บทที่ 3

การประจุประจุไฟฟ้าแก่ละอองฝุ่น

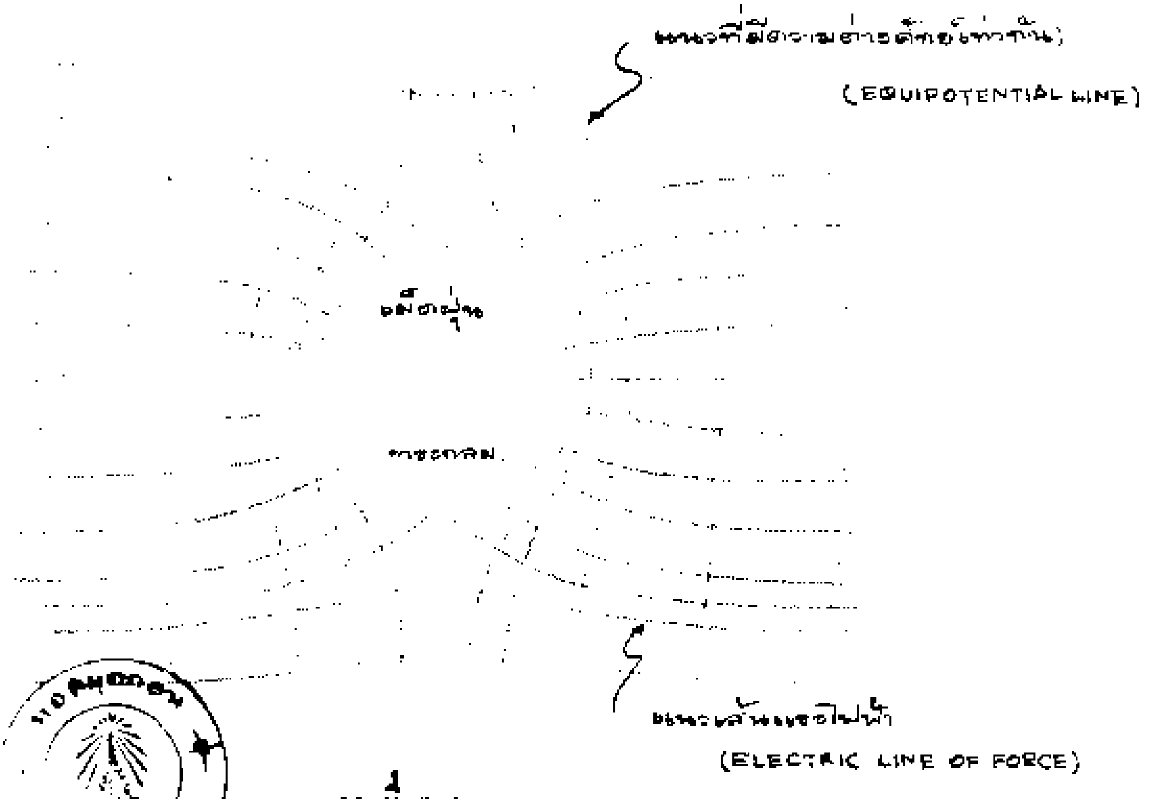
(**Particle Charging**)

ขบวนการแรกของเครื่องกรองได้แก่การประจุประจุไฟฟ้าให้แก่ละอองฝุ่น ในภาคประจุ (Charging Unit) ขั้นต่อไปจึงจะแยกละอองฝุ่นที่มีประจุ โดยอาศัยแรงระหว่างประจุในภาคกรอง (Collector Cell) ดังนั้นถ้าละอองฝุ่นมีประจุมาก การกรองก็มีประสิทธิภาพสูง การประจุส่วน – ใหญ่ต้องอาศัยกระแสโคโรนา กับ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วสูง (High Voltage)

การประจุละอองฝุ่นให้มีประจุ มีทั้งเกิดตามธรรมชาติ และมนุษย์ทำขึ้นเอง การเกิดประจุให้กับฝุ่นในทางธรรมชาติที่ให้ประจุมากที่สุด เป็นฝุ่นละอองที่ออกมาจากปล่องไฟตามโรงงานอุต – สาหกรรม (1) จะอยู่ในช่วง 10^4 esu. ต่อกรัม หรือมีเล็กน้อยประมาณ 5 % ถึง 10% ของการประจุจากกระแสโคโรนาในเครื่องกรองทั่ว ๆ ไปเท่านั้น การประจุจากกระแสโคโรนาก็โดยการที่อิออนจากกระแสโคโรนาวิ่งเข้าจับละอองฝุ่น อธิบายได้ 2 วิธี วิธีแรกโดยอาศัยความเข้มของสนามไฟฟ้า วิธีที่สองโดยการแพร่กระจายของอิออน เพราะมีการเคลื่อนที่แบบเดียวกับโมเลกุลของอากาศ เนื่องจากพลังงานความร้อน (Thermal Energy) วิ่งเข้าชนละอองฝุ่นเกิดประจุได้ การประจุแบบอาศัยความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีผลมาก เมื่อละอองฝุ่นมีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไป ส่วนการประจุเนื่องจากการแพร่กระจายของอิออน จะมีผลมากเมื่อขนาดละอองฝุ่นเล็กกว่า 0.2 ไมครอน ในช่วง 0.2 ไมครอน ถึง 0.5 ไมครอน จะเกิดการประจุทั้งสองแบบเท่า ๆ กัน (2)

