

직류전기철도 전식대책 실증실험(2)
속응형 정전위 정류기

하윤철, 하태현, 배정호, 이현구, 김대경, 최정희
한국전기연구원

Field Test of Mitigation Methods for Stray Currents from DC Electric Railroad(2)
Rapid Potential-Controlled Rectifier

Yoon-Cheol Ha, Tae-Hyun Ha, Jeong-Hyo Bae, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim, Jeong-Hee Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - With the wide spread of direct current (DC) electric railroads in Korea, the stray currents or leakage currents from negative return rails become a pending problem to the safety of nearby underground infrastructures. The most widely used mitigation method for this interference is the stray current drainage method, which connects the underground metallic structures to the rails with diodes (polarized drainage) or thyristor (forced drainage). This method, however, inherently possesses some drawbacks such as an increase of total leakage currents from rails, expansion of interference zone, etc. In order to resolve these drawbacks, we developed a rapid potential-controlled rectifier and applied to a depot area where stray current inference is very severe. The effect of this method was analyzed from the field test data and we suggest this method can be an excellent alternative to the drainage-bond-based mitigation methods.

1. 서 론

직류전기철도의 레일누설전류에 의한 인근 지중금속시설물의 피해를 최소화할 수 있는 최적의 대책을 수립하기 위해 다년간 실태조사와 분석[1~3], 국내 설정에 맞는 전식대책법 적용[4~6], 해외사례연구[7~8] 및 실증실험 등의 노력이 경주되어 왔다. 현재까지의 연구결과에 따르면 누설전류의 궁극적인 원인은 전기철도의 귀선으로 사용되는 레일의 종방향 전기저항과 레일과 대지간의 누설컨덴서스에 대한 충분한 설계와 유지보수가 이루어지지 않았기 때문에 보인다. 특히, 도시철도의 차량기지 인근은 누설전류 유출입이 심각할 정도로 크게 나타나고 있는데, 이는 인근에 매설되어 있는 가스배관 등 국가기간시설물의 유지관리 측면에서는 표유전류 부식 또는 전식의 문제를 일으킬 수 있다.

이러한 누설전류 간섭에 대한 대책으로 국내 또는 국외에서 가장 많이 사용되는 방법은 선택배류기 또는 강제배류기를 이용한 배류법으로, 배관으로 유입된 누설전류가 배관의 표면을 통해 대지로 유출되지 않도록 배관과 레일 사이에 도선을 연결하고 다이오드 또는 사이리스터를 이용하여 배류하는 방법이다. 그러나 이러한 배류법은 외국에서와 같이 도시 전체에 대해 체계적인 설계가 선행되지 않을 경우 배류법을 적용하지 않은 다른 시설물에 대해 또 다른 간섭문제를 일으킬 수 있을 뿐만 아니라 배류법 자체가 누설전류의 크기를 배가하는 근원적인 문제를 가지고 있어, 이를 대체할 수 있는 새로운 전식대책법의 개발이 현안이 되고 있다.

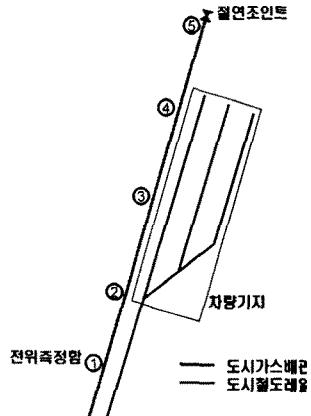
이에 대한 대안의 하나로서 배관의 전위를 일정하게 유지하는 기능을 갖춘 정전위형 정류기를 이용한 외부전원식 전기방식법이 오래 전부터 시도되어 왔으나, SCR

을 통한 위상제어형 정류기의 특성상 누설전류의 유출입이 주는 전위 변화 속도를 따라가지 못하여 차량기지와 같은 간섭이 심한 지역에서는 거의 사용되지 못하고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있도록 개발된 속응형 정전위 정류기[9]의 효과를 국내 전기철도의 누설전류 간섭이 가장 심한 지역 중 한 곳에 현장 적용을 통해 실증실험한 결과를 분석하여, 국내 실정에 맞는 효과적인 전식대책의 하나임을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 실증실험장 구성

그림 1은 실증실험의 대상 차량기지 및 매설배관의 배치도이다. 현재 이 지역은 “4”지점에서 강제배류기를 운용하고 있으나 전기철도의 간섭영향이 커서 배류점에서의 방식효율조차 70% 정도에 그치고 있다.



