

อกิันนทนาการ



สำนักหอสมุด



ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาวัสดุดูดซับจากใบหญ้าแฝก
ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีเมทิลีนบลู

EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE OF ADSORBENT FROM VETIVER
GRASS LEAF ON METHYLENE BLUE REMOVAL

17196738

นายเกรียงไกร	ไพโรจน์วรกุล	รหัส 54361671
นายอานนท์	เดวี	รหัส 54361831
นางสาวรัตนภรณ์	ปิ่นลี้	รหัส 54365426

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน..... 2 ต.ค. 2560
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

ฟร
ภ ๑๖๗ ๗
๒๕๖๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาวัสดุชุบจากไบโพลีเมอร์ ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่สิ้นเปลือง		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเกรียงไกร	ไพโรจน์วรกุล	รหัส 54361671
	นายอานนท์	เดวี	รหัส 54361831
	นางสาวรัตนารมย์	ปิ่นสี	รหัส 54365426
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....*Wilawan U*.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

.....*[Signature]*.....กรรมการ
(ผศ.ดร. ปาจรีย์ ทองสนิท)

.....*อ.พล เตโชวณิชย์*.....กรรมการ
(อาจารย์ อ่ำพล เตโชวณิชย์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาวัสดุดูดซับจากใบหญ้าแฝก ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่สิ้นบลู		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเกรียงไกร	ไพโรจน์วรกุล	รหัส 54361671
	นายอานนท์	เดวี	รหัส 54361831
	นางสาวรัตนภรณ์	ปิ่นสี	รหัส 54365426
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

หญ้าแฝก เป็นพืชที่มีระบบรากลึกและแผ่กระจายลงไปในดินตรงๆ เป็นแผงเหมือนกำแพง จึงนิยมใช้ในการพัฒนาปรับปรุงบำรุงดิน และป้องกันการพังทลายของดิน ในหลายพื้นที่ของประเทศไทยนิยมปลูกหญ้าแฝก เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ใบหญ้าแฝกยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากนัก และจัดเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร โครงการนี้จึงเป็นการทดลองนำใบหญ้าแฝก มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุดูดซับ เพื่อใช้ทดแทนถ่านกัมมันต์ในระบบบำบัดน้ำเสีย หรือน้ำดื่ม โดยมุ่งเน้นกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้เองโดยเกษตรกร ทางคณะผู้วิจัยได้นำใบหญ้าแฝกมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 200, 400, 600, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับที่มีความพรุนสูง จากนั้นนำวัสดุดูดซับดังกล่าวมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ จากการศึกษาพบว่า วัสดุดูดซับที่เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ประมาณ 91% โดยจลนศาสตร์ของการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับ 2 (Second-order kinetic) และไอโซเทอมการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

Project title EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE OF ADSORBENT FROM
VETIVER GRASS LEAF ON METHYLENE BLUE REMOVAL

Name Mr. Kriangkrai Pricharoenworakul ID. 54361671
Mr. Anon Dewi ID. 54361831
Ms. Ruttanaporn Punlee ID. 54365426

Project advisor Dr. Wilawan Kanitchaidecha

Major Environmental Engineering

Department Civil Engineering

Academic year 2014

Abstract

Vetiver grass is a tropical plant which has a deep thick root system, spreading vertically. The root densely binds together like an underground wall enabling it to store water and moisture. The vetiver grass is considered as an effective measure for soil and water conservation. However, the use of vetiver leaf is limited and it becomes an agricultural waste. In this senior project, the vetiver leaf was used as raw material to synthesis an adsorbent for wastewater treatment and water purification. The leaf was calcined at various temperatures of 200, 400, 600, 800 and 1000 °C to synthesize the high porous adsorbent. Then the adsorbent was used to treat synthesized dye wastewater. The results reveal that the highest removal efficiency of ~91% was found at the 200 °C-adsorbent. It's kinetic and isotherm of the adsorption were second-order and Langmuir isotherm.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีได้โดยได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนจาก ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งแนวทางแก้ไขปัญหาในระหว่างการดำเนินการศึกษาโครงการนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณฉลา บดีรัฐ และเครือข่ายญาติผู้ปกครองที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาหญ้าแฝกเพื่อใช้ในการศึกษา

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปาจรีย์ ทองสนิท อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านสำหรับการประสานงานที่ติดต่อตลอดเวลาในการทำปริญญาโท

คณะผู้ดำเนินงานหวังว่า ข้อมูลในโครงการฉบับนี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่มากนักน้อยคลิกที่นี่เพื่อพิมพ์กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายเกรียงไกร ไพโรเจริญวรกุล

นายอานนท์ เดวี

นางสาวรัตนภรณ์ ปันลี

12 พฤษภาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 หญ้าแฝก.....	4
2.2 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ.....	11
2.3 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกด้านสิ่งแวดล้อม.....	12
2.4 การดูดซับ.....	13
2.5 ไอโซเทอม.....	17
2.6 จลศาสตร์การดูดซับ.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	25
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	25
3.2 การสังเคราะห์น้ำสีเมทิลีนบลู.....	25
3.3 การสังเคราะห์วัสดุพูนจากหญ้าแฝก.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับ.....	26
3.5 การวิเคราะห์และคำนวณ.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	29
4.1 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ.....	29
4.2 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ.....	32
4.3 จลศาสตร์ของดูดซับ.....	35
4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	37
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก.....	42
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงองค์ประกอบของใบหญ้าแฝกแห้ง.....	30
4.2 แสดงค่าคงที่จลนศาสตร์ของการดูดซับ.....	37
4.3 แสดงค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับ.....	38

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หญ้าแฝก.....	5
2.2 การเตรียมกล้าหญ้าแฝกในถุง.....	7
2.3 การเตรียมกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย.....	7
2.4 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ลาดชัน.....	8
2.5 การปลูกเพื่อควบคุมร่องน้ำและกระจายน้ำ.....	9
2.6 การปลูกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นในสวนผลไม้.....	9
2.7 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดอน ที่ปลูกพันธุ์ใด.....	10
2.8 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม.....	10
2.9 การปลูกรอบขอบสระเพื่อกรองตะกอนดิน.....	11
2.10 การปลูกหญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ.....	12
2.11 การปลูกหญ้าแฝกเพื่อประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม.....	12
2.12 ไอโซเทอมของการดูดซับแบบต่างๆ ของ Brunauer-Emmett-Teller ในระบบก๊าซ.....	19
4.1 วัสดุดูดซับที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ	30
4.2 แสดงสัดส่วนของแข็งระเหยได้และซี้เถ้าของวัสดุดูดซับ เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ	31
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้และน้ำหนักที่หายไป เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ ...	31
4.4 แสดงการดูดกลืนแสงของน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูก่อนและหลังการดูดซับที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัม/ลิตร.....	32
4.5 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับ.....	33
4.6 แสดงน้ำสีเมทิลีนบลูก่อนและหลังบำบัด.....	33
4.7 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	34
4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำสีเมทิลีนบลูระหว่างการดูดซับ.....	35
4.9 แสดงจลศาสตร์ของการดูดซับลำดับที่ 1 (First-order).....	36
4.10 แสดงจลศาสตร์ของการดูดซับลำดับที่ 2 (Second-order).....	36
4.11 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm).....	37
4.12 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm).....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบัน ปัญหามลพิษทางน้ำกำลังเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจำนวนมากปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ โดยปราศจากการบำบัดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอ หนึ่งในอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมฟอกย้อมและสิ่งทอ โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้จะใช้น้ำเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ในขณะที่เดียวกันก็ก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมากเช่นเดียวกัน ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมประเภทนี้คือ มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง มีสภาพเป็นด่าง มีกลิ่นแรง และมีสีที่นํารังเกียจ (รัตนาวดี พรหมเสนา 2557)

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมและสิ่งทอสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation) การระบวนการการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone treatment) เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology) และการดูดซับ (Adsorption) ข้อดีของการดูดซับเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ได้แก่ 1) ไม่ต้องเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย 2) ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน 3) ใช้เงินลงทุนน้อย 4) ใช้สถานที่ไม่มาก และ 5) สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ (วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2551) โดยวัสดุดูดซับที่รู้จักกันดี ก็คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) นอกจากนี้ยังมีวัสดุดูดซับอื่นๆ ที่นิยมใช้ในการกำจัดมลพิษต่างๆ ออกจากน้ำเสีย เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite) และ ซิลิกาเจล (Silica gel) (เดชา ฉัตรศิริเวช 2552)

การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ถ่านไม้ ชานอ้อย และเปลือกของเมล็ดพืชต่างๆ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ 2557) มาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับนิยมทำกันมากขึ้น เพื่อเป็นการลดปริมาณและเพิ่มมูลค่าของขยะที่ต้องกำจัด โดยการสังเคราะห์วัสดุดูดซับทำได้ทั้งวิธีทางกายภาพและทางเคมี วิธีทางกายภาพเป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในที่อับอากาศและอุณหภูมิสูง วัสดุดูดซับที่ได้จะเป็นของแข็งสีดำ และมีรูพรุน สำหรับวิธีทางเคมีเป็นการผสมวัตถุดิบกับสารเคมี ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น และให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400 - 600 องศาเซลเซียส กลไกการเกิดรูพรุนโดยวิธีทางเคมียังไม่ทราบแน่ชัด แต่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ เช่น โลหะอัลคาไลน์ สารประกอบคาร์บอเนต สารประเภทกรดและเบส อย่างไรก็ตาม ในโครงการนี้ คณะผู้จัดทำมุ่งเน้นการสังเคราะห์วัสดุดูดซับจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ ที่พบในท้องถิ่น เช่น หนุ้าแฝก ภายใต้อุณหภูมิต่างๆ และศึกษากลไกการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์เมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์วัสดุดูดซับจากไบโหญาแฝกด้วยวิธีทางกายภาพ
- 1.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ
- 1.2.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับ
- 1.2.4 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm) และจลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetic adsorption) ของวัสดุดูดซับ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์วัสดุดูดซับจากไบโหญาแฝกด้วยวิธีทางกายภาพ
- 1.3.2 ทราบผลของอุณหภูมิต่อลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ
- 1.3.3 ทราบผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูของวัสดุดูดซับ
- 1.3.4 เข้าใจไอโซเทอมการดูดซับและจลศาสตร์ของการดูดซับ

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1.4.1 การสังเคราะห์วัสดุดูดซับ จะใช้ไบโหญาแฝกที่ปลูกจากแหล่งเดียวกันมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ โดยจะนำไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์
- 1.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ จะนำวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ โดยใช้สีสังเคราะห์เมทิลีนบลู
- 1.4.3 การหาไอโซเทอมและจลศาสตร์ของการดูดซับ จะนำวัสดุดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด มาทดสอบประสิทธิภาพอีกครั้ง โดยใช้สีสังเคราะห์เมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- 1.5.1 การสังเคราะห์วัสดุดูดซับ นำไบโหญาแฝกมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับที่มีความพรุนสูง
- 1.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ นำวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ มาตรวจสอบลักษณะพื้นผิว และความพรุน
- 1.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์ เตรียมน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูความเข้มข้นมาตรฐาน และนำวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ มาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัด

- 1.5.4 การศึกษาไอโซเทอมและจลศาสตร์ของการดูดซับ นำวัสดุดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพการ
 บำบัดสูงสุดมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์อีกครั้งที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 1.5.5 วิเคราะห์ผล และเขียนเล่มวิทยานิพนธ์
- 1.5.6 นำเสนอวิทยานิพนธ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ต.ค. 2557	พ.ย. 2557	ธ.ค. 2557	ม.ค. 2558	ก.พ. 2558	มี.ค. 2558	เม.ย. 2558	พ.ค. 2558
1. สังเคราะห์วัสดุดูดซับจากใบ หญ้าแฝก	←————→							
2. วิเคราะห์ลักษณะทาง กายภาพของวัสดุดูดซับ					←————→			
3. ทดสอบประสิทธิภาพการ บำบัดน้ำสีสังเคราะห์					←————→			
4. ศึกษาไอโซเทอมและจล ศาสตร์ของการดูดซับ							↔	
5. วิเคราะห์ผลและเขียนเล่ม วิทยานิพนธ์						←————→		
6. นำเสนอวิทยานิพนธ์								↔

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

- 1.7.1 ค่าอุปกรณ์ในการทดลอง 1,000 บาท
- 1.7.2 ค่าพิมพ์เอกสาร 1,000 บาท
- 1.7.3 ค่าเช่าเล่มวิทยานิพนธ์ 1,000 บาท
- รวมเป็นเงิน 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 หญ้าแฝก

