การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนโดยระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

อารียา อริยะโคตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนโดยระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

อารียา อริยะโคตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนโดยระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

อารียา อริยะโคตร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีกาญจนา คล้ายเรือง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวนิตย์ ธาราฉาย)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากชุมชนโดยระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช
ชื่อผู้เขียน นางสาวอารียา อริยะโคตร
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์

บทคัดย่อ

ขนมจีนเป็นหนึ่งในอาหารที่ประชาชนในเขตภาคเหนือนิยมบริโภค จึงทำให้ปัจจุบันมีการทำอุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีนระดับครัวเรือนเพิ่มมาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนมีการใช้น้ำในปริมาณมากทำให้เกิดน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และสารอาหารในปริมาณสูง ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะในชุมชน โดยไม่มีการบำบัดจะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำในชุมชน งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ต้องการศึกษาศักยภาพของพืชสำหรับการพัฒนาเป็นระบบฟื้นฟูทางชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสีย และ 2) ต้องการศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน โดยได้ดำเนินการศึกษาโดยใช้พื้นที่ศึกษาและน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน ณ หมู่บ้านน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ในการศึกษาได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ทั้งในส่วนห้องปฏิบัติการและในพื้นที่จริง โดยการทดลองส่วนแรกจะเป็นการคัดเลือกพืชสำหรับงานทางภูมิทัศน์และพืชที่ใช้สำหรับการบริโภคทั้งหมด 16 ชนิด ทดสอบความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระดับห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็น ชุดควบคุม (น้ำประปา) และชุดน้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นขนมจีน ที่ควบคุมความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร และทำการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน จำนวน 2 ซ้ำ ตัวอย่างน้ำก่อนและหลังการทดลอง จะถูกเก็บและนำมาวิเคราะห์หาคุณภาพทางกายภาพและเคมี นอกจากนี้ตัวอย่างพืชก่อนและหลังการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาการเจริญทั้งในแง่ความสูงต้นและความยาวราก สำหรับการทดลองส่วนที่ 2 จะนำพืชที่ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการมาทดสอบในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน จะทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 เดือน โดยจะวัดคุณภาพน้ำทั้งหมด 4 จุด ตลอดจนวัดการเจริญเติบโตของพืชทุกสัปดาห์

จากการสำรวจน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนทั้งหมด 4 จุดในเบื้องต้น พบว่าค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำทิ้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.92±0.76 และ 33.3±2.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของซีโอดี ไนเตรท ฟอสเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย และทีเคเอ็นเท่ากับ 2,992±156.01 มิลลิกรัม/ลิตร 85.7±10.13 มิลลิกรัม/ลิตร 1.65±0.14 มิลลิกรัม/ลิตร

7,806±3857.58 มิลลิกรัม/ลิตร 156±50.23 มิลลิกรัม/ลิตร และ 23.29±2.75 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 1 พบว่าพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์ที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุดคือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีคิดเป็นร้อยละ 85±14.99, 90±48.36 และ 65±0.81 ตามลำดับ และพบว่ามีความยาวราก และความสูงของต้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 21±14.99 เซนติเมตร และ 57±40.54 เซนติเมตร ส่วนพืชที่ใช้สำหรับการบริโภคที่พบว่ามีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ร้อยละ 86±11.31, 69±0.87 และ 79±0.17 ตามลำดับ โดยมีความยาวรากและความสูงของต้นที่เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.63±3.98 เซนติเมตร และ 11.33±8.01 เซนติเมตร เนื่องจากพืชทั้ง 16 ชนิด มีประสิทธิภาพการในบำบัดค่อนข้างดีและมีการเจริญเติบโตได้เกินร้อยละ 50 พืชทั้งหมดจึงถูกนำมาทดลองในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

สำหรับผลการทดลองที่ 2 พบว่าระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชสามารถกำจัดสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนเตรท ฟอสเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอย ได้ร้อยละ 87±40.3, 63.8±2.51, 43.2±0.25, 68±38.1 และ 89.7±24.7 ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนแปลงพีเอช และอุณหภูมิออกระบบอยู่ในช่วง 5.46-6.77 และ 21.8-30.2 องศาเซลเซียส สำหรับพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือ ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) ส่วนพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ได้แก่ ลานไพลิน (*Bacopa caroliniana* B.L.Rob.) และ กกราชินี (*Cyperus altrenifolius* L.) โดยมีการเจริญเติบโตคิดเป็นร้อยละ 32.48±13.22, 68.27±49.22 และ 98.84±7.16 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีพืชบางชนิดได้ตายลง เนื่องจากพืชไม่สามารถปรับตัวในสภาวะที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นฉับพลัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช ในการศึกษาครั้งนี้สามารถบำบัด ซีโอดี ไนเตรท ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ แต่ไม่สามารถกำจัดฟอสเฟตออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งในชุมชนได้

คำสำคัญ : น้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน, การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช, น้ำทิ้งชุมชน

Title IMPROVING THE DOMESTIC WATER QUALITY USING PHYTOREMEDIATION
Author Miss Areeya Ariyakot
Degree Master of Science in Environmental Technology
Advisory Committee Chairperson Dr. Mujalin Pholchan

ABSTRACT

Rice noodles is one of Northern Thai favorite foods and its increasing demand has driven a rapid growth in rice noodle household industries. Large quantities of water are being used in the production process resulting in high volume of wastewater containing large amounts of organic compounds. Consequently, this untreated wastewater that is discharged into local water reservoirs can cause water pollution in the domestic area. The objectives of this research were 1) to study the potential of plants for the the application in the phytoremediation system for domestic wastewater treatment. 2) to study the efficiency of the phytoremediation system in treating domestic wastewater contaminated with rice noodle wastewater. This work has been conducted using the real wastewater collecting from Huai Nam Rin Village, Khilek Subdistrict, Mae Rim District, Chiang Mai Province. In the study 2 parts of experiment both in lab and pilot scale have been performed. In order to evaluate the ability of plants species to remove contaminants in the wastewater a total of 16 plants species including landscape and edible plants were selected for lab-scale tests. Each plant was tested using water supply as a control, while real wastewater from rice noodle process was used with the initial COD concentration of 500 milligrams/liter. The experiments were conducted for 30 days with 3 replicates. Water samples were collected before and after the experiments for physical and chemical analysis. Moreover, plant samples before and after treatment were collected for analysis of plant growths in terms of shoot height and root length. The second part was to apply selected plants from the previous experiment to conduct in the pilot model of phytoremediation system. This system has been performed for 8 months and water

samples from 4 points were collected every week for water quality analysis, while plants growth were also measured and reported.

Rice noodle processing wastewater from 4 sampling points showed that the average pH and temperature were 3.92±0.76 and 33.3±2.00 degree Celsius respectively. The average COD, nitrate, phosphate, total solids, suspended solids and TKN were 2,992±156.01milligrams/liter, 85.7±10.13 milligrams/liter, 1.65±0.14 milligrams/liter, 7,806±3857.58 milligrams/liter, 156±50.23 milligrams/liter and 23.29±2.75 milligrams/liter, respectively.

In the first experiment it was found that the highest wastewater treatment efficiency for landscape plants was *Typha angustifolia* L. This plant showed high COD, nitrate and phosphate removal efficiency with the valves of 85±14.99, 90±48.36 and 65±0.81 percentage respectively. The average root length and shoot height increased up to 21±14.99 and 57±40.54 centimeters. Among edible plants *Piper sarmentosum* Roxb. showed greatest performance with highest COD nitrate and phosphate removal efficiency of 86±11.31, 69±0.87 and 79±0.17 percentage, respectively. The average root length and shoot height increased up to 5.63±3.98 centimeters and 11.33±8.01 centimeters. Since great treatment efficiency of all 16 plants species were achieved and each plant had grown more than 50 percentage, most of them were applied in the phytoremediation pilot system.

Results from the second experiment revealed that the phytoremediation system showed high removal efficiency of COD, nitrate, phosphate, total solids and suspended solids with the valves of 87±40.3, 63.8±2.51, 43.2±0.25, 68±38.1 and 89.7±24.7 percentage, respectively. The pH and temperature were obtained in the range of 5.46-6.77 and 21.8-30.2 degrees Celsius. The best adaptive landscape plant was *Piper sarmentosum* Roxb, (with a growth increment of 32.48±13.22 percentage) while *Bacopa caroliniana* B.L.Rob and *Cyperus altrenifolius* L., which are edible plants had the highest growth increment of 68.27±49.22 percentage and 98.84±7.16 percentage, respectively. It was noted that, some plants could not survive because they may not well adapt to a sudden changes of rice noodle wastewater

concentration. Concluded, phytoremediation model in this work showed great potential in the removal of COD, nitrate, total solids and suspended solids.

Keywords : rice noodles wastewater, phytoremediation, domestic wastewater

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ความกรุณาประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์ ที่ได้ช่วยในเรื่องการวางแผนการวิจัยให้ความช่วยเหลือคำแนะนำในการทำวิจัยตลอดระหว่างการดำเนินการวิจัย อีกทั้งยังสละเวลาอันมีค่ารวมทั้งตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สำนักคณะกรรมวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้พิจารณาให้ผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นแหล่งทุนที่สำคัญที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำวิจัยตลอดทั้งโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีกาญจนาคล้ายเรือง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวนิตย์ ธาราฉาย ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือให้การสนับสนุนพร้อมทั้งให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาตลอดระหว่างดำเนินการวิจัยอีกทั้งยังสละเวลาอันมีค่าในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.โสมนัส สมประเสริฐ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธาน คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รมย์ชลีรดา ด่านวันดี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลขี้เหล็ก เจ้าหน้าที่ ผู้นำชุมชนและประชาชนหมู่บ้านห้วยน้ำรินทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทุกท่านที่พร้อมให้คำแนะนำในหลาย ๆ ด้าน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยและคำแนะนำต่าง ๆ ในการใช้อุปกรณ์ระหว่างการทำวิจัย รวมถึง พี่ เพื่อน และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจกันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเกษม อริยะโคตร และคุณแม่ราตรี อริยะโคตร รวมถึงญาติพี่น้องในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนทุนการศึกษา พร้อมทั้งคำแนะนำและเป็นกำลังใจจนทำให้สำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

อารียา อริยะโคตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

สารบัญตารางผนวก ..... ณ

สารบัญรูปภาพผนวก ..... ด

บทที่ 1 บทนำ 1

ความสำคัญและปัญหา 1

วัตถุประสงค์งานวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

ขอบเขตงานวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 5

ประโยชน์และความสำคัญของทรัพยากรทางน้ำ 5

การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน 7

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน 8

ปัญหาทรัพยากรน้ำ 10

แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีน 11

คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน 14

กระบวนการบำบัดมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม 15

1. กระบวนการบำบัดมลพิษทางกายภาพ 15
2. กระบวนการบำบัดมลพิษทางเคมี 16
3. กระบวนการบำบัดมลพิษทางชีวภาพ 17
การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) 19
1. กลไกการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช 20
2. การคัดเลือกพืชเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม 21
3. การเคลื่อนย้ายสารมลพิษจากดินปนเปื้อนสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช 26
4. สารมลพิษที่สามารถบำบัดได้ด้วยพืช 26
4.1 สารมลพิษในกลุ่มสารอินทรีย์ 26
ระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพ (Bioretention และ Biofiltration) 27
ประโยชน์ของระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพ 28
กระบวนการกำจัดมลสาร 29
1. กระบวนการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน 29
2. กระบวนการกำจัดสารประกอบฟอสเฟต 32
3. ซีโอดี 33
4. ปริมาณของแข็งทั้งหมด 34
5. ปริมาณของแข็งแขวนลอย 34
6. ความเป็นกรด-ด่าง 35
7. อุณหภูมิ 36
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 วิธีการวิจัย 48
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน 48
1. อุปกรณ์และเครื่องมือ 48
2. สารเคมี 50

แนวทางการดำเนินการวิจัย 51
ขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่ และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง 51
ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกพืชและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพืช 53
ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบพืชในระดับห้องปฏิบัติการ 60
ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลองเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน 63
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 71
1. ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานเส้นขนมจีนก่อนการบำบัด 71
2. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ 74
2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 74
2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท 76
2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต 77
3. การเจริญเติบโตของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ 78
3.1 การเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก (ชุดควบคุม) 80
3.2 การเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก (น้ำทิ้งขนมจีน) 81
3.3 การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น (ชุดควบคุม) 83
3.4 การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น (น้ำทิ้งขนมจีน) 84
4. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนด้วยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 86
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง 87
4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 88
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 90
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท 91
4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต 93

4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมด 95
4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย 97
5. การเจริญเติบโตของพืชในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองในชุมชน 98
บทที่ 5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 103
สรุปผลการวิจัย 103
ข้อเสนอแนะ 104
บรรณานุกรม 105
ภาคผนวก 115
ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ 116
ภาคผนวก ข ภาพจากการสำรวจพื้นที่ การทดลองพืชในระดับห้องปฏิบัติการ และภาพระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน ณ หมู่บ้านห้วยริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 125
ภาคผนวก ค ผลการทดลองระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 131
ภาคผนวก ง การเผยแพร่ผลงานวิจัย 136
ประวัติผู้วิจัย 151

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน 7

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน 8

ตารางที่ 3 จุดแข็งและจุดอ่อนของพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช 24

ตารางที่ 4 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่ใช้ในการศึกษา 54

ตารางที่ 5 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา 57

ตารางที่ 6 แผนผังการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ 62

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนบริเวณ จุดที่ 1 (น้ำทิ้งจากบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน) กับค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน 73

ตารางที่ 8 ประเภทรากและลักษณะต้นพืชทั้งหมด 16 ชนิด 79

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก ชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน 83

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น ชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน 85

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลา 8 เดือน จาก 4 จุดเก็บตัวอย่าง 87

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ขั้นตอนที่ 1 การผลิตแป้งขนมจีน 12
ภาพที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 การผลิตแป้งเพื่อทำเส้นขนมจีน 13
ภาพที่ 3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตเส้นขนมจีนจากการนำแป้งขนมจีนสำเร็จรูปมาใช้ 14
ภาพที่ 4 กระบวนการทำงานการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วยพืช 21
ภาพที่ 5 การแปลงรูปรวมทั้งกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน 32
ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง 51
ภาพที่ 7 การสำรวจหมู่บ้านห้วยน้ำริน บ้านที่มีอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีนและจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ 52
ภาพที่ 8 พืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่ใช้ในการศึกษา 53
ภาพที่ 9 พืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา 56
ภาพที่ 10 แบบจำลองการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ 61
ภาพที่ 11 การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ .. 61
ภาพที่ 12 ตัวอย่างวิธีการวัดความยาวราก และความสูงของยอด 63
ภาพที่ 13 ลักษณะของวัสดุกรองที่ใช้ในการศึกษา 64
ภาพที่ 14 การเตรียมพื้นที่ขนาด 1.50×6×0.90 เมตร สำหรับระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช 64
ภาพที่ 15 ชั้นกรองและแบบจำลองในชุมชน 65
ภาพที่ 16 ขั้นตอนการปลูกพืช ทั้งหมด 16 ชนิดในระบบจำลองฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช 66
ภาพที่ 17 จุดเก็บตัวอย่างน้ำของระบบจำลองในชุมชน 66
ภาพที่ 18 วิธีการวัดการเจริญเติบโตของพืชส่วนความสูงต้น 67
ภาพที่ 19 การตัดยอดในระบบจำลอง 67
ภาพที่ 20 แบบจำลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน 68

ภาพที่ 21 แบบจำลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน 69
ภาพที่ 22 ตำแหน่งแบบจำลองในชุมชน และจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง 4 จุด..... 70
ภาพที่ 23 บริเวณเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด ในการสำรวจรอบหมู่บ้าน..... 72
ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืช 16 ชนิด 75
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทของพืช 16 ชนิด 77
ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของพืช 16 ชนิด..... 78
ภาพที่ 27 ความยาวรากของพืชทั้งหมด 16 ชนิด ที่ทดสอบจากชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน 82
ภาพที่ 28 ความสูงของต้นพืชทั้งหมด 16 ชนิด ที่ทดสอบจากชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน..... 86
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบ 88
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลอง..... 89
ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน..... 91
ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน.. 92
ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 94
ภาพที่ 34 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการฟื้นฟู 96
ภาพที่ 35 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการ98
ภาพที่ 36 ลักษณะของพืชในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนด้วยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนเมื่อสิ้นการทดลอง 99
ภาพที่ 37 การเจริญเติบโตส่วนความสูงต้นของพืชภูมิทัศน์ ในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วย 102
ภาพที่ 38 การเจริญเติบโตส่วนความสูงต้นของพืชบริโภคได้ ในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วย 102

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 ความเป็นกรด-ด่าง จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 132

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิ จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 132

ตารางผนวกที่ 3 ซีโอดี จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 132

ตารางผนวกที่ 4 ไนเตรท จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 133

ตารางผนวกที่ 5 ฟอสเฟต จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 133

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณของแข็งทั้งหมด จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 133

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 134

ตารางผนวกที่ 8 การเจริญเติบโตส่วนยอดของพืชบริโภคได้ จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 134

ตารางผนวกที่ 9 การเจริญเติบโตส่วนยอดของพืชภูมิทัศน์ จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 135

สารบัญรูปภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 สำรวจหมู่บ้านห้วยน้ำริน และการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น 126

ภาพผนวกที่ 2 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน 126

ภาพผนวกที่ 3 การเตรียมพืช เพื่อใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ 127

ภาพผนวกที่ 4 การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ 127

ภาพผนวกที่ 5 ระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 128

ภาพผนวกที่ 6 การเก็บน้ำตัวอย่างระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน เพื่อนำมาวิเคราะห์ที่กำหนดตามขั้นตอนการทดลอง 129

ภาพผนวกที่ 7 การตัดยอด และการความสูงยอดระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน 129

ภาพผนวกที่ 8 โครงการอบรมและระดมความคิดเห็นชุมชนต่อการพัฒนาชุมชนสีเขียวอย่างยิ่งยืนด้วยระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ 130

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและปัญหา

ภาวะขาดแคลนน้ำในปัจจุบันกำลังเป็นเรื่องที่หลายประเทศให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และนอกจากนี้ยังเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการใช้น้ำในภาคการเกษตร อุตสาหกรรม และการผลิตกระแสไฟฟ้า ตลอดหลายปีที่ผ่านมาในประเทศไทยเกิดปัญหาวิกฤตทางน้ำทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งปัญหาการขาดแคลนน้ำ และปัญหามลพิษทางน้ำ ซึ่งปัญหามลพิษในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งจาก ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรมทั้งการเพาะปลูกหรือการเลี้ยงสัตว์ การคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุหลักจากการขยายตัวของชุมชนเมืองอย่างรวดเร็วรวมไปถึงการวางผังเมืองไม่เป็นระบบ เช่น การสร้างอาคารสถานที่อยู่อาศัยการรุกลำหรือการละเมิดทางกฎหมาย (ดำรงศักดิ์และวรรณภา, 2537) จึงทำให้ปริมาณแหล่งน้ำดีไม่เพียงพอสำหรับการอุปโภคและบริโภค ทั้งกิจกรรมด้านต่าง ๆ ของประชาชนและกิจกรรมจากการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ในปัจจุบันการวางแผนจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำก็ยังไม่ดีพอ อีกทั้งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการขยายตัวของเขตชุมชนและเศรษฐกิจสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากรวมทั้งการเกิดปัญหามลพิษทางน้ำที่สูงขึ้นตามมาเช่นกัน ซึ่งยังต้องการการจัดการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับในแต่ละพื้นที่ จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 ที่มีการผลักดันอุตสาหกรรมอาหารและธุรกิจการแปรรูปแบบ SMEs (Small and Medium Enterprises) ทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารจำพวกแป้งระดับชุมชนเพิ่มปริมาณสูงขึ้น คิดเป็นจำนวน 4,731 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 4 ของผู้ประกอบการ SMEs อุตสาหกรรมอาหารทั้งหมด (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2555) และจากแผนการส่งเสริม SME ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2560-2564) กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีจำนวน 70,519 ราย คิดเป็นเพียงร้อยละ 2.6 ของจำนวน จากผู้ประกอบการ SME ทั้งหมด 2,079,267 ราย ซึ่งในกระบวนการผลิตระดับครัวเรือนเหล่านี้มักจะไม่มีการบำบัดน้ำเสียและของเสียอย่างถูกวิธีทำให้มีการปล่อยน้ำเสีย และเกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำในชุมชน ดังนั้นเพื่อให้โรงงานผลิตเส้นขนมจีนสามารถดำเนินกิจการและอยู่ร่วมกับชุมชนได้ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันผลกระทบจากของเสียที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม ดังนั้นงบประมาณสำหรับการจัดการน้ำเสียทั้งใน

ส่วนของการก่อสร้าง การควบคุมดูแลระบบและการกำจัดของเสียอื่น ๆ จึงมีส่วนสำคัญต่อการตัดสินในเลือกรูปแบบการจัดการน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่มีทิศทางไปสู่ความยั่งยืน ซึ่งเป็นการผลักดันการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco Industrial Town) เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยระยะแรกให้ความสำคัญกับเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ 5 จังหวัดนำร่อง ได้แก่ จังหวัดระยอง สมุทรปราการ สมุทรสาคร ปราจีนบุรี และฉะเชิงเทรา โดยการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการมุ่งสู่อุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry) เพื่อขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมไปสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ โดยเป็นการประกอบกิจการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม (เชิญ, 2559) ดังนั้นในช่วงที่ประเทศมีวิกฤตการณ์ด้านการขาดแคลนน้ำและคุณภาพของน้ำลดต่ำลง ระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ต้องใช้พลังงานและสามารถกักเก็บน้ำไว้สำหรับหน้าแล้งจึงน่าจะเป็นหนึ่งในคำตอบของชุมชนและประเทศ

ระบบการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นระบบที่สามารถบำบัดน้ำเสียแล้วยังเป็นระบบที่สามารถเก็บน้ำทางชีวภาพ (Bioretention) ได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันระบบนี้กำลังเริ่มเป็นที่นิยมในหลายๆ ประเทศ เพราะนอกจากจะสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบตามลักษณะของพื้นที่และสภาพภูมิประเทศแล้วยังสามารถลดมลพิษและยังสามารถช่วยปรับปรุงทัศนียภาพในชุมชนให้มีความสวยงามและสร้างพื้นที่สีเขียวในชุมชนได้เช่นกัน (Reed et al., 1988; Yahua C. et al., 2004) การสร้างระบบฟื้นฟูด้วยพืชในรูปแบบของบึงประดิษฐ์จะช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าการปล่อยน้ำเสียทิ้งโดยไม่ได้บำบัดในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ นอกจากนี้ระบบฟื้นฟูด้วยพืชสามารถออกแบบได้ในเกือบทุกพื้นที่ แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วจะมีการปรับระดับดินที่พื้นระบบ และมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในระบบโดยสามารถปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงตามความเหมาะสมของพื้นที่ โดยระบบนี้จะอาศัยหลักการบำบัดด้วยพืช ดิน และจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Konstantinos Makris et al., 2007; Maurizio B. and Davide T. , 2007) อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกชนิดพืช คุณลักษณะของทางสรีระของพืช และคุณสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งการประยุกต์ใช้ระบบการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมและกักเก็บน้ำด้วยพืชสำหรับเขตชุมชนเกษตรกรรมของประเทศไทยยังพบน้อยมาก นอกจากนั้นการเลือกพืชให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของไทยตลอดจนประสิทธิภาพของพืชและการใช้ประโยชน์ของพืชสำหรับชุมชนนับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อให้เกิดความร่วมมือของคนในชุมชนซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและความยั่งยืน (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

งานวิจัยครั้งนี้ต้องการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในชุมชนที่มีการทำอุตสาหกรรมครัวเรือนการผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้ระบบบำบัดที่เลียนแบบธรรมชาติและมีงบ

ลงทุนต่ำ ซึ่งกระบวนการผลิตขนมจีนที่ไม่มีการบำบัดจะมีการปล่อยของเสียที่จะทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่องมากมายโดยเฉพาะปัญหาการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และปัญหามลพิษทางด้านน้ำและขยะมูลฝอยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปล่อยทิ้งน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ และทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ ในส่วนของปัญหาขยะมูลฝอยซึ่งเป็นขยะอินทรีย์ จากเศษแป้งและเส้นขนมจีนที่จะก่อให้เกิดการหมักหมม เน่าเหม็น และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชน โดยทั่วไปค่าซีโอดีที่พบในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2,860 มิลลิกรัม/ลิตร (พัชราภรณ์ และคณะ, 2558) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าหลายชุมชนที่มีอุตสาหกรรมทำเส้นขนมจีนในระดับครัวเรือนจะมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเกิดในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่จะใช้เจือจางความเข้มข้นปริมาณน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนลดลง จึงก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและเกิดปัญหาการร้องเรียนของคนภายในชุมชนและชุมชนรอบข้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียและกักเก็บน้ำทางชีวภาพในชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กับชุมชน นอกจากประสิทธิภาพของระบบในการลดมลพิษทางน้ำแล้วนี้ การเลือกพืชยังเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัดและความยั่งยืนของระบบในชุมชนในระยะยาว ดังนั้นศักยภาพของพืชสำหรับการพัฒนาเป็นพืชที่ใช้น้ำเสียและกักเก็บน้ำทางชีวภาพในชุมชนจึงได้ถูกศึกษาในงานชิ้นนี้ ซึ่งคาดว่าผลการศึกษาที่ได้จะเป็นหนึ่งวิธีการจัดการน้ำในชุมชนที่มีประสิทธิภาพและเป็นต้นแบบในการพัฒนาการจัดการน้ำในชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพของพืชสำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน

2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในการพืชที่ใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน

2. ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน

3. ได้ต้นแบบระบบฟื้นฟูด้วยพืชสำหรับชุมชน

ขอบเขตงานวิจัย

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการฟื้นฟูคุณภาพน้ำทิ้งชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน ในพื้นที่หมู่บ้านห้วยน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีการทำอุตสาหกรรมครัวเรือนการผลิตเส้นขนมจีน และเป็นชุมชนที่มีการทำเกษตรกรรม

2. ขอบเขตการทดลอง

การศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นแรกจะศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช 16 ชนิด ขั้นตอนที่สองจะดำเนินการทดลองสร้างระบบจำลองระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพด้วยพืชในพื้นที่จริง

3. ขอบเขตเวลา

ระยะเวลาในห้องปฏิบัติการจะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 ระยะเวลาในพื้นที่จริงจะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2560

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ประโยชน์และความสำคัญของทรัพยากรทางน้ำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ พืช และสัตว์ รวมถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ซึ่งภายในเซลล์และภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 60 กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องอาศัยน้ำเป็นสื่อสำคัญเพื่อทำให้กระบวนการต่าง ๆ ดำเนินกิจกรรมไปได้ เช่น กระบวนการสร้างและการย่อยสลายสารอาหารในร่างกาย (Metabolism) การขับถ่ายของเสีย (Excretion) กระบวนการขนส่งและลำเลียงอาหาร (Transportation) เป็นต้น (สมทิพย์, 2553) และนอกจากนี้น้ำยังทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์และเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ซึ่งใช้สำหรับการบริโภคและอุปโภค เพื่อดื่มกิน ประกอบอาหาร ชำระร่างกาย ทำความสะอาด ใช้สำหรับการเกษตร ได้แก่ การเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ แหล่งน้ำเป็นที่อยู่อาศัยของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งคนเราใช้เป็นอาหาร ด้านอุตสาหกรรมต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิต ล้างของเสีย หล่อเครื่องจักร และระบายความร้อน ฯลฯ การทำนาเกลือโดยการระเหยน้ำเค็มจากทะเล หรือระเหยน้ำที่ใช้ละลายเกลือสินเธาว์ น้ำเป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นเส้นทางคมนาคมที่สำคัญ แม่น้ำ ลำคลอง ทะเล มหาสมุทร เป็นเส้นทางคมนาคมที่สำคัญมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เป็นสถานที่ท่องเที่ยว ทัศนียภาพของริมฝั่งทะเล และแหล่งน้ำที่ใสสะอาดเป็นสถานที่ท่องเที่ยว (พลูสุข, 2553) การเกิดวัฏจักรของน้ำทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำบนโลกและทำให้เกิดสภาพภูมิอากาศของโลก และน้ำยังสามารถเจือจางสารพิษและสารเคมีที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (อุดม, 2557) และสามารถแบ่งประเภทแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้ดังนี้ (สมทิพย์ และคณะ , 2553)

1 แหล่งน้ำบนโลก

พื้นที่ผิวโลกที่เป็นพื้นน้ำมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 71 หรือ 2 ใน 3 ส่วนของพื้นที่ผิวโลกทั้งหมด ดังนั้นปริมาณน้ำในโลกจะมีอยู่ประมาณ 1.5 พันล้านลูกบาศก์กิโลเมตร โดยแยกออกเป็นน้ำมหาสมุทรร้อยละ 97.2 และน้ำจืดร้อยละ 3 ซึ่งในส่วนของน้ำจืดมีประมาณร้อยละ 70 ของน้ำจืดทั่วโลกซึ่งเป็นน้ำจืดที่เป็นส่วนของน้ำแข็งไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านใดได้และที่เหลืออีกร้อยละ 30 เป็นน้ำจืดที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น น้ำใต้ดินประมาณ 10.5 ล้านลูกบาศก์กิโลเมตร และน้ำผิวดิน เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ บ่อ หนอง และบึง เป็นต้น ประมาณ 105,340 ลูกบาศก์กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.3 ของปริมาณน้ำจืดทั้งหมด ซึ่งแหล่งน้ำต่าง ๆ และสามารถแบ่งได้ตามสถานที่ที่พบน้ำ

ได้ 4 แหล่งดังนี้ แหล่งน้ำผิวดิน (surface water) แหล่งน้ำใต้ดิน (underground water) แหล่งน้ำจากทะเลและแหล่งน้ำจากฟ้า

2. แหล่งน้ำผิวดิน (surface water)

แหล่งน้ำผิวดิน คือ น้ำจากแม่น้ำต่าง ๆ ลำน้ำธรรมชาติ หนองน้ำ ห้วย คลอง บึง ตลอดจนอ่างเก็บน้ำบริเวณดังกล่าวถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุด น้ำจืดที่แช่ขังอยู่ตามแอ่งน้ำบนผิวโลกนี้ มาจากน้ำฝน หิมะ และการไหลซึมออกมาจากน้ำใต้ดินแล้วจึงไหลไปรวมกันตามแม่น้ำลำคลอง

3. แหล่งน้ำใต้ดิน (underground water)

แหล่งน้ำใต้ดิน คือ น้ำใต้ดินเกิดจากน้ำผิวซึมผ่านดินชั้นต่าง ๆ ลงไปถึงชั้นดินหรือหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ซึ่งน้ำใต้ดินนี้ จะไปสะสมตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของเนื้อดิน โดยเฉพาะชั้นดินที่เป็นกรวด ทราย และหิน ปริมาณของน้ำที่ขังอยู่ในชั้นของดินหรือชั้นของหินดังกล่าวจะค่อย ๆ เพิ่มปริมาณมากขึ้นในฤดูฝน และมีปริมาณลดลงในฤดูแล้ง ปกติน้ำใต้ดินจะมีการไหลถ่ายเทระดับได้เช่นเดียวกับน้ำผิวดิน ในเขตชนบทได้อาศัยน้ำใต้ดินเป็นน้ำดื่ม เนื่องจากแหล่งน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำที่สะอาด โดยน้ำที่ขังอยู่ใต้ดินมาจากน้ำฝนที่ซึมผ่านการกรองของชั้นดิน หิน กรวด และทรายมาหลายชั้น

4. แหล่งน้ำจากทะเล

ทะเลและมหาสมุทรเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่ของวงจรน้ำในโลก ซึ่งถ้าหากขาดวงจรนี้แล้วพื้นดินจะขาดความอุดมชุ่มชื้น ในขณะเดียวกันกระแสน้ำในมหาสมุทรเป็นปัจจัยสำคัญที่ กำหนดสภาพภูมิอากาศ

5. แหล่งน้ำในบรรยากาศ

แหล่งน้ำในบรรยากาศ คือ น้ำฝนซึ่งเป็นน้ำที่ได้รับจากการกลั่นของไอน้ำในบรรยากาศโดยตรง น้ำฝนเป็นแหล่งน้ำจืดที่สำคัญที่มนุษย์ใช้ในการอุปโภคบริโภค

การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ตารางที่ 1 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์ได้ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์ได้ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์ได้ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[/2]ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
		1	2	3	4	5
1. สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	ธ	ธ’	ธ’	ธ’	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	องศาเซลเซียส	ธ	ธ’	ธ’	ธ’	-
3. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	ธ	5-9	5-9	5-9	-
4. ออกซิเจนละลาย (DO)[2/]	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5. บีโอดี (BOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มิลลิลิตร	ธ	5,000	20,000	-	-
7. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มิลลิลิตร	ธ	1,000	4,000	-	-
8. ไนเตรต (NO_3)ในหน่วยไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.5		-
9. แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.5		-
10. ฟีนอล (Phenols)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.005		-
11. ทองแดง (Cu)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.1		-
12. นิคเกิล (Ni)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.1		-
13. แมงกานีส (Mn)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		1.0		-
14. สังกะสี (Zn)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		1.0		-
15. แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.005* / 0.05**		-
16. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.05		-
17. ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.05		-
18. ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.002		-

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[/2]ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
		1	2	3	4	5
19. สารหนู (As)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.01		
20. ไซยาไนด์ (Cyanide)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.005		-
21. กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) -ค่ารังสีเบตา (Beta)	เบคเคอเรล/ลิตร	ธ		0.1/1.0		-
22. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มิลลิกรัม/ลิตร	ธ		0.05		
23. ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ลิตร	ธ		1.0		
24. บีเอชซีชนิดแอลฟ่า (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ลิตร	ธ		0.02		-

ที่มา: (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

หมายเหตุ: [1/] คือ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

[2/] คือ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ คือ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' คือ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* คือ น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร

** คือ น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร องศาเซลเซียส

MPN เอ็ม. พี. เอ็น หรือ Most Probable Number

วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA: American Public Health

Association, AWWA: American Water Works Association และ WPCF: Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

ปัญหาทรัพยากรน้ำ

ถึงแม้ว่าน้ำจะมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตมากมาย แต่น้ำก็สามารถสร้างปัญหาให้กับสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกัน เช่น น้ำเป็นพาหะนำโรคต่าง ๆ คือ อหิวาตกโรค (Cholera) เป็นต้น โรคที่เกิดจากน้ำไม่เพียงแต่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคเท่านั้น สามารถเกิดจากสารเคมีเป็นพิษได้อีกด้วย ซึ่งสารเคมีเหล่านั้นได้เกิดการปนเปื้อนในน้ำเป็นจำนวนมากเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ โรคที่เกิดจากสารเคมีเป็นพิษ (Chemical poisoning) เกิดจากสารเคมีที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำและกลับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์โดยการบริโภคน้ำที่มีสารเคมีเหล่านั้นปนเปื้อนอยู่ สารพิษที่ทำให้เกิดโรคสารเคมีเป็นพิษสามารถแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ สารพิษปราบศัตรูพืช (Pesticides) และ โลหะหนัก (Heavy metal) (สมทิพย์ และคณะ, 2553) ส่วนน้ำที่มีลักษณะขุ่นข้น มีสารอินทรีย์และสารแขวนลอยเจือปนอยู่ในปริมาณมาก จะส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ส่วนน้ำที่มีสารมลพิษจำพวกโลหะหนักปนเปื้อนนั้นส่งผลเสียต่อสัตว์น้ำและมนุษย์ เช่น การเกิดโรคมินามาตะ (อุดม, 2557) ในปี พ.ศ. 2523 แม่น้ำเกลัง ประเทศมาเลเซีย พบมีปริมาณสารปรอทสูงมากน้ำ โดยสามารถเทียบเท่าการใช้น้ำในแม่น้ำ 1 ขวด สามารถเป็นยาฆ่าแมลงได้ ประชาชนในประเทศแถบทวีปแอฟริกาประมาณ 80 ล้านคน จึงถูกจัดอยู่ในประเภทเสี่ยงต่อการเป็นอหิวาตกโรคและมีประชาชนถึงมาก 16 ล้านคน/ปี ที่เป็นโรคไทฟอยด์เป็นผลมาจากการใช้น้ำที่ไม่สะอาดในการอุปโภคบริโภค เป็นต้น (สุธีลา และคณะ, 2544) ซึ่งการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการระบายน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ โดยไม่มีการบำบัด หรือปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้ (นงนภัส, 2554)

1. ปัญหาความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำผิวดิน เนื่องจากขาดการดูแลรักษา เช่น การพังทลายบริเวณริมตลิ่งทำให้ลำน้ำตื้นเขิน การเกิดสันดอนจากการสะสมของตะกอนดิน การมีวัชพืชน้ำหนาแน่นขัดขวางการไหลของกระแสน้ำ การก่อสร้างบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ และการบุกรุกเพื่อใช้พื้นที่แม่น้ำ รวมทั้งมีการพัฒนาและการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำโดยไม่พิจารณาถึงความเหมาะสมของสภาพลุ่มน้ำ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. ปัญหาคุณภาพน้ำผิวดินเสื่อมโทรม เนื่องจากได้รับการปนเปื้อนจากมลพิษจากน้ำทิ้งชุมชน การเกษตรและอุตสาหกรรม

3. ปัญหาการขาดแคลนน้ำ สำหรับอุปโภคบริโภคและสำหรับการเกษตรกรรม เนื่องจากการกักเก็บน้ำไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถกักเก็บน้ำฝนที่มีปริมาณมากในช่วงฤดูฝนไว้ใช้ได้

4. ปัญหาน้ำท่วมขังในฤดูฝน มีสาเหตุส่วนหนึ่งเนื่องจากการระบายน้ำของลำน้ำช้า ซึ่งอาจจะเกิดจากมีการสะสมของตะกอน การก่อสร้างสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำ

5. ประชาชนยังขาดความรู้ ความเข้าใจในการอนุรักษ์แหล่งน้ำ และการมีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและเหมาะสม

6. ปัญหาการขาดการปรับปรุงบำรุงรักษาระบบส่งน้ำที่มีอยู่ทำให้ไม่สามารถส่งน้ำได้เต็มศักยภาพเนื่องจากขาดงบประมาณ และขาดระบบบริหารจัดการของกลุ่มผู้ใช้น้ำ

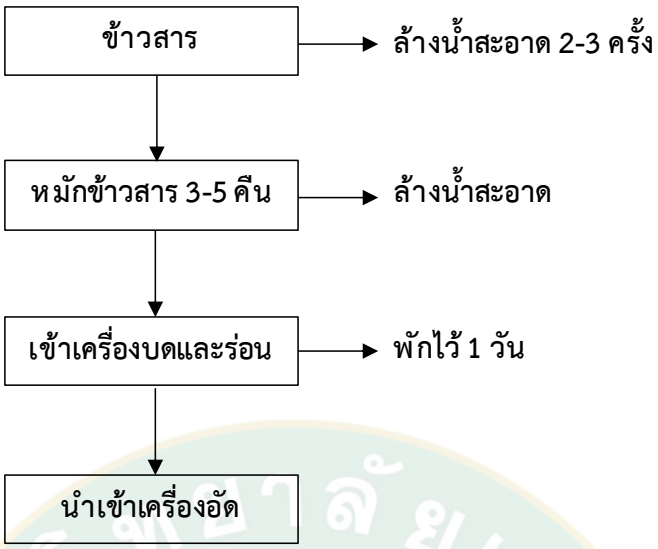
แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีน

กระบวนการผลิตแป้งและเส้นขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวสาร จึงถือได้ว่าข้าวสารเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต สารประกอบหลักของข้าวและแป้งข้าว คือ คาร์โบไฮเดรตในรูปของสตาร์ช ซึ่งประกอบด้วย อไมโลส (amylose) และอไมโลเปกติน (amylopectin) ข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณของอไมโสสและอไมโลเปกตินที่แตกต่างกัน ทำให้คุณภาพของข้าวหุงสุกและแป้งข้าวในด้านสี ความใส ความหนืด และการให้ลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน ดังนั้นโรงงานผลิตแป้งและเส้นขนมจีนส่วนใหญ่ จึงให้ความสำคัญในการคัดเลือกพันธุ์ข้าว สำหรับพันธุ์ข้าวที่เลือกใช้ส่วนใหญ่จะเป็นข้าวพันธุ์ที่มีอไมโลสในปริมาณสูง เช่น พันธุ์เหลืองประทิว เมื่อนำมาทดสอบโดยวิธีการหุงสุกข้าวที่ได้จะค่อนข้างแข็งและร่วนกว่าข้าวสุกจากพันธุ์ที่มีปริมาณอไมโลสต่ำกว่า เช่น ข้าวหอมพันธุ์ข้าวดอกมะลิ เป็นต้น

ขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตของแป้งและเส้นขนมจีนในประเทศไทยสามารถแยกพิจารณาได้ 3 ลักษณะ คือ การผลิตแป้งขนมจีน (ข้าว-แป้ง) การผลิตเส้นขนมจีน (ข้าว-แป้ง-เส้น) และปัจจุบันเริ่มมีการผลิตเส้นขนมจีนจากการนำแป้งขนมจีนที่สำเร็จรูปมาผลิตเส้นขนมจีน (แป้ง-เส้น) ขั้นตอนดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการผลิตแป้งขนมจีน

ขั้นตอนการผลิตแป้งขนมจีน ซึ่งเริ่มต้นด้วยการนำปลายข้าวสารมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง เมื่อข้าวสะอาดดีแล้วจึงนำไปหมักเป็นเวลา 3-5 วัน ให้ข้าวเปื่อย เมื่อหมักได้ที่แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลังจากนั้น จึงนำไปเข้าเครื่องบดและร่อน ก่อนที่จะนำไปพักไว้ในบ่อพักอีก 1 วัน หลังจากนั้นจึงถ่ายน้ำออกแล้วนำแป้งเข้าเครื่องอัด เพื่อบีบน้ำออกอีกครั้งหนึ่งจนได้เป็นก้อนแป้งเพื่อนำมาผลิตและจำหน่ายสำหรับนำไปทำเส้นขนมจีนต่อไป ดังภาพที่ 1

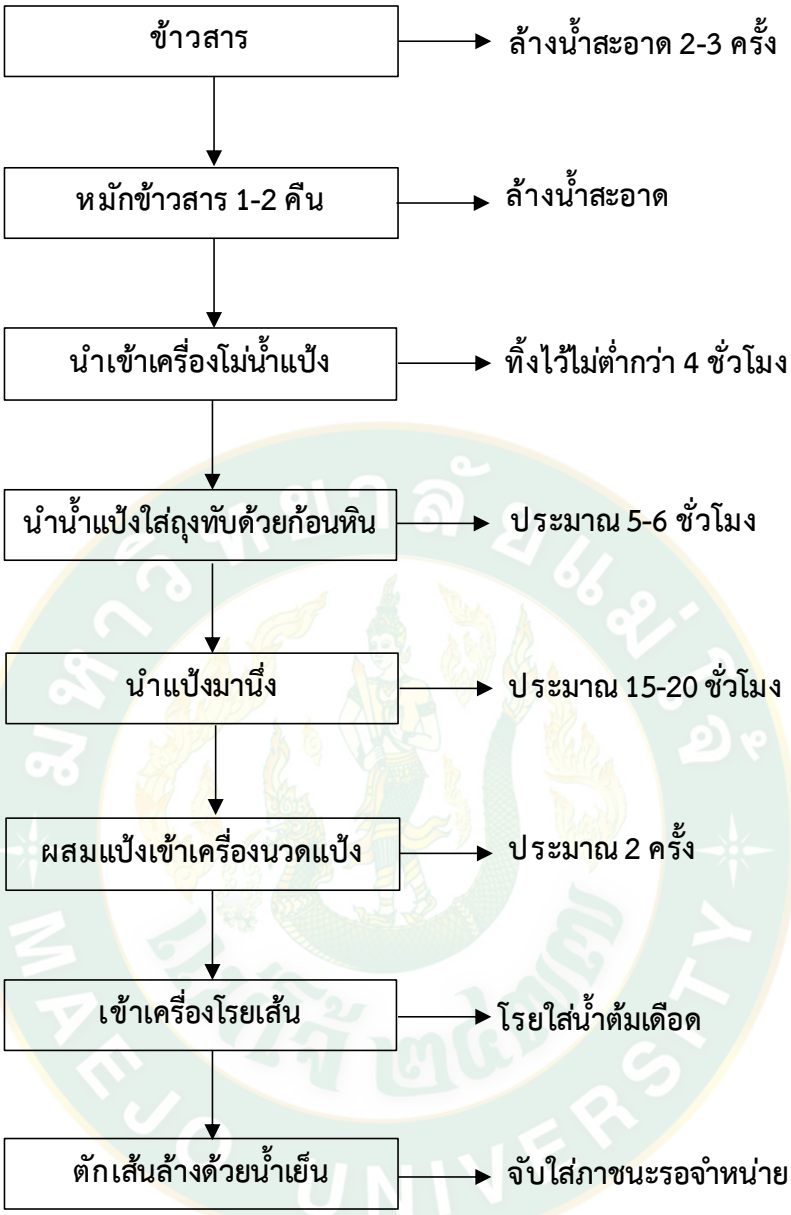


ภาพที่ 1 ขั้นตอนที่ 1 การผลิตแป้งขนมจีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2. ขั้นตอนการผลิตแป้งเพื่อทำเส้นขนมจีน

ขั้นตอนการผลิตแป้งเพื่อทำเส้นขนมจีน ซึ่งเริ่มต้นด้วยการนำปลายข้าวสารมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง เมื่อข้าวสะอาดดี แล้วจึงนำไปหมักเป็นเวลา 1-2 คืน ให้ข้าวเปื่อย เมื่อหมักได้ที่แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลังจากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องโม่ให้ละเอียดจะได้น้ำแป้งตั้งพักน้ำแป้งที่ได้ทิ้งไว้ในถังพักไม่ต่ำกว่า 4 ชั่วโมง เพื่อให้แป้งตกตะกอนแยกกับน้ำกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำไปใส่ถุงผ้าแล้วนำของที่มีน้ำหนักมาทับที่ถุงผ้านานเป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง เพื่อให้แห้งจะได้เป็นเนื้อแป้งหมาด ๆ จับกันเป็นก้อน เมื่อได้เนื้อแป้งที่จับกันเป็นก้อนแล้วนำไปนึ่งประมาณ 15-20 นาที ให้แป้งครึ่งสุกครึ่งดิบหลังจากนั้นนำแป้งที่จับตัวกันเป็นก้อนแล้วมาเข้าเครื่องนวดแป้งพร้อมกับผสมน้ำร้อนให้เป็นแป้งเหลว แล้วผ่านเครื่องกรองแป้งละเอียดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อแยกเศษแป้งที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันออก นำแป้งที่ผ่านการกรองครั้งที่ 2 แล้วเข้าเครื่องโรยเส้น โดยแป้งจะถูกรีดผ่านแว่นโรยออกมาเป็นเส้นขนมจีนลงในกระทะน้ำเดือดที่ต้มรออยู่ เมื่อต้มเส้นขนมจีนสุกดี แล้วจึงใช้ภาชนะตักขึ้นมาล้างในน้ำเย็นที่เตรียมไว้เทใส่ภาชนะที่มีน้ำเย็นสะอาดอยู่ เพื่อเตรียมจับเป็นหัวใส่ภาชนะไว้รอจำหน่ายต่อไป ดังภาพที่ 2



