

# 유동과 전기장 내에서의 액체입자의 거동과 전기장이 입자의 산란에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

김 형 민\*

(2001년 8월 25일 접수, 2002년 1월 31일 심사완료)

## Numerical Evaluation of Charged Liquid Particle 's Behavior in Fluid Flow and Electric Field and The Electric Effect on the Particle Dispersion

Hyung Min Kim

**Key Words :** Charged liquid Particle(대전액체입자), Contact Efficiency (부착효율), Particle's Dispersion (입자의 비산도), Electric Field(전장), Flow Field(유동장)

### Abstract

Charged liquid particle's behavior in electric and flow field was simulated to define the effect of electric field on the contact area and its dispersion. For the simulation of flow and electric field finite volume method was applied. To find out the particle's moving path in that field lagrangian equation of motion was solved by Runge-Kutta methods. We assumed that the particle was charged 10% of Rayleigh limit while the particle passing through the electrode and the particle does not have an effect on the electric field. In case of 30[Kv] of voltage charging the particles injected from the central 60% of the nozzle injection area adhere to the grounded moving plate and no dispersion occurred. Increasing the charged voltage to 40[Kv], it brought about the same phenomena as that of 30[Kv] charging except the dispersion. Voltage increasing from 30[Kv] to 40 [Kv] caused higher Coulomb force acts on the particle and it made the particle dispersion.

### 기호설명

- $C_c$  : 커닝햄 보정계수
- $C_d$  : 항력계수
- $d_p$  : 입자의 직경 [m]
- $E_i$  : 전장의 세기 [Volt/m]
- $e$  : 유전율 [F/m]
- $F$  : 입자에 가해지는 힘 [N]
- $g_i$  : 중력가속도 [ $m/s^2$ ]
- $Kn$  : 너센 수
- $m_p$  : 입자의 질량 [kg]
- $P$  : 압력 [Pa]
- $Q_p$  : 입자의 하전량
- $u_i$  : 유체의 속도 [m/s]

- $V_{pi}$  : 입자의 속도 [m/s]
- $x_i$  : 좌표계
- $\nu$  : 유체의 점도 [ $m^2/s$ ]
- $\nu_i$  : 난류점도
- $\nu_{eff}$  :  $\nu + \nu_i$
- $\rho$  : 유체의 밀도 [ $kg/m^3$ ]
- $\phi$  : 전위차 [Volt]
- $\lambda$  : 기체의 평균자유행로 [m]

### 1. 서론

산업체에서 사용중인 연속 도유, 냉각, 도색공정은 생산품의 부식 방지 또는 다음 공정으로의 빠른 진입을 위한 생산품의 냉각에 액체 분사 노즐을 많이 이용하고 있다. 분사 노즐을 이용한 냉각이나 도유 공정의 특징은 충분한 갯수의 분사 노즐을 연속 공정 중에 설치하고 온도센서 또는

\* 회원, 경기대학교 전자기계공학부  
Email : pius@kuic.kyonggi.ac.kr  
TEL : (031)249-9815 FAX : (031)249-9796

그 밖의 센서를 이용하여 적당한 공정속도를 조절하고 있다. 특히 냉각 공정에서는 뜨거운 물체와 상대적으로 저온인 외부 기체 사이에서 발생하는 자연 대류에 의한 유동과 평판의 진행에 의해서 발생하는 유동 그리고 냉각수 분사에 의해서 발생하는 유동이 복합되어 공정의 내부에는 상당히 복잡한 유동이 항상 발생되고 있다. 이로 인하여 노즐에서 분사된 냉각수 중 많은 양의 냉각수는 물체의 냉각에 큰 영향을 미치지 못하고 대부분의 냉각수 입자는 외부로 비산된다. 때문에 공정속도를 증가시키기 위해서 더 많은 양의 냉각수를 빠른 속도로 분사 하는 것이 불가피하다. 단순하게 냉각수의 분사량을 증가시켜 냉각속도를 증가시키는 것은 부차적 문제를 발생시킬 수 있다. 본 연구에서는 분사량의 증가 없이 냉각속도를 증가시키기 위한 방법에 관한 기초연구로 유동과 전기장이 동시에 존재하는 영역에서의 액체입자의 거동에 관한 연구를 수행하였다. 실제로 도유 공정에서는 기름의 비산을 막고 평판에 기름의 부착효율을 증가시키기 위하여 고전압에 의한 대전장치를 이용하여 하전된 기름 입자를 평판에 부착시키고 있다. 전기장 내에서 입자의 거동에 관한 연구는 여러 각도로 이루어 지고 있다. 특히 정전섬유 필터를 이용한 입자 포집에 관한 연구<sup>(1,2)</sup>에서 대전 전압이 입자의 포집 효율을 향상시키는 효과가 있으며 최근에는 정전대전 축진 장치 내부에서의 액적의 대전효과<sup>(3-6)</sup>에 관한 연구와 전극과 전극 사이의 거리변화와 액적의 대전 관계를 규명하는 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 대전장치의 적용에 관한 연구로 김상현<sup>(7,8)</sup>은 연속 용융아연 도금 공정에 스펅글 역제를 위한 실험적 연구에서 470도로 가열된 강판에 액체 입자를 분사하여 강판의 냉각속도를 증가시키는 연구를 수행하였다. 이 연구에서 액체입자의 부착량을 증가시키기 위하여 대전장치로 액체를 하전시켜 인가전압의 변화에 따른 냉각속도의 변화를 측정하였다.

