



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557

การกำจัดสีน้ำตาลและซีโอดีในน้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของ  
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ

Removal of Dark-Brown Color and COD in Biogas Effluent from  
Palm Oil Mill by Subsurface-flow Wetland

ศรียุบล ทองประดิษฐ์

ปรีชา มุณีศรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ไพทิพย์ อีระเวชญาณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เดือน ปี ที่เสร็จโครงการ ธันวาคม 2558

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557

การกำจัดสีน้ำตาลและซีโอดีในน้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของ  
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ

Removal of Dark-Brown Color and COD in Biogas Effluent from  
Palm Oil Mill by Subsurface-flow Wetland

ศรีอุบล ทองประดิษฐ์  
ปรีชา มณีศรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ไพทิพย์ ธีรเวชญาณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัย  
ในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ  
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

## การกำจัดสีน้ำตาลและซีโอดีในน้ำเหลืองที่จากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ

ศรัอุบล ทองประดิษฐ์<sup>1</sup>, ปรีชา มุณีศรี<sup>1</sup> และ ไพทีย์ย์ ธีรเวชญาณ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

<sup>2</sup>คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการไหลของน้ำทิ้งในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในน้ำทิ้งด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ผ่านการคัดเลือก โดยศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ต้นกรรมาจีน ต้นกระจุต ต้นธูปฤาษี และต้นปรงทะเล ที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 กิโลกรัม มาปลูกในกระถางพลาสติกที่มีดินเหนียว 3 กิโลกรัม เติมน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพปริมาณ 3 ลิตร แล้วเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 มาวิเคราะห์ค่าสีและค่าซีโอดีที่ลดลง แล้วคัดเลือกพืชที่กำจัดสีและลดค่าซีโอดีได้มากที่สุด มาปลูกเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ อัตราการไหลที่ 166, 266 และ 418 ลิตรต่อวัน ผลการวิจัยพบว่า ต้นธูปฤาษีที่ปลูกในดินเหนียวมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลเท่ากับร้อยละ  $55.0 \pm 0.53$  ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น และมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ  $69.23 \pm 0.79$  ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น จึงคัดเลือกนำต้นธูปฤาษีมาปลูกในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ซึ่งพบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน จะเหมาะสมที่จะใช้ป้อนน้ำทิ้งเข้าในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ซึ่งให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในน้ำทิ้งจากสูงสุดเท่ากับร้อยละ  $53.16 \pm 0.78$  และ  $65.26 \pm 0.80$  ตามลำดับ แต่ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดียังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด 1.98-2.72 เท่า ส่วนสีของน้ำทิ้งเป็นไปตามที่กำหนด คือ ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ และระบบบำบัดยังกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำทิ้งไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

**คำสำคัญ :** สีน้ำตาล, ซีโอดี, ก๊าซชีวภาพ, โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม, พืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ

## Removal of Dark-Brown Color and COD in Biogas Effluent from Palm Oil Mill by Subsurface-flow Wetland

Sriubol THONGPRADISTHA<sup>1</sup>, Preecha MUNESRI<sup>1</sup> and Paitip THIRAVETYAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya

<sup>2</sup>School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

### Abstract

A research aimed to investigate of a selection of wetland based plants suitable for removal of dark brown colors and organic substances (as COD) in biogas effluent and to investigate an optimal condition of a flow rate of effluent as COD for removal of dark brown color and organic substances (as COD) in effluent using appropriate plants selected through the selection system of plants that usually grew well in wetland at a laboratory scale. Initial 0.5 kilogram weight of each following plants: Umbrella plant (*Cyperus involucratus* Rottb), Sedge (*Lepironia articalata*), Cattail (*Typha angustifolia* L.) and Leather Fern (*Acrostichum aureum* L.) are grown in pots filled with 3 kg clay. 3 kilograms of biogas effluent were supplied and effluent samples were taken on day 0, 1, 3, 5 and 7 to analyze their colors and CODs. The plant that could be able to most reduce color and COD values was later selected for further probe of an optimal condition of effluent flow rate into simulated waste water treatment system using 3 different flow rates as follows: 166, 266 and 418 Liter per day as criteria. Results revealed that Cattail (*Typha angustifolia* L.) grown in pot filled with clay was most potent to remove dark brown color ( $55.0\pm 0.53\%$ ) and organic substances as COD ( $69.23\pm 0.790\%$ ) in a row. Both values mentioned earlier were statistically significant difference ( $P\leq 0.05$ ) compared to other wetland plants. Therefore, Cattail (*Typha angustifolia* L.) was selected for an investigation of its optimal condition at the effluent flow rate of 266 liter per day and found that the most suitable value for feeding effluent into the simulated treatment system with a removal rate of color and an removal rate of organic substances (as COD) were of  $53.16\pm 0.78\%$  and  $65.26\pm 0.80\%$ , respectively. Nevertheless, organic substances (as COD) was still 1.98-2.72 times higher and total suspended solids and total soluble solids were higher than general standard value set by Department of Industrial Plant. Color of effluent conformed to general standard set by related agency without any undesirable odor.

**Key words:** Dark-Brown Color, COD, Biogas, Palm Oil Mill, Subsurface-flow Wetland

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
3. วิธีด อุปกรณ์ และวิธีการ	13
4. ผลและวิจารณ์	18
5. บทสรุป และข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	
ก. วิธีการวิเคราะห์	37
ข. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	44
ค. การเผยแพร่ผลงานการวิจัย	61

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (ป๋อที่ 3)	18
4.2	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ	19
4.3	ร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นของพืชชุ่มน้ำที่บำบัดน้ำทิ้งในกระถางพลาสติก ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน	20
4.4	ค่าสีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก	22
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก	22
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดิน หรือดิน และพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก	23
4.7	ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีที่เหลือในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยพืชชุ่มน้ำ	23
4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำ	23
4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำ	24
4.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้งในระบบบำบัด จำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้ง ระดับต่าง ๆ	26
4.11	ร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นธูปฤาษีระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในระบบ บำบัดจำลอง ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บนาน 7 วัน	27
4.12	ค่าสีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ	29
4.13	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบ บำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้ง ระดับต่าง ๆ	29
4.14	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดิน หรือดิน และต้นธูปฤาษี ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองด้วยต้นธูปฤาษี ที่ ระยะเวลาเก็บ 7 วัน	30

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.15	ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ	31
4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ	31
4.17	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และต้นธูปฤาษี ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองด้วยต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน	32



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	กระถางปูนที่นำมาใช้เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการไหลของน้ำทิ้ง	13
3.2	การเตรียมพีชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติกก่อนนำมาศึกษาคัดเลือกพีชที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้ง	14
3.3	ระบบบำบัดจำลองสำหรับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพด้วยต้นธูปฤาษี	16
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วของปัมกับปริมาตรของเหลว	
4.1	การเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำทิ้งที่ปลูกพีชชุ่มน้ำ ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน	16
4.2	อัตราการดูดน้ำทิ้งของพีชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในกระถางพลาสติก ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน	19
4.3	ลักษณะสีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยพีชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ในกระถางพลาสติกที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน	21
4.4	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลองที่มี (ก) น้ำทิ้ง+ดิน (ข) และ น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี (ค) ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ	25
4.5	อัตราการดูดน้ำทิ้งของต้นธูปฤาษีระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลอง ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาพักเก็บนาน 7 วัน	28



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

โรงงานสกัดน้ำมันสำหรับบริโภคและผลิตไบโอดีเซลในภาคใต้มีจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงานต่าง ๆ จะมีน้ำทิ้งประมาณ 0.5-1.2 ลูกบาศก์เมตรต่อทะเลายปาล์มสด 1 ตัน (Kittikul, *et al.*, 1994 อ้างโดย Bunrung, *et al.*, 2011) ซึ่งมีสารแขวนลอย น้ำมัน และไขมัน ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถปล่อยทิ้งในแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ และมีสีน้ำตาลในน้ำเสีย และน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่ง ธนภฤต พรหมทอง (2552) ได้รายงานว่ สีน้ำตาลในน้ำเสีย และน้ำทิ้งประกอบด้วยรงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน แคโรทีน สารประกอบพวกโพลีฟีนอล ลิกนิน และแทนนิน และยังพบสารประกอบพวกเมลานอยดิน นอกจากนี้ยังพบสารประกอบพวกกำมะถันที่เกิดสีน้ำตาลคล้ำจากความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมัน ถึงแม้สีบางชนิดจะไม่ใช่พิษ แต่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียโดยทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพไม่น่าดู และกั้นขวางแสงปริมาณแสงส่องผ่านสู่แหล่งน้ำลดลง ลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำทำให้ผลิตออกซิเจนลดลง แหล่งน้ำมีออกซิเจนไม่เพียงพอและไม่เหมาะสม ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กัญชรี ศรีพงศ์พันธุ์, 2547; Chulhwan, *et al.*, 2007; Shaobin, 2008 อ้างโดย วนิดา ชูอักษร, 2555) นอกจากนี้สีที่เป็นสารอินทรีย์ละลายหรือคอลลอยด์สามารถย่อยสลายได้ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549 อ้างโดย วนิดา ชูอักษร, 2555) วิธีการบำบัดน้ำเสียและกำจัดสีในน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ได้แก่ การใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ การกรองด้วยเมมเบรน การตกตะกอนด้วยสารเคมี (ธนภฤต พรหมทอง ,2552) การตกตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า (ปาริชาติ หมิ่นสีทา, 2547) วิธีการดูดซับด้วยถ่าน (Bunrung, 2011) ถ่านกัมมันต์ (Zahrim, 2009) กระบวนการแอดวานซ์ออกซิเดชัน (ณัฐฤติ บุญเยี่ยม, 2549) และกระบวนการทางชีวภาพ (ปรีชา มุณีศรี, 2539)

ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันต่าง ๆ พยายามบำบัดน้ำเสียและสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยนำน้ำเสียไปผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะลดปริมาณสารแขวนลอย น้ำมัน ตลอดจนสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนได้ระดับหนึ่ง แต่น้ำเสียที่เหลือสุดท้ายจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพดังกล่าวยังมีค่าสีและซีไอดีสูง จากข้อมูลของ Bunrung (2011) พบว่า น้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสีและค่าซีไอดีทั้งหมดเท่ากับ 1,633 PtCo และ 1,832 มก/ล แต่ยังไม่มียางานว่ามีการนำพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำมาศึกษาการกำจัดสีและลดค่าซีไอดีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยวิธีการเลียนแบบธรรมชาติที่เรียกว่า บึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำธรรมชาติเข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย รูปแบบการทำงานของระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการดูแลระบบบำบัด รวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั่วไป (สุชาติดา บุญสมสัมฤทธิ์, 2548) นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมายากต่อการนำไปใช้งานได้จริงกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการใช้

ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพที่มีในภาคใต้ คือ พันธุ์พืชและจุลินทรีย์ ซึ่งจะสอดคล้องกับนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาด้านความหลากหลายทางชีวภาพด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาคัดเลือกพืชที่มีในท้องถิ่นภาคใต้มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและลดสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสม

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ
- 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อที่ 1

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

1) การศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพจะทำในระดับห้องปฏิบัติการ โดยนำพืชที่มีความสามารถในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติได้ในท้องถิ่นภาคใต้ ได้แก่ ต้นกรรขินี ต้นกกกระจูด ต้นธูปฤาษี และต้นปรงทะเลมาปลูกบำบัดน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพในกระถางพลาสติกขนาดความจุ 3 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์ค่าสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติที่ลดลง แล้วทำการคัดเลือกพืชที่กำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติได้มากที่สุดตามระยะเวลาที่เหมาะสม

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง โดยนำพืชที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซได้มากที่สุดมาปลูกและศึกษาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าระบบที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติได้มากที่สุด

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จะได้ระบบการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### ทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ทฤษฎี

##### 1.1 ก๊าซชีวภาพ (biogas)

ก๊าซชีวภาพเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยา (biological treatment) ในสภาวะที่ไร้อากาศ (anaerobic digestion) ของก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้ 1) ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ประมาณร้อยละ 50-70 2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณร้อยละ 30-50 3) ก๊าซอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และไอน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ )

สารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้ก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น (บุรณะศักดิ์ มาตหมาย, 2552) รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ จากกระบวนการดังกล่าวมีค่า COD ลดลงมากกว่าร้อยละ 80 และได้ก๊าซชีวภาพ 0.3 – 0.5 ลบ.ม./กิโลกรัม COD ที่ถูกกำจัด ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท (สุพจน์ เกติมี และคณะ, 2555)

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า และใช้ประโยชน์ในการหุงต้มได้ ส่วนของกากตะกอนที่เหลือจากการหมักในถังปฏิกรณ์นั้นสามารถนำไปเพิ่มค่าโดยนำตะกอนไปตากเพื่อทำการแยกตะกอนอินทรีย์ที่หมักย่อยแล้ว และบางส่วนที่ย่อยยากออกเมื่อตากจนแห้งแล้วกากตะกอนเหล่านี้จะกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างดี สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับหน้าดินสำหรับการเพาะปลูกของเกษตรกรได้อีกทางหนึ่งด้วย (นงคราญ มณีวรรณ, 2552) ปัจจุบันครอบครัวตามชนบทสามารถผลิตเชื้อเพลิงแบบนี้ใช้ได้เอง โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรมีค่าความร้อน 21.5 MJ หรือเท่ากับค่าความร้อนของก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas : LPG) 0.46 กก. หรือไฟฟ้า 1.2 kWh และถ่าน 1.6 กก. (บุรณะศักดิ์ มาตหมาย, 2552)

##### 1.2 ทฤษฎีของกระบวนการย่อยสลายที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion) (บุรณะศักดิ์ มาตหมาย, 2552)

กระบวนการนี้สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณร้อยละ 80-90 ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ ระบบดังกล่าวนี้ จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าทำให้ระบบเริ่มต้นได้ช้าอีกทั้งประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดต่ำจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time; HRT) นานขึ้น ระบบบำบัดจึงมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ระบบยังมีการปรับตัวไม่คืนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและในระหว่างกำจัดบางครั้งอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) เกิดขึ้นทำให้มีกลิ่นเหม็น ระบบนี้จึงมีข้อจำกัดการใช้งาน

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบในการบำบัดน้ำเสียโดยไม่ใช้อากาศประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1) Hydrolysis ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ ไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กเสียก่อน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มแรก ปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุลแบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง

2) Acidogenesis แบคทีเรียอีกกลุ่มจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้วจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก, น้ำ และ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แบคทีเรียที่กลุ่มนี้เรียกว่า Acid Forming Bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจน

3) Methanogenesis ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Methanogens หรือ Methane Forming Bacteria จะทำการเปลี่ยนกรดอะซิติก และไฮโดรเจน ไปเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้เป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนจริง ๆ (obligate anaerobic bacteria) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะซิติก

จะเห็นได้ว่า กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว โดยความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกัน และมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือเป็นกากตะกอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่ออกจากระบบแล้วกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่นิยมกันทั่วไป

### 1.3 การบำบัดน้ำเสีย (ปรีชา, 2539)

#### 1.3.1 การบำบัดทางกายภาพ

จัดเป็นกระบวนการขั้นแรกที่จะพิจารณาเลือกใช้ เนื่องจากการจัดการไม่ยุ่งยากและค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก โดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพของน้ำ ได้แก่ สิ่งเจือปนต่างๆ ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เป็นการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่างๆ เพื่อใช้ในการแยกเอาของแข็งแขวนลอยที่ไม่ละลาย เช่น เศษไม้ เศษกระดาษ และเปลือกผลไม้ เป็นต้น ออกจากน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการบำบัดที่อยู่ในขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสียก่อนขั้นต้นและขั้นต้น เช่น การตัดด้วยตะแกรง การตัดย่อย การกวาด การกวอน การทำให้ตะกอนลอยตัว การตกตะกอน การเหวี่ยงแยก และการกรอง เป็นต้น

