

도장설비에서의 정전기 재해 사례 연구

김길태, 정영만, 이재근†

부산대학교 기계공학과

Case Study on the Electrostatic Hazards in the Coating Mechanical System

Gil-Tae Kim, Young-Man Jung, Jae-Keun Lee†

ABSTRACT: The electrostatic is well known phenomena. The fires and explosions caused by electrostatic occur often in the coating mechanical system. This paper presents various cases of electrostatic hazards, reasons why electrostatic hazards are happened, and methods for preventing electrostatic hazards. Generally the electrostatic can be lead to corona discharging, streaming electrification, and impinging electrification in the coating process. Corona discharging happens at electrostatic spray gun with 70.kV. Streaming electrification occurs at mixing process between paint and thinner, and transportation process with thinner. Impinging electrification is shown when the thinner are sprayed to drums. For the purpose of preventing the electrostatic discharge and damage, conductors should be ground, surface electric potential of should be decreased in using electrostatic shielding and ground, and flow of thinner should be controlled acceptable velocity.

Key words: Electrostatic(정전기), Coating Mechanical System(도장설비), Electrostatic Coating(정전도장), Electrostatic Hazards(정전기 재해)

1. 서론

정전기로 인한 재해는 현대 사회의 각 분야에서 다양하게 발생하고 있다. 정전기에 의한 재해는 원재료, 제품, 기기류 등 공정내의 여러 가지 물체에 전하의 축적으로 인해 발생하는 전하량이 어느 정도 되는지 파악해야 하지만, 정전기 측정은 재현성의 부족으로 인과관계를 설명하기에 매우 힘들다. 최근 들어 도장 설비에서 도장 효율의 증대와 도막 품질의 향상을 위하여 고전압 정전기를 이용한 정전도장설비가 주를 이루고 있다. 정전도장은 분무건(Spray gun)에 의해 분무되는 미세 액체도료 또는 분말도료를 고전압 코

로나 방전을 이용하여 대전시킨 후, 접지된 도장 물과의 정전기력으로 도장물 표면으로 이동, 부착시키는 방법으로, 도장 효율이 높고 도막 품질이 우수하나, 고전압 코로나 방전에 의한 정전기 사고가 많이 발생한다. 특히, 정전도장설비에서는 정전기에 의한 화재가 발생하여 도장 설비에 손상을 입히고 생산 공정에 차질을 일으키는데, 이러한 정전도장설비에서의 화재는 정전기에 의한 스파크 방전과 유기 용제에 의한 발화성 분위기가 그 원인으로 알려져 있다.⁽¹⁻⁴⁾

본 연구에서는 도장설비에서 발생하는 정전기로 인한 재해를 원인과 현상을 분석하고자 한다.

