

靜電氣 災害의 豫防(I)

1993. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

提 出 文

韓國産業安全公團 理事長 귀하

본 報告書를 産業災害豫防技術의 研究開發 및 普及事業의 일환으로
수행한 “靜電氣 安全 및 災害防止에 관한 研究” 사업의 最終 報告書로
제출합니다.

1993년 12월 31일

主管 研究部署: 産業安全研究院
機械電氣研究室

연구수행자: 室長 李 寬 珩

序 文

靜電氣는 우리가 日常生活에서도 흔히 經驗할 수 있는 自然現象 중의 하나입니다. 다만, 諸般 靜電氣 現象이 눈에 잘 띄지 않아 우리가 흔히 看過하고 있을 따름입니다. 그러나 靜電氣는 石油化學工場이나 油槽車 등의 大型 火災·爆發 事故의 原因이 되기도 하며, 建設現場에서는 靜電氣 Shock로 인하여 作業者가 高所에서 墜落하는 災害를 일으키기도 합니다. 또한 製造工場에서 갖가지 生産障礙를 가져올 수 있는데, 특히 銳敏한 半導體 部品을 취급하는 電子會社에서는 이들 部品이 靜電氣에 의하여 損傷을 받아 製品의 不良化를 招來하는 일이 빈번합니다.

이 책에서는 금년도 우리 研究院에서 遂行한 靜電氣 관련 研究의 一次年度 結果로서 靜電氣의 發生現象, 防護方法 및 除電方法 등에 대한 基本的인 事項들에 대하여 記述하였습니다.

이 책은 石油化學工場이나 纖維工場, 電子會社 등 靜電氣로 인한 障·災害가 憂慮되는 事業場에 종사하는 勤勞者 특히 安全管理者들의 技術指針書로, 그리고 우리 公團의 敎育院과 各 指導院에서 敎育 및 技術指導 資料로 活用될 수 있으리라 믿습니다. 비록 未盡한 部分이 많더라도 아무쪼록 産業現場에서 요긴하게 活用되어 靜電氣로 인한 障·災害를 豫防하는데 조금이나마 寄與할 수 있게 되기를 빌어마지 않습니다.

우리 研究院에서는 앞으로도 靜電氣의 障·災害에 관한 研究를 계속 수행하여 나갈 計劃이며, 아울러 이 책의 未盡한 점들도 끊임없이 補完하여 나갈 생각입니다. 讀者 여러분들의 持續的이고 아낌없는 聲援과 指導 鞭撻을 바랍니다.

1993년 12월 31일

韓國産業安全公團

産業安全研究院長

徐 相 學

목 차

序 文	i
1. 머 리 말	1
2. 靜電氣의 發生	3
2.1 靜電氣 發生의 原理	3
2.1.1 靜電氣의 發生	3
2.1.2 靜電氣의 停滯	5
2.2 靜電氣 帶電의 種類	7
2.2.1 接觸 帶電	7
2.2.2 誘導 帶電	9
2.2.3 噴出 帶電	10
2.2.4 照射 帶電	11
2.2.5 流動 帶電	11
2.2.6 기타	11
2.3 靜電氣의 發生狀況 및 發生要因	11
2.3.1 靜電氣의 發生 狀況	12
2.3.2 靜電氣의 發生 要因	14
2.4 靜電氣의 放電	16
2.4.1 불꽃(Spark) 放電	16

2.4.2 Corona 放電	18
2.4.3 Brush 放電	18
2.4.4 傳播 Brush 放電	19
2.4.5 電界 放出 放電	19
3. 靜電氣로 인한 障·災害	20
3.1 火災 및 爆發 災害	20
3.1.1 可燃性 物質에 따른 火災·爆發 災害	20
3.1.2 生産工程상의 火災·爆發 災害	22
3.2 生産工程의 障礙	25
3.2.1 半導體 素子 및 部品の 破壞	25
3.2.2 電子製品 및 自動化機器 등의 障礙	28
3.2.3 汚染	30
3.2.4 印刷 品質의 低下	31
3.3 人體 障害	32
3.3.1 人體 및 衣服의 靜電氣 現象	32
3.3.2 靜電氣에 의한 生理學的 影響 및 傷害	32
4. 靜電氣의 防護方法	35
4.1 靜電氣 發生의 抑制	35
4.1.1 物體의 選擇	35
4.1.2 表面 狀態	36

4.1.3 接觸面積 및 接觸壓力	36
4.1.4 固體의 分離速度 및 液體의 流速	36
4.1.5 기타	37
4.2 接地 및 接續에 의한 導體의 帶電防止	37
4.2.1 接地 및 接續의 對象	38
4.2.2 接地 및 接續 抵抗	38
4.2.3 靜置時間과 帶電防止 效果	39
4.2.4 粉體類의 帶電防止를 위한 接地	39
4.2.5 液體類의 帶電防止를 위한 接地	40
4.2.6 固體物質의 帶電防止를 위한 接地	41
4.3 導電性向上에 의한 不導體의 帶電防止	43
4.3.1 帶電防止劑에 의한 導電性 向上	44
4.3.2 導電性材料에 의한 導電性 向上	47
4.4 空氣중 放電에 의한 帶電防止	49
4.4.1 導電性纖維에 의한 帶電防止	49
4.4.2 加濕에 의한 帶電防止	53
4.4.3 空氣 이온化에 의한 帶電防止	55
4.5 靜電遮蔽에 의한 帶電防止	56
4.5.1 靜電遮蔽의 效果	56
4.5.2 靜電遮蔽의 方法	57
4.6 靜電氣의 除電	58

4.6.1 除電의 原理	58
4.6.2 除電器의 種類	59
4.6.3 除電器의 使用法	62
5. 靜電氣 災害의 防護對策	68
5.1 人體에 대한 靜電氣의 防護對策	68
5.1.1 人體의 帶電	68
5.1.2 人體 및 衣服으로부터의 放電	70
5.1.3 人體의 接地	72
5.2 靜電氣로 인한 火災·爆發의 防止	76
5.2.1 可燃性 및 爆發性	76
5.2.2 點火 Energy	78
5.2.3 靜電氣 制御를 통한 點火 防止	81
5.3 電子産業의 靜電氣 防護對策	82
5.3.1 電子部品の ESD 被害 類型	82
5.3.2 ESD 敏感 部品 (ESDS)의 分類	84
5.3.3 ESD 制御 計劃 (ESD Control Program)	86
6. 맺 음 말	92
參考文獻	94

1. 머 리 말

靜電氣는 日常生活에서 우리가 흔히 보고 느끼고 있는 自然現象중의 하나이다. 겨울철에 차를 탈려고 차문 손잡이 (Door Knob)에 손을 대는 순간 찌릿하게 傳해져 오는 電氣衝擊에 움찔 놀랬던 일들을 대부분의 사람들이 수 없이 많이 경험하였을 것이다. 장마철 하늘에서 흔히 나타나는 번개불은 많은 사람들을 놀라게 하고, 때로는 벼락의 形態로 사람과 가축 그리고 建物 등에 엄청난 被害를 가져오기도 한다.

事務室에서 電子複寫器 (Copier)를 사용할 때는 종이들이 몇장씩 겹쳐 나오며 잘 떨어지지 않아 우리를 애먹게 하는 경우도 흔하다. 家庭에서는 TV 受像機 畫面에 뿌옇게 앉는 먼지가 주부들을 짜증나게 하고 있다. 이러한 것들은 모두 靜電氣 (Static Electricity)로 인하여 일어나는 現象들의 일부이다.

工場내에서 靜電氣로 인한 被害는 더욱 심각하여 여러가지 原因으로 蓄積된 靜電氣의 放電 (Electrostatic Discharge; ESD)時 發生하는 電流는 IC와 같은 銳敏한 半導體素子들을 破壞시키고 Computer와 같은, 수많은 IC Chip들을 內藏한 機器들의 誤動作을 誘發하고 있다. 靜電氣는 또한 物體 表面을 汚染시켜 IC와 같이 製造工程에서 엄격한 Clean Room 作業을 요하는 製品의 不良率을 增大시키며 作業能率을 低下시킬 수가 있다.

그러나 무엇보다도 靜電氣에 의한 災害중에서 가장 큰 比重을 차지하고 있는 것은 火災·爆發이다. 化學工場이나 精油工場은 물론이고 製材所나 製粉工場, 纖維工場과 같은 可燃性物質이 있는 장소에서는 어디서나 靜電氣가 點火源으로 作用하여 火災·爆發을 일으켜 大型 災害를 招來할 수 있다.

이와 같이 靜電氣는 産業現場이나 우리의 日常生活에서 흔히 發生하여 크게는 重大 産業災害의 源因이 되고, 작게는 日常生活의 不便을 가져오고 있다. 특히, 事業場에서 靜電氣는 生産活動에 막대한 支障을 招來할 뿐더러 때로는 勤勞者의 貴重한 生命을 위협하고 企業 財産에 커다란 損失을 惹起할 수가 있다.

近來에 와서는 産業의 發達에 따라 合成樹脂, 合成纖維, 고무 등의 石油化學製品 그리고 각종 油類, Gas 등의 生産 및 使用이 날로 늘어나서 靜電氣가 發生할 수 있는 素地가 현저하게 增加하고 있다. 뿐만 아니라 産業의 高度化는 靜電氣의 發生 Mechanism을 複雜하게 하여 이로 인한 障·災害의 豫防을 더욱 어렵게 하고 있다.

人體에 蓄積되는 靜電氣는 보통의 경우 단지 귀찮은 일에 불과할 수 있다. 그러나 특별한 狀況에서는 심각한 災殃이 될 수가 있다. 예를 들어 可燃性 麻酔 Gas를 사용하는 病院手術室과 爆發性物質을 취급하는 事業場이 이에 해당된다.

본 研究는 靜電氣의 帶電 및 放電 등에 관한 여러가지 現象을 考察하여 産業現場에서 일어나는 靜電氣로 인한 被害를 줄일 수 있도록 基本的인 靜電氣의 防護對策을 講究하고자 遂行하였다. 落雷도 靜電氣에 의한 현상이나 여기서는 제외코자 하며, 火災·爆發 災害의 豫防을 위한 研究는 내년도에 보다 詳細히 遂行할 예정이다.

이 책의 제2章에서는 靜電氣의 發生 Mechanism을 考察하고, 제3章에서는 靜電氣로 인한 여러가지 障·災害들을 살펴보고자 한다. 제4章에서는 靜電氣 災害의 豫防을 위해서 우리가 할 수 있는 여러가지 靜電氣 防護方法들에 대해서 알아보하고자 한다. 제5章에서는 人體 靜電氣 防護를 비롯하여 火災·爆發防止 및 電子産業의 被害防止를 위한 基本的인 對策들에 대하여 記述하려고 한다. 마지막으로 제6章에서는 事業場에서의 靜電氣 災害 豫防을 위해서 향후 우리가 하여야 할 課題를 提示하고 본 研究의 結論을 맺고자 한다.

2. 靜電氣의 發生 및 放電

머리말에서 언급했듯이 靜電氣는 정도의 차이는 있지만 우리의 日常生活이나 産業現場의 곳곳에서 발생하고 있다. 靜電氣가 發生하여 帶電되어 있는 물체는 어떤 조건하에서 외부로 放電을 일으키는데, 이 放電시 발생하는 Energy가 여러가지 障·災害의 원인이 된다. 이 장에서는 이러한 靜電氣가 어떻게 발생하여서 物體에 머물러 있다가 放電을 일으키는지에 대한 Mechanism을 알아보려고 한다.

2.1 靜電氣와 發生原理

2.1.1 靜電氣의 發生

어떤 두 物體가 接觸상태에 있으면 한 物體는 다른 物體로부터 電子를 끌어당기는 경향이 있어 두 物體는 각각 다른 帶電 電位를 형성하게 된다. 靜電氣는 일반적으로 不導體로서 성질이 다른 두 물질이 接觸되어 있다가 分離될 때에 발생한다. 두 물질이 接觸하면 電子들이 두 接觸面에 再分布되면서 끌어 당기는 힘 [引力; Attractive Force]이 생성된다. 물질들이 分離될 때는 이 引力을 극복할 수 있는 일이 행해져야 하며 이와같이 쓰여진 힘이 두 면사이에 電位差로서 나타나게 되는 것이다. 실제적으로는 電子들이 한 물질에서 다른 물질로 이동되어져 한 물체에는 電子가 過剩 狀態이고 다른 물체에는 不足한 狀態가 되어 帶電하게 되는 것이다. 이렇게 帶電되어 있는 電荷 (Charge)를 靜電氣 (Static Electricity)라고 한다. 이 이름은 이 電荷들이 物體에 오랫동안 靜止 狀態로 남아있기 때문에 붙여진 것이다.

한 極性の 靜電氣가 한 물질에 생성되면 反對 極性の 동일한 量의 靜電氣가 다른 물질 또는 그것과 전기적으로 연결되어 있는 물체에 생성된다. 이 電荷들은 두 물체사이에 어떤 導電路가 있으면 이를 통하여 재결합하려고 한다. 그러나 不導體物質나 絶緣된 導體 物質에 蓄積되어 있는 靜電荷는 빠르게 再結合하기가 불가능하

여 오래동안 머물러 있게 되므로 이러한 物質이 帶電되는 것이다.

이렇게 생성되는 電位差는 수천 Volt까지 달할 수 있다. 만약에 어떤 帶電 物體에 反對 極性으로 帶電된 物體가 가까이 접근하거나 接地된 물체가 가까이 놓여지면 이 電荷들은 갑자기 이동하여 結合하게 되는데, 이러한 現象을 靜電氣 放電 (Electrostatic Discharge; ESD)라고 한다. 이러한 靜電氣放電은 靜電氣에 의한 電壓이 물체를 大地와 격리시키고 있는 물질이나 공기의 絶緣耐力을 초과하는 점에 다다르게 될 때 일어나는 것으로 흔히 불꽃방전의 형태로 일어날 수 있다. 이러한 불꽃방전은 곧 에너지의 발생을 의미하며 이 에너지는 대부분 熱과 빛의 형태로 나타난다. 번개 (Lightning)는 대표적인 靜電氣放電 현상으로서 엄청난 양의 靜電荷가 이동한다.

어떤 물체에 蓄積되는 靜電氣의 量은 그 물체의 크기와 관계 있다. 축적된 電荷는 쿨롬 (Coulomb; C)의 단위로 나타내진다. 축적된 電荷의 量이 그로 인한 電位 (Potential)에 대한 比가 Capacitance라고 불리는 靜電容量이다. 이의 單位는 Farad (F)이나 非現實的으로 큰 量이므로, 실제로는 microfarad (μF) 또는 picofarad (pF)이 사용된다. 예를 들어, 보통사람의 경우 약 200 pF 의 容量을 가지며, 對地電位가 약 15,000 V에 달할 수 있다. 이것이 불꽃放電을 일으킨다면 약 22.5 mJ의 에너지가 발생된다. 이는 자동차 엔진에서 휘발유와 空氣의 混合氣體를 點火시키기 위하여 Sparkplug가 내놓는 에너지가 20~30 mJ인 것과 유사하고, 炭化水素氣體의 最小點火 에너지 0.25 mJ의 9배에 해당하는 量이다. 따라서 人體는 조그만 發電機 및 靜電氣의 貯藏所로 간주될 수 있다.

靜電引力과 같은 電荷 사이의 相互作用은 理論的으로는 Coulomb의 法則에 의하여 설명될 수 있다. 그림 2.1과 같이 공간 중의 한 점 O에 q_1 [C]의 點電荷가 놓여 있을 때, 이 점 O에서 r [m]의 거리에 있는 점 P의 電界의 세기 E 는

$$E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon r^2} \quad [\text{N/C}]$$

여기서, $\varepsilon = \varepsilon_s \varepsilon_0 =$ 媒質의 誘電率 (dielectric constant)

$\varepsilon_s =$ 媒質의 比誘電率

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = \text{眞空의 誘電率 (단위는 F/m)}$$

이때 점 P에 q_2 의 電荷가 놓여 있을 때 이 電荷가 받는 힘 F 는 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad [\text{N}]$$

靜電氣 현상에 있어서 q_1 및 q_2 는 크기가 같고 極性만 反對이므로 이 힘은 서로 끌어 당기는 힘으로 작용한다.

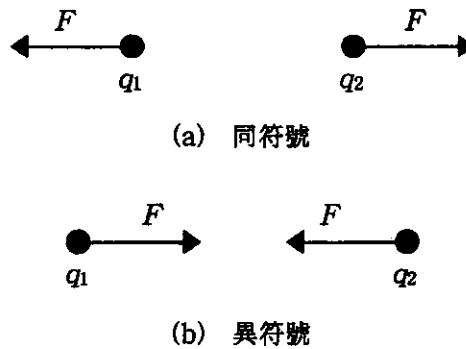


그림 2.1 두 點電荷간에 작용하는 Coulomb 힘

이 Coulomb力은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- ① 힘의 방향은 두 電荷를 연결하는 線을 따라서 작용한다.
- ② 힘의 크기는 電荷量의 곱에 比例하고, 電荷間의 거리의 제곱에 反比例한다.

2.1.2 靜電氣의 停滯

發生 過程에서 분리된 靜電荷는 妨害를 받지 않는한 直接 또는 大地를 통하여

신속히 再結合하게 된다. 電荷가 不導體상에 있게 되면, 電荷는 그 物質 自體의 높은 抵抗에 의하여 머물러 있게 된다. 導體상에 電荷를 停滯시킬려면 이 導體를 不導體에 의하여 다른 導體나 大地로부터 絶緣시켜야 한다. 실질적인 量의 靜電荷를 유지시킬려면 大地에 대해 $10^9 \Omega$ 이상의 抵抗이 필요하다.

정상적인 상태에서 순수한 Gas는 不導體이며, 따라서 粉塵 덩어리나 噴霧 속에 있는 浮游粒子들은 粒子 自體의 導電度에 관계없이 電荷를 장기간 保持할 수 있다.

모든 경우에 있어서 電荷는 그 시스템내의 不導體의 抵抗에 의하여 결정되는 속도로 흘러 나간다. 이러한 過程을 靜電 緩和 (Relaxation)라고 한다. 危險 狀況을 야기하는데 요구되는 抵抗값 및 比抵抗 또는 導電率의 값은 해당 시스템에 크게 의존한다.

많은 産業工程에서 絶緣되어 있는 導體에 蓄積되는 靜電氣가 끊임없이 발생하고 있다. 代表的인 例로 帶電된 液體나 粉末이 容器속으로 흘러 들어가는 것을 들 수 있다.

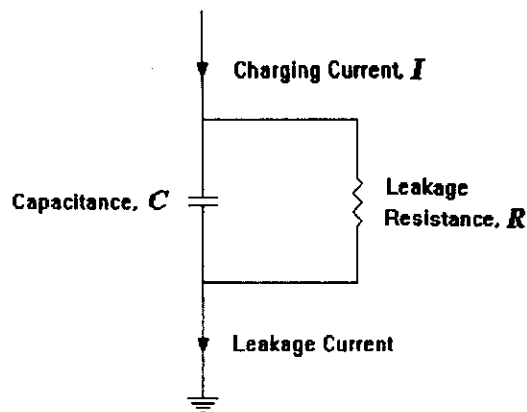


그림 2.2 靜電氣에 의하여 帶電된 導體의 等價 電氣回路

絶緣된 導體의 電位는 發生되는 電荷의 流入率과 漏泄率의 平衡의 결과가 된다. 等價 電氣回路는 그림 2.2에 보여지는 바와 같으며, 導體의 電位는 다음 式과 같이

주어진다.

$$V = IR \left[1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right]$$

여기서, V = 導體의 電位 [V]

C = 導體의 靜電容量 [F]

R = 大地로의 漏泄抵抗 [Ω]

I = 靜電氣 充電 電流 [A]

t = 帶電이 시작된 시점으로부터 경과된 時間 [s]

最大 電位는 t 가 충분히 클 때에 도달되며, 따라서 $V_{\max} = IR$ 이 된다.

2.2 靜電氣 帶電의 種類

靜電氣는 매우 다양한 방법으로 발생한다. 가장 흔하게는 성질이 다른 어떤 두 物體가 서로 相對的인 運動을 할 때 발생한다. 靜電氣의 發生方式을 정리하면 다음과 같다.

2.2.1 接觸 帶電 (Triboelectric Charging)

異質의 두 物體가 (1) 接觸(Contact)할 때, (2) 접촉하여 서로 摩擦(Rubbing)할 때, (3) 接觸되어 있다가 分離(Separation)할 때는 物體간에 電子의 移動이 일어나, 電子를 내보낸 物體는 陽電氣로 帶電되고, 電子를 받아들인 物體는 陰電氣로 帶電된다. 이와 같은 帶電을 摩擦帶電 (Tribocharging) 또는 接觸帶電 (Contact Charging) 이라고 하며, 이 때 發生되는 電氣를 摩擦電氣 (Triboelectricity)라고 한다.

物體가 帶電되는 양상은 Faraday가 처음 제시한바 있는 帶電序列 (Triboelectric Series)에 의하여 결정된다. 표 2.1은 대표적인 物質들의 帶電序列이다. 이 序列에서 서로 멀리 떨어진 물질간일수록 靜電荷가 많이 발생하며, 序列의 위쪽의

표 2.1 物體의 帶電序列 (Triboelectric Series)

物 質	帶電 極性
石綿 (Asbestos)	陽極 (+)
Acetate	
창유리 (Window Glass)	
毛髮 (Human Hair)	
雲母	
Nylon	
羊毛 (Wool)	
납 (鉛; Lead)	
石英 (Silica)	
絹 (Silk)	
Aluminum	
종이 (Pulp, Paper)	
Polyurethane	
綿 (Cotton)	
木材 (Wood)	
鋼鐵 (Steel)	
Ebonite	
天然고무 (Natural Rubber)	
Epoxy Glass	
Nickel, 銅(Copper), 銀(Silver)	
黃銅 (Brass), Stainless Steel	
硫黃 (Sulphur)	
合成고무	
Acrylic	
Polyester	
Polyethylene	
PVC (Vinyl)	
TEFLON	
Silicone Rubber	陰極 (-)

物質이 電子를 잃게 되어 陽(+)으로 帶電되고 아래쪽의 物質이 電子를 얻어 陰(-)으로 帶電된다. 예를 들면, 머리털[毛髮]과 PVC가 비벼지는 경우가 Nylon과 綿이 비벼

지는 경우보다 靜電氣가 더 많이 發生하게 된다.

종이같이 얇은 物體는 서로 密着되어 있다가 떨어지게 되면 表面에 있는 電荷의 分離가 일어나 靜電氣가 發生하게 된다. 이와같은 것을 摩擦 帶電에 對應하여 薄離 帶電이라고도 한다.

物體 表面에 나타나는 靜電氣의 量은 發生되는 電氣量에서 放電되어 소멸하는 電氣量은 뺀 나머지가 된다. 이러한 靜電氣의 發生과 放電에 영향을 미치는 요소는 표2.2에 요약되어 있다. 靜電氣의 發生量은 두 物質의 帶電序列에서의 상대적인 位置 뿐만 아니라 接觸面積, 物體의 近接度, 接觸面の 거친 정도, 接觸하는 壓力 (密着力), 摩擦하거나 分離되는 速度 등에 의하여 결정된다.

표 2.2 帶電量에 영향을 주는 要素

區 分	影 響 要 素
電荷 發生率	· 帶電序列에서의 상대적 位置 · 接觸의 親密度 (接觸壓力 등) · 摩擦係數 · 分離速度
放電率 (消滅率)	· 物質의 導電率 · 相對濕度 · 物體表面의 濕氣 · 再結合率

2.2.2 誘導 帶電 (Induction Charging)

帶電된 物體 주위에는 電氣場이 存在하게 된다. 어떤 導體가 이 電氣場속에 놓여지게 되면 그 導體 주변의 電氣場내의 電位分布을 변화시키는 동시에 이 電氣場의 영향으로 導體내에서 反對極性을 가진 電荷의 分離가 일어난다. 즉, 帶電되어 있지 않은 物體가 帶電體에 의한 電氣場에 露出되면 電荷의 分極이 일어나 가까운 쪽에는 反對 極性의 電荷가, 먼 쪽에는 같은 極性의 電荷가 모이게 된다. 이 때 物體가 絶緣

되어 있거나, 어느 한 쪽에서 接地 等에 의하여 電荷를 끌어내면 이 物體는 帶電體가 되는데 이러한 帶電을 誘導에 의한 帶電이라고 한다 (그림 2.3).

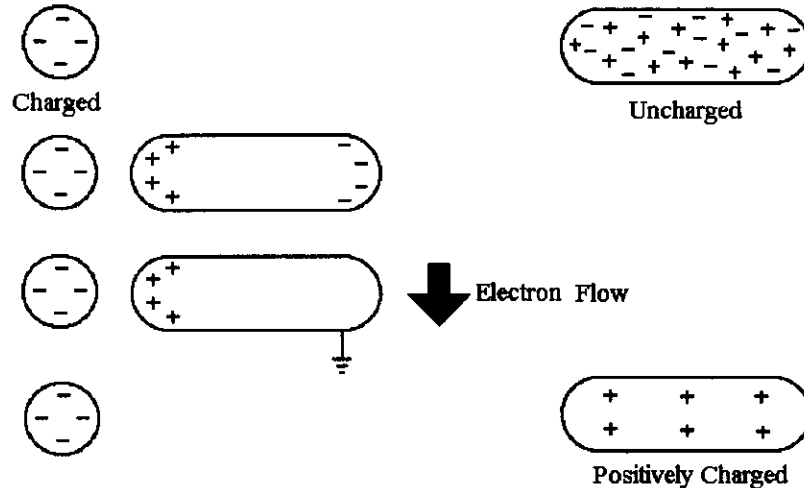


그림 2.3 誘導에 의한 帶電

誘導 帶電은 接地되지 않은 物體가 分極 (Polarization)될 때 발생하는 것으로서 分極시 발생하는 電流로 인하여 電子部품을 파괴할 수 있다. 특히 유의할 점은 直接的인 接觸에 의하지 않고도 被害가 발생할 수 있다는 점이다.

