

직류전기철도 레일-대지간 절연저항 측정 방안

한문섭 김주락 정효성  
한국철도기술연구원

Consideration of Conductance between Rails and Ground in DC Railway

Han, Moonseob Kim Ju-rak Jung, Ho-sung  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - DC feeding system is mainly floating but the rail potential and the leakage current are created because of long parallelism between rails and ground. Rail potential causes electric shock to human and leakage current causes electrolytic corrosion to nearby the buried metals. Therefore the design technologies to reduce, protect and monitor these effects are important recent DC feeding system. Rail potential and leakage current are analysed based on propagation theory that is utilized in order to simulate grounding system. New measurement procedure is proposed based on this analysis in order to more be accurate in result.

누설전류가 흘러 레일전위 부호가 반대가 됨을 알 수 있다. 비접지방식은 현 직류급전시스템에서 가장 많이 사용되는 시스템이다.

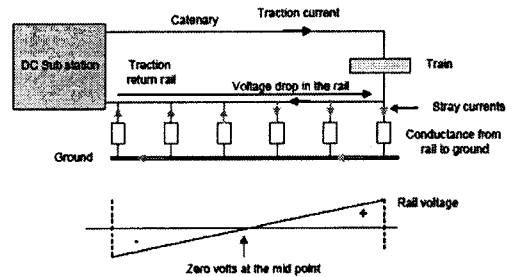


그림 1. 비접지방식의 레일전위

1. 서 론

직류급전시스템의 접지방식은 접지와 비접지방식으로 크게 구분된다. 최초에는 비접지방식을 주로 사용하였지만 대기 전압과 누설전류로 인한 문제로 인해 접지방식을 주로 사용하고 있다. 최근에는 변전소와 접지사이에 다이오드를 삽입한 다이오드방식과 Back to Back 사이리스터를 삽입한 RPCD(Rail Protection Control Device) 방식 등이 속속 채용되고 있다. 우리나라에서는 주로 비접지방식이 주종을 이루고 있는데 최근 경전철건설에 따라 새로운 RPCD방식 등의 채용이 이루어지고 있다.

그림2는 접지방식에 대한 레일전위를 나타내고 있으며 전동차 위치에서 2V와 변전소 위치에서 0의 레일전위가 발생한다. 즉 변전소에 레일이 접지가 되어 있어 전동차 위치에서부터 변전소 위치까지 레일로부터 대지로 누설전류가 흐를 수 있다. 접지방식은 최초 직류급전시스템에서 채용되었던 시스템이다.

직류급전시스템에서 전동차 부하가 전차선로와 레일을 따라 이동하게 되어 레일이 귀선회로를 구성하게 된다. 비접지방식의 경우 두 레일은 대지와는 절연이 되어 있지만 상당히 길게 대지와 평행을 이루어 설치되기 때문에 레일전위와 누설전류가 발생하게 된다. 대개 레일전위는 인체에 전기적인 쇼크를 주고 누설전류는 레일근방의 매설된 도체 등에 전식을 일으키는 원인이 되어 설계시 중요한 요소가 된다. 최근 들어 이러한 문제를 줄이기 위한 설계, 차폐 및 모니터링을 위한 방법이 제안되고 있다.[4]

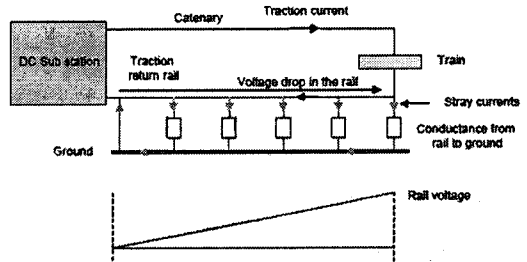


그림 2. 접지방식의 레일전위

본 연구에서는 접지방식의 레일전위와 누설전류를 해석하기 위해 대지를 송전라인으로 가정하여 전파방정식을 사용하였으며 이 해석적인 방법을 이용하여 중요한 파라미터인 레일-대지간 콘덕턴스를 구하는 방안을 제시하였다.