[그림 1] 차량기지 및 매설배관 배치도

배류법의 경우 배관과 레일(임피던스 본드) 사이에 케이블을 설치하고 선택배류기 또는 강제배류기만 가동하면 적용이 가능한데 비해, 외부전원식 전기방식법의 하나인 정전위 정류기의 경우 배류법에서 양극으로 사용되는 레일 대신 별도의 양극의 설치가 필요하다. 위 실증장에는 배관과 차량기지 사이에 누설전류 포집용으로 설치된 나동선 및 접지봉을 양극으로 임시로 사용할 수 있었지만 실제로는 심매(deep well) 또는 천매(shallow well) 방식의 추가적인 양극 설치가 필요하다.

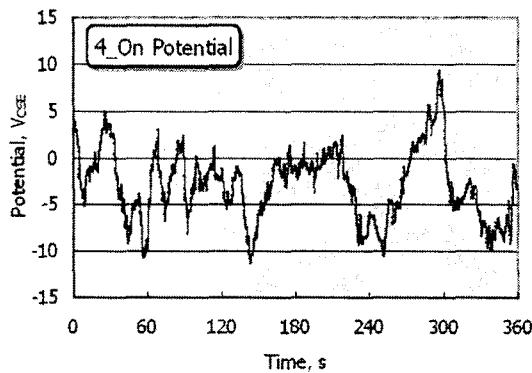
정류기의 위치선정을 위해 그림 1의 각 위치에 대한 예비실험을 실시하였고, 이를 통해 “2”와 “4” 지점에 각각 정전위 정류기를 설치하였다. 전위설정은 배관의 방식기준으로 국제적으로 사용되는 분극전위 기준 -0.85V

[10] 대신 측정전위 기준으로 $-2.5V_{CSE}$ 를 설정하였다. 이는 분극전위 기준으로 배관을 유지관리하기가 실제 현장에서는 쉽지 않기 때문이기도 하며 아울러 분극전위에 비해 측정전위가 훨씬 빠르게 변화하므로 이를 제어함으로써 최악의 상황에서도 속응형 정전위 정류기가 적용 가능함을 보이기 위함이다.

전위의 동시측정을 위해 CDMA망을 이용한 무선원격부식감시 단말기[11]를 배관 전위측정 지점 및 차량기지내 레일-대지 전위 측정지점에 설치하였다. 배관 또는 레일의 전위는 황산동기준전극

2.2 실증실험 결과

그림 2는 속응형 정전위 정류기를 설치하기 전의 “4”지점에서의 배관의 측정전위 변화를 도시한 것이다. 이 지역은 대략적으로 배관의 측정전위가 0V보다 커지면 분극전위 또한 $-0.85V$ 보다 높아지는 양상을 보이는데, 전기철도 누설전류의 유출입이 매우 심하게 나타나고 있다. 즉, 전류가 유입되면 그 지점에서의 전위가 음으로 내려가고 전류가 유출되면 양으로 올라가게 된다.