#### 1.3.2 การบำบัดทางเคมี

เลือกใช้กับน้ำทิ้งที่มีส่วนประกอบเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ ฟอสเฟต โลหะหนัก สารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก ไขมันหรือน้ำมันที่ละลายน้ำ เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียทางเคมีเป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำเสีย เพื่อแยกเอาสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนออกจากน้ำ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การทำให้เป็นกลาง การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน การตกตะกอนผลึก และการฆ่าเชื้อ เป็นต้น วิธีการบำบัดน้ำเสียทางเคมีนี้จะมีอยู่ในเกือบทุกขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ยกเว้นขั้นตอนก่อนขั้นต้นเท่านั้น

### 1.3.3 การบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์จัดเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยการใช้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นแบบที่เรียกว่าย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำทั้งด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวล และวิธีการนี้ยังสามารถใช้กำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักบางตัวที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียอีกด้วย ส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการที่อยู่ในขั้นตอนที่สองของกระบวนการบำบัด สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบใช้อากาศ และแบบไร้อากาศ

#### 1) การบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ

จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนซึ่งอยู่ในรูปออกซิเจนอิสระไปเผาผลาญสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นเป็นสารที่คงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น

#### 2) การบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนที่อยู่ในรูปสารประกอบ เช่น  $\text{NO}^{-3}$  และ  $\text{SO}^{-4}$  ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงาน และสารประกอบที่ไม่คงตัว ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ,  $\text{N}_2$  , และ  $\text{H}_2\text{S}$

### 1.3.4 การบำบัดทางกายภาพ-เคมี

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยวิธีการทางกายภาพและเคมีรวมกัน เช่น การแลกเปลี่ยนประจุ การแยกด้วยไฟฟ้า-เยื่อกรอง การดูดซับด้วยคาร์บอน และออสโมซิสผันกลับ เป็นต้นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีอื่นๆ จึงมักใช้ในการบำบัดน้ำชั้นสูง เพื่อกำจัดโลหะหนักและสารพิษบางชนิดซึ่งเป็นอันตรายแม้ที่ความเข้มข้นต่ำมากและไม่

สามารถที่จะกำจัดด้วยวิธีอื่นได้ ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีนี้แล้วจะมีคุณภาพที่ดีและได้มาตรฐานตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด หรือมีคุณภาพดีมากจนสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่อีกครั้ง

### 1.3.5 การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ

ในการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ (natural treatment) จะมีน้ำ ดิน พืช จุลินทรีย์ และบรรยากาศมาเกี่ยวพันกัน คือ มาช่วยกันบำบัดน้ำเสียหรืออีกนัยหนึ่งว่ามาช่วยกันปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรกลต่างๆ มาทำการบำบัดน้ำเสีย วิธีนี้จะอาศัยกลไกธรรมชาติมาบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า อาศัยผู้ควบคุมดูแลระบบน้อยกว่าระบบบำบัดอื่นๆ แต่ต้องการเทคนิคการบริหารงานในส่วนของการจัดการในการใช้พื้นที่บำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่มากและต้องแน่ใจว่าไม่มีผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงได้อย่างเด็ดขาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนประเภทสารพิษอันตรายต้อง

คำนึงถึงอย่างมาก การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีใหญ่ ได้แก่ วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) วิธีบึงประดิษฐ์ (constructed wetland systems) และวิธีพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems)

### 1) วิธีกระจายบนดิน (land treatment system)

การบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินของพื้นที่ต่างๆ ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่ได้ใช้กิจกรรมใดๆ ทั้งสิ้น เป็นต้น วิธีนี้จะเป็นวิธีที่ประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียมาก แต่ต้องการพื้นที่มากในการบำบัดน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีลักษณะที่มีแร่ธาตุอาหารและสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็ยังมีประโยชน์อย่างมากต่อการเลือกวิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดินเสมือนกับการใส่ปุ๋ยให้แก่ดิน แต่ถ้าน้ำเสียมีสารพิษไหลปะปนมาด้วยต้องคำนึงถึงปริมาณสารพิษและชนิดของสารพิษอย่างระมัดระวัง เพราะอาจส่งผลต่อการเจริญงอกงามของพืช และถ้าเป็นพืชที่คนเราต้องนำมารับประทานเป็นอาหาร ประจำวันด้วยยิ่งต้องคำนึงถึงอย่างมาก

#### 1.1) ระบบอัตราไหลช้า (slow-rate system)

วิธีนี้เป็นการรดน้ำโดยปล่อยให้ น้ำไหลซึมลงดินและการปล่อยให้เกิดการคายน้ำออกจากระบบ โดยพืชอาจจะเป็นต้นข้าวโพด ผักต่างๆ หรือต้นไม้ทั่วๆ ไปอยู่ในระบบน้ำเสียนี้ โดยทั่วไปก่อนที่จะนำน้ำเสียมาทำการบำบัดด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงบริเวณที่ทำการบำบัดคือ อยู่ไกลชุมชนมากน้อยเพียงใด ลักษณะของน้ำเสีย และความสามารถของพื้นที่ที่จะรองรับปริมาณน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ บางแห่งอาจจำเป็นต้องมีการผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกก่อน และอาจต้องมีการผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียชนิดเกือบสมบูรณ์แบบ เช่น มีระบบบำบัดขั้นต้น มีระบบบำบัดขั้นที่สอง หรือมีระบบบำบัดขั้นสูงต่อไป ก่อนที่จะนำเข้าสู่พื้นที่บำบัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของการออกแบบระบบ

#### 1.2) ระบบไหลซึมเร็ว (rapid infiltration system)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียที่ได้ถูกบำบัดขั้นต้นแล้วมาลงที่บ่อหรือร่องรองรับน้ำเสีย ซึ่งจะเกิดการระเหยออกและเกิดการซึมลงใต้ดิน วิธีนี้จะปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าในอัตราที่สูงกว่าของระบบอัตราไหลช้า ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวกับการระเหยออกจะไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญถ้าใช้วิธีการปล่อยน้ำเสียลงสู่บ่อหรือร่องน้ำ การปลูกพืชจึงไม่จำเป็นต้องทำ เมื่อน้ำเสียได้ไหลลงสู่ส่วนล่างของชั้นดินอาจใช้ท่อรองรับน้ำที่ผ่านชั้นดินแล้ว ซึ่งฝังอยู่ใต้ดินเพื่อระบายน้ำที่ออกหรือใช้บ่อที่ขุดลึกถึงชั้นน้ำใต้ดินเพื่อทำการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมา

#### 1.3) ระบบน้ำไหลนอง (overland-flow systems)

วิธีนี้เป็นการปล่อยให้น้ำเสียไหลออกจากท่อเจาะรูหรือหัวกระจายน้ำเสีย ซึ่งอยู่ที่สูงไหลจากระบบจ่ายผ่านต้นพืชต่างๆ ที่ปลูกอยู่บริเวณที่น้ำไหลผ่านลงมาจนถึงรางรองรับน้ำทิ้งเพื่อการระบายน้ำทิ้งต่อไป ขณะที่น้ำไหลผ่านต้นพืชต่างๆ ลงมาจะมีการไหลซึมลงใต้ดินส่วนหนึ่งจะมีการคาย

น้ำออกจากพืชและพื้นดินอีกส่วนหนึ่ง และส่วนที่เหลือจะไหลลงรางรองรับน้ำทิ้ง ระบบนี้ต้องการน้ำเสียที่ได้ผ่านตะแกรงละเอียดแล้ว ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาอุดตันในช่องกระจายน้ำเสียในระบบ ระบบนี้อาจใช้กับน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมได้ค่อนข้างดี ไม่ควรให้น้ำเสียที่จะเข้าระบบนี้มีพวกสาหร่ายมาก เพราะจะไปลดประสิทธิภาพการบำบัด ระบบน้ำไหลนองยังใช้ได้กับการบำบัดขั้นสุดท้ายหลังได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองแล้ว ทั้งนี้เพื่อกำจัดสารไนโตรเจนและธาตุต่างๆ ออกจากน้ำทิ้งได้ แต่พบว่าอาจไม่ได้ผลกับการกำจัดสารไนโตรเจน ถ้าน้ำทิ้งนี้มีปริมาณสารคาร์บอนไม่เพียงพอที่จะกำจัดดีไนโตรเจนด้วยวิธีไนโตรฟิกเคชัน (denitrification) ซึ่งจะเกิดในระบบนี้ได้ต้องมีค่า C/N มากกว่า 2 ต่อ 1

## 2) วิธีบึงประดิษฐ์ (constructed wetlands systems)

บึงประดิษฐ์ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบ บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น พืชจำพวก อ้อ (phragmites) กก (scirpus) และธูปฤาษี (typha) บนทราย กรวดหรือดินซึ่งใช้เป็นตัวกรอง ในบางครั้งบึงประดิษฐ์อาจถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบๆ และยาว

การสร้างบึงประดิษฐ์จะช่วยหลีกเลี่ยงข้อขัดแย้งและปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากการใช้บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียได้ นอกจากนี้บึงประดิษฐ์สามารถออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด บึงประดิษฐ์จะมีความแตกต่างกับบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตรงที่บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีข้อจำกัดว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะต้องตั้งอยู่ใกล้กับบึง แต่สำหรับบึงประดิษฐ์นั้นสามารถสร้างได้ในเกือบทุกพื้นที่แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เพราะจะมีการปรับระดับดินที่พื้นบ่อและมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในบ่อ และสามารถปรับเปลี่ยนหรือตัดแปลงกระบวนการทำงานต่างๆ ภายในบ่อได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการจัดการเกี่ยวกับพืชและองค์ประกอบอื่นๆ ของระบบ ซึ่งมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็น 2 ประเภท คือ แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface , FWS) และแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System , SFS)

### 2.1) แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน

บึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดินเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับบึงธรรมชาติ (natural wetlands) โดยใช้หลักการของการไหลของน้ำเหนือผิวดินผ่านต้นพืชที่ปลูกไว้ในระบบ ซึ่งน้ำจะไหลแผ่กระจายไปโดยมีระดับน้ำที่ตื้น องค์ประกอบที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนน้ำเข้า บ่อน้ำ ต้นพืชในบึงประดิษฐ์ และส่วนน้ำออก โดยส่วนน้ำเข้าจะเริ่มต้นที่ทางเข้าของบ่อน้ำ ซึ่งจะถูกรอกแบบเพื่อให้มีการไหลแบบแผ่กระจายของน้ำเข้าสู่บึงประดิษฐ์ ขนาด จำนวน และรูปร่างของบ่อน้ำต้นในบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดินมีความสำคัญสำหรับการออกแบบมาก ซึ่งขนาดของบ่อน้ำขึ้นอยู่กับ สภาพความเป็นไปของการเกิดปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เพื่อให้ค่าที่ได้จากการบำบัดเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ จำนวนของบ่อน้ำ

สามารถคำนวณได้จากอัตราการไหลของน้ำ และพื้นที่ที่สามารถจัดทำได้ นอกจากนี้รูปร่างของบ่อขึ้นอยู่กับสภาพและขอบเขตของที่ดิน และการออกแบบของผู้ออกแบบ

พืชในบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดินมีส่วนทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุ และเป็นพื้นที่สัมผัสของแบคทีเรีย ซึ่งช่วยส่งเสริมให้การบำบัดน้ำดีขึ้น การเลือกชนิดของพืชที่จะนำมาปลูกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสีย สภาพทางอุทกวิทยา และค่าใช้จ่ายตลอดจนประโยชน์จากพืชที่ปลูกที่มีคุณค่าต่อสัตว์ป่าที่อาศัยอยู่ในบึงประดิษฐ์

## 2.2) แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน บำบัดน้ำเสียโดยการไหลของน้ำทั้งแนวราบและแนวตั้งผ่านวัตถุตัวกลางที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ พร้อมกับการไหลผ่านพืช พื้นผิวที่แบคทีเรียยึดเกาะคือบริเวณบนผิวของวัตถุตัวกลางและบนรากพืช แม้ว่าบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จะประกอบด้วยองค์ประกอบเช่นเดียวกับบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน แต่ก็ยังมีความแตกต่างกันในเรื่ององค์ประกอบต่างๆ ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ได้แก่ ระบบการกระจายน้ำเข้า รูปร่างของบ่อน้ำ ชั้นของวัตถุตัวกลาง พืช และระบบการควบคุมน้ำออก ระบบการกระจายน้ำเข้า และรูปร่างของบ่อน้ำในบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จะคล้ายกันกับในบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน แต่การออกแบบจะแตกต่างกันไปตามความนิยมของผู้ออกแบบ ในการดำเนินการที่ต้องใช้ในบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จะต้องให้มีการไหลของน้ำส่วนใหญ่ในแนวตั้ง และผ่านวัตถุตัวกลาง สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบได้แก่ ราคาของวัสดุตัวกลาง ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน และพื้นที่หน้าตัดที่จำเป็นสำหรับให้น้ำไหลเข้าระบบ การเลือกพืชที่จะนำมาปลูกจะคล้ายกันทั้งบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน และบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน ซึ่งพืชที่นำมาพิจารณาทุกชนิดจะต้องให้ผลดีกับระบบทั้งสองในระดับที่ใกล้เคียงกัน

### 2.2.1) แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน (Subsurface Flow Systems: SF)

ระบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน ที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 ซม.) กรวดและดินชนิดต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้ น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกรองจะอึดตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (anaerobic) ขึ้น อย่างไรก็ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้ จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (aerobic microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่ภาระสารอินทรีย์ปานกลาง โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 30 – 175 มก./ลิตร

### 2.2.2) แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวตั้ง (Vertical Flow: VF)



บึงประดิษฐ์ประเภทนี้จะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้ อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองใน แนวตั้งโดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (underdrain system) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (ventilation system) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนราก ของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูก ริดน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูล ได้ โดยมีความ เข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มก./ลิตร

### 3) วิธีพืชลอยน้ำ (Floating Aquatic Plant Treatment Systems)

วิธีการบำบัดด้วยวิธีพืชลอยน้ำจะเกือบเหมือนกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน ยกเว้นว่าพืชที่ใช้ด้วยวิธีนี้จะมีพวกผักตบชวาและพวกแห่น และมีความลึกของน้ำลึกกว่า คือ มีความ ลึกประมาณ 50-180 ซม. ก่อนที่น้ำเสียจะไหลเข้าระบบต้องการผ่านระบบตกตะกอนก่อน และตาม ด้วยการเติมอากาศในระยะเวลาสั้น ทั้งนี้เพื่อให้บำบัดนี้มีปริมาณออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา เพื่อ ป้องกันกลิ่นเหม็นและแมลงต่างๆ มาตอม สำหรับวิธีพืชลอยน้ำจะมีปัจจัยต่างๆ ที่ควรทราบ เพื่อเป็น ประโยชน์ในการออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ เวลาพักเก็บ ระดับความลึก การจัดวางเรียง บ่อ ภาระอินทรีย์ของน้ำเสีย ภาระชลศาสตร์ เป็นต้น