최근에는 레일전위 및 누설전류를 줄이기 위해 변전소 위치에서 레일과 접지 간에 다이오드 또는 Back to Back 사이리스터 등을 설치한 시스템이 적용되고 있다. 한편 급전전압 630VDC를 사용하는 영국의 런던지하철(LUL ; London Underground Limited)에서는 레일전위 및 누설전류를 줄이기 위한 고유의 방식으로 그림3과 같이 Fourth Rail방식을 채택하고 있으며 일반적으로 귀선로로 사용하는 2개의 레일은 전동차 운행용으로만 사용하고 4번째 레일을 부가적으로 설치하여 귀선(-210VDC)으로 사용하고 있다.

2. 본 론

2.1 직류급전시스템의 급전방식

직류급전시스템의 접지방식을 크게 접지와 비접지방식으로 구분된다.

그림1은 비접지방식에 대한 레일전위를 나타내고 있으며 전동차 위치에서 +V와 변전소 위치에서 -V의 레일전위가 발생한다. 즉 전동차에서부터 누설전류가 레일에서 대지로 흐르고 중간점을 지나면 대지에서부터 레일로

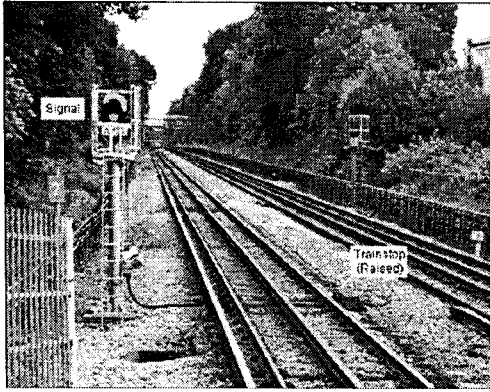


그림 3. 영국 런던지하철 Fourth Rail

### 2.2 레일전위와 누설전류산출을 위한 회로해석

레일간이 규칙적으로 분당 되어 있다면 단일 커선 도체도 고려될 수 있으며 레일저항과 레일과 대지간 콘덕턴스가 일정하다면 간단한 모델화가 가능하다.

그림4와 같이 길이가 1인 선로에서 우측단에 병렬 저항  $R_s$ 를 갖는 전류원  $I_s$ 가 인가되고(Shunt Energization) 레일저항  $R$ 과 레일과 대지간 콘덕턴스  $G$ 가 일정한 값을 갖는 분포회로라 고려하면 레일에 흐르는 전류와 전압은 다음 식과 같다.[1]

$$i(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x} \quad (1)$$

$$u(x) = -R_0(C_1 e^{\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x}) \quad (2)$$

$$\text{단, } \gamma = \sqrt{RG}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

$u(x)$ : 레일전위 (V)

$i(x)$ : 레일전류 (A)

$R$ : 레일저항 ( $\frac{\Omega}{Km}$ )

$G$ : 레일과대지간누설콘덕턴스( $\frac{S}{Km}$ )

$\gamma$ : 전파정수 ( $\frac{1}{m}$ )

$R_0$ : 선로의특성저항( $\Omega$ )

$C_1, C_2$ : 상수

여기서 임의의 위치  $x$ 에서의 누설전류  $I_L$ 는 다음식과 같다.

$$I_L(x) = I_L(x-) + i(x) - i(x-) \quad (3)$$

위 식을 풀기 위해서는  $C_1$ 과  $C_2$ 의 상수를 구하여야 한다.

그림5와 같이 두 변전소간을 1대의 전동차가 운행하는 조건으로 모의를 수행하였으며 그림6과 7은 각각 비접지 방식과 접지방식에서의 레일전위와 누설전류의 거리에 따른 변화를 보여주고 있다.