2.2.3 噴出 帶電 (Spray Charging)

液體를 機械的으로 Ion化할 때 噴出되어 나오는 粒子가 極性を 띄게 되는 현상이다. 粉塵이나 液體 또는 氣體 상태의 물질이 斷面積이 작은 噴出口를 통해 공기중으로 噴出될 때 噴出되는 物質과 噴出口와의 摩擦이나 衝突에 인하여 靜電氣가 발생하게 된다. 이 경우 분출하는 物質과 噴出口를 구성하는 物質과의 摩擦에 의해서도 靜電氣가 발생하나, 噴出物속에 섞여 있는 異物質 粒子간의 相互 衝突 또는 噴出되어 나오는 物質과 外部에 있는 物質간의 衝突에 의하여도 靜電氣가 발생하게 된다.

2.2.4 照射 帶電 (Ion Beam Charging)

Ion이나 電子, Alpha 粒子들의 Beam이나, 紫外線, X-Ray, Gamma 線과 같은 電磁波 (Electromagnetic Radiation)가 粉體나 空氣 分子와 衝突할 때 放出되는 自由 電子가 주위의 空氣 分子와 結合하여 帶電을 시키는 현상이다.

2.2.5 流動 帶電

液體가 容器나 管 내에서 교반하거나 流動할 때 액체와 용기벽 또는 管벽 사이에 靜電氣가 발생한다. 이는 液體가 固體와 접촉하면 境界면에 電氣 二重層이 형성되어 이때 발생한 전하의 일부가 液體와 함께 流動하기 때문에 생기는 현상이다. 이 때 靜電氣 발생에 크게 영향을 끼치는 요인은 液體의 流動 速度와 흐름 상태, 容器 또는 管의 형태 및 材質 등이다.

2.2.6 기타

局部的인 高溫으로 인하여 電子가 放出되는 Thermionic Emission Charging, 빛에 의하여 電子가 방출되는 Photoelectric Charging, 電氣場에 의해 발생하는 Field Emission Charging 및 Corona Charging, 그리고 物體가 破壞될 때 破壞面에서 電荷의 分離나 正, 負 電荷의 均衡이 깨지면서 일어나는 帶電 등이 있다.

2.3 靜電氣의 發生狀況 및 發生要因

靜電氣는 異物質間에 접촉이 이루어지는 日常的인 活動과 事業場내의 많은 공정에서 다양하게 발생한다. 여기서는 이러한 靜電氣가 발생하는 實際 狀況과 靜電氣 發生에 영향을 끼치는 여러가지 要因들을 살펴보고자 한다.

2.3.1 靜電氣의 發生 狀況

표 2.3 靜電氣源의 實例

靜 電 氣 源	靜電氣를 발생시키는 物質 또는 作業 動作
作 業 者	○ 걷는 행위 ○ 의자를 밀거나 의자에서 일어나는 동작 ○ 의복을 입거나 벗는 동작 ○ 그 외의 반복적인 동작 등
衣 服	○ 일반적인 의복 ○ 합성섬유로 된 모든 의복 ○ 합성섬유로 된 비전도성 작업신발 등
作業 의자	○ Fiber Glass 의자, 비닐을 씌운 의자, 니스나 래카 폴리우레탄 코팅 또는 왁스처리한 의자 등
作 業 臺	○ 플라스틱 비닐로 씌우거나, 니스 또는 래카 등으로 처리한 것, 왁스처리 한 것 등
바 닥	○ 비닐처리한 것, 니스 등으로 표면처리한 것 ○ 콘크리트 바닥, 왁스처리한 바닥 등
부품함, 상자	○ 플라스틱, 용재로 표면처리한 나무, 금속상자 등
包 裝 材	○ 일반적인 플라스틱 (Bag, Wrap, Envelop 등) ○ 일반적인 Bubble Pack, Styrofoam ○ 유리 제품 등
用 具	○ Plastic Solder Sucker ○ 접지되지 않은 팁의 납땀인두 ○ 손잡이가 플라스틱 코팅된 일반용구 ○ Tubing이나 Drying을 위한 Hat Gun ○ Solvent Brush (毛나 합성섬유로 된 것) 등
製 造 機 및 製 造 工 程	○ Drying Oven, 사출기, 항온조, 납땀기기 ○ 전자 복사기 ○ Spray Coating, Cleaning, Painting ○ 냉각용 Spray 등

靜電氣는 우리의 日常的인 活動중에서도 많이 발생한다. 一例로 우리가 카펫트 위를 걸을 때의 신발과 바닥의 마찰, 움직일 때의 의복의 마찰 등으로 인하여 생기는 靜電氣를 들 수 있다. 事業場에서는 Conveyor Belt나 Roller가 포함되는 工程, Taping 작업, 그리고 갖가지 自動化工程이 모두 靜電氣를 발생시키는 상황이 될 수 있다. 또한 液體, 氣體 및 粉塵의 흐름, 빛의 露出, 局部的인 過熱, 강한 電氣場에 의해서도 靜電氣가 발생한다.

작업 현장에는 특히 靜電氣를 발생시키는 많은 물질이 있다. 마루바닥, 의자, 作業臺, 부품함, 工具, 機械, 包裝材 등 모두가 靜電氣源 (Static Source)이라 할 수 있다. 표 2.3은 대표적인 靜電氣를 발생시키는 물질이나 동작을 나타내고 있다.

몇가지 대표적인 動作이나 作業을 할 때 發生하는 靜電 電壓은 표 2.4에 요약되어 있다. 이 표에서 주위의 濕度는 靜電電壓에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있어 濕度가 높을수록 電壓이 작아진다. 그러나, 55% 이상의 높은 濕度에서도 危險 電壓이 생길 수 있음을 유의하지 않으면 안된다.

표 2.4 대표적인 動作에 따라 發生되는 靜電電壓 (單位: Volts)

動作 類型	相對 濕度		
	10%	40%	55%
Carpet 위를 걸음	35,000	15,000	7,500
Vinyl 위를 걸음	12,000	5,000	3,000
Plastic Tube에서 DIPs를 꺼냄	2,000	700	400
Vinyl Tray에서 DIPs를 꺼냄	11,500	4,000	2,000
Polystyrene 거품속에서 DIPs를 꺼냄	14,500	5,000	3,500
PWBs에서 거품덩어리를 제거함	26,000	20,000	7,000
주름진 Box에 PWBs를 포장함	21,000	11,000	5,500

※ 註 (1) DIP (Dual In-line Package): IC Housing의 한 형태로서, 二列의 Pin이 나와 있고 鑄型된 Plastic이나 Ceramic 틀로 둘러 싸인 것.

(2) PWB (Printed Wiring Board): 印刷 配線 基板

2.3.2 靜電氣의 發生要因

앞에서 살펴본 바와 같이 靜電氣는 物體간의 接觸, 摩擦 또는 衝擊 등에 의하여 分子가 Ion화되거나 金屬物質내의 自由電子가 이동하여 電荷의 不均衡이 일어나 발생하는 현상이다.

靜電氣 發生의 要因으로는 物體의 종류, 表面의 狀態, 接觸 壓力, 分離 速度 등을 들 수 있다.

2.3.2.1 物體의 種類

接觸이나 摩擦에 의하여 일어나는 帶電은 帶電序列이라고 불리는 物質의 序列上 相對的 位置에 영향을 받는다. 어떤 두 물체를 접촉시키거나 마찰할 때 帶電序列에서 (+)측에 있는 물질이 陽極性을 띠고, (-)측에 있는 물질이 陰極性을 띠게 되며, 帶電序列에서 서로 멀리 떨어져 있는 물체일수록 靜電氣의 發生이 용이하여 帶電量이 많아지게 된다.

그림 2.4는 帶電列의 일부와 이에 따른 상대적인 帶電量을 나타내고 있다.

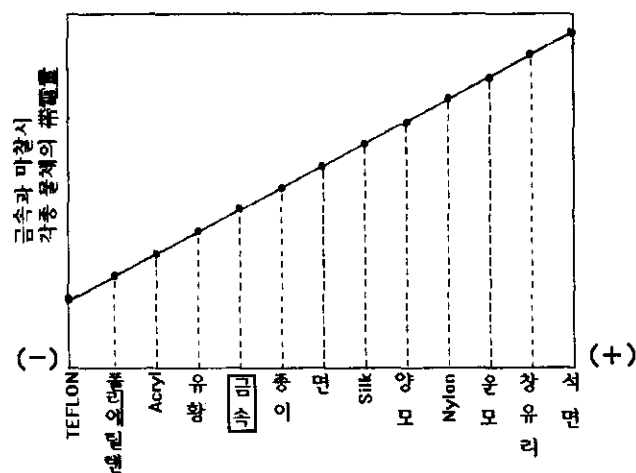


그림 2.4 帶電序列과 帶電量의 關係

2.3.2.2 表面 狀態

表面의 狀態는 표면의 汚染, 腐蝕, 水分과 같은 화학적인 것과 표면의 凹凸, 거칠음 등과 같은 물리적인 것이 있다. 일반적으로 표면이 깨끗하거나 平滑할 때 靜電氣의 발생이 적다.

2.3.2.3 接觸面積 및 接觸壓力

물체간의 接觸面積이 클수록 靜電氣의 발생량은 많아진다. 接觸壓力은 실질적으로 接觸面積과 관계가 있어 이 壓力이 클수록 접촉면적도 커져 靜電氣의 발생량이 많아지게 된다.

2.3.2.4 帶電 履歷

동일한 물질과 조건에서도 連續적으로 일어나는 靜電氣의 발생량은 처음에는 많다가 점차 줄어들어 어느 수준에 이르러서야 일정하게 된다. 다시 말하면 어떤 물질에 있어서 靜電氣의 발생은 그전에 일어났던 그 물체의 帶電履歷에도 영향을 받는다. 이는 帶電에 따라 물체 表面의 狀態가 변화하기 때문이다.

2.3.2.5 分離 速度

分離速度가 크면 發生된 電荷의 再結合이 적게 일어나 靜電氣의 발생량이 많아지게 된다. 급한 發進, 停止, 變速 등은 分離速度를 크게 하여 靜電氣의 발생량이 많아지므로 回避하여야 한다.

2.3.2.6 기타 要因

기타 靜電氣 發生에 영향을 미치는 요인으로서는 溫度, 濕度, 不純物 등을 들 수

있다.

溫度가 높으면 靜電氣 발생은 많아지는 경향이 있다.

濕度가 높으면 物體表面에 水分이 많이 생겨 帶電된 靜電氣를 漏泄시켜 제거하는데 도움을 준다.

不純物이 많으면 靜電氣의 발생량은 증가하나 導電率도 커져 발생된 電荷를 더 많이 漏泄시키므로 殘留하는 靜電氣의 量은 어느 한도 이상에서는 오히려 감소할 수 있다.

2.4 靜電氣의 放電

物體에 帶電되어 있는 靜電氣는 大地나 다른 物體로 放電할 때에 災害를 유발할 수 있다. 靜電氣放電의 形態는 여러가지로 구분될 수 있고, 이에 따라 點火能力도 차이가 나게 된다. 여기서는 명확한 구분은 어렵지만 대체적으로 다음과 같은 5가지 형태로 분류하여 그 특성을 살펴보기로 한다.

2.4.1 불꽃(Spark) 放電

Spark는 液體 또는 固體 導體 사이에서 일어나는 放電으로서, 高密度의 電流를 동반하고 閃光을 발생하는 특징이 있다. 이 放電은 매우 빠르게 진행되고 날카로운 소리를 내기도 하는데, 氣體의 Ion化가 全 放電期間에 걸쳐 일어난다.

Spark 放電은 두 導體간의 電氣場의 세기가 崩壞세기 (Breakdown Strength)라고 불리는 수준을 초과할 때에 이 導體들 사이에서 일어난다. 이 Breakdown 세기는 Gap 간격에 따라 달라진다. 평면 또는 곡률반경이 큰 표면 사이에서는 10 mm 정도 떨어져 있을 경우 이 세기는 약 3×10^3 kV/m 정도이며, Gap 간격이 증가함에 따라 증가한다.

Spark 放電에서 관계되는 物體는 導體이므로 모든 電荷는 Spark에 흡수되어 실

제에 있어서 靜電氣가 갖는 모든 潛在 Energy를 放散시킨다. 그림 2.2는 等價 電氣 回路로서, Spark Energy는 다음과 같이 주어짐을 알 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2$$

여기서, E = 放散된 Energy [J]

Q = 導體내에 있는 電荷의 量

V = 導體間의 電位差 [V]

C = 導體間의 靜電容量 (Capacitance) [F]

이 Energy는 最大值로서 放電經路에 抵抗이 있으면 Spark에서 소진되는 Energy는 작아진다. 표 2.5는 主要 導體의 靜電容量값을 보여주고 있다.

표 2.5 대표적인 靜電容量

物 體	靜電容量 [pF]
小型 金屬 部品 (Scoop, Hose Nozzle)	10 ~ 20
小型 容器 (Bucket, 50 l Drum)	10 ~ 100
中型 容器 (250 ~ 500 liters)	50 ~ 300
接地된 構造物에 둘러쌓인 主要 工場部品 (Reaction Vessel 등)	100 ~ 1000
人 體	100 ~ 300

Spark 放電 Energy의 대표적인 計算例로서 非接地된 金屬 Drum이 Grinder에서 나오는 분말로 채워질 경우를 들 수 있다. 이 경우에 있어서, I 는 10^{-7} A, Drum에서 大地로의 漏泄抵抗, R 은 10^{12} Ω , 그리고 靜電容量은 약 50 pF로 간주한다. 그러면, Drum의 最大電壓은

$$V_{\max} = IR = 100 \text{ kV}$$

그리고 Spark 放電시에 放出되는 最大 Energy는

$$E_{\max} = \frac{1}{2} C V_{\max}^2 = 250 \text{ mJ}$$

이다. 이 때 Drum에 帶電되어 있는 電荷量은 다음과 같다.

$$Q_{\max} = C V_{\max} = 5 \times 10^{-6} \text{ C}$$

2.4.2 Corona 放電

이것은 매우 작고, 뾰족한 끝이나 날카로운 모서리를 갖고 있는 導體에서 일어나는 放電 形態이다. 이 放電은 다른 物體를 指向할 수도 있고 大氣로 放散될 수도 있다.

뾰족한 形態 부근의 電氣場 세기는 매우 크고 거리가 멀어짐에 따라 급격히 감소한다. 뾰족한 끝부분에 있는 氣體는 이온화되고 이에 따라 電流가 導體를 흘러나 가게 된다. 그러나 이 점에서 멀리 떨어진 곳에서는 이온화가 불완전해지고 주변 氣體의 導電度에 영향을 받는 약한 電流가 생기게 된다. 이러한 現象을 Corona 放電이라고 하며, 쉿소리와 희미한 불빛으로 특징지어 진다.

Corona 放電은 오랜 기간 持續될 수도 있고, 짧고 조그만 폭발이 斷續적으로 일어날 수도 있다. 이 放電에서 수반되는 Energy 密度는 Spark 放電에 비하여 훨씬 작다. 특별한 경우에 있어서 뾰족한 導體의 電位가 증가하고 他 導體가 접근하면 Corona가 Spark로 발전할 수가 있다.

2.4.3 Brush 放電

Brush 放電은 帶電이 되어 있는 不導體로부터 導體로 일어난다. 이것은 不導體 表面의 不連續的 부분에서 짧은 Spark 같은 放電의 形態를 취한다. 즉, 개개의 放電은 表面 위로 흐를 수 있는 電荷量에 의하여 제한받는 조그만 Spark라고 볼 수 있

는데, 전체적으로는 Brush 形態로 보인다. 만약 電流가 흘러 들어가고 있는 導體의 끝이 뾰족할 때는 그 導體에서의 放電은 Corona 形態를 취한다.

Brush 放電에서 局地 Energy 密度는 點火能力을 갖기에 충분할 만큼 클 수가 있다. 그러나 실제 실험에서 이 Energy는 대략 4 mJ을 초과하지는 않는 것으로 나타나고 있다.

2.4.4 傳播(Propagating) Brush 放電

이 類型의 放電은 보통의 Brush 放電의 變形으로서, 兩面에 대량의 반대 極性의 電荷를 가진 板(Sheet) 型의 高抵抗 不導體에서 일어날 수 있다. 흔히 이 不導體板은 導體에 의하여 접속될 수 있는데, 중요한 것은 이 板이 兩極化되어 있고 充電된 Capacitor의 誘電體와 같은 상태로 되어 있다는 것이다. 만약 不導體 表面에 導體가 접근하게 되면 靜電氣에 의한 電氣場은 이 표면의 넓은 부분에 걸쳐 이온화를 촉진시키게 된다. 이에 따라 放電이 일어나게 되는데, 不導體의 광범위한 부분으로부터 電荷가 흘러나와 표면 주변의 이온화된 Gas를 통하여 처음 放電이 시작된 점으로 들어간다. 이 결과 強烈하고 Energy가 큰 Spark 같은 放電이 일어나게 되는데, 이는 매우 위험스러울 수가 있다.

2.4.5 電界放出(Field Emission) 放電

이 類型의 放電에 수반되는 Energy는 매우 작아서, 이 放電은 爆發物이 있을 경우에만 문제가 된다. 지금까지 기술한 放電은 모두 강한 電氣場에 의하여 야기된 Gas 이온화에 의존하고 있는데, 또다른 형태의 이온화 過程이 電界放出 (Field Emission) 放電에서 생겨날 수 있다고 믿어지고 있다. 즉, 表面 상태에 따라 表面으로부터 電子가 放出될 수 있다고 보는 것이다.

두 導體 表面이 10^{-3} mm의 거리내에 접근할 경우 약 50 V의 電位差를 갖는 放電이 관찰되었는데, 이는 약 5×10^4 kV/m에 해당하는 電界의 세기가 된다.

3. 靜電氣로 인한 障·災害

靜電氣는 可燃性混合物에 대한 點火源으로 작용하여 火災·爆發을 유발하거나, 半導體素子の 破壞, 自動化 設備의 誤作動 등 産業現場에서 生産活動에 많은 문제를 일으키고 있다. 이 章에서는 靜電氣가 일으키는 産業現場의 주요한 障礙 및 災害에 대해서 알아보려고 한다.

3.1 火災 및 爆發 災害

可燃性 Gas, 蒸氣 또는 粉塵이 있는 地域에서 帶電되어 있는 靜電氣가 放電할 때 나오는 Energy에 의하여 이 可燃性 物質이 點火되어 火災 및 爆發 災害가 일어나게 된다.

物質이 燃燒하거나 爆發하기 위해서는 可燃性 또는 爆發性 物質과, 이의 點火에 필요한 에너지를 공급하는 點火源, 그리고 點火된 物質의 燃燒나 爆發을 도와주는 空氣 (酸素)의 3要素가 동시에 존재하여야 한다. 이 3要素중의 어느 것 하나라도 부족하면 火災나 爆發은 일어나지 않게 된다.

靜電氣는 위의 3 要素에서 點火源에 해당하는 역할을 하고 있어, 靜電氣에 의한 火災·爆發은 靜電氣가 放電할 때 내는 放電 Energy가 引火性 液體나 可燃性 氣體 및 粉體의 點火 Energy보다 커질 때 일어난다.

3.1.1 可燃性 物質에 따른 火災·爆發 災害

物質의 狀態에 따라 可燃性 物質을 구분하여 靜電氣의 放電 Energy에 의한 點火性 등을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 可燃性 液體

液體가 다른 物質과 接觸하여 움직일 때 靜電氣가 발생한다. 이는 液體가 파이

프속을 흐를 때, 액체를 혼합하거나 붓거나 펌프질할 때, 그리고 액체를 Filter로 거르거나 교반할 때 흔히 일어난다. 어떤 조건하에서는, 특히 液化炭化水素의 경우, 靜電氣는 액체속에 축적될 수가 있고, 축적된 靜電氣가 충분할 경우 靜電氣 Spark가 일어날 수 있다. 만약 이 Spark가 可燃性 蒸氣-空氣 混合體가 있는 곳에서 일어나면 點火가 되어 火災 또는 爆發로 이어진다. 따라서 위의 두가지 狀況이 동시에 일어나지 않도록 적절한 조치가 취해져야 한다.

可燃性 液體는 또한 可燃性 蒸氣-空氣의 混合體를 生成시킬 수가 있어 스스로 爆發性 霧團氣를 조성할 수가 있으므로, 可燃性 液體는 어떠한 경우에도 帶電이 되는 것을 막아야 한다.

(2) 可燃性 氣體 (Gas)

固體나 液體의 粒子가 포함되어 있지 않은 Gas는 流動중에 靜電氣를 거의 발생시키지 않는다. 그러나, 流動 Gas가 金屬酸化物이나 微小粒子에, 또는 液體粒子나 Spray로 汚染이 될 경우, 靜電氣가 發生할 수 있게 된다. 이러한 粒子로 汚染된 Gas의 흐름이 導電性物體에 부딪힐 때, 이 導電體가 接地 또는 放電管에 接續되어 있지 않으면 帶電하게 된다. 축적된 靜電氣가 충분할 경우 Spark 放電이 일어나게 되는데, 만약 이 Spark가 可燃性 蒸氣-空氣 混合體가 있는 곳에서 일어나면 點火가 되는 것이다. 따라서 靜電氣 Spark와 可燃性 蒸氣-空氣 混合體가 동시에 존재하는 곳에서는 點火를 防止하기 위하여 적절한 防護對策이 필요하다.

(3) 粉塵 및 纖維質 (Fibers)

接觸되어 있던 두 物體가 分離될 때 電荷가 쉽게 발생하므로 物體 表面으로부터 飛散되는 粉塵은 이미 상당량의 靜電氣에 帶電되어 있을 수가 많다.

綿織物 製造 및 加工業 등 産業體에서 粉塵과 纖維質을 많이 취급하는 工程중에 靜電氣로 인한 火災가 흔히 목격된다. 可燃性 粉塵雲의 點火가 靜電氣 放電 때문에

일어나게 되는 것이다. 靜電氣가 點火源으로 확실하게 밝혀진 모든 경우에 있어서, Spark는 絶緣된 導體와 大地 사이에서 일어났음이 확인되고 있다. 또한 많은 可燃性 物質의 粉塵雲이 靜電氣 放電에 의하여 點火가 될 수 있음이 實驗的으로 밝혀지고 있다. 粉塵雲은 最小 點火可能 濃度가 있어 이 濃度 이하에서는 點火가 일어나지 않으므로 粉塵이 많이 발생하는 屋內 事業場은 적절한 換氣가 필수적이다.

3.1.2 産業工程상의 火災·爆發 災害

제반 産業工程에서는 필수적으로 機械와 機械, 機械와 材料 또는 材料들간의 접촉이 일어나므로 靜電氣 또한 量의 차이는 있을 망정 반드시 발생하게 되어 있다. 이러한 靜電氣가 爆發性 雰圍氣에서 일어나거나 취급하는 物質이 可燃性인 곳에서 일어날 경우, 火災나 爆發이 발생할 우려가 매우 높다고 볼 수 있다.

(1) 混合 및 配合 作業

非導電性 固體物質에 의한 混合 및 配合 (Mixing & Blending), 갈기 (Grinding), 체거르기 (Screening) 등의 作業은 微細하게 조개진 不導體 가루의 空壓 移送와 마찬가지로 靜電氣가 잘 發生하게 한다. 이러한 混·配合에는 液體와 液體, 液體와 固體 등을 섞는 것들이 있는데 섞는 過程에서의 機械的 Energy가 低導電性 物質을 포함하는 계통에 파급될 때 靜電氣가 발생하게 된다. 障害의 정도는 電荷를 生成하고 維持할 수 있는 材料의 能力과 發火性 放電을 일으키기에 충분한 電荷를 축적할 수 있는 기계의 絶緣된 導電部 및 導管의 容量에 영향을 받는다.

引火性 液體는 攪乳器 (Churn)과 壓力釜 (Autoclave) 안에서 여러가지 顔料나 樹脂 (Resin) 또는 페인트, 니스 (Varnish; 塗藥), 랙커 (Lacquer; 塗料), 인쇄 잉크 등의 제조과정에서 나오는 類似 物質들과 혼합된다. 이 工程은 溶劑의 引火點, 관여하고 있는 물질의 量, 取扱方法, 換氣量 등의 要因에 따라 엄청난 火災 및 爆發 災害를 야기할 수 있는데, 여기서 靜電氣는 잠재적인 點火源이 된다.

(2) 鍍金, 薄膜 Spreading 및 涵浸 作業

이 세가지 工程은 페인트, 락카 (Lacquer) 등 溶劑를 織物이나 종이, 기타 다른 物質에 작용시키는 점에서 매우 유사하다. 이 작업에 있어서는 다뤄질 材料가 기계의 給油端에 있는 Roll에서 풀려 나오는데, 이어서 鍍金劑가 공급되는 Spreader 밑에 있는 일련의 Roller들을 통과하거나 壓搾 Roll 사이에 있는 涵浸槽를 통과한 후, Steam Table이나 乾燥爐를 거쳐, 최종적으로 Reel에 감기거나 절단되어 판으로 쌓이게 된다. 이 모든 작업과정에서 靜電氣가 발생하게 되며, 이 때 引火性 液體가 함께 사용될 경우, 靜電氣는 點火源 역할을 한다.

