

## 경량전철 전차선 용량 선정방법

# Selection Criteria for the Traction Power Supply Line of the Light Rail Transit System

정상기\* 정락교\*\* 조홍식\*\*\* 한석윤\*\*\*\* 이안호\*\*\*\*\* 백병산\*\*\*\*\*

Chung, S.G. Jeong, R.G. Cho, H.S. Han, S.Y. Lee, A.H. Baek, B.S.

### ABSTRACT

In this study we examined the method to select the size of the conductor rail for light rail system. Study results shows that using the conductor rail with lower resistivity requires fewer power substation, which results in lower construction cost. It also produces less copper loss. Therefore first choose the conductor rail with lowest resistivity and select the substation location, Next conduct computer simulation study to confirm it meets voltage requirement. if the minimum voltage is well above the required minimum voltage, substation number can probably be further reduced.

### 1. 서론

일반적으로 배전선의 크기는 전선의 허용암페어용량과 부하의 크기를 비교하여 선정한다. 저압의 경우는 배전선의 길이가 상대적으로 짧고 고압의 경우는 전류의 크기가 상대적으로 작아 전압강하가 대개의 경우 문제되지 않는다. 도시전기철도의 경우는 상황이 다르다. 급전전압이 낮아 큰 전류가 흐르면서도 배전의 길이가 상대적으로 길기 때문이다. 도시철도 급전시스템의 주요목적은 열차에 적절한 전압의 전기를 공급해 주는 것이다. 차량이 정상적인 성능을 내기 위하여 요구되는 전차선 전압의 하한선이 있다. 유럽규격인 EN50163에서 권고하는 허용전압의 범위는 표1과 같다. 전압강하는 식(2)에서 보여지듯이 전류가 저항의 함수이므로 전압강하는 저항에 대해 비선형으로 변하고 이 이유로 수계산에 의한 전압강하의 계산은 상당한 오류를 갖고 있다. 본문에서는 한국철도기술연구원에서 개발중인 경량전철시스템의 목표노선을 대상으로 전차선 컨덕터레일의 저항을 선정하고 컴퓨터시뮬레이션에 의해 변전소의 위치와 컨덕터레일의 선정 예를 제시한다. 기본적으로 전압강하는 저항에 비례하므로 가급적 저항이 작은 컨덕터레일을 선정하고 이 저항 값을 이용하여 변전소의 위치를 선정하는 것이 경제적인 시스템 설계방안으로 제시된다. 목표노선은 DC750V 제3레조를 이용한 급전시스템이다.

\* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 책임연구원, 회원  
\*\* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 선임연구원, 회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 선임연구원, 회원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 책임연구원, 회원  
\*\*\*\*\* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 선임연구원, 회원  
\*\*\*\*\* 현대중공업 기전연구소 책임연구원 비회원

## 2. 본문

### 2.1 전압강하의 제한요건

IEC 및 유럽의 EN 규격에서 제한하는 전압강하 값은 표1과 같다. 그러나 이것은 어디까지나 최소한의 요구조건이고 목표노선에서는 차량에 공급되는 최소전압을 20% 여유를 두어 550V 로 설계하였다.

공칭전압	일시 최저전압(10분)	연속 최고전압	일시 최고전압
600	400	720	770*
750	500	900	950+
1500	1000	1800	1950
3000	2000	3600	3900

\* 회생제동의 경우 800V 허용됨

+ 회생제동의 경우 1000V 허용됨

표 3 EN50163에서 규정하는 전차선 허용전압범위

### 2.2 전차선 저항과 변전소간 거리

그림1은 급전시스템을 간략화 한 그림이며 변전소간의 부하분포가 일정하다고 가정하고 변전소 중간에 집중부하로 표시하였다. 변전소 중간에서 가장 큰 전압강하가 일어나고 여기서의 전압강하가 설계전압강하제한값보다 작아야 한다. 그림에서 R은 단위 길이당 저항이다. 변전소 중간에서의 전압강하는 식(2) 와 같다. 식(2)에서 I는 R의 함수이지만 식의 간략화를 위해 일정하다고 가정하면 변전소간의 거리 L은 저항 R에 개략적으로 반비례한다(식3). 변전소간의 거리가 커야 건설해야 하는 변전소의 숫자가 적어지므로 경제적인 설계가 된다. 그러므로 가능한 한 작은 R의 컨덕터레일을 선택하는 것이 유리하다.

