

정전기로 인한 화재 및 폭발 사고에 대한 원인 분석 및 사고 예방

정기택*, 한경훈, 최승준, 신동일¹, 이윤호², 윤인섭

서울대학교 응용화학부

명지대학교 화학공학과¹SK(주)²

(hans1611@pslab.snu.ac.kr*)

Cause Analysis and Accident Prevention for Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions

Ki Taeg Jung*, Kyoungsoon Han, Seung June Choi, Dongil Shin¹, Yon Ho Lee²,

En Sup Yoon

School of Chemical Engineering, Seoul National University

Department of Chemical Engineering, Myongji University¹SK Corporation²

(hans1611@pslab.snu.ac.kr*)

배경

근래에 안전에 대한 중요성이 많이 부각되고 있다. 이에 대해 각 공장에서도 많은 안전 장치를 설치함으로써 인해 많은 안전사고를 예방, 피해를 최소화 하고 있다. 하지만 최근 들어 석유화학 공장에서는 정전기로 인한 사고가 자주 발생하고 있다. 그러나 문제는 이 정전기가 일어나게 되는 원인 규명 및 예방책을 제대로 갖추기가 어렵다는 것이다. 석유 화학공장에는 많은 유해/위험 물질(점화원에 의해 쉽게 화재 및 폭발 가능성의 물질)들을 다루는 공정들로 구성되어 있다. 방호 장치를 설치하고, 위험성에 대한 각종 안전장치를 설치하여 많은 안전사고 예방이 되고 있으나 정전기 사고에 있어서는 아직 미흡한 상태다. 일단 석유화학공장의 대부분의 엔지니어들은 전기에 대한 기본적인 개념이 부족한 상황이다. 정전기는 순간적으로 일어나는 전기로써 수천 심지어는 수만 볼트의 전기를 짧은 순간에 발생하게 된다. 이러한 짧은 순간이라고는 하나, 석유화학공정에서는 순간적인 인화원으로 사용되면 화재나 폭발 사고가 일어날 수 있으며, 주위 공정에도 영향을 주게 되는 경우 도미노 사고로까지 이어질 수 있다. 그러한 사고가 발생할 경우 기업의 막대한 손실 및 환경에 대한 위험이 커지기 때문에 사고를 막기 위해서는 정전기 사고 원인들을 명확히 규명해야 할 필요성을 가지게 되었다.

본 연구는 여기에서 전기에 대한 기본 지식과 정전기가 일어날 수 있는 원인들을 규명하고 이에 대한 안전사고 대비 방안을 제시하는데 의의를 두었으며, 이에 정전기가 일어난 사고들을 중심으로 원인들을 분석하고 그에 대한 사고 예방의 방안을 찾는 데 중점을 두고 있다. 그리고 현장에서 일어날 수 있는 정전기 관련 사고 예방을 위한 실질적인 교육, 안전장치 및 일어날 수 있는 원인들과 기타 공정의 특성을 고려하여 정량적인 정전기 사고 지표의 개발필요성을 제시하는데 목적을 두고 연구하였다.

정전기의 기본 개념

우선 정전기에 대한 기본적인 개념을 설명하면, 정전기란 ‘시간적인 변화가 없는, 전하(電荷) 또는 그와 같은 전하분포에 수반되는 전기적인 현상’으로 정의 되어 있다. 정전기는 서로 다른 두 물체가 접촉 혹은 근접함으로써 인해 하나는 positive, 다른 하나는 negative를 가지게 되고, 접촉이 끊어지는 순간에 또는 두 insulate 되어 있는 두 물체가 접촉이 일어나는 순간에 discharge가 일어난다. 이를 Electrostatic Discharge(ESD)라고 한다.

ESD가 바로 점화원이 되어 일어나는 사고가 정전기 사고이다. 이 정전기는 온도, 압력, 각 물체에 존재하는 전하량의 분포, 전극의 형태, 재질 및 날씨 등의 환경에 따라 다르게 나타난다.

