

지중 표유전류 저감 대책에 관한 연구

배정호\*, 김대경\*, 하태현\*, 이현구\*, 최상봉\*, 정성환\*, 김기준\*\*  
 \* (재)한국전기연구소, \*\* 한국해양대학교

A Study on the Countermeasure to the Stray Current in Underground

J.H. Bae\*, D.K. Kim\*, T.H. Ha\*, H.G. Lee\*, S.B. Choi\*, S.H. Jeong\*, K.J. Kim\*\*  
 \* KERI, \*\* Korea Maritime University

**Abstract** - The induced voltage of underground pipelines caused by the stray current not only do harm to workers and instruments, but also cause big accident such as gas explosion. The AC stray current is mainly produced by the grounding system of the 22.9kV distribution power system and the DC stray current is mainly produced by the subway system.

The mechanism of AC and DC induction, stray current failure examples of domestic and foreign countries and the countermeasure of the AC and DC induction are described.

1. 서 론

지하 금속매설물을 소유하고 있는 시설물 소유자들은 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 갖추고 있다.

전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 표유전류에 의한 간섭이 발생하여 유지·점검에 상당한 애로를 겪고 있다. 이러한 표유전류는 존재 자체가 곧 에너지의 손실을 의미하며, AC 표유전류의 경우 지중 금속구조물(가스배관 등)에 유기되어 유지, 보수 인력의 감전사고의 원인이 될 뿐만 아니라, 아크의 원인이 되어 가스 누출시에 대형 폭발사고의 원인이 될 수 있으며, DC 표유전류의 경우에도 지중 금속구조물의 부식을 촉진하게 되어 부식사고를 일으키게 됨에 따라 환경오염 및 대형사고의 직접적인 원인이 될 수 있다.

표유전류의 원인으로는 여러 종류가 있지만 우리나라의 경우에는 22.9[kV] 배전선에 의한 AC 표유전류 및 지하철에 의한 DC 표유전류 폐해가 심각하다.

따라서 본 논문에서는

- AC 및 DC 표유전류의 발생 메카니즘
- 국내 배류기 적용 실태
- 표유전류의 국내·외 현황 및 대책 사례
- AC 표유전류 감소 대책
- DC 표유전류 감소 대책

등을 제시함으로써 에너지의 낭비를 막고, 대형사고의 예방 및 설비의 장수명화를 꾀함으로써 산업의 경쟁력 제고에 물론 국민의 복지수준 향상에 이바지 하고자 한다.

2. AC 표유전류 유도 메카니즘

일반적으로 지중 금속구조물에 유도되는 AC 유도전압의 발생 메카니즘은 용량성 유도, 유도성 유도 및 저항성 유도의 3가지가 있으나 우리나라의 경우는 저항성 유도에 의한 AC 유도전압이 주종을 이루고 있다.<sup>1)</sup>

저항성유도(Resistive Induction) 원리는 다음과 같다. 즉, 동일한 전해질(토양)을 공유하고 있는 전력계통의 접지구조와 지중 구조물 사이에는 抵抗性結合效果

(Resistive Coupling Effect)에 의해 교류전류 혹은 전압의 형태로 에너지를 전달할 수 있다. 즉, 접지된 중성선을 가진 전력계통에서 계통의 불평형으로 인해 중성선에 불평형전류가 흐르거나 또 계통의 3n(n=정수)차 고주파가 중성선에 흐르면 이 에너지는 접지지점에서 토양을 통해 인접하는 지중금속구조물로 전달되며, 이때 지중금속구조물이 절연물로 쌓여 있다면(코팅되어 있다면) 구조물과 대지 사이에 저항성유도 전압을 발생시킨다.

그림 1과 같이 전력계통의 접지도체를 반경 r인 반구로 가정하고, 균일한 저항을 ρ를 가진 대지에 전류 I가 유입할 때, 반구의 중심 O로부터 x 지점의 유도전압 v를 계산하는 과정은 아래와 같다.

