

## 급전방식에 따른 급전선로의 전송용량 예측

이장무\*, 이한민\*, 오세찬\*, 김길동\*, 장길수\*\*  
\*한국철도기술연구원, \*\*고려대학교

### Estimation of the Feeding Line Capacity according to Feeding Method

Changmu Lee\*, Hanmin Lee\*, Sechan Oh\*, Gildong Kim\*, Gilsoo Jang\*\*  
\*Korea Railroad Research Institute, \*\*Korea University

**Abstract** - The primary objective of this paper is to examine the capacity of electrical transmission in electric railway according to the type of feeding system. Although supply capacity of railway substation are sufficient and there is no accident, due to the electrical transmission limit of feeding line the voltage breakdown may occur when large capacity of electric load at feeding line exist. So, using multi-port analysis model, we draw P-V curve due to feeding method, load, location and power factor of electric locomotive. .

#### 1. 서 론

교류전기철도 2x25kV AT급전방식은 154kV 3상의 전력을 수전 받아 2x25kV 2상의 전력으로 변환하여 급전선로를 통하여 전기차량에 전력을 공급하며 각 상별로 최대 30km의 구간에 전력을 공급하는 시스템이다. 또한 전기철도 급전계통은 전차선, 레일, 급전선으로 이루어지는 급전선로, 급전선로의 매 10km마다 위치한 단권변압기와 급전선로에 위치한 전기차량들로 구성된다.

이러한 전기철도 AT급전계통에서 전기차량은 전인과 제동을 반복하는 대용량의 집중부하로 전기적 변화가 매우 심하다. 특히 경부고속철도에 도입되는 고속열차는 정격 15MW의 대용량 부하로 하나의 급전구간에 여러 편성의 열차가 투입되거나, 인근 전철변전소가 고장나서 연장급전할 경우 차량전압이 최소 운전가능전압 이하가 되어 열차운행에 심각한 문제를 발생시킬 수 있다.

에너지를 전송하는 시스템인 전력계통은 수용할 수 있는 전력에 한계가 있다. 이는 계통의 임피던스에 의한 전압저하에 기인하고 있다. 현상적으로 부하의 증가에 의해 전력수송한계를 초과하면 전압저하가 급속하게 진전되고 이로 인해 전압붕괴가 발생하게 된다. 이러한 현상은 전력계통으로서 전송능력의 저하에 의한 것이기 때문에 공급능력이 충분하고 사고가 발생하지 않은 상황에서도 발생할 수 있다.

전기철도 급전계통에서도 일반 전력계통에서 발생하는 전압불안정 현상이 발생할 수 있다. 즉, 전철변전소의 공급능력이 충분하더라도 급전선로에 대용량의 부하가 있는 경우, 급전선로의 전송능력 한계에 의하여 전압저하가 발생하여 결국 전압붕괴가 발생하는 경우로 급전선로의 전송능력은 전철변전소 주변압기의 임피던스와 급전구간 내 차량의 운전조건(차량의 부하, 역률, 위치)에 따라 복잡하게 변화하기 때문에 한계상태는 확립적으로 정해지지 않는다.

따라서 교류전기철도 2x25kV AT급전시스템에서 급전선로의 전송능력을 예측하기 위하여 AT급전회로 해석모델인 다단자망 모델을 이용하여 급전방식, 전기차량의 부하, 위치, 역률에 따른 검토를 수행하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 해석모델

##### 2.1.1 급전방식에 따른 회로모델

전철급전시스템의 정밀한 해석을 위해 전기회로의 4단자망 전송이론을 확장하여 AT급전시스템 해석에 적합하도록 6단자 정수를 정의하여 AT급전회로의 모든 요소를 행렬식으로 모델링한 다단자망 해석모델로 급전선로의 부하특성을 시뮬레이션을 수행하였다.

