

정전기 이론과 응용

글/박재윤 (경남대 전기공학과 교수)

1. 서론

정전기의 발견이 전기역사의 시작이라는 것은 잘 알려져 있지만 현재 정전기가 학문으로서 또는 산업 기술로서 일반인에게 어느 정도 정확히 알려져 있는지 의심스럽다. 정전기가 무엇인가에 대하여 보통 사람들은 어떤 것에 손이나 물건이 닿을 때 “빠짓”하는 기분나쁜 것 정도로 알고 있을 것이다.

그러나 최근에는 정전기를 여러가지 곳에 응용하고 있으며 산업이 발전되면 될수록 이러한 경향이 더욱 증가하리라 생각될 때 정전기의 중요성을 새삼 생각하여 보지 않을 수 없다. 구체적인 예를들면 입자가속장치, 전자집진기, 전자사진 등 다수가 있다.

이상으로부터 정전기는 고전적 신학문이라고 말할 수 있다. 즉, 역사적으로는 오래되었지만 학문으로서의 성숙도를 보면 새로운 분야라고 할 수 있다.

따라서 본고에서는 정전기에 대한 이해를 돕기 위하여 기초적인 이론과 응용 및 정전기로 인한 재해에 대하여 독자와 함께 생각해 보기로 한다.

2. 전기와 정전기

전기현상을 지배하고 있는 법칙은 Maxwell법칙이지만 이 법칙을 어떠한 조건 아래에서 이용하는가에 따라 여러가지 근사식이 얻어진다. 이 Maxwell의 식에 의해서 전자파의 존재가 예측되는 것은 잘 알려져 있지만 우리들이 여기서 이용하려고 하는 정전기도 역시 Maxwell법칙 지배하에 있다. Maxwell의 법칙은 다음과 같이 표시된다.

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \dots\dots\dots(1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) \dots\dots\dots(3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \dots\dots\dots(4)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(5)$$

여기서 $\nabla: \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right)$ \vec{D} : 전속밀도, \vec{B} : 자속밀도, \vec{E} : 전기, \vec{H} : 자계, \vec{J} : 전류밀도, ρ : 전하밀도, σ : 도전율, μ : 투자율, ϵ : 유전율, \cdot : 스칼라적, \times : 벡터적이며 기호의 의미에 관해서는 전자기학을 참조하기 바란다.

그러면 통상 일컬어지고 있는 전기(혼란을 피하기 위해서는 등전기라고 말하는 편이 좋을 수도 있다)와 정전기는 어떻게 다른가? 그것에 들어가기 전에 전기응용을 광범위하게 생각해 보면 전기는 정보전달의 수단과 에너지 이용 등 두가지로 나누어진다. 실체는 그러한 단순한 것은 아니지만 우선 여기에서는 두가지로 나누고 그중 후자에 관해서 중점적으로 검토한다.

최근에는 에너지를 말하면 석유나 석탄을 생각하는 사람도 많지만 여기서 말하는 에너지는 물리학적 에너지로서 좀더 단적으로 말하면 전기를 사용해서 기계적인 일을 하려고 하는 것을 대상으로 한다.

넓은 의미로 전기와 기계간의 에너지 변환을 대상으로 한다. 보통 이와같은 때에는 열 에너지를 포함

하지 않는다. 즉, 저항이나 마찰에 의한 열손실을 대상으로 하지 않기 때문에 전기 에너지를 어떻게 해서 효율이 좋게 운동 에너지로 변환시키는가 하는 문제로 좁혀진다.

전기와 기계의 에너지 변환소자는 앞에서 설명한 것과 같이 열 에너지를 포함시키지 않으면 필연적으로 자계형 에너지 변환소자인 인덕터(Coil) 혹은 전계형 에너지 변환소자인 캐패시터(Condensor)가 있다. 그런데 에너지 변환이라는 관점에서 바라보면 이들 두개의 소자를 동시에 사용해서 에너지의 변환을 할 수는 없다. 반드시 어느 한 형으로 하지 않으면 열적손실이 생긴다. 이것들의 상세한 것은 에너지변환 공학에서 설명하기 때문에 여기에서는 이것 이상으로 자세하게 설명하지 않지만 필요한 에너지 변환은 자계형 혹은 전계형이 있다. 과거의 서적(현재에도 대부분 그렇지만)도 전기-기계 에너지 변환기기는 소위 모터, 발전기, 전자석 등을 말하고 있다. 이것은 자기적 힘을 이용한 전계형 에너지변환 기기이다.

여기서 앞에서 말한 (1)~(5)식을 다시 한번 보자. (5)식을 제외하면 (1)식과 (2)식, (3)식과 (4)식은 각각 대응되는 모양을 하고 있다. 이와 같이 전계와 자계는 대등한 관계가 있는 것으로 판명된다. 에너지 변환에 관한 교과서에서 정전발전기, 정전모터를 찾아낼 수 있을까? 윈스하스트 발전기는 어떤 원리로 발전하고 있는가? 반디그라프 발전기는 어떤 것인가?

