

분진발생지역에서 FMEA 기반으로 한 분전반의 전기안전 평가

(The Assessment on Electrical Safety of Panel Board Based on FMEA in Dust Generation Area)

송길목* · 김영석* · 한운기* · 전태보**

(Kil-Mok Shong · Young-Seok Kim · Woon-Ki Han · Tae-Bo Jeon)

Abstract

In this paper, we are studied on the electrical safety of panel board based on FMEA in dust generation area. For the safety of electrical facilities, the assessments of panel board are very important in dust generation area. Through the assessments of panel board and recommendations of electrical safety, there are expected that will be helped the judgement of electrical facilities.

1. 서론

분진발생지역에서의 사고방지기술 중 하나인 전기안전평가를 위해 본 연구는 다양한 접근을 시도하였다. 최근 국제규격 부합화에 따른 국내환경과의 적합성 검토가 요구되고 있는 사항이며, 나아가서는 규정개선을 통해 전기안전 기여에 도움을 줄 수 있을 것이다. 본 장에서는 분진이 빈번하게 발생하는 지역을 선택하여 부하보호설비가 위치한 지점에서 분진을 포집하였으며, 설비의 상태 점검을 통해 분석된 자료와 한국전기안전공사 전기설비 및 전기화재 통계자료에 의해 제시된 국내 전기설비 고장 또는 사고통계를 분석한 자료를 활용하였다. 신뢰성 공학을 적절한 방법으로 적용 및 활용하여 객관성을 확보하는데 주력하였다.

분석과정은 고장형태 및 영향을 분석하기 위해 설정된 개념에 의하였다. 우선 분진발생지역에서의 타겟(target)을 선정하였다. 현장실태 조사를 통해 부하설비의 고장 또는 사고로부터 안전한 이용을 보장할 수 있는 부하보호설비의 수납장소를 선택하였다. 따라서 누전차단기 또는 배선용차단기가 수납된 분전반과 분전반을 중심으로 반경 2m 이내의 환경상태를 모니터하였다. 고장 원인(failure cause)은 다양하나 부하설비의 경우 보호 장치에 의해 종속성을 가지므로 가장 중요한 설비라고 판단할 수 있다. 고장형태(failure mode)는 전기설비 사고통계를 중심으로 우선 분석하였으며, 분진발생지역의 경우 야기될 수 있는 사고를 병행하였다. 이를 근거로 하여 사고메커니즘(failure mechanism)을 구성하였다. 분석대상의 선정과 고장메커니즘을 분석한 후 고장영향(failure effects)평가를 실시하였다. 각 대상물의

심각도(severity)를 분석하는 것은 블록도에 의해 판단하였으며, 발생빈도(occurrence)의 경우에는 국내 통계 자료를 인용하였다. 검출도(detection)의 경우에는 현장 실태조사를 통한 자료와, 분진의 성분분석 데이터, 환경 평가 등을 단계화하였다. 이를 통해 위험우선순위(RPN; risk priority number)를 선정하여 설비의 위험요인에 대해 실질적으로 판단할 수 있는 자료가 되도록 하였다. 각각의 위험우선순위에 대한 전기안전대책은 각 항목에 적합하도록 기술하여 안전관리자가 담당전기설비에 대해 객관적으로 판단하고 대처할 수 있도록 구성하였다.

2. 분석 대상의 정의 및 분해수준

2.1. 분석대상의 구조

고장형태 및 영향분석(FMEA; failure mode and effect analysis)에 있어서 MIL-std-1692A, MIL-std-882D, QS-9000 등에서 제공하는 다양한 평가기술을 전기안전 연구에 맞도록 수정하고자 하였다. 그림 1은 FMEA의 영역과 핵심개념을 정리한 것이다.