#### 1.4 สีในน้ำเสียอุตสาหกรรม (วนิดา ชูอักษร, 2555)

สีในแหล่งน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1) สีแท้หรือสีจริง (True color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารต่าง ๆ ในน้ำ และละลายกลายเป็น เนื้อเดียวกับน้ำ โดยสารที่มีผลต่อการเกิดสีแท้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายยากประเภท กรดฮิวมิก และฟัลวิค (Humic acid and fulvic acid) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต และ ผลผลิตจากกระบวนการเมทาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความคงตัวสูงมากจนไม่สามารถย่อยสลาย และแยกออกโดยการกรองได้ การกำจัดสีแท้จึงทำได้ยาก

2) สีปรากฏ (Apparent color) หมายถึง สีที่เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำที่สะท้อนแสง ปรากฏให้เห็นแก่สายตา เช่น แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ เกล็ดของซากพืชซากสัตว์ ตะกอน ของดินและทราย สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เช่น การกรอง หรือการตกตะกอน

สำหรับสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีทั้งสีแท้และสีปรากฏ โดยสีแท้มักเป็นน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มและอบไม้ยางพารา ส่วนสีปรากฏเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำจาก 2 กรณี คือ สีของน้ำเสียเองเนื่องจากการปนเปื้อนมาแต่แรกในน้ำเสีย เช่น สีของน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมทอผ้า ฟอกย้อมเยื่อกระดาษ ซึ่งสีที่เกิดขึ้นเป็นสีปรากฏจากสารเคมี ในกระบวนการผลิต รวมทั้งลิกนินและ แทนนิน โดยอาจแบ่งประเภทตามการแตกตัวให้ประจุ เส้นใยที่ใช้ย้อมหมู่ช่วย ละลาย รวมทั้งโครงสร้างทางเคมีของสี นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียหลังจากการเก็บกัก หรือ

หลังจากผ่านการบำบัด เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) ที่อาศัยสาหร่ายให้ออกซิเจน แต่สาหร่ายทำให้น้ำมีสีเขียว เป็นต้น

### 1.5 เทคโนโลยีการกำจัดสีในอุตสาหกรรม (วนิดา ชูอักษร, 2555)

เทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม มีหลายวิธีได้แก่วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง แต่มีข้อจำกัดคือการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแผ่น ก็จะต้องควบคุมระดับความดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำ ค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ การสร้างตะกอนและการรวมตะกอนโดยใช้สารส้ม ปูนขาว และสารประกอบเหล็ก ก็เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการนำไปกำจัด กระบวนการเฟ้นต้นก็ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่างและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา การใช้โอโซน ก็ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรดต่าง และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็ง ในการใช้เทคโนโลยีทางกายภาพและเคมีมีข้อจำกัด เนื่องจากมีการใช้สารเคมีในการกำจัดนอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากและเป็นการเพิ่มสารเคมีในสิ่งแวดล้อมด้วย การใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ ได้แก่ การดูดซับสีด้วยสาหร่าย การย่อยสลายสีโดยใช้เชื้อราบางชนิด มีข้อจำกัดในเรื่องความสะดวกในการใช้งาน การเก็บรักษา การขนส่ง รวมถึงการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับและการย่อยสลาย การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ ในทางปฏิบัติควรมีการนำน้ำเสียมาทดสอบก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

## 2. แนวคิด

ปัจจุบันโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันต่าง ๆ พยายามบำบัดน้ำเสียและสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มโดยนำน้ำเสียไปผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะลดปริมาณสารแขวนลอย น้ำมัน ตลอดจนสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจนได้ระดับหนึ่ง แต่น้ำเสียที่เหลือสุดท้ายจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพดังกล่าวยังมีค่าสีและสารอินทรีย์สูง ทำให้โรงงานไม่สามารถปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำชุมชนต่าง ๆ ได้ เนื่องจากสีจะกั้นขวางปริมาณแสงส่องผ่านสู่แหล่งน้ำลดลง ลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำการผลิต ออกซิเจนลดลง แหล่งน้ำมีออกซิเจนไม่เพียงพอและไม่เหมาะสม ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ที่ผ่านมาโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแก้ไขปัญหาด้วยการนำน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้รดสวนปาล์ม แต่อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูฝนไม่สามารถระบายน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อความต้องการของพืช อีกทั้งการระเหยของน้ำในช่วงหน้าฝนมีอัตราค่อนข้างต่ำ

วิธีการบำบัดน้ำเสียและกำจัดสีในน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ได้แก่ การใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ การกรองด้วยเมมเบรน การตกตะกอนด้วยสารเคมี วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ กระบวนการแอดวานซ์ออกซิเดชัน และกระบวนการทางชีวภาพ แต่งานวิจัยที่ผ่านมายากต่อการนำไปใช้งานได้จริงกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถระบายน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มออกสู่แม่น้ำลำคลองหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้มีแนวคิดที่จะศึกษาวิธีลดค่าสีและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพที่มีในภาคใต้ คือ พันธุ์พืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ ซึ่งใช้วิธีการเลียนแบบธรรมชาติที่เรียกว่า บึงประดิษฐ์ (constructed wetlands) เนื่องจากรูปแบบการทำงานของระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน และไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ที่มีราคาแพง โดยการคัดเลือกพืชและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและลดค่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสม พืชที่ผ่านการคัดเลือกกว่ามีความเหมาะสมในการกำจัดสีและลดค่าสารอินทรีย์จะช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยการกรองน้ำเสียขณะที่ไหลผ่านแปลงพืชและการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงให้กับน้ำเสียนั้น ร่วมกับการใช้ดินผสมทรายช่วยในการกรองน้ำเสีย และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zahrim และคณะ (2009) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนที่มีความเข้มข้นของสีในช่วง 3,816-6,994 PtCo และมีค่าซีโอดีในช่วง 1,003-1,279 มก/ล โดยใช้วิธี suspended activated sludge (SAS) และใช้ถ่านกัมมันต์อัดเม็ดจากตะกอน (activated sludge-granular activated carbon, ASGAC) ในถังหมักระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าการใช้วิธี SAS สามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 0-14 ส่วนการกำจัดสีด้วยวิธี ASGAC สามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งได้ร้อยละ 41-28 และการใช้วิธี SAS สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 27-39 ส่วนการกำจัดสีด้วยวิธี ASGAC สามารถลดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งได้ร้อยละ 70-59

Bunrung และคณะ (2011) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพที่มีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,832 มก/ล, ของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 4,340 มล/ล, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 2,370 มก/ล, ปริมาณฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 21.02 มก/ล และความเข้มข้นของสีเท่ากับ 1,633 PtCo พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 15 เมื่อบำบัดในห้องปฏิบัติการด้วยการเขย่าสามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งได้ร้อยละ 82 และไม่เขย่าสามารถกำจัดสีของน้ำทิ้งได้ร้อยละ 48

ปาริชาติ หมื่นสีทา (2547) ได้การศึกษการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดบางส่วนจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 91.77 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 51.84 ที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์เวลาเก็บกัก 30 นาที

ปรีชา มุณีศรี (2539) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีค่าซีโอดี 35.50 ก/ล น้ำมันและกรีส 24.90 ก/ล ของแข็งทั้งหมด 53.03 ก/ล ของแข็งแขวนลอย 33.10 ก/ล และมีแร่ธาตุต่าง ๆ เล็กน้อย (N 0.90, P 0.25, K 4.14, Ca 0.39, และ Mg 0.63 กรัมต่อลิตร) โดยใช้จุลินทรีย์ พบว่าสายพันธุ์รา ST 29 สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 99.65 ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 66

จุฑารัตน์ หนูสุข (2546) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยบรรจุตัวกลางกรวด และปลูกต้นธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) โดยบ่อน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายที่ผ่านระบบบำบัดแบบบ่อหมักและปรับสภาพแล้ว พบว่า บึงประดิษฐ์ที่มีอัตราการไหลของน้ำที่บ่อน้ำเข้าระบบเท่ากับ 0.086 ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 15 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดดีที่สุดในแง่ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้สูงมาร้อยละ 90.49 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีได้ดีเท่ากับร้อยละ 74.11 แต่น้ำทิ้งที่ออกจากระบบยังมีปริมาณบีโอดีไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและทีเคเอ็นร้อยละ 61.65 59.06 และ 54.4 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 39.48 และยังพบว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่บ่อน้ำเข้าระบบมีค่าน้อยลง หรือระบบมีระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอย ซีไอดีบีโอดี ทีเคเอ็นและฟอสฟอรัสได้สูงขึ้น

Ketkunphan และคณะ (2012) ได้ศึกษาการกำจัดซีไอดีและค่าซีไอดีของน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลด้วยปรงทะเล (*Acrostichum aureum* L.) ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถลดค่าซีไอดีและลดค่า ซีไอดีได้ร้อยละ 30 และ 44 ตามลำดับ และเมื่อศึกษาด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่ไหลใต้ดิน (constructed subsurface-flow wetland) ในระดับโรงงานน้ำตาลที่มีเชื้อ *Pseudomonas putida* ร่วมด้วย พบว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีและลดค่าซีไอดีของน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลได้ร้อยละ 82 และ 90 ตามลำดับ โดยค่าซีไอดีที่ลดลงร้อยละ 90 มาเป็นผลมาจากพีซีร้อยละ 37 ผลจากจุลินทรีย์ 28 และผลจากดินร้อยละ 18 ในระยะเวลาบำบัด 5-7 วัน

### บทที่ 3

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### 1. วัสดุ

- 1) น้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (บ่อที่ 3) จากบริษัท ไทยทาลีโรว์แอนด์ออยล์ จำกัด อ.พระแสง จ.สุราษฎร์ธานี
- 2) พีชชุ่มน้ำ ได้แก่ กกราชินี, กระจูด, ฐุปลาชี และปรงทะเล
- 3) ระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง จะใช้กระถางปูนขนาดความกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 0.25 เมตร x 0.85 เมตร x 0.20 เมตร จำนวน 4 กระถางมาต่อกันโดยเจาะต่อท่อสลับหัวท้ายที่ระดับความสูง 14 ซม. เพื่อให้น้ำทิ้งไหลเข้าและเส้นทางด้านบนอีกด้านของกระถาง ดังแสดงในรูปที่ 3.1
- 4) สารเคมี  
สารเคมีระดับ analytical grade สำหรับการวิเคราะห์ค่าซีโอดี และค่าสี



รูปที่ 3.1 กระถางปูนที่นำมาใช้เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราการไหลของน้ำทิ้ง

#### 2. อุปกรณ์

- 1) เครื่องไตเตรทหาค่าซีโอดีอัตโนมัติ EasyPlus Titration ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น EasyPlus™
- 2) เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z36HK
- 3) ตู้บ่มอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ SANYO รุ่น MIR-553 ประเทศญี่ปุ่น
- 4) ตู้เก็บเชื้อในสภาพแช่เยือกแข็ง -20 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ SANYO รุ่น MDF-436 ประเทศญี่ปุ่น
- 5) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Biochrom รุ่น Libra S12

- 6) เตาย่อยหลอดวิเคราะห์ซีโอที ยี่ห้อ Lovibond รุ่น ET 125 SC
- 7) ตู้บ่มเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Ritek รุ่น OM15
- 8) ตู้บ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น 600
- 9) ปัมป์จ่ายของเหลวแบบรีดท่อ (Peristaltic Pump) ยี่ห้อ Eylea รุ่น RP-2000

### 3. วิธีการ

#### 3.1 การศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

3.1.1 เตรียมพืชที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในท้องถิ่นภาคใต้ ได้แก่ ต้นกกราชินี กกกระจูด ต้นธูปฤาษี และต้นปรงทะเลโดยคัดเลือกพืชที่มีอายุใกล้เคียงกัน และมีความสูงเท่ากับ 50 เซนติเมตร นำมาล้างดินและโคลนออก ตัดแต่งต้นเอาใบที่ไม่สมบูรณ์ออก ตัดเอาเฉพาะรากที่สมบูรณ์ความยาวเท่ากับ 30 เซนติเมตร

3.1.2 เตรียมกระถางพลาสติกโดยบรรจุดินเหนียวน้ำหนัก 3,000 กรัมต่อกระถาง เติมน้ำให้เต็มแล้วขังไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อให้เนื้อดินเกิดความชุ่มชื้นและนิ่ม

3.1.3 นำพืชชุ่มน้ำจากวิธีการข้อที่ 3.1.1 ที่มีน้ำหนัก 500 กรัม มาปลูกในกระถางพลาสติกที่เตรียมไว้ เติมน้ำสะอาดแล้วอนุบาลให้พืชเจริญเป็นระยะเวลา 2 เดือน ก่อนนำมาทำการศึกษาคัดเลือกพืชชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเตรียมพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก ก่อนนำมาศึกษาคัดเลือกพืชที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้ง

3.1.4 การศึกษาคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1) ให้นำน้ำในกระถางพลาสติกที่ปลูกพืชชุ่มน้ำที่อนุบาลเอาไว้มานาน 2 เดือน ออกให้หมด ปล่อยให้แห้ง 1 วัน แล้วเติมน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพให้เต็ม ชั่งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อปรับสภาพต้นพืชแล้วปล่อยให้แห้งจนหมด

2) เติมน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพปริมาตร 3,000 มิลลิตรต่อพืช 1 กระถาง จำนวน 3 กระถางต่อพืชชุ่มน้ำ 1 ชนิด ทำเครื่องหมายระดับน้ำทิ้งที่เติมลงไป และเติมน้ำสะอาดให้เท่าระดับที่เติมน้ำทิ้งลงไปครั้งแรกก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

3) เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนบำบัดและหลังที่ผ่านระบบในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน

4) นำมาวิเคราะห์ค่าสี ซีโอติ พีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด

5) คัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติได้มากที่สุดตามระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทดลองขั้นต่อไป สำหรับชุดควบคุมทำเหมือนขั้นตอนทั้งหมด แต่ไม่มีปลูกพืชใด ๆ

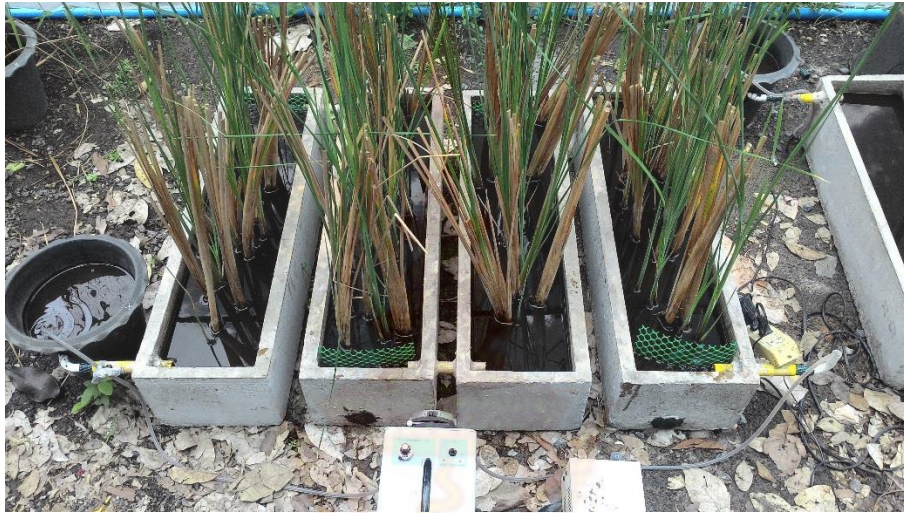
ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล/สารอินทรีย์ในรูปซีโอติ คำนวณได้จากสมการ  $(1 - \frac{C_t}{C_0}) \times 100$  เมื่อ  $C_0$  และ  $C_t$  ค่าสีน้ำตาล/สารอินทรีย์ในรูปซีโอติที่เวลาการบำบัดเริ่มต้นและเวลาที่กำหนด

