

궤도회로의 전기적 특성에 관한 연구

‘한승진’, 정용운*, 천기하*, 이기서*, 박영수**, 유광균***
*광운대학교, **철도청, ***철도전문대

A Study on the Electrical Characteristics of Track Circuits

Seung-Jin Han, Young-Woon Chung*, Ki-Ha Cheon*, Key-Seo Lee*, Young-Soo Park**, Kwang-Kyun You***
Kwangwoon Univ., **Korean National Railroad, *National Railway College

Abstracts: Track circuit decides whether the section is occupied by train or free using the electrical characteristics of the rail, and sends information to the train using the rail as the medium of communication. So the electrical parameters of the rail are important to the track circuits. But they are influenced by the frequency of the transmitted signal and the environments like rain, snow and location of the rail. In this paper, the parameters of the rail is practically measured using the measurement method based on the 2-port network. The measurement demonstrates that the parameters of the rail is dependent on the frequency of the signal flowing on the rail and the environments like wheather. So this analysis of the parameters helps the design of track circuits.

1. 개요

철도에서 사용되는 궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 이용하여 일정한 구간 내에 열차가 존재하면 차륜이 레일을 단락시킴으로써 열차의 존재를 판단하며, 또한 레일을 전송선으로 사용하여 점유중인 열차에 정보를 전송하는 전기회로를 말한다[2][5][6].

궤도회로는 레일을 전송선으로 이용하여 궤도신호를 송신하고 수신하여 열차의 점유를 판단하기 때문에 레일의 전기적인 특성을 측정하고 해석하는 일은 아주 중요하다[2][6]. 이러한 레일의 전기적인 특성을 궤도회로의 회로정수라고 하며 레일 근처의 자속분포가 중심 전송선로의 자속분포와 유사하기 때문에 이 회로정수를 해석하기 위해서는 전송선로의 4단자망 해석법을 이용한다[1][6].

그러나 레일의 회로정수는 사용하는 신호의 주파수 또는 기후, 날씨, 레일의 설치장소와 같은 환경적 요인의 영향을 받게 되므로 이러한 환경적 요인들을

고려하여 회로정수를 해석하여야 한다. 회로정수의 해석은 궤도회로의 설계에 있어서 중요한 자료가 된다[6].

본 논문에서는 이러한 회로정수의 전기적인 해석을 위하여 4단자망 해석법을 이용하여 레일을 모델링 한다. 이 모델링을 기초로 한 회로정수 측정법을 이용하여 각 회로정수의 특성이 주파수와 여러 환경적 요인으로부터 영향을 받는다는 사실을 현장에 있는 레일들의 측정을 통하여 입증한다. 따라서 이러한 레일의 전기적인 해석과 특성분석은 궤도회로를 모델링하고 설계하는데 큰 도움이 된다.

2. 궤도회로

궤도회로는 궤도구간 내에 열차가 존재하면 차륜이 레일을 단락시켜서 열차의 존재를 판단하는 회로이다. 그림 1은 폐전로식 궤도회로를 나타낸 것이다.

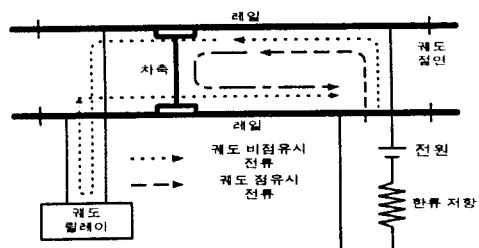


그림 1. 궤도회로

열차 점유의 판단과 열차로의 정보 송신을 그 목적으로 하는 궤도회로는 송신하는 신호의 종류에 따라서 AC 궤도회로와 DC 궤도회로로 나누며, 궤도회로의 경계에 전기적 또는 물리적인 절연의 삽입유무에 따라 유절연식과 무절연식으로 나누며, 궤도절연을 삽입하는 방식에 따라 단궤조식과 복궤조식으로 나

눈다. 그리고 사용하는 주파수대역에 따라서 저주파 방식(25~120Hz), AF 방식(수 100~수 kHz), 그리고 고 주파 방식(수 kHz 이상)으로 나눌 수 있다. 근래 고 속전철 등에서 사용되고 있는 궤도회로는 그림 2 와 같이 전기적 절연(Electrical Joint)을 이용한 무절연 궤도회로가 사용되고 있다.

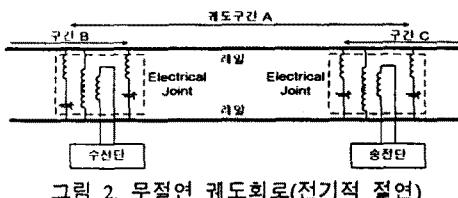


그림 2. 무절연 궤도회로(전기적 절연)

3. 회로정수

궤도회로는 레일을 전송로로 사용하여 통신을 하기 때문에 궤도회로를 설계하기 위해서는 설치될 레일의 전기적 특성을 이해해야만 하며 이러한 이해를 위해 회로정수를 전기적으로 해석하는 것은 필수적이다.

