

풍력을 위한 소용량 EGD 발전기에 관한 기초적 연구

전춘생* · 박기남** · 임응춘***

*인하대 전기공학과

**인하대 대학원 전기공학과

***인하대 대학원 전기공학과

Basic study on the EGD Generator of Small Capacity for the Wind Power

Choon-Saing Jhoun* · Ki-Nam Park** · Eung-Choon Lim***

**Inha Univ*

***Graduate School, Inha Univ*

****Graduate School, Inha Univ*

Abstract

In this paper an EGD generator of small capacity with the operating gases of O₂, N₂ and air is made and the electric characteristics in relation to energy conversion range length, corona current and gas pressure are investigated.

The results are as follows :

1. There is a critical value in conversion range length for maximum open voltage and the critical value increases with fluid velocity.
2. The open voltage increases approximately linearly with corona current.
3. There is a critical value in the gas pressure for maximum open voltage and this pressure of gas decreases with fluid velocity in constant conversion range length.

I. 서 론

종래의 발전 방식은 열이나 위치 에너지를 기계적 에너지로 바꾼 후에 수송, 제어 및 취급등이 용이하다는 점에서 최종적으로 전기적 에너지로 변환시키는 경우가 많았다.

그러나 이러한 전기 에너지로 변환하는 장치는 안전성, 높은 변환효율, 긴 수명 및 경제성등이 우수해야 하므로 그 구비조건으로는

1) 마모, 소음, 진동, 고장 및 동작의 안정성으로 보아 가능한 한 회전부가 없는 정지상태의 장치일 것.

2) 직류를 발생할 수 있으며 필요에 따라 교류도 얻을 수 있을 것.

3) 최소한 15~20% 이상의 변환 효율을 가질 것을 열거할 수 있다.¹⁾

따라서 기계적인 회전부를 생략하여 발전하는 직접 발전방식에는 지금까지 태양전지, 열전자 발전, 열료 전지, MHD 발전 등이 있는데 일부 실용화 되고 있는 것도 있다. 이러한 직접발전 중에서도 최근 초진공, 초고압 및 레이저 광학 등과 같은 분야가 활발히 연구가 진행되면서 새로운 전기 에너지원으로써 주목을 받고 있는 것 전기 유체 역학적 발전(Electro-Fluid-Dynamics : EFD)이다.²⁾

EFD 발전이란 하전입자에 외력을 주어 전기장과 반대방향으로 이동시키면 이입자는 그 만큼 위치 에너지가 증가하게 된다.

그러므로 발생하는 전기장과 역방향으로 작동 유체를 흘리고, 그 속에 적당한 방법으로 양의 하전입자를 주입시키든가 또는 전기장 방향으로 작동유체를 흘려 그 중에 음의 하전입자를 주입하면 유체 역학적 에너지를 전기적 에너지로 변환시킬 수 있는 것이 이 발전 방식이다.

이때 작동유체가 기체이면 전기가스유체역학적 발전(Electro-Gas-Dynamics : EGD), 액체이면 전기액체유체역학적 발전(Electro-Hydro-Dynamics : EHD)이라 한다.^{1),2)}

이 발전 방식의 특징으로는 구조의 간소화, 장치의 안정성, 소형화(수 cm 정도 있다), 낮은 설치비용외에 소전류 고전압을 쉽게 얻을 수 있다는 이 점이 있다.³⁾⁴⁾

그리고 같은 직접발전 방식인 MHD 발전방식이 저전압, 대용량인데 비해 저전류, 고전압의 전원으로써 이용되는 EFD 발전은 고온에서 작동시킬 필요가 없으므로, 재료의 내구성과 안전성이 풍부하고 자석을 쓰지 않으므로 출력 중량비를 크게 할 수 있다.^{2),4)}

EGD 발전기에 있어서는 기체의 큰 하전입자 방출 능력과 속도를 상승시키므로써 5[MW/m²]의 전력밀도를 얻을 수 있다는 사실이 W. E. Bentte⁵⁾에 의해 처음으로 제시되었다. 그후 EGD발전기의 원리를 이용하여 대체에너지를 개발할 목적으로 종래의 방식과는 다른 풍력을 직접 전기 에너지로 변환시킬 수 있다⁶⁾는 생각으로까지 발전되었다.

본 연구에서는 풍력을 이용한 EGD 발전에 관한 연구를 위하여 작동기체로서 공기 및 산소, 질소 등의 하전입자와의 친화력이 강한 기체에 대해서도 실험한 것이다. 풍력 방향에 따라 추적하는 깔때기(funnel) 모양으로 생긴 풍력수증장치를 설치하여 이것의 좁은 단면으로된 노즐(nozzle)에서 나오는 높은 풍속도를 본 실험 장치의 기체주입구 부분에 연결시켜 이 EGD 발전 방식을 풍력 변환기로 이용하려고 이에 대한 기초실험을 한 것이다.

실험장치로서는 절연내력이 좋고 가공이 용이한 아크릴을 재료로 사용하여 치수가 다른 두 종류의 에너지변환로를 제작하였다. 그리고 실험을 간소화 하기 위하여 필요한 압력을 쉽게 얻을 수 있는 기체로 시판되는 압축산소, 질소 그리고 공기등을 본장치의 작동기체로 사용하였다. 또 코로나방전용, 직류소용량 전원을 구성하여 작동 기체내에서 코로나 방전을 발생시켜 하전입자를 얻었다. 그리고 작동기체의 운동에너지로 크게 증폭된 소전류 고전압의 전기적 에너지를 발생시킬 수 있는 실험에 편리한 EGD 발전기를 제작하였다.

특히, 회전부분이 없는 EGD 풍력 발전기 개발을 위한 기초적인 특성을 얻기 위하여 공기를

작동기체로 이용하여 실험하였다. 이때 공기의 작동기체로서의 물리적 성질을 향상시키기 위하여 하전입자에 대한 slip속도가 적은 가스를 여기에 약간 첨가하여 장치 발전기의 성능을 향상시킬 목적으로 O₂ 또는 N₂ 가스도 작동기체로 이용하였고, 이 작동기체에 대한 몇가지 에너지 변환로의 변수에 미치는 전기적 특성을 측정, 검토하였다.

II. 기본 이론

그림 2-1는 전기유체역학적 발전원리를 나타낸 선도이다.

전기적으로 절연시킨 변환로 D중에서 인젝터(injector)를 형성하는 도전성의 침상 전극 에미터(emitter) N와 원통상전극 애트랙터(tractor) A를 설치하고, 이것에서 l[m]의 거리에 망상 또는 원통상 전극과 접속시킨 구형의 콜렉터(collector) C를 설치한 다음 변환로에 작동기체를 U[m/s]의 속도로 주입한다. 지금 A 및 N사이에 N가 정전위가 되게끔 직류고전압 V_n을 인가하여 적절한 고저항을 통하여 코로나방전을 발생시키면, 양이온이 에미터 N에서 방출되어 애트랙터 A에 흡입 되려고 하며 일부는 기체의 점성으로 인하여 약간의 slip속도로 기체와 더불어 유동하게 된다. 이때 대부분의 전하는 기체중의 중성 분자에 부착되는데 이것을 양이온이라 한다. 길이 l인 변환영역을 기체 흐름과 양이온이 동시에 수송되어 콜렉터 C에 전달되어 여기에 포착된다. 양이온 사이의 반발력을 무시한다면 변환영역에는 기체 흐름과 반대방향으로 전기장 E[V/m]가 발생하고, A와 C간에 외부 부하저항 R[Ω]을 접속하면 C-R-A의 회로에 의해 콜렉터 전류 I_c [A]가 흘러 전기적 출력을 얻을 수 있다.

