

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้งด้วยกามมะพร้าว และผักตบชวา  
Removal of Oils from Wastewater by Coir and Water hyacinth



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

6119A0450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดน้ำมันออกจากน้ำทิ้งด้วยกามมะพร้าว และผักตบชวา



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชา เคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Removal of Oils from Wastewater by Coir and Water hyacinth**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**


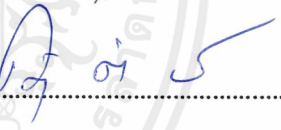
**Academic Year 2002**

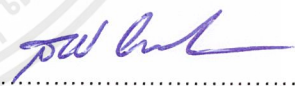
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยกัมมะพริ้ว และผักตบชวา

นักศึกษา นายเจริญ สร้างสมสุขสกุล  
นายสัญญา แต่งศรี  
ภาควิชา เคมี  
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ อ.ยุพา ตันทวี	
กรรมการ ผศ.คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์	

  
.....  
( ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย )  
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่องการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียด้วยกามมะพร้าว และผักตบชวา

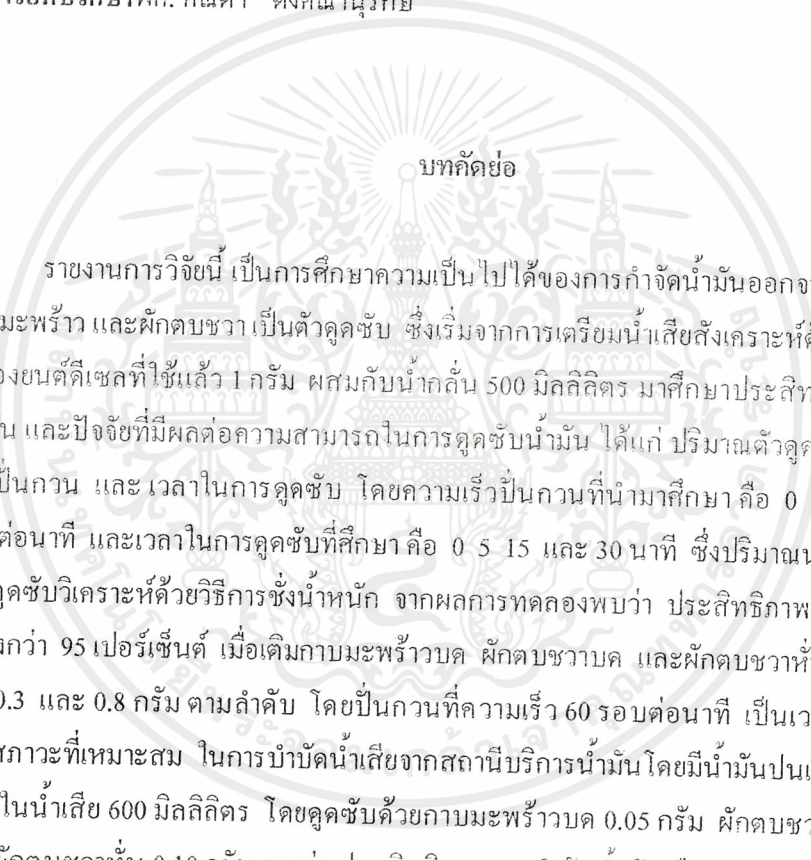
นักศึกษา นายเจริญ สร้างสมสุขสกุล  
นายสัญญา แต่งศรี

ภาควิชา เคมี คณะ วิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ที่ปรึกษาผศ. คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์



บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสีย โดยใช้กามมะพร้าว และผักตบชวาเป็นตัวดูดซับ ซึ่งเริ่มจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการนำน้ำมันเครื่องชนิดซีเซลที่ใช้แล้ว 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร มาศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน และปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับความเร็วในการปั่นกวน และเวลาในการดูดซับ โดยความเร็วปั่นกวนที่นำมาศึกษา คือ 0 30 60 และ 120 รอบต่อนาที และเวลาในการดูดซับที่ศึกษา คือ 0 5 15 และ 30 นาที ซึ่งปริมาณน้ำมันที่เหลือจากการดูดซับวิเคราะห์ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันจะสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติมกามมะพร้าวสด ผักตบชวาสด และผักตบชวาหั่นลงไปมากกว่า 0.2 0.3 และ 0.8 กรัม ตามลำดับ โดยปั่นกวนที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน โดยมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ 0.1373 กรัม ในน้ำเสีย 600 มิลลิลิตร โดยดูดซับด้วยกามมะพร้าวสด 0.05 กรัม ผักตบชวาสด 0.05 กรัม และผักตบชวาหั่น 0.10 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน คือ 80.46 79.85 และ 77.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**Special Project Title** Removal of Oils from Wastewater using Coir and Water hyacinth

**Name** Mr. Charoan Srangsomsuksakul  
Mr. Sanya Tangsri

**Department** Chemistry **Faculty of Science**

**Program** Environmental Resource Chemistry

**Academic Year** 2002

**Special Project Advisor** Asst. of Pro. Kanita Tungkananuruk

### ABSTRACT

This paper explores the possibility of removing oils from effluents using coir and water hyacinth as biosorbent. To prepare the synthetic effluent by 0.5 litre of distilled water was mixed with 1 gramme of spent diesel motor oils. It was used for determine removal efficiency and the effect on retention capacity of oils such as concentration of sorbents , stirring velocity and sorption time. Stirring velocity effect was studied at 0 , 30 , 60 and 120 rpm. Sorption time effect was experimented at 0 , 5 ,15 and 30 minute. Quantity of residual oil was measured with Partition - Gravimetric Method. The results showed that removal efficiency was higher than 95 % when synthetic effluents were absorbed with 0.2 g of ground coir , 0.3 g of ground water hyacinth and 0.8 g of sliced water hyacinth at 60 rpm for 15 minute , that was suitable condition. Treatment of a fuel station effluent containing 0.0824 g / 600 mL. of oils was absorbed with 0.05 g of ground coir , 0.05 g of ground water hyacinth and 0.10 g of sliced water hyacinth at 60 rpm for 15 minute , that discovered removal effluent of oils was equal to 80.46 , 79.85 and 77.79 % , respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้สืบเนื่องมาจากความร่วมมือ และความกรุณาของทุก ๆ ท่านทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ ที่กรุณาติดตามตรวจสอบดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิด และให้คำปรึกษาตลอดเวลา ดิฉันจนผลงานสำเร็จลงได้ในที่สุด

อาจารย์กรรมการอาจารย์ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอาจารย์ ยุพา ตันทวี ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ รวมถึงท่านอาจารย์เคมีทุกท่าน อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี ทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ในทุก ๆ ด้านอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณสถานบริการน้ำมัน ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ ที่ให้ใช้เครื่องในการบด และร่อน ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาที่ให้ใช้เครื่องร่อน

ขอขอบคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ รวมถึง รุ่นพี่ รุ่นน้องที่ได้ให้กำลังใจพวกเราทำให้มีกำลังใจในการต่อสู้ฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ จนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ

นายเจริญ สร้างสมสุขสกุล

นายสัญญา แต่งศรี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	
2.1 ผักตบชวา	
2.1.1 ลักษณะทั่วไป	3
2.1.2 องค์ประกอบ	3
2.1.3 ประโยชน์	3
2.2 มะพร้าว	
2.2.1 ลักษณะทั่วไป	3
2.2.2 องค์ประกอบ	4
2.2.3 ประโยชน์	4
2.3 น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน	
2.3.1 องค์ประกอบของน้ำมัน	5
2.3.2 ผลกระทบของน้ำมัน	6
2.4 พืชของน้ำมันที่มีต่อสิ่งมีชีวิต	
2.4.1 วิธีกำจัดคราบน้ำมัน และมาตรการทางกฎหมาย	7
2.4.2 หลักการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง	8
2.4.3 วิธีการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำ	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การดูดซับ	
2.5.1 หลักการดูดซับ	10
2.5.2 ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี	12
2.5.3 กลไกการดูดซับ	12
2.5.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์	19
3.2 สารเคมี	19
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	20
3.4 วิธีการทดลอง	
3.4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน	21
3.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานี บริการน้ำมัน	21
3.5 การคำนวณ	
3.5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน	23
3.5.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน	23
3.5.3 ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่	23
3.6 การควบคุมคุณภาพ	24
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน	
4.1.1 ผลกระทบของปริมาณตัวดูดซับ	25
4.1.2 ผลกระทบของความเร็วในการปั่นกววน	27
4.1.3 ผลกระทบของระยะเวลาในการปั่นกววน	28
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน	29
4.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	32
5.2 สรุปผลการวิจัยโดยใช้การทดสอบทางสถิติ	33
5.3 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	36
ภาคผนวก ข มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	60
ภาคผนวก ค กัล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง	64
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ค่าความจุที่คงไว้ของไฮโดรเจนโดยใช้วัสดุธรรมชาติ	16
ตาราง 2.2 ค่าความจุที่คงไว้ของไฮโดรเจนโดยใช้วัสดุอินทรีย์	16
ตาราง 2.3 ค่าความจุที่คงไว้ของไฮโดรเจนโดยใช้เส้นใยที่เตรียมขึ้น	17
ตาราง ก.1 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณกามมะพร้าวต่าง ๆ	37
ตาราง ก.2 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณผักตบชวาบดต่าง ๆ	39
ตาราง ก.3 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณผักตบชวาทันต่าง ๆ	41
ตาราง ก.4 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วการปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้กามมะพร้าว 0.2 กรัม/ลูบซ้ำ	43
ตาราง ก.5 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วการปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้ผักตบชวาบด 0.2 กรัม/ลูบซ้ำ	45
ตาราง ก.6 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วการปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้ผักตบชวาทัน 1.0 กรัม/ลูบซ้ำ	47
ตาราง ก.7 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้กามมะพร้าวบด 0.2 กรัม/ลูบซ้ำ	49
ตาราง ก.8 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้ผักตบชวาบด 0.2 กรัม/ลูบซ้ำ	51
ตาราง ก.9 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ปั่นกวนต่าง ๆ โดยใช้ผักตบชวาทัน 1.0 กรัม/ลูบซ้ำ	53
ตาราง ก.10 แสดงประสิทธิภาพการกักน้ำมันในน้ำเสียจริง	55
ตาราง ข.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	60
ตาราง ค.1 เปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ	67
ตาราง ค.2 สรุปพารามิเตอร์ของ SEM ที่ต้องควบคุมสำหรับการทำงานใน 3 ประเภทแรก	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันกับปริมาณตัวดูดซับ	26
รูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับปริมาณตัวดูดซับ	26
รูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับความเร็วในการปั่นกวน	27
รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับเวลาที่ใช้ในการปั่นกวน	28
รูป 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน	29
รูป 4.6 แสดงสภาพพื้นที่ผิวของกาบมะพร้าวสด ผักตบชวาสด และ ผักตบชวาแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	30
รูป ค.1 แผนภาพแสดงการทำงานของ SEM	65
รูป ค.2 ปืนอิเล็กตรอนแบบหลอดทั้งสแตนด์	66
รูป ค.3 ปืนอิเล็กตรอนแบบ Lab <sub>o</sub>	66
รูป ค.4 ปืนอิเล็กตรอนแบบ โคลด์ฟิลด์อิมิชัน	67
รูป ค.5 แผนภาพแสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของทัศนศาสตร์อิเล็กตรอนการทำงานของ SEM	68
รูป ค.6 แผนภาพแสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร	69
รูป ค.7 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ แสดงโครงสร้างจุลภาคของ โลหะผสมนิกเกิล - อะลูมิเนียม - โมลิบดีนัม - ซิลิคอน	70
รูป ค.8 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงแสงกลับ โลหะผสมนิกเกิล - อะลูมิเนียม - โมลิบดีนัม - ซิลิคอน	70
รูป ค.9 สเปกตรัมของเทคนิค EDS แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกั่วบัดกรี	71
รูป ค.10 แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับ SEM เมื่อต้องการศึกษา	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

น้ำมันเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ เนื่องจากน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญยิ่ง โดยเฉพาะทางด้านคมนาคม และอุตสาหกรรม แต่ที่ใกล้กับชีวิตประจำวันของเราคือ ความเจริญทางด้านคมนาคมทำให้มีสถานีบริการน้ำมันอยู่มากมาย น้ำทิ้งที่มาจากสถานีบริการน้ำมันเหล่านี้มีการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงหลายชนิดเช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด น้ำมันเครื่อง และน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 5 - 35 อะตอม และโลหะหนักเช่น ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี เป็นต้น ซึ่งมาจากสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพ (additive substance) หรือเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมัน เมื่อน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำจะแพร่กระจายไปได้อย่างกว้างขวาง คราบน้ำมันเหล่านี้ นอกจากจะทำลายธรรมชาติที่สวยงามแล้ว ยังมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในน้ำ และสัตว์อื่น ๆ และระบบการย่อยสลายทางธรรมชาติ

วิธีการบำบัดน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันจะอาศัยหลักการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ การบำบัดทางกายภาพเช่น การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง การทำให้ลอยตัว การดูดซับ และการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น ส่วนการบำบัดทางเคมีใช้การออกซิเดชัน และการเผาไหม้ เป็นต้น และการบำบัดทางชีวภาพใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันได้ ซึ่งวิธีการบำบัดที่นิยมมากคือ การใช้วัสดุอินทรีย์ หรือวัสดุอนินทรีย์ หรือเส้นใยที่เตรียมขึ้นมาดูดซับ โดยการดูดซับคู่ได้จากค่าความจุที่คงไว้ (Retention capacity - RC) ของวัสดุต่าง ๆ ซึ่งหมายถึงปริมาณของน้ำมันที่ถูกดูดซับโดยวัสดุแห้งหนึ่งกรัม โดยค่าความจุที่คงไว้ของวัสดุธรรมชาติ ของวัสดุอินทรีย์ และของเส้นใยที่เตรียมขึ้น (แสดงดังตารางที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ในบทที่ 2) พบว่าวัสดุอินทรีย์ และเส้นใยที่เตรียมขึ้นนั้นมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงแต่ราคาแพง และวัสดุเหล่านี้จะใช้เพียงครั้งเดียว เพราะการแยกไฮโดรคาร์บอนออกมาจากวัสดุที่ใช้ดูดซับทำได้ยากและเป็นอันตราย

โครงการนี้จึงทำการทดลองศึกษาโดยเลือกใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ผักตบชวา ชานอ้อย และกาบมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีเส้นใยมาก หาได้ง่าย ราคาถูก และมีความปลอดภัย มาพัฒนาและศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่มีการศึกษานำวัสดุเหล่านี้มาดูดซับพวกโลหะหนักได้ ซึ่งถ้าวัสดุธรรมชาติเหล่านี้สามารถดูดซับ

น้ำมันออกได้ด้วย จะทำให้สารปนเปื้อนพวกอนินทรีย์ และอินทรีย์ถูกแยกออกโดยใช้วัสดุตัวเดียวกัน และโครงการนี้จะเน้นทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเครื่องและหล่อลื่นปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากน้ำมันประเภทนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูง (C 19 -35 อะตอม) มีผลเสียต่อมลพิษทางน้ำมาก

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวา และกาบมะพร้าว
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบ และสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวา และกาบมะพร้าว ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ เวลา และความเร็วปั่นกวน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผักตบชวา ชานอ้อย และกาบมะพร้าว
2. ศึกษาความสามารถในการดูดซับของผักตบชวา และกาบมะพร้าว โดยการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง ( Batch Test )
3. ทำการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันด้วยตัวดูดซับที่พัฒนาได้จากผักตบชวา และกาบมะพร้าว โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาในน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำผักตบชวา และกาบมะพร้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการลดปริมาณของเสียที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อมได้
2. ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาตัวดูดซับ ไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจริง
3. สามารถนำพืชที่ดูดซับน้ำมันไว้ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ผักตบชวา (ประวิทย์, มปป.)

##### 2.1.1 ลักษณะทั่วไป

ผักตบชวา ผักบึ้ง หรือสาละ มีชื่อสามัญว่า Water hyacinth ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms ชื่อวงศ์ PONTEDERIACE เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู มีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายราก ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน เป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำตรงกลางพุ่งออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายช่อมีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่นๆ และมีจุดเหลืองที่กลางกลีบ

##### 2.1.2 องค์ประกอบ

ผักตบชวาโดยทั่วไปมีเซลลูโลส 43-44% ลิกนิน 12-15% แป้ง โทแซน 14-15% และสารอื่น ๆ (เกษตรฯ, 2536)

##### 2.1.3 ประโยชน์

ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้ ทำก๊าซหุงต้ม เชื้อกระดาศ เส้นใยที่ใช้ทำหัตถกรรมเครื่องจักสาน

#### 2.2 มะพร้าว (ศักดิ์สิทธิ์, มปป.)

##### 2.2.1 ลักษณะทั่วไป

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. โดยส่วนที่สำคัญคือ ผล เมื่อมีการผสมเกสรดอกตัวเมียจะพัฒนาเป็นผล ผลมะพร้าวประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุดคือเปลือกนอกสุดของผล เป็นเนื้อเยื่อเหนียวแข็ง เรียกว่ากาบมะพร้าว เมื่อผลแก่จะมีสีเขียว หรือสีเหลือง หรือสีน้ำตาลไหม้ ทั้งนี้แล้วแต่พันธุ์นั้นๆ

ชั้นกลาง คือ เนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นนอกเข้าไป จนถึงกะลาผลอ่อน จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม บางพันธุ์รับประทานได้ เมื่อผลแก่กลายเป็นเส้นใย

ชั้นใน คือกะลามะพร้าวเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งสุด รูปร่างกลม มีเส้นแบ่งให้เห็นเป็น 3 ส่วนอย่างชัดเจน โดยมีตา 3 ตา ระหว่างเส้นนูนที่ขั้วผลเป็นตาแข็ง 2 ตา อีก 1 ตาเป็นตานี้มอยู่ตรงกลางเส้นของกะลาที่มีมุมกว้างสุด และเป็นตาใหญ่ที่สุดซึ่งจะเจริญไปเป็นหน่อต่อไป

เมล็ดมะพร้าว คือส่วนที่กะลาหุ้มไว้ทั้งหมด นับตั้งแต่แผ่นเยื่อบางๆ สีนําคาลเข้าไปถึงเนื้อมะพร้าวที่มีสีขาว เมื่อผลยังอ่อนนุ่ม รสหวาน แต่พอผลแก่เนื้อจะแข็งหนา มีน้ำมันสะสมอยู่มาก

### 2.2.2 องค์ประกอบ

มะพร้าวจะเริ่มมีเนื้อสมบูรณ์อายุ 300 วัน และเมื่ออายุ 12 เดือน กะลาแข็ง และมะพร้าวจะสุกเต็มที่ มะพร้าวที่สมบูรณ์จะมีส่วนประกอบดังนี้

เปลือกมะพร้าว 35% กะลามะพร้าว 12% เนื้อมะพร้าว 28% นํามะพร้าว 25%

### 2.2.3 ประโยชน์

มะพร้าวเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก ปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศ แต่แหล่งที่ปลูกมะพร้าวที่สำคัญส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณจังหวัดภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศ การที่มีมะพร้าวอยู่แพร่หลายก็เพราะว่าต้นมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นับแต่รากถึงยอด ไม่มีส่วนใดที่ทิ้งเลย เริ่มตั้งแต่จั่นมะพร้าว นอกจากจะได้นําคาลมะพร้าวดื่มสดๆ แล้ว หากมีมากก็สามารถเคี้ยวเป็นนําคาลใส่ปี๊บส่งขายตามตลาด เรียกว่า "นําคาลปี๊บ" ซึ่งทำกันมากแถบสมุทรสงคราม หรือ นําคาลที่รองได้ เอาเปลือกไม้ฝาดบางอย่างใส่แช่ลง ทำให้เกิดแอลกอฮอล์ขึ้น เรียกว่า "กระแช่" ชาวสวนนิยมดื่มกันทั่วไป และในปัจจุบันได้มีการขออนุญาตผลิตกระแช่เสียภาษีอย่างถูกต้องให้แก่ทางรัฐบาล นำออกจำหน่ายกันแพร่หลาย คาดว่าในอนาคตเหล้าไทยแบบนี้ต้องเป็นที่นิยมของชาวไทยอย่างมาก

