

FMEA기반 전기설비 사고처리시스템 구축 및 사고사례 검증

김영석, 송길목, 김선구
한국전기안전공사 전기안전연구원

The Verification of Case Study and the Construction of Fault Management System of Electrical Facilities through FMEA Method

Young-Seok Kim, Kil-Mok Shong and Sun-Gu Kim
Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - When happen the electrical facilities accident, the one's diagnosis system of fault cause was constructed by FMEA method. From the verification of system, the one's diagnosis system agreed well with result that analyzed actual state. Thus, the system is judged to be used effectively examine for accident cause of electrical facilities.

1. 서 론

전기설비 사고 중 부하설비의 사고가 전체의 76.9%를 차지하지만[1], 수용가 전기설비에 사고 시, 정확한 원인 규명 및 처리 결과에 대한 데이터베이스가 되어 있지 않다. 특히, 전기설비 사고는 정전, 주변기기의 화재 등으로 경제적·재산적 피해의 증가와 인명피해를 야기하므로 사고예방과 전기설비 사고처리에 대한 정확한 원인이 필요적이다. 또한, 2002년부터 시행되고 있는 제조물책임법에 따라 제조물의 결함에 의한 소비자 피해배상 책임이 확대·강화되므로 사고처리 및 원인 규명에 대한 객관적인 자료제공이 필요하다.

현재 전기설비에 대해서는 설비이상을 감지하여 사고를 예방하는 진단시스템 기술은 많이 축적되어 있고, 전기설비 사고 발생시의 사고처리 과정에 대한 기술은 일부 기관에서 수행하고 있지만, 오프라인을 통해서 이루어지고 있고 해당 당사자 외에는 사고 처리에 대한 객관적 자료를 제공받을 수 없다. 따라서 전기설비사고에 대한 사례와 사고원인결과에 대한 객관적 자료제공이 되지 않는 문제점을 해결할 필요가 있으며, 전기설비 사고사례를 온라인을 통해 제공하고 전기설비사고의 원인이 무엇인지를 자가 진단을 통해 확인 할 수 있는 전기설비 사고처리 시스템이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 전기설비 사고 발생 시, 전기설비 사고원인을 자가 진단 할 수 있는 시스템의 구축과 사고사례를 검증하여 시스템의 신뢰성 향상 등에 관하여 연구하였다.

2. FMEA기반 전기설비 사고처리시스템 구축

2.1 전기설비 사고처리시스템의 원리

그림 1은 전기설비 사고원인 진단 시스템에 대한 개략적인 흐름도를 나타낸다. 먼저, 사용자가 인터넷을 통하여 전기설비 사고 처리 시스템의 웹 페이지(www.kesco-pl.com)로 로그인하여 접속하여 회원여부를 확인하고 접속한다. 다음으로 시스템에서 사고대상물 즉, 케이블, 변압기, 차단기 등을 선택하고 전기설비의 사양 및 사고 데이터를 입력한다. 또한 전기설비사고에 대한 자가 원인 분석 화면이 펼쳐지며, 분석화면에는 사고원인에 대하여 3단계로 사고원인을 피크그램으로 표현된 사고 원인 리스트가 보여 사용자가 선택 입력하도록 되어 있다. 입력된 데이터는 전기설비 사고 DB에 저장되며, 전기설비 사고 자료와 자가 원인 진단 결과를 확인

할 수 있다. 이때 시스템은 사고 원인에 대한 진단 결과와 함께 유사한 사고사례 데이터를 전기설비 사고DB에서 검색하여 자료를 제공한다. 여기서, 사용자는 검색된 유사한 사고사례 데이터와 전기사고 원인 분석 결과에 의해 적합한 사고 사례를 확인하고 원인파악이 이루어지 경우 종료하거나, 사고 사례를 출력하게 된다. 하지만, 적합한 사고 사례에 해당하지 않거나 사고 원인 분석이 충분하지 않을 경우에는 추가적인 사고 원인 정밀 분석을 온라인으로 요청하게 된다.

