MCS-BEq에 의한 SF_6-Ar混合氣體의 電子 移動速度

論 文
54P-1-5

Drift Velocities for Electrons in SF_6-Ar Mixtures Gas by MCS-BEq Algorithm

金 相 南†
(Sang-Nam Kim)

Abstract - Energy distribution function for electrons in SF_6-Ar mixtures gas by MCS-BEq algorithm has been analysed over the E/N range 30~300[Td] by a two term Boltzmann equation and by a Monte Carlo Simulation using a set of electron cross sections determined by other authors, experimentally the electron swarm parameters for 0.2[%] and 0.5[%] SF_6-Ar mixtures were measured by time-of-flight(TOF) method. The results show that the deduced electron drift velocities, the electron ionization or attachment coefficients, longitudinal and transverse diffusion coefficients and mean energy agree reasonably well with theoretical for a rang of E/N values. The results obtained from Boltzmann equation method and Monte Carlo simulation have been compared with present and previously obtained data and respective set of electron collision cross sections of the molecules.

Key Words : MCS(Monte Carlo Simulation), BEq(Boltzmann equation), TOF(Time Of Flight Method)

1. 서 론

삶의 질을 높여 가는 추세에 따라 고도 산업과 경제 성장으로 전력 수요가 매년 증가하는 실정이다. 전력 전송의 고전압화, 대용량화 및 핵융합 등의 새로운 에너지 기술개발의 기초과학 연구가 다각적으로 활발히 이루워 지고 있는 추세이다. 한편 산업 발전에 따라 전력 계통의 대용량화, 송전 전압의 초고압화에 의하여 각종 전기 기기에 방전 현상이 중대한 영향을 미치게 되고 환경문제 등 여러 산업 분야에서 방전을 이용하려는 노력이 증가하고 있다. 기체 방전을 지배하는 Mechanism을 정확히 이해할 필요가 있으며 이를 위하여 이론적, 실험적 수치 해석적으로 많은 연구를 필요로 하고 있다 [1]~[10].

이것은 전자 에너지 분포 함수를 갖는 전자군과 하전입자군과의 충돌 현상으로 나타나는 전리 계수, 부착 계수 및 실효 계수 전자 이동 속도, 종·횡방향의 특성 에너지, 등의 전자 수송 특성의 실험적, 이론적 계산에 의하여 정량적으로 산출한다.

전자군(Swarm)법은 에너지분포를 넓게 갖는 전자군과 표적 입자군과의 충돌현상의 평균치인 전자이동속도, 확산계수, 전리계수등의 전자수송계수를 관측한다. 본 논문에서는 혼합기체를 이용한 전자군 연구의 이점을 살려, SF_6가스 중에 있어서 플라즈마의 기본적 특성인 SF_6분자와 전자와의 저에너지영역에 있어서 충돌과정을 밝힐 목적으로, SF_6가스를 Ar가스에 희석해 그 혼합 기체 중에 있어서의 전자군 특성을 관측한다. SF_6-희가스 혼합기체(SF_6-Ar 혼합기체 중에서 SF_6농도: 0.1%, 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0%)중에 있어서 측정된 기초적인 전자군 특성은 전자이동속도, 종방향 확산계수 및 전리 계수 등의 전자수송계수이다.

본 연구에서는 SF_6-Ar 혼합기체 중에서 몬테칼로 시뮬레이션, 볼츠만 방정식의 Backward prolongation법에 의해 수치해석으로 전자이동속도를 SF_6-Ar혼합기체(SF_6-Ar 혼합기체 중에 있어서 SF_6 농도: 0.1%, 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0%)에 대해서 E/N : 0.01~300(Td) [E:전계, N:기체분자 수밀도, 1Td $=1\times10^{-17}V\cdot cm^2$, N : $3.5353\times10^{16}cm^{-3}$ 0℃ 1 Torr에 해당]와 P_o : 0.5, 1, 5 (Torr)범위에서 비등방성 산란을 고려하여 계산하여 전자수송특성을 고찰하였다. 그리고 전자충돌단면적의 타당성에 대하여 검토하고 평균에너지에 따른 전자에너지분포함수를 볼츠만 방정식에 의한 PT(PT : Pulse Townsent Method), TOF(Time Of Flight Method), SST(Steady State Townsent Method)의 전자군 법과 몬테칼로 시뮬레이션으로 계산한 전자군 파라미터를 해석하였다[3]~[7].

