

인공지락 실증시험을 통한 접속함 종류별 아크에너지 해석

강지원*, 장태인, 홍동석, 이동일
한국전력 전력연구원

김행덕, 오창효, 임현의
한국전력공사

Analysis of arc-energy with joint box type through a field test

J.W.Kang*, T.I.Jang, D.S.Hong, D.I.Lee
KEPRI

H.D.Kim, C.H.Oh, H.E.Lim
KEPCO

Abstract - This paper analyses the arc-energy with joint box type through a field test on underground power OF cable. In order to obtain the data, the actual proof test using short-circuit generation for real scale power transmission tunnel carried out. This paper is expected to contribute the fire accident prevention on underground power cable systems and the believability improvement of electric power facilities.

1. 서 론

최근 국내 지중송전계통의 공동구 및 전력구내에서의 화재 발생사태가 발생하고 있고 이에 대한 원인분석을 통한 예방 및 방재대책 마련을 위한 연구가 진행중에 있다.

한편, 지하 전력구와 공동구는 다양한 전력, 통신, 가스, 용수관 등이 설치되어 있으며 도시 미관과 유지보수의 편리성으로 인하여 증가하는 추세이나 국가의 기간시설이 설치되어 있는 지중송전설비에 대한 안전장치는 상대적으로 미흡한 실정이며 환경연간상 화재발생시 외부로부터 소화작용이 어렵고 지하구에 설치된 가연물이 지속적으로 연소가 가능하기 때문에 그 피해 이외에 2차적 피해를 가져올 수 있다. 즉, 지하 공동구 및 전력구내는 밀폐되고 장소가 협소하여 화재 발생시 짙은 연기와 인산화탄소 등의 가스 발생으로 접근이 어려워 진화에 매우 어려움이 있으며, 케이블 방식층(PVC 또는 PE) 및 절연유를 통해 화재가 확산될 가능성이 높으므로 이에 대한 대책마련이 시급한 현실이다.

또한, 현재 운전중인 국내 케이블 및 접속함에서 노후화로 인한 열화현상이 점차적으로 나타나고 있으며, OF 케이블의 경우 케이블 시스템이 압력에 의해 소손되거나 케이블의 취약한 부위를 통해 외부에 파괴 구멍이 형성될 경우 절연유가 비산되며 여기에 지속적으로 축화된 경우 화재로 진전하는 등 2차적인 사고가 발생할 수도 있다. 그러나 이러한 사고에 대한 대책마련을 위해서는 케이블 절연과괴시 발생하는 파괴력, 에너지값 산정 뿐만 아니라 국내에 포설된 접속함의 종류 및 열화정도에 따라 그 파괴경로가 상이할 것이므로 파괴당시의 파괴에너지 검토는 기본적으로 필요하나 이에 대한 연구가 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 현재 국내에서 사용중인 케이블 및 접속함을 대상으로 단락발전을 이용한 인위적 인공지락 실증시험을 통해 OF 케이블 접속함 종류(아크경로 길이별)에 따른 케이블 절연과괴시의 파괴에너지를 검토함으로써 향후 케이블 보호대책 마련에 활용하고자 하였고 그 실증시험결과에 대해서 다루었다.

2. 본 론

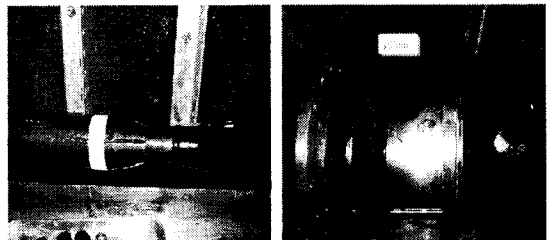
2.1 OF 케이블 인공지락시험 개요

본 절에서는 실선로에서 발생 가능한 절연과괴 고장을 인위적으로 모의하여 OF 케이블의 절연과괴 현상 및 접속함종류별(아크경로 길이별) 아크에너지를 분석함으로써 향후 케이블 사고원인 분석 등에 활용하고자 한국전기연구원(KERI) 대전력시험실에서 세 차례에 걸쳐 단락발전기를 이용하여 실시한 OF 케이블에 대한 인공지락 시험 방법에 대해서 기술하였다.

