

# 주유충전소 화재폭발 방지를 위한 정전기측정 제거장치의 구현에 관한 연구

선수한, 조태현, 성승현, 최형락, 전구하, 이광성, 최승규  
건양대학교 재난안전소방학과  
e-mail : skchoi@konyang.ac.kr

## A Study on the Implementation of Electrostatic Measurement and Removal Device for Fire Explosion Prevention at Gas Station

Soo-Han Seon, Tae-Hyun Jo, Seung-Hyeon Seong, Hyeong-Lak Choi,  
Koo-Ha Jeone, Kwang-Seong Lee, Seung-Kyou Choi  
Department of Disaster Safety & Fire fighting, Konyang University

### 요약

정전기는 주유충전소 등의 화재폭발 위험이 있는 산업현장에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 가연성가스, 분진을 착화시키고 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생한다. 화재폭발의 위험이 있는 산업현장에서 발생하는 대형 화재·폭발사고는 지속적으로 증가하고 있으며, 주요한 사고 원인이 정전기로 밝혀지고 있다. 주유충전소의 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용, 착화하여 대형 화재·폭발사고로 이어지고 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 화재 예방대책이 필요하다. 이에, 본 논문에서는 주유충전소 등에서 정전기로 인해 발생할 수 있는 화재·폭발사고의 예방대응을 위하여 정전기를 시각적으로 실시간 확인할 수 있는 측정기능과 접지선을 연결하여 제거할 수 있는 정전기측정 및 제거장치를 제시한다. 또한, 기존 주유충전소의 정전기 제거장치의 성능과 기능을 개선하여 주유기 및 가스충전기에 부착하여 사용할 수 있도록 경량화된 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치를 구현하고 시험한 결과 접지에 의해 정전기가 적절하게 제거되고 정전기 측정값이 오차범위 이내에서 실시간 시각화되어 주유충전소의 화재폭발 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 가연성가스나 인화성 액체 및 분진 등의 가연물을 착화시켜 화재·폭발을 일으킬 수 있다. 이러한 정전기는 산업현장의 주유충전소 등과 같은 폭발위험 장소에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 주변의 가연성가스를 착화시켜 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생할 수 있다. 전 세계 산업현장의 폭발위험 장소에서 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 화재, 폭발사고 또한 정전기일 것으로 조사·발표하면서 정전기를 주요한 화재 원인으로 지목하였다[1].

국내에서도 석유화학 등의 산업현장에 산재하여 존재하는 폭발위험 장소에서 발생하는 화재·폭발사고의 주요 원인으로 착화원이 정전기에 의한 사고로 밝혀지고 있으며, 폭발위

험 장소의 정전기로 인한 화재·폭발사고는 석유화학산업 등의 대형공장에서 증가하고 있다. 또한, 일반인들이 매일 이용하는 주유소나 가스충전소 주변에는 차량과 인체에 의한 정전기 발생빈도가 높아 화재·폭발사고의 위험성이 항상 존재하고 있다.

도심지에 많이 분포하는 주유소나 가스충전소와 같은 폭발위험 장소의 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용할 수 있으며, 착화하면 대형 화재·폭발사고로 이어져 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 예방대책이 요구된다.

이에 본 논문에서는 정전기 재해분야에 대한 인식이 낮은 현실에서 주유소 및 가스충전소 등의 폭발위험 장소에 설치되는 주유, 충전기 접촉으로 인한 정전기 화재·폭발사고 예방대응을 위하여 기존 주유 충전기의 정전기 제거성능과 기능을 개선하여 정전기를 시각적으로 실시간 확인할 수 있는 측정기능과 접지선을 연결하여 제거하는 정전기측정 및 제거장치를 제시한다. 또한, 주유 충전기에 부착할 수 있도록 경량화된 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치를 구현하여 정전기측정 및 제거, 방폭, 방수·방진 성능시험으로 폭발위험 장소의 화재·폭발 예방대응에 유용함을 확인한다.

## 2. 폭발위험 장소의 정전기 화재·폭발 특성

### 2.1 폭발위험 장소의 정전기 화재·폭발 현황분석

정전기로 인한 폭발 및 화재 사고는 인화성 물질이 있는 장소에 접화원이 되어 발생하는 것으로 석유화학 산업현장 등의 폭발위험 장소에서 해마다 증가하여 인명과 재산피해를 발생시키고 있다. 정전기로 인한 산업재해는 국내에서 표 1과 같이 재산피해 뿐만 아니라, 재해자 수에서도 2013년부터 2020년 9월까지 4,474명(0.617%)으로 심각해지고 있다[2]. 이와 같이 매해 수 백명이 폭발위험 장소에서 화재·폭발로 인한 산업재해를 당하고 있는 현실에서 산업현장의 정전기 재해 예방을 위한 체계적인 관리와 대응이 요구되고 있다.

