



การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องโดยใช้วัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก

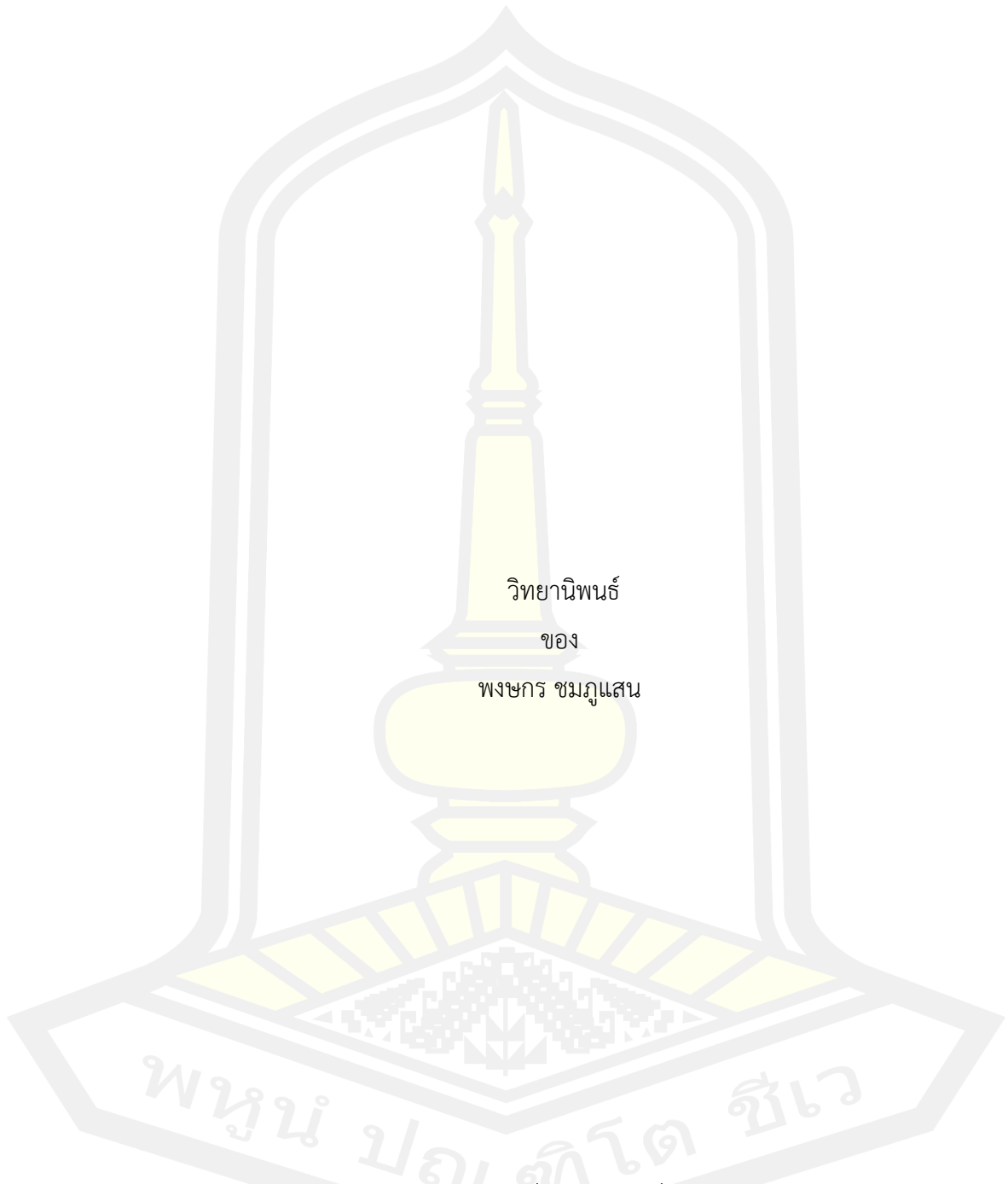
วิทยานิพนธ์
ของ
พงษกร ชมภูแสน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม

มิถุนายน 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องโดยใช้วัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

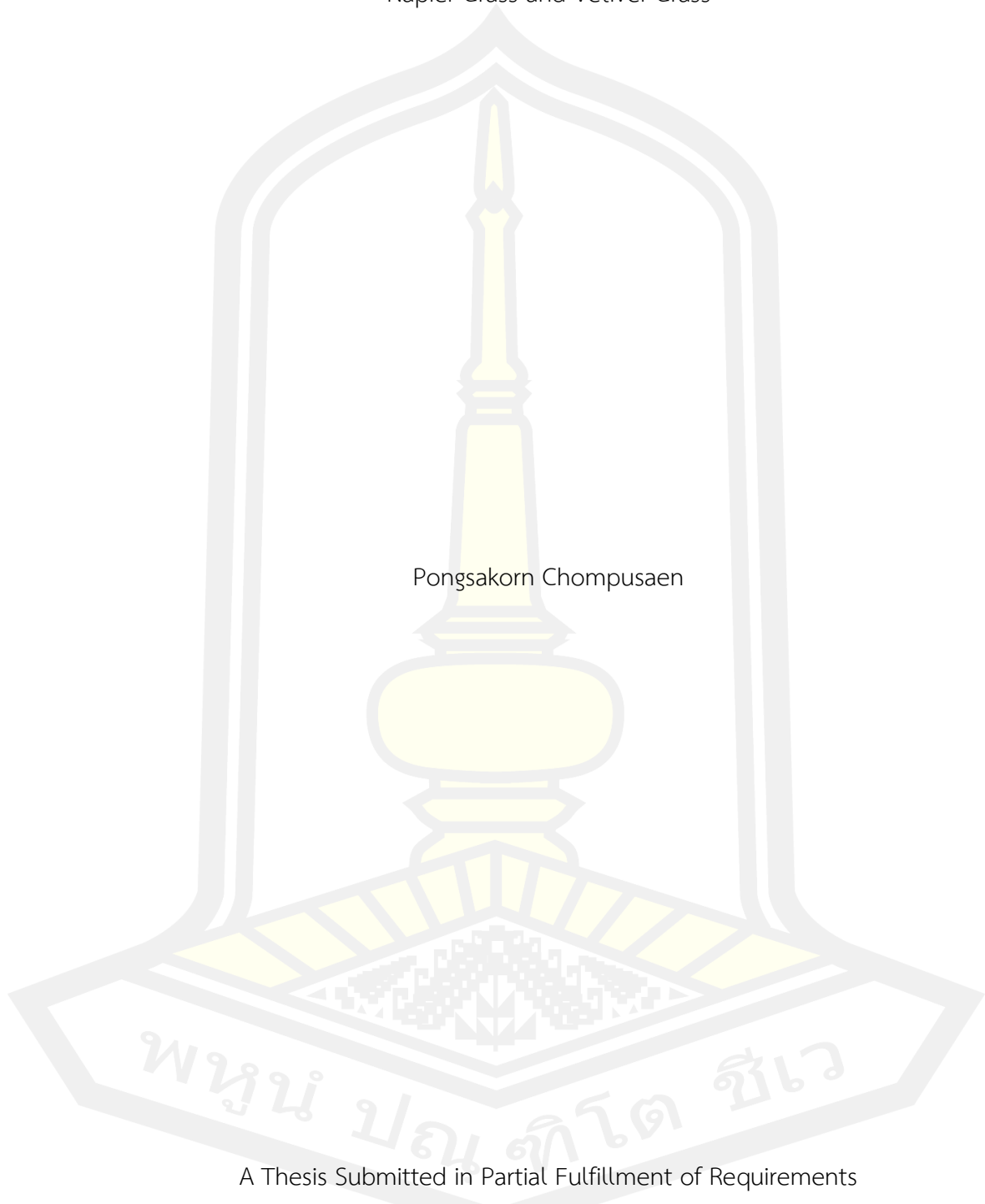
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม

มิถุนายน 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Treatment of Wastewater Contaminated with Engine Oil by Using Bio-adsorption from
Napier Grass and Vetiver Grass

Pongsakorn Chompusaen



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Environmental Administration and Management)

June 2022

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายพงษ์กร ชมภูแสน
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. พลกฤษณ์ จิตรโต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. สุนันทา เลาว์ณยศิริ)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ชฤพนธ์ เจริญสุข)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. จิตติมา ประสาระเอ)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ดร. เรวดี อนุวัฒนา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อติศักดิ์ สิงห์สีโว)

คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องโดยใช้วัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก		
ผู้วิจัย	พงษกร ชมภูแสน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา เภาวิทย์ศิริ		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ที่ขนาด 0.5, 1 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่อัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ที่บรรจุวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ 2 กรัม สูง 10 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านวัสดุดูดซับชีวมวลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ผลการวิจัยพบว่าคุณลักษณะวัสดุดูดซับส่วนใบของหญ้าทั้งสองชนิดสามารถผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้มากกว่าส่วนลำต้น โดยหญ้าแฝกสามารถผลิตวัสดุชีวมวลได้มากกว่าหญ้าเนเปียร์ หญ้าแฝกส่วนใบมีความชื้นน้อยที่สุด และมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมากที่สุด ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายมากที่สุดและให้น้ำน้อยที่สุด พื้นที่ผิวจำเพาะเมื่อวิเคราะห์ผ่านเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า หญ้าแฝกส่วนใบมีลักษณะเป็นเส้นใยและหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีลักษณะเป็นรูพรุน ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบมีลักษณะเป็นเส้นใยและหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นไม่มีรูพรุน มีลักษณะเป็นเส้นใย หญ้าแฝกเป็นชีวมวลประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยหญ้าแฝกส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหญ้าแฝกส่วนใบคือ CHO ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหญ้าแฝกส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) องค์ประกอบฟังก์ชันที่พบในหญ้าเนเปียร์ส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ คือ CHO, OCH₃ ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S,

OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X)

ผลการวิจัยการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกส่วนใบและลำต้นที่ขนาด 0.5, 1 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.73-8.35 โดยไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับทุกชนิดสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี หญ้าเนเปียร์สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์และซีโอดีได้ดีกว่าหญ้าแฝก โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุดเท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์สูงสุดเท่ากับ 103.2 กรัม/ลิตร ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์สูงสุดเท่ากับ 464.4 กรัมซีโอดี/กรัมใบหญ้าเนเปียร์*วัน (ร้อยละ 40.95) ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์สูงสุดเท่ากับ 60.8 กรัม/ลิตร ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์สูงสุดเท่ากับ 445.8 กรัมซีโอดี/กรัมใบหญ้าแฝก*วัน (ร้อยละ 41.75)

ผลการวิจัยค่าพลังงานความร้อนของวัสดุชีวมวลหลังบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ พบว่าส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนมากกว่าส่วนลำต้น เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร ส่วนใบและลำต้นของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ขนาดชีวมวลที่มีขนาดเล็กคือที่ 0.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด รองลงมาคือที่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหญ้าแฝกส่วนใบ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ ส่วนลำต้น พบว่าหญ้าแฝกส่วนลำต้นให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น โดยพบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด เท่ากับ 21.71 เมกะจูล/กิโลกรัม ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 2.0 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 16.35 เมกะจูล/กิโลกรัม

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย, น้ำมันเครื่อง, วัสดุดูดซับชีวมวล



TITLE	Treatment of Wastewater Contaminated with Engine Oil by Using Bio-adsorption from Napier Grass and Vetiver Grass		
AUTHOR	Pongsakorn Chompusaen		
ADVISORS	Assistant Professor Sunantha Laowansiri , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Environmental Administration and Management
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2022

ABSTRACT

The objectives of this research aimed to study the characteristics of biomass sorbents and compare the efficiency of wastewater contaminated with engine oil treatment by using sorbents made from leaves and stems of napier and vetiver grasses at the various sizes of 0.5, 1 and 2.0 mm, respectively. The engine oil-contaminated wastewater flowed at a rate of 25 ml per minute through a column with a diameter of 1.3 cm contains 2 gram of biomass absorbent material with a bed length of 10 cm. The samples of wastewater contaminated with engine oil treated by biomass sorbent were collected after 6 hours.

The results showed that the absorbent characteristics of the leaf part of both grasses were able to yield more biomass absorbent material than the stem and the vetiver grass can produce more biomass material than the napier. The vetiver leaf has the least moisture and the highest total solids, whereas the stem portion has the highest volatile solid content and the lowest ash content. The specific surface area analyzed by SEM revealed that the vetiver leaf is fibrous and the stem is porous, whereas the napier leaf is fibrous and the stem is also fibrous and non-porous. Vetiver grass is a biomass composed of cellulose, hemicellulose and lignin with the functional groups found in vetiver leaf include C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ and C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X), while CHO was not

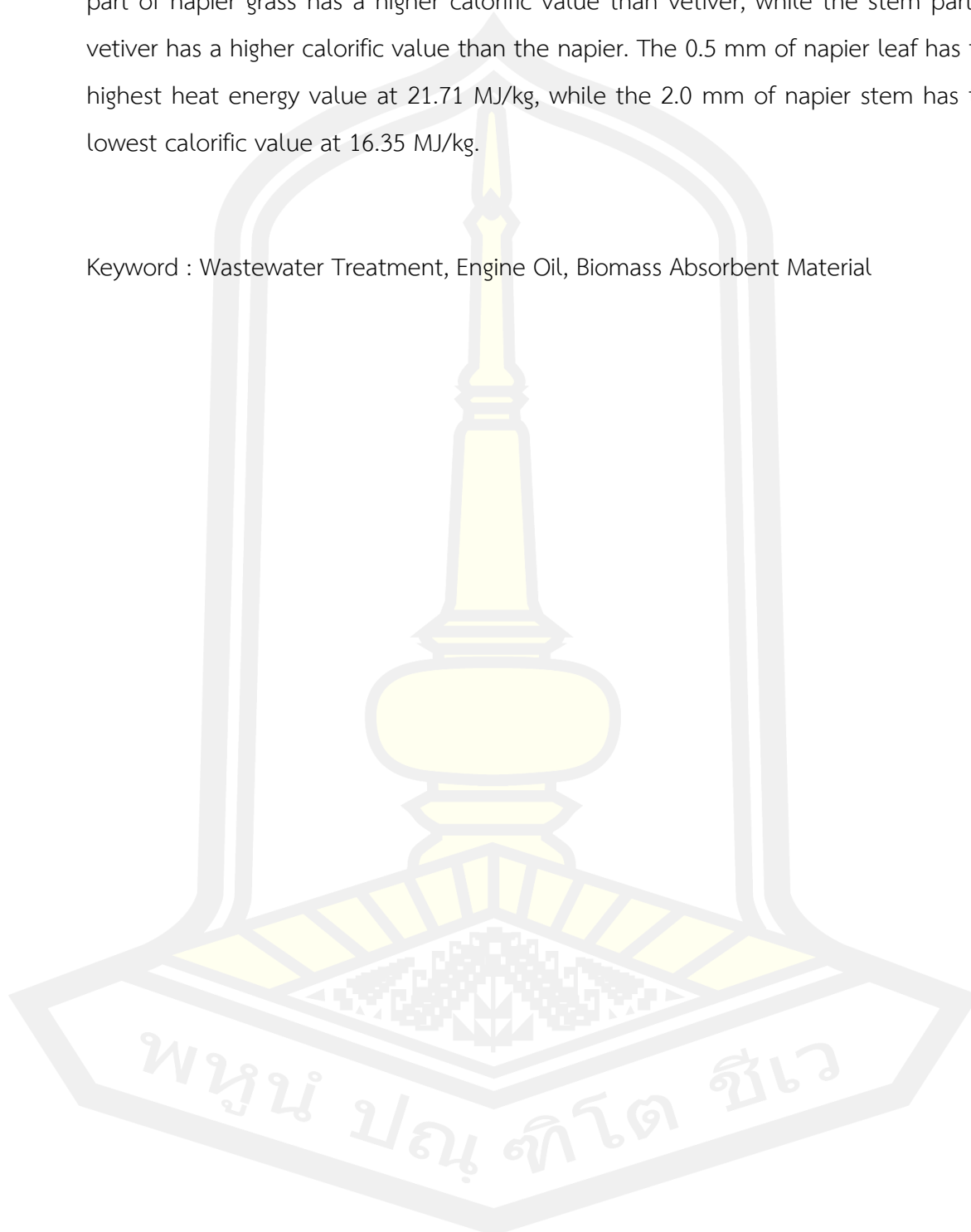
detected and the functional groups found in stem part are C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ and C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X). The functional groups found in napier leaf are C-H. (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S and C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X), while CHO and OCH₃ have not been detected, and the functional groups found in the stem part are C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C.=S, OCH₃ and C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X).

The results on wastewater contaminated with engine oil treatment by using sorbents made from leaves and stems of napier and vetiver grasses at the various sizes of 0.5, 1 and 2.0 mm, respectively, found that the temperature was in the range of 24.25-32.15 degrees Celsius, the pH was in the range of 7.73-8.35 and no total suspended solids had been detected, indicating that all sorbents were able to treat all total suspended solids exceptionally well. The napier grass was able to remove engine oil and COD better than vetiver. The stem part of 0.5 mm napier grass can remove the highest amount of engine oil at 15.92 mg/L, with the maximum absorption of engine oil at 103.2 grams of engine oil/gram of napier stem*Day (72.53 percent). The napier leaf at the size of 0.5 mm can remove the highest amount of COD at 71.67 mg/L and the maximum amount of COD adsorption from wastewater contaminated with engine oil at 464.4 gram of COD/gram of napier leaf*day (40.95%). The 2 mm of vetiver leaf was able to eliminate engine oil as much as 9.39 mg/L, with the maximum absorbance of engine oil at 60.8 gram of engine oil/gram of vetiver leaf*day (66.60%), while the 0.5 mm. of vetiver leaf was able to remove the highest amount of COD at 68.8 mg/L, with the maximum amount of COD adsorption from wastewater contaminated with engine oil at 445.8 gram of COD/gram of vetiver leaf*day (41.75%).

The results of the study on the thermal energy value of biomass materials after wastewater contaminated with engine oil treatment found that the leaves gave more heat energy than the stems. When comparing the calorific value of the leaves and stems of vetiver and napier grasses at the sizes of 0.5, 1.0 and 2.0 mm, the biomass at the smallest size of 0.5 mm provides the highest thermal energy

value, followed by 1.0 mm and 2.0 mm, respectively. It was also found that the leaf part of napier grass has a higher calorific value than vetiver, while the stem part of vetiver has a higher calorific value than the napier. The 0.5 mm of napier leaf has the highest heat energy value at 21.71 MJ/kg, while the 2.0 mm of napier stem has the lowest calorific value at 16.35 MJ/kg.

Keyword : Wastewater Treatment, Engine Oil, Biomass Absorbent Material



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) ประจำปีงบประมาณ 2563 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา เลาว์ฉวีศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยวิทยานิพนธ์ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

กราบขอบพระคุณบุคลากรในห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความร่วมมือในการทำการทดลองงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พร้อมญาติพี่น้องทุกคนที่ส่งเสริมให้กำลังใจ เป็นแรงสนับสนุนให้ทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

พงษ์กร ชมภูแสน



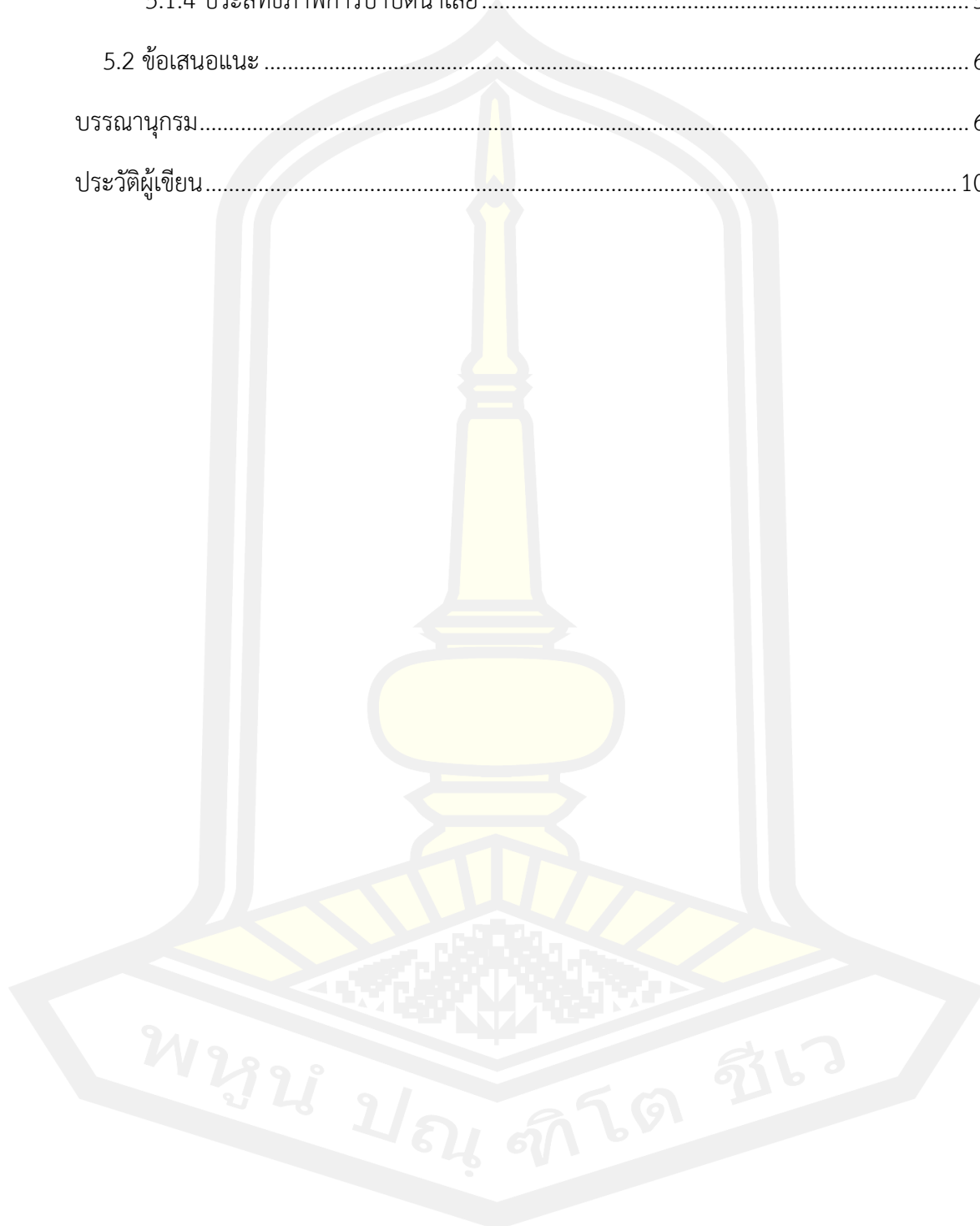
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ญ
สารบัญ.....	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฒ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล.....	5
2.1 น้ำมันเครื่อง.....	5
2.1.1 ความหมายของน้ำมันเครื่อง.....	5
2.1.2 การผลิตน้ำมันเครื่อง.....	5
2.1.3 คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันเครื่อง.....	5
2.1.4 การปนเปื้อนของน้ำมันเครื่องต่อสิ่งแวดล้อม.....	8
2.1.5 วิธีกำจัดคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม.....	9
2.2 การดูดซับ.....	10
2.2.1 ความหมายของการดูดซับ.....	10

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ	10
2.2.3 กลไกการดูดซับ	11
2.2.4 ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับ.....	11
2.2.5 การวิเคราะห์กระบวนการดูดซับ.....	12
2.2.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm).....	12
2.2.7 ชนิดของกระบวนการดูดซับ.....	14
2.3 หล้าแฝก.....	16
2.3.1 ความหมายของหล้าแฝก.....	16
2.3.2 ประโยชน์ของหล้าแฝก.....	17
2.4 หล้าเนเปียร์.....	17
2.4.1 ความหมายของหล้าเนเปียร์.....	17
2.4.2 ประโยชน์ของหล้าเนเปียร์.....	18
2.5 พลังงานชีวมวล	18
2.5.1 ความหมายของพลังงานทดแทน.....	18
2.5.2 ความหมายของพลังงานชีวมวล	19
2.5.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ	22
2.5.4 เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล	22
2.5.5 การวิเคราะห์ชีวมวล	24
2.5.6 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value).....	25
2.5.7 ประโยชน์ของชีวมวล	26
2.5.8 โทษของชีวมวล.....	26
2.5.9 ปัญหาการใช้พลังงานจากชีวมวล.....	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33

3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับทางชีวภาพ.....	33
3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง	33
3.3 คอลัมน์สำหรับใส่วัสดุดูดซับชีวมวล.....	33
3.4 การดำเนินงานวิจัย.....	34
3.4.1 การบำบัดน้ำเสีย.....	34
3.4.2 การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ	35
3.4.3 การวิเคราะห์หาค่าความร้อน.....	35
3.4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	36
3.4.5 การคำนวณ	37
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	37
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล	38
4.1 คุณสมบัติของวัสดุดูดซับ	38
4.2 ลักษณะหญาแฝกและหญาเนเปียร์.....	40
4.3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญาแฝกและหญาเนเปียร์.....	44
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย	46
4.4.1 อุณหภูมิ.....	46
4.4.2 ความเป็นกรด-ด่าง.....	47
4.4.3 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	48
4.4.4 น้ำมัน	49
4.4.5 ค่าซีไอดี.....	51
4.4.6 พลังงานความร้อน	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการวิจัย	56
5.1.1 คุณลักษณะวัสดุดูดซับ	56

5.1.3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์.....	57
5.1.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	103



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันพื้นฐาน (base oil) ของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์	7
ตารางที่ 2 คุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวล	38
ตารางที่ 3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกส่วนใบและส่วนลำต้น (ภาคผนวก ค).....	44
ตารางที่ 4 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าเนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้น (ภาคผนวก ค).....	45
ตารางที่ 5 อุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวล ขนาดต่างๆ	46
ตารางที่ 6 ความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูด ซับชีวมวลขนาดต่างๆ	47
ตารางที่ 7 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้ วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ.....	48
ตารางที่ 8 ค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ.....	49
ตารางที่ 9 ปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ	50
ตารางที่ 10 การกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ	50
ตารางที่ 11 ซีโอดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวล ขนาดต่างๆ	51
ตารางที่ 12 ปริมาณการดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวล ขนาดต่างๆ	52
ตารางที่ 13 การกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาด ต่างๆ	53
ตารางที่ 14 พลังงานความร้อนก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูด ซับชีวมวลขนาดต่างๆ	54

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำมันเครื่องสำเร็จรูป.....	6
ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการดูดซับแบบชั้นตรง ที่มีการใช้ถังคาร์บอนเพียง 1 ใบ	14
ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการดูดซับแบบชั้นเคลื่อนที่ ที่มีการใช้ถังคาร์บอนเพียง 1 ใบ	15
ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการฟื้นฟูสภาพของวัสดุดูดซับ	16
ภาพที่ 5 หล้าแฝก	16
ภาพที่ 6 หล้าเนเปียร์.....	18
ภาพที่ 7 คอลัมน์ดูดซับ	34
ภาพที่ 8 การบำบัดน้ำเสีย	35
ภาพที่ 9 หล้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร	40
ภาพที่ 10 หล้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร.....	41
ภาพที่ 11 หล้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร.....	42
ภาพที่ 12 หล้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันการพัฒนาและการเติบโตของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ รวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้เกิดความต้องการในการใช้ทรัพยากรน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อใช้ในการขนส่งและการเดินทางเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งการดำเนินกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้น้ำมันปิโตรเลียมย่อมมีน้ำเสียที่เกิดการปนเปื้อนน้ำมันอยู่เสมอ ผลกระทบที่ตามมาคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำเสียที่มาจากเครื่องจักรของเครื่องยนต์ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดที่ถูกต้องจะทำให้ส่งผลกระทบต่อมีชีวิตรในแหล่งน้ำ น้ำมันเครื่องที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียมีความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหารและระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต จึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยรวม (พรวิวัฒน์ กีก้อง, 2564)

นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมท่องเที่ยว ทำลายทัศนียภาพ มีกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อเศรษฐกิจในชุมชนท้องถิ่นและระดับประเทศ เมื่อน้ำมันเครื่องมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะเกิดการ ระเหยทำให้ประชาชนได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินหายใจ การสัมผัสที่ผิวหนัง หรือการกินอาหารที่ปนเปื้อนน้ำมันเข้าไป โดยผู้ที่ได้รับสารเคมีจากน้ำมันเครื่องจะส่งผลให้เกิดร่างกายมีอาการ ทั้งระยะเฉียบพลัน ระยะยาว ลามไปจนถึงก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการจัดการน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมัน

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันอยู่หลากหลายวิธี เช่น การเผาทำลายน้ำมันเครื่องใช้แล้วในเตาเผาซีเมนต์ (พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2547) การย่อยสลายน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยสายคลอเรลลา และสายไซนิโคคอคัส (หทัย การณ์สูงเนิน, 2557) การแยกน้ำและน้ำมันด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational Separation) (บริษัท ออยเชิร์ฟ จำกัด, 2565) เป็นต้น หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพและประหยัดต้นทุนมากที่สุดคือการใช้ตัวดูดซับที่ชีววัสดุจากธรรมชาติ จากงานวิจัย Li, J. และคณะ (2017) ได้ศึกษาการแยกน้ำออกจากน้ำมันโดยใช้ตัวกรองที่สร้างจากผงของเปลือกวอลนัท โดยพบว่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากน้ำมากกว่าร้อยละ 99.94 และมีการดูดซับสีจากน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 99.2 โดยเฉพาะเปลือกวอลนัทที่ใช้ได้มาจากการรวบรวมจากแหล่งต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ามากที่สุดอีกทางหนึ่ง

ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงได้มีการใช้หญ้าหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ หญ้าที่นิยมปลูกและใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ หญ้าแฝก และหญ้าเนเปียร์ มีการนำมาปลูกเพื่อบำบัดโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรม (อุดมศักดิ์ บุญมิตติ และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 2563) และนิยมใช้ปลูกเพื่อบำรุงดิน หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้ามีลำต้นใหญ่ ต้องการน้ำและธาตุอาหาร

น้อยในการปลูก ใช้เป็นอาหารสัตว์และใช้เป็นวัสดุชีวมวล (ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์, 2559) โดยหญ้าทั้งสองชนิดนี้เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่หาได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการดูดซับชีวมวลได้ดี

การใช้วัสดุดูดซับเป็นวิธีการทางกายภาพที่ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมันและไขมัน โดยวัสดุที่นำมาใช้อาจทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยพืช ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น โดยทั่วไปวัสดุดูดซับควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ สามารถลอยตัวอยู่ได้บนน้ำ มีความหนาแน่นต่ำ เพื่อให้ลอยตัวได้และสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ในตัวได้ดีสะดวกต่อการใช้งานขั้นตอนการใช้ไม่ยุ่งยาก ไม่เป็นพิษหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (สมปรารถนา วินิจฉัย และคณะ, 2556) ซึ่งวัสดุดูดซับที่มีเส้นใยพืชของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ โดยภายหลังจากผ่านการใช้น้ำมันและไขมันแล้ว ยังจะสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ให้ค่าพลังงานความร้อนมากกว่าชีวมวลปกติ เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และน้ำเสียจากสถานประกอบการรถยนต์ที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันเครื่อง มาใช้ประโยชน์ร่วมกันให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด

งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเอาวัสดุดูดซับชีวมวลที่ผลิตจากใบและลำต้นของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมันจากน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกในส่วนของใบและลำต้น โดยผลการวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุชีวมวลธรรมชาติที่มีในท้องถิ่นไปใช้บำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ และเกิดประโยชน์ต่อสถานประกอบการที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ในน้ำต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก

1.2.2 เปรียบเทียบการนำวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกมาบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ในการใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 น้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นน้ำเสียที่จัดทำขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.3.2 ตัวแปรของการวิจัย ประกอบด้วย

1.3.1.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

- 1) ความเข้มข้นและปริมาณของน้ำมันเครื่องในน้ำเสีย
- 2) ปริมาณวัสดุดูดซับ

1.3.1.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ค่าพลังงานความร้อน ค่าของแข็งระเหยและของแข็งคงตัวและปริมาณ
เถ้า ของวัสดุคูดซับ
- 2) คุณภาพน้ำเสีย เช่น พีเอช ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งระเหย
อุณหภูมิ ไขมันและน้ำมัน

1.3.3 สถานที่ดำเนินการ ห้องปฏิบัติการวิจัย สาขาวิชาการบริหารการจัดการสิ่งแวดล้อม
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

หญ้าแฝก หมายถึง พืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลหญ้า พบกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ธรรมชาติ
หญ้าแฝกส่วนใหญ่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์น้ำและดิน มีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจาก
โรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

หญ้าเนเปียร์ หมายถึง หญ้าที่มีลำต้นขนาดใหญ่ มีต้นกำเนิดจากประเทศแถบแอฟริกา ปัจจุบัน
พบปลูกมากทั่วโลก มักถูกใช้เป็นอาหารสัตว์และวัสดุชีวมวล

น้ำปนเปื้อนน้ำมัน หมายถึง น้ำเสียที่มีส่วนประกอบของน้ำมัน

วัสดุคูดซับ หมายถึง วัสดุที่ทำหน้าที่ในการคูดซับน้ำมันจากน้ำเสีย

ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) คือสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกจนหมดและ
อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C

ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) คือ ของแข็งที่มีขนาดเล็ก สามารถแขวนลอย
อยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองใยแก้ว แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ
103-105°C

ของแข็งระเหย (Volatile Solids, VS) หมายถึง ของแข็งที่สลายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 550-
600°C

ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่ต้อง
ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาเคมี (Oxidation) กับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

pH หมายถึง เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบสของสารเคมีจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจน
ไอออน (H⁺) ค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลาง ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้า
มากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำหญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝกมาผลิตวัสดุดูดซับทางชีวภาพ

1.5.2 สามารถนำวัสดุดูดซับทางชีวภาพมาบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์

1.5.3 สามารถนำวัสดุดูดซับทางชีวภาพที่ผ่านการบำบัดน้ำปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง



บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 น้ำมันเครื่อง

2.1.1 ความหมายของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่น หรือ น้ำมันเครื่อง ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ น้ำมันพื้นฐาน และสารเพิ่มคุณภาพ น้ำมันเครื่องมีหน้าที่ลดแรงเสียดทานของวัตถุชิ้นที่เสียดสีกัน ระบายความร้อนของเครื่องยนต์ เคลือบช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส ทำความสะอาดเขม่าและเศษโลหะ ภายในเครื่องยนต์ ป้องกันการกัดกร่อนจากสนิมและกรดต่างๆ และป้องกันกำลังอัดของเครื่องยนต์ รั่วไหล เป็นต้น

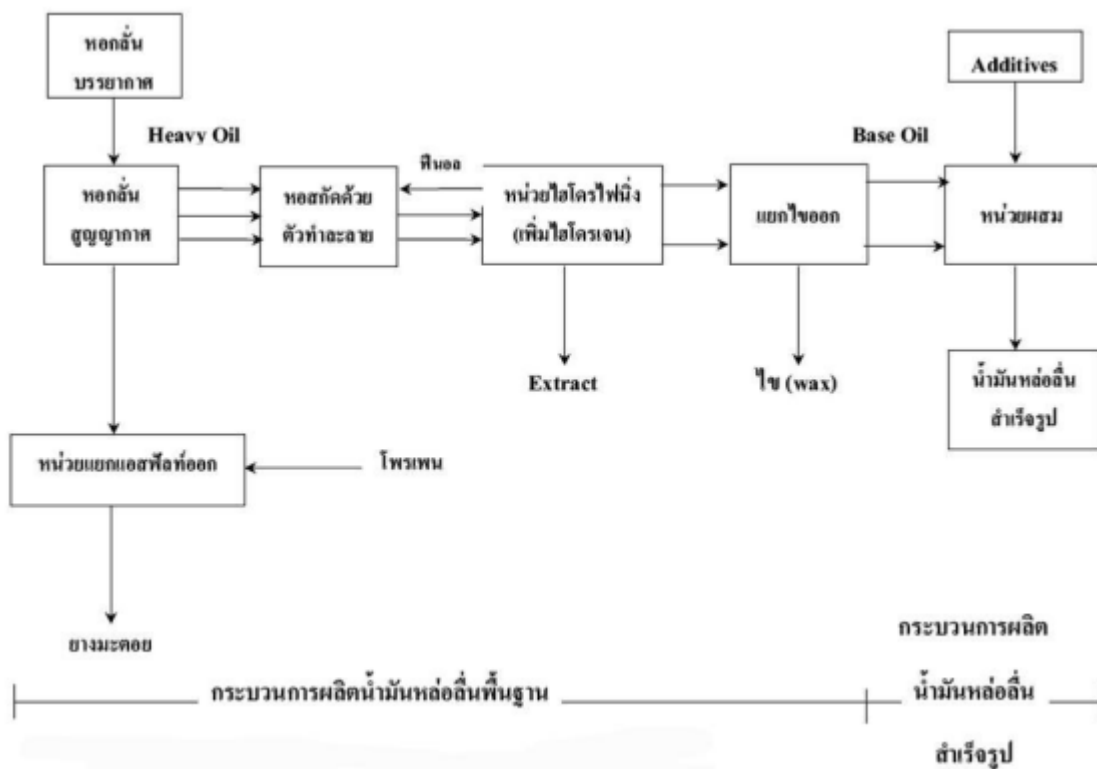
2.1.2 การผลิตน้ำมันเครื่อง

อลิษา (2554) การผลิตน้ำมันเครื่องโดยน้ำมันเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปิโตรเลียมจากหอกลั่นซึ่งแยกน้ำมันเบา เช่น Gasoline ไปแล้ว น้ำมันหนัก (Heavy oil) จะถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเครื่อง โดยผ่านการกลั่นแยกด้วยหอกลั่น, สกัดด้วยตัวทำละลาย, ฟอกสีและแยกไขออกมาเป็นน้ำมันพื้นฐาน (Base Oils) เมื่อนำไปผสมกับสารเพิ่มคุณภาพ (Additives) เช่น แมกนีเซียม (Mg), แคลเซียม (Ca), โมลิบดีนัม (Mo) เป็นต้น จึงได้น้ำมันเครื่องสำเร็จรูปออกจำหน่ายต่อไป กระบวนการผลิตน้ำมันเครื่องสำเร็จรูปแสดงดังภาพที่ 1

2.1.3 คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันเครื่องประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ น้ำมันพื้นฐาน (Base Oils) และสารเพิ่มคุณภาพ (Additives) น้ำมันพื้นฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันพืชหรือสัตว์ (Vegetable or Animal Oil) น้ำมันแร่ (Mineral Oils) และน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oils) โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันแร่เพราะมีคุณภาพดีเพียงพอและราคาถูก โดยน้ำมันแร่ได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งองค์ประกอบของน้ำมันพื้นฐานที่ได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียมแสดงในตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันพื้นฐานคือ มีความหนืด ช่วยลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ, มีความต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อลดการกัดกร่อนและช่วยระบายความร้อน ส่วนสารเพิ่มคุณภาพจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันพื้นฐานให้เหมาะสมแก่การใช้งาน และช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันพื้นฐานให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ สารเพิ่มคุณภาพมีอยู่มากมายหลายชนิดและประเภท แต่ที่มีใช้กันมากได้แก่ สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน, สารป้องกันการสึกหรอ, สาร

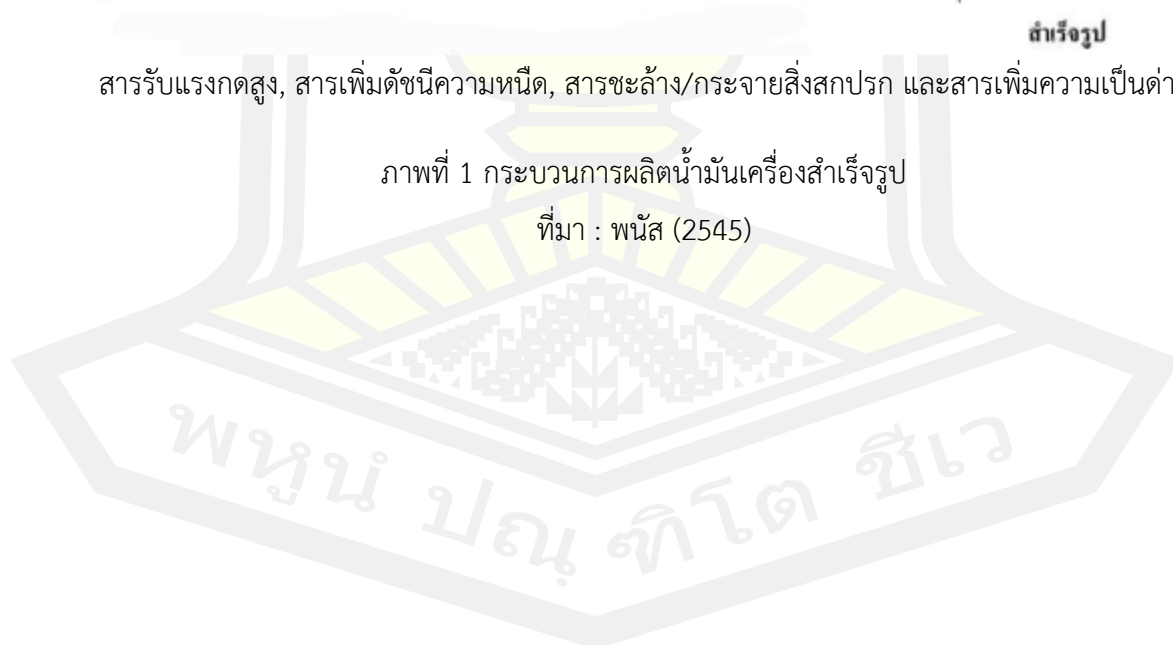
ป้องกันสนิม, สารป้องกันการเกิดฟอง, สารรับแรงกดสูง, สารเพิ่มดัชนีความหนืด, สารชะล้าง/กระจายสิ่งสกปรก และสารเพิ่มความเป็นด่าง



สารรับแรงกดสูง, สารเพิ่มดัชนีความหนืด, สารชะล้าง/กระจายสิ่งสกปรก และสารเพิ่มความเป็นด่าง

ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำมันเครื่องสำเร็จรูป

ที่มา : พันัส (2545)



ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันพื้นฐาน (base oil) ของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

Component	Ratio (%)
Saturated fraction	90.9
Normal paraffin	15.5
Cyclic paraffin	75.4
Aromatic fraction	9.1
Naphthalene	1.7
Fluorene	1.2
Benzene	1.1
Dibenzofuran	1.0
Dinaphthenebenzene	0.8
Dibenzanthracene	0.6
Naphthobenzothiophene	0.3
Perylene	0.2
Benzothiophene	0.2
Chrysene	0.1
Unknown	1.9

ที่มา : Koma และคณะ.,(2001)

น้ำมันปิโตรเลียมได้จากการกลั่นน้ำมันดิบและนำมาเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่าง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันดิบนั้นมีขนาดโมเลกุลตั้งแต่เล็กสุด คือ มีเทน (Methane) ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนเพียง 1 ตัว ไปจนถึงขนาดโมเลกุลที่ใหญ่มีอะตอมของคาร์บอนถึง 80 ตัว สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลคือ

1. Normal Paraffins หรือที่เรียกทางศัพท์เคมีว่า N - Alkanes สารไฮโดรคาร์บอนประเภทนี้ มีโครงสร้างเป็นอะตอมของคาร์บอนเรียงต่อกันเป็น เส้นยาว แต่ละตัวของคาร์บอนก็มีอะตอมไฮโดรเจนจับอยู่จนอิ่มตัว ขนาดโมเลกุลของสารประเภทนี้ ในน้ำมันดิบมีตั้งแต่ตัวที่ประกอบด้วย 1 อะตอมของคาร์บอนไปจนถึงราว 42 อะตอม มีสูตรทางเคมีดังนี้ C_nH_{2n-2} โดย n เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุล

2. ISO Paraffins หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า ISO-Alkanes มีลักษณะโครงสร้างเป็นอะตอมของคาร์บอนเรียงต่อกันแยกสาขาออกด้านข้างด้วย แต่ตัวของคาร์บอนก็มีอะตอมของไฮโดรเจนจับอยู่จนอิ่มตัว ดังนั้น จึงมีสูตรทางเคมีเหมือนกับพวก Normal Paraffins คือ C_nH_{2n-2} พวก Paraffins ทั้งสองประเภทนี้ มีอยู่มากในน้ำมันเชื้อเพลิงใส (Distillates)

3. Naphthenes หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า Cyclo-Alkanes ลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นวง อาจจะเป็นวงละ 5-7 ตัว มีสูตรทางเคมีเป็น $C_nH_{2n-2R_n}$ โดยที่ n เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอน และ R_n เป็นจำนวนของวงคาร์บอนที่มีอยู่ในโมเลกุล

4. Aromatics หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า Arenes เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Benzenes Ring

5. Mixed Naphtheno-Aromatics เป็นไฮโดรคาร์บอนประเภทที่มีทั้ง Naphthenic Ring และ Aromatic Rings อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน

นอกจากนี้ ยังมีสารไฮโดรคาร์บอนประเภท Olefins ซึ่งมีสูตร C_nH_{2n} มีโครงสร้างเป็นอะตอมคาร์บอนที่มีไฮโดรเจนเกาะอยู่ในจำนวนที่ยังไม่อิ่มตัว มีกลุ่ม Double Bond - C = C - อยู่ในโมเลกุล มักจะไม่พบในน้ำมันดิบ แต่จะพบอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากขบวนการแยกสลายด้วยสารเร่งหรือด้วยความร้อน

2.1.4 การปนเปื้อนของน้ำมันเครื่องต่อสิ่งแวดล้อม

น้ำมันและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม พบว่าทำให้เกิดปัญหามลพิษทั้งทางน้ำ ทางบกและทางอากาศ

1. มลพิษทางน้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง การปนเปื้อนเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เมื่อน้ำมันรั่วและไหลลงสู่ทะเลหรือแม่น้ำลำคลอง จะทำให้เกิดคราบน้ำมันลอยอยู่ที่ผิวน้ำ คราบน้ำมันเหล่านี้ จะเป็นแผ่นฟิล์มปกคลุมผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนไม่สามารถแทรกซึมลงสู่ น้ำ เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำ ซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและทำลายห่วงโซ่อาหาร เกิดการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ ทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

2. มลพิษทางบก มีสาเหตุจากภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน ปิมน้ำมัน ฯลฯ ภาคธุรกิจยานยนต์ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ ศูนย์บริการหรือโรงซ่อมเครื่องยนต์ รวมถึงอุบัติเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการคมนาคมขนส่ง เกิดน้ำมันรั่วไหลลงบนพื้น ถนน ป่า และบริเวณทั่วไป ทำให้บริเวณนั้นสิ้น เป็นอันตรายและอาจเกิดไฟไหม้ตามมา นอกจากนี้การที่มีน้ำมันปนเปื้อนในดินจะทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไม่สามารถทำการเกษตรได้

3. มลพิษทางอากาศ เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ในกิจกรรมต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซ เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละออง ก๊าซเหล่านี้ เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยเฉพาะระบบหายใจ ระบบประสาท มะเร็งผิวหนัง และอาจสะสมในเนื้อเยื่อร่างกาย สารพิษที่กระจายออกสู่บรรยากาศบางชนิดคงตัวอยู่เป็นเวลานานและแพร่กระจายออกไปได้ไกล บางชนิดเป็นปฏิกิริยาต่อกันและเกิดเป็นสารใหม่ที่เป็นอันตรายมากขึ้น รวมถึงการเกิดฝนกรด

2.1.5 วิธีกำจัดคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การกำจัดคราบน้ำมันมีอยู่หลายวิธี ซึ่งจะต้องเลือกให้เหมาะสมและคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วกระบวนการจัดการคราบน้ำมันปนเปื้อนที่เกิดขึ้นมี 3 วิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีการบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

1. วิธีทางกายภาพ มีหลายวิธีได้แก่ การตกหรือการตกคราบไขมันออกจากแหล่งน้ำ เช่นใช้ตัวกันน้ำมัน (Bloom) ซึ่งเป็นเครื่องมือใช้สำหรับกักน้ำมันมิให้รั่วไหลออกนอกบริเวณ การใช้เครื่องดูดคราบน้ำมัน (Skimmer) ซึ่งจะติดตั้งเครื่องให้ลอยอยู่ที่ระดับผิวน้ำมันบริเวณที่มีคราบน้ำมัน การใช้สารดูดซับ เช่น ซี เลื่อย ซังข้าวโพด ซังอ้อย กระจอบป่าน ขนนก เส้นผม เป็นต้น โรอยทับคราบน้ำมัน วิธีทางกายภาพนี้มีข้อดีคือราคาถูก แต่ข้อเสียคือไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำมันออกจากธรรมชาติได้ 100% เป็นเพียงการเคลื่อนย้ายน้ำมันจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งเท่านั้น น้ำมันยังคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมและยังเป็นปัญหาต่อเนื่อง ในการหาทางกำจัด

2. วิธีทางเคมี ได้แก่ การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันรวมตัวกัน (Chemical Solidifier) ซึ่งเมื่อฉีดลงบนคราบน้ำมันจะทำให้น้ำมันรวมตัวกันเป็นก้อนตกลงสู่ท้องน้ำ ซึ่งสารเคมีดังกล่าวยังไม่ใช้ในประเทศไทย เนื่องจากมีราคาแพง การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันแตกตัว (Chemical Dispersant) เช่น สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือ ตัวทำละลายปิโตรเลียม (Solvent) ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ จะทำให้คราบน้ำมันแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ แขนวลอยอยู่ในน้ำ ทำให้สามารถนำไปบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไป ข้อดีของวิธีทางเคมีคือ เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว สามารถกำจัดคราบน้ำมันบริเวณที่เกิดเหตุได้อย่างสะอาด ข้อเสียคือ สารเคมีที่ใช้มักมีราคาแพงและยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม เมื่อขจัดคราบน้ำมันแล้ว สารเคมีเหล่านี้ จะตกค้างในสิ่งแวดล้อม เป็นการเพิ่มปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ น้ำมันที่แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ จะต้องหาวิธีกำจัดต่อไป ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนย้ายและการทำลาย

3. วิธีการบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Bioremediation) เป็นวิธีการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอันตรายในสิ่งแวดล้อม โดยใช้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดินและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ ซึ่งจะย่อยสลายสารเคมีที่เป็นอันตรายบางอย่างที่อยู่ในน้ำมัน เมื่อจุลินทรีย์ย่อย

สลายอย่างสมบูรณ์ สารเคมีเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำ และก๊าซที่ไม่เป็นอันตราย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์

2.2 การดูดซับ

2.2.1 ความหมายของการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้ เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวจะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว- ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –Solid Interface)

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Absorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านั้น โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Absorption) การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น การดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น

2.2.3 กลไกการดูดซับ

การดูดติดผิวเป็นการเคลื่อนย้ายสารจากของเหลวและของแข็งซึ่งปรากฏการณ์นี้มีขั้นตอนการเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. Bulk solution transport สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่จากสารละลายสู่ด้านนอกของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นโดยการแพร่
2. Film diffusion transport เมื่ออนุภาคโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Hydrodynamic boundary layer) ที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว เมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านสารดูดติดผิว ระยะทางในการเคลื่อนที่และเวลาที่เกิดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลสูงระยะทางจะสั้น
3. Pore transport หลังจากเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำ สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนผ่านช่องที่อยู่ภายในสารดูดติดผิวไปสู่บริเวณที่เกิดการดูดซับ
4. Adsorption หลังจากสารถูกดูดติดผิว มีการเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีการดูดซับเกิดขึ้นจะถูกดูดติดผิวทางกายภาพโดยมีกลไกการเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับ

2.2.4 ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับ

1. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film diffusion) หรือ การแพร่ผ่านรูพรุน (Pore diffusion) ถ้ามีการปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของน้ำรอบตัวดูดซับจะมีความหนาเป็นอุปสรรคต่อการแพร่ของตัวดูดซับเข้าสู่ตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ แต่ถ้ามีความปั่นป่วนมาก ชั้นฟิล์มของน้ำจะบางลง เป็นผลทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับสามารถแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าสู่ตัวดูดซับได้เร็วกว่าการแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ
2. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่ออัตราการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
3. ความสามารถในการละลายน้ำและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับ เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้นโมเลกุลของตัวดูดซับจะถูกแยกออกจากน้ำไปเกาะติดผิวตัวดูดซับ สารที่ละลายน้ำหรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงทำให้ยากต่อการดูดซับ ส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างความสามารถในการดูดซับกับความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ
4. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีผลต่ออัตราการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย ซึ่งทำให้แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับมีค่ามากที่สุด

5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่า pH) ค่า pH มีผลต่อการดูดซับ เนื่องจากมีการแตกตัวเป็นไอออน และการละลายน้ำของตัวดูดซับ และยังมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนของสารที่เป็นกรดหรือด่าง ระหว่างกระบวนการดูดซับไอออนไฮโดรเจนและไอออนไฮดรอกซิลสามารถถูกดูดซับได้โดยตัวดูดซับ การดูดซับของไอออนขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายยังมีผลต่อประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับ อีกด้วย โดยทั่วไปเมื่อค่า pH ของสารละลายมีค่าลดลงการดูดซับของสารอินทรีย์

6. ระยะเวลาในการสัมผัส ระยะเวลาสัมผัสในกระบวนการการดูดซับเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของการดูดซับแบบต่อเนื่อง

2.2.5 การวิเคราะห์กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับมีอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. Macrotransport เป็นการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ผ่านน้ำไปยังแนวแบ่งระหว่างของเหลวกับของแข็งด้วย Advection และ Diffusion

2. Microtransport เป็นการเคลื่อนที่แบบ Diffusion ของสารอินทรีย์ผ่านเข้าไปในบริเวณผิวของ GAC ใน Micropores และใน Submicropores

3. Sorption การดูดซับได้เกิดขึ้นบนผิวของเม็ดและใน Macropores กับ Mesopores แต่พื้นที่ผิวของเม็ดจะมีน้อยกว่าพื้นที่ของ Macropores และ Mesopores มาก

เมื่อไรที่มีอัตราของการดูดซับเท่ากับอัตราของการคายออก (Desorption) นั่นคือถึงจุดสมดุล คือความสามารถในการดูดซับหมดลง

2.2.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm)

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2558) ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ ไอโซเทอร์มที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบคือ

1. สมการแลงเมียร์ (Langmuir equation) ในปี ค.ศ.1916 แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐานคือ

1.1 ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)

1.2 โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน

1.3 ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันพลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ

1.4 โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้

สมการแลงเมียร์เป็นสมการแบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์เขียนได้ดังนี้

$$q_e = \frac{C_e b q_m}{1 + b C_e} \dots\dots\dots (2-1)$$

เมื่อ q_m = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับบนตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q_e = ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

b = ค่าคงที่

จัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \dots\dots\dots (2-2)$$

2. สมการฟรุนดริช (Freundlich equation)

สมการฟรุนดริช มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ สมการฟรุนดริชเป็นไอโซเทอมที่พัฒนาจากไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer)

$$q_e = K_f C_e^n \dots\dots\dots (2-3)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_F และ n = ค่าคงที่

2.2.7 ชนิดของกระบวนการดูดซับ

แยกได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการทำงานของกระบวนการ คือ

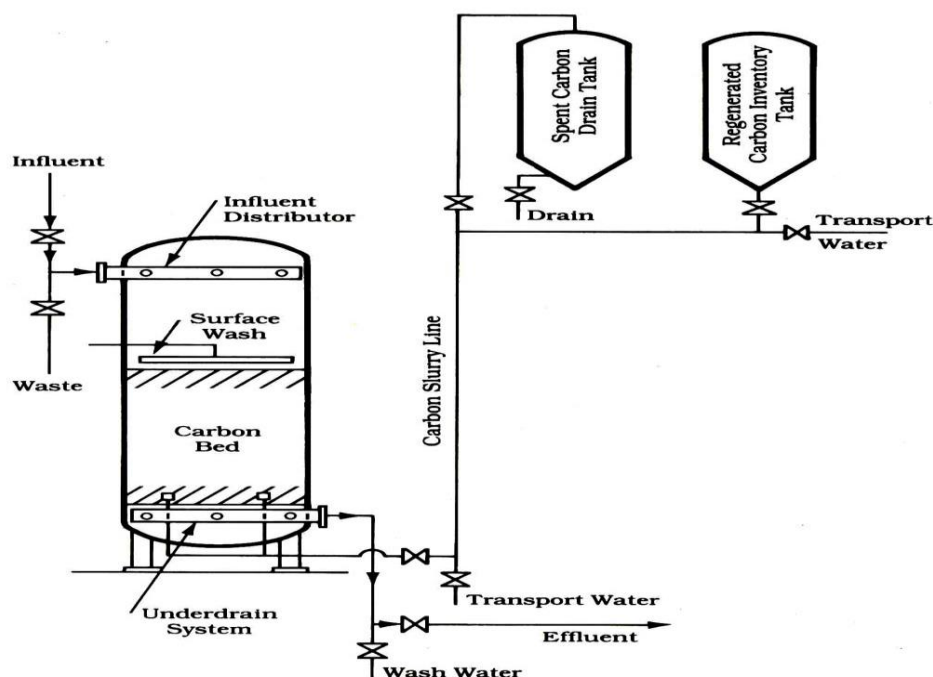
1. กระบวนการดูดซับแบบกะ (Batch Adsorption Process)
2. กระบวนการดูดซับแบบต่อเนื่อง (Continuous Adsorption Process)

แยกได้ 3 ชนิด ตามลักษณะของการไหลของของไหลภายในระบบ คือ

1. แบบไหลตามกัน (Co-current Flow Adsorption Process)
2. แบบไหลสวนทาง (Counter Flow Adsorption Process)
3. แบบไหลตั้งฉาก (Cross Flow Adsorption Process)

กระบวนการดูดซับแบบต่อเนื่อง แยกได้ 3 ประเภท คือ

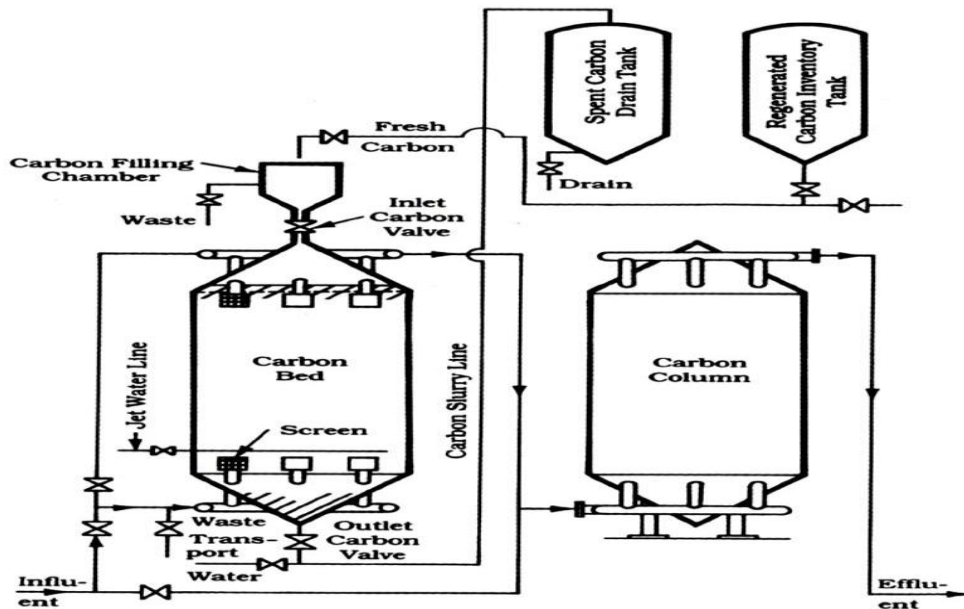
1. แบบชั้นตรึง (Fixed Bed Adsorption Process) ดังภาพที่ 2 กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนของวัสดุดูดซับจากนั้นจึงจะเคลื่อนที่ลงมาจนถึงชั้นล่าง ซึ่งจะเกิดการสภาพของการหมดความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับ ต้องนำไปฟื้นฟูสภาพใหม่อีกครั้ง



ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการดูดซับแบบชั้นตรึง ที่มีการใช้ถังคาร์บอนเพียง 1 ใบ

ที่มา : กรณ์ภัสสร และคณะ (2552)