이와같이 말을 하는 것은 물론 그 나름대로 이유가 있어서 이다. 그것은 소위 에너지 변환능력의 저하이다. 그 차이를 확인하기 위해서 구체적인 예로 에너지 변환밀도를 계산해 보자. 선형인 물질에서 에너지 밀도는 다음식으로 주어진다.

$$W_m = (1/2)\mu H^2 = (1/2) (B^2/\mu) \text{ 자계형 } \dots (6)$$

$$W_m = (1/2)\epsilon E^2 = (1/2) (D^2/\epsilon) \text{ 전계형 } \dots (7)$$

보통 자계형 에너지 변환기기 내에서 달성되는 자속밀도는 1~2T 정도이다. 그 최고치는 자성재료의 포화특성에 의해 결정된다. 그 자속밀도에 의한 공기내에서의 에너지 밀도는 대체로 $10^6[\text{J}/\text{m}^3]$ 정도

이다. 이것에 대해서 전계형 에너지 변환기기 내의 전계강도는 공기의 절연과파에 의해서 결정되고 그 값은 $3 \times 10^6[\text{V}/\text{m}]$ 이다. 이 값에 의한 전계형의 에너지 밀도는 대체로 $40[\text{J}/\text{m}^3]$ 이고 자계형에 비해서 4~5오더 정도 작다. 이와같이 에너지 밀도만으로 비교한 것으로는 에너지 변환기기로서 일괄적으로 묶을 수 없다.

에너지 밀도를 높이려면 어떻게 하는 것이 좋은가? 이들 식으로부터 생각할 수 있는 것은 전계강도를 크게 하는 것과 유전율을 크게 하는 것이다. 이들에 대한 연구도 행해지고 있지만 에너지의 크기 및 변환효율 등으로 자계형에 필적할 수 있는 대형기기는 유감스럽지만 아직 없다. 그러나 정전모터나 정전척크에서는 실용화되는 힘을 나타내는 것도 있기 때문에 반드시 절망적인 것은 아니다. 한편, 견해를 바꾸어서 자계형에는 없는 특징을 찾아내면 큰 이용가치가 있다. 미소입자에 대한 힘 등이 가장 두드러진 것으로 오늘날 정전기응용 발전의 원동력은 그곳에 있다고 말하는 것도 과언은 아니다. 이들에 대해서는 다음에 자세하게 설명하도록 하고 여기에서는 다른 관점에 대해서 설명하도록 하자.

자계형 에너지 변환기기는 본질적으로는 저전압, 대전류의 변환기기이며 전계형은 고전압, 미소전류이다. 조금전에 서술했던 에너지밀도의 차로 파워를 얻기 위한 발전기로서는 자계형으로 대항할 수 없지만 고전압 발생원으로서의 정전발전기는 어떤 것일까? 예를들면 입자가속기나 X선원에서는 대단히 높은 MV이상의 고전압을 필요로 한다. 것처럼 전원을 자계형으로 만드는 것은 대단히 힘들지만 전계형으로는 용이하다. 정전발전기로서 성공한 반디그라프형이나 SAMES형은 이러한 점에 착안했기 때문이다. 수10MV의 발전기는 반디그라프의 독무대이다.

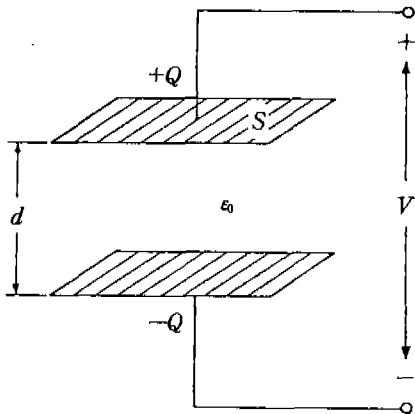
3. 정전기의 특징

정전기를 유용한 것으로서 이용하기 전에 정전기에는 어떤 특징이 있는가를 조금 상세하게 조사해 보자. 그 특징을 크게 분류하면 앞에서 말한 고전압

발생원, 단극성(Monopole), 정전기력이고, 더욱이 방전현상으로 분류할 수 있는지는 알 수가 없다. 자체의 경우는 Maxwell의 식(2)에서 알 수 있는 것처럼 자속은 연속이다. 이것은 자로를 도중에서 자를 수는 없다. 이것에 대해 전계는 단극성 저하가 존재하기 때문에 전속이 반드시 연속일 필요는 없다. 이것은 응용면에서 여러가지 특징을 가진다. 이 특징을 발전에 이용하는 경우 상당히 단순한 구조로 발전가능하다. 평행평판 캐패시터에서 말단효과를 무시할 수 있다고 하면 전하와 전위차와의 관계는 다음과 같이 된다.

$$Q=CV=(\epsilon_0 S/d)V \dots\dots\dots (8)$$

만약 Q와 S가 일정하다고 하면 전위차는 d에 비례한다. 즉, 하부전극을 고정하고서 상부전극을 들어올려서 d를 변화시키면 기계적인 일에 의해 전위차를 변화시킬 수 있다. 습도가 낮을 때에 와이셔츠를 벗으면 “빠작빠작”하는 방전을 경험하는 것은 실은 이 단순한 정전발전기에 의한 것이다. 즉, 정, 부의 전하를 띤 두개의 물체를 잡아떼어 놓으면 그 사이의 전위차가 크게 된다. 그림 1과 같이 이상화 시킨 경우는 전극간의 전계강도는 일정하기 때문에 처음의 전계강도가 공기의 절연과괴강도 이하면 전위가 어느 정도 올라가도 방전을 하지 않지만 실제로는 어느 정도 이상이 되면 방전한다. 이것은 평등전계가 아니기 때문에 거리의 증가와 함께 일부의 전계



