



บทที่ 2

ฟิล์มพลาสติกและการปรับผิวพลาสติกโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา

ฟิล์มพลาสติก

1. ชนิดของฟิล์มพลาสติก

การปรับผิวพลาสติกโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้กับฟิล์มพลาสติกเท่านั้น เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบระบบของการปรับผิว ฟิล์มพลาสติกที่ผลิตส่วนมากนำไปใช้งานบรรจุภัณฑ์โดยแปรรูปให้อยู่ในลักษณะต่าง ๆ เช่น ถุงพลาสติก เป็นต้น ชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นฟิล์มพลาสติกที่พบเห็นเสมอ ได้แก่ โพลีเอทิลีน (POLYETHYLENE, PE) โพลีพรอพิลีน (POLYPROPYLENE, PP) และ โพลีไวนิลคลอไรด์ (POLYVINYL CHLORIDE, PVC) เป็นต้น

1.1 โพลีเอทิลีน มีโครงสร้างดังนี้ $[-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-]_n$ และอยู่ในตระกูลเทอร์โมพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก พลาสติกชนิดนี้มีใช้งานอยู่ในชีวิตประจำวันมากมาย และยังสามารถแบ่งย่อยตามความหนาแน่นได้อีก 3 ชนิด คือ

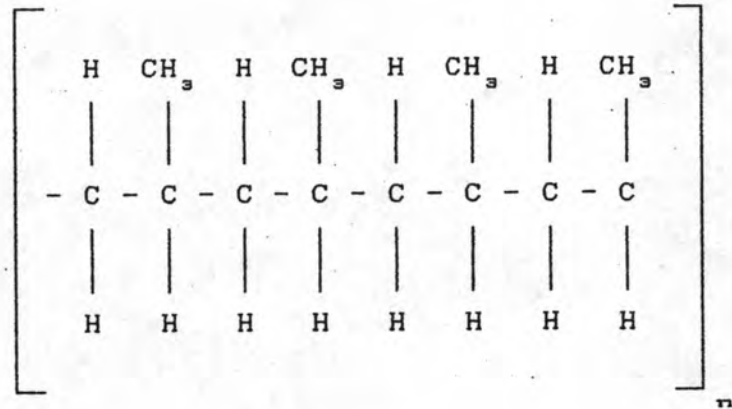
1.1.1 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LOW DENSITY POLYETHYLENE, LDPE) เม็ดพลาสติกมีลักษณะสีขาวขุ่น มีความหนาแน่นในระดับ 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเหนียว แต่ความทนทานต่อแรงดึงปานกลาง มีความเป็นฉนวนและความทนทานต่อสารเคมีดี ความดูดซึมน้ำต่ำ คือ น้อยกว่า 0.05% ใน 24 ชั่วโมง ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ใด ๆ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 122 องศาฟาเรนไฮต์ ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี ทนต่อสภาวะอากาศทั่วไป แต่ไม่สามารถทนต่อการนำไปใช้ในที่ที่มีแสงพระอาทิตย์ได้ เป็นต้น การนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ทำได้โดยใช้วิธีการผลิตชนิดต่าง ๆ เช่น การฉีด (INJECTION MOLDING) การเป่า

(BLOW MOLDING) การฉีดเป่า (INJECTION BLOW MOLDING) การหล่อฟิล์ม (CAST FILMS) การรีด (EXTRUSION MOLDING) การรีดร่วม (COEXTRUSION) และ การหมุน (ROTATIONAL MOLDING) เป็นต้น ใช้ในงานผลิตฟิล์มพลาสติกมีประมาณ 70% ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานนี้ ได้แก่ ถุงใส่ของเย็น ถุงแช่แข็ง ถุงชิป ถุงหิ้ว ท่อน้ำหยด ฟิล์มด้านการเกษตร ฟิล์มกันซึมเคลือบพอยล์ ดอกไม้พลาสติก สายน้ำเกลือ ฯลฯ มีความทนทานต่อสารเคมีดี คือสามารถทนต่อกรด ด่าง และ แอลกอฮอล์เกือบทั้งหมด ทนความร้อนได้ 140 - 175 องศาฟาเรนไฮต์ [3,4]

1.1.2 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE, MDPE) มีความหนาแน่นในระดับ 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พลาสติกชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศ ลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกับชนิดความหนาแน่นต่ำ

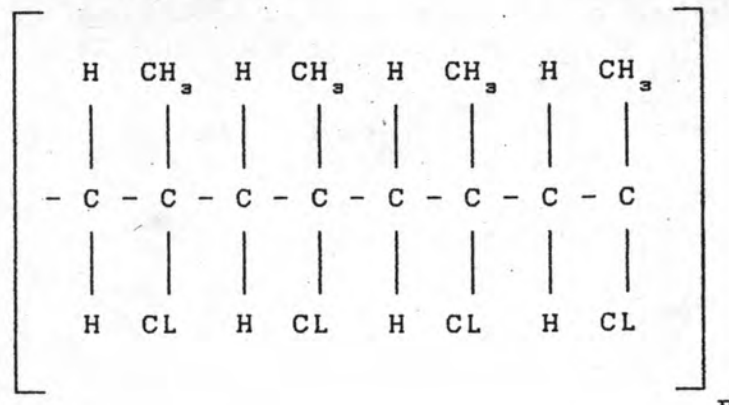
1.1.3 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HIGH DENSITY POLYETHYLENE, HDPE) เม็ดพลาสติกมีสีขาวขุ่นเข้ม มีความหนาแน่นในระดับ 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คุณสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าชนิดความหนาแน่นต่ำ และปานกลาง ดูดซับน้ำได้ต่ำ คือ น้อยกว่า 0.01% ใน 24 ชั่วโมง ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดีมาก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนและความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยา มีลักษณะการผลิตเพื่อนำไปใช้งานเช่นเดียวกับชนิดความหนาแน่นต่ำ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้แก่ หลอดกาแฟ แผงบรรจุยา ถุงหิ้ว ขวดนม ถุงน้ำกลั่น ถังใส่สารเคมี ฯลฯ สามารถทนความร้อนได้ 180-225 องศาฟาเรนไฮต์ [3,4]

1.2 โพลีพรอพไพลีน พลาสติกชนิดนี้อยู่ในตระกูลเทอร์โมพลาสติกเช่นเดียวกันและคล้ายคลึงกับโพลีเอทิลีนมาก เม็ดพลาสติกมีสีขาวขุ่น มีโครงสร้างทางเคมีดังนี้



มีความหนาแน่นต่ำกว่าโพลีเอทิลีนซึ่งอยู่ในระดับ 0.900 - 0.915 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร คุณสมบัติทั่วไปได้แก่ สามารถทนแรงกระแทกสูง ทนความร้อนดีกว่าโพลีเอทิลีน สามารถผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายชั่วโมงในสภาพเปียกและแห้ง มีความแข็งแรง ทนแรงดึงได้สูง ทนต่อแสงแดด ไขมันและออกซิเจนผ่านได้น้อย คือน้อยกว่า 0.01% ต่อ 24 ชั่วโมง เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ทนทานต่อการหักไปมา แต่จะไม่ทนที่อุณหภูมิต่ำ ๆ คือ จะแตกง่ายที่อุณหภูมิ -4 องศาฟาเรนไฮด์ เป็นต้น นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ยากกว่าโพลีเอทิลีน เนื่องจากความแตกต่างในเรื่องของความร้อนจำเพาะ การไหล อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมละลายและอัตราการหดตัวในแม่แบบ แต่ก็ใช้วิธีการผลิตเช่นเดียวกับโพลีเอทิลีน ทั้ง 3 ชนิด ทนอุณหภูมิความร้อนได้อย่างต่อเนื่องสูงถึง 250 องศาฟาเรนไฮด์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้แก่ ถุงห่อเสื้อผ้าสำเร็จรูป ถุงร้อน ขวด ฯลฯ [3,4]

1.3 โพลีไวนิลคลอไรด์ มีโครงสร้างทางเคมีดังนี้



พลาสติกชนิดนี้ปกติจะแข็ง มีความแข็งแรงสูง เหนียว ทนต่อน้ำ ทนอุณหภูมิได้ถึง 200 องศาฟาเรนไฮต์ สามารถเติมสารพลาสติก-ไซเซอร์ (PLASTICIZER) เพื่อให้เกิดความนิ่ม ถ้านำไปใช้งานด้านการบรรจุภัณฑ์ จะเติมสารนี้ลงไปมากกว่า 25% คุณสมบัติทั่วไปได้แก่ มีความคงทนต่อสารเคมีได้ดี มีความแข็งแรงทางกลสูง ไม่ทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์พวกไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซิน โทลูอิน ดีโตน และเอสเทอร์ เป็นต้น สามารถทนความร้อนต่อเนื่องถึง 150-190 องศาฟาเรนไฮต์ [3,4]

2. คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มพลาสติก

ในการออกแบบแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่มีความถี่สูงสำหรับการปรับผิวพลาสติกโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา เราจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มพลาสติกบางประการเพื่อไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับฟิล์มพลาสติกลักษณะของการเคลื่อนที่ฟิล์มพลาสติกผ่านขั้วอิเล็กโทรดกับขั้วกราวด์นั้น เสมือนตัวเก็บประจุ โดยมีฟิล์มพลาสติกเป็นไดอิเล็กตริก คุณสมบัติทางไฟฟ้า ได้แก่ สภาพยอม (PERMITTIVITY) ตัวประกอบการสูญเสีย (LOSS FACTOR) ความต้านทานของการเป็นฉนวนและความต้านทานจำเพาะ (INSULATION RESISTANCE AND RESISTIVITY) ไดอิเล็กตริกเบรกดาวน์ (DIELECTRIC BREAKDOWN) และ ประจุไฟฟ้าสถิต (ELECTROSTATIC CHARGE) เป็นต้น ซึ่งลักษณะโพลาร์ (POLAR) ของพลาสติก ค่าของเวลา อุณหภูมิ การสะสมความร้อนและความชื้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหล่านี้

