

정전기 이론과 응용(하)

글/박 재 윤 (경남대 전기공학과 교수)

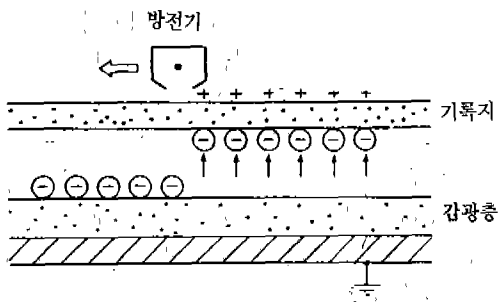
목 차

- | | |
|------------|-------------------|
| 1. 서 론 | 7. 전자사진 |
| 2. 전기와 정전기 | 8. 정전도장 |
| 3. 정전기의 특징 | 9. 세포조작 |
| 4. 정전기 상식 | 10. 정전기에 의한 각종 장애 |
| 5. 정전기의 응용 | 11. 방전에 의한 장애해 |
| 6. 전기집진장치 | 12. 맺음말 |

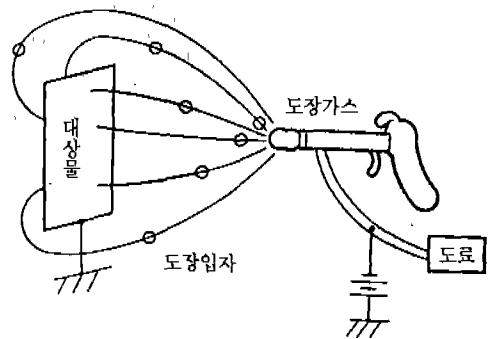
8. 정전도장

스프레이건의 원리는 크게 나누면 공기무화식(空氣霧化式)(2유체식), 무기무화식(無氣霧化式)(Airless), 원심력형이 있다. 공기무화식은 분무의 원리로서 공기흐름에 의해 액체의 표면장력을 이겨내는 에너지를 주어 액체입자를 만드는 것이며 Airless식

은 액체의 높은 압력에 의해 노즐로부터 분출할 때 미립화되는 것이다. 원심력형은 고속회전하고 있는 원판중심에 액체를 부으면 원심력에 의해 주변으로 운동해서 주변에서 튀어 나올 때 미립화되는 원리를 이용한 것으로, 원판을 접상으로 한 것을 컵형 무화기라고 부른다.



<그림 14> 전사의 원리



<그림 15> 정전도장의 원리

통상적 도장은 앞의 두개를 사용하지만 모두 노즐에서 원추상으로 분사한다. 벽처럼 대단히 큰 물체를 도장하는 경우는 도료의 낭비가 적지만 자전차의 프레임과 같은 가는 물체를 도장하려면 도료의 낭비가 많다. 이것은 노즐에서 분출되는 도료입자의 관성력, 공기수송력에 의해서 대상을 향해서 직진하기 때문에 노즐에서 본 입체각의 투영부분에만 부착되기 때문이다. 만약 도장입자에 전하를 주고 노즐과 대상물간에 전계가 주어진다면 도료입자는 전기력선을 따라서 운동을 하게 될 것이다. 이 전기력선은 그림 15에서 나타난 것과 같이 대상물의 뒷면까지 도달하기 때문에 도료를 효율이 좋게 대상물의 뒷면까지 부착시킬 수 있다. 이것이 정전도장의 원리이다.

현재, 가장 많이 사용되고 있는 정전도장기는 그림 16에 나타난 것과 같은 컵형 회전전극이라고 불리는 것이다. 이 컵을 고속회전시키면 도료는 컵내면에서 필름상으로 확대되어 주변에 분무된다. 이 분무는 원심력과 동시에 정전적 힘도 작용하고 있다. 대전 도료 입자에 가해지는 힘은 원심력 및 건(Gun)과 대상물사이의 정전기력이지만 다른 컵 뒷면으로부터 대상물쪽으로 공기의 흐름을 만들어 도료의 부착효율을 높이고 있다.

