

직류전기철도의 누설전류 간섭대책(2)
분포외부전원시스템

하운철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경
한국전기연구원

Mitigation of Stray Current Interference from DC Electric Railroad(2)
DICCP System

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

Abstract - The national need to establish a new stray current mitigation method to protect the underground metallic infrastructures in congested downtown area forced us to design and develop the distributed impressed current cathodic protection (DICCP) system. The main purpose of this system is to replace the stray current drainage bond methods, which is widely adopted by pipeline owners in Korea. Currently, forced drainage makes up about 85% of total drainage facilities installed in Korea because polarized drainage can neither drain perfectly the stray currents during normal operation of electric vehicle nor drain the reverse current during regenerative braking at all. The forced drainage, however, has been abused as an alternative cathodic protection system, which impresses currents from rails to the pipelines and accordingly uses the rails as anodes. As a result, it is necessary to consider a new method to both cathodically protect the pipelines and effectively drain the stray currents. In this paper, we describe the design parameters and installation schemes of DICCP system that can meet these demands.

1. 서 론

직류 전기철도 시스템의 귀선으로 사용되는 레일에서 발생한 누설전류는 콘크리트나 토양을 통해 인근 지중 금속시설물로 유입될 수 있으며, 이 누설전류가 유출되는 지점에서 전식이 크게 일어나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 지중 금속시설물 소유자들은 유입된 누설전류를 변전소의 부극선으로 귀환시키는 배류법을 적용해 왔다. 배류법은 일반적으로 간선의 시설물을 보호하는 데에는 최적일 수 있으나 누설전류의 증가, 타 시설물의 간섭범위의 확대, 과방식, 레일의 전식 등 여러가지 문제점을 내포하고 있다[1-3]. 또한 회생제동시에 역방향으로 발생하는 누설전류는 회생제동 중인 전차로 귀환시켜야 하는데, 기존의 배류법으로는 불가능하므로 회생제동 구간인 역사 인근에서 전류의 유출이 발생할 수 있다. 이러한 문제점으로 인하여 선택배류의 효율이 떨어지게 되자 점차 강제배류기의 사용이 급속히 증가하고 있어 누설전류의 문제는 매우 복잡한 양상을 띠게 되었다.

한편, 도심지의 전기방식 경향을 보면 시설물의 신설 단계에서는 타 시설물의 간섭이 거의 없는 회생양극법을 적용하다가 회생양극의 수명이 다하면 외부전원법을 적용하는 경우가 일반적이다. 이 때 배류기를 운용하는 구간에서는 외부전원 설비를 갖추기보다 강제배류법을 도입하는 사례가 많아지고 있어 레일-대지간 절연을 약화시키고 누설전류량 크게 증가시킬 우려가 있으나 현재

로서는 누설전류에 의한 종합적인 대책이 마련되지 않아 간섭의 악순환이 발생하고 있다.

따라서 전기철도측은 누설전류의 발생메커니즘을 충분히 조사하여 누설전류를 저감시키기 위한 노력이 선행되어야 하며 기존의 강제배류기를 선택배류기로 전환하거나 배류기를 철거할 수 있도록 근원적인 대책을 마련해 나가야 한다. 한편 피간섭시설물측도 레일을 양극으로 이용하는 강제배류법을 지양하고 도심지 환경에 맞는 최적의 전기방식법을 찾아야 할 것이다. 현재로서는 회생양극법의 재시공이 사실상 불가능하고 전통적인 외부전원법 또한 나날이 복잡해지는 지중 시설물들간 상호간섭 문제를 초래할 수 있으므로 간섭을 최소화하면서 누설전류를 배류시킬 수 있는 분포외부전원시스템을 대안으로 고려해볼 만하다.

본 논문에서는 분포외부전원시스템의 개념과 설계변수 및 시공방법에 대해 살펴본다.