[표 1] 정전기 화재·폭발로 인한 폭발위험장소의 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

### 2.2 폭발위험 장소의 정전기 화재·폭발 특성분석

폭발위험 장소의 각종 설비에서 발생하는 정전기 화재·폭발사고는 수많은 인명과 재산피해를 유발하기 때문에, 이를 예방할 수 있는 수단을 강구해야 한다. 하지만 현재 정전기를 포함한 자연발화 등의 예방이 어려운 화재·폭발 요소에 대해서는 특별한 예방 수단이 없는 부족한 것이 현실이다. 한편, 정전기에 의한 화재·폭발사고는 동일 장소에서 재차 발생되고 원인 파악이 어려워 자연재해로 인식하고 있을 정도이다.

정전기로 인한 화재나 폭발은 인화성 액체나 가스 또는 가연성 분진 등과 같이 인화성 및 폭발성이 매우 강한 물질을 사용하는 석유화학공장, 차량용 연료 주유소 및 충전소, 화학공장 등에서 주로 발생하기 때문에 표 2와 같이 재산 및 인명피해가 매우 크다[3-5].

국내 석유화학공장 등의 화재·폭발사고 원인을 분석하면, 건조한 환경에서 정전기가 잘 발생하기 때문에 주로 여름철을 제외한 계절에 많이 발생하는 것이 특징이다. 정전기로 인한 화재·폭발사고는 원인 규명이 어렵기 때문에, 화재·폭발 발생원인을 밝히지 못하는 경우가 많아 정전기가 원인으로 추정하고 있다.

[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, 7,700만원 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 포장완충제공장, 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

정전기로 인한 화재·폭발사고가 매년 반복되는 이유는 정전기를 제거하기 위한 대책으로 접지나 분당, 제전 복장 착용, 질소 퍼지 등에만 의존하였기 때문이다. 이는 정전기가 눈에 보이지 않고, 사람들이 실생활에서 느끼는 정전기가 폭발위험 장소에서 어떠한 사고를 일으킬 수 있는지에 대한 인식이 명확하지 않기 때문에 정전기를 수치화하고 스스로 인식할 수 있도록 시각화하여 보여주고 제거하는 방안을 접화원이 될 수 있는 폭발위험 장소의 설비에 적용해야 한다.

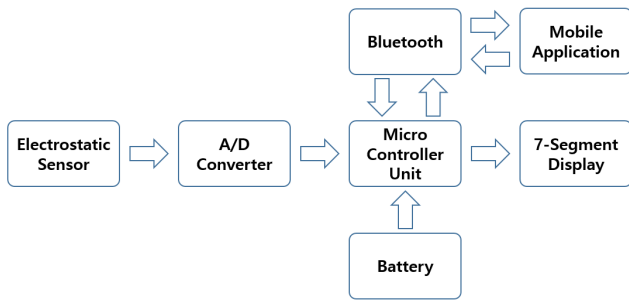
## 3. 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치의 구현 및 시험

### 3.1 정전기측정 제거장치의 구현

가연성 분진, 가스 등에 의해 폭발 위험성이 상시 내재되어 있는 산업현장의 폭발위험 장소에서 접화원인 정전기에 의한 화재·폭발사고를 예방하기 위해서는 정전기를 제거할 수 있는 기능과 함께 정전기를 수치화하고 시각화하여 표시할 수 있는 측정장치가 반드시 필요하다. 이에 본 논문에서는 정전기 수치를 실시간 표시하고 접지를 이용해 제거할 수 있으며, 주유충전소의 주유 충전기 등에 장착할 수 있고, 전기를 사용하는 정전기 측정장치가 접화원이 되지 않도록 한 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치를 제시한다.