도료는 Vehicle, 염료, 첨가물, 용제로 만들어지지만, 그중 Vehicle과 염료가 피막을 형성하는 주성분이고 용제는 이것을 돕는 것이다. 통상의 경우, 도료

중 내부피막으로 되는 것은 40~50%, 나머지가 용제이고 이 용제를 적당하게 선택하면 정전도장에 적당한 도료가 얻어진다. 통상, 저항률이 $2\sim 8 \times 10^{-5} \Omega m$ 의 범위가 좋은 결과를 나타낸다.

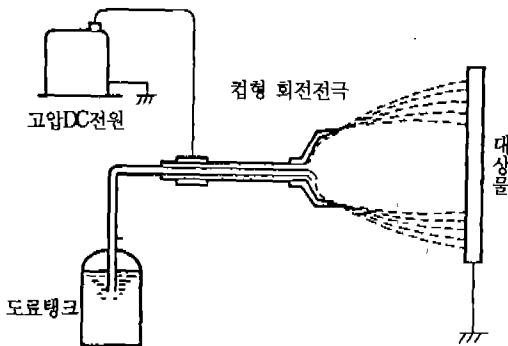
9. 세포조작

세포조작의 필요성은 생명현상의 근원인 유전자 DNA의 구조와 기능을 해독하는 것에서부터 출발한다. 이 세포조작을 하기 위해서는 세포나 염색체를 종류에 따라 분류하지 않으면 안된다. 즉, 단일종류의 세포를 다량으로 모을 필요가 있다. 현재 사용되고 있는 방법은 다량의 세포를 조작하고 그 중에서 원하는 것을 선택하는 방법이 사용되고 있다. 구체적으로는 생물의 특징인 자기증식성, 즉 약제에 대한 내성을 이용해서 미리 계획된 선택성을 이용해 상대를 제압하고 증식된 것만을 얻어내는 것이다. 그러나 원하는 세포를 생물적 특성이 아니고 다른 수단, 예를들면 물리적특성을 이용해서 분리하면 그 후의 세포로의 유전자 도입이라든지 세포융합 등에 대단히 유익하다고 생각된다. 현재 이용되고 있는 혹은 시도해 보고 있는 이 물리적 세포조작법중 몇 가지만 언급해 본다.

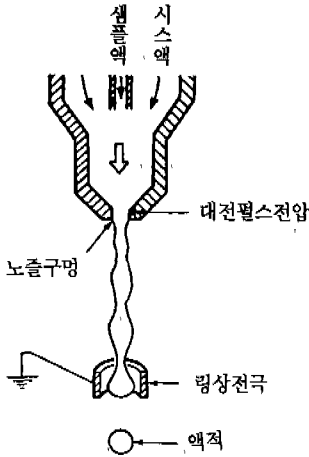
9.1 Cell Sorter

원리는 그림 17에 나타난 것과 같은 것으로, 먼저 세포와 염색체를 포함한 수용액인 샘플액을 노즐에서 고속으로 분출시킨다. 보통은 샘플액과 이것을 섞은 것과 같은 생리식염수를 동시에 분출시킨다. 이 분출에는 잉크젯프린터에 사용되고 있는 것과 같이 압전소자에 의해서 미소신호가 가해지기 때문에 그 신호에 동기해서 액체물방울로 분열된다. 이 액적은 모으고 싶은 세포 등을 1개씩 포함하는 것으로 한다. 세포나 염색체에는 미리 형광색소를 넣어둔다.

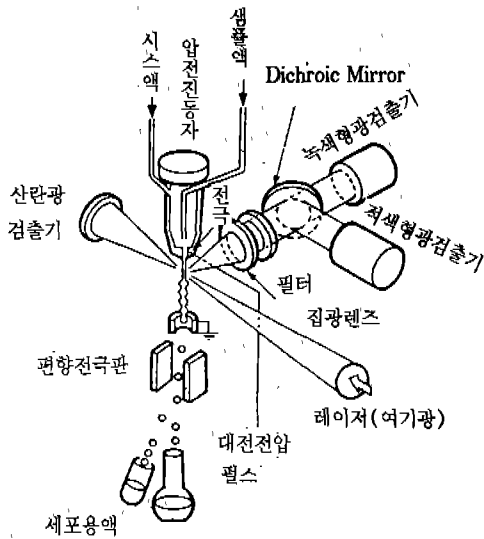
그림 17에서 알 수 있듯이 제트가 분열해서 액적이 될 때까지는 어느 정도의 거리가 있기 때문에 그 사이에 레이저빔을 조사하면 세포에서 형광이 방사된다. 그 광을 렌즈로 모아 전기신호로 변환한다. 이 신호펄스전압의 파형으로부터 세포의 종류를 관별하고 필요로 하는 세포와 불필요한 세포에 대해 노즐