OF 케이블에 대한 고장 모의는 접속함내 도체와 금속시공간 지락상태가 되도록 접속함 조립후 단락발전기를 이용하여 에너지를 인가하는 방법으로 시행하였으며 국내 지중송전계통에 적용 중인 접속함중 SJJ 접속함에 대한 모의 도체 제작과정을 아래 그림 1에 나타내었다. 또한, 도체와 금속시공간 인공지락경로는 2[mm]의 구리선을 사용하였으며 그림 1의 경우 아크경로길이는 약 40[cm]이다.



(a) 인공지락(NJ부분 : 도체로부터 Earth Wire 인출)



(b) 인공지락(NJ부분 : 도체와 동 BOX(접지)간 연결)

그림 1. 인공지락시험을 위한 케이블 조립 과정(SJJ)

한편, IJ 접속함에 대한 접속함내 도체와 금속시공간에 인위적으로 지락경로 구성(아크 경로 : 8[cm], 4[cm]) 및 케이블 조립과정을 그림 2에 나타내었다. 이 때 아크경로는 드릴 및 그림 1과 동일하게 2[mm]의 구리선을 사용하여 형성하였다.

참고적으로 급변 실증시험시 인위적 지락경로 형성을 위하여 직경 2[mm]의 구리선을 사용함으로써 실제현장의 현장 절연열화에 의한 지락사고에 비해 같은 인가에너지라도 파괴력이 높다는 점은 염두에 둘 필요가 있다.

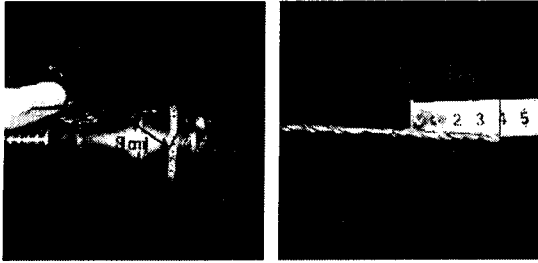


그림 2. 인공지락시험을 위한 케이블 조립 과정(IJ)

2.2 실험준비 및 데이터 취득장치 설치

실증시험 관련 현장 모의 실증시험장의 크기, 각종 시험설비 배치도 및 시험 준비과정을 아래 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

그림 3은 인공지락시험 전체 개요도로써 OF 케이블 접속함 소손 및 절연파괴 현상 관찰을 위하여 적외선카메라, 캠코더, 고속카메라(1 [frame/ms]), 온도센서 등을 설치한 개략도이며 모든 취득자료는 노트북에 저장 및 영상관측 모니터를 통하여 외부에서 관찰 가능하도록 구성하였다.

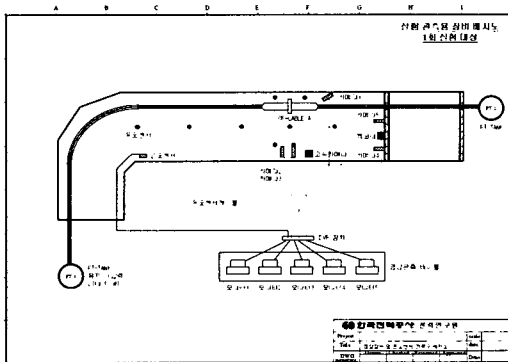
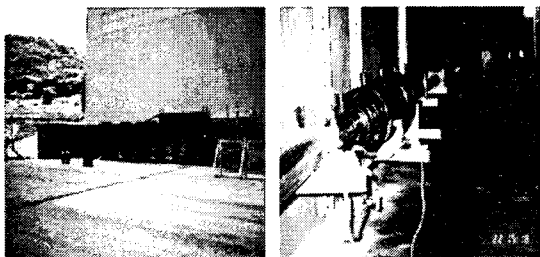
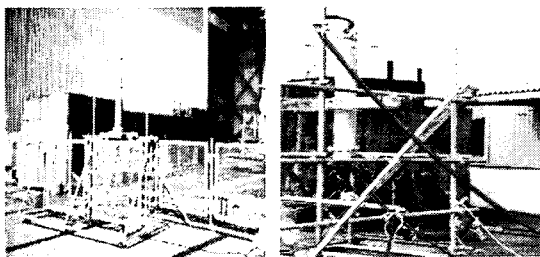


그림 3. 154kV OF 케이블 인공지락시험 개요도

한편, 그림 4는 시험용 OF 케이블 및 각종 계측설비를 설치하는 과정을 나타내었다.