본 연구에서는 노즐로부터 분사된 액체 입자의 거동과 입자가 전기장을 통과한 후 대전된 입자로서의 거동을 수치적으로 해석하였다. 입자의 거동에 관한 해석에는 입자가 유동장에 의한 항력과 전기장에 의한 쿨롱력 그리고 중력이 입자에 영향을 미친다고 가정하였으며, 그 밖의 다른 영향 중 분극력이 있지만 사용 입자를 액체로 제한하여 분극은 발생하지 않아 배제 하였다. 유동장은 평판의 이동에 의해서 발생하는 유동과 분사에 의한 유체의 유동만을 고려 하였다. 전기장은 노즐 출구에 설치된 대전장치와 평판사이의 전압차에 의한 전압분포를 계산하였으며 분사된 액체입자는 전압분포에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다.

유동장과 평판과 전극사이 전압 분포를 유한체적법<sup>(9)</sup>을 이용하여 해석하였으며 입자의 거동에 관한 해석에 있어서 분사 액체 입자는 완전한 구형의 형태를 유지하며 입자들 사이에 상호작용은 없으며 각 입자 주위의 전장과 이온의 분포는 일정하다고 가정하였다. 입자의 운동에 대한 해석은 Runge-Kutta 법을 이용하였다.

## 2. 수치해석

### 2.1 유동장의 지배방정식

유동과 전기장 내에서의 입자 거동의 수치적 해석은 먼저 입자의 이동경로가 될 영역내의 유체의 속도 분포 해석이 선행되어야 한다. 노즐에 의해 분사된 공기에 의한 유동과 평판의 이동에 의해서 유도되는 유동을 고려하여 유동을 비압축성 난류유동으로 가정하였다. 본 연구에서는 단일 액체입자의 이동 경로를 수치 모사한 것으로 액체입자는 유동에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다. 이에 대한 질량과 운동량 보존 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \tag{2}$$

위 식 (2)에서  $\Gamma = \nu_{eff} / (U_{ref} L_{ref})$  이고  $\nu_{eff}$  는 동점성 계수( $\nu$ )와 난류 점성계수( $\nu_t$ )를 포함한 변수이다. 난류 점성계수는 난류 운동에너지( $K$ )와 난류에너지 소산율( $\epsilon$ )에 관한 식으로부터 그 값들이 결정되며 그 식들은 다음과 같다.

$$u_i \frac{\partial K}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_k \frac{\partial K}{\partial x_i} \right) + p - \epsilon \tag{3}$$

$$u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{K} p - C_2 \frac{\epsilon^2}{K} \tag{4}$$

여기서  $\Gamma_k$  와  $\Gamma_\epsilon$  은 각각  $\nu_t / (U_{ref} L_{ref} \sigma_k)$  와  $\nu_t / (U_{ref} L_{ref} \sigma_\epsilon)$  이다.  $p$  는 난류 응력과 평균속도 변화의 비에 대한 항으로 난류 운동에너지의 생성항이라 하며 수학적으로는 다음과 같이 표현된다.

Table 1 Empirical constants for turbulent model

Constant	$C_1$	$C_2$	$C_\mu$	$\sigma_t$	$\sigma_\epsilon$
Value	1.44	1.92	0.09	1.0	1.3

$$p = \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{K^2}{\epsilon} \quad (6)$$

그리고 위식 (3), (4)와 (6)에서 실험적인 상수들은 Launder B.E.<sup>(10)</sup> 과 Rodi W.<sup>(11)</sup>에 의해서 제시된 값을 이용하였다. 그 계수 값은 Table 1 과 같다.