จากจั่นก็ถึงผล ซึ่งมีทั้งเนื้อและน้ำ รวมทั้งเปลือกของมะพร้าวด้วย สำหรับเนื้อเมื่อเป็นมะพร้าวอ่อนใช้รับประทานได้เลยพอแก่ก็เอาเนื้อมาขูดฝอยทำขนมหรือคั้นทำกะทิ ใช้ทำอาหารได้ทั้งคาวและหวาน เนื้อมะพร้าวแห้งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตนํามันมะพร้าว ใช้ทอดอาหาร ใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆ หรือจะใช้ทำเนยเทียม สบู่ นํามันหล่อลื่น ฯลฯ เนื้อที่คั้นกะทิเรียบร้อยแล้วนำไปเป็นอาหารหมูได้ และที่สำคัญวงการแพทย์พบว่ากากมะพร้าวใช้เพาะเชื้อรา สำหรับปรุงยาเพนนิซิลินได้คืออีกด้วย

เปลือกหรือกาบมะพร้าวนำไปแช่น้ำประมาณ 3 สัปดาห์ นำขึ้นมาล้างเอาแต่เส้นใย ใช้ทำเชือกที่มีคุณภาพดีกว่าเชือกชนิดอื่นที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติด้วยกัน เหมาะในการใช้งานที่ชุ่มน้ำอยู่เสมอ ไม่ลื่นหลุดและฝูง่าย หรือจะทำเป็นแปรงถูบ้าน พรหมเช็ดเท้า ไม้กวาด ทำเบาะรถยนต์ เบาะรองนั่งต่างๆ ใช้ขัดที่นอนแทนนุ่น แม้แต่ขุมมะพร้าวก็สามารถนำไปใช้เพาะดินไม้ได้ดี

กะลามะพร้าวมีประโยชน์มากมายเช่นกัน นอกจากนี้ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนสูงแล้ว ยังสามารถประดิษฐ์เป็นเครื่องประดับและของใช้สวยงามยิ่งนักเช่น สร้อย กำไลข้อมือ เข็มกลัด กระดุม ที่ประดับผม ทำกระเช้า กระบวย แจกัน ที่เขียนหูหรี เป็นต้น ตามแต่จะมีผู้ใดคิดประดิษฐ์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ หรืออาจใช้ทำเครื่องเสียงไพเราะ นำฟาง เช่น ซอฮู้ หากนำกะลาไปเผาให้เป็นถ่านละเอียด ใช้เป็นส่วนสำคัญของหม้อกรองหน้ากากป้องกันไอพิษได้เป็นอย่างดี

ลำต้นแก่ใช้ทำฟืน ทำเสา ทำเครื่องเรือน ใช้ชั่วคราว ทำเชือก ใช้เป็นสะพานข้ามร่องคูในสวน ขุดเป็นช่องใช้เป็นรางใส่อาหารสัตว์ ขอดอ่อนก็สามารถนำมาประกอบอาหารได้ ทางมะพร้าวที่ใบติดอยู่ 2 ข้างเอามาผ่าครึ่งแล้วถักใบให้เป็นแผงใช้มุงหลังคาหรือเป็นแผงกันลม ใบย่อยใช้ห่อขนมหรือสานทำของเด็กเล่น ทำเสื่อกันใบก็ตัดแปลงเหลาทำไม้กวาด สานเป็นกระเช้า ทำไม้กลัดไม้จิ้มผลไม้ รากและเยื่อใบนอกจากนำไปเป็นสีย้อมผ้าหรือเส้นด้ายแล้ว ยังเป็นยาสมุนไพรใช้สำหรับบ้วนปาก ถ้างอกแก่ปูดฟันได้

แต่โดยทั่วไปแล้ว ชาวสวนจะปลูกมะพร้าวไว้เพื่อเก็บผลเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เพื่อใช้ประกอบอาหารและแปรรูปขายเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรม ส่วนประโยชน์อย่างอื่นดังที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นเพียงผลพลอยได้เท่านั้น

### 2.3 น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน (สุโขทัย ,2542)

#### 2.3.1 องค์ประกอบของน้ำมัน

ไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะ โครงสร้างของโมเลกุล ดังนี้

1. อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโซ่เปิด ซึ่งเป็นโซ่ตรงหรือโซ่แขนง โดยมีอะตอมของคาร์บอนต่อกับคาร์บอนด้วยพันธะโควาเลนต์ ชนิดพันธะเดี่ยวพันธะคู่ หรือพันธะสาม หรือปนกันก็ได้ เช่น บิวเทน เฮกเซน เป็นต้น

2. อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวง โดยที่อะตอมของคาร์บอนต่อกับคาร์บอนด้วยพันธะเดี่ยวหรือพันธะคู่ ขนาดของวงมีตั้งแต่จำนวนคาร์บอน 3 คาร์บอนจนถึง 9 คาร์บอน หรือมากกว่า เช่น ไซโคลโพรเพน ไซโคลบิวเทน เป็นต้น

3. อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นวงมี  $\pi$  อิเล็กตรอน จำนวน  $4n+2$  (เมื่อ  $n$  คือ เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ เช่น 0,1,2,...) มีโครงสร้างเป็นรูปแบนราบ และ  $\pi$  อิเล็กตรอนนี้มีการเคลื่อนที่เป็นวง และแต่ละอะตอมในวงมักเป็น  $sp^2$  ไฮบริไดซ์

### 2.3.2 ผลกระทบของน้ำมัน (เปี่ยมศักดิ์, 2525)

ผลกระทบในทางตรงได้แก่ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ และตามชายฝั่ง พวกนี้ ได้แก่ นก และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนตามชายฝั่ง (Benthos) คราบน้ำมันจะติดตามขนนก ทำให้นกบินไม่ได้ และขนจะไม่สามารถเก็บความร้อนในร่างกายของนกได้ ทำให้นกหนาวตายไปในที่สุด นอกจากนี้ก็อาจกินคราบน้ำมันที่ติดอยู่ตามตัวทำให้เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง พวก benthos ที่อาศัยอยู่ตามชายหาด เช่น หอยชนิดต่างๆ จะได้รับผลกระทบโดยตรง คราบน้ำมันจะปกคลุมร่างกายและมีพิษต่อระบบประสาทของสัตว์เหล่านี้ น้ำมันที่ลอย และละลายอยู่ในน้ำยังอาจเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้โดยตรง

ผลกระทบในทางอ้อมได้แก่ การที่คราบน้ำมันเป็นตัวกั้นแสงและการแลกเปลี่ยนอากาศของน้ำ ทำให้ผลผลิตของแพลงก์ตอนพืชลดลง มีผลทำให้ปลาที่กินแพลงก์ตอนพืชเหล่านั้นต้องได้รับสารอาหารน้อยลง และในที่สุดต้องอพยพย้ายถิ่นออกไป การประมงจึงได้รับผลกระทบต่อมาอีกทอดหนึ่ง

คราบน้ำมันยังอาจทำให้เกิดอัคคีภัย และในบางครั้งถ้าเข้าไปปะปนกับผลผลิตประมงก็อาจทำให้ผลผลิตประมงเหล่านั้น ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ซื้อ เพราะมีกลิ่นน้ำมันติดอยู่

คราบน้ำมันยังมีผลกระทบในแง่ความสวยงามของธรรมชาติ ในบริเวณชายหาดบางแห่ง ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยว ถ้ามีคราบน้ำมันเประอะเปื้อนก็จะทำให้ไม่สวยงาม ประชาชนเกิดความรังเกียจที่จะใช้สถานที่ดังกล่าวเป็นแหล่งท่องเที่ยว จึงทำให้เศรษฐกิจในบริเวณนั้นได้รับผลกระทบ คราบน้ำมันที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลลงสู่ทะเล จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำมันที่เประอะเปื้อนลดน้อยลงดังนี้

1. การกระจายตัวของน้ำมัน น้ำมันที่จับเป็นแผ่นฟิล์มจะได้รับอิทธิพลจากกระแสลมและลม ทำให้ฟิล์มบางๆ แยกออกเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายออกไปในน้ำ

2. การระเหยของน้ำมัน น้ำมันดิบมีองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำและสูงปนกัน ดังนั้นสารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยไปก่อน ถ้ามีความเร็วลมเข้ามาช่วยก็จะทำให้การระเหยมีอัตราสูงขึ้น โดยจะระเหยไปในรูปของ aerosol น้ำมันที่มีจุดเดือดสูงระเหยได้น้อยจะรวมตัวกับน้ำมีลักษณะเป็นก้อนสีดำ

3. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

ก) Atmospheric oxidation เกิด โดยการเติมออกซิเจนจากอากาศและจากน้ำลงในน้ำมัน

ข) การย่อยสลายโดยแบคทีเรีย มีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถย่อยน้ำมัน ได้ อัตราการย่อยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสิ่งแวดล้อมหลายอย่าง เช่น ออกซิเจน อาหาร และอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 50°F การย่อยสลายโดยแบคทีเรียจะช้าลง

4. การกระจายที่ชายฝั่ง น้ำมันที่รั่วไหลจะถูกพัดพาเข้าหาฝั่ง ส่วนที่เบาจะมีการระเหยได้ อีก ส่วนที่หนักก็จะอยู่ที่พื้นผสมกับสารอื่นๆ บางส่วนก็จะซึมลงไปดิน และทรายตามแนวเขตหาดทราย

นอกจากการเปลี่ยนแปลงของคราบน้ำมันตาม 4 หัวข้อที่ได้อธิบายแล้วนั้น ยังมีน้ำมันอีก ส่วนหนึ่งที่จะลอยตัวอยู่ในน้ำในรูปของ colloidal บางส่วนละลายอยู่ในน้ำบางส่วนก็จะซึมลงสู่ ก้นพื้นของแหล่งน้ำและบางส่วนก็จะถูกดูดซับเข้าไปในสิ่งมีชีวิต

#### 2.4 พิษของน้ำมันที่มีต่อสิ่งมีชีวิต (เปี่ยมศักดิ์, 2525)

น้ำมันดิบมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 98% รวมทั้งยังมีธาตุอื่น เช่น ออกซิเจน กำมะถัน น้ำมันที่กลั่นแล้วจะมีไฮโดรคาร์บอนเกือบ 100%

Aromatic hydrocarbon เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำมันดิบ และเป็นสารที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต สารaromatic ที่มีจุดเดือดสูงจะทำให้เกิดพิษแบบเรื้อรัง เช่น 3,4 Benzo-pyrene สารพวกที่มี 4-5 วงแหวนของ Aromatic ถูกจัดว่าเป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง (carcinogens) นอกจากนี้ saturated hydrocarbon ที่มีจุดเดือดต่ำ ก็ยังมีคุณสมบัติเป็นยาสลบ เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับสารจำพวกนี้เข้าไป มากๆ อาจทำให้สลบไปได้้นาน และถ้ามากเข้าก็อาจทำลายเซลล์ต่างๆ ภายในร่างกายได้

##### 2.4.1 วิธีกำจัดคราบน้ำมันและมาตรการทางกฎหมาย

คราบน้ำมันที่เกิดจากการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ และทะเลอาจถูกกำจัดได้โดยวิธีการ ดังต่อไปนี้คือ

1. การเผา วิธีการนี้ต้องใช้ดุลพินิจอย่างรอบคอบ มิฉะนั้นจะกลายเป็นอัคคีภัยขึ้นได้ การกำจัดคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนแล้วนำขึ้นมาเผาในที่ๆ สามารถควบคุมการลุกลามได้
2. การทำให้จม เป็นวิธีการที่เคยทำกันมาแล้วในอดีต วิธีนี้เราจะใช้สารเคมีที่เมื่อพ่นลงไป ในบริเวณคราบน้ำมันจะทำให้คราบน้ำมันจับตัวกัน เมื่อความถ่วงจำเพาะสูงกว่านี้ก็จะจมลงสู่ก้นพื้น ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือ ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อพวกสัตว์หน้าดิน (benthos)
3. การกักบริเวณ เป็นวิธีการที่ใช้ได้ในบริเวณที่มีคลื่นลมไม่แรงจัด แต่ถ้าเป็นบริเวณทะเลเปิด มีคลื่นลมแรง การกักบริเวณคราบน้ำมันจะทำให้ยาก เมื่อกักบริเวณ ได้แล้วจะต้องทำการกำจัด โดยใช้เครื่องมือตักคราบน้ำมัน ไปเก็บไว้หรือทิ้งในที่ๆ เหมาะสม
4. การใช้วัสดุดูดซับ ในอดีตนั้นมักจะใช้ขี้เลื่อย ฟางข้าว ดูดซับคราบน้ำมันแล้วนำไปทิ้ง อย่างไรก็ดีในบางครั้งก็เกิดปัญหาเพราะแทนที่จะดูดซับน้ำมันแต่กลับไปดูดซับน้ำขึ้นมา มาก ใน

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นวัสดุชนิดพิเศษขึ้นมาใช้ เป็นวัสดุที่ทำจากไฮดรอกซีอะลิวมิเนตที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับน้ำมัน และเป็นวัสดุที่ทนทานสามารถนำไปใช้ได้หลายหน

5. การคักและซ็อน เป็นวิธีการที่ตรงไปตรงมาดี แต่ต้องใช้แรงงานมากและกินเวลา อย่างไรก็ตาม ไรท์ดีในปัจจุบันได้มีการคิดเครื่องมือที่ใช้ในการซ็อนคราบน้ำมันซึ่งมีประสิทธิภาพสูงพอสมควร และใช้ได้ดีในบริเวณที่มีการรั่วไหลของน้ำมันไม่มากเกินไป

6. การทำลายคราบน้ำมัน โดยสารเคมี เป็นวิธีที่บริษัทกลั่นน้ำมันบางบริษัทได้คิดค้นขึ้นมาใช้ สารเคมีที่ว่ามีชื่อทางการค้าว่า Corexit<sup>®</sup> เมื่อพ่นลงไปถูกคราบน้ำมันจะทำให้คราบแตกออกเป็นละอองเล็กๆ เป็นการเพิ่มเนื้อที่ผิวของคราบน้ำมัน ในเวลาต่อมาแบคทีเรียที่เป็นชนิด "oil oxidizing bacteria" จะทำการย่อยสลายละอองน้ำมันเหล่านี้ให้หมดไปได้ในเวลาอันสั้นผู้ผลิตสารเคมีชนิดนี้ได้อ้างว่าสารเคมีดังกล่าวสามารถช่วยเร่งให้เกิด "oil oxidizing bacteria" ได้อย่างรวดเร็ว ปัญหาที่ว่าสารเคมีชนิดนี้จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่ อย่างไรก็ตามไรท์ดีบางประเทศก็ได้อนุญาตให้ใช้แล้ว

#### 2.4.2 หลักการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง (สุโขทัย, 2542)

##### 1. การรวมตะกอน (Coagulation)

การรวมตะกอน (Coagulation) คือการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดประมาณ  $10^5 - 10^7$  เซนติเมตร ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียสามารถรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากประจุที่ล้อมรอบอนุภาค เช่น การเติมเฟอริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) และสารส้ม (Alum) เป็นต้น (สุโขทัย, 2542 อ้างจาก Barnhart, 1971)

##### 2. การดูดซับ (Adsorption)

สารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถกำจัดออกได้โดยใช้เทคนิคการดูดซับ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกตัวกลางดูดซับเอาไว้บนพื้นผิว

การจัดสารปนเปื้อนออกจากสารละลายในกระบวนการดูดซับนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และคุณสมบัติทางเคมี ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆของตัวดูดซับ (Adsorbent) และชนิดของสารปนเปื้อน อัตราการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารปนเปื้อน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการลดลงของประจุบนผิวหน้าของตัวดูดซับ นอกจากนั้นอัตราการดูดซับยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สัมผัสกับตัวดูดซับอีกด้วย ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ตัวดูดซับที่นิยมใช้มากที่สุด (สุโขทัย, 2542 อ้างจาก Barnhart, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การลอยตัว (Flotation)

การลอยตัวใช้ในการกำจัดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ น้ำมันและไขมันในน้ำเสียซึ่งเป็นการแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ความสามารถในการลอยตัวขึ้นอยู่กับการเติมอากาศอย่างเหมาะสม (สุโขทัย ,2542 อ้างจาก Barnhart,1971)

API gravity separator เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมาหลายทศวรรษ แต่ยังไม่สามารถกำจัดอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กได้อย่างสมบูรณ์ มีการรายงานว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันจะอยู่ในช่วง 50-90 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลเข้าและปริมาณน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเป็นปัจจัยสำคัญในการแยกน้ำมัน

วิธีการลอยตัวโดยใช้อากาศเป่า (Dissolved air flotation) ปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเป็นเทคนิคการแยกน้ำมันออกจากน้ำ (oil-water separation) ตามแบบ API gravity separation ที่เข้าระบบหรือน้ำเสียน้ำเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่ อากาศจะถูกละลายภายใต้ความดัน 2.8-4.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีการลดความดันผ่านวาล์วต่อไปยังบ่อน้ำเสีย อากาศผ่านเข้าไป และก่อตัวเป็นฟองอากาศผ่านขึ้นมาสู่ผิวน้ำทำให้น้ำมันลอยแผ่อยู่บนผิวน้ำ (สุโขทัย ,2542 อ้างจาก American Petroleum Institute, 1969)

### 4. การกรอง (Filtration)

ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะใช้เส้นใยสังเคราะห์ในการกำจัดน้ำมันปนเปื้อนในน้ำทิ้ง สารสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบได้แก่ ไนลอน (Nylon) เดครอน (dacron) โพลีโพรพิลีน (polypropylene) และ เส้นใยอะคริลิก(acrylic fibers) ในขนาดต่างๆ กัน พบว่าน้ำมันสามารถดูดซับบนเส้นใยได้ผล ที่ได้จากกระบวนการกรองเพื่อแยกน้ำมันออกจากกัน (oil in water, O/W) คือมีการแตกตัวของน้ำมันในระหว่างที่กรองผ่านตัวกลางทำให้เกิดการแยกชั้นขึ้นหากอนุภาคน้ำมันที่สามารถละลายน้ำได้และอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 40 มิลลิเมตร แสดงอยู่ในระดับที่มีนัยสำคัญ การเติมพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolytes)อาจช่วยในการบำบัดได้ (สุโขทัย ,2542 อ้างจาก American Petroleum Institute , 1969)

### 5. เทคนิคการแยกน้ำมันโดยใช้แผ่นโลหะที่ลาดเอียง (Tilted Plate Separation)

เทคนิคการแยกน้ำมันโดยใช้แผ่นโลหะที่ลาดเอียง (Tilted Plate Separation) เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาจากเทคนิค API separation โดยที่แผ่นโลหะถูกแบ่งเป็นช่องเท่าๆกัน และเอียงทำมุม 45 องศากับแนวระดับ ทำให้มีพื้นที่สัมผัสเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการไหลจึงลดลง น้ำมันที่สะสมอยู่บริเวณด้านล่างของแต่ละแผ่นโลหะ (plate) จะรวมตัวกัน และลอยแผ่อยู่บนพื้นผิว ในทำนองเดียวกันสลักที่สะสมอยู่ด้านบนของแผ่นโลหะ จะเลื่อนลงสู่ด้านล่าง

ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันของเทคนิคการแยกน้ำมัน โดยใช้แผ่นโลหะที่ลาดเอียง จะอยู่ในช่วง 55-65 เปอร์เซ็นต์ (สุโขทัย, 2542 อ้างจาก American Petroleum Institute, 1969)

#### 2.4.3 วิธีการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง

วิธีการกำจัดคราบน้ำมัน โดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้ 3 วิธีร่วมกัน จึงจะทำให้สมบูรณ์ คือ

1. วิธีทางกายภาพ เช่น การใช้ทุ่นกวาดน้ำมัน การใช้เครื่องดูดน้ำ การใช้สารดูดซับน้ำมัน การใช้ตัวขจัดคราบน้ำมัน เพื่อจะกำจัดน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ วิธีนี้จะ ได้ผลดีเฉพาะในบริเวณน้ำนิ่งเท่านั้น

2. วิธีทางเคมี เช่น การใช้สารกระจายตัว หรือ สารตกตะกอน ซึ่งสารเคมีนี้จะราคาแพงสิ้นเปลืองมาก และยังเป็นพิษต่อสัตว์ ซ้ำยังทำให้เกิดปัญหาหมอกภาวะ ซึ่งคิดค่ากำจัดในภายหลัง

3. วิธีทางชีวภาพ แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1) การย่อยสลายโดยธรรมชาติ (Biodegradation) โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ พัฒนาปรับตัวย่อยสลายน้ำมันซึ่งจะเป็นไปอย่างช้าๆ และเวลานานกว่าจะกำจัดคราบน้ำมันได้หมด

2) การเร่งธรรมชาติ (Bioremediation) วิธีหนึ่งคือ โดยการเพิ่มธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน หรือ ฟอสฟอรัส เพื่อให้เชื้อธรรมชาติเจริญเติบโตขยายจำนวน และย่อยสลายน้ำมันลงไป วิธีนี้จะสามารถกำจัดคราบน้ำมันได้เร็วกว่าวิธีที่ปล่อยให้ย่อยสลายเองโดยธรรมชาติ (สุโขทัย, 2542 อ้างจาก Sukumavasi et al., 1993)