비접지 방식의 경우 차량위치에서 레일로부터 대지로의 누설이, 변전소에 가까워지면서 레일로부터 레일로의 누설이 발생하는 것을 알 수 있고, 접지방식의 경우 변전소에서 접지가 되어 있어 모든 지점에서 레일로부터 대지로의 누설이 발생하여 변전소에서 누설전류가 흡수됨을 알 수 있다.

이 해석결과를 근거로 “누설전류 해석 프로그램”으로 발전시켰다. 본 프로그램은 임의의 급전거리에서 전기차 전류가 인가되었을 때, 레일저항과 레일-대지간 콘

덕턴스가 주어졌을 경우, 위치에 따른 누설전류와 레일전위를 산출할 수 있다.

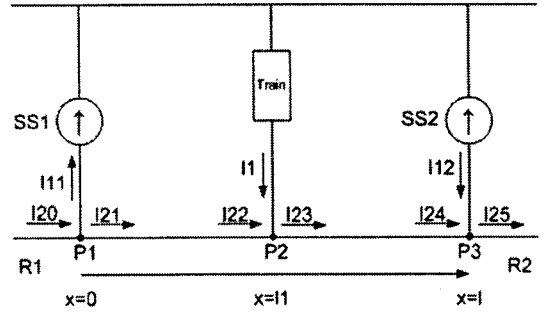


그림 4. 회로해석 모델

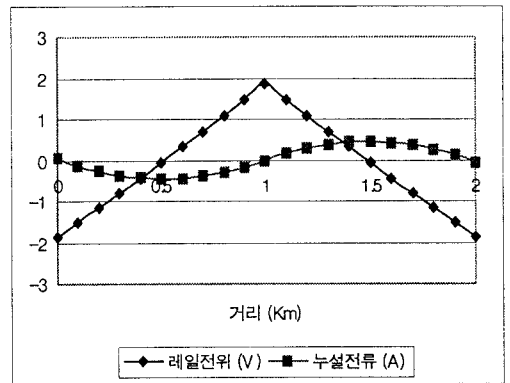


그림 5. 비접지방식의 경우의 레일전위와 누설전류

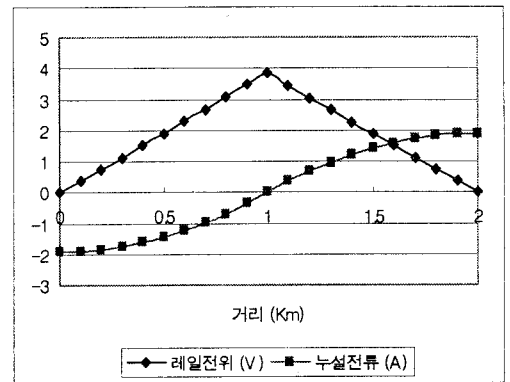


그림 6. 접지방식의 경우의 레일전위와 누설전류

### 2.3 레일-대지간 콘덕턴스 측정방안

레일전위와 누설전류는 레일저항과 레일-대지간 콘덕턴스에 의해 좌우된다. 대체적으로 레일저항은 큰 변화가 없으면서 측정에 의해서 구하기가 수월하나 레일-대지간 콘덕턴스의 경우는 대지의 변화와 온도, 습도와 같은 환경의 변화 등에 의해 쉽게 변하므로 이에 대한 측정이 간단하지 않다.

또한 이와 같은 측정은 초기 레일 부설후에 부설 이상 유무를 확인하고 운용중에 주기적인 측정을 통하여 절연 이상 유무를 확인할 수 있다.

대개 이 측정방법은 EN50122-1에 나와 있지만 레일

부설후에 측정하는 방법으로는 다음 그림 7과 같다. 변전소에서 변전소 접지와 레일간에 전류를 인가하고 일정거리의 측정점에 전압과 변전소의 전압 차를 이용하여 레일-대지간 콘덕턴스를 구한다.

