

지하 매설 배관의 부식방지를 위한 교류유도 저감대책에 관한 연구

김대경, °배정효, 이현구
(재)한국전기연구소

Study on the Countermeasure to Induced AC Voltage for Protection to Corrosion of Underground Pipelines

Dae-kyeong Kim, °Jeong-hyo Bae, Hyun-goo Lee
KERI

Abstract - The AC induced voltage on underground pipelines not only do harm to workers and instruments, but also cause big trouble in some case.

This paper gives the mechanisms, examples, and countermeasure for the AC induced voltages which are caused by the resistive coupling between the grounding system of the 22.9kV distribution power system and the underground pipeline.

1. 서 론

일반적으로 교류에 의한 부식은 특정금속(알루미늄)을 제외한 모든 금속에서 직류에 의한 부식의 천분율급의 크기로 나타나기 때문에 대부분 무시한다. 그러나 피방식시설물에 교류가 흐를 경우, 消極現象이 발생하므로 防蝕에 필요한 소요전류가 커지고, 또, Mg 등의 희생양극을 통해 전해질로 유출되는 교류의 밀도가 $10[mA/cm^2]$ 이상이 되면 양극의 소모가 촉진됨으로 인해 양극의 설계 수명을 다 채우지 못하는 문제가 발생하게 된다.

아울러 배관에 誘導된 교류 전압의 경우, 전위측정시에 측정기기를 燒損시키거나, 배관 포설작업 혹은 유지/보수 작업시에 작업자에게 危害를 끼칠 뿐만 아니라, 漏汽사고 시에 아크(Arc)를 발생시켜 火因을 제공할 수 있으므로 대형 폭발사고의 원인이 될 수도 있다.

본 논문에서는 誘導전압의 종류, 유도 메카니즘, 제한규정에 대하여 서술하고 우리나라에서 가장 문제가 되고 있는 저항성 유도전압에 대하여 유도사례, 측정방법 및 그 대책에 대하여 서술하고자 한다.

2. 교류 유도 전압

2.1 교류유도 메카니즘

2.1.1 정전유도

정전유도는 그림 1과 같이 고전압 교류송전선이 지상에 노출된 배관과 병행 혹은 교차하는 경우에, 교류송전선이 한 전극이 되고, 배관이 다른 전극이 되어, 두 전극 사이의 靜電容量(Capacitance)에 의해 배관에 전압이 유도되는 현상이며, 그 크기는 아래 수식에 의해 결정되며 수 kV가 되기도 한다.

$$E_o = \frac{C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c}{C_a + C_b + C_c + C_o} \quad (1)$$

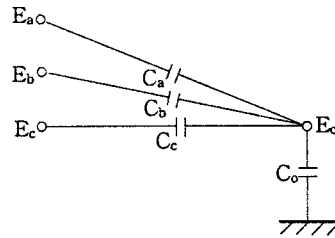


그림 1 송전선에 의한 정전유도전압

여기서

- C_a : a상과 배관 사이의 정전용량
- C_b : b상과 배관 사이의 정전용량
- C_c : c상과 배관 사이의 정전용량
- C_o : 배관과 대지 사이의 정전용량
- E_o : 배관의 정전유도전압

식에서 보는 바와 같이 각 상과 배관 사이의 정전용량 및 배관과 대지 사이의 정전용량이 일정한 값이라면, 정전유도 전압의 크기는 병행하는 교류송전선의 상전압의 크기에 따라 좌우된다. 보통 매설된 배관의 경우, 정전유도의 크기는 매설 깊이가 180[cm] 이상일 때에는 거의 "0"가 되어 정전유도 전압에 대한 별도의 대책이 필요 없다. 그러나, 지상에 노출된 배관은 안전사고를 방지하기 위해 접지봉 혹은 철판 등을 사용하여 배관을 접지시키는 것이 좋다.

