

정전회전기의 기대되는 응용분야

역/대한전기시험회

머리말

통상적인 발전기나 모터는 회전운동하는 것이기 때문에 에너지 변환기와 회전기는 동일한 것이라는 이미지를 갖는다. 그러나 리니어 모터와 같이 지금은 회전하지 않는 에너지 변환기도 실용화되고 있으므로 정전회전기 보다는 오히려 정전에너지 변환기라고 하여야 할지도 모르겠다. 그러한 의미에 있어서 본론에 들어가기 전에 에너지 변환에 대해서 간단히 언급해 두기로 한다.

1. 에너지 변환

에너지 변환이라고 하면 일반적으로 대단히 광범위한 것이지만 여기서는 전기 에너지와 기계적 운동 에너지의 변환에 대해서 알아본다.

전기 에너지는 통상 자계 에너지와 전계 에너지의 형으로 축적된다. 자계 에너지를 축적시키는 인덕터의 기하학적 형상이 시간과 더불어 변화하는 경우 전기 에너지와 기계적 운동에너지(이하 기계 에너지라 칭한다)로 변환을 시킬 수가 있다.

동일하게 전계의 에너지를 축적하는 캐퍼시터로 변환을 시킬 수도 있으며 전자를 자계형 에너지변환기, 후자를 전계형 에너지변환기라고 한다. 보통 의미

에서의 발전기, 모터는 자계형이다. 또 한편의 전계형이 존재하는데도 불구하고 전기기계 교과서에 거의 기술되어 있지 않은 것은 현재로는 변환되는 에너지의 양이 자계형에 비해서 극단적으로 작기 때문이다. 양자를 비교해 보면 자계형은 저전압 대전류, 전계형은 고전압 소전류라고 생각할 수 있다.

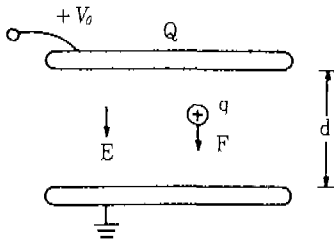
2. 정전발전기

근래에는 정전발전기를 보는 눈도 달라져 자계형과는 상이한 특징을 갖는 발전기라고 생각할 수가 있다. 첫째의 특징은 고전압 발생원으로서의 유용성이다. 현재, 전기 집진장치, 정전도장, 전자사진 등 많은 정전응용기기가 실용되고 있는데 이들 전부가 고압전원을 필요로 한다. 예를 들면 입자가속기로서 메가볼트 이상의 고전압을 필요로 하는 경우 이미 정전발전기 이외는 존재하지 않는다. 두번째 특징은 단위체적당의 증량 저감이다. 자계형은 그 주요 구성재료가 자속이 통하기 쉬운 철과 전류가 통하기 쉬운 동인데 비해 전자계는 고전압 절연을 위한 절연재료가 주체이고 동과 같은 금속재료는 극소이다.

이하, 정전발전기 중에서도 특징적인 것에 대해서 간단히 설명한다.

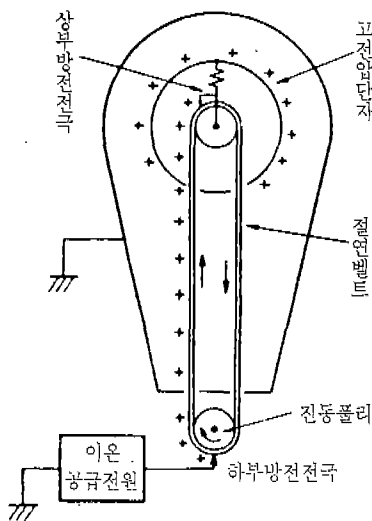
(1) 번데그라프 발전기

<그림 1>과 같이 2개의 평판전극간에 직류전압을 인가한 후에 그 전원을 끊는다. 전극간 공간에는 일정전계 $E = V_0 / d$ 가 발생한다. 전하 q 를 그 사이에



<그림 1> 발전기의 기초원리

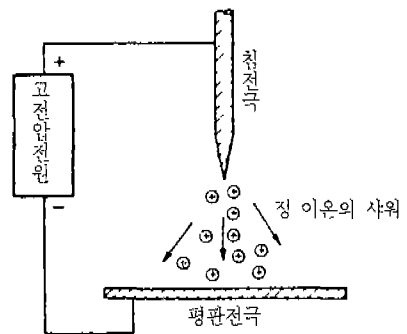
두면 $F = qE$ 라는 힘을 받으며 그 힘은 그림과 같이 하향이다. 만일 외부에서 가한 힘에 의해 이 전하를 상부 전극으로 가지고 가면 상부 전극의 전하는 최초의 값 Q 와 운반된 전하 q 의 합, 즉 $Q + q$ 가 된다. 상부 전극전위는 그 분량만큼 상승한다. 전하 q 를 하부 전극에서 상부 전극으로 연속적으로 운반할 수 있도록 한 것이 번데그라프 발전기이다.