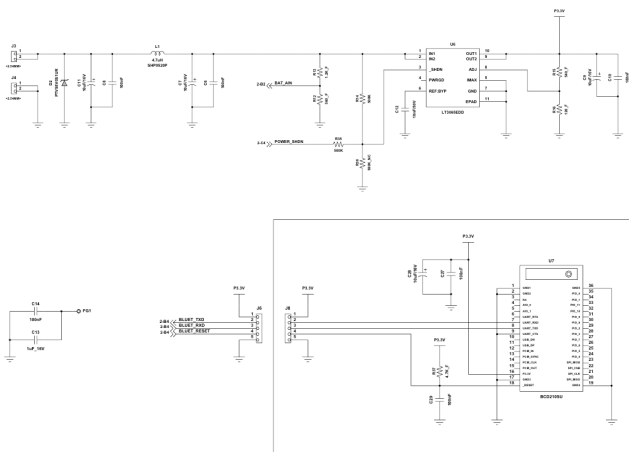
몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치의 Hardware는 그림 1과 같이 정전기 감지센서(Electrostatic Sensor),

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 위험 경고 알람 등의 가능 사용을 제공하는 Mobile Application으로 구성된다.



[그림 1] 몰드방폭형 방수·방진 정전기 제거 측정장치 블록도

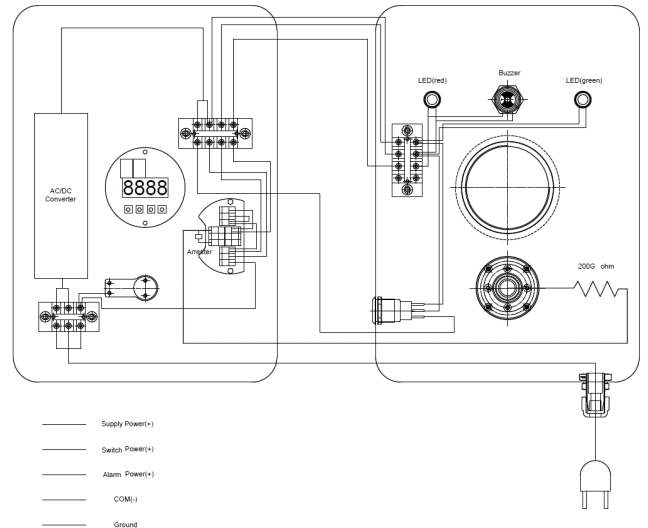
정전기 측정장치의 기능 작동을 위한 최적 회로설계는 그림 2와 같이 Voltage Regulator, Bluetooth Module Circuit, Micro Controller Unit Circuit, Analog-to-Digital Converter Circuit, 7-Segment Display, Touch Menu Button Circuit 회로부분으로 회로를 구성하여 측정장치에 적용한다.



[그림 2] 몰드방폭형 방수·방진 정전기 제거 측정장치 회로도

몰드방폭형 방수·방진 정전기 측정 제거장치 디자인은 기존 측정장치를 소형·경량화하고, 제거장치는 사용자의 편의성을 고려해 푸시형 터치타입으로 외형을 그림 3과 같이 제시한다. 또한, 추후 몰드방폭에 대한 국내 표준 KS C IEC 60079-18 등 관련 기준에 따라 방폭, 방수·방진, 전압 정확

도를 공인기관으로부터 인증받아 안전성과 성능을 확인한다.

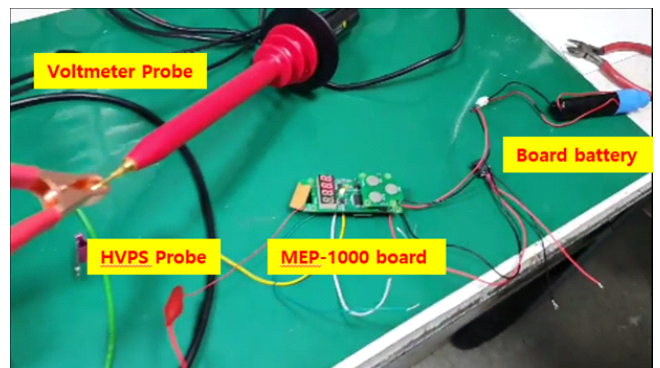


[그림 3] 몰드방폭형 방수·방진 정전기 제거 측정장치 외형도

한편, 폭발위험자 장소의 화재 예방대응을 위한 스마트폰 어플리케이션은 정전기 측정 데이터와 함께 실시간 트렌드를 함께 나타내도록 하고 위험 수치의 정전기 발생 측정 시에 스마트폰에 정보 및 푸시 알람 메시지를 발송한다. 측정 데이터 및 트렌드는 스마트폰 어플리케이션 내에 축적되어 수시로 확인되며, 정전기 측정 로우 데이터는 클라우드, 메일 등 엑셀 파일로 업로드 가능하고, PC에서 가공하여 사용할 수 있다.

