavy식	기본식 합성소자식 Heavy식	반사조식 경사조식 연사조식	T-Bar식 R-Bar식

의 의장과 형태의 계획이라 본다.

또 전차선이 집전체와 전기적 및 기계적으로 원활한 집전을 이루게 하기 위해서는 열차의 특성가속 동적인 상태

에서 표 22와 같은 접촉성능과 접촉패턴이 중요한 핵심포인트가 된다.

또, 조가방식을 경제성 관점에서 미치는 영향에 관하여 고려하면 표 23과 같다.

또 일반적으로 아무리 짧은 장력의 가선체라도 여기에 외력이 주어지면 반드시 진동을 하는데 그 좋은 예가 현악기류일 것이다.

이러한 원리를 담고 있는 가공전차선로에서 조가방식이 중요한 것은 기계적인 장력과 전단응력에 견디어야 할 뿐만 아니라 물리적인 진동으로부터 집전체가 탄성적으로 추종해야 하고, 전차선을 일정한 높이로 유지하는 것으로서 전차선로의 등강력, 등요력 및 등고량이 얻어지도록 의장과 형태를 계획하는 것이 중요하다고 본다.

따라서 조가방식은 가선구조물의 의장과 형태를 구체적으로 가시화시키는 최종계획이고, 설계 내구수명과 열차운전 설계 최고속도를 결정하는 요소라는 점을 명심하고 본고에서는 가선체를 스프링이라 가정하고 다음 표 24와 같은 관점을 계획시 고려해야 한다.

조가방식은 전차선 지지에 관한 의장과 형태가 조가선에 전차선을 행거와 드롭퍼로 매어 달아 가시화시키는 계획으로 간단해 보이지만 실제에 있어서는 다음의 표 25와 같이 복잡한 문제점이 있어 그 대책이 필요하다.

따라서 조가방식의 계획은 위에서 설명한 바와 같이 고도전문기술과 실무경험을 바탕으로 결정되어진다는 견해이다.

국내에서 가공전차선로에 적용하고 있는 조가방식의 의장과 형태에 따라 분류하면 표 26과 같다.

〈다음호에 계속〉