<그림 2> 번데그라프 발전기

그 구조는 <그림 2>와 같으며 절연성 벨트가 전하의 운반역할을 한다. 벨트 위에 어떻게 전하를 얻는가가 이 발전기의 중요한 포인트가 된다. 간단한 방법은 마찰에 의한 대전이 있지만 전하량을 일정하게 하는 것이 용이하지 않기 때문에 거의 사용되지 않고 일반적으로 코로나 방전이 사용된다.

코로나 방전은 <그림 3>과 같이 침 또는 세선과



<그림 3> 불평등 전계에 의한 코로나 방전

평판전극간에 고전압을 인가한 경우에 생기는 것으로서, 그 특징은 단극성 이온(그림의 경우는 정 이온)이 공기중에 방출되는 것이다. 그래서 절연성 벨트를 금속 평판상에 흐르게 하면 벨트 표면에 단극성 이온을 얻을 수가 있다.

벨트 상의 전하는 고전압 단자구내에서 방전전극에 의해 제거된다. 이 과정도 역시 코로나 방전이지만 증가적으로는 벨트 상의 전하가 단자구에 옮겨진다고 생각할 수가 있다. 벨트와 지주의 도전율이 0인 완전절연체의 경우 고압단자의 전위는 다음 식으로 부여된다.

$$V = \int \frac{\rho b u}{C_0} dt$$

여기서 C_0 : 단자구와 접지전극간의 커패시턴스

ρ : 벨트 상의 전하밀도

b : 벨트 폭

u : 벨트 속도

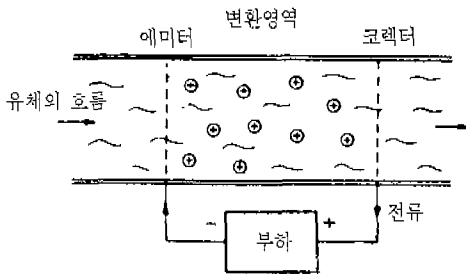
이 고압단자가 부하에 연결되어 있지 않은 경우 이론적으로는 전위가 얼마든지 상승하지만 현실적으

로는 기체의 절연과괴강도에 따라 정해진다. 현재의 최고전압은 20(MV)이상이다.

(2) 유체역학적 발전기(EHD 발전기)

현재의 발전방식은 전부 간접발전으로서, 예를 들면 석유화력발전의 경우 석유가 갖는 화학 에너지를 열 에너지, 수증기의 운동 에너지, 터빈의 회전 에너지와 같이 순차 변환하고 최종적으로 전기 에너지로 변환하는 몇 단계의 변환과정을 걸쳐고 있다. 각각의 변환과정에 손실이 있기 때문에 총합적 효율은 그리 높지 못한다.

EHD 발전은 유체의 운동 에너지에서 직접 전기 에너지를 얻으려는 것으로서, 그 원리를 <그림 4>에 든다. 에미터 부분에서 유체내에 이온이 주입되면 이 이온은 유체운동에 의해 코렉터까지 운반된다. 이



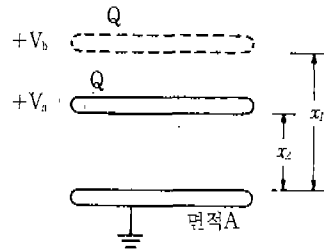
<그림 4> 유체역학적 발전기

에미터와 코렉터 간이 전기 에너지로 변환되는 영역이다. 이 코렉터에서 모아진 전하는 외부 부하로 공급된다.

