

## 귀선자동개폐장치를 이용한 차량기지 전식방지법

\*이현구, 하윤철, 하태현, 최정희, 김대경, 배정효

전력연구단 한국전기연구원

### Electrolytic Corrosion Protection Methods of Depots using Silicon Rectifier for the Rail

H.G. Lee, Y.C. Ha, T.H. Ha, J.H. Choi, D.K. Kim, J.H. Bae  
Electric Power Research Division, KERI

**Abstract** - Current of DC traction systems flows from the positive busbar of the substation, through the overhead contact system, to the vehicle, and returns through the running rails. Because the rails are not very effectively insulated from the earth a certain amount of current flows into the earth, especially in the area near the load and depots. At the place where the stray current leaves the rail and pipe, corrosion may take place.

In this paper we introduce the electrolytic corrosion protection methods of depots using silicon rectifier for the rail.

#### 1. 서 론

도시화가 급속하게 이루어짐에 따라 도심지의 교통체증을 해소하기 위한 효과적인 대중교통수단으로 전철시스템이 전국적으로 활발하게 도입되고 있다.

매년 미국에서는 부식에 따른 영향으로 약 100억 달러를 사용한다. 그 중에서 직류 전철에서 누설되는 전류에 의한 부식비용은 약 5%인 5억 달러 정도일 것으로 추정하고 있다.<sup>[1]</sup> 전철의 급전시스템은 일반적으로 레일을 부극선으로 사용하기 때문에 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않다면 누설전류가 발생하게 되며, 전철이 운행될 때 대자로 누설되는 전류는 관련 금속구조물의 전식발생 원인이 된다. 여기서 누설전류는 원래 의도된 경로에서 벗어난 전류의 흐름을 말한다. 특히 전차의 유지보수가 행해지는 차량기지에서는 작업자의 안전을 고려하여 레일을 접지시키므로 차량기지를 통한 누설전류의 피해가 가장 심각한 것으로 보고되고 있다.<sup>[2][3]</sup>

따라서 직류 전철시스템에서 발생하는 누설전류에 대한 대책의 표준화를 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.<sup>[4]</sup>

본 논문에서는 실리콘 정류소자를 이용하여 레일의 전류흐름을 자동적으로 제어하는 귀선자동개폐장치를 활용한 차량기지의 전식방지법을 소개한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 차량기지에서의 전식 발생

직류급전 구간의 차고와 조차장 등에 있어서 본선측에서의 레일전위는 차고 및 조차장 내부의 레일전위를 상승시킨다. 차량기지 내부의 레일전위가 토양 및 다른 도체보다 높으면 레일에서 누설전류가 유출되며, 그 유출된 장소에서 전식이 발생한다. 또한, 레일전위가 상승하면 다른 도체와 레일 사이의 전위차가 발생하여 금속의 접촉에 의해 아크가 발생하는 원인이 된다.

그리고 레일에서의 누설전류는 인근에 매설된 전선관, 수도관, 가스관 등과 같은 지중매설물의 전위를 상승시켜 그 매설물에서 토양으로 유출되는 전류에 의해 매설

물에도 전식이 발생한다.

차고 및 조차장 등에서 전식이 발생하는 장소를 재료별로 분류하면 다음과 같다.

- 케도재료 : 레일, Type rate, 고정못
- 귀선재료 : 본드, 점퍼선, 매설된 인출선
- 기타 레일에 근접한 구조물 : 신호용기자재, 건물, 교량, 전철용 케이블 등

그리고 차고 내에서 전식이 발생하기 쉬운 장소를 분류하면 다음 장소로 분류할 수 있다.

- 레일이 인입된 건물 : 수선고, 검사고, 전삭고
- 전류가 누설되기 쉬운 장소 : 세차대, 유치선

그림 1은 차량기지에서 발생하는 전식의 개념도이다. 여기서 ④, ⑤점에서는 전식이 발생할 위험이 있다. 또한 ④점에서의 레일 대비 대지전압은 감전, 아크발생의 원인도 된다. 이 아크는 기름 등 가연성 물질을 취급하고 있는 장소에서 발생하면 화재에 특히 위험하다.<sup>[5]</sup>

전철시스템의 전류경로는 그림 2와 같다. 이 때 토양을 통해 전류가 유출되는 레일과 매설관에서 전식이 발생하게 된다. 즉 그림 1의 ④, ⑤점이 전식발생지점이 된다.

