

평등전계에서 도전성 구형 입자의 운동

(Motion of Conductive Spherical Particle under Uniform Electric Field)

임헌찬*

(Hun-Chan Lim)

Abstract

The motion of a conductive spherical particle under uniform electric field is investigated in order to find a suitable method for removing the conducting solid impurities contained in liquid plastic. When the positive dc voltage applied to the upper electrode, the vertical up-and-down motion of a charged particle by electrostatic force is observed by a charge-coupled device (CCD) camera or a high-speed video camera.

The experimental data of the static threshold voltage by which the particle starts to move toward the counter electrode in air or silicone oil are in good agreement with theoretical value. When the applied voltage is larger than the static threshold voltage, the particle motion pattern in silicone oil consists of four stages: upward motion, stopping at the upper electrode, downward motion and stopping at the lower electrode. The stopping motion on the electrode is thought to be caused by the liquid flow accompanied by the particle motion. The particle charge calculated by integrating the pulse current, which is generated by the charge exchange between the electrode and the particle, is approximately 0.1~0.25 times of the theoretical value.

This study is expected to help understand the electric properties of microparticles in oil circuit breaker (OCB) and oil transformer and improve their performance and longevity.

Key Words : Conductive Spherical Particle, Uniform Electric Field, Electrostatic Force, Static Threshold Voltage, Motion Pattern, Charge Exchange

1. 서 론

산업의 발전과 더불어 사용이 급격히 증가한 플라스틱과 같은 고분자 재료는 최근 환경보호, 자원고갈 방지 등의 측면에서 재활용이 적극 권장되고 있는 추세이다. 일반적으로 폐기 플라스틱을 재활용하는 방법은 단순히 용해시켜 다른 제품으로 성형하는 방법, 열분해하여 얻어진 기체, 액체 및 고체 잔해 물질을

* 주저자 : 대구공업대학교 전기전자계열 부교수

Tel : 053-560-3893, Fax : 053-560-3899

E-mail : hclim7@paran.com

접수일자 : 2011년 5월 31일

1차심사 : 2011년 6월 8일, 2차심사 : 2011년 8월 8일

심사완료 : 2011년 8월 16일

연소가스, 연료유, 코크스 첨가제 등으로 활용하는 방법들이 있으나, 이 방법들은 폐기 시 플라스틱에 부착된 고형 불순물들에 의하여 재생품의 품질저하 및 균일한 품질유지 등의 문제를 발생시킬 가능성이 항상 내포하고 있다. 액화시킨 플라스틱에 혼입한 고형 불순물을 제거하기 위한 기존의 필터나 증력에 의한 자연 침강은 필터의 교환 등에 따른 유지관리의 고비용, 장시간 소요 및 미세 입자의 제거 곤란 등의 문제점이 있다.

정전기력은 전기집진장치 등에 적용된 실례를 통하여 단시간에 미세 입자의 제거에 가장 적합한 방법임이 알려져 있다[1-3].

본 연구에서는 정전기력을 이용하여 액화 플라스틱에 함유된 미세 입자의 제거를 궁극적인 목적으로 하고 있으며, 점성의 액화 플라스틱을 실리콘유, 도전성 미세 입자를 구형의 Glassy Carbon 및 Steel 입자로 상정하여 평등전계 내에서 구형 도전성 입자의 운동을 조사하고 분석하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구는 전원 장치부, 입자운동 관측부, 전류 펄스를 측정하는 펄스 파형 측정부의 세 부분으로 나누어 그림 1과 같이 실험 장치를 구성하였고, 주 실험장치인 평행평판 전극을 그림 2에 나타내었다.

전원 장치부는 주 실험장치인 평행평판 전극의 상부 전극에 직류 고전압 전원장치(동화계측, KT-030 KIPS)를 최대 30[kV] 범위까지 정(+)전압을 인가하도록 하고 하부 전극은 접지(-)하였다.

입자운동 관측부는 고속도 카메라(Fortron, Fastcam), 디지털 마이크로스코프(Keyence, VH-6200), CCD 카메라, 전압 감시카메라(Victor, TK-1270), 비디오, 모니터 등으로 구성하였다. 하부 전극 상에 놓여 있는 구형 Glassy Carbon과 Steel 입자의 전극 사이 운동은 CCD 카메라(입자의 운동이 저속인 경우) 또는 고속도 카메라(입자의 운동이 고속인 경우)로 관측되고, 이 때 입자의 운동은 비디오를 통하여 녹화된다.