이 EHD 발전기는 단순히 번데그라프 발전기의 벨트 부분을 유체로 바꾸었다고 생각할 수 있다. 그러나 벨트는 전하의 분포가 면상에서 벨트에 고착되어 있기 때문에 벨트와 전하의 운동은 일치하고 있는데 비해 유체의 경우 코렉터에서 에미터를 향하는 전계에 의한 전하의 운동도 고려하여야 한다. 만일 유체로서 기체를 사용한 경우는 이온의 이동도가 크며 에너지 변환이 효율적으로 되지 않는다. 이 때문에 이동도가 작은 고체 또는 액체입자를 넣은 2상식으

로 할 필요가 있다. 액체의 경우 이온 이동도가 작기 때문에 이와 같은 문제는 적지만 반면 점성저항손실이 커지는 문제가 있다.

(3) 가변용량형 발전기



<그림 5> 가변용량형 발전의 원리

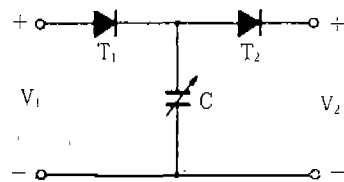
2개의 평행평판형 캐패시터로, <그림 5>와 같이 그 거리가 x_1 일 때 상부전극에 Q 의 전하를 부여하면 그때의 전위는

$$V_a = \frac{Q}{C_1} = \frac{QX_1}{\epsilon_0 \epsilon A}$$

이 된다. 외부로부터의 힘에 의해 x_1 에서 x_2 로 이동했을 때 그 전위는

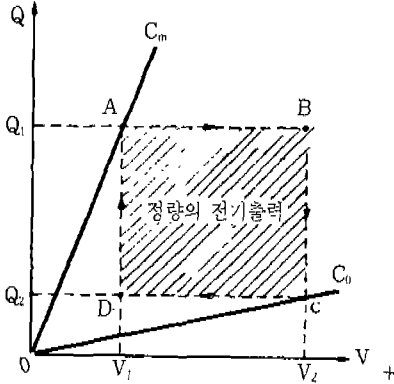
$$V_b = \frac{Q}{C_2} = \frac{QX_2}{\epsilon_0 A} = \frac{X_2}{X_1} V_a$$

와 같이 상승한다. 그래서 <그림 6>과 같이 두 직류전원 V_1, V_2 와 다이오드를 접속하면 전압이 낮은



<그림 6> 가변용량형 발전기

V_1 에서 높은 V_2 로 전하를 이동시킬 수 있다. 이 동작은 일종의 손으로 조작하는 펌프로 낮은 수위의 물을 높은 수위로 끌어 올리는 것과 비슷하다. <그림 5>의 상부전극판이 x_1-x_2 간을 왕복운동하는 것으로 하고 그때의 최대 캐패시턴스를 C_{1k} 최소 캐퍼



<그림 7> 에너지 사이클

시턴스를 C_0 라고 하면 그 동작원리를 <그림 7>로 표시할 수가 있다. 그림의 A→B간에서는 캐패시터 전위 V 가 $V_1 < V < V_2$ 이기 때문에 어느 다이오드도 오프 상태가 되고 일정전하 상태에서 x_1 에서 x_2 로 이동한다. B→C는 $V_1 = V_2$ 로서 $Q_1 - Q_2$ 의 전하가 전원 V_2 에 공급된다. C→D는 일정전하, D→A는 일정전압으로서, 결국 이 1사이클에서 전원 V_1 으로부터 $Q_1 - Q_2$ 의 전하가 전원 V_2 에 공급되고 이것이 이 발전기의 전기적 출력이 된다. 실제의 것은 왕복운동이 아니고 회전운동을 하도록 제작되어 있는데, 우주선용 전원으로 개발된 것은 40극의 원판을 10,000 [rpm]으로 고속 회전시키고 있다.

3. 정전 모터

단순하게 생각하면 정전 모터는 전기 에너지를 기계 에너지로 변환하는 것이므로 정전발전기를 반대로 사용함으로써 실현될 것이지만 실제로는 비가역 현상 등을 포함하기 때문에 그리 간단하지가 않다. 정전 모터의 결점은 발전기와 동일하게 출력 파워가 작은 점에 있는데, 센서와 같은 용도에는 반드시 큰 파워가 필요치 않고 오히려 경량이라는 이점을 살릴 수가 있다.

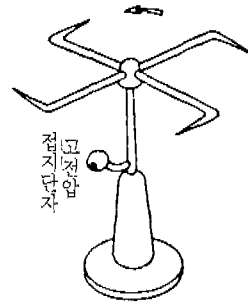
정전 모터가 발전기 보다 훨씬 종류가 많으며 그

분류가 용이하지 않지만 대표적인 것을 몇가지 소개한다.