2 해석 방법

2.1 MCS법

MCS은 난수(Random Number)를 이용하여 충돌의 종류, 산란후의 방향 및 비행시간 등을 결정하면서 전자의 운동을 반복 추적한다. 또한 전자군의 성질을 조사하기 위한 몬테칼로법은 전자계내의 전자운동상태와 분자의 충돌산란확률을 고려하여 전자, 이온의 상태량을 추적하는 것을 기본으로 하여 입자들 확률현상의 난수로 모의하는 방법을 말한다. 사용하는 난수는 컴퓨터에서 발생하는 [0-1]사이의 擬似亂數(Pseudo random number)이다.[3],[4]

MCS은 확률론적인 기법을 이용하기 때문에 얻어진 결과

† 교신저자, 正會員 : 仁川專門大學 電氣科 敎授 · 工博
E-mail : sn7332@icc.ac.kr
接受日字 : 2004年 9月 23日
最終完了 : 2005年 2月 4日

로 부터 통계적인 분산이 생기는 단점이 있다. 이 때문에 신뢰되는 파라메터를 구하기 위해서는 충분한 샘플수를 확보할 필요가 있다.

전자군에 대한 관측방법으로는 TOF, PT, SST 등이 있다. 몬테칼로 시뮬레이션에 있어서도 data 샘플링을 이들관측법에 의해서 행한다. 3종의 관측법 중에 PT, SST에서는 계산을 행한 전자수가 그대로 샘플수로 생성되어 얻어지지만 TOF에서는 위치와 시간을 같이 지정하기 때문에 샘플수는 작게된다. 더욱이 에너지 분포를 구하는 경우 샘플수는 점점 작게되고 통계적 변동을 많이 포함한 결과가 되기 쉽다. 그것을 방지하기 위해 전자수를 많게 계산하는데 그것에 비례하여 계산기 시간도 증가한다.

몬테칼로법은 2차 대전기간 동안에 원자탄 개발을 위한 중성자 수송에 관련된 문제를 해결하기 위한 목적으로 많은 과학자들에 의해 연구, 발전되어왔다. 다양한 응용분야에서의 몬테칼로법 중에서 기체중의 전자의 거동에 관한 몬테칼로 시뮬레이션(MCS)으로는 H. Itoh, M. Musha 및 R. W. L. Thomas, W. R. L. Thomas 에 의해서 최초의 연구가 시작되었다[3].

전계가 존재하는 공간의 방전 메카니즘에 있어서 전자는 전계에 의해서 높은 에너지를 갖게 되지만 전자에너지가 평형상태에 있지 않으므로 전자에너지분포를 추정하기는 매우 어렵다. 따라서 이러한 상태에서 전자 에너지 분포를 산출해내는데 몬테칼로 시뮬레이션은 매우 유용하다.

2.2 BEq법

기체중의 방전현상을 원자론적인 입장에서 보면, 상호충돌을 되풀이 하는 하전입자 즉 전자, 원자, 분자, 이온에서 성립되며, 이들 하전입자는 전자군의 속도와 위치 및 시간에 따라 분류할수 있는데, 하전입자가 열평형상태에 있는 경우를 제외하고는 전자의 운동중 충돌에 의한 임의의 속도와 임의의 위치에 있는 전자의 수가 시간에 따라 변화한다.

