บทที่ 1

สิ่งสกปรกในอากาศ และการกรองฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง

ก. สิ่งสกปรกในอากาศ (1)

การขยายตัวทางอุตสาหกรรม การก่อสร้าง รวมทั้งยวดยานที่วิ่งไปมาตามท้องถนนได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ยิ่งเพิ่มมากเท่าไรก็ยิ่งทำให้อากาศซึ่งปกติมีฝุ่นละอองและควันอยู่แล้ว จะยิ่งเพิ่มปริมาณของฝุ่นละอองและควันมากยิ่งขึ้น ทำให้ความสกปรกในอากาศมากขึ้นเป็นลำดับ

1.1 การแบ่งชนิดของสารที่เป็นสิ่งสกปรกในอากาศ ตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี เราแบ่งออกดังต่อไปนี้

1.1.1 ฝุ่น (Dust) เป็นอนุภาคแข็ง เกิดจากพวกหินถูกบดละเอียด สิ่งของที่ทุพัง มีรูปร่างต่างกันไม่แน่นอน จะมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอน หรือเล็กกว่า จนถึง 100 ไมครอนขึ้นไป แต่ถ้าก้อนใหญ่จะลอยอยู่ในอากาศไม่ได้นาน เช่น ฝุ่นที่ลอยว่อนไปมา (Fly dust) ฝุ่นที่เกิดจากหิน (Rock Dust) ฝุ่นจากแป้งต่าง ๆ (Ordinary Flour)

1.1.2 ควัน (Smoke) เกิดจากการเผาไหม้พวกสารอินทรีย์ เช่น ควันจากการเผาต้นไม้ ยาสูบ ถ่าน แต่ในปัจจุบันยังได้รวมถึง อนุภาคเล็ก ๆ ของก๊าซที่ลอยตัวได้ จากปฏิกริยาเคมี เช่น การเปลี่ยนซัลเฟอร์ไดรออกไซด์ การรวมตัวและการควบแน่น เช่น การจับตัวของกรดสเตียริกจากไอของมัน หรือการจับตัวกับทางไฟฟ้า ขนาดของควันพวกนี้จะเล็กมาก ตั้งแต่น้อยกว่า 0.01 ไมครอน จนถึง 1 ไมครอน รูปร่าง ถ้าเป็นของแข็งจะไม่แน่นอน แต่ถ้าส่วนประกอบเป็นของเหลวจะมีรูปทรงกลม ลอยตัวในอากาศได้นาน จะเคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของอากาศเป็นส่วนมาก โดยเป็นไปตามแบบบราวเนียน (Brownian Motion)

1.1.3 ควันฟูม (Fumes) เกิดจากสารที่ร้อนมาก จนกลายเป็นไอ การควบแน่นของไอ การกลั่นตัว ซึ่งถ้าแล้วแต่ฝุ่นจุมีสูง ๆ เช่น การออกซิไดส์ของพวกไอโลหะ (Oxidation of metallic vapors) ได้แก่ ฟูมของสังกะสีออกไซด์ พวกฟูมมักจะเกิดมากตามโรงงานถลุงแร่ มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมครอน ถึง 1 ไมครอน ลอยตัวในอากาศนานและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียนเป็นส่วนมาก

1.1.4 <u>หมอก</u> (Mist or Fogs) เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดการลอยตัวของละอองน้ำในอากาศ ขนาดตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึง 100 ไมครอน (ถ้าขนาดโตกว่านี้เราเรียกว่าฝน) ในอุตสาหกรรมบางชนิดซึ่งทำให้เกิดควันละอองกรดซัลฟูริกเราก็จัดเป็นควันหมอก แต่ถ้ามีขนาดเล็กมากจัดเป็นควัน ควัน และถ้าเกิดจากการรวมตัวระหว่างควันกับหมอก เราเรียกว่าหมอกควัน (smog)

ตารางที่ 1.1

ส่วนประกอบของอากาศธรรมดา (2)

ส่วนประกอบสำคัญ

ชนิด	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ก๊าซไนโตรเจน	879	75
ก๊าซออกซิเจน	269	23
ก๊าซอาร์กอน	15	1.26
ไอน้ำ	8	0.7
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.5	0.04

