

KOSHA GUIDE

P - 114 - 2020

# 화학설비 및 부속설비에서 정전기의 계측제어에 관한 기술지침

2020. 12.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 이창규
- 개정자 : 최상원
  
- 제 · 개정 경과
  - 2012년 7월 화학안전분야 제정위원회 심의
  - 2020년 10월 화학안전분야 개정위원회 심의
  
- 관련 규격 및 자료
  - 안전보건기술지침 “정전기 재해예방에 관한 기술지침”
  - P&G Process Safety Practice 301 "Control of Ignition Sources"
  - CCPS "Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions"
  - Static Protective FIBC Fabrics "Risks of Ignition", 2005
  - T.B. Jones : "Nomograms for assessment of ignition risk associated with capacitive discharges"
  - 일본, 노동안전위생총합연구소 “정전기 안전지침”
  
- 기술지침의 적용 및 문의
  - 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지([www.kosha.or.kr](http://www.kosha.or.kr))의 안전보건기술지침 소관분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
  - 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자: 2020년 12월

제 정 자: 한국산업안전보건공단 이사장

# 화학설비 및 부속설비에서 정전기의 계측제어에 관한 기술지침

## 1. 목적

이 지침은 사업장에서 화학설비 및 부속설비에서 인화성 액체 및 가연성 분진을 사용하거나 취급할 때 정전기로 인해 발생할 수 있는 화재·폭발 등의 사고를 예방하기 위하여 정전기를 계측하고 자동 제어하는 데 필요한 사항을 제시하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 적용범위

이 지침은 인화성 액체나 가연성 분진을 사용하거나 취급하는 반응기를 포함한 공정 설비와 인화성 액체나 가연성 분진을 이송, 저장, 포장 및 출하하는 화학설비 및 부속설비에 적용한다.

## 3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다

(가) “인화성 액체”라 함은 산업안전보건기준에 관한 규칙 <별표 1>에서 규정하는 인화성 액체를 말한다.

(나) “대전”이라 함은 어떤 물질이 +, - 전기를 띠는 현상을 말한다.

(다) “정전기”라 함은 대전에 의해 얻어진 전하가 절연체위에서 더 이상 이동하지 않고 정지하고 있는 것을 말한다.

(라) “방전”이라 함은 대전체가 가지고 있던 전하를 잃어버리는 것을 말한다.

(마) “정전용량”이라 함은 전극이 전하를 축적하는 능력의 정도를 나타내는 상수로써 전극의 형상 및 전극사이를 채운 유전체의 종류에 따라 결정되는 값으로 F로 표시된다.

(바) “유전체”라 함은 도체에 전기가 통하려는 것을 막는데 사용하는 물체를 말한다.

(사) “고유저항”이라 함은 전류의 흐름을 방해하는 물질의 고유한 성질로 전도도의 역수로 표시된다.

(아) “전도도”라 함은 도체의 물질에 전류가 흐르기 쉬운 정도를 나타내는 성질을 말한다.

(자) “정전기에너지”라 함은 콘덴서를 충전할 때 발생하는 에너지를 말한다.

(차) “최소점화에너지”라 함은 보통 가연성물질을 점화시키는데 필요한 최소에너지 (MIE : Minimum Ignition Energy)를 말한다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 의한다.

#### 4. 화학설비에서 정전기 발생 메커니즘(Mechanism)

(1) 인화성 액체나 가연성 분진이 공정 내 설비와 접촉 또는 분리, 마찰, 충격, 유동 및 분사 등으로 인하여 정전기가 발생되며 인위적이든 자연적이든 정전기 완화현상이 일어난다.

(2) 보통 공정 내에 인화성(가연성) 물질의 고유저항이  $10^9 \Omega \cdot m$  보다 큰 부도체나 전도도가  $10^4 pS/m$  보다 작은 액체에서는 발생하는 정전기의 양이 완화되는 정전기의 양보다 크기 때문에 정전기가 축적되어 공정에 문제를 일으킨다.

(3) 정전기는 물질의 물리적, 화학적, 전기적 특성에 의해 결정 되는데 대전되는 크기는 다음의 인자에 의하여 결정된다.