$$V = V_s - I \cdot \frac{1}{2} R \cdot L \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\Delta V = V_s - V = I(R) \cdot \frac{1}{2} R \cdot L \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$L \approx \frac{k}{R} \quad \text{-----} \quad (3)$$

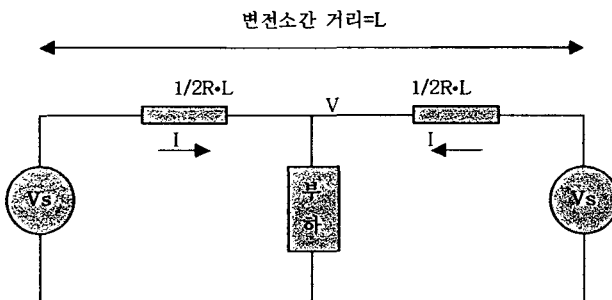


그림 1 급전시스템의 간략화 한 회로

### 2.3 전차선 저항의 선정

모 제작사의 제3제조 전차선 제품규격 및 특성은 표2와 같다. 목표노선의 표정속도는

30km/h, 최소시속은 2분이므로 열차간 평균거리는 1km이고, 일반적으로 750V 급전시스템의 변전소간 거리를 2km 미만으로 보면 변전소간 2개의 열차가 존재한다. 목표노선의 TPS 결과(표3) 열차의 최대전류는 2100A이고 두 개의 열차를 양쪽에서 공급하므로 전차선의 최대전류를 2100A 가정하였다. 표2에서 보면 2200A, 3200A, 4700A 컨덕터레일이 선정 가능하다.

암페어 정격	무게[kg/m]	단면적[mm <sup>2</sup> ]	저항[Ω/km]	개략 설치비용 [억원/km]	비고
1500A	4	1050	0.03	4.5	Light Rail
2200A	6	1600	0.02	4.8	Light Metro
3200A	11	2800	0.012	5.2	Suburban Railways
4700A	16	4800	0.007	5.5	Heavy Suburban Rail

표 2 제3계조 컨덕터레일의 특성

```

---> Sun May 04 16:16:31 2003
=====
//                경량전철 TPS (교무차름)
//
// -- 목표노선 TPS, 6량1편성, 표정속도 30km/h, Flat
=====
1. ----- TPS 결과보고
1.1 ----- 요약 보고
총 주행거리=21000[m]
총 주행시간=2512.53[s]
표정속도=30.09[km/h]
역행 에너지= 200.1[kwh]
역행시의 I_rms = 617.2[A]
역행시 평균전류= 382.3[A]
총 회생에너지= 66.3[kwh]
회생시 I_rms =307.8[A]
회생시 평균전류 =-126.7[A]
총 Aux. 에너지 = 63.8[kwh]
Peak 전류 =2107.0[A] at location I1689[m]

```

표 3 목표노선 TPS결과 요약

## 2.4 전력시물레이션의 수행

목표노선 전력공급시스템의 설계에 있어서 또 하나의 조건은 산업계의 일반적인 설계표준이 그렇듯이 1개의 변전소가 완전히 고장이 나더라도 정상적인 열차운행에 영향을 주어서는 안 된다는 조건이다. 그러므로 시물레이션에서는 정상조건 외에 각각의 변전소를 제외하고 시물레이션을 수행하였다. 실제의 경우 전압강하를 고려하여 변전소의 무부하 전압을 공칭전압의 110% 정도인 825V로 운영할 수도 있으나 변전소의 무부하전압을 공칭전압인 750V로 하였다. 그림2는 목표노선의 각 역사 위치와 1차로 선정된 변전소 위치를 보여준다. 노드 100은 차량기지로써 변전소 하나를 차량기지에 인접한 101역사에 배치하였다. 이 배열로서 2200A, 3200A, 4700A 컨덕터레일을 사용하여 수행한 시물레이션 결과는 각각 표4~ 표6와 같다. 2200A 및 3200A는 최소전압 550V를 만족시키지 못하고 4700A는 만족시키므로 4700A 컨덕터를 적용 변전소 숫자를 1개 더 줄여서 다시 시물레이션한 결과 모든 조건하에서 전차선 최소전압 550V를 만족하여 그림3과 같이 최종변전소 위치를 선정하였다. 2200A 컨덕터레일 사용 시 소요변전소 숫자는 변전소를 1개 더 추가하여 7개로 나타난다(표9).