3.1.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำในระบบบำบัดจำลอง ซึ่งในที่นี้จะศึกษาเฉพาะอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าระบบที่ระดับต่าง ๆ 3 ระดับ คือ อัตราการไหลที่ 166, 266 และ 418 ลิตรต่อวัน มีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้ คือ

3.1.5.1 การเตรียมระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่ไหลใต้ดิน โดยใช้กระถางปูนขนาดความกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 0.25 เมตร x 0.85 เมตร x 0.20 เมตร ทาสีเมนต์กันซึมแบบยัดหยุ่นเพื่อกันน้ำซึม จำนวน 4 กระถาง เจาะใส่ท่อขนาด 0.5 นิ้ว สลับหัวท้ายเพื่อให้เกิดน้ำไหลในวนภายในระบบ ใส่ก้อนหินให้ที่ก้นถึงให้มีความสูง 0.05 เมตร ปูทับชั้นหินด้วยตาข่าย แล้วใส่ดินเหนียวปริมาณ 15 กิโลกรัมต่อ 1 กระถาง เติมน้ำให้เต็มแล้วชั่งไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน หรือจนเนื้อดินมีความชุ่มชื้น และนึ่ง สำหรับชุดควบคุมทำเหมือนขั้นตอนทั้งหมด แต่ไม่ปลูกพืชชุ่มน้ำใด ๆ

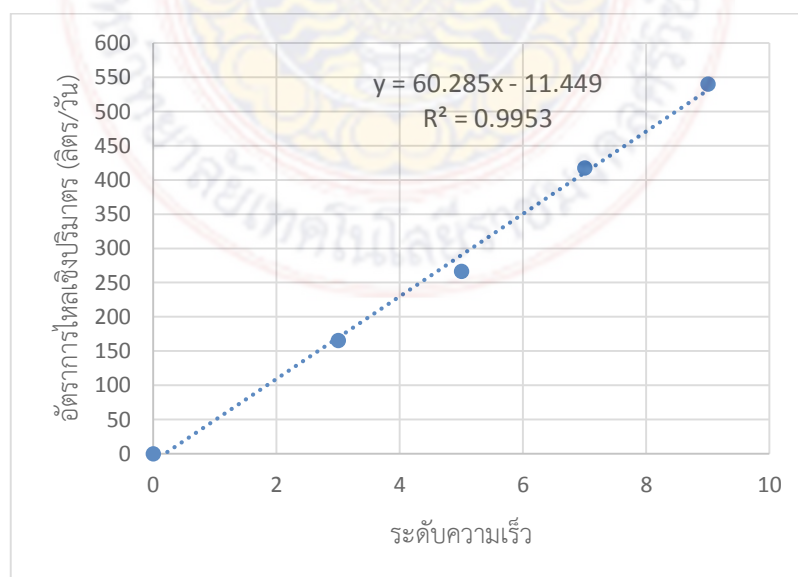
3.1.5.2 นำพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติที่ผ่านการคัดเลือกจากวิธีการข้อที่ 3.1.2 มาปลูกในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่เตรียมไว้ จำนวน 16 กอ ที่มีน้ำหนักกอละ 500 กรัม มาปลูกในกระถาง ๆ ละ 4 กอ ให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน แล้วเติมน้ำสะอาดลงในกระถางปูนที่ปลูกเพาะเลี้ยงไว้เป็นระยะเวลา 2 เดือน

3.1.5.3 เมื่อครบกำหนดการเพาะเลี้ยงพืชชุ่มน้ำเป็นระยะเวลา 2 เดือนแล้ว จะถ่ายน้ำออกทิ้งให้แห้ง 1 วัน แล้วเติมน้ำที่จกชั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพให้เต็มระบบ ซังไว้เป็นระยะเวลานาน 7 วัน เพื่อปรับสภาพต้นพืชแล้วปล่อยทิ้งจนหมด แล้วเติมน้ำที่จกแบบต่อเนื่องเพื่อทำการทดลองด้วยปั๊มสุบจ่ายของเหลวแบบบริดท้อ ดังแสดงรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ระบบบำบัดจำลองสำหรับศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำที่จกชั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพด้วยต้นธูปฤาษี

3.1.5.4 ศึกษาอัตราการไหลของน้ำที่จกด้วยอัตราการไหลที่ 166, 266 และ 418 ลิตรต่อวัน ด้วยการปรับตั้งความเร็วที่ปั๊มสุบจ่ายของเหลวแบบบริดท้อ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วของปั๊มกับปริมาตรของเหลว ตามสมการ  $y = 60.285x - 11.449$  เมื่อ  $x$  คือ ระดับความเร็วของปั๊ม และ  $y$  คือ อัตราการไหล (ลิตรต่อวัน) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเร็วของปั๊มกับปริมาตรของเหลว



3.1.5.5 เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบแล้วในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน นำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์ค่าสี ซีไอดี พีเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการดูดน้ำทิ้งของพืช (ก่อนเก็บตัวอย่างจะเติมน้ำสะอาดเท่ากับระดับก่อนทำการทดลอง)

3.1.5.6 คัดเลือกอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด

### 3.2 วิธีการวิเคราะห์ (ภาคผนวก ก)

3.2.1 การวัดค่าสีโดยวิธีเปรียบเทียบแพลทตินัมโคบอลต์มาตรฐาน (Platinum cobalt standard) (APHA AWWA and WEF, 1998)

3.2.2 สารอินทรีย์ในรูปซีไอดี (Chemical Oxygen Demand) โดยวิธีรีฟลักแบบเปิดแล้วไตเตรทด้วยเครื่องไตเตรทอัตโนมัติ EasyPlus Titration (ดัดแปลงจาก APHA AWWA and WEF, 1998)

3.2.3 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Suspended Solids, SS) (APHA AWWA and WEF, 1998)

3.2.4 ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Suspended Solids, SS) (APHA AWWA and WEF, 1998)

### 3.3 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Designed, CRD) ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล สารอินทรีย์ในรูปซีไอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความสูงของพืชข่มน้ำ (ร้อยละ) ในแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

## บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

### 1. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ

น้ำทิ้งที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำทิ้งที่ผ่านการผลิตก๊าซชีวภาพในบ่อที่ 3 จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (บ่อที่ 3)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
สารอินทรีย์ในรูปซีไอดี (มก/ล)	2,537±155
ค่าสี (PtCo)	8,598±15
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (มก/ล)	8,188±713
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก/ล)	1,168±236
พีเอช	8.54±0.04

### 2. ผลการศึกษาคัดเลือกคัดเลือกพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ

#### 2.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำ

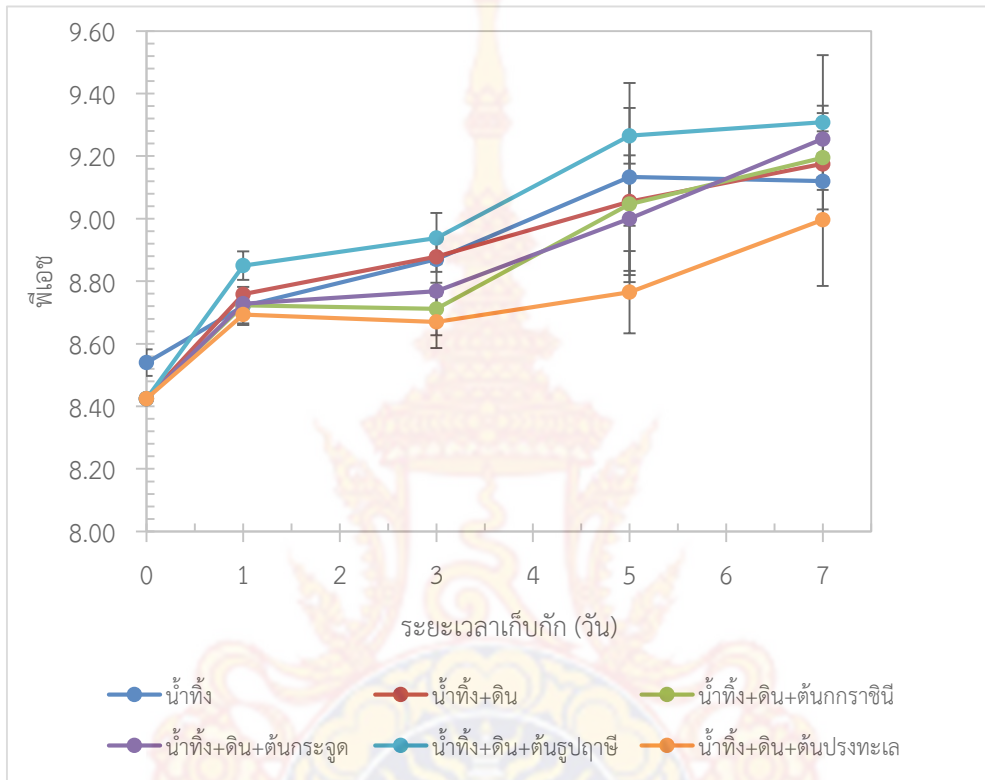
##### 2.1.1 พีเอชของน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำ

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำทิ้งในขั้นตอนการคัดเลือกพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ต้นกก ราชินี ต้นกระจุต ต้นธูปฤาษี และต้นปรงทะเล ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน พบว่า พีเอชในน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของพีเอชในระบบนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากผลกระทบของการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของจุลินทรีย์ (ลลินี และ มณฑล, 2554) โดยพีเอชในน้ำทิ้งที่มีการปลูกต้นธูปฤาษีมีค่าพีเอชสูงกว่าค่าพีเอชน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น และมีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำทิ้ง โดยอยู่ในช่วง 8.43-9.31 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมในช่วง 4.0-9.0 ทำให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี และจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้อย่างเต็มที่ (Reed, 1980)

##### 2.1.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในน้ำทิ้งในขั้นตอนการคัดเลือกพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ต้นกก ราชินี ต้นกระจุต ต้นธูปฤาษี และต้นปรงทะเล ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน พบว่า ต้นธูปฤาษีที่ปลูกในดินเหนียวมีประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 66 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น และพบว่า ต้นกกกราชินีมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดได้มากกว่าพืชชุ่มน้ำชนิดอื่นซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49 ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำตมที่ปลูกพืชชุ่มน้ำ ที่ระยะเวลาเก็บเก็บ 7 วัน

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำตมที่ปลูกพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก/ล)			ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (มก/ล)		
	ระยะเวลาเก็บเก็บ		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ระยะเวลาเก็บเก็บ		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
	0 วัน	7 วัน		0 วัน	7 วัน	
น้ำตม	1,168±236	1,168±236	-	8,188±713	8,188±713	-
น้ำตม+ดิน	1,168±236	1,400±236	-	8,188±713	6,586±440	-
น้ำตม+ดิน+ต้นกกกราชินี	1,168±236	421±75	64 <sup>ก</sup>	8,188±713	4,395±390	46 <sup>ก</sup>
น้ำตม+ดิน+ต้นกระจุต	1,168±236	573±34	51 <sup>ข</sup>	8,188±713	4,857±272	41 <sup>ข</sup>
น้ำตม+ดิน+ต้นธูปฤาษี	1,168±236	398±71	66 <sup>ก</sup>	8,188±713	4,156±121	49 <sup>ก</sup>
น้ำตม+ดิน+ต้นปรงทะเล	1,168±236	609±96	48 <sup>ข</sup>	8,188±713	5,234±392	36 <sup>ก</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าต้นรูปถ่ายที่ปลูกในน้ำที่มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำที่จากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (บ่อที่ 3) ได้แต่ยังสูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด คือ ต้องไม่มากกว่า 150 มก/ล แต่มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำที่ไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด คือ ต้องไม่มากกว่า 5,000 มก/ล (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2539)

### 2.1.3 การเจริญของพืชชุ่มน้ำ

การเจริญของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ต้นกกกราชินี ต้นกระจุต ต้นรูปถ่าย และต้นปรงทะเลที่ปลูกในกระถางพลาสติกที่บรรจุน้ำทิ้งของการศึกษาขั้นต้น ทำโดยการวัดร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บกักเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า พืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ มีร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นว่าต้นปรงทะเลมีร้อยละของความสูงเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน

**ตารางที่ 4.3** ร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นของพืชชุ่มน้ำที่บำบัดน้ำทิ้งในกระถางพลาสติก ที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน

พืชชุ่มน้ำ	ความสูงที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
ต้นกกกราชินี	16.01 <sup>ก</sup> ±5.36
ต้นกระจุต	20.43 <sup>ก</sup> ±0.31
ต้นรูปถ่าย	22.33 <sup>ก</sup> ±15.77
ต้นปรงทะเล	31.15 <sup>ก</sup> ±15.20

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสดมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

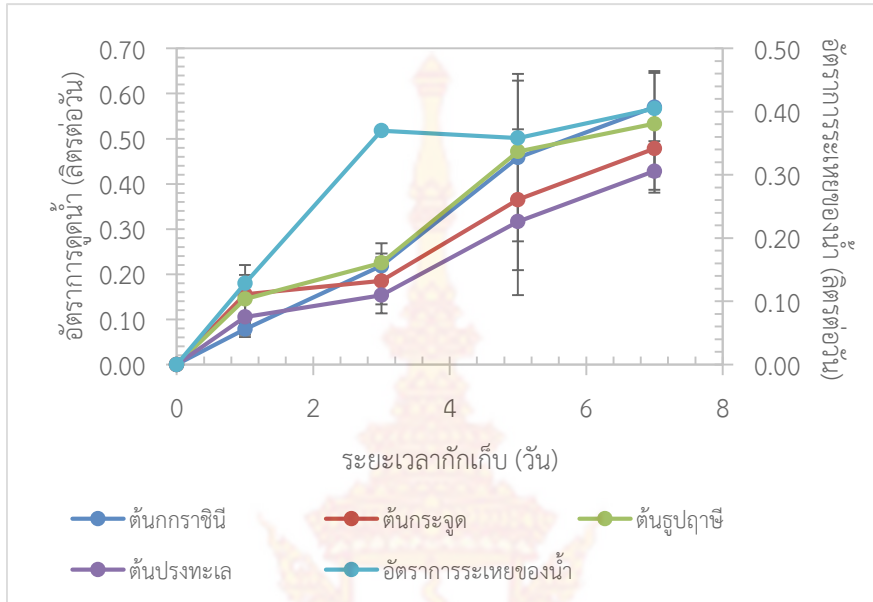
### 2.1.4 อัตราการดูดน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ

อัตราการดูดน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในกระถางพลาสติกที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7 วัน พบว่า พืชชุ่มน้ำทุกชนิดมีอัตราการดูดน้ำทิ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยต้นกกกราชินีมีอัตราการดูดน้ำทิ้งมากที่สุด เท่ากับ  $0.570 \pm 0.08$  ลิตรต่อวัน รองลงมาคือ ต้นรูปถ่าย ต้นกระจุต และต้นปรงทะเลซึ่งมีอัตราการดูดน้ำทิ้งเท่ากับ  $0.533 \pm 0.12$  ลิตรต่อวัน  $0.478 \pm 0.09$  ลิตรต่อวัน และ  $0.428 \pm 0.05$  ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