하전입자 각각의 속도는 각각 다른 시간 t 와 더불어 변화하므로 일반적으로는 위치공간과 속도공간을 일치시킨 위상공간과 분포함수 개념을 도입하여 위치벡터 $\vec{r}=(x, y, z)$, 속도벡터

$\vec{v}=(v_x, v_y, v_z)$, 시간을 t 로 놓았을 때, 전자의 위치 $\vec{r}-(\vec{r}+d\vec{r})$, 속도 $\vec{v}-(\vec{v}+d\vec{v})$의 범위에 있는 미소 공간에 존재하는 입자수를 dn이라 하면

$$dn=f(\vec{r}, \vec{v}, t)d\vec{r}\cdot d\vec{v} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$는 속도분포함수이다.

몰츠만 방정식를 간단히 정리하면 다음과 같이 정리할 수 있다

$$\frac{\partial f}{\partial t}+\vec{v}\cdot\nabla_{\vec{r}}f+\vec{a}\cdot\nabla_{\vec{v}}f=\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right) \quad (2)$$

위 식에서 보면 전자군의 임의의 위치와 속도 및 시간을 갖는 전자수 밀도는 위치 변화에 따른 밀도와 전계의 속도 변화에 의한 밀도 그리고 충돌로 나타나는 속도 변화에 따른 밀도의 변화로 나타낼 수 있다는 것이다.

그리고 전자사태의 공간성장과정이 정상상태 일 때 전자군 파라미터를 이용하여 전리계수, 부착계수 및 실효전리계수는 2항 근사에 의한 몰츠만 방정식의 해석에서 아래 식 (3), (4)으로 나타낸다.[5][6]

$$\alpha=\frac{v_{ji}}{\frac{\overline{W_s}}{2}+\left\{\left(\frac{\overline{W_s}}{2}\right)^2-(v_j-v_a)D_s\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$$\eta=\frac{v_{aa}}{\frac{\overline{W_s}}{2}+\left\{\left(\frac{\overline{W_s}}{2}\right)^2-(v_j-v_a)D_s\right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

여기서 v_j는 전리주파수, v_a 는 부착주파수이다.

본 논문에서는 몰츠만 방정식에 의한 전리, 부착 및 실효전리계수의 수치해석은 Philip E. Luft의 Backward prolongation계산법을 이용하였다.[7] 또한 전자가 음극에서부터 양극에 도달할 때까지 SPARC WORKSTATION(SS-20)으로 반복 추적하여 계산하였고 그림1은 본 시뮬레이션 전체의 개략적인 흐름을, 표1은 몰츠만 시뮬레이션 결과의 예를 나타내었다.

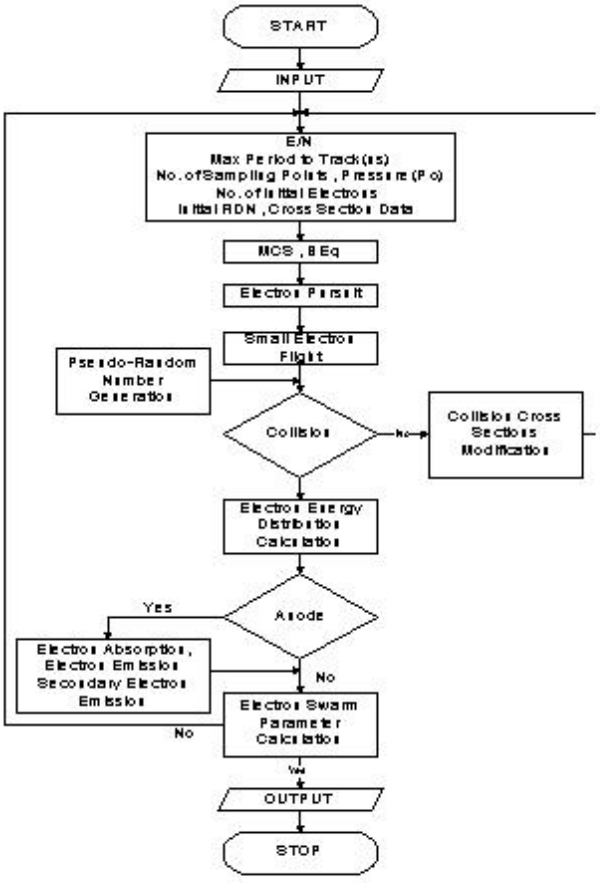

그림 1 전자 시뮬레이션 흐름도

Fig. 1 Flowchart of the electron simulation

표 1 볼츠만 시뮬레이션 결과의 예
Table 1 The results of Boltzmann equation simulation

<<<<< Boltzmann Equation Analysis (TSSMCROR) <<<<<

c4fdst / ardst Mixture

Mix Ratio c4fdst : ardst = 5.000 : 95.000

E/N = 80.000 (Td) Temperature = 300.0 (K)