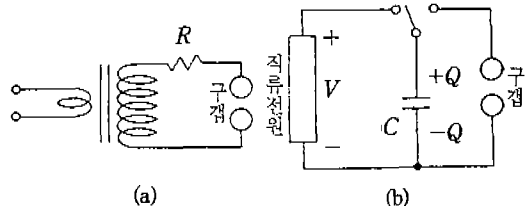
<그림 1> 평행평판 캐패시터

강도가 절연과괴치를 넘어서 그 부분에서부터의 방전이 일어나기 때문이다. 이것은 말단효과가 없는 것으로 한 가정이 사실이 아니기 때문에 전계에 관해서 보다 정확한 지식이 필요하게 된다.

단극성인 것은 공간에 존재하는 물질에 정, 부중 어느 전하를 주면 전기적 힘을 발생시킬 수 있다. 이 정전기력이 작은 것이라는 것은 앞에서 서술했지만 통상 우리가 취급하는 전하는 표면전하이기 때문에 전기적 힘은 표면력(Surface Force)이다. 중력으로 대표되는 것과 같은 기계적 힘은 체적력(Body Force)이기 때문에 구상물체에 이것을 적용해보면 정전기력은 반경의 2승에 비례하지만 중력은 반경의 3승에 비례한다.

즉 반경이 클수록 정전기력은 불리하지만 역으로 말하면 반경이 작을수록 정전기력은 유리하게 된다. 중력과 비교하는 경우, 분체 등에서는 반경이 100μm 이하로 되면 정전기력이 중력보다도 상당히 크게 되고 유효하게 이용할 수 있음을 알 수 있다. 이 밖에 정전기력이 유리하게 되는 것은 섬유상이나 시이트상이다. 예를들면 대단히 얇은 금속물체를 기계가 공할 수 있을 정도의 강도를 유지하는 것도 가능하게 된다.

단극성인 것은 공간을 비행하는 입자의 운동을 전기적으로 제어 가능하게 된다는 의미에서 중요하다. 이것은 자체의 이용을 생각해 보면 잘 알 수 있다. 전자관 내의 전자흐름과 같은 고속 미립자운동은 외부자계로 그 운동을 제어할 수 있지만 공기중을 운동하는 미립자와 같이 저속일 경우, 자체에 의한 미립자 운동제어는 불가능하다. 이것에 대해서 전계이용



(a) 에너지를 연속해서 공급한 경우
(b) 연속적으로 공급하는 경우

의 경우는 단극성이기 때문에 어떤 물질에도 전하를 줄 수 있고, 그 입자의 운동을 전계에 의해서 제어할 수 있다. 즉 미립자의 재질에 관계하지 않는다. 이것은 대단히 큰 이점이면 전기집진장치 등이 잘 보급된 이유중의 하나이다.

이미 설명한 1개의 특징은 정전기의 직접적인 현상이라기 보다 간접적 현상이지만 정전기의 본질인 고전압과 구분할 수 없는 방전현상이다. 이것은 공기 혹은 기타 절연체의 절연과괴현상으로, 고전압공학, 플라즈마공학 등에서 잘 연구되고 있는 분야이다. 이 방전현상을 정전기공학의 입장에서 보면, 고전압공학 등에서 취급하고 있는 것과는 상당히 양상이 다르다. 여기서 고전압공학과 정전기공학과와의 차이에 대해서 조금 언급해 보자. 고전압공학은 주로 송배전 분야에서부터 출발하고 있기 때문에 취급과 위는 대단히 크다. 예를들면, 구 겹의 방전을 취급할 때 고전압공학에서는 그림 2-(a)와 같이 에너지가 연속적으로 전원에서 공급되는 경우가 주체인 것에 대해서, 정전기공학에서는 그림 2-(b)와 같이 캐패시터간에 축적된 에너지를 주체로한 문제를 생각해도 된다. 그림 2-(b)에서 캐패시터에 충전된 에너지는 (7)식을 변형하면

$$P = (1/2) QV \dots\dots\dots (9)$$

로 된다. 정전기공학에서 주로 취급하는 에너지는, 일정한 Q의 경우로 이 Q가 방전해 버리면 축적에너지는 없게 된다. 즉, 방전의 형태는 단발적이다. 만약, 연속적인 방전을 이용하는 경우는 에너지가 작은 코로나방전을 이용하고 불꽃방전을 이용하는 것은 거의 없다. 방전현상의 응용면은 이 코로나 방전이 단극성인 것에 착안한 것이며 불꽃방전은 정전용량 기기가 동작불능으로 되는 것과 같은 불리한 면으로 잘 알려져 있다.