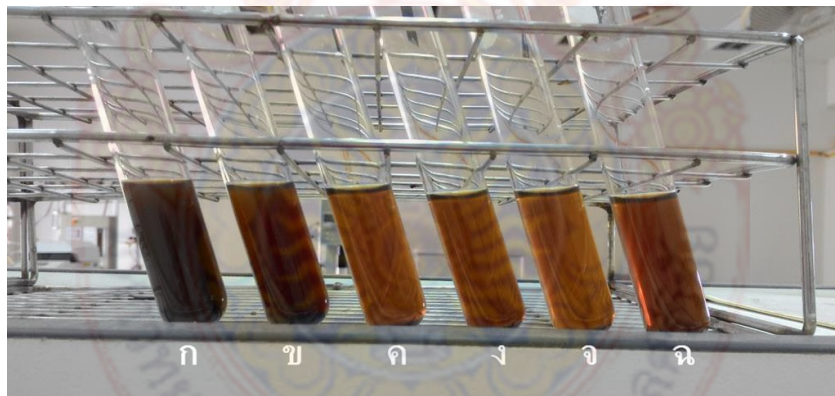
## 2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำ

จากการวิเคราะห์ค่าสีในน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ต้นกกกราชินี ต้นกระจุต ต้นรูปถ่าย และต้นปรงทะเล น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัมที่ปลูกในกระถางพลาสติกที่มีดินเหนียว 3 กิโลกรัม หลังเก็บกักน้ำทิ้งเป็นเวลา 7 วัน พบว่าต้นรูปถ่ายที่ปลูกในดินเหนียวมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด โดยสามารถกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่มีค่าสีเริ่มต้นเท่ากับ  $8,598 \pm 15$  PtCo ให้เหลือเท่ากับ  $3,866 \pm 46$  PtCo (ตารางที่ 4.4) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลเท่ากับ  $55.0 \pm 0.53$  (ตารางที่ 4.5) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น ลักษณะสีของน้ำ

ทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยพืชชุ่มน้ำที่ระยะเวลาพักเก็บนาน 7 วัน ในขั้นตอนการคัดเลือกพืชชุ่มน้ำที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 อัตราการดูดน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในกระถางพลาสติกที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน



(ก) น้ำทิ้ง (ข) น้ำทิ้ง+ดิน (ค) น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกรรขินี  
(ง) น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกระจูด (จ) น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี (ฉ) น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นปรงทะเล

รูปที่ 4.3 ลักษณะสีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ในกระถางพลาสติกที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน

ตารางที่ 4.4 ค่าสีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก

สิ่งทดลอง	ค่าสีที่เหลือจากการบำบัด (PtCo)				
	ระยะเวลาเก็บ				
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
น้ำทิ้ง	8,598±15	8,546±36	8,373±103	8,454±80	8,376±83
น้ำทิ้ง+ดิน	8,598±15	8,466±52	7,973±281	7,526±202	7,538±153
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกกราชินี	8,598±15	8,089±46	6,834±73	5,856±285	4,578±259
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกระจุต	8,598±15	7,879±213	7,206±170	6,779±45	5,259±405
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤาษี	8,598±15	7,648±155	6,214±86	4,913±95	3,866±46
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นปรังทะเล	8,598±15	8,319±61	7,398±158	7,028±115	5,676±296

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก

สิ่งทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล (ร้อยละ)				
	ระยะเวลาเก็บ				
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
น้ำทิ้ง	-	0.60 <sup>±</sup> ±0.27	2.62 <sup>±</sup> ±1.16	1.67 <sup>±</sup> ±0.94	2.58 <sup>±</sup> ±0.96
น้ำทิ้ง+ดิน	-	1.53 <sup>±</sup> ±0.47	7.27 <sup>±</sup> ±3.82	12.46 <sup>±</sup> ±2.96	12.33 <sup>±</sup> ±3.36
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกกราชินี	-	5.91 <sup>±</sup> ±0.38	20.51 <sup>±</sup> ±0.71	31.89 <sup>±</sup> ±3.25	46.76 <sup>±</sup> ±2.96
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกระจุต	-	8.34 <sup>±</sup> ±2.61	16.19 <sup>±</sup> ±2.03	21.158 <sup>±</sup> ±0.65	38.82 <sup>±</sup> ±4.82
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤาษี	-	11.05 <sup>±</sup> ±1.96	27.72 <sup>±</sup> ±0.87	42.86 <sup>±</sup> ±1.10	55.03 <sup>±</sup> ±0.53
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นปรังทะเล	-	3.23 <sup>±</sup> ±0.65	13.968 <sup>±</sup> ±1.69	18.26 <sup>±</sup> ±1.20	33.98 <sup>±</sup> ±3.39

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ทั้งค่าสีน้ำตาลในน้ำทิ้งและดินจะลดลงตามเวลาที่เก็บ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งหรือดิน และการดูดซับของดิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ketkunphan และคณะ (2012) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพบว่า จุลินทรีย์ในน้ำทิ้งสามารถกำจัดสีน้ำตาลได้ร้อยละ  $2.58 \pm 0.96$  จุลินทรีย์ในดินและหรือการดูดซับของดินสามารถกำจัดสีน้ำตาลได้เท่ากับ ร้อยละ  $9.75 \pm 1.13$  และต้นรูดฤาษีสามารถกำจัดสีน้ำตาลสุทธิได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $42.71 \pm 2.32$  ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น

### 2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำ

จากการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งที่ปลูกพืชชุ่มน้ำหลังชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ต้นกกราชินี ต้นกระจุต ต้นรูดฤาษี และต้นปรังทะเล น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัมที่ปลูกในกระถางพลาสติกที่มีดินเหนียว 3 กิโลกรัม หลังเก็บเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าต้นรูดฤาษีที่ปลูกในดินเหนียวมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอติได้ดีที่สุด โดยสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งที่มีค่าเริ่มต้น  $2,537 \pm 155$  มก/ล ให้เหลือเท่ากับ  $781 \pm 55$  มก/ล (ตารางที่ 4.7) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด

สารอินทรีย์ในรูปซีไอดี  $69.23 \pm 0.79$  (ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น

**ตารางที่ 4.6** ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำในกระถางพลาสติก

สิ่งทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล (ร้อยละ)
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง	$2.58^i \pm 0.96$
จุลินทรีย์ในดินหรือดิน	$9.75^j \pm 1.13$
ต้นกกราชินี	$34.43^k \pm 2.83$
ต้นกระจูด	$26.49^i \pm 4.14$
ต้นธูปฤาษี	$42.71^h \pm 2.32$
ต้นปรงทะเล	$21.65^k \pm 5.23$

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสดมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.7** ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีที่เหลือในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยพืชชุ่มน้ำ

สิ่งทดลอง	ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีที่เหลือในน้ำทิ้ง (มก/ล)				
	ระยะเวลาเก็บ				
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
น้ำทิ้ง	$2,537 \pm 155$	$1,924 \pm 56$	$1,839 \pm 191$	$1,735 \pm 62$	$1,642 \pm 61$
น้ำทิ้ง+ดิน	$2,538 \pm 239$	$1,901 \pm 66$	$1,682 \pm 26$	$1,600 \pm 82$	$1,507 \pm 87$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกกราชินี	$2,538 \pm 239$	$1,851 \pm 78$	$1,520 \pm 30$	$1,080 \pm 22$	$896 \pm 109$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกระจูด	$2,538 \pm 239$	$1,737 \pm 161$	$1,479 \pm 105$	$1,202 \pm 117$	$930 \pm 87$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี	$2,538 \pm 239$	$1,762 \pm 72$	$1,614 \pm 22$	$1,044 \pm 2$	$781 \pm 55$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นปรงทะเล	$2,538 \pm 239$	$1,987 \pm 122$	$1,366 \pm 88$	$1,242 \pm 26$	$935 \pm 135$

**ตารางที่ 4.8** ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำ

สิ่งทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (ร้อยละ)				
	ระยะเวลาเก็บ				
	0 วัน	1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน
น้ำทิ้ง	-	$23.89^{gij} \pm 6.51$	$27.55^i \pm 5.16$	$31.39^i \pm 6.04$	$35.17^{ij} \pm 4.07$
น้ำทิ้ง+ดิน	-	$24.79^{gij} \pm 7.00$	$33.55^{gh} \pm 3.82$	$36.87^i \pm 2.96$	$40.55^{ij} \pm 3.37$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกกราชินี	-	$26.77^{gij} \pm 7.21$	$39.98^{gh} \pm 2.56$	$57.35^{gh} \pm 2.39$	$64.52^i \pm 5.87$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นกระจูด	-	$31.62^i \pm 2.17$	$41.50^{gh} \pm 6.68$	$52.51^{gh} \pm 5.89$	$63.24^i \pm 4.49$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี	-	$30.49^{gh} \pm 1.47$	$36.22^{gh} \pm 4.25$	$58.77^i \pm 2.41$	$69.23^i \pm 0.79$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นปรงทะเล	-	$21.70^{ij} \pm 0.48$	$46.00^i \pm 4.66$	$50.98^{ij} \pm 1.94$	$62.84^i \pm 7.40$

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสดมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีในน้ำทิ้งและดินจะลดลงตามเวลาที่เก็บกัก ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งหรือดิน และการดูดซับของดิน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Ketkunphan และคณะ (2012) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพบว่า จุลินทรีย์ในน้ำทิ้งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 35.17±4.07 จุลินทรีย์ในดินและหรือการดูดซับของดินสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 5.38±1.64 และต้นธูปฤาษีสามารถกำจัดสารอินทรีย์สุทธิได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 28.68±4.13 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับพืชชุ่มน้ำชนิดอื่น

**ตารางที่ 4.9** ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำ

สิ่งทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (ร้อยละ)
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง	2.58 <sup>a</sup> ±0.96	35.17 <sup>a</sup> ±4.07
จุลินทรีย์ในดินหรือดิน	9.75 <sup>b</sup> ±1.13	5.38 <sup>b</sup> ±1.64
ต้นกรรขานี้	34.43 <sup>c</sup> ±2.83	23.97 <sup>c</sup> ±2.91
ต้นกระจูด	26.49 <sup>d</sup> ±4.14	22.69 <sup>d</sup> ±1.24
ต้นธูปฤาษี	42.71 <sup>e</sup> ±2.32	28.68 <sup>e</sup> ±4.13
ต้นปรอททะเล	21.65 <sup>f</sup> ±5.23	22.29 <sup>f</sup> ±6.43

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

จากผลการศึกษาการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ รวมทั้งการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำทิ้งของพืชชุ่มน้ำข้างต้น จึงคัดเลือกต้นธูปฤาษีไว้สำหรับการศึกษาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง

### 3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง

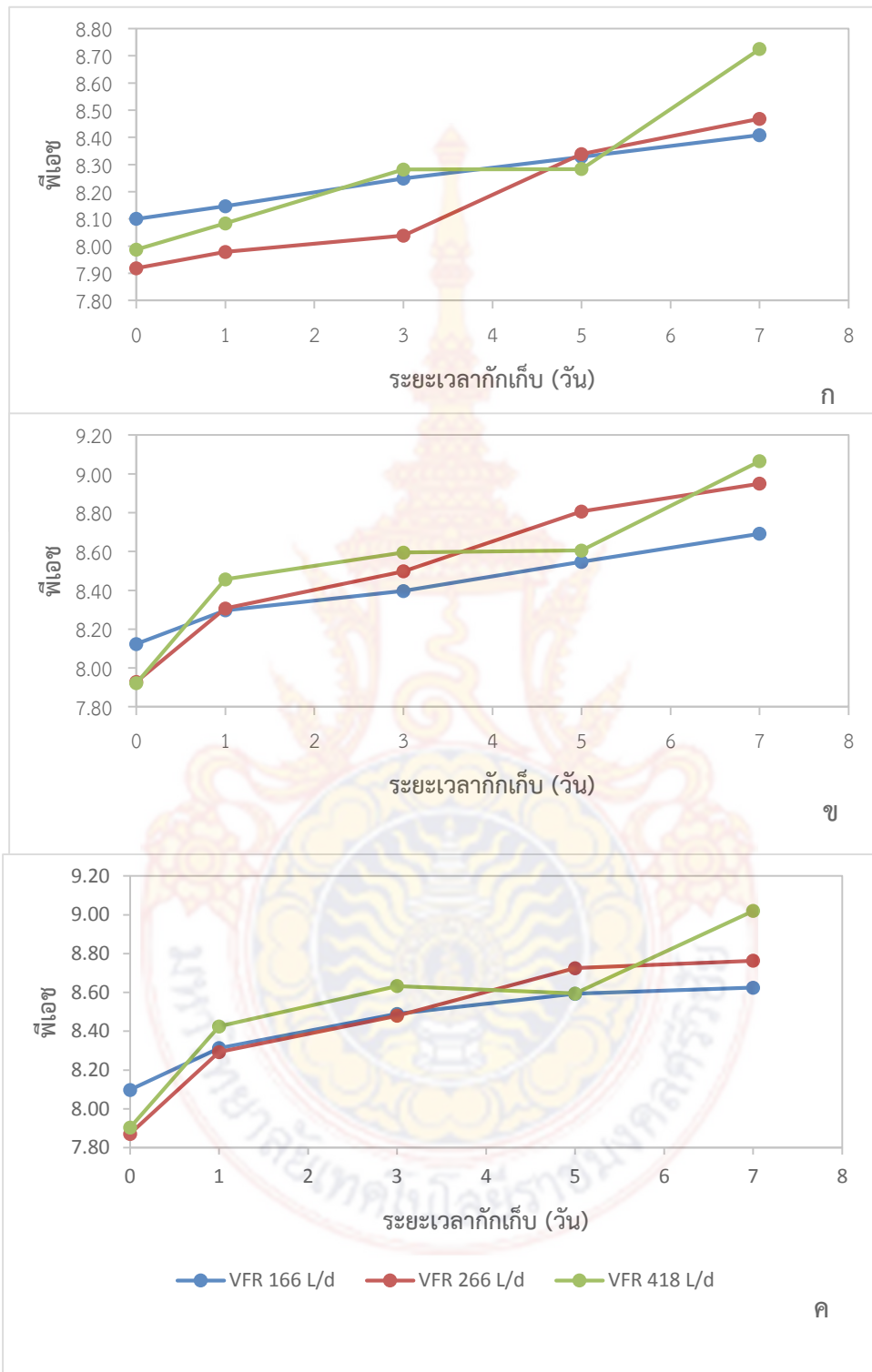
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอติในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ จะใช้พืชชุ่มน้ำที่ผ่านการคัดเลือกขั้นต้น คือ ต้นธูปฤาษี และจะศึกษาเฉพาะอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ระดับต่าง ๆ จำนวน 3 ระดับ คือ อัตราการไหลที่ 166, 266 และ 418 ลิตรต่อวัน

#### 3.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษี

##### 3.1.1 พีเอชของน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษี

การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน พบว่า พีเอชของระบบบำบัดน้ำทิ้งที่มีน้ำทิ้ง+ดิน และระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่มีน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษีไม่มีความแตกต่างกันมาก โดยมีค่าพีเอชของระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่มีน้ำทิ้ง+ดิน และระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่มีน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษีจะมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.4





รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลองที่มี (ก) น้ำทิ้ง+ดิน (ข) และ น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรพฤษี (ค) ที่ระยะเวลาที่กักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