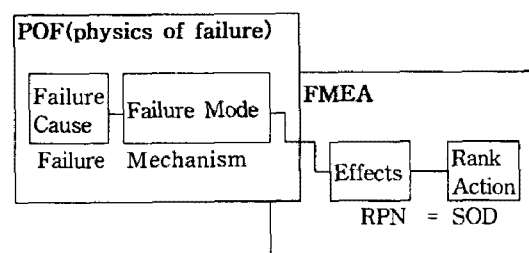


그림 1. FMEA의 영역 및 핵심개념도

고장원인과 형태에 대한 인과관계를 입증하는 단계와

그 영향과 대책 수립에 대한 내용으로 크게 구분하고 있다. 따라서, 기술한 내용을 근거로 하여 분전발생지역에서의 위험성 있는 대상을 선정하였으며, 이는 분전반과 그것을 수납하는 함이 될 것이다. 이는 부하설비 중 전동기의 경우 분전에 의한 영향으로 회전력이 떨어지거나 멈추는 경우, 그 영향으로 열이 발생하고 축열되는 일연의 고장 메커니즘에 대해서는 여기에서 언급하지 않았으며, 다만, 부하설비의 종속관계를 가지면서 회로를 개폐하거나 차단하는 장치를 수납하여 사용되는 분전반을 선정하였다. 분전반에 대해 구체적으로 언급하자면, 대상물은 전기 부하설비의 보호장치를 수납할 수 있는 분전반으로서 내부에는 옥내의 모든 배선에 대한 주개폐기와 각 분기 회로의 보호 퓨즈, 배선 차단기 따위가 설치된 직립식 설비. 대개 전압계, 전력계, 역률 주파수 표시 장치가 부착되어 있다. 그림 2는 분전반 내부를 개략적으로 구성하고 있는 구성품에 대해 나타낸 것이다.

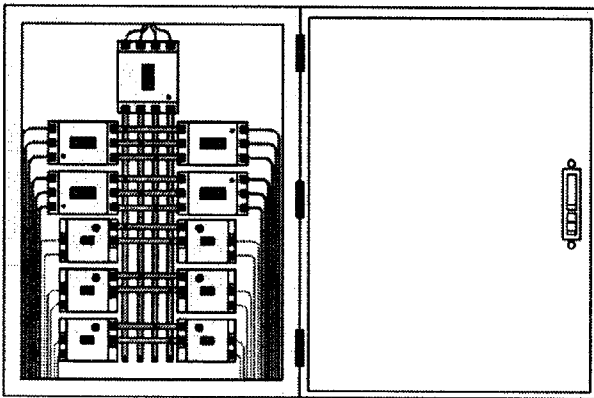


그림 2. 분전반 내부구성의 개략도

일반적으로 주차단기는 배선용차단기가 주로 사용되고 있으며, 분기차단기로는 배선용차단기와 누전차단기가 혼재된 상태로 이용되고 있다. 전력량계 또는 일연의 전원 측 부분에서 전원공급을 위해 연장된 전선은 주차단기의 전원 측에 접속되어 있다. 주차단기 부하 측에서는 각 분기를 위해 접속된 동대가 있으며, 각각의 동대를 중심으로 용량에 맞는 분기회로가 구성된다. 부하의 전원공급이 요구되는 사항 즉, 220V 또는 380V, 3상의 동력을 사용하는 경우와 조명, 일반 동력 및 다양한 전기제품을 사용하는데 필요한 단상의 경우와 같이 부하설비의 특성에 따라 분기가 이루어진다. 분기차단기의 부하 측은 부하설비와 연결된 전선이 있으며, 부하용량의 크기에 따라 전선의 굵기가 정해진다. 분전반을 수납하는 함의 경우에는 철제인 경우와 플라스틱 제품이 주로 사용된다.

2.2. 평가대상 설정 및 기능

기능별 블록도를 작성하여 보면, 사고원인에 대해 구체적이고 명확하게 확인할 수 있으며, 사고주종의 관계를 설정하는데 있어서 매우 유용하다.

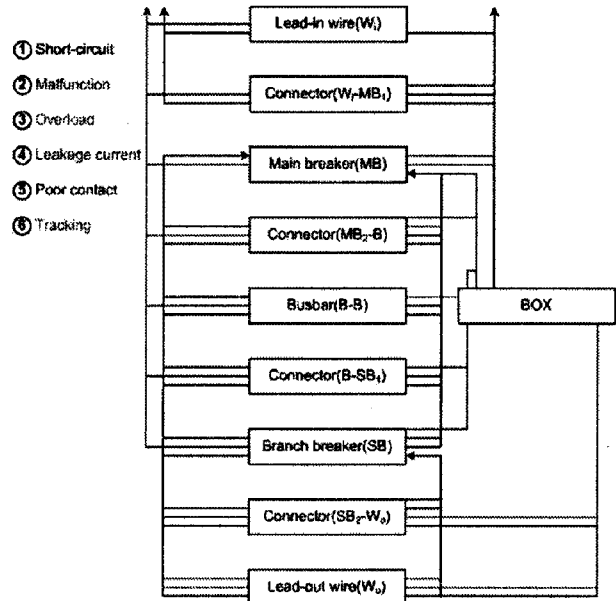


그림 3. 사고발생시 주종블록도

2.3. 분전반의 심각도 수준

분전발생지역에서 전기설비의 안전을 확보하기 위한 안전장치의 수납기구로서 분전반이 있다. 본 연구에서는 고장 형태와 영향에 대한 분석 중 심각도에 대한 수준만을 나열하였다. 이후 위험성 평가된 자료를 정리하여 제안사항을 요약하였다. 표 1에서는 전기적 영향에 대한 심각도 수준을 정리한 것이다.