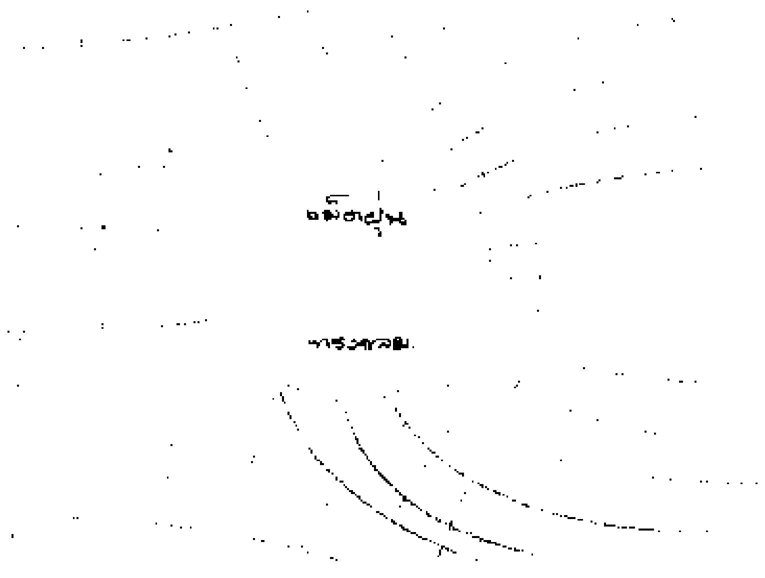
3.1 การประจุโดยสนามไฟฟ้า (**Field Charging Prouse**)

พบว่าเมื่อละอองฝุ่นลอยอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะปรากฏว่าเส้นแรงของสนามไฟฟ้าเบนเข้าหาละอองฝุ่น (3) (สมมุติว่าละอองฝุ่นมีรูปทรงกลม) เมื่ออากาศแตกตัวเป็นอิออน จะวิ่งเข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามตามแนวเส้นแรงของสนามไฟฟ้า วิ่งชนละอองฝุ่นเป็นการให้ประจุแก่ละอองฝุ่น



ภาพที่ 3.1

ภาพแสดงถึงแนวเส้นแรงไฟฟ้า เบนเข้าหาละอองฝุ่น (4)



ภาพที่ 3.2

ภาพแสดงถึงแนวเส้นแรงของไฟฟ้า เมื่อละอองฝุ่นเกิดประจุแล้ว

แต่ก็มีผลอยู่บ้างสำหรับละอองฝุ่นขนาดเล็ก จะเกิดการบ่ายเบนของแนวทางเดินของอิออนตามแนวเส้นแรงไฟฟ้า เนื่องจากอิออนวิ่งชนโมเลกุลของอากาศ จะมีแนวคลาดเคลื่อนไป ประมาณ 0.1 ไมครอน ที่สภาวะปกติของห้อง (5) (ion path irregularities) จะเห็นว่าละอองฝุ่นที่มีขนาดมากกว่า 1 ไมครอน จะไม่มีผลเลย จากการบ่ายเบนเองทิศทางของอิออนเมื่อละอองฝุ่นถูกประจุให้เกิดประจุไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าประจุไฟฟ้าบนละอองฝุ่นจะเกิดแนวของเส้นแรงไฟฟ้าใหม่ ผลักเส้นแนวแรงเดิมเบนออกไป ดังนั้นการประจุโดยอาศัยสนามไฟฟ้า จะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อแนวเส้นแรงไฟฟ้าภายในละอองฝุ่นสามารถจะผลักแนวเส้นแรงไฟฟ้าภายนอกออกไปหมด อิออนที่วิ่งมาตามเส้นแรงไฟฟ้าจะไม่เกิดการชนละอองฝุ่น การประจุจะมากก็ต่อเมื่อภายนอกต้องมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง และกระแสโค-โรนามาก