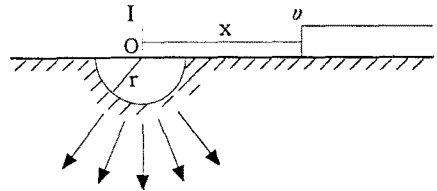


그림 1 저항성 유도에 의한 AC 유도 전압

즉, Ohm의 법칙에 따라,

$$v = I \cdot R \tag{1}$$

여기서,  $R = \int dR = \int \rho(dr/2\pi r^2)$  이므로

$$v = \rho I / 2\pi x \tag{2}$$

이 된다. 즉, 대지로 전류 I를 흘리는 접지도체로부터 x 거리만큼 이격된 배관에는 식 (2)로 계산되는 전압이 유도된다.

식 (2)에서 보는 바와 같이 접지를 통해 대지로 유출되는 전류가 일정할 경우에 배관에 유도되는 저항성유도 전압의 크기는 대지의 저항율과, 접지도체와 배관사이의 이격거리에 따라 좌우된다.

우리나라의 배전계통은 1차전압이 22.9[kV]로서 그림 2와 같이 3상4선식을 사용하고 있으며, 중성점 다중 접지방식을 쓰고 있다. 현재 우리나라에서 문제가 되는 AC 표유전류는 22.9[kV] 배전계통의 중성점 다중접지선에 의한 것이다. 이 중성선(제4선)은 일정한 간격으로 대지에 접지 되어 있으며, 정상상태에서는 중성선에 60[Hz]의 전류가 흐를 수 없도록 설계되어 있다. 그러나 부하의 불평형 등으로 인해 제3고주파 성분이 발생할 경우, 이 제3고주파의 일부는 중성선을 통해 흐르고, 일부는 접지를 따라 대지를 통해 흐르게 된다. 이때 지하배관은 양호한 접지도체이므로 대지로 흐르는 제3고주파는 저항성결합효과에 의해 배관에 유입되기 쉽다. 일단 유입된 제3고주파는 배관표면의 분극을 소극시키거나 혹은 Mg 양극 등의 소모율을 증가시킬 뿐만 아니라 배관 작업자에게 감전으로 인한 위해(危害)를 끼칠 수 있으며 누기사고시에 아크 발생으로 인한 대형 폭발 사고를 야기할 수도 있다.

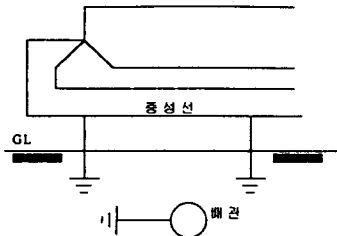


그림 2 22.9(kV) 한전 배전계통도(3상 4선식)

### 3. 국내 지하철에 의한 DC 표유전류 현황

DC 표유전류원으로는 여러 가지가 있으나 우리나라에서는 지하철에 의한 누설전류가 심각하다. 국내에서는 지하철에 의한 표유전류의 영향을 감소시키기 위해 배류법을 적용하고 있다. 선진국에서는 기존에 설치된 배류기를 철거하는 추세에 있지만 우리나라에서는 서울 지하철 1단계구간만 하더라도 총 82대를 설치 운영하고 있으며 지속적으로 증가하고 있어 이로 인한 문제가 심각할 것으로 예상된다.

이 장에서는 지하철에 의한 DC 표유전류 발생 메카니즘 그리고 국내에서 적용하고 있는 배류법의 현황과 그 문제점에 대하여 서술한다.

#### 3.1. 지하철에 의한 DC 표유전류 발생 메카니즘

일반적으로 지하철의 부하전류는 그림 3과 같이 지하철 변전소에서 출발하여 급전선을 통해 지하철 객차로 공급되어 지하철을 구동시킨 후, 다시 레일을 통해 지하철 변전소로 귀환하도록 설계되어 있다. 그러나, 레일 부분에서 레일이 가지고 있는 길이방향의 저항과, 레일과 대지사이의 불완전한 절연으로 인해, 원래 설계된 귀환회로를 벗어나, 레일로부터 대지로 전류의 일부가 유출하게 된다. 이때 대지로 유출하는 전류를 누설전류 또는 표유전류라고 부른다.