### 2.2 전기장의 지배방정식

분사노즐 출구에 전극을 설치하였으며 전극과 평판사이의 전압분포는 전기장내에 분사된 액체입자가 전압 분포에 영향을 미치지 않는다고 가정하면 다음의 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( e \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (7)$$

여기서  $\phi$  그리고  $e (= 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m})$ 는 각각 전압과 유전율을 나타낸다. 전압분포에 의한 전기장의 세기( $E_i$ )는 다음과 같은 표현 할 수 있다.

$$E_i = -\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \quad (8)$$

### 2.3 입자의 운동방정식

입자에 작용하는 항력, 쿨롱력 그리고 중력에 의한 입자의 운동 궤적의 해석은 입자에 작용하는 힘의 평형 방정식을 해석함으로써 그 거동의 예측이 가능하다. 입자에 작용하는 힘의 차는 입자의 운동량의 변화 비로서 나타낼 수 있으며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$m_p \frac{\partial V_{pi}}{\partial t} = F_{di} + F_{ci} + F_{gi} \quad (9)$$

여기서  $m_p$ 는 입자의 질량,  $V_{pi}$ 는 입자의 속도 그리고  $F_{di}$ ,  $F_{ci}$ ,  $F_{gi}$ 는 입자에 작용하는 쿨롱력, 점성력

그리고 중력을 나타낸다. 입자에 작용하는 각 힘을 다음과 같이 정의 하였다.

$$F_{di} = \frac{\pi d_p \rho C_d}{8 C_c} (u_i - V_{pi}) |u_i - V_{pi}| \quad (10)$$

$$F_{ci} = Q_p E_i = n_r e_c E_i \quad (11)$$

$$n_r = \frac{1}{e_c} \sqrt{2\pi \gamma_r d_p^3} \quad (11-1)$$

$$F_{gi} = m_p g_i \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right) \quad (12)$$

여기서  $Q_p$ 는 액체입자의 전극 통과 시 하전량

그리고  $n_r$ ,  $e_c$ ,  $\gamma_r$ 는 각각 Rayleigh limit, 단위하전량 그리고 표면장력을 나타낸다. 강하게 하전된 액체입자는 지름이  $0.01 \mu\text{m}$  까지 분리될 수 있지만 하전량은 입자의 형태, 다른 입자들의 간섭등의 영향으로 실제로는 최대 하전량의 10% 정도 하전된다고 알려져 있다. 본 연구에서는 노즐에서 분사된 액체입자가 대전장치를 통과할 때 하전되는 현상으로 Reyleigh limit 의 10%가 하전된다고 가정하였다. 식 (10)에서 쿨롱력은 하전량과 전기장의 세기의 함수로 표현되어 있으며 전극 통과 후 하전량은 입자가 운동하는 동안에 변화하지 않고 전기장의 세기에 의해서 쿨롱력이 결정된다. 식 (9)에서  $C_d$ 는 Crawford<sup>(12)</sup>의 실험에 의해서 결정된 항력계수이고  $C_c$ 는 커닝햄보정계수<sup>(13)</sup>이며 이들 계수들은 아래 식 (12), (13)을 적용하여 산출하였다.

$$C_d = \frac{24}{\text{Re}} \quad \text{Re} < 1 \quad (13-1)$$

$$C_d = \frac{24}{\text{Re}} (1 + 0.15 \text{Re}^{0.687}) \quad 1 < \text{Re} < 1000 \quad (13-2)$$

$$C_d = 0.44, \quad 1000 < \text{Re} < 10^5 \quad (13-3)$$

$$C_d = 0.1, \quad \text{Re} > 10^5 \quad (13-4)$$

$$C_c = 1 + \text{Kn} \left[ A + Q e^{-\frac{b}{\text{Kn}}} \right] \quad (14)$$

여기서  $\text{Kn} (= \frac{2\lambda}{d_p})$ 은 닷센수로 기체의 평균자유

행로와 입자의 지름의 비를 나타내는 수이며 본 연구에서는 공기의 평균자유행로 값을 1 기압 20도의 공기일 때의 값 ( $\lambda = 0.0687 \mu\text{m}$ )을 적용하였다. 위 식의 A, Q, b는 실험적인 상수로서 제닝스<sup>(13)</sup>에 의해서 실험적으로 정해진 수를 적용하였다. 각 계수의 값들은 Table 2 와 같다.

