

재해분석을 통한 정전기 안전관리 수준 향상 방안 연구

최상원* · 정성춘** · 박재석** · 양정열*** · 변정환***†

A Study on the Improvement Plan of Electrostatic Safety Management Level through Injury Analysis

Sang-won Choi* · Seong-Choon Jeong** · Jae Suk Park** · Yang Jeong Yeol*** · Junghwan Byeon***†

†Corresponding Author

Junghwan Byeon
Tel : +82-52-703-0843
E-mail : bjh6918@kosha.or.kr

Received : July 25, 2019
Revised : September 4, 2019
Accepted : September 17, 2019

Abstract : The characteristic of fire and explosion related to electrostatic discharge is that it is difficult to reproduce the electrostatic charge and discharge phenomenon in addition to the large human and material damage. Therefore, in order to prevent accidents and disasters related to electrostatic in fire and explosion hazard areas, it is important to manage the level of electrostatic in a safe manner from the perspective of system between industrial facilities and human bodies. Rule 325 of the Occupational Safety and Health Regulations, "Prevention of Fire / Explosion due to Electrostatic", requires the use of grounding, conductive materials, humidification and electrification in order to prevent the risk of disaster caused by static explosion and electrostatic in the production process. In order to comply with these measures, related technologies, standards and systems are needed from the viewpoint of preventive measures related to electrostatic in fire and explosion hazard areas, but in Korea, it is still insufficient. Therefore, technical, institutional and managerial measures are needed as a precautionary measure to improve the level of ESD safety in fire and explosion hazard areas and prevent electrostatic related injury. In Korea, we analyzed the current status and characteristics of electrostatic related disaster by using the statistics of industrial accident and fire statistics of the Ministry of Employment and Labor. We also analyzed the current status and characteristics of electrostatic related disasters in Japan using JNIOOSH accidents and disasters investigation cases and JNIOOSH fire accident data of Japan Fire Bureau. The purpose of this study is to compare and analyze the current status of electrostatic related accidents and disasters in Korea and Japan in order to improve the safety management of electrostatic in fire and explosion hazard areas. In order to prevent accidents and disasters in the industrial field, The technical, institutional, and managerial measures to manage the level of electrostatic in a safe state were derived from the system point of view.

Key Words : injury statistic analysis, electrostatic, safety management

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

잇단 화재·폭발(2018.05.17., 2019.02.14)로 8명이 사망한 OO 대전 사업장(화약 주입공정)에 대한 고용부 특별근로감독 결과 재해발생 작업공정에 정전기 관련 접지가 적절하게 실시되지 않았던 것으로 확인되었다. 특히, 스파크 발생을 방지하는 정전기를 통전시킬 수

있는 접지상태가 불량한 것으로 확인되었다¹⁾. 실제로 전기에너지 관련 화재·폭발 사고에서 발생원인을 정전기라고 대부분 추정하고 있으나 실제로 과학적 실험을 통한 실증적 원인규명이 되지 못하는 실정이다. 또한, 정전기 방전 관련 화재·폭발 사고의 특성은 인적·물적 피해가 크다는 것 외에도 정전기 대전·방전 현상의 재현이 어렵다는 것이다. 따라서 화재·폭발

*前)안전보건공단 산업안전보건연구원 연구위원(Ex-Occupational Safety and Health Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

**안전보건공단 산업안전보건연구원 연구위원(Occupational Safety and Health Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

***안전보건공단 산업안전보건연구원 부장(Occupational Safety and Health Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)

위험장소에서의 정전기 관련 사고·재해가 발생하지 않도록 사전에 산업설비 및 인체 상호간의 시스템적 관점에서 정전기 발생수준을 안전한 상태로 관리하는 것이 무엇보다도 중요하다²⁾.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조 (정전기로 인한 화재·폭발 등 방지)에서는 정전기에 의한 화재·폭발 및 생산 공정 상 정전기에 의한 재해위험을 예방하기 위하여 접지, 도전성 재료 사용, 가습 및 제전기 사용 등의 안전조치를 하여야 한다고 규정되어 있다. 이러한 조치를 준수하기 위해서는 화재·폭발 위험장소에서 정전기 관련 사전적 예방조치 관점의 관련 기술, 기준 및 제도가 필요하나, 우리나라의 안전관리 수준은 아직까지는 미흡하다고 판단된다.

이에 화재·폭발 위험장소에서 정전기 안전관리 수준을 향상하고 정전기 관련 재해의 사전적 예방조치의 일환으로 기술적, 제도적 및 관리적 방안이 필요하다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 화재·폭발 위험장소에서의 정전기 안전관리 수준 향상을 위하여 다음과 같이 재해분석을 실시하여 기술적, 관리적·제도적 개선 방안을 제안하고자 한다.

특히, 국내의 경우 고용노동부 산업재해통계 및 소방청 화재통계 자료를 활용하여 정전기 관련 재해발생 현황 및 특성 분석을 하였다. 그리고 일본 JNIOOSH의 사고·재해 조사사례와 일본 소방청 화재 연보 자료를 활용하여 일본의 정전기 관련 재해발생 현황 및 특성 분석을 하였다.

또한, 한국과 일본의 정전기 관련 재해현황 분석·비교를 통하여 발생원인 조사체계 및 산업재해통계 분류 방법의 개선과 산업안전보건법 반영 필요성 검토 및 제안 등 제도적·관리적 방안을 도출하고자 하였다.

3. 연구 결과

3.1 정전기 관련 재해발생 현황 및 특성 분석

3.1.1 한국 정전기 관련 재해발생 현황³⁾

Fig. 1은 소방청 화재통계에 따른 2007년부터 2017년까지 우리나라에서 발생한 전체 화재 중에서 전기화재를 분류하여 불꽃·스파크·정전기 발화원별로 구분한 통계자료이며, Fig. 2는 2015년부터 2017년까지 불꽃·스파크·정전기 발화원에서 정전기를 별도로 구분한 통계자료이다.

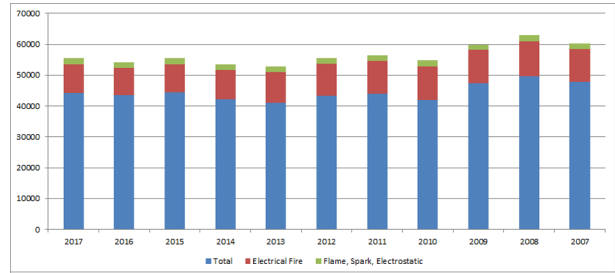


Fig. 1. Classification by source of ignition.