(가) 물질의 종류(조성) 및 불순물 혼입

(나) 접촉면적 및 접촉압력

(다) 분리속도

(라) 입자크기 및 표면의 거칠기

(마) 상대습도

(바) 기타

(4) 정전기로 인한 영향

(가) 화재 및 폭발

(나) 생산성 및 품질 저하

(다) 전기적 충격(Electric shock)

## 5. 정전기로 인한 위험성 평가

- (1) 정전기는 물체에 축적이 되어 있는 상태에서는 위험성이 없으나 대전체가 방전하여 불꽃이 발생하였을 때 가연성물질에 점화하여 화재, 폭발이 발생한다.
- (2) 인화성 액체에서 정전기 발생을 최소화하기 위해 유체의 속도를 가능한 한 낮게 한다.
- (3) 보통 전도도가 50 pS/m를 초과하는 액체는 정전기가 축적이 되지 않지만 전도도가 작은 액체는 설계 시 유속의 조정 등 정전기의 발생을 억제하거나 정전기를 제거하는 정전기 방지 대책이 필요하다.
- (4) 주요 액상 화학물질의 전도도 및 최소점화에너지는 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 액상 화학물질의 전도도 및 최소점화에너지

물 질	전도도 (pS/m)	최소점화에너지 (mJ)
메 타 놀	$4.3 \times 10^7$	0.24
아 세 톤	$5.9 \times 10^6$	1.15
에피클로로히드린	$3.3 \times 10^6$	자료 없음
프 로 판 올	$2 \times 10^6$	자료 없음
에 타 놀	$1.35 \times 10^5$	자료 없음
에틸아세테이트	$1 \times 10^5$	1.42
휘 발 유	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^2$	0.8
톨 루 엔	1	2.5
자 이 렌	$1 \times 10^{-1}$	0.2
헵 탄	$3 \times 10^{-2}$	0.24
벤 젨	$5 \times 10^{-3}$	0.2
헥 산	$1 \times 10^{-5}$	0.2

※ 자연 완화시간 : 톨루엔 (21초), 헥산 (100초 이상)

- (5) 가연성 분진은 대부분 높은 고유저항을 갖는 부도체로서 정전기가 축적되며 축적된 정전기에너지가 가연성 물질의 최소점화에너지보다 클 때 화재·폭발사고로 이어질 수 있다.
- (6) 보통, 고유저항이  $10^9 \Omega \cdot m$  보다 작은 물질은 정전기 축적으로 인한 화재·폭발의 위험성이 적으나 고유저항이  $10^9 \Omega \cdot m$ 보다 큰 아래와 같은 물질에 대해서는 정전기 대책이 필요하다.
- (7) 주요 분체에 대한 고유저항과 최소점화에너지는 <표 2>와 같으나, 평균입경에 따라 값이 달라질 수 있으므로 유의하여야 한다.

<표 2> 주요 분체의 고유저항 및 최소점화에너지

물 질	고유저항 ( $\Omega \cdot m$ )	최소점화에너지 (mJ)
PTFE	$10^{15} \sim 10^{19}$	3.5
폴리에틸렌	$10^{14} \sim 10^{18}$	10
폴리스티렌	$10^{10} \sim 10^{19}$	40
PMMA	$10^{11} \sim 10^{14}$	15 ~ 20
ABS, SAN	자료 없음	30
경화고무	$3 \times 10^{11}$	30
알루미늄	자료 없음	50 ~ 100

- (8) 최소점화에너지는 다음의 인자에 따라 영향을 받으며 일반적으로 온도가 높을수록, 압력이 높을수록, 입자가 작을수록 그리고 수분이 적을수록 최소점화에너지는 작아진다.

(가) 입자 크기 및 형상

(나) 농도

(다) 온도

(라) 압력

(마) 수분 농도 및 주변 환경

- (9) 정전기에너지( $U_e$ )는 (식 1)과 같으며, 이를 노모그램으로 나타내면 <붙임 1>과 같다.

$$U_e = \frac{C V^2}{2} = \frac{Q V}{2} = \frac{Q^2}{2 C} \quad \dots\dots\dots ( \text{식 1} )$$

여기서,

$U_e$  : 정전기에너지, Joule

$C$  : 정전용량, Farad

$Q$  : 전기량, Coulomb

$V$  : 정전기 전위, Volt

- (10) <붙임 1>의 노모그램을 이용하여 시스템내의 인화성 액체, 인화성 가스(증기) 혼합물 및 분진의 정전기에너지( $U_e$ )와 최소점화에너지를 구할 수 있다.