Table 2 Cunningham correction factors

Factors	A	Q	b
Value	1.252	0.399	1.1

2.4 수치해석과 경계조건

이 계산영역의 크기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1.0 m x 0.5 m x 1.0 m으로 하였으며 Y=0 면을 대칭면으로 하였다. 계산영역내의 격자수는 각 축의 방향으로 40,25,50 개의 격자를 주었으며 총 격자수는 50000 개를 사용하였다. 계산의 정확성을 향상시키기 위해서 평판 주위에 격자를 집중시켰으며 벽면의 첫번째 격자점을  $X/L_{ref} = 0.01$  로 하였다. 이 때 공기의 노즐 분사 속도와 노즐의 폭을 기준조건으로 하여 레이놀드수(Re) 는 6500 이다. 노즐의 출구 폭은 판의 폭과 같은 크기로 설정하였고 높이는 스프레이 노즐의 분사 폭을 고려하여 0.1m로 하였다.

계산영역내의 속도분포는 지배방정식을 엇갈림 격자계에 유한체적법으로 이산화 하였으며 대류항과 확산항에는 하이브리드법 (Hybrid scheme)을 적용하였다. 지배방정식의 압력구배항은 Patankar 가 제시한 SIMPLE 법을 적용하여 보정압력으로부터 계산하였다. 대수행렬식의 해법으로는 TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm)와 오차의 분산을 위하여 해석방향을 변화시키는 스윙법을 이용하였다. 속도분포 해석에 적용한 경계조건은 아래 식과 같다.

노즐출구 :

$$u = 1, v = 0, w = 0 \tag{15}$$

평판 :

$$u = 0, v = 0, w = 1 \tag{16}$$

대칭면

$$\frac{\partial u_i}{\partial n} = 0 \tag{17}$$

그 외 다른 경계에는 자유경계로 Patankar 가 제시한 자유경계조건을 적용하였다.

난류모델에 관한 경계조건으로는 노즐 출구에서 Demuren<sup>(14)</sup>이 제시한 난류강도  $I=0.05$  로 하였으며, 평판에 인접한 제어체적에 대해서는 벽법칙을 이용하였다. 난류운동에너지와 난류에너지 소산율에 대한 노즐에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$K_m = \frac{3(IU_m)^2}{2} \quad \varepsilon_m = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} K_m^{\frac{3}{2}}}{0.1L} \tag{18}$$

정상상태 전압분포의 해석은 라플라스 방정식

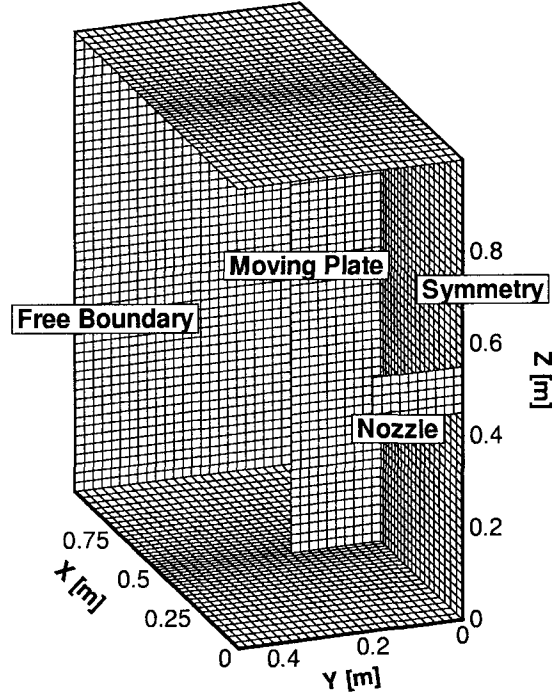


Fig. 1 Shape of the calculation domain and boundaries

의 해석으로 속도분포해석에 이용한 격자계에서 전압분포식을 이산화 하였으며 대수행렬식의 해법은 속도분포와 마찬가지로 TDMA 를 이용하여 해석하였다. 전압분포해석에 적용한 경계조건은 노즐출구에 전극이 설치된 것으로 가정하였으며 그 경계조건들은 다음과 같다.

노즐출구 :

$$\phi = \phi_m \tag{19}$$

평판 :

$$\phi = 0 \text{ (Ground)} \tag{20}$$

대칭면과 자유면 :

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \tag{21}$$

액체입자의 이동 궤적은 단일 액체입자를 노즐 출구의 한 지점에 위치시키고 미리 계산된 계산영역내의 유체의 속도와 전압에 의해 입자에 가해지는 힘을 계산하고, 입자의 시간변화에 대한 입자의 위치는 평형방정식, 식 (8),을 Runge-Kutta 법으로 해석하여 계산하였다. 노즐출구에 위치한 액체입자의 초기 속도는 유체의 유동속도와 같다고 가정하였다.