일정한 출력전류밀도에 대하여 변환영역의 길이 l에는 임계길이 l_c가 있으며 이때 콜렉터상에는 영전기장을 발생하면서 최대개방전압이 발생한다. 이 최대 발생 전압에 대한 변환영역 길이의 임계값 l_c는 다음과 같이 된다.^{1), 4), 11) 부록참조}

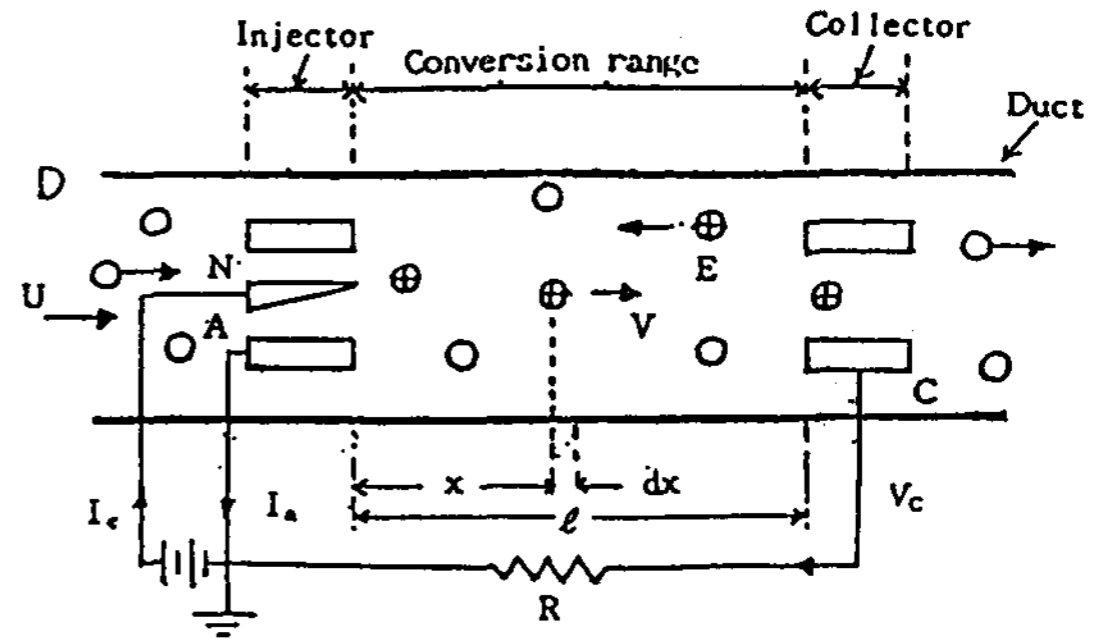


Fig. 2-1 Principle diagram of EFD Generation

$$l_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_f^2 \epsilon}{\mu J} \dots\dots\dots (1)$$

단, V_f: 기체속도, ε: 기체의 유전율, μ: 캐리어의 이동도
J: 전하캐리어의 전류밀도

이 때 최대발생전압은 다음 식으로 주어진다.
(부록참조)

$$V_{max} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\epsilon}{\mu^2 J} \cdot V_f^3 \dots\dots\dots (2)$$

그러므로 위식에서 일정한 기체속도와 변환영역길이의 임계값 l_c에서는 하전입자의 이동도 μ가 적어도 큰 전압을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한 유체역학적 에너지를 전기에너지로 변환하는 EGD 발전의 효율은 다음식과 같다.^{11) 부록참조}

$$\eta = \frac{1-2/3 S}{1+\xi/KS^2} \dots\dots\dots (3)$$

단, S: 변환영역 입구부분에서의 기체와 하전입자간의 유속 slip
ξ=마찰계수

$$\text{여기서 성능지수 } K = \frac{\epsilon}{\rho \mu^2} \dots\dots\dots (4)$$

단, ρ: 전하밀도, ε: 유체(여기서는 기체)의 유전율

이므로, η 는 Slip S 와 성능지수 K (figure of merit)의 함수가 되는데 우선 K 를 크게하면 유체와 발전로간의 마찰계수 ξ 와 S 가 일정할때 η 가 커진다. 즉 관계식 $K = \epsilon_0 \epsilon_r / \rho \mu^2$ 에서 ϵ_r 가 크고 ρ 와 μ 가 적어야 한다. ϵ_r 가 크면 분극 작용으로 전장 내에 정전력이 약해져서 하전입자와 에트렉터간의 흡인력과 하전입자간의 반발력도 적어 교란적인 흐름이 없이 기체의 압력으로 하전입자를 콜렉터로 운반하게 된다. 동일한 작동기체의 밀도 ρ 가 클수록 즉, 압력이 높을수록 기체 입자 수가 많아져서 하전입자와 작동기체의 중성입자와의 충돌이 심해서 전술한 것과 같이 콜렉터에 집전되는 전하가 많아지고 기체의 전기적 절연내력, 전기저항 등이 증가하여 전기적출력을 증가시킨다. 또 μ 가 적으면 μE 가 더욱 적어져 하전입자의 수송방향에 역행하는 하전 입자 수가 적어진다. 즉, slip도 적당히 적어진다. 그러므로 효율이 최대가 되는 η 에 S 가 존재하는데 S 가 너무 커지면 도리어 η 는 감소한다. 이것을 더 해석적으로 설명하면 그림 2-2에서 ξ/K 을 파라미터로 한 경우 발전변환영역의 입구의 슬립 $S = \mu E / V_f$ 에 따른 변환 효율 η 를 나타내고 있으며 (3) 식에서 $dn/ds = 0$ 을 만족하는 조건식

$$S^2 + 3S \frac{\xi}{K} - 3 \frac{\xi}{K} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

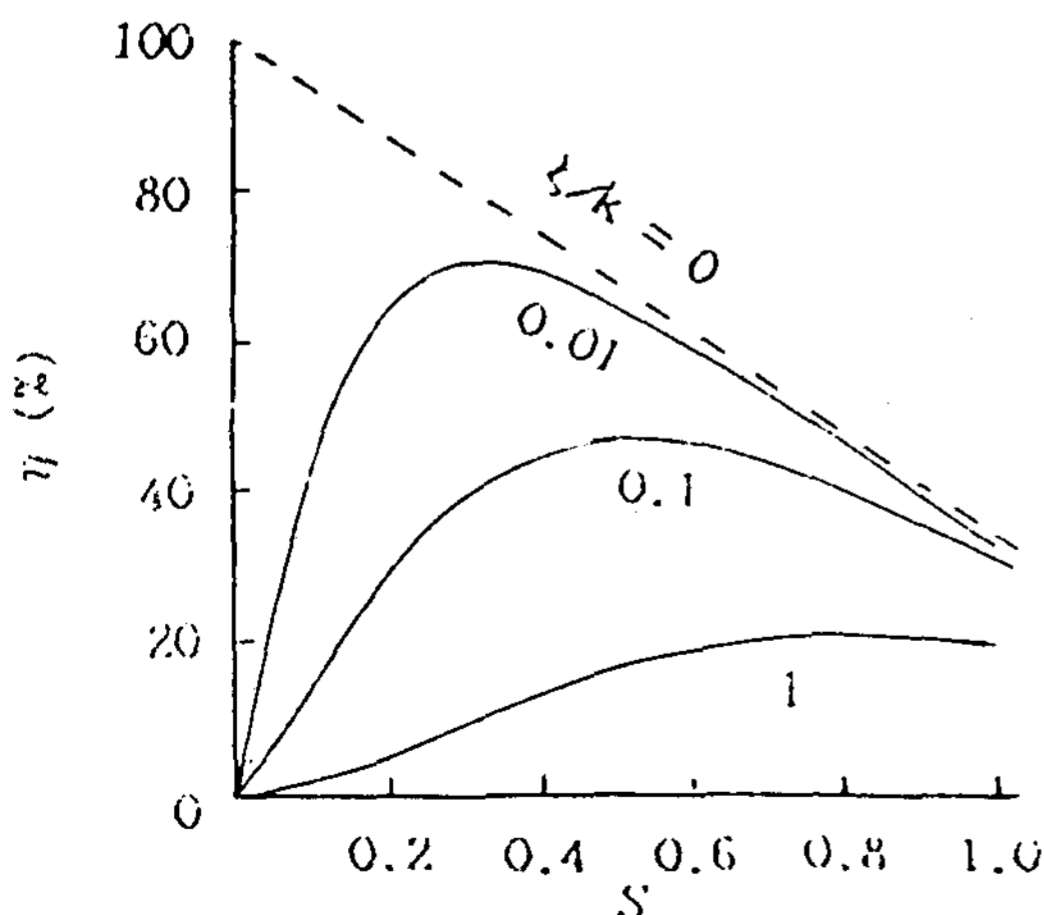


Fig. 2-2 Transfer efficiency for slip s in conversion range

을 풀었을때 실근 S 가 효율최대값을 준다. 또한 그림에서 효율은 항상 $\xi/K=0$ 의 선보다 적다는 것을 알 수 있다.