2. 본 론

2.1 분포외부전원시스템의 개념

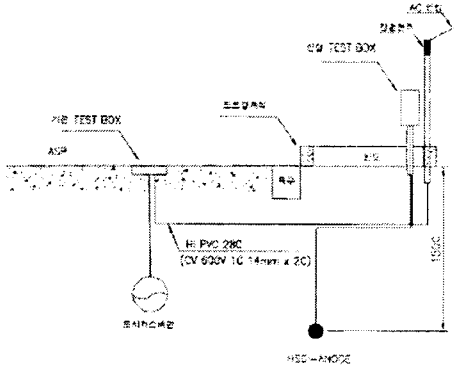
직류 전기철도의 신설과 연장으로 국내 대도시의 지중 급속시설물, 특히 매설배관에 대한 누설전류 간섭이 크게 증가하고 있다. 배관들의 전기방식을 위해 설치된 회생양극은 오히려 누설전류 유출입의 통로가 되어 20년 이상 설계된 수명이 수 년 이내로 단축되는 사례가 빈번하게 발생한다. 배관이 대부분 도심도로 아래에 매설되어 있어서 회생양극 재시공을 위한 도로 굴착은 사실상 불가능하므로 대개 외부전원법을 적용해야 한다. 그러나 외부전원용 양극 또한 수십미터 깊이의 굴착과 배관과 수십~수백미터 이격시킴에 따른 케이블 포설의 문제뿐만 아니라 인근 타 시설물에 전류가 유출입되는 간섭문제가 있어 도심지 환경에서 적용하기 힘들어지고 있다. 또한 기존의 외부전원 설비조차 도심의 지중구조물이 증가하면서 방식범위가 줄어드는 실정이다. 이리하여 전기철도의 누설전류에 대한 배류효율을 높이기 위해 설치한 강제배류기의 출력을 높여 배관의 전기방식에 활용하기 사례가 증가되고 있다.

분포외부전원시스템은 타 시설물에 간섭을 주지 않는 외부전원 시스템으로 이미 캐나다 몇몇 도시에서 상수관의 전기방식에 적용되고 있다[4]. 기존의 외부전원법은 가스배관의 경우 수십 km, 상수관의 경우 수 km 구간을 대상으로 1개소의 대형양극군에서 60V/20~60A 경격의 정류기로 전류를 흘려주는 형태이나 분포외부전원시스템에서는 가스배관의 경우 약 500m~1km, 상수관의 경우 100m~300m 구간을 대상으로 1개의 저전력형 전원장치와 중소형양극으로 출력을 내보낸다. 표 1은 도심지 도시철도 누설전류 간섭지역에서의 분포외부전원법, 회생양극법 및 외부전원법의 특징을 비교한 것이다.

[표 1] 도심지 누설전류 간섭지역에서의 전기방식법 비교

구분	분포외부전원법	회생양극법	외부전원법
방식효율	높다	낮다	높다
양극소모	적다	많다	적다
전류조정	가능	불가능	가능
타시설물 간섭	없다	없다	크다
환경변화적응	가능	불가능	가능
유지관리	방식기술자	일반기술자	방식기술자
재설치공사비	적다	많다	적다

그림 1은 부산지역 도시가스배관에 설치한 분포외부전원시스템의 단면도를 나타낸다. 일반적으로 외부로부터 AC 또는 DC 전원을 공급받는 전원인입부, AC 또는 DC 전원을 입력받아 전기방식에 필요한 DC 출력을 내보내는 전원장치부, 불용성 양극부 및 각종 배선으로 이루어진다.



[그림 1] 분포외부전원시스템 설치단면도

이러한 시스템을 배관을 따라 수백미터마다 설치하면 분포외부전원용 양극이 일종의 다중 접지의 역할을 하여 직류 전기철도의 누설전류를 양극을 통해 배류시키는 기능도 수행한다. 일반적으로 정전류 간섭이 있을 경우 전류가 유출되는 지점을 찾아 회생양극을 설치하여 배류를 시키고 있는데 정전류가 아닌 동적 간섭이 발생하는 직류 전기철도 구간에는 전류의 유입, 유출 지점이 동적으로 변화하게 되어 회생양극 설치지점을 찾기 어렵고, 오히려 누설전류가 더 쉽게 유출입하게 된다. 반면 분포외부전원용 양극에는 다이오드로 설치하여 일방향으로 전류가 흐르게 할 수 있으므로 전기방식과 누설전류 배류를 동시에 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

더욱이 기존의 배류법은 전차의 회생제동시 발생하는 누설전류에 대해서는 배류를 시키지 못하는 반면, 분포외부전원용 양극은 전류의 귀환점이 변전소가 아니라 전차위치가 되더라도 누설전류를 배류시킬 수 있는 장점이 있다.

2.2 분포외부전원시스템의 설계

2.2.1 설계 기준

일반적인 외부전원식 전기방식 설계와 마찬가지로 분포외부전원시스템의 설계에서도 설계 기준을 정하는 것이 매우 중요하다. 설계변수로는 아래와 같은 것이 있다.