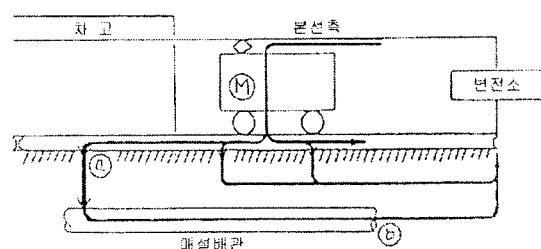


그림 1. 차량기지에서의 전식

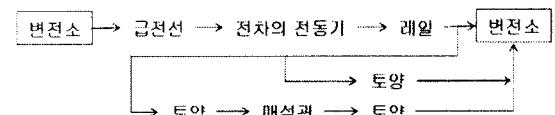


그림 2. 전철시스템의 전류경로

국내에서 현재 운행 중인 차량기지 검사고 입구의 레일전압과 차량기지 인근의 가스배관에 대한 P/S전위를 동시에 측정한 사례를 그림 3에 나타내었다. 레일전압의 변화에 따라 인근에 매설된 배관의 전위가 심각한 영향을 받고 있으며, 일부 구간에서는 방식기준을 만족하지 못하고 있음을 알 수 있다.

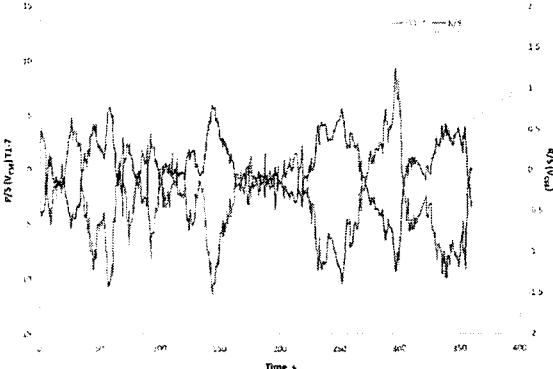
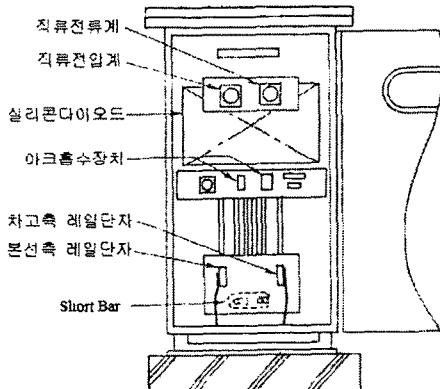


그림 3 검사고 입구 레일전압과 P/S전위 측정 사례

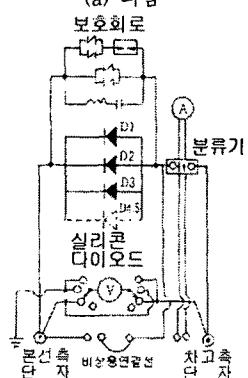
## 2.2 귀선자동개폐장치의 적용

### 2.2.1 귀선자동개폐장치의 정의

귀선자동개폐장치의 구조를 그림 4에 나타내었으며, 일본에서 현재 사용되고 있는 사양의 예를 표 1에 정리하였다. 이 장치는 실리콘정류체로써 귀선의 개폐를 자동적으로 동작시키기 때문에 귀선자동개폐장치라고 부르며, 기술기준으로 2국단로기 또는 이와 유사한 장치로써 인정되어지고 있다. 여기서 귀선은 일반적으로 레일을 사용하고 있다.[6]



(a) 외함



(b) 회로도

그림 4 귀선자동개폐장치의 구조

표 1. 귀선자동개폐장치의 사양(일본)

명 칭	500A형	1000A형	1500A형	2000A형
형 식	옥외자립형자연공냉방식			
전류	연속	500A	1000A	1500A
용량	1분간	1000A	2000A	3000A
역류전류	150mA 이하	200mA 이하	250mA 이하	300mA 이하
소자구성	1S×2P	1S×4P	1S×5P	1S×6P
소자온도			95°C 이하	
주위온도			-5°C~40°C	
절연저항	5MΩ 이하(DC 500V)	절연저항계		
절연내력	AC2000V	~1분간(상용주파수)		
준용규격		JEC178		
크기(개략)	(W)900×(D)750×(H)1,720			

