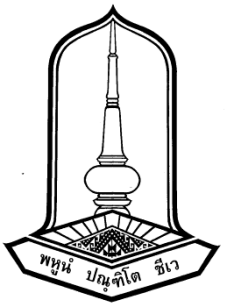


ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน โดยใช้ธูปฤาษีในพื้นที่บึงประดิษฐ์

ปวีณา น้อยสำแดง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
กันยายน 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

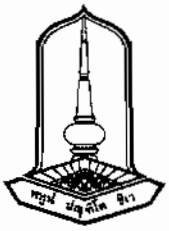
Mahasarakham University

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน โดยใช้ธูปฤาษีในพื้นที่บึงประดิษฐ์

ปวีณา น้อยสำแดง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
กันยายน 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวปวีณา น้อยสำแดง แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ)	(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย)	(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา)	(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.สงครามชัย ลีทองดี)	(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ อุดมพร)	(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(ผศ.ดร.สงครามชัย ลีทองดี)	(รศ.เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส)
คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์	ผู้รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2556

Mahasarakham University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ ประธานกรรมการสอบ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ กำนันโชค ภู่ถนนนอก กำนันตำบลประโดกและผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 1 บ้านประโดก ตำบลประโดก ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและสนับสนุนการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ อุดมพร ผู้ทรงวุฒิจากมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ให้ความอนุเคราะห์แนะนำการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยความยินดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สิริสุดา ฐานะปัตโต อาจารย์โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยความยินดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญพร มีเงินลาด นักวิชาการศึกษา โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ให้คำแนะนำการเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์ด้วยความยินดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พุฒิพงศ์ สัตยวงศ์ทิพย์ ประธานโปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ไปพบอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนวิทยานิพนธ์ด้วยความยินดีตลอดมา

ประโยชน์และคุณค่าจากงานวิจัยนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา-มารดา ญาติ ครู-อาจารย์ ที่มีส่วนให้ชีวิตและปัญญาแก่ผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จ

ปวีณา น้อยสำแดง

Mahasarakham University

ชื่อเรื่อง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน โดยใช้ธูปฤาษีในพื้นที่บึงประดิษฐ์
ผู้วิจัย นางสาวปวีณา น้อยสำแดง
ปริญญา สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** อนามัยสิ่งแวดล้อม
กรรมการควบคุม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2556

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนมีกระบวนการผลิตที่ก่อเกิดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูงมาก หากระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศน์ในแหล่งน้ำ รวมทั้งเกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชาวบ้านบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนโดยใช้ธูปฤาษี ในพื้นที่บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) น้ำเสียที่เข้าระบบทดลองเป็นน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน มีการปลูกธูปฤาษีในบ่อทดลอง ส่วนบ่อควบคุมไม่มีการปลูกธูปฤาษี โดยมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วัน 9 วัน และ 12 วัน และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD, COD, SS, TKN, TP ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ F-test (Two way ANOVA)

ผลการวิจัย พบว่า บ่อทดลองที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆ ละ 7 ต้น ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน สามารถลดปริมาณ BOD ได้เฉลี่ยร้อยละ 90.83, COD ร้อยละ 95.39, SS ร้อยละ 92.15, TKN ร้อยละ 93.73, TP ร้อยละ 84.85 รวมทั้งค่า pH ด้วย ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าบ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วัน และ 9 วัน และดีกว่าบ่อควบคุม ($p < 0.05$) แสดงว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการบำบัดและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อการลดปริมาณ BOD, COD, SS, TKN และ TP

โดยสรุป บ่อทดลองที่มีการปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น และใช้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงสุด จึงควรนำไปประยุกต์เพื่อให้ใช้ได้จริงกับชุมชนที่มีอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนต่อไป

คำสำคัญ : อุตสาหกรรมผลิตขนมจีน ; น้ำเสีย ; บึงประดิษฐ์ ; ธูปฤาษี

Mahasarakham University

TITLE Efficiency of Wastewater Treatment from Industry Fermented Rice Noodle Household by using *Typha angustifolia* Linn. Free Water Surface Constructed Wetland
AUTHOR Ms.Paveena Noysumdang
DEGREE Master of Public Health **MAJOR** Environmental Health
ADVISORS Asst.Prof. Jindawan Wibuloutai, Ph.D.
Asst.Prof. Prapat Pentamwa, Ph.D.
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2013

ABSTRACT

Industry fermented rice noodle household level had the process that produces the wastewater containing organic contaminants in very high doses. If waste water into the public water supply would affect water quality and aquatic ecosystems. Including the smell disturb nearby residents. Thus, it is necessary to treat wastewater before discharge to the environment. This study an experimental research. The study aimed to examine the efficiency of wastewater treatment from *Typha angustifolia* Linn. Industry Fermented rice noodle household lavel by using the constructed wetland systems. The domestic wastewater used was from rice noodle the process of production. Wastewater from the production of noodles. A wastewater treatment system in order to test the efficiency of wastewater treatment. Wastewater treatment plants are cattail pond experiments. The control ponds without planted cattail. The hydraulic retention time at 6 days, 9 days and 12 days to test the effectiveness of therapy for BOD, COD, SS, TKN, TP. The dependent variables were treatment efficiencies in terms of BOD, COD, SS, TKN and TP Also, the examination of values changes in pH were observed. The F-test (Two-way-ANOVA) were employed for testing hypotheses.

The findings reveled that form the experimental ponds are planted cattail 2 array with seven from the detention time at hydraulics to 12 days can reduce BOD averaged at 90.83 percent, COD at 95.39 percent, SS at 92.15 percent, TKN at 93.73 percent, TP at 84.85 percent, and pH which is better than treatment ponds were planted with cattail rows 2, 5 and 6 at the beginning hydraulic retention time at 6 days and 9 days, and better control ponds ($p < 0.05$). But interaction between treatments and at hydraulic retention time to reduce BOD, COD, SS, TKN and TP.

In conciusion, the experiment pond at cattail 2 array with seven and which spent a period of 12 days of hydraulic retention had maximum efficiency of wastewater treatment. There for, it should be developed for real implement industry fermented rice noodle household in the future.

Key Words : Industry fermented rice noodle household ; wastewater ; wetland ; cattail

Mahasarakham University

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	6
2.1 น้ำเสีย	6
2.2 การบำบัดน้ำเสีย	6
2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ	7
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์	8
2.5 ธูปฤาษี	21
2.6 ขนมจีนและขั้นตอนการผลิตขนมจีน	24
2.7 น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน	28
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
2.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	33
3.2 สถานที่ทำการศึกษา	33
3.3 รูปแบบการวิจัย	33
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	34
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.6 วิธีการทดลอง	40
3.7 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ	40
3.8 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย	41
3.9 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล	43

Mahasarakham University

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย 44
4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 44
4.2 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 44
4.3 ผลการศึกษา 44
บทที่ 5 บทสรุป 94
5.1 สรุปผล 94
5.2 อภิปรายผล 94
5.3 ข้อเสนอแนะ 97
เอกสารอ้างอิง 99
ภาคผนวก 104
ภาคผนวก ก ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม 105
ภาคผนวก ข ตัวอย่างภาพประกอบการทดลอง 110
ประวัติย่อผู้วัจัย 118

Mahasarakham University

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์	14
ตาราง 2.2	เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	19
ตาราง 2.3	ลักษณะทางกายภาพของขนมจีนแป้งหมักที่ระยะเวลาต่างกัน	26
ตาราง 2.4	องค์ประกอบของน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน	28
ตาราง 3.1	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ กับ Standard Method Edition 20th	40
ตาราง 4.1	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก	45
ตาราง 4.2	คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน (บ่อทดลอง)	46
ตาราง 4.3	คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน (บ่อทดลอง)	47
ตาราง 4.4	คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน (บ่อทดลอง)	48
ตาราง 4.5	คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น (บ่อควบคุม)	49
ตาราง 4.6	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก	50
ตาราง 4.7	การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดBOD ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน	57
ตาราง 4.8	การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน	58
ตาราง 4.9	การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน	58
ตาราง 4.10	ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ (COD) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก	60
ตาราง 4.11	การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดCOD ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน	65

Mahasarakham University

หน้า

ตาราง 4.12 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 66
ตาราง 4.13 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน 66
ตาราง 4.14 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก 68
ตาราง 4.15 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดSS ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 73
ตาราง 4.16 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 74
ตาราง 4.17 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน 74
ตาราง 4.18 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก 76
ตาราง 4.19 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดTKN ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 82
ตาราง 4.20 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 83
ตาราง 4.21 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน 83
ตาราง 4.22 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก 85
ตาราง 4.23 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดTP ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 90
ตาราง 4.24 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 91
ตาราง 4.25 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน 91
ตาราง 4.26 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก และคุณภาพ pH หลังได้รับการบำบัดจากบึงประดิษฐ์ 40

Mahasarakham University

สารบัญภาพประกอบ

		หน้า
ภาพประกอบ 2.1	ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์	10
ภาพประกอบ 2.2	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS)	11
ภาพประกอบ 2.3	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF)	12
ภาพประกอบ 2.4	บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (VF)	13
ภาพประกอบ 2.5	ธูปฤาษี *Typha* sp.	22
ภาพประกอบ 2.6	ขั้นตอนการผลิตเส้นขนมจีน	27
ภาพประกอบ 2.7	กรอบแนวคิดในการวิจัย	32
ภาพประกอบ 3.1	การเก็บรวบรวมข้อมูล	34
ภาพประกอบ 3.2	ตำแหน่งท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก	34
ภาพประกอบ 3.3	ชั้นวัสดุต่าง ๆ ในบ่อทดลอง	35
ภาพประกอบ 3.4	ระยะห่างการปลูกพืชในบ่อทดลอง	36
ภาพประกอบ 3.5	ผังบ่อทดลองที่ใช้ในการวิจัย	37
ภาพประกอบ 3.6	ระยะห่างการปลูกพืชในบ่อทดลอง	36
ภาพประกอบ 4.1	กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วัน	55
ภาพประกอบ 4.2	กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน	55
ภาพประกอบ 4.3	กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน	56
ภาพประกอบ 4.4	กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ	56
ภาพประกอบ 4.5	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD	57
ภาพประกอบ 4.6	ของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก	63
ภาพประกอบ 4.7	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	63
ภาพประกอบ 4.8	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	64
ภาพประกอบ 4.9	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ	64
ภาพประกอบ 4.10	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD	65
ภาพประกอบ 4.11	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	71
ภาพประกอบ 4.12	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9วัน	71
ภาพประกอบ 4.13	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	72
ภาพประกอบ 4.14	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ	72
ภาพประกอบ 4.15	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด SS	73
ภาพประกอบ 4.16	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKNที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	79
ภาพประกอบ 4.17	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKNที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	79
ภาพประกอบ 4.18	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	80
ภาพประกอบ 4.19	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ	80
ภาพประกอบ 4.20	แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN	81
ภาพประกอบ 4.21	แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	88

Mahasarakham University

หน้า

ภาพประกอบ 4.22 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน 88
ภาพประกอบ 4.23 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน 89
ภาพประกอบ 4.24 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ 89
ภาพประกอบ 4.25 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP 90
ภาพประกอบภาคผนวก ข.1 การปล่อยน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตสู่พื้นที่ด้านหลังอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน 111
ภาพประกอบภาคผนวก ข.2 ขั้นตอนการแช่ข้าว 111
ภาพประกอบภาคผนวก ข.3 ขั้นตอนการทับแป้ง 112
ภาพประกอบภาคผนวก ข.4 เครื่องโม่แป้ง 112
ภาพประกอบภาคผนวก ข.5 แป้งที่ผ่านการตีเรียบร้อยแล้ว 113
ภาพประกอบภาคผนวก ข.6 เครื่องตีแป้ง 113
ภาพประกอบภาคผนวก ข.7 กระทะสำหรับโรยเส้นขนมจีน 114
ภาพประกอบภาคผนวก ข.8 เตาสำหรับโรยเส้นขนมจีน 114
ภาพประกอบภาคผนวก ข.9 บ่อจำลองที่ใช้ทดลอง 115
ภาพประกอบภาคผนวก ข.10 ลักษณะต้นธูปฤาษีเมื่อนำน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนลงบ่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 115
ภาพประกอบภาคผนวก ข.11 การสร้างบ่อทดลอง 116
ภาพประกอบภาคผนวก ข.12 การปูพื้นด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน 116
ภาพประกอบภาคผนวก ข.13 รากของธูปฤาษี 117
ภาพประกอบภาคผนวก ข.14 น้ำในถังเก็บกักที่เหลือจากการทดลอง 117

Mahasarakham University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

การทำอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนหลายอย่างมีการปล่อยน้ำเสียลงในแหล่งน้ำ เช่น การย้อมผ้า การทำเส้นขนมจีน เป็นต้น ที่น่าสนใจคือส่วนใหญ่จะมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน (ศิรินภา พงษ์พีระ, 2553) การผลิตขนมจีนนั้นจะใช้วัตถุดิบในการผลิตก็คือ ข้าว เกลือ และน้ำ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตไม่ว่าจะเป็นการหมักข้าว การโม่ การนวดแป้ง การนึ่งแป้ง เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เช่น เศษข้าวที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต ในอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน มีน้ำเสียรวมประมาณ 900-1,000 ลบ.ม./วัน โดย ร้อยละ 97 ของน้ำเสียเกิดจากกระบวนการล้างเส้น จับเส้น และอีกประมาณร้อยละ 2-3 เกิดจากการ แช่ข้าว บดข้าว จากข้อมูลการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นโดยผู้วิจัย พบว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งของชุมชนประโดก มีองค์ประกอบดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 3.8, ของแข็งแขวนลอย (SS) 705 มก./ล., ไนโตรเจน (TKN) 118 มก./ล., ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) 20.4 มก./ล., บีโอดี (BOD) 6,480 มก./ล. และ ซีโอดี (COD) 49,380 มก./ล. ขณะที่มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ต้องมีค่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5.5-9.0, บีโอดี (BOD) ไม่เกิน 20 มก./ล., ซีโอดี (COD) ไม่เกิน 120 มก./ล., ของแข็งแขวนลอย (SS) ไม่เกิน 50 มก./ล., ไนโตรเจน (TKN) ไม่เกิน 100 มก./ล., ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ไม่เกิน 0.4 มก./ล. (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม, 2555: เว็บไซต์) ดังนั้นหากมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง อาจทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดสภาพเน่าเสียมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและก่อให้เกิดความเดือดร้อน เสียหายต่อประชาชนผู้ใช้น้ำ วิธีการที่จะแก้ปัญหาน้ำเสีย คือการปรับสภาพน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่แหล่งน้ำจะรับได้ จึงมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียและคิดค้นหาวิธีบำบัดน้ำเสีย เพื่อกำจัดหรือลดสิ่งสกปรกต่างๆในน้ำเสียลง เพื่อให้มีคุณภาพน้ำใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งนั้นลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้คุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมลงมากเกินไป

การบำบัดน้ำเสียมีการบำบัด 3 วิธีคือ การบำบัดทางกายภาพ การบำบัดทางเคมี และการบำบัดทางชีวภาพ โดยการบำบัดทางชีวภาพนั้นเป็นการบำบัดที่มีค่าก่อสร้างไม่แพงเมื่อเทียบกับระบบบำบัดอื่น การควบคุมดูแลระบบไม่ยุ่งยาก ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนและแหล่งอาหารของสัตว์ชนิดต่าง ๆ การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์ เป็นการบำบัดทางชีวภาพที่สามารถลดค่าบีโอดี กำจัดสารแขวนลอย โลหะหนัก และเชื้อโรคจากน้ำเสียหลายชนิดได้ในปริมาณสูง โดยมีกลไกการบำบัด 3 กระบวนการ คือ กระบวนการทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน กระบวนการทางเคมี เช่น การดูดซับ กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ โดยระบบบึงประดิษฐ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ บึงประดิษฐ์แบบน้ำเหนือผิวดิน บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน และบึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน ข้อดีของระบบบึงประดิษฐ์ คือ ค่าก่อสร้างไม่แพงเมื่อเทียบกับระบบบำบัดทางชีวภาพชนิดอื่น ค่าดำเนินงานและ

Mahasarakham University

การควบคุมดูแลระบบค่อนข้างต่ำ การดำเนินงานและการดูแลระบบเป็นไปตามระยะเวลา ระบบมีเสถียรภาพแม้ว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลง สามารถกำจัดสารอินทรีย์และลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำได้สูง สภาพแวดล้อมเหมาะกับการเป็นที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหารของสัตว์ชนิดต่าง ๆ และไม่มีผลกระทบต่อชุมชน ส่วนข้อเสียของระบบบึงประดิษฐ์นั้น ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่วๆไป ความเป็นพิษของสารเคมี เช่น แอมโมเนีย และสารกำจัดแมลงอาจมีผลต่อระบบบำบัด เวลาเริ่มต้นบำบัดช้า เพราะต้องใช้เวลาในการเพาะปลูกพืชให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อน ไม่สามารถบำบัดสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นสูงบางชนิดได้ การปล่อยน้ำไหลเข้าสู่ระบบหรือการขึ้นลงของระดับน้ำ อาจจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดลดลงชั่วคราว ระบบบึงประดิษฐ์มีองค์ประกอบของพืช และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่มีความสำคัญในระบบ ซึ่งทั้งสององค์ประกอบส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2540) กล่าวว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ของบึงประดิษฐ์ควรอยู่ในช่วง 3 - 15 วัน และกลไกของการทำงานระบบของบึงประดิษฐ์ต้องอาศัยแสงแดดเป็นตัวช่วยในกระบวนการ

ในการเลือกพืชในการบำบัดน้ำเสียนั้นต้องพิจารณาความเหมาะสมต่อพื้นที่และสภาพแวดล้อมเป็นหลัก และต้องคำนึงถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วย (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2555) สำหรับพืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย คือ พืชที่โผล่พ้นน้ำ เช่น ธูปฤาษี กก เป็นต้น ทั้งนี้การคัดเลือกชนิดของพืชนั้น ควรเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี การสังเคราะห์แสงของพืช โดยที่พืชดังกล่าวจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ รากยาว ลำต้นกลวง ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายก๊าซออกซิเจนลงไปในน้ำในชั้นใต้ดินก็จะมีชั้น ดิน หิน กรวดทราย อีกชั้นหนึ่งเพื่อเป็นจุดพักของจุลินทรีย์ในน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นตัวช่วยดูดซับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องมาจากระบบดังกล่าวมีกระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นทั้ง 3 กระบวนการ คือ กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางกายภาพ และกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ อีกทั้งสามารถออกแบบแก้ไขข้อจำกัดของบึงธรรมชาติได้ เช่น มีการป้องกันการไหลซึมออกสู่ดินโดยรอบโดยการปูวัสดุกันซึม มีการป้องกันการอุดตันของชั้นดิน ระบบบึงประดิษฐ์จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่ง ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย เพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำ เช่น บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และแบคทีเรีย ก่อนระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ลักษมณ ทองอินทร์, 2554)

ธูปฤาษี เป็นวัชพืชน้ำที่แพร่ระบาดและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วตาม หนอง คลอง บึง และอ่างเก็บน้ำ พบได้ทั้งในเขตร้อน และเขตอบอุ่น สามารถทนความเป็นกรดเป็นด่างและความเค็มได้ มีน้ำหนักผลผลิตมากมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร และโลหะหนักได้ในปริมาณสูง โครงสร้างภายในของต้นธูปฤาษี ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดีเปรียบดังเซลล์ฟองน้ำ (Spongy Cell) (สุภาพร จันรุ่งเรือง, 2550) ที่ผ่านมามีผู้ทดลองใช้ธูปฤาษีในการลดสี และ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในโรงงานฟอกย้อม ลดค่า บีโอดี (BOD), ของแข็งแขวนลอย (SS), ไนโตรเจน (TKN) และฟอสฟอรัส (TP) ในน้ำเสียชุมชน และใช้ดอกธูปฤาษีในการลดน้ำมันที่อยู่ในน้ำเสียจากโรงอาหาร ซึ่งธูปฤาษีนั้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้ในระดับหนึ่ง แต่มีข้อเสียคือ ธูปฤาษีสามารถขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการกำจัดธูปฤาษีออกจากระบบบำบัดส่วนหนึ่ง

ความเจริญก้าวหน้าด้านวิชาการ และเทคโนโลยีก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมาย การผลิตเส้นขนมจีนเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมภายในครัวเรือน ซึ่งยังประสบปัญหาด้านการกำจัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต จังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีชื่อเสียงในเรื่องของ ขนมจีน และเป็นที่รู้จักกัน

Mahasarakham University

ดี คือ ขนมจีนบ้านประโดกที่เป็นกิจการหนึ่งที่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจของจังหวัด และนำรายได้สู่จังหวัดเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีนระดับครัวเรือนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เพื่อส่งเส้นขนมจีนไปขายตามร้านค้าต่างๆ อย่างไรก็ตามยังมีการใช้น้ำในการหมักแป้ง โม่แป้ง ล้างแป้ง และมีการใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีนจะมีความเน่าเสีย มีกลิ่นรุนแรง และมีค่าความสกปรกในรูป BOD สูง (ศิรินภา พงษ์พีระ, 2553)

ดังนั้น ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการบำบัดน้ำเสียด้วยการใช้บึงประดิษฐ์โดยใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนในระดับครัวเรือน และศึกษาประสิทธิภาพของธูปฤาษี ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนในระดับครัวเรือน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) ที่ 6, 9 และ 12 วัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 ความมุ่งหมายทั่วไป

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์ โดยใช้ธูปฤาษีเป็นตัวบำบัด

1.2.2 ความมุ่งหมายเฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์

1.2.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธูปฤาษีที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ผลของระยะเวลากักพักชลศาสตร์ของธูปฤาษีมีผลในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนแตกต่างกัน

1.3.2 ปริมาณการปลูกธูปฤาษีมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

1.4.1 ทราบระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์

1.4.2 ทราบปริมาณธูปฤาษีที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์

Mahasarakham University

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch)

1.5.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน

1.5.3 น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำเสียจากขบวนการผลิตขนมจีนจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในหมู่บ้านประโดก ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

1.5.4 ตัวแปรของการวิจัย

1.5.4.1 ตัวแปรต้น

1) ปริมาณการปลูกธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น, 7 ต้น)

2) ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (6, 9, 12 วัน)

1.5.4.2 ตัวแปรตาม ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

1) บีโอดี (BOD)

2) ซีโอดี (COD)

3) ของแข็งแขวนลอย (SS)

4) ไนโตรเจน (TKN)

5) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

6) ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

1.5.4.3 ตัวแปรควบคุม

1) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนในระดับครัวเรือน (ขั้นตอนการแช่/ ล้างปลายข้าว, ขั้นตอนกรองแยกแป้งและน้ำออก, ขั้นตอนนึ่งก้อนแป้งหมัก, ขั้นตอนโรยเส้นในน้ำเดือด และขั้นตอนล้างเส้นให้เย็น/ จับเส้น)

2) ระบบบึงประดิษฐ์ (แบบแบตช์)

3) ชนิดของบ่อ (ทำจากอิฐบล็อก รองพื้นด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีน)

4) ความสูงของธูปฤาษี

5) ชนิดของตัวกรองและดินที่ใช้ปลูกพืช

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 อุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน หมายถึง อุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่ใช้แรงงานจากสมาชิกในครอบครัวผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่ง ในหมู่บ้านประโดก ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

1.6.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน หมายถึง น้ำจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในหมู่บ้านประโดก ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่ง มาจากขบวนการแช่/ ล้างปลายข้าว กรองแยกแป้งและน้ำออก นึ่งก้อนแป้งหมัก โรยเส้นในน้ำเดือด และล้างเส้นให้เย็น/ จับเส้น

Mahasarakham University

1.6.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch) หมายถึง บ่อหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่มีการไหลของน้ำเสีย การทำงานของระบบจะเป็นแบบครั้งคราว เริ่มด้วยการเติมสารทำปฏิกิริยาลงไปให้ทำปฏิกิริยาในสภาพที่ต้องการ ในเวลาที่จำเป็นให้การแปรผัน (Conversion) ที่ต้องการแล้ว จึงหยุดทำปฏิกิริยา โดยในช่วงทำปฏิกิริยาไม่มีการนำเข้าออกของสารทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในน้ำเสีย (ธีระ เกรอต, 2539)

1.6.4 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD**)** หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 ºC มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic Loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ

1.6.5 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการว่าสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูกออกซิไดซ์ด้วย ตัวทำละลายประเภทออกซิไดซ์ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ค่าซีโอดีมักจะมีค่าสูงกว่าบีโอดี เนื่องจากซีโอดีไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ แต่มีข้อดีคือใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชม. เท่านั้น ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง การคุมระบบบำบัดน้ำเสีย การตรวจสอบคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี และยังสามารถใช้ในการประเมินซีโอดีแบบคร่าวๆได้

1.6.6 ความเป็นกรด-ด่าง (Potential of Hydrogen ion, pH) หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบสของสารเคมีจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน (H^+)

1.6.7 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก

1.6.8 ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) หมายถึง ปริมาณรวมทั้งหมดของไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย เช่นในปัสสาวะ

1.6.9 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) หมายถึง ปริมาณรวมทั้งหมดของฟอสฟอรัส ที่วัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อให้ทราบว่าในน้ำเสียมีฟอสฟอรัสจำนวนเท่าใด

1.6.10 บ่อทดลอง หมายถึง บ่อที่ปลูกธูปฤาษีในปริมาณที่แตกต่างกัน

1.6.11 บ่อควบคุม หมายถึง บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี

1.6.12 ประสิทธิภาพ หมายถึง คุณลักษณะของน้ำเข้าระบบและน้ำออกระบบ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ของแข็งแขวนลอย (SS), ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP), บีโอดี (BOD) และ ซีโอดี (COD)

1.6.13 บึงประดิษฐ์ หมายถึง พื้นที่ปลูกต้นธูปฤาษี เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ตามระยะเวลากักพักชลศาสตร์

1.6.14 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) หมายถึง ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในถังที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ ปริมาตร/ อัตราการไหล

Mahasarakham University

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในเรื่องประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนโดยใช้ธูปฤาษี ในพื้นที่บึงประดิษฐ์ ได้ศึกษาข้อมูลทางวิชาการจากเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางการวิจัย แบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 น้ำเสีย
2.2 การบำบัดน้ำเสีย
2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์
2.5 ธูปฤาษี
2.6 ขนมจีนและขั้นตอนการผลิตขนมจีน
2.7 น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2.1 น้ำเสีย

น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

2.2 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การดำเนินการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมพอที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรับน้ำเสียนั้น ๆ ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี และการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2. การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่ส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก

Mahasarakham University

มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทาง ชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลอง วนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง(Trickling Filter) ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

2.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นการใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพของของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ เปลี่ยนให้กลายเป็นแก๊ส ทำให้มีกลิ่นเหม็น เป็นต้น ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทในการช่วยเปลี่ยนสภาพสิ่งสกปรกในน้ำเสียคือพวกจุลินทรีย์ ได้แก่ พวกแบคทีเรีย โปรโตรซัว สาหร่าย รา และโรติเฟอร์ และจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย คือ พวกแบคทีเรีย

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ใช้สำหรับน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย ได้แก่

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge) และระบบดัดแปลงต่าง ๆ

ระบบเอเอส เป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพ ที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีองค์ประกอบหลักคือ ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะอาศัยสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร และออกซิเจนจากการเติมอากาศในถังเติมอากาศ เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณกลายเป็นสลัดจ์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสให้ไหลล้นออกมไปสู่ระบบบำบัดขั้นสุดท้าย และตะกอนบางส่วนก็จะถูกสูบย้อนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ แล้วถูกส่งเข้าถังตกตะกอนอีกครั้ง ซึ่งจะเป็นไปอย่างนี้เรื่อย ๆ จนกว่าน้ำจะสะอาด

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ยังสามารถแยกย่อยต่าง ๆ ได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับการจัดวาง และรูปแบบของถังเติมอากาศ ที่ใช้ในประเทศไทย เช่น

1.1 ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) มีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนรวมอยู่ในถังเดียวกัน โดยอาศัยการทำงานเป็นรอบ

1.2 ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch Process) น้ำเสียและสลัดจ์จะถูกเก็บกักอยู่ในถังเติมอากาศที่มีลักษณะเป็นคลองวนเวียนวงรี ทำด้วยคอนกรีต มีหลักการทำงานคือ น้ำเสียจะ

Mahasarakham University

ไหลผานคลองวนเวียนไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสและตะกอน น้ำใสจะไหลไปยังระบบบำบัดขั้นสุดท้ายก่อนปล่อยทิ้ง ส่วนตะกอนก้นถังจะถูกสูบกลับไปยังคลองวนเวียนเพื่อทำการบำบัดใหม่

2. ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contractor, RBC) เป็นระบบให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางทรงกระบอกที่วางอยู่ในถังบำบัด จุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ตัวกลางจะทำหน้าที่บำบัดโดยใช้ออกซิเจนในอากาศ

3. ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

3.1 บ่อแอนแอโรบิค อินทรีย์สารในน้ำเสียจะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ผลผลิตที่ได้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และก๊าซไข่เน่า

3.2 บ่อแอโรบิค อินทรีย์สารในน้ำเสียจะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย จึงทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน

3.3 บ่อแฟคัลเททีฟ หลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นแบบใช้อากาศ ที่ผิวด้านบนที่แดดส่องถึง และเป็นแบบไร้อากาศที่ก้นบ่อ

3.4 บ่อบ่ม ใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่าง ๆ มาแล้ว

4. ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) หลักการทำงานอาศัยจุลินทรีย์เหมือนกับบ่อแฟคัลเททีฟ มีเครื่องเติมอากาศผิวน้ำแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับจุลินทรีย์ การเติมอากาศสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การผสมแบบสมบูรณ์ทั่วทั้งบ่อ และการผสมเพียงบางส่วน

5. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) เป็นระบบที่จำลองแบบพื้นที่ชุ่มน้ำมาใช้บำบัดน้ำเสียโดยการบดอัดดินให้แน่น เพื่อปลูกพืชจำพวก กก แฝก ธูปฤาษี เป็นต้น สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบบน้ำไหลบนผิวดิน และแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

6. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกลางเติมอากาศ (Contract Aeration Process) น้ำเสียจะเข้าสู่ถังบรรจุตัวกลางพลาสติกที่มีจุลินทรีย์เกาะอยู่ พร้อมทั้งมีระบบเติมอากาศที่ก้นถังใต้ชั้นตัวกลางให้กับแบคทีเรีย เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเนื่องจากว่าปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็น น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม อาคารบ้านเรือน ตลาดสด เกษตรกรรม เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ค่ามาตรฐานน้ำเข้ามาใช้ควบคุมก่อนที่จะปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำ

2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติอาศัยกลไกธรรมชาติทั้งที่เป็นกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ที่มีอยู่ในดิน น้ำ พืช และจุลชีพเพื่อช่วยในการปรับสภาพน้ำเสียให้เป็นน้ำที่มีสารปนเปื้อนลดน้อยลง โดยไม่ได้อาศัยเครื่องจักรกลมาทำการบำบัดน้ำเสีย จึงเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ใช้ผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำกว่าระบบบำบัดอื่น ๆ แต่ต้องอาศัยเทคนิคการบริหารจัดการพื้นที่บำบัดอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่มากและต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีใหญ่ ได้แก่ วิธีบำบัดน้ำเสียแบบกระจายบนดิน (land treatment systems) วิธีบึงประดิษฐ์ (constructed wetland systems) และวิธีพืชลอยน้ำ (floating aquatic plant treatment systems)

Mahasarakham University

ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ต้องการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ก็ยังสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (secondary treatment) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้อีกด้วย ซึ่งข้อดีของระบบนี้ คือ ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง

1. หลักการทำงานของบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ เป็นการออกแบบระบบทางวิศวกรรมเพื่อเลียนแบบสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ และใช้ขบวนการทางธรรมชาติในการบำบัดและฟื้นฟูน้ำเสียให้ใช้ประโยชน์ได้ ใช้พืช ดิน หิน เป็นพื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี โดยเมื่อน้ำเสียไหลเข้าบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นบึงและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำ ชั้นกรวด และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมถึงการนำไปใช้โดยพืช

2. องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ (Wetland Component)

องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีดังต่อไปนี้

2.1 ชั้นกรอง (substrata)

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไปโดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่าง ๆ ด้วย ลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่นชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย

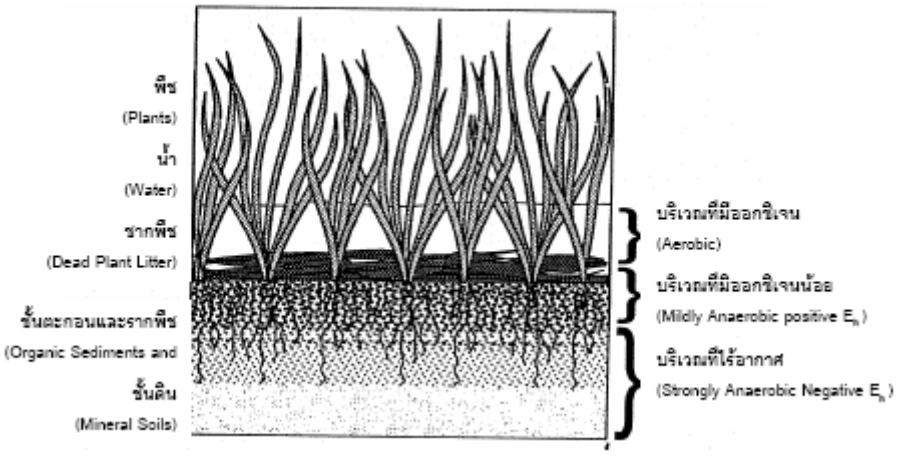
ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับแยกตามปริมาณของออกซิเจน ดังภาพประกอบ1 ซึ่งได้แก่

บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ บริเวณนี้น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้

บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (mildly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน (aerobic) ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ชั้นกรองได้บางส่วน

บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Strongly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของชั้นกรอง และในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ

Mahasarakham University



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

ภาพประกอบ 2.1 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์

2.2 จุลินทรีย์ (microbial organisms)

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ

แบคทีเรียชนิดแขวนลอย คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ

แบคทีเรียชนิดเกาะติด คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก, ลำต้น) ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอนบริเวณด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์ด้วย

โดยทั่วไปจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานสำหรับการดำรงชีพ ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลชีพคือสารอินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะมีการจัดสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้บึงมีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี

3. ประเภทและหน้าที่ของบึงประดิษฐ

บึงประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ประเภทที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (free water surface: FWS) ซึ่งมีระดับความลึกของน้ำไม่มากนัก

2. ประเภทที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (subsurface flow: SF) หรือระบบที่ปลูกพืชในชั้นกรอง (vegetated submerged bed: VSB) ซึ่งจะมีน้ำไหลผ่านด้านข้างตัวกรองที่อาจเป็นกรวดหรือทราย

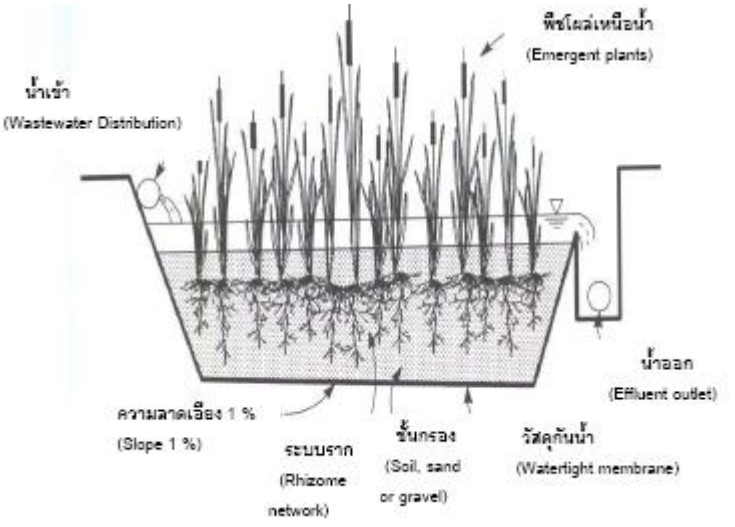
Mahasarakham University

3. ประเภทที่น้ำไหลผ่านใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (vertical flow) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการรีดน้ำออกจากกากตะกอน หรือสิ่งปฏิกูลตามอาคารบ้านเรือนซึ่งจะมีของแข็งเป็นส่วน ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก

ทั้งนี้ บึงประดิษฐ์ทั้ง 3 ประเภทนี้ สามารถแบ่งตามแนวการไหลเป็น บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอนและบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

3.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface System, FWS)

ระบบนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแอ่งหรือร่องน้ำที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกันน้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่น ๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่าง ๆ ที่จะช่วยให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือชั้นกรอง ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบึงประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้า ๆ ผ่านกิ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบจะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (Plug-Flow) ขึ้นซึ่งจะช่วยทำให้ปัญหาการไหลลัดวงจรของระบบลดลงได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 5-100 มก./ล.



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

ภาพประกอบ 2.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS)

ข้อดีของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือ มีค่าก่อสร้างระบบน้อยกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอนและบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย และระบบไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ ได้

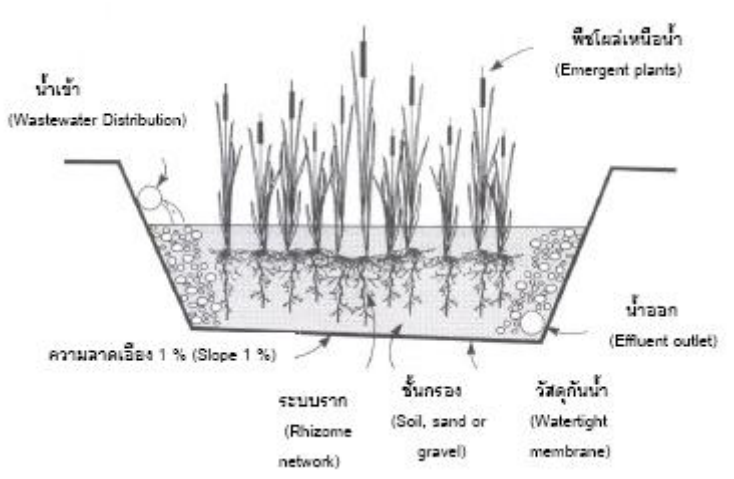
ข้อเสียของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือ ระบบที่ต้องใช้พื้นที่มากและมีเวลาเก็บกักที่นานเมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสสูง นอกจากนี้

Mahasarakham University

ระบบยังมีข้อจำกัดของฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมักมีปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียเกินกว่ามาตรฐาน

3.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow System, SF)

โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดินที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่าง เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะ และพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 ซม.) กรวดและดินชนิดต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน (Reed, Middlebrooks and Crites, 1988) การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืชบริเวณใต้ชั้นกรองจะอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ขึ้น อย่างไรก็ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้จุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศ (Aerobic Microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปานกลาง โดยมีความเข้มข้นของบีโอดี อยู่ในช่วง 30-175 มก./ ล.



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

ภาพประกอบ 2.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF)

ข้อดีของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน มีข้อดีเช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ กล่าวคือ เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย ใช้พลังงานการเดินระบบน้อย และไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป นอกจากนี้ระบบยังสามารถรับสารอินทรีย์ได้มากว่าบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า

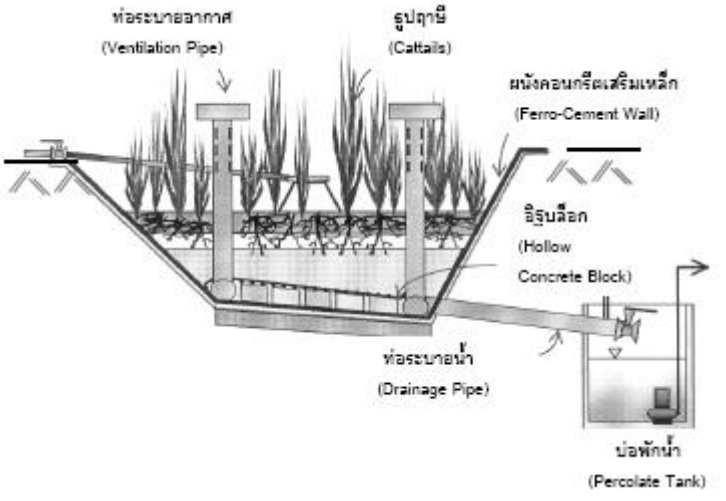
ข้อจำกัดของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน คือ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและยุง นอกจากนี้ระบบยังมีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เพราะต้องคำนึงถึงชั้นกรองและระบบท่อที่จะใช้ภายในระบบ และระบบมีข้อจำกัดในการบำบัดไนโตรเจนเพราะกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ยากถ้าบางพื้นที่ในระบบมีสภาพไร้

Mahasarakham University

ออกซิเจน ดังนั้นถ้าน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเวลาในการเก็บกักซึ่งจะส่งผลให้ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบเพิ่มมากขึ้น

3.3 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow, VF)

บึงประดิษฐ์ประเภทนี้ (U.S.EPA, 2000) จะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราบ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่ง โดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (Underdrain System) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (Ventilation System) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืชและพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง ๆ เช่น สิ่งปฏิกูลโดยมีความเข้มข้นของบีโอดี ที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500-70,000 มก./ ล.



ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

ภาพประกอบ 2.4 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (VF)

ข้อดีของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง คือ เป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุมดูแลและบำรุงรักษา ระบบมีเสถียรภาพในกรณีที่มีความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ระบบอาจเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า ก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพขึ้นได้ และพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าการใช้ลานตากตะกอน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นกรองยังสามารถทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในชั้นกรองและทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวได้ดีอีกด้วย

ข้อจำกัดของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง คือ ปัญหาการเที่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบไหลในกรณีที่ใช้ระบบในการบำบัดสิ่งปฏิกูลซึ่งความเข้มข้นสูง

Mahasarakham University

4. กลไกการบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ สามารถลดค่าบีโอดี กำจัดสารแขวนลอย โลหะหนัก และเชื้อโรคจากน้ำเสียหลายชนิดได้ในปริมาณสูง โดยมีกลไกลการบำบัด 3 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน ซึ่งตะกอนแขวนลอยจะถูกดักโดยพืชเปนสวนใหญ วิธีนี้สามารถกำจัดสารแขวนลอยสารอินทรีย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

2. กระบวนการทางเคมี ได้แก่ การดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวของพืชและการตกตะกอนทางเคมี

3. กระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การยอยสารประกอบอินทรียโดยจุลินทรียและกระบวนการล่า โดยเกิดการกินกันเองของจุลินทรีย์ต่าง ๆ เป็นกระบวนการกำจัดเชื้อโรคอย่างหนึ่ง

ตาราง 2.1 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์

องค์ประกอบในน้ำเสีย	**กลไกการบำบัด**
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน - การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ - การตกตะกอน
ไนโตรเจน	- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลชีพ - พืชนำไปใช้ - การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- ดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-ตกตะกอนโยอลูมิเนียม เหล็ก แคดเมียม และแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน) - พืชนำไปใช้
เชื้อโรค	- การตกตะกอน - การกรอง - การตายตามธรรมชาติ - รังสี UV - โดยสารปฏิชีวนะจากพืช

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

การใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดของเสียนั้น มลสารต่าง ๆ จะถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อน เช่น กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตกตะกอน การดูดซับ โดยอนุภาคของชั้นกรอง การสะสมในพืชและการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ พืชในระบบสามารถกำจัดมลสารต่าง ๆ ได้ด้วยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กลไกที่สำคัญที่ใช้ในการบำบัดของเสียในระบบบึงประดิษฐ์มีดังนี้

1. กลไกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน

Mahasarakham University

บึงประดิษฐ์สามารถลดค่าสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ดี กลไกพื้นฐานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน การดูดซับ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และสารอาหารด้วยจุลินทรีย์และการดูดซึมสารต่าง ๆ เข้าไปในพืช

กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) โดยทั่วไป กระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารแขวนลอย คือ การตกตะกอน การกรอง การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และการดูดติดผิวทางเคมี สำหรับการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอย่างได้ผลในบึงประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบนี้ คือ FWS และ SF ส่วนใหญ่จะถูกกรองออกและตกตะกอนในช่วง 2-3 เมตรแรกหลังจากที่น้ำเสียไหลผ่านช่องทางน้ำเข้า เข้าสู่ระบบด้วยการติดตั้งท่อกระจายน้ำนั้น สามารถควบคุมความเร็วในการไหลของน้ำให้ลดลงโดยปกติแล้วความเร็วการไหล ณ จุดใด ๆ ของทางน้ำเข้าไม่ควรมีค่ามากกว่า 0.3 เมตร/วินาที ซึ่งช่วยในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและช่วยลดภาระของเสียที่เข้ามาในระบบได้ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้สภาวะไร้อากาศ (Anoxic Condition) เกิดขึ้นที่ส่วนต้นของช่องทางการไหลของน้ำอีกด้วย

กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ (Organic Compounds) สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ที่เป็นของแข็งจะตกตะกอน ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ สำหรับกระบวนการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในบึงประดิษฐ์ทุกแบบ และจะขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำในกรณีที่เป็นบึงประดิษฐ์แบบ FWS ส่วนในบึงประดิษฐ์แบบ SF นั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองและอัตราการเจริญเติบโต

การกำจัดบีโอดีในบึงประดิษฐ์แบบ FWS ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและแหล่งออกซิเจนที่จะใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดของเสียโดยจุลินทรีย์ ซึ่งได้มาส่วนหนึ่งจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงมาสู่ผิวน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่จะถูกลำเลียงผ่านไปยังส่วนรากของพืช

กลไกการกำจัดไนโตรเจน (Nitrogen) โดยส่วนใหญ่แล้วไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ส่วนกลไกอื่น ๆ ในการกำจัดไนโตรเจน เช่น การดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในพืช และการระเหยของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับกลไกแรก

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัส (Phosphorus) การกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นได้ไม่มากนัก เพราะข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับดิน ดังนั้นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัสคือ การดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในพืช และระยะเวลาที่น้ำเสียได้สัมผัสกับดิน (U.S.EPA.1988)

กลไกการกำจัดเชื้อโรค (Pathogen) เชื้อโรคส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในบึงประดิษฐ์ได้แก่ หนอนพยาธิ แบคทีเรีย และไวรัส เชื้อโรคจำพวกแบคทีเรียและไวรัสจะถูกกำจัดได้ด้วยกลไกต่าง ๆ ได้แก่ การกินกันและกัน การตกตะกอน การดูดซึม และการตายที่เกิดตามธรรมชาติ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น แสงอุลตร้าไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์ของเชื้อโรค (U.S.EPA.1988)

กลไกการกำจัดโลหะหนัก (Heavy metals) ในบึงประดิษฐ์ คือ การตกผลึกของตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) การดูดซับ การตกผลึกของตะกอนโลหะหนักในบึงประดิษฐ์สามารถเกิดขึ้นได้หากมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจากสภาพที่เป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลาง (U.S.EPA.1993)

Mahasarakham University

2. กลไกการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) สารอินทรีย์ (Organic compounds) กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับในบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน กล่าวคือ ของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์จะถูกกรองและย่อยสลายภายในชั้นกรอง แต่จะพบว่ากระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ของการบำบัดในแนวดิ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการบำบัดในแนวนอน ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำเสียในระบบบำบัดในแนวดิ่งจะมีการกระจายตัวได้ทั่วผิวชั้นกรองจึงทำให้สามารถใช้ชั้นกรองในการบำบัดอย่างเต็มที่

กลไกการกำจัดไนโตรเจน (Nitrogen) ไนโตเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น เช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน ลักษณะเด่นของการบำบัดในแนวดิ่งคือ การมีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น เกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดยในช่วงแรกเป็นการบำบัดแบบไนตริฟิเคชั่น จากนั้นก็จะเกิดการบำบัดแบบดีไนตริฟิเคชั่นซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณไนเตรทที่เพิ่มสูงขึ้น

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัส (Phosphorus) การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง ใช้หลักการตกตะกอน การดูดซับโดยตะกอน และการดูดซับโดยพืชโดย การกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์แบบในแนวดิ่ง 2 บ่อต่อกันจะช่วยให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับชั้นกรองมากขึ้น

กลไกการกำจัดเชื้อโรค (Pathogen) การกำจัดเชื้อโรคในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง เกิดจากการตายลงเองตามธรรมชาติ การล่า การตกตะกอน และการดูดซับ เช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวนอน ระบบบำบัดในแนวดิ่งจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคได้ดี เพราะน้ำเสียมีการกระจายตัวทั่วผิวหน้าชั้นกรอง โดยเฉพาะในช่วงการปล่อยน้ำเข้าสู่บึงประดิษฐ์เป็นช่วง ๆ ซึ่งจะทำให้ที่ผิวหน้าชั้นกรอง มีลักษณะแห้งสลับกับเปียก ซึ่งทำให้เชื้อโรคที่ผิวหน้าชั้นกรองถูกทำลายโดยความร้อนและรังสีอุลตร้าไวโอเลต

5. รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์สามารถออกแบบให้ใช้กับการไหลแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบ ซึ่งได้แก่ การไหลแบบตามกัน (Plug Flow) การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นขั้น (Step Feed) หรือการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation)

5.1 การไหลแบบตามกัน (Plug Flow) การไหลแบบตามกันปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การไหลแบบนี้นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กและมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไม่มากนัก

ข้อดีของการไหลแบบตามกัน คือ มีค่าก่อสร้างต่ำ ใช้พลังงานน้อยและต้องการการควบคุม ดูแลรักษาค่อนข้างต่ำ

ข้อจำกัดของการไหลแบบตามกัน คือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และมีค่าความยาวต่อความกว้างมากกว่า 10:1

5.2 การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นขั้น (Step Feed) การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นขั้นจะมีผลในการกำจัดของแข็งได้ดีเมื่อเป็นระบบไหลตามแนวดิ่ง และรับน้ำออกบริเวณด้านล่างของบ่อ การเติมน้ำเสียเข้าสูระบบแบบเป็นขั้นนี้สามารถทำควบคู่ไปกับการสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับเข้าสู่ระบบ นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีความยาวต่อความกว้างมากกว่า 10:1

Mahasarakham University

ข้อดีของการไหลแบบเป็นขั้น คือ น้ำเสียที่เข้าระบบมีการกระจายอย่างทั่วถึงบนระบบบึงประดิษฐ์ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการไหลแบบแรก

ข้อจำกัดของการไหลแบบเป็นขั้น คือ รูปแบบการไหลแบบนี้ต้องการงบประมาณในการก่อสร้างสูง เพราะต้องมีการติดตั้งระบบท่อ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมากกว่าการไหลแบบแรก

5.3 การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation) การสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับไปยังจุดเริ่มต้นใหม่กำลังได้รับความสนใจและมีแนวโน้มที่จะมีการลงทุนก่อสร้างมากขึ้น เป็นระบบที่มีการเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าสู่ระบบใหม่ การสูบน้ำบำบัดแล้วกลับไปยังระบบอีกครั้งจะช่วยเจือจางปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยที่เข้ามาในระบบและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

ข้อดีของการหมุนเวียนน้ำเข้าสู่ระบบ คือ สามารถช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่นช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและทำให้ระบบมีระยะเวลากักเก็บน้ำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการกำจัดไนโตรเจนตามมา

ข้อจำกัดของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการก่อสร้างและการดูแลรักษาระบบตลอดจนต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องสูบกลับเพื่อควบคุมปริมาณและระยะพักน้ำที่เข้าระบบ

6. พืชสำหรับบึงประดิษฐ์

การเลือกพืช พันธุ์พืชเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับบำบัดน้ำเสีย ควรเป็นพืชที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและทนต่อมลพิษทางน้ำได้สูง พืชที่นิยมใช้ เช่น กก *(Scirpus* spp.*)* ต้นแห้วทรงกระเทียม *(Efeocharis* spp.*)* ต้นหญ้ารังกา (*Cyperus* spp.) ต้นอ้อ *(Phragmites* spp.*)* และธูปฤาษี *(Typha* spp.*)* สิ่งที่ต้องพิจารณาคือความลึกของน้ำที่ท่วมลำต้นและรากของพืชที่หยั่งลงไปในดิน

รากพืชจะเจริญเติบโตอยู่ภายในดินที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 5-150 เซนติเมตร หรือมากกว่า โดยส่วนใหญ่จะสร้างใบ และลำต้นให้สัมผัสอากาศมีรากแผ่ขยายในชั้นดิน

ออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบ และลงไปทางช่องอากาศไปยังระบบราก โดยการแพร่ (diffusion) และการไหลพาของอากาศ (convection) ออกซิเจนบางส่วนถูกปลดปล่อยออกมารอบชั้นรากพืชทำให้เกิดสภาพมีออกซิเจน เสริมให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดีขึ้น และทำให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) มีการเจริญเติบโตได้ดีทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นเพิ่มขึ้น และยังเพิ่มความสามารถในการดูดฟอสฟอรัสของตะกอนด้วย พืชสามารถรับฟอสฟอรัสได้ด้วยกระบวนการดูดซับ การรวมตัวทางเคมี หรือการแพร่ผ่านน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Cooper และ Boon, 1987)

6.1 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์

พืชในระบบบึงประดิษฐ์มีหน้าที่หลายประการ คือ

6.1.1 ทางกายภาพ

พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ตกตะกอนได้ดีขึ้น และลดการฟุ้งกระจายของตะกอน และช่วยเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างน้ำ และพื้นที่ผิวของพืช รากพืชที่หนาแน่นช่วยลดการกัดเซาะผิวดิน ในระบบการไหลแนวดิ่งการให้น้ำเข้าระบบเป็นครั้งคราวร่วมกับการปลูกพืช รากพืชที่เติบโตในตัวกลางจะช่วยลดการทับถมของซากพืชช่วยป้องกันการอุดตันในตัวกลางได้ ส่วนยอดต้นพืชยังช่วยลดความเร็วของกระแสลม ลดความเข้มข้นของแสง และเป็นฉนวนป้องกันอุณหภูมิของดินไม่ให้สูงหรือต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศ

Mahasarakham University

6.1.2 สภาพทางชลศาสตร์ของดิน (soil hydraulic conductivity)

ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลแนวนอน น้ำจะไหลผ่านตามร่องที่เกิดจากรากพืช และช่องว่างในเม็ดดิน เมื่อรากเจริญมากขึ้นจะทำให้ดินหลวม เมื่อรากพืชและลำต้นใต้ดินตายและถูกสลาย จะทำให้เกิดโพรงหรือร่องซึ่งเพิ่มความเสถียรของสภาพนำทางชลศาสตร์ของดิน (Vymazal et al., 1998) โครงสร้างของโพรงที่เกิดขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพการเจริญเติบโตซึ่งมีผลต่อการกัดเซาะในระบบ

6.1.3 เป็นพื้นที่สำหรับยึดเกาะของจุลินทรีย์

ลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นพื้นที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชเป็นแหล่งที่มีจุลินทรีย์ โปรโตซัว และสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงอยู่หนาแน่น เช่นเดียวกับราก ลำต้นใต้ดิน รวมถึงซากพืชที่ตายแล้ว

6.1.4 การดูดซับโดยพืช

พืชต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ พืชได้รับอาหารจากระบบราก และบางส่วนได้จากการดูดซับจากลำต้นที่อยู่ในน้ำ สามารถลดปริมาณสารอาหารได้โดยการเก็บเกี่ยวพืชโผล่พ้นน้ำประมาณ 30-150 กิโลกรัม/ ปี พบว่าปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัด โดยการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาระบรรทุกของน้ำเสียที่เข้าระบบ แต่ถ้าไม่มีการเก็บเกี่ยวสารอาหารส่วนใหญ่ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชจะถูกปล่อยออกมาสู่ระบบเพื่อย่อยสลายต่อไป

6.1.5 การปล่อยทางราก

พืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากสู่บริเวณรอบ ๆ ลำต้นใต้ดิน อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน ความต้องการออกวิเจนของตัวกลางและความพรุนของผนังราก นอกจากนี้การซึมของออกซิเจนที่ปรายรากจะช่วยลดอันตรายจากสารพิษต่าง ๆ

7. การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การออกแบบและการตั้งค่าระบบให้มีความเฉพาะเจาะจงกับคุณภาพและปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัดนั้นมีความสำคัญมาก การออกแบบระบบจึงต้องพิจารณาถึงสิ่งเจือปนและระดับของสิ่งเจือปนที่ต้องการกำจัด ซึ่งโดยปกติระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ทั้งระบบมีการเลียนแบบธรรมชาติ สำหรับสิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบบึงประดิษฐ์ที่จะช่วยทำให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพสูง ได้แก่ การเลือกพื้นที่ การใช้ที่ดิน ความสามารถที่จะใช้ประโยชน์จากที่ดิน ภูมิประเทศ ทรัพยากรธรรมชาติ ใบอนุญาตและกฎระเบียบข้อบังคับ โครงสร้าง (Structures) ตามประเภทและการตั้งค่าระบบ ชนิด ปริมาณ และคุณลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด การเลือกชนิดของพืชที่จะปลูกในบึงประดิษฐ์ การศึกษาระบบควบคุมแมลงต่าง ๆ ในบึงประดิษฐ์ เช่น ยุง การออกแบบรูปร่าง ขนาด ความลาดเอียง ความเร็วของน้ำ งบประมาณและความคุ้มค่าสิ่งปนเปื้อนของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ลงสู่น้ำใต้ดิน หรือน้ำผิวดิน ออกแบบบึงตามลักษณะพื้นที่ ให้เข้ากับภูมิประเทศบริเวณนั้น

8. เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวตัวกลางมักคำนึงถึงระยะเวลากักน้ำ ความลึกของน้ำ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และอัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ เป็นการรวบรวมเกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้งแบบไหลผ่านลำต้นและแบบไหลใต้ผิวตัวกลาง

Mahasarakham University

8.1 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT)

มีหน่วยเป็นวัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ใช้จะกำหนดโดยตั้งสมมุติฐานว่ามีการกวนสมบูรณ์หรือเป็นปลั๊กโฟลว์ (Plug Flow) ซึ่งในสภาพจริงจะไม่พบทั้ง 2 กรณี การหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แท้จริงทำได้ยาก เพราะการไหลในระบบจะซับซ้อน เนื่องจากมีพืชเจริญเติบโตอยู่และพืชจะไปแทนที่ปริมาตรน้ำจำนวนหนึ่งด้วย

8.2 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

มีหน่วยเป็นกิโลกรัม/(เฮกแตร์.วัน) เช่น ค่าบีโอดี เป็น กิโลกรัม/(เฮกแตร์.วัน) เป็นมวลของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อหน่วยพื้นที่ผิวของระบบต่อหน่วยวัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหล และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียในทางปฏิบัติ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการกระจาย น้ำเสียเข้าระบบ เพื่อเลี่ยงการเกิดกลิ่น เนื่องจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ไม่สม่ำเสมอ น้ำเสียควรกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ

8.3 อัตราภาระบรรทุกชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR)

มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ (ตารางเมตร.วัน) เป็นปริมาตรของน้ำที่เติมต่อวันต่อพื้นที่ผิวของระบบ ปกติแล้วระบบพืชน้ำจะดำเนินแบบไหลต่อเนื่อง เป็นผลให้ภาระบรรทุกทางน้ำไม่ใช้เป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบ

8.4 ความลึกของน้ำ (Water Depth)

ความลึกของน้ำมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้นเท่านั้น ระดับน้ำจะเป็นปัจจัยหลักในการเลือก และบำรุงรักษาพืชในระบบ เพราะพืชบางชนิดต้องการที่จะอยู่ในน้ำตื้นไปจนถึงระดับที่ลึกขึ้นตามแต่ชนิดของพืช

ตาราง 2.2 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ตัวแปร	หน่วย	ชนิดของระบบ		ที่มา
		FWS	SF	
ภาระอินทรีย์สาร (บีโอดี)	กก/เฮคแตร์/วัน (กก/ตร.ม.-วัน)	<110	<133	Reed et al. (1988)
		<112	<133	USEPA (1988)
		100-110	80-120	WPCF (1990)
		<67	<67	Metcalf and Eddy (1991)
		<80	<75	Crites (1994)
		<100	<100	Reed and Brown (1995)
ภาระชลศาสตร์	ซ.ม./ วัน	2.5-5	6-8	WPCF (1990)
		1.4-4.7	1.7-4.7	Metcalf and Eddy (1991)
		0.7-6	-	Crites (1994)
เวลาการกักพักชลศาสตร์	วัน	5-10	5-10	WPCF (1990)
		4-15	4-15	Metcalf and Eddy (1991)
		5-14	2-7	Crites (1994)

Mahasarakham University

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	ชนิดของระบบ		ที่มา
		FWS	SF	
อัตราส่วน		2:1-10:1	2:1-10:1	Crites (1994)
ความยาวต่อ		≥10:1	≥10:1	Metcalf and Eddy (1991)
ความกว้าง		>10:1et	>10:1	Reed al (1988)
ความสูงของน้ำ	เมตร	ธูปฤาษี>0.15	NA	USEPA (1988)
		อ้อ > 1.5		
		กก 0.0075-0.25		
		<0.5	NA	WPCF (1990)
		0.09-0.6	0.3-0.8	Metcalf and Eddy (1991)
		0.1-0.5	NA	Crites (1994)

ที่มา : ลักษมน ทองอินทร์, 2554

หมายเหตุ 1. SF คือ บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow System)

2. FWS คือ บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface System)

9. ประโยชน์จากระบบบึงประดิษฐ์

ทางตรง : ลดปริมาณสารอินทรีย์ ตะกอนแขวนลอย และ สารอาหาร ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส

ทางอ้อม : ทำให้เกิดสมดุลของระบบนิเวศน์ และสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัย และแหล่ง อาหารของสัตว์ และสามารถใช้เป็น ที่พักผ่อนหย่อนใจ และศึกษาทางธรรมชาติ

ข้อดีของบึงประดิษฐ์ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านการดำเนินงาน และด้านเทคนิคในการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

1. ค่าก่อสร้างไม่แพงเมื่อเทียบกับระบบบำบัดชนิดอื่น ๆ
2. ค่าดำเนินงานและการควบคุมดูแลระบบค่อนข้างต่ำ
3. การดำเนินงานและการดูแลระบบเป็นไปตามระยะเวลา ต่างจากระบบอื่น ๆ
4. ระบบมีเสถียรภาพแม้ว่าสภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไป
5. กำจัดสารอินทรีย์และลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำได้สูง
6. สภาพแวดล้อมเป็นที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหารของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลกระทบต่อชุมชน

ข้อเสียของบึงประดิษฐ์

1. ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่ว ๆ ไป จึงมีผลต่องบประมาณในการจัดซื้อที่ดิน

2. ประสิทธิภาพในการบำบัดอาจจะน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่ว ๆ ไป เพราะยังต้องขึ้นอยู่กับฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในบึง รวมทั้งอัตราการตกของฝน และระยะเวลา

Mahasarakham University

แห้งแล้ง เมื่อคิดเป็นอัตราเฉลี่ยต่อปีแล้ว ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้อาจจะยอมรับได้ แต่ถ้ามีความเข้มงวดเรื่องค่ามาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว อาจจะปล่อยน้ำเสียออกสู่ชุมชนไม่ได้

3. ความเป็นพิษของสารเคมี เช่น แอมโมเนีย และสารกำจัดแมลง อาจจะมีต่อระบบบำบัด

4. การปล่อยน้ำไหลเข้าสู่ระบบหรือการขึ้นลงของระดับน้ำ อาจจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดลดลงชั่วคราว

5. อาจจะต้องใช้เวลาเริ่มต้นบำบัดช้า (start-up) เพราะต้องใช้เวลาในการเพาะปลูกพืชให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อน และอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง

6. บึงประดิษฐ์ไม่สามารถที่จะบำบัดสารปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นที่สูงบางชนิดได้

10. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตซ์ (Batch)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตซ์ (Batch) หมายถึง บ่อหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่มีการไหลของน้ำเสีย การทำงานของระบบจะเป็นแบบครั้งคราว เริ่มด้วยการเติมสารทำปฏิกิริยาไปให้ทำปฏิกิริยาในสภาพที่ต้องการ ในเวลาที่จำเป็นให้การแปรผัน (Conversion) ที่ต้องการแล้วจึงหยุดทำปฏิกิริยา โดยในช่วงทำปฏิกิริยาไม่มีการเข้าออกของสารทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในน้ำเสีย (ธีระ เกรอต, 2539)

2.5 ธูปฤาษี

ธูปฤาษีใบแคบ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* Linn. และชื่อสามัญว่า Cattail เป็นพืชที่มีความสูง 1.50 เมตร ถึง 3.0 เมตร ความกว้างของใบประมาณ 0.3 - 15 มิลลิเมตร ใบเรียวและยาว ส่วนโคนจมน้ำชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะขยายพันธุ์ โดยใช้ส่วนของลำต้นใต้ดินและเมล็ด แพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนเช่น ประเทศไทย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และตามหมู่เกาะต่าง ๆ ธูปฤาษีจัดเป็นวัชพืชในกลุ่มวัชพืชชายตลิ่ง (Marginal Weeds) วัชพืชพวกนี้มีการเจริญเติบโตอยู่ตามชายน้ำแฉะ ๆ มีน้ำขังเล็กน้อยลักษณะโดยทั่วไปจะมีรากหรือทั้งรากและลำต้นอยู่ในพื้นดิน บางส่วนของลำต้น ใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ ช่อดอกของธูปฤาษีมีลักษณะคล้ายธูป ส่วนบนเป็นดอกตัวผู้ ยาว 15-30 เซนติเมตร ส่วนล่างเป็นดอกตัวเมีย มี 1 ตอน ยาว 7-28 เซนติเมตร แต่อาจมี 2 ตอนได้ เมื่อเจริญเต็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-2.5 เซนติเมตร ธูปฤาษีเป็นพืชที่มีทั้งโทษและประโยชน์ส่วนของลำต้นและใบนำมาเป็นวัสดุมุงหลังคา ทำตะกร้า ทำเชือก เครื่องสานเครื่องใช้พวกเสื่อ เก้าอี้กระดาษ อย่างไรก็ตามพบว่าธูปฤาษีนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แต่หากไม่ควบคุมแล้วจะกลายเป็นตัวทำลายพื้นที่ชุมน้ำได้ เนื่องจากเจริญเติบโตแทนที่พืชที่เป็นอาหารของสัตว์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วเป็นโทษต่อแหล่งเก็บน้ำชลประทานเพราะเป็นวัชพืช และการควบคุมสามารถทำได้โดยการถ่ายน้ำออกจากพื้นที่ การใช้สารกำจัดวัชพืช (ธิดา วิเชียรเพชร, 2545 : 38 – 39 ; อ้างอิงมาจาก Steenis, 1948)

ธูปฤาษี มีอายุข้ามปีดอกออกเป็นช่อแบบสไปด์ (spike) รูปทรงกระบอก หรือช่อดอกแบบ (spadix) ที่อยู่ปลายก้านช่อ แต่ไม่มี spathe รองรับก้านช่อดอกยาวเรียงแข็ง และมักชูช่อดอกสูงเกือบเท่าใบ ช่อดอกมองดูเหมือนเป็นธูป ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบน ดอกตัวเมียอยู่ด้านล่าง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5

Mahasarakham University

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ (www.pcd.go.th)

ภาพประกอบ 2.5 ธูปฤาษี *Typha* sp.

