

8. 반도체소자의 보호 관련자료

제어되지 않은 정전기는 건물의 벼락 피해, 가연재나 폭발물의 점화 폭발(예 : 병기창, 로켓, 화약, 곡물창고), 인쇄업 섬유업 플라스틱 공장에서 종이 섬유원료 플라스틱 등의 부착으로 인한 작업의 지장 등과 같은 여러 가지 원치 않는 장 재해를 초래한다. 대전체는 또한 먼지나 이물질을 흡착하고, 때로는 사람에게 전기 쇼크를 일으키는 등의 문제를 야기하기도 한다. 정전기 현상은 자연의 다른 현상과 같이 좋은 용도로 사용되기도 하는데 그 예로는 , 전자복사기, 작업장의 먼지 제어, 가정용 공기 정화기, 페인트 분무 등은 모두 정전기 현상을 이용한 것들이다. 최근 전자 소자의 소형화, 집적화 추세로 인하여 정전기의 피해사 심각해지고 있다. 소자가 작을수록 내성은 아주 작아져 정전기 방전(ESD : Electrostatic Discharge)에 의하여 피해를 입을 가능성이 크다. 이와 같이 정전기에 민감한 부품은 미국의 정전기에 관한 국방성 규격 앤-HDBK-263 에 분류되어 있으며, Class 1의 부품은 특히 민감하므로 제조 공정에서의 보호, 회로의 보관, 운반 등의 모든 과정에서 특별한 주의가 요구된다.

각종 산업에서 경험한 바에 의하면 정전기에 의한 피해는 크게 두 가지로 간주하고 있다. 즉, 순간적이며 완전한 피해와 소자나 시스템의 기능의 잠재적인 저하로 인하여 완전한 파괴의 가능성을 안고 있는 경우 두 가지이다. 전자의 경우는 확실히 드러나므로 원인 규명이 쉽지만 후자는 즉시 알 수가 없으므로 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리게 되고 평균고장간격(Mean Time Between Failure)이나 라이프-사이클 코스트(Life-Cycle Cost)에 심각한 영향을 끼치는 것이다. 소자의 피해는 자체보다는 그 소자를 포함한 장비의 사용자에게 더욱 민감하게 느껴진다. 더구나 부품 레벨에서는 부품의 교환만으로 끝나지만 장비 레벨에서는 검사 및 수리, 보전 비용이 포함되므로 그 피해는 더 큰 것이다.

이상의 이유로 각 생산 업체는 정전기 방지책을 실시하는 것이 필요해졌으며 방진 방법의 표준도 제정되기에 이르렀다. 더구나 ESD 방지책의 수행에 드는 비용은 제품의 불량, 수리, 고객의 불신으로 인한 피해 등이 포함되어 있다.

이상에서 설명한 ESD 의 피해를 예방하기 위한 총체적인 대책을 ESD Control Program(ESDCP)이라 한다. ESDCP 의 효과적인 수행을 위해서는 부품이나 조립품, 기기, 대형 시스템 모두에 걸친 구조적인 협력, 예컨대 디자인, 제조 공정, 조립, 측정, 시험, 수리, 유지, 패키징, 적재, 설치 그리고 동작 및 운용의 모든 과정에 걸친 협력이 반드시 필요한 것이다. 미국의 Military Standard DOD-STD-1686이 ESDCP의 기본요소를 결정한 이후 각 산업에서는 자사에 맞는 ESDCP를 개발하였으며 그 성공 사례가 여러 차례 보고되어 왔다.

ESDCP 는 크게 세 가지 즉, [작업자에 대한 ESD 주의 교육(ESD Awareness Training)], [ESD 보호 재료 (ESD Protective Material)], [ESD 보호장비의 사용(ESD Protective Equipment)]으로 나눌 수 있다. 여기서는 주로 ESD 보호 재료와 장비 및 작업장의 환경에 대하

여 알아보기로 한다.

8.1 보호용 재료들과 포장법(Packaging)

ESD 에 민감한 제품들과 접촉하거나 근접해 있는 모든 재료들을 선택하는 경우 전하생성이나 전하방출을 최소화 하는 특성을 지니도록 하여야 한다. 보호 백(Bag), 매거진(Magazine : 부품을 넣는 일종의 case), 각각의 장비를 운송하는 용기박스처럼 장기간의 저장이나 적재를 위해 사용 되는컨테이너뿐만 아니라, 운반 상자와 트레이(tray)처럼 공정기간 동안에 일시적으로 부품을 넣기 위한 컨테이너도 주의해야 한다. 보호용 상자는 도전성이 있는 폼(foam)으로 채우는 것이 바람직하며, 민감한 장치나 부품이 들어 있는 회로기판은 도전성 shunt(단락 플러그)를 사용하여 보호하고, 도전성이 있는 적당한 포장재로 채워 전기적 충격에서 보호하는 것이 좋다.

포장을 하기 위해서는 고유한 물리적 특성을 지닌 재료의 광범위한 선택이 필요하다. 재료와 포장방법의 선택은 포장조건과 포장비용에 의해 결정된다. 이상적으로, 보호면이 갖는 성능이나 포장비용은 필요로 하는 보호수준에 비례한다.

이 장에서는 ESD 에 민감한 제품과 접촉하는 포장재료의 선택에 관련된 기본적인 원칙들을 논한다. ESD 보호재료와 포장재를 구입하는 경우는 먼저 가능한 모든 재료와 제품들을 철저히 조사한 후 제조업자나 공급자의 주장을 알아보고 만족할 수 있는 재료를 선택하여야 한다. 좋은 제품을 구하기 위해서는 평소에 기업의 품질관리 프로그램과 샘플 (sample)의 정기적인 테스트를 실시해 줄 것을 요구할 수도 있다.

ESD 보호용 용기(container)는 마찰전기 생성, 정전기장 그리고 대전인체 혹은 대전물체와의 접촉으로 인한 직접적인 방전으로부터 보호할 수 있는 성능을 가져야 한다. 완전하게 보호할 수 있도록 모든 요구조건을 만족시킬 수 있는 단일 유형의 재료는 없기 때문에 보호수준, 비용, 그리고 유연성과 내구성 같은 물리적인 특성들을 고려하여 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 절충하여야 한다. 실제로 백과 작업장 표면같은 보호제품들은 요구되는 보호능력이나 물리적 특성을 얻기 위해 서로 다른 보호재료들을 혼용하여 만들고 있다.

8.1.1 재료 분류

정전기 보호재료들은 재료의 표면도전률의 역수인 표면저항률과 체적도전률의 역수인 체적저항률의 크기에 따라 분류된다. 미국방부(Department of Defense)는 도전성(conductive)재료, 정전분산(static dissipative) 재료, 제정전 (antistatic) 재료라는 3개의 부류로 나누고 있다.(DOD-HDHK-263) 이 분류에 따르면 도전성재료는 $10^5 \Omega/square$ 이하의 표면저항률을 갖고, 정전분산재료는 $10^5 \sim 10^9 \Omega/square$ 의 표면저항률을 갖고, 제정전재료는 $10^9 \sim 10^{14} \Omega/square$ 의 표면저항률을 갖는다.

ESD 제어 분야에서 용어정의에 대한 일반적인 협정은 없다. Electronics Industries Association(EIA)는 DOD 분류법에 의하지 않고 자사의 분류법을 사용하며, EIA 규정 (standard) RS-541 은 표면저항률과 체적저항률중 하나를 고려하여 도전성재료 및 정전분산 재료의 2가지 분류한다. 이 규정은 도전성재료를 $10^5 \Omega/square$ 이하의 표면저항률을 갖거나 $10^4 \Omega \cdot cm$ 이하의 체적저항률을 가지는 것으로 정의한다. 게다가 도전성재료는 반드시 제정전재료인 것은 아니라고 기술한다. 또 EIA는 정전분산재료를 $10^5 \Omega/square$ 부터 $10^{12} \Omega/square$ 의 표면저항률을 갖거나 $10^4 \Omega \cdot cm$ 부터 $10^{11} \Omega \cdot cm$ 까지의 체적저항률을 갖는 것으로 정의하고 있다.

EIA 는 제정전재료를 정의하기 위해 표면저항률이나 체적저항률의 값을 설정하지 않는다. 이 용어는 동종 재료들을 혹은 유사 재료들을 문지르거나 분리할 때 전하를 최소화시키는 제정전 특성을 보여주는 재료에 적용이 된다. 결과적으로 전하발생의 정도는 관계된 특정 재료에 따라 달라진다.

EIA 규정 RS-541에 따르면 재료는 천연적으로 제정전 상태이거나 혹은 두 방법 중의 하나에 의해 제정전 상태로 만들어질 수 있다고 기술하고 있다. 그 두 방법 중의 하나는 전하 발생을 최소화하기 위해 첨가물을 혼합하는 것이고(전체처리 ; bulk treatment), 다른 하나는 국부적인 대전방지제로 분사하거나, 담금질하거나, 프린트하거나, 문질러 발라서 처리하는 것(표면처리 ; surface treatment)이다.

International Electrotechnical Commission(IEC) 는 IEC 출판물 801-2 의 개정판에서 제정전재료를 $10^5 \sim 10^{11} \Omega/square$ 의 표면저항률을 갖는 ESD 보호재료로 정의한다.

모든 형태의 도전성재료는 ESD 보호에 유용하며, 요구되는 보호수준을 충족시키기 위해 적당한 도전성을 갖는 재료가 필요하다.

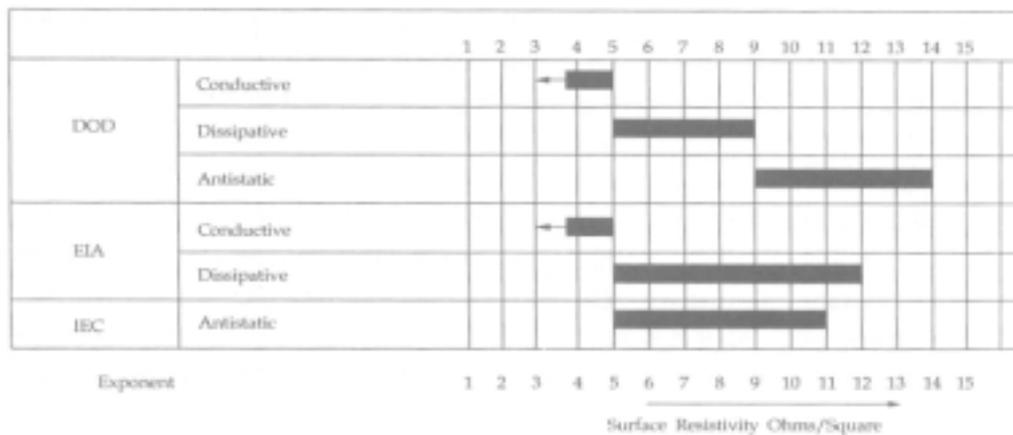


그림 8-1 표면 저항률에 의한 재료 분류(DOD,EIA,IEC 정의에 따름)

그림 8-1은 DOD-HDBK-263, EIA RS-541, IEC 801-2에서 분류된 사항을 토대로 재료의 한계를 나타낸 것이다. 정의상의 이런 차이점에도 불구하고, 모든 EDS 보호 제품들에 도전성의 범위를 부착해 놓는다는 것은 매우 중요하며 이러한 정보는 사용자에게 효과적이다. 사용자는 이 데이터를 어떤 표준이나 정의와 비교할 수 있다.

표 8-1은 DOD-HDBK-263 에 정성적으로 분류된 바에 따라 재료의 서로 다른 특성들을 비교하고 있다. 표 8-1에서 두 인접한 재료 등급간에 적용목적에 따라 분리할 수 있는 구체적인 경계선은 없다. 예를 들어, 도전성 재료의 저항영역의 상단에 있는 도전성 재료의 특성은 정전분산 재료를 나타내는 저항영역의 하단에 있는 정전분산 재료의 특성과 같을 수 있다. 같은 맥락으로, 높은 저항의 정전분산 재료의 특성은 제정전 재료를 나타내는 저항영역중에서 낮은 저항을 갖는 제정전 재료의 특성과 유사하다.

마찰전기 생성은 마찰과정이기 때문에, 마찰전기를 감소시키기 위한 주요 방법들 중에 하나는, 표면의 부드러움과 습기에 의한 윤활작용의 척도인 재료의 윤활성(lubricity)을 증가시키는 것이다. 마찰되는 표면의 윤활성이 크면 클수록 마찰은 작아지고 생성된 전하는 더 작아지게 된다.

제정전 재료는 대전방지제를 함유한다. 대전방지제는 재료의 윤활성을 증가시킬 수 있는 부드러운 층을 형성하면서 표면에 지속적으로 확산되는 화학제품이다. 이런 흡습성의 화학제품들은 주위 공기부터 수분을 끌어들이는다. 만일 상대습도가 낮다면 그 효과는 감소할 것이다. 이러한 특성이 저하되었는가를 확인하기 위해 주기적인 검사가 필요하다. 대부분의 제정전 플라스틱은 종이제품과의 지속적 접촉이나 공기에 장시간 노출된 후에는 이 효과를 잃는 경향이 있다.

도전성 재료들은 전형적으로 체적 전도성 물질을 만들어내기 위해 탄소를 함유하고 있다. 이런 재료들은 정전기장에 의해 유도되는 전하효과들을 최소화하기 위한 정전차폐체(예 : Faraday cage)로써 널리 사용된다. 재료가 갖는 차폐능력은 그의 도전성에 직접적으로 연관되어 있기 때문에 제정전 재료들을 정전차폐로 사용될 수 없다.