III. 실험장치 제작 및 방법

1. 발전기 설계제작

그림 3-1은 본 실험에 사용된 발전기의 개요도이며 그림 3-2는 실험장치의 사진이다.

절연재료로써는 절연내력이 $10^8 - 10^{10}$ [v/m] 정도인 아크릴을 사용하였으며 그 접착제로서는 클로로포름과 에폭시를 사용하여 가스가 누설되는 것을 방지하였다. 방전의 발생부인 에미터(N)는 직경이 2[mm]인 동선을 가공하여 설치한 것이며 애트렉터부(A)는 동봉을 이용하여 외경 12[mm] 내경 9[mm] 길이 10[mm]인 원통형으로 만들었다.

또 국부적인 방전을 막기위하여 모난부분이 없도록 매끄럽게 연마하여 원통내부에만 코로나가 발생 되게끔 하였다.

발전기의 변환영역(conversion range)을 조정하기 위하여 콜렉터부(C)에만 가변영역을 연결하고 그 부분을 원통형 절연봉으로 감싸서 움직일 수 있게 하였다. 콜렉터는 될수 있는 한 그 표면적을 크게하고 국부방전을 막기 위하여 예리한 부분이 없는 구형으로 제작하였다.

그리고 이온의 수집을 풍부하게 하기 위하여 가는 동선 망(mesh)을 이 안에 설치하여 하전입자와 콜렉터와의 접촉을 증가시켰다. 이때 사용된 콜렉터의 재질은 스테인 레스(stainless steel)이며 외경 160[mm] 두께 1[mm]의 치수이다.

변환로의 직경이 10[mm]와 6[mm]인 두개의 발전기 A, B를 만들었으며 변환 영역에 연결되고 콜렉터와 접속한 금속원통관은 외경 7[mm], 내경 5[mm], 길이 5[mm]인 원통형이다.

다음에 코로나 공급원인 에미터와 애트렉터 사이의 축상거리는 5[mm]로 유지하여 코로나 방전이 쉽게 일어나도록 배려 하였다.