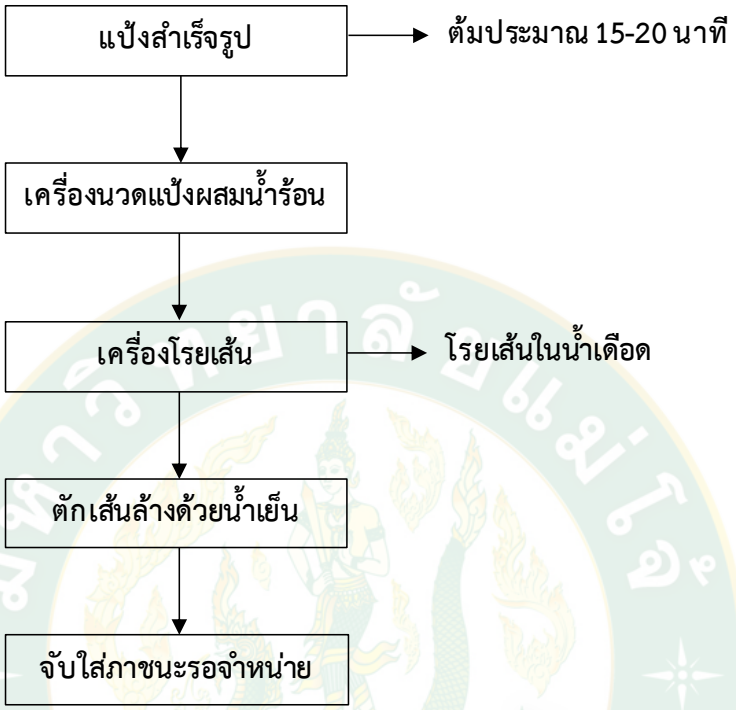
ภาพที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 การผลิตแป้งเพื่อทำเส้นขนมจีน

ที่มา : ดัดแปลงจาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

3. ขั้นตอนการผลิตเส้นขนมจีนจากการนำแป้งขนมจีนสำเร็จรูปมาใช้

ขั้นตอนการผลิตเส้นขนมจีนจากการนำแป้งขนมจีนที่สำเร็จรูปมาใช้ซึ่งเริ่มต้นด้วยการนำแป้งสำเร็จรูปมาทำการนึ่งหรือต้มเป็นเวลาประมาณ 15-20 นาที แล้วมาเข้าเครื่องนวดแป้งพร้อมกับผสมน้ำร้อนให้เป็นแป้งเหลว แล้วผ่านเครื่องกรองแป้งละเอียดเพื่อแยกเศษแป้งที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันออกและเข้าเครื่องโรยเส้น โดยแป้งจะถูกรีดผ่านแว่นโรยออกมาเป็นเส้นขนมจีนลงในกระทะน้ำเดือด

ที่ต้มรออยู่ เมื่อต้มเส้นขนมจีนสุกดีแล้ว จึงใช้ภาชนะตักขึ้นมาล้างในน้ำเย็นที่เตรียมไว้เทใส่ ภาชนะที่มีน้ำเย็นสะอาดอยู่ เพื่อเตรียมจับเป็นหัวใส่ ภาชนะไว้รอจำหน่ายต่อไป ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตเส้นขนมจีนจากการนำแป้งขนมจีนสำเร็จรูปมาใช้

ที่มา : ดัดแปลงจาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน

ขนมจีนเป็นอาหารพื้นบ้านของไทยที่เป็นเอกลักษณ์และวัฒนธรรมในการบริโภคแทนข้าว การผลิตเส้นขนมจีนใช้วัตถุดิบหลักคือ ปลายข้าวหรือข้าวหัก ซึ่งเป็นอาหารประเภท คาร์โบไฮเดรต จากขั้นตอนการผลิตนั้นต้องใช้น้ำจำนวนมากในกระบวนการผลิต ตั้งแต่กระบวนการล้างทำความสะอาด การแช่ข้าว การโม่เปียก การต้มน้ำ การนึ่ง และการล้างเครื่องอุปกรณ์การผลิต (ดังภาพที่1, 2 และ 3) นอกจากนั้นยังมีการใส่เกลือ เพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิตเส้นขนมจีน กรรมวิธีการผลิตขนมจีนจะมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นในขั้นตอนต่าง ๆ มากมายทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนมีค่า สารอินทรีย์สูง และเน่าเสียง่าย โดยทั่วไปลักษณะสมบัติของน้ำเสียจะมีลักษณะสีขาวขุ่น และมีกลิ่นเหม็น ในปัจจุบันการผลิตขนมจีนมีปริมาณการผลิตมากขึ้น เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้นด้วย ที่ผ่านมาพบว่าโรงงานผลิตขนมจีนบางแห่งได้ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้มี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาการจัดการน้ำเสียอุตสาหกรรมครัวเรือน

พบว่าโรงงานผลิตขนมจีนเป็นโรงงานที่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากแป้งหมัก กระบวนการผลิตทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซกคาไรด์สูงมากส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าบีโอดี และค่าซีโอดี พบว่ามีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 23,253 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าซีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 17,109 มิลลิกรัม/ลิตร (ชิษณุพงศ์, 2559) จากการสำรวจโรงงานผลิตขนมจีนในเขตเทศบาลนครขอนแก่น ซึ่งมีอัตราการผลิตขนมจีน วันละ 200-300 กิโลกรัม/โรงงาน พบว่า มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต 3-5 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งเกิดจากน้ำแช่ข้าวประมาณ 1.5-2 ลูกบาศก์เมตร น้ำล้างโม่ประมาณ 0.5-1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำจากการล้างและการจับเส้นอีกประมาณ 1-2 ลูกบาศก์เมตร และนอกจากนี้ น้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนที่ปล่อยออกมายังมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วง 90-950 องศาเซลเซียส (ธีรนาถ, 2557)

กระบวนการบำบัดมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ กระบวนการต่าง ๆ มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกใช้กระบวนการนั้น ๆ หรือสามารถใช้หลายๆ กระบวนการร่วมในการบำบัด ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักหลายปัจจัย เช่น ลักษณะคุณสมบัติของสารมลพิษที่ต้องการบำบัด ลักษณะคุณสมบัติของสารตัวกลางที่ปนเปื้อน บริเวณที่มีการปนเปื้อน ประสิทธิภาพในการบำบัด (หลังจากบำบัดแล้วจะยังคงเหลือความเข้มข้นของสารมลพิษอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่) ระยะเวลาในการบำบัด การลงทุนและงบประมาณในการบำบัดและผลกระทบอื่น ๆ ในระหว่างการบำบัดและผลกระทบที่จะตามมา เช่น การเกิดสารที่ได้จากการบำบัดซึ่งอาจจะเกิดเป็นสารมลพิษที่มีความรุนแรงกว่าสารตั้งต้น และการยอมรับจากประชาชนในสิ่งแวดล้อมดังกล่าว (Public acceptance) เป็นต้น โดยลักษณะการบำบัดจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ In situ และ Ex situ (อลิสา, 2554) และสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (สันทัด, 2557)

1. กระบวนการบำบัดมลพิษทางกายภาพ

การจำกัดของเสียหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทางกายภาพ เช่น การดักแยกด้วยตะแกรง การกวาดเก็บ การทำให้ลอย การตกตะกอน การแยกด้วยการเหวี่ยง และการกรอง กระบวนการทางกายภาพนี้มักจะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการบำบัดสารมลพิษทางกายภาพสามารถแบ่งออกได้เป็นวิธีต่าง ๆ เช่น การบำบัดที่อุณหภูมิสูง (Thermal treatment) การทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) การเป่าอากาศ (Air sparging) การสกัดไอ (Vapor extraction) วิธีการล้างดิน (Washing/Pump and Treat) Electroremediation

Particle sorting เป็นต้น การบำบัดสารมลพิษโดยกระบวนการทางกายภาพมีข้อดี คือ กระบวนการบำบัดทางการชีวภาพ ซึ่งเป็นการบำบัดสารมลพิษที่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ แต่มีข้อเสียและข้อจำกัด ได้แก่

1.1 การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพเป็นวิธีการที่ต้องมีการลงทุนทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดสูงกว่าทั้ง 2 วิธี

1.2 การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพด้วยการเผาอาจก่อให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารมลพิษที่อาจมีความเป็นพิษมากกว่าสารตั้งต้นเดิม

1.3 การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพด้วยการเผาจะทำให้เกิดอนุภาคซึ่งเกิดเป็นมลภาวะในอากาศ

1.4 การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพด้วยการฝังกลบต้องการพื้นที่เป็นบริเวณกว้างและต้องมีการตรวจติดตามอย่างต่อเนื่องเพื่อไม่ให้มีการรั่วไหลของน้ำชะมูลฝอย (Leachate)

1.5 การบำบัดสารมลพิษด้วยวิธีทางกายภาพด้วยการเผาหรือการฝังกลบเป็นวิธีที่อาจไม่ได้รับการยอมรับจากประชาชนในสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ

2. กระบวนการบำบัดมลพิษทางเคมี

การบำบัดสารมลพิษโดยกระบวนการทางเคมีโดยทั่วไปใช้ในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ กระบวนการทางเคมีกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปของสารละลายและสารแขวนลอย หลักการทำงานโดยการทำให้เป็นกลาง การทำให้ตกตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถ แยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($Al_2(SO_4)$) เกลือเหล็ก ($FeCl_3$, $FeSO_4$) และเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี และปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยวิธีการนี้มักจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้สารเคมี ในการเกิดและปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปเป็นสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยลง นอกจากนี้ยังมีวิธีการทำให้สารมลพิษเกิดปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนลักษณะคุณสมบัติของสารมลพิษ และการทำให้สารมลพิษเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นเพื่อตรึงรูป (Immobilization) โดยที่สารมลพิษจะอยู่ในรูปที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม โดยปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดทางเคมีดังนี้

2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ได้แก่ สารเคมีที่เติมลงไปในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อยลง ด้วยคลอรีน แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$2Fe^{2+} + Cl_2 \text{ ---> } 2\ Fe^{3+} + 2Cl^-$$

2.2 ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอม หรือ อิออน ของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วย เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ในสภาพที่เป็นกรด แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$6\ FeSO_4 + 2\ CrO_3 + 6\ H_2SO_4 \text{ -----> } 3\ Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 6\ H_2O$$

2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาของเกลือกับน้ำที่ทำให้สารละลายของเกลือนั้นมีสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน เพราะอิออนบางชนิดได้แตกตัวออกจากเกลือแล้วทำปฏิกิริยากับน้ำได้ H_3O^+ หรือ HO^-

3. กระบวนการบำบัดมลพิษทางชีวภาพ

การบำบัดมลสารโดยกระบวนการทางชีวภาพ เป็นกระบวนการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยอาศัยความสามารถของจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และพืช ในการย่อยสลายมลสารเหล่านั้น ให้หมดไป (Biodegradation หรือ Mineralization) หรือ การเปลี่ยนรูป (Biotransformation) มลสารที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีความเป็นพิษเลย (Detoxification) กระบวนการบำบัดทางชีวภาพมีข้อดีและข้อจำกัด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการบำบัดทางกายภาพและเคมีดังนี้ (อลิสา, 2554)

ข้อดีของการบำบัดมลพิษโดยกระบวนการทางชีวภาพ

1. สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้หลากหลาย (Universal process)
2. สามารถย่อยสลายมลสารได้หลายประเภท
3. สามารถกำจัดมลสารได้อย่างถาวร (Permanent elimination) หากปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

4. สามารถดำเนินการบำบัดได้ทั้งในบริเวณที่มีปนเปื้อนโดยตรง (On-site process; in situ) หรือเคลื่อนย้ายเพื่อบำบัดนอกบริเวณ (Off-site process; ex situ)

5. มีการลงทุนเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินการต่ำกว่ากระบวนการบำบัดทางกายภาพและทางเคมี

6. สร้างระบบการบำบัดทางชีวภาพให้เป็นที่ยอมรับจากประชาชนมากกว่าการใช้กระบวนการอื่น ๆ (Positive public acceptance)

7. มีความเสี่ยงจากผลกระทบอื่น ๆ น้อยกว่า

8. เป็นวิธีที่ไม่ทำลายหรือมีผลกระทบน้อยต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ถูกบำบัด (Minimum site disruption)

9. หากใช้กระบวนการการบำบัดทางชีวภาพในการบำบัด ณ บริเวณที่ปนเปื้อนโดยตรงจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งและลดปัญหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอื่น จากการเคลื่อนย้ายมลสารสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการทางกายภาพและเคมีได้

ข้อจำกัดของการบำบัดมลพิษโดยกระบวนการทางชีวภาพ

1. มลสารบางประเภทไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากการทำงานระบบบำบัดทางชีวภาพจะขึ้นอยู่กับความสามารถของจุลินทรีย์และพืชในการย่อยสลายสารมลพิษ ปริมาณหรือระดับความเข้มข้นของสาร คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารนั้น

2. ลักษณะสมบัติและความจำเพาะของสิ่งแวดล้อมที่ต้องการบำบัด (Site-specific requirement) เพราะประสิทธิภาพการบำบัดทางชีวภาพขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์และพืช เช่น ค่า pH อุณหภูมิ สารอาหาร เป็นต้น

3. การตรวจสอบและติดตาม (Monitoring) สภาวะต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการบำบัด เพื่อควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

4. ข้อจำกัดของความทนทานของจุลินทรีย์ และพืชต่อความเป็นพิษของสารพิษ เพราะจุลินทรีย์และพืชสามารถทนต่อความเป็นพิษของมลสารนั้น ๆ ได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น และแตกต่างกันตามชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ

5. อาจก่อให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ (Unknown degradation product) เพราะวิถีกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และพืชความซับซ้อนกว่าปฏิกิริยาทางเคมี

6. ต้องอาศัยความรู้เชิงลึกแบบผสมผสานระหว่างศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ ได้แก่ จุลชีววิทยา ชีวเคมี ชีววิทยาพฤกษศาสตร์ ธรณีวิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเคมี เป็นต้น

การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation)

วิธีการหนึ่งในกระบวนการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพเป็นการใช้พืช เพื่อลดปริมาณของสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งสารมลพิษที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำและดิน โดยจะเป็นการใช้กระบวนการทำงานของพืชที่เคลื่อนย้าย กักเก็บ หรือกำจัดลดความอันตรายของสารพิษที่มีต่อสิ่งแวดล้อมหรือบริเวณที่ปนเปื้อนให้หมดความเป็นพิษหรือทำให้มีความเป็นพิษน้อยที่สุดเท่าที่เกณฑ์มาตรฐานยอมรับได้ การใช้พืชกำจัดสารมลพิษเป็นวิธีการที่ไม่มีการทำลายบริเวณที่มีการปนเปื้อนและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากจึงเหมาะสมสำหรับการบำบัดดินและน้ำที่มีการปนเปื้อนสารพิษในปริมาณต่ำ รวมทั้งสามารถลดปริมาณไอออนของโลหะหนัก และกำจัดสารมลพิษได้ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัดสารพิษโดยที่ไม่ต้องใช้สารเคมีที่มีราคาแพง การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ ซึ่งนอกจากจะสามารถบำบัดน้ำแล้วยังเป็นระบบที่สามารถกักเก็บน้ำ และเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ชุมชน โดยภายในระบบจะมีกลไกลกำจัดมลสารหลายกลไกด้วยกัน เช่น ความสามารถของพืชที่ใช้ในระบบ จุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ชนิดของวัสดุพื้นต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อระยะเวลาในการกักเก็บและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การออกแบบระบบจึงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชนิดของพืชให้เหมาะสมกับประเภทของน้ำเสียและสิ่งแวดล้อม (พันธวัศ, 2558) ในการนำเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยพืชมาใช้เพื่อกรองและบำบัดน้ำเสียสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั่วไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและจำนวนหน่วยของระบบเพื่อใช้ในการรองรับปริมาณน้ำเสีย หากมีปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงสามารถที่จะออกแบบให้ขยายหรือลดขนาดความกว้างของระบบได้ นับว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยการใช้พืช สามารถลดปัญหามลพิษทางน้ำและประหยัดค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี (Michael, 2010) เทคโนโลยีการฟื้นฟูโดยใช้พืชเหมาะสมที่จะใช้กับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งระดับความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อน เป็นปัจจัยจำกัดปัจจัยหนึ่ง ซึ่งหากพื้นที่ที่ปนเปื้อนมีระดับการปนเปื้อนที่ค่อนข้างสูง อาจส่งผลกระทบต่อพืชได้ เช่น พืชมีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง และอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการฟื้นฟูที่นานขึ้น นอกจากนี้ การเลือกชนิดพืชที่ใช้ในการฟื้นฟูนับว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง

1. กลไกการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช

การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นกระบวนการทำงานของพืชในการเคลื่อนย้ายบำบัดหรือทำให้สารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ให้ลดน้อยลง สามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามกระบวนการกำจัดสารมลพิษที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกของพืช รวมทั้งบริเวณพื้นที่มีการปนเปื้อนที่พืชจะต้องทำการบำบัดสารมลพิษต่าง ๆ โดยกลไกการฟื้นฟูด้วยพืชสามารถจำแนกได้ดังภาพที่ 4 (วราภรณ์, 2551)

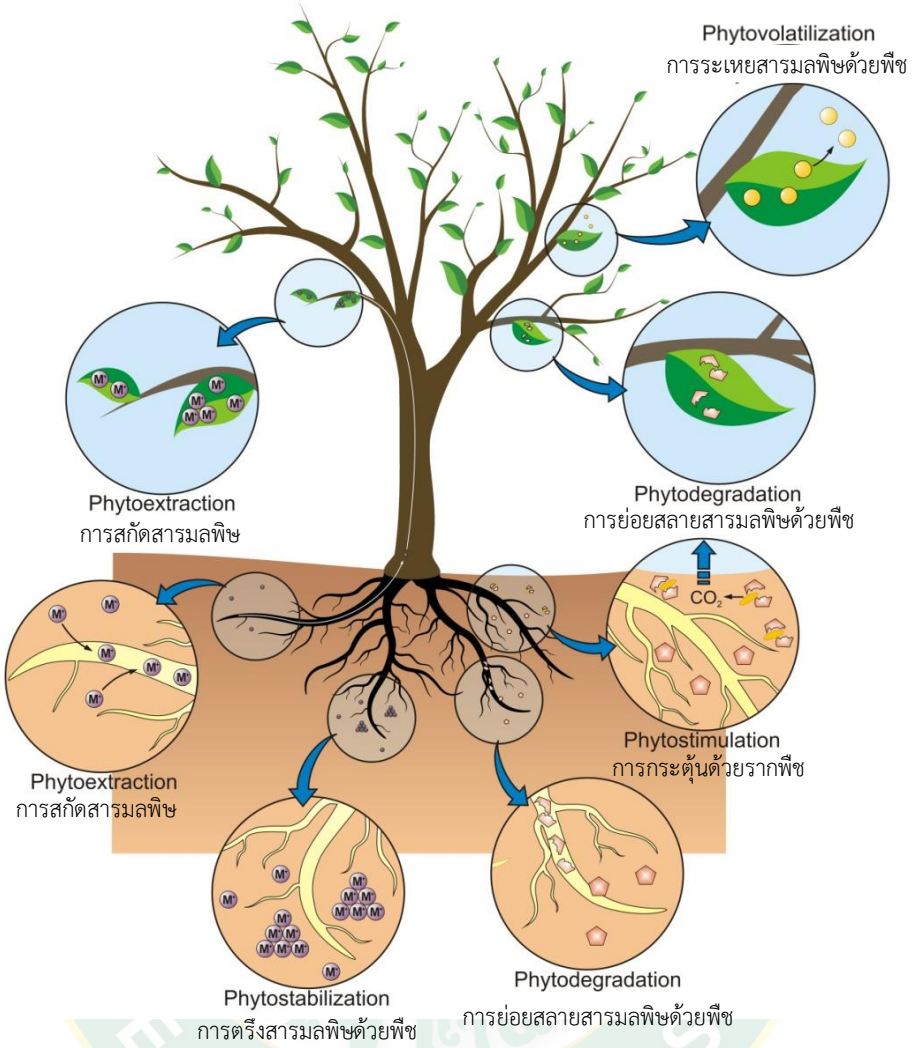
1.1 การสกัดสารมลพิษ (Phytoextraction) หรือ การสะสมสารมลพิษอยู่ในต้นของพืช (Phytoaccumulation) คือ กลไกการกำจัดสารมลพิษรวมทั้งโลหะหนักจากดินและน้ำ โดยการดูดซึมเคลื่อนย้ายสารมลพิษและสะสมอยู่ในพืช

1.2 การตรึงสารมลพิษด้วยพืช (Phytostabilization) คือ การเปลี่ยนรูปสารพิษให้อยู่ในรูปที่มีการละลายน้ำได้น้อยลง ซึ่งเป็นการสร้างสภาวะเสถียรให้กับสารเหล่านี้

1.3 การย่อยสลายสารมลพิษด้วยพืช (Phytodegradation) หรือ (Phytotransformation) คือ กลไกการกำจัดโดยที่พืชจะทำการดูดซึมสารมลพิษและเปลี่ยนรูปสารมลพิษหรือย่อยสลายสารมลพิษนั้น ๆ โดยกระบวนการต่าง ๆ ภายในต้นพืชเอง

1.4 การกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation) คือ รากจะหลั่งสารออกมาจากรากพืชที่ยังมีชีวิตอยู่หรือจากการสลายตัวของรากพืชที่ตายลง เพื่อเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อยู่ในดิน หรือเชื้อราไมคอไรซา ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารมลพิษได้ดีขึ้น เป็นกระบวนการที่ใช้กับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อยเช่น ปิโตรเลียม พีเอเอช และ พีซีบี

1.5 การทำให้สารพิษระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization) คือ กลไกการกำจัดที่เกิดขึ้นภายในต้นพืชโดยพืชจะทำการดูดซึมสารมลพิษเข้าสู่ต้นพืช จากนั้นทำการเปลี่ยนรูปสารพิษให้อยู่ในสภาวะก๊าซและระเหยออกไปสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 4 กระบวนการทำงานการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วยพืช
ที่มา : ดัดแปลงจาก (Michael, 2010)

2. การคัดเลือกพืชเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืชในการจัดการดินและน้ำที่มีการปนเปื้อนจะต้องคำนึงถึงคือ ระยะเวลาที่ใช้งาน ประสบการณ์ในทางปฏิบัติเกี่ยวกับวิธีการและการตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับของเสียที่เป็นผลจากการบำบัด และการจัดการต้นทุนในการใช้เทคโนโลยี ลักษณะของพืชที่บำบัด การคัดเลือกพืช การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปของสารมลพิษในพืช นอกจากนี้ต้องมีการประเมินประสิทธิภาพของรากพืชที่เลือกใช้ อัตราการจำกัดสารมลพิษและเวลาที่ต้องการในการบำบัด การวางแผนหลังการเก็บเกี่ยวได้แก่ วิธีการในการเก็บเกี่ยวพืช ความเสี่ยงของอุปกรณ์ที่ใช้และต่อบุคคลที่เข้าไปเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนพืชที่เหลือทั้งส่วนเหนือ

ดินและใต้ดิน การทิ้งและเปลี่ยนแปลงของพืชที่ถูกเกี่ยว (Harvey et al., 2002) ทั้งนี้ การเลือกใช้พืชที่เหมาะสมถือเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การบำบัดและฟื้นฟูที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งมีพืชหลากหลายชนิดที่ประสบความสำเร็จในการบำบัดสารมลพิษจากสิ่งแวดล้อมได้ เช่น โหระพา (*Ocimum basilicum* L.) และ ยี่หร่า (*Ocimum gratissimum* L.) สามารถสะสมสารหนูอยู่ในลำต้นพืชทั้งต้นได้ 764 และ 831 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Siddigui et al., 2012) วรางคณา และคณะ (2542) พบว่า ผักบุ้ง (*Ipomoea aquatic* Forssk.) สะสมตะกั่ว 0.07-0.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในผักบุ้งที่ขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก โดยพบมากที่ก้านอ่อนและยอด แต่ปริมาณตะกั่วที่พบในผักบุ้งน้อยกว่าในดินตะกอนแต่มากกว่าในน้ำเสีย โดยพืชที่มีการศึกษานั้นจะมีทั้งพืชท้องถิ่น พืชเศรษฐกิจ และพืชดัดแปลงพันธุกรรม การใช้พืชท้องถิ่นจะช่วยลดต้นทุนในการดูแลรักษา การตรวจสอบ การควบคุม และลดความเสี่ยงต่อมนุษย์และระบบนิเวศในขณะที่การใช้พืชดัดแปลงพันธุกรรมจะส่งผลกระทบในทางตรงกันข้าม (Marmirroli and McCutcheon, 2003) นอกจากนั้น การตอบสนองต่อสารมลพิษของพืชยังมีความสัมพันธ์กับอนุกรมวิธานระดับวงศ์ คือ พืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกันมีแนวโน้มที่จะตอบสนองต่อสารมลพิษใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มของพืชที่นิยมใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมมีดังนี้ (Clark et al., 2004)

2.1 พืชน้ำ

พืชกลุ่มนี้เป็นที่นิยมใช้ในการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ โดยพืชน้ำมีประโยชน์ในการบำบัดโดยเป็นตัวกรองทางกายภาพ ชะลอการไหลของกระแสน้ำ เพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ เพิ่มออกซิเจนให้แหล่งน้ำ ช่วยดูดซึมธาตุอาหารที่มากเกินน้ำ และเป็นฉนวนป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะที่อากาศเย็นจัดหรือร้อนจัด ตัวอย่างของพืชน้ำที่สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้นั้นจะต้องมีพืชโผล่พ้นน้ำ พืชใบลอยน้ำ และพืชจมน้ำ เช่น ต้นอ้อ ธูปฤาษี จอกและแหนเป็ดใหญ่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายหางม้า (อรุโณทัย และสุทธาธร, 2554)

2.2 พืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชอาหาร

พืชกลุ่มนี้เป็นที่นิยมใช้การสกัดโลหะหนักจากดินโดยการกระตุ้นด้วยคีเลตเนื่องจากมีชีวมวลมาก และพืชอาหารบางชนิดเป็นพืชที่สะสมโลหะหนักได้มาก เช่น ผักกาดเขียวปลี และพืชเศรษฐกิจหลายชนิดสามารถส่งเสริมการย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ได้ เช่น ข้าวโพด ถั่วอัลฟัลฟา พืชกลุ่มนี้มีข้อดีในด้านที่สามารถในการสะสมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน แต่ต้องระมัดระวังในด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพราะมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ (Girdhar et al., 2014)

2.3 พืชป่าและวัชพืช

พืชป่าและวัชพืชหลายชนิดที่มีการเจริญเติบโตในบริเวณที่เกิดการปนเปื้อน ซึ่งพบว่าจะสามารถปรับตัวให้ทนทานและสามารถกำจัดสารมลพิษนั้น ๆ ได้ ตัวอย่างพืชกลุ่มนี้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้ เช่น มะแว้งนก (*Solanum nigrum* L.) และ ผักกาดนอ (*Rorippa globose* (L.) Hiern) ที่สามารถสะสมโลหะหนักได้มาก (Girdhar et al., 2014) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาของพืชกลุ่มนี้ คือ การขยายพันธุ์และความคงตัวของสายพันธุ์ รวมทั้งมีโอกาสจะแพร่กระจายเป็นวัชพืชในพื้นที่ที่นำเข้าไปใช้บำบัดด้วย พืชในกลุ่มนี้ที่มีการนำมาใช้งานมากที่สุดคือ หญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) ซึ่งสามารถใช้บำบัดได้ทั้งโลหะหนักและสารอินทรีย์ โดยโลหะหนักที่หญ้าแฝกสามารถสะสมได้ ได้แก่ สังกะสี นิกเกิล ตะกั่ว โครเมียม โบรอน ทองแดง สารหนู และธาตุกัมมันตรังสี

2.4 พืชพลังงาน

พืชกลุ่มที่สามารถนำชีวมวลของพืชไปเปลี่ยนเป็นพลังงานชีวภาพได้ ซึ่งเป็นเป้าหมายใหม่ในการนำพืชมาใช้ฟื้นฟูสภาพแวดล้อม เนื่องจากการนำชีวมวลที่เหลือหลังการบำบัดของพืชพลังงานไปผลิตพลังงานชีวภาพจะเป็นการลดปัญหาการกำจัดชีวมวลที่ปนเปื้อนของพืชได้และสอดคล้องกับกระแสความต้องการบริโภคพลังงานที่สูงขึ้นในยุคปัจจุบันทั้งที่ไม่ต้องกังวลในด้านการปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารเหมือนกับการใช้พืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชอาหาร และมีชีวมวลสูงกว่าพืชป่า ตัวอย่างของพืชในกลุ่มนี้ที่นำมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม ได้แก่ หญ้ามิสแคนตัส ซึ่งสามารถสะสมโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และนิกเกิล ต้นละหุ่ง ซึ่งสามารถเจริญได้ในดินที่ปนเปื้อนน้ำมัน ดีดีที แคดเมียม สารหนู สังกะสี และต้นสบู่ดำ ซึ่งสะสมโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น โครเมียม แมงกานีส แคดเมียม และสังกะสี และพืชพลังงานอื่น ๆ เช่น พอพลาร์ ยูคาลิปตัส และกัญชา (Pandey et al., 2016)

2.5 พืชทนเค็ม

พืชในกลุ่มนี้เหมาะสมสำหรับการกำจัดเกลือออกจากดิน ซึ่งพืชกลุ่มนี้จะต้องมีชีวมวลสูงเพื่อที่จะสามารถรอดชีวิตได้ในสภาวะที่มีเกลือสูง และต้องมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้กลไกของพืชที่ทนเค็มในการทนทานต่อเกลือนั้นจะเป็นกลไกเดียวกับพืชที่ทนทานต่อโลหะ หนัก นอกจากนั้นสำหรับพืชป่าชายเลนก็นับว่าเป็นพืชอีกกลุ่มหนึ่งที่เป็นที่สนใจในการนำมาใช้ฟื้นฟูสภาพแวดล้อมในบริเวณชายฝั่งทะเล โดยพบว่ามีพืชหลายชนิดที่ทนทานต่อสารมลพิษได้ เช่น โกงกางหัวสุม (*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny.) ซึ่งพบว่าเป็นพืชป่าชายเลนที่ทนทานต่อการปนเปื้อนน้ำมันเครื่อง โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculate* Blume.) และ แสมขาว (*Avicennia alba* Blume.) ที่ได้มีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากในเมืองก่อนปล่อยลงสู่ทะเลโดย (วราภรณ์, 2551) ตัวอย่างกลุ่มของพืชที่มีการศึกษาจุดแข็งและจุดอ่อนของพืชสรุปไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จุดแข็งและจุดอ่อนของพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช

ชนิดพืช	การใช้งาน	จุดแข็ง	จุดอ่อน	การจัดการเมื่อสิ้นสุดการบำบัด
- Alpine pennycress (*Thlaspi caerulescens*) - อลิสซั่ม (*Lobularia maritima* L.) - วงศ์ผักกาด (*Brassica*)	- การสกัดด้วยพืช - การทำเหมืองแร่ด้วยพืช	- ทนทานต่อโลหะ - สะสมโลหะได้มาก	- มีชีวมวลต่ำ - โลหะเป็นพิษถูกชะออกจากพืชได้ในกรณีที่ใบร่วง รากตาย และอื่น ๆ - ใช้เวลานานในการบำบัด	- กำจัดโดยการเผาการฝังกลบ เช่น เดียวกับขยะอันตรายสกัดโลหะออกมาใช้ประโยชน์
- วงศ์หญ้า (*Poaceae*) - พืชเศรษฐกิจที่เป็นอาหาร	- การตรึงด้วยพืช - การกระตุ้นการย่อยสลายด้วยรากพืช	- มีการเจริญเติบโตเร็ว - กำจัดสารมลพิษได้หลายกลุ่ม	- มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารมลพิษเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร	- การทำปุ๋ยหมัก - นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ในกรณีที่ไม่เป็นพิษ
- หลิว (*Salix babylonica* L.)	- การเปลี่ยนรูปภายในพืช - การบำบัดน้ำใต้ดิน - ใช้เป็นพืชปกคลุมพื้นที่ฝังกลบ	- ฟรีแอโทไฟต์ - มีการเจริญเติบโตเร็ว - รากหยั่งลึก - อัตราการคายน้ำสูง	- ใช้เวลานานในการเปลี่ยนรูปสารมลพิษ - มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารมลพิษเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร	- ผลิตเป็นพลังงาน
- แหน (*Lemna minor* L.) - แว่นแก้ว (*Hydrocotyle umbellata* L.)	- การกรองด้วยรากพืช - การเปลี่ยนรูปภายในพืช	- ใช้ในบึงประดิษฐ์ได้โตเร็ว	- กลายเป็นพืชรุกรานได้	- นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ในกรณีที่ไม่เป็นพิษ

ที่มา : ดัดแปลงจาก (Marmirroli and McCutcheon, 2003)

ตารางที่ 3 จุดแข็งและจุดอ่อนของพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมด้วยพืช (ต่อ)

ชนิดพืช	การใช้งาน	จุดแข็ง	จุดอ่อน	การจัดการเมื่อสิ้นสุดการบำบัด
- ปินหลี (*Spathiphyllum* spp.) - หน่อไม้ทะเล (*Salicornia*)	- การสกัดเกลือ - น้ำเค็มที่ปนเปื้อนน้ำมัน	- พืชทนเค็ม	- อาจกลายเป็นพืชรุกราน	- ใช้เป็นอาหารสัตว์ในกรณีที่ไม่เป็นพิษ - การกำจัดอื่น ๆ ที่ยอมรับได้
- อ้อ (*Arundo donax* Trin.) - พืชสกุล ไผ่ (*Bambuseae*) - พืชสกุล ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.)	- บึงประดิษฐ์	- ใช้ในบึงประดิษฐ์ได้โตเร็ว	- กลายเป็นพืชรุกราน	- ใช้ผลิตพลังงาน - ใช้ผลิตกระดาษ
- หญ้าแฝก (*Chrysopogon zizanioides* L.) - หญ้าคา (*Imperata cylindrica* Beauv.)	- การกรองด้วยรากพืช - บึงประดิษฐ์	- เป็นพืชที่มีชีวมวลสูง - มีระบบรากที่สามารถหยั่งลึกลงในดิน	- การปลูกพืชนี้นานอาจจะทำให้ดินเสื่อมได้	- สามารถตัดใบมาปูดินเพื่อย่อยสลายเป็นปุ๋ยทำได้ - ต้นแห้งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
- หญ้าปากควาย (*Dactyloctenium aegyptium* L.) - หญ้ายาง (*Euphorbia heterophylla* L.)	- การกรองด้วยรากพืช - การกระตุ้นการย่อยสลายด้วยรากพืช	- เป็นพืชทนเค็ม - มีการเจริญเติบโตเร็ว และมีความสวยงามจึงใช้ปลูกเป็นไม้ประดับริมทางให้เป็นทิวได้	- เป็นพืชที่มีอายุสั้น - พืชมีการแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว	- นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ในกรณีที่ไม่เป็นพิษ - การทำปุ๋ยหมัก

ที่มา : ดัดแปลงจาก (Ashraf et al., 2010; Marmirroli and McCutcheon, 2003; Rotkittikhun et al., 2007; Rotkittikhun et al., 2006)

3. การเคลื่อนย้ายสารมลพิษจากดินปนเปื้อนสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช

หลังจากที่สารมลพิษถูกเคลื่อนย้ายหรือขนส่งจากดินที่ปนเปื้อน (Translocation) เข้าสู่รากพืชและท่อลำเลียงน้ำ แล้วสารมลพิษจะถูกลำเลียงและเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับน้ำสู่ยอดพืช (Upward conduction) โดยอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำของพืชที่เรียกว่า Transpiration pull และเมื่อพืชคายน้ำออกไปแล้วจะทำให้เซลล์ใบของพืชขาดน้ำจึงมีแรงดึงออกจากเซลล์ ทำให้เกิดการดึงต่อกันไปเป็นลำดับจากเซลล์ในท่อลำเลียงน้ำของใบ ก้านใบ กิ่ง ลำต้น และราก ตามลำดับ จึงทำให้พืชสามารถลำเลียงน้ำไปสู่ยอดพืชได้ สารมลพิษที่เคลื่อนที่ไปพร้อมน้ำจะถูกขนส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช และเกิดการสะสมขึ้นได้ (Kochain, 1991)

พืชที่มีความสามารถในการดูดดึงสารมารพิษนั้น ๆ จะมีกลไกจัดการกับสารมลพิษซึ่งโดยปกติแล้วพืชจะเก็บไว้ในใบพืช เช่น พวกโลหะหนัก เพราะในใบของพืชมีส่วนที่เรียกว่า แวคิวโอล เป็นส่วนที่เก็บโลหะหนักที่ไม่จำเป็นต้องใช้ หรือเก็บโลหะหนักที่เป็นประโยชน์ไว้ใช้ในเวลาที่จำเป็นโลหะหนักที่พืชดูดดึงเข้ามาจะถูกลดความเป็นพิษลง โดยการผลิตไฟโทคีเลติน (Phytochelatin) ออกมา เพื่อจับกับโลหะหนักทำให้มีความเป็นพิษลดลง แล้วจึงย้ายไปเก็บไว้ในแวคิวโอค ซึ่งเปรียบเสมือนกับห้องนิรภัย ทำให้โลหะหนักที่ดูดเข้าไปไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกมาส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงหรือกระบวนการหายใจของเซลล์พืชได้ ด้วยเหตุนี้พืชจึงสามารถสังเคราะห์แสงได้ตามปกติ และเมื่อพืชมีใบแก่มาก ๆ ก็จะหลุดร่วงไปตามธรรมชาติ ดังนั้น กลไกนี้จึงทำให้พืชสามารถทนทานและดูดดึงสารมลพิษได้ อีกทั้งยังสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (วีระพันธุ์ , 2554)

4. สารมลพิษที่สามารถบำบัดได้ด้วยพืช

ปัญหาการปนเปื้อนของเสียอันตรายนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับเทคโนโลยีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยใช้พืช จัดได้ว่าเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนสารมลพิษและของเสียอันตรายได้ ซึ่งของเสียอันตรายและสารมลพิษนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ตามลักษณะทางเคมี คือ สารมลพิษกลุ่มสารอินทรีย์และสารมลพิษกลุ่มสารอนินทรีย์ (พันธวัศ, 2558)

4.1 สารมลพิษในกลุ่มสารอินทรีย์

คือ สารมลพิษที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักและมีธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วม เช่น ธาตุออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ คลอไรด์ และโบรมีน ฯลฯ เนื่องด้วยสารอินทรีย์ทุกชนิดจะต้องมีธาตุคาร์บอน อยู่ด้วยเสมอ จึงกล่าวได้ว่าสารอินทรีย์ก็คือ สารประกอบของคาร์บอนยกเว้นสารประกอบของคาร์บอนบางชนิด สำหรับสารนั้นจะสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ หลายประเภท เช่น การแบ่งตามชนิดต่างที่เป็นองค์ประกอบดังนี้

1. สารประกอบอินทรีย์ที่มีไฮโดรคาร์บอน เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แอลเคน แอลคีน แอลไคน์ และ แอโรเมติก

2. สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แอลกอฮอล์ ฟีนอล อีเทอร์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิน และเอสเทอร์

3. สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอมีน

4. สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอไมด์

สารอินทรีย์ระเหยง่ายส่วนใหญ่เกิดจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งใหญ่ คือ

1. สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด ก๊าซจากการเน่าเสียของอินทรียวัตถุ รวมทั้งจากการขับถ่ายและการหายใจของมนุษย์ หรือเกิดจากพืชบางชนิดที่ผลิตสารอินทรีย์ระเหยสู่บรรยากาศ

2. สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เป็นแหล่งกำเนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตในการทำอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักร เครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ และอุสาหกรรมที่ผลิตหรือใช้สารอินทรีย์ระเหย นอกจากนี้อาจจะเกิดจากกิจกรรมในการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การจราจร การคมนาคมขนส่ง การใช้เชื้อเพลิงหุงต้ม การเผาขยะ และการใช้สารเคมีในครัวเรือน เช่น การซักผ้า ล้างจาน

4.2 สารมลพิษในกลุ่มสารอนินทรีย์

คือ สารที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น หิน แร่ธาตุ และสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และอะลูเนียม ฯลฯ โดยสารอินทรีย์นี้หมายรวมถึงธาตุกลุ่มโลหะหนักด้วย สำหรับปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ซึ่งมีสาเหตุจากภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตรกรรม และชุมชน โดยเฉพาะปัญหาจากพื้นที่อุตสาหกรรมและการทำเหมืองแร่ที่ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อน

ระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพ (Bioretention และ Biofiltration)

ระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพ (Bioretention and Biofiltration) เป็นการออกแบบระบบการจัดการน้ำฝนร่วมกับการใช้พืชเพื่อปรับสภาพภูมิทัศน์ของชุมชนเมือง ที่อยู่อาศัย ลานจอดรถ บริเวณถนน และร่วมถึงการบำบัดน้ำฝนที่ชะล้างสิ่งสกปรกบนถนนด้วยเช่นกัน โดยเน้นการออกแบบเพื่อให้มีความสวยงามภูมิทัศน์ร่วมกับการใช้ประโยชน์ เพื่อกักเก็บและบำบัดน้ำฝนที่ไหลนองตามพื้นก่อนที่จะซึมลงสู่ใต้ดินหรือลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ (USEPA, 1983) ระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพสามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับชุมชนเมือง ช่วยฟอกอากาศและลดมลภาวะในเขตการจราจรติดขัด และยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิในพื้นที่ชุมชนเมืองหรือปัญหาโดม

ความร้อน (Urban heat Island) ได้จากการคายน้ำของพืชที่อยู่ในระบบ โดยภายในระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพจะมีกลไกการกำจัดสารมลพิษหลายกลไกด้วยกัน ได้แก่ ความสามารถของพืชที่ใช้ในระบบและจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ชนิดของวัสดุพื้นต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อระยะเวลาในการกักเก็บและบำบัดน้ำฝนก่อนปล่อยน้ำฝนเหล่านั้นออกไปสู่สิ่งแวดล้อม นอกเหนือจากการบำบัดน้ำไหลนองจากน้ำฝนแล้ว ระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นตอนสุดท้ายก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้อีกด้วย ดังนั้นการออกแบบและการเลือกใช้ชนิดของพืชให้เหมาะสมกับประเภทของงาน และลักษณะของน้ำเสียจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการประยุกต์ใช้ระบบนี้ ระบบการกักเก็บและระบบการกรองทางชีวภาพได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำฝนไหลนอง โดยระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพจะถูกออกแบบมาให้มีความลาดชัน เพื่อเป็นจุดเก็บรวบรวมน้ำฝนจากบริเวณนั้น ๆ และไหลลงสู่ระบบ ซึ่งน้ำฝนเหล่านั้นจะถูกกักเก็บไว้ในระบบตามระยะเวลาที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ เมื่อเวลาผ่านไปพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบจะทำการย่อยสลายหรือ กำจัดสารมลพิษบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ที่วัสดุรองพื้น เมื่อครบระยะเวลาในการกักเก็บน้ำฝนจะถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ท่อระบายน้ำ หรือปล่อยลงสู่ดิน (ดารณี และคณะ, 2555) นอกจากนี้ระบบนี้ยังเป็นระบบกึ่งกรองน้ำกึ่งเก็บน้ำ โดยหลักการ คือ เก็บน้ำจากการไหลของน้ำผิวดินโดยผ่าน การกรองโดยชั้นต่าง ๆ แบบชีวภาพเช่น ชั้นพืชคลุมดิน ชั้นดิน ชั้นทรายละเอียด แผ่นกันวัชพืช โดยน้ำที่ไหลผ่านชั้นต่าง ๆ นั้นจะกรองเอาสารพิษต่าง ๆ ที่ปนมาจากน้ำ และน้ำจะค่อยๆ ลงไปสู่บ่อเก็บน้ำใต้ดินโดยมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ประโยชน์ของระบบกักเก็บน้ำและระบบการกรองทางชีวภาพ

1. เพิ่มพื้นที่รับน้ำ และลดอัตราปริมาณน้ำไหลบ่า

โดยการปรับเปลี่ยนพื้นที่โล่งให้เป็นพื้นที่ที่มีพืชทำให้เกิดการเพิ่มสัมประสิทธิ์ การไหลบนผิวดิน (Coefficient of runoff: C) ซึ่งถ้าพื้นที่ใดมีค่า C ต่ำ แสดงว่าพื้นที่นั้นมีความสามารถในการลดอัตราปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินได้สูง โดยพื้นคอนกรีตและพื้นที่ที่ลาดยางมะตอยจะมีค่า C เท่ากับ 0.95 แต่พื้นสนามที่เป็นหญ้าจะมีค่า C ระหว่าง 0.05-0.35 ซึ่งขึ้นกับความลาดชันของพื้นที่

2. ลดมลภาวะทางน้ำ

โดยระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชสามารถช่วยกรองเศษขยะและลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำฝนจากบริเวณพื้นผิวการจราจรและทางเท้าได้ ซึ่งเมื่อนำค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียมาเปรียบเทียบกับการใช้ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณในการช่วยลดมลภาวะทางน้ำนั้น พบว่าระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชสามารถลดค่าใช้จ่ายได้

3. การจัดการปัญหาน้ำท่วมขัง

ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชช่วยชะลอการไหลของน้ำก่อนไหลลงสู่ระบบท่อระบายน้ำของเมือง ซึ่งเป็นการกักเก็บน้ำแบบชั่วคราวเป็นการบรรเทาปัญหาน้ำท่วมขังบนผิวดินได้เป็นอย่างดี

4. เพิ่มปริมาณระดับน้ำใต้ดิน (Enhancement of Potable Water)

เมื่อระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชเกิดการกักเก็บน้ำจะส่งผลให้น้ำที่ถูกกักเก็บนั้น มีโอกาสซึมลงสู่ใต้ดินได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ลดปัญหาการเกิดดินทรุดได้ในบางพื้นที่ที่ประชาชนนิยมนำน้ำใต้ดินมาเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค

5. ลดมลภาวะทางอากาศ (Reduction of Air Pollution)

ต้นไม้ที่ปลูกในระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชสามารถช่วยกรองสารมลพิษในอากาศได้ โดยเฉพาะก๊าซเรือนกระจก และยังช่วยลดความร้อนในบรรยากาศผ่านการคายน้ำของพืชในช่วงเวลากลางวัน

6. เพิ่มมูลค่าทางสุนทรียภาพ (Value add of Aesthetic)

การมีพืชในเขตพื้นที่เมืองจะทำให้เกิดความร่มรื่น ซึ่งเป็นการสร้างความรู้สึกด้านสุนทรียภาพที่ดีของประชาชน ทำให้สุขภาพจิตของประชาชนดีขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของคนเมืองและประสิทธิภาพในการพัฒนาเมืองให้สวยงาม

กระบวนการกำจัดมลสาร

1. กระบวนการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

กลไกการกำจัดไนโตรเจนโดยใช้กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมีอยู่ 3 รูปใหญ่ ๆ แต่ว่าในเส้นทางการแปลงรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจรในน้ำเสียไปสู่ก๊าซไนโตรเจนจะประกอบด้วย สารไนโตรเจน จำนวน 5 รูป และกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนมีดังนี้

1. สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen)

- แปลงรูปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ด้วยกระบวนการ แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

2. แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)

- แปลงรูปเป็น ไนไตรท์ไนโตรเจน ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน
- แปลงรูปเป็น โปรตีน ด้วยกระบวนการ (Assimilation)

3 ไนไตรท์ไนโตรเจน (Nitrite Nitrogen, NO_2^-)

- แปลงรูปเป็น ไนเตรทไนโตรเจน ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

4. ไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen, NO_3^-)

- แปลงรูปเป็น ก๊าซไนโตรเจน ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

5. ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen Gas)

- สามารถแยกตัวออกจากน้ำเสียสู่บรรยากาศได้โดยตรง

ซึ่งการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสีย อยู่ที่การแปลงรูปสารประกอบไนโตรเจนทุกตัวที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้อยู่ในรูปก๊าซไนโตรเจน สามารถแยกตัวออกสู่บรรยากาศได้ ดังภาพที่ 5 จะแสดงให้เห็นถึงการแปลงรูปรวมทั้งกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนดังนี้

1. กระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (Ammonification)

เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียที่มีในน้ำจะย่อยสลายอาหารที่มีในน้ำให้ได้พลังงานในการเจริญเติบโต โดยการย่อยโปรตีนที่มีในอาหารแบคทีเรียจะปล่อยจะแอมโมเนียออกมา ผลคือมีการสะสมของแอมโมเนีย ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงแอมโมเนียเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ยกเว้นแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหาร

2. กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียสกุล *Nitrosomonas* จะออกซิไดซ์แอมโมเนียที่ในน้ำและปล่อยไนไตรท์ออกมา และแบคทีเรียสกุล *Nitrobactor* จะย่อยไนไตรท์ที่ในน้ำและปล่อยไนเตรทออกมากระบวนการนี้ทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง แต่มีการใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลงเช่นกัน และได้ไนเตรทเป็นผลผลิต แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrosomonas}} 2NO_2^- + 4H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\textit{Nitrobactor}} 2NO_3^-$$

