

# XR기반의 실감형 콘텐츠가 적용된 정전기로 인한 화재·폭발방지 관한 연구

강민관\*, 김귀영\*\*

\*한국폴리텍대학

\*\*ESGK

e-mail:mkkang@kopo.ac.kr

## A Study on Fire and Explosion Prevention due to Electrostatics with Immersive Content Applied

Min-Kwan Kang\*, Gui-Young Kim\*\*

\*Dept. of Operation and Chemical Process, Korea Polytechnics

\*\*ESGK Inc

### 요약

This paper addresses the growing prevalence of large-scale explosion incidents in modern industrial settings, primarily attributed to electrical causes. The frequency of these incidents surged from 31 cases in 2007 to 180 cases in 2014, reflecting a global upward trend in explosion occurrences. Traditional reliance on safety measures such as grounding, bonding, and nitrogen purging, while essential, faces challenges due to a lack of ignition source data, trend management, and recurrent accidents at the same sites. Moreover, the common perception of electrostatic events merely as natural phenomena has hindered adequate safety preparations. This highlights the urgent need for a fresh approach to industrial safety, moving beyond sole reliance on safety equipment. Understanding electrostatic risks and formulating preventive strategies are critical. Equipping industrial managers and supervisors with fundamental knowledge about electrostatic occurrences, discharges, hazards, and preventive measures is essential for fostering a safer industrial environment. However, the predominant perception of electrostatic events as natural occurrences impedes appropriate safety preparedness. These incidents necessitate a new approach and diagnosis for industrial safety. Beyond reliance on safety equipment, a comprehensive understanding and preparation against electrostatic risks are urgently required. To address these challenges, this paper proposes an XR-based immersive content program. This program aims to provide accident analysis, field electrostatic measurement techniques, and fire and explosion prevention education in response to electrostatic incidents.

### 1. 서론

최근 절연체의 널리 사용으로 인한 정전기 현상이 화재 및 폭발 사고의 주요 원인 중 하나로 대두되고 있다. 특히 가연성 물질이 존재하는 환경에서의 정전기는 폭발과 화재를 초래할 수 있어, 작업자의 사망이나 공장의 재산 피해를 초래할 수 있다. 산업 현장의 관리자와 감독자는 이러한 정전기로 인한 재해 방지에 대한 기초 지식을 알고 있어야 한다. 정전기는 일반적인 전기와는 다르게 전하의 분포가 시간에 따라 변하지 않는 현상을 의미한다. 물체 사이의 접촉, 마찰, 충돌, 박리 등으로 전하가 이동하면서 정전기가 발생한다.

이러한 현상은 대전이라고도 불립니다. 정전기 방전은 매질의 절연 파괴 전계세기에 도달했을 때 발생하며, 코로나 방전, 브러시 방전, 벌크 표면 방전, 불꽃 방전, 연면 방전 등의 다양한 형태가 있다. 이러한 정전기 방전 현상으로 분체투

입, 집진, 액체유동, 분출 과정 등에서 화재 및 폭발 사고가 발생할 수 있다.

이는 고분자 재료 등의 절연체가 널리 사용되고 있기 때문이다. 이러한 절연체의 사용으로 정전기가 발생하기 쉬운 상태가 되어, 다양한 재해와 장애가 발생하고 있다. 특히 가연성 물질이 존재하는 위험(방폭)장소에서 정전기는 폭발, 화재의 주된 원인이 된다. 이로 인해 작업자들의 사망 사고나 공장의 막대한 재산 피해가 발생하는 경우도 있다.

또한, 정전기로 인한 대형 폭발 사고는 현대 산업 현장에서 빈번하게 발생하고 있다. 이로 인해 2007년 31건에서 2014년에는 180건으로 증가했습니다. 이러한 폭발 사고가 전 세계적으로 증가하고 있는 추세이다. 정전기 관련하여 지금까지 대부분의 산업 현장은 접지, 본딩, 그리고 질소퍼지와 같은 안전 장치에 의존해왔다. 그러나 점화원 데이터와 추이의 관리 부

