

분전반에서의 전기화재 위험요소 및 현장실태조사 분석

김향곤, 김동우, 이기연, 최용성*, 최충석**, 최효상***

한국전기안전공사 전기안전연구원, 동신대학교*, 전주대학교**, 조선대학교***

Risk Factors of Electrical Fire at the Panelboard and Investigation of Field Conditions

Hyang-Kon Kim, Dong-Woo Kim, Ki-Yeon Lee, Yong-Sung Choi*, Chung-Seog Choi**, Hyo-Sang Choi***
Electrical Safety Research Institute(subsidiary of KESCO), DongShin Univ.*, JeonJu Univ.**., ChoSun Univ.***

Abstract - 본 논문에서는 분전반에서의 화재 위험 요소와 화재 위험 요소에 대한 현장 실태조사 결과를 분석하였다. 분전반에서의 화재 위험 요소는 크게 전기적 요인, 환경적 요인, 물리적 요인으로 나눌 수 있으며 전기적 요인으로는 단락, 과부하(과전류), 접속불량, 전류 불평형 등이 있으며 환경적 요인으로는 수분(염분 등), 먼지(분진, 목분, 철분 등), 온도(고온) 등에 의한 절연파괴, 기기 손상, 오동작 등이 있다. 물리적 요인으로는 기계적인 진동이나 충격 등에 의한 전기적 접속부의 이완에 의한 발열 등을 들 수 있다. 이러한 화재 위험 요인에 대하여 현장실태조사를 실시한 결과, 일부 분전반에서 내부에 먼지 등 이물질이 차단기, 전선, 단자대 등의 표면에 부착되어 있음을 확인할 수 있었으며 수분이나 염분 등의 영향으로 전극간 절연물 표면의 열화로 화재가 발생할 가능성이 있다. 또한, 적외선 열화상 분석결과, 일부 차단기 단자에서 국부 발열이 관측되었으며, 부하 분담의 불평형에 의한 발열도 확인되었다. 이러한 위험요인에 의한 화재 예방을 위하여 규정된 전선 굵기의 사용과 적정 체결압력의 확보, 상간 전류 불평형을 줄이기 위한 부하 분담의 조정이 필요하다. 향후, 분전반에서의 전기화재, 감전사고 등 전기화재의 예방을 위하여 지속적으로 체계적인 유지관리는 물론 사고 발생 전에 이상 징후를 사전에 감지하여 조치를 취할 수 있도록 하는 기술의 개발과 현장 적용이 요구된다.

1. 서 론

전기에너지는 산업발전과 국가 경제성장의 원동력으로 매년 전기사용량이 증가하고 있다. 그러나 최근 빈번하게 발생한 전기설비에서의 사고로 막대한 재산 피해가 발생하고 있으며 전기기계기구의 품질에 대한 신뢰성 확보가 중요한 이슈로 대두되고 있다. 발전설비, 송배전설비, 수용설비 등 전력계통에서 사용되는 전기기계기구는 전기적, 환경적, 물리적 요인 등에 의해 수명이 영향을 받게 된다. 정확한 수명 예측은 전기에너지의 안정적인 공급과 생산성 향상을 위해 무엇보다도 중요하다 하겠다.

수전 반은 전기를 분배하는 역할을 하는 분전반은 사용 목적, 용량 장소 등에 따라 크기와 구성에 차이가 생기게 된다. 한국산업규격(KS C 8326)에서는 주택용 분전반에 대한 규격을 정하고 있으며 산업용 분전반에 대해서는 아직 표준화가 되지 않은 실정이다. 가정용 분전반에 있어 부하측에서의 전기적 이상에 대한 사고 예방과 회로 보호를 위하여 기존의 메인 차단기로 누전차단기, 분기 차단기로 배선용차단기를 사용하던 방식에서 메인에 배선용차단기를, 분기에 누전차단기를 각각 사용하도록 개정하였다[1]. 산업 현장에서 분전반은 전열용, 전동용, 동력용 등 다양한 부하설비에 전기를 공급하고 있다. 분전반은 주차단기와 분기차단기로 구성되어 있으며 사용되는 부하설비 및 용량 등에 따라 회로 구성이 달라진다[2-4].

