

급전시스템 파라미터의 통신유도영향분석

한문섭 이장무 권상영 김용규
한국철도기술연구원

Parameter Analysis on the Telecommunication Induction in Electric Railway Feeding System

M.S.Han C.M.Lee S.Y.Kwon Y.K.Kim
Korean Railroad Research Institute

Abstract - 전기철도에서의 급전시스템은 레일을 귀선으로 사용하는 단상급전시스템을 사용하고 있다. 이에 따라 레일로부터 대지로의 누설에 의해 상당한 누설전류가 대지로 흐르게 된다. 대지로 흐르는 이 누설전류는 전자유도에 의해 선로 주변에 설치된 통신 케이블 또는 장치에 영향을 주게 된다. 더욱이 전기차의 견인시스템은 견인전동기를 제어하는데 있어서 스위칭 소자의 개폐에 의한 고조파 전류를 발생하고 있어 대지누설전류에 고조파 전류가 포함되어 흐른다.

본 연구에서는 전기철도 급전시스템에서 통신유도원인 대지누설전류에 따른 고려되어야 할 급전시스템 설계 파라미터를 시뮬레이션을 통하여 검증하였으며, 이 결과가 향후 급전시스템 설계시 기본적인 지침이 되어야 할 것이다.

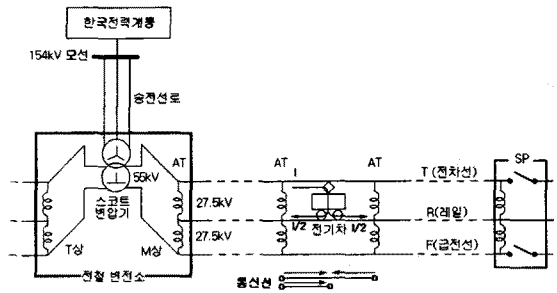


그림 1. 교류 AT급전계통

1. 서 론

전기철도에서 교류 AT급전시스템은 전기차를 통하여 레일을 귀선으로 사용하는 단상급전계통을 채택하고 있다. 하지만 레일과 대지간은 전기적으로 밀접한 관계를 갖고 있어 누설임피던스에 의해 상당한 귀선전류가 대지로 흐르게 된다. 더욱이 전기차에서 발생한 고조파 전류를 포함한 대지누설전류는 전자유도에 의해 인접한 통신선 및 기기의 품질에 영향을 주게 되어 이에 따른 심각한 검토가 행해지고 있다.

본 연구에서는 교류 AT급전계통의 설계 파라미터 변경에 따른 통신유도 영향을 검토하였다.

2.1장에서는 AT급전계통에서 통신유도를 일으키는 원리를 설명하고, 2.2장에서는 AT급전계통의 설계 파라미터를 변화시켜 통신유도 영향을 검토하기 위한 시뮬레이션 방안을 수립하여, 2.3장에서는 그 시뮬레이션 결과를 제시한다.

마지막으로 3장에서는 시뮬레이션 결과에 따라 통신유도의 영향을 줄이기 위한 AT급전계통의 설계안을 제시한다.

2. 본 론

2.1 통신유도 개요

전기철도의 급전시스템은 그림 1과 같이 스코트변압기를 이용하여 154kV 삼상전력을 두 개의 단상으로 변환시켜 방면별 급전을 한다. 한 방면 급전계통에서 레일을 귀선으로 하는 단상시스템을 이용하여 전기차에 전력을 공급한다.

또한 전기차가 급전계통을 운행하면서 전압강하 보상 및 통신유도 영향을 감소시키기 위해 단권변압기 (Auto-Transformer)를 선로에 설치한다.

통신유도는 보통 전차선로에서 영향을 주는 전류에 의한 전자유도에 의해 유도기전력이 유기되어 영향을 주는데 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$e = \omega k M I_p l \text{-----식(1)}$$

- 단, e : 유도전압
- ω : 각속도
- k : 감소계수
- M : 상호 인덕턴스
- I_p : 영향을 주는 전류 (대지누설전류)
- l : 전차선로와 통신선 간의 평행거리

교류 AT급전계통에서는 그림 1에서와 같이 전기차가 두 번째와 세 번째 AT 사이의 중앙에 운행 중일 경우, 변전소와 두 번째 AT사이에는 레일로 흐르는 귀선전류가 거의 없게되어 통신유도 영향은 없고, 전기차가 운행하는 AT 사이에서는 레일로 흐르는 귀선전류가 반분되고 양쪽으로 분할이 되어 흐르므로 통신유도 영향이 반으로 줄어들게 된다.

