

Fixture를 이용한 토양 절연파괴 실험

이현구, 하태현, 정동학, 하운철, 김대경, 배정호
한국전기연구원 전력연구단

Soil Breakdown Test using Fixture

H.G. Lee, T.H. Ha, D.H. Jung, Y.C. Ha, D.K. Kim, J.H. Bae
Electric Power Research Division KERI

Abstract - The fault current through the earth originated from a power line ground fault might cause arcing through the soil to an adjacent pipeline, which might bring about not only a catastrophic accident such as gas explosion and oil leakage but also a hazard to the safety of workers responsible for the maintenance and repair of the pipeline. In this paper we experimented on the soil breakdown test using the fixture and outlined the standards for the separation distance of a buried pipeline adjacent to the power line tower.

1. 서 론

배관과 송전선로 첩탑과 같은 접지된 전기시설물 사이의 이격거리는 일반적으로 실무경험에 의해 결정되고 있으며, 국내의 경우 관련 기준이 마련되어 있지 않다. 반면에 도시인구가 증가하고, 안전과 환경에 대한 관심이 높아지면서 병행하는 시설물에 대한 대지의 이용도가 제한되고 있다. 결과적으로 공공시설물과 병행하는 도로의 증가와 송전선로 고압화 경향은 전기시설물과 배관 사이에 발생하는 나쁜 상호작용의 가능성을 증가시키고 있다. 가공 송전선로에서 배관에 전자계유도와 정전유도와 관련된 위험은 잘 알려져 있으며, 배관에 미치는 지락의 영향에 대한 연구가 일부 이루어지고 있다.[1]

전력계통에서 지락사고는 전류가 흐르는 도체가 대지와 접촉할 때 발생하며, 대지와 가공시설을 통해 변전소 접지시스템으로 전류가 되돌아온다. 지락사고 발생지점이나 변전소 접지 인근에 매설된 배관은 고장전류가 흐르기 좋은 도전성 경로를 제공하며, 고장전류가 배관으로 흘러들어온다면 집중된 지점에서의 아크 때문에 배관 벽에 심각한 손상을 입을 수 있다. 그 손상은 배관에 즉시 구멍을 낼 수 있거나 장기간의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 충분한 손상을 일으킬 수 있다. 배관 파열은 또한 인접한 전력설비에 심각한 손상을 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있다.[2] 이와 같은 저항성 결합의 효과를 최소화하기 위한 방법은 첩탑과 배관사이에 적당한 이격거리를 유지하는 것이다.

본 연구에서는 첩탑 접지와 배관 사이의 이격거리를 표준화하기 위하여 고정틀(Fixture)을 이용한 토양 절연파괴 실험을 수행하였으며, 임의의 접지저항을 갖는 첩탑에 고장전류가 유입될 경우 인근 토양의 비저항에 따른 이격거리를 예상할 수 있는 토대를 마련하였다.

2. Fixture를 이용한 토양 절연파괴 실험

2.1 개요

토양 종류별로 이격거리에 따른 절연파괴 전압을 알아보기 위하여 미국 전력연구소(EPRI ; Electric Power Research Institute)와 미국가스협회(AGA ; American Gas Association)의 연구에서 사용된 토양 절연파괴 시험용 고정틀(Fixture)을 수정하여 실험하였다.[3][4]

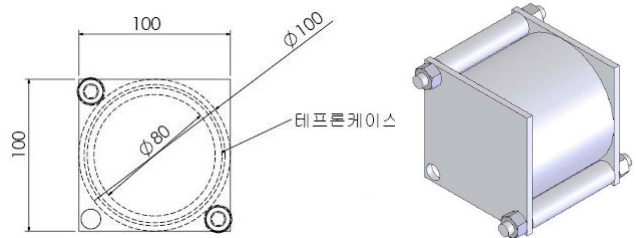
토양 절연파괴 전압을 실험하기 위해 제작한 고정틀의 주요 구성은 다음과 같다.

- 구리 합금 전극
- 원통형 테프론 케이스
- FRP 지지대
- 기타 : 고무링, 너트(M12), 구리판(0.1t)

전극은 가로 100[mm], 세로 100[mm], 두께 5[mm] 크기의 내구성을 고려한 텅스텐(70%)-구리(30%) 합금 전극과 구리 전극을 사용하였다. 원통형 테프론 케이스는 20, 40, 60, 80[mm] 길이로 표 1과 같이 제작하였으며, 테두리에 고무링을 고정하여 기밀이 유지되도록 함으로써 수분증발 등을 방지하였다. 전극과 테프론 케이스를 고정하기 위한 지지대는 기계적 강도가 우수한 절연체인 FRP를 사용하여 제작하였다. 토양 절연파괴 실험용 고정틀 제작도는 그림 1과 같다.