## 6. 정전기 관리방법

### 6.1 일반 사항

- (1) 정전기는 설비나 장치에 국한하여 발생하는 것이 아니라, 작업자 등의 행동에 의해서도 발생하기 때문에 정전기의 안전관리는 사업장 전체에 공통적인 문제로 취급하여야 한다.
- (2) 안전관리는 원칙적으로 사업장의 조직·체계에 맞게 실시한다.
- (3) 안전관리를 원활히 실시하기 위한 기준들을 제정·정비함과 동시에 이를 운용하는 조직체계를 확립하고, 정비한다.

### 6.2 접지에 의한 방법

- (1) 접지와 본딩은 정전기 완화를 위한 기본적인 방법이며 공정 내 물질이 어느 정도의 전도성과 저항을 가지고 있으면 접지를 철저히 하는 경우 정전기로 인한 위험성은 없다.
- (2) 위험물질을 탱크로리로 주입하는 경우에는 반드시 접지를 하여야 하며 더욱 적극적인 방법으로 접지가 이루어지지 않으면 펌프가 기동되지 않도록 한다.
- (3) 가연성 분진 취급 시 금속 표면이나 휘타 백에 비전도성 물질로 코팅이 되었거나 합성수지 등으로 라이닝된 제품은 피한다.

### 6.3 습도 조절 및 불활성가스 등에 의한 방법

- (1) 습도가 증가하면 부도체의 표면의 전기저항이 낮아진다.

- (2) 상대습도를 65 % 이상으로 유지하는 것이 이상적이다. 다만, 공정상 건조상태를 필요로 하는 곳에서는 50 % 이상을 유지한다.
- (3) 가습은 수증기를 피하고 가습기를 이용한다.
- (4) 산소와의 접촉을 차단하기 위해 불활성가스를 주입한다.

#### 6.4 유체의 속도를 제어하는 방법

- (1) 전도도가 50 pS/m 보다 작은 액체는 유속을 7 m/s 미만으로 설계한다.
- (2) 전도도가 50 pS/m 보다 작고 물과 비혼합성 액체인 경우에는 유속을 2 m/s 이하로 설계한다.
- (3) 인화성액체를 탱크 등에 초기에 주입하는 경우에는 유속을 1 m/s 이하로 한다.