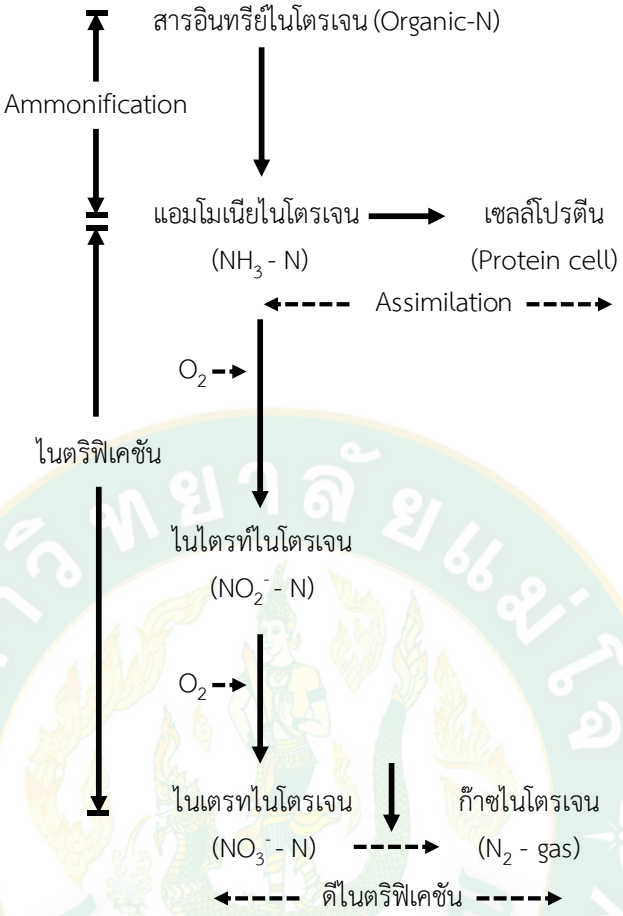
3. กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน เช่น ในแหล่งน้ำที่มีสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจะพบที่พื้นก้นบ่อ หรือเลนก้นบ่อระยะ 0-5 เซนติเมตรแรก ที่มีการสะสมของตะกอนอาหาร ขี้ปลาและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ส่งผลให้ชั้นดินบริเวณนี้แบคทีเรียใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจนหมดแล้วก่อให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจน จุลินทรีย์สกุล *Pseudomonas* ที่จะเจริญเติบโตได้ดีจะเปลี่ยน

ไนเตรท (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนโตรเจนแก๊ส (N_2) ตามลำดับ แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

สรุปได้ว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น และไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้ แอมโมเนียและปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง รวมทั้งเกิดการสะสมของไนเตรทในน้ำ ไนเตรทเป็นสารที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ไม่ควรได้รับระยะเวลานานและความเข้มข้นสูงๆ ไนเตรทที่สะสมในน้ำไม่ควรเกิน 10-15 มิลลิกรัม/ลิตร กิจกรรมของแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน คือ กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน กระบวนการนี้จะทำให้ปริมาณไนเตรทลดลง และกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำคืนสู่อากาศ แต่ตลอดกระบวนการจะไม่มีการใช้แอมโมเนีย ส่งผลให้แอมโมเนียสะสมในน้ำเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ถ้ามีการปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมีการหมุนเวียนของออกซิเจนไม่ดี ถ้าขาดออกซิเจนต่อเนื่องนาน ๆ จะเกิดแบคทีเรียกลุ่มอื่นเข้ามาแทนที่ เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ริดิวซ์ซัลเฟต (sulfate reducing bacteria, SRB) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนซัลเฟตที่มีในน้ำเพื่อให้ได้ พลังงานและปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า, H_2S) (สุภาวดี, 2557)



ภาพที่ 5 การแปลงรูปรวมทั้งกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน

ที่มา : ดัดแปลงจาก (ชัยพร, 2538)

2. กระบวนการกำจัดสารประกอบฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียอยู่ในรูปของฟอสเฟต และโมเลกุลของฟอสเฟต เช่น ออโธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต อาจจะพบฟอสเฟตเหล่านี้อยู่ในรูปสารละลาย สารละลายแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อตลอดจนในตัวของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ออโธฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟต มักพบในน้ำ และรวมเรียกว่า soluble reactive phosphorus สารอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำอาจอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน หรือในรูปตะกอนแขวนลอยก็ได้ หรือในรูปของซากพืชซากสัตว์ ฟอสเฟตรูปต่าง ๆ เข้ามาปะปนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น จากการใช้ปุ๋ยทางการเกษตร น้ำทิ้งจากการอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งจากชุมชน ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของฟอสเฟตจะถูกพืชนำไปใช้ได้ดีที่สุด จึงสามารถทำให้พืชน้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้าแพลงก์ตอนพืชมีปริมาณมากเกินไปก็อาจทำ ให้สภาวะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ โดยสารประกอบฟอสเฟตในน้ำที่พบในน้ำแบ่งได้ 3 ประเภทดังนี้

1. ออโธฟอสเฟต (Orthophosphate) ได้แก่ ฟอสเฟตที่ละลายน้ำแล้วให้ PO_4^{3-}, HPO_4^{2-} และH_2PO^{4-}

2. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ได้แก่ สารที่มีฟอสเฟตในโมเลกุลหลาย ๆ หมู่ เช่น สารประกอบ $Na_3(PO_4)_6$, $Na_5P_3O_{10}$, $Na_4P_2O_7$ สารเหล่านี้เป็น dehydrated phosphate จึงถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำกลั่นเป็น Orthophosphate ได้

3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphates) ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น nucleic acid, phospholipids และ sugar phosphate

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยทางชีวภาพ โดยการดูดซับออโธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณของฟอสเฟตที่ถูกกำจัดอยู่ในรูปตะกอน โดยจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่ใช้ฟอสเฟตในการซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ และถ่ายทอดพลังงานในเซลล์เท่านั้น แต่ยังสามารถเก็บฟอสเฟตไว้ในเซลล์เป็นพลังงานสะสมที่ใช้อากาศและสภาวะไร้อากาศ ในปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดฟอสเฟตทางชีวภาพที่นิยมใช้กันมาก มีหลักการว่าในสภาวะไร้อากาศซึ่งมีค่าเป็นกรดสูง จุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบโพลีฟอสเฟตและจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาจากเซลล์ เพื่อที่จะใช้สารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่าย คือ กรดไขมัน แต่เมื่อจุลินทรีย์เข้าสู่บริเวณที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์พยายามสะสมฟอสฟอรัสในรูปของโพลีฟอสเฟตไว้ในเซลล์ในปริมาณมากกว่าปกติคือ ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดออกจากน้ำในรูปตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้หลักการสร้างสภาวะที่เปลี่ยนแปลงระว่างไร้อากาศและใช้อากาศ (ชีระวิทย์, 2548)

3. ซีโอดี

การวัดปริมาณออกซิเจนเทียบเทา (Oxygen Equivalent) การวิเคราะห์ค่าซีโอดีนั้น ในปฏิกิริยาการออกซิเดชันสารอินทรีย์ จะต้องใช้ตัวออกซิไดซ์ที่แรงพอในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในตัวอย่าง ซึ่งมีสารหลายชนิดที่ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ได้ เช่น Potassium Dichromate, Potassium Permanganate เป็นต้น แต่ตัวออกซิไดซ์ที่นิยมใช้คือ Potassium Dichromate ทั้งนี้เนื่องจากเป็นตัวออกซิไดซ์ที่สามารถใช้กับตัวอย่างได้หลายชนิด โดยทั่วไปการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์สวนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 95-100 ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและอะมิโนไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย ค่าซีโอดีจะสามารถเชื่อมโยงไปถึงค่าที่แสดงปริมาณสารอินทรีย์บางค่าได้ เชน ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon; TOC) และปริมาณสารอินทรีย์อื่น ๆ เป็นต้น โดยที่ค่าซีโอดีจะสูงกว่าหรือเท่ากับค่าบีโอดี ทั้งนี้เนื่องจากสารอินทรีย์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นค่าซีโอดีจะมีค่าสูงมากกว่าค่าบีโอดีมากขึ้น ถ้ามีสารอินทรีย์ที่ยากต่อการสลายทางชีวะอยู่มาก ดังนั้นข้อเสียอันหนึ่งของซีโอดีคือ

การไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ได้ โดยพื้นฐานในการควบคุมมลพิษทางน้ำ ทำให้ทราบคุณภาพของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียชุมชนที่ระบายลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง ทั้งยังใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงผลกระทบและศักยภาพของแหล่งรองรับน้ำทิ้งว่าจะสามารถรับความสกปรกได้มากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นประโยชน์ในการควบคุม และเฝ้าระวังให้น้ำในแหล่งน้ำที่เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งที่มีคุณภาพดีไม่เน่าเสีย (นาถ และคณะ, 2555)

4. ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ปริมาณของแข็งน้ำทั้งหมด แสดงถึงปริมาณสิ่งเจือปนทั้งหมดในน้ำว่า มีมากน้อยเพียงใด เปี่ยมศักดิ์ (2543) กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้น น้ำที่มีการนำไฟฟ้าสูง ก็จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำสูงเช่นกัน น้ำที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูง มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อม ต่อการบริโภคอุปโภค การเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ และมีอิทธิพลต่อแหล่งน้ำโดยสามารถทำให้โครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศน์ ในแหล่งน้ำนั้น ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วยถ้าเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ ก็จะลดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าเป็นพวกไม่ละลายน้ำที่เป็นสารแขวนลอยก็จะทำให้น้ำขุ่น มีสี แหล่งน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยจะดูดซับออกซิเจนได้น้อยกว่าน้ำใส จึงผลต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของพืชและสัตว์น้ำในแหล่งน้ำ ของแข็งทั้งหมดที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ 2 ประการ คือ การควบคุมความสมดุลของน้ำและเกลือแร่ และความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารในน้ำแพลงก์ตอนพืช โดยมาตรฐานของแข็งทั้งหมดในน้ำ ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

5. ปริมาณของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอยมีประโยชน์มากสำหรับการวิเคราะห์น้ำโสโครก เป็นค่าหนึ่งที่บอกความสกปรกของน้ำเสีย ตลอดจนบอกถึงประสิทธิภาพของหน่วยกำจัดน้ำเสียต่าง ๆ สำหรับในงานควบคุมความสกปรก คือ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเป็นของแข็งตกตะกอน เพราะเวลาในการตกตะกอนไม่จำกัด เกิดจากการสะสมทับถมกันของของแข็งเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนทางชีวภาพ และเคมี ดังนั้นค่าของแข็งแขวนลอยจึงสำคัญเทียบเท่ากับค่าอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน การพังทะลายของดิน ความลาดชัน การเพิ่มปริมาณน้ำทิ้งจากชุมชน เนื่องจากสารแขวนลอยที่ทำให้เกิดความขุ่นจะ

สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำทั้งหมดตรงและทางอ้อม คือ สารแขวนลอยจะไปขัดขวางปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของพืชน้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช ส่งผลให้ปริมาณอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลงด้วย ในแหล่งน้ำควรมีค่าปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วง 25-80 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ถ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 80 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไปจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมและเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีดังนี้ (กรรณิการ์, 2544)

1. การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coagulation) โดยการเติมสารเคมีเพื่อช่วยการตกตะกอน (coagulation) เช่น สารส้ม เกลือ อลูมินัม เกลือเหล็กต่าง ๆ ปฏิกิริยาของเกลือเหล่านี้จะทำให้เกิดตะกอนหนัก (floc) ตกแยกออกมา

2. การกรอง (filtration) เป็นการแยกเอาตะกอนออก โดยการผ่านพวกทรายหรือพวกด่าง สารแขวนลอยจะเกาะติดกับทรายหรือด่าง ดังนั้นน้ำที่ได้ออกมาจะใส เมื่อใช้ไปนาน ๆ ก็จะเกิดการสะสมสารแขวนลอยบนทรายหรือด่างเหล่านี้ ดังนั้นต้องมีการล้างออกด้วยวิธีย้อนกลับทาง

3. การทิ้งให้นอนก้น (Sedimentation) คือ การพักน้ำในบ่อพัก โดยปล่อยน้ำเข้าบ่อพักและทิ้งให้น้ำอยู่นิ่งตามระยะเวลาที่ตะกอนนั้น ๆ จะนอนก้น สิ่งที่นอนก้นบ่อจะต้องถ่ายออกทิ้งเป็นระยะ ส่วนน้ำที่สะอาดก็ระบายออกทางส่วนบนของบ่อ

6. ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในน้ำ (H^+) ซึ่งเกิดจากสารที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลกรด (H^+) หรือด่าง (OH^-) ได้ ความเป็นกรด-ด่างในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 5-9 ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดด่างของน้ำฝน และลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นกรด ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นด่าง และถ้าตัวอย่างน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 หมายถึง น้ำมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งความเป็นด่างของน้ำมีสาเหตุใหญ่มากจากองค์ประกอบของสารละลาย 3 ชนิดด้วยกัน คือ ไฮดรอกไซด์ (OH) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำไม่ได้บอกความเป็นพิษต่อร่างกาย เพียงแต่บอกให้ทราบถึงประเภทของสิ่งเจือปนในน้ำในรูปของสารที่ให้อนุมูลกรดหรือด่างได้ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างนี้จะเป็นดัชนีที่มีประโยชน์ในการวัดคุณภาพน้ำโดยที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

7. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่แสดงความเข้มของความร้อนในสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ความร้อนจะไหลจากสิ่งที่มีความร้อนสูงกว่าไปยังสิ่งที่มีความร้อนต่ำกว่า การวัดอุณหภูมิกระทำได้โดยใช่เทอรโมมิเตอร์ อุณหภูมิเป็นคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำจะมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์วิทยาของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำโดยจะมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำและจุลินทรีย์รวมทั้งสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลในเชิงลบต่อปริมาณการละลายของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศลงไปในน้ำ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) จะลดน้อยลงและในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศจะสามารถละลายลงไปในน้ำได้มากขึ้นทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีผลให้พืชน้ำและจุลินทรีย์รวมทั้งสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างดี นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่ออัตราการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำและมีผลต่อกลิ่นรวมทั้งรสของน้ำด้วย ในกรณีที่มีการระบายน้ำทิ้งทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากแหล่งชุมชนลงสู่แหล่งรองรับน้ำ อุณหภูมิของน้ำทิ้งจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตโดยอาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำมีสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป หรืออาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำนั้นตายได้ ในกรณีที่น้ำทิ้งมีอุณหภูมิสูงเกินไป ตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดให้น้ำที่จะระบายออกนอกโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่ง น้ำสาธารณะจะต้องมีอุณหภูมิของน้ำไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษม (2555) น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ซึ่งหากขาดการบำบัดที่ดีก็จะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเทคโนโลยีดีสชาร์จทางไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้มีการใช้น้ำเสีย 2 แหล่ง คือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตจังหวัดนครราชสีมา 2 โรงงาน (บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด และบริษัท เอี่ยมรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด) และน้ำเสียจากมันสำปะหลังที่เตรียมขึ้นเอง สำหรับการบำบัดมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำทิ้งผ่านมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ใช้ทดสอบมีค่าซีโอดี อยู่ในช่วง 1339.5-1600.0 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 565.2-1003.1 มิลลิกรัม/ลิตร จากการศึกษาพบว่าเมื่อน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังผ่านระบบบำบัดด้วยเทคโนโลยีดีสชาร์จทางไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยของซีโอดี อยู่ในช่วง 63.1-105.9 มิลลิกรัม/ลิตร

ส่วนค่าเฉลี่ยของบีโอดี อยู่ในช่วง 15.0-18.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยที่ได้ยืนยันประสิทธิผลของระบบที่ได้พัฒนาเป็นอย่างดี

ขนิษฐา และวราภรณ์ (2557) พืชที่ปลูกร่วมกันเป็นบางคู่จะทำให้มีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกเพียงลำพัง เช่น การปลูกกระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus* L.) ร่วมกับข้าวโพดข้าวเหนียว (*Zea mays ceratina* L.) ในดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและฟลูออรีน พบว่าข้าวโพดข้าวเหนียวมีความยาวยอดมากกว่ากระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกตามลำพังในดินที่ปนเปื้อนแบบเดียวกัน และปริมาณแอนทาซีนและฟลูออรีนเหลืออยู่ในดินรอบนอกเป็นร้อยละ 2.7 และ 22.7 และหลังจากการปลูก 30 วัน ปริมาณที่เหลืออยู่ในไรโซสเฟียร์ของพืชสองชนิดไม่ต่างกัน

ชุตินุช และเอนก (2558) งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิธีการจัดการน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน โดยพิจารณาถึงศักยภาพในการกำจัดหรือบำบัดสิ่งสกปรก ความสามารถในการควบคุมดูแล และพิจารณาถึงผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดของเสีย คือไบโอก๊าซจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor; ABR) ซึ่งพบว่ากำลังการผลิตในช่วงวันปกติเท่ากับ 1,200 กิโลกรัม/วัน จะก่อเกิดน้ำเสีย 22-25 เมตร/วัน (18–20 ลิตร/กิโลกรัมของผลผลิตเส้นขนมจีน) และในช่วงเทศกาลจะเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 2 เท่า ซึ่งจะมีการก่อเกิดน้ำเสียเพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่าเช่นเดียวกัน

ชาลินี และศศิธร (2550) การศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*) พันธุ์สงขลา 3 และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโครเมียมและอาร์เซนิกในบึงประดิษฐ์น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของโครเมียมและอาร์เซนิก มีค่าอยู่ในช่วง 7.44-11.68 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.98-1.19 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากการทดลองเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง100 วัน พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียในบ่อทดลองที่ปลูกด้วยหญ้าแฝกหอมพันธุ์สงขลา 3 และบ่อที่ปลูกด้วยธูปฤาษี มีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 98 ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพเฉลี่ยต่ำที่สุดร้อยละ 69.3 จากการศึกษาพบว่าพืช ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพที่ต่ำในการบำบัดอาร์เซนิก การศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการอยู่รอดของพืชทั้ง 2 ชนิด ในบ่อทดลองที่มีน้ำเสียสงเคราะห์เปรียบเทียบกับบ่อควบคุมพืชที่ไม่มีการปนเปื้อนน้ำเสียตลอดระยะการทดลอง พบว่าทั้งหญ้าแฝกและธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตได้ดี และไม่พบพืชที่ตาย

ซันวานี และชัยรัตน์ (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันระหว่างมูลไก่น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน จะทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมีการเติมมูลไก่ที่แตกต่างกัน 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน 200 มิลลิลิตร ทำการทดลองแบบกะที่สภาวะอุณหภูมิห้อง 28-30 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนมีค่าพี

เอชเท่ากับ 4.3 และซีโอดี 4,200 มิลลิกรัม/ลิตร มูลไก่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.7 และซีโอดี 10,740 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 358–2,385 มิลลิลิตร และให้มีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.3-50.6 โดยชุดการทดลองที่เติมมูลไก่ 30 กรัม ให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 1,216 มิลลิลิตร และ 299 มิลลิลิตร โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดคือค่า ซีโอดี ไนโตรเจน และ ความเป็นกรดด่างเริ่มต้น

ธเรศ และวงศ์พะงา (2545) ศึกษาประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอม (*Vertiveria zizanioides* (Linn.)Nass) และหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* (Balansa) A.Camus) ในการบำบัดโครเมียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น เพื่อการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงงานฟอกหนังโดยทำการศึกษาที่ระดับความลึกของน้ำเสีย 3 ระดับ คือ 0.1, 0.1 และ 0.2 เมตร ผลการทดลองพบว่าหญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดโครเมียมที่ระดับความลึกของน้ำ 0.1 เมตร คิดเป็นร้อยละ 89.2 รองลงมา คือ หญ้าแฝกดอนที่ระดับความลึก 0.1 เมตร คิดเป็นร้อยละ 86.3 นอกจากนี้ชุดควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชที่ระดับความลึก 0.10 เมตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมต่ำสุด คิดเป็นร้อยละ 80.7

ประภา (2549) งานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพระบบบึงประดิษฐ์ที่ระดับน้ำต่างกัน 3 ระดับ ก) 10 เซนติเมตร ใต้ระดับตัวกลาง ข) เท่ากับระดับตัวกลาง ค) 10 เซนติเมตร เหนือระดับตัวกลาง ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5, 4 และ 3 วัน โดยปลูกพืชคือ ธูปฤาษี (*Typha augustifolia* L.) ในระบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กและทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมัน ประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารไม่แตกต่างกันที่ระดับน้ำ และระยะเวลากักเก็บต่างกัน ซึ่งสามารถบำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 95.2-96.8 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดร้อยละ 88.9-97 ทีเคเอ็นร้อยละ 59.3-79.2 โดยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวตัวกลางมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบน้ำไหลบนผิวตัวกลางที่ระบบมีขนาดเท่ากัน แต่แบบน้ำไหลบนผิวกลางสามารถบำบัดได้ดีมากกว่า

พัชราภรณ์ และคณะ (2558) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนที่มีปริมาณสารประกอบอินทรีย์และความเป็นกรดสูง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสี ความขุ่น และค่าซีโอดี รวมตะกอนร่วมกับการบำบัดแบบธรรมชาติ จากการทดลองด้วยวิธีจาร์เทสต์ พบว่าผลการทดลองน้ำเสีย 1 ลิตร มีค่าพีเอช 8 และใช้สารละลายสารส้ม 18 มิลลิลิตร ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าการใช้สารละลายปูนขาว มีประสิทธิภาพในการลดสีและความขุ่นได้ร้อยละ 75.0 และ 87.5 นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดด้วยการดูดซับด้วยถ่านกะลามะพร้าว จากการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกะลามะพร้าว พบว่าถ่านกะลามะพร้าว 25 กรัม ที่ผ่านการบำบัดวิธีการสร้างรวมตะกอน 100 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วัน ให้ประสิทธิในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ร้อยละ 67.0, 69.1 และ 91.2 ตามลำดับ โดยลักษณะการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของการดูดซับของทั้งแบบแลงเมียร์และ ฟรุนดิช และ

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกะลามะพร้าวต่อดินที่เหมาะคือ 1:60 ซึ่งสามารถบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ร้อยละ 82.5, 91.5 และ 86.5 ตามลำดับ ส่วนการทดลองการบำบัดแบบประยุกต์สำหรับใช้งานจริงโดยใช้เทคนิคการกรองในหน่วยย่อยขนาดเล็กจำลองระบบบำบัดแบบหญ้ากรองน้ำเสียร่วมกับการปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) และ กกกลม (*Cyperus alternifolius* L.) พบว่าธูปฤาษีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดร้อยละ 95.9, 95.8 และ 97.6 ตามลำดับ ส่วนของกกกลมให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่น และซีโอดีได้ดีที่สุดร้อยละ 93.0, 93.1 และ 95.2 ตามลำดับ

พัฒนพงษ์ และคณะ (2552) การศึกษาประสิทธิภาพของพุทธรักษา (*Canna indica* L.) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดินเป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) ภายใต้สภาวะธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่า บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และ ทีเคเอ็น และการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่ โดยใช้น้ำเสียชุมชนที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด นำมาผ่านการดักไขมันและตกตะกอนก่อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน โดยตัวกลางที่ใช้ได้แก่ ทรายปนหิน โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ถัง ถังแรกเป็นถังควบคุม ถังที่ 2 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 10 ต้น/ตารางเมตร และถังที่ 3 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 20 ต้น/ตารางเมตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกัน สามารถกำจัดค่า บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไม่แตกต่างกัน แต่ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น สามารถกำจัดค่า ทีเคเอ็น ได้ดีกว่าถังที่มีความหนาแน่นพุทธรักษา 10 ต้นและถังควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความถังที่มีหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น/ตารางเมตร สามารถกำจัดค่า บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และ ทีเคเอ็น ได้สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 90.7, 98.5, 99.0 ตามลำดับ และถังที่ปลูกพุทธรักษาสามารถเจริญเติบโตได้ในการทดลอง โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50-60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 150-165 เซนติเมตร สำหรับจำนวนใบ เมื่อเริ่มต้นมีจำนวนใบประมาณ 3-4 ใบ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 6–8 ใบ โดยการทดลองที่มีต้นพุทธรักษามีการเจริญโตไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองได้ข้อสรุปว่า การปลูกพุทธรักษาที่ความหนาแน่น 20 ต้น/ตารางเมตร มีแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด

พันธ์ทิพย์ (2551) การใช้พืชในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและบ้านเรือนในรูปของบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland) นั้นได้พัฒนาขึ้นมาก่อนการใช้พืชกำจัดสารมลพิษในดิน พืชน้ำมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารมลพิษในน้ำ โดยเฉพาะพืชน้ำที่เลี้ยงง่ายและโตเร็ว นอกจากใช้ลดปริมาณสารมลพิษอนินทรีย์ในน้ำแล้ว พืชยังสามารถกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ในน้ำได้ เช่น การปลูกหญ้าอะตราตัม (*Paspalum ateatum* L.) ในบึงประดิษฐ์ที่ได้รับน้ำเสีย 0.09 ลูกบาศก์เมตร/วัน สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 64 และลดไนโตรเจนในรูป แอมโมเนีย (NH_3) ได้ร้อยละ 89

พิจิตรา (2544) สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสานด้วยธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) และกกสามเหลี่ยม (*Actinoscirpus grossus* L.) พบว่า พืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดี โดยบำบัดไนโตรเจนรวมได้ร้อยละ 85-92 สำหรับค่า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ฟอสฟอรัสละลายทั้งหมด และฟีคอลโคลิฟอรมแบคทีเรีย สามารถบำบัดได้ร้อยละ 93-99 และยังพบว่า ธูปฤาษีมีการสะสมไนโตรเจนได้ดีกว่า กกสามเหลี่ยม โดยจะสะสมมากที่ใบ ต้น และราก ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยบึงประดิษฐ์โดยการใช้ธูปฤาษี และกกกลม ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และ ทีเคเอ็น ของกกกลมอยู่ในช่วงร้อยละ 63.5-88.1, 66.3-87, 69.7-95.5 และ 71.7-94.4 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพของการบำบัดของธูปฤาษีอยู่ในชวงร้อยละ 68.3-99.2, 67.1-91.6, 77.0-97.4 และ 75.0-95.7 ตามลำดับ ผักตบชวาเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เป็นตัวกรองในระบบชีวภาพ เพราะสามารถดูดซับโลหะหนัก เช่น ทองแดง และตะกั่วจากน้ำโสโครกตามบ้านเรือนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ สำหรับในประเทศไทยได้มีโครงการปรับปรุงบึงมะกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดยทำการปลูกผักตบชวาในบึงมะกะสันร้อยละ 10 ของพื้นที่ผิวน้ำในคอกขนาด 5x20 เมตร แล้วนำผักตบชวาที่โตเต็มที่แล้วสูงประมาณ 100-120 เซนติเมตร อายุ 4 เดือน มาใช้ประโยชน์ในด้านการทำปุ๋ยหมัก ทำเครื่องจักรสาน เป็นต้น การศึกษาการประยุกต์ใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียในต่างประเทศนั้น

พีรกานต์ (2555) โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาประเภทและประสิทธิภาพของวัสดุรองดินที่ใชในการปลูกพืชจากวัสดุต้นทุนต่ำ ในการกรองมลภาวะทางน้ำ โดยเลือกทดสอบจากวัสดุเหลือทิ้งทางการก่อสร้าง เนื่องจากมีความแข็งแรงและมีรูพรุนเหมาะสมต่อการนำมาดูดซับความสกปรกในน้ำ โดยเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง 3 ชนิด คือ เศษกระเบื้อง เศษปูน และเศษอิฐมอญ ทำการจัดเรียงวัสดุเหล่านี้ตามอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบความสามารถในการลดค่าซีโอดีจากน้ำเสียชุมชน พบว่า การใส่วัสดุตามลำดับบนลงล่าง ดังนี้ กระเบื้อง : เศษปูน : อิฐมอญ ที่อัตราสวน 1 : 1 : 2 และ อิฐมอญ : เศษปูน : กระเบื้อง ที่อัตราสวน 1 : 1 : 2 สามารถลดค่าซีโอดีเหมาะสมที่สุด จากนั้นคัดเลือกประเภทของพรรณไม้ที่แตกต่างกันคือ ถั่วปนโต (*Phaseolus vulgaris* Pinto Group.) หรือถั่วบราซิล (*Bertholletia excelsa*) เป็นพื้นคลุมดิน ว่านลิ้นมังกรด่าง (*Sansevieria trifasciata* Prain.*)* พลับพลึงตีนเป็ด (*Hymenocallis littorolis* (Jacq.) Salisb.) และชาฮกเกี้ยน (*Carmona retusa* (Vahl) Masam.) ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้ที่นิยมใช้ประดับพื้นที่สาธารณะ ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพการลดมลภาวะทางน้ำ พบว่าพืชทั้ง 4 ชนิดมีความสามารถในการลดมลภาวะทางน้ำแตกต่างกัน โดยพบว่า ว่านลิ้นมังกรด่าง และชาฮกเกี้ยน มีความสามารถในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสียได้มากกว่า ร้อยละ 50 ในขณะที่พลับพลึงตีนเป็ดมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี ในระยะแรกของการทดสอบ

มากกว่าพืชชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าหากใช้พืชเดี่ยวร่วมกับพืชคลุมดิน (ถั่วปนโต) สามารถลดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีและสารแขวนลอยได้มากกว่าการใช้พืชเดี่ยวประมาณร้อยละ 20 แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ชี้ชัดวาการใช้พืชเพื่อการลดค่าความสกปรกของน้ำเสียจึงจำเป็นต้องใช้พืชมากกว่า 1 ชนิด ในการทำงานร่วมกันจึงจะเห็นประสิทธิภาพอย่างชัดเจน

มินตรา (2558) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกักเก็บและบำบัดน้ำทางชีวภาพในการบำบัดน้ำไหลนองที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 1 และ 3 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ระบบไฮโดรโพนิค การทดลองที่ 1 ซึ่งหญ้าที่ทำการทดลองได้แก่ หญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus* (Sw.) P.Beauv.) หญ้านวลน้อย (*Zoysia matrella* (L.) Merr.) และหญ้าญี่ปุ่น (*Zoysia japonica* Merrill.) เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า หญ้าญี่ปุ่นสามารถสะสมแคดเมียมได้มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 597.1±2.29 และ 674.1±1.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมออกจากสารละลายได้มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 81.6±0.71 และ 70.1±0.26 จากนั้นนำหญ้าญี่ปุ่นในการทดลองที่ 2 โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ทรีตเม้นท์ ได้แก่ ระบบกรองชีวภาพที่ไม่มีหญ้าและมีหญ้าซึ่งจะรดน้ำด้วยน้ำไหลนองสังเคราะห์ที่ไม่มีแคดเมียม และระบบกรองชีวภาพที่ไม่มีหญ้าและมีหญ้าซึ่งจะรดน้ำด้วยน้ำไหลนองสังเคราะห์ที่มีแคดเมียมเข้มข้น 3 มิลลิกรัม/ลิตร ในอัตราการไหล 40 ลิตร/6 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ระบบกรองทางชีวภาพที่มีหญ้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ได้มากกว่าระบบที่ไม่มีหญ้า โดยสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 85.4 และ 84.17 สามารถกำจัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 78.1 และ 75.4

ศิริพร (2549) ศึกษาการสะสมตะกั่ว แคดเมียมในพืชผักและไม้ดอก จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ คะน้า (*Brassica alboglabra* Group.) มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*.L) และดาวเรือง (*Tagetes erecta* L.) ผลการทดลอง พบว่า คะน้าไม่สามารถสะสมตะกั่วและแคดเมียมได้ในลำต้น ในลักษณะที่ดาวเรืองมีความสามารถในการสะสมตะกั่วในดินได้อยู่ในช่วง 0.07-0.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน สำหรับมะเขือเทศ พบว่า มีความสามารถในการดูดดึงและสะสมตะกั่วได้ในช่วง 0.13-0.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดิน

สุภาพร และพิสบุษ์ (2540) ต้นธูปฤาษี (*Typha* sp) เป็นวัชพืชน้ำที่แพร่ระบาดและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วตาม หนอง คลอง บึง และอ่างเก็บน้ำ พบได้ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น สามารถทนความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม สามารถในการดูดซับธาตุอาหาร และโลหะหนักได้ในปริมาณสูง จากการทดลอง พบว่าธูปฤาษีมีน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย 56.6 ตัน/เฮกตาร์/ปี น้ำหนักเหนือดิน และใต้ดินจะอยู่ในระหว่าง 3.8-52.7 และ 1.6-48.7 ตัน/เฮกตาร์/ปี ตามลำดับ ธูปฤาษีสามารถดูดซับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เฉลี่ย 760 และ 60 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ตามลำดับ และจากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในสวนต่าง ๆ ของธูปฤาษีใบกว้าง (*Typha latifolia* L.) และธูปฤาษีใบแคบ (*Typha angustifolia* L.) พบว่าปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของธูปฤาษีแต่

ละชนิดแตกต่างกันปริมาณ N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu ในทุกส่วนของธูปฤาษีใบกว้างสูงกว่าธูปฤาษีใบแคบ และปริมาณธาตุอาหารที่มีปริมาณสูงสุดในสวนที่อยู่เหนือดินคือ N, K, Ca, Mg, และ Mn, และธาตุอาหารที่มีปริมาณสูงสุดของส่วนที่อยู่ใต้ดินคือ Na, Zn, และ Cu ปริมาณ N สูงที่สุดในธูปฤาษีทั้ง 2 ชนิด อยู่ในช่วงร้อยละ 2.5-2.9 รวมทั้งมีความสามารถดูดซับธาตุโลหะหนักได้ค่อนข้างมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีผลต่อปริมาณธาตุอาหาร และน้ำหนักของธูปฤาษี ปริมาณธาตุอาหาร N, P, K ส่วนเหนือดินของธูปฤาษีใบกว้างและใบแคบสูงสุดในช่วงฤดูร้อน ส่วนใต้ดินจะสูงสุดในช่วงปลายฤดูหนาว น้ำหนักส่วนเหนือดินของธูปฤาษีใบกว้างและใบแคบจะสูงสุดในช่วงฤดูร้อน และน้ำหนักของธูปฤาษีใบกว้างมากกว่าใบแคบ แต่น้ำหนักส่วนใต้ดินจะสูงสุดในช่วงฤดูหนาว

สุมนทิพย์ (2553) การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยใช้สาหร่ายสไปรูไลน่า ได้มีการประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยมีการตรวจวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ไนเตรท–ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสรวม พีเอช ความขุ่น และของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้ง จากนั้นนำสาหร่ายสไปรูไลน่า มาเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรซารุกค์ (Zarrouk) ให้ความเข้มแสง 2,000 ลักก์ และมีการให้อากาศตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 วัน จากนั้นนำมาหาค่า Optical Density ที่มีความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ ทำการวัดค่า ออกซิเจนละลายน้ำ ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสรวม พีเอช ความขุ่น และ ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่าสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน สามารถลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน จาก 17.07 เหลือ 6.00 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัสรวม จาก 19.50 เหลือ 5.80 มิลลิกรัม/ลิตร และสามารถเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำจาก 2.67 เป็น 5.57 มิลลิกรัม/ลิตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สาหร่ายสไปรูไลน่ามีการเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้ง จากโรงงานผลิตขนมจีน นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม อีกด้วย จึงสามารถแนะนำให้โรงงานผลิตขนมจีนนำสาหร่ายสไปรูไลน่ามาบำบัดน้ำทิ้งจากการผลิตขนมจีนก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

อรทัย และประพฤติธรรม (2550) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรีด้วยพุทธรักษา 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืชต่อการบำบัดบีโอดี จากการทดลองในระบบดินน้ำขัง 5 วันสลับแห้ง 2 วันร่วมกับพุทธรักษา 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ต้นสูงใบม่วงดอกแดง ใบเขียวดอกเหลือง และพันธุ์ต้นเตี้ยใบเขียวดอกชมพูและดินเปล่า พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนสูงมาก การลดลงของค่า บีโอดี ภายหลังการบำบัดเป็นไปตามสมมติฐานกลไกการบำบัดในแนวตั้งที่ตั้งไว้ว่าสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตจะถูก facultative anaerobes เอาไปใช้เป็น electron donor และเปลี่ยนเป็น CO_2 หายไปจากระบบและใช้ active Fe (III) และ Mn (IV) เป็น electron acceptor ในขบวนการ anaerobic respiration และสาร

โปรตีนในน้ำเสียจะหายไปจากการเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์ การมีพืชสามารถทำให้ทัศนียภาพดีขึ้น และน่าจะช่วยขนย้ายมลสารที่ถูกบำบัดแล้วและเป็นประโยชน์ในระยะยาว

อรอนงค์ และคณะ (2551) การศึกษาความสัมพันธ์ของแบคทีเรียในดินรอบรากพุทธรักษาต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยระบบหญ้ากรองน้ำเสียในสภาพน้ำขัง 5 วัน สลับปล่อยแห้ง 2 วัน แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พุทธรักษาเป็นพืชบำบัดน้ำเสียพบว่าพุทธรักษา สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขัง 5 วันสลับปล่อยแห้ง 2 วัน ทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินรอบรากพุทธรักษามีจำนวนเพิ่มขึ้นตามอายุของพืชและลดจำนวนลงเมื่อพืชเข้าสู่ระยะต้นแก่หรือช่วงดอกโรย การทดลองที่ 2 การศึกษาแบคทีเรียในดินรอบรากพุทธรักษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุพืชจนสูงสุดที่ระยะดอกบานและมีปริมาณลดลงเมื่อพืชเข้าสู่ระยะต้นแก่ สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินรอบรากพุทธรักษาตลอดระยะการเจริญเติบโตได้ 73 สายพันธุ์ ซึ่งพบแบคทีเรียในสกุล Bacillus sp. มีจำนวนมากที่สุดรองลงมา คือ *Arthrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Azotobacter* sp., *Xanthomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Corynebacterium* sp. และ *Acinetobacter* sp. ตามลำดับ ปริมาณเชื้อแบคทีเรียในดินรอบรากไม่มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

Ashraf et al. (2010) ได้ศึกษาปัญหาดินเค็ม ดินเค็มเป็นดินที่มีเกลืออนินทรีย์ในดินสูง โดยไอออนบวกที่พบบ่อยได้แก่ Na^+ Ca^{2+} Mg^{2+} และ K^+ ส่วนไอออนลบที่พบบ่อย ได้แก่ Cl^- SO^-_4 HCO^-_3 และ NO^-_3 อย่างไรก็ตาม มีพืชที่สามารถกำจัดไอออนของเกลือเหล่านี้ออกจากดินได้และมีพืชทนเค็มหลายชนิดสามารถสะสม Na^+ได้สูง และยังคงมีชีวมวลสูงอยู่ เช่น สกุลฮาโลไซลอน *Haloxylon recurvum* จำนวน 1 ต้น สามารถสะสม Na^+ได้ 17 กรัม และ (*Suaeda nudiflora*) 1 ต้น สามารถสะสม Na^+ได้ 15.6 กรัม ภายในระยะเวลาการทดลอง 3 เดือน ทั้งนี้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของรากที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในดินเค็ม เพราะเมื่อ H_2CO_3 ในดินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มการละลายของ $CaCO_3$ และ ไอออนของ Ca^{2+} จะไปแทนที่ Na^+ ในสารเชิงซ้อนในดินสามารถแลกเปลี่ยนได้ ดังนั้นการปลูกพืชทนเค็มจึงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้า พีเอช ปริมาณไอออนโซเดียม และแคลเซียม ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ตัวอย่างพืชทนเค็มที่สามารถใช้ในการกำจัดเกลือจากดินได้มีอีกหลายชนิด มีทั้งไม้พุ่ม เช่น สกุล *Atriplex Kochia indica* และ *Suaeda fruticosa* หญ้า (*Poaceae*) เช่น หญ้าแพรก (*Cynodon dactylon*) หญ้าเต่าทะเล (*Thalassia hemprichii*) *Leptochloa fusca* และ *Sporobolus arabicus* และไม้ยืนต้น เช่น พืชสกุล *Acacia* ยูคาลิปตัส เป็นต้น

Cheema et al. (2010) การปลูกพืชร่วมกันเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษอินทรีย์ภายในไรโซสเฟียร์ เนื่องจากการเจริญเติบโตร่วมกันของพืช

จะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างรากพืช ทำให้การทำงานของรากเปลี่ยนแปลงไปทั้งในด้านการทำงานของเอมไซม์ การหลั่งสารออกจากราก การเพิ่มความยาว คุณสมบัติของพื้นผิวภายนอกของราก การยึดตรึงพื้นที่ของราก ซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายสารมลพิษ รวมทั้งการส่งผลต่อพื้นผิวรากและสมบัติของดินที่ส่งผลต่อปริมาณการออกฤทธิ์ของสารมลพิษนั้น ๆ และทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำ ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ ภายในดินดีขึ้นด้วย

Gomes et al. (2014) การบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชน้ำชนิดต่าง ๆ เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง การปลูกธูปฤาษี (*Typha domingensis* L.) ในบึงประดิษฐ์เพื่อกำจัดปรอทที่ปนเปื้อนในน้ำโดยการไหลแบบต่อเนื่องลดปริมาณปรอทในน้ำได้ร้อยละ 99.6 โดยระบบที่ไม่ปลูกพืชลดได้เพียงร้อยละ 59.4

Harvey et al. (2002) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และน้ำเสียเทียมที่มีฟีแนนทรีนบำบัดโดยระบบการไหลแบบแนวนอน-แนวตั้ง โดยปลูกธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) และ กก (*Scirpus lacustris* L.) ซึ่งสามารถบำบัดได้ถึงร้อยละ 99.9 และพบแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายฟีแนนทรีและเมทาบอไลท์ได้ นอกจากนี้ยังมีพืชน้ำ เช่น *Juncus fontanesii* และแหนเป็ด (*Lemna perpusilla* Torrey.) ใช้ลดปริมาณฟีนอลในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 8-84 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้จุลินทรีย์ในแอกติเวดเตดสลัดจ์ และสารเหล่านี้จะถูกเติมหมู่ไฮดรอกซี แล้วเคลื่อนย้ายไปจับกับผนังเซลล์หรือ แวคิวโอล จัดว่าเป็นแหล่งสำคัญในการลดความเป็นพิษของสารมลพิษอินทรีย์ ซึ่งการสะสมสารมลพิษจะมากขึ้นไปตามการสัมผัสกับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารมลพิษที่เพิ่มขึ้น เป็นกระบวนการที่พบมากในพืชที่ทนทานต่อสารมลพิษอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การสร้างลิกนินเพิ่มขึ้นจะเป็นการเร่งการตายของเซลล์พืช จึงจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวพืชก่อนที่สารพิษจะกลับสู่สิ่งแวดล้อมพร้อมกับเศษซากพืช การย่อยสลายพืชด้วยเชื้อราไวท์รอท เพื่อย่อยสลายผนังเซลล์ของพืชอย่างสมบูรณ์ เป็นวิธีการที่เป็นไปได้ในการกำจัดสารมลพิษที่สะสมในผนังเซลล์ ซึ่งผนังเซลล์ของพืชจะมีรูปแบบการตอบสนองต่อสารพิษต่างกัน เช่น ถั่วเหลือง (*Glycine max* L.) ที่สัมผัสกับเบนโซเอไพรีน จากร้อยละ 49.7 เปลี่ยนเป็นเมทาบอไลซ์ที่มีขั้วอยู่ในเซลล์ร้อยละ 16.2 และเหลืออยู่ในอาหาร ร้อยละ 48.6

Karmakar et al. (2016) จากการศึกษาความสามารถของพืชน้ำสามารถสะสมฟลูออไรด์ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ โดย จอก (*Pistia stratiotes* Linnaeus.) สะสมได้ 0.143 มิลลิกรัม/กรัม ผักตบชวา (*Eickkornia crassipes* (C. Mart.) Solms.) สะสมได้ 0.214 มิลลิกรัม/กรัม และแหนเป็ดใหญ่ (*Spurodela polyrhiza* (L.) Schleid.) สะสมได้ 0.143 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีฟลูออไรด์ 20 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 10 วัน ซึ่งผักตบชวาทนทานต่อความเป็นพิษของฟลูออไรด์ได้ดีกว่าพืชอีกสองชนิด ทั้งนี้จอกเป็นพืชที่เหมาะกับการใช้บำบัดในระบบถังปฏิกรณ์ เพราะใช้พื้นที่น้อยและเก็บเกี่ยวได้ง่ายกว่า

Maddison et al. (2009) ได้ศึกษาการสะสมสารหนู ตะกั่ว และนิกเกิลด้วย แบล็คเบอร์รี่ไร้หนาม (*Rubus ulmifolius*) ที่ปลูกในบริเวณดินที่มีการปนเปื้อนสารหนู ตะกั่ว และนิกเกิล เท่ากับ 3,078 1,400 และ 135 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และผลของการศึกษาพบว่า แบล็คเบอร์รี่ไร้หนาม (*Rubus ulmifolius*) มีความสามารถในการสะสมสารหนูในราก ลำต้น และใบ มีค่าเท่ากับ 277-1,721 30-133 และ 60-265 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบการสะสมตะกั่วในราก ลำต้น และใบ มีค่าเท่ากับ 248-1,178 35-133 และ 25-149 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนนิกเกิลมีการสะสมในส่วนของรากเท่ากับ 48-151 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยไม่พบการสะสมในบริเวณลำต้นและใบ ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่า รากมีการสะสมสารหนู ตะกั่ว และนิกเกิลได้สูงที่สุด จึงสรุปได้ว่าพืชชนิดนี้สามารถนำมาใช้ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารหนู ตะกั่ว และนิกเกิลได้

Park et al. (2011) ศึกษาการใช้กรดฮิวมิกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนร่วมกับโลหะหนักได้ กรดฮิวมิกเป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุในดิน มีมวลโมเลกุลมาก ซึ่งช่วยเพิ่มความสมบูรณ์และคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ จึงทำการปลูกผักกาดหางหงษ์ (*Brassica campestris* var. pekinensis) หญ้าทอลเฟสคิว (*Festuca arundinaceae*) และ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ลงดินที่ปนเปื้อนปิโตรลียมไฮโดรคาร์บอน 23,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับตะกั่ว 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดง 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม 12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และนิกเกิล 160 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากนั้นเติมกรดฮิวมิกลงไป พบว่าจากการเติมกรดฮิวมิกลงไปทำให้ย่อยสลายปิโตรเลียมเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 45 และในดินที่ปลูก ผักกาดหางหงษ์ (*Brassica campestris* var. pekinensis) หญ้าทอลเฟสคิว (*Festuca arundinaceae*) และ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) และเพิ่มการย่อยสลายในดินสามารถบำบัดได้จากร้อยละ 45, 54 และ 66 เป็นร้อยละ 86, 64 และ 85 ตามลำดับ สรุปได้ว่าการเพิ่มการย่อยสลายนี้มาจากการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ และลดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อจุลินทรีย์

Tang et al. (2008) ศึกษาการสะสมตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียมในพืช *Arabis paniculata* Franch. ในบริเวณพื้นที่ดินที่มีการปนเปื้อน ผลการศึกษาพบว่า มีการสะสมตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม ในลำต้นของ *Arabis paniculata* Franch. เท่ากับ 2,310, 20,800 และ 434 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการทดลองปลูกพืชแบบไร้ดินที่ระดับความเข้มข้นของสารตะกั่ว 0, 24, 48, 97, 193 และ 386 ไมโครโมล และที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสี 0, 153, 306, 612, 1,223 และ 2,447 ไมโครโมล และที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 0, 9, 44, 89, 178 และ 267 ไมโครโมล พบว่า ตะกั่วมีการสะสมในพืชสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 386 ไมโครโมล โดยมีการสะสมในลำต้นและในรากเท่ากับ 12,800 และ 33,900 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนสังกะสีมีการสะสมได้สูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 1,223 ไมโครโมล ซึ่งสะสมใน

