

KR E-01050

Rev.6, 27. November 2023

전기방식

2023. 11. 27



국가철도공단

목 차

1. 수전전압	1
2. 전기방식과 급전방식	1
해설 1. 수전전압	2
1. 계통전압	2
2. 접지방식	2
2.1 154kV 수전선로	2
2.2 66kV 수전선로	2
해설 2. 전기방식과 급전방식	3
1. AT급전방식	3
2. BT급전방식	4
3. 급전방식의 비교	4
3.1 급전방식 비교	4
3.2 선로임피던스, 전압강하 비교 검토	6
3.3 기술조사 내용	10
RECORD HISTORY	14

경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 철도설계지침 및 편람을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 항목별(코드별)로 변경하였습니다. 또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 항목별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별 수정되어 공단 EPMS, CPMS, 홈페이지 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- 철도설계지침 및 편람(KR CODE)에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 한다.

1. 수전전압

수전전압은 전기사업자와 협의하여 다음 표의 공칭전압으로 선정한다. 다만, 기존선 개량 및 주변여건이 본 지침에서 정하는 공칭전압에 속하지 아니할 경우에는 66kV를 적용할 수 있다.

공칭 전압 [kV]	22.9, 154, 345
------------	----------------

2. 전기방식과 급전방식

- (1) 전기철도의 전기방식은 단상 AC 25kV 60Hz 방식으로 한다. 다만 직류방식으로 시행할 경우에는 DC 1500kV로 한다.
- (2) 전기철도의 급전방식은 단권변압기방식(급전선과 레일사이 및 전차선과 레일사이 25kV, 전차선과 급전선 사이는 50kV가 급전되는 시스템, 이하 “AT방식”이라 한다)으로 한다.



해설 1. 수전전압

수전전압은 전기사업자와 협의하여 다음 표의 공칭전압으로 선정한다. 다만, 기존선 개량 및 주변여건이 본 지침에서 정하는 공칭전압에 속하지 아니할 경우에는 66kV를 적용할 수 있다.

공칭 전압 [kV]	22.9, 154, 345
------------	----------------

1. 계통전압

현재 한국전력공사(KEPCO)의 송전표준전압은 66kV, 154kV, 345kV, 765kV가 있으며, 전기 철도에는 154kV를 표준으로 하고, 일부 66kV도 사용 중에 있다.

해설 2. 전기방식과 급전방식

전기철도의 급전방식은 단권변압기방식(급전선과 레일사이 및 전차선과 레일사이에는 25kV, 전차선과 급전선 사이는 50kV가 급전되는 시스템, 이하 “AT방식”이라 한다)으로 한다.

1. AT급전방식

단권변압기(Auto-Transformer) 급전방식에서는 급전선과 전차선과의 사이에 단권변압기를 병렬로 삽입하고 중성점은 레일 및 비절연보호선(FPW)에 접속되어 전기차의 부하전류의 귀선회로를 구성한다. 또 통신유도장해를 보다 경감하기 위하여 AT-AT의 중간에서 보호선용접속선(CPW)에 의하여 비절연보호선과 레일을 접속하고 있다.

단권변압기는 전자적인 밀결합으로 설계된 변압기로 약 10km간격으로 배치한다. 권선의 중앙을 레일에 접속하고 양단자의 어느 한편과 레일과의 사이의 전압을 전기운전에 적합한 전압(25kV)으로 선정하여 전차선에 급전하고 다른 한 단을 급전선에 접속한다.

단권변압기(AT)방식의 급전계통구성은 다음 그림에 의한다.