(3) Belt

動力傳達에 사용되는 고무나 가죽으로 된 Belt 또는 固體物質을 移送하는데 사용하는 Belt는 Belt와 回轉體가 接觸했다가 分離되는 과정에서 靜電氣를 발생시킨다. 이러한 Belt에는 水平 (Flat) Belt, Vee Belt, 콘베이어 Belt 등이 있으며, 도르레 (Pulley) 裝置에 사용하는 Belt도 있다. 可燃性 雰囲気, 粉塵 또는 纖維質이 존재할 가능성이 있는 상황에서는 Belt를 사용할 때 적절한 防護對策을 필요로 한다.

(4) 드라이클리닝

商用 Dry-Cleaning 작업은 얼룩 빼는 작업을 제외하고는 폐쇄된 기계내에서 이루어진다. 이때 행하는 작업으로는 옷감을 양호한 絶緣體이며 靜電氣 發生源인 溶媒에 담그는 일, 담근 옷감을 휘젓는 일, 溶媒容器에서 옷감을 꺼내는 일 등이 있으며, 이 작업 모두가 관계된 모든 材料의 絶緣 表面에 靜電氣를 帶電시킨다. 可燃性 液體가 있게 되면, 이 靜電氣는 點火源이 될 수 있다.

(5) 印刷 및 石版印刷 (Lithographing)

印刷産業에서는 종이가 輪轉機 (Press)를 통과하거나 Roll이나 Stack에서 끌려나

을 때, 종이가 印刷表面으로 이송되기 위해서 Roll이나 供給裝置를 접촉할 때, 그리고 壓搾作業時에 靜電氣가 많이 발생한다.

종이의 質과 종이 表面의 性質에 따라 발생하는 靜電氣의 量이 크게 달라지며, 플라스틱, 비닐 및 기타 合成物質에 인쇄할 때는 종이보다도 靜電氣 發生量이 훨씬 크다.

보통의 印刷工程에서 사용하는 잉크는 引火點이 140~204 °C 정도인 揮發性 溶媒 (Solvent)를 포함하고 있어 火災·爆發의 위험이 작으나, 高速 印刷의 경우 引火點이 -4 ~ 49 °C가 되는 揮發性 溶媒를 사용하고 있어 靜電氣의 放電은 火災 또는 爆發 災害를 야기할 危險이 매우 크다.

(6) 噴霧 作業

空氣를 사용하지 않는 噴霧工程에서 噴霧되는 物體 및 噴霧裝置에 多量の 靜電氣가 蓄積될 수 있다. Spray 장치에 의한 페인트, 니스, 에나멜, 랙카 등의 噴射는 도색 對象物이나 Spray Gun에 靜電電荷가 蓄積되게 한다. 대개의 도색재는 可燃性이므로 이 靜電氣는 點火源이 될 소지가 많다.

보통 30~150 kV의 高壓電源을 사용하는 靜電氣 噴霧裝置는 作動중 大地와 絶緣된 物體나 人體가 있으면 Spark를 발생시킬 수가 있고, 稼動을 중지한 상태에 있더라도 絶緣된 페인트에 축적되어 있는 殘留 靜電氣가 있을 수가 있어 點火源이 될 우려가 크다.

(7) 水蒸氣 噴射裝置 (Steam Jet)

水蒸氣의 凝縮이 일어나는 表面은 靜電氣가 발생될 素地가 많아, 大氣중에 噴射되는 多濕한 蒸氣는 주위의 絶緣物에 靜電氣를 발생시켜 蓄積시킬 수가 있다. 만약 可燃性 蒸氣-空氣 混合體가 주변에 있으면 이 靜電氣의 放電은 點火源이 될 가능성이 높으므로 이러한 장소에서는 水蒸氣 噴射를 원칙적으로 금해야 한다. 부득이한

경우 噴射作業을 할 때에는 作業前에 噴射 파이프, Nozzle 및 噴射되는 物體 모두를 接地 또는 Bonding시켜야 한다. 噴射裝置를 이용하여 清掃作業을 할 때, 사용되는 물이 再循環 (Recycling)될 경우 물에 기름이나 反應性이 강한 化學物質이 섞이게 되므로 위험성이 加重될 우려가 있다.

(8) 爆發物 製造

絶緣된 導體나 人體에 蓄積되어 있는 靜電氣는 爆發物을 點火시켜 重大災害를 야기할 수가 있다. 爆發物에는 固體, 粉末 또는 液體의 여러 類型이 있으며 형태도 다양하다. 일반적으로 初歩的인 爆發物이 더 위험한데, 예를 들면 水銀雷酸鹽 (Mercury Fulminate)이나 Tetryl 같은 것이 粉塵의 형태이면, 靜電氣의 불꽃 放電에 의하여 즉시 爆發될 수 있다. 爆發物 製造作業이나 貯藏所에서 靜電氣로부터 爆發事故를 防止하기 위한 節次는 취급되고 있는 物質의 靜電感度에 따라 상당히 달라져야 한다.

3.2 生産工程의 障碍

帶電되어 있는 靜電氣의 放電 (ESD)은 많은 事業場에서 生産工程에 막대한 障碍을 초래하고 있다. 특히 半導體 製造工場이나 半導體를 사용하여 製品을 만들어 내는 電子會社에서 靜電氣는 製品의 品質에 절대적인 영향을 미치고 있다.

3.2.1 半導體 素子 및 部品の 破壊

오늘날 電子産業에서 半導體분야 製造技術은 엄청난 發展을 거듭하여 超高密度로 集積化, 小型輕量化된 半導體 素子 (Chip)들이 속속 개발되고 있다. 그 결과 4 Mega 및 16 Mega D RAM 등의 大容量 記憶素子 (Memory Chip)들과 방대한 응용 회로를 하나에 集積한 Microprocessor나 ASIC Chip들이 컴퓨터를 비롯한 電子製品

들에는 물론 각종 産業機器에서 흔하게 사용되고 있다. 이러한 半導體 Chip들은 대부분 극도로 輕薄하며 微細電流에 의하여 動作함에 따라 감당할 수 있는 電力은 아주 작아 電磁波와 같은 外部 Noise에 매우 脆弱하다. 특히 靜電氣 放電에 의해 機能 障礙를 받거나 심한 경우 아예 破壞될 수도 있다. 따라서 靜電氣 放電은 이와 같은 半導體 Chip을 내장한 電氣·電子 製品들, 특히 Robot과 같은 自動化機器의 性能低下 및 誤動作을 유발하여 生産障礙는 물론 人命의 傷害까지 초래할 수 있다.

靜電氣 放電에 의한 被害의 Mechanism은 回復이 가능한 一時的 障礙 (Soft Failure)와 완전히 손상되어 회복이 불가능한 永久的 破壞 (Hard Failure)의 두가지로 구분할 수 있다.

(1) 一時的 障礙 (Soft Failure)

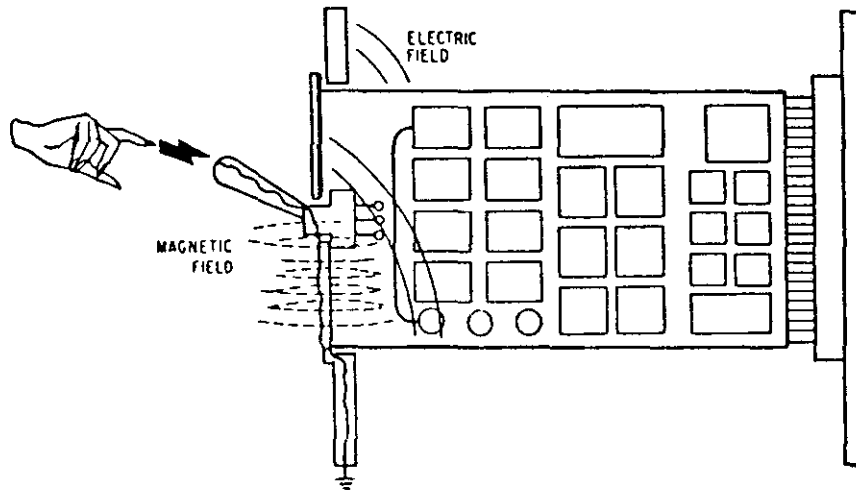


그림 3.1 Coupling에 의한 一時的 障礙

Spark 형태로 일어나는 靜電氣 放電은 광범위한 周波數帶域에서 干涉을 일으키는 電磁氣 Pulse (EMP)를 발생시켜 컴퓨터의 Shutdown이나 프로그램 또는 기억된 정보의 파괴와 같은 디지털 시스템의 장애를 초래한다. 이러한 피해는 영구적인 고

장을 일으키는 것은 아니고, 간섭하는 EMP가 없어지면 곧 회복 가능하여 一時的 障
碍 (Soft Failure)라고 한다. 이러한 一時的 障碍는 EMP외에 Inductive나 Capacitive
Coupling에 의해서도 일어난다. 그림 3.1은 이러한 Coupling에 의한 障碍 現象을 보
여주고 있다.

電磁波 放電에 의한 障碍는 부품 레벨뿐만 아니라 시스템 레벨에서도 일어난다.
일반적으로, State를 전환하는데 작은 에너지가 소요되거나, 高 Impedance 線의 낮
은 電壓 변화로 작동하는 論理素子들은 모두 靜電氣放電에 민감하다.

(2) 永久的 破壞 (Hard Failure)

靜電氣 放電에서 발생하는 에너지에 의하여 시스템내의 부품이 파괴되어 정상적
인 동작이 불가능한 것은 물론 차후에도 복구되지 않는 피해를 말한다. 반도체 부품
에 대해서는 다음과 같은 세가지 원인으로 일어나는 것으로 알려져 있다.

(가) 熱的 破壞 (Thermal Breakdown)

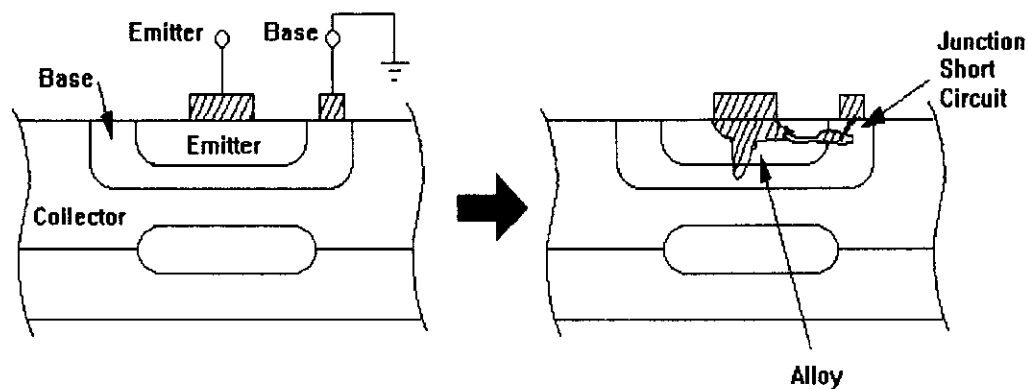


그림 3.2 Thermal Breakdown

Bipolar 半導體의 가장 큰 被害 要因이다. 이 被害는 靜電氣放電 Pulse가 가해질
때 발생하는 열이 퍼져 나가지 못하여 한 곳에 모여 있게 되고, 이 부분의 抵抗의

溫度係數가 負(-)가 되어 電流가 分流(Shunting)하여 결국 Thermal Runaway가 발생, Junction이 단락(Short)되는 현상이다. 그림 3.2는 이 현상을 나타낸 것이다.

(나) 誘電體 絶緣破壞 (Dielectric Breakdown)

MOS의 Gate Oxide의 Punch-Through로 인한 가장 주요한 피해 요인으로, 그림 3.3는 이 현상을 보여주고 있다. Oxide로 된 誘電體의 양단에 걸린 電壓이 誘電體의 限界 이상일 경우 誘電體가 뜯리고 絶緣이 파괴된다.

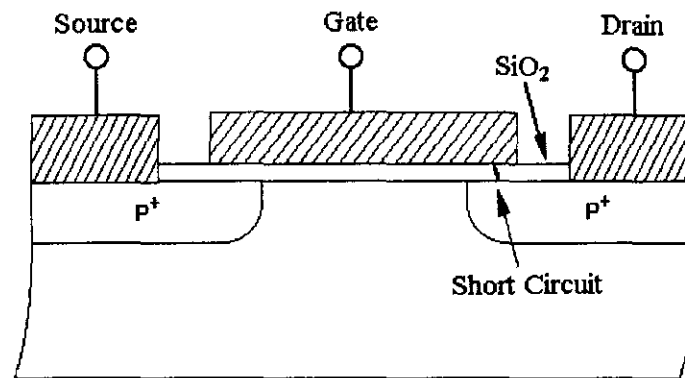


그림 3.3 MOS의 Oxide Breakdown

(다) 金屬化(Metallization) 鎔融

靜電氣放電에 의하여 半導體素子の 온도가 상승하여 金屬이 녹거나 接合線이 떨어져지는 현상이다. 특히 斷面積이 일정하지 않은 金屬線에서 局部的인 過密 電流로 인하여 金屬이 녹아 끊어지는 경우가 많다.

3.2.2 電子製品 및 自動化 機器 등의 障碍

靜電氣는 컴퓨터, 로봇, 電子交換器 등의 電氣·電子 제품 및 自動化 機器·設備에 障碍를 유발하여, 生産性, 品質, 通信 서비스 등에 악영향을 가져오고 危險機械의 誤

動作으로 인한 人命事故까지 야기할 수 있다.

적절한 靜電氣 防護對策이 구비되어 있지 않은 제품들은 信賴性에 심각한 損傷이 우려되며, 이에 따라 製品의 品質이 不信을 받게 되고 商品販賣의 큰 지장이 초래될 것이다.

工場내에서 運用하고 있는 로봇 및 自動倉庫 등의 自動化 設備들은 대부분이 Controller나 컴퓨터 (PC 포함)에 의하여 조종되고 있다. 그런데 이 Controller나 컴퓨터들은 그 내부에 IC와 같은 半導體素子들을 내장하고 있어 靜電氣 放電이나 電力線 등에 의하여 생기는 電磁波에 민감한 영향을 받는다. 따라서 이에 대한 적절한 對策이 강구되어 있지 않으면 이 設備들은 機能상에 障礙를 받거나 誤動作을 유발하게 된다.

(1) 産業用 로봇

産業用로봇은 勞動力을 대체하여 人件費를 줄이고 균일한 作業을 유지하여 品質을 향상시키는 등 生産活動에 많은 利點을 제공하여 최근 産業現場에서 대단히 많이 使用되고 있다. 특히 産業用로봇은 有害·危險 作業을 비롯하여 사람들이 싫어하는 3D 作業을 수행하기에 매우 적합하여 그 사용이 더욱 增加하고 있다.

이러한 産業用로봇은 미리 입력된 프로그램에 따라 作動하게 되는데, 주변에서 발생하는 靜電氣의 放電時에 나오는 電磁波의 障礙로 인하여 入力된 프로그램과는 다르게, 예기치 않은 動作을 하게 된다. 이렇게 되면 作業工程이 엉망이 되는 것은 물론 주변에 있는 作業者가 傷害를 입게 될 수 있다.

(2) 컴퓨터 制御 시스템

요즈음 FMS (Flexible Manufacturing System)이나 CIM (Computer Integrated Manufacturing) 등 컴퓨터를 이용한 製造工程이 확산되고 있고, 自動倉庫를 비롯하여 自動化設備들은 대부분 PLC나 컴퓨터에 의하여 制御되는데, 이들 컴퓨터나 PLC

는 半導體 Chip들을 내장하고 있는 관계로 電磁波에 매우 예민하다. 따라서 靜電氣 放電으로 인한 電磁波는 컴퓨터에 障礙를 유발하고 이 컴퓨터에 의하여 制御되는 設備나 機器는 誤動作을 일으켜 事故가 발생될 素地가 많다.

(3) 精密計測器

靜電氣가 精密計測器를 포함한 電子機器의 케이스에 放電될 경우 이 케이스에 放電電流가 흐르게 된다. 이 電流는 각 回路의 接地線에 흘러 들어가기로 하고 機器 케이스에 接續된 Lead 線에 靜電誘導 現象에 의한 誘起電壓을 발생시키기도 하여 機器의 誤動作을 초래하거나 性能低下를 가져와 計測器에 있어서는 精確한 測定을 방해한다.

機器 케이스에 接續 配線된 리드線에 電壓을 誘起시켜 誤動作이 발생하는 것은 케이스와 Lead 線 사이에 存在하는 相互 Inductance에 의한 相互誘導가 원인이 된다. 相互 Inductance를 M , 放電電流를 i 라고 하면, 리드線에 誘起되는 電壓 e 는 다음과 같다.

$$e = -M \frac{di}{dt} \quad [V]$$

윗식에서 케이스를 흐르는 放電電流의 變化率이 크거나 周波數가 높으면 誘起電壓 e 가 커짐을 알 수 있다. 이 相互誘導는 케이스와 回路配線간, 케이스와 接地線간 뿐만 아니라 回路 및 接地 配線들간에도 생긴다.

3.2.3 汚染 (Contamination)

靜電氣에 의하여 物體와 먼지를 구성하고 있는 粒子들이 帶電되면, 먼지 粒子들이 物體 表面에 부착하게 되어 物體가 오염되게 된다.

半導體 製造業體에서는 웨이퍼 (Wafer) 加工 工程 등에서 高度의 清潔을 요하므로 많은 작업이 Clean Room에서 이루어지고 있는데, 여기서 表面汚染의 制御 및 清

潔 環境의 維持는 필수적이다. Wafer 表面에 얹게 되는 미세한 汚染粒子는 表面을 損傷시켜 不良率을 높인다. Wafer가 靜電氣에 帶電된 경우에 電氣적으로 中性인 直徑 1 μm 인 粒子의 靜電引力은 100 μm 의 거리에서 重力의 112,000 배까지 달할 수 있다. 1,000 V로 帶電된 Wafer 표면의 粒子의 吸着力은 50%의 濕度에서 1 μm 의 粒子에 대하여 靜電引力이 帶電되지 않은 Wafer보다 약 40,000배나 크고 接觸壓力은 830,000 Lb/m^2 이므로 帶電된 Wafer 위에 粒子가 떠다니고 있으면 Coulomb 引力에 의하여 粒子가 Wafer에 부착하게 되고 일단 부착된 粒子는 靜電氣가 제거되기 전에는 청소에 의한 제거는 불가능하다. 粒子가 帶電되어 있을 경우 문제는 더 심각하다.

3.2.4 印刷 品質의 低下

印刷産業에서 靜電氣는 火災 또는 爆發 災害를 야기할 뿐만 아니라, 生産 측면에서 보면 印刷되어 나오는 製品의 品質低下 등 값비싼 對價를 요하는 많은 問題點들을 안고 있다.

實際에 있어서, 靜電氣가 帶電된 종이장은 다른 物體들을 잡아 당기는 힘을 갖게 되는데, 이로 말미암아 종이장 (Sheet)이나 종이두루마리 (Web)를 조종하는데 있어 많은 문제들이 야기되며, 때로는 이 종이들이 찢기기도 한다. 또한 공급되고 있는 종이장 표면들의 과도한 接觸이나 잉크를 위에 있는 종이 밑면까지 끌어들이므로 말미암아 인쇄의 오프셋 (Offset)을 증가시키기도 한다. 인쇄의 像은 靜電氣가 먼지 粒子들을 끌어들이어서 나빠지기도 한다.

3.3 人體 障害

3.3.1 人體 및 衣服의 靜電氣 現像

人體는 電氣的으로 導體이고, 乾燥한 環境에서는 수천 Volt에 이르는 電壓을 발생할 수 있는 靜電氣를 蓄積할 수 있다. 이 靜電氣는 구두와 마루의 接觸이나 여러 가지 製造作業 중에 일어나는 接觸 등에 의하여 생겨난다.

대개의 경우, 작업자의 구두와 복장은 靜電荷들이 生成되자마자 漏泄시킬 수 있을 만큼 충분한 導電性을 갖고 있다. 비단 및 일부 人造纖維는 양호한 絶緣體이고 이것들로 만들어진 內衣가 靜電氣 現像을 나타내고 있으나, 이러한 內衣의 着用이 위험을 끼친다는 결정적인 증거는 없다.

반면에 걸옷의 경우는 벗거나 하여 人體에서 땀 때, 상당한 量의 靜電荷를 발생시킨다. 대개의 경우는 이 효과가 별로 위험이 되지는 않으나, 건조한 상태에서, 어떤 물질에 대해서는 點火源으로 작용할 수가 있다.

病院 手術室, 爆發物 製造施設, 그리고 낮은 電氣 에너지로 點火가 될 수 있는 可燃性 또는 爆發性 雰囲気가 존재하는 작업장에서의 위와 같은 걸옷을 벗는 일은 매우 위험하다. 따라서 이러한 作業場에서 입는 걸옷은 靜電氣 發生이 되지 않는 것으로 선택하여야 한다.

液化酸素를 注入하는 工場에서는 냉각된 가스로부터 나오는 蒸氣가 작업자의 의복에 스며들어 引火性으로 변화시킬 수 있으며, 이 경우 人體에 축적된 靜電電荷는 點火源이 될 수 있다.

3.3.2 靜電氣 放電의 生理學的 影響 및 傷害

人體로부터 또는 人體로 放電이 일어났을 때 사람이 느낄 수 있는 最小의 Spark Energy는 대략 1 mJ로서, 이는 人體의 靜電容量이 300 pF일 경우 약 2.5 kV

의 電位에 해당한다. 電位가 증가함에 따라 여러가지 人體 反應이 관찰되고 있다. 어떤 사람들은 10 mJ에서 근육의 수축으로 인한 불편함을 느끼게 되고, 또 어떤 사람들은 수백 millijoule에 이르러서야 날카로운 근육 수축을 경험하게 된다. 1000 mJ (1 J)에서는 모든 사람이 강렬하게 통증을 느끼게 된다. 사람들이 意識을 잃게 되는 사고에 있어서는 放電 Energy가 수 Joule이 될 것으로 추정되고 있다.

대부분의 상황에서는 放電 Energy는 100 mJ 이하이므로 심각한 生理學的 Shock를 입는 경우는 아주 드물다. 그러나 예외인 상황도 있을 수 있는데, 예를 들면, 不導體 容器내에 수집된 높은 電位로 帶電된 粒子性 物質에 의한 人體로의 放電은 수 Joule에 달할 수가 있다.

靜電氣 Shock는 그 自體의 有害性 여부와는 관계없이 사람에게 不快感을 초래하고, 경우에 따라서는 無意識的인 反射行動을 유발시켜 傷害를 끼칠 수 있다. 즉, 放電으로 인한 非自發的인 근육의 收縮은 反射行動을 일으켜 作動중인 機械에 휘말려들게 하거나 들고 있는 연장을 떨어뜨리게 할 수도 있으며, 高地에서 작업하는 사람을 墜落하게 하는 등 많은 事故를 유발시킬 수 있다.

人體에 帶電되어 있는 電荷量이 $2 \sim 3 \times 10^{-7}$ C 이상이 되면, 이 電荷가 放電할 때 통증을 느끼게 된다. 이 帶電量을 帶電電位로 나타내면, 人體의 靜電容量을 대략 100 pF으로 할 경우, 2~3 kV가 된다. 표 3.1은 人體의 帶電電位와 느낌에 대한 관계를 나타낸 것이다.

만약 靜電電荷의 蓄積을 피할 수 없다면, 引火性 가스나 蒸氣가 없을 경우, 金屬體와 접촉을 피할 수 있는 여러가지 방법들을 고려해야 할 것이다. 그러한 방법들로서 欄干 (Handrail)을 非金屬으로 하는 것, 문손잡이를 絶緣시키는 것, 그리고 不導體 被服을 입히는 것 등을 들 수 있다.

표 3.1 人體의 帶電電位와 느낌의 정도

人體電位 [kV]	느낌의 정도	비고
1.0	전혀 느끼지 못한다.	放電音이 發生 (感知電壓) 放電 發光이 보임 손가락끝에서 放電發光이 뻗힘
2.0	손가락 끝에 感知되나 痛症은 없다.	
3.0	針으로 刺戟을 感知하며, 痛症이 있다.	
4.0	손가락으로 痛症을 感知한다.	
5.0	손등, 손목까지 電擊 痛症이 온다.	
6.0	손가락에 강한 痛症을 느끼며, 안쪽팔이 무거워진다.	
7.0	손가락과 손바닥에 강한 痛症을 피부로 느낀다.	
8.0	팔 전체에 痛症을 느낀다.	
9.0	손 전체에 강한 痛症이 오고, 손이 무겁게 느껴진다.	
10.0	손 전체가 아프고, 電氣의 흐름을 感知할 수 있다.	
11.0	손 전체에 강한 電擊을 感知할 수 있다.	
12.0	강한 電擊이 손 전체를 强打하는 느낌을 받는다.	