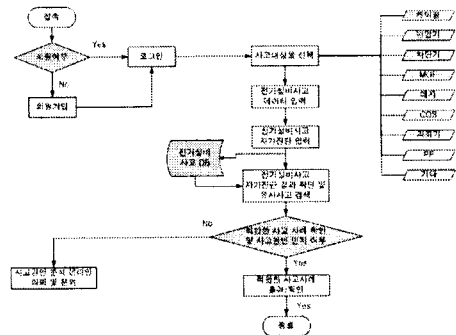


그림 1. 전기설비 사고처리 시스템 흐름도

2.2 FMEA 기반 전기설비 사고확률 계산

그림 2는 전기설비 사고처리 시스템에서 사고원인 자가 진단 결과의 확률 연산을 위한 개략도를 나타낸다. 전기설비 중 케이블 사고에 대하여 사고확률을 계산하기 위한 것으로 케이블 사고원인의 자가진단을 크게 1차 진단, 2차 진단, 3차 진단으로 구분하였다. 1차 진단은 케이블 사고부위를 나타낸 것으로 케이블 종단접속부, 케이블 본체, 케이블 중간접속부, 기타로 나누었으며, 각각의 부위에 대한 사고확률을 가진다. 2차 진단은 케이블 절연부위의 사고확률을 나타낸 것으로 케이블 사고가 발생했을 경우, 절연체의 파손 형태에 따라 표면 크랙, 구멍, 패임, 부풀음, 기타로 나누었으며 각각의 사고확률을 가진다. 3차 진단은 케이블 도체의 소손 형태를 보고 판단하는 것으로 용융망울의 비산, 망울의 패임, 용융혼적, 기타로 나누며, 역시 각각의 사고확률을 가진다. 여기서, 케이블 사고원인은 표 5.1에 나타낸 것과 같이 15개군을 나누었으며, 케이블 사고원인은 자가진단의 각 진단에서 발생할 수 있는 사고원인과 그때의 사고확률값으로 주어진다. 여기서, 사고확률은 한국전기안전공사 사고통계 자료, 사고원인 분석 경험치 그리고 신뢰성 기반인 FMEA 방식을 적용한 사고확률로 계산하였다.

신뢰성 기반의 FMEA 분석 방법은 IEC 50의 고장의 정의, BS 5760의 고장모드의 정의, MIL-STD-1629A, MIL-STD-8820D, QS-9000 등의 품질관리시스템에 고장요소를 찾아내어 고객의 만족도를 높이기 위해 만들

상세보기를 통해 열람할 수 있으며, 각 진단내용의 세부 원인별 사고확률은 사고패턴에 따라 각각 다르게 주어지도록 설정하였다.

3. 사고사례를 통한 전기설비 사고처리시스템의 검증

그림 4는 2008년 12월에 발생한 케이블 직선접속부 사고사례를 나타낸다. 사고케이블은 6.6kV급으로 옥외에 설치되어 사용년수가 채 1년도 되지 않은 것이다. 소손된 케이블은 케이블 본체와 중간접속부 사이에서 발생한 것이며, 절연파괴 되어 구멍(hole)이 관측되고 도체가 용융되어 패인 흔적이 관측되었다.

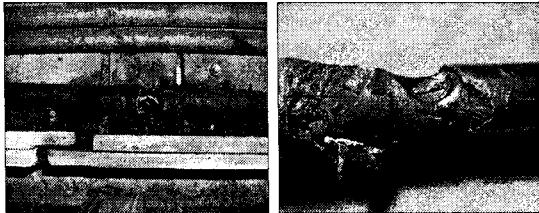


그림 4. 케이블 직선접속부에서 발생한 사고사례

본 사고사례에 대해 전기설비 사고처리시스템에서 자가원인 분석한 결과를 그림 5에 나타낸다. 자가원인 분석에서 1차 진단으로 중간접속부, 2차 진단으로 절연체의 구멍, 3차 진단으로 도체의 용융 패임을 선택한 경우 케이블의 사고가능성은 “빗물, 수분 등의 침투에 따른 수트리에 의한 사고”, “시공 시 칼집에 의한 전계집중 가능성”, “케이블과 중간접속부 사이의 틈 발생에 의한 사고 가능성”이 52%로 나타났다. 실제 그림 4의 사고사례에 대한 정밀분석 결과 중간 접속부에 케이블 본체에서의 보이드, 이물질, 수트리의 현상, 케이블 접속시의 틈 발생은 관측되지 않았지만, 시공 시 발생했을 가능성이 높은 절연체(XLPE) 표면에 칼집이 관측되었다.

따라서 그림 4의 케이블 사고사례는 시공 시 칼집에 의한 전계집중으로 사고가 발생했을 것으로 추측되었으며, 자가진단 결과에서도 동일한 진단 결과를 가졌다.