이 표유전류는 양호한 도체의 역할을 하는 지중 금속 구조물(가스배관, 송유관, 상·하수도관 등)에 유입되어 구조물을 따라 흐른 후 국부지점, 즉 토양의 비저항이 낮은 지점이나, 지하철의 전원 공급부의 (-)극 가까이에서 대지로 유출한 후 전원공급부의 (-)극으로 귀환하게 되며, 이 유출 부분에서 부식이 집중적으로 발생하게 된다. 이와 같이 지하철에서 발생한 누설전류에 의한 부식을 미주전류 부식(Stray Current Corrosion) 혹은 전해부식(Electrolysis)라 하며, 전해부식을 줄여서 일반적으로 전식이라고 부른다.<sup>2-5)</sup>

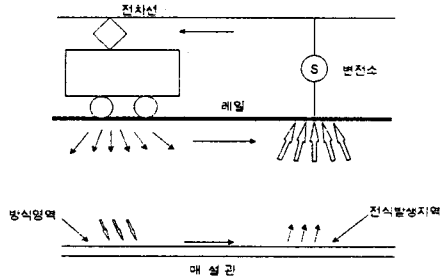


그림 3 지하철에 의한 표유전류 개념도

전식에서 누설전류의 크기는 인근 지하 금속매설물의 부식에 중요한 요인으로 작용하므로, 이 장에서 지하철에 의한 누설전류를 계산해 보기로 한다.

누설전류 크기는 지하철변전소의 개수와 운행중인 전차수에 따라 변한다. 이 장에서는 대표적인 아래 2가지 경우에만 그 크기를 계산하여 물리적인 개념을 알아보기로 한다.

#### ① 1개의 직류변전소에 단일 부하가 있는 경우

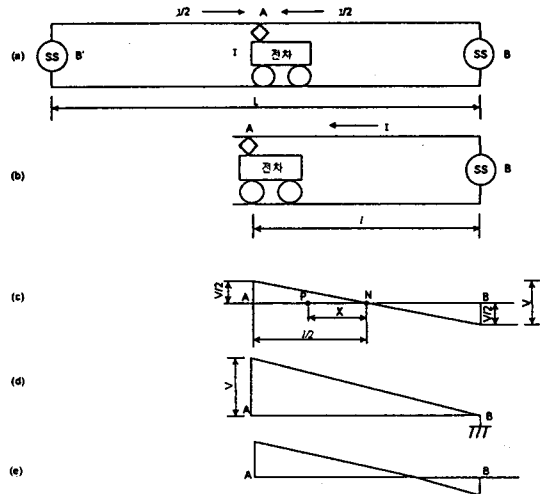


그림 4 직류변전소의 급전 개념도(단일 부하가 있는 경우)

그림 4 (b)에서 B변전소로부터  $l$  길이 만큼 떨어진 A 지점의 부하전류를  $I$  라 할 때 AB간의 귀선 전압 강하  $V$ 는

$$V = I \cdot (r \cdot l) \quad (3)$$

레일 대지 전압  $V$ 는 대지를 기준으로 할 경우 A점은  $+V/2$ 가 되며, 그림 4 (c)에서와 같이 중앙 부분에  $V=0$  인 중성점 N이 생긴다. N 지점에서 임의의  $x$  [km] 떨어진 P 지점에서의 대지전압  $v_p$ 는 식 (4), 부하전류  $i_p$ 는 식 (5)와 같다.

$$v_p = I \cdot (r \cdot x) \quad (4)$$

$$i_p = \frac{v_p}{w} = \frac{I \cdot (r \cdot x)}{w} \quad (5)$$

총 누설전류는  $i_p$ 를 N 지점에서 A 지점까지 식 (6)과 같이 적분을 하면 된다.

$$i_l = \int_0^{l/2} i_p dx = \frac{1}{8} I \cdot \frac{r}{w} \cdot l^2 \quad (6)$$

여기서  $v_p$  : P 점의 레일 대지 전압

$i_p$  : P 점의 레일 단위 길이당 누설 전류

$i_l$  : 중성점 N에서 A점까지의 누설 전류의 총계

$l$  : 전부하 전류 [A]

