บทที่ 2
แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เด็กปฐมวัย

เด็กปฐมวัย หมายถึง เด็กที่มีอายุตั้งแต่แรกเกิดถึง 5 ปี 11 เดือน 29 วัน (สิริมา ภิญโญอนันตพงษ์ ,2550)

เมื่อพิจารณาตามธรรมชาติ ความต้องการ การเจริญเติบโตและการเรียนรู้ สามารถแบ่งเด็กปฐมวัยได้เป็น 4 ช่วงวัย ดังนี้

1. วัยทารก (Baby) หมายถึง เด็กที่มีอายุตั้งแต่แรกเกิดถึง 2 ปี โดยที่มีช่วงอายุหนึ่งเดือนแรกมักเรียกว่าเด็กแรกเกิด (Neonate)

2. วัยเตาะแตะหรือวัยเด็กเล็ก (Infant or Toddle) หมายถึงเด็กที่มีช่วงอายุ คาบเกี่ยว1-3 ปี ตามพัฒนาการแล้วเด็กจะเริ่มหัดเดินเมื่ออายุประมาณหนึ่งขวบ ลักษณะการเริ่มหัดเดิน เด็กจะเดินไม่มั่นคง จึงเรียกเด็กที่เพิ่งหัดเดินว่าเด็กวัยเตาะแตะ(Infant) ครั้นเมื่อเติบโตขึ้นอายุประมาณ1ขวบครึ่ง 2 ขวบ จนถึง 3 ขวบ เด็กมีพัฒนาการทางด้านร่างกาย สามารถเดินได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องเอามือไปจับโต๊ะผู้ใหญ่ไม่ต้องช่วยเหลือ เป็นวัยที่มีความเป็นตัวของตัวเองสูง ช่วงวัยนี้ยังเรียกว่า เด็กัยเตาะแตะ หรือเด็กเล็ก (Toddle) ซึ่งมีพัฒนาการทางด้านร่างกายที่เจริญขึ้น กล้ามเนื้อใหญ่ต่างๆ แข็งแรงขึ้น ชอบฝึกฝนเป็นระยะที่เด็กเริ่มมีความอิสระ ทั้งทางด้านร่างกายสังคม ชอบเดินไปมาอย่างอิสระ

3.วัยอนุบาล หมายถึง เด็กที่มีอายุ 3-6 ปี เป็นวัยที่ชอบความเป็นอิสระในการเคลื่อนไหวและเข้าสังคมมากขึ้น โดยเรียกเด็กที่มีอายุ 3-5 ปี ซึ่งเป็นช่วงที่พ่อแม่นำเด็กเข้าโรงเรียนอนุบาลว่า เด็กก่อนวัยเรียน (Preschoor) และเรียกเด็กที่มีอายุ 5-6 ปี ซึ่งเป็นช่วงวัยเด็กอนุบาลที่เตรียมตัวเรียนประถมปีที่ 1 ว่าเด็กอนุบาล (Kindergartener)

4. วัยอนุบาลตอนปลาย หมายถึง เด็กทีมีอายุ 6-8 ปี เป็นวัยที่คาบเกี่ยวระหว่างเด็กที่เรียนอยู่ชั้นอนุบาลกับชั้นประถม 1 และชั้นประถม 2

บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์หรือการบรรจุหีบห่อ หมายถึงศาสตร์และศิลป์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการคุ้มครองปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัยด้วยต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม

บรรจุภัณฑ์นั้นมีความสำคัญต่อผลผลิต สามารถสรุปเป็นรายละเอียดเป็นข้อ ๆ ได้ ดังนี้

1) รักษาคุณภาพและปกป้องตัวสินค้า เริ่มตั้งแต่การขนส่ง การเก็บให้ผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมิให้เสียหายจากการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง คน ความชื้น ความร้อน แสงแดด และการปลอมปน เป็นต้น

2) ให้ความสะดวกในเรื่องการขนส่ง การจัดเก็บมีความรวดเร็วในการขนส่ง เพราะสามารถรวมหน่วยของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเป็นหน่วยเดียวได้ เช่น ผลไม้หลายผลนำลงบรรจุในลังเดียว หรือเครื่องดื่มที่เป็นของเหลวสามารถบรรจุลงในกระป๋องหรือขวดได้เป็นต้น ส่งเสริมทางด้านการตลาด บรรจุภัณฑ์ เพื่อการจัดจำหน่ายเป็นสิ่งแรกที่ผู้บริโภคเห็น ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จะต้องจะทำหน้าที่บอกกล่าวสิ่งต่างๆของตัวผลิตภัณฑ์โดยการบอกข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดของตัวสินค้าและนอกจากนั้นจะต้องมีรูปลักษณ์ที่สวยงามสะดุดตาเชิญชวนให้เกิดการตัดสินใจซื้อ