#### 2.5 การดูดซับ (Adsorption) (ชิตินา, 2544)

การดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางกายภาพและเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี น้ำมัน เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือต้องการพื้นที่น้อยและไม่มีการปนเปื้อนที่น้ำทิ้งเสีย

##### 2.5.1 หลักการดูดซับ (Concept of adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือก๊าซมาจับผิวของของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการ

นี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า "ตัวถูกดูดซับ" (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า "ตัวดูดซับ" (adsorbant)

การดูดซับด้วยของแข็งอย่างเช่น คาร์บอน จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของแข็ง (surface area of solid) การดูดซับจะเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ (physisorption) และทางเคมี (chemisorption) การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลในวัฏภาคแก๊ส (gas phase) หรือวัฏภาคของเหลว (liquid phase) ชีตติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซนั้น

การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption = physisorption) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive fore) อย่างอ่อนๆ ซึ่งเรียกว่าแรง Van der Waals เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับถูกทำให้เกาะติดแน่นอยู่กับ โมเลกุลของสารดูดซับ โดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นหลายๆชั้น (multilayer) ซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลาย ซึ่งจำนวนชั้นของ โมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพนี้ทำให้เกิดส่วนหนา (thick) และผันกลับได้ (reversible) การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารดูดซับ (desorption) สามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption = chemisorption) จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ และสารดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะผันกลับได้ (Reversible)

ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับ โดยการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2 - 10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูง โดยจะให้พลังงานประมาณ 15 - 50 กิโลแคลอรีต่อโมล

### 2.5.2 ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพ ไม่เกี่ยวข้องกับ การแลกเปลี่ยนหรือ ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน
  2. การดูดซับทางกายภาพ ไม่จำกัดเกี่ยวกับ บริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับ สามารถ เข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
  3. ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ มีค่าเท่ากับ ความร้อนของการกลาย เป็นของเหลว เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางเคมี ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น แต่ค่าความร้อนของการดูดซับก็ไม่ใช่ค่าที่สำคัญในการพิจารณา
  4. การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อมีการเกิดชั้นที่ 1 แล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
  5. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที (เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร) ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (activation energy) ด้วย
- เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของการดูดซับ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการดูดซับทางกายภาพ โดยจะมีค่าน้อยกว่าความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีไม่มากนัก พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นและที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมนั้นเป็นการดูดซับทางกายภาพ

### 2.5.3 กลไกการดูดซับ (kinetic adsorption)

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแพร่ภายนอก (External Diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
2. การแพร่ภายใน (Internal Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ
3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface Reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการการแพร่ ดังนั้นความต้านทานจากกระบวนการนี้จึงละเลยได้

### External Diffusion

ขั้นตอนนี้เป็น การส่งมวลสารของสารที่ถูกดูดซับจากสารละลายไปยังบริเวณพื้นผิวของสารดูดซับ หรือที่ทางเข้ารูพรุนของสารดูดซับ มวลสารที่ถ่ายโอนเป็นไปตามสมการนี้

$$\frac{dq}{dt} = k_f S(c - c^*) \quad (2.1)$$

โดย

$q$  = ปริมาณของสารดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ

$t$  = ระยะเวลา

$k_f$  = mass transfer coefficient ( external)

$S$  = พื้นผิวของสารดูดซับ

$C$  = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในสารละลาย

$C^*$  = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่บริเวณพื้นผิวหน้าของของแข็ง

### Internal Diffusion

คือ การถ่ายโอนมวลสารที่ถูกส่งถ่ายเข้ามาสู่บริเวณพื้นผิวรอบๆของสารดูดซับเข้าสู่ภายในรูพรุนซึ่งมีพื้นผิวเป็นจำนวนมากสำหรับการดูดซับ

$$\frac{dq}{dt} = k_D a_v (q^* - q) \quad (2.2)$$

โดย

$q^*$  = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่สมดุลกับ  $c^*$

$a_v$  = พื้นผิวของสารดูดซับที่เกิดการส่งถ่ายมวลสารของสารที่ถูกดูดซับ

$k_D$  = mass transfer coefficient (internal)

## 2.5.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

### 2.5.4.1 ขนาด และพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ(Adsorption Capacity) อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้น ไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมการดูดซับ การดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ

#### 2.5.4.2 ลักษณะของสารดูดซับ

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่งก็คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากการดูดซับตัวถูกละลาย จะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

#### 2.5.4.3 ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบถ้ามีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับจะมีความปั่นป่วนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้น การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

#### 2.5.4.4 เวลาสัมผัส (Contact Time)

เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง

#### 2.5.4.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**Murielle;et.al.2001** เป็นรายงานการวิจัยที่ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและโลหะต่างๆ จากน้ำทิ้งที่เตรียมขึ้นเองและจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้เปลือกไม้ที่ปรับปรุงแล้วเป็นตัวซึมซับทางชีวภาพ เปลือก ไม้ที่นำมาใช้จะถูกปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี หรือวิธีทางชีวภาพ เพื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถละลายได้ ของเปลือกไม้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ น้ำมันเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้แล้วพบว่ามากกว่าร้อยละ 95 โดยใส่เปลือกไม้ที่ปรับปรุงแล้ว 2 กรัมต่อลิตร ลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมันเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตรที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 20 °C บั่นกวนด้วยความเร็ว 150 rpm นั่นคือค่าความจุที่คงไว้ (RC) จะมีค่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ประมาณ 1 กรัมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่อกรัมของสารตั้งต้นแห้ง ปฏิกริยาการซึมซับที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในทันที และพบว่าค่าความจุที่คงไว้นี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วยนอกจากนี้ผลที่ได้พบว่าเปลือก ไม้ดิบ กับเปลือก ไม้ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี หรือวิธีทางชีวภาพ พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน ใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 97

ผลที่ได้จากเครื่อง FTIR ( Fourier transform infrared spectroscopy ) ซึ่งให้เห็นพบว่าน้ำมันที่ซึมอีลเคนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งยังแสดงได้ว่าไม่มีพันธะเคมีเกิดขึ้นระหว่างเปลือกไม้กับน้ำมันที่ใช้การจืดแรงคิงผิวของน้ำมันที่ใช้แล้ว และดัชนีการเบี่ยงของเปลือกไม้บอกล่าว่าน้ำมันจะถูกเก็บโดยสารตั้งต้นการบำบัดน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมที่ไฮโดรคาร์บอน 14.4 กรัมต่อลิตร โดยใช้เปลือก ไม้ที่บำบัดแล้วพบว่าสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 97 ของสารไฮโดรคาร์บอนและรวมถึงพวกโลหะบางตัวเช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม กำมะถัน และอื่นๆ

นอกจากนี้เปลือก ไม้ที่ผ่านการซึมซับน้ำมันจนอิ่มตัวแล้วพบว่าค่าพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 9,500 เป็น 14,900 Btu/lb ซึ่งเท่ากับประมาณร้อยละ 79 ของค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง ( 19,500 Btu/lb ) ทำให้วัสดุนี้สามารถนำมาใช้เผาไหม้ได้แทนที่จะฝังกลบ

และในรายงานการวิจัยนี้ผู้วิจัยยังได้รวบรวมค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน หรือค่าความจุที่คง ไว้ของวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ ไว้ด้วยดังตารางที่ 2.1 , 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.1 ค่าความจุที่คงไว้ (RC) ของไฮโดรคาร์บอนโดยใช้วัสดุอินทรีย์ธรรมชาติ

Substrate	RC (g/g)
Wood	ND
Pyrolyzed wood fibers	ND
Residue of vegetables	ND
Sawdust	ND
Heat-treated ground wood	2.2 - 6.0
Coniferous bark	1-4
Residue of flax	3
Kapok	36
Wool	30 - 35
Cotton	32 - 38
Milkweed	38
Hibiscus wood (40 g/l oil)	5
Wastes of wood and cotton fibers	2.5
Peat	8
Straw (60 g/l oil)	5
<i>Salvinia</i> sp. (0.8 g/l oil and 0.5 g/l adsorbent)	0.95

หมายเหตุ ND = Not determined

ตารางที่ 2.2 ค่าความจุที่คงไว้ (RC) ของไฮโดรคาร์บอนโดยใช้วัสดุอนินทรีย์

Inorganic Substrate	RC (g/g)
Activated carbon	21
Charcoal	1
Exfoliated graphite	86
Fly ash	ND
Pumice stone	ND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าความจุที่คงไว้ (RC) ของไฮโดรคาร์บอน โดยใช้เส้นใยที่เตรียมขึ้น

Synthetic Fibers	RC (g/g)
Acetylated cellulose	35
Polypropylene	35
Polyethylene terephthalate	28
Viscose rayon (cellulose)	25
Polyhexamethylene adipamide	23
Polyacrylonitrile	22
Polypropylene	12

Murielle; et.al.2002 เสนอผลการวิจัยการศึกษาเปลือกไม้ดิบ เปลือกไม้ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ และเปลือกไม้ที่อ้อมด้วยพวกไอออนโลหะทรานซิชัน โดยนำมาเก็บไขมันจาก อิมัลชันที่สังเคราะห์ขึ้น ในรายงานการวิจัยนี้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัด ไขมันหลายตัว เช่น ความเข้มข้นของไขมัน อุณหภูมิ เวลา พีเอช และความยาวของโซ่ของกรดคาร์บอกซิลิก ผลที่ได้พบว่าการกำจัดไขมันนั้นมากกว่า 95%ของความเข้มข้นเริ่มต้นที่พีเอชต่ำกว่า 7 ค่าความจุที่คงไว้มีค่าหลากหลายตั้งแต่ 0.2 ถึง 2.5 กรัมของไขมันต่อกรัมของเปลือกไม้แห้ง ส่วนการแยกไขมันออกจากตัวซึมซับที่อ้อมด้วยไขมันแล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ แยกออกได้ 95 เปอร์เซ็นต์ค่าความร้อนของเปลือกไม้ที่อ้อมตัวมีค่าประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม จึงนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานแทนที่จะฝังกลบ

บุญรอด,มปป. เสนอผลการวิจัยการศึกษารั้วนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟิซน้ำ 3 ชนิดคือฝักคบชวา บัวสาย และรูปฤาษี ทั้งชนิดระบบเดี่ยว และระบบผสม ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่พักอาศัยโดยมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำเสียและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย(HRT)ในการบำบัดของแต่ละระบบ ฟิซเป็น 10 วัน, 15 วัน และ 20 วัน ผลการศึกษาให้ข้อสรุปว่า เมื่อ HRT มีค่าเท่ากับ 10 วัน ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุด คือ ระบบฝักคบชวามีค่าเท่ากับ 94.95 %ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุดคือ ระบบรูปฤาษีมีค่าเท่ากับ 89.81% ประสิทธิภาพ ในการลดค่า TP สูงสุดคือระบบฝักคบชวามีค่าเท่ากับ 93.96 % เมื่อ HRT มีค่าเท่ากับ 15 วัน

ประสิทธิภาพ ในการลดค่า TSS สูงสุดคือระบบฝักคบขวาระบบพีชผสมมีค่าไม่แตกต่างกันคือ มีค่าเท่ากับ 92.14 % และ 92.58 % ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD พบว่าพีชทั้ง 4 ระบบ ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมีค่าระหว่าง 78.00 % ถึง 79.81 % ประสิทธิภาพในการลดค่า TP สูงสุดคือระบบฝักคบขวามีค่าเท่ากับ 97.93 % เมื่อ HRT มีค่าเท่ากับ 20 วัน ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดคือระบบฝักคบขวามีค่าเท่ากับ 93.56 % ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุด คือระบบ ฝักคบขวามีค่าเท่ากับ 89.42 % ประสิทธิภาพ ในการลดค่า TP พบว่าระบบฝักคบขวาระบบรูปถาวยี่ ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ไม่แตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 97.94 % และ 98.71 % ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดค่า TKN พบว่าทุกระบบพีชน้ำและทุก HRT ที่กำหนด ให้ประสิทธิภาพเข้าใกล้ 100% เนื่องจากช่วงความเข้มข้นของ influent มีค่าไม่สูงมากนัก อยู่ระหว่าง 0.24 - 4.34 mg/L จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบค่า TKN ของ effluent ซึ่งมีค่าน้อยมาก ได้ศึกษาภาพของการขยายผลการทดลองลงสู่พื้นที่จริงพบว่า ระบบฝักคบขวาระบบรูปถาวยี่ ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุด มีค่าอยู่ระหว่าง 92.14 % ถึง 94.95 % ระบบรูปถาวยี่ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุด มีค่าอยู่ระหว่าง 79.81 % ถึง 89.81 % สำหรับการลดค่า TP นั้นพบว่าทุกระบบพีชที่ทำการทดลองให้ประสิทธิภาพสูงในระดับ ที่ใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ ระหว่าง 88.48 % ถึง 97.94 % และทุกระบบ พีชที่ทำการทดลองให้ประสิทธิภาพ ในการลดค่า TKN เข้าใกล้ 100 % สำหรับ น้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของTKN ที่เข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 0.24 - 4.34 mg/L

เกษตรฯ, 2536 ศึกษาการใช้ฝักคบขวาระบบชานอ้อย เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน องค์ประกอบในฝักคบขวามีเซลลูโลส 43-44% ลิกนิน 12-15% แพนโตแซน 14-15% และสารอื่น ส่วนองค์ประกอบในชานอ้อยมีไฮโดรเซลลูโลส 82.52% แอลฟาเซลลูโลส 44% ลิกนิน 19.78% แพนโนแซน 27.21% และสารอื่นๆ โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพฝักคบขวาระบบชานอ้อย ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ของฝักคบขวาที่ไม่ปรับสภาพอยู่ในช่วง 0.686-0.809 meq/g และฝักคบขวาที่ปรับสภาพ (carboxymethyl water hyacinth) อยู่ในช่วง 0.330-0.496 meq/g ส่วนชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าอยู่ในช่วง 0.065-0.086 meq/g และชานอ้อยที่ปรับสภาพ (carboxymethyl bagasse) มีค่าอยู่ในช่วง 0.052-0.069 meq/g นอกจากนี้พบว่า การแลกเปลี่ยนไอออนกับทองแดงมีค่าสูงกว่า นิกเกิล และสังกะสี สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย พบว่า น้ำเสียที่มีโลหะหนักน้อยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูง ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 สำหรับการรีเจนเนเรชั่น ใช้ประมาณ 3 เท่าของปริมาณของช่องว่างในคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
3. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. บีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. ขวดกั้นกลม ขนาด 125 มิลลิลิตร
7. เครื่องกวนแบบใบพัด (Jar test PC4S)
8. เตาอบควบคุมอุณหภูมิ (Oven) ยี่ห้อ Schutzart รุ่น DIN 40050-IP20
9. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC - 254
10. ตู้ดูดความชื้น (Desicator)
11. กรวยแยก ขนาด 1000 มิลลิลิตร
12. กรวยกรอง ขนาด 150 มิลลิลิตร
13. ตะแกรงกรอง
14. ตะแกรงร่อน ขนาด 20 และ 12 mesh (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 mm – 0.83 mm)
15. กระบอกน้ำกลั่น
16. เครื่องบด
17. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ Denver instrument Company รุ่น 251

#### 3.2 สารเคมี

1. น้ำมันเครื่องรถยนต์ซีเซลที่ใช้แล้ว
2. น้ำกลั่น
3. เฮกเซน (Hexane,  $C_6H_{14}$ ) เกรดการค้า บริษัท ZENPOINT
4. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB-SCAN ประเทศ Ireland

5. โซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ (Sodium sulfate anhydrous,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck
6. ผักตบชวา
7. กาบมะพร้าว
8. น้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมัน

### 3.3 การเตรียมตัวอย่าง

#### 3.3.1 ตัวอย่างน้ำ

1. นำขวดแก้วที่เก็บตัวอย่างน้ำมาล้างให้สะอาด แล้วรินส้วด้วยเฮกเซนปริมาณเล็กน้อย ที่วางไว้จนแห้ง
2. เก็บน้ำตัวอย่างจากสถานีบริการน้ำมันแห่งหนึ่ง แลวี่แยกลำผักชี เขตหนองจอก จังหวัดกรุงเทพฯ มา 600 มิลลิลิตรทั้งหมด 12 ขวด
3. นำตัวอย่างน้ำมาปรับพีเอชทันทีด้วยกรดไฮโดรคลอริก (1:1 HCl) ให้ต่ำกว่า 2.0 แล้วแช่ตู้เย็น เก็บได้นาน 28 วัน

#### 3.3.2 กาบมะพร้าวบด และผักตบชวาบด

1. นำกาบมะพร้าว และส่วนลำต้นของผักตบชวาล้างให้สะอาด
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
3. นำกาบมะพร้าว และผักตบชวาที่ยังไม่หั่น มาบดด้วยเครื่องบด
4. นำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 12 กับ 20 mesh
5. รวบรวมผักตบชวา และกาบมะพร้าวบดที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 20 mesh ไว้ (ซึ่งผักตบชวา และกาบมะพร้าวที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.7 – 0.83 มิลลิลิตร)
6. เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

#### 3.3.3 ผักตบชวาหั่น

1. นำส่วนลำต้นของผักตบชวามาล้างให้สะอาด
2. นำผักตบชวามาหั่นให้หนาประมาณ 1 เซนติเมตร
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
4. เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน

##### 3.4.1.1 ปริมาณของตัวดูดซับ

1. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มล. เติมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว 1.0 กรัม เติมผักตบชวาแห้งปริมาณ 0.2 กรัม
2. นำมาปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
3. แยกผักตบชวาออก แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปสกัดหาปริมาณน้ำมันที่เหลือ
4. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนปริมาณผักตบชวาแห้งเป็น 0.4 ,0.6 ,0.8 และ 1.0 กรัม ตามลำดับ
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจากผักตบชวาแห้งเป็นผักตบชวาสด และกาบมะพร้าว โดยปริมาณที่ใช้คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ

##### 3.4.1.2 ความเร็วรอบของการปั่นกวน

1. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มล. เติมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว 1.0 กรัม เติมผักตบชวาแห้งปริมาณ 1.0 กรัมลงไป
2. ปั่นกวนด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
3. แยกผักตบชวาออก แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปสกัดหาปริมาณน้ำมันที่เหลือ
4. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนความเร็วปั่นกวนจาก 30 รอบต่อนาที เป็น 0, 60, และ 120 รอบต่อนาที ตามลำดับ
5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจากผักตบชวาแห้งเป็นผักตบชวาสด และกาบมะพร้าว ปริมาณที่ใช้ คือ 0.2 กรัม

##### 3.4.1.3 เวลาที่ใช้ในการปั่นกวน

1. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มล. ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มล. เติมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว 1.0 กรัม เติมผักตบชวาแห้งปริมาณ 1.0 กรัมลงไป
2. ปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
3. แยกผักตบชวาออก แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปสกัดหาปริมาณน้ำมันที่เหลือ
4. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 6 ซ้ำ แล้วเปลี่ยนเวลาจาก 5 นาทีเป็น 0, 15 และ 30 นาที ตามลำดับ

5. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจากผักตบชวาหั่นเป็นผักตบชวาบด และกาบมะพร้าว 0.2 กรัม
- 3.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน โดยใช้ผักตบชวาและกาบมะพร้าว
1. นำตัวอย่างน้ำที่เก็บมากรองเอาตะกอนออก แล้วรินใส่ตะกอนด้วยเฮกเซนหลายๆ ครั้ง ก่อนทิ้ง
  2. นำตัวอย่างน้ำที่กรองแล้ว มาหาปริมาณน้ำมันที่ปนอยู่ทั้งหมด 3 ซ้ำ
  3. นำตัวอย่างน้ำ มาเติมผักตบชวาหั่นลง ไป 0.1 กรัม ปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อ นาทีเป็นเวลา 15 นาที
  4. แยกผักตบชวาออก แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปสกัดหาปริมาณน้ำมันที่เหลือ
  5. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ ( ข้อ 3 – 4 )
  6. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจากผักตบชวาหั่นเป็นผักตบชวาบด และกาบมะพร้าวโดย ปริมาณที่ใช้คือ 0.05 กรัม ( ข้อ 3 – 5 )
- 3.4.3 การสกัดน้ำมันด้วยเทคนิค Partion – Gravimetric Method
1. เติตัวอย่างน้ำทั้งหมดลงในกรวยแยก เติมหกเซนจำนวน 30 มล. ลงในภาชนะที่บรรจุ ตัวอย่างน้ำ หมุนเพื่อชะน้ำมันที่ติดข้างขวดให้หมดรวมกับตัวอย่างในกรวยแยก สกัด
  2. ปิดฝา และเขย่าแรงๆ เป็นเวลาประมาณ 2 นาที ปล่อยให้ชั้นน้ำมันแยกออกจากน้ำ ชั้นของคว่ำทำละลายอินทรีย์จะอยู่ข้างบน ตัวอย่างน้ำอยู่ด้านล่าง
  3. ถ่ายชั้นตัวอย่างน้ำไว้ในปิเกตอร์เพื่อนำมาสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ถ่ายชั้นเฮกเซนซึ่งมีน้ำมันอยู่เก็บไว้ในขวดก้นกลม ซึ่งทำให้แห้ง และมีน้ำหนักคงที่ซึ่งได้ชั่งไว้แล้ว สมมติ น้ำหนักเท่ากับ A กรัม
  4. นำขวดก้นกลมที่มีน้ำมันที่ได้จากการสกัด มาระเหยเฮกเซนออกด้วยเครื่องกลั่นระเหย จนแห้งปราศจากความชื้น แล้วนำมาทำให้เย็นในตู้ความชื้นประมาณ 30 นาที แล้วชั่ง สมมติ น้ำหนักที่ชั่งได้เป็น B กรัม