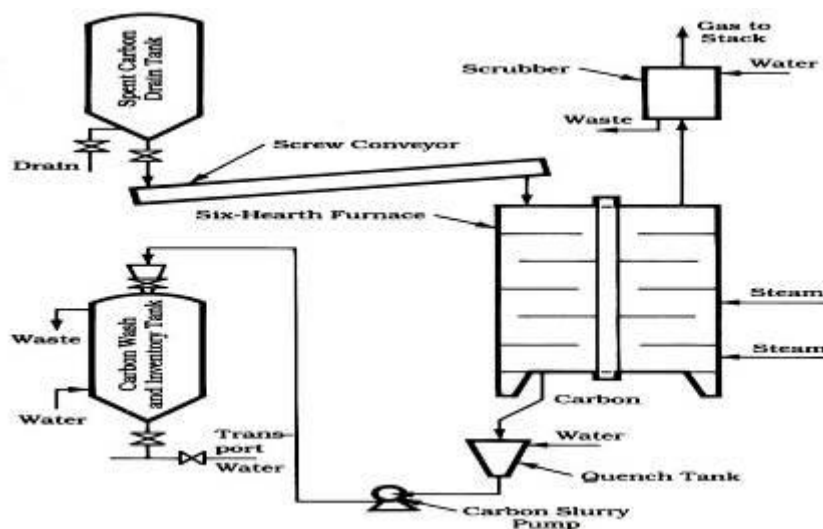
2. แบบชั้นเคลื่อนที่ (Moving Bed Adsorption Process) ดังภาพที่ 3 กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างของถัง ซึ่งจะเกิดการหมดสภาพในการดูดซับก่อน จึงไม่ค่อยนิยมใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างจะค่อนข้างดี



ภาพที่ 3 แสดงกระบวนการดูดซับแบบชั้นเคลื่อนที่ ที่มีการใช้ถังคาร์บอนเพียง 1 ใบ
ที่มา : วรรณภัสสร และคณะ (2552)

3. แบบชั้นฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Adsorption Process) ดังภาพที่ 4 น้ำเสียเกิดการไหลด้วยความเร็วสูงจากด้านล่างของถังผ่านชั้นวัสดุดูดซับภายในถัง ซึ่งมักจะทำให้วัสดุดูดซับไหลปนไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว และทำการเติมวัสดุดูดซับใหม่ที่ด้านบนของถัง

พหุ มณู ทิโต ชีเว



ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการฟื้นฟูสภาพของวัสดุดูดซับ
ที่มา : กรณ์ภัสสร และคณะ (2552)

2.3 หญ้าแฝก

2.3.1 ความหมายของหญ้าแฝก

หญ้าแฝก ชื่อวิทยาศาสตร์ *Chrysopogon zizanioides* เป็นพืชตระกูลหญ้าที่พบอยู่ทั่วไปตามภาคต่างๆ ของประเทศ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ทนต่อสภาพความแห้งแล้ง ความเปียกแฉะและสภาพน้ำท่วมขังได้ดี เพราะมีระบบรากลึกแผ่กระจายลงไปในดินตรงๆ และมีใบแคบ เป็นพืชที่มีอายุได้หลายปี ขึ้นเป็นกอแน่น มีใบเป็นรูปขอบขนานแคบปลายขอบแหลม สามารถขยายพันธุ์ได้ผลรวดเร็ว โดยการแตกหน่อจากลำต้นใต้ดิน ในบางโอกาสสามารถแตกแขนงและรากออกในส่วนของก้านช่อดอกได้ เมื่อหญ้าแฝกโน้มลงดินทำให้มีการเจริญเติบโตเป็นกอหญ้าแฝกใหม่ได้



ภาพที่ 5 หญ้าแฝก

ที่มา : เว็บไซต์กรมพัฒนาที่ดิน

2.3.2 ประโยชน์ของหญ้าแฝก

1. ด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ
 - 1.1 ป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน
 - 1.2 แฉกหญ้าแฝกช่วยกักเก็บตะกอนดิน
 - 1.3 ลดความแรงของน้ำที่ไหลบ่า
 - 1.4 ช่วยกักเก็บน้ำไว้ในดินและพื้นที่ตอนบน
 - 1.5 ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากพื้นที่
2. ด้านฟื้นฟูและปรับปรุงดิน
 - 2.1 เพิ่มอินทรีย์วัตถุแก่ดิน
 - 2.2 รักษาความชื้นในดิน
 - 2.3 ช่วยให้ดินมีการระบายน้ำดีขึ้น
 - 2.4 ทำให้ดินโปร่งและระบายอากาศของดินดี
 - 2.5 เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน
3. ด้านรักษาสภาพแวดล้อม
 - 3.1 ช่วยรักษาคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ
 - 3.2 ดูดซับโลหะหนักจากสภาพแวดล้อม
 - 3.3 ช่วยในการบำบัดและกรองน้ำเสีย
 - 3.4 ป้องกันการพังทลายของไหล่ถนน

2.4 หญ้าเนเปียร์

2.4.1 ความหมายของหญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pennisetum purpureum* มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศของแอฟริกา ปัจจุบันพบปลูกแพร่กระจายทั่วโลกในแถบประเทศอบอุ่น เป็นหญ้าที่มีลำต้นขนาดใหญ่ ลำต้นแตกเป็นกอหรือแตกต้นใหม่ได้ ลำต้นมีลักษณะแข็งแรง มีลำต้นสั้นๆ บางส่วนอยู่ใต้ดิน ลำต้นเหนือดินมีลักษณะทรงกลม และตั้งตรง ขนาดลำต้น 2-2.5 เซนติเมตร สูง 2-6 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อปล้อง ประมาณ 15-20 ข้อ ส่วนรากมีเฉพาะระบบรากฝอยที่แตกออกจากเหง้าจำนวนมาก ใบหญ้าเนเปียร์ออกเป็นใบเดี่ยว ประกอบด้วยกาบใบที่ห่อหุ้มลำต้น และมีขนเล็กๆ นุ่มมือปกคลุม โดยตรงรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบมีลิ้นใบ ถัดมาเป็นแผ่นใบยาว แผ่นใบมีสีเขียวอ่อน ยาวประมาณ 70-100 เซนติเมตร กว้างประมาณ 2-3 เซนติเมตร แผ่นใบมีเส้นกลางใบขนาดใหญ่ ดอกหญ้าเนเปียร์ออกเป็นช่อ ช่อดอกมีรูปทรงกระบอก สีเหลือง ยาวประมาณ 15-22 เซนติเมตร หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร ประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก ด้านในดอกมีเกสรตัวเมีย และตัวผู้



ภาพที่ 6 หญ้าเนเปียร์

ที่มา : เว็บไซต์กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.4.2 ประโยชน์ของหญ้าเนเปียร์

1. ใช้ปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์ โดยเฉพาะโคเนื้อ โคนม และกระบือ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการให้กินสด และการทำหญ้าหมัก
2. ใช้เป็นชีวมวลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า
3. ใช้ปลูกเป็นพืชคลุมดิน
4. ลำต้นใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ
5. ลำต้นนำมาสับและอัดเป็นแท่งสำหรับเป็นเชื้อเพลิงหุงหาอาหาร

2.5 พลังงานชีวมวล

2.5.1 ความหมายของพลังงานทดแทน

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โลกขับเคลื่อนไปข้างหน้า มนุษย์ค้นพบแหล่งพลังงานมานานแล้ว เช่น พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งแปรรูปมาจากธรรมชาติที่สะสมมานานนับศตวรรษได้แก่ ปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ) ซึ่งพลังงานดังกล่าวผลักดันโลกให้พัฒนาก้าวไปข้างหน้าในทุกๆ ด้าน จนกระทั่งในปัจจุบันกำลังจะหมดไป ส่งผลให้น้ำมันดิบมีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ทุกๆ ประเทศพยายามที่จะคิดหาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างอื่นมาใช้แทนเพื่อให้พอเพียงแก่ความต้องการ

พลังงานทดแทน หมายถึงพลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภท

หนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ไฮโดรเจน และชีวมวล เป็นต้น

2.5.2 ความหมายของพลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรการใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด และอาจหมดลงได้ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่างๆกัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชนตัวอย่างชีวมวลแต่ละประเภท

1. แกลบ ลักษณะทั่วไปมีขนาดเล็กยาวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร สีเหลืองแกลบได้มาจากการสีข้าวเปลือกซึ่งต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% ก่อนสีแหล่งส่วนใหญ่มาจากโรงสีข้าวการนำไปใช้งานแกลบสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่างเช่นเป็นเชื้อเพลิงผสมลงในดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูกและใช้โปรยใต้โรงเลี้ยงไก่เพื่อรองรับมูลไก่เป็นต้นจุดเด่นมีความชื้นต่ำและขนาดเล็กเหมาะเป็นเชื้อเพลิงนอกจากนี้ซีแกลบมีมูลค่าสูงถ้าสามารถควบคุมคุณสมบัติให้ได้ตามที่ผู้ซื้อกำหนดจุดต่อมีปริมาณซีแกลบ 16-18 % โดยน้ำหนักดังนั้นในการเผาไหม้ควรคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วยอีกประการหนึ่งเนื่องจากแกลบมีน้ำหนักเบา (1 ลบ.ม.หนัก 123 กก.) ต้องมีการวางแผนในการขนส่งให้ดี

2. ฟางข้าวมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส และลิกนินการใช้ประโยชน์จากฟางข้าว ได้คำนึงถึงการนำองค์ประกอบดังกล่าวเพื่อผลิตเป็นสารที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นโดยวิธีการทางเคมี หรือวิธีการชีวภาพลักษณะทั่วไปขนาดเล็กยาวแต่กลวงได้มาหลังการเกี่ยวข้าวแหล่งถ้าเกี่ยวข้าวด้วยแรงคนฟางข้าวจะกองอยู่บริเวณลานตากข้าวตามหมู่บ้านถ้าเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องจักรฟางข้าวจะถูกทิ้งไว้ในนาข้าวการนำไปใช้งานฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่างเช่นเป็นอาหารสัตว์คลุมดินเพาะเห็ดฟางทำโครงฟางหรือติดอกไม้และใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษเป็นต้นแต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้งจุดเด่นยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์จุดต่อรวบรวมได้ยากถ้าใช้แรงคนเพราะอยู่กระจัดกระจายต้องใช้เครื่องทุ่นแรง(Straw baler) มาช่วยในการรวบรวม

3. ใบอ้อยและยอดอ้อย ลักษณะทั่วไปมีลักษณะเรียวยาวจะถูกตัดออกจากลำต้นอ้อยก่อนส่งไปโรงงานช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายนดังนั้นใบอ้อยและยอดอ้อยจะกระจายไปทั่วไร่อ้อยแต่บางครั้งชาวไร่อ้อยจะใช้วิธีการเผาแทนการตัดซึ่งจะทำให้ไม่มีใบอ้อยและยอดอ้อยหลงเหลืออยู่แหล่ง

ตามไร้อ้อยทั่วไปการนำไปใช้งานยอดอ้อยสามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์จุดเด่นใบอ้อยและยอดอ้อย ส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้งในไร้อย่างไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์จุดด้อยมีเฉพาะเดือนธันวาคมถึงเมษายนของทุกปีและการรวบรวมเก็บค่อนข้างใช้แรงงานมากจำเป็นต้องหาเครื่องทุ่นแรงมาช่วยอ้อยต้นอ้อย

4. กากอ้อยหรือขานอ้อย ลักษณะทั่วไปมีลักษณะเป็นขุยได้จากการผลิตน้ำตาลดิบโดยนำอ้อยมาคั้นน้ำออกส่วนที่เป็นน้ำนำไปผลิตเป็นน้ำตาลดิบส่วนที่เหลือคือกากอ้อยแหล่งโรงงานน้ำตาล การนำไปใช้งานส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตน้ำตาลดิบประมาณ 80 % ส่วนที่เหลืออีก 20 % นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษและ MDF Board จุดเด่นยังมีกากอ้อยเหลืออีกส่วนหนึ่งที่ยังไม่ได้นำไปใช้งานจุดด้อยน้ำหนักเบาและความชื้นสูง

5. เหน้้ำมันสำปะหลัง ลักษณะทั่วไปเหน้้ำมันเป็นส่วนที่ถูกตัดออกจากหัวมันด้านบนมีลักษณะเป็นลำต้นค่อนข้างกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 15 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตรส่วนอีกด้านหนึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอนแหล่งตามไร่น้ำมันสำปะหลังการนำไปใช้งานปัจจุบันยังไม่ค่อยนำไปใช้งานจึงมักถูกเผาทิ้งตามไร่น้ำมันสำปะหลังเหน้้ำมันสำปะหลังจุดเด่นเนื่องจากส่วนมากยังไม่ได้นำไปใช้ให้เป็นประโยชน์จึงไม่มีคู่แข่งในการจัดหาจุดด้อยความชื้นโดยเฉลี่ย 60 % และมีขนาดรูปร่างไม่แน่นอนจึงต้องมีขบวนการทำให้เล็กลงก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิง

6. เปลือกและกากมันสำปะหลังลักษณะทั่วไปเปลือกมีลักษณะเป็นขุยสีน้ำตาลความชื้น 50 % กากมันมีลักษณะละเอียดสีขาวความชื้นสูงประมาณ 80 % แหล่งเป็นเศษที่เหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังการนำไปใช้งานกากมันนำไปใช้ผสมอาหารสัตว์ในมันเส้นเปลือกมันทำปุ๋ยจุดเด่นเนื่องจากเปลือกมันส่วนยังมีส่วนหนึ่งที่ขายไม่ได้ทางโรงงานต้องนำไปฝังกลบเพราะยังไม่ได้ศึกษา นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นจุดด้อยเปลือกมันมีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ

7. ชังข้าวโพดและลำต้น ลักษณะทั่วไปชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดมาใช้งาน ส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในส่วนของลำต้นจะถูกตัดหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว แหล่งปัจจุบันการสีข้าวโพดจะใช้เครื่องจักรที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามไร่ข้าวโพดดังนั้นจะสามารถหาชังข้าวโพดและต้นไร่น้ำมันสำปะหลังข้าวโพดได้ตามไร่ข้าวโพดทั่วไปการนำไปใช้งานชังข้าวโพดมีประโยชน์หลายอย่างนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงผสมกับโมลาสเพื่อเลี้ยงสัตว์เป็นต้นส่วนลำต้นนำไปเลี้ยงสัตว์ได้เช่นกันจุดเด่นชังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงเมื่อเทียบกับชีวมวลอื่นๆ ส่วนลำต้นข้าวโพดมีส่วนหนึ่งที่ไม่ได้นำไปใช้งานชาวไร่ข้าวโพดจะไถฝังกลบในไร่จุดด้อยชังข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่างดังนั้นต้องพิจารณาถึงแหล่งที่มีการนำไปใช้งานน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการแก่งแย่งกันซื้อส่วนลำต้นข้าวโพดจะเก็บรวบรวมลำบากต้องใช้แรงงานมาก

8. เศษไม้ยางพารา ลักษณะทั่วไปไม้ยางพาราเมื่อมีอายุถึง 20 -25 ปีจะถูกตัดเพื่อปลูกใหม่ไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือรากหรือตอไม้ปลายไม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วลงมา และไม้ท่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วขึ้นไปไม้ท่อนจะถูกตัดให้ได้ความยาว 1.05 เมตร เพื่อส่ง

โรงเลื่อยและโรงงานเฟอร์นิเจอร์ซึ่งจะได้เศษไม้หลายแบบคือปึกไม้ตาไม้ (ส่วนที่มีตำหนิ) ไม้เลื่อยและขี้กบแหล่งปึกไม้และขี้เลื่อยจะได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพาราตาไม้และขี้กบได้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราปลายไม้และรากไม้ได้จากสวนยางพาราต้นยางพาราเศษไม้ยางพาราต้นข้าวโพด

การนำไปใช้งานในส่วนของขี้เลื่อยจะนำไปเพาะเห็ดทำรูป ใช้คลุมเผาถ่านเศษไม้อื่นๆจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงบ่มยางพาราเผาถ่านใช้ในขบวนการผลิตใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับไม้อัดยางพารา (Plywood) Medium density board และ Chip board นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในงานก่อสร้างเช่น เสาเข็มใช้ทำเป็นพาเลทหลังไม้เป็นต้นจุดเด่นยังมีเศษไม้ยางพาราคือรากไม้และกิ่งไม้เหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำไปใช้งานจุดด้อยมีขนาดใหญ่และถ้าเป็นเศษไม้สดจะมีความชื้นค่อนข้างสูงประมาณ 50 % ประสิทธิภาพในการเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์ดังนั้นอาจจะต้องเพิ่มขบวนการย่อยและลดความชื้นก่อนนำไปเผา

9. ใบปาล์มและต้นปาล์มลักษณะทั่วไปใบปาล์มหรือทางปาล์มจะถูกตัดออกเพื่อนำทะเลลายปาล์มสดลงจากลำต้นมีขนาดยาวประมาณ 2-3 เมตรส่วนลำต้นจะถูกโค่นเมื่อมีอายุ 20-25 ปีหรือเมื่อไม่สามารถให้ผลผลิตได้ดีแหล่งจากสวนปาล์มการนำไปใช้งานทางปาล์มใช้คลุมดินส่วนลำต้นเริ่มทยอยตัดในพื้นที่บางแห่งจุดเด่นยังไม่มีการศึกษานำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างอื่น จุดด้อยทางปาล์มมีความชื้นสูงถึง 80 % และขนาดใหญ่

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้นพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงให้ได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วนำไปกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้แป้งและน้ำตาลจึงถูกปลดปล่อยออกมา

ชีวมวลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustibles) ซึ่งประกอบด้วย

- ความชื้น (Moisture) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของชีวมวล ชีวมวลส่วนมากมักมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลการผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

- เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่มีเถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว ซึ่งมีเถ้าอยู่ประมาณร้อยละ 10-20 ทำให้มีปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดพอสสมควร

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustibles) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหยได้ (Volatile Matter) และคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) สารระเหยได้ คือส่วนที่ลุกติดไฟได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้สูง แสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่าย ส่วนคาร์บอนคงตัว คือส่วนที่เป็นคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ๆ (ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก) และส่วนที่เผาไหม้ได้ยากมีอุณหภูมิในการจุดติดไฟสูง

2.5.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

1. การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวลความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไปตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือเศษวัสดุทางการเกษตรและเศษไม้

2. การผลิตก๊าซ (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงเรียกว่าแก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine)

3. การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืชมีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

4.1 กระบวนการทางชีวภาพทำการย่อยสลายแป้งน้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตรเช่น อ้อย มันสำปะหลังให้เป็นเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีโดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมันจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการtransesterificationเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูงเช่นกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจนจะเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

2.5.4 เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล

- การสันดาป (Combustion Technology) การสันดาปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อนในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆแต่จะใช้อากาศแทนเนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยปริมาตร หรือ 23% โดยน้ำหนัก

- การผลิตเชื้อเพลิงเหลว (Liquidification Technology)

- การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification Technology) กระบวนการ Gasification เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงแบบ Thermal Conversion โดยมีส่วนประกอบของ Producer gas ที่สำคัญได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄)

- การผลิตก๊าซโดยการหมัก (Anaerobic Digestion Technology) การผลิตก๊าซจากชีวมวลทางเคมีด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ไม่มีอากาศหรือไม่มีออกซิเจนซึ่งเรียกว่าก๊าซชีวภาพ (Biogas) ได้แก่มีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นหลัก

- การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

- เตาก๊าซชีวมวลเตาก๊าซชีวมวลเป็นเตาที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มอาหารในครัวเรือนโดยใช้เศษไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงโดยมีหลักการทำงานแบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล (Gasifier) แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนแล้วไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่นๆเพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นต้น

เชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) สามารถเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส ประกอบขึ้นหรือแปรเปลี่ยนมาจากมวลชีวภาพ (biomass) มวลชีวภาพสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงผ่านการให้ความร้อนหรือการส่งกำลัง ซึ่งรู้จักกันในชื่อเชื้อเพลิงมวลชีวภาพ (biomass fuel) เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถผลิตขึ้นได้จากแหล่งคาร์บอนที่สามารถเติมเต็มได้อย่างรวดเร็วเช่น พืชหลายชนิดและวัสดุที่ได้จากพืชถูกใช้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในโรงงาน เชื้อเพลิงชีวภาพหลักมี 3 รูปแบบ

1. ของแข็งได้แก่ไม้ขี้เลื่อยฟางข้าวซึ่งข้าวโพดชานอ้อยมูลสัตว์ถ่านเขาเปลือกสัตว์หรือเปลือกพืชอาหารที่กลบข้าวฝ้ายถั่วลิสงเป็นต้นไม้พืนเป็นพลังงานชีวภาพชนิดแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้ในการหุงต้มอาหารให้แสงสว่างและสร้างความอบอุ่นให้แก่ครัวเรือนตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์หลายพันปีมาแล้วเนื้อไม้ประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมายโดยมีเซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบหลักประมาณร้อยละ 50 สารประกอบแต่ละชนิดจะให้ความร้อนแตกต่างกันไปไม้ที่มีความชื้นต่ำจะให้ค่าความร้อนมากกว่าไม้ที่มีความชื้นสูงดังจะเห็นได้ว่าการนำไม้สดไปใช้เป็นฟืนโดยตรงจะให้ความร้อนน้อยคือมีค่าความร้อนต่ำอย่างไรก็ตามในปัจจุบันทรัพยากรไม้มีปริมาณลดน้อยลงมากการตัดไม้ทั่วโลกเพื่อใช้ทำฟืนจึงมีปริมาณลดลง

2. ของเหลวพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่อยู่ในรูปของเหลวอาจจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักได้แก่

- แอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์มีสถานะเป็นของเหลวระเหยง่ายแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมี 2 ชนิดคือ เอทานอล (แอลกอฮอล์ที่รับประทานได้) และเมทานอล (แอลกอฮอล์ที่ไม่สามารถรับประทานได้)

- น้ำมันจากพืชและสัตว์ได้แก่น้ำมันพืชบริสุทธิ์น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (Waste Vegetable Oil) ไชสัตว์และไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชไฮสตรว์และน้ำมันพืชใช้แล้วโดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี

- น้ำมันจากขยะน้ำมันซึ่งมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพคล้ายคลึงกับปิโตรเลียมสามารถสกัดจากขยะชีวมวลมาใช้งานได้

3. ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ส่วนใหญ่คือก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์หรือของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์เช่นสุกรโคกระบือโดยรวบรวมของเสียเหล่านี้ใส่ในถังหมักที่มีเชื้อจุลินทรีย์เมื่อทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่ที่ไม่มีอากาศจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ในของเสียและเกิดก๊าซมีเทนขึ้นก๊าซมีเทนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหารและกระบวนการอื่น ๆ ที่ต้องการใช้ความร้อนส่วนของเหลือจากถังหมักเมื่อสะสมมากๆยังนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วยปัจจุบันครอบครัวตามชนบทสามารถผลิตเชื้อเพลิงแบบนี้ใช้ได้เองโดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความร้อน 21.5 MJ หรือเท่ากับค่าความร้อนของก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas : LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือไฟฟ้า 1.2 kW/h และถ่าน 1.6 กิโลกรัม

2.5.5 การวิเคราะห์ชีวมวล

ในการที่จะนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทราบค่าการวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบด้วย

ความชื้น (Moisture) คือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุ ความชื้นมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้และคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดความชื้นต่ำยิ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตแก๊สได้มากขึ้นเท่านั้น โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3173-03 คืออบสารตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด 105 - 110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยน้ำส่วนที่เป็นความชื้น (Inherent Moisture) ระเหยออกมา ขณะน้ำที่เป็นส่วนประกอบทั้งส่วนที่เป็นอินทรีย์และส่วนที่เป็นอินทรีย์ (Coherent Moisture) ยังคงอยู่ในเชื้อเพลิง

เถ้า (Ash) คือปริมาณเถ้าที่มีอยู่ในชีวมวล ภายหลังจากเผาที่อุณหภูมิ ซึ่งปริมาณเถ้าในชีวมวลสามารถนำมาเป็นข้อมูลเพื่อคาดคะเนองค์ประกอบอื่นๆ ของเชื้อเพลิงได้ เช่น ถ้ามีปริมาณเถ้าสูง ก็มีแนวโน้มที่ชีวมวลจะมีค่าความร้อนต่ำ โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐาน D3173-04 ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 700-750 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) คือปริมาณสารระเหยที่มีอยู่ในชีวมวล ซึ่งปริมาณสารระเหยในชีวมวลสามารถนำมาเป็นข้อมูลเพื่อคาดคะเนองค์ประกอบอื่นๆ ของเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกัน เช่น ถ้ามีปริมาณสารระเหยสูง ก็มีแนวโน้มที่ชีวมวลจะมีค่าความร้อนสูง เกิดผลิตภัณฑ์แก๊สที่เผาไหม้ได้สูง แต่ปริมาณของคาร์บอนคงตัวจะต่ำ ตามลำดับ โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM

D3175 จากการอบสารตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C เป็นเวลา 7 นาที โดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เพื่อกลั่นสลายส่วนที่ระเหยได้ออกมา

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) คือปริมาณองค์ประกอบคาร์บอนที่มีอยู่ในชีวมวล ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวในชีวมวลสามารถนำมาเป็นข้อมูลเพื่อคาดคะเนองค์ประกอบอื่นๆ ของเชื้อเพลิงได้เดียวกัน เช่น ถ้ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ก็มีแนวโน้มที่จะให้ผลได้ของถ่านชาร์สูง เป็นต้น โดยใช้วิธีการคำนวณจากร้อยละกับผลต่างระหว่าง ความชื้น เถ้า และปริมาณสารระเหย (By difference) ตามสมการที่ 2-4

$$\% \text{ FC} = 100 - (\% \text{ M} + \% \text{ A} + \% \text{ VM}) \dots\dots\dots(2-4)$$

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) สามารถแบ่งรูปแบบการวิเคราะห์ตามหลักอ้างอิง (Basis) ได้หลายชนิด เช่น

1. Air – Dried Basis คือ การวิเคราะห์แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า
2. Dry Basis คือ การวิเคราะห์แบบไม่รวมความชื้น
3. Dry and Ash Free Basis (daf basis) คือ การวิเคราะห์แบบไม่รวมความชื้นและไม่รวมเถ้า เป็นต้น

2.5.6 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง มักแสดงในหน่วยความร้อนต่อน้ำหนัก เช่น กิโลจูล (kJ) หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ในระบบ SI หรือแคลอรีต่อกรัม (cal/g) ในระบบเมตริก เป็นต้น นอกจากนี้อาจแสดงในหน่วยบีทียูตอปอนด์ (Btu/lb_m) ในระบบ American Engineering ซึ่งนิยมใช้กันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง

2.5.6.1 ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ (High and Low Heating Value; HHV and LHV)

นิยามของค่าความร้อนสูง (High Heating Value; HHV) หมายถึงพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์ (Gross Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่รวมถึงพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (Latent Heat of Vaporization) ส่วนค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value; LHV) หมายถึงพลังงานความร้อนสุทธิที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Net Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C

และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 150°C ซึ่งไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่น (Condensate) ไอน้ำมาใช้งาน

การระบุค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็งต้องระบุหลักอ้างอิง ด้วยว่าเป็นมวลของเชื้อเพลิงแข็งแบบใด เช่น แบบรวมความชื้นและรวมเถ้า หรือแบบไม่รวมความชื้นและไม่รวมเถ้า หรือแบบอื่นๆ เพราะหลักอ้างอิงมีผลต่อค่าความร้อนและการนำค่าความร้อนไปใช้เป็นอย่างมาก

การนำชีวมวลพวกเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นวิธีการหนึ่งที่สะดวกและช่วงประหยัดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยสามารถแบ่งลักษณะการนำเศษวัสดุเหล่านี้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือการนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือนำไปผสมรวมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นแล้วเผาเพื่อให้พลังงาน แต่เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดขึ้นนั้นไม่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงกล่าวคือ มีความหนาแน่นต่ำทำให้ลุกไหม้หมดลงอย่างรวดเร็ว มีปริมาณความชื้นและเถ้าสูง ให้ค่าความร้อนต่ำและเกิดควันมากในขณะเผาไหม้ จึงมีการพัฒนาอีกวิธีหนึ่งโดยการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการนำไปใช้งาน ได้แก่ การนำไปเผาเป็นถ่านและการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

2.5.7 ประโยชน์ของชีวมวล

1. ชีวมวลเกิดจากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิต ซึ่งเป็นวงจรการผลิตระยะสั้น จึงไม่มีวันหมดสิ้น
2. ชีวมวลสามารถผลิตได้ในประเทศ ทำให้เกษตรกรมีรายได้ และยังลดการนำเข้าจากต่างประเทศ
3. การใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้า จะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลก
4. ชีวมวลมีปริมาณกำมะถันที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก ซึ่งต่างจากน้ำมันในภาคขนส่งและถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้า
5. ถ้านำมาผลิตกระแสไฟฟ้า จะช่วยลดปัญหาไฟฟ้ายับและไฟฟ้าตกในชุมชนที่ห่างไกล
6. พลังงานชีวมวลจะไม่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก และแทบไม่เป็นพิษต่ออากาศในกรณีที่มีการปลูกทดแทน

2.5.8 โทษของชีวมวล

1. ชีวมวลมีการขนส่งและการเก็บรักษาที่ยาก
2. มีความเสี่ยงสูงในการจัดเก็บปริมาณชีวมวลให้คงที่ตลอดปี เพราะชีวมวลบางประเภทมีจำนวนจำกัดในแต่ละเดือน

3. ราคาไฟฟ้าที่รัฐบาลรับซื้อมาจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ยังไม่ดึงดูดการลงทุนเท่าที่ควร
4. เทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้กับชีวมวลหลายๆประเภทมีราคาแพง
5. ยังขาดการสาธิตเทคโนโลยี ทำให้ขาดความมั่นใจด้านเทคโนโลยี
6. ขาดบุคลากรผู้นำและผู้ที่จะมาบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

2.5.9 ปัญหาการใช้พลังงานจากชีวมวล

พลังงานจากชีวมวลมีข้อเสียเปรียบเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตาหลายประการและเป็นเหตุผลที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานหมุนเวียนไม่แพร่หลายเท่าที่ควรเช่น

1. ชีวมวลมีปริมาณที่ไม่แน่นอนเนื่องจาก ชีวมวลแต่ละชนิดปลูกเพียงตามฤดูกาลเท่านั้นและผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเกษตรกรรมเปลี่ยนชนิดของผลผลิตไปตามความต้องการของตลาดพื้นที่การเกษตรลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพไปสู่มืองชีวมวลมีอยู่มากแต่อยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้รวบรวมได้ยากเช่นกะลามะพร้าวเศษไม้ซึ่งข้าวโพดยอดอ้อยที่อยู่ตามท้องไร่ท้องนาและแกลบตามโรงสีเล็กๆ

2. ปริมาณชีวมวลที่มีใช้อยู่ในโรงงานและพื้นที่ใกล้เคียงมีไม่เพียงพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าที่ให้ผลตอบแทนในการลงทุนดีพอและเมื่อต้องหาชีวมวลประเภทอื่นหรือจากแหล่งอื่นมาเสริมก็จะมีปัญหาในเรื่องต่างๆดังนี้