본 논문에서는 분전반의 화재 위험 요소를 크게 전기적, 환경적, 물리적 요인으로 나누어 각각의 위험 요소에 의한 전기화재 발생 과정에 대하여 검토하였다. 또한, 이러한 위험요소에 대하여 현장실태조사를 실시하였으며 적외선 열화상장치 등을 이용하여 현장에 설치된 분전반의 이상발열 현상을 실측하였다. 이상과 같은 분전반에서의 전기화재 위험요소의 발굴과 화재발생 메커니즘의 해석을 통하여 분전반에서의 화재 위험을 최소화하고 분전반에서의 전기사고를 예방하기 위한 기술개발 자료로 활용되기를 기대한다.

2. 분전반에서의 화재 위험요소 분석

분전반 내에는 전기배선을 포함하여 말단의 부하 설비에서의

단락, 과부하(과전류), 누전 등에 의한 전기화재를 예방하기 위하여 배선용차단기, 누전차단기 등 보호장치가 설치되어 있다. 전기화재는 노출된 충전부 상호의 혼촉에 의한 단락, 누전, 접속부의 접속불량과 접속부에서의 산화물의 증식 성장에 의한 발열, 전극 사이 절연물의 열화에 의한 절연과괴(트래킹 등), 연선의 기계적 피로에 의한 소손 절단에 의한 반단선, 정전기에 의한 폭발, PCB 등 전자회로부에서의 이온 이동, 낙뢰 등에 의해 발생하게 된다. 분전반에서의 화재 발생 요인을 크게 전기적 요인, 환경적 요인, 물리적 요인 등으로 나누어 각각의 요인에서의 화재발생 위험 요소를 발굴하였다[5-8].

- 전기적 요인(유지 관리, 사용상의 결함에 의한 요인)
 - 노출된 충전부의 접촉(혼촉)에 의한 화재
 - 접속 불량(이상발열)에 의한 화재
 - 과부하(과전류)에 의한 화재
 - 개폐시 발생한 아크에 의한 화재
 - 부하분담의 불평에 의한 화재
 - 전선 피복 손상 등에 의한 화재(단락, 누전 등)
- 환경적 요인(설치 장소 및 외부 조건에 의한 요인)
 - 수분(또는 염수)과 먼지(분진, 목분, 철분 등)에 의한 화재(절연과괴, 방전, 누전, 단락 등)
 - 부식성 가스 또는 가연성 가스에 의한 화재(폭발, 단락 등)
 - 유증기(가스)에 의한 화재(폭발, 단락, 누전 등)
 - 고온 장소 사용에 의한 화재(오동작, 부품 손상 등)
- 물리적 요인(설치 및 사용 조건에 의한 요인)
 - 기계적 진동에 의한 전기적 접속부의 이완에 의한 발열 또는 진동에 의해 발생한 아크에 의한 화재 등
 - 전선 피복 손상 등에 의한 화재(단락, 반단선, 누전 등)

표 1은 분전반에서의 화재 위험 요인에 따른 화재발생 메커니즘을 나타낸 것이다.

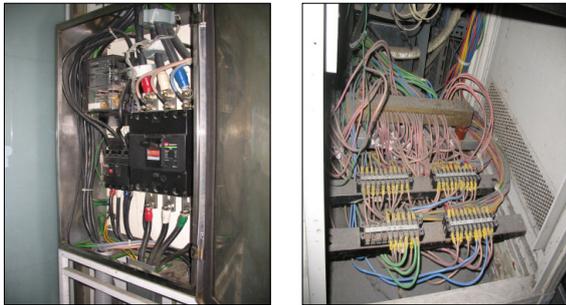
<표 1> 분전반에서의 위험요인에 따른 화재 발생 메커니즘

위험요인	화재원인	화재 발생 메커니즘
전기적 물리적	단락	피복 손상/충전부 노출→접촉(혼촉)→ 불꽃→출화
전기적	과부하(과전류)	과부하→전선 발열→피복용융, 탄화→심선 접촉→불꽃/아크→피복착화/가연물 착화→출화
전기적 환경적 물리적	누전	이물질 부착/피복 손상→금속제 외함/고정 볼트 등을 통한 누전경로 형성→누전/출화
전기적 물리적	반단선	소선 절단→저항 증가→아크→발열→극간방전→착화
환경적	절연과괴	절연물 표면 오염물(수분, 먼지 등) 부착→미소 발광방전→절연열화→극간방전→불꽃→출화
전기적 물리적	접촉불량	기계적 진동→단자이완→저항증가→이상 발열→아크→출화