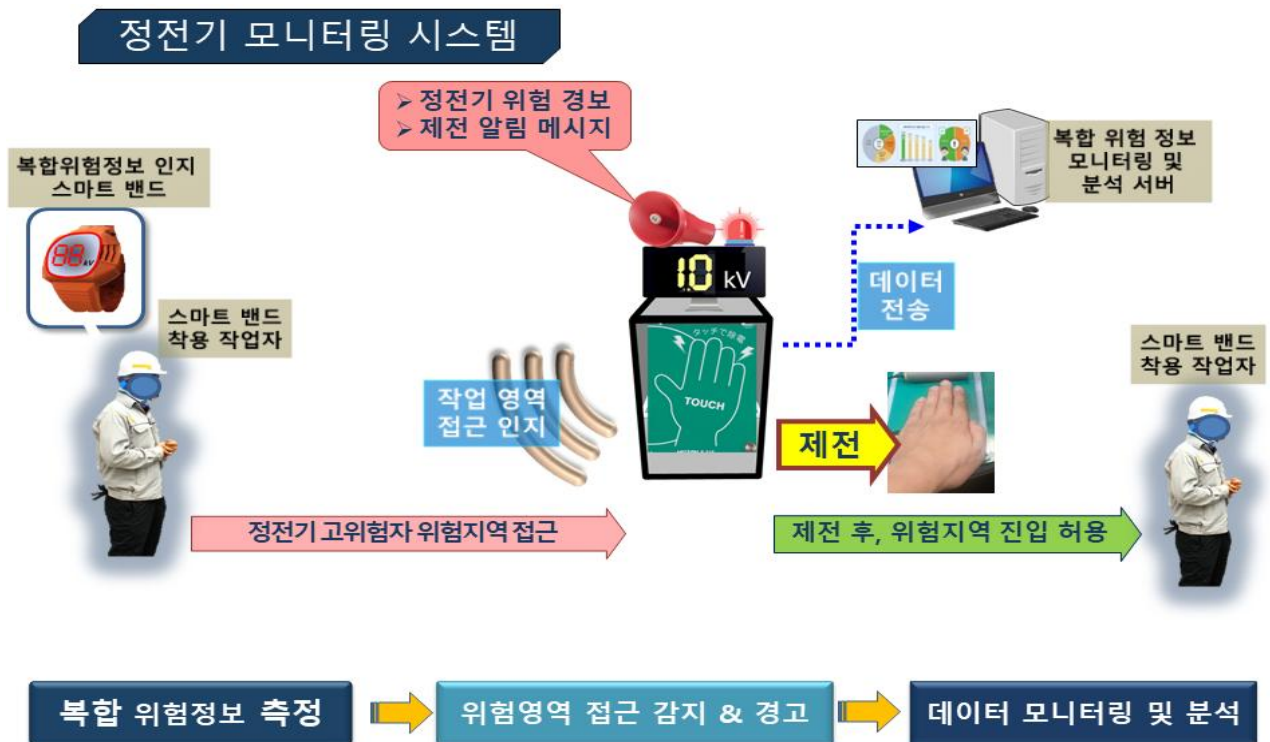
#### 6.5 계측·제어에 의한 방법

- (1) 정전기로 인한 화재·폭발 등 사고를 예방하기 위하여 접지를 했음에도 불구하고 화재나 폭발이 발생하는 경우가 있다. 이러한 곳에서는 공정 내의 정전기를 가능한 한 연속적으로 계측·제어하거나 휴대용 측정기를 사용하여 지속적인 모니터링을 하는 것이 필요하다.
- (2) 정전기를 계측하여 제어하는 방법에는 공정 내에 이온물질을 주입하여 전도성을 높이는 방법이 있으며 이는 <그림 1>과 같다.
- (3) 전도성을 증가시키기 위하여 주입하는 이온물질이 제품의 품질에 영향을 주지 않아야 한다.
- (4) 휴대용 측정기를 사용하여 모니터링을 하는 경우 측정자로부터 정전기 위험성을 억제하여야 한다. 예를 들면 대전방지용 의복을 착용하여야 한다.
- (5) 대전물체에 측정기 외함을 근접시키면 정전기가 방전될 수 있으므로, 대전물체에 대한 측정은 측정기 응답을 주시하면서 서서히 근접시키도록 한다.
- (6) 폭발위험장소에서 정전기 모니터링을 하는 경우에는 방폭형의 측정기를 사용하여야 한다.
- (7) 설비나 작업자로부터 정전기 위험성을 지속적으로 모니터링하는 ‘스마트밴드’ 측정기를 사용할 수 있으며 <그림 2>와 같다.



