

위험물 저장시설의 주유·충전기용 정전기 측정 및 제거장치 구현과 시험검증

김귀영*, 최승규**

*(주)이에스지케이, **건양대학교 재난안전소방학과

e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

Implementation and Test Verification of Static Electricity Measurement and Removal Devices in Hazardous Materials Storage Facilities

Gwi-Young Kim*, Seung-Kyou Choi**

*ESGK Inc. **Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

요약

정전기는 위험물 저장시설에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 가연성가스, 분진을 착화시키고 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생한다. 위험물 저장시설의 위험물 누출 등으로 인해 발생하는 대형 화재·폭발사고는 지속적으로 증가하고 있으며, 주요한 사고 원인이 정전기로 밝혀지고 있다. 위험물 저장시설에서 발생하는 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용, 착화하여 대형 화재·폭발사고로 이어지고 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 예방 대책이 요구된다. 이에, 본 논문에서는 위험물 저장시설에서 정전기로 인해 발생할 수 있는 화재, 폭발사고 예방대응을 위하여 스마트폰 어플리케이션과 연동으로 정전기를 시각적으로 확인하여 측정하고 제거할 수 있는 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치를 제안한다. 또한, 제안한 정전기 측정 및 제거장치를 구현하여 시험한 결과 측정값이 오차범위 이내로 어플리케이션에서도 시각화되고 정전기 제거성능이 검증되어 위험물 저장시설의 화재, 폭발사고 예방대응에 유용함을 확인하였다.

1. 서론

정전기는 두 종류 이상의 물질이 접촉한 후 떨어질 때 발생하는 마찰전기의 일종으로 전압이 1,000~10,000[V] 정도이며 방전 시 스파크가 발생한다. 정전기 전압에 의한 스파크는 가연성 가스나 인화성 액체 및 분진 등의 가연물을 착화시켜 화재·폭발을 일으킬 수 있다. 이러한 정전기는 산업현장의 위험물 저장시설에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 가연성가스를 착화시켜 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생한다. 산업현장의 위험물 저장시설에서 발생하는 대형 화재·폭발사고는 2010년에서 2020년 사이 31건에서 150건으로 무려 5배가 증가하였고 일본에서 분석한 45년간의 주요 폭발 원인 중 정전기가 최소 17.1%이고, 원인이 밝혀지지 않은 폭발 사고 또한 정전기일 것으로 조사·발표하면서 정전기를 주요한 화재원인으로 지목하였다[1].

국내에서도 산업현장에 산재하여 존재하는 위험물 저장시설에서 발생하는 화재·폭발사고의 주요 원인으로 착화원이 정전기에 의한 사고로 밝혀지고 있다. 또한, 위험물 저장시설의 정전기로 인한 화재·폭발사고는 석유화학산업 등의 대형공장에서도 증가하고 있으며, 주유소나 충전소 등 일반인들이 매일 이용하는 장소에서도 발생한다면 그 피해가 심각할 것

으로 우려된다.

위험물 저장시설의 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용할 수 있으며, 착화하면 대형 화재·폭발사고로 이어져 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 대응이 필요하다.

이에 본 논문에서는 정전기 재해분야에 대한 인식이 낮은 현실에서 위험물 저장시설에서 정전기로 인해 발생할 수 있는 화재, 폭발사고 예방대응을 위하여 스마트폰 어플리케이션과 연동으로 정전기를 시각적으로 확인하여 측정하고 제거할 수 있는 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치를 제안한다. 또한, 제안한 정전기 측정 및 제거장치를 구현하여 시험하고 검증하여 위험물 저장시설의 화재, 폭발사고 예방대응에 유용함을 확인한다.

2. 위험물 저장시설의 정전기 화재·폭발사고 현황 및 특성

2.1 위험물 저장시설의 정전기 화재·폭발사고 현황분석

정전기로 인한 폭발 및 화재 사고는 인화성 물질, 산소, 점화원이 결합되어 발생하는 것으로 석유화학 산업현장 등의 위

협물 저장시설에서 해마다 증가하여 인명과 재산피해를 발생시키고 있다. 정전기로 인한 산업재해는 국내에서 표 1과 같이 재산피해뿐만 아니라, 재해자 수에서도 2013년부터 2020년 9월까지 4,474명(0.617%)으로 심각해지고 있다[2].