### 3.5 การคำนวณ

#### 3.5.1. หาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน (Removal Efficiency – RE)

$$RE = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

RE คือ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน (Removal efficiency) - %

$C_i$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันในสารผสม (Initial concentration)

$C_f$  คือ ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำมันในสารผสม (Final concentration)

#### 3.5.2. หาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน หรือค่าความจุที่คงไว้ (Retention Capacity – RC)

$$RC = \frac{C_i - C_f}{Q}$$

โดยที่

RC คือ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Retention capacity)

$C_i$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันในสารผสม (Initial concentration)

$C_f$  คือ ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำมันในสารผสม (Final concentration)

Q คือ ปริมาณตัวดูดซับ (โดยน้ำหนัก)

#### 3.5.3. หาปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่

$$\text{ปริมาณน้ำมัน (กรัม)} = B - A$$

โดย

A = น้ำหนักเป็นกรัมของขวดกลั่น

B = น้ำหนักเป็นกรัมของขวดกลั่นกับน้ำมัน

### 3.6 การควบคุมคุณภาพ ( Quality Control )

1. ก่อนไปเก็บน้ำตัวอย่างควรรินสีภาชนะด้วยน้ำกลั่น (ภาชนะรินสีด้วยเฮกเซนแล้ว)
2. มีการทำแบลนด์ (Blank)
  - 2.1 ทดลองโดยวิธีเดียวกันแต่ไม่มีการเติมน้ำมันลงไป ( Preparation blank )
  - 2.2 ทดลองเช่นเดียวกันแต่ไม่เติมผักคบชา หรือกามมะพร้าวาลงไป ( Reagent water spike )
3. ทำการชั่งน้ำหนักขวดกันกลมหลายครั้งจนน้ำหนักคงที่

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่เหลือซึ่งได้จากการทดลอง ค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละพารามิเตอร์มีผลต่อการดูดซับน้ำมันแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-way Analysis of Variance แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีผลต่างอย่างมีนัยสำคัญน้อยที่สุด ( Least Significant Difference – LSD ) ว่าค่าเฉลี่ยตัวใดแตกต่างกันหรือไม่แตกต่างกัน (ภาคผนวกง)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสีย และความสามารถในการดูดซับคราบน้ำมัน โดยใช้กาบมะพร้าวบด ผักตบชวาบด และผักตบชวาหั่นเป็นวัสดุดูดซับ ซึ่งเริ่มจากการทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำมันอยู่ 1 กรัมในน้ำ 0.5 ลิตร มาทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ความเร็วในการปั่นกววน และเวลาในการปั่นกววน ทำการทดลองแบบทีละเท (Batch test) เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว ก็นำสภาวะที่ได้ นั้นมาศึกษา หาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน ในน้ำเสียจริงต่อไป ซึ่งผลการทดลองทั้งหมด (ภาคผนวก ก) เป็นดังนี้

#### 4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน

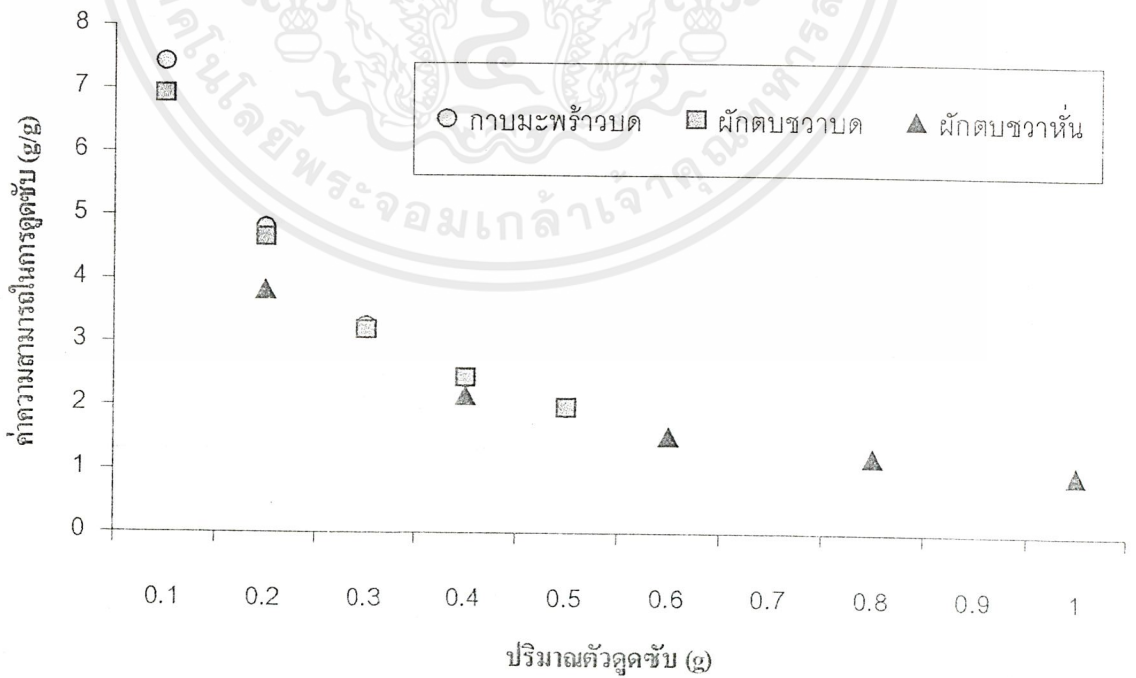
การศึกษาในครั้งนี้ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ , ความเร็วในการปั่นกววน และเวลาในการปั่นกววน ซึ่งได้ผลดังนี้

##### 4.1.1 ผลกระทบของปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน

จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ 0.5 ลิตร ที่มีน้ำมันเข้มข้น 1.0 กรัม ซึ่งใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิดได้แก่ กาบมะพร้าวบด ผักตบชวาบด และผักตบชวาหั่นที่ปริมาณต่าง ๆ ปั่นกววนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันที่สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์จะต้องใช้กาบมะพร้าวบด 0.2 กรัม (96.24%) , ผักตบชวาบด 0.3 กรัม (96.07%) และ ผักตบชวาหั่น 0.8 กรัม (96.71%) ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันกับปริมาณตัวดูดซับ และจากรูปนี้จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับขึ้นอีกประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (แสดงในภาคผนวก ง) ซึ่งการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลง ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับปริมาณตัวดูดซับ จะเห็นว่าปริมาณตัวดูดซับยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันจะลดลงตาม ซึ่งสิ่งนี้บอกได้ว่าการใช้ปริมาณตัวดูดซับมากเกินไป นั้นถึงแม้บางครั้งจะส่งผลดีทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น แต่ก็เป็นการสิ้นเปลือง โดยเฉพาะ ถ้าตัวดูดซับนั้นมีราคาแพง



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน (%) กับปริมาณตัวดูดซับ (g)



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g) กับปริมาณตัวดูดซับ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลกระทบของความเร็วในการปั่นกวนต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

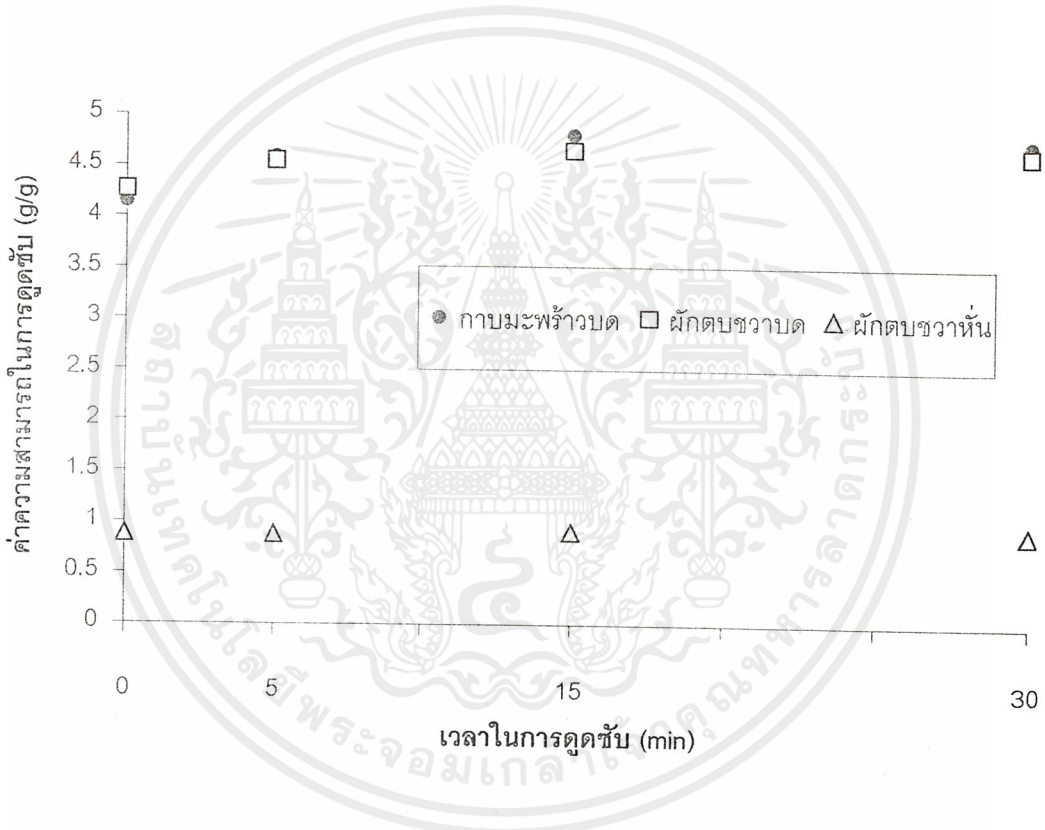
จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมัน กับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน โดยใช้กาบมะพร้าว และผักตบชวาบด 0.2 กรัม ส่วนผักตบชวาทัน 1.0 กรัม ปั่นนาน 15 นาที พบว่าความเร็วในการปั่นกวนที่เหมาะสมกับการดูดซับโดยใช้กาบมะพร้าว และผักตบชวาบด คือ 60 รอบต่อนาที เพราะมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุดคือ 4.83 และ 4.66 กรัมต่อวัสดุดูดซับ 1 กรัมตามลำดับ ส่วนผักตบชวาทัน ความเร็วในการปั่นกวนที่เหมาะสมคือ 0 รอบต่อนาที ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 0.98 กรัมต่อวัสดุดูดซับ 1 กรัม อย่างไรก็ตามที่ความเร็วปั่นกวนต่าง ๆ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของผักตบชวาทันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( ภาคผนวก ง )



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g) กับความเร็วในการปั่นกวน (rpm)

ความเร็วในการปั่นกวนที่เหมาะสมนี้จะทำให้น้ำมันสามารถแพร่เข้าสู่รูพรองของตัวดูดซับได้ลึกที่สุด และไม่แรงจนทำให้น้ำมันที่ถูกดูดซับหลุดออกมา หรือไปติดอยู่ที่ขอบภาชนะมากเกินไป

4.1.3 ผลกระทบของระยะเวลาในการปั่นกวนต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน เวลาในการปั่นกวนถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อความสามารถในการดูดซับ ซึ่งจากการศึกษาได้ผลดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมัน กับ เวลาที่ใช้ในการปั่นกวน โดยใช้กาบมะพร้าว และผักตบชวาบด 0.2 กรัม ส่วนผักตบชวาทันใช้ 1.0 กรัม ปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนที่ดีที่สุด คือ 15 นาที ซึ่งทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของตัวดูดซับทั้งสามชนิด ได้แก่ กาบมะพร้าว, ผักตบชวาบด และผักตบชวาทัน สูงสุด คือ 4.81, 4.66 และ 0.91 กรัมต่อวัสดุดูดซับ 1 กรัม ตามลำดับ

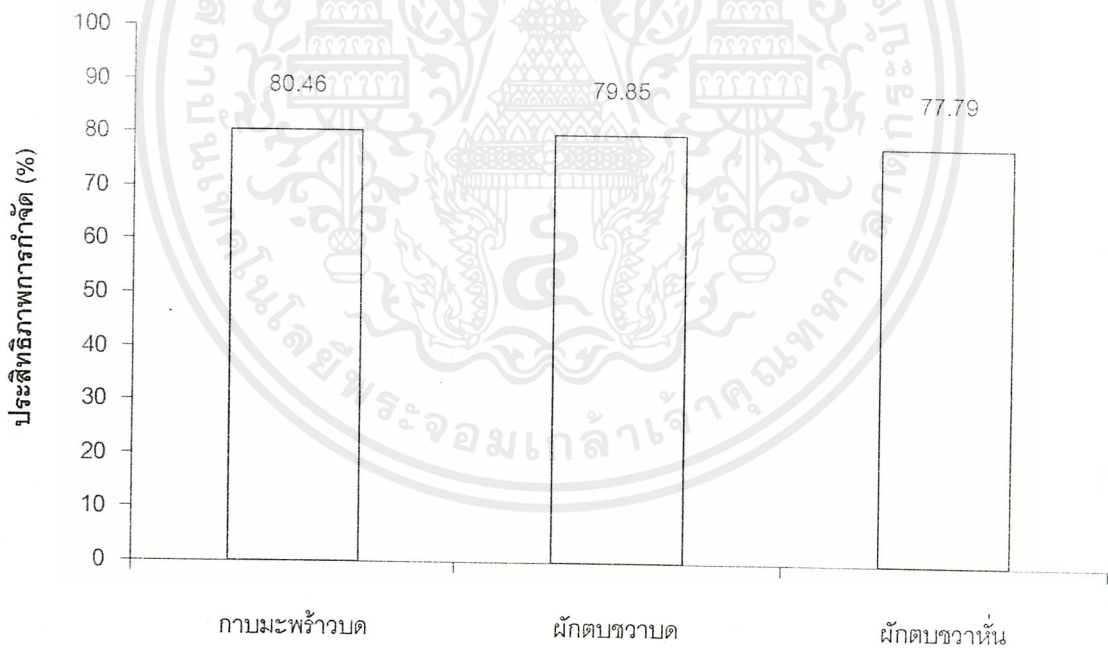


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g) กับเวลาที่ใช้ในการปั่นกวน (min)

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่า การใส่ตัวดูดซับลงไปเพียงเสี้ยววินาที ก็สามารถดูดซับน้ำมันออกไปได้มาก คือ เกิน 80 เปอร์เซ็นต์ นั่นแสดงให้เห็นว่ากลไกการดูดซับน้ำมันโดยตัวดูดซับเหล่านี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเกือบทันทีทันใด (Quasi-instantaneous reaction)

#### 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ โดยสถานะที่เหมาะสมที่ได้จะนำมาปรับเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากสถานีบริการน้ำมัน ซึ่งน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันที่นำมาใช้มีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ประมาณ 0.0824 กรัม ในน้ำ 0.6 ลิตร แล้วเติมตัวดูดซับลงไป โดยในกรณีใช้กาบมะพร้าว และผักตบชวาบดเป็นตัวดูดซับ ปริมาณที่ใช้คือ 0.05 กรัม ปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ส่วนกรณีที่ใช้ผักตบชวาหั่นเป็นตัวดูดซับ ปริมาณที่ใช้คือ 0.1 กรัม ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที ปรากฏว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของกาบมะพร้าวบด , ผักตบชวาบด และผักตบชวาหั่น เท่ากับ 80.46 , 79.85 และ 77.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ซึ่งน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ แต่จากการสังเกตสิ่งที่เหลือหลังจากระเหยเฮกเซนออกหมดแล้วพบว่าสิ่งที่เหลืออยู่นั้นมีน้ำมันปนอยู่น้อยมาก แต่มีตะกอนสีขาวขุ่นเหลืออยู่ด้วย

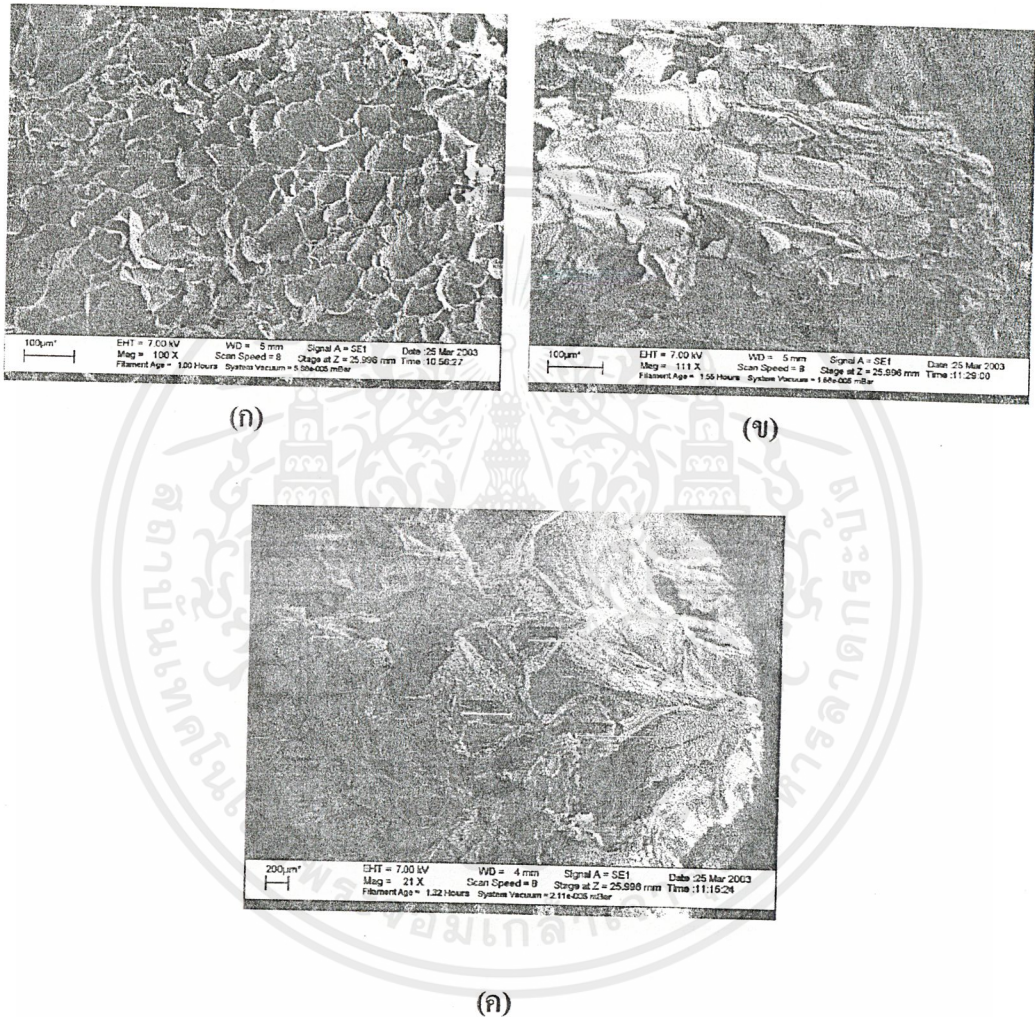


รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับ

ลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับที่ศึกษา คือ พื้นผิว และรูพรุนของตัวดูดซับ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ( Scanning Electron Microscope - SEM ) ซึ่งภาพที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงสภาพพื้นผิวของกามมะพร้าวอบ (ก) ผักตบชวาอบ (ข) และผักตบชวาหั่น (ค) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากรูป 4.6 จะเห็นว่ากามมะพร้าวเป็นวัสดุที่มีรูพรุนมาก ส่วนผักตบชวาอบ พบว่าแทบจะไม่พบรูพรุนเลย พื้นผิวก็ค่อนข้างเรียบ แต่ก็มียรอยลึกขาด ซึ่งน่าจะเกิดจากการอบ และผักตบชวาอบ พื้นผิวก็ค่อนข้างเรียบ รูที่พบมีขนาดใหญ่ ซึ่งก็น่าจะเป็นท่อที่ใช้ลำเลียงน้ำ และอาหารของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลทางด้านกายภาพนี้ ทำให้การดูดซับของตัวดูดซับทั้งสามชนิดแตกต่างกัน คือ กาบมะพร้าวจะดูดซับน้ำมันเข้าไปภายในรูพรุน เช่นเดียวกับผักตบชวาหั่น แต่รูของผักตบชวาหั่นค่อนข้างใหญ่ และพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่าทำให้การดูดซับไม่ดีเท่ากากมะพร้าว ส่วนผักตบชวาบด การดูดซับจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิว แต่ผักตบชวาบดมีพื้นที่สัมผัสมากกว่าผักตบชวาหั่น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับดีกว่า อย่างไรก็ตามในการแยกผักตบชวาบดออกจากตัวอย่างน้ำได้นั้นทำได้ค่อนข้างยาก เพราะการที่น้ำมันถูกดูดซับไว้บริเวณพื้นผิว ทำให้น้ำมันซึ่งมีความหนืดค่อนข้างสูง เกาะติดตามภาชนะ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองค่อนข้างมาก แตกต่างจากการดูดซับของกากมะพร้าวบด และผักตบชวาหั่น ที่จะดูดซับน้ำมันไว้ภายในมากกว่าดูดซับไว้ที่พื้นผิวทำให้การแยกตัวดูดซับทั้งสองชนิดนี้ออกจากตัวอย่างน้ำทำได้ง่ายกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น โดยใช้ น้ำมันเครื่องชนิดดีเซลที่ใช้แล้ว มาบำบัดด้วยวิธีการดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ กาบมะพร้าวอบ ผักตบชวาอบ และผักตบชวาหั่น สรุปได้ดังนี้

- ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันโดยใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันของกากมะพร้าว ดีกว่า ผักตบชวาอบ ถึงแม้ว่าความสามารถในการดูดซับจะใกล้เคียงกัน แต่ กาบมะพร้าวแยกออกจากตัวอย่างน้ำได้ง่ายกว่า และสุดท้ายคือ ผักตบชวาหั่น โดยจุดที่ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันของตัวดูดซับทั้งสาม สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของกากมะพร้าว, ผักตบชวาอบ และผักตบชวาหั่น เท่ากับ 4.81, 3.20 และ 1.23 กรัมของน้ำมันต่อ 1 กรัมของวัสดุดูดซับแห้ง

- สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำมัน ของตัวดูดซับทั้งสามชนิด คือ กาบมะพร้าว และผักตบชวาอบ จะดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุดที่ความเร็วในการปั่นกวน 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ส่วนผักตบชวาหั่น จะดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุด คือ ไม่ต้องปั่นกวน แต่ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที

- การดูดซับน้ำมัน โดยตัวดูดซับทั้งสามชนิดนี้ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเกือบทันทีทันใด (Quasi – instantaneous Reaction) เพราะเพียงเติมตัวดูดซับลงไปในตัวอย่งน้ำเสียสังเคราะห์เพียงเสี้ยววินาที ก็สามารถดูดซับน้ำมันออกได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริง สามารถที่จะปล่อยน้ำเสียให้ไหลผ่านตัวดูดซับได้เลยโดยไม่ต้องปั่นกวน หรือตั้งทิ้งไว้

- ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันออกจาก น้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมัน 0.6 ลิตร ที่มีน้ำมันปนเปื้อนประมาณ 0.0824 กรัม โดยใช้ตัวดูดซับทั้งสามชนิด ได้ผล คือ การดูดซับโดยใช้กากมะพร้าวอบ 0.05 กรัม ผักตบชวาอบ 0.05 กรัม และผักตบชวาหั่น 0.10 กรัม ปั่นกวนด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที นานประมาณ 15 นาที พบว่าได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน เท่ากับ 80.46, 79.85 และ 77.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 5.2 สรุปผลการวิจัยโดยใช้การทดสอบทางสถิติ (ภาคผนวก ง)

1. ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้ก้ามมะพร้าวขนาด 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
2. ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้ฝักคบชวาขนาด 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
3. ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้ฝักคบชวาหั่น 0.8 กับ 1.0 กรัม ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
4. ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยก้ามมะพร้าวขนาดที่ความเร็วปั่นกวน 60 กับ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
5. ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักคบชวาขนาดที่ความเร็วปั่นกวน 30 กับ 60 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ  
ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักคบชวาขนาดที่ความเร็วปั่นกวน 0 30 และ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
6. ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยฝักคบชวาหั่นที่ความเร็วปั่นกวน 0 กับ 30 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ  
ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักคบชวาหั่นที่ความเร็วปั่นกวน 30 กับ 60 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ  
ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักคบชวาหั่นที่ความเร็วปั่นกวน 60 กับ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
7. ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยก้ามมะพร้าวใช้เวลาดูดซับ 15 กับ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ  
ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยก้ามมะพร้าวใช้เวลาดูดซับ 5 กับ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
8. ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยฝักคบชวาขนาดใช้เวลาดูดซับ 5 15 และ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
9. ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยฝักคบชวาหั่นใช้เวลาดูดซับ 0 กับ 5 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ  
ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยฝักคบชวาหั่นใช้เวลาดูดซับ 5 กับ 15 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยผ้าคอตทอนใช้เวลาดูดซับ 15 กับ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ตัวอย่างน้ำเสียจริงที่เก็บได้มีปริมาณน้ำมันปนเปื้อนอยู่น้อย จึงอาจทำให้มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน ของกามมะพร้าวบด ผักคอตทอนบด และผักคอตทอนแห้งได้
2. ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันของตัวดูดซับ เช่น อุณหภูมิ พีเอช
3. เทคนิคการชั่งเพื่อหาค่าความเข้มข้นของน้ำมันนั้น เป็นเพียงค่าคร่าว ๆ อาจไม่ละเอียดเท่ากับเทคนิคอื่น ๆ เช่น เทคนิคการวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอน โดยใช้ Fourier Transform Infrared ( FTIR )



## บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2523. อ้อย เอกสารวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ : ธนประดิษฐ์การพิมพ์.
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2541. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 1**. กรุงเทพฯ :  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เกษตรสุชา พูลคำ. 2536. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขานอ้อย  
และผักตบชวา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสาขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชีว์รัตน์ ศิลปรัตน์, ปริญญา รุ่งโรจน์กิจไพศาล และปวีณา จรัส โชติพิณิต. 2544. การดูดซับตะกั่ว  
และโครเมียม โดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแครง. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธิดิมา รักธรรมดี และมนตรี โฆสิตดลย์. 2544 . การดูดซับโครเมียมในน้ำเสียด้วยขานอ้อยที่กระตุ้น  
ด้วยซิงค์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บัญชา ธนบุญสมบัติ และศุภกาญจน์ คำมณี. 2544. จุลทรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบสแกนนิ่ง: ประสิทธิภาพ  
ระดับจุลภาค. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยา  
ศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- บุญรอด สวัสดิ์พานิช . มปป. **ประสิทธิภาพของระบบพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียชุมชน**.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยมหิดล
- ประวิทย์ สุรนิรนาถ. มปป. [www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt079.html](http://www.ku.ac.th/AgrInfo/thaifish/aqplant/aqpt079.html).
- สุโขทัย เตชะวานิช และอุบลวรรณ ขอดแสง. 2542. การนำน้ำเสียจากสถานีบริการน้ำมันกลับมาใช้  
ประโยชน์โดยการบำบัดด้วย  $O_3/H_2O_2$ . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชา  
เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. มปป. การปลูกมะพร้าว. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โครงการหนังสือเกษตรชุมชน
- Maria Csuros. 1994. **Environmental Sampling and Analysis for Technicians**. New York:  
Lewis Publishers.

- Murielle Haussard and others. 2001. Removal of Hydrocarbons from Wastewater using Treated Bark. **Journal of the air & waste management association**. 51: 1351-1358.
- Murielle Haussard and others. 2002. Use of Treated Bark for the Removal of Lipids from Water. **Journal of the air & waste management association**. 51: 1351-1358.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ผลการทดลอง

## 1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน

## 1.1 ปริมาณตัวดูดซับ

## 1) กาบมะพร้าว

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดกันกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0.1	1	82.3390	82.4623	0.1233
	2	104.1750	104.4087	0.2337
	3	95.0950	95.4037	0.3087
	4	95.1478	95.5028	0.3550
	5	85.1958	85.4243	0.2285
	6	104.3256	104.6220	0.2964
เฉลี่ย				0.2576
0.2	1	83.1626	83.2200	0.0178
	2	95.1295	95.1765	0.0470
	3	103.3356	103.3616	0.0260
	4	95.1878	95.2172	0.0294
	5	103.3216	103.3614	0.0398
	6	106.1741	106.2396	0.0655
เฉลี่ย				0.0376
0.3	1	106.1319	106.1479	0.0160
	2	85.0810	85.0954	0.0144
	3	106.1782	106.1876	0.0094
	4	95.2061	95.2430	0.0369
	5	83.2846	83.3218	0.0372
	6	100.9140	100.9277	0.0137
เฉลี่ย				0.0213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0.4	1	103.2628	103.2889	0.0261
	2	106.1176	106.1288	0.0112
	3	82.3627	82.3792	0.0165
	4	95.2432	95.2693	0.0261
	5	82.4528	82.4927	0.0399
	6	87.8585	87.8746	0.0161
เฉลี่ย				0.0226
0.5	1	95.1490	95.1596	0.0106
	2	87.7264	87.7405	0.0141
	3	85.1038	85.1194	0.0156
	4	106.2418	106.2472	0.0054
	5	103.4520	103.4708	0.0188
	6	90.6365	90.6508	0.0143
เฉลี่ย				0.0131

ตารางที่ ก.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณกาบมะพร้าวต่างๆ

ปริมาณกาบ มะพร้าวอบค (g)	ปริมาณน้ำมันที่ เหลือโดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ กาบมะพร้าว คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพ การกำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0.1	0.2576	0.7424	74.24	7.42
0.2	0.0376	0.9624	96.24	4.81
0.3	0.0213	0.9787	97.87	3.26
0.4	0.0226	0.9774	97.74	2.44
0.5	0.0131	0.9869	98.69	1.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ผักตบชวาบด

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดกันกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0.1	1	104.2498	104.6098	0.3600
	2	95.1696	95.6204	0.4906
	3	85.1250	85.3178	0.1928
	4	104.2419	104.5528	0.3109
	5	82.2942	82.5504	0.2562
	6	87.6984	87.9381	0.2397
เฉลี่ย				0.3084
0.2	1	87.7944	87.8394	0.0450
	2	83.2267	83.2917	0.0650
	3	95.1696	95.2544	0.0848
	4	82.3871	82.4392	0.0521
	5	104.1402	104.2027	0.0625
	6	103.1433	103.2399	0.0966
เฉลี่ย				0.0677
0.3	1	82.3673	82.4043	0.0370
	2	83.2196	83.2509	0.0313
	3	85.0349	85.0611	0.0340
	4	87.6712	87.7045	0.0333
	5	103.2474	103.2745	0.0271
	6	95.1487	95.2215	0.0728
เฉลี่ย				0.0393

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0.4	1	103.3672	103.3872	0.0200
	2	106.1640	106.1846	0.0206
	3	87.7865	87.8184	0.0319
	4	95.0578	95.0660	0.0082
	5	100.7426	100.7670	0.0244
	6	84.9988	85.0076	0.0088
เฉลี่ย				0.0190
0.5	1	103.3561	103.3654	0.0090
	2	106.0454	106.0514	0.0060
	3	83.01337	83.1601	0.0264
	4	95.0279	95.0337	0.0058
	5	90.4800	90.4850	0.0050
	6	83.1011	83.1071	0.0060
เฉลี่ย				0.0097

ตารางที่ ก.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณผักตบชวาบดต่างๆ

ปริมาณ ผักตบชวาบด (g)	ปริมาณน้ำมันที่ เหลือโดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ผักตบชวาบด คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัดน้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0.1	0.3084	0.6916	69.16	6.92
0.2	0.0677	0.9323	93.23	4.66
0.3	0.0393	0.9607	96.07	3.20
0.4	0.0190	0.9810	98.10	2.45
0.5	0.0097	0.9903	99.03	1.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ผักตบชวาแห้ง

ปริมาณตัวคูณซ้ำ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนคูณซ้ำ	หลังคูณซ้ำ	
0.2	1	95.1438	95.4877	0.3439
	2	85.1074	85.3240	0.2166
	3	103.3468	103.5166	0.1698
	4	87.7852	88.0101	0.2249
	5	90.5642	90.7644	0.2002
	6	103.1482	103.4143	0.2661
เฉลี่ย				0.2369
0.4	1	106.1463	106.3025	0.1562
	2	95.1041	95.2486	0.1445
	3	103.3610	103.4519	0.0909
	4	95.1640	95.2564	0.0924
	5	87.7924	87.9633	0.1709
	6	83.1525	83.3066	0.1541
เฉลี่ย				0.1348
0.6	1	103.2100	103.03090	0.0990
	2	83.2078	83.3093	0.1015
	3	103.3400	103.3969	0.0569
	4	83.2088	83.2904	0.0816
	5	85.1218	85.1942	0.0724
	6	106.1508	106.2410	0.0902
เฉลี่ย				0.0836

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณตัวดูดซับ (g)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0.8	1	104.2462	104.2658	0.0196
	2	85.1154	85.1536	0.0384
	3	87.7876	87.8298	0.0422
	4	104.2031	104.2370	0.0399
	5	85.0778	85.1047	0.0269
	6	95.0769	95.1135	0.0366
เฉลี่ย				0.0329
1.0	1	95.1133	95.1531	0.0398
	2	85.1155	85.1276	0.0121
	3	104.2408	104.2944	0.0536
	4	95.1587	95.2023	0.0436
	5	82.3717	82.4222	0.0505
	6	100.8336	100.8681	0.0345
เฉลี่ย				0.0390

ตารางที่ ก.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันและค่าความจุที่คงไว้ ณ ปริมาณผกตบชวาทันต่างๆ

ปริมาณ ผกตบชวาทัน (g)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือโดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ผกตบชวาทัน คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพ การกำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0.2	0.2396	0.7630	76.31	3.82
0.4	0.1348	0.8652	86.52	2.16
0.6	0.0836	0.9164	91.64	1.53
0.8	0.0329	0.9671	96.71	1.21
1.0	0.0390	0.9610	96.10	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความเร็วในการปั่นกววน

## 1) กาบมะพร้าว

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขูดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนขูดซ้ำ	หลังขูดซ้ำ	
0	1	90.5990	90.7267	0.1277
	2	103.2783	103.3777	0.0994
	3	104.2664	104.3524	0.0860
	4	87.8173	87.9519	0.1346
	5	100.8687	100.9325	0.0643
	6	85.1381	85.1997	0.0616
	เฉลี่ย			
30	1	106.1438	106.2183	0.0745
	2	95.1434	95.2191	0.0757
	3	82.3629	82.4411	0.0782
	4	95.1031	95.1856	0.0825
	5	103.3446	103.4038	0.0592
	6	83.2089	83.2905	0.0816
	เฉลี่ย			
60	1	85.0968	85.1450	0.0490
	2	87.7741	87.8209	0.0468
	3	95.0950	95.1245	0.0295
	4	103.3367	103.3591	0.0224
	5	104.2219	104.2575	0.0356
	6	90.5549	90.5811	0.0262
	เฉลี่ย			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดกั้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
120	1	83.2149	83.2480	0.0331
	2	85.1045	85.1392	0.0347
	3	87.7789	87.8226	0.0437
	4	104.2308	104.2644	0.0336
	5	10.8266	100.8636	0.0370
	6	103.2330	103.2781	0.0451
เฉลี่ย				0.0379

ตารางที่ ก.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันกับค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วในการปั่นกวน  
ต่างๆ โดยใช้กาบมะพร้าว 0.2 กรัม เป็นตัวดูดซับ

ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ กาบมะพร้าว คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.0956	0.9044	90.44	4.50
30	0.0753	0.9247	92.47	4.62
60	0.0349	0.9651	96.51	4.83
120	0.0379	0.9621	96.21	4.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ผักตบชวาบด

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขูดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0	1	103.3744	103.567	0.1623
	2	106.1641	106.2491	0.0850
	3	83.2218	83.3095	0.0877
	4	104.2468	104.3428	0.0960
	5	85.1184	85.2566	0.1382
	6	87.7950	87.8616	0.0666
	เฉลี่ย			
30	1	106.1583	106.2625	0.1042
	2	95.1583	95.2506	0.0923
	3	82.3853	82.4783	0.0930
	4	95.1411	95.2295	0.0884
	5	82.3819	82.4600	0.0781
	6	95.1628	95.2470	0.0842
	เฉลี่ย			
60	1	87.7944	87.8394	0.0450
	2	83.2267	83.2917	0.0650
	3	95.1696	95.2544	0.0848
	4	82.3871	82.4392	0.0521
	5	104.1402	104.2027	0.0625
	6	103.1433	103.2399	0.0966
	เฉลี่ย			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลม โดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
120	1	83.2285	83.3380	0.1095
	2	85.1207	85.2157	0.0950
	3	87.7963	87.8936	0.0973
	4	103.3925	103.4702	0.0777
	5	106.1638	106.2270	0.0632
	6	83.2242	82.2910	0.0668
เฉลี่ย				0.0978

ตารางที่ ๕.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันกับค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วในการปั่นกววน  
ต่างๆ โดยใช้ฝักตบขนาด 0.2 กรัม เป็นตัวดูดซับ

ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ฝักตบขนาด คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.1060	0.8940	89.40	4.47
30	0.0900	0.9100	91.00	4.55
60	0.0677	0.9323	93.23	4.66
120	0.0978	0.9022	90.22	4.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ผักคอบชาวหั่น

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขูดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนคูดซับ	หลังคูดซับ	
0	1	87.7684	87.7832	0.0148
	2	106.1312	106.1516	0.0204
	3	83.1969	83.2284	0.0315
	4	95.1105	95.1396	0.0291
	5	85.1153	85.1328	0.0173
	6	104.2405	104.2559	0.0154
เฉลี่ย				0.0215
30	1	95.0927	95.1318	0.0391
	2	85.0944	85.1300	0.0356
	3	104.2170	104.2489	0.0319
	4	87.7881	87.8076	0.0195
	5	103.2538	103.2842	0.0304
	6	83.2170	83.2531	0.0361
เฉลี่ย				0.0321
60	1	95.1133	95.1531	0.0398
	2	85.1155	85.1276	0.0121
	3	104.2408	104.2944	0.0536
	4	95.1587	95.2023	0.0436
	5	82.3717	82.4222	0.0505
	6	100.8336	100.8681	0.0345
เฉลี่ย				0.0390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ (rpm)	ครั้งที่	น้ำหนักขูดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
120	1	95.1312	95.1842	0.0530
	2	82.3556	82.3974	0.0418
	3	100.8180	100.8637	0.0457
	4	95.1141	95.1592	0.0451
	5	85.1126	85.1644	0.0518
	6	104.2428	104.2872	0.0444
เฉลี่ย				0.0470

ตารางที่ ก.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันกับค่าความจุที่คงไว้ ณ ความเร็วในการปั่นกวาด  
ต่างๆ โดยใช้ฝักตบชวहन 1.0 กรัม เป็นตัวดูดซับ

ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ฝักตบชวहन คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.0215	0.9785	97.85	0.98
30	0.0321	0.9679	96.79	0.97
60	0.0390	0.9610	96.10	0.96
120	0.0470	0.9530	95.30	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 เวลาที่ใช้ในการปั่นกวน

## 1) กาบมะพร้าว

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดกันกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนคูดซับ	หลังคูดซับ	
0	1	90.5962	90.8221	0.2259
	2	100.8701	101.0720	0.2019
	3	103.2796	103.4421	0.1629
	4	95.1377	95.3477	0.2100
	5	82.3965	82.4923	0.0958
	6	95.1838	95.3156	0.1318
เฉลี่ย				0.1714
5	1	95.1292	95.2163	0.0871
	2	103.3737	103.4289	0.0552
	3	103.2730	103.3347	0.0605
	4	87.7859	87.8763	0.0904
	5	106.1524	106.2507	0.0983
	6	83.2151	83.3214	0.1063
เฉลี่ย				0.0830
15	1	83.1626	83.2200	0.0178
	2	95.1295	95.1765	0.0470
	3	103.3356	103.3616	0.0260
	4	95.1878	95.2172	0.0294
	5	103.3216	103.3614	0.0398
	6	106.1741	106.2396	0.0655
เฉลี่ย				0.0376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
30	1	106.1704	106.2401	0.0397
	2	95.1690	95.2063	0.0373
	3	82.3870	82.4499	0.0629
	4	83.2422	83.2987	0.0565
	5	85.1296	85.1730	0.0434
	6	87.7995	87.8479	0.0484
เฉลี่ย				0.0530

ตารางที่ ๗.๗ แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ในการปั่นกว  
ต่างๆ โดยใช้กามมะพร้าว 0.2 กรัม เป็นตัวดูดซับ

เวลา (min)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ กามมะพร้าว คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.1714	0.8286	82.86	4.14
5	0.0830	0.9170	91.70	4.59
15	0.0376	0.9624	96.24	4.81
30	0.0530	0.9470	94.70	4.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ผักตบชวาบด

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0	1	95.1167	95.2116	0.0949
	2	103.3603	103.5567	0.1964
	3	104.2452	104.4334	0.1882
	4	104.2597	104.4642	0.2045
	5	85.1217	85.2455	0.1238
	6	87.8002	87.8800	0.0798
เฉลี่ย				0.1479
5	1	83.2324	83.2956	0.0362
	2	85.1247	85.2796	0.1545
	3	87.7972	87.8581	0.0609
	4	87.7853	87.8976	0.1123
	5	85.1124	85.2001	0.0877
	6	83.2228	83.2899	0.0671
เฉลี่ย				0.0910
15	1	87.7944	87.8394	0.0450
	2	83.2267	83.2917	0.0650
	3	95.1696	95.2544	0.0848
	4	82.3871	82.4392	0.0521
	5	104.1402	104.2027	0.0625
	6	103.1433	103.2399	0.0966
เฉลี่ย				0.0677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
30	1	106.1648	106.2038	0.0410
	2	95.1620	95.2157	0.0537
	3	82.3808	82.4264	0.0456
	4	106.1516	106.2681	0.1165
	5	95.1489	95.2395	0.0909
	6	82.3700	82.4582	0.0882
เฉลี่ย				0.0727

ตารางที่ ก.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ในการปั่นกววน  
ต่างๆ โดยใช้ฝักคอบชวาค 0.2 กรัม เป็นตัวดูดซับ

เวลา (min)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ฝักคอบชวาค คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.1479	0.8521	85.21	4.26
5	0.0910	0.9090	90.90	4.55
15	0.0677	0.9323	95.23	4.66
30	0.0727	0.9273	92.73	4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ผักตบชวาหั่น

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
0	1	87.7778	87.8933	0.1155
	2	83.2112	83.3477	0.1365
	3	103.2401	103.3641	0.1240
	4	104.2625	104.3941	0.1316
	5	85.1322	85.2182	0.0860
	6	87.8098	87.9628	0.1530
	เฉลี่ย			
5	1	104.2742	104.3825	0.1083
	2	85.1426	85.2689	0.1263
	3	87.8203	87.9315	0.1112
	4	103.3869	103.5006	0.1137
	5	82.3905	82.4923	0.1018
	6	95.1358	95.2675	0.1317
	เฉลี่ย			
15	1	103.3956	103.4992	0.1036
	2	82.4238	82.5361	0.1123
	3	85.1648	85.2907	0.1259
	4	90.5391	90.6047	0.0656
	5	100.8245	100.8852	0.0607
	6	103.2198	103.2760	0.0562
	เฉลี่ย			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
		ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
30	1	106.1986	106.2774	0.0788
	2	95.2027	95.3210	0.1183
	3	95.1642	95.2744	0.1102
	4	103.3528	103.4359	0.0831
	5	82.3829	82.4621	0.0792
	6	85.1429	85.2065	0.0636
เฉลี่ย				0.0888

ตารางที่ ก.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน และค่าความจุที่คงไว้ ณ เวลาที่ใช้ในการปั่นกวาด  
ต่างๆ โดยใช้ฝักตบชวहन 1.0 กรัม เป็นตัวดูดซับ

เวลา (min)	ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ โดยเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ ฝักตบชวहन คงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัด น้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (g น้ำมัน/ g ตัวดูดซับแห้ง)
0	0.1244	0.8756	87.56	0.88
5	0.1155	0.8845	88.45	0.88
15	0.0874	0.9126	91.26	0.91
30	0.0888	0.9112	91.12	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจริง

### 2.1 ปริมาณน้ำมันในตัวอย่างน้ำทิ้ง

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมัน (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	82.3496	82.4019	0.0523
2	83.1944	83.3228	0.1284
3	95.0920	95.1586	0.0666
เฉลี่ย			0.0824

### 2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน

#### 1) กาบมะพร้าว

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	90.5462	90.5669	0.0207
2	103.2178	103.2294	0.0116
3	95.0541	95.0701	0.0160
เฉลี่ย			0.0161

#### 2) ผักตบชวาสด

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	100.8090	100.8284	0.0194
2	85.0844	85.1032	0.0188
3	82.3480	82.3597	0.0117
เฉลี่ย			0.0166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ผักตบชวาหั่น

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	95.0812	95.1001	0.0189
2	83.1916	83.2086	0.0170
3	90.5212	90.5403	0.0191
เฉลี่ย			0.0183

ตารางที่ ก.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันในน้ำเสียจริง

ตัวดูดซับ	ปริมาณน้ำมันที่ เหลือเฉลี่ย (g)	ปริมาณน้ำมันที่ตัว ดูดซับคงไว้ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัดน้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้(กรัม น้ำมันต่อกรัมตัวดูดซับ)
กาบมะพร้าว	0.0161	0.0663	80.46	1.33
ผักตบชวาบด	0.0166	0.0658	79.85	1.32
ผักตบชวาหั่น	0.0183	0.0641	77.79	0.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

#### 3.1 ทดสอบผลกระทบจากตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำมัน (Reagent water spike)

##### 1) กาบมะพร้าว 0.5 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	100.8723	100.8732	0.0009
2	90.5982	90.5987	0.0005
3	83.2387	83.2396	0.0009
4	104.2710	104.2690	0.0005
5	85.1350	85.1354	0.0004
6	87.8135	87.8130	0.0004
เฉลี่ย			0.0006

##### 2) ผักตบชวาบด 0.5 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	82.3813	82.3818	0.0005
2	95.1255	95.1255	0.0000
3	95.1580	95.1583	0.0003
4	82.3971	82.3972	0.0001
5	100.2773	103.2775	0.0002
6	95.1782	95.1785	0.0004
เฉลี่ย			0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) ผักตบชวาแห้ง 1.0 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	95.1242	95.1242	0.0000
2	95.0849	95.0650	0.0001
3	100.8137	100.8137	0.0000
4	90.5478	90.5480	0.0002
5	85.0879	85.0882	0.0003
6	104.2141	104.2142	0.0001
เฉลี่ย			0.0001

3.2 ทดสอบผลกระทบบจากน้ำมันเครื่องที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมัน (Preparation blank)  
ปริมาณน้ำมันเครื่องชนิดซีซีใช้แล้ว = 1.0 กรัม

ครั้งที่	น้ำหนักขวดก้นกลมโดยเฉลี่ย (g)		ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (g)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
1	103.3887	104.3545	0.9658
2	106.1824	107.1424	0.9516
3	83.2384	84.2205	0.9821
4	95.1196	96.0601	0.9405
5	82.3772	83.2730	0.9041
6	95.1600	96.1009	0.9492
เฉลี่ย			0.9489

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมัน โดยการใช้ตัวดูดซับต่างๆ ได้แก่ กาบมะพร้าวอบ ผักตบชวาอบ และผักตบชวาหั่น สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1 คือ

$$RE = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ RE คือ ค่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน (Removal efficiency)

$C_i$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันในสารผสม (Initial concentration)

$C_f$  คือ ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำมันในสารผสม (Final concentration)

ค่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันนี้คำนวณได้โดยการสกัดน้ำมันที่เหลือหลังจากผ่านการบำบัดด้วยเฮกเซน แล้วหาค่าปริมาณโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ผ่านการระเหยแห้งเฮกเซนออกแล้ว ซึ่งค่าประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จะบอกเราว่าตัวดูดซับที่ใช้สามารถกำจัดน้ำมันออกไปได้มากน้อยแค่ไหน

ในการทดลองครั้งนี้ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันในสารผสมน้ำกับน้ำมัน ( $C_i$ ) จะเท่ากับ 1 กรัม เสมอ (กรณีที่ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์)

การดูดซับโดยใช้ผักตบชวาหั่น 0.8 กรัม ปั่นกวนด้วยความเร็ว 0 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ผลที่ได้แสดงดังตาราง

ครั้งที่	น้ำหนักขวดกันกลม (g)		ปริมาณน้ำมัน ที่เหลือ (g)	ประสิทธิภาพการ กำจัดน้ำมัน (%)	ค่าความจุที่คงไว้ (gน้ำมัน/gตัวดูดซับ)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ			
1	90.5799	90.6001	0.0202		
2	83.2197	83.2610	0.0413		
3	100.8059	100.8192	0.0133		
4	90.5372	90.5458	0.0086		
5	83.1842	83.1943	0.0101		
เฉลี่ย			0.0187	98.13	1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการกำจัดน้ำมันในตัวอย่างน้ำเสียจริง

1. กาบมะพร้าววอด

ค่าความจุที่คงไว้ของก้ามมะพร้าวที่มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดีที่สุด

$$= 1.97 \text{ g น้ำมัน} / \text{g ตัวดูดซับแห้ง}$$

ซึ่งก็คือ

การดูดซับน้ำมัน 1.97 กรัม ต้องใช้ก้ามมะพร้าววอด 1 กรัม

ถ้าดูดซับน้ำมัน 0.10 กรัม ต้องใช้ก้ามมะพร้าววอด  $\frac{1 \times 0.1}{1.97}$

$$1.97$$

$$\approx 0.05 \text{ กรัม}$$

2. ผักตบชวาบด

ค่าความจุที่คงไว้ของผักตบชวาบดที่มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดีที่สุด

$$= 1.98 \text{ g น้ำมัน} / \text{g ตัวดูดซับแห้ง}$$

ซึ่งก็คือ

การดูดซับน้ำมัน 1.98 กรัม ต้องใช้ผักตบชวาบด 1 กรัม

ถ้าดูดซับน้ำมัน 0.10 กรัม ต้องใช้ผักตบชวาบด  $\frac{1 \times 0.1}{1.98}$

$$1.98$$

$$\approx 0.05 \text{ กรัม}$$

3. ผักตบชวาหั่น

ค่าความจุที่คงไว้ของผักตบชวาหั่นที่มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดีที่สุด

$$= 1.21 \text{ g น้ำมัน} / \text{g ตัวดูดซับแห้ง}$$

ซึ่งก็คือ

การดูดซับน้ำมัน 1.21 กรัม ต้องใช้ผักตบชวาหั่น 1 กรัม

ถ้าดูดซับน้ำมัน 0.10 กรัม ต้องใช้ผักตบชวาหั่น  $\frac{1 \times 0.1}{1.21}$

$$1.21$$

$$\approx 0.10 \text{ กรัม}$$

หมายเหตุ ปริมาณน้ำมัน 0.1 กรัม มาจากปริมาณน้ำมันที่พบในน้ำเสียที่เก็บได้จากสถานีบริการน้ำมัน (0.0824 กรัม)

## ภาคผนวก ข.

## มาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ธงชัย และวิบูลย์ลักษณ์, 2540)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0
ทีดีเอส (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 3,000 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 5,000 mg/l น้ำทิ้งที่ระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีความเค็ม 2,000 mg/l หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้อีกไม่เกิน 5,000 mg/l
สารแขวนลอย (Suspended solids)	ไม่เกิน 50 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 150 mg/l
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สีและกลิ่น (Color and Oder)	เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 mg/l
น้ำมันและไขมัน (Fat oil and Grease)	ไม่เกิน 5 mg/l อาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 15 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ  
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 mg/l
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 mg/l
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1 mg/l
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือ สัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีที่กำหนด
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะ กรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 60 mg/l
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)	ไม่เกิน 100 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะ กรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 200 mg/l
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่แหล่งรับ น้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานตามที่คณะ กรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ต้องไม่เกิน 400 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และ  
นิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
โลหะหนัก(Heavy Metal)	
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 50 mg/l
โครเมียม(Cr)	
Hexavalent	ไม่เกิน 0.25 mg/l
Trivalent	ไม่เกิน 0.75 mg/l
อาร์เซนิก(As)	ไม่เกิน 0.25 mg/l
ทองแดง(Cu)	ไม่เกิน 2.0 mg/l
ปรอท(Hg)	ไม่เกิน 0.005 mg/l
แคดเมียม(Cd)	ไม่เกิน 0.03 mg/l
แบเรียม(Ba)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
เซเลเนียม(Se)	ไม่เกิน 0.02 mg/l
ตะกั่ว(Pb)	ไม่เกิน 0.2 mg/l
นิกเกิล(Ni)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
แมงกานีส(Mn)	ไม่เกิน 5.0 mg/l

หมายเหตุ :

1. มาตรฐานนี้ ได้ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539
2. mg/l หมายถึง มิลลิกรัมต่อลิตร
3. โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน
4. นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรมหรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม
5. น้ำเสีย หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น
6. น้ำทิ้ง หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งระบบขนส่งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้ความหมายรวมถึงน้ำทิ้งจากการใช้น้ำของคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศ

7. โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ 2 และ 3 ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 และนิคมอุตสาหกรรม ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการควบคุมมลพิษ เมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2537 ให้กำหนดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องถูกควบคุมตามมาตรา 69 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope)

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง : ประศูตวิไลระดับจุลภาค (บัญชา และศุภกาญจน์ , 2544)  
 คงจะเป็นธรรมชาติของมนุษย์ที่มักจะมีความต้องการ (หรือความจำเป็น) ที่จะเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ รอบตัว นักประดิษฐ์ได้อาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติ และสรรค์สร้างเทคโนโลยีเพื่อขยายขีดความสามารถในการรับรู้ของคนเราทางด้านต่าง ๆ

สำหรับทางด้านการมอง เราคงคุ้นเคยกับอุปกรณ์หลากหลายประเภท ตั้งแต่แว่นขยายที่ใช้ขยายส่องของเล็ก ๆ (เช่น ดูพระเครื่อง หรือดูลายมือ) เครื่องเอกซเรย์ สำหรับตรวจสอบอวัยวะภายในหรือสิ่งของ ที่อยู่ภายในกระเป๋าสัมภาระเดินทาง กล้องโทรทรรศน์สำหรับใช้ศึกษาดวงดาว และเทหวัตถุที่อยู่ไกลแสนไกล และกล้องอินฟราเรดซึ่งช่วยให้เรามองเห็นได้ในที่มืด เป็นต้น

เทคนิคการศึกษาสิ่งเล็ก ๆ หรือที่เรียกว่า จุลทรรศน์ (Microscopy) นั้นนับเป็นศาสตร์หนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดในวิทยาการหลากหลายสาขา ในปัจจุบันเราอาจขยายภาพในระดับ 10 เท่า โดยใช้แว่นขยายระดับ 10-1,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope, OM) ระดับ 10 - 1,000,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope, EM) เทคนิคเฉพาะทางอื่น ๆ ก็ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ศึกษาโครงสร้าง และสมบัติบางประการของสสาร เช่น Acoustic Microscopy, Field - Ion Microscopy และ Scanning Probe Microscopy (SPM) เป็นต้น เทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้มักจะทำให้ข้อมูลซึ่งเกี่ยวกับสิ่งที่กำลังศึกษาแตกต่างกันไป แต่ทุกเทคนิคมีลักษณะร่วมกันประการหนึ่งคือ ข้อมูลที่ได้เป็นผลจากอันตรกิริยาระหว่างโพรบ (Probe) หรือสิ่งที่ใช้ตรวจสอบกับตัวอย่าง (Sample) หรือสิ่งที่ได้รับการตรวจสอบ

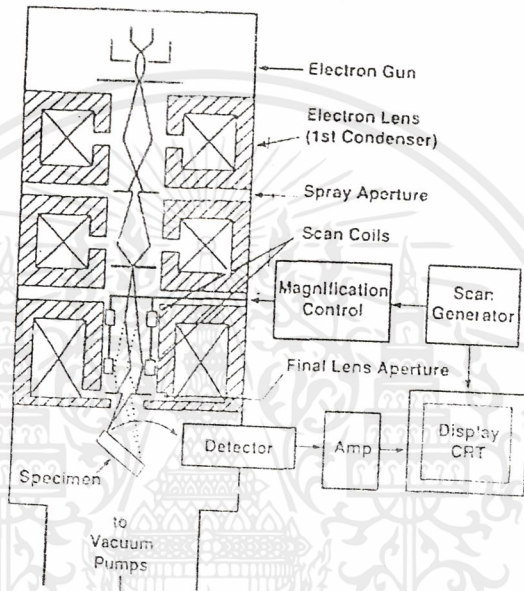
บทความนี้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscopy, SEM) ส่วนประกอบของกล้อง ลักษณะการใช้งานโดยทั่วไป และการใช้งานเฉพาะทางบางประการ ซึ่งตามปกติเรามักจะเห็นภาพพื้นผิว และลักษณะของสิ่งเล็ก ๆ แต่ที่จริงแล้วเราสามารถใช้ SEM ในด้านอื่น ๆ ได้อีกหลายอย่าง

#### หลักการทำงานของ SEM

ส่วนประกอบ และหลักการทำงาน โดยสังเขปของเครื่อง SEM แสดงไว้ในรูปที่ ค.1 ในส่วนบนสุด จะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source) หรือ "ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun)"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ ซึ่งภายในมีสภาพเป็นสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ในช่วง 0 – 30 kV (บางเครื่องอาจทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) 2 ชุด หรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดยแอฟเพอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันตามลักษณะการใช้งาน



รูปที่ ค.1 แผนภาพแสดงการทำงานของ SEM

เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (First condenser lens) อาจนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญสูงสุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์ของอิเล็กตรอน (Electron optics) เนื่องจากเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ "บีบ" ลำอิเล็กตรอน ที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิด ให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (demagnification) ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมายโดยมีคอยล์กวาดภาพ (Scan coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในกรอบสี่เหลี่ยม คล้ายกับการกวาดภาพบนจอโทรทัศน์

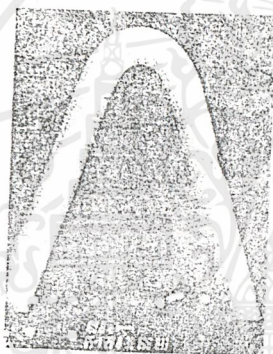
อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างซับซ้อนในเนื้อสารของวัสดุตัวอย่างจะให้สัญญาณต่าง ๆ ออกมาหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทอาจตรวจจับ และนำไปแสดงผลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

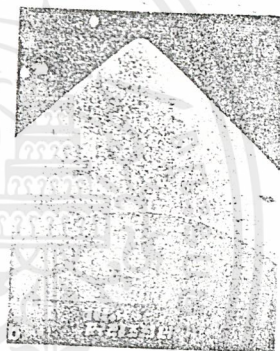
### แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Source)

แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน หรือปืนอิเล็กตรอนทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่สามารถผลิตกระแสจำนวนมาก โดยตัววัสดุที่ใช้ทำปืนอิเล็กตรอนนี้ต้องมีเสถียรภาพ และภาคตัดขวางของลำอิเล็กตรอนที่ส่งออกไปต้องเป็นจุดเล็ก ๆ ในปัจจุบันมีปืนอิเล็กตรอนที่นิยมใช้งาน 4 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ลวดทังสแตน (Tungsten Filament) : ปืนอิเล็กตรอนแบบนี้เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก และไม่ต้องการสภาพสุญญากาศ ที่พิเศษมากนัก รูปที่ ค.2 แสดงปืนอิเล็กตรอนแบบลวดทังสแตน ซึ่งในการใช้งานจะให้ความร้อนกับลวด และใช้ความต่างศักย์ดึงให้อิเล็กตรอนออกมาจากบริเวณปลายแหลม ซึ่งเป็นกลไกที่เรียกว่า แบบเทอร์มิออนิกอิมิชชัน (Thermionic emission) หรือการปลดปล่อยอิเล็กตรอนเนื่องจากความร้อน



รูปที่ ค.2 ปืนอิเล็กตรอนแบบลวดทังสแตน

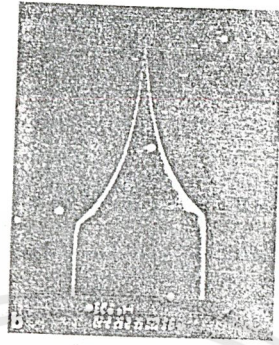


รูปที่ ค.3 ปืนอิเล็กตรอนแบบLaB<sub>6</sub>

2. ผลึก LaB<sub>6</sub> (Lanthanum Hexaboride Crystal) : ปืนอิเล็กตรอนแบบนี้ทำจากทังสแตนใช้หลักการทำงานแบบเทอร์มิออนิกอิมิชชัน เช่นเดียวกัน แต่สามารถให้ "ความสว่าง (Brightness)" สูงกว่าลวดทังสแตนประมาณ 10 เท่า มีอายุยาวนานกว่า และแน่นอนต้องมีราคาสูงกว่า และต้องการสภาพสุญญากาศที่พิเศษกว่าด้วย รูปที่ ค.3 แสดงรูปร่างของปืน LaB<sub>6</sub> ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ "ศิลาจารึก"

3. แหล่งกำเนิดแบบฟิลด์ฟิลด์อิมิชชัน (Cold Field Emission Source) : แหล่งกำเนิด หรือปืนอิเล็กตรอนแบบนี้ทำจากทังสแตนอีกเช่นกัน แต่ไม่ได้ใช้หลักการแบบเทอร์มิออนิกอิมิชชัน ดังเช่นปืนอิเล็กตรอนทั้งสองแบบแรก แหล่งกำเนิดแบบฟิลด์อิมิชชันใช้หลักการการทะลุผ่านกำแพงศักย์แบบควอนตัม (Quantum tunneling) และสามารถให้ความสว่างสูงมาก รูปที่ ค.4 แสดงรูปร่าง

ของปืนอิเล็กตรอนทั้งสองแบบนี้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับดินสอที่เหลาปลายให้แหลมมาก ๆ คำว่า "Cold" ในที่นี้หมายถึง ปืนอิเล็กตรอนแบบนี้ทำงานที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ ค.4 ปืนอิเล็กตรอนแบบ โคลด์ฟิลด์อีมิชชัน

4. แหล่งกำเนิดแบบช็อตคี่ฟิลด์อีมิชชัน (Schottky Field Emission Source) : แหล่งกำเนิดแบบนี้ใช้หลักการฟิลด์อีมิชชันเช่นเดียวกัน แตกต่างจากแบบโคลด์ฟิลด์อีมิชชัน ตรงที่เป็นอิเล็กตรอนทำจากทังสเตน (ระนาบผลึก (100)) เคลือบด้วย ZnO และต้องทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1800 K

ตารางที่ ค.1 เปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบต่าง ๆ (ที่ความต่างศักย์เร่ง 20 kV)

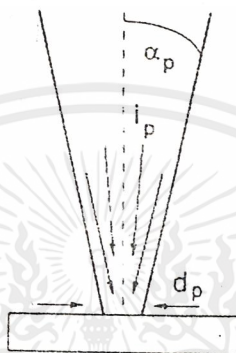
Source	Normalized Brightness (A/cm <sup>2</sup> -sr)	Lifetime (hr)	Source Size (nm)	Energy Spread ΔE (eV)	Beam Current Stability
Tungsten	10 <sup>4</sup>	200	15,000	1.5 – 2.5	1%
LaB <sub>6</sub>	10 <sup>5</sup>	1,000	5,000	1.3 – 2.5	1%
Cold FE ,W(310)	2x10 <sup>7</sup>	2,000	2.5 nm	0.3 – 0.7	5%

**ทัศนศาสตร์ของอิเล็กตรอน (Electron Optics)**

ทำไมเราต้องสนใจทัศนศาสตร์ของอิเล็กตรอน เพราะว่าความเข้าใจในเรื่องนี้เป็นพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการใช้งาน SEM รูปที่ ค.5 แสดงพารามิเตอร์ทางด้านทัศนศาสตร์อิเล็กตรอนที่สำคัญ 3 ตัว ได้แก่ ขนาดของลำอิเล็กตรอน ณ จุดตกกระทบ (Spot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

size,  $d_p$ ) ปริมาณกระแส ณ จุดตกกระทบ (Probe current,  $i_p$ ) และมุมคอนเวอร์เจนต์ (Convergent angle,  $(\alpha_p)$ ) สังเกตว่าสัญลักษณ์ทุกตัวมีตัวห้อยเป็นอักษร p ซึ่งบ่งถึงสิ่งที่ใช้ตรวจสอบ (Probe) ความสัมพันธ์ที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณกระแสจะเพิ่มตามขนาดของจุด และขนาดของมุมลำอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับระยะทำงาน (Working distance) และขนาดของแอฟเทอร์เจอร์อันสุดท้าย



รูปที่ ค.5 แผนภาพแสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของทัศนศาสตร์อิเล็กตรอนการทำงานของ SEM

### ลักษณะการใช้งาน SEM (SEM Operational Modes)

ในทางปฏิบัติ ลักษณะการใช้งาน SEM อาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. High Resolution Mode : สำหรับงานที่ต้องการกำลังขยายสูง ๆ จึงต้องการจุดตกกระทบขนาดเล็ก ๆ
2. High Depth of Field Mode : สำหรับงานที่ต้องการความชัดลึกสูง จึงต้องการใช้มุมคอนเวอร์เจนต์ของลำอิเล็กตรอนเล็ก ๆ
3. High Current Mode : สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เอกซเรย์ต้องการปริมาณกระแสมาก ๆ เพื่อเพิ่มความไว (Sensitivity) ต่อการตรวจวัดปริมาณของธาตุ
4. Low Voltage Mode : นอกเหนือไปจากลักษณะการใช้งาน SEM ในแบบต่าง ๆ ข้างต้น ในปัจจุบัน SEM บางแบบ โดยเฉพาะแบบฟิลด์อิมิชชัน (FE - SEM) ยังสามารถทำงานได้ที่ต่ำกว่า kV ต่ำ (ต่ำกว่า 5 kV) เนื่องจากการใช้ SEM ในลักษณะนี้จะได้ข้อมูลพื้นผิวดีขึ้น อีกทั้งยังลดปริมาณประจุสะสมบนผิว (Charging) จึงทำให้สามารถศึกษาตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าได้ โดยไม่ต้องเคลือบสัฟคาร์บอน หรือโลหะ

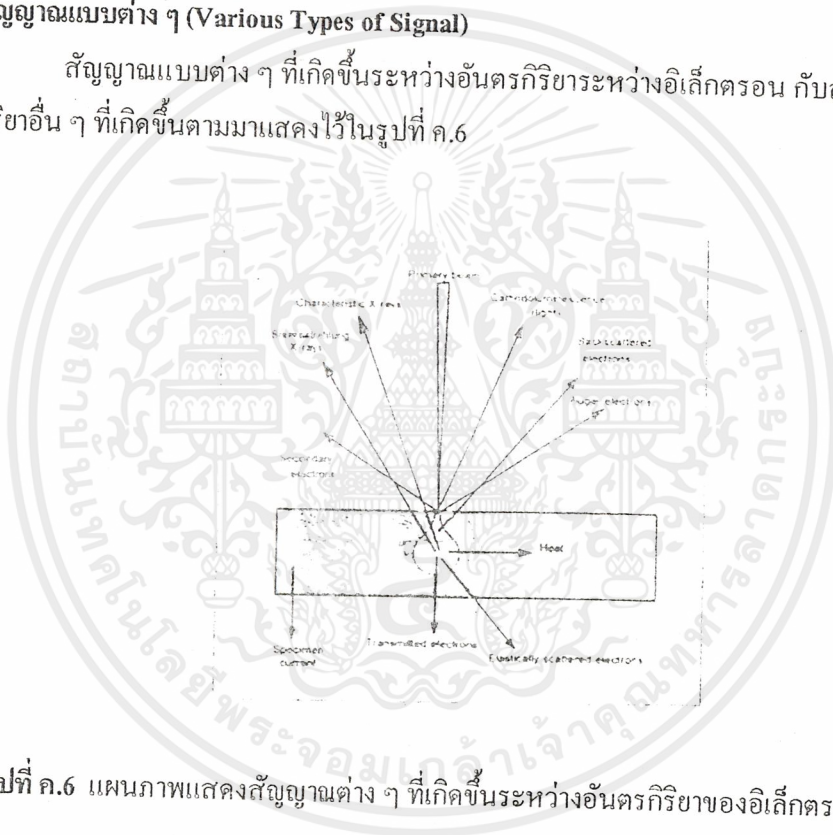
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 สรุปพารามิเตอร์ของ SEM ที่ต้องควบคุมสำหรับการทำงานใน 3 ประเภทแรก

Operational Mode	First Condenser Lens	Spot Size	Working Distance	Final Aperture Size
High Resolution	แรง	เล็ก	สั้น	พอเหมาะ
High Depth of Field	อ่อน	ใหญ่	ยาว	เล็ก
High Current	อ่อน	ใหญ่	พอเหมาะ	ใหญ่

### สัญญาณแบบต่าง ๆ (Various Types of Signal)

สัญญาณแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอน กับสสาร และอันตรกิริยาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมาแสดงไว้ในรูปที่ ค.6



รูปที่ ค.6 แผนภาพแสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร

- อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electrons, SE) : ให้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว และเป็นสัญญาณที่เรานำมาสร้างภาพมากที่สุด อิเล็กตรอนทุติยภูมิยังมีแบบย่อย ๆ อีกหลายแบบตามกลไกและแหล่งกำเนิด (รูปที่ ค.7)
- อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Back scattered Electrons, BSE) : ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี และลักษณะโทโพกราฟีของพื้นผิว (รูปที่ ค.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗ ภาพจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ของ  
แสดงโครงสร้างจุลภาคของ โลหะผสมนิกเกิล-อะลูมิเนียม-โมลิบดีนัม-ซิลิคอน

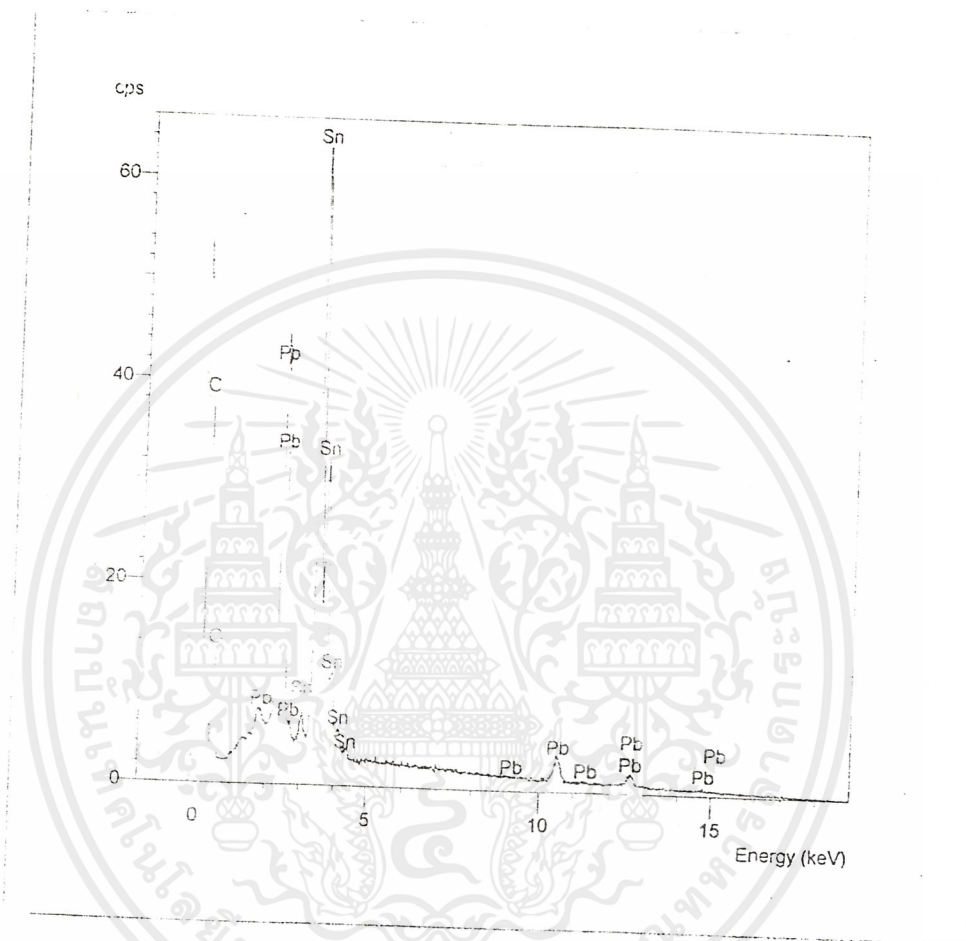


รูปที่ ๘ ภาพจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์กระเจิงกลับของโลหะผสมนิกเกิล-อะลูมิเนียม-โมลิ  
บดีนัม-ซิลิคอน บริเวณเดียวกับรูปที่ ๗

- (a) แสดงคอนทราสต์ที่เกิดจากความแตกต่างของส่วนผสมทางเคมี  
(อะตอมมิกคอนทราสต์) เฟสที่สว่างกว่าแสดงว่าเป็น "ธาตุหนัก" คือ โมลิบดีนัมใน  
ปริมาณมาก ( $Z=42$ ) เฟสที่ต่ำกว่าแสดงว่ามี "ธาตุเบา" คือ อะลูมิเนียม ( $Z=13$ )
- (b) แสดงความสูงต่ำของพื้นผิว (โทโพกราฟี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอกซเรย์ (X - Ray) : ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบ เป็นสัญญาณที่ใช้ในเทคนิค EDS และ WDS (รูปที่ ค.9)



รูปที่ ค.9 สเปกตรัมของเทคนิค EDS แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกั่วบัดกรี ซึ่งประกอบด้วย ตะกั่ว (Pb) และดีบุก (Sn)

นอกเหนือไปจากสัญญาณหลักทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสัญญาณอื่น ๆ อีก เช่น คลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าอื่น ๆ (Electromagnetic wave) โอเจอิลีكتروน (Auger electron) คลื่นเสียง (Acoustic wave) และกระแสที่เกิดจากตัวอย่าง (Specimen current) เป็นต้น สัญญาณเหล่านี้สามารถให้ข้อมูลหลายอย่างเกี่ยวกับสสารที่กำลังทำการศึกษาก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเตรียมตัวอย่าง

เราสามารถนำ SEM ศึกษาข้อมูลของวัสดุได้หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นรายละเอียดของพื้นผิว ขนาด และรูปร่างของอนุภาค หรือใช้เทคนิค EDS ร่วมกับ SEM ในระดับจุลภาควิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในระดับจุลภาคในเบื้องต้นการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วย SEM จำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะของข้อมูลที่ต้องการศึกษา และชนิดของ SEM ประกอบกัน ทั้งนี้วิธีการทั่วไปคือ นำชิ้นงานติดบนแท่น โลหะสำหรับวางชิ้นงาน ซึ่งเรียกว่า "สตั๊บ (Stub)" (รูปที่ ค.10) ลักษณะของสตั๊บก็จะขึ้นกับ SEM แต่ละรุ่น และชิ้นงานจะยึดติดกับสตั๊บด้วยเทปกาวนำไฟฟ้า (Conductive tape)

### ลักษณะของตัวอย่าง และชนิดของ SEM

สำหรับ SEM แบบที่ต้องการสภาพสุญญากาศสูง ตัวอย่างที่จะศึกษาต้องแห้ง ไม่มีน้ำ และไม่มีปนเปื้อนสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน (เช่น น้ำมัน) เพราะเมื่อชิ้นงานอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความชื้น หรือสารไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ชัดขวางเส้นทางของอิเล็กตรอน ทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน อีกทั้งโมเลกุลเหล่านี้อาจไปเกาะส่วนต่าง ๆ ของกล้อง เช่น ผิวของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็นเหตุให้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมีอายุการใช้งานสั้นลง หากตัวอย่างเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า ต้องเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยฟิล์มที่นำไฟฟ้าบาง ๆ (ประมาณ 100 อังสตรอม) ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้เคลือบผิวได้แก่ ทอง ทองผสมแพลทินัม และคาร์บอน การเคลือบด้วยทอง หรือทองผสมแพลทินัมจะทำให้ได้ภาพที่คมชัดกว่าการเคลือบด้วยคาร์บอน แต่จะทำให้ข้อมูลทางเคมีของเทคนิค EDS บิดเบือนไปได้ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

สำหรับตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าอาจไม่ต้องทำการเคลือบก็ได้ โดยเลือกใช้ความต่างศักย์น้อย ๆ (ต่ำกว่า 3 kv) ซึ่งภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมจะไม่เกิดการสะสมประจุที่ผิว (Charging) เนื่องจากปริมาณกระแสเข้า ให้เท่ากับกระแสออก หรือเลี้ยงไปใช้ SEM แบบสุญญากาศต่ำแทน

### ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการศึกษา

#### 1. รายละเอียดของพื้นผิว (Morphology)

รูปที่ ค.10 (a) เป็นภาพตัวอย่างของการเตรียมเมื่อต้องการศึกษาพื้นผิวทั่ว ๆ ไป ซึ่งสามารถนำชิ้นงานติดบนสตั๊บได้เลย หากเป็นอนุภาคผงการเตรียมวิธีนี้อนุภาคจะกระจายตัวไม่ดี ทำให้เราแปลผลลักษณะของอนุภาคได้ลำบาก เพื่อให้อนุภาคผลมีการกระจายตัวดีขึ้นให้นำอนุภาคไปกระจายตัวในเมทานอล (Methanol) หรือเอทานอล (Ethanol) (รูปที่ ค.10 (b)) แล้วนำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเพื่อช่วยให้อนุภาคกระจายตัวได้ดีขึ้นประมาณ 3 นาที นำอนุภาคแขวนลอยหยดลงบนผิวหน้าของสตั๊บ รอให้แห้ง แล้วดำเนินการตามขั้นตอนต่อไป สาเหตุที่อนุภาคมีการกระจายตัวดีขึ้น

เป็นเพราะตัวกลาง 2 ชนิดนี้มีอัตราการระเหตัวไม่ช้าไม่เร็วเกินไป แต่ถ้าอนุภาคทำปฏิกิริยากับตัวกลางก็ไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้



รูปที่ ค.10 แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับ SEM เมื่อต้องการศึกษา

(a) รายละเอียดของพื้นผิว (b) อนุภาคผง (c) โครงสร้างจุลภาค

## 2. โครงสร้างจุลภาค

การศึกษาโครงสร้างจุลภาควัสดุ ไม่ว่าจะเป็น ขนาดเกรน ปริมาณรูพรุน หรือความหนาของผิวเคลือบผิวหน้าของชิ้นงานต้องเรียบเป็นมัน ปราศจากรอยขีดข่วนที่อาจบดบังโครงสร้างที่แท้จริง โดยปกติจะนำชิ้นงานไปขัดหยาบ (Grinding) ด้วยกระดาษทราย ต่อจากนั้นจะขัดมัน (Polishing) ด้วยผงเพชรขนาด 6 – 0.25 ไมครอน สำหรับการศึกษาลักษณะเกรน บางวัสดุอาจจำเป็นต้องกัดกรด (Etching) เพื่อให้เห็นขอบเกรน และ/หรือเฟสต่าง ๆ ที่สนใจ

## 3. องค์ประกอบทางเคมี

ผลจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอน กับตัวอย่าง จะทำให้เกิดสัญญาณเอกซเรย์ในเนื้อสารของตัวอย่างที่ตำแหน่งได้ผิว (ประมาณ 1 – 5 ไมครอน ขึ้นกับเลขอะตอมเฉลี่ยของบริเวณที่ต้องการจะศึกษา และพลังงานของอิเล็กตรอน) (รูปที่ ค.6) ดังนั้นชิ้นงานที่มีขนาดบางกว่า 2 ไมครอน อาจมีธาตุที่อยู่ในฐานรองชั้นถัดไปปรากฏให้เห็นในสเปกตรัม ในกรณีนี้ควรใช้ฐานรองที่ทราบองค์ประกอบทางเคมีแล้ว หรืออาจใช้การเอียงตัวอย่างช่วย สำหรับตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้า และต้องนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM แบบสุญญากาศสูง ให้เคลือบด้วยคาร์บอน เพราะคาร์บอนเป็นธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบา (เลขอะตอมเท่ากับ 6) มีพีคแสดงค่าพลังงานซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของอิเล็กตรอนในอะตอมเพียง 1 พีค ส่วนทองเป็นธาตุหนัก (เลขอะตอมเท่ากับ 79) จะมีพีคจำนวนมาก ซึ่งบางพีคซ้อนทับกับพีคของธาตุเบา ทำให้เราไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ชิ้นงานตัวอย่างที่เราศึกษามีธาตุอะไรบ้าง นอกจากนี้ห้องยังสามารถดูคลื่นรังสีเอกซ์ที่มาจากธาตุอื่น ๆ ได้ในปริมาณมากพอสมควร ข้อพึงระวังอีกประการหนึ่งคือ ผิวหน้าของชิ้นงานต้องค่อนข้างเรียบ เพราะพื้นผิวที่ขรุขระจะกระเจิงสัญญาณเอกซเรย์ ไปตกกระทบบนขอบเขตของ ตัวตรวจจับ ทำให้หน่วยประมวลผลคำนวณปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้แตกต่างไปจากปริมาณจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ง**  
**การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (แบบทางเดียว)