또한 정전차폐는 ESD 에 민감한 전자소자를 파괴적인 전자기펄스로부터 보호한다. 그렇지 않으면, 이런 펄스는 ESD 고압 스파크로 인해 유도될지도 모른다. 효과적인 차폐를 위해서는 정전차폐는 보호하고자하는 소자 주위를 완전히 둘러싸는 도전성 케이지(cage)를 형성해야한다. 덮개가 없는 운반상자(tote box)는 완전한 케이지가 형성되지 않으며 정전계에 대해 완전히 차폐되지 않는다.

표 8-1 ESD 보호 재료의 비교(DOD-HDBK-263)

도전성재료	정전분산재료	제정전재료
<ol style="list-style-type: none"> 1. 재료가 고전압이나 접지체에 접촉하는 경우 인체에 위협을 가할 수 있다. 2. 전기제품의 검사중에 도전성 재료와 전기적으로 연결되는 경우 제품의 전기회로에 손상을 줄 수 있다. 3. 강철(내부식성 재료는 제외)은 부식하는 경향이 있으며 페인트와 같은 보호 코팅은 표면의 도전성 특성을 파괴하여 정전기를 발생하게 할 수도 있다. 4. 알루미늄은 표면에 사화알루미늄을 형성해서 도전률을 감소시키며 정전기 발생능력을 증가시킨다. 5. 금속과 같은 딱딱한 표면은 제품이 떨어졌을 때 물리적인 충격으로부터 제품을 보호하지 못한다. 6. 인화성, 부식성, 독성, 세균성장성, 취성, 흘러내림, 벗겨짐, 가스방출, 부품간의 장기간 화학 반응 등에 대해 재료를 정밀 조사해야 한다. 7. 마찰전기 발생에 대한 보호는 사용하는 재료에 달려있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정도는 덜하자만 도전성재료의 1항과 2항에서 일어나는 위험과 같은 현상이 발생한다. 그 위험성은 전압의 크기와 검사 받는 부품과 회로의 형태에 달려 있다. 2. 인화성 부식성 독성 세균성장성 취성 흘러내림 벗겨짐 취성 가스방출 부품간의 장기간 화학 반응 등에 대해 재료를 정밀 조사해야 한다. 3. 마찰전기 발생에 대한 보호는 사용하는 재료에 달려있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 흡습성을 이용한 제정전재료의 대전방지 특성은 공기로부터 수분을 흡수하는데 달려 있기 때문에 상대습도가 낮을 때는 그효과가 감소한다. 2. 먼지, 오일, 실리콘의 축적은 흡습성의 대전방지제의 대전방지 특성에 대해 역효과를 가져온다. 알콜이나 케톤, 또는 솔벤트로 세척하는 것은 대전방지제를 제거할수 있으며 국부 대전방지제로 정기적인 처리를 해야한다. 3. 어떤 흡습성 제정전 재료에서 사용된 대전방지제는 물품에 붙어서 역으로 다른 재료와 재반응할 수 있는 이질적인 물질로서 작용할 수 있다. 이것은 미소 베어링에 있어서 윤활유와 관련된 문제로 나타낼 수 있다. 4. 인화성 부식성 독성 세균성장성 취성 흘러내림 벗겨짐 취성 가스방출 부품간의 장기간 화학 반응 등에 대해 재료를 정밀 조사해야 한다. 5. 흡습성의 제정전재료는 일반적으로 마찰전기 생성에 대해 보호해 준다. 다른 제정전재료의 마찰전기 생성 특성은 사용되는 재료에 달려있다.

많은 도저성 재료와 정전분산 재료들을 정전계에 대한 보호뿐 아니라 마찰전기 생성으로부터도 보호해 줄 수 있다. 그러나 어떤 금속은 마찰전기 생성과정을 통하여 많은 양의 전하를 만들어내는 능력을 가지고 있다. 예를 들어 알루미늄은 일반 플라스틱과 마찰할 때 많은 전하를 생성할 수 있다. 도전성 재료는 그 표면에 전하가 분포되며, 그것과 마찰된(혹은 그것에서 분리된) 다른 재료들을 매우 많이 충전될 수 있다. 특히 그 재료들이 절연체라면 더욱 그 정도가 심하다.

ESD 보호 재료는 도전성이든, 정전분산이든 혹은 제정전이든지 간에 다양한 형태로 만들어진다. 도전성 재료의 주요한 예로써 금속은 거의 어떤 형태로든 주조 혹은 조립되고, 용접될 수 있다. 그러나 도전성, 정전분산, 제정전 플라스틱들은 박판, 튜브, 용기로 주형되거나 제작될 수 있다. 섬유판, 멜라민적층판, 그리고 유사재료를 이용한 적층판들은 박스나 다른 유용한 컨테이너 형태로 만들어진다.

ESD 보호 재료의 종류와 형태는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 작업대나 테이블 표면, 바닥, 바닥 매트, 커버 등으로써의 사용을 위한 다양한 크기와 두께의 시트(sheet) 와 평판(plate)
- 2) 트레이, carrier, 상자, 병 등으로 만들어진 컨테이너
- 3) ESD 민감 회로판의 리드와 단자를 단락하기 위한 rigid shorting bar 와 clip
- 4) 민감한 소자의 리드선을 단락하기 위해서, 그리고 조립 접속용 소켓과 포장 쿠션재로서 사용된 폼시이트(foam sheet)
- 5) 시이트 커버와 의복(smock 와 gauntlet 포함)을 제조하기 위해 사용된 가요성 직물 재료
- 6) 장갑과 손가락 덮개를 제조하기 위해 사용된 가요성 재료
- 7) 작업자 신발 접지대(grounding strap)
- 8) 도전성, 정전분산, 제정전 특성을 갖고 있는 카펫과 바닥타일

또한, 도전성 재료의 전형적인 특성은 다음과 같다.

- 1) 불투명(금속화된 플라스틱의 형태에서는 제외)
- 2) 제정전 재료보다 고가
- 3) 보수 불필요
- 4) 제품 수명 동안에 일정한 표면저항
- 5) 수분, 상대습도와 무관한 표면저항
- 6) 표면에 직접 라벨(label) 인쇄 가능

제정전 재료의 전형적인 특성은 다음과 같다.

- 1) 불투명 혹은 반투명(translucence)
- 2) 도전성 재료보다 저렴
- 3) 기능을 측정하기 위한 주기적인 검사의 필요
- 4) 상대습도의 영향
- 5) 표면에 직접 라벨 인쇄 불가능

제정전 포장 재료에 있어서는 중요한 특성들의 변화가 발생할 수 있다. 재료의 정전기 완화시간은 제조업자들의 제품표본에 따라 달라지며 또한 제조업자에 따라서도 극단적으로 다양화될 수 있다.

모든 보호포자는 ESD 민감 소자가 내부에 있다는 것을 나타내는 확실한 라벨이 인쇄되어 있어야 한다. ESD 민감 소자들은 정전기로부터 완벽하게 보호된 (static-free) 작업공간을 제외하고 컨테이너에서 꺼내서는 안된다. 작업은 반드시 정전기로부터 완벽하게 보호된 작업공간에서 행해져야 한다. 보호 컨테이너로부터 소자를 끄집어내기 전에 접지된 도전성 작업대 매트 혹은 작업대면에 컨테이너를 놓아야 하며, 손목띠(wrist strap)가 편하게 맞도록 하고 접지용 소켓에 적절하게 꽂

혀있도록 하고 나서, 작업대에 손을 접촉시키는 조작이 먼저 행해져야 한다.

8.1.2 보호 백 (bag)

유연성있는 금속필름 혹은 금속박(foil) 으로 된 차폐체를 포함하는 적층 플라스틱백은 딱딱한 금속제 컨테이너 대신에 사용될 수 있다. 백의 면에 부착되어 있는 금속은 Faraday cage(그림 8-2)처럼 작용한다. 이런 백은 금속제 박스보다 다루기 더 쉽고, 비용이 더 저렴하며, 내용물들을 손상시키지 않는다. 불투명하든 투명하든 간에 이런 백은 소자와 회로판을

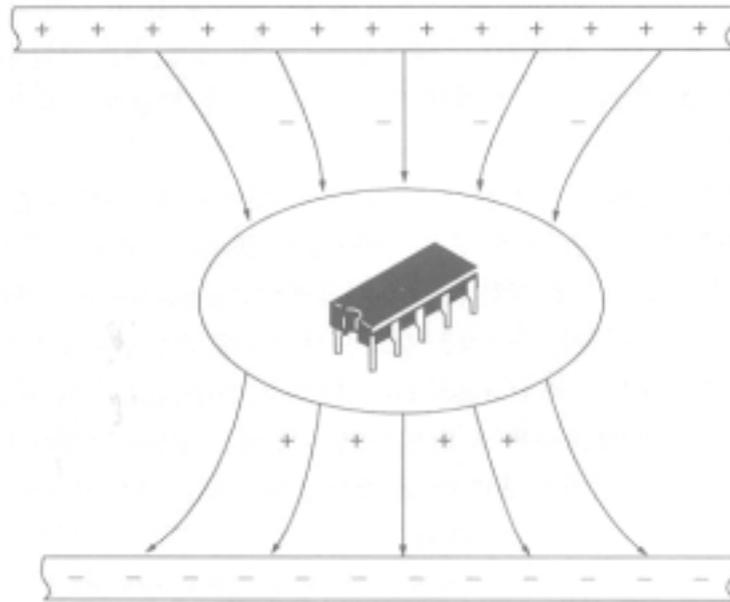


그림 8-2 전계가 존재하지 않는 Faraday cage 내부

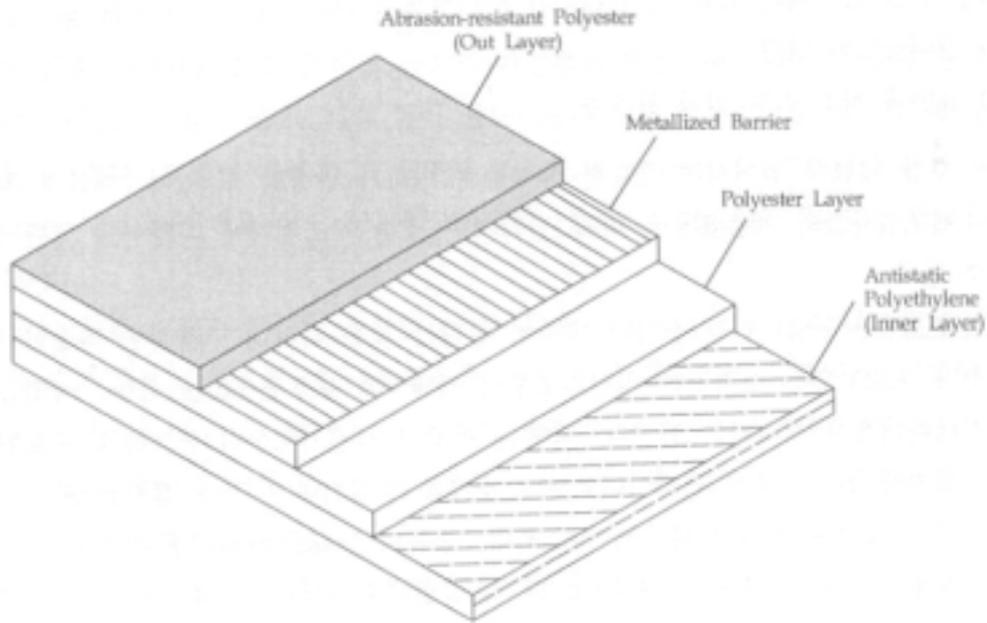


그림 8-3 박막으로 된 ESD 보호 백의 구성(Faraday cage)

적재하고 저장하는데 사용된다.

불투명 백의 금속제 격벽(metallized barrier)은 정전기 차폐로서 뿐만 아니라 수증기나 증발기체에 대한 방호벽으로서의 역할도 수행한다. 그러나 투명한 백의 금속층은 내부의 내용물을 볼 수 있도록 격자(망상조직)나 투명필름으로 만들어진다. 백의 구조는 그림 8-3에 나와 있는데, 내부와 외부에 정전분산 성질을 지닌 표면으로 마감되어 있다. 투명 faraday cage 차폐 백은 내용물을 꺼내지 않아도 부품의 동정과 목록을 볼 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 부품을 취급하는 과정을 최소화한다. 따라서 ESD 손상이 쉬운 민감한 소자의 노출을 줄이게 된다.

투명 도전성 백의 특성에 있어서 몇 가지 차이점이 있으나 대부분의 주요 특징은 비슷하다. 외부층은 내마모층으로 제작되며 전기적 연속성을 유지하고 있다. 이 층은 전형적으로 $10^{12}\Omega/\text{square}$ 이하의 표면저항을 갖는 0.5 mil 폴리에스터(polyester)로 만든다.

백의 투명 금속층은 매우 높은 도전성을 갖고 있기 때문에 손상이 발생하기전에 전하를 방산할 수 있다. 이 층의 30Å(angstrom) 정도이고, $30\Omega/\text{square}$ 의 저항을 갖는다. 내부에 있는 제정전 polyethylene 층은 백 안쪽으로부터의 마찰 대전을 지체시킨다. 이 층은 전형적으로 $10^{12}\Omega/\text{square}$ 보다 작은 표면저항을 갖는 2.5 ~3.0 mil 의 두께이다. 백의 전체적인 두께는 약 2.5 mil부터 3.5 mil 까지 다양하다.

