

교류 AT 급전계통에서의 단권변압기 설치위치의 최적화

한문섭, 이장무  
한국철도기술연구원

Location of Auto Transformer in AC AT Feeding System

M. S. Han, J. M. Lee  
Korean Railroad Research Institute

**Abstract** - AC AT feeding system is possible to do the long distance feeding due to compensate the voltage drop. Nowadays this is a typical and efficient type all over the world in high speed train and heavy transport capacity.

Normally a Auto-transformer is installed at regular interval (5 to 10km) between Substation and Sectioning post. this study is reviewed the voltage drop according to train movement and the optimal location of auto transformer, and provided the efficient feeding configuration.

1. 서 론

전기철도는 도심지에서 지하 직류급전시스템과 도시간 연결을 위해 교류급전시스템을 사용하고 있다. 교류급전 시스템은 통신유도 영향의 감소와 전압강하의 저감을 위해 선로에 적절로 흡상변압기를 사용한 BT(Boost Transformer)와 전기차 집전전압의 두배 전압을 인가하여 단권변압기를 사용하여 인가된 전압의 반을 전기차에 전압을 인가하는 AT(Auto Transformer)을 사용하고 있으나 최근에 성능 면에서 유리한 AT 급전계통을 표준 시스템으로 채용하고 있다.

AT 급전시스템은 국내에는 약 30km의 급전구간에 보통 약 10km 간격으로 3개의 단권변압기를 설치하여 전압강하 보상, 통신유도 감소뿐만 아니라 단권변압기 설치 위치에 구분소 및 보조구분소를 설치하여 선로를 개폐기를 사용하여 전기적으로 구분하여 사고 또는 보수 시 단권변압기간 정전을 할 수 있도록 하였다.

보통 AT 급전시스템은 단권변압기를 사용하여 통신유도의 영향 감소와 전압강하 보상이 가능한 것으로 알려져 있으나 단권변압기의 설치 위치에 따른 전압강하와 통신유도 영향과의 관계를 시뮬레이션 결과를 통하여 검토하여 적절한 단권변압기의 설치위치를 제시한다.

2. 본 론

2.1 교류 AT 급전시스템

2.1.1 개요

교류AT 급전시스템은 그림1과 같이 전차선과 급전선 사이에 단권변압기를 설치하여 단권변압기 중성점을 레일과 연결하여 전차선과 레일간에 전기차를 운행시키는 방식이다.

이 AT 급전시스템은 그림에서 보는 바와 같이 전차선과 급전선의 절반 인 전압을 전기차에 인가하게 되고 전차선과 급전선의 흐르는 전류는 전기차에 흐르는 전류의 반이 흐르게 된다. 또한 운행하는 전기차 양쪽에 설치된 단권변압기에 의해 전압강하를 보상하는 효과를 갖는다.

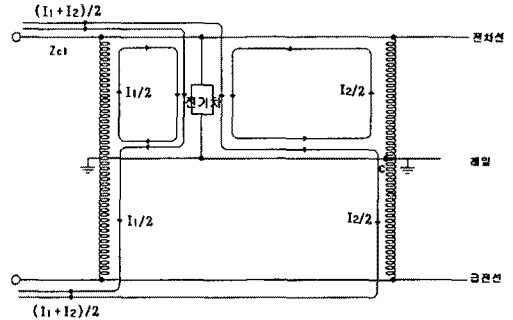


그림 1. AT 급전시스템의 개략도

2.1.2 AT 급전시스템의 장단점

교류 AT 급전시스템을 기존의 타 시스템과 비교할 때, 장점은 다음과 같다.

- i. 적은 급전전류에 의한 급전변전소간의 거리를 증가
- ii. 수전변전소의 초기 비용 감소
- iii. 급전거리를 증가
- iv. 전철시스템을 위한 적은 수의 수전점
- v. 전철시스템에서 적은 손실
- vi. 전차선의 적은 전압강하
- vii. 유도전압의 크기 감소

반면에 단점으로는

- i. 일정거리(약 10km)마다 단권변압기가 필요
  - ii. 전차선 전압이 27.5kV일때, 55kV의 수전이 필요
  - iii. 전자선로의 급전배치가 복잡
  - iv. AT 시스템을 위한 부가적인 차단기가 필요
  - v. AT 시스템의 큰 고장전류에 의해 큰 레일전위가 발생
- 이다.

위에서 보는바와 같이 부가적인 설비(단권변압기, 차단기)와 수전전압이 필요하고 큰 레일전압이 발생하고 복잡한 AT 시스템을 전압강하와 통신유도영향의 감소에 따른 급전거리를 증가시킬 수 있다는 장점 때문에 채택하고 있다.