또한 전기차가 운행하는 AT 사이에서 긴 통신선이 있을 경우, 같은 귀선전류가 반대방향으로 흐르므로 전자유도에 의해 통신선에 유기되는 전압은 상호 소멸되어 통신유도 영향은 줄게된다.

또한 대지누설전류는 전차선전류에서 급전선과 레일의 전류를 뺀 전류로 다음 식과 같다.

$$I_{\text{대지누설전류}} = I_{\text{전차선}} - I_{\text{급전선}} - I_{\text{레일}} \text{-----식(2)}$$

위와 같이 전기차의 위치와 교류 AT급전계통 설계시 선정 파라미터인 AT의 설치 위치 및 누설임피던스 등에 따라 통신유도원인 대지누설전류가 다각적으로 변화되므로 이에 대한 검토를 위해 시뮬레이션을 수행한다.

2.2 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.

$$\begin{bmatrix} V' \\ V' \\ V' \\ V' \\ I' \\ I' \\ I' \\ I' \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} = M_{10 \times 10} \begin{bmatrix} V'' \\ V'' \\ V'' \\ V'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \\ I'' \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} \quad \text{-----식 (3)}$$

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 (4)와 같이 연결 방정식을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 55 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{SS} \\ (5 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SSP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전기차}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SSP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{\text{전차선로}} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{SP} \\ (10 \times 10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ V \\ V \\ V \\ I \\ I \\ I \\ I \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \\ \text{전차선 상선} \\ \text{급전선 상선} \\ \text{레일} \\ \text{전차선 하선} \\ \text{급전선 하선} \end{matrix} \quad \text{-----식 (4)}$$

식 (4)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.

2.3 시뮬레이션 결과

급전계통의 변화에 따라 대지누설전류를 구하기 위해 급전시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 조건으로는 전기차가 1,000A의 부하를 소비하면서 한 급전구간에 1대가 운행하고, 급전계통은 두 개의 SSP가 있을 경우를 가정하였다.

그림 2는 상하선이 분리된 급전계통에서 10km마다 AT를 설치하고 전기차가 매 5km마다 위치한 경우의 위치별 대지누설전류를 보이고 있다. 대지누설전류는 첫 번째 SSP이후에 AT간 중간 15와 25km에 전기차가 위치할 경우, 각각 11과 21km에서 가장 큰 값을 나타내고 있다.

그림 3은 상하선이 분리된 급전계통에서 AT간격을 변화시켰을 때의 AT간격을 10km를 기준으로 대지누설전류의 변화율을 보이고 있다. AT간격이 줄어들면 대지누설전류가 줄어들음을 알 수 있다.

그림 4는 상하선이 각 AT마다 연결된 급전계통에서

10km마다 AT를 설치하고 전기차가 매 5km마다 위치한 경우의 위치별 대지누설전류를 보이고 있다. 그림 3의 상하선이 분리된 급전계통과 비교할 때 보다 큰 대지누설전류가 발생하며 전기차가 5km에 위치할 때 8km에서 가장 큰 대지누설전류가 발생한다.

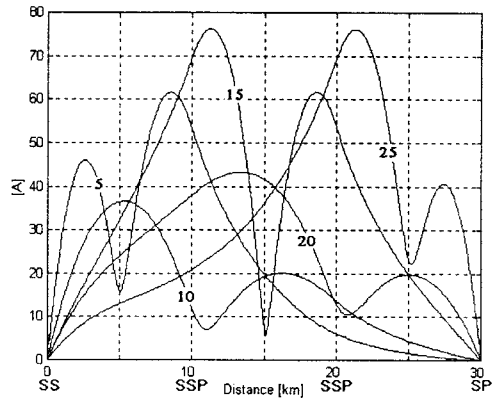


그림 2. 전기차 위치별 대지누설전류 (AT간격:10km/상하선분리)