정전기가 일반사람에게는 각종 응용보다도 오히려 방전에 의한 쇼크, 가연성 액체의 착화폭발에 의한 장애해가 널리 알려져 있다. 일반적으로 좋은 인상을 주지 못했다. 실제, 정전기에 의한 폭발장애의 발생건수는 적지 않다. 그것은 화학공업의 진보와도 밀접한 관계가 있으며, 절연체의 정제기술의 상황과

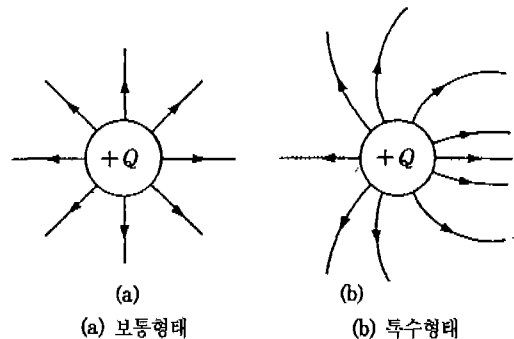
함께 절연액체 및 고체의 도전을 저하에 원인이 있다. 절연체의 도전율이 저하하면 완화시간이 길어지기 때문에 발생한 전하가 쉽게 없어지지 않는다. 즉, 전하의 축적이 용이하게 되며, 이것이 고전압원으로 되어 불꽃방전이 일어난다. 따라서 정전기에서는 응용면 이외에 그 장애해 방지의 문제를 병행해서 생각할 필요가 있다.

4. 정전기 상식

정전기를 취급할 때 항상 문제가 되는 것은 전계이지만 일반사람은 의외로 이 전계에 대해서 주의 기울이지 않는다. 혹은 기울인다고 해도 너무도 복잡해서 무시하는 경우가 많다. 그 점에 대해서는 다음에 자세하게 서술할 기회가 있을 것이라고 생각하고 여기에서는 정전기를 배우는 사람으로서 상식적인 것에 관해서 두 세가지 정도 알아보자.

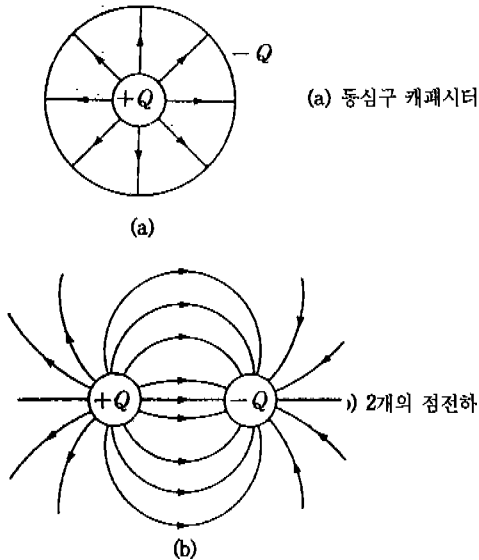
4.1 전 전하는 영(Zero)

무엇인지는 잘 알려져 있지만 전 우주의 정과 부의 전하량은 동등하다. 즉, 전 우주의 총전하량은 영(Zero)이다. 이것은 일종의 가설에 지나지 않지만 이것에 대한 반증이 없는 한 옳은 것으로 생각할 수 있다. 아주 가까운 문제에서도 이와같이 생각하면 의외로 도움이 된다. 가령 점전하가 주어졌다고 하고 이때 점전하 주위의 전기력선을 그린다 면 바로 그림 3-(a)처럼 그려지고 그림 3-(b)와 같이는 그려지지 않는다. 어째서 그런가?



<그림 3> 점전하 주위의 전기력선 모양

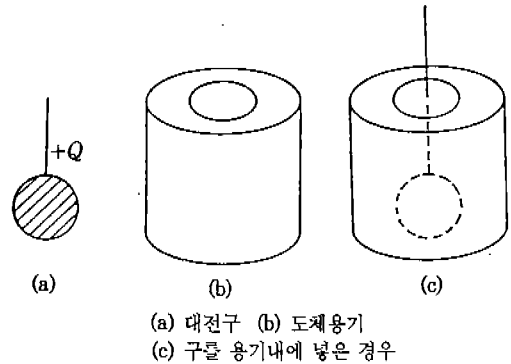
Maxwell의 제1식(가우스의 법칙)에 의하면 전속은 전하로부터 출발해서 전하에서 끝나지만 이 점 전하에서 출발한 전속은 어디서 끝나게 되는가? 그림 3-(a)처럼 방사상으로 그려진 전기력선은 도중에는 구부러지지 않기 때문에 훨씬 앞의 어딘가에 부의 전하가 균등하게 분포하고 있지 않으면 안된다는 것을 보여주고 있다. 이것은 결국, 그림 4-(a)에서 외측의 구가 무한히 큰 경우에 상당하고 이 외각의 전하와 내부구의 전하량이 동등하게 되며 전전하는 영(Zero)이라고 말하는 조건을 만족하게 된다. 결국, 그림 3-(a)를 그리는 것은 무의식중에 무한원점에 같은 양의 부의 전하가 있는 것을 가정하고 있는 것을 의미한다. 그림 3-(b)와 같이 그리는 사람은 그림 4-(b)를 염두에 둔 사람으로, 이 경우도 전전하 영(Zero)의 조건은 만족되고 있다. 이와 같이 문제인 몇개의 전하가 있고, 그 합이 영(Zero)으로 되지 않는 경우에는 반드시 무한원점(실체는 유한한점, 예를들면 지구표면 등)에 나머지 전하가 있으며 전체가 영(Zero)이라고 생각하지 않으면 안된다.