4. 靜電氣의 防護方法

靜電氣로 인하여 招來되는 障·災害를 豫防하기 위해서는 무엇보다도 먼저 ESD에 의한 障·災害가 우려되는 場所에서 靜電氣가 發生하는 것을 抑制하든가, 發生된 靜電氣가 蓄積되는 것을 防止하여야 한다. 일단 帶電된 靜電氣는 效率的으로 除去할 수 있어야 한다. 이 章에서는 이를 위한 여러가지 方法들을 考察해 보고자 한다.

4.1 靜電氣의 發生抑制

靜電氣의 防護를 위해서는 靜電氣의 發生을 防止하는 일이 중요하나 完全한 發生防止는 현실적으로 거의 불가능하다. 따라서 근본적인 靜電氣의 發生防止 對策은 있을 수 없으며, 단지 그 發生을 가능한 한 최소한으로 抑制시키는 것으로 만족할 수밖에 없다. 靜電氣의 발생을 억제하기 위해서는 産業現場에서 2章에서 記述한 靜電氣의 여러가지 發生要因들을 가능한한 제거하여야 한다.

4.1.1 物體의 選擇

引火性 物質이 있는 곳과 같이 靜電氣의 障害가 있어서는 안 될 장소에서는 帶電序列상에서 멀리 떨어져 있는 물체들끼리는 접촉을 시키지 않도록 유의하여야 한다. 특히 기계에서 回轉이나 往復運動을 하는 부분에 사용하는 材料들은 帶電序列에서 近接한 물질들이어야 하나, 現實的으로는 다른 化學的, 物理的 성질에 의하여 선택할 수 있는 재질들이 제한되어 있으므로 어려움이 많다.

위험지역에서는 靜電荷를 오래 保持할 수 있는 不導體의 사용도 억제되어야 한다. 純毛, 비단 및 일부 人造纖維와 같은 良好한 絶緣物質은 靜電氣의 帶電이 잘 되므로 作業服의 옷감으로 사용해서는 안된다. 일반적으로 靜電氣 防護用 作業服의 재료로는 綿織類를 많이 사용한다.

4.1.2 表面 狀態

表面이 심하게 汚染되어 있거나 걸끄러우면 靜電氣가 잘 일어나므로 表面狀態를 청결하고 매끄럽게 유지하도록 하여야 한다.

최근에는 Plastic 製品이나 合成纖維類에 界面活性劑 등을 混入시키거나 親水性의 物質을 사용하여 物體表面의 導電性を 높임으로써 靜電氣의 發生을 抑制시키는 방법도 이용되고 있다.

4.1.3 接觸面積 및 接觸

靜電氣는 흔히 薄膜인 物體 또는 異質의인 物體가 接觸하여 있다가 分離될 때 發生하므로, 物體간의 接觸面積과 接觸壓力이 크게 되지 않도록 유의하여야 한다. 따라서 工場 등에서 靜電氣의 發生을 억제하기 위해서는 不導體物質인 종이류나 옷감류, 비닐류 등을 포개어 눌러 놓는 일들을 특히 피하여야 한다.

4.1.4 固體의 分離速度 및 液體의 流速

接觸되어 있는 固體物質의 分離速度가 크면 發生된 電荷의 再結合이 적게 일어나 靜電氣의 發生量이 많아지게 되므로, 機械의 運轉速度를 가능한한 작게 하고, 급한 發進, 停止, 變速 등은 回避하여 固體의 分離速度를 작게 하여야 한다.

유사한 이유로 導電성이 낮은 流體物質이 配管, Duct, Filter 등을 빠르게 통과할 때는 靜電氣의 發生이 많아지므로, 이 物質들의 流速을 충분히 감소시키면 障害를 가져올 수준 이하로 靜電氣의 發生을 억제할 수 있다. 그러나 낮은 流速은 많은 경우 生産性を 低下시키므로 현실적이 아닐 수가 있다.

絶緣性液體가 配管속을 흐를 때에 發生하는 帶電量은 대체로 流速의 제곱에 비례하는 경향이 있다. 표 4.1은 絶緣性液體에 대한 配管의 굵기별 最大流速의 勸奨値를 나타내고 있다.

표 4.1 最大流速의 勸奨値

配管의 直徑 [mm]	最大 勸奨 速度 [m/s]
25	5.0
50	3.5
75	2.9
100	2.5
150	2.0
200	1.7
250	1.6
500	1.1

4.1.5 기타

濕度가 높아지면 靜電氣의 발생량이 많아지므로 가능한 한 주변 온도를 낮게 유지하여야 한다.

濕度가 높으면 物體表面에 水分이 많이 생겨 帶電된 靜電氣를 漏泄시키므로 靜電氣가 축적되지 않고 소멸된다. 따라서 靜電氣 障害가 우려되는 작업장에서는 濕度를 높게 유지하여야 한다.

4.2 接地 및 接續에 의한 導體의 帶電防止

接續 (Bonding)은 두개 이상의 물체 사이의 電位差를 없애기 위하여 이들 물체를 電氣的으로 연결시키는 것을 말한다. 接續된 物體들은 等電位를 갖게 되어 이들 간에는 放電이 일어날 수가 없다. 잘 알려진 대로 接地 (Grounding)는 接續 물체중의 하나가 電荷를 거의 무한정하게 주고 받을 수 있는 容量을 갖고 있는 大地로서 接續의 특별한 한 形態로 볼 수 있다. 接地된 물체에는 電荷들이 발생하자마자 大地가 이 電荷들을 中和시키는 同數의 電荷들을 주거나 받기 때문에 電荷가 머물러 있

을 수가 없다.

4.2.1 接地 및 接續의 對象

金屬導體는 모두 接地의 對象이 될 수 있다. 다음과 같은 물체에 대하여는 그 표면에 金屬導體를 밀착시켜 이것을 接地電極으로 하는 間接接地方法을 적용시킬 수 있다.

(1) 導電率이 1×10^{-6} [S/m] 이상인 導體 및 表面固有抵抗이 1×10^9 [Ω] 이하인 물체의 표면

(2) 導電率이 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-10}$ [S/m]인 中間영역의 導體 및 表面固有抵抗이 $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{11}$ [Ω] 인 물체의 표면

靜電氣 發生 범위내에 있는 不導體 및 表面固有抵抗이 1×10^{11} [Ω] 이상인 물체의 표면은 특별한 경우를 제외하고는 直接接地 또는 間接接地를 하여서는 안된다.

接續의 대상은 金屬導體 상호간 또는 大地에 대해서 전기적으로 絶緣되어 있는 2개 이상의 金屬이 접촉된 金屬導體이다.

4.2.2 接地 및 接續 抵抗

金屬導體 상호간의 接續抵抗은 導線 등을 사용하여 작게 할수록 좋고, 어떠한 경우도 對象物體의 對地抵抗이 1×10^6 [Ω]을 초과하지 않아야 한다.

靜電氣 防護를 위한 接地抵抗은 일반 安全用이나 機能用 接地抵抗만큼 낮지 않아도 되며, 어떤 條件이나 環境에서도 1×10^6 [Ω] 이하의 抵抗이 확보될 수 있으면 된다. 이를 위해 氣溫이 20 °C, 濕도가 50%인 標準 環境條件下에서 接地抵抗값이 1×10^3 [Ω]을 초과하지 않도록 하는 것이 좋다.

4.2.3 靜置時間과 帶電防止 效果

靜置時間이란 接地狀態에서 靜電氣의 發生이 끝난 후 다음 發生 때까지의 時間 또는 靜電氣의 發生이 끝난 후 接地에 의해 帶電된 靜電氣가 빠져 나갈 때까지의 時間을 말하는 것으로서 帶電防止 效果和 밀접한 관계가 있다.

靜置時間은 물체에 帶電되어 있는 靜電氣를 大地에 漏泄시켜 帶電量을 적게 하기 위하여 설정하는 것이지만 物體의 導電率이 1×10^{-12} [S/m] 이하인 경우에는 靜置時間을 설정하더라도 帶電量이 반드시 감소한다고는 할 수 없다. 그러나, 帶電物體가 引火性物質이면서 위험한 霧團氣를 造成하고 있거나 조성할 가능성이 있는 경우에는 될 수 있는 대로 표 4.2에 나와 있는 靜置時間을 두어 帶電된 靜電氣를 大地로 흘려 보내는 것이 바람직하다.

표 4.2 導電率과 靜置時間

帶電物體의 導電率 [S/m]	帶電物體의 부피 [m ³]			
	< 10	10~50	50~5000	> 5000
10 ⁻⁵ 이상	1 分	1 分	1 分	2 分
10 ⁻¹² ~10 ⁻⁵	2 分	3 分	10 分	30 分
10 ⁻¹⁴ ~10 ⁻¹²	4 分	5 分	60 分	120 分
10 ⁻¹⁴ 이하	10 分	15 分	120 分	240 分

4.2.4 粉體類의 帶電防止를 위한 接地

導電率이 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12}$ [S/m]인 粉體類가 靜止 또는 堆積되어 있을 때는 이 粉體類를 담고 있는 金屬製의 管이나 容器를 接地하면 粉體類의 帶電을 간접적으

로 방지할 수 있다. 단, 이 때는 帶電된 靜電氣가 大地로 빠져 나가는데 시간이 걸리므로 靜置時間을 설정할 필요가 있다.

그러나 일반적으로 유동하거나 일정 공간 등에 부유해 있는 粉體類는 接地에 의해서 帶電을 방지할 수 없으므로 除電器를 사용하는 등의 별도 대책이 필요하다. 그리고 粉體類의 導電率은 吸濕정도, 부피, 比重, 形狀 등에 따라 크게 변화하므로 接地를 하더라도 帶電防止의 효과가 있는지의 여부를 확인하여야 한다.

4.2.5 液體類의 帶電防止를 위한 接地

導電率이 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12}$ [S/m]인 液體가 停止하고 있을 때는 이것과 密着되어 있는 金屬導體 (예를 들어, 液體중에 담가 놓은 金屬板이나 液體를 담은 金屬製 容器 등)를 이용하여 間接接地를 하면 帶電을 防止할 수 있다. 이 경우에도 대전된 靜電氣가 大地속으로 흘러 들어가는데 걸리는 靜置時間을 설정할 필요가 있다.

管内를 流動하거나 Nozzle로부터 噴出되는 액체류는 그 導電率에 관계없이 接地에 의해 帶電을 방지할 수 없으며, 導電率이 1×10^{-12} [S/m] 이하인 정지해 있는 液體에 대해서는 靜置時間을 설정하더라도 接地만으로 충분한 帶電防止 효과를 거둘 수 없다.

石油類를 포함한 引火性液體의 給油, 輸送, 교반 등의 작업을 할 때에는 靜電氣放電에 의한 火災·爆發이 발생할 위험이 크므로, 호스, Nozzle 및 電氣的으로 絶緣된 浮遊導體들은 靜電氣가 축적되지 않도록 接地하여야 한다. 移送用 配管 등은 플랜지(Flange) 부근에서 接續(Bonding)시켜 接地하여야 한다. 특히 金屬製 Nozzle이 고무 호스나 PVC 파이프와 같은 絶緣性 導管에 붙어 있는 경우는 확실한 接地를 하여야 하고, 金屬製 容器 등에 호스로 給油하는 경우에는 Nozzle을 容器벽에 接地한 후 給油를 시작하고, 給油가 끝나면 靜置時間이 경과한 후 Nozzle을 분리한다.

탱크 안쪽에 爆發性 混合氣가 발생할 우려가 있는 탱크 위에서 Sampling 등의 작업을 할 경우에는 金屬製 採取器의 사용을 피하여야 하며, 이를 사용할 때에는 導

電性 Wire를 이용하여 적절한 接地를 하여야 한다. 또한 이 作業을 하는 사람의 몸이나 衣服에 帶電이 안 되도록 유의하여야 한다.

4.2.6 固體物質의 帶電防止를 위한 接地

導電率이 1×10^{-4} [S/m] 이상인 導體나 表面抵抗이 1×10^9 [Ω] 이하인 固體의 表面은 金屬導體를 밀착시켜 間接接地 시킴으로써 靜電氣의 帶電을 방지할 수 있다. 또한 導電率이 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ [S/m]인 中間 領域의 導體나 表面抵抗이 $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{11}$ [Ω]인 固體의 表面은, 靜電氣 發生이 적거나 持續的이지 못할 경우, 역시 間接 接地에 의하여 帶電을 방지할 수 있다.

導電率이 1×10^{-6} [S/m] 이하인 不導體나 表面抵抗이 1×10^{11} [Ω] 이상인 帶電性物體의 경우, 表面을 導電處理하여 表面抵抗이 위에서 열거한 값 이하로 될 때에는 間接接地에 의하여 表面에의 靜電氣帶電을 방지할 수 있다.

(1) 固定用 設備機器

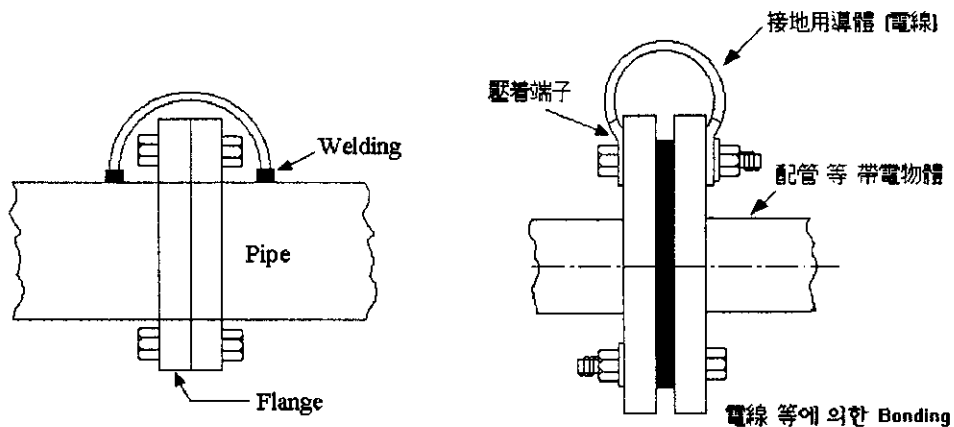


그림 4.1 固定用 配管設備의 接續 (Bonding)

固定 對象物에 대한 接續(Bonding)用 또는 接地用 導線의 附着은 溶接, 납땜 또는 나사 등에 의하고 그 對象物의 接觸面은 塗料 등을 발라 絶緣되지 않도록 특히 유의하여야 한다. (그림 4.1)

(2) 移動用 機器 및 可動部品

導電體인 移動用機器나 차량 등에 靜電氣 帶電이 될 가능성이 있는 경우는 가요성의 接地導線과 接續用具를 사용하여 接地하고 (그림 4.2), 作業臺가 接地되어 있는 경우에는 導電性 車輪을 사용한다.

接地端子를 연결하거나 분리할 때는 가능한 한 爆發性 霧圀氣가 아닌 안전한 장소에서 하는 것이 좋다. 예를 들어 탱크롤리의 輸送物質의 出入口 가까이서 接地端子를 연결 또는 분리하는 것은 매우 위험하다.

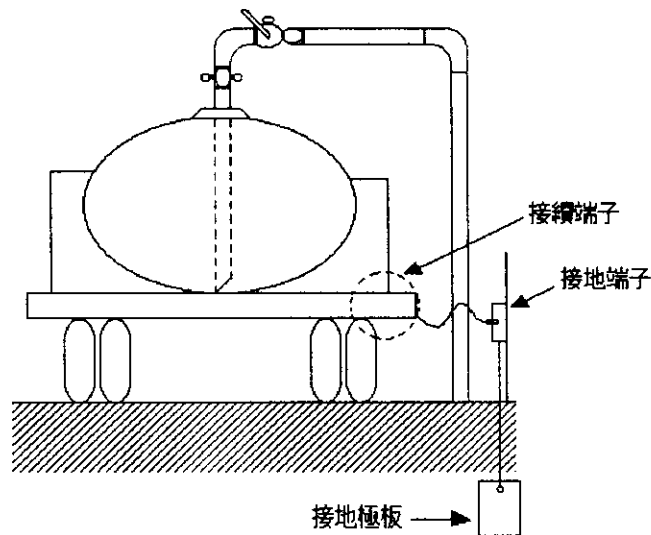


그림 4.2 給油중인 차량 (탱크 롤리)의 接地

作業에 따라 靜電氣가 帶電될 가능성이 있는 容器 등의 취급은 接地된 작업대 위에서 하는 것이 좋고, 接地되어 있지 않은 장소에서는 事前에 接續器具를 사용하

여 容器를 接地하고 작업한 후 일정시간이 경과한 후에 接地端子를 떼는 것이 바람직하다.

機器 등의 回轉部分은 일반적으로 回轉軸과 베어링 간에 얇은 油層을 통해 필요한 導電性을 갖지만 油層이 두꺼운 경우는 絶緣될 가능성이 있으므로, 帶電될 위험이 있는 回轉部分은 導電性 潤滑油를 사용하거나 回轉部分에 슬립 링을 장치한 후 Carbon Brush를 통하여 接地 시키고, 벨트나 콘베이어는 導電性 材料를 사용하는 것이 좋다.

爆發性 雰囲気가 존재하는 장소에서 機器의 이동을 수반하는 작업을 할 때는 작업대에 導電性 Mat를 사용해서 機器를 接地하거나, 작업대에 加濕이나 注水 등을 통해서 導電性을 증가시켜 靜電氣의 漏泄抵抗이 작도록 하여야 한다.

4.3 導電性 向上에 의한 不導體의 帶電防止

일반적으로 靜電氣는 導電性이 낮은 表面에 蓄積이 잘 된다. 플라스틱이나 合成纖維 같은 不導體의 帶電防止에 가장 보편적으로 사용되는 방법은 帶電防止劑를 첨가하거나 炭素, 金屬, 半導體 물질을 塗布하는 것 등에 의하여 物體의 導電性을 부여하여 帶電되는 電荷를 외부로 漏泄시키는 방법이다. 일반적으로 $10^{14} \sim 10^{20} \Omega$ 정도인 플라스틱이나 合成纖維 제품의 表面 固有抵抗을 $10^{10} \sim 10^{11} \Omega$ 으로 낮추면 帶電性이 극히 약해지는 것으로 알려져 있다.

帶電電位 V_x 와 電氣抵抗값 R_x 사이의 관계는 보통 다음 식과 같이 주어진다.

$$V_x = V_0 e^{-\frac{t}{R_x C_x}}$$

여기서, V_0 : 最大帶電電位; C_x : 帶電體의 靜電容量; t : 時間.

帶電體의 靜電容量이 $C_x = 10^{-10} \sim 10^{-11} \text{ F/m}^2$ 이면 위식에서 時定數 $\tau (=R_x C_x)$ 를 1秒 이하로 할려면 R_x 를 $10^{10} \sim 10^{11} \Omega$ 이하로 하여야 한다.

4.3.1 帶電防止劑에 의한 導電性 向上

4.3.1.1 帶電防止劑의 特性

帶電防止劑는 纖維나 樹脂의 表面에 吸濕性和 Ion性を 부여하여 導電性を 增加시키는 것으로서 주로 界面活性劑 같은 물질이 많이 이용되고 있다. 界面活性劑는 親水性의 基와 疎水性의 基 그리고 極性基와 無極性基가 있다. 親水性基는 물 등 極性이 강한 溶媒에 대해서 親和性이 강하고, 疎水性基는 蠟油 등 極性이 약한 溶媒에 대해서 親和性이 강하다.

帶電防止劑를 처리한 경우는 不導體의 導電率이 10^{-12} S/m 이하 또는 表面固有抵抗이 10^{12} Ω 이하가 되도록 하고, 그 외에 接地를 하든가 接地가 된 導體와 接續(Bonding)을 하여야 한다.

帶電防止劑의 효과는 주위의 濕度가 저하되면 반감하기 때문에 相對濕度가 50% 이상이 유지되도록 수시로 점검하여야 한다.

(1) 界面配向性

界面活性劑는 Plastic이나 纖維 表面에서 界面配向性を 나타내는데, 이 配向方向이 防止作用과 관련이 있다. Alkyl酸 Ester는 疎水性 纖維인 Acryl과 Polyester에 대하여는 효과가 좋으나, 親水性 纖維인 木棉에 대하여는 오히려 逆效果가 있다.

一般的으로 疎水性의 Plastic과 纖維는 水中에서 負(-)電荷를 나타내며, 이에 대한 帶電防止劑로는 陽 Ion系보다 陰 Ion系가 吸着能力이 크고 耐久性이 높다.

(2) 吸濕性

Plastic이나 纖維의 含水率은 相對濕度가 높아지면 같이 높아져서 帶電性이 저하된다.

界面活性劑는 物體表面에 連續皮膜層을 형성하여 吸濕作用을 하며, 이에 따라

帶電防止 效果가 강화된다.

(3) Ion 性

陽 Ion系, 陰 Ion系 그리고 兩性 Ion系の 帶電防止劑는 모두 Ion 性を 갖고 있어 吸濕作用을 하여 導電性を 높히는데 일조한다.

4.3.1.2 帶電防止劑의 種類

帶電防止劑는 使用對象에 따라 樹脂用, 液體用, 纖維用 등이 있고, 使用方法에 따라 塗布用, 浸透用 등 種類가 다양하다.

또한 帶電防止劑는 表面에 付着 또는 물질 내부로의 混入 등 處理方法에 따라 外部用과 內部用으로 분류되며 外部用은 다시 效果의 持續性에 따라 一時性防止劑와 耐久性防止劑로 분류된다.

帶電防止劑는 極性에 따라 陽 Ion系, 陰 Ion系, 兩性 Ion系 및 非 Ion系로 분류 하기도 한다.

(1) 外部用 一時性 帶電防止劑

外部用 一時性 帶電防止劑를 陽 Ion系, 陰 Ion系, 兩性 Ion系 및 非 Ion系로 區分하여 살펴보면 다음과 같다.

陽 Ion系 防止劑는 帶電防止 效果가 뛰어난 반면, 가격이 비교적 높고 피부에의 毒性이 있으며 섬유에 사용할 때는 염색이 잘 안 될 경우가 있으므로 주의를 요한다. 耐熱性에 있어서는 陰 Ion系보다 떨어지나, 柔軟性에 있어서 뛰어나기 때문에 Acryl 纖維用으로 널리 사용되고 있다.

陰 Ion계 防止劑는 값이 싸고 毒性이 없으므로 섬유의 原絲 등에 사용된다. 특히 인산 Ester系는 Polyester, Nylon, Acryl 등의 섬유에 적합하고, 황산 Ester계는 Viscose, Vinylone 등에 효과가 크다. 또한 섬유에의 균일한 부착성과 安全性이 양호

한 편이다.

(2) 外部用 耐久性 帶電防止劑

一時性 防止劑는 세탁이나 드라이클리닝으로 효력이 거의 상실되므로 최종제품의 대전방지를 위해서는 耐久性이 있는 高分子化合物의 帶電防止劑를 사용하여야 한다. 이에는 Acryl酸 誘導體, Polyalkyl·Polyamin 誘導體, Polyethylene Glycol 및 테레프타르酸의 Polyester 등이 있다.

(3) 内部用 帶電防止劑

内部用 帶電防止劑는 Plastic과 合成纖維의 成形 또는 紡絲時에 미리 첨가하여 사용하는데, 加工性 및 耐熱性 외에 原材料와의 상호 調和性을 고려하여야 한다. 原材料와의 調和性이 나쁘면 加工性이 나빠지고 耐久性에도 문제가 생기기 때문이다. 이러한 이유로 현재는 對象 材料에 따라 組成이 다른 여러가지 帶電防止劑가 개발되어 있다.

4.3.1.3 帶電防止劑의 安全性

帶電防止劑를 식품포장재나 기구 등에 사용할 때는 毒性에 유의하여야 한다. 특히 内部用 帶電防止劑는 포장의 内容物에 녹아나올 위험이 있기 때문에 그 毒性에 더욱 조심할 필요가 있다. 帶電防止劑중에서 非Ion系와 兩性系는 비교적 毒性이 적지만 陰 Ion와 陽 Ion에 속하는 Amin과 Lin系의 것은 毒性이 강하다. 미국에서는 FDA 規格에서 食品包裝用에 사용하는 帶電防止劑는 認可制度를 두어, 許容物質 및 添加量 제한 등 엄격한 規制를 시행하고 있다. FDA에서 허가하고 있는 帶電防止劑로는 Alkyl Amin酸化 Ethylene 添加劑, Alkyl Phenol酸化 Ethylene 添加劑, 牛脂酸의 지이소프놀 Phenol Amide, Stearine酸의 Polyethylene Glycolester, Ester酸化 Ethylene 添加劑 등이 있다.

4.3.2 導電性材料에 의한 導電性 向上

導電性材料를 구조적으로 분류하면 分散系 材料和 積層系 材料로 구분된다. 分散系는 樹脂, 고무와 같은 材料에 Carbon Black, 金屬, 低分子電荷移動錯體 등을 分散시켜 體積 導電化를 도모하는 材料이고, 積層系는 樹脂 등의 表面에 塗工, 蒸着, 鍍金 層을 입혀 表面 導電化를 도모하는 材料이다.

4.3.2.1 分散系 導電材料

導電原理는 粒子狀, 纖維狀의 導電性 分散體가 상호 직접 접촉에 의해 전류가 흐르는 경우와 導電性 分散體의 직접접촉이 아닌 絶緣 薄膜간의 터널 效果에 의하여 電流가 흐르게 되는 두가지 경우가 있다.