(1) 전기풍 모터

<그림 3>에 든 침대평판전극구조로 전극간에 고전압을 인가한 경우 코로나 방전을 발생, 단극성 이온이 방출되는 것을 기술했지만, 이 단극성 이온이 평판전극을 향할 때 대전분자, 즉 이온이 중성의 기체분자와 충돌하여 이른바 끌림효과가 발생한다. 결과적으로 침 선단에서 평판방향을 향하는 바람이 부는데, 이 바람을 전기풍이나 코로나풍이라 한다.

<그림 8>은 이 전기풍에 의한 반동력을 이용한 것으로서 전기풍 모터라고 불린다. 이 경우의 코로나



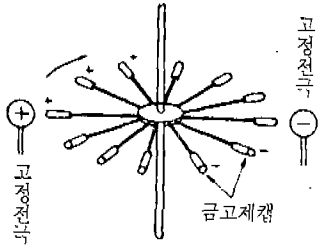
<그림 8> 전기풍 모터

방전은 형 방전전극과 대지간에서 생기는데 전극의 대향양극 구조를 연구함으로써 효율적인 모터를 만들 수가 있다. 이 전기풍 모터의 원리를 이용해서 천체구의를 움직이려고 시도된 일도 있다. 또, 가동편에서의 방전이 아니고 고정부에서 전기풍을 발생시켜 풍차를 회전시키는 방법도 있다.

(2) 스파크 모터

전향의 모터는 전기풍에 의한 반동력과 동시에 방출된 공간전하와 회전자간의 반발력에 의한 운동도 생각할 수 있다. 이 반발력을 적극적으로 이용한 것이 스파크 모터로서 그 구조는 <그림 9>와 같다.

이것은 Franklin이 생각해 낸 것으로서 방사상 유

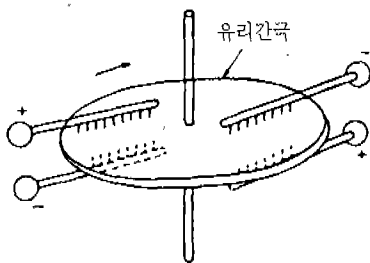


<그림 9> Franklin의 스파크 모터

리봉 선단에 금속 캡이 부착되어 있다. 고정전극간에 고전압을 인가하면 접근된 금속 캡과 고정전극간에 스파크 방전이 발생하고 전하가 이동된다. 그림과 같이 정에 대전한 캡은 정의 고정전극으로부터 반발력, 부의 고정전극으로부터 흡인력을 받아 화살표 방향으로 회전한다. 캡은 계속하여 접근, 방전을 반복하기 때문에 회전자는 연속회전을 한다. 결점은 회전 방향이 일정하게 결정되지 않으므로 특별한 연구가 필요하다.

(3) 코로나 모터

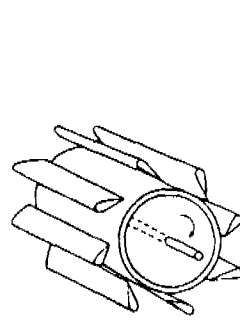
정전 모터는 전계가 일정한 경우는 전하량이 클수록 큰 출력을 낸다. 그 큰 전하량을 받기 위해서는 회전자를 절연물로 만들어 전하를 표면 전체에 일정하게 분포하도록 하면 큰 출력을 바랄 수 있다. 그러나 번대그라프 발전기에서 언급한 바와 같이 절연물 표면에 전하를 싣는 것은 실제 코로나 방전 이외에



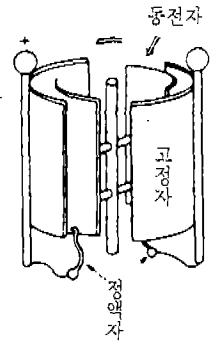
<그림 10> Poggendorff의 코로나 모터

는 없다. 이 방식을 유리 원판상에서 실현시킨 것이 Poggendorff의 코로나 모터로서 <그림 10>에 든다.

빗형상의 전극간 방전에 의해 원판 표면에 얹혀진 전체의 전하가 전기력에 기여하기 때문에 지금까지 기술한 정전 모터보다 큰 출력을 낼 수 있다. Karpov의 모터의 <그림 11>과 같은 것으로서 6,000(rpm)의 고속회전을 달성하고 있다.



