

지하철과 전력선의 누설전류 측정을 위한 저장형 데이터 계측장치

DATA LOGGER APPARATUS FOR MEASUREMENT STRAY CURRENT OF SUBWAY AND POWER LINE

배 정 효*, 하 운 철*, 하 태 현*, 이 현 구*, 김 대 경*

* 한국전기연구원 지중시스템연구그룹(전화:(055)280-1362, 팩스:(055)280-1390, E-mail : jhbae@keri.re.kr)

Abstract : In present, most of metallic structures(gas pipeline, oil pipeline, water pipeline, etc) are running parallel with subway and power line in seoul. Moreover subway system and power line make a stray current due to electrical corrosion on metallic structures. The owner of metallic structures has a burden of responsibility for the protection of corrosion and the prevention against big accident such as gas explosion or soil pollution and so on. So, they have to measure and analyze the data about P/S(Pipe to Soil) potential, amplitude of stray current, point of source of stray current and so.

In this paper, results of development about data logger apparatus for measurement stray current of subway and power line are presented.

Keywords : Interference, Stray Current, Subway, Power line, P/S Potential

1. 서론

지하 금속매설물을 소유하고 있는 시설물(가스배관, 송유관, 상하수도관 등) 소유자들은 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 방식시설(防蝕施設)인 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 갖추고 있다.

전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 누설전류(Stray Current)에 의한 간섭이 발생하여 유지·점검에 상당한 애로를 겪고 있다. 이러한 누설전류는 존재 자체가 곧 에너지의 손실을 의미하며, 특히, 지하철과 전력선의 누설전류는 지중 금속구조물의 부식을 촉진하게 되어 부식사고를 일으키게 됨에 따라 환경오염 및 대형사고의 직접적인 원인이 될 수 있다. 이에 대부분의 지중 구조물 소유자들은 수 작업으로 누설전류의 의한 배관의 관대지 전위를 측정하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 수작업으로 측정하고 있는 것을 자동화 할 수 있는 장치를 개발하였다. 즉, 지하철과 전력선으로부터의 누설전류와 지중 금속매설물의 관대지 전위를 동시에 측정하여 분석이 가능한 저장형 데이터 계측장치를 개발하였으며, 그 내용에 대하여 기술한다.

II. 누설전류 발생 메카니즘

1. 지하철에 의한 DC 누설전류 발생 메카니즘

일반적으로 지하철의 부하전류는 그림 1과 같이 지하철 변전소에서 출발하여 급전선을 통해 지하철 객차

로 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 금속구조물(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.[1]~[11]

2. 전력선에 의한 AC 누설전류 발생 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.[12]~[17]

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 전

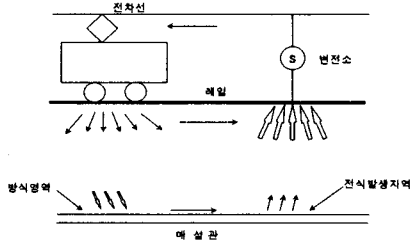


그림 1. 지하철에 의한 누설전류 발생 개념도
 Fig. 1. Schematic of the stray current by subway

압의 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 접지점에서 토양을 통해 인접하는 지중금속구조물로 전달되며, 이때 지중금속구조물이 절연물로 쌓여 있다면(코팅되어 있다면) 구조물과 대지 사이에 저항성유도 전압을 발생시킨다.

그림 2와 같이 전력계통의 접지도체를 반경 r 인 반구로 가정하고, 균일한 저항을 ρ 를 가진 대지에 전류 I 가 유입할 때, 반구의 중심 O 로부터 x 지점의 유도전압 v 를 계산하는 과정은 아래와 같다.

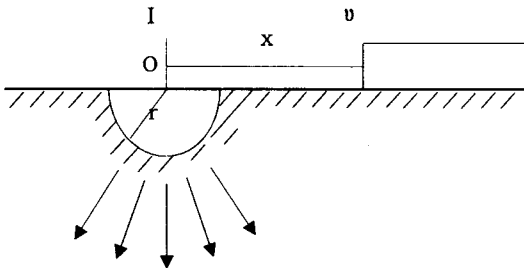


그림 2. 저항성 유도에 의한 AC 유도 전압
 Fig. 2. AC induced voltage by resistive coupling

즉, Ohm의 법칙에 따라,
 $v = IR$ (1)

여기서,

$$R = \int dR = \int \rho \frac{dr}{2\pi r^2} \text{ 이므로,}$$

$$v = \rho I / 2\pi x \text{ (2)}$$

이 된다. 즉, 대지로 전류 I 를 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 저항성 유도전압의 크기는 대지의 저항율과, 접지도체와 배관 사이의 이격거리에 따라 좌우된다.

현재 우리나라에서 문제가 되는 AC 표유전류는 22.9kV의 중성점 다중접지선에 의한 것이다. 우리나라의 배전계통은 1차전압이 22,900[V]로서 그림 3과 같이 3상4선식을 사용하고 있으며, 중성점 다중접지방식을 쓰고 있다. 이 중성선(제4선)은 일정한 간격으로 대지에 접지되어 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 끼치거나 혹은 누기사고시에 아크 발생으로 인한 대형 폭발사고를 야기할 수도 있다.