자가원인분석		
1차 진단 케이블 사고 부위	2차 진단 절연체 결함	3차 진단 도체 결함
 Cable Joint	 Surface Pit	 Bare Metal
진단내용 절연체의 결함은 발생하여 사고를 일으키는 심각한 현상이다. 발생원 분석을 위해 사고원인을 조사할 수 있도록 조사내용은 종합적으로 검토하여야 한다. 불꽃 및 수분 침투, 절연체 결함의 수트리에(Water Tree) 기생현상 시공시 발생해 의한 전계집중 가능성 절연체표면 결함(XLPE) 발생으로 전계집중 가능성		
		52%
		52%
		52%

그림 5. 그림 4 사고사례에 대한 사고원인 자가진단

그림 6은 2006년 12월경에 발생한 케이블 종단접속부에서 사고사례를 나타낸다. 00업체의 책임분계점 COS

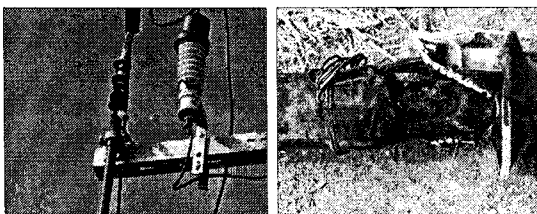


그림 6. 케이블 종단접속부에서 발생한 사고사례

2차측과 인입케이블(CNCV 60mm 1C×3L) A상 접속점에서 지락사고가 발생되어 일어난 사고 있다. 22.9kV급 케이블로 옥외에 설치되어 2006년 9월경에 설치가 되어 약 4개월간 운영되었다. 소손된 케이블은 종단 접속부에서 발생한 것으로 절연체가 파괴되어 구멍이 관측되고 도체가 용융되어 패인 흔적이 관측되었다. 그림 7은 그림 6의 사고에 대한 자가원인 분석한 결과를 나타낸다. 자가원인 분석에서 1차 진단으로 종단접속부, 2차 진단으로 절연체의 구멍, 3차 진단으로 도체의 용융 패임을 선택한 경우 케이블의 사고가능성은 “시공 시 칼집에 의한 전계집중 가능성”, “케이블과 종단접속부 사이의 틈 발생에 의한 사고 가능성”이 57%로 높게 나타났다.




자가원인분석		
1차 진단 케이블 사고 부위	2차 진단 절연체 결함	3차 진단 도체 결함
 Cable Termination	 Surface Pit	 Bare Metal
진단내용 절연체의 결함은 발생하여 사고를 일으키는 심각한 현상이다. 발생원 분석을 위해 사고원인을 조사할 수 있도록 조사내용은 종합적으로 검토하여야 한다. 시공시 발생해 의한 전계집중 가능성 케이블과 종단접속부 사이의 틈 발생에 의한 전계집중 가능성 케이블 절연체 표면에 칼집에 의한 전계집중 가능성		
		57%
		57%
		47%

그림 7. 그림 6 사고사례에 대한 사고원인 자가진단

실제 그림 6의 사고사례에 대한 정밀분석 결과 그림 8에 나타난 것과 같이 케이블과 종단접속부의 시공 과정에서 틈이 발생한 것을 확인하였으며, 이로 인해 전계 집중으로 사고가 발생한 것으로 판단되며, 역시 자가원인 분석 결과와도 동일한 결과값을 가졌다. 따라서 사고사례를 통한 검증으로 전기설비 사고처리시스템을 통해 사고원인을 판별할 수 있을 것으로 판단된다.

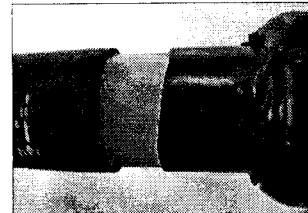


그림 8. 케이블 종단부와 케이블 사이의 틈 발생

4. 결 론

전기설비 사고 발생 시, 사고원인을 자가 진단할 수 있는 처리시스템을 FMEA 방법을 통해 구축하였으며, 자가원인 분석시에는 피토품을 도입하여 이용자가 쉽게 선택할 수 있도록 유도하고 계산을 통해 사고가능성을 확률값으로 나타내었다. 또한 케이블 사고사례를 통한 시스템 검증 결과, 정밀분석에 의한 사고원인 분석과 자가진단을 통한 사고원인 분석결과가 대부분 일치하는 결과를 가졌다. 따라서 본 처리시스템을 이용하여 전기설비 사고원인을 규명하는데 효과적으로 사용될 것으로 판단되며, PL 분쟁 시의 객관적인 자료로 활용될 것으로 판단된다.

[참고 문헌]

[1] Korea Electrical Safety Corporation, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident", 16th edition, pp. 7-24, 2007.