(1) 카본블랙 分散系

가격이 저렴하고 성능 및 가공성이 우수한 導電材料로서 가장 광범위하게 사용되고 있는 複合體이다. 이것은 아세틸렌과 천연가스 및 기름 등의 有機化合物을 高溫으로 加熱, 炭化할 때 生成되는 것으로서 原料의 種類와 加熱溫度, 加熱方法에 따라 性狀이 다른 것들을 얻을 수 있다.

Carbon Black은 混合率을 調整하는 것에 의하여 體積固有抵抗 $10^{-3} \sim 10^7 \Omega \cdot m$ 범위의 導電性이 얻어진다.

(2) 金屬分散系

體積固有抵抗이 $10^{-7} \sim 10^{-4} \Omega \cdot m$ 로서 비교적 낮으나 機械的 強度면에서 外力에 약하고, 金屬表面이 점차적으로 산화되어 입자간의 接觸抵抗이 증가하여 材料가 쉽게 老化되는 缺點이 있다.

4.3.2.2 積層系 導電材料

積層系 導電材料에는 塗工法, 鍍金法, 蒸着法이 있어, Plastic이나 纖維의 導電化에 이용되고 있다. 塗工法은 前記한 分散系 導電材料의 한 형태이다.

(1) 鍍金法

Plastic 鍍金法은 表面을 Etching한 후에 金 (Au), 白金 (Pt), Palladium (Pd), 銀 (Ag) 등의 貴金屬 觸媒液을 부어 化學還元劑를 포함한 無電解 鍍金液중에 침투시키는 方法이다. 현재 니켈, 銀, 銅 등에 의한 無電解 鍍金은 纖維의 帶電防止를 위해 일부 實用化되어 사용되고 있다.

(2) 蒸着法

蒸着法은 특히 透明性이 요구되는 帶電防止劑로서 사용되고 있다. 蒸着材料로는 金, Palladium (Pd) 등의 貴金屬系와 酸化 朱錫(Sn), 酸化 Indium 등의 酸化物系가 있다. 酸化朱錫은 유리를 導電化處理하는데 이용하고 있는데, 300°C 이상의 酸化工程을 거쳐야 함으로 베이스가 Plastic 材料인 경우에는 적용할 수가 없다. 최근에는 Polyester Film 베이스위에 酸化 Indium과 酸化朱錫을 蒸着시킨 透明導電 Film이 개발되어 固體 Display, 光電變換材料 등에 이용되고 있고, 앞으로는 Meter類와 Clean Room 窓의 帶電防止, 半導體 包裝材料 등에 활용이 기대되고 있다.

4.3.2.3 導電性材料에 의한 靜電氣의 漏泄

Plastic이나 고무類를 導電化하면, 靜電氣 蓄積되지 않고 漏泄됨으로써 帶電을 防止할 수 있다. 이러한 것에는 導電性 Tire, 導電性 Belt, 導電性 Mat, 半導體 包裝材 등이 있다. 導電性 Tire는 탱크로리와 같이 車體의 帶電이 直接的인 사고의 위험이 있는 차에 사용되고 있다. 靜電靴 (帶電防止用 作業靴)는 人體의 帶電防止를 위해

서 사용되며, 구두바닥의 抵抗이 $10^5 \sim 10^8 \Omega$ 의 범위에 있는 것이 바람직하다. 電氣抵抗 값의 下限을 $10^5 \Omega$ 으로 정한 것은 低電壓 活線에 人體가 接觸될 경우에 感電災害를 防止하기 위함이다.

電子産業에 있어서 靜電氣에 의한 半導體 Device의 破壞는 큰 문제가 되고 있어, 人體帶電 등 工程 作業중에 일어나는 靜電氣 문제를 해결하기 위하여 각종 帶電 防止製品이 개발되고 있다. 半導體素子와 직접 接觸하게 되는 Bag, Tray, 작업 Table Mat 등의 帶電防止를 위해서 導電性材料를 사용하고 있다.

半導體製品 특히 MOS IC는 靜電氣放電에 의하여 쉽게 파괴되고, $5 \sim 10 \mu\text{J}$ 의 放電에 의하여 酸化膜의 파괴가 일어나고 回路機能이 不良하게 된다.

Polyester Film의 한쪽 면에 니켈을 蒸着하고, 다른 한쪽 면에 帶電防止 Polyethylene 薄板을 씌워 (Laminate) 만든 表面固有抵抗이 $10^4 \Omega$ 이하의 帶電防止 Bag은 靜電氣에 민감한 MOSFET에 대하여 人體帶電이 25 KV 이상이라도 Shield 效果가 충분하다.

4.4 空氣중 放電에 의한 帶電防止

4.4.1 導電性纖維에 의한 帶電防止

앞에서 기술한 導電性材料는 漏泄에 의한 帶電防止를 촉진할 뿐만 아니라, 空氣중 放電을 容易하게 해주는 것에 의해서도 帶電防止에 기여한다.

4.4.1.1 導電性纖維와 空氣 放電

帶電된 物體 가까이에서 導電性の 가는 線을 接近시키면 Corona 放電이 일어나 주변의 공기를 電離시켜 Ion化한다. 電離된 Ion은 極性이 반대로 帶電된 靜電氣와 만나서 過不足 電荷를 주고 받아 靜電氣를 제거시킨다. 이러한 것을 自己放電作用이라고 하는데, 좀더 상세한 것은 뒤에 나오는 除電器에서 다루기로 한다. 自己放電 原理

를 이용한 導電性 纖維에 의한 方法은 各種 纖維製品의 帶電防止에 널리 應用되고 있다.

導電性纖維는 長纖維, 短纖維 등 여러 종류가 개발되어 있다. 導電性纖維의 混入率은 織布 전체의 0.01~1.0 % 정도의 극히 적은 量이다.

導電性纖維는 Corona 放電을 이용하여 帶電을 防止하려는 것으로서 漏泄에 의한 帶電防止法과 差異가 있다. 그림 4.3은 同一 組織을 가진 織物에 대한 各種 帶電防止法의 性能을 比較한 것이다.

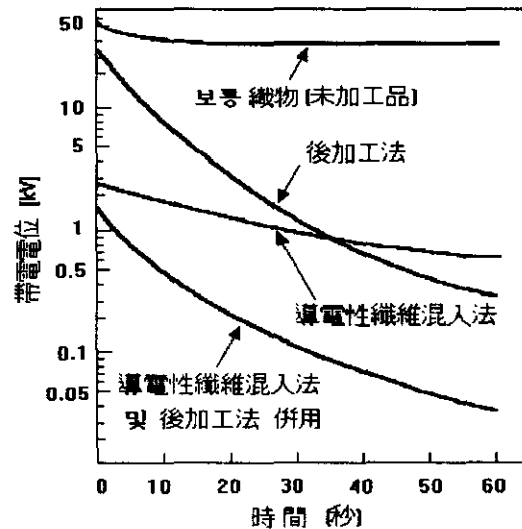


그림 4.3 帶電防止法의 性能 比較

導電性纖維에 의한 帶電防止法은 初期 帶電이 작고 시간 경과에 따른 減衰가 눈에 띄게 나타나지 않는 반면, 漏泄에 의한 後加工法은 初期 帶電이 크나 시간 경과에 따른 減衰現象이 뚜렷하다. 導電性纖維에 後加工法을 竝用하면 初期 帶電도 작고 減衰效果도 큰 가장 좋은 性能을 얻을 수 있다.

導電性纖維의 帶電防止 性能은 纖維의 굵기, 길이, 混入率 및 混紡·混織 方法에 따라 차이가 있으므로 設計를 適切하게 하여 使用 初期의 帶電電位를 1/5에서 1/10

까지 낮출 수 있다 (표 4.3).

표 4.3 各種 織布의 帶電電位
(測定 溫度/濕度: 22°C / 30% ; 單位: KV)

試料전 / 摩擦전	羊毛	綿	폴리 질산 Acryl	폴리 鹽化 Vinyl
Polyester	-48	-61	+49	+49
Polyester/Rayon	-30	+34	+61	+54
Polyvinylalcohol	-26	+9	+66	+70
Polyvinylalcohol/綿 50/50	-58	+15	+55	+52
綿	-22	+2	+50	+50
Polyester/Rayon 65/35 (金屬絲를 5 cm 間隔 混入)	-6	-5	+6	+4
Polyester/Rayon 65/35 (金屬絲를 1 cm 間隔 混入)	-3	-3	+3	+6

4.4.1.2 導電性纖維의 應用例

導電性纖維는 可燃性 또는 爆發性 雰圀氣가 있는 장소로서 靜電氣에 의한 火災·爆發이 우려되는 곳이나 淸淨作業이 요구되는 Clean Room 등에서 사용되는 물품에 많이 이용된다. 즉, 防爆作業服, 無塵·無菌服, Carpet, 産業用 靜電資材 등에 導電性纖維가 주로 이용되고 있다.

(1) 防爆 作業服

防爆作業服은 可燃性混合氣 (可燃性 Gas, 蒸氣, 粉塵)의 發生 우려가 있는 作業場에서 衣服의 帶電에 의한 着火를 防止하는 目的으로 사용된다. 이 경우 人體에 誘

導되어 蓄積되는 靜電氣는 靜電靴 등에 의하여 除去될 수 있기 때문에 여기서는 衣服의 放電에 의한 着火에 대해서만 살펴보기로 한다.

合成纖維織編物은 中·低溫에 있어서 최고 50~60 KV, 15~18 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ 의 帶電을 나타내며, 吸濕性이 높은 綿에서도 低溫에서 유사한 정도의 帶電을 나타낸다. 이와같이 最高帶電量까지 帶電된 천에 金屬球 또는 金屬線을 접근시키면, 천의 帶電極性과 金屬球(線)의 지름에 따라 표 4.4와 같은 형태의 放電이 발생한다.

표 4.4 接近過程에 의한 放電形態

金屬球 지름 천의 帶電極性	大	小
正 (+)	少數의 큰 Pulse 放電	多數의 規則的인 작은 Pulse 放電
負 (-)	少數의 큰 Pulse 放電	Glow 放電

이와 같이 放電이 발생할 경우, Pulse 放電의 放電 Energy가 일정한 값 이상이 될 때 可燃性 混合氣體가 點火, 爆發하게 된다. 예를 들면, 負(-) 極性으로 帶電된 Plastic Film에 지름이 19 mm 이상되는 金屬球가 접근하면 Propane-空氣 混合氣體가 點火되며, 지름이 3 mm 이상되는 金屬球가 접근하면 水素-空氣 混合氣體가 點火된다.

導電性纖維의 지름은 보통 數十 내지 數 μm 까지 있고, 이 지름에 대응하는 Pulse 放電 電荷量은 $10^{-11} \sim 10^{-12}$ C의 극히 작은 量이다. 따라서, 防爆作業服으로 사용하는 경우, 除電過程의 放電으로 着火될 위험성은 없고, 除電후의 電位도 60 KV 이하로 낮기 때문에 安全性이 높다.

(2) 無塵·無菌服

無塵服과 無菌服은 청결한 環境을 필요로 하는 醫藥品, 食品, 電子, 精密, 化粧品 등의 製造工場과 病院 施設 등에서 사용된다.

無塵·無菌服에서 가장 중요하게 요구되는 성능은 衣服 自體에서 靜電氣가 발생되지 않아야 하는 것이다. 이러한 素材로는 合成纖維 Filament가 사용되고 있고, 内部用帶電防止劑를 이용한 織物도 사용된다.

無菌服은 高壓蒸氣에 의한 滅菌處理도 해야 함에 따라 이러한 處理에 대한 耐久性이 필요하다. 滅菌處理는 보통 120 °C에서 30 분 또는 130 °C에서 20 분씩 한다.

(3) Carpet

Carpet는 電擊을 防止할 목적으로 帶電防止 處理가 필요하다. 겨울에 濕度가 20 ~30% 정도 되는 室內에서 Carpet 위를 걸을 때, 人體는 쉽사리 10 KV 이상의 電位로 帶電되어 심한 電擊을 느끼게 된다. Carpet의 帶電防止는 어떠한 조건에서도 人體의 電擊感知限界인 30 KV 이상으로 帶電되지 않도록 하여야 한다.

Carpet의 帶電性 (人體帶電電位)은 衣服 材料와 같으며, 濕度 依存性이 있어 일반적으로 濕度가 낮을 경우 帶電性이 높게 된다. 導電性纖維가 混入된 Carpet는 帶電性이 濕度の 영향을 적게 받게 되는 長點이 있다.

(4) 産業用 靜電資材

産業用 資材로는 Belt, Rope類에 Stainless 纖維를 混入한 帶電防止 製品이 사용되고 있다. Stainless 纖維를 混入한 천은 帶電電位가 混入하지 않은 천의 1/5 내지는 1/10 정도로 低下된다는 Simulation에 의한 실험결과가 있다.

4.4.2 加濕에 의한 帶電防止

Plastic이나 纖維는 濕度가 올라감에 따라 電氣抵抗값이 낮아져서 (그림 4.4), 靜電氣의 帶電性이 低下하게 된다. 이에 따라, 工場設備 등에서는 加濕에 의한 帶電防止法이 많이 이용되고 있다.

空氣중에 濕氣를 供給해 주는 加濕器에는 原理적으로 다음 3가지 方式이 있다.

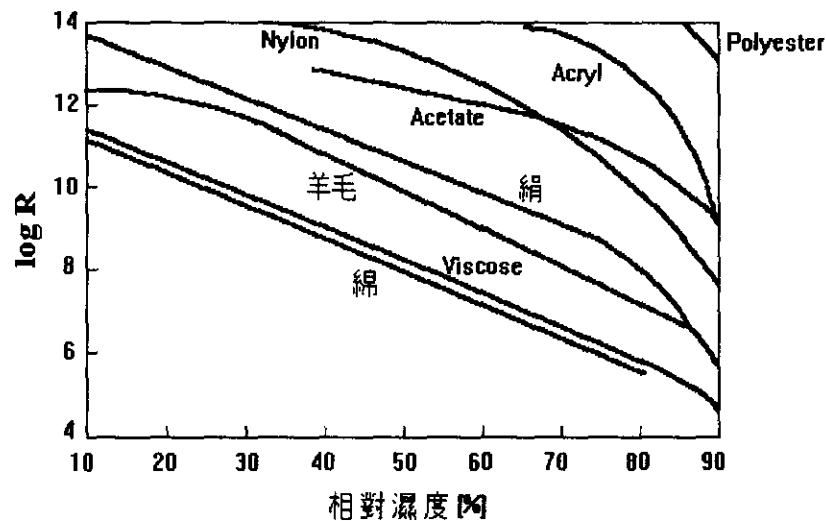


그림 4.4 相對濕度の變化에 따른 纖維의 電氣抵抗값의 變化

(1) 물을 噴霧하는 方法

이것은 물 또는 溫水를 직접 空氣중으로 噴霧하는 方式으로 加濕量이 그다지 크지 않고, 制御의 範圍가 精密을 要하지 않는 경우에 이용된다. 裝置가 비교적 간단하여 紡績工場 같은 곳에서 주로 이용되는데, 壓縮空氣에 의하여 噴射하는 方式과 遠心力에 의하여 水蒸氣로 만들어 내보내는 方式이 있다.

(2) 蒸氣를 噴霧하는 方法

이 方法은 空氣중으로 직접 蒸氣를 噴霧하는 方式이다. 設備가 간단하고, 加濕量을 자유롭게 變化시킬 수 있으며, 制御의 應答이 빠르고, 設置하는 場所도 특별한 제약이 거의 없어 어디에서나 可能하다.

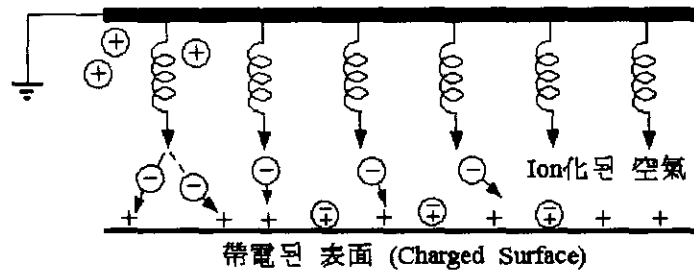
(3) 蒸發法

이 方法은 水槽의 内部에 電氣 Coil이나 電熱器를 設置, 물을 加熱하여 蒸發시킴

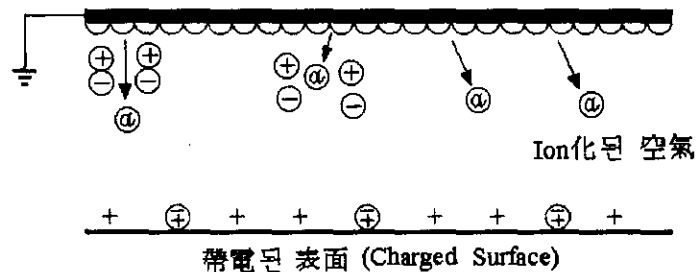
으로써 蒸氣를 공급하는 방식이다. 이는 加濕의 應答이 가장 느리고, 大容量에는 적합하지 않다.

4.4.3 空氣 이온化에 의한 帶電防止

室内의 空氣가 Ion化되어 있으면 導電渡가 增加되어 室内에 있는 物體에 靜電氣가 蓄積되는 것을 막아준다.



(a) Induction Needle Bar



(b) Nuclear Static Bar

그림 4.5 Induction Needle Bar 및 Nuclear Static Bar의 原理

空氣를 Ion化하는 方法은 高電壓 發生裝置에 의한 方法, 誘導 바늘棒 (Induction Neele Bar)에 의한 方法 (그림 4.5 a), 그리고 放射性物質을 이용한 原子核靜電棒

(Nuclear Static Bar)에 의한 方法 (그림 4.5 b)이 있다. 그러나 이 方法들은 設置費가 많을 뿐만 아니라, 高電壓 發生裝置나 放射性物質은 매우 危險한 것이어서 取扱 및 管理에 萬全을 기하여야 한다. 특히 放射性物質의 경우는 取扱免許나 資格證을 所持한 사람이 있어야 한다. 따라서 이 두 方法은 半導體 製造工程 등에 필요한 Clean Room처럼 高度의 清淨環境을 要하는 곳에서만 다른 마땅한 方法이 없을 때 제한적으로 사용되어야 한다.

4.5 靜電遮蔽에 의한 帶電防止

靜電遮蔽 (Electrostatic Shielding)는 帶電된 物體를 제3의 物體를 사용하여 帶電物體로부터 發散하는 靜電界가 帶電物體 이외의 物體에 影響이 미치는 것을 遮斷하는 것을 말한다. 이는 導電 物質을 이용하여 帶電物體에 의한 靜電界가 외부에 誘導되거나 外部의 靜電界에 의하여 誘導 帶電되는 것을 防止하는 方法이다.

4.5.1 靜電遮蔽의 效果

靜電遮蔽에 사용되는 제3의 物體를 遮蔽材라고 하는데, 遮蔽된 帶電物體의 주위에는 靜電界가 존재하지 않게 된다. 이 遮蔽는 帶電物體가 放電할 때 발생하는 電磁波의 阻止에도 有用하다.

靜電遮蔽는 주로 帶電物體에 接地된 金屬體를 덮는 方法을 사용하는데, 여기서 帶電物體의 全表面을 金屬體로 덮을 필요는 없고 金屬網으로 부분적으로 덮어도 效果가 있다. 그 이유는 帶電物體 附近에 導體가 있으면, 그림 4.6에서 보여지는 바와 같이 대부분의 靜電界는 導體로 향하게 되기 때문이다.

靜電氣에 의한 災害를 防止하기 위해서는 帶電物體를 遮蔽하는 것 외에 帶電物體의 影響을 받아서 障·災害가 발생할 機器나 物體를 遮蔽시키는 方法도 있다. VLSI 등의 半導體 Chip들을 사용하는 電子機器는 이러한 遮蔽方法에 의하여 靜電氣나 기

타 電磁波에 의한 誤動作이나 性能低下 등의 障礙를 해결하고 있다.

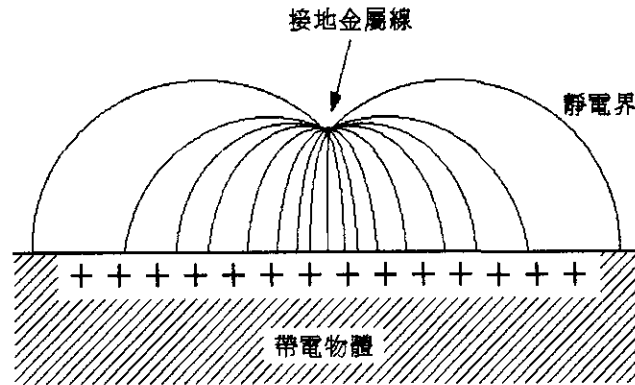


그림 4.6 帶電物體에 부근에 接地 金屬線을 設置한 경우의 電界分布

4.5.2 靜電遮蔽의 方法

(1) 金屬에 의한 遮蔽

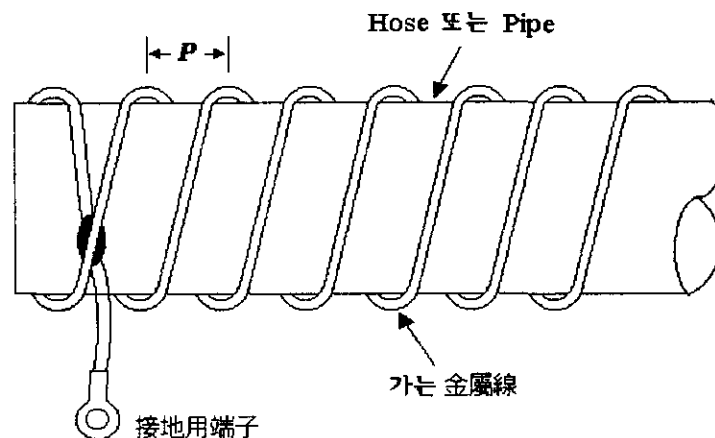


그림 4.7 金屬線에 의한 Hose 또는 Pipe의 靜電遮蔽의 一例

遮蔽는 被遮蔽物의 全表面을 遮蔽物로 덮을 필요는 없고, 物體의 電位가 상승하

지 않을 정도면 충분하다.

遮蔽에 사용하는 材料로는 보통의 金屬導體이면 되고, 網이나 線의 형태로서 1~數 cm 정도의 간격을 갖도록 한다. 그리고 遮蔽材는 반드시 接地하여야 한다. 그림 4.7은 Hose나 Pipe를 가는 金屬線을 사용하여 遮蔽한 것을 보여주고 있다.

(2) 導電性 材料에 의한 遮蔽

金屬材料는 加工하거나 다루기가 어려워 이용에 제한이 있는데, 遮蔽材料로는 반드시 金屬일 필요는 없고 導電性을 가진 物質이면 가능하다. 導電性이 높을수록 좋으나 실용적으로는 固有抵抗이 $10^6 \Omega\text{-cm}$ 정도가 되어도 효과가 있다.

導電性 材料를 이용한 遮蔽物의 형태로는 Tape, Film, 고무, Sponge와 같은 형태가 있으며, 導電性纖維가 들어간 천도 있다.

導電性 Tape나 Film은 被遮蔽物을 감거나 덮는 등의 사용방법이 있고, Sponge는 복잡한 형태의 틈새에 채워 넣는 등에 의하여 사용할 수 있다.

導電性纖維가 들어가 있는 천은 靜電氣 遮蔽物로 사용할 뿐만 아니라 앞에서 밝힌 대로 除電服 등을 만드는 材料로도 사용한다.

4.6 靜電氣의 除電

4.6.1 除電의 原理

物體는 原來 正(+)電荷와 負(-)電荷를 같은 個數로 포함하여 電氣的으로 中性을 이루고 있는 것이다. 만약 物體가 갖고 있는 電子를 잃어서 부족하게 되거나 (陽 Ion), 外部에서 電子를 얻어서 過剩 狀態가 되면 (陰 Ion), 이 均衡은 깨어지게 되고, 이 때 物體는 靜電氣가 帶電되었다고 한다.

帶電된 物體에 가까이 설치된 除電器에서 發生하는 Ion중에서 帶電物體의 電荷와 반대 極性의 Ion이 帶電物體로 이동하여 帶電電荷와 結合함으로써 이 帶電電荷를

제거하는 것이 除電의 原理이다. 다시 말하면, 除電은 過剩의 電荷를 除電器를 이용하여 逆極性의 電荷를 供給하여 中和시키는 것이다 (그림 4.8).

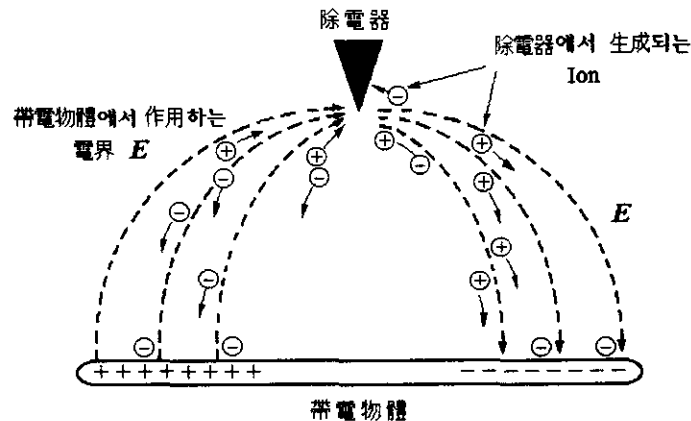


그림 4.8 除電의 原理 (除電器 發生 Ion에 의한 電荷의 中和)

4.6.2 除電器의 種類

除電器의 종류는 除電에 필요한 Ion의 生成 方法에 따라 電壓印加式 除電器, 自己放電式 除電器 및 放射線式 除電器의 3 種類로 구분할 수 있다 (표 4.5).