ส่วนของลำต้นและรากมากที่สุดเท่ากับ 17,300 และ 12,400 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และแคดเมียมมีการสะสมได้สูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 267 ไมโครโมล โดยมีการสะสมในลำต้นและรากเท่ากับ 6,000 และ 8,400 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพืช *Arabis paniculata* Franch. มีความสามารถในการสะสมและเคลื่อนย้ายตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียมจากรากไปสู่ลำต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Nwaichi et al. (2015) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอนินทรีย์ การใส่ปุ๋ยจะให้ผลดีในด้านส่งเสริมการย่อยสลายพีเอเอช แต่จะทำให้การสะสมโลหะลดลง ตัวอย่างเช่น การกำจัดหรือสะสมพีเอเอชและสารหนูในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันดิบ โดยใช้พืช 4 ชนิด คือ หญ้านิ้วหนู (*Fimbristylis littoralis* L.) ยางพารา (*Hevea brasilensis* Muell Arg.) ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* Stapf.) และ ถั่วหรั่ง (*Vigna subterranean* (L.) Thou.) เมื่อเวลาผ่านไป 90 วัน หญ้านิ้วหนู (*Fimbristylis littoralis* L.) กระตุ้นการย่อยสลายพีเอเอชได้ร้อยละ 92 และสะสมสารหนูได้ร้อยละ 96 ถั่วหรั่ง (*Vigna subterranean* (L.) Thou.) กระตุ้นการย่อยสลายพีเอเอชได้น้อยสุดคือ ร้อยละ 92 การเติมมูลสัตว์หรือปุ๋ยอนินทรีย์ที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มการย่อยสลายพีเอเอชได้ โดยปุ๋ยอนินทรีย์ให้ผลดีกว่าการสะสมพีเอเอชพบในพืชทุกชนิดในช่วง 0.8-1.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในรากและ 0.6-1.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การเติมปุ๋ยและ มูลสัตว์ทำให้การสะสมพีเอเอชในส่วนยอดลดลง การสะสมสารหนูในพืชทั้ง 4 ชนิด ในยอดอยู่ระหว่าง 0.033-0.042 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในรากอยู่ระหว่าง 0.037-0.041 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การเติมปุ๋ยและมูลสัตว์ทำให้การสะสมสารหนูลดลงเช่นกัน

Saba et al. (2015) ศึกษาการเติมตัวดูดซับและการเติมจุลินทรีย์ลงในบึงประดิษฐ์ที่มีน้ำปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมสีย้อมอะโซอิค โดยการใช้แกลบและถ่านแกลบเป็นชั้นกรอง พบว่าแกลบสามารถช่วยดูดซับสีย้อมได้ร้อยละ 50 การใช้ถ่านแกลบสามารถดูดซับได้ร้อยละ 80 และเมื่อเติมจุลินทรีย์เพิ่มประสิทธิภาพสามารถบำบัดได้ร้อยละ 90 นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 68 และฟอสฟอรัสรวมร้อยละ 75

Shardendu et al. (2003) ได้ทำการศึกษาโดยใช้พืชน้ำ 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) และอ้อ (*Phragmites australis* L.) ในการบำบัดซิลิเนียมในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเป็นระยะเวลา 65 วัน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 25 วัน ธูปฤาษีสามารถบำบัดซิลิเนียมได้ร้อยละ 54 และมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่า อ้อ และหลังจาก 65 วัน พบว่าธูปฤาษีมีการสะสมซิลิเนียมในปริมาณที่สูงกว่าอ้อ โดยสะสมไว้ที่ใบและลำต้น ดังนั้นธูปฤาษีจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าธูปฤาษีสามารถดูดซับโลหะหนักมาสะสมไว้ในสวนของราก ใบ ลำต้น โดยสะสมทองแดง นิกเกิล และสังกะสีไว้ 1,156.7, 296.7 และ1,231.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

Wang et al. (2012) ได้ศึกษาการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนร่วมกันระหว่างแคดเมียม 5.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กับพีเอเอช ซึ่งประกอบด้วยฟีแนนทรีน แอนทราซีน และไพรีนรวมกัน 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่าการใส่ปุ๋ยสามารถส่งผลดีต่อทั้งการสะสมโลหะและการย่อยสลายพีเอเอชได้ จากรายงานการปลูก *Sedum alfredii* และเติมปุ๋ยขี้หมูลงไปในชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า การเติมปุ๋ยขี้หมูจะเพิ่มชีวมวลของพืชและเพิ่มการสะสมแคดเมียมโดยไม่ยับยั้งประชากรแบคทีเรียในดินและการทำงานของเอนไซม์ การเติมปุ๋ยขี้หมูทำให้พีเอเอชลดลงเร็วขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการเพิ่มการเจริญเติบโตของรากเพิ่มการหลั่งสารจากราก

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน

1.1.1 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ขนาด 600 มิลลิลิตร

1.1.2 แผ่นเจลเก็บความเย็น

1.1.3 กล่องโฟมเก็บรักษาอุณหภูมิ

1.1.4 น้ำกลั่น

1.1.5 เครื่องวัดกรดด่าง อุณหภูมิ pH meter แบบพกพา รุ่น WaterProof pHtestr30

1.1.6 แก้วน้ำใส่ตัวอย่างน้ำ

1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างพืช

1.2.1 ตลับเมตร

1.2.2 แท็กติดต้นพืช

1.2.3 ปากกาเคมี

1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1.3.1 เครื่องดูดอากาศ (Suction pump) รุ่น VCP-8101 “HARMONY” Voltage: 220-240V AC 50HZ พร้อม กรวยบุชเนอร์ และขวดกรอง

1.3.2 เครื่องให้ความร้อน Clifton cerastir รุ่น CH-1E60 Cerastir Ceramic Hotplate Stirrer 230V 50Hz

1.3.3 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง รุ่น BSA224S-CW 220g x 0.0001g ยี่ห้อ Sartorius, Germany

1.3.4 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส Standard Lab Oven รุ่น FED53 ขนาด 50-210 ลิตร อุณหภูมิมาตรฐาน 40-300 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ BINDER GERMANY 1.3.5 ตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส Hot air oven Memmert รุ่น ULM600 ขนาด 416 ลิตร

1.3.6 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส รุ่น CWF 12/23 อุณหภูมิสูงสุด 1200 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Carbolite™

1.3.7 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น DR/2500 ยี่ห้อ HACH®

1.3.8 เครื่องทำความเย็น 4 องศาเซลเซียส ตู้แช่เย็นกระจก 3 ประตู รุ่น SDC-1500AY (56 คิว) ยี่ห้อ SANDEN INTERCOOL

1.3.9 กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร

1.3.10 ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

1.3.11 กระบอกตวง 100 และ 1,000 มิลลิลิตร

1.3.12 ปิเปตแก้ว ขนาด 1, 5 และ10 มิลลิลิตร และลูกยาง

1.3.13 หลอด COD ขนาด 20 × 150 มิลลิเมตร พร้อมฝา

1.3.14 บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร

1.3.15 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.3.16 บิวเรตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

1.3.17 คิวเวทท์

1.3.18 ถ้วยครูซิเบิล

1.3.19 แท่งแก้ว

1.3.20 ปากคีบ (Forceps)

1.3.21 ถ้วยอะลูมิเนียมฟรอยล์

1.3.22 โถดูดความชื้น

1.3.23 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง

1.3.24 หลอดหยดสาร

1.3.25 ช้อนตักสาร

1.3.26 ขวดฉีดน้ำกลั่น

1.3.27 ถุงมือและผ้าปิดจมูก

1.4 อุปกรณ์ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

1.4.1 กะละมัง ขนาด กว้าง 22 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

1.4.2 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร

1.4.3 สายยางให้อากาศ

1.4.4 เครื่องปั๊มอากาศ

1.4.5 ตัวต่อปรับปริมาณอากาศ

1.4.6 หัวทราย

1.4.7 ฟองน้ำ ใช้สำหรับพยุงต้นไม้

1.4.8 แผ่นโฟม

1.4.9 ตลับเมตร

1.4.10 ถังขนาด 10 ลิตร และฝาปิด

1.5 อุปกรณ์ในการทดลองระบบจำลองในชุมชน

1.5.1 ไม้ไผ่

1.5.2 เศษปูน (จากการก่อสร้าง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-40 มิลลิเมตร

1.5.3 เศษอิฐมอญ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-20 มิลลิเมตร

1.5.4 ดินร่วน

1.5.5 อุปกรณ์ขุด เช่น จอบ เสียม

1.5.6 ตลับเมตร

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.1.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4)

2.1.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครแมท ($K_2Cr_2O_7$)

2.1.3 สารเมอร์คิวริคซัลเฟต ($HgSO_4$)2.1.4 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0167 โมลาร์

2.1.5 สารซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$)

2.1.6 กรดซัลฟูริกรีเอเจนท์ (Sulfuric Acid Reagent)

2.1.7 1,10- ฟีแนนโทลีน โมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$)

2.1.8 lron (ll) Sulfate Heptahydrate ($FeSO_4.7H_2O$)

2.1.9 สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator Solution)

2.1.10 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียม ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$)

2.1.11 สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (FAS)

2.1.12 กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) เข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์

2.1.13 ชุดวิเคราะห์ไนเตรทสำเร็จรูป NitraVer® 5 Nitrate Reagent สำหรับตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ HACH®)

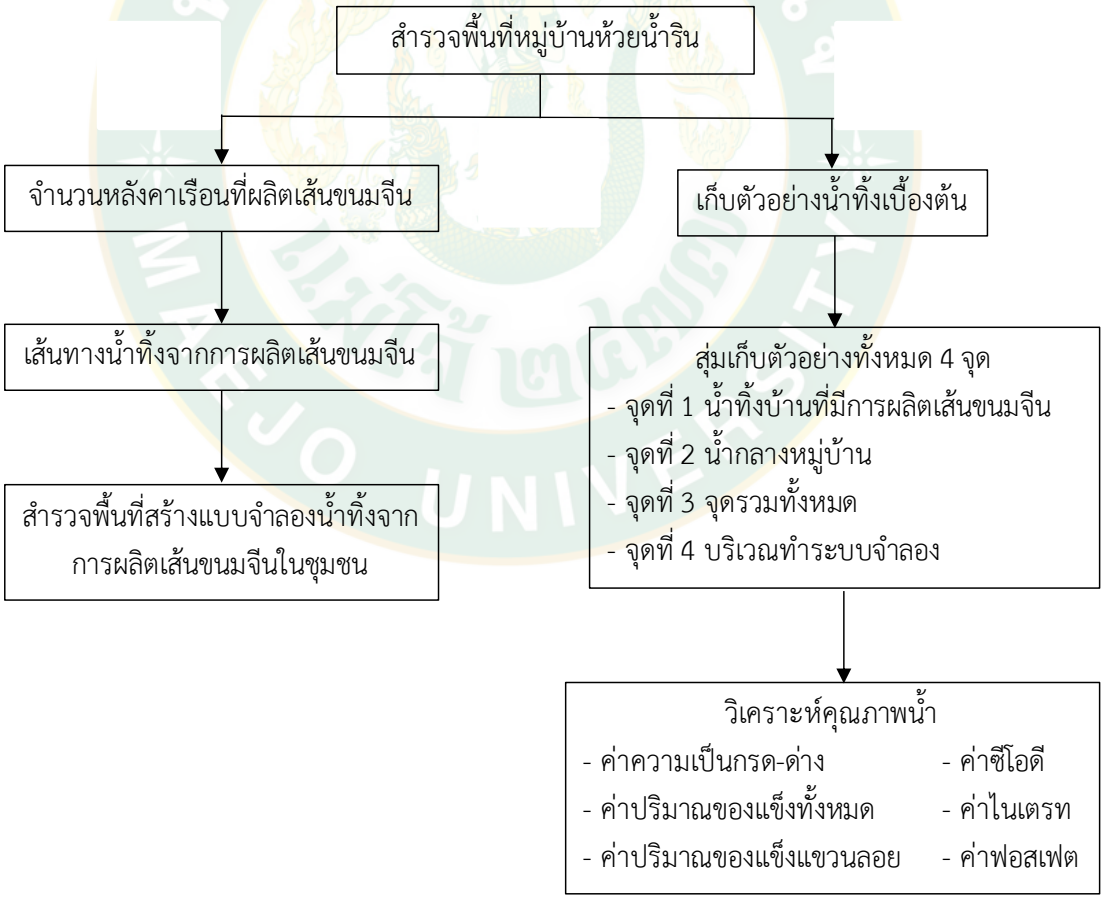
2.1.14 ชุดวิเคราะห์ฟอสเฟตสำเร็จรูป PhosVer® 3 Phosphate Reagent สำหรับตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร (ยี่ห้อ HACH®)

แนวทางการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานในการงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่ และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

ขั้นตอนนี้สำรวจพื้นที่ หมู่บ้านห้วยน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลจำนวนครั้งที่ผลิตเส้นขนมจีน เส้นทางน้ำทิ้ง ตำแหน่งการสร้างแบบจำลอง โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ทั้งหมด 4 จุด ดังภาพที่ 7 เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้นตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (APHA, 1992) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (Potential of Hydrogen ion, pH) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) ไนเตรท (Nitrate, NO_3^-) ฟอสเฟต (Phosphate, PO_4^{3-}) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

ภาพที่ 7 การสำรวจหมู่บ้านห้วยน้ำริน บ้านที่มีอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีนและจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกพืชและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพืช

ทำการคัดเลือกพืชและศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาพืชเพื่อใช้ในการทดสอบขั้นตอนที่ 3 โดยการสำรวจพืชท้องถิ่นในชุมชนที่คาดว่าชุมชนจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นการบริโภค หรือการสร้างภูมิทัศน์ในชุมชน เพื่อนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการและสร้างแบบจำลองจริงในชุมชน โดยจะแบ่งพืชออกเป็น 2 ประเภท คือ พืชที่สามารถใช้บริโภคได้และพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำคัดเลือกพืชทั้งหมด 16 ชนิด ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9

ภาพที่ 8 พืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่ใช้ในการศึกษา

ก. ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.), ข. ผักแพว (*Polygonum odoratum* Lour.), ค. หูเสือ (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.), ง. เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.), จ. เสลดพังพอนตัวเมีย (*Clinacanthus nutans* (Burm.f) Lindau.), ฉ. ผักแขยง (*Limnophila aromatica* (Lam.) Merr.), ช. คาวตอง (*Houttuynia cordata* Thunb.), ฌ. แปะตำปึง (*Gynura divaricata* L.)

ตารางที่ 4 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่ใช้ในการศึกษา

ชนิดพืช	ลักษณะการเจริญเติบโต	ประโยชน์และสรรพคุณ
ก. ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.)	- เป็นพืชผักสมุนไพรที่เจริญเติบโตได้ง่ายๆ - มีความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร ลักษณะเป็นรากฝอย - เป็นพืชที่ชอบน้ำ และบริเวณที่มีอินทรียวัตถุสูง	- ใบชะพลูมีเบต้าแคโรทีนในปริมาณมากซึ่งช่วยบำรุงและรักษาสายตา - แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียดแน่นท้อง
ข. ผักแพว (*Polygonum odoratum* Lour.)	- ผักแพวเป็นไม้ล้มลุกมีอายุหลายปี - มีความสูงประมาณ 15-30 เซนติเมตร - เป็นพืชที่ชอบน้ำมีน้ำขังเล็กน้อย จะเจริญเติบโตได้ดี - สามารถปลูกทั้งในที่ร่มและมีแสงแดด	- ช่วยป้องกันโรคหัวใจ - ช่วยขับลม แก้ท้องอืด - ช่วยป้องกันโรคปอด - ช่วยรักษาโรคผิวหนัง
ค. หูเสือ (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.)	- เป็นไม้ล้มลุก มีอายุได้ประมาณ 2-3 ปี - มีความสูงของลำต้นประมาณ 0.3-1 เมตร ลำต้นมีลักษณะอวบน้ำ หักได้ง่าย - เจริญเติบโตได้ในทุกสภาพดิน และเติบโตได้ดีในดินอุดมสมบูรณ์ที่มีอินทรียวัตถุสูง	- ใบหูเสือมีสรรพคุณเป็นยาบำรุงร่างกาย - รากเป็นยาบำรุงเลือดลม - แก้โรคหืดหอบ แก้ไอ แก้หวัด นำใบหูเสือสดมารับประทานร่วมกับน้ำพริก
ง. เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.)	- เป็นพืชไม้พุ่มสามารถสูงประมาณ 1-2 เมตร - เติบโตได้ดีในดินที่อุดมสมบูรณ์ ไม่ค่อยชอบดินเหนียว แต่จะชอบดินร่วนปนทรายที่มีความชุ่มชื้นและระบายน้ำดี	- ใบช่วยถอนพิษแมลงสัตว์กัดต่อย - ช่วยแก้ลมพิษ รักษาเม็ดผื่นคันตามผิวหนัง - แผลจากของมีคมบาด แก้ไฟไหม้น้ำร้อนลวก - แก้ปวดฟัน เหงือกบวม

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; มาโนช และเพ็ญนภา, 2540; วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี, 2560; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

ตารางที่ 4 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ชื่อพืช	ลักษณะการเจริญเติบโต	ประโยชน์และสรรพคุณ
ฉ. ผักแขยง (*Limnophila aromatica* (Lam.) Merr.)	- เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็กอายุประมาณ 1 ปี - มีความสูงต้นประมาณ 20-35 เซนติเมตร ลำต้นอวบน้ำ กลมกลวงเล็ก - เจริญเติบโตได้ดีในดินทุกชนิด ชอบดินร่วน ระบายน้ำดี มีแสงแดดจัด	- เป็นผักที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงช่วยในการต้านมะเร็งและต้านการเจริญของเชื้อโรคต่าง ๆ - ใช้ต้นและส่วนรากเป็นยาแก้ไข้ ลดไข้ - สามารถนำมารับประทานแบบสดๆ เป็นยาขับลม - ช่วยบรรเทาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ - ด้านอื่น ๆ เกษตรกรจะนำมาใช้ในการไล่แมลง
ช. คาวตอง (*Houttuynia cordata* Thunb.)	- ไม้ล้มลุกอายุประมาณ 2-4 ปี - มีความสูงประมาณ 15-50 เซนติเมตร - สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินทุกชนิด ชอบดินร่วน ระบายน้ำดี มีแสงแดดจัด	- ใช้เป็นยาระบาย อาหารไม่ย่อย - มีฤทธิ์ในการช่วยบำบัดฟื้นฟูโรคความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย - ช่วยยับยั้งเบาหวาน รักษาความสมดุลของร่างกาย
ฌ. แปะตำปึง (*Gynura divaricata* L.)	- เป็นไม้ล้มลุก มีอายุได้หลายปี - มีความสูงของต้นประมาณ 30-50 เซนติเมตร - เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วน ชอบน้ำ แสงแดดพอสมควร	- ช่วยทำให้เลือดเย็น ช่วยแก้อาการร้อนใน - ช่วยแก้โรคความดันโลหิตสูง - ช่วยทำให้ระบบหายใจดีขึ้น ไม่เหนื่อยไม่หอบ - ช่วยสมานบาดแผล รักษาแผลภายนอกได้

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

ภาพที่ 9 พืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา

ก. หญ้าถอดปล้อง (*Equisetum debile* Roxb.), ข. พุทธรักษา (*Canna indica* L.), ค. ปักษาสวรรค์ (*Strelitzia reginae* Ait.), ง. ลานไพลิน (*Bacopa caroliniana* B.L.Rob.), จ. กกราชินี (*Cyperus altrenifolius* L.), ฉ. อเมซอน (*Sagittaria lancifolia* L.), ช. ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ฌ. กล้วยบัว (*Musa sapientum* L.)

ตารางที่ 5 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา

ชื่อพืช	ลักษณะการเจริญเติบโต	ประโยชน์และสรรพคุณ
ก. หญ้าถอดปล้อง (*Equisetum debile* Roxb.)	- เป็นไม้พุ่มรอเลื้อย มีความสูงประมาณ 1-3 เมตร - เจริญเติบโตได้ในดินเหนียว มีต้องการน้ำมาก แสงแดดรำไรถึงแดดจัด - การขยายพันธุ์ เพาะสปอร์ แยกเหง้า	- ช่วยขับปัสสาวะ รักษาโรคนิ่ว ขับระดูขาว บำรุงไต - ใช้เป็นไม้ประดับตกแต่งสถานที่ต่าง ๆ
ข. พุทธรักษา (*Canna indica* L.)	- เป็นไม้ล้มลุก เนื้ออ่อน อวบน้ำ - ลำต้นมีความสูงประมาณ 1-2 เมตร - มีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า มีการเจริญเติบโตโดยแตกหน่อเป็นกอคล้ายกับกล้วย	- นำมาต้มเป็นยาแก้พิษให้วัวจากการกินหญ้ามีพิษ - เหง้าสามารถนำมาใช้ประกอบอาหารได้หลายแบบ เช่นเดียวกับ เผือก และมัน - ใช้เป็นไม้ประดับตกแต่งสถานที่ต่าง ๆ และใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำบึงประดิษฐ์
ค. ปักษาสวรรค์ (*Strelitzia reginae* Ait.)	- เป็นไม้พุ่มมีลำต้นอยู่ใต้ดินหรือเหง้า - ลักษณะลำต้นเป็นลำต้นเทียม สูงประมาณ 0.6-4 เมตร - เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่แสงแดดรำไร ชอบน้ำ และบริเวณที่มีอินทรียวัตถุสูง - สามารถออกดอกได้ดีที่มีอากาศเย็น ความชื้นสูง จะทำให้ออกดอกทั้งปี	- เป็นไม้ดอกเศรษฐกิจ ปลูกส่งไปขายทั่วประเทศ - ใช้ประดับอาคารสถานที่ต่าง ๆ - ไม่สามารถรับประทานได้

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

ตารางที่ 5 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ชื่อพืช	ลักษณะการเจริญเติบโต	ประโยชน์และสรรพคุณ
ง. ลานไพลิน (*Bacopa caroliniana* B.L.Rob.)	- เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุได้หลายปี มีลำต้นอวบน้ำ - เป็นพืชวงศ์เดียวกับผักแขยง กระจายอยู่ในระดับน้ำตื้น ๆ - มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ในดินเหนียวที่มีความชุ่มชื้นและมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ - ต้องการแสงแดดแบบเต็มวัน	- ใช้ปลูกในกระถาง เพื่อตกแต่งตามสถานที่ต่าง ๆ - นิยมนำมาจัดสวนในตู้ปลาเพื่อความสวยงาม และเพื่อการประกวดจัดตู้พรรณไม้น้ำ
จ. กกราชินี (*Cyperus altrenifolius* L.)	- เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี - ลำต้นมีความสูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร ลำต้นมีลักษณะเหลี่ยมค่อนข้างกลมมนตั้งตรง เป็นเหง้าแข็งสั้น ๆ - ขยายพันธุ์ด้วยการแยกหน่อ เติบโตได้ดีในดินเหนียวที่ชุ่มชื้นและมีอินทรีย์วัตถุสูง ชอบความชื้นสูงและแสงแดดเต็มวัน	- ลำต้น ราก เหง้า เป็นยาเย็นใช้เป็นยาฟอกเลือด ทำให้เลือดลมไหลเวียนดี - ใช้งานด้านภูมิทัศน์ นิยมนำมาปลูกไว้เป็นไม้ประดับตามริมสระน้ำในสวนหรือใช้ปลูกในภาชนะร่วมกับไม้น้ำอื่น ๆ - ช่วยบำบัดน้ำเสีย และปรับสมดุลทางระบบนิเวศน์ - ใช้เป็นวัสดุในงานหัตถกรรมพื้นบ้าน
ฉ. อเมซอน (*Sagittaria lancifolia* L.),	- ไม้โผล่เหนือน้ำอายุหลายปี - ลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าสั้น ๆ อยู่ใต้ดิน มีรากยึดไว้ - ลำต้นเหนือดินเป็นกอ มีใบแตกรอบ ๆ ประมาณ10 ใบ - ชอบดินเหนียวชุ่มชื้นและมีอินทรีย์วัตถุสูง	- เป็นไม้ประดับปลูกในภาชนะตั้งวางประดับสถานที่ต่าง ๆ หรือจัดในสวนน้ำให้บรรยากาศแบบสวนน้ำธรรมชาติ

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; วิทย์, 2542 ; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

ตารางที่ 5 ลักษณะการเจริญเติบโต ประโยชน์และสรรพคุณของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ชื่อพืช	ลักษณะการเจริญเติบโต	ประโยชน์และสรรพคุณ
ช. ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.)	- เป็นไม้ล้มลุกมีอายุประมาณ 2 ปี - เป็นวัชพืชน้ำที่สามารถเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว - มีความสูงประมาณ 1.5-3 เมตร ลำต้นใต้ดินเหง้า - เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด มีหน่อขึ้นเป็นระยะสั้น ๆ - พบขึ้นตามหนองน้ำ ลุ่มน้ำทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ตาทะเลสาบหรือริมคลอง รวมไปถึงตามที่โล่งทั่ว ๆ ไป - มีเขตการกระจายพันธุ์ทั่วโลกในเขตร้อนและในเขตอบอุ่น สำหรับในประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วทุกภูมิภาค	- มีระบบรากที่ดี ช่วยป้องกันการพังทลายของดินชายน้ำ - ใช้เป็นวัสดุคลุมผิวดินในไม้ยืนต้น สวนไม้ผลต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสียความชื้นออกจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ - ใบเหนียวนิยมใช้มุงหลังคา ใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น เสื่อ ตะกร้า เชือก - ยอดอ่อนกินได้ทั้งสด และทำให้สุก - ลำต้นใต้ดิน และราก ใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ
ฌ. กล้วยบัว (*Musa sapientum* L.)	- เป็นไม้ล้มลุก - มีความสูงได้ประมาณ 1-3 เมตร มีลำต้นเป็นเหง้าใต้กาบใบห่อหุ้มกับลำต้นเทียม -ขยายพันธุ์ด้วยการแยกหน่อ เติบโตได้ดีในดินทั่วไป ต้องการน้ำมาก และแสงแดดจัด	- นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับทั่วไป - กาบหัวปลี ผล ราก และเหง้า ของกล้วยบัวสีชมพู ใช้เป็นยาแก้ท้องเสียในเด็กได้เป็นอย่างดี

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

โดยพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ 8 ชนิด ส่วนใหญ่แล้วเป็นพืชทางเกษตรของชุมชน และคนในชุมชนสามารถนำมาประกอบอาหารได้ ดังนั้นน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานประเภทนี้ เช่น โรงงานบะหมี่ โรงงานแป้งมัน โรงงานน้ำอัดลม ฯลฯ จึงเป็นเพียงสิ่งที่เหลือจากการประกอบอาหารซึ่งไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อผู้บริโภค แต่ยังมีแร่ธาตุที่พืชต้องการนำไปใช้ไม่ว่าจะเป็นคาร์บอน ไนโตรเจน หรือ ฟอสฟอรัส (ธงชัย และเบญจพร, 2559) และพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่เหลืออีกทั้งหมด 8 ชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นพืชที่มีความทนทานต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง และน้ำเสียมีสภาวะความเป็นพิษสูง เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ง่ายไม่ต้องการการดูแล และมีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว

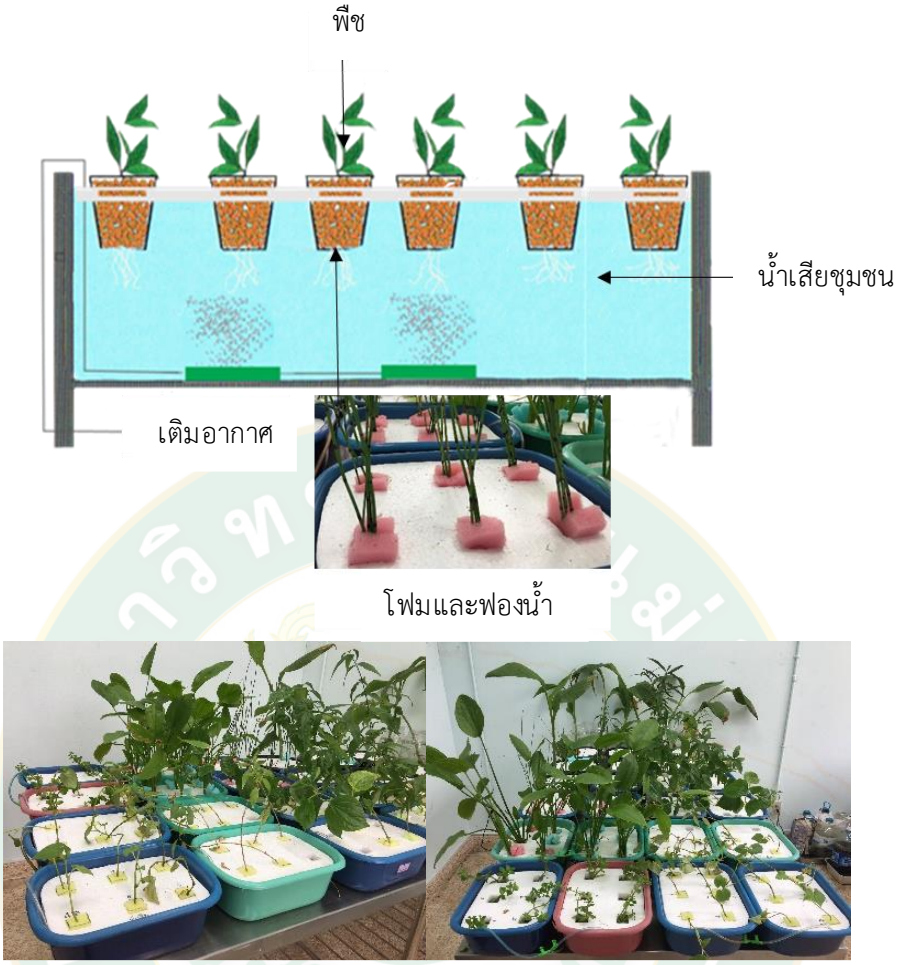
ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบพืชในระดับห้องปฏิบัติการ

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการนั้น จะเริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนจากขั้นตอนที่ 1 และนำมาปรับค่าทำความเข้มข้นค่าซีโอดีในช่วง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้ภาชนะที่ใช้ในการทดลองกว้าง 22 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร จะมีโฟมและฟองน้ำเป็นตัวประคองต้นพืชแต่ละต้น ดังภาพที่ 10 ซึ่งก่อนทำการทดลองต้องล้างรากพืชทุกต้นและนำไปแช่น้ำประปาเป็นเวลา 1 อาทิตย์ก่อนทำการทดลอง เพื่อเป็นการปรับพืชให้คุ้นชินกับสภาพน้ำ โดย 1 ชุดการทดลอง จะใช้น้ำที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน 3 ลิตร และชุดควบคุมจะใช้น้ำประปา 3 ลิตร ในแต่ละชุดการทดลองจะใช้พืชแต่ละชนิดจำนวน 6 ต้น และมีการเติมอากาศทุกชุดการทดลอง โดยในขั้นตอนนี้จะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 64 ชุดการทดลองและจะทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ ดังตารางที่ 6

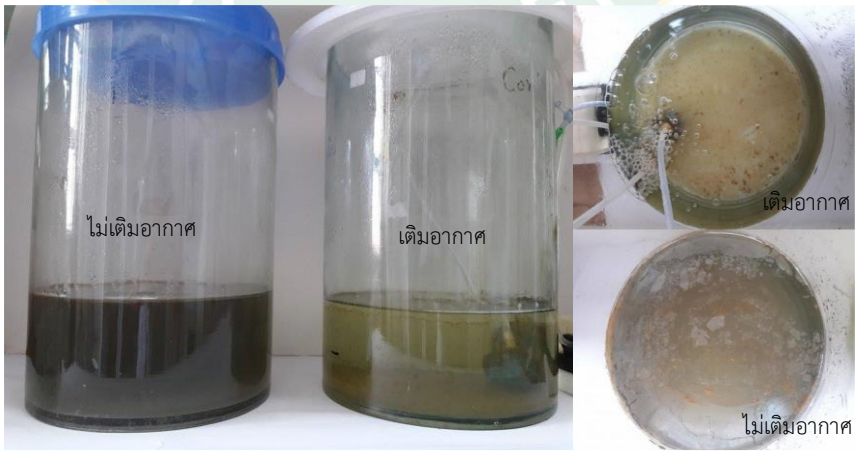
นอกจากนี้ยังทำการทดลองเพิ่มเติม โดยจะทดสอบในสภาพที่เติมอากาศ และไม่เติมอากาศ ซึ่งจะมีวิธีดำเนินงานดังนี้

- ถังใบที่ 1 เตรียมถังขนาด 10 ลิตร ใส่น้ำทิ้งจากการผลิตขนมจีนปริมาณ 3 ลิตร ปิดฝา และการเติมอากาศตลอดเวลา
- ถังใบที่ 2 เตรียมถังขนาด 10 ลิตร ใส่น้ำทิ้งจากการผลิตขนมจีนปริมาณ 3 ลิตร ลงในถังขนาด 10 ลิตร ปิดฝา และไม่มีการเติมอากาศ

แล้วทำการศึกษาคุณลักษณะของน้ำทิ้งและนำมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แบบจำลองการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 11 การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 6 แผนผังการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

ชื่อพืช	น้ำเสีย+พืช+เติมอากาศ (ชุดน้ำทิ้งขนมจีน)		น้ำประปา+พืช+เติมอากาศ (ชุดควบคุม)	
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
1. ชะพลู	T1R1	T1R2	T1C1	T1C2
2. ผักแพว	T2R1	T2R2	T2C1	T2C2
3. หูเสือ	T3R1	T3R2	T3C1	T3C2
4. เสลดพังพอนตัวผู้	T4R1	T4R2	T4C1	T4C2
5. เสลดพังพอนตัวเมีย	T5R1	T5R2	T5C2	T5C2
6. ผักแขยง	T6R1	T6R2	T6C1	T6C2
7. คาวตอง	T7R1	T7R2	T7C1	T7C2
8. แปะตำปึง	T8R1	T8R2	T8C1	T8C2
9. หญ้าถอดปล้อง	T9R1	T9R2	T9C1	T9C2
10. พุทธรักษา	T10R1	T10R2	T10C1	T10C2
11. ปักษาสวรรค์	T11R1	T11R2	T11C1	T11C2
12. ลานไพลิน	T12R1	T12R2	T12C1	T12C2
13. กกราชินี	T13R1	T13R2	T13C1	T13C2
14. อเมซอน	T14R1	T14R2	T14C1	T14C2
15. ธูปฤาษี	T15R1	T15R2	T15C1	T15C2
16. กล้วยบัว	T16R1	T16R2	T16C1	T16C2

การทดลองจะใช้ระยะเวลา 1 เดือน โดยจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนเตรท ฟอสเฟต และซีโอดี ตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (APHA, 1992) นอกจากนั้นจะได้ทำการวัดการเจริญเติบโตพืชที่ใช้ในการทดลอง โดยจะทำการวัดความยาวของราก และความสูงของต้น ของพืชทุกต้นก่อนทำการทดลองและหลังการทดลองตลอดระยะเวลา 1 เดือน ดังภาพที่ 12 นอกจากนี้จะได้ศึกษาความแตกต่างของระบบรากของพืชแต่ละชนิดเพื่อหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน

ภาพที่ 12 ตัวอย่างวิธีการวัดความยาวราก และความสูงของยอด

ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลองเพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน

ในขั้นตอนนี้จะนำพืชที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ มาออกแบบและสร้างแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา หมู่บ้านห้วยน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยจะสร้างแบบจำลองข้างแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปล่อยน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุกรอง/ชั้นกรอง

เมื่อได้วัสดุกรองให้นำมาล้างทำความสะอาด และเตรียมโดยทุบให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ได้แก่ อิฐมอญ เศษปูน(จากการก่อสร้าง) และดินปลูก ดังภาพที่ 13 โดยขนาดและสัดส่วนจะเป็นไปตามการออกแบบตามขนาดของพื้นที่ ดังภาพที่ 14

ภาพที่ 13 ลักษณะของวัสดุกรองที่ใช้ในการศึกษา

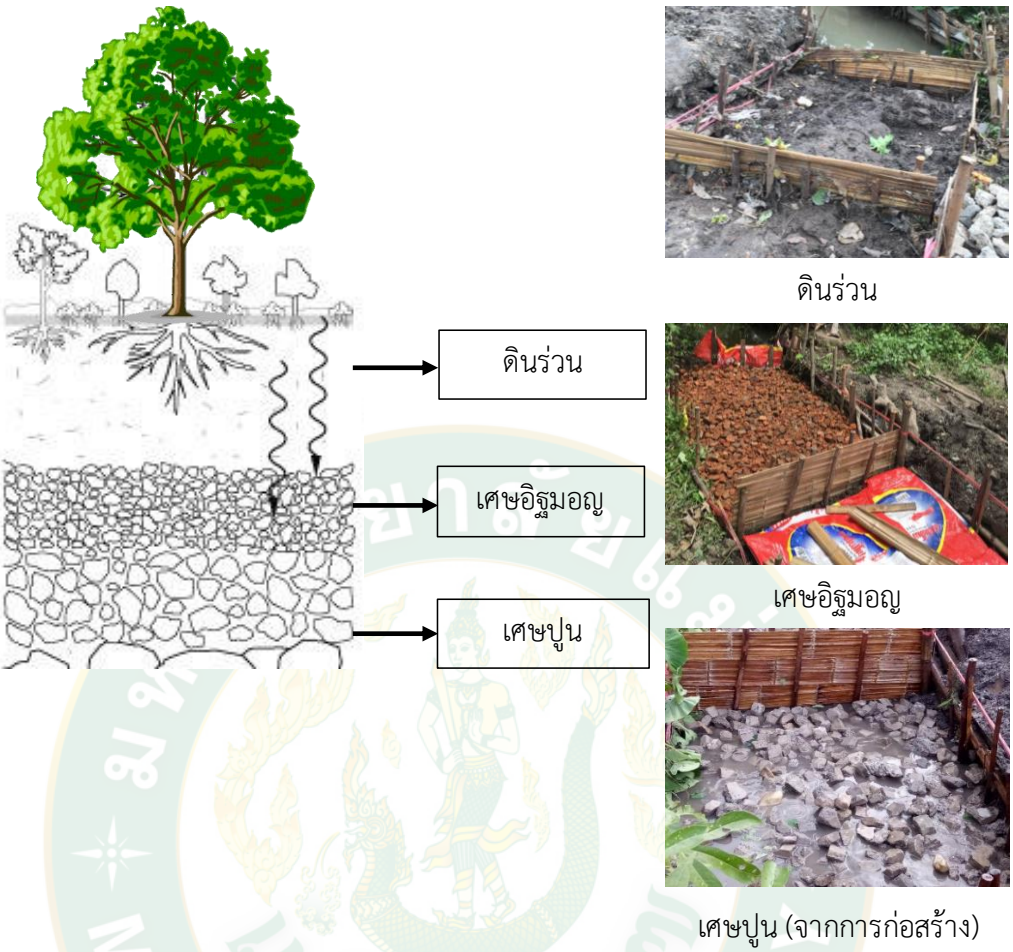
ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมพื้นที่ และวางวัสดุ/ชั้นกรอง

สำหรับระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช จะแบ่งระบบออกเป็น 4 ชั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบชั้นที่ 1 รองด้วยเศษปูน (จากการก่อสร้าง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-40 มิลลิเมตร เศษอิฐมอญ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-20 มิลลิเมตร และดินร่วน ทุกชั้นกรองหนา 30 เซนติเมตร
- ระบบชั้นที่ 2 รองด้วยเศษอิฐมอญ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-40 มิลลิเมตร และดินร่วน ทุกชั้นกรองหนา 30 เซนติเมตร
- ระบบชั้นที่ 3 ดินร่วนหนา 30 เซนติเมตร
- ระบบชั้นที่ 4 พื้นน้ำ

โดยที่แบบจำลองจะมีขนาด 1.50×6×0.90 เมตร แต่ละระบบชั้นจะกั้นด้วยไม้ไผ่ ดังภาพที่ 14 และ ภาพที่ 15 นอกจากนี้ระดับน้ำเข้าระบบจะอยู่มีความลึกลงประมาณ 30-60 เซนติเมตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะด้วย

ภาพที่ 14 การเตรียมพื้นที่ขนาด 1.50×6×0.90 เมตร สำหรับระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช



ภาพที่ 15 ชั้นกรองและแบบจำลองในชุมชน

ขั้นตอนที่ 4 การปลูกพืชทั้งหมด 16 ชนิด ลงในระบบจำลองชุมชน

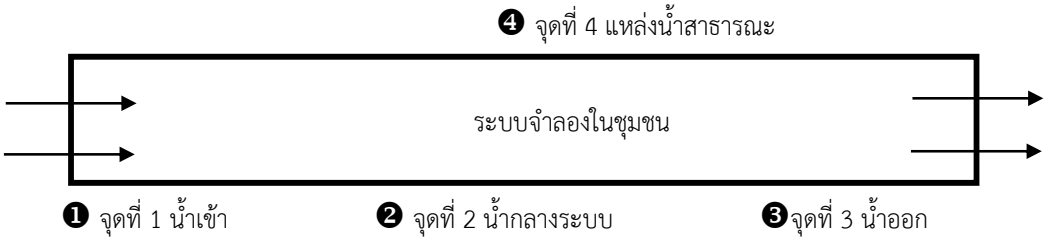
ในชั้นนี้จะนำพืชที่ผ่านการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการลงปลูกในระบบจำลองดังภาพที่ 16 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ชั้นกรองที่ 1 กล้วยบัว หญ้าถอดปล้อง ปักษาสวรรค์ ธูปฤาษี และกกราชินี
- ชั้นกรองที่ 2 พุทธรักษา อเมซอน ธูปฤาษี กกราชินี และลานไพลิน
- ชั้นกรองที่ 3 อเมซอล ธูปฤาษี ชะพลู ผักแพว หูเสือ คาวตอง ผักแขยง แปะตำปึง เสลดพังพอนตัวผู้ และเสลดพังพอนตัวเมีย
- ชั้นกรองที่ 4 อเมซอน

ภาพที่ 16 ขั้นตอนการปลูกพืช ทั้งหมด 16 ชนิดในระบบจำลองฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

ในการดำเนินของระบบจำลองในชุมชนจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 4 จุด คือ จุดที่ 1 น้ำเข้าระบบ จุดที่ 2 บริเวณกลางระบบ จุดที่ 3 น้ำออกระบบ และจุดที่ 4 แหล่งน้ำสาธารณะ ดังภาพที่ 17 โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเป็นประจำทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 เดือน ในช่วงเวลา 09.00-11.00 น. เพื่อนำมาตรวดวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ซีโอดี ไนเตรท ฟอสเฟต ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอย

จุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) จุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ)



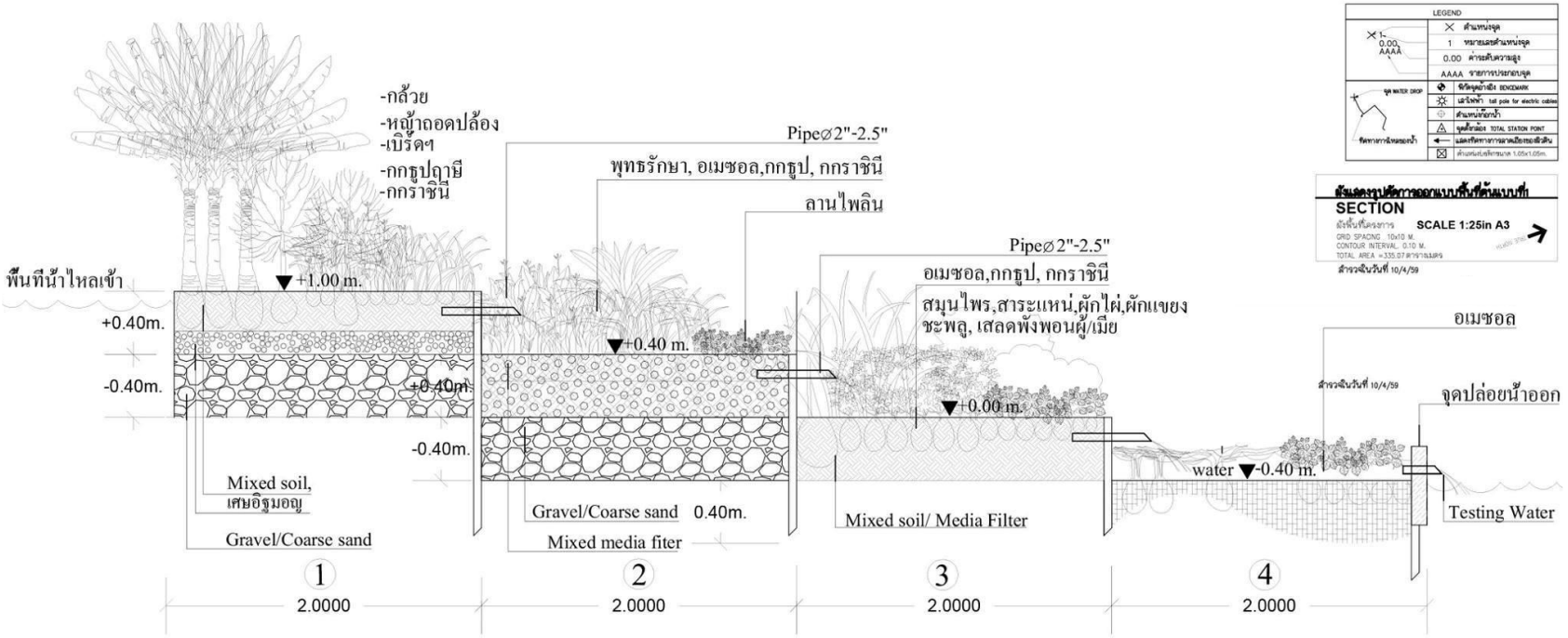
ภาพที่ 17 จุดเก็บตัวอย่างน้ำของระบบจำลองในชุมชน

นอกจากนี้จะทำการวัดการเจริญเติบโตของพืช โดยจะทำการวัดขนาดความสูงของยอดพืช เป็นประจำทุกสัปดาห์ และทำการวัดความยาวรากเมื่อจบการทดลอง ดังภาพที่ 18

ภาพที่ 18 วิธีการวัดการเจริญเติบโตของพืชส่วนความสูงต้น

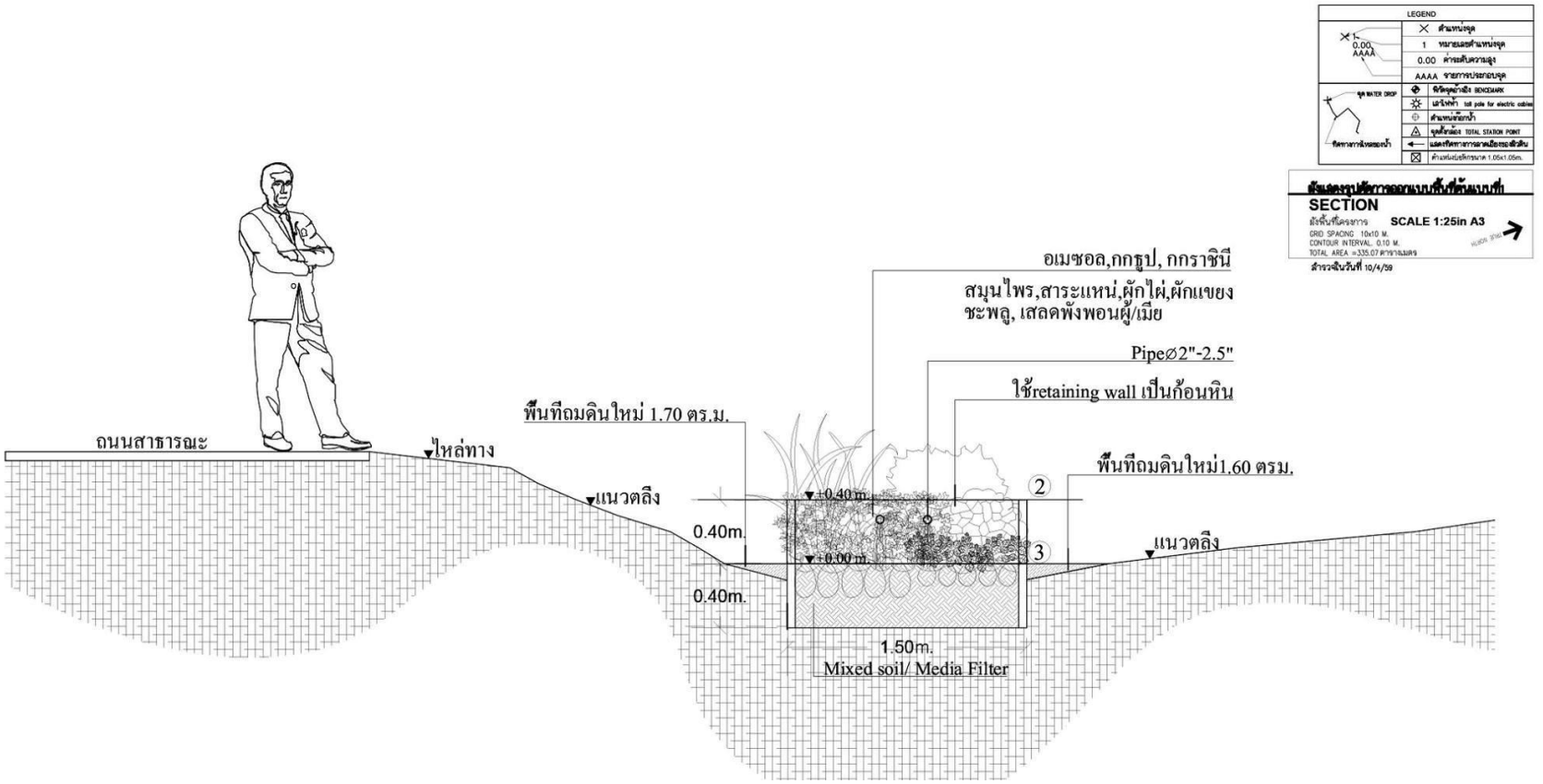
ในการดำเนินระบบจะได้ทำการตัดยอดจำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ในเดือนที่ 3 (ตุลาคม) และเดือนที่ 7 (กุมภาพันธ์) ดังภาพที่ 19 โดยจะทำการตัดส่วนยอดของพืชทุกชนิดให้เหลือความสูงจากพื้นดินเพียง 15-20 เซนติเมตร ยกเว้น ลานไพลิน ผักแขยง เนื่องเป็นพืชขนาดเล็กมีการเจริญเติบโตไม่ถึง 20 เซนติเมตร และกล้วยบัว เนื่องจากเป็นพืชขนาดใหญ่มีการฟื้นตัวช้า