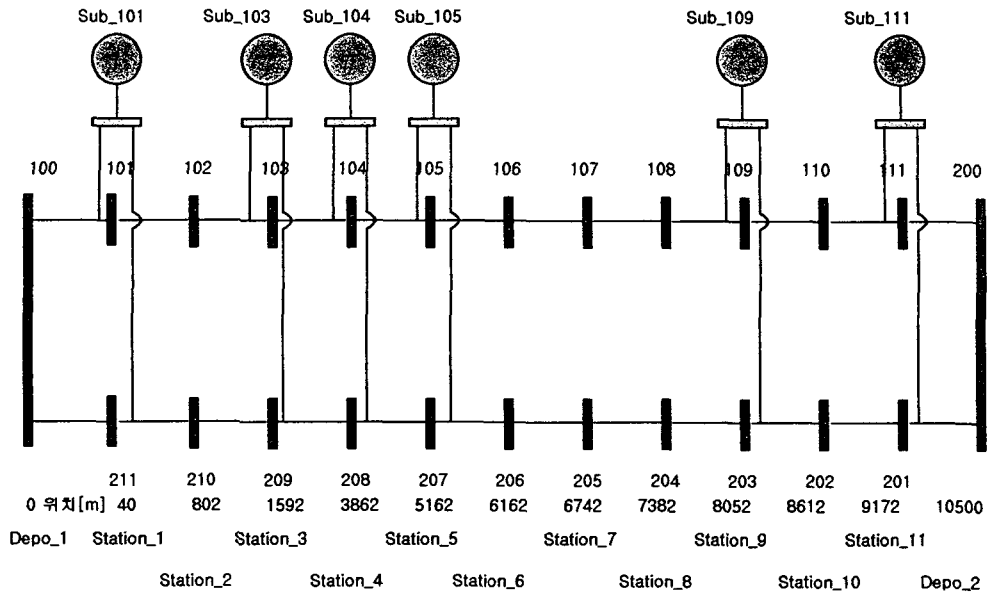


그림 2 목표노선의 역사 및 1차 선정 변전소 위치

	정 상	101Sub고장	103Sub고장	104Sub고장	105Sub고장	109Sub고장	111Sub고장
최저전압[V]	665.0	643.7	637.2	644.3	628.6	635.6	598.0
손실[kwh]	95.6	100.9	105.9	104.7	110.7	110.9	117.2

표 4 전압 및 에너지 분석 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 4700A, R=0.0072/km

	정 상	101Sub고장	103Sub고장	104Sub고장	105Sub고장	109Sub고장	111Sub고장
최저전압[V]	646.7	625.8	610.1	623.0	588.3	606.0	529.8
손실[kwh]	120.2	128.4	138.3	134.9	146.9	143.5	155.5

표 5 전압 및 에너지 분석 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 3200A, R=0.0122/km

	정 상	101Sub고장	103Sub고장	104Sub고장	105Sub고장	109Sub고장	111Sub고장
최저전압[V]	617.8	581.4	564.0	588.9	511.1	555.0	공급불능
손실[kwh]	159.6	173.6	193.5	183.7	210.1	199.6	

표 6 전압 및 에너지 분석 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 2200A, R=0.0202/km

	정 상	101Sub고장	103Sub고장	104Sub고장	105Sub고장	109Sub고장	111Sub고장
최저전압[V]	579.8	511.2	490.0	545.2	공급불능	473.0	공급불능
손실[kwh]	212.1	235.5	273.6	251.4		283.3	

표 7 전압 및 에너지 분석 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 1500A, R=0.0302/km

	정 상	101Sub고장	103Sub고장	104Sub고장	109Sub고장	111Sub고장
최저전압[V]	624.9	607.9	595.7	599.3	570.5	583.5
손실[kwh]	105.6	109.7	119.4	132.6	134.6	132.2

표 8 전압 및 에너지 분석, 5개변전소, 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 4700A, R=0.007 $\Omega$ /km