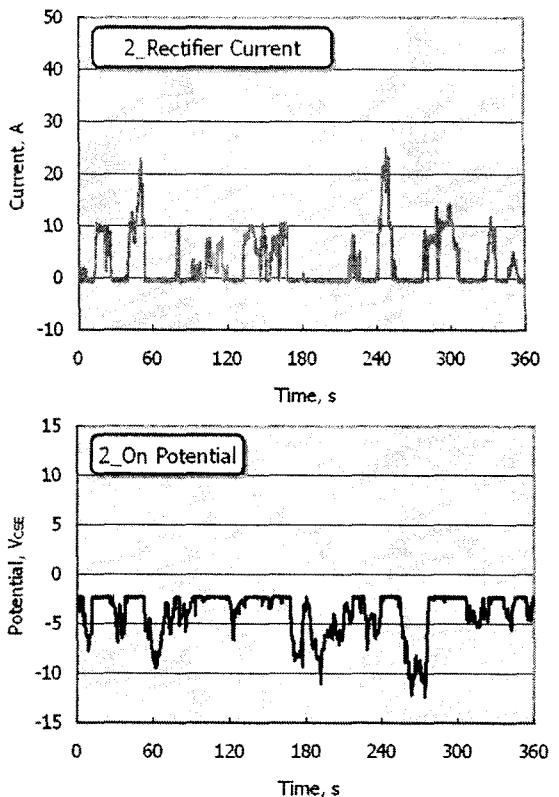
[그림 2] 속응형 정전위 정류기 적용 전 배관전위 변화

이러한 누설전류 간섭을 완화하기 위해 복수의 속응형 정전위 정류기를 가동하여 출근시간대인 오전 8시부터 6분간 원격모니터링 시스템으로 측정하였다. 그림 3과 4는 각각 “2”지점 및 “4”지점의 정류기 출력전류 변화와 이 때의 측정전위 변화를 나타낸 것이다. 전기철도의 누설전류 유출이 시작되면서 배관의 전위가 설정값인 $-2.5V_{CSE}$ 보다 커지기 시작하면 순간적으로 이를 보상할 수 있는 전류를 배관에 유입시켜 줌으로써 전위를 일정하게 유지시켜 줄을 알 수 있다.

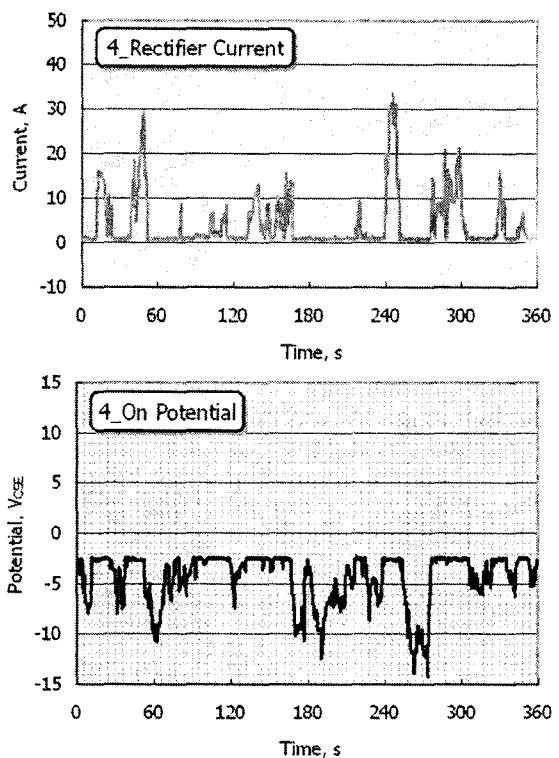
도시철도의 운행이 중지되는 심야의 경우 자연전위 자체도 직선으로 나타나고 정전위 정류기에 의한 방식전위 패턴도 $-2.5V_{CSE}$ 로 직선으로 나타나므로 속응형 정전위 정류기에 의한 간섭완화가 효과적임을 알 수 있다.

두 정류기의 출력과 전위변화가 유사한 것은 차량기지 인근에서 광범위한 영역에 걸쳐 동일한 전위변화 패턴을 가지는 현상을 반영하는 것으로 이는 차량기지가 전기철도 본선구간 전체에 대한 거대한 접지체 역할을 하고 있음을 나타낸다.

전위그래프에서 설정 전위보다 낮은 전위값을 갖는 시간에는 차량기지 인근에서 배관으로 전류가 유입되어 본선의 여러 변전소 인근으로 전류가 이동할 수 있음을 보여준다. 그림 1에서 매설배관의 절연조인트가 위쪽 부분에는 설치되어 있는 반면 아래쪽으로는 수 킬로미터 이상에 걸쳐 연결되어 있으므로 절연되지 않은 매설배관이 누설전류를 증가시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 매설배관에 대한 절연조인트를 추가로 시공하는 것도 누설전류를 줄여줄 수 있을 것으로 판단된다.