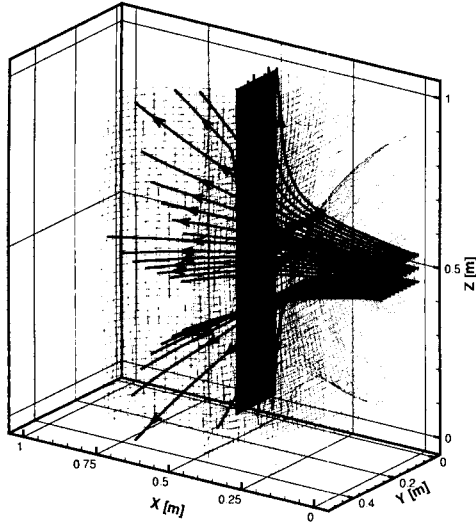


Fig. 2 Injected flow stream trace and voltage distribution contour plot in calculation domain

2.5비산도의 계산

노즐출구에서 분사된 액체입자들 중 일부는 평판에 부착이 되고 나머지 입자들은 외부로 비산된다. 노즐의 중심영역에서 분사된 액체입자는 평판에 부착되기 쉬운 반면에 노즐의 테두리 경계에 가까운 영역에서 분사된 입자들은 평판에 부착되지 못하고 비산된다. 노즐의 분사 면적( $A_{inj}$ )중 입자가 평판에 부착되는 노즐분사면적을 부착분사면적( $A_{ic}$ )으로 정의하였고 입자가 부착된 평판의 면적을 부착면적( $A_c$ )로 정의하였다. 입자의 부착효율( $\eta$ )은 노즐의 분사면적과 부착분사면적의 비로 나타냈고 부착비산도( $\alpha_d$ )는 부착분사면적과 부착면적의 비로 나타냈다.

$$\eta = \frac{A_{ic}}{A_{inj}} \tag{22}$$

$$\alpha_d = \frac{A_c}{A_{ic}} \tag{23}$$

3. 결과 및 고찰

유동장과 전기장이 동시에 존재하는 계산영역 내에서의 지름  $10 \mu m$ 의 액체입자의 이동 궤적과 거동을 알아보기 위하여 먼저 계산영역내의 속도 분포와 전압분포를 계산하였다. Fig. 2는 계산영역 내에 40kv의 전압이 인가되었을 때의 전압분포와 노즐에서 분사되는 유체의 유선을 나타낸 것

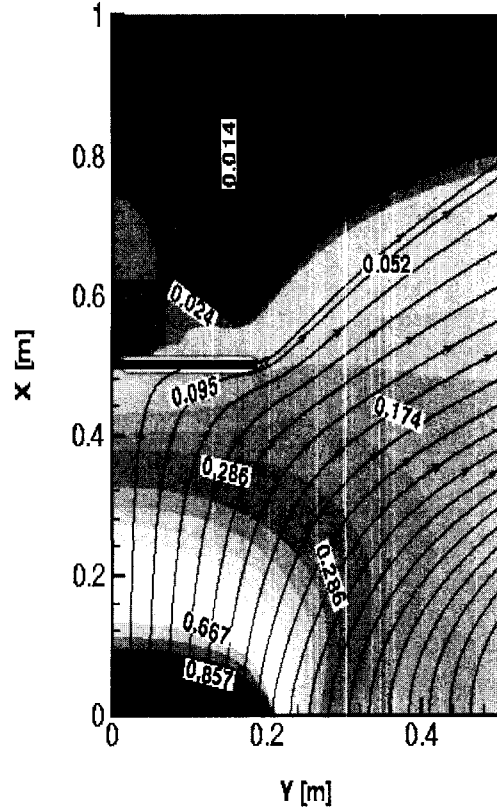


Fig. 3 Velocity magnitude contour plot and the stream trace on Z = 0.5 plane

이다. 앞 절의 경계조건에 의한 속도장의 분포는 Fig. 3에서 보는 바와 같으며 Fig. 3은 Z=0.5면에서의 등속력선과 유선을 나타낸 그림으로 노즐의 출구에서 1m/sec의 속도로 평판을 향하여 분사되고 있다. 분사된 유체는 평판의 영향으로 평판을 따라 비산되고 또한 평판이 Z 방향으로 1m/sec의 속도로 이동하고있어 비산되는 유체는 평판에 근접한 영역에서 양의 Z 방향으로 유도된다. Fig. 4는 y=0.1면에서 유체의 등속력선과 유선을 나타낸 그림으로 위에서 설명한 현상을 자세히 보여주고 있다. Fig. 5는 Z=0.5면에서 등전압선도를 나타낸 그림으로 계산영역내의 이동 평면에 0Kv를 그리고 노즐의 출구 면에 40Kv를 인가하였을 때의 전압을 나타낸 것이다. 평판의 에지에서 전압 변화의 경사도가 심하게 나타나며 이는 에지 부근에 강한 전계가 발생하는 것을 보여주고 있다. 액체입자는 에지 근처에 도달하면 강한 쿨롱력을 받게 되며 유체의 유동에 의해서 받는 항력보다 커져 평판쪽으로 이끌리게 된다. 이와 같은 전압분포와 유속 분포를 가지고 있는 계산영역 내에 단일 액체 입자를 시간 t=0.0일 때 노즐 출구의 한