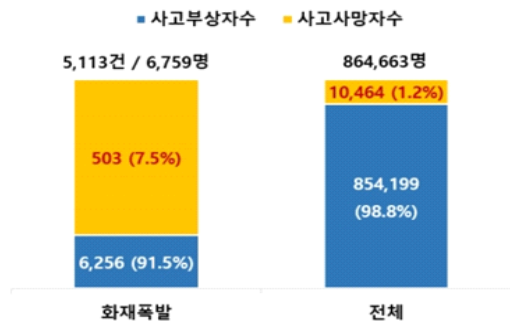
재, 동일한 장소에서의 반복적인 사고로 원인 파악이 어려워지고 있다. 그리고, 정전기를 자연재해로만 인식하여 안전 대비에 제대로 접근하지 못하는 상황이다.

이러한 문제들은 안전장치만으로 해결할 수 없는 산업 안전의 새로운 접근과 진단이 필요함을 시사한다. 정전기로 인한 위험에 대한 이해와 대비책이 필수적이다. 또한, 산업 현장의 관리자와 감독자들은 정전기 발생 현상, 정전기 방전, 정전기로 인한 재해 및 그 방지 대책에 대한 기초적인 지식과 이해를 가져야 한다. 이를 통해 안전한 산업 환경을 조성하고 새로운 대책 모색이 대두되고 있다. 그러나 정전기가 주로 자연재해로 간주되어 안전에 대한 적절한 대비가 이루어지지 않았다. 이러한 사고들은 산업 안전에 새로운 접근과 진단이 필요하다. 안전장치에 의존하는 것 외에도, 정전기와 관련된 위험에 대한 이해와 대비책이 절실히 요구된다. 본 논문에서는 이러한 정전기에 대한 사고분석 및 대책으로 현장에서의 정전기 측정방법과 화재 폭발에 대한 예방교육을 위해 XR기반의 실감형 콘텐츠 프로그램에 대해서 제안하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1. 국내 화재·폭발 사고사례 분석

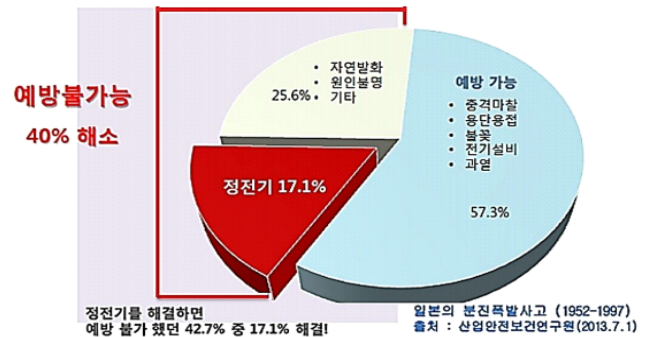
최근 10년간('11년~'20년) 국내에서는 5,113건의 크고 작은 화재·폭발사고가 발생하였다. 이로 인해 발생한 사고재해자수는 6,759명에 달하며, 이는 같은 기간 국내에서 발생한 전체 사고재해자수(864,663명)의 0.8%에 불과하다. 그러나 사고재해자에서 사망자가 차지하는 비율의 경우, 전체 사고가 1.2%(10,464명) 수준에 불과한 반면 화재·폭발사고는 7.5%(503명)인 것으로 나타나 화재·폭발로 인한 사고의 치명도가 다른 유형의 사고에 비해 매우 높음을 알 수 있다. 그러므로 산재로 인한 사고사망자를 줄이기 위해 화재·폭발사고를 미연에 방지하기 위한 안전대책을 수립하고 실행하는 것은 선택이 아니라 필수라 할 수 있다.