### 3.1.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ พบว่า ระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ใช้อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $965 \pm 22$  มก/ล ให้เหลือได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ  $93 \pm 12$  มก/ล หลังสิ้นสุดระยะเก็บนาน 7 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับร้อยละ  $90.31 \pm 1.33$  และมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** การเปลี่ยนแปลงปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (วัน)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก/ล)			ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (มก/ล)		
		ระยะเวลาเก็บ (วัน)		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ระยะเวลาเก็บ (วัน)		ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)
		0	7		0	7	
น้ำทิ้ง	166	$1,198 \pm 59$	$967 \pm 240$	$18.87^{\text{a}} \pm 22.16$	$7,563 \pm 63$	$7,237 \pm 203$	$4.33^{\text{a}} \pm 1.89$
	266	$952 \pm 28$	$865 \pm 74$	$8.96^{\text{b}} \pm 9.58$	$8,783 \pm 306$	$8,312 \pm 270$	$5.36^{\text{b}} \pm 1.01$
	418	$1,387 \pm 86$	$1,233 \pm 42$	$10.88^{\text{b}} \pm 4.98$	$8,400 \pm 233$	$8,227 \pm 210$	$2.05^{\text{b}} \pm 1.76$
น้ำทิ้ง+ดิน	166	$1,102 \pm 158$	$343 \pm 28$	$68.31^{\text{a}} \pm 5.86$	$7,237 \pm 173$	$5,563 \pm 93$	$23.10^{\text{a}} \pm 2.06$
	266	$857 \pm 241$	$165 \pm 33$	$78.74^{\text{a}} \pm 10.67$	$8,272 \pm 275$	$4,885 \pm 125$	$40.93^{\text{a}} \pm 0.73$
	418	$885 \pm 13$	$242 \pm 55$	$72.69^{\text{a}} \pm 6.27$	$7,737 \pm 190$	$5,847 \pm 58$	$24.41^{\text{a}} \pm 1.40$
น้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี	166	$1,120 \pm 244$	$212 \pm 21$	$80.31^{\text{a}} \pm 5.89$	$7,348 \pm 311$	$4,855 \pm 261$	$33.95^{\text{a}} \pm 1.10$
	266	$965 \pm 22$	$93 \pm 12$	$90.31^{\text{a}} \pm 1.33$	$8,445 \pm 177$	$4,462 \pm 137$	$47.18^{\text{a}} \pm 0.53$
	418	$983 \pm 25$	$137 \pm 43$	$86.13^{\text{a}} \pm 4.13$	$8,022 \pm 120$	$4,680 \pm 109$	$41.66^{\text{a}} \pm 0.86$

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย (เฉพาะกลุ่ม) ที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

นอกจากนี้ยังพบว่าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ใช้อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $8,445 \pm 177$  มก/ล ให้เหลือได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ  $4,462 \pm 137$  มก/ล หลังสิ้นสุดระยะเก็บนาน 7 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ  $47.18 \pm 0.53$  และมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ซึ่งจะเห็นว่าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ใช้อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ (บ่อที่ 3) ได้ไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด คือ ต้องไม่มากกว่า 150 มก/ล และมีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำทิ้งได้ไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด คือ ต้องไม่มากกว่า 5,000 มก/ล (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2539)

### 3.1.3 การเจริญของต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง

การเจริญของต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ ทำโดยการวัดร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นหลังเก็บกักเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน จะมีผลให้ต้นธูปฤาษีมีความสูงที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $25.91 \pm 3.95$  และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.11

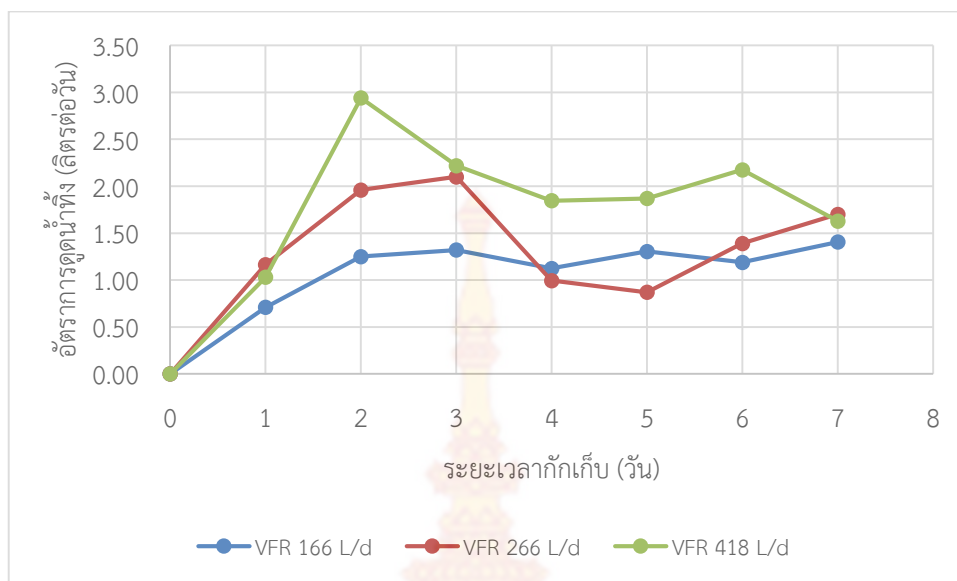
**ตารางที่ 4.11** ร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้นของต้นธูปฤาษีระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลอง ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักนาน 7 วัน

อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ลิตรต่อวัน)	ความสูงของต้นธูปฤาษีที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
166	$5.46^a \pm 1.11$
266	$25.91^b \pm 3.95$
418	$18.63^c \pm 2.14$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวสดมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

### 3.1.4 อัตราการดูดน้ำทิ้งและอัตราการระเหยของน้ำทิ้ง

อัตราการดูดน้ำทิ้งของต้นธูปฤาษีระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลอง ที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ พบว่า อัตราการดูดน้ำทิ้งของต้นธูปฤาษีที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 166, 266 และ 418 ลิตรต่อวัน จะอยู่ในช่วง 0.71-1.41, 0.87-2.10 และ 1.03-2.94 ลิตรต่อวัน โดยที่อัตราการดูดน้ำทิ้งของต้นธูปฤาษีที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน ต้นธูปฤาษีมีอัตราการดูดน้ำทิ้งได้มากที่สุดเท่ากับ 2.94 ลิตรต่อวันในวันที่ 2 ของการเก็บกัก และเมื่อสิ้นสุดการเก็บกักที่ 7 วันพบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวันต้นธูปฤาษีจะมีอัตราการดูดน้ำมากที่สุดเท่ากับ 1.70 ลิตรต่อวัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำทิ้งอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อัตราการดูดน้ำทิ้งของต้นรูปภาชีระหว่างการบำบัดน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลอง ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาที่เก็บนาน 7 วัน

### 3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งของต้นรูปภาชีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ระดับต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ค่าสีน้ำตาลในน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ระดับต่าง ๆ หลังเก็บกักน้ำทิ้งเป็นเวลา 7 วันพบว่า ระบบบำบัดที่มีน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปภาชี ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสีน้ำตาลซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $8,649 \pm 78$  PtCo ให้เหลือได้น้อยที่สุดเท่ากับ  $5,656 \pm 16$  PtCo มก/ล (ตารางที่ 4.12) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลเท่ากับร้อยละ  $54.74 \pm 0.31$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 266 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลเท่ากับร้อยละ  $53.16 \pm 0.78$  ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ดังนั้นที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน จึงน่าจะเหมาะสมในการป้อนน้ำทิ้งเข้าระบบบำบัดจำลอง

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่า ทั้งค่าสีน้ำตาลทั้งในน้ำทิ้งและดินในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองจะลดลงตามเวลาที่เก็บกักเช่นเดียวกับข้อมูลการคัดเลือกพืชชุ่มน้ำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งหรือดิน และการดูดซับของดิน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ketkunphan และคณะ (2012) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพบว่า จุลินทรีย์ในน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสีน้ำตาลได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $25.54 \pm 2.59$  และมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราไหลของน้ำทิ้งอื่น ๆ จุลินทรีย์ในดินและหรือการดูดซับของดินในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสีน้ำตาลได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $29.53 \pm 1.20$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 166 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลเท่ากับร้อยละ  $29.13 \pm 2.09$  และต้นรูปภาชีในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสี

น้ำตาลได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $12.68 \pm 0.73$  และมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่ อัตราไหลของน้ำทิ้งอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

**ตารางที่ 4.12** ค่าสีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	อัตราการไหล ของน้ำทิ้ง (วัน)	ค่าสีที่เหลือจากการบำบัด (PtCo)				
		ระยะเวลาพักเก็บ (วัน)				
		0	1	3	5	7
น้ำทิ้ง	166	8,919±73	8,801±387	8,823±186	9,183±49	9,098±42
	266	7,983±271	7,161±28	8,461±24	9,014±179	9,666±299
	418	9,013±78	8,586±139	9,061±108	9,486±49	9,823±7
น้ำทิ้ง+ดิน	166	8,999±266	8,918±198	7,518±9	7,093±134	5,918±80
	266	8,038±5	8,273±257	7,164±5	6,183±2	5,254±9
	418	8,769±7	8,404±61	7,244±5	6,599±31	5,688±28
น้ำทิ้ง + ดิน + ต้น ธูปฤาษี	166	8,608±71	8,693±120	7,124±66	6,336±26	5,031±24
	266	8,126±266	7,759±31	6,516±87	5,686±21	4,508±99
	418	8,649±78	8,128±19	6,691±85	5,656±16	4,443±40

**ตารางที่ 4.13** ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นธูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	อัตราการไหล ของน้ำทิ้ง (วัน)	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล (ร้อยละ)				
		ระยะเวลาพักเก็บ (วัน)				
		0	1	3	5	7
น้ำทิ้ง	166	-	1.39 <sup>u</sup> ±0.83	2.05 <sup>u</sup> ±0.95	3.26 <sup>n</sup> ±1.28	6.64 <sup>u</sup> ±1.35
	266	-	6.32 <sup>n</sup> ±1.74	12.02 <sup>n</sup> ±3.18	17.06 <sup>n</sup> ±0.38	25.54 <sup>n</sup> ±2.59
	418	-	3.36 <sup>ny</sup> ±0.71	7.04 <sup>ny</sup> ±0.59	8.83 <sup>u</sup> ±1.72	12.53 <sup>u</sup> ±1.61
น้ำทิ้ง+ดิน	166	-	3.62 <sup>u</sup> ±2.00	18.42 <sup>u</sup> ±0.08	23.03 <sup>u</sup> ±1.29	35.77 <sup>u</sup> ±0.74
	266	-	16.80 <sup>n</sup> ±3.42	25.51 <sup>n</sup> ±2.82	35.72 <sup>n</sup> ±2.50	45.37 <sup>n</sup> ±2.00
	418	-	14.38 <sup>n</sup> ±0.81	26.20 <sup>n</sup> ±0.21	32.77 <sup>n</sup> ±0.46	42.06 <sup>n</sup> ±0.42
น้ำทิ้ง + ดิน + ต้น ธูปฤาษี	166	-	6.65 <sup>u</sup> ±1.05	22.69 <sup>u</sup> ±0.55	31.24 <sup>u</sup> ±0.43	45.41 <sup>u</sup> ±0.38
	266	-	19.33 <sup>n</sup> ±2.80	32.27 <sup>n</sup> ±1.71	40.88 <sup>n</sup> ±2.50	53.16 <sup>n</sup> ±0.78
	418	-	17.20 <sup>n</sup> ±0.37	31.83 <sup>n</sup> ±1.01	42.38 <sup>n</sup> ±0.04	54.74 <sup>n</sup> ±0.31

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย (เฉพาะกลุ่ม) ที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.14** ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และต้นรู่ปลา ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองด้วยต้นรู่ปลา ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน

สิ่งทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาล (ร้อยละ)		
	อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ลิตรต่อวัน)		
	166	266	418
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง	6.64 <sup>u</sup> ±1.35	25.54 <sup>n</sup> ±2.59	12.53 <sup>u</sup> ±1.61
จุลินทรีย์ในดินหรือดิน	29.13 <sup>n</sup> ±2.09	19.83 <sup>u</sup> ±0.59	29.53 <sup>n</sup> ±1.20
ต้นรู่ปลา	9.63 <sup>n</sup> ±1.12	7.79 <sup>u</sup> ±1.23	12.68 <sup>n</sup> ±0.73

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวอนต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณสารอินทรีย์ ในน้ำทิ้งของต้นรู่ปลาในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ระดับต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ระดับต่าง ๆ หลังเก็บกักน้ำทิ้งเป็นเวลา 7 วันพบว่า ระบบบำบัดที่มีน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรู่ปลา ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $2,295 \pm 3$  ให้เหลือได้น้อยที่สุดเท่ากับ  $793 \pm 72$  มก/ล (ตารางที่ 4.15) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $68.22 \pm 1.46$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 266 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $65.26 \pm 0.80$  ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ดังนั้นที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน จึงน่าจะเหมาะสมในการป้อนน้ำทิ้งเข้าระบบบำบัดจำลองในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในน้ำทิ้ง และจะเห็นว่าระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีได้ แต่ยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด 1.98-2.72 เท่า

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่า ทั้งค่าสารอินทรีย์ทั้งในน้ำทิ้งและดินในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง จะลดลงตามเวลาที่เก็บกักเช่นเดียวกับข้อมูลการคัดเลือกพืชชุ่มน้ำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งหรือดิน และการดูดซับของดิน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ketkunphan และคณะ (2012) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพบว่า จุลินทรีย์ในน้ำทิ้งในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 166 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $26.20 \pm 13.58$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 266 และ 418 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $11.70 \pm 1.29$  และ  $14.02 \pm 2.65$  ตามลำดับ จุลินทรีย์ในดินและหรือการดูดซับของดินในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 418 ลิตรต่อวัน สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $43.35 \pm 1.41$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 166 และ 266 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $23.83 \pm 13.19$  และ  $41.82 \pm 1.43$  ตามลำดับ และต้นรู่ปลาในระบบบำบัดจำลองที่มีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน

สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ  $11.73 \pm 0.65$  แต่จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ 166 และ 418 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $5.17 \pm 4.34$  และ  $10.85 \pm 2.69$  ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.17

จากตารางที่ 4.14 และ 4.17 จะเห็นว่าในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองนอกเหนือจากต้นรูปฤาษีแล้ว ยังมีจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดิน หรือการดูดซับของดิน มีบทบาทร่วมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งอีกด้วย

**ตารางที่ 4.15** ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นรูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (วัน)	ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือในน้ำทิ้ง (มก/ล)				
		ระยะเวลาเก็บ (วัน)				
		0	1	3	5	7
น้ำทิ้ง	166	2,423±132	2,207±20	2,131±70	2,061±85	1,797±426
	266	2,897±33	2,792±130	2,725±106	2,636±51	2,558±67
	418	2,492±112	2,313±26	2,267±21	2,230±28	2,141±30
น้ำทิ้ง+ดิน	166	2,301±365	2,050±30	1,607±19	1,450±164	1,211±75
	266	2,629±35	2,133±11	1,704±29	1,548±10	1,346±11
	418	2,263±1	1,955±40	1,494±44	1,428±13	1,062±17
น้ำทิ้ง + ดิน + ต้นรูปฤาษี	166	2,053±96	2,008±86	1,594±45	1,322±13	1,089±174
	266	2,616±2	1,957±40	1,340±14	1,213±17	1,006±11
	418	2,295±3	1,819±6	1,222±52	1,086±18	793±72