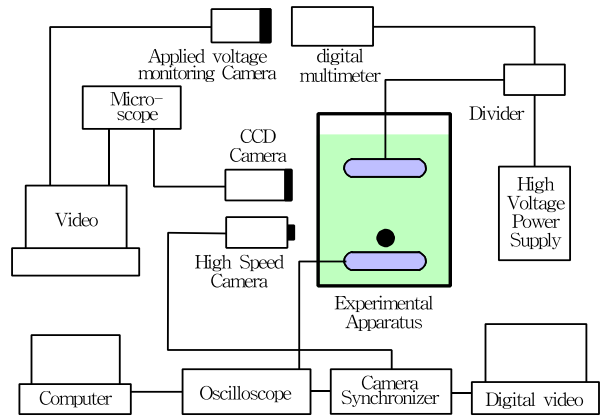


그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

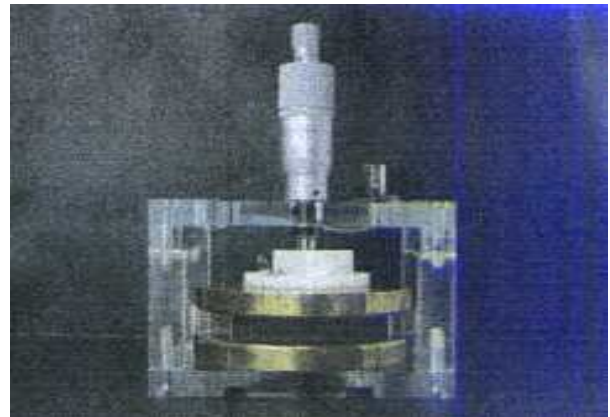


그림 2. 평행평판 전극의 주 실험장치
Fig. 2. Main experimental apparatus of parallel plate electrodes

표 1. 입자의 주요 특성
Table 1. Properties of particles

입자	직경[mm]	무게[mg]	비중	저항율[$\Omega \cdot m$]
Glassy Carbon	2.0	8.9	1.5	$40 \sim 45 \times 10^{-6}$
Steel	1.0	4	7.8~9	9.81×10^{-8}
	1.5	13.5		
	2.0	32.3		

표 2. 실리콘유의 주요 특성
Table 2. Main properties of silicone oil

항 목	사 양		
명칭/형식	LOT VF 116155	LOT VF 087337	LOT VF 066099
동점도, 25[°C]	1×10 ⁻⁴ [m ² /s] (100[cSt])	3×10 ⁻⁴ [m ² /s] (300[cSt])	5×10 ⁻⁴ [m ² /s] (500[cSt])
비중, 25[°C]	0.960	0.970	0.971
비유전율 102, 103, 106[Hz]	2.73	2.73	2.74
tanδ 102, 103, 105[Hz]	<0.00001	<0.00001	<0.00001

입자와 전극 사이에서 전하교환이 일어날 때 나타나는 전류 펄스파형은 하부전극과 접지 사이에 검출 저항 1[MΩ]을 접속하고, 그 양단에 디지털 오실로스코프 (Tektronix, 2430[A])를 연결하여 측정하며, 측정된 파형은 컴퓨터에 저장하였다.

실험에서 사용되는 Glassy Carbon, Steel 및 실리콘유의 주요 특성을 각각 표 1과 표 2에 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 정적 임계전압

평행판 전극의 하부 전극 위에 놓여있는 입자가 상부 전극에 인가된 전압과 반대 극성으로 유도 대전되어 상부 전극을 향하여 움직이기 시작하는 전압을 정적 임계전압이라 한다[4-5]. 정적 임계전압은 입자의 유도 대전량을 예측할 수 있는 중요한 척도이다.

공기 중의 하부 전극에 놓여있는 구형 도전성 입자가 대전에 의하여 얻어지는 전하량 Q [C]과 정전기력 F_a [N]은 Lebedev 등의 발표에 의하면 다음과 같다 [6-9].

$$Q = \frac{2\pi^3\epsilon_0 a^2}{3} E_a \approx 1.65 \times 4\pi\epsilon_0 a^2 E_a \text{ [C]} \quad (1)$$

$$F_a \approx 0.832 Q E_a \approx 17.20 \epsilon_0 a^2 E_a^2 \text{ [N]} \quad (2)$$

단, E_a : 공기 중의 전기장도 [V/m], ϵ_0 : 공기의 유전율[F/m], a : 입자 반경[m]이다.

도전성 입자의 질량 m , 도전성 입자 크기에 해당하는 액체 매질의 질량 m' 은 각각 다음과 같다.

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \cdot \rho_M \text{ [kg]} \quad (3)$$

$$m' = \frac{4}{3} \pi a^3 \cdot \rho_l \text{ [kg]} \quad (4)$$

여기서 ρ_M : 입자의 밀도[kg/m³], ρ_l : 액체의 밀도[kg/m³]이다.