투명 백의 대전전하 감소는 5000V 로 대전된 전하량에 대하여 일반적으로 100us 이하에서

이루어진다. 제정전충은 MIL-B-81705 의 요구사항을 충족시키기 위해 검사를 받는다. 완전한 백은 MIL-M-38510 과 EIA-541의 요구사항을 충족시켜야 한다.

저가의 불투명 도전성 플라스틱 백 또한 민감한 부품을 보호하기 위해 사용된다. 체적저항률은 $3000\Omega\text{-cm}$ 이하이고, 표면저항율은 $3 \times 10^4\Omega/\text{square}$ 이하이며, 두께는 4 mil 이다. 이런 백은 긁히면 탄소 입자가 방출되기 때문에 clean room에서 사용할 수 없다. 또한 이러한 백은 저저항 재료로 제작되어 있어서 충전선로를 단락시켜 전기적 쇼크와 재료의 특성 손상을 야기할 가능성이 있기 때문에 조심스럽게 사용하여야 한다.

8.1.3 DIP(Dual-in-line package) Magazine

DIP 용기에 봉입된 ESD 민감 반도체 소자는, “DIP stick” 이라고 주로 언급되는, C자 형태의 단면 모양을 갖는 튜브 즉, magazine에 저장된다. 도전성을 증가시키기 위해 사출성형된 알루미늄이나 플라스틱을 이용하여 봉입용기가 만들어진다.

플라스틱 DIP-IC 의 제조 공정에서 실리콘 칩(chip)은 압형된 금속 리드 프레임에 접합되고 내부 와이어 결합이 만들어진다. 그리고 나서 칩을 포함하는 금속 리드 프레임의 중앙부위를 직사각형의 틀(mold)에 위치시키고 에폭시 플라스틱을 주입한다. 개개의 리드선을 독립시키면서 외부 리드(lead) 프레임은 주조된(molded) 소자로부터 절단한다. 그리고 나서 회로판에 있는 소켓이나 적당히 나열된 구멍에 직접 연결가능한 형태를 만들기 위해 리드선을 아래 방향으로 구부린다. chip 은 내부에서 접합되어 와이어 결합이 이루어지며 덮개로 닫고 봉합한다.

그러나 DIP 형의 반도체를 만들기 위한 봉입용기는 절연체이고, 리드선은 도전성 금속이다. DIP 형 제품을 DIP 튜브 즉, DIP magazine에 넣어 이동하는 동안 DIP 튜브 내부면과의 마찰에 의하여 정전기를 발생한다. DIP 형 제품을 튜브에서 빼내는 과정이나 또는 작업의 과정에서 대전된 제품의 접지 가능성이 상존한다. 이 때의 급속한 전하방전은 소자를 파괴시키거나 손상을 가할 수 있다. DIP 형 소자가 DIP 튜브 내에서 미끄러지면서 대전하는 전하는 서로 다른 재료를 마찰시켰을 때의 결과와 같다.

전기분해에 의하여 코팅되지 않은 알루미늄으로 사출성형된 DIP 튜브가 다른 재료를 이용료로 하여 만든 튜브들 보다 적은 정전하(static charge)를 생성시킨다. 다른 튜브들은 제정전 재료로 코팅된 PVC, 탄소를 함유하는 PVC 등을 이용하여 만들어진다.

ESD 의 거의 대부분에 민감한 DIP 형 소자는 도전성 DIP 튜브로 운반하고 있다. 대부분의 튜브는 자기장으로부터 소자를 보호하기 위하여 충분한 내부 청결을 유지한다. 어떤 튜브에는 Faraday cage 특성이 요구된다. DIP 형 소자를 보호하기 위해 그것들을 내려놓는 사람은 손목 접지대를 착용해야 한다. 이는 도전성 튜브의 경우에 미끄러지는 소자로부터의 급속한 전하방전

이 가능하기 때문이다. 어떤 DIP 튜브는 소자를 빼내지 않고도 소자의 정보나 개수 등을 파악할 수 있도록 구멍(slot)을 갖고 있다.

8.1.4 보호용 운반 상자와 저장 케이스

적재와 저장하는 동안에 ESD 에 민감한 소자, 반조립부품, 회로기판 등을 보호하는데 있어서 보호백은 필수적이다. 그러나, 많은 양의 소자들이 정전기에 대한 통제가 잘 이루어지고 있는 작업장에서 운반될 때는 덮개가 달린 ESD 보호 운반 tray나 상자에 소자들을 넣어 운반하는 것이 더 편리하다. 이런 종류의 컨테이너와 운반상자에는 운반 중에 ESD로부터 완전하게 또한 먼지를 막기 위해서 경첩(hinge)이 달린 덮개가 달려 있다.

$3 \times 10^4 \Omega/\text{square}$ 이하의 표면저항률과 $300 \Omega\text{-cm}$ 이하의 체적저항률을 갖는 도전성의 고밀도 폴리에틸렌을 성형하여 회로기판을 위한 운반 상자를 만든다. 운반상자에 설치되어 있는 전기적으로 도전성인 측벽과 칸막이는 회로기판과 카드의 크기에 알맞게 맞추도록 슬롯을 조정함으로써 회로기판이나 카드의 안전한 이동을 가능하게 한다.

MIL-B-81705 에 의하면 이런 운반상자에서의 전하 완화시간은 5000V에서 0V 에 도달하는 시간간이 200ns이하이어야 한다.

보호 백의 경우와 마찬가지로 더 큰 도전성을 갖는 재료로 만들어진 운반상자는 외부의 전자기장에 대해서 더 완전한 보호효과를 제공한다. 그러나 도전성이 지나치게 큰 경우에는 대전전하의 감소시간이 너무 짧아서 스파크 방전을 초래할 수 있다.

8.1.5 보호 폼(Foam)

대개 폼이라고 칭하는 보통의 플라스틱 스폰지(sponge)는 정전기를 쉽게 생성하기 때문에 ESD 민감소자와는 격리시켜야 한다. 그러나 전기적으로 도전성이 폴리에틸렌 폼은 적재동안에 ESD 민감 소자를 보호하기 위해 개발되었다. 폴리에틸렌에 도전성을 부여하기 위해서는 탄소를 첨가하여 합성하였다. 그 폼은 부식성이 없어야 하고, 상대습도와 온도의 변화에 영향을 받지 않아야 한다.

폼은 소자의 리드선의 굽힘이나 배열이 잘못되는 것을 막고, 진동과 물리적인 충격을 흡수하고, 등전위 결합을 유지하기 위해서 리드선을 단락시킨다. 저밀도 2 lb 도전성 폼은 높은 도전률의 성질을 갖고, 또한 미세한 소자의 리드선이 안전하게 삽입될 수 있도록 구멍이 잘 뚫어지는 성질을 갖고 있다. 약 3lb 인 중밀도 폼은 원래 완충재료(cushioning material)이지만 투박한 전자소자나 리드선을 삽입하는데 사용될 수 있다. 약 6 lb/dm³ 가장 밀도가 높은 폼은 주로 무거운 물체에 덧대거나, 운반상자를 감싸거나, 작업대를 덮어씌우기 위해 사용된다. 저밀도 중밀도의 폼은 딱딱할 뿐만 아니라 $3 \times 10^4 \Omega/\text{square}$ 이하의 표면저항률과 3000

Ω -cm 이하의 체적저항률을 갖는다.

폼은 ESD 민감소자에 대해 완전한 보호는 해주지 못한다. 예를 들어 만일 정전하로 대전된 사람이 접지되거나 얇은 DIP의 금속폭경에 접촉하면, 뚜껑의 내면과 칩의 상단 표면 사이에 아크가 발생할 수 있다.

8.1.6 회로 기판의 Shunt

card edge protector 혹은 shunt bar로 알려져 있는 회로기판 도전성 shunt 는 기판이나 card 상의 ESD 민감소자들을 보호하기 위하여 회로기판의 회로단자를 모아놓은 단자부를 덮어 가리가 위해서 설계되었다. 전형적인 제정전 shunt bar 는 단자부의 양쪽 면에 모여있는 모든 도전성 경로를 단락시킨다. 이것은 기판을 다룰 때 기판이나 card 에 있는 ESD 민감소자를 보호하는데 도움이 된다.

전형적인 shunt bar 는 도전성 저밀도 polyethylene acrylate copolymer 로부터 만들어진 다. 전형적인 체적저항률은 300Ω -cm 이하이다. 또한 이 bar 는 회로판 모서리의 단자부를 물리적 손상으로부터 보호하기도 한다.

8.2 작업장 보호 환경

ESD 에 민감한 소자와 회로기판들의 시험, 검사, 배치, 조립 그리고 운반을 위한 작업장에는 정전기에 대한 통제가 필수적이다. 이러한 소자와 조립품의 안전한 취급을 위해서는 습도 조절, 작업대나 테이블의 작업표면, 바닥 및 바닥재, 공기이온화기, 접지기구 등이 필요하다.

ESD 제어는 일차적으로 작업자에 관한 문제이다. ESD 에 민감한 생산품을 취급하는 작업자는 적절히 접지되어 있어야 하고, 전하를 완화시킬 수 있는 정전분산 재료와 같은 적당한 직물로 만들어진 옷을 착용하여야 한다.

8.2.1 습도조절

상대습도가 약 50% 보다 높은 실내에서는 물체의 표면에 박막의 습기가 형성된다. 이러한 박막은 벽, 바닥, 가구, 연장들의 표면에서 존재하거나 생성될 수 있는 정전전하를 분산시킬 수 있는 도전성 경로를 제공해 준다. 공기 중의 습기는 또한 표면전하를 중성화시키고, 마찰 대전을 막기 위해 재료에 윤활성(lubricity)을 더하게 해준다. 대체적으로 상대습도가 높은 방은 비교적 낮은 정전전위를 형성한다. (표 8-2)

인간의 여러 행동에 대해 측정된 정전 전위값은 폭넓게 다양한 값을 갖는다. 특히 상대습도가 낮은 경우에는 더욱더 심하다. 이러한 다양성들은 이 연구를 행하는데 있어 관계된 많은 변수들-예를 들어, 시험조건, 사용재료, 그리고 측정 장비- 때문이다. 그러나 모든 시험 결과

들은 다양한 습도조건 하에서 측정하여 얻어진 수치들과 대체로 일치한다. 이 연구들은 공기 중의 습도를 높이는 것이 정전전하를 쉽게 분산시키며, 또한 공기 중에 첨가된 습기의 양과 정전전위의 감소사이에 어떤 직접적인 관계가 이루어질 수 있다는 것을 보여준다. 그러나 정전전하는 90% 이상의 상대습도 수준에서조차도 제거되지 않는다는 사실도 보여주고 있다.

게다가 심각한 문제는 상대 습도가 65 ~ 90 % 인 실내에서 발생한다. 우선 그 방(room)은 매우 습도가 높고 불편하면, 하루에 8시간씩 정밀작업을 하는 작업자는 견딜 수 없을 정도이다. 더구나 상대적으로 높은 습도는 소자, 하드웨어 그리고 도구들의 부식화와 산화를 가속화시키며 또한 회로기판 위에 전기적 누설결로가 만들어질 수 있는 도전조건을 형성하기까지 한다. 더욱이 습기에 회로기판을 장기간 노출하면, 나중의 납땜 작업 동안에 회로기판의 박막이 일어나는 현상이 발생하기도 한다.

표 8-2 정전기 전압에 대한 습도의 효과(DOD-HDBK-263)

정전하가 발생하는 경우	정전기 전압[V]	
	10~20%의 상대습도	65~90%의 상대습도
카펫을 걸어갈 때	35,000	1,500
비닐 바닥을 걸어갈 때	12,000	250
사람이 벤치에 앉아있을 때	6,000	100
작업지시서를 보기 위해서 비닐 포장을 개봉할 때	7,000	100
벤치에서 폴리에틸렌 백을 주위들 때	20,000	1,200
폴리우레탄 폼으로 덧대어진 의자에 앉을 때	18,000	1,500

ESD 제어지역 내에서 최적 상대습도 수준은 현재 40~50 % 혹은 40~60 % 로 설정되어 있다. 특수한 가습장비는 특히 겨울 난방이 실내 공기를 건조시키는 기후에서 이러한 습도 수준을 유지시키는데 필요호 할지도 모른다. 가습은 외부 상대습도가 거의 50%를 넘지 않는 사막지역에서 일년 내내 필요하다.

이반적인 가습은 플랜트 난방, 환기 그리고 에어컨에 의하여 보통 이루어지지만 ESD 민감제품들이 취급되고 있는 건물지역에 있어서는 특별한 설비가 필요한데, 이 장비의 설치와 24시간 가동에는 많은 비용이 요구된다.

다행히 공기 이온화기(ionizer)를 사용하는 경우에는 상대습도를 60% 이상으로 유지할 필요가 없고, 습도규제에 관한 요구사항들을 완화시켜 준다. 이온화는 또한 정전전하를 분산시키는데 도움을 준다.

