

철도 배전 계통의 최적 구성 방안에 대한 연구

A Study on Configuration of Electrical Power Distribution System for Railway

이 규 대* 김 광 호**
Lee, Gyu-Dae Kim, Kwang-Ho

Abstract

Since the railway passenger services have been recognized as important factor for success in railway, electrical energy consumption in railway station for high quality service has greatly increased. Furthermore, the number of the private railway station has gradually increased. Therefore, the operation conditions for railway power distribution system is dramatically changed in comparison with the past.

So, this paper proposes the optimal construction method for railway power distribution system considering economical efficiency and the reliability of power supply to establish the railway power distribution system standard for the future railway industry

키워드 : 철도 배전 계통, 철도 서비스

Keywords : *railway distribution system, railway service*

1. 서론

철도의 고압 배전선로는 열차의 안전운행과 승객에 대한 서비스를 제공하는 전원설비로서 철도역사의 조명, 동력, 냉난방, 환기 등을 위한 중요한 전원 역할을 담당하고 있다. 따라서 철도의 배전계통은 상시 전원 공급이 가능하도록 구성되어야 하며, 특히 이상 발생 시에는 적절한 회로교체를 통해 정전이 최소화되도록 하여야 한다. 모든 부하들이 무정전 상태를 유지하여야 하기 때문에 제한된 시간동안 보수를 하여야하고 비바람, 염해 등 자연재해로부터 설비 자체에 대한 완전한 보호가 요구되기 때문에 신속한 정확한 전력공급이 필요하다.

또한 승객에 대한 안전 확보가 무엇보다도 중요하기 때문에 고장설비의 조기발견과 신속한 고장처리가 요구된다. 근래에는 대 승객서비스의 중요도가 높아지면서 역사 내 전기에너지 사용이 증가하고, 민자 역사의 출현, 기존선 및 고속철도 연계망 전철화 건설, 짧은 간격의 열차운행을 위한 신호설비의 확충 등 철도 배전계통 운용여건이 크게 변하고 있다. 철도 고압 배전선로는 각 역사의 조명, 동력, 신호, 통신 AFC등에 대하여 안정된 공급을 하여야 하므로 전력공급의 신뢰도가 우선시 되어야 하며 공급의 연속성 정전이 없어야하고, 규정치 범위 내에서 전압 및 주파수가 유지 되어야 한다. 또한 부하용량 설비와의 연계성을 충분히 검토하여야 한다. 본 논문에서는 현재 철도의 배전계통 운영 현황을 조사 분석 하고 향후 변화되는 철도 체계에서의 의 전력공급 성능, 공급 신뢰도, 경제성 등을 감안하여 최적의 철도 배전 계통 구성 방안을 제안하고자 한다.

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정

** 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 교수, 공학박사, 교신저자

2. 철도 배전계통의 현황 및 분석

2.1 전력 공급계통의 구성

철도 역사에서 전력을 공급받는 설비는 크게 전기차 운행에 필요한 전력을 공급하는 전력설비와 각 역사의 필요한 전력과 운행 중인 열차와 지상간의 정보교환을 위한 통신설비 및 열차안전 확보를 위한 신호설비로 나뉘어진다. 이중 철도에 에너지를 공급하는 전력설비는 집정장치와 접촉되어 전력을 공급하는 전차선(Contact wire) 부속 설비로 이루어지는 전차선로, 한전전력으로부터 공급받는 전력을 전차선 적정전압으로 변성하기 위한 변전설비, 한전 변전소와의 전철 변전소간의 송전선로, 운전관련 부대시설에 전력을 공급하는 배전설비, 이들 설비들의 전력계통을 감시 제어하는 원격 제어 설비로 구분할 수 있다. 일반적으로 전철의 전차선 급전계통은 2회선으로 한전에서 수전하도록 되어있다.