<그림 16> 컵형 정전 도장기



<그림 17> Cell Sorter의 노즐부분

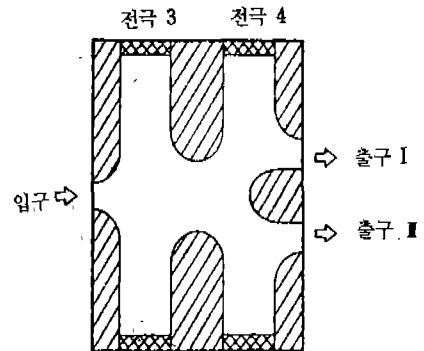


<그림 18> Cell Sorter의 전체구성

9.2 액체집적회로

보통의 세포는 10 μ m 정도로 작기 때문에 그 취급이 가능하게 하려면 그 장치의 구조도 이것과 같은 정도의 것일 필요가 있다. 시작되어 있는 방법은 세포 조작에 필요한 마이크로 펌프나 미소전극 등을 포토 리소그래피(Photolithography)법으로 한장의 기판상에 이것들을 형성하고 세포 1개가 흐르는 것과 같은 유체회로이다.

이와같은 유체집적회로 내에서 세포를 조작하는데는 기계적인 방법은 바람직하지 않기 때문에 정전기력을 이용하고 있다. 또 수용액중의 세포를 조작하는 경우 액체의 도전율이 높고 발열문제와 유전영동력이 작아지는 문제가 있다. 그 때문에 비도전성의 Mannitol용액 등을 사용할 필요가 있다. 또 전기적 특성에 대해서는 인가전압을 1V보다 작게 하든지 전기 분해가 생기지 않는 고주파로 하는 등의 조건이 필요하고 1MHz 정도로 실험을 하고 있다. 그림 19는 세포편향장치이고 입구로부터 들어갔던 세포를 두개의 출구중에 어느 출구로든지 전기역학적으로 어떤 액적이든지 나누는 것이 가능하다.



<그림 19> 세포편향장치

에서 전압펄스의 인가 여부를 판별하게 한다.

그림 18은 그 전체의 장치이고 필요로 하는 세포인 경우에는 액적에 전하를 주면 편향전극에서 필요로 하는 세포를 포함하는 액적을 편향시켜서 모으는 것이 가능하게 된다.

10. 정전기에 의한 각종 장애

정전기에 의한 장애는 와이셔츠를 벗을 때의 “짜지직”하는 것부터 오일탱크의 폭발까지 광범위하

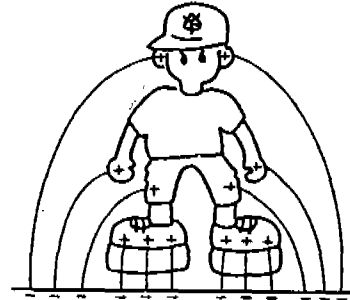
고 분류는 용이하지 않지만 대략적으로는 정전체의 역학적인 영향에 의한 것과 방전에 의한 것으로 나눌 수 있다. 더욱이 우리들이 몸으로 경험하는 전기 충격(감전)도 이것에 첨가시킬 수 있다. 방전이 주체로 되는 것은 대단히 종류가 많으므로 다음절에서 상세하게 서술하는 것으로 하고 여기에서는 그것 외의 것에 관해서 서술한다.