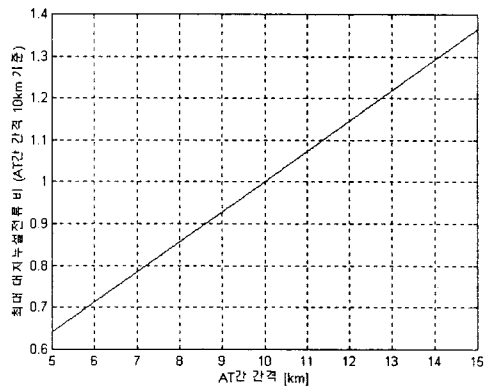


그림 3. AT간 간격 변화에 따른 최대누설전류

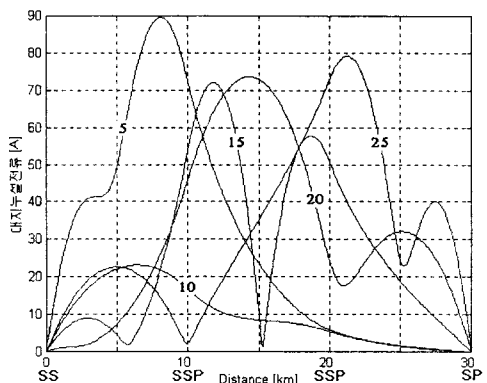


그림 4. 전기차 위치별 대지누설전류 (AT간격:10km/상하선연결)

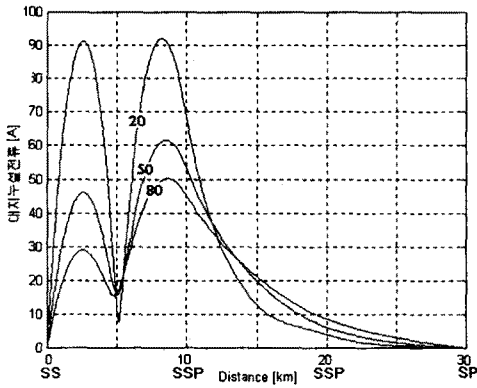


그림 5. 레일과 대지간 상호임피던스 변화에 따른 대지누설전류 (전기차 위치:5km, 상하선분리)

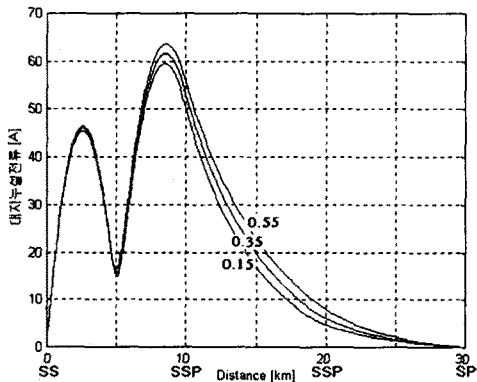


그림 6. AT 누설임피던스 변화에 따른 대지누설전류 (전기차 위치:5km, 상하선분리)

그림 5는 상하선이 분리된 급전계통에서 10km마다 AT를 설치하고 전기차가 5km에 위치한 경우, 레일과 대지간의 상호임피던스를 변화시켰을 때 대지누설전류를 보이고 있으며 상호임피던스가 적어지면서 대지누설전류가 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 상하선이 분리된 급전계통에서 10km마다 AT를 설치하고 전기차가 5km에 위치한 경우, AT 누설임피던스를 변화시켰을 때 대지누설전류를 보이고 있으며 AT누설임피던스가 증가하면서 대지누설전류가 증가하고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 급전계통의 구성변화에 따라 통신유도에 영향을 미치는 유도원인 대지누설전류를 알아보기 위해 급전시뮬레이션을 통하여 검토를 수행하였다.

대지누설전류의 크기는 궤도의 구조, 건조상태, 대지도전을 등에 따라 변화하며 변전소 간격, 전기차의 운행 상황 및 AT 누설임피던스 등에 좌우가 됨을 알 수 있다.

변전소로 귀선되는 전류중 대지누설전류가 크면, 급전

계통 측면에서는 전압강하가 감소하고 이에 따른 전력손실도 감소하게 되는 장점을 갖지만, 통신유도장애의 원인이 되므로 두 시스템간의 절충에 의한 급전시스템의 선정에 유의해야 한다.

결과적으로 통신유도경감하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 1) 변전소 및 AT의 간격을 가능한 한 작게 한다.
- 2) 급전전압을 높여서 운전전류를 작게 함으로써 대지누설전류를 감소시킨다.
- 3) 큰 규격의 레일을 사용하거나 전념선을 강화시켜 귀선로의 임피던스를 작게 한다.
- 4) 절연성이 좋은 침목을 사용하여 레일 밑의 레일과 대지간 상호임피던스를 크게 하여 누설전류를 감소시킨다.
- 5) 가능한 한 두 열차가 동시에 동일구간을 운행하지 않도록 운행시격을 띄운다.
- 6) 가능한 한 급전구간 내에서 적절한 수의 열차가 운행되게 하여 상호간 상쇄효과가 발생하도록 한다.

(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) 오광래외2인, "경부고속철도 시험선로의 고조파해석을 위한 10단자 회로망 모델, 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학술회 2001년도 춘계학술대회 논문지