2.2 배전계통의 전기방식

배전전압은 경제성과 보수의 용의성, 유지관리 및 공급 신뢰도 등을 고려하여 결정된다. 우리나라의 고압배전선로는 3.3[kV], 6.6[kV], 22[kV]의 3Φ 3선식이었으나 3.3[kV], 6.6[kV], 방식은 전력수요의 증가로 전압강하 및 전력손실이 많이 발생하였기 때문에 현재는 모두 22.9[kV] 방식으로 통일하여 채택하고 있다. 한전으로부터 수전된 22.9[kV] 계통은 역사내의 전기설 변압기를 통해 380[V]/220[V]로 강압되어 각 부하설비로 공급된다. 신규 철도 배전계통의 경우 22.9[kV] 방식으로 건설되고 있으며, 기존의 6.6[kV] 철도 배전계통은 22.9[kV]로 승압하는 것이 여러 가지 면에서 유리하다. 그러나, 유지 보수시 작업인력 및 선로면 여객 및 일반인의 특고압 접근에 따른 위험요소가 상존하고, 기존의 설비가 6.6[kV] 이므로 연계 계통간의 인터페이스 문제와 유지보수 부분의 이중화 보수에 따른 부담이 있다. 또한 특고압 직접 접지 방식의 채택에 따른 사고 전 후 유입 시 신호, 통신 등 약 전류 계통의 유도장애 등의 해결방안이 마련되어야 할 것으로 파악되었다. 따라서 22.9[kV]의 승압은 공동접지 방식의 채택하는 구간에 대하여 적용하되 장기적인 계획의 수립 하에 신중히 시행하고, 기존선로와는 완전히 별도로 신설되는 배전계통에 우선적으로 적용하는 것이 타당할 것으로 분석되었다.

2.3 고압 배전계통 구성사례

본 연구의 주요 적용대상이 되었던 경춘선 신내-춘천간 전철 전력설비의 예를 들어 보도록 한다. 현재 경춘선에 공급되는 전원은 17개 역사를 4개 군으로 구분하여 4개역(예, 신내, 마석, 강촌, 춘

천)을 하나의 수전설을 통해 전력을 수전하도록 하고 있으며, 1개소의 장애시에는 인근 수전설에서 연장 급전하도록 구성하였다. 주요한 특징은 다음과 같다.

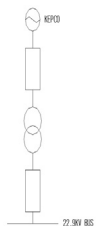
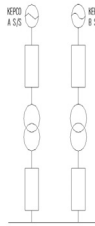
- 배전방식 : AC 3Φ 4선식 22.9[kV]
- 수전방식 : 4개역 특고압 수배전선로 2회선(상시/예비)
- 배전선로 방식
 - 배전전압 : AC 3Φ 4선식 22.9[kV]
 - 가선방식 : 지중2회선
 - 선종: ① 22.9[kV] CNCV-W 60mm²/ 1C*3 (토공교량)*2회선
 - ② 22.9[kV] CNCV-W 60mm²/ 1C*3 (터널)*2회선
- 케이블포설
 - 토공구간 : ① 1000[m] 이상인 구간 : 가공
 - ② 1000[m] 미만인 경우 : Trough 및 직매식
 - 터널구간 : 공동구로 구성
 - 교량구간 : 공동구로 구성

3. 철도 배전계통 구성 방식의 비교 검토

3.1 수전 공급 방안

한전으로 전력을 수전하는 배전선로는 전기철도 구간의 신호용 전원과 역사 전철변전소 및 구분소내 전원 기타 터널 설비의 조명 및 동력 또는 소방설비용 전원을 각 구역에 필요한 지점에 공급한다. 보통 22.9[kV]의 한전 전원을 수전하여 역사 내에 구성한 3Φ4W 22.9[kV] 철도전용 특고압 배전계통을 통해 공급하고 있다. 한전으로부터 전력을 수전하는 방식은 크게 1회선과 2회선이 있는데, 각각의 특징을 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1 수전방식의 비교 검토

	1회선 수전방식	2회선 수전방식
개요	한전으로부터 1회선으로 수전하여 구성	한전으로부터 각기 다른 2개소의 선로로부터 수전하여 구성
구성도		

장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인입설비가 간단하여 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선로 사고시에 다른 선로로 절체가 가능하여 공급신뢰도가 높음 ○ 사고의 파급 범위가 축소
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인입선로 사고 시 연장 급전등, 계통절체가 필요 ○ 전력공급의 신뢰도가 상대적으로 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 회선 비용이 증가. ○ 전력 기본요금의 10[%] 가산

표 1에서 기술한 것처럼, 1회선 수전방식은 인입설비가 간단하여 경제적이나 수전선로 장애등으로 인한 정전시 상대적으로 전력공급 신뢰도가 떨어진다. 2회선 수전방식은 상시/예비 2회선으로 수전계통이 구성되기 때문에 비용은 다소 증가하나 전력공급 신뢰도가 향상되어 안정전인 수전이 가능한 수전설비로 전철부하의 중요성을 고려하여 2회선 수전방식으로 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

3.2 역사이의 가선방식

전철 역사간의 배전선로의 연계방식은 가공선 방식과 지중선 방식이 있다. 두가지 방식을 특징을 요약하면 다음 표 2와 같다.