10.1 전기충격에 의한 것

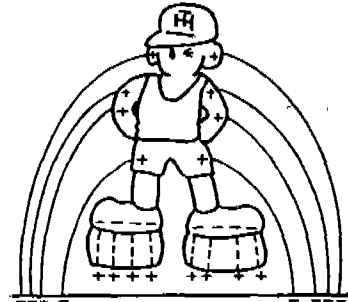
인간은 자기의지에 의해서 손이나 발을 움직일 수 있지만 이것은 뇌의 명령에 의하여 수족근육의 수축 작용이 일어나는 것이다. 그 신호는 수십 μV 정도의 미소전압 펄스이고 그것이 신경세포에 전달되는 것에 의해서 명령이 전달된다. 그런데 감전 및 전기충격은 외부에서의 전기신호가 세포나 세포군에 마치 신호와 같이 작용하는 것에 의한 것이고 이 때문에 쇼크, 마음대로 되지 않는 호흡곤란, 심박정지 등과 같은 영향을 인체에 미치게 된다. 이것은 인체에서 통신체통의 오동작에 의한 기능장애로 생각할 수 있다. 정전기의 경우, 주어진 에너지가 그다지 크지 않기 때문에 마음대로 되지 않는 호흡곤란 등의 중대 사고로 이어질 가능성은 작지만 쇼크에 의한 반사적인 수족의 운동에 의해서 초래되는 2차적인 재해, 예를들면 기물의 이동, 추락 및 낙하되는 기계와의 충돌 등에 의한 재해가 문제로 된다.

이처럼 정전기에 의한 전기충격은 주로 대전물체에서 인체로, 혹은 대전된 인체에서 접지금속으로의 방전에 의한 것이다. 와이셔츠를 벗을 때 “빠지직”하는 방전은 전자의 예이며 용단을 창문에 접촉할 때 “삐직”하는 것은 후자이다.

여기서 후자의 예에 관해서 좀더 자세하게 검토해보자. 전기충격은 보통 인체에 흐르는 전류에 의해서 결정되지만 정전기의 경우, 지속시간이 대단히 짧으므로 생체로 흐르는 전하에 의해서 거의 결정된다. 발표된 자료에서는 보통 몇 볼트에 감전이라고 말하는 것처럼 전압으로 표시되어 있지만 이것은 인체가 가진 정전용량에 의해서 변화되는 양이기 때문에 주의를 요한다. 그림 20에 나타낸 구두가 양호한 절연체라고 하면 인체는 도체에 근사될 수 있기 때문에



(a) 구두밑 저항이 비교적 낮은 경우



(b) 구두밑 저항이 비교적 높은 경우

<그림 20> 구두에 의한 인체의 대전 모델

그림과 같은 전기력선을 생각할 수 있다. 이 그림에서 대체로 알 수 있는 것처럼 인체와 대지와의 정전용량은 대부분 발에 집중되어 있으므로 구두바닥부분의 두께와 면적이 그 정전용량을 결정하며 인간은 대략 $4 \sim 8 \times 10^{-7} [C]$ 정도로 쇼크를 깨닫게 된다.

이 대전은 용단이나 플라스틱 마루위를 걷는 경우에 잘 발생하지만 이 경우, 구두나 마루층 어느 것이든지 절연성이 높으면 마찰대전에 의해서 대전된다. 구두바닥의 저항이 비교적 작은 경우(10^{10} 이하)는 그림-(a)에 나타낸 것처럼 발생전하는 인체전체에 퍼져서 인체의 전위를 높게 하지만 저항이 큰 경우에는 그림-(b)와 같이 구두바닥과 발의 안쪽이 전기이중층으로 되고 인체의 다른 부위에 구두바닥과 같은 부호의 전하가 나타나지만 인체전위는 구두바닥의 전위보다 낮게 된다.

10.2 정전적 힘에 의한 것

전계에 의한 힘은 미립자상, 섬유상 및 시트상에 유효하게 작용하는 것으로 응용의 길이 열렸지만 역으로 이와같은 형상에 대한 힘이 장해의 원인으로 된다.

