

## 직류전기철도에서 전식방지 시스템에 대한 시뮬레이션 분석

민명환\*, 정호성\*\*, 박 영\*\*, 김형철\*\*, 신명철\*  
 성균관대학\*, 한국철도기술연구원\*\*

### A Simulation Analysis on Electrolytic Corrosion Protection System in DC Feeding System

Myung-Hwan Min\*, Hosung Jung\*\*, Young Park\*\*, Hyeng-Chul Kim\*\*, Myong-Chul Shin\*  
 Sungkyunkwan University\*, Korea Railroad Reseach Institute\*\*

**Abstract** - 최근 직류철도에서는 누설전류로 인한 철도 자체 시설물 및 인근 지하매설물의 전식 피해 문제가 대두되고 있다. 본 논문에서는 전식에 대한 이론과 기존의 전식방지 대책인 선택배류법에 대해 제시하고, 배류기가 적용된 직류철도시스템을 모델링하였다. 시뮬레이션을 통해 배류법적용에 대한 유용성에 대해 연구하였다.

#### 1. 서 론

오늘날 도시철도의 경우 일반적으로 직류급전시스템을 채용하고 있으며 레일을 운행전류의 귀선도로 사용하고 있다. 또한 누설전류로 인한 지하매설물의 전식의 피해를 감소시키기 위해, 비접지시스템(Floating System)을 적용하고 있다. 그러나 레일과 대지사이엔 절연이 불완전한 경우 레일을 통해 흐르는 전류의 일부가 대지로 유출되며, 대지로 유출된 누설전류(Stray Current)는 레일 인근에 매설된 금속체에 유입된다. 이 전류는 도시철도의 변전소 부근에서 전위차에 의해 다시 대지로 유출하여 레일을 통해 변전소로 되돌아온다. 이때 누설전류는 가스배관이 나 상수도관 등에 전식을 발생시켜 치명적인 사고와 피해를 일으킬 수 있다. 이러한 전식의 피해를 방지하기 위해 국내 도시철도에서는 배류법이 적용되고 있다[1-4].

본 논문에서는 전식에 대한 기본적인 이론을 제시하고, 직류급전시스템에 선택배류법을 적용하여 모델링을 하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여 배류기 유무에 따른 비교를 하여 배류법에 대한 유용성을 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 전기부식

전식이란 금속체의 표면에서 주변의 환경물질(전해질)로 전류가 유출하는 경우 금속체가 부식되는 현상으로 파라데이 법칙(Faraday's Law)에 따라 1 패러데이의 전류(96,500[coul])가 흐를 때 1[g] 당량의 금속이 부식되는 것을 말한다[4]. 이 전식은 보통 직류(DC)일 때 잘 일어난다. 식(1)은 파라데이의 법칙에 의해 전식량을 나타낸다[5].

$$W = k \cdot i \cdot t \quad (kg) \quad (1)$$

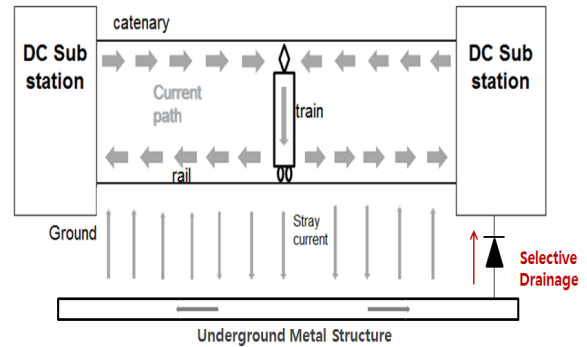
여기서  $k$ : 전기화학당량 ( $mg/A \cdot sec$ )  
 $i$ : 통전전류 (A)  
 $t$ : 통전시간 (sec)

금속물의 전식을 방지하기 위해 희생양극법, 외부전원법, 배류법이 있으며 국내 도시철도에서는 선택배류법과 강제배류법이 적용되고 있다.