ธูปฤาษีเป็นไม้ล้มลุกสองปี เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้น ๆ ใบเดี่ยว เรียงสลับระนาบเดียว รูปแถบกว้าง 1.2-1.8 ซม. ยาวประมาณ ๒ ม. แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อยเพราะมีเซลล์หยุ่นตัวคล้ายฟองน้ำหมุนอยู่กลางใบ ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอกแบบช่อเชิงลด ดอกมีจำนวนมาก ติดกันแน่น สีน้ำตาล ลักษณะคล้ายธูปดอกใหญ่ ก้านช่อดอกกลม แข็ง ดอกแยกเพศ แบ่งเป็นตอนเห็นได้ชัด กลุ่มดอกเพศผู้อยู่ปลายก้าน รูปทรงกระบอกยาว 15-30 ซม. และทิ้งช่วงห่างกลุ่มดอกเพศเมีย 0.5-12 ซม. ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ 2-3 อัน และมีขนแบนรูช้อน 3 เส้น กลุ่มดอกเพศเมียรูปทรงกระบอกเช่นกันแต่ใหญ่กว่าดอกเพศผู้ ยาว 3-28 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ซม. มีใบประดับย่อย (bracteole) เป็นส้นปลายสีน้ำตาลมากมายแซมดอก โคนก้านชูเกสรเพศเมีย (gynophore) มีขนยาวสีเงินหลายเส้น ดอกแก่จะแตกเห็นเป็นขนขาวฟู รังไข่มีช่องเดียว มีออวุล 1 เม็ด ผลเล็กมาก เมื่อแก่แตกตามยาวกกช้างมีเขตการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทั่วทุกภาค พบในที่ลุ่มทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปยุโรปและอเมริกา ปัจจุบันแพร่หลายไปทั่วโลก ใบยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า ใช้มุงหลังคา กินได้ แป้งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกัน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกา และเชื่อว่าลำต้นใต้ดินและรากใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ เยื่อ (pulp) ของต้นกกช้างนำมาใช้ทำใยเทียม (rayon) และกระดาษได้ มีเส้นใย (fibre) ถึงร้อยละ 40 เส้นใยนี้มีความชื้นร้อยละ 8.9 เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 63 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 8.7 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 9.6 ไข (wax) ร้อยละ 1.4 และเถ้า (ash) ร้อยละ 2 เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ กกช้างมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างสูง กากที่เหลือจากการสกัดเอาโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้วใช้แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ย่อย จะให้แก๊สมีเทน (methane) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ผลของกกช้างมี long chain hydrocarbon 2 ชนิด คือ pentacosane และ I-triacontanol สารพวก phytosteral 2 ชนิด คือ B(beta)-sitosterol และ B(beta)-sitosteryl-3-0-B(beta)-D-glucopyranoside กกช้างสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กก. ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กก. ต่อปี จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

Mahasarakham University

การสืบพันธุ์ของธูปฤาษี

อาศัยเมล็ดขนาดเล็ก เมล็ดมีเอนโดสเปิร์ม (albuminous) ต้นอ่อนตรง และมีลักษณะเป็นเส้นขนหลายเส้น เบา สามารถปลิวไปตามลม และติดไปกับสิ่งของ คน หรือสัตว์ได้ง่าย หรืออาจใช้เหง้าในการกระจายพันธุ์ พบขึ้นบริเวณแหล่งน้ำขัง ในหนอง บึง ในนาข้าวทั่วประเทศไทย

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของธูปฤาษีคือ

1. ลม เป็นตัวพาให้ธูปฤาษีแพร่กระจายไปได้ไกล โดยพัดพาสปอร์และเมล็ดของธูปฤาษีซึ่งมีลักษณะเบา หรือมีส่วนที่ช่วยพยุงให้เมล็ดลอยไปตามลมได้ วัชพืชเหล่านี้จึงแพร่กระจายได้รวดเร็ว เช่น สปอร์ ของเฟิร์นบางชนิด หญ้าคา ธูปฤาษี เลา เป็นต้น

2. น้ำ สามารถพัดพาเมล็ดของธูปฤาษีไปตามกระแสน้ำ ทำให้ธูปฤาษีแพร่กระจายไปยังที่ต่าง ๆ ซึ่งอาจถูกพัดพาโดยน้ำฝนที่ไหลบ่าไป นอกจากนี้ น้ำยังเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการงอกของเมล็ดธูปฤาษีด้วย

3. สัตว์ เป็นพาหะที่นำพาเมล็ดธูปฤาษีไปยังที่ต่าง ๆ ได้ ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น เมล็ดธูปฤาษีอาจติดไปกับร่างกายของสัตว์เอง จากที่หนึ่งไปตกยังอีกที่หนึ่ง หรือสัตว์กินพืชเป็นอาหารแล้วถ่ายมูลออกมาโดยที่เมล็ดธูปฤาษีไม่ถูกย่อย ก็จะสามารถเจริญเติบโตงอกงามได้

4. มนุษย์ สามารถนำพาธูปฤาษีไปได้เป็นระยะทางไกล อาจจะด้วยความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตาม โดยการติดไปกับเสื้อผ้าที่สวมใส่ หรือเกิดจากการรู้เท่าไม่ถึงการณ์

5. การแพร่กระจายทางเครื่องมือ อุปกรณ์ และสิ่งอื่น ๆ ที่ใช้ในการเกษตรจากที่หนึ่งนำไปใช้อีกสถานที่หนึ่ง อาจมีเมล็ดธูปฤาษีติดไปด้วย หรือการขนย้ายดิน หรือแม้แต่ในเมล็ดพันธุ์พืชซึ่งซื้อมาปลูกก็อาจมีเมล็ดธูปฤาษีปะปนมาได้

ผลเสียจากธูปฤาษี

1. เมื่อต้นธูปฤาษีเจริญขึ้นในแหล่งน้ำตื้นอยากมากมาย และตายลงทำให้เกิดน้ำเสียในแหล่งน้ำต่าง ๆ ส่งเกินเหม็นไปรอบ ๆ สร้างความรำคาญแก่ผู้สัญจร และผู้อยู่อาศัยบริเวณนั้น

2. เป็นที่อยู่ของสัตว์มีพิษ เนื่องจากธูปฤาษีเป็นต้นที่มีลักษณะสูงเรียวยาว และมักขึ้นอย่างหนาแน่นปกคลุมเนื้อที่ได้หลาย ๆ ไร่ ทำให้มีลักษณะเป็นที่ที่รกรุงรัง และสกปรกทำให้สัตว์มีพิษเข้าไปอาศัยอยู่ได้

3. เกิดปัญหาการใช้สอยที่ดินทำกิน เนื่องจากธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วอย่างน่าเหลือเชื่อ กินพื้นที่ได้กว้างในเวลาเพียงไม่กี่เดือน และแย่งธาตุอาหารที่จำเป็นในดินไปทำให้ไม่สามารถเพาะปลูกได้ดีเท่าที่ควร

4. การเดินทางสัญจรลำบากเพราะบริเวณที่มีธูปฤาษีเจริญอยู่มักจะมีแหล่งน้ำขังและรก ไม่สามารถสัญจรไปมาได้สะดวก

5. สิ้นเปลืองงบประมาณในการถางทำลายเป็นอย่างมาก ในการกำจัดวัชพืชชนิดนี้นั้นไม่สามารถกำจัดได้อย่างถาวรเพราะเมล็ดของธูปฤาษีนั้นมีขนาดเล็กมากและมีมากมายมหาศาล และที่สำคัญสามารถปลิวกระจัดกระจายไปตามที่ต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว

6. ในป่าไม้อาจจะประสบปัญหาไฟป่าได้ทำให้ได้รับความเสียหายอย่างมาก

7. วัชพืชที่ขึ้นอย่างรกรุงรังอาจเป็นแหล่งหลบซ่อนอาศัยของโรค แมลง และศัตรูพืช

8. แย่งน้ำและอาหารจากพืชปลูก ซึ่งควรจะได้รับมากขึ้นหากไม่มีธูปฤาษีอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ

9. เป็นปัญหาต่อการพัฒนาที่ดินทำกินของประเทศ

Mahasarakham University

ประโยชน์ของธูปฤาษี

ธูปฤาษีเป็นพืชที่มีทั้งโทษและประโยชน์ส่วนของลำต้นและใบนำมาเป็นวัสดุมุงหลังคา ทำตะกร้า ทำเชือก เครื่องสานเครื่องใช้พวกเสื่อ เก้าอี้ กระดาษ อย่างไรก็ตามพบว่าธูปฤาษีนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แต่หากไม่ควบคุมแล้วจะกลายเป็นตัวทำลายพื้นที่ชุมน้ำได้ เนื่องจากเจริญเติบโตแทนที่พืชที่เป็นอาหารของสัตว์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วเป็นโทษต่อแหล่งเก็บน้ำชลประทานเพราะเป็นวัชพืช และการควบคุมสามารถทำได้โดยการถ่ายน้ำออกจากพื้นที่ การใช้สารกำจัดวัชพืชกำจัดธูปฤาษีจะส่งผลให้มีสารตกค้าง สัตว์น้ำถูกทำลายและเป็นอันตรายต่อมนุษย์

2.6 ขนมจีนและขั้นตอนการผลิตขนมจีน

ขนมจีน เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นชนิดหนึ่งที่แปรรูปจากข้าวที่คนไทยนิยมบริโภคกันมากตั้งแต่สมัยโบราณโดยเฉพาะงานบุญและเทศกาลต่าง ๆ โดยมีการผลิตทุกภาค การผลิตขนมจีนในประเทศไทยเริ่มมาตั้งแต่เมื่อใดไม่ทราบแน่ชัด เข้าใจว่ามีการบริโภคขนมจีนมาตั้งแต่สมัยโบราณที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีคลองซึ่งชื่อคลองขนมจีนและคลองน้ำยาปรากฏอยู่ การบันทึกเกี่ยวกับขนมจีนได้เริ่มตั้งแต่สมัยกรุงรัตนโกสินทร์ตอนต้นในสมัยพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก ซึ่งมีการทำขนมจีนเลี้ยงกันเป็นงานใหญ่ ต่อมาในสมัยสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัวได้รับสั่งว่าขนมจีนมิใช่เป็นของชาวจีนเพียงแต่มีชื่อจีนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเชื่อได้ว่าเป็นของคนไทยทำ การบริโภคขนมจีนของคนไทยแต่ละภาคนิยมบริโภคกับอาหารประเภทแกงแต่มีส่วนผสมต่างกันออกไป เช่นขนมจีนน้ำเงี้ยว ขนมจีนแกงเขียวหวาน ขนมจีนน้ำพริกฯลฯ

ชนิดของขนมจีน

ขนมจีนแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. ขนมจีนแป้งหมัก เป็นขนมจีนที่ได้จากการหมักข้าวเจ้าหรือปลายข้าวเจ้าโดยหมัก 2-3 วัน ก่อนนำมาโม่แล้วทำเป็นขนมจีน ขนมจีนชนิดนี้มีความเหนียว สีคล้ำเล็กน้อย มีกลิ่นหมักและสามารถเก็บไว้ได้นานจึงเป็นที่นิยมมากในทางภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มากกว่าขนมจีนแป้งสด

2. ขนมจีนแป้งสด เป็นขนมจีนที่ทำจากข้าวเจ้าหรือปลายข้าวที่ผ่านการแช่น้ำหรือล้างน้ำก่อนนำมาโม่แล้วทำเป็นขนมจีน ขนมจีนชนิดนี้ไม่เหนียวและเก็บได้ไม่นาน ขนมจีนชนิดนี้นิยมบริโภคทางภาคใต้ ภาคอื่นนิยมบ้างแต่น้อยกว่า ขนมจีนแป้งหมัก

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมจีน

วัตถุดิบเป็นสิ่งที่สำคัญในการผลิตเพราะมีผลต่อคุณภาพทางด้านลักษณะทางกายภาพของเส้นขนมจีน ได้แก่

1. ข้าว ข้าวที่นิยมใช้ คือ ข้าวเจ้า ซึ่งเป็นส่วนปลายหรือท่อน หรือข้าวหัก โดยใช้ข้าวที่มีอายุการเก็บมากกว่า 6 เดือน แต่ไม่เกิน 1 ปี ซึ่งเรียกว่าข้าวเก่า แต่ถ้าข้าวอายุมากกว่า 1 ปี จะได้ขนมจีนที่แข็งกระด้าง ร่วน ไม่มีความเงามัน การเลือกปลายข้าวหรือข้าวที่จะมาทำขนมจีนต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการ ได้แก่ พันธุ์ข้าว แหล่งที่ปลูก วิธีการปลูก วิธีการสีข้าว และอายุการเก็บ ซึ่งจะมีผลต่อการผลิต สี และลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีน พันธุ์ข้าวที่นิยมใช้ในการทำขนมจีนโดยทั่วไป เช่น พันธุ์เหลืองประทิว เหลืองใหญ่ เหลืองอ่อน บัวใหญ่ และข้าวพิจิตร เป็นต้น และ จากการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของพันธุ์ข้าวเหล่านี้พบว่ามีปริมาณอะไมเลสสูงร้อยละ 27 พันธุ์ และข้าวควรปลูกบนที่

Mahasarakham University

ดอนที่เป็นทรายจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าข้าวที่ปลูกในที่ลุ่ม ผู้ผลิตขนมจีนในปัจจุบันต้องใช้ข้าวหักแทนข้าวเต็มเมล็ด เนื่องจากราคาของข้าวเต็มเมล็ดจะสูงกว่า จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

2. น้ำ น้ำที่ใช้ในการผลิตขนมจีนควรปราศจากสิ่งแขวนลอยมีความกระด้างต่ำถ้าเป็นน้ำบาดาลควรสูบมาพักไว้เพื่อให้อิออนของเหล็กตกตะกอนก่อนจึงนำไปกรองผ่านทรายแล้วผ่านเครื่องกำจัดน้ำกระด้าง ถ้าเป็นน้ำประปาไม่ควรมีคลอรีนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติ ถ้าน้ำขุ่นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีคล้ำ นอกจากนี้พบว่าน้ำที่ใช้ในการผลิตจะมีผลต่อสีของขนมจีน คือ น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อยมีค่าพีเอช 6.4 จะทำให้สีขนมจีนที่ได้มีสีปกติขาวออกเหลือง แต่ถ้าใช้น้ำมีฤทธิ์ค่อนไปทางด่าง คือ ค่าพีเอช 7.4 ขนมจีนที่ได้จะมีสีออกเขียวปนและถ้าใช้น้ำค่อนข้างเป็นกรด คือ ค่าพีเอช 5.5 จะได้สีขนมจีนเป็นสีแดงปน

3. เกลือ ใช้เกลือป่นหรือเกลือเม็ดใส่ขณะโม่แป้ง ปริมาณที่ใช้คือ 7 กิโลกรัม ต่อข้าว 100 กิโลกรัม เกลือจะช่วยป้องกันการบูดของแป้ง นอกจากนี้พบว่าการล้างข้าวด้วยน้ำเกลือ ร้อยละ 7-8 กำจัดกลิ่นหมักที่ค่อนข้างรุนแรง ซึ่งสามารถกำจัดโดย การล้างสัก 2 ครั้ง โดยใช้น้ำเกลือ 2 เท่าของปริมาณข้าวหรือแป้งแล้วล้างเกลือออกด้วยน้ำเปล่า

ขั้นตอนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก

การผลิตขนมจีนแป้งหมักมี 9 ขั้นตอน ดังนี้

1. การหมักข้าว โดยนำปลายข้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปราศจากฝุ่นและสิ่งเจือปนใส่ข้าว ในภาชนะสำหรับหมัก ซึ่งทำด้วยไม้ไผ่สาน เช่น กระบุงหรือเข่ง หมักโดยการตั้งทิ้งไว้กลางแดดหรือในร่ม ถ้าหมักกลางแดดข้าวจะมีเป็นสีขาว ถ้าเอาไว้ในร่มจะได้ข้าวสีเหลืองอมส้ม นิยมหมักปลายข้าวเป็นเวลา 2 วัน ในระหว่างการหมัก ต้องล้างปลายข้าวทุกวัน ส่วนการผลิตระดับพื้นบ้านจะหมักปลายข้าวจนเปื่อยยุ่ยและสามารถนวดได้โดยใช้มือโดยไม่ต้องโม่ การใช้ปลายข้าวหมักจะทำให้เปื่อยยุ่ยเนื่องมาจากแป้งถูกไฮโดรไลซ์ ได้สารประกอย Dextrin และ Maltose โดยเอนไซม์อะไมเลสซึ่งอยู่ในแป้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการเจริญของจุลินทรีย์มีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการหมักทุกชนิด โดยมีหลักการว่าการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการหมักจะต้องเจริญได้ดีมีอัตราสูงกว่าการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสีย รวมทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น รสที่ไม่ต้องการ ดังนั้นการควบคุมสภาพการหมักดองต่าง ๆ จึงนับเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง การเจริญของจุลินทรีย์โดยทั่วไปต้องการสารอาหารหลักจากพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไวตามินและเกลือแร่ การเจริญของแบคทีเรียจะสูงหรือต่ำนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานที่แบคทีเรียจะได้รับจากสารอาหารพลังงานสูงก็จะทำให้การเจริญของเซลล์สูง ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ ของแบคทีเรียต้องการสิ่งต่อนี้คือ น้ำ พลังงาน ไนโตรเจน คาร์บอน และเกลืออนินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการอาหารที่แตกต่างกันข้าวที่ผ่านการหมัก 2-3 วัน จะมีลักษณะทางกายภาพและปริมาณโปรตีนของขนมจีนที่แตกต่างกันดังตารางที่ 1โดยข้าวหมักจะเปื่อยมีสีคล้ำและมีกลิ่นแรง เนื่องจากมีเชื้อ *Lactobacillussp.* และ *Streptococcus sp.* เจริญเติบโตขึ้นมา เชื่อว่าการหมักจะทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำจะแตกตัวได้ดีเมื่อสัมผัสกับความร้อนเนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่รอบเม็ดแป้งสลายตัวไปร้อยละ 2-3 แต่อย่างไรก็ตามถ้าหมักนานเกินไปขนมจีนอาจไม่เหนียว เนื่องจากการทำงานที่อยู่ในเอนไซม์ที่มีอยู่ในข้าว การแตกตัวจะทำให้เม็ดแป้งอะไมเลสหลุดออกมามากด้วย นอกจากนั้นการที่โปรตีนในแป้งต่ำลงทำให้เจลหรือเส้นขนมจีนที่ได้มีความนุ่ม ไม่กระด้างเหมือนเส้นหมี่

Mahasarakham University

ตาราง 2.3 ลักษณะทางกายภาพของขนมจีนแป้งหมักที่ระยะเวลาต่างกัน

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส
1	ขาว	กลิ่นข้าว	ทึบแสง,ขุ่นไม่ยืดหยุ่น,เหนียว
2	ขาวปนเหลือง	กลิ่นหมัก	เป็นมันวาว,ยืดหยุ่น,นุ่มมากกว่า

ที่มา : คลินิกเทคโนโลยีราชมงคลสุรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์, 2552

2. การโม่หรือการบดปลายข้าวหมัก เมื่อหมักปลายข้าวครบสองวัน แล้วล้างปลายข้าวให้สะอาด นำไปบดด้วยโม่หินที่หมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือนำไปยีผ่านผ้าขาวที่ผูกไว้ที่ปากโอ่งขณะโม่ใส่เกลือประมาณร้อยละ7 ของน้ำหนักข้าว ถ้าข้าวเก่าจะใช้ประมาณร้อยละ 4

3. การนอนน้ำแป้ง น้ำแป้งที่ได้จากการโม่หรือบดแล้วกรองด้วยผ้าขาวบางใส่ลงในโอ่งปล่อยทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอนนาน 1-2 วัน แล้วดูดน้ำส่วนบนออก 2-3 ครั้ง ขั้นตอนนี้มีผลให้แป้งมี สีขาวและมีกลิ่นหมักน้อยลง โดยดูดน้ำทิ้งทุกวันพร้อมใส่เกลือทุกครั้งที่เปลี่ยนน้ำ ในการผลิตระดับพื้นบ้านบางรายอาจนอนน้ำแป้งได้ถึง 1 เดือน แต่จะต้องเปลี่ยนน้ำทุกวันพร้อมใส่เกลือ

4. การทับน้ำแป้ง การทับน้ำแป้งเป็นการกำจัดน้ำส่วนเกินออกไปโดยนำแป้งที่ได้จากการนอนน้ำ แป้งใส่ในถุงผ้าดิบ แล้วผูกปากถุงด้วยเชือกให้แน่นทับด้วยของหนักไว้ 1 คืนแป้งที่ได้จากขั้นตอนนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 42-44

5. การนึ่งแป้ง แป้งที่ผ่านการทับน้ำแล้วจะเป็นก้อนแข็งเนื้อแป้งเกาะกันแน่น นำก้อนแป้งนี้ไปต้มหรือนึ่งให้สุกเฉพาะผิวรอบนอก ต้มแป้งให้สุกเข้าไปประมาณ 1-2 เซนติเมตร ของก้อนแป้ง ถ้าใช้ข้าวสาร 1 ถัง เมื่อโม่ข้าวเป็นแป้งแล้วจะผ่านการทับแล้ว การนำมาทำให้แป้งสุกนั้น แป้งจะสุกลึกจากผิวเข้าไปประมาณครึ่งนิ้วในขั้นตอนนี้จะมีผลต่อความเหนียวของแป้งขนมจีน ถ้าแป้งสุกมากหรือน้อยไปขนมจีนจะขาดได้ง่ายและไม่สามารถจับเป็นเส้นได้

6. การนวดแป้ง การนวดแป้งเป็นการผสมแป้งดิบและแป้งสุกที่ผ่านขั้นตอนการทำให้สุกเป็นบางส่วนเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังทำให้เม็ดแป้งแตก ทำให้แป้งมีความเหนียวมากขึ้น การนวดแป้งอาจนวดด้วยมือหรือนวดด้วยเครื่อง นวดให้เข้ากันดี ถ้าแป้งแห้งเกินไปให้เติมน้ำลงไปขั้นตอนนี้อาจเรียกว่า “การโน้มแป้ง” แป้งที่นวดแล้วจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 70-75

7. การกรองแป้ง เนื่องจากการนวดแป้งไม่สามารถทำให้แป้งแตกออกได้หมดบางส่วนยังมีเม็ดเล็ก ๆ ปนอยู่ จะต้องกรองแป้งผ่านผ้าขาวบางเพื่อให้แป้งที่ผ่านการกรองมีความละเอียดสม่ำเสมอโรยได้สะดวก

8. การโรยเส้นขนมจีน การโรยเส้นขนมจีนอาจทำได้หลายวิธี ถ้าเป็นการผลิตแบบพื้นบ้านมักใช้แว่นหรือเฝื่อน แว่นมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว เจาะรูเล็ก ๆ ตามขนาดที่ต้องการเต็มผิวหน้าของโลหะวางแผ่นโลหะกลมตรงกลางผืนผ้าซึ่งเจาะเป็นวงกลมขนาดเดียวกับแผ่นโลหะแล้วเย็บตรึงขอบแผ่นโลหะติดกับผ้า เมื่อใส่แป้งลงในแว่นแล้วต้องรวบปลายผ้าให้เข้ากัน ใช้อีกมือหนึ่งบีบเพื่อให้แป้งผ่านรูเล็ก ๆ ลงไปบนกระทะเป็นวงกลมพยายามอย่าให้เส้นขาด สำหรับเฝื่อนนั้นเป็นภาชนะรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะอาจเป็นสังกะสีหรือเหล็กปลอดสนิม เจาะรูเล็ก ๆ ที่ก้น มีหู 2 หู สำหรับยึดในภาชนะที่ทำการกดมีภาชนะอีกหนึ่งใบที่มีขนาดเล็กกว่า สามารถสวมเข้าไปในภาชนะใบแรกได้พอดี ในโรงงานขนาดใหญ่จะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายแว่นแต่ทำด้วยโลหะ

Mahasarakham University

มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว ต่อตรงกับท่อและปั๊มและถังเก็บ แป้งนวดแล้ว เมื่อเดินเครื่องปั๊มจะทำให้น้ำแป้งถูกอัดผ่านแว่นลงในน้ำร้อน ในขณะที่โรยเส้นควรรักษาอุณหภูมิของน้ำไว้ที่ 90-95 องศาเซลเซียส เมื่อเส้นลอยขึ้นมาตักใส่น้ำเย็นแล้วใส่อ่างน้ำเพื่อทำเป็นจับต่อไป

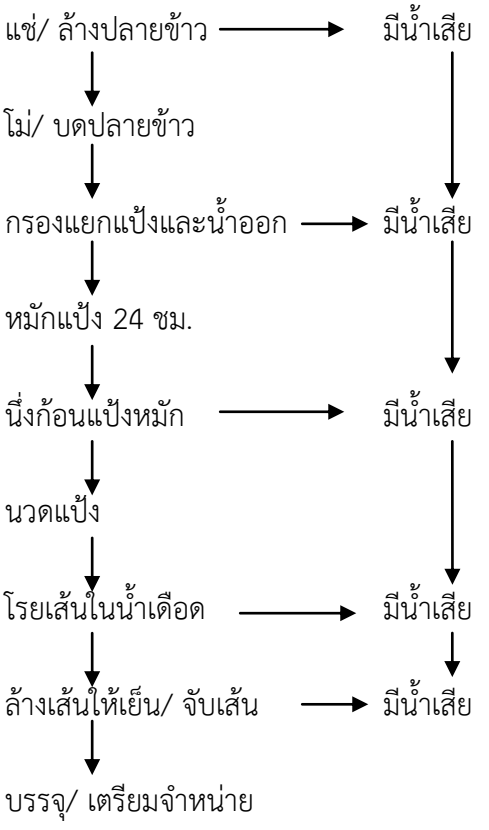
9.การทำขนมจีนให้เป็นจับ จับเส้นขนมจีนที่แช่อยู่ในน้ำ วิธีจับเส้นขนมจีนทำโดยใช้มือจับขนมจีนขึ้นมาจากน้ำ เรียงเส้นขนมจีนให้เป็นเส้นซ้อนกันโดยให้เรียงกันประมาณ 7-8 เส้น แล้วพันเส้นขนมจีน ที่นิ้วชี้หรือนิ้วหัวแม่มือ ให้เส้นขนมจีนห้อยลงมาตามขนาดของจับที่ต้องการวางขนมจีนในลักษณะคว่ำมือลงในภาชนะ ทิ้งให้สะเด็ดน้ำแล้วนำมารับประทานได้

คุณภาพของขนมจีน

ขนมจีนที่มีคุณภาพดีควรจะมีสีขาว เส้นเหนียว ไม่เละ ไม่มีกลิ่นกรด ไม่มีรสเปรี้ยว และสามารถเก็บไว้ได้นานพอสมควร ขนมจีนที่มีเส้นเหนียวเปื่อยยุ่ยเกิดจากการใช้ข้าวที่ไม่เหมาะสม การนวดแป้งน้อยเกินไปหรือใช้น้ำกระด้างสูงในการผลิต กลิ่นกรดหรือกลิ่นหมักเกิดจากการล้างแป้งน้อย (คลินิกเทคโนโลยีราชมงคลสุรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์, 2552)

คุณค่าทางโภชนาการของขนมจีน

คุณค่าทางโภชนาการของขนมจีน คือ ความชื้นร้อยละ 69.27 – 73.69 โปรตีน ร้อยละ 4.42 –5.94 ไขมันร้อยละ 0.31 – 1.20 เส้นใยร้อยละ 0.47 – 1.31 และปริมาณเถ้าร้อยละ 0.21 –0.70



ที่มา : คลินิกเทคโนโลยีราชมงคลสุรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสุรินทร์, 2552

ภาพประกอบ 2.6 ขั้นตอนการผลิตเส้นขนมจีน

Mahasarakham University

2.7 น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน

เนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีน เริ่มต้นมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือน ผู้ประกอบการส่วนใหญ่ขาดความเข้าใจในปัญหาสิ่งแวดล้อม ประกอบกับการผลิตขนมจีนเป็นอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก และมีความสกปรกสูง ดังนั้นระบบที่ใช้ในการบำบัดเป็นไปตามมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด คือ ค่า TDS ไม่มากกว่า 3,000 มก./ ล. pH เท่ากับ 5.5-9.0 และ SS ไม่มากกว่า 50 มก./ ล.

ในโรงงานขนมจีน ใช้วัตถุดิบในการผลิต (ปลายข้าว) ประมาณ 2,000- 4,500 กก./วัน-โรง มีน้ำเสียรวมประมาณ 900 – 1,000 ลบ.ม./วัน โดยร้อยละ 97 ของน้ำเสียเกิดจากกระบวนการล้างเส้น จับเส้น และอีกประมาณร้อยละ 2-3 เกิดจากการแช่ข้าว บดข้าว โดยในน้ำเสียจะมีองค์ประกอบแสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 องค์ประกอบของน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน

ดัชนีคุณภาพน้ำ (Parameters)	ความเข้มข้น (Concentration)
pH	4.6 ± 0.6
SS	604 ± 336 (มก./ล.)
TDS	1,720 ± 711 (มก./ล.)
BOD	1,022 ± 343 (มก./ล.)
COD	1,577 ± 826 (มก./ล.)