2.2 전기차 운행에 따른 전압강하 분석

2.2.1 시뮬레이션 [1][3]

교류 AT급전계통에서 전기차가 운행함에 따른 대지누설전류를 구하기 위한 급전계통을 시뮬레이션하기 위해 급전계통을 특성별로 구분하여 단위계통의 입력단과 출력단을 다음과 같은 관계식에 의해 행렬  $M_{10 \times 10}$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V' \\ V' \\ V' \\ V' \\ I' \\ I' \\ I' \\ I' \\ I' \\ I' \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} = M_{10 \times 10} \begin{bmatrix} V'' \\ V'' \\ V'' \\ V'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} \quad \text{-----식(1)}$$

즉, 예를 들어 그림 1과 같은 계통구성의 경우, 삼상 전원계통, 스코트변압기와 단권변압기, 전차선로, 급전보조구분소 (SSP : Sub- Sectioning Post)의 단권변압기, 전차선로, 전기차 임피던스, 전차선로, 급전보조구분소의 단권변압기, 전차선로, 급전구분소 (SP : Sectioning Post)의 단권변압기로 각 단위계통의 단자망 행렬을 각각 구하면 식(2)와 같이 연립방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 55 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{SS} \\ (5 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SSP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전기차}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SSP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ V \\ V \\ V \\ I \\ I \\ I \\ I \\ I \\ I \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} \quad \text{-----식(2)}$$

식 (2)를 풀면 SP에서 상하선의 전차선, 급전선 및 레일의 전압과 전류를 구할 수 있고, 이 값을 이용하여 모든 위치에서의 상하선 전차선, 급전선 및 레일의 전압과 전류를 구할 수 있다.

### 2.2.1 결과

본 연구에서는 교류 AT 급전시스템의 주요 잠점인 전압강하와 통신유도영향의 감소 중, 전압강하 항목에 대해 전기차가 운행함에 따라 그 영향을 분석한다. 이 분석을 위해 전철변전소와 급전구분소간 급전거리가 20km로 가정하고 전기차의 부하 및 운행 대수를 변경하면서 전기차의 부하위치에 따른 급전거리내에서 추가 설치되는 단권변압기의 최적 위치를 결정한다.

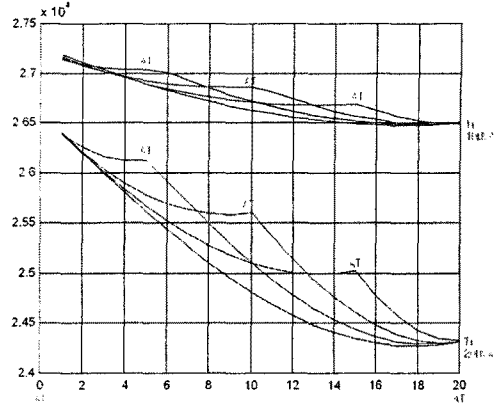


그림 2. 시뮬레이션 결과 (Case 1)

그림2에서 위쪽과 아래쪽의 라인은 각각 10MVA와 20MVA의 전기차가 20km의 급전계통에서 20km의 위치에 AT가 1대 설치될 경우와 단권변압기가 5, 10과 15km에 추가적으로 설치될 때, 운행하면서 전기차에 공급되는 전압의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서는 다음과 같은 AT 급전계통의 특성을 알 수 있다.

- 차량의 부하가 2배 증가함에 따라 전압강하는 약 3 배 증가하였다.
- 중간에 AT를 설치하더라도 20km에서의 전압강하에 영향은 없다.
- 급전계통의 전원과 전차선로 임피던스를 최소로 하면 전압강하를 감소시킬 수 있다.
- 전체 평균 전압강하율은 단권변압기를 10km에 설치하였을 때 가장 작았으며 각각 차량이 10MVA와 20MVA일 때 다른 위치에 단권변압기가 설치되었을 때 보다 2.75와 3.47% 작았다.

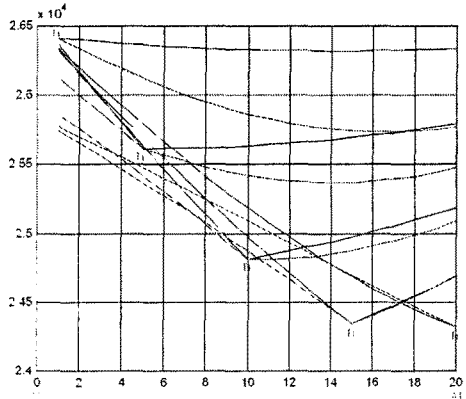


그림 3. 시뮬레이션 결과 (Case 2)

그림3은 단권변압기가 20km에 설치되었을 때, 10MVA 전기차가 1, 5, 10, 15, 20km에 위치하고 10MVA 또 다른 전기차가 이동할 때의 두 전기차에 공급되는 전압의 변화를 나타내고 있다.