### 2.2.2 귀선자동개폐장치의 동작

차고의 외부 레일대지전압이 그림 5와 같을 경우 귀선자동개폐장치를 설치하기 전의 상태에서 차고 내부의 레일대지전압은 그림 6과 같다. 여기서 차고 내부로부터의 누설전류는 계속되고 있다. 그림 7은 귀선자동개폐장치가 설치된 상태에서 각각의 조건에 대한 차고 내부의 레일대지전압이다. 여기서 차고 외부의 레일대지전압은 모두 그림 5와 같다.[7]

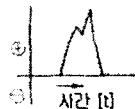


그림 5 차고 외선의 레일전압파형

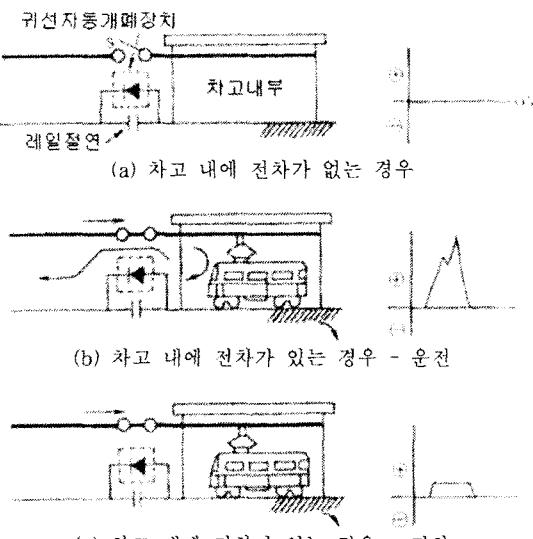
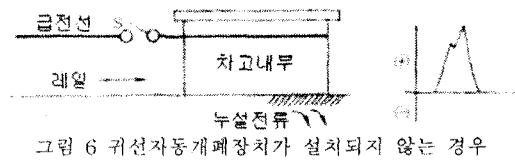
차고 내에 전차부하가 없는 상태(전차가 있어도 팬터그래프 아래의 상태)를 그림 7의 (a)에 나타내었다. 차고 내부의 레일대지전압은 0으로 되어 누설전류도 정지한다. 즉 전차전류 및 외부에서의 전압은 실리콘정류소자에 의해 방지되므로 차고 내의 전식, 감전의 걱정은 없다.

차고 내부로부터 전차가 운행하여 움직이는 상태는 그림 7의 (b)에 나타내었다. 운전전류가 귀선자동개폐장치를 경유하여 외부로 흐른다. 또 이 경우는 차고 내 레일전압은 외선 레일전압과 같으므로 누설전류도 그림 6과 같이 흐르게 되어 전식 등의 원인이 된다. 그러나 일반적으로 차고 내에서 전차가 팬터그래프를 올려 전동기에 전류를 흘리고 있는 시간은 매우 짧기 때문에 전식량도 귀선자동개폐장치가 없는 경우에 비해 상당히 적어진다.

차고 내에 정차하고 있는 전차가 팬터그래프 위에서 보조 기기를 사용하고 있는 상태는 그림 7의 (c)와 같다. 여기서 보조기기 전류를  $I_c$ , 차고 내 레일의 접지저항을  $R_K$ 라고 하면 차고 내 전압은  $I_c \cdot R_K$ 가 된다.  $I_c = 100A$ ,  $R_K = 0.1\Omega$ 이라 하면  $V_{차고 내} = I_c \cdot R_K = 100 \times 0.1 = 10V$ 가 된다. 즉 차고 내의 레일대지전압은 10V로 일정하고 이 경우 누설전류도 100A로 일정하게 된다. 만약 이 경우 귀선자동개폐장치가 없으면 외부 전압을 50V로 하면 누설전류는  $50/0.1 = 500A$ 가 된다고 보고되어 있다.

그리고 부하전류가 증가하면 차고 내 전압은 상승하여  $V_{차고 내} = V_{외선}$ 을 넘어선 시점으로부터 귀선자동개폐장치의 전류( $I_B$ )가 흐르기 시작한다. 즉 전차부하전류( $I_c$ )는  $I_c + I_B$ 가 된다. 여기서  $I_B$ 는 누설전류이다.

이상은 레일대지전압이 (+)인 경우이지만, (-)인 경우에는 장치를 통과한 전류가 흐르지만 흡입된 전류 때문에 레일, 차고 관련 전식은 일어나지 않는다. 그러나 근접하는 매설배관은 경우에 따라 전식전위가 되는 경우도 있기 때문에 조사가 필요하다.