2. 도장설비의 정전기 재해 원인

일반적으로 발화의 원인으로서는 점화원, 가연

†Corresponding author

Tel.: +82-51-510-3085; fax: +82-51-582-6368

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

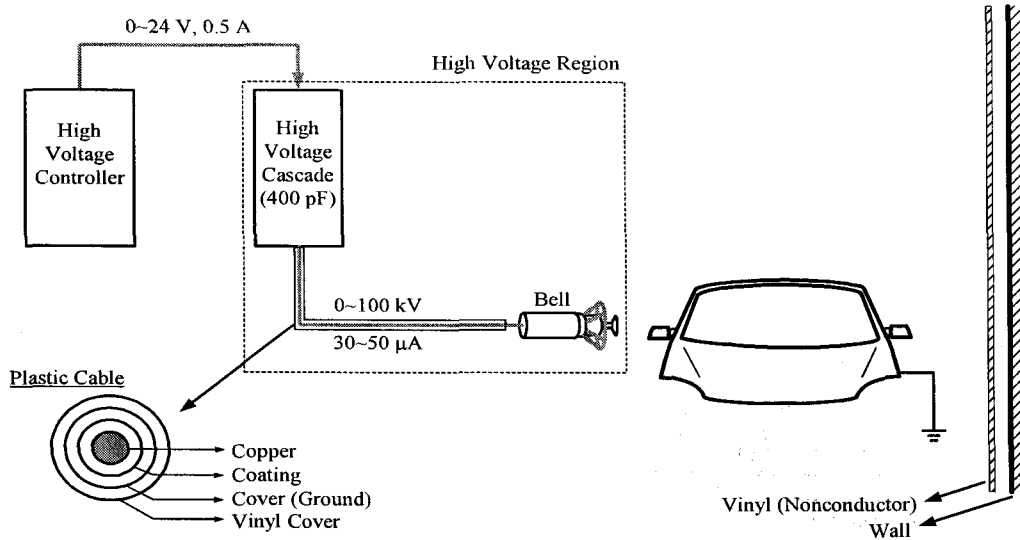


Fig. 1 Schematic diagram of electrostatic coating system (Automobile).

물, 그리고 산소 공급으로 나뉘어 질 수 있는데, 이 세 가지 원인이 동시에 발생이 되어야만 비로소 발화가 일어난다.

정전도장설비에서의 발화원을 분석하면, 도장실 내의 공기(산소)를 바탕으로 스파크 방전이 접화원이 되어 유기 용제 분위기(가연물)에 의해 발화가 되는 것이다. 코로나 방전에 의해 발생하는 정전기가 차체나 도장 설비의 표면에 부착, 누적이 되고, 주위의 전도성 물질이 접근할 경우 두 물체 사이에 강한 스파크 방전이 발생하게 된다. 이 때, 주위 분위기가 발화성 분위기일 경우가 스파크 방전이 발화점이 되어 화재가 발생한다.

도장 공정에서는 도료 자체의 휘발성뿐 만 아니라, 라인의 색 교체를 위하여 도료 라인 내부를 휘발성 유기 용제를 이용하여 세척하므로 도장실 내부는 유기 용제에 의한 발화 분위기가 조성되어, 도장 설비 내에서의 정전기 방전에 의하여 화재가 발생한다. 그러나 이러한 발화 조건이 만족한다고 해서 모든 경우에서 화재가 발생하는 것은 아니다. 도장설비에서 정전기 방전에 의한 화재가 발생하기 위해서는, 정전기 방전에너지가 도장실내의 유기 용제 분위기에 의한 최소 발화 에너지보다 클 경우에 정전기 방전이 발화원이 되어 화재가 발생하게 된다.

도장실내에서의 정전기 방전에 의한 발화 여부는 정전기 방전 에너지와 도장실내의 유기 용제

분위기의 최소 발화 에너지의 크기 비교로서 판단될 수 있다.⁽¹⁾ 정전도장에 사용되는 코로나 방전, 유체의 유동대전 또는 충돌에 의한 대전 등에 의하여 도장 설비 및 차체 표면에 정전기가 누적되어 표면 전위가 상승하게 된다. 이 때 주위에 전도성 물체가 접근하면 두 물체 사이에 순간적인 강한 전류, 즉 Spark 방전이 발생한다. 이 Spark 방전이 가지는 에너지를 Spark 방전에너지(E_s)라 하며, 그림에서 보는 바와 같이 스파크 전류의 전하량(Q)과 표면 전위(V)를 측정하여 계산할 수 있다. 그리고 도장설비에서 사용하는 휘발성 도료 및 도료 호스 세척용 유기 용제의 증기에 의하여 도장실 내부는 유기 용제 분위기가 조성되어 있다. 이 경우 유기 용제 분위기 내에서 일정 크기 이상의 에너지가 발생하게 되면 발화가 시작되는데, 이때의 최소 에너지를 최소 발화 에너지(E_f)라고 하며, 이 최소 발화 에너지는 각 유기 용제의 종류와 농도, 그리고 분위기의 온습도에 따라 변한다. 따라서 도장설비에서의 화재 발생 조건을 분석하기 위해서 도장실 내부에서 재해가 발생하는 부분을 찾고 이 때 대전이 발생하는 원인을 분석해야 정전기로 인한 재해를 예방할 수 있다.