3. 현장실태조사 및 분석

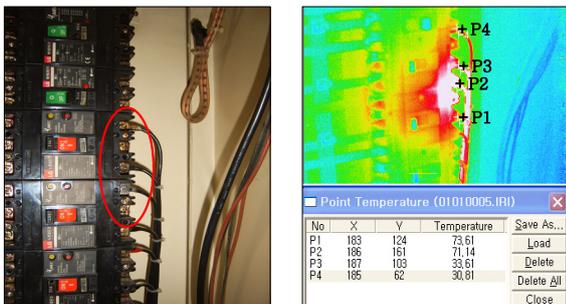
그림 1은 지하 1층에 설치된 분전반의 내부를 나타낸 것이다.

그림에서 볼 수 있듯이 전반적으로 먼지(분진)가 진선, 차단기, 단자대 등에 다량 부착되어 있음을 볼 수 있다. 습기가 많은 여름철의 경우 습윤한 먼지를 통하여 절연물 표면을 통하여 누설 전류가 흐를 수 있으며 이로 인하여 절연재료가 열화하여 절연 파괴를 일으켜 단락에 의한 화재나 누전에 의한 감전사고를 일으킬 수 있다.



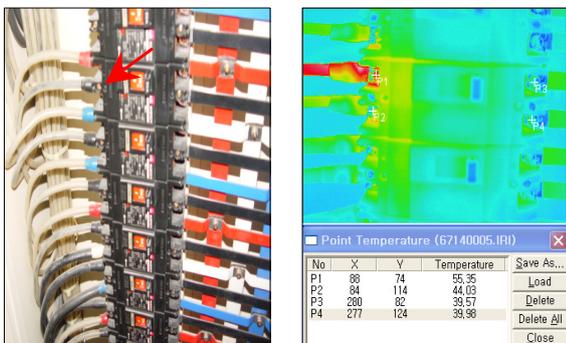
〈그림 1〉 지하에 설치된 분전반의 내부 모습

그림 2는 동력용 분전반 내 차단기의 발열 상태를 적외선 열화상 장비를 이용하여 측정, 분석한 것으로 부하측 단자(○부분)에서 73.61℃로 이상 발열하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 상태로 지속되면 열의 축적에 의해 접속 전선과 단자 도체는 변색하고 차단기 외함 절연물과 진선 피복은 용융, 탄화하게 된다. 결국에는 국부 발열로 화재가 발생할 수 있어 전기재해의 예방을 위해 조치가 요구된다.



(a) 분전함의 모습 (b) 이상 발열 측정
〈그림 2〉 분전반 내 차단기의 이상발열 실측

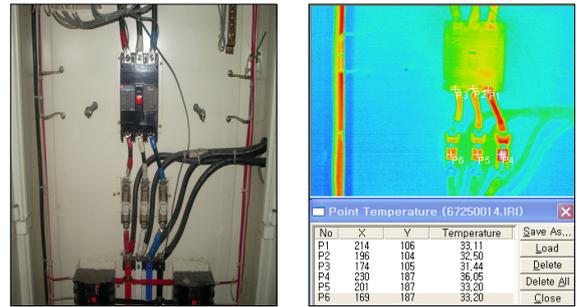
그림 3은 분전반 내부기기의 이상발열을 측정하는 것으로 차단기 좌측의 위에서 두 번째 접속전선(화살표부분)에서의 발열이 다른 부분에 비해 높게(55.35℃) 나타나고 있다(부하전류는 21A). 차단기 단자에서의 이상 발열은 일반적으로 단자 접속부의 이완에 의한 체결 압력의 저하로 발생하며 국부적으로 발열하게 된다. 단자부의 변색이나 연결전선 피복의 손상 등은 열화가 상당한 시간 진행된 후에 확인할 수 있어 적외선 열화상 장비 등을 이용한 주기적인 확인 점검이 요구된다.