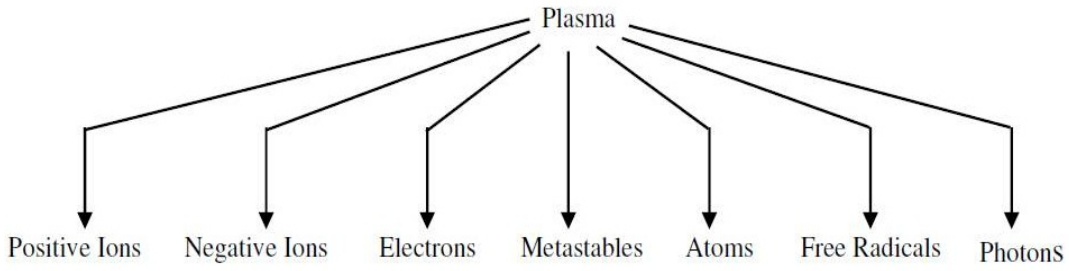
พลาสมา (Plasma)

พลาสมา คือ สภาวะที่แก๊ส เกิดการแตกตัว (ionized) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคของแก๊ส ในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คำนี้ถูกบัญญัติโดย แลงมัวร์ (Irving Langmuir) ในปี 1928 ใช้เพื่อบรรยายสภาพแก๊ส ที่ถูกทำให้เป็นไอออนในการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า (Chen, 1984) ดังนั้นจึงถือได้ว่าพลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากสถานะอื่นอย่างชัดเจน หากพิจารณาช่วงเปลี่ยนสถานะของแข็ง - ของเหลว - แก๊ส (solid-liquid-gas) ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิ (คือการให้พลังงานจลน์แก่อนุภาคของแก๊ส) ให้กับแก๊ส ต่อไปเรื่อยๆ เช่นถึง 20,000 K เราจะได้พลาสมาของแก๊ส นั้น (อุณหภูมิอาจต่ำกว่าก็ได้แล้วแต่กลไกการทำให้เป็นไอออนของแก๊ส) พลาสมามีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจ เพราะว่าแรงไฟฟ้า ถือเป็นแรงชนิดไกล (long range force) และอนุภาคของพลาสมาทุกตัวกระทำต่ออนุภาคซึ่งกันและกัน เรียกว่าเป็นพฤติกรรมรวม (collective behavior) พฤติกรรมรวมนี้หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคในพลาสมาไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในบริเวณนั้นๆ เท่านั้น แต่เป็นผลโดยรวมจากพลาสมาส่วนใหญ่ มากกว่าจะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอนุภาคในพลาสมาที่สถานะสมดุล จะมีการสั่นด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่ในการชนกันของอนุภาค 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมรวมนี้เป็นพฤติกรรมที่กลุ่มพลาสมาแสดงออกมาร่วมกัน พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่แก๊ส ที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้แก๊ส แตกตัวและกลายเป็นพลาสมา

พลาสมา จัดเป็นสถานะที่สี่ของสสาร ประกอบด้วยสปีชีส์จำนวนมาก เช่น อิเล็กตรอน (electron) ไอออนบวก (positive ions) ไอออนลบ (negative ions) อนุภาคอิสระ (free radical) อะตอมแก๊ส (gas atom) โมเลกุล (molecules) โดยส่วนประกอบพลาสมาแสดงตามภาพที่ 1

ซึ่งพลาสมาที่เกิดขึ้นสามารถทำให้เกิดสถานะพลาสมาได้ทั้งที่ความดันต่ำที่อาศัยระบบสุญญากาศ และพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ โดยทั่วไปการศึกษากระบวนการเกี่ยวกับพลาสมาจะมีตัวแปรที่สำคัญหลักๆ คือ อุณหภูมิพลาสมา (plasma temperature) ซึ่งจะกล่าวถึงอุณหภูมิเฉลี่ยของอิเล็กตรอนหรือไอออนในพลาสมา และความหนาแน่นพลาสมา (plasma density) ซึ่งอุณหภูมิและความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิดเช่นกัน เช่น แหล่งจ่ายพลังงาน ความดัน ความเป็นสุญญากาศ ชนิดแก๊สพลาสมา เป็นต้น ซึ่งหากต้องการทราบความหนาแน่นของพลาสมาสามารถคำนวณโดยใช้สมการพื้นฐานคือสมการของโบลต์มาน (Boltzmann's equation)

$$n = n_o e^{-e\phi/KT} \qquad (1)$$



ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของพลาสมา

กระบวนการเกิดพลาสมา

(1) Ionization

ในการเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาในห้องสุญญากาศ ซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่และความดันต่ำมากๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศ อาศัยการชนของอิเล็กตรอนกับโมเลกุลหรืออะตอมเป็นสำคัญ โดยคลื่นวิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจลน์ไปชนกับโมเลกุลหรืออะตอมดังสมการที่ (2) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้นมีค่ามากกว่า ionization energy

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2H_2 + 2e^- \qquad (2)$$

(2) Excitation

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่า Ionization energy ดังแสดงในสมการที่ (3) โดย $C_2H_2^*$ คืออะตอมของอะเซทิลีนที่อยู่ในสถานะกระตุ้น

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2H_2 + e^- \qquad (3)$$

(3) Dissociation

กระบวนการสุดท้ายที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยโมเลกุลเกิดการแตกตัว (Dissociation) ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวดังแสดงในสมการ (4)–(8)

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2H + H + e^- \quad (4)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2 + 2H + e^- \quad (5)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2 + H_2 + e^- \quad (6)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow 2CH + e^- \quad (7)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C + CH_2 + e^- \quad (8)$$

ผลของการแตกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แตกตัว การแตกตัว (Dissociation) อาจเกิดควบคู่กับ ionization หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า dissociative ionization ซึ่งโมเลกุลของอะเซทิลีนสามารถเกิดการ dissociative ionization ได้ดังสมการ (9) – (14)

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C^+ + CH_2 + 2e^- \quad (9)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C^+ + C + H_2 + 2e^- \quad (10)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C^+ + H + CH + 2e^- \quad (11)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2 + H_2 + 2e^- \quad (12)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow C_2 + 2H^+ + 2e^- \quad (13)$$

$$e^- + C_2H_2 \rightarrow CH_2 + C^+ + 2e^- \quad (14)$$

เมื่อแก๊สได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (RF) หรือคลื่นไมโครเวฟ ที่ความดันต่ำ เราจะมองเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงออกมา เนื่องมาจากพลังงานภายนอกทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น โดยธรรมชาติอิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เพียง ประมาณ 10-18 วินาที หลังจากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับคืนสู่สถานะพื้นพร้อม ทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถเห็นได้ (visible light) การเปล่งแสงของพลาสมาสามารถบ่งถึงลักษณะของแก๊ส ที่แตกตัวได้ เช่น แก๊สอาร์กอนจะเปล่งแสงสีม่วง อากาศและแก๊สไนโตรเจนจะเปล่งแสงเป็นสีชมพูซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะกระตุ้นโมเลกุลของไนโตรเจน

ชนิดของพลาสมา (Classification of plasma)

พลาสมาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ พลาสมาอุณหภูมิสูง หรือ fusion พลาสมา และพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ หรือแบบไม่ใช้ความร้อน (non-thermal) ซึ่งการจำแนกส่วนประกอบของพลาสมาที่อุณหภูมิสูงและต่ำ จะแสดงตามตารางที่ 1 โดยที่อุณหภูมิสูงพลาสมาสปีชีส์ทุกตัวจะอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) ซึ่งอุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e: electron temperature) มีค่า

เท่ากับอุณหภูมิของไอออน (T_i: ion temperature) ส่วนพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิของไอออน (T_i) มาก

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของพลาสมา

Plasma	State	Example
High temperature plasma (Equillibrium plasma)	$T_e \approx T_i \approx T_g$, $T_p = 10^{-6}$- 10^8 K $N_g \geq 10^{20}$ m^{-3}	Laser fusion plasma
	Low temperature	
Thermal plasma (Quasi-equillbrium plasma)	$T_e \approx T_i \approx T_g \leq 10^{-6}$- 10^8 K $N_e \geq 10^{20}$ m^{-3}	Arc plasma, plasma touches, RF inductievely coupled discharge
NonThermal plasma (Non equillbrium plasma)	$T_e >> T_i \approx T_g$ =300.....10^3 K $N_e \geq 10^1$พอลิโพรพิลีนพอลิโพรพิลีน m^{-3}	Glow, corona , APPJ,DBD,MHCD,OAUGDP, plasma needle etc

การเบรกดาวน์แก๊ซ (Electrical breakdown of gases)

เนื่องจากพลาสมาที่ความดันบรรยากาศสามารถทำได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้แล้วแต่ระบบในการปล่อยประจุ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเข้าใจและศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและการเบรกดาวน์แก๊ส (gas break down) ซึ่งเมื่อเพิ่มความต่างศักย์หรือไฟที่จ่ายเข้าไป แก๊สจะสูญเสียคุณสมบัติไดอิเล็กทริกและนำไปสู่การเป็นคุณสมบัติตัวนำ หรือกล่าวได้ว่าแก๊ซเปลี่ยนสภาพการต้านทานไฟฟ้าเป็นสภาพนำไฟฟ้า

ทั้งนี้ยังสามารถหาสมการความสัมพันธ์สำหรับ self sustaining คือ

$$1-\gamma\left(e^{\alpha d}-1\right)=0$$

$$e^{\alpha d}=\left(1+\frac{1}{\lambda}\right)$$

โดยปกติการเบรกดาวน์ความต่างศักย์ในแก๊ซดิสชาร์จ สามารถอธิบายโดยใช้กฎของ Paschen law ซึ่งจะเห็นได้จากสมการ (2) และ (3) ว่าการ Breakdown voltage ซึ่งขึ้นอยู่กับผลของ pd

$$V_b = \frac{B_{pd}}{\left\{\ln(Apd) - \ln\left[\ln\left(1 = \frac{1}{\gamma}\right)\right]\right.} \quad (15)$$