หญ้าแฝก มีชื่อวิทยาศาสตร์ (*Vetiveria zizanioides*) ชื่อสามัญคือ (Vetiver Grass) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในตระกูล หญ้าเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้ ลักษณะสำคัญของหญ้าแฝก คือ ขึ้นเป็นกอหนาแน่น ขนาดกอค่อนข้างใหญ่ ประมาณ 5-20 เซนติเมตร ต่างจากหญ้าอื่นๆ อย่างชัดเจน ส่วนของใบมีรูปร่างแคบยาว ปลายใบสอบแหลม ด้านหลังใบมีสีเขียวเข้มกว่าด้านท้องใบ ส่วนโคนของลำต้นจะแบน เกิดจากส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณผิวหน้าดิน สำหรับช่อดอกจะอยู่บนก้านช่อดอก ซึ่งสูงประมาณ 1.50 เมตร หรืออาจสูงถึง 2 เมตร ช่อดอกหญ้าแฝกจะกางออกเป็นรูปฉัตร ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ฐานกว้าง 15 เซนติเมตร ช่อดอกจะมีทั้งสีน้ำตาล น้ำตาลแดง เทา หรือสีขาวนวล เมล็ดมีลักษณะกลมยาว หญ้าแฝกเป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกภูมิภาคของประเทศไทย เป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี ชาวบ้านรู้จักหญ้าแฝกกันในชื่อ แฝกลุ่ม ขนาก และแฝกท้องขาว เป็นต้น จากการสำรวจพบว่า มีกระจายอยู่ทั่วโลกประมาณ 12 ชนิด และสำรวจพบในประเทศไทย 2 ชนิด ได้แก่

หญ้าแฝกลุ่มหรือหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides*) มีการสันนิษฐานว่ามีถิ่นกำเนิดที่ประเทศอินเดีย และมีการนำมาเพาะขยายพันธุ์ไปปลูกในหลายพื้นที่ทั่วโลก ลักษณะสำคัญของหญ้าแฝกลุ่ม คือ กอเป็นพุ่ม ขนาดใหญ่ ใบยาวประมาณ 45-100 เซนติเมตร ตั้งตรงสูง สีของใบ ออกสีเขียวเข้ม เนื้อใบมีไขเคลือบมาก จึงค่อนข้างเหนียวนุ่ม ดอกมีสีอมม่วง ดอกย่อยไม่มีริยางค์แข็ง ส่วนรากยังลึกได้มากกว่า 1 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน นอกจากนี้รากก็ยังมีการกลิ่นหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเป็นสารพวก Alkaloids จึงทำให้หญ้าแฝกลุ่ม มีอีกชื่อหนึ่งว่าหญ้าแฝกหอมด้วย หญ้าแฝกลุ่มหรือแฝกหอม พบมีการปลูกในพื้นที่ลุ่มซึ่งมีความชุ่มชื้นและมีน้ำขังในประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 11 กลุ่ม คือ กำแพงเพชร 2 สงขลา 1 สงขลา 2 สงขลา 3 ตรัง 1 ตรัง 2 สุราษฎร์ธานี ศรีลังกา เชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน

หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis*) สันนิษฐานว่ามีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย ลาว เขมร และ เวียดนาม พบเจริญเติบโตอยู่ในธรรมชาติทั่วไป ลักษณะสำคัญ คือ กอ มีลักษณะเป็นพุ่ม รูปร่างใบยาว สอบปลายแหลม แต่ปลายใบจะโค้งลงเหมือนกอของต้นตะไคร้ กอไม่ตั้งตรงเช่นเดียวกับหญ้าแฝกลุ่ม ใบมีสีเขียวออกซีด และเนื้อใบจะมีไขเคลือบน้อย ทำให้ค่อนข้างสาก ส่วนของดอกมีหลายสี เช่น สีขาวครีม สีม่วง ดอกย่อยมีริยางค์แข็ง ส่วนของรากนั้นค่อนข้างสั้น ประมาณ 80-100 เซนติเมตร และไม่มีการกลิ่นหอม หญ้าแฝกดอน ส่วนใหญ่มักพบในพื้นที่ที่ ค่อนข้างแห้งแล้ง ในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 17 กลุ่ม คือ อุดรธานี 1 อุดรธานี 2 นครพนม 1 นครพนม 2

ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ เลย สระบุรี 1 สระบุรี 2 ห้วยขาแข้ง กาญจนบุรี นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี
จันทบุรี พิษณุโลก และกำแพงเพชร

หญ้าแฝกมีระบบรากที่มีขนาดใหญ่ และมีความพิเศษต่างจากรากของหญ้าทั่วไป จึงถูกนำมาใช้
ในการป้องกันหน้าดินได้อย่างดี กล่าวคือ ระบบรากของหญ้าทั่วไปเป็นลักษณะระบบรากฝอยแตก
ออกจากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออกแผ่กว้าง เพื่อยึดพื้นดินตามแนวนอน ส่วนระบบรากในที่เจริญใน
แนวตั้งนั้นไม่ลึกมาก ขณะที่ระบบรากหญ้าแฝก เป็นระบบรากฝอย มี 2 ขนาด คือ เส้นโตและเส้นเล็ก
ฝอยขนาดเล็ก เส้นโตจะเหนียวและแข็งแรงจะลงไปใต้ดินได้ลึก เส้นขนาดเล็กจะแตกแขนงออกมาจาก
เส้นใหญ่ สานกันคล้ายร่างแหช่วยยึดเกาะดินได้มั่นคง การปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการพังทลายของ
ดิน จะต้องปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวเดี่ยวตามแนวระดับขวางความลาดชันของพื้นที่เป็นช่วงๆ แถวของ
หญ้าแฝกจะต้องปลูกถี่ สำหรับกล้ารากเปลือยโดยต้องปลูกระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร นอกจากนี้เรา
ยังสามารถปลูกหญ้าแฝกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดินด้วยการปลูกเป็นแถวระหว่างพืชหรือไม้ผล
โดยปลูกหญ้าแฝกทุกแถวพืช หรือเว้น 1-2 แถว แล้วจึงปลูกหญ้าแฝก 1 แถว เป็นต้น แต่ถ้าปลูกเพื่อ
ปรับปรุงพื้นที่เสื่อมโทรม เช่น นาทุ่งร้าง อาจต้องอาศัยการปลูกเต็มทั้งพื้นที่มีระยะห่างระหว่างต้นและ
ระหว่างแถว 50 x 50 เซนติเมตร สำหรับการปลูกหญ้าแฝก ควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน เพราะจะทำให้
หญ้าแฝกตั้งตัวได้เร็ว การดูแลรักษาก็ไม่ยากนัก โดยรดน้ำ 15 วันต่อครั้งในช่วงฤดูแล้ง ใส่ปุ๋ยหมัก 1
ครั้งในช่วงต้นฤดูฝน และกำจัดวัชพืชตามความเหมาะสมเท่านั้น



รูปที่ 2.1 หญ้าแฝก

2.1.1 ลักษณะสำคัญ

- มีการแตกหน่อรวมเป็นกอ เบียดกันแน่น ไม่แผ่ขยายด้านข้าง
- มีการแตกหน่อและใบใหม่ ไม่ต้องดูแลมาก
- หน่อกิ่งมีข้อที่ลำต้นถี่ ขยายพันธุ์โดยใช้หน่อได้ตลอดปี
- ส่วนใหญ่ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ทำให้ควบคุมการแพร่ขยายได้
- มีใบยาว ตัดและแตกใหม่ง่าย แข็งแรงและทนต่อการย่อยสลาย
- ระบบรากยาว สานกันแน่น และช่วยอุ้มน้ำ
- บริเวณรากเป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์
- ปรับตัวกับสภาพต่าง ๆ ได้ดี ทนทานต่อโรคพืชทั่วไป
- ส่วนที่เจริญต่ำกว่าผิวดิน ช่วยให้อยู่รอดได้ดีในสภาพต่าง ๆ

2.1.2 การขยายพันธุ์

การขยายแม่พันธุ์ คือ การนำแม่พันธุ์หน่อกิ่งที่มีลักษณะดีมาทำการขยายเพิ่มปริมาณทั้งการปลูกลงดิน ปลูกลงถุงพลาสติกขนาดใหญ่ หรือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ส่วนการขยายพันธุ์กล้าหน่อกิ่งคือการนำหน่อที่ได้จากการขยายแม่พันธุ์มาเพาะชำ เพื่อนำไปปลูกในพื้นที่ ได้แก่ กล้าในถุงพลาสติกขนาดเล็ก และกล้าหน่อกิ่งแบบรากเปลือย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 การขยายแม่พันธุ์หน่อกิ่ง

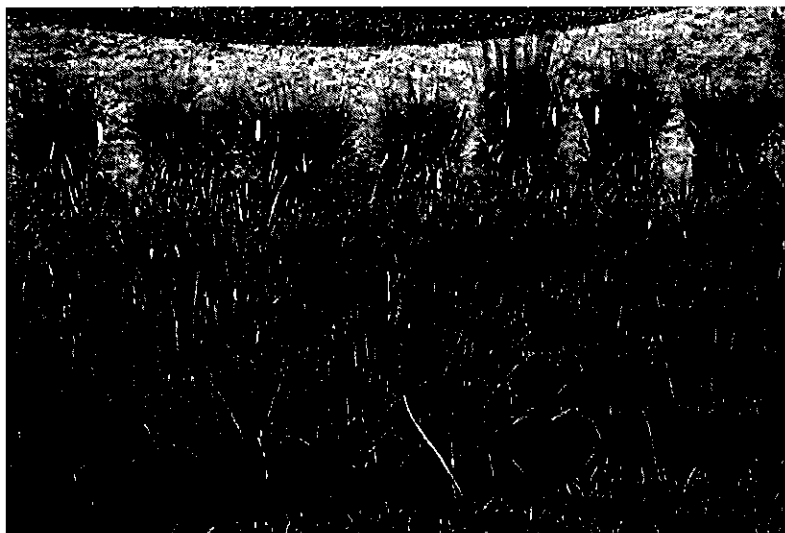
การขยายพันธุ์ในแปลงขนาดใหญ่ เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการชลประทานและระบายน้ำดี สามารถปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่ โดยไม่ต้องยกร่องก็ได้ การเตรียมต้นพันธุ์โดยแยกหน่อจากกอ นำมาตัดใบให้เหลือความยาว 20 เซนติเมตร และตัดรากให้สั้นแซ่ในระดับน้ำสูง 5 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 5-7 วัน รากจะแตกออกมาใหม่ นำไปปลูกโดยใช้ระยะปลูกห่างต้น 5 เซนติเมตร และระหว่างแถว 50 เซนติเมตร หลังจากปลูกต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ เมื่ออายุได้ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ต้นละ 1 ช้อนชา เมื่อถึงอายุ 4-6 เดือน ให้ขุดน้ำไปเพาะชำในถุงพลาสติก หรือเตรียมเป็นกล้ารากเปลือยสำหรับใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

การขยายพันธุ์ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ โดยวางเป็นแถวคู่ติดกันระยะห่างระหว่างแถวคู่ 1 เมตร ยาวตามพื้นที่ใช้วัสดุปลูกที่มีการระบายน้ำดี เช่น ดินร่วนทราย และขี้เถ้าแกลบ หรือขุยมะพร้าว ในสัดส่วน 1:2:1 การติดตั้งระบบน้ำพ่นฝอย หรือมีตาข่ายพรางแสง นำหน่อมาปักชำดูแล จนกระทั่งอายุ 4 เดือน จึงนำไปแยกหน่อเพาะชำต่อไป

2.1.2.2 การขยายกล้าหญ้าแฝกสำหรับใช้ปลูก

การเตรียมกล้าหญ้าแฝกในถุง โดยตัดรากให้สั้นและแยกหน่อจากกอตัดใบให้ยาว 10 เซนติเมตร นำมาล้างน้ำ มัดรวมกันวางลงบนขุยมะพร้าวที่ขึ้น หรือแช่ในระดับน้ำสูง 5 เซนติเมตร ในที่ร่มเงา 4 วัน แล้วจึงคัดหน่อที่ออกรากมาปักชำในถุงพลาสติกขนาดเล็ก (2x6 นิ้ว) และใส่วัสดุเพาะชำที่ระบายน้ำดีมีธาตุอาหารสมบูรณ์ ดูแลรดน้ำในสภาพเรือนเพาะชำ เมื่ออายุ 45-60 วัน ให้นำไปปลูกในพื้นที่ขณะที่ดินมีความชื้น

การเตรียมกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย โดยการแยกหน่อจากกอ ตัดใบให้ยาว 20 เซนติเมตร ตัดรากให้สั้น วางบนขุยมะพร้าวที่ขึ้น หรือแช่ในน้ำให้ท่วมราก จนกระทั่งรากงอกขึ้นมายาว 1-2 เซนติเมตร นานประมาณ 5-7 วัน จึงนำไปปลูกในช่วงต้นฤดูฝน และหลังจากปลูกดินควรมีความชื้นติดต่อกันอย่างน้อย 15 วัน