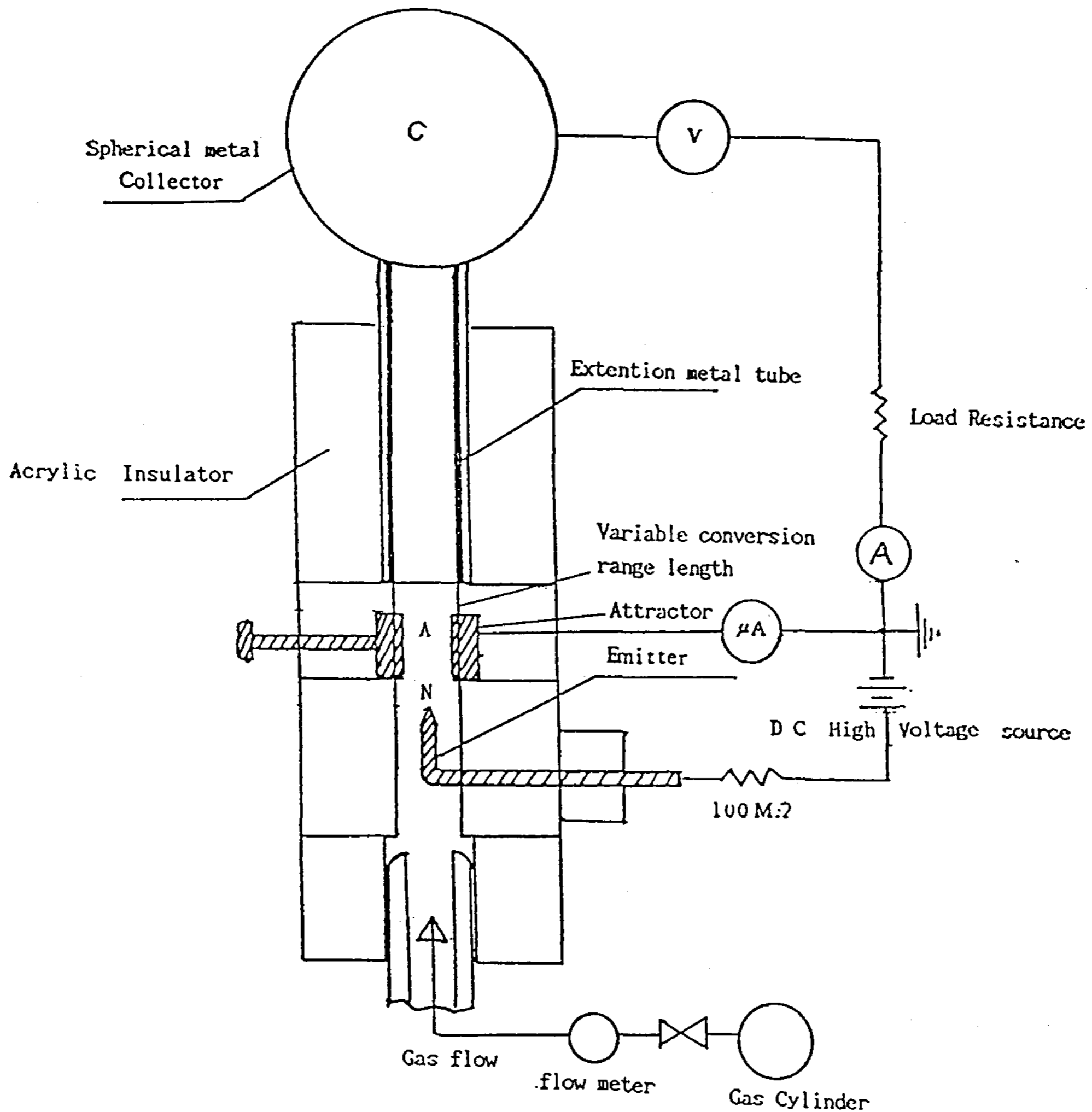


Fig. 3-1 Schematic Diagram of EGD Generator

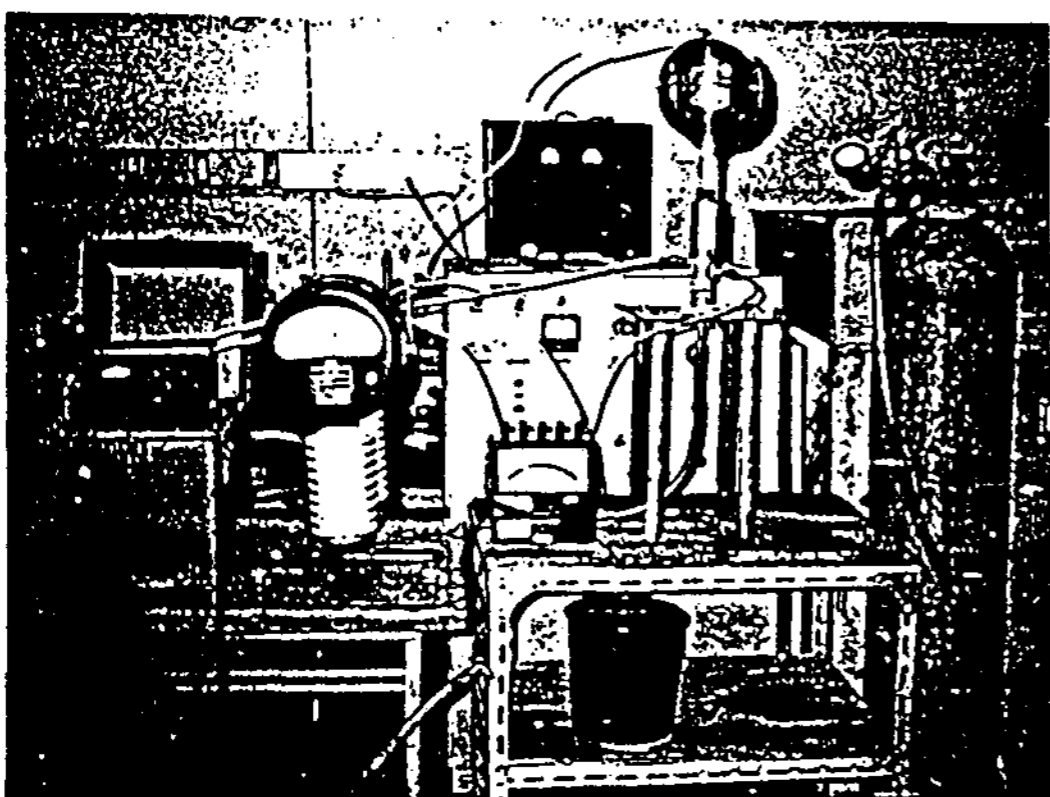


Fig. 3-2 Photograph of Experimental EGD generator Apparatus

2. 실험장치와 방법

EGD발전기를 제작하고 O_2 , N_2 및 공기를 작동기체로 이용하여 그 특성을 규명하기 위한 실험장치는 그림 3-1과 같이 에미터와 애트랙터 사이에 전원과 직렬로 일정저항 $100[M\Omega]$ 을 연결하고 그 사이에서 인정한 코로나 방전이 발생하게끔 하였고 에너지 변환영역길이 l 의 변화에 대한 콜렉터 C의 개방전압 V를 정전전압계(Electrostatic Voltmeter) (일본국, YEW, TYPE 2065)로 측정하였다.

이때 코로나전류 I_c 와 O_2 , N_2 및 공기의 압력 P 를 일정하게 할 때 최대개방전압 V_{max} 를 발생하도록 이론식 (1)과 (2)를 이용하여 l 을 결정후 정밀조정 하였다. 그리고 최대개방전압 V_{max} 를 발생하는 변환영역길이 l 을 결정후 정밀조정 하였다. 그리고 이 최대개방전압 V_{max} 를 발생하는 변환영역길이 l 로 고정시켜 놓고 일정압력 p 의 기체 O_2 , N_2 및 공기등을 주입하고 코로나전류의 변화에 대한 개방전압 V 를 측정하였다.

압력 P 에 따른 개방전압 V 의 변화를 보기위해 역시 변환영역길이 l 과 코로나전류 I_c 를 일정하게 하고 P 에 대한 V 를 측정하였다.

이때 낮은 압력하에서는 에미터에서 발생된 입자들이 콜렉터에 흡집되어 코렉터 C 에 충전되는 시간이 길어지므로 포화될때까지의 충전시간과 최종 충전 개방 전압 사이의 관계도 조사하였고 아울러 변환영역 길이와 축적 에너지도 조사하였다.

이때 O_2 , N_2 및 공기의 용기의 압력을 고려하여 유량계(flow meter)를 설치하고 조절하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

그림 4-1은 발전기 A와 B인 발전기의 변환영역 길이 l 에 대한 콜렉터 개방전압 변화를 측정한 결과이다.

코로나전류 I_c 와 가스압력 P 가 일정한 경우 에미터에서 방출되는 하전입자의 양은 일정하다고 볼 수 있다.

그러나 일정한 압력하에서는 변환영역의 단면적의 차이로 생기는 기체속도를 고려하면 단면적이 큰 변환영역 보다 단면적이 적은 변환영역을 통과하는 기체속도가 크므로 (1)식에서와 같이 최대 발생 전압을 일으키는 변환영역 길이의 임계값 l_c 는 실험결과 기체속도가 클수록 길어지는 것을 알 수 있어 이론값과 일치한다.

또한 일정한 코로나전류 I_c 와 가스압력 P 하에서 단면적이 일정한 경우 변환영역의 길이가 임계값 l_c 보다 적은 영역에서 콜렉터에 포착되어야 할

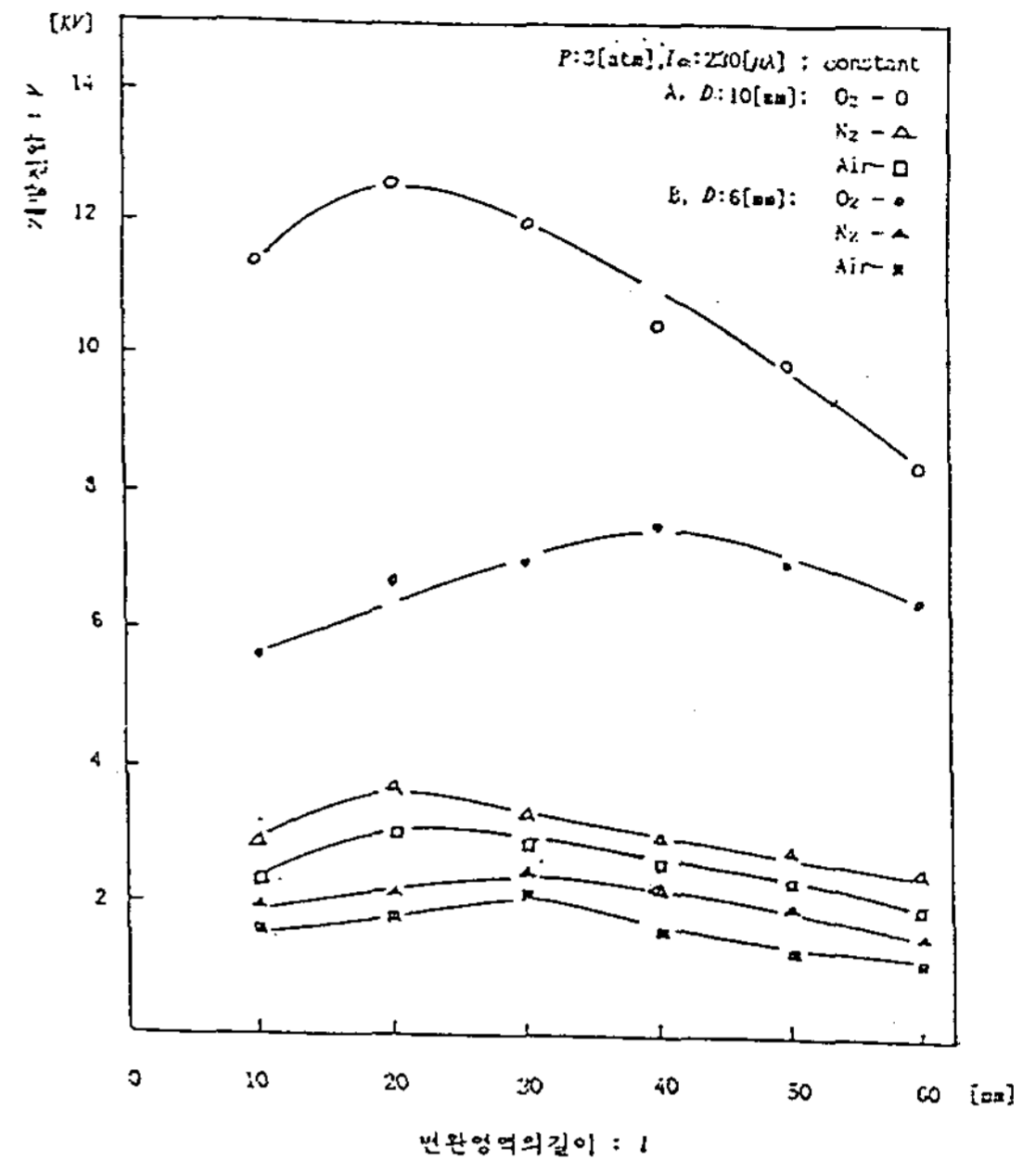


Fig. 4-1 Open Voltage V_s Conversion range Length

하전입자가 콜렉터영역을 over pass 하는데 그 원인이 있다고 본다.