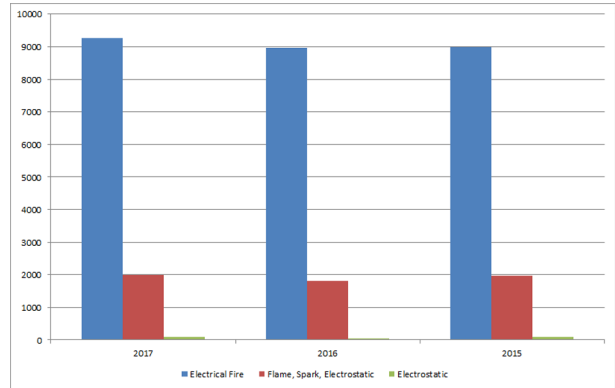


Fig. 2. Classification by source of ignition(Electrostatic).

2007년부터 2017년까지 평균적으로 연간 44,000여 건의 화재가 발생하였으며, 전기화재는 평균적으로 연간 10,000여 건 정도를 차지하고 있다. 전기화재 중에서 불꽃·스파크·정전기 관련 화재는 평균적으로 연간 1,800여 건을 차지하고 있다. 다만, 소방청에서 제공하는 정전기 관련 화재·폭발 통계는 공식적으로 불꽃·스파크·정전기 발화원별 분류까지만 제공하고 있다. 이에 소방청 화재통계를 활용한 정전기 관련 화재·폭발 발생 건수는 파악이 불가하였으나, 정보공개청구 처리절차⁴⁾를 거쳐 2015년부터 2017년까지의 정전기 관련 발생 건수를 확인할 수 있었다. 여기서 2015년 80건, 2016년 54건, 2017년 81건인 산업재해통계와 소방청 화재통계가 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 2000년부터 2017년까지의 산업재해통계에서 각각 화재·폭발 재해발생 현황과 화재·폭발 재해발생원인 중 정전기 비중을 나타내고 있다. 전체 화재·폭발 관련 재해자수와 사망자수는 각각 평균적으로 연간 870여 명, 70여 명으로 분석되었다. 전체 화재·폭발 대비 정전기 관련 재해 발생비중은 최대 3.66%에서 최소 0.8%로 다양한 비율을 나타내고 있다. 수치상의 비중은 낮은 편이지만, 화재·폭발 위험장소에서의 정전기 방전이 인적·물적 피해를 초래하므로 강도 면에서는 아주 높다고 판단된다.

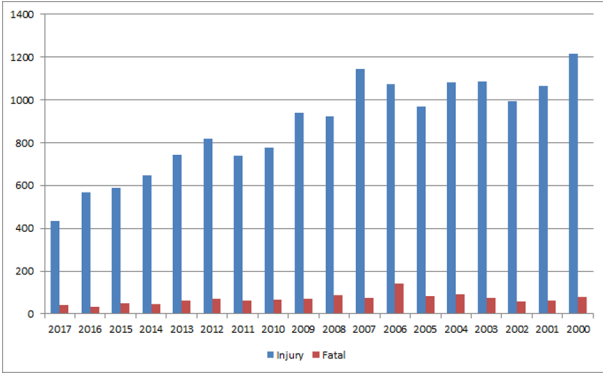


Fig. 3. The number of injury and fatal in the fire/explosion.

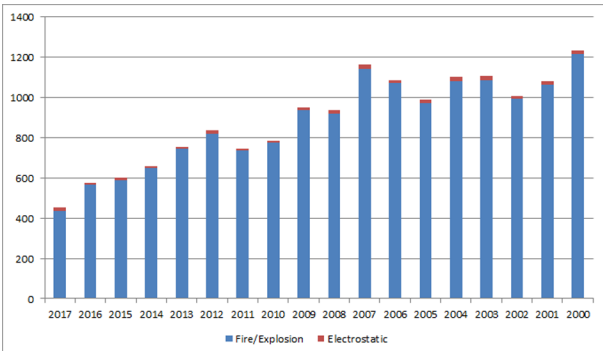


Fig. 4. The number of electrostatic injury.

산업재해통계에서도 정전기 관련 분류체계, 방법 또는 코드가 없으므로, 정전기 관련 화재·폭발 발생현황에 대한 정확한 파악은 불가능하다. 또한, 중대재해/중대산업사고를 제외한 일반재해의 경우 정전기 화재·폭발과 관련하여 발생과정·작업, 발생장치 및 원인물질에 대한 정확한 파악이나 기술 없이 일반적인 추정방식의 재해원인 조사표 작성이 이루어지는 실정이다.

Fig. 5는 2000년부터 2017년까지의 산업재해통계에서 정전기 화재·폭발 관련 재해자수, 사망자수 및 발생건수를 각각 나타내고 있다. 연간 평균 재해자수 15여 명으로 전반적으로 감소 추세를 보이나, 지속적으로 사망자는 발생하고 있다. 또한, 산업재해통계가 소방청 화재통계와 수치상으로 큰 차이를 보이는 이유는 소방청 화재통계의 경우 인명피해가 발생하지 않는 화재·폭발사고도 통계작성 대상이기 때문이다. 따라서 소방청 화재통계 자료의 경우 인적피해가 발생하지 않는 전체 정전기 관련 화재·폭발 사고 데이터를 보유하고 있으므로 향후 정보공개처리 절차를 통하여 관련 자료를 확보하여 정전기 관련 화재·폭발 사고에 대한 빅데이터 분석 개념의 통계분석이 필요하다.

Fig. 6부터 Fig. 11까지는 2000년부터 2017년까지의 산업재해통계에서 정전기 관련 화재·폭발로 인한 재

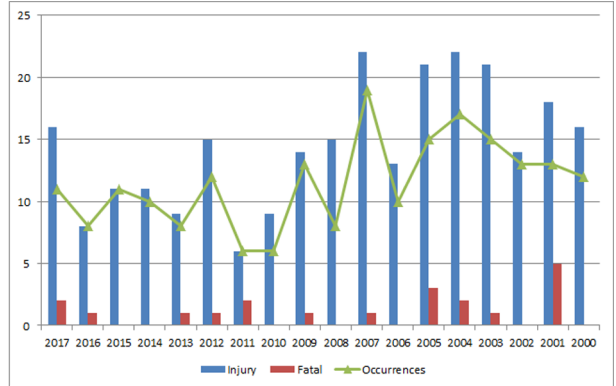


Fig. 5. The number of electrostatic injury, fatal, occurrences.