$$V_B = f(pd) \quad (16)$$

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ หมายถึง การทำให้เกิดสถานะพลาสมาที่ความดันบรรยากาศหรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสุญญากาศช่วยในการจุดพลาสมา ซึ่งพลาสมาที่ความดันบรรยากาศยังแบ่งเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ติดตั้ง ลักษณะเกิดดิสชาร์จ เช่น thermal torch, plasma arc , corona discharge, DBD เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทสามารถปรับปรุงพื้นผิวโดยตรงหรืออาศัย species ที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ทำปฏิกิริยากับสาร หรือสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและได้โครงสร้างทางเคมีใหม่บนพื้นผิวชิ้นงาน จากการแบ่งประเภทของพลาสมาที่กล่าวในหัวข้อที่แล้ว เราจะพบว่าพลาสมาที่ความดันบรรยากาศมีทั้งชนิด thermal-plasma และ non-thermal plasma ซึ่งจะกล่าวเฉพาะแบบ non-thermal plasma ซึ่งได้แก่ โคโรนาดิสชาร์จ (corona discharge) แบบไดอิเล็กทริก DBD (dielectric barrier) APPJ , Atmospheric glow MHCD ตามแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแต่ชนิดของอุปกรณ์จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานที่แตกต่างกัน โดยแบบโคโรนาดิสชาร์จจะใช้ pulsed DC และ DBD ใช้กระแสไฟฟ้าสลับ (AC) หรือคลื่นความถี่วิทยุ (rf) เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของพลาสมาที่ดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ

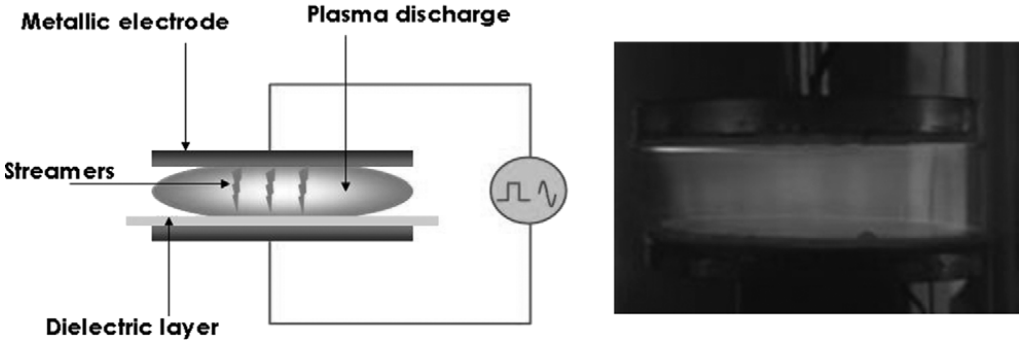
Parameters	Corona Discharge	DBD	APPJ	Atmospheric glow MHCD
Method and Type	Sharply pointed electrode	Dielectric barrier cover on electrode	RF Capacitively coupled	DC glow with micro hollow cathode electrode
Excitation	Pulsed DC	AC or RF	RF 13.5 MHz	1 bar
Pressure (bar)	1 bar	1 bar	760 torr	1 bar

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

Parameters	Corona Discharge	DBD	APPJ	Atmospheric glow MHCD
Electron energies (eV)	5 variable	1-10	1-2	.....
Electron Density, cm^{-3}	10^{9}-10^{13} variable	≈10^{12} - 10^{15}	10^{11} - 10^{12}	
Breakdown Voltage(kV)	10-50	5-25	0.05-0.2	.....
Scalability and Flexibility	No	Yes	Yes	Yes
T_{max} Temp T(K)	Room	Average gas Temp(300)	400	2000
Gas	.....	N_{2+} O_{2+} NO_{2+} Rare gas/Rare gas halides	Helium, Argon	Rare gas Rare gas/Rare gas halides

พลาสมาความดันบรรยากาศแบบ DBD (Dielectric barrier discharge)

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่นซึ่งทำหน้าที่เป็นเลกโทรด โดยทั่วไปการออกแบบและสร้างพลาสมาแบบ DBD จะมีส่วนประกอบสำคัญๆ 2 ส่วนใหญ่ คือ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงความถี่ปานกลาง 2) ห้องพลาสมา ซึ่งจะแตกต่างจากระบบพลาสมาทั่วไปคือแบบบรรยากาศสามารถจุดพลาสมาที่ความดันปกติได้ ระบบพลาสมาแบบ DBD ขั้วไฟฟ้าทั้งที่ขนานกันจะถูกคั่นหรือปิดด้วยไดอิเล็กทริก เพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมา โดยแผ่นขั้วไฟฟ้าถูกจัดให้วางตามตำแหน่งดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 แสดงการวางของขั้วไฟฟ้าและตำแหน่งการเกิดพลาสมา
ที่มา C. Tendero et al., Spectrochimica Acta Part B 61 (2006) 2 – 30