ที่มา : เมธินี ระรื่นเริง, 2548

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยในประเทศ

จรีรัตน์ สาตราวาหะ (2540: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพบำบัดสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรี โดยการปลูกกกกลมและธูปฤาษีในสภาพของดินสลับน้ำขังและน้ำแห้งที่ระยะเวลาขังน้ำ 3 5 และ 7 วัน พบว่าสารฆ่าแมลงชนิด แอลฟา-บีเอชซีเฮบตาคลอร์และแกมมา-บีเอชซี มีปริมาณลดลงหรือถูกบำบัดทั้งหมด

ฉัตรชัย ลิขิตรัตน์เจริญ (2541) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน โดยระบบถังหมักแบบต่อเนื่องขนาดจำลอง ระบบบำบัดประกอบด้วยถังหมักวางต่อเนื่องกัน 5 ถัง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ปริมาตร 12.4 ลิตร ระยะเวลากักถัง 1 วัน และมีถังจ่ายน้ำเสียเพื่อควบคุมให้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลเข้าสู่ระบบมีอัตราการไหล 12 ลิตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD, COD, ปริมาณสารแขวนลอย และ VFA เป็นร้อยละ 78.12, 70.62, 91.18 และ 83.25 โดยที่ pH ของน้ำค่อนข้างคงที่คือ เข้าสู่ระบบ pH เท่ากับ 7.5 ออกจากระบบ pH เท่ากับ 7.88

Mahasarakham University

สัญญา ว่องไวอมรเวช (2543) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น- ฟล้อคคูเลชั่น เมื่อใช้สารส้มอัตรา 80 มิลลิกรัมต่อลิตรและเฟอร์ริคคลอไรด์ในอัตรา 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารสร้างตะกอน ปูนขาว 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวช่วยสร้างตะกอน พบว่า สารส้มและเฟอร์ริคคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 52.78, 55.15 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 95.14, 96.20 ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นร้อยละ 95.15, 96.20

ไกรลาศ พิมพ์รัตน์ (2545) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยกระบวนการชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น โดยมีระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่แตกต่างกันที่ 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบยูเอสบี โดยที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 36 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถลดค่าซีโอดี และค่าสารแขวนลอยของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้งที่กำหนด

พรรณี ปันชัย (2547) ได้ศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมในชุมชน กรณีศึกษาโรงงานผลิตขนมจีน ในตำบลท่าขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สิ่งที่เป็นปัญหามากที่สุดคือน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีน ซึ่งมีทั้งน้ำทิ้ง กลิ่น ควัน แต่ละโรงงานปล่อยน้ำทิ้งลงสู่คลองสาธารณะ ประชาชนส่วนใหญ่นั้นมีความรู้ด้านการจัดการที่ดีแต่ไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

สนธิเดช จิตวิมลนิมิต (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์โดยใช้ธูปฤาษีและพุทธรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน การปลูกพุทธรักษาให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 92.1$\pm$0.7, 78.3$\pm$0.7, 67.2$\pm$6.7 และ 92.3$\pm$2.5 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเดียวกันการปลูกพืช 2 ชนิดร่วมกันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเช่นกัน แต่เป็นที่น่าสังเกตเพิ่มเติมคือ ระบบสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้สูงสุดร้อยละ 85.6$\pm$1.3 สำหรับระบบที่ไม่มีการปลูกพืชพบว่าให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าระบบที่มีการปลูกพืชในทุก ๆ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย

พจนีย์ ทองทา (2550) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการจัดการของเสียจากโรงงานแป้งขนมจีน จังหวัดขอนแก่น จากกรณีศึกษา 2 โรงงาน พบว่า โรงงานที่ใช้น้ำทิ้งในระบบบำบัดในการเลี้ยงปลา มีเศษแป้งและเส้นขนมจีนที่เกิดจากกระบวนการผลิตมาใช้เป็นอาหารเป็ด ไก่ มีค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการบำบัดและที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีประสิทธิภาพในการลด BOD, Oil and Grease, SS, TDS และ TKN เฉลี่ยร้อยละ 96.43, 81.84, 92.94, 86.65 และ 99.46 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ SS ส่วนโรงงานที่ยังไม่มีแนวทางการจัดการของเสียและใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต มีประสิทธิภาพในการลด SS, BOD, TKN, TDS และ Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 86.43, 81.84, 70.42, 82.71 และ 59.16 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคือ pH, SS, TDS, BOD และ Oil and Grease

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร และคณะ (2552) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน เพื่อศึกษาว่าความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า BOD, SS และ TKN และการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด นำมาผ่านการดักไขมันและตกตะกอนก่อน

Mahasarakham University

เข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน โดยตัวกลางที่ใช้ได้แก่ตัวกลางทรายปนหิน โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ถัง ถังแรกเป็นถังควบคุม ถังที่ 2 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 10 ต้น/ตารางเมตร และถังที่ 3 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 20 ต้น/ตารางเมตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกันสามารถกำจัดค่า BOD, SS ไม่แตกต่างกัน แต่ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น สามารถกำจัดดค่า TKN ได้ดีกว่าถังที่มีความหนาแน่นพุทธรักษา 10 ต้นและถังควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความถังที่มีหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น/ตารางเมตร สามารถกำจัดค่า BOD, SS และ TKN ได้สูงสุด 90.7%, 98.5%, 99.0% ตามลำดับ

สิริสุดา หนูทิมทอง และคณะ (2552) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติบำบัด กรณีศึกษา ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง โดยศึกษาบริเวณจุดต่าง ๆ ของลำรางประดิษฐ์ ของศูนย์กสิกรรมธรรมชาติมาบเอื้อง ได้แก่ จุดน้ำพุ 1(บริเวณหลังห้องน้ำ) จุดน้ำพุ 2 (บริเวณหลังครัว) จุดน้ำตก จุดพืชห้าชั้น จุดอิฐยกระดับ จุดแปลงธูปฤาษี จุดแปลงผักตบชวา และจุดฝายชะลอน้ำ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดตามตัวชี้วัดได้แก่ ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand,BOD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid) แอมโมเนีย (NH_3) ไนเตรท (NO_3) ความเป็นกรด-ด่าง(pH) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม(Fecal Coliform Bacteria) ผลการศึกษาพบว่า จุดน้ำพุ 1 (บริเวณหลังห้องน้ำ) สามารถบำบัดไนเตรทได้ดีที่สุด จุดน้ำตกและแปลงผักตบชวาสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีที่สุด จุดอิฐยกระดับสามารถบำบัดบีโอดีได้ดีที่สุด แปลงธูปฤาษีสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ดีที่สุด และฝายชะลอน้ำสามารถบำบัดฟอสฟอรัส แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มได้ดีที่สุด

สุจยา ฤทธิศร และอรวรรณ ชื่นคุ้ม (2553) ศึกษาการใช้สาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน โดยทดลองปริมาณสาหร่ายที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 300 600 และ 900 มิลลิลิตร เติมน้ำจนครบ 3,000 มิลลิลิตร เมื่อตกตะกอนด้วยสารส้มแล้วมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรท ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดี เท่ากับ 9.85 0.19 5.64 และ 680 มิลลิกรัม/ ลิตร ตามลำดับ ทำการเพาะเลี้ยง 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า การทดลองที่มีปริมาณสาหร่าย 900 มิลลิลิตร สามารถลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรท ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซีโอดี ได้ดีที่สุดเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 4.68 0.11 2.67 และ 95.00 มิลลิกรัม/ ลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 52.74 41.41 52.55 และร้อยละ 86.03 ตามลำดับ

ศิรินภา พงษ์พีระ (2553: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า และคลอเรลลา พบว่า ความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีที่สุดคืออาหารเลี้ยงที่มีการเติมน้ำทิ้ง ร้อยละ 25 และทำการทดลองความสามารถของสาหร่ายในการลดค่าไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม จากการทดลองพบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่ค่าไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งมีค่าลดลง โดยลดลงมากที่สุดที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 25 และ ร้อยละ 100

ลักษมณ ทองอินทร์ (2554: บทคัดย่อ) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไหลผ่านลำต้น พบว่า บ่อทดลองที่มีการปลูกพืชธูปฤาษีและกกกลมสามารถลดปริมาณ BOD, SS, TKN และ TP ได้ดีกว่าบ่อที่ไม่ได้ปลูกพืชทั้งสองชนิด และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน สามารถบำบัด BOD, SS, TKN และ TP ได้ดีกว่าระยะเวลากักพัก

Mahasarakham University

ชลศาสตร์ 3 วัน และ 6 วัน และยังพบว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า DO แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ให้ค่าเปลี่ยนแปลงค่า DO สูงสุด

พิพัฒน์ พรหมโลก (2554) ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน พบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสภาพเป็นกรดและมีสารประกอบอินทรีย์จากแป้งและเศษข้าวสูง น้ำเสียมีสีขาวขุ่น และจากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสีย พบว่ามีค่า พีเอช 3.42, บีโอดี 5,503 มิลลิกรัมต่อลิตร, ซีโอดี 7,660 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าของแข็งละลายน้ำ 4,934 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งแขวนลอย 2,270 มิลลิกรัมต่อลิตร และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากระบบบำบัดบ่อธรรมชาติ พบว่า มีค่าพีเอช 6.4, ค่าบีโอดี 1,358 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าซีโอดี 1,643 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าของแข็งละลายน้ำ 2,920 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งแขวนลอย 443 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพของระบบบำบัดดังกล่าวสามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 75.32, ค่าซีโอดีได้ร้อยละ 78.55, ค่าของแข็งละลายน้ำได้ร้อยละ 40.82 และค่าของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 80.48

2.8.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Hench และคณะ (2003: 921-927) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้พืช 3 ชนิด ปลูกร่วมกัน บ่อที่ใช้มีความลึก 45-60 ซม. ตัวกลางที่ใช้เป็นกรวด มีขนาดเท่าเมล็ดถั่ว น้ำไหลเข้าระบบด้วยอัตรา 19 ลิตร/ วัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 6-8 วัน ผลการทดลองพบว่าในช่วง 2 ปี ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย บีโอดี ทีเคเอ็น โคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 83, 42, 55 และ 80 ตามลำดับ

Lee และคณะ (2004: 173-179) ได้ศึกษาการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งมีค่าความสกปรกสูง ขนาดของบึงประดิษฐ์ที่ใช้มีความกว้าง 4.2 เมตร ยาว 10.3 เมตร ลึก 0.65 เมตร และตัวกลางที่ใช้ในระบบเป็นกรวดขนาด 1.19-1.27 เซนติเมตร โดยระบบบำบัดนี้ถูกใช้เป็นระบบบำบัดขั้นแรก และมีการแบ่งระยะเวลาการบำบัดเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1, 2 และ 3 มีช่วงเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 8.5, 4.3 และ 14.7 วัน ตามลำดับ ซึ่งผลจากระยะที่ 1 ถึง 3 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ฟอสฟอรัสทั้งหมด และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 96-99ม, 77-84, 47-59 และ 10-24 ตามลำดับ

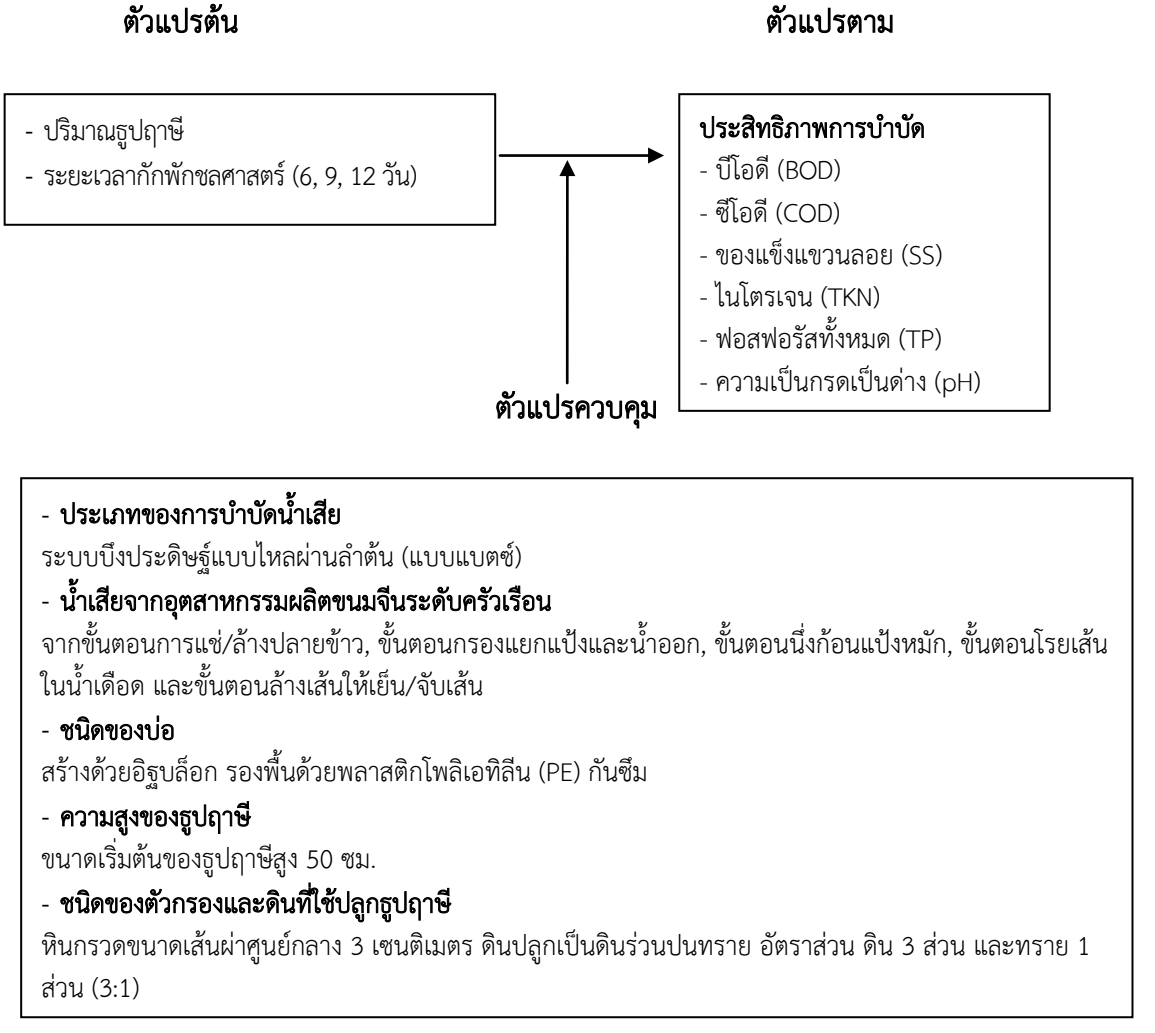
Agnicszka karczmarczyk และ Gunno Renman (2011: 146-156) ได้ศึกษารูปแบบการสะสมฟอสฟอรัสโดยพื้นที่ชุมน้ำแบบไหลใต้ผิวดินในแนวนอนในน้ำเสียชุมชน พบว่าการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลใต้ผิวดินในแนวนอน มีฟอสฟอรัสสะสมในระบบ โดยมีเทคนิคในการดูดซับมาใช้กับอลูมีเนียม (Al), แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) จากความสัมพันธ์ แคลเซียมสามารถสะสมในพื้นดิน 0.09, 0.21 และ 0.28 ตามลำดับ จากผลการวิจัยมีผลกระทบต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลใต้ผิวดินในแนวนอน

Iosif E. Kapellakis และคณะ (2012: 260-271) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานมะกอกโดยใช้พื้นที่บึงประดิษฐ์ พบว่าการกำจัด COD, TSS, TKN, TP และฟีนอลรวม โดยประสิทธิภาพในการจัดเฉลี่ย 80%, 83%, 78% และ 74% โดยช่วงการหมุนเวียนน้ำทิ้งมีประสิทธิภาพในการบำบัด 90%, 98%, 87%, 85% ตามลำดับ โดยจากผลการทดลองควรจะมีการบำบัดรักษาระบบก่อนที่จะมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

Mahasarakham University

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่ามีการนำธูปฤาษี กกกลม สาหร่ายสไปรูไลน่า และคลอเรลลา มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากชุมชน และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน เช่น อุตสาหกรรมการผลิตขนมจีน การย้อมผ้า เป็นต้น พืชเหล่านี้มีคุณสมบัติในการลดค่าบีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียได้ จากงานวิจัยของคุณลักษมณ ทองอินทร์ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไหลผ่านลำต้น พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน สามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะนำธูปฤาษีที่ถือว่าเป็นวัชพืช และศัตรูทางการเกษตร มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน และมีการประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ไหลผ่านลำต้น โดยศึกษาที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6, 9 และ 12 วัน จากสมมติฐานประสิทธิภาพของธูปฤาษีน่าจะมีแนวโน้มในการบำบัดได้ดีกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน

2.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 2.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย

Mahasarakham University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการศึกษามีขั้นตอนและวิธีการวิจัยตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล
2. สถานที่ทำการศึกษา
3. รูปแบบการวิจัย
4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
5. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
6. วิธีการทดลอง
7. การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
8. วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย
9. สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลด้านลักษณะและคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานขนมจีน การบำบัดน้ำเสียแบบแบตซ์ พืชที่ใช้ในการศึกษา และองค์ประกอบของตัวแปรต่างๆที่จะทำการศึกษา โดยการรวบรวมจากเอกสาร รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

3.2.1 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ตั้งแบบจำลอง บริเวณบ้านเลขที่ 714/24 ตำบลหนองไผ่ล้อม อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3.2.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2.1 การก่อสร้าง (แบบบ่อทดลอง) เตรียมบ่อทดลองและเตรียมพืชที่ใช้สำหรับทดลอง ตั้งแต่ พฤศจิกายน - ธันวาคม พ.ศ. 2555

3.2.2.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืช ตั้งแต่ มกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2556

3.3 รูปแบบการวิจัย

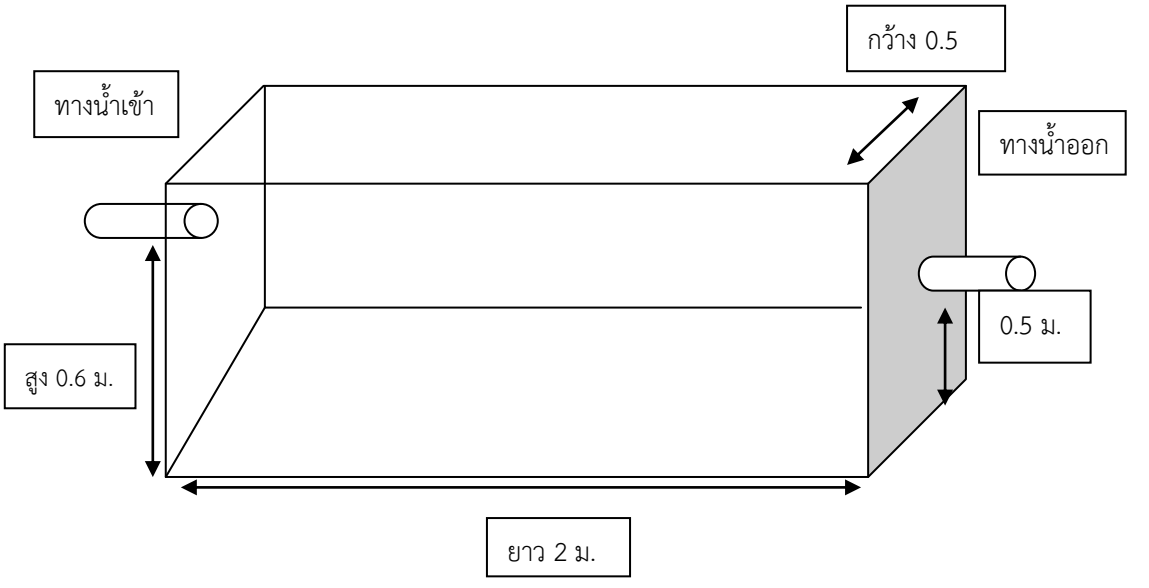
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research Design) ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ โดยวิเคราะห์ค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด

Mahasarakham University

3.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมบ่อทดลอง

ก่อสร้างชุดบ่อทดลองขนาดเล็ก (Pilot Scale) ทำจากอิฐบล็อก รองพื้นด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) บ่อมีขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 0.6 เมตร และต่อท่อสำหรับให้น้ำไหลออกจากบ่อโดยใช้ท่อพีวีซี ขนาด 1/2 นิ้ว ในบริเวณกึ่งกลางสูงจากพื้น 0.50 เมตร จำนวน 12 บ่อ บ่อที่ติดกันใช้ผนังข้างร่วมกัน เป็นระบบน้ำไหลผ่านผ่านลำต้น ดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ขนาดของบ่อทดลองและตำแหน่งท่อน้ำเสีย

ภาพประกอบ 3.2 ตำแหน่งท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก

Mahasarakham University

3.4.2 ถังกระจายน้ำ

ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำขนาดใหญ่น้ำในถังเพียงพอต่อการทดลองแต่ละรอบการบำบัด ถังกระจายน้ำจะมีท่อน้ำที่ก้นถัง และควบคุมด้วยวาล์ว เพื่อเก็บน้ำเสียปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่บ่อทดลอง ในอัตราการไหลคงที่

3.4.3 ท่อน้ำเข้า

เป็นท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ต่อจากถังกระจายน้ำไปยังส่วนหัวของบ่อยาว

3.4.4 ท่อน้ำออก

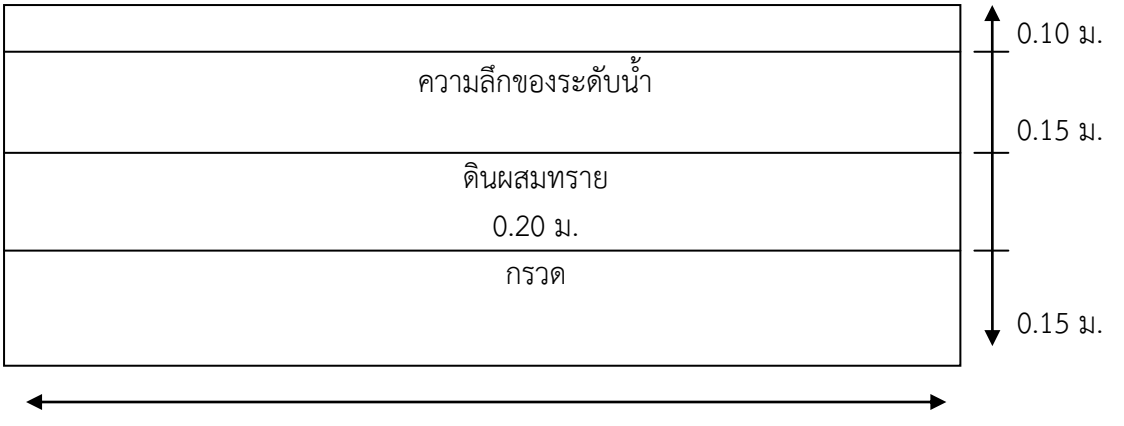
เป็นท่อพีวีซีสำหรับให้น้ำไหลออกจากบ่อโดยใช้ท่อพีวีซี ขนาด 1 1 / 2 นิ้ว ในบริเวณกึ่งกลางสูงจากพื้น 0.50 เมตร

3.4.5 ตัวกลาง

3.4.5.1 ใส่กรวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 – 3 ซม. ลงรองพื้นในบ่อและเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วบ่อให้หนา 15 ซม.

3.4.5.2 ใส่ดินผสมทรายอัตราส่วน (ดิน 3 ส่วน : ทราย 1 ส่วน) ลงในบ่อและเกลี่ยให้สม่ำเสมอทั่วบ่อให้หนา 20 ซม. ดังภาพประกอบ 3.3

3.4.5.3 การทดลองนี้ทำในสภาพธรรมชาติดังนั้นจึงต้องสร้างหลังคากันน้ำฝนสำหรับบ่อทดลอง โดยการใช้พลาสติกใสทำเป็นหลังคาลักษณะสูงโปร่ง เพื่อให้แสงแดดส่องผ่านได้และอากาศถ่ายเทสะดวก เพราะต้องการให้หลังคาคุ้มฝน แต่ต้องไม่เป็นตัวขัดขวางการเจริญเติบโตของพืช



ภาพประกอบ 3.3 ชั้นวัสดุต่าง ๆ ในบ่อทดลอง

3.4.6 พืชที่ใช้ในการทดลอง

พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ ธูปฤาษีคัดเลือกพืชที่มีอายุใกล้เคียงกัน ที่ความสูงประมาณ 50 ซม. จะมีอายุประมาณ 1 เดือน

3.4.7 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนชุมชนประโดก ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เก็บน้ำเสียจากขั้นตอนการแช่/ ล้างปลายข้าว กรองแยกแป้งเอาน้ำออก นึ่งก้อน

Mahasarakham University

แป้ง โรยเส้นในน้ำเดือด และล้างเส้นให้เย็น/ จับเส้น โดยน้ำจากขั้นตอนดังกล่าวเป็นน้ำจากขั้นตอนการผลิตภายใน 1 วัน โดยเก็บจากขั้นตอนข้างต้นมารวมกันให้ได้ปริมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตร

3.4.8 ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) หมายถึง ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในถังที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง มีค่าเท่ากับ ปริมาตร/ อัตราการไหล

การคำนวณ

$$t = \frac{V}{Q}$$

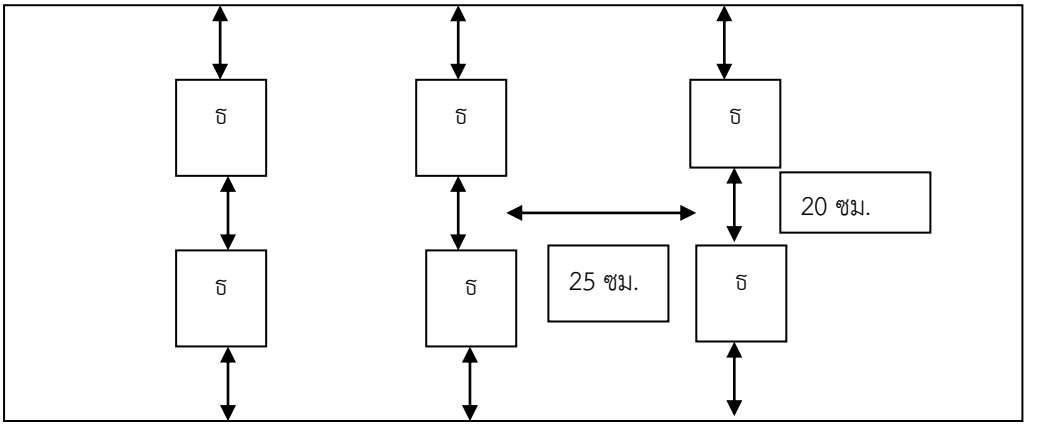
โดยที่ V = ปริมาตรน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ (m^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/d)

จากสูตรข้างต้นสามารถหาระยะเวลากักพักชลศาสตร์ได้ดังนี้ น้ำที่เก็บมาได้จะแบ่งใส่ถังกระจายน้ำเสียขนาด 200 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งให้ได้ปริมาตรน้ำในถัง 150 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ถัง เพื่อใช้ในการทดลองที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน, 9 วัน และ 12 วัน จากนั้นก็แทนค่าตามสูตร โดย t คือระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ในที่นี้ผู้วิจัยออกแบบให้มีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วัน, 9 วัน และ 12 วัน แทนค่า t และ V ในสูตร จะได้ค่าอัตราการไหลในแต่ละวัน (Q)

3.4.9 การดำเนินการทดลอง ในการทดลองทำการทดลองแบบ 3 ซ้ำ มีจำนวนบ่อทดลองทั้งหมด 9 บ่อ (Experimental unit) บ่อควบคุม 3 บ่อ (Control unit) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วง โดยแต่ละช่วงมีบ่อควบคุม 1 บ่อ และบ่อทดลอง 3 บ่อ

3.4.9.1 การปลูกพืช โดยการเติมน้ำลงในบ่อจำลองการทดลองไว้ 1 อาทิตย์ เพื่อให้เนื้อดินในแปลงเกิดความชุ่มชื้นและนิ่มพร้อมที่จะปลูกพืชได้สะดวกมากขึ้น แล้วทำการปลูกธูปฤาษีที่เพาะไว้ลงในบ่อ โดยให้มีระยะห่างระหว่างต้น 20 ซม. ระยะห่างระหว่างแถว 25 ซม. แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 4 สัปดาห์ เพื่อให้พืชสามารถปรับตัวได้ ดังภาพประกอบ 3.4



หมายเหตุ 1. ธ หมายถึง ธูปฤาษี

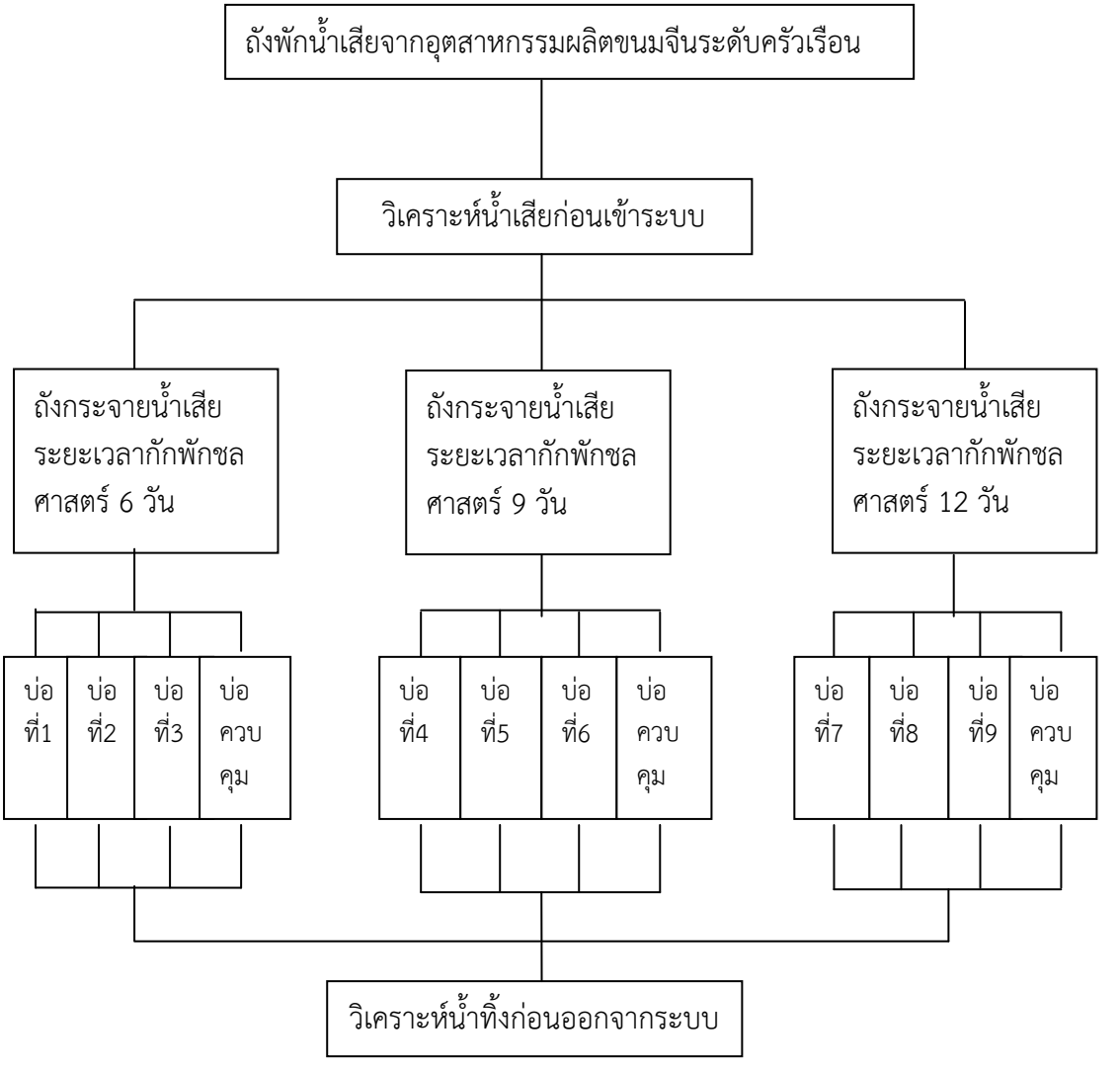
2. ลูกศร หมายถึง ระยะห่างระว่างแถวและระหว่างต้น

ภาพประกอบ 3.4 ระยะห่างการปลูกพืชในบ่อทดลอง

Mahasarakham University

3.4.9.2 เมื่อครบกำหนดการอนุบาลกล้าแล้ว ระบายน้ำออกจากบ่อทุกบ่อ ปล่อยน้ำเสียออกจากถังน้ำเสียที่ใช้ปล่อยเข้าบ่อโดยการเปิดวาล์วน้ำ น้ำจะไหลมาตามท่อเข้ามาบ่อทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous influent flow) เพื่อให้มีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6, 9 และ 12 วัน ดังนั้น น้ำเสียจะมีอัตราการไหลประมาณ 25, 16.67 และ 12 ลิตร/ วัน โดยปล่อยน้ำเสียไหลไปตามผิวหน้าดินจนได้ระดับน้ำที่สูงจากผิวดินชั้นบน 15 เซนติเมตร โดยดูจากผังน้ำเสียภาพประกอบ 3.4

ในการปลูกพืชในแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ โดยพื้นที่ทั้งหมดในแบบจำลองมีความยาว 2 ม. ความกว้าง 0.5 เมตร ซึ่งถ้าปลูกพืชตามระยะห่างระหว่างต้นและระยะห่างระหว่างแถวสามารถปลูกได้สูงสุดจำนวน 2 แถวๆ ละ 8 ต้น แต่ผู้วิจัยจะทดลองปลูกพืชโดยปลูกพืชจำนวน 2 แถว โดยจำนวนธูปฤาษีมีจำนวนต่างกันดังนี้ บ่อที่ 1, 4 และ 7 ปลูกพืชจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, บ่อที่ 2, 5 และ 8 ปลูกพืชจำนวน 2 แถวๆ ละ 6 ต้น, บ่อที่ 3, 6 และ 9 ปลูกพืชจำนวน 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น ดังภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 ผังบ่อทดลองที่ใช้ในการวิจัย

Mahasarakham University

3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

3.5.2. การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ไนโตรเจน (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) สารแขวนลอย (SS) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

3.5.2.1 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์บีโอดี (BOD)

1) ขวดบีโอดี ขนาด 300 มล. พร้อมจุกปิดสนิท

2) ตู้อินคิวเบท

3) เครื่องแก้วต่าง ๆ

4) เครื่องสูบอากาศและหัวลูกฟู่ (แบบใช้กับตู้ปลา)

3.5.2.2 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์บีโอดี (COD)

1) หลอดแก้วบอโรซิลิเกตขนาด 16x100 หรือ 20x150 หรือ 25x150 มม. มี ฝาเกลียวทำด้วย Tetrafluoroethylene

2) ตู้อบ (Hot Air Oven) หรือเครื่องให้ความร้อน (Block Heater)

3) บิวเรตต์ ขนาด 50 มล.