3. 재해 발생 원인별 사례

도장라인에서 발생한 발화 사례를 코로나 방

전, 유동대전, 충돌대전 등의 정전기 대전원인에 따라 분석해 보았다.

3.1 코로나 방전에 의한 재해 발생

Fig. 1은 자동차 도장설비를 개략적으로 나타내고 있다. 자동차 도장을 위해 사용되는 자동 정전건은 고전압 인가부에서 70 kV 이상의 고전압을 도료에 인가하여 코로나 방전으로 도료 입자를 대전시켜 피 도장물의 본체에 부착을 시킨다. 이러한 코로나 방전에 의하여 정전도장건 본체 주위의 절연된 도체에 정전기가 누적되어 표면 전위가 상승하여 접지극과의 가까워지면 스파크가 발생 가능하며, 이 때 도장실내의 도료와 신나의 유기증기 분위기에서 스파크 점화에 의한 화재가 발생 할 수 있다. 대부분의 도장실은 유기증기 분위기이기 때문에 작은 방전에도 화재가 일어날 가능성을 가지고 있다.

작업자의 부주의에 의해 피도물이 개방된 상태에서 고전압의 정전도장건과 간격이 작아질 경우, 정전도장건 본체의 전극과 접지된 피도물 사이에서 스파크가 발생하여 화재가 일어날 수 있다.

이와 같은 코로나방전에 의해 발생하는 정전기 재해의 경우 자동 정전도장기 주위에 도체를 제거하여 방전물체를 없애거나, 도료로부터 접지를 보호하고, 피도물과 정전도장건의 거리를 충분히 유지하며, 도장실내를 고습도로 유지함으로써 예방이 가능하다.⁽²⁾

그 외 도장설비 및 기타 시설들에 대한 보호를 위해 세워 놓은 비닐이 정전도장건에서 방출되는 코로나로 인해 대전이 되어 비닐을 떼어내는 과정에서 스파크가 발생 할 수 있다. 이때는 도전성 비닐을 사용하여 정전기의 완화속도를 빠르게 하거나 도전성 비닐을 사용하여 대전을 방지하는 방법으로 정전기 재해 제어가 가능하다.

3.2 유동 대전에 의한 재해 발생

일반적으로 도장공정에서는 도료와 신나의 믹싱 작업과, 도료를 수송하기 위한 운송작업에서 유동대전이 많이 일어난다. 이때 유동대전은 유체의 종류, 유량, 온도, 함유된 불순물의 종류 및 함유도 등에 의해 대전량이 결정되며 또한 고체 절연재의 종류, 표면상태, 유로형상 등에도 영향

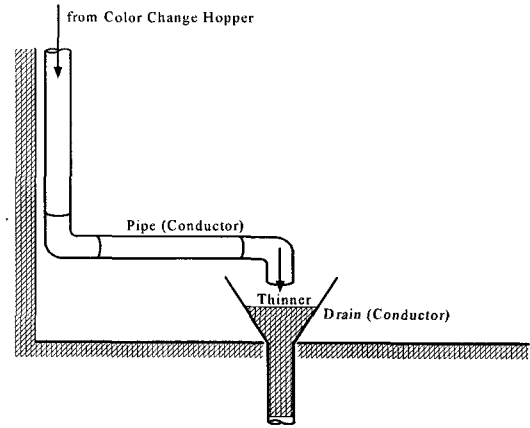


Fig. 2 Thinner drain process.

을 받는다.⁽³⁾

자동 정전분사건의 색상 교체를 위하여 도료 라인을 신나로 세척하는 과정에서 화재가 발생할 수 있다. 고압의 신나를 분출함으로 해서 분사건과 신나 액적이 유동, 분출, 충돌 대전을 일으켜 표면에 정전기가 누적되고 분사건과 신나 액적은 서로 반대 극성으로 대전되어 순간적인 고전압 스파크가 발생하여, 신나 액적의 인화성에 의해 화재 발생한다.