**ตารางที่ 4.16** ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีที่เหลือจากการบำบัดน้ำทิ้งด้วยต้นรูปฤาษีในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลอง ที่ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ที่อัตราการไหลของน้ำทิ้งระดับต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (วัน)	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (ร้อยละ)				
		ระยะเวลาเก็บ (วัน)				
		0	1	3	5	7
น้ำทิ้ง	166	-	$8.81^{\text{a}} \pm 4.14$	$12.00^{\text{a}} \pm 1.90$	$14.91^{\text{a}} \pm 1.12$	$26.20^{\text{a}} \pm 13.58$
	266	-	$3.64^{\text{a}} \pm 3.38$	$5.94^{\text{a}} \pm 2.56$	$9.01^{\text{b}} \pm 0.71$	$11.70^{\text{b}} \pm 1.29$
	418	-	$7.14^{\text{a}} \pm 4.14$	$8.97^{\text{a}} \pm 3.26$	$10.45^{\text{ab}} \pm 2.90$	$14.02^{\text{b}} \pm 2.65$
น้ำทิ้ง+ดิน	166	-	$15.23^{\text{a}} \pm 5.86$	$33.57^{\text{a}} \pm 4.40$	$39.90^{\text{a}} \pm 10.2$	$50.03^{\text{a}} \pm 0.40$
	266	-	$26.36^{\text{a}} \pm 1.22$	$41.17^{\text{a}} \pm 1.68$	$46.55^{\text{a}} \pm 0.28$	$53.53^{\text{a}} \pm 0.14$
	418	-	$21.51^{\text{a}} \pm 1.92$	$40.01^{\text{a}} \pm 0.94$	$42.64^{\text{a}} \pm 3.12$	$57.37^{\text{a}} \pm 1.23$
น้ำทิ้ง + ดิน + ต้นรูปฤาษี	166	-	$17.12^{\text{a}} \pm 0.97$	$34.07^{\text{a}} \pm 5.45$	$45.39^{\text{a}} \pm 2.45$	$55.20^{\text{a}} \pm 4.74$
	266	-	$32.42^{\text{a}} \pm 2.17$	$53.74^{\text{a}} \pm 1.03$	$58.13^{\text{a}} \pm 1.09$	$65.26^{\text{a}} \pm 0.80$
	418	-	$26.92^{\text{a}} \pm 3.05$	$50.87^{\text{a}} \pm 4.30$	$56.35^{\text{a}} \pm 2.68$	$68.22^{\text{a}} \pm 1.46$

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย (เฉพาะกลุ่ม) ที่มีอักษรในแนวสทมภ์ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.17 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และต้นธูปฤาษี ในระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองด้วยต้นธูปฤาษี ที่ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน

สิ่งทดลอง	สารอินทรีย์ในรูปซีไอดีสุทธิ (ร้อยละ)		
	อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ลิตรต่อวัน)		
	166	266	418
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง	26.20 <sup>n</sup> ±13.58	11.70 <sup>n</sup> ±1.29	14.02 <sup>n</sup> ±2.65
จุลินทรีย์ในดินหรือดิน	23.83 <sup>n</sup> ±13.19	41.82 <sup>n</sup> ±1.43	43.35 <sup>n</sup> ±1.41
ต้นธูปฤาษี	5.17 <sup>n</sup> ±4.34	11.73 <sup>n</sup> ±0.65	10.85 <sup>n</sup> ±2.69

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรในแนวนอนต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )





### บทที่ 3

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 1. บทสรุป

งานวิจัยเรื่อง การกำจัดสีน้ำตาลและซีโอทีในน้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) พืชชุ่มน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ต้นธูปฤาษี

2) อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน มีความเหมาะสมสำหรับใช้ป้อนน้ำทิ้งเข้าในระบบบำบัดจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ในรูปซีโอทีในน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับร้อยละ  $53.16 \pm 0.78$  และ  $65.26 \pm 0.80$  ตามลำดับ แต่ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอทียังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด 1.98-2.72 เท่า และสีของน้ำทิ้งเป็นไปตามที่กำหนด คือ ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

3) ระบบบำบัดน้ำทิ้งจำลองที่ปลูกต้นธูปฤาษีที่ใช้อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 266 ลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

#### 2. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกน้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในบ่อที่ 3 ซึ่งจะมีค่าสีน้ำตาล และสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง แต่ระบบบำบัดด้วยพืชชุ่มน้ำสามารถลดค่าสีและสารอินทรีย์ได้ หากจะนำไปใช้งานจริงควรมีระบบกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และใช้พืชหลากหลายชนิดร่วมด้วย นอกจากนี้ควรศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทเฉพาะในการกำจัดสีน้ำตาลและสารอินทรีย์ รวมทั้งศึกษาสภาวะอื่น ๆ ในการคัดเลือกระบบบำบัดจำลองที่เหมาะสม ตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพของระบบที่ใช้จุลินทรีย์ร่วมพืชชุ่มน้ำ และความยั่งยืนของระบบร่วม

### เอกสารอ้างอิง

- จุฑารัตน์ หนูสุข. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 108 หน้า.
- ณัฐวุฒิ บุญเยี่ยม, สมชาย ดารารัตน์, ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, ทวีศักดิ์ หอมดอกไม้ และ จีรวรรณ ออดยะกุล. 2549. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนสองขั้นตอน. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 5, โรงแรมสยามซิตี้ กรุงเทพฯ.
- นงคราญ มณีวรรณ. 2552. ปาล์มน้ำมัน พืชพลังงาน (และพืชอาหาร) ที่น่าจับตามอง. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 25 (1): 22-28.
- ชนกฤต พรหมทอง. 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพและเฟนตันรีเอเจนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 144 หน้า.
- บุรณะศักดิ์ มาตหมาย. 2552. การใช้เทคโนโลยีพลังงานชีวภาพเพื่อการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี 36 (205): 60-67.
- ปรีชา มุณีศรี. 2539. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 123 หน้า.
- ปารีชาติ หมิ่นสีทา. 2547. การกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 111 หน้า.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2539. กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานลลินี ทับทิมทอง และ มณฑล ฐานุตตมวงศ์. 2554. การบำบัดน้ำเสียจากหอพักนิสิตด้วยบึงประดิษฐ์. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 77 (24): 47-57.
- วนิดา ชูอักษร. 2555. เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 17 (1): 181-191.
- สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์. 2548. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 94 หน้า.
- APHA AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 18<sup>th</sup> edition.
- Bunrung, S., Prasertsan, S. and Prasertsan, P. 2011. Decolourisation of Biogas Effluent of Palm Oil Mill using Palm Ash. TICHe International Conference, Hatyai, Songkhla.
- Ketkunphan, N., Inthorn, D., Singhakant, C. and Thiravetyan, P. 2012. Removal of COD and Color from Sugar Industry Wastewater by Leather Fern (*Acrostichum aureum* L.). 2012 International Conference on Sustainable Environmental Technologies (ICSET), Century Park Hotel, Bangkok.
- Reed, S. 1980. Aquaculture system for wastewater treatment. EPA 430/9-80-007.

Zahrim, A. Y., Rachel, F. M., Menaka, S., Su, S. Y., Melvin, F. and Chan, E. S. 2009. Decolourisation of anaerobic palm oil mill effluent via activated sludge-granular activated carbon. World Applied Science Journal 5: 126-129.



ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

### 1. การวัดค่าสีโดยวิธีเปรียบเทียบแพลทตินัมโคบอลต์มาตรฐาน (Platinum cobalt standard)(APHA AWWA and WEF, 1998)

#### 1.1 เครื่องมือ

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### 1.2 สารเคมี

สารละลายมาตรฐานคลอโรแพลทตินัม 0.1246 กรัม และผลึกโคบอลต์สกลอไรด์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นอยู่ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสีเท่ากับ 500 หน่วยสี

#### 1.3 วิธีวิเคราะห์

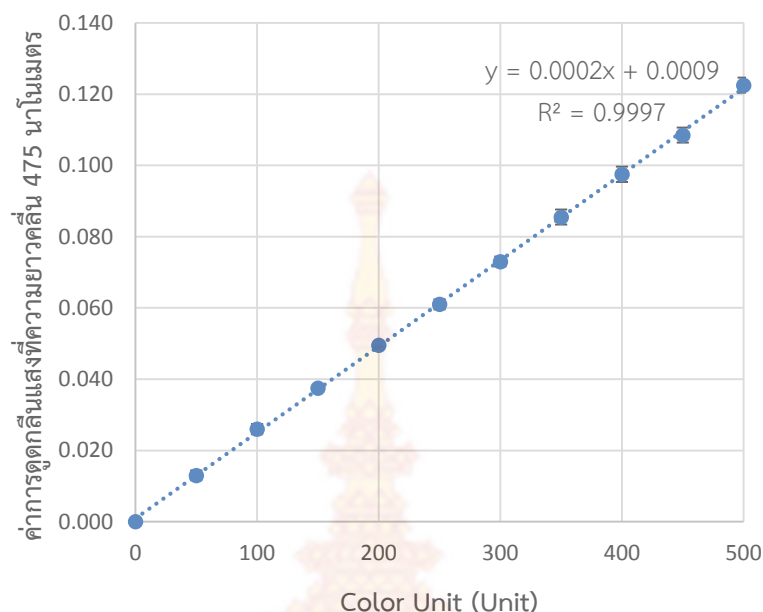
4) นำตัวอย่างมาแยกตะกอนโดยใช้เครื่องเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 นาที เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจนได้ตัวอย่างที่ใส

5) เจือจางตัวอย่างส่วนใสด้วยน้ำกลั่นที่เจือจางเหมาะสม วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank นำค่าดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของหน่วยสีกับค่าดูดกลืนแสงดังตารางผนวกที่ 1

6) คำนวณค่าสีของตัวอย่างเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของหน่วยสีกับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร

ความเข้มของหน่วยสี (ยูนิต)	ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน
	1	2		
0	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.012	0.014	0.013	0.001
100	0.027	0.025	0.026	0.001
150	0.038	0.037	0.038	0.001
200	0.050	0.049	0.050	0.001
250	0.062	0.060	0.061	0.001
300	0.074	0.072	0.073	0.001
350	0.087	0.084	0.086	0.002
400	0.099	0.096	0.098	0.002
450	0.110	0.107	0.109	0.002
500	0.124	0.121	0.123	0.002



รูปผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานความเข้มของหน่วยสีที่ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร

#### 1.4 การคำนวณ

$$\text{หน่วยสี (color units)} = C \times D$$

เมื่อ C คือ ค่าสีที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (color units)  
 ในที่นี้  $C = \frac{y - 0.0009}{0.0002}$

เมื่อ y คือ ค่าดูดกลืนแสง

D คือ อัตราการเจือจางตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) โดยวิธีรีฟลักแบบเปิดแล้วไตเตรทด้วยเครื่องไตเตรทอัตโนมัติ EasyPlus Titration (ดัดแปลงจาก APHA AWWA and WEF, 1998)

#### 2.1 หลักการทั่วไป

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการศึกษาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแล้วค่าซีโอดีจะมีค่าร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 50 ของค่าซีโอดีขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การวิเคราะห์ซีโอดีทำได้เร็วกว่าการหาบีโอดี (3 ชั่วโมงแทนที่

จะเป็น 5 วัน) และยังสามารถใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้เร็วกว่ามาก หลังจากที่ได้มีการศึกษาหาความสัมพันธ์เทียบกับค่าบีโอดีและอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดแล้ว ทำให้กล่าวได้ว่าการหาซีโอดีมีประโยชน์มากที่สุดในการควบคุมดูแลระบบสารอินทรีย์ส่วนมากจะถูกออกซิไดส์โดยสมบูรณ์ในการวิเคราะห์นี้

## 2.2 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.01667 นอร์มัล  
เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถกั้นความชื้น (desiccator) จำนวน 4.903 กรัม ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ค่อยๆ
- 2) Sulfuric acid reagent  
เตรียมโดยละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) จำนวน 22 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2,650 มิลลิลิตร ใช้เวลา 1-2 วันในการละลายเนื่องจากซิลเวอร์ซัลเฟตละลายยากมาก
- 3) สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์  
เตรียมโดยละลาย 1-10 พีแวนโทลีนโมโนไฮเดรต ( $C_{12}H_{16}N_4 \cdot H_2O$ ) จำนวน 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) จำนวน 0.695 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเท่ากับ 100 มิลลิลิตร
- 4) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous ammonium sulfate : FAS)  
ความเข้มข้น 0.10 นอร์มัล  
เตรียมโดยละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [ $Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ ] จำนวน 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้เท่ากับ 1 ลิตร

### การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัส แอมโมเนียมซัลเฟต

- ปิเปตสารละลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตความเข้มข้น 0.01667 นอร์มัล ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสำหรับไตเรท เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และเติม Sulfuric acid reagent 1.5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ให้เย็น
- แล้วเติมสารละลายเฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ (ถ้าไตเตรตด้วยเครื่อง EasyPlus Titration จะเติมหรือไม่เติมอินดิเคเตอร์ก็ได้ )
- ไตเตรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่บรรจุในเครื่อง EasyPlus Titration เมื่อถึงจุดสิ้นสุดหรือจุดยุติให้บันทึกปริมาตร (มล.) ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต
- คำนวณความเข้มข้น

$$FAS \text{ (นอร์มัล)} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (มล.)} \times 0.1}{\text{ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (มล.)}}$$

### 2.3 วิธีการวิเคราะห์

1) การเตรียมตัวอย่างน้ำทิ้ง โดยนำทิ้งมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้ค่าซีไอดีเหมาะสม ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนการเจือจางน้ำทิ้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1 ต่อ 10

2) ดูดตัวอย่างน้ำทิ้ง 2.5 มล. ใส่หลอดย่อยที่ล้างสะอาด และผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็น

3) ทำแบลลงค์โดยใส่น้ำกลั่นในหลอดย่อยจำนวน 2.5 มล.

4) เติมโพแทสเซียมไดโครเมตจำนวน 1.5 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเอเจนต์ 3.5 มล.

5) นำหลอดย่อยไปย่อยในเตาหลุมที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็น

6) ทำการไตเตรท ตามลำดับ ดังนี้คือ

(1) ไตเตรทหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตดูวิธีการในข้อที่ 4

(2) ไตเตรทหาปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทแบลลงค์

(3) ไตเตรทหาปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

7) เทตัวอย่างที่ผ่านกระดาษกรองลงในถ้วยสำหรับไตเตรทด้วยเครื่อง EasyPlus Titration และฉีดล้างหลอดย่อยด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะสารในหลอดย่อยออกให้หมด และเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 60 มล.