電壓印加式 除電器는 그림 4.9에서 보여지는 것과 같이 高壓電源, 高壓用 電線, 除電電極으로 구성되어 있다. 이 除電器는 金屬針이나 가는 金屬線으로 된 除電電極에 高電壓을 印加하여 Corona 放電을 일으켜 除電에 필요한 Ion을 生成하는 것으로서, Corona 放電式 除電器라고도 한다.

電壓印加式 除電器는 사용되는 高壓電源에 따라 交流方式과 直流方式으로 다시 2가지로 구분할 수 있는데, 直流方式은 適用範圍가 狹小하여 대부분은 交流方式을 사용하고 있다.

표 4.5 除電器의 種類 및 特性

除電器	Ion의 生成 方法	特 徵	使 用 例
電壓印加式 除電器	針狀, 細線狀 電極에 高電壓을 印加하여, Corona 放電을 일으켜 Ion을 生成	· 除電能力이 큼 · 器種이 豊富	· Film, 종이, 천 등의 表面 帶電電荷의 除去 · 流動하는 粉體 등의 體積 帶電
自己放電式 除電器	帶電物體의 電界를 電極에 集中시킨 高電界를 만들어 Corona 放電을 일으켜 Ion을 生成	· Ion을 生成하는 電源이 不必要 · 取扱하기가 簡便	· Film, 종이, 천 등의 表面 帶電電荷의 除去
放射線式 除電器	放射性同位元素 등 으로부터 나오는 放射線에 의한 電離 作用에 의하여 生成	· 點火源이 될 可能性이 작음	· Tank 등에 貯藏되어 있는 可燃性 液體의 靜電氣 除電

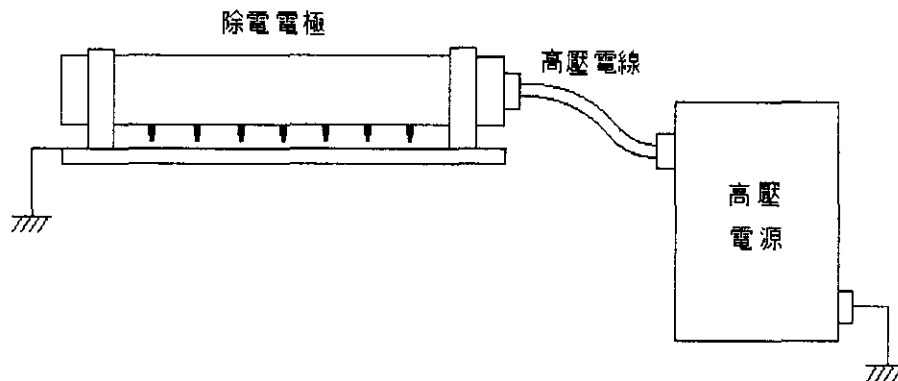


그림 4.9 電壓印加式 除電器의 構成

電壓印加式 除電器는 除電電極의 形狀, 高壓電源의 構造 등에 따라 그 器種이 多樣하여 帶電物體, 使用目的 등에 따라 적합한 것을 選擇하기가 용이하다 (표 4.6).

표 4.6 電壓印加式 除電器의 各種 器種

器 種	除 電 電 極	用 途
標準型 除電器	針狀電極 등과 容量結合에 의하여 高電壓 印加, 電極形狀은 直線모양	Film, 종이, 纖維 등 各種 帶電物體의 除電
送風型 除電器	送風裝置가 付着, 電極形狀은 直線모양 및 面모양	粉體, 液體, 人體 등의 除電
Nozzle型 除電器	電極을 竝列로 늘어놓는 것에 의하여 電極構造를 任意로 變更 可能	複雜한 形狀을 한 帶電物體의 除電
Flange型 除電器	Doughnut型 電極	Pipeline에 設置하여 粉體의 除電
Gun型 除電器	壓縮空氣 噴出機能 附加	먼지의 除去를 위하여 設置한 Filter의 除電
防爆型 除電器	內壓防爆構造, 特殊防爆構造	可燃性物質의 除電, 危險場所에 使用

自己放電式 除電器는 電壓印加式 除電器의 除電電極을 直接接地하여 高壓電源을 사용하지 않는 除電器로서, Ion의 生成은 그림 4.10과 같으며, 帶電物體의 靜電氣 Energy를 이용한다. 즉, 自己放電式 除電器는 帶電物體의 電氣的 作用으로 생기는 電界를 接地한 針狀 導體에 集中시켜, 그 電界에 의하여 氣體를 電離하여 除電에 필요한 Ion을 얻는다. 따라서 電源이 필요하지 않으며 간단한 構造의 除電電極만으로 구성되어 있어 設置가 容易하고, 狹小한 空間에서 사용하기에 편리하다. 또한 除電器가 點火源이 될 염려가 없어 安全性이 높다.

그러나 自己放電式 除電器는 設置方法에 따라 除電效率이 크게 달라지므로 設置時에 세심한 주의가 요구되며, 除電能力도 被除電物體의 帶電電位와 關係되어 帶電電位가 낮으면 使用 效果가 없다.

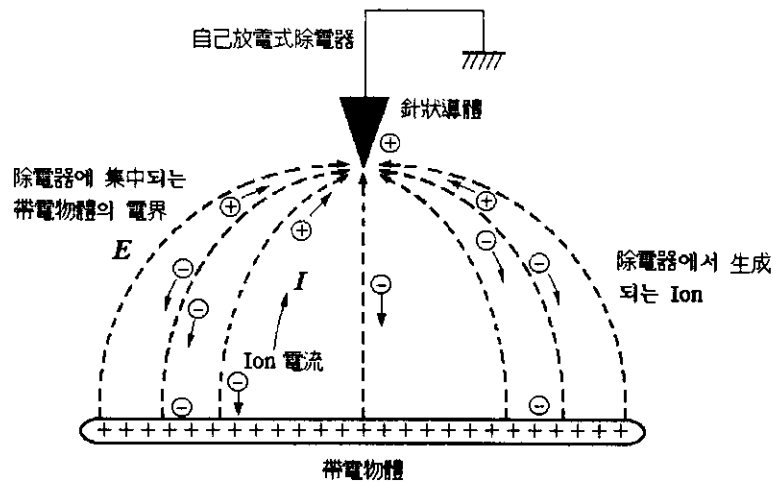


그림 4.10 自己放電式 除電器에 의한 除電

自己放電式 除電器의 除電電極은 Stainless Steel (5 μm), Carbon (7 μm), 導電性纖維 (50 μm) 등에 의하여 제조된다. 50 KV 내외의 높은 帶電을 제거하는데 보통 사용되는데, 이 경우에 있어서 2 KV의 殘留電壓이 남아 있게 되는 것이 缺點이다.

放射線式 除電器는 放射性同位元素 등으로부터 나오는 放射線의 電離作用에 의하여 除電에 필요한 Ion을 만들어내는 除電器이다. 이 除電器는 點火源이 될 위험은 없지만 위험한 放射性同位元素를 내장하고 있기 때문에 免許證 또는 資格證 所持者만이 취급할 수 있는 등 사용상의 많은 注意가 필요하다. 또한 被帶電物體가 放射線의 영향을 받아 變性될 우려가 있고, 除電能力이 작아서 除電하는데 시간이 많이 걸리는 短點이 있으며, 움직이는 帶電物體에는 適合하지 않다.

4.6.3 除電器의 使用法

除電器는 前述한 바와 같이 그 種類에 따라 Ion 生成法이 다르고, 器種도 除電對象에 따라 仕樣이 다른 것들이 개발되어 市販되고 있다. 따라서 除電 場所나 對象에 따라 적절한 除電器를 선택하여 사용하여야 한다.

4.6.3.1 除電器의 選定

電壓印加式 除電器를 危險場所에 설치할 때는 Gas 蒸氣 위험장소에서는 內壓防爆構造인 除電電極을 가진 防爆型 除電器를, 粉塵 危險場所에서는 粉塵防爆 特殊構造의 除電電極을 가진 防爆型除電器를 설치하여야 한다.

非危險場所에서는 防爆型除電器가 아니어도 되나, 작업자가 電擊의 危險을 받지 않도록 安全性이 높은 것을 選定하여 사용하여야 한다.

相對濕度가 80% 이상인 장소에서는 電壓印加式 除電器가 적합하지 않으므로 自己放電式이나 放射線式 除電器를 사용하여야 한다. 그러나 放射線式 除電器는 放射線 障害의 危險이 있으므로 放射線에 대한 遮蔽가 완벽히 이루어져야 한다.

표 4.7 除電器 選定の 實例

帶電物體 또는 設置場所	帶電物體의 例	除 電 器
表面帶電物體	Film, 종이, 천	電壓印加式 除電器 (標準型) 自己放電式 除電器
體積帶電物體	粉體, 液體, 樹脂	電壓印加式 除電器 (標準型, 送風型, Nozzle 型, Gun 型)
移動帶電物體	人體, 部品	電壓印加式 除電器 (送風型, Gun型)
高速移動 帶電物體	印刷 Film, 流動粉體	電壓印加式 除電器 (標準型, Flange 型)
可燃性物質, 危險場所	可燃性 液體 및 粉體	電壓印加式 除電器 (防爆型) 自己放電式 除電器 放射線式 除電器

除電對象物體가 可燃性物質이거나 可燃性物質을 포함하고 있으면, 電壓印加式 除電器의 경우 防爆型을 사용하여야 한다.

Sheet, Film, 천, 종이 등 表面帶電物體의 除電은 除電器 種類에 관계없이 除電

能力에 따라 선택하며, 浮遊하거나 堆積되어 있는 帶電物體와 같은 공간이나 體積 帶電物體의 除電은 送風型 電壓印加式 除電器가 적합하다. 帶電物體의 極性이 일정 하고, 帶電量이 크거나 빠른 速度로 움직이고 있는 帶電物體의 除電은 直流型 電壓 印加式 除電器가 유효하다.

移動하지 않고 있는 可燃性物質의 除電은 放射線式 除電器를 사용하는 것이 좋 으나, 放射線障害과 放射線에 의한 物體의 物性變化에 유의하여야 한다. 이상을 요약 한 것이 표 4.7에 나와 있다.

4.6.3.2 除電器의 設置

除電器의 設置位置는 원칙적으로 帶電物體 背面의 接地體 또는 다른 除電器가 설치되어 있는 위치, 靜電氣의 發生源, 除電器에 오물이 묻기 쉬운 장소는 피하고, 온도가 50°C 이상, 相對濕度가 80% 이상이 되는 환경은 피하는 것이 좋다.

除電器의 設置位置에 관한 일반적인 사항을 요약하면 다음과 같다.

- (가) 除電器를 설치하기 전후의 帶電電位를 측정하여 除電의 목표치를 만족하는 位置 또는 除電效率이 90% 이상이 되는 位置를 선정한다. 이 때의 除電 效率 η 는 다음과 같이 정의한다.

$$\eta = \frac{|V_a| - |V_b|}{|V_a|} \times 100 \quad [\%]$$

여기서, V_a = 設置前의 帶電電位, V_b = 設置後의 殘留電位.

- (나) 除電器를 設置하기 전에 帶電物體의 電位를 측정하여 그 電位값이 가능한 한 높은 곳일 것.

- (다) 靜電氣의 發生源에서 최소한의 設置距離 (Roller의 경우, 가장 가까운 Roller 표면에서 약 10 cm) 이상 떨어져 있으면서 될 수 있는 한 發生源에서 가까운 帶電物體에서 0.7~2.5 cm 이상 떨어진 곳일 것.

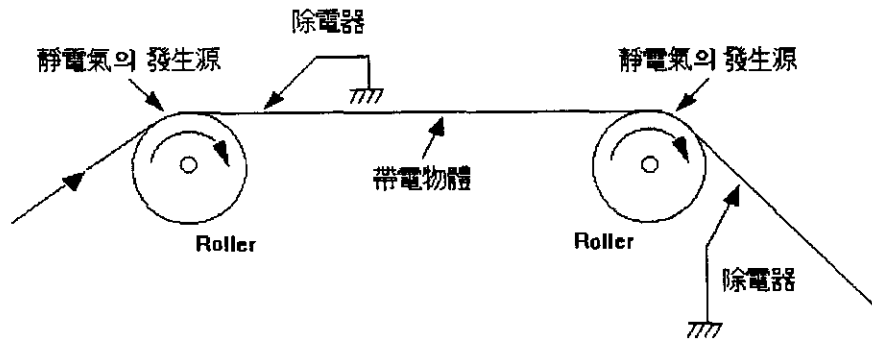


그림 4.11 除電器를 設置하는 位置의 例

(1) 電壓印加式 除電器의 設置

電壓印加式 除電器를 설치할 때는 除電電極, 高壓電源 및 高壓電線을 하나로 생각하여 설치하고, 일단 설치한 후에는 除電電極을 추가하는 등의 設計變更을 하지 않아야 하고, 한개의 高壓電源으로 다수의 除電電極을 作動시키는 것은 삼가하여야 한다.

除電電極을 잘못 설치하게 되면 除電效果가 줄어들 뿐만 아니라 위험한 상태로 되는 수도 있으므로 특히 주의하여야 한다.

除電電極의 설치위치는 보통 發生源에서 2~10 cm 떨어진 곳으로서 現場 實情에 따라 선택하는 것이 좋으며, 너무 멀게 하여 除電效果가 줄어들거나, 너무 가깝게 하여 逆除電되는 일이 없도록 하여야 한다.

(2) 自己放電式 除電器의 設置

自己放電式 除電器의 설치거리는 1~5 cm를 표준으로 하나, 만약 逆帶電이 일어날 때에는 發生源에서 5 cm 이상으로 하는 것이 좋다.

自己放電式 除電器는 다른 除電器에 비하여 설치 및 교환의 빈도가 높기 때문에 설치하기가 쉬운 場所에 간편한 작업으로 設置가 가능하도록 하여야 한다.

(3) 放射線式 除電器의 設置

放射線式 除電器의 發生源으로부터의 設置距離는 사용되는 放射性同位元素의 종류에 따라 달라진다. 즉, 放射線源이 α 線源인 경우에는 1~2 cm, β 線源인 경우에는 2~5 cm를 표준으로 한다.

放射線은 人體에 매우 유해하므로 설치시에는 人體에 照射되지 않도록 충분한 遮蔽가 이루어져야 하며, 사용시에는 照射區域으로 人體가 접근하지 않도록 해야 한다. 靜電氣 發生作業이 없어 除電이 필요하지 않을 때에는 放射線이 완전히 遮蔽되어 밖으로 새어나오지 않도록 관리되어야 한다.

4.6.3.3 除電器의 設置位置와 特性

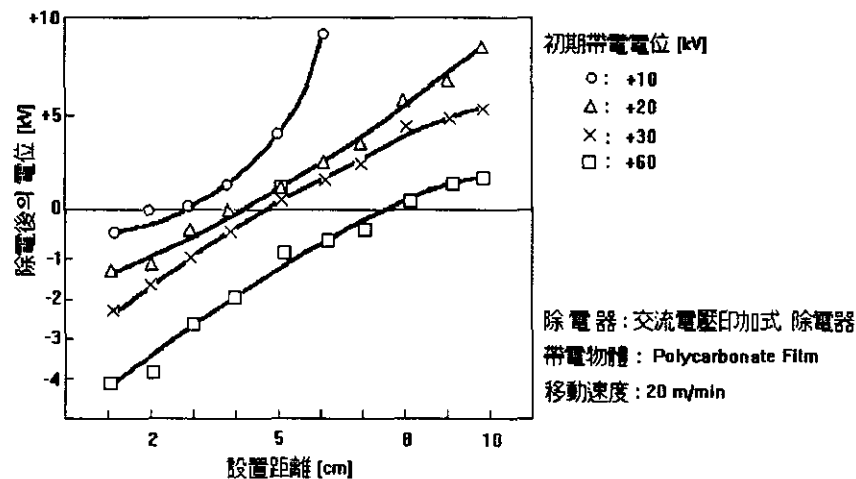
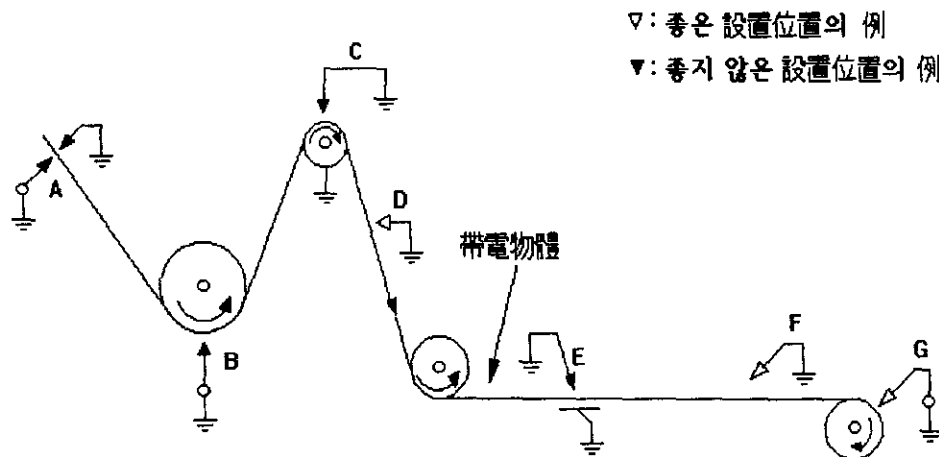


그림 4.12 設置距離와 除電特性

除電能力은 除電器의 特性에 크게 의존하게 되는데, 이 特性은 결과적으로 除電器와 帶電物體와의 相互關係에 따라 정하여진다. 특히, 除電器를 帶電物體의 어느 위치에 設置하느냐하는 設置位置와 除電器와 帶電物體와의 距離를 말하는 設置距離가 除電特性을 지배하는 主要 要因으로서, 이에 따라서 除電效率이 變化한다.

그림 4.12는 除電器의 設置距離와 除電後의 電位를 調査한 例로서, 設置距離가 3~5 cm인 부근에서 效率이 良好하며, 設置距離를 너무 멀게 하면 除電이 不可能하고 너무 가깝게 하면 逆帶電이 될 염려가 있다. 따라서 逆帶電과 設置에 支障이 없는 범위내에서 가능한한 帶電體에 가깝게 하는 것이 바람직하며, 보통 10 cm 이내가 좋다. 일반적으로 帶電物體의 初期 帶電電位가 낮을 때는 設置距離를 작게 하고, 帶電電位가 높을 때는 거리를 크게 하면 된다.

한편 除電效率은 設置位置에 의해서도 크게 영향을 받는다. 그림 4.13에서 除電器 B, C는 Roller와 帶電物體와의 摩擦에 의한 靜電氣가 발생하는 지역으로서 除電效率이 그다지 기대되지 않는다. 除電器 C, E는 帶電物體의 近處에 接地體가 있는 경우로서 除電效果가 낮아 적당하지 않다. 除電器는 一般的으로 除電하고자 하는 帶電物體만이 있는 位置에 설치하는 것이 바람직하며, 이 그림에서는 D, F 및 G의 위치에 설치하는 것이 좋다.



A : 對向 設置; B, C : 發生源; C, E : 接地體 設置

그림 4.13 除電器의 設置位置

5. 靜電氣의 防護對策

靜電氣에 의한 被害는 可燃性 또는 爆發性 霧團氣가 많은 石油化學工業, 예민한 半導體 素子를 취급하는 電子産業 등에서 특히 심각한 問題로 대두되고 있다. 이 章에서는 靜電氣에 의한 火災·爆發 災害 및 電子部品の 破壞와 같은 주요한 産業現場의 災害를 豫防하기 위한 基本的인 對策들을 강구하여 보기로 한다.

5.1 人體에 대한 靜電氣의 防護對策

帶電되어 있는 人體에 의한 靜電氣放電은 여러가지 이유에서 큰 중요성을 갖고 있다. 化學工場, 製藥工場 및 精油工場 등과 같은 燃燒性 또는 爆發性 霧團氣가 있는 곳에서는 點火源으로 작용할 수 있으며, 微小한 半導體 素子를 다루는 電子會社에서는 이들 部品을 파괴하거나 損傷시키는 등 生産活動에 많은 障害를 가져올 수 있다. 한편, 이와같은 災害를 초래할 수 있는 靜電氣의 帶電 및 放電 현상은 우리의 日常生活이나 産業現場 곳곳에서 수시로 발생할 수 있어 그 危險性이 더욱 심각해지고 있어 적절한 對策을 강구할 필요가 있다.

5.1.1 人體의 帶電

人體의 體積抵抗은 電氣的으로 導體라고 볼 만큼 충분히 낮다. 따라서 帶電問題가 없을 것 같으나 대부분의 경우 絶緣된 바닥이나 신발 등으로 大地 등 다른 物體와 絶緣되어 있으므로 帶電現象이 나타날 수 있다. 人體가 帶電되면 자신이나 다른 사람에게 電擊을 일으킬 수도 있고, 주변의 可燃性 混合物을 인화시키기에 충분한 Energy를 갖는 불꽃放電 (Spark)을 일으키기도 한다. 특히, 帶電된 人體가 IC 같은 예민한 部品에 접촉되면 그 部品은 損傷을 입게 된다.

人體가 靜電氣에 帶電되는 것은 대체적으로 다음 경우중의 하나에 해당된다고 볼 수 있다.

(1) 自身の動作에 의한 摩擦帶電 (Triboelectric Charging)

人體가 움직이면서 다른 물체와 摩擦하거나, 움직일 때 입고 있는 衣服의 摩擦로 인하여 帶電하게 된다.

(2) 帶電物體로부터의 傳導에 의한 帶電

帶電된 他 物體와 접촉할 경우 그 物體로부터 電荷가 人體로 이동하여 帶電하게 된다. 이 現象은 입고 있는 衣服이 帶電할 경우 피하기가 어렵다.

(3) 帶電物體로부터의 誘導에 의한 帶電

帶電物體의 부근에 人體가 있게 되면 그 物體의 電界의 作用에 의하여 人體가 帶電된다.

人體의 靜電氣로 인한 災害를 防止하기 위하여는 가능한 한 靜電氣의 發生을 막아야 하는데, 이를 위해서는 상기 경우중 어느 하나에도 해당되는 상황이 일어나서는 아니 된다. 人體에 帶電되는 電荷가 發生되는 狀況의 實例를 몇가지 들면 다음과 같다.

- ① 의자에서 일어나거나 벽면에 몸을 비빌 때: 처음에는 衣服의 겉면과 접촉했던 다른 面 사이에 電荷의 分離가 일어나고 이 電荷의 誘導에 의하여 人體가 帶電된다.
- ② 高抵抗物體인 Carpet와 같은 絶緣 바닥위를 걸을 때: 처음에는 마루바닥과 신발 사이에 電荷分離가 일어나고, 人體는 신발에 帶電된 電荷를 共有하거나 이 電荷의 誘導에 의하여 帶電된다.
- ③ 걸옷을 벗을 때: 걸옷의 속층과 겉층 사이에 接觸 帶電이 일어나고, 이의 共有나 誘導에 의하여 人體가 帶電된다.

- ④ 液體나 粉末을 사람이 잡고 있는 容器에서 부을 때: 液體나 粉末이 人體에 똑같은 量의 반대 極性을 가진 電荷를 남기며 다른 極性의 電荷를 흘려 보낸다.
- ⑤ 帶電된 物體와의 接觸: 많이 帶電되어 있는 粉末을 취급할 때 이 帶電物體로부터 電荷가 옮겨진다.

계속적으로 人體의 帶電過程이 진행될 때 人體 靜電荷의 電位는 약 50 kV까지 도달할 수 있으나 그 이상은 電荷의 漏泄이나 放電에 의하여 제한을 받게 된다.

5.1.2 人體 및 衣服으로부터의 放電

5.1.2.1 人體에서의 放電

帶電된 人體에 貯藏되는 全體 Energy는 $\frac{1}{2} CV^2$ 로 주어지고, 人體의 靜電容量 (Capacitance)은 보통 100 ~ 300 pF의 범위에 있다. 人體에 있는 모든 Energy가 放電시 방출되지는 않고 그 量은 放電시의 환경에 따라 다르다. 可燃性 가스混合物이나 粉塵이 존재하고 이들의 最小點火 Energy가 100 mJ 이하인 경우는 특별한 주의가 요망된다.

人體로부터의 靜電氣放電은 구두와 마루바닥 등을 통하여 人體와 大地 사이에 적절한 導電路를 제공해주면 극소화시킬 수 있다. 극도의 乾燥상태를 제외하면 보통의 室內 濕度 상태에 있어서, 가죽바닥으로 된 구두는 충분한 導電路를 형성할 수가 있다. 그림 5.1은 人體에 帶電된 靜電氣가 接地되어 있는 機器의 케이스에 放電되고 있는 상태를 나타내고 있다.

바닥이 絶緣體로 되어 있거나 絶緣性이 강한 異物質로 덮혀져 있지 않는 한 靜電氣防護用 구두를 사용하면 효과적이다. 그러나 이 구두의 抵抗은 사용함에 따라 증가할 수 있고, Oil이나 Wax와 같은 絶緣層이 바닥에 형성되어 導電性이 약화될 수 있다. 따라서 이 靜電氣防護用 구두들은 定期的으로 점검하여 사용하여야 한다.