Fig. 2와 같은 페신나를 배출시키는 작업 수행시 배출구에서 접지되지 않은 도체 파이프를 통하여 드레인 되는 과정에서 화재가 발생 가능하다. 접지되지 않은 도체 파이프를 통과하면서 신나와 파이프 사이에서 유동 대전이 발생하여 파이프 표면 전위가 상승하게 되고 이때 도체인 드레인 표면이나 대전된 신나와 파이프 사이에 스파크 발생으로 발화가 될 수 있다.

이와 같은 유동대전에 의한 정전기에 의한 사고 방지책은 대전량을 감소시키는 방법으로, 전하 발생을 억제 또는 발생된 전하를 완화시켜 전하가 고체 절연재 표면이나 절연유 중에 축적되지 않도록 하는 것인데, 대전도와 유량, 온도, 유온과의 관계를 고려하여 최적의 유량으로 작동시킴으로써 대전도를 극소화 시키는 방법 등이 있다. 그리고 절연 호스 외부에 정전차폐물을 설치하고 이 차폐물을 접지시켜 대전량이 축적되지 못하도록 할 수도 있다. 그 외 호스 배출구 도체 접지, 드럼 본체 접지 등의 방법 및 분무액 등이 정제되지 않도록 환기를 시켜 점화원적을 제거하는 방법 등을 사용하여 정전기 재해에 대한 예방이 가능하다.^(3, 5)

3.3 충돌 대전에 의한 재해 발생

충돌 대전은 유동하던 도료 및 신나가 분출되면서 드럼 등의 물체에 충돌 할 때 발생한다. 이때 충돌 대전으로 인해 발생하는 에너지가 유기용제의 최소발화에너지보다 크게 되면 발화가 일어나게 된다.

일반적으로 도장 공정에서 발생하는 충돌 대전은 유동 대전으로 정전기 재해가 발생하는 장소와 거의 동일한 곳에서 발생한다. 도장 작업의 전처리 과정으로 도료와 신나를 혼합하는 과정에서 도료와 신나가 호스를 고속으로 유동하면서 호스 끝부분에서 분사되어 드럼통과 충돌할 때 대전으로 발생한 스파크가 드럼통 내의 도료와 신나의 인화성 분위기로 인해 화재가 발생 할 수 있다.

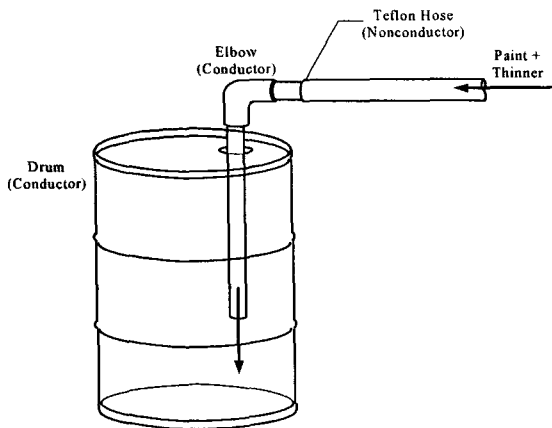


Fig. 3 Paint and thinner mixing process.

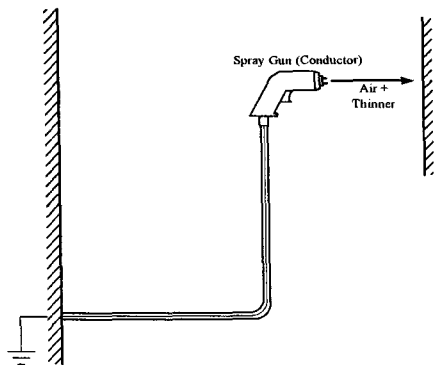


Fig. 4 Spraying process with spray gun.