ส่วนประกอบย่อย

ชนิด	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ในล้านส่วนโดย น.น.
ก๊าซนีออน	14	12
ก๊าซคริปตอน	4	3
ก๊าซซีเลียม	0.8	0.7
ก๊าซซีนอน	0.5	0.4
ก๊าซไฮโดรเจน	0.05	0.04

1.2 <u>สิ่งสกปรกในอากาศ</u> เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยทางทำลายผิวหนังโดยตรง โดยหายใจเข้าไปแล้วเป็นพิษ หรือเป็นอันตรายต่อตา ส่วนมากจะช้าหรือเร็วแค่ไหน และจะรุนแรงแค่ไหน ขึ้นอยู่กับชนิดโครงสร้างสารประกอบและขนาด จากน้ำหนักของละอองฝุ่นที่เท่ากัน ขนาดของมันจะมีความสำคัญมาก เช่น ฝุ่นของสารอย่างเดียวกัน ถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นผิวจำเพาะ หรืออัตราส่วนพื้นผิวต่อน้ำหนัก (Specific surface) มาก โอกาสที่จะทำปฏิกริยาให้เกิดอันตรายก็มาก รวมทั้งการระเหย การดูดซึมผ่าน การรับประจุไฟฟ้า ก็มากกว่าซึ่งเดียวกัน เมื่อมีขนาดใหญ่กว่า เพราะมีพื้นผิวจำเพาะน้อยกว่า

ตารางที่ 1.2

<u>ตารางแสดงพื้นผิวจำเพาะ และขนาด</u> (3)

ชนิดของละอองฝุ่น	ขนาด (ไมครอน)	พื้นผิวจำเพาะ (ซ.ม.^{2} ต่อกรัม)
ควันบุหรี่ใหม่	0.6	100,000
ละอองฝุ่นอย่างละเอียด	5	6,000
ละอองฝุ่นอย่างหยาบ	25	1,700
ละอองฝุ่นซีเมนต์	13	2,400
ละอองถ่านละเอียด	0.03	1,100,000
ทรายละเอียด	500	50

1.3 การพ้นสภาพของสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ในอากาศ (4)

สิ่งสกปรกในอากาศเราหมายถึง สิ่งที่ลอยอยู่ในอากาศเท่านั้น ถ้าตกถึงพื้นหรือติดตามฝาผนังหรือหายไปจากอากาศแล้ว ถือจะพ้นจากสภาพของการเป็นสิ่งสกปรกในอากาศไป เช่น พวกฝุ่นละออง-ขนาดใหญ่หรือหนัก จะตกถึงพื้นเร็ว ทำให้หมดสภาพดังกล่าวเร็ว การหมดสภาพของการเป็นสิ่งสกปรกในอากาศเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1.3.1 จากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Setting) ถ้าขนาดของฝุ่นใด จะมีน้ำหนักมากทำให้ตกถึงพื้นเร็ว ขนาดที่โตกว่า 100 ไมครอน อัตราการตกถึงพื้นจะเร็วถึง 1 ฟุตต่อวินาที

1.3.2 จากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ทำให้ชนกันเองจะเกิดการจับตัวกัน (Coagulate) เป็นก้อนใหญ่ อัตราการตกถึงพื้นก็จะเร็วขึ้น

1.3.3 การกลายเป็นไอ พวกที่เป็นไอน้ำ เช่น พวกหมอก จะกลายเป็นไอพ้นสภาพไป เมื่ออากาศร้อนขึ้น

1.3.4 ฝนตก, หิมะตก สามารถที่จะชำระล้างสิ่งสกปรกในอากาศได้ เพราะจะพาเอาฝุ่นต่าง ๆ ตกลงมา

1.3.5 ละอองฝุ่นที่วิ่งเข้าชนตามฝาผนัง ตามผิววัตถุ จะถูกจับไว้ด้วยแรงอัดแน่น (Impaction force) หรือแรงดูดระหว่างโมเลกุล (Van der Waal's or short range molecular attractive force)

1.3.6 ละอองฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้า สามารถจะถูกจับด้วยแรงระหว่างประจุของวัตถุที่มีประจุตรงข้าม

จากผลเหล่านี้เองที่ทำให้ในอากาศที่เงียบสงบ จะมีแต่ละอองฝุ่นที่อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 ไมครอนเหลืออยู่เท่านั้น แต่ถ้ามีลมพัดแรงละอองฝุ่นขนาดใหญ่จะมีมาก เพราะลมพาเอาฝุ่นตามพื้นดินขึ้นมาปะปนด้วย