입자상이 대전해서 평판에 부착하는 문제는 대단히 많으며 신체주위에서는 의복, 벽면으로의 먼지 부착 등을 경험한다. 이들 입자는 마찰대전에 의한 것이며 벽면 등에서의 부착은 주로 전기영상력에 의존하고 있다. 벽면까지의 이동은 공기의 흐름 등에 의해서 이루어진다. 이것에 대해서 TV의 브라운관이든지 고전압장치에서의 입자 부착은 전계에 의한 힘과 그 레디언트력에 의한 힘이 합해지므로 더욱 부착이 쉽게 된다.

일상생활에서의 정전기장해도 좋지 않지만 생산활동에서의 장해가 더욱더 문제가 된다. 플라스틱의 성형가공에서 부스러기가 금형에 부착된 것은 제거하기가 상당히 어렵기 때문에 청소하는데 시간이 걸리고, 생산성을 현저하게 떨어뜨린다. 플라스틱이나 시멘트를 불밀로 분쇄하는 공정에서는 불이나 용기벽에 분체가 부착하여 심한 코팅이 일어나서 분쇄불능으로 되는 경우가 있다. 또 저항치가 높은 분체의 혼합과정에서는 현저한 성구현상이 일어나서 혼합할 수 없는 경우가 있다. 분체의 덕트수송에서도 내면에 부착해서 차츰 두껍게 되며 때때로 덩어리가 되어 튀어나오게 된다.

면이나 비단 혹은 합성섬유의 제조공정이나 처리 공정에서는 롤러와의 접촉에 의해서 대전하고 롤러로 되감기거나 실사이의 반발에 의한 연계불량이 생기거나 혹은 실에 잔털이 일어나서 품질이 저하되는 등의 문제가 있다.

시트상에서는 제지공정, 인쇄공정, 사진필름의 제조공정, 플라스틱시트의 제조공정, 직포의 건조공정에서 정전기에 의한 장해가 많이 발생되고 있다. 예를들면 큰 두루마리 인쇄지를 고속으로 돌려서 그 위에 인쇄하는 경우 대전에 의한 흡착현상으로 찢어지기도 하고 인쇄를 마친 종이를 정돈할 때도 같은 반발력으로 정리 불능으로 되는 등의 장해가 발생하

고 있다.

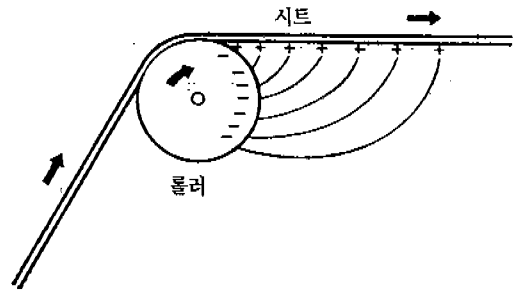
11. 방전에 의한 장해

방전에 의한 것은 정전기 장해해중 가장 큰 문제이므로 여기서 조금 상세하게 서술해 본다.

11.1 생산공정에서의 장해

연속생산공정에서 주로 문제로 되는 것은 롤러와 시트상 물체의 마찰에 의한 대전이고 이 두 물체가 접촉한 후에 분리될 때 박리대전이 생긴다. 그림 21에서 시트가 좋은 절연체라면 전하는 기계적으로 수송되는 것이 된다. 이것은 정전발전기의 원리와 똑같은 것으로 시트상의 전위는 높게 되고 금속롤러와의 사이에 방전이 일어날 가능성이 있다.

사진필름 제조공정에서 이 현상이 일어나면 스태틱마크 혹은 Fogging이라고 부르는 제조불량이 된다. 이처럼 필름의 방전마크는 제조공정뿐만 아니라 사용중에서도 발생한다.



<그림 21> 시트와 롤러간의 대전

얇은 플라스틱 필름의 제조공정에서 필름을 고속으로 감거나 혹은 풀 때에 방전에 의해서 핀홀이 발생할 수 있다. 예를들면 이것이 콘덴서용 필름인 경우는 내전압을 저하시키므로 중대한 문제가 된다.