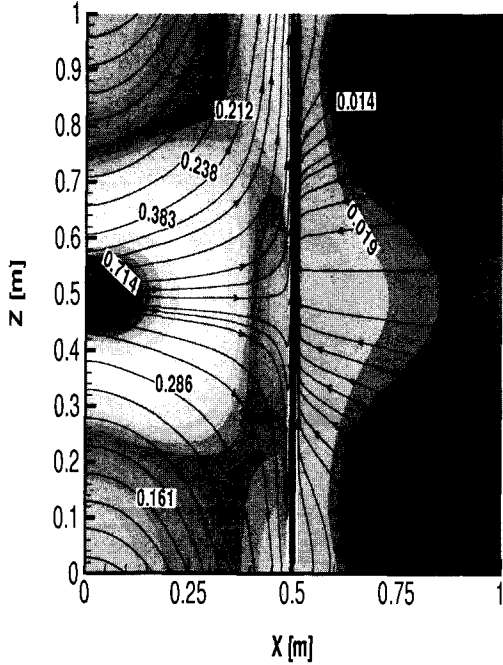


Fig. 4 Velocity magnitude contour plot and the stream trace on  $Y=0.1$  plane

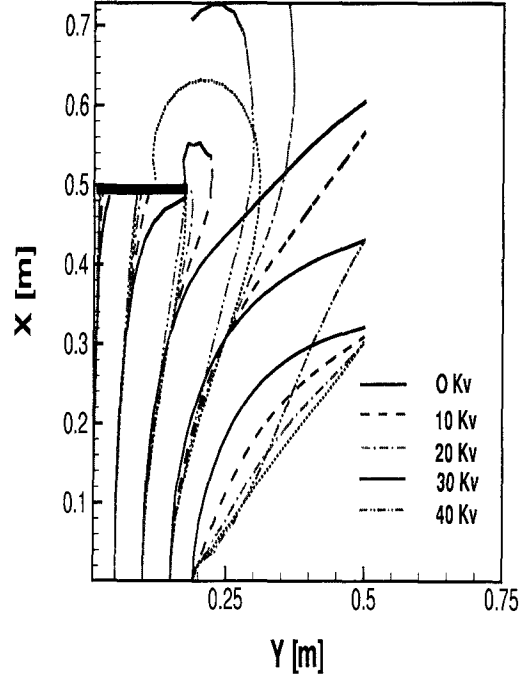


Fig. 6 Liquid particles trajectory variations due to their starting positions and the charged voltage

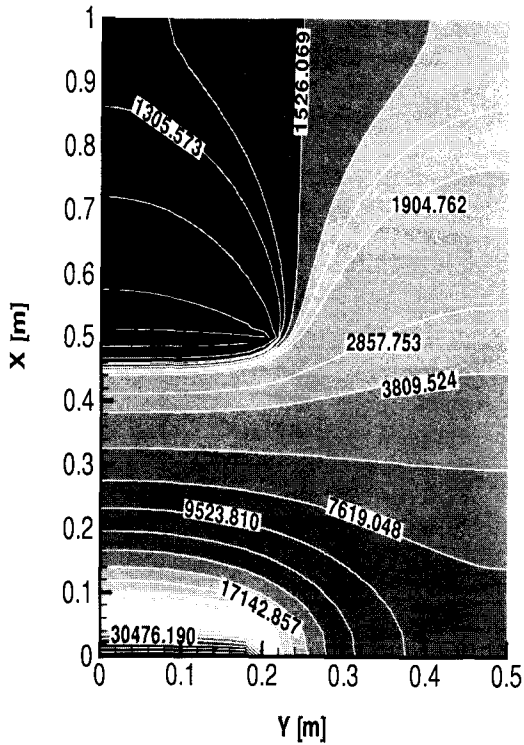


Fig. 5 Contour plot of voltage distribution on  $Z=0.5$  plane (40Kv at the electrode and grounded moving plate)