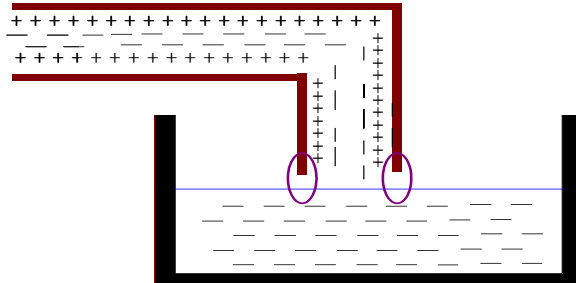


그림 1. The streaming current generated when a liquid flows through a conducting pipe

그림 1과 같이 탱크안으로 유체가 들어가는 공정에서도 탱크와 파이프가 각기 절연되어 있다면 유체의 흐름으로 인해 생겨나는 전하들이 계속해서 축적이 되며, 파이프의 출구에서 propagation brush discharge가 일어날 수가 있다. 또한 액체 표면에 trash가 있다면 탱크의 벽과 trash사이에서 spark discharge가 발생할 수 있다. 단, 유체가 Flammable source이고, oxygen이 적당히 제공되어 있는 상태라면 화재 및 폭발이 일어날 수가 있다.

그리고 정전기 사고에 대한 연구를 하기 위해서는 정전기가 어떤 물체들 사이에서 잘 일어나는지에 대해서 알아야한다. 또한 정전기에 관한 연구 중 중요하게 나오는 단어중 하나가 minimum ignition energy(MIE)로 최소발화에너지는 보통 가연성가스를 발화시킬 수 있는 전기불꽃 에너지를 지칭한다. MIE는 실험실에서 실험을 통해 계산되어 진다. MIE보다 큰 에너지가 제공되면 그 외 oxygen, flammable gas 또는 vapor가 있으면 화재 및 폭발이 일어나게 된다. 식(1)을 통해서 물체에 하전되어 있는 에너지를 알 수가 있다. 만일 U가 MIE보다 크다면 정전기가 인화원으로 작용이 된다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 그러한 마찰 등으로 인해 전하가 축적될 가능성이 있는 부분들에서 U를 측정하여 MIE에 가까워지고 있다면 위험 수준에 이르기 전에 점검을 통해 사로를 미리 예방하면 된다.

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

U : Energy [J]

C : Coulomb [F]

V : Volt [V]

보통 대부분의 증기나 먼지들은 대개 MIE가 1~10mJ 사이에 있다.

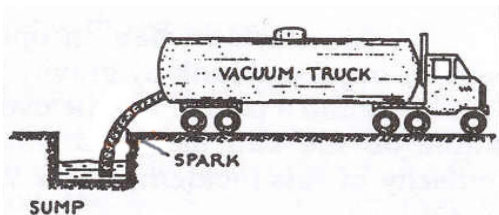


그림 2. Vacuum Truck Emptying a Sump

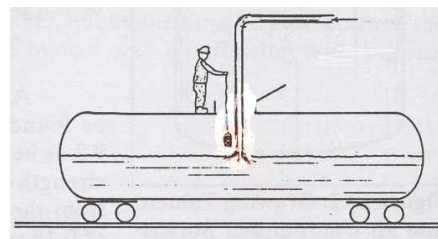


그림 3. Sampling while Loading a Rail Car

정전기 사고의 원인 분석

이러하듯 정전기 사고는 석유화학공장에서는 일어날 가능성이 많은 사고 중 하나로 보여진다. 그리고 해외 사고 사례들을 보면 gas 충전 차량 사고가 자주 일어나는데, 이 또한 정전기 사고로 그에 대한 관심이 많으며, 그에 대한 예방에 대해서도 연구되고 있다. 그뿐만 아니라, 석유화학단지에서도 크고 작은 화재 및 폭발 사고가 일어나고 있다. 예전에 석유화학공장에서 일어난 정전기에 의한 간단한 사고들을 보고, 원인을 분석해 보자 [1,2].

(1) 지하의 거의 비어 있는 탱크에서 유조차로의 이송 중 사고

그림 2의 트럭은 아스팔트위에 있었으며, 타이어로 인해 ungrounded된 상태에서 톨루엔을 트럭으로 수송하는 과정에서 탱크가 거의 비었을 때 사고가 일어났다. 이는 파이프를 증기와 톨루엔이 함께 들어가는 과정에서 "soda straw effect"로 인해 그림2과 같이 지면과 수송 파이프에서 spark가 일어나면서 폭발 사고가 발생하였다.