공기 중에서의 대전된 입자가 움직이기 위해서는 입자에 미치는 정전기력이 중력보다 커야 한다. 위의 식 (1)~(3)을 이용하여 입자가 움직이기 시작하는 전기장 E_a [V/m]를 구하여 보면,

$$F_a \approx 0.832 Q E_a > mg \quad (5)$$

$$F_a \approx 0.832 \times (1.65 \times 4\pi\epsilon_0 a^2 E_a) E_a > mg \quad (6)$$

$$E_a \approx \sqrt{\frac{\rho_M a g}{0.832 \times 1.65 \times 3\epsilon_0}} \text{ [V/m]} \quad (7)$$

여기서 F_a : 공기 중의 정전기력[N], g : 중력가속도[m/s²]이다.

실리콘유 중에서의 전계는 입자에 미치는 부력을 고려하여야 하며, 부력을 고려한 입자가 움직이기 시작하는 전기장 E_s [V/m]는 다음과 같이 된다.

$$F_s \approx 0.832 Q E_s > mg - m'g \quad (8)$$

$$E_s \approx \sqrt{\frac{(\rho_M - \rho_m) a g}{0.832 \times 1.65 \times 3\epsilon_0}} \text{ [V/m]} \quad (9)$$

단, ϵ : 실리콘유의 유전율[F/m], ρ_m : 실리콘유의 밀도[kg/m³], F_s : 실리콘유 중의 정전기력[N]이다.

입자 주위의 매질인 공기 및 실리콘유 중에서 입자의 정적 임계전압 V_a [V], V_s [V]는 전극간격 d [m]라 할 때, $V = Ed$ 의 관계식으로부터 식 (7)과 식 (9)를 대

입하면 각각 다음과 같이 구해진다[9-10].

$$V_a \approx d \sqrt{\frac{\rho_M a g}{0.832 \times 1.65 \times 3 \epsilon_0}} \quad [V] \quad (10)$$

$$V_s \approx d \sqrt{\frac{(\rho_M - \rho_m) a g}{0.832 \times 1.65 \times 3 \epsilon}} \quad [V] \quad (11)$$

그림 3과 그림 4는 구형 Glassy Carbon과 Steel 입자에 대한 정적 임계전압의 측정에 의한 실험값과 식 (10), (11)에 의한 이론값을 비교하기 위하여 나타낸 결과이다.

각 입자의 정적 임계전압은 공기 및 실리콘유 중에서 전극간격의 증가와 더불어 비례적으로 커짐과 동시에 실험값과 이론값도 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이것은 입자가 정적 임계전압에 도달하게 되면 전극간격이 다르더라도 전계강도는 일정하기 때문에 식 (1)에서 전계강도와 비례 관계에 있는 입자의 유도 대 전량도 일정한 것을 의미한다.

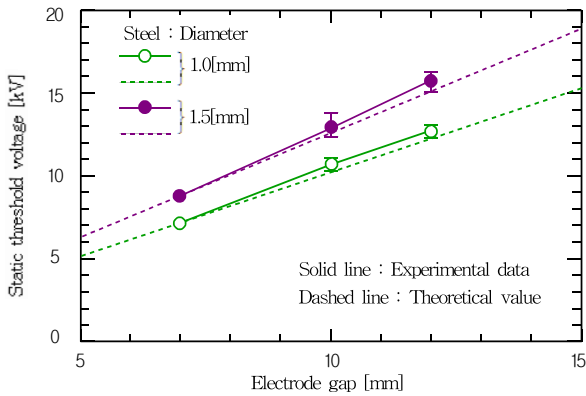
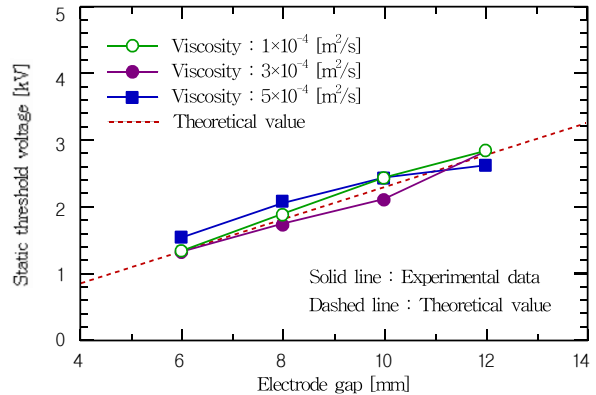


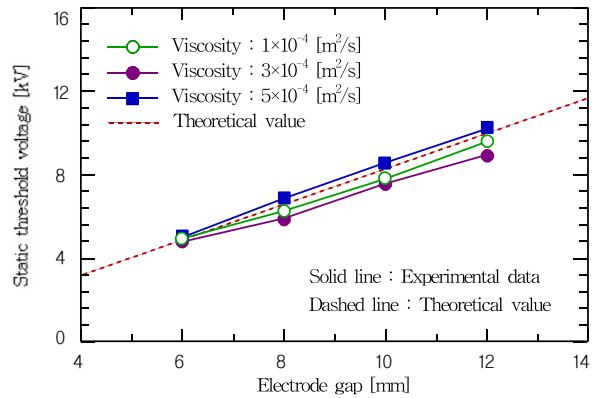
그림 3. 공기 중에서 전극간격에 대한 정적 임계전압
Fig. 3. Static threshold voltage for electrode gap in air