(a) 분전함의 모습 (b) 적외선 열화상 측정
〈그림 3〉 분전반 내 전선의 이상발열 실측

그림 4는 분전반 내부기기의 발열 특성을 실측한 것으로 3상 배선용 차단기의 부하측 단자와 하단의 퓨즈를 연결하는 전선(T상측)이 전체적으로 발열하고 있음을 알 수 있다. 각 상에 흐르는 전류는 각각 R상(좌측)에 15.3A, S상(중앙)에 14.7A, T상(우

측)에 23.7A로 T상의 전류가 다른 상에 비해 많이 흐름을 알 수 있다. 전기에너지의 안정적 공급과 최적의 전기설비 유지를 위하여 각 상별 적정 부하의 분담이 이루어져야 하며, 또한 지속적인 관리가 필요하다.



(a) 분전반의 모습 (b) 적외선 열화상 측정
〈그림 4〉 분전반 내부기기 및 전선에서의 이상발열 실측

4. 결 론

이상과 같이 분전반에서의 화재 위험 요인과 요인별 화재발생 메커니즘에 대해 살펴보았으며 화재위험성에 대한 현장실태조사를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분전반에서의 화재 위험요인은 크게 전기적, 환경적, 물리적 요인으로 나눌 수 있으며, 전기적 요인에 의한 화재, 환경적 요인의 영향으로 전기화재를 유발하는 경우, 물리적 요인에 의해 결과적으로 전기화재를 유발하는 경우 등에 대한 화재 발생 메커니즘을 살펴보았다.
- 2) 현장에 설치된 분전반의 유지관리 실태를 조사한 결과, 대부분 양호하게 관리되고 있지만 일부 분전반 내부에 다량의 먼지가 부착되어 있는 경우가 확인되었다. 먼지와 같은 이물질은 화재 등 사고를 유발할 수 있으므로 분전반 내부의 청결 확보 등 적절한 조치가 요구되었다.
- 3) 분전반 내부의 이상발열에 대한 현장 실측 결과, 일부 분전반에서 차단기 단자와 접속 전선의 체결력 저하에 의한 국부적인 발열이 관측되었으며, 또한, 각 상별 부하 분담의 불평형으로 전선이 발열하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 전선은 규정의 전선 굵기를 사용하며 규정의 체결력을 유지할 수 있도록 하여야 하며 상별 전류불평형이 발생하지 않도록 적절한 부하의 분담이 요구된다.

이상과 같은 결과는 분전반에서의 전기화재, 감전사고 등의 예방을 위해 활용 가능할 것이며 보다 심도 있는 연구를 위하여 향후, 분전반에서의 화재 예방을 위하여 각각의 위험인자에 의한 화재발생 메커니즘에 대한 실험과 분석을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행하는 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] KS C 8326, 주택용 분전반, 2002
- [2] National Electrical Code, 2005
- [3] KS C IEC 60439-3, 2003
- [4] UL 67, panelboard, 2004
- [5] 김향근, 최충석, 김동욱, 최효상, "비밀절연전선의 산화물 성장 특성과 화재조사에의 적용", 대한전기학회 논문지, Vol.56P, No.1, pp.37-44, 2007.
- [6] 최충석, 김향근, 김형준, 김동욱, "Poor contact dependent characteristics of electric fire for terminal block", Transactions on Electrical and Electronics Materials, Vol.7 No.7, pp.571-576, 2006.
- [7] John J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring", 51st IEEE Holm conference on Electrical Contacts 2005, pp.167-175, 2005.
- [8] Jarle Sletbak, Roar Kristensen, Hakon Sundklakk, Gunnar Navik, Magne Runde, "Glowing contact areas in loose copper wire connections", IEEE Trans., on components, hybrids, and manufacturing technology, vol. 15 No.3, 1992.