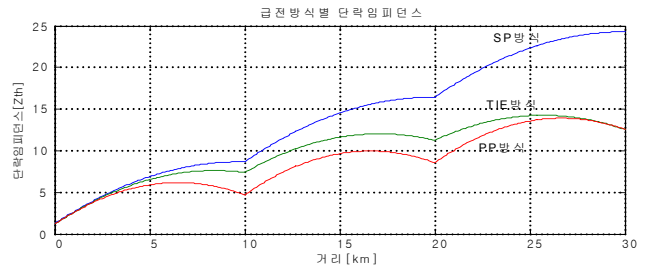
<표 1> 급전회로 회로정수

	전차선	레일	급전선
선로임피던스 ( $\Omega/\text{km}$ )	0.137+j0.288	0.051+j0.101	0.180+j0.444
선로정전용량 ( $\mu\text{F}/\text{km}$ )	0.525+j9.829	0.504+j5.098	0.503+j5.213

급전방식(SP급전, Tie급전 및 PP급전)에 따른 급전회로는 AT간 10km 거리를 갖으며 변전소 편상으로 30km를 급전하며, 전원계통의 임피던스는 동일한 것으로 가정하였다. 각 급전회로에 사용되는 선로정수는 <표 1>과 같으며, 동일 선종을 사용하는 것으로 하였다.

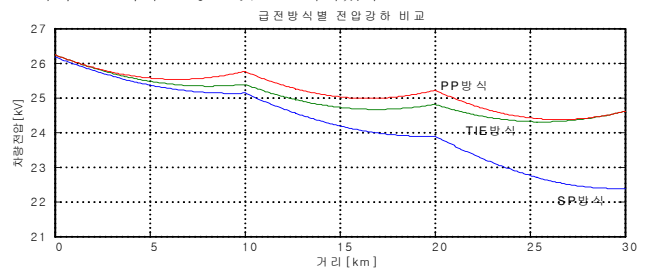
##### 2.1.2 급전방식별 단락임피던스 및 전압강하 비교

급전방식별 특성 비교를 위해 단락임피던스와 전압강하를 비교하였다. 급전방식별로 변전소 급전축[55kV축]에서 바라보는 단락임피던스 계산 결과는 <그림1>과 같다. 단락임피던스 최대값은 SP 방식이 30km지점에서 24.3으로 가장 크며, TIE 방식은 25.7km지점에서 14.26, PP 방식은 26.6km 지점에서 13.9로 가장 작게 나타났다. TIE 방식은 말단에서 PP 방식과 동일한 단락임피던스의 크기를 갖으나 선로 중간에서는 PP 방식보다 큰 경향을 나타낸다. 이는 각 AT개소마다 상선과 하선을 연결하는 PP 방식의 급전회로의 특성에 기인하는 것으로 보인다.



<그림 1> 급전방식별 단락임피던스

급전선로를 따라 일정 부하(15MW, pf=0.9)를 이동시켰을 때, 부하의 위치에 따른 전압강하는 <그림 2>와 같다. SP 방식이 22.37kV로 전압강하가 가장 크게 나타났으며, TIE 방식인 24.30kV, PP 방식이 24.37kV로 TIE와 PP는 전압강하 측면에서 대체적으로 PP 방식이 유리하지만 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 나타났다.



<그림 2> 급전방식별 전압강하

##### 2.2 급전방식별 부하전송능력 예측

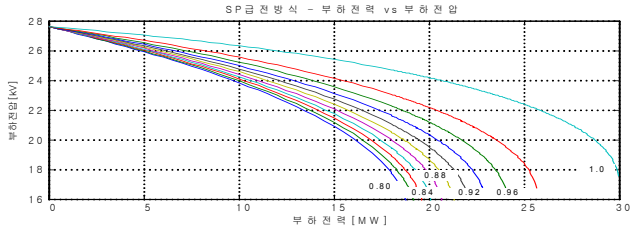
10km 간격으로 단권변압기가 위치하고 30km 구간을 급전하는 선로에 대하여 급전방식별로 부하전송능력을 예측하였다. 부하는 급전선로의 말단, 즉 변전소로부터 30km 떨어진 지점에서 부하는 0[MW]부터 증가시키고, 역률은 0.8부터 0.02간격으로 가변하면서 부하점의 전압을 계산하였다.