[그림 1] 최근 10년간 화재·폭발사고 재해현황

### 2.2. 국내 정전기 사고사례 분석

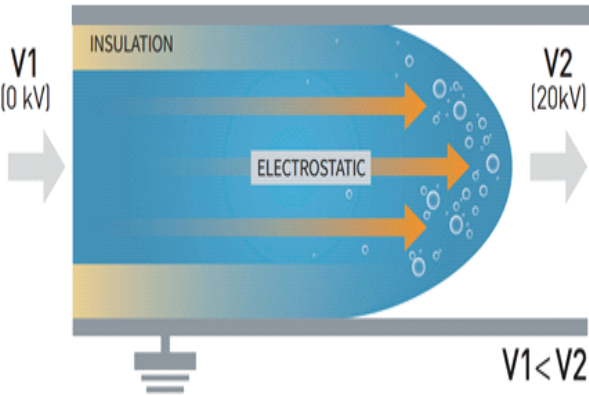
정전기에 의한 재해는 재현성이 낮은 정전기의 대전을 전제로 하고 있어 그 발생은 확률적인 요소가 크다. 그중에서도 화재·폭발은 대전과 함께 방전및인화성 물질의 조건이 맞아야 발생하기 때문에 그 확률은 극히 낮다고 할수있다. 발생 확률이 낮다는 것은 안전 대책을 실시하지 않아도 거의 화재·폭발이 발생하지 않는다고 할 수 있지만, 통계적으로는 정전기에 의한 화재·폭발은최근에 평균적으로 매년 70여 건이나 발생하고 있다. 이 때문에 정전기에의한화재·폭발은 발생 확률이 낮지만, 잠재 위험성이 큰 것으로 고려하여야 한다. 정전기에 의한 재해를 방지하기 위해서는 먼저 그 잠재 위험성을 인식하는것을 출발점으로 한다. 그 효과적인 수단은 과거의 재해 사례를 조사하는것이다. 사례는 살아있는 교훈이며, 이를 분석하여 다른 생산 공정에서 재해발생의 잠재 위험성을 부각시키는 경우도 있다. 유사 재해가 많은 것은 정전기재해의 특징 중 하나이지만 그 방지에 대해서도 사례 분석이 유용하다는 것은 두말할 필요가 없다. 한편, 석유화학산업 시작 100여 년이 지난 지금도 이러한 사고가 매년 계속 반복된 이유는 접지, 본딩, 질소퍼지에만 의존하여 근본적인 대책이 될수가 없다. 산업 현장에서는 정전기로 인한 대형폭발 사고가 빈번하고, 표에서처럼 2007년에는 31건에서 2014년에는 180건으로 무려 6배가 증가했으며, 지구촌 곳곳에서 폭발 사고는 계속 증가추세에 있다. 증가된 원인을 살펴보면 첫 번째가 점화원 Data, Trend 관리 부재로 분석될 수 있다. 두 번째로 동일 장소에서 재차 동일한 사고 계속 발생(원인 파악 불가)이며, 마지막으로 정전기를 대부분 자연재해로 인식하는 경우로 인해 재발방지를 하지 못하는 있는 실정이다. 그림 2은 화재·폭발에 대해 원인을 분석한 것이다. 그림 2에서처럼 예방불가능한 부분을 어떻게 예방하느냐에 따라 화재·폭발로 인한 사고를 미연에 방지할 수있을 것으로 본다.



[그림 2] 화재·폭발사고 분석

또한, 현재 국내 제시하는 대책을 준수해도 정전기 사고는

계속 발생하고 있으나 도체의 대전 방지를 위한 접지, 본딩 등 배관 내 정전기를 완벽한 제하는 것은 거의 불가능 하다. 한편, 그림 3와 같이 석유화학에서의 화학제품은 부도체(不導體)로서 배관 중심의 정전기는 접지로 방전 불가능하다.