ภาพที่ 19 การตัดยอดในระบบจำลอง



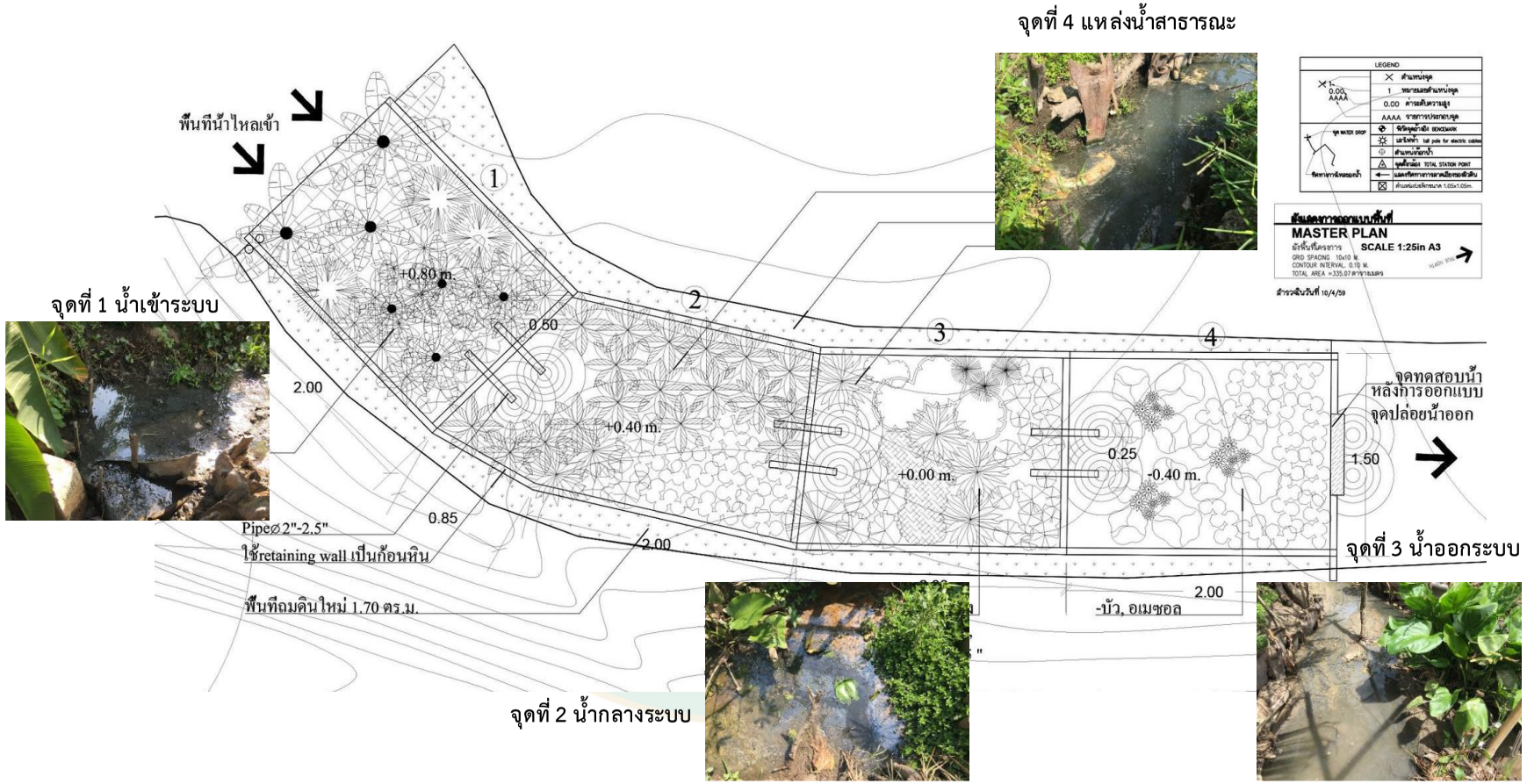
ภาพที่ 20 แบบจำลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน

ที่มา: (รมย์ชลีรดา และคณะ, 2560)



ภาพที่ 21 แบบจำลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน

ที่มา: (รมย์ชลีรดา และคณะ, 2560)



ภาพที่ 22 ตำแหน่งแบบจำลองในชุมชน และจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง 4 จุด

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ไหลลงมาเจือปนกับแหล่งน้ำสาธารณะที่หมู่บ้านน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย และส่งกลิ่นเหม็น ด้วยวิธีการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) โดยใช้ระบบกักเก็บและกรองน้ำทางชีวภาพ โดยในเบื้องต้นของการวิจัยจะทำการศึกษาคุณภาพน้ำก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ และคุณภาพน้ำที่เจือปนลงแหล่งน้ำสาธารณะจากการผลิตเส้นขนมจีน จากนั้นจะได้ทดสอบพืช 16 ชนิด ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะทำการสร้างระบบบำบัดแบบจำลองในชุมชนโดยใช้พืชจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทั้ง 16 ชนิด โดยได้ผลการสำรวจและผลการทดลองในขั้นตอนต่าง ๆ แสดงในรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานเส้นขนมจีนก่อนการบำบัด

จากการสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ไนเตรท ค่าฟอสเฟต และซีโอดี และนำผลมาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนกับค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ดังตารางที่ 5 พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณสารแขวนลอย มีค่าที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดไว้ ยกเว้นค่า TKN และจากลักษณะทางกายภาพของน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการเจือปนน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าแหล่งน้ำมีสีขาวขุ่น ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในการบริโภคได้ แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากพบว่ามีสารอาหารในปริมาณสูง จารุชา และคณะ (2558) ได้นำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนชุมชนไปใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย Spirulina sp. โดยใช้อัตราการเจือจางน้ำทิ้งต่อน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:20 (ปริมาตร/ปริมาตร) จะให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายดีที่สุดเท่ากับ 1.8×10^7 เซลล์/มิลลิลิตร และสามารถลดค่าซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 87.6 นอกจากนี้เนื่องจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนตั้งอยู่ในชุมชนและสภาพสังคมโดยรอบเป็นแบบเกษตรกรรม ดังนั้นการเลือกใช้ระบบบำบัดในกรณีนี้จึงต้องคำนึงถึงการใช้ประโยชน์และความเหมาะสมของบริบทชุมชนเป็นสำคัญ อีกทั้งควรคำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำ ซึ่งโดยปกติแหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติ (self purification)

โดยจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ย่อยสลายสารมลพิษในน้ำทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าจำนวนและชนิดของแบคทีเรียให้อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณสารอินทรีย์ จนทำให้เกิดสภาวะการขาดแคลนปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพออาจทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสียหรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ ซึ่งผลการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานเส้นขนมจีนก่อนการบำบัดทางกายภาพ ตารางที่ 7

จุดที่ 1 (น้ำทิ้งบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน)

จุดที่ 2 (น้ำกลางหมู่บ้าน)

จุดที่ 3 (จุดรวมน้ำทิ้ง)

จุดที่ 4 (บริเวณทำระบบจำลอง)

ภาพที่ 23 บริเวณเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด ในการสำรวจรอบหมู่บ้าน

พบว่าในจุดที่ 1 (น้ำทิ้งจากบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนที่ถูกปล่อยออกมาจะมีสีขาวขุ่น และมีฟองเป็นจำนวนมาก โดยเป็นน้ำที่ไม่มีการเจือปนกับแหล่งน้ำสาธารณะ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นพบว่ามีค่าค่อนข้างสูง จุดที่ 2 (น้ำกลางหมู่บ้าน) จะเป็นจุดที่มีน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนไหลมาปนกับแหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้แหล่งน้ำดีถูกเจือปน จุดที่ 3 (จุดรวมน้ำทิ้ง) เป็นจุดรวมของน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนหลายแหล่งรวมไปถึงที่ไหลมาจากบริเวณจุดที่ 2 (น้ำกลางหมู่บ้าน) และจุดที่ 4 (บริเวณทำระบบจำลอง) บริเวณนี้จะเป็นจุดที่น้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนถูกเจืองจางด้วยน้ำดี ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำมีปริมาณไม่สูงเท่าจุด

อื่น ๆ อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์จากบริเวณจุดที่ 2 (น้ำกลางหมู่บ้าน) จุดที่ 3 (จุดรวมน้ำทิ้ง) และจุดที่ 4 (บริเวณทำระบบจำลอง) จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะ จากการสำรวจและเก็บน้ำทิ้งทั้งหมด 4 จุด พบว่า จุดที่ 1 (น้ำทิ้งบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน) จุดที่ 2 (น้ำกลางหมู่บ้าน) จุดที่ 3 (จุดรวมน้ำทิ้ง) และจุดที่ 4 (บริเวณทำระบบจำลอง) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.92, 5.44, 6.21 และ 6.42 ตามลำดับ ค่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 31.0-33.3 องศาเซลเซียส ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 7,806, 1,174, 1,074 และ590 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าปริมาณสารแขวนลอย เท่ากับ 156, 40, 70 และ68 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าไนเตรท เท่ากับ 85.7, 65.7, 72.8 และ17.2 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าฟอสเฟต เท่ากับ 1.65, 1.74, 1.94, และ1.26 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีโอดี เท่ากับ 2,992, 1,320, 980 และ500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนบริเวณ จุดที่ 1 (น้ำทิ้งจากบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน) กับค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำจากการสำรวจโรงงานผลิตเส้นขนมจีน	ค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน*[1]
ความเป็นกรด-ด่าง	3.92	6.5-8.5
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	85.7	ไม่เกิน 0.5
ฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)	1.65	ไม่เกิน 2
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,992	ไม่เกิน 100
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	33.3	ไม่เกิน 40
ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	7,806	ไม่เกิน 1,300
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	156	ไม่เกิน 30
TKN (มิลลิกรัม/ลิตร)	23.29	ไม่เกิน 35

ที่มา: *[1](กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

จากตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนบริเวณ จุดที่ 1 (น้ำทิ้งจากบ้านที่มีการผลิตเส้นขนมจีน) กับค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์โดยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ไนเตรท ซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอย พบว่าไนเตรท มีค่ามากถึง

85.7 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอาจจะเกิดมาจากการใส่วัตถุเจือปนอาหารหรือสารกันบูด ซึ่งจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา อนุญาตให้ใช้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ.2547 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กรดเบนโซอิก สารประกอบไนไตรท์ไนเตรท เกลือซัลไฟต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่ผู้ผลิตมักใส่ลงในอาหาร เพื่อเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือทำลายจุลินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อเป็นการถนอมอาหารให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

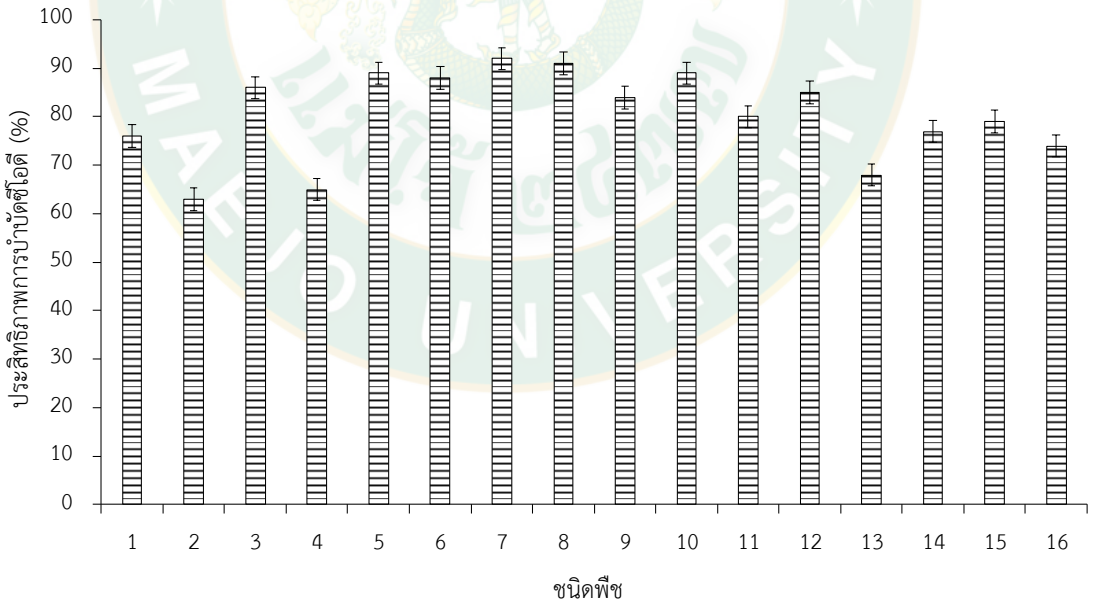
2. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการคัดเลือกพืชที่สามารถใช้บริโภคได้และพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ 16 ชนิด ได้แก่ กล้วยบัว หญ้าถอดปล้อง ปักษาสวรรค์ ธูปฤาษี กกราชินี พุทธรักษา อเมซอน ลานไพลิน ชะพลู ผักแพว หูเสือ คาวตอง ผักแขยง แปะตำบึง เสลดพังพอนตัวผู้ และเสลดพังพอนตัวเมีย มาทำการทดสอบประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระดับห้องปฏิบัติการในระยะเวลา 30 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

จากการทดลอง พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนก่อนการทดลองมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพืชที่สามารถบริโภคได้และพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์ทุกชนิดสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้เกินร้อยละ 50 โดยที่ พุทธรักษา และอเมซอน สามารถลดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 คิดเป็นร้อยละ 92±5.65, 91±4.24 ตามลำดับ ดังภาพที่ 24 สำหรับพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์นั้น พุทธรักษา (*Canna indica* L.) และ อเมซอน (*Sagittaria lancifolia* L.) สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) ซึ่งสามารถลดค่าซีโอดีจาก 432 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 36 และ 40 มิลลิกรัม/ลิตร เท่านั้น ทั้งนี้คาดว่า พุทธรักษา มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งส่วนยอดและราก ซึ่งระบบรากพุทธรักษาช่วยส่งเสริมให้จุลินทรีย์บริเวณรอบรากทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนทำให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียเพื่อการเจริญเติบโต (อรอนงค์ และคณะ, 2551) มีงานวิจัยหลายผลงานที่ได้นำพุทธรักษามาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถกำจัดค่า ของแข็งแขวนลอย และปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงสุดร้อยละ 98.5 และ 99.0 ตามลำดับ และพุทธรักษาสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50-60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 150-165 เซนติเมตร (พัฒนพงษ์ และคณะ, 2552) และเมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ พบว่า เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.) สามารถบำบัด

ค่าซีโอดีได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 89±4.24 โดยสามารถลดค่าซีโอดีจาก 432 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 48 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ สำหรับกลไกการบำบัดของพืชจะเกิดจากส่วนราก ก้าน และลำต้น โดยรากพืชจะทำหน้าที่ดูดซึมสารพิษและสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสีย ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในบริเวณในดินและในน้ำเสีย เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่พืชมีการสังเคราะห์แสง ทำให้ได้สารจำพวกแป้ง น้ำตาล และก๊าซออกซิเจน ซึ่งส่วนหนึ่งนำไปใช้ในลำต้นของพืชและอีกส่วนผ่านออกไปนอกลำต้นผ่านระบบรากไปเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานให้แก่จุลินทรีย์ในบริเวณได้อีกทางหนึ่ง (พีรกานต์, 2555) นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยได้ทำการทดสอบการย่อยสสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน ในระบบโดยการเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ซึ่งไม่ใช้พืช พบว่า ในระบบทีมีการเติมอากาศจะสามารถลดค่าซีโอดี ร้อยละ 20 ในขณะที่ในระบบที่ไม่มีการเติมอากาศจะลดค่าซีโอดีลงได้ ร้อยละ 18 ซึ่งการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ลดลงเกิดจากการย่อยสลายที่เกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำเสียเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการที่ระบบที่ใช้พืชสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงขึ้นกว่าระบบที่ไม่ใช้พืชนั้นแสดงให้เห็นว่า กลไกของพืชมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้กำจัดสารอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น

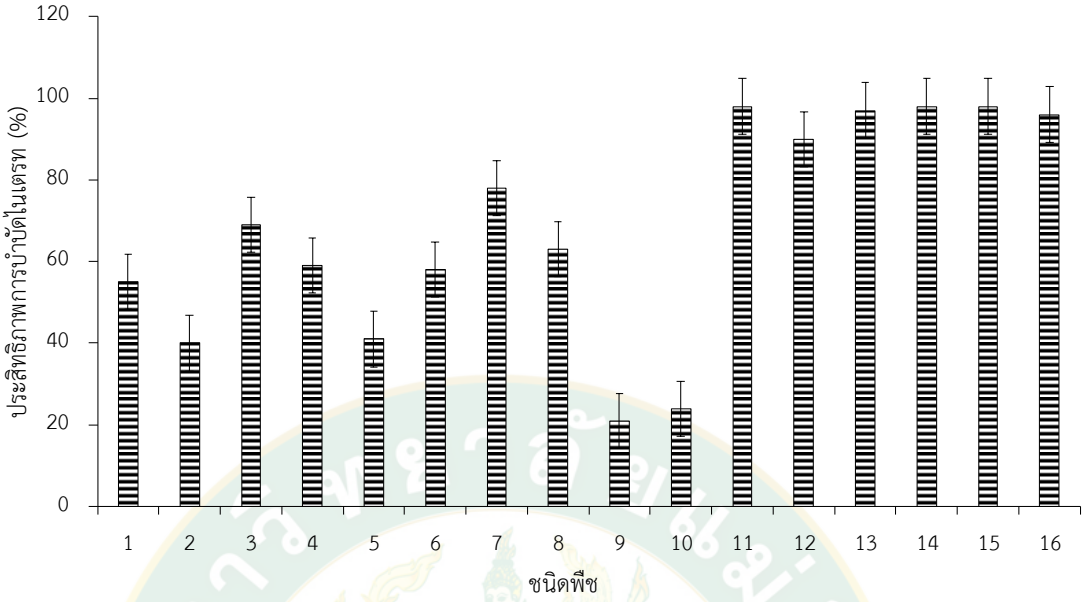


ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของพืช 16 ชนิด

โดยที่ 1. คาวตอง 2. ผักแพว 3. ชะพลู 4. เสลดพังพอนตัวเมีย 5. เสลดพังพอนตัวผู้ 6. หูเสือ 7. พุทธรักษา 8. อเมซอน 9. ลานไพลิน 10. หญ้าถอดปล้อง 11. กล้วยบัว 12. ธูปฤาษี 13. กกราชินี 14. ผักแขยง 15. ปักษาสวรรค์ 16. แปะตำปึง

2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท

จากการทดลอง พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานเส้นขนมจีน ก่อนการทดลองมีค่าไนเตรทในช่วง 85.7-1.6 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อทำการทดสอบความสามารถของพืชในการกำจัดไนเตรท พบว่า กล้วยบัว ผักแขยง ปักษาสวรรค์ กกราชินี แปะตำปึง และธูปฤาษี มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทเกินร้อยละ 90 (98±59.50, 98±45.06, 98±50.38, 97±44.93, 96±44.72, 90±48.36 ตามลำดับ) ดังภาพที่ 25 โดยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พืชทั้ง 6 ชนิด สามารถบำบัดไนเตรทได้ เนื่องจากเป็นพืชที่ชอบเจริญเติบโตในสภาวะที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง มีความต้องการน้ำสูงและมีการระบายน้ำ และการหมุนเวียนอากาศดี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชที่มีหน่อใต้ดินและลำต้นอวบน้ำ ทำให้สามารถลำเลียงน้ำได้ดีและยังมีส่วนระบบของใบและรากที่ยาวแตกแขนง ซึ่งต้องการไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นพืชดังกล่าวจึงมีการใช้ไนเตรทในน้ำได้สูง เนื่องจากไนโตรเจนจำเป็นสำหรับพืช โดยไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ยูเรีย แอมโมเนียม และไนเตรท ส่วนใหญ่พืชใช้ในรูปไนเตรทเพราะสามารถดูดไปใช้ได้ทันที ส่วนยูเรียและแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนสภาพในดินให้เป็นไนเตรทก่อน พืชจึงนำไปใช้ได้ หรือระหว่างกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนบางส่วนอาจสูญเสียด้วยการระเหยขึ้นไปในอากาศ ซึ่งสอดคล้องงานของ กลอยกาญจน์ (2544) ที่แนะนำว่าการกำจัดไนเตรทด้วยระบบบำบัดที่มีพืชเข้ามาเกี่ยวข้องส่วนมากจะเกิดจากพืชดูดซึมไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต การย่อยสลาย และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามไนเตรท-ไนโตรเจนจะถูกกำจัดออกจากระบบด้วยการดูดซึมโดยพืชเป็นหลัก ในการทดลองพบว่า มีการแตกใบและหน่อใหม่ โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50-60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 65-70 เซนติเมตร ซึ่งสามารถลดค่าไนเตรทจาก 85.7 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 1.55 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่หญ้าถอดปล้อง และลานไพลิน สามารถกำจัดไนเตรทได้ค่อนข้างน้อยคิดเป็นร้อยละ 24±.38 และ 21±0.23 ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าถอดปล้อง และลานไพลิน เป็นพืชที่มีลำต้นเล็ก และหญ้าถอดปล้องเป็นพืชที่ไม่มีใบจึงอาจจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรทได้น้อยกว่า



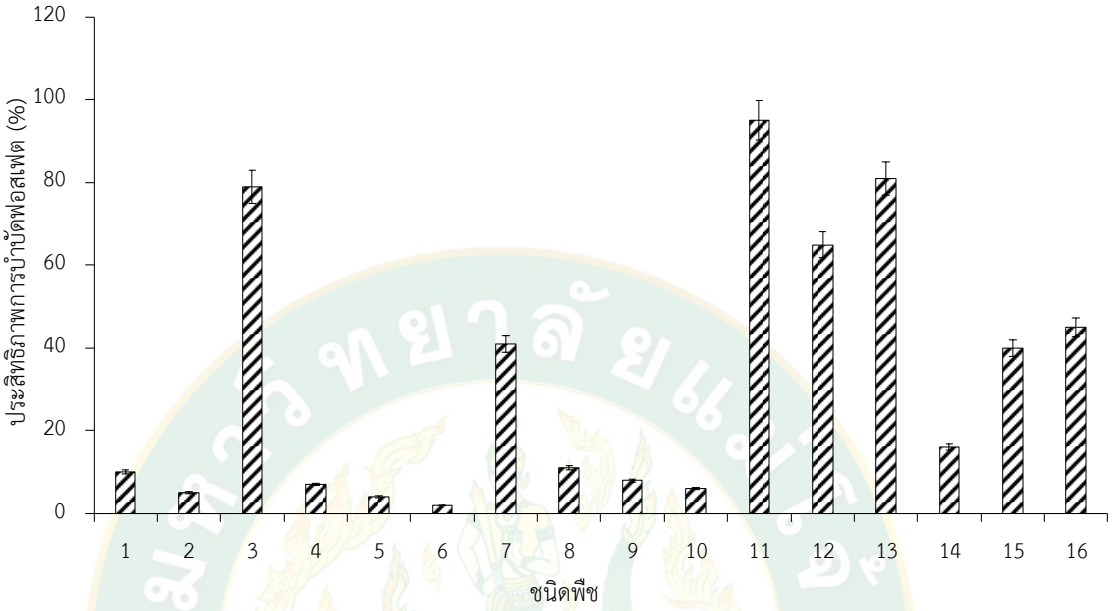
ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทของพืช 16 ชนิด

โดยที่ 1. คาวตอง 2. ผักแพว 3. ชะพลู 4. เสลดพังพอนตัวเมีย 5. เสลดพังพอนตัวผู้ 6. หูเสือ 7. พุทธรักษา 8. อเมซอน 9. ลานไพลิน 10. หญ้าถอดปล้อง 11. กล้วยบัว 12. ธูปฤาษี 13. กกราชินี 14. ผักแขยง 15. ปักษาสวรรค์ 16. แปะตำปึง

2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต

จากการทดลอง พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานเส้นขนมจีนก่อนการทดลองมีค่าฟอสเฟตในช่วง 2.46-0.52 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อทำการทดสอบพืชในการกำจัดฟอสเฟต พบว่า กล้วยบัว กกราชินี ชะพลู และธูปฤาษี มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 50 (95±1.11, 81±0.99, 79±0.86, 65±0.81 ตามลำดับ) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) ในขณะที่เสลดพังพอนตัวผู้ และหูเสือ สามารถกำจัดฟอสเฟตได้ค่อนข้างน้อย คิดเป็นร้อยละ 4±0.05 และ2±0.03 ตามลำดับ ดังภาพที่ 26 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กล้วยบัว (*Musa sapientum L.*) สามารถบำบัดค่าฟอสเฟตได้ดีที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 95±1.11 เนื่องจาก กล้วยบัว เป็นพืชที่มีลำต้นใหญ่ และส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำ ชอบแหล่งที่อุดมไปด้วยสารอินทรีย์ ในการทดลองพบว่า กล้วยบัว มีการแตกหน่อและรากใหม่ ซึ่งระบบรากนั้นเป็นฝอย รากสามารถแผ่กระจายได้ถึง 5.2 เมตร และลึกประมาณ 75 เซนติเมตร ทั้งนี้คาดว่าปริมาณฟอสเฟตที่ลดลงเกิดจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช โดยฟอสฟอรัสจะทำให้พืชมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น การออกดอก การออกผล เป็นต้น ซึ่งสามารถลดค่าฟอสเฟตจาก 1.65 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.08 มิลลิกรัม/ลิตร

สำหรับระบบบำบัดแบบใช้พืชนั้นพบว่า ฟอสเฟตบางส่วนจะถูกดูดซึมโดยรากพืชและพืชสามารถนำไปใช้ได้แต่เป็นจำนวนน้อย ส่วนมากฟอสเฟตมักสะสมอยู่ในตะกอนก้นบ่อ (กลอยกาญจน์, 2544)



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของพืช 16 ชนิด

โดยที่ 1. คาวตอง 2. ผักแพว 3. ชะพลู 4. เสลดพังพอนตัวเมีย 5. เสลดพังพอนตัวผู้ 6. หูเสือ 7. พุทธรักษา 8. อเมซอน 9. ลานไพลิน 10. หญ้าถอดปล้อง 11. กล้วยบัว 12. ธูปฤาษี 13. กกราชินี 14. ผักแขยง 15. ปักษาสวรรค์ 16. แปะตำปึง

3. การเจริญเติบโตของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ

ในการทดลองทดสอบประสิทธิภาพพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน จะทำการวัดการเจริญเติบโตของพืชจากความสูงยอดและความยาวราก ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง โดยการวัดพืชตัวอย่างจำนวน 6 ต้น/1 ชุดการทดลอง และทำการวัดความสูงต้นและความยาวรากก่อนการทดลองและเมื่อครบ 30 วันของการทดลอง จะทำการวัดความสูงต้นและความยาวรากหลังการทดลอง จากการทดลองพบว่าพืชทั้งหมด 16 ชนิด มีความสูงต้นและความยาวรากที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยคาดว่าการที่พืชมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันเมื่อทดลองในน้ำเสียน่าจะเกี่ยวกับลักษณะทางสรีวิทยาของพืช เช่น ลักษณะขนาดใบ ลักษณะขนาดของราก ลักษณะขนาดของลำต้น โดยสามารถแยกประเภทรากและลักษณะต้นของพืชทั้งหมด 16 ชนิด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ประเภทรากและลักษณะต้นพืชทั้งหมด 16 ชนิด

ชนิดพืช	ลักษณะรากพืช			ลักษณะต้นพืช	
	รากแก้วและรากฝอย	รากฝอย	เหง้าและแตกหน่อ	ลำต้นค่อนข้างแข็ง	ลำต้นอวบน้ำ
1. ชะพลู		✓			✓
2. ผักแพว		✓			✓
3. หูเสือ		✓			✓
4. เสลดพังพอนตัวผู้	✓			✓	
5. เสลดพังพอนตัวเมีย	✓				✓
6. ผักแขยง	✓				✓
7. คาวตอง		✓			✓
8. แปะตำปึง		✓			✓
9. หญ้าถอดปล้อง		✓	✓		✓
10. พุทธรักษา	✓		✓		✓
11. ปักษาสวรรค์	✓		✓		✓
12. ลานไพลิน		✓			✓
13. กกราชินี			✓		✓
14. อเมซอน		✓			✓
15. ธูปฤาษี		✓	✓		✓
16. กล้วยบัว	✓		✓		✓

ที่มา: (เว็บไซต์เมดไทย, 2558; มาโนช และเพ็ญนภา, 2540; สำนักงานหอพรรณไม้, 2561)

จาก ตารางที่ 8 สามารถแบ่งกลุ่มพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นพืชทางภูมิทัศน์ หญ้าถอดปล้อง พุทธรักษา ปักษาสวรรค์ ลานไพลิน กกราชินี อเมซอน ธูปฤาษี และกล้วยบัว เป็นต้น และพืชบริโภคได้บางชนิด ชะพลู ผักแพว หูเสือ เสลดพังพอนตัวเมีย ผักแขยง คาวตอง และแปะตำปึง เป็นต้น พืชลักษณะนี้มักเป็นที่นิยมใช้ในการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ เนื่องจากลำต้นอวบน้ำ และมีความต้องการน้ำมากจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการช่วยดูดซึมธาตุอาหารในน้ำ และนอกจากนี้ระบบรากส่วนใหญ่เป็นรากแก้วและรากฝอยยังสามารถช่วยลดการพังทลายของดินเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ และช่วยชะลอการไหลของกระแสน้ำ (อรุโณทัย และสุทธาธร, 2554) พืชที่มีลำต้นค่อนข้างแข็ง ระบบรากแก้วและรากฝอย คือ เสลดพังพอนตัวผู้ ซึ่งพบว่าพืชลักษณะนี้ จะสามารถปรับตัวให้ทนทานและสามารถกำจัดสารมลพิษได้ เติบโตได้ดีในดินที่อุดมสมบูรณ์ แต่ไม่ชอบดินเหนียวและในบริเวณที่มีน้ำขังจะทำให้รากต้นไม้ที่แช่เน่าและตาย (อดุลย์ศักดิ์, 2561)

3.1 การเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก (ชุดควบคุม)

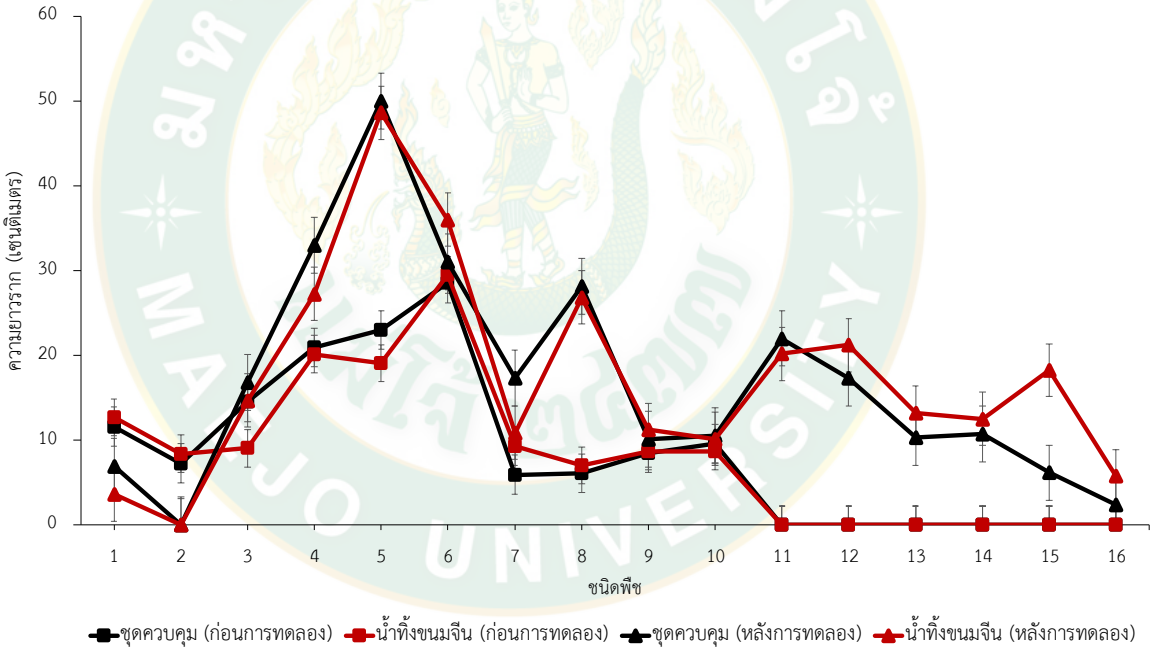
การเจริญเติบโตของส่วนความยาวรากของพืชที่ทดสอบในน้ำประปา พบว่ามีค่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เสลดพังพอนตัวผู้ อเมซอน กล้วยบัว ธูปฤาษี เสลดพังพอนตัวเมีย พุทธรักษา ผักแขยง กกราชินี ปักษาสวรรค์ หูเสือ แปะตำปึง ชะพลู ลานไพลิน และหญ้าถอดปล้อง ตามลำดับ เนื่องจากนี้ยังพบว่ามีการตายลงของ ผักแพว และคาวตอง โดยมีความยาวรากเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละดังตารางที่ 9 และจากภาพที่ 27 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนการทดลองและหลังการทดลองของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ พบว่าพืชที่มีการเจริญเติบโตส่วนความยาวรากได้ดีที่สุด คือ อเมซอน (*Sagittaria lancifolia* L.) กล้วยบัว (*Musa sapientum* L.) และธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) โดยมีความยาวรากเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 22±15.57 22±15.55 และ 17±12.25 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) โดยมีค่าความยาวรากเฉลี่ยก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.06±1.40 เซนติเมตร และไม่มีความยาวราก ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีค่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 28.1±10.9, 22±8.53 และ17.3±5.42 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานของ Sriprapat et al. (2014) ที่พบว่า ต้นอเมซอนมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นพืชบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำตาลได้ดีและเป็นระบบที่มีความยั่งยืน เนื่องจากอเมซอนเป็นพืชเติบโตได้ง่าย ในที่ที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวชุ่มน้ำ และบริเวณที่มีน้ำท่วมขัง สามารถเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีอินทรีย์วัตถุสูงหรือแหล่งน้ำที่มีอินทรีย์วัตถุน้อยก็ตาม โดยจะสามารถเติบโตได้ในน้ำลึกถึง 10-50 เซนติเมตร และมีรากยาวเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นยังสามารถดึงน้ำเข้าไปใช้ในพืชได้ปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งคาดว่า กล้วยบัว และธูปฤาษี มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายกับ อเมซอน เป็นพืชที่มีลำต้นอวบน้ำเติบโตได้ง่าย ชอบบริเวณที่มีน้ำท่วมขังและมีระบบรากที่ดีช่วยป้องกันการ

พังทลายของดินได้ สำหรับพืชที่สามารถใช้บริโภค พบว่า เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.) มีความยาวรากมากที่สุด เนื่องจาก เสลดพังพอนตัวผู้ เป็นพืชไม้พุ่มสามารถสูงประมาณ 1-2 เมตร มีระบบรากเป็นรากแก้ว มีลักษณะกลมๆ แทงลงลึกในดินประมาณ 80 เซนติเมตร มีรากแขนงและรากฝอยเล็ก ๆ สามารถเติบโตได้ในดินแทบทุกชนิด ซึ่งมีค่าความยาวรากเฉลี่ยก่อนการทดลอง 23±2.62 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีค่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 50±17.0 เซนติเมตร โดยเสลดพังพอนตัวผู้ มีสรรพคุณทางยาช่วยในการถอนพิษแมลงสัตว์กัดต่อย แก้ลมพิษ รักษาเม็ดผื่นคันตามผิวหนัง แก้ปวดแผล แผลจากของมีคมบาด แก้โรคเบาหวาน แก้โรคฝีต่าง ๆ เป็นต้น สามารถใช้เป็นยาภายนอก และสามารถนำมาบริโภคได้

3.2 การเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก (น้ำทิ้งขนมจีน)

การเจริญเติบโตของส่วนความยาวรากของพืชที่ทดสอบกับน้ำทิ้งขนมจีน พบว่าพืชแต่ละชนิดมีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เสลดพังพอนตัวผู้ ธูปฤาษี กล้วยบัว อเมซอน ปักษาสวรรค์ กกราชินี ผักแขยง เสลดพังพอนตัวเมีย หูเสือ แปะตำบึง ชะพลู ลานไพลิน พุทธรักษา และหญ้าถอดปล้อง ตามลำดับ และพบว่าพืชบางชนิดมีการตายลง ผักแพว และคาวตอง โดยมีความยาวรากเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ ดังตารางที่ 9 และจากภาพที่ 27 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนการทดลองและหลังการทดลองของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ พบว่าพืชที่มีการเจริญเติบโตส่วนความยาวรากได้ดีที่สุด คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) กล้วยบัว (*Musa sapientum* L.) อเมซอน (*Sagittaria lancifolia* L.) และปักษาสวรรค์ (*Strelitzia reginae* Ait.) โดยมีความยาวรากเพิ่มขึ้นร้อยละ 21±14.99, 20±14.26, 19.8±14.01 และ18.2±12.09 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) ซึ่งมีค่าความยาวรากก่อนการทดลอง 0, 0, 7±1.40 และ 0 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากก่อนการทดลองได้ตัดรากออกก่อน เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีการแตกหน่อและการแตกแขนงของรากฝอยเพิ่มมากขึ้นค่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21.2±9.44, 20.16±14.26, 26.81±4.52 และ18.25±3.89 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ ชาลินี และศศิธร (2550) ที่ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการอยู่รอดของหญ้าแฝก และธูปฤาษี ในบ่อทดลองที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนโครเมียมและอาร์เซนิก ระยะเวลาการทดลอง 100 วัน เปรียบเทียบกับบ่อควบคุมพืชที่ไม่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำเสียตลอดระยะการทดลอง พบว่าทุ่งหญ้าแฝก และธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตได้ดี และไม่พบการตายของพืช มีการเกิดต้นใหม่แตกหน่อบริเวณต้นเดิม โดยมีความสูงเฉลี่ยที่ระยะแรกเท่ากับ 49 เซนติเมตร และมีความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 137 คิดเป็นร้อยละ 64 เมื่อนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนการทดลองและน้ำทิ้งหลังการทดลองของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ พบว่าพืชที่มีการเจริญเติบโตส่วนความยาวรากได้ดีที่สุด คือ เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.) ซึ่งผลการทดลองเป็นไป

ในทางเดียวกับการเจริญเติบโตในชุดควบคุม เนื่องจาก เสลดพังพอนตัวผู้ เป็นพืชไม้พุ่มที่มีความสูงประมาณ 1-2 เมตร มีระบบรากเป็นรากแก้วและสามารถแตกแขนงประมาณ 80 เซนติเมตร สามารถเติบโตได้ในดินแทบทุกชนิด โดยมีค่าความยาวรากเฉลี่ยก่อนการทดลอง 19.1±1.27 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีค่าความยาวรากเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 48.6±20.85 เซนติเมตร เป็นร้อยละ 29.5±20.85 อย่างไรก็ตามจากการทดลองประสิทธิภาพของพืชโดยการทดสอบระหว่างชุดควบคุมและชุดน้ำทิ้งขนมจีน พบว่า ความยาวรากของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) ซึ่งพืชสามารถเติบโตได้ในระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิค แต่มีพืชบางชนิดเท่านั้นที่ทยอยตายลงภายในระยะเวลาการทดลอง คือ ผักแพว และคาวตอง เนื่องจากเป็นพืชที่เหมาะสมกับการปลูกในดินมากกว่าในน้ำ เนื่องจากสามารถเติบโตได้ดีชอบดินที่มีความชุ่มชื้นและมีน้ำขังเล็กน้อย (อดุลย์ศักดิ์, 2561)



ภาพที่ 27 ความยาวรากของพืชทั้งหมด 16 ชนิด ที่ทดสอบจากชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน (ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง)

โดยที่ 1. คาวตอง 2. ผักแพว 3. ชะพลู 4. เสลดพังพอนตัวเมีย 5. เสลดพังพอนตัวผู้ 6. หูเสือ 7. พุทธรักษา 8. อเมซอน 9. ลานไพลิน 10. หญ้าถอดปล้อง 11. กล้วยบัว 12. ธูปฤาษี 13. กกราชินี 14. ผักแขยง 15. ปักษาสวรรค์ 16. แปะตำปึง

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก ชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน

ชนิดพืช	การเจริญเติบโตของส่วนความยาวราก (เซนติเมตร)			
	(ชุดควบคุม)		(น้ำทิ้งขนมจีน)	
1. ชะพลู	2.3±1.64	(12)	5.6±3.98	(11)
2. ผักแพว	-7.2±5.13	(15)	-8.4±5.93	(15)
3. หูเสือ	2.5±1.76	(10)	6.5±4.59	(9)
4. เสลดพังพอนตัวผู้	27±19.09	(1)	29.5±20.85	(1)
5. เสลดพังพอนตัวเมีย	12±8.52	(5)	7.1±5.02	(8)
6. ผักแขยง	10.7±7.60	(7)	12.5±8.83	(7)
7. คาวตอง	-4.6±3.29	(16)	-9.08±6.42	(16)
8. แปะตำปึง	2.3±1.67	(11)	5.8±4.10	(10)
9. หญ้าถอดปล้อง	0.9±0.64	(14)	1.4±1.04	(14)
10. พุทธรักษา	11.4±8.07	(6)	1.6±1.14	(13)
11. ปักษาสวรรค์	6.15±4.34	(9)	18.2±12.09	(5)
12. ลานไพลิน	1.6±1.16	(13)	2.5±1.81	(12)
13. กกราชินี	10±7.30	(8)	13.2±9.35	(6)
14. อเมซอน	22±15.57	(2)	19.8±14.01	(4)
15. ธูปฤาษี	17±12.25	(4)	21±14.99	(2)
16. กล้วยบัว	22±15.55	(3)	20±14.26	(3)

หมายเหตุ: () ลำดับการเจริญเติบโตส่วนความยาวราก

3.3 การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น (ชุดควบคุม)

การเจริญเติบโตของพืชที่ทดสอบในน้ำประปา โดยการวัดความสูงต้นพบว่ามีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ธูปฤาษี เสลดพังพอนตัวเมีย กกราชินี เสลดพังพอนตัวผู้ อเมซอน ปักษาสวรรค์ ผักแขยง หูเสือ แปะตำปึง หญ้าถอดปล้อง กล้วยบัว ลานไพลิน คาวตอง พุทธรักษา ชะพลู และผักแพว ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ ดังตารางที่ 10 เนื่องจากเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ พบว่าพืช 4 ชนิด ได้แก่ คาวตอง พุทธรักษา ชะพลู และผักแพว เริ่มมีการชะงักการเจริญเติบโต เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นพบว่าผักแพวตายไป ดังภาพที่ 28 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าการเจริญเติบโตก่อนการทดลอง และหลังการทดลองของพืชที่ใช้สำหรับงาน

ภูมิทัศน์มีการเจริญเติบโตส่วนความสูงต้นได้ดีที่สุด คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) โดยมีความสูงเพิ่มขึ้นร้อยละ 42±29.9 จากความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลองเท่ากับ 15±0 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 57.3±7.81 เซนติเมตร เนื่องจาก ธูปฤาษี เป็นวัชพืชน้ำที่สามารถเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วตาม หนอง คลอง บึง อ่างน้ำ และยังสามารถดึงน้ำเข้าไปใช้ได้ปริมาณมาก (สุภาพร และพิสบุษ์, 2540) เมื่อนำไปเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนการทดลอง และหลังการทดลองของพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ พบว่า เสลดพังพอนตัวเมีย (*Clinacanthus nutans* (Burm.f)) มีความสูงของต้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 10±7.42 โดยมีค่าความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลองเท่ากับ 45.6±5.48 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 56.1±11.3 เซนติเมตร เสลดพังพอนตัวเมีย จัดว่าเป็นไม้พุ่มแกมเถา มีความสูงได้ประมาณ 1-3 เมตร ขยายพันธุ์ด้วยวิธีการปักชำหรือแยกเหง้าแขนง มีรากฝอยแตกแขนง เติบโตได้ดีในดินทุกชนิดและระบายน้ำดี ทั้งนี้อธิบายได้ว่าสามารถเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีน้ำขัง โดยเสลดพังพอนตัวเมีย มีสรรพคุณทางยา รากและเปลือกต้น ใช้ต้มกับน้ำดื่มเป็นยาบำรุงกำลัง ทั้งต้นและใบใช้กินเป็นยาถอนพิษไข้ ดับพิษร้อน และนอกจากนี้ใบยังสามารถนำมาบริโภคกับอาหารได้

3.4 การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น (น้ำทิ้งขนมจีน)