2.1.2 전자유도

전자유도는 그림 2와 같이 교류송전선에 전류가 흐르면 이 교류송전선 주위에 磁界가 형성되며 이 磁界와 相互 인덕턴스(Mutual Inductance)에 의해 磁氣的으로 결합된 인근 배관에 유도되는 현상을 말하며, 크기는 아래 수식에 의해 결정된다.

$$E_m = j\omega L_m (\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c) l \quad (2)$$

여기서

- E_m : 배관의 전자유도전압

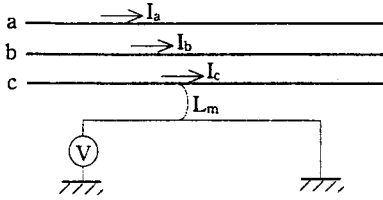


그림 2 송전선에 의한 전자유도전압

L_m : 교류송전선과 배관 사이의 상호 인덕턴스
 l : 병행 길이

식에서 보는 바와 같이 전자유도에 의해 유도되는 유도전압의 크기는 정전유도전압과는 달리 교류송전선의 전압의 크기와는 무관하며, 교류송전선의 대전류의 크기 및 병행거리에 비례한다.

즉, 전자유도전압에 의한 간섭 문제를 최소화하기 위한 대책으로 신설배관의 병행하는 구간을 가능한 한 짧도록 경과지를 선정하며, 교류송전선과 어쩔 수 없이 근접 병행하는 지점에서는 배관을 접지시킨다. 이때 접지 시설이 防蝕에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 접지 시설물과 배관 사이에 분극전지 등을 사용하여 電氣防蝕적으로 絶緣(Cathodic Isolation)시킨다.

2.1.3 저항성유도

우리나라의 22.9[kV] 배전계통은 3상4선식의 다중접지 防蝕을 채택하고 있으며 이 電力系統의 접지구조와 지중 구조물 사이에는 동일한 전해질(토양)을 공유하고 있다. 이때 접지구조는 抵抗性結合效果(Resistive Coupling Effect)에 의해 교류전류 혹은 전압의 형태로 에너지를 지중 구조물에 전달할 수 있다. 즉, 접지된 中性線을 가진 전력계통에서 계통의 불평형으로 인해 중성선에 불평형 전류가 흐르거나 또 계통의 3n(n=정수)次 高調波가 중성선에 흐르면 이 에너지는 접지점에서 토양을 통해 인접하는 지중금속구조물로 전달되며, 이때 지중금속구조물이 절연물로 싸여 있다면(코팅되어 있다면) 구조물과 대지 사이에 전압을 발생시킨다.

그림 3과 같이 동일한 전해질을 공유함으로써 발생하는 저항성결합효과에 의해 유도되는 전압을 抵抗性誘導電壓이라 한다. 전력계통의 접지도체를 반경 r 인 반구로 가정하고, 균일한 저항률 ρ 를 가진 대지에 전류 I 가 유입할 때, 반구의 중심 O 로부터 x 지점의 유도전압 v 를 계산하는 과정은 아래와 같다.

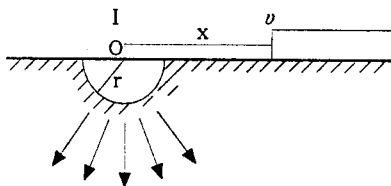


그림 3 저항성결합에 의한 저항성유도전압

즉, Ohm의 법칙에 따라,

$$v = I \cdot R \tag{3}$$

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

$$v = \rho I / 2\pi x \tag{4}$$

이 된다. 즉, 대지로 전류 I 를 흘리는 접지도체로부터 x 거리만큼 이격된 배관이 양호하게 접지 되어 있다면, 그 배관에 유도되는 전압크기는 접지를 통해 대지로 유출되는 전류, 대지의 저항률 그리고 접지도체와 배관사이의 이격거리에 따라 좌우된다. 지하배관의 저항성유도 전압에 대한 대책은 4장에서 상세히 기술하기로 한다.

2.2 교류유도 전압의 제한 규정

교류 유도전압에 의한 간섭의 경우, 일반적으로 배관에 흐르는 교류 전류가 작아 防蝕에 영향을 미치는 경우는 드물지만 유지, 보수활동 중에 작업자가 感電 등의 危害를 당할 우려가 있으므로 적절한 값 이하로 제한하고 있다.