지점에 위치시키고 이 입자의 시간변화에 따른 거동을 살펴보면 입자는 유동에 의한 항력과 전계의 세기에 의한 쿨롱력 그리고 중력의 영향을 받아 시간 변화에 따라 새로운 위치가 결정된다. Fig. 6은 지름  $10\ \mu\text{m}$ 의 입자의 거동을 인가 전압의 변화에 따라 나타낸 그림이다. 인가전압이 없는 경우 즉 노즐에서 분사되는 유체의 유동에 의한 항력은 노즐의 출구 중앙영역( $Y < 0.05$ )에서 분사된 입자만을 평판에 부착시키는 것을 볼 수 있다. 입자의 초기 위치가  $Y=0.1$ 인 입자들을 비교해 보면 인가 전압이 증가 할수록 평판 전후면 또는 에지로 유도하는 전기적인 힘인 쿨롱력이 커져 입자를 평판 쪽으로 강하게 끌어 당기는 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 초기 위치가  $Y=0.1$ 인 입자들에 작용하는 X, Y, 방향의 항력과 쿨롱력을 인가전압에 따라 나타낸 그림이다. 인가전압이 증가 할수록 입자는 노즐출구에서 가장 큰 전위차를 갖게 된다 이는 출구에서 입자에 가해지는 쿨롱력 역시 가장 크게 작용한다. 이런 이유로 노즐 출구에서 입자는 X-방향 속도가 가장 크며 그 속도는 점차적으로 감소된다. 또한 X-방향의 항력 역시 입자가 움직이는 속도에 비례하여 10 Kv 증가 할 때마다 약 2 배 정도씩 커지는 것으로 나타났다. 노즐에서 분사되는 입자들의 분포가 균일하다고 가정하였을 때 입자의 부착분사면 적과 부착면적 그리고 부착

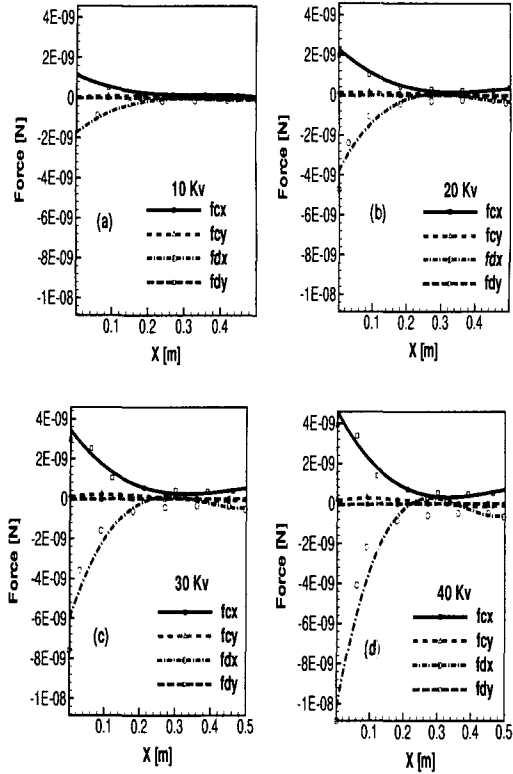


Fig. 7 Variations of X and Y direction drag and coulomb forces act on the particle due to the charged voltage variations

효율을 나타낸 그림이 Fig. 8 이다. 이것으로부터 인가전압이 없는 경우(0 Kv) 노즐의 전체 분사면적의 중심 22%내에서 분사되는 입자만이 평판에 부착되며 20Kv까지는 그 부착효율이 55.6%로 급격히 증가되고 30Kv 일 때 61%로 최대가 된다. 이는 김상현<sup>(7)</sup>의 실험결과, 20Kv까지 전압을 증가하였을 때 냉각속도가 급격히 증가하고 30Kv에서 최고 냉각속도를 갖는 것과 일치하는 것으로 나타났다. 40Kv가 인가되었을 때는 에지의 영향으로 부착면적이 다소 감소되는 것을 볼 수 있다. 입자의 비산도는 인가 전압이 없는 경우 상대적으로 적은 수의 입자가 넓은 영역에 부착되어 비산도는 커지게 되어 낮은 부착밀도를 야기시킨다. 반면에 인가전압이 증가할수록 부착밀도가 증가된다. 30Kv와 40Kv의 전압을 인가하였을 때 나타나는 부착면적과 비산도의 차이는 Fig. 7의 결과로 볼 때 에지의 강한 전계에 의한 Y 방향의 쿨롱력 증가가 원인인 것으로 생각된다.