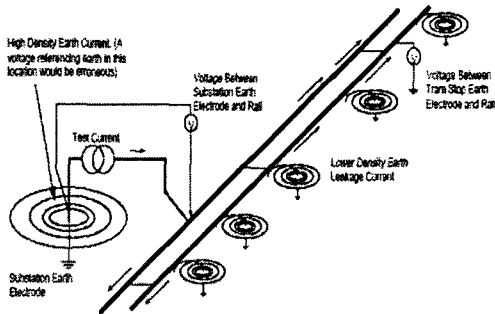


그림 7. 레일-대지간 콘덕턴스 측정 사례

그림 7의 경우 레일 부설후에 시험은 가능하지만 운용 중에는 최근 콘크리트 궤도를 사용하고 있어 접지에 대한 전압을 측정하는데 어려움이 많아 다음과 같은 방안을 제안한다.

본 방법은 보다 실제 계통에 가까게 모의하기 위해 그림8과 같이 기존의 변전소를 이용하고 전기차량 대신에 정전류  $I_s$ 를 모의하기 위한 전류조절장치를 삽입하여 레일에 정전류가 흐르도록 한다. 그리고 그림 5와 같이 비접지 방식의 경우, 차량과 변전소간 중간지점에서 누설 전류가 최대인 결과를 활용하여 중간지점의 레일전류  $I_m$ 를 측정하여 누설전류  $I_s-I_m$ 을 도출하여 2.2항의 해석 이론을 바탕으로 모의한 “누설전류 해석 프로그램”에서 기존에 이미 알고 있는 레일저항을 이용하여 레일-대지간 콘덕턴스를 구할 수 있다.

본 제안된 방법은 시험을 통하여 기존에 행해지는 방법과의 비교검증을 요하며 추후 그 유효성을 제시할 예정이다..

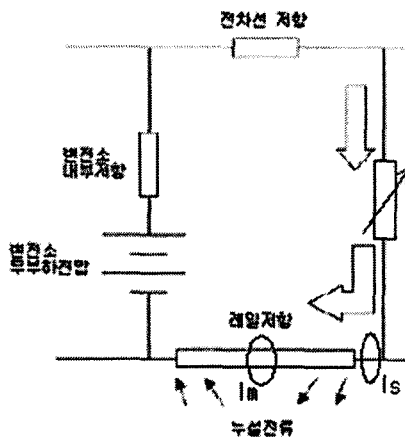


그림 8. 시험계통도

### 3. 결 론

국내 직류철도시스템에서는 레일-대지간 콘덕턴스에 대해서는 무관심한 요소 중에 하나였다. 이 파라미터는 환경요인에 크게 변하며 이 변화에 따라 레일전압 상승

및 누설전류의 증가가 발생하여 인체에 영향을 미칠 가능성이 있다.

본 연구에서는 기존에 수행해온 누설전류 해석을 이용하여 비접지 방식에서 차량과 변전소간에 누설전류가 중간지점에서 최대인 결과를 착안하여 누설전류를 측정하여 해석적인 방법을 통하여 이미 알고 있는 레일저항을 이용하여 레일-대지간 콘덕턴스를 구하는 방법을 제안하였다.

향후 이에 대한 실제 적용시험을 통하여 본 제안의 유효성을 기존의 방법과 비교 검토를 수행할 예정이다.

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1]J. G. Yu and C. J. Goodman, “Modeling of rail potential rise and leakage current in DC rail transit systems,” in Inst. Elect. Eng. Colloq. Stray Current Effects of DC Railways and Tramways, London, U.K., Oct. 1990, pp. 221-226.
- [2]Chien-Hsing Lee and Chien-Jung Lu, “Assessment of Grounding Schemes on Rail Potential and Stray Currents in a DC Transit System”, IEEE Transactions on power delivery, Vol. 21, No. 4, October 2006 pp. 1941-1947
- [3]Stray current corrosion management strategies for dc traction system, P.Jaylott, IEE Seminar
- [4]Stray Current Control-an application of Ohm’s law, Keith Griffiths, EMC in Railways, 28 September 2006