- 1대의 차량의 위치가 변전소로부터 멀어질수록 전압강하가 커진다. 급전말단에는 전기차가 큰 부하를 사용하지 않는 구간을 설정한다.

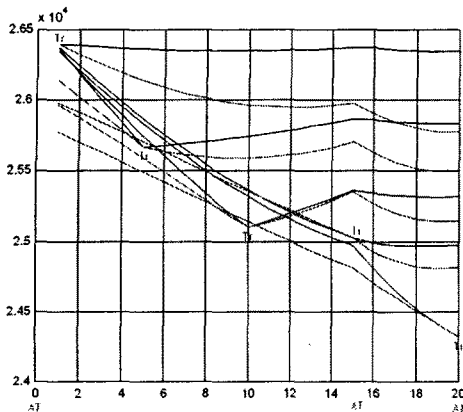


그림 4. 시뮬레이션 결과 (Case 3)

그림4는 그림2의 경우와 동일한 조건에서 단권변압기를 15km에 추가설치 하였을 때의 두 전기차의 전압강하를 나타내고 있다.

- 중간 단권변압기의 설치 위치는 전기차의 부하가 집중된 위치에 설치하면 전압강하의 보상이 가능하다.

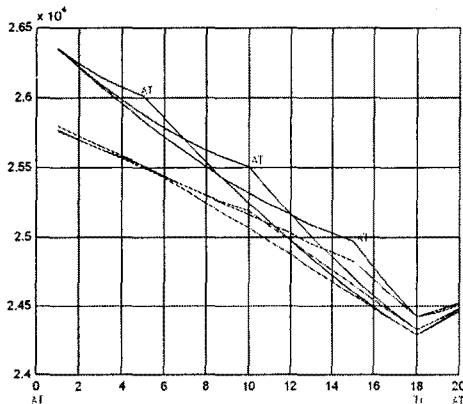


그림 5. 시뮬레이션 결과 (Case 4)

그림5는 한 전기차가 18km에 위치할 때 중간에 설치된 단권변압기의 위치를 변화시켰을 때, 두 전기차의 전압강하를 나타내고 있다.

- 말단부하에 의한 단권변압기의 위치변화로 인한 전압강하의 보상효과는 그다지 크지 않다.

### 2.3 결과검토

앞 절에서 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

- 일반적으로 단권변압기간 중앙에 단권변압기를 설치하면 평균전압강하가 가장 적은 최적 위치이다.

- 말단구분소 위치에서는 작은 부하가 위치하도록 한다.

- 전철변전소와 말단구분소 사이에 큰 부하가 있는 위치에 단권변압기를 설치하면 전압강하 보상에 큰 효과가 있다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 차량이 운행함에 따라 단권변압기의 설치 위치를 변화시키면서 철도급전시스템에서 중요한 요소인 전압강하를 급전시뮬레이션을 통하여 검토하였다.

이 결과, 전압강하 측면에서 AT급전계를 구성하기 위해서는 변전소와 말단의 단권변압기가 기본적으로 필요하며, 가능한 많은 차량부하가 소비되는 지역에 변전소를 설치한다.

급전구간내에서 단권변압기는 다음과 같은 기술적인 사항을 고려하여 필요시 약 5내지 10km 마다 설치를 할 수 있다.

- 차량이 운행하는데 필요한 부하분포와 단권변압기의 소요용량의 관계
- 급전구간내의 최대 부하의 위치
- 통신유도 [4]

향후 AT급전시스템 전철화시 위와 같은 사항을 충분히 고려하고 단권변압기를 최적 설치위치에 설치운용하기 위한 방안에 대한 연구 및 적용에 대해 점층적인 노력이 필요하다.

### (참 고 문 헌)

- [1] "CCITT Directives, Vol IV, Inducing Currents and Voltages in Electrified Railway System", CCITT, 1989
- [2] "급전시스템기술강좌", RTRI, 1995.9
- [3] 오광해외2인, "경부고속철도 시험선로의 고조파해석을 위한 10단자 회로망 모델", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학술회 2001년도 춘계학술대회 논문지
- [4] 한문섭외3인 "급전계통 파라미터의 통신유도영향분석", 대한전기학회 2001년도 하계학술대회 논문지