No. of Cross Section Included c4fdst : 8 ardst : 7

Maximum Energy for Distribution Function = 34.00 (eV)

Energy Separation = 0.1133E-01 (eV)

No. of Points for Distribution Function = 3000

Print Step = 50

Energy vs. Distribution Function

Energy(eV)	f0	f1	f2	f3	f4	f(0)
0.000	0.5286E-01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.6656E-01	0.0000E+00
0.567	0.5264E-01	-.1138E-04	0.4611E-09	0.2473E-11	0.5996E-01	-.5207E-08
1.133	0.5223E-01	-.2218E-04	0.2668E-08	0.2714E-11	0.5993E-01	-.4356E-08
1.700	0.5743E-01	-.3172E-04	0.4965E-08	0.3510E-11	0.5842E-01	-.2823E-08
2.267	0.5531E-01	-.4009E-04	0.7569E-08	0.4874E-11	0.5774E-01	-.8441E-09
2.833	0.5483E-01	-.4731E-04	0.1030E-07	0.6654E-11	0.5655E-01	0.5133E-08
3.400	0.5314E-01	-.5339E-04	0.1305E-07	0.9353E-11	0.5539E-01	0.4220E-08
3.967	0.5116E-01	-.5838E-04	0.1593E-07	0.1277E-10	0.5195E-01	0.8065E-08
4.533	0.4828E-01	-.6235E-04	0.1884E-07	0.1515E-10	0.4923E-01	0.9865E-08
5.100	0.4544E-01	-.6520E-04	0.2164E-07	0.1824E-10	0.4622E-01	0.1270E-07
:	:	:	:	:	:	:
28.900	0.6178E-08	-.5348E-10	0.2179E-12	-.5449E-15	0.5582E-08	0.5412E-14
29.467	0.3466E-08	-.3060E-10	0.1281E-12	-.3206E-15	0.3130E-08	0.2778E-14
30.033	0.1988E-08	-.1783E-10	0.7498E-13	-.1884E-15	0.1784E-08	0.1628E-14
30.600	0.1082E-08	-.9997E-11	0.4378E-13	-.1106E-15	0.9654E-09	0.8882E-15
31.167	0.6085E-09	-.5694E-11	0.2551E-13	-.7117E-16	0.5370E-09	0.4833E-15
31.733	0.3376E-09	-.3248E-11	0.1488E-13	-.4226E-16	0.2986E-09	0.2636E-15
32.300	0.1912E-09	-.1874E-11	0.8752E-14	-.2551E-16	0.1682E-09	0.1451E-15
32.867	0.1126E-09	-.1120E-11	0.5314E-14	-.1584E-16	0.9948E-10	0.8772E-16
33.433	0.7398E-10	-.7402E-12	0.3540E-14	-.1066E-16	0.6556E-10	0.5725E-16
34.000	0.6142E-10	-.6124E-12	0.2919E-14	-.8766E-17	0.5421E-10	0.4813E-16

3. 전자충돌 단면적

3.1 SF_6의 전자 충돌 단면적

본 연구에 이용한 SF_6의 전자 충돌 단면적은 H. Itoh et al.의 Set를 사용하였으며 그림2에 나타내었다[6]~[9].