표 1. 전기적 영향에 대한 심각도 수준

Class	Severity State	Criterion
A	Hazardous Effect	- 고장 또는 사고시 보호되지 않는 범위 - 화재진전시 확산이 매우 빠르고 큼 - 대형화재의 조짐이 있는 영향
B	Major Effect	- 보호 장치에 의해 일부 보호되나 안전하지는 않은 상태 또는 범위 - 화재발생시 주변에 중분한 영향
C	Medium Effect	- 일반적인 전기설비에서의 약간의 영향 - 화재진행이 대상 자체에 한함
D	Very Slight Effect	- 보호 장치에 의해 동작이 확실하나 차단기의 고장 또는 사고를 정확히 인지하지 못하는 상태 - 고장 또는 사고발생부위에 한하여 영향을 미침
E	No Effect	- 사고의 해당이 되지 않는 범위 - 고장 또는 사고의 발생이 화재로 이어지지 않는 영향

크게 심각도 수준을 5단계로 구성하였으며, 각 단계에서의 평가수준을 서술하였다. 분전반 내에서는 차단기, 동대, 전선 등 다양한 기구가 포함되어 있으므로 이에 대한 전반적인 평가가 필요하였다. 표 2는 환경적 영향에 의한 심각도 수준을 기술한 것이다.

표 2. 환경적 영향에 대한 심각도 수준

Class	Severity State	Criterion
A	Hazardous Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 자체 또는 주변 온도 60℃ 이상 주기적 발생 - 중기 발생기 존재 - 유기시 및물 침투 - 해안가로부터 1km 이내 위치 - 환기시설 미부착 및 밀폐시간 1일 1시간 이상 - 절연재가 탄분진, 목분진 등 절연저항 감소성 분진강하 - 절연재 표면인식이 확인 안 될 정도의 강하분진 - 주변 환경이 설치류 서식조건 - 산화부식 요인이 되는 NH4Cl 가스발생 - 전기설비 상주 안전관리자가 없고, 1년 이상 미점검 상태 - 과거 화재발생이력 있으면서, 청소 안함 - 1월 1회 이상 잦은 차단기 동작 또는 개폐 - 상기의 사항 3건 이상 확인되는 전기설비
B	Major Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 주변온도가 40℃ 이상 주기적 발생 - 설비내 일교차 10℃ 이상 발생 - 습도 95% 이상 또는 온도차에 의한 결로 발생 - 해안가로부터 1km~10km 범위에 위치 - 강제환기 또는 집진설비 없음(자연환기) - 유기 강하분진 발생지역 - 절연재(전기설비) 표면이 원 색상과 다르게 보이는 정도 - 설치류의 주기적 흔적 있음 - 6개월 이상 분진만 미점검 - 1개월 1회 이상 차단기 동작 또는 개폐 - 청소 안함 - 상기의 사항 3건 이상 확인되는 전기설비
C	Modern Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 주변온도 30℃~40℃ 이상 주기적 발생 - 습도 85%~95%, 연간 15일 이상 지속 - 강제환기 시설 있으나 미약 - 분진자체발생 및 설비에 노출 - 전기설비 표면 확인되나 분진 많음 - 벌레, 설치류 등의 흔적 발견 - 3~6개월의 주기적 점검 - 1년 5회 이상의 차단기 동작 또는 개폐 - 차단기 동작 확인 안함 - 1년 1회 미만의 분진제거 청소 - 상기의 사항 3건 이상 확인되는 전기설비
D	Very Slight Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 주변온도 25℃±10℃ 유지 - 습도 85% 미만 유지 - 환풍 시설 있으며, 상시 작동 - 분진자체 발생기 거의 없음(동기기) - 밀폐형 분진만 구조 - 전기설비 표면 미미한 분진 발견 - 벌레 또는 설치류 흔적 없음 - 1개월 미만 점검(일상점검) - 차단 또는 개폐동작 거의 없음 - 6개월 1회 동작 확인 - 연 2회 이상 전기설비의 분진제거 청소 - 상기의 사항 중 3건 이상 실시하는 전기설비
E	No Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 항온항습장치 또는 설비 가동 - 자체발생 분진에 대한 개별적 집진설비 - 분진발생 거의 없음 - 밀폐형 분진만 구조 - 설비표면에 1년 동안 분진 거의 없음 - 1주일 1회 이상 일상점검, 연 1회 이상 정밀점검 - 차단 또는 개폐동작 없음 - 1개월 1회 이상 차단기 동작 점검 - 1개월 1회 이상 전기설비 확인 및 수시 청소 - 상기의 사항 중 3건 이상 실시하는 전기설비

