

전력설비 방폭기술 동향 조사연구

김동명*, 임현수, 이한별, 김아름
한전 전력연구원*

A Study on Explosion-Protection Technology Trend of Electric Power Equipment

Dong Myung Kim*, Hyun Soo Im, Han Byul Lee, Ah Reum Kim
Korea Electric Power Corporation Research Institute*

Abstract - 전력설비가 열화, 서지에 의해 절연이 파괴되었을 경우 밀폐기 경우 폭발, 화재를 일으킴으로써 일반인에게 피해를 입히거나 인근 설비로 파급이 확대될 가능성이 있다. 최근 전력설비는 대용량화 추세인 반면 콤팩트 사이즈를 요구하고 있어 절연문제로 인한 폭발 가능성은 더욱 커지고 있다. 이러한 전력설비의 폭발을 방지하고 피해확대를 줄이기 위해 방압변, 순간압력상승 방지장치 등이 설치되고 있으나, 예 방에는 한계가 있다. 이에 최근, 국외를 중심으로 전력기기 특히, 지상설치기기의 안전성 확보를 위해 고속투입 접지스위치(Arc Eliminator)를 개발하여 설치 의무화를 고려하고 있다.

1. 서 론

국내 전력사용량은 산업발전과 더불어 기하급수적으로 증가해왔으며, 한정된 공간내에서 대용량의 전력설비를 설치하기 위해 폐쇄형 배전반이 운영되고 있다. 이에 따라 밀집형 전력설비 설치공간에서의 전기안전성 평가와 대책이 필요한 실정이다. 또한 국내의 경우 전기사고의 약 25% 이상이 아크 플래시 사고로 발생하고 있는 만큼 근본적으로 절연설비의 열화 및 소손으로 인해 발생하는 고장 시에도 화재로 전이되는 것을 방지하기 위한 절연처리 방법 개발을 기반으로 전력설비 내부 고장 발생 시 압력상승, 절연유 분출 등으로 인해 2차 피해가 발생하지 않도록 내장 기기 개발을 통해 전력설비 방폭성능 개선기술의 적용 필요성이 증대되고 있다.

2. 본 론

2.1 전력설비 폭발 메커니즘

전력설비로 인한 폭발, 화재재해를 예방하기 위하여 설비의 취약개소를 검출하고 절연성능 보강 및 적정 이격배치, 절연레벨 등의 평가기법을 개발하고 적정성의 근거를 제시, 이를 바탕으로 설비의 절연을 보강하는 기술이다. 특히 고장 시에도 화재로 전이되는 것을 방지하기 위해 절연재료의 난연기술 또한 고려해야 할 것이다.

IEC 60298에 따르면, GIS 내부 아크의 특성은 밀폐된 용기에서 내부 전기아크 고장에 의해 발생하는 플라즈마(이온가스)는 열전도, 복사, 화학반응 등 다양한 메커니즘에 의해 외벽에 전달되는 것으로 해석한다. 전기에너지의 일부는 대류, 열전도 등에 의해 열에너지로 변환되며 탱크의 압력상승을 발생시킨다.

폐쇄된 공간에서의 에너지 보존의 법칙을 근거로 다음과 같이 수식화할 수 있다.

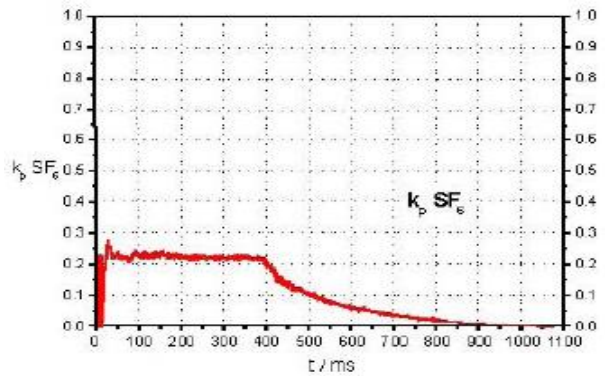
$$W_{el} \pm W_{chem} = W_p + W_f + W_r$$

W_{el} 전기에너지, W_{chem} 흡열 또는 발열반응에 의한 화학에너지
 W_p 절연가스에서의 열에너지, W_f 아크에너지, W_r 복사에너지

내부 절연가스에서의 전달되는 열에너지는 용기의 압력상승으로 표현할 수 있으며, 압력상승(overpressure)분 ΔP 는 다음과 같이 표현한다.