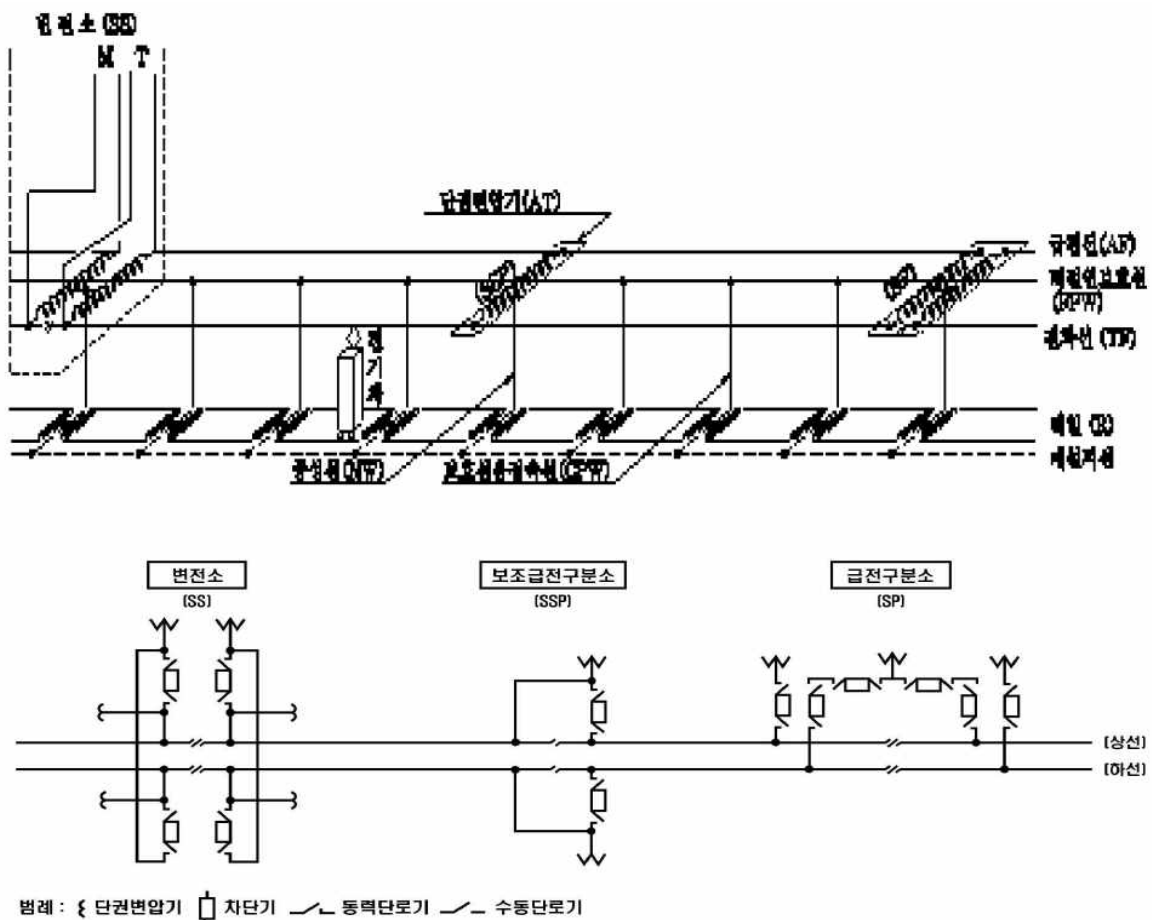


그림 1. 단권변압기 급전계통구성



2. BT급전방식

흡상변압기(Booster Transformer) 급전방식은 전차선과 부급전선을 시설하고 약 4km마다 흡상변압기를 직렬로 시설하여 레일에 흐르는 귀선전류를 부급전선에 흡상시켜 전차선 전류에 의한 통신선의 유도장해를 감소시켜주는 목적으로 사용된다.

흡상변압기는 교류전차선과 직렬로 설치되며 유도작용을 경감하기 위하여 대지로 흐르는 전류를 경감시키고 이것을 부급전선에 총체적으로 흡상시키기 위하여 사용되는 것으로 전류를 흡상하므로 흡상변압기라 부른다. 흡상변압기는 권선비 1:1의 변압기로서 그 1차측을 전차선에 접속하며 2차측은 부급전선 또는 레일에 접속한다.

흡상변압기(BT)방식의 급전계통구성은 그림에 의한다.

