

아크플래시 위험 감소를 위한 방안 연구

김종민, 김영석, 길형준, 송길목
한국전기안전공사 전기안전연구원

A Study of Methods to Reduce Arc Flash Hazards

Chong-Min Kim, Young-Seok Kim, Hyoung-Jun Gil, Kil-Mok Shong
Electrical Safety Research Institute KESCO

Abstract - 본 논문에서 국내 전기설비에서는 아직 적용하지 않고 있는 아크플래시에 위험 분석의 필요성을 제시하였고, 아크플래시에 관련된 국내·외 규정과 사고에너지를 줄일 수 있는 방법을 고찰하였다. 전기설비의 다양한 환경조건에 적절한 아크플래시에 보호 방안 수립 및 인명보호 대책 수립에 도움이 될 것으로 사료된다.

1. 서 론

최근에 전력설비는 사용기간은 증가하고, 한정된 공간내에서 대용량의 전력설비를 설치하기 위한 설비의 밀집도는 갈수록 높아지고 있는 실정이다. 또한 전력설비에 대해 무정전 점검 및 검사, 보수 등의 요구가 계속해서 증가하고 있다. 수·배전반에서의 아크플래시 사고는 전기적요인(과부하, 단락, 모선의 접촉불량, 트래킹), 물리적 요인(진동, 충격, 접촉부 이완, 작업자의 실수, 동물 등의 침입)에 의해 다양하게 발생한다. 미국의 경우 아크플래시 사고가 1년에 2,000건 이상이 보고되고 있고[1], 국내에서도 아크 플래시 사고가 계속해서 발생되고 있는 추세이다. 아크 플래시 사고는 전기설비에서 발생하는 사고 중 가장 큰 사고로서, 지속 시간이 길어질 경우 수배전반 패널과 전력기기가 파손되어 장시간의 정전을 유발할 뿐 만 아니라 사고 발생 순간 작업자가 아크에 노출될 경우, 심각한 인명피해를 유발할 수 있으며 수배전반의 고장 및 사고로 인한 정전 피해가 크므로 여러 가지 안전대책을 마련되어야 한다[2].

미국의 경우 NESC-2007 Rule 410에서는 고용주는 아크플래시 위험으로부터 고용인을 보호하기 위해서 활선작업을 하는 경우에는 먼저 아크플래시 위험분석을 실시하고 사고에너지가 2 cal/cm² 이상이면 아크플래시 위험으로부터 보호하기 위해서 적합한 보호등급의 안전장구류를 착용하여 작업을 하도록 규정되어져 있다. 그러나 국내의 경우는 아크플래시 위험분석을 체계적으로 실시하고 있지 않다.

따라서 본 논문에서 아크플래시 위험 감소를 위하여 아크플래시 사고 위험을 줄이기 위한 국내·외 관련기술과 규정의 고찰을 통해 아직 국내에서 활성화 되지 못하고 있는 아크플래시 위험도 분석 및 필요성을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 아크플래시 위험분석

접속단자에서 아크가 발생되면 높은 열과 강한 압력파를 발생시킨다. 이때 아크온도는 약 20,000℃이다. 태양의 표면온도가 5,000℃, 나무화재가 500℃이면 발생하는 것에 비하면 매우 높은 온도의 열방출이 발생하는 것으로 조사되어져 있으며 금속의 증발을 유발시킨다. 또한 95℃ 이상의 온도에 인체가 접촉되면 세포 파괴가 발생되어 피부 치료가 불가능하게 된다. 아크에 발생하는 압력파(Arc blast)는 공기의 급속한 팽창결과에 의해 발생되며 공기의 초가열 및 도체의 증발화를 유발시킨다. 공기를 약 1,670배, 구리를 67,000배의 부피로 팽창시킴으로 폭발로 이어지고 급속유해, 급속파면, 고온 압력을 발생시킨다.

