

운용성, 경제성에 기초한 철도 배전계통 구성방안

오광해 김주락 이한민 창상훈

A Study on the Configuration Schemes for Railway Power Distribution System on the basis of power quality, reliability, and economic aspects

Kwanghae Oh Joorak Kim Hanmin Lee Sanghoon Chang
(Korea Railroad Research Institute)

Abstract - This study presents the configuration schemes for railway power distribution system. The possible alternatives are derived and reviewed on the basis of power quality, reliability, and economic aspects. As a result, a few of configuration schemes are recommended for railway power distribution system

않아 경제적으로 우월하며, 고장발생시 정전범위가 축소되고 유지보수가 용이하다.

통합수용방식과 독립수용방식의 투자비를 직접 비교 검토한 결과를 표 1에 보인다. 표 1에서 22.9kV 독립수용방식은 역사내 변전실에 수용 가능하므로 전체적인 사업비는 독립수용방식이 훨씬 더 저렴한 것으로 평가되었다.

1. 서 론

철도배전계통은 승객에 대해 가장 밀접하게 서비스를 제공하는 전선설비로써, 정거장의 조명, 동력 냉난방, 환기 등을 위한 중요한 전원역할을 담당하고 있다. 근래에는 대 승객서비스의 중요도가 인식되면서 역사내 전기에너지 사용이 증가되고, 민자역사의 출현, 기존선 및 고속철도 연계망 전철화 건설의 가속화, 고 빈도 열차운행을 위한 신호설비 확충 등 철도 배전계통 운영여건이 크게 변화하고 있다. 이에 현재와 향후의 철도산업현황에 맞는 철도 배전계통 시설기준을 수립함으로써 필요한 신뢰도를 유지하면서도 경제적인 건설 및 개량사업의 방향을 설정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 철도 배전계통의 전압과 배전방식을 다각적인 측면 즉, 계통운용성 측면(정성적인 평가), 계통의 전력공급성능 측면(전용 해석프로그램에 의한 정량적 평가), 경제성 측면(내용연수와 할인율, 물가상승률을 고려한 정량적 평가), 신뢰도 측면으로 검토하여 철도 배전계통의 구성 대안들을 평가하였다.

2. 철도 고압배전계통의 수전 방식

철도용 고배전력을 수용하는 방식에는 크게 2가지 즉, 통합 수용방식과 독립 수용방식이 있다. 통합수용방식은 전철용 55kV를 공급하기 위한 스코트 변압기에서 일반전기용 배전계통 전압을 수용하는 방법으로 기존 전철변전소에 부가의 절연비용상승과 용지확보로 인한 건설비 소요로 인하여 다음의 독립수용방법보다 경제적으로 불리한 측면이 있다. 이에 비해 독립수용 방식은 전철변전소와 분리하여 일반 역사내에 변전실을 따로 수용하여 배전계통에 전기를 공급하는 방법으로 역사 공간을 활용하게 되어 통합수용방법보다 건설비가 소요되지

표 1-1 수전방식에 따른 투자비 검토 기준

구분	통합수용방식 (스코트변압기에서 분리)	독립수용방식 (22.9kV 별도 수전)
특징	전철 변전소내에 전철용 변압기와 고배용변압기를 분리하여 설치하는 방식	전철 변전소와는 별도로 22.9kV용 고배 수전설비를 설치하여 완전분리 운용하는 방식
투자비 검토 기준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공통사항 - 고배용 변압기 용량은 두 방법에서 공히 5,000kVA를 기준 - 건축비는 m²당(1,600,000원~1,900,000원) 1,750,000원 적용 - 변압기 2차측은 공통이므로 투자비 비교에서 제외 	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변압기 : Oil Type 적용 ○ 모선 : GIS ○ 차단설비 : GCB, DS ○ 건축면적 : 600m² <ul style="list-style-type: none"> - 변압기실(방유제 포함) 15m×10m×2개소=300m² - GIS실 15m×10m×2개소=300m² 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변압기 : MOLD Type ○ 모선 : Cu Bus ○ 차단설비: VCB,LBS 등 (MOF, PF 포함) ○ 건축면적 : 110.5m² <ul style="list-style-type: none"> - 6.5m×17m = 110.5m² (특고반6면, 변압기2면) ○ 수전선로 : 1회선 3km 거리공사비 및 첨가공사비 (인입 설비 포함)