(2) 유조차로부터 탱크로 이송 중에 탱크의 수위 점검 시 사고

그림3은 탱크로 톨루엔을 이송 중에 탱크에 부족한 양을 측정하는 과정에서 사고가 일어났다. 이 사고의 원인은 탱크내의 양을 측정하기 위해 넣은 sampling catcher와 탱크안으로 들어가 있는 파이프사이에서의 발생 가능성이 가장 크다.

그 외의 사고 시나리오로는 i) 금속물질의 sampling catcher에서의 brush discharge로 인한 사고, ii) 하전된 톨루엔의 수위 상승으로 인한 파이프와의 brush discharge, iii) 탱크의 벽과 액체위에 떠있는 trash사이에서의 spark discharge로 분석하고 있다.

(3) 쇼크 사고

현장에서 작업을 하는 도중에도 작업자가 정전기로 인한 쇼크를 받는 일도 있었다. 그 경우는 플라스틱 필름을 감고 있는 장치에 작업자가 다가서다가 정전기로 인해 쇼크를 받았다. 이유는 그 필름이 negative로 하전 되어 있었으므로, 다가가는 사람의 몸이 한쪽으로는 positive가 다른 한 쪽은 negative의 전하를 띤 상황이었다. 문제는 여기서 작업자의 신발이 절연성이어서 전하가 나갈 길이 없었다는 것이다. 여기서 갑자기 장치와 작업자 사이에서 방전으로 인해 쇼크를 받은 것이다.

이 밖에도 국내에서의 사고들을 보면, 탱크내부에 휘발유를 완전히 제거하지 않은 상태에서 작업하는 과정에서 마찰 스파크로 인한 사고, 수중 펌프와 저장탱크의 벽면과의 마찰 spark로 인한 사고, Ungrounded된 통안으로 톨루엔을 담을 때, 플라스틱 유리병으로부터 혼합기로 전도성 유체를 넣을 때 등의 사고가 일어났으며, 벼락으로 인한 사고 또한 해외에서 일어났다. 그 중에는 피뢰침 설치에도 불구하고 일어난 적도 있다. 또한 정전기 중 가장 큰 번개에 의한 사고사례도 많이 있었다. 이에 좀더 현실적이며, 직접적인 대처 방안이 필요한 실정이다. 이 외에도 현장에서는 정전기로 인한 작은 화재 및 폭발사고가 계속해서 일어나고 있다.

ESD에 의한 사고의 원인 중에서 날씨에 영향을 살펴보자. 1988~1998의 통계인 그림 4를 보면 나와 있듯이 3, 4, 10월에 많은 사고가 일어났다. 연중 건조한 달에 사고가 많이 일어났다. 아직까지 날씨로 인한 석유화학공장에서의 사고는 보고된 바가 없다. 하지만 날씨가 직접적이지 않더라도 간접적으로도 원인을 제공할 가능성은 충분하다. 추우며, 건조한 날씨에 정전기가 발생하기가 쉽다. 그리고 그 조건 중에서도 가열되어 있는 물체의 주위에서 더 잘 일어난다. 즉 화학공장의 대부분은 고온으로 운전되는 곳이 많기 때문에 그에 대한 고려도 해야 할 것으로 추정된다. 예를 들어 춥고, 건조한 날에는 현장에서의 작업을 미루는 방향으로, 안전사고가 일어날 가능성이 적다하더라도 예방해야 하는 것은 당연한 일이다.

그림 5를 보면 알 수 있듯이 중대사고의 23%가 정전기에 의한 사고이다 [3]. 즉, 정전기 사고에 대한 심각성을 인식하고 그에 대한 대책을 세워 나가야 한다. 여기서 이 사고들을 자세히 분석해 보면, 공통적인 사고 원인을 도출할 수가 있다. 그 원인은 바로 정전기에 대한 인식이 부족해서이다. 사고가 일어난 상황을 보면, 작업하는 과정이 가장 많

으며, 장치들 사이에서 전하가 계속해서 축적 및 마찰에 의한 경우가 대부분이다. 결과적으로 이러한 원인들의 사고는 미리 예방 할 수가 있는 문제들이다 [4].