1.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของละอองฝุ่น (5)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฝุ่นได้แก่ จำนวนประจุของละอองฝุ่น และสภาพนำไฟฟ้าของมัน โดยธรรมชาติละอองฝุ่นจะเกิดมีประจุจากการเสียดสี (friction charging) จากการเหนี่ยวนำ (induction) จากการสัมผัส (charge by contact) เป็นต้น (6) ละอองฝุ่นที่มีความต้านทานสูง จะรับประจุได้มาก ถ้ามีความต้านทานสูงเกินไป ประจุที่ได้รับจะมากเกินไป จะลดประสิทธิภาพของเครื่องกรอง (ลดกระแสไดโรนาจากภาคประจุของเครื่องกรอง) ฉะนั้น จากการทดลองเชื่อว่าสภาพนำไฟฟ้าที่ดีเหมาะ จะอยู่ในช่วงที่มีความต้านทานไม่มากไปกว่า $2 + 10^{10}$ โอห์ม – ซ.ม.

ตารางที่ 1.3

ตารางแสดงประจุของละอองฝุ่นในธรรมชาติ (7)

ชนิด	ประจุคิดเป็นร้อยละ			เริ่มมาณจำเพาะของประจุ	
	+	−	0	+ esu/gm.	− esu/gm.
เถ้า (Fly ash)	31%	26%	43%	1.9 ± 10^4	2.1 ± 10^4
ละอองยิปซัม (Gypsum dust)	44	50	6	1.6	1.6
ฝุ่นละอองทั่ว	25	25	50	0.003	0.003
ฝุ่นน้ำมันในห้องปฏิบัติการ (Lab. oil fume)	0	0	100	0	0

๑.๕ คุณสมบัติทางแสงของฝุ่นละอองที่ลอยตัวอยู่ในอากาศ

เมื่อแสงผ่านเข้าไปในละอองฝุ่นที่ลอยตัวอยู่ในอากาศ จะเกิดการกระจัดกระจายของแสง ความเข้มของแสงที่กระจัดกระจายจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ค่าดัชนีหักเห และสีของละอองฝุ่นนั้น ถ้าละอองฝุ่นมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ผ่าน การกระจายจะเป็นไปตามกฎของเรย์เล่ห์ (Rayleigh's) ซึ่งถ้าขนาด ๐.๑ เท่าของคลื่นแสง แสงที่กระจัดกระจายจะแปรตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกำลังหก และแปรผกผันกลับกับความยาวคลื่นกำลังสี่ แต่ถ้าขนาดใหญ่ขึ้น และไม่มากกว่าความยาวคลื่นของแสง แสงที่กระจัดกระจายจะแปรตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองฝุ่นกำลังสอง (๒) จากนี้เราพอจะประมาณค่าขนาดของละอองฝุ่นได้โดยประมาณ แต่ถ้าละอองฝุ่นมีขนาดโตกว่าความยาวคลื่นแสง จะกลายเป็นการสะท้อนและการหักเหธรรมดา ซึ่งความเข้มของแสงจะลดลงไป ถ้าแสงผ่านอากาศที่มีละอองฝุ่นลอยตัวอยู่ พบว่าอัตราการลดความเข้มของแสงต่อระยะทาง จะแปรตามความเข้มของแสงที่ผ่านเข้าไปในอากาศที่มีละอองฝุ่นลอยตัวอยู่ เขียนสมการได้ดังนี้

$$I = I_o e^{-kx}$$

I = ความเข้มของแสงที่ระยะห่างจากระยะเริ่มต้น ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศมีละอองฝุ่นลอยตัวอยู่ที่ระยะทาง x

I_o = ความเข้มของแสงที่จุดเริ่มต้นผ่านตัวกลาง

k = เป็นค่าคงที่

ค่า k จะแปรตามความหนาแน่นของละอองฝุ่นและพื้นที่หน้าตัดของละอองฝุ่นด้วย จึงดัดแปลงสมการได้ใหม่ เป็น

$$I = I_o e^{-Smx/4}$$

m = ความหนาแน่น น.น. ต่อหน่วยปริมาตร

S = พื้นที่จำเพาะของละอองฝุ่น

ขนาดของละอองฝุ่นในอากาศจะมากหรือน้อย ก็แล้วแต่บริเวณที่ใกล้เคียงมี

โรงงานอุตสาหกรรมแบบไหน

ตารางที่ 1-4

ตารางแสดงขนาด และความหนาแน่น จากโรงงานอุตสาหกรรม (9)