$$\Delta P = \frac{K_p W_{el} (k-1)}{V} \quad [k \text{ Pascal}]$$

K_p 열전달계수, k 절연가스의 단열계수, V 탱크의 체적(m³)

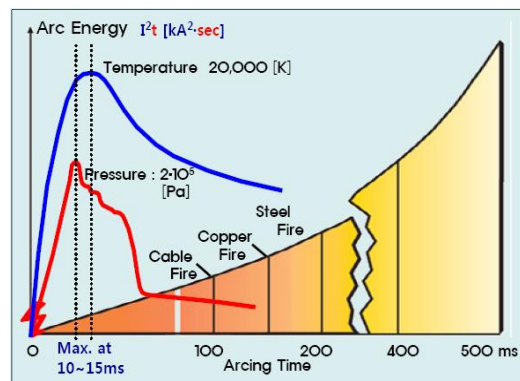


<그림 1> 시간변화에 따른 열전달계수 Kp(t)

<그림 1>은 IEC 60298에 따른 GIS(국내와 다른 형상의 개폐장치)폭발시험시 측정한 SF₆ 가스의 열전달 계수이다. 이 값은 국내 가스개폐기 단락의 경우 열전달 방식(복사 열전달 및 가스의 전도)이 동일하며 전달계수는 가스의 물성자체에 의존하기 때문에 본 계산에 적용하여도 무방하다고 판단된다. 또한 단락된 전체 도체로 전도되는 에너지(W_{el})는 <표 1>의 열량센서로 측정된 금속의 흡수에너지 양으로 표현할 수 있다.

<표 1> The amounts of absorbed energy for copper, aluminum and steel (단위 : MJ/kg)

process	Cu	Al	Fe
phase 1 : warming up(응압)	0.41	0.57	0.68
phase 2 : melting(팽창)	0.21	0.40	0.27
phase 3 : warming up(방출)	0.73	1.97	1.00
phase 4 : evaporating(파손)	4.83	10.79	6.09

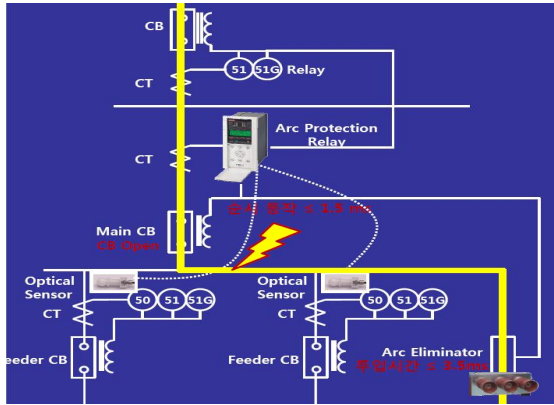


<그림 2> 밀폐 전력기기내 아크에너지 변화량

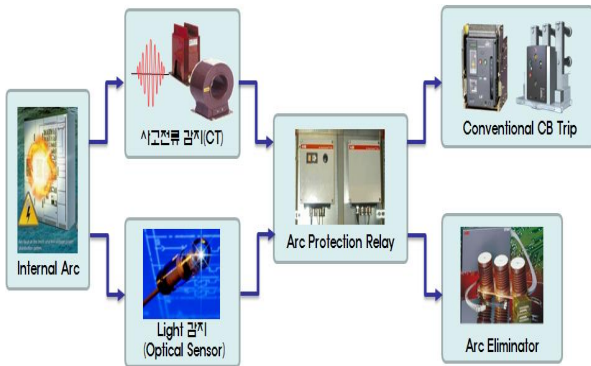
2.2 전력기기 아크 방지시스템

전력기기의 단락사고는 보호계전기와 차단기, 한류퓨즈 등으로 보호되고 있으며, 내부 발생 아크고장에 대해서는 순간압력 방출장치(Pressure Relief), 열적/기계적 파괴강도를 고려한 견고한 구조로 설계하는 방법

등을 일부 적용하고 있다. 수배전반 내부에서 아크단락이 발생할 경우 10~15 ms 내에 온도와 압력이 최고치에 도달하여 내부기기가 파손되고 정전 등의 2차 피해가 발생되며, 주변에 작업자가 존재할 경우 심각한 인명피해로 이어질 수 있다. 아크 에너지는 사고전류의 크기와 아크 유지시간에 크게 좌우된다. 아크 예방시스템은 아크 온도와 압력이 최고치에 도달하기 전에 사고를 감지/판단하여 고속접지스위치를 동작시켜 고장전류를 접지회로로 방출함으로써 아크에너지를 차단하는 시스템이다. 아크 보호시스템은 광센서, 전류센서, 아크 보호계전기, 컨트롤러, 고속 접지스위치로 구성된다. 이러한 일련의 시스템 개발을 통해 전력기기의 안전성 및 신뢰도를 높일 수 있으며 이를 통한 사고예방으로 안정적 전력을 공급함에 있어 필수적인 기술이라 할 수 있다.