<표 1> 고정틀 크기

항목	#1	#2	#3	#4
내경 [mm]	20	40	60	80
외경 [mm]	100	100	100	100
길이 [mm]	20	40	60	80



<그림 1> 토양 절연파괴 실험용 고정틀

2.2 실험과정

제작된 고정틀에 토양을 채운 후 전원을 인가하여 절연파괴 전압을 알아본 실험 조건을 표 2에 정리하였다. 여기서 실험용 모래는 건축재료로 사용되는 세사(細沙)를 구입하여 사용하였으며, 자연토는 경남 창원시 성주동에 위치한 한국전기연구원 정문 앞 토지구획지의 황토와 경남 창원시 두대동 1-1블럭에서 채취한 마사토 토양으로 850[mm] 크기의 체에 걸러서 사용하였다. 각각의 비저항 값은 수분함량을 바꾸어 조정하였으며, 모래의 비저항 값을 낮추기 위하여 일부 시료에는 소금을 첨가하였다.

고정틀을 이용한 절연파괴 실험에서 임의의 전압에 대하여 전류는 50[A] 또는 80[A]를 인가하였다. 본 실험은 도통전류에 의한 전극파괴를 알아보기 위한 실험이 아니므로 아크저항을 통해 충분히 단락발생 유무를 판단할 수 있는 전류를 인가한 것이다. 또한 시험전류 인가시간은 6주기(0.1초)로 하였다.

<표 2> 고정틀을 이용한 실험 조건

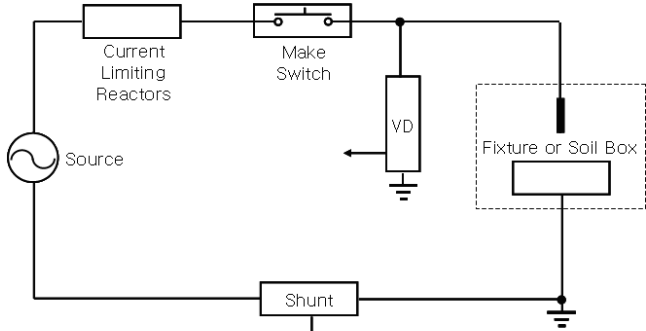
항목	내용	비고
이격거리 [mm]	20, 40, 60, 80	
직경 [mm]	20, 40, 60, 80	
전극	텅스텐-구리 합금 구리	
토양	모래 자연토	건축용 창원에서 채취
비저항 [$\Omega \cdot m$]	58~490	
시험용량	전압 : 0~100kV 전류 : 50, 80A	
시험전류 지속시간	6주기	

고정틀을 이용한 토양 절연파괴 실험 절차는 일반적으로 다음과 같다.

- 실험용 토양을 체에 거른 후 적정량의 물과 배합하여 일정한 비저항 값을 갖도록 한다. 이때 비저항은 2회 이상 측정하여 오차가 없도록 한다.

- 물과 배합된 토양은 수분증발 때문에 비저항 값이 변하므로 즉시 고정틀에 채운 후 전극을 너트로 고정한다.
- 고정틀에 토양을 채울 때는 공극이 일정하도록 충분히 다져주며, 전극면에 토양이 잘 접촉되도록 고정한다.

- 전원을 인가하기 위하여 지지에서 위에 고정틀을 고정한다.
- 토양 절연파괴 실험은 그림 2에 설명된 회로를 사용하여 결선되었다.
- 원하는 전압과 전류를 인가하기 위하여 전원측 임피던스를 보정한 후 임의의 전압과 전류를 인가한다.
- 인가되는 전압과 전류의 순시파형은 대전력시험실의 측정시스템 (Sampling Rate : 1[S/s] to 10[MS/s], Vertical Resolution : 14[bit])을 이용하여 측정한다.
- 실험을 반복할 때마다 실험일지를 작성한다.
- 전원 인가 후 단락이 발생한 고정틀을 분해하여 연면방전 발생유무를 확인하고 각각의 토양단면과 전극표면을 사진촬영 한다.



<그림 2> 토양 절연파괴 실험 회로

2.3 실험결과

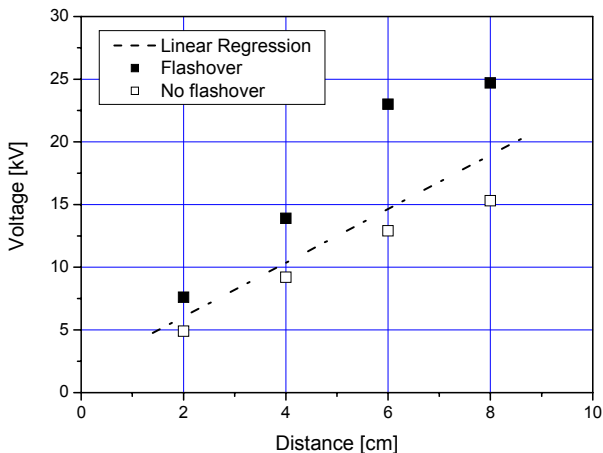
데이터의 특성을 파악하기 위하여 원점(0,0)과 섬락 발생 및 섬락 미발생 데이터지점간의 전이 영역내의 중간 지점 간에 회귀 분석을 하였다. 표준회귀법(standard regression method)에서 전압과 섬락 이격거리의 그림상의 선형회귀(linear regression)는 최고값의 상관계수 CC(1.0 값은 완전 적합을 표시)와 각각의 계수에 대한 표준오차가 주어진다.[5]