กำหนดให้	ค่า	n_s	=	จำนวนประจุสูงสุด (#e)
		E_o	=	ความเข้มสนามไฟฟ้าในอากาศ
		a	=	รัศมีของละอองฝุ่น
		k	=	ค่าคงที่ไดอิเลคตริก (Dielectric constant)
		e	=	ค่าประจุของอิเลคตรอน

ในกรณีที่ละอองฝุ่นเป็นตัวนำ เส้นแรงไฟฟ้าเบนเข้าหาเป็น 3 เท่าของเส้นแรงไฟฟ้าภายนอก แต่ไม่ผ่านตัวนำ ดังนั้นจำนวนประจุสูงสุดที่จะมีได้ในละอองฝุ่นที่เป็นตัวนำ คือ

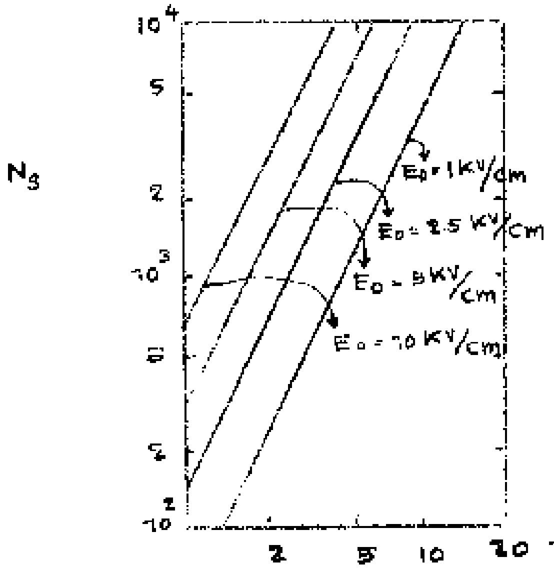
$$n_s = \frac{3 E_o a^2}{e} \qquad (6)$$

แต่ถ้าละอองฝุ่นเป็นฉนวนไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะทะลุผ่านเข้าไปภายในด้วย สนามไฟฟ้าที่เบนเข้าหาจะมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเลคตริกด้วย

ดังนั้น ค่าจำนวนประจุสูงสุดเป็น

$$n_s = \left(1 + 2\frac{k-1}{k+1}\right)\frac{E_o a^2}{e} \qquad (7)$$

กราฟที่ 3.1



กราฟแสดงจำนวนประจุสูงสุด จากการประจุโดยสนามไฟฟ้า ของละอองฝุ่นที่เป็นตัวนำ (6)

3.2 เวลาของการประจุประจุไฟฟ้าให้แก่ละอองฝุ่น โดยการประจุแบบสนามไฟฟ้า จำนวนเส้นแรงที่เบนเข้าหาผิวของเม็ดฝุ่นทรงกลม จะน้อยลงเมื่อประจุเพิ่ม หรือพื้นที่ผิวที่จะถูกอิออนวิ่งเข้าชนจะน้อยลง

$$i = j\,A(t) = \frac{d(ne)}{dt}$$

i = กระแสอิออนวิ่งชนเม็ดฝุ่น

j = ความหนาแน่นของกระแส (current density)

$A(t)$ = เป็นค่าที่มีมิติเป็นพื้นที่หรือผิวที่จะถูกอิออนวิ่งเข้าชนหาได้จาก

$$A(t) = \frac{\Psi(t)}{E_o}$$

$\Psi(t)$ = ฟลักซ์ของสนามไฟฟ้าที่เบนเข้าหาผิวทรงกลมที่เวลาใด ๆ

$$= \int_{o}^{\theta} E\, 2\pi a^2 \sin\theta\, d\theta$$

(E = ผลรวมของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ผิวของเม็ดฝุ่น)

จากนี้เราก็ทราบว่าจำนวนกระแสหรือจำนวนอิออนที่วิ่งเข้าหาเม็ดฝุ่นเวลาใด–เวลาหนึ่งได้ เพราะฉะนั้น เราก็หาผลรวมอิออนที่วิ่งเข้าชนเมื่อเวลาผ่านไป t ได้ สูตร

$$\frac{n}{n_s} = \frac{t}{t + t_o} \qquad (6)$$

โดย

$$t_o = \frac{1}{\pi N_o ek}$$

N_o = จำนวนอิออนต่อปริมาตร

k = อิออนโมบิลิตี (ion mobility)

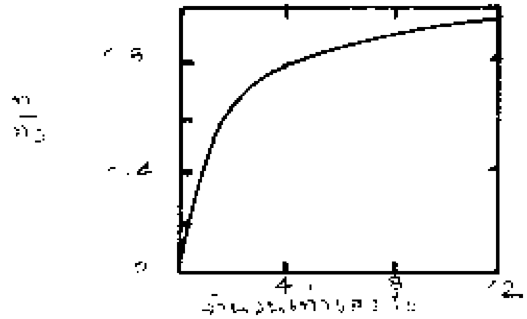
e = ประจุของอิเลคตรอน

สมมุติ N_o = 5×10^8 อิออน / ซ.ม.^{3}

e = 4.80×10^{-10} esu.