##### 2.2.1 SP 급전방식

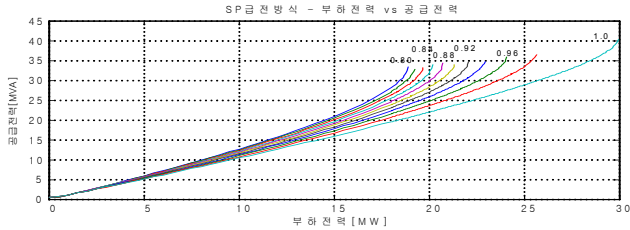
<그림 3>은 부하전력의 변화에 따른 부하점 전압의 변화를 나타낸 것이며, <그림 4>는 부하전력의 변화에 따라 변전소에서 공급하는 전력을 나타내었다. 선로 말단의 부하의 최대 크기는 부하역률이 0.8일 때

18.9[MW]이며 부하역률이 1.0인 경우 29.95[MW]이다. 부하역률이 0.8인 경우에 비교하여 1일 경우 약 11[MW]의 부하를 더 공급할 수 있음을 알 수 있다. 또한 선로말단에서 역률이 1인 29.95[MW]의 부하에 전력을 공급하기 위하여 변전소에서 보내는 전력은 40.21[MVA], pf=0.92로 17.44[MVA]의 선로손실이 발생하고 있음을 알 수 있다.

급전거리 30km 구간을 공급하는 SP 급전방식에서 역률에 따라 그 크기가 변화하지만 최대 29.95[MW]를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.



〈그림 3〉 SP 급전방식 - 부하전력 vs 부하점전압



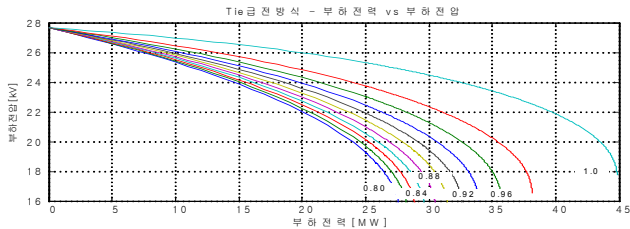
〈그림 4〉 SP 급전방식 - 부하전력 vs 공급전력

### 2.2.2 TIE 급전방식

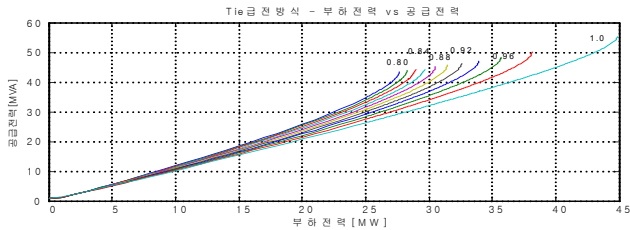
〈그림 5〉은 부하전력의 변화에 따른 부하점 전압의 변화를 나타낸 것이며, 〈그림 6〉은 부하전력의 변화에 따라 변전소에서 공급하는 전력을 나타내었다.

TIE 급전방식에서 선로 말단의 부하의 최대 크기는 부하역률이 0.8일 때 27.7[MW]이며 부하역률이 1.0인 경우 44.84[MW]이다. 부하역률이 0.8인 경우에 비교하여 1일 경우 17.14[MW]의 부하를 더 공급할 수 있음을 알 수 있다. 또한 선로말단에서 역률이 1인 44.84[MW]의 부하에 전력을 공급하기 위하여 변전소에서 보내는 전력은 55.22[MVA], pf=0.95로 18.9[MVA]의 선로손실이 발생하고 있음을 알 수 있다.

급전거리 30km 구간을 공급하는 TIE 급전방식에서 역률에 따라 그 크기가 변화하지만 최대 44.84[MW]를 공급할 수 있는 것으로 나타났다.



〈그림 5〉 TIE 급전방식 - 부하전력 vs 부하점전압



〈그림 6〉 TIE 급전방식 - 부하전력 vs 공급전력

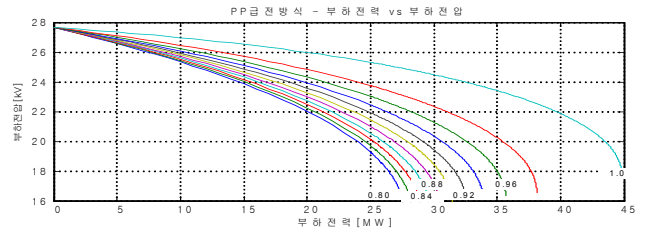
### 2.2.3 PP 급전방식

〈그림 7〉은 부하전력의 변화에 따른 부하점 전압의 변화를 나타낸 것이며, 〈그림 8〉은 부하전력의 변화에 따라 변전소에서 공급하는 전력을 나타내었다.