표 2에서와 같이 환경적 영향에 대한 심각도 평가에 있어서 총 5단계로 구분하였으며, 각 단계에 대한 내용을 정리하였다. 환경적 영향에 있어서의 주요 내용은 온도, 습도, 분진대책 또는 분진의 종류, 미생물 존재, 청소와 점검에 대한 사항이다. 전기안전관리자의 적극적인 관리가 사고발생을 막는 데 중요한 역할을 하므로

이에 대한 평가항목이 필요하였다. 표 3은 기계적 영향에 대한 심각도 수준을 정리한 것이다.

표 3. 기계적 영향에 대한 심각도 수준

Class	Severity State	Criterion
A	Hazardous Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 스크류류 없음 - 도전재료 휘어짐과 변형 심함 - 80% 이상의 반단선 또는 단선 - 외함 단말처리 안함
B	Major Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 스크류 풀림 - 노출충전부와 접지부분이 닿지 않을 만큼 이격 - 60%~80% 반단선 - 외함 일부 라운딩 처리
C	Modern Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 규정 이하의 체결 - 흰 흔적 있음 - 20%~60%의 반단선 - 외함 전체 완곡 처리
D	Very Slight Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 규정 체결 - 노출충전부와 접지부분이 규정 이상의 이격 - 반단선 거의 없음, 커플링
E	No Effect	<ul style="list-style-type: none"> - 이중체결, 평와사 및 스프링와사 체결 - 노출충전부 절연 및 규격 이상의 이격 - 분전반 내부 전선 이동 교체 없으며, 반단선 없음 - 절연재를 이용한 완전 절연

기계적 영향에서 가장 우선이 되는 것은 나사 또는 볼트의 조임 상태를 파악하는 것으로 이에 대해 규정에 적합한 조임토크와 진동이 쉽게 발생할 수 있는 지역에서는 이중 와사를 채용하여 보다 안전한 사용이 이루어 질 수 있도록 평가수준을 정의하였다.

3. 위험성 평가에 따른 제안

3.1. 전기적 영향에 따른 설비관리

전기적 영향에 대한 심각도, 발생가능성, 검출도를 평가하여 이를 개선하기 위한 제안사항을 표 1에 정리하였다.

표 4. 전기적 영향에 대한 제안 정리

Section	Recommendation
Wi	<ul style="list-style-type: none"> - 절연저항 측정(교체 또는 수리 판단) - 허용전류 이상의 전선사용(부적정시 교체)
Wi-MB1	- 변색확인, 나사조임 확인, 탄화여부 확인
MB	<ul style="list-style-type: none"> - 주기적인 동작상태 확인, 외관(변형, 변색 등) - 절연저항 측정(교체 또는 수리 판단)
MB2-B	<ul style="list-style-type: none"> - 변색확인, 접속부 나사조임 확인 - 탄화여부 확인(교체 또는 수리 판단)
B-B	- 변색확인, 접속부 나사조임 확인
B-SB1	<ul style="list-style-type: none"> - 변색확인, 접속부 나사조임 확인 - 탄화여부 확인(교체 또는 수리 판단)
SB	<ul style="list-style-type: none"> - 주기적인 동작상태 확인 - 외관상태 확인(변형, 변색 등), 탄화여부 확인 - 절연저항 측정(교체 또는 수리 판단)
SB2-Wo	<ul style="list-style-type: none"> - 변색, 접속부 나사조임, 탄화 확인(교체, 수리판단) - 절연저항 1.5MΩ 이상 유지
Wo	<ul style="list-style-type: none"> - 절연저항 측정(교체 또는 수리 판단) - 허용전류 이상의 전선사용(부적정시 교체)
BOX	<ul style="list-style-type: none"> - 접지저항 측정(교체 또는 수리 판단, 100Ω 이하) - 절연저항 측정(교체 또는 수리 판단)

3.2. 환경적 영향에 따른 설비관리

분전반 내에서의 환경적 영향에 따른 설비관리에 있어서 심각도, 발생가능성, 검출도를 평가하여 그 우선순위를 정하고 영향을 방지하기 위한 대책을 정리한 결과 표 5와 같았다.