8.2.2 보호 작업 표면

ESD 에 민감한 소자나 회로들을 다루는데 테이블이나 작업대 표면은 정전분산 물질 혹은 매트

로 덮혀 있어야 한다. 이러한 보호 작업표면은 ESD 피해를 대비한 중요한 강구책이다. 표면은 그 위에 있는 도전체로부터 지면으로 신속하고 안전하게 정전전하를 배출할 수 있어야 한다. 도전체의 전하 방출이 ESD 민감 소자에 대한 피해를 막을 수 있도록 신속해야 하지만, 잠재적으로 파괴적이거나 피해를 주는 아크가 유발될 정도로 너무 빨라서는 안 된다. 그러나 매트 위에 있는 비도전체는 중화되지 않는다. 인체에 생성되는 정전전하가 작업표면에 있는 ESD 민감 소자에 방전되는 것을 방지하기 위해서, ESD 제어지역 내에서는 항상 손목 접지대를 착용해야 한다. 움직임의 제한 때문에 손목 접지대를 사용하지 않는다면 대신에 발 혹은 신발 접지대를 착용하여야 한다.

ESD 보호 작업표면을 만들기 위해서 도전성, 정전분산, 제정전의 3가지영역의 재료가 사용된다. 이것들은 DOD-Handbook-263 에 있는 저항률 정의에 근거한 것이다. 도전성 재료는 표면저항률이 $10^5 \Omega/square$ 미만인 재료로 정의하고, 정전 분산 재료는 표면저항이 $10^5 \sim 10^9 \Omega/square$ 인 재료로 정의하며, 제정전 재료는 표면저항이 $10^9 \sim 10^{14} \Omega/square$ 인 재료로 정의한다. 그러나 분류된 영역의 값들이 측정된 값보다 더 중요하지는 않다.

작업대 상단, 매트 그리고 다른 작업표면에 적용할 수 있는 각 재료의 특성이 표 8-3에 제시되어 있으나 이러한 것들이 반드시 정확하거나 별도의 ESD 제어 대책이 없이 안전하다는 의미는 아니다.

정전분산 재료는 중간 정도의 저항률 값에서 만족할 만한 정전전하 완화시간을 나타낸다.

제정전재료로 제작된 표면은 일반적으로 정전전하를 분산시키기에 시간이 오래 걸리며, 도전성 표면은 대체적으로 아크의 위험에 직면할 수 있을 정도로 정전하를 상당히 빨리 분산시킨다.

작업표면은 soft ground를 통하여 연결되어 있어야 한다. soft ground 는 정해진 규격을 갖는 저항을 직렬로 하여 대지로 연결한 도전성 경로를 말한다. 이러한 저항은 작업표면 접촉

표 8-3 ESD 보호 작업 표면의 특성(DOD-HDBK-263)

CONDUCTIVE	STATIC DISSIPATIVE	ANTISTATIC
1. 재료를 통해서 대지까지 신속히 전하를 방출한다. 그리고 높은 정전전위를 유지하지 않는다.	1. 전하 방전률은 일반적으로 ESD 민감부품에 대해 적당해야 한다.	1. 만일 작업대에서 작업을 하는 작업자가 접지대를 사용한다면 정전전하를 천천히 흘려보낸다.
2. 스파크 형태의 ESD가 발생하며 EMI를 유발시킬 수도 있다.	2. 작업자를 고전압으로부터 보호하기 위해 더 큰 저항을 주거나, 혹은 만일 테이블이 접지된 검사장비와 접촉된다면 hard ground를 해주어야 한다.	높은 ESD 전압은 접지대를 통해서 급속히 방전해야 한다.
3. ESD 민감 부품을 통해서 고전류 방전이 야기될 수 있다.	3. ESD 민감 부품을 통하는 방전 전류를 감소시킨다.	2. ESD에서 스파크를 제거한다.
4. 만일 고전압원이 작업대 상단과 접촉하면 안전사고 혹은 단락이 야기될 수도 있다. 접지된 검		3. ESD 민감 부품을 통해 흐르는 한계 방전 전류가 낮은 수준이다.
		4. 일반적으로 작업자의 안전을

<p>사장비가 작업대 표면과 접촉하면 테이블을 hard ground할 수 있다.</p> <p>5. 안전의 측면에서 고전압이 작업자의 접촉할 수 있는 곳에서는 접지 연결에 직렬저항을 포함시켜야 할 수도 있다.</p>	<p>4. 안전의 측면에서 고전압이 작업자와 접촉할 수 있는 곳에서는 접지 연결에 직렬저항을 포함시켜야 할 수도 있다.</p>	<p>위해서 적당한 저항을 제공한다.</p>
---	--	--------------------------

점 혹은 근접하여 위치해 있어야 한다. 5mA 혹은 그 미만으로 누설전류를 제한하기 위해서 상당히 큰 저항 값을 가지고 있어야 한다.

더욱이 그 저항기는 접지된 사람의 작업반경 내에 있는 전압원의 최고전압으로 고려해야 하며, 손목띠, tabletop, 도전성 바닥을 포함하여 지면에 연결된 모든 병렬 저항들을 고려해야 한다. 일반적으로 이 저항값은 1MΩ이다.

그림 8-4 는 전형적인 ESD 제어 작업공간을 보여 주고 있다. 작업대상에서 적절한 작업면은 부드러울 수도 있고 딱딱할 수도 있지만, 그것들이 수행되는 작업에 적당하도록 하여야 한다. 중요한 점은 모든 작업대 표면 재료들이 용융땀납, 용제 그리고 화학약품에 내구성과 저항성이 있어야 한다. 또한 그것들이 인정된 안전규정에 따라 비인화성이어야 하는 것도 중요하다. 또한 작업대 표면은 세제로 하는 정기적인 세척을 견딜 수 있어야 한다.

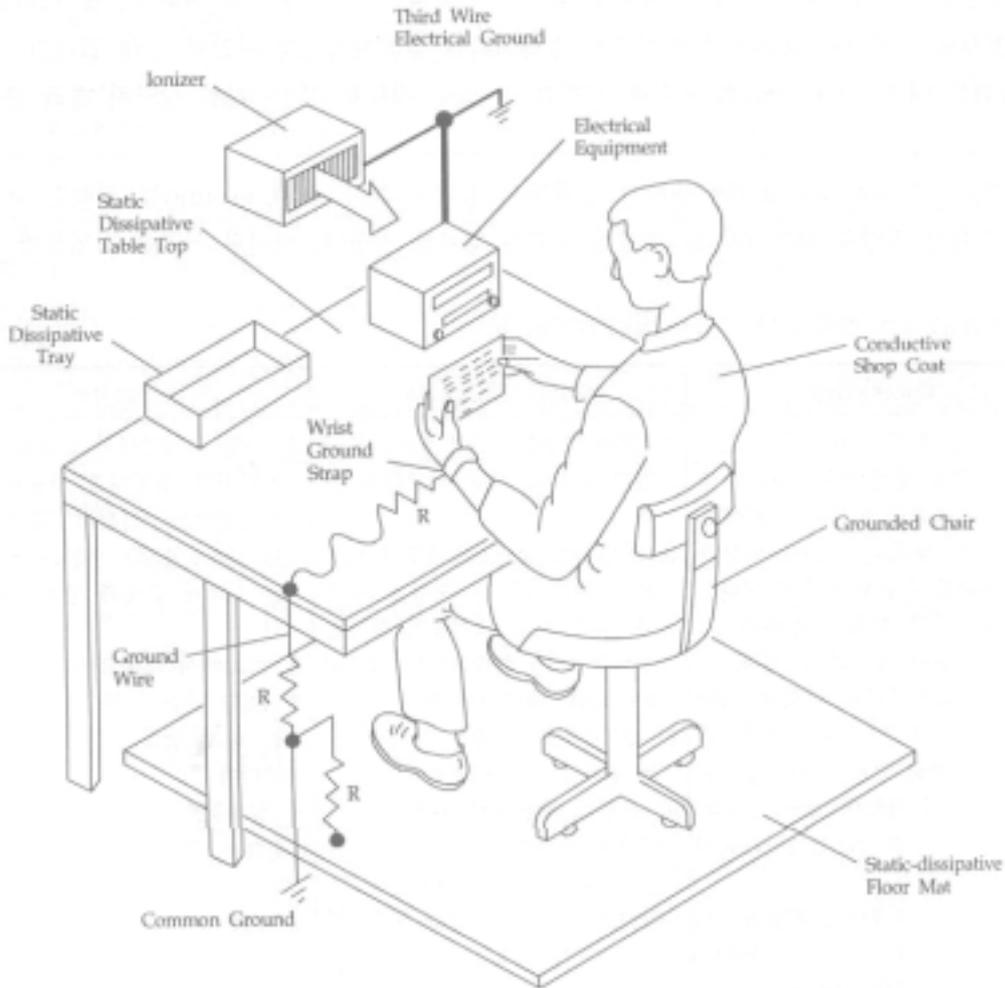


그림 8-4 조절된 ESD 작업공간

전형적인 부드러운 작업 표면은 비인화성의 도전성 비닐 매트이다. $10^5 \sim 10^9 \Omega/\text{square}$ 의 저항률을 가진 정전분산 재료가 적당하다. 상대적으로 딱딱한 표면 재료는 표면저항률이 $10^8 \sim 10^9 \Omega/\text{square}$ 인 polymeric 과 $10^5 \sim 10^8 \Omega/\text{square}$ 인 표면저항률을 가진 섬유강화 폴리에스터(fiber-reinforced polyester)를 포함한다. 정전하 감소는 50 ms 이내에 이루어져야 한다.

8.2.3 전기 쇼크 위험성

정전기에 대한 인체의 체적저항은 전기도체로 작용하기에는 너무 크다. 인체는 비도전성 신발을 신거나 절연바닥 위에 서있음으로써 대지로부터 절연될 때 100~200pF 의 정전용량을 가지는 커패시터와 유사하다. 따라서 인체에 전하가 대전되어 방전될 때 스파크를 일으킬 수 있다. 겨울철에 난방이 되는 방에 있는 사람이 의자로부터 일어날 때나 문손잡이처럼 접

지된 부분에 접촉할 때 당황스럽게 정전기 방전 사실을 알게 된다. 이런 스파크의 지각영역은 개인의 생리적 특성에 따라 다르지만, 약 2000V에서 시작한다. 인체는 접촉대전이나 다른 대전된 최대전압은 스웨터 같은 외부 옷이 제거될 때 15kV 정도이다. 인체에 저장되는 최대에너지는 $1/2CV_2$ 의 식으로 나타낸다.

인체가 대전되어 방전할 때 발생하는 스파크에서 방출되는 에너지는 지각영역에서 약 0.4mJ 이고 위에서 언급된 최대전압 15kV에서 약 20 mJ 로 계산된다. 다양한 가연성 증기/공기 혼합물의 최소착화에너지가 0.2~0.3mJ 인 것을 고려할 때, 사람이 방전스파크를 지각하기 이전의 대전전압에 대한 대전방지법이 필요하다. 지금까지 경험에 의하면 사람으로부터 발생한 정전기에 의해 분진/공기 혼합물을 착화시킬 어떤 위험은 없다. 왜냐하면 대부분의 가연성 분진에 대한 최소착화에너지는 가스나 증기의 약 100배 정도로 크기 때문이다.

이것을 기초로 잠재적으로 폭발성 가스분위기를 가진 위험지역에서 인체는 정전기적으로 대전되지 않아야 한다는 결론이 내려진다. 인체대전에 대한 모든 감지할 수 있는 가능성을 완벽하게 제거한다는 것은 비현실적이기 때문에 인체로부터 대지까지 충분하고 신속하게 전하를 제거시키는 방법을 선택하는 것이 효과적이다. 약 0.1초의 완화시간을 허용하고, 인체와 신발을 통하고 대지와 바닥 사이의 저항을 고려한 전체저항이 100MΩ 이하의 값이 유지되도록 도전경로를 계획하는 것이 요구된다.

바닥의 경우는 어떤가? 바닥 전면으로 덮은 카펫을 무시하면 바닥은 정전기측면에 대해 다음과 같이 3가지 주요 그룹으로 나누어진다.

(1) 콘크리트와 인조석으로 만들어진 바닥뿐만 아니라 석고바닥(예를 들어 테라조), 시멘트, 몰타르로 만들어진 모든 재료들은 정전기적 측면에서 도전성이다. 또한 적은 공기나 습한 바닥일 때도 마찬가지이다. 그 이유는 굳어진 콘크리트와 몰타르는 수분을 지속적으로 함유하고 그것은 정전기 전하를 소진시킬 수 있기 때문이다.

(2) 세라믹으로 만든 바닥은 탁월한 절연성질로 잘 알려진 세라믹은 고품질 전기-기술적 절연재료로 폭넓게 사용된다. 세라믹 바닥들이 축축해짐으로써 (예를 들어 자주 물청소를 함으로써) 전하를 제거할 수 있다. 세라믹에서 수분흡수에 의해 공기중 습도가 높다면 충분한 전하소진이 가능하다. 이것은 대지까지 저항을 조절하고 유지해야 하는 이유이다. 불행히도 적절한 표준시험 방법이 없다.

(3) 일반적으로 인조수지로 만들어진 바닥은 정전기 전하를 제거하지 못한다. 그러나 바닥 재료를 만들 때, 미소 입자성분으로 구성된 도전성물질(흑연, 카본블랙)에서 상대적으로 제거하기 쉽고, 도전성을 띤다. 초기에는 바닥이 어두운 색깔이었으나 최근에는 혼합기술로 인해 정전기 전하를 제거시킬 수 있는 밝은 색깔의 바닥을 만들어 내는 것이 가능하다. 바닥포장을 통해 표면 아래 대지까지 연결되는 영구적인 도전성분을 혼합하도록 권장하고 있다. 이런 권장내용은 100m²보다 작은 바닥에서 필요하다.