##### 2.2 배류법

배류법은 금속매설관의 외면에서 대지를 통해 귀류하여 전식을 발생시키는 전류를 배류기를 통해 직접 레일로 귀로시키는 방법으로 직접배류법, 선택배류법, 강제배류법이 있다. <그림 1>은 배류방식 중 선택배류법을 나타낸다. 선택배류법은 매설관에 비해 레일의 전압이 낮은 경우, 매설관 외면에서 도양을 통해 레일로 되돌아가 전식을 일으키는 전류를 선택배류기를 통해 직접 레일로 보낸다. 또한 레일의 전위가 금속매설관의 전위보다 높은 경우 레일로부터 매설관으로 전류의 역류를 방지한다.

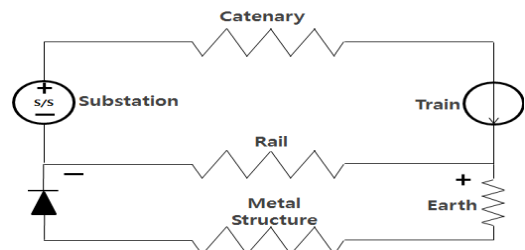
일반적으로 레일의 전위는 차량의 위치에 따라 변하게 되며 차량이 인접했을 때 전위가 높고, 차량이 멀리 떨어져 있을수록 낮은 레일전위를 나타낸다.



<그림 1> 선택배류법 개요도

##### 2.3 선택배류기를 적용한 직류철도시스템 모델링 및 시뮬레이션

선택배류기를 설치한 직류전기철도의 등가회로도에는 <그림 2>와 같다. 변전소에서부터 차량으로 전력이 공급되며 이 때의 전류는 레일을 통해 변전소의 부극모선으로 흐른다. 직류변전소, 급전선, 차량, 레일과 금속매설물을 전력계통해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모델링하고, 부하량을 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다.



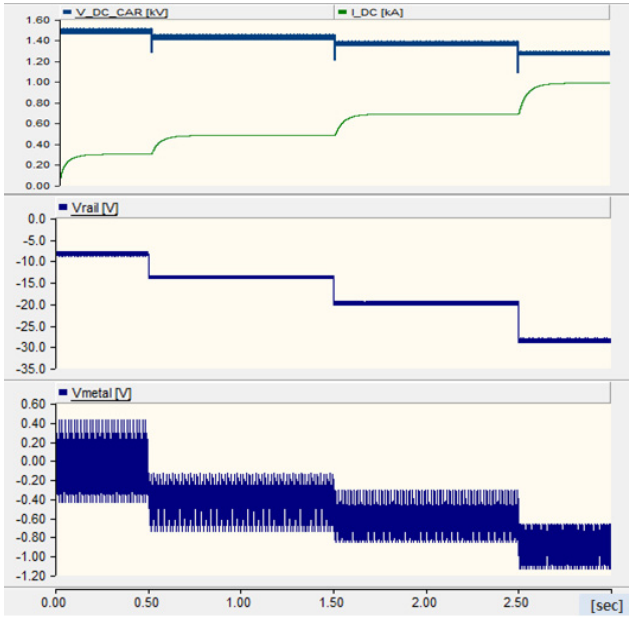
<그림 2> 선택배류기를 고려한 직류시스템의 등가회로

<표 1>은 시뮬레이션 조건을 나타낸다. 차량부하의 위치는 변전소에서 2[km] 지점에 위치하였고 차량의 운전전압은 1,500[V]으로 하고, 차량부하의 크기를 증가시키며 시뮬레이션을 수행하였다[6].

<표 1> 시뮬레이션조건

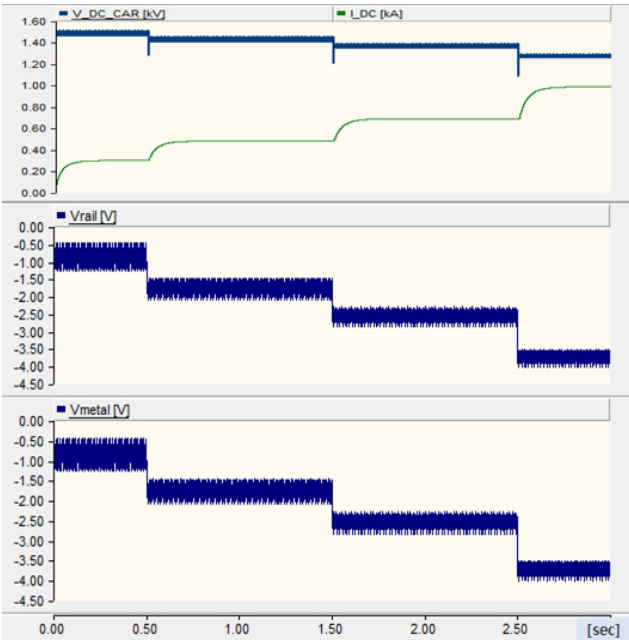
Model	component	reference value
R_catenary	가공전차선	0.0203 [ $\Omega/km$ ]
R_rail	레일저항	0.02 [ $\Omega/km$ ]
R_metal	금속매설물저항	0.5 [ $\Omega/km$ ]

