

진상부하에 따른 전차선 전위상승에 대한 고찰

이장무\*, 김길동\*, 장상훈\*, 김주락\*, 김재원\*, 이한민\*  
한국철도기술연구원\*

Study on Catenary Potential Rise in Accordance with Condensive Load

Chang-Mu Lee\*, Gil-Dong Kim\*, Sang-Hoon Chang\*, Ju-Rak Kim\*, Jae-Won Kim\*, Han-Min Lee\*  
Korea Railroad Research Institute\*

**Abstract** - 전력계통에서 진상역률이 될 경우, 경부하시 또는 무부하시 변전소 급전측의 전압보다 말단측의 전압이 높아져 심각한 경우 절연과파 및 기기에 과전압으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 최근 도입된 고속철도 구간에서 무부하시 또는 경부하시 전압이 상승되는 현상이 발생하여 실측 및 시뮬레이션을 통하여 전위 상승에 대한 원인을 검토하고자 한다.

1. 서 론

철도변전소는 한국전력으로부터 154kV 3상 전력을 수전받아 스코트 변압기를 통하여 2x25kV 2상의 전력으로 변환하여 급전선로를 통하여 선로상의 전기차량(열차)에 전력을 공급하며 각 상별로 최대 30km의 구간에 전력을 공급하는 시스템이다. 또한 인근 변전소에서 고장이 발생할 경우에도 전력을 공급할 수 있도록 설비를 갖추고 있으며, 연장급전시 최대 60 km이상까지 전력을 공급하게 된다.

이러한 전기철도 AT급전계통에서 철도변전소는 열차가 운행하는 시간 내내 전력을 공급하고 있으며, 열차가 운행하지 않는 심야시간에 전차선로의 전력공급을 차단하고 있다. 즉 일일 열차운행 시작시각 일정 시간 이전부터 전력을 공급하여 열차운행 종료후 일정시간까지 지속적으로 전차선로에 전력을 공급한다.

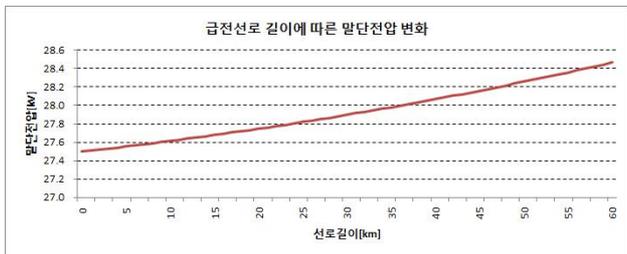
또한 전차선로는 정상급전시 최대 30km까지, 연장급전시는 최대 60 km까지의 구간에 걸쳐 전차선, 레일 및 급전선이 평행하게 위치함으로써 선로 자체의 유도성 부하 외에 선로간의 용량성 부하를 가지게 된다. 통상적으로 전차선의 전력을 소비하는 열차는 아주 큰 유도성 부하로 선로의 용량성 부하가 상쇄되어 나타나지 않지만, 열차가 운행하지 않을 경우 철도변전소의 부하는 장거리 선로에서 발생하는 용량성 부하가 되어 전차선로 자체에서도 말단 전압이 상승하는 페란티 현상을 보이고 된다. 만일 전차선로의 부하인 열차가 유도성 부하가 아니라 용량성 부하가 된다면 전압상승의 영향이 더욱 커지게 되어 전기철도 운행가능 전압을 넘게 될 수 있으므로 이에 대한 검토를 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 급전선로의 무부하 전압검토

철도급전시스템에서 급전선로에 차량이 없을 경우 발생하는 진상 무부하 전압에 영향을 주는 요인은 전력을 공급하는 한전 변전소의 단락용량, 송전선로의 종별 및 길이, 급전용 변압기 용량, 급전선로의 길이, 공급전력의 크기 등이 있다. 이 중 진상 무부하전압에 큰 영향을 주는 요인은 급전선로의 길이와 공급전력이다. 따라서 급전선로의 길이 및 진상부하의 크기에 따른 전압상승을 검토하고자 한다.

2.1.1 급전선로의 길이에 따른 무부하전압



<그림 1> 급전선로 길이 변화에 따른 말단전압

급전선로의 길이 변화에 따른 말단전압 크기의 변화를 예측하

기 위하여 전기철도 교류AT급전방식 복선선로에 대하여 급전선로의 길이를 0~60km까지 변화하면서 말단의 전압을 예측하였다. 이때 변전소의 공급전압은 55[kV]로 고정하였다.