2.2.1 우리나라의 제한규정

우리나라는 현재 지하배관에 대한 유도전압의 크기를 제한하는 규정은 없으나 전기시설물이나 전기시설물을 보호하는 금속체 외함 등에 적용되는 허용접촉 전압으로부터 유도전압의 제한치를 추정할 수 있다. 즉 표 1과 같은 접촉상태에 따른 허용접촉전압을 나타내는 표에서 지하배관은 제3종에 해당된다고 볼 수 있다. 그러나 이 제한치는 단순히 작업자의 안전 측면에서 고려한 것이며 가스누기사고시 발화를 일으킬 수 있는 전압(Ignition Voltage)에 대한 제한치는 좀더 연구가 필요한 분야이다.

표 1 접촉상태와 허용접촉전압

종 별	접 촉 상 태	허용접촉전압
제1종	· 인체의 대부분이 수중에 있는 상태	2.5[V]이하
제2종	· 인체가 심하게 젖은 상태 · 금속체의 전기기계장치나 구조물에 인체의 일부가 항상 닿아 있는 상태	25[V]이하
제3종	· 제1종, 2종 이외의 경우로 보통의 인체상태에서 접촉전압이 가해지면 위험성이 높은 상태	50[V]이하
제4종	· 제1종, 2종 이외의 경우로 보통의 인체상태에서 접촉전압이 가해지더라도 위험성이 적은 상태 · 접촉전압이 가해질 우려가 없는 경우	제한 없음

2.2.2 외국의 제한규정

지하배관에 유도되는 교류전압에 대한 규정으로써 National Association of Corrosion Engineers International (NACE International)에서 발행한 RP0177-83 "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems"이 널리 사

용되고 있다. 이 규정에서는 지하배관에 유도되는 교류 전압의 크기를 15[V] 이내로 제한하고 있으나, 일반적으로 크기를 5[V] 이내로 유지할 것을 권장하고 있는 추세에 있다.

3. 교류유도 사례

전력계통의 접지시설과 배관 사이의 저항성결합에 의한 제3고조파의 유도현상은 우리나라의 경우 거의 전지역에서 보고되고 있다. 유기전압의 크기는 대략 2[V]~3[V]에서 20[V]~30[V] 수준에 있는 것으로 측정되었으며, 경우에 따라 80[V]~100[V]가 측정된 경우도 있다. A社 소유의 도시가스 배관과 B社 영남권, 제3공구, 653B 구간에서는 약 30[V]의 180[Hz] 전압이 유기되었으며, 비가 오는 날에 배관의 전위를 측정하기 위하여 배관에 연결된 리드선을 붙잡으면 감전 현상을 느낄 수 있는 정도였다.

그리고 B社 수도권 A-E 구간에서도 저항성 결합에 의한 교류유도현상이 발생하였으며 본 연구에서는 이에 대한 측정결과 및 대책에 대하여 서술하기로 한다.

3.1 대상

저항성 교류유도전압의 측정대상구간은 표 2와 같으며, 가스배관과 병행하는 22.9[kV] 배전선로의 경과지에 대한 22.9kV D/L 관리구 및 소관리구 번호는 표 3과 같다.

표 2 B社 A-E 구간의 선로현황

선로명	길이[km]	T/B 개수	건설년도
A 구간	9.13	58	85년~86년
B 구간	9.53	59	85년
C 구간	6.90	29	85년~86년
D 구간	7.21	36	85년~86년
E 구간	17.42	93	86년~90년