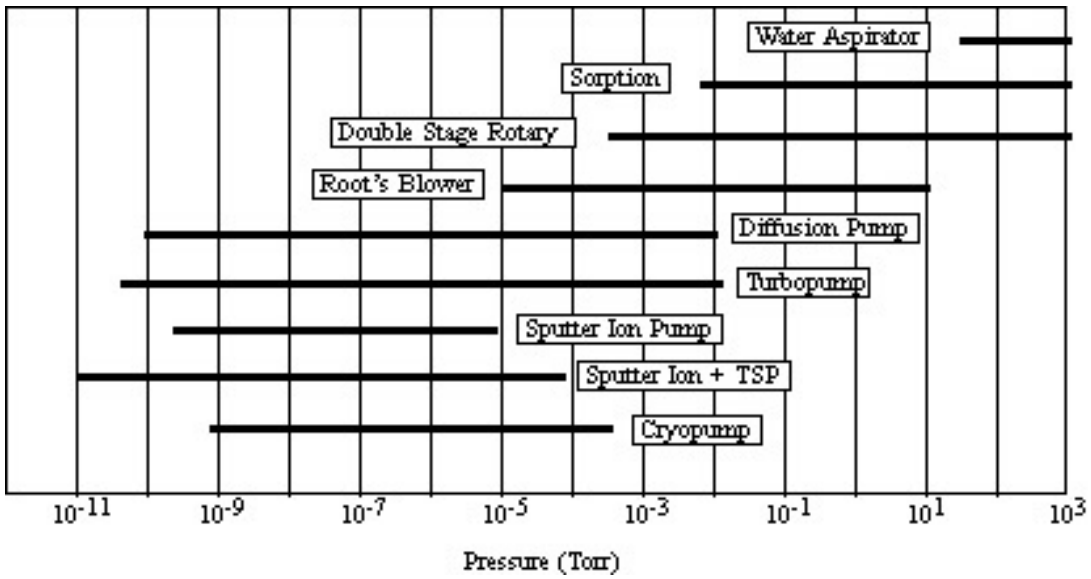
จากภาพที่ 2.2 วงจรกำเนิดไฟฟ้าศักย์สูงนั้นใช้หลักการสวิตชิ่งแบบฟูลบลิตย์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟกระแสตรงจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ 0-200 โวลต์ ไปเป็นกระแสไฟสลับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 18 เฮิร์ตซ์ โดยใช้สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ MOSFET ซึ่งรับสัญญาณจาก IC และกระแสไฟรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้นจะถูกกรองด้วย วงจรตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ เพื่อลดสัญญาณที่ฮาร์โมนิคสูงๆ ก่อนที่จะถูกจ่ายเข้าสู่หม้อแปลงไฟ เพื่อให้ได้ไฟฟ้าศักย์สูงซึ่งสามารถจ่ายไฟได้สูงสุดอย่างไรก็ตามศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายขึ้นอยู่กับแก๊ซที่ใช้จุดพลาสมาหรือนำเข้าไปในระบบ ส่วนการควบคุมพลังงานของพลาสมานั้นจะควบคุมผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ซึ่งส่วนนี้จะมีส่วนควบคุมป้อนกลับและวงจรป้องกันกระแสเกิน โดยหากปรับความต่างศักย์ให้สูงขึ้นพลังงานของพลาสมาก็จะสูงขึ้น ทั้งนี้การควบคุมพลังงานของพลาสมายังคงไม่คงที่ไปด้วยจึงยังต้องมีการปรับจูน ความต่างศักย์เสมอตลอดเวลาการทำงานเพื่อให้พลังของพลาสมาคงที่

ห้องกำเนิดพลาสมาถูกออกแบบให้เป็นระบบปิด ซึ่งประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ประกอบไปด้วยไดอิเล็กทริกปิดคลุมขั้วไฟฟ้าเพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมา และเว้นระยะห่างระหว่างขั้ว ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วจะถูกติดกับแผ่นระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน เพื่อป้องกันขั้วไฟฟ้ามีความร้อนสะสมสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้ไดอิเล็กทริกและวัสดุที่นำมาทำพลาสมาถูกทำลาย ทั้งนี้แก๊สที่สามารถนำมาจุดพลาสมาในความดันบรรยากาศนั้นมีหลายชนิด โดยมักใช้แก๊สอาร์กอนหรือฮีเลียมเป็นแก๊สหลัก เพื่อทำหน้าที่เป็นแก๊สนำพาเพื่อช่วยในการจุดพลาสมาและทำให้พลาสมามีความสม่ำเสมอ โดยแก๊สแต่ละชนิดจะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมการจ่ายและผสมก๊าซก่อนที่จะถูกส่งสู่ห้องกำเนิดพลาสมา

พลาสมาความดันสุญญากาศ

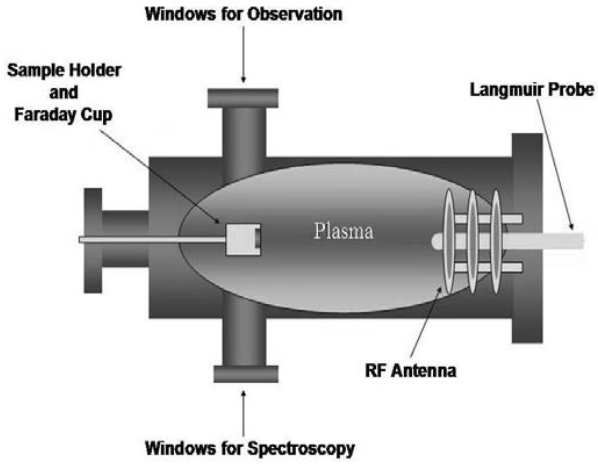
การทำให้ระบบที่ศึกษาอยู่ในสภาวะสุญญากาศ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องปั๊มสุญญากาศซึ่งหากต้องการความเป็นสุญญากาศต่ำหรือความดันสูง สามารถใช้ปั๊มกลโรตารีได้ แต่ในบางกระบวนการที่

ต้องการความเป็นสุญญากาศสูงหรือความดันต่ำ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศสูงเพื่อให้ได้ค่าความดันต่ำตามที่ต้องการ ดังแสดงภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงช่วงความดันที่ปั๊มสุญญากาศแต่ละชนิด
ที่มา https://people.rit.edu/vwlsps/LabTech/Pumps.pdf