표 5. 환경적 영향에 대한 제안 정리

Section	Recommendation
Wi	- 온도 테이프 부착 - 노출충전부 절연 및 부식방지 - 일상점검을 통한 절연피복 변색 확인 - 허용전류 이상의 규격전선 사용(IEC 60364)
Wi-MBI	- 조임상태 및 변색 확인(한국산업규격) - 부식방지를 위한 방식처리, 내식성 재료 선택 - 분진확인 및 주기적 청소
MB	- 주기적인 동작확인(한국산업규격) - 절연부분 변색 또는 변형확인 - 트레이킹 방지편 설치
MB2-B	- 조임상태 및 변색 확인(한국산업규격) - 부식방지를 위한 방식처리, 내식성 재료 선택 - 분진확인 및 주기적 청소
B-B	- 조임상태 및 변색 확인(한국산업규격) - 부식방지를 위한 방식처리, 내식성 재료 선택 - 분진확인 및 주기적 청소, 노출충전부 절연 - 합과의 전기적 기계적 이격거리 확보
B-SBI	- 조임상태 및 변색 확인(한국산업규격) - 부식방지를 위한 방식처리, 내식성 재료 선택 - 분진확인 및 주기적 청소
SB	- 주기적인 동작확인(한국산업규격) - 절연부분 변색 또는 변형확인 - 트레이킹 방지편 설치 - 노출충전부 절연
SB2-Wo	- 조임상태 및 변색 확인(한국산업규격) - 부식방지를 위한 방식처리, 내식성 재료 선택 - 분진확인 및 주기적 청소
Wo	- 온도 테이프 부착 - 노출충전부 절연 및 부식방지 - 일상점검을 통한 절연피복 변색 확인 - 허용전류 이상의 규격전선 사용(IEC 60364)
BOX	- 노출충전부와 충분한 이격 - 제3종 접지(100Ω 이하) 확인 - 변형, 변색 및 도색 점검

3.3. 기계적 영향에 따른 설비관리

표 6은 분전반 내에서의 기계적 영향에 대한 평가를 실시하여 점검 또는 개선하여야 할 사항에 대해 요약한 사항이다. 기계적 요인에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 접속부의 조임 상태와 이중 안전을 위한 와샤 삽입, 접촉저항을 측정하여 내부저항에 대한 평가를 실시하고 주기적으로 점검하기 위한 체계적 관리 상태 등을 각 요소별로 열거하였다.

표 6. 기계적 영향에 대한 제안 정리

Section	Recommendation
Wi	- 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 시공시 전선 확인 및 저항 측정치 확인 - 분전함 인입인출 부분의 거칠기 및 고무커플링 확인
Wi-MBI	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 시공시 접촉저항 측정치 확인, 이중와샤 구조
MB	- 절연저항 측정 및 동작확인 - 주기적 점검(이음, 진동 등 확인)
MB2-B	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 접촉저항 측정, 이중와샤 구조
B-B	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 접촉저항 측정, 이중와샤 구조
B-SBI	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 접촉저항 측정, 이중와샤 구조
SB	- 절연저항 측정 및 동작확인 - 주기적 점검(이음, 진동 등 확인) - 1개월 1회 이상 동작점검 및 교체 주기 확인
SB2-Wo	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 접촉저항 측정, 이중와샤 구조
Wo	- 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 시공시 전선 확인 및 저항 측정치 확인 - 분전함 인입인출 부분의 거칠기 및 고무커플링 확인 - 절연피복의 이상유무 확인
BOX	- 1년 1회 이상 조임 토크 체결 확인 - 1년 1회 이상 외관 및 절연이격거리 확보 확인 - 접지저항 측정 확인 - 분전함 인입인출 부분의 거칠기 및 고무커플링 확인

4. 결론

분진발생지역에서 가장 중요한 전기설비 보호장치를 수납하는 분전반의 평가는 전기화재를 예방하기 위해 주기적 관심과 노력이 필요한 부분으로 본 연구에서는 전기안전평가와 제안을 통해 안전관리자가 전기설비에 대해 객관적으로 판단하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 송길목, 김영석, 김선구, "저압용 절연재료의 염수분무 및 분진에 따른 특성비교", KIEE2007 summer conference, pp.1359~1360, 2007.07
- (2) 한국전기안전공사, "전기재해통계분석", 제16호, 산업자원부, 2007
- (3) IEC 61241-10, "Classification of areas where combustible dusts are or may be present - electrical apparatus for use in the presence of combustible dust", 2006
- (4) KOSHA E-25-2000, "전기설비 설치시 환경·사용조건 등의 평가에 관한 기술지침", 한국산업안전공단, 2000