[표 1] 정전기 화재·폭발로 인한 폭발위험지역의 재해자 통계

년 도	2013	2014	2015	2016	2017
총 재해자 수(명)	84,197	90,909	90,192	90,656	89,848
화재·폭발 재해자	744	648	589	566	439
비 율(%)	0.884	0.713	0.654	0.62	0.489
년 도	2018	2019	2020.09	-	총 계
총 재해자 수(명)	102,305	109,242	68,192	-	725,478
화재·폭발 재해자	569	490	429	-	4474
비 율(%)	0.556	0.449	0.629	-	0.617

또한, 위험물 저장시설의 각종 설비에서 발생하는 정전기 화재·폭발사고는 표 2와 같이 수많은 인명과 재산피해를 유발하기 때문에, 이를 예방할 수 있는 수단을 강구해야 한다[3].

[표 2] 국내 석유화학공장의 화재·폭발 사고

일 자	사고 개요 및 원인
2019.02.14	H사 대전공장, 추진체 연료 용기 분리 중 폭발, 정전기 원인 추정, 3명 사망
2019.02.13	시흥 우레탄 제조공장 화재, 정전기 원인, 7700만원 재산피해
2018.11.12	원주화학공장, 액체 원료 가공 중 발생한 스파크, 1명 부상, 800여만원 재산피해
2018.08.15	K사 서산공장 반응기 내 물질 연소하면서 재산피해
2018.08.08	P시 열병합발전소 석탄 분진 폭발사고, 정전기 원인 추정, 5명 사상
2018.05.29	H사 대전공장, 로켓 연료 주입 중 원인미상 폭발사고, 9명 사상
2018.05.17	대전 K연료 지지 격자제조설 분진 폭발 사고, 스파크 원인 추정, 6명 부상
2017.09.25	광주 포장완충재공장, 정전기 원인, 26명 부상
2017.08.20	진해 S조선 폭발 사고 탱크 도장작업, 원인 불명, 4명 사망
2017.07.11	여수 L사 화학공장, 원인미상 발화, 재산피해
2017.05.30	여수 H사 에틸렌 회수 공정 내 고압분리기, 정전기 추정
2016.10.14	울산 K공사 신설 배관 연결 과정, 정전기 원인 추정, 6명 사상

이와 같이 매해 수 백명이 위험물 저장시설에서의 화재·폭발로 인한 산업재해를 당하고 있는 현실에서 정전기 재해

예방을 위한 체계적인 관리와 대응이 요구된다.

2.2 폭발위험지역의 정전기 화재·폭발 특성분석

정전기로 인한 화재나 폭발은 인화성 액체나 가스 또는 가연성 분진 등과 같이 인화성 및 폭발성이 매우 강한 물질을 사용하는 석유화학공장, 차량용 연료 충전소등의 위험물 저장시설에서 주로 발생하기 때문에 사고의 확산이나 피해가 매우 크다[4-6].

국내 위험물 저장시설의 화재·폭발 사고원인을 분석하면, 건조한 환경에서 정전기가 잘 발생하기 때문에 주로 여름철을 제외한 계절에 폭발 사고가 많이 발생하는 것이 특징이다. 정전기로 인한 폭발 사고는 원인 규명이 어렵기 때문에, 폭발 발생 원인을 밝히지 못하는 경우가 많아 정전기가 원인으로 추정하고 있다[7-8].

현재 정전기를 포함한 자연발화 등의 예방이 어려운 화재·폭발 요소에 대해서는 특별한 예방 수단이 없는 것이 현실이다. 또한, 정전기에 의한 화재·폭발사고는 동일 장소에서 재차 발생되고 원인 파악이 어려워 자연재해로 인식하고 있을 정도이다.

정전기로 인한 화재·폭발은 사고가 매년 반복되는 이유는 정전기를 제거하기 위한 대책으로 접지나 본딩, 제전 복장 착용, 질소 퍼지 등에만 의존하였기 때문이다[9]. 이는 정전기가 눈에 보이지 않고, 사람들이 실생활에서 느끼는 정전기가 위험물 저장시설에서 어떠한 사고를 일으킬 수 있는지에 대한 인식이 명확하지 않기 때문에 정전기를 수치화하여 스스로 인식할 수 있도록 그래프로 시각화해 보여주고 제거하는 방법을 강구해야 한다.