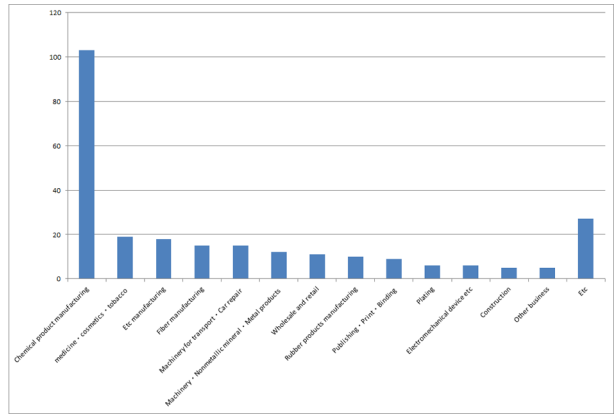


Fig. 6. The number of occurrences in the industry scope.

해자수 261명에 대하여 업종별, 규모별, 장치별, 작업별 및 (세부)물질별로 분석한 결과를 나타내고 있다.

Fig. 6은 정전기 화재·폭발 관련 업종별 발생건수를 나타낸 것으로, 화학제품제조업에서 약 40%를 점유하고 있으며, 의약품·화장품향료·담배제조업, 기타제조업, 섬유또는섬유제품제조업(을), 수송용기계기구제조업·자동차및모터사이클수리업 순으로 발생하고 있음을 확인하였다. 따라서 화학제품제조업 특성에 적합한 정전기 관련 화재·폭발 예방대책 수립이 우선으로 수립되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 정전기 화재·폭발 관련 규모별 재해자수를 나타낸 것으로, 안전관리체계가 취약한 50인 미만 사업장에서 약 75%를 점유하고 있다. 16~29인, 5인~9인, 5인 미만 및 50인~99인 순으로 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 전체 대비 65%를 차지하는 30인 미만 사업장의 경우 관리·기술·제도·교육적 시스템이 취약하여 재해발생 비율이 타 규모에 비해서 높고 재해발생 위험이 상존하는 것으로 분석되었다. 따라서 중소규모 사업장에 적용 가능한 정전기 위험성 평가 및 위험 관리 기법이 필요하다.

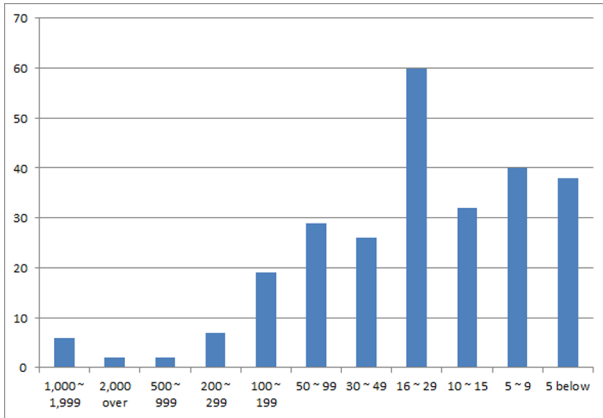


Fig. 7. The number of injury in the number of workers scope.

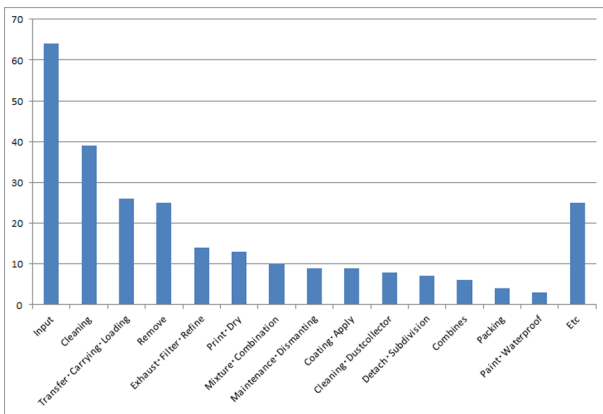


Fig. 8. The number of injury in the task scope.

Fig. 8은 정전기 화재·폭발 관련 작업별 재해자수를 나타낸 것으로, 정전기 발생 특성 및 물리적 성질에 기인하여 마찰, 충돌, 분출 등 현상의 발생 가능성이 높은 투입, 세척, 운반·이송·적재 작업에서 약 50%를 차지하고 있다. 다음 순서로 제거, 배출·여과·정제, 인쇄건조, 혼합·배합 작업 순서로 분석되었다. 따라서 정전기적 현상 발생위험이 높은 작업에 대해서는 표준작업방법 준수를 위한 관련 지식, 정보 또는 자격을 가지는 관리자에 의하여 관련 작업이 안전하게 관리되어야 한다. 여기서 주목할 점은 정전기로 인한 재해발생 작업을 특정할 수 없는 경우와 분류가 불가능한 작업을 포함하는 기타작업의 재해자수가 25명으로 일반재해 원인조사 시 세부적인 원인 분류 및 과학적 원인분석이 필요하다.

Fig. 9는 정전기 화재·폭발 관련 장치별 재해자수를 나타낸 것으로, 정전기 발생 특성 및 물리적 성질에 기인하여 마찰, 충돌, 분출 등 현상의 발생 가능성이 높은 용기류, 장치·설비류, 반응기류, 탱크류 및 혼·배합기류에서 약 60%를 차지하고 있으며, 생산 공정의 제품·반제품에서도 정전기 관련 화재·폭발 재해자수

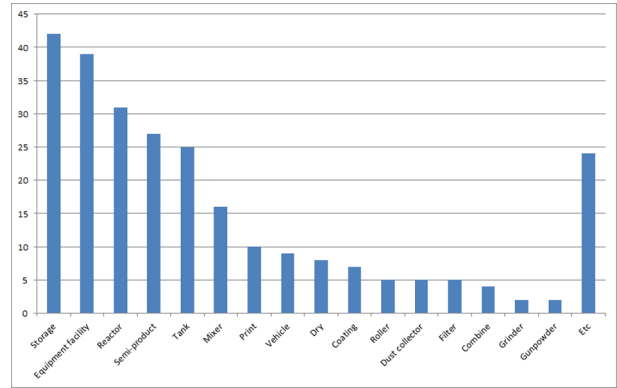


Fig. 9. The number of injury in the devices scope.