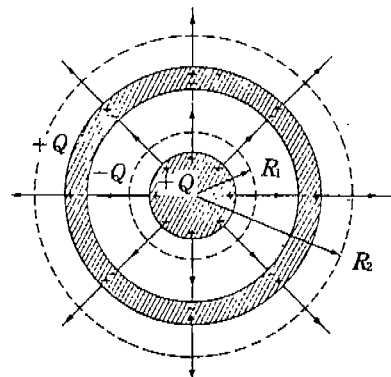
<그림 4> 전전하를 고려해 넣은 경우

4.2 페라데이 케이지(Faraday cage)

페라데이 케이지가 무엇인가를 한마디로 표현하는 것은 어렵기 때문에 현상적으로 설명해보자. 페라데이 케이지는 페라데이 아이스 페일(Faraday ice pail)이라고도 일컬어 진다. 우선 그림 5를 참고로 한다. 그림과 같이 대전구를 절연성 좋은 실로 매달아 내리는 경우를 생각하고, 이 구를 (b)의 금속용기내에 용기와는 접촉하지 않게 아래로 매달고 상부를 완전하게 막는다. 이 그림(c)의 상태를 밖에서 보면 용기의 외부에도 전하 Q가 나타나고, 실제의 전하는 구에서 용기로 이동하지 않는데 마치 용기가 전하 Q를 가지고 있는 것처럼 보인다. 그 다음에 이 용기를 접지하면 용기상의 전하는 없게 되지만 뚜껑을 열고 대전구를 끄집어 내면 이번에는 용기가 -Q로 대전된다. 이들 일련의 실험이 페라데이 케이지



<그림 5> 파라데이 케이지 설명(1)



<그림 6> 파라데이 케이지 설명(2)

의 특징을 잘 나타내고 있다. 이 현상을 이제 이론적으로 나타내면 그림 6과 같이 된다. 간단하게 말하면, 가우스의 법칙을 용기의 내측(R_1)에 적용하거나 외측(R_2)에 적용해도 내부에 포함되어 있는 전하는 동등하기 때문에 전 전속은 동등하지 않으면 안된다. 또, 도체내에는 전하가 존재하지 않으므로 용기의 외측에는 전속에 대응되는 전하가 나타나지 않으면 안된다. 부전하에서 발생한 전속은 용기내측의 부전하에서 끝난다. 즉, 용기의 외측은 $+Q$, 내측에는 $-Q$ 로 이것의 합은 영(Zero)으로 된다. 원래 용기는 중성이기 때문에 이 조건은 만족된다.

4.3 완화시간

정전기현상은 대전과 전하완화의 경쟁과정으로 볼 수 있다. 대전의 비율이 전하완화에 비해서 빠르면 전하의 존재를 인식할 수 있지만 후자쪽이 빠르면 전하의 존재는 인식할 수 없다. 여기에서 말하는 전하는 어디까지나 실제 전하이다. 일상생활에서 어떤 자극에 대한 개인의 감각속도는 각기 다르다. 정전기에 의한 자극은 대단히 빠른 속도로 지나가기 때문에 우리가 인식하는 순간 이미 전하는 완화된 상태이다. 다시말하면 완화시간이 초이상으로 길 경우가 정전기에서는 중요한 의미를 가진다.

정전에 있어서 완화시간이 어떻게 정의되는가를 조금 들여쳐 보자. Maxwell식중 전하의 보전법칙과 가우스법칙 및 선형매질에 대한 구성방정식은

$$(\partial\rho/\partial t) + \nabla \cdot \vec{J} = 0 \dots\dots\dots (10)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \dots\dots\dots (11)$$

$$\vec{J} = \sigma E^2 \dots\dots\dots (12)$$

$$\vec{D} = \epsilon E^2 \dots\dots\dots (13)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 σ 은 도전율, ϵ 은 유전율이고 모두 정수라고 가정한다. (12)식은 보통 옴의법칙이라고 불리는 것이다. (11)식과 (13)식으로부터

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon \dots\dots\dots (14)$$

(12)식을 (10)식에 대입하면

$$\partial\rho/\partial t + \sigma \nabla \cdot \vec{E} = 0 \dots\dots\dots (15)$$

(14)식을 (15)식으로부터

$$\partial\rho/\partial t + (\sigma/\epsilon)\rho = 0 \dots\dots\dots (16)$$

이 식에서 알 수 있는 것처럼 σ 는 시간만의 함수이

고 공간변수에 의존하지 않는다.