3. 주유·충전기용 몰드형 정전기 측정 및 제거장치 구현

가연성 분진, 가스 등에 의해 폭발 위험성이 상시 내재되어 있는 산업현장의 폭발위험지역에서 점화원인 정전기에 의한 화재·폭발 사고를 예방하기 위해서는 정전기를 수치화하고 시각화하여 계측할 수 있는 측정장치가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 기존 측정기의 기능과 성능을 개선하고 스마트폰 어플리케이션과 연동으로 정전기를 시각적으로 확인하여 측정하고 제거할 수 있는 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치를 제안을 제시한다.

정전기 측정 및 제거장치의 Hardware는 그림 1과 같이 정전기 감지센서(Electrostatic Sensor), Analog 정전기 측정 데이터를 Digital 신호로 변환하여 MCU 전달하는 A/D Converter, Digital로 변환된 정전기 측정 데이터를 분석하고

7-Segment와 Bluetooth 통신으로 정전기 측정 데이터를 전달하는 Micro Controller Unit(MCU), MCU에서 측정된 정전기 측정 데이터 실시간 표시하는 7-Segment Display, 정전기 측정기와 Mobile Application 간의 데이터 송수신 통신 수단인 Bluetooth와 전력 공급원으로 리튬이온배터리 3.7[V] / 320[mAh] Battery, 정전기 측정 실시간 데이터와 트렌드 확인 및 관리, 정전기 위험경고 알람 등의 가능 사용을 제공하는 Mobile Application으로 구성한다.

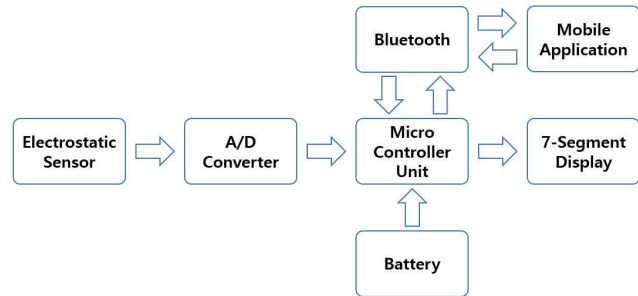


크기 및 무게 : 153(W) X 95(L) X 18(T), 1kg
 정전기 표시 : 측정 Range [-20kV~+20kV]
 정전기 알람 : 경보 및 어플리케이션 전송
 정전기 제거 : 센서 PUSH 방전

[그림 3] 주유·충전기용 몰드형 정전기 측정 및 제거장치 외형도

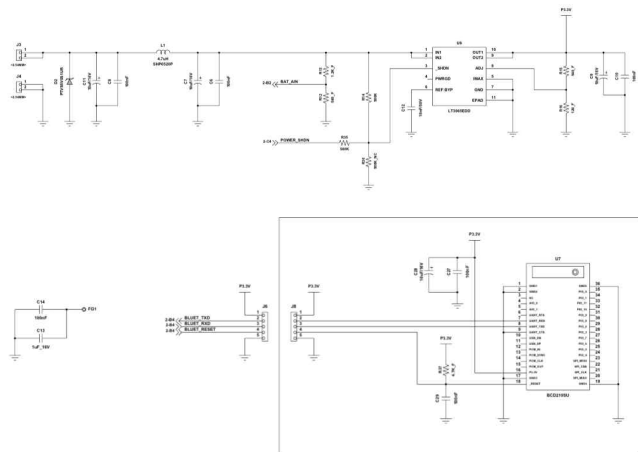
또한, 위험물 저장시설의 정전기 화재 예방대응을 위한 스마트폰 어플리케이션은 정전기 측정 데이터와 함께 실시간 트렌드를 함께 나타내도록 하고 위험 수치의 정전기 발생 측정 시에 스마트폰에 경보 및 푸시 알림 메시지를 발송한다.