$r$  : 단위 길이당 레일 저항 [ $\Omega \cdot \text{km}$ ]

$x$  : 중성점 N으로부터 Xm 떨어진 거리 [m]

$w$  : 단위 길이당 레일 누설 저항 [ $\Omega \cdot \text{km}$ ]

그림 4 (d)의 경우는 귀선이 완전 접지된 상태로 접지저항 값이 0인 경우이며 누설전류  $i_l$ 는

$$i_l = \frac{1}{2} I \cdot \frac{r}{w} \cdot l^2 \quad (7)$$

일반적으로 귀선 레일은 연속적으로 접속된 상태로 전차 부하와 지하철 변전소 근방에서는 누설 전류가 중첩되어 상호 접지 효과를 크게 하고 식 (6), (7)이 중첩되며, 비례 상수값의 평균값을 취하게 된다. 실제 상태에서는 그림 4 (e)에 근접하게 된다.

이 경우 누설 전류의 총계  $i_l$ 는 식 (8)과 같이 된다.

$$i_l = \frac{1}{3} I \cdot \frac{r}{w} \cdot l^2 \quad (8)$$

② 양쪽 직류변전소간의 중앙에 단일 부하가 있는 경우 그림 4 (a)에서 레일 대전 전압, 레일 전류 및 누설 전류의 분포는 A점을 중심으로 좌우 대칭이 되며 그림 4 (e)를 양측에 걸친 상태가 된다. 즉 직류 변전소 BB' 간 전체 누설전류  $i_i''''$ 는 AB의 2배가 된다.

$$i_i'''' = 2 \cdot i_i''$$

$$= \frac{1}{3} I \cdot \frac{r}{w} \cdot l^2 \quad (9)$$

식 (9)에서  $i = L/2$  이므로 누설 전류값  $i_i''''$ 는

$$i_i'''' = \frac{1}{12} I \cdot \frac{r}{w} \cdot L^2 \quad (10)$$

식 (10)과 같이, 누설전류  $i_i''''$ 는 총 부하전류 I, 단위 길이당 레일저항 r, 변전소간의 거리  $L^2$ 에 비례하고, 단위 길이당 레일누설저항  $w$ 에 반비례한다.

### 3.2 국내의 배류법 적용 실태 조사

#### 3.2.1 배류법 종류

배류법은 전철의 레일에서 누설되어 인근의 피방식 구조물에 유입된 전류를 전해질(토양)을 통하지 않고 직접 도체(배류선)를 통해 다시 전철의 레일 혹은 전철 변전소의 부극으로 귀환시키는 방법을 말한다.

피방식구조물에 유입된 누설전류를 전철의 레일 혹은 전철변전소의 부극으로 귀환시키기 위해서는 피방식구조물과 레일 혹은 전철 변전소의 부극 사이를 전기적으로 접속하여야 한다. 이때 사용되는 접속선을 배류선이라고 부르며, 이 접속회로의 차이에 따라 각각 직접배류법(Direct Drainage System), 선택배류법(Polarized Drainage System) 및 강제배류법(Forced Drainage System)으로 구분한다.

#### 3.2.2 배류법 적용 현황

우리나라에서 배류법은 1981년에 미 8군에서 운영하는 송유관(TKP Line)에 대하여 선택배류법을 적용한 것이 최초이며, 그후 1984년에 도시가스배관에 국내 최초의 강제배류법이 적용된 이래 '96년 말 현재 총 82곳에서 배류법이 적용되고 있다.

연도별 배류법의 적용 추세를 보면 <표 1>에서 보는 바와 같이 '80년대 후반에 집중적으로 적용되었으며 그 수가 줄지 않고 있다. 특히 '80년대까지는 선택배류법이 주종을 이루고 있었으나 '90년대에 들어 강제배류법이 주종을 이루고 있다.