3. 경제성과 운용성에 기초한 대안의 평가

표 1-2 수전방식에 따른 투자비 비교검토

구분	통합수용방식 (스코트변압기에서 분리)	
사업비	154kV GIS ^(주1)	가스절연개폐장치부 (170kV 50kA/1200A) 463,000,000원×2Bay 모선 부(연결 BUS) 104,000,000원×2식
	TR×2 ^(주2)	500,000,000원 (설치 및 시운전 포함)
	건축비 ^(주2)	1,050,000,000원 (설치 및 시운전 포함)
계 2,684,000,000원		

구분	독립수용방식 (22.9kV 별도 수전)	
사업비	변압기 (5,000kVA Mold) ^(주2)	260,000,000원(2번)
	특고반 ^(주2)	125,000,000원(6번)
	설치 및 시운전비 ^(주2)	35,000,000원
	한전수탁공사비 ^(주2)	소계 122,000,000원 첨가거리 : 58,800,000 신설거리 : 13,200,000 용량 : 50,000,000
	인입선로 공사비 ^(주2)	20,000,000원
	건축비 ^(주2)	280,875,000원
	계 842,875,000원	

(주1) 국내 제조업체 전적가격 기준임, 설치 및 시운전비 포함 가격임

(주2) 전형적인 설계가격(2001년 기준) 실적치임

이상의 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 경제성측면 : 독립 수용방식이 유리(투자비 1/2이하)
- ② 운용성측면 : 독립수용방식이 유리(유지보수가 용이)
- ③ 신뢰성측면 : 독립 수용방식이 유리(수용설비 고장 시 정전범위의 확대가능성 없음)

3.1 철도배전계통 구성대안

우리나라 철도배전계통의 수전방법으로는 각역, 격역, 3격역 수전 및 그룹 수전방식을 고려할 수 있으며 배전선로로는 1회선 및 2회선(경우에 따라서는 3회선)의 지중선 또는 가공선으로 가설된다. 이들의 조합중에서 현실적으로 채택될 수 있는 배전계통 구성은 표 2와 같이 총 12가지이며 이들을 철도배전계통 구성 대안으로 선정하였다.

표 2 배전계통 구성 대안

구분	수전선로	배전선로	선로 가설방식	비고
대안 1	1-1	각역 2회선		
	1-2	각역 1회선		
	1-3	각역 1회선		비상발전기+UPS
대안 2	2-1	각역 1회선	1회선	가공
2	2-2	각역 1회선	1회선	지중
대안 3	3-1	격역 1회선	1회선	가공
3	3-2	격역 1회선	1회선	지중
대안 4	4-1	3개역 1회선	1회선	가공
4	4-2	3개역 1회선	1회선	지중
대안 5	5-1	Group 1회선	2회선	가공
	5-2	Group 1회선	2회선	지중
	5-3	Group 1회선	2회선	가공+지중

각역 수전방식

격역 수전방식

3격역 수전방식

Group 수전방식

3.2 경제성 평가

최적의 방식을 선정하기 위해서는 각 대안(방식)에 대하여 소요되는 비용들에 대하여 다음 사항을 차례로 계산하여야 한다.

- ① 경제적 변수의 결정
- ② 설계건설단가 조사
- ③ 운전유지보수 비용 조사
- ④ 각 대안에 대한 총비용 계산
- ⑤ 최적 대안 결정

본 절에서는 이들 각각의 계산과정과 그 결과에 대하여 다룬다. 시설물에 대한 투자사업은 수년도에 걸친 기간을 대상으로 수립되는 것이므로 여기에는 물가상승(Inflation)을 고려해야 한다. 보통 물가상승률은 10년에서 30년 단위까지 일정한 값을 가지므로 식(1)로 계산되는 Uniform Inflation에 대한 평균화 계수(Levelling Factor :LF)로써 반영한다.

$$LF = \frac{1 - \left[\frac{(1+a)}{(1+i)} \right]^n}{(i-a)} \cdot CRF \quad (1)$$

단, LF : 평균화 계수 [%]

i : 할인율

a : 물가 상승률

CRF : 자본회수 계수 [%]

식(1)에서 자본회수 계수(Capital Recovery Factor: CRF)는 초기 투자비의 현재가치액을 수명년수로 균등화한 비율이며 이는 식(2)로 계산된다. 이때 설비의 잔존가치를 공제하여 적용하는 것이 일반적이다.

$$CRF = \frac{A}{P} \times 100 = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times 100 \quad (2)$$

여기서, P : 초기 투자비의 현재 가치액

A : P를 회수하기 위한 기간중의

매년 회수금액

세제 및 보험료는 자산가액에 대한 세제, 보험료의 집행실적비율로 계산하며, 설계 및 건설비는 세제 및 보험료를 포함한 고정비율로 계산한다.