4) ขวดรูปชมพู่

3.5.2.3 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์ไนโตรเจน (TKN)

1) ขวดเจลดาห์ล ขนาด 800 มล.

2) ชุดเครื่องมือสำหรับย่อยสลาย

3) ชุดเครื่องกลั่นแอมโมเนียไนโตรเจน

4) เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น บิวเรตต์, ขวดรูปชมพู่

3.5.2.4 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

1) สเปกโตโฟโตมิเตอร์

2) ขวดรูปชมพู่

3) ปิเปตต์

3.5.2.5 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์สารแขวนลอย (SS)

1) กระดาษกรองใยแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.

2) กรวยบุคเนอร์

3) เครื่องดูดอากาศ

4) ถ้วยครูซิเบิล

5) ตู้อบ

6) เครื่องอังน้ำ

7) เครื่องชั่งไฟฟ้า

8) เดสซิเคเตอร์

3.5.2.6 อุปกรณ์ใช้วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

1) เครื่องวัดพีเอช

Mahasarakham University

2) บีกเกอร์

3.5.3 ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์ (Batch)

สร้างจากอิฐบล็อก รองพื้นด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) บ่อมีขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 0.6 เมตร

3.5.4 สารเคมี

3.5.4.1 การวิเคราะห์บีโอดี

1) น้ำกลั่น

2) สารละลายอัลคาไล-เอไซด์-ไอโอไดด์

3) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

4) กรดซัลฟิวริก

5) โซเดียมไธโอซัลเฟต

3.5.4.2 การวิเคราะห์ซีโอดี

1) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล หรือน้ำยาย่อยสลาย

2) กรดซัลฟิวริก ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต

3) สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.1 นอร์มัล

4) สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

5) กรดซัลฟามิก

6) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต

3.5.4.3 วิเคราะห์ไนโตรเจน (TKN)

1) น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

2) สารละลายอินดิเคเตอร์

3) สารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์

4) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

5) สารโปตัสเซียมซัลเฟต

6) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

7) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

8) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

9) สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์

10) กรดซัลฟิวริกเจือจาง 1 นอร์มัล

11) กรดซัลฟิวริกเจือจาง 0.02 นอร์มัล

3.5.4.4 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

1) สารละลายกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล

2) สารละลายแอนติโมนิลโปตัสเซียมทาเทรท

3) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท

4) สารละลายกรดแอสคอร์มิค

3.5.4.5 วิเคราะห์สารแขวนลอย (SS) ไม่ใช้สารเคมี

3.5.4.6 วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ไม่ใช้สารเคมี

Mahasarakham University

3.5.5 ต้นธูปฤาษี

3.5.6 กระถางสำหรับปลูกธูปฤาษี

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 การออกแบบการทดลอง

จำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch) โดยใช้อิฐบล็อก รองพื้นด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) บ่อมีขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 0.6 เมตร

3.6.2 การทดลอง

3.6.2.1 เก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน นำไปใส่ในแบบจำลองที่เตรียมไว้ เก็บน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนทุกขั้นตอนใน 1 วัน โดยเก็บในปริมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตร

3.6.2.2 ทดลองหาประสิทธิภาพการบำบัดในน้ำเสียโรงผลิตขนมจีน ที่ยังไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ โดยใช้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ และปริมาณธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

3.7 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ด้วยวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ และรายละเอียดการวิเคราะห์ Standard Method Edition 20th ของ APHA AWWA-WPCF แสดงในตาราง

ตาราง 3.1 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ กับ Standard Method Edition 20th

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH-meter
บี.โอ.ดี. (BOD)	Azide Modification : 20 องศาเซลเซียส 5 days
ซี.โอ.ดี (COD)	Close reflux Method
สารแขวนลอย (SS)	Dried at 103-105 องศาเซลเซียส
ไนโตรเจน (TKN)	Macro-Kjeldahl Method
ฟอสฟอรัส (TP)	Colorimetric Method

Mahasarakham University

3.8 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย

3.8.1 การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD)

3.8.1.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ ได้แก่

ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล โดยปริมาตรของกรดหรือด่างที่เติมลงไปจะต้องไม่เจือจางตัวอย่างมากเกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์

3.8.1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำไว้ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

2) เติมออกซิเจนโดยเครื่องสูบอากาศผ่านหัวลูกฟูจนออกซิเจนละลายน้ำอิ่มตัว

3) ค่อย ๆ รินตัวอย่างน้ำ หรือเติมตัวอย่างน้ำโดยใช้วิธีกาลักน้ำหรือใช้ขวดแอสไพเรเตอร์ลงในขวดบีโอดีจนเต็ม 2-3 ขวด เวลาเติมให้ปล่อยตัวอย่างน้ำจนล้นพ้นขวดออกมาสักพัก (ประมาณ 3 เท่า) ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ ปิดจุกแล้วฉีดน้ำกลั่นหล่อรอบปากขวด เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกละลายลงไป

4) นำขวดหนึ่งมาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำ โดยถือเป็นออกซิเจนละลายน้ำที่เริ่มต้น (DO_0)

5) นำขวดที่เหลือไปบ่มในตู้อินคิวเบท ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสอีกเป็นเวลา 5วัน เมื่อครบกำหนดแล้วนำตัวอย่างมาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่ (DO_5)

การคำนวณ

บีโอดีที่ 5 วัน, มก./ล. = DO_0-DO_5

3.8.2 การวิเคราะห์ซีโอดี (COD)

3.8.2.1 เติมตัวอย่างน้ำ, น้ำยาย่อยสลายและกรดซัลฟิวริกผสมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไปช้าๆ โดยปล่อยให้ไหลลงตามข้างหลอด ปิดจุกพอแน่น เขย่าผสมกันให้ดี ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้น

3.8.2.2 นำหลอดตัวอย่างน้ำและแบลงค์เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาปล่อยทิ้งให้เย็น สีของสารละลายควรมีสีเหลืองอมเขียวอ่อนๆ

3.8.2.3 ถ่ายสารละลายในหลอดแก้วลงในขวดรูปชมพู่ โดยใช้น้ำกลั่นฉีดล้างให้หมด เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นเขียวอมเหลือง ฟ้าอมเขียวและน้ำตาลอมแดงซึ่งเป็นจุดยุติตามลำดับ บันทึกปริมาตรแล้วนำไปคำนวณ

3.8.2.4 ภายหลังการเติมน้ำยาเคมีหรือภายหลังการรีฟลักซ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หากพบว่าสารละลายในหลอดเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีความเข้มข้นเกินไป ให้ทำใหม่โดยลดปริมาตรของตัวอย่างลงแล้วเจือจางจนครบด้วยน้ำกลั่น แต่หากพบว่าสารละลายในหลอดเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเข้มมาก ให้เพิ่มปริมาตรของตัวอย่างขึ้น

3.8.2.5 การทำแบลงค์และการสอบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์ควรทำพร้อมกับตัวอย่างน้ำ เพื่อควบคุมให้อยู่ในสภาวะเดียวกัน ซึ่งจะได้ความถูกต้องยิ่งขึ้น

Mahasarakham University

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{C}$$

เมื่อ A = ปริมาตรสารละลาย FAS ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์, มล.

B = ปริมาตรสารละลาย FAS ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ, มล.

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ, มล.

N = ความเข้มข้นของสารละลาย FAS, โมลาริตี้

3.8.3 การวิเคราะห์ไนโตรเจน (TKN)

3.8.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

1) ใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์ และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ

2) เลือกตัวอย่างน้ำตามความเหมาะสมเติมลงในขวดเจลดาห์ล

3) ปรับปริมาตรตัวอย่างน้ำกลั่นเป็น 300 มล. และปรับพีเอชเป็น 7

3.8.3.2 การย่อยสลาย

1) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มล. โปตัสเซียมซัลเฟต 6.7 กรัม สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 10 มล. ลงในตัวอย่างน้ำ พร้อมทั้งใส่ลูกแก้วเพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรงภายในขวด

2) นำขวดเจลดาห์ลในข้อ 3.2.1 ไปวางต่อเข้ากับชุดเครื่องมือย่อย ตรวจเช็คระบบกำจัดควันให้เรียบร้อย หรือควรทำในตู้ดูดควันเพื่อความปลอดภัยของผู้วิเคราะห์ และควรสวมถุงมือ

3) ต้มที่อุณหภูมิประมาณ 344-371 องศาเซลเซียส ไปจนกระทั่งเกิดควันขุ่นสีขาว จากนั้นสารจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ให้ต้มต่อไป จนกระทั่งสารละลายมีลักษณะใสซึ่งกินเวลาประมาณ 30 นาที และควรต้มต่อไปประมาณ 20-30 นาที เพื่อให้ขบวนการย่อยสลายสมบูรณ์

4) ทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่น 300 มล.

5) ค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มล. ลงไป เพื่อปรับสภาพเป็นด่าง เขย่าให้เข้ากันนำไปกลั่น

3.8.3.3 การกลั่น

1) นำตัวอย่างจากข้อ 3.2.5 มากลั่นด้วยความร้อนที่เหมาะสม เก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มล. ในสารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ 50 มล. โดยให้ปลายหลอดที่ต่อจากชุดกลั่นจุ่มอยู่ใต้สารละลายกรดเสมอ จะเห็นสีสารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียวอ่อน

2) ระหว่างที่ทำการเก็บส่วนที่กลั่น 2-3 มล. สุดท้าย ให้ยกปลายหลอดที่จุ่มไว้เหนือสารละลายกรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ เพื่อป้องกันการดูดกลับของสารละลายไปยังขวดเจลดาห์ล

3) นำส่วนที่เก็บได้ไปทำการไตเตรท

3.8.3.4 การไตเตรท

ทำการไตเตรทด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งถึงจุดยุติเมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน

Mahasarakham University

การคำนวณ

$$\text{ทีเคเอ็น (มก.ล.)} = \frac{(A-B) \times 280}{C}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกเจือจางที่ใช้ไตเตรท ตัวอย่าง, มล.
เมื่อ B = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกเจือจางที่ใช้ไตเตรท แบลงค์, มล.
เมื่อ C = ปริมาตรของตัวอย่าง, มล.

3.8.4 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

3.8.4.1 ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มล. ใส่ในขวดรูปชมพู่

3.8.4.2 เติมน้ำยาเคมีรวม 8 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีอย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

3.8.4.3 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร

3.8.5 วิเคราะห์สารแขวนลอย (SS)

3.8.5.1 นำกระดาษกรองใยแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง

3.8.5.2 นำไปทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

3.8.5.3 กรองตัวอย่างน้ำผ่านกระดาษกรองใยแก้ว

3.8.5.4 อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ103-105 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง

3.8.5.5 นำไปทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

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

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้ว, กรัม
B = น้ำหนักของกระดาษกรองใยแก้ว และของแข็ง, กรัม

3.8.6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

3.8.6.1 น้ำนำตัวอย่างใส่บีกเกอร์

3.8.6.2 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

3.9 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองแล้ว มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยใช้สถิติวิเคราะห์ดังนี้

3.9.1 สถิติพื้นฐาน (Descriptive Statistics) โดยใช้ค่าสถิติ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.9.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) F – test (Two - way ANOVA)

Mahasarakham University

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน โดยใช้ธูปฤาษี ด้วยการประยุกต์ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น โดยมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6, 9 และ 12 วัน การศึกษานี้นำเสนอผลการศึกษา 3 ส่วน ดังนี้

1. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
2. ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล
3. ผลการศึกษา

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการแปลความหมายของข้อมูลตรงกัน การวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

$\overline{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย (Mean)
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
t	แทน	สถิติทดสอบที่ใช้พิจารณาใน t-distribution
F	แทน	สถิติทดสอบที่ใช้เปรียบเทียบใน F- distribution
SS	แทน	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares)
MS	แทน	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean of Squares)
%RSD	แทน	ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

4.2 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง
ส่วนที่ 2 ลักษณะทั่วไปของพืช
ส่วนที่ 3 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

4.3 ผลการศึกษา

ส่วนที่ 1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

การศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ครั้งนี้ โดยน้ำเสียที่ใช้ในระบบการทดลองนั้น เป็นน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนโดยไม่มีการบำบัด โดยเก็บจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

จากการวิเคราะห์น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองพบว่า น้ำเสียก่อนที่จะปล่อยเข้าระบบมีค่า BOD อยู่ในช่วง 6,375.00-6,470.00mg/l, COD อยู่ในช่วง 49,250.00-49,285.00mg/l, SS

Mahasarakham University

อยู่ในช่วง680.00-702.80mg/l, TKN อยู่ในช่วง 96.20-110.36mg/l, TP อยู่ในช่วง 20.32- 20.46mg/l และ pHอยู่ในช่วง 3.80-4.22 ดังตาราง 4.1 ส่วนคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ พบว่า มีสีขาวขุ่น มีสารแขวนลอยจำนวนมากในน้ำ และมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวเล็กน้อย และเมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6, 9 และ 12 วัน พบว่า มีค่าBOD อยู่ในช่วง 590.42-706.95mg/l, COD อยู่ในช่วง 2,266.40-2,469.50mg/l, SS อยู่ในช่วง 52.00-136.00mg/l, TKN อยู่ในช่วง 6.10-9.00mg/l, TP อยู่ในช่วง 0.08-0.18mg/l และ pH อยู่ในช่วง 4.92-6.39 ดังตาราง 4.2-4.4 ลักษณะทางกายภาพเมื่อผ่านเข้าระบบทดลอง พบว่า น้ำมีตะกอนน้อยลง มีกลิ่นเหม็นเหมือนน้ำหมัก น้ำจะมีสีใสขึ้น

ส่วนคุณภาพน้ำของบ่อควบคุมที่ไม่ได้ปลูกธูปฤาษี ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6, 9 และ 12 วัน พบว่า มีค่า BOD อยู่ในช่วง3,047.10-3,047.30mg/l, COD อยู่ในช่วง 22,459.50-22,479.10mg/l, SS อยู่ในช่วง 141.00-260.00mg/l, TKN อยู่ในช่วง 19.88-20.50mg/l, TP อยู่ในช่วง 10.17-10.21 mg/l และ pH อยู่ในช่วง 3.80-3.92 ดังตาราง 4.5 ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียเมื่อผ่านเข้าระบบทดลอง พบว่า น้ำยังมีตะกอนอยู่เล็กน้อย และมีกลิ่นเหม็น

ตาราง 4.1 คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ดัชนี	หน่วย	จำนวนตัวอย่าง			Mean	S.D.
		1	2	3		
บีโอดี(BOD)	(mg/l)	6,375.00	6,470.00	6,462.50	6,435.83	5.28
ซีโอดี(COD)	(mg/l)	49,250.00	49,285.00	49,272.00	49,269.00	1.77
ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	693.20	680.00	702.80	692.00	1.14
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	96.20	106.00	110.36	104.19	7.25
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	20.32	20.46	20.40	20.39	0.07
พีเอช(pH)		3.80	4.00	4.22	4.01	0.21

หมายเหตุ
1. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.
2. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.
3. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.
4. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.
5. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า TP ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.
6. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-9.0

(ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. 2555: เว็บไซต์)

Mahasarakham University

ตาราง 4.2 คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน (บ่อทดลอง)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆละ)	ดัชนี	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง			Mean	S.D.
					1	2	3		
6 วัน	5 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	706.95	706.90	706.80	706.88	0.08
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,466.30	2,468.50	2,469.50	2,468.10	1.64
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	131.00	136.00	133.00	133.33	2.52
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.96	8.50	9.00	8.82	0.27
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.17	0.17	0.18	0.17	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	4.79	4.76	4.77	4.77	0.01
	6 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	703.90	703.90	703.80	703.87	0.06
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,469.30	2,466.50	2,468.20	2,468.00	1.41
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	89.00	87.00	90.00	88.67	1.52
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.85	8.50	9.00	8.78	0.25
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.16	0.16	0.15	0.16	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	4.89	4.87	4.86	4.87	0.01
	7 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	701.85	701.82	701.80	701.82	0.03
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,467.50	2,466.40	2,468.50	2,467.47	1.05
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	84.00	88.00	85.00	85.67	2.08
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.69	8.50	9.00	8.73	0.25
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.15	0.16	0.15	0.15	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	4.94	4.93	4.92	4.93	0.01

Mahasarakham University

ตาราง 4.3 คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน (บ่อทดลอง)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆละ)	ดัชนี	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง			Mean	S.D.
					1	2	3		
9 วัน	5 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	656.72	656.75	656.78	656.75	0.03
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,420.50	2,425.00	2,430.20	2,425.23	4.85
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	121.00	123.00	126.00	123.33	2.51
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.50	8.52	8.52	8.51	0.01
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.14	0.15	0.14	0.14	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	5.54	5.56	5.52	5.54	0.02
	6 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	654.71	654.69	654.68	654.69	0.03
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,389.50	2,390.00	2,389.00	2,389.50	0.50
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	85.00	84.00	83.00	84.00	1.00
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.43	8.42	8.40	8.42	0.01
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.12	0.13	0.15	0.13	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	6.07	6.11	6.08	6.09	0.02
	7 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	652.69	652.68	652.66	652.68	0.02
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,338.10	2,340.00	2,342.20	2,340.10	2.05
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	80.00	81.00	82.00	81.00	1.00
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.39	8.37	8.35	8.37	0.02
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.12	0.13	0.13	0.13	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	6.23	6.22	6.20	6.22	0.02

Mahasarakham University

ตาราง 4.4 คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านลำต้น ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน (บ่อทดลอง)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆละ)	ดัชนี	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง			Mean	S.D.
					1	2	3		
12 วัน	5 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	594.65	594.55	594.65	594.62	0.06
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,320.10	2,325.30	2,326.20	2,323.87	3.29
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	110.00	115.00	109.00	111.33	3.21
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	8.02	8.50	7.50	8.01	0.50
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.12	0.13	0.12	0.12	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	6.27	6.25	6.30	6.27	0.02
	6 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	592.55	592.54	592.54	592.54	0.01
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,273.60	2,284.40	2,270.00	2,276.00	7.49
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	75.00	78.00	76.00	76.33	1.52
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	7.77	8.00	7.50	7.76	0.25
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.10	0.11	0.11	0.11	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	6.35	6.35	6.38	6.36	0.01
	7 ต้น	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	590.43	590.42	590.45	590.43	0.02
		ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	2,268.90	2,268.10	2,266.40	2,267.80	1.28
		ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	52.00	57.00	54.00	54.33	2.51
		ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	6.10	6.50	7.00	6.53	0.45
		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	0.09	0.08	0.09	0.09	0.01
		พีเอช(pH)		5.5-9.0	6.38	6.39	6.39	6.39	0.01

Mahasarakham University

ตาราง 4.5 คุณภาพของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดกหลังจากได้รับการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบไหลผ่านลำต้น (บ่อควบคุม)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	ดัชนี	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนตัวอย่าง			Mean	S.D.
				1	2	3		
6 วัน	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	3457.30	3457.20	3457.30	3457.27	0.06
	ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	22478.50	22479.10	22476.30	22477.97	1.47
	ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	257.00	260.00	258.00	258.33	1.52
	ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	20.32	20.00	20.50	20.27	0.25
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	10.21	10.20	10.21	10.21	0.01
	พีเอช(pH)		5.5-9.0	3.80	3.82	3.80	3.81	0.01
9 วัน	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	3267.15	3267.20	3267.10	3267.15	0.05
	ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	22475.30	22476.50	22476.20	22476.00	0.62
	ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	160.00	170.00	160.00	163.33	5.77
	ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	19.93	19.50	20.50	19.98	0.50
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	10.20	10.19	10.21	10.20	0.01
	พีเอช(pH)		5.5-9.0	3.85	3.86	3.87	3.86	0.01
12 วัน	บีโอดี(BOD)	(mg/l)	ไม่เกิน 20	3047.10	3047.15	3047.15	3047.13	0.03
	ซีโอดี(COD)	(mg/l)	ไม่เกิน 120	22460.50	22462.20	22459.50	22460.73	1.37
	ของแข็งแขวนลอย (SS)	(mg/l)	ไม่เกิน 50	141.00	143.00	141.00	141.67	1.15
	ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	(mg/l)	ไม่เกิน 100	19.89	19.90	19.88	19.89	0.01
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	(mg/l)	ไม่เกิน 0.4	10.18	10.18	10.17	10.18	0.01
	พีเอช(pH)		5.5-9.0	3.90	3.91	3.92	3.91	0.01

Mahasarakham University

ส่วนที่ 2 ลักษณะทั่วไปของพืช

การเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ธูปฤาษีมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง การเพิ่มของจำนวนใบ มีการแตกหน่อและการแตกแขนงของรากฝอยเพิ่มมากขึ้น ก่อนทำการทดลองความสูงของธูปฤาษีมีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองความสูงอยู่ในช่วง 61-90 เซนติเมตร สำหรับใบนั้นก่อนทำการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 4-5 ใบ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 7-8 ใบ ลักษณะทั่วไปของใบก่อนทำการทดลองมีสีเขียวเข้ม และเมื่อเริ่มทำการทดลองเวลาผ่านไปใบเริ่มมีสีน้ำตาล ลักษณะแห้ง มีการแตกหน่อขึ้นใหม่ประมาณ 2-3 หน่อ และเริ่มมีรากฝอยแตกแขนงขึ้นมาเหนือพื้นดินบางส่วน

ส่วนที่ 3 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

1. ปริมาณบีโอดี (BOD)

ค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 6,375.00-6,470.00mg/l ซึ่งมีค่าความสกปรกที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้มาจากขั้นตอนการผลิตขนมจีน มีปริมาณน้ำเสียต่อวันจำนวน 900-1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำเสียที่เก็บมาใช้ในการทดลองนั้นยังไม่ผ่านการบำบัด เนื่องจากว่าเป็นอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนจึงยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย

เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัด พบว่า บ่อทดลองที่มีการปลูกธูปฤาษี มีค่าเฉลี่ยBOD อยู่ในช่วง 590.42-706.95mg/l ส่วนบ่อควบคุมมีค่าเฉลี่ยBOD อยู่ในช่วง 3,047.10-3,457.30mg/l

ประสิทธิภาพของการบำบัด BOD ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ประสิทธิภาพของบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง 89.06-90.87 % ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 45.77-52.90 %

ค่าเฉลี่ยของ BOD และประสิทธิภาพการบำบัด BOD ในทุกหน่วยทดลอง แสดงได้ดังตาราง 4.6 และภาพประกอบ 4.1-4.5

1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD

จากตาราง 4.6 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน บ่อที่ 1 ที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 706.88 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.02 % บ่อที่ 2 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 703.87 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.06 %บ่อที่ 3ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 701.82 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.09 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อที่ 4 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 656.75 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.79 % บ่อที่ 5 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 654.69 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.83 % บ่อที่ 6 ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 652.67 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 89.86 % เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน พบว่า บ่อที่ 7 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 594.62 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 90.76 % บ่อที่ 8 ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 592.54 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 90.79 % บ่อที่ 9 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เป็น 590.43 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เป็น 90.83 %

Mahasarakham University

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย BOD ของน้ำเข้าและออกจากระบบทดลอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมพบว่า คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลองมีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทดลองแล้ว พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เท่ากับ 706.88 mg/l, 703.87 mg/l และ 701.82 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เท่ากับ 656.75 mg/l, 654.69 mg/l และ 652.67 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย BOD เท่ากับ 594.62 mg/l, 592.54 mg/l และ 590.43 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่ปริมาณ BOD ลดลงจากก่อนการทดลองได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าระบบทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการลดค่า BOD ได้

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลัง เข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
6	5	1	6,375.00	706.95	88.91	0.089	0.089	1.60	0.000	3,457.30	45.77	0.443	0.957	1.037	0.000
		2	6,470.00	706.90	89.07					3,457.20	46.57				
		3	6,462.50	706.80	89.06					3,457.30	46.50				
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	706.88	89.02					3,457.27	46.28				
	6	1	6,375.00	703.90	88.96	0.089	0.099	2.11	0.000						
		2	6,470.00	703.90	89.12										
		3	6,462.50	703.80	89.11										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	703.87	89.06										
	7	1	6,375.00	701.85	88.99	0.089	0.099	4.83	0.000						
		2	6,470.00	701.82	89.15										
		3	6,462.50	701.80	89.14										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	701.82	89.09										
9	5	1	6,375.00	656.72	89.69	0.089	0.099	3.79	0.000	3,267.15	48.75	0.419	0.851	1.132	0.000
		2	6,470.00	656.75	89.85					3,267.20	49.50				
		3	6,462.50	656.78	89.84					3,267.10	49.45				
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	656.75	89.79					3,267.15	49.23				

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 (ต่อ)

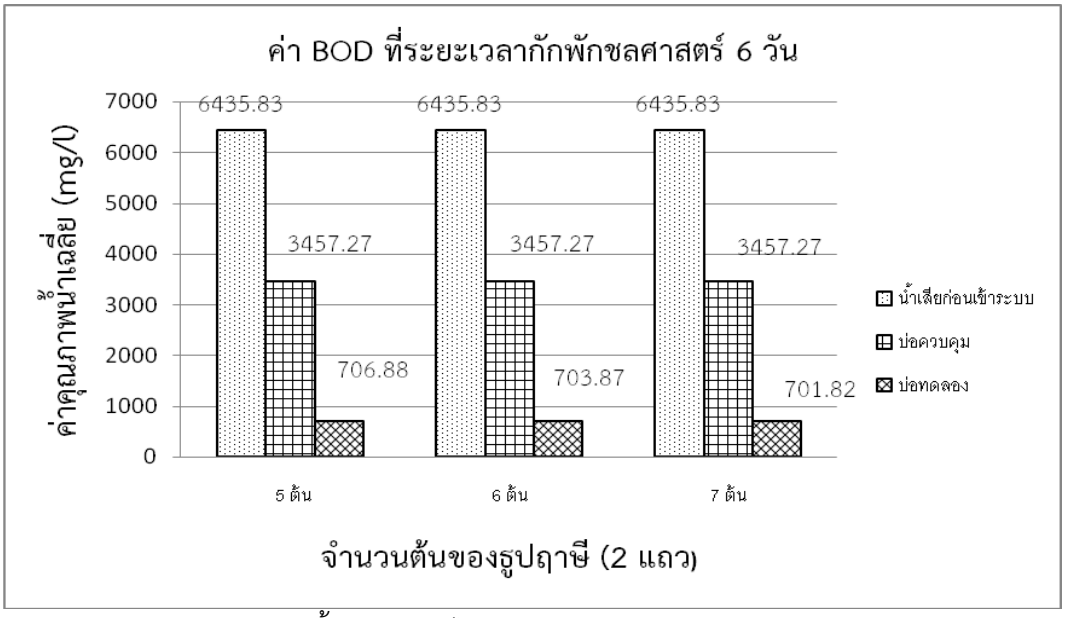
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลัง เข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	6	1	6,375.00	654.71	89.73	0.083	0.092	7.42	0.000						
		2	6,470.00	654.69	89.88										
		3	6,462.50	654.68	89.87										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	654.69	89.83										
	7	1	6,375.00	652.69	89.76	0.083	0.092	7.40	0.000						
		2	6,470.00	652.68	89.91										
		3	6,462.50	652.66	89.90										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	652.67	89.86										
12	5	1	6,375.00	594.65	90.67	0.075	0.083	1.78	0.000	3,047.10	52.20	0.390	0.741	2.097	0.000
		2	6,470.00	594.55	90.81					3,047.15	52.90				
		3	6,462.50	594.65	90.79					3,047.15	52.85				
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	594.62	90.76					3,047.13	52.65				
	6	1	6,375.00	592.55	90.71	0.072	0.079	1.77	0.000						
		2	6,470.00	592.54	90.84										
		3	6,462.50	592.54	90.83										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	592.54	90.79										
		1	6,375.00	590.43	90.74										

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 (ต่อ)

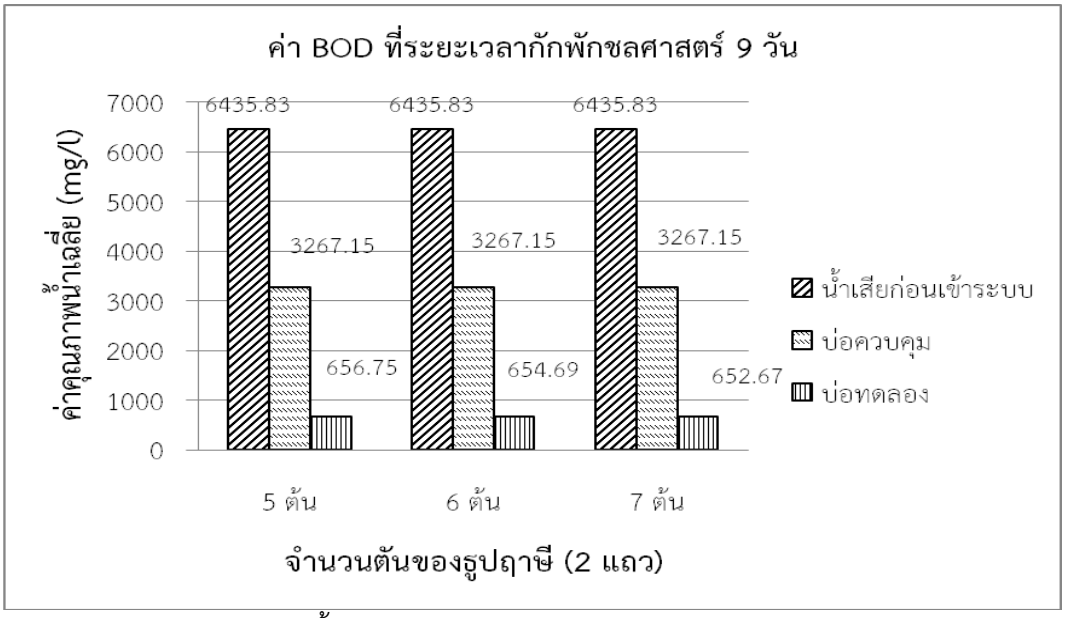
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลัง เข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
		1	6,375.00	590.43	90.74										
	7	2	6,470.00	590.42	90.87	0.072	0.079	6.69	0.000						
		3	6,462.50	590.45	90.86										
		ค่าเฉลี่ย	6,435.83	590.43	90.83										

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.