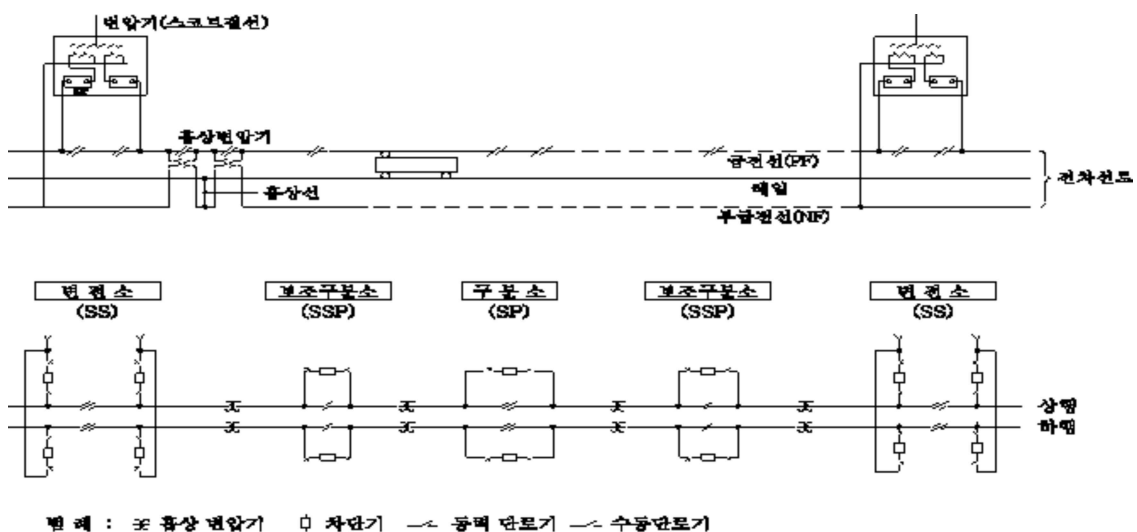


그림 2. 흡상변압기 급전계통구성

3. 급전방식의 비교

3.1 급전방식 비교¹⁾

교류전철화 구간에서 운용중인 급전방식은 일반철도에서 운용중인 상·하선 분리급전 (SSP, SP Tie)과 고속철도에서 운용중인 상·하선 병렬급전(PP)이 있으며, 급전특성은 다음과 같다.

3.1.1 상·하선 분리방식(SSP급전)

상선과 하선을 전기적으로 분리하여 급전하고 비상시에 구분소(SP)에서 상선과 하선을 Tie로 연결한다.

1) 교류전기철도시스템에서 급전계통 구성에 따른 급전성능 비교검토(2001 대한 전기학회 하계학술대회 논문집)

(특징)

- 선로 임피던스가 크다
 - 전압강하가 크다.(PP기준 최소95%, Tie기준 최소 94.9%)
(상선과 하선에 각각 동일한 부하가 있을 경우 모든 급전방식이 동일)
 - 상대적으로 고조파 공진차수가 높고 확대율이 크다
 - 회생전력 이용률이 낮다.
 - 급전구분소(SP)의 단권변압기 대수가 많다.(4대)
 - 급전구분소(SP)에 GIS 설비가 적다(GIS 4-Bay)
 - SSP 개소에 상·하선 Tie 차단설비가 필요 없다.
 - 계통보호에 용이(고장위치 파악 용이)
 - 역간이 짧고 저속운행구간에 적합하다.
- (장애 및 일부구간 정전작업시 정전구간 및 열차운행지장 최소화)

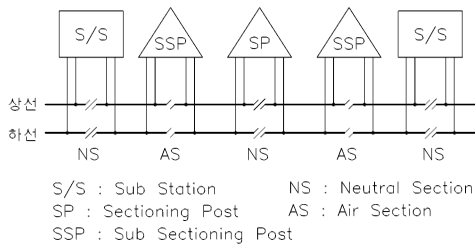


그림 3. SSP 급전계통도

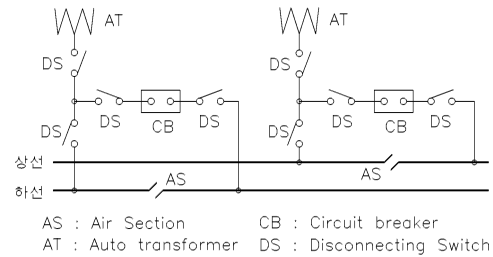


그림 4. SSP 결선도

3.1.2 상·하선 Tie연결방식(Tie급전)

급전시스템 구성은 SSP 급전방식과 동일하나, 급전구분소(SP)에서 상선과 하선을 상시 Tie 로 연결하여 운용한다.

(특징)

- 선로 임피던스가 작다.(SSP기준 80%[선로 중간], 50%[선로 말단])
- 전압강하가 작다.(PP기준 최소 98.995%)
- 상대적으로 고조파 공진주파수가 낮고 확대율이 작다
- 회생전력 이용률이 비교적 높다.
- 급전구분소(SP)의 단권변압기 대수가 많다.(4대)
- 급전구분소(SP)에 GIS 설비가 적다(GIS 4-Bay)
- SSP 개소에 상·하선 Tie 차단설비가 필요 없다.
- 계통보호에 용이(고장위치 파악이 용이)
- 역간이 짧고 저속운행구간에 적합하다.

(장애 및 일부구간 정전작업시 정전구간 및 열차운행지장 최소화)

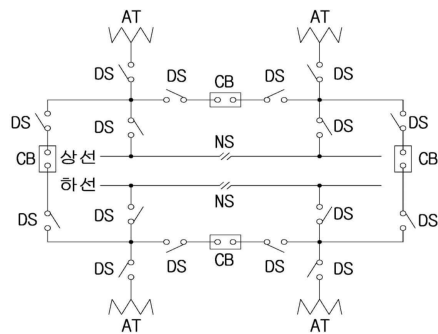


그림 5. Tie 결선도

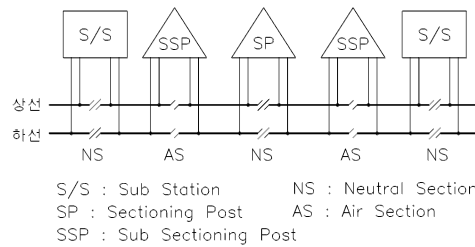


그림 6. Tie 급전계통도

3.1.3 상·하선 연결방식(PP급전)

상선과 하선을 각 PP 개소 및 SP 개소에서 전기적으로 연결하고, 선로장애 발생 시 상·하선을 구분하여 건전선로만 운용한다.

(특징)

- 선로 임피던스가 가장 작다.(SSP기준 65%[선로중간], 50%[선로 말단])
- 전압강하가 작다.($V_{SSP} \ll V_{Tie} \leq V_{PP}$)
- 상대적으로 고조파 공진주파수가 낮고 확대율이 작다
- 회생전력 이용율이 높다.
- 급전구분소(SP)의 단권변압기 대수를 줄일 수 있다.(2대)
- 급전구분소(SP)의 GIS설비가 많다.(GIS 5-Bay)
- PP에 상·하선 Tie 차단설비가 필요하다.
- 역간이 길고 고속운행구간에 적합하다.

(장애 및 정전 작업시 변전소 급전구간 모두 정전필요)

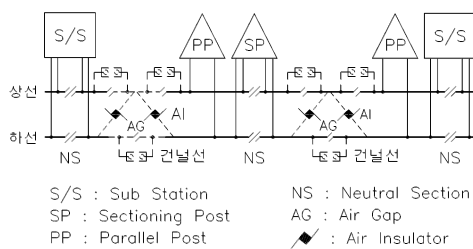


그림 7. PP계통도

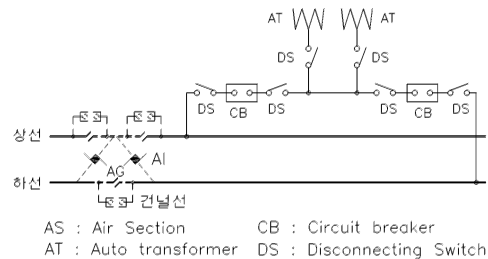


그림 8. PP결선도

3.2 선로임피던스, 전압강하 비교 검토

위의 3가지 급전방식별로 선로 임피던스, 차량 집전전압과 고조파 확대율에 대해서 비교하였다.

3.2.1 선로임피던스

조건 : AT간격 10km, 급전거리 30km

선로 임피던스는 2개 위치(15km, 30km지점)에서 비교하였다. 우선 Tie급전방식과 PP 급전방식 사이에 가장 큰 차이가 발생하는 15km지점과, SSP급전방식과 Tie 및 PP 급전방식 사이에 가장 큰 차이가 발생하는 30km지점에서 비교하였다. 그 결과 PP 급전방식이 전체적으로 선로 임피던스가 가장 작다.

표 1. 선로 임피던스

자기임피던스 [Ω/km]	전차선 : 0.1401+j0.2898
	레 일 : 0.0554+j0.1033
	급전선 : 0.1776+j0.4409
정전용량 [μF/km]	전차선-레일 : 0.5252+j9.8289
	전차선-급전선 : 0.5033+j5.2127
	레일-급전선 : 0.5004+j5.90983

3.2.2 단락임피던스

위의 조건으로 정상급전과 연장급전의 경우에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다.

아래 그림은 단락위치에 따른 임피던스를 보여준다. 단락임피던스는 정상급전의 경우, SSP 방식과 비교하여 평균적으로 Tie 방식은 75.2%, PP 방식은 63.3%로 PP 방식이 단락임피던스가 가장 작음을 알 수 있다. 또한 연장급전의 경우도 Tie 방식은 89%, PP 방식은 79.3%로 PP 방식이 단락임피던스가 가장 작음을 알 수 있다.

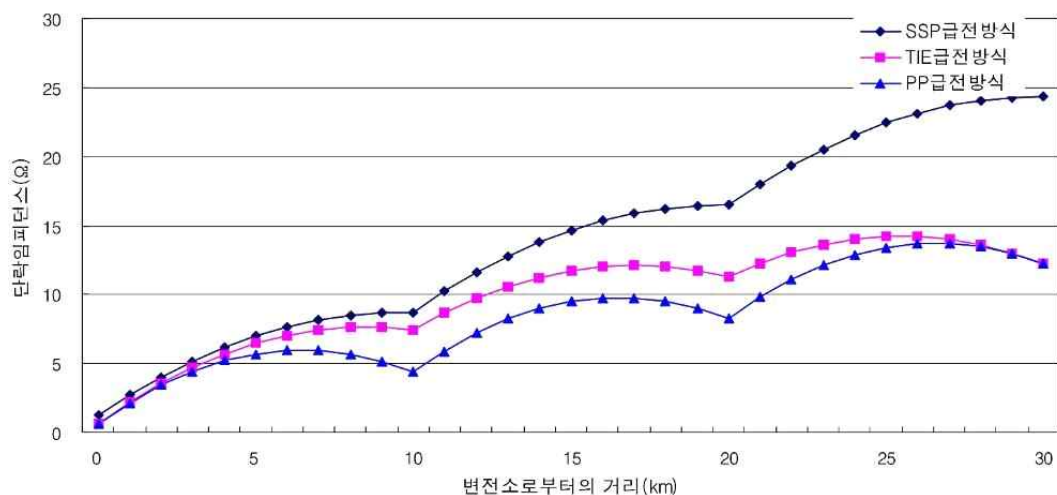


그림 9. 단락임피던스(정상급전)