즉 콜렉터에 모이지 않고 지나가 다른 공기의 음이온과 재결합 하든가 또는 변환로를 거쳐 콜렉터에서 집전하지 않고 공기중을 통하여 애트렉터로 흡인되므로 실제 콜렉터에 축적되는 하전입자의 양은 적어진다고 생각할 수 있으며, 일부는 기체 분자와의 부착작용으로 비산 되는 것도 있을 것으로 추측된다.

반면, 변환영역의 길이가 임계값 l_c 보다 큰 영역에서는 작동기체에 의해 정이온이 변환영역을 거쳐서 콜렉터에 집전되지 못하고 이미 콜렉터에 분포된 전하에 의한 전기력선에 의하여 애트렉터로 들어가는데 그 원인이 있다고 사려된다. 물론 공기중의 음이온과 재결합 및 공기중으로의 이탈등 여러작용'등으로 콜렉터에 축적되는 양이 적어지는 경우도 있을 것이다.

또한 에미터에서 방출된 양이온이 애트렉터에서 흡인되려고 하지만 기체의 물리적 성질(식 3의 성능지수 K 와 관계한다) 때문에 에미터에서 변환영역 방향으로 이동하게 되는데 가스 종류에

대한 발생 개방전압의 크기는 전술한 기체의 물리적 성질과 분자의 무게가 큰 O₂, N₂ 및 공기의 순위로 된다.^{8),9)} 이것은 하전입자가 콜렉터에 운반되어 축적되는 전하량이 많아지기 때문이다. 물론 각 기체의 비유전율에 관계하겠지만 전술한 것 같이 거의 비슷한 값을 가지므로 큰 차이는 없다고 본다.

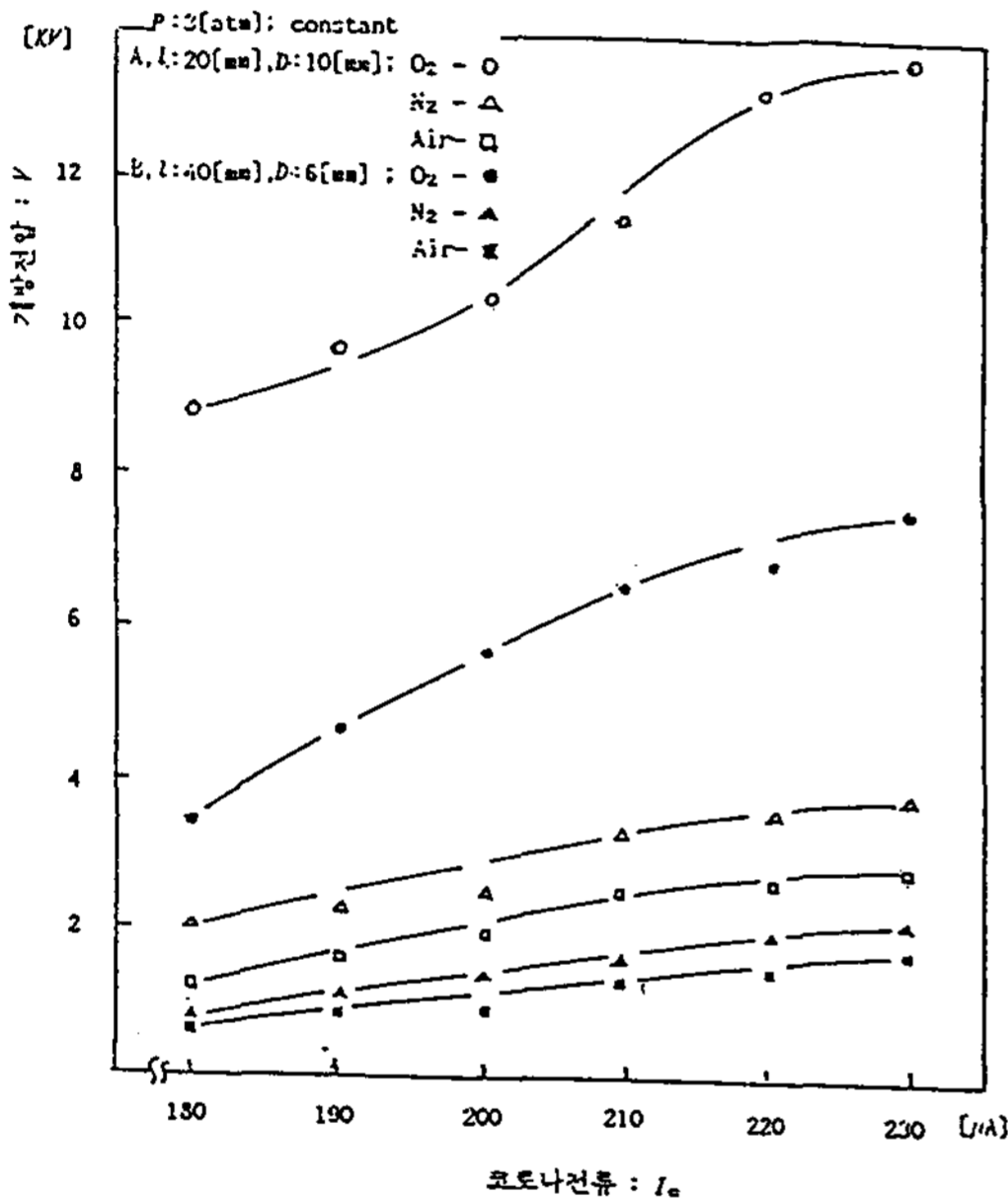


Fig. 4-2 Open Voltage V_s Corona Current

그림 4-2는 발전기 A와 B의 코로나 전류에 의한 콜렉터의 개방전압에 대한 변화를 측정된 결과이다. 직류코로나의 전기장내에서의 입자들의 하전현상은¹⁰⁾ 하전입자의 드리프트 속도와 기체의 열 운동속도, 확산운동 및 재결합등의 이유 때문에 간단히 설명할 수가 없다.

그러나 일정한 변환영역의 길이 l_c 와 가스압력 P 하에서 코로나전류를 증가시킬 때 변환영역의 단면적이 크면 인젝터 부분에서 공급되는 캐리어의 양이 많게 되어 콜렉터의 개방전압이 높아진다고 볼 수 있다.

따라서 단면적이 큰 발전기 A에서 얻은 콜렉터 개방전압이 발전기 B에서 얻는 콜렉터의 개방전압보다 높은 결과가 나왔는데 이것은 상술한 정성적인 해석과 일치함을 알 수 있다.

그리고 변환영역이 일정한 단면적인 경우에는 코로나 전류가 증가 할수록 하전입자의 공급 주입량이 많아 지고, 작동기체에 의해 수송되어 콜렉터에 포획되는 하전입자 상호간의 상호작용을 무시하면 증가하게 되어 콜렉터의 개방전압이 높아진다고 생각된다.

변환길이가 길고 그 단면적이 적으면 인젝터에서의 하전입자의 공급주입량도 적고 작동기체의 압력 즉, 유속도도 감소하여 동일하 코로나 전류에 대하여 각 작동 기체에 대한 개방전압이 낮아 진다고 생각한다.