만약 사람 손에 접촉되는 정전기 물체(도구, 작은 용기)가 고려되지 않는다면 인체에서의 정전기에 대한 문제는 완벽하게 다루어질 수 없다. 도전성 용기 안의 가솔린을 밖으로 비울 때 용기로부터 발생한 정전기 전하가 인체로 이동해서 대지로 소진되어야 한다는 것을 깨달아야 한다. 만약 인체가 적절한 대지저항을 가진다면 통을 분리하여 접지할 필요가 없다. 이런 연결에서 보호 장갑은 어떻게 평할 것인가? 정전기적 측면에서 안전을 위한 요구 조건을 따르는 것이 합리적이다. 따라서 사용자는 저항을 스스로 체크하여 장갑의 저항을 위에서 언급한 값 이하로 유지하여야 한다.

대지 저항에 대해 고려할 사항은 다음과 같다. 인체의 대전은 100MΩ 의 대지저항에 의해 안전하게 제거될 것이다. 이 값은 제거 경로(장갑 → 신발 → 바닥)에서의 분리성분에 대해 비판 없이 받아들여진 것으로서 총 제거저항이 300MΩ이 될 것이다. 이 값이 받아들여질 수 있는가에 대한 대답은 긍정적이라고 말할 수 있다. 저항이 1GΩ 정도 이내에 있는 한 1m/s 이하의 분리속도는 거의 수동조작으로는 도달하지 않을 것이다. 사람의 손이 이 분리 속도보다 더 빠르게 동작하고 있는 기계와 접촉하고 있다면 이런 기계는 추가적인 접지를 통해 안전을 보장할 수 있는 요구조건이 충족되어야 한다.

인간에게 전기쇼크의 가능성을 줄이기 위해 ESD 제어작업장과 접지된 작업대를 설치할 때 예비책들이 강구되어야 한다. 이러한 조치들을 고려하기 전에 전기 쇼크의 생리적인 효과를 다시 고려하는 것도 유용하다.

전기쇼크의 심각성은 신체를 통해 흐르는 전류의 크기와 경로 및 지속시간에 의해 결정된다. 표 8-4는 상대적으로 적은 전류조차도 심장이나 폐와 같은 인체의 중요한 부분을 도전성 경로가 포함한다면 인간에게 치명타를 입힐 수 있다는 것을 보여준다. 그러한 치명적인 전류를 일으키는데 필요한 전압은 인체의 저항, 접촉조건 그리고 신체를 통한 경로에 의해 결정된다. 쇼크의 위험성에 부가적으로 신체의 일부가 높은 전압 회로에 닿게 될 때 발생하는 아크로부터의 열에 의해 생기는 전기 화상의 위험성도 있다. 그러한 화상은 피부와 피부조직(tissue)을 통해 흐르는 전류에 의해 발생된다.

표 8-4 인체에 있어서 전류의 효과(DOD-HDBK-263)

전류치 [mA]		효과
교류 60Hz	직류	
0-1	0-4	인식
1-4	4-15	놀람
4-21	15-80	반사작용
21-40	80-160	근육억제
40-100	160-300	호흡장애
100이상	300 이상	치명적

손목띠, 테이블매트, 바닥매트에 연결되는 접지코드에 설치하는 저항은 근로자가 드릴 또는 땀질용 인두와 같은 결합이 있는 전기장비와 우연히 접촉하는 상황에서 전류의 흐름을 제한하는 역할을 한다. 저항의 크기는 전류의 흐름을 제한하고 작업자를 보호하기에 충분하여야 하나, 인체의 정전기가 쉽게 완화되지 않을 정도로 너무 크지 않도록 정전감쇠시간(static decay time)을 고려하여 그 크기를 설정하여야 한다.

권고되는 노출전류의 최댓값은 5mA 이다. 근로자를 보호하는데 필요한 저항의 크기를 구하는 식은 식(8-1) 과 같다.

$$\text{근로자의 작업범위 내에서 가장 높은 전위}/5\text{mA} = \text{안전접지 요구저항} \quad (8-1)$$

운에 맡기지 말아야 한다. 저항은 손목띠, 테이블매트, 바닥매트로부터 접지코드에 설치된다는 것을 명심해야 하며, 그것들이 제대로 동작하는지 정기적으로 점검하는 것이 필요하다. 후회하지 않도록 안전을 기해야 한다는 것을 기억해야 한다.

보호 지역에서나 접지된 작업대에서의 쇼크 위험성 때문에, 모든 외부 부품, 작업면, 그리고 검사 장비와 기구에 대한 차폐체는 일상적인 작업 동안에 공동접지전위를 항상 유지해야 한다.

작업자에 대한 더 나은 보호를 위해서 검사기기와 함께 ground fault interrupters(GFIs)를 사용해야 한다. GFI 는 사고발생 검사기기(faulty test equipment)로부터의 누설전류를 감지한다. 그리고, 잠재위험 수준에 다다랐을 때 즉각적으로 회로를 차단한다.

대지에 대해 병렬 경로를 피하는 것이 중요하다. 병렬 경로는 대지에 대한 인체의 등가저항을 안전수준 이하로 감소시킬 수 있다. 병렬 경로는 결과적으로 손목띠, 접지 작업대, 접지 바닥 매트 등을 사용함으로써 발생하게 된다.

ESD 보호 지역과 접지된 작업표면의 사용을 위해서 안전과 접지에 부가적인 고려사항들은 다음과 같다.

- 1) 케이블과 저항은 충분한 전류 운반용량을 가져야 한다. 작업표면 접지는 정전전하를 흘려보내서 제거해야 하기 때문에, 0.5W 저항이 일반적으로 사용된다.
- 2) 접지 케이블의 연결은 연속적이고 영구적이어야 한다.
- 3) 접지 케이블과 연결기구는 사고시 접지선의 개방이 최소가 되도록 충분한 강도의 재료로 만들어야 한다.
- 4) 작업장소 매트와 표면, 바닥 매트, 접지대, 그리고 정전전하를 방전하기 위해 사용하는 다른 ESD 보호지역 접지선은 전류를 적절하게 제한할 수 있는 저항을 통해 대지, 전원 시스템, 혹은 다른 hard ground 에 연결한다. 작업대의 접지점을 통해 손목띠를 대지에 연결시켜야 한다.(그림 8-4)

안전을 위한 고려사항에서는 근로자의 보호를 위해서 대지와 의 최소저항을 규정하고 있다. 근로자

접지를 위한 hard ground 의 최대 저항은 정전전하의 감쇠시간에 의해 결정된다. 이 감쇠시간은 인체 용량, 저항, 다른 접지 경로 저항에 의해 결정된다. 이 시간은 일반적인 전하 발생비율 이하로 전하를 방산시킬 수 있을 만큼 충분히 짧은 시간이어야 한다.

전기적인 도전성에 관한 고려 이외에도 작업표면을 위한 재료선택시 몇몇 다른 물리적인 특성들을 평가해야 한다. 만일 표면이 너무 부드러우면 표면은 마멸되기 쉽고, 긁힌 자국이 나기 쉽고, 빨리 닳기 쉽다. 또한 이런 과정(마모, 마멸)으로 인해 작업장에서 원하지 않는 미립자를 발생시킬 수도 있다. 또한 작업표면은 전가조립과 검사과정에서 종종 사용되는 trichlorethylene 같은 화학유기용제에 대해 내성이 있어야 한다.

작업공간에서 행해지는 활동에 따라 작업표면의 특성과 그 특성의 중요성은 달라질 수 있다. 예를 들어 회로판의 수리를 위한 작업표면은 매우 부드럽다. 그러므로 기계적인 조립에는 부적합하다.

8.2.4 도체들로부터의 정전하 제거

작업장에서 도체로부터의 정전하를 제거하기 위해서는 접지된 테이블, 손목띠 그리고 바닥 매트를 사용하는 것이다. 이러한 경우에는 정전기와 무관한 작업장의 구현이 가능하다. 전하가 제거되는 비율은 도체의 정전용량과 전하가 지나가는 경로의 저항에 의해 제한된다. 대지 까지 저항(R)을 통과하여 정전용량 (C)를 가지는 전도성 물체의 방전을 나타내는 등가회로를 제시하면 그림 8-5와 같다.

그림 8-5 의 등가회로를 참고하면 어떤 시간 t에서 방전하는 물체의 전압은 식 (8-2)로 주어진다.

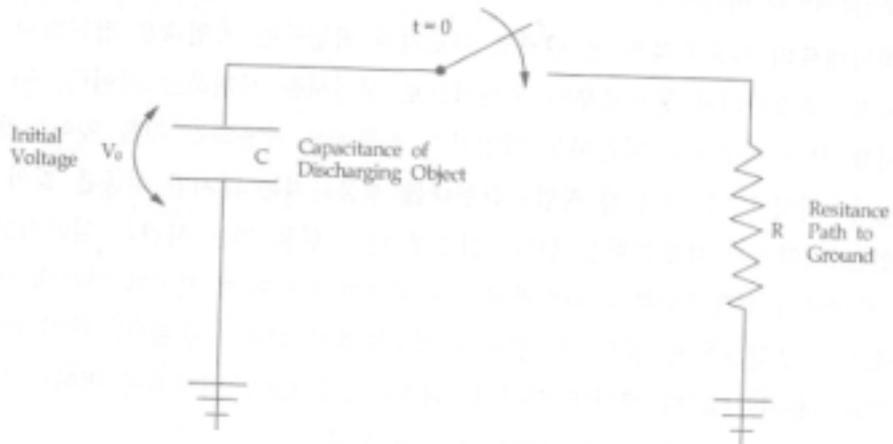


그림 8-5 정전하 방전 등가회로

$$V = V_0 \exp\left[-\frac{t}{RC}\right] \quad (8-2)$$

여기서, V : 시간 t에서의 전압(V)

V_0 : 물체의 초기전압 (V)

t : 경과시간 (S)

R : 대지까지의 유효저항(Ω)

C : 방전되는 물체의 정전용량(F)

정전하 방전은 용기의 물을 깔때기를 이용하여 배수구에 붓는 것으로 생각할 수 있다. 배수구는 접지점을 나타낸다고 생각할 수 있다. 용기의 체적은 물체의 정전용량을 나타낸다. 물은 전하(초과하거나 불충분한 전자)라고 가정하고 깔때기는 저항으로 간주할 수 있으며 전하의 흐름을 제한한다. 깔때기의 구멍을 작게 할수록 물의 흐름을 방해하는 저항은 더욱 커지고 깔때기를 통하여 물(전하)을 쏟아내는데 시간이 더 오래 걸린다. 전하가 흘러갈 수 있는 대지까지의 경로를 제공함으로써 작업지역에서 근로자의 인체와 다른 도체에 축적된 정전하를 효과적으로 제어할 수 있다.

실생활에서 대지까지의 이러한 경로들은 일반적으로 수많은 저항들이 직렬 또는 병렬로 연결되어 있다. 예를 들어 작업대에 앉아 손목띠를 착용하고 있는 작업자의 대지까지의 저항(R)은 손목띠의 저항과 손목띠가 부착된 테이블 매트와 대지 사이의 저항과의 합이다.

만약 작업자의 발이 전도성 바닥에 놓여져 있다면 대지까지의 저항은 신발과 매트를 통과하여 경로 저항과 손목띠에서 테이블매트를 통과하는 경로저항과 병렬저항이다.

주어진 환경에서 안전한 수준이라고 말할 수 있는 안전전압까지 도달하는 방전시간이 일단 구해지면 앞에서 주어진 이론방전방정식은 정전기 보호시스템을 구성하기 위해 사용된 각각의 요소들을 통과하여 대지에 이르는 최대허용저항(R)을 계산하는데 상용될 수 있다.

(1) 테이블매트와 바닥매트

전도성 바닥매트의 사용목적은 첫 번째로 근무자가 작업하는 작업대로 접근하여 단기간 체류하는 감독자, 품질관리자 등으로부터 우선적으로 정전하를 제거하는 것이다. 두 번째는 휴식이나 식사를 하고 작업대로 되돌아온 작업자가 손목띠를 착용하는 것을 잊어버리는 경우를 대비한 것이다. 바닥매트는 훌륭한 작업공간형태를 제공하지는 않지만 이동을 많이 한 전자조립품들이 있는 지역에서 보호 역할을한다. 전도성 바닥 위를 걷는 사람은 일반적으로 정전기에 민감한 장비와의 접촉으로부터 한발자국이나 두발자국 떨어져 있어야 하는데 이는 1초 이내에 부품소자나 조립품들이 정전기로 인한 위험수준까지 쉽게 노출될 수 있기 때문이다. 바닥매트의 최대허용저항(R)의 계산에 있어서, 대전전위를 100V 이하까지 떨어뜨리기 위해 요구되는 방전의 경과시간(t)초를 초과해서는 안된다.

전도성 테이블매트는 작업을 할 수 있도록 정전하가 없는 표면을 제공할 뿐 아니라 테이블매트 위에 위치한 전도성 물품들로부터 정전하를 제거해야 한다. 예를 들어 전도성 운반상자 또는 전자부품을 담은 봉지(가방)가 창고로부터 테이블까지 이송되는 경우 그것을 운반하는 사람과 상자 모두 높게 대전되는 것이 일반적이다. 상자를 갖고 사람이 접근함에 따라 어떤 바닥매트도 대전전하를 방전시킬 수 없다면 당연히 테이블매트가 방전시켜야 하고 그것도 1초 이내에 방전시켜야 한다.