รูปที่ 2.2 การเตรียมกล้าหญ้าแฝกในถุง



รูปที่ 2.3 การเตรียมกล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย

2.1.3 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่เกษตรกรรม

สำหรับการปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่เกษตรกรรมมีจุดประสงค์ที่สำคัญเพื่อการฟื้นฟูทรัพยากรดิน และการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งประกอบด้วย

2.1.3.1 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ลาดชัน

ควรปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวตามแนวระดับขวางความลาดเทในต้นฤดูฝน โดยการทำแนวร่องปลูกตามแนวระดับ ใช้ระยะระหว่างต้น 5 เซนติเมตร สำหรับกล้ารากเปลือยและระยะ 10 เซนติเมตร สำหรับกล้าถุง ระยะห่างแถวตามแนวตั้งไม่เกิน 2 เมตร หญ้าแฝกจะเจริญเติบโตแตกกอชิดกันภายใน 4-6 เดือน



รูปที่ 2.4 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ลาดชัน

2.1.3.2 การปลูกเพื่อควบคุมร่องน้ำและกระจายน้ำ

นำกล้าหญ้าแฝกในถุงพลาสติกที่มีการแตกกอ และแข็งแรงดีแล้วไปปลูกในร่องน้ำ โดยชุดหลุมปลูกขวางร่องน้ำ เป็นแนวตรง หรือแนวหัวลูกศรชี้ย้อนไปทิศทางน้ำไหล อาจใช้กระสอบทรายหรือก้อนหิน ช่วยทำคันเสริมฐานให้มั่นคงตามแนวปลูกหญ้าแฝก ระยะห่างระหว่างต้น 5 เซนติเมตร สำหรับกล้ารากเปลือย และ 10 เซนติเมตร สำหรับกล้าถุง และระหว่างแนวปลูกหญ้าแฝกไม่เกิน 2 เมตร ตามแนวตั้งหลังจากเกิดคันดินกั้นน้ำ ควรปลูกหญ้าแฝกต่อจากแนวคันดินกั้นน้ำออกไปทั้งสองข้าง เพื่อเป็นการกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูก



รูปที่ 2.5 การปลูกเพื่อควบคุมร่องน้ำและกระจายน้ำ

2.1.3.3 การปลูกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นในสวนผลไม้

ควรปลูกหญ้าแฝกในสวนผลไม้ ระยะที่ไม้ผลยังไม่โต หรือปลูกก่อนที่จะลงไม้ผล โดยปลูกแถวหญ้าแฝกขนานไปกับแถวของไม้ผลที่ระยะกึ่งกลางของแถวไม้ผล หรือปลูกเป็นรูปครึ่งวงกลมให้ห่างจากโคนต้นไม้ผล 2.5 เมตร เพื่อไม้ผลเจริญเติบโตขึ้นมาคลุมพื้นที่ หญ้าแฝกจะตายไปกลายเป็นอินทรีย์วัตถุในดินต่อไป



รูปที่ 2.6 การปลูกเพื่อรักษาความชุ่มชื้นในสวนผลไม้

2.1.3.4 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดอนที่ปลูกพืชไร่

การปลูกหญ้าแฝกตามแนวระดับในพื้นที่ดอนที่ปลูกพืชไร่ โดยการขุดร่องปลูกตามแนวระดับ ระยะห่างระหว่างต้น 5 เซนติเมตร สำหรับกล้ารากเปลือย และ 10 เซนติเมตร สำหรับกล้าถุง ควรใช้ ปุ๋ยหมักรองพื้นก่อนปลูกหญ้าแฝก หรือปลูกหญ้าแฝกเป็นแนวระหว่างแถวปลูกพืชไร่ และควรปลูกใน สภาพดินที่มีความชุ่มชื้น ในช่วงต้นฤดูฝน



รูปที่ 2.7 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ดอนที่ปลูกพืชไร่

2.1.3.5 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม

ในสภาพพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม ที่มีการปรับสภาพเป็นแปลงยกร่องเพื่อปลูกพืชนั้น สามารถ ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวรอบขอบเขตพื้นที่ หรือปลูกที่ขอบแปลงยกร่องหญ้าแฝก จะช่วยยึดดินไม่ให้ พังทลาย และรักษาความชื้นในดินเอาไว้



รูปที่ 2.8 การปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม

2.1.3.6 การปลูกรอบขอบสระเพื่อกรองตะกอนดิน

ควรปลูกตามแนวที่ระดับน้ำสูงสุดท่วมถึง 1 แนว และปลูกเพิ่มขึ้นอีก 1-2 แนวเหนือแนวแรก ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของขอบสระ ระยะห่างระหว่างต้น 5 เซนติเมตร สำหรับกล้ารากเปลือย และ 10 เซนติเมตร สำหรับกล้าถุง โดยขุดหลุมปลูกต่อเนื่องกันไป ในระยะแรกควรดูแลปลูกซ่อมแซมให้แถว หญ้าแฝกเจริญเติบโตหนาแน่น เมื่อน้ำไหลปามาลงสระ ตะกอนดินที่ถูกพัดพามากับน้ำ จะติดค้างอยู่กับแถวหญ้าแฝก ส่วนน้ำจะค่อย ๆ ไหลผ่านลงสู่สระ และระบบรากของหญ้าแฝกยังช่วยยึดติดดินรอบ ๆ ขอบสระไม่ให้เกิดการพังทลาย



รูปที่ 2.9 การปลูกรอบขอบสระเพื่อกรองตะกอนดิน

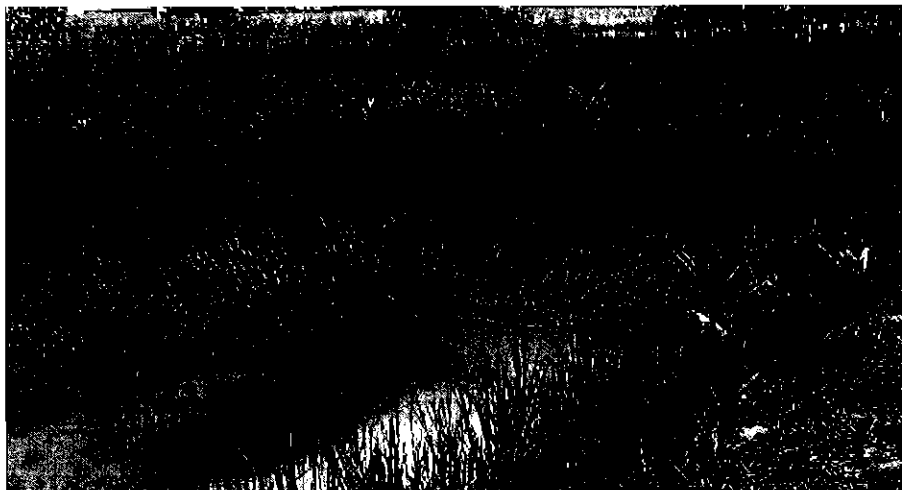
2.2 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ

2.2.1 เพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน

รากหญ้าแฝกจะหยั่งลึกลงไปใต้ดินอาจถึง 3 เมตร หญ้าแฝกมีรากแกนและรากแขนงอวบใหญ่ จึงทำให้เกาะยึดดิน ซึ่งสามารถป้องกันการพังทลายของดินได้

2.2.2 เพื่อกักเก็บน้ำไว้ในดิน

การปลูกเป็นแถวตามระดับขวางความลาดชัน เพื่อชะลอความเร็วของน้ำ และดักตะกอนดิน ส่วนน้ำจะไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่างได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มความชุ่มชื้นในดิน



รูปที่ 2.10 การปลูกหญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำ

2.3 การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกด้านสิ่งแวดล้อม

2.3.1 การดูดซับโลหะหนักจากดินปนเปื้อน

รากหญ้าแฝกยังสามารถดูดซับสารเคมีและโลหะหนักบางอย่างได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชเก็บไว้ในต้นหญ้าแฝก

2.3.2 การบำบัดและกรองน้ำเสีย

รากของหญ้าแฝกสามารถดูดซับน้ำเสียที่ไหลผ่านในอัตราที่คงที่ที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมี การนำหญ้าแฝกไปปลูกเพื่อรักษาสภาพแวดล้อม เช่น ปลูกหญ้าแฝกรอบขอบบ่อบำบัดน้ำทิ้ง



รูปที่ 2.11 การปลูกหญ้าแฝกเพื่อประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

2.4 การดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

2.4.1 วัสดุดูดซับ

2.4.1.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ หรืออินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี วัตถุดิบที่ใช้ผลิตจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจเป็นอินทรีย์วัตถุหรือถ่านก็ได้ อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบแบ่งได้ ดังนี้

- สารเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชี้เลื่อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น
- ถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ (Lignite) พีท (Peat) บิทูมินัส (Bituminous) เป็นต้น
- วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดุก เป็นต้น

ส่วนถ่านที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปจะเป็นถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุถ่านธรรมชาติ เช่น กราไฟต์ แอนทราไซต์

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี วัตถุประสงค์หลัก คือ กระตุ้นให้ถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ในปัจจุบันมักใช้วิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การกระตุ้นอาจใช้สารที่มีคุณสมบัติดูดน้ำ (Dehydrating agent) เช่น สังกะสีคลอไรด์ (Zinc chloride) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดผง และชนิดเม็ด ชนิดผงผลิตจากชี้เลื่อยเป็นส่วนใหญ่ มีรูพรุนเล็กกว่า โดยนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลว ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป สารทำความสะอาด เป็นต้น การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ไชและน้ำมันทั้งพืชและสัตว์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และผงชูรส เป็นต้น ส่วนชนิดเม็ดยังผลิตจากกะลามะพร้าว ถ่านหิน มีรูพรุนค่อนข้างใหญ่ ใช้ในการดูดก๊าซและไอ ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษการปรับอากาศ บุหรี่ การผลิตน้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น

2.4.1.2 ซีโอไลต์

สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอมเท่ากับ 1×10^{-10} เมตร) นอกจากซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้

ประโยชน์การดูดซับ การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับนั้น ใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (Dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) และ การแยกสาร (Seperation) ซึ่งซีโอไลต์นั้นมีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่าง อันเป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบางโมเลกุล ส่วนการทำให้แห้งนั้น เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถเกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ กล่าวคือ เมื่อมีการให้ความร้อน น้ำก็จะระเหยออกไปหมด แต่เมื่อซีโอไลต์เหล่านี้สัมผัสกับไอน้ำอีกครั้ง ก็สามารถดูดซับน้ำได้อีก หรืออาจนำไปใช้ดูดซับสารอื่นแทน เช่น ก๊าซไอโอดีน ตะกั่ว หรือแอมโมเนีย แบบย้อนกลับได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังใช้ในการแยกก๊าซ ซึ่งโมเลกุลของก๊าซต่างชนิดจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปฏิกิริยาทางไฟฟ้าสถิตกับอออนโลหะ ในทางกลับกัน ซีโอไลต์บางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่จะดูดซับเฉพาะโมเลกุลอินทรีย์เท่านั้น

2.4.2 กลไกการดูดซับ

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลาย หรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่างๆทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ ของแข็ง ซึ่งมิได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบของเหลว-ของแข็ง ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือ

น้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

2.4.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อน ทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.4.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม หรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบขั้นเดียวเท่านั้น

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.3.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกได้ถึงความสามารถในการดูดซับ โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตัวดูดซับลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

2.4.3.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำของโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับ ซึ่งมีแนวโน้มว่าการดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับจะลดลงเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้ดี เพราะว่าก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำ เพื่อให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับหลุดออกจากน้ำไปเกาะพื้นผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง จึงมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับมากขึ้น

2.4.3.3 อัตราเร่งการปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการขนส่งโมเลกุลของระบบ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม และการแพร่เข้าสู่โพรง ซึ่งแล้วแต่การปั่นกววนของระบบ ถ้าการปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าการปั่นกววนสูงจะทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว การแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นขั้นตอนในการกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.4.3.4 อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับลดลง

2.4.3.5 ความเป็นกรด-เบส

ผลของความเป็นกรด-เบสต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นผิวของตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรดต่ำส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเพิ่มขึ้น และเมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มี OH^- บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น และความสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น แต่ถ้าสารละลายมีความเป็นกรด-เบส มากกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ และโลหะไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง

2.4.3.6 ขนาดของสารที่ถูกดูดติดบนผิวของคาร์บอน

ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของคาร์บอน จากการวิจัยพบว่า การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย (พอดีเขาไปในโพรงได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเขาไปบ้าง