피도물의 면의 도료 오염을 제거하기 위하여 신나와 압축공기를 이용한 비정전 도장건으로 표면 세척 시 충돌대전으로 인한 정전기 재해가 발생 할 수 있는데, 분사 과정에서 분사건은 고압의 신나와 공기의 분출에 의해 분출 대전이 되어 표면에 정전기 누적으로 분사된 신나 액적은 분사건과 반대 극성으로 대전되어 분사건과 신나 액적 사이에 스파크가 발생 될 수 있다.

충돌 대전으로 인해 발생하는 정전기 재해에 대한 예방은 도장실내 고습도 유지, 도장실내 환기로 인한 분부액적 확산 및 제거, 절연된 도체부에 직접분사 금지, 비정전 도장건 접지, 드럼통의 대상물의 접지 등의 방법을 통해 재해 방지가 가능하다.

3.4 기타원인에 의한 재해 발생

기타 도장공정에서 발생하는 정전기 재해로는 정전도장건에서 인가된 전압 제거 시 남아있던 잔류 전압에 의한 화재 발생, 절연된 도체와 고전압 전극사이의 스파크 발생, 고전압 케이블의 피복 손상에 의한 스파크 발생 등이 있다. 이런 기타 원인에 의한 정전기 재해 방지를 위한 방법도 다른 대전원리에 의한 것과 유사한 고전압 공급부의 기계접지를 확실히 하는 것이 가장 중요하며, 항상 케이블이 손상되지 않게 주의의 하며, 정전건과 도체를 일정거리 이상 유지하여 전로형성 방지해야 한다.

4. 결 론

정전도장공정에서 코로나 방전, 유동대전, 충돌대전 등 여러 가지 원인으로 발생하는 정전기로 인해 발생하는 사고 사례를 연구하였다. 그리고 정전기 재해에 대한 여러 재해 방지법을 제시하였다.

(1) 정전도장기에서 방출되는 코로나 방전으로 인한 발생한 재해는 코로나 방전으로 발생된 정전도장기 주위에 도체를 제거하여 방전물체를 없애거나, 도료로부터 접지를 보호하고, 피도물과 정전도장건의 거리를 충분히 유지하며, 도장실내를 고습도로 유지함으로써 예방이 가능하다.

(2) 도료의 운송 및 도료와 신나의 믹싱 작업시 발생하는 유동대전은 정전 차폐물을 설치하고

접지시켜 대전량을 감소시키는 방법, 호스 배출구, 드럼 본체 등을 접지 하는 등의 전하 발생을 억제 또는 발생된 전하를 완화시켜 전하가 고체 절연재 표면이나 절연유 중에 축적되지 않도록 하는 방법으로 예방이 가능하다. 그리고 최적의 유량으로 작동시킴으로써 대전도를 극소화 시키는 방법 등이 있다.

(3) 유기용제가 분출되어 도체에 충돌될 때 많이 발생하는 충돌대전에 의한 재해는 도장실내 고습도 유지, 도장실내 환기로 인한 분부액적 확산 및 제거, 절연된 도체부에 직접분사 금지, 비정전 도장건 접지 드럼통의 대상물의 접지 등의 방법을 통해 방지가 가능하다.

후 기

본 연구는 현대자동차부터 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chang, J. S., and Kelly, A. J., 1995, Hand-book of Electrostatic Processes, Mareel Dekker, Inc..
2. NFPA, 2002, NFPA 33 Standard for Spray Application Using Flammable or Combustible Materials 2000 Edition, Nation Fire Protection Association.
3. Kim, G. T., Lee, J. K., 2005, Characteristics on the Static Electricity of Streaming Electrification, J. of The Korean Society of Safety, Vol. 20, No. 3, pp. 42-46.
4. Glor, Martin, 2005, Electrostatic Ignition Hazards in the Process Industry, J. of Electrostatics, Vol. 63, pp. 447-453.
5. Bustin, W. M. and Duk다, W. G., 1983, Electrostatic HAZards in the Petroleum Industry, Research Studies Press LTD..