2.1 สภาพยอม ความสามารถในการเป็นฉนวน หรือเป็นไดอิเล็กตริกของฟิล์มพลาสติกถูกกำหนดโดยค่าตัวประกอบการสูญเสีย และค่าสภาพยอม หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (DIELECTRIC CONSTANT) คุณสมบัติเหล่านี้วัดได้โดยใช้แรงดันต่ำไม่เกิน 500 โวลต์ [5] โดยจะวัดความสามารถของการเก็บประจุของวัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุที่ประกอบด้วยเพลต 2 อันขนานกัน หาค่าสภาพยอมได้จาก สมการ (2.1)

$$\epsilon' = \epsilon_0 / \epsilon \quad (2.1)$$

โดยที่

- ϵ' คือสภาพยอม
- ϵ_0 คือความจุของการเก็บประจุไฟฟ้า กรณีใช้วัสดุเป็น ไดอิเล็กตริก
- ϵ คือความจุของการเก็บประจุไฟฟ้ากรณีมีอากาศเป็น ไดอิเล็กตริก

ค่าความจุของการเก็บประจุไฟฟ้า กรณีมีอากาศเป็น ไดอิเล็กตริก ขึ้นอยู่กับพื้นที่ A ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร และระยะ t ของแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ดังสมการ (2.2)

$$\epsilon = 0.088542 (A/t) \text{ pF} \quad (2.2)$$

2.2 ตัวประกอบการสูญเสีย (DISSIPATION FACTOR) ตัว

ประกอบการสูญเสีย เป็นตัวประกอบของการสูญเสียพลังงานในไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานสูญเสียเนื่องจากไดอิเล็กตริกมีความต้านทานไม่ถึงค่านันต์ และพลังงานสูญเสียเนื่องจาก เกิดโพลาไรเซชันที่ไดอิเล็กตริก เพราะ มีการกลับหัวของโมเลกุลไดอิเล็กตริกไปตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้ ถ้าป้อนแรงดันรูปคลื่นไซน์ $u(t)$ ให้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าในอุดมคติกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ $i(t)$ จะมีเฟสนำหน้าแรงดันที่ป้อนเป็นมุม 90 องศาทางไฟฟ้า นั่นคือ

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

$$i(t) = \omega C U_m \cos \omega t$$

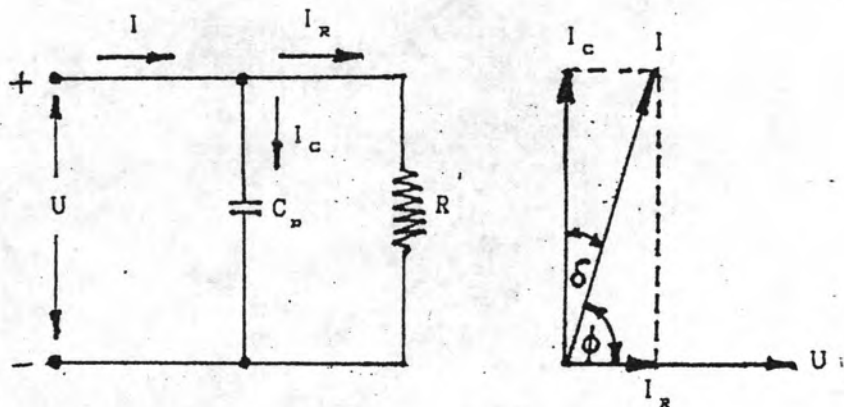
เมื่อใช้สัญลักษณ์เฟสเซอร์จะได้

$$I = \omega C U$$

โดยที่

- U คือค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ป้อน มีหน่วยเป็นโวลต์
- I คือค่ากระแสไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ไหลผ่าน มีหน่วยเป็นแอมแปร์

ในการปรับผิวพลาสติกตัวถาวร (โพล) เป็นเสมือนตัวเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งมีฟิล์มพลาสติกเป็นไดอิเล็กตริก และมีค่าความต้านทาน R ประกอบอยู่ สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 6 ก. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีเฟสนำหน้าแรงดันที่ป้อนน้อยกว่า 90 องศาทางไฟฟ้า ดังแสดงในแผนภาพเฟสเซอร์ ในรูปที่ 6 ข.



ก. วงจรสมมูล

ข. เฟสเซอร์

รูปที่ 6

แสดงวงจรสมมูลและกระแสของตัวเก็บประจุ

จากวงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ในรูปที่ 6 ก. และ ข. ตามลำดับ เห็นว่ากระแส I นำหน้าแรงดันที่ป้อนเป็นมุม ϕ น้อยกว่า 90

องศาทางไฟฟ้า มุมระหว่าง I_c และ I เท่ากับ $\phi = 90 - \phi$ มุมนี้แสดงถึง
การสูญเสียพลังงานในตัวถาระ เรานิยามค่าตัวประกอบการสูญเสียให้
เท่ากับ $\tan \phi$ ค่าสูญเสียในตัวถาระ (P) และค่าตัวประกอบการสูญเสีย
คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_R &= U/R \\ I_C &= U\omega C_p \\ \tan \phi &= I_R / I_C \\ &= 1/R\omega C_p \end{aligned}$$

นั่นคือ

$$R = 1/\omega C_p \tan \phi$$

ดังนั้น กำลังสูญเสียเท่ากับ

$$\begin{aligned} P &= U^2/R \\ &= U^2\omega C_p \tan \phi \end{aligned}$$

จากสมการ (2.1)

$$P = U^2\omega C_p e' \tan \phi$$

เรานิยามดัชนีการสูญเสีย e'' ดังนี้

$$e'' = e' \tan \phi$$

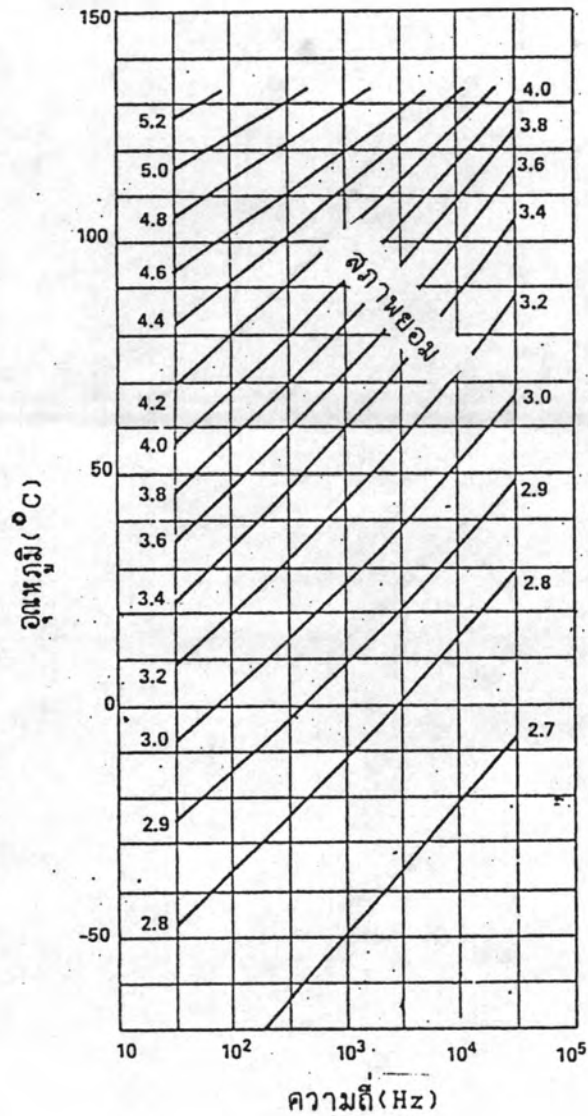
ฉะนั้น กำลังการสูญเสีย

$$P = U^2\omega C_p e'' \quad (2.3)$$

และตัวประกอบการสูญเสีย

$$\tan \phi = e'' / e' \quad (2.4)$$

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อน กำลัง
 นี้แปรผันตามกับค่าของความถี่และค่าสภาพยอม นั่นคือ ถ้าความถี่ หรือ
 ค่าสภาพยอม มีค่าสูงขึ้นความร้อนที่เกิดขึ้นก็สูงขึ้นตามด้วย ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็น
 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กับอุณหภูมิ และค่าสภาพยอมของ
 พลาสติก



รูปที่ 7

กราฟแสดงความสัมพันธ์

ระหว่างความถี่กับอุณหภูมิ และค่าสภาพยอมของพลาสติก[5]

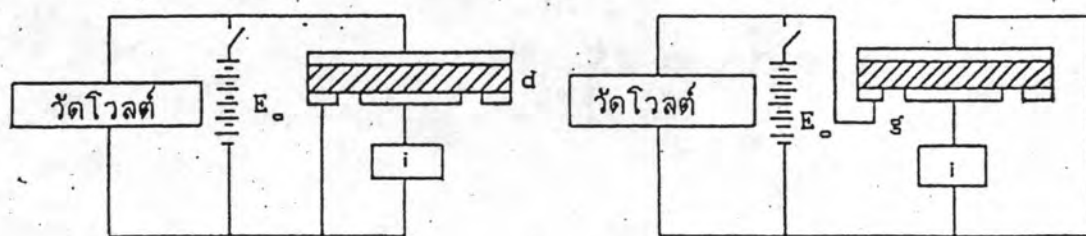
2.3 ความต้านทานของการเป็นฉนวน และ ความต้านทานจำเพาะ เราอาจวัดความสามารถของการเป็นความต้านทานของฟิล์มพลาสติกได้โดยวัดความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำฟิล์มพลาสติกวางคั่นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นระยะเวลาจนกระแสไหลคงที่ กระแสนี้เรียกว่า กระแสรั่วไหล ค่าความต้านทาน R หาได้โดยวัดด้วย WHEATSTONE BRIDGE หรือ จากสมการ (2.5)

$$R = E_0 / I \quad (2.5)$$

โดยที่

E_0 คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อน
 I คือกระแสรั่วไหลที่วัดได้