- 방식대상: 관경 및 길이
 - 관경(D): 가스관 100~750A
상수관 700~2400A
 - 길이(L): 가스관 300~1000m
상수관 100~400m
- 도장손상율(C, %)
 - 도장종류(PE, 폴타르에나멜, 아스팔트 등)

및 설치연한에 따라 결정

- 방식수명(Y): 일반적으로 20년
- 소요전류밀도(I): 약 10 [A/m²]
- 토양비저항(p): 실제 측정
- 사용양극: HSCI(고규소철) 양극
- 백필(backfill)제: Petroleum Coke
 - 최대전류밀도(i_{b,max}): 2.15 [A/m²]
 - Bulk Density(ρ_b): 1188 [kg/m³]
 - 연간소모율(S_b): 1.0 [kg/A·Y]
- 양극의 백필크기 또는 Hole 크기

2.2.2 설계 예

위의 설계기준을 적용하여 상수관 700A, 390m 구간을 대상으로 분포외부전원시스템 사양을 결정해 보면 아래와 같다.

- 방식대상 면적(A)

$$A = \pi \times D \times L \times C \times 1.05$$

C: 도장손상율 = 5% (콜타르에나멜)
1.05: 안전율 5% 적용

$$= 45.747 \text{ m}^2$$
- 소요전류(I)

$$I = A \times i$$

$$= 0.457 \text{ [A]}$$
- 양극 소요량 계산: 20[lb] HSCI 기준
 - 양극 D_a × L_a = 1.5"φ × 60"L
 - 가) 이론 양극 소요량(W)

$$W = Y \times S_a \times I / U_f$$

S_a: 양극소모율 = 0.75 [lb/A·Y]
U_f: 양극사용율 = 50 [%]

$$= 13.71 \text{ [lb]}$$
 - 나) 양극수량(N)

$$N = W / W_a$$

W_a: 양극 1개의 중량 = 26 [lb]

$$= 0.527 \rightarrow 1\text{개 적용}$$
- 백필재의 수량 산출
 - 양극 Hole D_h × L_h = 200φ × 3000L 적용
 - 가) 백필전류밀도(i_b)

$$i_b = I / (\pi \times D_h \times L_h)$$

$$= 0.242 < i_{b,max} \text{ (만족)}$$
 - 나) 방식수명 20년간 소모량

$$Q = 20 \times I \times Y / (\rho_b \times (\pi \times D_h^2 - \pi \times D_a^2) / 4)$$

$$= 0.247 \text{ [m]} < L_h \text{ (만족)}$$
- 양극 Lead wire : HMWPE 1C×8mm²
 - L_w = 6 [m] (실측)
- 직류회로저항 (R)
 - 가) 양극 Hole의 접지저항

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L_b} \times \left[\ln \frac{(8 \times L_b)}{D_b} - 1 \right]$$

ρ = 12000 [Ω·cm] (실측)

$$= 24.1 \text{ [Ω]}$$
 - 나) 전선저항

$$R_w = (C / 1000) \times L_w$$

C: 케이블 단위저항 = 2.310 [Ω/km]

$$= 0.014 \text{ [Ω]}$$
 - 다) 배관의 총 접지저항

$$R_c = \omega / A_t$$

ω: 배관 누설저항 = p / 1000 × 100 [Ω·m²]
(양호한 배관의 1/10 가정)
A_t: 총배관면적 = 6086 [m²]
(배관 총길이 2724 m 대상)

$$= 0.20 \text{ [Ω]}$$
 - 라) 기타 저항

$$R_o = 0.286 \text{ [Ω]} \text{ 가정}$$
 - 마) 총저항

$$R_t = R_u + R_w + R_c + R_o \\ = 24.7 [\Omega]$$

7) 전원장치 정격

가) 전류 (I') = $I \times 1.25$ (안전율 25%)
= 0.571 [A]

나) 전압 (V) = $I' \times R_t + 2.0$
(2.0: Back voltage)
= 16.1 [V]

→ 20V/1A 정격의 전원장치로 방식 가능.