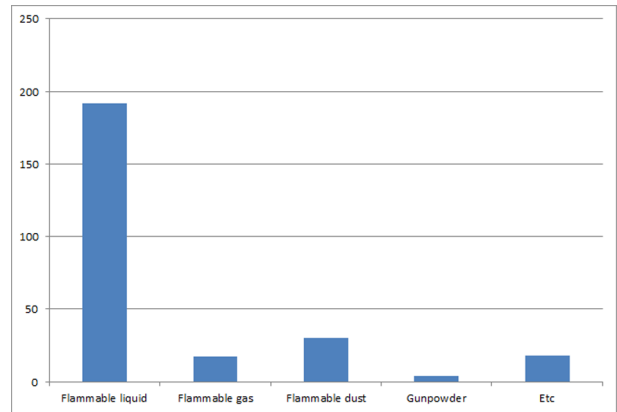


Fig. 10. The number of injury in the material scope.

가 27명으로 분석되었다. 따라서 공정/작업 특성에 맞는 재해예방대책으로 용기류, 장치·설비류, 반응기류, 탱크류 및 혼·배합기류 등에서의 정전기 대전 및 방전현상을 안전하게 관리할 수 있는 정전기 대전전압 측정 및 정전기 방전 검지기 사용 등의 기술적 관리방안도 필요하다. 또한, 정전기 관련 재해발생 장치를 특정할 수 없는 경우와 분류가 불가능한 장치를 포함하는 기타 항목에서 재해자수가 24명으로 일반재해 원인조사 시 세부적인 분류 또는 원인분석이 필요하다. 실제로, 재해발생 개요 분석을 통하여 원인분석을 포함한 장치별 재해현황을 파악하였지만, 분석 가능한 내용이 부족하고 정확도가 낮은 관계로 정전기 연관성 여부 파악 및 발생장치의 정확한 분류가 불가능하여 기타 항목으로 분류한 사례라고 볼 수 있다.

Fig. 10은 정전기 화재·폭발 관련 물질별 재해자수를 나타낸 것이다. 인화성 액체에서 정전기 관련 화재·폭발 발생 비율이 약 74%로 대부분이 인화성 액체를 취급하는 공정에서 상당수 재해자가 발생하는 것으로 분석되었다. 가연성 분진 외 화약에서도 정전기 관련 화재·폭발 재해가 발생하는 것으로 분석되었다.

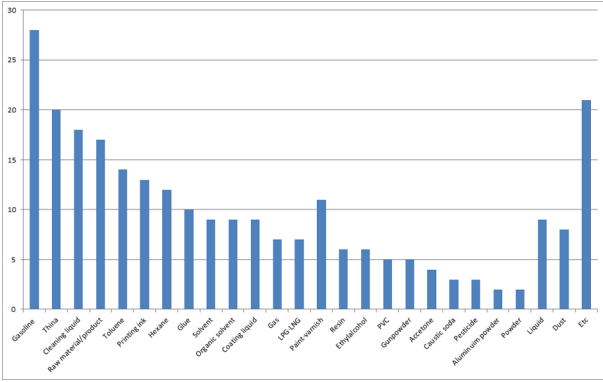


Fig. 11. The number of injury in the detailed material scope.

Fig. 11은 물질을 세분화하여 분석한 결과로는 휘발유 등, 신나, 세척액 및 톨루엔 등 인화성 액체에서 주로 발생하는 것으로 분석되었으며, 인화성 액체를 함유하는 원료·제품과 페인트·도료에서도 상당수의 정전기 관련 화재·폭발 재해자가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 재해발생 빈도가 높다는 것은 사업장에서 다수 취급하는 것을 반증하므로 인화성·가연성 물질에 대하여 다음과 같은 대책이 필요하다. 정전기 발생 위험성이 높은 작업 또는 공정에서 취급되는 물질에 대한 정전기 물성평가⁵⁾가 이루어져야 한다. 예를 들면, 분진 저항성, 액체 도전성⁶⁾, 정전용량, 이동 전하량 및 점화시험 등을 정전기 발생여부를 결정하는 주요 인자에 대한 위험성 평가를 실시하여 정전기 발생 위험성을 예측 및 제어하고 잔존하는 위험성에 대하여는 안전한 수준의 관리가 필요하다.

3.1.2 일본 정전기 관련 재해발생 현황

일본 소방청 화재연보 분석결과 정전기 관련 화재는 2000년부터 2014년까지 15년간 1,453건이 발생하였다. 다음의 Fig. 12는 년도 별 전기화재와 정전기 관련 화재를 나타내고 있다. 일본의 경우 전기화재 대비 정전기 관련 화재는 평균적으로 약 1.4%를 차지하고 있으며, 지속적으로 정전기 관련 화재가 발생하는 것으로 분석되었다. 평균적으로 매년 100여 건의 정전기 관련 화재가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 일본 노동안전종합연구소(JNIOSSH)에서 1995년부터 2007년까지 정전기 관련 화재·폭발 사고 137건에 대하여 정밀조사를 실시하였다.

Fig. 13은 JNIOSSH에서 조사한 정전기 관련 화재·폭발 사고 발생현황이다. 조사·분석결과에 따르면, 13년 동안 연간 평균 10여건이 발생하고 사망자수가 52명 사상자수가 260명으로 분석되었다. 일본의 경우 정전기 관련 화재·폭발 사고 발생건수 및 재해자수는 등락을

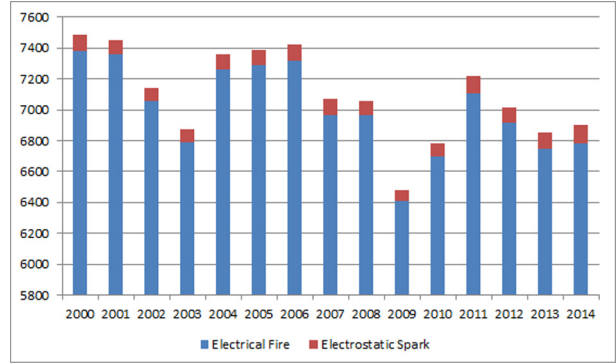


Fig. 12. The number of electrostatic occurrences in the fire.