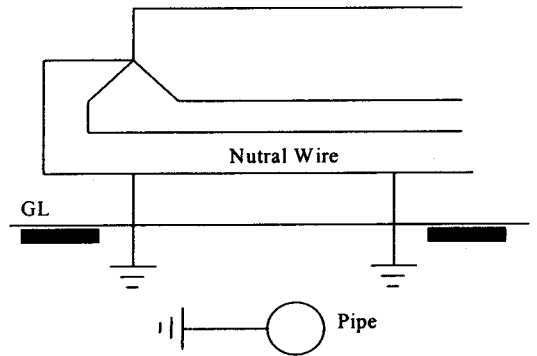


그림 3. 22.9kV 한전 배전계통도(3상 4선식)
 Fig. 3. Schematic of distribution power line of 22.9[kV](3 phase 4 wire)

III. 개발 배경

상기 누설전류에 의한 대형사고를 미연에 방지하기 위해, 지중금속 구조물의 소유자들은 시설물에 대한 부식 또는 방식 여부를 아날로그 메타 혹은 휴대용 기록계 등을 사용하거나, 최근 본 발명의 출원인에 의해 개발된 부식전위 측정용 단자함 내에 인입되는 부식감시장치를 이용하여 주기적으로 관대지 전위를 측정하여 점검하고 있다.

그러나, 종래에는 부식 또는 방식을 측정하는 장치로는 누설전류를 직접 측정할 수 있는 계측기능이 없으므로 누설전류 분석을 하지 못하고 있는 실정이다.

다만, 필요시 기존의 오실로스코프(Oscilloscope)를 이용하여 누설전류를 측정할 수 있으나, 이 경우에는 지하철의 레일에 흐르는 전류를 측정하기 위해 지하철이 운행하지 않은 시간을 택하여 계측기를 설치하였다가 지하철이 운행되는 다음날 저장된 데이터를 수거하여야 한다.

그러나, 이러한 오실로스코프와 같은 장비는 고가의 장비일 뿐만 아니라, 크기가 비교적 커서 지하철 레일 주변에 설치하기가 용이하지 않고, 다수 개소의 측정 지점에 동시에 설치하여야 하지만 그러한 고가의 장비를 동시에 설치한다는 것은 현실적으로 불가능하다는 문제점이 있다.

게다가, 현재 지중금속 구조물에 대한 부식감시 방법에서는 아날로그 메타와 부식 전위측정용 단자함 내에 인입되는 부식감시장치를 이용하여 단순히 관대지 전위만을 분석하고 있어 지하철과 전력선에 의한 누설 지점과 그 크기를 알 수 없게 됨에 따라, 그에 대한 종합적인 대책을 세우기가 매우 어렵도록 되어 있다는 문제점이 있다.

따라서, 현재에는 지하철의 누설전류를 레일 임피던스 본드에서 간편하게 측정하고 각 지점의 레일에 흐르는 전류를 측정하여, 누설 전류를 정상적으로 분석할 수 있는 소형이면서 저가형인 스탠드 일론 타입(stand Alone Type)의 저장형 계측장치에 대한 개발이 절실하게 요구되는 실정이다.

IV. 연구 내용

1. 시스템 동작 원리

본 시스템은 그림 4와 같이 지하철 부극선(레일)의 누설전류를 Shunt를 이용하여 측정하거나, 지하철 레일에 흐르는 전류를 측정하거나, 전력선의 접지선에 흐르는 전류를 측정하거나, 지중에 매설되어 있는 금속매설물의 관대지전위(P/S, Pipe to Soil)를 측정 단자함에서 측정할 수 있는 다기능을 가지는 시스템으로써, 계측장치(SCMS2, Stray Current Measurement System Version 2)에서 입력신호를 받아서 통신용 Box를 통해서 분석용 컴퓨터에 저장된다. 저장된 데이터들은 프로그램에 의해 재 가공되어 원하는 형태로 출력이 된다. 여기서 계측장치의 내부에서는 각 입력신호가 신호입력부인 A/D 컨버터로 입력되고 입력된 신호는 디지털로 변환된 데이터들은 주 제어장치인 CPU에 의해 메모리에 저장된다.

2. 시스템 구성

본 시스템의 내부와 외부의 구성은 아래와 같다.

2.1 시스템 내부

- MPU(Main Processing Unit)
- A/D 컨버터(Analog to Digital)
- 메모리(Data 저장용)
- 충전용 배터리(Li-ion 2차 전지)

- RTC(Real Time Clock)
- 통신(USB 통신)
- DC/DC 컨버터(전원공급용)
- 외함(SCMS2 및 배터리용)

2.2 시스템 외부

- 통신 및 충전용 Box(SCMS2 통신 및 충전용)
- 충전용 Box(배터리 팩 충전용)
- 전류센서 보관용 Box(전류센서 이동 및 보관용 Box)
- 이동용 Box(SCMS2 및 전류센서 이동용 Box)
- 전류센서(전류측정용)
- 전류측정용 Cable
- Shut 측정용 Cable
- DC 측정용 Cable

3. 시스템 사양

본 시스템의 사양을 정리하면 아래와 같다.