K = 2.2 ซ.ม. / วินาที / โวลท์ / ซ.ม.

จะได้ t = 0.0020 วินาที



กราฟที่ 3.2

กราฟแสดงอัตราส่วนของจำนวนประจุที่เวลา t ต่อจำนวนประจุสูงสุดกับเวลาผ่านไปเป็นกี่เท่าของ t (8)

3.3 การประจุเนื่องจากการแพร่กระจายของอิออน (Diffusion Charging)

การประจุแบบนี้ไม่ได้อาศัยความเข้มของสนามไฟฟ้า แต่อาศัยหลักที่อิออนจะวิ่งไปมา แบบเดียวกับการเคลื่อนที่ของแกซ แบบบราวเนียน ดังนั้นอิออนจะวิ่งเข้าชนละอองฝุ่นที่ลอยตัวอยู่ในอากาศ ละอองฝุ่นจะจับหรือรับประจุไฟฟ้าไว้เนื่องจากแรงอิเลคตริคออิมเมจ (electrical image) เกิดมีประจุไฟฟ้าบนละอองฝุ่น จะเห็นว่า ถ้าเวลาการประจุนานและความหนาแน่นของอิออนสูง การประจุก็จะมากด้วย

การหาจำนวนอิออนรอบ ๆ เม็ดฝุ่นจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน แบบเดียวกับกฎความดันบรรยากาศ (law of atmosphere) เนื่องมาจากศักย์สนาม (potential fld.)(9) ได้สมการ

$$N = N_o e^{-\left(\frac{ne^2}{akT}\right)}$$

N = จำนวนอิออนต่อ ซ.ม.^{3} รอบละอองฝุ่น

N_o = จำนวนอิออนต่อ ซ.ม.^{3} เมื่อไม่มีละอองฝุ่น

k = ค่าคงที่โบลซ์มานน์ (Boltzmann's const.)

a = ขนาดรัศมีของละอองฝุ่น

e = ค่าประจุของอิเลคตรอน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

เมื่อเราทราบการกระจัดกระจายของอิออนรอบ ๆ ละอองฝุ่นได้ จากทฤษฎีพลังงานจลน์ของแก๊ส (Kinetic Theory of Gas) ก็หาอัตราการวิ่งกระทบละอองฝุ่นต่อหน่วยเวลาได้ หรืออัตราการประจุของเม็ดฝุ่น เราก็หาต่อไปว่า จำนวนอิออนที่วิ่งเข้าชนทั้งหมดในช่วงเวลาเท่าไรได้

$$n = \frac{akT}{e^2} \ln\left(1 + \frac{ac N_o e^2 t}{kT}\right) \qquad (1[illegible])$$

n = จำนวนประจุที่เวลา t

สมมุติที่

N_o = $5 \times 10^{[illegible]}$ อิออน/ซม.^{3}

T = $300^\circ K$

จะได้

n = $1.[illegible] \times 10^{[illegible]}\, a \ln(1 + 4.4 \times 10^7\, a t)$

นำไปคำนวณได้ตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1

เวลา (วินาที) / a (ไมครอน)	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
0.1	0.7	3	7	11	15
1.0	51	70	110	150	190
10	700	1100	1500	1900	2300
100	11000	15000	1[illegible]000	25000	27000

(ตารางแสดงจำนวนประจุที่เวลาต่าง ๆ กัน และขนาดต่างกัน จากสมการข้างบน)

หนังสืออ้างอิง

1) L.B. Loeb " Static Electrification " Berlin: Springer Verlag, 1958 p. 134

H.J. White " Unpublished Laboratory Report " Research Corp. 1941

2) - 5) H.J. White " Industrial Electrostatic Precipitation " p.128-130 Addison-Wesley Pub. Co; Inc. (1963)

6) - 8) H.J. White " Particle Charging in Electrostatic Precipitation " AIEE Trans. 70, 1189 (1951)

9) L.B. Loeb " Kinetic Theory of Gases " 2nd ed. New York: McGrow - Hill 1934 p.95

10) H.J. White " Industrial Electrostatic Precipitation " p.138-140 Addison-Wesley Pub. Co; Inc. (1963

- - - - - - - - -