ประเภทอุตสาหกรรม	ชนิดฝุ่น	ขนาดเป็นร้อยละ			น.น /ฟุต^3 (เกรน/ฟุต^3)
		0 – 1 μ %	0 – 5 μ %	0 – 10 μ %	
โรงไฟฟ้า	เถ้าจากถ่านหิน	1	25	50	3
โรงซีเมนต์	ละอองฝุ่นของหิน	1	20	40	10
โรงถลุงเหล็ก	ฝุ่น	90	98	99	1
โรงงานเคมี	ฝุ่นกรดซัลฟูริค	99	–	–	0.05
	ฝุ่นของกรดฟอสฟอริค	15	99	–	20

๒. <u>การกรองฝุ่นในอากาศด้วยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง</u> (10)

การกรองฝุ่นโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง เพื่อให้ละอองฝุ่นได้รับประจุไฟฟ้า แล้วปล่อยให้ละอองฝุ่นวิ่งผ่านตะแกรงที่มีประจุตรงข้ามกัน ตะแกรงจะดูดละอองฝุ่นเข้าหาแผ่นตะแกรงด้วยแรงระหว่างประจุ

1.6 การกรองฝุ่นแบบนี้ [illegible] โฮห์ฟิลด์ (1924) เป็นผู้ริเริ่มทำการค้นคว้า โดยใช้หลักการประจุไฟฟ้าแก่ละอองฝุ่นด้วยกระแสอิออน หรือกระแสโคโรนา (Corona Current) ที่ได้จากการแตกตัวเป็นอิออนของอากาศเนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูงระหว่างขั้วไฟฟ้า แต่ก็ยังอยู่ในขั้นทดลองในห้องปฏิบัติการ หลายปีต่อมา เฮอร์โซลิเวอร์ และ [illegible] ได้ดัดแปลงเครื่องกรองฝุ่นโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง เพื่อใช้งานในการกรองฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เขาใช้งานในการกรองฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เขาใช้ไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง - ขนาดตั้งแต่ 30 กิโลโวลท์ถึง 100 กิโลโวลท์ หรือมากกว่า ซึ่งทำให้เกิดการโอโซน และออกไซด์ของพวกกำมะถันไนโตรเจนมากเกินไป ทำให้เป็นอันตรายได้ ต่อมา เพนนี (1930) ได้สร้างเครื่องกรองฝุ่น โดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง เพียงประมาณ 10 – 20 กิโลโวลท์เท่านั้น และเขาสามารถที่จะลดปริมาณการเกิดการโอโซนให้พอเหมาะ ไม่มากจนทำให้เกิดเป็นอันตราย และเหมาะจะใช้ในงานกรองฝุ่นภายในห้องและอาคารทั่ว ๆ ไป

1.7 ระบวนการมูลฐานของการทำงานของเครื่องกรองฝุ่นโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง แบ่งการทำงานออกเป็น

1.7.1 อากาศ จะเกิดการแตกตัวเป็นอิออนก่อน เนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง

1.7.2 อิออนของอากาศ จะวิ่งไปจับละอองฝุ่นซึ่งเป็นการประจุประจุไฟฟ้าให้แก่ละอองฝุ่น

1.7.3 เมื่อละอองฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้าไหลผ่านตามอากาศเข้าไป ผ่านตะแกรงที่มีประจุตรงข้าม ละอองฝุ่น

จะถูกดูดเข้าหาแผ่นตะแกรงด้วยแรงระหว่างประจุ และภายหลังที่ละอองฝุ่นถ่ายเข้าประจุแล้วแผ่นตะแกรงละอองฝุ่นจะเกาะติดแผ่นตะแกรงด้วยแรง

1.7.4 จะมีการรวมตัวของอิออนของอากาศที่ได้จากการแตกตัวเป็นอิออนของอากาศ ด้วยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูง เกิดเป็นหมอกการชนิดใหม่ขึ้น เช่นหมอก การโอโซน หรือหมอกออกไซด์ของกาซไนโตรเจน