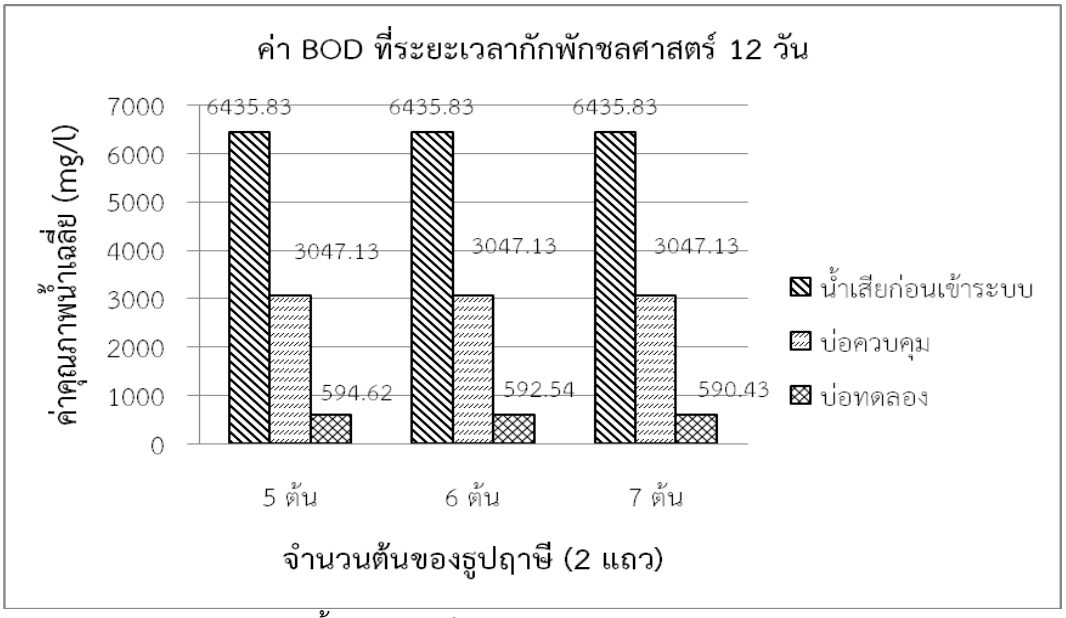
ภาพประกอบ 4.1 กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.

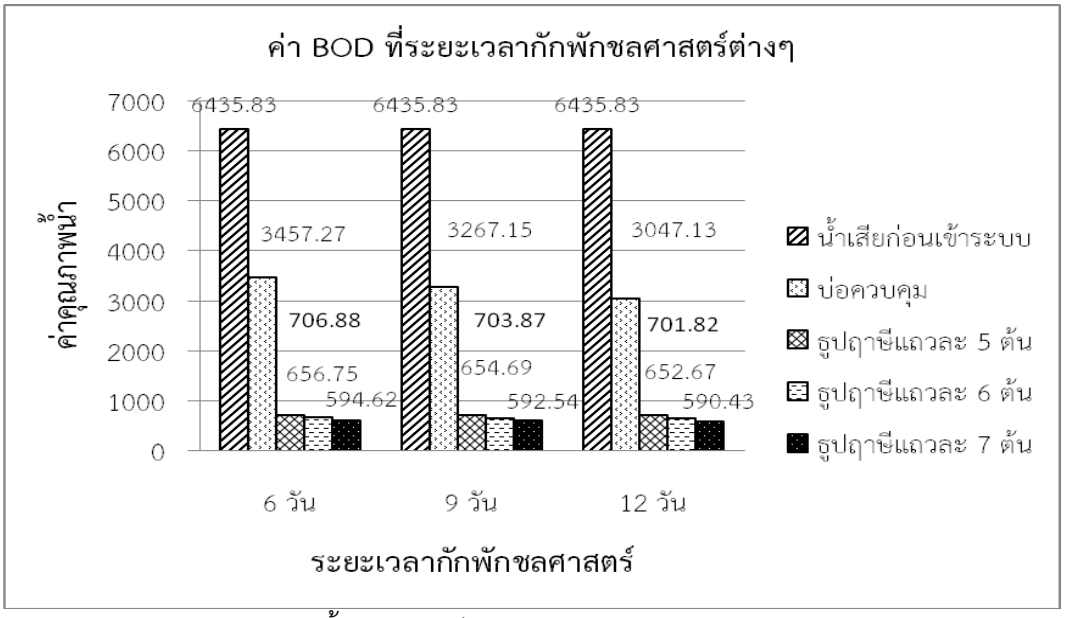
ภาพประกอบ 4.2 กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.

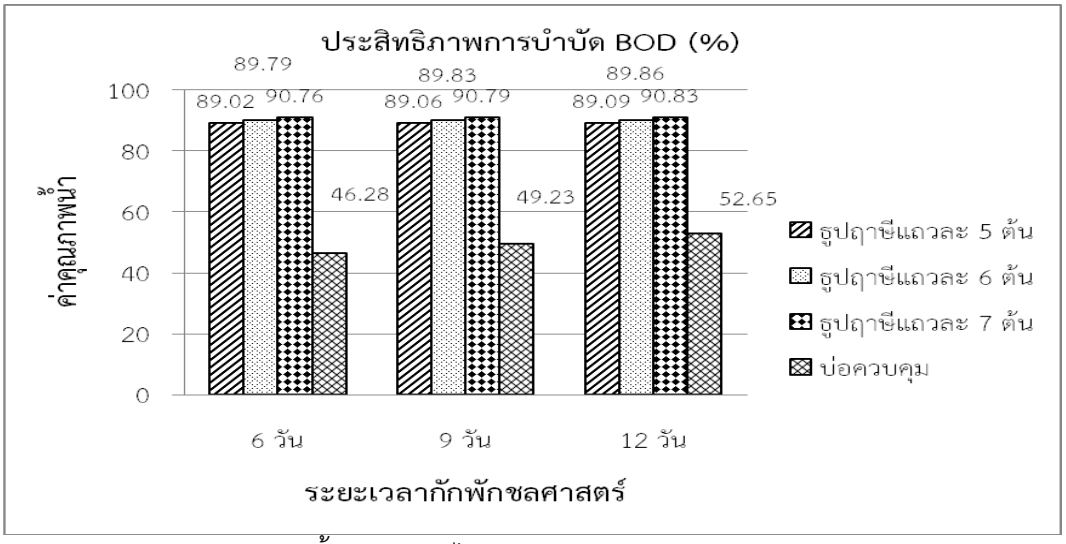
ภาพประกอบ 4.3 กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.4 กราฟแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า BOD ไม่เกิน 20 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด BOD

1.2 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลด BOD

จากการทดสอบทางสถิติ (ตาราง 4.7) พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการปลูกธูปฤาษีกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน (ตาราง 4.8) พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05)และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.9) พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด BOD ไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

ตาราง 4.7 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดBOD ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	MS	df	F	*p-values*
ระยะเวลา	57314.265	19104.755	3	5.207	0.000*
ปริมาณธูปฤาษี	8305.768	2768.589	3	7.546	0.000*
ระยะเวลา*ปริมาณธูปฤาษี	2792.815	310.313	9	8.458	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	1.174	0.037	32		
รวม	68414.023		47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

ตาราง 4.8 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	$\bar{x}$	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 0 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 6 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 9 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 12 วัน
		0.00	78.36	79.67	81.25
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	0.00	-	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	78.36		-	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	79.67			-	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	81.25				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

ปริมาณการปลูกธูปฤาษี	$\bar{x}$	ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น
		37.04	67.39	67.42	67.44
ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	37.04	-	0.000*	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	67.39		-	0.988	0.932
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	67.42			-	0.992
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น	67.44				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

2. ปริมาณซีโอดี (COD)

ค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 49,250-49,285mg/l ซึ่งมีค่าความสกปรกที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัด พบว่า บ่อทดลองที่มีการปลูกธูปฤาษี มีค่าเฉลี่ยCOD อยู่ในช่วง 2,226.40-2,466.30mg/l ส่วนบ่อควบคุมมีค่าเฉลี่ย COD อยู่ในช่วง 22,459.50-22,479.10mg/l

ประสิทธิภาพของการบำบัด COD ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ประสิทธิภาพของบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง 94.98-95.40 % ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 54.36-54.42 %

ค่าเฉลี่ยของ COD และประสิทธิภาพการบำบัด COD ในทุกหน่วยทดลอง แสดงได้ดังตาราง 4.10 และภาพประกอบ 4.6-4.10

2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด COD

จากตาราง 4.10 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน บ่อที่ 1 ที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,468.10mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 94.99 % บ่อที่ 2 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,468.00 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 94.99 %บ่อที่ 3ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,467.47 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 94.99 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อที่ 4 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,425.23 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.07 % บ่อที่ 5 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,389.50mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.15% บ่อที่ 6 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,340.10 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.25 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน พบว่า บ่อที่ 7 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,323.87 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.28 % บ่อที่ 8 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,276.00 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.38 % บ่อที่ 9 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เป็น 2,267.80 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า COD เป็น 95.39%

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย COD ของน้ำเข้าและออกจากระบบทดลอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมพบว่า คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลอง มีค่าเฉลี่ยเกินเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทดลองแล้ว พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 2,468.10 mg/l, 2,468.00 mg/l และ 2,467.47mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 2,425.23 mg/l, 2,389.50 mg/l และ 2,340.10 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 2,323.87 mg/l, 2,276.00 mg/l และ 2,267.80 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานแต่สามารถลดค่า COD ให้มีค่าน้อยกว่าก่อนการทดลองได้ แสดงให้เห็นว่าระบบทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการลดค่า COD ได้

Mahasarakham University

ตาราง 4.10 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ (COD) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
6	5	1	49,250.00	2,466.30	94.99	0.005	0.005	2.611	0.000	22,478.50	54.36	0.015	0.028	2.641	0.000
		2	49,285.00	2,468.50	94.99					22,479.10	54.39				
		3	49,272.00	2,469.50	94.98					22,476.30	54.38				
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,468.10	94.99					22,477.97	54.38				
	6	1	49,250.00	2,469.30	94.98	0.005	0.005	3.030	0.000						
		2	49,285.00	2,466.50	94.99										
		3	49,272.00	2,468.20	94.99										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,468.00	94.99										
	7	1	49,250.00	2,467.50	94.98	0.005	0.005	4.069	0.000						
		2	49,285.00	2,466.40	94.99										
		3	49,272.00	2,468.50	94.99										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,467.47	94.99										
9	5	1	49,250.00	2,420.50	95.08	0.010	0.011	865.35	0.000	22,475.30	54.36	0.015	0.028	6.234	0.000
		2	49,285.00	2,425.00	95.07					22,476.50	54.39				
		3	49,272.00	2,430.20	95.06					22,476.20	54.38				
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,425.23	95.07					22,476.00	54.38				

Mahasarakham University

ตาราง 4.10 (ต่อ)

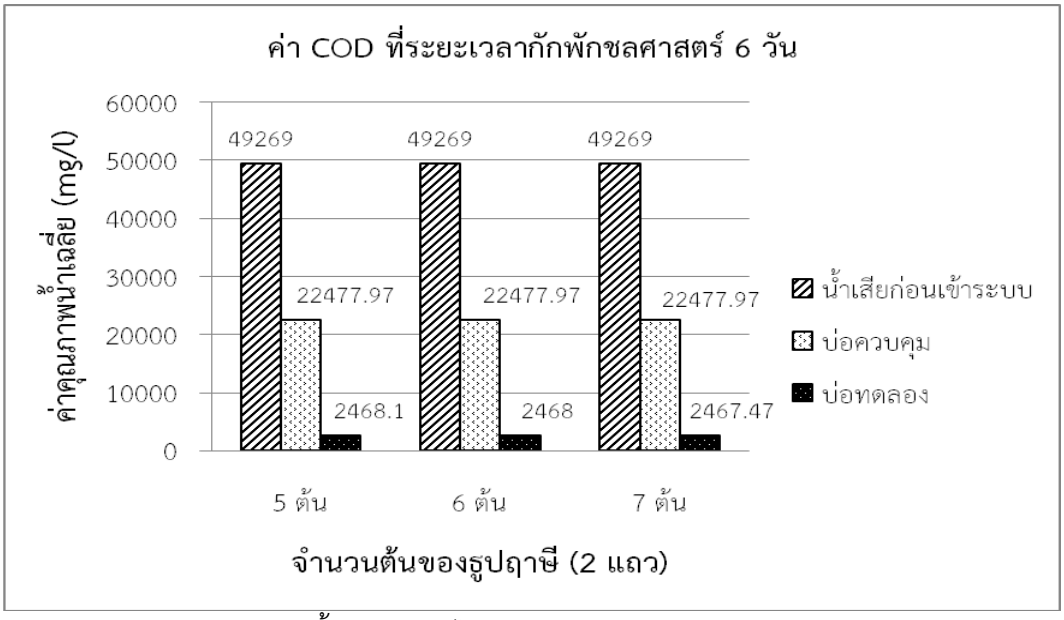
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด(%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	6	1	49,250.00	2,389.50	95.14	0.005	0.005	8.277	0.000						
		2	49,285.00	2,390.00	95.15										
		3	49,272.00	2,389.00	95.15										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,389.50	95.15										
	7	1	49,250.00	2,338.10	95.25	0.005	0.005	1.975	0.000						
		2	49,285.00	2,340.00	95.25										
		3	49,272.00	2,342.20	95.24										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,340.10	95.25										
12	5	1	49,250.00	2,320.10	95.28	0.005	0.005	1.222	0.000	22,460.50	54.39	0.015	0.028	2.850	0.000
		2	49,285.00	2,325.30	95.28					22,462.20	54.42				
		3	49,272.00	2,326.20	95.27					22,459.50	54.41				
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,323.87	95.28					22,460.73	54.41				
	6	1	49,250.00	2,273.60	95.38	0.588	0.616	526.041	0.000						
		2	49,285.00	2,284.40	95.36										
		3	49,272.00	2,270.00	95.39										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,276.00	95.38										

Mahasarakham University

ตาราง 4.10 (ต่อ)

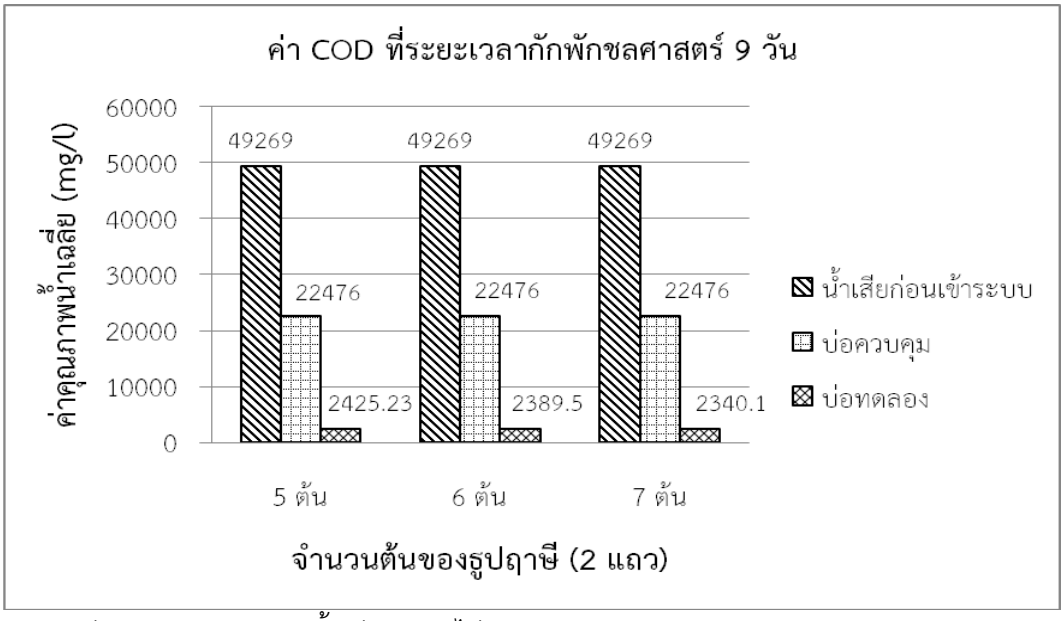
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลัง เข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
		1	49,250.00	2,268.90	95.39										
	7	2	49,285.00	2,268.10	95.39	0.005	0.005	3.077	0.000						
		3	49,272.00	2,266.40	95.40										
		ค่าเฉลี่ย	49,269.00	2,267.80	95.39										

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.

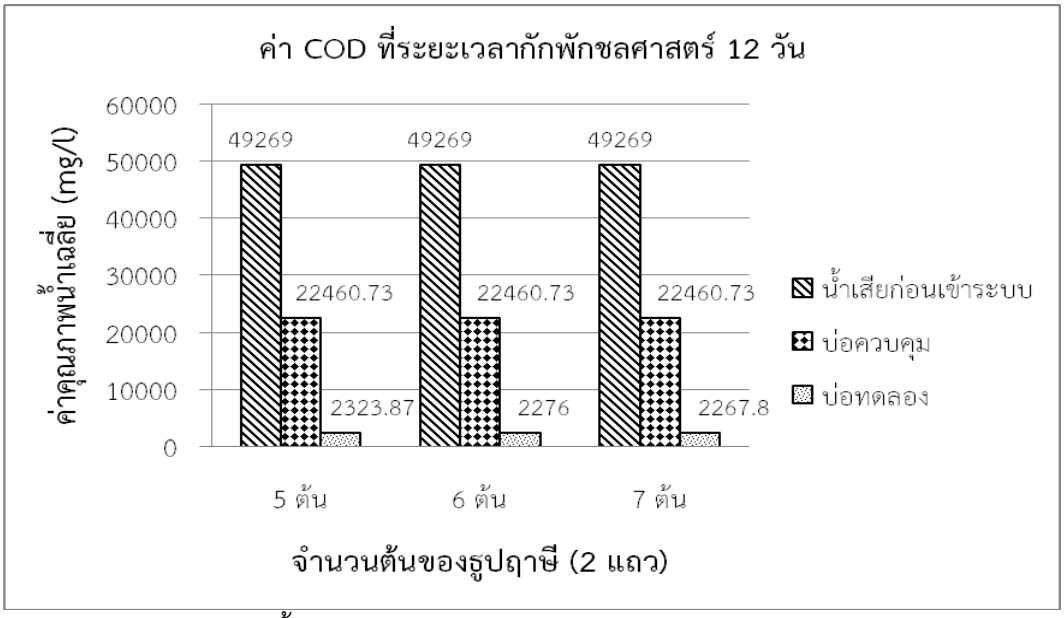
ภาพประกอบ 4.6 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.

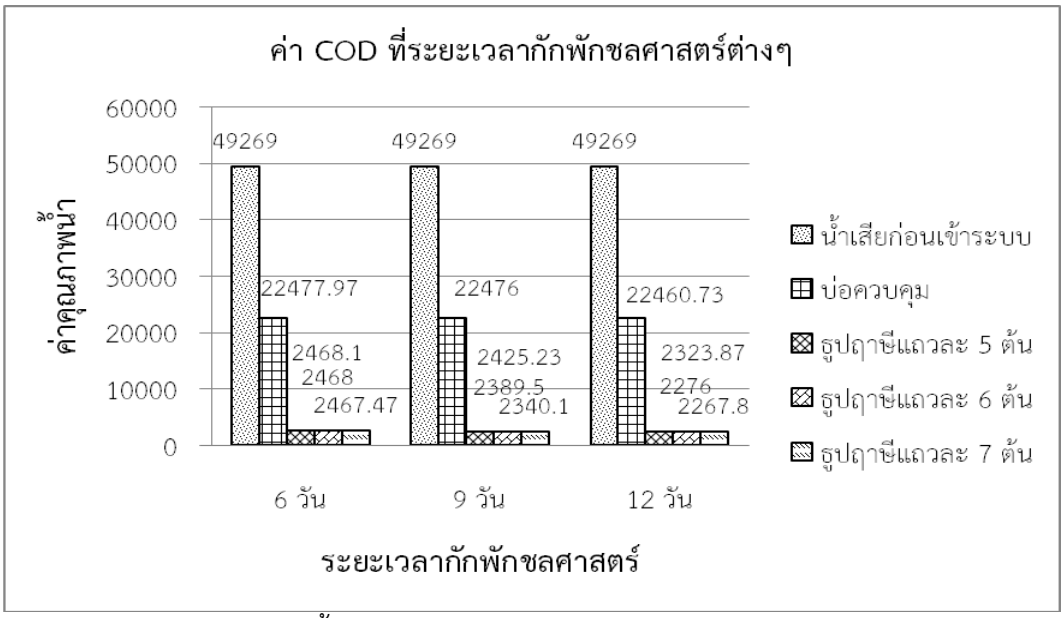
ภาพประกอบ 4.7 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.

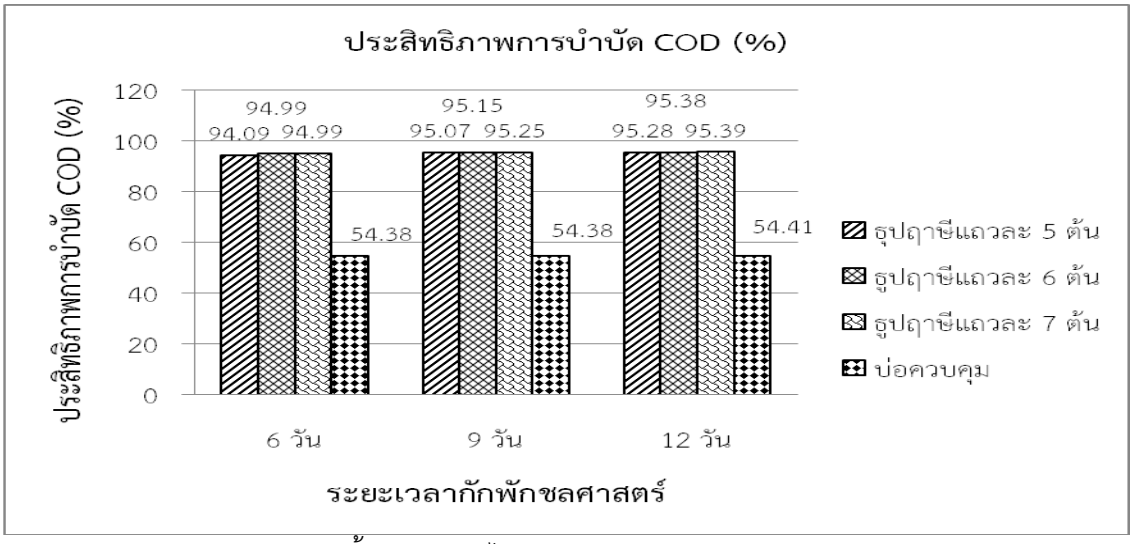
ภาพประกอบ 4.8 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.9 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD

2.2 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลด COD

จากการทดสอบทางสถิติ (ตาราง 4.11) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการปลูกธูปฤาษีกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด COD

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน (ตาราง 4.12) พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.13) พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีและบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05)

ตาราง 4.11 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดCOD ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	MS	df	F	*p-values*
ระยะเวลา	64984.962	21661.654	3	3.132	0.000*
ปริมาณธูปฤาษี	8418.170	2806.057	3	4.057	0.000*
ระยะเวลา*ปริมาณธูปฤาษี	2806.203	311.800	9	4.508	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	0.002	6.917	32		
รวม	76209.338		47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

ตาราง 4.12 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	$\bar{x}$	ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน
		0.00	84.83	84.96	85.11
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	0.00	-	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	84.83		-	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	84.96			-	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	85.11				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.13 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

ปริมาณการปลูกธูปฤาษี	$\bar{x}$	ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น
		40.79	71.33	71.38	71.40
ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	40.79	-	0.000*	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	71.33		-	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	71.38			-	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น	71.40				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.0

Mahasarakham University

3. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

ค่าเฉลี่ย SS ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 680.00-702.80 mg/l เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าระบบทดลองมีค่า SS อยู่ในช่วง 52.00-136.00 mg/l ส่วนบ่อควบคุมมีค่า SS อยู่ในช่วง 141.00-260.00 mg/l ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด SS ในระบบทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 80.00-92.49 % ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ในช่วง 61.76-79.94 % ค่าเฉลี่ยของ SS และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด SS ในทุกหน่วยทดลองแสดงได้ดังตาราง 4.14 และภาพประกอบ 4.11-4.15

3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด SS

จากตาราง 4.14 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน บ่อที่ 1 ที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 133.33 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 80.73 % บ่อที่ 2 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 88.67 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 87.19 %บ่อที่ 3ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 85.67 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 87.62 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อที่ 4 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 123.33 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 82.18 % บ่อที่ 5 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 84.00 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 87.86 % บ่อที่ 6 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 81.00 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 88.29 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน พบว่า บ่อที่ 7 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 111.33 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 83.91 % บ่อที่ 8 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 76.33 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 88.97 % บ่อที่ 9 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เป็น 54.33 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า SS เป็น 92.15 %

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย SS ของน้ำเข้าและออกจากระบบทดลอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมพบว่า คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลองมีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทดลองแล้ว พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เท่ากับ 133.33 mg/l, 88.67 mg/l และ 85.67 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เท่ากับ 123.33 mg/l, 84.00 mg/l และ 81.00 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย SS เท่ากับ 111.33 mg/l, 76.33 mg/l และ 54.33 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่ก็สามารถลดค่า SS ได้จากก่อนการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการลดค่า SS ได้

Mahasarakham University

ตาราง 4.14 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
6	5	1	693.20	131.00	81.10	0.629	0.779	91.766	0.000	257.00	62.93	0.799	1.275	292.922	0.000
		2	680.00	136.00	80.00					260.00	61.76				
		3	702.80	133.00	81.08					258.00	63.29				
		ค่าเฉลี่ย	692.00	133.33	80.73					258.33	62.67				
	6	1	693.20	89.00	87.16	0.025	0.029	100.539	0.000						
		2	680.00	87.00	87.21										
		3	702.80	90.00	87.19										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	88.67	87.19										
	7	1	693.20	84.00	87.88	0.482	0.550	71.279	0.000						
		2	680.00	88.00	87.06										
		3	702.80	85.00	87.91										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	85.67	87.62										
9	5	1	693.20	121.00	82.54	0.327	0.398	84.884	0.000	160.00	76.92	1.207	1.580	49.000	0.000
		2	680.00	123.00	81.91					170.00	75.00				
		3	702.80	126.00	82.07					160.00	77.23				
		ค่าเฉลี่ย	692.00	123.33	82.18					163.33	76.39				

Mahasarakham University

ตาราง 4.14 (ต่อ)

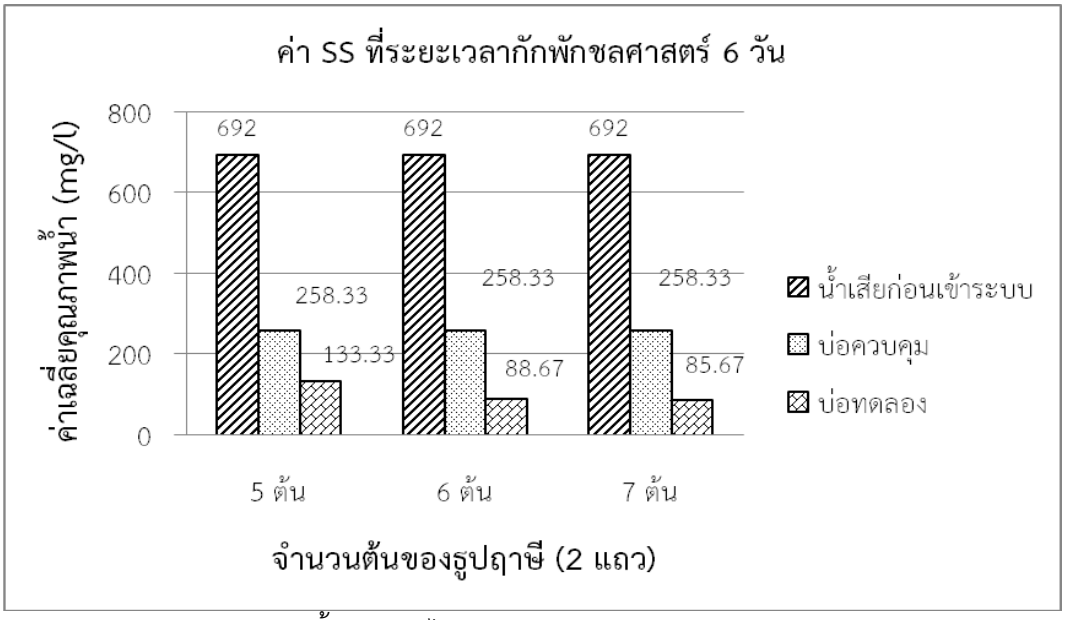
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	6	1	693.20	85.00	87.74										
		2	680.00	84.00	87.65	0.289	0.329	145.492	0.000						
		3	702.80	83.00	88.19										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	84.00	87.86										
	7	1	693.20	80.00	88.46										
		2	680.00	81.00	88.09	0.187	0.212	140.296	0.000						
		3	702.80	82.00	88.33										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	81.00	88.29										
12	5	1	693.20	110.00	84.13					141.00	79.66				
		2	680.00	115.00	83.09	0.727	0.866	59.988	0.000	143.00	78.97	0.499	0.627	212.500	0.000
		3	702.80	109.00	84.49					141.00	79.94				
		ค่าเฉลี่ย	692.00	111.33	83.91					141.67	79.53				
	6	1	693.20	75.00	89.18										
		2	680.00	78.00	88.53	0.378	0.425	86.554	0.000						
		3	702.80	76.00	89.19										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	76.33	88.97										

Mahasarakham University

ตาราง 4.14 (ต่อ)

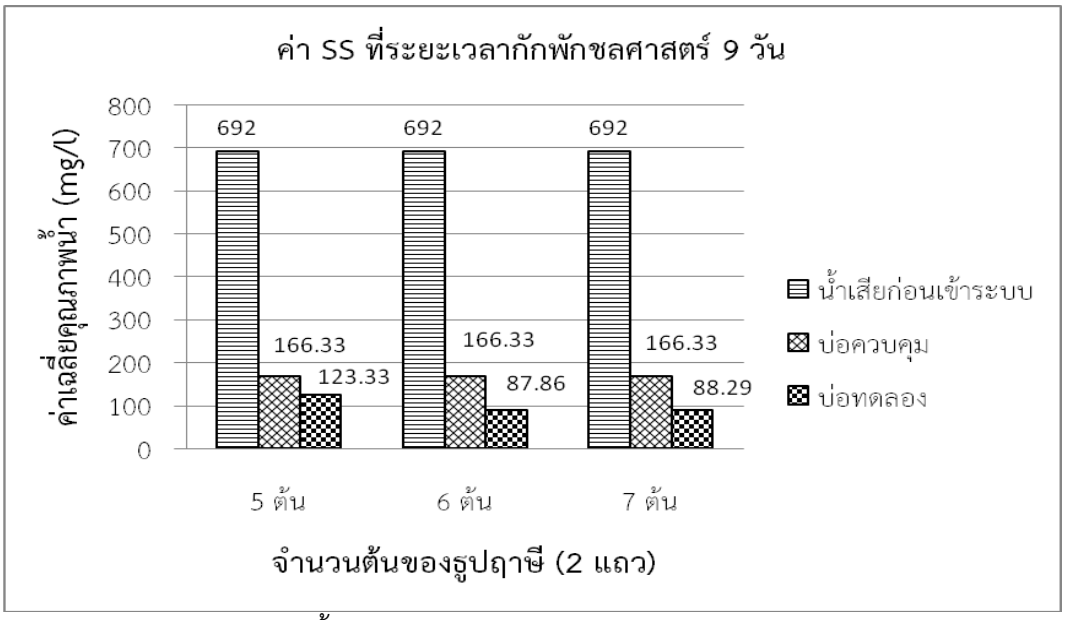
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
		1	693.20	52.00	92.49										
	7	2	680.00	57.00	91.62	0.461	0.500	37.395	0.001						
		3	702.80	54.00	92.32										
		ค่าเฉลี่ย	692.00	54.33	92.15										

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.

