

직류방식 전기철도에서 강제배류기의 절연협조

민병훈, 어익수  
 서울시지하철공사, 호남대학교

Insulation Coordination of Forced Drainage in Electric Railway

B.H. Min, I.S. Eo  
 Seoul Metropolitan Subway Corp., Honam University

**Abstract** - The forced drainage set up to decrease the cathodic protection in each kind of steel conduit laid under the ground is so prescribed to be maintained less than 60V in its output voltage that insulation coordination is easy to be left out of account, on the basis of 60V of working voltage. When railway or subway break down during the service of a subway, 1,500 voltage approximating to line voltage flows through the load terminal of the drainage (rail and underground conduit) though momentary in the worst case. And so, an accident followed by dielectric breakdown, fire and damage by a fire is expected. Therefore, I suggest that insulation coordination should be considered against such a thing on designing, producing and setting up forced drainage.

한 저항을 대지 누설저항이라 한다. 전용궤도에서는 단선 1(km)당 1~10(Ω)정도, 노면전차 등의 병용궤도에서는 0.1(Ω)정도이다.

레일의 대지에 대한 전위는 Fig.1(b)와 같이 전기차 부근에서는 대지전위보다 높게 되고 변전소 부근에서는 낮게 된다. 전기차와 변전소의 중앙점 부근에서는 레일 전위와 대지전위가 같게되며 이를 중성점이라 한다.

중성점으로부터 전기차 측에서는 레일에서 대지로 향해 누설전류가 유출되며 변전소 측에서는 대지로부터 유입하고 그 분포상황은 Fig.1(c)와 같이 된다. 누설전류의 크기는 궤도의 구조, 전습상황, 대지 도전을 등에 따라 다르며 변전소 간격의 대소, 전기차의 운전상황 등에 좌우된다.

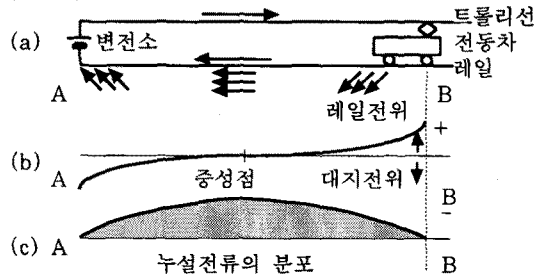


Fig.1 대지중의 누설전류 분포

1. 서론

지하에 매설된 각종 금속관로의 전식을 감소시키기 위하여 설치한 강제배류기는 그 출력전압을 60(V)이하로 유지하도록 규정되어 있어 사용전압 60(V)를 기준할 때 절연협조는 도외시하기 쉽다. 지하철 운행중 전선로나 전차에서 고장이 발생시 배류기 부하측 단자(Rail과 지하매설관로)를 통해 최악의 경우 순간적이거나 1,500(V)인 가선전압에 가까운 전압이 유입되어 절연파괴, 소손 및 화재사고로 이어지는 재해가 예상되므로 강제배류기의 설계, 제작 및 설치시 이에 대비한 절연협조를 고려할 것을 제시한다.

2. 본론

2.1 부식 정의

금속체를 토양, 물속 등 수분이 있는 장소에 설치하면 부식되어 녹이 쓴다. 이 때 금속체에는 금속이 이온화되어 녹아나는 양극부와 공기중의 산소 등 산화성 물질을 소모하는 음극부가 형성되며 수분이 전해액으로 되어 전류가 양극부로부터 전해액(토양)으로, 전해액에서 음극부로 흘러 양극부의 부식이 진행된다. 양극부가 이동하지 않으면 그곳이 집중적으로 구멍형상으로 부식되고, 양극부가 이동하면 금속체 표면은 교호로 양성이 되며 골고루 부식시킨다.

이같은 부식현상 가운데 토양 등의 설치환경 영향을 받아 자연히 부식하는 현상을 자연부식이라고하고, 직류전기철도의 귀선누설전류 등 지중 미류에 의한 부식을 특히 전식이라한다.