아크플래시 위험분석 목적은 아크플래시의 사고에너지를 계산하여 설비 사고가 발생하였을 경우에 근로자의 작업복 착용 또는 화상 예방을 위한 설비와의 이격을 충분히 두기 위한 자료를 제시한다. 전기제해에 있어서 인명피해가 발생하는 경우는 감전과 전기화재에 의한 화상이 해당된다. 아크플래시에 의한 위험분석 결과는 큐비클이나 설비의 안전장치가 수납된 지점에서 작업자 또는 관리자가 인지할 수 있도록 안내하며, 아크플래시 사고에너지를 위험성 분석결과를 제시하고 안전작업 수행 기준 설정, 개인보호장비(PPE : Personal Protective Equipment)의 등급설정을 결정할 수 있도록 한다.

2.2 국·내외 규정

2.2.1 국내규정

국내 산업안전기준에 관한 규칙 332조에는 “사업주는 전기적 불꽃 또

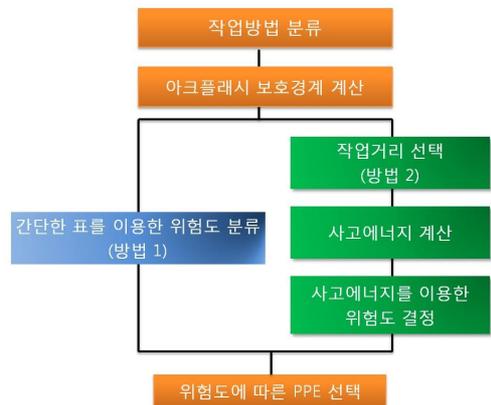
는 Arc(Arc-Flash)에 의한 화상의 우려가 높은 600V 이상 전압의 충전 전로작업에 근로자를 종사시키는 경우에는 방열처리된 작업복 또는 난연 성능을 가진 작업복을 착용시켜야 한다” 되어 있으며 이에 따라 한국산업안전보건공단은 NFPA 70E에 근거한 “난연성 전기작업 선정 (KOSHA CODE E-32-2006)”에 관한 기술지침을 운영하고 있다. 그러나 난연성 전기 작업복 선정에 관한 기술지침은 600V 이상의 활선작업 및 활선근접 작업시만 적용하도록 적용범위를 한정된 것은 아크 플래시 위험에 대한 보호가 충분하지 않은 것으로 판단된다. 오히려 저압회로 고장 지점의 최소 단락전류에서 차단기의 동작 시간이 지연되는 경우, 사고에너지를 더 증가시키기 때문에 위험성과 빈도가 높아진다[2]. 또한 구체적인 위험도 분석과 위험범위, 그리고 착용기준에 대한 기준이 제시되고 있지 못하고 있는 실정이다[5~6].

2.2.2 국외규정

미국의 경우 2000년도에 NFPA(National Fire Protection Association)에서 NFPA 70E(Standard for electrical safety in the workplace)에 아크플래시 위험에 대한 내용을 전격위험 부분에 추가하였다. NFPA 70E는 주로 접촉에 의한 전격위험성 부분에 대한 안전대책에 대해 규정되어 있었지만 2000년도부터 아크플래시에 대한 위험성에 대해 안전대책을 규정하고, 작업장에서 작업형태에 따른 위험등급을 정해 개인보호장비(PPE)의 등급 설정을 하도록 하였다. NFPA 70E의 규정은 정확한 계산과정이 필요 없이 일상적인 작업방법과 간단한 공식을 이용하여 개인 보호장비(PPE) 등급을 결정할 수 있도록 되어있다[4].

〈표 1〉 사고에너지에 따른 위험등급에 따른 안전보호구 체계

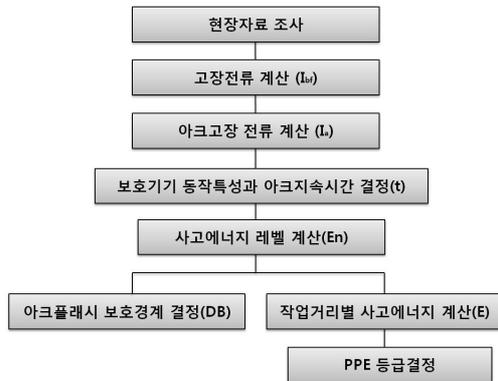
위험등급	사고에너지 범위, cal/cm ²	PPE
0	0~1.2	Non-melting, flammable materials
1	1.2~4	FR shirt and pants
2	4~8	Lvl 1+cotton underclothing+hard hat, face shield
3	8~25	Lvl 2+overalls or equivalent(headgear)
4	25~40	Lvl 3+multi-layer flash suit