กระแสรั่วไหลที่วัดได้เป็นผลจากการไหลผ่านฟิล์มพลาสติกใน 2 ลักษณะ คือ กระแสรั่วไหลที่ไหลผ่านเนื้อของฟิล์ม และ กระแสรั่วไหลที่ไหลผ่านตามผิวของฟิล์ม ฉะนั้น ค่าความต้านทานของฟิล์มก็สามารถแบ่งออกเป็น 2 อย่างเช่นกัน คือค่าความต้านทานเชิงปริมาตร (VOLUME RESISTANCE) และค่าความต้านทานเชิงผิว (SURFACE RESISTANCE) [5] ค่าความต้านทานทั้งสองสามารถหาได้โดยการทดลอง ดังรูปที่ 8 และ สมการ (2.5)



ก. ความต้านทานเชิงปริมาตร

ข. ความต้านทานเชิงผิว

รูปที่ 8

แสดงการวัดความต้านทาน

ค่าความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตร ρ_v และค่าความต้านทานจำเพาะเชิงผิว ρ_s หาได้ดังนี้

$$\rho_v = (A/d) R_v \quad (2.6)$$

$$\rho_s = (P/g) R_s \quad (2.7)$$

โดยที่

R_v	คือค่าความต้านทานเชิงปริมาตร
R_s	คือค่าความต้านทานเชิงผิว
ρ_v	คือค่าความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตร
ρ_s	คือค่าความต้านทานจำเพาะเชิงผิว
A	คือพื้นที่ของอิเล็กโทรดที่มีผล
P	คือพื้นที่ของขั้วต่อที่มีผล
d	คือความหนาของฟิล์มพลาสติก
g	คือระยะห่างของขั้วต่อบวกและลบ

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น มีผลทำให้เกิด ความเปลี่ยนแปลงความต้านทาน และความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตร ค่าความต้านทานหรือความต้านทานจำเพาะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนี้ [5]

$$\rho_v = B \exp (M/T) \quad (2.8)$$

โดยที่

ρ_v	คือความต้านทานหรือความต้านทานจำเพาะ
B, M	คือค่าคงที่
T	คืออุณหภูมิ หน่วยเคลวิน

ถ้า ρ_{v1} คือ ค่าความต้านทานหรือความต้านทานจำเพาะ

ที่อุณหภูมิ T_1 และ p_{v2} ค่าที่อุณหภูมิ T_2 จะได้

$$p_{v2} = p_{v1} \exp (M \Delta T / T_1 T_2) \quad (2.9)$$

โดยที่

$$\Delta T \quad \text{คือ } T_2 - T_1$$

การเปลี่ยนแปลงของ ค่าความต้านทานหรือความต้านทาน
จำเพาะ เนื่องจากความชื้นหาได้ดังนี้

$$p_{RH} = p_o \exp (-K * RH) \quad (2.10)$$

โดยที่

p_{RH}	คือความต้านทานหรือความต้านทานจำเพาะที่ความชื้นสัมพัทธ์ RH
p_o	คือความต้านทานหรือความต้านทานจำเพาะเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0%
RH	คือความชื้นสัมพัทธ์
K	คือค่าคงที่

2.4 การเบรกดาว์นของไดอิเล็กตริก แรงดันเบรกดาว์นของไดอิเล็กตริกเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องพิจารณาในการปรับผิวของฟิล์มพลาสติกเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย เพราะเป็นความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจะต้องออกแบบให้เหมาะสม ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฟิล์มสามารถทนอยู่ได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการเป็นฉนวน เรียกว่า ค่าความทนไดอิเล็กตริก (DIELECTRIC STRENGTH) ϵ_v ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\epsilon_v = E/d \quad (2.11)$$

โดยที่

- ϵ_v คือค่าความทนไดอิเล็กทริก
 E คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนจนเกิดการเบรกดาวน์
 d คือความหนาของฟิล์มพลาสติก

ฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิดจะมีค่า ϵ_v ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของเนื้อฟิล์ม อุณหภูมิ ความชื้น และ อัตราการเพิ่มของแรงดัน

2.5 ประจุไฟฟ้าสถิต เนื่องจากมีการจ่ายประจุให้กับฟิล์มพลาสติกในกระบวนการปรับผิว ฟิล์มพลาสติกจะเก็บประจุไว้และเมื่อทิ้งไว้ในอากาศนาน ๆ ประจุที่เก็บจะลดลง เนื่องจากมีการถ่ายเทประจุให้กับอากาศ ความสามารถของการเก็บประจุของฟิล์มพลาสติกขึ้นอยู่กับเวลาและความชื้น

จำนวนประจุที่ถ่ายเทให้กับอากาศที่ขึ้นอยู่กับความชื้น หาได้ดังนี้ [5]

$$Q_{(RH)} = Q_{(0)} - \alpha * RH \quad (2.12)$$

โดยที่

- $Q_{(RH)}$ คือประจุที่ความชื้นสัมพัทธ์ RH
 $Q_{(0)}$ คือประจุเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0%
 RH คือความชื้นสัมพัทธ์
 α คือค่าคงที่

เวลาในการเก็บประจุที่ขึ้นอยู่กับความชื้น หาได้ดังนี้ [8]

$$T_{(RH)} = T_{(0)} \exp [\beta * RH] \quad (2.13)$$

โดยที่

- $T_{(RH)}$ คือเวลาการเก็บประจุที่ความชื้นสัมพัทธ์ RH

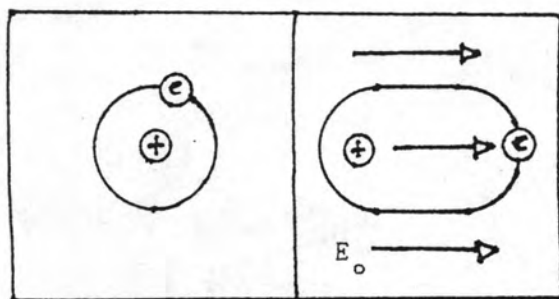
$T_{(0)}$ คือเวลาการเก็บประจุเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เป็น 0%
 P คือค่าคงที่

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของพลาสติกทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะคล้ายกับของวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของพลาสติกและของฉนวนไฟฟ้าอื่น ๆ อยู่ในหนังสืออ้างอิงเล่มที่ [5] และ [6]

3. กลไกการเกิดโพลาริเซชัน

การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาลงบนฟิล์มพลาสติกเพื่อปรับผิวจะทำให้เกิดกลไกโพลาริเซชันขึ้นที่ฟิล์มพลาสติกซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริก โมเลกุลในสารไดอิเล็กตริกทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ โมเลกุลแบบโพลาร์ (POLAR) และ โมเลกุลแบบนอนโพลาร์ (NONPOLAR) โมเลกุลแบบโพลาร์หมายถึง โมเลกุลที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนและโปรตรอนอยู่ห่างกัน ในสถานะธรรมชาติโมเลกุลเหล่านี้อยู่ในลักษณะที่ไม่มีระเบียบ แต่ถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าโมเลกุลจะเกิดการเรียงตัวกันตามทิศทางสนามไฟฟ้า สำหรับโมเลกุลแบบนอนโพลาร์ หมายถึง โมเลกุลที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนและโปรตรอนที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ในสถานะธรรมชาติอยู่ในลักษณะไม่เป็นระเบียบเช่นเดียวกัน แต่ถ้าอยู่ในสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนและโปรตรอนแยกตัวห่างกัน และ เรียงตัวไปตามแนวทิศทางสนามไฟฟ้า การเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลทั้งสองชนิดเรียกว่า การเกิดโพลาริเซชัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ

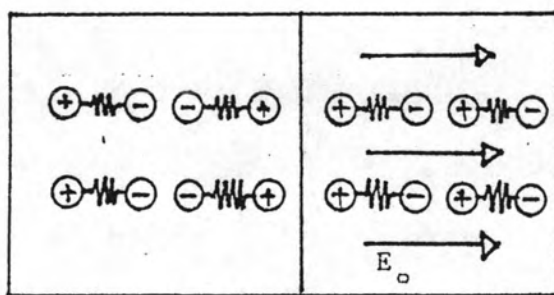
3.1 อิเล็กตรอนิกโพลาริเซชัน $P_{\underline{e}}$ เป็นการเกิดการโพลาริเซชันในสารไดอิเล็กตริกอันเนื่องจากสนามไฟฟ้า ทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนรอบ ๆ นิวเคลียสเคลื่อนตัวห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางเดิม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9

การเกิดอิเล็กตรอนนิกโพลาไรเซชัน

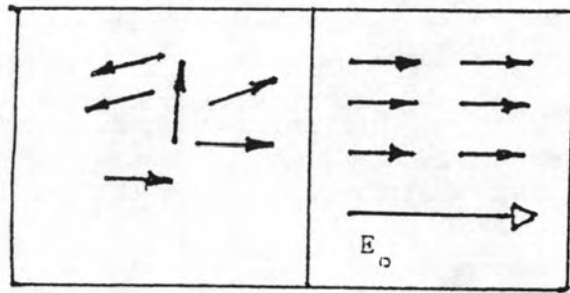
3.2 ไอออนิกโพลาไรเซชัน P_1 เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าทำให้การวางตัวของโมเลกุลเป็นแบบไอออนิก โดยเรียงตัวไปตามแนวทิศทางสนามไฟฟ้า ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10