2.2 누설 전류

가공 단선식 또는 제3레일식의 직류전기철도에서는 주행레일을 귀선으로 이용하므로 귀선전류의 일부는 대지로 누설된다. 이 때 도상을 포함한 궤도의 대지에 대

2.3 전식

주행 레일로부터 누설된 전류는 대지를 통해 변전소 부근에서 다시 레일로 유입하는데 Fig.2와 같이 선로에 근접해 케이블, 수도관 등의 지중매설 금속체가 있으면 누설전류는 대지보다 저항이 낮은 이러한 금속체를 통해 변전소 부근에서 유출하여 레일로 되돌아온다.

대지중의 금속체는 지하수가 전해액으로 되어 양극부에 해당하는 직류 누설전류의 유출부분은 부식되고 결국에는 구멍이 뚫려 여러가지 장애를 만든다. 이와같은 현상을 전식이라한다. 중성점으로부터 변전소측의 전식이 일어나기 쉬운 개소를 전식 위험구역이라 한다. 전식은 전기분해이므로 전식량은 이론적으로는 웨러디의 법칙에 따라 다음 관계가 성립한다.

$$M = Z \cdot i \cdot t$$

여기서 M : 전식량, Z : 금속의 전기화학당량, i : 통전전류, t : 통전시간

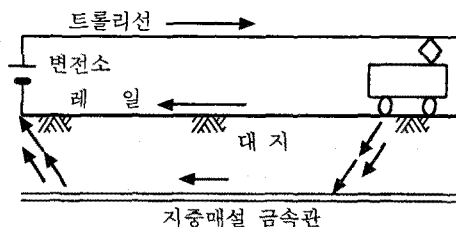


Fig.2 지중매설 금속체를 흐르는 누설전류

## 2.4 전철축의 방식대책

전철축의 방식대책으로는 귀선전류의 유출을 최대한 억제하여야 하므로 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 도상의 배수를 좋게 하고 절연도상, 절연체결장치 등을 채용하고 누설저항을 크게 한다.
- ② 레일 본드 취부를 완전하게 하고 필요에 따라 보조 귀선을 설치하거나 Cross Bond를 증설하여 귀선저항을 감소 시킨다.
- ③ 변전소 수를 증가하여 급전구역을 축소하여 누설전류를 감소 시킨다.
- ④ 가공 절연귀선을 설치, 레일내의 전위차를 감소시키며 누설전류를 적게 한다.
- ⑤ 귀선의 극성을 정기적으로 바꿔 전기화학 반응을 중화시킨다.
- ⑥ 해중으로 배류하여 해수를 귀로로 이용한다.
- ⑦ 터널구조물 건설시 구조물 바닥에 와이어메시를 포설하고 철근에 본딩을 실시, 레일에서의 누설전류의 경로상 전기저항을 저감시켜 전위차의 감소로 누설전류가 지중으로 유출하는 것을 최대한 억제한다.

## 2.5 지중 매설 금속체축의 방식대책

지중 매설 금속체축의 방식대책으로는 매설 관로가 전철 귀선으로부터의 누설전류의 통로가 되지 않도록 하여야 하므로 다음과 같은 몇가지 방법을 사용할 수 있다.

- ① 미주전류 유입을 막기 위해 매설금속관 표면에 절연저항이 큰 피막을 입힌다.
- ② 매설금속체에 금속관 등 도체로 차폐층을 설치, 미주전류가 지중매설 금속체로 유출입하는 것을 막는다.
- ③ 매설 금속체의 접속부(연결부)는 반드시 전기적인 절연을 하므로써 도체로서의 전기저항을 크게하여 매설 금속체로 유입하는 전류를 적게 한다.
- ④ 전철제도와와의 접근이나 교차를 피하여 될 수 있는 한 이격거리를 크게 하도록 매설 루트를 선정하는 방법 등 시공상 적용할 수 있는 일반적인 대책 외에 다음과 같은 방법이 쓰인다.