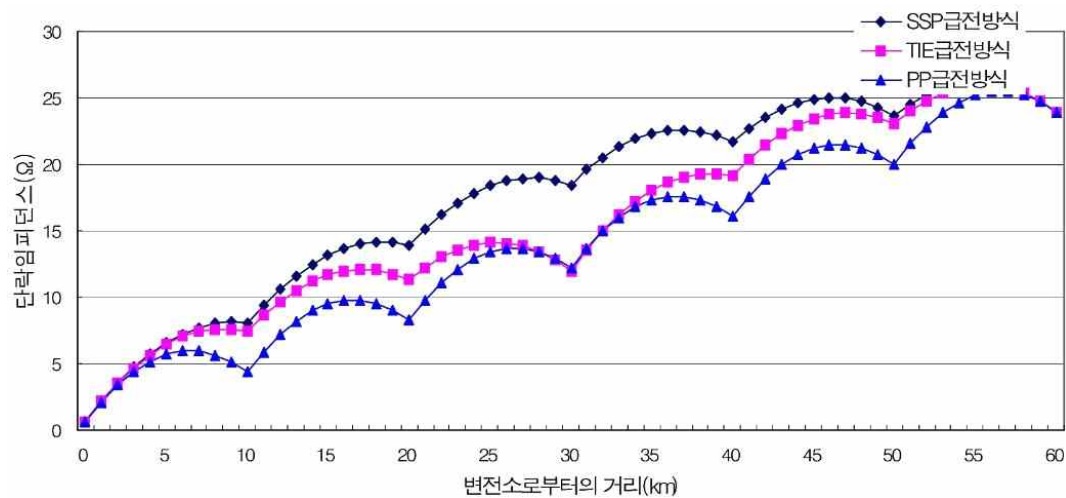


그림 10. 단락 임피던스(연장급전)

3.2.3 차량 집전전압

아래 그림은 차량이 일정한 부하전력을 소모하면서 변전소 급전구간을 운행하고 있을 때 급전방식에 따른 차량의 집전전압을 나타낸 것이다. 정상급전의 경우 차량이 급전구분소에 위치할 경우에 Tie 방식과 PP 방식의 집전전압이 SSP 방식보다 1.59kV 정도 높은 것으로 나타났으며, PP 방식의 집전전압이 Tie 방식에 비교하여 차량이 급전구분소 위치에 있을 경우 0.33kV 정도 높은 것으로 나타났다.

또한 연장급전의 경우 차량이 급전구간의 중간인 급전구분소 위치에 있을 때 Tie와 PP 방식이 SSP 방식에 비하여 0.77kV 정도 집전전압이 높은 것으로 나타났다.

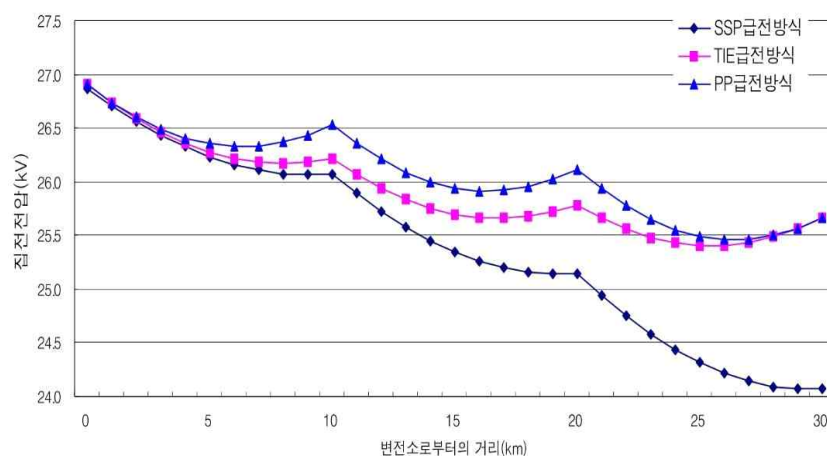


그림 11. 차량 집전전압(정상급전)