3.2 입자 운동 패턴

하부 전극에 놓여있는 입자는 인가전압에 의하여 유도대전 되고 인가전압이 정적 임계전압을 도달하면 하부 전극으로부터 상부 전극으로 향하여 운동하기 시작한다[8-9]. 이 때 상부 전극에 접촉한 입자는 가지



(a) Glassy carbon particle



(b) Steel particle (diameter : 2.0[mm])

그림 4. 실리콘유 중에서 전극간격에 대한 정적 임계전압
Fig. 4. Static threshold voltage for electrode gap in silicone oil

고 있던 전하를 상부 전극에서 방전하고 다시 유도대전에 의해 이전과는 반대 극성으로 되어 하부 전극으로 향하는 힘을 받는다. 이와 같이 정적 임계전압을 초과한 입자는 전극 사이에서 반복적으로 상하 운동을 지속하게 된다.

그림 5는 평행평판 전극간격을 10[mm]로 하고, 실리콘유의 동점도 5x10⁻⁴[m²/s] 중에서 Glassy Carbon에 대한 상하 운동을 나타낸 것이다.

횡축은 입자가 하부 전극에 접촉한 순간을 0으로 한 고속도 카메라의 프레임 수, 종축은 입자가 하부 전극으로부터 떨어진 거리이고, 그림의 점은 입자의 중심을 나타낸다.

입자의 운동은 하부 전극에서 정지하고 있는 상태

(하부 정지), 하부 전극으로부터 상부 전극에 향하여 운동하는 상태(상방 운동), 대전된 전하를 전극에 방전하고 상부 전극과 동일한 극성의 전하를 얻는 상태(상부 정지) 및 상부 전극에서 하부 전극으로 향하여 운동하는 상태(하방 운동)로 나눌 수 있다.

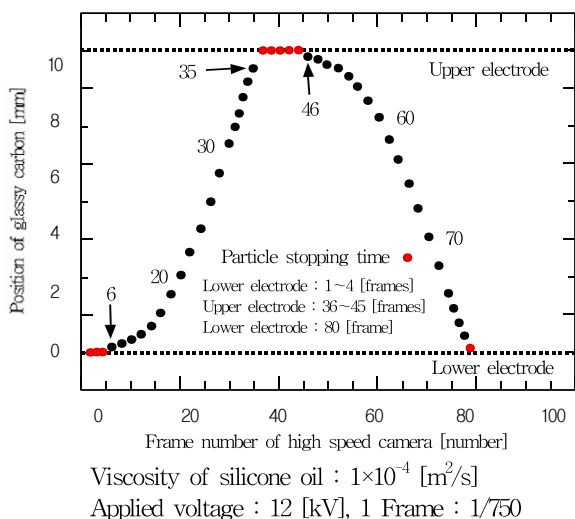


그림 5. 두 전극 사이에서 Gassy Carbon 입자의 운동
Fig. 5. Motion of a glassy carbon particle between two electrodes

그림 6은 Glassy Carbon 입자의 상방과 하방 운동하는 경우의 평균 속도를 각각 나타낸다.

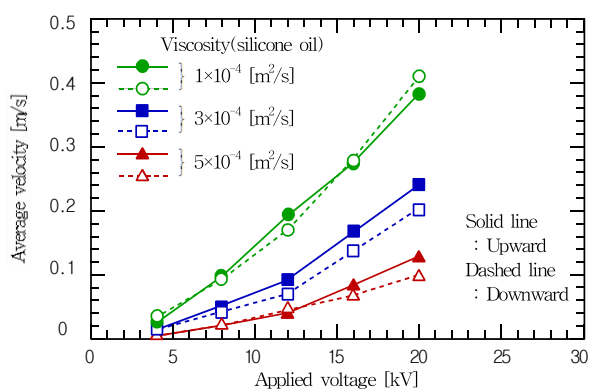


그림 6. Glassy Carbon 입자의 상방과 하방 운동에서 인가 전압에 대한 평균속도
Fig. 6. Average velocity of the upward and downward motion of a glassy carbon particle with respect to applied voltage

입자의 평균 속도는 인가전압이 높을수록 증가하고 실리콘유 의 동점도가 높을수록 감소한다. 동점도 $1 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$ 에서 비중이 작은 Glassy Carbon의 평균 상방 속도와 평균 하방 속도에는 큰 차이가 없지만 동점도가 높아지면 Glassy Carbon의 밀도가 실리콘유 의 밀도보다 높은 것에도 불구하고 평균 하방속도가 평균 상방속도보다 빠른 경우도 관측된다. 실리콘유 의 동점도가 높을수록 평균 속도가 감소하는 현상은 실리콘유 의 동점도가 높을수록 입자에 작용하는 점성 저항력이 크게 작용하기 때문으로 사료되고, 실리콘유 중에서 입자 운동은 상부 전극과 하부 전극에서 일시적으로 정지하고 있는 특이한 현상도 관측된다.