การเกิดไอออนิกโพลาไรเซชัน

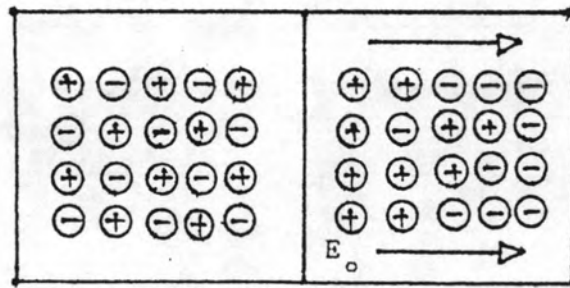
3.3 ออเรียนเทชันโพลาไรเซชัน P_2 เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าทำให้โมเลกุลชนิดโพลาไรซ์ที่อยู่ในสถานะไม่เป็นระเบียบมาอยู่ในลักษณะเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11

การเกิดออเรียนเทชันโพลาไรเซชัน

3.4 โพลาไรเซชันแบบประจุค้ำ P_{\perp} เกิดขึ้นเนื่อง
จากสนามไฟฟ้า ทำให้ประจุที่เคลื่อนที่อย่างอิสระ เรียงตัวไปในทิศทางตามแนว
สนามไฟฟ้า ดังรูปที่ 12

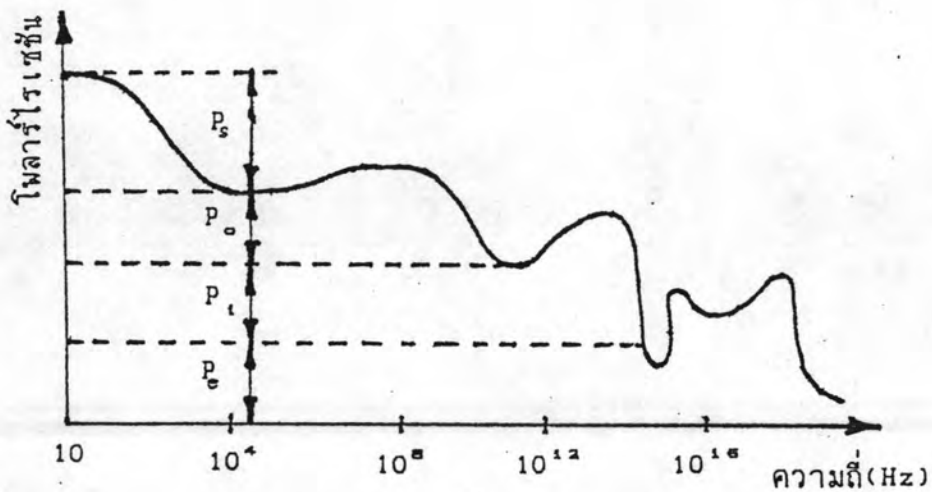


รูปที่ 12

การเกิดโพลาไรเซชันแบบประจุค้ำ

การเกิดโพลาไรเซชันแบบต่าง ๆ ตามข้างต้น จะมีความ
แตกต่างกันในเชิงเวลา เช่น การเกิดโพลาไรเซชันแบบอเล็กตรอนนิกจะเร็ว
กว่าแบบไอออนิก และแบบไอออนิกจะเกิดเร็วกว่าแบบออเรียนเทชัน เป็นต้น
ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การเกิดโพลาไรเซชันแบบต่าง ๆ ในสารไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับ
กับความถี่ ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 จะเห็นว่า การเกิดโพลาริเซชันแบบอิเล็กทรอนิกส์เกิดได้อย่างรวดเร็วเท่ากับความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนจนถึง - ความถี่แสง ส่วนการเกิดแบบไอออนิกจะเกิดได้อย่างรวดเร็วตามความถี่ของสนามไฟฟ้า ถึงย่านความถี่อินฟราเรด ส่วนแบบออเรียนเทชันและประจุค้ำนั้น จะเกิดที่ความถี่ต่ำ



รูปที่ 13

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโพลาริเซชัน

การปรับผิวพลาสติกโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา

การปรับผิวฟิล์มพลาสติกในปัจจุบัน ใช้วิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา และฟิล์มพลาสติกอยู่ในตระกูลPOLYOLEFIN เนื่องจากพลาสติกตระกูลนี้มีคุณสมบัติที่ดีในการผลิตฟิล์มพลาสติก การปรับผิวทำได้โดยทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาอย่างสม่ำเสมอขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับขั้วกราวด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวหมุนทรงกระบอกและมีไดอิเล็กตริกหุ้มอยู่ ในขณะที่ปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาอยู่นั้นจะนำฟิล์มพลาสติกที่ต้องการปรับผิว เคลื่อนที่บนตัวหมุนของขั้วกราวด์ ทำให้เกิดการออกซิเดชันและโพลาริเซชันขึ้นที่ผิวของฟิล์มพลาสติก

1. การทดสอบผลของการปรับผิว

จากการปฏิบัติและทดลองของนักวิทยาศาสตร์พบว่า การปรับผิวโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกหลายอย่าง คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำไปใช้ทดสอบเพื่อหาผลของการปรับผิวได้ดังนี้ [3]

1.1 คุณสมบัติของการเคลือบหรือพิมพ์หมึก ฟิล์มพลาสติกที่ปรับผิวแล้วจะมีคุณภาพที่ดีต่อการเคลือบหรือพิมพ์หมึก การทดสอบแบบง่ายทำได้โดยใช้สก็อตช์เทปติดลงบนผิวของฟิล์มที่พิมพ์หมึกทั้งที่ได้รับการปรับผิว และยังมีได้ปรับผิวเมื่อดึงสก็อตช์เทปออก พบว่า ในกรณีที่มีได้ปรับผิวมีสีหลุดติดสก็อตช์เทปออกมา ส่วนกรณีปรับผิวไม่มีสีหลุดติดออกมา

1.2 คุณสมบัติของการซึมซับสารละลาย ฟิล์มที่ผ่านการปรับผิวจะมีคุณสมบัติที่ดีต่อการพิมพ์ด้วย METHYLENE BLUE หรือ ZIEHL-NULSEN หรือ สารละลายอื่น ๆ ที่ใช้ในงานแบกเตรีวิทยา การทดสอบทำได้โดยหยดสารละลายเหล่านี้ลงบนผิวของฟิล์ม 1 ถึง 5 หยด ทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที จึงซับออกด้วยกระดาษแล้ววัดความเข้มของสารละลายที่ติดเหลืออยู่

1.3 คุณสมบัติของฟิล์มที่ผ่านการปรับผิวมากเกินไป มีผลทำให้ประสิทธิภาพการฉีกด้วยความร้อนหรือการอีทซิลลดลง และคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ปรับผิวแล้วเก็บไว้พิมพ์หมึกในโอกาสต่อ ๆ ไป ก็สามารถพิจารณาจากความติดแน่นของการอีทซิลด้วยเช่นกัน

1.4 คุณสมบัติของฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับผิว ถ้าหยดน้ำลงบนผิวของฟิล์มพลาสติกที่ไม่ได้ผ่านการปรับผิว จะเกิดการแตกตัวแยกออกจากกันของหยดน้ำ แต่ถ้าเป็นฟิล์มที่ผ่านการปรับผิว หยดน้ำที่หยดลงจะซึมไปตามชั้นของพลาสติกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการซึมของหยดน้ำบ่งบอกคุณสมบัติของการยึดเกาะของฟิล์ม

2. ผลเสียของกระบวนการรวมตัวและเสื่อมสภาพของฟิล์มพลาสติก

ในกรณีที่ฟิล์มพลาสติกอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง หรือไม่มีก๊าซออกซิเจน จะทำให้เกิดกลไกการรวมตัวและเสื่อมสภาพ โดยที่กลไกเสื่อมสภาพเป็นการ

เปลี่ยนแปลงลูกโซ่ (CHAINS) ของโมเลกุล คือลูกโซ่ของโมเลกุลขาดออกจากกัน และเป็นผลทำให้ส่วนย่อย ๆ ของโมเลกุลแตกตัว สำหรับกลไกการรวมตัว จะเป็นการเปลี่ยนแปลงการยึดเกาะลูกโซ่ของโมเลกุลไปอยู่ในลักษณะการยึดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ ๆ ในกิ่งต่าง ๆ ของโมเลกุล [3] กรณีฟิล์มพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอนุมูลสูงดังนี้

2.1 ขนาดน้ำหนักของโมเลกุล มีผลทำให้น้ำหนักของส่วนประกอบโมเลกุลต่ำลง และสามารถแตกแยกออกจากโมเลกุลได้ถ้าได้รับการสั่นสะเทือน

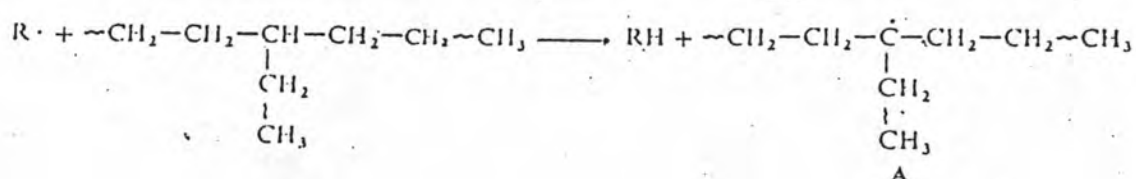
2.2 คุณสมบัติของการหลอมฟิล์มพลาสติกเพื่อนำมาใช้ใหม่ ในการหลอมฟิล์มพลาสติกเพื่อนำมาใช้ใหม่ จะมีความหนืดในการหลอมเหลวมากขึ้น และมีรูปร่างวมโตถ้าอยู่ในสาร XYLENE ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

2.3 การบรรจุ CARBONYL พลาสติกที่หลอมใหม่เพื่อใช้งาน จะบรรจุจำนวน CARBONYL ได้มากขึ้น