### 2.2.3 귀선자동개폐장치의 효율

귀선자동개폐장치의 효율( $\eta$ )은 다음 식 (1)과 같다.

$$\eta = \left[ \frac{V_0 - V_s}{V_0} \right] \times 100\% \quad (1)$$

여기서  $V_0$ 는 장치가 없는 경우 차고 내부의 레일대지전압이며  $V_s$ 는 장치 설치 후 차고 내부의 레일대지전압이다. 이 경우  $V_0$ 는 차고 외부의 레일전압과 같지만 귀선자동개폐장치가 설치된 그림 6의 상태에서는 차고의 접지가 개방된 것으로 되어 차고 외부의 레일전압은 상승하는 경우가 많다.

각각의 상태에 대한 효율( $\eta$ )은 일반적으로 표 2와 같다. 따라서 귀선자동개폐장치의 효율은 각각의 조건을 통합한 하루 동안의 효율을 고려하는 것이 좋다.

표 2. 귀선자동개폐장치의 효율

조건		효율 [%]
장치 설치 전		0
장치 설치 후	무부하	100
	운행	0
	경부하	20~80
	(-) 레일전압	0

### 2.2.4 취급상의 주의

귀선자동개폐장치를 설치할 경우는 전식방지, 아크방지, 감전방지 등 그 목적에 따라 다르지만 하루 동안의 효율을 고려하는 것이 필요하다.

이 때문에 사전조사에서 부하의 상황, 차고의 구조, 접지저항, 아크와 전식의 발생상황 등을 조사하여 적절한 위치에 설치할 필요가 있다. 일반적으로는 접지저항이 낮은 개소마다 예를 들어 검사고, 운송고, 세척선 등의 입구 및 출구 등 복수로 설치하는 것이 바람직하다.

따라서 차고 전체의 입구에 대용량의 장치를 1대 설치하는 것은 예를 들면 심야 등 전체의 전차가 팬터그래프를 내린 후의 외선으로부터의 높은 레일대지전압이 과급되는 것을 방지하는 것에는 도움이 되지만 하루의 효율은 낮게 된다.

이외에 귀선자동개폐장치는 장치의 특성상 역전류는 흐르지 않는 구조이기 때문에 부하가 역류를 발생시키는 경우(예를 들면 회생제동시)에는 주의가 필요하다.

차고 내의 접지저항이 낮은 경우는 그 접지저항과 회생전류의 누적분이 훌륭 레일대지전압 정도라면 특별한 문제는 없다.

## 3. 결 론

차량기지 내부의 레일전위가 토양 및 다른 도체보다 높으면 레일에서 누설전류가 유출되며, 그 유출된 장소에서 전식이 발생한다. 그리고 레일에서의 누설전류는 인근에 매설된 전선관, 수도관, 가스관 등과 같은 지중매설물의 전위를 상승시켜 그 매설물에서 토양으로 유출되는 전류에 의해 매설물에도 전식이 발생한다.

본 논문에서는 실리콘정류체로써 귀선의 개폐를 자동적으로 동작시키는 귀선자동개폐장치를 사용하여 차고 내부의 레일을 통해 유출되는 누설전류를 감소시키기 위한 방법을 소개하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "Electrolytic Corrosion in DC Powered Transit Systems", IIT Research Institute, Chicago, IL, 8 Reports Prepared for the National Cooperative Transit Research and Development Program Project 48-1, TRB, National Research Council, Washington DC, 1985-1987
- [2] Steve Case, "DC Traction Stray Current Control - So What's the Problem?", The Institution of Electrical Engineers, 1999
- [3] J. B. Thomas, D. Z. Alan, "Stray Current Corrosion in Electrified Rail Systems", May 1995
- [4] IEC62128-2, Railway applications - Fixed installations Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems, 2003
- [5] 이현구 외 4인, "전철 누설전류가 지하매설 배관에 미치는 영향 해석", 2003년도 대한전기학회 학계학술대회
- [6] 大境 彰, "直流電氣鐵道에서 발생하는 電蝕의 防止對策", 鐵道と電氣技術, 1995.6, Vol.6, No.6
- [7] 彎線自動開閉裝置 取扱説明書, (株)京三製作所, 1989.9