

พลาสมาความดันต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าว



คณทมาศ หล้ามาทราย

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

พลาสมาความดันต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

พลาสมาความดันต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าว

คณตมาศ หล้ามาทราย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.สุรีย์พร สราภิมย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.กิริติญา จันทร์ผง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.มธุรส ชัยหาญ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชชา เครือฟู)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

| | |
|----------------------|---------------------------------------------------------|
| ชื่อเรื่อง | พลาสมาความดันต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าว |
| ชื่อผู้เขียน | นางสาวศันทมาศ หล้ามาทราย |
| ชื่อปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาโน |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | อาจารย์ ดร.สุรียพร สราภิรมย์ |

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการศึกษาผลิตภัณฑ์จากข้าวเพื่อนำมาเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า เช่น ทางด้านเวชภัณฑ์ และด้านเครื่องสำอาง งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำเอาผลิตภัณฑ์จากแป้งมาทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับแป้งทาหน้าโดยใช้เทคนิคพลาสมา 2 ชนิดคือ พลาสมาความดันต่ำและพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันโดยพลาสมาความดันต่ำจะใช้กำลังไฟฟ้าที่ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ ส่วนพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จจะใช้กำลังไฟฟ้าที่ 90 วัตต์ ซึ่งจากผลการทดลองหลังจากนำตัวอย่างแป้งข้าวอบด้วยพลาสมาทดสอบผลทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี โดยการวัดค่าของความหนาแน่นอนุโมลอิสระของพลาสมา พบว่าพลาสมาความดันต่ำตรวจพบค่าความหนาแน่นของอนุโมลอิสระที่สำคัญคือ OH N₂ H β และ H α และพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จพบอนุโมลอิสระที่สำคัญคือ N₂ O และ O₂ หลังจากนั้นนำไปศึกษาผลของพลาสมาต่อคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าแป้งข้าวที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาความดันต่ำมีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นเมื่อให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและแป้งข้าวหลังจากอบด้วยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จพบว่าตัวอย่างมีพื้นผิวที่เรียบ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการวัดค่าความดูดซับน้ำและน้ำมันพบว่าตัวอย่างแป้งข้าวหลังอบด้วยพลาสมาทั้งสองชนิดมีผลที่คล้ายคลึงกันคือ มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ลดลง แต่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดีขึ้น ผลทางเคมีโดยเทคนิค ATR – FTIR พบองค์ประกอบทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในแป้งข้าว และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS พบหมู่ฟังก์ชันของหมู่มีซิวเพิ่มขึ้นและหมู่ไม่มีซิวลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลของการดูดซับ ผลการดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของตัวอย่างจากการเทคนิค UV – Visible Spectroscopy ของพลาสมาทั้งสองชนิดไม่พบว่าแตกต่างกันทั้งก่อนและหลังที่ผ่านการด้วยพลาสมา และสุดท้ายผลการตรวจสอบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์พบว่าตัวอย่างของแป้งข้าวไม่พบเชื้อจุลินทรีย์หลังจากนำมาอบด้วยพลาสมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพลาสมาเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งและเพิ่มมูลค่าในผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ได้ดี

คำสำคัญ : พลาสมาความดันต่ำ พลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิจชาร์จ ข้าว การแพทย์ และ
เครื่องสำอาง



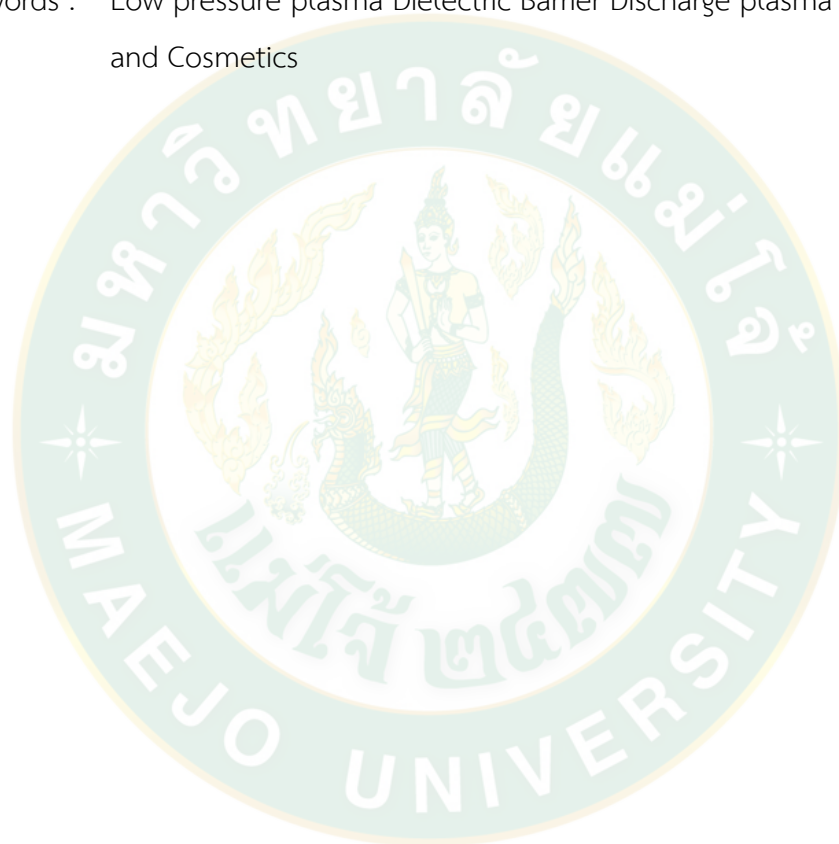
| | |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Title | A LOW PRESSURE PLASMA TREATMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT OF RICE FLOUR. |
| Author | Miss Kantamard Lamasai |
| Degree | Master of Science in Nanoscience and Technology |
| Advisory Committee Chairperson | Dr. Sureeporn Sarapirom |

ABSTRACT

Nowadays, rice products are studied to enhance its value such as in medical supplies and cosmetics. This research is therefore interested in the introduction of rice flour products to improved the loose powder. The study to improve the properties of rice flour two types of plasma techniques: low pressure plasma and Dielectric Barrier Discharge plasma were used This study at 50, 75, 100, 125 and 150 watts dielectric barrier discharge plasma dissipated power at 90 watts. Based on the experiment, after the sample of the rice flour bathed with plasma the results will be used to test the physical and chemical effects. Measuring the value of the free radical density of the plasma It was found that the low-pressure plasma detected the important free radical density: OH, N₂, H β and H α and the dielectric plasma barrier charger found significant free radicals, namely N₂, O and O₂. After which, the physical properties of the rice flour were observed by SEM it was found that after treatment rice flour had a more rough surface when the power increased and Rice flour after the dielectric plasma barrier being used to measure the water and oil absorbance found that the sample had a flat surface. In both results ability of water absorption decreased and the ability of oil absorption increased. The chemical analysis by ATR-FTIR technique found. the chemical composition of protein, carbohydrates and fats, which are the main constituents in rice flour. The result of the analysis using XPS technique found the group of functions of the terminal has increased and the non-polar group decreased thus corresponding to the effect of adsorption. Results from the UV-Visible Spectroscopy technique of both plasma types were not found to be different before

and after plasma transduction. Finally inspecting sterilizing contamination of microorganisms after being bathed with the absorbances and refraction plasma found that the samples of rice flour did not find microorganisms. Therefore, It can be concluded that the plasma treatment can be a promising technology for improving functionality of flour and enhance its value in various new products.

Keywords : Low pressure plasma Dielectric Barrier Discharge plasma Rice Medicine and Cosmetics



กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิทยานิพนธ์เรื่อง พลาสมาความดันต่ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าว สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือ คำแนะนำและความร่วมมือจากทุกท่าน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรียพร สราภิรมย์ ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และให้โอกาสด้านความรู้ ประสบการณ์ คำแนะนำ คำปรึกษาในการทดลอง และตรวจสอบรายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.กิริติญา จันทร์ผวง และ อาจารย์ ดร.มธุรส ชัยหาญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และบุคลากร และพี่ ๆ ที่ห้องปฏิบัติการศุขนิวิจัยฟิสิกส์ พลาสมาและลำอนุภาค (PBP) อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องความรู้ คำแนะนำ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ พี่ ๆ ทีมมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มีความอนุเคราะห์ในเรื่องความรู้ คำแนะนำ เพื่อให้เล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ ๆ เพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน แนะนำ และเป็นกำลังใจจนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณทมาศ หล้ามาทราย

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ช |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฐ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฑ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ประวัติความเป็นมา/เหตุปัจจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร..... | 4 |
| 2.1 พลาสมา (Plasma)..... | 4 |
| 2.1.1 ความหมายของพลาสมา..... | 4 |
| 2.2.2 กระบวนการเกิดพลาสมา | 5 |
| 2.2 พลาสมาความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)..... | 7 |
| 2.3 พลาสมาความดันบรรยากาศแบบ DBD (Dielectric barrier discharge)..... | 9 |
| 2.4 พลาสมาความดันต่ำ (Low pressure plasma) | 10 |
| 2.5 อันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์ | 11 |
| 2.6 ข้าว..... | 13 |
| 2.7 แป้ง (Starch)..... | 14 |
| 2.7.1 อะมิโลส (Amylose) | 14 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.2 อะมิโลเพคติน (Amylopectin)..... | 14 |
| 2.7.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวชนิดต่าง ๆ | 16 |
| 2.8 โครงสร้างของเม็ดแป้ง..... | 17 |
| 2.8.1 การกระจายตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้ง..... | 17 |
| 2.8.2 โครงสร้างในเม็ดแป้งมีความสม่ำเสมอ (จากแกนสู่ผิว)..... | 17 |
| 2.8.3 รู (pin holes) ที่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง..... | 17 |
| 2.8.4 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)..... | 17 |
| 2.9 สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)..... | 18 |
| 2.9.1 กระบวนการเกิดและการวัดพลังงานของอิเล็กตรอน..... | 18 |
| 2.10.2 เลขควอนตัม..... | 20 |
| 2.10 การวัดมุมสัมผัส | 22 |
| 2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)..... | 24 |
| 2.12 เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)..... | 25 |
| 2.12.1 เทคนิค FTIR-ATR | 25 |
| 2.12.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis)..... | 27 |
| 2.13 เอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) .. | 28 |
| 2.13.1 หลักการ | 28 |
| 2.13.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ | 29 |
| 2.14 อัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)..... | 30 |
| 2.15 จุลินทรีย์ในแป้งข้าว | 34 |
| 2.15.1 แบคทีเรีย (Bacteria) | 34 |
| 2.15.1.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย | 34 |
| 2.15.1.2 การขยายพันธุ์ของแบคทีเรีย | 35 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.15.1.3 ประเภทของแบคทีเรีย | 35 |
| 2.15.2 เชื้อรา (Fungi)..... | 37 |
| 2.15.2.1 เส้นใยของเชื้อรา มี 2 ชนิด คือ | 38 |
| 2.15.2.2 ผนังของรา | 38 |
| 2.15.2.3 ลักษณะการเติบโตของรา | 38 |
| 2.16 เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข | 40 |
| 2.17 ทบทวนวรรณกรรม..... | 41 |
| บทที่ 3 การทดลอง..... | 43 |
| 3.1 กระบวนการผลิตพลาสติก..... | 44 |
| 3.1.1 เครื่องกำเนิดพลาสติกความสูญญากาศแบบความดันต่ำ (LPP) | 44 |
| 3.1.2 เครื่องกำเนิดพลาสติกความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD) | 45 |
| 3.2 กระบวนการเตรียมตัวอย่างชิ้นงาน | 46 |
| 3.3 กระบวนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ | 47 |
| 3.3.1 การทดสอบความหนาแน่นของอนุภาคลิโธสในพลาสติกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES) | 47 |
| 3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งข้าว | 47 |
| 3.3.3 การทดสอบลักษณะทางพันธะเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)..... | 48 |
| 3.3.5 การทดสอบการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหาองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) .. | 49 |
| 3.3.6 การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)..... | 50 |
| 3.3.7 การทดสอบการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy) | 51 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7.8 การทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วย พลาสมา..... | 51 |
| บทที่ 4 | 53 |
| 4.1 ผลการทดลองจากการใช้เทคนิคพลาสมาชนิดความดันต่ำในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง ข้าว..... | 53 |
| 4.1.1 การศึกษาความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบ เปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)..... | 53 |
| 4.1.2 การศึกษาลักษณะทางพันธะเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)..... | 58 |
| 4.1.3 การศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหาองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค เอกซ์ เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) .. | 60 |
| 4.1.4 การศึกษาการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต และวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy)..... | 63 |
| 4.1.5 การศึกษาลักษณะสัณฐานบนชิ้นงานตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาด้วย เทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)..... | 64 |
| 4.1.6 การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าว | 65 |
| 4.1.7 การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วย พลาสมา..... | 67 |
| 4.2 ผลการทดลองจากการใช้เทคนิคพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จในการปรับปรุง คุณสมบัติของแป้งข้าว | 69 |
| 4.2.1 การศึกษาความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบ เปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)..... | 69 |
| 4.2.2 การศึกษาลักษณะทางพันธะเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)..... | 71 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 การศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับทางองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) | 74 |
| 4.2.4 การศึกษาการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ตและวิซิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy) | 76 |
| 4.2.5 การศึกษาลักษณะสัณฐานบนชิ้นงานตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) | 77 |
| 4.2.6 การศึกษาคูณสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งข้าว | 78 |
| 4.2.7 การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา | 80 |
| 5.1 การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาความดันต่ำ | 80 |
| 5.2 การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ | 81 |
| บรรณานุกรม | 82 |
| ประวัติผู้วิจัย | 109 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของพลาสติกที่ดัดสสารจที่ความดันบรรยากาศ..... | 8 |
| ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าว..... | 16 |
| ตารางที่ 3 สรุปค่าและสัญลักษณ์ของเลขควอนตัมชนิดต่างๆ | 21 |
| ตารางที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค XPS..... | 61 |
| ตารางที่ 5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค XPS..... | 74 |



สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 1 ลำดับสถานะและกระบวนการของสสารก่อนเป็นพลาสมา | 4 |
| ภาพที่ 2 ระดับพลังงานแบบละเอียดของอะตอมอาร์กอน | 6 |
| ภาพที่ 3 โครงสร้างหลักของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ ประกอบด้วย ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คั่นกลางด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก (Dielectric) อย่างน้อย 1 ชั้น | 9 |
| ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จในแบบที่ แตกต่างกัน (Kogelschatz และคณะ, 1997)..... | 10 |
| ภาพที่ 5 ระบบพลาสมาความดันต่ำด้วยเครื่องกำเนิดแบบ low-frequency หรือ high- frequency | 11 |
| ภาพที่ 6 แผนผังระหว่างพลาสมาที่กระทำต่อพื้นผิวพอลิเมอร์..... | 13 |
| ภาพที่ 7 โครงสร้างของอะมิโลส | 14 |
| ภาพที่ 8 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน..... | 15 |
| ภาพที่ 9 รูปแบบการจัดเรียงโครงสร้างภายใน cluster (cluster model) ของอะไมโลเพคติน..... | 16 |
| ภาพที่ 10 การพองตัวของเม็ดแป้ง | 18 |
| ภาพที่ 11 สเปกโทรสโกปีแบบ photoluminescence (fluorescence และ phosphorescence) | 19 |
| ภาพที่ 12 สเปกโทรสโกปีแบบ chemiluminescence | 20 |
| ภาพที่ 13 มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง..... | 22 |
| ภาพที่ 14 มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง..... | 23 |
| ภาพที่ 15 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 24 |
| ภาพที่ 16 การสะท้อนแสงในระบบ ATR..... | 25 |
| ภาพที่ 17 อุปกรณ์เสริมสำหรับต่อพ่วงกับเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์ใน mode ATR..... | 26 |
| ภาพที่ 18 เงื่อนไขสำหรับการสะท้อนแสงแบบ single internal reflection | 26 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 19 การสะท้อนแสงแบบ multiple internal reflection | 27 |
| ภาพที่ 20 แสดง (a) ตัวอย่างการลากเส้น base line เชิงเส้นตรง และ (b) ตัวอย่างการลากเส้น base line แบบวัดตามความโค้งของกราฟ โดยเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์เชิงปริมาณ | 28 |
| ภาพที่ 21 แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ XPS | 30 |
| ภาพที่ 22 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง | 30 |
| ภาพที่ 23 ระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น..... | 31 |
| ภาพที่ 24 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิชิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำแสงเดี่ยว | 32 |
| ภาพที่ 25 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิชิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำแสงคู่..... | 32 |
| ภาพที่ 26 ยูวีสเปกตรัมลักษณะต่าง ๆ ของรูปที่ (1) และ (2) แสดงกราฟของเบนโซฟีโนน (Benzophenone) และ (3) อะนิลีนและฟีนิลไฮโดรราซีน (Phenylhydrazine) | 33 |
| ภาพที่ 27 โครงสร้างของแบคทีเรีย..... | 35 |
| ภาพที่ 28 โครงสร้างของเชื้อรา Rhizopus sp..... | 37 |
| ภาพที่ 29 ระบบพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 44 |
| ภาพที่ 30 ภาพวาดจำลองของเครื่องพลาสมาความดันต่ำ | 45 |
| ภาพที่ 31 เครื่อง DBD ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 46 |
| ภาพที่ 32 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าว | 46 |
| ภาพที่ 33 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับการวัดความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาโดยใช้เครื่องสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง..... | 47 |
| ภาพที่ 34 การทดสอบการวัดค่ามัมส์ของหยดน้ำบนตัวอย่างแป้งข้าว | 48 |
| ภาพที่ 35 เครื่องมือ FTIR ณ ชั้น 3 อาคารเรียนรวม 60 ปี แม่โจ้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้..... | 49 |
| ภาพที่ 36 เครื่องมือ XPS ณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 50 |
| ภาพที่ 37 เครื่อง SEM ณ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 50 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 38 เครื่องมือ UV-Vis spectroscopy ณ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ | 51 |
| ภาพที่ 39 ผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันคือ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์..... | 54 |
| ภาพที่ 40 ผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ขณะมีตัวอย่างแป้งข้าวที่ กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันคือ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์..... | 55 |
| ภาพที่ 41 กราฟความหนาแน่นของอนุมูลอิสระก่อนใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ | 56 |
| ภาพที่ 42 กราฟความหนาแน่นของอนุมูลอิสระหลังใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ..... | 57 |
| ภาพที่ 43 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของ (ก) ตัวอย่างแป้งข้าวก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมา ด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้า 0 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ (ข) ส่วนขยายของพันธะโปรตีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธะเคมี | 60 |
| ภาพที่ 44 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) (ก) คาร์บอน (C1s) (ข) ไนโตรเจน (N1s) (ค) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างก่อนอาบ ด้วยพลาสมา และ (ง) คาร์บอน (C1s) (จ) ไนโตรเจน (N1s) (ฉ) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของ ตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมา..... | 62 |
| ภาพที่ 45 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-Vis ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้าคือ 0 50 75 100 125 และ 150 วัตต์..... | 63 |
| ภาพที่ 46 ตัวอย่างก่อนอาบด้วยพลาสมา ; (ก) ควบคุม และ (ข) ก่อนอาบพลาสมาในระบบ สุญญากาศ และตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (ค) 50 วัตต์ (ง) 75 วัตต์ (จ) 100 วัตต์ (ฉ) 125 วัตต์ (ฉ) 150 วัตต์..... | 64 |
| ภาพที่ 47 แสดงผลการเปรียบเทียบของตัวอย่างการดูดซึมโดยใช้พลาสมาความดันต่ำ (ก) การดูดซับน้ำของตัวควบคุม (ไม่ผ่านการอาบด้วยพลาสมา) การดูดซับน้ำของตัวอย่างที่ผ่านการ อาบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ข) 50 วัตต์ (ค) 75 วัตต์ (ง) 100 วัตต์ (จ) 125 วัตต์ และ (ฉ) 150 วัตต์ (ฉ) การดูดซับน้ำมัน squalene ของการควบคุม (ไม่ผ่านการอาบด้วยพลาสมา) การดู ซึมน้ำมัน squalene ของตัวอย่างที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ข) 50 วัตต์ (ข) 75 วัตต์ (ณ) 100 วัตต์ (ญ) 125 วัตต์ และ (ฎ) 150 วัตต์ | 66 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 48 ภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (ก) ตัวอย่างแป็งก่อนอบด้วยพลาสมา และตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสมาชนิดพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ข) 50 วัตต์ (ค) 75 วัตต์ (ง) 100 วัตต์ (จ) 125 วัตต์ และ (ฉ) 150 วัตต์..... | 68 |
| ภาพที่ 49 สเปกตรัมของพลาสมาความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD) ... | 70 |
| ภาพที่ 50 สเปกตรัมของพลาสมาความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD) ขณะที่มีตัวอย่างแป็งเข้า..... | 71 |
| ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR (ก) ของตัวอย่างก่อนและหลังอบด้วยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จที่ระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที (ข) ส่วนขยายของพันธะคาร์โบไฮเดรต..... | 73 |
| ภาพที่ 52 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอบด้วยพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์-ดิสชาร์จ (ก) คาร์บอน (C1s) (ข) ไนโตรเจน (N1s) (ค) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างก่อนอบด้วยพลาสมา และ (ง) คาร์บอน (C1s) (จ) ไนโตรเจน (N1s) (ฉ) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสมา..... | 75 |
| ภาพที่ 53 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-Vis ก่อนและหลังอบพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จที่ระยะเวลา 0 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที..... | 77 |
| ภาพที่ 54 ตัวอย่าง (ก) ก่อนอบด้วยพลาสมา และ (ข) ผ่านการอบด้วยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ..... | 78 |
| ภาพที่ 55 ผลการเปรียบเทียบของตัวอย่างการดูดซึมโดยใช้พลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (ก) การดูดซับน้ำของตัวควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมา) และตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาที่เวลาที่แตกต่างกันคือ (ข) 10 วินาที (ค) 20 วินาที (ง) 30 วินาที (จ) 40 วินาที (ฉ) 50 วินาที และ (ฉ) 60 วินาที (ข) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของการควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมา) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยการอบด้วยพลาสมาที่เวลาที่แตกต่างกันคือ (ข) 10 วินาที (ง) 20 วินาที (จ) 30 วินาที (ฉ) 40 วินาที (ฉ) 50 วินาที และ (ฉ) 60 วินาที..... | 79 |
| ภาพที่ 56 (ก) ตัวอย่างแป็งก่อนอบด้วยพลาสมาตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสมาชนิดพลาสมาได-อิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จที่ระยะเวลา (ข) 10 วินาที (ค) 20 วินาที (ง) 30 วินาที (จ) 40 วินาที (ฉ) 50 วินาที และ (ฉ) 60 วินาที..... | 81 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมา/เหตุปัจจัย

จากอดีตจนถึงปัจจุบันข้าว (*Oryza sativa* L.) ถือเป็นวัตถุดิบหลักของประเทศไทย และเป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชีย ข้าวได้มีการพัฒนาและนำมาแปรรูป ซึ่งที่นิยมจะนำมาแปรรูปในรูปแบบของแป้งข้าว โดยเฉพาะข้าวเจ้าหอมมะลิและข้าวเจ้าสังข์หยดมักนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แป้งข้าว ซึ่งนำมาเป็นส่วนผสมสำคัญในแบเกอรี่ ยารักษาโรค และเครื่องสำอาง เป็นต้น โดยที่นิยมมากที่สุดตอนนี้คือการนำแป้งข้าวมาผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ไม่ว่าจะเป็น แป้งฝุ่น แป้งพัฟ ลิปสติก และผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เป็นต้น (Department of Foreign Trade, 2016) เนื่องจากแป้งข้าวเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ มีความปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์ไทยแท้ที่มีมานานับร้อยปี ปลูกได้ผลดีในจังหวัดพัทลุง โดยเมื่อปี 2543 สมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ ทรงมีรับสั่งให้ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงปลูกข้าวสังข์หยด เมื่อวันที่ 24 กันยายน 2546 ทางศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงได้นำข้าวสังข์หยดมาถวายแด่พระองค์ และหลังจากนั้นพระองค์ก็ทรงให้นำปลูกเพื่อขยายพันธุ์เพิ่ม ใน 2549 ข้าวสังข์หยดถูกประกาศให้เป็น “สินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์” หรือ “ข้าว GI” (Geographical Indications) โดยกรมการข้าวและกรมวิชาการเกษตรมีชื่อเรียกว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นข้าว GI พันธุ์แรกของประเทศไทย โดยลักษณะทั่วไปของข้าวสังข์หยด มีลักษณะแตกต่างจากพันธุ์ข้าวทั่วไป โดยปลูกได้เพียงปีละ 1 ครั้ง มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีชาวนแดงอ่อน ๆ ถึงแดงเข้ม เมล็ดเล็กเรียวยาว ท้ายงอน มีขนาดยาว 6.70 มิลลิเมตร กว้าง 1.18 มิลลิเมตร หนา 1.64 มิลลิเมตร สามารถต้านทานต่อโรค แมลง และศัตรูพืช รวมทั้งปรับตัวกับสิ่งแวดล้อมได้ดี นิยมรับประทานแบบข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ ซึ่งให้ประโยชน์มากกว่าข้าวกล้องและข้าวซ้อมมือทั่วไป ข้าวสังข์หยดมีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย มีกากใย โปรตีน ฟอสฟอรัส และธาตุเหล็กสูง มีแกมมาออโรซานอล กาบกา แอนตีออกซิแดนซ์ป้องกันมะเร็ง ช่วยชะลอความแก่ ป้องกันความจำเสื่อม บำรุงโลหิต โรคหัวใจ และเพราะมีกากใยสูงจึงดีต่อระบบขับถ่ายและลำไส้ (กรมการข้าว, 2017)

จากการศึกษาพบว่าแป้งข้าวจะมีปัญหาการติดเชื้อที่มักพบในข้าวก่อนที่จะมาแปรรูป ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่ คือ แบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งข้าวบางชนิดจะมีแบคทีเรียหรือเชื้อราที่ส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปแบบของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะใช้วิธีการฉายรังสีในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ รังสีแกมมาเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

พลังงานสูง เทคนิคนี้มีดีเอ็นเอไนโทป์และทำลายสารอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่าเทคโนโลยีพลาสมาเป็นเทคโนโลยีระดับนาโนที่มีความน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อและปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้

เทคโนโลยีนาโนเป็นเทคโนโลยีสาขาวิชาใหม่ ที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากหลากหลายสาขารวมเข้าด้วยกัน ทั้งเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา อิเล็กทรอนิกส์ และอื่น ๆ สำหรับการประกอบและการผลิตสิ่งต่าง ๆ ขึ้นจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น อะตอม หรือ โมเลกุลเข้าด้วยกันด้วยความแม่นยำในระดับนาโนเมตร และอุตสาหกรรมในอนาคตจะเป็นอุตสาหกรรมระดับโมเลกุล ซึ่งเทคโนโลยีพลาสมาถือเป็นเทคโนโลยีระดับนาโนและเป็นเทคโนโลยีที่สะอาดไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยในเรื่องการลดใช้สารเคมี ซึ่งเมื่อก้าวถึงเทคโนโลยีพลาสมาควรรู้ถึงความหมายของพลาสมา ด้วยพลาสมาคือ สภาวะที่อะตอมหรือโมเลกุลก๊าซเกิดเป็นไอออน (ionization) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน อนุภาคมีประจุ และอนุภาคของก๊าซ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมายังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า (ธีรวรรณ บุญญวรรณ, 2550)

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลาสมาโดยส่วนใหญ่มักนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมทางด้านเครื่องสำอางโดยผลิตเป็นแป้งที่มีระดับนาโน ทำให้แป้งไม่สะท้อนแสงแลดูทำให้ใบหน้าดูอ่อนเยาว์ขึ้น และรวมไปถึงทางการแพทย์ ซึ่งจะนำเทคโนโลยีพลาสมาเข้าไปช่วยในการฆ่าเชื้อ รักษา ปรับปรุงและเคลือบผิวของวัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนี้เทคโนโลยีพลาสมายังถูกนำมาประยุกต์ เพื่อเป็นตัวช่วยในการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์ของเครื่องฟอกอากาศอีกด้วย โดยในอุตสาหกรรมทางการเกษตร และเครื่องสำอางพบว่าเทคโนโลยีพลาสมายังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้กันมากนัก ซึ่งเมื่อเทียบกับองค์ความรู้และประสิทธิภาพของเทคโนโลยีพลาสมาที่มาอย่างยาวนาน การนำเทคโนโลยีพลาสมาไปประยุกต์ใช้กับกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดเล็กยังไม่มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย

สำหรับในงานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีพลาสมาไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าว เพื่อลดการปนเปื้อนของสารเคมีที่ตกค้าง ช่วยในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่พบในผลิตภัณฑ์ และยังช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางการดูดซับ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยและคุณสมบัติที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้งข้าวให้มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น และดูดซับน้ำได้น้อยลง

1.2.2 เพื่อการประยุกต์ใช้พลาสมาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์แป้งข้าว

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การประยุกต์ใช้เทคนิคพลาสมาเพื่อปรับปรุงความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น และดูดซับน้ำลดลง และสามารถการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์แป้งข้าวเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้



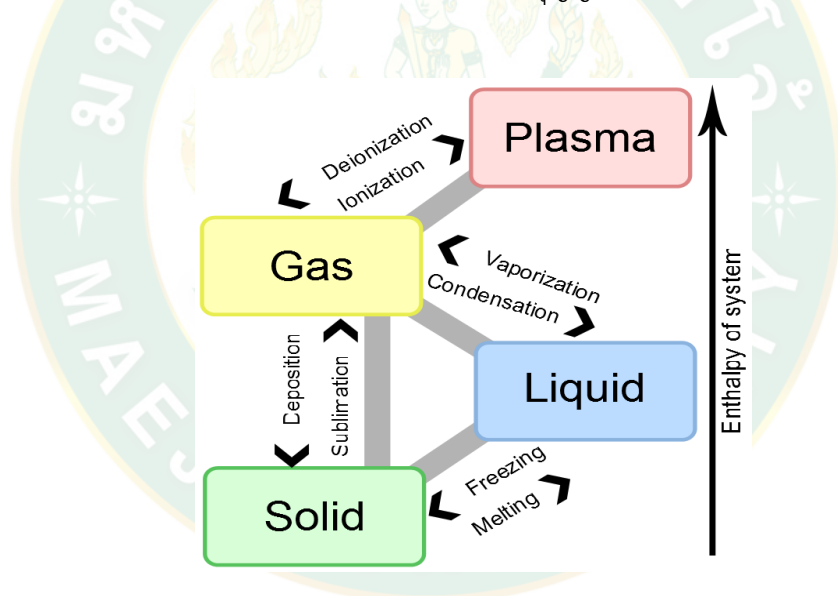
บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 พลาสมา (Plasma)

2.1.1 ความหมายของพลาสมา

พลาสมาคือ สภาวะที่อะตอมหรือโมเลกุลก๊าซเกิดการเป็นไอออน (ionization) ประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน อนุภาคมีประจุ และอนุภาคของก๊าซ ทำให้โดยรวมแล้วพลาสมา ยังคงสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คำว่า “พลาสมา” นี้ถูกบัญญัติโดย แลงมัวร์ (Irving Langmuir) นักเคมีรางวัลโนเบลปี 1932 ใช้เพื่อบรรยายสภาวะก๊าซที่ถูกทำให้เป็นไอออนโดยการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า (electric discharges) อย่างไรก็ตามพลาสมาถูกผลิตได้จากกระบวนการต่อไปนี้ ได้แก่ การทำให้ร้อน (heating) การดิสชาร์จด้วยไฟฟ้า การเป็นไอออนด้วยรังสี (ionizing radiation) และการเป็นไอออนจากการชน (collisional ionization) (ธีรวรรณ บุญญวรรณ, 2550)



ภาพที่ 1 ลำดับสถานะและกระบวนการของสสารก่อนเป็นพลาสมา

(<http://en.wikipedia.org>)

ดังนั้นจึงถือว่าพลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร นิยามโดย Sir William Crooke นักเคมีฟิสิกส์ (Crookes, 1879) หากพิจารณาช่วงเปลี่ยนสถานะ ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ (solid-liquid-gas) หากเราเพิ่มอุณหภูมิ หรือ ให้พลังงานแก่อนุภาคของก๊าซให้แก่ก๊าซต่อไปเรื่อย ๆ เช่น การให้พลังงานความร้อนถึง 20,000 องศาเซลเซียส (Crookes) เราจะได้พลาสมาของก๊าซนั้น ๆ ในทางปฏิบัติอุณหภูมิอาจต่ำกว่านี้ได้แล้วแต่กลไกการทำให้เป็นไอออนของก๊าซ อย่างไรก็ตามพลาสมาโดยรวมกลับมีสภาวะเป็นกลางทางไฟฟ้า (quasineutral gas) โดยมีลักษณะเฉพาะสำคัญ

เนื่องจากแรงไฟฟ้าระหว่างอนุภาคซึ่งเป็นแรงระยะไกล (long range force) และอนุภาคของพลาสมาทุกตัวกระทำต่ออนุภาคข้างเคียงกันและกัน พลาสมาจึงตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าแม่เหล็กภายนอกด้วยพฤติกรรมร่วมกัน (collective behavior) นอกจากนี้ยังสามารถนับได้ว่าพลาสมาเป็นของไหลไฟฟ้า (conducting fluid) เพราะก๊าซถูกนิยามให้เป็นของไหล (ธีรบรรณ บัญญูบรรณ, 2550)

2.2.2 กระบวนการเกิดพลาสมา

กระบวนการเกิดพลาสมานั้นส่วนใหญ่ เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาเคมีภายในพลาสมานั้นเกิดการแตกตัว การรวมตัวหรือแม้แต่การรับพลังงานและภายหลังภายในก็ตาม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้ (อัจฉราภรณ์ บุญมา, 2556)

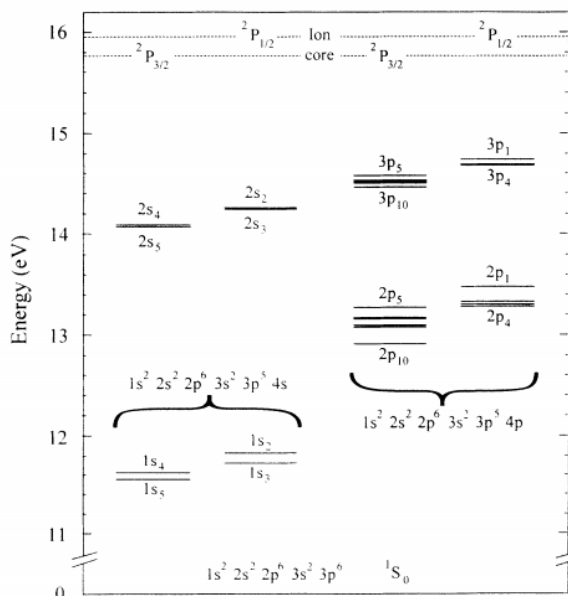
1. การแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)

การเกิดปฏิกิริยาของพลาสมาภายในห้องสุญญากาศซึ่งมีก๊าซไหลผ่านในระดับคงที่และมีความดันต่ำมาก ๆ โมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซในสุญญากาศอาศัยการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระกับอะตอมหรือโมเลกุลเป็นสำคัญ โดยคลื่นไมโครเวฟหรือคลื่นวิทยุทำหน้าที่เร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานจนชนกับอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออนและเกิดการรุ่งแสง (glow discharge) เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาจะได้ชนิดของก๊าซที่มีการเปล่งแสง แสงเหนือสีม่วง (ultraviolet) ที่เกิดขึ้น ความถี่ในช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ตัวอย่างเช่นการรุ่งแสงของก๊าซอาร์กอนเกิดเป็นแสงสีขาวอมน้ำเงิน ดังสมการการแตกตัว และพลังงานมีค่าดังแสดงในสมการที่ 1 2 และ 3

Ionization energy of Argon



ซึ่งจากการเปลี่ยนสถานะพื้นของ Ar I (neutral atom) จะมีการจัดเรียงอิเล็กตรอน (electronic configuration) เป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ หรือ $[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$ สัญลักษณ์เทอมของสถานะพื้น คือ 1S_0 สำหรับสถานะกระตุ้น 4 สถานะแรกที่มีพลังงานต่ำที่สุด (four lowest – lying excited levels) มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 4s$ หรือ $3p^5 4s$ และถูกเรียกว่าระดับ $1s_2, 1s_3, 1s_4$ และ $1s_5$ ตามการเขียนสัญลักษณ์แบบพาสเชน (Paschen's notation) สำหรับอะตอมอาร์กอนที่อยู่ในสถานะ $J = 0$ $1s_3$ (3P_0) มีเวลาชีวิต (lifetime) 1.3 วินาที และ $J = 2$ $1s_5$ (3P_2) มีเวลาชีวิต 38 วินาที สำหรับสถานะ $1s_2$ และ $1s_4$ ต่างก็มี $J = 1$ เหมือนกัน ซึ่งทั้งสองสถานะนี้ จะมีการสลายตัว (spontaneously decay) ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาแล้วกลับลงมาสู่สถานะพื้น โดยมีเวลาชีวิตเป็น 2.0 และ 8.4 วินาที ตามลำดับ (Schappe และคณะ, 1994) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระดับพลังงานแบบละเอียดของอะตอมอาร์กอน
(Schappe และคณะ, 1994)

2. การถูกกระตุ้น (Excitation)

พลังงานที่ส่งผ่านเมื่ออิเล็กตรอนกระโดดไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า ทำให้อะตอมนั้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ซึ่งแสดงว่าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่าพลังงานในการแตกตัวเป็นไอออนดังแสดงในสมการที่ 4



3. การแยกตัวออก (Dissociation)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการที่ก๊าซถูกกระทำโดยศักดิ์ของคลื่นความถี่วิทยุ เช่น กระบวนการแยกตัวออกของก๊าซออกซิเจน ซึ่งสามารถแยกตัวออกเป็นออกซิเจน 2 อะตอม ดังแสดงในสมการที่ 5



ผลจากการแยกตัวจะเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คือ ผลผลิตที่ได้จะมีปฏิกิริยาความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าตอนที่อะตอมยังไม่แยกตัว การแยกตัว (dissociation) อาจเกิดคู่กับการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) หรือไม่ก็ได้ ถ้าเกิดคู่กันจะเรียกว่า dissociative ionization ตัวอย่างดังแสดงในสมการที่ 6 และ 7



ผลของการเรืองแสงของก๊าซที่ลดความดันและศักย์ของคลื่นวิทยุที่ถูกกระตุ้น จะสังเกตเห็นพลาสมาที่เปล่งแสงนี้เรียกว่า glow discharge ซึ่งหมายถึงแสงของพลาสมาที่เปล่งแสงออกมา เนื่องจากพลังงานภายนอกที่ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากสถานะพื้นเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะของการถูกกระตุ้น โดยปกติอิเล็กตรอนสามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก ๆ ประมาณ 10^{-18} วินาที จากนั้นเวเลนซ์อิเล็กตรอนจะกลับมาสู่สถานะพื้น และมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความถี่ของแสงในช่วงที่มองเห็น (visible light) (อัจฉราภรณ์ บุญมา, 2556)

4. การแลกเปลี่ยนประจุ (charge exchange)

เป็นการถ่ายเทประจุกับอะตอมจะเกิดขึ้นได้ง่ายมากหากเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกับอะตอมของธาตุเดียวกัน ดังแสดงในสมการที่ 8 และ 9



ในทำนองเดียวกันจะยากขึ้น แต่ก็มีโอกาสเกิดขึ้นได้ กรณีเป็นธาตุต่างชนิดกัน ดังแสดงในสมการที่ 10



5. การถ่ายเทโมเมนตัม (momentum transfer)

เป็นกลไกเบื้องต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของแรงจากการชนของอะตอมกรณีก๊าซที่เป็นกลาง การถ่ายเทโมเมนตัมของอิเล็กตรอนไม่ได้มีความสำคัญมากนักในการเปล่งแสง (glow discharge) แต่เป็นกระบวนการที่สามารถเกิดพลาสมาได้ เช่น ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในสมการที่ 11 และ 12



2.2 พลาสมาความดันบรรยากาศ (Atmospheric plasma)

พลาสมาที่ความดันบรรยากาศ หมายถึง การทำให้เกิดสถานะพลาสมาที่ความดันบรรยากาศหรือใกล้เคียงความดันบรรยากาศ พลาสมาที่ความดันบรรยากาศแบ่งเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ติดตั้ง ลักษณะการเกิดดิสชาร์จหรือการปล่อยประจุ เช่น thermal torch plasma arc corona discharge DBD เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทสามารถปรับปรุงพื้นผิวโดยตรง หรืออาศัยชนิดของพลาสมา ที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ทำปฏิกิริยากับสาร หรือสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและได้โครงสร้างทางเคมีใหม่บนพื้นผิวชิ้นงาน จากการแบ่งประเภทของพลาสมา พบว่า