〈그림 1〉 NFPA 70E 아크플래시 위험분석 방법

IEEE std 1584(Arc Flash Hazard Calculations)는 최초로 아크플래시

에 의한 사고에너지를 계산할 수 있도록 제시한 가이드이다. 실험을 통한 통계식을 만들었으며 아크에너지를 계산할 수 있도록 수식을 제시하였다. 이와 같은 계산방법을 이용하여 아크플래시에 대한 사고에너지를 계산하고 거리별 위험등급을 제시하여 개인보호장비(PPE) 등급 설정을 할 수 있도록 하였다[3].



〈그림 2〉 IEEE 1584 아크플래시 위험분석 방법

2.3 아크플래시 위험 감소기술

2.3.1 아크플래시 위험지역 밖에서 작업(작업거리 증가)

IEEE std 1584의 수식에서도 볼 수 있듯이 대기중에서의 사고에너지는 작업거리의 자승에 비례하여 감소한다. 따라서 가능한 위험구역에서의 작업을 피하는 것으로 첫째는 모든 작업은 사전상태에 작업을 수행하도록 하는 것이다. 둘째는 위험지역 밖에서 원격으로 전력설비를 동작 및 제어 하는 것이다.

2.3.2 Arc flash resistant 스위치기어

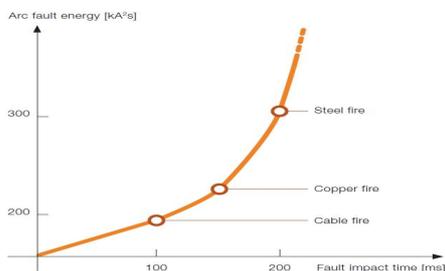
스위치 기어내에서 발생에는 아크플래시에 의한 강함압력 및 아크열에 내구성이 있는 스위치기어를 설계·제작하는 것이다. 이는 아크플래시 사고발생시 아크플래시에 의한 압력과 열에 견디며 사고에너지의 방진 경로를 작업자가 없는 곳으로 유도하므로 인명피해를 줄일 수 있는 방법이다. 설비사고 자체를 줄일 수는 없는 대책이며, 스위치기어의 문이 닫혀 있을 때에는 매우 효과적이지만 열려 있을 때에는 효과적이지 못한 방법이다.

2.3.3 전류제한장치

단락사고전류를 줄이는 방법으로 변압기 임피던스 성분과 리액터를 이용하여 임피던스를 증가시켜 사고에너지를 줄이는 방법이다. 이는 정상 운전시 손실이 증가되므로 바람직한 방법은 되지 못한다.

2.3.3 보호협조 재조정

아크플래시 사고시 차단장치의 동작시간을 줄임으로써 사고확대를 방지하는 방법이다. 아크사고는 사고전류, 사용전압, 시간에 따라 비례하므로 아크사고시 빠른 시간안에 아크사고를 차단시켜 주는 방법이다. 일반적으로 보호장치간의 상하위 보호협조는 사고의 신속한 차단 및 피해확산 방지를 위해 한시차 보호방식으로 세팅되어 있다. 상위 보호장치와 하위 보호장치는 최소 0.3초 정도의 여유를 두고 있으며 오동작 등에 의한 사고피해를 방지하기 위하여 보호장치에는 0.3초 이상의 여유를 주고 있다. 하지만 이와 같은 여유시간은 사고에너지를 그만큼 확대시키게 된다. 따라서 상하위 보호협조 관계의 정확한 분석을 통한 보호계전장치의 시간조정이 필요하다.