표에서 비교한 결과, 지중선 방식이 시공성, 유지 보수성 및 경제성 면에서 불리하나 전기적 특성, 보안성, 특히 급전신뢰도 및 환경특성 면에서 대단히 유리하므로 전기철도 열차운행 특성을 고려하여 지중선 방식으로 구성하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

3.3 지중 배전선로의 시공 방식

철도 배전계통의 지중선은 직매식과 관로식 2가지 방법으로 매설할 수 있다. 표 3에 2가지 방식의 장단점을 비교하였다.

2가지 방식을 비교 검토한 결과, 직매식은 열발산, 시공성, 경제성에서 장점을 지니고 있다. 그러나, 근접한 철로 궤도 공사 시에 선로보호가 확실하고 추후 증설이나 및 유지보수가 용이하여야 하며, 열차운행시 급전신뢰도 측면도 고려하여야 한다. 이런 측면에서 볼때는 직매식 보다는 관로식이 적합하다고 할 수 있다. 따라서 다소 고가이지만 철도의 배전계통 지중선에는 관로식의 설치 방식을 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

배전계통 지중선은 전술한 것과 마찬가지로 2회

선으로 시공하는 것이 적합하며, 이때 시공성이나 경제성을 고려하여 2회선 일괄 설치방식으로 진행하는 것이 바람직하다. 또한 지중케이블 시공시에는 도체배치에 따른 허용 전류, 케이블의 차폐 및 접지, 케이블의 스트레스 완화(Stress control) 접속 등을 고려하면서 시공하여야 한다.

표 2 가선방식의 비교

구분	항목	가공선방식	지중선방식
전기적 특성	공급 신뢰도	낮음 (외부환경영향)	높음
	대지절연	유리 (지상 4m가선)	불리(지중 포설)
	단락사고	가능성높음 (단선, 혼축등)	가능성 낮음
	지락사고	가능성 낮음 (고저항 지락사고 가능성은 높음)	가능성 높음
	뇌격서지 섬락사고	가능성 높음 (뇌격 환경 노출)	가능성 낮음 (과고치 감쇄 효과)
	혼축사고	가능성 높음 (타 가공선 접촉)	가능성 낮음
	내절연성	가선부속장치 절연파괴 가능성	경년 절연열화
	전기적 스트레스 집중현황	거의 없음	발생 가능성
기계적 특성	응력부식	응력 부식 단선 가능성	없음
환경특성	풍수해 및 설해	약 함	강함 (단, 수해에는 약함)
	지진, 진동	약 함	강 함
	미관	불 리	수 려
시공성	시공난이도	시공간단	시공 복잡
	공사기간	단 기 간	장 기 간
경제성	점유면적	적음(공간점유 많음)	많음(전체 선로구간)
	자재비	저 렵	고 가
	공사비	저 렵	고 가
	유지보수비	저렵 (유지보수 단순)	고가(유지보수 복잡)
보안성	보 안 도	낮음(지상 노출)	높음(지중 포설)

4. 철도 배전계통 최적 구성 방안

본 절에서는 철도 배전계통의 현황과 구성 방식을 비교 검토한 결과 다음과 같은 최적 구성방안을 제안하고자 한다.

① 철도 배전선로 계통에 있어서는 6.6kV(비접지식) 계통에 비해 22.9kV(접지식)가 전력손실이 적다. 또한 가선방식에 있어서는 시공성, 유지보수성 및 경제성 면에서는 불리하나 전기적 특성 및 보안성, 급전신뢰성이 우수하고, 일반 주거지를 관통하는 경우가 많은 전기철도의 열차운행 특성을 고려할 때, 환경 측면에서도 우수한 지중선 방식을 적합하다고 판단된다.

② 지중선 방식은 직매식과 관로식 중에서 직매식은 열발산, 시공성 및 경제성에서 양호하지만 근접한 궤도 공사시에 선로 보호가 확실하고 증설 및 유지보수에 유리하며 특히 열차 운행시 급전신뢰도가 높은 관로식이 적합하다고 하겠다.