2.5 ไอโซเทอมการดูดซับ

2.5.1 แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

ในปี ค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐาน คือ

- ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)
- โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน และมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน
- ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ 2.1 หรือ 2.2

$$q_e = \frac{Q^\circ b C_e}{(1 + b C_e)} \quad 2.1$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b Q^\circ} + \frac{C_e}{Q^\circ} \quad 2.2$$

- เมื่อ
- q_e = ปริมาณของสารถูกดูดซับบนสารดูดซับหนักหนึ่งกรัม
 - C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
 - Q° = ปริมาณของสารถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว
 - b = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกน $\frac{C_e}{q_e}$ เป็น $\frac{1}{b Q^\circ}$ และมีความชันเท่ากับ $\frac{1}{Q^\circ}$

2.5.2 แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ลิช

ในปี ค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมี ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดังสมการ 2.3

$$q_e = \frac{x}{m} = k_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad 2.3$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล
 $\frac{X}{m}$ = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
 k_f และ n = ค่าคงที่ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากสมการฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log \frac{X}{m} = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad 2.4$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log \frac{X}{m}$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟเป็น $\frac{1}{n}$ บางกรณีทีพล็อตกราฟระหว่าง $\log \frac{X}{m}$ กับ $\log C_e$ แล้วไม่ได้เส้นตรง แสดงว่าเกิดการเบี่ยงเบน ไปจากสมการของฟรุนดลิช เช่น การดูดซับสารละลายที่ไม่ได้วัดจากน้ำหนักจริงของสารดูดซับ แต่ค่าจากสารถูกดูดซับในตัวทำละลายปริมาณมาก ทำให้สารถูกดูดซับที่เหลือที่ความเข้มข้นสูงจึงมีปริมาณลดลง

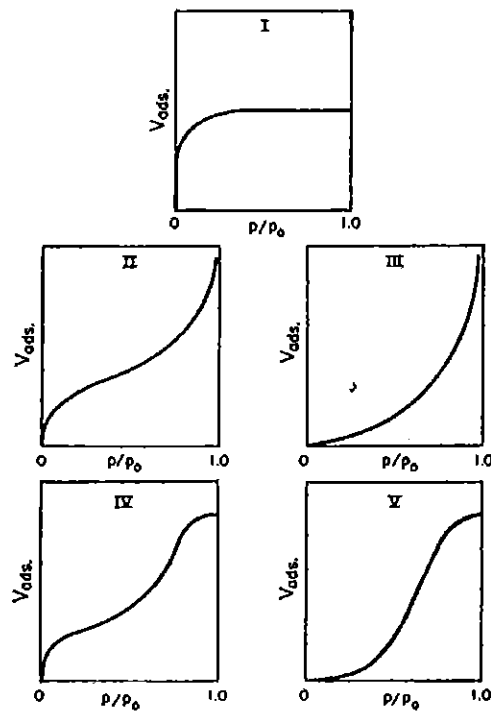
2.5.3 แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับบีอีที

ในปี ค.ศ. 1903-1986 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน Stephen Brunauer และ ในปี ค.ศ. 1900-1985 Paul Emmett และ Edward Teller ได้ศึกษาการดูดซับหลายชั้นและเสนอดังสมการ 2.5

$$P \frac{P_0}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_0 k} + \frac{P}{P_0} \quad 2.5$$

เมื่อ P = ความดันสมดุลของสารถูกดูดซับ
 V = ปริมาตรที่ถูกดูดซับที่ความดัน
 V_0 = ปริมาตรที่ถูกดูดซับเพื่อให้เกิดเป็นชั้นเดียว
 P_0 = ความดันไออิ่มตัวของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ
 k = ค่าคงที่

Brunauer-Emmett-Teller ได้แบ่งลักษณะไอโซเทอมออกเป็น 5 แบบ ดังรูป 2.12 ซึ่งอธิบายการดูดซับแต่ละแบบดังนี้



รูป 2.12 ไอโซเทอมของการดูดซับแบบต่างๆ ของ Brunauer-Emmett-Teller ในระบบก๊าซ

แบบ I เป็นไอโซเทอมของการดูดซับที่สารดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มากการบรรจุโมเลกุลลงในรูขนาดเล็กของสารดูดซับนี้ได้อย่างสมบูรณ์ และมีการอึดตัวที่แน่นอนโดยเกิดการเรียงเป็นชั้นเดียว

แบบ II และ III เป็นไอโซเทอมที่สารดูดซับที่การกระจายขนาดรูพรุนในช่วงกว้างในระบบนี้เกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากการเรียงตัวโมเลกุลเพียงชั้นเดียว จนถึงโมเลกุลหลายชั้น โดยในแบบที่ III จะมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวสารดูดซับมากกว่า

แบบ II และ IV เป็นไอโซเทอมของการดูดซับ ที่มีรูพรุนใหญ่กว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับมาก จึงเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลที่ผิวของสารดูดซับเป็นสองชั้น

แบบ V เป็นไอโซเทอมที่เกิดขึ้น เมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับมีความแรงมากขึ้น

2.5.4 แบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับของ Temkin MO Memoir

อัตราการดูดซับ (adsorption rate) บนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับ

- ความดันของแก๊ส (P) เหนือผิวของแข็งนั้น ถ้า P มีค่ามาก อัตราการดูดซับก็จะมากตามไปด้วย
- สัดส่วนพื้นที่ผิวของของแข็งที่ยังว่างอยู่ (พื้นที่ที่ยังไม่มีโมเลกุลแก๊สลงไปเกาะ) ซึ่งเท่ากับ $(1 - \theta)$
- พลังงานกระตุ้นของการดูดซับ ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ $(k_{ads} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}})$

$$r_{ads} = P(1 - \theta)k_{ads} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}} \quad (2.6)$$

อัตราการคายซับ (desorption rate) บนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับ

- สัดส่วนพื้นที่ผิวของของแข็งที่มีโมเลกุลแก๊สปกคลุมอยู่ (θ) และ
- ค่าคงที่ของการคายซับ ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ $(\theta k_{des} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}})$

$$r_{des} = \theta \cdot k_{des} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}} \quad (2.7)$$

ที่ภาวะสมดุลนั้นอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ หรือ สมการ (2.6) = สมการ (2.7) จะได้ว่า

$$P(1 - \theta)k_{ads} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}} = \theta \cdot k_{des} e^{-\frac{E_{ads}}{RT}} \quad (2.8)$$

จัดรูปแบบสมการที่ 2.8 ใหม่

$$P = \frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot \frac{\theta}{(1 - \theta)} \cdot e^{-\frac{(E_{des} - E_{ads})}{RT}}$$

กำหนดให้ $\Delta H_{ads} = E_{des} - E_{ads}$ (2.9)

แทนค่าจาก (2.9) ลงใน (2.8) จะได้ว่า

$$P = \frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot \frac{\theta}{(1 - \theta)} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads}}{RT}} \quad (2.10)$$

กำหนดให้
$$\frac{1}{K} = \frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads}}{RT}} \quad (2.11)$$

จะได้
$$P = \frac{1}{K} \cdot \frac{\theta}{(1-\theta)} \quad (2.12)$$

หรือ
$$\theta = \frac{KP}{(1+P)} \quad (2.13)$$

สมการที่ (10) ก็คือแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir นั่นเอง

ในกรณีที่ค่า θ มีค่าต่ำนั้นพบว่าค่า ΔH_{ads} ค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อ θ เพิ่มขึ้นมีการสังเกตว่า ΔH_{ads} มีแนวโน้มที่จะลดลง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการที่ตำแหน่งดูดซับบนพื้นผิวนั้นมีความแตกต่างกันอยู่และเกิดจากการมีแรงกระทำกันระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวและโมเลกุลที่กำลังจะถูกดูดซับบนพื้นผิว (ตอนที่ Langmuir นำเสนอไอโซเทอมการดูดซับของเขาในปีค.ศ. ๑๙๑๖ นั้น ภาพโครงสร้างอะตอมยังไม่มี ความชัดเจน กลศาสตร์ควอนตัมยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา)

ในปี ค.ศ. ๑๙๔๐ Mikhail Temkin จึงได้นำเสนอแบบจำลองการดูดซับโดยกำหนดให้ค่า ΔH_{ads} ลดลงแบบเชิงเส้นตามค่า θ ที่เพิ่มขึ้นตามสมการ

$$\Delta H_{ads} = \Delta H_{ads,0}(1 - a\theta) \quad (2.14)$$

เมื่อ $\Delta H_{ads,0}$ คือ ค่าความร้อนของการดูดซับที่ค่า θ ใดๆ และ $\Delta H_{ads,0}$ คือค่าความร้อนของการดูดซับที่ค่า θ เป็นศูนย์

ทำการแทนสมการที่ (2.14) ลงในสมการที่ (2.10) จะได้

$$P = \frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot \frac{\theta}{(1-\theta)} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}(1-a\theta)}{RT}} \quad (2.15)$$

$$P = \left(\frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT}} \right) \cdot \frac{\theta}{(1-\theta)} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}a\theta}{RT}} \quad (2.16)$$

จากนั้นทำการ take logarithm ทั้งสองข้างของสมการที่ (2.16)

$$\ln P = \ln \left(\frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT}} \right) + \ln \frac{\theta}{(1-\theta)} + \left(\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT} \cdot a \right) \theta \quad (2.17)$$

ที่อุณหภูมิคงที่จะเห็นว่าพจน์แรกทางด้านขวาของสมการที่ (2.17) นั้นไม่ขึ้นกับค่า θ และถือได้ว่าเป็นค่าคงที่ และค่า \ln ของพจน์ที่สองนั้นเปลี่ยนจาก -1.39 (ที่ค่า $\theta = 0.2$) ไปเป็น 1.39 (ที่ค่า $\theta = 0.8$) ซึ่งพอจะประมาณได้ว่าเปลี่ยนแปลงไม่มาก ทำให้สามารถยุบรวมพจน์แรกและพจน์ที่สองเข้าด้วยกันและถือว่าเป็นค่าคงที่ และค่าในวงเล็บของพจน์ที่สามทางด้านขวานั้นก็เป็นค่าคงที่เช่นกัน

ดังนั้นเราจะสามารถจัดสมการที่ (2.17) ใหม่ได้ดังนี้

$$\theta = \left(\frac{1}{\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT'} \cdot a} \right) \cdot \left(\ln P - \left(\ln \left(\frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT'}} \right) + \ln \frac{\theta}{(1-\theta)} \right) \right) \quad (2.18)$$

$$\text{กำหนดให้ } A = \left(\frac{1}{\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT'} \cdot a} \right) \quad (2.19)$$

$$\text{และ } \ln B = - \left(\ln \left(\frac{k_{des}}{k_{ads}} \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ads,0}}{RT'}} \right) + \ln \frac{\theta}{(1-\theta)} \right) \quad (2.20)$$

ดังนั้นสมการที่ (2.18) จะกลายเป็น

$$\theta = A \cdot \ln(BP) \quad (2.21)$$

สมการที่ (2.21) คือ ไอโซเทอมการดูดซับของ Temkin ถ้าพิจารณาเทียบกับไอโซเทอมไอโซเทอมการดูดซับของ Temkin นั้นสามารถนำไปใช้ได้กับการดูดซับทางเคมี (chemisorption) เนื่องจากในสมการนั้นมีการพิจารณาถึงพลังงานกระตุ้นของการดูดซับด้วย

2.5.5 ตัวอย่างการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอมในวัสดุดูดซับต่างๆ

นายวินทร์ สุทธะนันท์ และ ผศ. โกวิทย์ ปิยะมิ่งคลา ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยใช้กลบตัดแปร พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิของสีย้อมเมทิลีนบลูมีผลต่อการดูดซับ โดยไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับสมการฟรุนดลิช

นางสาวจันทนา ไพรบูรณ์ นายโสรดากรณ์ พิมลา นางสาวมัทธิยา แผละเหย็บ และนางสาวอนงค์ จีรภัทร ศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับของสาหร่ายเพิ่มขึ้น โดยที่ไอโซเทอมของการดูดซับสอดคล้องกับสมการฟรุนดิชมากกว่าสมการแลงค์เมียร์

2.6 จลนศาสตร์ของการดูดซับ

2.6.1 ปฏิกริยาอันดับ 1 (First-order kinetic)

คือ ปฏิกริยาที่อัตราการเกิดปฏิกริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง สมการ first-order kinetic แสดงได้ ดังสมการ 2.26

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad 2.26$$

อินทิเกรตสมการ 2.26 ที่สภาวะ $t = 0$ ถึง $t = t$ และ $q_t = 0$ ถึง $q_t = q_t$ สมการเส้นตรงของ Pseudo-first order แสดงได้ดังสมการ 2.27