1.8 จากการทำงานของเครื่องกรองฝุ่นโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูงนี้ เราต้องที่จะสร้างเครื่องกรองฝุ่นให้ประกอบด้วย 2 ภาคใหญ่ ๆ ได้แก่ ภาคประจุประจุไฟฟ้าแก่ละอองฝุ่น และ ภาคกรองละอองฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้าแล้ว

1) ภาคประจุประจุไฟฟ้าแก่ละอองฝุ่น (Charging Unit) จะเป็นภาคการรวมการทำงานของข้อ 1 และข้อ 2 ดังกล่าวมาแล้ว คือทำให้อากาศแตกตัวเป็นอิออน และให้อิออนของอากาศวิ่งชนละอองฝุ่น ดังนั้นภาคนี้จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่มีไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูงพอที่จะทำให้อากาศแตกตัวเป็นอิออนและวิ่งไปตามแนวเส้นแรงของสนามไฟฟ้า เราเรียกว่า กระแสโคโรนา (Corona Current) กระแสโคโรนาจะมากหรือน้อย สามารถควบคุมได้โดยใช้ไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูงตามความเหมาะสม

2) ภาคกรองละอองฝุ่นที่มีประจุไฟฟ้า (Collector Cell) ประกอบด้วยแผ่นตะแกรงเป็นขั้วไฟฟ้า ใช้ไฟฟ้าสถิตย์ศักดาสูงที่ไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดกระแสโคโรนาได้ เพราะเราต้องการให้แผ่นตะแกรงมีแรงดูดระหว่างประจุกับละอองฝุ่นเท่านั้น

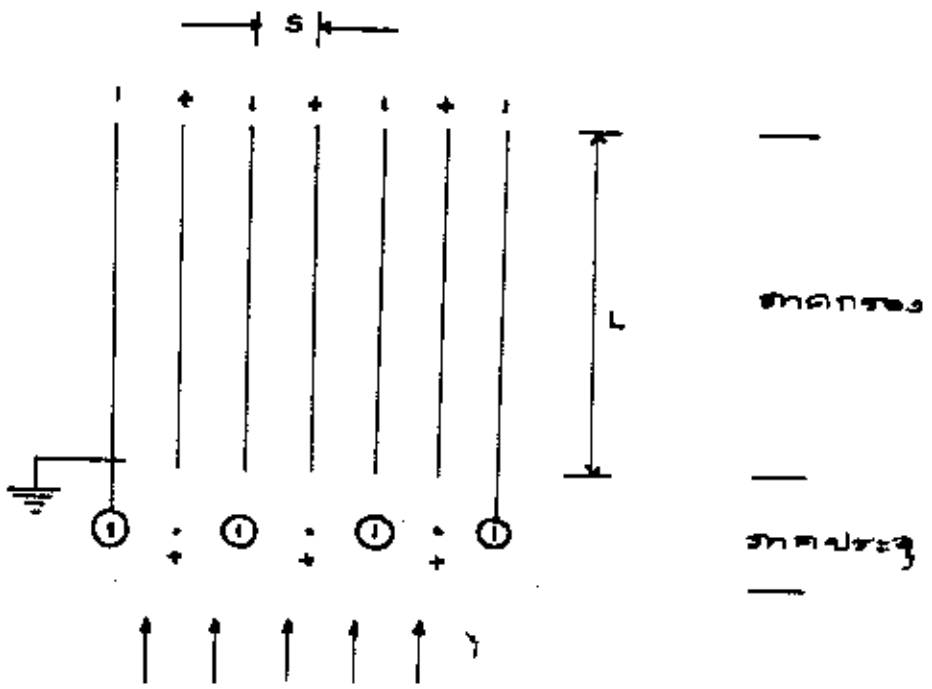
1.9 ในเครื่องกรองฝุ่น เราสามารถที่จะสร้างภาคประจุ กับภาคกรองรวมกันได้เป็นตอนเดียว (Single Stage) หรืออาจจะสร้างแยกกันอยู่เป็น 2 ตอน (Two Stage)

เครื่องกรองฝุ่นแบบตอนเดียว (**Single Stage Precipitator**)