1. ปริมาณตัวคูณซ้ำ

1.1 กาบมะพร้าว

ครั้งที่	ปริมาณตัวคูณซ้ำ (กรัม)					
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	รวม
1	0.1233	0.0178	0.0160	0.0261	0.0106	
2	0.2337	0.0470	0.0144	0.0112	0.0141	
3	0.3087	0.0260	0.0094	0.0165	0.0156	
4	0.3550	0.0294	0.0369	0.0261	0.0054	---
5	0.2288	0.0398	0.0372	0.0399	0.0188	
6	0.2964	0.0655	0.0137	0.161	0.0143	
ผลรวม	1.5459	0.2255	0.1276	0.1359	0.0788	2.1137
เฉลี่ย	0.2576	0.0376	0.0213	0.0226	0.0131	---

$$\begin{aligned} SST &= 0.1233^2 + 0.2337^2 + \dots + 0.0188^2 + 0.0143^2 - (2.1137^2 / 30) \\ &= 0.450 - 0.149 \\ &= 0.301 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSTr &= (1.5459^2 / 6) + (0.2255^2 / 6) + \dots + (0.1359^2 / 6) + (0.0788^2 / 6) - (2.1137^2 / 30) \\ &= 0.414 - 0.149 \\ &= 0.265 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSE &= 0.301 - 0.265 \\ &= 0.036 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.265	4	0.0662	45.97
ภายในกลุ่ม (E)	0.036	25	0.00144	
ทั้งหมด (T)	0.301	29		

## 1) ตั้งสมมติฐาน

$H_0$ : ปริมาณกาบมะพร้าวต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : ปริมาณกาบมะพร้าวอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

## 2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$ 

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{cal} \geq F_{0.05(4,25)}$

## 4) สรุปผลการทดสอบ

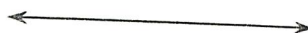
$F_{cal} > 2.76$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ปริมาณกาบมะพร้าวอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} LSD &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 25} (2(0.00144)/6)^{1/2} \\ &= 2.06 (0.0219) \\ &= 0.045 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4	5
ปริมาณ (กรัม)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.2576	0.0376	0.0226	0.0213	0.0131



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-5	0.24	*	2-4	0.02	ns
2-5	0.02	ns	3-4	0.01	ns
3-5	0.01	ns	1-3	0.24	*
4-5	0.01	ns	2-3	0.02	ns
1-4	0.24	*	1-2	0.22	*

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้กามมะพร้าวขนาด 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### 1.2 ผักตบชวาบด

ครั้งที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)					รวม
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	
1	0.3600	0.0450	0.0370	0.0200	0.0090	---
2	0.4906	0.0650	0.0313	0.0206	0.0060	
3	0.1928	0.0848	0.0340	0.0319	0.0264	
4	0.3109	0.0521	0.0333	0.0082	0.0058	
5	0.2562	0.0625	0.0271	0.0244	0.0050	
6	0.2397	0.0966	0.0728	0.0088	0.0060	
ผลรวม	1.8502	0.4060	0.2355	0.1139	0.0582	2.6638
เฉลี่ย	0.3084	0.0677	0.0393	0.0190	0.0097	---

$$\begin{aligned}
 SST &= 0.3600^2 + 0.4906^2 + \dots + 0.0054^2 + 0.0060^2 - (2.6638^2 / 30) \\
 &= 0.671 - 0.237 \\
 &= 0.434
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{SSTr} &= (1.8502^2/6) + (0.4060^2/6) + \dots + (0.1139^2/6) + (0.0582^2/6) - (2.6638^2/30) \\ &= 0.610 - 0.237 \\ &= 0.373 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SSE} &= 0.434 - 0.373 \\ &= 0.061 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.373	4	0.0933	38.24
ภายในกลุ่ม (E)	0.061	25	0.00244	
ทั้งหมด (T)	0.434	29		

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : ปริมาณผักตบชวาแตกต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : ปริมาณผักตบชวาอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{\text{cal}} \geq F_{0.05(4,25)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{\text{cal}} > 2.76$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ปริมาณผักตบชวาอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 25} (2(0.00244)/6)^{1/2} \\ &= 2.06 (0.0285) \\ &= 0.059 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4	5
ปริมาณ (กรัม)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.3084	0.0677	0.0393	0.0190	0.0097



อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-5	0.299	*	2-4	0.049	ns
2-5	0.058	ns	3-4	0.020	ns
3-5	0.030	ns	1-3	0.267	*
4-5	0.009	ns	2-3	0.028	ns
1-4	0.289	*	1-2	0.241	*

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้ผักตบชวาบด 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## 1.3 ผักตบชวาหั่น

ครั้งที่	ปริมาณตัวคูดซับ (กรัม)					
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)					
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	รวม
1	0.3439	0.1562	0.0990	0.0196	0.0398	---
2	0.2166	0.1445	0.1015	0.0384	0.0121	
3	0.1698	0.0909	0.0569	0.0422	0.0536	
4	0.2249	0.0924	0.0816	0.0339	0.0436	
5	0.2002	0.1709	0.0724	0.0269	0.0505	
6	0.2611	0.1541	0.0902	0.0366	0.0345	
ผลรวมเฉลี่ย	1.4215	0.8090	0.5016	0.1976	0.2731	3.2028
	0.2369	0.1348	0.0836	0.0329	0.0390	---

$$\begin{aligned}
 SST &= 0.3439^2 + 0.2166^2 + \dots + 0.0505^2 + 0.0345^2 - (3.2028^2 / 30) \\
 &= 0.531 - 0.342 \\
 &= 0.189
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSTr &= (1.4215^2/6) + (0.8090^2/6) + \dots + (0.1976^2/6) + (0.2731^2/6) - (3.2028^2/30) \\
 &= 0.507 - 0.342 \\
 &= 0.165
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSE &= 0.189 - 0.165 \\
 &= 0.024
 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.165	4	0.0413	43.02
ภายในกลุ่ม (E)	0.024	25	0.00096	
ทั้งหมด (T)	0.189	29		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : ปริมาณผักตบชวาหั่นต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : ปริมาณผักตบชวาหั่นอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{\text{cal}} \geq F_{0.05(4,25)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{\text{cal}} > 2.76$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ปริมาณผักตบชวาหั่นอย่างน้อย 1 ปริมาณที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 25} (2(0.00096)/6)^{1/2} \\ &= 2.06 (0.0179) \\ &= 0.037 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4	5
ปริมาณ (กรัม)	0.2	0.4	0.6	1.0	0.8
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.2369	0.1348	0.0836	0.0390	0.0329



อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-5	0.204	*	2-4	0.096	*
2-5	0.102	*	3-4	0.045	*
3-5	0.051	*	1-3	0.153	*
4-5	0.006	ns	2-3	0.051	*
1-4	0.198	*	1-2	0.102	*

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือเมื่อใช้ผักตบชวาหั่น 0.8 กับ 1.0 กรัม ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

## 2. ความเร็วในการปั่นกวาน

### 2.1 กาบมะพร้าว

ครั้งที่	ความเร็วในการปั่นกวาน (รอบต่อนาที)				
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	30	60	120	รวม
1	0.1277	0.0745	0.0490	0.0331	---
2	0.0994	0.0757	0.0468	0.0347	
3	0.0860	0.0782	0.0295	0.0437	
4	0.1346	0.0825	0.0224	0.0336	
5	0.0643	0.0592	0.0356	0.0370	
6	0.0956	0.0816	0.0262	0.0451	
ผลรวม	0.5736	0.4317	0.2095	0.2272	1.4620
เฉลี่ย	0.0956	0.0754	0.0349	0.0379	---

$$SST = 0.1277^2 + 0.0994^2 + \dots + 0.0370^2 + 0.0451^2 - (1.4620^2 / 24)$$

$$= 0.111 - 0.089 = 0.022$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{SSTr} &= (0.5736^2/6) + (0.4517^2/6) + (0.2095^2/6) + (0.2272^2/6) - (1.4620^2/24) \\ &= 0.105 - 0.089 \\ &= 0.016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SSE} &= 0.022 - 0.016 \\ &= 0.006 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.016	3	0.0053	17.67
ภายในกลุ่ม (E)	0.006	20	0.0003	
ทั้งหมด (T)	0.022	23		

1) ตั้งสมมติฐาน

$H_0$ : ความเร็วปั่นกววนต่างกัน ไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : ความเร็วปั่นกววนอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{\text{cal}} \geq F_{0.05(3,20)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{\text{cal}} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ความเร็วปั่นกววนอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 20} (2(0.0003)/6)^{1/2} \\ &= 2.09 (0.010) \\ &= 0.0209 \end{aligned}$$

## เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4
ความเร็วรอบ (rpm)	0	30	120	60
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.0956	0.0754	0.0379	0.0349



อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0607	*	1-3	0.0577	*
2-4	0.0405	ns	2-3	0.0375	*
3-4	0.0030	*	1-2	0.0202	*

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยกาบมะพร้าวคที่ความเร็วปั่นกวน 60 กับ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

## 2.2 ผักตบชวาบด

ครั้งที่	ความเร็วในการปั่นกวน (รอบต่อนาที)				
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	30	60	120	รวม
1	0.1623	0.1042	0.0450	0.1095	---
2	0.0850	0.0923	0.0650	0.0950	
3	0.0877	0.0930	0.0848	0.0973	
4	0.0960	0.0884	0.0521	0.0777	
5	0.1382	0.781	0.0625	0.0632	
6	0.0666	0.0842	0.0966	0.0668	
ผลรวมเฉลี่ย	0.6358	0.5402	0.4060	0.5095	2.0915
	0.1060	0.0900	0.0677	0.0978	---

$$\begin{aligned}
 SST &= 0.1623^2 + 0.0850^2 + \dots + 0.0632^2 + 0.0668^2 - (2.0915^2 / 24) \\
 &= 0.197 - 0.182 \\
 &= 0.015
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSTr &= (0.6358^2 / 6) + (0.5402^2 / 6) + (0.4060^2 / 6) + (0.5095^2 / 6) - (2.0915^2 / 24) \\
 &= 0.187 - 0.182 \\
 &= 0.005
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSE &= 0.015 - 0.005 \\
 &= 0.010
 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.005	3	0.0017	3.40
ภายในกลุ่ม (E)	0.010	20	0.0005	
ทั้งหมด (T)	0.015	23		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : ความเร็วปั่นกวแตกต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : ความเร็วปั่นกวอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{cal} \geq F_{0.05(3,20)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{cal} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ความเร็วปั่นกวอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} LSD &= t_{\alpha/2,df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025,20} (2(0.0005)/6)^{1/2} \\ &= 2.09 (0.0129) \\ &= 0.0270 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4
ความเร็วรอบ (rpm)	0	120	30	60
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.1060	0.0978	0.0900	0.0677



อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0383	*	1-3	0.0160	ns
2-4	0.0301	*	2-3	0.0078	ns
3-4	0.0223	ns	1-2	0.0082	ns

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักตบชวาบดที่ความเร็วปั่นกวน 30 กับ 60 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยฝักตบชวาบดที่ความเร็วปั่นกวน 0 30 และ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

### 2.3 ฝักตบชวาหั่น

ครั้งที่	ความเร็วในการปั่นกวน (รอบต่อนาที)				
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	30	60	120	รวม
1	0.0148	0.0391	0.0398	0.0530	
2	0.0204	0.0356	0.0121	0.0418	
3	0.0315	0.0319	0.0536	0.0457	
4	0.0219	0.0195	0.0436	0.0451	---
5	0.0175	0.0304	0.0505	0.0518	
6	0.0154	0.0361	0.0345	0.0444	
ผลรวมเฉลี่ย	0.1215	0.1926	0.2341	0.2818	0.8300
	0.0215	0.0321	0.0390	0.0470	---

$$\begin{aligned} SST &= 0.0148^2 + 0.0204^2 + \dots + 0.0518^2 + 0.0444^2 - (0.8300^2 / 24) \\ &= 0.0330 - 0.0287 \\ &= 0.0043 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSTr &= (0.1215^2 / 6) + (0.1926^2 / 6) + (0.2341^2 / 6) + (0.2818^2 / 6) - (0.8300^2 / 24) \\ &= 0.0310 - 0.0287 \\ &= 0.0023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSE &= 0.0043 - 0.0023 \\ &= 0.0020 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.0023	3	0.00077	7.7
ภายในกลุ่ม (E)	0.0020	20	0.0001	
ทั้งหมด (T)	0.0043	23		

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : ความเร็วปั่นกวณต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่หล่อแตกต่างกัน

$H_1$ : ความเร็วปั่นกวณอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่หล่อแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{cal} \geq F_{0.05(3,20)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

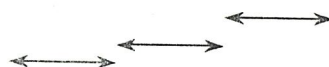
$F_{cal} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ความเร็วปั่นกวณอย่างน้อย 1 ความเร็วที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่หล่อแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} LSD &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 20} (2(0.0001)/6)^{1/2} \\ &= 2.09 (0.0058) \\ &= 0.0121 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4
ความเร็วรอบ (rpm)	120	60	30	0
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.0470	0.0390	0.0321	0.0215



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0255	*	1-3	0.0149	*
2-4	0.0175	*	2-3	0.0069	ns
3-4	0.0106	ns	1-2	0.0080	ns

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าก๊อชที่ความเร็วปั่นกวน 0 กับ 30 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าก๊อชที่ความเร็วปั่นกวน 30 กับ 60 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าก๊อชที่ความเร็วปั่นกวน 60 กับ 120 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

### 3. เวลาการดูดซับ

#### 3.1 กาบมะพร้าว

ครั้งที่	เวลาการดูดซับ (นาที)				
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	5	15	30	รวม
1	0.2259	0.0871	0.0178	0.0697	
2	0.2019	0.0552	0.0470	0.0373	
3	0.1629	0.0605	0.0260	0.0629	
4	0.2100	0.0904	0.0294	0.0565	---
5	0.0958	0.0983	0.0398	0.0434	
6	0.1318	0.1063	0.0655	0.0484	
ผลรวม	1.0283	0.4978	0.2255	0.3182	2.0698
เฉลี่ย	0.1714	0.0830	0.0376	0.0530	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 SST &= 0.2259^2 + 0.2019^2 + \dots + 0.0434^2 + 0.0484^2 - (2.0698^2 / 24) \\
 &= 0.260 - 0.179 \\
 &= 0.081
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSTr &= (1.0283^2/6) + (0.4978^2/6) + (0.2255^2/6) + (0.3182^2/6) - (2.0698^2/24) \\
 &= 0.243 - 0.179 \\
 &= 0.064
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSE &= 0.081 - 0.064 \\
 &= 0.017
 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.064	3	0.0213	25.06
ภายในกลุ่ม (E)	0.017	20	0.00085	
ทั้งหมด (T)	0.081	23		

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : เวลาการดูดซับต่างกัน ไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{cal} \geq F_{0.05(3,20)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{cal} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

3.2 ผักตบชวาบด

ครั้งที่	เวลาการดูดซับ (นาที)				
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	5	15	30	รวม
1	0.0949	0.0632	0.0450	0.0410	---
2	0.1964	0.0609	0.0650	0.0537	
3	0.1882	0.1545	0.0848	0.0456	
4	0.2045	0.1123	0.0521	0.1165	
5	0.1238	0.0877	0.0625	0.0909	
6	0.0798	0.0671	0.0966	0.0882	
ผลรวมเฉลี่ย	0.8876	0.5457	0.4060	0.4359	2.2752
	0.1479	0.0910	0.0677	0.0727	---

$$\begin{aligned}
 SST &= 0.0949^2 + 0.1964^2 + \dots + 0.0909^2 + 0.0882^2 - (2.2752^2 / 24) \\
 &= 0.2685 - 0.2157 \\
 &= 0.0528
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSTr &= (0.8876^2 / 6) + (0.5457^2 / 6) + (0.4060^2 / 6) + (0.4359^2 / 6) - (2.2752^2 / 24) \\
 &= 0.2401 - 0.2157 \\
 &= 0.0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSE &= 0.0528 - 0.0244 \\
 &= 0.0284
 \end{aligned}$$

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.0244	3	0.0081	5.79
ภายในกลุ่ม (E)	0.0284	20	0.0014	
ทั้งหมด (T)	0.0528	23		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : เวลาการดูดซับต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

## 2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$ 

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{\text{cal}} \geq F_{0.05(3,20)}$

## 4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{\text{cal}} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 20} (2(0.0014)/6)^{1/2} \\ &= 2.09 (0.0216) \\ &= 0.0451 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4
เวลาการดูดซับ (นาที)	0	5	30	15
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.1479	0.0910	0.0727	0.0677



อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0802	*	1-3	0.0752	*
2-4	0.0233	ns	2-3	0.0183	ns
3-4	0.0080	ns	1-2	0.0569	*

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผักตบชวาบคใช้เวลาดูดซับ 5 15 และ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

### 3.3 ผักตบชวาแห้ง

ครั้งที่	เวลาการดูดซับ (นาที)				รวม
	ปริมาณน้ำมันที่เหลือ (กรัม)				
	0	5	15	30	
1	0.1155	0.1083	0.1036	0.0788	---
2	0.1365	0.1263	0.1123	0.1183	
3	0.1240	0.1112	0.1259	0.1102	
4	0.1316	0.1137	0.0656	0.0831	
5	0.0860	0.1018	0.0607	0.0792	
6	0.1530	0.1317	0.0562	0.0636	
ผลรวมเฉลี่ย	0.7466	0.6930	0.5243	0.5332	2.4971
	0.1244	0.1155	0.0874	0.0888	---

$$\begin{aligned} SST &= 0.1155^2 + 0.1365^2 + \dots + 0.0792^2 + 0.0636^2 - (2.4971^2 / 24) \\ &= 0.2761 - 0.2598 \\ &= 0.0163 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSTr &= (0.7466^2/6) + (0.6930^2/6) + (0.5243^2/6) + (0.5332^2/6) - (2.4971^2/24) \\ &= 0.2661 - 0.2598 \\ &= 0.0063 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSE &= 0.0163 - 0.0063 \\ &= 0.0100 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
ระหว่างกลุ่ม (Tr)	0.0063	3	0.0021	4.2
ภายในกลุ่ม (E)	0.0100	20	0.0005	
ทั้งหมด (T)	0.0163	23		

1) ตั้งสมมุติฐาน

$H_0$ : เวลาการดูดซับต่างกันไม่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

$H_1$ : เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) สร้างเขตปฏิเสธ  $H_0$

จะปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F_{cal} \geq F_{0.05(3,20)}$

4) สรุปผลการทดสอบ

$F_{cal} > 3.10$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า เวลาการดูดซับอย่างน้อย 1 ช่วงที่ทำให้ปริมาณน้ำมันที่เหลือแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบข้อมูล

$$\begin{aligned} LSD &= t_{\alpha/2, df} (2S/N)^{1/2} \\ &= t_{0.025, 20} (2(0.0005)/6)^{1/2} \\ &= 2.09 (0.0129) \\ &= 0.0270 \end{aligned}$$

เรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อย

อันดับที่	1	2	3	4
เวลาการดูดซับ (นาที)	0	5	30	15
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	0.1244	0.1155	0.0888	0.0874



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0370	*	1-3	0.0356	*
2-4	0.0281	*	2-3	0.0267	ns
3-4	0.0014	ns	1-2	0.0089	ns

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยผ้าคบบขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 0 กับ 5 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยผ้าคบบขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 5 กับ 15 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือโดยดูดซับด้วยผ้าคบบขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 15 กับ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ	อันดับที่	ค่าความต่าง	ความต่างทางสถิติ
1-4	0.0370	*	1-3	0.0356	*
2-4	0.0281	*	2-3	0.0267	ns
3-4	0.0014	ns	1-2	0.0089	ns

\* คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ns คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### สรุปผลการทดสอบ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าซับขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 0 กับ 5 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าซับขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 5 กับ 15 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณน้ำมันที่เหลือ โดยดูดซับด้วยผ้าซับขาวหั้นใช้เวลาดูดซับ 15 กับ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