### 2.5.1 유전양극법

자연부식 방지를 주목적으로 하고 지중매설 금속체보다 전위가 낮은 금속을 지중에 매설하여 접속하고 양 금속간의 전위차를 이용, 전식방지를 위해 전류를 공급하는 것으로 저전위 금속이 대신하여 부식하는 것이므로 희생양극법이라고도 한다. 양극재료(저전위 금속)로는 주로 마그네슘 및 그 합금이 쓰이며 매설환경에 따라서는 알루미늄 합금, 아연종류의 합금도 사용된다. back fill은 양극의 접지저항 감소와 양극재료 소모의 균일화를 목적으로 마그네슘 양극의 경우에는 일반적으로 석고, 벤트나이트, 초산등의 혼합물이 쓰인다.

특징으로는 외부전원이 필요 없고 설치가 쉬우며 외부 구조물에 대한 간섭의 영향이 적고 유지보수가 쉽거나 전류의 분포가 균일하다는 등 장점이 있는 반면에 출력전류가 작고 제한적이며 설치장소의 비저항율이 높은 경우에는 비효율적 인접 등의 단점이 있다.

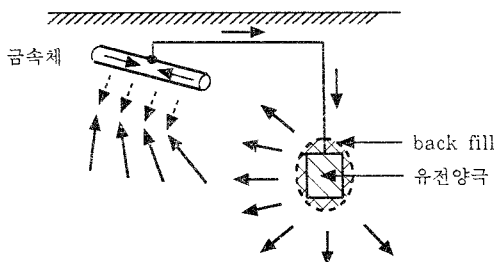


Fig.3 유전 양극법

### 2.5.2 외부전원법

직류전원을 써서 지중의 접지전극을 양극으로서 급전하는 방법이다. 직류축 전압은 60(V)이하로 정하여져 있는데 지중매설 금속체의 전위에 따라 자동적으로 출력 조정하는 방법이 사용된다. 외부전원법의 양극재료는 난용성의 자성산화철, 규소주철, 흑연등이 일반적으로 쓰이고 레일등 소모성의 재료를 사용하는 경우도 있다. 양극은 back fill로 흑연분말, 코크스분말등을 충전한 것이 보통이다.

특징으로는 전원을 외부에서 얻기 때문에 큰 전류를 흘려줄 수 있어서 피방식 구조물이 대형인 경우에도 적합하나 주위의 다른 매설물에 간섭에 의한 전식을 일으킬 수 있으므로 도시 지역에서는 적용에 주의를 요한다.

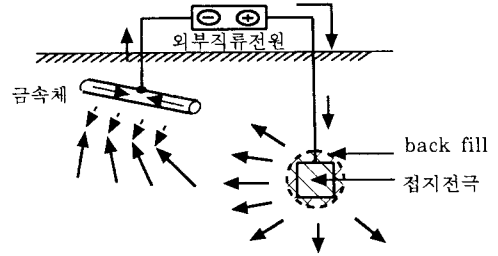
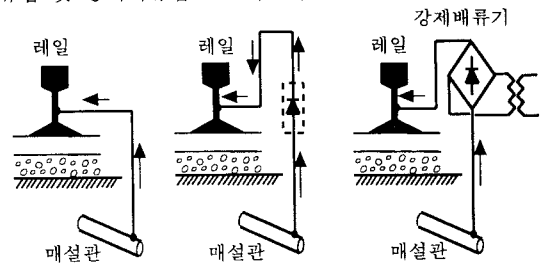


Fig.4 외부전원법

### 2.5.3 배류법

전철레일로부터의 누설전류에 의한 전식방지를 목적으로 한 것으로 지중매설 금속체와 전철레일과를 전기적으로 접속하여 금속체를 흐르는 전류를 일괄하여 레일로 되돌려 분산 유출하는 것을 방지하여 전식을 적게 하는 것이다. 전기적인 접속방법에 따라 직접배류법, 선택배류법 및 강제배류법으로 나눈다.



(a) 직접배류법 (b) 선택배류법 (c) 강제배류법

Fig.5 배류법

#### 2.5.3.1 직접배류법

Fig.5(a)와 같이 지중매설금속체와 레일과를 직접 묶는 방법인데 미류의 영향을 주는 전철변전소가 부근에 하나밖에 없고 레일축에서 전류가 역류할 위험이 없는 경우에만 쓰이므로 지금과 같이 시스템이 복잡하고 누설전류의 유·출입 지점이 복잡한 현실에서는 적용 가능한 경우는 적다.