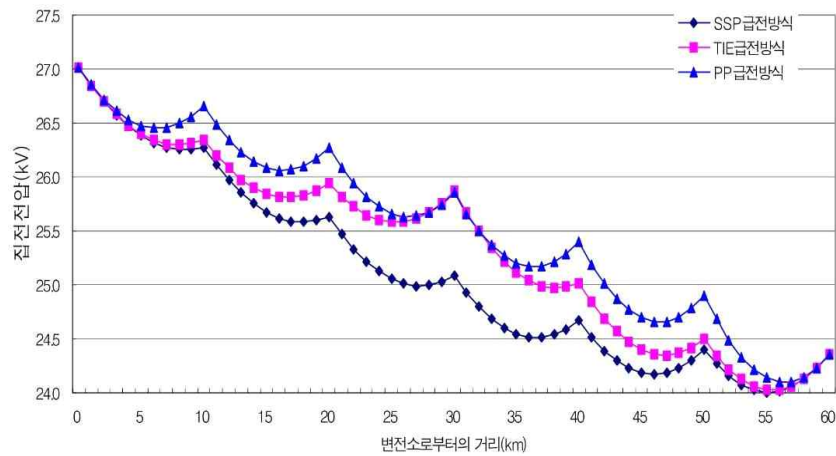


그림 12. 차량 집전전압(연장급전)

3.2.4 변전소 급전부하

아래 그림은 차량의 위치에 따른 변전소의 급전전력을 나타낸 것이다. 차량이 변전소 위치에 있는 경우에 비하여 SSP 방식은 최대 1.53MVA, Tie 방식은 최대 0.79MVA, PP 방식은 최대 0.75MVA의 급전전력이 증가한다. 또한 Tie와 PP 방식에 비하여 SSP 방식은 차량이 급전구분소의 위치에 있을 때 급전전력이 0.9MVA 더 증가함을 알 수 있다.

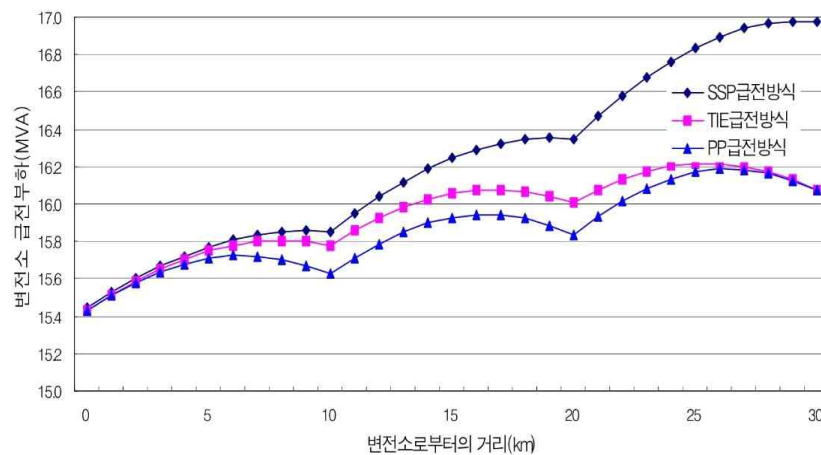


그림 13. 변전소 급전부하(정상급전)

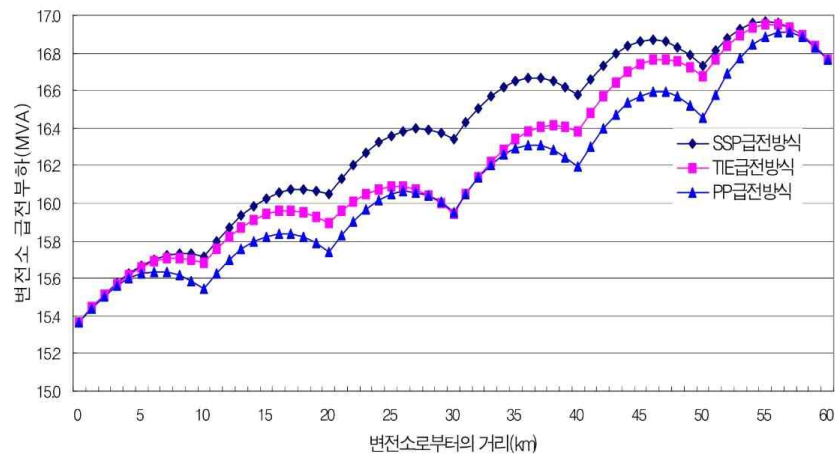


그림 14. 변전소 급전부하(연장급전)

3.2.5 급전방식별 시뮬레이션 결과

다음 표는 열차가 10분 간격으로 운행하는 경우에 대하여 급전방식별로 급전 시뮬레이션을 실시한 결과이다.