### 3.2 정전기 측정 제거장치의 시험 및 결과분석

본 논문에서 구현한 몰드방폭형 방수·방진 정전기 측정 제거장치가 폭발위험장소의 화재 예방대응에 적합한 기능을 발휘하고 성능이 유지되는지 확인하기 위하여 시험을 실시한다. 시험의 목적은 High Voltage Power Supply(HVPS), Digital Multimeter, Printed Circuit Board(PCB) 전원 인가 Battery 등의 시험장비를 이용하여 측정장치 PCB가 측정된 정전기 값의 정확성과 동일한 값의 High Voltage를 반복 인가하였을 때도 측정된 값이 정밀한지 확인하는 것이다.



[그림 4] 몰드방폭형 방수·방진 정전기 제거 측정장치 시험

시험방법은 그림 4와 같이 몰드방폭형 방수·방진 정전기 측정 제거장치 PCB에 Battery 연결, 측정장치 PCB와 HVPS 연결, Digital Multimeter의 Probe를 HVPS Probe와 연결한 후 고전압을 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, PCB 기능 시험의 정확도는 오차 120[V], 2.5% 이내, 각 인가 전압에서 다수 측정 시 얼마나 동일하게 측정되는지를 나타내는 지표인 정밀도는 0.5% 이내로 측정되어 오차범위 이내임을 확인하였다. 또한, 추가로 시험한 정전기 측정장치 보드와 스마트폰 블루투스 연동 시에 보드의 정전기 측정값이 어플리케이션에 표현되고 정전기 측정 실시간 데이터와 트렌드 확인 및 관리, 정전기 위험경고 알림 등의 기능이 정상적으로 작동됨을 확인하였다.

[표 3] 몰드방폭형 휴대용 정전기 측정장치의 시험결과

인가전압[kV]		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
측정횟수	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	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. 결론

정전기는 산업현장의 주유충전소 등과 같은 폭발위험 장소에서 최소발화에너지 이상으로 방전되면 가연성가스를 착화시키고 화재·폭발로 이어져 대형재해가 발생한다. 산업현장의 폭발위험 장소에서 발생하는 대형 화재·폭발사고는 지속적으로 증가하고 있으며, 주요한 사고 원인이 정전기로 밝혀지고 있다. 폭발위험장소의 정전기는 단 한번의 작은 방전에너지로도 점화원으로 작용할 수 있으며, 착화하면 화재·폭발로 이어져 많은 인명과 큰 재산피해를 발생시킬 수 있어 체계적인 관리와 화재예방을 위한 대책이 필요하다.

이에, 본 논문에서는 폭발위험 장소에 설치되는 주유, 충전기 접촉으로 인한 정전기 화재·폭발사고 예방 대응을 위하여 기존 주유충전소의 정전기 제거장치의 성능과 기능을 개

선하여 정전기를 시각적으로 실시간 확인할 수 있는 측정기능과 접지선을 연결하여 제거하는 정전기측정 및 제거장치를 제시하였다. 또한, 주유 충전기에 부착할 수 있도록 경량화한 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치를 구현하고 정전기측정 및 제거, 방폭, 방수·방진 성능시험으로 주유충전소의 정전기 화재·폭발사고 예방에 유용함을 확인하였다.

본 논문의 주요 연구성과와 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 주유충전소 등에서 정전기로 인해 발생할 수 있는 화재·폭발사고의 예방대응을 위하여 정전기를 시각적으로 실시간 확인할 수 있는 측정기능과 접지를 연결하여 제거하는 정전기측정 및 제거장치를 제시하였다.

(2) 기존 주유충전소의 정전기 제거장치의 성능과 기능을 개선하여 주유 충전기에 부착하여 사용할 수 있도록 경량화한 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치를 구현하고 시험한 결과 접지에 의해 정전기가 적절하게 제거되고 정전기 측정값이 오차범위 이내에서 실시간 시각화되어 주유충전소의 화재폭발 예방대응에 유용함을 확인하였다.

(3) 향후, 구현한 몰드방폭형 방수·방진 정전기측정 제거장치가 주유충전소 등의 폭발위험 장소가 있는 산업현장에 보급되어 정전기로 인한 화재·폭발사고로 발생하는 대형 인명 및 재산피해 예방에 기여할 수 있기를 기대한다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 (사)한국산업기술진흥협회의 지원을 받아 수행한 “기술애로해결 지원사업” 연구(KOITA-2022-2-021)로서, 관계부처에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 한국산업안전보건공단, 산업재해 통계, 2020
- [2] 한국산업안전보건공단, 산업재해 원인분석 보고서, 2019
- [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