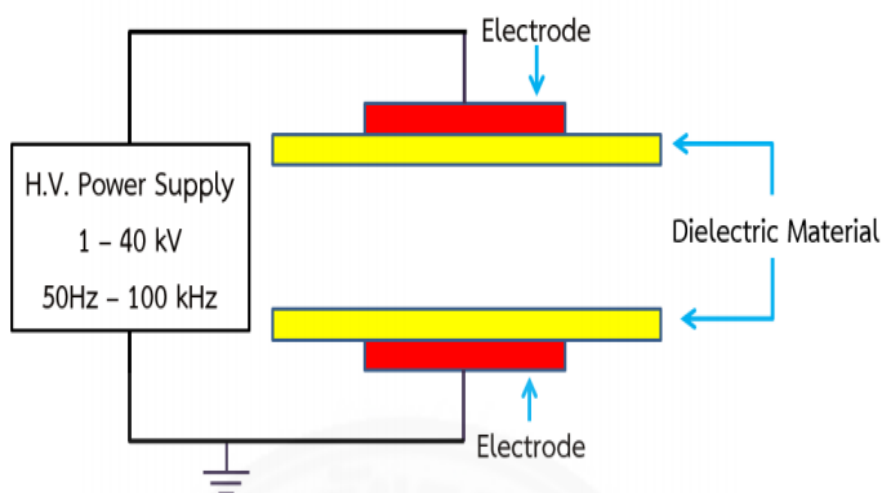
พลาสมาที่ความดันบรรยากาศมีทั้งชนิด thermal – plasma และ non – thermal plasma ซึ่งจะกล่าวเฉพาะแบบ non – thermal plasma ซึ่งได้แก่ โคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) แบบไดอิเล็กทริก (Dielectric barrier ; DBD) เจ็ทพลาสมาความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Plasma ; APPJ), Micro-hollow cathode discharge (MHCD) ตามที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแต่ละชนิดของอุปกรณ์จะใช้แหล่งจ่ายพลังงานที่แตกต่างกัน โดยแบบโคโรนาดีสชาร์จจะใช้ ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่สม่ำเสมอ (pulsed DC) และ DBD ใช้กระแสไฟฟ้าสลับ (Tursi และคณะ) หรือคลื่นความถี่วิทยุ (RF) เป็นต้น

ตารางที่ 1 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 |
| 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 |
| Tmax 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 |

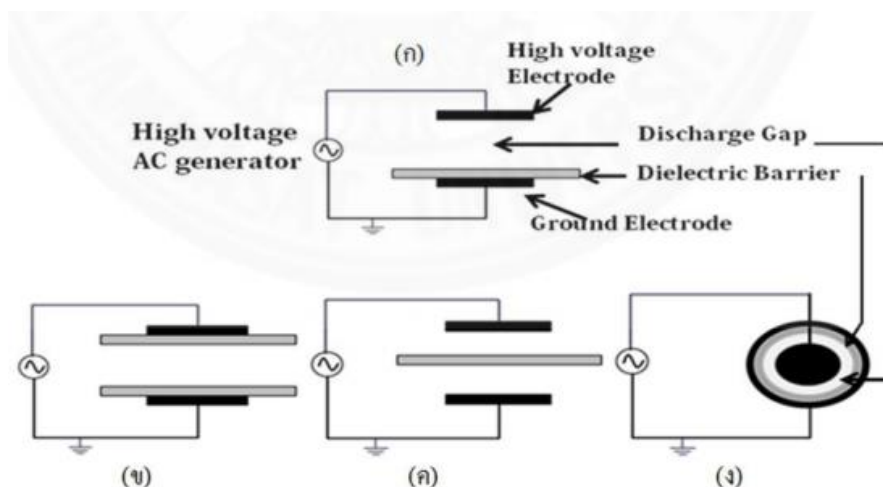
2.3 พลาสมาความดันบรรยากาศแบบ DBD (Dielectric barrier discharge)

เครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ (Dielectric Barrier Discharge, DBD) ใช้ครั้งแรกโดย Ernst Werner Von Siemens ในปี 1857 โดยใช้หลักการสะสม (Charge) และคายประจุ (Discharge) บนไดอิเล็กทริกด้วยไฟฟ้ากระแสสลับที่ความต่างศักย์สูง โดยโครงสร้างหลักของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดแผ่นไดอิเล็กทริกและแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความต่างศักย์สูง โดยนำขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความต่างศักย์สูงและนำแผ่นไดอิเล็กทริกอย่างน้อยหนึ่งแผ่น วางคั่นระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองดังภาพที่ 3 (ทิพวิมล ไตรกุล, 2557)



ภาพที่ 3 โครงสร้างหลักของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ ประกอบด้วย ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คั่นกลางด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก (Dielectric) อย่างน้อย 1 ชั้น (ทิพวิมล ไตรกุล, 2557)

โดยรูปทรงของขั้วอิเล็กโทรดและแผ่นไดอิเล็กทริกมีได้หลายรูปแบบทั้งแบบระนาบและแบบทรงกระบอก ดังเช่นภาพที่ 4 โดยภาพที่ 4 (ก) โครงสร้างหลักของเครื่อง ประกอบด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก 1 แผ่น วางชิดติดกับขั้วอิเล็กโทรด ส่วนในภาพที่ 4 (ข) โครงสร้างหลักของเครื่อง ประกอบด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก 2 แผ่น คั่นอยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ส่วนในภาพที่ 4 (ค) โครงสร้างหลักของเครื่องประกอบด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก 1 แผ่น คั่นอยู่ตรงกลางระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว และภาพที่ 4 (ง) โครงสร้างหลักของเครื่องเป็นแบบทรงกระบอก ประกอบด้วยแผ่นไดอิเล็กทริก 1 แผ่น คั่นอยู่ตรงกลางระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (ทิพวิมล ไตรกุล, 2557)



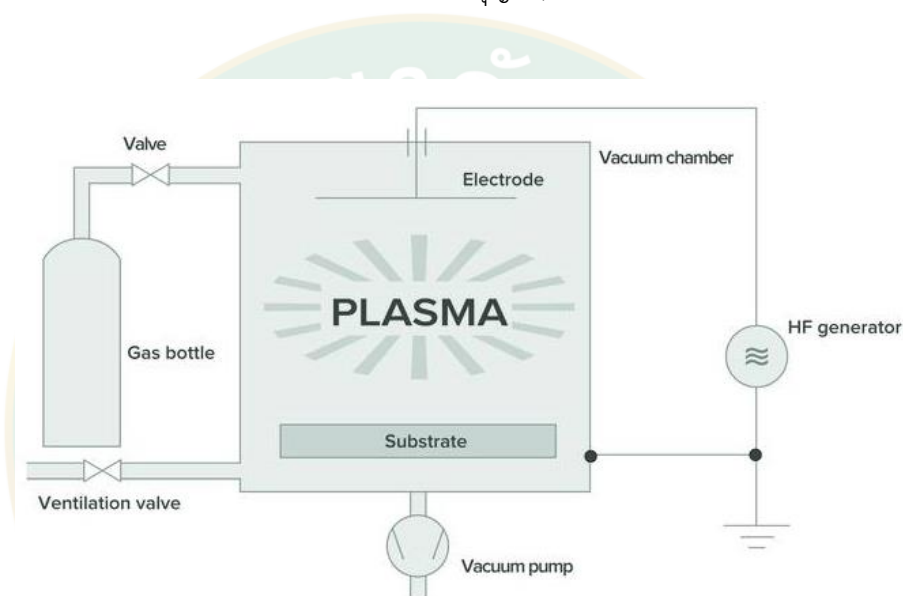
ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างของเครื่องกำเนิดพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จในแบบที่แตกต่างกัน (Kogelschatz และคณะ, 1997)

โดยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ จะทำการผลิตพลาสมาออกมาในสภาวะก๊าซ และถูกเรียกว่า ไมโครดีสชาร์จ (micro discharge) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วช่องว่างระหว่างขั้วนั้น ซึ่งการแตกตัวเป็นประจุของก๊าซจะเกิดขึ้น (ionization) ประจุจะเคลื่อนย้ายและสะสมที่ผิวของแผ่นไดอิเล็กทริกซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้าขาเข้าไม่ก็วินาที สนามไฟฟ้าของทั้งสองจะเกิดการสมดุลและเกิดการหักล้างกันไป และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้สูงขึ้น การเกิดไมโครดีสชาร์จจะเกิดขึ้นมาใหม่อีกครั้งทันทีที่สนามไฟฟ้าพอเหมาะในช่องว่างนั้น โดยสรุปแล้ว ไดอิเล็กทริกมีหน้าที่ 2 ประการคือ การจำกัดการเคลื่อนที่ของประจุไปยังขั้วไม่ให้มากจนเกินไป ซึ่งเป็นการป้องกันการลัดวงจร และอีกประการคือช่วยกระจายไมโครดีสชาร์จให้เกิดทั่วช่องว่างระหว่างขั้วนั้น และเพื่อให้อิเล็กตรอนมีโอกาสมัผัสกับอนุภาคของก๊าซให้ได้มากที่สุด (พิชญ์ศักดิ์ จันทร์กุล, 2551)

2.4 พลาสมาความดันต่ำ (Low pressure plasma)

การเกิดพลาสมาของระบบพลาสมาความดันต่ำมีลักษณะการปล่อยประจุแบบโกลว์ดีสชาร์จ (glow discharges) โดยเป็นการสร้างพลาสมาที่พัฒนามาจากพลาสมาร้อน เป็นการลดความดันในการเกิดพลาสมาให้ต่ำลง โดยอุณหภูมิของอนุภาคหนักที่อยู่ในระบบจะมีค่าต่ำและมักจะไม่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง แต่สำหรับอิเล็กตรอนจะมีอุณหภูมิสูงมาก เพราะมีอุณหภูมิน้อยจึงถูกเร่งในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ง่าย ด้วยการที่อิเล็กตรอนมีอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น ซึ่งจากกระบวนการดีสชาร์จเมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วอิเล็กโทรดทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่สูงพอจนกระตุ้นให้ก๊าซบางส่วนแตกตัวและกลายเป็นประจุบวก และอิเล็กตรอน

จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าที่อยู่ข้างหน้าขั้วลบ และเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ ทำให้เกิดการกระตุ้นและแตกตัวเป็นประจุ อนุภาคที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นจะปลดปล่อยรังสีออกมาและลงมาอยู่ในสถานะที่ต่ำลงมาทำให้เกิดแสงสว่าง ซึ่งก่อให้เกิดกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ของพื้นผิวในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งพื้นผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงในระดับนาโน โดยนิยมใช้ในงานที่ไม่ต้องการความร้อน เช่น การกัด (etching) หรือการทำฟิล์มบาง (thin film) เป็นต้น เทคนิคนี้ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างหลักของวัสดุในส่วนอื่น ๆ การที่ใช้ระบบพลาสมาความดันของก๊าซต่ำจะทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นคงที่และสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 5 (อัจฉราภรณ์ บุญมา, 2556)

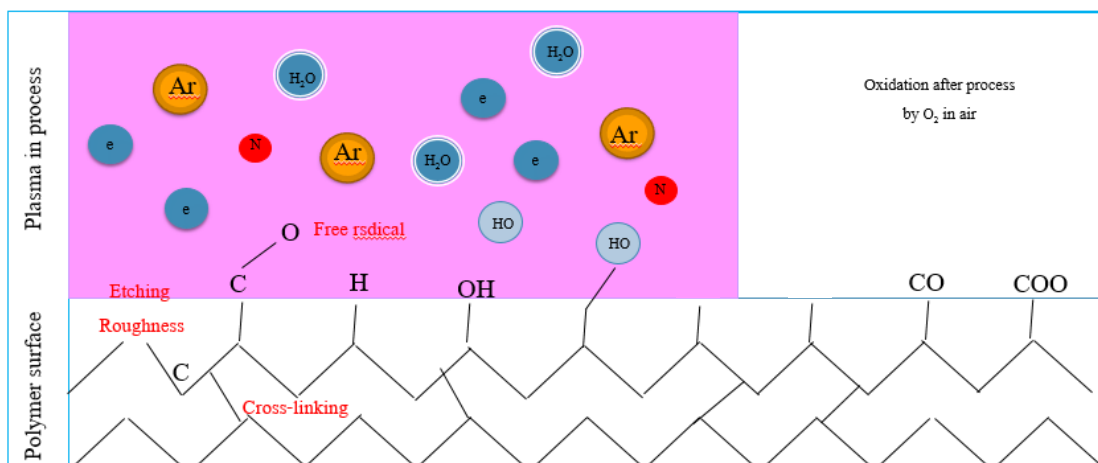


ภาพที่ 5 ระบบพลาสมาความดันต่ำด้วยเครื่องกำเนิดแบบ low-frequency หรือ high-frequency (<https://www.plasma.com/en/plasmatechnik/introduction-to-plasma/>)

2.5 อันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์

กระบวนการเกิดของอันตรกิริยาระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์ เกิดจากการทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวกลายเป็นพลาสมาและเกิดเป็นสถานะกระตุ้นของอนุภาคต่าง ๆ ของไอออน อิเล็กตรอน และอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะถูกกระตุ้นอยู่ตลอดเวลาและมีความไม่เสถียรสูง จากนั้นอนุภาคต่าง ๆ ของพลาสมาจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ซึ่งจะเกิดกระบวนการพลาสมาพอลิเมอร์ไรเซชัน (plasma polymerization) ขึ้น กระบวนการนี้แตกต่างจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิเมอร์ทั่วไป โดยพอลิเมอร์ของพลาสมาจะเกิดการเชื่อมต่อกัน (Crosslink) ภายในสายพอลิเมอร์ หรือเกิดการต่อกิ่ง (grafting) อย่างหนาแน่นมากกว่าพอลิเมอร์ทั่วไป เนื่องจากโมเลกุลของพลาสมามีอนุภาคที่ไม่เสถียรสามารถจับกับอนุภาคใกล้เคียงได้ดีกว่าอนุภาคของพอลิเมอร์ทั่วไปที่มีความเสถียรมากกว่า

และสามารถจับยึดกับโมเลกุลของผิวของพอลิเมอร์ได้ดี โดยการเกิดการ grafting และ functionalization ของพอลิเมอร์ อิเล็กตรอน อนุมูลอิสระ ไอออนต่าง ๆ และอนุภาคที่อยู่ในสถานะกระตุ้นซึ่งถูกสร้างขึ้นในก๊าซดิสชาร์จพร้อมกัน เมื่อพลาสมากระทบลงบนพื้นผิวของพอลิเมอร์กลุ่มอนุภาคบนพื้นผิวของพอลิเมอร์จะถูกไอออนทำให้หลุดหรือเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิม ทำให้ผิวของพอลิเมอร์พร้อมจะทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือไอออนที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยา โดยการถ่ายเทพลังงานจากพลาสมาสู่ผิวของพอลิเมอร์ดังภาพที่ 6 ซึ่งพลังงานเหล่านี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเชิงกลแก่ผิวพอลิเมอร์ ได้แก่ การกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ตกค้างบนผิวพอลิเมอร์ (cleaning of surface) การเหนี่ยวนำให้เกิดกลุ่มฟังก์ชันบนผิวพอลิเมอร์ ซึ่งพร้อมทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ โดยการตัดสารพอลิเมอร์ (hydrogen abstraction) ซึ่งทำให้เกิดกลุ่มอนุมูลอิสระบนผิว พอลิเมอร์ และสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นผิวโดยการกัดกร่อน (etching) หรือการเปลี่ยนองค์ประกอบพื้นผิว (decomposition) ด้วยการเคลือบผิวและเป็นการเพิ่มความขรุขระให้แก่พื้นผิวอีกด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้คุณสมบัติเกี่ยวกับการยึดติดของพอลิเมอร์ดีขึ้นนั่นเอง (พงษ์ระวี พันธุ์บุญปลูก, 2557) ตัวอย่างเช่น การปล่อยก๊าซของอาร์กอนเข้าไปในห้องสุญญากาศและเมื่อให้พลังงานจะทำให้ก๊าซเกิดของอาร์กอนเกิดการแตกตัวกลายเป็นพลาสมา และภายในระบบอะตอมของอาร์กอนจะเข้าไปทำชนกันอิเล็กตรอนอิสระ โมเลกุลของไอน้ำ อนุภาคของไนโตรเจนและอนุภาคอื่น ๆ ที่อยู่ในระบบ ซึ่งเมื่อพลาสมาเข้าไปทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ส่งผลให้เปลี่ยนแปลงโดยการกัดกร่อนทำให้อนุภาคที่อยู่ในพอลิเมอร์หลุดออกจากสายพอลิเมอร์เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่อยู่ภายในระบบ และเกิดกลุ่มการแลกเปลี่ยนอนุภาคระหว่างพลาสมากับพอลิเมอร์ คือ เกิดเป็นกลุ่มของคาร์บอนที่เชื่อมต่อกับออกซิเจน ซึ่งคาร์บอนมาจากอนุภาคที่อยู่ภายในตัวอย่าง พอลิเมอร์และเกิดกลุ่มของไฮดรอกซิลที่เข้ามายึดเกาะบนพื้นผิวและอยู่ในระบบซึ่งเกิดจากการที่อะตอมของอาร์กอนเข้าไปทำอันตรกิริยากับกลุ่มของไอน้ำที่อยู่ในระบบ นอกจากนี้ยังเกิดการเชื่อมต่อกันของอะตอมของคาร์บอนภายในพอลิเมอร์ และเมื่อตัวอย่างพอลิเมอร์อยู่ภายนอกสุญญากาศจะพบว่าอนุภาคของพอลิเมอร์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่ภายในอากาศ ซึ่งเกิดพลาสมาเข้าไปทำให้สายโซ่ที่อยู่ในพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง และพร้อมที่จะสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ จึงทำให้อนุภาคของพอลิเมอร์ ซึ่งคือพวกกลุ่มของคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ และเกิดเป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มีขั้วเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์



ภาพที่ 6 แผนผังระหว่างพลาสมาที่กระทำต่อพื้นผิวพอลิเมอร์

2.6 ข้าว

ความหมายของข้าว ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ในความหมายของคำว่าข้าวคือ เมล็ดของพืชจำพวกหญ้าที่ใช้เป็นอาหารที่สำคัญในประเทศร้อนมีชนิดใหญ่ ๆ 2 ชนิด คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

โดยจากการศึกษาข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง เป็นที่นิยมปลูกในท้องถิ่นมานานหลายชั่วอายุคน แต่ไม่มีการบันทึกประวัติที่แน่ชัด เกษตรกรในจังหวัดพัทลุงปลูกข้าวพันธุ์นี้สืบต่อกันมาโดยตลอดจากหลักฐานของกรมการข้าว กระทรวงเกษตร ซึ่งได้รวบรวมพันธุ์ข้าวพื้นเมืองทั่วประเทศรวมทั้งจังหวัดพัทลุง ซึ่งลักษณะเมล็ดข้าวสังข์หยด เป็นข้าวที่มีลักษณะแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่เหยื่อหุ้มเมล็ดมีสีขาวปนสีแดงจาง ๆ จนถึงแดงเข้มในเมล็ดเดียวกัน เมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะนุ่ม ค่อนข้างเหนียว ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวนาสวน ไร่ต่อช่วงแสง ปลูกได้เฉพาะนาปี ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 140 เซนติเมตร มีการแตกกอเฉลี่ย 8 ต้นต่อกอ ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำคือเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่

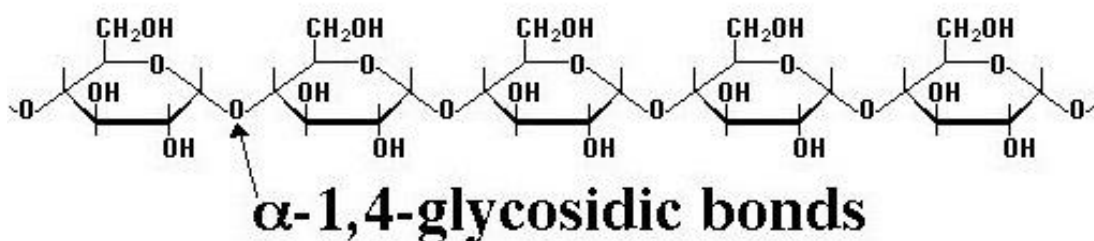
ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวสังข์หยด เปลือกเมล็ดมีสีฟาง ข้าวกล้อง ข้าวสารมีสีขาวปนแดง เมล็ดเรียวยาว ยาว 6.5 มิลลิเมตร กว้าง 1.9 มิลลิเมตร เมล็ดข้าว 100 เมล็ดหนัก 1.98 กรัม คุณภาพการของการสีข้าวดี คุณสมบัติทางเคมี มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 13.8 ถือว่าต่ำที่สุดในบรรดาข้าวพื้นเมือง ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติของข้าว เมื่อหุงสุกมีความอ่อนนุ่ม ค่อนข้างเหนียว ทำให้ย่อยง่าย เหมาะกับผู้สูงอายุและผู้ที่ไม่ใช้แรงงานหนัก (ปานทิพย์ ผดุงศิลป์, 2555)

2.7 แป้ง (Starch)

เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์ในพืชโดยพบมากในธัญพืช มันฝรั่งและพืชตระกูลถั่ว เมื่อสลายตัวจะให้กลูโคสอย่างเดียวจึงจัดเป็น homopolymer แป้งมีองค์ประกอบสองส่วนคือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพคติน) ที่วางตัวในแนวรัศมี (ภัทรนกร ใจตรงค์, 2550)

2.7.1 อะมิโลส (Amylose)

ประกอบด้วยกลูโคส 250 - 2,000 โมเลกุล ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งต่อกันเป็นโซ่ยาวแบบไม่มีกิ่ง มีลักษณะขดเป็นเกลียววนซ้าย (left handed helical structure) อะมิโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน เป็นโมเลกุลเส้นยาว ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพันธะกลูโคสิดิก α -1,4 และส่วนน้อยเป็นพันธะกลูโคสิดิก α -1,6 ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อะมิโลสบางส่วนเข้าไปอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) อะมิโลสไม่ละลายน้ำ เมื่อเติมน้ำลงไปอะมิโลสจะเกาะตัวกันเป็นก้อนที่ไม่ละลาย แป้งจากธัญพืชเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณร้อยละ 28 แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาकुมีปริมาณอะมิโลสประมาณร้อยละ 20 แป้งจาก amylo maize มีอะมิโลสสูงมากถึงร้อยละ 80 แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเหนียวประกอบด้วยอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 1 (ภัทรนกร ใจตรงค์, 2550)



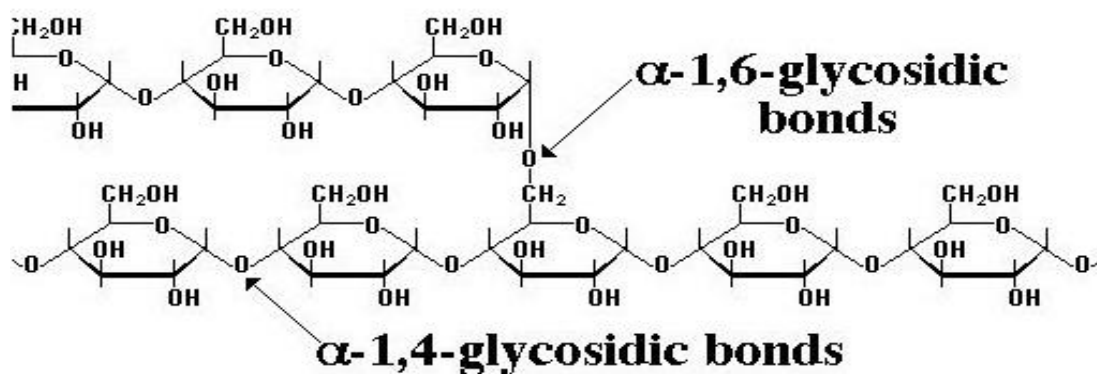
ภาพที่ 7 โครงสร้างของอะมิโลส

(<https://www.smartkitchen.com/resources/amylose>)

2.7.2 อะมิโลเพคติน (Amylopectin)

เป็นองค์ประกอบอยู่ในเม็ดแป้งประมาณร้อยละ 70 - 100 มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมาที่ทุก ๆ 25 - 30 glucose residues ซึ่งแต่ละแขนงจะมีน้ำตาลกลูโคสประมาณ 24 - 30 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 8 ดังนั้นในโมเลกุลของอะมิโลเพคติน จึงมีทั้งพันธะกลูโคสิดิก α -1,4 และพันธะกลูโคสิดิก α -1,6 โดยปกติอะมิโลเพคตินมี

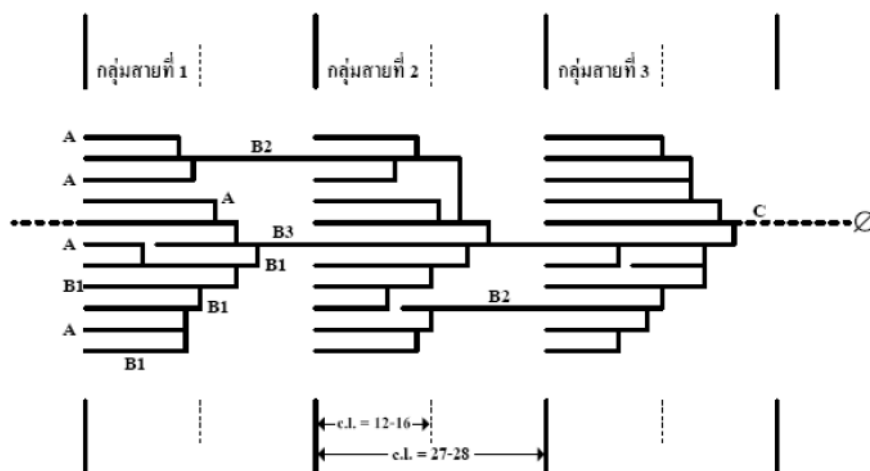
ขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะมิโลสมาก อะมิโลเพคตินมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าอะมิโลสและมีความคงตัวมากกว่าเมื่ออยู่ในสภาพเหลวจะมีความหนืด (ภัษณากร ใจตุรงค์, 2550)



ภาพที่ 8 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

(<https://www.smartkitchen.com/resources/amylopectin> l)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพคตินทั้งหมด อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตัน และมีการคั่นตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง อะมิโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะมิโลเพคตินเพียงอย่างเดียวจึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ จากการศึกษาของนักวิจัย Alain Buléon และคณะ (Buléon และคณะ, 1998) ซึ่งได้ศึกษาโครงสร้างและการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (เม็ดแป้ง) โดยมีการแสดงโครงสร้างของอะมิโลเพคติน (ภาพที่ 9) คือ มีการแบ่งสายโซ่กิ่งเป็นกลุ่ม ๆ ตามขนาดความยาวของสายโซ่ที่มีช่วงที่แน่นอน (certain periodicity) อะมิโลเพคตินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด คือ 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure) 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ 2 สาย หรือมากกว่าสายโซ่ แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1 B2 B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่ คลัสเตอร์ (cluster) ตามลำดับ 3) สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ของอะมิโลเพคตินแต่ละ โมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น ความยาวของสายกิ่งอะมิโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45-60 หน่วยประกอบด้วยสาย B สายยาว สายโซ่เหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster)



ภาพที่ 9 รูปแบบการจัดเรียงโครงสร้างภายใน cluster (cluster model) ของอะไมโลเพกติน

ที่มา : (Hizukri, 1986)

2.7.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก นอกจากนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหาร และโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนข้าว ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกะเทาะข้าวเปลือกขัดข้าว และ ขัดมัน (เขาวนินพร ชีพประสพ และคณะ, 2559) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

| ส่วนของข้าว | คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | โปรตีน (กรัม) | ไขมัน (กรัม) | เถ้า (กรัม) |
|-------------|---------------------|---------------|--------------|-------------|
| ข้าวเปลือก | 64 - 73 | 5.8 - 7.7 | 1.5 - 2.3 | 2.9 - 5.2 |
| ข้าวกล้อง | 73 - 87 | 7.1 - 8.3 | 1.6 - 2.8 | 1.0 - 1.5 |
| ข้าวสาร | 77 - 89 | 6.3 - 7.1 | 0.3 - 0.5 | 0.3 - 0.8 |
| รำข้าว | 34 - 62 | 11.3 - 14.9 | 15.0 - 19.7 | 6.6 - 9.9 |
| แกลบ | 22 - 34 | 2.0 - 2.8 | 0.3 - 0.8 | 13.2 - 21.0 |

2.8 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

2.8.1 การกระจายตัวของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในเม็ดแป้ง

เพื่อที่จะศึกษาว่าอะไมโลสกระจายตัวอยู่ในระหว่างโมเลกุลของอะไมโลเพคตินหรือจับตัวกันอยู่อย่างเป็นกลุ่มก้อน (bundles) ได้ทำการทดลองโดยทำปฏิกิริยา cross-linking ในเม็ดแป้ง พบว่าโมเลกุลของอะไมโลสจะเชื่อมจับกับโมเลกุลของอะไมโลเพคตินและโมเลกุลของอะไมโลเพคตินเองจะเชื่อมจับโมเลกุลของอะไมโลเพคตินด้วย แต่ไม่พบการจับเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสเอง ผลที่ได้บ่งชี้ว่าอะไมโลสน่าจะกระจายตัวอยู่ในระหว่างโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมากกว่าที่จะจับตัวกันเองอย่างเป็นกลุ่มก้อน

2.8.2 โครงสร้างในเม็ดแป้งมีความสม่ำเสมอ (จากแกนสู่ผิว)

เพื่อที่จะศึกษาว่าโครงสร้างและองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่ส่วนต่าง ๆ ของเม็ดแป้งซึ่งถูกสังเคราะห์ออกมาในเวลาที่แตกต่างกันจะเหมือนกันหรือไม่ ซึ่งได้แยกแป้งเป็นชั้น ๆ ในแนวรัศมีด้วยวิธี surface gelatinization technique โดยใช้สารละลายเกลืออิมตัวของ LiCl และ CaCl_2 ทำให้แป้งเกิดเจลาติโนซีที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งจะได้แป้งที่เกิดเจลาติโนซีบริเวณผิวในระดับต่าง ๆ กัน เมื่อนำแต่ละชั้นมาศึกษาพบว่าอะไมโลสที่กระจายตัวอยู่บริเวณรอบ ๆ เม็ดแป้งจะมีความเข้มข้นสูงกว่าที่บริเวณแกนของเม็ด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าเม็ดแป้งขนาดเล็ก สำหรับอะไมโลเพคตินพบว่า อะไมโลเพคตินที่อยู่บริเวณแกนจะมีความยาวของสายโซ่มากกว่าที่บริเวณรอบ ๆ และพบว่าโมเลกุลแป้งที่บริเวณรอบ ๆ ไฮลัมมีโครงสร้างเป็นอสัณฐานที่จับกันอย่างหลวม ๆ

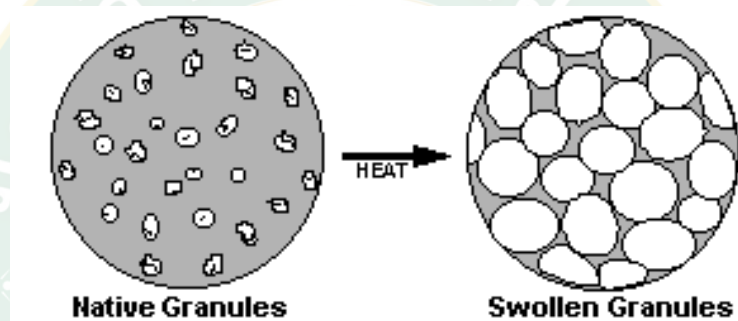
2.8.3 รู (pin holes) ที่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง

บนผิวของเม็ดแป้งที่ลักษณะผลึกเป็นแบบ A เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง มักพบว่า มีรูกระจายอยู่จำนวนมาก แต่ในแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B เช่น แป้งมันฝรั่ง กลับมาพบว่าไม่มีรูที่ผิว สันนิษฐานกันว่ารูที่ผิวนี้เป็นผลมาจากการย่อยโดยเอนไซม์ โดยมีรายงานจากการศึกษาเม็ดข้าวโพด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่าที่ระยะพักตัวของเม็ดแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ โดยเฉพาะบริเวณส่วนของที่พบเชื้อโรค แป้งที่มีรูอาจเป็นส่วนที่แยกมาจากบริเวณรอบ ๆ ของบริเวณที่มีเชื้อโรคของเม็ดข้าวโพด

2.8.4 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25 - 30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและ อะไมโลเพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วน

ที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศา ขึ้นไป ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 10) โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและ อะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีกส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาวะสลายมากขึ้น (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2019)



ภาพที่ 10 การพองตัวของเม็ดแป้ง

([www.opta-food.com/ access/starch2.html](http://www.opta-food.com/access/starch2.html))

2.9 สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

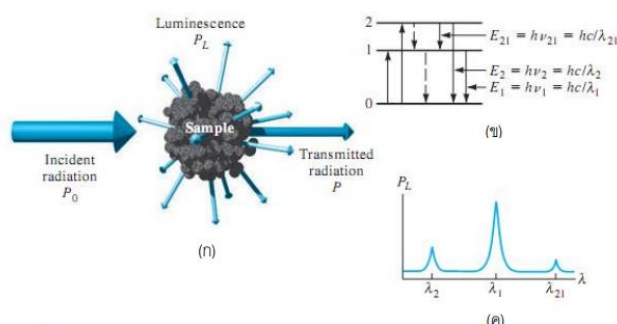
2.9.1 กระบวนการเกิดและการวัดพลังงานของอิเล็กตรอน

เป็นการวัดพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่คายออกมา เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (transition) จากสถานะกระตุ้นไปสู่สถานะพื้น ดังภาพที่ 11 (ข) แผนภาพการเปล่งพลังงาน (emission) อะตอมหรือโมเลกุลในสถานะกระตุ้นจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาแล้วกลับมาสู่สถานะพื้น การเปล่งพลังงานจะเกิดขึ้นได้เมื่อพลังงานโฟตอน ($h\nu$) เท่ากับความแตกต่างของพลังงานระหว่างสถานะพื้นกับสถานะกระตุ้นเช่นเดียวกัน

กระบวนการที่เกิดขึ้นในเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (emission spectroscopy) เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สนใจจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าหรือปฏิกิริยาเคมี เทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงมีหลายชนิดขึ้นกับแหล่งพลังงานที่ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลย้ายไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น เช่น อะตอมหรือโมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยากับโฟตอน

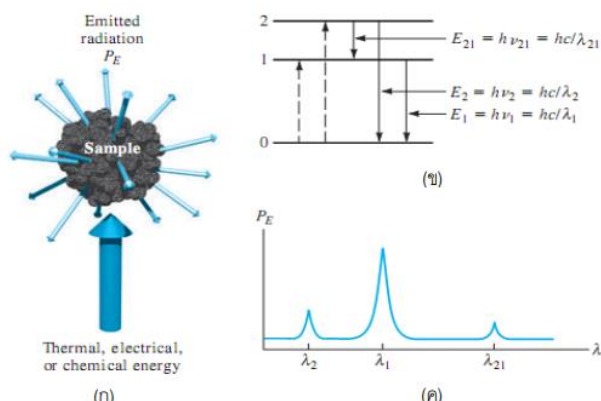
ของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดโมเลกุลลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) เรียกว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) โดยเทคนิคดังกล่าวแบ่งออกได้เป็นเทคนิคการวาวแสง (fluorescence) และการเรืองแสง (phosphorescence) โดยทั้งสองปรากฏการณ์นี้แตกต่างกันที่กระบวนการกลับมาสู่สถานะพื้นใหม่แต่ถ้าอะตอมหรือโมเลกุลของสารนั้นใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีเรียกว่า chemiluminescence โดยเทคนิค chemiluminescence จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้คือ การวัดกำลังของคลื่นที่เปล่งออกมาเมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่กลับสู่สถานะพื้น ในทางปฏิบัติการวัดมักจะแสดงด้วยกราฟแบบสเปกตรัมที่เขียนระหว่างกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมากับความถี่หรือความยาวคลื่น

การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) แสดงดังภาพที่ 11 (ก) เทคนิคการวาวแสง (fluorescence) และการเรืองแสง (phosphorescence) เกิดจากการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเกิดการกระจายพลังงานโดยการเปล่งแสง การดูดกลืนพลังงานทำให้สารที่สนใจถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นที่ 1 หรือ 2 พลังงานที่มากเกินไปจะสูญเสียโดยการเปล่งโฟตอน (แสดงดังเส้นทึบในภาพ หรือ กระบวนการที่ไม่ได้เป็นรังสี (nonradiative process) แสดงดังภาพที่ 12 เส้นการเปล่งแสงปรากฏได้ทุกทิศทาง ความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างระดับพลังงาน ความแตกต่างของการเปล่งแสงของเทคนิคการวาวแสงและการเรืองแสงคือระยะเวลาในการเปล่งออกเมื่ออยู่ในสถานะกระตุ้น การวาวแสงจะเกิดขึ้นทันที ในขณะที่การเรืองแสงจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าเนื่องการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นดำเนินไปที่ละระดับ พลังงานจนกว่าจะกลับสู่สถานะพื้น



ภาพที่ 11 สเปกโทรสโกปีแบบ photoluminescence (fluorescence และ phosphorescence)

(<https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/spectroscopy.pdf>)



ภาพที่ 12 สเปกโทรสโกปีแบบ chemiluminescence

(<https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/spectroscopy.pdf>)

2.10.2 เลขควอนตัม

จากการอธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนของ Neils Bohr ในปี ค.ศ. 1913 พลังงานของอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียส มีได้เฉพาะค่าตามสมการที่ 16

$$E_n = -\frac{13.9}{n^2} eV; n = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

n เป็น เลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ไปจนถึงอนันต์ ซึ่งบ่งบอกถึงความไม่ต่อเนื่องของพลังงานที่อิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนและเป็นจุดเริ่มต้นของการนิยามเลขควอนตัม ในปี ค.ศ. 1926 Schrodinger ได้อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 17

$$\left[\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + V(r) \right] \Psi = E\Psi \quad (17)$$

ผลเฉลยของสมการที่ 17 ทำให้เราทราบว่า สถานะหรือพลังงานที่อิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ๆ จะสามารถมีได้ ถูกพิจารณาด้วยเลขจำนวนเต็ม 3 ชนิด คือ n , l และ m_l และในปี 1925-1926 Uhlenbeck และ Goudsmit ได้เสนอว่าอิเล็กตรอนมีการหมุนรอบตัวเองด้วยโมเมนตัมเชิงมุมที่มีค่าเป็น $\frac{h}{4\pi}$ ซึ่งเป็นตัวเลข 4 ชนิดเรียก เลขควอนตัม (quantum number) มาใช้ในการพิจารณาสถานะของอิเล็กตรอน แต่ละชนิดมีค่า ตามลำดับดังนี้

- Principle (n) มีค่าเป็น 1, 2, 3, ... , ∞ มีสัญลักษณ์เป็น K, L, M, N, ... ตามลำดับ
- Orbital angular momentum (l) มีค่าเป็น 0, 1, 2, 3, ..., n-1 มีสัญลักษณ์เป็น s, p, d, f...
- Magnetic (Gocić และ Mladenović) จะพิจารณาเลขควอนตัมตัวนี้เมื่อระบบอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก ในแต่ละค่าของ l จะมีค่า m_l จำนวน $2l + 1$ ค่า แต่ถ้าระบบไม่ได้อยู่ในสนามแม่เหล็กพลังงานของอิเล็กตรอนจะไม่ขึ้นกับค่า m_l นี้
- Intrinsic angular momentum (m_s) เป็นโมเมนตัมเชิงมุมจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนมีค่าเป็น $1/2$ และ $-1/2$

ตารางที่ 3 สรุปค่าและสัญลักษณ์ของเลขควอนตัมชนิดต่างๆ

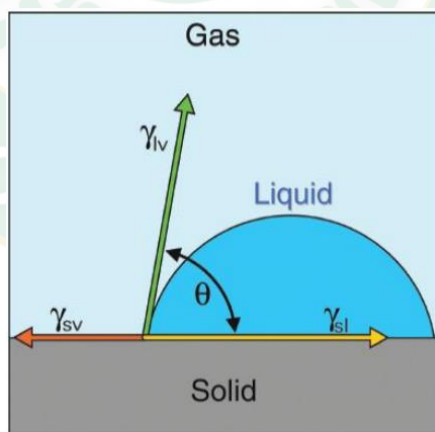
| Quantum number | Symbols | Values |
|----------------|-----------------------|---------------------|
| N | K, L, M, N, ... | 1, 2, ... |
| L | s, p, d, f, g, h, ... | 0, 1 ... n+1 |
| m_l | | -l, -l+1 ... l+1, l |
| m_s | | $1/2, -1/2$ |

เซตเลขควอนตัมตามตารางที่ 3 เป็นตัวเลขหรือสัญลักษณ์ ใช้คำนวณพลังงานหรือแทนสถานะของอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในอะตอมที่มีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวเท่านั้น การใช้สมการที่ 17 กับอะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่าหนึ่งตัวจะได้ผลเฉลยที่ไม่เป็นความจริง อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะประมาณให้อิเล็กตรอนเหล่านี้เปรียบเสมือนเป็นอิเล็กตรอนตัวเดียว และใช้ควอนตัมทั้ง 4 มาพิจารณาสถานะหรือระดับพลังงานโดยเรียกการประมาณนี้ว่า “single configuration approximation” โดยใช้สัญลักษณ์ $n^N, n^l N, \dots$ แทนสถานะของอะตอมหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนหลายตัว (เมื่อ N เป็นจำนวนอิเล็กตรอนจริงที่อยู่ในแต่ละระดับชั้นย่อย l) เรียกสัญลักษณ์นั้นว่า electronic configuration ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ground state configuration และ excited state configuration (พงษ์ระวี พันธุ์บุญปลูก, 2557)