앞에서 언급했듯이 대지까지 방전경로의 저항 이외에 방전시간을 지배하는 것은 방전되는 물체의 정전용량이다. 작업자의 정전용량은 작업장에 따라 광범위한 값으로 존재한다. 100pF ~ 4000pF 의 값들이 보고되었다.(평균 약 200pF) 유사하게도 전도성 운반상자들은 그것들의 크기와 형태에 따라 35 ~ 3000 pF 의 정전용량을 갖는 것으로 측정되고 있다. 테이블과 바닥매트의 경우에 대지까지의 최대 허용저항을 계산하기 위해 200pF를 대푯값으로 선정한다.

대전체의 초기전압이 다양할 수 있지만 제조현장에서 작업자가 바닥을 가로질러 걷는 일반적인 동작으로부터 500V 의 전위나 좀 더 높은 전위를 얻는다고 보고되고 있다. 그러므로 효과를 얻기 위해서는 전도성 테이블매트와 바닥매트는 500V 의 초기전위에서 100V 의 안전수준까지 방전을 허용하기 위해 대지까지 충분히 낮은 저항을 가져야 한다.

이와 같이 전위가 효과적으로 낮아지기 위해서 대지까지의 최대저항을 계산하기 위해 식 (8-2)의 변수에 구체적인 값을 대입한다.

$$V : 100V \text{ (안전수준)}$$

$$V_0 : 5000V \text{ (물체나 사람의 초기전압)}$$

$$t : 1\text{초} \text{ (} V \text{ 까지 방전을 위한 허용시간)}$$

$$R : \text{대지까지의 최대허용저항}(\Omega)$$

$$C : 200\text{pF}$$

위에서 주어지는 값을 대입하면 저항 R 은 다음과 같이 계산된다.

$$100 = 500 \exp\left[-\frac{1}{200 \times 10^{-12} R}\right]$$

$$\ln 50 = \frac{1}{200 \times 10^{-12} R}$$

$$R = \frac{1}{3.9 \times 200 \times 10^{-12}} = 1.3 \times 10^9 = 1300 M\Omega$$

이런 계산을 통하여 알 수 있듯이 $10^9\Omega$ 의 저항을 갖는 전도성 테이블매트 또는 바닥매트를 경유한 대지까지의 저항은 1초 이내에 100V 라는 안전수준까지 방전이 이루어지는 것을 확실하게 보장해주는 값을 갖게 된다. 모든 현실적인 경우에 이것은 정전기에 민감한 부품들이 정전기로 인한 전기적 과도스트레스에 노출되는 기회를 최소화 한다.

(2) 손목띠(WRIST STRAP)

인체는 정전기에 민감한 전자부품과 조립품들로 하여금 정전기로 인한 위험수준에 이르게 하는 주요 원인이 된다. 인체는 제조과정 동안 전자장비와 지속적으로 접촉을 하기 때문에 인체의 정전기를 제어하는 것이 정전기 제어 계획을 세우는데 중요한 관심이 되고 있다. 손목띠의 목적은 일상작업과 관련하여 움직이는 동안에 발생하는 불안정한 전압수준을 방지하기 위하여 개별 작업자에 대해 대지까지 영구적인 접지경로를 제공하는 것이다.

다행히도 인간의 피부는 전도성이고 정전하들이 손목띠를 사용함으로써 대지로 쉽게 완화시킬 수

있다. 그러므로 손목띠는 대전된 개인과 접지시스템을 연결시키기 위한 가장 일반적으로 사용되는 장비이기 때문에 손목띠는 ESD 에 대한 첫 번째 방어라인이 된다.

모든 손목띠는 전도성물질로 만들어지고, 착용자의 손목 주위에 단단히 부착되고 전류제한 저항을 경유하여 접지점과 연결되기 때문에 지속적으로 정전하를 제거한다. 손목띠의 선택에 주의해야 하는데 금속이 노출된 손목띠를 선택해서는 안된다. 왜냐하면 작업중 동전기가 통하는 회로와 단락의 가능성을 배제할 수 없기 때문이다. 손목띠를 착용했음에도 불구하고 전위상승으로 인한 다른 문제점을 야기시킬 수 있는데 이러한 전위발생의 원인은 손목띠를 너무 느슨하게 착용하여 사용자의 옷 위로 미끄러짐으로써 접지경로가 파괴되고 따라서 손목띠 그 자체가 무용지물이 되는 경우이다.

모든 손목띠는 회로의 일부에 전류제한저항을 갖고 있어야 한다. 이런 저항을 설치하는 가장 좋은 위치는 옷의 소매 가까운 곳이다. 이렇게 하는 거시이 접지점까지의 인출선이 많아 떨어진 경우에 저항을 경유하지 않고 단락이 되는 가능성을 최소화하게 된다.

손목띠에 부착되는 전류제한저항 값의 산업표준은 $1M\Omega$ 으로 승인되고 있지만 $250K\Omega \sim 10M\Omega$ 범위 내에서는 어느 값이든 허용되고 있다. 손목띠가 소목띠보다 몇 배 큰 저항을 가지는 테이블매트와 연결되지 않도록 적절한 주의를 기울여야 한다. 이런 저항은 전류제한 저항의 효과를 무효로 함으로써 손목띠를 통하여 정전하가 방전될 때의 감쇠시간을 변화시킨다.

접지를 위한 접속점 또한 저항을 상당히 변경시키지 않는 신뢰할 만한 경로를 제공하여야 한다. 전류제한저항을 부착하고 있는 접지선이 작업면에 접속점이 이루어진 보호시스템에서 이 접속점의 저항은 손목띠의 저항에 더해진다. 이런 저항은 감쇠정수를 변화시키지만 그 변화는 손목띠의 보호능력에 영향을 주기에는 충분하지 못하다. 손목띠의 고장은 즉시 관찰되지 않기 때문에 모든 손목띠들의 성능을 보장하기 위해 주기적으로 시험하여야 한다. $1M\Omega$ 의 저항이 안전을 위해 손목띠에 부착되어야 함을 상기하기 바란다.

전자부품 제조를 위해 작업대에 앉아 있는 작업자가 평균 약 500V 의 잔류전압을 갖게되는데 이런 전위는 마찰전기 즉 의자에서 미끄러지거나 옷과 옷의 상호마찰로 생기는 전하의 생성에 의해 발생될 뿐 아니라 다른 일반적인 전압 발생원 즉, 인체 정전용량의 변화에 따른 작업자의 전위 변화에 의해 발생한다.

인체의 정전용량은 어떤 물체에 대한 근접도의 함수로 표현할 수 있다. 이런 정전용량은 의자에 앉 쪽으로 기대거나 바닥으로부터 한쪽 또는 양쪽 발을 들거나 일어서는 것과 같은 간단한 움직임에 의해서도 상당히 변할 수 있는데 표 8-5에 작업자의 자세에 따른 정전용량을 제시하고 있다.

인체 대전전압은 이론적으로 인체의 충전하량으로 나눈 값과 같다. 인체에서 측정된 전압이 0이라고 할지라도 옷이나 바닥 등에 존재하는 전하에 의해 일부 유도된 전하는 정전 전압이 0 이라고 할지라도 옷이나 바닥 등에 존재하는 전하에 의해 일부 유도된 전하는 인체에 존재할 수도 있다. 그래서 만약 인체가 비접지되어 있는 경우 인체에 존재하는 순전하는 일정하게 되며 이 때 정전용량의 변화는 전위의 변화를 초래하게 된다. 이러한 전압의 발생은 매우 순간적이며 작업자가 정전기

민감소자에 접촉하고 있는 동안에도 발생한다. 손목띠에 의해 효과를 얻기 위해서는 작업자가 지속적으로 움직이는 동안에도 작업자의 전위를 100V 이하로 유지해야 한다. 최적의 정전기 보호를 위해 대지까지 손목띠의 총저항을 1~ 100MΩ (10⁶ ~ 10⁸Ω)로 유지하는 것이 바람직하다.(표 8-6 참조)

표 8-5 작업영역에서 작업자의 정전용량 변화

움직임의 묘사	움직임에 기인한 정전용량의 변화 (%)		
	초기 정전용량(pF)	최종 정전용량(pF)	변화(%)
앉은 채로 한쪽 다리를 든다.	192	163	15%감소
앉은 채로 두발을 들어 발 받침대 위에 위치시킨다.	192	129	33%감소
앉은 채로 의자 앞쪽에 기댄다. (등받이를 갖는 데스크 타입의 의자)	192	184	4%감소
서서 한쪽 다리를 든다.	167	141	16%감소
앉아 있던 사람이 일어난다.	192	167	13%감소

표 8-6 대지까지 손목띠의 저항

대지까지의 저항(MΩ)	움직임에 의해 만들어지는 피크 전압(v)
0.5	< 1
1.0	< 1
10.0	6
100.0	85
1000.0	240
∞(손목띠 미착용)	440

8.2.5 비전도체로부터 정전기 제거

정전기에 민감한 작업영역에서 대전절연체의 문제에 대한 해결책으로는 비전도체의 사용을 제한하고 엄격하게 관리하는 것이다. 사탕봉지에서부터 작업시트(work sheet), 커피잔 심지어 작업자의 의복에 이르기까지 모든 것이 문제될 수 있다. 이러한 경우에는 공기 이온화 송풍장치가 정전기 보호시스템을 구성하는데 가장 중요한 부분이 된다. 공기 이온화 송풍장치는 + 와 - 공기 이온들을 일정한 흐름으로 비전도성 물질에 공급함으로써 정전기 전하를 중화한다. 대전된 물체는 반대 극성의 이온을 끌어당김으로써 그 자체는 중화된다.

어떤 정전기 보호시스템이 설치되기 전에 정전기에 민감한 장치의 적절한 취급을 위해 모든 작업자 개인에 대한 교육이 필요하다. 일단 정전기가 발생하면 이런 보호대책을 제시하기 위한 적절한 설비

를 선택해야 한다. 대전도체의 전하를 방전하기 위해 도전성 테이블 매트 바닥매트, 손목띠 등이 필요하며 대전 절연체의 전하를 완화시키기 위해 공기이온화 송풍장치를 적절히 배치하여야 한다. 작업 영역에서 대전전위를 100 이하로 유지하는 것이 정전기 보호시스템의 목적이다. 이러한 설비는 정전기에 민감한 전기 부품 또는 조립부품들이 일상적으로 취급되는 장소에서 마땅히 설비되어야 할 장비이다.

(1) 도전성 포장

정전기 보호에 있어 중요한 도전물은 테이블 매트, 바닥 매트, 손목띠에만 요구되는 것이 아니다. 정전기에 민감한 장치가 정전기로부터 안전한 환경을 떠나는 경우 정전기로부터 보호를 받을 수 있는 용기 속에 포장되거나 놓여 있어야 한다. 정전기에 민감한 전기 부품을 이송하거나 저장하기 위해 사용되는 물질의 전기적 특성에 많은 주의를 기울여야 한다. 이런 물질들은 마찰전기에 의해 발생된 전하로부터 안전하게 하고 또한 외부 정전기장의 영향으로부터 내용물을 보호해야 한다.

제정전물질(antistatic material)로 불리는 높은 저항률을 가진 물질은 마찰전기에 의한 전하의 발생을 방지할 수 있다. 약간의 전도성 ($10^{14}\Omega/square$ 정도)을 가지며 매끄러운 표면을 갖도록 처리된 물질은 마찰로 인하여 전하의 축적을 방지하기에 일반적으로 충분하다. 그러나 이 물질을 포장재로 사용하는 경우에는 외부 정전기장의 영향으로부터 포장재의 내용물을 보호할 수 없기 때문에 이런 물질 자체만으로 포장문제까지 해결할 수 없다.

이 문제를 해결하기 위해서 페러데이 케이지 보호가 요구되는데, 포장을 위해서는 적어도 하나의 높은 도전성 겹포장을 가지고 있어야 한다. 공장의 작업장 사이에 정전기로부터 안전하게 부품을 이동하기 위해서 도전성 운반박스 및 다른 임시 이송장치는 내용물에 대한 완전한 정전기 보호를 제공해야 한다. $10^5\Omega - cm$ 이하의 체적 저항률을 가지는 도전성 플라스틱 용기와 마찬가지로 금속은 여러 해 동안에 이러한 용도에 사용되어 왔다. 이런 차폐층의 표면저항은 $10^4\Omega/square$ 를 초과하지 않아야 한다.

(2) Monitoring

정전기에 민감한 회로를 보호하기 위해 안전한 작업영역이 설정된다면 어떤 규칙에 의거하여 그 작업영역의 효과를 확보하기 위해 감시하여야 한다. 이런 과정이 없다면 시스템의 어떤 부분은 아무 소용이 없게 된다. 즉 손목띠가 부주의하게 끊어진 상태, 테이블 매트의 접지코드가 닳아버리거나 테이블 매트 위에 놓여져 있는 장비에 의해 절단되거나 또는 먼지나 오염 물질에 의해 표면 도전율이 나빠진 상태를 초래하게 된다. 휴대용 절연 저항계는 작업영역의 접지저항의 측정과 기능을 검증하는데 이용될 수 있다.