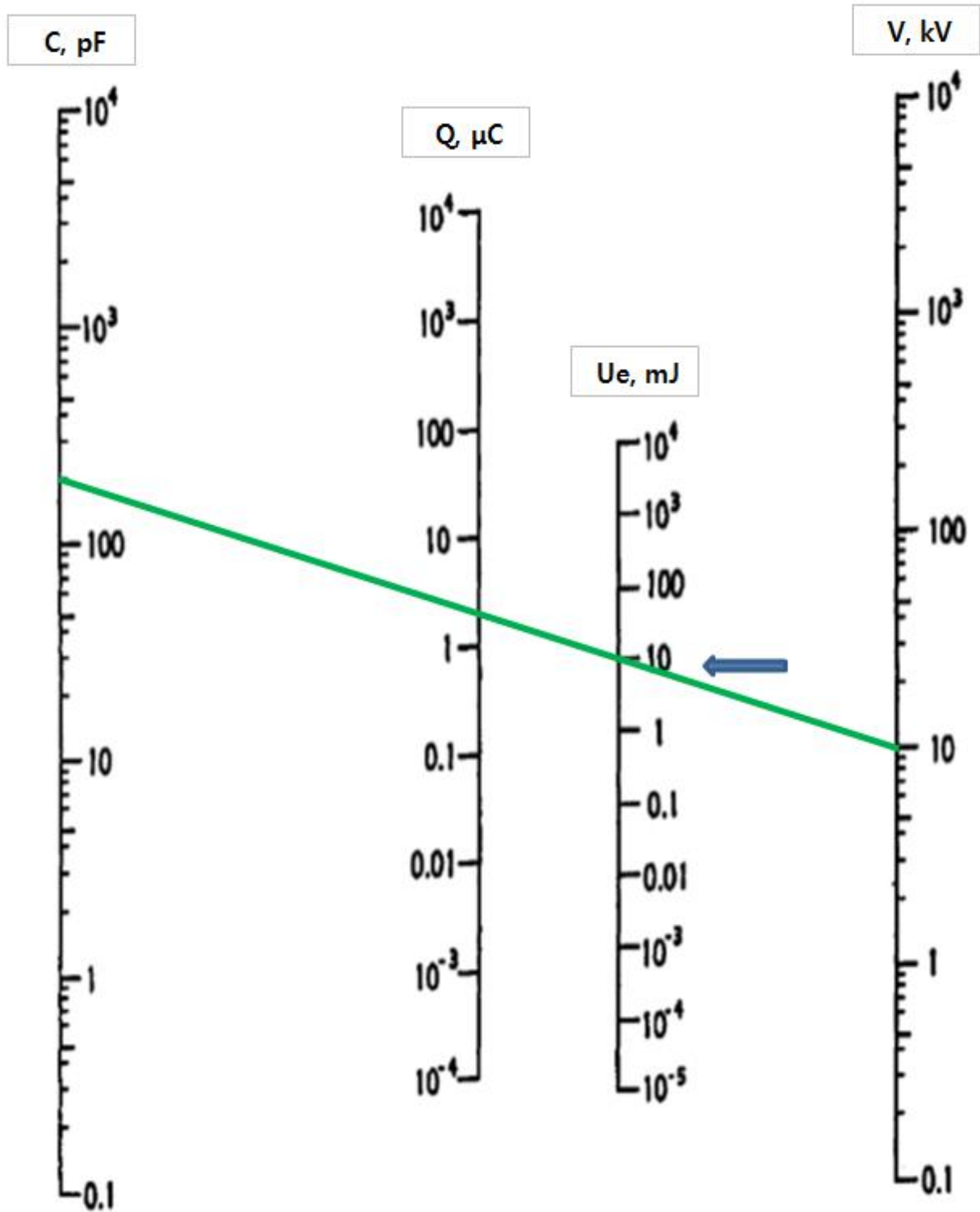


<그림 1> 정전기 계측·제어 시스템(예)



<그림 2> ‘스마트 밴드’를 사용한 정전기 모니터링(예)

<붙임 1> 정전기에너지( $U_e$ ) 등의 산출 노모그램



(출처; 미국 로체스터 대학 전기공학과 논문)