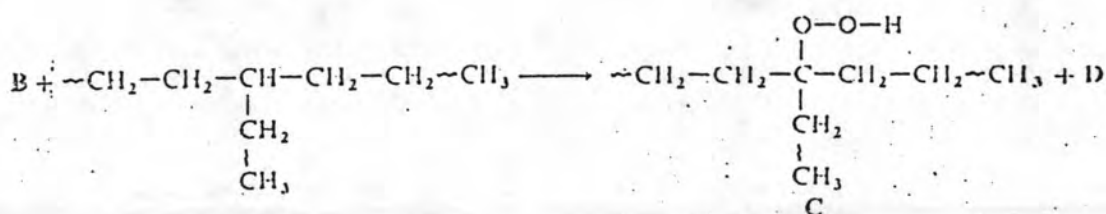
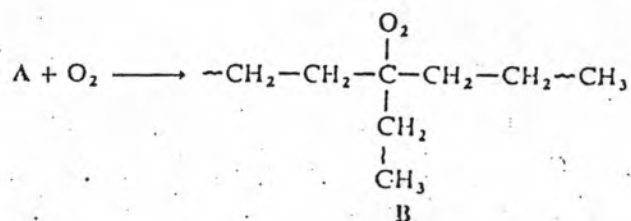
3. ขั้นตอนการเกิดการรวมตัวและเสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของโพลีเอทิลีนและ OLEFINS อื่น ๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากอนุมูลสูง มีกระบวนการเริ่มต้นที่ตัว FREE-RADICALS ซึ่งโพลีเมอร์ได้รับ และจะทำให้โพลีเมอร์เกิดการแตกตัวอย่างอัตโนมัติไปทางกิ่งตั้งเสมอ ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการเกิดการเสื่อมสภาพของโพลีเอทิลีนเป็นดังนี้

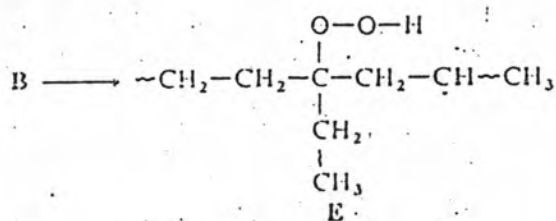
3.1 FREE-RADICAL R* ที่ได้รับ จะกระตุ้นทำให้เกิดการโอนย้ายอะตอม คาร์บอน ที่เป็นลูกโซ่ของโพลีเอทิลีนในตำแหน่งที่ 3 หรือถัดออกไปในกรณีที่เป็นพันธะคู่ (DOUBLE BOND) ที่มีไฮโดรเจนประกอบอยู่ ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างโมเลกุลได้ดังนี้



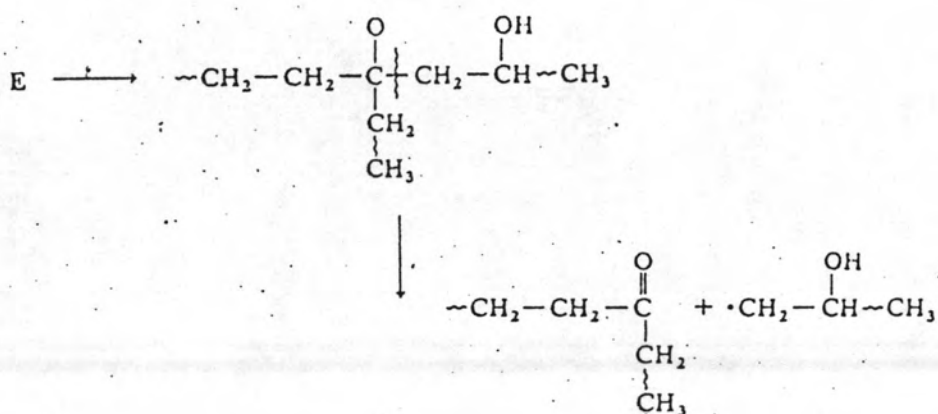
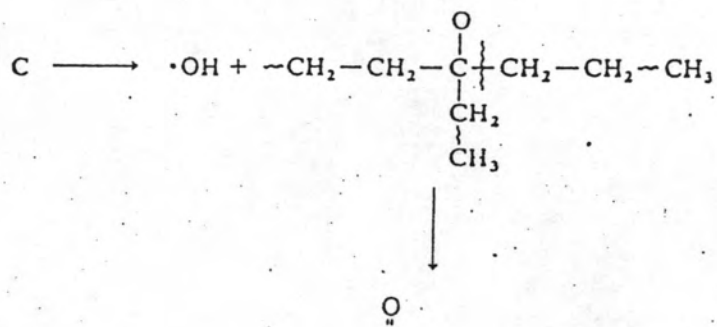
3.2 FREE-RADICAL A* ที่เกิดขึ้นใหม่จะรวมกับโมเลกุลออกซิเจน และถูกตัดด้วยอะตอมของไฮโดรเจนของโมเลกุลอื่น ๆ ให้เข้าไปอยู่ในตำแหน่งที่ 3 ของกิ่งตั้ง ซึ่งทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ RADICAL D ตัวใหม่ ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างโมเลกุลได้ดังนี้



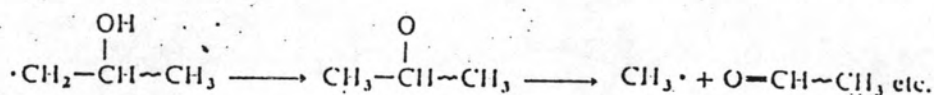
อีกลักษณะหนึ่งคือ PEROXIDE FREE-RADICALS B* จะคงสภาพได้โดยการเกิด INTRAMOLECULAR REACTION และเป็นผลให้ไปอยู่ในรูปของ HYDROPEROXIDE FREE RADICALS E* ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างโมเลกุลได้ดังนี้



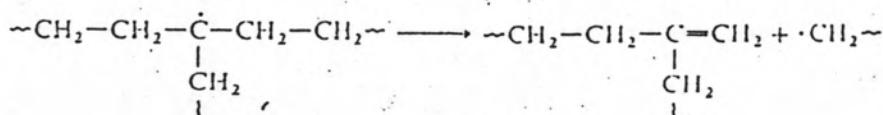
3.3 HYDROPEROXIDE ในโครงสร้างของ C และ E มีสภาพไม่คงที่ และได้รับการแยกธาตุโดยการแตกตัวของ PEROXIDE BOND ซึ่งจะทำให้เกิดการตัดขาดของลูกโซ่ และทำให้ FREE-RADICALS อื่นและโมเลกุลที่เกิดขึ้นมีน้ำหนักเบา ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างโมเลกุลได้ดังนี้



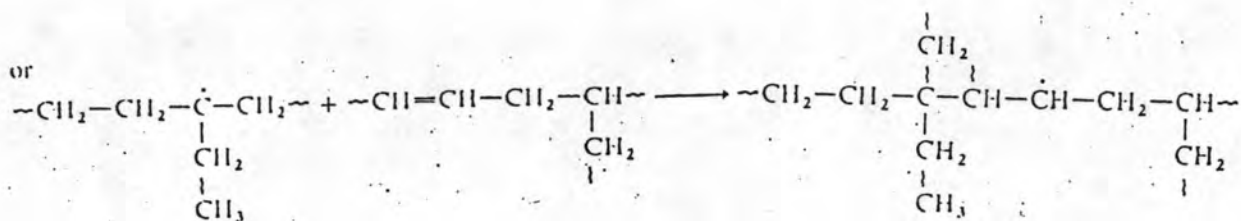
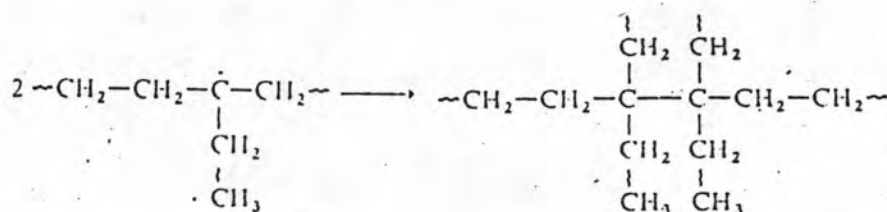
กระบวนการนี้จะนำไปสู่ความเสื่อมสภาพเรื่อย ๆ ตาม -
ปฏิกิริยาดังนี้



กระบวนการเสื่อมสภาพในกรณีที่ไม่ใช่ออกซิเจนในการรวม
ตัวก็เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกันตามปฏิกิริยาดังนี้



สำหรับกระบวนการเกิดการรวมตัวในกรณีที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งมีผลทำให้เกิดความหนืดในการหลอมสูงขึ้นจะเป็นดังนี้

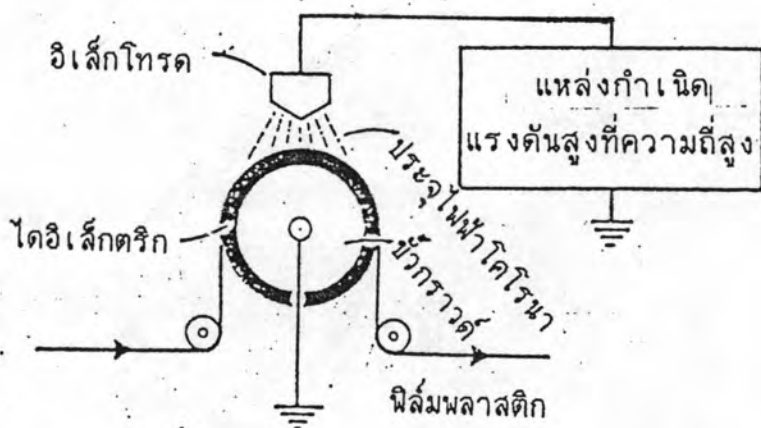


4. ระบบของการปรับผิวพลาสติก

ในการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาให้เกิดขึ้นในอากาศ เพื่อใช้ในการปรับผิวพลาสติกนั้นจะต้องใช้แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่มีความถี่สูง และระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นตัวภาวะ (โพลต์) ดังรูปที่ 14

แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่มีความถี่สูง จะสร้างสัญญาณแรงดันสูงรูปคลื่นไซน์ขนาดแรงดันสูงสุดประมาณ 9-12 กิโลโวลต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริกหุ้มขั้วกราวด์ว่าเป็นอะไรและควรมีแรงดันสูงเท่าไรที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนขึ้นในอากาศเป็นประจุไฟฟ้าโคโรนา ซึ่งเป็นแบบ Multilayer ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าสภาพยอมของไดอิเล็กตริกดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าสภาพยอมของอากาศ ซึ่งในกรณีที่ใช้แก้วควอตซ์ (QUARTZ GLASS) หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร เป็นไดอิเล็กตริก แรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวนจะมีค่าประมาณ 9-12 กิโลโวลต์ สำหรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าพารามิเตอร์ของระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปตัวเก็บประจุที่แปรค่าได้โดยแปรค่าไปตามขนาดความหนาและความกว้าง

ของฟิล์มพลาสติก ความกว้างช่องอากาศ และความเร็วการเคลื่อนที่ของฟิล์ม-พลาสติก ในที่นี้ฟิล์มพลาสติกที่ใช้มีความหนาประมาณ 0.006 ถึง 0.1 มิลลิเมตร ความกว้างของฟิล์มไม่เกิน 540 มิลลิเมตร ความกว้างช่องว่างอากาศประมาณ 8 มิลลิเมตร และ ความเร็วการเคลื่อนที่ฟิล์มพลาสติกสูงสุดเท่ากับ 2 ฟุตต่อวินาที ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน และความถี่ดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 กิโลเฮิร์ตซ์ แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงจะต้องสามารถปรับให้ใช้งานได้กับโหลดต่าง ๆ กัน โดยพิจารณาค่าตัวประจุของระบบอิเล็กทรอนิกส์ว่าเป็นอย่างไรแล้วปรับความถี่ให้สัมพันธ์กัน คือ ถ้าค่าตัวเก็บประจุมากขึ้น (เช่น ความกว้างของฟิล์มพลาสติกมากขึ้น) ความถี่ที่ใช้ต้องต่ำลง และถ้าค่าตัวเก็บประจุน้อยลง (ความกว้างของฟิล์มพลาสติกลดลง) ความถี่ที่ใช้ต้องสูงขึ้น เพื่อให้ขนาดของแรงดันสูงพอเพียงต่อการเกิดการเบรกดาวน และไม่เป็นอันตรายต่อระบบวงจรไฟฟ้า

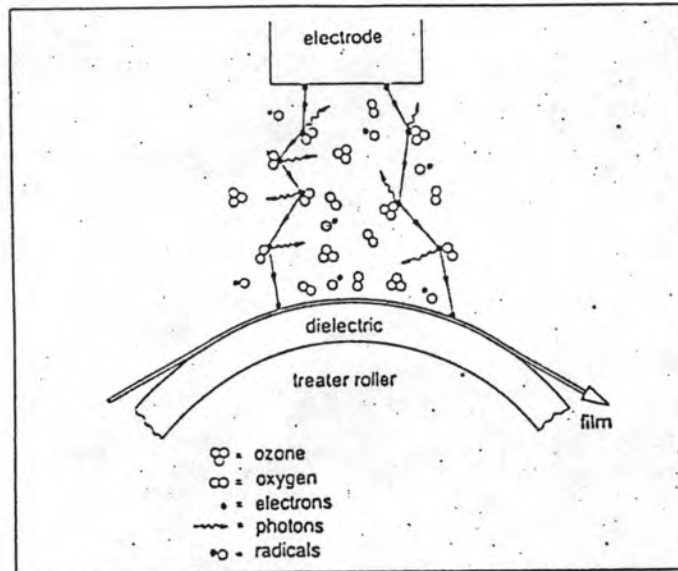


รูปที่ 14

ระบบการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา

4.1 การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา อิเล็กตรอนของประจุไฟฟ้าโคโรนาที่ปล่อยออกจากอิเล็กโทรดด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง จะชนกับโมเลกุลของอากาศและผิวของฟิล์มพลาสติก ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนทำให้เกิดอนุภาคเล็ก ๆ (RADICAL) และตัวพาที่อยู่ในรูปของโฟตอน (PHOTON) ในโอกาส

ต่อมาเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโอโซนและไนโตรเจนออกไซด์ [7,8] ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15

การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา

จากรูปที่ 15 พลังงานของอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจะลดลงอย่างช้าเมื่อถึงผิวของฟิล์มพลาสติกจะมีค่าประมาณ 5 อิเล็กตรอนโวลต์ แต่พลังงานที่ใช้ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะ (BOND) ในลูกโซ่ของโพลีเมอร์มีระดับของพลังงานที่แตกต่างกันออกไป คือ C-H มีระดับพลังงานประมาณ 4.3 อิเล็กตรอนโวลต์ C-O มีระดับพลังงาน 3.6 อิเล็กตรอนโวลต์ และ C-C มีระดับพลังงาน 3.4 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาเป็นตัวทำให้เกิดการเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงและพลังงานจะถูกเก็บรักษาไว้ในระยะเวลาหนึ่งโดยอาศัยหลักการของไฟฟ้าสถิต [9] พลังงานที่ปล่อยออกมาเป็นจำนวนประจุต่อพื้นที่ และมีคุณสมบัติดังนี้

- 4.1.1 การปรับผิวที่ดี ต้องมีพลังงานต่อพื้นที่ประมาณ 10^4 จูลต่อตารางเมตร [9] ดังนั้น ความเร็วจะมีผลต่อพลังงานดังกล่าว
- 4.1.2 พลังงานที่ผิวของฟิล์มพลาสติก เพื่อใช้ในการยึดเกาะ มีค่าสูงสุดประมาณ 500 จูลต่อตารางเมตร และจะลดลงเรื่อย ๆ ตาม

ระยะเวลาที่เก็บฟิล์มพลาสติก สำหรับความตึงของผิวจะมากกว่า 60×10^{-3} จูลต่อตารางเมตร [9]

4.1.3 ความหนาแน่นของกลุ่ม คาร์บอนิล (KETONS และ ALDEHYDES) ที่เกิดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่พลังงานเท่ากับ 500 จูลต่อตารางเมตร ในกรณีทีฟิล์มพลาสติกเป็นชนิดโพลีเอทิลีนระดับความหนาแน่นต่ำมีจำนวนกลุ่มคาร์บอนิล ประมาณ $2-3 \times 10^{14}$ กลุ่มคาร์บอนิลต่อตารางเซนติเมตร [9]

4.1.4 การรวมตัวของโอโซน และไนโตรเจนออกไซด์ กลุ่มออกซิไดซิง (OXIDIZING GROUPS) ที่เกิดขึ้นบนผิวจะมีจำนวนมาก และการลดจำนวนของมันในกรณีทีเก็บฟิล์มพลาสติกเอาไว้ ทำให้ลดความสามารถของการยึดเกาะของผิวฟิล์มพลาสติกประมาณ 30% ดังนั้น การปฏิบัติการปรับผิวควรอยู่ในระบบเดียวกันกับการพิมพ์หมึกลงบนผิวฟิล์มพลาสติก

4.2 อิเล็กทรอนิกส์ ระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวช่วยในการสร้างประจุไฟฟ้าโคโรนา โดยรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูง การเกิดประจุไฟฟ้าโคโรนาต้องสม่ำเสมอในทุก ๆ ตำแหน่งของอิเล็กทรอนิกส์ ความร้อนที่เกิดขึ้นต้องมีค่าต่ำ และขณะที่ฟิล์มพลาสติกเคลื่อนที่เร็วขึ้นมีผลทำให้จำนวนประจุไฟฟ้าโคโรนาต่อพื้นที่ลดลง [10] แต่ถ้าเรามีความจำเป็นต้องให้ฟิล์มพลาสติกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงโดยให้ประจุไฟฟ้าโคโรนาที่เกิดต่อพื้นที่เท่าเดิมนั้น ทำได้โดยออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ให้มีจำนวนอิเล็กทรอนิกส์หลายอัน อนุกรมกับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟิล์มพลาสติก [7] ดังรูปที่ 16

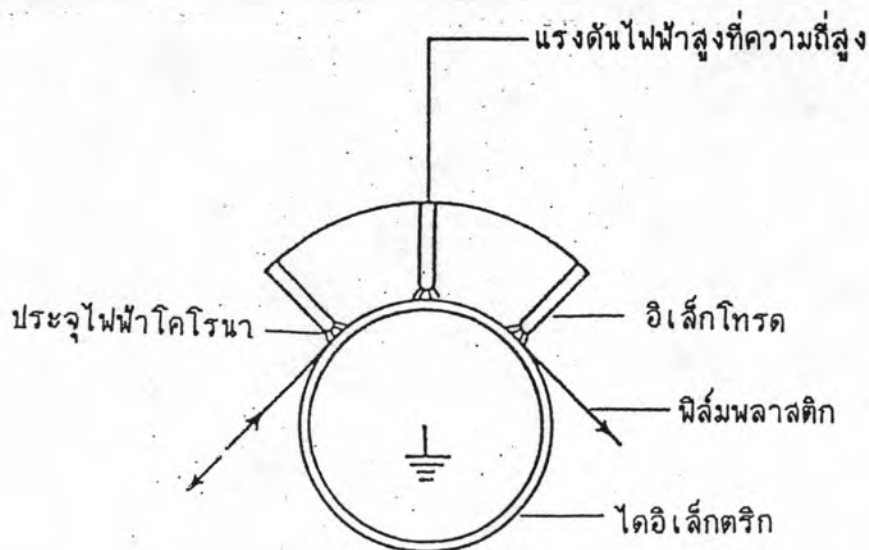
สำหรับวัสดุที่ใช้ทำอิเล็กทรอนิกส์ ต้องมีคุณสมบัติต่อการนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งอาจเป็นทองแดงหรืออะลูมิเนียมก็ได้ แต่ส่วนมากใช้อะลูมิเนียม เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและราคาถูก วัสดุที่ใช้ทำไดอิเล็กตริกที่หุ้มขั้วกราวด์ ต้องมีความสัมพันธ์กับสัญญาณแรงดันสูงที่ความถี่สูงที่ได้รับโดยจะต้องมีค่าสภาพยอมสูงกว่าอากาศเพราะมีผลต่อการทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโคโรนา วัสดุที่สามารถนำมาใช้ ได้แก่ ยางซิลิโคน แก้วควอตซ์ (QUARTZ GLASS) และเซรามิก (CERAMIC) เป็นต้น [2, 3, 11]