고정비율(Fixed Charge Rate ; FCR)은 식 (2)의 자본회수비율과 법인세율의 합이며, 이는 다음 식 (3)과 같이 계산된다.

$$FCR = CRF + TAX \quad (3)$$

여기서, FCR : 고정비율 [%]

TAX : 법인세율 [%]

이와 같이 계산된 평균화계수와 자본회수계수 및 고정비율은 계획의 각 대안에 대한 연간 설계·건설비와 운전유지보수비용 계산을 위한 경제적 변수로 사용되며 이에 대한 구체적인 계산과정은 다음과 같다.

연차 매년도 각대안의 설계·건설비를 나타내는 고정비는 식(4)로 계산된다.

$$FIXCOST(t, j) = CPT \times FCR \quad (4)$$

여기서, FIXCOST(t, j) : t년도의 고정비

CPT(j) : 설비의 건설비 [원]

변동비는 식(5)와 같이 해당년도의 운전유지보수비용에 평균화계수를 곱함으로써 물가상승률을 반영하여 계산할 수 있다.

$$VARCOST(t, j) = F(t, j) \times LF \quad (5)$$

여기서, F(t, j) : t년도의 운전유지보수비

VARCOST(t, j) : t년도의 변동비

LF : 평균화 계수

결국 매년도의 각 대안에 대한 총 소요비용은 설계·건설비를 포함한 고정비와 운전유지보수비에 의한 변동비의 합으로 구성된다. 최적 급전방식은 대상기간동안 각 대안의 매년도 비용의 합을 최소로 하는 대안 j를 결정하는 것이므로 목적함수 \mathcal{F} 는 식(6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathcal{F} &= \min_j \sum_{t=1}^T [FIXCOST(t, j) + VARCOST(t, j)] \\ &= \min_j \sum_{t=1}^T [CPT(j) \times FCR + F(t, j) \times LF] \end{aligned} \quad (6)$$

이상과 같이 각 대안의 고정비와 변동비를 수명기간동안 현재화한 금액을 계산하여 비교하였다. 그림 1은 배전계통전압을 현재와 같이 유지하는 경우이고, 그림 2는 배전계통 전압을 22.9kV로 승압하는 경우이다.

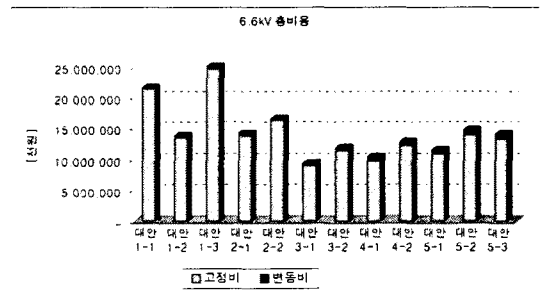


그림 1 경제성 평가 결과(배전전압이 6.6kV인 경우)

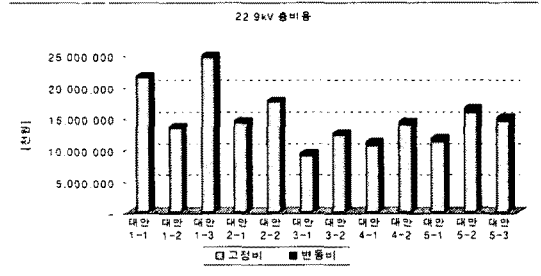


그림 2 경제성 평가 결과(배전전압이 22.9kV인 경우)

최소의 비용으로 구성할 수 있는 철도 고압배전계통은 6.6kV인 경우 대안 3-1(격역 1회선 수전, 가공선로 1회선 포설), 대안 4-1(3개역 1회선 수전, 가공선로 1회선 포설), 대안 5-1(그룹별 1회선 수전, 가공선로 2회선 포설), 그리고 대안 3-2(격역 1회선 수전, 지중선로 1회선 포설) 순이었으며, 이는 22.9kV의 경우도 동일한 결과를 얻었다.

3.3 공급신뢰도 평가

앞서 구성한 12가지의 철도 고압배전계통 구성(안)들에 대한 공급신뢰도를 평가하였다. 본 연구에서는 Fault Tree 이론을 이용한 Item Software Ltd에서 개발한 신뢰성 해석프로그램 FTA(Fault Tree Analysis)를 이용하였다.