8) หยด (หรือไม่หยดก็ได้) เฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

9) ไตเตรทด้วยเครื่อง EasyPlus Titration ที่บรรจุสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแล้ว เมื่อถึงจุดยุติเครื่องจะหยุดเองโดยอัตโนมัติ บันทึกปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรทกับแบลลงค์ และตัวอย่าง

10) คำนวณค่าซีไอดีจาก

$$\text{ค่าซีไอดี} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทกับแบลลงค์

B คือ ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต



### 3. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Suspended Solids, SS) (APHA AWWA and WEF,1998)

#### 3.1 หลักการทั่วไป

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ (Nonfilterable residue) หมายถึง สารแขวนลอย หรือของแข็งแขวนลอย หาได้จากการกรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองใยแก้วอาจจะใช้ชุดกรองหรือกรวยบุคเนอร์ก็ได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ไม่สามารถกรองผ่านกระดาษกรองได้อาจใช้สำหรับวัดความสมดุลของของแข็งในระบบซึ่งเกี่ยวข้องกับการดักเก็บของแข็ง

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ชุดเยื่อกรอง หรือกรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
- 2) เครื่องปั๊มอากาศ หรือเครื่องดูดน้ำ (Suction apparatus)
- 3) ขวดที่ใช้กับเครื่องดูดอากาศ ขนาดประมาณ 500 มล.
- 4) ตู้อบแห้ง (Drying oven) 103°C - 105°C
- 5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 6) กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C glass microfiber filters) ยี่ห้อ whatman ขนาดรูกรอง 1.2 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm
- 7) โถดูดความชื้นแห้ง (Desiccator)
- 8) กระจกตวง
- 9) ภาชนะทนความร้อนสำหรับใส่กระดาษกรอง เช่น aluminium cup หรือกระเจกนาฬิกา

#### 3.3 วิธีวิเคราะห์

- 1) นำกระดาษกรองใยแก้ว ไปโดยอบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนกว่า น้ำหนักจะคงที่
- 2) นำกระดาษกรองใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกผล
- 3) ตวงตัวอย่างปริมาตร 20 มิลลิลิตร ด้วยกระจกตวง
- 4) ติดตั้งชุดกรองสุญญากาศบุคเนอร์และปั๊มดูดอากาศ โดยวางกระดาษกรองบนบุคเนอร์ ทำให้เปียกด้วยน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อยเปิดปั๊มดูดอากาศ
- 5) ค่อย ๆ เทน้ำตัวอย่างลงบนกรวยกรองบุคเนอร์ เมื่อน้ำตัวอย่างหมดทำการล้างเครื่องแก้วด้วยน้ำกลั่น แล้วเทตัวอย่างที่ติดค้างลงไปในบุคเนอร์
- 6) นำกระดาษกรองที่กรองตัวอย่าง อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำกระดาษกรองใส่ในโถดูดความชื้น 30 นาที และนำไปชั่งอีกครั้ง และบันทึกผล

### 3.4 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักกระดาศกรวมสารแขวนลอย (กรัม)  
B คือ น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)

## 4. ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) (APHA AWWA and WEF, 1998)

### 4.1 หลักการทั่วไป

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และสามารถไหลผ่านกระดาศกรองใยแก้ว เมื่อกรองปริมาณของแข็งแขวนลอยออก แล้วเอาน้ำส่วนใสที่ผ่านกระดาศกรองใยแก้วไประเหยจะหาปริมาณของแข็งละลายได้ มีหน่วยเป็น มก/ล

### 4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ตู้อบแห้ง
- 2) จานระเหย
- 3) เครื่องอังไอน้ำ
- 4) โถดูดความชื้น
- 5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### 4.3 วิธีวิเคราะห์

- 1) กรองของแข็งที่สามารถกรองได้ออกทิ้ง หรือใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรองที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งแขวนลอย
- 2) ชั่งจานระเหยที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงในโถดูดความชื้นจนได้น้ำหนักคงที่ สมมติว่าเป็น A มิลลิกรัม
- 3) ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรอง 50 ลบ.ซม. ใส่ในจานระเหย นำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำให้น้ำระเหยจนแห้ง
- 4) นำจานระเหยที่แห้งแล้วไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- 5) ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม

#### 4.4 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (มก/ล)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักกระดาศกรวมสารแขวนลอย (กรัม)

B คือ น้ำหนักกระดาศกรอง (กรัม)



### ภาคผนวก ข. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

**ตารางผนวกที่ 1** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	3	506.3750000	168.7916667	64.30	0.0008*
ความคลาดเคลื่อน	4	10.5000000	2.6250000		
รวม	7	516.8750000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 2.84

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.2

**ตารางผนวกที่ 2** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	3	196.0000000	65.3333333	32.67	0.0028*
ความคลาดเคลื่อน	4	8.0000000	2.0000000		
รวม	7	204.0000000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 3.29

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.2

**ตารางผนวกที่ 3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	3	363.273333	121.091111	0.95	0.0028 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	8	1020.953333	127.619167		
รวม	11	1384.226667			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 50.20

หมายเหตุ ns พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของความสูงที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.3

**ตารางผนวกที่ 4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	248.9964944	49.7992989	25.85	<0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	23.1137333	1.9261444		
รวม	17	272.1102278			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 21.14

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 1 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.5

**ตารางผนวกที่ 5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	1221.914761	244.382952	72.27	<0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	40.579933	3.381661		
รวม	17	1262.494694			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.50

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.5

**ตารางผนวกที่ 6** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	3149.285378	629.857076	182.36	<0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	41.447600	3.453967		
รวม	17	3190.732978			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.69

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.5

**ตารางผนวกที่ 7** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	6151.078867	1230.215773	153.07	<0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	96.440733	8.036728		
รวม	17	6247.519600			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.98

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.5

**ตารางผนวกที่ 8** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ	5	3376.815361	675.363072	67.52	<0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	120.033267	10.002772		
รวม	17	3496.848628			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 13.79

หมายเหตุ \* จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.6

**ตารางผนวกที่ 9** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ	5	224.8594667	44.9718933	1.79	0.1888 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	12	300.9895333	25.0824611		
รวม	17	525.8490000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 18.87

หมายเหตุ <sup>ns</sup> พืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 1 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางผนวกที่ 10** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ	5	631.2659111	126.2531822	5.73	0.0063*
ความคลาดเคลื่อน	12	264.2610000	22.0217500		
รวม	17	895.5269111			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.52

หมายเหตุ \* พืชชุ่มน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางผนวกที่ 11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	1896.538778	379.307756	23.89	0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	190.532133	15.877678		
รวม	17	2087.070911			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.30

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางผนวกที่ 12** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ	5	3058.747583	611.749517	26.62	0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	275.799867	22.983322		
รวม	17	3334.547450			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.57

หมายเหตุ \* พืชชุ่นน้ำชนิดต่าง ๆ ให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.8

**ตารางผนวกที่ 13** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่นน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่นน้ำ	5	3376.815361	675.363072	67.52	0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	120.033267	10.002772		
รวม	17	3496.848628			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 13.79

หมายเหตุ \* จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่นน้ำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.9

**ตารางผนวกที่ 14** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำ	5	1476.409561	295.281912	20.20	0.0001*
ความคลาดเคลื่อน	12	175.432533	14.619378		
รวม	17	1651.842094			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 16.60

หมายเหตุ \* จุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง จุลินทรีย์ในดินหรือดิน และพืชชุ่มน้ำให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.9

**ตารางผนวกที่ 15** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	17.28166667	8.64083333	3.38	0.1041 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	15.34773333	2.55795556		
รวม	8	32.62940000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 40.86

หมายเหตุ <sup>ns</sup> อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางผนวกที่ 16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	592.7644222	296.3822111	132.17	<.0001*
ความคลาดเคลื่อน	6	13.45473333	2.2424556		
รวม	8	606.2191556			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 5.08

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10



**ตารางผนวกที่ 17** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	264.9620222	132.4810111	177.84	<.0001*
ความคลาดเคลื่อน	6	4.4697333	0.7449556		
รวม	8	269.4317556			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 2.11

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นธูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางผนวกที่ 18** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	165.653756	82.826878	0.41	0.6815 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	1214.971600	202.495267		
รวม	8	1380.625356			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 110.29

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางผนวกที่ 19** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	164.4398222	82.2199111	1.32	0.3360 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	375.0969333	62.5161556		
รวม	8	539.5367556			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 10.798

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางผนวกที่ 20** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	151.6394889	75.8197444	4.24	0.0710 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	6	107.1696000	17.8616000		
รวม	8	258.8090889			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 4.94

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.10

**ตารางผนวกที่ 21** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อความสูงของต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	859.2200000	429.6100000	59.91	<.0001*
ความคลาดเคลื่อน	9	64.5425000	7.1713889		
รวม	11	923.7625000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 16.06

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นรูปฤาษีที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.11

**ตารางผนวกที่ 22** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	24.62503333	12.31251667	8.73	0.0562 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	4.23205000	1.41068333		
รวม	5	28.85708333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 32.17

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 1 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 23** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	99.2017333	49.6008667	13.13	0.0328*
ความคลาดเคลื่อน	3	11.3357500	3.7785833		
รวม	5	110.5374833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 27.62

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 24** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	193.0924000	96.5462000	61.22	0.0037*
ความคลาดเคลื่อน	3	4.7309500	1.5769833		
รวม	5	197.8233500			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.93

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 25** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	373.9429000	186.9714500	50.44	0.0049*
ความคลาดเคลื่อน	3	11.1210500	3.7070167		
รวม	5	385.0639500			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.92

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 26** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	196.8976000	98.4488000	18.08	0.0212*
ความคลาดเคลื่อน	3	16.3388000	5.4462667		
รวม	5	213.2364000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 20.12

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 1 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 27** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	74.12530000	37.06265000	13.88	0.0305*
ความคลาดเคลื่อน	3	8.01110000	2.67036667		
รวม	5	82.13640000			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 6.99

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 28** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	176.2094333	88.1047167	32.43	0.0093*
ความคลาดเคลื่อน	3	8.1515000	2.7171667		
รวม	5	184.3609333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 5.40

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 29** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	95.08053333	47.54026667	30.15	0.0103*
ความคลาดเคลื่อน	3	4.72975000	1.57658333		
รวม	5	99.81028333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 3.06

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 30** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	184.4145333	92.20726667	30.49	0.0102*
ความคลาดเคลื่อน	3	9.0712000	3.0237333		
รวม	5	193.4857333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.08

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 31** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	117.0644333	58.5322167	41.27	0.0066*
ความคลาดเคลื่อน	3	4.2548500	1.4182833		
รวม	5	121.3192833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 4.12

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 32** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	145.9934333	72.9967167	34.12	0.0086*
ความคลาดเคลื่อน	3	6.4183000	2.1394333		
รวม	5	152.4117333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 3.83

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 33** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	99.8524333	49.9262167	177.83	0.0008*
ความคลาดเคลื่อน	3	0.8422500	0.2807500		
รวม	5	100.6946833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 1.04

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.13

**ตารางผนวกที่ 34** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	373.9429000	186.9714500	50.44	0.0049*
ความคลาดเคลื่อน	3	11.1210500	3.7070167		
รวม	5	385.0639500			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 12.92

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.14

**ตารางผนวกที่ 35** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในดินหรือดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	120.3667000	60.1833500	29.26	0.0108*
ความคลาดเคลื่อน	3	6.1702500	2.0567500		
รวม	5	126.5369500			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 5.48

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของจุลินทรีย์ในดินหรือดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.14

**ตารางผนวกที่ 36** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของต้นรูดปลาชี่ ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	24.49803333	12.24901667	11.22	0.0405*
ความคลาดเคลื่อน	3	3.27510000	1.09170000		
รวม	5	27.77313333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 10.41

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำตาลสุทธิของต้นรูดปลาชี่ ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.14

**ตารางผนวกที่ 37** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	27.83303333	13.91651667	1.09	0.4415*
ความคลาดเคลื่อน	3	38.40645000	12.80215000		
รวม	5	66.23948333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 54.81

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 1 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 38** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	36.66303333	18.33151667	2.64	0.2177 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	20.79630000	6.93210000		
รวม	5	57.45933333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 29.36

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 3 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 39** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	37.91923333	18.95961667	5.59	0.0972 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	10.16905000	3.38968333		
รวม	5	48.08828333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 16.07

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 5 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 40** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	242.7881333	121.3940667	1.88	0.2950 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	193.2177500	64.4059167		
รวม	5	436.0058833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 46.37

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16



**ตารางผนวกที่ 41** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	124.6746333	62.3373167	4.73	0.1182 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	39.5404500	13.1801500		
รวม	5	164.2150833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 17.26

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 1 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 42** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	67.14643333	33.57321667	4.37	0.1291 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	23.03710000	7.67903333		
รวม	5	90.18353333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 7.24

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 3 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 43** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	44.5381333	22.2690667	0.61	0.6010 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	110.1945500	36.7315167		
รวม	5	154.7326833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 14.084

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 5 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 44** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	53.91413333	26.95706667	47.84	0.0053*
ความคลาดเคลื่อน	3	1.69060000	0.56353333		
รวม	5	55.60473333			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 1.40

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดินที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 45** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	240.5881333	120.2940667	24.16	0.0141*
ความคลาดเคลื่อน	3	14.9389500	4.9796500		
รวม	5	255.5270833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.17

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 1 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 46** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	451.5905333	225.7952667	13.76	0.0308*
ความคลาดเคลื่อน	3	49.2249500	16.4083167		
รวม	5	500.8154833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 8.76

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 3 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 47** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤๅษี ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	190.3372333	95.1686167	19.89	0.0186*
ความคลาดเคลื่อน	3	14.3536500	4.7845500		
รวม	5	204.6908833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 4.10

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤๅษี ที่ระยะเก็บกัก 5 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 48** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤๅษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	186.2764333	93.1382167	11.09	0.0411*
ความคลาดเคลื่อน	3	25.2052500	8.4017500		
รวม	5	211.4816833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 4.61

หมายเหตุ \* อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของน้ำทิ้ง+ดิน+ต้นรูดฤๅษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.16

**ตารางผนวกที่ 49** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	242.7881333	121.3940667	1.88	0.2950 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	193.2177500	64.4059167		
รวม	5	436.0058833			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 46.37

หมายเหตุ <sup>ns</sup> อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในน้ำทิ้ง ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.17

**ตารางผนวกที่ 50** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในดินหรือดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	471.4507000	235.7253500	3.98	0.1433 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	177.7852500	59.2617500		
รวม	5	649.2359500			

ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 21.19

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของจุลินทรีย์ในดินหรือดิน ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.17

**ตารางผนวกที่ 51** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของต้นธูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน

แหล่งของความแปรปรวน	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
อัตราการไหลของน้ำทิ้ง	2	50.68163333	25.34081667	2.87	0.2014 <sup>ns</sup>
ความคลาดเคลื่อน	3	26.53105000	8.84368333		
รวม	5	77.21268333			

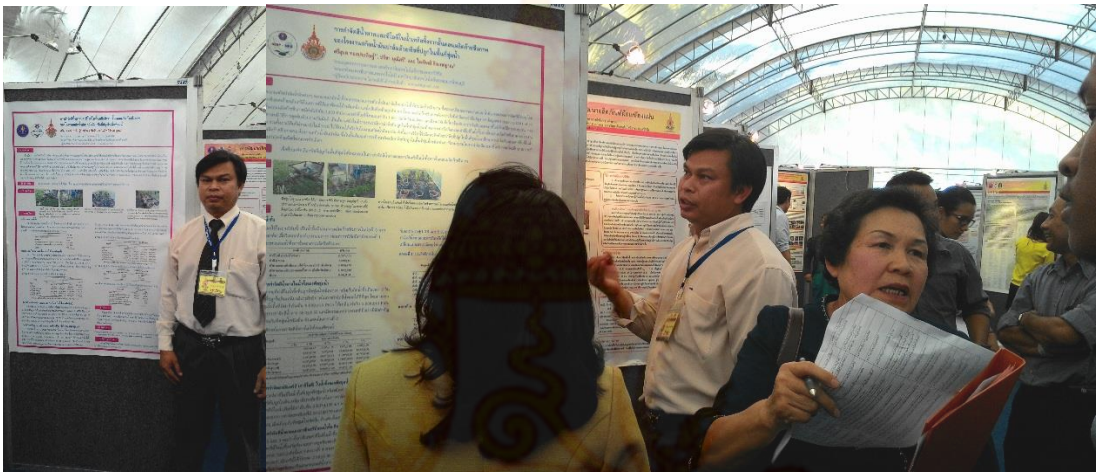
ความน่าเชื่อถือ = ร้อยละ 32.16

หมายเหตุ ns อัตราการไหลของน้ำทิ้งให้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สุทธิของต้นธูปฤาษี ที่ระยะเก็บกัก 7 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.17



### ภาคผนวก ค การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ผลงานวิจัยเรื่อง การกำจัดสีน้ำตาลและซีโอทีในน้ำเหลือทิ้งจากขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยพืชที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้นำเผยแพร่ในการประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ครั้งที่ 3 - HERP Congress III ระหว่างวันที่ 9-11 มีนาคม 2558 ณ อาคารโรงละคร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังแสดงในรูปแบบที่ ค1



รูปผนวกที่ ค1 การเผยแพร่ผลงานวิจัย