การติดตั้งระบบสุญญากาศเพื่อจุดพลาสมาที่ความดันต่ำหรือมีความเป็นสุญญากาศสูง จะประกอบไปด้วย ระบบปั๊ม (pump system) ภาชนะสุญญากาศ (vacuum chamber) เกจวัดความดัน (gauge pressure) แหล่งให้พลังงาน (power source) แท่นวางชิ้นงาน (substrate) เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีช่องเพิ่มเติม สำหรับการวางตำแหน่งอุปกรณ์วัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องขณะจุดพลาสมา ดังแสดงตามภาพที่ 2.4

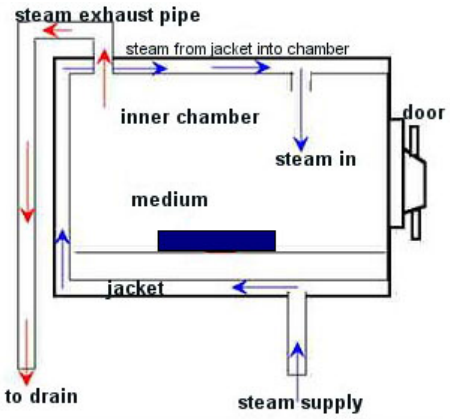


ภาพที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของภายในภาชนะสุญญากาศ
ที่มา Brazilian journal of physics, vol.40, no. 1, March, 2010

การทำให้ปราศเชื้อแบบวิธีดั้งเดิม (Conventional Sterilization Methods)

1. Heat Sterilization

การทำให้ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน สามารถทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือแบบแห้ง (dry heat) และเปียก (wet heat) สำหรับแบบเปียกจะให้ความร้อนผ่านตัวกลางที่อยู่ในรูปของไอน้ำผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (steam autoclave) ตามภาพ โดยภายในหม้อนึ่งไอน้ำจะอยู่ภายใต้ความดันอย่างน้อย 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งทำให้ภายในอุณหภูมิหม้อนึงสูงถึง 121 °C



ภาพที่ 2.5 ไดแกรมภาพของหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ
ที่มา http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.3490&rep=rep1&type=pdf

ข้อดีของหม้อนึ่งแบบเปียกที่ดีกว่าแบบแห้งคืออุณหภูมที่ได้จะมีมากกกว่า ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงมากกกว่าเปอร์เซนต์ของการฆ่าเชื้อดีกว่าแบบแห้งนั้นเอง โดยเวลาในการทำประมาณ 30-40 นาที ส่วนแบบแห้งจะอยู่ในรูปการเผาแบบเถ้าถ่านหรือแบบอินฟราเรด โดยการฆ่าเชื้อจะขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้แบบแห้งจะใช้ระยะเวลาในฆ่าเชื้อนานกว่าแบบเปียกมาก

2. Chemical Sterilization

สารเคมี ได้แก่ EtO (Ethylene Oxide), H_2O_2 (Hydrogen Peroxide) และ O_3 (Ozone) ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยากับ cellular chemical bonds ของแบคทีเรียและลดปฏิกิริยาและฆ่าจุลินทรีย์ได้ โดยการฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้จะใช้เวลาประมาณ 45 ถึง 1 ชั่วโมง ข้อเสียของกระบวนการนี้คือสารเคมีทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุหลายชนิด เช่น เส้นใยนำแสง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และพลาสติกบางชนิด เป็นต้น นอกจากนั้นกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีนี้ ยังทำให้เกิดการปนเปื้อนบนวัสดุภาชนะ

3. Radiation Sterilization

กระบวนการทำให้ปราศเชื้อด้วยวิธีนี้ เป็นการนำรังสีมาใช้ให้เกิดการปราศจากเชื้อ โดยรังสีที่ใช้ได้แก่ Gamma radiation, X rays, Bremsstrahlung, microwaves, ultraviolet radiation เป็นต้น ซึ่งพบว่ารังสีที่เลือกนำมาใช้จะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์นั้น กล่าวคือรังสีอุลตราไวโอเลต มีความยาวคลื่นสั้น อำนาจทะลุทะลวงต่ำ จะใช้ทำลายเชื้อที่บนพื้นผิวเรียบ ในทางกลับกันรังสีแกมมานิยมใช้มากกว่า เนื่องจากเป็นรังสีที่มีพลังงานสูง อำนาจทะลุทะลวงสูง ซึ่งสามารถทำให้อุปกรณ์หรือภาชนะที่มีขนาดเล็กและทำความสะอาดยากปราศจากเชื้อได้ อย่างไรก็ดีข้อเสียของวิธีนี้คือลดความเหนียว(ductility)ในตัวกลาง นอกจากนั้นรังสียังสามารถถ่ายเทพลังงานให้เกิด free radicals ซึ่งสามารถทำให้ปฏิกิริยาตัดขาด (chain scission) หรือปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (cross linking)