이상의 설계 예에서 상수관 700A에 대해서 20V/1A 정격의 전원장치로 390m 이상 전기방식이 가능함을 알 수 있다. 아스팔트 도장의 30년 된 1500A 관경의 배관에 대해서 계산해보면 100m마다 25V/2.5A 정도의 분포외부전원 전원장치가 산출된다. 현재는 약 1km 구간의 방식을 위해 40A의 전류를 흘려주더라도 양극 베드와 먼 위치에서는 방식기준을 만족시키지 못하고 있고 이러한 전류가 타 시설물로 크게 영향을 주고 있어 대형배관에 대해서는 간섭을 최소화하면서 효율적으로 방식시키는 수단이 될 것이다.

2.3 분포외부전원시스템의 시공

분포외부전원시스템의 시공은 크게 네 가지 공사로 이루어진다.

- 1) 기존 측정함에서 신설 측정함으로 배관리드선 인출
- 2) 신설 측정함으로 AC 또는 DC 수전 및 전원인입
- 3) 배관으로부터 10m 이내에 불용성 양극 설치
- 4) 분포외부전원용 전원장치의 측정함 내 설치 및 배선
 - 입력단-전원인입선 연결
 - 출력단의 (-)단자에 배관리드선 연결
 - 출력단의 (+)단자에 양극리드선 연결

도심권에서 외부전원법을 적용하기 위해서는 자사 및 타사의 전체 관로도면을 종합적으로 검토하여 간섭을 주지 않도록 최적의 양극 베드를 설계해야 하는데, 도심지의 공원이나 자사 부지 내를 제외하고는 베드 설치공사도 힘든 실정이다. 이에 비해 분포외부전원시스템은 배관 인근 도로 또는 인도에 새로운 측정함과 양극을 설치할 수 있어 시공상에서도 큰 장점이 될 것이다.

다만, 희생양극법이나 외부전원법에 비해 관리해야 할 설비가 늘어난다는 점과 수백m마다 전원을 확보해야 하는 단점이 있다. 수전의 경우 다양한 방법을 고려할 수 있는데 일차적으로 한국전력공사에 직접 수전신청을 하여 전원을 확보하는 것이 가장 좋은 방법이다. 만약 인근에 변대주가 없는 경우, 지자체와의 협의를 통해 가로등 전원을 활용할 수도 있다. 실제 캐나다의 킹스턴에서는 상수관의 전기방식을 위해 분포외부전원시스템을 설치하고 가로등 회로를 이용하여 전원을 공급하고 있다 [4]. 이 외에도 태양광 가로등 형태의 직류 전원을 활용할 수도 있을 것이다.

관리해야 하는 설비가 늘어나는 문제는 일차적으로는 원격부식감시 시스템을 적용하는 방향으로 해결할 수 있다. 현재 TRS나 CDMA 망을 이용한 무선단말기들이 개발되어, 전기방식 현장에 많이 적용되고 있다. 또한 배관을 따라 케이블을 포설할 수 있는 지역에서는 전원장치를 한곳에 모아놓고 케이블과 양극을 배치하는 방법으로 관리의 부담을 줄일 수 있다.

현재까지 부산지역 2개 지중시설물, 13개 지점에 분포외부전원시스템을 설치하여 검증실험이 진행되고 있으며, 서울지역에서도 5개 시설물, 34개 지점에 설치될 예정이다. 직류 전기철도의 누설전류 간섭뿐만 아니라 대형관로의 전기방식 설비에 의한 간섭도 저감시킬 수 있는 대책으로 분포외부전원시스템이 성공적으로 실증되어 실현가능한 전식대책으로 제시될 것이다.

3. 결 론

지금까지 국내 직류 전기철도에 의한 누설전류 간섭에 대한 대책이면서 동시에 도심지 매설배관의 전기방식 대책으로 개발 중인 분포외부전원시스템의 개념과 설계, 그리고 시공방법에 대해 간략히 서술하였다. 실증실험이 마무리되는 시점에서 이러한 분포외부전원시스템이 도심권 직류전기철도 및 타 전기방식설비에 의한 간섭 문제에 대한 표준 대책의 하나로 제시될 것이며, 직류 전기철도측의 누설전류 저감대책과 함께 국내 전식문제 해결을 위한 시발점이 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 하운철,배정효,하태현,이현구,김대경, "지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태조사", 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 373-375, 2003
- [2] 하운철,배정효,하태현,김대경,이현구, "지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태분석(I) 서울지역", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 1364-1366, 2004
- [3] 하운철,배정효,하태현,김대경,이현구, "지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태분석(II) 부산지역", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 1367-1369, 2004
- [4] Glenn Steinke(Public Works Manager, Town of Beausejour, Manitoba, Canada), Personal Communication, 2005