<표 1> 연도별 배류법 적용 추세('96년 말 현재)

| 배류종류  | '80년대 |    | '90년대 |    | 비 고 |
|-------|-------|----|-------|----|-----|
|       | 전반    | 후반 | 전반    | 후반 |     |
| 직접배류법 | 0     | 0  | 0     | 0  |     |
| 선택배류법 | 5     | 33 | 37    | 33 |     |
| 강제배류법 | 2     | 18 | 42    | 49 |     |
| 계     | 7     | 51 | 79    | 82 |     |

#### 3.2.3 강제 배류법의 문제점

누설전류의 원인제공자에게 누설전류를 배류시킨다는 것은 외견상 지극히 타당한 것으로 판단된다. 그러나 강제 배류법을 적용할 경우 아래와 같은 문제를 발생시킬 수 있다.

- ① 전철측에 미치는 영향
  - 신호회로의 오동작
  - 레일 전압의 상승과 레일의 전식
- ② 피방식대상물에 미치는 영향
  - 과방식
  - 선택배류법의 적용 불가능
  - 간섭범위의 확대
  - 부식문제의 악화

## 4. 표유전류의 국내의 대책 사례

이 장에서는 국내외에서 표유전류에 의해 발생한 부식 사고사례 및 그 해결사례를 조사 분석하였다.<sup>6-14)</sup>

국내 22.9(kV) 배전계통의 중성선 접지선에 의한 AC 표유전류는 배전선로와 인접한 거의 모든 지중 금속 구조물에서 발생하였고, 지하철에 의한 표유전류의 영향은 선진국에 비해 비교적 심각하게 나타나고 있는 실정이다.

지하철에 의한 DC 표유전류의 현황과 대책 사례는 선진국 중 미국을 비롯한 캐나다, 일본에 대하여 집중적으로 조사하였다.

우리나라와 선진국의 표유전류 발생사례와 그 대책방법은 상황에 따라 다양하며 내용이 방대하므로, 이 논문에서는 구체적인 내용은 생략하였고 개략적으로 내용을 종합하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 표유전류의 국내외의 대책 사례 조사표

| 종류          | 국명     | 사 례   | 대 책   | 비 고                        |                          |                          |
|-------------|--------|---|---|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| AC 표유 전류    | Korea  | KOGAS<br>G City Gas Co.                                       | Remove Earthing Bar   |                            |                          |                          |
|             |        | Korea   | S City Gas Co.  | Forced Drainage System     | 2nd Line Output(60V,30A) |                          |
|             |        |   | S City Gas Co.  | Forced Drainage System     |                          | 3rd Line Output(40V,10A) |
|             |        |   | S City Gas Co.  | Forced Drainage System     |                          | 4th Line Output(60V,30A) |
| DC 표유 전류    | U.S.A. | 인천도시철도 1호선  | Rebar in Concrete Polarized Drainage System                           |                            |                          |                          |
|             |        | Washington,   | Mainline Segregation Track Insulation Upgrading Pipeline Modification |                            |                          |                          |
|             |        | San Francisco   | Diode Grouding Sectionalization of Hot Rail                           |                            |                          |                          |
|             |        | Philadelphia  | Removal of Drainage Bonds Removal of Low Resistance Connections       |                            |                          |                          |
|             | Canada | Toronto   | FNAGE Installation Mainline Isolation Yard Isolation                  |                            |                          |                          |
|             | Japan  | Example I   | Installation of FDS*  |                            | FDS's Output(150A)       |                          |
| Example II  |        | Installation of PDS**<br>Installation of Mg Anode             |   |                            |                          |                          |
| Example III |        | Insulation ICCP   |   | Rectifier's Output(50V,5A) |                          |                          |
| Example IV  |        | Installation of Mg Anode<br>Installation of Insulation Flange |   |                            |                          |                          |
| Example V   |        | Installation of Mg Anode                                      |   |                            |                          |                          |
| Example VI  |        | Cange to FDS*<br>ICCP   |   | Rectifier's Output(150A)   |                          |                          |
| Example VII |        | Installation of FDS*  |   | FDS's Output(120V,50A)     |                          |                          |

\* FDS : Forced Drainage System

\*\* PDS : Polarized Drainage System

\*\*\* ICCP : Impressed Current Cathodic System

## 5. AC 표유전류 감소 대책

지하배관에 유입되는 AC표유전류의 감소 대책으로는 대략 아래와 같은 3가지 방법이 있다.