궤도회로에서 레일은 유선 전송로와 같은 기능을 한다. 즉 통신케이블의 동선에 해당하는 것은 레일이고, 비닐 및 피복 등 절연층에 해당하는 것은 침목과 도상자갈(Ballast)이다. 또한 레일 근처의 자속 분포가 등심 전송선로의 자속분포와 거의 유사하다 [6]. 따라서 궤도회로의 레일은 등원주 전송로의 전송 4 단자망과 서로 등가인 전기회로로 해석할 수 있다. 그림 3은 궤도회로의 레일을 4 단자망의 등가회로로 나타낸 그림이다.

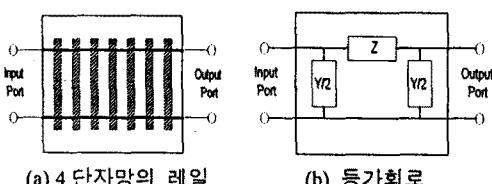


그림 3. 궤도레일과 등가회로.

그림 3에서 보면 각주파수 ω 의 교류가 궤도회로의 레일을 왕복하여 흐를 때의 임피던스는 레일저항과 레일 리액턴스의 벡터합과 같다. 이것을 레일 임피던스 \dot{Z} 라고 한다. 임피던스가 전부 0인 레일을 가정하면 침목이나 도상 그리고 레일 사이에 존재하는 정수만을 생각할 수 있는데 이것을 누설 어드미턴스 \dot{Y} 라고 한다.

ABCD 파라미터를 이용하여 4 단자망으로 표현되는 궤도회로 레일의 전송 기초방정식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = \cosh \dot{y} \dot{V}_2 + \dot{Z}_k \sinh \dot{y} \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \frac{1}{\dot{Z}_k} \sinh \dot{y} \dot{V}_2 + \cosh \dot{y} \dot{I}_2 \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \dot{V}_1, \dot{I}_1 & \text{는 송전단(Input Port)측의 전압과 전류,} \\ \dot{V}_2, \dot{I}_2 & \text{는 수전단(Output Port)측의 전압과 전류,} \\ \dot{y} & = \sqrt{\dot{y}} : \text{전반 정수,} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\dot{Z}_k = \sqrt{\frac{\dot{z}}{\dot{y}}} : \text{특성 임피던스,} \quad (3)$$

\dot{z} 는 단위길이당 레일 임피던스,

\dot{y} 는 단위길이당 누설 어드미턴스,

l 은 송전단과 수전단 사이 궤도구간의 길이

레일의 정수값을 유도하기 위해서는 식 (1)의 기초 전송방정식을 이용한다.

4. 회로정수의 측정 및 계산

회로정수를 측정하기 위해서는 주의해야 할 일이 있다.

4.1 측정시 주의사항

- 1) 레일절연, 레일 본드 등의 이상유무를 확인한다.
- 2) 다른 전원으로부터나 다른 장치로의 전류 유출 일이 없도록 한다.
- 3) 전류값을 변경하여 여러번 측정하여 그 평균값을 구한다.
- 4) 접속불량과 수전단의 완전단락을 주의한다.

4.2 측정방법

먼저 수전단을 개방시키고 송전단측의 전압, 전류를 구한다. 이때의 전압과 전류의 비로 개방 임피던스 \dot{Z}_o 를 계산한다. 다음으로 수전단을 단락시키고 송전단측의 전압과 전류를 구한다. 이때의 전압과 전류의 비로 단락 임피던스 \dot{Z}_s 를 계산한다.

4.3 정수 계산

측정된 송전단과 수전단측의 전압과 전류의 비로 계산된 \dot{Z}_s 와 \dot{Z}_o 를 식 (1)의 관점에서 보면 다음과 같다.

$$\dot{Z}_s = \dot{Z}_k \tanh \dot{y} \quad [\Omega] \quad (4)$$

$$\dot{Z}_o = \dot{Z}_k \coth \dot{y} = \dot{Z}_k / \tanh \dot{y} \quad [\Omega] \quad (5)$$

단위길이당 레일 임피던스 \dot{z} 와 단위 길이당 누설 어드미턴스 \dot{y} 를 \dot{y} 와 \dot{Z}_k 의 관점에서 보면,

$$\dot{z} = \dot{y} \dot{Z}_k \quad (6)$$

$$\dot{y} = \dot{y} / \dot{Z}_k \quad (7)$$

결국, 궤도회로의 회로정수 r , l_r , g , c 는

$$\text{레일 저항 } r = Z \cos \phi_z, \quad (8)$$

$$\text{레일 인덕턴스 } l_r = \frac{Z}{2\pi f} \sin \phi_z, \quad (9)$$

$$\text{누설 콘덕턴스 } g = y \cos \phi_y, \quad (10)$$

$$\text{분포 용량 } c = \frac{y}{2\pi f} \sin \phi_y, \quad (11)$$

이다. 이 회로정수는 사용되는 주파수에 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

5. 회로정수의 특성

송전단의 전압이 레일을 통해 수전단으로 전송될 때 레일 자체의 임피던스 성분과 레일 사이의 또는 레일과 대지 사이의 누설 콘덕턴스 성분에 의해 감쇄가 일어난다. 레일 임피던스는 레일 자체의 직렬 저항 성분과 레일본드의 저항 성분에 의한 저항 성분, 그리고 레일이라는 긴 도체에 전류가 흐르게 됨으로써 발생하는 인덕턴스 성분으로 구성된다.