표 3 가스배관과 22.9[kV] D/L 과의 병행 및 교차 구간

22.9kV D/L 가스배관	한전 배전계통도, 관리구 및 소관리구 번호									비고
	9521	9621	9721	9821	9921					
A 구간	l	f,g,h ij	e,fj kl	f,ij k,l,p	j,k,l m,n,o					
	B 구간	9921	0021	0121	0221	0321	0322			
p		k,l,m n,o	e,f,g hi	a,b,c d,e,g	a	h,k,l m,n,o				
C 구간	0424	0423	0323	0322						
	n	c,e,f g	f,g,h j,n	b,c,g						
D 구간	0325	0425	0424							
	a,b,c d,g	a,e,f j,m,n	a,e,i j							
E 구간	9625	9725	9825	9826	9926	0026	0126	0226	0326	
	l,p	i,n,m o,p,l	a,b,c d,e,g,i	p	ij,k l	f,g,h i	b,c,e f,g,h	e,f,g k,l,p	m	

3.2 측정방법

교류유도전압의 측정기는 60[Hz]의 3차고조파인 180[Hz]의 성분의 크기를 해석할 수 있는 일본 Nissin Electric Co., Ltd. 의 Model HWA-100 고조파 분석기를 사용하였으며, 측정개략도는 그림 4와 같다.

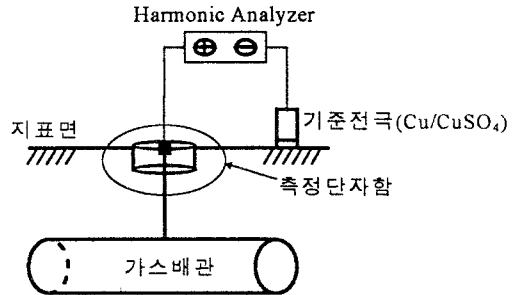


그림 4 교류유도전압 측정개략도

3.2 조사결과

본 연구의 조사구간에 대한 교류유도전압의 유도 유무를 알기 위해 주간과 야간에 각각 측정된 결과, NACE RP0177-83의 규제치인 15[V] 범위를 벗어나는 지점이 구간에는 E 구간의 42, 43, 66, 71번 및 72번이었으며 야간에는 A 구간의 13번으로 조사되었다.

주간에 유도된 E 구간의 42, 43, 66, 71번 및 72번에 대하여는 09:00~18:00 까지 1시간마다 연속측정하였고, 야간에 유도된 A 구간의 13번에 대하여는 01:00~04:00 까지 1시간마다 연속측정하여 교류유도전압의 상시유도 유무 및 일정한 패턴을 가진 재현성 유무를 측정하였으나 표 4와 같이 재현성이 없거나 상시 유도되지 않는 것으로 측정되었다.

따라서 본 연구의 조사구간은 NACE의 규제치인 15[V]를 넘지않거나 재현성이 없는 일시적인 유도현상인 것으로 측정되었으므로 현재 상태로 문제가 없는 것으로 판단된다.

표 4 교류유도전압 상시유도 유무 측정결과치 [단위:V]

T/B NO.	측정시각	기본파	3고조파	비고	
E구간 42번	1차 측정	11:06	24.50	0.62	주간
	상시유무 측정결과	08:42~20:01	무	무	주간
E구간 43번	1차 측정	11:04	24.20	0.78	주간
	상시유무 측정결과	09:00~19:02	무	무	주간
E구간 66번	1차 측정	13:11	17.10	0.55	주간
	상시유무 측정결과	08:15~19:24	무	무	주간
E구간 71번	1차 측정	13:24	22.20	0.36	주간
	상시유무 측정결과	08:20~19:34	무	무	주간
E구간 72번	1차 측정	13:26	25.10	0.48	주간
	상시유무 측정결과	08:27~19:37	무	무	주간
A구간 13번	1차 측정	02:14	20.40	0.18	야간
	상시유무 측정결과	01:00~04:00	무	무	야간

4. 교류유도 대책

지하배관에 유도되는 AC유도전압의 저감 대책으로는 대략 아래와 같은 3가지 방법이 있다.

첫째, 유도전압의 Source를 제거한다. 이 방법의 절차는 대략 아래와 같다.

- 1) 한국전력공사 배전운영부의 협조를 구하여 단락사고 복구시 재폐로로 인한 임펄스전류가 중선선으로 흐르지 않도록 한다.
- 2) 접지선 절단기를 가지고 電柱에 올라가 중선선에서 전주로 내려오는 부분중 시공상 편리한 지점의 접지선을 절단한다.
- 3) 절단된 접지선의 마감 처리를 한다.