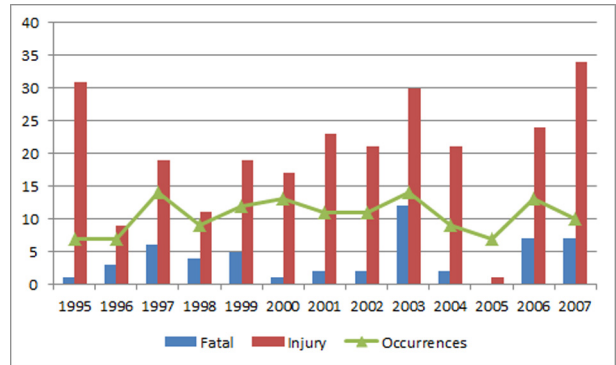


Fig. 13. The number of electrostatic injury, fatal, occurrences.

반복하지만 정체현상을 보이는 것으로 분석되었다.

Fig. 14부터 Fig. 16까지는 작업별, 장치별 및 물질별로 분류 및 분석한 것이다.

Fig. 14는 작업별 발생 건수를 나타내고 있으며, 운전 32건, 투입 및 이송 28건, 가공·제거·정비 20건 및 건조·도장 10건, 기타 16건 등으로 분석되었다.

Fig. 15는 장치별 발생 건수를 나타내고 있으며, 반응기류 23건, 탱크류 17건, 집진장치류 13건 및 건조장치 10건, 기타 11건 등으로 분석되었다.

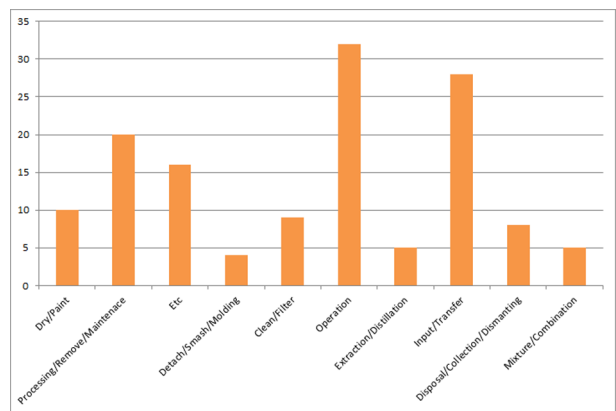


Fig. 14. The number of injury in the task scope.

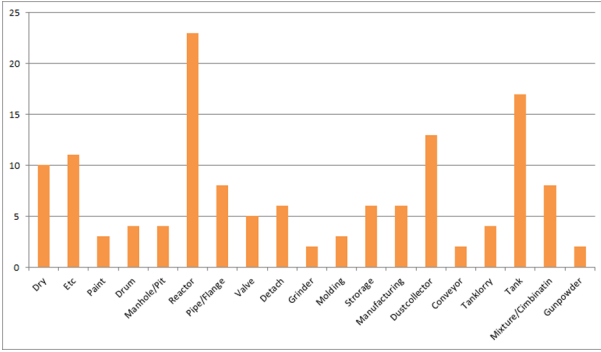


Fig. 15. The number of injury in the devices scope.

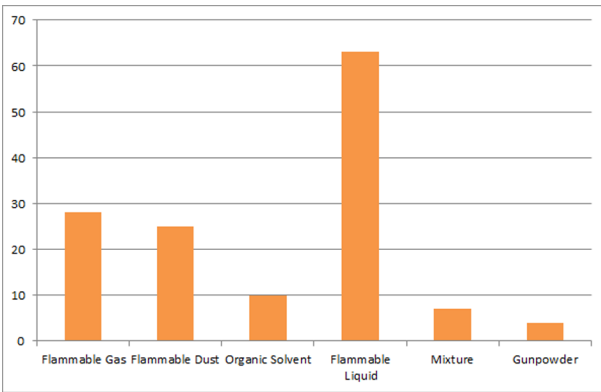


Fig. 16. The number of injury in the material scope.

Fig. 16은 물질별 발생 건수를 나타내고 있으며, 인화성 액체, 인화성 가스, 가연성 분진, 유기용제, 혼합물질 및 화약 순으로 분석되었다. 세부 물질별로는 수소, 도시가스, 가솔린, 톨루엔, 자일렌, 메탄올, 헥산, 헵탄 및 금속분진 등으로 분석되었다.

3.1.3 정전기 재해특성 비교분석

첫째, 한국과 일본의 소방청 통계자료에서는 정전기 관련 화재·폭발 발생건수가 각각 연간 평균 70, 100여 건 정도로 분석되었다. 물론 산업설비 규모 또는 근로자수 등의 상대적 비교가 필요하겠지만, 절대적인 수치상으로는 일본이 우리나라보다는 발생건수가 많다는 것이다. 또한, 전기화재 대비 정전기 발생원인 관련 비중을 살펴보면 일본의 경우 평균적으로 약 1.4%를 차지하고 있는 반면, 우리나라의 경우 평균 전기화재 10,000여 건 대비 정전기 발생원인 관련 비중은 불과 약 70~80여 건으로 약 0.7~0.8%로 일본보다는 발생건수가 작다는 것을 확인하였다.

여기서 일본의 정전기 관련 사고조사 절차 및 방법⁷⁾을 살펴보면 정전기 관련사고 발생 시 노동후생성에서 JNIOOSH에 조사 의뢰를 하고 JNIOOSH에서는 3개월 동안의 사고원인조사 후 원인미상의 사고의 경우 차기년

도 연구과제와 연계하여 지속적이고도 체계적인 사고원인 조사 및 분석을 하고 있다. 또한, 일본 소방청에서는 전기화재 점화원별 분류에서 정전기 항목을 별도 지정 및 분류하고 있어 정전기 관련 화재·폭발의 발생현황 지속적으로 제공하여 국민에게 경각심을 일깨우고 있다. 그러나 우리나라의 경우 정전기 관련 화재·폭발 사고의 일부에 대해서만 원인조사가 이루어지고 조사기간 또한 길지 않아 실증적이고 체계적인 원인조사 및 분석이 수행되기 어려운 현실이다. 따라서 수치상으로는 전기화재가 일본보다는 많이 발생함에도 불구하고 점화원으로 정전기를 결정하는 원인분석 능력 또는 분석/분류 체계 등이 일본보다는 많이 미흡하다는 반증이 될 수 있을 것이다. 그리고 전기화재에서 정전기 분류 항목/방법/체계가 별도로 없으므로 정전기 관련 화재·폭발 사고의 심각성이 널리 홍보되지 못하고 있는 상황이다.