<그림 11> Karpov의 코로나 모터



<그림 12> Van Huffel의 캐퍼시턴스 모터

(4) 캐퍼시턴스 모터

코로나 모터의 결점은 절연체 상에 전하를 부여하기 때문에 코로나 방전이라는 곤란한 것을 취급할 필요가 있는데, 도체의 경우에는 유도대전이라고 하는 비교적 용이한 방법으로 전하를 부여할 수가 있다. 그러나 전하가 전계의 작용을 받아도 그 전하는 자유롭게 움직일 수 있어 회전부분의 구동력이 되지 않는다. 절연원판의 경우 전하가 원판에 고정되어 있기 때문에 전하에 작용하는 힘이 그대로 회전력이 되는데 도체의 경우는 도체편을 분할하여 전하가 이동할 수 있는 거리를 제한하여야 한다.

<그림 12>는 Van Huffel의 2극 캐퍼시턴스 모터의 예로서, 그림 위치에서는 회전자의 우측 섹터가 부로, 좌측이 정으로 대전하기 때문에 화살표 방향의 회전력을 받는다. 전하의 공급은 브러시의 접촉이 떨어질 때까지 계속되며, 예를 들면 좌측의 섹터가 우

축의 부고정자 위치에 왔을 때 브러시 접촉이 행하여지므로 회전자상의 전하가 교환된다.

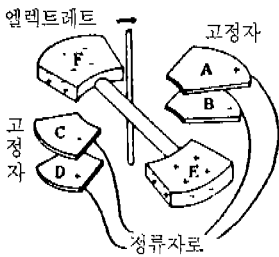
이 모터의 특징중 하나는 코로나 방전에 의한 손실이 적기 때문에 전압이 비교적 낮아도 되는 것과 교류의 동기 모터로도 될 수 있는 것이다.

(5) 엘렉트레트 모터

엘렉트레트는 영구자석과 대를 이루는 전자계에서의 영구자석으로 생각하면 이해하기 쉽다. 근년, 이 엘렉트레트의 응용이 급속히 확산되어 예를 들면 헤드폰에서는 대부분 엘렉트레트가 사용되고 있다.

엘렉트레트 모터의 원리는 기본적으로는 캐퍼시턴스 모터로 생각할 수가 있다. 즉, 고정자나 회전자의 한쪽 전하를 외부 전원에서 부여하는 대신 엘렉트레트를 이용하려는 것이다.

회전자에 엘렉트레트를 사용한 예를 <그림 13>에 든다. 그림의 고정자대 A, B와 C, D에는 반대방향



<그림 13> 엘렉트레트 모터

의 전계가 가해지고 있으며, 엘렉트레트 E와 F는 각각 반대방향으로 연결되어 있다. 이 그림의 상태에서 F는 A, B 방향으로 끌리고 E는 C, D 방향으로 끌린다. F가 AB, E가 CD를 통과할 때 A, B와 C, D에 가해지는 전원의 방향을 역전시킴으로써 회전운동을 계속시킬 수가 있다.

엘렉트레트는 공기중에 방치되면 그 전하가 차차 상실되지만 차폐하면 길게 유지시킬 수가 있다. 그래서 고정전극의 면적을 넓히고 엘렉트레트 전체를 감싸는 형으로 한 것이 수명면으로나 효율면으로 우수하다.

맺음말

처음에 기술한 바와 같이 전계형과 자계형 에너지 변환은 쌍벽을 이루는데도 불구하고 실용화되고 있는 것은 대부분 자계형이다. 그러므로 최근의 새로운 재료의 출현에 입각해서도 전계형 에너지 변환을 다시 한번 재검토할 필요가 있다고 본다.

정전발전기는 초고압 발생원으로서의 독무대이지만 일반적인 정전기 응용기기의 전원으로서 그 지위를 확보할 수 있는가의 여부는 신재료의 개발, 보다 효과적인 발전방식의 개발 등 많은 과제를 안고 있다. 그러나 센서로서 정전발전기는 경량이라는 특색을 살릴 수가 있기 때문에 그 장래가 기대된다. 특히 엘렉트레트를 이용한 발전기는 특별한 전원을 필요로 하지 않는 것도 있어 성능의 향상, 안정성 문제가 해결되면 시장의 큰 분야를 차지할 것으로 본다.

정전 모터의 경우, 발전기와 같은 필연성이 있는 분야가 없기 때문에 자계형과 대등하게 경쟁할 필요가 있어 곤란하다. 그러나 엘렉트레트와 같은 새로운 소재의 출현에 의해 전혀 새로운 원리의 모터가 생길 가능성도 있다.