- 2.1 ค่าขนส่งจากแหล่งชีวมวลมาสู่โรงงานถ้ายังอยู่ไกลพื้นที่ตั้งของโรงงานก็ยิ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง

- 2.2 เทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลหลายๆชนิดมีราคาแพง

- 2.3 มีความเสี่ยงสูงในการรวบรวมชีวมวลจากแหล่งต่างๆให้ได้ปริมาณตามต้องการ

3. ค่าใช้จ่ายสูงที่จะลงทุนเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าระหว่างโรงงานสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเช่นค่าอุปกรณ์เชื่อมต่อค่าก่อสร้างระบบสายส่งเป็นต้น

4. โรงงานขาดความเชื่อมั่นที่จะลงทุนเนื่องจาก

- 4.1 ขาดการสนับสนุนการลงทุนจากสถาบันการเงินเนื่องจากความไม่แน่นอนของปริมาณชีวมวล

- 4.2 ขาดความมั่นใจด้านเทคโนโลยีด้วยยังขาดการสาธิตเทคโนโลยี

- 4.3 ไม่มีผู้ให้คำปรึกษาทางเทคนิค

- 4.4 ขาดบุคลากรที่จะเป็นผู้ดำเนินการและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

- 4.5 ราคารับซื้อและราคาขายของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานสิ้นเปลืองยังต่ำมากเมื่อเทียบกับไฟฟ้าที่ได้จากชีวมวลจึงไม่เกิดแรงจูงใจในการผลิตแต่ถ้าราคาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงาน

สิ้นเปลืองสูงขึ้นในอนาคตก็จะเป็นแรงจูงใจให้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงสีข้าว และโรงงานน้ำตาลจนทำให้มีไฟฟ้าเหลือมากพอจำหน่ายคืนเข้าระบบของการไฟฟ้าได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบร์นฮาร์ด และคณะ (2532) ได้ศึกษาตู้ฟักไข่โดยใช้ก๊าซชีวภาพโครงการงานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำก๊าซหุงต้มและก๊าซชีวภาพ มาเป็นแหล่งพลังงานสำหรับใช้ในการฟักไข่ด้วยตู้ฟักไข่ ตู้ฟักไข่ที่ใช้เป็นตู้ฟักไข่ไฟฟ้าใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์เป็นแหล่งพลังงาน ความจุประมาณ 36 ฟอง ซึ่งในการดำเนินงานวิจัย ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ รวมทั้งทำการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างแหล่งพลังงานทั้ง 3 ชนิด คือ ไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม และก๊าซชีวภาพ การดำเนินงานได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของแหล่งพลังงานทั้ง 3 ชนิด การดำเนินงานในช่วงแรกนั้น ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการฟักไข่ ผลการดำเนินงานพบว่า ในการฟักไข่ไก่จำนวน 30 ฟองใช้ระยะเวลาในการฟักทั้งสิ้น 490 ชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.0538 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ค่าวนประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่ไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 89 และการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่าใช้จ่ายเฉพาะกระแสไฟฟ้าอย่างเดียวคิดเป็น 0.089 บาทต่อชั่วโมงหรือประมาณ 43.74 บาทต่อการฟักไข่ไก่หนึ่งชุด การดำเนินงานในช่วงต่อไป เป็นการศึกษาถึงการฟักไข่โดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งพลังงาน ผลการศึกษาพบว่าในการฟักไข่จำนวน 30 ฟอง ใช้ระยะเวลาในการฟัก 490 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน ใช้ปริมาณก๊าซหุงต้มเฉลี่ย 0.0378 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่ประมาณ ร้อยละ 17 ค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าเชื้อเพลิงประมาณ 0.44 บาทต่อชั่วโมง หรือประมาณ 212.36 บาทต่อการฟักไข่ไก่หนึ่งชุด การดำเนินงานในช่วงสุดท้าย เป็นการศึกษาถึงการฟักไข่โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน แต่เนื่องจากในช่วงเวลานั้นไม่สามารถหาไข่ไก่ที่ผ่านการผสมเชื้อแล้วมาทำการทดลองได้ จึงดำเนินการทดลองเก็บข้อมูลเท่านั้น ซึ่งผลการดำเนินงานในระยะเวลาประมาณ 232 ชั่วโมง พบว่าใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 132.09 ลิตรต่อชั่วโมง โดยประสิทธิภาพของตู้ประมาณร้อยละ 18 ค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าเชื้อเพลิงประมาณ 0.30 บาทต่อชั่วโมง หรือประมาณ 148.22 บาทต่อการฟักไข่ไก่หนึ่งชุด

เสกสรรค์ วินยางค์กุล และสุวิน สลีสองสม (2550) ได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลช้าง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเกี่ยวกับเครื่องยนต์เล็กดัดแปลงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเบนซิน 91 เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซิน 91 กับก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักขี้ช้าง ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบปริมาณไอเสียและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่างๆ ในการศึกษาจะทำการดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กปั่นไฟ 4 จังหวะ รุ่น GX 200T ขนาด 4 kW ให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพ และน้ำมันเบนซิน 91 เป็นเชื้อเพลิง ต่อจากนั้นทำการศึกษา ปริมาณไอเสีย และประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ที่รอบการทำงาน 1,500 2,000

2,500 3,000 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที ผลการทดสอบของก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 9.8 A มีแรงดันไฟฟ้า 200V ได้กำลังงานทางไฟฟ้าที่ 19,208W ที่ความเร็วรอบที่ใช้งานคือ 4,000 รอบต่อนาทีสามารถนำมาใช้งานได้จริง โดยมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเท่ากับ 13.259 ส่วนค่าปริมาณไอเสียของก๊าซชีวภาพจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน 91 แต่มีค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าเพราะก๊าซชีวภาพมีปริมาณมากอยู่แล้วและเมื่อมีการเผาไหม้ค่าก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นและค่าไนโตรเจนของก๊าซชีวภาพจะมีค่าสูงเช่นกันเพราะค่าปริมาณของไอเสียค่าอื่น ๆ จะทำให้ค่าไนโตรเจนของก๊าซชีวภาพยังมีค่ามาก

ศเชนทร์เกียรติ สุขเจริญ และรวิชาติ นามบุตตี (2553) จากการศึกษาพบว่าผลการอัดแห้งเชื้อเพลิงของทั้งสองวัสดุใกล้เคียงกันซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ดีแต่จะมีอัตราส่วน 1 : 3 และ 1 : 4 ที่ขึ้นรูปได้ไม่ดี ผลการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแห้ง จากการหาค่าความร้อนของกากไขมันต่อแกลบและกากไขมันต่อฟางข้าวกล่าวโดยสรุปได้ว่า กากไขมันต่อแกลบอัตราที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 6 : 3 มีค่าความร้อน 6,379 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม อัตราส่วน 5 : 4 ค่าความร้อน 6,053 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม อัตราส่วน 5 : 3 ค่าความร้อน 5,702 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และอัตราส่วน 1 : 1 ค่าความร้อน 5,486 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม กากไขมันต่อฟางข้าวอัตราส่วน 5 : 3 ค่าความร้อน 6,781 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม อัตราส่วน 5 : 3 ค่าความร้อน 6,781 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม อัตราส่วน 5 : 3 ค่าความร้อน 6,781 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม อัตราส่วน 1 : 1 ค่าความร้อน 6,274 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และอัตราส่วน 5 : 4 ค่าความร้อน 5,640 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ทำการเลือกอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนมากที่สุดของแต่ละเพื่อที่จะมาวิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว กำมะถัน แตกร่วน ความหนาแน่นและประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน จากการศึกษาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดของกากไขมันของแกลบคือ 6 : 3 ซึ่งมีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,379 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 4.05% ปริมาณเถ้าเฉลี่ย 8.27% ปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 87.48% กำมะถันเฉลี่ย 0.86% ประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ย 18.25 อัตราส่วนที่ดีที่สุดของกากไขมันต่อฟางข้าว คือ 5 : 3 ค่าความร้อนเฉลี่ย 6,781 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีปริมาณค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 3.44% ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 5.00% มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 91.03% 5 : 3 มีค่ากำมะถันเฉลี่ย 2.74% และประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน 20.63 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านไม้ชนิดอื่นพบว่ามีค่าใกล้เคียง

ณัฐธิดา มาสังข์ และจักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ (2550) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไขมันและน้ำ มันซึ่งเป็นอุปสรรคในการบำบัดน้ำ เสียด้วยตะกอนเร่ง โดยใช้ชุดทำความเย็นก่อนส่งน้ำ เสียเข้าสู่ระบบบำบัด ใช้น้ำ เสียสังเคราะห์แทนน้ำ เสียจากอุตสาหกรรมอาหารซึ่งปนเปื้อนไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ พบว่าสามารถแยกน้ำ มันสัตว์จากน้ำ เสียได้ง่ายกว่าน้ำ มันพืช ยกเว้นน้ำมันปลา คือ น้ำมันหมู น้ำมันไก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปลา และน้ำมันดอก

ทานตะวัน ณ อุณหภูมิประมาณ 28, 25, 15,13, 12 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกน้ำ มันปาล์มและน้ำ มันหมูด้วยชุดทำความเย็น พบว่าสามารถลดไขมันและน้ำมันมันร้อยละ 69.20 และ 92.46 บีโอดีร้อยละ 42.66 และ 65.20 ซีโอดีร้อยละ 32.92 และ 46.11 และของแข็งแขวนลอยร้อยละ 53.17 และ 60.59 และสามารถลดเวลาในขั้นตอนการบำบัดด้วยตะกอนเร่งได้มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ผ่านการแยกน้ำมันด้วยชุดทำความเย็น จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมอาหารที่มีการปนเปื้อนของไขมันและน้ำ มันปริมาณมาก

นิศากร ดอนกระสินธุ์ (2545) การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำกากไขมันจากบ่อดัก ไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิง โดยนำมาผสมกับซีลี้อย ในอัตราส่วนกากไขมันต่อซีลี้อย (โดยปริมาตร) 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 แล้วอัดเป็นแท่ง และทดสอบคุณสมบัติหลักด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM 6 ด้าน คือ ปริมาณความร้อน แคลอรี สารระเหย คาร์บอนเสถียร กำมะถันรวม และค่าความร้อน รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน ในด้านมลพิษทางอากาศทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ CO, NO และ SO₂ ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ รวมทั้งตรวจวัดความเข้มข้นของ CO ในเบื้องต้น ในบรรยากาศภายใน ห้องที่ทำการเผาไหม้เชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า การอัดขึ้นรูปเป็นแท่งสามารถทำได้ โดยอัตราส่วนผสมที่มีซีลี้อย เพิ่มขึ้นจะอัดเป็นแท่งได้ยากขึ้น คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง (as-receive) ที่เป็นจุดเด่น คือมีค่าความร้อนสูง 7,065, 6,915, 6,466 และ 6,117 kcal/kg และมีจุดด้อยที่สำคัญ คือ มีปริมาณสารระเหยสูงถึงร้อยละ 90.44, 90.39, 88.03 และ 87.81 เรียงตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนร้อยละ 20.92, 21.84, 29.22 และ 31.51 ตามลำดับ ในด้าน มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่า ก๊าซ CO ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ มีค่าเฉลี่ย 302, 203, 275 และ 217 พีพีเอ็ม ก๊าซ NO ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ มีค่าเฉลี่ย 11, 0.4, 7 และ 7 พีพีเอ็ม ก๊าซ SO₂ ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ มีค่าเฉลี่ย 3, 2, 3 และ 4 พีพีเอ็ม การตรวจวัดความเข้มข้นโดยเบื้องต้นของก๊าซ CO ต่อ 1 รอบการเผาไหม้ในบรรยากาศห้องทดลองขนาด 7 x 7 x 3 เมตร ทั้งในสภาพปิดและเปิดประตู ห้องทดลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ต่ำกว่าค่าที่เสนอโดย WHO ที่ค่าเฉลี่ย 15 และ 30 นาที เชื้อเพลิงอัดแท่งกากไขมันผสมซีลี้อยให้ค่าความร้อนสูงใกล้เคียงฟืนและถ่าน และมีค่า ความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ แต่มีจุดด้อยที่สำคัญคือมีปริมาณสารระเหยสูงมาก ทำให้เกิดควันเมื่อเผาไหม้ ทั้งนี้ใน 4 อัตราส่วนผสมพบว่า อัตราส่วนผสม 1:3 มีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามการ นำไปใช้งานในครัวเรือนเพื่อการหุงต้มด้วยเตาถ่านประสิทธิภาพสูงยังไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากเชื้อเพลิงมีสารระเหยสูง จึงต้องการอากาศในการเผาไหม้ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ สารระเหย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาารูปแบบในการนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันไปใช้ ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงใน

รูปแบบอื่นๆ ที่มีความเหมาะสม เช่น ศึกษาการนำกากไขมันไป เผาร่วมกับขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งเป็นทั้งการเผากำจัดและใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในการช่วยจุด ติดไฟ เป็นต้น

มัลลิกา ธาดาอักษรณรงค์ และชนิษฐา ภูเขียว (2554) วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อจัดทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วร่วมกับกากไขมันปอดักไขมันของภัตตาคาร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้เมทานอลโดยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันและวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน-ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าการเตรียมน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะทำการต้มไล่ความชื้น ส่วนกากไขมันจะแยกเศษอาหารกับกากไขมัน ต้มกับน้ำสะอาดแล้วนำมาต้มไล่ความชื้น สามารถแยกน้ำมันออกจากไขมันได้เมื่อนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาหากรดไขมันอิสระและค่าของกรดมีค่า 6% และ 1.82 mgKOH/g ตามลำดับ สามารถใช้ในการทำไบโอดีเซลโดยวิธีปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ปริมาณเมทานอล 25% ของปริมาณน้ำมัน มีผลผลิตที่ได้โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 93.6 และ 92 ตามลำดับ แต่เมื่อใช้เมทานอล 25% ของปริมาณน้ำมัน ไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้สำหรับกากไขมันมีค่าของกรดไขมันอิสระและค่ากรดสูงมีค่า 96.72% และ 226.75 mgKOH/g ไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้โดยวิธีปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน-ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับปริมาณเมทานอล 48% ของปริมาณน้ำมัน และมีสัดส่วนผสมระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วต่อกากไขมันเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระและค่าของกรด มีสัดส่วน 9.75:0.25, 9.5:0.5, 9:1 และ 6.5:3.5 ได้ผลผลิตร้อยละ 80.8 ,78 ,62 และ 48.4 ตามลำดับไบโอดีเซลผลิตได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานและเมทิลเอสเทอร์ที่พบของไบโอดีเซลเป็นกรดโอเลอิก (C18:1) ที่ Retention time 31 นาที และเมื่อนำไบโอดีเซล (B5) มาทดสอบมลพิษที่เกิดจากการใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 3000cc พบว่าการปล่อยมลพิษของไบโอดีเซลมีค่า NO_x สูงกว่าน้ำมันดีเซลจะปล่อย SO₂ สูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล

ธัญลักษณ์ ราชภูรภัคดี (2545) น้ำระบายจากสถานีบริการน้ำมันเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษแห่งหนึ่งที่ปล่อยน้ำมันและไขมันลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งปัญหานี้สามารถจัดการได้ โดยติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับน้ำมันในระบบระบายน้ำในสถานีบริการน้ำมัน ในปัจจุบันอุปกรณ์เหล่านี้ได้ถูกผลิตเป็นเชิงการค้าและวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ดูดซับน้ำมันเป็นวัสดุสังเคราะห์ย่อยสลายได้ยากและมีราคาสูง งานวิจัยได้ศึกษาการใช้วัสดุดูดซับ 14 ชนิด ที่เป็นวัสดุธรรมชาติจากพืชซึ่งมีราคาถูกและย่อยสลายได้ง่ายกว่าวัสดุสังเคราะห์สำหรับดูดซับน้ำมันในน้ำระบายจากสถานีบริการน้ำมัน งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การทดลองแบบแบตช์ แบบคอลัมน์ และแบบวางระบายน้ำ เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของวัสดุจากพืชเปรียบเทียบกับวัสดุสังเคราะห์ จากการทดลองแบบแบตช์โดยใช้น้ำตัวอย่างที่มีน้ำมันในรูปของอิมัลชันเชิงกลพบว่า น้ำมันส่วนใหญ่ติดอยู่ที่ผนังขวดที่ทำการทดลองมากกว่าจะถูกดูดซับโดยวัสดุ

ซับสำหรับน้ำตัวอย่างที่มีน้ำมันในรูปอิมัลชันเชิงเคมีพบว่าน้ำมันถูกดูดซับได้น้อยมาก นอกจากนั้นผลการทดลองแบบคอลัมน์ยืนยันว่าน้ำมันที่อยู่ในรูปอิมัลชันเชิงเคมีไม่สามารถที่จะกำจัดได้แม้ว่าเป็นวัสดุจากพืชหรือวัสดุสังเคราะห์ สำหรับการทดลองแบบวางระบายน้ำสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการดูดซับน้ำมัน และขั้นตอนการชะน้ำมันออกจากวัสดุที่ดูดซับแล้ว ผลการทดลองขั้นตอนการดูดซับน้ำมันพบว่าจอกหนู (*Salvinia* sp.) และเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าวัสดุดูดซับชนิดอื่นโดยมีความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำทิ้งต่ำที่สุด สำหรับในขั้นตอนการชะน้ำมันพบว่าเส้นใยโพลีเอสเตอร์เป็นวัสดุที่น้ำมันถูกชะออกมามากที่สุดผลจากการวิจัยครั้งนี้ ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุจากพืชในการดูดซับน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำ

ยุภาพร หมื่นแก้ว และอุไรวรรณ สืบสุข (2549) การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเอาวัสดุเศษเหลือของการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพซึ่งประกอบด้วย เปลือกมันสำปะหลัง ลำต้นมันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลังและการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน ซึ่งมี 6 อัตราส่วนดังนี้คือ 4 : 1, 5 : 1, 6 : 1, 7 : 1, 8 : 1 และ 9 : 1 ตามลำดับ มาทำการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบเข้ากับไม้ยูคาลิปตัส จากการศึกษาคุณสมบัติทางการภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นและดัชนีความแตกร่วน พบว่ามีค่าลดลงเมื่อถ่านชีวภาพมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน คือ ถ่านชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 4 : 1 และถ่านชีวภาพจากเหง้ามันสำปะหลังที่อัตราส่วน 5 : 1 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของอัตราส่วนดังกล่าวพบว่า ถ่านชีวภาพจากเหง้ามันสำปะหลังที่อัตราส่วน 4 : 1 โดยมีความร้อนเท่ากับ 6,335 แคลอรี/กรัม และ 6,310 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส พบว่าถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงต่ำกว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัสซึ่งให้ค่าความร้อนเท่ากับ 7,690 แคลอรี/กรัม และประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน

Knapik และ Stopa (2017) ได้ศึกษาการแยกน้ำและน้ำมันออกจากกัน โดยใช้ตัวกรองที่ทำจากแก่นดอกทานตะวัน ซึ่งวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี ผลที่ได้คือประสิทธิภาพการบำบัดขั้นต้นในการนำน้ำมันออก พบว่ามีมากกว่าร้อยละ 99

Li และคณะ (2017) ได้ศึกษาถึงการแยกน้ำออกจากน้ำมันโดยใช้ตัวกรองที่สร้างจากผงของเปลือกวอลนัท โดยผลที่ได้คือมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากน้ำมากกว่าร้อยละ 99.94 และมีการดูดซับสีของน้ำได้มากกว่าร้อยละ 99.2

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุทดสอบทางชีวภาพ

1. วัสดุทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝกโดยใช้ส่วนใบและลำต้น
2. นำหญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝก ส่วนใบและลำต้นมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วตากแดดให้แห้ง
3. นำใบและลำต้นของหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก มาวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture Content) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ของแข็งคงตัว (Fixed Solid) ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid) และเถ้า (Ash Content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และกนกวรรณ ภูมิวิชิกิจ, 2562)
4. นำวัสดุทดสอบทั้งหมดมาบดให้ได้ขนาด 0.5, 1 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง

เตรียมตัวอย่างน้ำเสียโดยจำลองน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้น้ำประปาล้าง อัดฉีดรถยนต์ในสถานประกอบการยานพาหนะ ดังต่อไปนี้

1. นำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานแล้ว 100 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำประปาจากห้องปฏิบัติการ 1000 มิลลิลิตร (10%, V/V) ลงในกรวยแยกสาร เขย่ากรวยแยกให้น้ำและน้ำมันผสมกัน
2. วางกรวยแยกตั้งทิ้งไว้จนน้ำมันเครื่องแยกตัวจากน้ำ โดยน้ำมันส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะอยู่ด้านบน เปิดจุกข้างล่างออก ปล่อยให้ น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องด้านล่างออก โดยไม่ให้น้ำมันเครื่องด้านบนแยกออกมาด้วย
3. ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 จนได้ปริมาณน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ 11 ลิตร

3.3 คอลัมน์สำหรับใส่วัสดุทดสอบชีวมวล

คอลัมน์สำหรับใส่วัสดุทดสอบชีวมวล ผลิตจากแก้วรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร บรรจุวัสดุทดสอบชีวมวล 2 กรัม สูง 10 เซนติเมตร (Knapik และ Stopa, 2017)



ภาพที่ 7 คอลัมน์ดูดซับ

3.4 การดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การบำบัดน้ำเสีย

1. นำน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ 11 ลิตร โดยมีการกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Hotplate Stirrer หลังจากนั้น ดูดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยปั๊มปรับอัตราไหล ยี่ห้อ Masterflex รุ่น 7518-00 ที่อัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์ที่ใส่วัสดุดูดซับชีวมวล ได้แก่หญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝก โดยใช้ส่วนใบและลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2. เก็บตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านวัสดุดูดซับชีวมวล เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซีโอดี ไนโตรเจนและน้ำมัน และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ 2 ชั่วโมง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง ตามวิธีการของ AWWA, APHA, WPCF (2017); มั่นสิน ตันจุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันจุลเวศม์ (2551)

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง = $(\text{ความเข้มข้นน้ำเสียก่อนบำบัด} - \text{ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังบำบัด}) / (\text{ความเข้มข้นน้ำเสียก่อนบำบัด}) \times 100$

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 8 การบำบัดน้ำเสีย

3.4.2 การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของวัสดุดูดซับ

1. วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตร และขนาดของรูพรุนของ RHA และ MRHA ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น TM 4000 PLUS
2. ตรวจหากลุ่ม Functional groups บนพื้นผิววัสดุดูดซับด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spotlight 200i

3.4.3 การวิเคราะห์หาค่าความร้อน

ค่าความร้อนวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3286 โดยนำตัวอย่างมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่อง Bomb Calorimeter ยี่ห้อ Cal2K รุ่น E2K ดังนี้

1. เช็คอุปกรณ์ และถังใส่น้ำ จากนั้นเปิดเครื่อง Bomb Calorimeter เพื่อทำการวอร์มเครื่อง
2. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ด ชั้นให้แน่น แล้วชั่งน้ำหนักใหม่ จดบันทึกค่าโดยใช้ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ถอดชุด vessel ชั้นฝาปิดออก นำ lid assemble มาวางที่ขาตั้งเตรียมตัวอย่าง preparation stand ทำการผูกด้วยจุดระเบิด firing cotton กับลวดจุดระเบิด firing wire
4. นำตัวอย่างที่อัดเม็ดใส่ถ้วย crucible วางถ้วยใน lid assemble โดยวางตัวอย่างทับ firing cotton

5. ประกอบชุด lid assemble เข้าสู่บอมบ์ vessel ชันบิตฝาปิดให้แน่น แล้วนำไปอัด ออกซิเจนกับชุด filling station จนได้แรงดัน 3,000 pka. ทิ้งไว้ 1 นาที ก่อนนำไปเข้าเครื่องหา ค่าพลังงานความร้อน

6. กด F1 บนแป้นพิมพ์ เครื่องจะแสดงข้อความว่า ENTER MASS+(SID) MASS ENTER ให้ ป้อนค่าน้ำหนักตัวอย่างหลังการอัดเม็ดทดสอบ 4 ตำแหน่ง กด ENTER เครื่องจะแสดง ข้อมูลว่า INSERT BOMB (กรณีป้อนข้อมูลผิดให้กดปุ่ม BACK space เพื่อแก้ไขค่า)

7. นำลูกบอมบ์ที่เตรียมแล้ว ใส่ในตัวเครื่อง เมื่อเรียบบร้อยแล้ว เครื่องจะแสดง ข้อความว่า CLOSE LID ให้ปิดฝาเครื่อง และล็อคให้เรียบบร้อย

8. เครื่องจะปฏิบัติตามขั้นตอน initial main จะแสดงค่าพลังงานให้ทราบ

9. นำลูกบอมบ์ออกจากเครื่อง ปล่อยออกซิเจนออกจากด้วยตัวปล่อยก๊าซ defiling cap นำลูกบอมบ์เข้าเครื่องปรับลดอุณหภูมิ cooler

3.4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์

1. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของเชื้อเพลิงชีวมวลตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 ดังนี้

1.1 ค่าความชื้น (Moisture Content) จากการอบที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) จากการอบที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3 ค่าพลังงานความร้อนของวัสดุทดสอบ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ยี่ห้อ Cal2K รุ่น E2K

1.4 ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solids) จากการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 30 นาที

1.5 ค่าของแข็งระเหย (Volatile Solids) จากการเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 30 นาที

1.6 ปริมาณเถ้า (Ash Content) จากการเผาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นเวลา 30 นาที

2. วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของการบำบัดน้ำเสียตามวิธีการของ AWWA, APHA, WPCF (2017); มั่นสิน ตัณกุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณกุลเวศม์ (2551) ดังนี้

2.1 ค่า อุณหภูมิ วิเคราะห์โดย pH meter ยี่ห้อ Hach รุ่น HQ40D

2.2 ค่า pH วิเคราะห์โดย pH meter ยี่ห้อ Hach รุ่น HQ40D

2.3 ค่า COD วิเคราะห์โดย Close Reflux Method

2.4 ค่า SS วิเคราะห์โดยกรองน้ำผ่านกระดาษกรอง นำไปอบให้แห้งในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105°C

2.5 ความเข้มข้นของน้ำมันเครื่อง วิเคราะห์ด้วย Partition – Gravimetric Method

3.4.5 การคำนวณ

$$1. \text{ ปริมาณความชื้น (\%)} = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$2. \text{ ปริมาณของแข็งรวม (\%)} = 100 - \text{ปริมาณความชื้น (\%)}$$

$$3. \text{ ค่าของแข็งคงตัว (\%)} = [(A-B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาในถ้วยครุซีเบล (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยครุซีเบล (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

$$4. \text{ ค่าของแข็งระเหย (\%)} = 100 - \text{ค่าของแข็งคงตัว (\%)}$$

$$5. \text{ ปริมาณเถ้า (\%)} = [(A-B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาในถ้วยครุซีเบล (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยครุซีเบล (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

$$6. \text{ ร้อยละการกำจัด (\%Removal)}$$

$$= [(\text{ความเข้มข้นก่อน} - \text{ความเข้มข้นหลัง}) / \text{ความเข้มข้นก่อน}] \times 100$$

$$7. \text{ COD Loading (mg/day)}$$

$$= \text{ค่าความเข้มข้น COD (mg/L)} \times \text{ปริมาณน้ำเสีย (L/day)}$$

$$8. \text{ ปริมาณการดูดซับ (mg ตัวถูกดูดซับ/g วัสดุดูดซับ * day)}$$

$$= \text{COD Loading} / \text{น้ำหนักของวัสดุดูดซับ}$$

$$9. \text{ Grease\&Oil Loading (mg/day)}$$

$$= \text{ค่าความเข้มข้น Grease\&Oil (mg/L)} \times \text{ปริมาณน้ำเสีย (L/day)}$$

$$10. \text{ ปริมาณการดูดซับ (mg ตัวถูกดูดซับ/g วัสดุดูดซับ * day)}$$

$$= \text{Grease\&Oil Loading} / \text{น้ำหนักของวัสดุดูดซับ}$$

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

1. ร้อยละ

2. ค่าเฉลี่ย (Mean)

3. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการนำวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝกมาบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ได้ ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของใบและลำต้นระหว่างหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกโดยใช้ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่จัดทำขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทั้งหมด 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS) น้ำมัน ซีโอดี (COD) และพลังงานความร้อน ซึ่งผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ตามลำดับดังต่อไปนี้

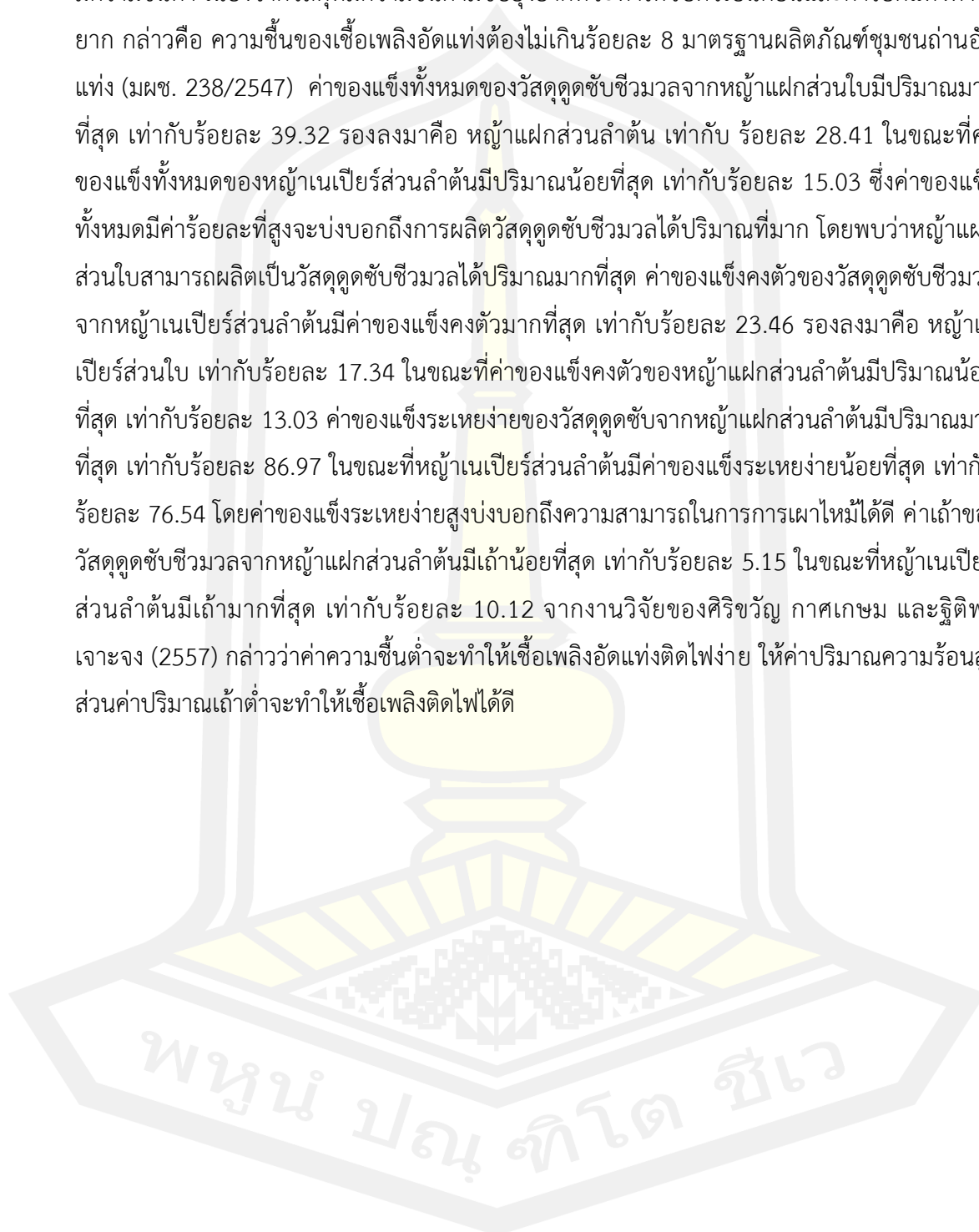
4.1 คุณสมบัติของวัสดุดูดซับ

ตารางที่ 2 คุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวล

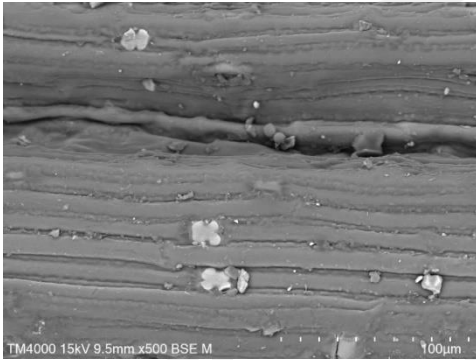
พารามิเตอร์	วัสดุดูดซับ			
	หญ้าแฝก		หญ้าเนเปียร์	
	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น
ความชื้น (ร้อยละ)	60.68	71.59	76.65	84.97
ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	39.32	28.41	23.35	15.03
ของแข็งคงตัว (ร้อยละ)	14.23	13.03	17.34	23.46
ของแข็งระเหยง่าย (ร้อยละ)	85.77	86.97	82.66	76.54
เถ้า (ร้อยละ)	5.31	5.15	8.80	10.12

จากตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวล พบว่าค่าความชื้นของหญ้าแฝกส่วนใบ มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 60.68 รองมา คือหญ้าแฝกส่วนลำต้น โดยมีความชื้น เท่ากับร้อยละ 71.59 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 84.97 จากการศึกษา

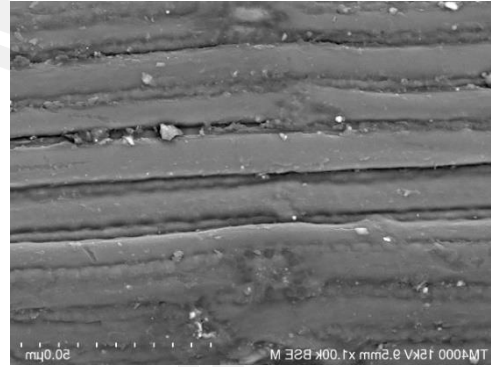
งานวิจัยของทองทิพย์ พลุเกษม (2542) กล่าวว่าชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะให้ความร้อนต่ำกว่าชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากวัสดุที่มีความชื้นต่ำมีข้อยุ่งยากที่จะทำให้จับตัวเป็นก้อนและการอัดแท่งทำได้ยาก กล่าวคือ ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งต้องไม่เกินร้อยละ 8 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ค่าของแข็งทั้งหมดของวัสดุคูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนใบมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 39.32 รองลงมาคือ หญ้าแฝกส่วนลำต้น เท่ากับ ร้อยละ 28.41 ในขณะที่ค่าของแข็งทั้งหมดของหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 15.03 ซึ่งค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าร้อยละที่สูงจะบ่งบอกถึงการผลิตวัสดุคูดซับชีวมวลได้ปริมาณที่มาก โดยพบว่าหญ้าแฝกส่วนใบสามารถผลิตเป็นวัสดุคูดซับชีวมวลได้ปริมาณมากที่สุด ค่าของแข็งคงตัวของวัสดุคูดซับชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งคงตัวมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 23.46 รองลงมาคือ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ เท่ากับร้อยละ 17.34 ในขณะที่ค่าของแข็งคงตัวของหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 13.03 ค่าของแข็งระเหยง่ายของวัสดุคูดซับจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 86.97 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 76.54 โดยค่าของแข็งระเหยง่ายสูงบ่งบอกถึงความสามารถในการเผาไหม้ได้ดี ค่าเถ้าของวัสดุคูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีเถ้าต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 5.15 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีเถ้ามากที่สุด เท่ากับร้อยละ 10.12 จากงานวิจัยของศิริขวัญ กาศเกษม และฐิติพร เจาะจง (2557) กล่าวว่าค่าความชื้นต่ำจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งติดไฟง่าย ให้ค่าปริมาณความร้อนสูง ส่วนค่าปริมาณเถ้าต่ำจะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟได้ดี



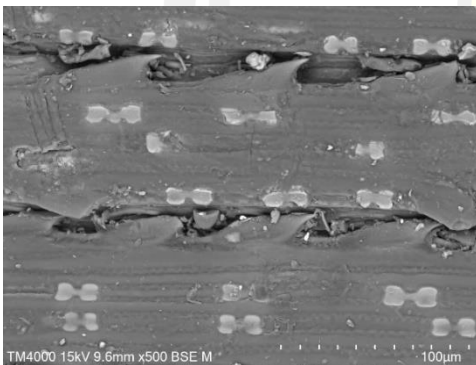
4.2 ลักษณะหญาแฝกและหญาเนเปียร์



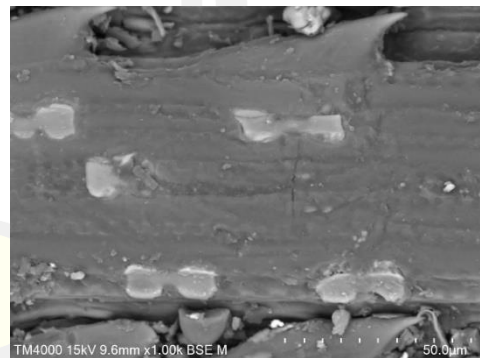
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



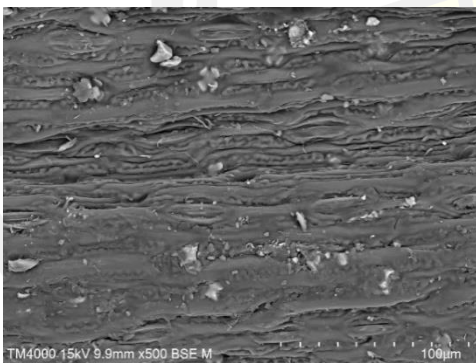
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)



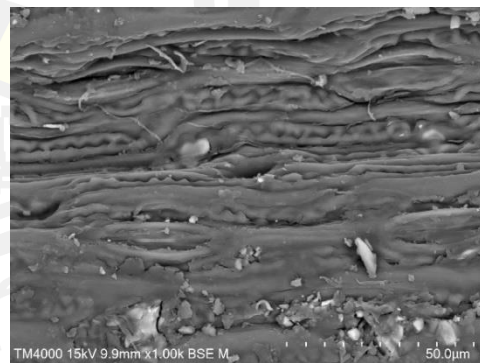
ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

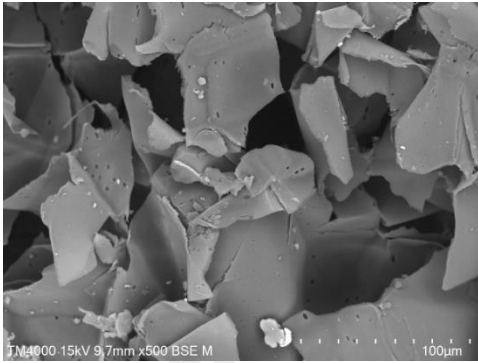


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)

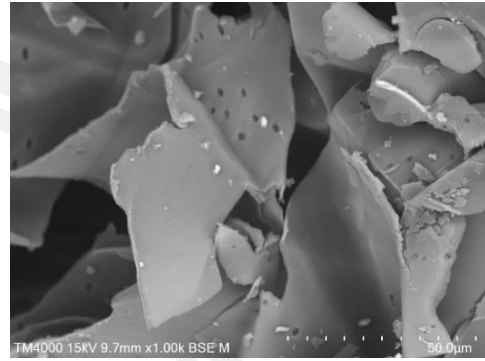


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

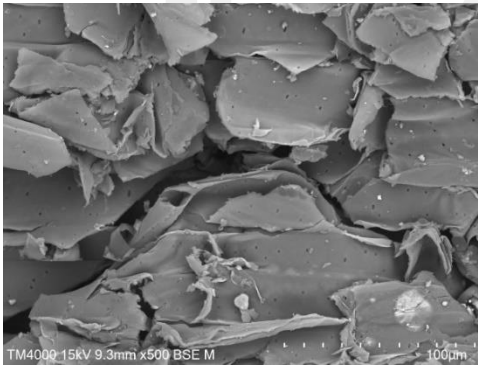
ภาพที่ 9 หญาแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร



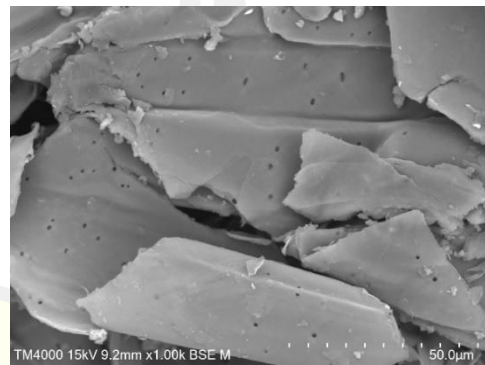
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



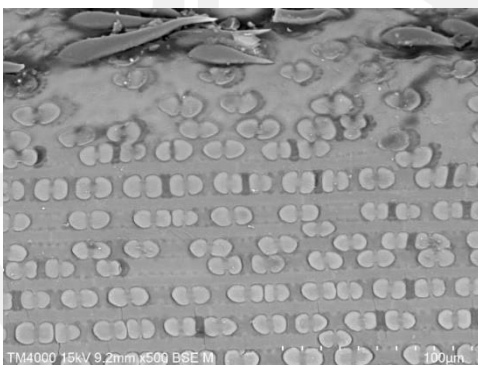
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)



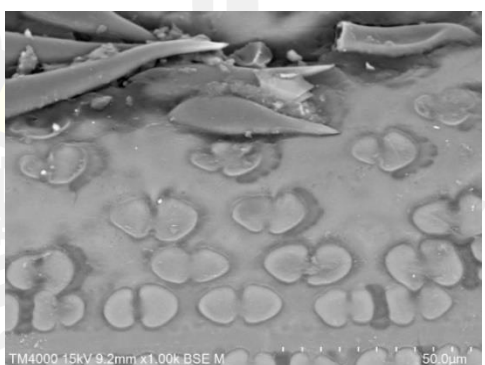
ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

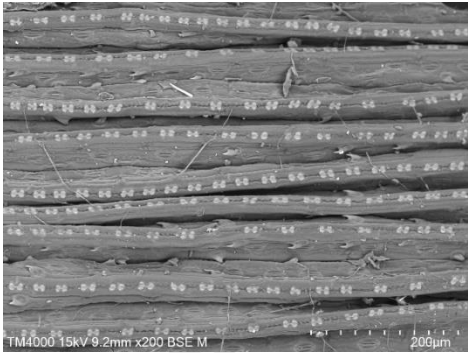


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)

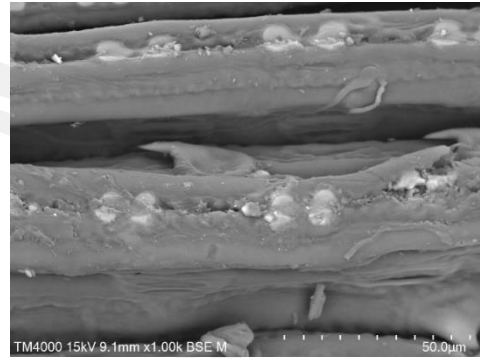


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

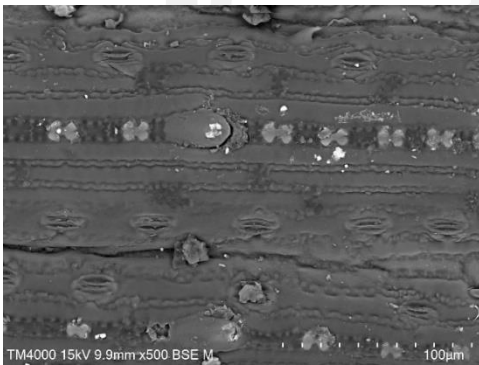
ภาพที่ 10 หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร



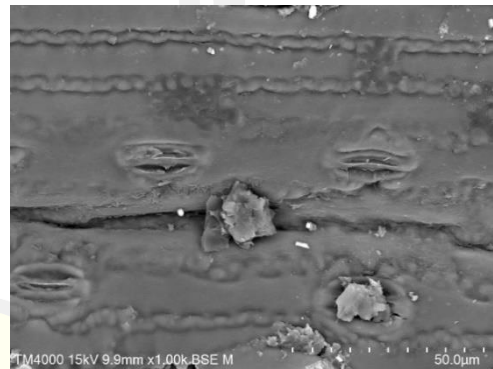
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



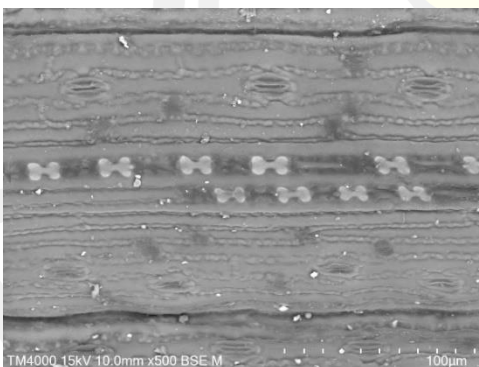
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)



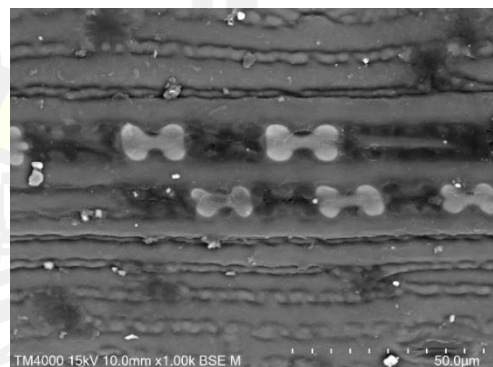
ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

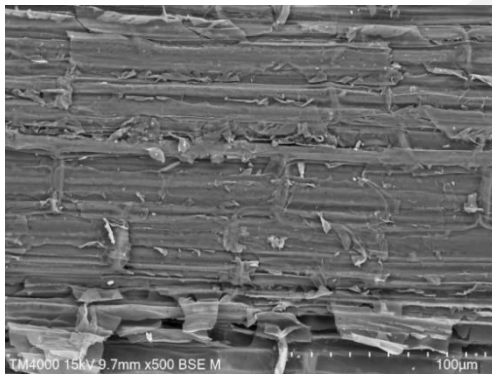


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)

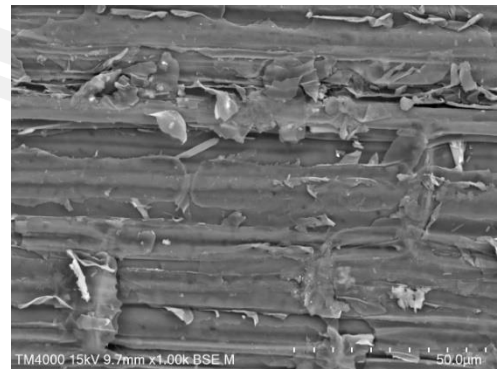


ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

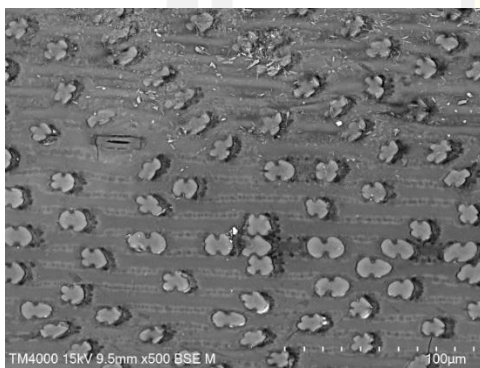
ภาพที่ 11 หน้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร



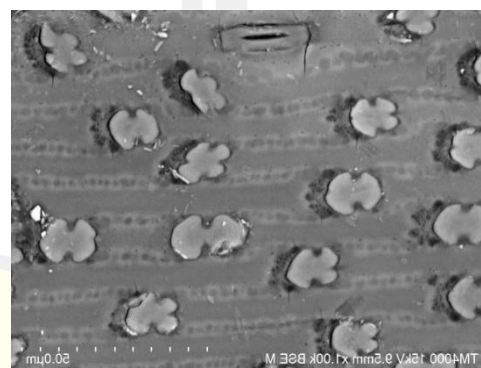
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



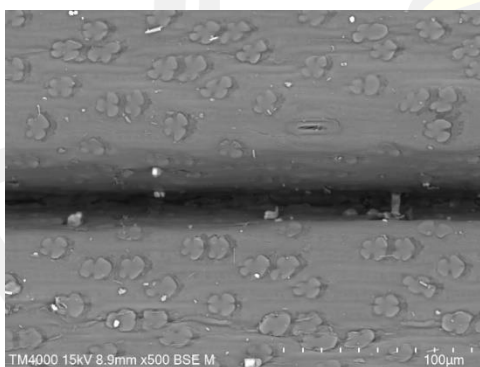
ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)



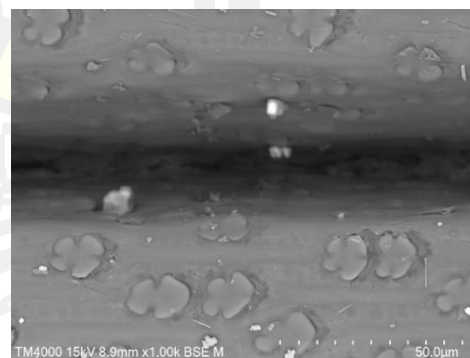
ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



ขนาด 1 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)



ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 500 เท่า)



ขนาด 2 มิลลิเมตร (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

ภาพที่ 12 หน้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร

ภาพประกอบที่ 9 แสดงหญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า มีลักษณะเป็นเส้นใย และภาพประกอบที่ 10 แสดงหญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า มีลักษณะมีรูพรุน ภาพประกอบที่ 11 แสดงหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า มีลักษณะเป็นเส้นใย และภาพประกอบที่ 12 แสดงหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่าลำต้นหญ้าเนเปียร์ไม่มีรูพรุน มีลักษณะเป็นเส้นใย

4.3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์

ตารางที่ 3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกส่วนใบและส่วนลำต้น (ภาคผนวก ค)

หมู่ฟังก์ชัน	หญ้าแฝกส่วนใบ (มม.)			หญ้าแฝกส่วนลำต้น (มม.)		
	0.5	1	2	0.5	1	2
C-H (-CH ₂ -, -CH ₃)	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
CHO	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ
Si-O-Si, Si-O-C	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
C-NH ₂	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
C=S	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
OCH ₃	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ
C-H (C=C, Ph-H, CH ₃ X, CH ₂ X)	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ

จากตารางที่ 3 แสดงลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกส่วนใบและลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าแฝกเป็นชีวมวลประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน โดยองค์ประกอบหมู่ฟังก์ชันของหญ้าแฝกส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหญ้าแฝกส่วนใบ คือ CHO ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหญ้าแฝกส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X)

ตารางที่ 4 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าเนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้น (ภาคผนวก ค)

หมู่ฟังก์ชัน	หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ (มม.)			หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น (มม.)		
	0.5	1	2	0.5	1	2
C-H (-CH ₂ -, -CH ₃)	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
CHO	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Si-O-Si, Si-O-C	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
C-NH ₂	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
C=S	พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ
OCH ₃	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
C-H (C=C, Ph-H, CH ₃ X, CH ₂ X)	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

จากตารางที่ 4 แสดงลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหญ้าเนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าเนเปียร์เป็นชีวมวลประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยองค์ประกอบฟังก์ชัน ของหญ้าเนเปียร์ส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ คือ CHO, OCH₃ ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X)

พหุบัณฑิต ชีวะ

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

4.4.1 อุณหภูมิ

ตารางที่ 5 อุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	27.10	28.20	23.70	26.75	22.55	24.25	30.30	32.15
1	24.60	26.60	23.55	26.15	24.20	25.80	27.50	29.20
2	29.20	30.05	29.80	31.85	29.30	31.75	30.75	32.05

จากตารางที่ 5 แสดงอุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าน้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.55-29.80 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.15-31.85 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22.55 - 30.75 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส พบว่างานวิจัยนี้มีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม (2559) ซึ่งค่าอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559)

พหุบัณฑิต ชีวะ

4.4.2 ความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 6 ความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ความเป็นกรด-ด่าง							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	7.71	7.92	8.09	7.88	7.55	7.91	7.81	8.00
1	7.80	8.35	7.63	7.78	8.12	8.07	7.88	7.94
2	8.12	8.16	7.99	8.21	7.42	7.73	7.84	8.12

จากตารางที่ 6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่า น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.63-8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.78-8.35 ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.42-8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.73-8.12 พบว่างานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-9.0

4.4.3 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ตารางที่ 7 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	13.13	ไม่พบ	17.88	ไม่พบ	22.78	ไม่พบ	27.64	ไม่พบ
1	17.99	ไม่พบ	15.70	ไม่พบ	15.05	ไม่พบ	23.76	ไม่พบ
2	26.59	ไม่พบ	22.49	ไม่พบ	19.19	ไม่พบ	29.64	ไม่พบ

จากตารางที่ 7 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยใช้วัสดุชีวมวลหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ส่วนของใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร ก่อนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ มีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.13-29.64 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ ไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับชีวมวลทั้งหมดและทุกขนาด สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี โดยค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/ลิตร

พหุ มณู ที โด ชี เว

4.4.4 น้ำมัน

ตารางที่ 8 ค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	น้ำมันเครื่องยนต์ (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	12.14	7.53	7.32	1.91	15.29	5.23	21.95	6.03
1	12.78	4.05	10.81	3.07	9.30	2.57	9.18	3.57
2	14.10	4.71	6.77	3.08	11.17	2.26	10.97	3.28

จากตารางที่ 8 แสดงค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดเท่ากับ 12.14, 12.78 และ 14.10 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 7.53, 4.05 และ 4.71 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดเท่ากับ 7.32, 10.81 และ 6.77 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 1.91, 3.07 และ 3.08 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่าน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดเท่ากับ 15.29, 9.30 และ 11.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 5.23, 2.57 และ 2.26 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดเท่ากับ 21.95, 9.18 และ 10.97 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 6.03, 3.57 และ 3.28 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยพบว่าค่าน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลทุกชนิดและทุกขนาด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการน้ำมันเชื้อเพลิง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) ซึ่งค่าน้ำมันและไขมันไม่เกิน 15 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 9 ปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	น้ำมันเครื่องยนต์ (กรัมน้ำมันเครื่องยนต์/กรัมวัสดุดูดซับ*วัน)			
	หญ้าแฝก		หญ้าเนเปียร์	
	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น
0.5	29.9	35.1	65.2	103.2
1	56.6	50.2	43.6	36.4
2	60.8	23.9	57.7	49.8

จากตารางที่ 9 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 2 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 60.8 กรัมน้ำมันเครื่องยนต์/กรัมใบหญ้าแฝก*วัน หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 1 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 50.2 กรัมน้ำมันเครื่องยนต์/กรัมลำต้นหญ้าแฝก*วัน ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 65.25 กรัมน้ำมันเครื่องยนต์/กรัมใบหญ้าเนเปียร์*วัน โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์สูงที่สุดเท่ากับ 103.2 กรัมน้ำมันเครื่องยนต์/กรัมลำต้นหญ้าเนเปียร์*วัน

ตารางที่ 10 การกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	น้ำมันเครื่องยนต์ (ร้อยละ)			
	หญ้าแฝก		หญ้าเนเปียร์	
	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น
0.5	37.97	73.91	65.79	72.53
1	68.31	71.60	72.37	61.11
2	66.60	54.55	79.77	70.10

จากตารางที่ 10 แสดงการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุชีวมวลขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 79.77 และหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 72.53 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 1 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 68.31 หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถ

กำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 73.91 จากงานวิจัยของเขมนิจจารีย์ สาริพันธ์ (2561) ได้ศึกษาการดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษีมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 99.54 รองลงมาคือผักตบชวามีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเท่ากับร้อยละ 95.56 และชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเท่ากับร้อยละ 78.14

4.4.5 ค่าซีไออดี

ตารางที่ 11 ซีไออดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ซีไออดี (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	164.80	96.00	96.67	76.67	175.00	103.33	65.93	33.73
1	116.80	94.40	58.93	41.60	147.33	98.80	129.60	85.00
2	121.60	94.40	72.83	52.13	84.80	54.40	99.20	60.80

จากตารางที่ 11 แสดงค่าซีไออดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าค่าซีไออดีก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 164.80, 116.80 และ 121.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียมีค่าซีไออดีเท่ากับ 96, 94.40 และ 94.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีไออดีก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าซีไออดีเท่ากับ 96.67, 58.93 และ 72.83 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียมีค่าซีไออดีเท่ากับ 76.67, 41.60 และ 52.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่าซีไออดีก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าซีไออดีเท่ากับ 175, 147.33 และ 84.80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียมีค่าซีไออดีเท่ากับ 103.33, 98.80 และ 54.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีไออดีก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าซีไออดีเท่ากับ 65.93, 129.60 และ 99.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียมีค่าซีไออดีเท่ากับ 33.73, 85.00 และ 60.80 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุชีวมวลทุกชนิดและทุกขนาด ค่าซีไออดีอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งค่าซีไอดีไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549)

ตารางที่ 12 ปริมาณการดูดซับซีไอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ซีไอดี (กรัมซีไอดี/กรัมวัสดุดูดซับ*วัน)			
	หญ้าแฝก		หญ้าเนเปียร์	
	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น
0.5	445.8	129.6	464.4	208.7
1	145.2	112.3	314.5	289.0
2	176.3	134.1	197.0	248.8

จากตารางที่ 12 แสดงปริมาณการดูดซับซีไอดีด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่า หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีไอดีมากที่สุดเท่ากับ 445.8 กรัมซีไอดี/กรัมใบหญ้าแฝก*วัน หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 2 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีไอดีมากที่สุดเท่ากับ 134.1 กรัมซีไอดี/กรัมลำต้นหญ้าแฝก*วัน ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีไอดีสูงที่สุดเท่ากับ 464.4 กรัมซีไอดี/กรัมใบหญ้าเนเปียร์*วัน โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 1 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีไอดีมากที่สุดเท่ากับ 289.0 กรัมซีไอดี/กรัมลำต้นหญ้าเนเปียร์*วัน



ตารางที่ 13 การกำจัดซีโอไอทีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ซีโอไอที (ร้อยละ)			
	หญ้าแฝก		หญ้าเนเปียร์	
	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น
0.5	41.75	20.69	40.95	48.84
1	19.18	29.41	32.94	34.41
2	22.37	28.42	35.85	38.71

จากตารางที่ 13 แสดงการกำจัดซีโอไอทีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไอทีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 41.75 หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 1 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไอทีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 29.41 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้น ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไอทีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40.95 และ 48.84 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดซีโอไอทีด้วยหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ขนาดต่างๆ พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไอทีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 48.84



4.4.6 พลังงานความร้อน

ตารางที่ 14 พลังงานความร้อนก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	พลังงานความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	17.12	20.35	16.48	19.78	16.37	21.71	14.13	18.05
1	16.71	19.23	16.71	18.84	15.90	19.75	14.56	18.38
2	16.62	18.83	16.62	17.47	15.77	19.10	14.22	16.35

จากตารางที่ 14 แสดงค่าพลังงานความร้อนก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าค่าพลังงานความร้อนก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 17.12, 16.71 และ 16.62 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงมากกว่าก่อนบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าเท่ากับ 20.35, 19.23 และ 18.83 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าแฝกส่วนใบได้ดูดซับน้ำมันเครื่องเอาไว้ น้ำมันเครื่องสามารถให้ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานความร้อนก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 16.48, 16.71 และ 16.62 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงมากกว่าก่อนบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าเท่ากับ 19.78, 18.84 และ 17.47 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ค่าพลังงานความร้อนก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 16.37, 15.90 และ 15.77 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงมากกว่าก่อนบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าเท่ากับ 21.71, 19.75 และ 19.10 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ และค่าพลังงานความร้อนก่อนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 14.13, 14.56 และ 14.22 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงมากกว่าก่อนบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าเท่ากับ 18.05, 18.38 และ 16.35 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนส่วนใบและลำต้นของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ พบว่าส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนมากกว่าส่วนลำต้น เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของขนาด 0.5, 1

และ 2 มิลลิเมตร ส่วนใบและลำต้นของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ขนาดชีวมวลที่มีขนาดเล็กคือที่ 0.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือที่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหญ้าแฝกส่วนใบ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ ส่วนลำต้น พบว่าหญ้าแฝกส่วนลำต้นให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น โดยพบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 21.71 เมกะจูล/กิโลกรัม ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 2.0 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 16.35 เมกะจูล/กิโลกรัม



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเปรียบเทียบการนำวัสดุดูดซับทางชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก มาบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของใบและลำต้นระหว่างหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกโดยใช้ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ผู้วิจัยได้สรุป และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 คุณลักษณะวัสดุดูดซับ

5.1.1.1 ความชื้นของหญ้าแฝกส่วนใบ มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 60.68 รองมา คือ หญ้าแฝกส่วนลำต้น โดยมีความชื้น เท่ากับร้อยละ 71.59 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีความชื้นมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 84.97

5.1.1.2 ค่าของแข็งทั้งหมดของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนใบมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 39.32 รองลงมาคือ หญ้าแฝกส่วนลำต้น เท่ากับร้อยละ 28.41 ในขณะที่ค่าของแข็งทั้งหมดของหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 15.03 ซึ่งค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าร้อยละที่สูงจะบ่งบอกถึงการผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้ปริมาณที่มาก โดยพบว่าหญ้าแฝกส่วนใบสามารถผลิตเป็นวัสดุดูดซับชีวมวลได้ปริมาณมากที่สุด

5.1.1.3 ค่าของแข็งคงตัวของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งคงตัวมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 23.46 รองลงมาคือ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ เท่ากับร้อยละ 17.34 ในขณะที่ค่าของแข็งคงตัวของหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 13.03

5.1.1.4 ค่าของแข็งระเหยง่ายของวัสดุดูดซับจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 86.97 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 76.54 โดยค่าของแข็งระเหยง่ายสูงบ่งบอกถึงความสามารถในการการเผาไหม้ได้ดี

5.1.1.5 ค่าเถ้าของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีเถ้าน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 5.15 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีเถ้ามากที่สุด เท่ากับร้อยละ 10.125.1.2 ลักษณะหญ้าแฝก และหญ้าเนเปียร์

5.1.2.1 หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นใย หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่ามีลักษณะมีรูพรุน

5.1.2.2 หล้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นใย และหล้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร กำลังขยาย 500 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่าลำต้นเนเปียร์ไม่มีรพรมมีลักษณะเป็นเส้นใย

5.1.3 ลักษณะหมู่ฟังก์ชันของหล้าแฝกและหล้าเนเปียร์

5.1.3.1 หล้าแฝกเป็นชีวมวลประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีองค์ประกอบฟังก์ชัน ของหล้าแฝกส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหล้าแฝกส่วนใบ คือ CHO ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหล้าแฝกส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X)

5.1.3.2 หล้าเนเปียร์เป็นชีวมวลประกอบด้วยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีองค์ประกอบฟังก์ชันของหล้าเนเปียร์ส่วนใบจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X) ส่วนองค์ประกอบฟังก์ชันที่ไม่พบในหล้าเนเปียร์ส่วนใบ คือ CHO, OCH₃ ในขณะที่องค์ประกอบฟังก์ชันหล้าเนเปียร์ส่วนลำต้นจะพบ C-H (-CH₂-, -CH₃), CHO, Si-O-Si, Si-O-C, C-NH₂, C=S, OCH₃ และ C-H (C=C, Ph-H, CH₃X, CH₂X)

5.1.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

5.1.4.1 อุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าน้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หล้าแฝกส่วนใบและลำต้น มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.55-29.80 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หล้าแฝกส่วนใบและลำต้น พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.15- 31.85 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หล้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22.55 - 30.75 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หล้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส พบว่างานวิจัยนี้มีอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

5.1.4.2 น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หล้าแฝกส่วนใบและลำต้น มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ใน ช่วง 7.63- 8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หล้าแฝกส่วนใบและลำต้น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.78-8.35 ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หล้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.42-8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หล้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.73-8.12

5.1.4.3 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยใช้วัสดุชีวมวลหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ส่วนของใบและลำต้น ก่อนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ มีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.13-29.64 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ ไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับชีวมวลทั้งหมดและทุกขนาด สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี

5.1.4.4 หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 4.61, 8.73 และ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 5.41, 7.74 และ 3.69 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 10.06, 6.73 และ 8.91 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 15.92, 5.61 และ 7.69 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร

5.1.4.5 หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 2 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับ 60.8 กรัม/น้ำมันเครื่องยนต์/กรัมใบหญ้าแฝก*วัน หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 1 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 50.2 กรัม/น้ำมันเครื่องยนต์/กรัมลำต้นหญ้าแฝก*วัน ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับ 65.25 กรัม/น้ำมันเครื่องยนต์/กรัมใบหญ้าเนเปียร์*วัน โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์สูงที่สุดเท่ากับ 103.2 กรัม/น้ำมันเครื่องยนต์/กรัมลำต้นหญ้าเนเปียร์*วัน

5.1.4.6 หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 79.77 และหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 72.53 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 1 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 68.31 หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 73.91

5.1.4.7 หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีไอดีเท่ากับ 68.8, 22.40 และ 27.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีไอดีเท่ากับ 20.00, 17.33 และ 20.70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีไอดีเท่ากับ 71.67, 48.53 และ

30.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีเท่ากับ 32.20, 44.6 และ 38.4 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หยุ่เนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่หยุ่เนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร

5.1.4.8 หยุ่เนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 445.8 กรัมซีโอดี/กรัมใบหยุ่เนเปียร์*วัน หยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 2 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 134.1 กรัมซีโอดี/กรัมลำต้นหยุ่เนเปียร์*วัน ในขณะที่หยุ่เนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 464.4 กรัมซีโอดี/กรัมใบหยุ่เนเปียร์*วัน โดยหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 1 มิลลิเมตร มีปริมาณการดูดซับซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 289.0 กรัมซีโอดี/กรัมลำต้นหยุ่เนเปียร์*วัน

5.1.4.9 หยุ่เนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 41.75 หยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 1 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 29.41 ในขณะที่หยุ่เนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้น ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40.95 และ 48.84 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดซีโอดีด้วยหยุ่เนเปียร์และหยุ่เนเปียร์ขนาดต่างๆ พบว่าหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 48.84

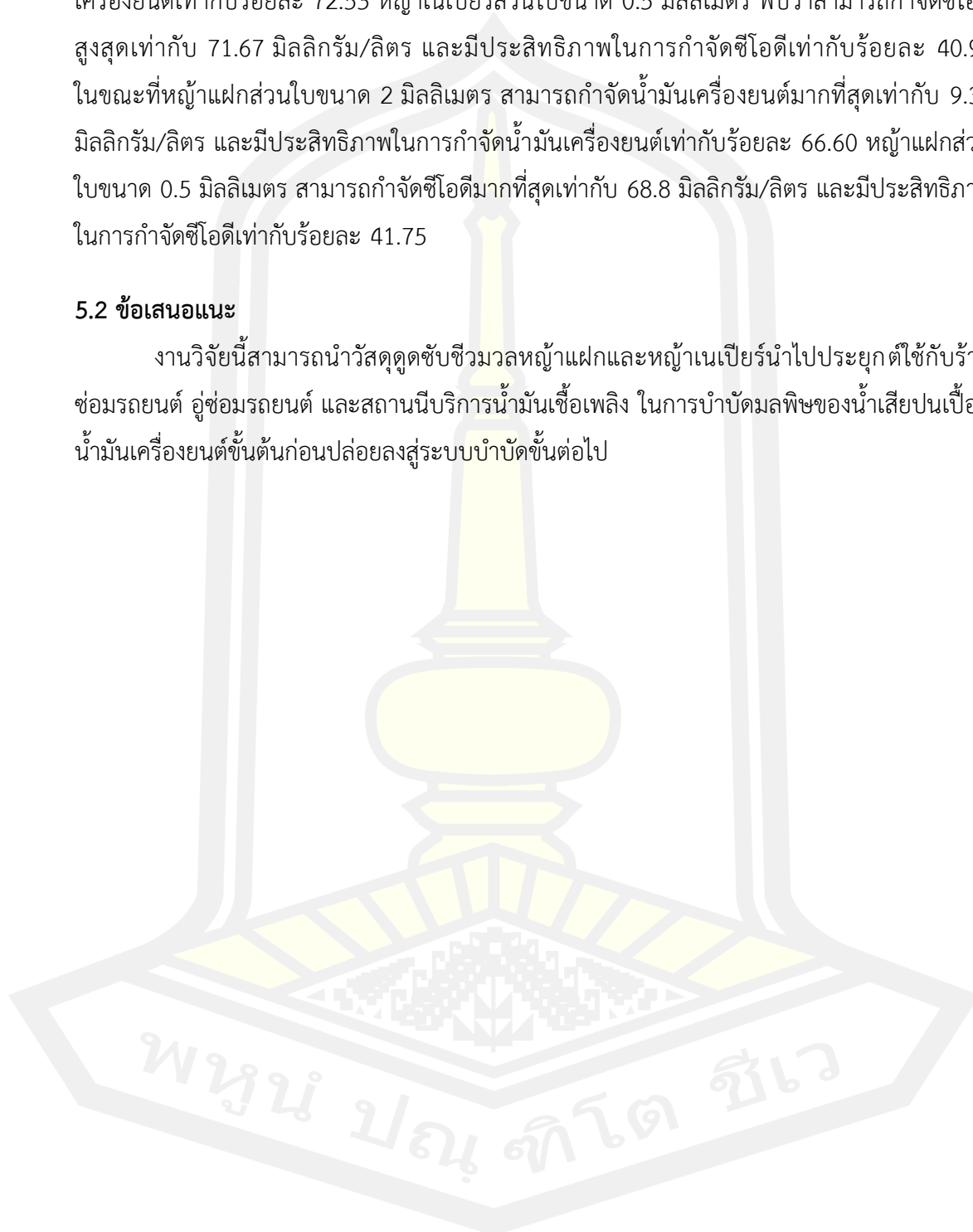
5.1.4.10 ค่าพลังงานความร้อนของวัสดุชีวมวลหลังบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ พบว่าส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนมากกว่าส่วนลำต้น เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของขนาด 0.5, 1 และ 2 มิลลิเมตร ส่วนใบและลำต้นของหยุ่เนเปียร์และหยุ่เนเปียร์ พบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ขนาดชีวมวลที่มีขนาดเล็กคือที่ 0.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด รองลงมาคือที่ขนาด 1.0 มิลลิเมตร และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบหยุ่เนเปียร์และหยุ่เนเปียร์ส่วนใบ พบว่าหยุ่เนเปียร์ส่วนใบให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหยุ่เนเปียร์ส่วนใบ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบหยุ่เนเปียร์และหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้น พบว่าหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้นให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าหยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้น โดยพบว่าเมื่อผ่านน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์หยุ่เนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดเท่ากับ 21.71 เมกะจูล/กิโลกรัม ในขณะที่หยุ่เนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 2.0 มิลลิเมตร ให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 16.35 เมกะจูล/กิโลกรัม

จากงานวิจัยพบว่าน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดมีค่าความเข้มข้นไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบวัสดุดูดซับชีวมวลที่สามารถกำจัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีกว่า จึงให้ความสำคัญกับค่าการกำจัดที่ค่าความเข้มข้นเป็นหลัก งานวิจัยนี้พบว่าหยุ่เนเปียร์สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์และซีโอดีได้ดีกว่าหยุ่เนเปียร์ ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถ

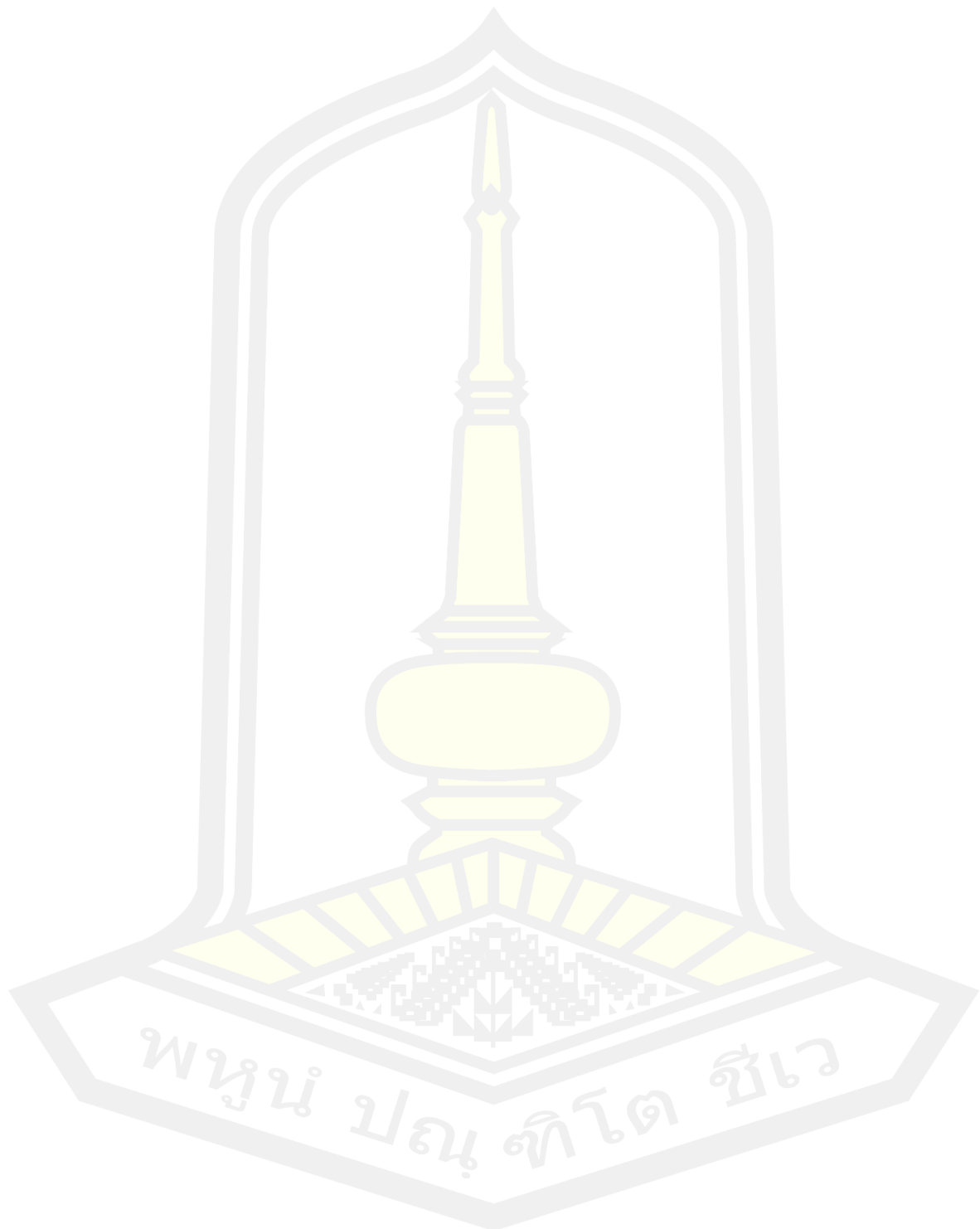
กำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับร้อยละ 72.53 หัวแฉกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีไอดีสูงสุดเท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเท่ากับร้อยละ 40.95 ในขณะที่หัวแฉกส่วนใบขนาด 2 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับร้อยละ 66.60 หัวแฉกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีไอดีมากที่สุดเท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเท่ากับร้อยละ 41.75

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำวัสดุชุดขับชีวมวลหัวแฉกและหัวแฉกนำไปประยุกต์ใช้กับร้านซ่อมรถยนต์ อยู่ซ่อมรถยนต์ และสถานให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง ในการบำบัดมลพิษของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ขั้นต้นก่อนปล่อยลงสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไป



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. *ลักษณะของหญ้าแฝก*.
https://www.ldd.go.th/link_vetiver/index.htm.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. *คู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง*1. <http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/filesคู่มือการปลูกหญ้าเนเปียร์.pdf>.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2547). *วิศวกรรมกรากำจัดน้ำเสีย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: เอส.อาร์.พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.
- กรณ์ภัตสร ชีระวิทยากรณ์ และกฤษฎา หวังนากลาง. (2552). *ผลของชนิดวัสดุดูดซับทางชีวภาพและปริมาณสีย้อมรีแอคทีฟต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ*. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์. (2561). *การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน*. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.
- คเชนทร์เกียรติ สุขเจริญ และรสวดี นามบุตดี. (2553). *การหมักเวียนพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ : กรณีศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และกนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ. (2562). *ผลของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟต่อสมบัติของเชื้อเพลิง ชีวมวลอัดเม็ด*. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 13(1), 78–89.
- ณัฐริกา มาสังข์ และจักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์. (2550). *ผลของการแยกไขมันและน้ำมันจากน้ำเสียด้วยชุดทำความเย็น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทองทิพย์ พลูเกษม. (2542). *การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านไม้ในการหุงต้มในครัวเรือน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธัญลักษณ์ ราชภูริภักดี. (2545). *การกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ของสถานบริการน้ำมันโดยใช้วัสดุจากพืชในท้องถิ่นเป็นตัวดูดซับ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธัญลักษณ์ ราชภูริภักดี. (2545). *การกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ของสถานบริการน้ำมันโดยใช้วัสดุจากพืชในท้องถิ่นเป็นตัวดูดซับ*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิตสาร ดอนกระสินธุ์. (2545). การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของสถานที่จำหน่ายอาหารมาผสมกับซีลีย์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

บริษัท ออยเซอร์ฟ จำกัด. (2565). การแยกน้ำออกจากน้ำมัน.

<https://www.oilservethai.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539165407&Nttype=11>.

แบร์นฮาร์ด สุรินทร์ เพนซ์ และนายศรภาวะ วงษ์มา. (2532). ตู้ฟอกไขมันโดยใช้ก๊าซชีวภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม. <https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-56>.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. <https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-71>.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2549). เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง.

<https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-63>.

พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา. (2547). ปัญหาไขมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับแนวทางการจัดการในประเทศไทย.

<http://journal.hcu.ac.th/pdf/SCI8155.pdf>.

พนัส งามกนการณ. (2545). เอกสารเผยแพร่ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

พรวิวัฒน์ กีก้อง. (2564). ผลกระทบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง.

<https://sites.google.com/site/resourcemanagemen00/phlk-ra-thb-cak-kar-chi-naman-cheux-pheling>.

มันสิน ตันทุลเวศม์และมันรัช ตันทุลเวศม์. (2551). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มัลลิกา ธาดาอักษรณรงค์และชนิษฐา ภูเขียว. (2554). การผลิตไบโอดีเซลจากกากไขมันร่วมกับน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ยุภาพร หมั่นแก้วและอุไรวรรณ สืบสุข. (2549). การผลิตถ่านชีวภาพจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.

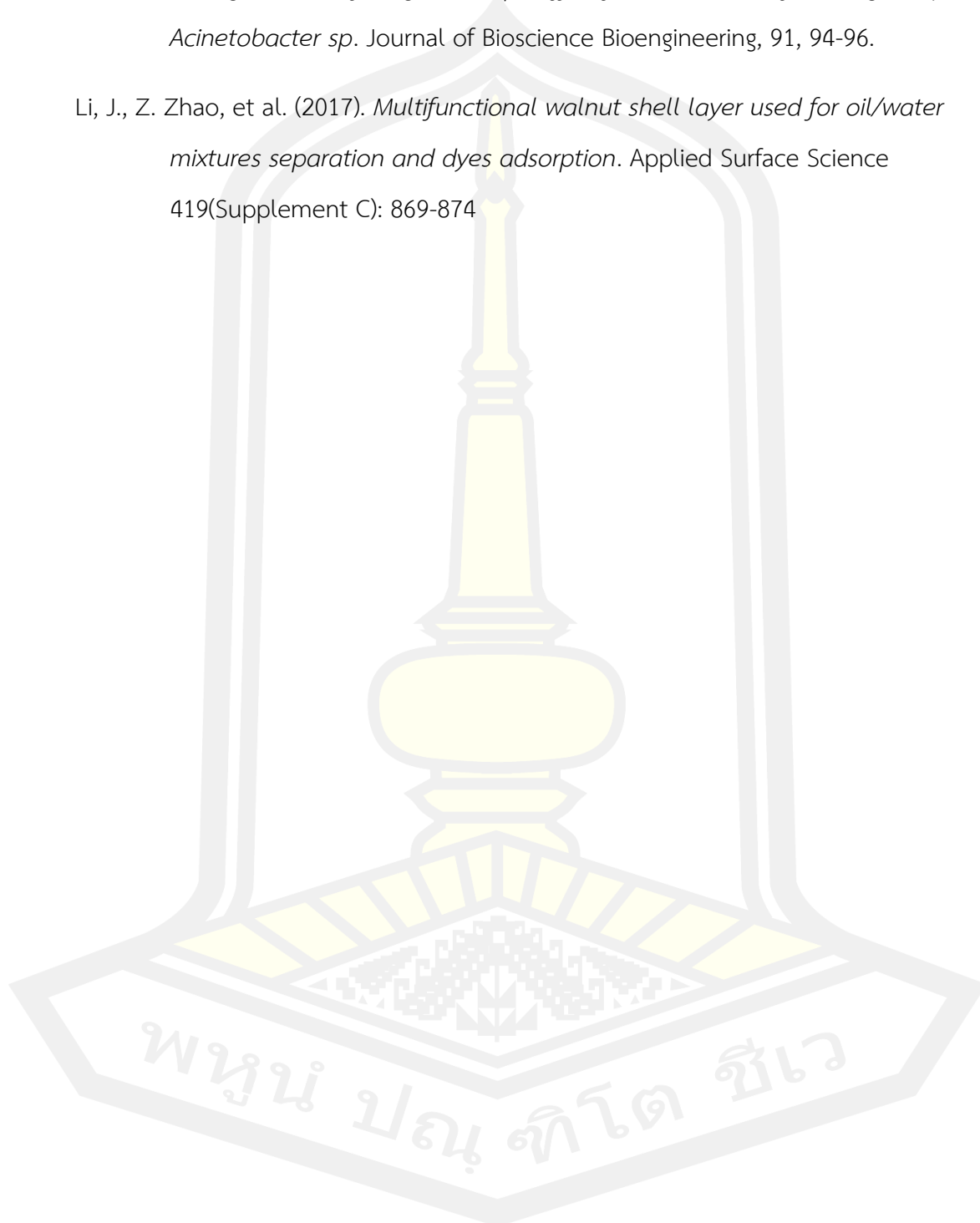
คณะเทคโนโลยี สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

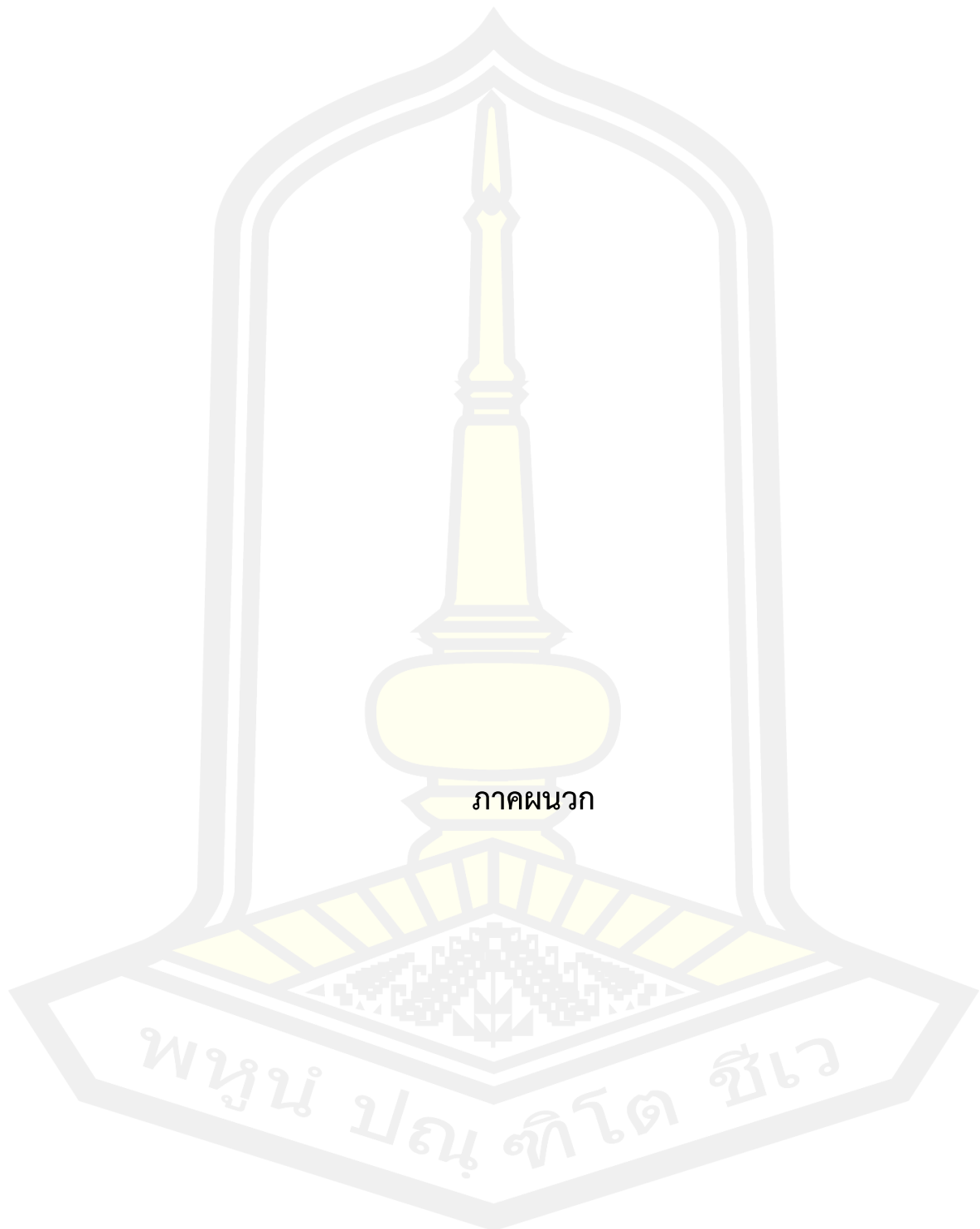
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2558). *ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ศิริขวัญ กาศเกษมและฐิติพร เจาะจง. (2557). *เชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก*. การประชุมวิชาการระดับชาติ “พิบูลสงครามวิจัย” และนิทรรศการ “การพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยว” จากห้องถิ่นสู่อาเซียน. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์. (2559). *การศึกษาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เสกสรรค์ วินยางค์กุลและสุวิน สลีสองสม. (2550). *การใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลช้าง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง*. http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps238_47.pdf.
- หทัย การณ์สูงเนิน (2557). *การย่อยสลายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วโดยสาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella sp.) และสาหร่ายซินนิโคคอกคัส (Synechococcus sp.)*. กรุงเทพมหานคร: ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- อนันต์ชัย เชื้อนธรรม (2549). *วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อลิษา นาลาดทา. (2554). *การแยกและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันเครื่อง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาชีวเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อุดมศักดิ์ บุญมีรติและพันธวีศ สัมพันธ์พานิช. (2563). *การกำจัดสารหนูปนเปื้อนในกากโลหะกรรมจากการทำเหมืองแร่ด้วยพืชพลังงานและจลนศาสตร์ไฟฟ้าอย่างยั่งยืน*. วารสารสิ่งแวดล้อม, 24 (4), 1-8.
- AWWA, APHA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington D.C. APHA, 2017.
- Knapik, E. and J. Stopa. (2017). *Fibrous deep-bed filtration for oil/water separation using sunflower pith as filter media*. Ecological Engineering.

Koma D, Hasumi F, Yamamoto E, Ohta T, Chung SY, and Kubo M. (2001).

Biodegradation of longchain n-paraffins from waste oil of car engine by Acinetobacter sp. Journal of Bioscience Bioengineering, 91, 94-96.

Li, J., Z. Zhao, et al. (2017). *Multifunctional walnut shell layer used for oil/water mixtures separation and dyes adsorption.* Applied Surface Science 419(Supplement C): 869-874





ภาคผนวก

พหุ นํ ปณุ ทิโต ชีเว



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับและตัวอย่างน้ำเสีย

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของเชื้อเพลิงชีวมวลตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุชุดชุดนี้

ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ถาดอลูมิเนียม

วิธีการ

1. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่ได้
2. นำตัวอย่างใส่ถาดอลูมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ได้หลังการอบ

การคำนวณ ปริมาณความชื้น (%) = $[(A-B)/A] \times 100$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids)

การคำนวณ ปริมาณของแข็งรวม (%) = $100 - \text{ปริมาณความชื้น (\%)}$

ค่าของแข็งคงตัว (Fixed Solids)

อุปกรณ์

- เตาเผาไฟฟ้า (Electric Muffle Furnace)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ถ้วยครุชเชิล
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

วิธีการ

1. อบถ้วยครุชเชิล ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
2. นำถ้วยครุชเชิลที่ผ่านการอบเข้าโถดูดความชื้น รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (B)
3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมา 1 กรัม (C)

ใส่ถ้วยครุชเชิล

4. นำถ้วยครุชเชิลที่มีตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
5. นำถ้วยครุชเชิลที่มีตัวอย่างที่ผ่านการเผาไปดูดความชื้นที่โถดูดความชื้น รอให้ถ้วยเย็นและ

บันทึกน้ำหนักที่ได้ (A)

การคำนวณ ค่าของแข็งคงตัว (%) = $[(A-B)/C] \times 100$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาและถ้วยครุชเชิล (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยครุชเชิล (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

ค่าของแข็งระเหย (Volatile Solids)

การคำนวณ ค่าของแข็งระเหย (%) = $100 - \text{ค่าของแข็งคงตัว} (%)$

ปริมาณเถ้า (Ash Contents)

อุปกรณ์

- เตาเผาไฟฟ้า (Electric Muffle Furnace)

- โถดูดความชื้น (Desiccator)

- ถ้วยครุชเชิล

- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

วิธีการ

1. อบถ้วยครุชเชิล ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2. นำถ้วยครุชเชิลที่ผ่านการอบเข้าโถดูดความชื้น รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (B)

3. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมา 1 กรัม (C)

ใส่ถ้วยครุชเชิล

4. นำถ้วยครุชเชิลที่มีตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5. นำถ้วยครุชเชิลที่มีตัวอย่างที่ผ่านการเผาไปดูดความชื้นที่โถดูดความชื้น รอให้ถ้วยเย็นและ

บันทึกน้ำหนักที่ได้ (A)

การคำนวณ ปริมาณเถ้า (%) = $[(A-B)/C] \times 100$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผาและถ้วยครุชเชิล (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยครุชเชิล (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

พหุ ประถมศึกษา

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

วิธีการหาค่าของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน และซีโอติของตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง ดังนี้

ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS)

อุปกรณ์

- กระดาษกรองที่มีรูพรุน 0.45 ไมครอน
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- กรวยบุชเนอร์
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด
- เครื่องดูดสุญญากาศ
- ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

วิธีการ

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก (B) เก็บกระดาษกรองไว้ในโถดูดความชื้นจนกว่าจะใช้ทดลอง
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุชเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิดเครื่องดูดสุญญากาศ เพื่อให้กระดาษกรองติดกับกรวยบุชเนอร์
4. กรองตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50-100 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องดูดอากาศ แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
5. เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่ได้ (A)

การคำนวณ ค่าของแข็งแขวนลอย (mg/L) = $(A-B) \times 106/C$

เมื่อ A = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็งแขวนลอย (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม)

C = ปริมาณน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (Oil and Grease)

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมัน โดย วิธี Partition – Gravimetric Method จากน้ำและน้ำเสียจากโรงงานฯ แหล่งชุมชน น้ำทิ้งจากอาคาร ที่มีปริมาณไขมันและน้ำมัน โดยความเข้มข้นต่ำสุดของการทดสอบตั้งแต่ 5 mg/L ขึ้นไป (ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

อุปกรณ์

- กรวยแยกขนาด 2000 ml
- ปีกเกอร์ขนาด 100, 250, 1000 ml
- กระจกตวงแก้ว ขนาด 50, 250, 500 ml Class A
- กระดาษกรอง WHATMAN เบอร์ 40 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 mm
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 ยี่ห้อ OHAUS
- เครื่องอ่างไอน้ำ (Water bath)
- กรวยกรองแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 cm
- ชามระเหยความจุไม่น้อยกว่า 90 ml
- ตู้อบ (Oven) ของ BINDER รุ่น ED240
- ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator) (Desiccator Auto Dry Box)

วิธีการ

1. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำมาตั้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ และนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึก (E) แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติตามเดิม
2. นำตัวอย่างน้ำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องปล่อยให้เย็นมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง
3. เขย่าขวดน้ำตัวอย่างให้เขากัน เทตัวอย่างลงในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร บันทึกปริมาตรที่ไซ (ไม่ควรเกิน 500 มิลลิลิตร) เทตัวอย่างลงในกรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมเฮกเซน 10 มิลลิลิตรลงในกรวยแยก
4. เขย่ากรวยแยกด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย หรือเขย่าด้วยมือแรงๆ ประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
5. พักกระดาษกรองวางลงบนกรวยกรอง (Funnel) เทโซเดียมซัลเฟตลงบนกระดาษกรองประมาณครึ่งหนึ่งของความจุกรวย (ระวังอย่าให้โซเดียมซัลเฟตตกลงไปในภาชนะที่ใช้รองรับสารที่สกัดได้และระวังไม่ให้ตกลงข้างกรวยกรอง)
6. เปิดชั้นน้ำลงในขวดตัวอย่างเดิมแล้วเปิดชั้นเฮกเซนผ่านลงบนกรวยกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตลงในชามระเหย
7. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5-8 อีก 1 ครั้ง เก็บชั้นเฮกเซนที่สกัดได้ รวมกันในชามระเหย

8. นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังไอน้ำที่อุณหภูมิ 80 ± 5 °C และนำไปทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ

9. ชั่งน้ำหนักและบันทึก (W) โดยชั่งน้ำหนัก 2 ครั้ง ให้ค่าต่างกันไม่เกิน 0.0005 กรัม ถ้ามากกว่านี้ให้ชั่งครั้งที่ 3 เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่า แลวนำค่าที่น้อยกว่ามาใช้ในการคำนวณการคำนวณหาปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำ (Oil and Grease)

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (mg/L)} = \frac{(W-E) \times 10^6}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง ml}}$$

โดยที่ E = น้ำหนักชามระเหยเปล่า

W = น้ำหนักชามระเหย + ไขมันและน้ำมันในตัวอย่าง (กรัม)



วิธีวิเคราะห์ปริมาณซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) โดยวิธีกลั่นกลับคืนแบบปิด (closed reflux method)

การวัดความสกปรกของน้ำคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดส์สูง (โปตัสเซียมไดโครเมต, $K_2Cr_2O_7$) ไปออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอนในสภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ($150\text{ }^{\circ}C$) และใช้การ reflux แบบปิดเพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารที่ระเหยได้ (คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำ ห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 นนทบุรี)

อุปกรณ์

- เตาให้ความร้อน ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $150 \pm 2\text{ }^{\circ}C$
- ตู้อบร้อน
- เครื่องชั่ง) ละเอียด 4-5 ตำแหน่ง
- บิวเรต ขนาด 10 mL พร้อมขาตั้ง
- หลอดทดลองฝาเกลียว บุด้วย TFE ขนาด $15 \times 100\text{ mm}$ หรือ $16 \times 150\text{ mm}$
- ตะแกรงสำหรับตั้งหลอดทดลอง
- บีกเกอร์ ขนาด 50 mL
- ลูกแก้วกันกระเด็น
- ปิเปตอัตโนมัติ ขนาด 1- 10 mL และ ขนาด $100 - 1000\ \mu L$

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ย่อยสลาย Standard potassium dichromate digestion solution) ความเข้มข้น 01667 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) ชนิดสารมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard grade) (อบที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชม.) 4.903 g ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 mL เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. Sulfuric acid, conc. H_2SO_4) ปริมาตร 167 mL เติมเมอคิวรีซัลเฟต (Mercury sulfate, $HgSO_4$) จำนวน 33.3 g ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2. กรดซัลฟิวริก

ชั่งซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver sulfate, Ag_2SO_4) 25.3 g (Ag_2SO_4 5.5 g / 1.0 kg H_2SO_4) เติมลงในขวด conc. H_2SO_4 ปริมาตร 2.5 L (H_2SO_4 1 L = 1.84 kg) ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย

3. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferriin indicator solution)

ซึ่ง 1-10 ฟีนแอนทรอลีนโมโนไฮเดรต (1-10 Phenanthroline monohydrate, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 g และเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Ferrous sulfate heptahydrate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 g ละลายสารทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตไทแทนท์ (Standard ferrous ammonium sulfate (FAS) titrant ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (M)

ซึ่ง เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 39.2 g ละลายในน้ำกลั่น เติมน้ำ conc. H_2SO_4 20 mL ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร สารละลายนี้จะต้อง standardize ทุกครั้งด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

5. สารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate Standard, KHP)

6. น้ำกลั่น

วิธีการวิเคราะห์

standardize สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตไทแทนท์ (FAS) ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้อยู่สลาย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้อยู่สลาย ปริมาตร 5 mL ลงในปิเปเจอร์ขนาดเล็ก
2. เติมน้ำกลั่น 10 mL และตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. หยดสารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด
4. ไตเตรตด้วยสารละลาย FAS

Molarity ของสารละลาย FAS = $\frac{\text{ปริมาตรของสารละลาย } K_2Cr_2O_7 \text{ (mL) ที่นำมาไตเตรต}}{\text{ปริมาตรของ FAS (mL) ที่ใช้ไตเตรต}}$

การทดสอบตัวอย่าง

1. ใส่ตัวอย่างน้ำในหลอดทดลองที่ล้างด้วย 20 % H_2SO_4 (ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ ขึ้นกับขนาดของหลอดทดลองตามตารางที่ ก-1)
2. เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้อยู่สลาย (ปริมาตรที่เติมขึ้นกับปริมาตรของตัวอย่างน้ำตามตารางที่ ก-1)

3. เติมน้ำยาเคมีกรดซัลฟิวริก (ปริมาตรที่เติม ขึ้นกับปริมาตรของตัวอย่างน้ำตามตารางที่ ก-1)
4. ใส่ลูกแก้วกันกระเด็น ประมาณ 5-7 เม็ด ปิดฝาแล้วเขย่าสารละลายให้เข้ากัน
5. นำหลอดทดลองใส่ลงในเตาให้ความร้อน ตั้งอุณหภูมิ 150 °C ย่อยนาน 2 ชั่วโมง
6. เมื่อครบเวลานำหลอดทดลองขึ้นจาก Heating Block ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
7. เทสารละลายในหลอดทดลองลงในปิกรเกอร์ขนาดเล็ก พร้อมใส่แท่งกวนแม่เหล็ก
8. หยดสารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไตเตรท โดยใช้ 0.10 M สารละลาย FAS เป็น titrant เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียว เป็นสีน้ำตาลแดง
9. ทุกครั้งต้องทำ Blank โดยทำเหมือนตัวอย่าง แต่ให้ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง

ตารางที่ ก-1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดหลอดแก้ว (mm)	ปริมาตรตัวอย่าง น้ำ (mL)	K ₂ Cr ₂ O ₇ digestion solution (mL)	Sulfuric acid reagent (mL)	ปริมาตรรวม
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

การคำนวณหาปริมาณซีโอดี

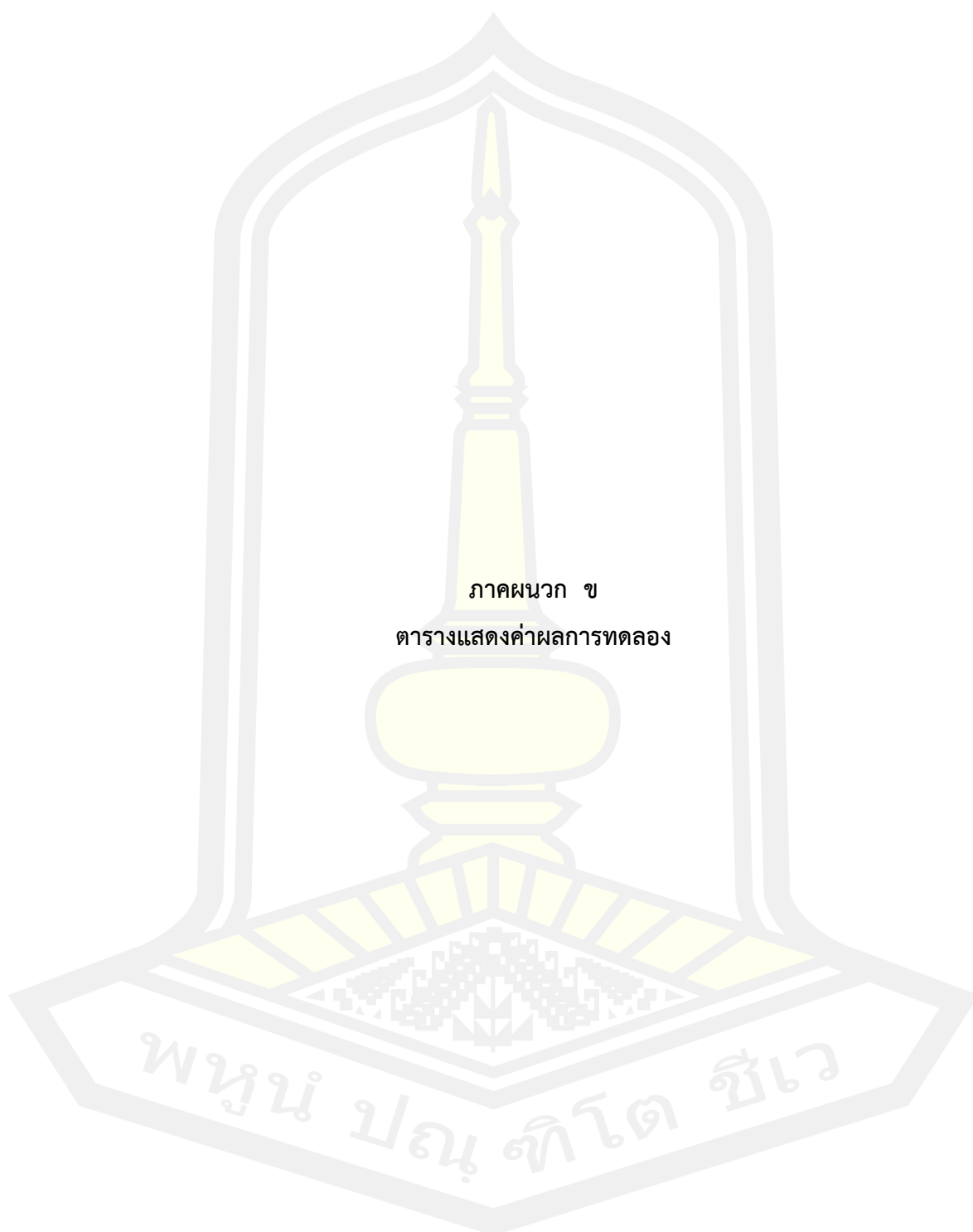
ซีโอดี, มิลลิกรัม/ลิตร = ((A - B) × N × 8000 / มล.ของน้ำตัวอย่าง)

A = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบล็งค์

B = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = Molarity ของสารละลาย FAS

พหุ มณู จิต ชีวะ



ภาคผนวก ข
ตารางแสดงค่าผลการทดลอง

พหุบัน ปณฺ ทิโต ชีเว

ตารางที่ ข-1 ค่าความชื้นและค่าของแข็งรวม

ชนิดของ หญ้า	ส่วนประกอบ	การ อบ ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)		น้ำหนักตัวอย่างที่ ระเหยออกไป (g)	ค่า ความชื้น (%)	ค่าของแข็ง รวม(%)
			ก่อน อบ	หลัง อบ			
หญ้าแฝก	ใบ	1	159	71	88	55.35	44.65
		2	176	50	126	71.60	28.4
		3	214	75	139	64.95	35.05
		4	282	112	170	60.28	39.72
		5	246	120	126	51.22	48.78
	ลำต้น	1	267	87	177	66.29	33.71
		2	207	39	168	81.16	18.84
		3	227	66	161	70.93	29.07
		4	182	46	136	74.73	25.27
		5	239	84	155	64.85	35.15
หญ้าเนเปียร์	ใบ	1	560	125	435	77.68	22.32
		2	773	180	593	76.71	23.29
		3	507	126	381	75.15	24.85
		4	538	127	441	76.39	23.61
		5	529	120	409	77.32	22.68
	ลำต้น	1	721	86	635	88.07	11.93
		2	754	111	643	85.28	14.72
		3	673	100	573	85.14	14.86
		4	672	98	574	85.42	14.58
		5	650	124	526	80.92	19.08

ตารางที่ ข-2 ค่าของแข็งคั่งตัวและของแข็งระเหยของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

ชนิด ของ หญ้า	ส่วน ประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุซีบีล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุซีบีล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ค่า ของแข็ง คั่งตัว (%)	ค่า ของแข็ง ระเหย (%)
					ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน เผา	หลัง เผา		
หญ้า แฝก	ใบ	0.5	1	35.9945	36.9946	36.1465	1.0001	0.1520	15.20	84.80
			2	34.0618	35.0622	34.2224	1.0004	0.1606	16.06	83.94
		1	1	35.9825	36.9825	36.1275	1.0000	0.1450	14.50	85.50
			2	34.0461	35.0463	34.1917	1.0002	0.1456	14.56	85.44
		2	1	35.9776	36.9777	36.0984	1.0001	0.1208	12.08	87.92
			2	34.0368	35.0373	34.1668	1.0005	0.1300	12.99	87.01
	ลำต้น	0.5	1	33.8745	34.8746	34.0338	1.0001	0.1593	15.93	84.07
			2	32.8580	33.8582	32.9962	1.0002	0.1382	13.82	86.18
		1	1	33.8500	34.8501	34.0124	1.0001	0.1624	16.24	83.76
			2	32.8336	33.8336	32.9536	1.0000	0.1200	12.00	88.00
		2	1	33.8335	34.8335	33.9395	1.0000	0.1060	10.60	89.40
			2	32.8246	33.8247	32.9206	1.0001	0.0960	9.60	90.40



ตารางที่ ข-2 ค่าของแข็งคงตัวและของแข็งระเหยของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย(ต่อ)

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุซีบีล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุซีบีล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ค่า ของแข็ง คงตัว (%)	ค่า ของแข็ง ระเหย (%)
					ก่อน เผา	หลัง เผา	ก่อน เผา	หลัง เผา		
หญ้าเนเปียร์	ใบ	0.5	1	28.5021	29.5022	28.6809	1.0001	0.1788	17.88	82.12
			2	33.9817	34.9818	34.1777	1.0001	0.1960	19.60	80.40
		1	1	28.4886	29.4886	28.6443	1.0000	0.1557	15.57	84.43
			2	33.9684	34.9685	34.1591	1.0001	0.1907	19.07	80.93
		2	1	28.4827	29.4827	28.6249	1.0000	0.1422	14.22	85.78
			2	33.9592	34.9594	34.1364	1.0002	0.1772	17.72	82.28
	ลำต้น	0.5	1	33.0487	34.0489	33.3022	1.0002	0.2535	25.34	74.66
			2	33.6619	34.6623	33.9256	1.0004	0.2637	26.36	73.64
		1	1	33.0312	34.0313	33.2616	1.0001	0.2304	23.04	76.96
			2	33.6467	34.6468	33.8604	1.0001	0.2137	21.37	78.63
		2	1	33.0225	34.0227	33.2542	1.0002	0.2317	23.17	76.83
			2	33.6380	34.6383	33.8531	1.0003	0.2151	21.50	78.50



ตารางที่ ข-3 ค่าของแข็งคั่งตัวและของแข็งระเหยของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุชชีเบิ้ล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุชชีเบิ้ล(g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ค่า ของแข็ง คั่งตัว (%)	ค่า ของแข็ง ระเหย (%)
					ก่อน เผา	หลัง เผา	ก่อน เผา	หลัง เผา		
หญ้า แฝก	ใบ	0.5	1	35.9784	36.9788	36.1502	1.0004	0.1718	17.17	82.83
			2	34.0372	35.0372	34.2013	1.0000	0.1641	16.41	83.59
		1	1	35.9788	36.9796	36.1357	1.0008	0.1569	15.68	84.32
			2	34.0376	35.0383	34.2008	1.0007	0.1632	16.31	83.69
		2	1	35.9813	36.9835	36.1395	1.0022	0.1582	15.79	84.21
			2	34.0395	35.0400	34.1578	1.0005	0.1183	11.82	88.18
	ลำต้น	0.5	1	33.8339	34.8343	33.9518	1.0004	0.1179	11.79	88.21
			2	32.8250	33.8250	32.9213	1.0000	0.0963	9.63	90.37
		1	1	33.8342	34.8349	33.9317	1.0007	0.0975	9.74	90.26
			2	32.8256	33.8259	32.9258	1.0003	0.1002	10.02	89.98
		2	1	33.8354	34.8360	33.9248	1.0006	0.0894	8.94	91.06
			2	32.8281	33.8293	32.8714	1.0012	0.0433	4.33	95.67



ตารางที่ ข-3 ค่าของแข็งคงตัวและของแข็งระเหยของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย(ต่อ)

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุชชีเบิ้ล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุชชีเบิ้ล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ค่า ของแข็ง คงตัว (%)	ค่า ของแข็ง ระเหย (%)
					ก่อน เผา	หลัง เผา	ก่อน เผา	หลัง เผา		
หญ้าเนเปียร์	ใบ	0.5	1	28.4828	29.4832	28.6413	1.0004	0.1585	15.84	84.16
			2	33.9605	34.9609	34.1313	1.0004	0.1708	17.07	82.93
		1	1	28.4848	29.4851	28.6453	1.0003	0.1605	16.05	83.95
			2	33.9611	34.9615	34.1356	1.0004	0.1745	17.44	82.56
		2	1	28.4877	29.4879	28.6360	1.0002	0.1483	14.83	85.17
			2	33.9635	34.9635	34.1314	1.0000	0.1679	16.79	83.21
	ลำต้น	0.5	1	33.0235	34.0235	33.1858	1.0000	0.1623	16.23	83.77
			2	33.6383	34.6383	33.7689	1.0000	0.1306	13.06	86.94
		1	1	33.0239	34.0239	33.1983	1.0000	0.1744	17.44	82.56
			2	33.6386	34.6386	33.7989	1.0000	0.1603	16.03	83.97
		2	1	33.0261	34.0263	33.1843	1.0002	0.1582	15.82	84.18
			2	33.6400	34.6400	33.7851	1.0000	0.1451	14.51	85.49



ตารางที่ ข-4 ค่าปริมาณเถ้าของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุชชีเบิ้ล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุชชีเบิ้ล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณ เถ้า(%)
					ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน เผา	หลัง เผา	
หญ้า แฝก	ใบ	0.5	1	35.9945	36.9946	36.0538	1.0001	0.0593	5.93
			2	34.0618	35.0622	34.1224	1.0004	0.0606	6.06
		1	1	35.9825	36.9825	36.0324	1.0000	0.0499	4.99
			2	34.0461	35.0463	34.0956	1.0002	0.0495	4.95
		2	1	35.9776	36.9777	36.0274	1.0001	0.0498	4.98
			2	34.0368	35.0373	34.0862	1.0005	0.0494	4.94
	ลำต้น	0.5	1	33.8745	34.8746	33.9340	1.0001	0.0595	5.95
			2	32.8580	33.8582	32.9188	1.0002	0.0608	6.08
		1	1	33.8500	34.8501	33.8977	1.0001	0.0477	4.77
			2	32.8336	33.8336	32.8791	1.0000	0.0455	4.55
		2	1	33.8335	34.8335	33.8819	1.0000	0.0484	4.84
			2	32.8246	33.8247	32.8719	1.0001	0.0473	4.73



ตารางที่ ข-4 ค่าปริมาณเถ้าของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย(ต่อ)

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุชชีเบิ้ล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุชชีเบิ้ล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณ เถ้า(%)
					ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน เผา	หลัง เผา	
หญ้าเนเปียร์	ใบ	0.5	1	28.5021	29.5022	28.5929	1.0001	0.0908	9.08
			2	33.9817	34.9818	34.0721	1.0001	0.0904	9.04
		1	1	28.4886	29.4886	28.5730	1.0000	0.0844	8.44
			2	33.9684	34.9685	34.0534	1.0001	0.0850	8.50
		2	1	28.4827	29.4827	28.5762	1.0000	0.0935	9.35
			2	33.9592	34.9594	34.0433	1.0002	0.0841	8.41
	ลำต้น	0.5	1	33.0487	34.0489	33.1536	1.0002	0.1049	10.49
			2	33.6619	34.6623	33.7645	1.0004	0.1026	10.26
		1	1	33.0312	34.0313	33.1313	1.0001	0.1001	10.01
			2	33.6467	34.6468	33.7436	1.0001	0.0969	9.69
		2	1	33.0225	34.0227	33.1263	1.0002	0.1038	10.38
			2	33.6380	34.6383	33.7367	1.0003	0.9878	9.87



ตารางที่ ข-5 ค่าปริมาณเถ้าของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุซีบีล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุซีบีล (g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณ เถ้า(%)
					ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน เผา	หลัง เผา	
หญ้า แฝก	ใบ	0.5	1	35.9784	36.9788	36.0242	1.0004	0.0458	4.58
			2	34.0372	35.0372	34.0823	1.0000	0.0451	4.51
		1	1	35.9788	36.9796	36.0142	1.0008	0.0354	3.54
			2	34.0376	35.0383	34.0738	1.0007	0.0362	3.62
		2	1	35.9813	36.9835	36.0154	1.0022	0.0341	3.40
			2	34.0395	35.0400	34.0711	1.0005	0.0316	3.16
	ลำต้น	0.5	1	33.8339	34.8343	33.8735	1.0004	0.0396	3.96
			2	32.8250	33.8250	32.8624	1.0000	0.0374	3.74
		1	1	33.8342	34.8349	33.8616	1.0007	0.0274	2.74
			2	32.8256	33.8259	32.8670	1.0003	0.0414	4.14
		2	1	33.8354	34.8360	33.8596	1.0006	0.0242	2.42
			2	32.8281	33.8293	32.8526	1.0012	0.0245	2.45



ตารางที่ ข-5 ค่าปริมาณเถ้าของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย(ต่อ)

ชนิด ของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำ ที่	น้ำหนัก ของถั่ว ครุซีบีล (g)	น้ำหนักตัวอย่างและ ถั่วครุซีบีล(g)		น้ำหนักตัวอย่าง (g)		ปริมาณ เถ้า(%)
					ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน เผา	หลัง เผา	
หญ้าเนเปียร์	ใบ	0.5	1	28.4828	29.4832	28.5415	1.0004	0.0587	5.87
			2	33.9605	34.9609	34.0185	1.0004	0.0580	5.80
		1	1	28.4848	29.4851	28.5466	1.0003	0.0618	6.18
			2	33.9611	34.9615	34.0185	1.0004	0.0574	5.74
		2	1	28.4877	29.4879	28.5466	1.0002	0.0589	5.89
			2	33.9635	34.9635	34.0185	1.0000	0.0550	5.50
	ลำต้น	0.5	1	33.0235	34.0235	33.0685	1.0000	0.0450	4.50
			2	33.6383	34.6383	33.6818	1.0000	0.0435	4.35
		1	1	33.0239	34.0239	33.0630	1.0000	0.0391	3.91
			2	33.6386	34.6386	33.6785	1.0000	0.0399	3.99
		2	1	33.0261	34.0263	33.0623	1.0002	0.0362	3.62
			2	33.6400	34.6400	33.6790	1.0000	0.0390	3.90



ตารางที่ ข-6 ค่าความร้อนของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

ชนิดของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำที่	น้ำหนักเม็ด ตัวอย่าง(g)	ค่าพลังงาน (MJ/kg)	ค่าพลังงาน ที่แปลง (cal/g)
หญ้าแฝก	ใบ	0.5	1	0.4505	17.456	4169.30
			2	0.4802	16.791	4010.46
		1	1	0.4698	16.909	4038.65
			2	0.4787	16.514	3944.30
		2	1	0.4678	17.605	4204.88
			2	0.4623	15.644	3736.51
	ลำต้น	0.5	1	0.4134	16.441	3926.87
			2	0.4251	16.521	3945.97
		1	1	0.4709	16.680	3983.95
			2	0.4409	16.739	3998.04
		2	1	0.4737	16.453	3929.73
			2	0.4815	16.784	4008.79



ตารางที่ ข-6 ค่าความร้อนของหญ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

ชนิดของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำที่	น้ำหนักเม็ด ตัวอย่าง (g)	ค่าพลังงาน (MJ/kg)	ค่าพลังงาน ที่แปลง (cal/g)
หญ้านา เปียร์	ใบ	0.5	1	0.4906	16.452	3929.49
			2	0.4831	16.289	3890.56
		1	1	0.4235	16.115	3849.00
			2	0.3988	15.677	3744.39
		2	1	0.4686	15.749	3761.59
			2	0.4658	15.785	3770.18
	ลำต้น	0.5	1	0.4810	14.152	3380.15
			2	0.4414	14.110	3370.12
		1	1	0.4060	14.475	3457.30
			2	0.4138	14.650	3499.09
		2	1	0.4738	14.480	3458.49
			2	0.4410	13.967	3335.96



ตารางที่ ข-7 ค่าความร้อนของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย

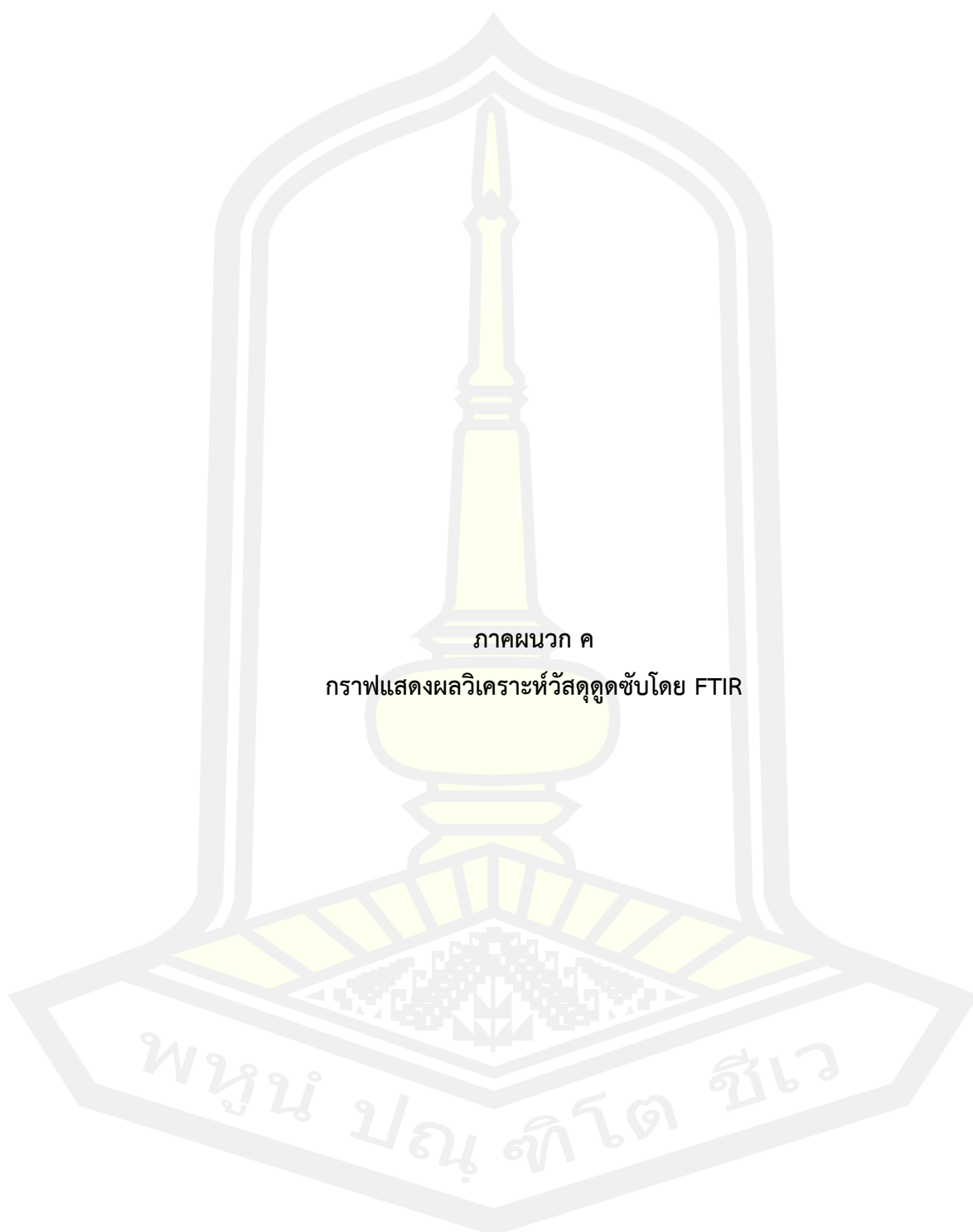
ชนิดของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำที่	น้ำหนักเม็ด ตัวอย่าง(g)	ค่าพลังงาน (MJ/kg)	ค่าพลังงาน ที่แปลง (cal/g)
หญ้าแฝก	ใบ	0.5	1	0.4660	20.350	4860.52
			2	0.4520	20.345	4859.32
		1	1	0.4597	19.279	4604.71
			2	0.4280	19.176	4580.11
		2	1	0.4210	18.677	4460.93
			2	0.4135	18.992	4536.16
	ลำต้น	0.5	1	0.4543	19.684	4701.44
			2	0.4572	19.885	4749.45
		1	1	0.4581	19.064	4553.36
			2	0.4572	18.611	4445.16
		2	1	0.3976	17.494	4178.37
			2	0.4145	17.441	4165.71



ตารางที่ ข-7 ค่าความร้อนของหญ้าที่ผ่านการใช้บำบัดน้ำเสีย(ต่อ)

ชนิดของ หญ้า	ส่วนประกอบ	ขนาด ตะแกรง (mm)	ซ้ำที่	น้ำหนักเมื่อด ตัวอย่าง(g)	ค่าพลังงาน (MJ/kg)	ค่าพลังงาน ที่แปลง (cal/g)
หญ้านา เปียร์	ใบ	0.5	1	0.4400	21.284	5083.60
			2	0.4392	22.140	5288.05
		1	1	0.4065	19.370	4626.45
			2	0.4273	20.138	4809.88
		2	1	0.4196	19.190	4583.45
			2	0.4147	19.016	4541.90
	ลำต้น	0.5	1	0.4077	18.024	4304.96
			2	0.4496	18.076	4317.38
		1	1	0.4491	18.419	4399.30
			2	0.4637	18.334	4379.00
		2	1	0.3957	16.049	3833.24
			2	0.4059	16.651	3977.02

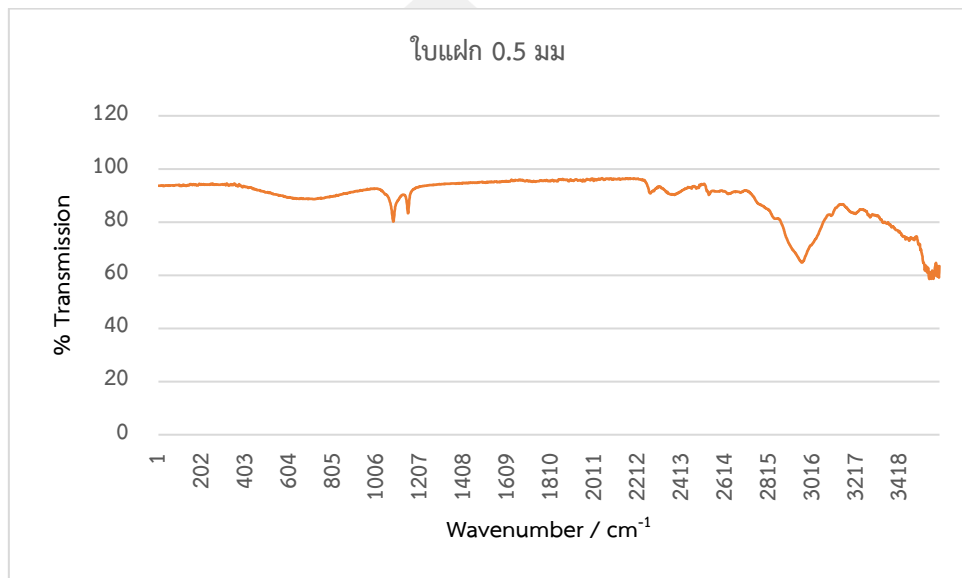




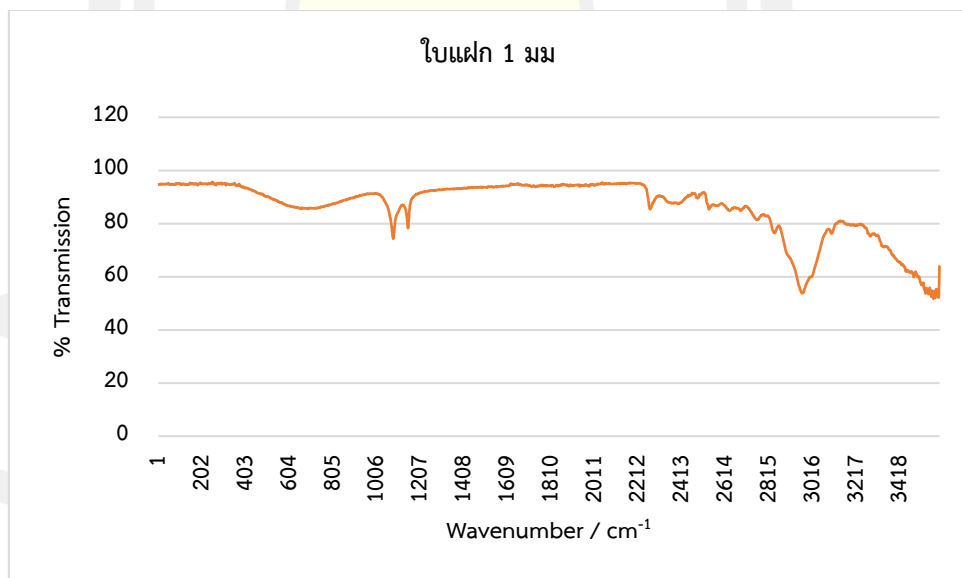
ภาคผนวก ค

กราฟแสดงผลวิเคราะห์วัสดุตุตซ์โดย FTIR

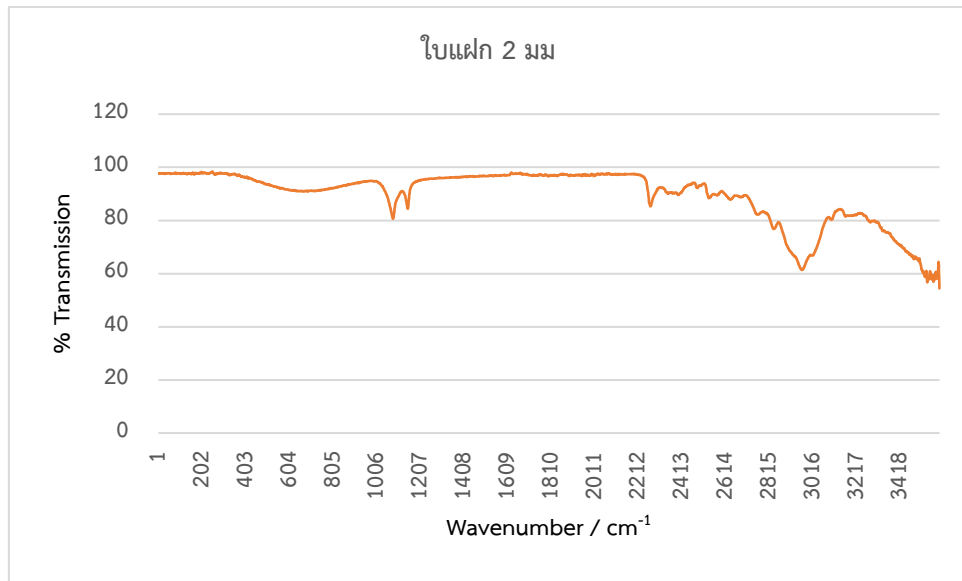
พหุณ ปณุ ทิโต ชีเว



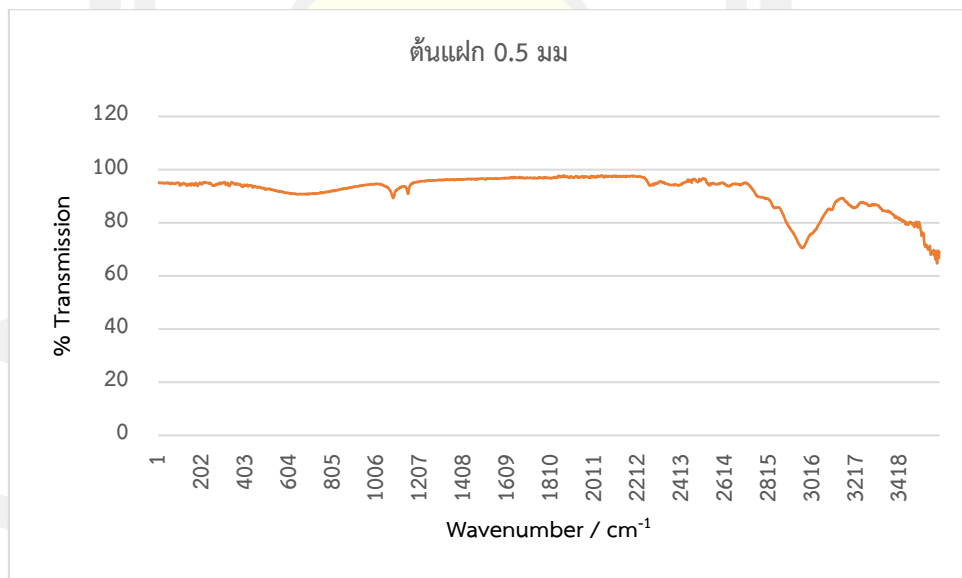
ภาพประกอบที่ ค-1 สเปกตรัมของใบกล้วย้าแฝกขนาด 0.5 มิลลิเมตร



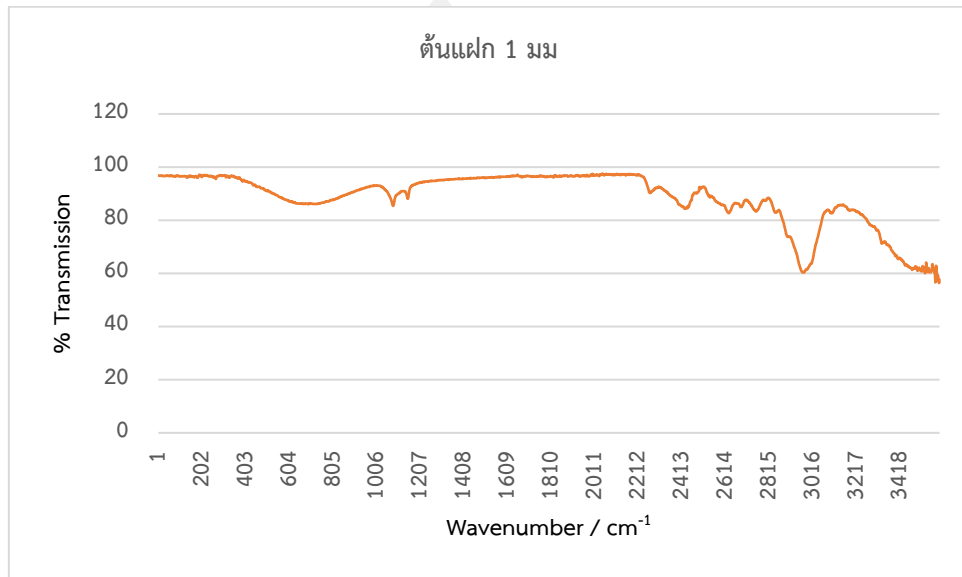
ภาพประกอบที่ ค-2 สเปกตรัมของใบกล้วย้าแฝกขนาด 1 มิลลิเมตร



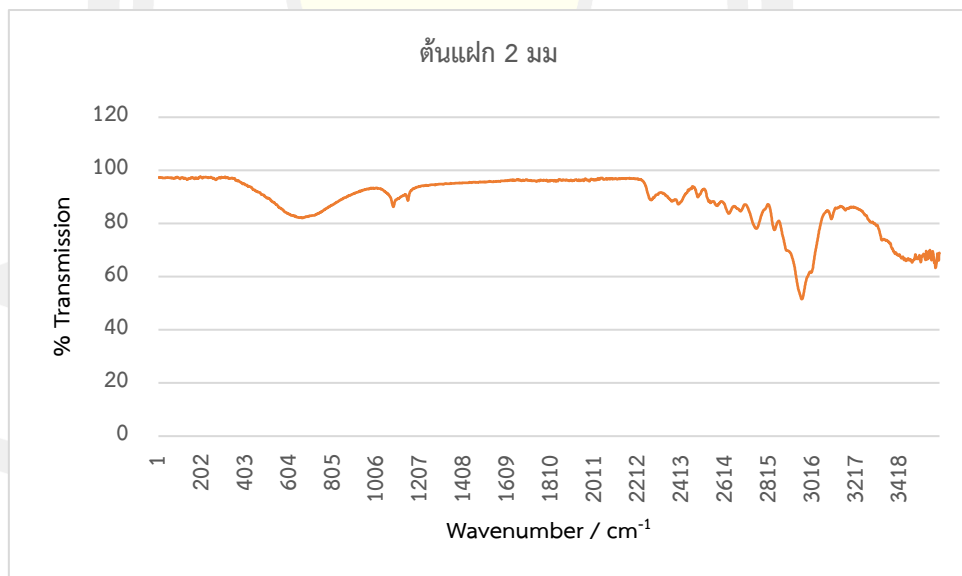
ภาพประกอบที่ ค-3 สเปกตรัมของโบ๊แหง้าแฝกขนาด 2 มิลลิเมตร



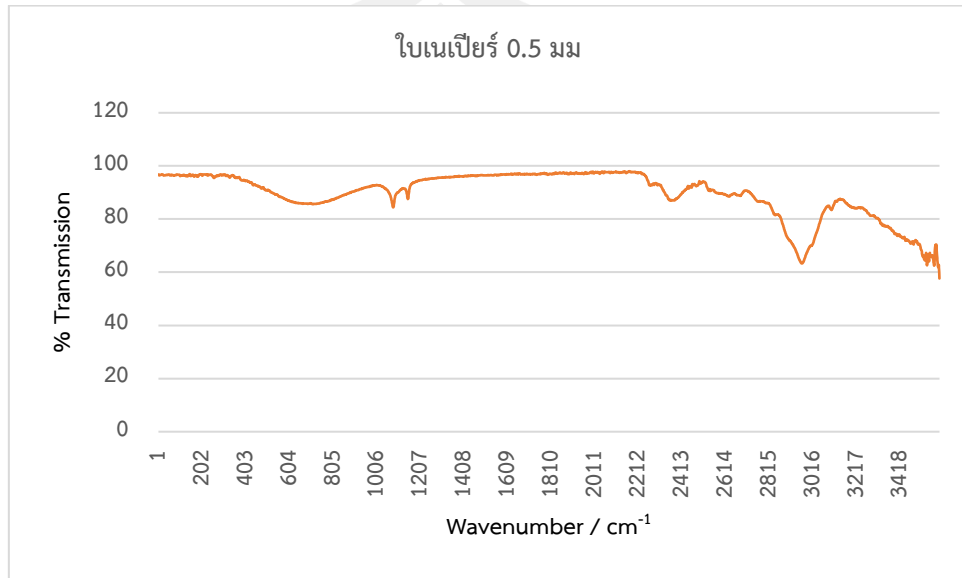
ภาพประกอบที่ ค-4 สเปกตรัมของตันแหง้าแฝกขนาด 0.5 มิลลิเมตร



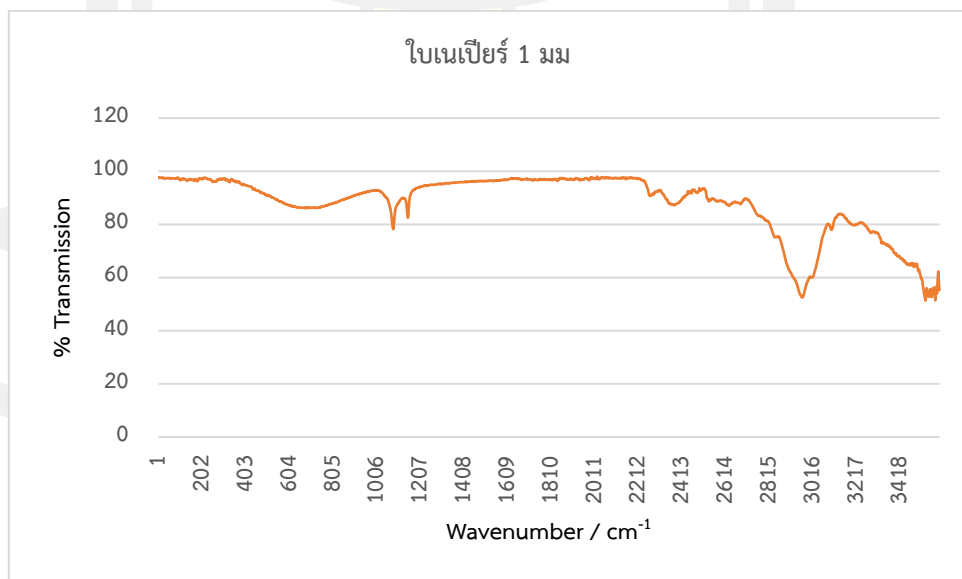
ภาพประกอบที่ ค-5 สเปกตรัมของด้นหญ้าแฝกขนาด 1 มิลลิเมตร



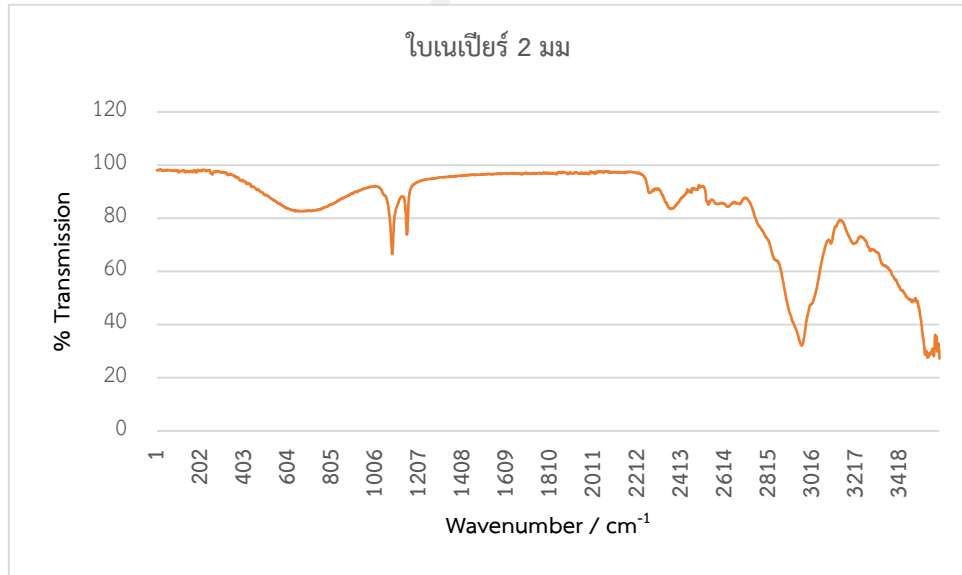
ภาพประกอบที่ ค-6 สเปกตรัมของด้นหญ้าแฝกขนาด 2 มิลลิเมตร



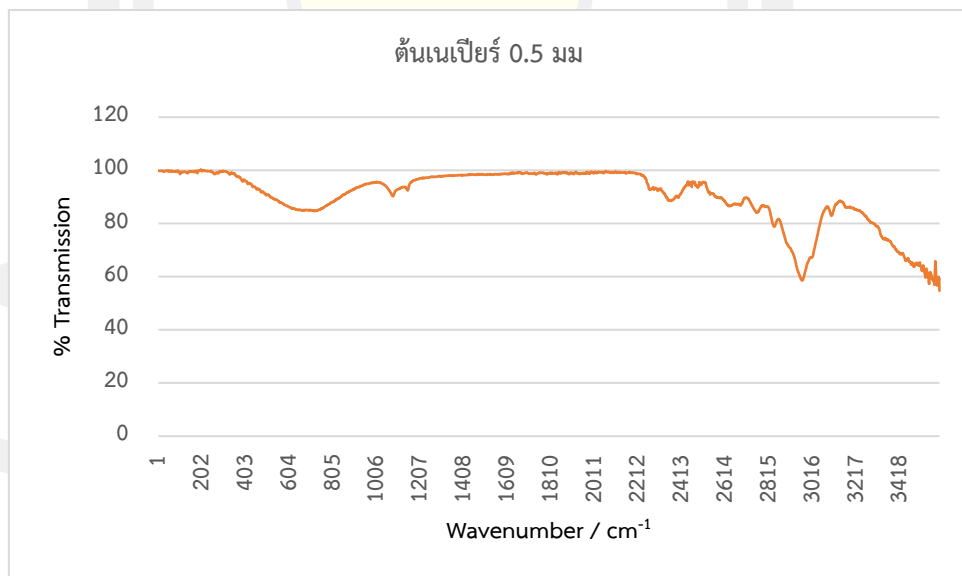
ภาพประกอบที่ ค-7 สเปกตรัมของไบโพลีเอทิลีนขนาด 0.5 มิลลิเมตร



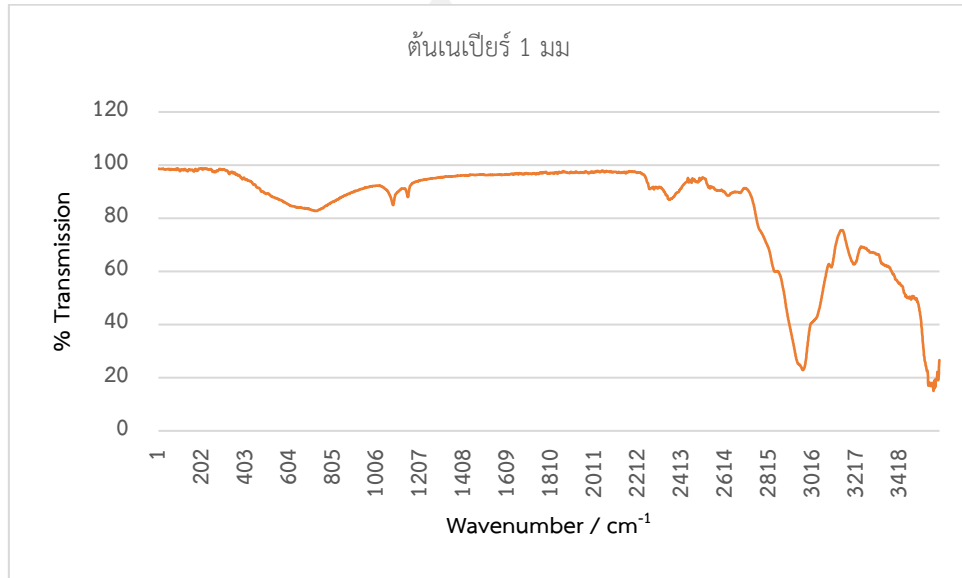
ภาพประกอบที่ ค-8 สเปกตรัมของไบโพลีเอทิลีนขนาด 1 มิลลิเมตร



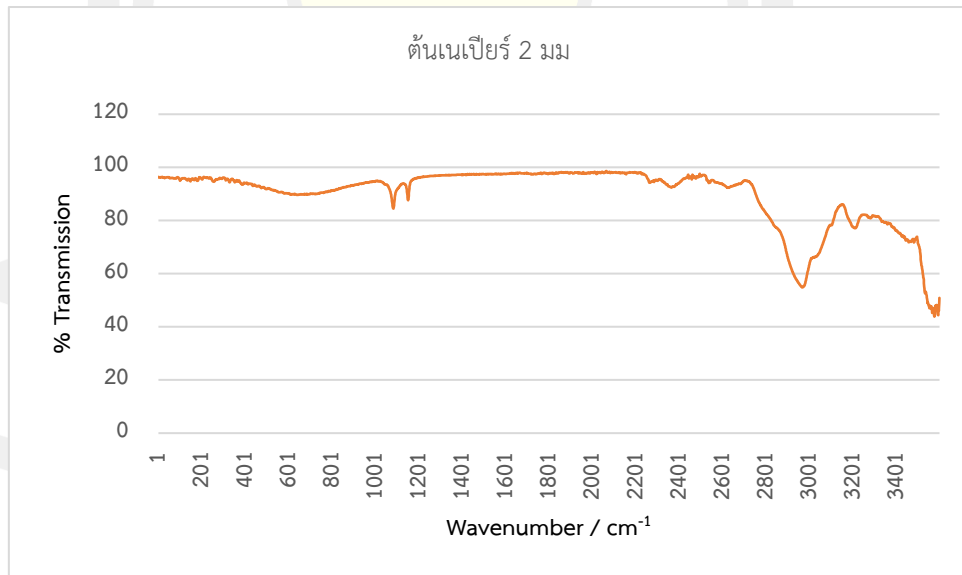
ภาพประกอบที่ ค-9 สเปกตรัมของไบหน้ำเนเปียร์ขนาด 2 มิลลิเมตร



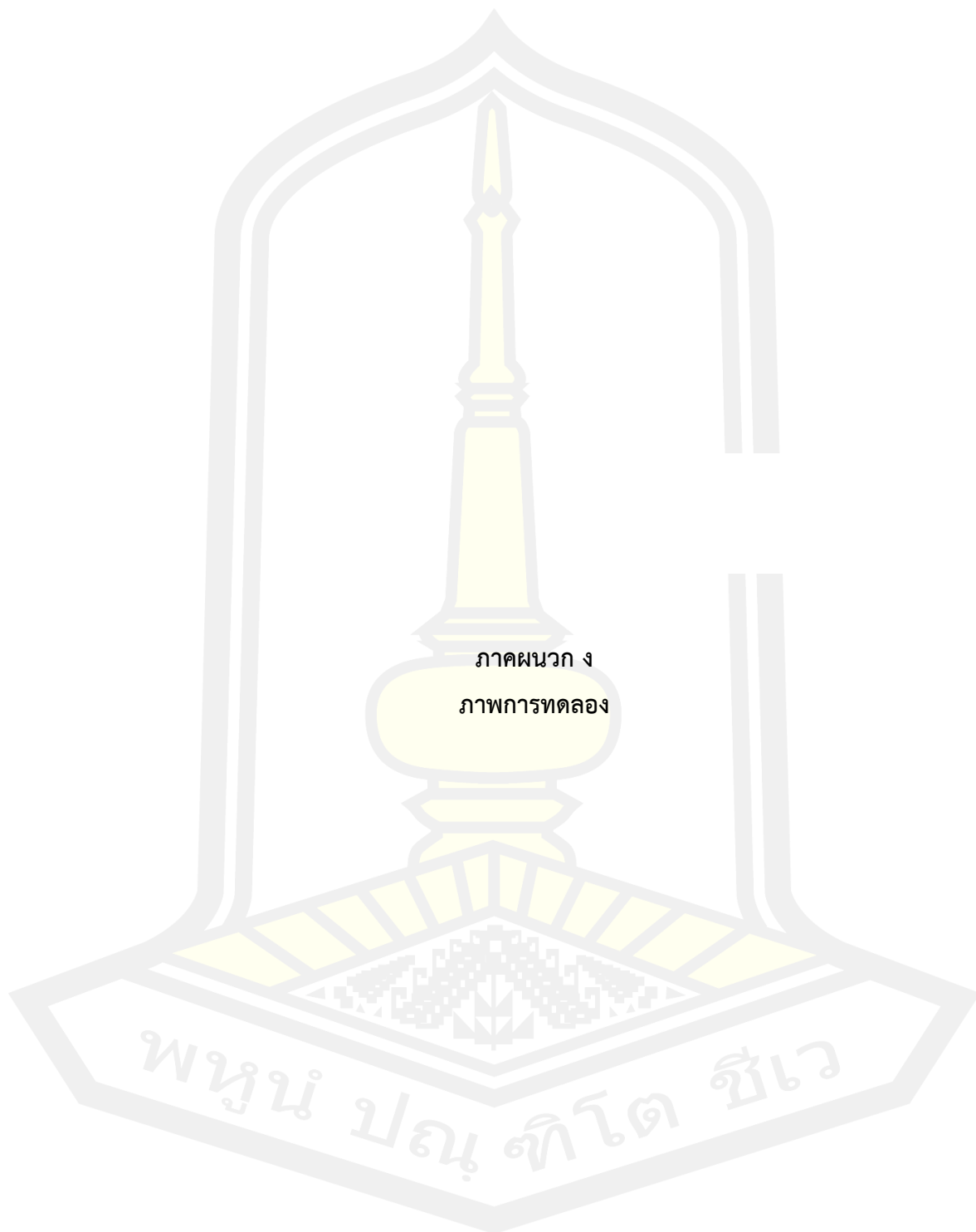
ภาพประกอบที่ ค-10 สเปกตรัมของตันหน้ำเนเปียร์ 0.5 มิลลิเมตร



ภาพประกอบที่ ค-11 สเปกตรัมของต้นหญ้าเนเปียร์ขนาด 1 มิลลิเมตร



ภาพประกอบที่ ค-12 สเปกตรัมของต้นหญ้าเนเปียร์ขนาด 2 มิลลิเมตร



ภาคผนวก ง
ภาพการทดลอง

พหุ ประจักษ์ วิทยา



ภาพประกอบที่ ง-1 การอบหญ้าหาคความชื้น 70 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ ง-2 หญ้าที่ผ่านการอบ 24 ชั่วโมง



ภาพประกอบที่ ง-3 การบดหญ้าด้วยเครื่องบดแบบละเอียด



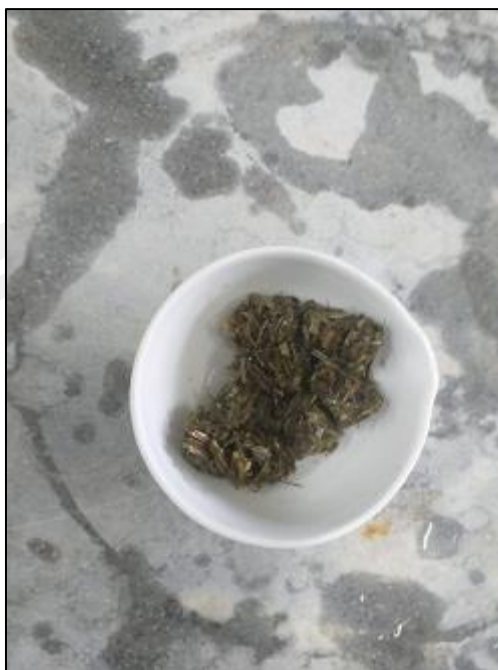
ภาพประกอบที่ ง-4 หญ้าที่ผ่านการบดละเอียด



ภาพประกอบที่ ง-5 การแยกขนาดหญ้าด้วยเครื่องเขย่าตะแกรง



ภาพประกอบที่ ง-6 หญ้าวัสดุคูดซับที่แยกได้แต่ละขนาด



ภาพประกอบที่ ง-7 วัสดุดูดซับที่ผ่านการใช้งาน



ภาพประกอบที่ ง-8 การหาพลังงานความร้อนของวัสดุดูดซับด้วย Bomb Calorimeter



ภาพประกอบที่ ง-9 การเตรียมแผ่นหว่านในถ้วยครุชชีเบิ้ล



ภาพประกอบที่ ง-10 การเผาหว่านด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง



ภาพประกอบที่ ง-11 หล้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 30 นาที



ภาพประกอบที่ ง-12 หล้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส 30 นาที

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายพงษ์กร ชมภูแสน
วันเกิด	วันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ.2530
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	137/50 ตำบล ขามเรียง อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัด มหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44150
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ครูผู้สอน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิทยาลัยเทคโนโลยีสมเด็จพระพนิตยการ จังหวัดกาฬสินธุ์ 69 หมู่13 อ.สมเด็จ จ.กาฬสินธุ์ 46150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัด ขอนแก่น พ.ศ. 2555 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ พ.ศ. 2558 ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี พ.ศ. 2565 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนานิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

พูน ปลูก ทัต ชีเว