둘째, 한국과 일본의 재해예방기관의 통계자료에서는 정전기 관련 화재·폭발 재해발생 현황은 평균적으로 각각 사망자수는 1명, 4명이고, 재해자수는 15명, 20명으로 분석되었다. 물론 산업설비 규모 또는 근로자수 등의 상대적 비교가 필요하겠지만, 절대적인 수치상으로 일본과 우리나라의 재해자수는 비슷한 양상을 보이면서도 사망자수는 4배 정도 차이가 나는 것으로 분석되었다. 일본은 인명피해가 발생하지 않은 정전기 관련 화재·폭발사고의 경우에도 노동후생성과 JNIOOSH에서 정전기 발생 원인부터 발생작업, 공정, 장치 및 원인물질 등 세부적인 분석체계와 분류체계 등의 시스템적 접근 및 조사를 실시하는 체계이고, 우리나라 중대재해/중대산업사고의 경우 체계적이고 합리적인 방법으로 원인분석을 실시하나 이마저도 추정하는 방식으로 실시되고 있다. 그 외의 정전기 관련 화재·폭발 관련 일반재해의 경우 일반재해 원인조사표에서의 기본적인 재해발생 개요 작성이 충분하지 못하여, 향후 조사기관 또는 예방기관에서의 예방대책 수립을 위한 기초자료 조차 확보되지 못하고 있는 상황이다. 즉, 발생원인 분석 및 동종재해 예방대책 수립을 위해서는 재해발생 개요, 정전기 발생 공정 및 작업, 장치 및 원인물질 등에 대한 정확한 데이터 정리가 필요하고, 기본 데이터를 바탕으로 재해예방대책을 수립하게 되나 현실적으로는 근본적인 대책 수립이 미흡하여 유사·동일한 원인물질, 공정 및 작업, 장치와 작업방법 등에서 정전기 관련 화재·폭발 재해가 지속·반복적으로 발생하고 있다.

셋째, 한국과 일본의 관련기관의 통계자료에 따라서, 산업규모 및 설비, 공정 및 작업방법, 근로자 기술 수준 등을 고려하여 정전기 관련 화재·폭발 재해발생 현황

의 단순비교는 합리적이지 못하지만 발생현황의 경향 분석과 유사도 또는 차이점 등을 비교·분석하고자 하였다. 먼저, 작업별 발생현황의 경우 일본은 운전, 투입/이송, 가공/제거/정비, 기타, 건조/도장, 세정/여과, 폐기/회수/해체, 혼/배합, 추출/증류, 분리/분쇄/성형 순으로 분석되었다. 한국은 투입, 세척, 운반/이송/적재, 제거, 기타, 배출/여과/정제, 인쇄/건조, 혼/배합, 정비/해체, 코팅/도포, 청소/집진, 분리/소분, 합포, 포장, 도장/방수 순으로 분석되었다. 일본의 경우 우리나라에서 별도로 분류되지 않은 운전 작업에서의 정전기 관련 화재·폭발이 발생하고 있어, 우리나라에서도 세부적인 분류 방법/체계를 가지고 재분석 필요성도 제기된다.

여기서 장치별 발생현황을 살펴보면 일본은 반응기류, 탱크류, 집진장치류, 기타, 건조장치류, 배관/플랜지류, 혼/배합 장치류, 분리/저장/제조장치류, 드럼/맨홀/피트류, 탱크로리 등의 순서로 분석되었다. 우리나라의 경우 용기류, 장치/설비류, 반응기류, 반제품, 탱크류, 기타, 혼/배합기류, 인쇄장치류, 차량, 건조기, 코팅기, 롤러, 집진기 및 필터류 등의 순서로 분석되었다. 우리나라의 경우 일본과의 상이점은 생산제품과 차량에서의 정전기 관련 화재·폭발이 발생한다는 것이다. 물질별 발생현황의 경우 한국과 일본은 유사한 경향을 보이고 있으며, 일본은 추가적으로 유기용제와 혼합물질에 대한 추가적인 분류를 하고 있다. 세부 물질별 분석에 있어서는 다양한 물질에서 정전기 관련 화재·폭발이 발생하고 있으며, 세부 물질별 분석결과를 바탕으로 위험도가 높은 물질을 선정관리 필요성도 있다.

3.2 정전기 안전관리 수준 향상방안

3.2.1 기술적 방안⁸⁾

산업설비 등에서 정전기 발생 및 위험 여부를 판단하기 위하여 대전 물체의 정전전압을 측정하는 것이 일반적이며, 이러한 방식의 정전전압 측정기는 휴대형·방폭형으로 국내외에서 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 반응기, 저장용기 및 사일로 등 내부에서 정전전압을 측정하는 방식은 현실적으로 어려운 기술로 설비 내부에 정전기 방전 검지기를 설치·투입하는 방식이 가장 효율적이라고 볼 수 있다.

다만, 실태조사 결과 사용·목적상 희소성으로 인해 국내에서 개발된 정전기 방전 검지기는 없는 것으로 파악되었고 국외 제품의 경우 가격이 상당히 고가이기 때문에 산업현장에서의 활용성은 아주 낮은 것으로 파악되었다. 이에 국외 제품의 국산화를 통하여 국내 사업장 및 관계기관에 합리적인 가격으로 대량 보급하고 정전기 안전관리에 활용하기 위한 목적으로 방폭구조

정전기 방전 검지기를 개발 필요성을 제안한다.

아울러, 화재·폭발 위험장소에서 정전기의 안전수준 관리 효율화를 위하여 산업안전보건법 시행규칙 제2장 안전·보건진단 등의 제127조(진단기관의 인력·시설 및 장비기준)와 관련된 별표 16의2에서 ‘일반안전진단기관’의 시설·장비 기준에서 제시하는 정전전하량 측정기 및 정전전위 측정기에 부가하여 정전기 방전 검지기를 추가하여 사전적 예방조치 관점에서의 필요한 조치를 구체화가 필요하다.