(a) 시험장 전경 (b) 시험용 케이블 설치 상태



(c) 케이블 단말처리 (d) 전원 입력단자 연결

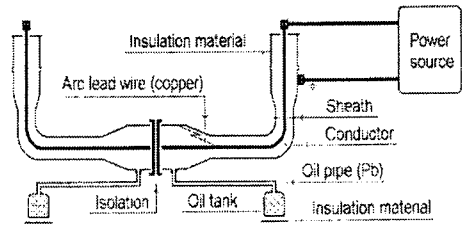


그림 4. 시험용 OF 케이블 및 각종 계측설비 설치

(e) 154kV OF 케이블 1선 지락고장 모의회로 개념도

2.3 실증시험과 실제 현장과의 차이점

2.1절에서 기술한바와 같이 KERI에서의 모의 실증시험에는 구리선을 이용하여 인공지락을 수행하였다. 그러나 구리선을 이용하여 지락시키는 경우에는 실제 현장의 절연열화에 의한 절연파괴에 따른 지락사고와는 양상이 달라지게 된다.

일반적으로 가느다란 금속선에 순간적인 임펄스 전류를 흘릴 경우 금속선이 용단되고 아크 방전이 형성되면서 상당한 폭발력을 발생시키게 된다. 이러한 원리를 이용하여 방전에 의한 폭발을 이용하여 산업에 활용하는 분야가 exploding wire이다.

즉, 금속선을 사용하지 않고 기체나 액체 중에서 방전을 시킬 때도 어느 정도의 폭발이 발생하지만 금속선을 사용하는 경우에는, 예를 들어 금번 시험과 같이 구리선이 이온화되어 부피 변화가 일어날 때 약 3,140배의 팽창이 일어나기 때문에 같은 전기에너지를 인가하더라도 폭발력이 증대된다는 점을 감안시 금번 시험과 같이 도체와 금속시스간의 인공지락을 위해 구리선을 사용한 것은 이러한 exploding wire와 유사한 형태의 실험이 되기 때문에 지락의 개념은 같지만 실제 지락사고와 같은 에너지가 가해진다 하더라도 대체로 구리선의 경우가 파괴력이 크기 때문에 파괴의 양상이 달라질 수 있다는 점을 염두에 두어야 한다.

참고로 exploding wire에 대한 실험에서 물 속에서 금속선을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 폭발력을 비교한 결과 대체로 금속선을 사용한 경우가 30-40[%] 정도 더 큰 것으로 추정되고 있다[5,7].

이상의 고찰로부터 구리선을 이용한 인공지락의 경우가 현장 절연열화에 의한 지락사고에 비해 같은 인가에너지라도 정량적으로 산출은 어려우나 파괴력이 높다는 점을 감안시 다음에 기술하는 실증시험 데이터는 참고치로 활용 및 그 아크경로길이에 따른 에너지 크기 비교만 활용할 필요가 있다.

2.4 실증시험 결과 분석

세 차례에 걸친 OF 케이블에 대한 인공 지락시험시 인가전류 및 시간은 다음 표 1과 같다. 참고적으로 1차 시험은 인가전류 25[kA], 인가시간 12[cycle]동안 그림 1의 SIJ 접속함(아크경로길이 : 40[cm])에 대해서 실시하였으며, 2·3차시험은 그림 2의 IJ 접속함에 대해서 인가전류 25[kA], 인가시간 4[cycle](아크 경로길이:4[cm]) 및 인가전류 10[kA], 인가시간 4[cycle] (아크 경로길이 : 8[cm])을 적용하여 실시하였다.

표 1. 인공지락 시험 개요

구분	인가전류[kA]	인가시간[cycle]
1차	25	12
2차	25	4
3차	10	4

아래 표 2에는 금번 인공지락시험시 취득한 각종 데이터를 종합하여 나타내었으며, 그림 5에는 한 예로 2차 시험의 파괴에너지를 나타낸 그래프이다.

표 2. 각종 시험데이터 종합

아크발호 경로길이 [cm]	시험전류 [kA] [cycle]	응답시점 [ms]	응답 에너지 [kJ]	Cover 파괴시점 [ms]	파괴 에너지 [kJ]	파괴전 아크전압 [V]	파괴후 아크전압 [V]
40	25(12)	2,252	105	6,505	908	3,676	1,528
4	25(4)	2,680	45	8,375	364	582	1,104
8	10(4)	5,230	29	26.73	257	949	1,021