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(kt \frac{1}{2.303}\right) \quad 2.27$$

เมื่อ q_t = ความสามารถในการดูดที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 k_1 = ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง (ต่อนาที)
 t = เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที)

นำข้อมูลมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t จะได้กราฟเส้นตรง ค่าคงที่อัตราเร็วของ Pseudo-first order (k_1) หาได้จากความชันของเส้นตรง ในขณะที่การคำนวณความสามารถในการดูดซับ (q_e) จากสมการ Pseudo-first order หาได้จากจุดตัดของสมการเส้นตรง

2.6.2 ปฏิกริยาอันดับ 2 (Second-order kinetic)

คือ ปฏิกริยาที่อัตราการเกิดปฏิกริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด แต่ละชนิดยกกำลังหนึ่ง สมการ Second-order kinetic แสดงในสมการ 2.28

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad 2.28$$

อินทิเกรตสมการที่ 2.28 ที่เวลา $t = 0$ ถึง $t = t$ และ $q_t = 0$ ถึง $q_t = q_t$ สมการเส้นตรงของ Pseudo-second order แสดงดังสมการ 2.29

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 q_e^2}\right) + \left(\frac{t}{q_e}\right) \quad 2.29$$

เมื่อ $k_2 =$ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที)

นำข้อมูลมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{t}{qt}$ กับ t จะได้กราฟเส้นตรง มีค่าความชันเป็น $\frac{1}{qe}$ และจุดตัดแกนตั้ง สามารถหาค่าคงที่ k_2 ของสมการ Pseudo-second order นำข้อมูลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นและการดูดซับ

2.6.3 ตัวอย่างการศึกษาจลนศาสตร์ในวัสดุดูดซับต่างๆ

นายวิรินทร์ สุทธะนันท์ และ ผศ. โกวิทย์ ปิยะมังคลา ศึกษาเรื่องจลนศาสตร์และเทอร์โมเคมี การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปร พบว่าการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second Order อธิบายได้ว่าเป็นการดูดซับทางเคมีที่ใช้อิเล็กตรอน ร่วมกันระหว่างแกลบดัดแปรและสีย้อมเมทิลีนบลู

นางสาวจันทนา ไพรบูรณ์ นายโศรดากรณ์ พิมลา นางสาวมัทรียา แทะเหย็บ และนางสาวอนงค์ จีรภัทร ศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิกโดยใช้มวลชีวภาพจากสาหร่ายเป็นตัวดูดซับ พบว่าที่ความเป็นกรด-เบสของสีย้อมเท่ากับ 6 จะให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมสูงสุด 21.47 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีจลนศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second order มากกว่า Pseudo-first order

17196738



สำนักหอสมุด

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการงาน

12 ต.ค. 2560

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.2.1 กรรไกร
- 3.1.2.2 ถังน้ำขนาด 10 ลิตร
- 3.1.2.3 เครื่องปั่น
- 3.1.2.4 ปีกเกอร์
- 3.1.2.5 เตาเผาความร้อนสูง (สามารถควบคุมอุณหภูมิได้)
- 3.1.2.6 ตะแกรงร่อนขนาด 212 ไมโครเมตร และ 106 ไมโครเมตร
- 3.1.2.7 เครื่องชั่ง
- 3.1.2.8 ถ้วยเซรามิกทนความร้อน
- 3.1.2.9 ครกบด
- 3.1.2.10 เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กและให้ความร้อน
- 3.1.2.11 แม่เหล็ก
- 3.1.2.12 กระดาษกรอง
- 3.1.2.13 เครื่องกรองสุญญากาศ
- 3.1.2.15 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)
- 3.1.2.16 ขวดปรับปริมาตร
- 3.1.2.17 ปีเปต
- 3.1.2.18 ลูกยาง
- 3.1.2.19 เครื่องสั่นความถี่สูง (Ultrasonic bath)

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 เมทิลีนบลู

3.2 การสังเคราะห์น้ำสีเมทิลีนบลู

- 3.2.1 ชั่งผงสีเมทิลีนบลู ปริมาณ 3, 10, 20, 50 และ 100 มิลลิกรัม
- 3.2.2 ละลายในน้ำปราศจากไอออน 1 ลิตร คนจนผงสีละลายหมด

3.3 การสังเคราะห์วัสดุพูนจากหญ้าแฝก

3.3.1 นำใบหญ้าแฝกมาทำความสะอาด

3.3.2 ตัดใบหญ้าแฝกเป็นชิ้นเล็กๆ ความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร

3.3.3 นำใบหญ้าแฝกที่ตัดแล้วมาปั่นละเอียด

3.3.4 อบด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.3.5 นำใบหญ้าแฝกที่อบแล้วมาปั่นละเอียดเพื่อให้ได้ผงสำหรับเตรียมวัสดุสังเคราะห์ และนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 212 ไมโครเมตร

3.3.6 นำมาร่อนอีกครั้งด้วยตะแกรง ขนาด 106 ไมโครเมตร เพื่อนำผงที่ติดบนตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตรมาเตรียมสังเคราะห์

3.3.7 จากนั้นนำหญ้าที่ได้มาเผาที่อุณหภูมิ 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้วัสดุดูดซับจากใบหญ้าแฝก

3.3.7 นำวัสดุดูดซับที่ได้ใส่ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 30 นาที แรงสั่นระดับ Normal ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3.3.8 นำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยผ่านกระดาษกรอง GF/C

3.3.9 นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 110 องศาจนแห้ง

3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับ

3.4.1 เตรียมน้ำสีเมทิลีนบลูความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ 6 อัน

3.4.2 นำวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ปริมาณ 0.02 กรัม ลงในบีกเกอร์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

3.4.3 ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที

3.4.4 นำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยผ่านกระดาษกรอง GF/C

3.4.5 นำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

3.5 การวิเคราะห์และคำนวณ

3.5.1 ความชื้น (Moisture)

นำหญ้าไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นความคำนวณตามสมการที่ 3.1

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหญ้าหลังเผา})}{\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา}} \times 100 \quad 3.1$$

3.5.2 ของแข็งระเหยได้ (Volatile matter)

นำหญ้าแห้งไปเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นความคำนวณตามสมการที่ 3.2 (Katesa *et al.*, 2013)

$$\% \text{ของแข็งระเหยได้} = \frac{(\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหญ้าหลังเผา } 850^{\circ}\text{C})}{\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา}} \times 100 \quad 3.2$$

3.5.3 ซี้เถ้า (Ash)

นำหญ้าจากข้อ 3.5.2 มาเผาต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นาที และทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นความคำนวณตามสมการที่ 3.3 (Katesa *et al.*, 2013)

$$\% \text{ซี้เถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักหญ้าหลังเผา } 800^{\circ}\text{C จนน้ำหนักคงที่})}{\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา } 850^{\circ}\text{C}} \times 100 \quad 3.3$$

3.5.4 คาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)

คำนวณตามสมการที่ 3.4 (Katesa *et al.*, 2013)

$$\% \text{คาร์บอนคงที่} = (100 - \% \text{ของแข็งระเหย} - \% \text{ซี้เถ้า}) \quad 3.4$$

3.5.5 ปริมาณวัสดุติดซิปที่สังเคราะห์ได้ (Yield)

คำนวณตามสมการที่ 3.5

$$\% \text{วัสดุติดซิปที่สังเคราะห์ได้} = \frac{\text{น้ำหนักหญ้าหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ}}{\text{น้ำหนักหญ้าก่อนเผา}} \times 100 \quad 3.5$$

3.5.6 ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)

คำนวณตามสมการที่ 3.6

$$\% \text{การกำจัด} = \frac{(\text{ความเข้มข้นน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นน้ำออก})}{\text{ความเข้มข้นน้ำเข้า}} \times 100$$

3.6

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในการศึกษาโครงการนี้เป็นการนำหญ้าแฝก ซึ่งจัดเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์วัสดุดูดซับ โดยจะนำใบหญ้าแฝกแห้งมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความพรุน (วัสดุดูดซับ) จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับ ตลอดจนไอโซเทอมและจลนศาสตร์ของการดูดซับ

4.1 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

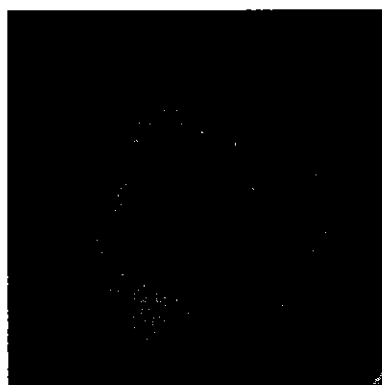
ใบหญ้าแฝกที่ใช้ในการทดลองนี้ ปลูกในพื้นที่ตำบล ชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยได้รับการสนับสนุนจากคุณ นายเฉลา บดีรัฐ และเครือข่ายหญ้าแฝกภาคเหนือตอนล่าง เมื่อนำใบหญ้าแฝกสดไปเผาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น พบว่าใบหญ้าแฝกมีความชื้นคิดเป็น 19.17 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของใบหญ้าแฝกแห้ง ประกอบด้วยของแข็งระเหย 94.4 เปอร์เซ็นต์ (ของแข็งระเหยได้ หรือ Volatile Matters สารที่เมื่อทำการเผาจะกลายเป็นแก๊สหรือควันแล้วระเหยไป) คาร์บอนคงที่ 1.0 เปอร์เซ็นต์ (คาร์บอนคงที่ หรือ Fixed Carbon คือ ปริมาณของสารประกอบของคาร์บอนที่ไม่รวมซี้เถ้า จากสารอินทรีย์นั้นหลังจากที่สารระเหยถูกออกไปแล้ว) และซี้เถ้า 4.6 เปอร์เซ็นต์ (ซี้เถ้า หรือ Ash คือ ส่วนของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยไม่สามารถเผาไหม้ต่อได้แล้ว) (ตารางที่ 4.1)

เมื่อนำใบหญ้าแฝกแห้งไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้วัสดุดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า วัสดุดูดซับจะมีสีเข้มเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำ และสีจะจางลง (หรือเป็นสีเทา) เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้อุณหภูมิในการเผายังมีผลต่อสัดส่วนของของแข็งระเหยและซี้เถ้าในวัสดุดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส สัดส่วนของแข็งระเหยได้มีค่าเท่ากับ 94.4 เปอร์เซ็นต์ และซี้เถ้าเท่ากับ 4.6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สัดส่วนของแข็งระเหยได้ลดลงเป็น 30.3 เปอร์เซ็นต์ และลดลงอย่างต่อเนื่องเหลือ 15.3, 11.5, 4.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 400 600 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ซี้เถ้าเพิ่มขึ้นจาก 15.3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็น 99.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

ที่สำคัญอุณหภูมิในการเผาที่ผลต่อปริมาณวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ (รูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่าเมื่อสังเคราะห์วัสดุดูดซับที่อุณหภูมิสูง ปริมาณวัสดุดูดซับที่ได้จะน้อยลง ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณของแข็งระเหยได้หายไปนั่นเอง โดยเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์วัสดุดูดซับสังเคราะห์ที่ได้คิดเป็น 26.51 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหญ้า เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ปริมาณวัสดุดูดซับสังเคราะห์ที่ได้คิดเป็น 7.24 เปอร์เซ็นต์ และคงที่ประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 600-1000

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของใบหญ้าแฝกแห้ง

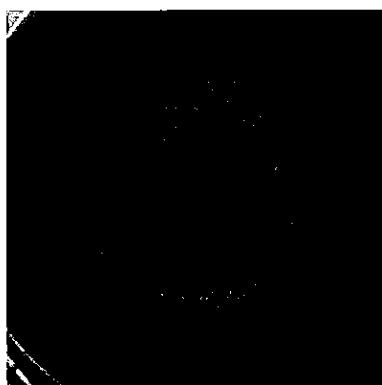
องค์ประกอบ	% น้ำหนัก
ของแข็งระเหย	94.4
คาร์บอนคงที่	1.0
ซีลีไฟ	4.6



(ก)



(ข)



(ค)