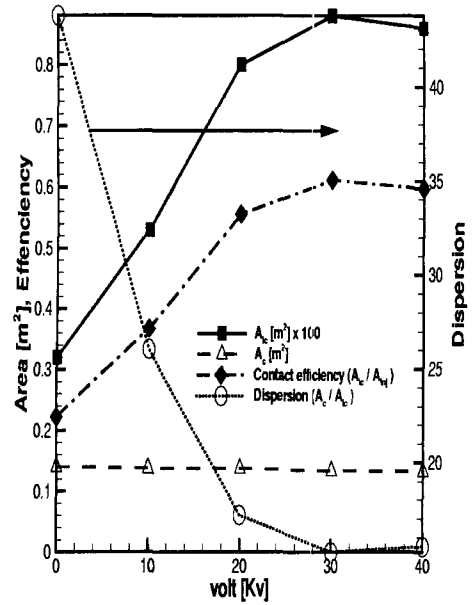


Fig. 8 Variation of the injection area and efficiency having an effect on contact and dispersion

#### 4. 결론

유동장과 전기장이 동시에 작용하고 있는 영역 내에서의 액체입자의 거동은 인가되는 전압의 차이에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 특히 인가전압이 없는 경우 액체입자의 부착분사면적은 0.0032m<sup>2</sup>로 중앙의 약 22%내에 있는 입자만이 평판에 부착이 가능하게 된다. 인가전압 20Kv까지는 부착효율이 55.6%로 급격하게 증가하게 된다. 30 Kv를 인가할 때 부착효율은 61%로 증가하여 최대값을 갖는다. 인가전압이 없는 경우 비산도는 43.75이고 30kv에서 15.21로 최저 부착비산도를 가지며 인가전압을 40Kv로 증가시켰을 때 에지에 발생하는 강한 전장의 세기는 액체입자를 에지 방향으로 끌어당겨 부착면적은 감소하고 부착비산도가 15.5가 되어 1.9% 증가되는 것으로 나타났다.

#### 후기

본 연구는 2000 학년도 경기대학교 학술연구비(신임교원과제)지원에 의하여 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다

### 참고문헌

- (1) 안강호, 1997, "정전 성유필터 주위의 입자포집 및 거동에 관한 수치해석적 연구," 대한기계학회논문집(B), 제 21 권, 제 11 호, pp 1509~1517
- (2) Satoru Sumiyoshitani, 1994, "Effects of an Applied electric field on Collection Efficiency by a Charged Droplet for Dust Particles in Charged Droplet Scrubbers," *Aerosol Science and Technology*, Vol. 20, pp. 71 ~ 82
- (3) Mohammad S. El-Shobokshy, A. Al-Sanea, and Abderrahim M. Adnan, 1994, "Computer Simulation of Monodisperse Aerosol Collection in Fibrous Filters," *Aerosol science and Technology*, Vol 20, pp. 149 ~ 160.
- (4) Choi, B. S., Fletcher, C.A.J., 1997, "Computation of Particle Transport in an Electrostatic Precipitator," *Journal of Electrostatics*, Vol. 40, pp. 413 ~ 418
- (5) Seok Joo Park, Sang Soo Kim, 1998, "Effects of Particle Space Charged and Turbulent Diffusion on Performance of Plate-Plate Electrostatic Precipitators," *Journal of Electrostatics*, Vol. 45, pp. 121 ~ 137
- (6) Gallimberti, 1998, "Recent Advancements in the Physical Modeling of Electrostatic Precipitators," *Journal of Electrostatics*, Vol. 43 pp. 219 ~ 247
- (7) 김상현, 2001, "연속 용융 아연 도금에 있어서 스펙클 형성 억제에 관한 연구," 학위논문, 부산대학교
- (8) 김상현, 김형민, 정원철, 정원섭, 2000, "정전 대전된 액적에 의한 용융 아연 도금층의 응고 방법," 한국표면공학회지, Vol. 33, No. 4, pp. 233 ~ 240.
- (9) Patankar, S.V. 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow," Hemisphere Publishing Corp.
- (10) Launder G. E. and Spalding D. B., 1974, "The Numerical Computation of Turbulent Flow," Vol.3, pp. 209 ~ 289
- (11) Rodi. W. and Sirvatsa, S. K. 1980 "A Locally Elliptic Calculation Procedure for Three Dimensional Flow and Its Application to a Jet in a Cross Flow," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 23, pp. 67 ~ 83
- (12) Crawford, M., 1976, "Air Pollution Control Theory," McGraw-Hill
- (13) Parker C. Reist, 1993, *Aerosol Science and Technology*, Mcgraw-Hill International
- (14) Demuren, A. O. and Rodi, W., 1987, "Three-Dimensional Numerical Calculation of Flow and Plume Spreading Past Cooling Towers," *Journal of Heat Transfer*, Vol. 109, pp.113 ~ 119