이 식의 해는

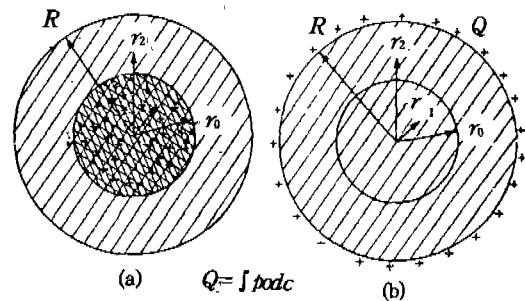
$$\rho = \rho_0 \exp^{-\nu t} \dots\dots\dots (17)$$

ρ_0 : 전하의 초기치

$$\tau = \epsilon/\sigma$$
: 완화시간 또는 완화시 정수 ... (18)

(17)식은 자주 보는 완화법칙이고 완화시간은 초기치가 $1/e=0.368$ 이 될 때까지의 시간으로 정의된다.

(16)식 혹은 (17)식에서 중요한 것은 이 완화시간은 공간변수의 함수가 아니라는 사실이다. 이것은 사실 중대한 의미를 가지고 있다. 예를들면, 그림 7과 같이 반경 R의 도체구를 생각하자. 이 구내의 반경 r_0 내의 영역에 밀도 ρ_0 의 전하가 존재하고 있는 것으로 하자. t초후에 도체내의 전하분포를 구하는 경우, 반경 r_1 의 점에서 전하는 시간과 함께 어떻게 변화하는가? r_2 의 점에서는 어떤가?



<그림 7> 도체구내의 공간전하의 움직임

구내부의 전하는 모두 구표면으로 이동하고 최종적으로는 구내부의 전하밀도는 영(Zero)으로 된다. 그 도중의 과정, 즉 전하의 이동중에 r_1, r_2 의 점에서 어떤 전하밀도를 관측할 수 있는가? r_1 의 점에서는 아마 단조감소한다고 예측할 수 있지만 문제는 r_2 의 점에서 이다. 처음은 전하밀도가 영(Zero)이고 최종적으로도 전하밀도는 영(Zero)이다. 그 도중에 전하의 이동시는 어떻게 되는가? 그 답은 (17)식에 초기치를 대입하면 구할 수 있다. 즉, 처음이 영(Zero)인 경우는 도중에 전하의 이동이 있어도 이것은 검지되지 않는다.

5. 정전기의 응용

정전기 현상의 이용은 크게 나누어서 정전기 응용과 정전기 장제해대책으로 분류할 수 있다. 전자는 아주 폭넓은 분야에서 다양한 형상으로 확장되고 있지만 일반사람들 눈에는 띄지 않는 것도 많다. 정전기 응용 중에서도 중요한 것은 정전기력을 이용하는 것으로서 그 기술의 기본은 대전된 물체(주로 미립자)를 전계의 힘을 이용해서 원하는 것을 할 수 있게 하는 것이다. 대단히 많은 것이 실용화, 혹은 연구단계에 있지만 그 몇가지를 [표 1]에 나타낸다.

<표 1> 정전기력의 응용에

공기중의 먼지제거	전기집진장치
감광체상의 잠상을 토너류를 이용해서 가시화함.	전자사진, 정전인쇄
도료를 대상물에 균일하게 부착시킴.	정전도장
분체를 종류 혹은 크기에 따라 나눔.	정전분리, 정전분급
원하는 세포를 모으거나 분류함.	세포조작
농약을 작물에 균일하게 부착시킴.	정전농약살포
단섬유를 기계상에 동일하게 이식시킴.	정전직모
절연체상의 전하에 가한 힘을 이용해서 토르크를 얻음.	정전모터
액체표면에 가한 전계의 힘을 이용해서 미립화 함.	정전무화
불균일전계를 이용해서 용액중의 미립자를 제거.	정전여과

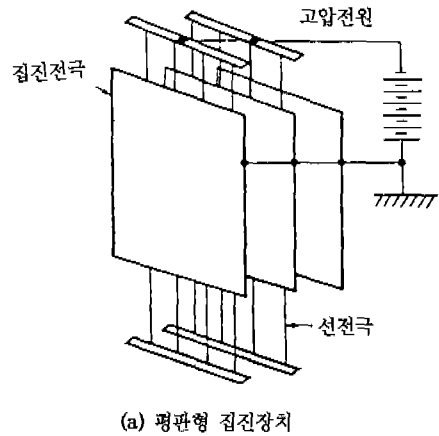
여기에 열거한 일례는 명확하지 않은 것처럼 보이지만 이것은 정전기 응용이 대단히 넓은 분야로 응용되어 지고 있음을 보여준다. 예를들면 전자사진이나 정전인쇄를 상세하게 조사해 보면 정전기현상을 이용하는 방식에도 대단히 많은 종류가 있으며 그 하나하나가 다른 응용이라고 생각될 정도로 차이가 있다. 지금까지 다른 방법으로 한 것도 여기서 나열한 응용으로부터 유추하면 새로운 정전기 응용이 생각될 가능성도 있다. 다음절부터 현재 사용되고 있는 정전기 응용중 몇가지에 대해서 조금 상세하게 서술한다.