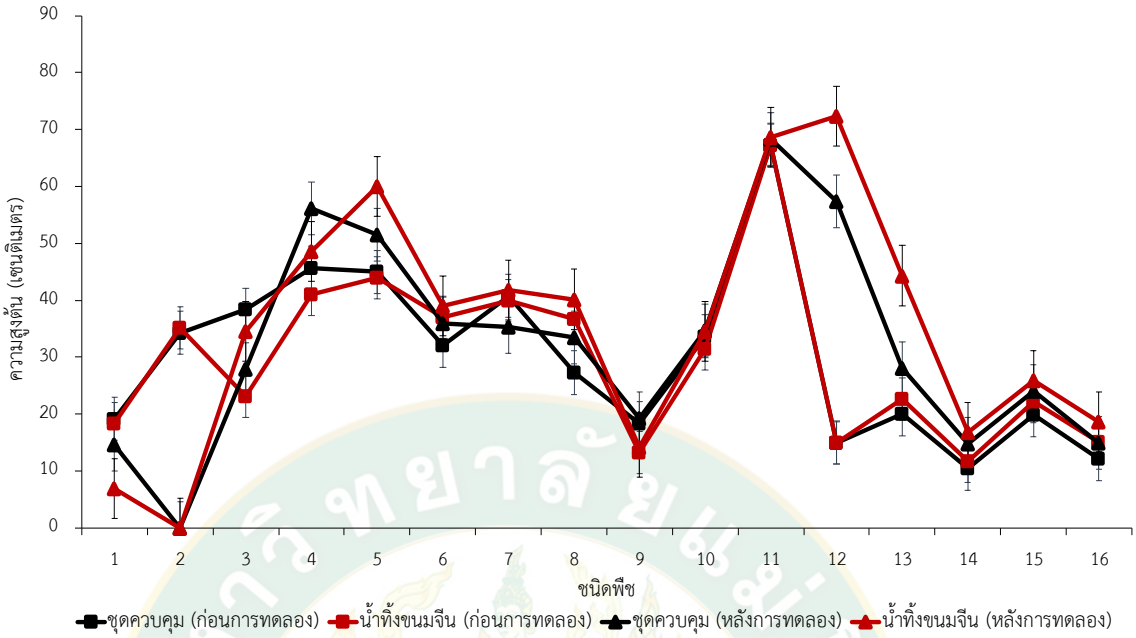
การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้นของพืชที่ทดสอบกับน้ำทิ้งขนมจีน พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ธูปฤาษี กกราชินี เสลดพังพอนตัวผู้ ชะพลู เสลดพังพอนตัวเมีย ปักษาสวรรค์ ผักแขยง แปะตำบึง อเมซอน หญ้าถอดปล้อง หูเสือ พุทธรักษา กล้วยบัว ลานไพลิน คาวตอง และผักแพว ตามลำดับ ดังตารางที่ 10 เมื่อทำการทดลองผ่านไปประมาณ 2 สัปดาห์ พบว่าพืชเริ่มมีการเหี่ยวและตายไป ได้แก่ คาวตอง และ ผักแพว ดังภาพที่ 28 จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตก่อนการทดลอง และหลังการทดลองของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ พบว่า ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) มีการเติบโตส่วนความสูงต้นได้ดีที่สุด โดยมีความสูงเพิ่มขึ้นร้อยละ 57±40.54 ในขณะที่ความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลองเท่ากับ 15±0 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 72.3±9.85 เซนติเมตร ทั้งนี้ สุมล (2549) ได้อธิบายว่า ธูปฤาษี เป็นพืชล้มลุกที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ และบริเวณที่มีสารอินทรีย์สูง มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร และโลหะหนักได้ในปริมาณสูง มีอายุประมาณ 2 ปี สูงประมาณ 1.5-2 เมตร สำหรับการเจริญเติบโตสำหรับพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ พบว่าเสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.) มีความสูงเพิ่มขึ้นดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 16±11.31 โดยมีค่าความสูงยอดเฉลี่ยก่อนการทดลอง 45.6±5.48 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองผ่านไป 30 วัน พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 56.1±11.3 เซนติเมตร เนื่องจาก เสลดพังพอนตัวผู้ เป็นพืชไม้พุ่มสามารถสูงประมาณ 1-2 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในดินที่อุดมสมบูรณ์ ไม่ค่อยชอบดินเหนียว แต่จะชอบ

ดินร่วนปนทรายที่มีความชุ่มชื้นและระบายน้ำดี ซึ่งน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน เป็นน้ำที่มีสารอินทรีย์ละลายน้ำ จึงคาดว่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้เสลดพังพอนตัวผู้สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามจากการทดลองประสิทธิภาพของพืชโดยการทดสอบระหว่างชุดควบคุมและชุดน้ำทิ้งขนมจีน พบว่า ความสูงยอดของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น ชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน

ชื่อพืช	การเจริญเติบโตของส่วนความสูงต้น (เซนติเมตร)			
	(ชุดควบคุม)		(น้ำทิ้งขนมจีน)	
1. ชะพลู	-10±7.35	(15)	11±8.01	(4)
2. ผักแพว	-34±24.22	(16)	-35±24.81	(16)
3. หูเสือ	4±2.82	(8)	2±1.41	(11)
4. เสลดพังพอนตัวผู้	6.5±4.59	(4)	16±11.31	(3)
5. เสลดพังพอนตัวเมีย	10±7.42	(2)	7.6±5.39	(5)
6. ผักแขยง	4±3.12	(7)	5±3.59	(7)
7. คาวตอง	-4.5±3.24	(13)	-11±8.07	(15)
8. แปะตำปึง	2.8±2	(9)	3.41±2.41	(8)
9. หญ้าถอดปล้อง	1.02±0.72	(10)	3±2.12	(10)
10. พุทธรักษา	-5.5±3.88	(14)	1.75±1.23	(12)
11. ปักษาสวรรค์	5±3.94	(6)	6±4.71	(6)
12. ลานไพลิน	0.88±0.62	(12)	0.89±0.63	(14)
13. กกราชินี	8±5.65	(3)	21±15.32	(2)
14. อเมซอน	6±4.34	(5)	3.4±2.41	(9)
15. ธูปฤาษี	42±29.9	(1)	57±40.54	(1)
16. กล้วยบัว	1±0.70	(11)	1.3±0.94	(13)

หมายเหตุ: () ลำดับการเจริญเติบโตส่วนความยาวราก



ภาพที่ 28 ความสูงของต้นพืชทั้งหมด 16 ชนิด ที่ทดสอบจากชุดควบคุม และน้ำทิ้งขนมจีน (ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง)

โดยที่ 1. คาวตอง 2. ผักแพว 3. ชะพลู 4. เสลดพังพอนตัวเมีย 5. เสลดพังพอนตัวผู้ 6. หูเสือ 7. พุทธรักษา 8. อเมซอน 9. ลานไพลิน 10. หญ้าถอดปล้อง 11. กล้วยบัว 12. ธูปฤาษี 13. กกราชินี 14. ผักแขยง 15. ปักษาสวรรค์ 16. แปะตำปึง

4. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนด้วยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะ โดยการออกแบบจะใช้พืชที่ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการมาปลูกลงในระบบจำลองในชุมชน และมีการดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นระยะเวลา 8 เดือน โดยจะแบ่งการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 4 จุด ดังนี้ จุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง

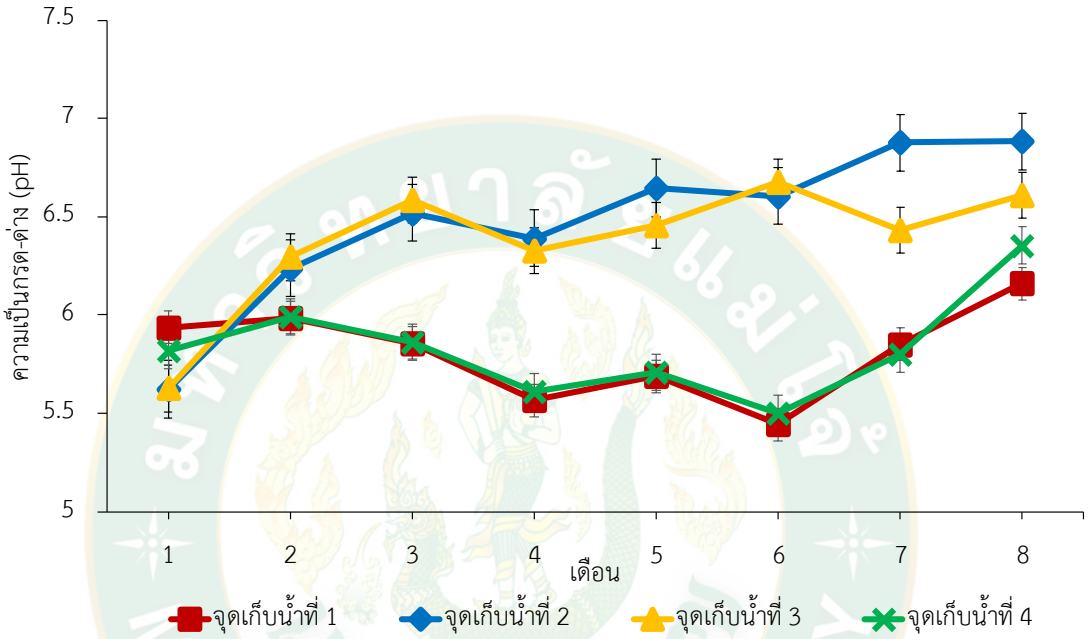
การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลา 8 เดือน สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) และจุดที่ 4 (แหล่งสาธารณะ) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ตลอดระยะเวลา 8 เดือน จาก 4 จุดเก็บตัวอย่าง

เดือน	จุดเก็บน้ำตัวอย่าง			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
เดือนที่ 1	5.62-6.52	5.31-6.23	5.22-6.30	5.33-6.72
เดือนที่ 2	5.45-6.43	6.11-6.43	5.86-6.69	5.94-6.09
เดือนที่ 3	5.42-6.23	6.20-6.85	6.40-6.84	5.66-6.12
เดือนที่ 4	4.94-6.02	6.25-6.52	6.06-6.43	5.12-6.10
เดือนที่ 5	5.48-5.78	6.29-7.21	6.29-6.69	5.62-5.90
เดือนที่ 6	4.70-5.82	6.40-6.80	6.50-6.77	4.18-5.88
เดือนที่ 7	5.68-6.12	6.66-7.22	6.20-6.62	5.56-6.12
เดือนที่ 8	5.40-6.55	6.74-7.20	6.44-6.73	5.37-6.62

จากภาพที่ 29 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของจุดที่ 2 และ จุดที่ 3 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น มีค่าเข้าใกล้ 7 ในขณะที่จุดที่ 1 และ จุดที่ 4 น้ำมีค่าพีเอชที่น้อยต่ำกว่า 2 จุดแรก และมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ในเดือนที่ 1 น้ำที่ออกจากระบบทั้ง 4 จุด มีค่าพีเอชน้อยกว่า 6 ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดเนื่องจากเป็นช่วงแรกของการดำเนินระบบบำบัดจึงเป็นช่วงที่พืชใช้เวลาในสำหรับการปรับสภาพให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ โดยเฉพาะในจุดที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นจุดที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนไหลผ่านโดยตรงซึ่งไม่ผ่านระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ช่วงแรกนั้นยังมีค่าที่ต่ำ เมื่อเข้าเดือนที่ 2 จุดที่ 1 ยังคงมีค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 5.98 ในขณะที่น้ำจากจุดที่ 2 และจุดที่ 3 มีค่าพีเอช เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.29-6.23 เช่นเดียวกับ ในเดือน 3 ถึง เดือน 7 ที่พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของระบบมีทิศทางที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากพืชในระบบเริ่มปรับสภาพกับสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ และมีการเจริญเติบโตสูงขึ้นและมีระบบรากที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้ค่าพีเอชในน้ำออกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีการปล่อยออกซิเจนจากพืชและจุลินทรีย์ นอกจากนี้พืชในระบบยังมี

ส่วนช่วยเพิ่มค่าพีเอชและการลดปริมาณสารอินทรีย์จากกระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (มุกดา, 2544) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นเหมือนดัชนีที่ใช้ในการวัดคุณภาพน้ำ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ตลอดการทดลองเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ผ่านระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



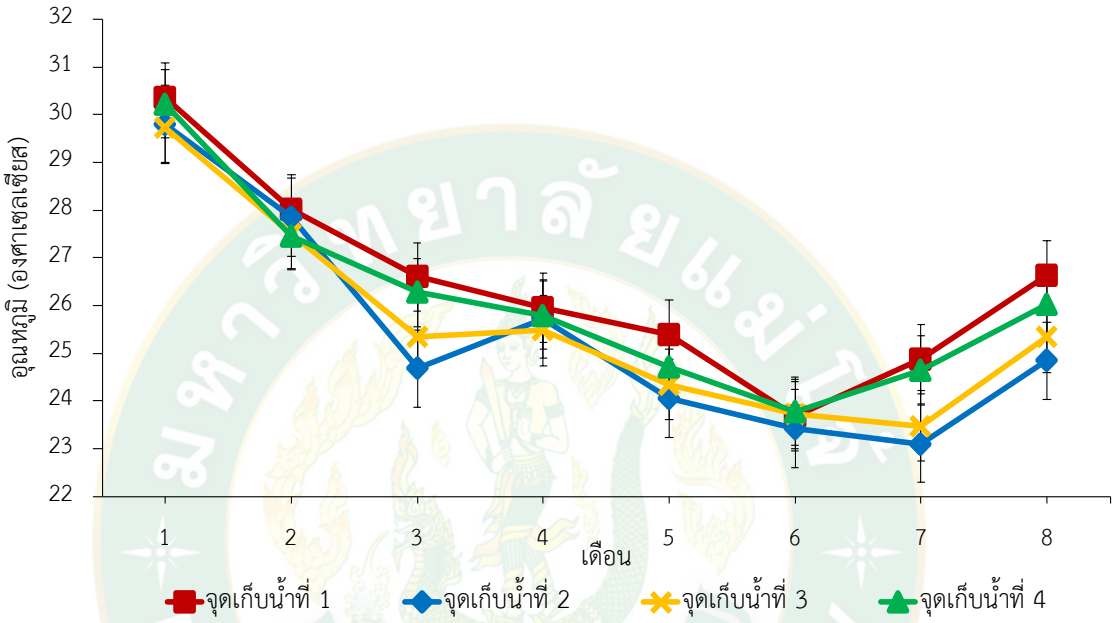
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากการศึกษาการทำงานของระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช ตลอดระยะเวลา 8 เดือน พบว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนตามสภาพภูมิอากาศ โดยอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติในแหล่งน้ำจะมีการผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่นของแหล่งน้ำ และนอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันกับอุณหภูมิของน้ำด้วยเช่นกัน คือ อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง และส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ดังภาพที่ 30 โดยอุณหภูมิจากจุดที่ 1 (น้ำเข้า

ระบบ) มีค่าเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.3-30.2 องศาเซลเซียส จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.4-30.8 องศาเซลเซียส ผ่านจุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.8-30.2 องศาเซลเซียส และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.7-30.5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

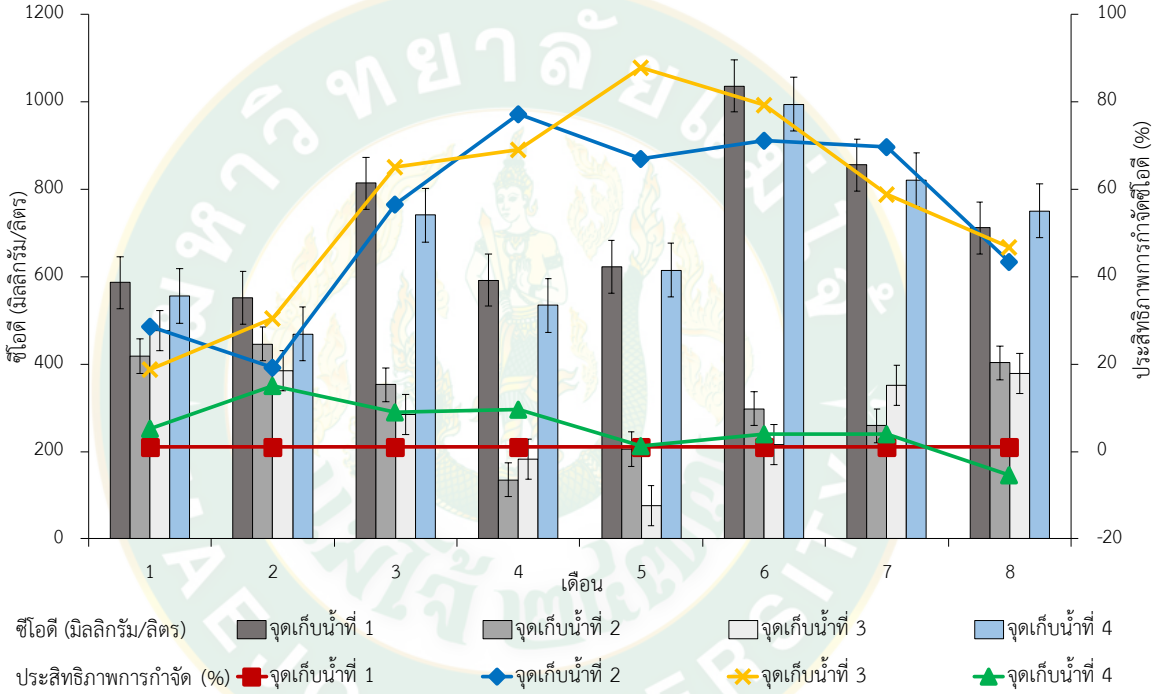
เนื่องจากในช่วงเดือน 3 ถึง เดือน 8 ของการเก็บผลการทดลองอยู่ในช่วงเดือน ตุลาคม-มีนาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย อุณหภูมิของน้ำในช่วงฤดูหนาวจะพบว่ามีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน จึงทำให้อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าระบบบำบัดน้อยกว่าช่วงเดือนที่ 1 และ เดือนที่ 2 แต่โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยในฤดูหนาวอุณหภูมิทางน้ำจะต่ำกว่าฤดูอื่น ๆ เล็กน้อย ซึ่งอุณหภูมิที่ตรวจพบจากงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23-30 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่จะสามารถทำงานได้ดี (25–40 องศาเซลเซียส) จึงทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์และการทำงานของจุลินทรีย์ของระบบมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สารอินทรีย์และสารอาหารในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีนหลังผ่านระบบมีค่าลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำทิ้งจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์

ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นขนมจีน อุณหภูมิของน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ อุณหภูมิของน้ำเสียเฉลี่ยตลอดการศึกษาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำซึ่งกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจะต้องไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ ซึ่งสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ผลการดำเนินระบบ ตลอดระยะเวลา 8 เดือน พบว่า จุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) จากเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 8 มีค่าเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 552±103.07-1036.63±394.10 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีการแปรผันตามกระบวนการผลิตและปริมาณน้ำที่มาเจือจาง จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 135±41.10-446.40±125.23 มิลลิกรัม/ลิตร จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.72±40.34-476±312.99 มิลลิกรัม/ลิตร และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 468.8±164.61-994±288.74 มิลลิกรัม/ลิตร จากภาพที่ 31 โดยจากผลการทดลอง พบว่าน้ำเสียที่ผ่านระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชจะมีสารอินทรีย์แนวโน้มลดลง นอกจากนี้การบำบัดซีโอดี ในจุดที่ 2 และจุดที่ 3 จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อได้ดำเนินระบบผ่านไปแล้ว 2 เดือน โดยจะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดเมื่อเข้าเดือนที่ 4 และเดือนที่ 5 ตลอดการทดลองโดยภาพรวมพบว่าบริเวณจุดเก็บน้ำตัวอย่างจุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.1 โดยน้ำที่ออกจากจุดนี้มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 135±41.1 มิลลิกรัม/ลิตร จากปริมาณซีโอดีในน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ยเริ่มต้น 592±396.6 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับบริเวณจุดเก็บน้ำตัวอย่าง จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) สามารถกำจัดค่าซีโอดีที่ได้ดีคิดเป็นร้อยละ 63 การที่จุดเก็บน้ำที่ 2 (น้ำกลางระบบ) สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ดีกว่าจุดที่ 3 เนื่องจากใน จุดที่ 3 มีการปนเปื้อนของน้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดไหลย้อนเข้ามาจากจุดที่ 4 ในกรณีที่ปริมาณน้ำสาธารณะเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีค่าซีโอดีสูงขึ้น ในขณะที่ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในจุดที่ 1 และจุดที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (One-way ANOVA; $p>0.05$) ดังนั้น ระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จัดว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำ โดยสามารถอธิบายกลไกได้ว่า บริเวณรากของพืช (Rhizosphere) ในระบบบำบัดที่ใช้พืชจะพบจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมด้วย โดยพืชจะทำหน้าที่ในการปลดปล่อยออกซิเจนและสารต่าง ๆ จากรากพืชไปยังบริเวณรอบ ๆ รากของพืช ซึ่งเป็นการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ โดยสารอินทรียในน้ำเสียถูกใช้เป็นแหล่งอาหารในกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชและจุลินทรีย์ในระบบบำบัดที่ใช้พืชจึงมีส่วนสำคัญในการลดค่าซีโอดีของน้ำ (Munch et al., 2005) เช่นเดียวกับงานของ Arunbabu et al.

(2015) ที่ได้เปรียบเทียบระบบบำบัดโดยใช้หญ้ามาเลเซียและไม่มีการปลูกหญ้า พบว่าระบบที่มีการปลูกหญ้าสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้มากกว่า ระบบที่ไม่มีการปลูกหญ้า นอกจากนั้นการตกตะกอนและการกรองโดยสารกรองในระบบบำบัดแบบใช้พืชยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักในการลดค่าซีโอดีจากน้ำเสีย อีกทั้งยังมีจุลินทรีย์จะถูกตรึงไว้ที่บริเวณพื้นผิวของชั้นกรวดและบริเวณรากพืช ในลักษณะของไบโอฟิล์ม (Biofilms) ที่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนรวมไปถึงสารอินทรีย์ที่มากับน้ำเสีย (Vymazal and Kropfelova, 2009) จึงทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชมีค่าซีโอดีลดลง



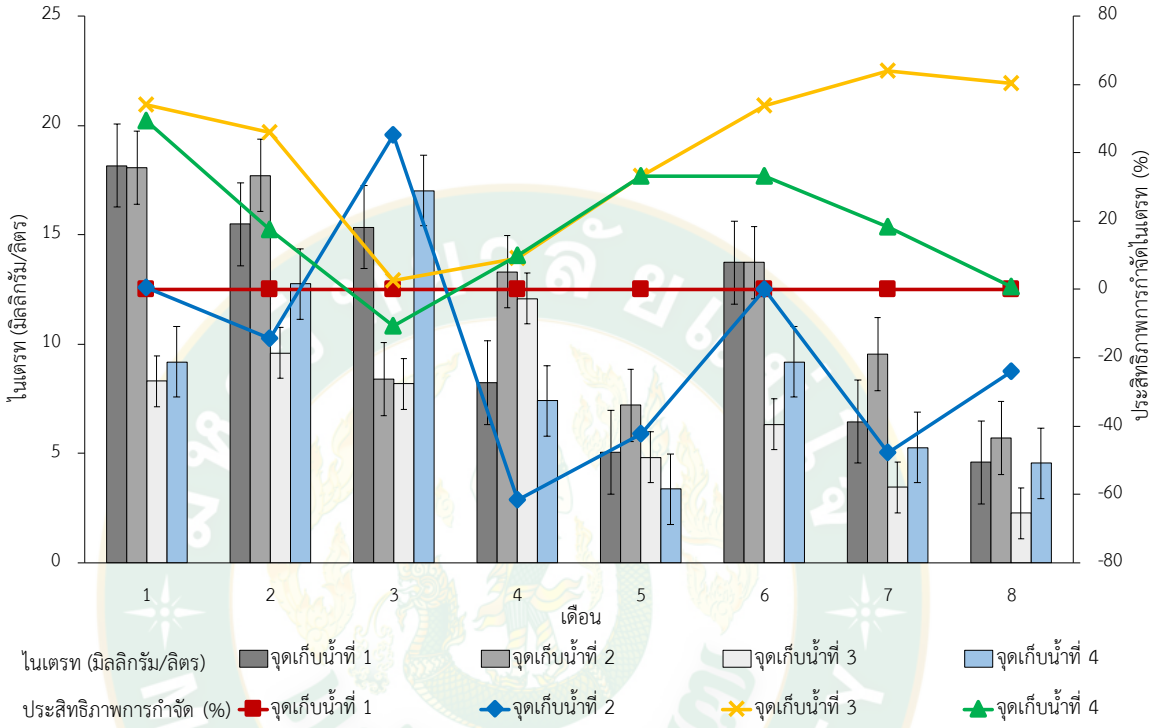
ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน ตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรท

จากการดำเนินระบบ ตลอดระยะเวลา 8 เดือน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงและแปรผันตลอดทั้ง 8 เดือน และมีความแตกต่างในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ปริมาณไนเตรทในจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.6±0.94-18.16±5.01 มิลลิกรัม/ลิตร จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.71±2.37-

18.06±7.92 มิลลิกรัม/ลิตร จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.27±1.04-12.08±8.61 มิลลิกรัม/ลิตร และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.38±1.71-17.01±8.26 มิลลิกรัม/ลิตร ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน ตลอดระยะเวลา 8 เดือน

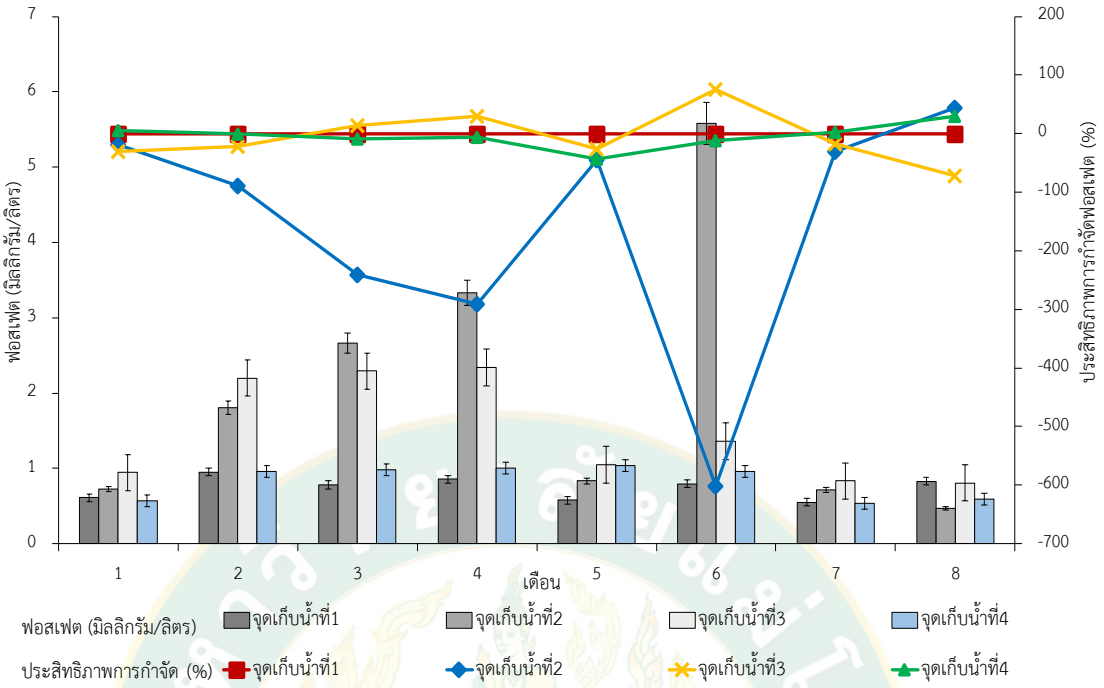
โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

โดยการแปรผันของปริมาณไนเตรทในน้ำส่วนหนึ่ง คาดว่าจะมีสาเหตุจากปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ไม่คงที่ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณไนเตรทสูงขึ้น ในบางจุดเก็บตัวอย่างและบางสัปดาห์ ซึ่งคาดว่าเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและกระบวนการไนตริฟิเคชั่นโดยจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณรอบราก ในน้ำและสารกรองในระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช โดยผลการศึกษาสอดคล้องกับงานของ Hatt et al. (2007) ที่ได้พบว่าน้ำที่ออกจากระบบกรองชีวภาพจะมีปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนและการเกิดไนตริฟิเคชัน ผลการทดลองในภาพรวม พบว่า ในขณะที่น้ำออกจากจุดที่ 2 พบว่ามีปริมาณไนเตรทสูงกว่าน้ำเข้า (จุดที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่เดือนที่ 2 โดยจุดที่ 2 และจุดที่ 3 จะเป็นจุดที่มีการปลูกพืชร่วมกับดินและ

ชั้นกรอง ซึ่งอย่างไรก็ตามเมื่อไนเตรทมีค่าสูงขึ้นจากจุดที่ 2 แต่ก็มีค่าลดลงเมื่อผ่านระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชทำให้น้ำออกมีไนเตรทลดลง โดยพบว่าบริเวณจุดเก็บน้ำตัวอย่าง จุดที่ 3 (น้ำออกจากระบบ) มีประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนเตรทได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 63.8 โดยน้ำออกมีปริมาณไนเตรทเฉลี่ยลดลงเหลือ 3.45±2.51 มิลลิกรัม/ลิตร จากค่าเฉลี่ยเริ่มต้นในน้ำเข้าระบบ 9.55±6.88 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; p>0.05) กลไกการกำจัดไนโตเจนด้วยระบบบำบัดแบบใช้พืชจะเกิดจากการที่พืชและจุลินทรีย์ดูดซึมนำไปใช้ เพื่อการเจริญเติบโต โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) การระเหยของแอมโมเนีย (Ammonia volatilization) และการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนีย (Ammonia ion exchange) (Yang et al., 2001) Akratos et al. (2007) ได้อธิบายว่า กลไกหลักในการกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดแบบใช้พืชจะเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนมาเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และเกิดการย่อยสลายจากแอมโมเนียไนโตรเจนมาเป็นไนเตรทโดย Nitrifying bacteria ในสภาวะที่มีออกซิเจนจากนั้นไนเตรทจะถูกพืชดูดซึมขึ้นไปใช้ในการเจริญเติบโต ในบริเวณที่มีพืชสามารถดูดซับแอมโมเนียซึ่งเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต นอกจากนี้ Gottschall et al. (2007) ยังได้เสนอแนะว่า พืชในระบบบำบัดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายของ Nitrifying bacteria โดยการส่งผ่านออกซิเจนผ่านทางบริเวณรากไปยังจุลินทรีย์ที่อาศัยในรูพรุนของตัวกลาง เรียกว่า Root zone effect ซึ่งจะทำให้สภาวะของระบบมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณออกซิเจนในระบบกว่าร้อยละ 90 และมีการส่งผ่านออกซิเจนมาทางรากของพืช

4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต

จากการดำเนินระบบตลอดระยะเวลา 8 เดือน พบว่า ปริมาณฟอสเฟตมีการแปรผัน โดยจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสเฟตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.54±0.33-0.95±0.20 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณฟอสเฟตในจุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.47±0.25-5.57±9.32 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณฟอสเฟตในจุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.80±0.31-2.33±1.79 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.53±0.29-1.03±0.78 มิลลิกรัม/ลิตร ดังภาพที่ 33 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; p>0.05)



ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟต ของระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน ตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

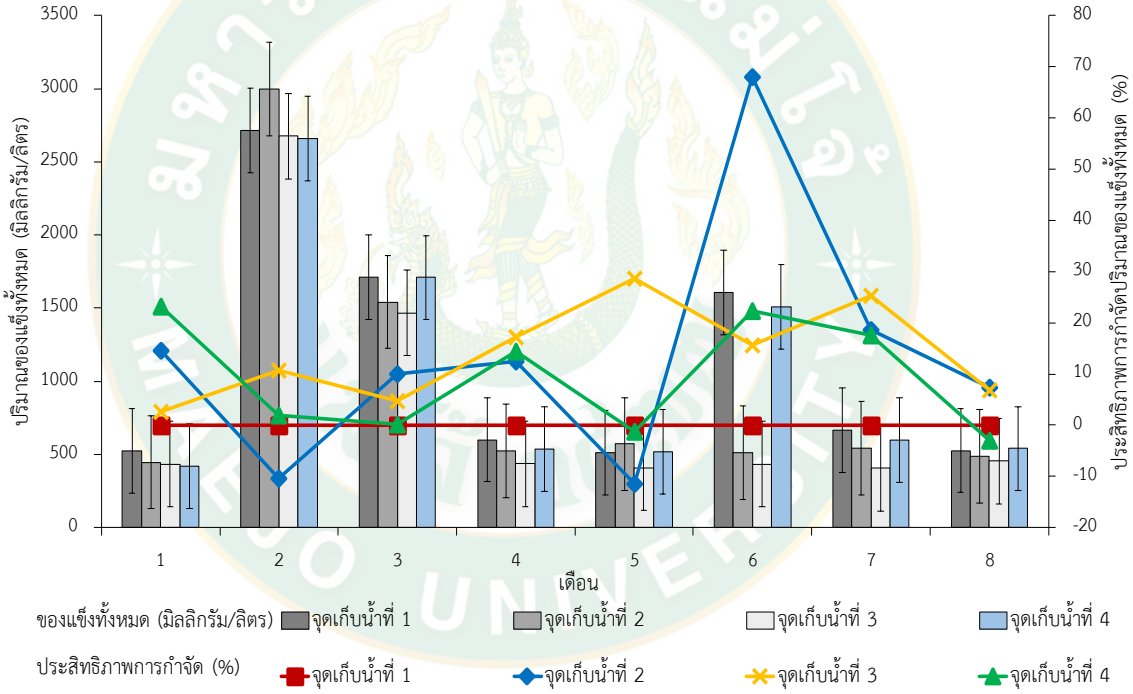
จะเห็นได้ชัดว่าน้ำที่ผ่านระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชจะมีปริมาณฟอสเฟตที่สูงขึ้นกว่าน้ำเข้า จุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) และ จุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) ซึ่งเป็นน้ำที่ไม่ได้ผ่านระบบ จุดที่ 2 แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถกำจัดฟอสเฟตได้น้อยมากเป็นที่น่าสนใจว่าปริมาณฟอสเฟตในจุดเก็บน้ำที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นมากในช่วงเดือนที่ 6 (มกราคม) คาดว่าเนื่องจากของระบบเกิดการชำรุดทำให้ฟอสเฟตถูกปล่อยออกมาจากดินที่นำมาซ่อมแซมในบริเวณชั้นที่ 2 ของระบบจำลอง อีกทั้งฟอสเฟตสามารถหลุดออกมาจากอนุภาคดินที่เกิดการรบกวนได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการซ่อมแซมระบบและการที่ระบบถูกรบกวนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ จุดเก็บน้ำที่ 2 มีค่าฟอสเฟตที่เพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพืชอาจจะใช้ฟอสเฟตในการเจริญเติบโต แต่เนื่องจากฟอสเฟตมีปริมาณมากจึงทำให้เกิดการสะสมที่บริเวณจุดที่ 2 สำหรับกระบวนการกำจัดฟอสเฟตในธรรมชาติเกิดได้ จากกระบวนการตกตะกอน การดูดซับ และการเปลี่ยนรูปฟอสเฟตโดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งในระบบบำบัดฟอสเฟตในน้ำจะถูกนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ (Bonomo et al., 1997) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าการที่ปริมาณฟอสเฟตจากจุดที่ 3 ที่มีค่าลดลงคาดว่าน่าจะเกิดจากการดูดซับโดยชั้นกรองและดิน ในขณะที่ฟอสเฟตส่วนหนึ่งถูกใช้ไปจากการดูดซับด้วยพืชและจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มี

การตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตที่อยู่ในชั้นกรอง ดิน และพืช จึงไม่สามารถอธิบายกลไกนี้ได้อย่างชัดเจน ในการทดลองครั้งนี้ พบว่าระบบจำลองในชุมชนสามารถบำบัดฟอสเฟตได้เพียงร้อยละ 43 ซึ่งงานวิจัยของ Koiv et al. (2010) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตในระบบบำบัดแบบใช้พืช ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นฟอสเฟตเข้าระบบ 0.13-17.0 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต เท่ากับร้อยละ 99 โดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างพืช จุลินทรีย์และตัวกลางผ่านปฏิกิริยาการดูดซับและตกตะกอนกับองค์ประกอบของแร่ธาตุที่มีอยู่ในตัวกลาง จากนั้นฟอสเฟตจะถูกพืช และจุลินทรีย์ นำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์เนื้อเยื่อ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Johansson (2006) ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียของวัสดุต่าง ๆ รวมถึงดิน ซึ่งพบว่าดินสามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้สูงสุด 30-50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามภาพรวมของปริมาณฟอสเฟตในน้ำออกระบบ ของงานการศึกษาไม่ได้เกินค่ามาตรฐานซึ่งโดยทั่วไปแหล่งน้ำที่จัดว่าเป็นแหล่งน้ำเสื่อมโทรมจะมีค่าฟอสเฟตมากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมด

การศึกษาตลอดระยะเวลา 8 เดือน จากจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 521.66±15.36-2,712.40±3,105.79 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดใน จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 446±109.13-2,996.20±3,413.72 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 406±127.28-2,675.80±3,055.91 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณของแข็งทั้งหมดจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 421±174.93-2,660.4±2,940.65 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากภาพที่ 34 พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการดำเนินระบบและมีความแปรผันในแต่ละจุดค่อนข้างน้อยยกเว้นในบางเดือน เช่น เดือนที่ 2 (กันยายน) เดือนที่ 3 (ตุลาคม) และเดือนที่ 6 (มกราคม) ซึ่งมีค่าสูงตามแนวโน้มของน้ำเข้าระบบ โดยจะสังเกตได้ว่าค่าของแข็งทั้งหมดในจุดที่ 2 และ 3 จะมีค่าลดลงกว่าค่าของแข็งทั้งหมดในจุดที่ 1 และ 4 และบริเวณจุดเก็บน้ำตัวอย่าง จุดที่2 (น้ำกลางระบบ) สามารถบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 68 โดยสามารถลดของแข็งทั้งหมดลงได้เหลือ 512.3±38.1 มิลลิกรัม/ลิตร จากค่าเฉลี่ยเริ่มต้นในน้ำเข้า 1,604±1997.5 มิลลิกรัม/ลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) แต่บริเวณจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ไม่ได้ไหลผ่านระบบเป็นเพียงทางน้ำข้างระบบที่ทำกันไว้ไม่ให้น้ำล้นระบบเท่านั้นจึงมีค่าใกล้เคียงกันบริเวณจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช สามารถที่จะลดปริมาณของแข็งลงได้บางส่วน เนื่องจากส่วนหนึ่งตกตะกอนบนบริเวณดินและชั้นกรอง ซึ่งพืชมีส่วนช่วยในการชะลอความเร็วของ

กระแสน้ำ ซึ่งถ้าของแข็งสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามรากพืชจะช่วยย่อยสลายตะกอนเหล่านี้ (จิตตมา, 2545) ซึ่งประสิทธิภาพของระบบมีค่าใกล้เคียงกับงานของ สุชาดา (2548) ซึ่งศึกษาระบบบึงประดิษฐ์แบบเดี่ยวระหว่างแบบ FWS (บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ) และแบบ SF (บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน) โดยพบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงสุด เท่ากับร้อยละ 68.5±14.5 และ 75.7±7.5 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของแข็งในรูปของแข็งแขวนลอย นอกจากนี้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในบริเวณจุดน้ำออกระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่เกิน 1,300 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าคุณภาพของน้ำเหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

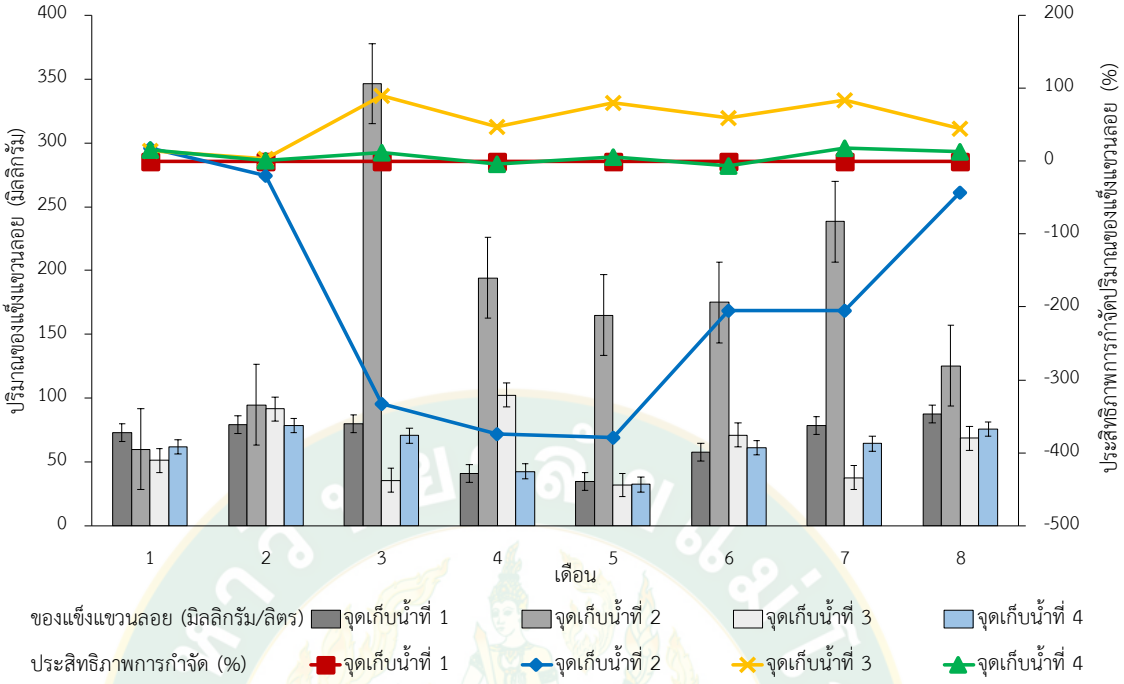


ภาพที่ 34 ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย

ผลจากการทดลองตลอดระยะเวลา 8 เดือน พบว่า ของแข็งแขวนลอยมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาดำเนินระบบ โดยน้ำจากจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) เปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 34.4±24.32-87.8±46.28 มิลลิกรัม/ลิตร จุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีการเปลี่ยนแปลงของของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 59.66±11.01-346.5±370.24 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยใน จุดที่ 3 (น้ำออกระบบ) มีค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31.8±20.77-102.25±103.23 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งลดลงจากจุดที่ 2 และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.2±13.66-78.4±40.88 มิลลิกรัม/ลิตร ดังภาพที่ 35 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยในจุดที่ 2 คาดว่าน่าจะเกิดจาก ระบบโดนก่อกวนจากการตัดพืชทุกชนิด ยกเว้นกล้วยบัว ลานไพลิน และผักแขยง ในเดือนที่ 2 จึงส่งผลทำให้ช่วงเดือนที่ 3 มีค่าของแข็งแขวนลอยจำนวนมาก และเนื่องจากพืชที่ปลูกชั้นกรองที่ 3 เป็นพืชที่มีขนาดต้นเล็ก เช่น คาวตอง ผักแพว และชะพลู แต่อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งที่ผ่านระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช สามารถบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ โดยคิดเป็นร้อยละ 89.7 ลดลงเหลือ 35.5±24.71 มิลลิกรัม/ลิตร จากค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น 346.5±370.24 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (One-way ANOVA; $p>0.05$) เนื่องจากความหนาแน่นของพืชและรากพืชจะช่วยเพิ่มการจมตัวลงของของแข็งแขวนลอยด้วยการตกตะกอน เนื่องจากพืชจะจับของแข็งแขวนลอยไว้ในชั้นตัวกลางที่มีการสะสมของซากพืช ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบได้ (Kadlec and Knight, 1996) แต่จากการทดลองจะเห็นได้ว่าบริเวณจุดที่ 1 (น้ำเข้าระบบ) มีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อยลงจากค่าการสำรวจคุณภาพน้ำเบื้องต้น ดังตารางที่ 5 เนื่องจากบริเวณที่ทำการสร้างระบบจำลองนี้อยู่ห่างจากจุดปล่อยน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน จึงทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดไปแล้วบางส่วน ประภา (2549) ได้ศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดด้วยพืช โดยการปลูกธูปฤาษี เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมัน พบว่าสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย คิดเป็นร้อยละ 88.9-97 อย่างไรก็ตามระบบที่สร้างขึ้นมีข้อจำกัดเรื่องสถานที่ทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำสั้น ดังนั้นถ้าสามารถปรับให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำนานขึ้น หรือการไหลของน้ำในระบบให้ช้าลง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอยได้ดีขึ้น นอกจากนี้ความลึกของชั้นกรองก็มีผลต่อการกำจัดของแข็ง โดยงานวิจัยของ Hatt et al. (2007) ได้ทำการทดสอบความสามารถในการกำจัดมลพิษในน้ำฝนของชั้นกรองชีวภาพ พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบกรองชีวภาพจะมีค่าลดลงตามความลึกของระบบกรองชีวภาพ โดยระบบกรองที่มีชั้นกรองลึกตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป จะสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบกรองให้เหลือน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 35 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนที่ผ่านระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

5. การเจริญเติบโตของพืชในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองในชุมชน

พืชภูมิทัศน์และพืชสามารถบริโภคได้ จำนวน 16 ชนิด ได้ถูกนำมาปลูกสำหรับการบำบัดในระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน ตลอดระยะเวลา 8 เดือน ได้มีการตัดยอดพืชจำนวน 2 ครั้ง คือในเดือนที่ 3 (ตุลาคม) และเดือนที่ 7 (กุมภาพันธ์) ยกเว้นกล้วยบัว ลานไพลิน และผักแขยง พืชแต่ละชนิดมีค่าความยาวยอดเฉลี่ยเริ่มต้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ชะพลู ลานไพลิน กล้วยบัว หูเสือ ผักแพว ผักแขยง อเมซอน คาวตอง เสลดพังพอนตัวเมีย แปะตำบึง ธูปฤาษี กกราชินี พุทธรักษา หญ้าถอดปล้อง ปักษาสวรรค์ และเสลดพังพอนตัวผู้ ตามลำดับ

ภาพที่ 36 ลักษณะของพืชในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนด้วยระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนเมื่อสิ้นการทดลอง

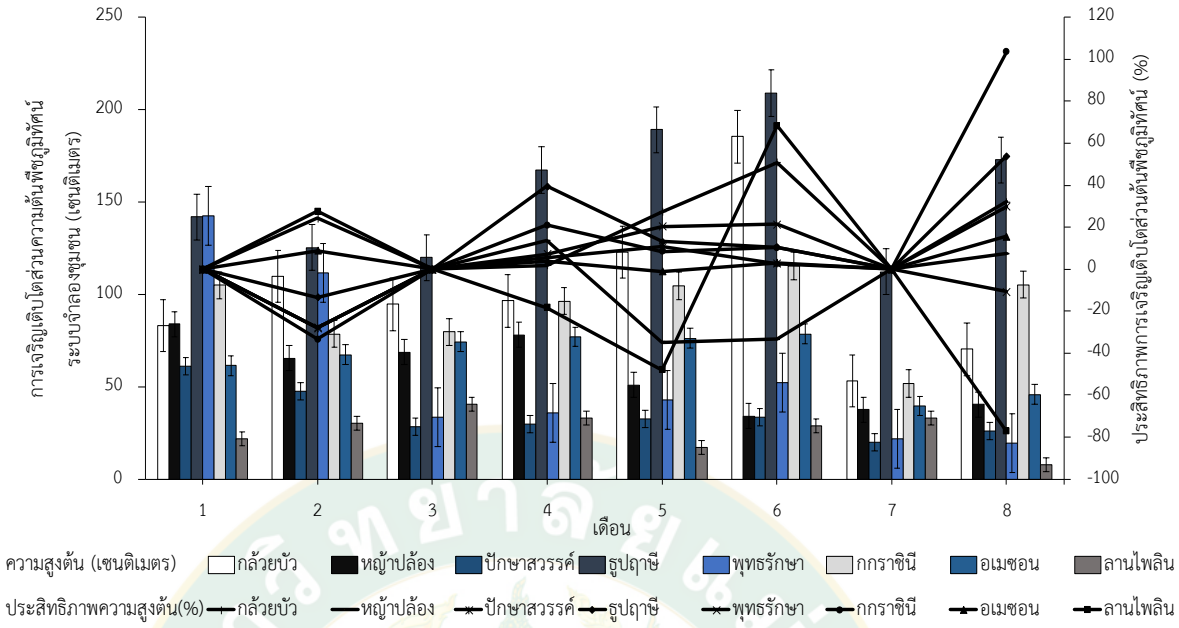
เมื่อดำเนินระบบผ่านไปได้ 3 เดือน (สิงหาคม-ตุลาคม) ก่อนการตัดยอดครั้งที่ 1 สำหรับกลุ่มพืชทางภูมิทัศน์ พบว่า ลานไพลิน (Bacopa caroliniana B.L.Rob.) การเจริญเติบโตมีความยาวยอดเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 27 เมื่อเทียบกับความยาวยอดเฉลี่ยช่วงแรก 21.94±10.16 เซนติเมตร โดยเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 เดือน พบว่ามีค่าความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 30.29±49.22 เซนติเมตร ดังภาพที่ 37 เนื่องจาก ลานไพลิน ยังเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุได้หลายปี เป็นพืชในวงศ์เดียวกันกับผักแขยง มักกระจายพันธุ์อยู่ตามริมน้ำที่ชื้นแฉะ หรือในระดับน้ำตื้นๆ แต่จะต้องมีการตัดแต่ง มักนิยมปลูกในกระถางเพื่อตกแต่งตามสถานที่ต่าง ๆ พืชที่สามารถบริโภคได้ พบว่า ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) การเจริญเติบโตมีความยาวยอดเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับความยาวยอดเฉลี่ยช่วงแรก 12.33±1.27 เซนติเมตร โดยเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 เดือน พบว่ามีค่าความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 18.26±13.22 เซนติเมตร ดังภาพที่ 38 เนื่องจาก ชะพลู เป็น