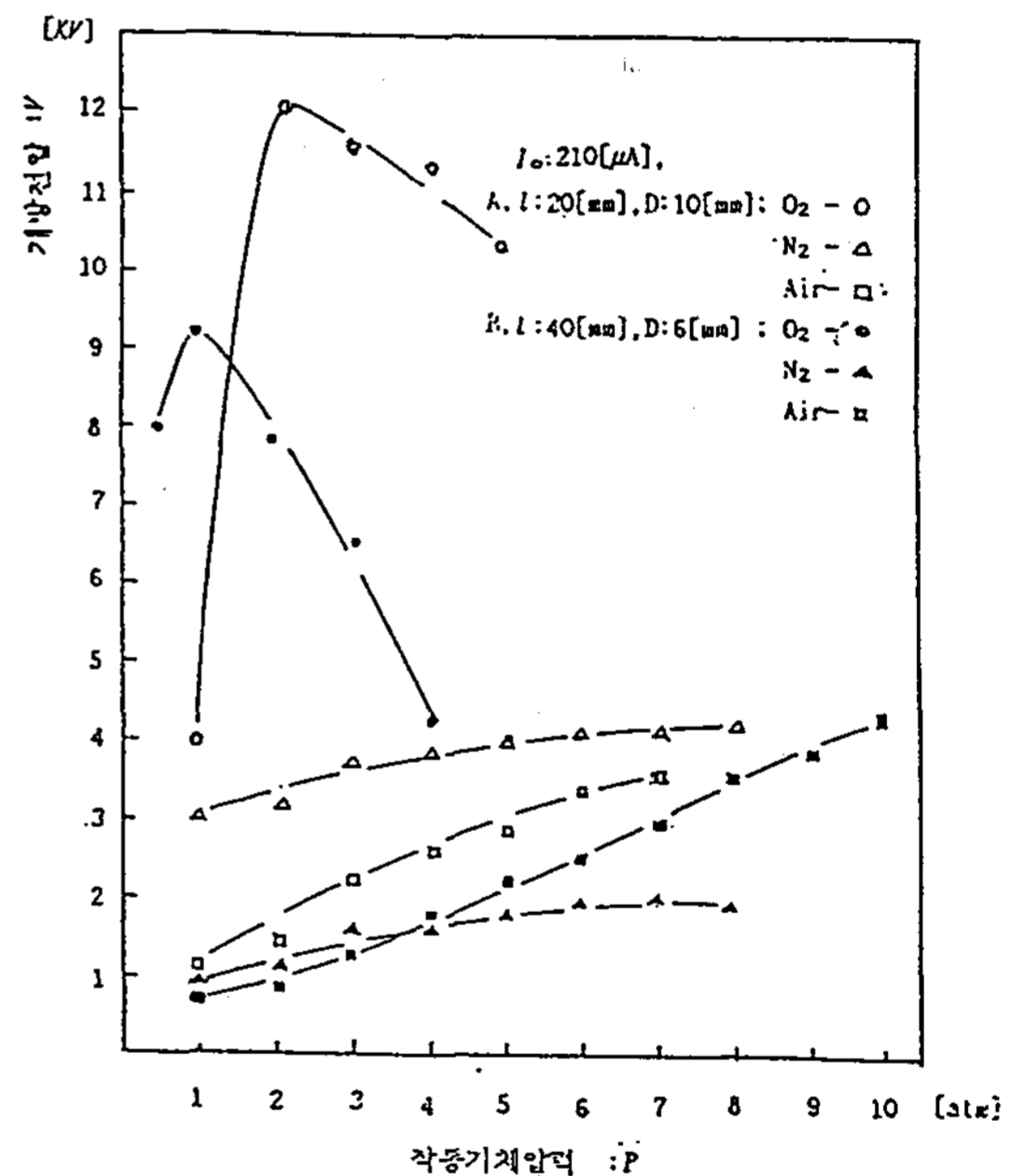


Fig. 4-3 Open Voltage V_s Corona Current

그림 4-3은 코로나전류 I_c 가 일정할 때 발전기 A와 B의 가스압력에 대한 콜렉터의 개방전압 변화를 측정된 결과이다.

일정한 변환영역의 단면적을 통과할 때 그 기체의 속도는 작동기체의 압력이 증가함에 따라 커지게 된다.

그러므로 최대발생전압을 나타내는 변환영역의 길이 l_c 에서 작동기체의 속도를 고려할 때 발전기 A와 B의 결과는 정성적으로 일치하고 있음을 알 수 있다.

그러나 변환영역에서 압력에 의한 손실등을 생각하면 변환영역의 단면적이 적은 발전기 B에서는 압력의 임계값 P_c 를 넘는 영역에서 그 손실과 더불어 기체 흐름 방향에 대해 큰 압력으로 인하여 하전입자와 콜렉터와의 접촉시간이 짧아 양이온들이 콜렉터에 포획되지 못하므로 급격한 콜렉터 개방전압의 하강이 나타난다고 생각할 수 있다.

그리고 압력의 임계값 P_c 보다 적은 영역에서는 콜렉터에 축적된 양이온에 의해서 생기는 역전계가 작동기체에 의해 수송된 양이온에 영향을 미칠 뿐만 아니라 공기중의 전술한 전기력선에 따라 콜렉터의 전하가 이동하여 애트렉터로 들어가므로 압력임계값 P_c 에서는 보다 낮은 콜렉터 개방전압이 생긴다고 본다.

발전기 A에서 압력의 임계값 P_c 가 발전기 B의 변환영역에서의 압력의 임계값 P_c 보다 큰 것은 발전기 A의 변환영역 단면적과 변환영역 길이의 임계값이 발전기 B의 변환영역의 경우보다 크기 때문이라 사료된다.

공기의 경우 압력을 증가시켰을때 다른 여러 연구보고서^{9), 11), 12)}에 의하면 20기압에서 가장 큰 출력을 나타낸다고 되어 있는데 본 실험에서는 장치의 소형화로 성능지수가 가장 크다고 볼 수 있는 20 기압까지의 압력 증가는 곤란하기 때문에 측정하지 못했고 10 기압 이내에서만 조사하였다.

이 결과 성능지수의 차이는 있지만 압력 P 에 대한 개방전압은 거의 비례한 상태로 증가하고 있는데 이것은 위 사실을 뒷 받침하는 증거라고 추측할 수 있다.

그림 4-4는 가스압력 1[atm]하에서 발전기 A의 코로나 전류 I_c 와 변환영역 길이 l 이 일정할때 전하가 콜렉터에 포화될 때까지의 충전시간과 전압 관계를 조사한 것이다.

그림과 같이 충전시간에 대한 개방전압의 변화에서 포화 현상이 나타나고 있는데, 이것은 콜렉터에 축적된 양이온이 주위 공기분자내에 있는 음이온과 재결합, 인젝터와 콜렉터 사이의 표면절연저항이 역전계에 의하여 절연파괴에서 오는 누설전하, 그리고 전술한 것과 같은 공기중의 누설전하의 영향에 의해서 생긴다고 볼 수