누설 콘덕턴스는 레일 사이의 누설이므로 실제적으로는 지상과 레일간의 절연이 무한대의 저항을 갖는 것이 아니라 유한한 값의 저항성분을 갖기 때문에 존재하는 것이다. 이 누설 콘덕턴스 성분은 환경의 영향을 가장 많이 받는 성분으로써 노반의 종류, 침목의 종류에 따라 그 값이 달라지며, 기온, 습도, 그리고 기후에 따라 영향을 받는다. 그림 4는 환경의 영향을 받는 누설 콘덕턴스의 특성변화를 나타낸 것이다.

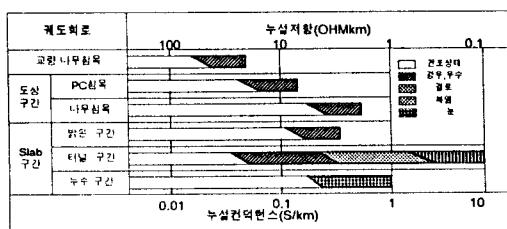


그림 4. 환경에 의한 누설 콘덕턴스의 변화

그림 4에서 보면 도상의 종류나 표면의 상태에 따라 누설 콘덕턴스 값이 매우 큰 범위로 변화하고 있음을 알 수 있다. 특히 터널이나 누수지대에서는 누설이 매우 심하며, 일반적으로 도상구간에서 보다는 슬래브(Slab)구간에서 더욱 심하게 나타난다.

그림 5은 주파수에 영향을 받는 회로정수의 특성변화를 나타낸 것이다. 여기서 특히 저항 성분이 주파수에 따라 비례하여 나타나고 있음을 알 수 있다.

이렇게 궤도회로의 회로정수는 환경적 영향과 주파수에 영향을 받기 때문에 궤도회로를 설계할 때 이러한 점을 고려하여야 한다.

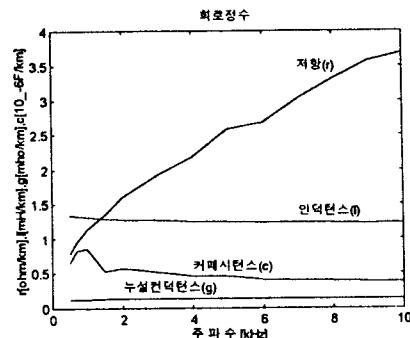


그림 5. 주파수에 의한 회로정수의 특성변화

수의 영향을 받기 때문에 궤도회로를 설계할 때 이러한 점을 고려하여야 한다.

6. 결론

레일의 특성에 대한 전기적인 해석을 위하여 4단 자망 해석법을 이용하여 레일을 모델링하였다. 이 모델링을 기초로 한 회로정수 측정법을 이용하여 현장에 있는 회로정수의 특성을 측정하였다. 레일을 실측해 본 결과 레일의 특성이 주파수와 날씨, 기후, 설치될 장소와 같은 환경적 요인으로부터 영향을 받는다는 사실을 입증하였다.

그리고 근래에 도입되고 있는 전기적 절연을 이용한 궤도회로는 각 구간마다 사용되는 신호의 특정 주파수에 의해 각 궤도구간의 분리가 이루어지기 때문에 회로정수의 전기적 특성을 측정하고 해석하는 일은 아주 중요하다. 따라서 본 논문에서의 회로정수의 측정과 전기적인 해석은 궤도회로 설계시 큰 도움이 된다.

참고 문헌

- [1] Charles A. Gross, Power System Analysis, John Wiley & Sons, 1986.
- [2] H. Yoshimura, S. Yoshiishi, Railway Signal, Japan Association of Signal Industries, Japan, 1983.
- [3] K. S. Lee, S. H. Yang, K. K. Yoo, "The Development of an Electric Interlocking System", Proceedings of the Korean-Germany International Workshop on New Transportation System, KAIST, Daejon, Korea, Oct. 12~13.
- [4] Mohamed E. El-Hawary, Electric Power Systems, A Prentice-Hall Company, 1983.
- [5] O. S. Nock, Railway Signalling, A&C Black, London, 1980.
- [6] 板倉榮治, 軌道回路, 信號保安協會, 1975.