표 2. 급전방식별 시뮬레이션 결과

구 분			SSP급전방식	Tie급전방식	PP급전방식
집전전압 [kV]	M상	최소	23.07	24.37	24.34
		최대	27.42	27.47	27.49
	T상	최소	23.65	24.69	24.82
		최대	27.57	27.58	27.62
급전부하 15분최대[MVA]		M상	17.804	17.471	16.953
		T상	17.157	16.902	16.411
불평형율[%]			0.5133	0.5070	0.5067
역률 [1시간 평균]	M상		0.9656	0.9718	0.9741
	T상		0.9679	0.9725	0.9745
전압왜형율 [10분 평균 최대]	A상		3.5529	3.8789	3.2150
	B상		5.0956	5.1430	3.9966
	C상		4.0120	3.8543	1.1180

3.3 기술조사 내용

PP방식과 SSP(SP Tie 조건) 방식에 대하여 호남선 전철화 기본계획에서 기술 검토한 내용을 조사한 바는 다음과 같다.

3.3.1 선로임피던스

급전구간의 선로임피던스는 선로중간 15km 지점의 선로임피던스는 SSP(SP Tie CB 개방) 급전방식이 가장 크고, 다음으로는 SP(SP Tie CB 투입) 급전방식이 중간이며 그 중 PP방식이 가장 적게 나타났고, 선로 30km 지점의 선로임피던스는 SSP(SP

Tie CB 개방) 급전방식이 가장 크며, SP(SP Tie CB 투입) 및 PP급전방식은 선로 임피던스 값이 비슷하게 나타났다.

표 3. 선로임피던스

급전방식	선로중간(15km지점)		선로말단(30km지점)	
	임피던스	비율	임피던스	비율
SSP	$5.9914+j13.3529$	100%	$9.6493+j22.3685$	100%
Tie	$4.8197+j10.6732i$	80%	$4.8447+j11.1842$	50.03%
PP	$3.9973+j 8.6446i$	65%	$4.8447+j11.1842$	50.03%

3.3.2 고조파 확대율

고조파 전류원이 선로의 말단에 있을 때 가장 크게 확대되어 변전소로 유입된다. 따라서 고조파 전류원을 선로의 말단(30km지점)에 위치하고 각 급전방식별로 고조파 확대율을 비교하였다.

표 4. 고조파 확대율

급전방식	공진점(차수)	확대율
SSP	23th	10.7
Tie	19th	9.3
PP	Tie와 동일	

선로 말단에서 고조파 전류원이 있을 경우, 고조파 확대율은 Tie 방식과 PP 방식이 동일한 것으로 나타났고, SSP 방식과 비교하여 공진주파수가 낮고 확대율이 작아지는 것으로 나타났다.

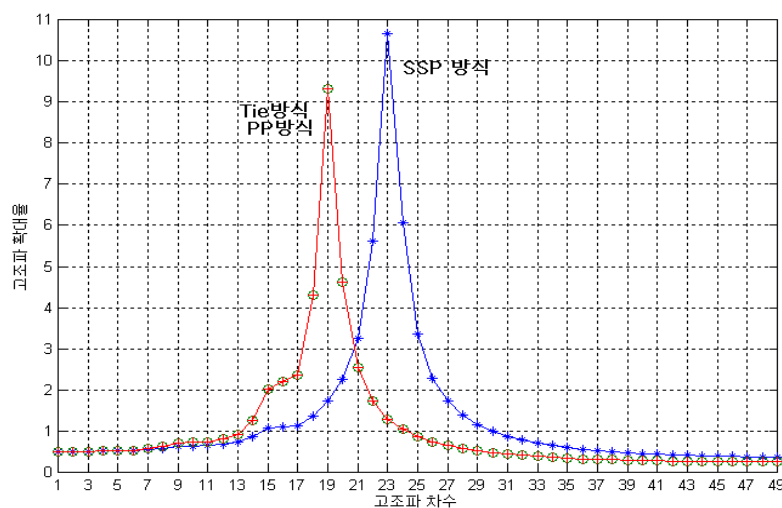


그림 15. 고조파 확대율



3.3.3 집전전압

KTX 고속열차 1편성의 최대 부하량은 $13.4+j3.4\text{MVA}$ 로 전형적인 AT급전시스템 구간을 샘플구간으로 하여 연장급전을 고려한 상태에서 고속열차 1편성이 급전구간을 상선 또는 하선에서 최대부하로 주행한다고 가정하고 거리에 따른 차량의 집전 전압을 비교하였다.