그림 7은 실리콘유 의 동점도 $5 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$ 에서 Glassy Carbon 입자의 상부와 하부 정지 시간을 각각 나타낸 것이다. 상부와 하부 전극에서의 정지 시간은 인가전압과 동점도가 낮을수록 큰 값을 가지며, 동점도가 $5 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$ 에서 약 0.4[sec]의 긴 시간을 상부 전극에서 정지하는 특이 현상도 간혹 관측되지만 일반적으로 동점도에 관계없이 하부 전극에서의 정지 시간이 상부 전극에서의 정지 시간보다 긴 시간을 나타내었다. 실리콘유 중에서 직경 1.0[mm]와 1.5[mm]의 Steel 입자는 Glassy Carbon 입자와 동일하게 상부와 하부 정지 시간을 갖지만 직경 2.0[mm]의 Steel 입자는 상부 정지 시간이 존재하지 않는 것을 확인하였다.

상부 및 하부 전극 상에서 입자의 정지는 매질이 공기인 경우에는 관측되지 않은 특징적인 입자 운동 패턴이다. 전극 상에 입자가 정지하는 원인의 하나로서 유체역학적 영향을 고려할 수 있다. 입자가 대향전극으로 향하여 운동하고 있을 때 입자의 운동 방향과 동일한 방향으로 실리콘유 의 흐름이 입자의 주변에 생성되고, 입자가 전극에 도달하여도 관성력에 의하여 그 유체의 흐름은 곧 사라지지 않고 그 흐름이 정지할 때까지 얼마 동안의 시간이 걸리며, 그 시간 동안 액체의 흐름에 의하여 입자가 전극으로부터 즉시 이탈하지 못하기 때문으로 판단된다.

직경 2.0[mm]의 Steel 입자에서 상부 정지 시간이 존재하지 않는 이유는 상부 전극에 접촉한 입자는 순간적으로 전기적 중성이 되고, 이 때 다른 소립자에 비

해 중력이 크게 작용하기 때문에 상부 정지 시간이 없이 곧바로 하방 운동을 시작하는 것으로 사료된다.

입자의 운동은 정전기력 및 중력 이외에도 반데르발스 힘(Van der Waals forces), 점성에 의한 저항력 및 입자의 운동에 동반되는 액체의 흐름 등이 종합적으로 수반하여 발생하지만, 현재까지 입자에 작용하는 모든 파라미터의 해석이 이루어지지 않아 낮은 전압에서 정지 시간의 큰 편차, 간혹 관측되는 상부 정지 시간과 하부 정지 시간의 역전 현상에 관한 이유를 해석하기는 곤란한 실정이지만, 앞으로 보완적인 실험, 수치해석을 통한 입자의 시뮬레이션 등을 통하여 입자의 운동을 보다 정확하게 규명할 예정이다.

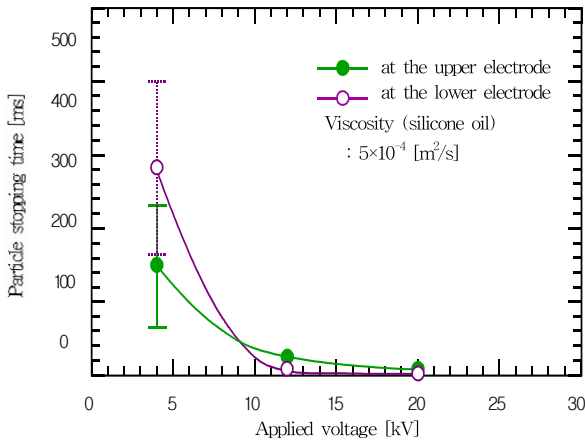


그림 7. 상부와 하부 전극에서 인가전압에 대한 입자의 정지 시간

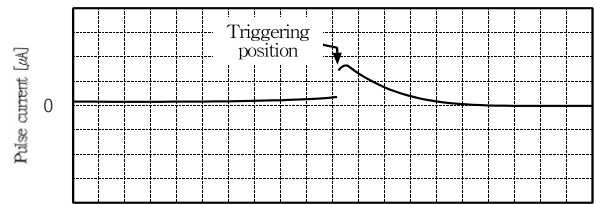
Fig. 7. Particle stopping time at the upper and lower electrodes with respect to applied voltage