## [노모그램 이용방법]

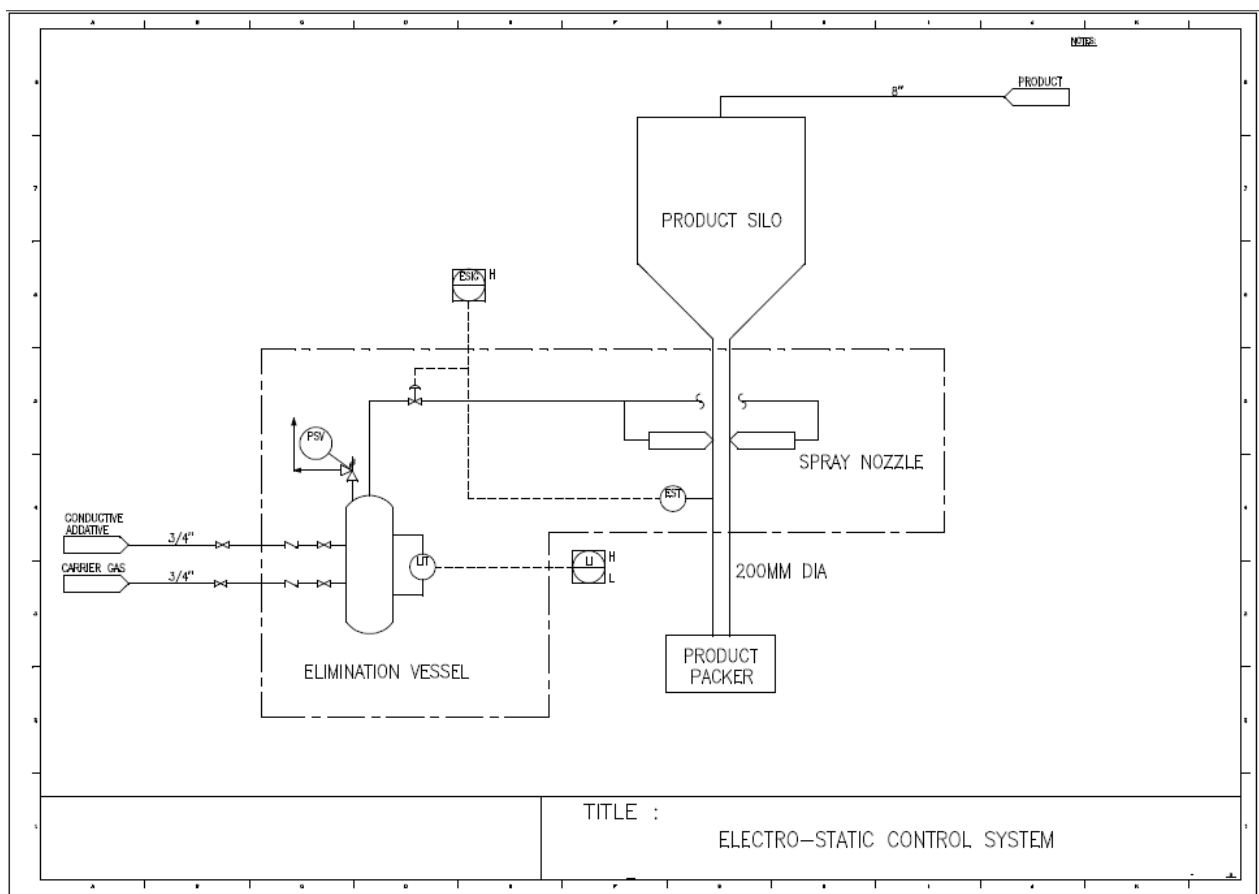
### <사례 1>

200 pF의 정전용량을 가진 사람이 카펫 위를 걸어갈 때 발생하는 정전기는 약 10,000 V인 경우의 정전기에너지는 얼마인가?

### <산출 1>

노모그래프에서 정전용량 200 pF와 전압 10,000 V를 이르면 정전기에너지는 10 mJ 이 된다. 이 에너지는 <표 1>에 제시된 물질들의 최소점화에너지를 초과하는 에너지로 대책이 필요하다.

### <붙임 2> 정전기 계측·제어 사례



## <붙임 3> 정전기로 인한 사고사례

### 1. 코팅액 교체작업 중 사고사례

(1) 발생일시 : 2007년 8월

(2) 작업내용 : 휘발성이 강한 코팅액 교체 작업

화장품 케이스 코팅 작업장에서 코팅액 교체작업을 하면서 스프레이 노즐 및 배관 내부에 잔류하고 있던 기존 코팅액을 세척하는 과정에서 분무형태의 유기용제에 충전된 정전기가 방전되면서 화재가 발생하여 작업자 6명이 사망하고, 2명이 부상당한 사고임.

(3) 문제점

(가) 코팅액 교체작업에 대한 기준이 제정되지 않아 분무형태의 유증기가 정전기 방전에 위험하다는 생각을 하지 못했음.

(나) 배기장치 등 설비 성능저하 및 가연성 물질 보관량이 기준량보다 많았음.

(다) 사고 시 작업자의 신속한 대응이 미흡하였음.

### 2. 알루미늄 분진취급 중 사고사례

(1) 발생일시 : 2011년 3월

(2) 작업내용 : 알루미늄 코일의 산화피막 제거 및 분진 제거작업.

알루미늄 코일의 산화피막을 제거하기 위해 철제용 브러쉬로 표면을 긁어내는 작업을 한 후 발생한 알루미늄 분진을 제거하기 위해 이동용 집진기의 전원 스위치를 올리는 순간 화재가 발생하여 작업자가 화상을 당함.

(3) 문제점

(가) 내부 폭발위험 분위기 형성을 억제하는 대책이 미흡하였음.

(나) 가연성 금속 분진으로 폭발 또는 화재 발생이 우려되는 상황이었음에도 불구하고 환기 등의 조치가 미흡하였음.

### 3. 인체방전에 의한 사고사례

(1) 발생일시 : 2015년 3월

(2) 작업내용 : 용제 저장조 상부에서 용제를 담는 작업

바닥방수제 배합공정에서 점도조절을 위한 용제를 투입하기 위해 용제를 담는 과정에서 용제 저장조 상부에서 작업하던 중 정전기 방전에 의한 화재가 발생하여 작업자 2명이 사망하고 공장동이 소실된 사고임.

(3) 문제점

(가) 저장조 상부에서 플라스틱 용기로 용제를 담기 위해 흔들는 과정에서 폭발분위가 형성되기 때문에 폭발위험장소로 설정했음에도 불구하고, 작업과정에서 발생한 정전기와 인체에서 발생한 정전기의 방전에 의한 화재폭발의 가능성을 간과하여 정전기 대전방지를 위한 적절한 접지 등을 실시하지 않았음.

(나) 인체, 용기 손잡이(금속), 금속 추 등에 대전된 정전기의 발생 및 방전을 억제하기 위한 적절한 접지와 그 연속성을 확인하지 않았음.