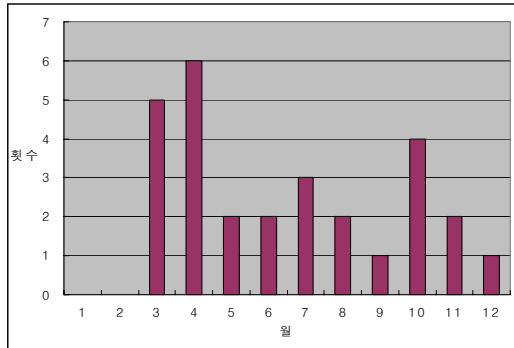


그림 4. Monthly Electrostatic Accidents [3]

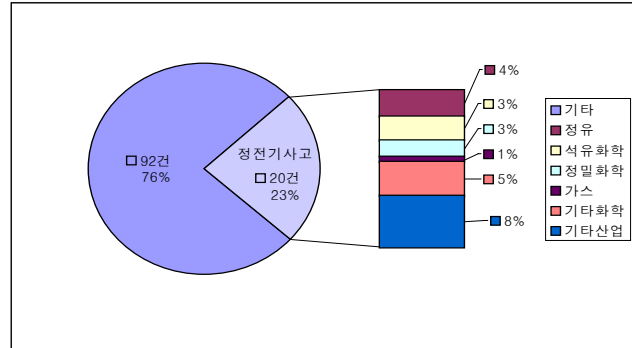


그림 5. Severe Industrial Accidents in Korea (1988~1998) [3]

그 중 해야 할 일은 바로 각 장치에 전하를 측정하는 장치를 보완하는 일이다. 그로 인해 각 장치의 정전기 위험성을 평가 할 수가 있으며, 사전에 미리 사고를 예방할 수도 있다. 또한 주기적인 정기점검이 필요하며, 무관심에서 일어날 수 있는 정전기에 대한 교육이 필수적이다. 또한 이를 위해 많은 원인들을 파악하여 각 공장의 특성을 고려하여 정전기 사고 지표 개발을 제안한다. 이를 지표로 삼아 정전기 사고를 예방함으로써 인명, 재산 및 환경으로의 피해를 줄일 수 있는 효과를 얻음으로써 인해 기업 또한 막대한 손실을 막을 수가 있다. 사고 지표 개발에 있어서 우선해야 할 일들은 **Electrostatic Ignition**이 일어날 수 있는 모든 원인들을 규명해야 한다. 그리고 나서 그 원인들의 중요성, 빈도, 발생될 확률 등을 고려하여 지표를 개발해야 할 타당성 및 방법론을 제안하였다.

결론

위의 여러 가지 사고 사례들에서 보듯이 정전기 사고는 석유화학공장에서 일어날 수 있는 주의해야할 사고이다. 위에서 사고원인들과 정전기의 발생에 대해 설명하였다. 이에 그 원인들을 토대로 현장에서는 교육 및 안전사고에 대한 방안을 제시하여야 한다. 이 중 하나는 장치에 정전기 방지를 위한 안전교육의 실시, 안전장치 및 사고 지표 개발이다. 사고 지표는 현장의 재질 및 파이프 및 탱크안의 물질의 종류 그리고 작업자의 환경 및 날씨 네 가지에 초점을 두어 지표를 만들 것을 제안한다. 이 논문에서는 정전기 사고의 위험성 제시 및 예방을 위한 방안을 제안 하였다.

감사

본 연구는 산업자원부/정보통신부 지원의 “화학 산업의 웹기반 지능형 온라인 통합생산 관리시스템”과제 및 교육인적자원부의 Brain Korea 21의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Thomas H. Pratt, *Electrostatic Ignition of Fires and Explosions*, CCPS, 1997.
2. D. M Taylor and P. E. Secker, *Industrial Electrostatics: Fundamentals and Measurement*, John Wiley, .
3. 한국산업안전공단, 중대산업사고 사례집, 1998년 11월.
4. T. Horvath and I. Berta, "Mathematical simulation of electrostatic hazards," *IOP Conference Series*, No 27, 1975.