	정 상	101Sub 고장	103Sub 고장	104Sub 고장	105Sub 고장	108Sub 고장	110Sub 고장	111Sub 고장
최저전압[V]	641.4	583.1	568.9	607.6	567.5	595.4	619.7	567.4
손실[kwh]	152.4	167.3	187.1	175.4	184.7	175.6	158.2	171.5

표 9 전압 및 에너지 분석, 7개 변전소, 6량1편성, 2분시격, 30분 주행, 2200A, R=0.020 $\Omega$ /km

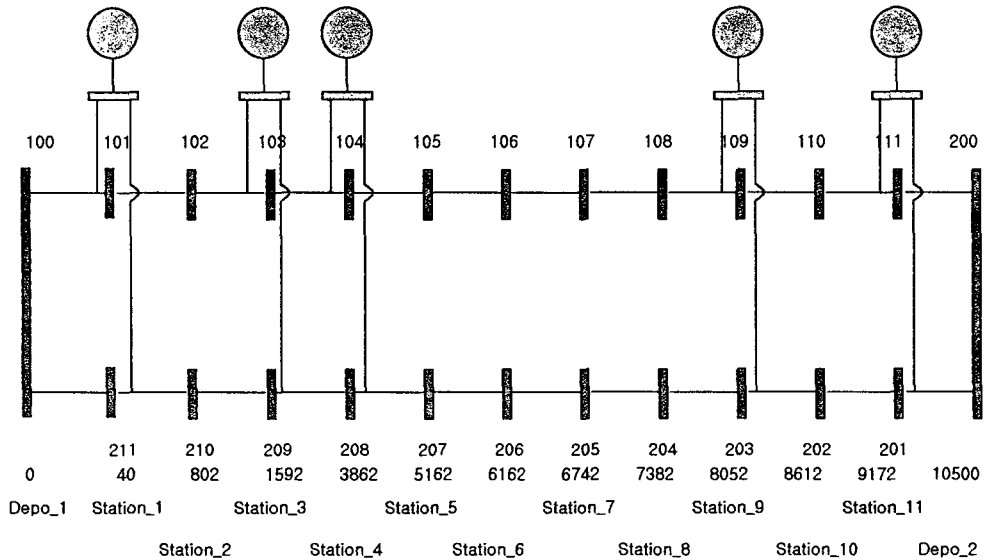


그림 3 목표노선의 역사 및 최종 변전소 위치

## 2.5 경제성 분석

경제성 분석은 초기 건설비와 에너지 손실비용을 비교하였다. 변전소 1개의 평균 50억 원으로 하였고 제3 계조 건설비는 표2의 수치를 이용하였다. 건설비 및 에너지 손실비용은 각각

제3계조 규격	소요 변전소	변전소 건설비용[억원]	제3계조 건설비용[억원]	건설비 계 [억원]	1일 전력손실 [kwh]	년간전력손실 금액[만원]
4700A	5	250	57.8	307.8	1690	4627
3200A	6	300	56.2	356.2	1923	5264
2200A	7	350	50.4	400.4	2438	6674
비 고		변전소당 50억원	총 10.5km		최대부하로 8시간 운행기준	75원/ kwh

표 10 급전선의 크기에 따른 경제성 비교

### 3. 결론

위에서 보여지는 바와 같이 급전선의 크기는 큰 것을 사용할수록 경제적인 설계가 된다. 우선 가장 큰 사이즈의 컨덕터를 선정해서 그 저항 값을 적용하여 변전소의 위치를 정하고 전력시뮬레이션을 통하여 확인하는 방법이 가장 빠르고 정확하다. 물론 컨덕터 사이즈가 커감에 따라 무게도 증가하고 지지대 등의 구조물이 조금씩 더 커질 수는 있겠으나 변전소의 숫자를 줄이는 것을 상쇄할 만큼 크지는 않다. 경량전철 시스템은 주로 저압으로 급전되기 때문에 전류 값이 크고 따라서 저항에 의한 전압강하가 전차선 크기 결정에 핵심 요소이다. 또한 수 계산에 의한 방법은 전원의 소스임피던스를 고려하기 어렵고 전압의 변동에 의한 전류 값의 변화가 고려되지 않으므로 오류를 범할 수 있으므로 최종적인 확인은 반드시 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 확인되어야한다.