예측결과는 아래 그림1과 같다. 급전선로의 길이에 비례하여 말단의 전차선과 레일사이의 전압이 증가됨을 보이며, 급전선로의 길이가 30[km]일 때 전압은 27.9[kV]로 약 400[V]의 전압상승이 발생하였으며, 선로의 길이가 60[km]로 길어지면 말단의 전압은 28.47[kV]로 약 970[V]의 전압상승이 발생하는 것으로 예측되었다.

2.1.2 진상부하의 크기에 따른 전압변화

급전선로에서 진상부하가 커짐에 따라 전압의 변화를 예측하기 위하여 급전선로의 길이를 30[km]로 정상상태에서 진상부하의 크기를 변화하면서 예측을 수행하였다. 30km급전선로의 말단에 위치한 진상부하의 크기가 0~5[MVA]까지 변화할 때 말단 전압은 최대 29.31[kV]까지 증가하는 것으로 나타났다.

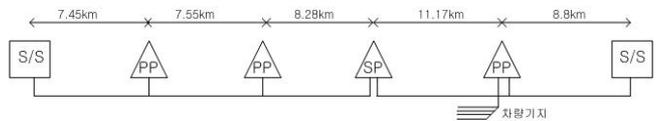


<그림 2> 진상부하 크기에 따른 말단전압

2.2 급전선로의 전압상승 사례검토

2.2.1 변전소 급전계통과 열차운행

최근 새로 개통된 호남고속철도 구간에서 전력을 공급하는 철도변전소 1개소를 대상으로 하였으며, 공급계통도는 아래 그림과 같다.



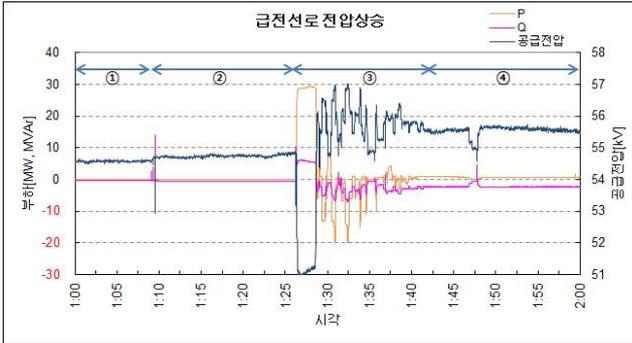
<그림 3> 검토대상 변전소 급전계통도

위의 급전계통도와 같은 변전소 계통에서 인근 변전소가 고장났을 때 연장급전하는 경우에 대한 시험을 수행하였다.

아래 그림은 변전소의 ①급전구간 내 부하가 없는 정상공급 상태에서 ②인근변전소의 고장으로 연장급전을 하며, ③연장급전된 상태에서 열차가 고장변전소에서 연장급전하는 변전소로 운행하여 ④변전소 인근 역에 정차하여 열차 운행방향을 변경하는 시나리오로 운행되는 조건에서 측정된 결과이다. 측정된 값은 공급변전소의 전압, 부하(유효성분, 무효성분)이다.

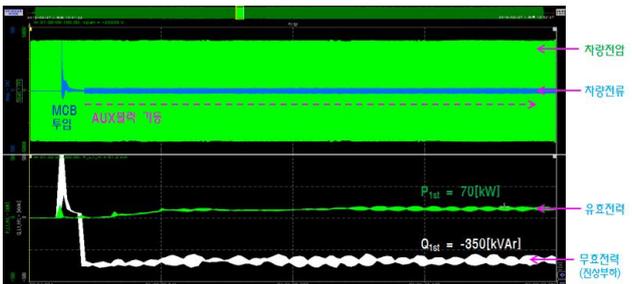
공급변전소에서 정상공급하는 상태인 ①구간에서의 변전소 평균전압은 54.57[kV], 열차가 없는 선로에 공급되는 변전소의 평균 부하는 55-j289[kVA]로 측정되었다. 인근변전소 고장으로 연장급전하는 ②구간에서 변전소 평균전압은 54.74[kV], 평균부하는 135-j556[kVA]로 측정되어 약 165[V]의 전압이 상승하였으며, 부하 또한 80-j267[kVA]가 상