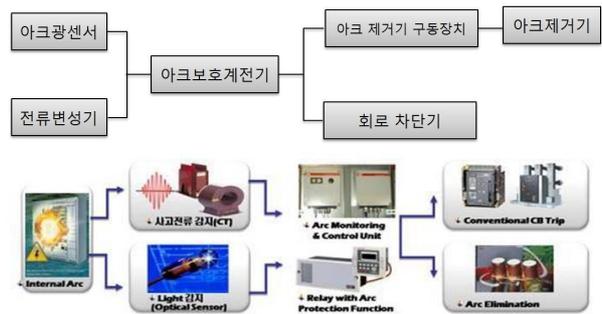
〈그림 3〉 아크사고 지속에 따른 사고에너지

2.3.4 아크플래시 검출 차단기 채용

아크플래시 검출 차단기를 적용하는 목적은 차단기의 동작시간을 최

소 하여 사고에너지를 줄이기 위해 사용한다. 기존의 차단기는 CT를 이용하여 전류를 검출하고 사고전류의 크기에 따라 반환시로 동작하지만 아크플래시 검출 차단기는 아크광이 검출될 경우 순시동작 하도록 하는 차단기이다. 큐비클 내부에서 아크가 발생할 경우 투명한 광파이버(bare fiber optic)를 이용한 라인센서와 포인트 센서로 빛을 감지하고 동시에 CT를 통해 이상전류를 검출할 경우 순시동작을 할 수 있도록 트립신호를 발생시킨다. 빛을 감지하는 아크광 센서는 가시광선의 파장대보다 낮은 200~600nm 파장대를 이용하며, 큐비클 문이 열릴 경우의 조도변화에 오동작하지 않도록 기준레벨의 조도를 비교하여 동작하게 하거나 급변한 조도 변화시에만 동작하도록 구성하며, CT와 동시신호 발생시 동작하도록 한다.

아크플래시 검출 차단기를 이용한 아크보호 시스템은 다음과 같은 부품으로 구성될 수 있다[7].



〈그림 4〉 아크 보호 시스템 구성

- 1) 아크 광센서 : 센서 끝부분에서만 아크의 빛을 감지하는 포인트 센서와 광섬유 전체에서 아크의 빛을 감지하는 루프 센서 구성
- 2) 전류변성기 : 전력계통에서 사용하는 통상의 전류 변성기
- 3) 아크보호 계전기 : 아크 사고를 보호하기 위한 전용의 계전기
- 4) 아크 제거기 구동장치 : 아크보호계전기의 동작 신호를 받아서 아크 제거기를 구동시키기 위한 에너지 저장장치와 트리거 소자로 이루어진 전자장치
- 5) 아크 제거기 : 기중 아크보다 매우 낮은 임피던스값으로 사고전류를 3상 단락 또는 접지시켜 아크를 소멸시키는 접지스위치
- 6) 회로차단기 : 전력계통에서 회로 개폐 및 보호 목적으로 사용하는 통상의 회로 차단기

3. 결 론

아크플래시에 대한 사고위험은 계속해서 존재하고 있지만 국내에서는 아직까지도 아크플래시에 대한 위험분석 및 대책을 체계적으로 수립하지 않고 있다. 본 논문에서는 아크플래시 위험감소를 위한 방안으로 국내·외 아크플래시에 규정과 아크플래시에 의한 사고위험 및 사고에너지를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 본 논문은 전기설비의 다양한 환경 조건에 맞는 아크플래시 보호방안을 수립하고, 아크플래시 위험으로부터 인명을 보호할 수 있는 방안 마련에 도움이 될 것으로 사료된다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] L.K. Fischer, "The Dangers of Arc-Flash Incidents", Maintenance Technology, February 2004. Available <http://www.mt-online.com/article / 0204arcflash>
- [2] 이성우, "단락전류 활용기술과 고조파 해석 및 대책", 키다리, 2010
- [3] IEEE std 1584, 2002 "IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations", IEEE Industry Applications Society, 2002
- [4] NFPA 70E, "Standard for Electrical Safety in the Workplace", 2012 Ed, 2012
- [5] 산업안전기준에 관한 규칙 332조
- [6] 한국산업안전보건공단 "난연성 전기작업복 선정에 관한 기술지침"
- [7] 한국전기산업진흥회표준 "아크 보호 시스템" KOEMA 0932 2011