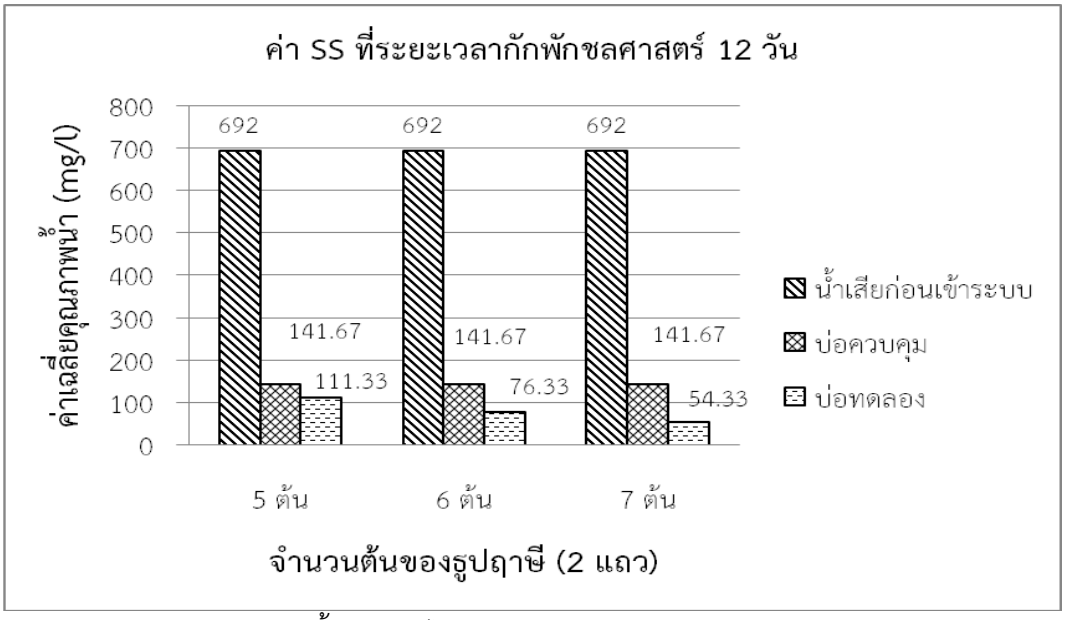
ภาพประกอบ 4.11 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.

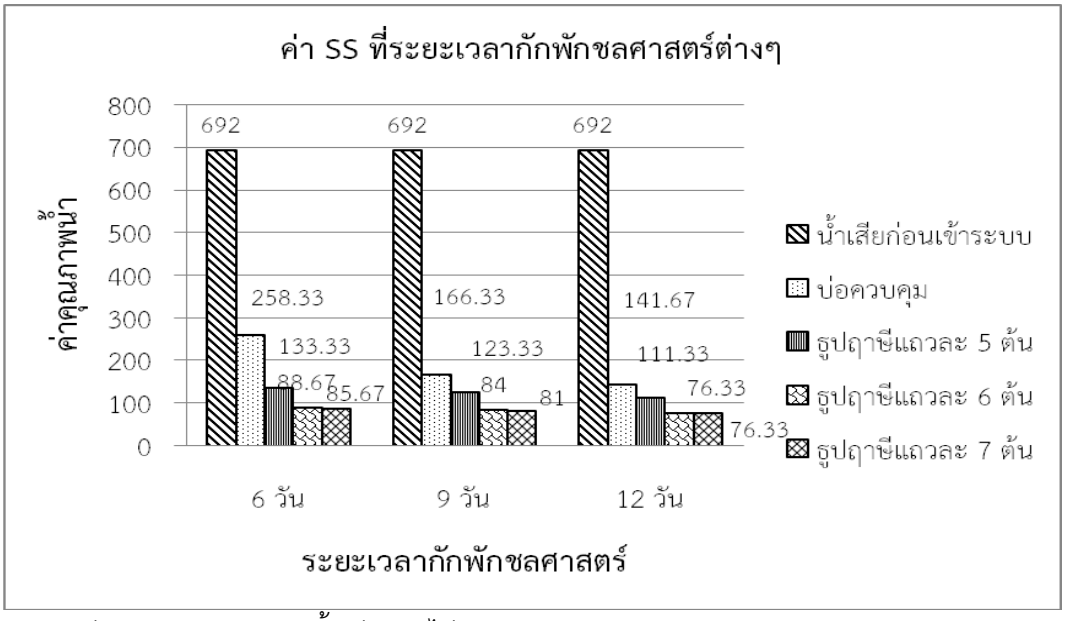
ภาพประกอบ 4.12 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9วัน

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.

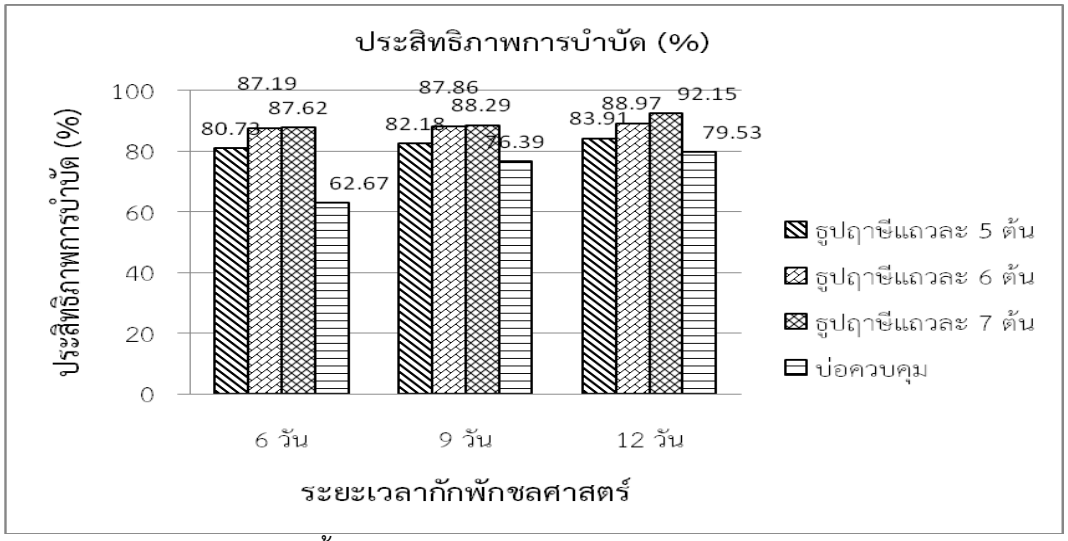
ภาพประกอบ 4.13 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.14 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า SS ไม่เกิน 50 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.15 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด SS

3.2 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลด SS

จากการทดสอบทางสถิติ (ตาราง 4.15) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการปลูกธูปฤาษีกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด SS

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SSที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน (ตาราง 4.16) พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด SSแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SSที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.17) พบว่าบ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีและบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด SSแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05)

ตาราง 4.15 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดSS ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	MS	df	F	*p-values*
ระยะเวลา	62445.836	20815.279	3	8.142	0.000*
ปริมาณธูปฤาษี	1139.122	379.707	3	1.485	0.000*
ระยะเวลา*ปริมาณธูปฤาษี	652.150	72.461	9	283.438	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	8.181	0.256	32		
รวม	64245.288		47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

ตาราง 4.16 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	$\bar{x}$	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 0 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 6 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 9 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 12 วัน
		0.00	79.54	83.67	86.13
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	0.00	-	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	79.54		-	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	83.67			-	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	86.13				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.17 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

ปริมาณการปลูกธูปฤาษี	$\bar{x}$	ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น
		54.64	61.70	66.00	67.01
ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	54.64	-	0.000*	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	61.70		-	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	66.00			-	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น	67.01				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)

ค่าเฉลี่ย TKN ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 96.20-110.36 mg/l เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าระบบทดลองมีค่า TKN อยู่ในช่วง 6.10-9.00 mg/l ส่วนบ่อควบคุมมีค่า TKN อยู่ในช่วง 19.50-20.50 mg/l ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในระบบทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 90.69-93.87 % ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ในช่วง 78.88-81.99 % ค่าเฉลี่ยของ TKN และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในทุกหน่วยทดลองแสดงได้ดังตาราง 4.18 และภาพประกอบ 4.16-4.20

4.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN

จากตาราง 4.18 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน บ่อที่ 1 ที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.82 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.53 % บ่อที่ 2 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.78 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.57 %บ่อที่ 3ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.73 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.62 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อที่ 4 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.51 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.83 % บ่อที่ 5 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.42 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.92 % บ่อที่ 6 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.37 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 91.97 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน พบว่า บ่อที่ 7 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 8.01 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 92.31 % บ่อที่ 8 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 7.76 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 87.38 % บ่อที่ 9 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เป็น 6.53 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เป็น 93.73 %

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย TKN ของน้ำเข้าและออกจากระบบทดลองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมพบว่า คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลอง มีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทดลองแล้ว พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เท่ากับ 8.82 mg/l, 8.78 mg/l และ 8.73 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เท่ากับ 8.51 mg/l, 8.42 mg/l และ 8.37 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TKN เท่ากับ 8.01 mg/l, 7.76 mg/l และ 6.53 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าระบบทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการลดค่า TKN ได้

Mahasarakham University

ตาราง 4.18 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษีที่ปลูก (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
6	5	1	96.20	8.96	90.69	0.707	0.772	54.982	0.000	20.32	78.88	1.464	1.818	138.658	0.000
		2	106.00	8.50	91.98					20.00	81.13				
		3	110.36	9.00	91.84					20.50	81.63				
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.82	91.53					20.27	80.55				
	6	1	96.20	8.85	90.80	0.644	0.703	59.292	0.000						
		2	106.00	8.50	91.98										
		3	110.36	9.00	91.84										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.78	91.57										
	7	1	96.20	8.69	90.97	0.547	0.597	59.911	0.000						
		2	106.00	8.50	91.98										
		3	110.36	9.00	91.84										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.73	91.62										
9	5	1	96.20	8.50	91.16	0.576	0.627	1.277	0.000	19.93	79.28	1.290	1.596	68.976	0.000
		2	106.00	8.52	91.96					19.50	81.60				
		3	110.36	8.52	92.28					20.50	81.42				
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.51	91.83					19.98	80.82				

Mahasarakham University

ตาราง 4.18 (ต่อ)

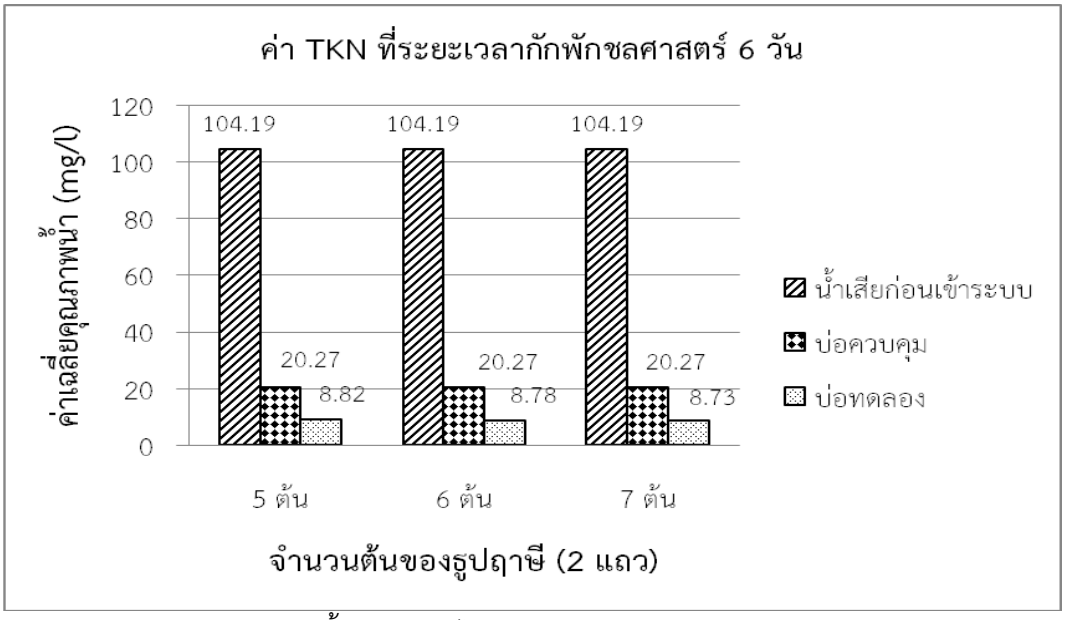
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	6	1	96.20	8.43	91.24	0.592	0.644	954.360	0.000						
		2	106.00	8.42	92.06										
		3	110.36	8.40	92.39										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.42	91.92										
	7	1	96.20	8.39	91.28	0.592	0.644	724.863	0.000						
		2	106.00	8.37	92.10										
		3	110.36	8.35	92.43										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.37	91.97										
12	5	1	96.20	8.02	91.66	0.812	0.879	27.729	0.001	19.89	79.32	1.375	1.699	3.445	0.000
		2	106.00	8.50	91.98					19.90	81.23				
		3	110.36	7.50	93.20					19.88	81.99				
		ค่าเฉลี่ย	104.19	8.01	92.31					19.89	80.91				
	6	1	96.20	7.77	91.92	0.643	0.695	53.683	0.000						
		2	106.00	8.00	92.45										
		3	110.36	7.50	93.20										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	7.76	92.55										

Mahasarakham University

ตาราง 4.18 (ต่อ)

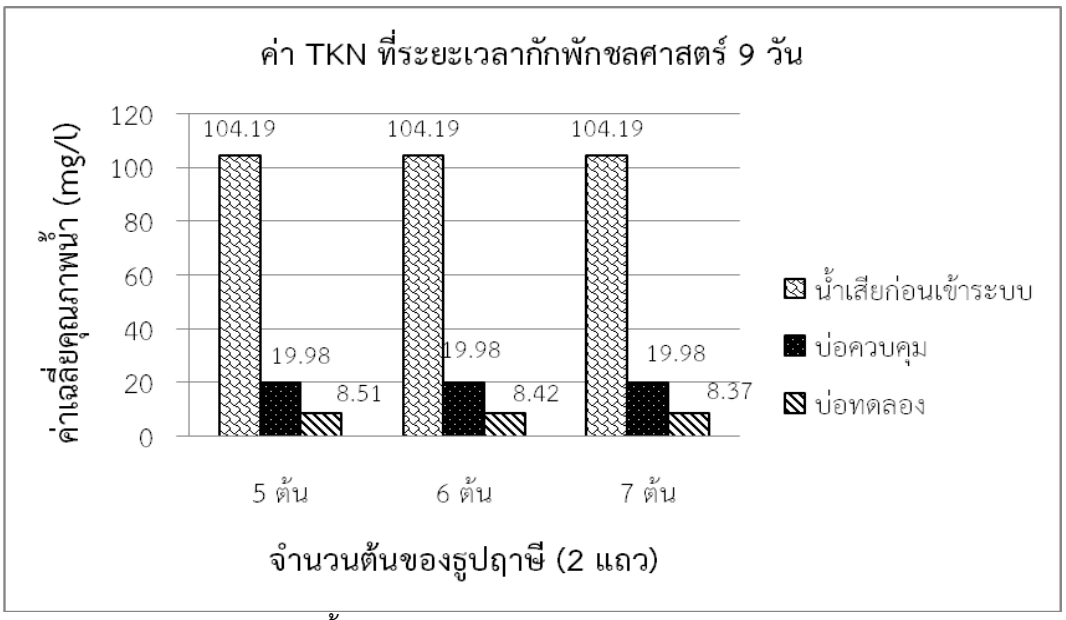
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
		1	96.20	6.10	93.66										
	7	2	106.00	6.50	93.87	0.121	0.129	25.095	0.002						
		3	110.36	7.00	93.66										
		ค่าเฉลี่ย	104.19	6.53	93.73										

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.

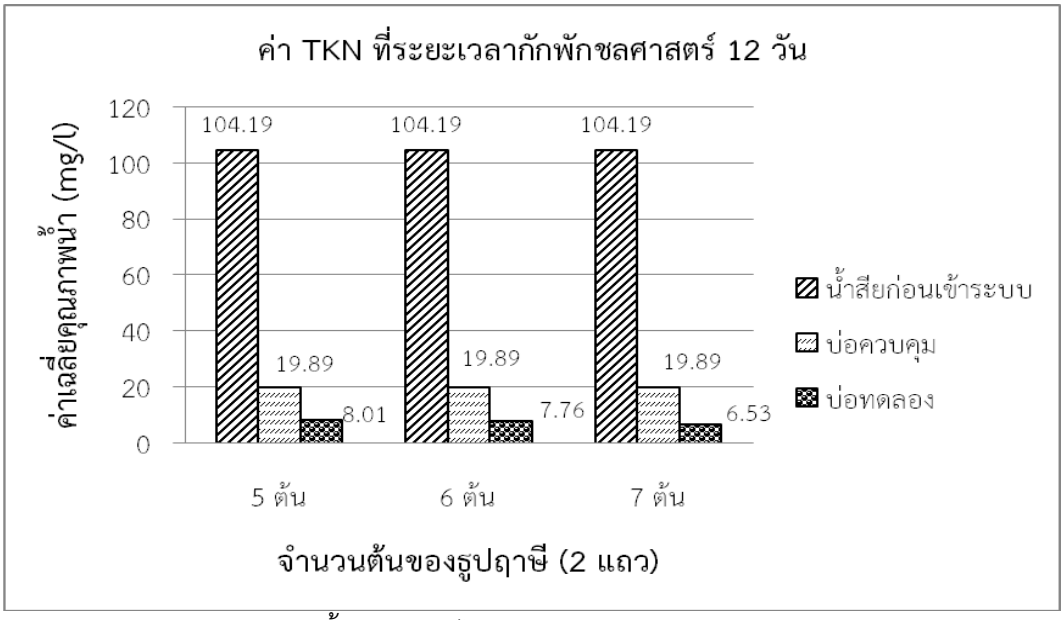
ภาพประกอบ 4.16 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKNที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.

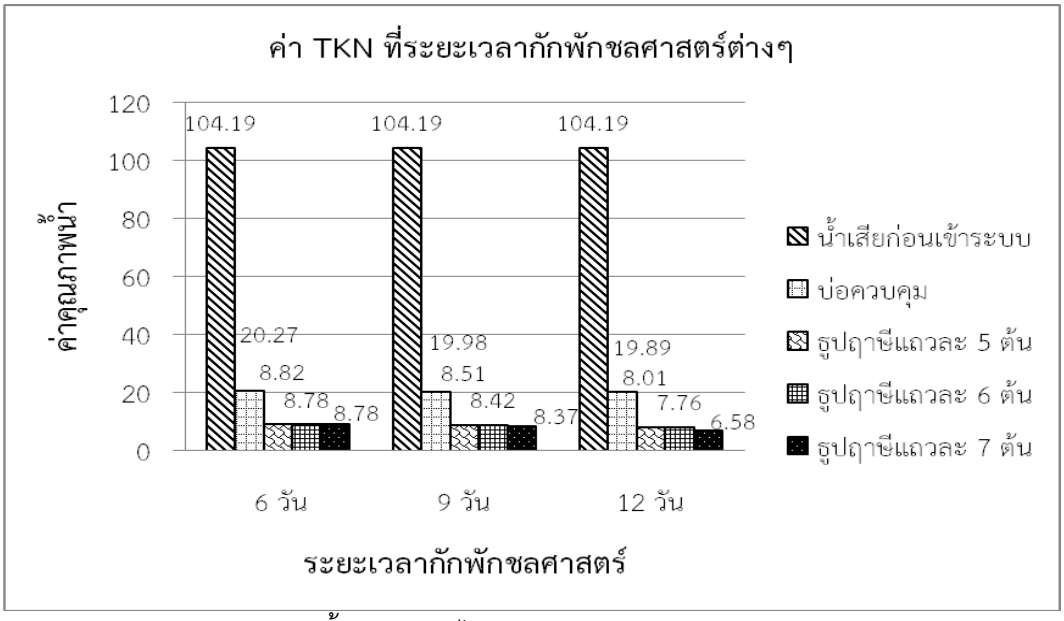
ภาพประกอบ 4.17 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKNที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.

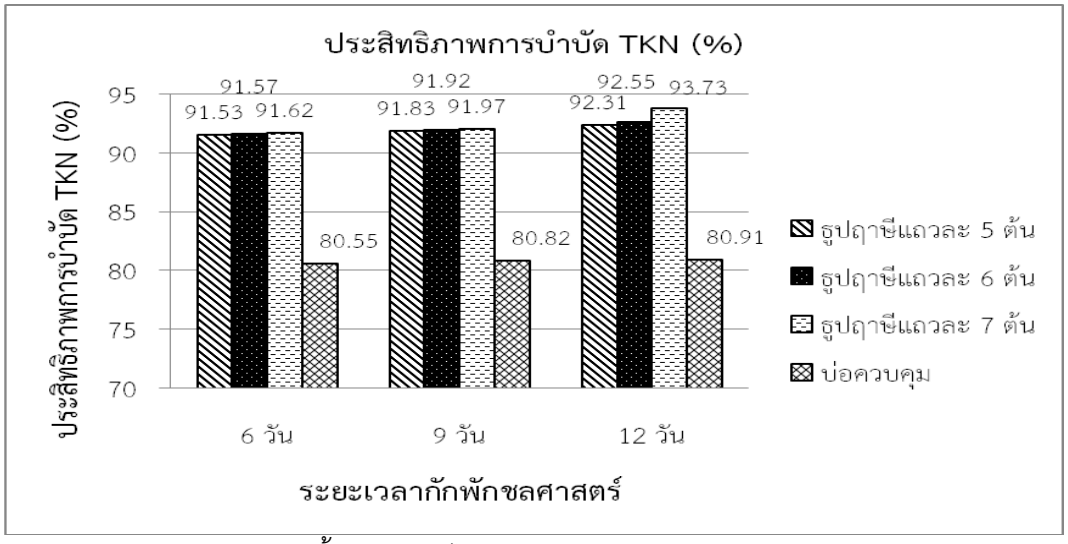
ภาพประกอบ 4.18 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.19 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 100 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.20 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TKN

4.2 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลด TKN

จากการทดสอบทางสถิติ (ตาราง 4.19) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการปลูกธูปฤาษีกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด TKN

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน (ตาราง 4.20) พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่0 วัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05)แต่เมื่อมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นเป็น 6 วัน, 9 วัน และ 12 วัน ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKNไม่แตกต่างกัน (p>0.05)และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKNที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.21) พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด TKNไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

Mahasarakham University

ตาราง 4.19 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดTKN ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	MS	df	F	*p-values*
ระยะเวลา	71685.189	23895.063	3	4.323	0.000*
ปริมาณธูปฤาษี	658.241	219.414	3	396.946	0.000*
ระยะเวลา*ปริมาณธูปฤาษี	222.748	24.750	9	44.775	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	17.688	0.553	32		
รวม	72583.866		47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

ตาราง 4.20 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	$\bar{x}$	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 0 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 6 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 9 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 12 วัน
		0.00	88.78	89.10	89.84
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	0.00	-	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	88.78		-	0.773	0.014
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	89.10			-	0.133
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	89.84				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.21 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

ปริมาณการปลูกธูปฤาษี	$\bar{x}$	ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ6 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น
		60.52	68.89	68.99	69.31
ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	60.52	-	0.000*	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	68.89		-	0.992	0.598
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	68.99			-	0.766
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น	69.31				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

5. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)

ค่าเฉลี่ย TP ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 20.32-20.46 mg/l เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าระบบทดลองมีค่า TP อยู่ในช่วง 3.08-3.18 mg/l ส่วนบ่อควบคุมมีค่า TP อยู่ในช่วง 10.17-10.21 mg/l ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TP ในระบบทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 84.39-84.95 % ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ในช่วง 49.75-50.24 % ค่าเฉลี่ยของ TP และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัด TP ในทุกหน่วยทดลองแสดงได้ดังตาราง 4.22 และภาพประกอบ 4.21-4.25

5.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดTP

จากตาราง 4.22 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน บ่อที่ 1 ที่มีการปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถวๆละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.17 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.45 % บ่อที่ 2 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.16 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.50 %บ่อที่ 3ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.15 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.55 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อที่ 4 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.14 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.60 % บ่อที่ 5 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.13 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.65 % บ่อที่ 6 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.13 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.65 %

เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน พบว่า บ่อที่ 7 ปลูกธูปฤาษีจำนวน 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.12 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.69 % บ่อที่ 8 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.11 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.75 % บ่อที่ 9 ปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เป็น 3.09 mg/l และมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการลดค่า TP เป็น 84.85%

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย TP ของน้ำเข้าและออกจากระบบทดลอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมพบว่า คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบทดลองมีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านระบบทดลองแล้ว พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เท่ากับ 3.17 mg/l, 3.16 mg/l และ 3.15 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เท่ากับ 3.14 mg/l, 3.13 mg/l และ 3.13 mg/l ตามลำดับ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี แถวละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น มีค่าเฉลี่ย TP เท่ากับ 3.12 mg/l, 3.11 mg/l และ 3.09 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่ก็สามารถลดค่า TP ได้เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการลดค่า TP ได้

Mahasarakham University

ตาราง 4.22 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
6	5	1	20.32	3.17	84.39	0.064	0.076	952.000	0.000	10.21	49.75	0.273	0.547	3.062	0.000
		2	20.46	3.17	84.51					10.20	50.29				
		3	20.40	3.18	84.41					10.21	49.95				
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.17	84.45					10.21	49.93				
	6	1	20.32	3.16	84.45	0.063	0.075	947.000	0.000						
		2	20.46	3.16	84.56										
		3	20.40	3.15	84.56										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.16	84.50										
	7	1	20.32	3.15	84.49	0.040	0.047	946.000	0.000						
		2	20.46	3.16	84.56										
		3	20.40	3.15	84.56										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.15	84.55										
9	5	1	20.32	3.14	84.55	0.032	0.038	943.000	0.000	10.20	49.80	0.196	0.392	1.767	0.000
		2	20.46	3.15	84.60					10.19	50.19				
		3	20.40	3.14	84.61					10.21	49.95				
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.14	84.60					10.20	49.98				

Mahasarakham University

ตาราง 4.22 (ต่อ)

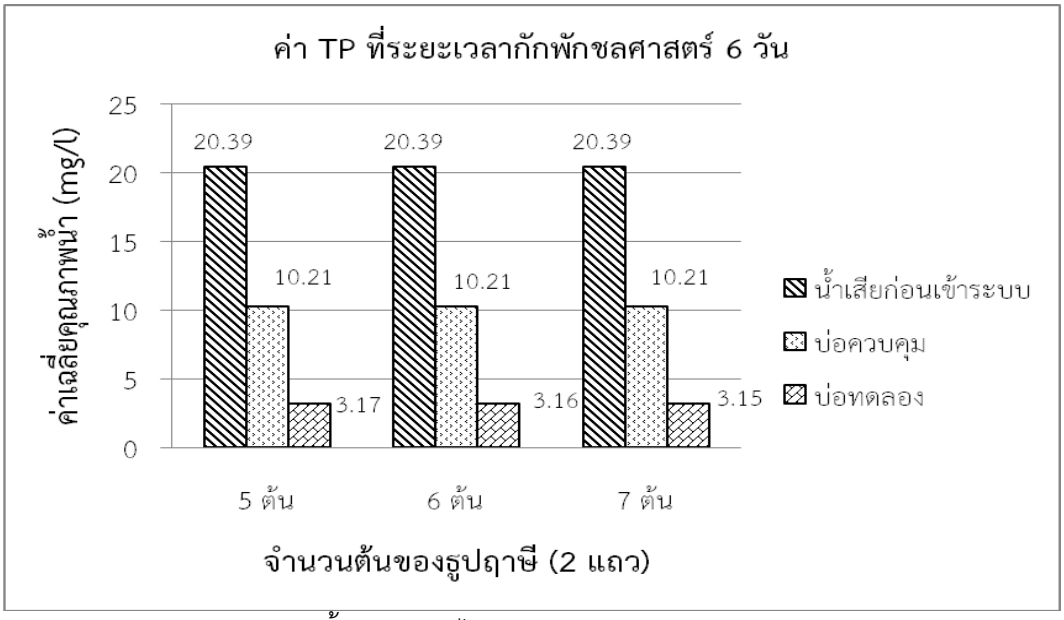
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	6	1	20.32	3.12	84.65	0.070	0.083	355.287	0.000						
		2	20.46	3.13	84.70										
		3	20.40	3.15	84.56										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.13	84.65										
	7	1	20.32	3.12	84.65	0.026	0.031	938.000	0.000						
		2	20.46	3.13	84.70										
		3	20.40	3.13	84.66										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.13	84.65										
12	5	1	20.32	3.12	84.65	0.032	0.038	937.000	0.000	10.18	49.90	0.176	0.352	3.053	0.000
		2	20.46	3.13	84.70					10.18	50.24				
		3	20.40	3.12	84.71					10.17	50.15				
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.12	84.69					10.18	50.07				
	6	1	20.32	3.10	84.74	0.026	0.031	932.000	0.000						
		2	20.46	3.11	84.79										
		3	20.40	3.11	84.75										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.11	84.75										

Mahasarakham University

ตาราง 4.22 (ต่อ)

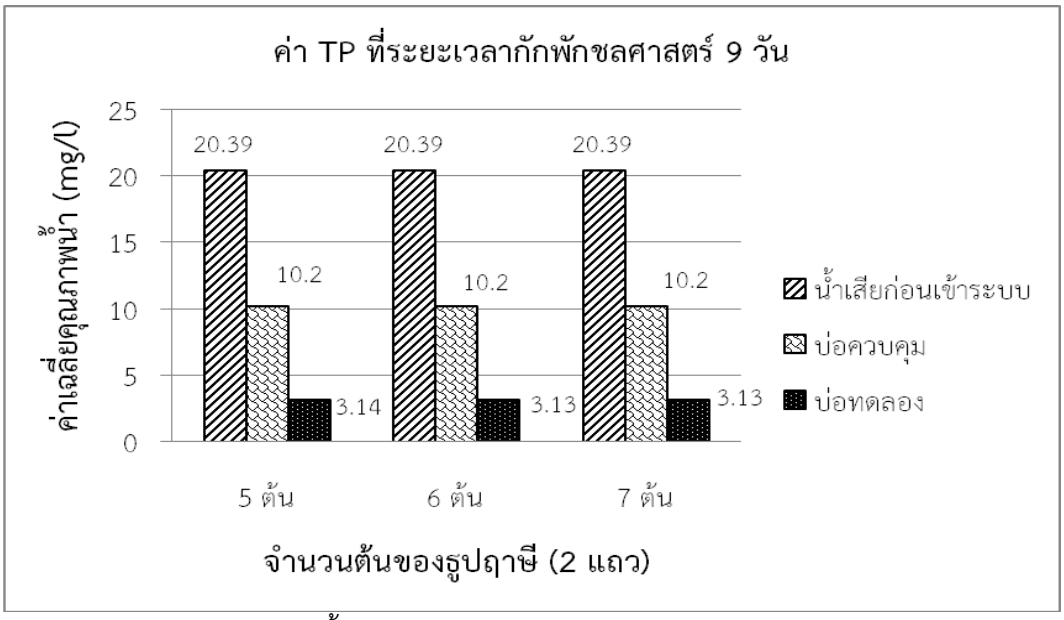
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษี (2 แถวๆ ละ)	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D.	%RSD	t	*p*
	7	1	20.32	3.09	84.79	0.080	0.094	926.000	0.000						
		2	20.46	3.08	84.95										
		3	20.40	3.09	84.85										
		ค่าเฉลี่ย	20.39	3.09	84.85										

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.