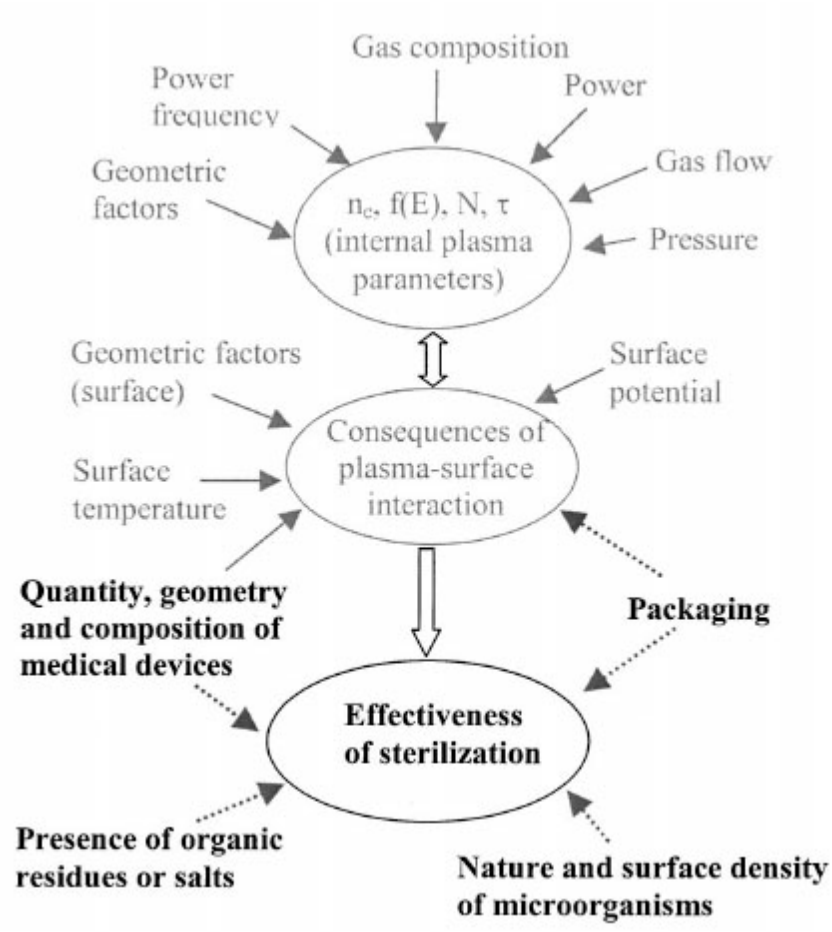
Plasma Sterilization

การทำให้ปราศจากเชื้อด้วยกระบวนการพลาสมาพบว่ามีข้อดีกว่าแบบอื่น เนื่องจากมีกระบวนที่ให้พลังงานได้หลายทางซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ซนั้น ๆ โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดการฆ่าเชื้อในกระบวนการพลาสมานั้น คือ จากอนุภาคอิสระ (free radical) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความร้อนจาก UV/VUV และการระเหยโดยตรงจากเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนั้นการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการพลาสมายังพบว่าใช้เวลาสั้นเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น ด้วยกระบวนการทำงานดังกล่าวทำให้กระบวนการพลาสมาเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้น

1. Plasma Sterilization Parameters

กระบวนการพลาสมาที่ถูกนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อนั้น สามารถทำได้ทั้งแบบที่ความดันบรรยากาศและที่ความดันสุญญากาศ โดยแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อให้เกิดกระบวนการดังกล่าวสามารถใช้ได้หลายแบบ

อาทิเช่น คลื่นความถีวิทยุ (RF) ไมโครเวฟ (microwave) ไฟฟ้ากระสตรง (DC) เป็นต้น แต่ถ้าใช้ DC plasma source จะต้องใช้ที่ความดันสุญญากาศ ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมของอุปกรณ์ติดตั้งที่มีราคาสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายจึงนิยมใช้การจุดพลาสมาจากการเหนี่ยวนำด้วยคลื่นวิทยุและไมโครเวฟ เงื่อนไขสำคัญที่ทำให้เกิดการ break down แก๊ซและทำให้เกิดสภาวะพลาสมาได้นั้นมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง แสดงดังภาพ



ภาพที่ 2.6 ไดอะแกรมกระบวนการและตัวแปรที่เกี่ยวข้องของการฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการพลาสมา
ที่มา http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.3490&rep=rep1&type=pdf