8.2.6 테이블 매트 설치방법

정전기방전으로부터 부품을 보호하고 가능한 전기적 충격으로부터 작업자를 보호하기 위해 매트

확실하게 접지해야 한다. 매트 는 직접 지면에 연결되거나 낮은 임피던스를 통하여 지면에 연결되는 hard ground를 채택해서는 안 된다. 비교적 높은 임피던스를 통해 접지가 이루어지는 soft ground가 필수적이다. 이것은 작업자에게 흐르는 전류치를 안전한 수준(일반적으로 5mA 이하)으로 제한하기 위해 충분히 높은 임피던스를 통하여 접지해야 함을 의미한다. soft ground를 위해 요구되는 임피던스는 지면에서 작업자가 접촉하는 전압수준에 의해 결정된다. 110V 또는 200V 전원을 사용하고 있는 작업장에서는 1MΩ 정도의 저항을 매트 접지 코트와 직렬로 연결한다. 만약 보다 높은 전원이 작업자 근처에 존재하는 경우 더 큰 저항이 요구되는데 식 (8-1)을 이용하여 계산할 수 있다 .

매트를 연결하는 방법에는 병렬연결법(parallel circuit hookup)과 직렬연결법(series circuit hookup)을 생각할 수 있다. 병렬연결을 채택하는 경우는 지면에 대한 인체의 등가저항을 불안정한 낮은 값으로 줄일 수 있는 가능성이 있으므로 주의가 필요하다. 손목띠를 착용하고 움직이는 작업자는 테이블 매트, 도전성 바닥, 바닥 매트와 병렬회로를 만들 수 있다. 그림 8-6은 병렬연결 도해를 보여 준다. 반면에 그림 8-7은 직렬연결 도해를 보여 주고 있다. 손목띠의 저항과 테이블 매트 저항의 합성 저항이 10MΩ을 초과하지 않는다면 직렬연결법을 사용할 수 있다.

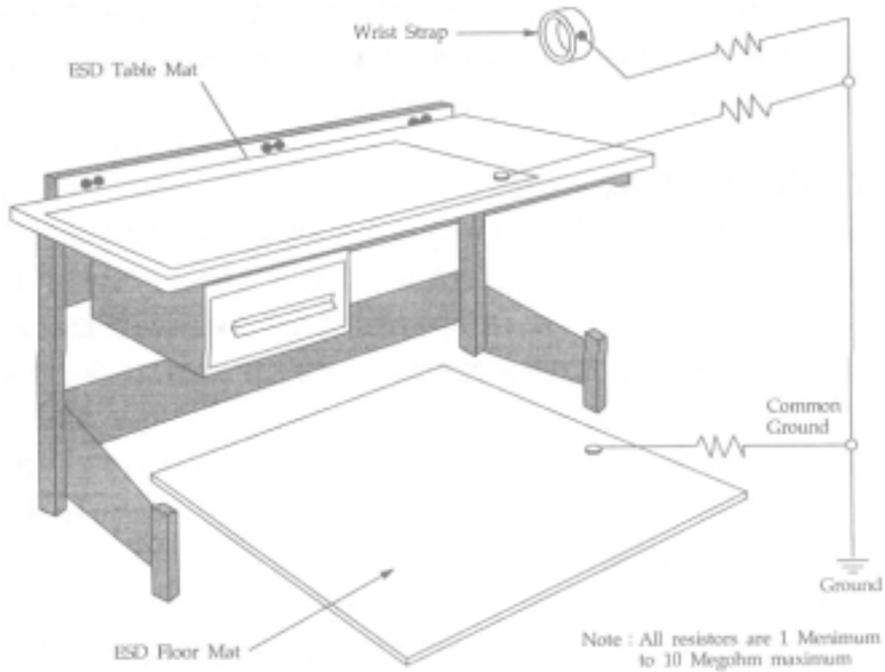


그림 8-6 매트와 병렬연결

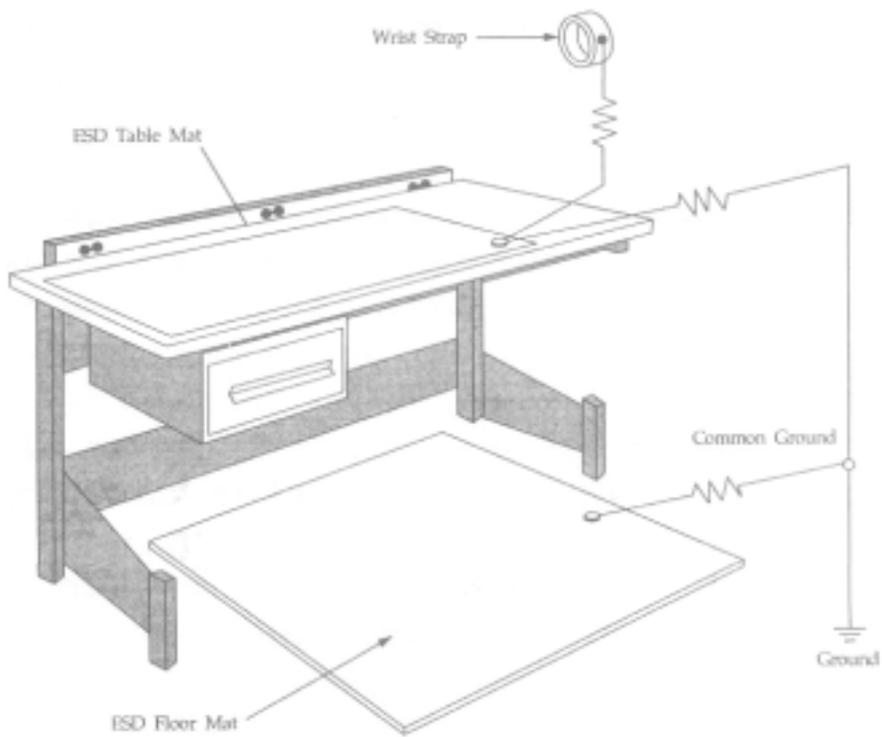


그림 8-7 매트와 직렬연결

정전기방전(ESD)을 유발하는 장치와 지면 사이에 접지경로가 유지될 수 있도록 정기적인 점검을 해야 한다. 모든 접지코드의 노화상태에 대해 검사하여야 하며, 모든 저항이 적절한 값을 유지하고 있는지를 기준규칙에 따라 점검하여야 한다.

8.2.7 ESD 보호 바닥과 마감재

페인트칠한 콘크리트, 니스칠하거나 페인트칠한 목재, 비닐 타일, 카펫 등을 포함한 대부분의 바닥 표면은 공장에서 심각한 ESD 문제를 야기시킨다. 따라서 이런 바닥 표면을 대체시키든지 혹은 바닥 표면을 ESD 보호 바닥이나 바닥 매트로 덮어야 한다. ESD 보호 작업대와 테이블 작업면과 같이 보호 바닥면은 도전성, 정전분산, 제정전 재료들을 사용할 수 있다. 이런 각각의 재료의 특성들은 표 8-3에 있다.

도전성 고무 매트는 일반적인 작업공간에서의 사용에서 저비용의 효과적인 정전 제어 표면을 제공한다. 이런 재료는 뜨거운 땀납과 유기용제에 견딜 수 있다. 비닐 바닥 매트는 내구성이 있고 편안한 표면을 제공해 준다.

병원 수술실과 중환자실에서는 ESD 에 의해 야기되는 가연성 공기나 가스의 폭발을 방지하기 위해 도전성 비닐 바닥 타일을 오랫동안 사용해왔다. 도전성 비닐 바닥 타일의 영구적인 정전기 제어 특성은 가요성 비닐 수지에 도전성의 물질을 혼합함으로써 얻어진다. 이 경우에 정전전하는 타일을 통하여 대지로 방전된다. 이 타일의 표면저항률은 $10^4 \sim 10^6 \Omega/square$ 의 범위이어야 한다. 그리고, 50ms 안에 $\pm 5000V$ 를 0V 까지 감소시킬 수 있어야 한다.

바닥매트는 ESD 예방 바닥 덮개를 위한 또 다른 대안이 된다. 비닐 매트에 대한 전형적 사항은 표면저항률이 $10^9 \Omega/square$ 이고 대지저항이 $10^9 \Omega$ 이하인 것이다. 비닐 매트는 50 m 이내에 5000 V 전하를 방전해야 한다.

도전성 바닥 혹은 매트를 사용할 때 근로자는 도전성 신발, 신발 덮개, 혹은 힐 접지기(heel ground)를 착용해야 한다. 왜냐하면 가죽이 아닌 다른 재료로 만들어진 신발은 부적당한 도전성을 가지기 때문이다.

신발, 신발 덮개, 접지대는 항상 깨끗하게 유지되어야 한다. 그렇지 않으면 먼지와 화학물질로 오염될 것이고 바닥 혹은 매트에 대한 도전성을 잃게 될 것이다. 미끄러짐의 위험성이 있기 때문에 ESD 보호 지역 밖에서는 접지대를 착용해서는 안된다.

도전성 바닥의 마감재로 ESD 보호를 위해 바닥에 페인트 칠 할 수 있다. 그러나 사람들과 손수레의 통행이 있기 때문에 이런 마감재 작업은 정기적으로 행해져야 한다. 사용되 보호

방법에 상관없이 보호 바닥에 왁스칠을 해서는 안된다. 왜냐하면 왁스칠은 바닥의 도전성을 감소시키기 때문이다.

8.2.8 ESD 보호 도전성 좌석

ESD 보호 지역에서 사용되는 결상 혹은 의자에는 도전성 시트 쿠션이 필요하다. 왜냐하면 작업대나 테이블에 앉아 있는 사람은 자기의 발을 도전성 바닥에서 결상이나 의자의 가로대로 올려놓을 수 있기 때문이다. 만일 결상이나 의자가 접지되어 있지 않다면 바닥의 보호 특성은 잃어버릴 것이다. 어떤 의자 쿠션은 접지된 의자 매트까지 방전 경로를 제공하기 위해 황동제인에 연결된 정전 방전 나일론천을 이용하여 만들어져 있다. 방전 의자와 결상은 ESD 보호실에서 사용을 위해 만들어진다. DOD-HDBK-263에 규정된 검사에 따르면 도전성 바닥매트와 함께 사용될 때 작업자에게 걸리는 18,000 V의 정전전하는 0.1 S 이내에 0V 까지 방전된다.

8.2.9 공기 이온화기(Air Ionzer)

앞에서 언급한 것처럼 비도전성 물건을 접지하기 위한 효과적인 방법은 없다. 이런 이유로 공기 이온화기는 정전전하를 중화하기 위해 중요시되어 왔다. 그러나 이온화기는 손목 접지대나 혹은 도전성 작업 표면에 대한 필요성을 없애지는 못한다.

공기이온화기는 음과 양전하로 충전된 표면에 이끌려 간다. 이 현상은 전계가 사라질 때까지 계속된다. 이온화기는 이온을 계속 만들고 불필요하거나 사용되지 않는 이온은 공기 중을 순환하는 다른 이온과 재결합한다.

공기가 유도전하, 고전압 교류 혹은 직류 혹은 방사능 누출로부터 충분한 에너지를 받았을때 공기 이온화는 일어난다. 공기이온화가 발생할 때 전자는 원자나 분자로부터 이탈하여 원자나 분자를 양전하로 만든다. 자유전자는 곧 공기 중의 중성분자에 이끌려서 음이온을 형성한다. 전자를 잃은 원자나 분자는 양이온이 된다.

세 가지 종류의 공기이온화기가 주로 사용되는데, 자기방전형(static comb), 전압인가형(electric-powered), 그리고 방사선형(radioactive ; nuclear) 이 있다.

자기방전형 이온화기는 전원 공급이 필요없는 간단하고 저렴한 장치이다. 그것은 이온화시키고자 하는 표면 가까이에 놓아두는 빗살무늬의 연속 접지침을 포함한다. 충전된 표면과 접지침 상이에는 전위경도가 발생하게되며, 전압이 충분히 높게 될 때 공기는 이온화해서 침을 통해 대지까지 도전 경로를 형성한다. 그러나 불행하게도 이 형태의 이온화기가 작동하기 위해서는 2500V의 충전전위가 요구된다.

2500V 보다 훨씬 작은 정전압도 반도체 장비를 손상시키거나 파괴할 수 있다. 그러므로 이

런 수동적인 이온화기는 기본적으로 플라스틱이나 종이의 긴 조각이 고속으로 이동하는 플랜트에서 정전전하의 영향을 감소시키기 위해 사용된다. 자기방전형 이온화기는 전자플랜트에서는 거의 실용성이 없다.

전압인가형 이온화기는 두 가지 기본 소자 즉, 고전압 전원부와 이온발생부로 구성되어 있다. 일반적으로 이온 발생부는 막대에 침(needles)이 연속해서 박혀 있는 구조이다. 고전압 전원은 침에 직류 전류를 공급할 수 있으며 교류는 음이온과 양이온을 번갈아 생성한다. AC 이온화기는 기존의 변압기 혹은 반도체 회로소자를 사용할 수 있는데 변압기 전압원은 일반적으로 60Hz에서 20KV의 전압을 생성할 수 있다. 이온화는 단지 파형의 피크에서만 발생하기 때문에 피크사이에는 이온이 발생하지 않는 몇 us의 기간이 있다.