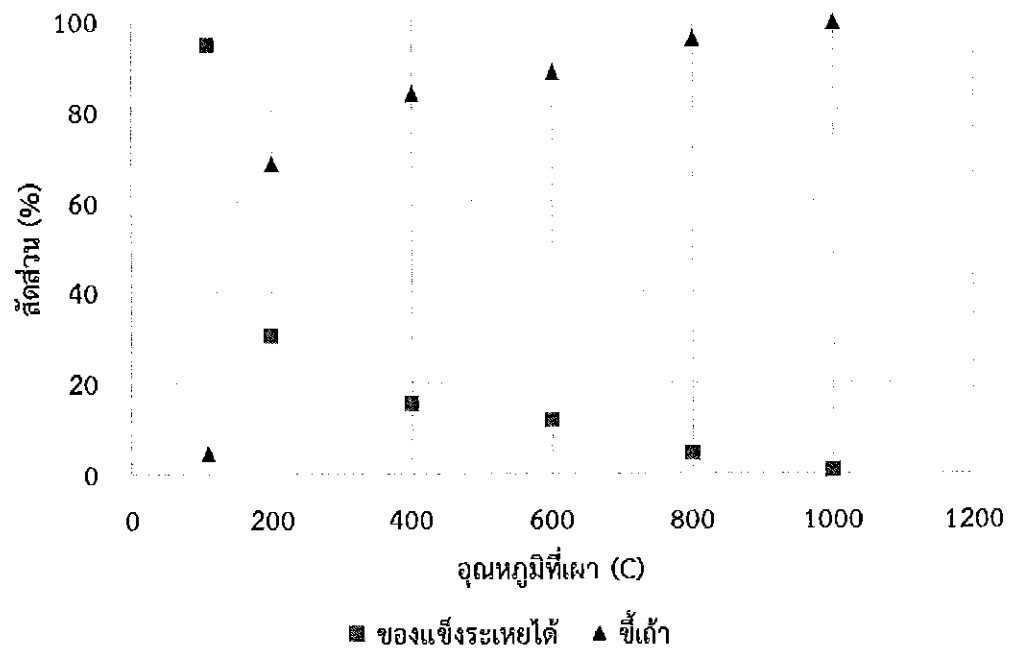


(ง)

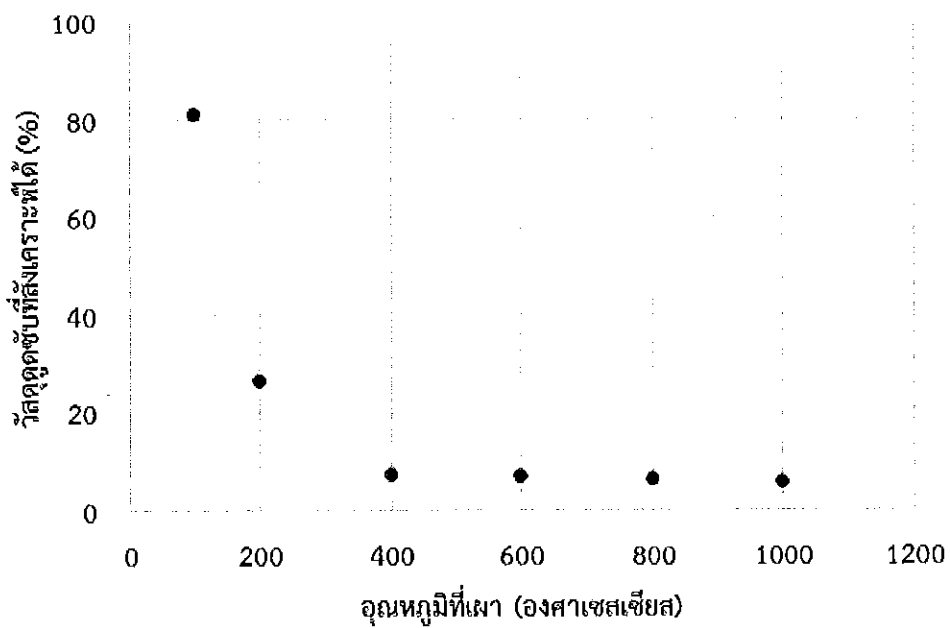


(จ)

รูปที่ 4.1 วัสดุตัดซ้ำที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ (ก) 200 องศาเซลเซียส (ข) 400 องศาเซลเซียส (ค) 600 องศาเซลเซียส (ง) 800 องศาเซลเซียส (จ) 1000 องศาเซลเซียส



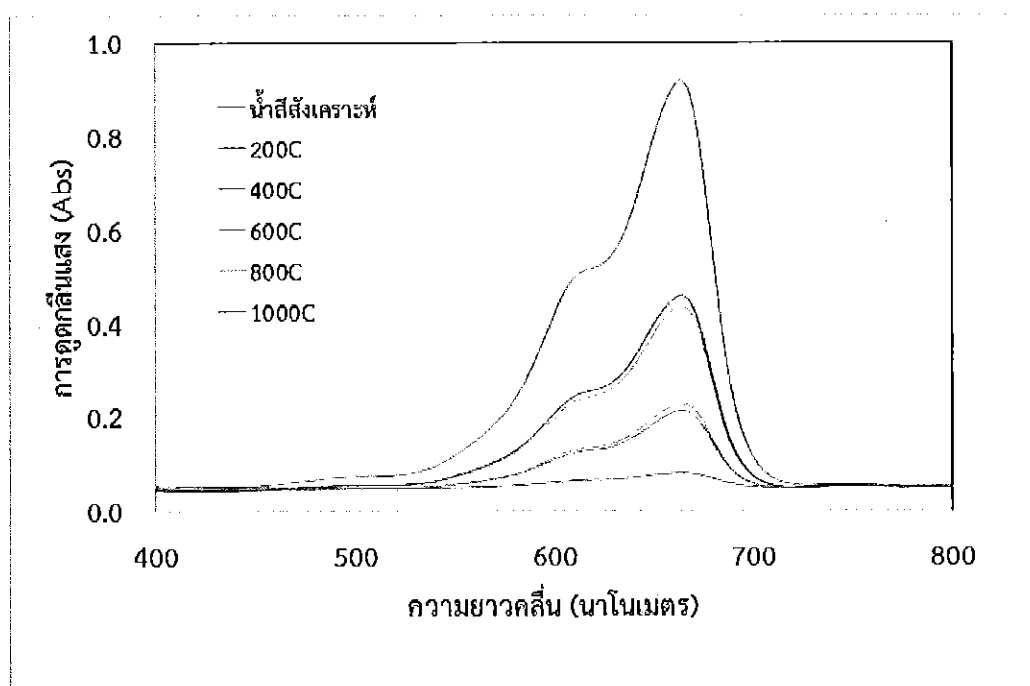
รูปที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของแข็งระเหยได้และซีเมนต์ของวัสดุดูดซับ เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ



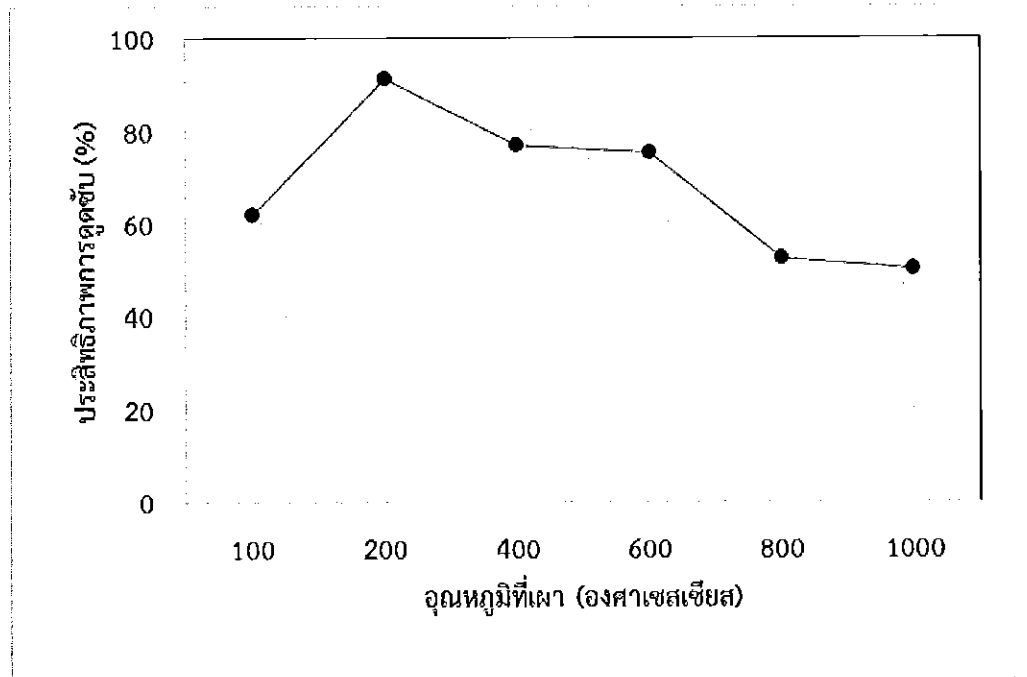
รูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้ เมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

4.2 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ

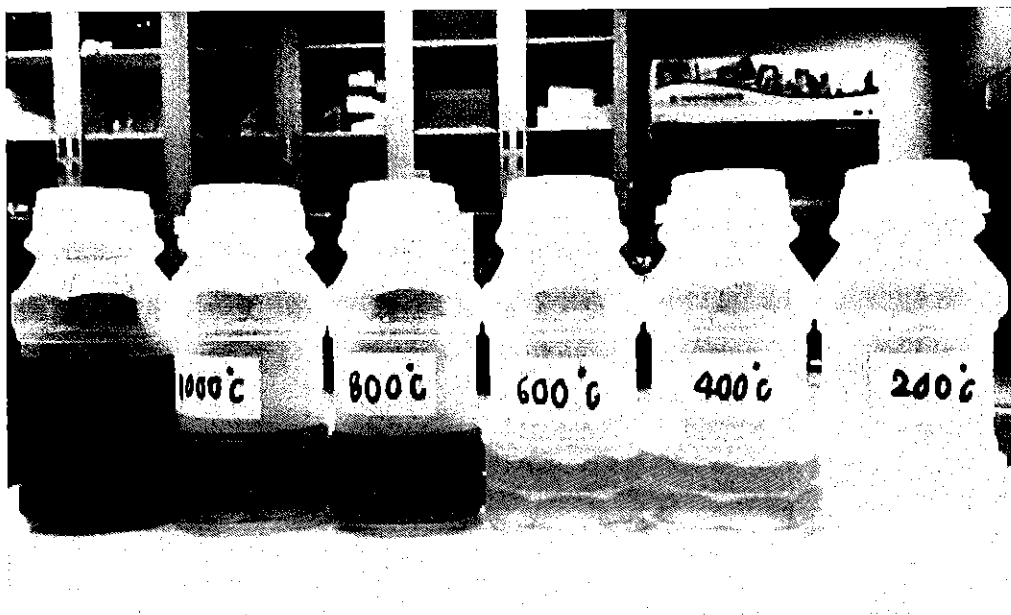
เมื่อนำน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลู ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงช่วง 400-800 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร จะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 0.9182 Abs (รูปที่ 4.4) จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้วัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่ 200 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตรของน้ำสีสังเคราะห์ลดลงจาก 0.9182 เหลือ 0.0801 Abs คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 91.3 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.5) ซึ่งน้ำสีสังเคราะห์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นใสและไม่สี (รูปที่ 4.6) เมื่อใช้วัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่ 400 และ 600 องศาเซลเซียส ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร ลดลงเหลือประมาณ 0.2208 Abs คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 75-76 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการบำบัดน้อยที่สุด 50-52 เปอร์เซ็นต์ พบเมื่อใช้วัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่ 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ดังนั้นวัสดุดูดซับจากใบหญ้าแฝกที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จะให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูสูงสุด



รูปที่ 4.4 แสดงการดูดกลืนแสงของน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูก่อนและหลังการดูดซับ ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัม/ลิตร

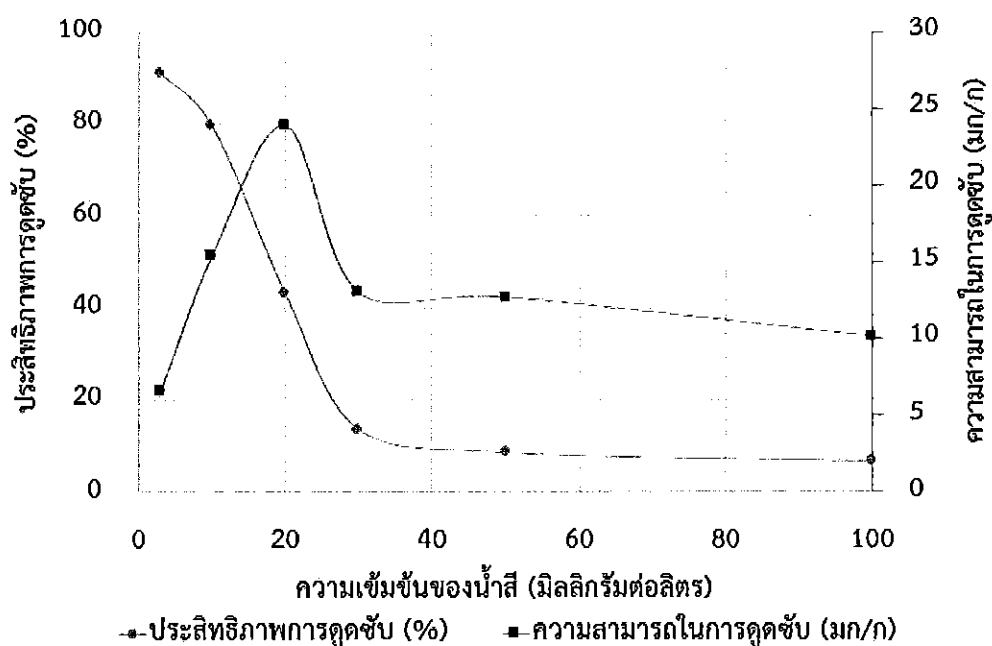


รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการงอก



รูปที่ 4.6 แสดงน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูก่อนและหลังบำบัด