3.3 대전입자의 전하 교환 위치 및 전하량

입자가 전극과 전하 교환을 일으키는 위치는 상부 전극 또는 하부 전극과 접촉하는 순간이다. 도체 간의 접촉에 의한 전하 교환은 상당히 짧은 시간에 일어나기 때문에 전류 펄스 파형은 급히 상승하여 서서히 감소하는 형태로 나타나는 것이 통상적이다. 본 실험에서는 전류 펄스 파형의 상승 부분에 오실로스코프를 이용하여 트리거를 설정하고, 전류 펄스 파형의 상승 부분이 트리거 레벨에 도달한 때에 오실로스코프로부

터의 동기신호에 동기화된 고속도 카메라가 입자의 위치를 촬영하도록 하였다.

그림 8은 전하 교환 시의 전류 펄스 파형과 입자의 위치를 나타낸다. 그림 8 (a)는 전하 교환 시 발생하는 전류 펄스 파형의 형태와 트리거의 위치, 그림 8(b)는 트리거에 의해 동기화된 고속도 카메라로 촬영한 전류 파형 발생 시의 입자의 위치를 나타낸다.



(a) Current waveform and triggering position



(Contact at Upper electrode) (Contact at lower electrode)
Glassy carbon particle, 22[kV], 4500[frame/s]

(b) Particle position when current waveform generates

그림 8. 전하 교환 시의 전류 파형과 입자 위치
Fig. 8. Current waveform and particle position when charge exchange occurs

입자의 운동속도가 늦은 경우 전류 파형은 입자가 상부 전극 또는 하부 전극에 접촉한 순간에 관측되지만, 인가전압이 높고, 입자의 운동속도가 빠를 경우에는 입자와 전극 간에 방전이 발생한다. 방전은 입자가 전극에 접촉을 하기 전부터 정지한 후 대향전극을 향하여 움직이기 시작할 때까지 연속적이며, 방전을 통하여 전하 교환이 이루어지는 것을 확인하였다. 또한 낮은 인가전압에서의 전류 파형은 전하 교환에 의한 파형뿐이지만, 인가전압이 높으면 입자의 운동에 의한 변위전류 성분도 동시에 측정되었다.

그림 9는 Glassy Carbon의 전류 펄스 파형을 적분하여 구한 전하량을 나타낸다. 전하량은 인가전압의

증가와 함께 커지며, 동일한 인가전압이라도 실리콘유
의 동점도가 낮으면 전하량은 큰 값을 나타내었다.

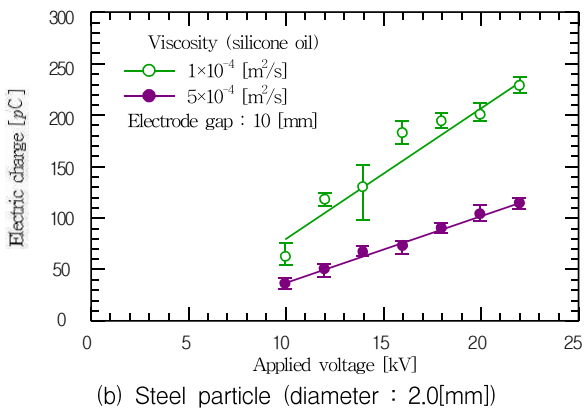
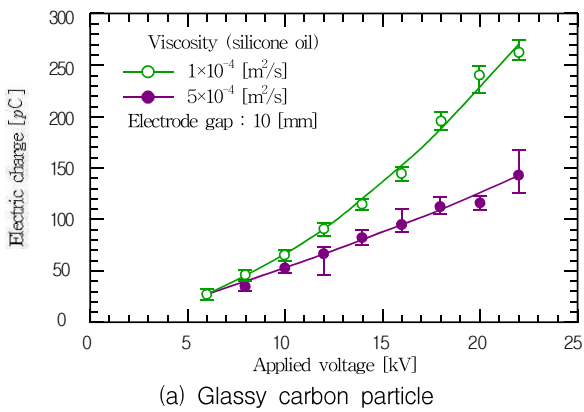


그림 9. Glassy Carbon과 Steel 입자의 전하량
Fig. 9. Charge on glassy carbon and steel particles

3.4 전하량의 비교

하부 전극 상에 놓여있는 입자의 이론적 유도 대전
량 q_0 는 다음 식에 의해 계산하여 구한다.

$$q_0 \approx 1.65 \times 4\pi\epsilon a^2 E [C] \quad (12)$$

그림 10은 Glassy Carbon과 Steel 입자의 동점도에
따른 위의 식 (12)의 이론식에 의해 구한 전하량 q_0 , 실
험에 의한 전류 펄스 파형의 적분으로부터 구한 전하
량 q_1 과 이들의 비 q_1/q_0 을 나타낸 것이고, 표 3은

Glassy Carbon 입자의 q_0 , q_1 과 q_1/q_0 을 나타낸 것이다.