3.2.2 관리적 방안^{9,10)}

화재·폭발 위험장소에서의 정전기 안전관리 수준 향상을 위한 정전기의 위험성 평가 및 위험 관리 방안을 제안하고자 한다.

1) 정전기 위험성 평가

정전기 위험성 평가는 다음과 같이 2단계로 하고, 평가 항목 및 절차는 Table 1과 같다.

- 전하의 분리와 축적이 발생하는 장소 확인
- 해당 장소에서의 점화 위험성 평가

Table 1. The item and step of electrostatic hazard assessment

Item/process	Yes	No	Action or Measures
Is there potential to create ignitable mixture?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Bond and ground all conductive equipment - Ignition is not anticipated
Bond and ground all conductive equipment	-	-	Necessary
Can electrostatic energy be generated? (Note 1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Can electrostatic energy accumulate? - Static ignition hazard is controlled*
Can electrostatic energy accumulate? (Note 2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Can discharge energy exceed minimum ignition energy? - Static ignition hazard is controlled*
Can discharge energy exceed minimum ignition energy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Can material, process, equipment, or static control changes be made? - Static ignition hazard is controlled*
Can equipment or static control changes be made?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Can electrostatic energy accumulate? - Control ignitable mixtures
Can material or process changes be made?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- Can electrostatic energy be generated? - Control ignitable mixtures

(Note 1) Does process include?

- Flow of material, Agitation or atomization, Powders or solids, Interaction with personnel, Filtration, Settling, Bubbles rising, Deliberate or intentional generation of electrostatic charge, e.g., an electrostatic coating process

(Note 2) Does process include?

- Insulated equipment, Insulating materials, Isolated conductive equipment, Interaction with personnel, Non conductive liquids, Mists or clouds, Isolated conductive liquids, e.g., a conductive liquid in an electrostatic system where the entire system is isolated from ground

*Ignition is not anticipated

또한, 공정에서의 현장조사 또는 평가는 접지 및 본딩의 기능을 저해할 수 있는 물질과 작업자를 포함하여 접지되지 않은 도전성 물체를 확인하는 것이다. 그리고 해당 시점에서 전하의 축적 증거가 없더라도 정전기 발생 위험 장소를 확인하여야 한다. 여기서, 취급 또는 가공되는 절연 물질에 대해서는 다음과 같은 특별한 주의가 필요하다.

- 공정 작업은 개별적으로 고려되어야 하며 물질의 노출범위에 대하여 유의하여야 한다. 예를 들어, 물질의 체적 도전율과 표면 도전율은 주변 온도와 상대습도와 연관성을 가지므로 이는 충분히 고려되어야 한다¹¹⁾.
- 현장조사는 실제적인 정전기 위험성 평가를 위하여 운전 중에 실시하고 운전 및 공정 또는 기계설비에 대한 설계검토를 실시한다.
- 정전기 측정 필요 시 추가적인 위험이 고려되어야 하며, 전하가 축적된 물체에 측정기 근접 시 정전기 방전이 발생할 수 있으므로 측정기 응답을 모니터링하면서 서서히 접근 및 측정한다.
- 특히, 구동되는 벨트 및 폴리머와 같은 기계적 위험성이 있는 장소 또는 근접한 장소에서는 별도의 안전작업지침을 준수한다.

2) 정전기 위험 관리

정전기 위험 관리 목적은 축적된 전하를 방전하기 전에 위험하지 않는 수준으로 이완시키는 방법을 찾는 것이다. 정전기 점화 위험성을 다음과 같은 방법으로 제거하여 안전한 수준으로 위험을 관리할 수 있다.

- 정전기 관련 점화가 예상되는 지역에서는 인화성 혼합물을 제거
- 전하의 생성 및 축적이 발생하는 공정 또는 제품을 변경하여 정전기 발생을 억제 또는 전하 소멸
- 전하의 중화
- 인체의 정전기 관리¹²⁾

3.2.3 제도적 방안

1) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조(정전기로 인한 화재·폭발 등 방지) 제1항에 따르면 해당 설비에 정전기에 의한 화재 또는 폭발 등의 위험이 발생할 우려가 있는 경우에는 확실한 방법으로 접지를 하거나 도전성 재료를 사용하거나 가습 및 점화원이 될 우려가 없는 제전장치를 사용하는 등 정전기 발생을 억제 하거나 제거하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다고 규정되어 있으나, 정전기 발생의 사전적 예방조치인 정전기 측정에 대한 기준은 없다. 그러나 의무사항이

아님에도 불구하고 화재 또는 폭발 시 원인을 정전기로 추정하는 불가항력적으로 생각하는 경향이 높다. 이에 정전기 대전전압의 측정기록을 통하여 정전기 발생을 안전한계 이하로 억제 또는 제거되도록 관리하기 위한 필요한 조치의 구체화가 필요하다.

2) 산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조(정전기로 인한 화재폭발 등 방지) 제2항에 따르면 사업주는 인체에 대전된 정전기에 의한 화재 또는 폭발위험이 있는 경우에는 정전기 대전방지용 안전화 착용, 제전복 착용, 정전기 제전용구 사용 등의 조치를 하여야 한다고 규정되어 있으나, 정전기 대전방지용 보호구 및 제전용구 등의 성능 저하로 인한 재해 발생 가능성을 대비하기 위한 정전기 안전용품 성능의 안전기준은 명확히 규정하고 있지 않다. 이에 KS C IEC 61340 series, IEC 61340 series 및 JIS C 61340 series의 성능평가 기준을 참조하여 정전기 안전용품의 안전성 향상을 위한 안전인증기준 제정 및 안전인증기준 시험을 위한 장치/기술 항목의 제도화 필요성도 있다¹³⁾.