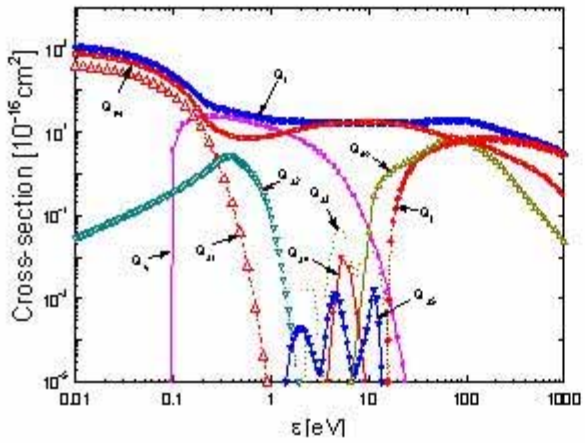

그림 2 SF_6기체의 전자 충돌 단면적
Fig. 2 Collision cross sections of electrons in SF_6 gas

이 SF_6의 전자 충돌 단면적은 다른 원자, 분자에 비하여 매우 큰 전자 부착단면적 (Q_{a1}, Q_{a2})이 낮은 에너지영역에 존재하고 또한 해리성 부착단면적 (Q_{a3}, Q_{a4}, Q_{a5})의 Threshold 에너지 값은 각각 3.29[eV], 3.95[eV], 1.57[eV]를 이용하였다.

그리고 탄성충돌에 의한 운동량 변환 단면적(Q_m), 여기 단면적(Q_{ex}), 전리 단면적(Q_i), 진동 여기 단면적(Q_v) 및 전충돌 단면적(Q_T) 등의 값을 이용하여 계산하였다.

3.2 Ar의 전자 충돌 단면적

Ar의 전자 충돌 단면적을 그림3에 나타내었으며, Ar의 전자 충돌 단면적에 대한 운동량 변환 단면적(Q_m), 여기 단면적(Q_{ex}), 전리 단면적(Q_i)등을 나타내었다.[14]~[19]

이 Ar의 전자 충돌 단면적은 저 에너지 영역(0~0.23[eV])에서 Ramsauer Townsend minimum을 갖는 운동량 변환 단면적(Q_m)은 K. L. Bell, N. S. Scott의 계산값을 이용하였고 전자에너지 0.136~54.4[eV] 영역의 범위에서는 W. C. Fon의 측정값을 이용하였다.

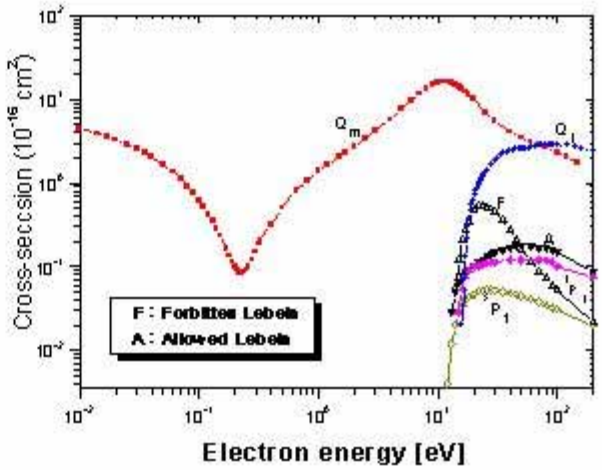

그림 3 Ar기체의 전자 충돌단면적
Fig. 3 Collision cross sections of electrons in Ar gas

4. 결과 및 고찰

4.1 SF_6 기체에서 전자의 이동속도

그림 4는 순수 SF_6 기체에서 전자의 이동속도(W)를 나타냈으며, 이동속도는 E/N[Td]의 함수로서 MCS, BEq법으로 구한 이론값의 결과를 A. V. Phelps and R. J. Van Brunt들의 실험값과 본 연구의 실험값 등 4개의 값을 비교한 결과를 나타내었다[11][12].

전자의 이동속도는 E/N[Td]의 증가와 더불어 거의 선형적으로 증가하였으며 일반적으로 전자 에너지가 낮은 영역의 전자충돌 단면적은 운동량변환 단면적이 비탄성충돌 단면적보다 크므로 전자의 충돌 빈도는 운동량변환 단면적의 영향으로 나타나며 또한 전계로 부터 에너지를 얻은 전자의 충돌 전리확률은 평균자유행정에 의해 나타나며 이것은 압력에 반비례하므로 낮은 기압에서 전자에너지는 큰 값으로 작용하기 때문에 전자 이동속도는 전계의 크기와 그의 전자산란의 빈

도에 의해서 결정된다고 생각된다.