Glassy Carbon 입자의 q_0 과 q_1 은 인가전압의 증가에
따라 커지며, 두 전하량의 비(q_1/q_0)는 동점도 1×10^{-4}
[m^2/s]에서 거의 0.1~0.25, 동점도 5×10^{-4} [m^2/s]에서
약 0.1 정도를 보이고 있다. 따라서 전류 파형으로부터
구한 전하량 q_1 은 이론식으로부터 구한 전하량 q_0 보다
대략 10~25[%] 정도의 적은 값을 나타내고 있다.

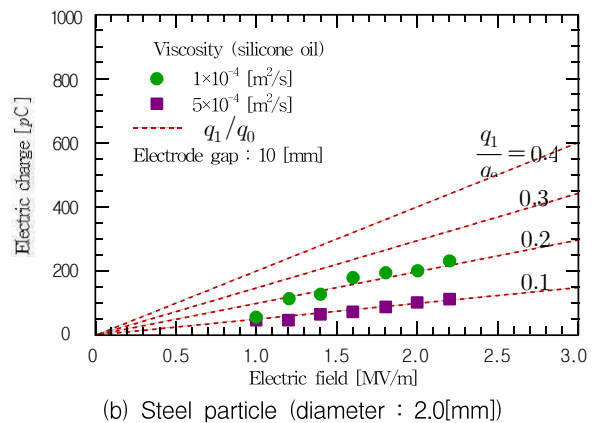
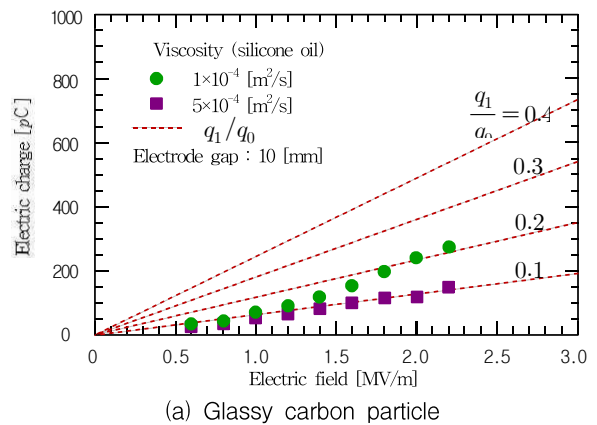


그림 10. Glassy Carbon에 대한 전하량의 실험값과
이론값의 비교

Fig. 10. Comparison between measured and
calculated charges on glassy carbon with
respect to viscosity

전류 펄스 파형으로부터 구한 전하량이 이론적인
유도 대전량보다 적은 이유는 이미 언급한 바와 같이
전하 교환 전후에 방전이 관찰된 현상으로부터 실제
적인 전하 교환이 한 번의 방전에 의한 것이 아니고

연속적인 방전을 통하여 행해지고 있다는 것을 알 수 있다.

그러나 본 실험에서 이용된 장치로는 전하 교환 시의 모든 전류 파형을 검출하는데 한계가 있고, 또 전류 파형의 시정수가 크기 때문에 시정수가 작은 방전에 의한 전류 파형은 최초의 전류 파형에 포함이 되어 있을 가능성이 있다.

또 입자의 유도 대전량은 인가전압과 입자를 둘러싼 매질의 유전율과 비례 관계가 있지만, 본 실험에서 사용된 실리콘유 의 비유전율은 동점도 $1 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$ 에서 2.73, 동점도 $5 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$ 에서 2.74로 차이가 거의 없기 때문에 전류 파형에 의한 적분량도 차이가 없을 것으로 생각되지만, 전류 파형으로부터 구한 대전량은 차이가 발생하였다. 본 연구 단계에서는 그 원인을 명확히 밝힐 수 없는 아쉬움은 있지만, 앞으로 실험 장치의 개량 등 지속적인 연구를 통하여 정확한 대전량의 계산 방법을 제시할 수 있기를 기대한다.

표 3. Glassy Carbon에 대한 전하량의 이론값과 실험값의 비

Table 3. Charge ratio of the theoretical values from Eq. 12 and the integrated values from the experimental data

Glassy Carbon	동점도 $[\text{m}^2/\text{s}]$	전계강도 $E [\text{MV}/\text{m}]$			전하량 비 교
		1	1.6	2.2	
$q_0 [pC]$	1×10^{-4}	501	802	1102	약 25[%]
$q_1 [pC]$		64	144	262	이하 ($q_0 > q_1$)
q_1/q_0		0.13	0.18	0.24	
$q_0 [pC]$	5×10^{-4}	503	805	1106	약 10[%]
$q_1 [pC]$		53	95	142	정도 ($q_0 > q_1$)
q_1/q_0		0.11	0.12	0.13	

4. 결 론

본 연구는 정전기력을 이용한 액화 플라스틱에 함유된 미세 입자의 제거를 궁극적인 목적으로, 평등전계 하에서 Glassy Carbon과 Steel 입자의 운동 특성을 조사하였다. 또한 미세입자의 유도 대전량을 실험값과 이론식으로부터 도출한 후, 그 결과도 비교분석하였으

며, 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 매질이 다른 공기 및 실리콘유 중에서 유도 대전된 입자가 움직이기 시작하는 정적 임계전압은 실험값과 이론값이 거의 일치한다.
- (2) 대전 입자는 평등전계 사이를 왕복 운동한다. 특히, 실리콘유 중의 입자 운동은 하부 정지, 상부 운동, 상부 정지, 하부 운동의 4가지 패턴으로 구분할 수 있으며, 상부와 하부 정지는 공기 중에서 관측되지 않은 특이한 운동 패턴이다. 이는 입자의 운동 방향과 동일한 방향으로 생성되는 실리콘유의 유체역학적인 흐름에 기인하는 것으로 사료된다.
- (3) 입자의 운동속도가 늦은 경우의 전하 교환은 상부 또는 하부 전극에서 접촉하는 순간에 일어나며, 입자의 운동속도가 빠른 경우의 전하 교환은 연속적인 방전을 통하여 이루어지는 것을 추정할 수 있다.
- (4) 전류 펄스 파형을 적분하여 얻은 입자의 대전량은 인가전압의 증가와 더불어 크게 되지만 측정값에서 구한 대전량과 이론식을 이용한 대전량 사이에는 상당한 차이가 존재한다. 이는 연속적인 방전에 의해 발생하는 전류 파형을 모두 검출하지 못한 차이 등에 기인하는 것으로 사료된다.

본 연구 결과는 정전기력에 의한 액화 플라스틱에 함유된 미세 입자의 운동 패턴을 파악하기 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 이는 궁극적으로 액화 플라스틱에 함유된 미세 입자의 제거와 유입 변압기 및 차단기 등에서 함유 또는 발생하는 미세 입자들에 의해 미치는 전기적 특성 등을 파악하여 성능 향상과 수명 연장에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험과 연구에 조언과 협조를 아끼지 않은 특허청 정보통신심사국 최창락 사무관님께 감사드립니다.

References

- [1] S. Oglesby and G. B. Nichols, "Electrostatic precipitation", Marcel Dekker, New York, 1978.
- [2] J. Böhm, "Electrostatic precipitators", Elsevier, Amsterdam, 1982.
- [3] H. C. Lim, K. Yatsuzuka and K. Asano, "Fundamental Characteristics of a Two-stage Electrostatic Precipitator", Proc. Inst. Electrostat. Jpn, 22, pp145-152, 1998.
- [4] Camille L. Bertrand, "Electrostatics: Theory and Applications", Nova Science Pub Inc, pp. 218-225, 2011.
- [5] H. Morgan and N. G. Green, "AC Electrokinetics: Colloids and Nanoparticles", Baldock, Herts, UK : Research Studies Press, 2003.
- [6] N. N. Lebedev and I. P. Skal'skaya, "Force Acting on a Conductive Sphere in the Field of a Parallel Plate Condenser", Sov. Phys. Tech. Phys., 7, pp. 268-270, 1962.
- [7] A. Y. H. Cho, "Contact Charging of Micron-Sized Particles in Intense Electric Fields", J. Appl. Phys., 35, pp. 2561-2564, 1964.
- [8] N. J. Félici, "Forces et charges de petits objets en contact avec une électrode affectée d'un champ électrique", Revue Générale de L'électricité, 75, pp. 1145-1160, 1966.
- [9] 静電氣學會編, "新版静電氣ハンドブック", オーム社, pp. 259-267, pp. 1200-1202, 1998.
- [10] Koh-ichi Sakai et al, "Model of Free-Conducting Particle Motion and Particle-Triggered Breakdown Mechanism in Non-Uniform Field Gaps", IEEE 2000 CEIDP Conf., pp. 389-392, 2000.

◆ 저자소개 ◆



임헌찬(林憲燦)

1960년 3월 26일생. 1983년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 졸업(석사). 1999년 동 대학원 졸업(박사). 1986~1991년 POSCO. 1997~1998년 일본 Yamagata대학 전자정보공학부 객원 연구원. 1992년~현재 대구공업대학교 부교수. 2011년~현재 대구광역시 경관 위원.

전기전자계열

Tel : (053)560-3893

E-mail : hclim7@paran.com