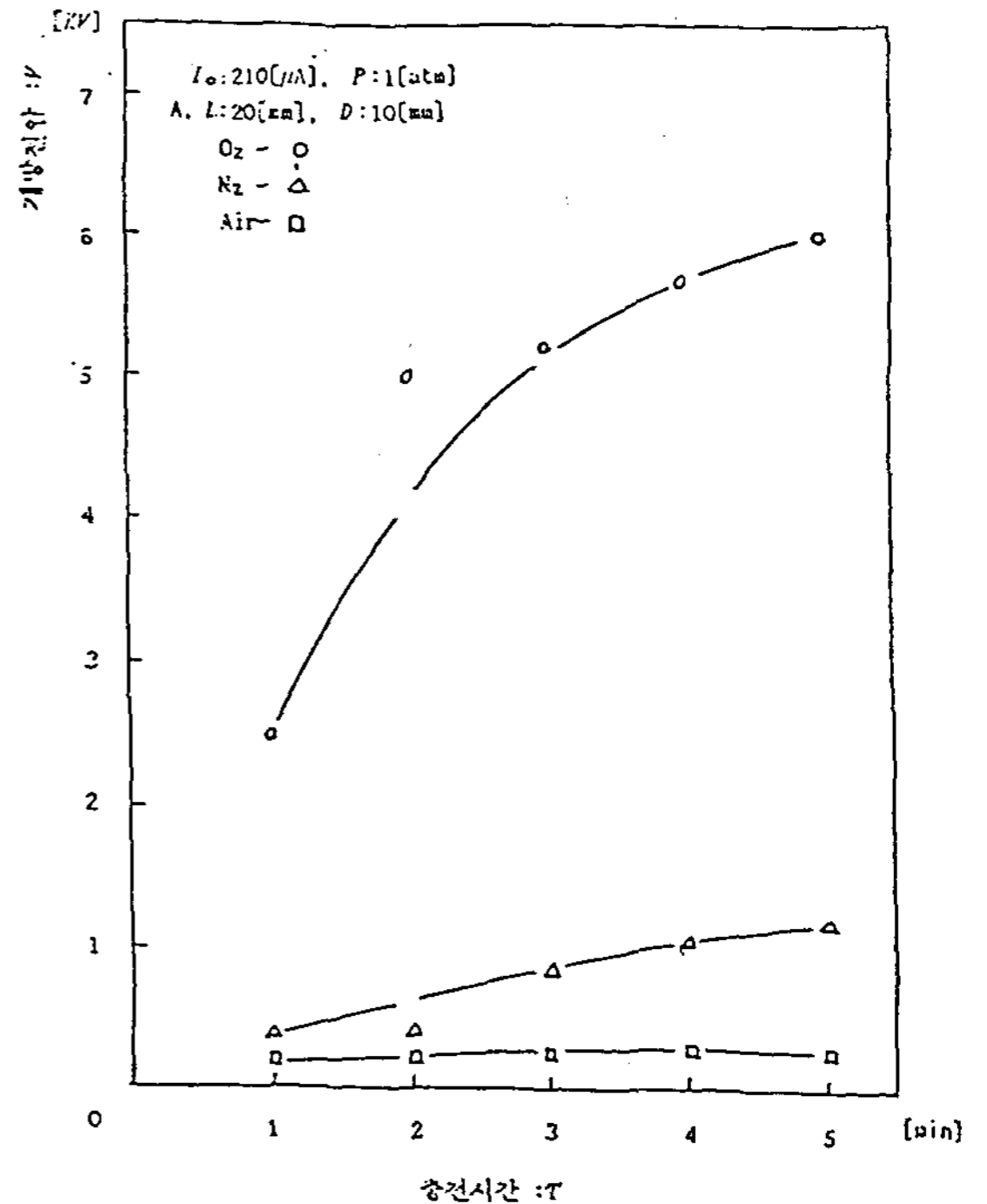


Fig. 4-4 Open Voltage V_o charge time

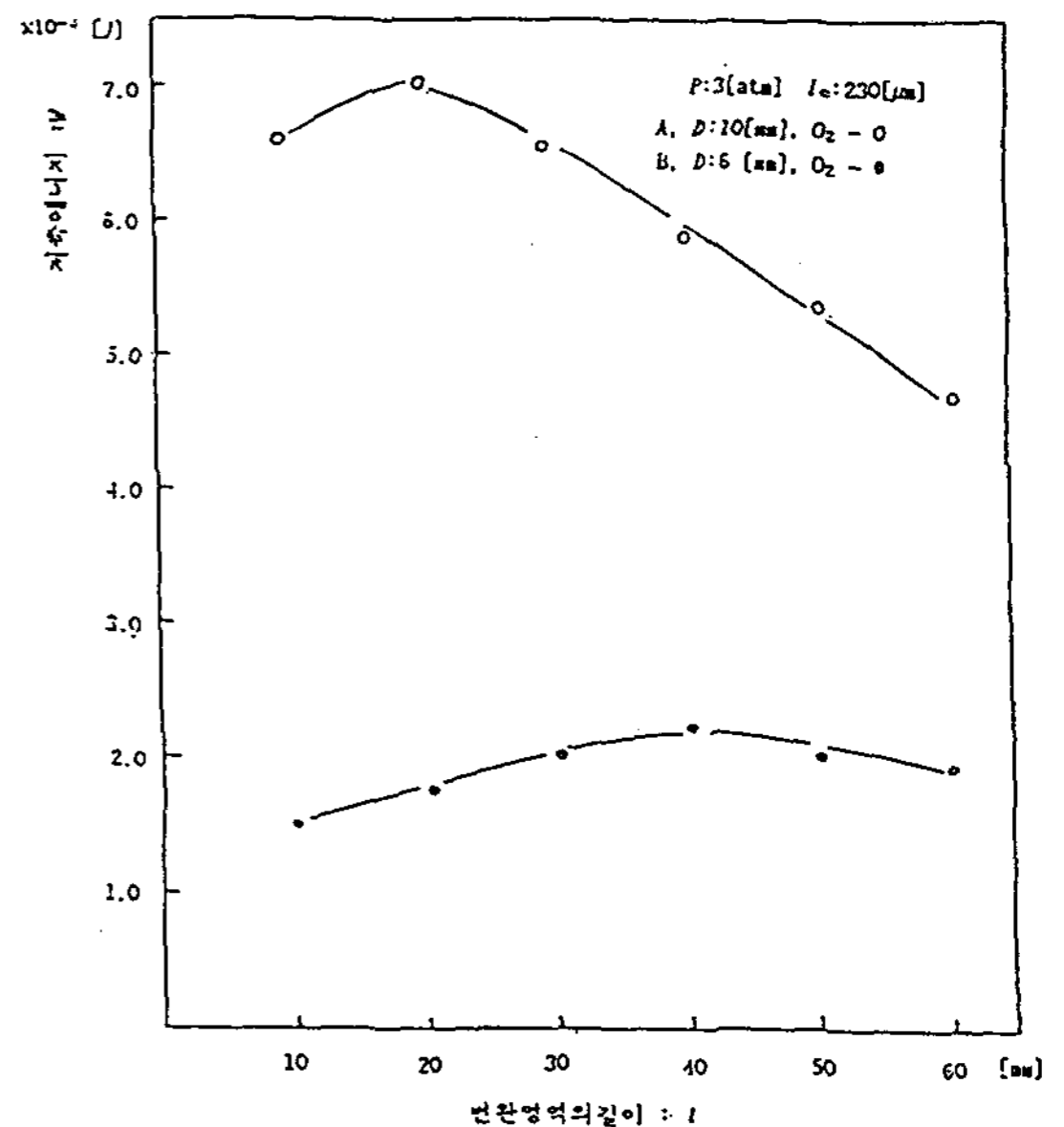


Fig. 4-5 Stored Energy V_s Conversion range Length

있다.

그림 4-5는 발전기 A와 B의 변환영역의 길이 l 에 대한 콜렉터에 축적된 에너지를 나타낸 것으로 가스압력 3[atm]하에서 발전기 A 및 B가 각각 변환영역의 길이 l 가 임계값 20[mm], 40[mm]일 때 최적의 축적된 에너지를 나타내고 있는데 이것은 이 변환영역 범위에서 콜렉터에 저축되는 하전입자량이 가장 많다는 것을 나타내고 있다.

결국, 최대 저축 에너지는 변환영역의 단면적이 큰 경우 변환영역의 길이가 작을때 얻어지고, 단면적이 적은 경우에는 변환영역의 길이가 클때 얻어지는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

직류 소전류 고전압원으로서 또 풍력을 이용한 직접 에너지 변환기로서 EGD 발전기 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 O₂, N₂ 가스 및 풍력발전에 직접적 관계가 있는 공기를 작동기체로 사용하는 소용량 EGD 발전기를 만들고 그리고 이 발전 장치의 특성에 미치는 영향을 변환영역 길이, 코로나 전류 및 가스압력을 변화시켜 연구의 제1 단계로 그 발생개방전압 및 저축에너지를 조사한 것이다.

그 결과는 다음과 같다.

1) 최대 개방 전압을 갖는 변환영역 길이에는 임계값 l_c 가 있으며 기체속도가 빠를수록 그 임계값이 증가한다.

2) 개방전압은 코로나전류가 커짐에 따라 거의 직선적으로 증가한다.

3) 최대 개방 전압을 갖는 가스압력에는 임계값이 있으며 일정한 변환영역의 길이에 있어서는 기체속도가 빠를 수록 임계가스압력은 감소한다.

4) 최대의 저축에너지에서는 변환영역의 단면적이 크면 변환영역길이가 적을 때 생기고 단면적이 적으면 변환영역 길이가 길때 발생한다.