정전기 장제해는 일반사람에게 잘 알려진 것처럼

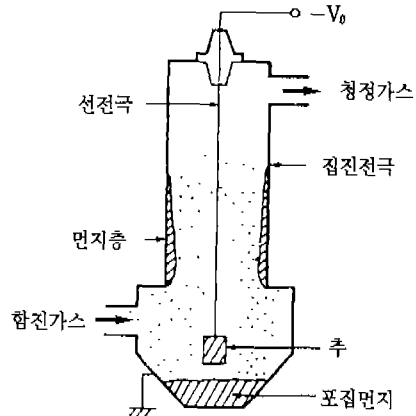
아주 가까운 것에서 반도체의 정전과피까지 폭넓은 분야에 존재한다. 이에 관해서도 알아보기로 한다.

6. 전기집진장치

전기집진의 기본구조는 그림 8-(a), (b)에 나타낸 것처럼 선전극과 집진전극으로 구성되어 있으며 선전극에 통상 부의 고전압을 인가한다. 선전극과 집진전극간에 먼지를 포함한 공기를 통과시키면 먼지가 선전극에서 방출된 부이온 샤워를 쫓아서 대전하게 되고 집진전극간의 전계에 의해서 집진전극에 포집되고 출구에는 먼지를 함유하지 않은 깨끗한 공기가 나온다. 그러므로 이 집진과정은 먼지입자의 대전과 집진의 두단계로 나누어서 생각할 수 있다. 이



(a) 평판형 집진장치

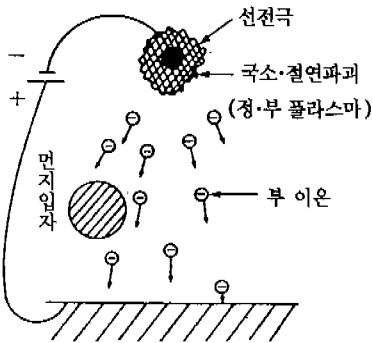


(b) 원통형 집진장치

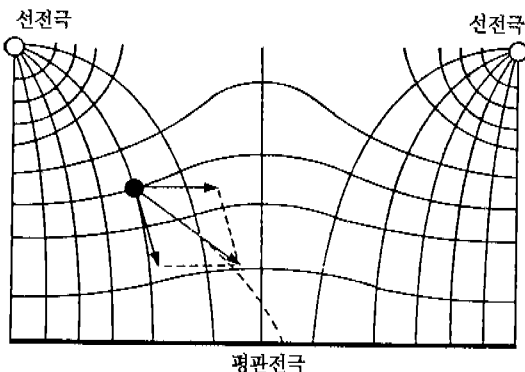
<그림 8> 전기집진장치

과정이 두 단계별로 나누어진 집진장치도 있지만 여기에서는 나누어지지 않은 것에 대해서 조금 더 자세하게 설명한다.

선대평판처럼 비대칭 전극간에 직류고전압을 인가하면 전극간의 전계분포는 극단적으로 비대칭이 된다. 즉, 선전극부근의 전계강도가 대단히 크게 되어서 공기의 절연파괴강도를 초월하지만 약간 떨어진 부분에서는 절연파괴강도 이하로 된다. 이와같이 비대칭전극 구조에서는 단극성 이온이 평판전극방향으로 이동한다. 이것을 모델화한 것이 그림 9이고 플라즈마 영역에는 정, 부이온이 혼재하고 있지만 거기에서 떨어진 영역에서는 이 그림의 경우 부이온만이 운동한다. 이와같이 단극성 이온이 충전되어 있는 영역에 중성의 입자가 침입해 오면 그 입자는 부이온의 충돌을 받아서 부로 대전된다. 그림 9에서는 이 관계를 과장하였지만 실제입자는 μm 정도인 것에



<그림 9> 부이온 샤워에 의한 입자의 대전

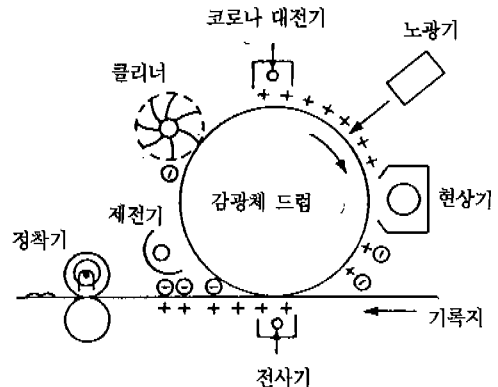


<그림 10> 평판형 집진 장치내의 전계분포

대해 부이온은 공기분자의 크기이기 때문에 nm 정도이다. 따라서 크기가 수 오다 차이가 있다.

그림 10은 그림 8-(a)의 평판형 집진장치에서 전극내의 전계분포를 모델화한 것으로 그림에서 좌측에서부터 우측방향으로 입자를 포함한 가스의 흐름이 있다면 선전극에서 부이온의 충돌을 받아 대전된 입자는 입자에 가해진 가스의 흐름에 의한 운송력, 전극간의 전계에 의한 힘, 공기의 점성저항력 등의 합성력을 받으며 이 합성력은 그림에서와 같이 경사진 아래방향의 힘이되므로 입자는 아래쪽의 집진전극을 향해서 운동한다. 집진전극 부근에서는 더욱이 전기영상력도 작용하기 때문에 강력하게 집진전극으로 흡입된다. 전극에 부착된 입자는 전하를 전극에 주고, 중성으로 되지만 반데어발스의 힘에 의해서 전극에 부착한 상태로 된다. 이와같이 해서 퇴적된 먼지입자는 집진전극에서 제거되지 않으면 안된다. 통상은 전극을 두드려서 낮은 쪽으로 떨어 뜨려 제거한다.