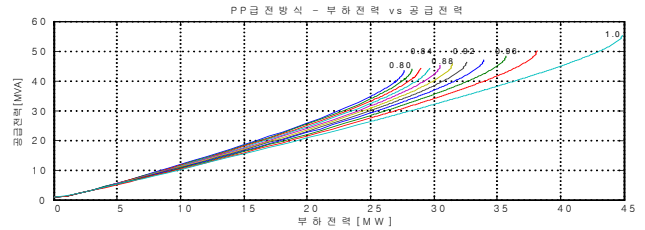
TIE 급전방식에서 선로 말단의 부하의 최대 크기는 부하역률이 0.8일 때 27.7[MW]이며 부하역률이 1.0인 경우 44.84[MW]이다. 부하역률이 0.8인 경우에 비교하여 1일 경우 17.14[MW]의 부하를 더 공급할 수 있음을 알 수 있다. 또한 선로말단에서 역률이 1인 44.84[MW]의 부하에 전력을 공급하기 위하여 변전소에서 보내는 전력은 55.22[MVA], pf=0.95로 18.9[MVA]의 선로손실이 발생하고 있음을 알 수 있다.

급전거리 30km 구간을 공급하는 TIE 급전방식에서 역률에 따라 그

크기가 변화하지만 최대 44.84[MW]를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 이 PP 급전방식의 결과는 부하를 선로 말단에 위치시켜 계산함으로써 TIE 급전방식의 결과와 동일하게 나타난 것으로 보인다.



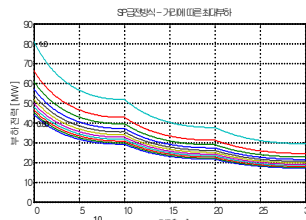
〈그림 7〉 PP 급전방식 - 부하전력 vs 부하점전압



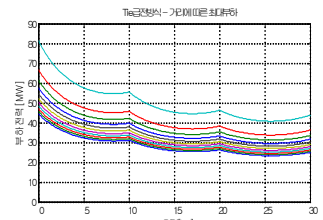
〈그림 8〉 PP 급전방식 - 부하전력 vs 공급전력

### 2.2.4 위치에 따른 최대부하

각각의 급전방식에 대하여 위치를 변화하면서 각 위치에서 차량 운행 가능 최저전압인 19[kV]까지 공급가능한 최대부하를 역률에 따라 계산하였으며 그 결과를 〈그림 9〉 및 〈그림 10〉에 나타내었다.



〈그림 9〉 SP 급전방식-거리별



〈그림 10〉 TIE 급전방식-거리별

## 3. 결 론

에너지를 전송하는 시스템인 전력계통은 수송할 수 있는 전력에 한계가 있다. 부하의 증가에 의해 전력수송한계를 초과하면 전압저하가 급속하게 진전되고 이로 인해 전압붕괴가 발생하게 된다. 전기철도에서도 전철변전소의 공급능력이 충분하고 사고가 발생하지 않는 상황에서도 부하가 클 경우, 급전선로의 전송능력 한계로 인하여 필요한 부하를 공급할 수 없는 즉, 필요한 전력을 공급받으며 최소전압을 유지할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

전기철도 급전계통에서도 이와 같은 부하단에서의 전압불안정 현상이 발생할 수 있으며 급전방식에 따라 사용가능한 부하전력의 최대크기와 이때의 공급전력을 예측하였다.

철도급전계통의 부하전압 안정도 향상을 위하여 설계단계에서 급전선로의 전송능력을 고려하여 철도변전소 위치를 정하거나, 열차 운행시력을 조정할 때 전압안정성에 대한 검토를 통하여 필요시 전압강하보상설비를 설치하는 등 철도급전계통의 안정성을 향상시켜야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이장무 외, “전기철도 급전계통 집전전압 안정도 해석”, 철도학회 추계학술대회, 2003
- [2] 한국철도기술연구원(2003), “경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화 대책연구”
- [3] 오광해, 이장무(2000), Harmonic analysis based on four-port representation for traction power supply”, ICEE 2000 Proceeding
- [4] 이한진, 오광해, 이장무, 장상훈(2001), “5도체군 등가모델을 이용한 선로정수 예측에 관한 연구”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.443~445