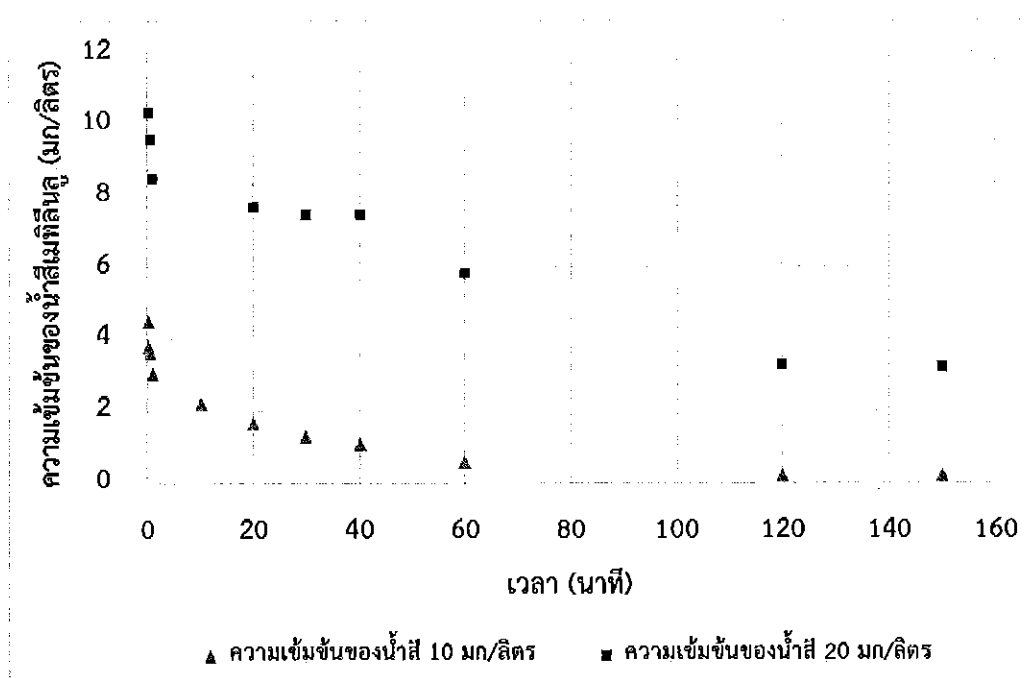
จากการทดลองข้างต้น พบว่าวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสีสังเคราะห์สูงสุด ในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของวัสดุดูดซับ 200 องศาเซลเซียสที่ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำสีสังเคราะห์เป็น 10, 20, 30, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากรูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเล็กน้อยเป็น 79.6 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือ 43.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นประสิทธิภาพเหลือประมาณ 6-15 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความเข้มข้นสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำสีสังเคราะห์มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น และความสามารถในการดูดซับสูงสุดของวัสดุดูดซับ ก็คือ 24 มิลลิกรัมต่อกรัม



รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

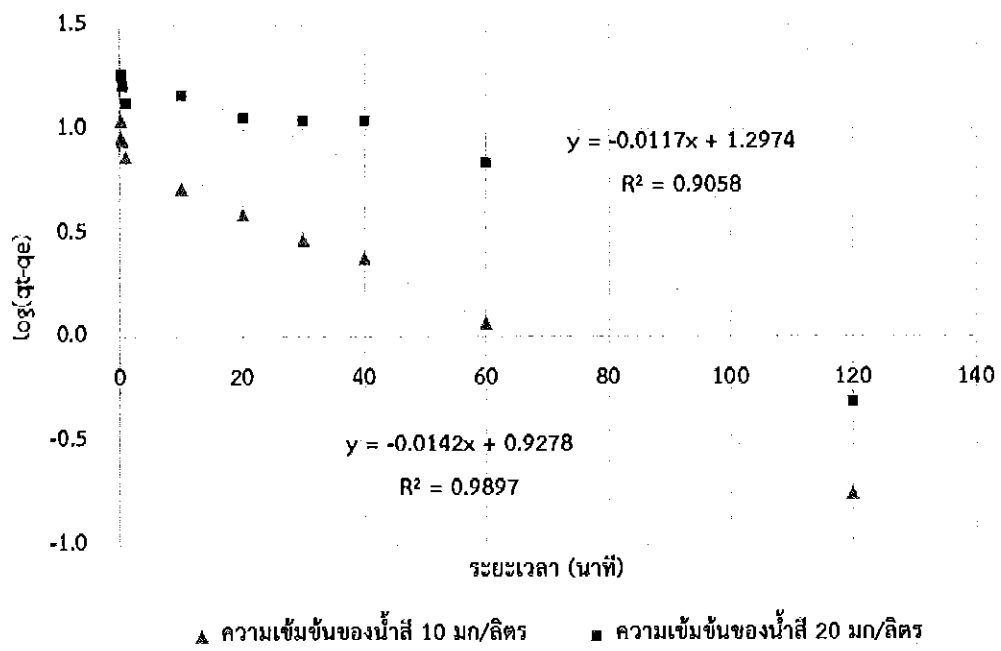
4.3 จลนศาสตร์ของการดูดซับ

ในการหาจลนศาสตร์และไอโซเทอมการดูดซับด้วยวัสดุดูดซับจากหญ้าแฝกที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำสีระหว่างการบำบัดถูกวิเคราะห์ที่เวลาต่างๆ เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง แสดงผลดังรูป 4.8 โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการดูดซับ (60 วินาที) วัสดุดูดซับสามารถดูดซับสีเมทิลีนบลูได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากช่องว่างภายในวัสดุดูดซับยังมีอยู่มาก และวัสดุดูดซับจะดูดซับสีเมทิลีนบลูได้ช้าลง เมื่อเวลานานขึ้น ทั้งนี้เพราะช่องว่างภายในวัสดุพรุนลดลงนั่นเอง จากรูปที่ 4.8 ที่ความเข้มข้นของสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดน้ำสีได้ ~100% ในขณะที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสีประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังคงเหลืออยู่ภายใต้การบำบัด

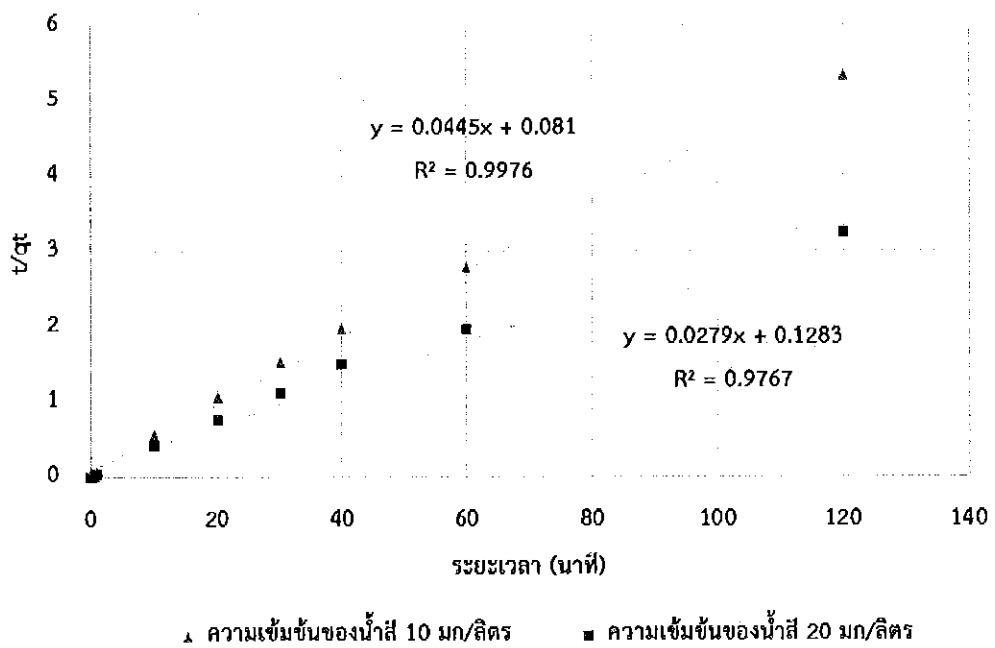


รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำสีเมทิลีนบลูระหว่างการดูดซับ

จากรูปที่ 4.9 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ตามหลักการดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับ 1 จะเห็นได้ว่าค่า R_2 เท่ากับ 0.9897 ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.9058 ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{t}{q_t}$ กับ t ตามหลักการดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับ 2 จะเห็นได้ว่าค่า R_2 เท่ากับ 0.9976 และ 0.9767 ที่ความเข้มข้นสีเริ่มต้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจลนศาสตร์ของการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับสังเคราะห์เป็นไปตามหลักการดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับ 2 (Anirudhan and Ramachandran 2015 ; Liu and Zhang 2015)



รูปที่ 4.9 แสดงจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบปฏิกิริยาลำดับที่ 1 (First-order)



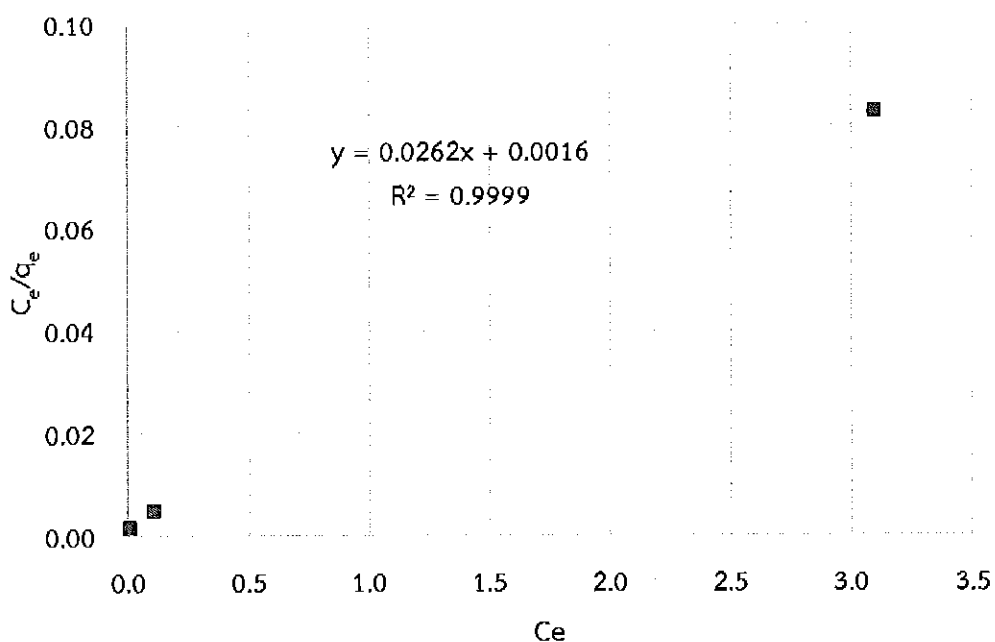
รูปที่ 4.10 แสดงจลนศาสตร์ของการดูดซับแบบปฏิกิริยาลำดับที่ 2 (Second-order)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่จลนศาสตร์ของการดูดซับ

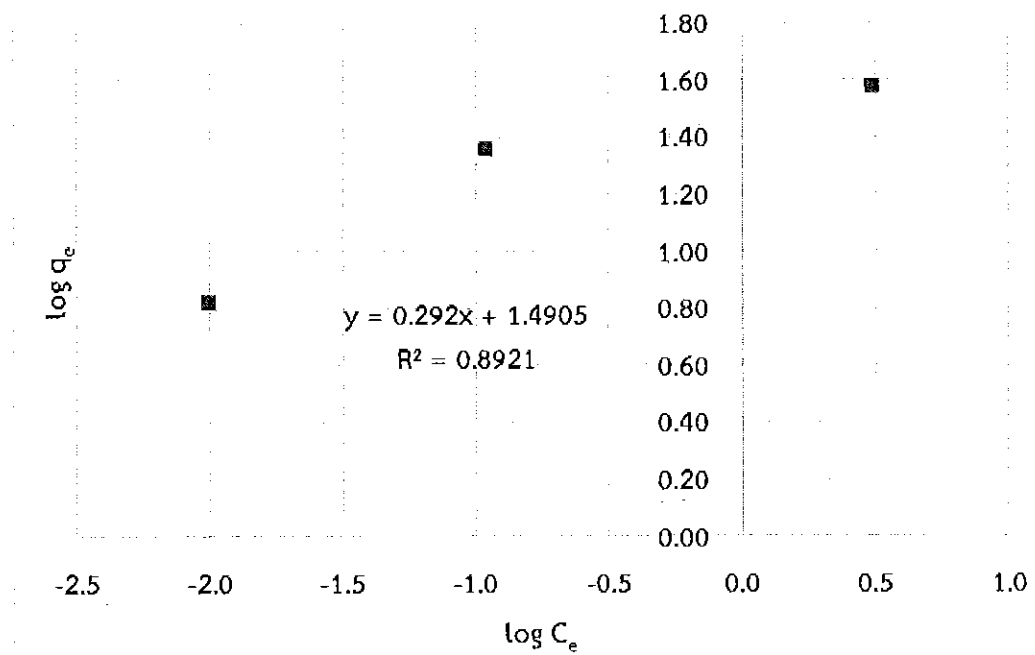
Co (mg/l)	qe ,exp (mg/g)	First - order			second - order		
		qe, cal (mg/g)	K (10 ⁻³) (min ⁻¹)	R ²	qe,cal (mg/g)	K ₂ (10 ⁻⁴) (g/mg.min)	R ²
10	22.7365	8.4684	0.0327	0.9897	22.4719	0.5494	0.9976
20	37.4052	19.8335	0.0269	0.9058	35.8422	0.2175	0.9767

4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ

จากรูปที่ 4.11 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ กับ C_e ตามหลักไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) พบว่าได้กราฟที่ได้เป็นเส้นตรงที่มีค่า R₂ เท่ากับ 0.9999 ในขณะที่เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log \frac{x}{m}$ กับ $\log C_e$ ตามหลักไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich isotherm) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ R₂ เท่ากับ 0.8921 (รูปที่ 4.12) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไอโซเทอมการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับสังเคราะห์เป็นไปตามหลักการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) นั่นคือ การดูดซับแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ (Anirudhan and Ramachandran 2015 ; Liu and Zhang 2015)



รูปที่ 4.11 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)



รูปที่ 4.12 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับ

Langmuir constants	Q_0	38.1679
	b	16.375
	K_L	624.9994
	R^2	0.9999
Freundlich constants	n	3.4247
	K_F	30.9386
	R^2	0.8921

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาใบหญ้าแห้งมีผลต่อปริมาณวัสดุดูดซับที่สังเคราะห์ได้และสัดส่วนของของแข็งระเหยได้ คาร์บอนคงที่ และซีเถ้าในวัสดุดูดซับ

5.1.2 วัสดุดูดซับจากใบหญ้าแห้งที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำสีเมทิลีนบลูสูงสุด สามารถบำบัดน้ำสีเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ถึง 91 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 จลนศาสตร์ของการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับสังเคราะห์เป็นไปตามหลักการดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับ 2

5.1.4 ไอโซเทอมการดูดซับน้ำสีสังเคราะห์เมทิลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับสังเคราะห์เป็นไปตามหลักการดูดซับแบบแลงเมียร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทดลองเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับให้มากขึ้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ

5.2.2 ทดลองใช้วัสดุธรรมชาติชนิดอื่นมาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ

5.2.3 ควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อยอด ในการทดลองบำบัดสีชนิดอื่นๆ หรือน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

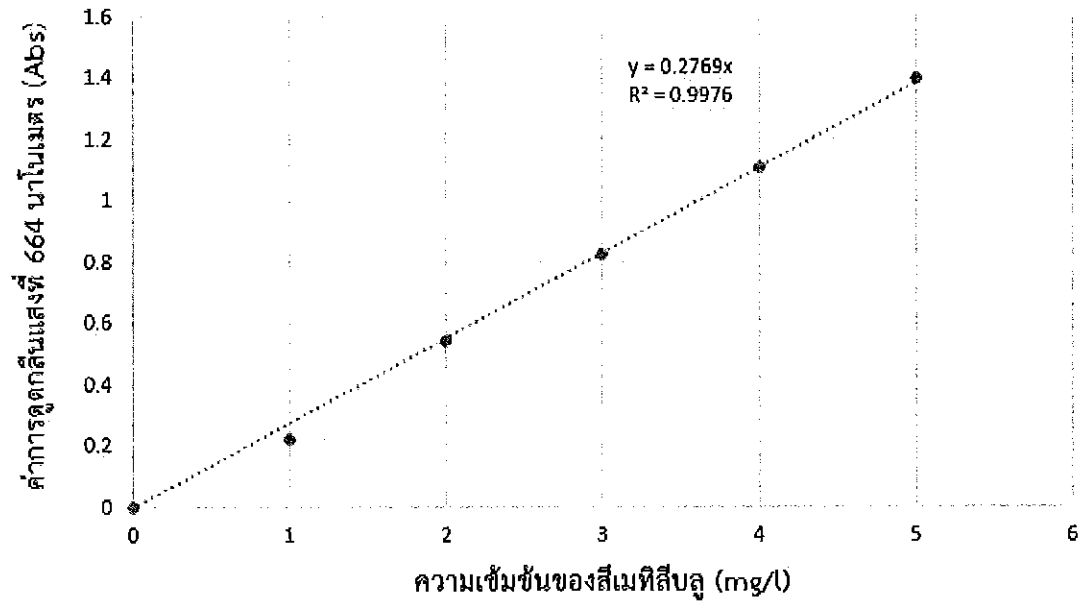
5.2.4 ควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของหญ้าแห้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และรศ.คณิดา ตั้งคณานุกรักษ์. (2550). **หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา, จารุวรรณ ตาหวัฒน์, ปิยวัฒน์ โพธิมงคลกุล และ ฉัฐรส คงสมภักดิ์ **จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้ไคโตซานเรซิน Kinetic Adsorption of Chromium (VI) from Electroplating Factory onto Chitosan Resin** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2551). ปีที่ 18 ฉบับที่ 1.
- [3] เดชา ฉัตรศิริเวช. (2552). **กระบวนการดูดซับ** กรุงเทพฯ
- [4] เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2557). **วิศวกรรมประปา**. นนทบุรี: เอสอาร์ พรินต์ติ้ง
- [5] กรมพัฒนาที่ดิน (2541). **ความรู้เรื่องหญ้าแฝก**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 84
- [6] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **หญ้าแฝก สืบค้นจาก**
http://www.ddd.go.th/link_vetiver/index.htm
- [7] รวิินทร์ สุทธะนันท์ และผศ.โกวิทย์ ปิยะมั่งคลา. **จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เกล็ดดัดแปร Kinetic and Thermodynamic Adsorption of Methylene Blue by Modified Rice Husk** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2554) ปีที่ 21 ฉบับที่ 2.
- [8] จันทนา ไพรบูรณ์, โสรดากรณ์ พิมลา, มัทรียา แหละเหย็บและอนงค์ จีร์ภัทร์. (2555) **การดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว Spirogyra sp. Adsorption of Basic Dye on the Green Alga Spirogyra sp.** วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ปีที่ 40 ฉบับที่ 4.
- [9] Anirudhan, T.S., and Ramachandran, M. (2015). **Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay) : Kinetic and competitive adsorption isotherm. Process Safety and Environmental Protection, 95 : 215-225.**
- [10] Ho, Y.S., and McKay, G. (1999). **Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochemistry, 34(5): 451-465.**
- [11] Jia, Y.F., and Thomas, K.M. (2000). **Adsorption of cadmium ions on oxygen surface sites in activated carbon. Langmuir, 16 : 1114-1122.**

- [12] Katesa, J., Junpiromand S., and Tangsathitkulchai, C. (2013). Effect of carbonization temperature on properties of char and activated carbon from coconut shell. *Suranaree J. Sci. Technol.*, 20(4) : 269-278.
- [13] Liu, X., and Zhang, L. (2015). Removal of phosphate anions using the modified chitosan beads : Adsorption kinetic, isotherm and mechanism studies. *Powder Technology*, 227 : 112-119.

ภาคผนวก



กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ



ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทดสอบ
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
10150

ใบรายงานผลการทดสอบ

เลขที่รายงานผล 58/0287

รหัสตัวอย่าง STSC-CMU 58-0116(1)

ชื่อ / หน่วยงานผู้ขอรับบริการ อ.ดร.ศุภวัฒน์ นาครัตน์

ที่อยู่เลขที่ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

วันที่รับตัวอย่าง 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 ช่วงเวลาที่ทดสอบ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

วันที่ออกรายงานผลการทดสอบ 5 มีนาคม พ.ศ. 2558

รายละเอียดตัวอย่าง เหล็กแผ่น (ไม่ทราบ)

ลักษณะและสภาพตัวอย่าง ประเภทตัวอย่าง :-

ลักษณะบรรจุ : ถุงพลาสติก (ดูzip) โปลีนีท น้ำหนัก 10 กรัม

คุณลักษณะรับตัวอย่าง : คุณภูมิห้อง, สภาหล้าอย่างปกติ

ผลการทดสอบตัวอย่าง


ลำดับที่	รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย*	LC	วิธีทดสอบ
1	Si	12.9188	% w/w	-	EDXRF
2	P	1.8871	% w/w	-	EDXRF
3	S	2.8926	% w/w	-	EDXRF
4	Cl	10.6218	% w/w	-	EDXRF
5	K	59.0139	% w/w	-	EDXRF
6	Ca	11.1217	% w/w	-	EDXRF
7	Fe	1.5541	% w/w	-	EDXRF

หมายเหตุ : * % w/w คือ เปอร์เซ็นต์โดยมวลของธาตุที่ตรวจพบ

(a) ND = Not Detected (ไม่พบ)

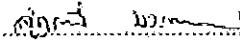
(b) LOQ = Limit of Quantitation

ผลการทดสอบตามเอกสารข้างต้นนี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบเท่านั้น และห้ามใช้รายงาน
ทั้งนี้ในการถือ - จัดทอน โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ลงชื่อ.....

(นายเรย์ คร. กฤษณะ จิลมณี)

ผู้จัดการด้านวิชาการ

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สฤณี นวรสุมบัติ)

ผู้อำนวยการ สวท-นช.

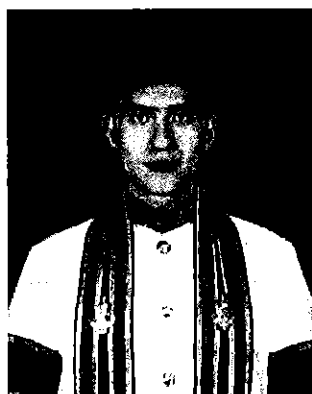
" End of report "

FM-QP 5.10-01 ฉบับที่ 1 แก้ไขครั้งที่ 0 วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2558

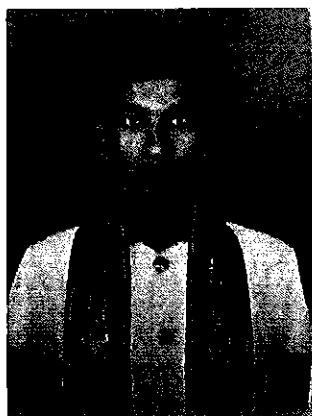
หน้า 1/1

ใบรายงานผลการทดสอบองค์ประกอบของหญ้าแฝก

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายเกรียงไกร ไพโรเจริญวรกุล
 เกิด 15 กุมภาพันธ์ 2536
 ภูมิลำเนา 56/2 ม.9 ต.ฝ้ายหลวง อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ 53130
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
 จ.อุตรดิตถ์
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 E-mail kriangkraiENVl@gmail.com



ชื่อ นายอานนท์ เดวี
 เกิด 17 ตุลาคม 2535
 ภูมิลำเนา 180/1 ม.5 ต.น้ำร้อน อ.เมืองตาก จ.ตาก 63000
 ประวัติการศึกษา
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตากพิทยาคม
 จ.ตาก
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 E-mail assarof17@gmail.com



ชื่อ นางสาวรัตนภรณ์ ปั่นลี
เกิด 28 กุมภาพันธ์ 2536
ภูมิลำเนา 113/13 ถ.สิงห์วัฒน์ ต.ธานี อ.เมืองสุโขทัย
จ.สุโขทัย 64000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุโขทัย
วิทยาคม จ.สุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail tonnam2802@hotmail.com