전기집진의 원리는 이와같이 간단한 것이며 가스 흐름내에 장애가 되는 물체가 없기 때문에 압력손실이 적고 미세한 먼지까지도 포집하는 등 많은 장점이 있는 반면, 먼지의 전기적 성질에 따라 역전리가 일어나는 등의 문제도 있으며 실재는 이것 만큼 간단한 것은 아니다.



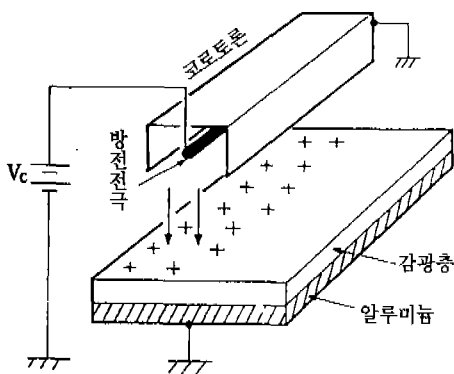
<그림 11> 칼슨법의 원리도

7. 전자사진

통상, 전자사진이라고 일컬어지는 것은 보통사진, 소위 은염사진과 같은 제조성이 높은 것 보다도 문자류를 주체로 한 영상형성기술을 의미하고 있다. 일반적으로 말하면 광도전, 광기전력, 광분극과 같이 광전현상에 의해서 영상을 만든 것 모두를 망라하고 그 영상형성방식이 다양하게 제안되고 있다. 그러나 실용화되어 있는 것은 칼슨법이라고 부르고 있는 것이 대부분이다.

칼슨법을 사용한 전자사진 복사기의 원리는 그림 11에서 나타낸 것과 같고 광도전성이 있는 감광층을 가진 드럼상에 코로나방전에 의해서 전하층을 형성한다. 이 감광층은 광이 세지 않은 장소는 고저항이고 그 전하는 표면에 보존되어 있지만 노광기에 의해서 노광되면 광도전현상에 의해서 감광층의 도전율이 크게 되며 표면전하가 감소한다. 이처럼 표면에 전하밀도의 조밀분포에 의한 소위 잠상이 생긴다. 다음에 현상기에서 이 잠상위에 역극성으로 대전된 토너를 뿌리면 표면상의 전하의 크기에 대응되는 토너가 부착되어 현상이 행해진다.

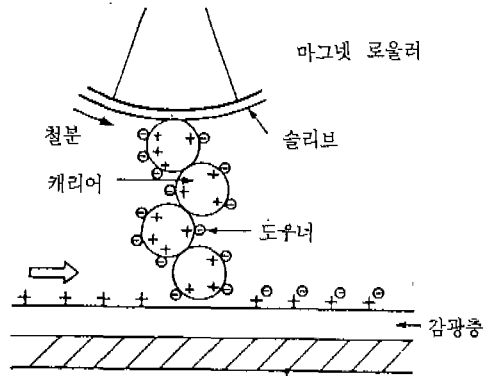
이 토너상의 위에 보통종이를 올리고 종이의 뒤쪽에 토너와 역극성의 전하를 주면 토너형상은 정전기력에 의해서 종지로 전사된다. 이것을 열로올러용융, 고착하는 것으로 완성한다.



<그림 12> 코로토론에 의한 대전

전자사진에서 사용되고 있는 코로나 대전장치의 하나는 코로토론(그림 12 참조)이라고 부르는 것으로 50~100 μ m의 텅스텐방전선 주위의 반공간을 접지전극으로 덮은 것이다. 통상 이 방전전극에 5~10kV 정도의 고전압을 인가하면 코로나전류가 방전선에서 방전전극으로 흐른다. 이 방전전류의 일부가 코로나 대전에 사용된다.

초기에 사용된 현상법은 가스게이트현상법으로 불려졌던 5~20 μ m 정도의 토너와 200~300 μ m 정도의 캐리어를 혼합해서 감광층상에 자연낙하시켜 현상했다. 최근에는 자기브러시현상법이 대부분이다. 100 μ m 크기의 철분 캐리어와 토너를 일정비율로 혼합하고 마찰시키면 그림 13과 같이 캐리어 표면에 토너가 부착되어 있다. 현상용 마그넷 롤러상에 비자성 슬리브를 설치한 롤러위의 캐리어는 자기력에 의해 부착되어 마치 슬리브에 브러시와 같이 연결되어 있기 때문에 자기브러시법이라고 부르고 있다. 이 토너는 감광층의 잠상전하와의 정전기력에 의해 감광층 위에 부착된다.



<그림 13> 자기브러시 현상법

통상 사용되고 있는 전사법은 코로나 전사법이라고 부르는 것이며 종이의 안쪽에 코로나방전으로 전하를 올려주면 그 전하와 토너와의 정전기력에 의해 토너가 종지로 전사된다.

<다음호에 계속.....>