승된 것으로 측정되었다. 열차가 운행한 후 변전소 인근 역에 정착하고 있는 ④구간에서의 변전소 평균전압은 55.59[kV], 평균부하는 365-j1294[kVA]로 전압은 854[V] 상승하며 부하 또한 229-j738[kVA]가 증가된 것으로 측정되었다. ②구간과 ④구간의 차이점은 변전소 인근 역 구내에 열차가 정착하고 있는 것으로 이는 대상열차가 정착하고 있는 상태에서 진상부하로써 동작되고 있음을 알 수 있다. 특히 ④구간내에서 열차의 선두방향을 전환하기 위하여 열차의 전원차단기를 투개방하는 시간동안 변전소 전압이 55[kV]이하로 감소하며 이때의 공급부하의 무효성분 또한 약 -550[kVAr]로 감소하여, ④구간에서의 전압상승은 정착상태의 열차가 진상부하로 동작되고 있음을 알 수 있다.



〈그림 4〉 연장급전시 공급부하 및 전압상승

위의 그림4에서의 결과에 따라 차량에서의 부하를 측정하였다. 측정결과에는 아래 그림5와 같이 나타났다. 차량의 MCB투입 후, AUX블럭만 가동하는 상태에서 차량의 주변압기1차측의 부하를 측정된 결과 차량은 70-j350[kVA]로써 무효성분이 0보다 작아 차량은 진상부하로써 작용하고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 차량기동시 부하특성

### 2.2.2 진상부하 차량에 따른 전압 상승 예측

그림3과 같이 호남고속철도구간에 전력을 공급하는 변전소 급전구간에 대하여 차량기지에서 진상부하로 작용하는 차량의 대수에 따라 전차선 전압이 상승하는 정도를 계산하였다.



〈그림 6〉 진상부하 차량 증가에 따른 전압상승

계산 결과 진상부하 차량이 1편성 증가함에 따라 전압은 약 122[V]씩 증가하는 것으로 나타났으며, 기동된 차량의 수가 12편성을 넘게 되면 전압이 전차선 허용최대전압인 29[kV]를 초과하는 것으로 나타났다.

### 2.2.3 진상부하 차량에 따른 전압 변화 측정

그림7은 차량의 투개방에 따라 전차선 전압의 변동을 측정된 결과가

다. 시험의 용이성을 위하여 4대의 차량을 사용하여 측정을 하였으며, 4대의 차량에 전압이 인가된 상태에서 1대씩 전력공급을 차단하면서 전압의 변화를 측정하였다. 차량이 1대씩 차단됨에 따라 전압은 약 250~300[V]씩 감소함을 보이고 있다.



〈그림 7〉 진상부하 차량 투입에 따른 전압변동 측정

이는 위의 예측결과와 약간의 차이를 보이고 있으나, 진상부하로 인하여 전압이 변동됨을 명확히 보여주고 있다. 따라서 전압 안정화를 위해서는 변전소에서 공급되는 전압의 크기 및 품질도 당연히 중요하지만, 전기를 공급받아 사용하는 부하에서의 특성도 매우 중요하다.

## 3. 결 론

전력계통에서 진상역률이 될 경우, 경부하시 또는 무부하시 변전소 급전측의 전압보다 말단측의 전압이 높아져 심각한 경우 절연과피 및 기계 과전압으로 인한 문제가 발생할 수 있다.

철도급전계통은 전차선로에 운행되는 차량이 없을 때, 전차선과 레일이 장거리에 걸쳐 마주하고 있어 용량성 부하가 되어 말단의 전압이 상승하는 현상을 보이고 있다. 만일 급전구간을 운행하는 전기차량이 용량성 진상부하로 작용을 하게 된다면 전차선 전압 상승이 더욱 커지게 되며 이로인한 문제의 가능성은 더욱 높아질 것이다.

최근 도입된 고속철도 구간에서 무부하시 또는 경부하시 전압이 상승되는 현상이 발생하였으며 실측 및 시뮬레이션 결과 고속철도 차량이 기동시 즉, AUX블럭만 동작할 경우 용량성 부하로 작용하여 전차선 전압상승을 이끄는 현상으로 보여진다.

철도 급전선로의 안정된 전압을 유지하기 위하여 철도의 부하가 되는 차량은 항상 지상역률, 유도성 부하가 되도록 제어되어야 할 것이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 이장무 외, “교류전기철도변전소의 역률검토”, 대한전기학회 춘계학술대회논문집, 2011
- [2] 한국철도기술연구원, “전기철도 급전시스템의 안정화 분석 연구”, 2011