또한, 정전기 코디네이터의 자격인증 도입 방안 연구¹⁴⁾에 의하면 산업기반 조성사업과 연계한 필수 예산을 5년간 약 29억 원으로 산정한 바 있다. 그 이후 한 국산업기술시험원에서는 특정의 반도체 분야에 한하여 코디네이터 자격인증을 위한 연구, 교육 시설을 준비하여 양성교육을 실시해 오고 있다. 특히, 반도체 분야는 정전기 방전에 의한 제품의 불량과 직접적으로 연계되기 때문에 당사자가 정전기 문제를 직접적·적극적으로 개선하기 위하여 많은 비용을 투자한다. 미국의 경우 정전기 방전협회(ESDA)에서 관련 기술표준 및 정전기 관리 프로그램 개발을 공표하였으며, 이를 토대로 정전기 관리 프로그램을 운영하고 관리하기 위한 정전기 전문 관리자(ESD Program manager)를 교육하고 인력을 양성하고 있다. 또한, 일본의 경우에도 일본 전기전자부품신뢰성센터(RCJ)를 중심으로 IEC 61340 Series 표준을 기본으로 정전기 관리 기술자인 ESD Coordinator 교육을 시행하고 있다¹⁵⁾.

그러나 화학·플랜트 등 산업현장에서의 정전기 방전은 큰 재산 및 인명 손실을 가져오는 화재·폭발이 분명함에도 불구하고 항상 사고가 발생된 후이나 관심 사항으로 대두되게 된다. 따라서, 정전기 관련 코디네이터 제도는 반도체 산업과 이원화하여 플랜트 산업분야의 개별 도입이 필요하다. 교육 시설 및 프로그램은 국내 한국산업안전기술표준원과 일본 RCJ를 벤치마킹하고 국내의 대학의 시설(안전관련 학과)과 인력(교수)의 활용을 지역적으로 연계 또는 위탁하는 방안을 고려해 볼 수 있다¹³⁾.

3) 산업현장에서 지속·반복되는 정전기 관련 화재·폭발을 예방하기 위해서는 원인물질, 공정 및 작업, 장치와 작업방법 등 다양한 관점에서의 시스템적 분석 기반이 필요하다. 이러한 기반 구축을 위해서는 일본 노동종합연구소(JNIOOSH)의 사고조사 시스템⁷⁾과 같이 인명피해가 발생하지 않았지만, 정전기 원인으로 추정되는 사고에 대해서는 산업재해조사 대상 및 범위를 확대하여 빅데이터 분석을 통한 효과적인 재발방지대책 수립이 필요하다. 또한, 소방청 화재통계 및 고용노동부 산업재해통계 분류에 있어서도 별도의 정전기 항목을 추가하여 정전기 관련 재해·사고를 체계적으로 관리하기 위한 관련 데이터를 축적하여 재해원인분석 및 재발방지대책 수립에 활용 필요성도 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 화재·폭발 위험장소에서의 정전기 안전관리 수준 향상을 위하여 한국과 일본의 정전기 관련 사고·재해 발생현황 비교·분석하였으며 산업현장에서 정전기 관련 사고·재해가 발생하지 않도록 사전에 설비 및 인체 상호간의 시스템적 관점에서 정전기 발생수준을 안전한 상태로 관리하기 위한 기술적·제도적·관리적 방안을 다음과 같이 제안한다.

1) 화재·폭발 위험장소에서의 정전기 안전관리에 활용하기 위한 목적으로 국내 사업장 및 관계기관에 합리적인 가격으로 대량 보급을 위한 방폭구조 정전기 방전 검지기의 국외 제품 국산화 개발이 시급하다.

2) 정전기의 위험성 평가 및 위험 관리 방안 수립을 구축하여야 한다.

3) 정전기 안전용품의 안전성 향상을 위한 안전인증 기준 제정 및 안전인증기준 시험을 위한 장치/기술의 제도화가 절실하다.

4) 정전기 안전관리를 위한 산업현장에서의 코디네이터 자격인증 제도를 도입하여야 한다.

5) 정전기 관련 재해·사고의 체계적 관리를 위한 소방청 화재통계 및 고용부 산업재해통계의 정전기 분류항목 추가하고 상호간 공유하여야 한다.

정전기 안전관리 수준 향상 방안 제시로 산업현장에서의 정전기 관련 화재·폭발의 실증적·과학적 원인 규명, 재해예방대책 수립의 실용성 강화와 함께 화재·폭발 위험장소에서의 정전기 안전수준 관리 및 사전적 재해예방 조치가 가능할 것으로 기대한다.

References

- 1) The YTN News, 29 March, 2019.
- 2) S. W. Choi, A Study on the Development of Simulating Tool for Evaluation of Electrostatic Discharge, J. Korean Soc. Saf., Vol. 26, No. 3, pp. 15-22, 2011.
- 3) The Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), Industrial Accident Statistics, 2000-2017.
- 4) National Fire Agency, <http://www.nfa.go.kr>.
- 5) IEC 60079-32-1 [Explosive Atmospheres-Part 32-1 (Electrostatic hazards-Guidance)]
- 6) D. H. Lee and J. H. BYEON, "A Study on the Measurement and Comparison(IEC 60079-32-2) of Flammable Liquid Conductivity", J. Korean Soc. Saf., Vol. 34, No. 4, pp. 22-31, 2019.
- 7) <https://www.jniosh.johas.go.jp/en/groups/investigation.html>
- 8) J. H. BYEON, A Study on the Development of Electrostatic Discharge Detection and Related Equipment Explosion Proof Technology, 2018-OSHRI-898, 2018.
- 9) NFPA 77 (Recommended Practice on Static Electricity), 2014.
- 10) IEC 60079-32-2 [Explosive Atmospheres-Part 32-2 (Electrostatic hazards-Test)]
- 11) K. T. Moon, A Study on Ignition Hazard Caused by Electrostatic Discharge of Gasoline Used in the Gas Station, J. Korean Soc. Saf., Vol. 25, No. 4, 2010.
- 12) G. H. Lee and J. H. Chung, "A Study on the Safety Management of the Electrostatic in Working Clothes at the Gas Station", J. Korean Soc. Saf., Vol. 24, No. 6, pp. 39-44, 2009.
- 13) S. W. Choi and J. H. BYEON, A Study on the Development of Safety Evaluation Standard/Guidelines for Electrostatic Discharge Devices, 2017-OSHRI-1077, 2017.
- 14) S. H. Song, A Study on the Introduction of Electrostatic Coordinator Certification, Kats, 2006.
- 15) S. H. Song, "The Standard Execution & Economic Evolution for Electrostatic Discharge and the States of the Industry", Journal of Standards and Standardization, Vol. 1, No. 1, 2011.