2.10 การวัดมุมสัมผัส

วัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านสภาพไม่ชอบน้ำจะสามารถต้านทานต่อการยึดเกาะของน้ำได้ เนื่องจากมีแรงดึงที่ผิวต่ำ (Low surface tension) กว่าน้ำจึงทำให้น้ำสามารถรักษาสภาพทรงกลมในลักษณะของหยดน้ำไว้ได้ และในขณะเดียวกันก็จะไม่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุนั้น แต่สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นด้านสภาพชอบน้ำจะมีค่าแรงดึงที่ผิวสูง (High surface tension) กว่าน้ำ จึงทำให้น้ำสามารถกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของวัสดุนั้นจนทำให้อัตราส่วนของน้ำในสภาพเปียกแรงดึงที่ผิวของหยดน้ำบนพื้นผิววัสดุที่มีระนาบตรงจะมีแรงกระทำของอากาศที่อยู่รอบด้าน ซึ่งหากพิจารณาแรงที่กระทำในรูปแบบอย่างง่ายดังภาพที่ 13 การที่น้ำอยู่บนพื้นผิวใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของยัง (Young's equation) ที่เสนอในปี ค.ศ. 1807 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงของอากาศที่กระทำต่อหยดน้ำ (γ_{GL}) แรงระหว่างอากาศกับผิววัสดุ (γ_{GS}) และแรงระหว่างผิววัสดุกับน้ำ (γ_{SL}) ดังสมการที่ 18 โดย θ_s คือมุมสัมผัสที่กระทำต่อผิววัสดุบนพื้นผิวระนาบตรง ซึ่งถือว่าเป็นการวัดมุมสัมผัส ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (Static contact angle) หากมุมสัมผัสนี้มีค่า 90° จะทำให้เกิดความสมดุลของแรงระหว่างอากาศกับผิววัสดุและแรงระหว่างผิววัสดุกับน้ำโดยวัสดุจะอยู่ในสภาวะเปียกอย่างสมบูรณ์เมื่อมุมสัมผัสมีค่าเป็น 0° (ภัทร์ สุขแสน, 2554)

$$\gamma_{GL} \cos \theta = \gamma_{GS} + \gamma_{SL} \quad (18)$$



ภาพที่ 13 มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง

(ภัทร์ สุขแสน, 2554)

ซึ่งการศึกษาสภาพชอบน้ำศึกษาค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับวัสดุรองรับแสดงดังภาพที่ 14 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

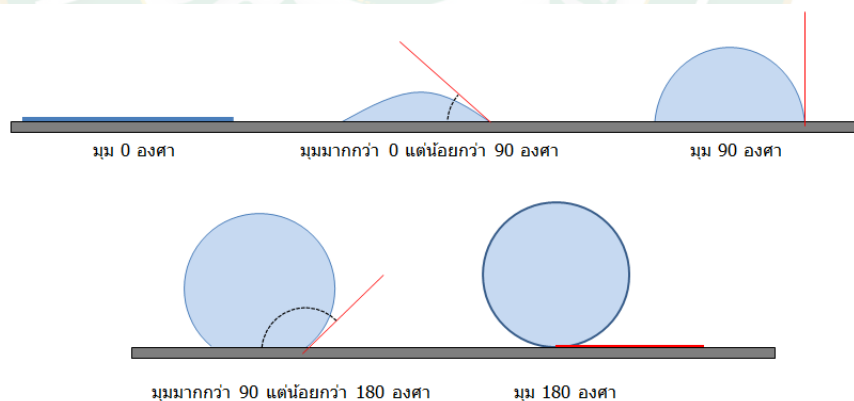
1. มุมสัมผัสเท่ากับ 0° เป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ เมื่อของเหลว ถูกหยดลงบนผิว ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ คลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด

2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0° ถึง 90° ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้างแต่ก็ ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง

3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90° แต่ไม่ถึง 180° ของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดของเหลวยังคงสัมผัสกับผิวของของแข็ง

4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180° เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด เมื่อเป็นแบบนี้ของเหลวสามารถลื่นไปมาบนผิวได้อิสระ เหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ

ถ้ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าน้อยกว่า 5° จะเรียกว่า สภาพชอบน้ำยิ่งยวด (Super hydrophilic) และถ้ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่ามากกว่า 150° จะเรียกว่า สภาพไม่ชอบน้ำ ยิ่งยวด (Super hydrophobic)



ภาพที่ 14 มุมสัมผัสบนพื้นผิวระนาบตรง

(http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html)

2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเกิดจากการคิดค้นพัฒนาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพ ในการแจจฉายรายละเอียดภาพของกล้องจุลทรรศน์ให้มากขึ้นกว่าเดิม โดยการประยุกต์นำอิเล็กตรอนซึ่งมีช่วงคลื่นสั้นกว่าแสงมาใช้แทนแสงและใช้เลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาแทนเลนส์กระจกและมีเครื่องตรวจวัดที่จะมาจับสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนไปกระทบผิวตัวอย่าง จากนั้นจะมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่ได้ให้เป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพต่อไป ทำให้ได้กำลังขยายที่มากกว่า 3,000 เท่า ถึงระดับมากกว่า 10,000 เท่า (ในขณะที่กล้องจุลทรรศน์แสงมีกำลังขยายได้ไม่เกิน 3,000 เท่า) และสามารถในการแจจฉายรายละเอียดภาพได้ตั้งแต่ 3 นาโนเมตรถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่าง (โดยที่กล้องจุลทรรศน์แสงสามารถดูวัตถุเล็กที่สุดเพียง 2 ไมโครเมตร) แสดงดังภาพที่ 15 (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)



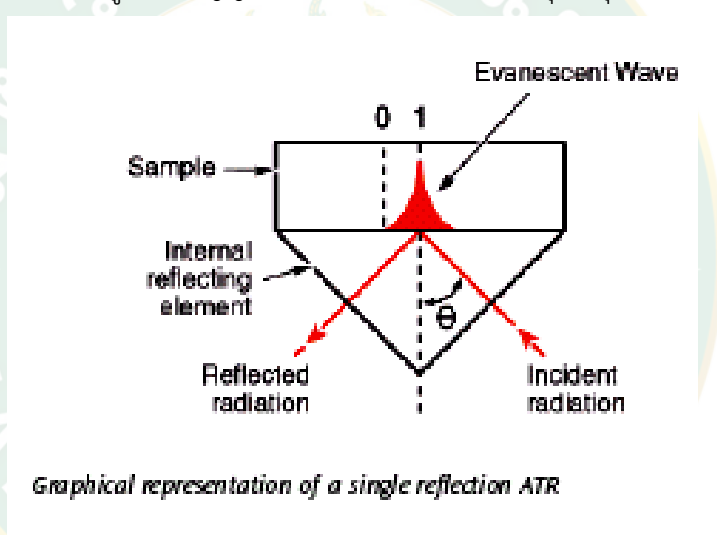
ภาพที่ 15 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543)

ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สัญญาณภาพที่ได้เกิดจากการใช้ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron detector; SE detector) มาจับสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น หรือใช้ตัววัดอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscatter electron detector; BSE detector) ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบนี้สามารถประกอบอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ได้ทั้งแบบ EDS และ WDS เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุโดยอาศัยหลักการแยกรังสีตามระดับพลังงาน

2.12 เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

2.12.1 เทคนิค FTIR-ATR

เทคนิค FTIR ชนิด Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy (ATR) เป็นเทคนิคอินฟราเรดในอีกรูปแบบหนึ่งที่มีกลไกการทำงานต่างไปจากเทคนิคอินฟราเรดแบบแสงทะลุผ่านสารตัวอย่าง (transmission mode IR) ที่ได้กล่าวถึงที่ผ่านมา โดยในกรณีของ ATR แสงอินฟราเรดจะตกกระทบสารตัวอย่างซึ่งวางทาบอยู่บน window cell (เป็นสารจำพวกผลึก เช่น Ge หรือ ZnSe) ซึ่งถ้ามุมที่แสงตกกระทบมีค่าน้อยกว่า 90 องศา แสงจะเดินทางทะลุเข้าไปในผิวชิ้นงานได้เพียงไม่กี่ไมโครเมตรและแสงส่วนที่เหลือจากการถูกดูดกลืนโดยพอลิเมอร์ที่ผิวจะสะท้อนออกมา (reflected beam) เพื่อเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ ดังภาพที่ 16 (รศ.ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน)



ภาพที่ 16 การสะท้อนแสงในระบบ ATR

(<https://www.slri.or.th/bdd/th/component/content/article?layout=edit&id=40>)

ซึ่งการวิเคราะห์ในแบบ ATR นี้ จะใช้อุปกรณ์เสริม (accessory) ต่อพ่วงเข้ากับเครื่องมืออินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยมีลักษณะดังภาพที่ 17

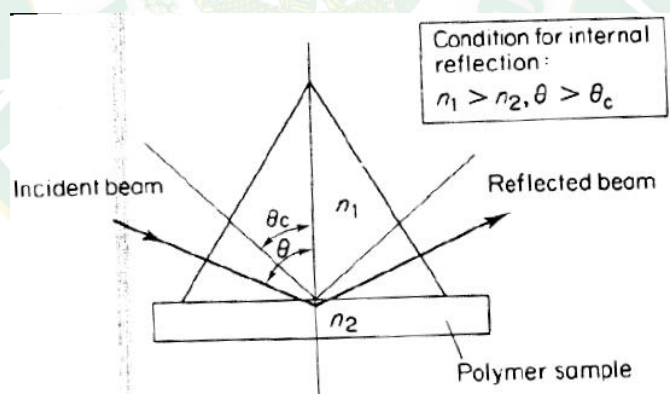


ภาพที่ 17 อุปกรณ์เสริมสำหรับต่อพ่วงกับเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์ใน mode ATR
(<https://www.slri.or.th/bdd/th/component/content/article?layout=edit&id=40>)

ในกรณีนี้ การสะท้อนจะเกิดขึ้นได้ ด้วยเงื่อนไข 2 ประการ ดังแสดงในภาพที่ 18 คือ

1. มุมที่แสงตกกระทบจะต้องมากกว่ามุมวิกฤต ($\theta > \theta_c$)
2. ดัชนีหักเหของพอลิเมอร์จะต้องมากกว่าดัชนีหักเหของวัสดุที่ใช้ทำ window cell

($n_1 > n_2$)



ภาพที่ 18 เงื่อนไขสำหรับการสะท้อนแสงแบบ single internal reflection

(<https://www.slri.or.th/bdd/th/component/content/article?layout=edit&id=40>)

นอกจากนั้น สัญญาณที่ได้จะมีปริมาณมากขึ้นและพีคของตัวอย่างที่ได้จะมีความสูงมากขึ้น หากสามารถทำการวัดความเข้มของแสงที่ได้จากการสะท้อนหลายๆ ครั้ง ดังเช่นในกรณีของเทคนิค multiple internal reflections IR ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การสะท้อนแสงแบบ multiple internal reflection

(<https://www.slri.or.th/bdd/th/component/content/article?layout=edit&id=40>)

2.12.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis)

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี นอกจากจะใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลพอลิเมอร์และวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ในเบื้องต้นแล้วยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์พอลิเมอร์เชิงปริมาณได้ เช่น การหาปริมาณหมู่แทนที่ การหาสัดส่วนหรือองค์ประกอบในโคพอลิเมอร์และการหาปริมาณความเป็นผลึกในพอลิเมอร์ เป็นต้น

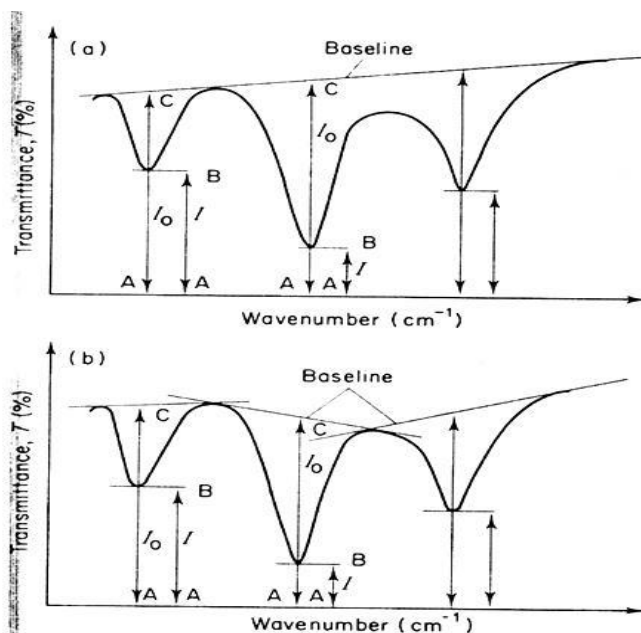
หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์เชิงปริมาณคือ การอาศัยความสูงของพีค ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณหมู่ฟังก์ชันในสารที่สนใจ โดยอธิบายได้จากสมการที่ 19 ของ Beer-Lambert's Law

$$A = \log (I_0/I) = \epsilon LC \quad (19)$$

เมื่อ

- A คือค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ซึ่งจะสัมพันธ์กับความสูงของพีคในสเปกตรัม
- I_0 คือความเข้มของแสงที่ตกกระทบ (หรือความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์อ้างอิงในกรณีดิสเพอร์สึฟ อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นั่นเอง)
- I คือความเข้มของแสงที่ผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่ตัวรับสัญญาณ
- ϵ คือค่าคงที่ absorption coefficient (L/g cm)
- L คือความยาว path length ของสารตัวอย่าง (cm)
- C คือความเข้มข้น (g/L) ของตัวถูกละลาย ซึ่งในที่นี้หมายถึงพอลิเมอร์

ข้อสำคัญในการใช้ข้อมูลจากสเปกตรัมอินฟราเรด เพื่อวิเคราะห์พอลิเมอร์เชิงปริมาณนั้นคือการลากเส้น base line เพื่อกำหนดระยะความสูงของพีคที่จะวัดและนำไปคำนวณ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการลากเส้นดังกล่าวสามารถกำหนดได้หลายรูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดง (a) ตัวอย่างการลากเส้น base line เชิงเส้นตรง และ (b) ตัวอย่างการลากเส้น base line แบบวัดตามความโค้งของกราฟ โดยเพื่อใช้การคำนวณและวิเคราะห์เชิงปริมาณ (<https://www.slri.or.th/bdd/th/component/content/article?layout=edit&id=40>)

2.13 เอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)

เอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปีเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหาองค์ประกอบของธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นวัสดุใด ๆ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์บริเวณผิวชิ้นงานที่สามารถบ่งบอกถึงเคมีพื้นผิวของวัสดุ การวิเคราะห์จะกระทำในพื้นที่เล็ก ๆ ($\sim 10 - 20 \mu\text{m}$) บางครั้งเรียก XPS กันในชื่อของ ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) ความละเอียดของปริมาณที่วัดได้อยู่ในช่วง 1 ใน 1,000 ส่วน (ละอองนวล ศรีสมบัติ, 2555)

2.13.1 หลักการ

พลังงานของโฟตอนของรังสีเอ็กซ์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 20 นี้

$$E = h\nu \quad (20)$$

โดยที่ h คือค่าคงที่ของพลังค์ (6.62×10^{-23} J.s) และ ν คือความถี่ของรังสีเอ็กซ์ (Hz)

เมื่ออะตอมภายในโมเลกุลของสารดูดกลืนพลังงานโฟตอนจากรังสีเอ็กซ์จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photoelectric หรืออาจเรียกว่า Photoemission โดยอะตอมถูกไอออไนซ์ (Ionized) และอิเล็กตรอนหลุดออกไปจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ที่เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน

(Photoelectron) ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของสมการที่ 21 เมื่ออะตอม A ดูดกลืนพลังงานโฟตอนจากรังสีเอ็กซ์ ได้ดังนี้



หรือเขียนให้อยู่ในรูปของพลังงานได้ดังสมการที่ 22

$$E(A) + h\nu \rightarrow E(A^+) + E(e^-) \quad (22)$$

และเนื่องจากพลังงานของโฟโตอิเล็กตรอน คือพลังงานจลน์ (Kinetic energy, KE)

หรือ $E(e^-) = KE$ จึงสามารถเขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนดังสมการที่ 23

$$KE = h\nu - (E(A^+) - E(A)) \quad (23)$$

โดยที่ค่า $E(A)$ คือ ความแตกต่างของพลังงานระหว่างอะตอมที่ถูกไอออไนซ์ (Ionized atom) และอะตอมที่มีอยู่ในสภาวะปกติ (Neutral atom) ซึ่งเรียกว่า พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy, BE) ของอิเล็กตรอน ซึ่งก็คือพลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปเป็น โฟโตอิเล็กตรอนนั่นเอง ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 24

$$BE = h\nu - KE \quad (24)$$

2.13.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ

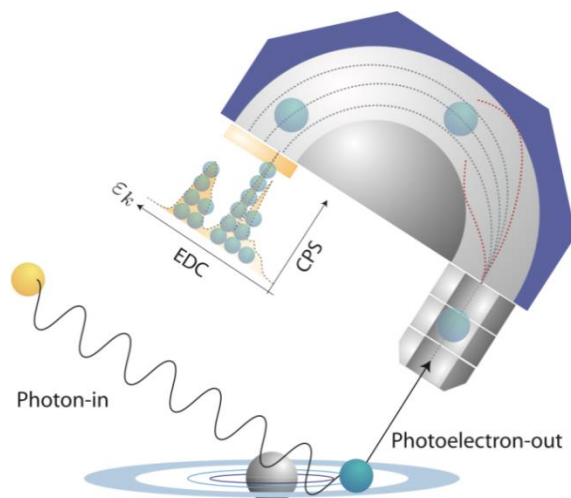
ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาด้วยเทคนิค XPS แสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. แหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์

การทดลองด้วยเทคนิค XPS จะต้องใช้รังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานคงที่เพียงค่าเดียว (Fixed-energy radiation) ซึ่งแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้อัลตราไวโอเล็ตเป็นอะลูมิเนียม (Al) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งจะให้รังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานโฟตอน 1486.6 eV ($AlK\alpha$) และ 1253.6 eV ($MgK\alpha$) ตามลำดับ

2. เครื่องมือวัดพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron energy analyser) โฟโตอิเล็กตรอนจะถูกเหวี่ยงมาโดยเลนส์แม่เหล็ก (Magnetic lens) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปในเครื่องมือวัดพลังงานที่เป็นชนิด Concentric Hemispherical Analyzer (CHA) หรือ Cylindrical Mirror Analyzer (CMA)

3. สภาวะสุญญากาศ (High vacuum environment) สภาพบรรยากาศภายในเครื่องมือ XPS ต้องเป็นสภาวะสุญญากาศเพื่อป้องกันไม่ให้โฟโตอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาถูกรบกวนจากการชนกับอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สที่อยู่ในบรรยากาศ



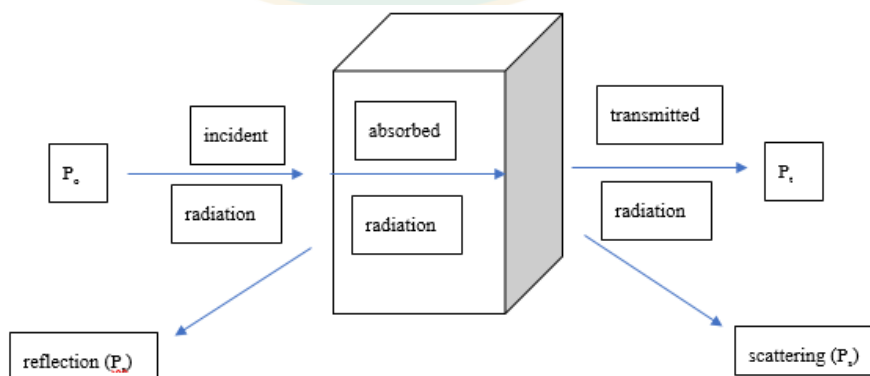
ภาพที่ 21 แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องมือ XPS

(<https://www.slri.or.th/th/beamline/bl32a-pes.html?view=article&id=2950:2013-07-17-08-22-33558&catid=57:bl32a-pes>)

2.14 อุลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร ดังภาพที่ 22 ได้แก่ พวกลสารอินทรีย์ (organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง

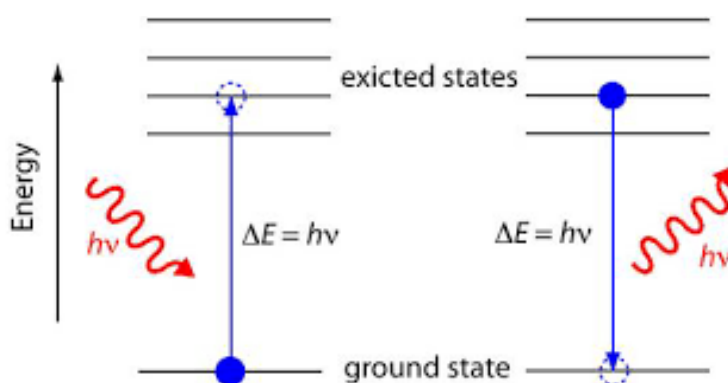
โดยทั่วไปเทคนิคการวิเคราะห์นี้ บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์มีสีหรือเกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลอาจเรียกว่า คัลเลอร์ิเมตรี (colorimetry)



ภาพที่ 22 แผนภาพการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

(<http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch2%20UV-VIS.pdf>)

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนผ่านทะลุออกไปดังแสดงในรูป ถ้าแสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า absorption spectrum พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น
(<http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch2%20UV-VIS.pdf>)

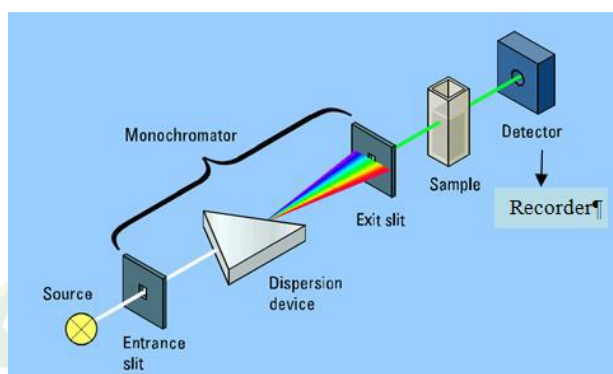
ปัจจุบันเครื่องยูวี-วิชีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จำหน่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. ลำแสงเดี่ยว (single beam) ดังภาพที่ 24 2. ลำแสงคู่ (double beam) ดังภาพที่ 25 เครื่องทั้งสองประเภทดังกล่าวจะมีส่วนประกอบเหมือนกัน ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) เป็นส่วนที่ให้รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ หลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) และหลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้รังสียูวีช่วงความยาวคลื่น 160-380 นาโนเมตร และหลอดทังสเตน (tungsten lamp) ให้แสงวิชีเบิลความยาวคลื่น 240-2,500 นาโนเมตร

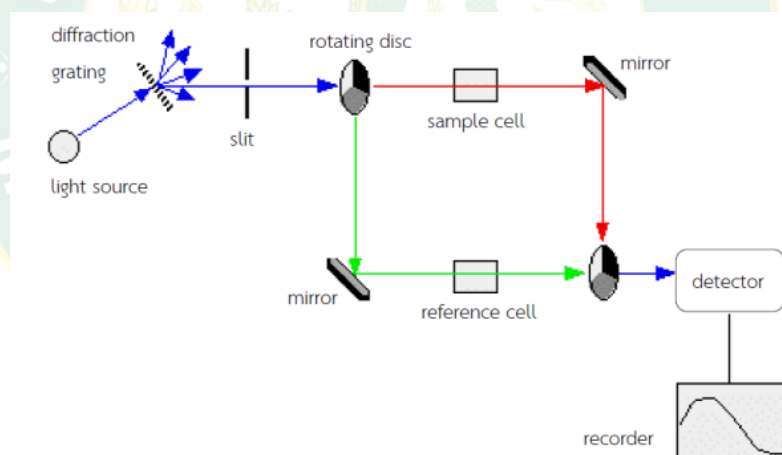
2. ตัวแยกแสง (monochromator) แหล่งกำเนิดแสงจะให้รังสีที่มีความยาวคลื่นออกมาต่อเนื่อง หลังจากผ่านตัวแยกแสง เช่น เกรตติง (grating) และปริซึม เป็นต้น ซึ่งทำหน้าที่เลือกความยาวคลื่น ส่งผลให้รังสีเหลือความยาวคลื่นเดียวหรือความยาวคลื่นเฉพาะ

3. เซลล์ตัวอย่าง (sample cell) หรือเรียกว่าคิวเวตต์ (cuvette) ดังภาพที่ 25 มีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งสถานะแก๊ส ของเหลว และของแข็ง คิวเวตต์จึงผลิตจากวัสดุหลายประเภท ได้แก่ แก้วเหมาะสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างช่วงรังสียูวี ควอตซ์และซิลิกาจะใช้วิเคราะห์ช่วงแสงวิชีเบิล

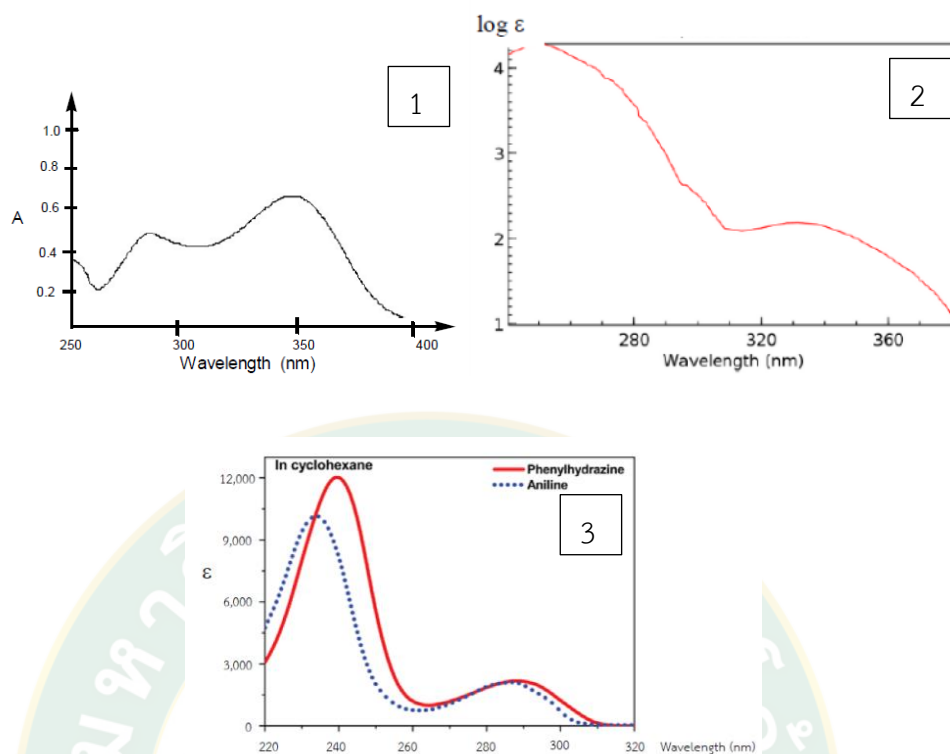
สำหรับในเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำแสงคู่ ส่วนประกอบจะมีเซลล์อ้างอิง (reference cell) อยู่ด้วย โดยใช้บรรจุสารละลายแบลنگก์ (blank solution) ซึ่งเตรียมเหมือนสารละลายตัวอย่างแต่ไม่มีตัวอย่างอยู่



ภาพที่ 24 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำแสงเดี่ยว
(<http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch2%20UV-VIS.pdf>)



ภาพที่ 25 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำแสงคู่
(<http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch2%20UV-VIS.pdf>)



ภาพที่ 26 ยูวีสเปกตรัมลักษณะต่าง ๆ ของรูปที่ (1) และ (2) แสดงกราฟของเบนโซฟีโนน (Benzophenone) และ (3) อะนิลีนและฟีนิลไฮดราซีน (Phenylhydrazine) (<http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ch2%20UV-VIS.pdf>)

4. ตัวรับสัญญาณ (detector) ทำหน้าที่วิเคราะห์ความเข้มของรังสีที่ผ่านสารละลายตัวอย่าง หรือที่ถูกดูดกลืนไว้ โดยความเข้มของรังสีจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตัวอย่างเครื่องตรวจหา เช่น เซลล์โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic cell) หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) หลอดโฟโต (phototube) และเครื่องตรวจหาซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector) เป็นต้น

5. เครื่องบันทึก (recorder) ทำหน้าที่บันทึกสัญญาณที่มาจากเครื่องตรวจหา ได้เป็นตัวเลขของแอมพลิจูด (absorbance, A) หรือยูวีสเปกตรัม ลักษณะกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X เป็นความยาวคลื่น และแกน Y เป็นแอมพลิจูดหรือร้อยละการส่งผ่าน (%transmittance, %T) หรือโมลาร์สภาพดูดกลืน (ϵ) หรือ $\log \epsilon$ อย่างไรก็ตามลักษณะกราฟจะขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วย ปัจจุบันนิยมพลอตแกน Y เป็นแอมพลิจูด

2.15 จุลินทรีย์ในแป่งข้าว

2.15.1 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย คือ จุลินทรีย์ที่เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ที่เป็นเซลล์แบบโปรแคริโอต (prokariotic cell) พบทั่วไปในธรรมชาติ ดิน น้ำ อากาศ แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญต่ออาหาร และการผลิตอาหาร เพราะแบคทีเรียเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (microbial spoilage) และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นการถนอมอาหาร (food preservation) ทุกวิธีเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อทำลาย หรือควบคุมสภาวะแวดล้อม เพื่อยับยั้งการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล)

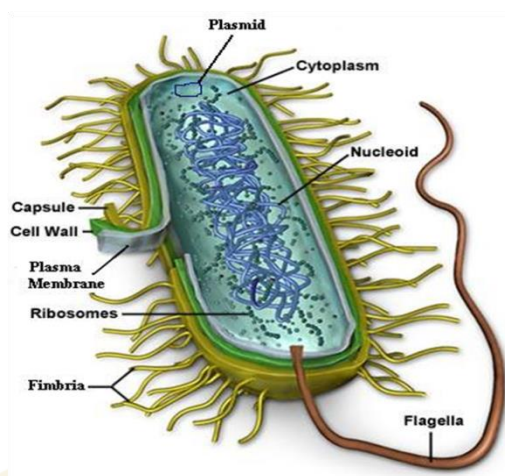
2.15.1.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลชีพเซลล์เดียวที่มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นทั่วไป โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน และโครงสร้างลักษณะของแบคทีเรียดังแสดงในภาพที่ 27 คือ

ส่วนแรก เป็นผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์จะเป็นผนังที่อยู่ชั้นนอกสุดมีความแข็งแรงและเปรียบเสมือนโครงกระดูกของแบคทีเรีย มีหน้าที่รักษาลักษณะและรูปร่างของแบคทีเรียเอาไว้ให้คงที่ ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปจะเป็นเยื่อหุ้มบาง ๆ เรียกว่าเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนสารอาหารต่าง ๆ และน้ำที่อยู่ภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียให้มีความเหมาะสมในการดำรงชีวิต

ส่วนที่สองอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป ประกอบด้วยสารกึ่งเหลวเรียกว่าไซโตพลาสซึม ภายในไซโตพลาสซึมประกอบไปด้วย โปรตีน สารอาหารต่าง ๆ เช่น แป้ง ไขมัน และเอนไซม์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิต นอกจากนี้ยังมีกรดนิวคลีอิกหรือดีเอ็นเอ ซึ่งบรรจุรหัสพันธุกรรมสำหรับควบคุมการดำรงชีวิตและการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ไว้ด้วย

แบคทีเรียบางสายพันธุ์มีความสามารถในการสร้างผนังเซลล์ที่มีความหนากว่าปกติ ล้อมรอบตัวมัน เราเรียกผนังที่หนาเป็นพิเศษนี้ว่าสปอร์หรือแคปซูล สปอร์จะคงทนต่อความร้อน ความเย็น ความชื้น และมีชีวิตอยู่ได้นานหลายปีแม้ว่าจะไม่มีอาหารเลยก็ตาม



ภาพที่ 27 โครงสร้างของแบคทีเรีย

(http://119.46.166.126/self_all/selfaccess12/m6/703/more/system%201/item30.php)

2.15.1.2 การขยายพันธุ์ของแบคทีเรีย

แบคทีเรียขยายพันธุ์โดยไม่ต้องมีเพศผู้เพศเมีย เมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีอาหารสมบูรณ์ มันจะสร้างส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิตขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง หลังจากนั้นก็จะสร้างผนังเซลล์ขึ้นมาล้อมรอบส่วนประกอบต่าง ๆ แต่ละชุด แล้วกลายเป็นสองเซลล์ จากสองเซลล์เป็นสี่เซลล์จากสี่เซลล์เป็นแปดเซลล์ ไปเรื่อย ๆ

แบคทีเรียจะสังเคราะห์สารสำคัญไว้ในเซลล์และแบ่งเป็นสองส่วนที่เหมือนกัน จากนั้นแต่ละส่วนจะถูกแยกออกจากกันและมีผนังเซลล์มาห่อหุ้มไว้ในแต่ละส่วน จนกลายเป็นสองเซลล์ ซึ่งอาจจะแยกจากกันโดยเด็ดขาด หรือยังคงเชื่อมอยู่ด้วยกัน เราจะเห็นว่าเซลล์ที่แบ่งตัวแล้วจะมีลักษณะการจัดเรียงของโครงสร้างสารต่าง ๆ ของเซลล์เหมือนกันทั้ง 2 เซลล์

อย่างไรก็ตาม อัตราการแบ่งตัวอาจถูกยับยั้งหรือช้าลง ถ้าอยู่ในสภาพขาดสารอาหาร มีสารพิษ หรือมีของเสียที่เป็นอันตรายต่อมันหรืออยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ไม่อากาศ หรือมีอากาศที่ไม่เหมาะสม และถ้ายังคงอยู่ในสภาพดังกล่าวข้างต้นเป็นเวลานานก็จะหยุดเจริญเติบโต หยุดแบ่งตัว และตายในที่สุด

2.15.1.3 ประเภทของแบคทีเรีย

แบคทีเรียแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1.1 เป็นการแบ่งแบคทีเรียออกเป็นแกรมบวกและแกรมลบ โดยนำสีแกรมซึ่งเป็นสีน้ำชนิดหนึ่ง หยดลงไปบนแบคทีเรีย จะทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีสีแตกต่างกัน คือ

- แบคทีเรียที่ผนังเซลล์ติดสีแดง เราจะจัดเป็นแบคทีเรียประเภทแกรมลบ
- แบคทีเรียที่ผนังเซลล์ติดสีน้ำเงิน เราจะจัดเป็นแบคทีเรียประเภทแกรมบวก
- แบคทีเรียที่เป็นรูปกลม แท่ง และบิดเป็นเกลียว

1.2 เป็นการแบ่งประเภทของแบคทีเรียตามลักษณะรูปร่าง ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.2.1 แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม

แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม เราจะเรียกว่า คอกคัส หรือ คอกโค โดยรูปร่างกลมและอาจเกาะเป็นกลุ่ม เช่น สแต็ปฟีโลคอกคัส (*Staphylococcus* spp.) หรือ กลมและต่อกันเป็นสาย เช่น สเตร็ปโตคอกคัส (*Streptococcus* spp.) เป็นต้น

1.2.2 แบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง

แบคทีเรียบางชนิดมีรูปร่างเป็นแท่งยาวและหนาเรียงตัวกันเป็นเส้นตรงยาว เราเรียกว่า รอดหรือบาซิลไล

1.2.3 แบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นเกลียว

แบคทีเรียบางชนิดมีรูปร่างเป็นเส้นยาว หนา และบิดเป็นเกลียวเราเรียกว่า สไปโรซิด

1.2.3 แบคทีเรียกลุ่มแอโรบัส แอนแอโรบัสและฟาคัลเททีฟ

1.3 การแบ่งแบคทีเรียอีกแบบหนึ่ง คือ ใช้เกณฑ์เรื่องการใช้อากาศหรือไม่ใช้อากาศในการดำรงชีวิต โดยเราจะแบ่งแบคทีเรียได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.3.1 แบคทีเรียพวกแอโรบัส

เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้อากาศในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต แบคทีเรียประเภทนี้ถ้าอยู่ในสภาพไม่มีอากาศ มันจะตายหรือไม่เจริญเติบโตแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกแอโรบัสแบคทีเรีย

1.3.2 แบคทีเรียพวกแอนแอโรบัส

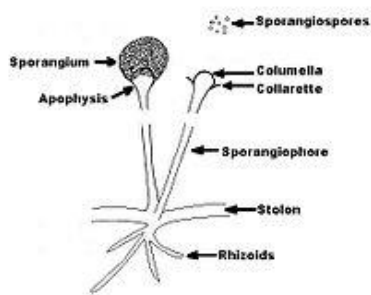
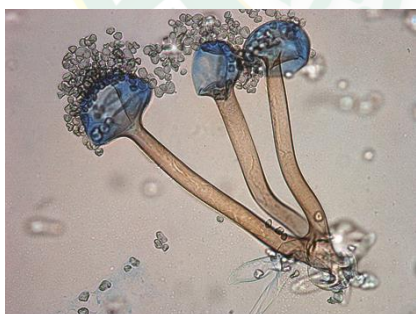
เป็นแบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องมีอากาศและจะตายในเวลาไม่นานถ้าถูกอากาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้อาศัยอยู่ในช่องท้อง ในปาก หรือในร่างกายตามบริเวณที่มีออกซิเจนน้อยหรือที่อับทึบต่าง ๆ และเป็นปัญหาอย่างมากในด้านโรคติดเชื้อเพราะเป็นแบคทีเรียที่มีการเจริญเติบโตเร็วมาก และยาด้านจุลชีพส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีผลต่อแบคทีเรียกลุ่มนี้

1.3.3 แบคทีเรียพวกฟาคัลเททีฟ

เป็นแบคทีเรียที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีอากาศ และในสภาพที่ไม่มีอากาศ ตัวอย่างเช่น *Escherichia coli* หรือ เรียกกันว่า อีโคไล (*E.coli*) เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ของเรา สามารถมีชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ

2.15.2 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราทั้งหมดที่เป็นเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ ซึ่งเซลล์จะเรียงตัวกันอยู่ในแนวเดียวกัน มีลักษณะเป็นเส้นใยพวกเซลล์เดี่ยว ได้แก่ ยีสต์ ส่วนพวกเป็นเส้นใย ได้แก่ รา (mold) ต่าง ๆ สำหรับขนาดของเชื้อรามีตั้งแต่ 5 – 50 ไมครอน จนถึงมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เชื้อรา โดยทั่วไป มีทลัสประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เส้นใยแต่ละเส้น เรียกว่า hypha อยู่รวมกันอยู่มาก ๆ เรียกว่า กลุ่มเส้นใย (mycelium) ผนังเซลล์ของเชื้อรา ประกอบด้วย เซลลูโลส หรือ chitin กับ เซลล์ลูโลส นอกจากนี้ ยังมีสารอื่น ๆ แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด สำหรับโปรตีน และ ไขมันที่ผนังเซลล์ พบน้อยมากยีสต์ *Candida albicans* พบโปรตีนรวมกับ polysaccharide เรียกว่า polysaccharide - protein complex สำหรับ *Saccharomyces* จะพบโปรตีนรวมกับ mannan เป็น mannan-protein complex เป็นต้น ภายในเซลล์ของเชื้อรา มีนิวเคลียสหนึ่งอัน หรือ มากกว่า นอกจากนี้เชื้อราบางชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างไป เช่น *Rhizopus sp.* ดังภาพที่ 28 จะมี rhizoid หรือ hold fast ยึดเกาะกับวัตถุต่าง ๆ เป็นต้น (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล)



ภาพที่ 28 โครงสร้างของเชื้อรา *Rhizopus sp.*

(<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1819/rhizopus-B>)

โดยเชื้อราจะมีส่วนประกอบได้แก่ เส้นใยของเชื้อรา ผนังของรา และลักษณะการเติบโตของรา ซึ่งแต่ละส่วนประกอบมีการแบ่งลักษณะได้ ดังนี้

2.15.2.1 เส้นใยของเชื้อรา มี 2 ชนิด คือ

1. เส้นใยไม่มีผนังกั้น (Non-septate hypha) ทำให้เป็นท่อทะลุถึงกันโดยตลอด มีไซโตพลาสซึมและนิวเคลียสอยู่ต่อเนื่อง เรียกว่า coenocytic hypha
2. เส้นใยมีผนังกั้น (Septate hypha) ซึ่งแต่ละเส้นใยจะมีผนังกั้นไว้ ทำให้ดูลักษณะเป็นห้อง ๆ แต่ละห้องมีนิวเคลียส และ ไซโตพลาสซึม