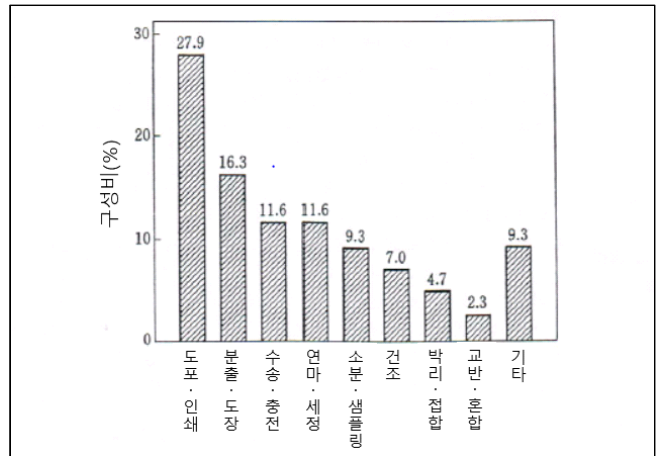


[그림 3] 석유화학설비의 배관내 정전기

예를 들어, 각종 제조업에서 이를 정리하면 [표 1]과 같이 된다. 또한, 각 공정별 발생 건수 비를 비교한 결과가 [그림 4]이다. 각 공정의 총수가 불분명하기 때문에 발생 확률에 차이가 있는지 없는지는 불분명하지만, 단순히 건수로 비교하는 한 유기 용제 등의 인화성 액체가 증가가 되어, 이에 어떠한 원인으로 발생한 정전기 방전에 의해 점화된 예가 현저하다. 또한, 수송·충전 또는 건조라는 공정에서는 부유한 분체에 점화·폭발을 많이 볼 수 있다.

[표 1] 산업 종별로 본 점화 화재·폭발의 발생하기 쉬운 공정

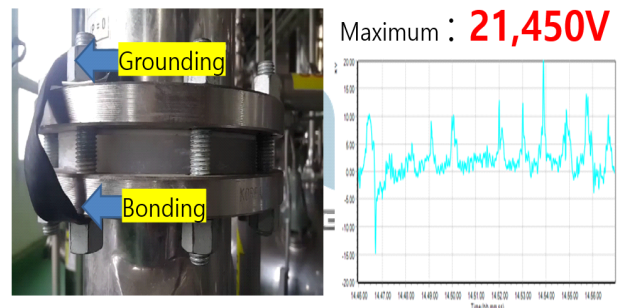
산업종별	점화, 화재·폭발이 일어나기 쉬운공정
펄프·종이·종이 제조업	종이의 용제 처리, 인쇄 공정
출판·인쇄업	감기·풀기·인쇄 공정
화학 공업	고분자 물질, 용제·분립체 원재료의 취급
석유·석탄 제품 제조업	탱크로리, 탱크차에 실기, 액체 분출, 시료 채취, 검척 공정
금속 제품 제조업	금속분의 집진, 도장 공정
일반 기계 기구 제조업	플라스틱 연삭 시 먼지 집진 공정
전기 기계 기구 제조업	용제를 사용해서 세정, 용제의 옮겨 담기 공정
수송용 기계 기구 제조업	휘발유, 경유 플라스틱 배관 수송 공정
그 외의 제조업	용제 도포, 필름 감기·풀기



[그림 4] 석유화학설비의 배관내 정전기 측정결과

### 2.3. 정전기 방지 대책

현재 Sprinkler는 인화성 폭발가스 유출 시 Moisture 65% 이상 분무하는 설비이나 화재 진화 설비로 인식되고 있으며, Process 내부(Bag Filter, Deduster, Silo, Packer 등)에는 제 전 효과를 전혀 발휘하지 못한다. 그림 5에서와 같이 배관내의 정전기를 측정된 결과 약 20Kv가 측정이 되었다. 이는 배관에 접지 및 본딩을 하더라도 내부의 정전기는 제거하지 못한다.



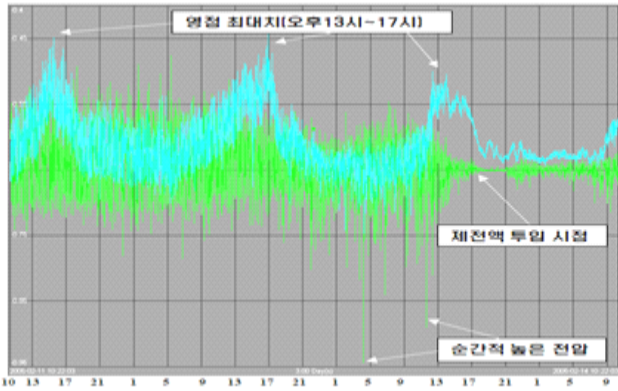
[그림 5] 석유화학설비의 배관내 정전기 측정결과

본논문에서는 이러한 정전기를 방지하기 위해서 그림 6과 같이 새로운 개념의 방법을 제시하였다.