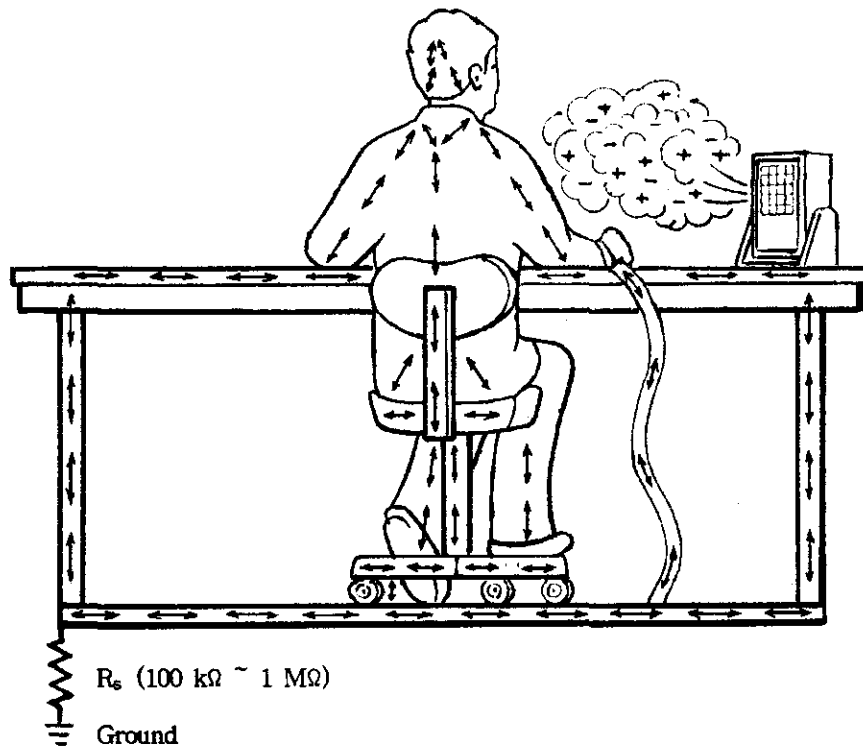


그림 5.1 作業臺 表面에서의 靜電氣 放電

5.1.2.2 衣服으로부터의 放電

많은 경우에 있어 의복이 帶電되어 있으나 이 帶電된 의복에 의한 電場이 바깥 쪽을 향하는 비율은 아주 작으므로, 옷을 입고 있는 사람이 大地와 접촉이 잘 되고 있는 한, 의복으로부터의 심각한 불꽃방전이 일어날 경우는 그리 많지 않다. 또한 의복에 의한 放電은 그 材料의 抵抗에 의하여도 제한을 받게 된다. 따라서 酸素가 아주 많거나 爆發物을 취급하는 경우 등과 같이 매우 낮은 最小點火 Energy를 갖는 주변분위기를 제외하고는 의복에 의한 放電은 별 問題가 되지 않는다.

그러나 입고 있는 의복의 일부가 벗겨질 때는 帶電電荷가 보다 쉽게 움직일 수

가 있어 直接的이든 誘導에 의한 것이든 위험한 放電이 일어날 確率이 더 많아지게 된다.

일반적으로 입고 있는 사람이 直接的으로 또는 靜電防止靴와 導電性 마루를 통하여 接地되고 있으면, 어떤 종류의 옷을 입더라도 상관없다. 그러나, 爆發性物質이 취급되고 있거나, 산소가 많아 아주 높은 可燃性가스 混合物이 있는 장소, 그리고 半導體部品을 제조하는 공장에서는 抵抗이 높은 의복은 입을 수 없으며, 導電性 겉옷 등은 接地되어야 한다.

의복은 帶電防止劑의 처리로 導電성이 될 수 있는데 이러한 처리의 效果는 일시적일 경우가 많아 일정한 기간이 경과하거나, 적어도 세탁할 때마다 재처리하여야 한다. 많은 帶電防止劑와 綿, Linen 등과 같은 자연섬유로 만들어진 導電服은 대기중의 水分에 존재에 의존하는 것들이 있는데 유의하여야 한다.

可燃性 가스 混合物이나 낮은 最小 點火 Energy를 가진 粉塵이 존재하는 지역에서는 옷을 함부로 벗지 말아야 한다.

5.1.3 人體의 接地

바닥이 고무로 된 것과 같은 보통의 구두를 신고 있으면 人體는 바닥과 絶緣되어 작업중 衣服에 의한 마찰, 보행중 바닥과의 마찰 그리고 靜電誘導 등에 의하여 靜電氣의 帶電이 잘 된다. 人體가 帶電된 상태에서 導體로 된 裝置 등에 접촉할 때 불꽃방전이 일어나 주위의 引火性物質에 着火하여 火災·爆發을 일으키게 되며, IC 등의 半導體素子로 放電電流가 흘러 들어갈 경우는 이들을 파괴하거나 본래의 機能을 발휘할 수 없게 하여 제품을 불량화시키거나 機器의 誤動作을 초래한다.

따라서 예민한 部品이나 裝備를 취급하는 작업자나 또는 靜電氣障害의 위험이 있는 지역에서 일하는 작업자는 적절하게 人體를 接地시키는 것이 필요하다. 그림 5.2는 電子部品을 다루는 作業臺에서의 靜電氣障礙 防護를 위한 대표적인 기구들을 作業者が 착용하거나 주위에 설치한 모습을 보여주고 있다.

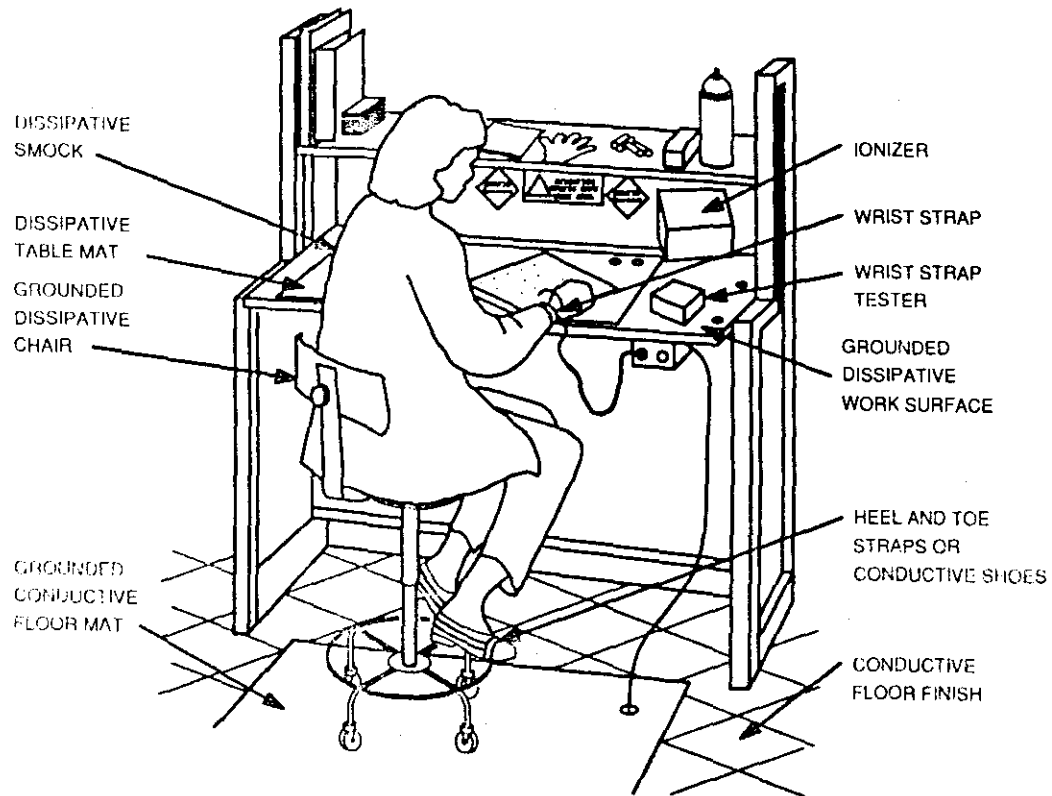


그림 5.2 代表的인 作業臺에서의 靜電氣 防護를 위한 器具들

人體의 接地는 導電靴 (Conductive Shoes)를 신거나 손목 接地袋 (Wrist Strap) 등을 착용하는 방법 등을 통하여 할 수 있다. 앉아서 작업할 때에 작업자는 반드시 接地系에 연결되어 있는 손목 接地袋를 착용하고, 서서 작업할 때는 導電靴를 신거나 導電 處理가 된 바닥위에서 작업하여야 한다.

人體의 接地는 絶緣性 페인트나 作業臺材料, 구두, 의류, 의자 등에 의하여 무효화되지 않도록 주의하여야 한다.

5.1.4.1 손목 接地袋 (Wrist Strap)

보통, 손목에 유연하고 導電性이 있 Band를 차고 그 Band를 導線을 사용하여

接地線에 연결함으로써 人體를 接地하는 기구이다 (그림 5.3). 이 接地袋을 人體에 着用할 때는 接地線과의 사이에 1 M Ω 정도의 抵抗을 直列로 삽입하여야 한다. 그 이유는 機器의 故障시에 漏泄電流가 人體를 통하여 흐르는 것을 억제하여 感電事故를 예방하기 위함이다. 이 경우에도 靜電氣의 電荷는 接地線을 타고 충분히 大地로 흘러 들어가 帶電電荷를 蓄積을 방지할 수 있다.

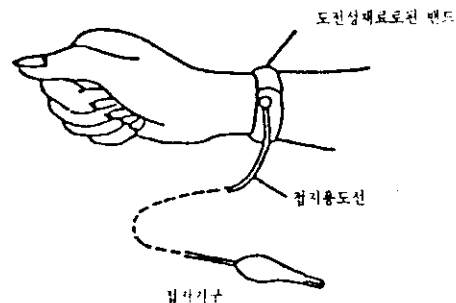


그림 5.3 손목 接地袋

接地袋는 Band가 피부에 接觸이 잘 유지되게 하여야 효과가 있으며, 연결점에서 接地系까지 連續性이 항상 유지되어야 한다. 이 接地袋를 作業臺 Mat 끝에 연결한다든지 해서는 안되며, 직접 機器 接地系에 연결하여야 한다.

5.1.4.2 靜電氣 防護用 구두 및 발목 接地器具類

靜電氣 防護用 발목 接地器具類에는 導電靴를 비롯하여 발목 接地袋 등 여러가지가 있다. 구두類는 반드시 導電性을 갖거나 消散性이 있는 바닥위에서 사용되어야 하고, 양발에 동시에 착용하여야 한다.

(1) 靜電氣 防護用 구두 및 長靴

人體의 帶電은 신고 있는 구두와 깊은 관련이 있는데, 보통의 구두는 바닥의 抵抗이 10^{12} Ω 정도로 絶緣되어 있어 帶電이 잘 일어난다. 대표적인 靜電氣 防護用 導電靴는 作業者의 발을 1 M Ω 이상의 抵抗을 통하여 마루 바닥으로 電氣적으로 연결한다. 이 靜電氣 防護靴는 마루바닥이 靜電氣의 放散을 방해하지 않는 한 매우 효과적인데, 작업장 환경에 따라 보통 2가지로 구분하여 사용한다.

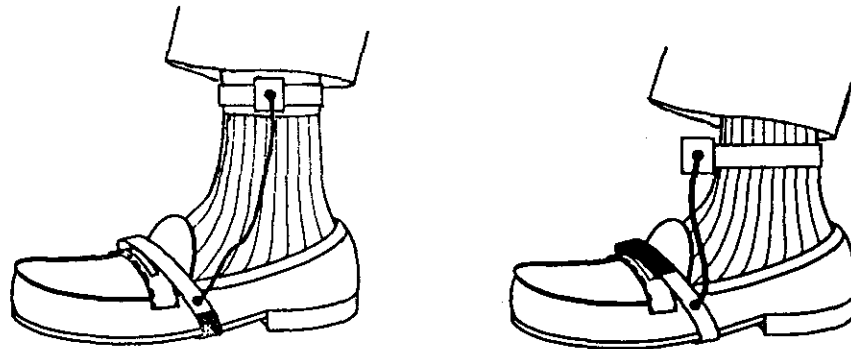
① 靜電防止靴 (Antistatic Shoes)는 바닥의 抵抗이 $10^6 \sim 10^8$ Ω 으로서, 對地電壓이

250 V 이상에서 작동하는 機器가 故障으로 漏電되어 위험한 電擊이 우려되는 경우에 이를 예방하기 위하여 사용된다.

- ② 導電靴 (Conductive Shoes)는 바닥의 抵抗이 $10^6 \Omega$ 으로서 위와 같은 電擊의 위험이 없는 경우에 사용된다. 대표적인 導電靴는 着用者の 발을 $1 M\Omega$ 의 抵抗을 통하여 電氣的으로 접속시켜주는 導電性 바닥으로 되어 있다.

일상적인 구두위에 덮어 씌워 사용하는 것으로서 導電性 Strip이 들어있는 導電長靴 (Conductive Boots)를 둘 수 있는데, 보통은 一回用으로서 한번 사용한 후 버린다. 그러나 이것은 철판으로 된 바닥위에서 사용해서는 안된다.

(2) 발 接地袋



(A) 올바른 着用

(B) 잘못된 着用

그림 5.4 Heelstrap의 着用 모양

立式 作業臺에서 일하는 사람들에게 적합한 것으로 Heelstrap, Toestrap, Bootstrap 같은 여러가지 형태의 발 接地袋가 있다. 대개의 Heelstrap 및 Toestrap은 보통 구두에 사용할 수가 있고, 철판으로 된 마루바닥위에서도 作業者和 大地간의 저항이 $1 M\Omega$ 이상일 경우는 사용 가능하다.

Bootstrap은 Heelstrap의 대체품으로서, 신고 있는 구두가 너무 높아서 Heelstrap를 사용할 수 없을 때 이용된다. Bootstrap는 一回用이 아니고 Heelstrap보다 훨씬 무겁다. 이것 역시 철판으로 된 마루바닥위에서 作業者와 大地간의 저항이 1 MΩ 이상일 경우는 사용 가능하다.

모든 경우에 있어, 발 接地袋들은 양발에 동시에 사용하여야 한다. 그리고 발목 부위의 皮膚가 직접 接地될 수 있도록 착용하여야 한다 (그림 5.4).

5.2 靜電氣로 인한 火災·爆發의 防止

5.2.1 可燃性 및 爆發性

燃燒過程에서 可燃性物質은 酸化劑와 작용하여 Energy를 방출한다. 酸化劑는 보통 空氣이지만, 空氣보다 酸素를 다소 더 포함한 다른 氣體 混合物도 될 수 있다. 가스나 粉塵 형태의 可燃性物質의 空氣중 混合物은 그 成分比가 燃燒下限界 및 燃燒上限界라고 불리우는 두 限界 내에 들어있어야 燃燒가 일어날 수 있는데, 이 限界値는 주로 가스의 경우는 공기중 可燃性物質의 濃度 (Vol.%)로, 粉塵의 경우는 1 m³ 속에 포함되어 있는 粉塵의 무게 (g/m³)로 나타내어진다. 이 限界値 사이의 濃度の範圍를 燃燒範圍라 하고, 이 範圍안에 있는 어떤 混合體을 흔히 可燃性 混合體 (Flammable Mixture)라고 일컫는다. 대부분의 가스는 燃燒範圍가 2~10 Vol.%이지만 Acetylene, Ethylene 및 Hydrogen과 같이 燃燒範圍가 훨씬 넓은 物質들도 있다 (표 5.1 참조).

일반적으로 靜電氣放電 또는 다른 點火源에 의한 爆發災害는 존재하는 可燃性混合體를 제거함으로써 豫防할 수 있다. 이것은 可燃性混合物의 濃度を 낮추기 위하여 외부공기와 換氣를 하거나, 不活性氣體 (Inert Gas)를 첨가하는 것 등에 의하여 가능하다.

표 5.1 可燃性物質 (液體 및 가스)의 點火 및 燃燒 性質

可燃性物質 (Combustible)	引火点 (°C)	最小 點火 溫度 (°C)		最小 點火 Energy (mJ)		燃燒 範圍 (Vol. %)			
		空氣中	酸素中	空氣中	酸素中	空氣中		酸素中	
						下限界	上限界	下限界	上限界
[炭化水素]									
Methane	Gas	630	-	0.30	0.003	5.0	15	5.1	61
Ethane	Gas	515	506	0.25	0.002	3.0	12.4	3.0	66
n-Butane	-60	288	278	0.25	0.009	1.8	8.4	1.8	49
n-Hexane	-3.9	225	218	0.288	0.006	1.2	7.4	1.2	52
n-Octane	13.3	220	208	-	-	0.8	6.5	≤ 0.8	-
Ethylene	Gas	490	485	0.07	0.001	2.7	36	2.9	80
Propylene	Gas	458	423	0.28	-	2.4	11	2.1	53
Acetylene	Gas	305	296	0.017	0.0002	2.5	100	≤ 2.5	100
Gasoline	-45.5	440	316	-	-	1.3	7.1	≤ 1.3	-
Kerosene	37.8	227	216	-	-	0.7	5	0.7	-
[麻醉劑]									
Cyclopropane	Gas	500	454	0.18	0.001	2.4	10.4	2.5	60
Ethyl Ether	-28.9	193	182	0.20	0.0013	1.9	36	2.0	82
Vinyl Ether	- 30	360	166	-	-	1.7	27	1.8	85
Ethylene	Gas	490	485	0.07	0.001	2.7	36	2.9	80
Ethyl Chloride	- 50	516	468	-	-	4.0	14.8	4.0	67
[溶劑]									
Methyl Alcohol	12.2	385	-	0.14	-	6.7	36	≤ 6.7	93
Ethyl Alcohol	12.8	365	-	-	-	3.3	19	≤ 3.3	-
Glycol	111	400	-	-	-	3.5	-	≤ 3.5	-
Glycerol	160	370	320	-	-	-	-	-	-
Ethyl Acetate	-4.4	427	-	0.48	-	2.2	11	≤ 2.2	-
Acetone	-17.8	465	-	1.15	0.0024	2.6	13	≤ 2.6	60
Benzene	-11.1	560	-	0.22	-	1.3	7.9	≤ 1.3	30
Naptha	37.8	232	216	-	-	1.0	6	≤ 1.0	-
Toluene	4.4	480	-	2.5	-	1.2	7.1	≤ 1.2	-
Butyl Chloride	-6.7	240	235	0.332	0.007	1.8	10	1.7	52
Trichloroethane	-	458	418	-	0.092	6.3	13	4.0	57
Trichloroethylene	32.2	420	396	-	18	10.5	41	5.5	91
[기타 物質]									
Acetaldehyde	-27.2	175	159	0.38	-	4.0	60	4.0	93
Acetic Acid	40	465	-	-	-	5.4	-	≤ 5.4	-
Ammonia	Gas	651	-	>1000	-	15.0	28	15.0	79
Aniline	75.6	615	-	-	-	1.2	8.3	≤ 1.2	-
Carbon Monoxide	Gas	609	588	-	-	12.5	74	≤ 12.5	94
Carbon Disulfide	-30	90	-	0.015	-	1.3	50	≤ 1.3	-
Ethylene Oxide	<17.8	429	-	0.062	-	3.6	100	≤ 3.6	100
Propylene Oxide	-37.2	-	-	0.14	-	2.8	37	≤ 2.8	-
Hydrogen	Gas	520	400	0.017	0.0012	4.0	75	4.0	95
Hydrogen Sulfide	Gas	260	220	0.077	-	4.0	44	≤ 4.0	-

※ 註: NFPA 53M "Manual on Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres" (1990)에서 引用.

靜電氣放電이나 다른 點火源에 의하여 空氣가 없이도 급격한 發熱反應이 일어날 수 있는 混合物이나 混合體가 있는데 이러한 것을 爆發物이라고 한다.

5.2.2 點火 Energy

5.2.2.1 靜電氣의 放電 Energy

앞에서 記述한 바와 같이 帶電된 靜電氣가 放電할 때 내는 放電 Energy는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV$$

여기서 E 는 放電 Energy (單位: J), C 는 靜電容量 (單位: F), V 는 帶電電壓 (單位: V), 그리고 Q 는 帶電된 靜電氣量 (單位: C)이다.

放電 Energy는 靜電氣量이 같아도 帶電電壓이 높을수록 커진다. 또한, 物體面 사이의 距離가 짧아질수록 靜電容量은 커지고, 멀어질수록 靜電容量이 감소하며 電壓은 높아진다. 空氣중의 放電에는 최소한 350~400 V 이상의 電壓이 필요하여 이보다 낮은 低電壓의 帶電은 그다지 위험하지 않은 것으로 알려져 있다.

靜電氣가 갖고 있는 Energy는 放電시에 여러가지 형태를 통하여 外部로 放出한다. 대표적인 放電形態가 Spark로서 이는 液體 또는 固體 導體 사이에서 일어나며, 아주 짧은 시간에 高密度의 電流와 閃光을 동반한다. 靜電氣放電에 따른 點火能力을 평가하기 위해서는 이 放電 Energy와 可燃性物質의 最小點火 Energy를 비교하는 것이 보통이다. 그러나 放電經路에 抵抗이 있으면 저장된 Energy의 일부분이 이 抵抗에서 放散되고 Spark의 시간도 길어지게 되어 이들의 단순 比較는 유효하지 않을 경우가 있다.

날카로운 모서리를 갖는 導體에서 주로 일어나는 Corona 放電의 點火能力은 Spark 放電의 경우보다 작다. 이러한 이유로 Corona 放電은 靜電氣를 除電하는 한

수단으로 사용될 수 있다. 可燃性混合體가 존재할 우려가 있을 때는 이러한 靜電氣除電 시스템을 설계하는데 있어 특별한 주의가 필요하다.

不導體에서 일어나는 Brush 放電의 경우는 點火能力을 결정하는 일반적인 방법이 없다. 보통, 높은 表面抵抗이 電荷의 흐름을 방해하기 때문에 Energy의 放出率은 비교적 낮으나, 높은 Energy 密度를 가진 부분이 존재할 수 있어 다른 형태의 Corona 放電보다 點火性이 더 강할 수가 있다.

高抵抗 不導體板으로부터 발생하는 傳播(Propagating) Brush 放電은 點火性이 매우 높다. 이 경우 不導體에 저장되는 全 Energy量이 추산되면 이를 最小點火 Energy와 비교하여 點火性을 판단할 수 있다.

5.2.2.2 最小 點火(Ignition) Energy

靜電氣放電이 可燃性混合體를 點火시킬 수 있는지의 여부는 可燃性混合體의 成分 및 溫度, 放電 Energy 및 이 Energy의 분포 등에 달려 있다. 현장에서 가장 흔한 點火源은 絶緣物로부터 생겨나는 Spark이며, 따라서 이 Spark가 點火 Energy를 측정하는데 있어 가장 널리 쓰여지고 있는 수단이 된다. 어떤 물체에 있어서 가장 낮은 點火 Energy는 空氣중 濃度の 函數로서 그림 5.5에서 보여지는 형태로 된다. 이 곡선에서 가장 낮은 점에 해당하는 Energy가 最小 點火Energy로서 可燃性物體가 관련된 火災나 爆發을 유발하는데 필요한 最小 Energy 量을 나타내는 가장 보편적인 척도가 된다.

Ethane, Butane과 같은 飽和탄화수소 Gas나 증기는 공기와의 混合比가 최적일 때, 불꽃방전에 의한 放出 Energy가 0.25 mJ이면 點火되는 것으로 밝혀지고 있다. Ethylene, Acetylene 같은 不飽和탄화수소는 이보다 훨씬 낮은 Energy에서도 點火 가능하다. Gas/空氣 混合體의 最小 點火 Energy는 대략 0.01~1.0 mJ의 범위에 있고, Gas/酸素 混合體의 最小 點火 Energy는 0.002~0.1 mJ의 범위에 있다. 爆發物의 最小 點火 Energy는 0.001 mJ까지 낮아질 수 있다. 주요 可燃性物質 (液體 및 Gas)의 最

小 點火 Energy는 표 5.1에 나와 있다.

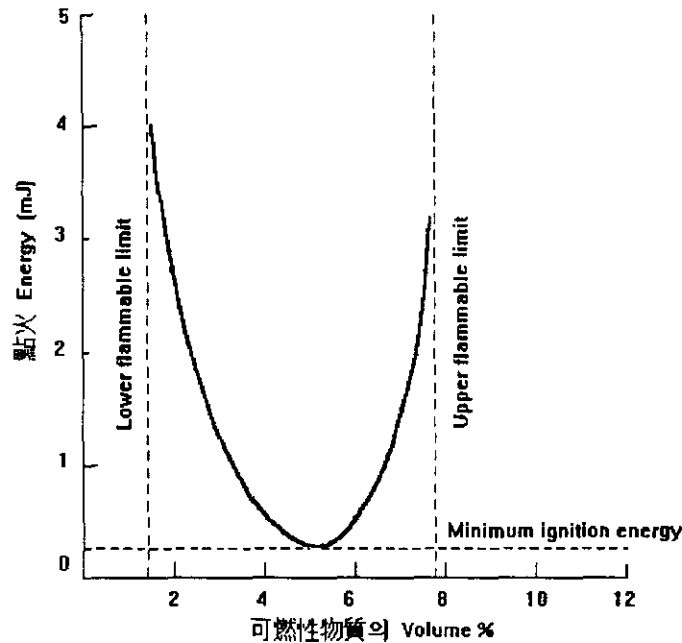


그림 5.5 空氣중 可燃性物體의 濃度와 點火 Energy

粉塵 (Dust), 粉體 (Powder) 및 纖維 (Fiber) 등의 點火 Energy는 가스나 蒸氣보다 10~100배 이상으로 훨씬 높아 대개 2 ~ 5000 mJ의 범위에 있는 것으로 알려져 있다.