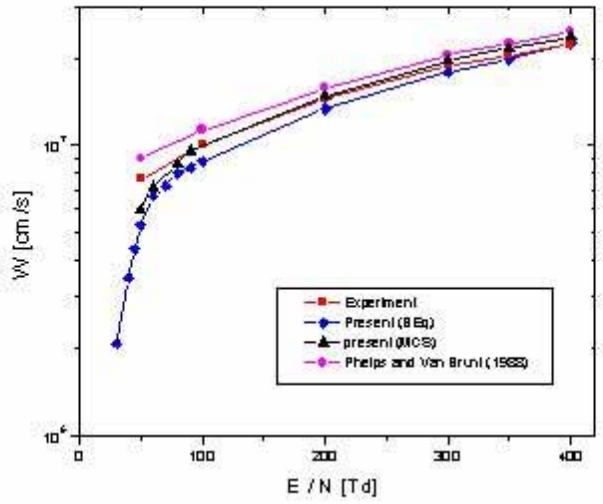

그림 4 SF_6 기체에서 전자의 이동속도
Fig. 4 Drift velocities of electrons in SF_6

4.2 Ar 기체에서 전자의 이동속도

그림 5는 Ar 기체에서 E/N[Td]를 파라미터로 하여 전자의 이동속도를 BEq법으로 구한 이론값과 Y. Suzuki의 측정값과 본 연구의 실험값을 비교하여 나타낸 것으로 거의 일치하였다 [17].

이와 같은 경향은 Ar 기체에서 전자 충돌 단면적중에서 운동량변환 단면적이 비탄성 충돌 단면적 보다 큰 값의 영향으로 E/N[Td]의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가하였다.

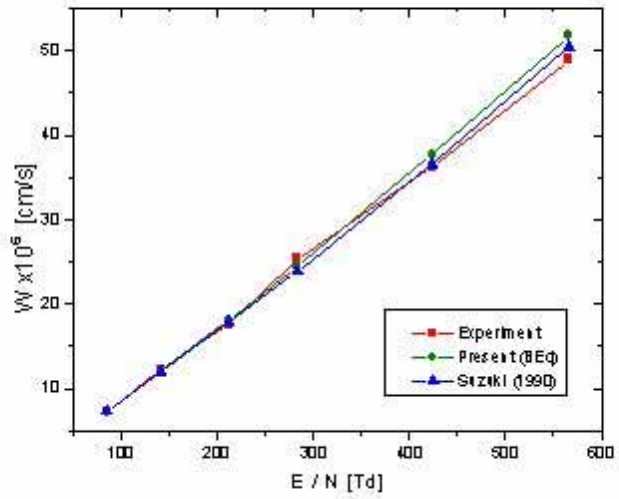

그림 5 Ar 기체에서 전자의 이동속도
Fig. 5 Drift velocities of electrons in Ar

4.3 SF_6-Ar 혼합기체에서 전자의 이동속도

그림 6에 나타낸 전자 이동속도는 E/N[Td]의 함수로서 기체의 혼합비의 변화에 따라 MCS, BEq법 및 전자도착 시간분포에 의한 실험적 방법으로 측정한 결과를 나타내었다.

실험적으로 측정한 실측값과 MCS 및 BEq법으로 구한 이론값의 결과는 낮은 영역에서 혼합비에 따라 증감의 차이가 나타났으나 높은 영역에서는 비교적 일치하였다.[18]~[22]

이와 같은 현상은 전자가 SF_6 분자와 충돌 산란을 일으킬 때 이동거리에 따라서 전자도착 시간분포의 중심 이동의 영향을 받기 때문에 전자수의 증감이 발생하여 전자 이동 속도의 증감의 차이가 나타나는 것으로 생각된다.