〈그림 3〉 수배전반용 Arc Flash 보호시스템 구성도



〈그림 4〉 아크 방지시스템(Arc Protection System)의 구성도

2.2.1 광섬유센서를 이용한 전력기기 아크플래시 보호계전기

아크 광신호를 검출 할 수 있는 Arc Light Sensor와 사고유무를 판단하여 차단기에 트립신호를 출력하는 보호계전기, 고속 아크접지스위치로 구성된다.

2.2.2 아크 플래시 위험도 분석시스템

활선상태의 전력기기를 조작하거나 작업을 수행하는 경우 발생될 수 있는 아크 플래시에 대하여 사고에너지를 분석·계산하는 IEEE STD. 1584, NFPA 70E 기준의 소프트웨어, 위험도 분석시스템에 대한 알고리즘 개발이 요구된다.

2.2.3 수배전반용 아크 방지시스템(Arc Protection System)

고속투입 접지스위치(Arc Eliminator)의 경우 수배전반 내 보선 등에서 기중 아크플래시가 발생하여 아크 방지시스템(Arc Protection System)이 이를 감지하고 차단기와 고속투입 접지스위치(Arc Eliminator)에 동시에 동작신호를 출력하였을 때 차단기가 사고전류를 차단하는데 필요한 시간 전에 3~5ms 이내의 매우 빠른 속도로 회로를 기중 아크의 임피던스보다 낮은 임피던스로 3상단락/접지시켜서 사고전류를 우회시켜 아크에 의한 피해는 최소화시키고 사고전류는 차단기가 차단하도록 장치이다.

2.3 국외 기술개발 동향

2.3.1 대만 산업안전보건연구원의 폭발연구

대만의 자연재해, 산업안전분야 연구개발 조직인 IOSH의 경우 전기

안전 분야에서 실질적으로 전기설비 폭발방지를 위한 연구를 진행하고 있으며 전기설비 뿐만 아니라 비-전기설비의 폭발 방지, 특정 작업용 폭발 방지장치에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 전기 아크고장 회로 테스트, 위험도 평가 연구를 수행하였으며 전기안전 분야에서 폭발과 화재를 연계하여 진전 메커니즘 분석연구를 수행하고 있다.

2.3.2 지멘스의 다이내믹 아크플래시 감지장치

안전경계 감지센서 모듈과 함께 사용되는 경우, 작업자가 전압이 가해진 기기에 일정한 거리 이내로 접근하면, 자동 감지하여 아크플래시 에너지를 감소시키기 위해 차단기의 트립시간을 자동으로 감소시키는 장치이다.

2.3.3 ABB, VAMP사의 아크플래시 광파이버 센서

최소값으로 정해진 순시차단 기능을 자동으로 사용하며 아크 플래시 광파이버 센서를 이용하여 차단기를 수 사이클 이내에 차단하는 차단기 출시하였으며, 아크 플래시 광파이버 센서는 과전류 및 아크 시 발생하는 자외선, 가시광선을 감지하여 트립신호를 보내므로 단순히 빛에 의한 오동작 방지기능을 담고 있다.

2.3.4 분전함 내부이상 감지장치

일본 제조사가 시장을 선도하고 있으며 분전함 내부의 이상여부 판단은 휘발성 방향제를 이용한 가스감지를 통해 이루어진다.

3. 결 론

본 연구에서는 전력설비의 폭발을 방지하고 아크로 인한 사고 발생 방지를 통한 초고압 대규모로 개발되는 전력설비의 안정적인 운영을 위해 국내외 방폭기술에 대한 현황을 파악하는데 주요점을 두었다. 이러한 일련의 기술개발을 통해 전력기기의 안전성 및 신뢰도를 높일 수 있으며 이를 통한 사고예방으로 안정적 전력공급을 도모할수 있을것이라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "전력설비 재난안전 R&D 운영체계 수립", 2015
- [2] EPRI, "Laser Induced Lightning", 1999
- [3] LS, "수배전반 아크플래시 사고검출 및 보호시스템", 2015
- [4] CIRED, "Influence of the new IEC 60298 with respect to the design of metal-enclosed medium voltage switchgear", No 1. 4, 2003