2.3.1 자연토

자연토의 비저항 값은 수분함량에 따라 58[Ω·m]부터 160[Ω·m]까지이었다. 비저항 별로 상관계수에 따른 회귀방정식은 아래와 같으며 상세한 계산결과를 표 3에 나타내었다. 여기서 비저항 58[Ω·m]인 자연토의 절연파괴 전압 실험 결과를 그림 3에 나타내었다.

<표 3> 자연토에 대한 회귀방정식

비저항 [Ω·m]	회귀계수				상관계수
	A	표준오차	B	표준오차	
58	1.75	2.31975	2.15	0.42353	0.96332
84.5	0.04167	0.58339	3.1375	0.09382	0.99955
110	0.58333	0.44876	2.625	0.07217	0.99962
160	1.25	1.74284	3.1	0.3182	0.98963



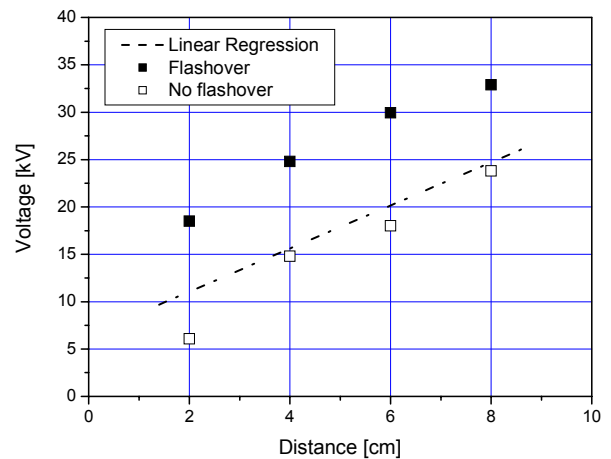
<그림 3> 자연토의 절연파괴 전압(비저항 58[Ω·m])

2.3.2 모래

모래의 비저항 값은 수분함량에 따라 125[Ω·m]부터 490[Ω·m]까지이었다. 이때 비저항 125[Ω·m]인 모래에는 소량의 소금을 첨가하였다. 비저항 별로 상관계수에 따른 회귀방정식은 아래와 같으며 상세한 계산결과를 표 4에 나타내었다. 여기서 비저항 330[Ω·m]인 모래의 절연파괴 전압 실험 결과를 그림 4에 나타내었다.

<표 4> 모래에 대한 회귀방정식

비저항 [Ω·m]	회귀계수				상관계수
	A	표준오차	B	표준오차	
125	2.625	2.41286	2.3	0.44053	0.96522
330	6.5	0.93875	2.275	0.17139	0.99437
490	5.08333	2.24382	2.875	0.36084	0.99222



<그림 4> 모래의 절연파괴 전압(비저항 330[Ω·m])

3. 결 론

송전선로 첩탑과 같은 접지된 전기시설물과 배관 사이의 이격거리는 일반적으로 실무경험에 의해 결정되고 있으며, 국내의 경우 관련 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 첩탑이나 배관 인접구간에서 공사가 실시될 경우 유관기관 사이에 논란을 일으키고 있다.

토양 종류별로 이격거리에 따른 절연파괴 전압을 알아보기 위하여 토양 절연파괴 시험용 고정틀(Fixture)을 제작하여 실험하였다. 자연토와 모래에 대하여 비저항별로 이격거리에 따른 절연파괴 전압을 실험하였으며, 선형회귀 분석을 하였다.

본 실험결과를 토대로 임의의 접지저항을 갖는 첩탑에 고장전류가 유입될 경우 인근 토양의 비저항에 따른 이격거리를 예상할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] CIGRE Working Group 36.02, "Guide on the Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines", 1995
- [2] E. A. Cherney et al, "Effect of Powline Faults on Pipelines in a Common Corridor", Ontario Hydro Report on Phase I of CEA Project 239T532, December 1987
- [3] A. W. Hamlin et al, "Power Line Fault Current Coupling to Nearby Gas Pipelines - Volume 3: Analysis of Pipeline Coating Impedance", EPRI, August 1988
- [4] C. Webster et al, "Powerline Ground Fault Effects on Pipelines", Powertech Labs INC., Dec. 1994
- [5] OriginLab Corporation, "Origin Pro Ver.7.0 User Manual", 2002