#### 2.5.3.2 선택배류법

Fig.5(b)와 같이 지중매설 금속체와 레일을 묶은 배류선에 선택배류기를 설치하여 금속체가 레일에 대해 고전위인 경우만 전류를 유출시키는 것이다. 이 방법은 별도의 전원을 필요로 하지 않아 비용이 저렴하고 자연부식의 일부에도 방지효과가 있다.

#### 2.5.3.3 강제배류법

Fig.5(c)와 같이 배류기 대신 외부 직류전원을 연결한 것으로 레일을 접지양극으로하는 외부전원법이라고 생각할 수 있다. 레일은 접지양극으로서 우수하고 또 선택배류법의 특성도 구비하였으므로 방지효과는 크지만 전철축의 신호회로등에 악영향도 고려할 필요가 있고 타 시설물에 대한 간섭을 고려하여 배류전류를 최소화 하는

등 이 장치의 설치에 즈음해서는 신중한 배려가 필요하다.

### 2.6 배류장치의 절연협조

「전기설비기술기준」에 의하면 배류장치의 출력전압은 직류 60[V]이하일 것으로 규정되어 있으며 배류장치 출력전압의 연결은 전철측에는 신호장치에 오동작동 장애를 발생시키지 않기 위하여 레일에 직접 연결하지 아니하고 신호용 임피던스본드(Impedance bond)의 중성점에 연결을 하며 지중 매설관로측은 직접 연결을 한다.

양측 모두 대지와 직접 접하여 있기 때문에 배류장치의 절연계급은 장치의 출력전압에 상응하는 것이 일반적이겠으나 최근 들어 배류기의 내부가 소손 되는 사고가 간혹 발생하였기에 그 원인을 조사하는 과정에서 다음에 설명하는바와 같이 배류장치의 출력회로는 가선전압에 상응하는 절연계급을 유지해야 하는 등 몇 가지 개선하여야 할 사항을 도출하게 되었다.

#### 2.6.1 지하철 운행중 지하매설금속체와 전철 레일 간 고전압이 유기되는 사례

지하철 건설시 전철측의 방식대책에 따라 지하철의 모든 케도(레일)은 대지로부터 절연(엄밀한 의미에서 Insulation이 아닌 Floating 형식)되도록 시공하였으며 직류 전파방식에서는 부하전류와 사고전류의 판별이 곤란하기 때문에 가선의 지락 사고시는 Fig.6과 같이 대지(접지)와 레일간의 전위차를 이용하여 검출하는 보호계전 시스템을 채용하고 있다.

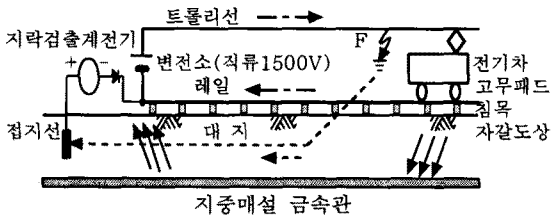


Fig.6 직류급전방식의 지락사고 검출원리

- ① 급전중 F지점에서 급전선로의 지락사고가 발생하는 경우 지하철변전소의 직류지락검출계전기 64P가 동작하여 모든 직류급전용 차단기를 트립시킨다.
- ② 64P는 주변 지전위등 환경에 따라 240~400[V]로 셋팅되어 있으며 지락 검출시 급전용차단기의 차단동작이 완료되는데 소요되는 시간은 상황에 따라 다르나 최소한 0.02초 이상 소요된다.
- ③ 직류 지락검출 계전기 64P가 연결된 회로는 전식방지용 배류장치의 출력측 연결회로와 접지구과 지중매설 금속체 사이의 경로를 제외하고는 거의 동일하며, 64P가 동작될 규모의 지락사고가 발생하는 경우 전식방지용 배류장치의 출력회로는 직류차단기의 차단시까지 64P의 셋팅값보다 훨씬 높은 전압이 인가된다는 점을 알 수 있다.
- ④ 64P가 동작되는 원인
  1. 급전선로의 지락사고
    - 알루미늄 풍선의 전차선로 지지금구 접촉(발생빈도가 많다)
    - 변전소 급전용 기기의 절연파괴(발생빈도 적다)
    - 지지애자의 절연파괴(발생빈도 적다)
    - 직류고속차단기(HSCB) 차단시 아크확산으로 인한 아크성 지락으로 발전할 때(발생빈도 중)
  2. 전기차의 기능장애
    - 전기차의 회생실패(발생빈도 대)
    - 고전압 주회로 기기의 절연파괴(발생빈도 대)