참고문헌

- 1) 藤治三治: 電氣エネルギー 變換工學, pp.1~2, pp. 123~133 (1980)
- 2) 福澤和慶: “新しい電力源として注目される EFD 直接發電” 電氣學會雜誌, Vol.90, No.3, pp. 366~369(1970)
- 3) 佐藤正毅, 小澤保知: “EFG 發電ダクトの最適形態の研究” 電氣學會雜誌 B, Vol.96, No.1, pp. 23~30 (1976)
- 4) Walsh, E. M.: “Electrogasdynamic energy conversion” IEEE Spectrum, Vol.4, pp.57~62, (1967~12)
- 5) Bennett, W. E.: “Generation of direct current at High potentials, “Res. Appl. Ind., Vol.12, pp. 445~449, (1959~12)
- 6) Mey, G. D.: “Characteristics of Electro-Gas-Dynamic wind energy devices” Energy conv. & Mgmt., Vol.20, pp.201~203 (1980)
- 7) 田春生: 放電・高電壓工學, 東明社, pp.201~203(1980)
- 8) Borgan, T. R.: “MHD Power Generation”, IEEE Spectrum, Vol.1, pp.58~65(1964~2)
- 9) Goldman, M., Sigmond, R. S.: “Corona and Insulation” IEEE Trans Elec. Ins., Vol.EI-17, No. 2(1982-4)
- 10) Inculet, I. I.: “Particle Charging in DC Corona Fields”. IEEE Trans. Elec. Ins., Vol. EI-17, No.2 (1982-4)
- 11) 田春生: 新에너지공학, 동명사, p.514~519
- 12) Baillie, R. C.: Energy Conversion Eng., Addison-Wesley publishing Co.1978

부 록

이상적인 발전기 시스템에서는 유체속도가 흐름방향에 수직인 어떠한 실단면적에 대해서도 불변이라 가정한다. 이 시스템에서는 어떤 일반적인 점에 대하여 연속 방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$J = \rho(V_c) \dots\dots\dots (1)$$

단, V_c ; 캐리어의 속도
 ρ ; 전하밀도

Poisson의 방정식을 쓰면

$$\frac{DE}{dx} = -\frac{\rho}{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

이때 전하의 드리프트속도(drift velocity)를 고려하면 실제의 캐리어속도는 다음과 같이 된다.

$$V_c = V_f - \mu E \dots\dots\dots (3)$$

단, V_f ; 유체속도
 μ ; 캐리어의 이동도
 E ; 역전계

만일 자기 반발력으로 인한 축방향 전하이동을 무시한다면 식 (1), (2), (3)을 결합한 후 적분하여 다음 식을 얻을 수 있다.

$$E(x) = \frac{V_f}{\mu} + \left\{ \left(\frac{V_f}{\mu} + E_0 \right)^2 + \frac{2Jx}{\mu\epsilon} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

단, E_0 ; 인젝터 표면에서 전계
 x ; 일렉터로부터 축방향 거리

변환역내 임의의 점에서 V_c 가 영으로 된다면 더 이상의 콜렉터에 도달할 수 없게 되어 전압 한계값에 이르게 된다. 이 전압은 식 (4)를 적분하고 인젝터에서 공간전하제한이라는 가정(즉, $V_f/\mu = -E_0$)을 써 구할 수 있다. 그러므로 전압 한계값은 다음과 같다.

$$V = \frac{V_f l}{\mu} - \left(\frac{8}{9} \frac{J^3}{\epsilon\mu} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

단, J ; 전하캐리어의 전류밀도
 ϵ ; 유체의 유전율

식(5)에서 우변이 첫번째 항은 기본적인 발전 작용을 나타내며 두번째 항은 공간전하에 의한 전위왜곡을 나타낸다.

일정한 출력전류밀도에 대하여 변환역길이 l 은 임계값 l_c 가 있으며 이때 콜렉트에는 영전기장이고 최대발생전압이 얻어진다. 이러한 조건은 식 (5)의 l 에 대한 미분식을 영으로 놓으므로써 얻을 수 있다. 따라서 이 최대 발생 전압에 대한 변환영역 길이의 임계값 l_c 는 다음과 같이 된다.^{1),2),3)}

$$l_c = \frac{\epsilon V_f E}{2J} (2-S) \dots\dots\dots (6)$$

$$S = \frac{\mu E}{V_f}, S = 1 \text{ 이므로}$$

$$l_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_f^2 \epsilon}{\mu J} \dots\dots\dots (7)$$

단, V_f ; 기체속도, ϵ ; 기체의 유전율, μ ; 캐리어의 이동도
 J ; 전하캐리어의 전류밀도

이때 최대 발생전압은 (5)식에 (7)을 대입하면 다음과 같이된다.

$$V_{max} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\epsilon}{\mu^2 J} \cdot V_f^3 \dots\dots\dots (8)$$

그러므로 위식에서 일정한 기체속도와 변환영역길이의 임계값 l_c 에서는 하전입자의 이동도 μ 가 적어도 큰 전압을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

전력 P_m 및 단위면적당의 최대전력 $P_{1m} = P_m/A$ 는

$$P_m = \frac{1}{6} \epsilon V_f E^2 A (3-2S) \dots\dots\dots (9)$$

$$P_{1m} = \frac{1}{6} \epsilon V_f E^2 (3-2S) \dots\dots\dots (10)$$

가 된다. 그러므로 단위단면적의 변환영역에 생긴 전기적응력에 거슬러 기체가 단위 시간에 흐르기 위한 기체역학적 에너지 P_1 은

$$P_1 = P V_i = \frac{1}{2} V_i \varepsilon E^2 \dots\dots\dots (11)$$

로 표시된다. 한편 기체가 발전변환영역 벽면이나 전극면과의 사이의 마찰에 의하여 기체역학적 에너지를 잃고 소비되는 단위면적당 단위시간에 대한 에너지를 P_2 라고 하면 기체의 밀도 ρ , 마찰계수 ξ 라고 하면

$$P_2 = \xi \frac{\rho V_i^3}{2} \dots\dots\dots (12)$$

와 같이 주어지므로 기체역학적 에너지를 전기 에너지로 변환할 경우 변환효율 $\eta = P_{im}/P_1 + P_2$ 이므로 (10), (11), (12)을 대입하여 정리하면

$$\eta = \frac{1 - \frac{2}{3} S}{1 + \frac{\xi \rho \mu^2}{\varepsilon S^2}} = \frac{1 - \frac{2}{3} S}{1 + \frac{\xi}{K S^2}} \dots (13)$$

가 된다. 여기서 $K = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{\rho \mu^2}$ 는 성능지수라고 부르는 정수이다.

An experiment was performed to study solidification of binary mixture with double-diffusive convection in the liquid. A rectangular enclosure was filled with ammonium chloride-water solution. The phase change and convection process were studied through shadowgraph. Because of the double-diffusive convection, the temperature field and concentration field were stratified very rapidly. Correlation between solidified mass fraction and the dimensionless numbers was found ; solidified mass concentration can be expressed as a linear function of $(Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2}$

An experimental study of the rotating heat pipe with a dished evaporator

Sun-Sok Kwon* · Young-Suc Jang · Byung-Wook Yoo*****

**Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.*

***Department of Mechanical Engineering, Kyung-Nam Junior College*

****Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.*

By using the heat pipe with a dished evaporator and a screwed groove condenser, the heat transfer characteristics have been investigated by measuring temperature distributions of wall and vapor for various thermal inputs at rotative and stationary cases. The results show that the heat transfer characteristics of this pipe have better than those of simple heat pipe. The heat transfer of the heat pipe is increased by increasing thermal input and revolutions per minute.

Basic study on the EGD Generator of Small Capacity for the Wind Power

Choon-Saing Jhoun* · Ki-Nam Park · Eung-Choon Lim*****

**Inha Univ*

***Graduate School, Inha Univ*

****Graduate School, Inha Univ*

In this paper an EGD generator of small capacity with the operating gases of O₂, N₂ and air is made and the electric characteristics in relation to energy conversion range length, corona current and gas pressure are investigated.

The results are as follows :

1. There is a critical value in conversion range length for maximum open voltage and the critical value increases with fluid velocity.
2. The open voltage increases approximately linearly with corona current.
3. There is a critical value in the gas pressure for maximum open voltage and this pressure of gas decreases with fluid velocity in constant conversion range length.