표 3 대안들에 대한 신뢰도지수 [정전횟수/년]

구분	수전방식	배전선로	선로방식	신뢰도 [정전횟수/년]
대안 1	1-1	각역 2회선	-	0.114636
	1-2	각역 1회선	-	0.327000
	1-3	각역 1회선	비상발전기+UPS	0.481836
대안 2	2-1	각역 1회선	1회선 가공	0.165873
	2-2	각역 1회선	1회선 지중	0.154859
대안 3	3-1	격역 1회선	1회선 가공	0.309983
	3-2	격역 1회선	1회선 지중	0.288569
대안 4	4-1	3개역 1회선	1회선 가공	0.441403
	4-2	3개역 1회선	1회선 지중	0.411430
대안 5	5-1	Group 1회선	2회선 가공	0.159830
	5-2	Group 1회선	2회선 지중	0.153519
	5-3	Group 1회선	2회선 가공+지중	0.152968

계산결과, 신뢰도 측면에서는 대안 1-1과 대안 5-3이 가장 좋은 안으로 평가되었다. 그러나 대안 1-1은 각역에서 서로 다른 이중전원 2개를 수전받는 조건이므로 현실적으로 불가능하다. 따라서 신뢰도가 특히 요구되는 복선구간에서는 Group별 수전과 함께 배전선로 2회선으로 구성하는 방안이 타당한 것으로 평가되었다.

3.3 충전전류 및 전압강하 평가

무부하 충전전류에 대한 정량적인 검토를 위해서 본 연구에서는 PSCAD-EMTDC에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 22.9kV와 22kV의 장거리 지중케이블의 경우에는 충전전류의 차단한계규정인 31.5A를 초과하는 경우가 발생할 수가 있다. 이는 무부하 또는 경부하의 경우에 충전전류 문제로 부각될 개연성이 크다는 것을 의미하고 충전전류는 거리에 비례하는 특성이 있으므로 22.9kV와 22kV 지중선로의 경우에는 한계거리를 명시할 필요가 있다. 이러한 이유로 고압 지중배전 거리에 따른 충전전류 특성을 계산하고 이를 다음 그림 3에 보인다.

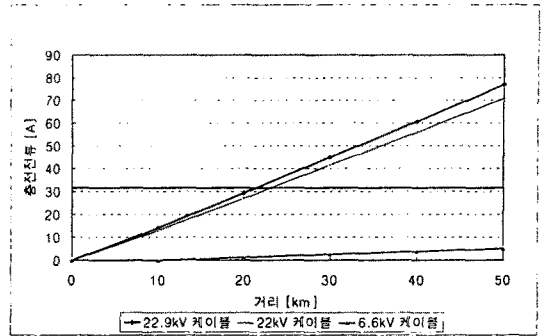


그림 15 배전 거리에 따른 충전전류 특성

위의 그림 1에서 지중케이블에서는 충전전류가 전압에 비례하고 배전거리에 비례함을 알 수 있다. 무부하의 경우에 충전전류의 한계치에 해당하는 배전거리는 22.9kV와 22kV의 경우에 각각 22km와 24km이고 6.6kV의 경우에는 50km 이상이다.

전압강하 평가에서, 22.9kV와 22kV의 경우에는 지중선로와 가공선로 모두에서 전압강하문제는 발생하지 않았으나, 6.6kV의 경우에는 실적부하율을 적용한 경우의 시뮬레이션에서 가공선로를 사용하는 수도권 지하구간에서 전압강하가 10%를 초과하는 경우가 발생하였다. 이에 대한 보완 대책으로, 6.6kV 배전선로의 용량(단면적)증대 또는 수전설비의 간격축소설정이 유효하게 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

철도 배전계통의 최적구성방안을 위해 경제성과 운용성 측면에서 대안들을 검토하였다.

검토결과, 신뢰도가 특히 요구되는 복선구간에서는 Group별 수전과 함께 배전선로 2회선으로 구성하는 방안이 타당한 것으로 평가되었으며 기타 단선구간에서는 격역 1회선 수전하고 배전선로 1회선을 포설하는 대안이 가장 우수한 것으로 평가되었다.

[참 고 문 헌]

- [3] 受電設備, 日本鐵道電氣技術協會, 1995
- [4] 配電線路設備, 日本鐵道電氣技術協會, 1996
- [5] 配線設備, 日本鐵道電氣技術協會, 1994
- [7] 한국전력 표준구매시방서, ES150, 한국전력공사, 2000
- [9] 신뢰도지수를 고려한 배전계통의 최적 전력전송경로 결정, 전기학회논문지, 제48-A, 1999. 3.

본 연구의 내용은 철도청에서 시행한 연구용역(2001.6-2001.10) 결과의 일부임