한편 전자는 E/N[Td]가 높을 때 Ar 기체의 비평형 영역에서 충돌 여기가 활발하게 되므로 에너지를 잃어버리게 되어 전자수는 감소하고 이동 속도는 증가하는 현상이다.

SF_6-Ar 혼합기체는 비평형 영역에서 충돌여기가 활발하게되어 잃어버린 에너지 값이 많게 되어 전자수가 감소하고 이동속도는 증가하는 현상이 나타나고 SF_6 기체는 Ar 기체에 비하여 전충돌단면적이 대단히 크게되어 충돌여기가 둔화되며 잃어버린 에너지의 값이 적게되어 전자수는 증가하고, 이동속도는 감소하는 현상으로 순수 SF_6 기체 보다 느려진다고 사료된다.

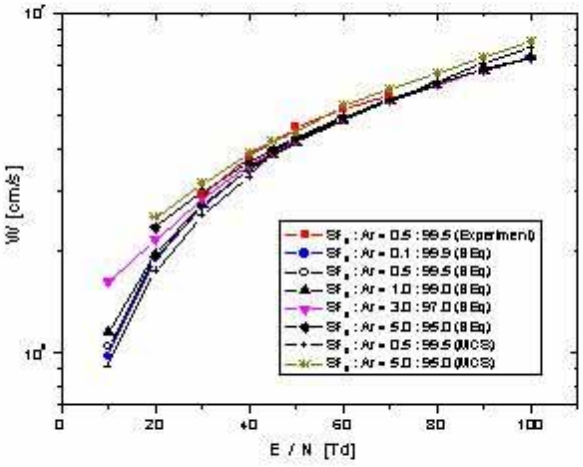

그림 6 SF_6-Ar 혼합기체에서 전자의 이동속도
Fig. 6 Drift velocity of electrons in SF_6-Ar mixtures

5. 결 론

본 연구는 탄성 및 비탄성 충돌 단면적과 전리증식의 전자군을 형성하는 비교적 낮은 E/N[Td] 영역에서 혼합기체의 혼합비에 따른 전자이동속도를 볼츠만 방정식을 이용한 이론해석과 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

기본적인 이론 해석은 BEq법, MCS에 의하여 전리계수(α), 전자 부착계수(η), 실효전리계수(α-η), 등으로부터 전자 이동속도를 평균 에너지가 평형 상태인 경우 Sample=14, L=2.6[cm]에서 2항근사의 볼츠만 법에 의한 등방성분(F_0)과 비등방성분(F_1)을 몬테칼로 시뮬레이션 으로 계산한 값과 비교시 현저한 차이를 나타내었으며, 이것은 전자가 여기에 의해서 에너지를 잃어버린 값이 다른 영역에 비해 큰 것으로 생각된다. 그리고 전자군 연구에 이용한 전자 충돌 단면적의 타

당성을 확인하였다.

본 연구의 결과에 입증된 것과 같이 초고가의 장비를 이용한 다른 연구자들의 실험치와 시뮬레이션의 결과가 거의 일치하므로 다양한 다른 기체에 대해서도 같은 과정을 통하여 전자의 수송 계수를 얻을 수 있을 것으로 확신한다.

이렇게 얻은 계수의 데이터를 바탕으로 새로운 고전압 전기재료의 물성적 기초 자료에 활용과 실제 기기의 설계에 적용, 기체 방전 모델을 확장한 정량적 해석도 가능할 것으로 생각한다. 특히 최근 주목되고 있는 펄스 코로나 방전을 이용한 오염 물질을 제거시키는 배기 가스 처리 문제에도 응용할 수 있다고 본다.

본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의한 논문임

참 고 문 헌

[1] H. Itoh, Y. Miura, N. Ikuta, Y. Nakao and H. Tagashira , "Electronswarm development in SF_6 :].Boltzmann equation analysis" Phys. D: Appl. Phys 21, pp.922-930, 1988.

[2] 電氣學會技術報告, "氣體放電シミュレーションヨン技法" 第140號, 1974.

[3] 谷口敏幸 *et al.*, "ボルツマン方程式による運動量變換 斷面積の推定に關して." 放電研究會資料, ED-86-116, pp. 39~49, 1986.

[4] S. Trajmar, A. Chutjian, "electron impact excitation of SF_6" J. Phys. B, Vol.10, pp.2943~2949, 1977.

[5] "大森義行, 下妻光夫, 田頭博昭, SiH_4 ガスの電子衝突斷面積および スウオームパラメータ" 電氣學會研究會資料, ED-86-114, HV-86-34, 1986.

[6] 菅野卓雄 編著, "半導体プラズマプロセス技術", 産業圖書, pp. 38-50, 993.

[7] 小沼光晴著 "プラズマと成膜の基礎", 日刊工業新聞社, pp.13-20, 1993

[8] C. Jacoboni and P. Lugli, "The Monte Carlo Method for Semiconductor Device Simulation", Springer - VerlagWien, pp.1-4, 1989.

[9] Philip, E. Luft, "Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients", JILA, information center report, No.19, 1975.

[10] Pollock W. J, "Momentum Transfer and Vibrational Crosssections in Non-polar Gases" Trans. Faraday. Soc., 64, pp. 2919-2926, 1968.

[11] A. V. Phelps and R. J. Van Brunt "Electron-transport ionization attachment and dissociation coefficients in SF_6 and its mixtures" , J. Appl. Phys.64, pp .4269 ~ 4277, 1988.

[12] M. Hayashi and S. Hara, "Joint Symposium on Electron and Ion Swarm and Low Energy Electron Scattering", (A Satellite of ICPEAC XVII), Proc, pp.109~111, 1991.

[13] 金相南 "SF_6-Ar 混合氣體에서의 電離 및 附着係數" 工學博士 學位論文, 東國大學校, 2000

[14] Y. Nakamura, "Transport Coefficients of Electrons and Negative Ions SF_6" J. Phys. D, Vol. pp.1~36, 1981.

[15] Y. Nakamura and M. Kurachi, "Electron Transport Parameters in Argon and its momentum transfer cross section" J. Phys. 21, pp.718~723, 1988.

[16] K. L. Bell, N. S. Scott and M. A. Lennon, "The Scattering of low energy electrons by Argon atoms" J. Phys. B: At. Mol. Phys.17, pp.4757~4765, 1984.

[17] W. C. Fon, K. A. Berrington, P. G. Burke, "The elastic Scattering of electrons from inert gases: III Argon" J.Phys. B : At. Mol. Phys. 16, pp.307~321, 1983

[18] Arati Dasgupta and A. K. Bhatia, Scattering of electrons from Argon atoms" Phys. Rev. A. Vol. 32, No. 6, pp.3335~3341, 1985.

[19] 下妻, 金子, 植里, "C-CF_8과 SiH_4 ガスの 電離係數測定", 電氣學會放電研究會, ED-83-86, 1983.

[20] 金相南, "시뮬레이션에 의한 CF_4, CH_4 Ar混合氣體에서 電子에너지분포함수" 대한전기학회논문집, 52P-1-2 pp.9~13, 2003

[21] M. S. Dincer and T. Aydin, "Simulation of limiting field behavior in electrons swarms in SF_6, N_2 gas mixtures" IEEE, transaction on dielectrics and electrical insulation, Vol. 1, No. 1, pp. 139~14 5, February, 1994.

[22] A. Gilardini, "Low Energy Electron Collisions in Gases " John Wiley and Sons, Inc. pp.127~162, 1972

저 자 소 개

김 상 남 (金 相 南)

1950년 3월 21일생. 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1980년 숭실대학교 대학원 졸업(석사) 2001년 동국대학교 대학원 졸업(공박) 1978년~현재 시립 인천전문대학 전기과 교수, 현재 본 학회 전문대학 교육위원회 운영위원

Tel : 032-760-8704

Fax : 032-760-8895

E-mail : sn7332@hanmail.net, sn7332@icc.ac.kr