คือใน กล่องเครื่อง อันเดียวจะทำหน้าที่ทั้งการประจุและการกรองไปในตัว

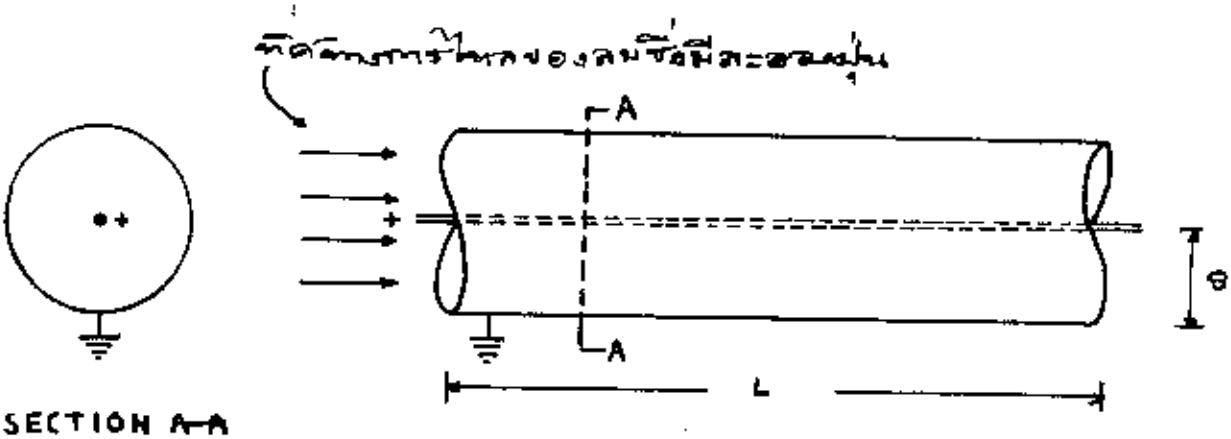
ในเครื่องกรองฝุ่นแบบ 2 ตอน

เราแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ภาคกรอง กับ ภาคประจุ ซึ่งแยกกัน



ทิศทางการไหลของลมที่ผ่านเครื่องกรองฝุ่นแบบสายกรอง

สายประจุกับสายกรองแยกกันอยู่.



สายประจุกับสายกรองรวมกัน

จากภาพที่ 1.1 เราจะเห็นได้ว่า เครื่องกรองแบบตอนเดียว เราให้อากาศผ่านขนานกับเส้นลวด (ioninging wire or high voltage wire) ตลอดเครื่องกรอง อากาศใช้เวลาผ่านภาคประจุนาน ดังนั้นปริมาณการเกิดการไอโซนก็มาก แต่ในเครื่องกรองแบบ 2 ตอน ทิศทางของการไหลของอากาศตั้งได้จากกับเส้นลวด (ioninging wire or high voltage wire) เวลาที่อากาศไหลผ่านภาคประจุก็น้อย ดังนั้นปริมาณการเกิดการไอโซนจึงน้อย เมื่อการเกิดของกระแสโคโรนาที่เท่ากัน (และจากการทดลองเราพบว่า การไอโซนที่เกิดขึ้นแปรโดยตรงกับกระแสโคโรนา)

หนังสืออ้างอิงในบท

1 H.L. Green and W.H. Lane "Particulate Clouds, Dust, Smokes and Mists, Princeton " Van Nostrand, 1957

J.E. Gibbs,"Clouds and Smokes," Philadelphea : Blakiston 1924

2 วิทยานิพนธ์ " Air Pollution " ของ นาย ไพศาล ลิ่มวงศ์ และ นาย ทัศน์ชัย บัณฑิตกุล ประจำปีการศึกษา 2507

3 H.J. White, "Industrial Electrostatic Precipitation " Portland State College. p. 52 Addison-Wesley Pub. Co; Inc. (1963)

4,5 H.J. White, " Industrial Electrostatic Precipitation " p.502-508

6 Harris and Hemmering, " Introductory Applied Physis." p. 502-508 McGraw-Hill Book Co., Inc. (1955)

7 H.J. White, " Characteristics of Industrial Dispersoids " Unpublished Research Corporation Report (1941)

8,9 H.J. White, " Industrial Electrostatic Precipitation " p.65-71

10 Electronics Engineers of Westinghouse Electric Corporation , " Industrial Electronics Reference Book " (1948) p. 526-562