한편, 주유·충전기의 측정 데이터 및 트렌드는 스마트폰 어플리케이션 내에 축적되어 수시로 확인되며, 정전기 측정 로우 데이터는 클라우드, 메일 등 엑셀파일로 업로드 가능하고, PC에서 가공하여 사용할 수 있다.



[그림 1] 주유·충전기용 몰드형 정전기 측정 및 제거장치 블록도

정전기 측정장치의 기능 작동을 위한 최적 회로설계는 그림 2와 같이 Voltage Regulator, Bluetooth Module Circuit, Micro Controller Unit Circuit, Analog-to-Digital Converter Circuit, 7-Segment Display, Touch Menu Button Circuit 회로부분으로 회로를 구성하여 측정장치에 적용한다.



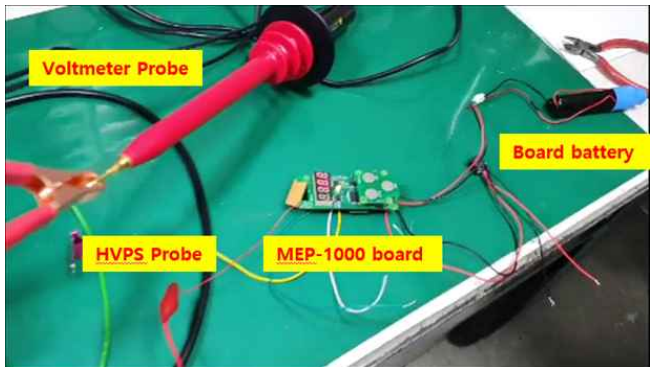
[그림 2] 주유·충전기용 몰드형 정전기 측정 및 제거장치 회로도

위험물 저장시설의 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치 디자인은 기존 측정장치에 비해 소형화하고, 사용자의 편의성을 고려해 손잡이 타입으로 외형을 그림 3과 같이 구현하였다. 또한, 몰드 방폭에 대한 국내 표준 KS C IEC 60079-18을 적용한 인증과 방진, 방수 기능을 추가하여 위험물 저장시설의 주유·충전기용으로 부착할 수 있도록 정전기 측정 및 제거장치를 제작한다.

4. 주유·충전기용 몰드형 정전기 측정 및 제거장치 시험 검증

본 논문에서 구현한 위험물 저장시설의 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치가 폭발위험 지역의 화재예방대응에 적합한 기능을 발휘하고 성능이 유지되는지 확인하기 위하여 시험 검증을 실시한다.

시험의 목적은 High Voltage Power Supply(HVPS), Digital Multimeter, PCB 전원 인가 Battery 등의 시험장비를 이용하여 몰드방폭형 휴대용 정전기 측정장치 PCB가 측정한 정전기 값의 정확성과 동일한 값의 High Voltage를 반복 인가하였을 때도 측정값이 정밀한지 확인하는 것이다.



[그림 4] 몰드방폭형 휴대용 정전기 측정장치 시험

시험방법은 그림 4와 같이 몰드형 정전기 측정장치 PCB에

Battery 연결, 측정장치 PCB와 HVPS 연결, Digital Multimeter의 Probe를 HVPS Probe와 연결한 후 고전압 인가해 측정장치 PCB 7-Segment에 표시되는 정전기 수치를 확인한다.

상기 시험방법에 따라 High Voltage를 반복 인가하여 정전기 측정장치의 측정치, 정확도, 정밀도를 시험한 결과는 표 3과 같다. 시험결과를 분석하면, 몰드방폭형 휴대용 정전기 측정장치 PCB 기능 시험은 정확도는 오차 120[V], 2.5% 이내, 각 인가 전압에서 다수 측정 시 얼마나 동일하게 측정되는지를 나타내는 지표인 정밀도는 0.5% 이내로 측정되어 오차범위 이내임이 확인되었다. 또한, 추가로 시험한 정전기 측정장치 보드와 스마트폰 어플리케이션 블루투스 연동 시에 보드에서 표시되는 측정값이 어플리케이션에 표현되고 보드의 정전기 수치와 일치함을 확인하였다. 한편, 몰드 방폭에 대한 국내 표준 KS C IEC 60079-18을 적용한 인증과 방진, 방수시험을 실시하여 적정함을 확인하였다.