#### 2.6.2 배류기 접지계통의 절연협조

지하철의 귀선로는 신호 임피던스본드의 중성선에 연

결된 급전용 부급전선(minus선)으로 경로가 구성되며 그 과정에서 레일과 전기적으로 접속되는 계통은 배류장치의 출력선뿐으로 급전구간의 레일에서 누설된 미주전류는 귀환하기 위하여 지하철 변전소의 부급전선 연결점 부근의 레일로 집중되므로 배류기의 접지계통을 따라서 미주전류의 귀환통로가 형성될 우려가 있기 때문에 배류기의 접지계통의 절연협조도 매우 중요하다.

### 3. 결 론

지하철역에 설치된 배류기 소손사고 원인조사 과정에서 상기와 같이 배류기의 운영 환경을 분석하게 된바 배류기 운영중 출구단자로 고전압의 인가가 단시간이라도 반복될 경우 결국 내부부품의 절연파괴 사고로 발전될 것으로 판단되나 시중에 설치된 전철용 배류기의 경우 대부분 서지 업서버(SA)를 설치하는 정도로 전기용품 제조측면에서의 소극적 접근뿐 으로서 전기철도 운영측면에서의 적극적 접근이 되지 아니하고 있기에 차후에는 강제 배류기의 제작 및 설치상 다음 사항을 반드시 고려할 것을 제안한다.

- ① 지하철 가선 표준전압은 1,500[V]이나 회생 실효시 1,850[V]까지 상승하므로 레일과 전기적으로 접속되는 부품 및 절연체는 직류 1,900[V]이상의 내전압이나 절연을 보장할 수 있도록 한다.
- ② 단상전원용으로 단상 전파정류를 하므로 출력전류에 리플이 많이 함유되어 내용량의 전해 콘덴서로 필터회로를 구성하여야 하므로 내전압을 높이기가 어려워 절연협조에 취약하므로 필터용 캐패시터 부담을 덜기위해 배류기를 3상 전원용으로 하여 6상 전파정류로 설계함을 권장한다.
- ③ 지하철 설비용 접지와 공용할 때 접지계통이 분산되어 미주전류의 유입시 전기적 접촉이 불완전한 개소에서 아크와 먼지에 의한 화재발생 우려가 높으므로 배류기 외함의 접지는 다른 시설물과 분리하여 별도의 단독접지를 실시한다.
- ④ 금속 전선관 사용할 때 구출선 피복이 소손등으로 손상시 지락회로를 구성, 피해확대 우려되므로 배류기의 구출선(레일 및 매설관로 연결)은 난연성 합성수지 전선관을 사용한다.
- ⑤ 배류기 접지계통의 단일화로 사고확대 방지를 위하여 배류기 본체는 구조물의 철근과 절연상태로 설치한다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 김대경, "배류법-현황, 문제점 및 대책", 1998.8.
- [2] 서울지하철 1·2호선 건설지, 1989.12.
- [3] 서울지하철 3·4호선 건설지, 1987.05.
- [4] Fuji Electric, "Instruction manual for 1,500V direct current cubicle", 1992.
- [5] 일본전기학회, "전기철도", 1985.
- [6] 飯田 眞, "전기철도", 日本 株式會社電氣書院.
- [7] 大山松次郎 "전기철도 강의인" 日本 オーム社.