4.2.1 ยางซิลิโคน ไดอิเล็กตริกที่เป็นยางซิลิโคน

ต้องใช้สัญญาณแรงดันสูงประมาณ 20-25 กิโลโวลต์ [2] จึงจะเกิดประจุไฟฟ้าโคโรนา การระบายความร้อนโดยการนำความร้อนได้ดี มีราคาแพง และอายุการใช้งานต่ำ ซึ่งเกิดจากการทะลุเนื่องจากความร้อนและการวิ่งของประจุไฟฟ้า มีผลทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า ฉะนั้น ถ้าระบบการป้องกันของแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงไม่ดีพอก็ทำให้เกิดความเสียหายได้

4.2.2 แก้วควอตซ์ แรงดันที่ทำให้เกิด ประจุไฟฟ้าโคโรนามีค่าประมาณ 8-12 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าไม่สูงมาก ระบายความร้อนโดยการนำความร้อนได้ดี มีราคาไม่แพงมาก ไม่เกิดปัญหาทะลุเนื่องจากความร้อนและการวิ่งของประจุไฟฟ้า และมีความคงทนต่อการใช้งาน แต่มีปัญหาในเรื่องเกิดการแตกเนื่องจากผู้ใช้งาน

4.2.3 เซรามิก แรงดันที่ทำให้เกิด ประจุไฟฟ้าโคโรนามีค่าสูงกว่าหรือพอ ๆ กับยางซิลิโคน ซึ่งยากต่อการสร้างแหล่งกำเนิดแรงดันค่าสูงมาก ๆ และอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ง่าย ไดอิเล็กทริกที่เป็นเซรามิกนั้น ทำได้ยากกว่ากรณีทั้งสองและมีปัญหาในเรื่องความละเอียดของเนื้อเซรามิกที่เป็นไดอิเล็กทริก และจะต้องไม่เกิดเป็นรูพรุนซึ่งมีผลต่อการลัดวงจรไฟฟ้า ด้วยเหตุอันนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้



รูปที่ 16

ระบบอิเล็กโทรดสำหรับฟิล์มพลาสติกที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ในการทำวิจัยออกแบบและสร้าง แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงครั้งนี้ ใช้แก๊วควอตซ์เป็นไดอิเล็กตริก และเป็นระบบอิล็กโทรดที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก โรงงานของเอกชนให้ยืมใช้ในการวิจัย ดังรูปที่ 88 ในภาคผนวก

5. ตัวประกอบของกระบวนการปรับผิวฟิล์มพลาสติก

การพิจารณาการออกแบบ แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และประหยัดพลังงาน ในกระบวนการปรับผิว ต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวประกอบต่าง ๆ ดังนี้

5.1 สนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าที่ได้จากแรงดันสูงที่ความถี่สูงเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาการออกแบบแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงเป็นอันดับแรก เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าเหมาะสมในการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา การควบคุมกำลังไฟฟ้าทำได้โดยการควบคุมแรงดัน หรือกระแสปฐมภูมิหรือทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง โดยปรับให้กำลังไฟฟ้ามี่ความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ของฟิล์มพลาสติกที่จะปรับผิว

5.2 ความยาวอิล็กโทรด ในการปรับผิวฟิล์มพลาสติก ความยาวอิล็กโทรดต้องน้อยกว่าความกว้างของฟิล์มพลาสติกที่จะปรับผิวเสมอ คือน้อยกว่าข้างละประมาณ 1 นิ้ว [4] เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาที่บริเวณขอบและนอกพื้นที่ของฟิล์มพลาสติก ซึ่งเกิดก่อนการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาในบริเวณพื้นที่ของฟิล์มพลาสติก และมีผลทำให้บริเวณขอบของฟิล์มพลาสติกมีลักษณะห้อย่น หรือทำให้บริเวณพื้นที่ของฟิล์มพลาสติกที่ต้องการปรับผิวเกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาในระดับต่ำกว่าปกติก็ได้ สำหรับการออกแบบแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูง ความยาวอิล็กโทรดสูงสุดจะกำหนดความสามารถของการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูง

5.3 ความเร็วการเคลื่อนที่ของฟิล์มพลาสติก ความเร็วการเคลื่อนที่ของฟิล์มพลาสติกเป็นตัวกำหนดจำนวนประจุไฟฟ้าโคโรนาต่อพื้นที่ด้วยเช่นกัน คือถ้าความเร็วต่ำ จำนวนประจุไฟฟ้าโคโรนาต่อพื้นที่มีค่าสูง แต่ถ้าความเร็วสูงจำนวนประจุไฟฟ้าโคโรนาต่อพื้นที่มีค่าต่ำ ดังนั้น ถ้าต้องการให้ประจุ

ไฟฟ้าโคโรนาต่อพื้นที่ มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าที่ความเร็วเท่าไรก็ตาม ก็ต้องออกแบบ แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงให้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ได้ด้วย

5.4 ความกว้างช่องว่างอากาศ เป็นช่องว่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรดกับขั้วกราวด์ที่หุ้มด้วยไดอิเล็กตริกเพื่อให้เกิดประจุไฟฟ้าโคโรนา และ ใช้เป็นที่เคลื่อนฟิล์มพลาสติกผ่าน ช่องว่างอากาศนี้มีผลต่อการการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบอิเล็กโทรด และ ขนาดแรงดันที่ใช้ ในการทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโคโรนา ในระบบการปรับผิวที่ใช้งานอยู่ทั่ว ๆ ไปจะใช้ช่องว่าง อากาศประมาณ 1.5-3 มิลลิเมตร

6. ข้อเสียและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

การปรับผิวพลาสติกไม่ว่าเป็นกรรมวิธีใดจะมีข้อเสียและอันตราย ที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่อันตรายต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นก็สามารถป้องกันหรือแก้ไขได้ เช่นเดียวกัน ข้อเสียและอันตรายของการปรับผิวโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา ที่อาจเกิดขึ้นได้มีดังนี้

6.1 อันตรายจากแรงดันไฟฟ้า เป็นอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากระบบของแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูง และระบบอิเล็กโทรดติดตั้ง ใช้งานไม่เหมาะสม หรือ ระบบของแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงไม่มีระบบ ป้องกันอันตรายที่ตีพ้อ ซึ่งในการใช้งานต้องมีการต่อลงดินเสมอเพื่อป้องกัน อันตรายที่จะเกิดกับผูปฏิบัติงานในกรณีที่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว

6.2 อันตรายจากโอโซน การเกิดประจุไฟฟ้าโคโรนาใน อากาศทำให้เกิดการออกซิเดชันเป็นผลให้เกิดก๊าซโอโซน ซึ่งคุณสมบัติมีกลิ่นฉุน เป็นอันตรายต่อระบบการหายใจของผูปฏิบัติงาน ฉะนั้น ในการใช้งานควรเป็น สถานที่ ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

6.3 สัญญาณรบกวน การเบรกดาวน์ทำให้เกิดประจุไฟฟ้า โคโรนาที่ความถี่สูงไหลผ่านอากาศ โดยมีสเปกตรัมของความถี่สูงประมาณ 100 เม็กกะเฮิร์ตซ์ [4] แผ่กระจายสนามไฟฟ้าไปรอบ ๆ บริเวณข้างเคียง รบกวน เครื่องรับและเครื่องส่งของระบบสื่อสาร แต่การรบกวนจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่

กับกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน ในกรณีนี้ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำคือประมาณ 150-400 วัตต์ ผลของการรบกวนที่เกิดขึ้นก็ต่ำด้วยเช่นกัน การป้องกันการรบกวนของสัญญาณทำได้โดยใช้ระบบการชิลด์ป้องกันสัญญาณรบกวน

6.4 ความแข็งแรงของการอิทซิล ความแข็งแรงของการอิทซิลจะลดลงเมื่อฟิล์มพลาสติกได้รับความร้อนสูง เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของการบรรจุภัณฑ์ลดต่ำลง ฉะนั้นการปรับผิวฟิล์มพลาสติกจะต้องไม่ทำให้ฟิล์มพลาสติกได้รับความร้อนสูง

7. โอโซน

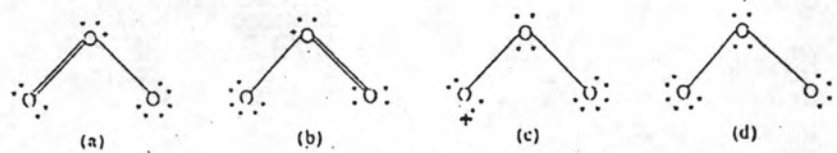
โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่มีสถานะไม่คงตัวและมีกลิ่นฉุน มีอยู่มากในชั้นบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ (STRATOSPHERE) เนื่องจากการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต โอโซนมีอยู่เป็นจำนวนน้อยที่ระดับพื้นดินและมีประโยชน์ต่อมนุษย์ ที่อุณหภูมิปกติโอโซนจะเป็นก๊าซสีน้ำเงินเห็นได้ยากเนื่องจากมีความเบาบางแต่พอจะเห็นได้บ้างถ้ามองลงไปในที่ลึก คุณสมบัติต่าง ๆ ของโอโซนทางฟิสิกส์แสดงดังรูปที่ 17