[표 3] 몰드방폭형 휴대용 정전기 측정장치의 시험결과

인가전압[kV]		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
측정횟수 측정치[kV]	1	0.50	0.99	1.50	2.01	2.52
	2	0.50	1.00	1.51	2.01	2.52
평균		0.50	1.00	1.51	2.01	2.52
표준편차		0.000	0.005	0.005	0.000	0.000
정확도(%)		0.000	0.503	-0.332	-0.498	-0.794
정밀도(%)		0.000	0.503	0.332	0.000	0.000
인가전압[kV]		3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
측정횟수 측정치[kV]	1	3.04	3.54	4.10	4.61	5.10
	2	3.04	3.55	4.10	4.62	5.10
평균		3.04	3.55	4.10	4.62	5.10
표준편차		0.000	0.005	0.000	0.005	0.000
정확도(%)		-1.316	-1.269	-2.439	-2.492	-1.961
정밀도(%)		0.000	0.141	0.000	0.108	0.000

4. 결 론

정전기는 산업현장의 화학공정설비 등과 같은 위험물 저장 시설에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 가연성가스를 착화시켜 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생한다. 산업현장의 위험물 저장시설에서 발생하는 대형 화재·폭발사고는 지속적으로 증가하고 있으며, 주요한 사고 원인이 정전기로 밝혀졌다. 위험물 저장시설의 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용할 수 있으며, 착화하면 대형 화재·폭발사고로 이어져 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 화재예방을 위한 대응이 필요하다. 이에, 이에, 본 논문에서는 위험물 저장시설에서 정전기로

인해 발생할 수 있는 화재, 폭발사고 예방대응을 위하여 스마트폰 어플리케이션과 연동으로 정전기를 시각적으로 확인하여 측정하고 제거할 수 있는 주유·충전기용 몰드 방폭·방진·방수형 정전기 측정 및 제거장치를 제안하고, 정전기 측정 및 제거장치를 구현하여 시험한 결과 측정값이 오차범위 이내로 어플리케이션에서도 시각화되고 정전기 제거성능이 검증되어 위험물 저장시설의 화재, 폭발사고 예방대응에 유용함을 확인하였다. 향후, 구현한 측정 및 제거장치가 주유·충전기에 적용되어 위험물 저장시설의 정전기 화재, 폭발사고 인한 대형 인명 및 재산피해 예방에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 (사)한국산업기술진흥협회의 지원을 받아 수행한 “기술애로해결 지원사업” 연구(No. KOITA-2022-2-021)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 한국산업안전보건공단, 산업재해 통계, 2021
- [2] 한국산업안전보건공단, 산업재해 원인분석 보고서, 2021
- [3] 김윤희, “Case investigation and forensics techniques of static electricity fire”, 한국화재조사학회 학술대회 논문지, pp.45-57, 2016
- [4] 이기훈, 김용필, 조용선, 남성우, “폴리에틸렌(PE) 폼 제조 공정상 정전기에 의한 화재위험성 연구”, 한국화재감식학회 학회지, 8:3, 53-70, 2017
- [5] 최광석, 최상원 . “정전기 방전에 의한 화재폭발 방지”, 조명전기설비 학회지, 3-7(5 pages), 2015.3
- [6] 임채운, 김채수, “산업유해 위험물질 취급 제조현장 관리자의 공정안전관리(PSM)가 잠재 위험도에 미치는 영향에 관한 연구“, 한국산학기술학회 논문지, PP.108-114, 2018
- [7] 최민제, 이규식, 최형수, 김태훈, 안석, “화학플랜트 관리 감독자의 안전리더십과 사고예방의 관계에서 안전문화의 매개효과 분석“, 한국산학기술학회 논문지, pp. 576-580 (5page), 2022
- [8] 임종진, 박용진, “누출사고 방지를 위한 위험물 탱크의 기초 안정성 분석“ 한국위험물학회, 학회지, pp44-48, 2013
- [9] 권정락, 류근준, 이태희, 김지윤, “원통형 저장탱크의 음향 방출시험“, 한국가스안전공사 가스안전 기술연구 센터, pp.10, March, 2000