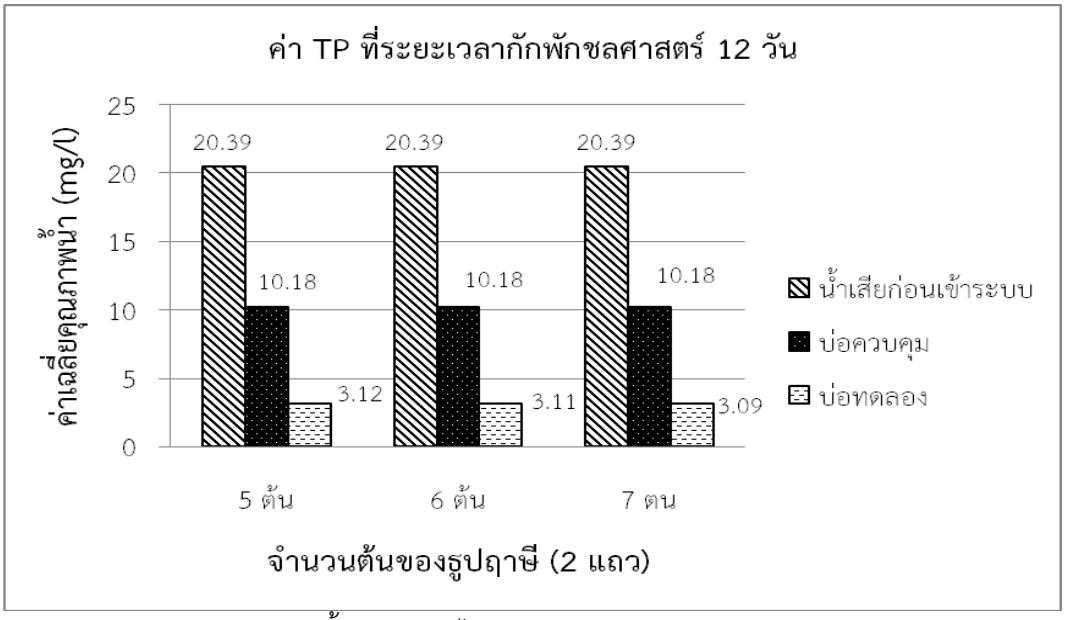
ภาพประกอบ 4.21 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.

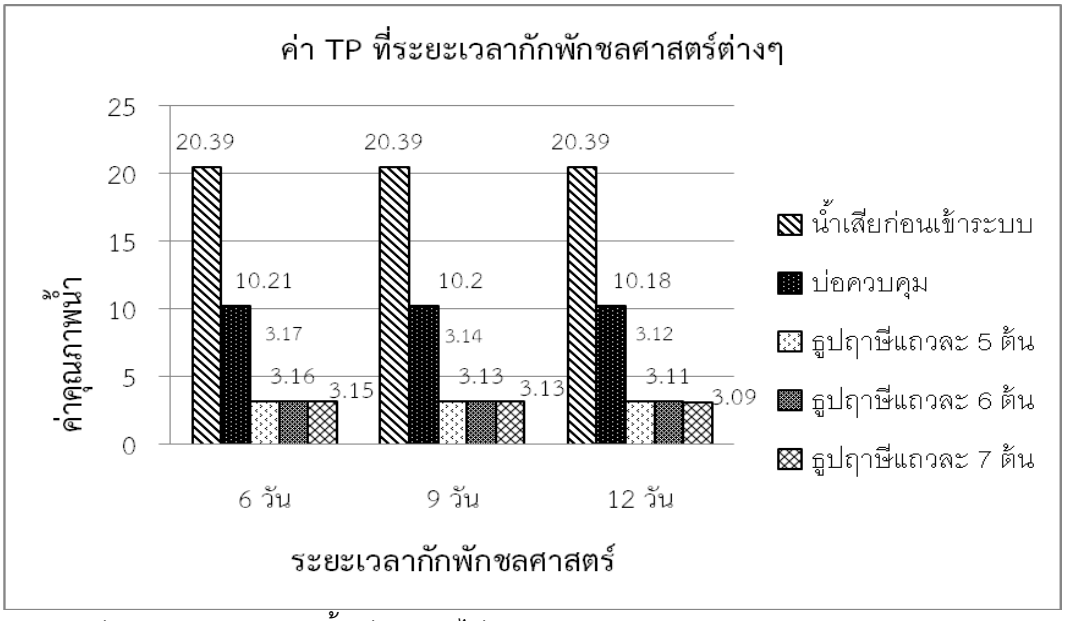
ภาพประกอบ 4.22 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.

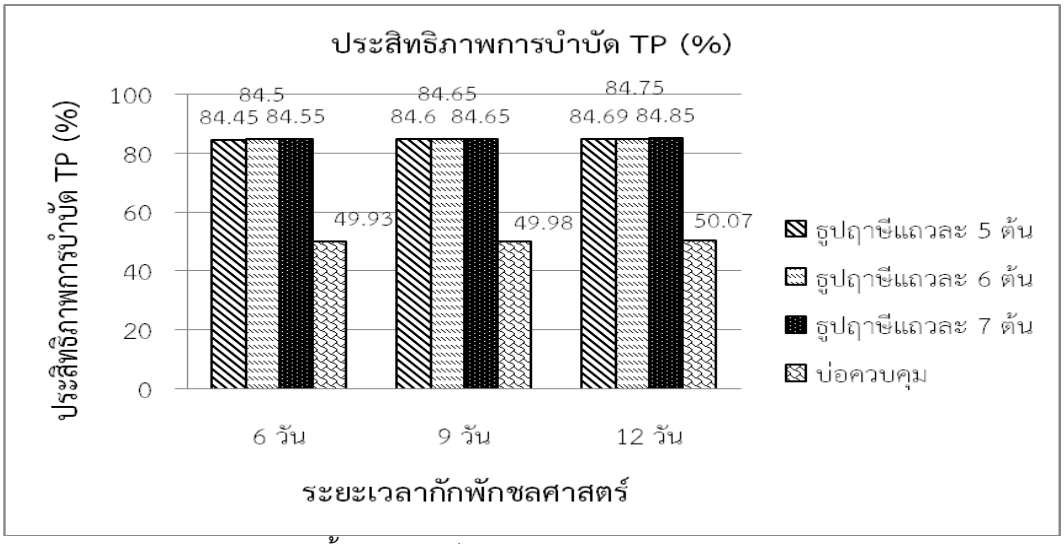
ภาพประกอบ 4.23 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.24 แผนภูมิแสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ย ค่า TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่าง ๆ

Mahasarakham University



หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ ค่า TKN ไม่เกิน 0.4 มก./ ล.

ภาพประกอบ 4.25 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP

5.2 การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลดTP

จากการทดสอบทางสถิติ (ตาราง 4.23) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการปลูกธูปฤาษีกับระยะเวลากักพักชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด TP

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TPที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน (ตาราง 4.24) พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TPแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TPที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.25) พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TPแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด TPไม่แตกต่างกัน (p>0.05)

ตาราง 4.23 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดTP ของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	MS	df	F	*p-values*
ระยะเวลา	72766.679	24255.560	3	4.659	0.000*
ปริมาณธูปฤาษี	7649.991	2549.997	3	4.898	0.000*
ระยะเวลา*ปริมาณธูปฤาษี	4037.901	448.656	9	8.617	0.000*
ความคลาดเคลื่อน	.167	0.005	32		
รวม	84454.738		47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

ตาราง 4.24 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์	$\bar{x}$	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 0 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 6 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 9 วัน	ระยะเวลากักพัก ชลศาสตร์ 12 วัน
		0.00	94.74	87.00	87.13
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0 วัน	0.00	-	0.000*	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน	94.74		-	0.000*	0.000*
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน	87.00			-	0.001
ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน	87.13				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 4.25 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน

ปริมาณการปลูกธูปฤาษี	$\bar{x}$	ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น
		45.35	74.46	74.51	74.55
ไม่มีการปลูกธูปฤาษี	45.35	-	0.000*	0.000*	0.000*
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น	74.46		-	0.370	0..040
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 6 ต้น	74.51			-	0.672
ธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 7 ต้น	74.55				-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Mahasarakham University

6. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 3.80-4.22เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าระบบทดลองมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.76-6.39 ส่วนบ่อควบคุมมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.80-3.92 ซึ่งค่า pH และการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนของอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนแห่งหนึ่งในชุมชนประโดก และคุณภาพ pH หลังได้รับการบำบัดจากบึงประดิษฐ์

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษีที่ปลูก (2 แถวๆละ)	รอบการบำบัด	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ
6	5	1	3.80	4.94	3.80
		2	4.00	4.93	3.82
		3	4.22	4.92	3.80
		ค่าเฉลี่ย	4.01	4.93	ค่าเฉลี่ย 3.81
	6	1	3.80	4.89	
		2	4.00	4.87	
		3	4.22	4.86	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	4.87	
	7	1	3.80	4.79	
		2	4.00	4.76	
		3	4.22	4.77	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	4.77	
9	5	1	3.80	5.54	3.85
		2	4.00	5.56	3.86
		3	4.22	5.52	3.87
		ค่าเฉลี่ย	4.01	5.54	ค่าเฉลี่ย 3.86
	6	1	3.80	6.07	
		2	4.00	6.11	
		3	4.22	6.08	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	6.09	
	7	1	3.80	6.23	
		2	4.00	6.22	
		3	4.22	6.20	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	6.22	

Mahasarakham University

ตาราง 4.26 (ต่อ)

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (วัน)	ปริมาณธูปฤาษีที่ปลูก (2 แถวๆละ)	รอบการบำบัด	คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (mg/l)	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
				คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ	คุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบ
12	5	1	3.80	6.27	3.90
		2	4.00	6.25	3.91
		3	4.22	6.30	3.92
		ค่าเฉลี่ย	4.01	6.27	ค่าเฉลี่ย 3.91
	6	1	3.80	6.35	
		2	4.00	6.35	
		3	4.22	6.38	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	6.36	
	7	1	3.80	6.38	
		2	4.00	6.39	
		3	4.22	6.39	
		ค่าเฉลี่ย	4.01	6.39	

จากตาราง 4.26 พบว่า เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 6 วัน มีการปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น น้ำที่ผ่านเข้าระบบทดลอง มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 4.93, 4.87 และ 4.77 ตามลำดับส่วนบ่อควบคุม มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 3.81

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีการปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น น้ำที่ผ่านเข้าระบบทดลอง มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 5.54, 6.09 และ 6.22 ตามลำดับส่วนบ่อควบคุม มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 3.86

ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 วัน มีการปลูกธูปฤาษี 2 แถวๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น น้ำที่ผ่านเข้าระบบทดลอง มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 6.27, 6.36 และ 6.39 ตามลำดับส่วนบ่อควบคุม มีค่าเฉลี่ย pH เป็น 3.91

และจากตาราง 4.26 ยังพบว่า ค่า pH ของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยที่ไม่ตรงกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม แสดงว่าน้ำก่อนเข้าระบบมีความเป็นกรดสูง และเมื่อน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย pH ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยค่า pH ที่เพิ่มขึ้นนั้นเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 วันยังมีค่าไม่ตรงกับมาตรฐาน ซึ่งยังมีค่าความเป็นกรดอยู่ และที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน และ 12 วัน มีค่าเฉลี่ย pH ตามเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดไว้คือ 5.0-9.0

Mahasarakham University

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือน โดยใช้ธูปฤาษี ในพื้นที่บึงประดิษฐ์ โดยมีการใช้ปริมาณธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน สามารถสรุป อภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สรุปผล
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ผลของปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์ ต่อ ประสิทธิภาพการบำบัดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ สรุปได้ว่า

1. ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD, COD, SS, TKN, TP และการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ 7 ต้น ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนสูงสุด รองลงมาคือบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ 6 ต้น และ 5 ต้น ตามลำดับ

2. ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD, COD, SS, TKN, TP และ pH โดยที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตขนมจีนระดับครัวเรือนสูงสุด รองลงมาคือ ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 9 วัน และ 6 วัน ตามลำดับ

3. บ่อทดลอง มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD, COD, SS, TKN, TP และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ดีกว่าบ่อควบคุม

4. เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) พบว่า คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดมีเพียงค่า TKN เท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่า BOD, COD, SS และ TP ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า BOD

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) และเมื่อเปรียบเทียบ

Mahasarakham University

ความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด BOD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด BOD ไม่แตกต่างกัน (p >0.05) แสดงว่าบ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด BOD เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน เนื่องจากระบบรากของพืชมีการถ่ายเทออกซิเจนจากรากของต้นพืชสู่ชั้นของตัวกลาง โดยส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมารอบ ๆ รากพืช และส่วนปลายราก (root tips) เมื่อสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะทำการย่อยสารอินทรีย์ ทำให้ BOD มีค่าลดลง ทั้งนี้การกรองโดยระบบรากและตัวกลางที่เป็นหิน รวมถึงการตกตะกอนเป็นส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด Amstrong และคณะ (สนธิเดช จิตวิมลนิมิต, 2547 อ้างอิงจาก Amstrong andother, 1990) และงานวิจัยของ Cooper และ Boon (1987) พบว่าในระบบบึงประดิษฐ์พืชที่โผล่พ้นน้ำมีหน้าที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียโดยออกซิเจนจะถูกถ่ายเทผ่านช่องว่างของใบและลำต้นไปยังระบบรากพืชซึ่งออกซิเจนบางส่วนถูกปลดปล่อยจากระบบราก มีอัตราการถ่ายเทออกซิเจนของพืชอยู่ในช่วง 5 ถึง 45 กรัมของ O_2 / (ตร.ม.-วัน)

5.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า COD

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด COD เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีและบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แสดงว่าบ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด COD เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการบำบัด COD ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน พบว่าให้ผลเป็นไปในทางเดียวกับการบำบัดบีโอดี เนื่องจากค่าซีโอดีส่วนใหญ่เป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบ ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในระบบจึงส่งผลให้การบำบัดซีโอดีมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าบีโอดี (สนธิเดช จิตวิมลนิมิต, 2547)

5.2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า SS

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด SS เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด SS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด SS ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน แสดงว่า

Mahasarakham University

บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีและบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด SS แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) บ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า SS ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด SS เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการบำบัด SS ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด SS สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัด SS ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลมาจากพืชที่ใช้ในการทดลองมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งลำต้น ใบ และการแตกแขนงของรากมากขึ้น รากบางส่วนแตกแขนงขึ้นมาเหนือพื้นดิน ดังนั้นเมื่อน้ำไหลผ่านระบบทดลอง พืชจะช่วยชะลอความเร็วของน้ำ ทำให้อนุภาคของของแข็งตกตะกอนลงบนพื้นดิน และ จุลินทรีย์ที่เกาะตามรากพืชจะช่วยย่อยสลายตะกอน ดังนั้นเมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำจะช้าลงทำให้ตะกอนตกลงสู่พื้นได้มากขึ้นด้วย และเกิดจากการที่พืชช่วยเป็นตัวลดกระแสลมที่มีต่อน้ำ ทำให้ไม่เกิดการรบกวนการกวนของน้ำ อีกทั้งธูปฤาษีมีส่วนของลำต้นที่อยู่ในน้ำ จึงช่วยดักจับตะกอนได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า SS ได้เพิ่มขึ้น (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2556)

5.2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า TKN

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TKN เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 0 วัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่เมื่อมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เพิ่มขึ้นเป็น 6 วัน, 9 วัน และ 12 วัน ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ไม่แตกต่างกัน (p >0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TKN ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TKN แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ไม่แตกต่างกัน (p >0.05) แสดงว่าบ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TKN ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด TKN เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการบำบัด TKN ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด TKN สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน กลไกการบำบัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนสารอินทรีย์ การระเหย การดูดซับการนำไปใช้ของพืช ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยทั้งนี้กลไกสำคัญในการบำบัดไนโตรเจน คือ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน Ottova และคณะ(สนธิเดช จิตวิมลนิมิต, 2547 อ้างอิงจาก Ottova andother, 1997) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นนั้นต้องการสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจน ซึ่งพบในส่วนของรากพืชที่ปริมาณของออกซิเจนถูกปลดปล่อยออกมา (Roger และคณะ, 1985) การลดปริมาณไนโตรเจนจะเป็นตามกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟริเคชั่น (Denitrification) (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

Mahasarakham University

5.2.5 ประสิทธิภาพการบำบัดค่า TP

จากการศึกษา ปริมาณการปลูกธูปฤาษีและระยะเวลากักพักชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด TP เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ต่างกัน พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของประสิทธิภาพการบำบัด TP ที่ปริมาณการปลูกธูปฤาษีที่แตกต่างกัน พบว่า บ่อที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษีทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TP แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่เมื่อมีการปลูกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นเป็น 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น, 6 ต้น และ 7 ต้น ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด TP ไม่แตกต่างกัน (p >0.05) แสดงว่าบ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TP ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด TP เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการบำบัด TP ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน เนื่องจากธูปฤาษีนำฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปของออร์โธฟอสเฟต ซึ่งเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างไซโตรพลาสซึม ประเทือง เชาว์วันกลาง (สนธิเดช จิตวิมลนิมิต, 2547 อ้างอิงจาก ประเทือง เชาว์วันกลาง, 2534) การลดปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดที่ชั้นดิน ส่วนพื้นบ่อและพืชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) และพบว่ากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการดูดซึมของพืช เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จะถูกย่อยสลาย และคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วนเมื่อพืชตายและส่วนที่เหลือจะจมอยู่กับซากพืชแต่ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้นั้น เป็นปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ Vymazal และคณะ (สนธิเดช จิตวิมลนิมิต, 2547 อ้างอิงจาก Vymazal andother, 2002)

5.2.6 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

จากการศึกษา พบว่า บ่อทดลองที่ปลูกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงค่า pH ได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่มีการปลูกธูปฤาษี ปริมาณการปลูกธูปฤาษีนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลง pH เช่นกัน โดยบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลง pH ดีกว่าบ่อที่ปลูกธูปฤาษี 2 แถว ๆ ละ 5 ต้น และ 6 ต้น ส่วนระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 12 วัน มีประสิทธิภาพในเปลี่ยนแปลง pH สูงกว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 6 และ 9 วัน โดยการเปลี่ยนแปลงค่า pH นั้น จากก่อนการทดลองมีค่า pH ที่มีความเป็นกรดแก่มาก เมื่อระยะเวลาผ่านไปตามระบบการทดลอง ค่า pH จะมีค่าเข้าใกล้ความเป็นกลางมากขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่มากขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาวิเคราะห์ดินและพืช ภายหลังการทดลอง เพื่อทราบถึงการดูดซับธาตุอาหาร หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ของน้ำที่ใช้ในการทดลอง

Mahasarakham University

2. ควรมีการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อน เช่น ระบบแอนแอโรบิก เพื่อลดค่าความสกปรกของน้ำ ทั้งนี้โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบเสริม ในการบำบัดน้ำดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพน้ำที่ได้ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยิ่งขึ้น

3. ควรทำการศึกษาถึงขีดความสามารถสูงสุดของพืชในการรองรับความสกปรกและสภาพต่าง ๆ ของน้ำ เช่น ขีดความสามารถในการรองรับสารพิษ โลหะหนักต่างๆ

4. จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อการปลูกธูปฤาษีที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรมีการเพิ่มการปลูกธูปฤาษีจากเดิม เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

5. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรมีการเพิ่มระยะเวลากักพักชลศาสตร์เพิ่มขึ้นจากเดิม เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

Mahasarakham University

เอกสารอ้างอิง

Mahasarakham University

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. *คู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล.* [ออนไลน์] ได้จาก http : //www.pcd.go.th. [สืบค้นเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2555].

กรมควบคุมมลพิษ (2541) *คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำในภาคสนาม.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

กรมควบคุมมลพิษ (2545) *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. *ระบบบึงประดิษฐ์.* [ออนไลน์] ได้จาก http://www.deqp.go.th/about3-5-2.php/. [สืบค้นเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2555].

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจณ์ (2540) *การบำบัดน้ำเสีย.* พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

ไกรลาศ พิมพ์รัตน์ (2545) *การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ด้วยกระบวนการชั้นกรองจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น.* ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

คลินิกเทคโนโลยีราชมงคลสุรินทร์ (2552) *การผลิตขนมจีนแป้งหมัก.* สุรินทร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตสุรินทร์.

ชาคริต สนิทม่วง (2552) *ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนแบบบึงประดิษฐ์ด้วยบัวอะเมซอนและพุทธรักษา.* ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ทานตะวัน กิริมิตร (2553) *ประสิทธิภาพของเตยหอมและพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไหลผ่านลำต้น.* ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพืชกรองน้ำเสีย. *แนวพระราชดำริที่ได้พระราชทาน.* [ออนไลน์] ได้จาก http://library.uru.ac.th/rpsdb/list_news.asp?Id_new=N752_. [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2555].

เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม. *แนวพระราชดำริที่ได้พระราชทาน.* [ออนไลน์] ได้จาก http://library.uru.ac.th/rpsdb/list_news.asp?Id_new=N752_. [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2555].

ธิดา วิเชียรเพชร (2545) *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ธูปฤาษี.* ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร.

ธีระ เกรอต (2539) *วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับสารสนเทศท้องถิ่นนครราชสีมา ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา. *“ขนมจีนประโดก”* ; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. [ออนไลน์] ได้จาก http://www2.pm. ac.th/korat_lesson/1-3/index.html. [สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2555].

ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ. *กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่ามาตรฐานแตกต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดได้ ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.* [ออนไลน์] ได้จาก http://www.pcd.go.th/download/regulation. cfm?task=s3 [สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2555].

Mahasarakham University

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539). *กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม*. [ออนไลน์] ได้จาก http://www.pcd.go.th/download/regulation. cfm? task=s3. [สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2555].

ประเทือง เชาว์วันกลาง (2534) *คุณภาพน้ำทางการประมง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร (2552) *ประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน*. ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

พรรณี ปันชัย (2547) *การจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชน กรณีศึกษาโรงงานทำขนมจีนในตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่*. ปริญญานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พิพัฒน์ พรหมโลก (2554) *การศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน กรณีศึกษาเขตอำเภอวังหิน จังหวัดศรีษะเกษ*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

พจนีย์ ทองทา (2550) *ประสิทธิภาพการจัดการของเสียจากโรงงานแป้งขนมจีนจังหวัดขอนแก่น*. ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รตีวรรณ อ่อนรัศมี (2543) *การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย*. ชลบุรี: ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ลักษมณ ทองอินทร์ (2554) *ประสิทธิภาพของธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ไหลผ่านลำต้น*. ปริญญานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วีระศักดิ์ สืบเสาะ (2551) *สถิติกับการวิจัย*. มหาสารคาม: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สมพล เปรมปรามอมร และคณะ (2545) *การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชต่างชนิดในระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง*. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สารานุกรมเสรี. *ขนมจีน*. [ออนไลน์] ได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%82 %E0% B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%88%E0%B8%B5%E0%B8%99_ (%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0% B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B 9%84% E0%B8%97%E0%B8%A2) [สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2555].

สารานุกรมเสรี. *ธูปฤาษี*. [ออนไลน์] ได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%98%E0 %B8% B9%E0%B8%9B%E0%B8%A4%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B8%B5. [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2555].

สารานุกรมเสรี. *ธูปฤาษี ; วัชพืชบำบัดน้ำเสียได้*. [ออนไลน์] ได้จาก http://www.ee43.com/content/topic/ 321.html [สืบค้นเมื่อ 9 ธันวาคม 2555].

สิริสุดา หนูทิมทอง และคณะ (2552) *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติบำบัด กรณีศึกษาศูนย์กสิกรรมมาบเอื้อง*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

Mahasarakham University

สุจยา ฤทธิศร และอรวรรณ ชื่นคุ้ม (2553) *การใช้สาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน.* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุชาดา ศรีเพ็ญ (2542) *พรรณไม้น้ำ.* กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และเมธี มณีวรรณ (2537) “การใช้ประโยชน์จากธูปฤาษี,” *วารสารพัฒนาที่ดิน*, 31, 351-352, เมษายน-กรกฎาคม.

สัญญา ว่องไวอมรเวช (2543) *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยกระบวนการโคแอกกูเลชั่น-ฟล้อคคูเลชั่น.* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.

สนธิเดช จิตวิมลนิมิต (2547) *ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์โดยใช้ ธูปฤาษีและพุทธรักษา.* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. *ธูปฤาษี.* [ออนไลน์] ได้จาก http://web3.dnp.go.th/botany/detail.aspx?words=%E0%B8% 98%E0%B8%B9%E0%B8%9B%E0%B8%A4%E0%B8% B2%E0% B8%A9%E0%B8%B5&typeword=group [สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2555].

ศุวศา กานตวนิชกูร (2538) *การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา.* เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิรินภา พงษ์พีระ (2553) *การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สาหร่ายสไปรูไลน่า.* ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อนัญยา ภัคดีศรี (2542) *การเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนของไข่น้ำที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนผสมปุ๋ยเคมี.* ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อาทิตย์ สีมารักษ์ และคณะ (2550) *การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินที่มีการไหลตามแนวดิ่ง.* ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

Agnicszka karczmarczyk and Gunno Renman (2011) “Phosphorus Accumulation Pattern in a Subsurface Constructed Wetland Treating Residential Wastewater,” *Water*, 3(1), 146-156.

Amstong, W., Amstrong J. and Beckett P.M. (1990) *Measurement and modeling of oxygen release from roots of Phragmites australis*. Constructed Wetlands in Water Pollution Control. Pergamon Press, Oxford, UK.

Cooper, P.E. and Boon, A.G. (1997) *The Use of Phragmites for Wastewater Treatment by the Root Zone Method: the UK approach*. In Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery, Magnolia Public Inc., Orlando: Magnolia.

Hench, K.R., Bissonnette, G.K., Sexstone, A.J., Coleman, J.G., Garbutt, K. and Skousen, J.G. (2003) “Fate of Physical, Chemical, and Microbial Contaminants in Domestic Wastewater Following Treatment by Small Constructed Wetlands,” *Water Research*, 21, 921-927.

Lee, C., Lee, F., Tseng, S. and Liao, C. 2004, “Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads,” *Bioresource Technology*, 92, 173-179.

Mahasarakham University

Losif E. Kapellakis, Nikolaos V. Paranychianakis , Konstantinos P. Tsagarakis and Andreas N. Angelakis. (2012) “Treatment of Olive Mill Wastewater with Constructed Wetlands,” *Water*, 4(1), 271.

Ottova, V., Bacarova, J. and VymaZal. (1997) “Microbial Characteristic of Constructed wetlands,” *Water Science and Technology*, 35, 117-123.

Reed, S.C., E. J. Middlebrooks and R.W. Crites. (1988) *Natural System for Waste Management and Treatment*. New York: McGraw-Hill Inc.

Roger, F.E.J., Roger, K.H. and Buzer, J.S. (1985) *Wetlands for Wastewater Treatment. Johanesburg*, South Africa: Witwatersard University Press.

U.S. EPA. (1988) “Design Manual,” *Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment*. S.l. Cincinnati OH.EPA/625/ 1-88/ 022.

U.S. EPA. (1993) “Subsurface Flow Constructed Wetland for Wastewater Treatment,” *A Technology Assesment.* 4(2), 112-120.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B. and Haberi, R. (1998) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Lieden: Backhuys Publishers.

Vymazal, J. (2002) “The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Replubic: 10 years experience,” *Ecological Engineering*, 18, 633-646.

Mahasarakham University

ภาคผนวก

Mahasarakham University

ภาคผนวก ก
ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

Mahasarakham University

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และสิ่งแวดล้อม
ฉบับที่ ๓ (พ.ศ.๒๕๓๙)
เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท
โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมออกสู่สิ่งแวดล้อม ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑. ในประกาศนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน “นิคมอุตสาหกรรม” หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยนิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน

“น้ำเสีย” หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

“น้ำทิ้ง” หมายความว่า น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรม ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๒. ให้กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๑ ไว้ดังต่อไปนี้

(๑) ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value) ระหว่าง ๕.๕ถึง ๙.๐

(๒) ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

๒.๑ ค่าทีดีเอสไม่เกิน ๓,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๒.๒ น้ำทิ้งซึ่งจะระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน ๒,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้ไม่เกิน ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

Mahasarakham University

(๔) อุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะไม่เกิน ๔๐ องศาเซลเซียส

(๕) สีหรือกลิ่น (Color or Odor) เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะแล้วไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(๖) ซัลไฟด์ (Sulfide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H๒S) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๗) ไซยาไนต์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไอโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่เกิน ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๘) โลหะหนักมีค่าดังนี้

๘.๑ สังกะสี (Zn) ไม่เกิน ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๒ โครเมียม ชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (HexavalentChromium) ไม่เกิน ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๓ โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์ (Trivalent Chromium) ไม่เกิน ๐.๗๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๔ อาร์เซนิค (As) ไม่เกิน ๐.๒๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๕ ทองแดง (Cu) ไม่เกิน ๒.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๖ ปรอท (Hg) ไม่เกิน ๐.๐๐๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๗ แคดเมียม (Cd) ไม่เกิน ๐.๐๓ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๘ แบเรียม (Ba) ไม่เกิน ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๙ เซเลเนียม (Se) ไม่เกิน ๐.๐๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๑๐ ตะกั่ว (Pb) ไม่เกิน ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๑๑ นิกเกิล (Ni) ไม่เกิน ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

๘.๑๒ แมงกานีส (Mn) ไม่เกิน ๕.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๙) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ไม่เกิน ๕มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน ๑๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๐) ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๑) สารประกอบฟีนอล (Phenols) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๒) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๓) สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide) ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด

(๑๔) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๒๐มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๕) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

Mahasarakham University

(๑๖) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๑๒๐มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๓. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมต้องเป็นไปตามข้อ ๒ เว้นแต่ค่าบีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๔. การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๒ และจากนิคมอุตสาหกรรมตามข้อ ๓ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(๒) การตรวจสอลค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ ๑๐๓ องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียส ในเวลา๑ ชั่วโมง

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(๔) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(๕) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการ ไตเตรท (Titrate)

(๖) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตราด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทูริคแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(๗) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

๗.๑ การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียมแบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเร็คแอสไพเรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สแปคโตร์โคบี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๗.๒ การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่นสเปคโตร์โฟโตเมตตรี (Atomic AbsorptionSpectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อีมิสชั่น สแปคโตร์โคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๗.๓ การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิคแอบซอฟชั่นโคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Clod Vapour Technique)

(๘) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(๙) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(๑๐) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี ๔-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, ๔-Aminoantipyrine)

(๑๑) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโตเมตริค (Iodometric Method)

(๑๒) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

Mahasarakham University

(๑๓) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ

(๑๔) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาห์ล (Kjeldahl)

(๑๕) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dicromate Digestion)

ข้อ ๕. การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากนิคมอุตสาหกรรม ตามข้อ ๔ จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods fofthe Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และWater Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ข้อ ๖. วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ความถี่ และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศ ณ วันที่ ๓ มกราคม พ.ศ.๒๕๓๙
ยิ่งพันธ์ มนะสิการ
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

Mahasarakham University

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างภาพประกอบการทดลอง

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.1 การปล่อยน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตสู่พื้นที่ด้านหลังอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน

ภาพประกอบภาคผนวก ข.2 ขั้นตอนการแช่ข้าว

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.3 ขั้นตอนการทับแป้ง

ภาพประกอบภาคผนวก ข.4 เครื่องโม่แป้ง

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.5 แป้งที่ผ่านการตีเรียบร้อยแล้ว

ภาพประกอบภาคผนวก ข.6 เครื่องตีแป้ง

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.7 กระทะสำหรับโรยเส้นขนมจีน

ภาพประกอบภาคผนวก ข.8 เตาสำหรับโรยเส้นขนมจีน

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.9 บ่อจำลองที่ใช้ทดลอง

ภาพประกอบภาคผนวก ข.10 ลักษณะต้นธูปฤาษีเมื่อนำน้ำเสียจากขั้นตอนการผลิตขนมจีนลงบ่อ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.11 การสร้างบ่อทดลอง

ภาพประกอบภาคผนวก ข.12 การปูพื้นด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน

Mahasarakham University

ภาพประกอบภาคผนวก ข.13 รากของธูปฤาษี

ภาพประกอบภาคผนวก ข.14 น้ำในถังเก็บกักที่เหลือจากการทดลอง

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นางสาวปวีณา น้อยสำแดง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2529
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2552	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา
พ.ศ. 2556	ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (ส.ม.) สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	นักวิชาการศึกษา โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 88 หมู่ที่ 1 ตำบลบ้านขาม อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ 36130

Mahasarakham University