<그림 3>은 배류기를 사용하지 않을 경우, 변전소 부근의 레일전위와 지하매설물의 전위를 비교한 것이다. 여기서  $V_{DV\_CAR}$ 는 부하차량의 전압을 나타내고,  $L_{DC}$ 는 부하전류를 나타낸다. 그리고  $V_{rail}$ 은 레일전위,  $V_{matal}$ 은 금속매설물의 전위를 나타낸다. 먼저 차량이 변전소에서 멀리 떨어진 곳에 있을 때 변전소의 레일전위는 (-)값을 나타내며 이때 금속매설물의 전위(약 0.5~1[V])는 레일전위 보다 높다. 따라서 전위가 높은 금속매설물에서 전류의 유출이 발생하고, 그 부분에 전식이 진행된다.



〈그림 3〉 선택배류기 미사용 시 레일전위와 금속매설물 전위

〈그림 4〉는 배류기를 사용할 경우의, 변전소 부근의 레일전위와 지하 매설물의 전위를 비교한 것이다. 운전전압과 운전전류는 배류기 적용 전과 크게 차이가 나지 않는 것을 확인하였으며, 금속매설물의 전위는 방식전위 범위 이내인 -0.5~-4[V]로 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이는 배류기 사용 시, 다이오드 접지방식과 동일하게 되므로 변전소의 전위를 0[V]에 가까운 값이 되고, 다이오드의 전압강하는 낮으므로 금속매설물의 전위와 레일전위는 큰 차이가 없게 된다. 이 때 금속매설물에서 유출되는 전류는 다이오드를 통하여 변전소 부근으로 흐르기 때문에 전식을 방지할 수 있다.



〈그림 4〉 선택배류기 사용 시 레일전위와 금속매설물 전위

### 3. 결 론

본 논문에서는 직류급전시스템에서 전식방지를 위한 선택배류방식을 시뮬레이션을 통해 살펴보았다. 전식대책을 강구하지 않은 경우에는 금속매설물의 전위가 자연전위 및 전식전위범위 내에 있어서 전식이 발생한다는 것을 확인하였고, 배류기를 적용할 경우에는 금속매설물의 전위가 방식범위 이내를 유지하여 전식을 방지할 수 있음을 확인하였다. 이

같이 배류기의 영향을 정량적으로 분석함으로써 배류기의 유용성을 검증하였다. 본 논문은 전식방지 측면에서 배류기 적용에 대해 연구하였다. 하지만 배류기의 설치는 전체시스템의 레일전위 및 누설전류에 영향을 끼친다. 따라서 전체시스템을 고려한 안전하고 효율적인 배류기의 설치 및 동작에 대한 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

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

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김재훈, “국내 도시철도 전식방지 기술기준에 따른 시험사례 비교분석”, 전기학회논문지 제59P권 제3호, page(s): 245-344, 2010.9
- [2] 정호성, ‘직류급전시스템에서의 귀환전류 변화비를 이용한 실시간 감지기법에 관한 연구’, 전기학회논문지, 제60권 제4호, page(s): 892-898 2011.4,
- [3] 배영배, ‘배류기가 설치된 직류전기철도에서의 레일전위 상승 분석’, 한국철도학회 2009년도 추계학술대회논문집, page(s): 2346-2352, 2009.11
- [4] 유해출, ‘누설전류에서 희생양극법을 이용한 전식 방지에 대한 연구’, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 24(8) : 21~26, 2010
- [5] 강인권, ‘전기철도의 전식과 방식’, 이엠테크, 2007.8
- [6] 조용기, ‘직류전기철도 급전시스템에서 레일전위 해석을 위한 모델링’, 조명·전기설비학회논문지 제24권 제6호, 2010.6