조건 : AT 개수 : 7개

AT 위치 : 0km, 11km, 22km, 31.5km, 42.2km, 52.3km, 62.8km

표 5. 집전전압

	최대 집전전압 차[V]	비율[%]
SSP	-3,740	85.07
PP	325	101.29

※ Tie 급전방식 100% 기준

Tie 급전방식에 비교하여 SSP 급전방식은 집전전압이 크게 떨어지는 것으로 나타났다(최대집전 전압차 : 3.74kV), PP 급전방식은 Tie 급전방식보다 집전전압이 더 높게 나타나지만 집전전압 차는 0.33kV로 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

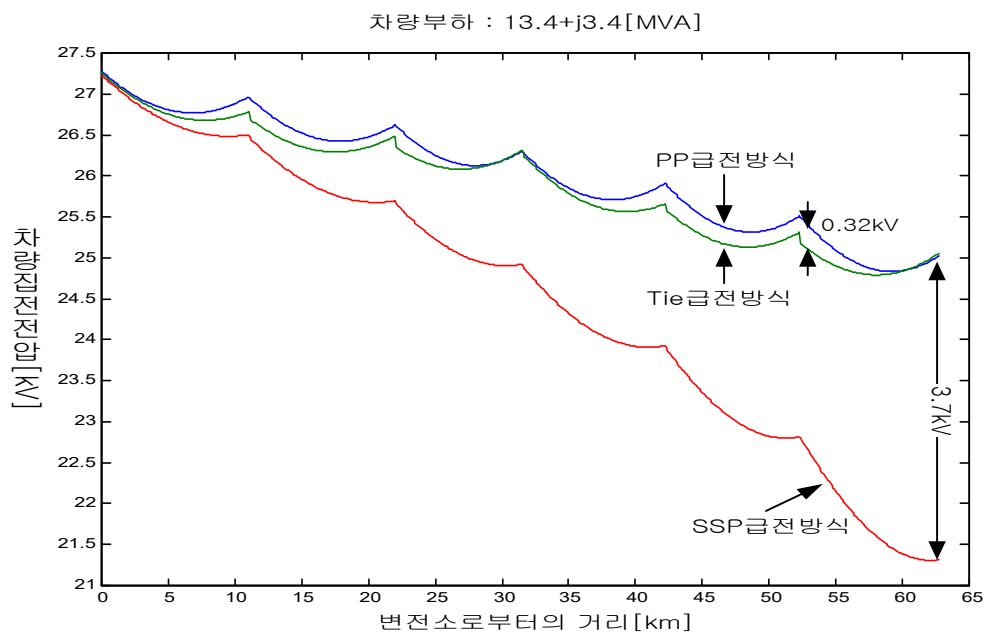


그림 16. 집전전압 비교

표 6. 급전방식별 비교 검토

평가항목		Tie급전	PP방식	비고
특징		<ul style="list-style-type: none"> - 방면별 상하선 분리급전 - SP, SS에서 상하연결 - 일반철도에 적용 - SSP에 상, 하선 Tie 차단설비 필요 없음 - 구분소의 단권변압기 대수 많음(4대) 	<ul style="list-style-type: none"> - 방면별 상하선 병렬급전 - 고속철도에 적용 - PP에 상하선 Tie 차단설비 필요 - 구분소 단권변압기 대수 감소(2대) 	
전기적 측면	임피던스	크다	작다	약 2Ω차이
	전압강하	크다	작다	약400V
	단락전류	작다	크다	약2,000A
	사고구분	SS, SP, SSP에서 구분	SS, SP 건널선에서 구분	
	집전전압	다소 불리	다소 유리	
	급전부하	다소 불리	다소 유리	
경제적 측면	설비구성	다소 복잡	다소 간단	
	건널선	불필요	필요	
	동력단로기	불필요	필요	
	건물면적	다소 크다	작다	
운영자 측면	유지보수	다소 용이 - 구조 단순 - 장애 및 일부구간 정전 작업시 정전구간 및 열차운행지장 최소화	다소 곤란 - 별도의 보호방식이 필요	
	사고대처	다소 용이	다소 곤란	
	고장점표정	다소 용이	다소 미흡	
	선로보안성	다소 미흡	용이	
호환성측면	연계성	용이	개선 필요	기존선 고속화시
시스템운용성		<ul style="list-style-type: none"> - 계통보호 용이 - 기존선 구간 표준방식 - 역간이 짧고 저속운행 구간에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> - 장애 및 정전 작업시 변전소 급전구간 모두 정전 필요 - 역간이 길고 고속운행에 적합 - 고속철도 급전시스템과 동일 (고속철도만 운행시 동일 시스템으로 최적) 	



RECORD HISTORY

- Rev.3(12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둠.
- Rev.4(14.12.26) 공칭전압 [킬로볼트]를 공칭전압[kV]로 문구 수정
- Rev.5(21.02.15) 154[kV] 수전선로의 접지방식 등 공단 업무영역 이외 부분 삭제(기준심사처-483호, 2021.02.09.)
- Rev.6(23.11.27) 관계 법령, 설계기준 등 인용 기준 최신화, 표현방식 변경, 오류사항 수정 등 단순사항 수정(기준심사처-4429호, 2023.11.27.)