고전압 때문에 오존은 공기 이온화기의 달갑지 않은 부산물이 될 수 있다. 다행히도 ESD 보호실과 공간에서 사용이 승인된 공기 이온화기로부터의 오존 발생은 심각하지 않다. OSHA(Occupational Safety and Health Act)에 따르면, 밀폐된 작업공간에서의 환기는 오존의 대기농도를 최대 허용수준인 0.1 ppm 이하로 충분히 유지하여야 한다.

반도체 소자를 이용한 전원은 3~4kV의 저전압에서 작동하기 때문에 심각한 오존생성을 피할 수 있다. 주파수, 진폭 그리고 펄스폭을 제어할 수 있기 때문에 저전압 수준에서의 전원 조정이 가능하다. 기존의 전원에 의해 발생하는 60 혹은 120 KHz 외는 대조적으로 이런 전원의 운전 주파수는 15~40kHz 사이이다. 높은 주파수, 저전압 그리고 펄스폭 제어 때문에 이런 전원은 또한 기존 전원보다 훨씬 더 적은 EMI(전자기장해 : Electromagnetic Interference)를 발생한다.

전원의 출력이 1inch 이하의 일정 간격으로 배열된 침(needles)에 공급된다. 공기는 수천V의 전압에서 작동하는 뾰족한 전극을 통과하면서 이온화된다. 뾰족한 침단은 이온화가 발생하기에 충분한 전위경도를 얻기 위해 필요하다.(그림 8-8)

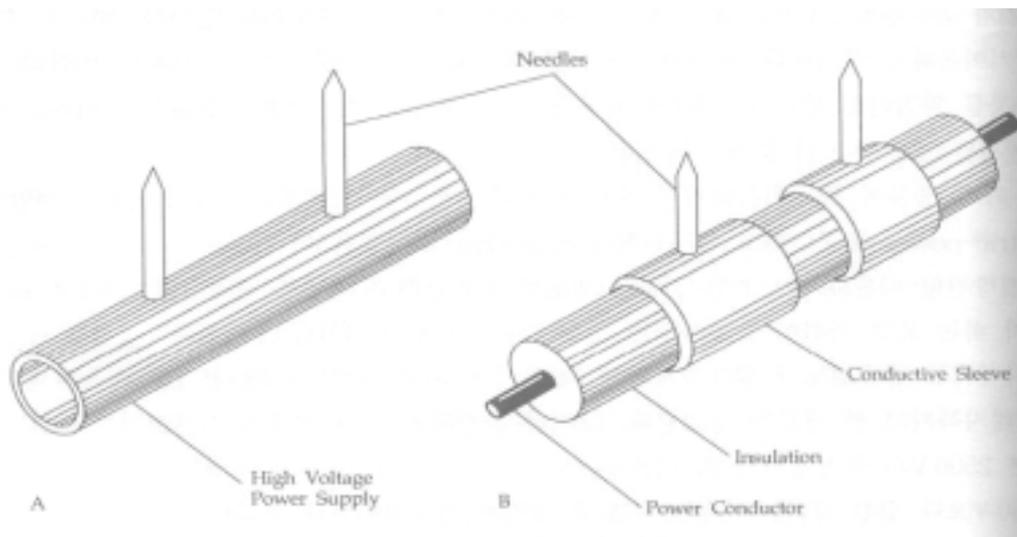


그림 8-8 공기 이온화기에서 정전하 제거기의 고전압 coupling

어떤 이온화기는 방출된 양과 음의 이온들 사이의 균형을 맞추지 못한다. 그것은 어떤 ESD 민감 소자를 손상시킬 만큼 충분한 높은 잔류전압을 만들지도 모른다. 이온화기를 선택하고 위치시키는 동안에 그 지역의 잔류전압을 측정해서 다루어야 할 소자의 민감 전압수준과 비교해야 한다. 이온화기는 정전 전하를 만들어내는 부품에 대해서 영원히 보호해부지는 못한다. 이온화기가 설치된 지역으로부터 정전 전하 발생 부품을 이동하여 설치하면 정전전하를 다시 발생시킨다.

이온화기는 오존을 만들어 낼 뿐 아니라 다른 문제점들도 만들어 낸다. 이온화기는 고전압 장비 부근에서 우연한 고전압방전을 야기시킬 수 있다. 이온발생부의 팬모터(fan motor)는 인화성 공기 혼합물을 포함하고 있는 방이나 공간에서 화재 혹은 폭발을 야기할 수 있다. 이온화기의 팬모터는 EMI와 소음을 야기시킬 수 있다.

8.2.10 방사선형 이온화기

방사선형 전하제거기(unclear static eliminator), 방사선형 이온화기(radio-active ionizer)는 정전전하를 중화시키기 위해 작은 카트리지에 안에 방사성 동위원소 polonium-210을 사용한다. 이 방사성 동위원소는 단지 두 개의 양성자와 두 개의 중성자로 구성되어 있는 헬륨 핵으로 충전되어 있는 α 입자만 방출한다. 양으로 충전된 α 입자들은 공기를 통과하면서 고속으로 방출되고 공기 분자와 충돌한다. 그렇게 해서 양과 음의 이온을 만들어낸다. radium 과 americium-241 또한 α 입자를 방출한다. 그것들(radium 과 americium-241)은 또한 더 많은 투과성 감마선을 방출하기 때문에 사람이 있는 지역에서는 공기이온화를 위해 사용하지 않는다.

이런 방사성 동위원소에 의해 방출되는 α 입자들은 고에너지를 갖지만 낮은 투과성을 갖는다. 대기압의 공기 중에서 해가 없는 α 입자들은 약 2인치의 범위를 갖는다. 그 입자들은 얇은 종이 한 장 혹은 살갗의 표피층에 의해 봉쇄될 수 있다. 그러나 이온화된 공기흐름에는 α 입자가 없다. 그 입자(α 입자)들은 폐쇄된 공동(chamber) 내부에서 방출되고, 그곳에서 공기분자와 충돌한다

방사선형 이온화기는 공기이온화를 위한 전원공급을 요구하지 않기 때문에 전압인가형 이온화기의 몇몇 결점들을 극복할 수 있다. 팬이 없다면 외부전원 혹은 운반성을 제한할 수 있는 배선을 필요로 하지 않게 된다. 팬을 가지고 있지 않다면 폭발이나 화재위험이 있는 장소에서 안전하게 사용할 수 있다. 그러나 공간의 정전전하 제거를 위한 대부분의 방사선형 이온화기는 그 주변에 있는 작업자의 편의를 위하여 히터뿐만 아니라 팬을 같이 사용한다.

불행히도 방사선형 이온화기는 실제로 얼마나 해로운지에 상관없이 모든 핵이나 방사성 원소에 대한 대중적인 거부감으로 인하여 사용이 제한되어 왔다. 대다수의 근로자들은 방사성원소가 있는 곳에서 일하기를 원하지 않는다. 그러나 이러한 공기 이온화기와 관련하여 인간에게 해로운 영향을 미친 경우는 없었다. 다른 방사성원소처럼 캡슐(capsule) 내의 polonium-210은 안에서 방사성동위원소가 감쇠하기 때문에 시간에 따른 효과는 줄어들게 된다.

방사성원소 $84P_{84}^{210}$ 은 5.3MeV 의 에너지로 α 입자를 방출하며 반감기는 138.4일이다. 이것은 polonium-210 캡슐의 보통의 수명이 1년임을 뜻한다. 수명말기에 이온화기 제조업자는 방사선 원소와 관련된 부품들을 교체시켜야 한다. 그런 다음 전체 이온화기는 제조업자에게 환원되고 새 이온화기로 대체된다.

8.2.11 국부 대전방지제

정전하의 발생을 제어하기 위한 대전방지 화학약품(대전방지제)의 사용은 선택적이고, 개발된 ESD 제어 프로그램을 보완해 줄 수 있다. 국부 대전방지제는 제조 혹은 저장지역에서 정전전하의 발생을 줄이거나 없애기 위해 비도전성이거나 비정전분산 물질의 표면에 적용될 수 있다. 정전전하의 제거는 표면유효성을 증가시킴으로써 얻을 수 있으며 따라서 물질의 마찰계수를 감소시키면 표면에서의 더 작은 마찰로 인해 마찰대전은 줄어들게 된다.

표면 도전성에 의한 전하 방산은 두 가지 다른 이론에 의해 설명된다. 한 이론에 의하면 증가된 도전성은 대전방지제와 물질간에 이온균형을 유지하기에 충분한 전자의 교환을 가능하게 한다는 것이며, 또 다른 이론에 따르면 대전방지제가 물질표면에 양이온과 음이온의 균형을 유도한다는 것이다. 표면에 생성된 대부분의 전하들을 중화할 수 있도록 충분한 이온들을 공급한다. 아울러 주위 공기와의 이온 교환도 더욱 더 전하를 분산시킨다. 국부 대전방지제는 일반적으로 매개물은 대전방지제로 구성된 액체이다. 보통 물, 알코올 혹은 미네랄 요소로 되어있는 매개물은 대전방지제를 보호할 물체의 표면에 이동시킨다. 매개물이 증기화한 후에 대전방지제는 절연재료의 표면에 부착물로서 남아있게 된다. 즉, 그것은 정전전하를 제어하는 물질이 된다.

어떤 대전방지제는 침착된 표면에 물을 머금기 위해 공기 중의 습기와 결합하는 세제(detergent)이다. 이러한 흡습성의 대전방지제는 공기 중에 비교적 사용 가능한 수증기가 없는 저습도에서는 효과적이지 못하다.

국부 대전방지제는 솔질하거나, 뿌리거나, 적시거나, 닦아내거나 혹은 비빔으로써 사용할 수 있다. 대전방지제 용액은 염소나 인과 같은 반응하는 요소가 없어야 한다. 대전방지제는 특히 카페트, 직물 시트, 작업복 그리고 foam padding을 포함한 부드러운 물질표면을 다루는데 유용하다. 국부 대전방지제는 또한 캐비닛, 벽과 같이 사용빈도가 더 적은 딱딱한 표면뿐만 아니라 바닥, 테이블면, 연장과 같이 자주 사용하는 딱딱한 재료를 처리하는데도 또한 사용될 수 있다.

대전방지 스프레이나 용액은 화학성분들이 누설경로와 단락회로를 야기할 수 있기 때문에 전기제품과 기계, 전자소자, 회로기관 등에는 결코 사용되어서는 안 된다. 더욱이 대전방지제는 용해된 땀납이 금속에 부착되는 것을 방해하면서 준비된 금속표면을 오염시킨다. 스프레이 분말이나 증기에 노출되어 있는 소자, 부품 그리고 작업자에게는 결코 화학약품 대전방지제를 사용

해서는 안 된다.

대전방지제 처리는 손, 연장, 옷, 신발과의 접촉을 통해 어쩔 수 없이 점차 제거된다. 또한 그것은 정기적인 청소에 의해 제거될 수도 있다. 초기 사용의 필요성과 재사용의 빈도는 적절한 검사기구를 이용한 정기적인 정전전위의 측정을 통해서만 이루어질 수 있다. 그와 같은 사용의 효과는 일반적인 폴리에틸렌으로 대전방지처리된 영역을 문지르고 정전전위계로 전화와 감쇠시간을 관찰함으로써, 혹은 적절한 검사기기로 그 재료의 한 표본의 표면전하를 측정함으로써 주기적으로 체크할 수 있다.

대전방지제는 매 6개월마다 혹은 청소 후 카펫, 직물 시트, 쿠션 그리고 다른 부드러운 표면에 재사용하여야 한다. 마루, 테이블, 연장들과 같은 딱딱한 표면은 일주일에 한번 혹은 청소 후에 재처리되어야 한다. 매우 활동빈도가 높은 지역에서는 매일 대전방지처리를 재사용해야 한다. 의류와 작업복은 세탁하는 동안 마지막 헹굼물에 대전방지제를 뿌리거나 첨가함으로써 매번 세탁 시에 재처리되어야 한다.

국부 대전방지제로 정기적인 재처리를 요구하는 대상들에는 검사와 재처리를 위한 날짜를 적어 놓은 스티커를 붙여놓아야 한다. 대전 방지제를 선택할 때는 많은 다른 특성들을 고려해야 한다.

8.2.12 ESD 라벨 표시

ESD 통제 프로그램의 중요한 부분은 작업자들에게 이 프로그램이 효과적이라는 것을 알리고 상기시키는 것이다. ESD 주의 표시는 작업장에 잘 보이도록 배치하고, 경고 라벨은 ESD 민감 부품과 컨테이너에 부착해야 한다. 그 라벨은 색깔, 심벌의 사용, 부품의 사용, 부품의 분류, 전압에 민감한 정도 그리고 적절한 지시사항을 포함해야 한다.

ESD 민감 항목이 다루어지는 모든 작업공간에 잘 보이도록 부착된 표시는 아래의 정보 혹은 글와 동등한 내용을 포함해야 한다.

주 의

정전하가 소자를 손상시킬 수 있음

만일 손목 접지 strap을 적절하게 착용하여 접지시키고 있지 않은 상태에서는 ESD 민감 항목을 취급하지 마시오. 옷이나 일반적인 플라스틱 재료가 ESD 민감 항목에 접촉하거나 혹은 가까이 근접하지 않게 하시오

라벨은 모든 백(bag), tray 운반 상자 그리고 ESD 민감 항목을 담은 다른 컨테이너의 쉽게 보이는 면에 붙여야 한다. 라벨은 잘 못 취급하는 일을 방지하도록 컨테이너와 package 상에서 표준위치에 일관성 있게 부착되어 있어야 한다.