粉塵의 最小點火 Energy는 化學的 成分외에 粒子의 크기에도 의존한다. 보통 粉塵의 粒子가 크면 點火 Energy도 커진다. Aluminium 粉塵의 最小點火 Energy는 20 mJ, 木粉은 30 mJ, 小麥粉은 160 mJ 등이다.

두가지 이상의 可燃性物質이 섞여 있는 混合物의 경우, 각각의 물질의 濃度가 爆發下限界 이하일지라도 爆發性을 가질 수 있다. 특히 混合物을 구성하고 있는 物質들의 狀態가 다른 것을 異狀混合物이라고 하는데, 이 경우 點火 Energy는 크게 낮아질 수 있다. 예를 들어 粉塵에 가스가 혼합되면, 혼합된 가스의 含量이 爆發下限界

보다 크게 낮더라도 爆發이 일어날 위험이 있다.

공기중의 산소 농도가 증가할수록 點火 Energy는 감소하여 爆發 危險性이 커지게 된다.

5.2.3 靜電氣 制御를 통한 點火 防止

靜電氣에 의한 火災·爆發 災害는 靜電氣가 發生되는 量과 速度를 억제하거나 발생된 靜電氣를 消滅시키거나 또는 靜電氣의 放電이 일어나는 場所에서 可燃性混合體를 除去하는 것 등에 의하여 防止될 수 있다. 이에 대한 구체적인 방법들은 第4章의 各節에 나와 있는 사항들을 참고하기 바란다.

5.3 電子産業의 靜電氣 防護對策

3.2.1節에서 언급한 半導體 素子 및 部品의 파괴로 인한 電子産業의 피해를 방지하기 위해서는 事業場별로 그 特性에 맞는 적절한 靜電氣 防護對策 (ESD Control Program)을 수립하여 철저히 이행하여 나가야 할 것이다. 이러한 Program을 도입하여 시행하고 있는 대표적인 회사인 미국의 AT&T社의 자료에 의하면 이 Program의 실시후에 불량품이 대폭 감소하고 (실시 첫해에만 110% 감소), 제품의 품질이 향상되었으며, 이에 따라 原價節減 등 생산성 향상에 크게 기여한 것으로 나타나고 있다.

5.3.1 電子部品の ESD 被害 類型

ESD에 의하여 초래되는 IC와 같은 半導體 電子部品の 피해는 지금까지 3 가지 類型(Model)으로 분류하여 설명할 수 있다. 이 區分은 ESD 被害의 防止對策을 세우는데 있어 매우 중요하다.

(1) 人體 모델 (Human Body Model)

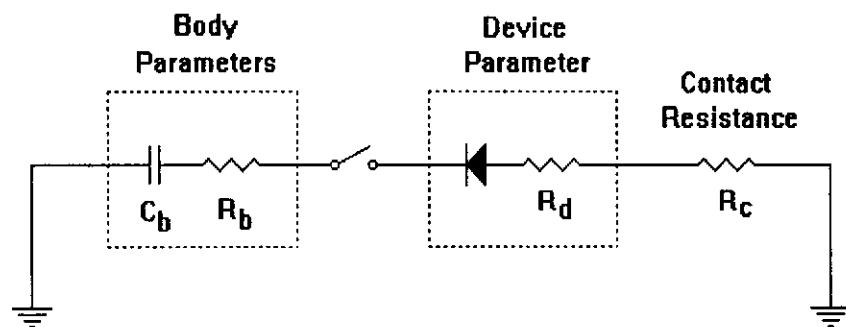


그림 5.6 人體 Model의 等價回路

이 모델은 그림 5.6과 같이 人體를 Capacitor와 抵抗의 直列로 구성된 電氣的 等

價回路로 대체한 것이다. 人體 Capacitance C_b 는 보통 100~200 pF의 값을 갖고 있고, 人體抵抗 R_b 는 500~2000 Ω 의 값을 갖는다. R_d 는 Device Junction이나 要素의 抵抗을 나타내고, R_c 는 接觸抵抗을 나타낸다.

앞에서 기술한 바와 같이 人體는 마루위를 걷는다든가 Plastic을 문지르는 등의 여러가지 動作에 의하여 수천 내지 수만 Volt의 電壓으로 接觸 帶電이 되는데, 帶電된 人體가 電子部品の 素子에 접촉하는 경우 순간적으로 放電하게 된다. 放電시에는 millijoule (mJ) 범위의 熱이 micro秒 단위의 時間常數 (Time Constant)로 흘러 Junction이나 部品要素를 가열시켜 파괴하게 된다.

(2) 帶電素子 모델 (Charged Device Model)

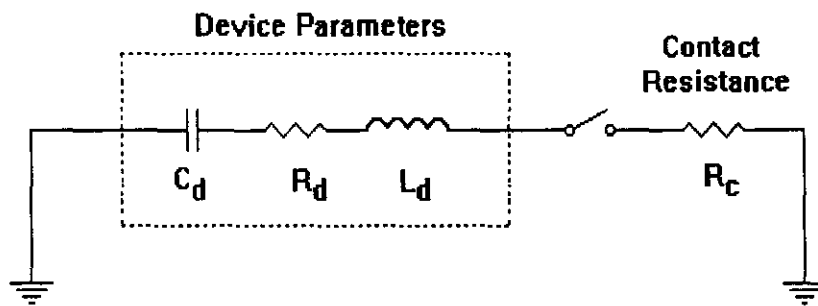


그림 5.7 帶電素子 Model의 等價回路

이 Model은 Speakman 등이 처음 제시한 것으로서 帶電된 素子 (Device)의 導體표면이 다른 導體의 표면이나 大地에 접촉하여 放電할 때의 현상을 설명하기 위한 것이다. 대부분의 電子部品の 파괴가 이 Model에 따른다고 할 수 있다. 그림 5.7은 이 Model을 直列 RLC로 이루어진 等價回路로 나타내고 있다. R_d 는 과도현상때에 대부분의 電力이 放散되어지는 Silicon 기판위에 있는 回路素子の 抵抗을 나타내고, L_d 는 Lead 線의 Inductance를, C_d 는 素子の 주위 環境에 대한 Capacitance를 나타낸다. 이 回路는 電荷 Sink나 大地와의 接觸을 나타내는 Switch와 接觸抵抗 R_c 를 추가함

으로서 완성된다.

(3) 電界誘導 모델 (Field Induced Model)

靜電氣 放電에 관한 또다른 Model은 誘導電界와 관계가 있다. 강한 電磁場에 素子が 놓여지게 되면 酸化膜 (Oxide Area)를 뚫고 電位가 誘導될 수 있다. 구조나 방향성이 어떤 조건에 다다르면 誘導電場은 산화막의 絶緣耐力을 초과하여 素子を 파괴 (Breakdown)하게 된다. 이 Model은 아직 규명이 덜 되어 있어 앞으로 많은 연구가 필요하다.

5.3.2 ESD 敏感 部品 (ESDS)의 分類

오늘날 半導體産業은 엄청난 發展을 거듭하여 超高密度로 集積化, 小型輕量化된 半導體 素子 (Chip)들이 속속 개발되고 있다. 그 결과 4 Mega 및 16 Mega D 램 등의 大容量 記憶素子 (Memory Chip)들과 방대한 응용 회로를 하나에 集積한 ASIC Chip들이 電子製品들에는 물론 각종 産業機器에서 사용되고 있다. 이러한 半導體 Chip들은 대부분 극도로 輕薄하며 微細電流에 의하여 動作함에 따라 감당할 수 있는 電力은 아주 작아 電磁波와 같은 外部 Noise에 매우 脆弱하다. 특히 靜電氣 放電에 의해 機能 障礙를 받거나 심한 경우 아예 破壞될 수도 있다. 따라서 靜電氣 放電에 민감하게 영향 받는 부품을 ESDS (Electrostatic Discharge Sensitive) Item이라고 하여, 美國 國防部の 靜電氣에 관한 규격인 DOD-HDBK-263에 표 5.2와 같이 분류되어 있다. Class 1의 部品은 특히 예민하므로 製造, 運搬 및 保管 과정에서 특별한 취급을 요하며, 장착하는 回路基板에서도 外部 Noise로부터 保護될 수 있도록 조치되어야 한다.

표 5.2 ESDS 部品の 分類

Class 1: 靜電氣 敏感電壓 範圍 0 ~ 1,000 Volts
• 保護回路가 없는 Metal Oxide Semiconductor (MOS) • Surface Acoustic Wave (SAW) 素子 • 非保護 MOS Capacitor를 가진 OP AMP • Junction Field Effect Transistors (FET) • Silicon Controlled Rectifiers (SCR) • Precision Voltage Regulator Microcircuits • Microwave 및 Ultra-High Frequency 半導體 및 Microcircuits (周波數 > 1 GHz) • Thin Film Resistors (Type RN) • 保護回路가 없는 Large Scale Integrated (LSI) Microcircuits • Class 1 部品을 사용하는 Hybrids
Class 2: 靜電氣 敏感電壓 範圍 1,000 ~ 4,000 Volts
• Class 2 感度の 保護回路가 있는 Metal Oxide Semiconductor (MOS) • Schottky Diodes • Precision Resistor Networks (Type RZ) • 高速 Emitter Coupled Logic (ECL) Microcircuits (傳播 Delay < 1 ns) • Transistor-Transistor Logic (TTL) Microcircuits • Class 2 感度の 保護回路를 갖는 MOS Capacitors가 있는 OP AMP • Class 2 入力 保護回路가 있는 Large Scale Integrated (LSI) Microcircuits • Class 2 部品을 사용하는 Hybrids
Class 3: 靜電氣 敏感電壓 範圍 4,000 ~ 15,000 Volts
• 低電力 Chopper Resistors • Resistor Chips • Small Signal Diodes (Power < 1 Watt) • General Purpose Silicon Rectifier Diodes 및 Fast Recovery Diodes • 低電力 Silicon Transistors (Power < 5 Watts) • Class 1 및 Class 2에 포함되지 않는 모든 Microcircuits • Piezoelectric Crystals • Class 3 部品을 사용하는 Hybrids

5.3.3 ESD 制御 計劃 (ESD Control Program)

靜電氣放電에 의한 障·災害를 豫防하기 위한 총체적인 對策을 ESD 制御計劃 (ESD Control Program: ESDCP)라고 한다. ESDCP를 효과적으로 수행하기 위해서는 靜電氣 被害의 類型을 구분하고 이에 의거하여 部品에서 完製品에 이르기까지의 全工程에 걸쳐 치밀한 防護計劃을 수립하여야 하며, 모든 從事者들의 協力과 意志가 필요하다.

5.3.3.1 ESD 銳敏度 區域 區分 (Area Sensitivity Classification)

ESD Control Program을 經濟的이고 效果的으로 운영하기 위해서는 靜電氣에 대한 部品の 銳敏度 (Device Sensitivity)를 구분하여 이에 대응한 조치를 취하여야 한다. 덜 예민한 部品들에 대해서는 최소한의 費用과 注意로서 要求條件 (Requirements)을 만족시킬 수 있는 반면, 극도로 銳敏한 部品들에 대해서는 광범위하고 철저한 對策의 마련과 履行이 이루어져야만 要求條件이 만족될 수 있다.

ESD 銳敏度和 관련하여 어떠한 部品들을 포함하고 있는가에 따른 ESD 銳敏度 場所를 구분하면 다음과 같다.

- ① 0級 區域 (Class 0 Area): ESD 被害 限界値 (Threshold)가 0 ~ 199 V인 部品을 포함하는 場所
- ② 1級 區域 (Class 1 Area): ESD 被害 限界値 (Threshold)가 200 ~ 499 V인 部品을 포함하는 場所
- ③ 2級 區域 (Class 2 Area): ESD 被害 限界値 (Threshold)가 500 ~ 1999 V인 部品을 포함하는 場所
- ④ 3級 區域 (Class 3 Area): ESD 被害 限界値 (Threshold)가 2000 V 이상인 部品을 포함하는 場所

⑤ 4級 區域 (Class 4 Area): ESD에 銳敏한 部品을 포함하지 않은 場所

製造施設内の 場所 區分은 그 장소에서 취급하는 部品중 가장 민감한 部品에 따라 區分한다. 例를 들면, 100 V의 ESD 限界値를 갖는 部品이 0級 區域에서 0級 條件에 따라 취급되어야 하므로 그 區域내에 있는 모든 다른 部品들도 똑같이 0級 條件에 따라 취급되어야 한다.

5.3.3.2 ESD Control을 위한 基本準則

ESD 銳敏 場所區分에 관계없이 모든 경우에 있어서 기본적으로 적용되어야 할 ESD 制御를 위한 세가지 準則은 다음과 같다.

- (1) 모든 電子(Solid-State) 部品과 組立品은 일단 ESD에 민감하다고 가정할 것.
- (2) ESD에 예민한 部品과 組立品은 적절한 接地가 되어 있지 않는한 결코 만지지 말 것.
- (3) 靜電氣 安全地域 (Static-Safe Environment)외에서는 ESD 예민 部品이나 組立品을 결코 옮기거나, 저장하거나 취급하지 말 것.

(3)항에서 말하는 靜電氣 安全地域 (Static-Safe Environment)은 다음과 같은 場所를 포함한다.

- ① 靜電氣 發生을 抑制하는 地域.
- ② 靜電氣가 存在할 경우 즉시 除去가 되는 地域.
- ③ 作業場내에 있는 모든 導體와 人體가 완벽하게 接地가 되고 있는 地域.

5.3.3.3 ESD Control Program의 實施方法

ESD Control Program은 다음과 같이 세가지로 나누어 실시할 수 있다.

(1) ESD 認識 教育 (ESD Awareness Training)

作業場内の 모든 作業者は 다음 事項에 대하여 철저한 敎育을 받아야 한다.

- ① 靜電氣 發生의 원인
- ② ESD에 민감한 部品들에 대한 認識
- ③ ESD 制御의 方法
- ④ 개개 분야에서의 ESD 防止對策 및 責務

電子會社 事業場내에서 일반적으로 통용되고 있는 部品 (Item)의 취급에 대한 注意事項은 다음과 같다.

- ① 部品에 불필요하게 손대지 말고, 部品은 반드시 作業臺 위어나 組立品 内部에 둘 것.
- ② 靜電氣 安全地域을 벗어날 경우 반드시 Faraday Cage Bag을 사용할 것.
- ③ 作業場에서 불필요한 物體는 제거할 것.
- ④ ESDS 部品을 接觸하는 납땜인두의 Tip과 같은 공구는 반드시 接地할 것.
- ⑤ ESD 防止 物質의 사용 등에 따른 成敗는 作業者 자신에게 달려있음을 명심할 것.
- ⑥ Wrist Strap, Heelstrap 등의 人體 接地器具를 반드시 着用할 것.
- ⑦ 電氣場을 發生시키는 物體 근처에 部品을 놓아두지 말 것.
- ⑧ Taping 作業 등 靜電氣 발생 우려가 있는 작업을 할 때는 靜電氣 被害에 유의하여 作業速度 등을 조절하고 공기 Ionizer와 같은 靜電氣 除去器를 사용할 것.

(2) ESD 防護 物質 (ESD Protective Material)

ESD 防護物質은 다음과 같은 3가지 기본 條件을 만족시켜야 한다.

- ① CD Model에 의한 接觸性 帶電 (Triboelectric Charging)을 예방할 것.
- ② FI Model에 의한 誘導帶電을 막기 위하여 電磁波의 遮蔽 (Shielding)效果가 높을 것.
- ③ 帶電된 作業者나 物體와 接觸했을 때 HB Model에 의한 直接的인 放電이 일어나지 않도록 할 것.

실제로는 위의 조건들을 모두 만족시킬 수는 없으므로 적절한 조합에 의하여 최대의 효과를 얻을 수 있도록 선택하여 사용하여야 한다.

靜電氣 防護物質은 보통 다음 3가지로 구분할 수 있다.

- ① 導電性 物質 (Conductive Material)
- ② 靜電氣放散 物質 (Static-Dissipative Material)
- ③ 帶電防止 物質 (Antistatic Material)

(1) 導電性 物質 (Conductive Material)은 靜電荷를 가장 빠르게 放散시킬 수 있는 물질로서 靜電荷에 의한 電磁波를 遮蔽하는데 사용하고 Device의 Lead 線을 同一 電位로 유지하는데도 사용한다. 이 物質은 表面抵抗이 $10^5 \Omega/\square$ 이하이다.

(2) 靜電氣放散 物質 (Static-Dissipative Material)은 CD Model에서 靜電氣放電이 너무 급격히 일어나는 것을 방지하여 放電率을 너무 빠르지도 않고 너무 느리지도 않게 하는데 사용한다. 이 物質의 表面抵抗은 $10^5 \sim 10^9 \Omega/\square$ 범위이다.

(3) 帶電防止 物質 (Antistatic Material)은 電荷가 物體의 境界面을 통과하여 흐르는 것을 최소화시켜 준다. 우리가 어떤 물질을 Antistatic이라고 부르는 것은 완

전한 표현이라고 할 수 없다. 그 이유는 接觸帶電 (Tribocharging)이라는 것은 두 물체 상호간의 성질에 따라 일어나는 것이기 때문이다. 따라서 어떤 A란 物質이 다른 B란 物質에 대해서 Antistatic이라고 하는 것이 보다 정확한 표현이 된다. 상용화되어 있는 Antistatic 物質은 이를 적용할 때 작용하게 되는 물질들의 대부분에 대해서 Antistatic인 것으로서, 우리는 이를 일반적으로 Antistatic 物質이라고 일컫는다.

生産現場에서 보편적으로 많이 사용하고 있는 靜電氣防護 物質을 몇가지 열거하면 다음과 같다.

- ① 作業臺 表面 … Static-Dissipative
- ② 作業의자 … 表面이 導體, 바닥도 導體 처리
- ③ Tote Box … 導體, Antistatic
- ④ 作業服 … 導電性 처리
- ⑤ Bag … Aluminium Laminate 構造
- ⑥ 작업장 바닥 … Static-Dissipative

(3) ESD 防護 裝備 (ESD Protective Equipment)

靜電氣에 의한 被害를 防止하기 위해서는 靜電氣의 發生이나 帶電을 억제하는 일도 중요하지만 發生되어 있는 靜電氣를 感知하고 Monitoring하는 일, 帶電電荷를 除去하는 일, 部品の 被害 여부를 試驗하여 가려내는 일 등이 필요하다. 그리고 이와 같은 일들을 하기 위해서는 事案別로 많은 裝備가 필요한데 몇가지 主要한 것들을 열거하면 다음과 같다.

- ① 除電器 또는 Air Ionizer … 帶電되어 있는 靜電氣를 제거하거나 실내 空氣를 Ion化시켜 靜電氣의 發生을 抑制시키는 데 사용.

- ② 作業服, Wrist Strap, Heelstrap 등 개인 防護器具 … 입거나 손, 발에
着用하여 人體에 발생하는 靜電氣를 放電시키고 人體를 作業臺 表面과
等電位로 유지함.
- ③ 靜電氣 探知機 (Detector) 및 警報器 (Alarm System) … 物體가 帶電
됨에 따라 주위의 電位나 電氣場이 基準値 이상이 되면 警告 信號를
발생하여 줌.
- ④ 기타 作業道具 … 납땜인두, 납땜흡입기, 드라이버, 플라이어 등 作業에
쓰이는 道具들은 Tip을 接地시키거나 손잡이에 Antistatic 처리하여야
하며, IC Chip은 손으로 만지지 말고 삽입기 또는 추출기를 사용하여
취급할 것.

위에서 열거한 靜電氣 防護裝備나 器具들은 원래의 性能이 제대로 維持되고 있
는지를 확인하기 위하여 定期的으로 點檢하여야 한다. 이를 위해서는 事前에 節次規
定을 마련하여 이에 따라 실시하는 것이 좋은데, 이 節次規定은 防護器具의 製造業
者の 勸告와 現場의 經驗을 기본으로 하여 작성하여야 한다. 보통 Wrist Strap은 매
일 點檢하는 것이 좋고, Table Mat은 一週에 1回씩은 點檢하여야 한다.

6. 맺 음 말

靜電氣는 太古 이래 人類가 經驗해오고 있는 흔한 自然現象중의 하나이지만 최근 들어 産業의 發達로 인한 새로운 物質들의 興수와 더불어 靜電氣放電 (ESD)과 관련된 災害가 많이 發生하고 있다. 이에 따라, 본 研究에서는 靜電氣로 인한 産業現場의 障·災害를 豫防하기 위한 指針을 마련하고자 靜電氣에 대한 여러가지 事項들을 調査·分析하여 基本的인 防護方法들을 提示하였다.

본 研究에서 다룬 內容들을 간략히 要約하면 다음과 같다. 우선 제2장에서는 靜電氣 防護對策을 樹立하기 위한 基本으로서 靜電氣의 發生 및 帶電에 대한 原理 및 要因 등에 대하여 分析하였다. 제3장에서는 靜電氣 障·災害에 대한 認識을 갖도록 하기 위하여 靜電氣로 인한 火災 및 爆發 災害, 生産工程의 障礙 그리고 人體 障害에 대하여 살펴 보았다.

제4장에서는 제반 靜電氣 災害의 防護方法에 대하여 考察하였다. 즉, 靜電氣 發生의 抑制, 接地 및 接合에 의한 導體의 帶電防止, 導電性 向上에 의한 不導體의 帶電防止, 空氣중 放電에 의한 帶電防止, 靜電遮蔽에 의한 帶電防止, 그리고 靜電氣의 除電方法에 대하여 考察하였다. 마지막으로, 제5장에서는 人體에 대한 防護, 火災·爆發의 防止 그리고 電子産業의 ESD 防護 등 基本的인 靜電氣 災害의 防護對策을 提示하였다.

産業現場에서 靜電氣로 인한 障·災害를 豫防하기 위해서는 무엇보다도 事業主와 勤勞者 모두가 靜電氣에 대한 올바른 認識을 갖고 각 事業場별로는 特殊한 事情에 맞는 具體的인 靜電氣 防護對策을 樹立하여 實行해 나가야 할 것이다. 본 研究가 이를 위한 基礎資料로서 널리 活用될 수 있게 되기를 기대해 마지 않는다.

靜電氣에 대한 研究 對象과 範圍는 매우 넓어, 이번 研究는 그야말로 一次的인 研究에 불과한 바, 向後 많은 研究人力과 研究費를 투입하여 이에 대한 研究를 本格的으로 遂行해 나가야 할 것이다. 깊이있고 폭넓은 研究가 持續적으로 推進되고, 이

를 바탕으로 各 事業場에서 現場 實情에 맞는 體系的인 靜電氣 防護對策을 수립하여 운영할 때 靜電氣로 인한 産業災害는 현격히 減少하게 될 것이며, 商品의 品質向上과 더불어 生産性도 크게 提高될 것이다.

끝으로 본 報告書에서 잘못되거나 未盡한 事項이 發見되거나 이 分野 研究主題에 대한 좋은 意見이 있을 경우 주저없이 著者에게 알려주시면 向後 研究를 보다 알차게 遂行해 나가는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

参考文献

- [1] British Standards Institution, BS 5958: Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity, Part 1, 1980.
- [2] British Standards Institution, BS 5958: Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity, Part 2, 1983.
- [3] National Fire Protection Association, NFPA 77: Recommended Practice on Static Electricity, 1988.
- [4] National Fire Protection Association, NFPA 53M: Manual on Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres, 1990.
- [5] Handbook of Electrostatics, 日本 静電気學會 編, オーム社, 1981.
- [6] G.T. Dangelmayr, ESD Program Management, Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A., 1990.
- [7] B.C. O'Neill (Ed.), Electrostatics 1991, Proc. 8th International Conference on Electrostatics, Institute of Physics, Bristol, England, 1991.
- [8] J.M. Kotyler et al., "Hazards of Static Charges and Fields at the Work Station", EOS/ESD Symposium Proceedings, pp. 7-19, 1985.
- [9] G.R. Berbeco, "Passive Static Protection: Theory and Practice", EOS/ESD Symposium Proceedings, pp. 1-11, 1984.
- [10] G. Baumgartner, "Electrostatic Measurement for Process Control", EOS/ESD Symposium Proceedings, pp. 25-33, 1984.

- [11] M. Honda and Y. Ogura, "Electrostatic Spark Discharges - Three Factors Are Critical, EOS/ESD Symposium Proceedings, pp. 149-154, 1984.
- [12] G.T. Dangelmayer, "A Realistic and Systematic ESD Control Plan", EOS/ESD Symposium Proceedings, EOS-6, pp. 1-6, 1984.
- [13] R. King and J. Magid, Industrial Hazard and Safety Handbook, Butterworths, London, U.K., pp. 532-542, 1984.
- [14] D.A. Lloyd, Electrostatic Precipitator Handbook, Adam Hilger, Great Britain, 1988.

靜電氣 災害의 豫防 (I)
(기전연 93-8-14)

發行日 : 1993. 12. 31
發行人 : 院 長 徐 相 學
著 者 : 機械電氣研究室長 李 寬 珩
發行處 : 韓國產業安全公團
産業安全研究院
住 所 : 인천직할시 북구 구산동 34-3
電 話 : (032) 513-0230
F A X : (032) 518-6483

<非賣品>