둘째, 배관의 경과지를 이동하거나 혹은 배관과 접지선을 이설공사하여 배관과 접지선의 이격거리를 충분히 늘린다. 이때 이론적인 이격거리는 식 5와 같다.

$$X > \frac{\rho \cdot I}{30 \cdot \pi} \quad (5)$$

여기서

X : 이격거리 [m]

ρ : 토양비저항 [$\Omega \cdot m$]

I : 접지점을 통해 대지로 흐르는 전류의 크기 [A]

[예]

- 1) 가정
 - 토양비저항 : 200 [$\Omega \cdot m$]
 - 접지점을 통해 대지로 흐르는 전류의 크기 : 10 [A]

2) 계산식

$$X > \frac{\rho \cdot I}{30 \cdot \pi} = \frac{200 \cdot 10}{30 \cdot \pi} \approx 21[m]$$

즉, 배관과 접지전극의 이격거리는 21[m]이면 충분하다

셋째, 배관의 코팅을 강화하거나, 배관과 접지선 사이에 절연판을 삽입하여 배관과 접지선 사이의 저항률을 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.

[예]

- 1) 가정
 - 접지전극 길이 : 1 [m]
 - 접지전극 직경 : 14 [mm]
 - 배관 매설 깊이 : 1.5[m]

2) 계산식

절연판 높이 : 접지전극 길이의 1.2배 이상 즉, 1.2 [m]이면 충분하다. 그러나 여유를 고려하여 매설깊이의 2배인 3[m]로 설계한다.

절연판 넓이 : 접지전극 직경의 20배 이상 즉, 14[mm] \times 20 = 280[mm]이면 충분하다. 그러나 충분한 여유를 고려하여 2.8[m]로 설계한다.

3) 시공 도면

계산식의 결과를 바탕으로 시공하면 그림 5와 같다.

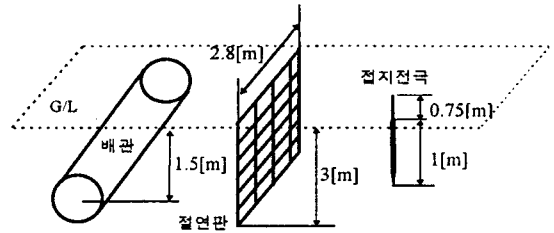


그림 5 접지판의 시공도면

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

5. 결 론

최근 우리나라 전지역에서, 지하배관 포설작업 및 유지점점 중 AC 유기전압에 의한 감전사고 뿐만 아니라 계기의 파손사고가 빈발하고 있음에도 불구하고 이에 대한 원인규명과 대책에 대한 연구가 전무한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 지하배관에 대한 AC 전압유도의 원인조사방법과 이에 대한 대책을 제시하여 직접 현장에 활용할 수 있도록 하였다.

다만, 본 연구에서 제시된 대책의 실증시험을 통해 대상물별 표준화, 발화전압(Ignition Voltage)을 감안한 AC 유도전압제한치 기준제정 등에 대한 연구는 향후에도 지속적으로 수행되어야 하며, 원인규명과 경제적인 대책마련을 위해서 지하공간을 공유하는 시설물 소유자(한국전력공사, 도시가스회사, 정유회사 등)들은 지하매설물에 대한 GIS(Geometry Information System)를 구축하여 D/B 및 관련정보를 공유할 수 있어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems", NACE RP 0177-83, 1983.
- [2] "Induced AC Drain Design", G.I. RUSSELL & COMPANY 내부자료, 1991.
- [3] "Induced Potentials on the Interprovincial Pipeline Sarine to Montreal", NACE Canadian Region, Eastern Conference, 1976.
- [4] "Effects of High Voltage AC Transmission Lines on Buried Pipeline", IEEE Trans. Vol IGA-7, No. 3, May/June 1971.
- [5] "Mitigation AC Interference on Pipeline", Material Performance, 1994.