이들의 문제는 본질적으로는 절연성이 높은 물체와 다른 물체와의 마찰에 의한 대전이지만 상대가 도체이든 절연체이든 상관없이 발생한다. 대전의 장소도 서술했던 것처럼 마찰대전은 전하의 이동, 분리, 완화 세가지 과정을 거치지만 처음 두개의 과정

을 제어하는 것은 현재의 기술로서는 불가능하므로 결국은 최후의 과정, 즉 전하의 완화시간을 짧게 해서 대전하지 않도록 하든지 혹은 전하의 발생과 함께 그 전하를 완화시키든지 그중 어느 것이 된다. 후자는 제전이라고 부르는 것으로 외부에서 강제적으로 반대부호의 전하를 가해서 중화하는 경우와 대전된 전하가 가진 자기전위를 이용해서 자기방전을 일으키게 하는 것이 있다. 그러나 절연성이 높은 물질에서는 접촉할 때마다 대전되기 때문에 그때마다 제전을 하지 않으면 안된다. 따라서 문제의 근본적인 해결은 전하의 완화시간을 짧게 하는 것이 바람직하다. 그 방법에 대해서는 재료를 변경시켜 도전율이 높은 것으로 하든지 이것이 불가능하면 도전율을 높이는 첨가제를 첨가하는 것이 있다. 보통 전하는 표면에 존재하므로 표면의 도전율을 높인다. 그러나 이것은 시간과 함께 그 효과가 떨어지므로 내부에 넣고 표면으로 확산하는 성질을 이용하는 연속성이 있다. 이들 어느 방법도 사용하기 어려운 경우는, 대기의 습도를 높여 표면도전율을 높여서 완화시간을 짧게 하는 것도 가능하고 등위원소에서 나오는 방사선을 이용해서 대기의 도전율을 높이는 것도 가능하다.

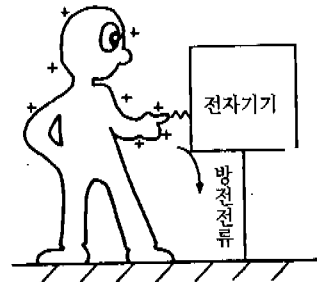
11.2 전자기기에서의 장애

정전기에 의한 장애에도 비교적 새로운 것은 전자기기에 있어서의 장애이다. 이것은 반도체디바이스의 진보와 밀접한 관계가 있다, 최근의 반도체디바이스의 응용은 대단히 광범위하며 그 용도의 범위가 넓어짐과 함께 고집적화가 되었다. 그 때문에 개개의 소자의 생에너지화, 저코스트화, 소형화에 의해서 집적도가 상승함에 따라 정전기파괴에 대해서는 역으로 약하게 되었다. 또 고분자절연체의 품질향상에 의해 대전하기 쉬운 성질도 가지게 된다. 더욱이 소자의 고성능화에 의해 동작에너지가 아주 작게 되었기 때문에 정전기방전에 의한 미소에너지로도 이들소자를 동작시킬 수 있는 충분한 에너지가 되며 전자기기의 오동작이 생기기 쉬운 상태가 된다.

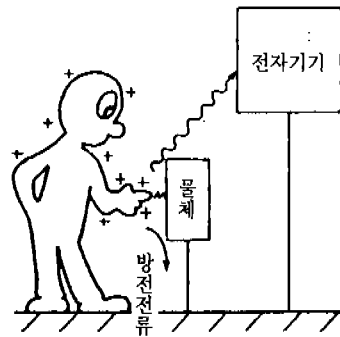
반도체소자의 생산과정에서의 장애는 MOS IC에서 게이트산화막의 파괴 등이 좋은 예이므로 이것을 예

로 들어보자. 고밀도화에 의해 현재에는 그 산화막은 100nm정도의 지극히 얇은 것으로 되어 있어서 대전된 작업자로부터의 방전에 의해서도 쉽게 편홀이 생긴다. 이들 반도체소자의 파괴는 대전물질에서 직접 방전에 의해서만이 아니고 방전에 의해서 전하가 반도체로 이동하여 반도체내부에 고전계가 발생하며, 그 결과에 의한 방전이 원인이라고도 생각된다. 원인에는 작업자의 대전만이 아니고 짐이라든가 용구의 대전에 의한 것도 있다. 이들에 대한 대책으로서는 소자의 개량이라든가 다루는 방법의 개선 등이 행해지고 있다.