[그림 6] 정전기 제거 방법

Process Equipment에 접지 및 본딩이되어 있음에도 불구하고 내부 물질자체의 비전도성으로 인하여 정전기가 축적이 되는 바 내부 비전도성 물질에 전도성을부여하여 정전기를 제거하는 원리이다. 또한, 전도성을부여하기 위해 이온결합(Ion Bonding)으로 되어있는 물(Water)의 특성을 이용 물속(PH 6.3~9.2)에 함유되어 있는 다음과 같은 전도성물질분자들의 이온분극화현상(phenomenon as function Ionization Polarization)을 이용하였다. 그리고 일정 온도 압력으로 유지된 Vessel내에, 유량이 조절되는 밸브를 통해 특정한 (또는 공정 내 사용되는) 캐리어 가스 (Carrier Gas)를 유입시켜 물(Water)을 Bubbling/Spraying 시키면, 이 가스 분자 결정체 주위로 물속에 포함된 특정성분들이 흡착(이온 및 공유 결합 등)되어 극미량수준으로 토출된다. 이렇게 만들어진 혼합가스가 Vessel 상부의 밸브 제어를 통하여 공정 내 정전기가 높은 곳으로 투입되어, 그림 7과 같이 내부 물질의 표면 비저항을줄여 정전기 생성을 감소시키는 동시에 생성된 정전기를 산화시키는 기능이 탁월함을 알 수 있었다.



[그림 7] 정전기 제거 효과 검증

그러나 이러한 현장에서의 화재·폭발에 대한 전기적문제, 인적오류, 설비노후화로 인한 사고를 막기 위해서는 사전의 예방교육이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 정전기제거에 대한 효과적인 방법을 제시하였으며, 석유화학공정기술교육원에 설치되어 있는 석유화학공정기술교육원에 이미 구축되어있는 파일럿 플랜트를 활용하여 공정 운전 중에 발생할 수 있는 산업재해(누출·폭발·화재)에 대비한 XR(eXtended Reality) 기반의 체험형 콘텐츠를 활용하면 발생하지 않아도 되는 현장에서의 화재·폭발을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 정전기로 화재·폭발사고의 사례분석을 통하

정전기제거에 대한 효과적인 방법을 제시하였으며, 석유화학공정기술교육원에 설치되어 있는 석유화학공정기술교육원에 이미 구축되어있는 파일럿 플랜트를 활용하여 공정 운전 중에 발생할 수 있는 산업재해(누출·폭발·화재)에 대비한 XR(eXtended Reality) 기반의 체험형 콘텐츠를 활용하면 발생하지 않아도 되는 현장에서의 화재·폭발을 최소화 할 수 있도록 교육방법에 대해 제시하였다.

따라서, 본 연구는 정전기에 대한 새로운 접근 방식을 제시하였으며, 이를 기반으로 한 더욱 체계적이고 효율적인 교육 방안을 제시할 수 있다. 또한, 본 연구에서는 정전기에 대한 사고분석 및 저감에 대해서만 제시하였지만, 향후에는 정전기 측정방법 및 저감방법에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] 강민관, 나완석, 한경림, 윤성중, “방폭설비 폭발방지 억제 대책을 위한 전문인력 양성 방안에 관한 연구”, 대한전기학회 2023.07 2,059 - 2,060
- [2] 강민관, 윤성중, “가연성물질에 의한 폭발장비 억제대책에 대한 기술적 관리 방안 연구”, 한국산학기술학회, 2023
- [3] KOSHA GUIDE E - 182 - 2021, “정전기에 의한 화재·폭발 재해조사에 대한 기술지침”
- [4] 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2021, “라스틱 분진의 정전기 착화 위험성평가”
- [5] 한우섭, 서동현, 최이락 “플라스틱 분진의 정전기 착화 위험성 평가”, 2022년도 한국가스학회 가을 학술대회, 98 - 98 (1page)
- [6] 노영진, 김선화, 김의수, “정전기에 의한 수소가스 화재에 관한 사례 연구”, 한국가스학회 학술대회논문집 2021.5, 164-164(1pages)
- [7] KGS Code GC 101 “Standards for Repair, Maintenance, Regeneration, Modification, and Change of Explosion-Proof Electrical Equipment”
- [8] KOSHA Guide E-177-2019 “Technical Guidelines for Repair, Maintenance, and Regeneration of Electrical Equipment Used in Hazardous Locations”