③ 수전방식에 있어서는 1회선 수전방식보다는 2회선 수전방식이 유리하다고 판단된다. 이는 2회선 방식의 경우, 선로 사고 시에 건전 선로로의 신속한 절체가 가능하기 때문에 전력공급 신뢰도를 높일 수 있고 정전시간 및 피해범위 또한 최소화할 수 있기 때문에 안정적인 수전이 가능하다는 장점이 있기 때문이다.

④ 2회선 지중선 시공방법에 있어서는 분리시공 및 일괄시공 2가지 방식중에 시공성이 양호하고 경제성이 높은 일괄시공 방식이 적절하다고 판단한다.

이와 같이 얻어진 연구결과를 토대로 실제 경춘선(신내-춘천) 구간의 고압 배전계통의 기본 설계안을 만들었다. 그림 1은 개발된 설계안의 기본 계획 구성도이다.

표 3 지중 배전선로의 시공방식 비교

구분	항목	직매식	관로식
전기적 특성	허용전류	불 리	다회선 포설시 허용전류 절감
	열방산	양 호	불 리
물리적 특성	포설상	용 이	난 이
	외상	가능성 있음	가능성 없음
	신축, 진동영향	영향 작음	영향 큼
보수 점검	증설, 철거	곤 란	용 이
	보수점검	불 편	편 리
시공성	공사방법	단 순	복 잡
	공사기간	단기간	장기간
경제성	점유면적	적 음	다소 많음
	자재비	저 렵	고 가
	공사비	저 렵	고 가
	유지보수비	고 가	저 렵

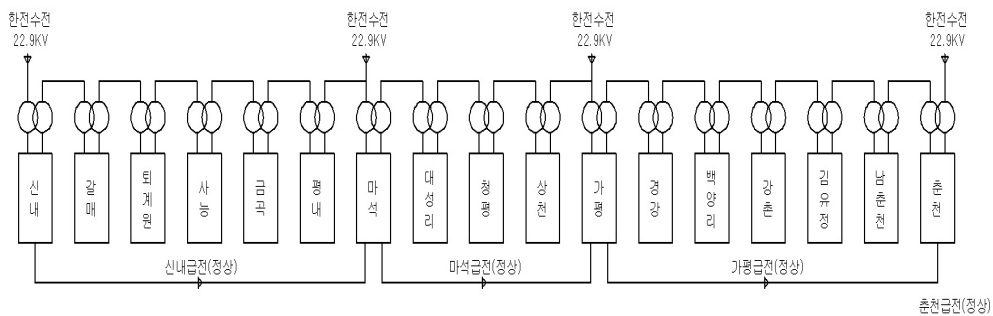


그림 1 경춘선(신내-춘천) 구간 고압배전계통 기본 계획 구성도

경춘선 철도 배전계통은 신내 변전소, 마석 변전소, 가평 변전소, 춘천 변전소 등 4개소에서 한전으로부터 전력을 공급받아서 운영된다.

5. 결론

본 논문에서는 철도의 주요한 설비에 전원을 공급하여 열차의 안전운행과 승객에 대한 서비스 제공에 중요한 역할을 수행하고 있는 철도 배전계통의 최적 구성방안에 대해 기술하였다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 주요 철도 배전계통의 현황을 분석하고, 향후 철도 배전계통 구성에 있어서 대안이 될수 있는 여러 가지 방식의 장단점을 비교 평가하였다. 이를 바탕으로 향후 변화되는 철도 수송체계 하에서의 전력공급 성능, 공급 신뢰도, 경제성이 확보될 수 있는 최적의 철도 배전계통 구성방안을 제안하였다. 또한 이를 토대로 실제 경춘선 복선전철에 적용된 신내-춘천구간의 전철 배전계통 구성 기본 계획안을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사, 배전분야 설계기준, 2000.
- [2] 철도청, 철도 배전계통 시설기준 연구, 2001.10.
- [3] 한국철도공사, 철도 전철전력 설비 시설 지침, 2010. 02.
- [4] 교재편찬위원회, 전력공학(II), 세림사, 2009.
- [5] 한국철도공단, 고속철도 핸드북, 1993
- [6] 김선호, 철도시스템 이해, 자작 아카데미, 1998.
- [7] 이규대, “철도배전계통 및 터널 전력설비시공 방안 개선에 관한 연구,” 강원대학교 산업대학원 석사학위논문, 2011.8.