2.15.2.2 ผนังของรา

ราส่วนใหญ่มีผนังเซลล์ ยกเว้นในบางชนิดเท่านั้นที่ไม่มีผนังเซลล์ ส่วนประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ในราแต่ละชนิดแตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไคตินกลูแคน อื่น ๆ ในราชั้นต่ำ พบพวกเซลล์ูลอส ตัวอย่างส่วนประกอบทางเคมีที่พบในเส้นใยของรา *Mucor rouxii* ได้แก่ ไคติน คิดเป็นร้อยละ 9.4 น้ำหนักของผนังเซลล์ ซิโตแซน คิดเป็นร้อยละ 32.7 น้ำหนักของผนังเซลล์ แมนโนสคิดเป็นร้อยละ 1.6 น้ำหนักของผนังเซลล์ โปรตีน คิดเป็นร้อยละ 6.3 น้ำหนักของผนังเซลล์ ฟอสเฟต คิดเป็นร้อยละ 23.3 น้ำหนักของผนังเซลล์ และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 26.7 น้ำหนักของผนังเซลล์ ตามลำดับ นอกจากนี้ในไฮฟาที่มีอายุมาก ๆ หรือ ในสปอร์มีพวกเมลานิน (melanin) แทรกอยู่ในผนังเซลล์ พวกนี้ช่วยป้องกันไซโทพลาสซึมจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเอนไซม์จากสิ่งที่มีชีวิตอื่น ๆ ที่สลายเซลล์

ลักษณะโครงสร้างผนังเซลล์ของรา เช่น ใน *Neurospora crassae* จะเรียงตัวเป็นชั้นชั้นในสุดเป็นไคติน ถัดออกมาเป็นโปรตีน ไกลโคโปรตีน และกลูแคน ตามลำดับ

2.15.2.3 ลักษณะการเติบโตของรา

ธาตุที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของรา มีทั้งธาตุที่ต้องการในปริมาณมาก เช่น คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อย เช่น เหล็ก ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม สารประกอบคาร์บอนมีหน้าที่ที่สำคัญ 2 ประการ คือเป็นแหล่งของคาร์บอนในการสังเคราะห์สารประกอบของเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงาน เราสามารถใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนได้อย่างกว้างขวาง ราเกือบทั้งหมดสามารถใช้กลูโคสและส่วนใหญ่เติบโตได้ดีในฟรักโทส แมนโนส ส่วนกาแล็กโทสใช้ได้ไม่ดีเท่ากลูโคส ส่วนน้ำตาลเพนโทสที่เราใช้ได้มากคือ ไซโลส สำหรับอะราบิโนส มีราเพียงบางพวกเท่านั้นที่ใช้ได้ อนุพันธ์ของน้ำตาล เช่น ซอร์บิทอล แมนนิทอล ราบางชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้เช่นกัน แต่ส่วนใหญ่ใช้ได้ไม่ดีเท่า น้ำตาลกลูโคส

ไคแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์เป็นแหล่งของคาร์บอนที่สำคัญในธรรมชาติ เราที่สามารถใช้พวกนี้ได้ต้องสามารถสลายสารเหล่านี้เป็นน้ำตาลมอโนแซ็กคาไรด์ และสามารถนำเข้าสู่เซลล์ได้ มอลโทสและเซลโลไบโอส เราสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง ส่วนซูโครสและแล็กโทสมีราจำนวนน้อยที่สามารถใช้ได้ พอลิแซ็กคาไรด์ที่เราใช้ได้กว้างขวางคือ แป้งและเซลลูโลส ส่วนเพกทิน ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส มีราบางชนิดเท่านั้นที่ใช้ได้ แหล่งคาร์บอนนอกจากได้จากคาร์โบไฮเดรต อาจได้จากพวกไขมัน กรดอินทรีย์

การเติบโตของราจะเติบโตบริเวณปลายไฮฟา (hypha tip) และมักมีการแตกแขนงโดยแขนงอันแรกทำให้เกิดแขนงที่ 2 และ 3 ต่อไป แขนงเหล่านี้เติบโตไปด้านหน้าทางขอบของโคโลนี และแยกห่างจากอันอื่น ๆ การเติบโตจะหยุดลงเมื่อไมซีเลียมใช้อาหารรอบ ๆ บริเวณนั้นหมดไปและแตกแขนงเติบโตไปอย่างรวดเร็ว ในอาหารที่ยังไม่ได้ใช้ การเติบโตลักษณะนี้ทำให้โคโลนีมีลักษณะเป็นวงกลมบนอาหารแข็ง เส้นใยของราบนอาหารแข็งบางส่วนยังลึกลงไปในอาหารเพื่อดูดอาหารส่งไปให้ส่วนที่ไม่ได้สัมผัสอาหาร โคโลนีของราแตกต่างกัน บางชนิดเส้นใยอัดแน่น บางชนิดอยู่กันอย่างหลวม ๆ มีลักษณะฟู ผิวหน้าโคโลนีบางชนิดแห้ง บางชนิดเปียกหรือเหนียว สีเส้นใยอาจมีสีดำ เทา น้ำตาล แดง เหลือง ส่วนสปอร์ที่เห็นอาจเป็นสีเขียวน้ำตาลแกมเขียว ส้ม ชมพู น้ำตาล ดำ เทา เป็นต้น ส่วนการเติบโตของรา บนอาหารเหลว มักเติบโตเป็นแผ่นอยู่บนหน้าอาหาร แต่ถ้าให้อากาศโดยการเขย่า เส้นใยจะรวมกันเป็นกระจุกส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ๆ

การวัดการเติบโตของรา วิธีที่นิยมใช้คือ การหาน้ำหนักแห้ง ซึ่งทำได้โดยการเลี้ยงเชื้อราในอาหารเหลว เมื่อถึงเวลาเหมาะสม แยกไมซีเลียมออกโดยการกรอง ถ้าเป็นพวกมีลักษณะเมือกเหนียว อาจจะต้องใช้การเหวี่ยงช่วย นำไมซีเลียมที่ได้ล้างอาหารที่ติดมาออกให้หมด อบให้แห้งโดยอาจใช้ความร้อน 70 – 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำไปชั่งน้ำหนักได้เป็นน้ำหนักแห้ง แต่ถ้าเลี้ยงในอาหารแข็งมักไม่นิยมใช้วิธีนี้ แต่หากจำเป็นต้องทำได้โดยการจำกัดวันออกด้วยน้ำร้อน แต่มักทำให้น้ำหนักแห้งหายไป การวัดการเติบโตด้วยวิธีหาน้ำหนักแห้ง มีข้อเสียคือ น้ำหนักที่ได้ อาจเกิดจากพวกพอลิแซ็กคาไรด์ หรือสารอื่น ๆ ที่สะสมไว้แทนที่เกิดจากการสร้างโปรโทพลาซิมใหม่ และจำเป็นต้องใช้เชื้อเป็นจำนวนมาก นอกจากการวัดการเติบโตด้วยวิธีนี้ อาจใช้การวัดรัศมีของโคโลนีบนอาหารแข็ง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งวิธีนี้ได้ผลไม่ค่อยแน่นอนและถ้าวันไม่บริสุทธิ์จะมีผลต่อการเติบโตของรา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล)

2.16 เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข

การกำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย พ.ศ. 2559 (กระทรวงสาธารณสุข, 2559)

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6 (1) แห่งพระราชบัญญัติเครื่องสำอาง พ.ศ. 2558 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข โดยคำแนะนำของคณะกรรมการเครื่องสำอางออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้เครื่องสำอางที่มีคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาตามที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ เป็นเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย

1. เครื่องสำอางที่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ดังต่อไปนี้

(ก) ซูโดโมแนส แอรูจิโนซา (*Pseudomonas aeruginosa*)

(ข) สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*)

(ค) แคนดิดา อัลบิแคนส์ (*Candida albicans*)

(ง) คลอสทริเดียม (*Clostridium spp.*) (เฉพาะเครื่องสำอางผสมสมุนไพร)

2. เครื่องสำอางที่ใช้บริเวณรอบดวงตา เครื่องสำอางที่สัมผัสเยื่อบุอ่อน และเครื่องสำอาง

สำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี ที่ตรวจพบจำนวนรวมของแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ที่เจริญเติบโตโดยใช้อากาศ (Total aerobic plate count) มากกว่า 500 โคโลนีต่อกรัม หรือลูกบาศก์เซนติเมตรขึ้นไป

3. เครื่องสำอางอื่น นอกเหนือจากที่กำหนดใน (2) ที่ตรวจพบจำนวนรวมของแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ที่เจริญเติบโตโดยใช้อากาศ (Total aerobic plate count) มากกว่า 1,000 โคโลนีต่อกรัม หรือลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นไป ข้อ 2 คุณสมบัติทางจุลชีววิทยาตาม

ข้อ 2 ให้ทดสอบตามวิธีที่ระบุไว้ในมาตรฐาน International Organization for Standardization (Kong&Davison) หรือ United States Pharmacopeia (USP) ในเรื่องที่เกี่ยวข้องฉบับล่าสุด หรือวิธีอื่นที่เป็นมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ

ข้อ 3 ให้เครื่องสำอางที่ใช้ภาชนะบรรจุที่มีลักษณะเป็นกระบอกฉีดยา (Syringe) หรือที่มีลักษณะเป็น Ampoule หรือ Vial หรืออยู่ในภาชนะบรรจุใด ๆ ที่ใช้เครื่องมือประกอบในการผลิตภัณฑ์ สาร เข้าสู่ผิวหนัง เช่น Iontophoresis, Mesotherapy เป็นต้น เป็นเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย

ข้อ 4 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

2.17 ทบทวนวรรณกรรม

Chaitanya Sarangapani และคณะ (Sarangapani และคณะ, 2016) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพลาสติกความดันต่ำในการปรับปรุงแป้งข้าวหนึ่ง โดยนำตัวอย่างของแป้งข้าวหนึ่งมาผ่านกรรมวิธีและนำมาอบด้วยพลาสติกที่พลังงานแตกต่างกัน คือ 30 40 และ 50 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างของแป้งข้าวหนึ่งมาบดและนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์และหมู่ฟังก์ชันของแป้ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสติกสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการให้ความชุ่มชื้นแก่แป้งและคุณสมบัติของความชุ่มชื้นของเจลของแป้ง ตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสติกทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างพันธะของแป้ง และในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสติกสามารถลดปริมาณของอะไมโลสจากร้อยละ 30.34 ± 0.13 เป็นร้อยละ 27.89 ± 0.09 ซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนอะไมโลสต่ออะมิโลเพคตินลดลง ผลลัพธ์ที่สังเกตได้นี้อาจเกิดจากการสลายตัวของสายโซ่ในแป้งซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอบด้วยพลาสติก การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ที่พบหลังจากการอบด้วยพลาสติก คือ อุณหภูมิของเจลาตินไนเซชันเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการพลาสติกส่งผลให้เอนทาลปีของความร้อนเกิดการลดลงจากร้อยละ 7.90 ± 0.21 เป็นร้อยละ 7.47 ± 0.21 และการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลึกของแป้งจากร้อยละ 28.25 ± 0.07 เป็นร้อยละ 24.36 ± 0.48 นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อปริมาณฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างแป้งที่ผ่านการอบด้วยพลาสติกด้วยเช่นกัน สรุปได้ว่าการอบด้วยพลาสติกเย็นสามารถเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มในการปรับปรุงการทำงานของแป้ง

Rohit Thirumdas และคณะ (Rohit Thirumdas และคณะ, 2016) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของพลาสติกความดันต่ำที่ส่งผลต่อคุณสมบัติในการหุงและเนื้อสัมผัสของข้าวกล้อง ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพลาสติกความดันต่ำต่อคุณสมบัติการหุงต้มและเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ระดับของพลังงานสองระดับที่แตกต่างกัน (40 และ 50 วัตต์) และเวลาการในการอบพลาสติกที่แตกต่างกัน (5 และ 10 นาที) การแปรรูปพลาสติกความดันต่ำของอาหารเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อนส่วนใหญ่จะอาศัยการเปลี่ยนคุณสมบัติพื้นผิวของสารตั้งต้นและการยับยั้งจุลินทรีย์ การศึกษาองค์ประกอบใกล้เคียงคุณสมบัติการหุงต้มและลักษณะพื้นผิวของข้าวกล้องแปรรูปพลาสติก SEM ทำการวิเคราะห์หุ้มนุ่มสัมผัสและพลังงานพื้นผิวเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของข้าวที่ทำพลาสติกพบว่าหลังการอบด้วยพลาสติกเวลาในการทำอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 29.1 นาทีเป็น 21.1 นาทีสำหรับพลังงานพลาสติกและเวลาในการอบด้วยพลาสติก การเพิ่มระดับเจลาตินไนเซชันของตัวอย่างที่ปรุงสุกช่วยลดเวลาในการปรุงอาหาร การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 2.20 กรัมเป็น 2.36 กรัม หลังจากการอบด้วยพลาสติก พารามิเตอร์เนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่ามีความแข็งลดลง

จาก 40.47 นิวตัน เป็น 30.09 นิวตัน และความเคี้ยวขอบเขตของการอาบพลาสมานั้นลดลงเมื่อมุมสัมผัสและพลังงานพื้นผิวเพิ่มขึ้นทำให้พื้นผิวมีน้ำมากขึ้นและทำให้ข้าวดูดซับน้ำได้มากขึ้นทำให้เวลาในการปรุงอาหารลดลง จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าการใช้พลาสมาสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการปรุงอาหารและเนื้อสัมผัสได้อย่างมีนัยสำคัญ

Rohit Thirumdas และคณะ (R. Thirumdas และคณะ, 2017) ศึกษาคุณสมบัติและการไหลของแป้งข้าวที่ผ่านการกรรมวิธีพลาสมาเย็นโดยใช้สองระดับพลังงานที่แตกต่างกัน (40 และ 60 วัตต์) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของอะไมโลส ความชุ่ม ค่า pH การซึบน้ำและน้ำมัน หลังผ่านการอาบด้วยพลาสมา ความชุ่มและค่า pH ของตัวอย่างลดลงเมื่อผ่านการอาบด้วยพลาสมา แต่คุณสมบัติไฮเดรชันและการหดตัวของเจลในตัวอย่าง พบว่ามีการละลายของโมเลกุลอะไมโลสเพิ่มขึ้นหลังผ่านการอาบด้วยพลาสมา การตรวจสอบการวัดค่าความหนืดเพิ่มขึ้นที่ตัวอย่างที่เป็นแป้งเปียกและที่ค่าความหนืดสุดท้าย จากการวิเคราะห์พบว่าสภาพการคืนตัวของเจลแป้งมีแนวโน้มลดลง โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XPS) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในรูปแบบของ A-type แต่ค่าความเป็นผลึกลดลงเนื่องจากมีการลดลงของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชันที่เกิดจากชนิดของพลาสมาที่ใช้ งานอยู่ เทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (FTIR) แสดงหมู่ฟังก์ชันที่เพิ่มเข้ามาหลังจากการอาบด้วยพลาสมา และสุดท้ายการศึกษาด้วยเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของรอยแยกบนพื้นผิวของเม็ดแป้งเนื่องจากเกิดจากการชนของอนุภาคพลาสมา ดังนั้นเทคนิคพลาสมาจึงเป็นอีกหนึ่งกรรมวิธีในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายของแป้งข้าว

L. Han และคณะ (Han และคณะ, 2016) ศึกษาผลกระทบยับยั้งโดยใช้พลาสมาความดันบรรยากาศที่มีค่าความต่างศักย์สูง (HVACP) สำหรับเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยจากการศึกษาพลาสมาความดันบรรยากาศเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิด โดยอนุมูลอิสระออกซิเจน มีบทบาทสำคัญในการช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เมื่อมีการทำงานของอากาศหรือก๊าซที่ประกอบด้วยออกซิเจนอื่น ๆ ซึ่งสภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลของเซลล์ได้รับความเสียหายซึ่งเกิดจากการถูกออกซิเดชันของไขมัน การยับยั้งเอมไซม์ และการแยกตัวของดีเอ็นเอ การระบุนุมูลอิสระออกซิเจนและความเข้าใจในบทบาทของ ความสำคัญสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชัน (ACP) ซึ่งสำหรับปัญหาทางจุลชีววิทยาที่ซับซ้อน ใน การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการยับยั้งของแรงดันสูง (80 กิโลโวลต์) พลาสมาความดันบรรยากาศที่มีค่าความต่างศักย์สูง (HVACP) และบทบาทของอนุมูลอิสระออกซิเจนภายในเซลล์ พบว่ามีกลไกการยับยั้งสองชนิดที่พบว่าสปีชีส์ที่ตอบสนองต่อปฏิกริยานั้นเกิดจากปฏิกริยาของเซลล์ หรือส่วนประกอบของความเสียหายภายในเซลล์ เชื้อ *Escherichia coli* เกิดความเสียหายจากการ

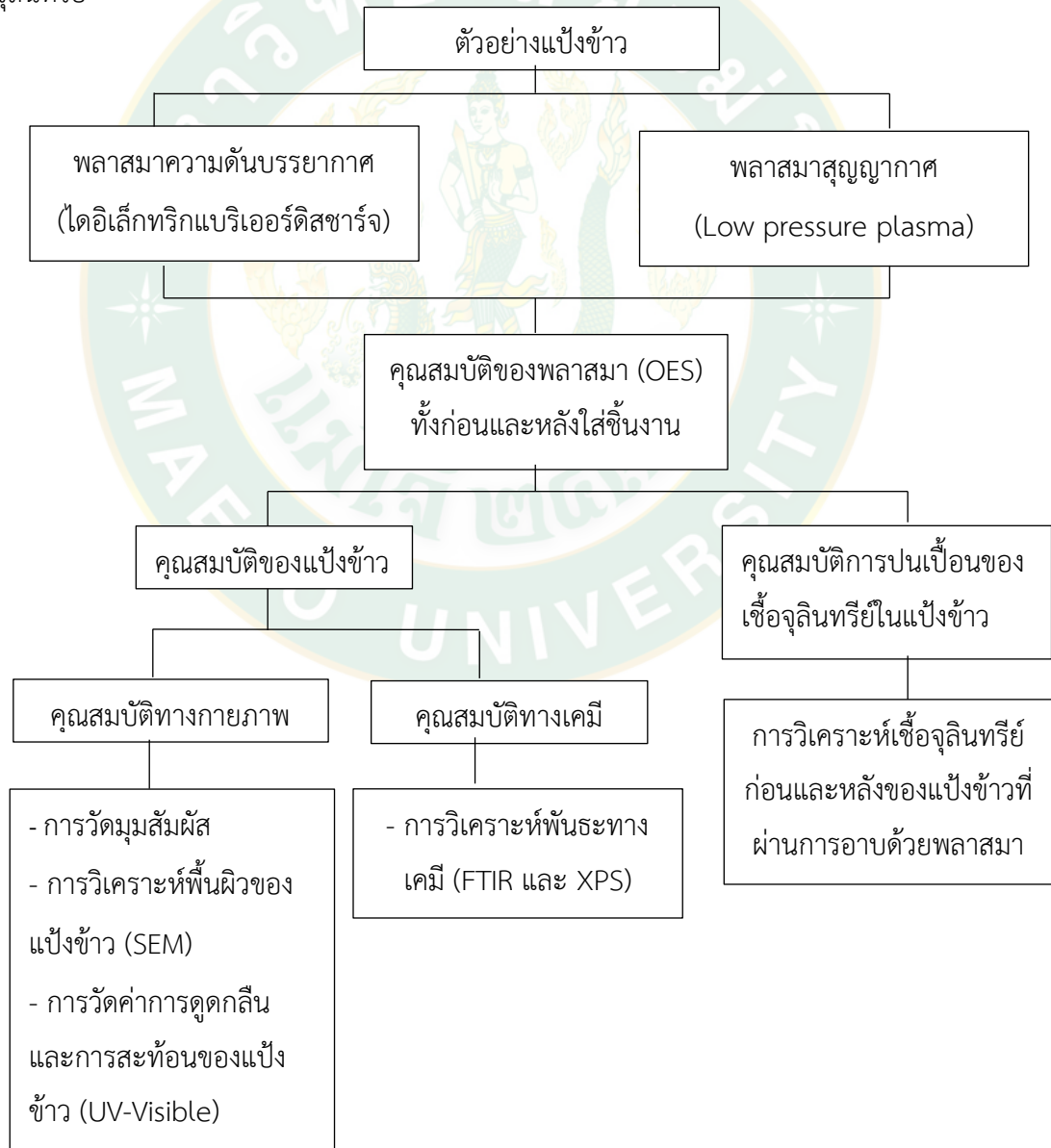
รื้อไหลของผนังเซลล์และความเสียหายของดีเอ็นเอในระดับต่ำ ในทางกลับกันเชื้อ *Staphylococcus aureus* เกิดความเสียหายเนื่องจากความเสียหายภายในเซลล์โดยระดับอนุมูลอิสระออกซิเจน ที่ตรวจพบในระดับที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและความเสียหายของผนังเซลล์ อย่างไรก็ตามสำหรับทั้งแบคทีเรียที่ศึกษาเวลาในการอาบด้วยพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลในเชิงบวกต่อระดับอนุมูลอิสระออกซิเจนภายในเซลล์ที่สร้างขึ้น

อาทิตย์ ฉิ่งสูงเนิน และคณะ (อาทิตย์ ฉิ่งสูงเนิน, 2016) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงผิววงใหม่ โดยใช้พลาสติกเจ้าที่ความดันบรรยากาศ ในขั้นตอนการจุดพลาสติกใช้อัตราการไหลของแก๊ส Ar/O₂ เท่ากับ 1.6 slm/0.02 slm และใช้ความถี่ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเท่ากับ 76.7 กิโลเฮิร์ตซ์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดทางด้านบวกและลบขณะเกิดพลาสติก เท่ากับ 140 มิลลิแอมแปร์ ที่กำลังไฟฟ้า 5.31 วัตต์ ค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำที่เริ่มต้นของวงใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวเท่ากับ 75.7 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านการปรับปรุงผิวมีค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำเริ่มต้นลดลงอยู่ที่ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับน้ำของวงใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวเท่ากับ 29 วินาที ขณะที่เวลาการดูดซับน้ำของวงใหม่ที่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวมีค่าลดลงเหลือเพียง 5 ถึง 7 วินาที ซึ่งหมายถึงการปรับปรุงผิววงใหม่ด้วยการอาบพลาสติกเจ้าทำให้วงใหม่เปียกน้ำดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวงใหม่มีสมบัติการดูดความชื้นและเก็บน้ำได้มากขึ้น วงใหม่ที่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยพลาสติกและถูกทิ้งไว้เป็นเวลานานยังคงมีความชอบน้ำเช่นเดิม นั่นแสดงว่ามีการยึดติดที่ดีของหมู่อนุมูลอิสระของพลาสติกที่เพิ่มพลังงานเชิงผิวของวงใหม่ ผลจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าถ้าพลาสติกเจ้าที่ไม่ได้ไปทำลายโครงสร้างทางกายภาพของวงใหม่

บทที่ 3

การทดลอง

การศึกษากาการประยุกต์ใช้เทคนิคพลาสมาในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าว เพื่อให้แป้งข้าวมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยวัตถุประสงค์หลักจะมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมัน การกระจายแสง และการกำจัดสารปนเปื้อนในแป้งข้าว โดยในการวิจัยนี้สนใจศึกษาเทคนิคพลาสมา 2 ประเภท คือ พลาสมาความดันบรรยากาศ และ พลาสมาสุญญากาศ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลของคุณสมบัติแป้งข้าวหลังจากนำมาอบด้วยพลาสมาทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างแป้งข้าวมาอบด้วยพลาสมา จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทดสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์



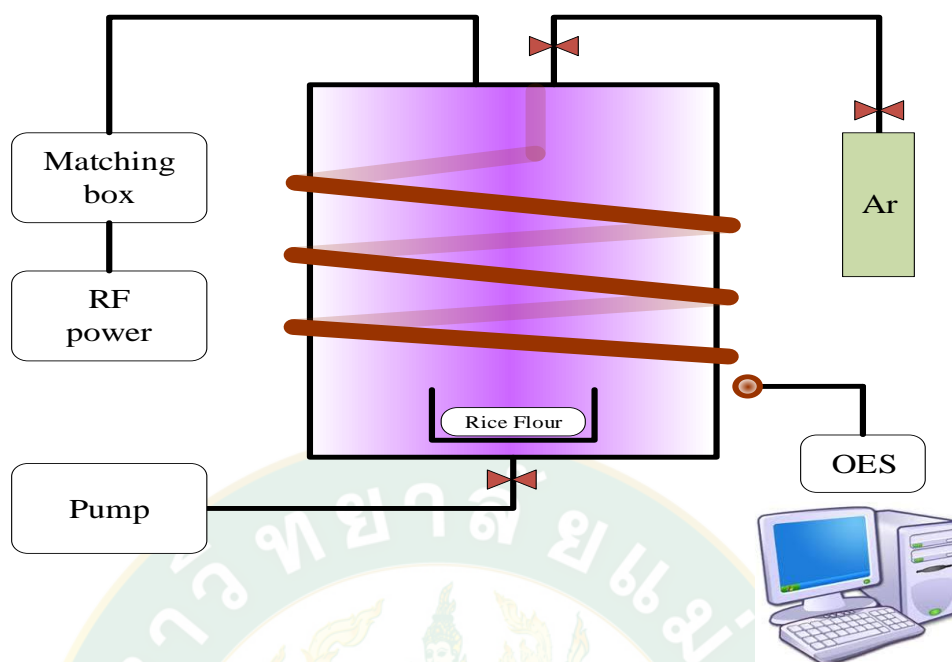
3.1 กระบวนการผลิตพลาสมา

3.1.1 เครื่องกำเนิดพลาสมาความถี่วิทยุแบบความดันต่ำ (LPP)

การทดสอบในครั้งนี้ใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ภาพที่ 29) โดยจากภาพที่ 30 เป็นภาพจำลองของเครื่องพลาสมาความดันต่ำโดยใช้ ICP reactor ที่ใช้ความถี่ 13.5 MHz ที่มีปริมาตรของห้องสุญญากาศ 0.6 ลิตร โดยในส่วนของเครื่องในการทดสอบประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของปั๊มโรตารีซึ่งทำให้ความดันภายในห้องสุญญากาศมีความดันคงที่ที่ 2.2×10^{-2} ทอร์ ส่วนถัดมาเป็นตัวกำเนิดพลาสมาโดยให้กำลังไฟฟ้า (RF) ที่ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ เพื่อให้พลาสมาเกิดการแตกตัว ถัดมาเป็นส่วนของการปล่อยก๊าซโดยในการทดลองจะใช้ก๊าซอาร์กอนในการทำให้เกิดพลาสมา



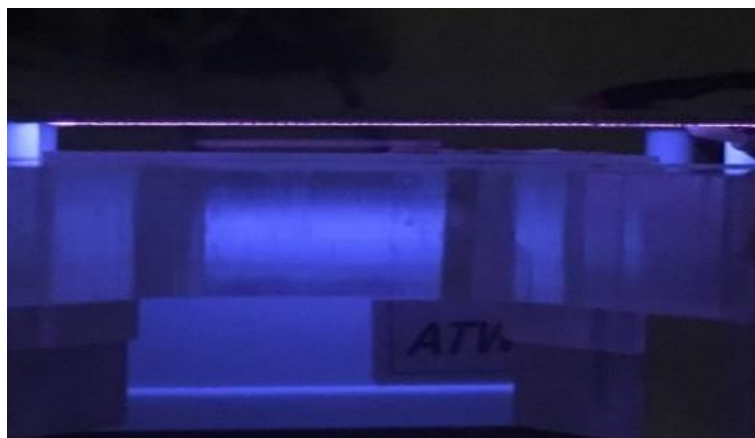
ภาพที่ 29 ระบบพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ภาพที่ 30 ภาพวาดจำลองของเครื่องพลาสมาความถี่ต่ำ

3.1.2 เครื่องกำเนิดพลาสมาความถี่บรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD)

การทดสอบการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวใต้ใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาความถี่บรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD) ดังภาพที่ 31 ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่นซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรด โดยทั่วไปการออกแบบและสร้างพลาสมาแบบ DBD จะมีส่วนประกอบสำคัญ ๆ 2 ส่วนใหญ่ คือ 1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงความถี่ปานกลาง 2) ห้องพลาสมา ซึ่งแตกต่างจากระบบพลาสมาทั่วไปคือ แบบบรยากาศสามารถจุดพลาสมาที่ภายในความถี่บรยากาศได้โดยพลังงานที่ใช้ในการทดลอง คือ 90 วัตต์โดยเป็นค่าพลังงานเฉพาะของเครื่อง และ ระบบพลาสมาแบบ DBD ขั้วไฟฟ้าทั้งที่ขนานกันจะถูกคั่น หรือ ปิดด้วยไดอิเล็กทริก เพื่อป้องกันการอาร์คของพลาสมา และมีส่วนฐานเพื่อเป็นพื้นที่ใช้วางชิ้นงาน



ภาพที่ 31 เครื่อง DBD ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค อาคารนิวตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 กระบวนการเตรียมตัวอย่างชิ้นงาน

นำตัวอย่างของแป้งข้าวจากบริษัท สกินเทค อินเตอร์โปรดักส์ จำกัด จังหวัด กรุงเทพมหานคร มาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลในปริมาณ 1 กรัม จากนั้นร่อนในตะแกรงเพื่อให้แป้งข้าวกระจายตัวได้ดี ในภาชนะที่เตรียมไว้



ภาพที่ 32 การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าว

3.3 กระบวนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

ทำการทดสอบค่าของอนุมูลอิสระในพลาสมา ก่อนและหลังใส่ตัวอย่างแข็งเพื่อตรวจอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น โดยเตรียมอุปกรณ์ของเครื่องสเปกโทรสโกปี Exemplar รุ่น BRC115U เพื่อใช้สำหรับการวัดความหนาแน่นของอนุมูลอิสระ จากนั้นนำสายเส้นใยแก้วของเครื่องสเปกโทรสโกปีมาต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดพลาสมา LPP และ พลาสมา DBD โดยจะเว้นระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้วและเครื่องกำเนิดพลาสมา โดยทำการวัดค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมา ก่อนใส่ตัวอย่างแข็ง ขี้ว และหลังจากการใส่ตัวอย่างแข็งขี้ว



ภาพที่ 33 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับการวัดความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาโดยใช้เครื่องสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมันของแข็งขี้ว

ค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของการผลิตพลาสมา โดยประสิทธิภาพของพลาสมาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ของการผลิตพลาสมา ได้แก่ ความดันบรรยากาศในห้องสุญญากาศ กำลังไฟฟ้าที่ให้และระยะเวลาในการประยุกต์ด้วยพลาสมา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อค่าของมัมสัมผัสของหยดน้ำบนตัวอย่างแข็งขี้ว ซึ่งในการทดสอบจะนำตัวอย่างแข็งขี้วอัดเม็ดให้มีขนาดความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างแข็งขี้วแบ่งออกเป็นสองชุด คือชุดที่หนึ่งก็นำไปอาบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที และชุดที่สองมาผ่านการอาบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที

จากนั้นนำมาวางบนงานสไลด์และทำการหยดน้ำลงบนตัวอย่างแบ่งข้าวโดยขณะที่ระยะห่างของปลายหลอดหยดและตัวอย่างไม่ควรห่างกันมากเกินไป ทำการจับภาพและวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำด้วยโปรแกรม AutoCAD 2007 ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา สุดท้ายนำมาวิเคราะห์ผลของการดูดซับน้ำและน้ำมัน



ภาพที่ 34 การทดสอบการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนตัวอย่างแบ่งข้าว

3.3.3 การทดสอบลักษณะทางพื้นระเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแบ่งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

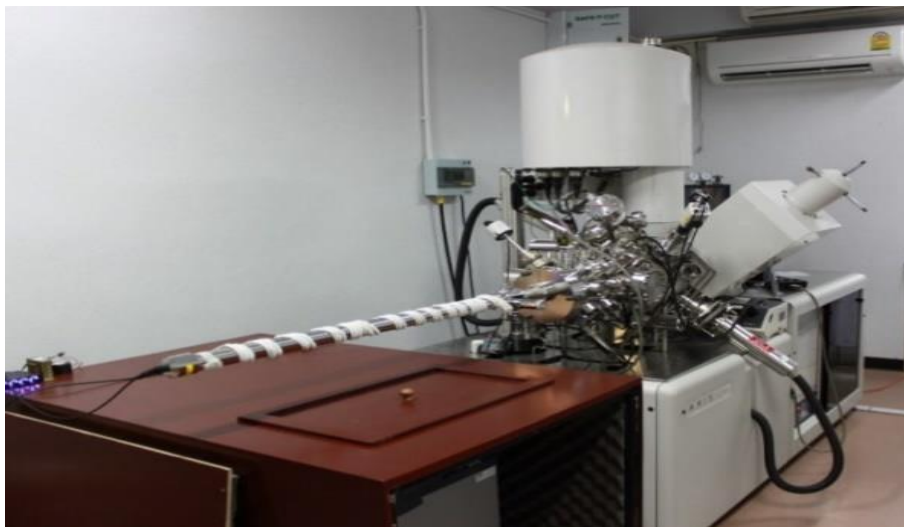
ในการทดสอบลักษณะทางเคมีของตัวอย่างแบ่งข้าวเพื่อตรวจสอบถึงพื้นระเคมีที่สามารถเกิดขึ้นบนผิวขิงตัวอย่างแบ่งข้าว โดยจากการทดสอบนำแบ่งข้าวอัดเม็ดให้มีขนาดความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นแยกเป็นสองชุดโดยนำตัวอย่างแบ่งข้าวชุดที่หนึ่งอาบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที และชุดที่สองมาผ่านการอาบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้ปิดให้มิดชิด โดยทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR รุ่น PerkinElmer model Spectrum RX จากบริษัท PerkinElmer ประเทศ อังกฤษ ณ ชั้น 3 อาคารเรียนรวม 60 ปี แม่โจ้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 35 เครื่องมือ FTIR ณ ชั้น 3 อาคารเรียนรวม 60 ปี แม่โจ้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3.3.5 การทดสอบการวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหาค่าองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)

การทดสอบด้วยเทคนิค XPS รุ่น AXIS Ultra DLD จากบริษัท Kratos Analytical Ltd. ประเทศอังกฤษ เพื่อเป็นการช่วยสนับสนุนผลของพันธะเคมีที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค FTIR ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์จะทำการนำตัวอย่างแป้งข้าวอัดเม็ดให้มีขนาดความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แบ่งเป็นสองชุดคือตัวอย่างแป้งข้าวชุดที่หนึ่งอบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที และชุดที่สองอบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที ในการตรวจสอบของเครื่องมือ XPS จะสามารถตรวจสอบที่ระดับของพื้นผิวลึกสุดที่ระดับ 10 นาโนเมตรเท่านั้น ซึ่งตัวอย่างแป้งข้าวที่ทำการทดสอบด้วยพลาสมานั้นจะเกิดปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่บริเวณพื้นผิว ดังนั้นวิธีการตรวจสอบด้วยเครื่อง XPS จึงสามารถทำให้รู้ถึงพันธะที่เกิดขึ้นได้ดีที่สุด โดยทำการตรวจวิเคราะห์ ณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ภาพที่ 36 เครื่องมือ XPS ณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.3.6 การทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

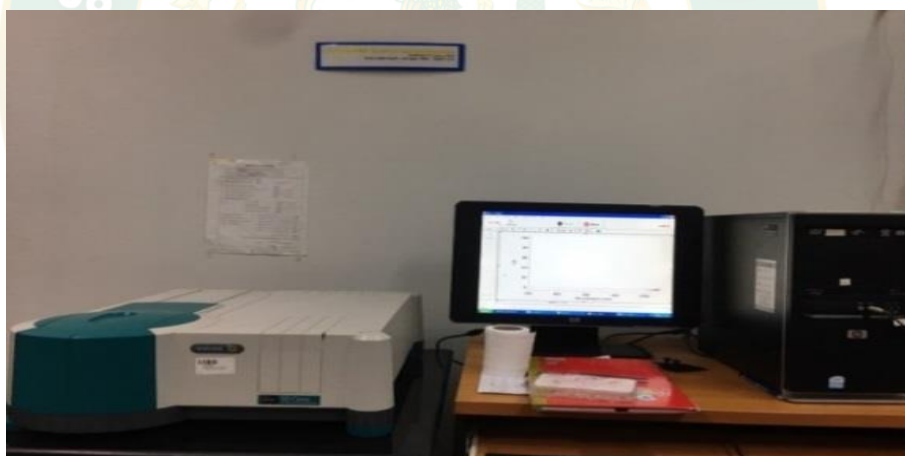
การทดสอบการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของตัวอย่างแป้งข้าวจะทำการแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่หนึ่งเป็นตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านอบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์เป็นเวลา 4 นาที และชุดที่สองเป็นตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที จากนั้นนำมาโรยลงบน stub ที่มีกาวคาร์บอนเทปอยู่และสุดท้ายนำตัวอย่างไปฉายด้วยทองเพื่อทำให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าได้ดี โดยใช้เครื่องมือ SEM ประเภท LV-Scanning Electron Microscope รุ่น JSM 5910 LV ณ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ภาพที่ 37 เครื่อง SEM ณ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.3.7 การทดสอบการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอตราไวโอเล็ตและวิชิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy)

วิธีการเตรียมตัวอย่างนำมาอัดเม็ดให้มีขนาดความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างแป้งข้าวชุดที่หนึ่งผ่านการอบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที และชุดที่สองผ่านการอบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที นำไปส่งทดสอบด้วยเครื่องมือ UV-Vis spectroscopy ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-2450 ที่ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยนำตัวอย่างที่ผ่านอบด้วยพลาสมาทำการวิเคราะห์โดยโหมดที่ใช้คือ การสะท้อนแสงที่ช่วงความคลื่น 200 – 1,100 นาโนเมตร โดยจะทำการวัด 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของกราฟ นำกราฟที่ได้มาหาค่าการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวโดยงานวิจัยจะสนใจศึกษาในช่วงของแสงยูวีและแสงขาว



ภาพที่ 38 เครื่องมือ UV-Vis spectroscopy ณ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.7.8 การทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา

ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างแป้งข้าวจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การทดสอบตัวอย่างแป้งข้าวก่อนผ่านการอบด้วยพลาสมาและตัวอย่างแป้งข้าวหลังจากผ่านการอบด้วยพลาสมา ซึ่งพลาสมาที่ใช้จะแบ่งเป็นพลาสมาแบบ LPP และ DBD โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศา ความดัน 20 bar และก่อนนำเข้าตู้ปลอดเชื้อต้องทำ

ความสะอาดอุปกรณ์และพื้นที่ภายในตู้ด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70 ซ้ำเช็ดด้วยแสงยูวีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างแบ่งที่เป็นของเหลวมาเลี้ยงลงบนอาหารแข็งที่เตรียมไว้ โดยจะแบ่งเป็นสองชุดคือ ชุดที่ตัวอย่างผ่านการอบด้วยพลาสมา LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ ระยะเวลา 4 นาที และชุดที่สองเป็นตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์ เป็นระยะเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที ขั้นตอนสุดท้ายเก็บที่ตู้อุณหภูมิคงที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วนำมาวิเคราะห์ผลความแตกต่างของปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่พบของตัวอย่างแบ่งซ้ำก่อนและหลังอบด้วยพลาสมา



บทที่ 4

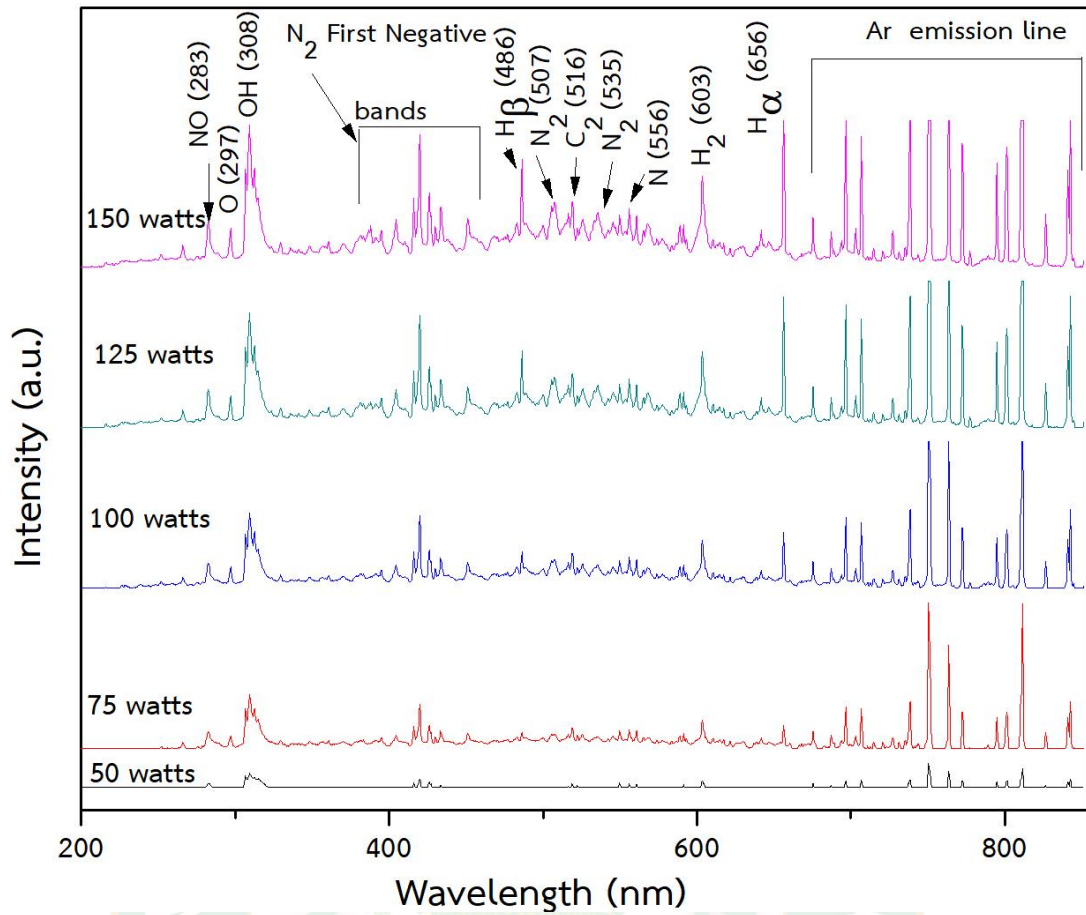
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการทำการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าว ซึ่งใช้เทคนิคพลาสมาเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติโดยจะใช้พลาสมา 2 ชนิดคือ พลาสมาความดันต่ำ และพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ โดยมีการดำเนินงานของงานวิจัยตามแผนงานของการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

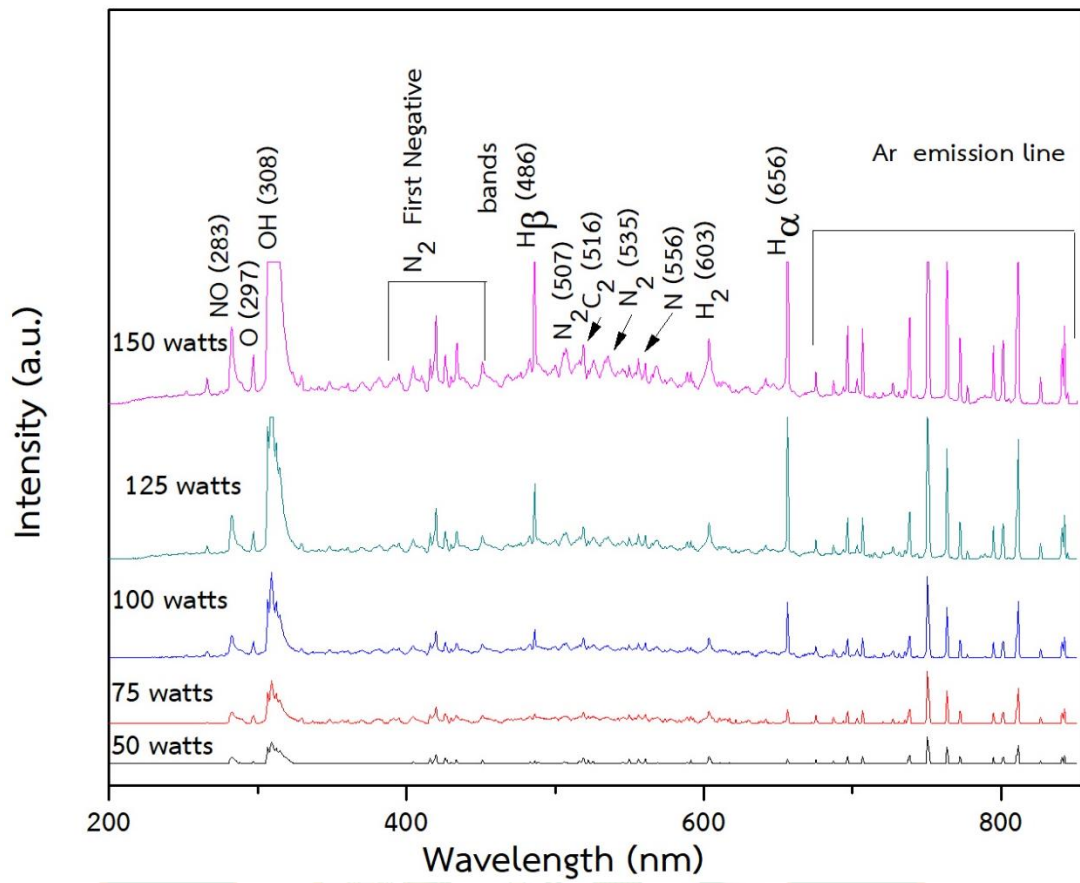
4.1 ผลการทดลองจากการใช้เทคนิคพลาสมาชนิดความดันต่ำในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าว

4.1.1 การศึกษาความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

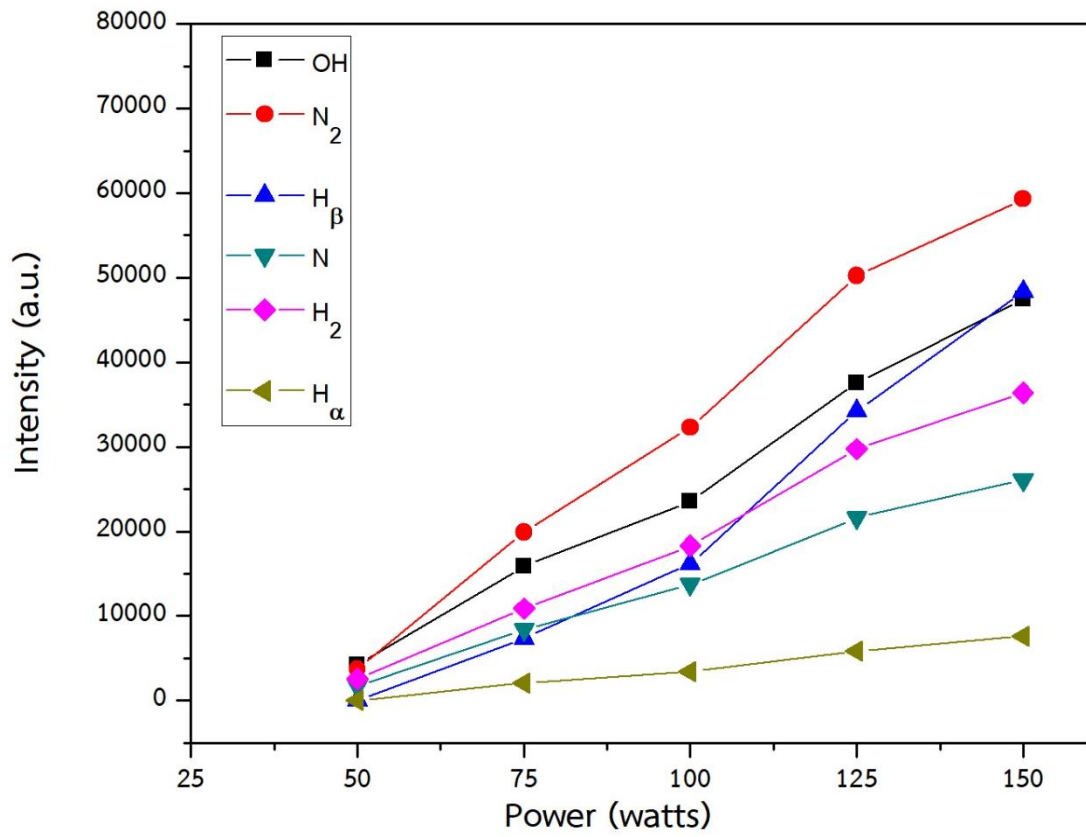
เมื่อทำการศึกษาการวัดค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาอาร์กอน จากการวัดสเปกตรัมแสงที่เปล่งออกมาที่ในแต่ละระดับพลังงานที่แตกต่างกันจากภาพที่ 39 แสดงอนุมูลอิสระที่สำคัญคือ NO O OH N₂ H β C₂ N H₂ H α และ อะตอมของ Ar ซึ่งสามารถวัดได้จากความเข้มของการปลดปล่อยของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระบบพลาสมา โดยพบกลุ่มของอะตอมอาร์กอน (Ar) ในช่วง 651 - 843 นาโนเมตร (Li และคณะ, 2015) อนุมูลของ NO ที่ 283 นาโนเมตร (Rezaei และคณะ, 2018) อนุมูลของ O ที่ 297 นาโนเมตร (Calixto-Rodriguez และคณะ, 2010) อนุมูลของไฮดรอกซิล (OH) ที่ 308 นาโนเมตร (Chou และคณะ, 2011) อนุมูลอิสระของ C₂ ที่ 516 นาโนเมตร (Puliyalil และคณะ, 2016) ถัดมาจะพบกลุ่มของ N₂ และ N ที่ 394 - 452 นาโนเมตร 507 และ 535 นาโนเมตรและ 556 นาโนเมตร (Bystrov และคณะ, 2013; Kiristi และคณะ, 2015) และได้มีการตรวจพบในกลุ่มของไฮโดรเจนซึ่งพบ H β ที่ 486 นาโนเมตร H₂ ที่ 603 นาโนเมตร และ H α ที่ 656 นาโนเมตร (Chen และคณะ, 2016; Chou และคณะ, 2011) และเมื่อทำการศึกษาการวัดค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาอาร์กอนหลังใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ พบว่า จากการวัดสเปกตรัมแสงที่เปล่งออกมาที่ในแต่ละระดับพลังงานที่แตกต่างกันจากภาพที่ 40 มีอนุมูลอิสระที่เหมือนกับในพลาสมาอาร์กอนก่อนใส่ตัวอย่างแป้งข้าว แต่ผลของค่าความเข้มข้นของอนุมูลอิสระลดลง เนื่องการเมื่อพลาสมากระทบลงบนพื้นผิวของตัวอย่างแป้งข้าวส่งผลให้อนุภาคหรือโมเลกุลของตัวอย่างเกิดการหลุดกระจายอยู่ภายในระบบ ทำให้ความเข้มของการปลดปล่อยของกลุ่มอนุมูลอิสระในระบบลดลง เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของกลุ่มอนุมูลอิสระของระบบก่อนใส่ตัวอย่าง



ภาพที่ 39 ผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน คือ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์

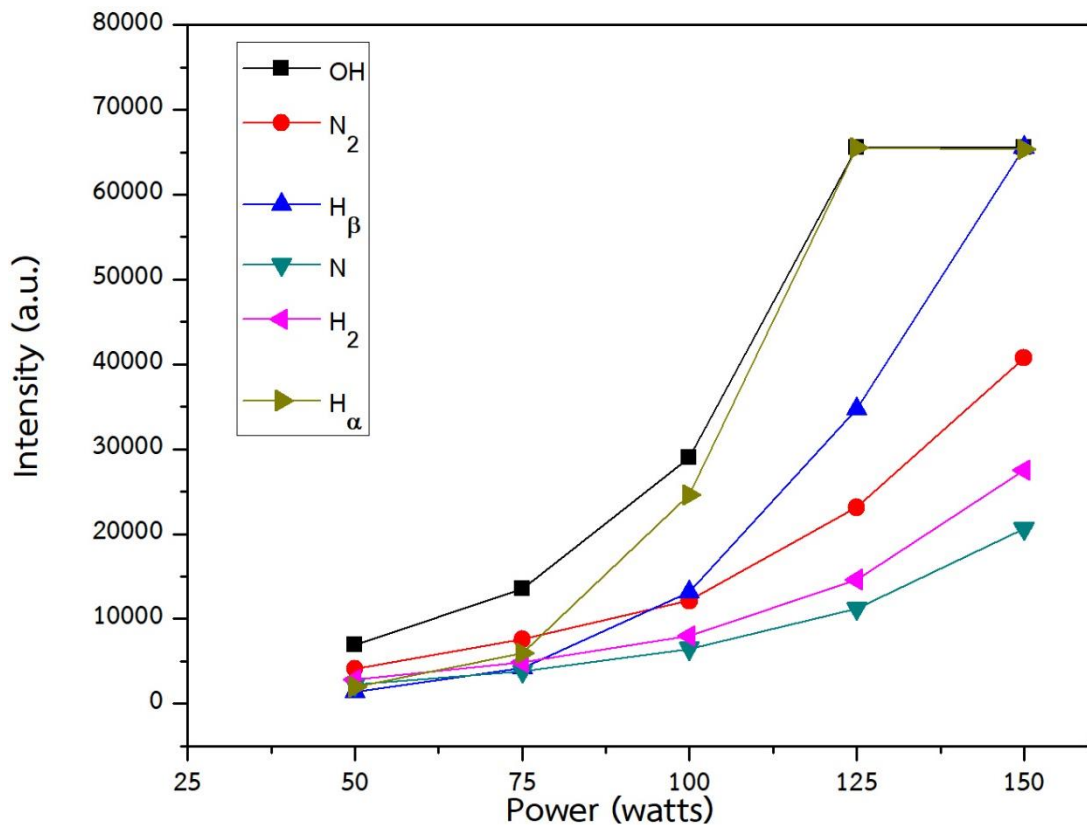


ภาพที่ 40 ผลการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพลาสมาความดันต่ำ (LPP) ขณะมีตัวอย่างแบ่งข้าวที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันคือ 50 75 100 125 และ 150 วัตต์



ภาพที่ 41 กราฟความหนาแน่นของอนุภาคลิสรระก่อกันใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ



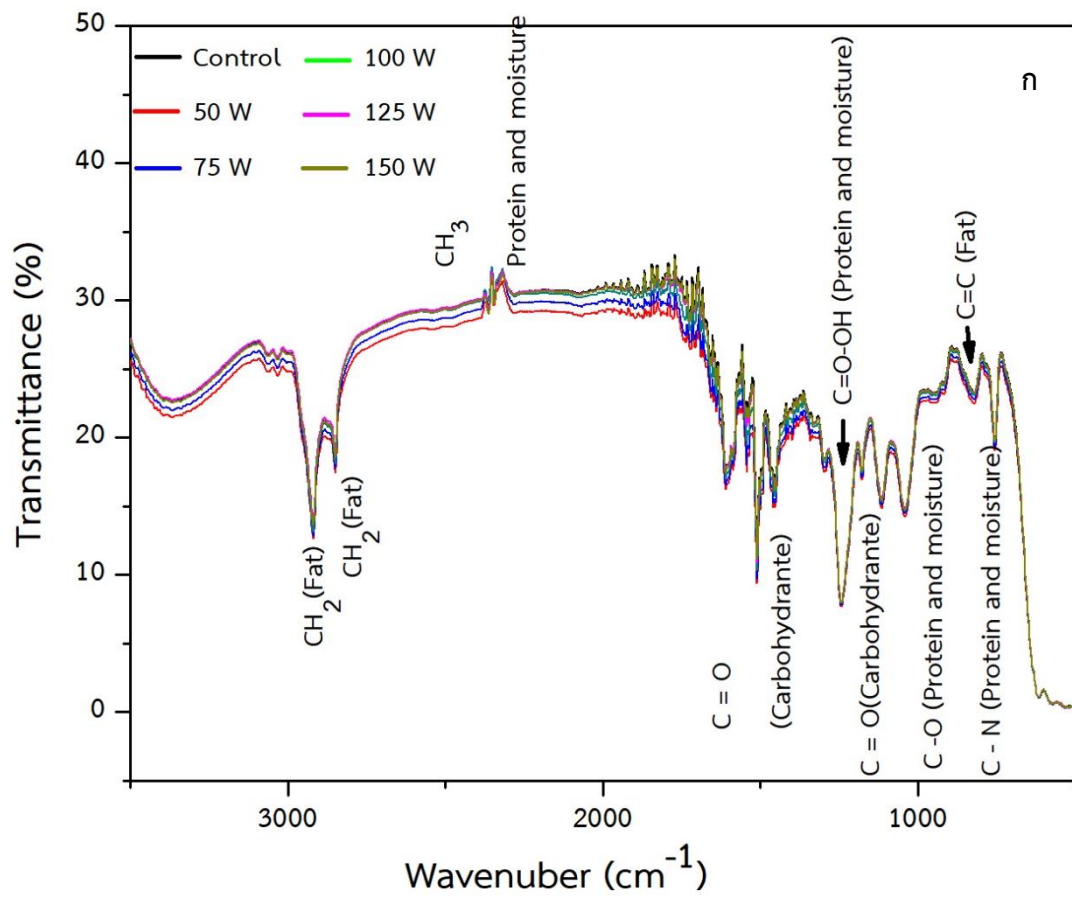


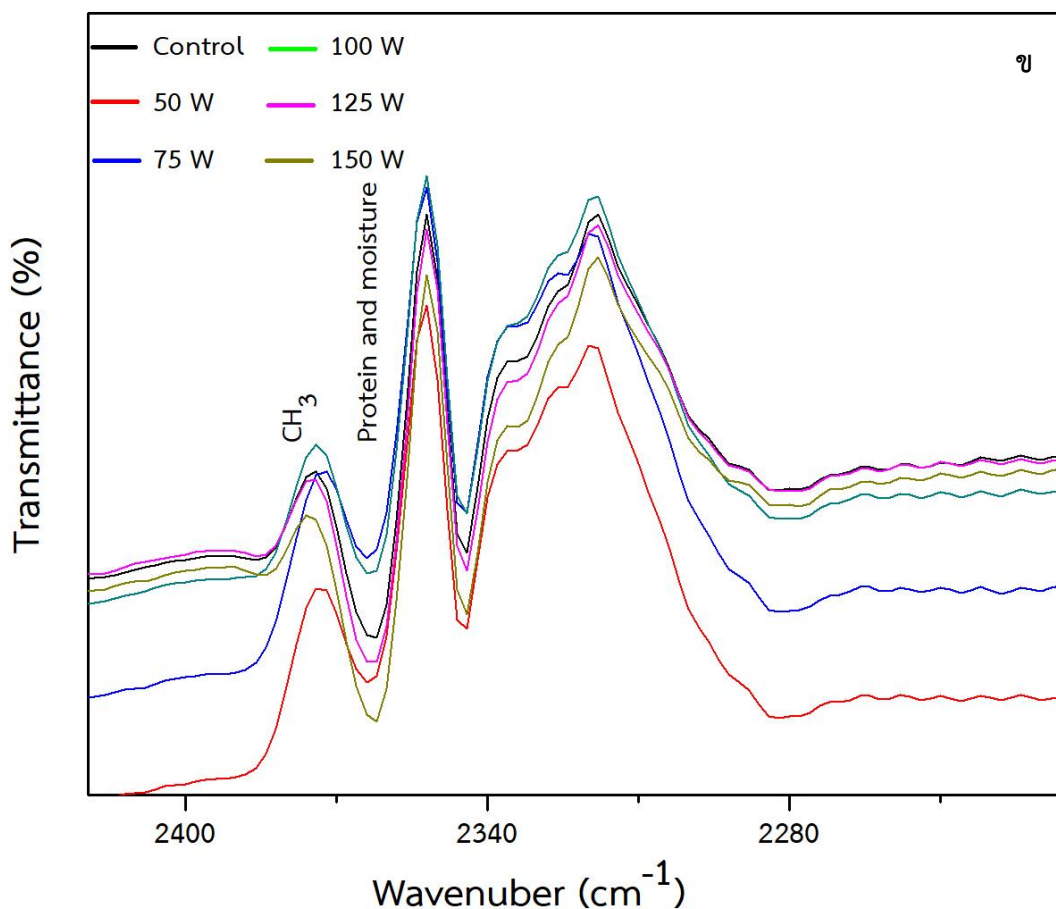
ภาพที่ 42 กราฟความหนาแน่นของอนุมูลอิสระหลังใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ

จากภาพที่ 41 แสดงผลความหนาแน่นของอนุมูลอิสระก่อนใส่ตัวอย่างพบว่าค่าการแตกตัวของอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อให้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น จากภาพที่ 42 เมื่อตรวจวัดความหนาแน่นของอนุมูลอิสระหลังใส่ตัวอย่าง พบว่า การแตกตัวของอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้พลังงานสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าอนุมูลอิสระก่อนใส่ตัวอย่าง พบว่า ค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระหลังใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศมีค่าของการปลดปล่อยของกลุ่มอนุมูลอิสระที่มากกว่า ซึ่งในความจริงควรมีค่าการแตกตัวของอนุมูลอิสระที่น้อยกว่าค่าการแตกตัวของอนุมูลอิสระก่อนใส่ตัวอย่างในห้องสุญญากาศ และจากการศึกษาพบกลไกของการเกิดไฮดรอกซิล (OH) ในระบบสูงเกิดจากการชนกันระหว่างกลุ่มไอออนในระบบกับอะตอมของอาร์กอน จึงสันนิษฐานได้ว่ากลุ่มของไฮดรอกซิล (OH) มีผลต่อตัวอย่างแป้งข้าว

4.1.2 การศึกษาลักษณะทางพันธะเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

โดยก่อนการทดสอบนักวิจัยได้ทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค FTIR ก่อนถูกนำมาปรับปรุงพบโครงสร้างของกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในปริมาณร้อยละ 64-73 กลุ่มของโปรตีนและความชื้นปริมาณร้อยละ 5.8 – 7.7 และกลุ่มของไขมันปริมาณร้อยละ 1.6 -2.8 ซึ่งเป็นปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในแป้งข้าว และจากการศึกษาพบหมู่ฟังก์ชันของ CH_2 $\text{C} - \text{O} - \text{C} = \text{O}$ และ $\text{C} - \text{N}$ เป็นต้น (Romdhane Karoui, 2010; Zubair Farooq and Ashraf A. Ismail, 2012; เขาวนิพร ชีพประสพ, 2559) และจากการศึกษาตัวอย่างแป้งข้าวในงานวิจัยตัวอย่างแป้งข้าวหลังอบด้วยพลาสติกเมื่อนำมาทดสอบ พบว่าผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR จากภาพที่ 43ก พบว่าในตัวอย่างแป้งข้าวหลังการอบด้วยพลาสติก พบโครงสร้างไขมัน 2900 และ 2856 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของ CH_2 โครงสร้างโปรตีนและความชื้นที่ 2362 cm^{-1} ผลจากโครงสร้าง CH_3 และที่ตำแหน่ง 1240 1042 และ 758 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากพันธะของ $\text{C} = \text{O} - \text{OH}$ $\text{C} - \text{O}$ และ $\text{C} - \text{N}$ และคาร์โบไฮเดรตที่ 1516 cm^{-1} และ 1413 cm^{-1} โดยเกิดจากพันธะของ $\text{C} = \text{O}$ (Dong และคณะ, 2015; S. Mokhtari, 2015) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างหลังจากผ่านการอบด้วยพลาสติกมีลักษณะของโครงสร้างคล้ายกันกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสติก และมีหมู่ฟังก์ชันที่คล้ายคลึงกับตัวอย่างของแป้งที่ได้ศึกษาข้างต้นซึ่งเกิดจากอนุมูลที่พบในพลาสติกเข้ามาทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของกลุ่มคาร์บอน และไฮโดรเจน ที่มีอยู่ในแป้งข้าวโดยหมู่ฟังก์ชันที่พบเกิดจากพลาสติกทำให้เกิดการกัดกร่อน และเกิดกลุ่มฟังก์ชันนอลอิสระบริเวณพื้นผิว และจากการศึกษาจะพบที่กลุ่มของโปรตีน ดังแสดงในภาพที่ 43ข จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าลักษณะของอะตอมของกลุ่มโครงสร้าง CH_3 เกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะหลักเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากพลังงานของพลาสติกที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับตัวอย่างแป้งข้าวโดยเฉพาะโครงสร้างของ CH_3 ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่ แต่กลับส่งผลให้กลุ่มของอะตอมที่ยึดเกาะกันเกิดการสั่นและชนกับอะตอมข้างเคียง ทำให้อะตอมข้างเคียงเกิดการขยับเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้โครงสร้างของ CH_3 ในผลการทดลองมีลักษณะที่ของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลง





ภาพที่ 43 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของ (ก) ตัวอย่างแป้งข้าวก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้า 0 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ (ข) ส่วนขยายของพันธะโปรตีนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธะเคมี

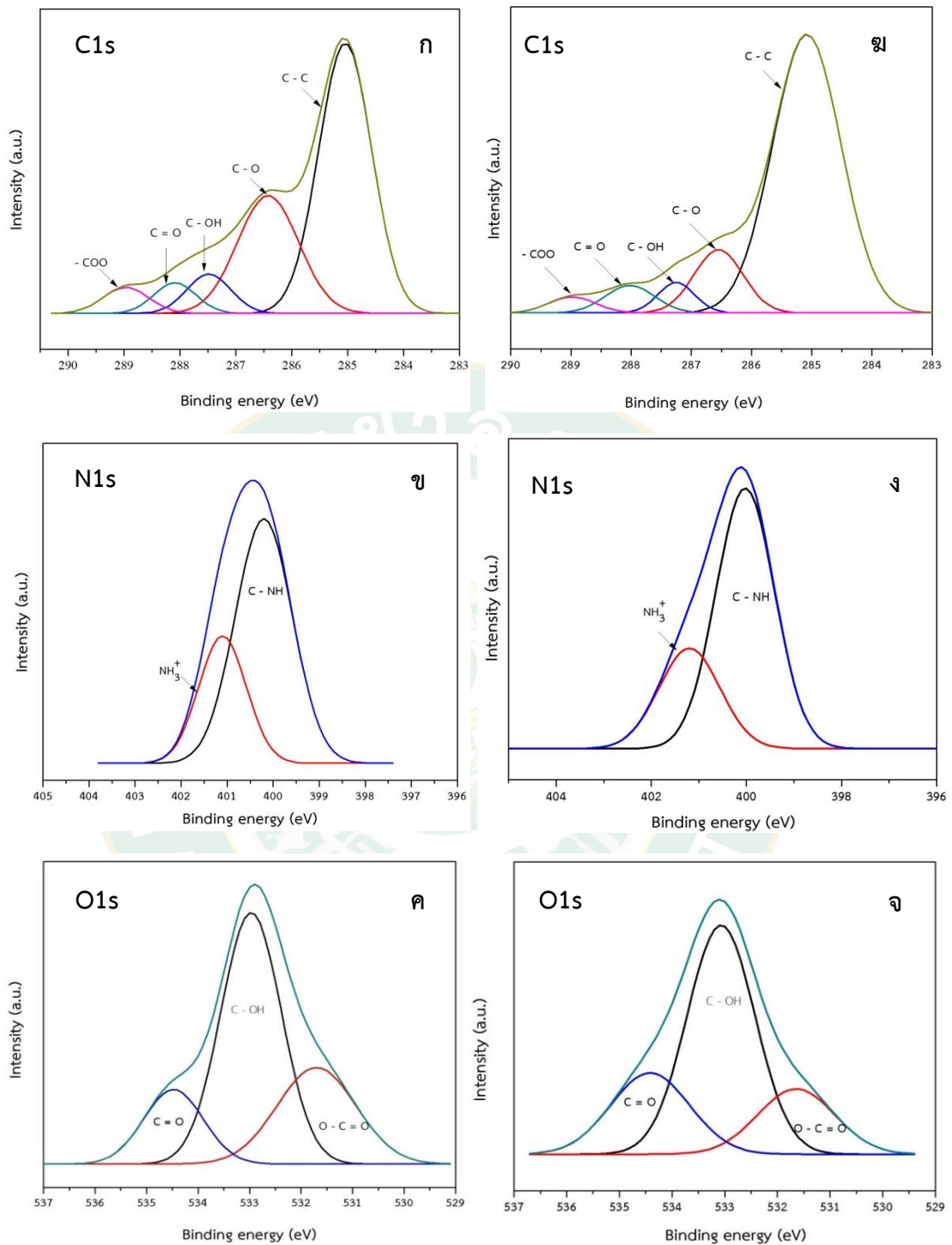
4.1.3 การศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซ์เรโฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งข้าวด้วยเทคนิค XPS พบว่า ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของอะตอมหลักสามชนิด ได้แก่ C O และ N ที่กำลังไฟฟ้า 0 50 75 100 125 และ 150 วัตต์ตามลำดับ และจากผลการศึกษาปริมาณสารสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างจากตารางที่ 4 บ่งบอกถึงปริมาณสารสัมพันธ์ของ C/N และ C/O ซึ่งปริมาณของอะตอม C จะแปรผกผันกับอะตอมของ N และ O ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแป้งข้าวสามารถสันนิษฐานได้ว่า หลังผ่านการอาบด้วยพลาสมาจะมีปริมาณของ C/N มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอาบด้วยพลาสมา ส่งผลแก่ปฏิกิริยาทางเคมีของกระบวนการตัวอย่างและสะท้อนให้เห็นถึงการเชื่อมต่อกันของกลุ่ม

พอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้เกิดพันธะทางเคมี (Z. X. Xu และคณะ, 2011) จากภาพที่ 44 คือ องค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอน (C1s) ประกอบด้วยพันธะของ C - H / C - C ที่ตำแหน่ง 285.0 eV C - O ที่ตำแหน่ง 286.5 อิเล็กตรอนโวลต์ C-OH / C - O - C ที่ตำแหน่ง 287.4 อิเล็กตรอนโวลต์ C = O ที่ตำแหน่ง 288.0 อิเล็กตรอนโวลต์ และสุดท้ายพันธะของ CO / O - CO ที่ตำแหน่ง 289.0 อิเล็กตรอนโวลต์ (Cao และคณะ, 2016; Puliyalil และคณะ, 2016; Wang และคณะ, 2008) ถัดมาพบตำแหน่งของพันธะที่เกิดจากไนโตรเจน (N1s) ที่ 399.8 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 401.5 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มของเอมีน (amine) คือ C - NH และ เอไมด์ (amide) คือ NH₃⁺ (Cao และคณะ, 2016; Z. X. Xu และคณะ, 2011) หลังจากพลาสมาได้รับการบำบัดด้วยพลาสมากลุ่มไนโตรเจนของเอมีนและกลุ่มเอไมด์จะถูกนำมาใช้อีกครั้ง และออกซิเจน (O1s) สามารถแบ่งออกเป็นตำแหน่งที่เกิดได้คือ C = O C - OH และ O - C = O ตำแหน่งสูงสุดที่ 531.7 อิเล็กตรอนโวลต์, 532.9 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 533.7 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ (Jian Yang และคณะ, 2002; Wang และคณะ, 2008) ซึ่งลักษณะของพันธะที่เกิดขึ้นเกิดจากพลาสมาเข้าไปทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของแป้งข้าว ซึ่งจากผลตรวจพบด้วยเทคนิค XPS ที่ศึกษาการเกิดพันธะโดยทำการตรวจสอบจาก 3 องค์ประกอบหลักแสดงให้เห็นว่ามีผลการวิเคราะห์ที่พบพันธะทางเคมีที่สอดคล้องกับผลของพันธะที่ตรวจพบด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งจากผลของการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR จะตรวจพบกลุ่มของโครงสร้างคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในแป้งข้าว และเมื่อทำการตรวจสอบด้วยเทคนิคจึงแสดงกลุ่มของพันธะที่มีอยู่ในโครงสร้างของแป้งข้าวเช่นกัน ดังนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS จึงช่วยในการสนับสนุนผลของเทคนิค FTIR ให้มีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค XPS

| กำลังไฟฟ้า (วัตต์) | หมู่ฟังก์ชัน | | | | |
|--------------------|--------------|------|-------|-------|------|
| | C | N | O | C/N | C/O |
| 0 | 76.25 | 3.72 | 20.03 | 20.50 | 3.81 |
| 50 | 80.09 | 1.10 | 18.81 | 72.81 | 4.26 |
| 75 | 78.51 | 2.19 | 19.30 | 35.85 | 4.07 |
| 100 | 70.43 | 1.28 | 28.29 | 55.02 | 2.49 |
| 125 | 71.20 | 0.81 | 27.99 | 87.90 | 2.54 |
| 150 | 69.09 | 2.35 | 28.56 | 29.40 | 2.45 |

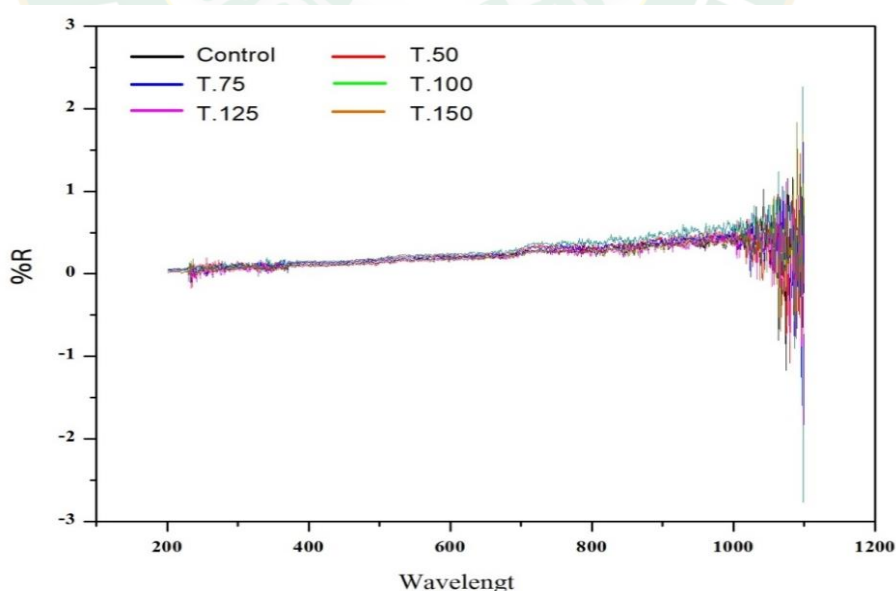


ภาพที่ 44 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอบด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) (ก) คาร์บอน (C1s) (ข) ไนโตรเจน (N1s) (ค) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่าง ก่อนอบด้วยพลาสมา และ (ง) คาร์บอน (C1s) (จ) ไนโตรเจน (N1s) (ฉ) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสมา

และจากภาพที่ 44 แสดงผลการวิเคราะห์ของกลุ่มพันธะที่เกิดระหว่างปฏิกิริยาของกลุ่มอนุมูลอิสระของอนุพันธ์ออกซิเจน และกลุ่มอนุมูลอิสระของอนุพันธ์ไนโตรเจนในพลาสติกกับโครงสร้างของแป้งข้าว พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มโมเลกุลที่มีขั้วมีปริมาณลดลงเมื่อตัวอย่างแป้งข้าวผ่านการอบด้วยพลาสติก และโมเลกุลของกลุ่มไม่มีขั้วมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตัวอย่างของแป้งข้าวมีความสามารถในการชอบน้ำลดลงและความสามารถในการชอบน้ำมันเพิ่มมากขึ้น (Peng และคณะ, 2017)

4.1.4 การศึกษาการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอตราไวโอเล็ตและวิชิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy)

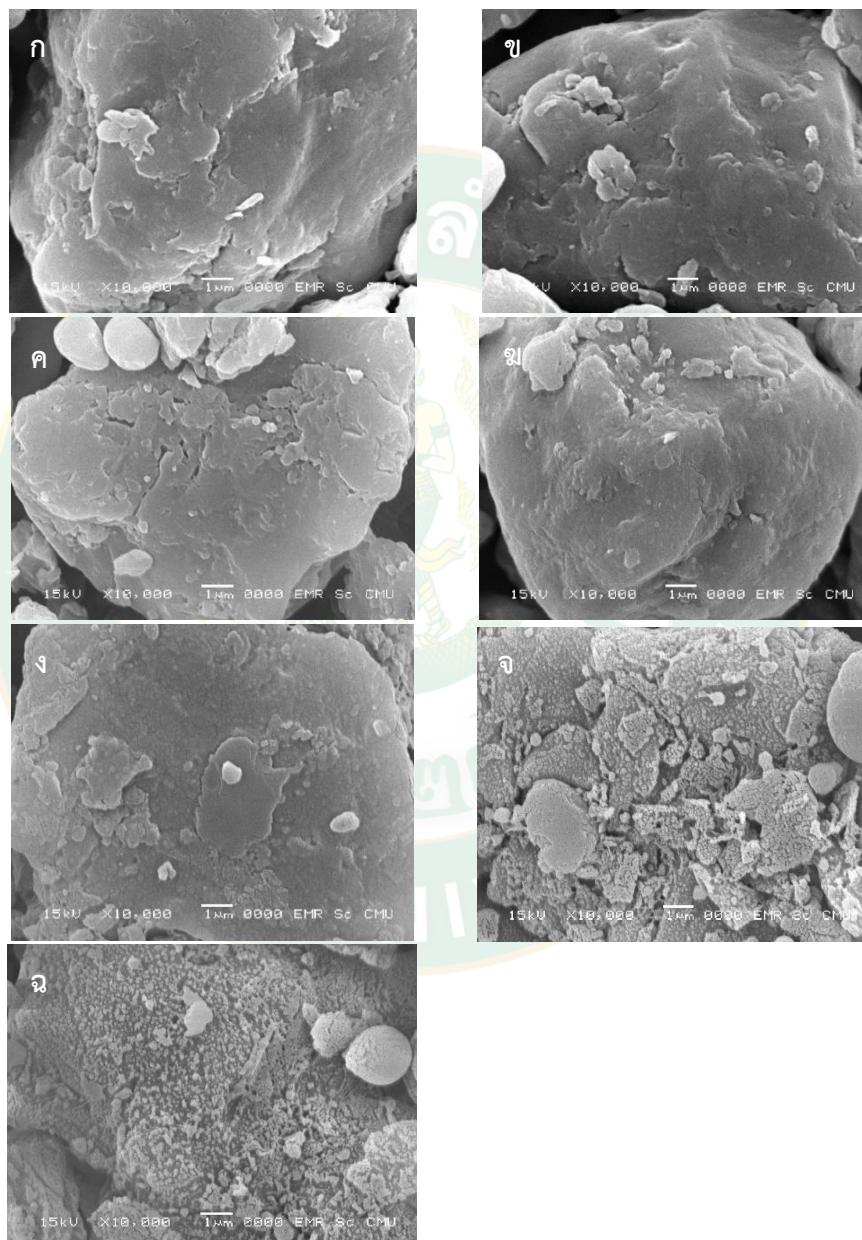
จากงานวิจัยสนใจศึกษาการสะท้อนแสงของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการสนับสนุนของคุณสมบัติของแป้งในการช่วงปกป้องแสดงจากยูวีในธรรมชาติ ซึ่งในการศึกษาจึงเลือกใช้เทคนิค UV – Visible Spectroscopy ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนและสะท้อนแสงในช่วงของยูวีและแสงขาวคือในช่วง 200 – 800 นาโนเมตร จากภาพที่ 45 พบว่าจากการศึกษาในช่วงที่เราสนใจคือช่วงแสงยูวีและแสงขาว จากผลค่าการสะท้อนแสงของตัวอย่างก่อนและหลังอบด้วยพลาสติกไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงว่าการอบด้วยพลาสติกไม่ส่งผลให้คุณสมบัติของการสะท้อนแสงของแป้งข้าวเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 45 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-Vis ก่อนและหลังอบด้วยพลาสติกชนิดความดันต่ำ (LPP) ที่กำลังไฟฟ้าคือ 0 50 75 100 125 และ 150 วัตต์

4.1.5 การศึกษาลักษณะสัณฐานบนชิ้นงานตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (SEM) ของตัวอย่างแป้งข้าวจากภาพที่ 46 พบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้อบด้วยพลาสมาความดันต่ำ (LPP) นั้นมีพื้นผิวที่เรียบ และในตัวอย่างที่ผ่านสุญญากาศสังเกตได้ว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา

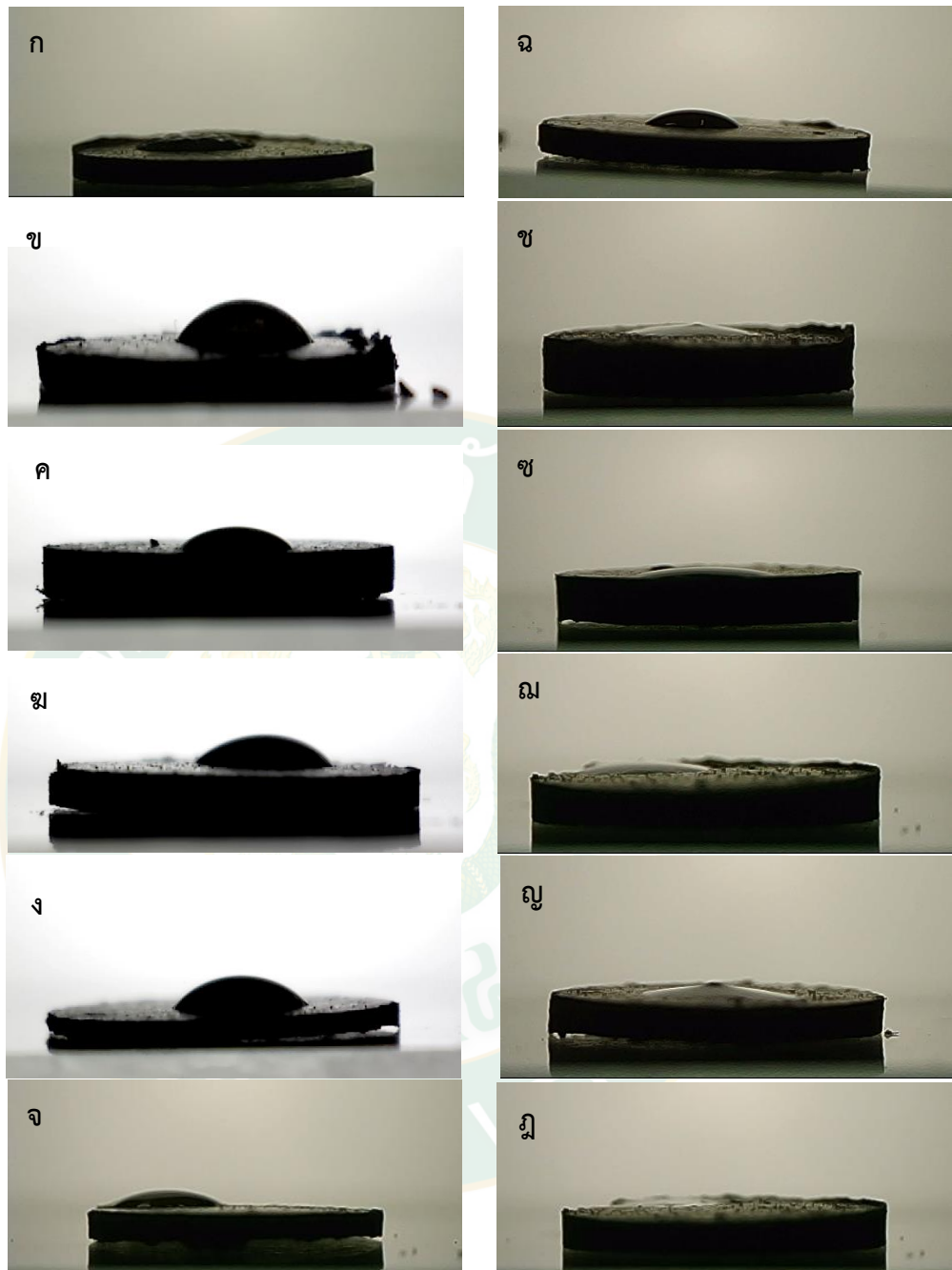


ภาพที่ 46 ตัวอย่างก่อนอบด้วยพลาสมา ; (ก) ควบคุม และ (ข) ก่อนอบพลาสมาในระบบสุญญากาศ และตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (ค) 50 โวลต์ (ฅ) 75 โวลต์ (ง) 100 โวลต์ (จ) 125 โวลต์ (ฉ) 150 โวลต์

ซึ่งจากการสังเกตพบรอยแตกบนพื้นผิวของตัวอย่างหลังจากการอบพลาสติกส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกลุ่มตัวอย่างมีความขรุขระบนพื้นผิวซึ่งเกิดจากอนุภาคพลาสติกทำปฏิกิริยาหรือการกัดกร่อนบนพื้นผิว เมื่อพลังงานพลาสติกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความขรุขระและเม็ดละเอียดบนผิวของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเห็นได้ชัดที่สุดเมื่อตัวอย่างได้รับการอบด้วยพลาสติกที่ 125 วัตต์และ 150 วัตต์ พบว่าโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างควบคุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่โครงสร้างดั้งเดิมของแป้งข้าว พบบริเวณของรอยแตกเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของพลังงานพลาสติก ซึ่งพื้นผิวที่ขรุขระเหล่านี้้อาจเกิดจากการกัดกร่อนของพลาสติกโดยเกิดจากปฏิกิริยาของชนิดของอนุภาคที่อยู่ภายในพลาสติกเช่นไอออนและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นระหว่างการอบด้วยพลาสติก การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายกันนั้นพบได้ในตัวอย่างของแกลบดำที่ได้รับการอบด้วยพลาสติก (Sarangapani และคณะ, 2017) และเป็นหนึ่งในเหตุผลที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำและน้ำมันซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของพื้นผิว

4.1.6 การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าว

จากการศึกษาการวัดคุณสมบัติของการดูดซับน้ำและดูดซับน้ำมันของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยการอบด้วยพลาสติกจากภาพที่ 47 พบว่าเมื่อให้พลาสติกเข้าไปในระบบที่มีตัวอย่างแป้งข้าวอยู่ พลาสติกจะเข้าไปทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของตัวอย่างแป้งข้าวซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี โดยจากการทดลองตัวอย่างหลังจากผ่านการอบด้วยพลาสติกมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงและดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างไม่ผ่านการอบด้วยพลาสติก ซึ่งผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS จากผลการทดสอบพบพันธะของ C - O C - OH C = O และ -COO ที่บริเวณพื้นผิว ซึ่งกลุ่มของพันธะที่มีขั้วซึ่งเมื่อตัวอย่างหลังจากผ่านการอบด้วยพลาสติกส่งผลให้พันธะเหล่านี้มีปริมาณที่ลดลงจึงส่งผลให้โมเลกุลของกลุ่มมีขั้วลดลง และพบพันธะของ C - C ซึ่งเป็นพันธะที่ไม่มีขั้ว และตัวอย่างหลังอบด้วยพลาสติกพบว่ามีพันธะของ C - C เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้โมเลกุลของกลุ่มไม่มีขั้วเพิ่มขึ้น จึงเกิดส่งผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง และความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นตามลำดับ

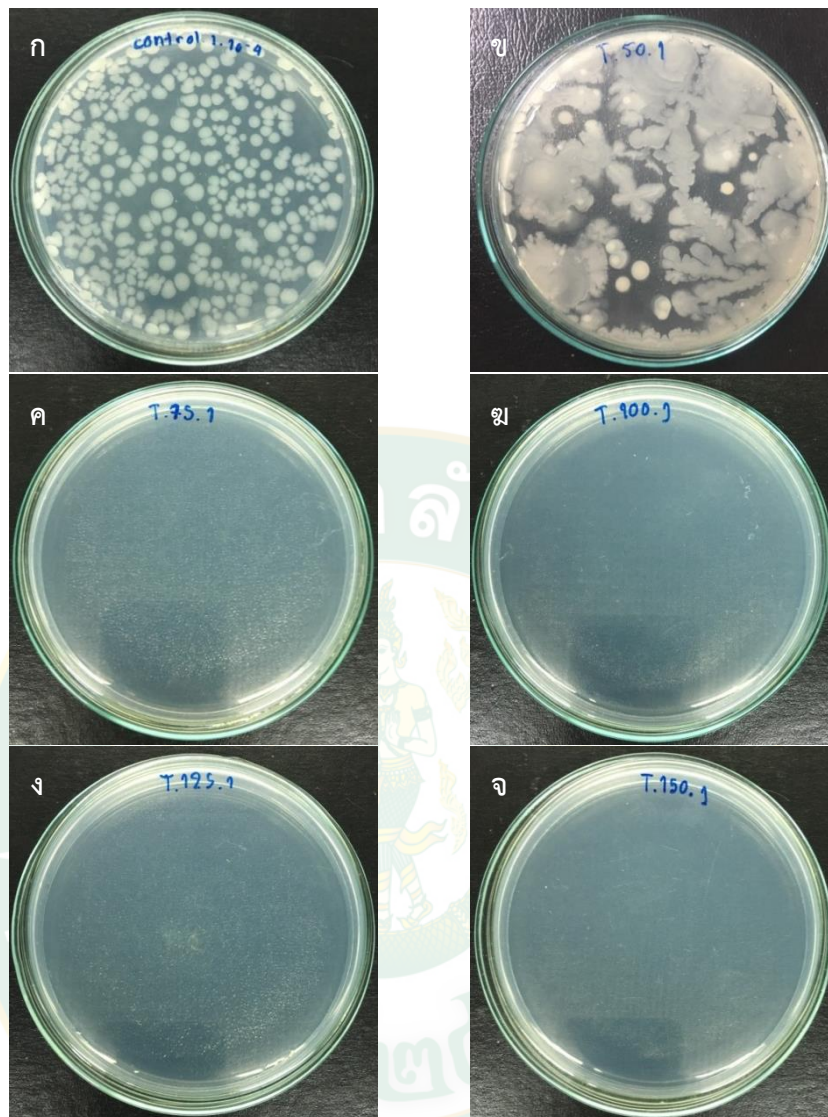


ภาพที่ 47 แสดงผลการเปรียบเทียบของตัวอย่างการดูดซึมโดยใช้พลาสมาความดันต่ำ (ก) การดูดซับน้ำของตัวควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมา) การดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ข) 50 วัตต์ (ค) 75 วัตต์ (ง) 100 วัตต์ (จ) 125 วัตต์ และ (ฉ) 150 วัตต์ (ฉ) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของการควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมา) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ช) 50 วัตต์ (ซ) 75 วัตต์ (ฌ) 100 วัตต์ (ญ) 125 วัตต์ และ (ฎ) 150 วัตต์

4.1.7 การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา

จากผลทดลองการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของแป้งข้าวโดยการอบด้วยพลาสมาจากภาพที่ 48 จากผลการวิจัยพบว่าพลาสมาความดันต่ำ (LPP) สามารถช่วยยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในแป้งข้าวได้ โดยพบกลุ่มของอนุมูลของไฮดรอกซิล (OH) ที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งสามารถตรวจพบด้วยเทคนิค OES และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อให้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นทำให้ค่าของอนุมูลของไฮดรอกซิล (OH) เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยทั้งนี้อนุมูลของไฮดรอกซิล (OH) จะเข้าไปทำให้ฟอสโฟลิปิดบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย ส่งผลให้น้ำหรือของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ไหลออกมาสู่ภายนอก เมื่อน้ำหรือของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์เกิดการเสียดูด ดังนั้นจึงทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เกิดการเหี่ยว แดก และตายได้ง่ายกว่าเซลล์ปกติ (Kong&Davison, 1980) ดังนั้นจากผลการศึกษาจึงสามารถบอกได้ว่าเมื่อกลุ่มของอนุมูลของไฮดรอกซิล (OH) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลาสมามีความสามารถในยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ



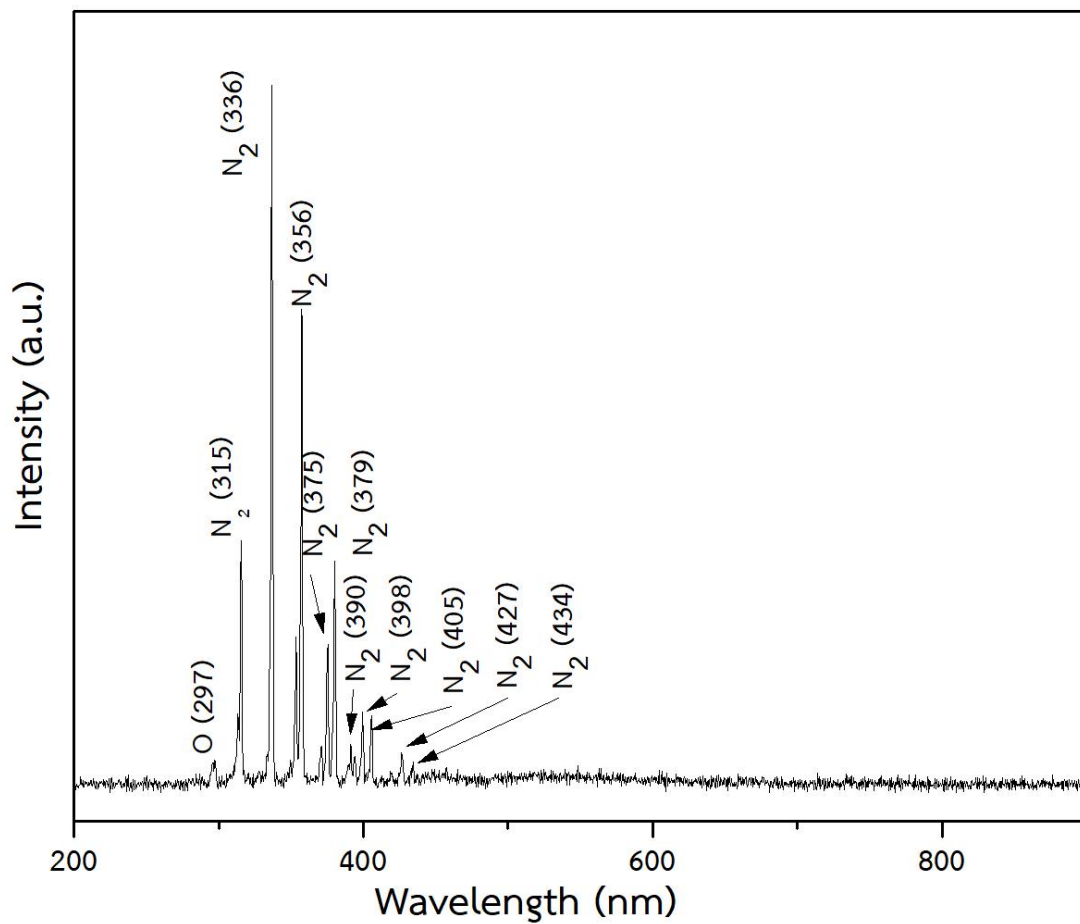


ภาพที่ 48 ภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (ก) ตัวอย่างแบ่งก่อนอาบด้วยพลาสมา และตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดพลาสมาที่กำลังไฟฟ้า (ข) 50 วัตต์ (ค) 75 วัตต์ (ง) 100 วัตต์ (จ) 125 วัตต์ และ (ฉ) 150 วัตต์

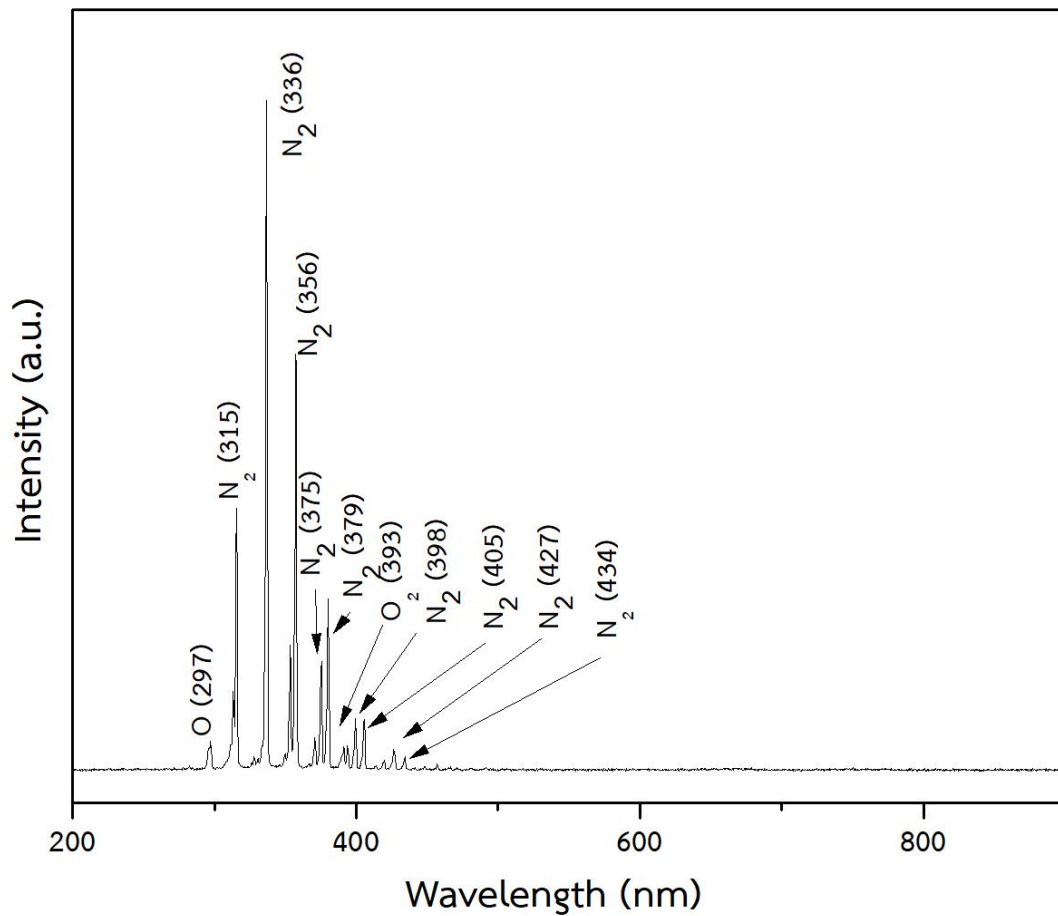
4.2 ผลการทดลองจากการใช้เทคนิคพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าว

4.2.1 การศึกษาความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (Optical Emission Spectroscopy: OES)

เมื่อทำการศึกษารวดค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระในพลาสมาก่อนมีตัวอย่างแป้งข้าวจากภาพที่ 49 แสดงอนุภาคอิสระที่สำคัญคือ N_2 และ O นอกจากนี้ยังพบ O_3 จากตำแหน่งของ O ที่ 296.3 นาโนเมตร และจุดสูงสุดที่พบคือกลุ่มของอะตอม N_2 ที่ 315.0 - 391.1 นาโนเมตร และที่ 398.0-434 นาโนเมตร (Calixto-Rodriguez และคณะ, 2010; Goujon และคณะ, 2004) และเมื่อนำตัวอย่างแป้งข้าวสามารถตรวจวัดค่าความหนาแน่นของอนุมูลอิสระของพลาสมาจากภาพที่ 50 พบอนุภาคอิสระที่สำคัญคือ N_2 O และ O_2 ซึ่งพบอนุมูลอิสระเหมือนกับสเปกตรัมของเครื่องพลาสมาที่ไม่มีตัวอย่างแป้งข้าว โดยเกิดการปลดปล่อยอนุมูลอิสระของ O ที่ 297.4 นาโนเมตร และพบอนุมูลอิสระของ O_2 ที่ 393.8 นาโนเมตร และอนุมูลอิสระของกลุ่มอะตอม N_2 ที่ 315.0 - 393.7 นาโนเมตร และที่ 400.0 - 433.4 นาโนเมตร (Calixto-Rodriguez และคณะ, 2010; Goujon และคณะ, 2004) และได้ทำการศึกษาอนุมูลของโอโซน (O_3) และ ไนตริกออกไซด์ (NO) โดย โอโซน (O_3) และ ไนตริกออกไซด์ (NO) ไม่สามารถวัดด้วยเทคนิค OES ได้ ดังนั้นเราจึงได้ทำการวัดด้วยเครื่องมือในการตรวจจับความเข้มข้นก๊าซโอโซนและไนตริกออกไซด์ โดยจะใช้เครื่องมือรุ่น SKY2000 ในการตรวจจับไนตริกออกไซด์ (NO) และ โอโซน (O_3) ซึ่งสามารถวัดค่าของโอโซน (O_3) ได้ที่ปริมาณ 280 ppm และวัดปริมาณของไนตริกออกไซด์ (NO) ได้ที่ปริมาณ 100 ppm ซึ่งอนุมูลของโอโซน (O_3) สามารถเกิดขึ้นโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง O กับ O_2 และไนตริกออกไซด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง O กับ N_2 ที่เกิดขึ้นในพลาสมา (Aboubakr และคณะ, 2016; Kang และคณะ, 2015) ดังนั้นจากการศึกษาและการทดสอบคุณสมบัติของพลาสมา จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าอนุมูลอิสระของ O_3 และ NO ที่เกิดขึ้นส่งผลในการช่วยยับยั้งสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่างแป้งข้าวและสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านอื่นได้ด้วย



ภาพที่ 49 สเปกตรัมของพลาสมาความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD)

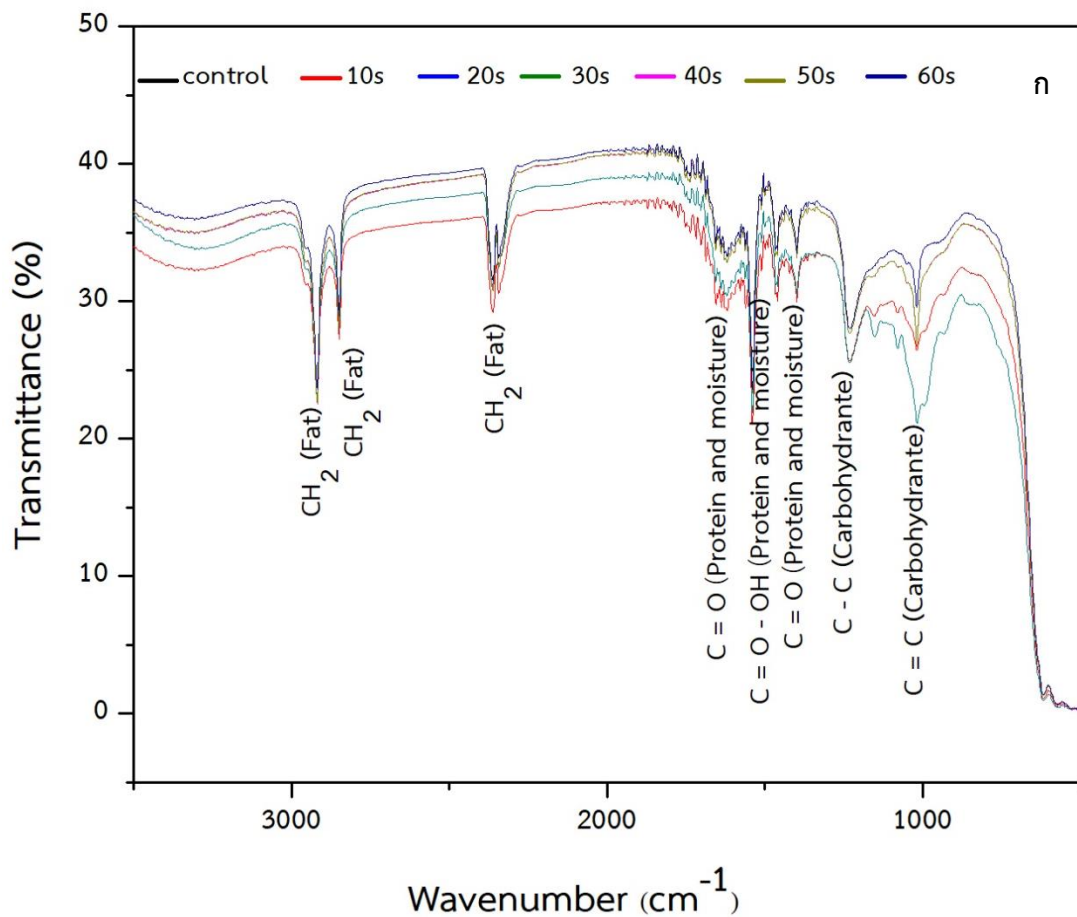


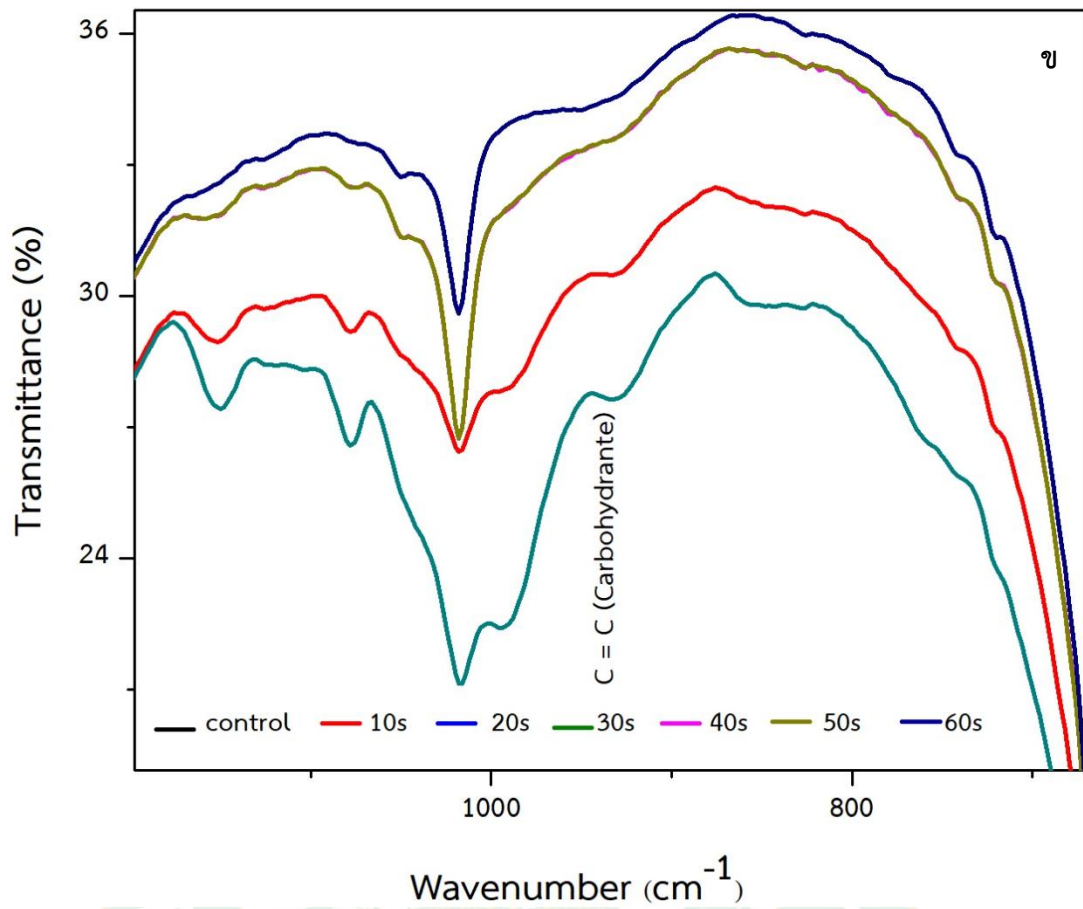
ภาพที่ 50 สเปกตรัมของพลาสมาความดันบรรยากาศแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (DBD) ขณะที่มีตัวอย่างแป้งข้าว

4.2.2 การศึกษาลักษณะทางพันธะเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR จากการศึกษผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของแป้งข้าวโดยทั่วไปพบหมู่ฟังก์ชันของ CH_2 $\text{C} - \text{O} - \text{C} = \text{O}$ และ $\text{C} - \text{N}$ เป็นต้น (Romdhane Karoui, 2010) จากภาพที่ 51ก พบว่าตัวอย่างแป้งข้าวหลังการอาบด้วยพลาสมาโดยพบโครงสร้างไขมัน $3000 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ และ 2300 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของ CH_2 โครงสร้างโปรตีนและความชื้นที่ $1,700 - 1,300 \text{ cm}^{-1}$ ผลจากโครงสร้าง $\text{C} = \text{O}$ และ $\text{C} - \text{O} - \text{OH}$ และคาร์โบไฮเดรตที่ $1200 - 1,000 \text{ cm}^{-1}$ จากพันธะของ $\text{C} - \text{O}$ และ $\text{C} = \text{C}$ (Romdhane Karoui, 2010; E. Xu และคณะ, 2016; L. Xu และคณะ, 2017) ลักษณะสเปกตรัมของแป้งข้าวพบว่าการเชื่อมโยงกับองค์ประกอบทางเคมีเริ่มต้นและโครงสร้างโปรตีนคาร์โบไฮเดรตและโครงสร้างไขมัน ตัวอย่างที่ผ่าน

การอบพลาสมามีลักษณะของโครงสร้างที่คล้ายกันกับตัวอย่างที่ไม่ได้รับการอบด้วยพลาสมา อย่างไรก็ตามผลการศึกษาแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างตัวอย่างก่อนและหลังอบด้วยพลาสมาพบว่าโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตจากภาพที่ 51 ข เกิดการลดลงของความยาวพันธะ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวพันธะอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการที่อนุมูลอิสระในพลาสมาเข้าไปทำให้พันธะที่ยึดเกาะกันในโครงสร้างของตัวอย่างแป้งข้าวเกิดการสั่นและส่งผลให้กระทบกับอะตอมใกล้เคียงจึงทำโครงสร้างเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ส่งผลถึงขนาดทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างเดิม





ภาพที่ 51 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR (ก) ของตัวอย่างก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาแบบ ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิซชาร์จที่ระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที (ข) ส่วนขยายของพันธะคาร์โบไฮเดรต

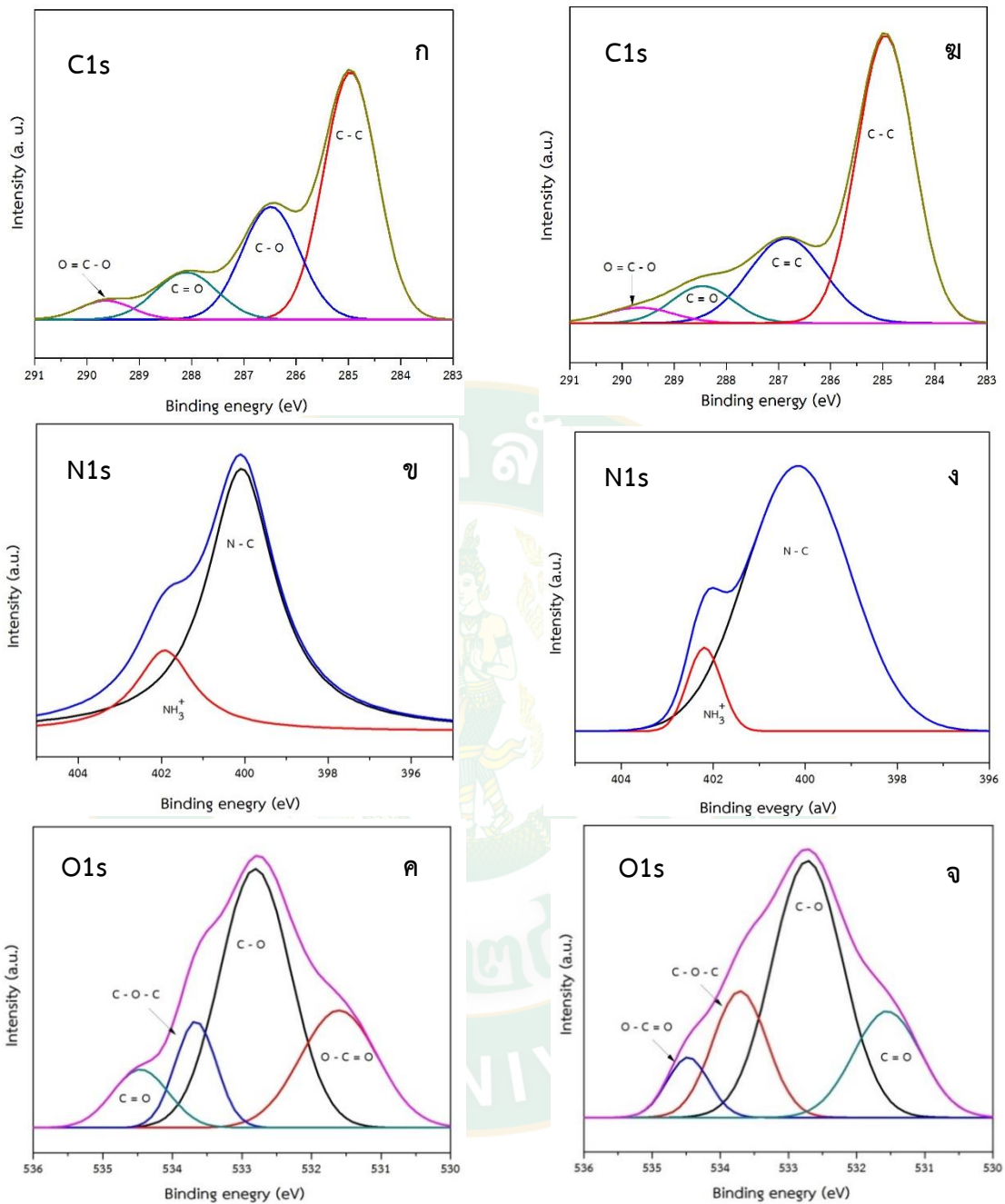
4.2.3 การศึกษาวิเคราะห์เชิงปริมาณสำหรับหาค่าองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งข้าวก่อนและหลังอบด้วยพลาสมา พบว่าประกอบไปด้วยองค์ประกอบของอะตอมหลักสามชนิด ได้แก่ C O และ N เป็นต้น

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค XPS

| เวลาในการอบด้วยพลาสมา (วินาที) | หมู่ฟังก์ชัน | | | | |
|--------------------------------|--------------|------|-------|-------|------|
| | C | N | O | C/N | C/O |
| 0 | 73.41 | 3.55 | 23.04 | 20.68 | 3.15 |
| 10 | 70.09 | 3.60 | 26.31 | 19.45 | 2.66 |
| 20 | 69.57 | 3.76 | 26.67 | 18.50 | 2.61 |
| 30 | 66.58 | 3.28 | 30.14 | 20.29 | 2.21 |
| 40 | 68.72 | 3.53 | 27.75 | 19.47 | 2.48 |
| 50 | 70.38 | 3.14 | 26.48 | 22.41 | 2.66 |
| 60 | 69.97 | 3.34 | 26.69 | 20.95 | 2.62 |

จากตารางที่ 5 บ่งชี้ถึงปริมาณสารสัมพันธ์ของ C/N และ C/O พบว่า ตัวอย่างแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมาและที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา พบผลของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการ คือ จากภาพที่ 52 แสดงองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วยตำแหน่งของกลุ่มคาร์บอน (C1s) คือ C-H / C - C ที่ตำแหน่ง 285.0 อิเล็กตรอนโวลต์ C - O ที่ตำแหน่ง 286.5 อิเล็กตรอนโวลต์ C = O ที่ตำแหน่ง 288.0 อิเล็กตรอนโวลต์ และ O = CO ที่ตำแหน่ง 289.0 อิเล็กตรอนโวลต์ (Cao และคณะ, 2016; Puliyalil และคณะ, 2016) ตำแหน่งการเกิดของไนโตรเจน (N1s) ประกอบด้วย 400.0 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 401.9 อิเล็กตรอนโวลต์ (NH₃⁺) (Z. X. Xu และคณะ, 2011) ซึ่งหลังจากตรวจสอบตัวอย่างหลังผ่านการอบด้วยพลาสมาของไนโตรเจนพบว่ามีการเกิดของเอมีนและเอไมด์ที่เปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากการที่พลาสมาเข้าไปทำปฏิกิริยากับตัวอย่างแป้งข้าวจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของกลุ่มเอมีนและเอไมด์ลดลง (Chan และคณะ, 2018) และกลุ่มของออกซิเจน (O1s) สามารถแบ่งออกเป็น C = O C - O C - O - C และ O - C = O ที่ตำแหน่งสูงสุดที่ 531.3, 532.8 และ 534.7 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ (Genisel และคณะ, 2011; Peng และคณะ, 2017; Xiaojun He, 2013; Zheng และคณะ, 2017)

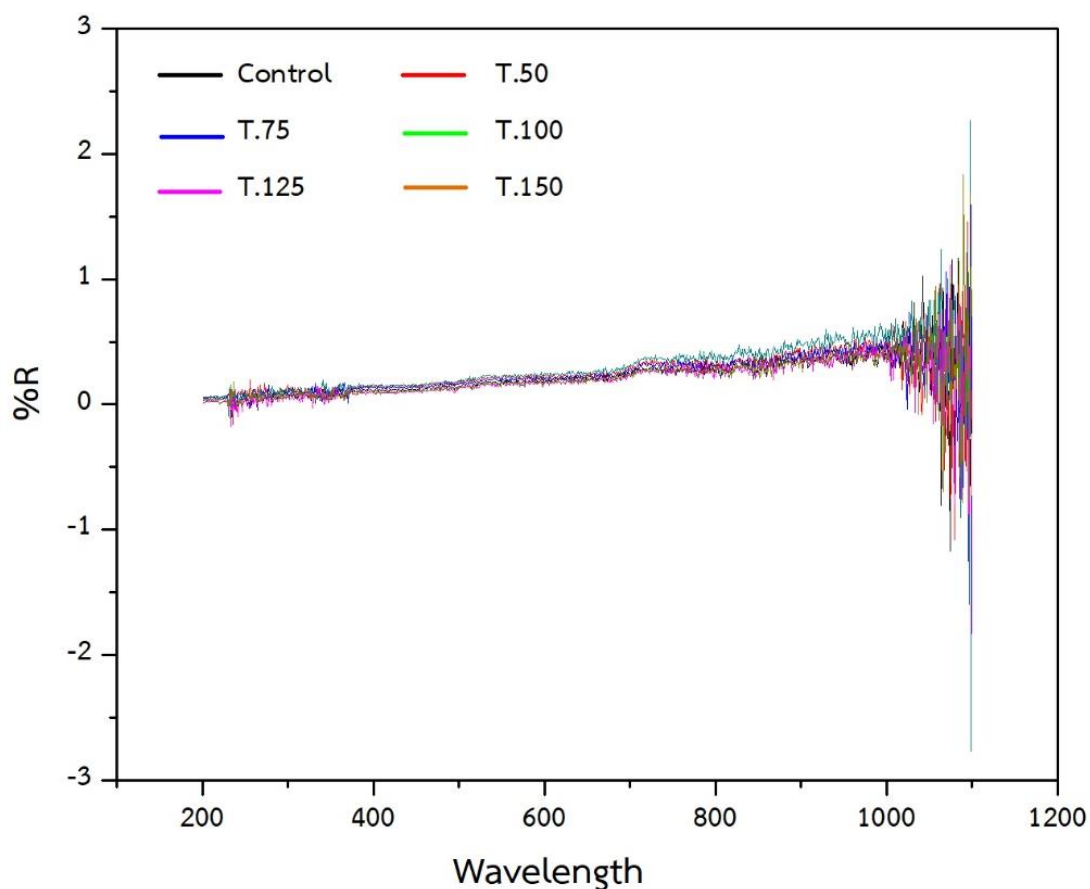


ภาพที่ 52 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์-ดิสชาร์จ (ก) คาร์บอน (C1s) (ข) ไนโตรเจน (N1s) (ค) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างก่อนอาบด้วยพลาสมา และ (ข) คาร์บอน (C1s) (ง) ไนโตรเจน (N1s) (จ) ออกซิเจน (O1s) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมา

ซึ่งจากพันธะที่พบเกิดจากพลาสมาเข้าทำปฏิกิริยากับกลุ่มของคาร์บอนและออกซิเจนที่มีอยู่ในโครงสร้างของแป้ง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอนุมูลอิสระและองค์ประกอบที่เกิดขึ้นของพลาสมาส่งผลให้พันธะของกลุ่ม $C - O$ $C = O$ และ $C = CO$ ซึ่งเป็นพันธะของโมเลกุลของกลุ่มที่มีขีดลดลงจึงทำให้ตัวอย่างแป้งข้าวมีความสามารถในการซึบน้ำเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้พบว่าพันธะ $C - C$ ที่เกิดขึ้นหลังจากตัวอย่างผ่านการอบด้วยพลาสมามีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้โมเลกุลของกลุ่มของไม่มีขีดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ตัวอย่างสามารถดูดซึบน้ำมันได้ดี ซึ่งการทดสอบด้วยเทคนิค XPS จะแสดงผลในรูปแบบขององค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งมีผลของพันธะที่สอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งจากผลการทดสอบพบโครงสร้าง $C = O$ $C - N$ และ $C = O - OH$ เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS พบพันธะเหล่านี้เช่นกัน ดังนั้นผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XPS จึงสามารถช่วยสนับสนุนผลของการพบโครงสร้างที่เกิดขึ้นในตัวอย่างแป้งข้าวจากเทคนิค FTIR

4.2.4 การศึกษาการดูดซับและการสะท้อนแสงของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ตและวิชีเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy: UV-Vis spectroscopy)

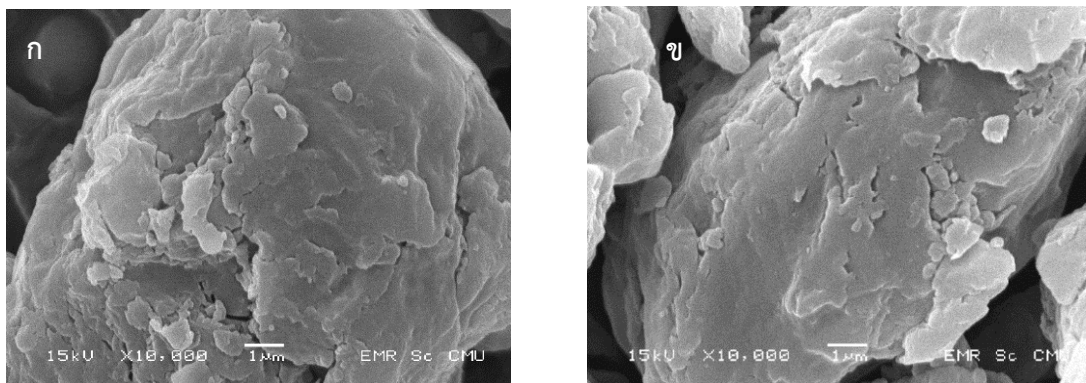
จากการศึกษาการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนของตัวอย่างแป้งข้าวเพื่อตรวจสอบค่าการกระจายตัวของแสงในตัวอย่างแป้งข้าวด้วยเทคนิค UV - Visible Spectroscopy ซึ่งจากงานวิจัยสนใจศึกษาในช่วงของยูวีซีบีลช่วงความยาวคลื่น 200 - 800 นาโนเมตร จากภาพที่ 53 พบว่าค่าของการสะท้อนแสงในช่วงของยูวีซีบีลของตัวอย่างแป้งข้าวก่อนและหลังอบด้วยพลาสมาไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนแสงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงส่งผลให้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแป้งข้าวมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงอยู่ก่อนแล้วจึงส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังอบด้วยพลาสมา



ภาพที่ 53 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-Vis ก่อนและหลังอาบพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ์ที่ระยะเวลา 0 10 20 30 40 50 และ 60 วินาที

4.2.5 การศึกษาลักษณะสัณฐานบนชิ้นงานตัวอย่างแป้งข้าวที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

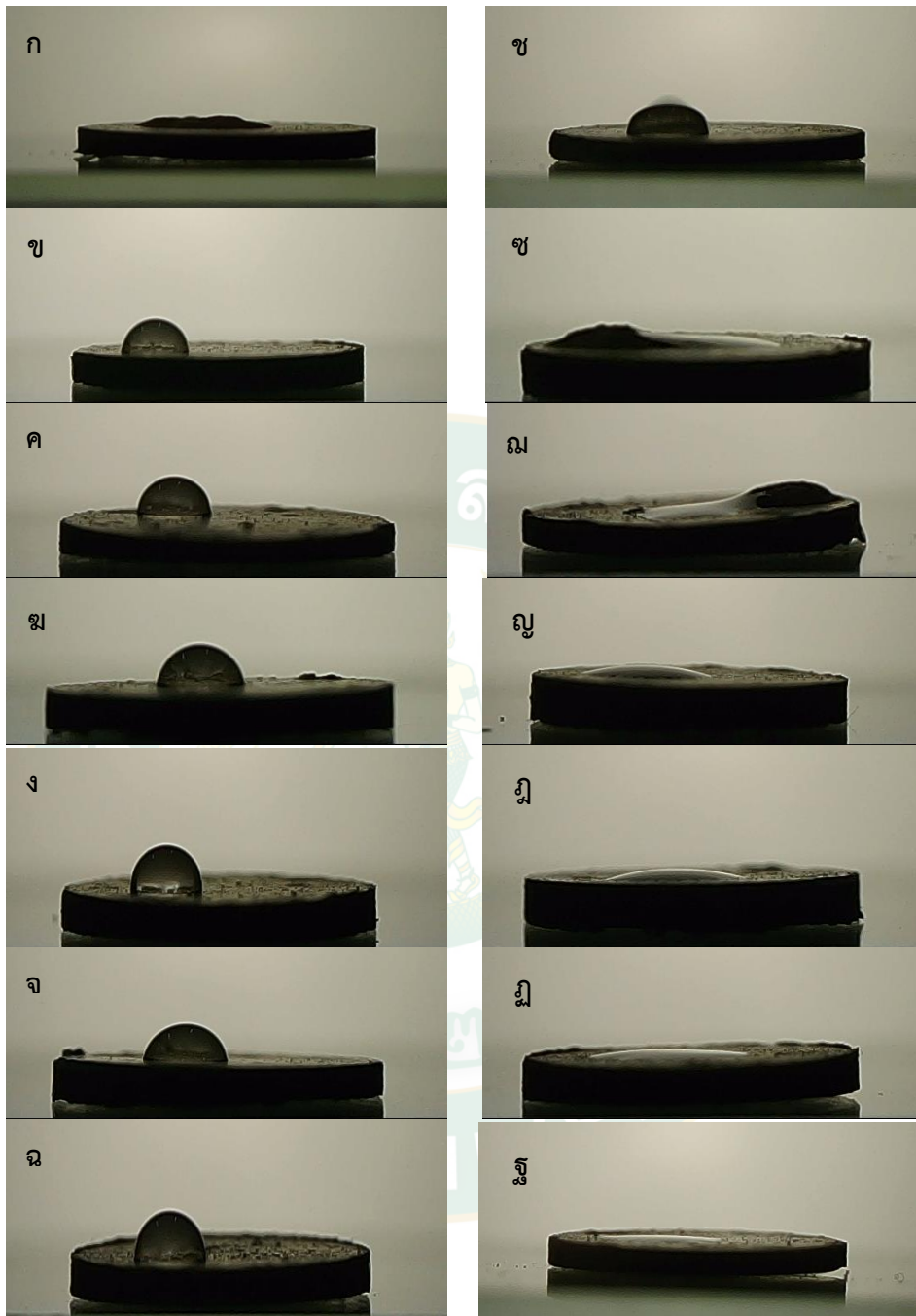
จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (SEM) ของตัวอย่างแป้งข้าวจากภาพที่ 54 ตัวอย่างที่ไม่ได้อาบด้วยพลาสมาแบบไดอิเล็กทริกแบริเออร์ (DBD) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแป้งข้าวมีรูปร่างที่เรียบ และเมื่อศึกษาตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาพบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของตัวอย่างไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากพลังงานพลาสมาที่เข้าไปทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของตัวอย่างแป้งข้าวไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของชิ้นงาน จึงส่งผลให้มีตัวอย่างของก่อนและหลังที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมามีลักษณะของพื้นผิวคล้ายคลึงกัน (Guo และคณะ, 2017)



ภาพที่ 54 ตัวอย่าง (ก) ก่อนอบด้วยพลาสมา และ (ข) ผ่านการอบด้วยพลาสมาแบบ ไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ดิสชาร์จ

4.2.6 การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งข้าว

จากการศึกษาการวัดคุณสมบัติของการดูดซับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างแป้งข้าวด้วยการปรับปรุงด้วยพลาสมาจากภาพที่ 55 พบว่าตัวอย่างที่ไม่ได้การอบด้วยพลาสมาสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมา ซึ่งหยดน้ำถูกดูดซับเข้าไปในแป้งข้าวอย่างรวดเร็วและหลังจากตัวอย่างผ่านการอบด้วยพลาสมาตัวอย่างสามารถดูดซับน้ำลดลง แต่ในทางกลับกันความสามารถในการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มตรงกันข้าม คือเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งผลจากการดูดซับเกิดจากขั้วของโครงสร้างแป้งข้าว หลังจากตัวอย่างผ่านการอบด้วยพลาสมาเกิดการเชื่อมโยงกันในโครงสร้างแป้งข้าวจึงส่งผลให้โมเลกุลมีขั้วลดลงและโมเลกุลไม่มีขั้วเพิ่มขึ้นที่บริเวณบนพื้นผิวของตัวอย่างแป้งข้าว



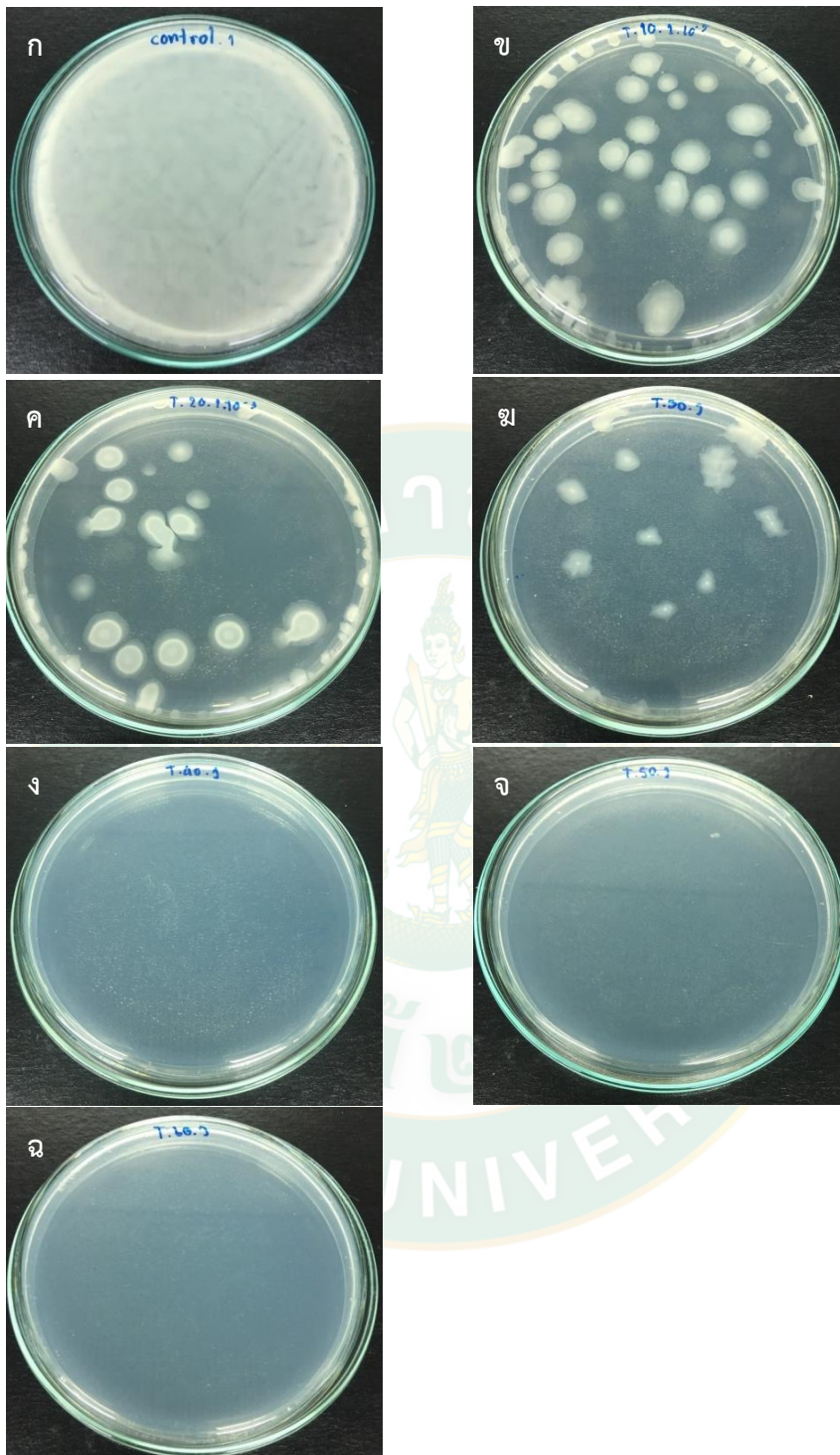
ภาพที่ 55 ผลการเปรียบเทียบของตัวอย่างการดูดซึมโดยใช้พลาสติกแบบไดอิลิเกทริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ (ก) การดูดซับน้ำของตัวควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสติก) และตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสติกที่เวลาที่แตกต่างกันคือ (ข) 10 วินาที (ค) 20 วินาที (ง) 30 วินาที (จ) 40 วินาที (ฉ) 50 วินาที และ (ฉ) 60 วินาที (ข) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของการควบคุม (ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสติก) การดูดซึมน้ำมัน squalene ของตัวอย่างที่ผ่านการ

อาบด้วยการอาบด้วยพลาสมาที่เวลาที่แตกต่างกันคือ (ซ) 10 วินาที (ฅ) 20 วินาที (ญ) 30 วินาที (ฎ) 40 วินาที (ฏ) 50 วินาที และ (ฐ) 60 วินาที

4.2.7 การศึกษาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังตัวอย่างที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมา

จากผลทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ของแป้งข้าวโดยการอาบด้วยพลาสมาจากภาพที่ 56 จากผลการวิจัยพบว่าพลาสมา DBD สามารถฆ่าเชื้อแป้งข้าวได้เนื่องจากพบกลุ่มของโอโซน (O_3) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งสองกลุ่มจะเกิดขึ้นได้จากการที่พลาสมาแตกตัวในอากาศ ซึ่งการพบกลุ่มเหล่านี้มีผลจากการศึกษาการวัดค่าของอนุมูลอิสระที่พบ O O_2 และ N_2 ซึ่งสามารถนำไปสู่การเกิดกลุ่มของโอโซนและไนตริกออกไซด์ได้ ซึ่งจากการศึกษาจึงสามารถระบุได้ว่ากลุ่มอนุมูลอิสระของโอโซน (O_3) และไนตริกออกไซด์ (NO) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Kang และคณะ, 2015) ดังนั้นจากการทดสอบพลาสมาสามารถช่วยในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างของแป้งข้าวได้





ภาพที่ 56 (ก) ตัวอย่างแบคทีเรียก่อนฉายด้วยพลาสมาตัวอย่างหลังฉายด้วยพลาสมาชนิดพลาสมาได - อเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จที่ระยะเวลา (ข) 10 วินาที (ค) 20 วินาที (ง) 30 วินาที (จ) 40 วินาที (ฉ) 50 วินาที และ (ฉ) 60 วินาที

บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากการผลงานวิจัยโดยการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาซึ่งได้ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ พลาสมาความดันต่ำ และพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ สามารถสรุปผลงานวิจัยได้โดยจะสรุปผลแยกเป็นของแต่ละชนิดดังนี้

5.1 การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาความดันต่ำ

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาความดันต่ำ พบว่าเมื่อวัดค่าความหนาแน่นอนุภาคของพลาสมาพบอนุภาคลิเธียมที่สำคัญคือ NO O OH N_2 $\text{H}\beta$ N_2 N H_2 $\text{H}\alpha$ และ Ar ซึ่งการพบอนุภาคลิเธียมเหล่านี้เกิดขึ้นจากการแตกตัวของอะตอมของก๊าซอาร์กอนที่เข้าไปชนกันอิเล็กตรอนอิสระในระบบซึ่งจะพบค่าความหนาแน่นของอนุภาคลิเธียมมากขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ให้เข้าไปในระบบ และเมื่อทำการทดสอบองค์ประกอบของตัวอย่างแป้งข้าว พบโครงสร้างกลุ่มไขมัน และโปรตีน ซึ่งโครงสร้างของกลุ่มไขมัน และ โปรตีนสามารถตรวจพบได้ด้วยเทคนิค ATR - FTIR ซึ่งนอกจากนี้ยังพบกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตซึ่งกลุ่มโครงสร้างเหล่านี้เป็นกลุ่มที่มีอยู่ในตัวอย่างแป้งข้าว และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS ยังสนับสนุนกับบทสรุปของเทคนิค ATR - FTIR ซึ่งผลการวิเคราะห์ของเทคนิค XPS พบว่าโมเลกุลของกลุ่มที่มีซัลฟิดลดลง และโมเลกุลของกลุ่มที่ไม่มีซัลฟิดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถของการดูดซึมน้ำในตัวอย่างลดลง แต่เกิดการดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้น และเมื่ออะตอมของ Ar ที่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวของพลาสมาทำให้เมื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างพบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมามีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระและมีความละเอียดเกิดขึ้นบนพื้นผิวซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอาบด้วยพลาสมามีลักษณะของพื้นผิวที่เรียบ แต่ผลการทดลองการสะท้อนแสงพบว่าก่อนและหลังของตัวอย่างที่ผ่านการอาบด้วยพลาสมาไม่มีการเปลี่ยนแปลง สุดท้ายผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์พบว่าพลาสมาสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ซึ่งเป็นผลมาจากกลุ่มของไฮดรอกซิล (OH) โดยกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) มีฤทธิ์รุนแรงต่อการเซลล์แบคทีเรีย โดยจะเข้าไปออกซิไดซ์หมู่ฟอสโฟลิปิดของแบคทีเรียที่เยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เกิดการเสียหายของเซลล์และมีผลต่อกลุ่มไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเกิดจากอนุภาคลิเธียมซึมผ่านเข้าไปได้สูง ส่งผลให้ระบบความสามารถในการซึมผ่านเข้าออกของเยื่อหุ้มเซลล์เสียหายจึงเกิดการเสียชีวิตของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์แบคทีเรียฝ่อและตายไปในที่สุด

5.2 การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวด้วยเทคนิคพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวโดยใช้พลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ ดิสชาร์จ สังเกตได้ว่าตัวอย่างของแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการอบด้วยพลาสมามีลักษณะผิวที่เรียบซึ่งเกิดจากกำลังไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบจึงส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงส่งผลให้มีลักษณะของพื้นผิวคล้ายกับตัวอย่างที่ผ่านการอบการด้วยพลาสมา การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบว่าการแยกองค์ประกอบเกิดจากการเชื่อมของพันธะทางเคมีในโครงสร้างแป้งข้าวโดยของโครงสร้างบนพื้นผิวของเทคนิค XPS ยังสนับสนุนบทสรุปของ FTIR จากการวิเคราะห์ XPS พบว่าผลของปฏิกิริยาทางเคมีของกระบวนการตัวอย่างสะท้อนให้เห็นถึงระดับของการเชื่อมโยงข้ามกันของพันธะในโครงสร้างของแป้งข้าว ดังนั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมามีการดูดซับน้ำลดลง แต่การดูดซับน้ำมันของตัวอย่างแป้งข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนแปลง และตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยพลาสมาพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ลดลงและไม่พบเชื้อจุลินทรีย์เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถระบุได้จากการตรวจพบอนุมูลของพลาสมาจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค OES ที่ตรวจพบอนุมูลอิสระของ N_2 O และ O_2 ซึ่งอนุมูลของ O และ O_2 เมื่อทำปฏิกิริยากันจะเกิดเป็น O_3 และการพบอนุมูลของไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง O กับ N_2 ซึ่งอนุมูลของทั้งสองชนิดสามารถช่วยในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่พลาสมาระบบนี้ไม่สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางการสะท้อนแสงได้

จากผลการศึกษาการใช้พลาสมาระบบความดันต่ำและพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ พบว่า พลาสมาทั้งสองระบบมีความสามารถในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการซับน้ำและดูดซับน้ำมัน ซึ่งสามารถทำให้แป้งข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ลดลงและดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้น และพลาสมาระบบความดันต่ำพบอนุมูลของไฮดรอกซิล และพลาสมาไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จพบกลุ่มของไอโซนและไนตริกออกไซด์ ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่ทั้งสองระบบไม่สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าพลาสมาทั้งสองระบบ สามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของแป้งข้าวได้

บรรณานุกรม

- กรมการข้าว. 2017. **ข้าวสังข์หยด เมืองพัทลุง** (พันธุ์ข้าวและคุณค่าทางโภชนาการ). (Publication.: <https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=1>)
- กระทรวงสาธารณสุข. 2559. **กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางค์ที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย**. 20. เซาว์นัพร ชีพประสพ, ฤทัยทิพย์ โอนมณี และหาสันต์ สาเหล็ม. 2559. **องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสในข้าวพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดพัทลุง**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- ทิพวิมล ไตรกุล. 2557. **การพัฒนาเครื่องกำเนิดพลาสติกแบบไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ติสซาร์จสำหรับเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข 31)**.
- ธีรวรรณ บุญวรรณ. 2550. **ฟิลิกส์ของพลาสติก**. ศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปานทิพย์ ผดุงศิลป์. 2555. **การพัฒนาและแปรรูปข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ขนมเกลียว**. มหาวิทยาลัยราชชมงคลพระนครเหนือ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล. **จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงษ์ระวี พันธุ์บุญปลูก. 2557. **การตัดแปรมีวของพอลิเมอร์เมทิลเมทาคริเลตโดยเจ็ทพลาสติกอาร์กอน/เฮกซะเมทิลไดโลเซนเพื่อการประยุกต์ทางทันตกรรม**.
- พิชญ์ศักดิ์ จันทร์กุล. 2551. **ติสซาร์จไฟฟ้าของพลาสติกไอโซนไนเซอร์และการประยุกต์ใช้งาน**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ภัทรนกร ใจตรงค์. 2550. **การเตรียมเส้นใยแป้งข้าวเหนียวโดยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงสำหรับการนำส่งยา**.
- ภัทร์ สุขแสน. 2554. **พื้นผิวอัจฉริยะด้วยนาโนเทคโนโลยี**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 1(124-130. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2019. **เคมีและสมบัติของแป้ง**. (Publication.: <https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>)
- รศ.ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน. **การวิเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยเทคนิคทางสเปคโตรสโคปี**. [ระบบออนไลน์].
- ละอองนวล ศรีสมบัติ. 2555. **การสังเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยเทคนิค XPS.2**
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. **เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์:ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: พิมพ์ครั้งที่ 1.

- อัจฉราภรณ์ บุญมา. 2556. อิทธิพลของพลาสมาจากก๊าซต่อการดัดแปรคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์ม
พอลิแลคติกแอซิด
- อาทิตย์ ฉิ่งสูงเนิน, พิษณุ พูลเจริญศิลป์, วัลยา สุทธิขำ. 2016. การเพิ่มความชอบน้ำของผงไหมเซ
รีซินโดยใช้ลําพลาสมาเจ็ดที่ความดันบรรยากาศ. *J Sci Technol MSU*,35(1), 12-18.
- Aboubakr, Hamada A., Gangal, Urvashi, Youssef, Mohammed M., Goyal, Sagar M. and
Bruggeman, Peter J. 2016. Inactivation of virus in solution by cold atmospheric
pressure plasma: identification of chemical inactivation pathways. *Journal of
Physics D: Applied Physics*,49(20).
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V. and Ball, S. 1998. Starch granules: structure and
biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*,23(2), 85-
112.
- Bystrov, K., Morgan, T. W., Tanyeli, I., De Temmerman, G. and van de Sanden, M. C. M.
2013. Chemical sputtering of graphite by low temperature nitrogen plasmas at
various substrate temperatures and ion flux densities. *Journal of Applied
Physics*,114(13).
- Calixto-Rodriguez, M., Martínez, H., Peña, Y., Flores, O., Esparza-Ponce, H. E., Sanchez-
Juarez, A., Campos-Alvarez, J. and Reyes, P. 2010. A comparative study of the
physical properties of Sb_2S_3 thin films treated with N_2 AC plasma and thermal
annealing in N_2 . *Applied Surface Science*,256(8), 2428-2433.
- Cao, Wei, Wang, Zhenqian, Zeng, Qingling and Shen, Chunhua. 2016. ^{13}C NMR and XPS
characterization of anion adsorbent with quaternary ammonium groups prepared
from rice straw, corn stalk and sugarcane bagasse. *Applied Surface
Science*,389(404-410).
- Chan, Ke Vin, Onyshchenko, Iuliia, Nikiforov, Anton, Aziz, Gaëlle, Morent, Rino and De
Geyter, Nathalie. 2018. Plasma polymerization of cyclopropylamine with a sub-
atmospheric pressure DBD. *European Polymer Journal*,103(1-10).
- Chen, Faze, Liu, Shuo, Liu, Jiyu, Huang, Shuai, Xia, Guangqing, Song, Jinlong, Xu, Wenji,
Sun, Jing and Liu, Xin. 2016. Surface modification of tube inner wall by
transferred atmospheric pressure plasma. *Applied Surface Science*,389(967-
976).

- Chou, Chia-Man, Chuang, Chih-Cheng, Lin, Chia-Hao, Chung, Chi-Jen and He, Ju-Liang. 2011. Plasma diagnostics for pulsed-dc plasma-polymerizing para-xylene using QMS and OES. **Surface and Coatings Technology**,205(21-22), 4880-4885.
- Crookes, Sir William. 1879. **Science**. American Association for the Advancement of Science.
- Department of Foreign Trade, Ministry of Commerce, Thailand. 2016. **Rice Products and Innovations**. (Publication.: <http://www.thairiceforlife.com/en/riceproducts/index>)
- Dong, Xiao, Koga, Kazunori, Yamashita, Daisuke, Seo, Hyunwoong, Itagaki, Naho, Shiratani, Masaharu, Setsuhara, Yuichi, Sekine, Makoto and Hori, Masaru. 2015. Effects of discharge voltage on the characteristics of a-C:H films prepared by H-assisted Plasma CVD method. **Transactions of the Materials Research Society of Japan**,40(2), 123-128.
- Genisel, Mustafa Fatih, Uddin, Md Nizam, Say, Zafer, Kulakci, Mustafa, Turan, Rasit, Gulseren, Oguz and Bengu, Erman. 2011. Bias in bonding behavior among boron, carbon, and nitrogen atoms in ion implanted a-BN, a-BC, and diamond like carbon films. **Journal of Applied Physics**,110(7).
- Gocić, Saša and Mladenović, Željko. 2018. Global model simulation of OH production in pulsed-DC atmospheric pressure helium-air plasma jets. **Open Physics**,16(1), 375-382.
- Goujon, M., Belmonte, T. and Henrion, G. 2004. OES and FTIR diagnostics of HMDSO/O₂ gas mixtures for SiO_x deposition assisted by RF plasma. **Surface and Coatings Technology**,188-189(756-761).
- Guo, Q., Wang, Y., Zhang, H., Qu, G., Wang, T., Sun, Q. and Liang, D. 2017. Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. **Sci Rep**,7(1), 16680.
- Han, L., Patil, S., Boehm, D., Milosavljevic, V., Cullen, P. J. and Bourke, P. 2016. Mechanisms of Inactivation by High-Voltage Atmospheric Cold Plasma Differ for Escherichia coli and Staphylococcus aureus. **Appl Environ Microbiol**,82(2), 450-458.

- Hizukri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance. **Carbohydrate Res**,147(2), 342-347.
- Jian Yang, Jianzhong Bei and Shenguo Wang. 2002. Enhanced cell affinity of poly (d,l-lactide) by combining plasma treatment with collagen anchorage. **Biomaterials**,23(2607–2614).
- Kang, S. K., Kim, H. Y., Yun, G. S. and Lee, J. K. 2015. Portable microwave air plasma device for wound healing. **Plasma Sources Science and Technology**,24(3).
- Kiristi, Melek, Bozduman, Ferhat, Oksuz, Aysegul Uygun, Hala, Ahmed and Oksuz, Lutfi. 2015. A Comparison Study of Microwave and Radio Frequency Plasma Polymerized PEDOT Thin Films. **Journal of Macromolecular Science, Part A**,52(2), 124-129.
- Kogelschatz, U., Eliasson, B. and Egli, W. 1997. Dielectric-Barrier Discharges. Principle and Applications. **Le Journal de Physique IV**,07(C4), C4-47-C44-66.
- Kong&Davison. 1980. **Effects of Olive Oil on Superoxide Dismutase Activity in the Brain of Newborn and Young Female Rats**. Laboratory for Molecular Biology and Endocrinology.
- Li, L., Nikiforov, A., Britun, N., Snyders, R. and Leys, C. 2015. Emission and absorption spectroscopy study of Ar excited states in 13.56 MHz argon plasma operating at sub-atmospheric to atmospheric pressure. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**,107(75-85).
- Peng, Xin, Shen, Shuguang, Wang, Chunyan, Li, Tianjin, Li, Yehui, Yuan, Shujuan and Wen, Xing. 2017. Influence of relative proportions of cellulose and lignin on carbon-based solid acid for cellulose hydrolysis. **Molecular Catalysis**,442 (133-139).
- Puliyalil, H., Filipič, G., Kovač, J., Mozetič, M., Thomas, S. and Cvelbar, U. 2016. Tackling chemical etching and its mechanisms of polyphenolic composites in various reactive low temperature plasmas. **RSC Advances**,6(97), 95120-95128.
- Rezaei, F., Nikiforov, A., Morent, R. and De Geyter, N. 2018. Plasma Modification of Poly Lactic Acid Solutions to Generate High Quality Electrospun PLA Nanofibers. **Sci Rep**,8(1), 2241.
- Romdhane Karoui, Gerard Downey, and Christophe Blecker. 2010. Mid-Infrared Spectroscopy Coupled with Chemometrics: A Tool for the Analysis of Intact Food

- Systems and the Exploration of Their Molecular Structure-Quality Relationships - A Review. **Chem. Rev**,110(6144-6168).
- S. Mokhtari, H. Faghihian. 2015. Modification of activated carbon by 2,6-diaminopyridine for separation of Hg ²⁺ from aqueous solutions. **Journal of Environmental Chemical Engineering**,3(3), 1662-1668.
- Sarangapani, Chaitanya, Thirumdas, Rohit, Devi, Yamuna, Trimukhe, Ajinkya, Deshmukh, Rajendra R. and Annapure, Uday S. 2016. Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour. **LWT - Food Science and Technology**,69(482-489).
- Sarangapani, Chaitanya, Yamuna Devi, R., Thirumdas, Rohit, Trimukhe, Ajinkya M., Deshmukh, Rajendra R. and Annapure, Uday S. 2017. Physico-chemical properties of low-pressure plasma treated black gram. **LWT - Food Science and Technology**,79(102-110).
- Schappe, R. Scott, Schulman, M. Bruce, Anderson, L. W. and Lin, Chun C. 1994. Measurements of cross sections for electron-impact excitation into the metastable levels of argon and number densities of metastable argon atoms. **Physical Review A**,50(1), 444-461.
- Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R. and Annapure, U. S. 2017. Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. **Carbohydr Polym**,157(1723-1731).
- Thirumdas, Rohit, Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R. and Annapure, U. S. 2016. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**,37(53-60).
- Tursi, A., De Vietro, N., Beneduci, A., Milella, A., Chidichimo, F., Fracassi, F. and Chidichimo, G. 2019. Low pressure plasma functionalized cellulose fiber for the remediation of petroleum hydrocarbons polluted water. **J Hazard Mater**,373(773-782).
- Wang, Chen, Chen, Jie-rong and Li, Ru. 2008. Studies on surface modification of poly(tetrafluoroethylene) film by remote and direct Ar plasma. **Applied Surface Science**,254(9), 2882-2888.

- Xiaojun He, Pinghua Ling, Moxin Yu, Xiaoting Wang, Xiaoyong Zhang, Mingdong Zheng. 2013. Rice husk-derived porous carbons with high capacitance by $ZnCl_2$ activation for supercapacitors. **Electrochimica Acta**,105(635-641).
- Xu, E., Wu, Z., Pan, X., Long, J., Wang, F., Xu, X., Jin, Z. and Jiao, A. 2016. Effect of enzymatic (thermostable alpha-amylase) treatment on the physicochemical and antioxidant properties of extruded rice incorporated with soybean flour. **Food Chem**,197(Pt A), 114-123.
- Xu, L., Chen, L., Ali, B., Yang, N., Chen, Y., Wu, F., Jin, Z. and Xu, X. 2017. Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi* L.). **Food Chem**,229(312-318).
- Xu, Z. X., Li, T., Zhong, Z. M., Zha, D. S., Wu, S. H., Liu, F. Q., Xiao, W. D., Jiang, X. R., Zhang, X. X. and Chen, J. T. 2011. Amide-linkage formed between ammonia plasma treated poly(D,L-lactide acid) scaffolds and bio-peptides: enhancement of cell adhesion and osteogenic differentiation in vitro. **Biopolymers**,95(10), 682-694.
- Zheng, P., Li, Y., Li, F., Ou, Y., Lin, Q. and Chen, N. 2017. **Development of Defatted Soy Flour-Based Adhesives by Acid Hydrolysis of Carbohydrates.**
- Zubair Farooq and Ashraf A. Ismail. 2012. **QA/QC of fl ours using the Agilent Cary 630 ATR-FTIR analyzer** (Publication., from 5991-0785EN:)



ภาคผนวก



สูตรอาหารและขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมอาหารแข็งโดยใช้สูตรอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ คือ Peptone 2.0 กรัม Beef Extract Powder 1.2 กรัม และ Agar 9.0 กรัม ต่อน้ำ DI 400 มิลลิลิตร
2. เตรียมอาหารเหลวโดยสูตรเหมือนข้อที่ 1 แต่ไม่เติม Agar ลงไปเนื่องจาก Agar จะส่งผลให้อาหารเกิดการแข็งตัว
3. อาหารทั้งสองประเภทจะผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสก่อนนำมาใช้งาน
4. นำอาหารที่เตรียมไว้ในสูตรข้อที่ 1 เทลงบนจานเลี้ยงเชื้อและทิ้งไว้เป็นเวลา 40 นาทีพร้อมทำการเปิดยูวีไว้เพื่อช่วยในการฆ่าเชื้อ
5. นำตัวอย่างแบ่งซ้ำที่ผ่านการอบด้วยพลาสติก LPP ที่กำลังไฟฟ้า 50, 75, 100, 125 และ 150 วัตต์เป็นเวลา 4 นาที มาใส่อาหารเหลวเพื่อนำไปทดสอบต่อไป
6. นำตัวอย่างแบ่งซ้ำที่ผ่านการอบด้วยพลาสติก DBD ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์เป็นเวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60 วินาที และ 4 นาที มาใส่อาหารเหลวเพื่อนำไปทดสอบต่อไป
7. ทำการหยดสารละลายตัวอย่างแบ่งซ้ำลงในอาหารแข็งที่ปริมาณ 200 ไมโครลิตร
8. ทิ้งไว้ในตู้บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลโดยการนับจำนวนของจุลินทรีย์ในตัวอย่างก่อนอบด้วยพลาสติก และหลังอบด้วยพลาสติก



(ก)



(ข)



(ค)

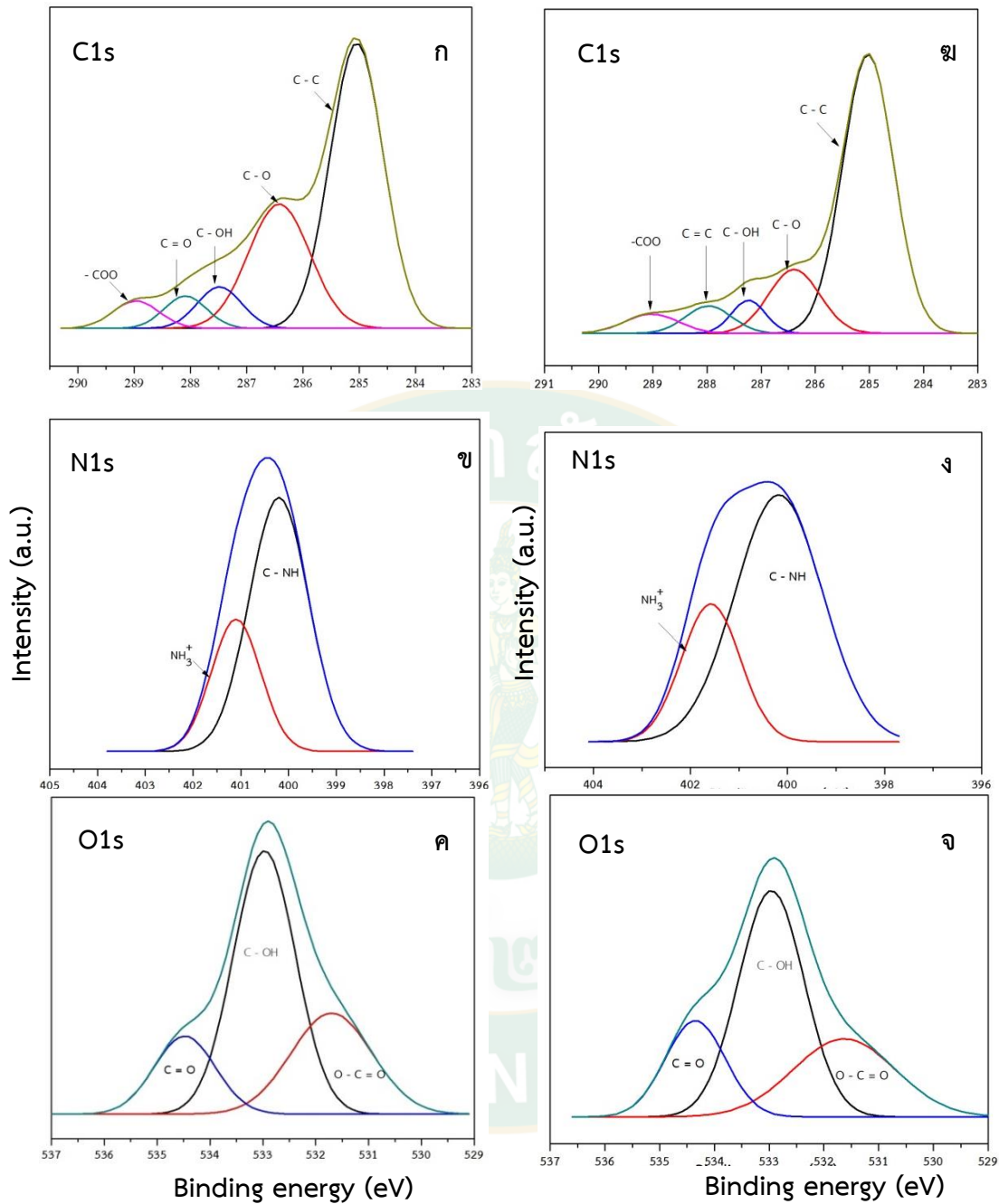


(ง)

ภาพผนวกที่ 1 แสดง (ก) หม้อ autoclave สำหรับฆ่าเชื้อ (ข) ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Incubator)

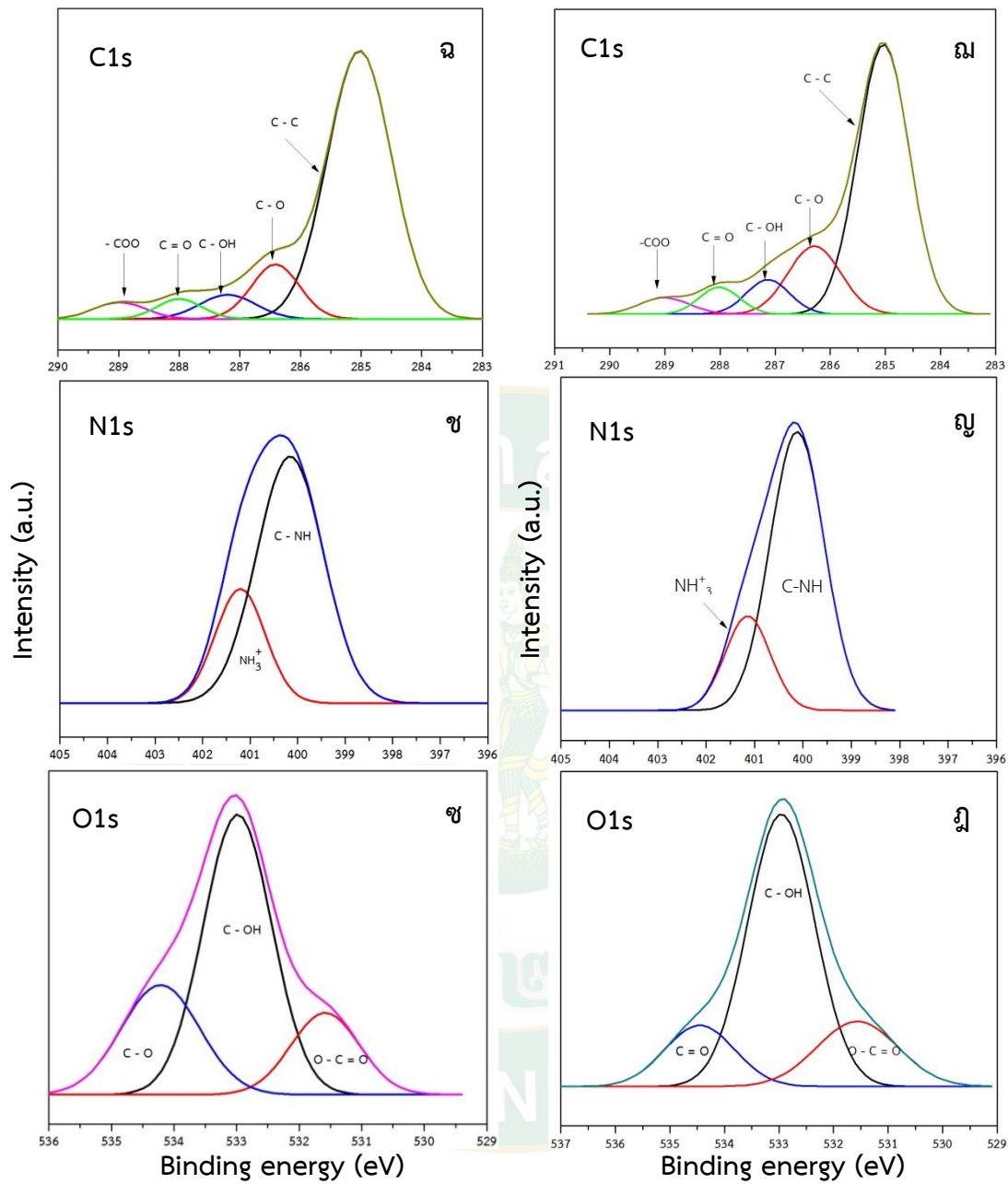
(ค) อาหารสำหรับเลี้ยงจุลินทรีย์ และ (ง) วิธีการทดสอบทางชีวภาพ



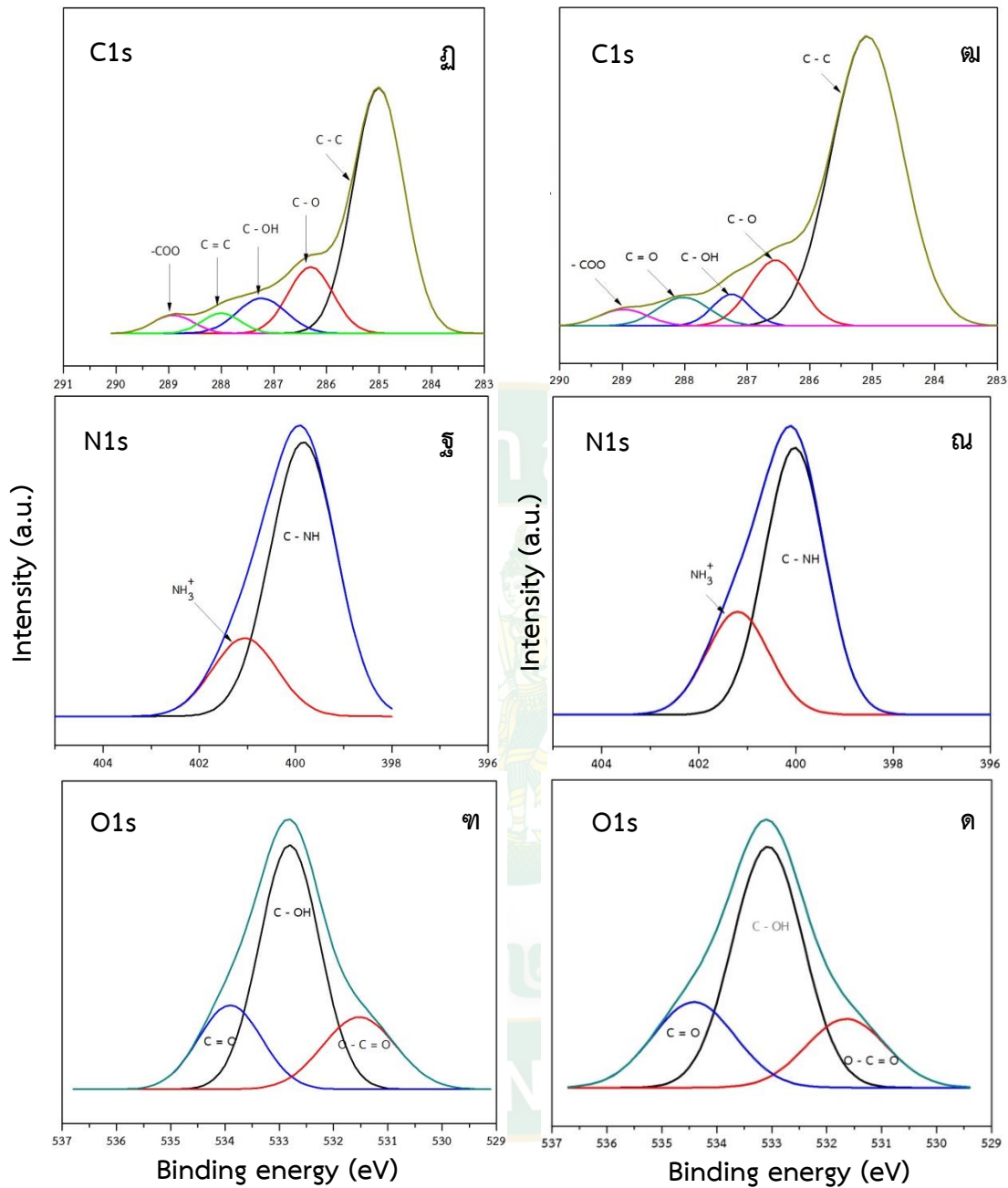


ภาพผนวกที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP)

(ก - ค) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างก่อนอาบด้วยพลาสมา และ (ข - จ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่พลังงานไฟฟ้า 50 วัตต์

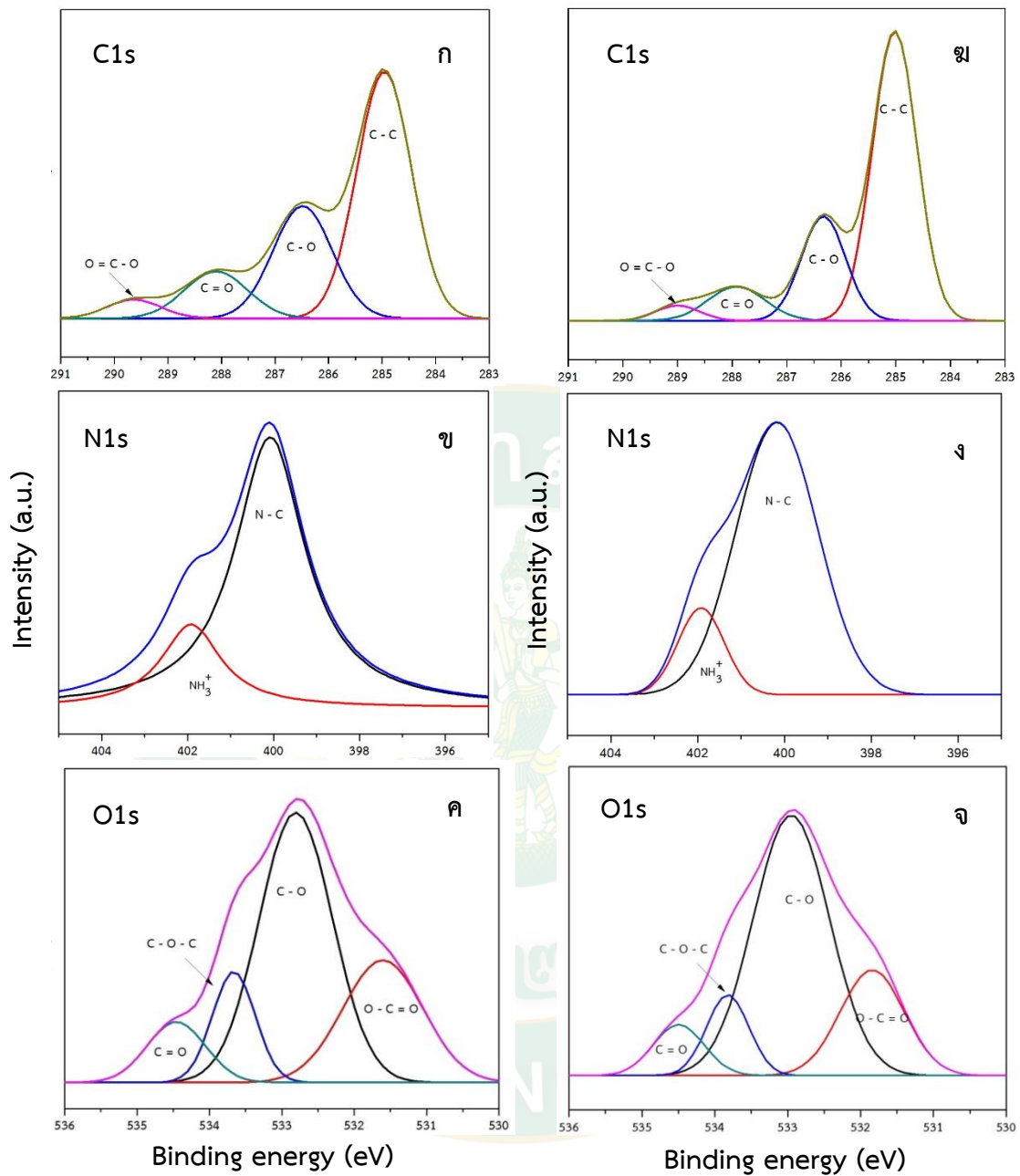


ภาพผนวกที่ 3 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังออบด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP) (จ - ฉ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังออบด้วยพลาสมาที่พลังงานไฟฟ้า 75 วัตต์ และ (ฉ - จ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังออบด้วยพลาสมาที่พลังงานไฟฟ้า 100 วัตต์

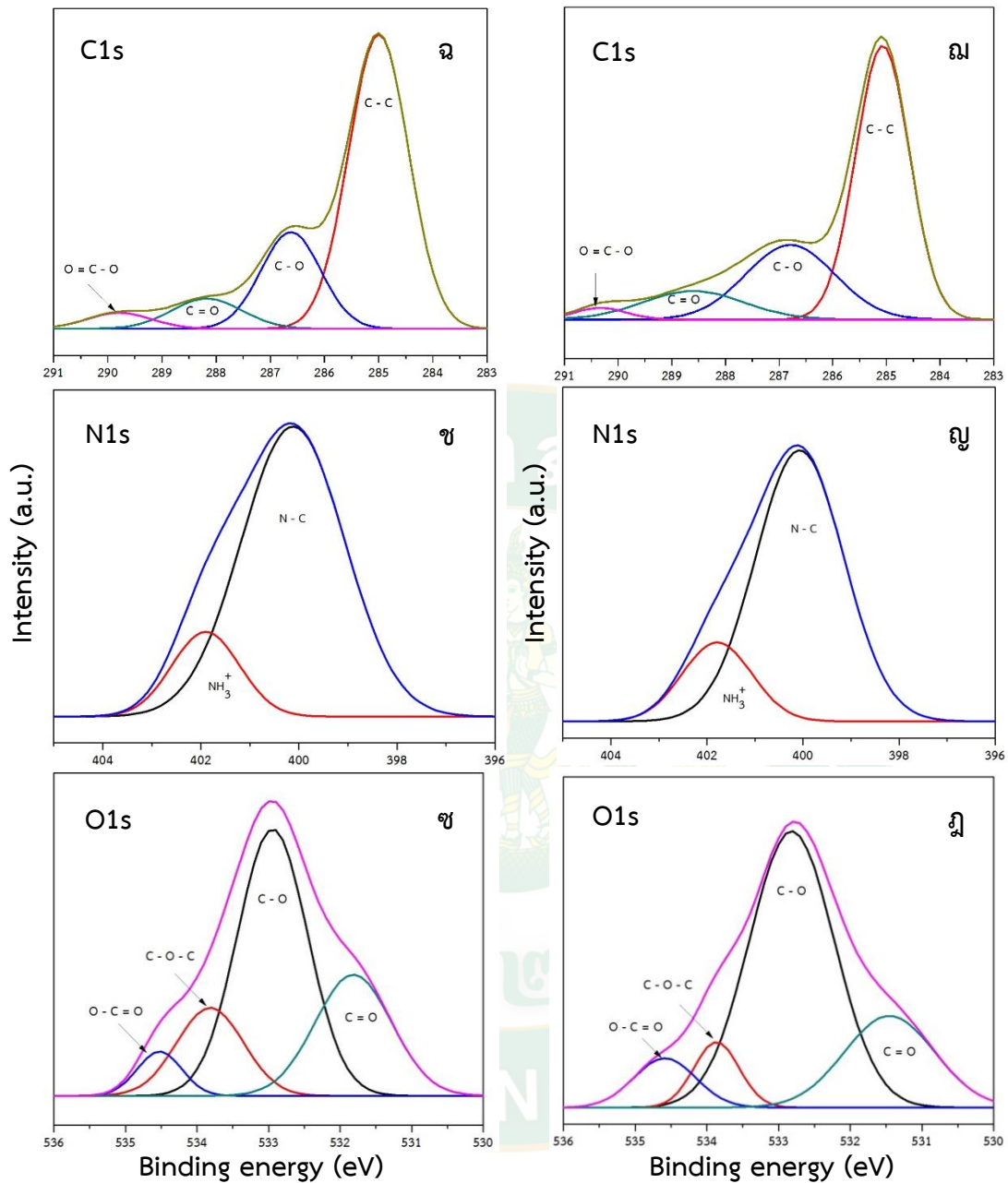


ภาพผนวกที่ 4 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังบำบัดด้วยพลาสมาชนิดความดันต่ำ (LPP)

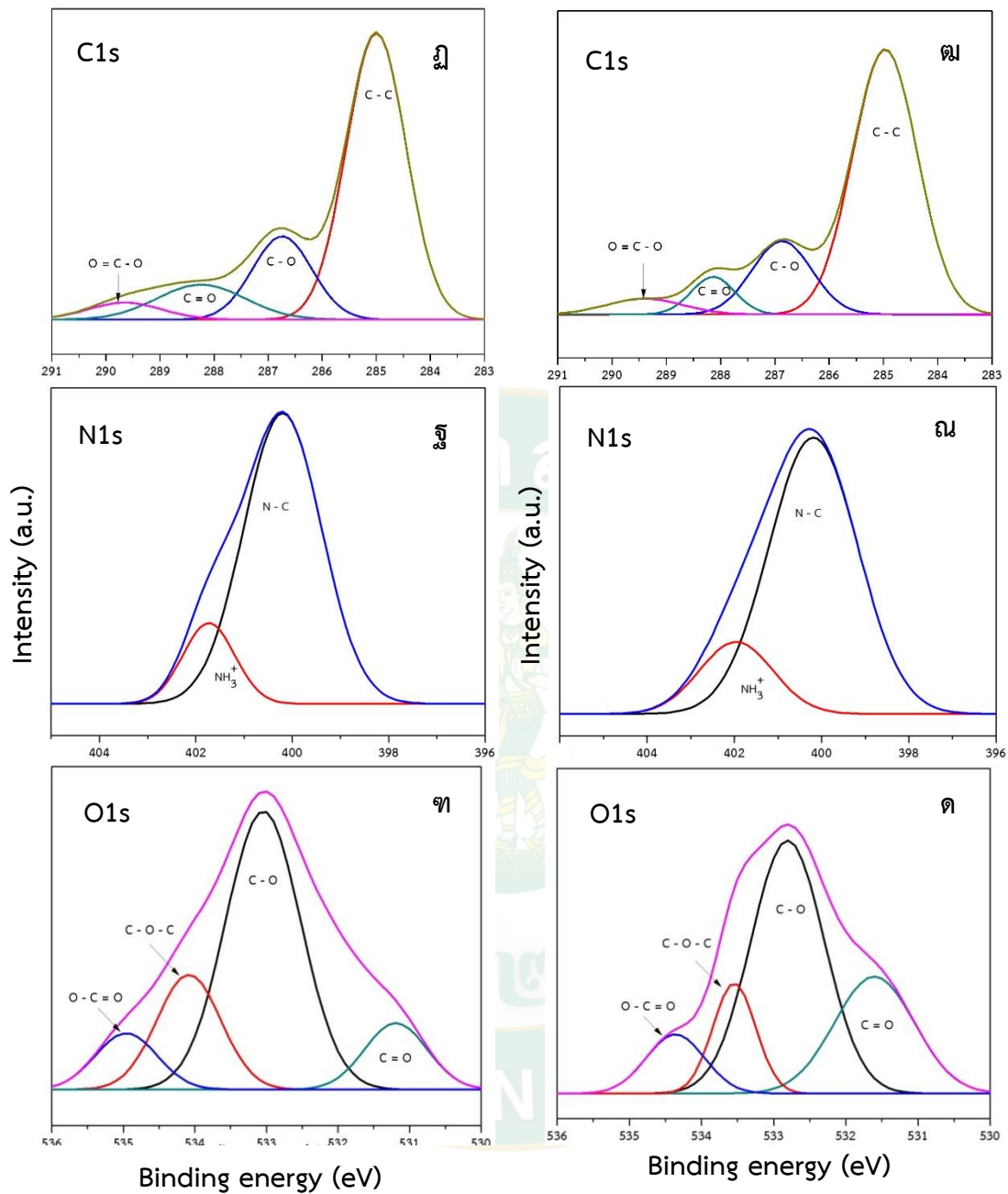
(ก - ก) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังบำบัดด้วยพลาสมาที่พลังงานไฟฟ้า 125 วัตต์ และ (ค - ค) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังบำบัดด้วยพลาสมาที่พลังงานไฟฟ้า 150 วัตต์



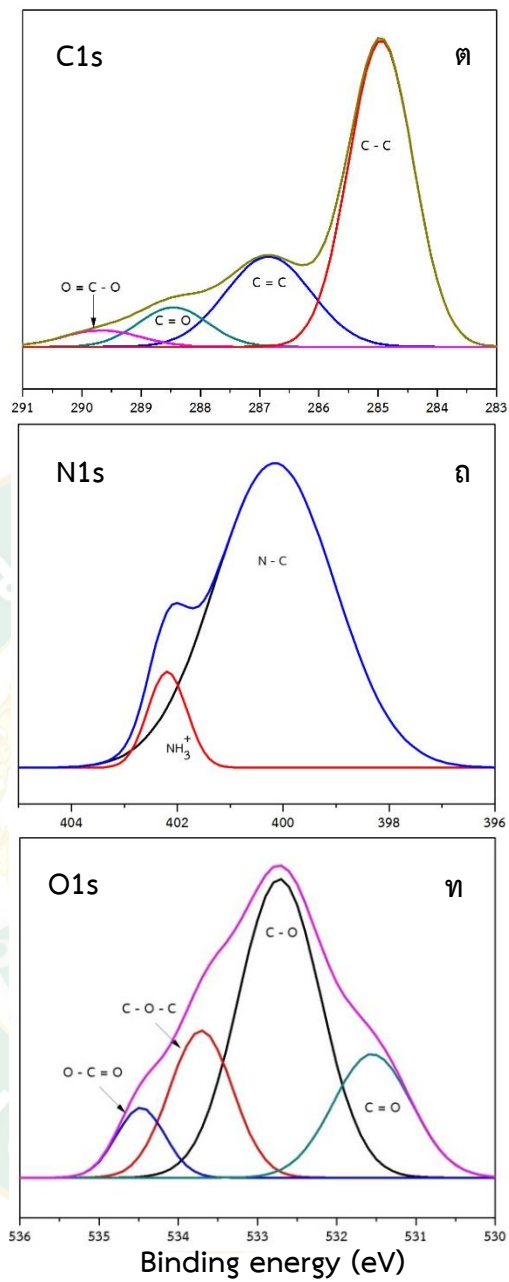
ภาพผนวกที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมานิตไดอิลีทริกแบรีเออร์ (ก - ค) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างก่อนอาบด้วยพลาสมา และ (ง - จ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 10 วินาที



ภาพผนวกที่ 6 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบรีเออร์ (ฉ - ช) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 20 วินาที และ (ฅ - ฏ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 30 วินาที



ภาพผนวกที่ 7 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์ (ก - จ) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 40 วินาที และ (ค - ด) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 50 วินาที



ภาพผนวกที่ 8 ผลของการวิเคราะห์ XPS ก่อนและหลังอาบด้วยพลาสมาชนิดไดอิเล็กทริกแบริเออร์ (ด - ท) คือ สเปกตรัมของตัวอย่างหลังอาบด้วยพลาสมาที่เวลา 60 วินาที

ภาคผนวก ค**รางวัลและการเผยแพร่ผลงานการตีพิมพ์**

- 1 Proceeding เรื่อง A LOW PRESSURE PLASMA TREATMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT OF RICE FLOUR ในงาน The 9th RMUTP International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Development: Challenges Towards the Digital Society, 21-22 June 2018 The sukosol, Thailand
- 2.รางวัล Akira Hasegawa Poster Prize เรื่อง The sterilization and quality improvement of rice flour by dielectric barrier discharge (DBD) plasma . ในงาน 2nd Asia Pacific Conference on Plasma Physics, 12 – 17, 11 2018 ณ เมือง Kanazawa ประเทศ ญี่ปุ่น

A LOW PRESSURE PLASMA TREATMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT OF RICE FLOUR

Kantamard Lamasai,^{*1,a} Phuthithorn Thana,^{2,b} Dheerawan Boonyawan,^{2,c}
Kerairya Janpong,^{1,d} Sureepom Sarapirom^{*1,3,e}

¹Nanoscience and Nanotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

²Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³Thailand Center of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand

*Kantamard.pop@gmail.com, ^bphuthithorn.thana@gmail.com, ^cdheerawan.b@cmu.ac.th,
^dpimpornjunphong@gmail.com, ^essarapirom@gmail.co.th

Keywords: Low pressure plasma, Rice Flour, Medicine and Cosmetics.

Abstract. Nowadays, rice products are studied to enhance its value such as in medicine and cosmetics. This research using the low pressure plasma (LPP) to study the properties of rice flour after plasma treatment. Rice flour samples were treated of various rf powers at 50, 75, 100, 125 and 150watts. During the plasma treatment, the plasma species were observed by optical emission spectroscopy (OES). The major of the optical emission lines from OH, N₂, H_β, C₂, N, H₂, H_α radicals and Ar atom were observed. The emission intensities of each species increased by increasing of plasma power. Surface morphology was studied by scanning electron microscope (SEM). The fine grains found on the surface after plasma treatment. The effect of the roughness and fine grains structure on the surface of rice flour were increased by increasing the plasma power. Then, the surface chemistry were analy by reflectance-Fourier transform infrared (ATR-FTIR) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Static contact angles were measured the water and oil adsorption. After plasma treatment, the water absorption were decreased and the oil absorption were increased at 100 watts due to the roughness of surface and addition of functional groups. In the conclusion, LPP can be a promising technology for improving functionality of flour and enhance its value in various new products.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is amongst the most widely consumed staple food, especially in Asia. About 20% the total production is further milled and processed into parboiled rice worldwide [1]. Many studies enhanced the rice products value, not only in food products but also in various goods such as in pharmaceutical, medical and cosmetics products. One product using rice as a raw material is powder puff due to it not containing any hazardous substance such as talcum. As well as it has biological molecules with antioxidant properties, inhibiting enzymes that darken the skin and helps to slow down the ageing process. As the substance reduces inflammation it helps cure acne. It can be rinsed thoroughly without leaving any chemical residue [2]. Besides bio deterioration of rice by decay fungus which degrades the cell wall components there are fungi which can cause discoloration on the surface or deeper in the rice but cause no strength loss [3].

Cold plasma processing has been used for sterilization, functionalization, inactivation of enzymes, altering the hydrophilic/hydrophobic properties and etching [4]. The plasma technologies have been intensively developed for more than three decades, there are successful progress as key manufacturing technologies for a variety of industrial applications such as surface modification and biomaterial processes. Low pressure plasmas are sustained in vacuum due to insufficient collisions between electrons and gas molecules. In these low pressure plasma, the gas temperature is maintained usually at temperatures much less than the electron temperature of a few electron volts. The low pressure plasma sources are attractive in that the low pressure plasma can provide enhanced gas chemistry via a production of high density reactive species. While the gas temperature

is maintained as low as the level acceptable for processing of organic materials and biomedical applications. The attractive features of the low pressure plasma have led to open intensive research activities that require low temperature processes in materials in biological and biomedical applications [5].

Materials and methods

In this experiment, argon plasma treatments were carried out using a home-made 13.56-MHz inductively coupled plasma reactor [6]. The rice flour samples were put into the quartz cylinder of the plasma reactor and then the cylinder was evacuated to a base pressure of 0.01 Pa. For improvement of rice flour the samples were treated by Ar plasma at 3.5 Pa and a radiofrequency (RF) power of 50, 75, 100, 125 and 150 watts for 4 min. Optical emission spectroscopy (OES) (Fiber Optic Spectrometer: AvaSpec-2048) was used for observed the active plasma species. The schematic diagram of the low pressure plasma was show in the figure 1.

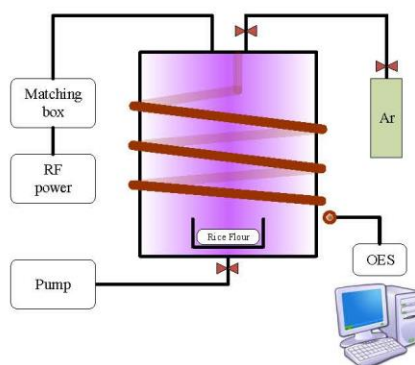


Figure 1. The schematic diagram of low pressure plasma using to modification the functionals of the rice flour.

The characteristic of the rice flour property after treatment for cosmetic powder were used. The physical and chemical properties such as the water and oil absorption, surface morphology and sterilization were studied. Static contact angles were measured using 2- μ l droplets of deionised water and squalane oil, respectively, at room temperature. Three replicates of each condition of treatments were analyzed. The deionization water represents the humidity from the environment after using the powder and the squalane oil was used to represents the human sweat. Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared (ATR-FTIR) (Perkin Elmer model Spectrum GX) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) (KRATOS analytical, UK) was used to study the chemical structure of the powder. The surface morphology was observed by scanning electron microscope (SEM) (LV-Scanning Electron Microscope: JSM 5910 LV).

Results and discussion

1. Plasma species

The overall emission spectra during the treatment process at the different energy levels are show in the figure 2. The graph shows the major optical emission lines of OH, N₂, H β , C₂, N, H₂, H α and Ar. By increasing energy the emission intensities of each species were increased. The higher rf power that delivered an increased energy to the system [7]. The greater collision rate in plasma space which consequently leads to higher emission intensity by argon emission lines were mainly observed in the 651–843 nm range. The emission lines of OH at 308 nm and O₂ at 516 nm. The

peak at 394 – 452 nm and at 556 nm can be ascribed to N_2 and N [8]. And the emission lines of hydrogen were observed; H_β at 486 nm, H_γ at 603 nm and H_α at 656 nm.

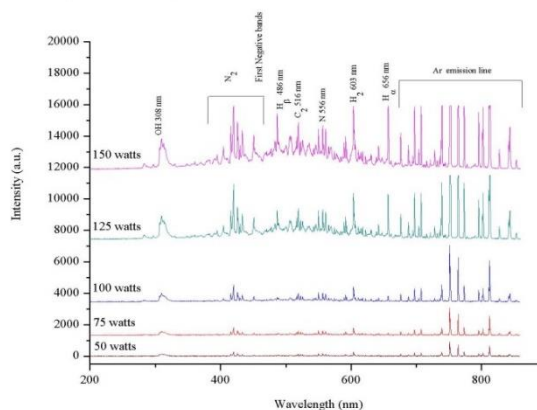


Figure 2. The emission spectra of the different RF power treatment.

2 .The chemical properties

The result of analysis with ATR-FTIR as shows in the figure 3. It was found that in the after plasma treatment samples have the functions of CH_2 , CH_3 , $C=O$, $C=O-OH$, $C-O$, $C=C$ and $C-N$ groups [9-13] with the similar structures as untreated sample. However, the results of the study showed the difference between untreated and treated samples at the CH_3 positions. Almost treatments the peak are shifted to higher wavenumber, however, which one of the CH_3 positions peaks shifted to lower wavenumber at the rf power treatment of 75 watt. It seem like that if the peak wave number shift to the higher values that represents the decreasing of the bonding length. If it is decreases, the bond length is increases. Which the bond length changes may occur due to the change in electronegativity of the neighboring atom. This is like hydrogen bonding. Hydrogen bonding is a fundamental element in protein structure and function. When plasma radical breaking a single hydrogen bond may impair the stability of a protein. For hydrogen-bonding interactions with polar side-chain groups the $C=O$ stretching versus $O-H$ stretching, may be employed to identify the specific type of hydrogen-bonding interaction.

© The 9th RMUTP International Conference on Science,
Technology and Innovation for Sustainable Development:
Challenges Towards the Digital Society, 21-22 June 2018
The sukosol, Thailand
<http://iconsci.rmudp.ac.th/>

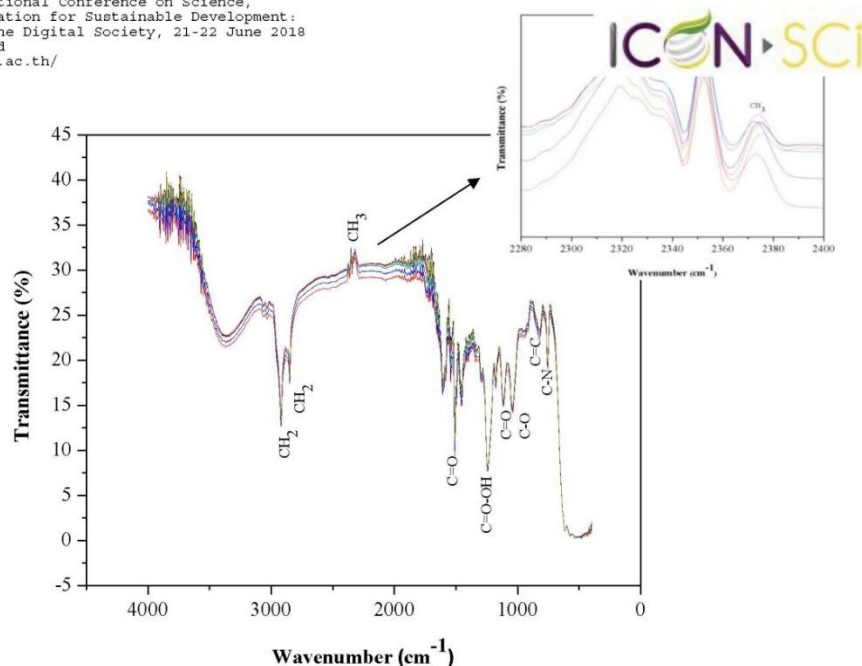


Figure 3. ATR-FTIR spectra for rice flour at different magnifications

3. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis

The elemental analysis of rice flour components was characterized by XPS. Three atoms elements (C, O and N) were detected with the plasma discharged at rf power 0, 50, 75, 100, 125 and 150 watts, respectively. The deconvoluted of the untreated sample shows in the figure 4. The main peak carbon (C1s) was deconvoluted into five peaks at 285.0 eV (C-H/C-C), 285.6 eV (C-N), 286.4 eV (C-OH/C-O-C), 288.0 eV (N-C=O) and 289.0 eV (CO/O-CO). The N1s peaks was deconvoluted into two peaks at 399.8 eV and 401.5 eV there were assigned to the amine group (C-NH) and amide group (CO-NH). After plasma treated the nitrogen of the amine and amide group were reduced. And oxygen could be subdivided into three peak C=O, C-OH and O-C=O. The peak at 531.7 eV, 532.9 eV and 533.7 eV, respectively [14-16]. The C/O and C/N stoichiometry for rice flour untreated and treated sample are shown in the table 1. The result of the chemical reaction of sample process reflects the degrees of cross-linking. It has been reported that a low water resistance for adhesive is mainly the result of high hydrophobicity and cross-linking, and low hydrophilicity [17].

Table 1 Show the elemental analysis of rice flour components measured by XPS

| Power (watts) | Functions | | | | |
|---------------|-----------|------|-------|-------|------|
| | C | N | O | C/N | C/O |
| Control | 76.25 | 3.72 | 20.03 | 20.50 | 3.81 |
| 50 | 80.09 | 1.10 | 18.81 | 72.81 | 4.26 |
| 75 | 78.51 | 2.19 | 19.30 | 35.85 | 4.07 |
| 100 | 70.43 | 1.28 | 28.29 | 55.02 | 2.49 |
| 125 | 71.20 | 0.81 | 27.99 | 87.90 | 2.54 |
| 150 | 69.09 | 2.35 | 28.56 | 29.40 | 2.54 |

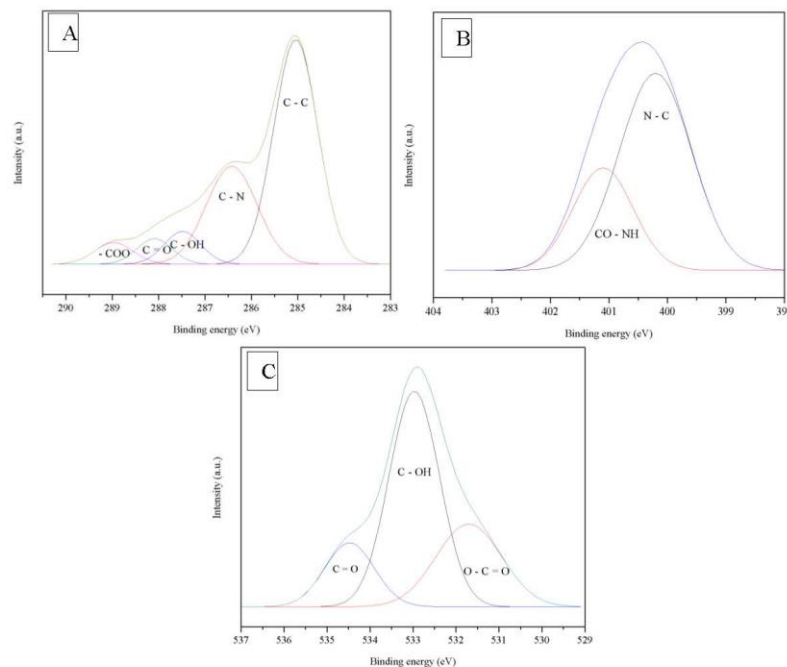


Figure 4. Show the XPS spectra of rice flour. (a) XPS spectra of carbon, (b) XPS spectra of nitrogen and (c) XPS spectra of oxygen.

4. The surface morphology

The surface morphology was observed by SEM. The untreated and plasma treated rice flour samples are shown in figure 5. The untreated sample has a smooth surface morphology. In the vacuum sample no observable change in the morphology was found but fissures on the surface of the sample were discovered. After the plasma treatment the morphology of the sample had surface roughness and fine grains which were caused by plasma particles reacting or etching on the surface. With the plasma power energy increased the roughness and fine grains effect on the surface of rice powder increase. The change of the surface was most evident when the sample was treated at 120 watts and 150 watts. It was observed that the morphological structure of the control sample was unaltered, whereas the native structure of rice flour was disturbed by plasma treatment. The extent of fissures increased with an increase in plasma power. These shallow depressions might be due to plasma etching by immanent reactive species such as ions and electrons generated during the plasma treatment. Similar types of changes in morphological structure were seen in plasma treated black gram [18]. One of the reason of the water and oil absorption is due to the change in surface to a rough one.

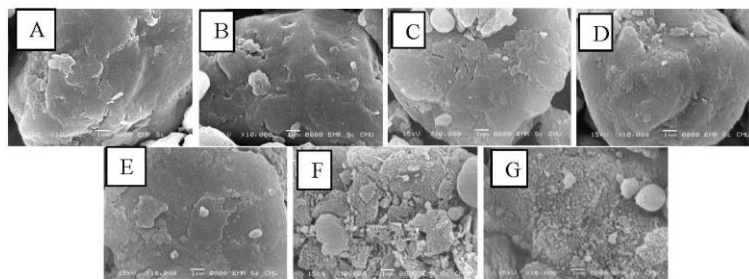


Figure 5. SEM micrographs of rice flour a (Control)untreated b (Vacuum control c (plasma treatment at 50 Watts d (plasma treatment at 75 Watts E (plasma treatment at 100 Watts F (plasma treatment at 120 Watts G (plasma treatment at 150 Watts.

5. The water and oil absorption

The water and oil adsorption were analysed by the time adsorbed. Untreated sample can absorb the water better than the plasma treated samples. The drop of the water was adsorbed into the rice flour rapidly, after treatment the water was slightly delay adsorbed. However, the squalane oil absorption was shown the opposite trend. The untreated sample was used very long time to absorb the squalane oil but when passed through the plasma, it was found a higher squalane oil absorption capacity and a maximum at 100 watts. When the energy was increased, the ability of water absorption was decreased but the ability of squalane oil absorption was increased. Due to the polarity of the rice flour structure. After the plasma treatment increasing of the cross-linking of the rice flour structure was reduced the the polar function on the surface. Moreover, the surface morphology are the case of hydrophobicity resulting in reduced water absorption.

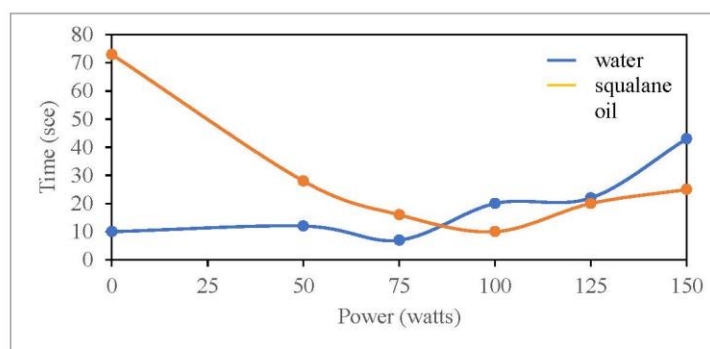


Figure 6. shows the water and oil absorption result of the plasma discharged at rf power 0, 50, 75, 100, 125 and 150 watts.

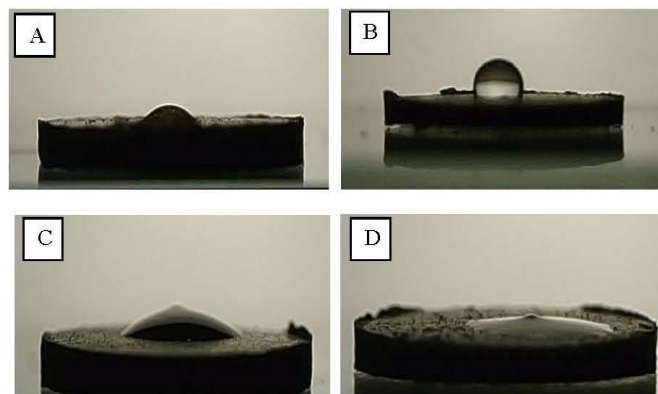


Figure 7. Show the result of the absorption samples (a) the water absorption of control)untreated(. (b) the water absorption of treated. (c) the squalane oil absorption of control)untreated(. (d) the squalane oil absorption of treated.

Conclusion

In this study, the improvement of rice flour properties by plasma treatment were approved. The untreated sample of rice flour has a smooth morphology surface. After plasma treatment it was found the roughness and fine grains which were caused by plasma particles reacting or etching on the surface. When the plasma power energy increases the roughness and fine grains on the surface of the rice flour also increased. ATR-FTIR analysis found that elemental breakdown with the cross-linking of the surface structure. XPS also supported the conclusion of the FTIR. XPS analysis found that result of the chemical reaction of sample process reflects the degrees of cross-linking. Therefore, the treated samples have the water absorption decrease but the squalane oil absorption increased at 100 watts. Due to surface morphology and chemical structure. It can concluded that the plasma treatment can be a promising technology for improving functionality of flour and enhance its value in various new products.

Acknowledgements

The authors are thankful for Plasma medicine project of Thailand Center of Excellence in Physics) ThEP (for my scholarships, Plasma and Beam Physics Research Facility, Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, The Graduate School of Maejo University and Nanoscience and Nanotechnology, Faculty of Science, Maejo University. Thailand Center of Excellence in Physics and Skintec InterProduct Co.LTD. And This work was supported by Electron microscope research and service center. Also, I would like to thank Budsabong Kuntalue for critical working.

References

- [1] C. Sarangapani, R. Thirumdas, Y. Devi, A. Trimukhe, R.R. Deshmukh, U.S. Annature. Effect of low-pressure plasma on physico-chemical and functional properties of parboiled rice flour, *LWT - Food Science and Technology* 69 (2016) 482-489.
- [2] T.R.P.a.I. Department of Foreign Trade MoC. Rice Products and Innovations. 2016.
- [3] P. Gascón-Garrido, M.F. Thévenon, N. Mainusch, H. Miltitz, W. Viöl, C. Mai. Siloxane-treated and copper-plasma-coated wood: Resistance to the blue stain fungus *Aureobasidium pullulans* and the termite *Reticulitermes flavipes*, *International Biodeterioration & Biodegradation* 120 (2017) 84-90.

- [4] R. Thirumdas, C. Saragapani, M.T. Ajinkya, R.R. Deshmukh, U.S. Annapure. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice, *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 37 (2016) 53-60.
- [5] Y. Setsuhara. Low-temperature atmospheric-pressure plasma sources for plasma medicine, *Arch Biochem Biophys* 605 (2016) 3-10.
- [6] S. Sarapiroon, L.D. Yu, D. Boonyawan, C. Chaiwong. Effect of surface modification of poly(lactic acid) by low-pressure ammonia plasma on adsorption of human serum albumin, *Applied Surface Science* 310 (2014) 42-50.
- [7] C.-M. Chou, C.-C. Chuang, C.-H. Lin, C.-J. Chung, J.-L. He. Plasma diagnostics for pulsed-dc plasma-polymerizing para-xylene using QMS and OES, *Surface and Coatings Technology* 205 (2011) 4830-4835.
- [8] K. Bystrov, T.W. Morgan, I. Tanyeli, G. De Temmerman, M.C.M. van de Sanden. Chemical sputtering of graphite by low temperature nitrogen plasmas at various substrate temperatures and ion flux densities, *Journal of Applied Physics* 114 (2013).
- [9] A. A. Oun, J.W. Rhim. Isolation of cellulose nanocrystals from grain straws and their use for the preparation of carboxymethyl cellulose-based nanocomposite films, *Carbohydr Polym* 150 (2016) 187-200.
- [10] X. Dong, K. Koga, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, M. Shiratani, Y. Setsuhara, M. Sekine, M. Hori. Effects of discharge voltage on the characteristics of a-C:H films prepared by H-assisted Plasma CVD method, *Transactions of the Materials Research Society of Japan* 40 (2015) 123-128.
- [11] A. Zahoor, M. Christy, Y. J. Hwang, Y. R. Lim, P. Kim, K.S. Nahm. Improved electrocatalytic activity of carbon materials by nitrogen doping, *Applied Catalysis B: Environmental* 147 (2014) 633-641.
- [12] N.B. Azmi, M.J.K. Bashir, S. Sethupathi, C. A. Ng. Anaerobic stabilized landfill leachate treatment using chemically activated sugarcane bagasse activated carbon: kinetic and equilibrium study, *Desalination and Water Treatment* 57 (2014) 3916-3927.
- [13] S. Mokhtari, H. Faghfian. Modification of activated carbon by 2,6-diaminopyridine for separation of Hg²⁺ from aqueous solutions, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3 (2015) 1662-1668.
- [14] M.F. Genisel, M.N. Uddin, Z. Say, M. Kulakci, R. Turan, O. Gulseren, E. Bengu. Bias in bonding behavior among boron, carbon, and nitrogen atoms in ion implanted a-BN, a-BC, and diamond like carbon films, *Journal of Applied Physics* 110 (2011).
- [15] X. He, P. Ling, M. Yu, X. Wang, X. Zhang, M. Zheng. Rice husk-derived porous carbons with high capacitance by ZnCl₂ activation for supercapacitors, *Electrochimica Acta* 105 (2013) 635-641.
- [16] X. Peng, S. Shen, C. Wang, T. Li, Y. Li, S. Yuan, X. Wen. Influence of relative proportions of cellulose and lignin on carbon-based solid acid for cellulose hydrolysis, *Molecular Catalysis* 442 (2017) 133-139.
- [17] Y.L. Peitao Zheng, Feng Li, Yangting Ou, Qiaojia Lin and Nairong Chen. Development of Defatted Soy Flour-Based Adhesives by Acid Hydrolysis of Carbohydrates, *Polymers* 9 (2017).
- [18] C. Saragapani, R. Yamuna Devi, R. Thirumdas, A.M. Trimukhe, R.R. Deshmukh, U.S. Annapure. Physico-chemical properties of low-pressure plasma treated black gram, *LWT - Food Science and Technology* 79 (2017) 102-110.



AAPPS-DPP Akira Hasegawa Poster Prize

Following poster presentation is selected as significant work.

Poster ID: KANTAMARD LAMASSA1

Presenter:

Presentation Title The Sterilization and
Quality Improvement of Rice Flour
by dielectric barrier discharge
(DBD) plasma.

Akira Hasegawa

2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics
November 12 (Monday) -17(Saturday), 2018
Kanazawa JAPAN



ประวัติผู้วิจัย

| | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล | นางสาว คณิตมาศ หล้ามาทราย |
| เกิดเมื่อ | 10 พฤษภาคม 2537 |
| ประวัติการศึกษา | ปี 2562 จบการศึกษาปริญญาโท สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีใน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่ ปี 2559 จบการศึกษาปริญญาตรี สาขา วัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่ ปี 2554 จบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเขलगค์นคร จังหวัด ลำปาง ปี 2552 จบการศึกษมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนเขलगค์นคร จังหวัด ลำปาง |