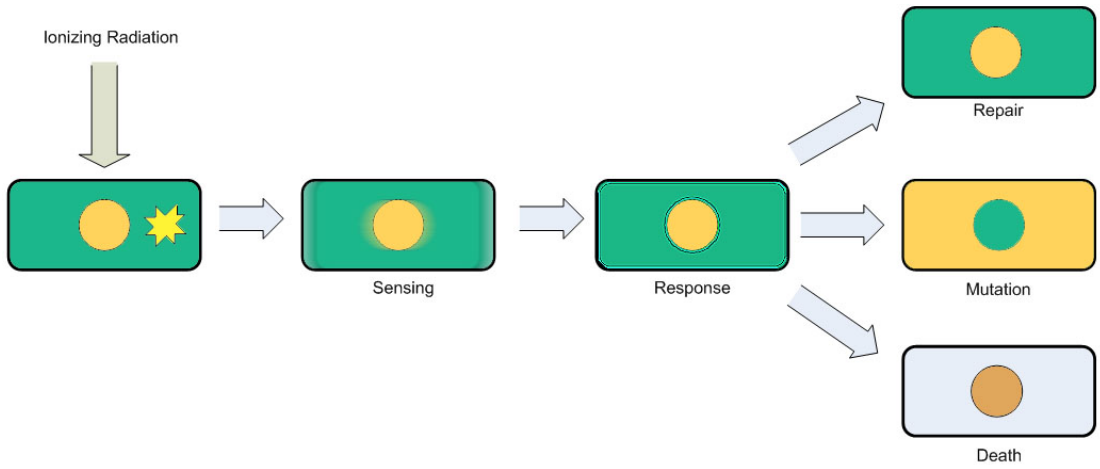
2. การเลือกแก๊ซ

สำหรับแก๊ซที่ใช้ในกระบวนการพลาสมา จะพิจารณาจาก ชนิดของ active species ของแก๊ซนั้นๆ ซึ่งอนุภาคอิสระจะขึ้นอยู่กับโมเลกุลของแก๊ซที่เกิดการไอออไนซ์โดยตรง ซึ่งจะทำให้เกิดโฟตอนของ UV/VUV photons นอกจากนั้นพบว่าจะพิจารณาจากแก๊ซที่มีอ๊อกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ O_2, CO_2, O_2/H_2, O_2/Ar, O_2/CF_4, H_2O_2 เป็นต้น

Plasma Sterilization Mechanics

1. รังสีไอออไนซ์ (Ionizing Radiation: IR)

จัดเป็นกระบวนการที่เกิดจากอิเลกตรอนวงนอกสุดหลุดจากอะตอมหรือโมเลกุลซึ่งการที่เกิดการได้รับหรือสูญเสียอิเลกตรอนนั้นทำให้เกิด Ionizing Radiation (IR) ขึ้น ซึ่งกระบวนการประยุกต์ใช้ในเรื่องการ sterilization จะเกี่ยวข้องกับประจุของอนุภาค และโฟตอนของ UV/VUV โดยพบว่าเมื่อพลังงานจากรังสี IR ลงบนเชื้อในระดับนิวเคลียสของจุลินทรีย์จะเกิดกระบวนการดังภาพ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมของรังสีไอออไนซ์ที่ฆ่าเชื้อ

.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J.Schneider และ คณะ (2005) ใช้พลาสมาโดยจุดพลาสมาด้วยไมโครเวฟที่ความดันต่ำ ฆ่าเชื้อบนบรรจุภัณฑ์อาหารแบบ PET foil พบว่าสปอร์ของเชื้อที่กระจายบน PET foil มีปริมาณลดลงหลังจากการอาบพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า 850 W และพบว่าเมื่อมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าปริมาณสปอร์ของเชื้อมีค่าคงที่

Sara Katrine Rod และคณะ (2012) ใช้พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ ทำลายเชื้อบนอาหารพร้อมทาน (ready-to-eat) โดยพิจารณาการลดลงของเชื้อ Listeria innicua บนอาหารพร้อมทาน โดยเลือกกำลังไฟฟ้า 3 ช่วง ได้แก่ 15.5, 31, 62 W โดยอาบพลาสมาช่วงเวลา 2-60 วินาที

D.P. Dowling และคณะ (2012) ใช้พลาสมาที่ความดันบรรยากาศอาบบน amorphous polyethylene teraphthalate (APET) ซึ่งจะนำไปใช้สำหรับการประสานด้วยความร้อน (heatseal) สำหรับใช้บรรจุภัณฑ์อาหาร พบว่าเมื่อนำไปผ่านกระบวนการพลาสมาทำให้มีผลต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและสปีชีส์ขของไนโตรเจนบนพื้นผิวพอลิเมอร์ และความหยาบของผิวของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 0.9 nm

Hyun Pa Song และคณะ (2009) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลาสมาที่ความดันในบรรยากาศ บนชีสและแฮม โดยตรวจสอบปริมาณเชื้อที่ลดลงโดยใช้เชื้อโรค Listeria monocytogenes นอกจากนั้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ คือ 75, 100, 125 และ 150 W โดยอาบพลาสมาเป็นเวลา 60, 90 และ 120 วินาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า ปริมาณเชื้อลดลงอย่างเป็นลำดับ

Hyejeong Yun และคณะ (2010) ศึกษาผลจากการใช้ทำลายเชื้อ Listeria monocytogenes ด้วยพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ บนบรรจุภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ถาดพลาสติก อลูมิเนียมฟอยล์ ถ้วยกระดาษ โดยใช้กำลังไฟฟ้า 75 W, 100 W, 125 W และ 150 W ที่เวลา 60, 90, 120 วินาที พบว่าที่กำลังไฟฟ้า 150 เวลาอาบพลาสมา 90 และ 120 วินาที ไม่พบเชื้อบนถาดพลาสติก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดวิจัย โดยนำระบบพลาสมาและเงื่อนไขพลาสมาที่ได้จากการศึกษาโครงการระยะหนึ่งมาใช้ในการอาบพลาสมาของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ได้จากการสำรวจ และศึกษาพื้นผิวของภาชนะเปรียบเทียบก่อนและหลังการอาบพลาสมา และทำการศึกษาการยืดอายุของอาหารที่ใช้ภาชนะที่ผ่านการอาบพลาสมา