3.1 DC Current Sensor

- 1) 품명 : 최대 2000[A]까지 측정 가능한 제품
- 2) 크기 : 82 * 69 * 42
- 3) 사용범위 : 0 ~ 800A, 최대 2000A
- 4) 출력 : ±4V/정격전류, ±10V/최대전류

3.2 Shunts Sensor

- 1) 크기 : 50 * 200
- 2) 사용범위 : 0 ~ 3000A
- 3) 출력 : 0 ~ 3V

3.3 A/D Converter

- 1) Resolution : 12-Bit
- 2) Conversion Time(변환 속도) : 35 us
- 3) A/D method(변환방식) :
12-Bit analog-to-digital converters

4. 프로그램 기능

본 시스템의 프로그램의 기능은 아래와 같다.

4.1 Application S/W 기능

- 년, 월, 일, 시간 및 측정 주기 Setting
- 측정된 Data 저장 및 DB화(USB통신)
- GUI형태의 메뉴 및 Data 그래픽 처리
- 보고서 출력 가능

V. 결론

본 장치의 개발로 인해 지하철에 의한 누설전류와 지중 금속매설물의 관대지 전위를 동시에 측정할 수 있어, 그 누설전류와 관대지 전위와의 상관관계를 동시에 분석하는 것이 가능해 질 뿐만 아니라, 저렴한 비용으로 다수의 측정지점에 대한 누설전류와 관대지 전위를 동시에 측정하는 것이 가능하고, 지하철과 전

력선에 의한 누설전류과 이에 의한 지중 금속구조물의 관대지 전위와의 상관관계를 용이하게 분석 할 수 있다.

향후 본 시스템은 현장에 투입하여 문제점 보완과 프로그램의 기능을 보완하여 최종적으로 상품화 할 예정이다.

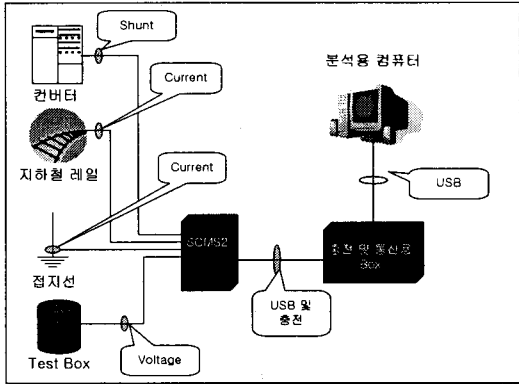


그림 4. 시스템의 구성도
Fig. 4. The block diagram of proposed system

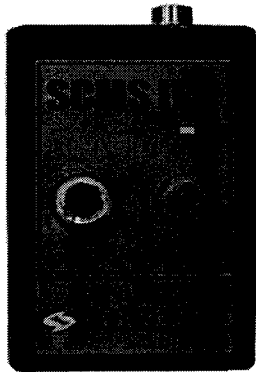


그림 5. 계측장치의 외관 사진
Fig. 5. A picture of data logger

참고문헌

- [1] 배정효, 김대경, 하태현, 이현구, 최상봉, 정성환, 김기준, "지중 표유전류 저감 대책에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1998.
- [2] "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가스공사, 1995. 5
- [3] "지중 POF 케이블 부식방지에 관한 연구" 한국전력공사 기술연구원, 1989.12
- [4] 전식방지연구위원회, "신관 전식, 토양부식핸드북", 전기학회, 1988.
- [5] "부식과 방지기술(기초과정 I, II, III)" 한국건설방식기

- 술연구소,
- [6] "전기방식 정밀 진단 용역(I)", 한국가스공사, 1996. 3
- [7] Michael J.Szeliga, 외 2명 "Stray Current Control Washington Metropolitan Area Transit Authority's A-Route" CCI, 1990.
- [8] H.E. Bomar 외 4명 "Bay Area Rapid Transit System(BART)" Stray Current Corrosion, pp45-174, NACE, 1994.
- [9] Robert J. Wilson 외 2명 "Soild State Solutions to Stray Current Control - Toronto Transit Commission" Stray Current Corrosion, pp231-304, NACE, 1994.
- [10] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.
- [11] "Cathodic Protection Interference Training Guide", The Gas Company Bill Graves Local Distribution Services Technical Consultant. Februray 1996.
- [12] DIN 30676: Planung und Anwending des Kathodischen Korrosionsschutzes fur den Aubenschutz, Aug. Okt. 1985.
- [13] Stalder, F., "Pipeline Failures, Materials Science Forum", Vol. 247 (1997) pp. 139-146.
- [14] Ragault, I., "AC Corrosion Induced by VHV Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines", NACE International, Corrosion '98, Paper No. 557, 1998.
- [15] IEEE Guide for Satety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std 80-1986
- [16] "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91
- [17] "Cathodic Protection considerations for Pipelines with AC Mitigation Facilities" PRC International Corrosion Supervisory Committee. Jan. 1999.