พืชผักสมุนไพรที่เจริญเติบโตได้ง่ายๆ มีความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นรากฝอย เป็นพืชที่ชอบพื้นที่ลุ่ม บริเวณที่มีอินทรียวัตถุสูง และมีความชื้นชอบน้ำแต่ต้องระบายน้ำดี จึงทำให้ชะพลูมีการเติบโตในช่วงแรกของการดำเนินระบบได้ดี

อย่างไรก็ตาม เมื่อหลังการตัดยอดครั้งที่ 1 เมื่อดำเนินระบบผ่านไปได้ 3 เดือน (พฤศจิกายน-มกราคม) พบว่าพืชแต่ละชนิดมีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ลานไพลิน กล้วยบัว พุทธรักษา ชะพลู ผักแพว ธูปฤาษี กกราชินี เสลดพังพอนเมีย แปะตำปึง คาวตอง หูเสือ อเมซอน ปักษาสวรรค์ ผักแขยง หญ้าถอดปล้อง และเสลดพังพอนตัวผู้ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพืชทางภูมิทัศน์ ลานไพลิน (*Bacopa caroliniana* B.L.Rob.) มีการเจริญเติบโตสูงกว่าพืชชนิดอื่นคิดเป็นร้อยละ 68 เมื่อเปรียบเทียบค่าความสูงยอดเฉลี่ยหลังจากการตัดครั้งที่ 1 เฉลี่ย 27.11±3.58 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองระยะเวลา 3 เดือน พบว่ามีค่าความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 32.83±7.55 เซนติเมตร ดังภาพที่ 37 เนื่องจาก ลานไพลิน เป็นพืชล้มลุกสะเทินน้ำสะเทินบกเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีลำต้นอวบน้ำ โดยเฉพาะถ้าปลูกในดินเหนียวที่มีความชุ่มชื้นและมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ หรือในระดับน้ำที่สูงประมาณ 10-15 เซนติเมตร ต้องการแสงแดดแบบเต็มวัน พืชที่สามารถบริโภคได้ พบว่าผักแพว (*Polygonum odoratum* Lour.) การเจริญเติบโตมีความยาวยอดเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับความยาวยอดเฉลี่ยช่วงแรก 27.81±4.12 เซนติเมตร โดยเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 เดือน พบว่ามีค่าความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 39.07±3.54 เซนติเมตร ดังภาพที่ 38 เนื่องจากผักแขยง เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็กอายุ 1 ปี ความสูงต้นประมาณ 15-30 เซนติเมตร ลำต้นอวบน้ำกลมกลวงเล็ก ๆ ระบบรากฝอยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเหนียวที่มีความชุ่มชื้นและมีสารอินทรีย์สูง

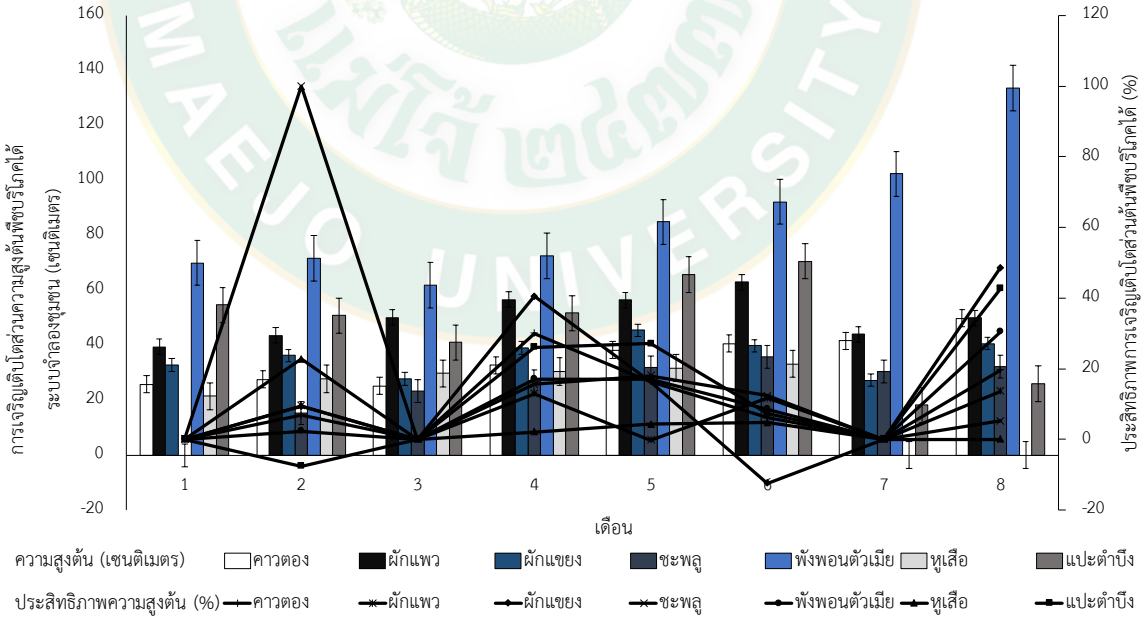
และการเจริญเติบโตหลังการตัดยอดครั้งที่ 2 พบว่าพืชแต่ละชนิดมีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ กกราชินี ธูปฤาษี ผักแขยง แปะตำปึง กล้วยบัว เสลดพังพอนเมีย ปักสวรรค์ คาวตอง อเมซอน ผักแพว หญ้าถอดปล้อง ชะพลู พุทธรักษา ลานไพลิน หูเสือ และเสลดพังพอนตัวผู้ ตามลำดับ โดยที่พืชภูมิทัศน์ พบว่า กกราชินี (*Cyperus altrenifolius* L.) มีการเจริญเติบโตดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 98.84±7.16 เมื่อเปรียบเทียบกับความสูงยอดหลังการตัดยอดครั้งที่ 2 เฉลี่ย 51.75±22.50 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองระยะเวลา 6 เดือน พบว่ามีความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 102.13±6.50 เซนติเมตร ดังภาพที่ 37 เนื่องจาก กกรานิชี เป็นพืชล้มลุก ลำต้นเหนือดินสร้างช่อดอกและแตกเป็นกอมีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าแข็งสั้นๆ มีความสูงได้ประมาณ 100-150 เซนติเมตร เจริญเติบโตได้ดีในดินเหนียวที่ชุ่มชื้นและมีอินทรีย์วัตถุสูง ชอบความชื้นสูงและแสงแดดแบบเต็มวัน พืชที่สามารถบริโภคได้ พบว่า ผักแพว (*Polygonum odoratum* Lour.) การเจริญเติบโตมีความยาวยอดเฉลี่ยสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 48 เมื่อเทียบกับความยาวยอดเฉลี่ยช่วงแรก 27.33±2.19 เซนติเมตร โดยเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 เดือน พบว่ามีค่าความสูงยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 40.6±3.94 เซนติเมตร ดังภาพที่ 38

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตส่วนยอดของพืชที่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและพืชที่นำมาปลูกลงระบบจำลองในชุมชน พบว่า พืชบางชนิดที่มีการเจริญเติบโตได้ดีในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อนำลงมาปลูกในระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนแล้ว พบว่า พืชไม่สามารถเติบโตได้ในระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชซึ่งมีอาการใบสีเหลือง เหี่ยว และตายไป เช่น เสลดพังพอนตัวผู้ หูเสือ เป็นต้น สาเหตุอาจเนื่องจากระบบจำลองในชุมชนมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เนื่องจากลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ของเหลวที่พืชดูดเข้าไป จะต้องมีความเข้มข้นน้อยกว่าของเหลวที่อยู่ในเซลล์มาก เซลล์จึงจะดูดน้ำเข้าโดยวิธีออสโมซิสได้ เพราะมีผนังเซลล์ที่มีความแข็งแรงหุ้มเซลล์ไว้ เมื่อเซลล์ดูดน้ำมากพอแล้วก็จะไม่สามารถดูดเข้าไปได้อีก ด้วยเหตุนี้ภายในเซลล์พืชจึงมีความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าภายนอกเซลล์เสมอ เมื่อใดที่ของเหลวจากภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่าในเซลล์ เช่น เมื่อใส่ปุ๋ยมากเกินไป จะเป็นผลให้น้ำจากเซลล์ออสโมซิสออกมาสู่ภายนอก ทำให้โปรโตพลาสซึมแยกตัวออกมาจากผนังเซลล์เรียกว่า "พลาสโมไลซิส" (plasmolysis) ทำให้พืชเฉาและตายได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2521) ซึ่งในระบบจำลองชุมชน ในแต่ละวันจะมีปริมาณน้ำและปริมาณสารอินทรีย์ไม่คงที่ ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากในห้องปฏิบัติการ และนอกจากนี้พืชแต่ละชนิดที่นำมาทดลองนั้นมีความหลากหลายและแตกต่างกันตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและ มีสภาวะในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เช่น ลักษณะการเจริญเติบโตในสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำหรือบนพื้นที่ราบดินร่วน ซึ่งพืชที่เติบโตได้ดีโดยส่วนมากจะเป็นพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ เช่น กกราชินี ธูปฤาษี กล้วยบัว อเมซอน และลานไพลิน เป็นต้น ซึ่งเป็นพืชที่ชอบอาศัยบริเวณน้ำท่วมขัง และบริเวณที่มีสารอินทรีย์สูง ซึ่งพืชประเภทนี้เมื่อปลูกลงในระบบจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี เนื่องจากระบบรากเอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บริเวณราก อรอนงค์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาแบคทีเรียในดินรอบรากพุทธรักษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชมีความแตกต่างกัน โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุพืชจนสูงสุดที่ระยะดอกบานและมีปริมาณลดลง เมื่อพืชเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตสูงสุด ดังนั้นจึงต้องมีการตัดยอดออก เพื่อการดำรงชีวิตต่อของพืชและแบคทีเรียที่อยู่บริเวณรอบรากพืชไม่มีปริมาณลดลง โดยพืชที่ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากจะมีกลไกการบำบัดที่เกิดจากส่วนรากในการดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ เข้าไปในส่วนก้าน และส่วนลำต้น ทั้งที่อยู่ในน้ำหรือไม่ได้อยู่ในน้ำ และในส่วนรากจะทำหน้าที่ดูดซับสารพิษและสารอาหาร แล้วรากยังเป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต เป็นตัวกลางในการกรองและดูดซับตะกอนของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ แต่ในการทดลองครั้งนี้ ระบบจะเกิดการก่อกวนจากโรคและแมลง ได้แก่ พวกเพลี้ยแป้ง และการตัดยอด จึงทำให้พืชบางชนิดหยุดชะงักการเติบโตและตายไป เช่น หูเสือ เนื่องจากพืชชนิดอื่นมีการเจริญเติบโตดีและสูงกว่า เช่น กกราชินี และอเมซอน จึงทำให้แสงแดดส่องลงมาไม่ถึงต้นเล็ก ๆ ที่อยู่ด้านล่าง



ภาพที่ 37 การเจริญเติบโตส่วนความสูงต้นของพืชภูมิทัศน์ ในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม



ภาพที่ 38 การเจริญเติบโตส่วนความสูงต้นของพืชบริโภคได้ ในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชนตลอดระยะเวลา 8 เดือน

โดยที่ 1. สิงหาคม 2. กันยายน 3. ตุลาคม 4. พฤศจิกายน 5. ธันวาคม 6. มกราคม 7. กุมภาพันธ์ 8. มีนาคม

บทที่ 5
สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชนด้วยระบบฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช ณ หมู่บ้านน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการศึกษาประสิทธิภาพพืชจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ กล้วยบัว หญ้าถอดป้อง ปักษาสวรรค์ ธูปฤาษี กกราชินี พุทธรักษา อเมซอน ลานไพลิน ชะพลู ผักแพว หูเสือ คาวตอง ผักแขยง แปะตำบึง เสลดพังพอนตัวผู้ และเสลดพังพอนตัวเมีย ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลา 1 เดือน พบว่า พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งได้แตกต่างกัน โดยพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งและมีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* L.) ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีคิดเป็นร้อยละ 85±14.99, 90±48.36 และ65±0.81 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีการเจริญเติบโตความยาวราก และความสูงยอด 21±14.99 และ57±40.54 เซนติเมตร และพืชที่ใช้สำหรับการบริโภคที่ดีที่สุด คือ ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีคิดเป็นร้อยละ 86±11.31, 69±0.87 และ79±0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีการเจริญเติบโตความยาวราก และความสูงยอด 5.63±3.98 และ11.33±8.01 เซนติเมตร และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์มีการบำบัดน้ำทิ้งและมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ เนื่องจากพืชที่ใช้งานทางภูมิทัศน์ที่นำมาทดลองเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำ ลำต้นอุ้มน้ำ มีเหง้าหัวแตกแขนงอยู่ใต้ดิน ซึ่งแตกต่างกับพืชที่นำมาบริโภคได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นต้นพุ่มกอไม่ได้อาศัยอยู่ในพื้นที่ราบจึงทำให้ไม่มีการเจริญเติบโตได้ดี และพืชที่สามารถบำบัดได้น้อยที่สุด คือ หญ้าถอดปล้อง และลานไพลิน อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมพืช 16 ชนิด ที่นำมาทดลองมีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน และมีโอกาสที่จะพัฒนามาเป็นพืชในระบบจำลองชุมชนได้

จากการศึกษาประสิทธิภาพระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน โดยได้นำพืชที่ผ่านการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งหมด 16 ชนิด มาปลูกลงระบบจำลองในชุมชน และทำการดำเนินระบบเป็น ระยะเวลา 8 เดือน พบว่า ระบบการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชสามารถกำจัดสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนเตรท ฟอสเฟต ปริมาณของแข็ง

ทั้งหมด และ ปริมาณของแข็งแขวนลอย ได้ดีที่สุดเท่ากับ 87±40.3, 63.8±2.51, 43.2±0.25, 68±38.1 และ89.7±24.7 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชและอุณหภูมิออกระบบอยู่ในช่วง 5.46-6.77 และ21.8-30.2 องศาเซลเซียส สำหรับพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือ ชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) พืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ที่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดได้แก่ ลานไพลิน (*Bacopa caroliniana* B.L.Rob.), และ กกราชินี (*Cyperus altrenifolius* L.) โดยมีการเจริญเติบโตคิดเป็นร้อยละ 32.48±13.22, 68.27±49.22 และ 98.84±7.16 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความยาวรากเฉลี่ย 8.66±4.25, 10.26±5.08 และ 34.33±13.50 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามมีพืชบางชนิดได้ตายลง เช่น เสลดพังพอนตัวผู้ (*Barleria lupulina* Lindl.) และหูเสือ (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng.) เป็นต้น เนื่องจากพืชอาจจะปรับตัวไม่ทันกับคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน จากการทดลองประสิทธิภาพของพืชในห้องปฏิบัติการและระบบบำบัดน้ำทิ้งในชุมชน พบว่าพืชและระบบบำบัดน้ำทิ้งสามารถบำบัดคุณภาพน้ำได้ แต่ไม่สามารถกำจัดไนเตรทและฟอสเฟตออกจากระบบบำบัดน้ำทิ้งในชุมชนได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในดินของระบบบำบัดน้ำทิ้ง เพื่อใช้อธิบายกลไกการกำจัดสารเจือปนในน้ำเสีย

2. ระยะเวลาการเก็บน้ำ และความสูงของชั้นกรองมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ดังนั้นในการออกแบบควรเพิ่มระยะเวลาให้น้ำทิ้งอยู่ในระบบบำบัดให้นานขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด

3. เพิ่มข้อเสนอแนะ เรื่องเกี่ยวกับระบบการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน โดยการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน และทำความเข้าใจกับคนในชุมชนที่มาบุกรุกระบบ

4. ควรเพิ่มการวิเคราะห์ปริมาณ ไนเตรท และฟอสเฟต ที่อยู่ในพืชและดิน เพื่อให้สามารถอธิบายกลไกการกำจัดสารอาหารในระบบได้ดีขึ้น

5. ควรศึกษาการจัดการพืช โดยการนำมาตรวจวัดความปลอดภัยในการบริโภค

บรรณานุกรม

เกษม ประดิษฐ์วัฒนกิจ. 2555. **การพัฒนาต้นแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แป้งมันสำปะหลังด้วยเทคโนโลยีดีสชาร์จทางไฟฟ้า**.

เชิญ ไกรนา. 2559. **แนวทางการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศในพื้นภาคกลางในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.slideshare.net/choenkrainara/12-60598685 (23 สิงหาคม 2559)

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2543. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เว็บไซต์เมดไทย (medthai). 2558. **รายชื่อสมุนไพรไทย-จีน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://medthai.com/รายชื่อสมุนไพร/ (13 กันยายน 2562)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. **หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมสาขาแป้งขนมจีน**.

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html (26 พฤศจิกายน 2559)

_____. 2547. **ประเภทแหล่งน้ำผิวดิน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html (26 พฤศจิกายน 2559)

_____. 2553. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กองจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ.

_____. 2557. **คู่มือการติดตามตรวจสอบคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/documents/FreshWaterSampling57.pdf (10 ตุลาคม 2559)

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. **เคมีของน้ำ: น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. 2544. **การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ขนิษฐา สมตระกูล และวราภรณ์ ฉุยฉาย. 2557. การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนแอนทราซีนและฟลูออแรนทีนโดยการปลูกกระเจี๊ยบเขียว ข้าวโพดข้าวเหนียว หรือถั่วฝักยาวร่วมกันสองชนิด. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**,31(2)1-11.

จารุชา ยี่แสง, สุกัญญา แย้มสรวล และวันเพ็ญ แก้วพุก. 2558. การใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นขนมจีนของชุมชนโพรงมะเดื่อ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. **วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่**,7(4)6-15.

จิตตมา เชื้อกูล. 2545. **การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ต้นพุทธรักษาในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชัยพร ภู่ประเสริฐ. 2538. **ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวดเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ**. วิทยานิพนธ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาลินี ศักดิ์แสน และศศิธร พุทธวงษ์. 2550. **การบำบัดโครเมียมและอาร์เซนิกด้วยหญ้าแฝกและธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์**

ชิษณุพงศ์ ประทุม. 2559. ผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**,36(3)324-332

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. 2548. **การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชุตินุช สุจริต และเอนก สาวะอินทร์. 2558. **ศักยภาพการผลิตไบโอก๊าซจากน้ำเสียโรงงานผลิตเส้นขนมจีนด้วยระบบแผ่นกั้นไม่ใช้อากาศ**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา.

ชันวานี จิใจ และชัยรัตน์ ศิริพัธนะ. 2559. การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

ดารณี ด่านวันดี, มุจลินทร์ ผลจันทร์ และพีรการต์ บรรเจิดกิจดารณี. 2555. **แนวทางการออกแบบระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ**. ครั้งที่พิมพ์ 1. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ดำรงศักดิ์ จินดากุล และวรรณภา คล้ายสงวน. 2537. **เสียผลพวงของการพัฒนาที่ไม่ยั่งยืนปัจจัยสำคัญของวิกฤตน้ำ**. โลกสีเขียว 27-34.

ธเรศ ศรีสถิต และวงศ์พะงา เส็งสาย. 2545. ประสิทธิภาพของหญ้าแฝกหอม (*Vertiveria zizanioides* (Linn.)Nass) และหญ้าแฝกดอน (*Vertiveria nemoralis* A. Camus) ในการบำบัด

โครเมียมในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น เพื่อการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายจากโรงงานฟอกหนัง. **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม**,24(1)1-14.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และเบญจพร สุวรรณศิลป์. 2559. **เอาน้ำเสียโรงงานไปใช้ในการเกษตร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://thaipublica.org/2016/03/thongchai-benjaporn/ (24 กันยายน 2562)

ธีรนาถ สุวรรณเรือง. 2557. **การฟื้นฟูสภาพน้ำเสียทางชีวภาพโดยพืช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์.

นงนภัส คู่วรัญญู เที่ยงกลม. 2554. **สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาเล่ม1**. ครั้งที่พิมพ์ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นาถ ภูวงศ์ผา เฉลิม เรืองวิริยะชัย และสุนันทา เลาวัณย์ศิริ. 2555. การกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น**,40(4)1272-1284.

ประภา โซ๊ะสลาม. 2549. **การประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหาร เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

พลูสุข โพธิรักขิต-ปรัชญานุสรณ์. 2553. **เคมีสิ่งแวดล้อม**. เอ-บุ๊คดิสทริบิวชั่น (นครปฐม).

พัชราภรณ์ กันยาประสิทธิ์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ และนิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2558. การบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนด้วยวิธีการสร้างรวมตะกอนร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำสร้างและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**,17(4)16-31.

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร, จิดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย และเชาวยุทธ พรพิมลเทพ. 2552. ประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์ แบบการไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง. **วารสารการจัดการแวดล้อม**,5(2)89-99.

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ๊ก. 2551. การประยุกต์ใช้พืชอาหารสัตว์ในการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**,36(4)312-326.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2558. **การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพืช (phytoremediation)**.ครั้งที่พิมพ์ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิจิตรา ชโยปถัมภ์. 2544. **การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พีรกานต์ บรรเจิดกิจ. 2555. การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบพืชพรรณเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน. น. 343. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50**.

มาโนช วามานนท์ และเพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ. 2540. **ผักพื้นบ้าน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.honestdocs.co/rice-paddy-herb (14 กันยายน 2562)

มินตรา คำนึงครวญ. 2558. **การศึกษาประสิทธิภาพของระบบการกรองทางชีวภาพโดยใช้หญ้าเพื่อลดแคดเมียมในน้ำไหลนองสังเคราะห์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน Soil fertility**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

รมย์ชลีรดา ด่านวันดี มุจลินทร์ ผลจันทร์ และพิทักษ์พงศ์ แบ่งทิศ. 2560. การศึกษารูปแบบการออกแบบภูมิทัศน์ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน. น. 123-131. ใน **รายงานการประชุมวิชาการ ประจำปี 2560**

วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์, ธวัชชัย เนียรวิฑูรย์, อุไรวรรณ อินทร์ม่วง และถิรพงษ์ ถิรมนัส. 2542. ปริมาณโลหะหนักในพืชน้ำและสัตว์น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครขอนแก่น. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 4(2)63-73.

วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2551. การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช: Phytoremediation. **วารสารวิชาการราชภัฏตะวันตก**,3(1)134-145.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. **สำนักงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://medthai.com/ (14 กันยายน 2562)

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2542. **พจนานุกรมสมุนไพรไทย**. ครั้งที่พิมพ์ 5. กรุงเทพฯ: รวมสาส์น.

วีระพันธุ์ สรีดอกจันทร์. 2554. **การเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินปนเปื้อนสู่ส่วนต่างๆ ของพืช**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eastasiawatch.in.th (24 กันยายน 2562)

ศิริพร แสงจันทร์. 2549. **การสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผัก และไม้ดอกที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรร่วมกับปุ๋ย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์, พนาลี ชีวกิดาการ, ภัทรธร เอือกฤดาธิการ และธันวดี เตชะภัททวรกุล. 2553. **คุณภาพน้ำและการจัดการ**. ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2557. **ระบบบำบัดน้ำเสีย**. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2521. **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม 4 เรื่องที่ 3 ความสมดุลของของเหลวในร่างกาย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=4&page=main (24 กันยายน 2562)

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2555. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่11 (พ.ศ.2555-2559)** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.nesdb.go.th/ewt_news.php?nid=5748 (13 กรกฎาคม 2562)

สำนักงานหอพรรณไม้. 2561. **พรรณไม้**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.dnp.go.th/botany/search.html?keyword (17 กันยายน 2562)

สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์. 2548. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุธีลา ตุลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย)**. กรุงเทพฯ: บริษัทรวมสาส์น.

สุภาพร จันรุ่งเรือง และพิสบุษ์ จัตวาพรวนิช. 2540. **ศึกษาศักยภาพการใช้ธูปฤาษีในการบำบัดน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน

สุภาวดี โกยดุลย์. 2557. การกำจัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ**,2(1)66-80.

สุมนทิพย์ บุนนาค. 2553. **บำบัดน้ำเสียด้วยพืชยุคดึกดำบรรพ์**. คมชัดลึก หน้า 14.

สุมล นิลรัตน์นิศากร. 2549. **การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยต้นธูปฤาษี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตธนบุรี

อดุลย์ศักดิ์ ไชยราช. 2561. **ผักคาวตอง ผักพื้นบ้านไทย รูปสวยน่ากินแต่กลิ่นและรสชาติแปลก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.technologychaoban.com/folkways/article_48035 (14 กรกฎาคม 2562)

อรทัย เชื้อวงษ์ และประพฤติธรรม ไพบูลย์. 2550. **การศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ด้วยพุทธรักษา 3 พันธุ์ ในระบบดินน้ำขังสลับแห้งร่วมกับพืช:ต่อการบำบัดบีโอดี**. ใน การประชุมวิชาการ ด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 11-7.

อรอนงค์ ผิวนิล, ปราโมทย ศิริโรจน์ และธนิศร ปทมพิฑูร. 2551. **ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียรอบรากพุทธรักษาต่อประสิทธิภาพการบำบัดนาเสียชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยระบบหญ้ากรองน้ำเสียในสภาพน้ำขังสลับแห้ง**. ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่44. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรุโณทัย จำปีทอง และสุทธาธร ไชยเรืองศรี. 2554. พืชน้ำ: บทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 39(2)182-192.

อลิสา วังใน. 2554. **การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดม เชยกีวงศ์. 2557. **มลพิษทางน้ำ**. กรุงเทพฯ: แสงดาว.

Akratos C.S., Gikas G.D. andTsihrintzis V.A. 2007. Performance monitoring of a vertical flow constructrd wetland treating municipal wastewater. **Global NEST Journal**, 9(3)277-285.

APHA. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**.

Arunbabu V., Sruthy S., Antony I. and Ramasamy, E.V. 2015. Sustainable greywater management with Axonopus compressus (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands. **Journal of Water Process Engineering**,7(153-160).

Ashraf M., Ahmatullah R., Ahmad R., Bhatti A.S., Afzal M., Sarwar A., Maqsood M.A. andKanwal S. 2010. Amelioration of salt stress in sugarcane *Saccharum officinarum* L. **Pedosphere**,20(2)153-162.

Bonomo L., Pastorelli G. andZambon, N. 1997. Advantages and limitations of duckweed-based wastewater treatment systems. **Water Science and Technology**,35(5)239-246.

Cheema S.A., Khan M.I., Shen C., Tang X., Farooq M., Chen L., Zhang C. and Chen Y. 2010. Degradation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by single and combined plants cultivation. **Journal of Hazardous Matreial**,177(384-389).

Clark J., Ortego L.S. andFairbrother A. 2004. Sources of variability in plant toxicity testing. **Chemosphere.**,57(1599-1612).

Girdhar M., Sharma N.R., Rehman H., Kumar A. andMohan A. 2014. Comparative assessment for hyperaccumulatory and phytoremediation capability of three wild weeds. **3 Biotech** 4(579-589).

Gomes M.V.T., Souza R.R., Teles V.S. andMendes E.A. 2014. Phytoremediation of water contaminated with mercury using Typha domingensis in constructed wetland. **Chemosphere**,103(228-233).

Gottschall N., Boutin C., Crolla A., Kinsley C. andChampagne P. 2007. The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. **Ecological Engineering** 29(154–163).

Harvey P.J, Campanella B.F, Castro P.M.L, Lichtfouse E, Schaffner A.R, Smrcek S andWerck-Reichhant D. 2002. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines, and phenol. **Environmental Science and pollution Research**,9(29-47).

Hatt B.E., Deletic A. andFletcher T.D. 2007. Stormwater reuse: designing biofiltration systems for reliable treatment. **Water Science and Technology** 55(4)201-209.

Johansson L.W. 2006. Substrates for phosphorus removal-potential benefits for on-site wastewater treatment. **Water Research** 40(1)23-36.

Kadlec R.H andKnight R.L. 1996. **Treatment Wetlands**.

Karmakar S., Mukherjee J. andMukherjee S. 2016. Removal of fluoride contaminaton in water by three aquatic plants. **International Journal of Phytoremediation**,18(222-227).

Kochain L.V. 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plant. In: Mortvedt, J.J, Cox, F.R., Shuman, L.M. and Welch, R.M. Editors. **Soil Science Society of America**,Medison(WI)229-296.

Koiv M., Liira M., Mander U., Motlep R., Vohla C. andKirsimae K. 2010. Phosphorus removal using Ca-rich hydrated oil shale ash as filter material–The effect of differentphosphorus loadings and wastewater compositions. **Water Research**,44(18)5232–5239.

Konstantinos Makris, Kabindra Man Shakya, Rupali Datta andDibyendu Sarkar. 2007. High uptake of 2,4,6-trinitrotolueneby vetivergrass Potential for phytoremediation?. **Environmental Pollution**,146(1-4).

Maddison M., Soosaar K., Mauring T. andMander U. 2009. The biomass and nutrient and heavy metal content of cattails and reeds in wastewater treatment wetlands for the production of construction material in Estonia **Desalination**,246(1–3)120-128.

Marmirroli N. andMcCutcheon S.C. 2003. **Making Phytoremediation a successful technology cCutcheon, S.C. and J.L. Schnoor (ed.)**.

Maurizio B. andDavide T. 2007. Five year water and nitrogen balance for a constructed surface flow wetland treating agricultural drainage waters. **Science of the Total Environment** 380(38–47).

Michael Trepel. 2010. Assessing the cost-effectiveness of the water purification function of wetlands for environmental planning. **Ecological Complexity**,7(320–326).

Munch C., Kuschk P. andRoske. I. 2005. Root stimulated nitrogen removal: only a local effect or important for water treatment. **Water Science and Technology**,51(9) 185-192.

Nwaichi E.O., Frac M., Nwoha P.A. andEragbor P. 2015. Enhanced phytoremediation of crude oil-polluted by four plant species: Effect of inorganic and organic bioaugmentation. **International Journal of Phytoremediation**,17(1253-1261).

Pandey V.C., Bajpai O. andSingh N. 2016. Energy crops in sustainable phytoremediation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,54(58-73).

Park S., Kim K.S., Kim J., Kang D. andSung K. 2011. Effect of humic acid on phytodegradayion of petroleum hydrocarbons in soil simultaneously contaminated with heavy metals. **Journal of Environmental Sciences**,23(2034-2041).

Reed, S.C., Middlebrooks, E.J. andCrites, R.W. 1988. **Natural System for Waste Management and Treatment**. McGraw-Hill Inc.

Rotkittikhun P., Chaiyarat R., Kruatrachue M., Pokethitiyook P. andBaker A.J.M. 2007. Growth and lead accumulation by the grasses Vetiveria zizaniodes and Thysanolaena maxima in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glass house study. **Chemosphere**,66(45-53).

Rotkittikhun P., Kruatrachue M., Chaiyarat R., Ngernsansaruay C., Pokethitiyook P., Paijotpraporn A. andBaker A.J.M. 2006. Uptake and accumulation of lead by plants from Bo Ngam lead mine area in Thailand. **Environmental pollution**,144(68)1.

Saba B., Jabeen M., Khalid A., Aziz I. andChristy AD. 2015. Effectiveness of rice agricultural waste, microbes and wetland plants in the removal of reactive Black-5 azo dye in microcosm constructed wetlands. **International Journal of phytoremediation**,17(1060-1067).

Shardendu., Salhani N., Boulyga SF. andStengel E. 2003. Phytoremediation of selenium by two helophyte species in subsurface flow constructed wetland. **Chemosphere**,50(8)967-973.

Siddigui F., Krishna S.K., Tandon P.K. andSrivastava S. 2012. **Arsenic accumulation in *Ociumum* spp. And its effect on growth and oil constituents**.

Sriprapat, W., Suksabye, P., Areephak, S., Klantup, P., Waraha, A., Sawattan, A. andThiraveyan, P. 2014. Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: removal of volatile indoor air contaminants. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 102(147-151).

Tang Y.T., Qiu R.L., Zeng X.W. andYing R.R. 2008. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in Arabis paniculata Franch. **Environmental and experimental botany**0098-8472.

USEPA. 1983. Results of the Nationwide Urdan Runoff Program **Washington, DC,US Environmental Protection Agency** Volume I-Final Report (NTIS PB84-185552).

Vymazal J. andKropfelova L. 2009. Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of the field experience. **Science of The Total Environment** 407(13)3911-3922.

Wang K., Zhang J., Zhu Z., Huang H., Li T., He Z., Yang X. andAlva A. 2012. Pig manure vermicompost (PMVC) can improve phytoremediation of Cd and PAHs co-contaminated soil by Sedum alfredii. **Journal of Soil and Sediments**,12(1089-1099).

Yahua C., Zhenguo S. andXiangdong L. 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals Applied **Geochemistry**,19(1553–1565).

Yang L., Chang H.T. andHuang M.N.L. 2001. Nutrient removal in gravel and soil based wetland microcosms with and without vegetation. **Ecological Engineering**,18(1)9-105.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์น้ำ

วิธีเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) โดยวิธี Closed Reflux

1.1 วิธีการเตรียมสารเคมี

1.1.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 0.0167 M (Digestion Reagent)

- โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 4.913 กรัม
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 167 มิลลิลิตร
- เมอร์คิวริคซัลเฟต (H_gSO_4) 33.3 กรัม **ไม่ต้องเติมถ้าไม่ได้วิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่ไม่มี Cl⁻*

ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 0.0167 M ทำการอบสารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 4.913 กรัม แล้วจึงนำไปละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) ปริมาตร 167 มิลลิลิตร และเติมเมอร์คิวริคซัลเฟต (H_gSO_4) ปริมาณ 33.3 กรัม ลงไป จากนั้นจึงคนให้เมอร์คิวริคซัลเฟตละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

1.1.2 กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต (H_2SO_4 Reagent)

- ซิลเวอร์ซัลเฟต 8.8 กรัม
- กรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ในการเตรียมกรดซัลฟูริกรีเอเจนต์ จะเริ่มจากการชั่งซิลเวอร์ซัลเฟต 8.8 กรัม จากนั้นนำไปละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลาย

1.1.3 สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator)

- 1,10-ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.485 กรัม
- ไอรอน (II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม

ในการเตรียมสารเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์จะทำการละลาย 1,10-ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.485 กรัม และไอรอน (II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร คนให้ละลายจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

1.1.4 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10% (H_2SO_4 10%)

ในการเตรียมสารละลายกรดซัลฟริกเข้มข้น 10% จะทำการปิเปตกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% (H_2SO_4 98% conc.) 102 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

1.1.5 สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.10 M (FAS 0.10M)

- เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 39.2 กรัม
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) 20 มิลลิลิตร

ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.10 M จะทำการละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) จำนวน 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร คนให้ละลายและทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (ต้องทำการเทียบหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ทุกครั้งที่ทำการย่อยตัวอย่าง)

1.1.6 การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

ในขั้นตอนนี้จะทำการปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 6 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกรีเอเจนต์ปริมาตร 14 มิลลิลิตร ให้ไหลลงก้นขวดรูปชมพู่เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของตัวอย่างน้ำ และน้ำยาย่อยสลาย(ใช้ปิเปต) ทิ้งไว้ให้เย็นหยอดเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์จำนวน 3 หยด จากนั้นนำมาไทเทรตกับสารละลาย FAS โดยสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและถึงจุดยุติที่สีน้ำตาลแดง สำหรับความเข้มข้นจะคำนวณจากสมการ ดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นที่แน่นอนของ FAS (M)} = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลาย (Digestion Reagent)} \times 0.10}{\text{ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)}}$$

1.2 วิธีการวิเคราะห์

ล้างหลอดซีโอดีและฝาด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10% ก่อนใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ จากนั้นปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 มิลลิลิตร (หลอด Blank ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ) ลงในหลอด COD แล้วทำการเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตลงไป 6 มิลลิลิตร และค่อยๆเติมซัลฟูริกรีเอเจนต์ลงไป 14 มิลลิลิตร (ให้ชั้นของซัลฟูริกรีเอเจนต์อยู่ใต้ชั้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต) ปิดฝาหลอดให้แน่นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ

105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำออกมาตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น ทำการเทตัวอย่างใส่ในขวดรูปชมพู่ หยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 3 หยด จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน FAS ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว โดยสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเมื่อถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐาน FAS ที่ใช้ และคำนวณค่า COD จากสมการ

หมายเหตุ

- ภายหลังการเติมกรดซัลฟิวริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้
- ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้ โดยจะใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตัวอย่าง/น้ำกลั่น เท่าไหร่ก็ได้ แต่ผลรวมของปริมาตรน้ำตัวอย่างต้องเท่ากับ 10 มิลลิลิตร
- ถ้าได้สีเขียวใส แสดงว่าปริมาณ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เหลืออยู่น้อย ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไปต้องลองปริมาณน้ำตัวอย่างอีก
- ถ้าได้สีเหลือง/สีเขียวอมเหลือง แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไป Reflux ได้

การคำนวณ

$$\text{ค่าซีโอดี (COD) มิลลิลิตร/ลิตร} = \frac{(A-B) \times M \times 8{,}000}{\text{ปริมาณตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

A คือ ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank
B คือ ปริมาตรของ FAS ที่ใช้การไทเทรตตัวอย่าง
M คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของ FAS ในหน่วย M

2. วิธีเคราะห์ปริมาณไนเตรท (Nitrate NO_3^-) โดยวิธี Cadmium Reduction Method

สำหรับการวัดค่าไนเตรทในตัวอย่างจะใช้เครื่อง Hach (Hach (Odyssey), U.S.A) โดยเลือกโปรแกรม 355 N, Nitrate HR จากนั้นทำการเติมน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดใส่ตัวอย่างเติมสารสำเร็จสำหรับวิเคราะห์ไนเตรท (Hach (NitraVer 5), U.S.A) ปิดฝาขวดแล้วกดไอคอนรูปนาฬิกา เครื่องจะทำการเขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกดไอคอนรูปนาฬิกาอีกครั้ง เครื่องจะจับเวลา 5 นาที ในการทำปฏิกิริยา นำขวดตัวอย่างออก จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในขวดอีกขวดหนึ่ง ปิดฝาและใส่ลงไปในเครื่อง กด Zero เพื่อทำการปรับค่าให้เป็น 0.0 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำขวดใส่น้ำกลั่นออกและใส่ขวดตัวอย่างเข้าไปแทนและกด Read โดยใช้หลักการทำงานของUV-VIS

Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และVisible (VIS) จากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ ในการระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้แล้วทำการบันทึกค่าที่อ่านได้

3. วิธีเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต (Phosphate, PO_4^-) โดยวิธี Ascorbic Acid Method

สำหรับการวัดค่าฟอสฟอรัสในตัวอย่างจะใช้เครื่อง Hach (Hach (Odyssey), U.S.A) โดยเลือกโปรแกรม 490 P React. PV. จากนั้นทำการเติมน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดใส่ตัวอย่าง เติมสารสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Hach (PhosVer3), U.S.A) ปิดฝาขวดแล้วกดไอคอนรูปนาฬิกา เครื่องจะทำการจับเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 นาที นำขวดตัวอย่างออก จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในขวดอีกขวดหนึ่ง ปิดฝาและใส่ลงไปในเครื่อง กด Zero เพื่อทำการปรับค่าให้เป็น 0.0 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำขวดที่ใส่น้ำกลั่นออกและใส่ขวดตัวอย่างเข้าไปแทนและกด Read โดยใช้หลักการทำงานของ UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และVisible (VIS) จากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ แล้วทำการบันทึกค่าที่อ่านได้

4. วิธีเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด TS (Total Solid), VS (Volatile Solid), FS (Fixed Solid)

สำหรับขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำถ้วยครูซิเบิลไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (หากต้องการหาถึง TS จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ของถ้วย และบันทึกเป็นค่า A แล้วนำถ้วยไปตั้งระเหยบนเตาให้ความร้อนโดยทำการเติมตัวอย่างน้ำปริมาตร 50-100 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยครูซิเบิล (ปริมาตรของน้ำตัวอย่างขึ้นอยู่กับความสกปรกของน้ำ ถ้าตัวอย่างน้ำสะอาดให้ใช้ปริมาตรมากขึ้น) รอจนน้ำระเหยจนหมด ระวังอย่าให้ตะกอนไหม้ จากนั้นนำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 10 นาที จากนั้นนำไปชั่งเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกเป็นค่า B นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และนำไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 15 นาที และนำไปชั่งน้ำหนักเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกเป็นค่า C และคำนวณจากสมการ ดังนี้

การคำนวณ

$$\text{TS (Total Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{VS (Volatile Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{FS (Fixed Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \text{TS - VS}$$

5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย SS (Suspended Solid)

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำกระดาษ GF/C ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาษกรองพร้อมถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์บันทึกเป็นค่า A ทำการคีบกระดาษกรองวางลงบนกรวยกรองสุญญากาศ หลังจากนั้นตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยและเริ่มกรองจนน้ำตัวอย่างไหลจนหมด แล้วทำการคีบกระดาษกรองใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ใบเดิม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 10 นาที ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกเป็นน้ำหนัก B นำกระดาษกรอง ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 15 นาที จากนั้นชั่งน้ำหนักกระดาษที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกเป็นค่า C และคำนวณจากสมการดังนี้

หมายเหตุ ระหว่างการทดลองห้ามสัมผัสกระดาษกรอง และถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยมือเด็ดขาด

การคำนวณ

$$\text{SS (Suspended Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{VSS (Volatile Suspended Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

$$\text{FSS (Fixed Suspended Solid) มิลลิกรัม/ลิตร} = \text{SS - VSS}$$

5. TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)

5.1 วิธีการเตรียมสารเคมี

5.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% (NaOH 32%) ในการเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 32% จะทำการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH commercial grade) จำนวน 320 กรัม แล้วค่อยๆ ทำการละลายในน้ำกลั่นและทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

5.1.2 มิกซ์อินดิเคเตอร์ (Mixed Indicator) ในขั้นตอนนี้จะทำการชั่งเมททิลเรด (Methyl Red) จำนวน 0.5 กรัม ละลายด้วยเอทานอล (Ethanol) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และชั่งโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresal Green) จำนวน 0.5 กรัม ละลายด้วยเอทานอล (Ethanol) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองมาเทรวมกันและคนให้เข้ากัน

5.1.3 กรดบอริกเข้มข้น 4% (H_3BO_3 4%) ในกการเตรียมกรดบอริกเข้มข้น 4% จะทำการชั่งกรดบอริก (H_3BO_3) จำนวน40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร คนจนกระทั่งสารละลายหมด จากนั้นนำปรับปริมาตรน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

5.1.4 สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.05 N (HCL 0.05 N) ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 N เริ่มต้นที่ทำการเทน้ำกลั่นลงในขวดปรับปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (HCl 37%) จำนวน 4.14 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

5.1.5 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.05 N (HCl 0.05 N) สำหรับการหาความเข้มข้นที่แน่นแนของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกจะเริ่มจากการอบโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่อุณหภูมิ 105 °c ข้ามคืน จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักประมาณ 0.13xx กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการหยดมิกซ์อินดิเคเตอร์จำนวน 3-5 หยด (จะได้สารสารละลายสีเขียว) นำมาไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 N จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ A1 จากนั้นต้มสารละลายในขวดรูปชมพู่ประมาณ 2 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ถ้าสารละลายเปลี่ยนสีกลับเป็นสีเขียวให้นำสารละลายมาไทเทรตต่อด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.05 N จน

สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนอีกครั้ง บันทึกปริมาณกรดที่ใช้เป็น A2 (ทำ 3 ซ้ำ) แล้วทำการคำนวณดังสมการ ดังนี้

การคำนวณ

ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน HCl 0.05 N

$$= \frac{2{,}000 \times \text{น้ำหนักที่แน่นอนของ } Na_2CO_3}{(A1 + A2) \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของ } Na_2CO_3}$$

5.2 วิธีการวิเคราะห์

5.2.1 การย่อยตัวอย่าง ในขั้นตอนแรกจะทำการตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร และใส่ตัวอย่างลงไปในหลอดสำหรับย่อยตัวอย่าง จากนั้นใส่เม็ด Catalyst สำเร็จรูป (Meark, Gemany) ลงไปจำนวน 1 เม็ด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) ลงไปปริมาตร 15 มิลลิลิตร ประกอบชุดย่อย (BUCHI (K-424), Switzerland) เข้ากับเครื่องดูดไอกรด เปิดเครื่องดูดไอกรดและนำไปตั้งย่อยในเตาย่อยโดยใช้ไฟเบอร์ 8 (การทำ Blank จะทำเช่นเดียวกับกรณีตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง) จากนั้นจะทำการย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส หลังจากนั้นจะยกตัวอย่างออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น (สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวใสเป็นสีฟ้าอ่อน) จากนั้นจะทำการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อละลายผลึกแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) และใช้ในการกลั่นต่อไป

5.2.2 การกลั่นตัวอย่าง นำตัวอย่างหลังจากผ่านการย่อยที่เย็นแล้วมาประกอบเข้ากับเครื่องกลั่น ตวงกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยดมิกซ์อินดิเคเตอร์ 3-5 หยด (จะได้สารละลายที่มีสีชมพู) จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ใส่เข้าไปในเครื่องกลั่น หลังจากนั้นจะเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32% จนกระทั่งสีตัวอย่างในหลอดกลั่นสารเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีฟ้า (ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 50 มิลลิลิตร) ตั้งเวลาในการกลั่นประมาณ 4 นาที หรือ ดูสารที่กลั่นออกมาได้ปริมาณ 100 มิลลิลิตร หลังจากกลั่นเสร็จสารละลายกรดบอริกจะเปลี่ยนสี จากสีชมพูเป็นสีเขียวใส หลังจากนั้นจะนำสารละลายที่ได้ไปไตเทรตด้วยสารมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.05 N ไตเทรตจนสารละลายเปลี่ยนสีกลับไปเป็นสีชมพูอ่อนบันทึกปริมาณกรดที่ใช้แล้วนำมาคำนวณสมการ ดังนี้

การคำนวณ

$$\text{Total N (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A-B) \times 14.007 \times N \times 1{,}000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

หมายเหตุ

A คือ ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต Blank

N คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐานไฮโดรคลอริกในหน่วย N

ภาคผนวก ข

ภาพจากการสำรวจพื้นที่ การทดลองพืชในระดับห้องปฏิบัติการ และภาพระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน ณ หมู่บ้านห้วยริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

ภาพผนวกที่ 1 การเข้าสำรวจหมู่บ้านห้วยน้ำริน และการเก็บตัวอย่างน้ำ

ภาพผนวกที่ 2 กระบวนการผลิตเส้นขนมจีน

ภาพผนวกที่ 3 การเตรียมพืช เพื่อใช้ในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

ภาพผนวกที่ 4 การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

ภาพผนวกที่ 5 ระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน
ณ หมู่บ้านห้วยริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

ภาพผนวกที่ 6 การเก็บน้ำตัวอย่างระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

ภาพผนวกที่ 7 การตัดยอด และการความสูงต้นของพืชในระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืช

ภาพผนวกที่ 8 โครงการอบรมและระดมความคิดเห็นชุมชนต่อการพัฒนาชุมชนสีเขียวอย่างยิ่งยืน ด้วยระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

ตารางผนวกที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	5.93±0.51	5.98±0.36	5.85±0.34	5.56±0.46	5.69±0.12	5.44±0.50	5.85±0.19	6.16±0.44
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	5.62±0.52	6.23±0.17	6.52±0.30	6.39±0.11	6.64±0.38	6.60±0.18	6.87±0.24	6.88±0.18
จุดที่3 น้ำออกจากระบบ	5.62±0.58	6.29±0.32	6.58±0.20	6.32±0.29	6.67±0.19	6.67±0.12	6.43±0.19	6.57±0.10
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	5.82±0.78	5.98±0.11	5.86±0.22	5.61±0.43	5.70±0.11	5.50±0.47	5.80±0.24	6.15±0.47

ตารางผนวกที่ 2 ค่าอุณหภูมิ ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	30.3±1.85	28.0±1.92	26.6±1.37	25.9±1.18	25.4±1.45	23.6±2.46	24.8±0.51	26.6±1.62
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	29.8±0.95	27.8±1.88	24.6±2.22	25.7±1.77	24.0±1.25	23.4±1.53	23.1±1.24	24.8±2.51
จุดที่3 น้ำออกระบบ	29.7±1.04	27.5±2.06	25.3±1.83	25.4±1.98	24.3±0.87	23.7±1.87	23.4±0.28	25.3±2.03
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	30.2±0.25	27.4±2.20	26.2±1.25	25.8±1.23	24.7±0.52	23.7±2.27	24.6±0.30	26.0±2.53