첫째, 표유전류의 Source를 제거한다. 이 방법의 질차는 대략 아래와 같다.

① 한국전력공사 배전운영부의 협조를 구하여 단락사고 복구시 재폐로로 인한 임펄스전류가 중성선으로 흐르지 않도록 한다.

② 접지선 절단기를 가지고 電柱에 올라가 중성선에서 전주로 내려오는 부분(그림 5에서 A 지점)의 접지선을

절단한다.

③ 절단된 접지선의 마감 처리를 한다.

둘째, 배관의 경과지를 이동하거나 혹은 배관과 접지선을 이설공사하여 배관과 접지선의 이격거리를 충분하게 늘린다. 이때 이론적인 이격거리는 식 (11)과 같다.

$$X > \frac{\rho \cdot I}{30 \cdot \pi} \quad (11)$$

여기서, X: 이격거리 [m]

$\rho$ : 토양비저항 [ $\Omega \cdot m$ ]

I: 접지점을 통해 대지로 흐르는 전류의 크기 [A]

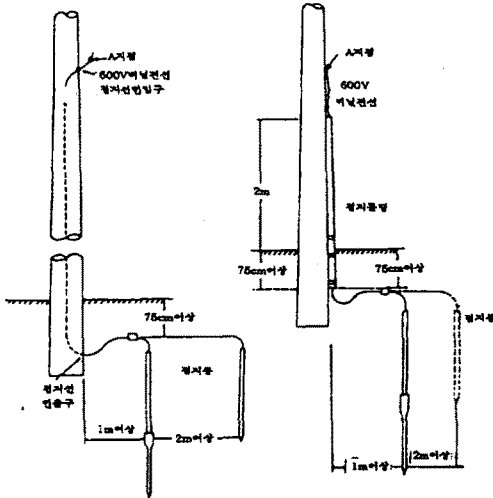


그림 5 22.9[kV] 배전계통 다중접지공사 도면

셋째, 배관의 코팅을 강화하거나, 배관과 접지선 사이에 절연판을 삽입하여 배관과 접지선 사이의 저항율을 높인다. 이때 절연판의 재질은 고무나 플라스틱을 사용하고, 절연판의 위치는 배관과 접지선의 중앙지점에 설치하며, 절연판의 높이는 접지전극의 1.2배 이상, 넓이는 접지전극 직경의 20배 이상, 두께는 작업성을 고려하여 선정하는 것이 좋다.

그림 6은 접지전극 길이가 1[m], 접지전극 직경이 14[mm], 배관 매설 깊이가 1.5[m]인 경우, 대책을 적용한 개략 시공 도면이다.

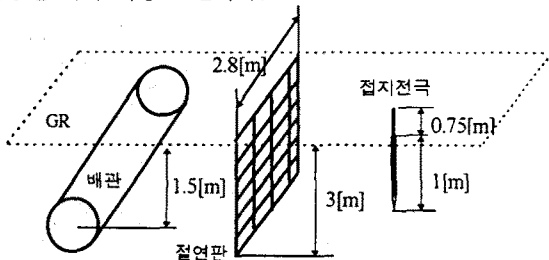


그림 6 접지판의 시공 도면

위의 세가지 방법 중에서 셋째 방법 및 둘째 방법은 근원적인 해결방법이 못되며 가장 확실한 방법은 첫째 방법이다. 한국전력공사의 관점에서 22.9[kV] 배전선로의 수많은 다중접지 지점중에서 일부 구간에 대하여 접지점을 절단하여도 계통운영에는 큰 지장을 초래하지 않을 것으로 판단된다. 만일 배관과 배전선로가 병행하는 구간이 길고 저항성 유도지점이 많다면 세번째 방법 외에는 선택의 여지가 없다.

## 6. DC 표유전류 감소 대책

지하철에 의한 DC 표유전류를 감소시키기 위한 대책

은 현장에 따라 다양한 방법이 제시될 수 있으며 우선, 설치된 배류기를 철거한다. 이때 기존 설치지역은 배류기 철거시행을 우선 시행하여 그 효과를 검증하는 것이 좋으며, 기타 신설 예상 지역은 적용을 억제하여야 한다. 그 외 일반적인 대책은 다음과 같다.