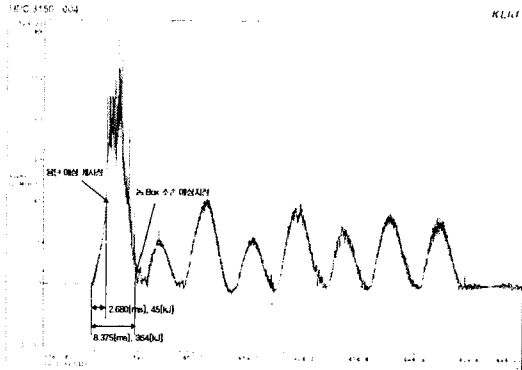


그림 5. 2차 실증시험 데이터(25[kA], 4[cycle])

표 2의 각종 데이터에서 알 수 있듯이 실험조건에 따라 파괴에너지가 모두 다르게 나타났다는 것을 알 수 있다. 이것은 동일한 25[kA]가 가해진 40[cm]와 4[cm]의 경우 아크 전압의 차이로 인해 40[cm]의 경우가 4[cm]일때 보다 매우 큰 에너지가 단위시간당 가해진다고 볼 수 있어 내부의 가스발생 및 압력 팽창도 빠르게 일어났다고 볼 수 있는데, 기계적인 응답 특성으로 인해 파괴까지 시간이 걸려 아주 높은 파괴에너지로 나타난 것으로 해석된다. 실제로 파괴까지의 시간을 보면 40[cm]의 경우가 약간 빠른 정도로서 기계적 파괴 응답특성으로 인한 것으로 보여지며, 이로 인해 파괴에너지는 매우 큰 것을 볼 수 있다.

한편, 4[cm]와 8[cm]의 경우에도 아크 전압은 전술한 바와 같이 582[V] 및 949[V]로서 8[cm] 쪽이 1.6배 정도 크지만 전류가 4[cm] 쪽이 2.5배이므로 4[cm]의 경우가 훨씬 에너지가 많이 가해진 것으로 사료되며, 8[cm]의 경우에는 시간당 에너지가 작게 가해져 가스발생도 천천히 일어나게 되고 파괴까지의 시간도 길어진 것으로 판단된다. 결국 동박선의 기계적인 파괴 응답특성으로 인해 파괴까지의 시간과 파괴에너지에 차이가 나타난 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에서 사용중인 케이블 및 접속함을 대상으로 단락발전기를 이용한 인위적 인공지락 실증시험을 통해 OF 케이블 접속함 종류(아크경로 길이 별)에 따른 케이블 절연파괴시의 파괴에너지를 비교 검토하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동일한 인가전류에서도 접속함 종류(아크경로길이 별)에 따라 아크 전압의 차이로 인해 파괴에너지는 다르게 나타남으로써 내부의 가스발생 및 압력 팽창 정도도 다른 것으로 검토되었다.
- 2) 한편, 동일한 접속함인 경우에도 케이블 내부 절연

파괴경로가 상이한 4[cm]와 8[cm]의 경우 아크 전압은 8[cm] 쪽이 1.6배 정도 크지만 인가전류는 4[cm] 쪽이 2.5배이므로 4[cm]의 경우가 훨씬 에너지가 많이 가해진 것으로 사료되며, 8[cm]의 경우에는 시간당 에너지가 작게 가해져 가스발생도 천천히 일어나게 되고 파괴까지의 시간도 길어진 것으로 검토되었다.

금번 실증시험은 구리선을 이용한 인공지락시험으로써 실계통의 현장 절연열화에 의한 지락사고에 비해 같은 인가에너지라도 파괴력이 높다는 점을 감안하더라도 이러한 검토결과는 향후 케이블 사고원인 분석 및 저중설 비 보호대책 마련에 활용 가능하리라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 일본전기협회, “지중송전규정 JEAC 6021-2000”, 2000
- [2] 한국전력공사, “지중송전케이블 시스템”, 2002.12
- [3] Noelle Berger, “Synthetic aromatic liquids for electric industry”, IEE Colloquium on Insulating Liquids(Ref. No. 1999/119), pp.6/1~6/6, 1999
- [4] J.V.Parker, “Why Plasma amature railgun don't work (and what can be done about it)”, IEEE Trans. on Magnetics, Vol.25, No.1, pp.418-424, 1989
- [5] 日本, 放電ハンドブック
- [6] 日本 電力中央研究所報告, “275kV OF 케이블 等の 地絡試験” 依頼報告 779513, (財)電力中央研究所 武山試験研究センター, 昭和 55年 2月
- [7] 張仁成, “水中 Exploding Wireにより 勵起される 高レイノルスレイ놀즈 數渦輪の 實驗的 研究”, 1996.3