ที่อุณหภูมิ -112 องศาเซลเซียส โอโซนจะกลั่นตัวเป็นของเหลว มีสีน้ำเงินเข้ม แต่เกิดการระเบิดได้ง่าย การรวมตัวกันระหว่างโอโซนกับออกซิเจนโดยมีโอโซนประมาณมากกว่า 20% ก็ทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ง่ายเช่นกัน ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพของเหลวหรือไอ และการระเบิดอาจทำขึ้นได้โดยวิธีต่าง ๆ อีกได้แก่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในจำนวนเล็กน้อย การสปาร์กของไฟฟ้า และการเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันหรืออุณหภูมิ เป็นต้น โอโซนมีการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมทำแก้ว เพื่อช่วยทำให้แก้วเกิดความเงางาม และอื่น ๆ ที่สำคัญคือ การนำไปใช้ในการทำให้น้ำเป็นน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นที่นิยมมากในต่างประเทศ สำหรับโครงสร้างโมเลกุลของโอโซนเป็นดังรูปที่ 18 ก. และ ข. [12]

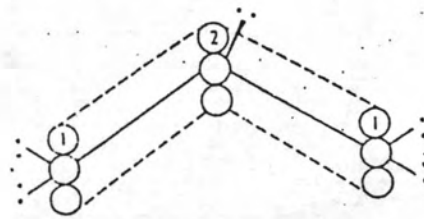
Melting Point (°C)		-192.5 ± 0.4
Boiling Point (°C)		-111.9 ± 0.3
Critical Temperature (°C)		-12.1
Critical Pressure (atm)		54.6
Critical Volume (cm ³ /mol)		111
Temperature (°C)	Liquid Density (g/cm ³)	Liquid Vapor Pressure (torr)
-183	1.574	0.11
-180	1.566	0.21
-170	1.535	1.41
-160	1.504	6.73
-150	1.473	24.8
-140	1.442	74.2
-130	1.410	190
-120	1.378	427
-110	1.347	865
-100	1.316	1605
Density of Solid Ozone at 77.4°K (g/cm ³)		1.728
Viscosity of Liquid (cP)		
At 77.6°K		4.17
At 90.2°K		1.56
Surface Tension (dyn-cm)		
At 77.2°K		43.8
At 90.2°K		38.4
Parachor ^a at 90.2°K		75.7
Dielectric Constant, liquid, at 90.2°K		4.79
Dipole Moment (Debye)		0.55
Magnetic Susceptibility (cgs units)		
Gas		0.002 × 10 ⁻⁶
Liquid		0.150
Heat Capacity of Liquid from 90 to 150°K (Cp)		0.425 + 0.0014(T - 90)
Heat of Vaporization (kcal/mol)		
At -111.9°C		3410
At -183°C		3650
	Heat of Formation (kcal/mol)	Free Energy of Formation (kcal/mol)
Gas at 298.15°K	34.15	38.89
Liquid at 90.15°K	30.0	
Hypothetical Gas at 0°K	34.74	

รูปที่ 17

คุณสมบัติต่าง ๆ ของโอโซน



ก. four canonical forms



ข. molecular orbital

รูปที่ 18

โครงสร้างโมเลกุลของไอโซน

การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา ทำให้เกิดไอโซนโดยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเริ่มต้นจากอิเล็กตรอนอิสระของประจุไฟฟ้าที่มีพลังงานทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจน

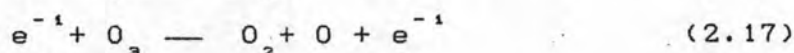


ต่อมาอะตอมออกซิเจนจะรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจน ทำให้เกิดไอโซน



โดยที่ M จะเป็นโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ในอากาศ แต่บางครั้งอะตอมของออกซิเจนหรืออิเล็กตรอนอิสระจะทำปฏิกิริยากับไอโซน เพื่อเปลี่ยน

กลับไปอยู่ในรูปของออกซิเจนอีกด้วย

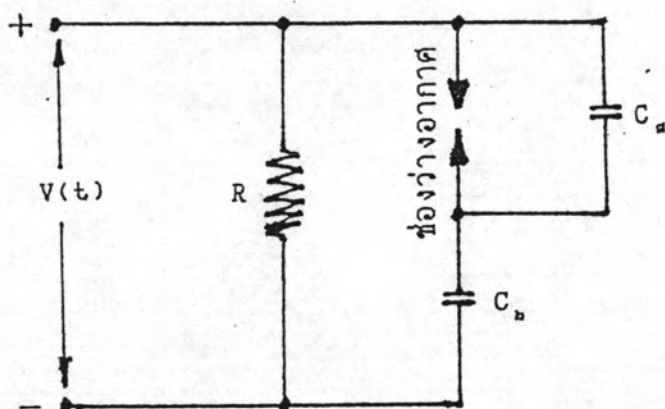


การรวมตัวของก๊าซในขณะเกิดประจุไฟฟ้าโคโรนา ทำให้เกิดไอออนจำนวนมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง ซึ่งรวมถึงจำนวนของออกซิเจน อุณหภูมิของอากาศ ความสะอาดของอากาศ ลักษณะของการรวมตัว ความเข้มของประจุไฟฟ้าโคโรนา และการถ่ายเทความร้อน ด้วยเหตุนี้แหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงสำหรับการปรับผิวพลาสติกโดยวิธีปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาจึงสามารถดัดแปลงและปรับปรุงมาใช้ทำเป็นเครื่องกำเนิดไอออนโดยอาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

8. การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาในอุดมคติ

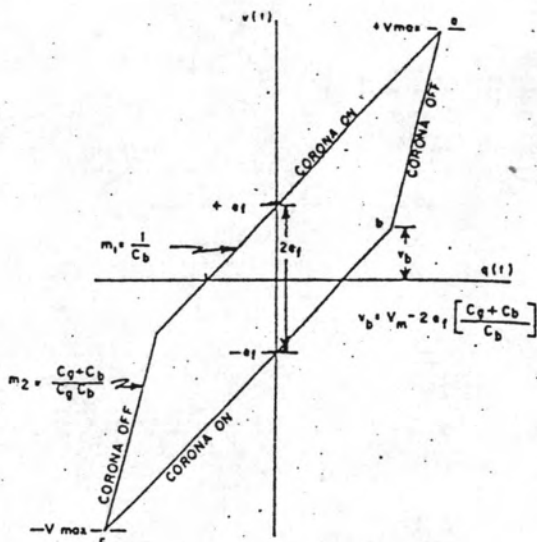
การปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนานั้นเกิดขึ้นในชั้นความดันบรรยากาศ โดยแหล่งกำเนิดแรงดันสูงที่ความถี่สูงจะจ่ายแรงดันด้านนอกให้กับระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าและมีวงจรสมมูลเป็นดังรูปที่ 19 วงจรสมมูลนี้ประกอบด้วย ช่องว่างอากาศ ϵ ระหว่างขั้วอิเล็กทรอนิกส์กับขั้วกราวด์ที่หุ้มด้วยแก้ว ตัวเก็บประจุ C_u เกิดขึ้นเนื่องจากช่องว่างอากาศต่อในลักษณะขนานกับขั้วทั้งสองของช่องว่างอากาศ ตัวเก็บประจุ C_u ที่ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ C_u เกิดขึ้นเนื่องจากแก้วซึ่งเป็นไดอิเล็กตริกที่หุ้มขั้วกราวด์ และตัวต้านทาน R แทนการเกิดกำลังสูญเสียเมื่อมีการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา เมื่อป้อนแรงดันรูปไซน์ให้กับอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแต่ละช่วงครึ่งรูปคลื่น การทำงานจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา (CORONA ON) และ ไม่เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนา (CORONA OFF) รูปที่ 20 ในส่วนที่เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาจะเหมือนกับว่ามีแรงดันคงตัวตกคร่อมตัวเก็บประจุ C_u หรือมีไดโอดซีเนอร์ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_u อยู่ (ดูรูปที่ 21) ดังนั้นความชันของกราฟในรูปที่ 20 เท่ากับ $\Delta V/\Delta \epsilon$ เท่ากับ $1/C_u$ โดยที่ $\Delta \epsilon$ คือประจุในตัวเก็บ

ประจุ C_u และไม่เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าโคโรนาจะเหมือนกับว่า C_u ต่ออนุกรมกับ C_b และความชันของกราฟในรูปที่ 20 จะเท่ากับ $(C_u + C_b) / C_u C_b$ [12, 13]



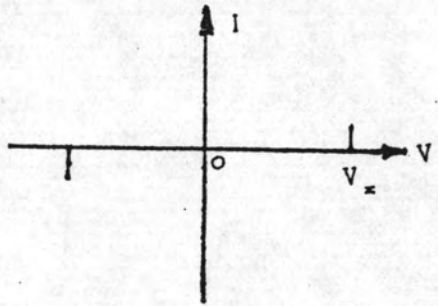
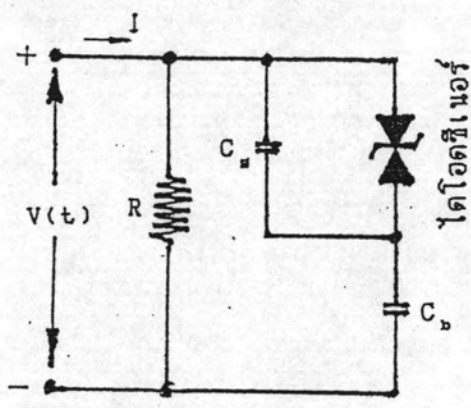
รูปที่ 19

วงจรสมมูลของระบบอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 20

ลักษณะการทำงานของกรเกิดประจุไฟฟ้าโคโรนาในอุดมคติ



ก. วงจรสมมูล

ข. ลักษณะสถิต

รูปที่ 21

วงจรสมมูลที่แทนช่องว่างอากาศด้วยไดโอดซีเนอร์