- ① 전철의 부하전류를 저감시키기 위해 급전선의 전압을 높인다.
- ② 귀환레일의 전도도를 증가시킨다.
- ③ 귀환레일의 크기를 증가시킨다.
- ④ 귀환레일간의 연결을 확실하게 한다.
- ⑤ 귀환레일의 Cross Bonding을 확실하게 한다.
- ⑥ 귀환레일과 평행 도체를 설치하여 귀환회로저항을 줄인다.
- ⑦ 복수 지하철 변전소로 설계하여 긴 레일에 따른 전력 손실을 최소화한다.
- ⑧ 귀환레일의 대지간 저항을 증가시킨다.
- ⑨ 지하철 변전소 내 DC 전원의 접지는 가능한 양호하게 시공한다.
- ⑩ Mainline과 차량기지를 분리 절연하여 레일의 대지간 저항을 높이고, 표유전류에 의한 간섭구간을 줄인다.
- ⑪ Mainline의  $\oplus$ ,  $\ominus$ 선에 Gap을 설치하여 분리 절연 시킴으로써 레일의 구간을 줄여 대지간 저항을 높인다.
- ⑫ 지하매설물의 대지간 저항 증가시키기 위해 절연 Joint 혹은 Flange를 사용하여 짧은 배관으로 즉, Sectionalize 한다.

## 7. 결 론

이 논문에서는 우리나라의 각종 지중 금속구조물에 가장 심각하게 간섭을 주는 22.9[kV] 한전 배전선로에 의한 AC 표유전류와 지하철에 의한 DC 표유전류에 대한 발생 메커니즘을 정립하였고, 표유전류의 국내의 현황과 대책 사례의 분석결과를 바탕으로 각각에 대한 대책을 제시하였다. 특히 국내에서 지하철에 의한 표유전류 감소대책으로 대부분 배류기를 적용하고 있는데 이에 대한 실태와 문제점을 검토하였다.

이 논문의 결과는 곧바로 관련 분야의 현장에서 직접 활용할 수 있는 현장애로기술로서, 지하매설물의 부식사고로 인한 대형사고 예방뿐만 아니라 설비의 장수명화에 기여하게 될 것이다.

아울러 향후 현장 실증시험을 통하여 검증을 거치게 되면 표유전류 감소대책에 대한 표준화된 절차서 혹은 관련 법규도 제정할 수 있을 것으로 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" KOGAS, 1995. 5
- [2] "지중 POF 케이블 부식방지에 관한 연구" 한국전력공사 기술연구원, 1989.12
- [3] "신관 전식, 토양부식해독" 전식방지연구위원회, 1988.
- [4] "부식과 방식기술(기초과정)" 한국건설방식기술연구소.
- [5] "제13회 부식 및 방식 강습회" 한국부식학회, 1994. 9
- [6] "배류기설계보고서(홍제역, 충신대입구역)"삼공사, 1987. 9
- [7] "인천 도시철도 1호선 전식방지를 위한 사전조사" 삼공사, 1995.
- [8] M.J.Szeliga, 외 2명 "Stray Current Control, Washington Metropolitan Area Transit Authority's A-Route" CCI, 1990.
- [9] H.E. Bomar 외 4명 "Bay Area Rapid Transit System (BART) Stray Current Corrosion, pp45-174, NACE, 1994.
- [10] Peter Pignatelli, "Cooperative and Mutual Solutions to Stray Current Corrosion on Underground Utilities - A Case History" Stray Current Corrosion, pp175-230, NACE, 1994.
- [11] R.J. Wilson 외 2명 "Solid State Solutions to Stray Current Control - Toronto Transit Commission" Stray Current Corrosion, pp231-304, NACE, 1994.
- [12] "가스도관 방식 핸드북", 일본
- [13] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, 1993. 1
- [14] M.J.Szeliga, "Rail Transit Stray Current Control: Then and Now Stray Current Corrosion, pp305-449, NACE, 1994.