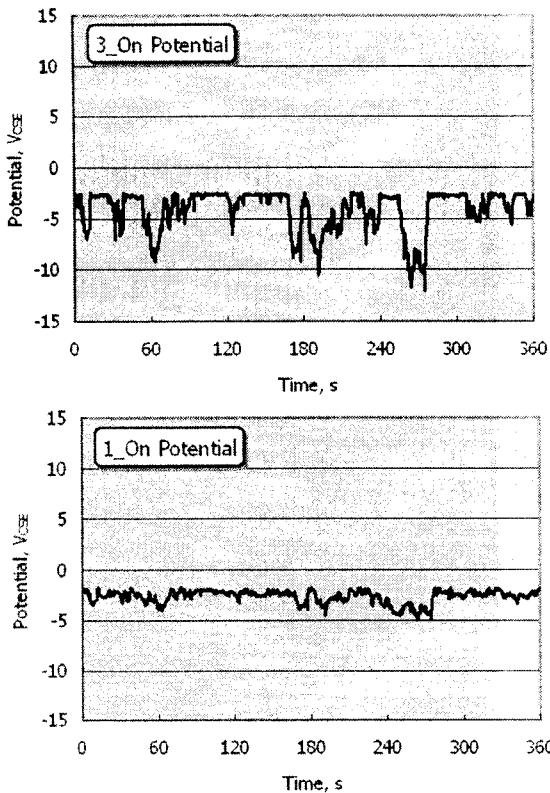


[그림 3] “2” 지점의 정류기 출력전류와 배관전위



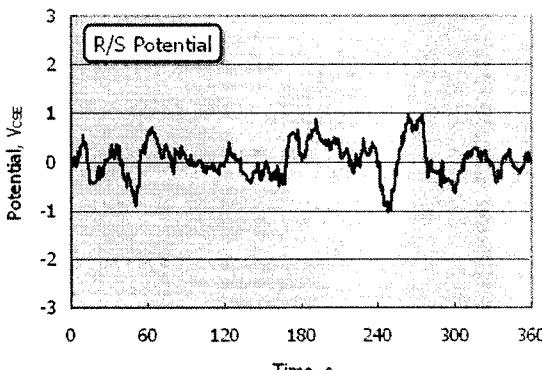
[그림 4] “4” 지점의 정류기 출력전류와 배관전위

그림 5는 중간 위치인 “3” 지점과 외곽 위치인 “1” 지점에서의 전위변화를 도시한 것이다. 두 지점 모두 양호하게 방식전위를 유지하고 있음을 알 수 있다.



[그림 5] “1”, “3” 지점의 배관전위

그림 6은 차량기지 내의 레일에서 측정한 레일-대지 전위변화를 나타낸다. 레일-대지 전위는 레일-겹지 선압과는 다른 것으로 레일 또한 누설전류가 유입되면 음의 값으로, 유출되면 양의 값으로 변화하게 되는데, 앞에서의 배관전위 변화패턴과 역상으로 나타나게 된다. 전류가 레일로 유입되는 시점에 정전위 정류기가 작동하여 배관으로부터 유출되는 전류를 보상함을 알 수 있다.



[그림 6] 레일-대지 전위 변화

3. 결 론

지금까지 도시철도 차량기지 인근의 도시가스 배관에 대해 속용형 정전위 정류기 시스템을 적용한 사례를 소개하였다. 속용형 정전위 정류기는 기존의 전식대책인 배류법에 비해 누설전류의 총량을 증가시키지 않으면서 누설전류의 유출에 따른 배관의 전위 상승을 완벽히 억제할 수 있을 수 있었다. 이러한 정전위형 정류기의 활용을 통해 국내 전식대책 분야의 획기적인 전기를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태조사”, 2003 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 373-375, 2003
- [2] 하윤철, 배정효, 하태현, 김대경, 이현구, “지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태분석(I),(II)”, 2004 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 1364-1369, 2004
- [3] Y.C.Ha, D.K.Kim, J.H.Bae, T.H.Ha, H.G.Lee, “Investigation of stray current from DC subway system in Korea”, CORROSION/NACEEXPO 2005, Houston, TX, Apr. 3-7, 2005
- [4] 하태현, 이현구, 배정효, 김대경, 하윤철, “지하철의 표유전류에 대한 가스배관의 전식대책법”, 2003 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 382-384, 2003
- [5] T.H.Ha, J.H.Bae, H.G.Lee, Y.C.Ha, D.K.Kim, “Rapid potential-controlled rectifier for securing the underground pipeline under electrolytic interference”, POWERCON 2004, Singapore, Nov. 21-24, 2004
- [6] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 각성대책(I),(II),(III)”, 2005 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환부문회 추계학술대회 논문집, 270-278, 2005
- [7] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 방지대책에 대한 고찰(I) 유럽과 호주”, 2006 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 1075-1076, 2006
- [8] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 방지대책에 대한 고찰(II) 일본”, 2006 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 1083-1084, 2006
- [9] 하태현, 김대경, 배정효, 이현구, 하윤철, “전기방식용 정류기 제어장치”, 대한민국 등록특허 10 0652077호, 2006
- [10] NACE Standard SP0169-2007, “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”, NACE International, 2007.
- [11] 배정효, 김대경, 하태현, 이현구, “원격부식감시 및 방식제어 시스템”, 대한민국 등록특허 10 0311631호, 2001