전자기기의 장애원인으로서 그림 22(a)에 나타난 것처럼 대전된 물체, 혹은 인간이 전자기기에 직



(a)



(b)

<그림 22> 전자기기의 오동작의 예

접 접촉할 때에 생기는 방전에 의해서 기기가 오동작, 혹은 통신장애로 되는 경우와 그림 22(b)에 표시한 것처럼 방전에 의한 전자파가 원인이 되어 장애가 되는 경우가 있다. 전자의 예로서는 미니콘의 오동작이 그것이다. 최근 미니콘은 공장의 프로세스 컨트롤이나 각종 제어장치의 중추로서 광범위하게 사용되고 있지만 사용환경도 한 장소이고 또한 여러가지 사용법을 취하기 때문에 정전기에 의한 트러블이 증가되고 있다. 미니콘 경우의 정전기장애는 오동작, 시스템의 동작정지 또 하나는 그 내부 반도체소자의 파괴에 의한 동작정지가 있다. 그 파괴에 의한 것은 원인을 알아내기 쉽지만 오동작의 경우는 우발적인 원인이기 때문에 원인추리가 어렵다. 이처럼 장애대책에 대해서는 대전량을 어떤 방법을 통하여 작게 하든가 접지방식을 변화시켜 오동작하지 않도록 하고 있다. 시스템 설계단계에서 정전기대책을 세워두는 것이 근본적인 해결법이다.

12 결 론

역사적으로 말하면 정전기는 전기의 원조라고 말할 수 있다. 그리스의 자연과학자 타레스가 비단을 마찰하여 먼지를 흡착하는 것을 발견한 것이 정전기의 시작이라고 말할 수 있다. 현재의 전기(Electricity)의 어원이 그리스어의 비단(Electron)에서 유래되었다

※ 신나서 하는 일에는 실패가 없습니다.

— 이럴 때 신바람 납니다. —



는 것을 보더라도 정전기가 전기의 원조라고 말해도 과언은 아니다. 이처럼 정전기에 관한 연구는 도중의 긴 휴식기간을 거쳐서 금세기 초의 코트렐의 전기집진장치의 실용화에 의해서 최초로 근대적인 응용분야로 진출했다. 그리고 그 기술로부터 점차 새로운 정전기응용 기술의 발달이 가능하게 되었다. [정전기]라는 문자중에 [전기]가 포함되어 있지만 그 성격은 보통 [전기]상식으로는 이해하지 못하는 것도 많이 포함되어 있다. 금회에서 일련의 해설을 종료하지만 정전기현상을 조금 자세하게 연구해보고 싶다고 말하는 사람에 대해서 본고가 조금이라도 가이드역이 되었으면 좋은 결과가 나올 것이다.

참고문헌

- 1) 村崎憲雄: 정전기입문, 조창서점 (1969)
- 2) 上田 實, 他: 정전기의 기초, 조창서점 (1970)
- 3) 淺野和俊, 大橋朝夫: 정전기공학연습 조창서점 (1985)
- 4) A.D.Moor : Electrostatics and Its Application, John Wiley & Son(1973).
- 5) J.M.Crowhy : Fundamentals of Applied Electricals, JohnWiley & Son(1986).
- 6) J.Cross : Electrostatics : Principles, Problems and Application, Adam Hilger, Bristol (1987).

- 이기적인 생각을 버립니다.
- 남이 시켜서 하는 일이 아닌 자발적인 일을 합니다.
- 내일이 아니면 하지 않겠다는 무사안일 주의를 버립니다.
- 아랫사람의 의견을 존중합니다.
- 즐거운 마음으로 명랑하게 일합니다.
- 적당주의가 아니라 주어진 일은 철저히 처리합니다.
- 우리 회사에 잘난 사람이 많아서 탈이라는 냉소주의를 버립니다.
- 책임을 서로 전가하지 않습니다.
- 해보기도 전에 안된다는 패배주의를 버리고 하던 된다는 정신을 가집니다.