ตารางผนวกที่ 3 ค่าซีโอดี ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	586±234.3	552±103.0	814±223.7	592±396.6	622±202.5	1036±394.1	855±392.6	711±190.9
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	418±194.0	446±125.2	353±56.3	135±41.1	205±120.0	298±327.4	259±125.1	402±163.4
จุดที่3 น้ำออกระบบ	476±312.9	384±197.7	284±116.2	183±158.8	75±40.3	215±126.7	352±210.0	379±109.4
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	556±284.0	468±164.6	741±248.4	535±321.8	615±189.2	994±288.7	824±322.4	751±159.8

ตารางผนวกที่ 4 ค่าไนเตรท ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	18.16±5.01	15.48±5.54	15.35±6.47	8.23±7.35	5.06±1.25	13.72±6.64	6.46±1.30	4.60±0.94
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	18.06±7.92	17.72±7.88	8.41±5.38	13.31±10.37	7.20±6.44	13.72±6.07	9.55±6.88	5.71±2.37
จุดที่3 น้ำออกระบบ	8.30±1.86	9.59±1.76	8.18±5.18	12.08±8.61	4.82±3.70	6.33±4.10	3.45±2.51	2.27±1.04
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	9.18±3.16	12.76±3.55	17.01±8.26	7.41±6.23	3.38±1.71	9.18±4.74	5.27±1.66	4.56±1.78

ตารางผนวกที่ 5 ค่าฟอสเฟต ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	0.61±0.12	0.95±0.20	0.78±0.34	0.85±0.65	0.57±0.63	0.79±0.64	0.54±0.33	0.83±0.18
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	0.72±0.35	1.80±0.96	2.66±1.53	3.33±2.47	0.83±0.34	5.57±9.32	0.71±0.36	0.47±0.25
จุดที่3 น้ำออกระบบ	0.94±0.83	2.19±0.75	2.29±0.99	2.33±1.79	1.04±0.76	1.35±0.43	0.83±0.15	0.80±0.31
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	0.56±0.26	0.95±0.25	0.98±0.41	1.00±1.02	1.03±0.78	0.95±0.55	0.53±0.29	0.59±0.27

ตารางผนวกที่ 6 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	521.6±150.3	2712.4±3105.7	1711±1796.5	600±404.9	512.4±158.4	1604.3±1997.5	667.8±284.6	526.6±101.2
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	446±109.1	2996.2±3413.7	1541.2±1989.4	525.5±94.4	571.4±179.7	512.3±38.1	543.3±46.6	487.9±109.6
จุดที่3 น้ำออกระบบ	434.6±75.5	2675.8±3055.9	1467.2±1980.3	435.2±146.9	408±92.2	432.5±87.4	406±127.2	454.2±73.9
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	421±174.9	2660.4±2940.6	1709.7±1856.7	537.7±401.1	517.4±118.0	1507.7±1982.9	596.2±195.1	540.2±129.7

ตารางผนวกที่ 7 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย ที่วัดได้จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
จุดที่1 น้ำเข้าระบบ	72.6±38.78	79.2±41.12	80±11.69	41±15.70	34.4±24.32	57.5±20.27	78.2±49.22	87.8±46.28
จุดที่2 น้ำกลางระบบ	59.6±11.01	94.8±38.00	346.5±370.24	194.2±130.82	165±87.62	175±158.28	238.5±60.73	125.2±84.51
จุดที่3 น้ำออกระบบ	51±8.185	91.4±83.60	35.5±24.71	102.2±103.23	31.8±20.77	71±37.11	37.5±15.41	68.4±29.36
จุดที่4 แหล่งน้ำสาธารณะ	61.6±9.81	78.4±40.88	70.5±20.82	42.5±30.42	32.2±13.66	61.2±25.52	64.2±31.70	75.8±29.59

ตารางผนวกที่ 8 การเจริญเติบโตบริเวณส่วนยอดของพืชบริโภคได้ จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

ชนิดพืช	คาวตอง	ผักแพว	ผักแขยง	ชะพลู	พังพอนตัวเมีย	หูเสือ	แปะตำบึง
เดือนที่1	25.8±2.89	39.4±1.05	32.8±3.18	0±1.27	69.9±0	21.4±1.51	54.6±4.99
เดือนที่2	27.6±8.92	43.5±5.00	36.2±18.68	15.2±13.22	71.6±8.60	27.7±2.97	50.8±16.05
เดือนที่3	25.2±2.37	50±4.50	27.8±4.12	23.2±5.83	61.8±0.47	29.7±1.27	40.9±2.80
เดือนที่4	32.7±2.20	56.5±2.79	39±3.54	26.9±1.66	72.5±1.02	30.4±1.58	51.7±4.73
เดือนที่5	38.1±2.32	56.4±2.25	45.4±3.98	31.7±5.41	84.9±2.14	31.7±0.78	65.7±2.39
เดือนที่6	40.5±1.43	63±1.74	39.8±0.94	35.7±2.33	92.2±1.00	33.2±0.50	70.5±3.13
เดือนที่7	41.5±2.45	44±7.20	27.3±2.19	30.5±18.46	102.3±2.96	0±0	18.2±6.30
เดือนที่8	49.7±4.97	50±6.34	40.6±3.94	32.2±3.86	133.5±3.27	0±0	26±8.13

ตารางผนวกที่ 9 การเจริญเติบโตบริเวณส่วนยอดของพืชภูมิทัศน์ จากระบบจำลองการฟื้นฟูทางชีวภาพด้วยพืชในชุมชน

ชนิดพืช	กล้วยบัว	หญ้าปล้อง	ปักษาสวรรค์	ธูปฤาษี	พุทธรักษา	กกราชินี	อเมซอน	ลานไพลิน
เดือนที่1	83±2.78	83.8±2.04	60.9±17.56	142±2.55	142.4±10.14	104.9±10.16	61.4±13.60	21.9±10.16
เดือนที่2	109.7±39.06	65.5±24.32	47.6±35.11	125.2±23.61	111.5±72.67	78.6±49.22	67.4±77.03	30.2±49.22
เดือนที่3	94.7±11.73	68.8±3.54	28.1±7.92	119.9±3.25	33.3±17.94	79.7±20.54	74.2±8.90	40.5±20.54
เดือนที่4	96.5±2.99	78.1±0.95	29.6±11.69	167.2±2.32	35.7±7.24	96.3±3.48	77±1.85	33.1±3.48
เดือนที่5	122.9±20.16	50.9±0.32	32.8±6.04	189.2±2.81	43±6.22	104.6±4.08	76.2±2.95	17.2±4.08
เดือนที่6	185.3±1.56	34±0.19	33.7±84.68	208.9±2.40	52.2±7.62	115.4±3.04	78.6±1.78	29±3.04
เดือนที่7	53.2±4.77	37.5±1.16	19.9±5.68	112.2±11.82	21.8±41.79	51.7±22.50	39.5±0.69	33.2±22.50
เดือนที่8	70.3±2.16	40.3±1.80	25.8±11.13	172.8±2.98	19.5±8.52	105.3±7.72	45.7±3.39	7.6±7.72

ภาคผนวก ง
การเผยแพร่ผลงานวิจัย

GNRU
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
(Proceedings)
การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ
เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17
บูรณาการงานวิจัย
สู่
การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน
ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง อังสนาน์รีเวอร์วิว
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
21
กรกฎาคม
2560
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
THE GRADUATE SCHOOL, PIBULSONGKRAM
RAJABHAT UNIVERSITY

เรื่อง	หน้า
การสร้างสื่อแผนที่ท่องเที่ยว โดยการใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ***คมกฤช จิระบุตร วิชิต นางแล เศรษฐชัย ใจฮึก ภานุพันธ์ จิตคำ กษิรา ภิวงศ์กูร ฐานปัทม์ ไชยชมภู ธิดาลักษณ์ อยู่เย็น และบุตรี เวทพิเชฐโกศล***	2456-2465
การเปรียบเทียบการระบุภาพโดยใช้เทคนิคการแบ่งส่วนภาพด้วยขอบ และเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยสีบน Matlab ***พุฒน์ ภาณุวณิชชากร นันธวุฒิ ทองเปิ่ง และจันทร์จิรา พยัคฆ์เพศ***	2466-2478
การศึกษาโครงสร้างโฟโตนิกส์คริสตัลในแมลงด้วงขาโต Carvedon serratus Olivier เพศเมีย ***สโรชา โพธิ์อภัย และฐิติพร เจาะจง***	2479-2486
เครื่องบอกระยะการสุกของมะม่วงโดยแก๊สเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์ ***รัฐวรรณ โคกทอง วสุ พันไพศาล และ ชนิกาญจน์ จันทร์มาทอง***	2487-2496
การพัฒนาชุดการทดลองเรื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ***ชเษฎ์ วิชาศิลป์ สุดาพร ต้นรัก และสมจิตร อินสองใจ***	2497-2505
การประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งขนมจีน ***เอริน เงาภู่ทอง สมชาย ดารารัตน์ และอาณัติ ดีพัฒนา***	2506-2516
ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่าง และเพิ่มธาตุอาหารพืช ในระบบวนเกษตรไม้ผล ***โสภิณภา นันตา จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และบงคราญ กาญจนประเสริฐ***	2517-2528
ประสิทธิภาพของพืชในการปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน ***อารียา อริยะโคตร รมย์ชลีรดา ด่านวันดี เยาวนิตย์ ธาราฉาย ศรีกาญจนา คล้ายเรือง และมุจลินทร์ ผลจันทร์***	2529-2540
ประสบการณ์การดูแลตนเองของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ในเขตพื้นที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบุ ตำบลหนองพลวง อำเภอจักราช จังหวัดนครราชสีมา ***กมลลักษณ์ พูนศรี และวัชรี ศรีทอง***	2541-2552
ผลของโปรแกรมให้ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานในกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลลุกดู่ อำเภอทัพทัน จังหวัดอุทัยธานี ***อรุณี ยศปัญญา ศิวิไลซ์ วนรัตน์วิจิตร และพัฒนาวดี พัฒนถาบุตร***	2553-2562
ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผลไม้ ตลาดจังหวัดกาฬสินธุ์ ***ธีรนาถ สุวรรณเรือง***	2563-2569
ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการเลี้ยงดูเด็กของผู้ปกครอง กับระดับพัฒนาการเด็ก 3 – 5 ปี อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย ***นาตยา สุดจ้อย และธนัช กนกเทศ***	2570-2578
การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเขม่าปืนภายหลังการยิงปืนบนหลังมือและฝ่ามือ จำแนกตามอาชีพ ช่วงเวลาหลังยิงปืนตามขนาดอาวุธปืนและลูกกระสุนปืน ***พุทธิชาต มิ่งชะนิต และณรงค์ กุลนิเทศ***	2579-2592

รายงานสืบเนื่องการประชุมสัมมนาวิชาการ (Proceedings)
การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17

ประสิทธิภาพของพืชในการปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน

The efficiency of plants for improving the quality of public water supply contaminated with rice noodle production wastewater

อารียา อริยะโคตร[1] รมย์ชลีรดา ด่านวันดี[2] เยาวนิตย์ ธาราฉาย[2]
ศรีกาญจนา คล้ายเรือง[1] และ มุจลินทร์ ผลจันทร์[1*]
Areeya Ariyakot[1], Romchaleerda Danwandee[2], Yaowanit Tarachai[3],
Srikanjana Klayraung[4] and Mujalin Pholchan[5]

[1]สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2]สาขาเทคโนโลยีภูมิทัศน์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
*Corresponding author. E-mail : mujalin@mju.ac.th

บทคัดย่อ

ขนมจีนเป็นหนึ่งในอาหารที่ประชาชนในเขตภาคเหนือนิยมบริโภค ทำให้ปัจจุบันมีการทำอุตสาหกรรมการผลิตเส้นขนมจีนระดับครัวเรือนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้น้ำในปริมาณมากน้ำทิ้งจะมีสารอินทรีย์สารอนินทรีย์และสารอาหารในปริมาณสูง ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะในชุมชน โดยไม่มีการบำบัดจะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำในชุมชนวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาศักยภาพของพืชสำหรับการพัฒนาเป็นระบบพื้นฟูน้ำทิ้งและระบบการกักเก็บน้ำทางชีวภาพในชุมชน โดยได้ทำการคัดเลือกพืชจำนวน 10 ชนิด คือ *Piper sarmentosum* Roxb., *Polygonum odoratum* Lour., *Barleria lupulina* Lindl., *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng., *Houttuynia cordata* Thunb., *Clinacanthus nutans* (Burm.f) Lindau., *Equisetum debile* Roxb., *Bacopa caroliniana* Roxb., *Canna indica* L. และ *Sagittaria lancifolia* L. เพื่อใช้ทดสอบความสามารถของพืชในระดับห้องปฏิบัติการและในระบบจริง ซึ่งจะมีการวัดการเจริญเติบโตของพืชและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทางกายภาพและทางเคมี จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าพืชที่สามารถกำจัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุดคือ *Canna indica* L. โดยสามารถกำจัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟต เฉลี่ยได้ร้อยละ 93±4.9, 85±0.96, 80±0.09 ในขณะที่ส่วนรากและยอดมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียง 10.8±1.14 เซนติเมตร และ34.5±3.88 เซนติเมตร สำหรับผลการทดลองในระบบจริง พบว่าน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบบำบัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟตเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1,108-868 มิลลิกรัม/ลิตร 22.5-10.3 มิลลิกรัม/ลิตร และ1.5-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังจากน้ำทิ้งผ่านระบบการบำบัดเป็นระยะเวลา 5 เดือน พบว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดี ไนเตรท และฟอสเฟตได้ร้อยละ 71±20.5, 76±17 และ55±31 ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช น้ำทิ้งชุมชน

Abstract

Rice noodles have been one of Thai northern favorite foods and its demand has driven a rapid growth of rice noodle household industries. However, large quantities of water have been used in the process which produced high volume of wastewater containing high organic compound. Therefore, untreated wastewater that is discharged to local water reservoir causes water pollution especially in the domestic area. The objective of this research was to study the potential of plants for the development of

phytoremediation system and biological water retention process in the local community. Then, 10 plants species were selected for testing their potential to treat the rice noodle wastewater both in laboratory and the pilot system; *Piper sarmentosum* Roxb., *Polygonum odoratum* Lour., *Barleria lupulina* Lindl., *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng., *Houttuynia cordata* Thunb., *Clinacanthus nutans* (Burm.f) Lindau., *Equisetum debile* Roxb., *Bacopa caroliniana* Roxb., *Canna indica* L. and *Sagittaria lancifolia* L. The growth of plants and also the water treatment efficiency both physical and chemical characteristics were identified. The result of laboratory experiments found that *Canna indica* L. showed the highest COD, nitrate and phosphate removal efficiency with the value of 93±4.9, 85±0.96 and 80±0.09 %, respectively. However, the average roots length and shoot height were found to be 10.8 cm. and 34.5 cm. In the pilot system, COD, nitrate and phosphate in the influent were varied in the range of 1,108 - 868 mg/L, 22.5 - 10.3 mg/L and 1.5 - 0.5 mg/L respectively. After treating by phytoremediation process for 5 months, the system could remove COD, nitrate and phosphate up to 71±20.5, 76±17 and 55±31 %, respectively.

Key words: rice noodle wastewater, phytoremediation, domestic wastewater

บทนำ

ภาวะขาดแคลนน้ำในปัจจุบันกำลังเป็นเรื่องที่หลายประเทศให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และนอกจากนี้ยังเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการใช้น้ำในภาคการเกษตร อุตสาหกรรม และการผลิตกระแสไฟฟ้า ตลอดหลายปีที่ผ่านมาในประเทศไทยเกิดปัญหาวิกฤตทางน้ำทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งปัญหาการขาดแคลนน้ำ และปัญหามลพิษทางน้ำ ทำให้แหล่งน้ำดีไม่เพียงพอสำหรับการอุปโภคและบริโภค การทำกิจกรรมด้านต่างๆ ของประชาชน การเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ในปัจจุบันการวางแผนจัดการและการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำก็ยังไม่ดีพอ อีกทั้งในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการขยายตัวของเขตชุมชนและเศรษฐกิจสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากรวมทั้งการเกิดปัญหามลพิษทางน้ำที่สูงขึ้นตามมาเช่นกัน ซึ่งยังต้องการการจัดการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับในแต่ละพื้นที่

จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 ที่มีการผลักดันอุตสาหกรรมอาหารและธุรกิจการแปรรูปแบบ SMEs ทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารจำพวกแป้งระดับชุมชนเพิ่มปริมาณสูงขึ้น จำนวน 4,731 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 4 ของผู้ประกอบการ SMEs อุตสาหกรรมอาหารทั้งหมด (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ, 2554) ซึ่งในกระบวนการผลิตระดับครัวเรือนเหล่านี้มักจะไม่มีการบำบัดน้ำเสียและของเสียอย่างถูกวิธีทำให้มีการปล่อยน้ำเสียและเกิดปัญหามลพิษต่างๆ โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำในชุมชน นอกจากนั้นนโยบายการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่มีทิศทางไปสู่ความยั่งยืน ซึ่งเป็นการผลักดันการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco Industrial Town) เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยระยะแรกให้ความสำคัญกับเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ 5 จังหวัดนำร่อง ได้แก่ จังหวัดระยอง สมุทรปราการ สมุทรสาคร ปราจีนบุรี และฉะเชิงเทรา โดยการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการมุ่งสู่อุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry) เพื่อขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมไปสู่การเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ โดยเป็นการประกอบกิจการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม, 2559) ดังนั้นในช่วงที่ประเทศมีวิกฤตการณ์ด้านการขาดแคลนน้ำและคุณภาพของน้ำลดต่ำลง ระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ต้องใช้พลังงานและสามารถกักเก็บน้ำไว้สำหรับหน้าแล้งได้น่าจะเป็นหนึ่งในคำตอบของชุมชนและประเทศ

ระบบการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช (Phytoremediation) นอกจากระบบนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียแล้วยังเป็นระบบที่สามารถเก็บน้ำทางชีวภาพ (Bioretention) ได้ ซึ่งในปัจจุบันระบบนี้กำลังเริ่มเป็นที่นิยมในหลายๆ ประเทศ เพราะ

นอกจากนี้จะสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบตามลักษณะของพื้นที่และสภาพภูมิประเทศแล้วยังสามารถลดมลพิษและยังสามารถช่วยปรับปรุงทัศนียภาพในชุมชนให้มีความสวยงามและสร้างพื้นที่สีเขียวในชุมชนได้เช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546; Konstantinos et al., 2007; Maurizio and Davide, 2007; Yahua et al., 2004; Reed et al., 1988) การสร้างระบบพื้นฟูด้วยพืชในรูปแบบของบึงประดิษฐ์จะช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าการปล่อยน้ำเสียทิ้งโดยไม่ได้บำบัดในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ นอกจากนี้ระบบฟื้นฟูด้วยพืชสามารถออกแบบได้ในเกือบทุกพื้นที่ แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วจะมีการปรับระดับดินที่พื้นระบบ และมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในระบบโดยสามารถปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงตามความเหมาะสมของพื้นที่ โดยระบบนี้จะอาศัยหลักการบำบัดด้วยพืช ดิน และจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืชขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกชนิดพืช คุณลักษณะของทางสรีระของพืช และคุณสมบัติของน้ำเสีย ซึ่งการประยุกต์ใช้ระบบการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมและกักเก็บน้ำด้วยพืชสำหรับเขตชุมชนเกษตรกรรมของประเทศไทยยังพบน้อยมาก นอกจากนั้นการเลือกพืชให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของไทยตลอดจนประสิทธิภาพของพืชและการใช้ประโยชน์ของพืชสำหรับชุมชนนับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อให้เกิดความร่วมมือของคนในชุมชนซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและความยั่งยืน

งานวิจัยครั้งนี้ต้องการฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในชุมชนที่มีการทำอุตสาหกรรมครัวเรือนการผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้ระบบบำบัดที่เลียนแบบธรรมชาติและมีงบลงทุนต่ำ ซึ่งกระบวนการผลิตขนมจีนจะต้องใช้น้ำจำนวนมากที่มาจาก การโรยเส้น การล้างเส้น หรือการจับเส้น โดยค่าปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนจะมีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และสารอาหารในปริมาณสูงซึ่งอยู่ในค่าซีโอดีเฉลี่ย 2,860 มิลลิกรัม/ลิตร (พัชราภรณ์ กันยาประสิทธิ์และคณะ, 2558) ซึ่งในปัจจุบันชุมชนที่มีอุตสาหกรรมทำเส้นขนมจีนในระดับครัวเรือนจะมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเกิดในช่วงฤดูแล้งทำให้ไม่มีน้ำที่จะมาเจือจางความเข้มข้นปริมาณน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีน ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น จึงเกิดปัญหาการร้องเรียนของคนภายในชุมชนและชุมชนรอบข้าง ดังนั้นจึงต้องการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและกักเก็บน้ำทางชีวภาพในชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กับชุมชน นอกจากนี้การเลือกพืชยังเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัดและความยั่งยืนของระบบในชุมชนในระยะยาว ดังนั้นศักยภาพของพืชสำหรับการพัฒนาเป็นพืชที่ใช้น้ำเสียและกักเก็บน้ำทางชีวภาพในชุมชนจึงได้ถูกศึกษาในงานชิ้นนี้ ซึ่งคาดว่าผลการศึกษาที่ได้จะเป็นหนึ่งวิธีการจัดการน้ำในชุมชนที่มีประสิทธิภาพและเป็นต้นแบบในการพัฒนาการจัดการน้ำในชุมชนอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพของพืชสำหรับการพัฒนาเป็นการบำบัดน้ำเสียและกักเก็บน้ำ ทางชีวภาพในชุมชน
2. สร้างต้นแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียในชุมชน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณภาพแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในพื้นที่หมู่บ้านห้วยน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีการทำอุตสาหกรรมครัวเรือนการผลิตเส้นขนมจีน และทำเกษตรกรรม ซึ่งไม่มีการจัดการน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจีน โดยภายในหมู่บ้านห้วยน้ำรินจะมีบ้านที่ผลิตเส้นขนมจีนอยู่ 20 ครัวเรือน และมีการผลิตเส้นขนมจีนอยู่เป็นประจำทุกวัน อัตราการผลิตเส้นขนมจีนต่อหนึ่งครัวเรือนเฉลี่ยที่ 800-1,000 กิโลกรัม/วัน ดำเนินการสร้างระบบจำลองการบำบัดน้ำทางชีวภาพด้วยพืช โดยขั้นตอนการศึกษาจะประกอบไปด้วยการทดสอบประสิทธิภาพทางพืชในระดับห้องปฏิบัติการและการสร้างแบบจำลองจริงในชุมชน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจพื้นที่ และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

สำรวจพื้นที่ และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต และค่าซีโอดี เพื่อให้ทราบถึงค่าคุณภาพน้ำเบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากชุมชนที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นขนมจีน โดยจะเน้นพื้นที่ทำการศึกษาหมู่บ้านน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริมจังหวัดเชียงใหม่

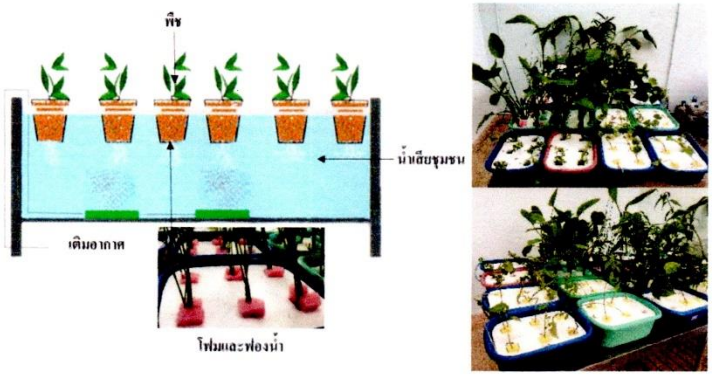
ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกและศึกษาลักษณะของพืช

ทำการคัดเลือกและศึกษาคุณลักษณะพืชเพื่อใช้ในการทดสอบขั้นตอนที่ 3 โดยการสำรวจพืชท้องถิ่นในชุมชนที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคตไม่ว่าจะเป็นการบริโภค หรือการสร้างภูมิทัศน์ในชุมชน โดยทำคัดเลือกพืชทั้งหมด 10 ชนิด (ภาพ 1) โดยแบ่งเป็น พืชที่สามารถใช้บริโภคและพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์

ภาพ 1 พืชที่สามารถใช้บริโภคได้ ก) ชะพลู *Piper sarmentosum* Roxb. ข) ผักแพว *Polygonum odoratum* Lour. ข) เสลดพังพอนตัวผู้ *Barleria lupulina* Lindl. ค) หูเสือ *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. ค) คาวตอง *Houttuynia cordata* Thunb. และ ฆ) เสลดพังพอนตัวเมีย *Clinacanthus nutans* (Burm.f) Lindau. พืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ ง.) หญ้าถอดปล้อง *Equisetum debile* Roxb. จ) ลานไพลิน *Bacopa caroliniana* Roxb.
ฉ) พุทธรักษา *Canna indica* L. และ ช) อเมซอน *Sagittaria lancifolia* L.

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้ง และการทดลองพืชในระดับห้องปฏิบัติการ

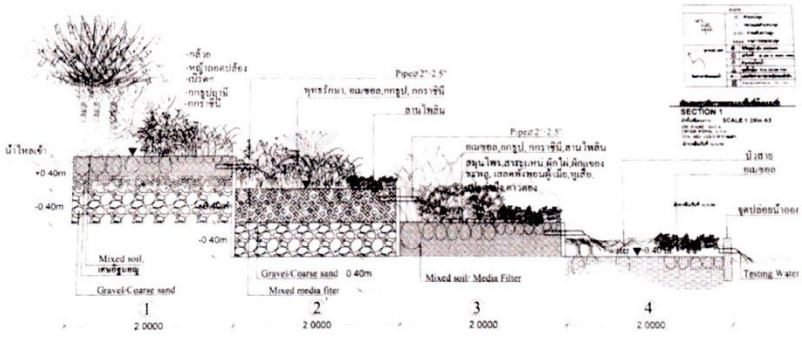
สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของพืชในการเพิ่มคุณภาพแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนของพืชพรรณ ในระดับห้องปฏิบัติการจะใช้ภาชนะ กว้าง 22 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สำหรับใส่น้ำปริมาณ 3 ลิตรใช้โฟมและฟองน้ำเพื่อประคองต้นพืชแต่ละต้น (ภาพ 2) โดยแต่ละชุดการทดลองจะใช้น้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากการทำขนมจีน ที่มีการเจือจางให้มีความเข้มข้นของค่าซีโอดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ละชุดจะทดสอบพืชชนิดละ 6 ต้น โดยมีการทดลองจำนวน 10 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ ในการทดลองจะมีการเติมอากาศและมีการทดสอบพืชในน้ำเปล่าเพื่อเป็นชุดควบคุม จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลาการทดลอง 1 เดือน เพื่อวิเคราะห์ ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต และ ค่าซีโอดี ตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (APHA, AWWA & WPCF, 1992) นอกจากนั้นจะวัดการเจริญเติบโตพืชในส่วนของขนาดความยาวของราก และความสูงของยอด ทุกสัปดาห์ก่อนและหลังการทดลอง และศึกษาความสัมพันธ์ระบบรากของพืชแต่ละชนิด เพื่อหาความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน



ภาพ 2 แบบการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ

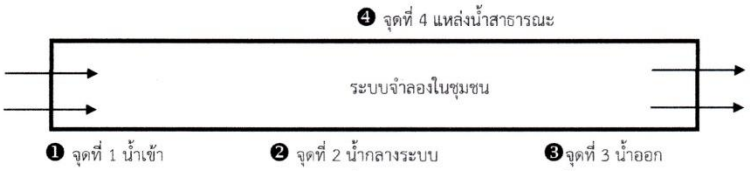
ขั้นตอนที่ 4 นำพืชที่ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการไปสร้างแบบจำลองในชุมชน

ออกแบบและสร้างแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา หมู่บ้านห้วยน้ำริน ตำบลขี้เหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยสร้างแบบจำลองข้างแหล่งน้ำสาธารณะที่มีการปล่อยน้ำทิ้งจากการผลิตเส้นขนมจีน ในแบบจำลองจะมีขนาด 1×4 เมตรและไม้ไผ่กั้นเป็นชั้นกรองทั้งหมด 4 ชั้น โดยชั้นกรองที่1 รองด้วยหินกรวด เศษอิฐมอญ และดินร่วน หนาชั้นละ 30 เซนติเมตร ชั้นกรองที่2 รองด้วยหินกรวด และดินร่วน หนาชั้นละ 30 เซนติเมตร ชั้นกรองที่3 ดินร่วน หนาชั้นละ 30 เซนติเมตร และชั้นกรองที่4 ชั้นน้ำ (ภาพ 3) จากนั้นนำพืชที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการลงปลูก โดยชั้นกรองที่ 1 หญ้าถอดป้อง ชั้นกรองที่ 2 พุทธรักษา อเมซอน และลานไพลิน ชั้นกรองที่ 3 ชะพลู ผักแพว หูเสือ คาวตอง เสลดพังพอนตัวผู้ และเสลดพังพอนตัวเมีย และชั้นกรองที่ 4 อเมซอน (ภาพ 4) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 4 จุดทุกสัปดาห์ (ภาพ 5) เพื่อนำมาตรวดวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต ค่าซีโอดี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณของแข็ง และทำการวัดการเจริญเติบโตของพืชทั้งขนาดความสูงยอด



ภาพ 3 การสร้างแบบจำลองในชุมชน

ภาพ 4 แบบจำลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในชุมชน



ภาพ 5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำ

ผลการวิจัย

1. การสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานเส้นขนมจีนก่อนการบำบัด

จากการสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต และค่าซีโอดี เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม (ตาราง 1) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต ค่าซีโอดี และปริมาณของแข็งทั้งหมด เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และจากลักษณะทางกายภาพเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าน้ำทิ้งมีสีขาวขุ่น

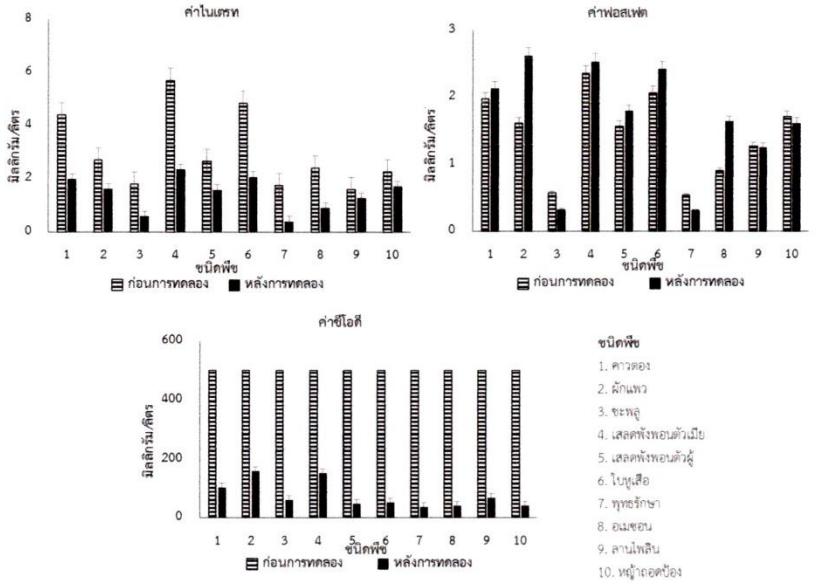
ตาราง 1 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำโรงงานขนมจีนกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำจากการสำรวจโรงงานผลิตเส้นขนมจีน	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม
ความเป็นกรด-ด่าง	3.92 - 4.56	5.5 - 9.0
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	21.9	ไม่เกิน 0.5
ฟอสเฟต (มิลลิกรัม/ลิตร)	1.94	ไม่เกิน 2
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,992	ไม่เกิน 120
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29 - 33	ไม่เกิน 40
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	7,806	ไม่เกิน 5,000

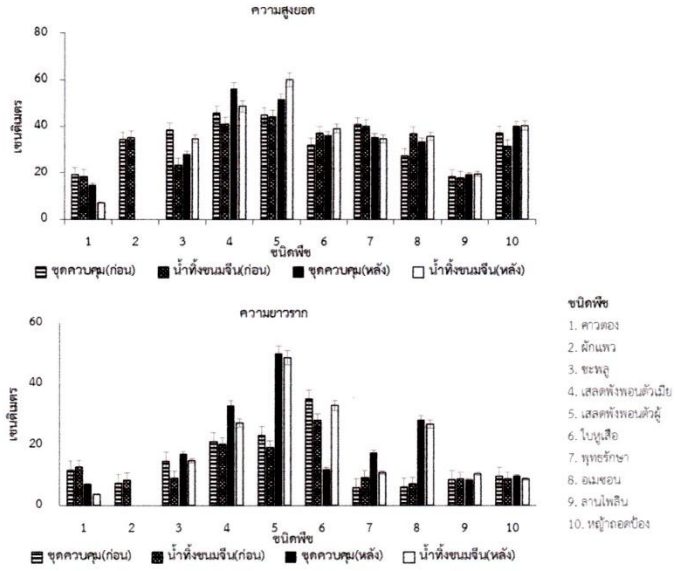
2. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของพืช 10 ชนิด ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าในการกำจัดซีโอดี พืชที่สามารถใช้บริโภคได้และพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์ที่มีประสิทธิภาพได้ดี คือ พุทธรักษา อเมซอน หญ้าถอดป้อง เสลดพังพอนตัวผู้ หูเสือ ชะพลู ลานไพลิน คาวตอง เสลดพังพอนตัวเมีย และผักแพว

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองและหลังการทดลองสำหรับพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ พบว่า เสลดพังพอนตัวผู้ สามารถบำบัดไนเตรท ฟอสเฟต และซีโอดีได้ดีที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดลดเป็นร้อยละ 40±0.76, 34.2±0.15 และ 90.4±6.7 ตามลำดับ(ภาพ 6) และการเจริญเติบโตของส่วนรากและยอดมีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียง 48.6±17.4 และ 60±11.3 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 7) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าคุณภาพน้ำทิ้งก่อนการทดลองและหลังการทดลองของพืชที่ใช้สำหรับงานภูมิทัศน์ พบว่า พุทธรักษา สามารถบำบัดค่าไนเตรท ฟอสเฟต และซีโอดีได้ดีที่สุด และมีค่าสูงกว่าเสลดพังพอนตัวผู้ (ภาพ 6) ซึ่งคิดประสิทธิภาพการบำบัดลดเป็นร้อยละ คือ 85±0.96, 80±0.09และ93±4.9 ตามลำดับ และการเจริญเติบโตของส่วนรากและยอดมีค่าความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียง 10.8±1.14 และ 34.5±3.88 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 7)



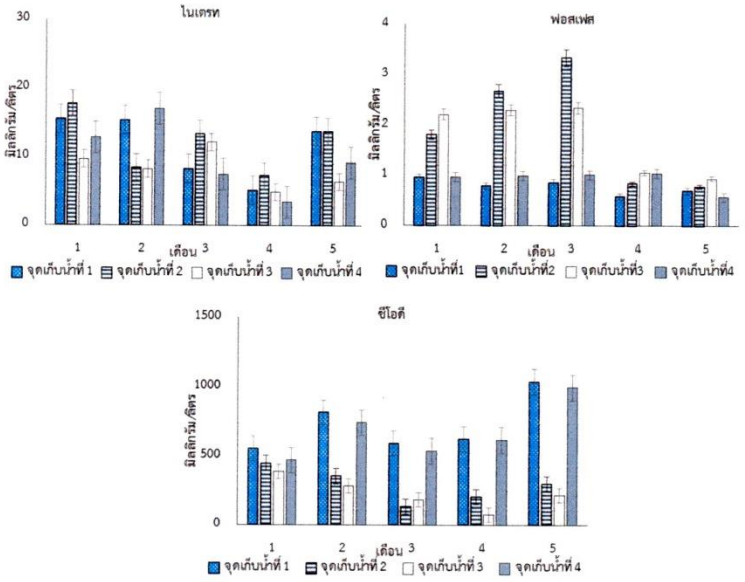
ภาพ 6 ค่าฟอสเฟต ไนเตรท และซีโอดีจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ



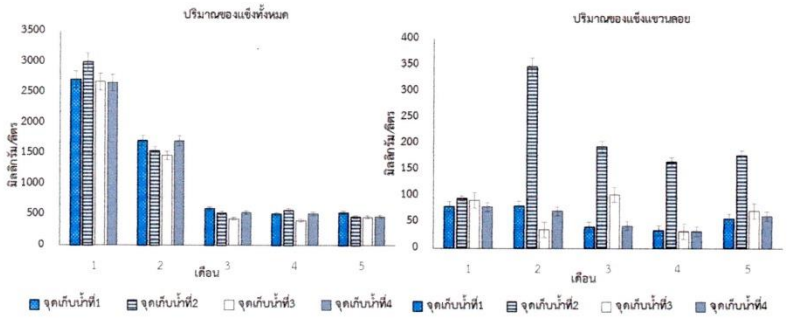
ภาพ 7 ความสูงยอดและความยาวของรากจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในห้องปฏิบัติการ

3. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระบบจำลองของชุมชน

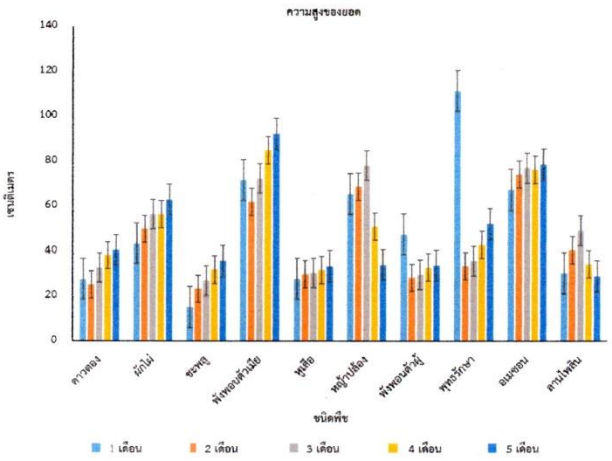
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งขนมจีนจากระบบจำลองในชุมชน พบว่าการบำบัดค่าไนเตรท ฟอสเฟต และซีโอดี จากจุดที่ 1 (น้ำเข้า) มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5-15, 0.5-0.8 และ 552-1,036 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังจากผ่านจุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 7.2-17.7, 0.7-2.6 และ 135-446 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ผ่านจุดที่ 3 (น้ำออก) มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 4.8-12, 0.93-2.3 และ 75-384 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.3-17, 0.5-1 และ 468-994 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ดังภาพที่ 8) ซึ่งน้ำจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) เป็นน้ำที่ไม่ได้ผ่านระบบบำบัดพบว่าค่าจะแตกต่างจากจุดที่ 3 (น้ำออก) แต่จะไม่แตกต่างมากหนักกับจุดที่ 1 (น้ำเข้า) หลังจากผ่านการบำบัดเป็นระยะเวลา 5 เดือนพบว่าประสิทธิภาพระบบสามารถกำจัดได้เป็นร้อยละ 76±17, 55±31 และ71±20.5 ตามลำดับ จากนั้นพบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอย จากจุดที่ 1 (น้ำเข้า) มีค่าอยู่ในช่วง 512-2,712 และ41-79 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หลังจากผ่านจุดที่ 2 (น้ำกลางระบบ) มีค่าอยู่ในช่วง 467-2,996 และ94-346 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ผ่านจุดที่ 3 (น้ำออก) มีค่าอยู่ในช่วง 408-2,675 และ31-102 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และจุดที่ 4 (แหล่งน้ำสาธารณะ) มีค่าอยู่ในช่วง 471-2,660 และ32-78 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ(ภาพ 9) ผลการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดจากการทดลอง พบว่าพืชมีการเจริญขึ้นเรื่อยๆ โดยพืชที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดใน 5 เดือน พืชที่สามารถใช้บริโภคได้จะพบว่าเสลดพังพอนตัวเมียมีการเจริญเติบโตสูงสุดมีค่าเฉลี่ยประมาณ 92.2 เซนติเมตร ส่วนอเมซอนซึ่งเป็นพืชที่ใช้สำหรับทางภูมิทัศน์ มีค่าการเจริญเฉลี่ยประมาณ 78.6 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพ 10) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้จะมีการตัดแต่งต้นพืชตามระยะเวลาเพื่อไม่ให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง โดยระยะเวลาการตัดแต่งจะขึ้นอยู่กับอายุไขของพืชชนิดนั้นๆด้วย



ภาพ 8 ค่าฟอสเฟต ไนเตรท และซีโอดี จากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองในชุมชน



ภาพ 9 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งแขวนลอยจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองในชุมชน



ภาพ 10 ความสูงยอดจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนระบบจำลองในชุมชน

สรุปและอภิปรายผล

1.คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนก่อนการบำบัด

จากการสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในครัวเรือนนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า แหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าไนเตรท ค่าฟอสเฟต ค่าซีโอดี และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) โดยเฉพาะค่าซีโอดี ดังนั้นถ้าไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำในชุมชนได้

2. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ

การทดสอบประสิทธิภาพของพืช 10 ชนิด ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า พืชที่สามารถใช้บริโภคได้และพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์ที่มีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีได้ดีเรียงตามลำดับ ได้แก่ พุทธรักษา อเมซอน หญ้าถอดป้อง เสลดพังพอนตัวผู้ หูเสือ ชะพลู ลานไพลิน คาวตอง เสลดพังพอนตัวเมีย และผักแพว ตามลำดับ จากการทดสอบพืชทั้ง 10 ชนิด เป็นระยะเวลา 1 เดือน จะเห็นได้ว่าพืชที่ใช้สำหรับงานทางภูมิทัศน์มีการบำบัดได้ดีกว่าพืชที่สามารถใช้บริโภคได้ เนื่องจากพืชที่ใช้งานทางภูมิทัศน์ที่นำมาทดลองเป็นกลุ่มพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำแตกต่างกับพืชที่นำมาบริโภคได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเป็นต้นพุ่มกอไม่ได้อาศัยอยู่ในพื้นที่ชุ่ม สำหรับในกลุ่มพืชที่ใช้สำหรับงานตกแต่งทางภูมิทัศน์ พบว่าพุทธรักษามีการบำบัดที่ดี เพราะลำต้นมีความเหนียวและอุ้มน้ำ มีเหง้าหัวสีขาวแตกแขนงอยู่ใต้ดิน รากมีความยาวเฉลี่ย 11.8 เซนติเมตร มีความยาวรอบรากเฉลี่ย 0.2 เซนติเมตร ซึ่งความยาวของรากจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของรากด้วย มีงานวิจัยหลายผลงานที่ได้นำพุทธรักษามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดค่า ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ, ของแข็งแขวนลอย และปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงสุดร้อยละ 90.7, 98.5, 99.0 ตามลำดับ และถังที่ปลูกพุทธรักษาสามารถเจริญเติบโตได้ในการทดลอง โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50-60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 150-165 เซนติเมตร (พัฒนพงษ์ ฟองเพชร และคณะ, 2552) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชชนิดนี้มีความทนทานต่อน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ (อรอนงค์ ผิวนิลและคณะ, 2551) พืชถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้โดยจะมีกลไกการบำบัดเกิดจาก

ส่วนราก ส่วนก้านหรือส่วนลำต้น ทั้งที่อยู่ในน้ำหรือไม่ได้อยู่ในน้ำ สำหรับในส่วนรากจะทำหน้าที่ดูดซับสารพิษและสารอาหาร และเป็นพื้นผิวให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต เป็นตัวกลางในการกรองและดูดซับตะกอนของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ Peerakarn (2012)

3. ประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนในระบบจำลองของชุมชน

จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและระบบจำลองในชุมชน แสดงให้เห็นว่าพืชมีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน สามารถที่จะกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้จริง มีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นแบบจำลองในชุมชน ซึ่งจะสังเกตได้จากน้ำจุดที่ 1 (น้ำเข้า) และจุดที่ 3 (น้ำออก) ว่ายังมีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นโดยที่เกิดจากกระบวนการทำงานร่วมกันของพืชและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณรากพืช (พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 2558) โดยพืชแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งที่แตกต่างกัน เนื่องจากพืชมีแหล่งที่อยู่อาศัย การเจริญเติบโต ระบบภายในพืช ระบบราก และอายุไขที่แตกต่างกันไป ซึ่งสอดคล้องจากการวิจัยที่ทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนักด้วยหญ้าแฝกและธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์ พบว่า การเจริญเติบโตและอัตราการรอดทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตที่ดีและไม่พบการตายของพืชในน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะเลย โดยพืชที่ใช้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเหมือนกัน แต่ในระบบที่มีการปลูกธูปฤาษีจะมีประสิทธิภายในการบำบัดน้ำเสียมากกว่าร้อยละ 98 (ชาลินี ศักดิ์ และ ศศิธร พุทธวงษ์, 2550) เช่นเดียวกับงานของ Peerakarn (2012) ที่ได้การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบพืชพรรณเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยการใช้พืช 4 ชนิด คือ สาหร่ายหางกระรอก บัว ผักตบชวา และกกจากทะเลน้อย พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีลงร้อยละ 25 ซึ่งการใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีคือ จะลงทุนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าได้มีการนำมาใช้ในระดับชุมชนขนาดเล็กและใช้ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำระบบอื่นๆ ก็จะเป็นการลดต้นทุน ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ สอดคล้องงานวิจัยของ Maurizio and Davide (2007) ที่ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพืช โดยพบว่าอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกชนิดพืชและการใช้ประโยชน์ของพืชแต่ละชนิด รวมไปถึงคุณสมบัติของน้ำเสียและความร่วมมือของคนในชุมชนที่จะพัฒนาไปสู่ความยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย ขอบคุณเทศบาลตำบลขี้เหล็กและผู้ประกอบการโรงงานผลิตเส้นขนมจีนและชาวบ้านหมู่บ้านห้วยน้ำริน จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่และการเก็บข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2537). เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำ และมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย. กองจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. (2546). การบำบัดเสียบางวิธี การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์และการทดสอบพิษวิทยาสำหรับน้ำทิ้ง. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ชาลินี ศักดิ์ และศศิธร พุทธวงษ์. (2550). การบำบัดโครเมียมและอาร์เซนิกด้วยหญ้าแฝกและธูปฤาษีในบึงประดิษฐ์. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

พัชราภรณ์ กัยยาประสิทธิ์ คณิตา ดังคณานุรักษ์ และนิพนธ์ ดังคณานุรักษ์ (2558). "การบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนด้วยวิธีการสร้างรวมตะกอนร่วมกับระบบหญ้ากรองน้ำสร้างและพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม." อนามัยสิ่งแวดล้อม 17: 16-31

พัฒนพงษ์ ฟองเพชร จิดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย และเชาวยุทธ พรพิมลเทพ. (2552). ประสิทธิภาพของพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์ แบบการไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง.วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม 5 : 89-99

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2558). การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพืช (phytoremediation), กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 232 หน้า

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ. (2554). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมชาติ ฉบับที่11 (พ.ศ.2555-2559)

สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม. (2559). แนวทางการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศในพื้นภาคกลางในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่12. การผลักดันการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ

อรอนงค ผิวนิล ปราโมทย ศิริโรจน และธนิศร ปทมพิชูร. (2551). ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียรอบรากพุทธรักษาต่อประสิทธิภาพการบำบัดนาเสียชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยระบบหญ้ากรองน้ำเสียในสภาพน้ำขังสลับแห้ง. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร. กรุงเทพฯ

APHA, AWWA & WPCF. (1992). Standard method for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Konstantinos C., et al (2007) High uptake of 2,4,6-trinitrotoluene by vetivergrass Potential for phytoremediation? *Environmental Pollution*146(1): 1–4.

Maurizio B., Davide T. (2007) Five year water and nitrogen balance for a constructed surface flow wetland treating agricultural drainage waters. *Science of the Total Environment* 380: 38–47.

Peerakarn Banjerdkij. (2012). Feasibility study of bioretention system for domestic wastewater treatment. Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering.

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

Yahua C., Zhenguo S., Xiangdong L. (2004) The use of vetiver grass (Vetiveria zizanioides) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals Applied Geochemistry 19 :1553–1565.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวอารียา อริยะโคตร

เกิดเมื่อ 19 กันยายน 2534

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2552 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนอัสสัมชัญคอนแวนต์ ลำนารายณ์
อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี
พ.ศ.2556 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา
อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา