



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การใช้ปาล์วยเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน”

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง และคณะ

สิงหาคม 2549



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้ปาชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง

รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิตีวรกุล

อาจารย์ ปริศนา เจียรกุล

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ

รหัสโครงการ : RDG464005

ชื่อโครงการ : การใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ชื่อนักวิจัย : กนกพร บุญส่ง¹, สมเกียรติ ปิยะธีรวิฑูรกุล¹ และ ปรีศนา เจียรกุล²

¹คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

Email address : Kanokporn.B@chula.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : พฤศจิกายน 2545 – เมษายน 2548

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 โครงการย่อย โดยดำเนินการในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคฝ่าย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

โครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ได้จัดสร้างชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ขนาด 1 x 2 x 0.6 เมตร จำนวน 50 ชุด บรรจุดินเลนสูงจากพื้นบ่อ 0.4 เมตร แบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม สำหรับระบบการปล่อยน้ำแบบกะ (batch flow system) และแบบเติมต่อเนื่อง (continuous-added flow system) วางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial คือ ใช้กล้าไม้ 4 ชนิด และชุดควบคุม (ไม่ปลูกพืช) และน้ำเสีย 4 ชนิด และชุดควบคุม โดยกล้าไม้ที่ใช้ คือ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การเจริญเติบโตของกล้าไม้ และการสะสมธาตุอาหารในดินและกล้าไม้ ใช้น้ำเสีย NW (normal wastewater), 2NW, 5NW และ 10NW (น้ำเสียชุมชนปกติ และน้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นเป็น 2, 5 และ 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ) และชุดควบคุมใช้น้ำทะเล โดยน้ำเสีย NW มีค่าเฉลี่ย TN (total nitrogen) และ TP (total phosphorus) ประมาณ 20 และ 4 mg/l ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ การทดลองระยะที่ 2 เพื่อศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ใช้น้ำเสีย NW ที่ปรับให้มีความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu และชุดควบคุมใช้น้ำเสีย NW ใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ผลการทดลองพบว่า ระบบการปล่อยน้ำทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน ประสิทธิภาพการบำบัด BOD และ TN มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการบำบัด TP มีแนวโน้มตรงกันข้าม ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีประสิทธิภาพการบำบัด TN และ TP สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกกล้าไม้ และในช่วงการทดลองระยะที่ 2 พบว่าโดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัด TN และ TP สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น สำหรับกล้าไม้ พบว่า ความเข้มข้นของ TN และ TP ที่สูงถึง 200 และ 40 mg/l ตามลำดับ และความเค็มระหว่าง 0-24 psu ไม่มีผลในทางลบต่อการเจริญเติบโต กล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อได้รับน้ำเสีย 5NW และ 12 psu เมื่อสิ้นสุดการทดลอง กล้าไม้ทุกชนิดมีปริมาณ TN และ TP ในใบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร (TN, NH_4^+ , TP และ ortho- PO_4) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงมีการสะสมสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสม TP และ ortho- PO_4 สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ

โครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัณฐานดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กำหนดพื้นที่ศึกษา 3 บริเวณ คือ (1) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนปลูกใหม่ ซึ่งปลูกพันธุ์ไม้ตั้งแต่ปี 2542 (2) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนธรรมชาติ และ (3) แปลงควบคุมป่า

ธรรมชาติ เก็บตัวอย่างทุก 4 เดือน ระหว่างธันวาคม 2545 ถึง ธันวาคม 2547 ซึ่งช่วงดังกล่าวทางโครงการฯ ไม่ได้ใช้ระบบในการบำบัดน้ำเสีย แต่ได้เริ่มใช้อีกครั้งตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 จึงได้เก็บตัวอย่างเพิ่มในเดือน มิถุนายน 2548 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของทั้งระบบป่าชายเลนธรรมชาติและระบบป่าปลูกใหม่มีค่าสูงขึ้นกว่าในช่วงปี 2542-2543 (กนกพร บุญส่ง และคณะ, 2543) ส่วน TN และ TP ในดินและในใบเสมทะเลของทั้งระบบป่าชายเลนธรรมชาติและระบบป่าปลูกใหม่มีค่าสูงขึ้นตามช่วงเวลา ขณะที่แปลงควบคุมมีปริมาณค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้พบว่าเสมทะเลเป็นพืชที่มีการสะสม TP ในใบสูงที่สุด และสะสม TN สูงเป็นอันดับ 2 สัตว์หน้าดินมีจำนวนชนิดเพิ่มขึ้นกว่าในช่วงปี 2542-2543 (ปริศนา เจียรกุล, 2543) พบสัตว์หน้าดินในวงศ์ Solenidae ซึ่งเป็นกลุ่มหอยสองฝา ซึ่งอาจเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ที่สูงขึ้น ปริมาณสัตว์หน้าดินพบสูงสุดในแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ รองลงมาคือระบบป่าธรรมชาติ และระบบป่าปลูกใหม่ ตามลำดับ และในช่วงที่มีการปล่อยน้ำเสียพบว่าจำนวนชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินในระบบป่าปลูกใหม่ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น

ผลการศึกษาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นและความเค็มสูงได้ดี อย่างไรก็ตามต้องมีแผนการจัดการที่เหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศป่าชายเลนซึ่งย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย

คำสำคัญ : น้ำเสียชุมชน, ป่าชายเลน, ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม, ธาตุอาหาร

Project Code : RDG464005

Project Title : An Application of Mangrove Plantation in Domestic Wastewater Treatment

Researcher : Kanokporn Boonsong¹, Somkiat Piyatiratitivorakul¹ and Prisna Jienkul²

¹Faculty of Science, Chulalongkorn University, ²Faculty of Science and Technology, Suan Dusit Rajabhat University

Email Address : Kanokporn.B@chula.ac.th

Project Duration : November 2002 - April 2004

ABSTRACT

This research consists of 2 main topics and were conducted at the Royal Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province.

The first topic was to identify appropriate technique for domestic wastewater treatment utilizing mangrove constructed wetlands. The total of 50 concrete tanks of 1 x 2 x 0.6 meter dimension were set up. Mangrove soils were put into tanks to the depth of 40 cm, separated into 2 groups for (1) batch flow system and (2) continuous-added flow system. A completely randomized design (CRD) involved factorials was used, i.e. four mangrove seedlings (i.e., *Rhizophora apiculata*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorhiza* and *Cerios tagals*) and control unit (without seedlings) and four levels of domestic wastewater and control unit. The experiment was divided into 2 phases. The first phase was aimed to study the effects of wastewater concentrations on treatment efficiencies, growth of seedlings and nutrient accumulation in seedlings and soil. The wastewater was varied into 4 concentration levels, i.e., NW (normal wastewater), 2NW, 5NW, and 10 NW which contained 2, 5, and 10 times higher TN (total nitrogen) and TP (total phosphorus) than NW. Seawater was used as control unit. The NW contained average TN and TP of 20 and 4 mg/l, respectively. The detention times of 7, 5, and 3 days were varied. The second phase was aimed to study the effect of salinity levels on treatment efficiencies. The salinity of NW (control unit) was adjusted to 6psu, 12psu, 18psu and 24psu. The 7-day detention time was used. The results indicated that the highest treatment efficiencies in both flow systems were found in 7-day detention time. The removal percentage of BOD and TN were lower with higher salinity levels. But the removal percentage of TP showed the opposite trend. Generally, the removal percentages of experimental sets planted with different mangrove seedlings were not significantly different. But the experiment sets planted with seedlings had the tendency to treat TN and TP better than control unit (without seedlings). During the second phase, generally the experiment sets planted with *A. marina* showed higher TN and TP removal efficiencies than other seedlings. According to the growth of seedlings, the concentrations of TN and TP up to approximately 200 and 40 mg/l; and salinity levels between 0-24 psu did not cause any adverse impacts on the growth. There was the trend that all species received 5NW and 12psu had highest growth rate. After the treatment experiment, TN and TP in leave were significantly increased. Soil organic matter and nutrients (TN, NH_4^+ , TP and ortho- PO_4) were significantly increased. Soil irrigated with 10NW had the highest organic matter and nutrient accumulation. Whereas soil irrigated with 24psu had the highest TP and ortho- PO_4 accumulation.

The second topic of this research was to monitor the change of soil characteristics, nutrient constituents in plant, and benthos in pilot scale mangrove constructed wetlands. The study sites included (1) the newly planted mangrove system, where seedlings were planted since 1999 (2) the natural mangrove system (3) the control plot of natural forest. Soil, leave and benthos were sampling at 4-month interval during Dec 2002 to Dec 2004. However, during the study period the Royal Laem Phak Bia Project did not discharged wastewater into the system. Wastewater discharged was started again in January 2005. Thus, the further sampling was conducted in June 2005. The results indicated that soil organic matter was increased as compared to the study of Boonsong et al. (2000) during 1999-2000. Nutrients (TN and TP) in soil and leave of *A. marina* in both newly planted system and natural forest system were also found. It was found that *A. marina* leave had highest TP and second highest TN comparing to other plant species. According to benthos study, the species composition increased as compared to the study of Prisna Jienkul (2000) during 1999-2000. The mollusk in family Solenidae as indicator species for soil fertility was found. The abundance of benthos in the control plot of natural forest was higher than natural forest system and newly planted systems, respectively. During wastewater discharged period, the species composition and abundance of benthos in newly planted system was lower.

The overall results indicated that mangrove constructed wetland system could be utilized as effective domestic wastewater treatment. The system showed high capacity to assimilate high nutrient concentration and salinity levels of wastewater. However, appropriate management plan is required in order to protect mangrove ecosystem from adverse impact, which finally may effect the treatment efficiencies of mangrove constructed wetland system itself.

Index Keywords : domestic wastewater, mangroves, constructed wetland system, nutrients

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 โครงการ คือ โครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน และโครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดิน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยทั้ง 2 โครงการดำเนินการภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

โครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ดำเนินการทดลองโดยจัดสร้างชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ขนาดกว้าง x ยาว x สูง 1 x 2 x 0.6 เมตร จำนวน 50 ชุด ภายใต้โรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกคลุมเพื่อไม่ให้มีอิทธิพลของฝน บรรจุดินเลนลงในชุดทดลองสูงจากพื้นบ่อ 40 เซนติเมตร แบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม สำหรับระบบการปล่อยน้ำ 2 แบบ คือ ชุดทดลอง 25 ชุด ใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบกะ (batch flow system) และชุดทดลองอีก 25 ชุด ใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบต่อเนื่อง (continuous-added flow system) วางแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial คือ ใช้กล้าไม้ 4 ชนิด และชุดควบคุม และน้ำเสีย 4 ชนิด และชุดควบคุม ดังนั้น ในชุดทดลองแต่ละกลุ่มปลูกกล้าไม้ป่าชายเลน 4 ชนิด ชนิดละ 5 ชุดทดลอง ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) แสมทะเล (*Avicennia marina*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) โดยใช้ระยะปลูก 15 x 15 เซนติเมตร รวม 72 ต้น/ชุดทดลอง ส่วนชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอีก 5 ชุดใช้เป็นชุดควบคุม แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ

การทดลองระยะที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ และการสะสมธาตุอาหารในดินและพืช ใช้น้ำเสีย 4 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำเสียชุมชนปกติ (NW: Normal Wastewater) และน้ำเสียชุมชนที่ปรับเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2, 5 และ 10 เท่าของน้ำเสีย NW (2NW, 5NW และ 10NW ตามลำดับ) โดยน้ำเสีย NW มีค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมด (TN: Total Nitrogen) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP: Total Phosphorus) ประมาณ 20 และ 4 mg/l ตามลำดับ (Boonsong et al., 2003) ปรับเพิ่มความเข้มข้นของ TN และ TP โดยใช้สารยูเรีย (NH_2CONH_2) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) และสำหรับชุดควบคุมใช้น้ำทะเล ทดลองปล่อยน้ำเสียสู่ชุดทดลองชุดละ 200 ลิตร ใช้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (detention time) 7 วัน 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ซึ่งในระบบเดิมต่อเนื่องใช้อัตราการปล่อยน้ำ 19.84, 27.77 และ 46.30 มิลลิลิตร/นาที่ ตามลำดับ แต่ละระยะเวลากักเก็บทำการทดลอง 3 ชั่วโมง 9 ครั้ง เมื่อจบการทดลองแต่ละครั้ง ทั้ง 9 ครั้ง จะพักระบบโดยระบายน้ำออกให้ชุดทดลองแห้ง 4 วัน แล้วสูบน้ำทะเลและกักเก็บไว้ในชุดทดลอง 3 วัน จากนั้นระบายน้ำทะเลออกแล้วจึงเริ่มทำการทดลองครั้งถัดไป เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะที่ 1 เลือกใช้ระยะเวลากักเก็บที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด เพื่อใช้ในการทดลองระยะที่ 2

การทดลองระยะที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ และการสะสมธาตุอาหารในดินและพืช ใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ทำการทดลองภายในชุดทดลองเดิม ภายหลังการล้างระบบด้วยการกักเก็บน้ำทะเลในชุดทดลองแล้วระบายออกเป็นเวลาประมาณ 4 เดือน การทดลองใช้น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) และน้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็มโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีความเค็ม 6 psu, 12 psu, 18 psu และ 24 psu ทำการทดลองซ้ำ 9 ครั้ง และมีการพักระบบโดยใช้วิธีการเช่นเดิม

ในการทดลองที่ 1 และ 2 ดำเนินการศึกษาในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ แบ่งการศึกษาเป็น 3 ด้าน ดังนี้

ด้านคุณภาพน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทุกครั้ง จากชุดทดลองทั้ง 50 ชุด โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า ความเค็ม ออกซิเจนละลาย (DO: Dissolved Oxygen) บีโอดี (BOD) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN: Total Nitrogen) แอมโมเนียม (ammonia) ไนเตรต (nitrate) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP: Total Phosphorus) และออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate)

ด้านสมบัติของดิน สุ่มตัวอย่างดิน 2 ระดับความลึก คือ ดินชั้นบน (ลึก 0-10 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (ลึก 10-20 เซนติเมตร) 4 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และภายหลังการทดลองครั้งที่ 3, 6 และ 9 จากชุดทดลองทั้ง 50 ชุด โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า ปริมาณขนาดอนุภาคดิน (% sand, % silt, % clay) เนื้อดิน อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ด้านพันธุ์ไม้ แบ่งการศึกษาเป็น 1) การศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ 10 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และภายหลังการทดลองแต่ละครั้งทั้ง 9 ครั้ง จากชุดทดลองทั้ง 50 ชุด 2) การศึกษาการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation ระหว่างมวลชีวภาพ (น้ำหนักอบแห้ง) กับ ความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง นำสมการที่ได้มาหาคำนวณมวลชีวภาพของลำต้นและใบของกล้าไม้ และ 3) การศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ โดยสุ่มตัวอย่างใบอ่อนและใบแก่ 4 ครั้ง ควบคู่กับการศึกษาด้านสมบัติของดิน จากชุดทดลองทั้ง 50 ชุด โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลการศึกษาในระยะที่ 1 ซึ่งเป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน มีดังนี้

ด้านคุณภาพน้ำพบว่า น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW มีค่าเฉลี่ย BOD, TN และ TP ดังสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ BOD, TN และ TP ในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

ความเข้มข้น	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)
NW	21.68-28.06	22.154-22.358	5.873-6.107
2NW	50.22-55.47	46.293-48.212	8.250-8.978
5NW	78.67-94.30	105.062-111.129	19.407-21.159
10NW	90.50-111.24	213.598-216.803	43.515-44.494

หมายเหตุ การปรับค่า TN ในน้ำเสียโดยยูเรียเป็นผลให้ค่า BOD ผันแปรตามไปด้วย

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ทั้งในระบบการปล่อยน้ำแบบกะ และระบบเดิมต่อเนื่อง โดยประสิทธิภาพการบำบัด BOD, TN และ TP ของน้ำเสีย (NW, 2NW, 5NW และ 10NW) ในระบบการปล่อยน้ำแบบกะมีค่าระหว่าง 54.26-92.51, 81.77-88.48 และ 76.42-91.73% ตามลำดับ ส่วนระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่องมีค่าระหว่าง 75.36-95.31, 71.35-91.86 และ 37.43-86.20% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการบำบัดในระบบเดิมต่อเนื่องจะมีความผันแปรสูงกว่าระบบกะ ทั้งนี้คาดว่าป็นเพราะอัตราการปล่อยน้ำต่ำ

หากเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งพบว่า ทั้ง BOD และ TN ของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดคือ 20 และ 35 mg/l (ยกเว้น ในระบบเดิมต่อเนื่องไม่สามารถบำบัด TN ในน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 213.589-216.803 mg/l ให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l ได้) นอกจากนี้พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณออกซิเจนละลายสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชในชุดทดลอง รวมทั้งการเติมอากาศโดยทั่วไป

หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD และ TN สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

สำหรับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้พบว่า กล้าไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้จะได้น้ำเสียความเข้มข้นสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพความทนทานของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน นอกจากนี้พบว่า พันธุ์ไม้ที่ได้น้ำเสียทุกความเข้มข้นมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าพันธุ์ไม้ที่ได้น้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพสูงสุดคือ โกงกางใบใหญ่ และมีแนวโน้มว่าอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ทุกชนิดสูงสุดเมื่อได้น้ำเสีย 5NW (ซึ่งมีค่าเฉลี่ย TN และ TP อยู่ในช่วง 105.062-111.129 และ 19.407-21.159 mg/l ตามลำดับ) ส่วนพันธุ์ไม้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงที่สุดคือ แสมทะเล นอกจากนี้แสมทะเลมีปริมาณธาตุอาหาร TP และ TN ในใบสูงกว่าพันธุ์ไม้อื่น และภายหลังการทดลองพันธุ์ไม้ทุกชนิดมีการสะสมธาตุอาหารในใบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ว่าพันธุ์ไม้สามารถช่วยบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียโดยการดูดซับไปสะสมไว้ในมวลชีวภาพ

ดินในชุดทดลองมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร (ไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไอออน ฟอสฟอรัส และ ออร์โธฟอสเฟต) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้น้ำเสียความเข้มข้นสูงมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารสูงกว่าชุดทดลองที่ได้น้ำเสียความเข้มข้นต่ำและน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ให้เห็นว่าในระยะยาวพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่รองรับน้ำเสีย อาจไม่สามารถใช้บำบัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากฟอสฟอรัสจะตกตะกอน และถูกดูดซับโดยตะกอนดินและยากที่จะถูกชะออกไปโดยน้ำทะเล

ผลการศึกษาในระยะที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาผลของความเค็มต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน มีดังนี้

ประสิทธิภาพการบำบัด BOD, TN และ TP ของน้ำเสีย (NW, 6psu, 12psu และ 24psu) ในระบบการปล่อยน้ำแบบกะมีค่าระหว่าง 57.83-86.89, 77.03-95.86 และ 52.56-81.83% ตามลำดับ ส่วนระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่องมีค่าระหว่าง 56.71-80.87, 58.89-89.50 และ 51.97-71.59 % ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดในระบบเดิมต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะ

และหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TP ของน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ของการทดลองระยะที่ 1 กับ ระยะที่ 2 ซึ่งในระบบกะมีค่าระหว่าง 84.89-91.73 และ 52.56-62.70% ตามลำดับ ระบบต่อเนื่องมีค่าระหว่าง 37.43-61.02 และ 47.18-54.66% ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของการทดลองระยะที่ 2 มีแนวโน้มลดลง ซึ่งค่าความเป็น เพราะในช่วงการทดลองระยะที่ 2 ก่อนการทดลองดินมีปริมาณ TP สะสมอยู่สูงกว่าในการทดลองระยะที่ 1

หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียต่างระดับความเค็ม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD ลดลง เมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้น แต่แนวโน้มดังกล่าวไม่ชัดเจนนัก ประสิทธิภาพการบำบัด TN มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้น เช่นเดียวกัน และแนวโน้มดังกล่าวชัดเจนในระบบกะ สำหรับประสิทธิภาพการบำบัด TP มีแนวโน้มตรงข้าม คือ ประสิทธิภาพการบำบัด TP จะสูงขึ้นเมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้น

หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิดพบว่า โดยทั่วไปไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีข้อสังเกตที่สำคัญ คือ ชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น (ยกเว้น ประสิทธิภาพการบำบัด TP ในระบบต่อเนื่องที่ไม่พบแนวโน้มดังกล่าว) ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า แสมทะเลมีศักยภาพสูงในการใช้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เพราะเป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีระบบการหายใจจำนวนมากซึ่งสามารถช่วยให้สารแขวนลอยในน้ำเสียตกตะกอนได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด TN และ TP ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกกล้าไม้

ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงขึ้นมาก อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตที่สำคัญ คือ ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกกล้าไม้มีค่า DO สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ ทั้งนี้เพราะกล้าไม้ทำให้มีการสะสมอินทรีย์สารที่ผิวดินสูง และการมีกล้าไม้ปกคลุมแน่นทึบจะขัดขวางการเติมอากาศโดยลมและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืช และในระบบกะยังพบแนวโน้มว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกกล้าไม้มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการที่ DO ในชุดควบคุมสูงกว่า

สำหรับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้พบว่า น้ำเสียทุกระดับความเค็ม (6psu, 12psu, 18psu และ 24psu) และน้ำเสียชุมชนปกติ (NW) ซึ่งมีความเค็มใกล้ 0 psu ไม่มีผลในทางลบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในชุดทดลองทั้งในด้าน ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางและมวลชีวภาพ ในระบบกะพบว่า กล้าไม้ทุกชนิดที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 12 psu มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด อย่างไรก็ตามในระบบต่อเนื่อง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่างกันส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดินในชุดทดลองมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนไม่สามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียความเค็มใดทำให้การสะสมอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนสูงสุด แต่สำหรับฟอสฟอรัส มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ และมีข้อสังเกตที่สำคัญ คือ ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกกล้าไม้ ทั้งนี้เพราะพืชดูดดึงธาตุอาหารไปใช้

ดังนั้นจากผลการทดลองในโครงการที่ 1 ทั้งในช่วงระยะที่ 1 และระยะที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

- ควรเลือกใช้ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 7 วัน เพราะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดทุกพารามิเตอร์สูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 5 วัน และ 3 วัน อย่างไรก็ตามไม่ควรเก็บน้ำเสียไว้นานเกินกว่า 7 วัน เพราะจากการศึกษาของ กนกพร บุญส่ง และคณะ (2543) พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายมีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD และ TN
- สามารถเลือกใช้ระบบการปล่อยน้ำแบบกะ ซึ่งสะดวกและประหยัดกว่าการปล่อยน้ำแบบต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำเสีย 200 ลิตร เข้าสู่ชุดทดลองซึ่งมีพื้นที่ 2 ตารางเมตร หรือ เทียบเท่ากับ 100 ลิตร/ตารางเมตร ซึ่งทำให้มีระดับน้ำอยู่เหนือผิวดินประมาณ 10-12 เซนติเมตร ขณะที่ในระบบต่อเนื่องอัตราการปล่อยน้ำเสียของระยะเวลากักเก็บ 7 วัน มีค่า 46.3 มิลลิลิตร/นาที่ ซึ่งต่ำทำให้ในช่วงแรกไม่ปรากฏน้ำเหนือผิวดินเพราะน้ำจะซึมซาบลงสู่ดินชั้นล่าง
- การปลูกพันธุ์ไม้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนซึ่งใช้บำบัดน้ำเสีย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้นกว่าระบบที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนทั้งในการทดลองระยะที่ 1 และ ระยะที่ 2
- พันธุ์ไม้ที่แนะนำให้เลือกใช้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน คือ แสมทะเล และ โกงกางใบใหญ่ เนื่องจากผลการทดลองในระยะที่ 2 บ่งชี้ให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูก กล้าไม้อื่น นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า โกงกางใบใหญ่และแสมทะเลสามารถทนทานต่อสภาพการท่วมขังของน้ำอย่างต่อเนื่องถึง 7 วัน ได้ดีกว่าพังกาหัวสุมดอกแดงและโปรงแดง อีกทั้งยังมีอัตราการเจริญเติบโต และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงกว่าอีกด้วย
- การปลูกกล้าไม้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ควรใช้ระยะการปลูก 1.5 x 1.5 เมตร แต่เมื่อพันธุ์ไม้มีการเจริญเติบโตจนระบบเริ่มแน่นทึบ ควรมีการตัดไม้ออกบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสมทะเลเนื่องจากแสมทะเลเป็นไม้ที่มีการแตกกิ่งก้านเป็นพุ่ม โดยอาจตัดไม้ให้เหลือระยะการปลูก 1.5 x 3 เมตร หรือ 3 x 3 เมตร ตามความเหมาะสม
- น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ไม่ควรมีค่า BOD, TN และ TP สูงเกินระดับของน้ำเสีย 5NW ซึ่งมีค่า ดังกล่าวอยู่ระหว่าง 78.67-94.30, 105.062-111.129 และ 19.407-21.159 mg/l ตามลำดับ เพราะถึงแม้ผลการทดลอง จะพบว่า ชุดทดลองสามารถรองรับน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าดังกล่าวอยู่ระหว่าง 90.50-111.24, 213.598-216.803 mg/l ตามลำดับ โดยไม่แสดงผลลบต่อพันธุ์ไม้ในระบบ แต่ในระยะยาวอาจมีผลกระทบทางลบ เพราะผลการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าพันธุ์ไม้มีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงสุดเมื่อได้รับน้ำเสีย 5NW แสดงว่าถึงแม้ น้ำเสีย 10NW จะมีธาตุอาหารสูงกว่า แต่การมีอินทรีย์สาร (วัดในรูป BOD) สูง กลับทำให้อัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่ำกว่า อีกทั้งผลการศึกษาสมบัติของดินชี้ให้เห็นว่า หากน้ำเสียมีปริมาณอินทรีย์สารและ ธาตุอาหารสูงมากขึ้นเท่าใด จะทำให้อัตราการสะสมในดินสูงขึ้นตามไปด้วย อันจะทำให้ capacity ในการช่วยกัก เก็บธาตุอาหารต่ำลง ซึ่งจะเห็นได้จากประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียของการทดลองระยะที่ 2 ต่ำกว่า การทดลองระยะที่ 1 นอกจากนี้การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินยังทำให้สมดุลระหว่าง aerobic-anaerobic

เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (และผลการศึกษาในโครงการที่ 2 ยังชี้ให้เห็นว่า น้ำเสียมีผลกระทบต่อชนิดและจำนวนของสัตว์หน้าดินในพื้นที่ชุ่มน้ำอีกด้วย)

- น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนหากมีการปรับความเค็มให้สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น และยังพบว่าระดับความเค็มของน้ำที่ 12 psu จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงที่สุด ดังนั้นหากเป็นไปได้การผสมน้ำทะเลเข้ากับน้ำเสีย โดยหากน้ำทะเลมีความเค็มประมาณ 30 psu ควรใช้อัตราส่วนของน้ำทะเล : น้ำเสีย 1 : 1 ซึ่งจะให้ความเค็มมีค่าประมาณ 15 psu อย่างไรก็ตาม การปรับระดับความเค็มของน้ำเสียนี้อาจทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD และไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง ดังนั้น อาจเลือกการปรับระดับความเค็มโดยการผสมน้ำทะเลเข้ากับน้ำเสียในกรณีที่น้ำเสียที่ต้องการบำบัดมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง หรือต้องการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้เท่านั้น หากเป็นกรณีอื่นไม่มีความจำเป็นต้องทำ เพียงแต่ควรมีการพักระบบโดยให้ระบบมีช่วงที่ไม่มีน้ำท่วมขัง และมีช่วงที่น้ำทะเลท่วมถึงเป็นระยะๆ

ผลการศึกษาโครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดิน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสียในแปลง pilot scale (ซึ่งทางโครงการได้เริ่มใช้บำบัดน้ำเสียตั้งแต่กันยายน 2542 แต่การใช้ไม่สม่ำเสมอ มีการหยุดใช้เป็นระยะ) โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงโดยแบ่งพื้นที่เป็น 3 บริเวณ คือ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าปลูกใหม่ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าธรรมชาติ ซึ่งมีขนาด 100 x 150 ม² เท่ากัน และแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ ในระบบป่าปลูกใหม่ มีการปลูกพันธุ์ไม้ 4 ชนิด คือ โกงกาง (*Rhizophora* spp.) แสมทะเล (*Avicennia marina*) ถั่ว (*Bruguiera* spp.) และโปรง (*Ceriops* spp.) เป็นโซนตามแนวนานกับป่าชายเลนธรรมชาติ กว้างโซนละ 37.5 เมตร ด้วยระยะปลูก 1.5 x 1.5 ม² การเก็บตัวอย่างดำเนินการทุก 4 เดือน รวม 7 ครั้ง ตั้งแต่ธันวาคม 2545, เมษายน สิงหาคม และธันวาคม 2546; เมษายน สิงหาคม และธันวาคม 2547 แต่การศึกษามีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ในช่วงของการเก็บตัวอย่างทั้ง 7 ครั้ง ทางโครงการฯ หยุดใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสีย มีเพียงการเปิดประตูระบายน้ำให้น้ำทะเลไหลเข้าสู่ระบบเพื่อให้พันธุ์ไม้สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก การเปลี่ยนแปลงส่วนหนึ่งเป็นผลจากช่วงฤดูกาล อิทธิพลการขึ้นลงของน้ำทะเล และผลของความแน่นทึบของพันธุ์ไม้ในแต่ละบริเวณซึ่งมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ทางโครงการฯ ได้ใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสียอีกครั้งหนึ่งตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 และคณะผู้วิจัยจึงได้เก็บตัวอย่างเพิ่มเติมครั้งที่ 8 เดือนมิถุนายน 2548 ผลการศึกษาก็เปรียบเทียบกับรายงานของกนกพร บุญส่งและคณะ (2543) สามารถสรุปได้ดังนี้

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของดินเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของกนกพร บุญส่งและคณะ (2543) มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่พันธุ์ไม้มีการเจริญเติบโต มีเศษกิ่งไม้ ใบไม้ที่ร่วงหล่นสะสมที่พื้นมากขึ้น เป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเมื่อย่อยสลายจะให้ TN และธาตุอาหารอื่นกับดิน รวมทั้งเป็นผลจากการที่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนได้รองรับน้ำเสียชุมชนตั้งแต่กันยายน 2542 เป็นต้นมา

ภายหลังจากที่โครงการได้ปล่อยน้ำเสียชุมชนลงสู่ระบบเป็นระยะเวลาประมาณ 6 เดือน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียชุมชนมีสารอินทรีย์ปริมาณสูง ขณะที่ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าเป็นห่วงว่าจะมีการสะสมฟอสฟอรัสในระบบจนทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสลดลง ทั้งนี้เพราะกระบวนการหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำคือ การตกตะกอน การดูดซับโดยดิน และการแลกเปลี่ยนระหว่างดินกับน้ำ

เนื้อดิน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของกนกพร บุญส่งและคณะ (2543) พบว่า มีแนวโน้มการสะสมอนุภาค clay เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงการท่วมถึงของน้ำทะเลตามธรรมชาติ และการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุ และสารแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสีย

การศึกษาของค่าประกอบธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบพืช ชี้ให้เห็นว่า แสมทะเลในระบบป่าธรรมชาติ มีการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงขึ้นตามช่วงเวลา ขณะที่แสมทะเลในแปลงควบคุมป่าธรรมชาติมีแนวโน้มคงที่ ทั้งนี้เพราะแสมทะเลในระบบได้รับน้ำเสียที่มีค่า TN และ TP สูง นอกจากนี้ยังพบว่า แสมทะเลมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงกว่าพันธุ์ไม้อื่น และมีการสะสมไนโตรเจนสูงเป็นอันดับ 2 รวมทั้งมีการเจริญเติบโตสูง ดังนั้นจึงมีศักยภาพสูงในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนเนื่องจากสามารถสะสมธาตุอาหารไว้ในเนื้อเยื่อได้มาก

การศึกษาสัตว์หน้าดิน พบสัตว์หน้าดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าปลูกใหม่ ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าธรรมชาติ และแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ ทั้งสิ้น 4 ไฟลัม คือ Annelida, Mollusca, Arthropoda และ Chordata โดยแยกอนุกรมวิธานได้ 7 ชั้น 9 อันดับ และ 23 วงศ์ ชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินผันแปรตามช่วงเวลาและสถานีเก็บตัวอย่าง จำนวนชนิดสัตว์หน้าดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงปี 2542-2543 ที่ปริศนา เจริญกุล (2543) ได้ศึกษาไว้ โดยพบสัตว์หน้าดินในวงศ์ Solenidae ซึ่งเป็นกลุ่มหอยสองฝาซึ่งอาจเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ที่สูงขึ้น สัตว์หน้าดินชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ หอยฝาเดียว วงศ์ Assimineidae พบกระจายตั้งแต่แปลงควบคุมป่าธรรมชาติ จนถึงระบบป่าปลูกใหม่บริเวณที่ปลูกถั่ว แต่ไม่พบในบริเวณที่ปลูกโปรง เนื่องจากโปรงมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายต่ำ ทำให้พื้นที่ค่อนข้างเปิดโล่งไม่มีร่มเงา บริเวณที่ตั้งกล่าวจึงพบสัตว์หน้าดินกลุ่มตัวอ่อนแมลงน้ำในวงศ์ Chironomidae รองลงมา คือ Hydrophilidae และ Dolichopodidae ซึ่งทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่จำกัดได้ดี ระบบป่าปลูกใหม่ในโซนที่ปลูกโกงกางและแสม พบชนิดของสัตว์หน้าดินสูงกว่าโซนที่ปลูกถั่ว และโปรง โดยพบสัตว์หน้าดินในไฟลัม Annelida, Mollusca และ Arthropoda ในโซนที่ปลูกถั่ว พบสัตว์หน้าดินในไฟลัม Mollusca เพียงชนิดเดียว โดยอยู่ในวงศ์ Assimineidae และตัวอ่อนแมลงน้ำในชั้น Insecta ส่วนในโซนที่ปลูกโปรง พบสัตว์หน้าดินเพียงกลุ่มเดียว คือ ตัวอ่อนแมลงน้ำในชั้น Insecta สำหรับปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย พบว่า บริเวณที่มีปริมาณสัตว์หน้าดินสูงสุด คือ แปลงควบคุมป่าธรรมชาติ รองลงมาคือระบบป่าธรรมชาติ และระบบป่าปลูกใหม่ ตามลำดับ (31.73, 19.47 และ 5.55 ตัว/ม²) และพบว่าในช่วงที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (มิถุนายน 2548) ชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินในระบบป่าปลูกใหม่ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น อย่างไรก็ตามการเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบดำเนินการเพียง 1 ครั้ง ดังนั้นจึงควรมีการติดตามศึกษาในระยะยาว

โดยสรุปผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และยังมีศักยภาพในการรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (ในรูป BOD, TN และ TP) และความเค็มสูง (ประมาณ 0-24 psu) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มที่ชี้ให้เห็นว่า มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุ TN และ TP ในดิน ซึ่งในระยะยาวย่อมส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงชนิดและองค์ประกอบของสัตว์หน้าดิน ดังนั้น น้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนไม่ควรมีความเข้มข้นของ TN และ TP สูงเกินระดับ 5NW (TN อยู่ระหว่าง 1.5.062-111.129 mg/l และ TP อยู่ระหว่าง 19.407-21.159 mg/l ซึ่งอยู่ในช่วงพิสัยของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า TN อยู่ระหว่าง 20-85 mg/l และ TP อยู่ระหว่าง 4-15 mg/l) และในการจัดการระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนควรให้น้ำทะเลท่วมถึงพื้นที่เป็นระยะๆ เพื่อให้พื้นที่ไม่มีการเจริญเติบโตดี และส่งเสริมให้ประสิทธิภาพการบำบัด TP มีค่าสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากความกรุณาของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุชาติา ชินะจิตร ผู้อำนวยการฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ตั้งแต่ในขั้นตอนของการจัดทำข้อเสนอโครงการวิจัย “การใช้ป้าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน” และได้อนุมัติเงินทุนวิจัยของโครงการ และขอขอบพระคุณ คุณ สุรรัตน์ ชะนะมา เจ้าหน้าที่บริหารโครงการ สกว. ฝ่าย 3 ที่ได้ช่วยติดตามและประสานงานให้กับโครงการด้วยดีตลอดมา

ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทรแก้ว ผู้อำนวยการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ทั้งในด้านการใช้พื้นที่โครงการฯ ในการวิจัย การปรับถมพื้นที่สำหรับก่อสร้างชุดทดลอง รวมถึงที่พักและความสะดวกทุกด้านในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สนธิ อักษรแก้ว ประธานสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยนี้มาโดยตลอดตั้งแต่ขั้นการจัดทำข้อเสนอโครงการ

ขอบพระคุณ คุณ ประธาน สังวร หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการป่าชายเลน พบ. 1 สำนักงานป่าไม้เขตเพชรบุรี และ คุณ สมชาย ดิษฐศรี หัวหน้ากลุ่มงานวิชาการป่าไม้ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ที่อนุเคราะห์กล้าไม้ที่ใช้ในการวิจัยนี้

ขอบพระคุณ คุณ นิยม นกน่วม และเจ้าหน้าที่ในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามอย่างดียิ่งมาโดยตลอด ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ได้แก่ ห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย; หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล; และห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	III
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	V
กิตติกรรมประกาศ	XIII
สารบัญ	XIV
สารบัญรูปภาพ	XIX
สารบัญตาราง	XXII
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-2
1.3 พื้นที่ดำเนินการและขอบเขตการวิจัย	1-2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
 บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 น้ำเสียชุมชน	2-1
2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำ	2-2
2.3 ป่าชายเลน	2-3
2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ	2-7
2.5 พันธุ์ไม้ป่าชายเลนกับการบำบัดน้ำเสีย	2-11
2.6 ผลกระทบจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย	2-14
 บทที่ 3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย	
<u>โครงการที่ 1</u> การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน	3-1
3.1 <u>โครงการย่อยที่ 1-1</u> ผลของระยะเวลากักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน	3-1
3.1.1 วัตถุประสงค์	3-1
3.1.2 ขอบเขตการศึกษา	3-1
3.1.3 การวางแผนการทดลอง	3-3
3.1.4 การจัดสร้างระบบทดลอง	3-5
3.1.5 วิธีการทดลอง	3-8
3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	3-11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 <u>โครงการย่อยที่ 1-2</u> ผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน	3-12
3.2.1 วัตถุประสงค์	3-12
3.2.2 ขอบเขตการศึกษา	3-12
3.2.3 การวางแผนการทดลอง	3-12
3.2.4 วิธีการทดลอง	3-14
3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	3-14
3.3 <u>โครงการที่ 2</u> การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดิน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย	3-15
3.3.1 วัตถุประสงค์	3-15
3.3.2 พื้นที่ดำเนินการและขอบเขตของการวิจัย	3-15
3.3.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง	3-17
3.3.4 วิธีการศึกษา	3-19
3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	3-19
บทที่ 4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด	
4.1 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-2
4.1.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-2
4.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-4
4.2 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-30
4.2.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-30
4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-31
4.3 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-57
4.3.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-57
4.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-58
4.4 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-72
4.4.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-72
4.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-73
4.5 การบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-86
4.5.1 การบำบัดโลหะหนัก ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-86
4.5.2 การบำบัดโลหะหนัก ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6	สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด	4-90
4.6.1	สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-90
4.6.2	สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	4-90
4.6.3	สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-90
4.6.4	สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-90
4.6.5	สรุปประเด็นด้านประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในโครงการย่อยที่ 1-2	4-91

บทที่ 5 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้

5.1	การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-2
5.1.1	การเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-2
5.1.2	องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-18
5.2	การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-25
5.2.1	การเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-25
5.2.2	องค์ประกอบธาตุอาหารในใบของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-40
5.3	การเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	5-46
5.4	การเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	5-60
5.5	สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้	5-74
5.5.1	สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-74
5.5.2	สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	5-76
5.5.3	สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	5-77
5.5.4	สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	5-78

บทที่ 6 ผลการศึกษาสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลงภายหลังใช้บำบัดน้ำเสีย

6.1	สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1	6-2
6.2	สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	6-20
6.3	สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	6-37
6.4	สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	6-43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.5 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลงภายหลังใช้บำบัดน้ำเสีย	6-49
6.5.1 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบกะในโครงการย่อยที่ 1-1	6-49
6.5.2 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1	6-49
6.5.3 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2	6-50
6.5.4 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2	6-51

บทที่ 7 ผลการศึกษาสมบัติของดินและองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ ในแปลง Pilot Scale

7.1 สมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง ในแปลง Pilot Scale	7-2
7.2 องค์ประกอบธาตุอาหารในใบ ในแปลง Pilot Scale	7-14
7.3 สรุปประเด็นด้านสมบัติของดินและองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ ในแปลง Pilot Scale	7-17

บทที่ 8 ผลการศึกษาด้านสัตว์หน้าดินในแปลง Pilot Scale

8.1 ชนิดสัตว์หน้าดินในรอบปี	8-2
8.2 ความหลากหลายสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง	8-4
8.3 ปริมาณสัตว์หน้าดินในรอบปี	8-7
8.4 ปริมาณสัตว์หน้าดินแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง	8-8
8.5 ปริมาณสัตว์หน้าดินจำแนกตามชนิดในรอบปี	8-8
8.6 ปริมาณสัตว์หน้าดินจำแนกตามชนิดในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง	8-8
8.7 การกระจายของสัตว์หน้าดินแต่ละวงศ์ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในรอบปี	8-11
8.8 สรุปประเด็นด้านสัตว์หน้าดิน ในแปลง Pilot Scale	8-20
8.9 สรุปและข้อเสนอแนะ	8-22

บทที่ 9 สรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด	
9.1.1 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในโครงการย่อยที่ 1-1	9-1
9.1.2 สรุปผลการศึกษาด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในโครงการย่อยที่ 1-2	9-5
9.2 ข้อเสนอแนะการจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน	9-8

รายการอ้างอิง

1 0 - 1

ภาพถ่ายในพื้นที่โครงการ

i

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการศึกษาคูณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด	ก
ภาคผนวก ข ผลการศึกษากาารเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้	ข
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลงภายหลังใช้บำบัดน้ำเสีย	ค
ภาคผนวก ง ผลการศึกษาสมบัติของดินและองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ ในแปลง Pilot Scale	ง
ภาคผนวก จ ผลการศึกษาด้านสัตว์หน้าดิน ในแปลง Pilot Scale	จ

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2-1	กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ
รูปที่ 2-2	การกระจายของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
รูปที่ 3-1	แผนภาพแสดงชุดทดลอง ในโครงการย่อยที่ 1-1
รูปที่ 3-2	พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และที่ตั้งชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม
รูปที่ 3-3	แผนภาพแสดงรายละเอียดของชุดทดลอง
รูปที่ 3-4	แผนภาพแสดงชุดทดลอง ในโครงการย่อยที่ 1-2
รูปที่ 3-5	ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ป่าชายเลนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ
รูปที่ 3-6	สถานีเก็บตัวอย่างดิน พืช และสัตว์หน้าดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน และแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ
รูปที่ 4-1	เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-2	เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-3	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-4	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-5	เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-6	เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-7	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-8	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-9	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-10	เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-11	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-12	เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-13	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-14	เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-15	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1
รูปที่ 4-16	เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4-17 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-43
รูปที่ 4-18 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-44
รูปที่ 4-19 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-47
รูปที่ 4-20 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-48
รูปที่ 4-21 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-51
รูปที่ 4-22 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-52
รูปที่ 4-23 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโซฟอสเฟตของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-55
รูปที่ 4-24 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโซฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-56
รูปที่ 4-25 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-61
รูปที่ 4-26 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-64
รูปที่ 4-27 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-66
รูปที่ 4-28 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-69
รูปที่ 4-29 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโซฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-71
รูปที่ 4-30 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-76
รูปที่ 4-31 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-78
รูปที่ 4-32 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-80
รูปที่ 4-33 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-83
รูปที่ 4-34 เปรอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรโซฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-85
รูปที่ 5-1 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	5-5
รูปที่ 5-2 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ของที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	5-9

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5-3 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	5-13
รูปที่ 5-4 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	5-16
รูปที่ 5-5 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	5-27
รูปที่ 5-6 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	5-31
รูปที่ 5-7 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	5-35
รูปที่ 5-8 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	5-38
รูปที่ 5-9 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	5-48
รูปที่ 5-10 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	5-51
รูปที่ 5-11 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	5-55
รูปที่ 5-12 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	5-58
รูปที่ 5-13 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	5-62
รูปที่ 5-14 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	5-65
รูปที่ 5-15 มวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	5-69
รูปที่ 5-16 มวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	5-72
รูปที่ 8-1 สัดส่วนความชุกชุมของสัตว์หน้าดินในแต่ละบริเวณในระบบบำบัดน้ำเสียและแปลงควบคุม ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-7
รูปที่ 8-2 สัดส่วนร้อยละของสัตว์หน้าดินจำแนกตาม Phylum ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-9
รูปที่ 8-3 สัดส่วนร้อยละของสัตว์หน้าดินจำแนกตามรายเดือน	8-10
รูปที่ 8-4 ปริมาณสัตว์หน้าดินในแต่ละบริเวณเก็บตัวอย่าง ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-16

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2-1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไป	2-1
ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา เหตุผล และประโยชน์ของการศึกษา	3-2
ตารางที่ 3-2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น	3-4
ตารางที่ 3-3 สารเคมีและปริมาณที่ใช้เพื่อปรับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย	3-4
ตารางที่ 3-4 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	3-9
ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	3-10
ตารางที่ 3-6 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช	3-11
ตารางที่ 4-1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-3
ตารางที่ 4-2 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-5
ตารางที่ 4-3 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-6
ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-7
ตารางที่ 4-5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-11
ตารางที่ 4-6 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-11
ตารางที่ 4-7 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-15
ตารางที่ 4-8 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-15
ตารางที่ 4-9 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-19
ตารางที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-19
ตารางที่ 4-11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-23
ตารางที่ 4-12 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-23
ตารางที่ 4-13 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-27
ตารางที่ 4-14 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟตเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	4-27
ตารางที่ 4-15 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-31

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4-16 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-32
ตารางที่ 4-17 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-34
ตารางที่ 4-18 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-34
ตารางที่ 4-19 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-38
ตารางที่ 4-20 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-38
ตารางที่ 4-21 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-42
ตารางที่ 4-22 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-42
ตารางที่ 4-23 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-46
ตารางที่ 4-24 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-46
ตารางที่ 4-25 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-50
ตารางที่ 4-26 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-50
ตารางที่ 4-27 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-54
ตารางที่ 4-28 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟตเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	4-54
ตารางที่ 4-29 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-57
ตารางที่ 4-30 ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-58
ตารางที่ 4-31 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-60
ตารางที่ 4-32 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-60
ตารางที่ 4-33 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-60
ตารางที่ 4-34 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-63
ตารางที่ 4-35 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-63
ตารางที่ 4-36 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4-37 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-65
ตารางที่ 4-38 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-67
ตารางที่ 4-39 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรท ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-67
ตารางที่ 4-40 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-68
ตารางที่ 4-41 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-68
ตารางที่ 4-42 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-70
ตารางที่ 4-43 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟต ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-70
ตารางที่ 4-44 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-72
ตารางที่ 4-45 ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-73
ตารางที่ 4-46 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-74
ตารางที่ 4-47 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-75
ตารางที่ 4-48 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-75
ตารางที่ 4-49 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-77
ตารางที่ 4-50 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-77
ตารางที่ 4-51 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-79
ตารางที่ 4-52 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-79
ตารางที่ 4-53 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-81
ตารางที่ 4-54 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรท ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-81
ตารางที่ 4-55 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-82
ตารางที่ 4-56 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-82
ตารางที่ 4-57 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-84
ตารางที่ 4-58 เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟต ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-84
ตารางที่ 4-59 ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-86
ตารางที่ 4-60 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดง ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-86
ตารางที่ 4-61 ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-87
ตารางที่ 4-62 เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่ว ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	4-87
ตารางที่ 4-63 ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-88
ตารางที่ 4-64 เปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-88
ตารางที่ 4-65 ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-89
ตารางที่ 4-66 เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่ว ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	4-89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 7-9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry wt) ของใบพืชในระบบป่าปลูกใหม่	7-15
ตารางที่ 7-10 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/g dry wt) ของใบพืชในระบบป่าธรรมชาติและแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ	7-15
ตารางที่ 7-11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry wt) ของใบพืชในระบบป่าปลูกใหม่	7-16
ตารางที่ 7-12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/g dry wt) ของใบพืชในระบบป่าธรรมชาติและแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ	7-16
ตารางที่ 8-1 ชนิดสัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละช่วงเวลาของการสำรวจ ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-5
ตารางที่ 8-2 ชนิดสัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละบริเวณเก็บตัวอย่าง ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-6
ตารางที่ 8-3 ปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย (ตัว/ม ²) ในระบบบำบัดน้ำเสียและแปลงควบคุม ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-7
ตารางที่ 8-4 ปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย (ตัว/ม ²) ในแต่ละเดือนที่เก็บข้อมูล ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-8
ตารางที่ 8-5 ปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย (ตัว/ม ²) จำแนกตาม Phylum ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-9
ตารางที่ 8-6 ปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย (ตัว/ม ²) จำแนกตามชนิด บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียและแปลงควบคุม ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-12
ตารางที่ 8-7 ปริมาณสัตว์หน้าดินเฉลี่ย (ตัว/ม ²) และค่าร้อยละจำแนกตามชนิด บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียและแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ ระหว่างเดือนธันวาคม 2545 - มิถุนายน 2548	8-13
ตารางที่ 8-8 ค่าร้อยละของปริมาณสัตว์หน้าดินจำแนกตามชนิดในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง	8-15
ตารางที่ 9-1 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1	9-4
ตารางที่ 9-2 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1	9-4
ตารางที่ 9-3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2	9-7
ตารางที่ 9-4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดี ในโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2	9-7

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำเสียจากชุมชนโดยทั่วไปเกิดจากกิจกรรมการซักล้างและการชำระล้างร่างกาย ดังนั้น สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนจะมีทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และธาตุอาหารพืช น้ำเสียเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการขยายตัวของจำนวนประชากร ซึ่งหากปล่อยทิ้งโดยไม่ผ่านการบำบัดอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งรองรับน้ำเสียนั้น และหากนำมาบำบัดโดยใช้ระบบบำบัดที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป เช่น trickling filter หรือ activated sludge นอกจากจะสิ้นเปลืองพลังงานแล้ว ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบและบำรุงรักษาสูง ดังนั้นในช่วง 20-30 ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งเป็นวิธีการบำบัดโดยใช้ธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสูง ประเทศไทยมีป่าชายเลน ซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำน้ำเค็ม-น้ำกร่อยตามธรรมชาติ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่อยู่บริเวณชายฝั่ง ทั้งนี้เพราะพืชป่าชายเลนมีการปรับตัวให้ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ผันแปรและรุนแรง มีระบบรากที่ไหลพันผิวดิน (ซึ่งช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ดี) มีอายุยืน (perennial plant) มีผลผลิตมวลชีวภาพสูง จึงน่าจะทำให้ป่าชายเลนสามารถลดมลพิษได้ดี นอกจากนี้ป่าชายเลนยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อาทิ การอนุรักษ์ชายฝั่ง และเนื้อไม้ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ และไม้เสาเข็ม เป็นต้น ดังนั้นหากมีการฟื้นฟูหรือการปลูกป่าชายเลนและจัดทำเป็นระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมก็จะทำให้ได้ประโยชน์ทั้งเชิงอนุรักษ์และการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามงานศึกษาวิจัยในการนำป่าชายเลนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีอยู่จำกัดมาก ดังนั้น โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จึงได้จัดทำโครงการนำร่อง (pilot project) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมโดยใช้พืชป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยมีเป้าหมายว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอื่น หรือเพื่อการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าผลการศึกษาเบื้องต้นในพื้นที่โครงการจะชี้ชัดว่าพืชป่าชายเลนมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดซึ่งถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายด้านมีค่าผันแปรมากและบางครั้งก็ต่ำจนไม่เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ภายในระบบที่ต่ำมาก (Boonsong et al., 2003)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้วางเป้าหมายที่จะพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยการศึกษาทั้งระยะเวลากักเก็บ (detention time) รูปแบบการปล่อยน้ำเสีย ผลของความเค็ม สมรรถนะในการรองรับภาระบรรทุก (loading) จากน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพดินอันจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดในระยะยาว เนื่องจากผลการศึกษาเบื้องต้นจากการศึกษาในโครงการ พบว่า มีแนวโน้มการสะสมธาตุอาหารฟอสฟอรัสในดินเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ธาตุอาหารไนโตรเจนยังไม่พบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง (Boonsong et al., 2002) และได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณหน้าดินเพื่อใช้เป็นดัชนีสำหรับบ่งชี้ผลกระทบร่วมด้วยอีกทางหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนทางป้องกันและลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการนำป่าชายเลนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บเก็บ รูปแบบการปล่อยน้ำเสีย ความเข้มข้น และความเค็มของน้ำเสียต่างกัน
2. เปรียบเทียบสถานะภาพของธาตุอาหารในพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและในดิน ในพื้นที่ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และที่ไม่ได้ใช้บำบัดน้ำเสีย
3. เปรียบเทียบชนิดและการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดิน ในพื้นที่ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และที่ไม่ได้ใช้บำบัดน้ำเสีย

1.3 พื้นที่ดำเนินการและขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ดำเนินการวิจัยอยู่ภายในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี
2. น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียจากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีและเขตใกล้เคียง ซึ่งได้รวบรวมและส่งตามแนวท่อไปยังสถานีสูบน้ำเสียที่คลองยาง ซึ่งมีบ่อตกตะกอนชั้นต้น (sedimentation pond) เพื่อแยกสิ่งสกปรกที่ลอยน้ำและตกตะกอนสารแขวนลอยขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย จากนั้นสูบเข้าสู่แนวท่อไปยังบริเวณบำบัดน้ำเสียในโครงการฯ ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีสูบน้ำประมาณ 18.5 กิโลเมตร

3. การวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 โครงการ ดังนี้

โครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

โครงการย่อยที่ 1-1 ผลของระยะเวลากักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

โครงการย่อยที่ 1-2 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

โครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

4. การวิจัยโครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ได้ทำการจำลอง model จาก pilot-scale ของโครงการฯ มาเป็นชุดทดลองซึ่งสร้างด้วยซีเมนต์ขนาดกว้าง x ยาว 1 x 2 ม² จำนวน 50 ชุด เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงกลไกต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำโดยละเอียด เนื่องจากการทดลองในระดับ pilot-scale มีปัจจัยหลายด้านที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าผลที่เกิดขึ้นมาจากอิทธิพลของปัจจัยใด ซึ่งคาดว่าผลการวิจัยที่ได้รับจะสามารถนำไปทดลองซ้ำใน pilot-scale ของโครงการฯ หรือสามารถปรับและประยุกต์ใช้โดยตรงได้อย่างเหมาะสม

5. การวิจัยโครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย ได้ทำการศึกษาในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน pilot-scale ของโครงการฯ 2 ระบบ แต่ละระบบมีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 100 x 150 ม² ได้แก่ ระบบป่าชายเลนธรรมชาติ และระบบป่า

ชายเลนปลูกใหม่ และได้กำหนดแปลงควบคุมป่าธรรมชาติในบริเวณที่ไม่ได้ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยให้น้ำทะเลสามารถท่วมถึงตามธรรมชาติ ซึ่งบางส่วนจะเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องจากโครงการ “การใช้ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียชุมชน: สถานะภาพของธาตุอาหารในระบบ” เสนอต่อ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ชุดโครงการทุนวิจัยหลังปริญญาเอก ปี 2543

1.4.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการศึกษาวิจัยในโครงการนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการวางแผนทางเพื่อพัฒนาระบบการใช้ป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยทำให้ทราบถึงรูปแบบการปล่อยน้ำเสีย ระยะเวลาเก็บที่เหมาะสม ความเค็มที่เหมาะสม ศักยภาพของระบบในการรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพันธุ์ไม้ต่างชนิด คือ โกงกาง แสม ถั่ว และ โปรง จะทำให้สามารถเลือกพันธุ์ไม้ได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น ผลการวิจัยโดยรวมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น หรือกับการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่น เช่น น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งบริเวณชายฝั่ง นอกจากนี้ยังอาจเป็นแนวทางการส่งเสริมการปลูกป่าชายเลนเพิ่มในบริเวณป่าธรรมชาติที่เสื่อมโทรม โดยอาจปลูกป่าเป็นแนว buffer เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียโดยตรง หรืออาจจัดทำระบบเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมที่เหมาะสมเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้มีการใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนแบบผสมผสาน (multiple use)

สำหรับข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาดูตามการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินและพันธุ์ไม้ รวมทั้งชนิดและการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินจะเป็นข้อบ่งชี้ถึงผลกระทบซึ่งจะต้องวางแผนทางป้องกันแก้ไข และลดผลกระทบอันอาจเกิดขึ้นในระยะยาว

บทที่ 2
การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (municipal wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกในครัวเรือนและอาคารประเภทต่างๆ รวมถึงน้ำเสียจากกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ซึ่งได้แก่ น้ำเสียจากโรงแรม โรงพยาบาล ร้านอาหาร เป็นต้น (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2546)

ลักษณะของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่อนข้างเป็นกลาง สิ่งสกปรกในน้ำมีทั้งสารอินทรีย์ ธาตุอาหาร และสารอนินทรีย์ ทั้งที่เป็นของแข็งแขวนลอยและสารละลาย (ตารางที่ 2-1) โดยสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) ในแหล่งน้ำลดลง เกิดสภาพเน่าเหม็น; ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์; และสารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ เช่น คลอไรด์ และซัลเฟต นอกจากนี้ยังพบโลหะหนักและสารพิษ เช่นปรอท โครเมียม และทองแดง ซึ่งมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ตู้ซ่อมรถ และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังอาจมีจุลินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย (ควบคุมมลพิษ, กรม, 2546)

ตารางที่ 2-1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน โดยทั่วไป

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1. ของแข็งทั้งหมด (total solids)	mg/l	350	720	1200
2. ปริมาณตะกอนหนัก (settleable solids)	mg/l	5	10	20
3. บีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD)	mg/l	110	220	400
4. ซีโอดี (chemical oxygen demand; COD)	mg/l	250	500	1000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (total as N)	mg/l	20	40	85
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total as P)	mg/l	4	8	15
อินทรีย์ฟอสฟอรัส (organic P)	mg/l	1	3	5
อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (inorganic P)	mg/l	3	5	10
7. คลอไรด์ (chloride)	mg/l	30	50	100
8. ซัลเฟต (sulfate)	mg/l	20	30	50
9. สภาพด่าง (alkalinity as CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
10. ไขมัน (grease)	mg/l	50	100	150
11. โคลิฟอร์มทั้งหมด (total coliform)	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

ที่มา: Metcalf and Eddy (1991) อ้างถึงใน ควบคุมมลพิษ, กรม (2546)

เนื่องจากน้ำเสียจากชุมชนนั้นวันจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มขยายตัวของประชากร หากน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัด ปริมาณอันมากมายของน้ำเสียชุมชนอาจก่อให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามหากใช้การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดทางกายภาพ เคมี หรือชีววิทยา อาทิ ระบบ activated sludge, trickling filter หรือ rotating biological disc จะสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบและการบำรุงรักษาสูง ดังนั้นการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ประหยัดพลังงาน และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า

2.2 พื้นที่ชุ่มน้ำ

2.2.1 ความหมายและความสำคัญ

พื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) หมายถึง บริเวณพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วมขัง หรืออ้อมตัวด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ที่มีจำนวนครั้งของการท่วมขัง และช่วงเวลาในการท่วมขังนานเพียงพอที่จะทำให้การแพร่กระจายของพืชพรรณปรับตัวให้สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ในสภาวะที่ดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (Cowardin et al., 1979 อ้างถึงใน Mitsch and Gosselink, 2000) พื้นที่ชุ่มน้ำมักตั้งอยู่ระหว่างแผ่นดินและแหล่งน้ำ โดยมีหน้าที่สำคัญ คือ (1) เป็นแหล่งกักเก็บน้ำและส่งผ่านน้ำจากบนบกลงสู่แหล่งน้ำ (2) พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนช่วยลดการกร่อนของพื้นที่ชายฝั่งทะเลจากกระแสนลมและคลื่น (3) เป็นที่อยู่อาศัยและดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ (4) เป็นแหล่งท่องเที่ยวและนันทนาการ และ (5) ช่วยบำบัดสารพิษต่างๆ เพราะพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นที่กักเก็บและเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร รวมทั้งบำบัดสารปนเปื้อนต่างๆ (Novotny and Olem, 1994)

2.2.2 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (constructed wetland system) เป็นระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียโดยการเลียนแบบกลไกการบำบัดของเสียตามธรรมชาติ คือ อาศัย ดิน น้ำ พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย (Moshiri, 1993)

ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเริ่มใช้ในการใช้บำบัดน้ำเสียอย่างแพร่หลายตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1970 (IWA, 2000 อ้างถึงใน Lin et al., 2005) โดยใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากเหมืองแร่ เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และชุมชน (US EPA., 2000 อ้างถึงใน Lin et al., 2005) เนื่องจากการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน การดูแลระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีสูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ นอกจากนี้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำยังมีความยืดหยุ่นสูง สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการบรรทุก (loading rate) ต่างๆ ได้ดี (Clough et al., 1983; IWA, 2000 อ้างถึงใน Lin et al., 2005)

การใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ (1) ค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ (2) สามารถควบคุมดูแลง่าย และ (3) สามารถให้ประโยชน์ทางอ้อม เช่น เป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว เป็นแหล่งพักผ่อน เป็นแหล่งรวมความหลากหลายทางชีวภาพ และเป็นแหล่งรายได้ให้เกษตรกรหากสามารถเก็บเกี่ยวพืชไปขาย (Hammer and Bastian, 1989)

อย่างไรก็ตามการใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมในการบำบัดน้ำเสียมีข้อจำกัด คือ น้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบต้องผ่านการบำบัดในขั้นต้นมาแล้ว (Kedlec and Knight, 1996)

2.3 ป่าชายเลน

2.3.1 ความหมายและบทบาทของป่าชายเลนในการรักษาสมดุลของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล

ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติที่พบเฉพาะในเขตโซนร้อนเท่านั้น โดยจะพบในบริเวณดินเลนชายทะเล ปากแม่น้ำที่มีน้ำทะเลท่วมถึง หรือน้ำกร่อย ป่าชายเลนเป็นป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) พันธุ์ไม้ชายเลนเป็นพืชที่มีอายุยืน (perennial plant) และเป็นพืชทนเค็ม (facultative halophyte) ทนแล้ง เพราะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำเค็มได้ มีรากที่งอกขึ้นมาเหนือพื้นดิน ซึ่งทำให้ป่าชายเลนสามารถดักจับตะกอนได้ดี

ป่าชายเลนเป็นเขตเปลี่ยนระบบนิเวศ (ecotone) และแนวกันชน (buffer) ระหว่างระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางทะเล ดังนั้น จึงสามารถช่วยป้องกันการพังทลายของดิน โดยการต้านทานแรงคลื่นและลมที่กระทำต่อขอบฝั่ง และยังเป็นที่ล่องอนูบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน รวมทั้งแหล่งที่อยู่อาศัย สืบพันธุ์ วางไข่ และหลบภัยของสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิด นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ อย่างไรก็ตามบทบาทของป่าชายเลนที่สำคัญกว่านั้นคือการรักษาและปรับปรุงคุณภาพน้ำชายฝั่ง โดยทำหน้าที่เสมือนแหล่งรองรับของเสีย (waste sink) หรือ เครื่องกรอง (filter) หรือเครื่องเปลี่ยนรูป (transformer) (Bunt, 1984) เพราะพันธุ์ไม้ป่าชายเลนสามารถนำธาตุอาหารบางส่วนจากน้ำในดินมาใช้ นอกจากนี้จุลินทรีย์ในตะกอนดินสามารถช่วยเปลี่ยนรูปและ/หรือลดความเป็นพิษของมลพิษบางชนิดลงได้ ส่วนมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย (Snedaker and Getter, 1985; Zamora, 1992) ดังนั้น หากปล่อยน้ำเสียลงไปในป่าชายเลน กิจกรรมบำบัดน้ำเสียโดยธรรมชาติดังกล่าวจะเกิดขึ้น แต่ประสิทธิภาพของกลไกดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อ input มีปริมาณสูง นอกจากนี้หากสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบป่าชายเลนมีปริมาณสูงอาจทำให้สมดุลของ aerobic-anaerobic system ของจุลินทรีย์ในตะกอนดินเสียสมดุลและเปลี่ยนไปเป็น anaerobic system ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าในกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient recycling) (Robertson and Phillips, 1995) อย่างไรก็ตามพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนได้มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่มีความรุนแรง เช่น อุณหภูมิสูง ความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงระหว่าง aerobic/anaerobic ของดิน และมลพิษ ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวทำให้พันธุ์ไม้ชายเลนมีประสิทธิภาพในการดูดดึงธาตุอาหารจากน้ำเสียได้สูงกว่าพืชจำพวกกกและหญ้าที่ใช้อยู่ทั่วไปในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (Chen and Wong, 1995) นอกจากนี้ น้ำเสียจากชุมชนซึ่งมีธาตุอาหารปะปนอยู่มาก อาจมีประโยชน์ โดยทำให้ผลผลิตของระบบนิเวศป่าชายเลนมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่สถานะภาพธาตุอาหารในดินมีค่าต่ำ (Clough et al., 1983)

2.3.2 พันธุ์ไม้ป่าชายเลน

Santisuk (1983) อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว (2542) รายงานว่าประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนทั้งหมด 35 วงศ์ 53 สกุล 74 ชนิด พันธุ์ไม้เด่นและเป็นชนิดที่สำคัญคือ พันธุ์ไม้ในวงศ์ Rhizophoraceae ซึ่งได้แก่ ไม้โกงกาง (*Rhizophora*) ไม้โปรง (*Ceriops*) และไม้ถั่ว (*Bruguiera*) นอกจากนี้ยังมีไม้ในวงศ์ Avicenniaceae ได้แก่ ไม้แสม (*Avicennia*) ไม้ในวงศ์ Sonneratiaceae ได้แก่ ไม้ลำพู ลำแพน (*Sonneratia*) และไม้ในวงศ์ Meliaceae ได้แก่ ไม้ตะบูน ตะบัน (*Xylocarpus*)

พันธุ์ไม้ชายเลนที่สำคัญ ได้แก่ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) โกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) ถั่วขาว (*B. cylindrica*) ถั่วดำ (*B. parviflora*) พังกาหัวสุมดอกแดง (*B. sexangula*) โปรงขาว (*Ceriops decandra*) และโปรงแดง (*C. tagal*) พันธุ์ไม้เหล่านี้จะขึ้นอยู่เป็นแนวเขต (zonation) ที่ค่อนข้างแน่นอนตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Aksornkoae, 1986) ได้แก่ (1) ความถี่และช่วงเวลาของการถูกน้ำท่วม รวมทั้งระดับน้ำที่

ท่วมบริเวณป่าชายเลน (2) ความเค็มหรือปริมาณเกลือในดินและน้ำ (3) การระบายน้ำหรือการขังของน้ำบริเวณผิวดิน และ (4) ลักษณะและองค์ประกอบของดิน (Chapman, 1975 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542)

Watson (1928) อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว (2542) ได้แบ่งแนวเขตพันธุ์ไม้ป่าชายเลนโดยใช้ความถี่ของน้ำทะเลท่วมถึงเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 5 เขต คือ เขตที่ 1 บริเวณนอกสุดติดชายฝั่งซึ่งน้ำท่วมถึงทุกครั้ง จะมีเฉพาะโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) เท่านั้นที่สามารถขึ้นอยู่ได้ ถัดเข้ามาเป็นเขตที่ 2 พื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมถึงขณะที่น้ำขึ้นสูงปานกลาง พันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ได้แก่ โกงกางใบใหญ่ แสมขาว (*Avicennia alba*) และแสมทะเล (*A. marina*) เขตที่ 3 พื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมถึงขณะที่น้ำขึ้นสูงตามปกติ บริเวณนี้พันธุ์ไม้ชายเลนเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะ โกงกางจะขึ้นหนาแน่น นอกจากนี้ยังมีถั่วดำ (*Bruguiera cylindrica*) และโปรงแดง (*Ceriops tagal*) เขตที่ 4 พื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมถึงเมื่อน้ำขึ้นสูงสุดเท่านั้น พื้นที่จึงแห้งเกินไปสำหรับไม้โกงกาง แต่จะเหมาะกับไม้พังกาหรือไม้ถั่ว (*Bruguiera*) และไม้ตะบูน (*Xylocarpus*) เขตที่ 5 พื้นที่บริเวณนี้อยู่ด้านในสุดของป่าชายเลน น้ำท่วมถึงเมื่อน้ำขึ้นสูงสุดเป็นพิเศษเท่านั้น พันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ได้แก่ จาก (*Nypa fruticans*) และหงอนไก่ทะเล (*Heritiera littoralis*)

โกงกางใบใหญ่ (*R h i z o p h o r a m u c r o n a t a*)

โกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นเลนที่ค่อนข้างลึก บริเวณนอกสุดจากชายฝั่ง (Steenis, 1958 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูง 30-40 เมตร มีรากค้ำจุน (prop root) จำนวนมากแตกออกจากส่วนลำต้นเหนือโคนต้นประมาณ 2-7 เมตร โดยรากจะแตกจากโคนต้นและโค้งจรดดินช่วยให้สามารถต้านลมพายุและคลื่นได้ ทั้งนี้เพราะโกงกางใบใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ที่มักพบบริเวณนอกสุด หรือริมฝั่งทะเล และแม่น้ำที่เป็นดินเลน (รัชชชัย สันติสุข, 2538) แต่จะเจริญเติบโตได้ดีและขึ้นหนาแน่นในบริเวณที่ถูกน้ำท่วมขังขณะที่น้ำขึ้นสูงตามปกติ (Hensse, 1961 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) โกงกางใบใหญ่เป็นพืชที่ต้องการความเค็มสูง (stenohaline) จึงสามารถขึ้นอยู่ในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำในดินสูง และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้ โกงกางใบใหญ่มีเมล็ดแบบ viviparous คือ ขณะที่ผลยังติดอยู่บนต้น ส่วน radicle ของเมล็ดจะงอกออกมาทางปลายผล ตามด้วยส่วนของ hypocotyl ซึ่งเจริญยาวออกมาเรื่อยๆ มีลักษณะปลายแหลมยาว เรียกว่า seedling (ชาวบ้านเรียกว่าฝัก) เมื่อ seedling แก่เต็มที่จะหล่นปักเลนหรือลอยไปตามกระแสน้ำ แล้วเจริญเป็นต้นใหม่ต่อไป

แสมทะเล (*Avicennia marina*)

แสมทะเลพบอยู่ทั่วไปในป่าชายเลนบริเวณติดกับชายฝั่งทะเลหรือบริเวณปากแม่น้ำ สามารถขึ้นได้อย่างหนาแน่นในพื้นที่ดินเลนปนทราย (Gledhill, 1963 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) เป็นไม้ขนาดเล็ก สูงประมาณ 5-8 เมตร มีลักษณะเป็นพุ่ม ส่วนใหญ่จะพบว่ามี 2 ลำต้นหรือมากกว่า แสมทะเลเป็นพืชที่มีรากหายใจ (pneumatophore) ซึ่งเป็นรากที่เจริญมาจาก cable root หรือ horizontal root ซึ่งฝังอยู่ในดินเลน รากหายใจจะตั้งชูขึ้นมาเหนือผิวดินในแนวตั้งฉากรอบๆ ลำต้น โดยแตกห่างออกไปจากโคนของลำต้นในระยะไกล รากหายใจมักมีความสูงประมาณ 10-20 เซนติเมตรหรือไม่เกิน 30 เซนติเมตร ทำให้แสมทะเลทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ดี (เทียมใจ คมกฤต, 2536) และรากหายใจจำนวนมากยังช่วยในการตกตะกอน แสมทะเลเป็นพืชที่มีการปรับตัวให้ทนต่อความเค็มได้ดี โดยสามารถเจริญเติบโตได้ในบริเวณที่มีน้ำในดินเป็นน้ำจืดจนถึงมีความเค็มสูงถึง 30 psu และเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่บริเวณนี้น้ำท่วมขณะที่มีน้ำขึ้นสูงปานกลาง (Chapman and Ronalson, 1958 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) แสมทะเลขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด แต่มักนิยมเพาะชำกล้าไม้ไว้ก่อนที่จะนำไปปลูกในพื้นที่ (สนิท อักษรแก้ว และคณะ, 2539)

แสมทะเลเป็นพืชที่มีความทนทาน มีอัตราการรอดตายและอัตราการเจริญเติบโตสูง Macnae (1968) อ้างถึงใน พิชิต แก้ววงศ์ศรี และนพรัตน์ บำรุงรักษ์ (2540) กล่าวว่า แสมทะเลเป็นพืชที่กระจายตัวได้ดีที่สุดในพื้นที่ต่างๆ ถึงแม้ว่าธาตุอาหารไม่สมบูรณ์หรือสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม จึงจัดเป็นพันธุ์ไม้ชายเลนที่สามารถปรับตัวได้ดีที่สุด สอดคล้องกับที่ กนกพร บุญส่ง (2528) ซึ่งทำการศึกษาการทดแทนสังคมพืชขั้นปฐมภูมิของป่าชายเลนบริเวณอำเภอเมือง จังหวัด นครศรีธรรมราช พบว่า พันธุ์ไม้เด่นที่มีการกระจายตั้งแต่ชายฝั่งจนถึงเข้าไปในป่าชายเลน คือ แสมทะเล และได้เสนอแนะว่า เนื่องจากแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่วิกฤตได้ และมีรากหายใจจำนวนมากซึ่งสามารถช่วย กรองสิ่งสกปรกและช่วยลดสภาวะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งได้ ดังนั้น จึงควรใช้ปลูกในพื้นที่ที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ หรือเกิดมลภาวะ

พังกาหัวส้มดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*)

พังกาหัวส้มดอกแดงพบอยู่ทั่วไปในป่าชายเลนของประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่ดินเลนค่อนข้างแข็ง ในบริเวณที่น้ำท่วมถึงเมื่อน้ำขึ้นสูงสุดเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่หลังกลุ่มไม้โกงกาง พังกาหัวส้มดอกแดงเป็นไม้ยืนต้น ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 25-35 เมตร มีรากค้ำจุน (prop root) แต่น้อยกว่าโกงกาง และแตกออกจากลำต้นในระดับที่ต่ำกว่าโกงกาง ตามโคนยังมีรากที่เป็นพูกอน (buttress root) เตี้ยๆ โดยรอบ และมีรากที่โผล่ขึ้นมาจากผิวดินเป็นรากหายใจ ลักษณะคล้ายเข่า (knee root) พังกาหัวส้มดอกแดงเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตในช่วงความเค็มของน้ำในดินประมาณ 10-25 psu (สนธิ อักษรแก้ว และคณะ, 2539)

โปรงแดง (*Ceriops tagal*)

โปรงแดงมักพบขึ้นอยู่ในบริเวณป่าชายเลนด้านในที่มือน้ำทะเลท่วมถึงน้อยครั้ง โดยน้ำทะเลท่วมถึงขณะน้ำขึ้นสูง ตามปกติหรือขณะน้ำขึ้นสูงสุดเท่านั้น ทำให้บริเวณดังกล่าวดินค่อนข้างแข็ง โปรงแดงอาจขึ้นอยู่ปะปนกับถั่วดำ ฝาด หรือเป็น ป่าโปรงแดงล้วน โปรงแดงเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สูงประมาณ 15-25 เมตร โคนต้นมีพูกอนเล็กน้อย และมีรากที่โผล่ขึ้นมาจากผิวดินเป็นรากหายใจลักษณะคล้ายเข่าเช่นเดียวกับพังกาหัวส้มดอกแดง โปรงแดงสามารถเจริญเติบโตในบริเวณที่มีความเค็มของน้ำในดินสูงกว่า 30 psu (สนธิ อักษรแก้ว และคณะ, 2539)

2.3.3 ดินในป่าชายเลน

ดินในป่าชายเลนเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ไหลมาจากน้ำจากแหล่งต่างๆ และการตกตะกอนของ สารแขวนลอยในมวลน้ำ ตลอดจนการสลายตัวของอินทรีย์สารตามช่วงระยะเวลาที่ทับถมต่างๆ กัน (สนธิ อักษรแก้ว, 2542) ดินเลนมักมีสภาพเป็นกรด (Mitsch and Gosselink, 2000) มีความเค็มสูง และมีพิสัย (range) กว้าง (Davis, 1940 อ้างถึงใน Mitsch and Gosselink, 2000) ความเค็มของดินจะผันแปรตามฤดูกาลและอิทธิพลของน้ำทะเล โดยในบริเวณใกล้ชายฝั่งจะมีความเค็มสูงกว่าบริเวณที่ไกลออกมา (Mitsch and Gosselink, 2000)

ดินป่าชายเลนมักเกิดสภาพขาดออกซิเจนในช่วงที่มีน้ำท่วมขัง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินจะเป็นรีดักชัน (reduction) หรือออกซิเดชัน (oxidation) นั้นขึ้นอยู่กับความขังของน้ำหรือการสัมผัสอากาศของหน้าดิน ในช่วงที่หน้าดินสัมผัสกับ อากาศจะเป็นการเติมออกซิเจนให้กับดิน และดินยังสามารถรับออกซิเจนจากพืช โดยพืชจะส่งออกซิเจนมาทางช่องอากาศ

ในลำต้นสู่รากโดยการแพร่ ทำให้ดินบริเวณโดยรอบรากพืชมีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการออกซิเดชัน (Mitsch and Gosselink, 2000)

ดินในพื้นที่บริเวณตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ส่วนใหญ่เป็นดินชุดท่าจีน (Tha Chin series: Tc) จัดอยู่ใน hydromorphic alluvial soils ซึ่งเกิดจากตะกอนที่น้ำทะเลพัดพามาทับถม เป็นดินที่ระบายน้ำไม่ดี ดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ช้า เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนทรายแป้ง แต่บางบริเวณมีลักษณะเป็นดินเลน ในบริเวณที่ราบน้ำทะเลท่วมถึงและบริเวณปากแม่น้ำ ดินชั้นบนมีสีดำปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลเล็กน้อย ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินเลนมีสีเทาแก่หรือสีเทาปนเขียว ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่างปานกลาง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.3-8.0 มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และจัดเป็นดินเค็มจัด

ดินในป่าชายเลนของพื้นที่อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ภายใต้งดบังร่มไม้เสมขาว เสมดำ เสมทะเล โกงกางใบใหญ่ โกงกางใบเล็ก และพังกาหัวสุมดอกแดง มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายแป้ง มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 2.8-6.6 % และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 1.30-2.05 และ 0.101-0.153 mg/g dry weight ตามลำดับ (เฉลิมชัย โชติกามาศ, 2539) สำหรับดินในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในระบบป่าชายเลนธรรมชาติ และระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 6.67-6.81 % และ 2.34-2.53 % ตามลำดับ และมีไนโตรเจนทั้งหมด 3.31-3.34 และ 0.61-2.61 mg/g dry weight ตามลำดับ (Boonsong et al., 2003)

ในช่วงที่ดินอยู่ในสภาพน้ำท่วมขังปริมาณออกซิเจนภายในดินจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการซึมผ่านของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ดินเป็นไปได้ยาก ทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ดินเปลี่ยนแปลงไปคือ จำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้ ออกซิเจนลดลง ส่วนจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเปลี่ยนแปลงไปด้วย และเมื่อดินอยู่ในภาวะไร้ออกซิเจน (anoxic) เป็นเวลานาน จะทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สะสมในดินเพิ่มขึ้น (Mitsch and Gosselink, 2000) ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตและการกระจายของกล้าไม้ชายเลนคือ หากดินมีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงจะทำให้กล้าไม้ตายในที่สุด (Youssef and Seanger, 1998 อ้างถึงใน Kathiresan and Bingham, 2001) แต่ Kryger and Lee (1996) อ้างถึงใน Kathiresan and Bingham (2001) รายงานว่า รากของพันธุ์ไม้สกุลเสมสามารถสะสมไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงถึง 30-40 เท่าของปริมาณที่สะสมอยู่ในตะกอนดิน โดยรอบ แต่หากรากหายใจถูกปกคลุมด้วยตะกอนดินอาจทำให้พืชตายได้เพราะพืชไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนไปสู่ rhizosphere ได้ ส่วนพันธุ์ไม้สกุลโกงกางทนต่อความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้สูงกว่าสกุลเสม

2.3.4 น้ำในป่าชายเลน

ช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลงและอิทธิพลจากน้ำจืด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในป่าชายเลน (สนธิ อักษรแก้ว, 2542) กล่าวคือ ขณะที่น้ำทะเลขึ้นหรือน้ำทะเลหนุน ความเค็มของน้ำบริเวณที่ห่างจากชายฝั่งจะสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามเมื่อน้ำทะเลลดความเค็มก็จะลดลงด้วย นอกจากนี้ช่วงน้ำเกิดและน้ำตายก็จะมีผลต่อความเค็มในพื้นที่ป่าชายเลนด้วย กล่าวคือ ช่วงน้ำเกิดน้ำทะเลจะไหลเข้าสู่พื้นที่ป่าได้เป็นระยะทางไกลกว่าช่วงน้ำตาย นอกจากนี้คลื่นและกระแสน้ำยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและกิจกรรมในป่าชายเลน เช่น การแพร่กระจายพันธุ์ไม้ กระแสน้ำยังมีบทบาทสำคัญในการทำให้มีการตกตะกอนบริเวณชายฝั่ง ทำให้ป่าชายเลนงอกขยายออกไปในทะเล และทำให้มีการพัดพาธาตุอาหารจากป่าชายเลนออกสู่ชายฝั่งทะเล (สนธิ อักษรแก้ว, 2542)

ความเค็มของน้ำ (water salinity) และความเค็มของน้ำในดิน (soil water salinity) เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ชายเลนคือ การเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้จะขึ้นกับความเค็ม ความเค็มที่สูงขึ้นจะทำให้การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่างๆ บริเวณรากขนอ่อน (root hair) เป็นไปได้ยากขึ้นทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Clough, 1992) โดยทั่วไป ความเค็มของน้ำและน้ำในดินที่พันธุ์ไม้ชายเลนสามารถเจริญเติบโตได้อยู่ในช่วง 10-30 psu (De Haan, 1933 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) แต่ช่วงที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระหว่าง 28-34 psu (Aksornkoae et al., 1989 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกระจายของพันธุ์ไม้ชายเลน โดยมีอิทธิพลต่อการลดการแก่งแย่งของพันธุ์ไม้ต่างชนิดกัน (Macnae, 1968 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542) อย่างไรก็ตามเกลือไม่ใช่สิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ ความเค็มมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในใบ กล่าวคือ พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนที่ได้รับน้ำที่มีความเค็มสูงจะมีองค์ประกอบไนโตรเจนในใบต่ำกว่าในพันธุ์ไม้ที่ได้รับน้ำจืด ซึ่งอาจเป็นเพราะความเค็มเป็นปัจจัยที่ทำให้พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนไปใช้ได้จำกัด (Tam and Wong, 2001) นอกจากนี้ความเค็มยังมีผลต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการบำบัดสารมลพิษของป่าชายเลนด้วย

2.4 กลไกการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ

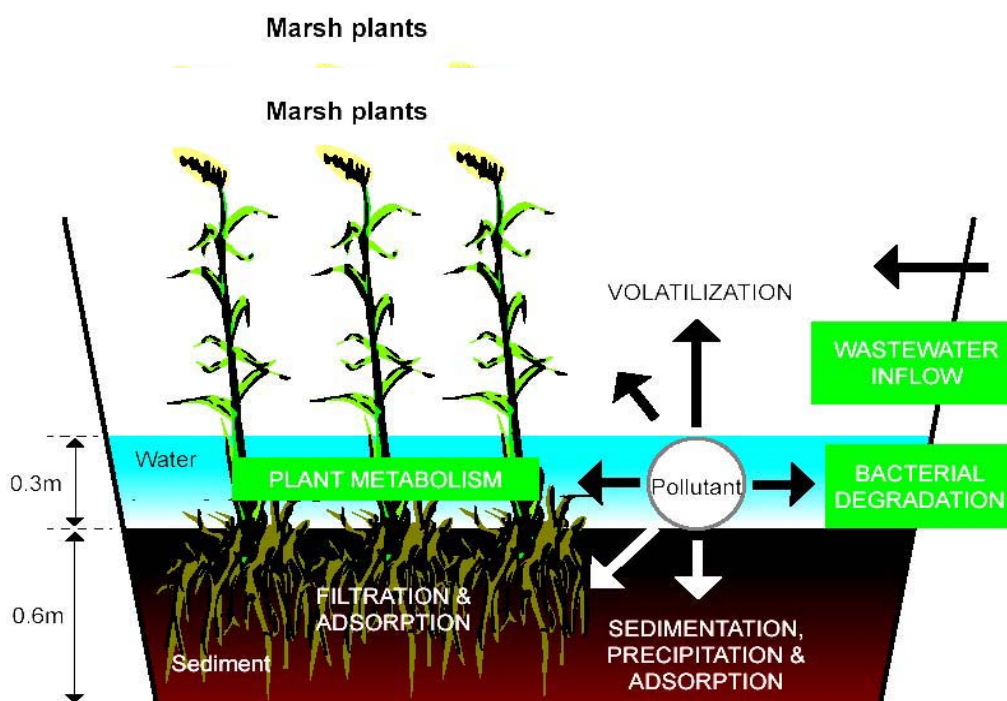
2.4.1 บทบาทของดิน พืช และจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะอาศัยการทำงานของ ดิน พืช และจุลินทรีย์ร่วมกัน โดยอาศัยกลไกทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชและผลผลิตขั้นปฐมภูมิ สมบัติของดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืช ดิน และน้ำ (Wong et al., 1995) โดยกลไกการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแสดงในรูปที่ 2-1

1) บทบาทของพืช

พืชที่คลุมอยู่บนพื้นที่ชุ่มน้ำจะทำหน้าที่เสมือน biofilm ที่อยู่ระหว่างบรรยากาศและดิน หรือผิวหน้าน้ำ โดยพืชจะลดความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนคีย์ขึ้น และช่วยให้สารแขวนลอยที่ตกตะกอนแล้วไม่ฟุ้งกระจายกลับขึ้นมา (resuspension) และลดอัตราการกร่อนของหน้าดิน รวมทั้งลดความเข้มของแสงที่ส่องลงสู่พื้นน้ำ ซึ่งช่วยป้องกันการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของสาหร่าย (Brix, 1997)

พืชสามารถบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับ (uptake) ธาตุอาหารจำนวนมากผ่านทางราก นอกจากนี้ลำต้นที่อยู่ในน้ำและสัมผัสกับน้ำก็ดูดซับธาตุอาหารได้เช่นเดียวกัน (Brix and Schierup, 1989 อ้างถึงใน สุวสา กานตวนิชกูร, 2544) โดยทั่วไปพืชจะใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนในรูปของไนเตรตและแอมโมเนีย และใช้ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟต (Yang et al., 2001; Gray et al., 2000) นอกจากรากพืชจะช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะให้จุลินทรีย์ รากพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำยังได้พัฒนาช่องว่างภายในสำหรับเคลื่อนย้าย (transfer) ออกซิเจนจากยอดลงสู่ราก เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ของออกซิเจนโดยรอบราก เรียกว่า rhizosphere จุลินทรีย์จึงสามารถเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร ไอออนโลหะ และสารประกอบอื่นๆ โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ในระบบรากใต้ดิน (Kadlec and Knight, 1996) ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญในการบำบัดบีโอดี และแอมโมเนียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Reddy and D'Angelo, 1997)



รูปที่ 2-1 กระบวนการบำบัดธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

ที่มา : Wetland International Report (2003)

2) บทบาทของดิน

ดินมีบทบาทเป็นที่ยาศัยของจุลินทรีย์ที่ต้องการยึดเกาะ เป็นตัวกลางให้พืชเจริญเติบโต และช่วยบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี

US. EPA (2000) กล่าวว่า ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำมีลักษณะทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการท่วมขังของน้ำ อัตราการย่อยสลายของดิน และการเกิดออกซิเดชันในดิน ทั้งนี้เพราะการเกิดออกซิเดชันต้องใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจเป็นผลให้ดินขาดออกซิเจนและกลายเป็นดินที่อยู่ในสภาวะไร้อากาศในที่สุด

กระบวนการสำคัญในการบำบัดน้ำเสียของดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การก่อตะกอนผลึก (precipitation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) (Kadlec and Knight, 1996) ดังนั้น สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารและสารมลพิษในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ เช่น การดูดซับฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งรวมถึงการเกิดพันธะทางเคมีของประจุลบของฟอสเฟตกับประจุบวกของอนุภาคดิน (Stumm and Moogan, 1970 อ้างถึงใน Klomjek and Nitisoravut, 2005) รวมทั้งการที่พื้นที่ชุ่มน้ำมีทั้งช่วงที่มีน้ำขังสลับกับช่วงที่ไม่มีน้ำขัง ทำให้เกิดเป็นช่วงที่มีออกซิเจน (aerobic) และช่วงที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic) ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ซึ่งเป็นการบำบัดไนโตรเจน ประสิทธิภาพในการบำบัดของดินขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน เช่น เนื้อดิน ความพรุน ปริมาณสารอินทรีย์ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล เป็นต้น (Tam and

Wong, 1994) รวมทั้งระยะเวลาที่น้ำสัมผัสกับดิน ประเภทของดินที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดธาตุอาหาร คือ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วนเหนียว (clay loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) และดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) (Cooper, 1990)

องค์ประกอบอื่นๆ ในดิน เช่น ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน แร่ธาตุต่างๆ จัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของดินเช่นกัน นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในดินก่อนนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียก็มีความสำคัญยิ่ง เพราะหากดินเดิมมีการสะสมธาตุอาหารสูงจนอิ่มตัวแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ ทั้งนี้เพราะดินไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำเสียได้อีก นอกจากนี้ธาตุอาหารที่สะสมในดินอาจจะละลายออกมาปนกับน้ำที่ผ่านการบำบัด (Kadlec, 1995)

3) บทบาทของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทั้งที่ยึดเกาะบนตัวกลางและจุลินทรีย์ที่ลอยอิสระจะช่วยบำบัดน้ำเสียโดยทำให้เกิดกระบวนการทั้งในสถานะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการดูดซึม (assimilation) การเปลี่ยนรูป (transformation) และการหมุนเวียน (circulation) ของธาตุอาหารและมลพิษในน้ำเสีย (Kadlec and Knight, 1996)

ในสถานะที่มีออกซิเจน จุลินทรีย์จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าสถานะที่ไม่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกาะอยู่กับผิวของดิน และส่วนลำต้นและรากของพืช จุลินทรีย์จะได้รับออกซิเจนที่ส่ง (transport) มาทางรากพืชและจากการแพร่ (diffuse) ลงสู่ผิวดิน ดังนั้นความลึกของดิน และความยาวของรากพืชจึงมีส่วนในการกำหนดลักษณะของการย่อยสลายที่จะเกิดขึ้น (สุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

2.4.2 การบำบัดสารอินทรีย์

และธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ

การบำบัดธาตุอาหารในพื้นที่ชุ่มน้ำเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ คือ (1) ธาตุอาหารจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในสถานะก๊าซและระเหยออกไปในบรรยากาศ (2) การระบายน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำ (3) การสะสมไว้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำโดยการสะสมในดิน การตกตะกอน และการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช (Bolton and Greenway, 1999) โดยกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารในพื้นที่ชุ่มน้ำ มีดังนี้

1) สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่เป็นสารละลายอยู่ในน้ำโดยทั่วไปจะวัดในรูปของบีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD) ซึ่งจะอยู่ในน้ำเสียในรูปของแป้ง น้ำตาล หรือ เซลลูโลส โมเลกุลเล็กๆ จากซากพืช โดยส่วนใหญ่การบำบัดสารอินทรีย์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะเกิดใน water column ใกล้กับบริเวณน้ำเข้าโดยส่วนที่เป็นของแข็งจะจมตัวลงในรูปของอนุภาค ส่วนที่ละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (Kadlec, 1995)

ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำขึ้นกับ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ ชนิดของพืช อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ธาตุอาหาร และสมบัติของดิน (Kadlec, 1995)

สำหรับสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็ง จะวัดในรูปของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid; TSS) โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำนับเป็นแหล่งกักเก็บตะกอนที่มีประสิทธิภาพ วัฏจักรของแข็งแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การตกตะกอนทับถม (deposition) และการฟุ้งกลับ (resuspension) (ซึ่งอาจเกิดจาก bioturbation และการปูดขึ้นของก๊าซออกซิเจนหรือมีเทน) กระบวนการสำคัญในการบำบัดสารแขวนลอยในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การจมตัวอย่างช้าๆ (settling)

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารแขวนลอยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เก็บน้ำ แต่พืชและสัตว์ขนาดเล็กในระบบอาจทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากมวลชีวภาพที่แขวนลอยอยู่ (Kadlec and Knight, 1996)

2) ไนโตรเจน

ไนโตรเจนในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปอนุภาค (particle) หรือรูปที่ละลายน้ำได้ (dissolved form) โดยสัดส่วนขององค์ประกอบจะขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำเสียและการบำบัดเบื้องต้น

ในน้ำเสียชุมชนจะพบไนโตรเจน 4 รูป คือ (1) อินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งจะประกอบด้วยสารต่างๆ เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย (2) ไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) (3) ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) และ (4) แอมโมเนีย ($\text{NH}_4\text{-N}$) โดยทั่วไปจะพบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมากที่สุด (Kadlec and Knight, 1996)

ไนโตรเจนในรูปอนุภาคจะถูกบำบัดโดยการจมตัวลงอย่างช้าๆ และเกิดการทับถม ขณะที่การบำบัดไนโตรเจนในรูปที่ละลายน้ำได้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการธรณีชีวเคมี (biogeochemical) ในดินและน้ำ โดยในขั้นแรกอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพ เรียกว่า กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะถูกบำบัดโดยการระเหย (volatilization) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และการนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ (Brix, 1993)

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันทางชีวภาพของแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท โดยมีไนไตรท์เป็นสารระหว่างกลางปฏิกิริยา กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดในชั้นน้ำตรงบริเวณรอยต่อระหว่างดินและน้ำ (soil water interface) และบริเวณ rizosphere รอบๆ รากพืช ซึ่งมีออกซิเจนเป็นฟิล์มบางๆ (Brix, 1997 อ้างถึงใน Gray et al., 2000) โดยอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง และ อุณหภูมิ กระบวนการไนตริฟิเคชันบางครั้งจะช้าลง และล้มเหลวอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากอินทรีย์ไนโตรเจนความเข้มข้นสูงจากน้ำเสียถูกย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนได้แอมโมเนียแล้วไม่ถูกออกซิไดซ์ในขั้นถัดไป เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่จำกัด ทำให้แอมโมเนียในพื้นที่ชุ่มน้ำสูงขึ้น (Reed and Brown, 1995 อ้างถึงใน Gray et al., 2000)

ไนไตรท์และไนเตรท จะแพร่จากบริเวณที่มีออกซิเจนสู่บริเวณที่ไม่มีออกซิเจนแล้วถูกรีดิวซ์เป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) สูญหายออกจากระบบโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันขึ้นอยู่กับ ปริมาณไนเตรท จุลินทรีย์ และอุณหภูมิ (Gray et al., 2000; Kadlec, 1995)

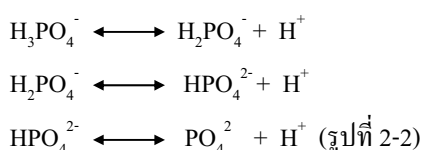
พืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมีบทบาทในการบำบัดไนโตรเจน โดยการดูดซับไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรทไปใช้ โดยเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อ รวมทั้งการจัดเตรียมสภาพแวดล้อมบริเวณรากสำหรับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน (Gray et al., 2000)

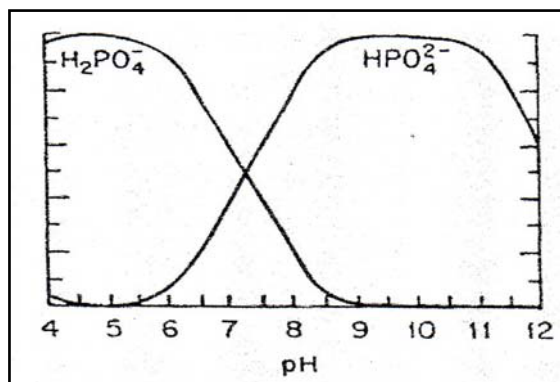
3

)

ฟอสฟอรัส

โดยทั่วไปฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำมักอยู่ในรูปสารละลาย แร่ฟอสฟอรัส และสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปของแข็ง ในสารละลายการแตกตัวของฟอสฟอรัสจะขึ้นอยู่กับ pH ดังนี้





รูปที่ 2-2 การกระจายของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อุณหภูมิต่ำ
ที่มา : Freeze and Cherry (1979) อ้างถึงใน สุวศา กานตวนิชกูร (2544)

การบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทางกายภาพ/เคมี โดยกระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) และการทับถม (deposition) การดูดซับ (adsorption) และการตกตะกอนเคมี (precipitation) และการแลกเปลี่ยนระหว่างดินและน้ำที่สัมผัสกับดิน (Klomjek and Nitisoravut, 2005) นอกจากนี้กระบวนการทางชีวภาพก็มีส่วนช่วยในการบำบัดฟอสฟอรัส ได้แก่ การดูดซับไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนรูปสารอนินทรีย์ให้เป็นสารอินทรีย์โดยการย่อยสลายซากพืช (mineralization of plant litter) (Reddy et al., 1996)

การดูดซับโดยดิน เป็นกระบวนการหลักในการบำบัดฟอสฟอรัสในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยการดูดซับขึ้นกับ

1) ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) กับค่า pH ของดิน กล่าวคือ หากดินมีปริมาณธาตุเหล็กและอลูมิเนียมสูงและมีค่า pH ต่ำ จะทำให้ฟอสฟอรัสถูกดูดซับด้วยธาตุเหล็กและอลูมิเนียม ในทางตรงกันข้ามหากดินมีปริมาณธาตุแคลเซียมสูงและมีค่า pH สูง จะทำให้ฟอสฟอรัสถูกดูดซับด้วยแคลเซียม

2) ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential) ในสภาวะที่ระบบมีน้ำท่วมขัง จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินต่ำ ทำให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำ ทำให้ค่า pH ของดินต่ำลง

3) ชนิดของดิน คือ หากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำใช้ตัวกลางที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวสูง จะทำให้การดูดซับฟอสฟอรัสของดินเกิดได้ดี เนื่องจากดินเหนียวมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูง และมีปริมาณแร่ดินเหนียวสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.5 พันธุ์ไม้ป่าชายเลนกับการบำบัดน้ำเสีย

พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนเป็นพันธุ์ไม้ที่มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่มีความผันแปรและรุนแรง เช่น อุณหภูมิ ความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงของสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนในดิน ทนต่อความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียได้ดี และมีความสามารถในการเก็บกักและเปลี่ยนรูปมลสาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะหนักได้ (Chen and Wong, 1995 อ้างถึงใน Boonsong et al., 2003) ดินในป่าชายเลนยังสามารถกักเก็บอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส นอกจากนี้การที่ป่าชายเลนมีพื้นที่ขนาดใหญ่ ทำให้ป่าชายเลนมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้ (Tam and Wong, 1999) เช่น น้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากนาทุ่ง (Boonsong et al., 2003)

ถึงแม้จะเป็นที่ยอมรับกันดีว่าป่าชายเลนธรรมชาติสามารถช่วยบำบัดน้ำเสียและกั้นกรองสิ่งปฏิกูลมิให้ไหลลงทะเล และได้มีการใช้ป่าชายเลนธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งจากชุมชนและจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนากันอย่างกว้างขวาง โดยการอนุรักษ์ป่าชายเลนดั้งเดิมให้เป็นแนว buffer เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำชายฝั่งที่อาจเกิดขึ้นในบริเวณนั้น แต่การศึกษาวิจัยในเชิงลึกด้านประสิทธิภาพของป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสียของทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้รวบรวมไว้ดังนี้

Sansanayuth et al. (1996) ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากนาุ้งโดยสร้างคูดินขนาด 1.2 x 13 ตารางเมตร ลึก 0.2 เมตร ปลูกด้วย PVC และใช้หินกรวดเล็กๆ แทนดิน ปลูกปรังทะเล (*Acrostichum aureum*) ซึ่งเป็นพืชป่าชายเลนจำพวกเฟิร์น ใช้วิธีการปล่อยน้ำแบบต่อเนื่อง ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 1-3 วัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 79.6-88.6% BOD เท่ากับ 91.0-96.6% total organic carbon เท่ากับ 46.4-64.4% ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen: TN) เท่ากับ 48.1-61.3% และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus: TP) เท่ากับ 31.3-76.5%

Bolton and Greenway (1997) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พันธุ์ไม้ป่าชายเลนสกุลเสม็ด (*Melaleuca*) ในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม รัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยทดลองในแปลงขนาด 9 x 70 ตารางเมตร โดยใช้พืชสกุลเสม็ด 3 ชนิด ได้แก่ *M. leucadendra*, *M. alternifolia* และ *M. quinquenervia* โดยให้น้ำเสียที่มี TN และ TP แตกต่างกัน 2 ระดับความเข้มข้น คือ น้ำเสียความเข้มข้นปกติ มี TN และ TP เฉลี่ยเท่ากับ 8 และ 5 mg/l และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำเสียชุมชนปกติ โดยมีระยะเวลาการศึกษา 2 ปี พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิด ที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นปกติมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง การแตกกิ่ง และการแตกยอด มากกว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารต่ำกว่า ต่อมา Bolton and Greenway (1999) ได้นำพืชสกุลเสม็ด ซึ่งได้แก่ *M. alternifolia* และ *M. quinquenervia* มาปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมเพื่อศึกษาการสะสมของธาตุอาหารในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่มีขนาด 130 ตารางเมตร และได้รับน้ำเสียที่มีปริมาณ TN และ TP เท่ากับ 7 และ 5 mg/l ตามลำดับ ปริมาตร 0.5 เมกะลิตร/เฮกแตร์/วัน เป็นระยะเวลา 21 เดือน พบว่าธาตุอาหารดังกล่าวถูกกักเก็บและสะสมในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำถึง 46 และ 21% ตามลำดับ

ปิยวรรณ สายมโนพันธ์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพของกล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) และแสมทะเล (*Avicennia marina*) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกโกงกางใบใหญ่ และชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเล สามารถบำบัด BOD ได้ 72 และ 66% ตามลำดับ บำบัด TN ได้ 72 และ 70% ตามลำดับ และบำบัด TP ได้เท่ากันคือ 63% ส่วนชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชสามารถบำบัด BOD, TN และ TP ได้ 58, 59 และ 59% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในโครงการนำร่อง ในระบบขนาดใหญ่ 100x150 ตารางเมตร ในโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โดย Boonsong et al. (2003) ศึกษาในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม 2 ระบบ คือ ระบบป่าชายเลนธรรมชาติ ซึ่งมีแสมทะเลเป็นพันธุ์ไม้เด่น และระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ ซึ่งปลูกแสมทะเล โกงกางใบเล็ก โปรงแดง (*Ceriops tagal*) และถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) โดยใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 และ 7 วัน พบว่า ระบบป่าชายเลนปลูกใหม่มีประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารไนเตรท แอมโมเนีย TN ฟอสเฟต และ TP ได้เท่ากับ 37.6-47.5, 81.1-85.9, 44.8-54.4, 24.7-76.8 และ 22.6-65.3 % ตามลำดับ ส่วนป่าชายเลนธรรมชาติมีประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ดังกล่าวได้เท่ากับ 44.0-60.9, 51.1-83.5, 43.4-50.4, 28.7-58.9 และ 28.3-48.0 % ตามลำดับ ซึ่ง ประสิทธิภาพของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านระยะเวลากักเก็บพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตและ TP ของทั้งสองระบบสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกพันธุ์ไม้ชายเลน โดย เจนจิรา แก้วรัตน์ (2541) ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง โดยปลูกโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ในกะบะทดลอง พบว่า สามารถบำบัด TN และ TP ในน้ำทิ้งได้ประมาณ 80% และเมื่อให้ Hoagland solution ซึ่งมีธาตุอาหารสูงกว่าน้ำทิ้ง พบว่า สามารถบำบัด TN และ TP สูงขึ้นเป็น 90% และ ปวีณา วัฒนสุทธิพงศ์ (2547) ศึกษาผลของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกโกงกางใบใหญ่ โดยใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) (ซึ่งมี TN และ TP เท่ากับ 15 และ 5 mg/l ตามลำดับ) น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 5 และ 25 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (5NW และ 25NW) โดยใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 5NW สามารถบำบัด BOD และ TN ได้สูงที่สุดคือ 98 และ 89% ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าดินและกล้าไม้ในทุกชุดทดลองมี TN และ TP สูงขึ้น เช่นเดียวกันกับที่ Chu et al (1998) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหารของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกรังกระแ้ (*Kandelia candel*) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 5 และ 25 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (5NW และ 25NW) พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนเตรต และออร์โธฟอสเฟตของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ได้รับน้ำเสีย NW และ 5 NW สูงถึง 98% (ยกเว้นอินทรีย์ไนโตรเจน) ในขณะที่ระบบที่ได้รับน้ำเสีย 25 NW มีค่า 75% ซึ่งให้เห็นว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนมีความสามารถในการรองรับธาตุอาหารจากน้ำเสียได้สูง

Tam and Wong (1996) ศึกษาการสะสมธาตุอาหารในดินป่าชายเลน โดยทดลองผ่านน้ำเสียลงในคอลัมน์ดินป่าชายเลนที่มีเนื้อดินต่างกัน 2 ชนิด คือ ดินร่วนปนทราย และดินเหนียว เปรียบเทียบกับชุดควบคุมซึ่งใช้น้ำทะเลพบว่า ดินทั้งสองชนิดมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ TN และ TP สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งให้เห็นว่าดินป่าชายเลนมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารได้สูง นอกจากนี้ยังพบว่าคอลัมน์ดินที่ใช้ดินเหนียวสะสมอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่างๆ ได้สูงกว่าคอลัมน์ดินที่ใช้ดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการกักเก็บอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของดินขึ้นกับชนิดของดิน

Ye et al. (2003) ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ชายเลน 2 ชนิด คือ พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และรังกระแ้ (*Kandelia candel*) เมื่อใช้ระยะเวลาเก็บน้ำต่างกัน 3 แบบ คือ (1) เก็บน้ำ 12 สัปดาห์ (2) เก็บน้ำ 8 สัปดาห์ แล้วปล่อยให้แห้ง 4 สัปดาห์ และ (3) เก็บน้ำ 4 สัปดาห์ แล้วปล่อยให้แห้ง 8 สัปดาห์ พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำนานขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพของพังกาหัวสุมดอกแดงลดลง แต่อัตราการเจริญเติบโตของรังกระแ้สูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารังกระแ้สามารถทนทานต่อสภาพน้ำขังได้ดีกว่าพังกาหัวสุมดอกแดง

นอกจากนี้มีการศึกษาผลของความเค็มที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดธาตุอาหาร ได้แก่ Brown et al. (1999) ปลูกพันธุ์ไม้สกุลชะคราม (*Suaeda* sp.) ซึ่งเป็นไม้เลื้อยขนาดเล็กในทราย เพื่อบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลานิลที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีระดับความเค็มต่างกัน โดยใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 0.5, 10 และ 35 psu มีประสิทธิภาพการบำบัด TN เท่ากับ 96.18, 98.02 และ 99.09% ตามลำดับ บำบัด TP ได้เท่ากับ 98.76, 98.95 และ 99.71% ตามลำดับ บำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 94.00, 95.98 และ 99.03% ตามลำดับ และพบว่าการเจริญเติบโตของชะครามลดลงเมื่อความเค็มของน้ำเสียสูงขึ้น

Tam (1998) ศึกษาผลของความเค็มต่อจำนวนประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลน โดยปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็ม 0 และ 15 psu ลงสู่ป่าชายเลน 2 แห่ง พบว่า ดินในป่าชายเลนทั้งสองแห่งสามารถบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี และแคดเมียมในน้ำเสียได้ แต่จำนวนแบคทีเรียทั้งชนิดที่ใช้ออกซิเจน ไม่ใช้ออกซิเจน ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย และดีไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียที่มีความเค็ม 0 psu สูงกว่าในดินป่าชายเลนที่ได้รับน้ำเสียความเค็ม 15 psu

Aziz and Khan (2001) ศึกษาความทนทานของกล้าไม้โปรงแดง (*Ceriops tagal*) ต่อความเค็ม โดยปลูกกล้าไม้โปรงแดงลงในบ่อที่ใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก ใช้น้ำทะเล 5 ระดับความเค็ม คือ 0, 8.8, 17.5, 26.3 และ 35.0 psu โดยมีการเติมไนโตรเจนลงในน้ำทะเลเพื่อเลี้ยงกล้าไม้ พบว่า กล้าไม้โปรงแดงที่ได้รับน้ำทะเลระดับความเค็ม 17.5 psu มีการเจริญเติบโตสูงสุด และการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อได้รับน้ำทะเลระดับความเค็ม 26.3 และ 35 psu

Ye et al. (2001) ทดลองใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวส้มดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza*) และรังกะแท้ (*Kandelia candel*) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปรับน้ำเสียให้มีระดับความเค็มต่างกันคือ 0 และ 30 psu ใช้ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพังกาหัวส้มดอกแดงที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 30 psu มีประสิทธิภาพในการบำบัด TN และ TP 98.0 และ 97.8% ตามลำดับ ส่วนชุดที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 0 psu บำบัดได้ต่ำกว่า คือ 95.5 และ 91.8% ตามลำดับ ชุดทดลองที่ปลูกรังกะแท้ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 30 psu มีประสิทธิภาพในการบำบัด TN และ TP ได้ 92.7 และ 88.0% ตามลำดับ ส่วนชุดที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 0 psu สามารถบำบัดได้ต่ำกว่า คือ 84.3 และ 79.2 % ตามลำดับ

2.6 ผลกระทบจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย

ถึงแม้ระบบนิเวศป่าชายเลนสามารถช่วยรักษาสมดุลของคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งได้ แต่ป่าชายเลนเองก็อาจได้รับผลกระทบจากการได้รับของเสียปริมาณมาก ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้รวบรวมไว้ เช่น ผลกระทบจากการทำนาุ้ง ฝัฒนัพัฒนาผลไพบูลย์ และคณะ (2538) พบว่า การทำนาุ้งในบริเวณจังหวัดตราด ทำให้ธาตุอาหารในน้ำซึ่งได้แก่ แอมโมเนียและไนเตรทในบริเวณป่าชายเลนที่อยู่ใกล้พื้นที่ทำนาุ้งมีค่าสูงกว่าป่าชายเลนที่อยู่ไกลออกไป Aksornkoae (1994) พบว่าป่าชายเลนในเขตอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งอยู่ใกล้พื้นที่ทำนาุ้งมีองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ไม่น้อยกว่าและมีพันธุ์ไม้เด่นคือ ไม้สกุลแสม (*Avicennia* sp.) ขณะที่ป่าชายเลนที่อ่าวพังงา จังหวัดพังงา ซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากการทำนาุ้งมีชนิดพันธุ์ไม้มากกว่า และมีพันธุ์ไม้เด่นคือ ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora* sp.)

Chen and Wong (1995) ศึกษาผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยเปรียบเทียบสังคมพืช การเจริญเติบโต สถานะภาพของธาตุอาหารในดินและพืช ระหว่างป่าชายเลนซึ่งใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนกับป่าชายเลนซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมไม่ได้รับน้ำเสียที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน พบว่า โครงสร้างของสังคมพืช การเจริญเติบโต (ด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง) และมวลชีวภาพของป่าชายเลนทั้งสองบริเวณไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับปริมาณ TN, TP ในโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และสารอินทรีย์คาร์บอนในดินและพืชป่าชายเลน แต่ทั้งนี้เขาได้ให้ความเห็นว่าน่าจะเป็นเพราะภาระบรรทุก (loading) ของธาตุอาหารในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่ำ มีค่า TN และ TP 24.58 และ 1.23 mg/l ตามลำดับ ปริมาตรรวม 2,600 ลูกบาศก์เมตร และระยะเวลาการศึกษาสั้นเพียง 1 ปี และให้ข้อเสนอแนะว่าป่าชายเลนสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองสำหรับน้ำเสียจาก

ชุมชนก่อนการปล่อยทิ้งลงสู่ทะเล

ลำไย หงส์สิงห์ และสนธิ อักษรแก้ว (2547) ศึกษาการกระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชายเลนหลังการใช้น้ำบาดน้ำเสีย บริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี พบว่า การใช้ป่าชายเลนบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าเฉลี่ย BOD ออร์โทฟอสเฟต และแอมโมเนีย เท่ากับ 142.2, 4.0 และ 23.0 mg/l มีผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่เล็กน้อย โดยภายหลังการใช้น้ำบาดน้ำเสีย ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในไฟลัม Annelida, Mollusca และ Arthropoda บริเวณป่าชายเลนปลูกใหม่ในสภาพน้ำท่วมขังมีค่าเท่ากับ 47.71, 595.05 และ 101.14 ตัว/ม² ตามลำดับ ขณะที่สภาพไม่มีน้ำท่วมขังมีความหนาแน่นเท่ากับ 15.27, 791.98 และ 202.28 ตัว/ม² ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของการพบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ไฟลัม Annelida และ Arthropoda ภายหลังการใช้น้ำบาดน้ำเสีย มีค่าต่ำกว่าก่อนการใช้น้ำบาดซึ่งปริศนา เจริญกุล (2543) ได้ศึกษาไว้ ขณะที่พบว่า สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในไฟลัม Mollusca มีเปอร์เซ็นต์การพบสูงขึ้น ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะสัตว์หน้าดินในไฟลัม Mollusca มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่จำกัดได้ดีกว่าสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในไฟลัมอื่นๆ (ลำไย หงส์สิงห์ และสนธิ อักษรแก้ว, 2547 อ้างถึงใน ปริศนา เจริญกุล, 2543)

บทที่ 3

ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

3.1 โครงการย่อยที่ 1-1 ผลของระยะเวลาพักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

3.1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนปลูกในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เมื่อใช้ชนิดพันธุ์ไม้ ความเข้มข้นของน้ำเสีย ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย และวิธีการปล่อยน้ำเสียต่างกัน
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน และธาตุอาหารในดิน เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกัน และระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียต่างกัน
3. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และการสะสมธาตุอาหารของกล้าไม้ เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างกัน และระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียต่างกัน

3.1.2 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษา 3 ด้าน ดังนี้

1. การศึกษาด้านประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ทำการศึกษاثิพลของปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ซึ่งได้แก่ ชนิดพันธุ์ไม้ ความเข้มข้นของน้ำเสีย ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย และวิธีการปล่อยน้ำเสียโดยทำการทดลองในระบบขนาดเล็ก (lysimeter)
2. การศึกษาสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง เพื่อประเมินถึงผลกระทบอันอาจเกิดขึ้นจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย และเพื่อติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำ
3. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของพืช เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของกล้าไม้ และความสามารถในการสะสมธาตุอาหารของกล้าไม้แต่ละชนิด

โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา เหตุผล และประโยชน์ของการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา เหตุผล และประโยชน์ของการศึกษา

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	เหตุผล	ประโยชน์ของการศึกษา
1. ชนิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลน 4 ชนิด - โกงกาง - แสม - ถั่ว - โปรง	พันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะขึ้นอยู่เป็นแนวเขตที่ขนานกับชายฝั่ง ตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น การท่วมถึงของน้ำทะเล สภาพดิน ทำให้พันธุ์ไม้แต่ละชนิดมีลักษณะการปรับตัวที่แตกต่างกัน เช่น ความทนทานต่อการท่วมขังของน้ำ ลักษณะรากเหนือดิน ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย พันธุ์ไม้ที่เลือกศึกษาทั้ง 4 ชนิด เป็นพันธุ์ไม้สำคัญ (common species) ที่พบในแต่ละแนวเขตจากด้านหน้าสุดของป่าชายเลน (คือ โกงกาง) จนถึงด้านในของป่า (คือ โปรง)	ทำให้สามารถเลือกพันธุ์ไม้ที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องทนทานต่อความเน่าเสียของน้ำ การท่วมขังของน้ำเสียในระบบเป็นเวลานาน มีอัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูง และมีประสิทธิภาพการบำบัดสูง
2. ความเข้มข้นของน้ำเสีย 4 ความเข้มข้น - น้ำเสียปกติที่เข้าสู่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย - น้ำเสียปรับความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ให้เข้มข้นเป็น 2, 5 และ 10 เท่า ของน้ำเสียปกติ	ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีขีดความสามารถที่จำกัดในการรองรับน้ำเสียที่ loading สูง และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ต่างกันก็จะแตกต่างกันด้วย แต่จากการศึกษาของ Boonsong et al. (2003) พบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย มีค่าเฉลี่ย BOD อยู่ระหว่าง 32.13 ± 9.00 mg/l ค่าเฉลี่ย TN และ TP 14.84 ± 5.09 และ 4.874 ± 0.868 mg/l ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าน้ำเสียชุมชนทั่วไป ซึ่งมีค่า TN และ TP อยู่ระหว่าง 20-85 และ 4-15 mg/l ตามลำดับ ดังนั้นการทดลองนี้จึงปรับความเข้มข้นของน้ำเสียให้สูงขึ้น โดยใช้สมมุติฐานว่า น้ำเสียชุมชนปกติ (Normal wastewater: NW) มีค่าเฉลี่ย TN และ TP เท่ากับ 20 และ 4 mg/l ตามลำดับ	เพื่อให้ทราบว่าการที่พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนมีศักยภาพที่จะรองรับ loading ของน้ำเสียเพียงใด และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเสียที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ต่างกัน รวมถึงผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน
3. ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3 ระยะ - 3 วัน - 5 วัน - 7 วัน	การบำบัดสิ่งปนเปื้อนแต่ละชนิดในน้ำเสียใช้เวลาในการบำบัดไม่เท่ากัน โดยทั่วไปในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่เป็นน้ำจืดจะใช้ระยะกักเก็บเพื่อบำบัดของแข็งแขวนลอยเพียง 2-3 วัน ขณะที่การบำบัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจะใช้เวลานานขึ้นตามลำดับ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นของ Boonsong et al. (2003) ในแปลง pilot scale ของโครงการฯ พบว่า การปล่อยน้ำแบบ batch flow และกักเก็บน้ำไว้ในระบบเป็นเวลานานจะทำให้ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ในระบบลดต่ำลงใกล้ 0 mg/l การทดลองนี้จึงเลือกใช้ระยะกักเก็บที่ไม่แน่นอนไป คือ ไม่เกิน 7 วัน	เพื่อให้ทราบระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อ loading ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความแตกต่างกันมาก

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา เหตุผล และประโยชน์ของการศึกษา

พารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา	เหตุผล	ประโยชน์ของการศึกษา
4. รูปแบบการปล่อยน้ำเสีย 2 วิธี - Batch flow - Continuous-added flow	รูปแบบการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกันจะมีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายในระบบ ซึ่งอาจทำให้สามารถลดระยะเวลาเก็บลงได้ หรืออาจทำให้การบำบัด BOD และไนโตรเจนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น	เพื่อให้ทราบถึงผลของรูปแบบการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ อันจะเป็นแนวทางเลือกในการจัดการระบบต่อไป

3.1.3 การวางแผนการทดลอง

1. การทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย ตามวิธีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลอง คือ

- 1) Batch system (ระบบกะ)
- 2) Continuous-added system flow (ระบบเติมต่อเนื่อง)

โดยการทดลองใช้รูปแบบการปล่อยน้ำเสียทั้งสองวิธีจะทำการควบคู่กันไป

2. การทดลองนี้ออกแบบการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorials

โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ

1) ชนิดของกล้าไม้

- กล้าไม้ 4 ชนิด คือ
 - i. โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*)
 - ii. แสมทะเล (*Avicennia marina*)
 - iii. พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*)
 - iv. โปรงแดง (*Ceriops tagal*)
- ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)

2) ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

- น้ำเสีย 4 ระดับความเข้มข้น คือ
 - i. น้ำเสียชุมชนปกติ (NW : normal wastewater) เป็นน้ำเสียจากเทศบาลเมือง ซึ่ง Boonsong et al. (2003) รายงานว่า มีค่า TN (total nitrogen) และ TP (total phosphorus) ประมาณ 20 และ 4 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 3-2)
 - ii. น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นให้มี TN และ TP เป็น 2 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (2 N W)
 - iii. น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นให้มี TN และ TP เป็น 5 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (5 N W)
 - iv. น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นให้มี TN และ TP เป็น 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (10 N W) โดยสารเคมีและปริมาณที่ใช้แสดงในตารางที่ 3-3

- ควบคุม (น้ำทะเล) จากคลองบริเวณด้านข้างพื้นที่สร้างชุดทดลอง ติดกับสถานีประมง
จังหวัดเพชรบุรี ห่างจากชายฝั่งประมาณ 1.5 กิโลเมตร

ตารางที่ 3-2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น

ระดับความเข้มข้น	NW	2NW	5NW	10NW
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/l)	20	40	100	200
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/l)	4	8	20	40

ตารางที่ 3-3 สารเคมีและปริมาณที่ใช้เพื่อปรับความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ (mg/1000 l)	2NW	5NW	10NW
ยูเรีย (NH_2CONH_2)	85.80	214.50	429.00
โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)	11.57	28.94	57.97

หมายเหตุ NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 2NW, 5 NW และ 10 NW คือ น้ำเสียที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2, 5 และ 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ

ดังนั้น ทำการจัดสร้างชุดการทดลอง 5 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย 5 บ่อ ดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 ปลูกลงในบ่อใหญ่

ชุดทดลองที่ 2 ปลูกลงในบ่อเล็ก

ชุดทดลองที่ 3 ปลูกลงในบ่อเล็ก

ชุดทดลองที่ 4 ปลูกลงในบ่อเล็ก

ชุดทดลองที่ 5 (ชุดควบคุม) ไม่ปลูกลงในบ่อ

แต่ละบ่อทดลองใช้น้ำบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

บ่อที่ 1 ใช้น้ำเสียชุมชนปกติ (NW: normal wastewater)

บ่อที่ 2 ใช้น้ำเสียที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2 เท่า (2NW)

บ่อที่ 3 ใช้น้ำเสียที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 5 เท่า (5NW)

บ่อที่ 4 ใช้น้ำเสียที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 10 เท่า (10NW)

บ่อที่ 5 (ชุดควบคุม) ใช้น้ำทะเล (SW: seawater)

ดังนั้น จะมีชุดทดลอง 25 ชุด สำหรับการปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch flow) และ 25 ชุดสำหรับการปล่อยน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (continuous-added flow) รวมทั้งสิ้น 50 ชุดทดลอง ดังรูปที่ 3-1

ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

C	C	B	A	R
R	C	C	B	A
A	R	D	C	B
B	A	R	D	C
C	B	A	R	D

หมายเหตุ

R = โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*)A = แสมทะเล (*Avicennia marina*)B = พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*)C = โปรงแดง (*Ceriops tagal*)

D = ชูดควมคุม (ไม่ปลูกพืช)

น้ำทะเล NW 2NW 5NW 10NW

รูปที่ 3-1 แผนภาพแสดงชุดทดลอง ในโครงการย่อยที่ 1-1

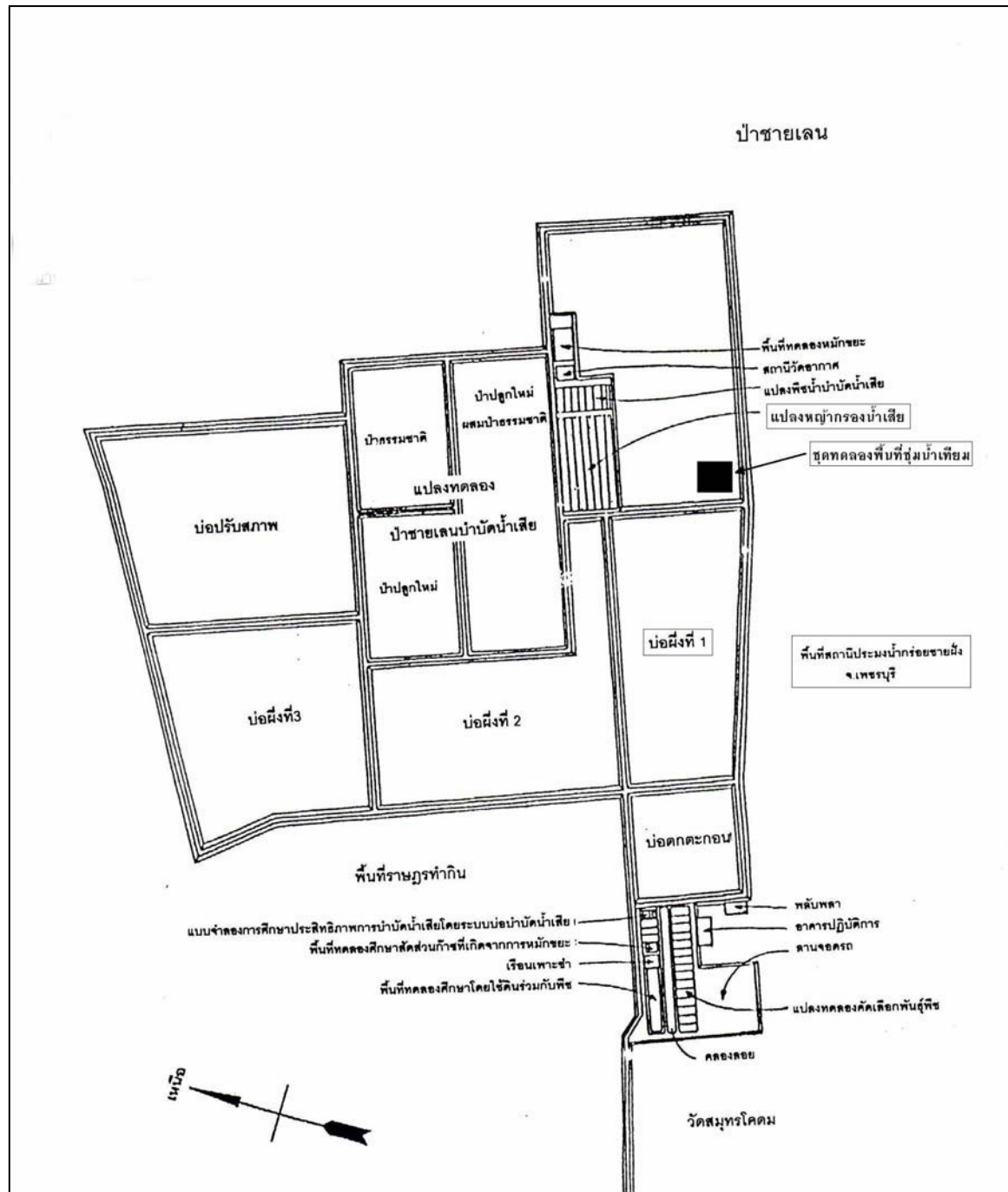
3.1.4 การจัดสร้างระบบทดลอง

1) วางระบบท่อน้ำ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร พร้อมติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาด 2 แรงม้า เพื่อสูบน้ำเสียจากบริเวณแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย และบ่อผึ่งที่ 1 ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ไปยังพื้นที่สร้างชุดทดลอง ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 100 เมตร (รูปที่ 3-2) โดยน้ำเสียจากบริเวณแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย เป็นน้ำเสียจากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีและเขตใกล้เคียง ซึ่งได้รวบรวมและส่งตามแนวท่อไปยังสถานีสูบน้ำเสียที่คลองยาง ซึ่งมีบ่อดักตะกอนขั้นต้น เพื่อแยกสิ่งสกปรกที่ลอยน้ำและตกตะกอนสารแขวนลอยขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย แล้วจึงสูบน้ำเข้าสู่แนวท่อไปยังบริเวณบำบัดน้ำเสียในโครงการแหลมผักเบี้ย ซึ่งอยู่ห่างจากสถานีสูบน้ำประมาณ 18.5 กิโลเมตร (ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เป็นน้ำเสีย NW) ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผึ่งที่ 1 ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10 NW โดยสาเหตุที่ใช้น้ำจากบ่อผึ่งเพราะมีสมบัติค่อนข้างคงที่เนื่องจากมีปริมาตรสูง ขณะที่น้ำจากแปลงหญ้ากรองน้ำเสียมีสมบัติค่อนข้างผันแปรและมีปริมาตรต่ำ

2) สร้างชุดทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 2 x 0.6 เมตร จำนวน 50 ชุด ภายใต้โรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกคลุมเพื่อไม่ให้มีอิทธิพลของฝน

3) วางระบบท่อน้ำเข้าทางด้านบนของชุดทดลอง โดยใช้วาล์วที่สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำขนาด 1 แรงม้า เพื่อใช้สูบน้ำเสียจากถังสำรองน้ำขนาด 1000 ลิตร จำนวน 5 ถัง และด้านล่างของชุดทดลองเจาะท่อน้ำออกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร

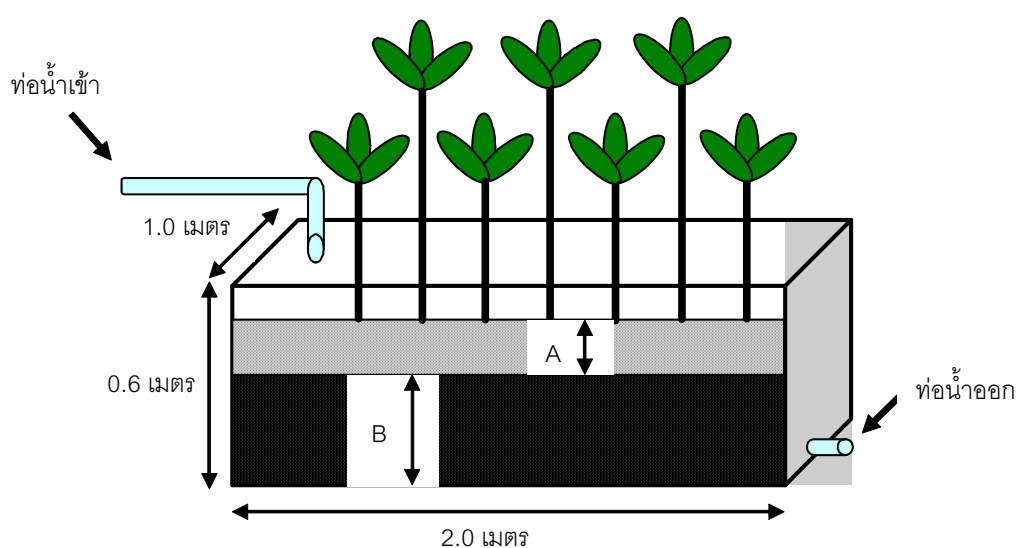
4) ล้างชุดทดลองด้วยน้ำทะเลก่อนการบรรจุดินเป็นเวลาประมาณ 2 เดือน จากนั้นนำดินเลนซึ่งเป็นดินในพื้นที่โครงการฯ ชุมมาจากบริเวณที่มีต้นชะคราม (*Seuda maritima*) ขึ้นอยู่ โดยใช้เฉพาะดินชั้นผิวหน้าลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร บรรจุลงในชุดทดลองให้มีความสูงจากพื้นบ่อ 40 เซนติเมตร ปรับหน้าดินให้เรียบ



รูปที่ 3-2 พื้นที่แปลงทดลองบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และที่ตั้งชุดทดลองพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม

ที่มา: มูลนิธิชัยพัฒนา (2543)

5) ปลูกก้ามี่ลงในชุดทดลองโดยใช้ระยะปลูก 15x15 เซนติเมตร (ความหนาแน่นของก้ามี่ 44 ต้น/ตารางเมตร) ใช้ก้ามี่ 72 ต้น/บ่อ (ก้ามี่โก่งกางใบใหญ่ที่ใช้ในการทดลองนี้อายุประมาณ 6 เดือน ส่วนก้ามี่พังกาหัวสุ่มดอกแดง แสมทะเล และโปรงแดง อายุประมาณ 4 เดือน) เลี้ยงก้ามี่โดยใช้น้ำทะเลประมาณ 3 เดือน ก่อนเริ่มทำการทดลองเพื่อให้ก้ามี่สามารถปรับตัวได้กับสภาพแวดล้อมใหม่ (รูปที่ 3-3)



หมายเหตุ: A คือ ระดับน้ำเสียสูงจากผิวดิน 0.12 เมตร
B คือ ระดับดินสูงจากพื้นระบบ 0.40 เมตร

รูปที่ 3-3 แผนภาพแสดงรายละเอียดของชุดทดลอง

3.1.5 วิธีการทดลอง

3.1.5.1 วิธีการทดลองบำบัดน้ำเสีย

แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง โดยมีระยะเวลาเก็บเก็บแตกต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1 ระยะเวลาเก็บเก็บ 7 วัน

- 1) สูบน้ำเสียและน้ำทะเลจากถังสำรองน้ำทั้ง 5 ถัง แต่ละถังจะเข้าสู่ชุดทดลอง 5 ชุด ชุดทดลองละ 200 ลิตร โดยแบ่งวิธีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลอง ดังนี้
 - 1.1) ระบบ Batch system จะสูบน้ำเข้าสู่ชุดทดลองในคราวเดียว ระดับน้ำอยู่เหนือผิวดินประมาณ 12 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นจากท่อน้ำเข้าบริเวณด้านบนของชุดทดลอง เมื่อระดับน้ำในถังสำรองน้ำอยู่ที่ระดับเต็มถึง กึ่งกลางถึง และก้นถัง เพื่อเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง
 - 1.2) ระบบ Continuous-added system จะสูบน้ำเข้าอย่างต่อเนื่องอย่างช้าๆ ใช้อัตราการปล่อยน้ำ 19.84 มิลลิตร/นาที่ เก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละความเข้มข้นจากถังสำรองน้ำที่ระดับ 15 เซนติเมตร จากผิวน้ำ และเมื่อปล่อยน้ำเข้าจนระดับน้ำในถังสำรองน้ำอยู่ที่ระดับกึ่งกลางถึง เพื่อเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลอง
- 2) เก็บเก็บน้ำเสียไว้ในชุดทดลองเป็นระยะ 7 วัน เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากท่อน้ำออกซึ่งอยู่ทางด้านล่างของชุดทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
- 3) พักระบบโดยปล่อยน้ำออกให้ชุดทดลองแห้ง 4 วัน แล้วสูบน้ำทะเลเข้าสู่ชุดทดลองและเก็บเก็บให้ท่วมขังในชุดทดลอง 3 วัน จากนั้นปล่อยน้ำทะเลออกจากชุดทดลองก่อนเริ่มทำการทดลองครั้งถัดไป
- 4) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนดังกล่าว รวม 3 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการทดลองที่ 1 ทั้งหมด 42 วัน

การทดลองที่ 2 ระยะเวลาเก็บเก็บ 5 วัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ใช้ระยะเวลาเก็บเก็บ 5 วัน โดยระบบ Continuous-added system ใช้อัตราการปล่อยน้ำ 27.77 มิลลิตร/นาที่ ทำการทดลอง 3 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 36 วัน

การทดลองที่ 3 ระยะเวลาเก็บเก็บ 3 วัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ใช้ระยะเวลาเก็บเก็บ 3 วัน โดยระบบ Continuous-added system ใช้อัตราการปล่อยน้ำ 46.30 มิลลิตร/นาที่ ทำการทดลอง 3 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 30 วัน

รวมระยะเวลาทำการทดลองที่ 1 ถึง 3 ทั้งหมด 108 วัน

3.1.5.2 การศึกษาคุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า ความเค็ม และปริมาณออกซิเจนละลาย ในภาคสนามทันที และตัวอย่างน้ำอีกส่วนหนึ่งจะบรรจุในขวดพลาสติก (polyethylene) ขนาด 500 ml แช่เย็นในถังโฟมที่บรรจุน้ำแข็ง แล้วนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทันที หากมีความจำเป็นที่ทำให้การวิเคราะห์ล่าช้าจะเก็บรักษาน้ำตัวอย่างโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ 4 °C พารามิเตอร์และวิธีการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter
2. อุณหภูมิ (Temperature)	ตรวจวัดในสนาม โดย YSI Instrument Model 30
3. การนำไฟฟ้า (Conductivity)	ตรวจวัดในสนาม โดย YSI Instrument Model 30
4. ความเค็ม (Salinity)	ตรวจวัดในสนาม โดย YSI Instrument Model 30
5. ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)	Modified Winkler Method (AWWA, 1998)
6. บีโอดี (BOD)	5-day BOD test (AWWA, 1998)
7. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Semi- micro- Kjeldahl Method (AWWA, 1998)
8. แอมโมเนีย (ammonia-nitrogen)	Phenolhypochlorite Method (Parson et al., 1998)
9. ไนเตรต (nitrate-nitrogen)	Reduction by Cadmium-Copper Column (Parson et al., 1998)
10. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Persulphate digestion and follow by Ascorbic acid Method (Strickland and Parson, 1972)
11. ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate)	Molydenum Blue Method, Merphy and Riley (Strickland and Parson, 1972)

3.1.5.3 การศึกษาด้านดิน

ตัวอย่างดินจะทำการสุ่มตัวอย่าง 4 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และภายหลังการทดลองที่ 1, 2 และ 3 โดยการสุ่มแบบ composite จาก 3 ตำแหน่ง โดยใช้ท่อ PVC ซึ่งยาว 20 เซนติเมตร แบ่งตัวอย่างดินเป็น 2 ชั้น คือ ดินชั้นบน (ลึก 0-10 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (ลึก 10-20 เซนติเมตร) นำมาวิเคราะห์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที ตัวอย่างดินอีกส่วนหนึ่งนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และขนาดอนุภาคดิน อีกส่วนหนึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารในดิน โดยมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	1 : 5 soil : water extract, pH meter
2. การนำไฟฟ้า (conductivity)	1 : 5 soil : water extract, glass electrode
3. ปริมาณขนาดอนุภาคดิน (% sand, %silt, %clay)	Hydrometer Method (Smith and Atkinson, 1975)
4. เนื้อดิน (texture)	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของขนาดอนุภาคดินกับตารางชั้นเนื้อดิน
5. อินทรีย์วัตถุ (organic matter)	Walkley and Black Rapid Titration (Tan, 1996)
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl Method (Tan, 1996)
7. ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available nitrogen)	extracted with KCl at 1: 4 ratio, follow by steam distillation (Black, 1965)
8. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Perchloric Acid Method (Jackson, 1975)
9. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus)	Bray II (Jackson, 1960)

3.1.5.4 การศึกษาด้านพืช

การเจริญเติบโตด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง

บันทึกความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ 10 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลองและภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง โดยสุ่มวัดกล้าไม้ 1 ต้น เว้น 2 ต้น รวม 24 ต้น จากทุกชุดทดลอง โดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นด้วยเวอร์เนียแคลิเปอร์ และวัดความสูงของลำต้นจากระดับผิวดินถึงปลายยอด ด้วยไม้เมตร คำนวณหาอัตราการเพิ่มพูนความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้

การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ

ศึกษามวลชีวภาพของลำต้น และใบของกล้าไม้ โดยสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบ allometric relation ดังนี้

$$W = a (D^2 H)^b$$

เมื่อ	W คือ	น้ำหนักอบแห้ง (มวลชีวภาพ) (กรัม)
	D คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น (เซนติเมตร)
	H คือ	ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร)
	a คือ	ค่าคงที่ (จุดตัดของกราฟ)
	b คือ	ค่าคงที่ (ความชันของกราฟ)

นำสมการที่ได้มาใส่ประมาณมวลชีวภาพของลำต้น และใบของกล้าไม้จากค่าความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลาง คำนวณหาอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ

การศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ

ตัวอย่างใบ ทำการสุ่ม 4 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และหลังจบการทดลองที่ 1, 2 และ 3 สุ่มตัวอย่างใบอ่อนจากใบคูที่ถัดจากปลายยอดลงมาและอยู่ในกิ่งที่ออกจากลำต้นโดยตรง และสุ่มตัวอย่างใบแก่จากใบที่อยู่บริเวณต่ำกว่าลงมา จากนั้นนำตัวอย่างมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ โดยมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl Method (Jackson, 1967)
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	Ammonium Metavanadate (Reuter และ Robinson, 1986 อ้างถึงใน ประสิด ธรรมเขต, 2540)

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองแต่ละครั้ง และแต่ละระยะเวลากักเก็บทางสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

2. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำที่ออกจากชุดทดลองรวมทั้งเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลอง วิเคราะห์ทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3. เปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและการสะสมธาตุอาหารในดินตามปัจจัยต่างๆ ในการทดลองแต่ละระยะเวลากักเก็บ โดยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

4. เปรียบเทียบการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูงของกล้าไม้ทุกชุดทดลอง และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพตามปัจจัยต่างๆ ของการทดลองในการทดลองแต่ละระยะเวลากักเก็บ โดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

5. เปรียบเทียบความแตกต่างของธาตุอาหารในกล้าไม้ทุกชุดทดลองตามปัจจัยต่างๆ ในการทดลองแต่ละระยะเวลากักเก็บ โดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง แบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorial โดยวิธี two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

3.2 โครงการย่อยที่ 1-2 ผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน

3.2.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนปลูกในการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียที่มีความเค็มต่างกัน
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน และธาตุอาหารในดิน เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีระดับความเค็มต่างกัน
3. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ เมื่อได้รับน้ำเสียที่มีระดับความเค็มต่างกัน

3.2.2 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษา 3 ด้าน ดังนี้

1. การศึกษาด้านประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน โดยใช้ น้ำเสียที่ปรับให้มีความเค็มต่างกัน และวิธีการปล่อยน้ำเสียต่างกัน โดยทำการทดลองในระบบขนาดเล็ก (lysimeter)
2. การศึกษาสมบัติของดินและการเปลี่ยนแปลง เพื่อประเมินถึงผลกระทบอันอาจเกิดขึ้นจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย และเพื่อติดตามผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ
3. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของพืช เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของกล้าไม้ และความสามารถในการสะสมธาตุอาหารของกล้าไม้แต่ละชนิด

3.2.3 การวางแผนการทดลอง

1. การทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย ตามวิธีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลอง คือ

- 1) Batch system (ระบบกะ)
- 2) Continuous-added system flow (ระบบเติมต่อเนื่อง)

โดยการทดลองใช้รูปแบบการปล่อยน้ำเสียทั้งสองวิธีจะทำควบคู่กันไป

2. การทดลองนี้ออกแบบการทดลองแบบ randomized completely block design (RCBD) involved factorials

โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ

1)

ชนิดของกล้าไม้

- กล้าไม้ 4 ชนิด คือ

- i. โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*)
- ii. แสมทะเล (*Avicennia marina*)
- iii. พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*)
- iv. โปรงแดง (*Ceriops tagal*)

- ควบคุม (ไม่ปลูกพืช)

2) ระดับความเค็มของน้ำเสีย

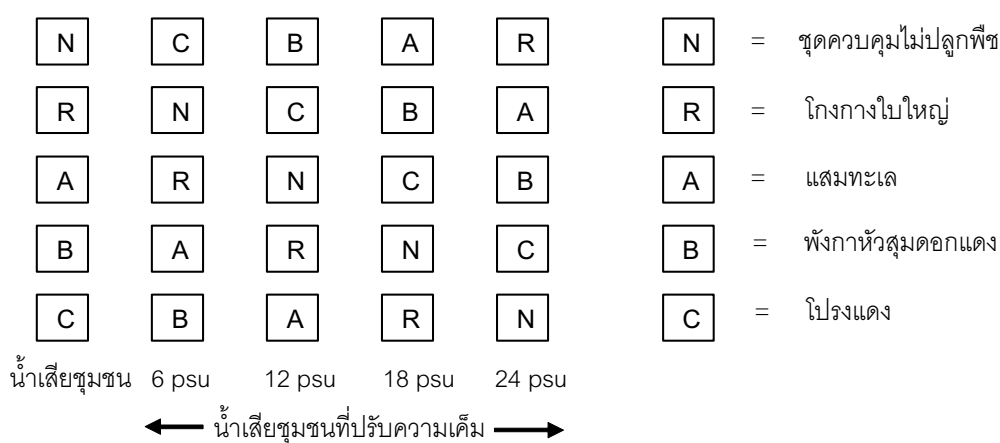
-	น้ำเสีย	5	ระดับความเค็ม			คือ
i.	น้ำเสียชุมชนปกติ (NW : normal wastewater)					เป็นน้ำเสียจากเทศบาลเมือง
ii.	น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม	6	p	s	u	
iii.	น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม	12		p	s	u
iv.	น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม	18	p		s	u
v.	น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม	24	p		s	u

โดยจะทำการทดลองในชุดทดลองที่ผ่านการใช้ทดลองในการทดลองย่อยที่ 1-1 ภายหลังจากล้างด้วยน้ำทะเลประมาณ 3 เดือนก่อนนำมาใช้ในการทดลองนี้ โดยจะมีชุดทดลอง 25 ชุด สำหรับการปล่อยน้ำเสียแบบกะ (batch flow) และ 25 ชุดสำหรับการปล่อยน้ำเสียแบบเติมต่อเนื่อง (continuous-added flow) รวมทั้งสิ้น 50 ชุดทดลอง

ผังรูปที่

3-4

หมายเหตุ :



รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงชุดทดลอง ในโครงการย่อยที่ 1-2

3.2.4 วิธีการทดลอง

3.2.4.1 วิธีการทดลองบำบัดน้ำเสีย

ทำการทดลองโดยใช้ระยะเวลาเก็บ 7 วัน โดยมีขั้นตอนการทดลองและการพิจารณาเช่นเดียวกับการทดลองย่อยที่ 1-1 ทดลองซ้ำ 9 ครั้ง รวมระยะเวลาที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 126 วัน

3.2.4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำ

มีวิธีการเก็บตัวอย่าง และมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1-1 โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากแปลงหญ้ากรองน้ำเสีย นอกจากนี้ได้ทำการทดลองบำบัดทองแดงและตะกั่ว แต่เนื่องจากโดยทั่วไปปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงได้ปรับเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงและตะกั่วให้เป็น 2 mg/l เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพการบำบัดที่ชัดเจนขึ้น

3.2.4.3 การศึกษาด้านดิน

ตัวอย่างดินจะทำการสุ่มตัวอย่าง 4 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และภายหลังการทดลองครั้งที่ 3, 6 และ 9 โดยมีพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1-1

3.2.4.4 การศึกษาด้านพืช

การเจริญเติบโตด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง

บันทึกความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ 10 ครั้ง คือ ก่อนดำเนินการทดลอง และภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียทั้ง 9 ครั้ง เช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1-1

การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ

ศึกษามวลชีวภาพของลำต้น และใบของกล้าไม้ โดยสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation แล้วนำสมการที่ได้มาใส่ประมาณอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1-1

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้วิธีการเช่นเดียวกับโครงการย่อยที่ 1-1

3.3 โครงการที่ 2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน องค์ประกอบธาตุอาหารในพืช และสัตว์หน้าดิน ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

3.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินและพืช ในพื้นที่ป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษานิสิตและการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดิน ในพื้นที่ป่าชายเลนที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

3.3.2 พื้นที่ดำเนินการและขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ดำเนินการวิจัยอยู่ภายใต้การดำเนินการของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในแปลงป่าชายเลนบำบัดน้ำเสีย ซึ่งได้มีการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ป่าชายเลน 3 ระบบ (รูปที่ 3-5) คือ

ระบบที่ 1 ใช้ป่าชายเลนธรรมชาติ ขนาดกว้าง x ยาว	= 100 x 150 ม ²
ระบบที่ 2 ใช้ป่าชายเลนปลูกใหม่ ขนาดกว้าง x ยาว	= 100 x 150 ม ²
ระบบที่ 3 ใช้ป่าชายเลนปลูกใหม่ ร่วมกับป่าชายเลนธรรมชาติ ขนาดกว้าง x ยาว	= 100 x 300 ม ²

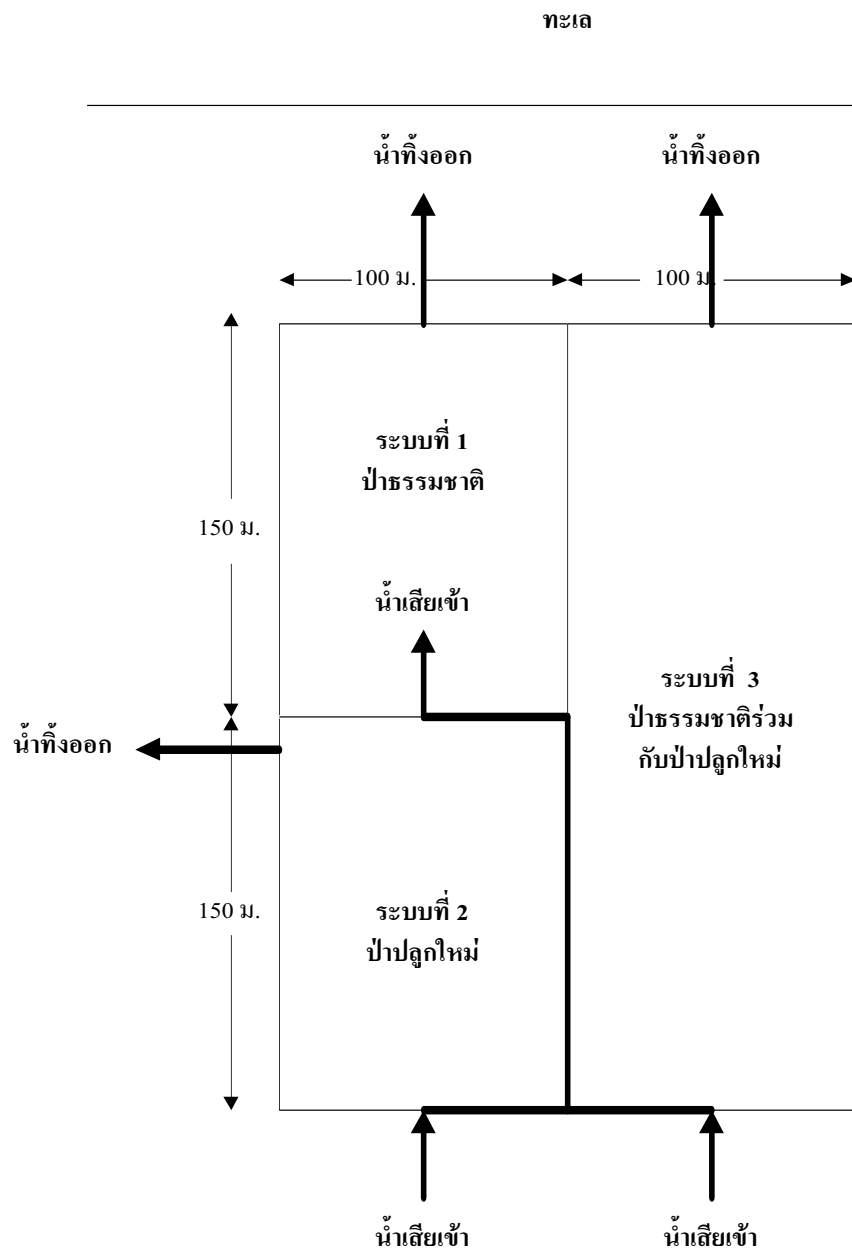
แต่ระบบย่อยจะมีท่อน้ำน้ำเสียเข้า และประตุน้ำเพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออก รวมทั้งกันไม่ให้ น้ำทะเลไหลเข้าในระบบได้

ภายในระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ได้มีการปรับแต่งพื้นที่ให้มีความลาดเอียงใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติ แล้วแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 โซนเท่าๆ กัน ตามแนวยาว แต่ละโซนจะมีความยาวประมาณ 37.5 เมตร แล้วจึงทำการปลูกกล้าไม้ชายเลนตั้งแต่ปี 2542 จำนวน 4 ชนิด มีระยะปลูก 1.5 x 1.5 ม²

โซนที่ 1 (ติดกับป่าชายเลนธรรมชาติ)	ปลูกพันธุ์ไม้สกุล โกงกาง (<i>Rhizophora</i> spp.)
โซนที่ 2 (ถัดออกมา)	ปลูกพันธุ์ไม้เสมทะเล (<i>Avicennia marina</i>)
โซนที่ 3 (ถัดออกมา)	ปลูกพันธุ์ไม้สกุล ถั่ว (<i>Bruguiera</i> spp.)
โซนที่ 4 (ห่างจากป่าชายเลนธรรมชาติมากที่สุด)	ปลูกพันธุ์ไม้สกุล โปรง (<i>Ceriops</i> spp.)

2. ในการวิจัยนี้ ทำการสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ 3 บริเวณ คือ ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน 2 ระบบ คือ ระบบป่าชายเลนธรรมชาติ (ระบบที่ 1) และ ระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ (ระบบที่ 2) นอกจากนี้ได้กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างในแปลงควบคุม (เฉพาะป่าชายเลนธรรมชาติ) ในบริเวณที่ไม่ได้ใช้ในการบำบัดน้ำเสียอีก 1 บริเวณ

3. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน เป็นน้ำเสียจากเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีและเขตใกล้เคียง ซึ่งส่งตามแนวท่อมายังบริเวณโครงการฯ ด้วยระยะทางประมาณ 18.5 กิโลเมตร มีสมบัติเช่นเดียวกับน้ำเสียจากแปลงคู่อำเภอเมืองน้ำเสียซึ่งใช้ในโครงการที่ 1



รูปที่ 3-5 ระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ป่าชายเลนของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

3.3.3 สถานีเก็บตัวอย่าง

กำหนดพื้นที่แปลงควบคุมป่าชายเลนธรรมชาติในบริเวณที่ไม่ได้ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย แต่เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ภายในโครงการฯ ทำให้ไม่สามารถกำหนดพื้นที่แปลงควบคุมให้อยู่ในแนวที่ขนานกันกับพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสียป่าชายเลนธรรมชาติได้ แต่กลับอยู่ในแนวที่เหลื่อมออกไปไกลชายฝั่งมากกว่า นอกจากนี้การที่แปลงควบคุมไม่มีประตูน้ำ แต่ให้น้ำทะเลสามารถขึ้นลงได้ตามธรรมชาติ ทำให้พื้นที่แปลงควบคุมได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลที่แตกต่างกันไปจากพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการเก็บตัวอย่างดิน พืช และสัตว์หน้าดิน ได้กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างจาก 3 บริเวณ รวม 24 สถานี ดังนี้ (รูปที่ 3-6)

1) ระบบป่าชายเลนปลูกใหม่ มี 12 สถานี ประกอบด้วย

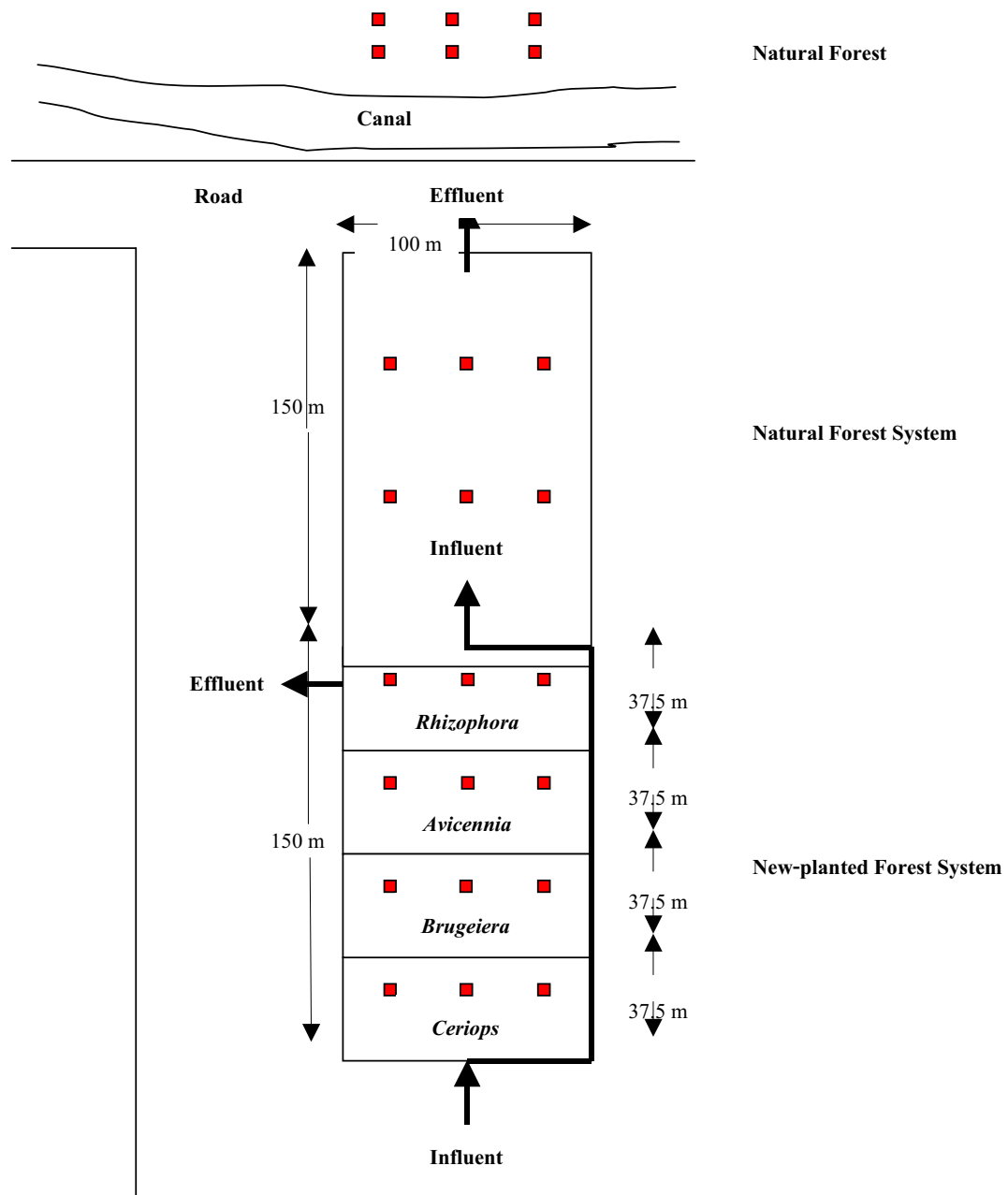
- สถานีที่ 1-3 อยู่ในโซนที่ปลูกไม้โปรง ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 19 เมตร
- สถานีที่ 4-6 อยู่ในโซนที่ปลูกไม้ฉำฉา ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 56 เมตร
- สถานีที่ 7-9 อยู่ในโซนที่ปลูกไม้เสม ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 94 เมตร
- สถานีที่ 10-12 อยู่ในโซนที่ปลูกไม้โกงกาง ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 131 เมตร

2) ระบบป่าชายเลนธรรมชาติ มี 6 สถานี ประกอบด้วย

- สถานีที่ 13-15 อยู่ในป่าธรรมชาติ ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 50 เมตร
- สถานีที่ 16-18 อยู่ในป่าธรรมชาติ ห่างจากปลายท่อน้ำเสียเข้าประมาณ 100 เมตร

3) แปลงควบคุมป่าธรรมชาติ มี 6 สถานี กำหนดโดยใช้แนวคลองเป็นจุดอ้างอิง ประกอบด้วย

- สถานีที่ 19-21 อยู่ในป่าธรรมชาติ ห่างจากคลอง 10 เมตร
- สถานีที่ 22-24 อยู่ในป่าธรรมชาติ ห่างจากคลอง 20 เมตร



รูปที่ 3-6 สถานีเก็บตัวอย่างดิน พืช และสัตว์หน้าดินในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน และแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ

3.3.4 วิธีการศึกษา

3.3.4.1 การศึกษาสมบัติของดิน

เก็บตัวอย่างดินชั้นบน (0-30 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (30-60 เซนติเมตร) ภายในระบบบำบัดน้ำเสียป่าชายเลนปลูกใหม่ ระบบบำบัดน้ำเสียป่าชายเลนธรรมชาติ และแปลงควบคุมป่าธรรมชาติ ทุก 4 เดือน รวม 7 ครั้ง (ธันวาคม 2545; เมษายน สิงหาคม และธันวาคม 2546; เมษายน สิงหาคม และธันวาคม 2547) ซึ่งอย่างไรก็ตามในช่วงเวลาดังกล่าวทางโครงการฯ ไม่ได้ใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลนในการบำบัดน้ำเสียเลย มีเพียงการเปิดประตูน้ำในช่วงน้ำขึ้นเพื่อให้ น้ำท่วมขังระบบเป็นครั้งคราว แต่ต่อมาในเดือนมกราคม 2548 ทางโครงการได้เริ่มปล่อยน้ำเสียลงสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังนั้นจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเฉพาะดินชั้นบน (0-30 เซนติเมตร) เพิ่มอีก 1 ครั้ง ในเดือนมิถุนายน 2548

ภายหลังจากที่ระบบบำบัดน้ำเสียป่าชายเลนได้รับน้ำเสียเป็นเวลาประมาณ 6 เดือน รวมการเก็บตัวอย่างดินทั้งสิ้น 8 ครั้ง ตัวอย่างดินจะถูกฝังให้แห้งในที่ร่ม บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และขนาดอนุภาคดิน อีกส่วนหนึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารในดิน โดยมีฟารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3-5 ของโครงการที่ 1 ยกเว้นไม่ทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available nitrogen) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus)

3.3.4.2 การศึกษาองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ

ตัวอย่างใบ ทำการสุ่ม 7 ครั้ง ในช่วงเวลาเดียวกับการศึกษาด้านคุณภาพดิน (ครั้งที่ 8 เดือนมิถุนายน 2548 ภายหลังจากที่ระบบได้รับน้ำเสียประมาณ 6 เดือน ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง) โดยสุ่มตัวอย่างทั้งใบอ่อนและใบแก่ จากนั้นนำตัวอย่างใบมาฝังให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ โดยมีฟารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3-6 ของโครงการที่ 1

3.3.4.3 การศึกษาสัตว์หน้าดิน

การสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาชนิดและการแพร่กระจายของสัตว์ในดิน ทำการสุ่ม 8 ครั้ง ในบริเวณและช่วงเวลาเดียวกับการศึกษาด้านคุณภาพดิน โดยการวางแปลง quadrat ขนาด 0.5 x 0.5 เมตร เก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำ ตักดินบริเวณผิวหน้า นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร และเก็บรักษาตัวอย่างสัตว์หน้าดินด้วยสารละลายฟอร์มาลินเข้มข้น 10% นำตัวอย่างสัตว์หน้าดินไปจัดจำแนกในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตำราของ เฉลิมวิไล ชื่นศรี (2517) บรรจง เทียมสงฆ์ (2515) สุรินทร์ มัจฉาชีพ (2540) Brandt (1974), Healy & Yaldwyn (1970), Swennen et al. (2001), Mccafferty and Provonsa (1981), Williams and Felmate (1992) และ Usinger (1968)

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่วิเคราะห์ซ้ำ
2. เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของสมบัติดินและองค์ประกอบธาตุอาหารในใบ ระหว่างพื้นที่ที่ใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียและที่ไม่ได้ใช้บำบัดน้ำเสีย ระหว่างโซนของพันธุ์ไม้ต่างชนิด และระหว่างช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง โดยการหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถ้าหากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

บทที่ 4

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด

เนื้อหาในบทที่ 4 จะประกอบด้วยผลการศึกษาคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดในโครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ของโครงการย่อยทั้งสองโครงการ คือ โครงการที่ 1-1 ผลของระยะเวลาพักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน และโครงการย่อยที่ 1-2 ผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน โดยได้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอ ดังนี้

- 4.1 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1
- 4.2 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1
- 4.3 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2
- 4.4 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2
- 4.5 การบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในโครงการย่อยที่ 1-2
- 4.6 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด

4.1 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดในระบบกะ ในโครงการการย่อยที่ 1-1

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียแบบกะได้ทดลองบำบัดโดยใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยทดลองระยะพักเก็บละ 3 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลองในระบบกะ ในโครงการการย่อยที่ 1-1

คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-1 และ ตารางที่ ก 1 ถึง ก 3 ภาคผนวก ก) สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW: normal wastewater) มีค่าเฉลี่ย pH (ความเป็นกรด-ด่าง) 7.42 ความเค็ม 0.49 psu, DO (dissolved oxygen) 0.0 mg/l ทุกการทดลอง, BOD (biochemical oxygen demand) 21.68 mg/l, TN (total nitrogen) 22.358 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) 13.682 mg/l และมีไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) 0.186 mg/l, TP (total phosphorus) 6.107 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต (ortho- PO_4) 5.773 mg/l ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสีย NW มีค่าความสกปรกต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า BOD อาจเป็นเพราะได้ผ่านการตกตะกอนขั้นต้นในบ่อรวมน้ำเสียที่บ้านคลองยางก่อนที่จะสูบโดยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้วมายังพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ด้วยระยะทางถึง 18.5 กิโลเมตร จึงคาดว่า กระบวนการต่างๆ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ ไนตริฟิเคชัน (nitrification) และการระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) ได้เกิดขึ้นบางส่วน ทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนจะมีค่า BOD อยู่ในช่วงประมาณ 110-440 mg/l (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2535) TN อยู่ในช่วง 20-70 mg/l และ TP อยู่ในช่วง 6-10 mg/l (Gray et al., 2000)

น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2, 5 และ 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (2NW, 5NW และ 10NW) ใช้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในบ่อฝักรที่ 1 ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ (ซึ่งทำให้น้ำมีค่า DO > 0 mg/l สูงกว่าน้ำเสีย NW ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ส่งตรงมาจากบ่อรวมน้ำเสียที่คลองยาง ไม่ได้ผ่านการบำบัดในโครงการฯ) มาปรับความเข้มข้นของ TN โดยใช้ยูเรีย (NH_2CONH_2) และปรับความเข้มข้นของ TP โดยใช้โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ซึ่งจากการศึกษาของ Boonsong et al. (2003) พบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่โครงการฯ มีค่าเฉลี่ย TN ประมาณ 20 mg/l และ TP 4 mg/l ดังนั้น จึงใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าประมาณของน้ำเสีย NW แล้วปรับความเข้มข้นของน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW ให้มีค่า TN เท่ากับ 40, 100 และ 200 mg/l ตามลำดับ และค่า TP เท่ากับ 8, 20 และ 40 mg/l ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่เตรียมได้มีค่าเฉลี่ย TN 46.293, 105.062 และ 213.598 mg/l ตามลำดับ และ ค่าเฉลี่ย TP 8.250, 19.407 และ 43.515 mg/l ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด ค่าแอมโมเนียของน้ำเสียที่ปรับความเข้มข้นมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นมีค่า 9.783, 20.083 และ 38.716 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะในการปรับความเข้มข้นของ TN ในน้ำเสียใช้ยูเรีย ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) และแอมโมเนียมไอออน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) โดยมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) เป็นผลพลอยได้ของปฏิกิริยา (ซึ่งทำให้ค่า pH ของน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW มีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าน้ำเสีย NW) อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าน้ำเสีย 2NW มีค่าแอมโมเนียต่ำกว่าน้ำเสีย NW ทั้งนี้เพราะน้ำเสีย 2NW เป็นน้ำเสียที่ปรับค่า TN โดยใช้ยูเรียซึ่งหากมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ในขั้นแรกจะเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เปลี่ยนรูปยูเรียเป็นแอมโมเนีย ในขั้นถัดไปแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) และไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งในน้ำเสีย 2NW มีการเติมยูเรียปริมาณต่ำ และน้ำที่ใช้เตรียมมีค่าเฉลี่ย DO สูง 4.74 mg/l (ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องจากการคนให้สารเคมีละลาย) ดังนั้น จึงคาดว่ากระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันในน้ำเสียสามารถเกิดขึ้นได้ดี ทำให้อะมโมเนียในน้ำเสีย 2NW มีค่าต่ำ ขณะที่น้ำเสีย NW ซึ่งมีเฉลี่ย DO

0 mg/l เป็นผลให้กระบวนการไนตริฟิเคชันถูกจำกัด จึงทำให้พบว่ามีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่า (ตารางที่ ก 7 ภาคผนวก ก) ไนเตรทในน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.804-0.864 mg/l ค่าออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า 5.773, 7.523 และ 17.526 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการละลายของ KH_2PO_4 ซึ่งใช้ในการปรับความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียจะให้ฟอสเฟต (PO_4) และไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) (ซึ่งทำให้ค่า pH ของน้ำเสียลดลง ดังนั้น น้ำเสีย 10NW ซึ่งต้องใช้ KH_2PO_4 ปริมาณมากจึงมีค่า pH ต่ำกว่าน้ำเสีย 2NW และ 5NW ตามลำดับ) สำหรับค่า BOD ของน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW มีค่า 55.47, 94.30 และ 111.24 mg/l ตามลำดับ อันเป็นผลพลอยได้จากการใช้ยูเรียปรับความเข้มข้นของ TN ทำให้ BOD มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสียด้วย

น้ำทะเลซึ่งใช้ในชุดทดลองควบคุม สูดขึ้นมาจากคลองซึ่งไหลผ่านด้านข้างพื้นที่ทดลองเป็นแนวกั้นระหว่างโครงการฯ และสถานีประมงน้ำกร่อย คลองนี้จะเชื่อมต่อกับชายฝั่งซึ่งอยู่ห่างออกไปประมาณ 1.5 กิโลเมตร พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ pH 8.01, ความเค็ม 30.09 psu, DO 3.73 mg/l, BOD 11.76 mg/l, TN 4.594 mg/l, แอมโมเนีย 0.288 mg/l, TP 0.740 mg/l และออร์โธฟอสเฟต 0.550 mg/l ซึ่งจะเห็นว่า น้ำทะเลที่สูบน้ำขึ้นมามีคุณภาพไม่ด้นัก ค่า BOD, TN และ TP ก่อนข้างสูง และไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนโตรเจนอินทรีย์

ตารางที่ 4-1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

พารามิเตอร์	NW	2NW	5NW	10NW	SW
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.42±0.15 ^d	8.19±0.17 ^a	8.10±0.39 ^{ab}	7.83±0.22 ^b	8.01±0.226 ^c
อุณหภูมิ (°C)	30.51±0.87 ^a	29.58±0.73 ^b	29.65±0.71 ^b	29.55±0.77 ^b	29.57±1.26 ^b
การนำไฟฟ้า (mS)	0.77±0.57 ^b	0.72±0.52 ^b	0.73±0.53 ^b	0.52±0.04 ^b	52.08±1.60 ^a
ความเค็ม (psu)	0.49±0.08 ^b	0.50±0.00 ^b	0.51±0.04 ^b	0.52±0.04 ^b	30.09±6.12 ^a
ออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l)	0.00±0.00 ^c	4.74±1.20 ^a	4.55±1.32 ^a	4.40±1.01 ^{ab}	3.73±2.04 ^b
บีโอดี (BOD) (mg/l)	21.68±10.48 ^d	55.47±12.88 ^c	94.30±25.59 ^b	111.24±28.08 ^a	11.76±9.14 ^d
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	22.358±5.526 ^d	46.293±8.301 ^c	105.062±8.284 ^b	213.598±21.472	4.594±2.532 ^c
แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) (mg/l)	13.682±3.610 ^c	9.783±4.194 ^c	20.083±9.565 ^b	38.716±15.354 ^a	0.288±0.141 ^d
ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg/l)	0.186±0.033 ^b	0.856±0.145 ^a	0.804±0.144 ^a	0.864±0.149 ^a	0.120±0.053 ^c
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	6.107±1.599 ^d	8.250±1.702 ^c	19.407±2.364 ^b	43.515±6.643 ^a	0.740±0.330 ^c
ออร์โธฟอสเฟต (ortho- PO_4) (mg/l)	5.773±1.621 ^d	7.523±1.623 ^c	17.526±2.285 ^b	39.953±6.379 ^a	0.550±0.204 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 2NW, 5 NW และ 10 NW คือ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2, 5 และ 10 เท่า ของน้ำเสียชุมชนปกติ ตามลำดับ; SW (seawater) คือ น้ำทะเล

4.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดในระบบกะ ในโครงการการย่อยที่ 1-1

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า pH 7.39-8.30 เมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่า pH สูงขึ้นในช่วง 7.52-9.28 (ตารางที่ ก 4 ภาคผนวก ก) ทั้งนี้เพราะการนำน้ำเสียซึ่งมีธาตุอาหารสูงเข้าสู่ชุดทดลองทำให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโต ซึ่งการสังเคราะห์แสงและการหายใจจะทำให้สมดุลคาร์บอนในน้ำเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้การนำน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองยังเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของ BOD ซึ่งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (สุวสา กานตวนิชกูร, 2544) ซึ่งจะรวมตัวกับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งสามารถแตกตัวได้เป็นคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไดออกไซด์ไอออน (CO_3^{2-}) ทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้น ซึ่งค่า pH ของน้ำในธรรมชาติเป็นผลจากองค์ประกอบของไอออน 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2543)

การนำไฟฟ้าและความเค็ม (Conductivity and Salinity)

การนำไฟฟ้าและความเค็มของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า 1.01-1.22 mS/cm และ 0.47-0.57 psu ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าดังกล่าวสูงขึ้นเป็น 8.63-34.25 mS/cm และ 3.63-15.23 psu ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยของน้ำและการละลายของเกลือในดิน ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเค็มสูงขึ้น และพบว่า เมื่อระยะกักเก็บน้ำนานขึ้น การระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเค็มสูงขึ้น โดยเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเค็มอยู่ในช่วง 9.57-19.47, 4.83-14.93 และ 3.63-9.93 psu ตามลำดับ ส่วนการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 17.96-30.58, 9.23-20.32 และ 7.15-18.36 mS/cm ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความเค็ม เพราะการนำไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายเกลือ นอกจากนี้ยังขึ้นกับ pH และอุณหภูมิของน้ำซึ่งจะควบคุมการละลายของเกลือ (ตารางที่ ก 5 ถึง ก 6 ภาคผนวก ก)

ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า DO 0.00-5.39 mg/l โดยน้ำเสีย NW มีค่า DO 0.00 ± 0.00 mg/l ขณะที่น้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW มีค่า DO อยู่ในช่วง 3.31-5.39 mg/l ซึ่งเป็นผลจากการคนให้สารเคมีที่ใช้ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP ละลาย น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า DO สูงขึ้นเป็น 4.17-11.00 mg/l (ตารางที่ 4-2) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมอากาศโดยลมที่สัมผัสผิวน้ำ การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชปริมาณมาก รวมทั้งการแลกเปลี่ยนอากาศบริเวณรากพืชในชุดทดลอง ซึ่งในบางครั้งทำให้ DO ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงระดับ super saturated

สำหรับประเด็นอื่นๆ สามารถสรุปแนวโน้มได้ดังนี้

- โดยทั่วไปชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีค่า DO สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งชี้ให้เห็นว่า พืชช่วยเพิ่ม DO ในระบบได้ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีข้อสังเกตว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ผสมทะเลมีค่า DO ก่อนข้างต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้อื่น ทั้งนี้เพราะผสมทะเลมีการเจริญเติบโตแตกกิ่งก้านเป็นพุ่ม ขณะที่โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุม และโปรงแดง ไม่มีการแตกกิ่งก้าน ดังนั้นเมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งผสมทะเลมีการเจริญเติบโต ทำให้ระบบค่อนข้างแน่นทึบ การเติมอากาศโดยลมและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชจึงเป็นไปได้น้อย ค่า DO ในระบบจึงต่ำ

- ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW มีค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW ถึงแม้ว่าน้ำเสีย NW เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า DO เป็น 0.00 ± 0.00 mg/l ทุกการทดลอง ขณะที่น้ำเข้าสู่ชุดทดลอง 2NW, 5NW และ 10NW มีค่า DO สูงกว่า อยู่ระหว่าง 3.31-5.39 mg/l ทั้งนี้เพราะน้ำเสียที่ปรับเพิ่มความเข้มข้นมีสารอินทรีย์สูง (เนื่องจากการใช้สารยูเรียเพื่อปรับเพิ่มค่า TN ซึ่งสอดคล้องกับค่า BOD ที่สูงขึ้นด้วย) ทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้น DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจึงไม่สูงขึ้นมาก นอกจากนี้พบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำทะเล (ควบคุม) มีค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจากน้ำทะเลมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้ความต้องการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ ทำให้มี DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่า

ตารางที่ 4-2 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

ักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^b 0.00±0.00	9.05±1.89 ^{ab}	^a 6.78±0.51 ^b	8.27±0.19 ^b	8.35±0.74 ^b	^a 10.97±1.69 ^a
	2NW	^a 3.99±2.03	7.77±0.81	^b 4.23±0.67	6.23±1.24	9.32±4.46	^b 5.67±1.15
	5NW	^a 3.31±1.71	6.72±1.09	^b 4.17±1.12	7.40±4.06	8.20±1.91	^b 4.47±0.45
	10NW	^a 3.31±0.81	8.23±2.02	^b 4.52±1.07	6.57±3.02	8.18±3.18	^b 4.50±0.92
	SW	^a 3.86±3.24	8.28±2.14	^a 8.07±1.36	9.25±1.49	13.87±2.68	^{ab} 7.72±3.51
5	NW	^c 0.00±0.00	^a 10.30±1.25	^a 11.00±2.99	9.43±3.36	^b 7.30±1.87	6.87±1.75
	2NW	^a 5.33±1.82	^{bc} 7.87±1.08	^b 5.17±1.27	6.17±0.72	^b 5.48±1.93	5.05±1.08
	5NW	^a 5.05±1.78	^c 5.93±0.68	^b 5.87±1.42	7.03±2.93	^b 6.40±1.31	5.77±0.60
	10NW	^a 4.77±1.19	^{bc} 7.77±1.36	^b 5.77±0.81	6.03±0.76	^b 7.03±1.33	5.65±0.76
	SW	^b 3.18±1.57	^{ab} 8.47±1.36	^a 10.70±1.91	11.20±3.95	^a 13.50±5.01	7.80±2.51
3	NW	^c 0.00±0.00	9.47±1.57	^{ab} 8.57±2.15	^{ab} 9.07±2.40	^{ab} 8.63±1.25	^{ab} 6.80±0.82
	2NW	^a 5.32±0.69	8.23±2.49	^{cb} 6.53±0.81	^{ab} 8.23±6.72	^{ab} 7.77±2.95	^{bc} 5.83±0.76
	5NW	^a 5.39±0.21	7.33±1.40	^{bc} 6.77±0.90	^{ab} 6.83±1.17	^{ab} 7.67±2.04	^{abc} 6.33±1.05
	10NW	^a 5.08±0.28	6.60±0.20 ^b	^c 5.83±0.21 ^c	^{ab} 7.23±0.29 ^a	^{ab} 6.20±0.26 ^{bc}	^c 5.27±0.40 ^d
	SW	^b 4.19±0.93	9.27±0.81 ^{ab}	^a 10.57±0.93 ^a	^a 11.17±1.15 ^a	^a 9.43±1.31 ^a	^a 7.63±0.64 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand :BOD)

BOD เป็นดัชนีบ่งชี้ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ โดยวัดจากระดับความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (ธงชัย พรธนะสวัสดิ์, 2544)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า BOD ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 19.37-24.05, 50.63-63.72, 80.13-104.97 และ 104.97-123.30 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD ลดลงเป็น 1.10-4.80, 6.05-26.50, 7.70-80.00 และ 9.00-67.00 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-3) ซึ่งค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ผันแปรมากขึ้นกับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนานขึ้นจะทำให้ค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัดลดลง พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บนาน 7 วัน และ 5 วัน จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าไม่เกินมาตรฐานซึ่งใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเสีย 10NW ที่เข้าสู่ระบบจะสูงถึง 111.24±28.08 mg/l ก็ตาม (ตารางที่ 4-1) แต่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน พบว่า สามารถใช้บำบัดน้ำเสีย NW ได้ (น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า BOD ไม่เกิน 20 mg/l) แต่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW ให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l ดังนั้น ในการบำบัด BOD อาจใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน ก็เพียงพอที่จะทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพได้ตามมาตรฐาน

(หมายเหตุ ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด อาคารประเภท ก. จะเป็นกลุ่มของอาคารชุด โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ ศูนย์การค้า ห้างสรรพสินค้า ตลาด และภัตตาคาร ซึ่งมีขนาดและพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด ซึ่งจะถูกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งไว้อย่างเข้มงวดกว่า อาคารประเภท ข-จ ซึ่งมีขนาดพื้นที่ใช้สอยน้อยกว่า และเกณฑ์ควบคุมไม่เข้มงวดเท่า)

ตารางที่ 4-3 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โถงกาบใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปร่งแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 24.05±15.67	3.55±1.44	4.20±2.34	5.30±2.83	1.10±0.17	5.76±3.38
	2NW	^b 63.72±12.51	10.30±3.45	7.40±4.94	6.05±1.31	8.70±1.62	11.15±3.53
	5NW	^a 104.97±39.22	9.43±5.73	12.30±10.50	8.30±4.51	8.10±5.01	15.60±9.24
	10NW	^a 123.30±45.47	9.00±2.16	17.10±9.73	14.40±8.72	14.20±7.60	16.50±7.57
	SW	^c 20.73±8.67	12.80±6.67	10.85±8.38	8.30±6.53	8.25±5.84	13.55±7.18
5	NW	^d 19.37±7.31	^b 2.00±0.46	^{ab} 2.15±1.39	^c 2.30±1.51	^c 1.10±0.17	^b 3.55±1.09
	2NW	^c 50.63±15.49	^a 13.15±9.57	^{ab} 10.40±7.11	^b 7.50±1.20	^a 11.45±4.03	^a 13.90±8.51
	5NW	^b 80.13±13.34	^{ab} 7.80±5.50	^{ab} 8.40±7.80	^b 7.70±3.24	^{ab} 8.70±4.17	^a 15.40±3.30
	10NW	^a 104.97±9.05	^{ab} 10.00±0.35 ^c	^a 11.60±1.93 ^{bc}	^a 16.10±2.00 ^{ab}	^{ab} 9.50±5.34 ^c	^a 20.20±1.25 ^a
	SW	^d 10.66±5.89	^b 1.75±0.74 ^b	^b 1.80±1.03 ^b	^c 2.30±1.35 ^b	^{bc} 3.30±1.37 ^{ab}	^b 5.22±0.92 ^a
3	NW	^d 21.63±6.77	^c 4.20±2.62	^d 2.10±1.08	^c 4.80±3.17	^c 4.00±3.08	^{bc} 7.20±2.62
	2NW	^c 52.05±5.18	^{bc} 24.80±1.73	^c 15.00±3.65	^b 24.20±2.50	^{bc} 17.60±10.76	^b 26.50±0.63
	5NW	^b 97.80±6.68	^a 75.50±30.35	^b 40.00±4.82	^a 64.00±13.94	^{ab} 44.50±3.46	^a 80.00±25.13
	10NW	^a 105.47±12.94	^b 45.00±0.29	^a 62.00±3.77	^a 67.00±9.12	^a 60.00±23.43	^a 75.00±7.94
	SW	^c 3.91±0.67	^c 2.80±0.17 ^{ab}	^d 2.10±2.79 ^{ab}	^c 1.40±1.39 ^{ab}	^c 1.30±0.46 ^b	^c 3.45±0.15 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กระบวนการบำบัด BOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การตกตะกอนของอนุภาค และการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (Kadlec, 1995)

โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในน้ำเสียทุกความเข้มข้น เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4-4 และ รูปที่ 4-1)

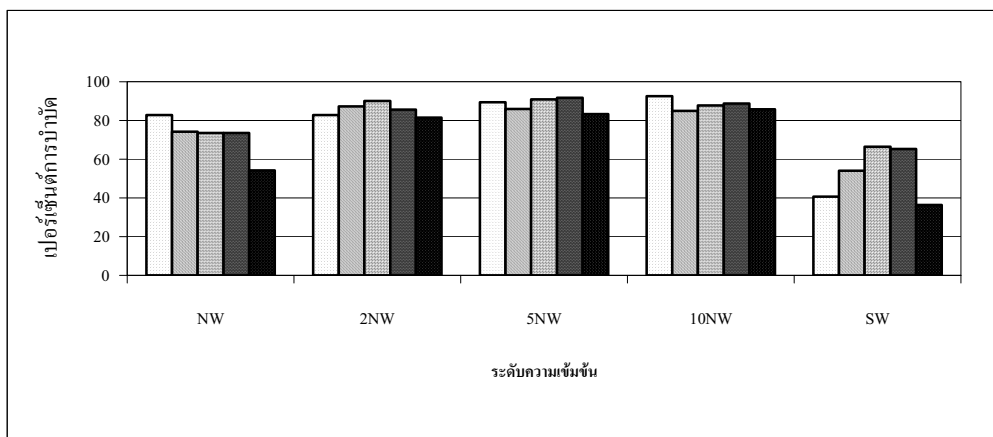
นอกจากนี้พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Klomjek and Nitisorant (2005) ที่พบว่า ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่ปลูกพืชจะมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD สูงกว่า และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มี DO สูงกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้เพราะพืชจะเพิ่มปริมาณ DO ซึ่งสนับสนุนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน และในสภาพที่มีออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าการย่อยสลายในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน (สุวสา กานตวนิชกูร, 2544) แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในน้ำเสียระหว่างชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (รูปที่ 4-2)

ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

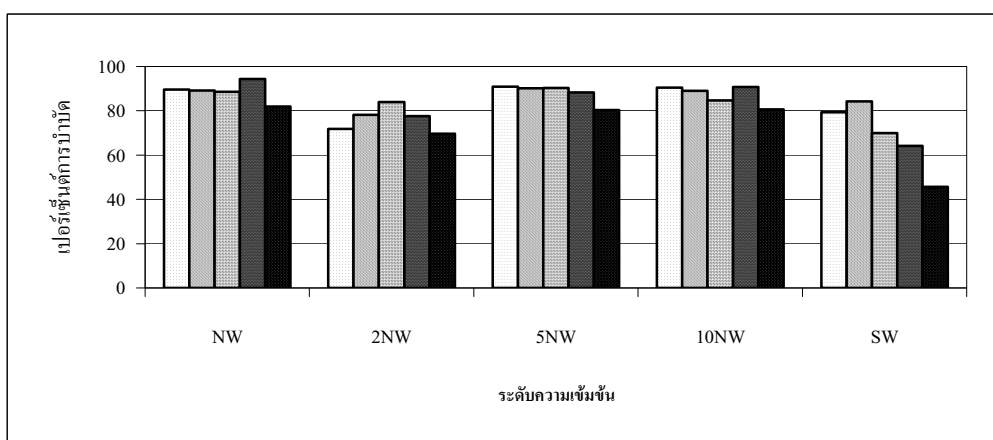
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
		โก่งางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
7	NW	^a 82.79±7.16	74.21±24.06	73.62±19.04	73.54±13.12	54.26±43.50
	2NW	^a 82.81±9.03	87.30±10.78	90.01±4.08	85.68±5.44	81.55±9.02
	5NW	^a 89.46±0.42	85.89±14.01	90.85±6.85	91.70±6.56	83.30±13.36
	10NW	^a 92.51±1.65	85.02±10.65	87.78±8.89	88.75±4.68	85.71±8.46
	SW	^b 40.68±8.67	54.02±27.76	66.52±22.74	65.23±17.61	36.36±13.50
5	NW	89.61±2.68	89.21±6.49	88.55±6.48	^a 94.32±0.76	^a 81.91±3.53
	2NW	71.85±20.39	78.13±15.14	83.99±5.91	^{ab} 77.55±3.92	^a 69.64±19.48
	5NW	90.95±5.58	90.20±7.76	90.38±3.55	^a 88.35±6.92	^a 80.40±5.08
	10NW	90.47±0.38 ^a	88.99±1.27 ^{ab}	84.70±1.08 ^{bc}	^a 90.80±5.52 ^a	^a 80.70±1.90 ^c
	SW	79.38±16.11	84.25±4.18	69.87±31.37	^b 64.10±19.82	^b 45.73±19.55
3	NW	^a 78.63±15.04	^a 90.04±4.58	75.68±17.36	79.83±15.47	^a 64.16±18.25
	2NW	^{abc} 51.95±7.08	^{ab} 70.57±10.19	52.93±9.50	63.43±18.39	^{ab} 31.21±8.60
	5NW	^c 23.39±29.20	^{bc} 59.17±3.72	34.80±12.62	54.54±2.25	^c 18.67±23.64
	10NW	^{ab} 56.73±3.99	^c 41.04±5.89	40.38±6.94	43.66±20.35	^{bc} 28.99±4.69
	SW	^{bc} 28.09±7.55 ^b	^c 46.03±21.34 ^{ab}	65.33±32.58 ^a	67.02±9.94 ^a	^c 11.62±3.14 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

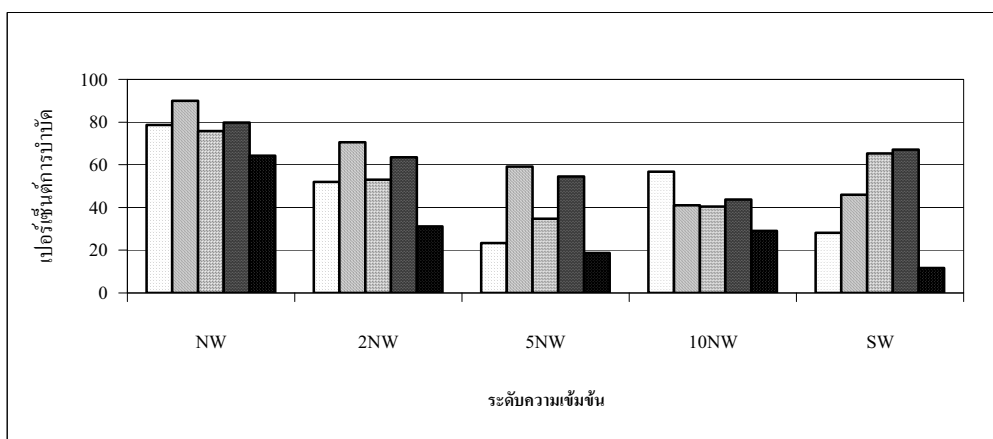
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน



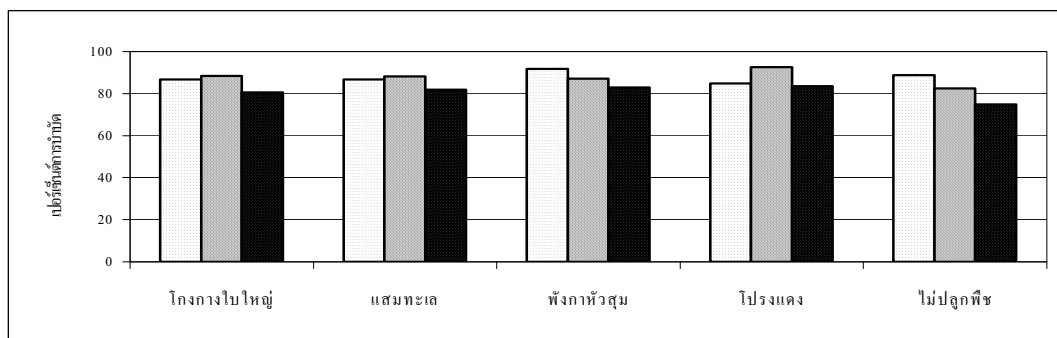
(ข) ระยะเวลาพักเก็บ 5 วัน



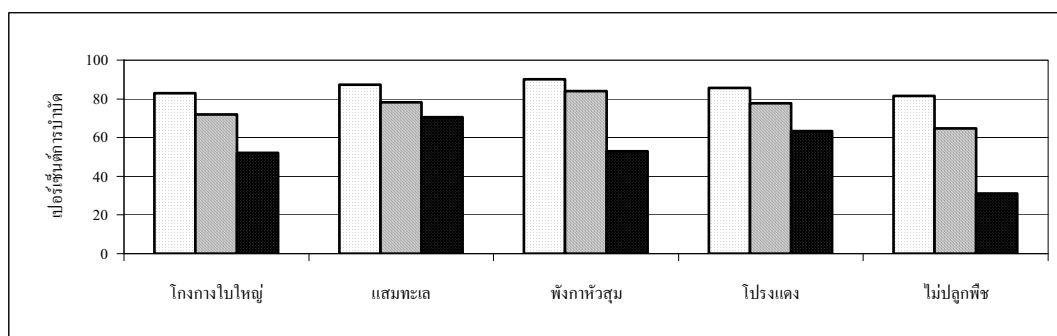
(ค) ระยะเวลาพักเก็บ 3 วัน



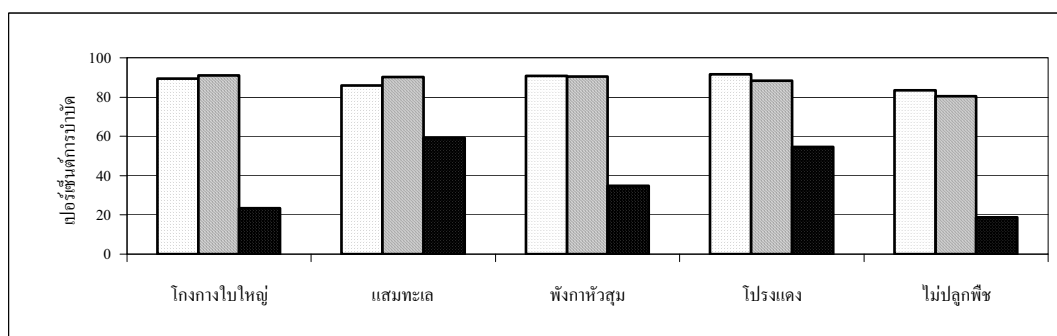
รูปที่ 4-1 เปอร์เซนต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



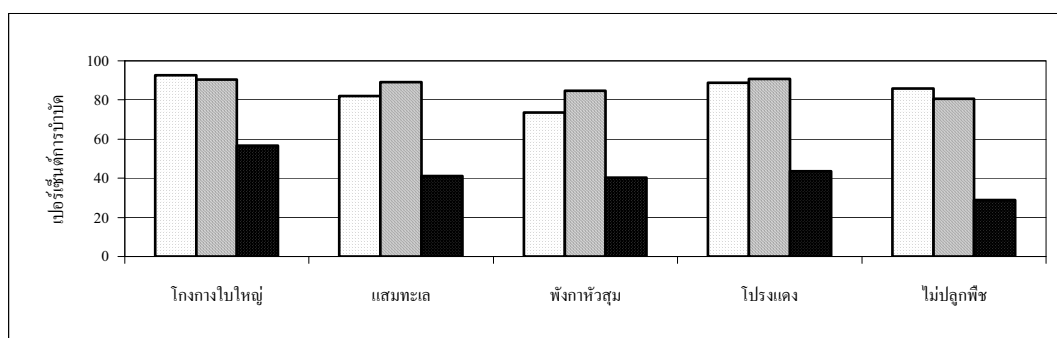
(ก) น้ำเสีย NW



(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10NW

ระยะกักเก็บ 7 วัน
 ระยะกักเก็บ 5 วัน
 ระยะกักเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-2 เปรอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

น้ำเสียชุมชน โดยทั่วไปจะมี TN 4 รูป คือ (1) อินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งจะประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ เช่น กรดอะมิโน และยูเรีย (2) ไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) (3) ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) และ (4) แอมโมเนีย ($\text{NH}_4\text{-N}$) โดยทั่วไปจะพบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมากที่สุด

การบำบัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นกระบวนการทาง biogeochemical ในดินและน้ำ โดยขั้นแรกอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพ คือ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งในสภาวะที่มีน้ำท่วมขังจะมีชั้นออกซิเจนอยู่เหนือระดับดิน แอมโมเนียในชั้นที่ขาดออกซิเจนจะแพร่เข้าสู่ชั้นที่มีออกซิเจน แล้วถูกบำบัดโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) เปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรท โดย nitrifying bacteria จากนั้นไนเตรทจะแพร่จากบริเวณที่มีออกซิเจนไปสู่บริเวณที่ไม่มีออกซิเจน แล้วถูกรีดิวซ์กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) สูญเสียออกนอกระบบโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) (Gray et al., 2000) นอกจากนี้ไนโตรเจนยังถูกบำบัดโดยการระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) และการนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท (Brix, 1993) รวมทั้งการดูดซับแอมโมเนียไว้โดยอนุภาคดินเหนียว นอกจากนี้ไนเตรทบางส่วนอาจสูญหายจากระบบโดยการชะละลาย (leaching) ไปกับน้ำออก

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า TN แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.418-26.196, 42.902-48.222, 101.640-107.520 และ 209.378-218.898 mg/l ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงจะมีค่าสูงกว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-5)

เมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียนานขึ้นจะทำให้ค่า TN ของน้ำที่ผ่านการบำบัดลดลง พบว่า ระยะกักเก็บ 7 วัน สามารถบำบัดน้ำเสียทุกความเข้มข้น (แม้ว่าน้ำเสีย 10NW จะมีค่าเฉลี่ย TN สูงถึง 213.598 ± 21.472 mg/l ก็ตาม (ตารางที่ 4-1) ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ซึ่งกำหนดให้ TN มีค่าไม่เกิน 35 mg/l ได้ ยกเว้นในระบบที่ไม่ปลูกพืช เมื่อใช้ระยะการกักเก็บ 5 วัน สามารถบำบัดน้ำเสีย NW, 2NW และ 5NW ให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l แต่เมื่อใช้ระยะการกักเก็บลดลงเป็น 3 วัน สามารถบำบัดได้เฉพาะน้ำเสีย NW และ 2NW ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานได้ (ตารางที่ 4-5)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN เมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บต่างกัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน จะสูงกว่า 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4-6 และ รูปที่ 4-3) ดังนั้น หากน้ำเสียมีความเข้มข้นของ TN สูง ควรใช้ระยะเวลาการกักเก็บที่นานขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับที่ Sansanayuth et al. (1996) ได้ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งในศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี โดยสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกปรังทะเล (*Acrostichum aureum*) ใช้การปล่อยน้ำแบบต่อเนื่อง ระยะเวลาการกักเก็บ 1, 2 และ 3 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN เมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 3 วัน สูงกว่าระยะเวลาการกักเก็บ 2 วัน และ 1 วัน ตามลำดับ โดยมีค่า 61.3, 57.3 และ 53.8% ตามลำดับ และสอดคล้องกับที่ สุวศา กานตวนิชกูร (2544) กล่าวว่า ไนโตรเจนอินทรีย์ไนโตรเจนจะลดลงตามระยะเวลาสัมผัส โดยระบบที่มีระยะเวลาการกักเก็บนานจะเหมือนกับระบบที่มีระยะห่างจากจุดปล่อยน้ำเข้า (inlet) มาก จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น

เปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 2NW และ 5NW จะมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 10NW โดยมีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของ TN สูงขึ้น (ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวจะชัดเจนมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการกักเก็บสั้นลง ซึ่งแสดงว่า การเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บจะทำให้ระบบมีศักยภาพที่จะบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ TN สูงได้ดีขึ้น) และชุดทดลองที่ปลูกพืชจะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4-4) โดยพืชมีบทบาทในการบำบัด TN โดยการดูดซับแอมโมเนียและไนเตรทไปใช้เพื่อสร้างสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อ รวมทั้งจัดเตรียมสภาพแวดล้อมบริเวณรากให้เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

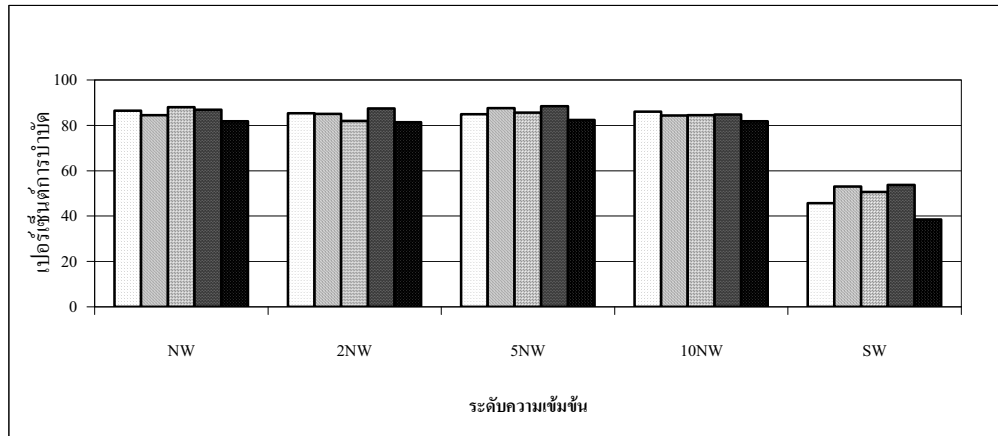
ตารางที่ 4-5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โกลกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^d 26.196±2.005	^d 3.391±0.585 ^{bc}	^{cd} 3.951±0.430 ^b	^c 3.111±0.430 ^c	^d 3.391±0.617 ^{bc}	^d 4.667±0.686 ^a
	2NW	^c 47.756±8.534	^c 7.404±1.284 ^{ab}	^c 7.124±1.435 ^{ab}	^{bc} 8.556±1.030 ^a	^c 5.973±1.268 ^b	^c 8.804±2.449 ^a
	5NW	^b 101.640±4.221	^b 15.307±3.345 ^{ab}	^b 12.631±2.651 ^{bc}	^b 14.498±3.327 ^{bc}	^b 11.636±1.681 ^c	^b 17.796±3.438 ^a
	10NW	^a 212.520±13.804	^a 29.618±4.623	^a 33.258±10.020	^a 33.103±15.606	^a 32.138±2.640	^a 38.547±5.966
	SW	^c 5.880±3.704	^d 2.146±0.313 ^b	^d 1.991±0.295 ^b	^c 2.178±0.460 ^b	^d 2.116±0.687 ^b	^d 2.738±0.623 ^a
5	NW	^d 18.418±4.195	^d 2.644±1.344 ^b	^d 2.330±1.244 ^b	^d 2.582±1.194 ^b	^c 5.476±3.016 ^a	^d 3.236±1.344 ^b
	2NW	^c 48.222±8.438	^c 6.938±0.697 ^b	^c 5.351±0.355 ^b	^c 5.942±1.135 ^b	^c 5.476±3.016 ^b	^c 9.147±2.481 ^a
	5NW	^b 107.520±8.428	^b 14.840±2.266 ^b	^b 14.996±2.832 ^b	^b 16.924±3.728 ^{ab}	^b 19.538±7.695 ^{ab}	^b 20.502±5.202 ^a
	10NW	^a 218.898±15.302	^a 33.787±4.733 ^c	^a 44.582±3.513 ^b	^a 55.098±4.687 ^a	^a 48.080±13.345 ^{ab}	^a 54.880±8.109 ^a
	SW	^c 4.667±1.726	^d 1.898±0.390 ^b	^d 1.618±0.123 ^b	^d 1.244±0.373 ^c	^c 1.244±0.373 ^c	^d 2.271±0.382 ^a
3	NW	^d 22.462±5.929	^d 4.387±0.420 ^b	^d 4.542±1.913 ^b	^d 3.764±2.275 ^b	^d 4.107±2.686 ^b	^d 6.813±1.435 ^a
	2NW	^c 42.902±7.772	^c 28.876±2.671 ^a	^c 12.258±0.638 ^b	^c 13.067±5.036 ^b	^c 14.280±1.196 ^b	^c 23.738±5.028 ^a
	5NW	^b 106.027±10.639	^b 48.720±0.370 ^a	^b 36.389±8.355 ^c	^b 39.604±3.369 ^{bc}	^b 42.218±4.362 ^b	^b 51.956±1.515 ^a
	10NW	^a 209.378±31.949	^a 85.742±14.549 ^c	^a 83.627±10.729 ^d	^a 107.489±13.841 ^a	^a 97.191±1.396 ^{bc}	^a 115.453±18.845
	SW	^c 3.236±0.445	^d 2.147±0.343 ^c	^d 2.396±0.203 ^{abc}	^d 2.178±0.789 ^{bc}	^d 2.551±0.219 ^{ab}	^d 2.738±0.623 ^a

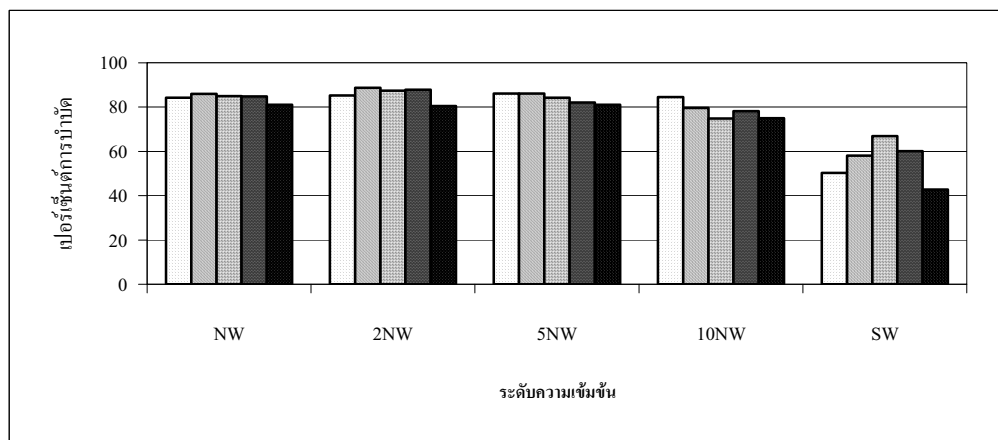
ตารางที่ 4-6 เปอร์เซนต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โกลกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 86.53±1.52 ^{ab}	^a 84.55±2.49 ^b	^a 87.95±1.40 ^a	^a 86.88±2.14 ^a	^a 81.77±3.42 ^c
	2NW	^a 85.27±2.55 ^{bc}	^a 85.04±2.46 ^{ab}	^a 81.96±1.95 ^{bc}	^a 87.47±2.21 ^a	^a 81.42±5.16 ^c
	5NW	^a 84.87±3.26 ^{bc}	^a 87.56±2.36 ^{ab}	^a 85.55±3.95 ^{ab}	^a 88.48±1.78 ^a	^a 82.34±3.71 ^c
	10NW	^a 86.08±1.84	^a 84.33±4.69	^a 84.47±7.12	^a 84.82±1.57 ^a	^a 81.85±2.62
	SW	^b 45.69±28.03	^b 52.99±20.73	^b 50.68±19.46	^b 53.75±17.95	^b 38.51±23.77
5	NW	^a 84.19±10.19	^{ab} 86.00±9.45	^a 84.99±8.09	^{ab} 84.80±9.31	^a 81.01±9.88
	2NW	^a 85.27±2.55 ^{ab}	^a 88.68±1.35 ^a	^a 87.39±2.82 ^a	^a 87.80±7.70 ^a	^a 80.43±6.70 ^b
	5NW	^a 86.14±1.69 ^a	^{ab} 86.07±1.73 ^a	^a 84.32±2.37 ^{ab}	^{ab} 82.07±6.37 ^b	^a 81.07±3.63 ^b
	10NW	^a 84.53±1.92 ^a	^b 79.58±1.10 ^b	^b 74.90±1.03 ^c	^b 78.11±5.44 ^b	^a 74.96±0.62 ^c
	SW	^b 50.33±17.64 ^{bc}	^c 58.16±11.33 ^{ab}	^c 66.86±16.14 ^a	^c 60.08±11.73 ^{ab}	^b 42.77±11.95 ^c
3	NW	^a 80.20±3.32 ^a	^a 78.93±9.84 ^{ab}	^a 82.10±11.74 ^a	^a 80.38±13.58 ^a	^a 68.74±9.30 ^b
	2NW	^c 51.39±4.33 ^b	^b 71.26±2.88 ^a	^b 68.77±13.78 ^a	^b 66.70±1.46 ^a	^b 44.88±9.49 ^b
	5NW	^{bc} 53.95±2.21 ^c	^{bc} 65.75±7.61 ^a	^b 62.53±3.94 ^{ab}	^{bc} 60.12±4.33 ^b	^b 50.95±1.10 ^c
	10NW	^b 58.86±8.15 ^{ab}	^c 60.16±4.05 ^a	^c 48.72±5.76 ^{cd}	^c 53.55±1.56 ^{bc}	^b 44.96±7.99 ^d
	SW	^d 38.14±8.64 ^a	^d 25.66±6.80 ^{ab}	^d 33.70±19.50 ^a	^d 20.52±10.14 ^b	^c 16.01±13.45 ^b

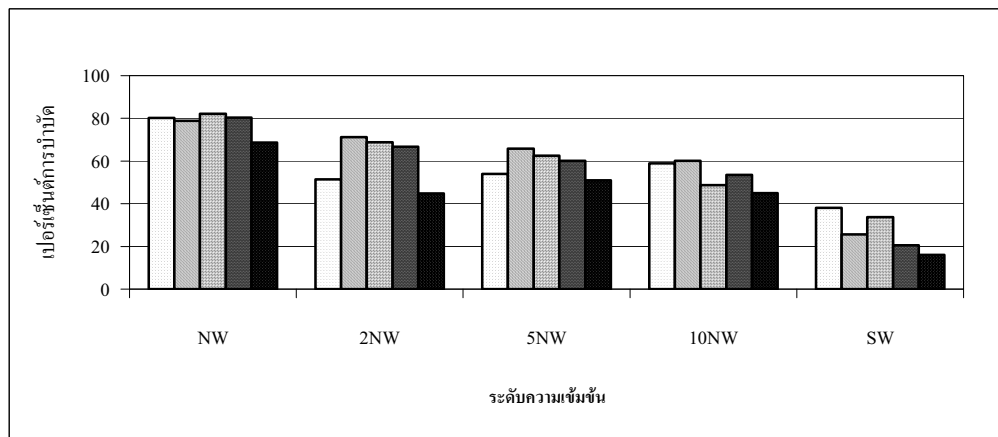
หมายเหตุ ตัวอักษรบนซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรบนขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



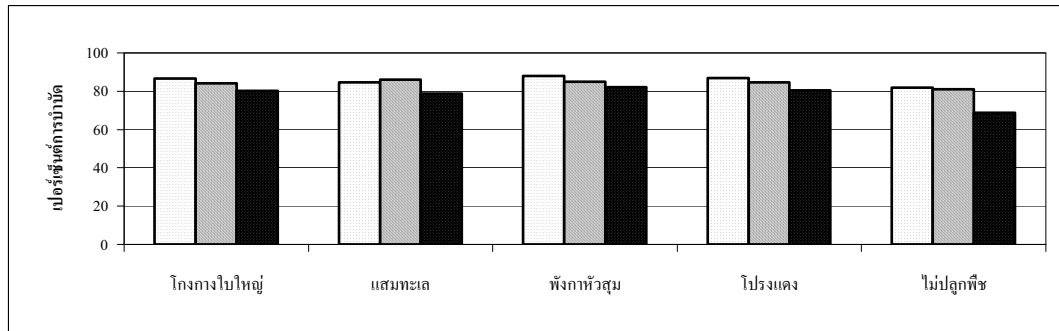
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



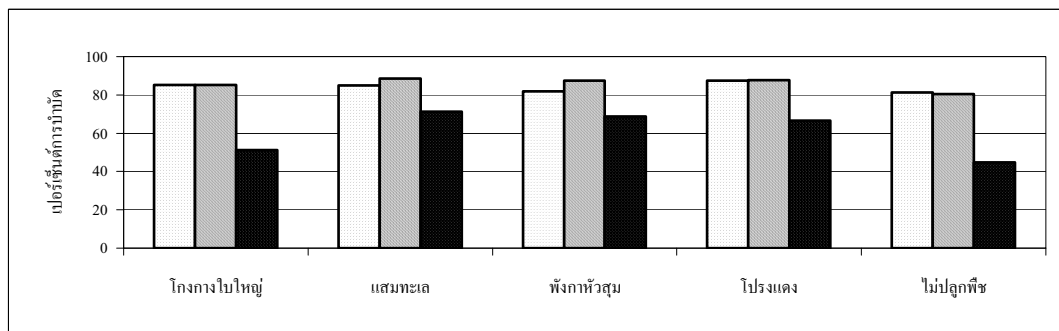
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



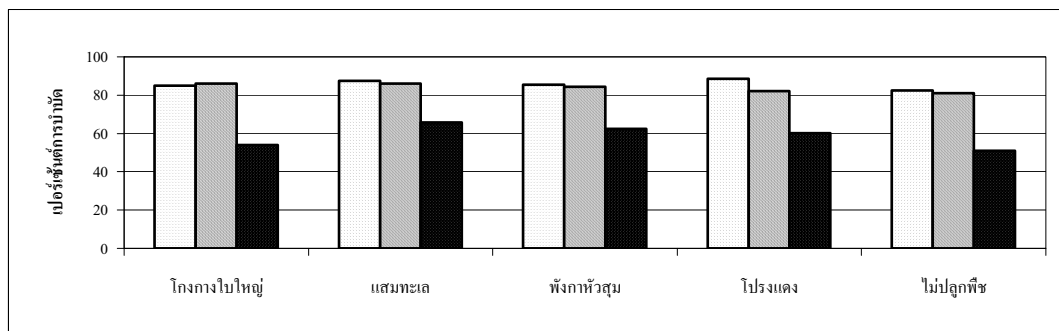
รูปที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การบำบัดในโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



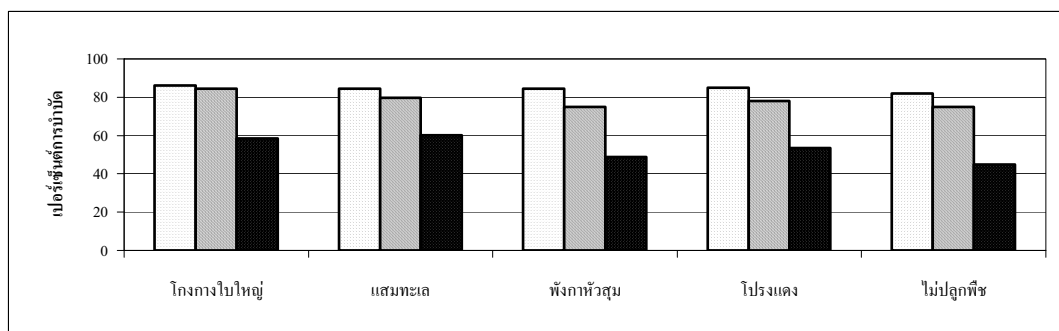
(ก) น้ำเสีย NW



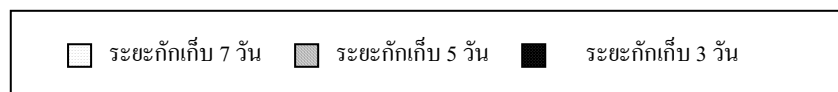
(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_3\text{-N}$)

กระบวนการบำบัดแอมโมเนียในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่มีออกซิเจนซึ่งได้แก่ รอยต่อระหว่างน้ำกับดิน (soil and water interface) และบริเวณ rhizosphere ซึ่งเป็นชั้นบางๆ รอบรากพืช โดยแอมโมเนียจะเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์และไนเตรท อัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจะขึ้นกับอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และความเข้มข้นของแอมโมเนีย หากความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสียมีค่าสูงจะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันช้าลงหรือล้มเหลว เนื่องจากออกซิเจนอาจถูกใช้จนหมดไปกระทั่งไม่สามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อไปได้อีก (Reed and Brown, 1995 อ้างถึงใน Gray et al., 1995) จากนั้นไนเตรทและไนไตรท์ในน้ำจะเกิดดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนอย่างรวดเร็วและปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนสู่บรรยากาศ นอกจากนี้แอมโมเนียในพื้นที่ชุ่มน้ำยังถูกบำบัดได้โดยการนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ และการระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) ซึ่งจะมียุทธศาสตร์มากเมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง และมี pH สูงกว่า 8.0 กระบวนการนี้จะถูกควบคุมโดยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความหนาแน่นของพืช การหมุนเวียนของอากาศเหนือผิวน้ำ การผสมของน้ำใน water column ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) กิจกรรมของแอลจี และการผันแปรของ pH (Reddy and D'Angelo, 1997)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าแอมโมเนียอยู่ในช่วง 9.793-16.364, 8.866-10.419, 15.179-25.528 และ 30.846-49.174 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าผันแปรค่อนข้างสูง และพบว่าน้ำเสีย 2NW มีค่าแอมโมเนียต่ำที่สุด และต่ำกว่าน้ำเสีย NW ด้วย (ตารางที่ 4-7) ดังที่ได้อภิปรายไว้แล้วในหัวข้อ 4.1.1 ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลอง NW, 2NW, 5NW และ 10NW มีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.452-1.788, 1.559-6.756, 2.383-11.656 และ 10.871-27.497 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองอย่างชัดเจน

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บนานขึ้น เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาการดูดซับโดยอนุภาคดินเหนียว การดูดซับไปใช้โดยพืช และการระเหยได้ นอกจากนี้ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสีย NW สูงกว่าน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการบำบัด TN ซึ่งเปอร์เซ็นต์การบำบัดลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงขึ้น (ตารางที่ 4-8 และรูปที่ 4-5 ถึง 4-6) ซึ่งสอดคล้องกับที่ van Oostrom and Cooper, 1990 ตามที่อ้างถึงใน van Oostrom and Russell (1994) กล่าวไว้ว่า อัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ใช้บำบัดน้ำเสียจะต่ำ โดยเฉพาะเมื่อ loading ของแอมโมเนียมีค่าสูง และชุดทดลองที่ปลูกพืชจะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะพืชสามารถดูดซับแอมโมเนียไปใช้ อย่างไรก็ตามไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนว่าพืชใดมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียได้สูง

ตารางที่ 4-7 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

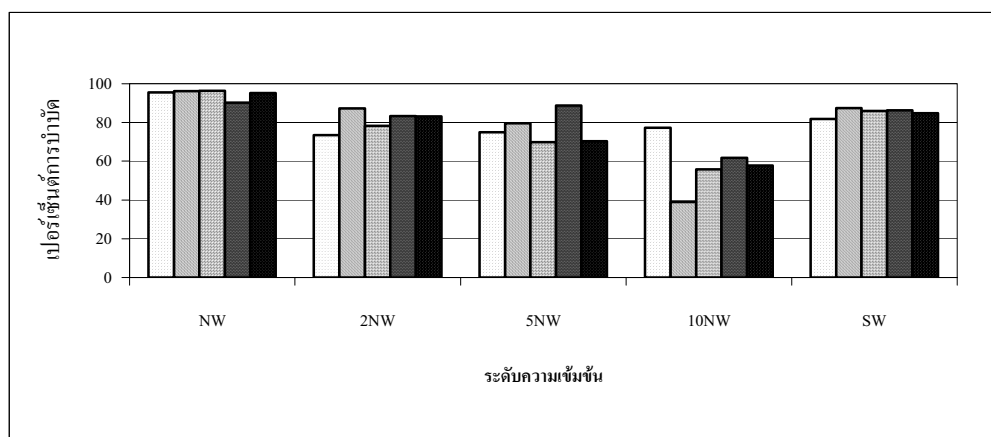
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 16.364±1.876	^c 0.576±0.543	^b 0.664±0.561	^c 0.574±0.352	^b 0.703±0.682	^c 0.741±0.483
	2NW	^c 9.569±4.344	^{bc} 3.322±3.867	^b 1.559±1.693	^{bc} 2.506±2.274	^b 1.713±0.949	^{bc} 1.680±1.276
	5NW	^b 25.528±13.225	^{ab} 7.391±5.4570	^b 5.541±2.973	^b 8.080±5.142	^b 2.757±2.288	^b 8.252±6.186
	10NW	^a 49.174±15.897	^a 10.871±7.345	^a 25.681±18.105	^a 21.062±13.880	^a 19.163±13.798	^a 19.813±15.845
	SW	^d 0.290±0.198	^c 0.066±0.022	^b 0.042±0.009	^c 0.047±0.021	^b 0.049±0.009	^c 0.061±0.046
5	NW	^c 9.793±2.102	^{cd} 0.600±0.290 ^b	^d 0.628±0.197 ^{ab}	^c 0.452±0.148 ^b	^d 0.534±0.132 ^b	^c 0.833±0.288 ^a
	2NW	^c 8.866±3.465	^c 2.341±0.582	^c 3.167±0.683	^b 2.956±0.922	^c 2.597±0.178	^c 2.123±1.886
	5NW	^b 19.544±3.104	^b 10.754±3.456 ^a	^b 9.509±3.532 ^a	^b 2.383±1.134 ^b	^b 10.372±3.528 ^a	^b 10.819±5.083 ^a
	10NW	^a 36.129±15.126	^a 13.486±3.368	^a 14.048±2.075	^a 12.816±0.944	^a 13.891±3.19	^a 15.540±3.193
	SW	^d 0.236±0.104	^d 0.048±0.17 ^{ab}	^d 0.035±0.019 ^b	^c 0.036±0.014 ^b	^d 0.064±0.009 ^a	^c 0.060±0.023 ^a
3	NW	^b 14.250±3.177	^c 0.736±0.365 ^{bc}	^d 0.969±0.473 ^{bc}	^c 0.613±0.333 ^c	^{cd} 1.788±0.652 ^a	^{cd} 1.362±0.939 ^{ab}
	2NW	^b 10.419±4.768	^b 5.736±3.119 ^a	^c 4.673±0.253 ^{ab}	^{bc} 2.640±1.123 ^b	^{bc} 5.108±2.549 ^{ab}	^{bc} 6.756±4.515 ^a
	5NW	^b 15.179±7.215	^b 8.664±6.848	^b 6.367±2.170	^b 6.963±3.671	^b 6.598±2.226	^b 11.656±6.950
	10NW	^a 30.846±9.194	^a 22.199±8.869	^a 17.067±5.262	^a 21.806±10.610	^a 21.960±9.953	^a 27.497±10.640
	SW	^c 0.333±0.097	^c 0.039±0.023 ^b	^d 0.039±0.024 ^b	^c 0.045±0.025 ^b	^d 0.088±0.044 ^a	^d 0.093±0.071 ^a

ตารางที่ 4-8 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

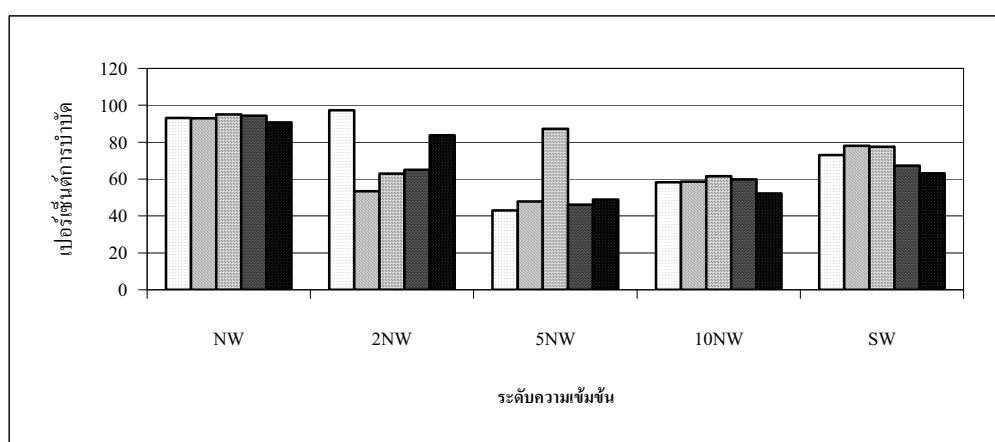
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 95.62±2.56	^a 96.21±3.46	^a 96.30±2.00	^a 90.30±0.78	^a 95.16±2.74
	2NW	^b 73.51±26.86	^{ab} 87.29±11.74	^{bc} 78.21±16.86	^a 83.37±10.94	^{ab} 83.16±15.00
	5NW	^b 74.99±11.77 ^{ab}	^b 79.54±4.36 ^{ab}	^{cd} 69.79±16.70 ^b	^a 88.85±8.12 ^a	^{bc} 70.33±22.02 ^b
	10NW	^b 77.20±13.94 ^a	^c 38.98±15.98 ^b	^d 55.70±21.91 ^{ab}	^b 61.78±23.63 ^{ab}	^c 57.77±36.06 ^{ab}
	SW	^{ab} 81.89±6.86	^{ab} 87.38±5.44	^{ab} 85.94±7.72	^a 86.29±4.08	^{ab} 84.83±8.04
5	NW	^a 93.04±4.92	^a 93.00±3.86	^a 95.08±2.11	^a 94.31±2.88	^a 90.64±5.09
	2NW	^b 67.25±22.49	^c 53.39±35.59	^c 62.96±17.22	^b 65.06±20.17	^{ab} 83.68±12.12
	5NW	^c 42.99±21.94 ^b	^c 47.80±27.99 ^b	^{ab} 87.23±6.65 ^a	^c 46.16±17.47 ^b	^c 48.96±22.10 ^b
	10NW	^{bc} 58.18±21.95	^{bc} 58.67±13.23	^c 61.60±13.50	^{cb} 59.87±11.37	^c 52.20±3.05
	SW	^b 72.92±18.78	^{ab} 78.04±21.55	^b 77.43±20.25	^b 67.36±25.24	^{bc} 63.16±31.51
3	NW	^a 95.30±1.82 ^{ab}	^a 93.74±2.99 ^{ab}	^a 95.99±1.86 ^a	^a 87.74±5.65 ^c	^a 91.51±5.05 ^b
	2NW	^c 46.38±6.44 ^b	^b 43.67±29.10 ^b	^b 71.73±10.47 ^a	^{bc} 43.41±25.75 ^b	^b 44.48±29.92 ^b
	5NW	^b 57.30±26.40 ^a	^b 47.27±20.06 ^{ab}	^c 55.61±3.73 ^a	^b 52.75±11.13 ^a	^{bc} 29.98±23.72 ^b
	10NW	^c 29.61±13.96 ^b	^b 44.47±5.25 ^a	^d 35.19±17.44 ^{ab}	^c 32.78±15.30 ^{ab}	^c 13.84±11.65 ^c
	SW	^a 88.98±4.52 ^a	^a 88.43±5.17 ^a	^a 87.72±5.42 ^a	^a 74.18±8.55 ^b	^a 74.84±16.12 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

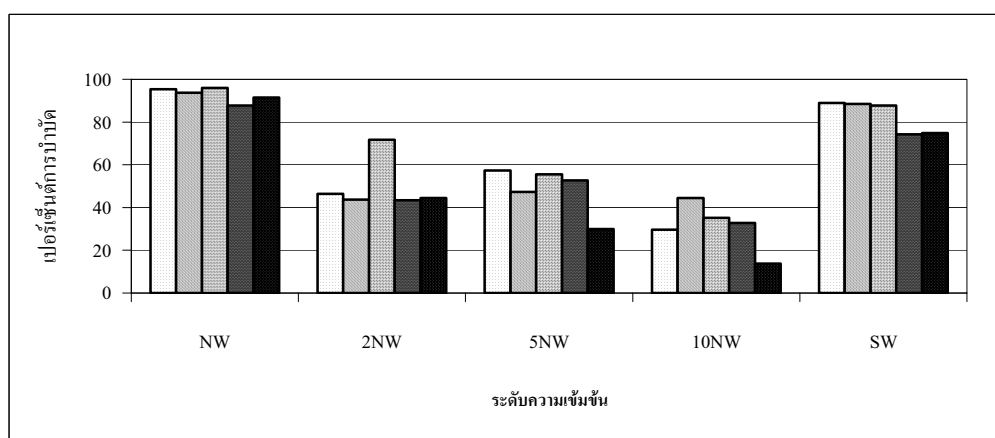
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



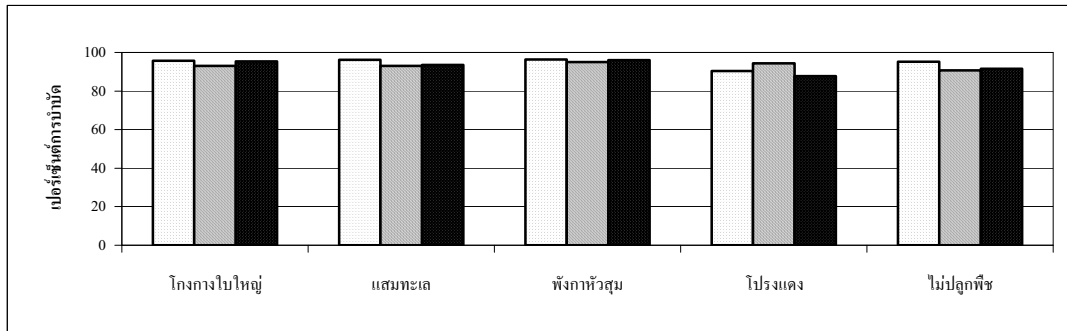
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



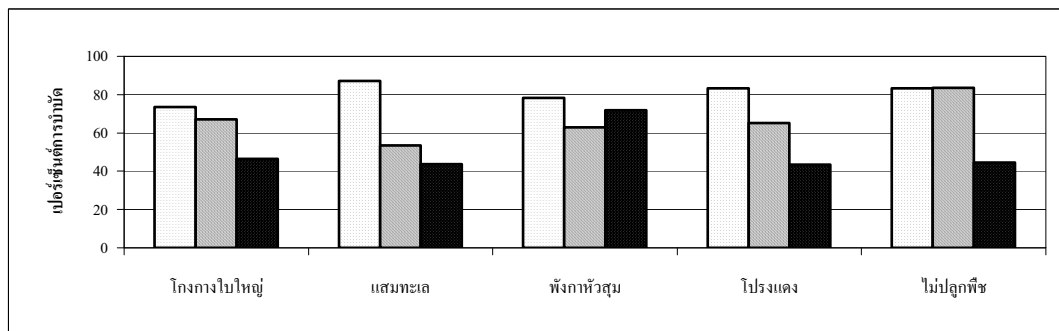
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



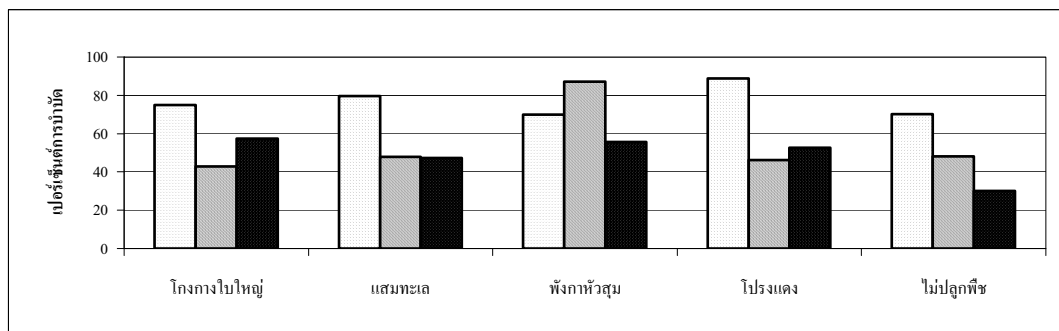
รูปที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



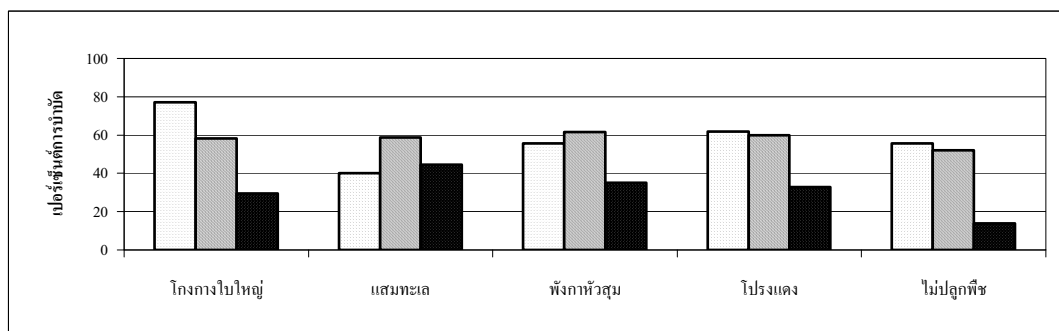
(ก) น้ำเสีย NW



(ข) น้ำเสีย 2 NW



(ค) น้ำเสีย 5 NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW

ระยะกักเก็บ 7 วัน
 ระยะกักเก็บ 5 วัน
 ระยะกักเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-6 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ ไครงการที่ 1-1

ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen : $\text{NO}_3\text{-N}$)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าไนเตรทอยู่ในช่วง 0.153-0.212, 0.704-0.905, 0.668-0.882 และ 0.782-0.946 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าไนเตรทในน้ำเสียปรับความเข้มข้น 2NW, 5NW และ 10NW มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าจะอยู่ในช่วงที่สูงกว่าน้ำเสีย NW เนื่องจากน้ำเสียปรับความเข้มข้นมีปริมาณ DO สูงกว่า ทำให้กระบวนการ ไนตริฟิเคชันซึ่งเปลี่ยนรูปแอมโมเนียให้เป็นไนเตรทไม่ถูกจำกัด (ตารางที่ 4-9)

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทในน้ำเสียเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน สูงที่สุด รองลงมาคือ 7 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงแรกได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน เป็นช่วงที่พืชมีขนาดเล็กทำให้ปริมาณการดูดดึงไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการเจริญเติบโตที่ชัดเจน (ตารางที่ 4-10 และ รูปที่ 4-7 ถึง 4-8) นอกจากนี้ในการทดลองใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน ครั้งที่ 1 ยังพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าไนเตรทสูงกว่าน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองเนื่องจากดินเลนที่ใช้ในการทดลองยังมีออกซิเจนอยู่ ทำให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้ในสถานะที่มีออกซิเจนจึงไม่มีการใช้ไนเตรท ในทางตรงกันข้ามยังสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนีย และไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทในน้ำเสียทุกความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกพืช (13.33-79.06%) สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (28.18-52.93%) และมีแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด (13.33-72.81%) ต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกพืชชนิดอื่น (17.03-79.06%)

ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW และ 2NW มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทระหว่าง 30.53-79.06% สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 5NW และ 10NW ซึ่งมีค่า 13.33-63.42% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-9 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

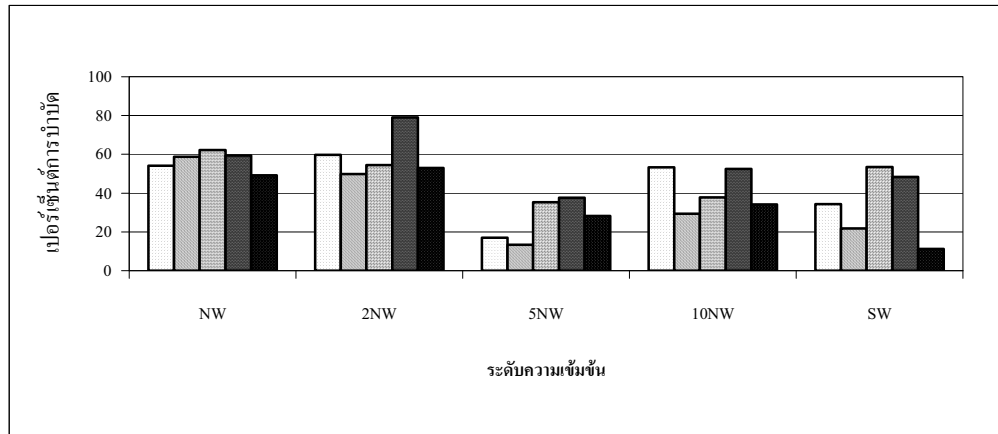
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 0.153±0.02	^c 0.108±0.066 ^b	^c 0.098±0.064 ^b	^c 0.047±0.041 ^b	^b 0.223±0.234 ^a	^c 0.079±0.050 ^b
	2NW	^{ab} 0.704±0.07	^b 0.261±0.240 ^{ab}	^b 0.431±0.177 ^a	^b 0.318±0.053 ^a	^b 0.140±0.088 ^b	^b 0.313±0.217 ^{ab}
	5NW	^b 0.668±0.06	^c 0.548±0.041 ^a	^a 0.571±0.012 ^a	^{ab} 0.420±0.138 ^b	^a 0.416±0.135 ^b	^a 0.462±0.186 ^{ab}
	10NW	^a 0.782±0.16	^b 0.396±0.107 ^b	^a 0.539±0.014 ^a	^a 0.493±0.122 ^a	^a 0.369±0.037 ^b	^a 0.502±0.071 ^a
	SW	^d 0.049±0.02	^c 0.035±0.014	^c 0.067±0.051	^c 0.137±0.189	^b 0.107±0.126	^c 0.051±0.023
5	NW	^b 0.212±0.027	^c 0.052±0.010 ^c	^c 0.055±0.025 ^c	^c 0.100±0.051 ^b	^c 0.096±0.068 ^b	^c 0.143±0.030 ^a
	2NW	^a 0.950±0.148	^b 0.342±0.156 ^{ab}	^a 0.510±0.144 ^a	^b 0.254±0.216 ^b	^b 0.274±0.237 ^b	^b 0.580±0.164 ^a
	5NW	^a 0.882±0.166	^a 0.515±0.009 ^c	^a 0.575±0.011 ^b	^a 0.569±0.005 ^b	^a 0.556±0.011 ^b	^{ab} 0.597±0.014 ^a
	10NW	^a 0.946±0.165	^a 0.576±0.006 ^c	^a 0.598±0.006 ^b	^a 0.549±0.008 ^d	^a 0.538±0.004 ^c	^a 0.610±0.004 ^a
	SW	^b 0.159±0.012	^c 0.040±0.002 ^d	^c 0.114±0.008 ^c	^c 0.124±0.008 ^b	^c 0.117±0.005 ^{bc}	^c 0.137±0.011 ^a
3	NW	^b 0.193±0.156	^c 0.075±0.006 ^c	^c 0.118±0.003 ^b	^c 0.068±0.003 ^d	^d 0.122±0.005 ^b	^d 0.133±0.003 ^a
	2NW	^a 0.906±0.073	^a 0.573±0.006 ^b	^b 0.574±0.005 ^b	^c 0.539±0.005 ^c	^a 0.573±0.006 ^b	^c 0.580±0.007 ^a
	5NW	^a 0.868±0.043	^b 0.515±0.009 ^c	^b 0.575±0.011 ^b	^a 0.569±0.005 ^b	^b 0.565±0.011 ^b	^b 0.597±0.014 ^a
	10NW	^a 0.870±0.059	^a 0.576±0.006 ^c	^a 0.598±0.006 ^b	^b 0.549±0.008 ^d	^c 0.538±0.004 ^c	^a 0.610±0.004 ^a
	SW	^b 0.153±0.006	^d 0.040±0.002 ^d	^c 0.114±0.008 ^c	^d 0.124±0.008 ^b	^d 0.117±0.005 ^{bc}	^d 0.137±0.011 ^a

ตารางที่ 4-10 เปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรทเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

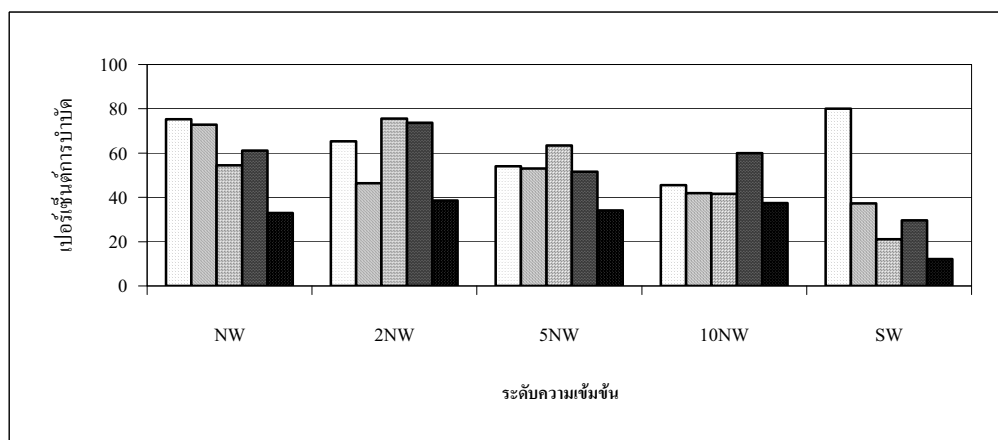
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 54.18±33.86	^a 58.79±35.02	^a 62.23±21.93	^b 58.46±35.89	^a 49.23±33.57
	2NW	^a 59.78±40.46	^a 49.80±18.11	^{ab} 54.38±12.00	^a 79.06±15.57	^a 52.93±36.43
	5NW	^b 17.03±4.49 ^{ab}	^b 13.33±4.67 ^b	^b 35.26±23.04 ^a	^b 37.70±18.31 ^a	^{ab} 28.18±31.73 ^a
	10NW	^a 53.31±6.91 ^a	^b 29.30±12.48 ^b	^b 37.84±6.74 ^b	^b 52.44±3.04 ^a	^{ab} 34.14±14.23 ^b
	SW	^{ab} 34.26±12.54 ^{bc}	^b 21.84±6.56 ^{cd}	^{ab} 53.48±14.65 ^a	^b 48.41±14.81 ^{ab}	^b 11.17±6.62 ^d
5	NW	^a 75.32±4.49 ^a	^a 72.81±14.57 ^a	^{bc} 54.52±20.67 ^b	^{ab} 61.19±24.47 ^{ab}	^a 32.97±10.85 ^c
	2NW	^b 65.32±11.60 ^{ab}	^{bc} 46.41±14.30 ^b	^a 75.52±17.74 ^a	^a 73.65±19.56 ^a	^a 38.52±18.62 ^b
	5NW	^{bc} 54.05±3.03 ^b	^b 53.05±6.77 ^b	^{ab} 63.42±16.60 ^a	^b 51.62±6.29 ^b	^a 34.04±9.28 ^c
	10NW	^c 45.46±1.82 ^b	^{bc} 41.91±2.02 ^{bc}	^c 41.62±6.34 ^{bc}	^{ab} 60.03±7.74 ^a	^a 37.49±5.38 ^c
	SW	^a 80.09±2.40 ^a	^c 37.23±18.16 ^b	^d 21.08±15.74 ^{cd}	^c 29.62±4.65 ^{bc}	^b 12.20±6.23 ^d
3	NW	^a 60.77±3.76 ^b	^a 38.49±4.28 ^c	^a 64.41±2.99 ^a	^a 36.15±5.79 ^{cd}	^b 30.53±4.50 ^d
	2NW	^{bc} 36.48±4.42	^{ab} 36.37±4.64	^b 40.25±4.46	^a 36.45±4.75	^a 35.67±4.64
	5NW	^b 40.62±2.23 ^a	^{bc} 33.71±3.02 ^{bc}	^c 34.29±3.08 ^b	^a 34.84±2.39 ^b	^b 31.06±4.02 ^c
	10NW	^c 33.55±3.85 ^{bc}	^c 31.06±3.97 ^c	^c 36.69±3.65 ^{ab}	^a 37.88±3.79 ^a	^b 29.62±4.54 ^c
	SW	^a 73.66±1.73 ^a	^d 25.07±3.74 ^b	^d 18.84±3.11 ^c	^b 23.30±2.90 ^b	^c 10.25±4.05 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

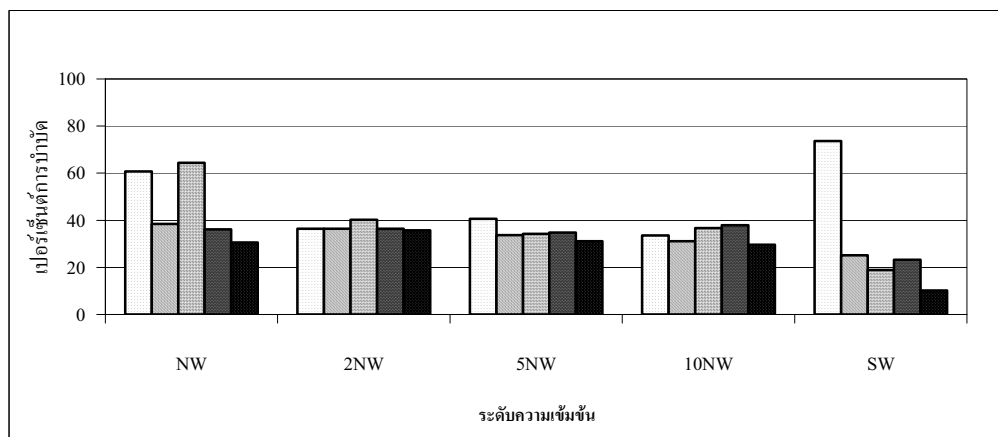
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



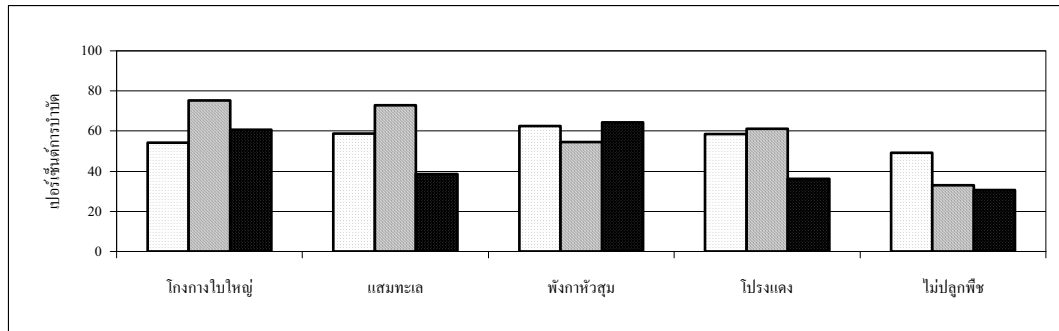
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



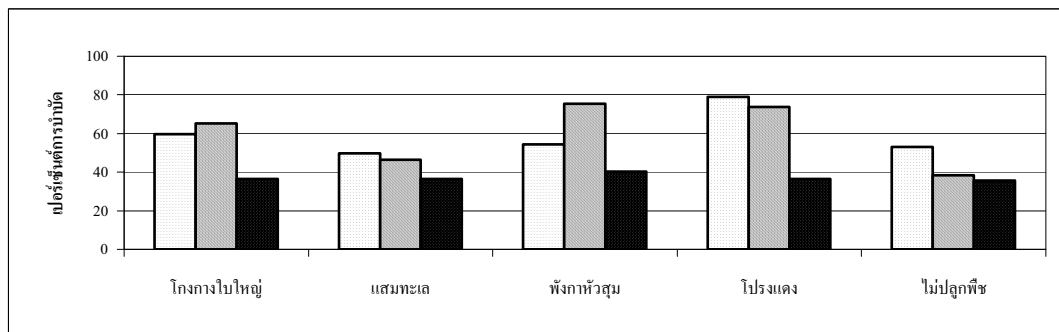
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



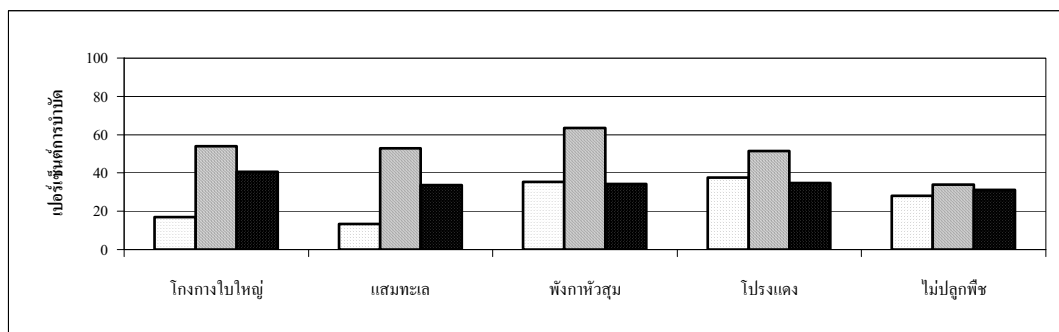
รูปที่ 4-7 เปอร์เซ็นต์การบำบัดในเตรพของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



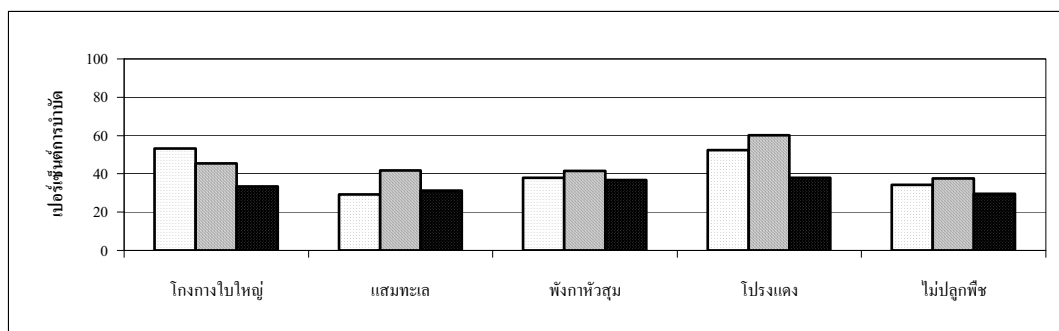
(ก) น้ำเสีย NW



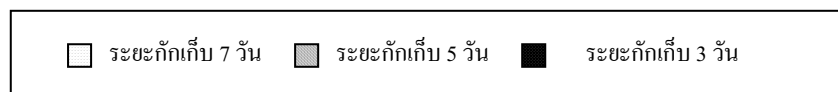
(ข) น้ำเสีย 2 NW



(ค) น้ำเสีย 5 NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-8 เปอร์เซนต์การบำบัดในตรศของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ ไครงการที่ 1-1

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่า TP อยู่ในช่วง 5.722-6.125, 6.749-9.013, 18.173-20.655 และ 38.207-46.888 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าลดลงเป็น 0.406-1.330, 0.676-1.699, 2.384-3.744 และ 7.244-10.221 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-11)

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ในน้ำเสีย มีค่าระหว่าง 76.42-92.57% และพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะการกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บทำให้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างดินกับน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับที่ Sansanayuth et al. (1996) ได้ทดลองบำบัดน้ำทิ้งจากนาุ้งโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกประทุเล ใช้การปล่อยน้ำแบบต่อเนื่อง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TP เมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 1, 2 และ 3 วัน เท่ากับ 43.8, 76.5 และ 66.7 % ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ กฤติกา ทองสมบัติ (2546) ซึ่งทำการศึกษการบำบัดน้ำเสียชุมชนชั้นที่สามโดยพื้นที่ชุ่มน้ำโก่งกวางใบใหญ่ ใช้การปล่อยน้ำแบบกะ พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 10 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่าที่ระยะการกักเก็บ 7 และ 5 วัน ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกพืชสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากพืชสามารถดูดซับฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามถึงแม้เปอร์เซ็นต์การบำบัดจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ค่าจะไม่แตกต่างกันมากนักทั้งนี้เพราะปัจจัยสำคัญในการบำบัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ ดินซึ่งในการทดลองนี้เป็นดินเลน ซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวสูง และคาดว่าจะมีเหล็กและอลูมิเนียมสูงจึงสามารถดูดซับ (adsorption) และตกตะกอนเคมี (precipitation) กับฟอสฟอรัสได้สูง (Yang et al., 2001) ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสของชุดทดลองมีค่าสูง

เปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW สูงกว่า น้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มจะชัดเจนเมื่อใช้ระยะการกักเก็บ 7 และ 5 วัน (ตารางที่ 4-12 และ รูปที่ 4-9 ถึง 4-10)

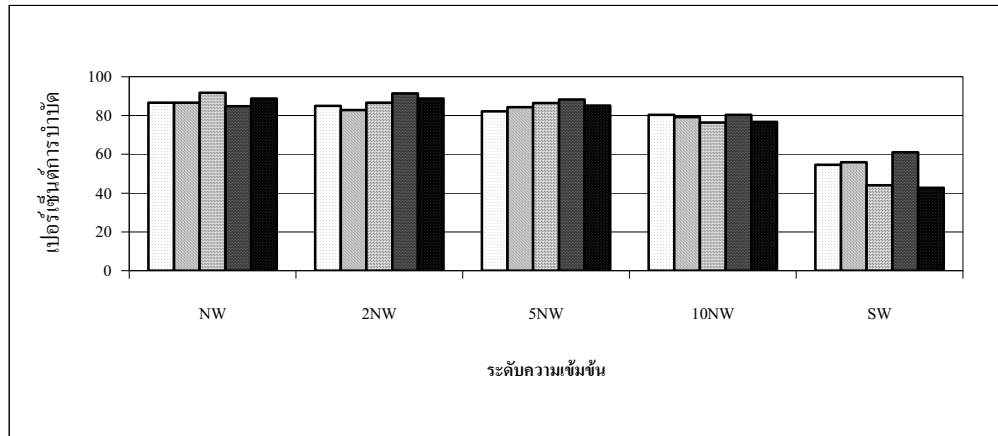
ตารางที่ 4-11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^d 5.887±1.659	^{cd} 0.744±0.122 ^{bc}	^c 0.986±0.273 ^a	^c 0.577±0.122 ^c	^c 0.811±0.311 ^{ab}	^c 0.648±0.188 ^c
	2NW	^c 8.187±1.502	^c 1.158±0.262 ^{ab}	^c 1.393±0.181 ^a	^c 1.066±0.023 ^{bc}	^c 0.688±0.191 ^d	^c 0.929±0.561 ^{cd}
	5NW	^b 20.655±1.721	^b 3.673±0.503	^b 3.250±0.645	^b 2.812±1.089	^b 2.431±0.764	^b 3.099±1.513
	10NW	^a 42.530±2.641	^a 8.232±1.285	^a 8.846±1.985	^a 9.938±1.270	^a 8.264±1.031	^a 9.737±3.183
	SW	^c 1.031±0.279	^d 0.529±0.364	^c 0.499±0.446	^c 0.612±0.319	^c 0.440±0.387	^c 0.629±0.384
5	NW	^c 5.772±0.857	^d 0.662±0.023 ^b	^c 0.682±0.151 ^b	^c 0.789±0.343 ^b	^a 0.406±0.207 ^c	^c 0.982±0.289 ^a
	2NW	^c 6.749±1.335	^c 0.900±0.081 ^b	^c 1.211±0.187 ^a	^c 0.760±0.110 ^c	^c 0.676±0.099 ^c	^c 1.216±0.141 ^a
	5NW	^b 18.173±2.734	^b 3.053±0.405 ^{ab}	^b 2.901±0.406 ^b	^b 2.384±0.529 ^c	^b 2.492±0.224 ^c	^b 3.349±0.408 ^a
	10NW	^a 46.888±10.649	^a 7.571±0.287 ^b	^c 8.323±2.829 ^{ab}	^a 8.170±0.841 ^{ab}	^a 7.244±0.477 ^b	^a 9.628±1.476 ^a
	SW	^d 0.797±0.197	^c 0.104±0.024 ^{bc}	^c 0.064±0.023 ^c	^d 0.158±0.018 ^b	^c 0.054±0.026 ^c	^d 0.230±0.128 ^a
3	NW	^d 6.125±1.895	^c 1.083±0.163 ^b	^d 0.960±0.240 ^b	^d 0.937±0.130 ^b	^c 0.929±0.178 ^b	^d 1.330±0.339 ^a
	2NW	^c 9.013±0.478	^c 1.057±0.057 ^c	^c 1.484±0.140 ^b	^c 0.956±0.121 ^d	^c 0.893±0.081 ^d	^c 1.699±0.158 ^a
	5NW	^b 17.922±1.225	^b 3.444±0.144 ^a	^b 3.497±0.172 ^a	^b 3.185±0.121 ^a	^b 3.423±1.188 ^a	^b 3.744±0.130 ^a
	10NW	^a 38.207±1.657	^a 8.358±1.215 ^{cd}	^a 8.997±0.900 ^{bc}	^a 9.640±0.758 ^{ab}	^a 8.175±0.471 ^d	^a 10.221±0.263 ^a
	SW	^c 0.375±0.071	^d 0.140±0.047 ^b	^c 0.059±0.008 ^d	^d 0.149±0.028 ^b	^d 0.093±0.018 ^c	^c 0.240±0.036 ^a

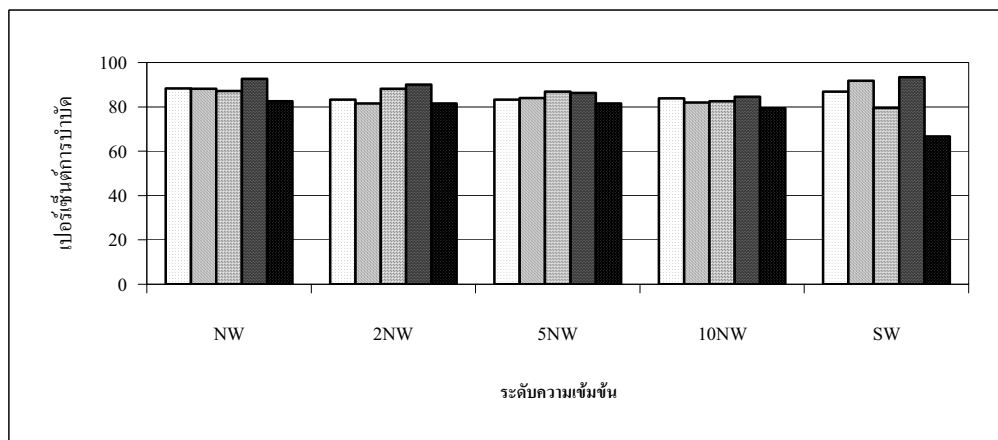
ตารางที่ 4-12 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำออก (mg/l)				
		โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 86.67±3.29 ^{ab}	^a 86.64±5.29 ^b	^a 91.73±3.22 ^a	^a 84.89±6.79 ^{ab}	^{ab} 88.86±1.88 ^a
	2NW	^a 85.00±6.20 ^c	^a 82.76±2.11 ^c	^a 86.67±2.24 ^{bc}	^a 91.34±2.72 ^a	^a 88.80±5.75 ^{ab}
	5NW	^a 82.19±2.30	^a 84.25±2.83	^a 86.41±4.78	^a 88.25±3.32	^{ab} 85.17±6.55
	10NW	^a 80.43±4.02	^a 79.14±4.99	^b 76.42±4.19	^a 80.32±3.47	^b 76.66±8.54
	SW	^b 54.54±26.24	^b 55.98±33.14	^c 44.01±18.92	^b 61.02±28.82	^c 42.71±25.06
5	NW	^a 88.38±1.33 ^{ab}	^a 88.19±2.20 ^{ab}	^{ab} 87.13±6.80 ^b	^a 92.57±4.18 ^a	^a 82.48±6.46 ^c
	2NW	^b 83.33±2.64 ^a	^b 81.58±4.47 ^b	^a 88.21±3.66 ^a	^b 89.98±0.49 ^a	^a 81.50±3.79 ^b
	5NW	^c 83.21±2.04 ^{bc}	^b 83.98±2.62 ^b	^{ab} 86.92±2.72 ^a	^c 86.28±1.24 ^a	^a 81.58±2.10 ^c
	10NW	^c 83.82±1.13	^b 81.98±6.77	^{bc} 82.50±2.34	^c 84.49±1.60	^a 79.30±4.11
	SW	^{ab} 86.87±1.34 ^{ab}	^a 91.82±1.98 ^a	^c 79.49±0.03 ^b	^a 93.30±2.29 ^a	^b 66.67±25.98 ^c
3	NW	^{ab} 80.59±8.30 ^a	^a 81.83±11.40 ^a	^{ab} 82.99±7.60 ^a	^b 83.56±5.98 ^a	^a 74.99±15.81 ^a
	2NW	^a 88.60±1.33 ^b	^a 83.88±2.30 ^c	^a 89.87±1.43 ^{ab}	^a 90.40±1.64 ^a	^a 81.60±2.10 ^d
	5NW	^{ab} 80.91±2.80 ^{ab}	^a 82.71±1.55 ^a	^{ab} 82.07±3.32 ^{ab}	^b 82.73±3.61 ^a	^a 79.28±2.59 ^b
	10NW	^b 78.43±2.26 ^a	^{ab} 76.68±3.59 ^{ab}	^b 75.22±1.77 ^b	^{bc} 78.76±1.55 ^a	^a 77.07±3.95 ^{ab}
	SW	^c 51.12±19.33 ^c	^b 69.19±21.20 ^{ab}	^c 56.96±16.82 ^{bc}	^c 74.09±9.78 ^a	^b 34.45±16.12 ^d

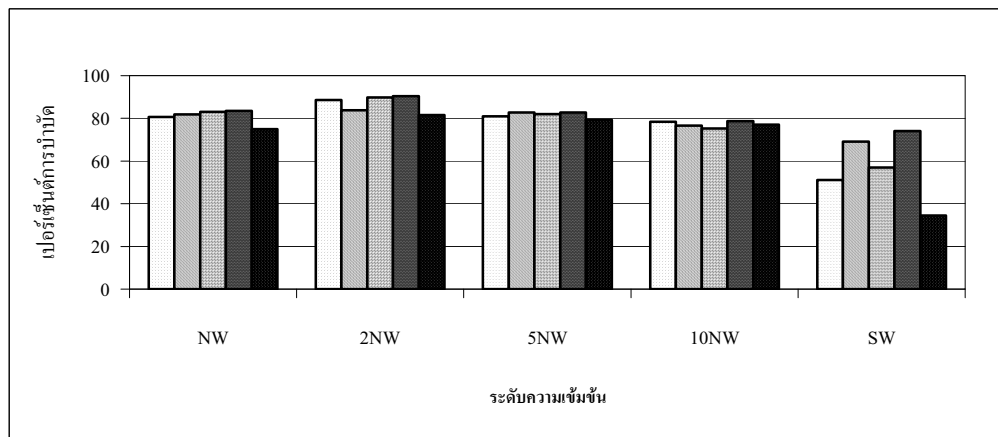
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลา 7 วัน



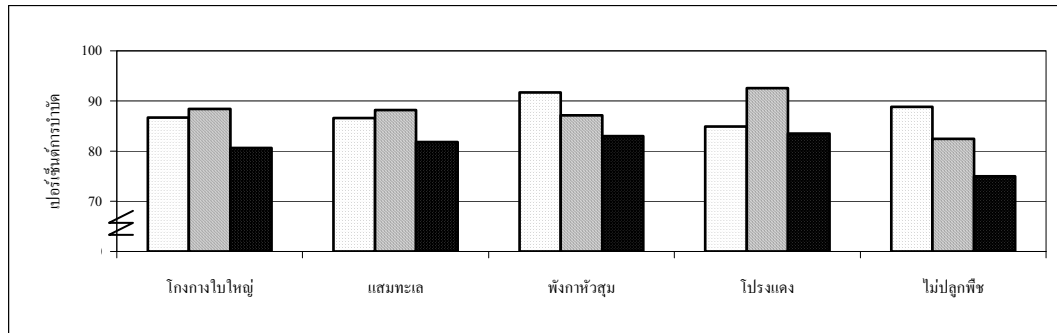
(ข) ระยะเวลา 5 วัน



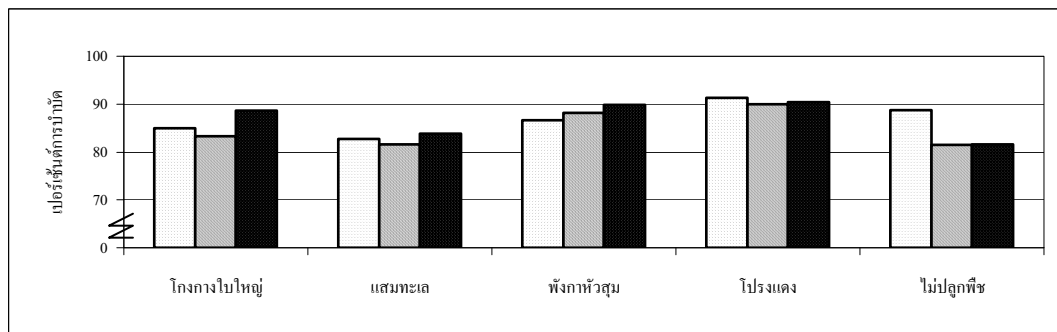
(ค) ระยะเวลา 3 วัน



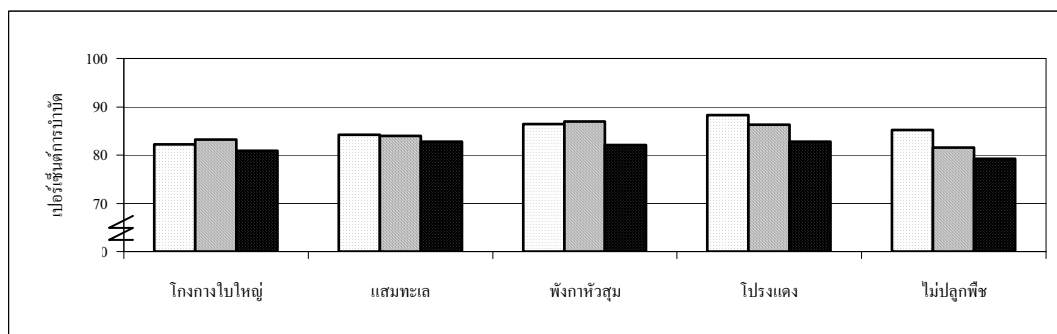
รูปที่ 4-9 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



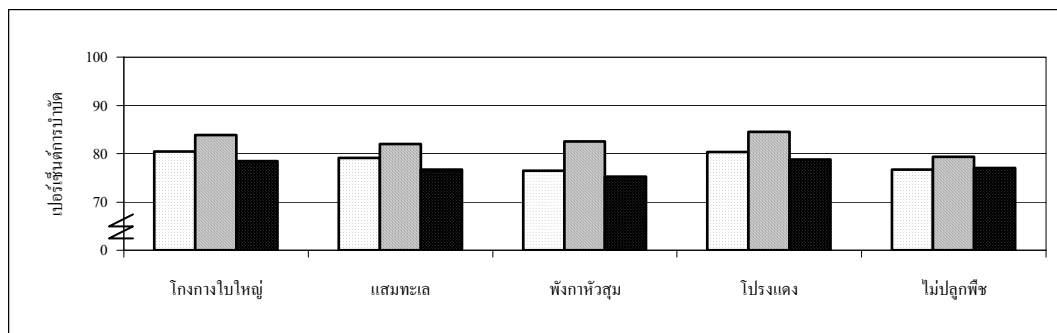
(ก) น้ำเสีย NW



(ข) น้ำเสีย 2 NW



(ค) น้ำเสีย 5 NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW

ระยะเวลาเก็บ 7 วัน
 ระยะเวลาเก็บ 5 วัน
 ระยะเวลาเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-10 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ ไคโรแกรฟที่ 1-1

ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-phosphate)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 4.928-6.125, 6.156-9.013, 16.761-17.922 และ 38.207-39.645 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าลดลงเป็น 0.370-1.330, 0.600-1.699, 1.888-3.744 และ 5.651-10.221 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-13)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียมีค่าระหว่าง 73.24-92.53% เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดอยู่ในช่วง 81.25-90.33, 78.95-92.53 และ 73.24-90.04% ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเดียวกับการบำบัด TP

เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ปลูกกล้วยไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากพืชดูดดึงฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตไปใช้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านองค์ประกอบธาตุอาหารในพืช ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้นภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสีย (อย่างไรก็ตาม ดินเป็นปัจจัยสำคัญในการบำบัดฟอสเฟตโดยการดูดซับและตกตะกอนเคมี) โดยที่ระยะกักเก็บ 7 วัน ชุดทดลองที่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด 81.95-90.33% ส่วนชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด 81.25-89.11% ที่ระยะกักเก็บ 5 วัน มีค่า 80.44-92.53% และ 78.95-81.75% ตามลำดับ ที่ระยะกักเก็บ 3 วัน มีค่า 74.79-90.04% และ 73.24-81.13% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การบำบัดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น พบว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน เปอร์เซ็นต์การบำบัดน้ำเสียทุกความเข้มข้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 และ 3 วัน มีแนวโน้มว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดน้ำเสีย NW และ 2NW สูงกว่าน้ำเสีย 5NW และ 10NW (ตารางที่ 4-14 และ รูปที่ 4-11 ถึง 4-12)

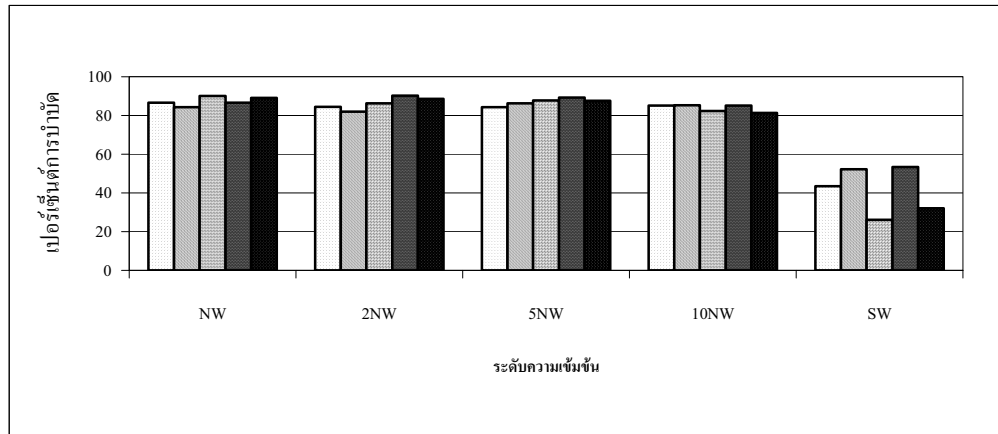
ตารางที่ 4-13 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 4.928±1.406	^c 0.596±0.081 ^b	^{bc} 0.743±0.086 ^a	^b 0.444±0.038 ^c	^b 0.598±0.123 ^b	^b 0.532±0.219 ^{bc}
	2NW	^c 6.189±1.312	^c 0.924±0.346 ^{ab}	^{bc} 1.114±0.270 ^a	^b 0.822±0.120 ^{abc}	^b 0.600±0.233 ^c	^b 0.750±0.498 ^{bc}
	5NW	^b 17.156±3.716	^b 2.722±1.378	^b 2.397±1.239	^b 2.169±1.406	^b 1.888±1.141	^b 2.233±1.614
	10NW	^a 39.645±9.120	^a 5.663±3.553	^a 5.813±3.764	^a 6.721±4.063	^a 5.651±3.422	^a 7.119±4.708
	SW	^d 0.639±0.196	^c 0.378±0.204	^c 0.332±0.237	^b 0.481±0.150	^b 0.320±0.211	^b 0.452±0.211
5	NW	^{cd} 5.241±0.730	^d 0.622±0.016 ^b	^c 0.641±0.151 ^b	^c 0.696±0.350 ^b	^d 0.370±0.207 ^c	^c 0.932±0.301 ^a
	2NW	^c 6.156±1.178	^c 0.841±0.048 ^b	^c 1.171±0.165 ^a	^c 0.711±0.080 ^c	^c 0.641±0.095 ^c	^c 1.158±0.125 ^a
	5NW	^b 16.761±2.652	^b 2.769±0.168 ^b	^b 2.731±0.267 ^b	^b 2.288±0.444 ^c	^b 2.344±0.174 ^c	^b 3.216±0.286 ^a
	10NW	^a 43.121±10.360	^a 7.125±0.467 ^b	^a 7.794±2.501 ^{ab}	^a 7.642±0.497 ^b	^a 6.875±0.226 ^b	^a 8.974±1.171 ^a
	SW	^d 0.746±0.160	^c 0.100±0.021 ^{bc}	^c 0.062±0.020 ^c	^d 0.143±0.017 ^b	^c 0.052±0.023 ^c	^d 0.217±0.110 ^a
3	NW	^d 6.125±1.895	^c 1.083±0.163 ^b	^d 0.960±0.240 ^b	^d 0.937±0.130 ^b	^c 0.929±0.178 ^b	^d 1.330±0.339 ^a
	2NW	^c 9.013±0.478	^c 1.057±0.057 ^c	^c 1.484±0.140 ^b	^c 0.956±0.121 ^d	^c 0.893±0.081 ^d	^c 1.699±0.158 ^a
	5NW	^b 17.922±1.225	^b 3.444±0.144	^b 3.497±0.172	^b 3.185±0.121	^b 3.423±1.188	^b 3.744±0.130
	10NW	^a 38.207±1.657	^a 8.358±1.215 ^{cd}	^a 8.997±0.900 ^{bc}	^a 9.640±0.758 ^{ab}	^a 8.175±0.471 ^d	^a 10.221±0.263 ^a
	SW	^c 0.375±0.071	^d 0.140±0.047 ^b	^c 0.059±0.008 ^d	^d 0.149±0.028 ^b	^d 0.093±0.018 ^c	^c 0.240±0.036 ^a

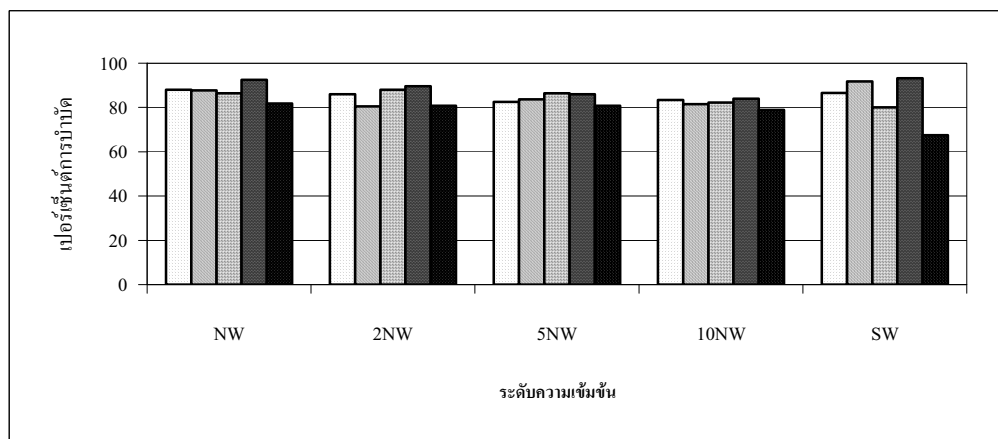
ตารางที่ 4-14 เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟตเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำออก (mg/l)				
		โกลางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 86.60±3.83 ^{ab}	^a 84.23±2.86 ^b	^a 90.14±3.36 ^a	^a 86.60±5.32 ^{ab}	^a 89.11±3.32 ^a
	2NW	^a 84.47±6.52 ^{cd}	^a 81.95±1.57 ^d	^a 86.26±2.03 ^{bc}	^a 90.33±2.88 ^a	^a 88.60±5.47 ^{ab}
	5NW	^a 84.38±7.42	^a 86.24±6.69	^a 87.80±7.06	^a 89.31±5.84	^a 87.56±8.04
	10NW	^a 85.08±9.72	^a 85.22±9.47	^a 82.34±10.98	^a 85.15±9.28	^a 81.25±15.59
	SW	^b 43.48±25.45	^b 52.19±27.34	^b 26.05±14.82	^b 53.44±23.22	^b 32.02±24.12
5	NW	^a 88.00±1.35 ^{ab}	^b 87.72±2.64 ^{ab}	^{ab} 86.48±7.49 ^{bc}	^a 92.53±4.48 ^a	^a 81.75±7.07 ^c
	2NW	^b 86.02±2.26 ^b	^c 80.44±4.81 ^c	^a 87.99±3.34 ^{ab}	^b 89.56±0.61 ^a	^a 80.78±3.42 ^c
	5NW	^c 82.57±1.97 ^{bc}	^c 83.68±2.09 ^b	^{ab} 86.35±2.69 ^a	^c 86.00±1.19 ^a	^a 80.78±1.93 ^c
	10NW	^c 83.43±1.41	^c 81.53±6.95	^{bc} 82.18±1.96	^c 83.99±1.28	^a 78.95±4.17
	SW	^{ab} 86.55±0.95 ^{ab}	^a 91.79±1.95 ^a	^c 80.07±4.72 ^b	^a 93.18±2.44 ^a	^b 67.55±22.76 ^c
3	NW	^a 80.11±8.37	81.53±11.18	^{ab} 82.74±7.37	^b 83.36±5.85	^a 74.15±15.54
	2NW	^a 88.23±1.24 ^b	83.45±2.18 ^c	^a 89.31±1.83 ^{ab}	^a 90.04±1.36 ^a	^a 81.13±2.00 ^d
	5NW	^a 80.66±2.15	80.43±1.28	^{ab} 82.12±1.91	^b 80.72±7.30	^a 78.99±2.08
	10NW	^a 78.21±2.28 ^a	76.36±3.08 ^b	^b 74.79±1.28 ^{bc}	^{bc} 78.59±1.15 ^c	^a 73.24±0.50 ^c
	SW	^b 59.13±22.15 ^{bc}	83.60±5.11 ^a	^c 57.61±16.72 ^c	^c 73.42±10.59 ^{ab}	^b 33.45±17.22 ^d

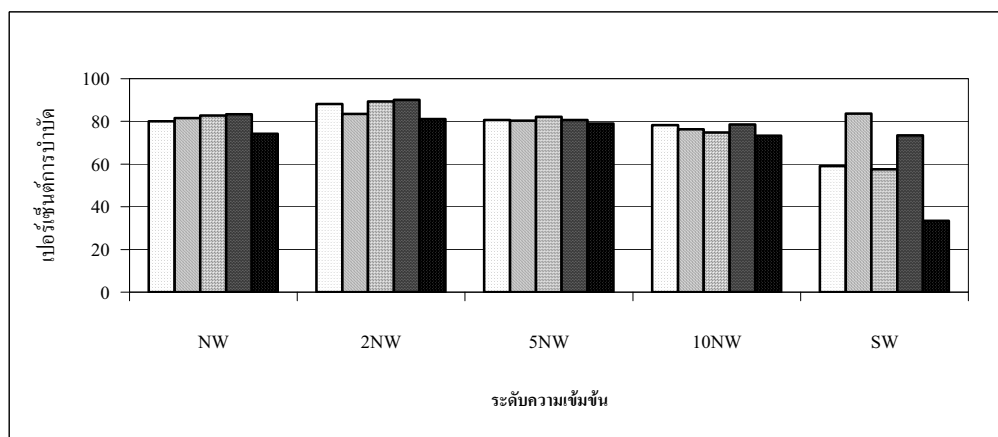
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



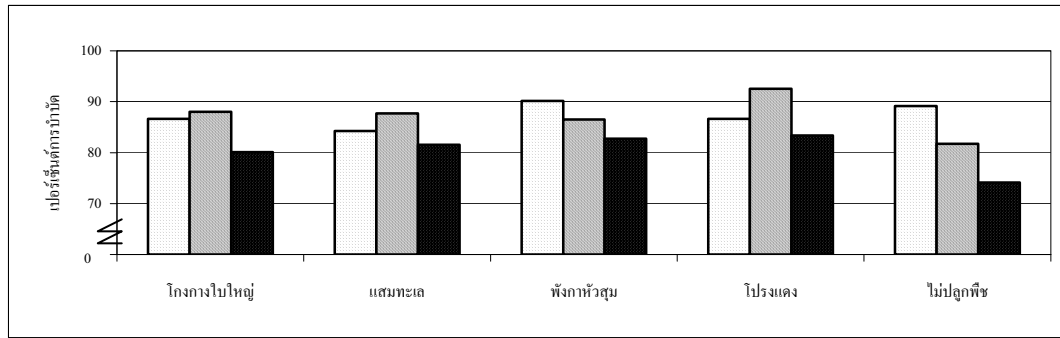
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



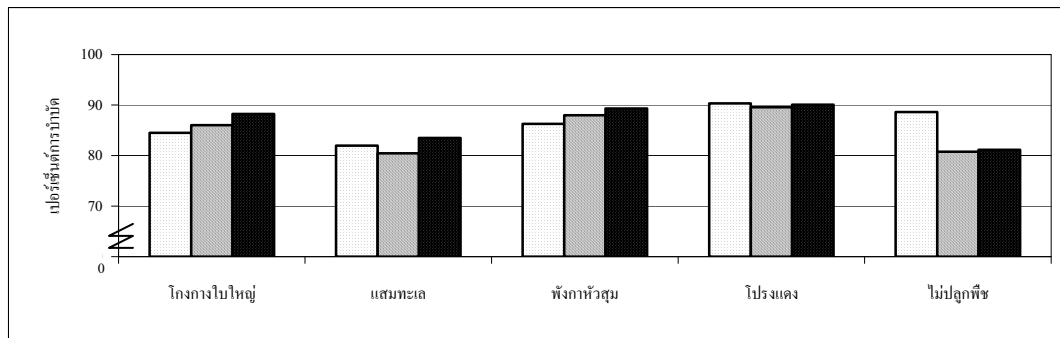
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



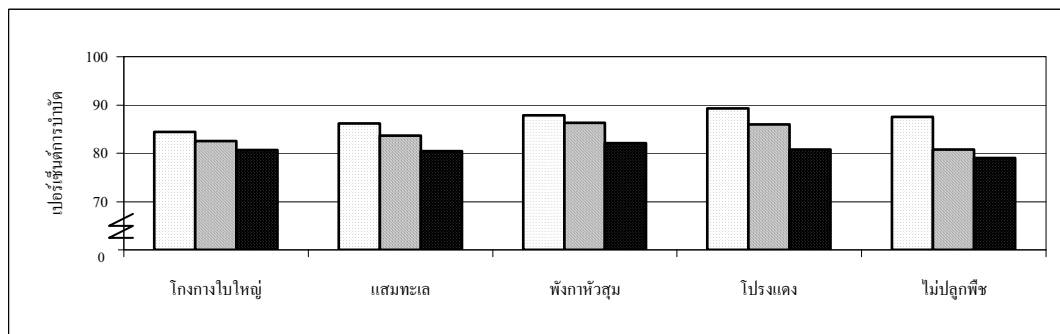
รูปที่ 4-11 เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



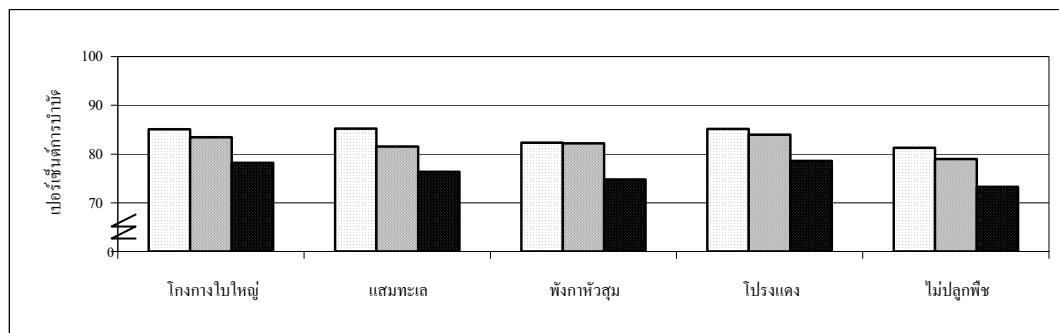
(ก) น้ำเสีย 1-1



(ข) น้ำเสีย 2-2



(ค) น้ำเสีย 5-5



(ด) น้ำเสีย 10-10

ระยะกักเก็บ 7 วัน
 ระยะกักเก็บ 5 วัน
 ระยะกักเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-12 เปอร์เซ็นต์การบำบัดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ ไครการที่ 1-1

4.2 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียแบบเดิมต่อเนื่องได้ทดลองบำบัดโดยใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยทดลองระยะพักเก็บละ 3 ชั่วโมง ควบคู่ไปกับการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียแบบกะ อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดของขนาดและจำนวนของถังสำรองน้ำ (โครงการนี้ใช้ถังสำรองน้ำขนาดบรรจุ 1,000 ลิตร จำนวน 5 ถัง สำหรับน้ำ 5 ประเภท คือ น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW, 10 NW และน้ำทะเล ซึ่งแต่ละถังจะจ่ายน้ำให้ชุดทดลอง 5 ชุด ชุดละ 200 ลิตร) ดังนั้นจึงได้ทำการสูบน้ำ ปรับเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย และปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองในระบบกะก่อน จากนั้นจึงทำการสูบน้ำ ปรับเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียใหม่ แล้วจึงปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองในระบบเดิมต่อเนื่อง ทำให้คุณภาพน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.2.1 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลอง ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1

คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-15 และตารางที่ ก 7 ถึง ก 9 ภาคผนวก ก) พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองในระบบกะ เนื่องจากใช้น้ำจากแหล่งเดียวกันและเตรียมในเวลาใกล้เคียงกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW) มีค่าเฉลี่ย pH 7.48, ความเค็ม 0.56 psu, DO 0 mg/l ตลอดการทดลอง, BOD 28.06 mg/l, TN 22.154 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนีย 17.334 mg/l และมีไนเตรท 0.153 mg/l, TP 5.837 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต 3.618 mg/l ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสีย NW มีความสกปรกต่ำ

น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2, 5 เท่า และ 10 เท่าของน้ำเสียชุมชนปกติ (2NW, 5NW และ 10NW) ซึ่งกำหนดให้มีค่า TN เท่ากับ 40, 100 และ 200 mg/l ตามลำดับ และค่า TP เท่ากับ 8, 20 และ 40 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียที่เตรียมได้มีค่าเฉลี่ย TN 48.212, 111.129 และ 216.803 mg/l ตามลำดับ และ ค่าเฉลี่ย TP 8.978, 21.159 และ 44.494 mg/l ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด ค่าแอมโมเนียในน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า 6.585, 15.903 และ 30.411 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ของยูเรียที่ใช้ปรับความเข้มข้นของ TN ค่าออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า 6.421, 18.746 และ 39.518 mg/l ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสาร KH_2PO_4 ที่ใช้เพื่อปรับความเข้มข้นของ TP ละลายน้ำและแตกตัวให้ PO_4^{3-} สำหรับค่า BOD ของน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW มีค่า 50.22, 78.67 และ 90.50 mg/l ตามลำดับ

น้ำทะเลซึ่งใช้ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยของ pH 7.92 ความเค็ม 31.00 psu, DO 2.64 mg/l, BOD 10.19 mg/l, TN 3.713 mg/l แอมโมเนีย 0.408 mg/l, TP 0.982 mg/l และออร์โธฟอสเฟต 0.500 mg/l ซึ่งจะเห็นว่า DO ค่อนข้างต่ำและ BOD ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4-15 คุณภาพน้ำเสียและน้ำทะเลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

พารามิเตอร์	NW	2NW	5NW	10NW	SW
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.48±0.31	8.18±0.31	8.09±0.29	7.98±0.35	7.92±0.24
อุณหภูมิ (°C)	31.04±1.36	30.19±0.81	30.32±0.62	30.19±0.75	30.14±1.61
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	^b 1.23±0.12	^b 1.18±0.09	^b 1.18±0.09	^b 1.20±0.07	^a 52.61±4.24
ความเค็ม (psu)	^b 0.56±0.07	^b 0.52±0.04	^b 0.52±0.04	^b 0.52±0.04	^a 31.00±2.09
ออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l)	^b 0.00±0.00	^a 7.00±1.57	^a 7.34±1.34	^a 7.27±2.50	^b 2.64±1.56
บีโอดี (BOD) (mg/l)	^c 28.06±10.21	^b 50.22±11.18	^a 78.67±11.12	^a 90.50±16.35	^c 10.19±5.08
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	^b 22.154±5.414	^a 48.212±2.811	^a 111.129±6.350	^a 216.803±14.908	^c 3.713±1.049
แอมโมเนีย (NH ₃ -N) (mg/l)	^b 17.334±2.405	^c 6.585±0.728	^b 15.903±1.977	^a 30.411±2.643	^d 0.408±0.188
ไนเตรท (NO ₃ -N) (mg/l)	^b 0.153±0.045	^a 0.872±0.210	^a 0.936±0.245	^a 1.004±0.302	^c 0.083±0.035
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	^d 5.837±0.817	^c 8.978±0.774	^b 21.159±1.096	^a 44.494±3.288	^c 0.982±0.127
ออร์โธฟอสเฟต (ortho-PO ₄) (mg/l)	^d 3.618±0.555	^c 6.421±0.890	^b 18.746±1.255	^a 39.518±4.289	^c 0.500±0.081

หมายเหตุ ตัวอักษรบนขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
 NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 2NW, 5 NW และ 10 NW คือ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ TN และ TP เป็น 2, 5 และ 10 เท่า
 ของน้ำเสียชุมชนปกติ ตามลำดับ; SW (seawater) คือ น้ำทะเล

4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียได้ทดลองบำบัดโดยใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยทดลองระยะพักเก็บละ 3 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองอยู่ในช่วง 7.30-8.37 เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่า pH สูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.75-8.82 (ตารางที่ ก 10 ภาคผนวก ก) ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับในระบบกะ

การนำไฟฟ้าและความเค็ม (Conductivity and Salinity)

การนำไฟฟ้าและความเค็มของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า 1.12-1.23 mS/cm และ 0.50-0.60 psu ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าดังกล่าวสูงขึ้นเป็น 8.46-43.16 mS/cm และ 4.43-24.63 psu ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใช้ระยะพักเก็บ 7 วัน จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเค็มและการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เช่นเดียวกับในระบบกะ โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ระยะพักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีความเค็มอยู่ในช่วง 15.03-24.63, 4.60-16.03 และ 4.43-15.37 psu ตามลำดับ และการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.21-1.24, 1.12-1.23, 1.14-1.20 และ 1.17-1.22 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ ก 11 ถึง ก 12 ภาคผนวก ก) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะพักเก็บนานขึ้นจะทำให้มีการระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น

ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า DO 0.00-9.48 mg/l ขณะที่น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองในระบบกะมีค่าต่ำกว่า อยู่ระหว่าง 0.00-5.39 mg/l ทั้งนี้เพราะการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่องซึ่งค่อยๆ เติมน้ำเข้าสู่ชุดทดลองเป็นวิธีการเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า DO สูงขึ้นเป็น 1.42-13.10 mg/l (ตารางที่ 4-16) ขณะที่ระบบกะมี DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ระหว่าง 4.17-11.00 mg/l ซึ่งจะเห็นว่า DO ในระบบเดิมต่อเนื่องบางครั้งต่ำกว่าระบบกะ เพราะระยะกักเก็บที่ใช้ในการศึกษานี้ค่อนข้างนานคือระหว่าง 7, 5 และ 3 วัน ดังนั้นอัตราการปล่อยน้ำเข้าจึงช้า อยู่ระหว่าง 19.84-46.30 มิลลิตร/นาที ทำให้ในช่วงแรกๆ น้ำจะซึมซาบ (infiltration) ลงสู่ดินชั้นล่างจนกระทั่งเมื่อน้ำมีปริมาณมากขึ้นและดินในบริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำเริ่มอิ่มตัวจึงปรากฏระดับน้ำเหนือผิวดินซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ขณะที่ระบบกะซึ่งปล่อยน้ำปริมาณมากลงไปในชุดทดลองในคราวเดียวทำให้มีระดับน้ำอยู่เหนือผิวดิน ทำให้มวลน้ำดังกล่าวมีช่วงเวลาที่จะสัมผัสอากาศ และมีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก

ตารางที่ 4-16 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวตุ้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 0.00±0.00	12.33±4.16 ^a	8.02±2.14 ^{ab}	11.85±2.33 ^a	4.83±1.86 ^b	10.60±0.65 ^a
	2NW	^{ab} 5.18±0.68	11.73±0.99	8.65±1.89	7.72±3.33	9.90±2.85	8.52±2.63
	5NW	^a 6.12±1.27	9.57±3.85	4.52±0.20	7.58±3.07	7.77±2.42	6.83±1.47
	10NW	^{ab} 4.78±0.19	6.33±2.02 ^b	4.47±0.95 ^b	7.22±3.93 ^b	8.82±3.15 ^{ab}	12.08±1.26 ^a
	SW	^b 3.90±2.08	8.03±2.36	6.82±3.93	9.97±0.83	9.78±2.05	7.05±3.40
5	NW	^b 0.00±0.00	9.58±1.53	6.18±0.45	7.67±2.88	8.68±0.99	7.90±0.10
	2NW	^a 7.97±0.97	8.33±1.87	5.90±0.60	6.77±0.93	7.78±2.24	9.85±1.56
	5NW	^a 8.00±1.15	7.82±0.77 ^a	3.32±0.58 ^b	4.80±3.16 ^{ab}	5.42±1.49 ^{ab}	8.35±1.91 ^a
	10NW	^a 9.48±2.80	5.85±2.03	3.33±2.22	5.12±2.53	6.30±2.75	6.52±3.49
	SW	^b 1.40±0.69	7.13±2.84	6.77±4.68	5.82±1.02	6.68±0.19	6.53±1.14
3	NW	^b 0.00±0.00	^b 8.07±0.76 ^a	^a 5.63±0.48 ^b	^b 9.05±0.87 ^a	^{bc} 7.62±0.80 ^a	^b 8.67±1.63 ^a
	2NW	^a 7.85±1.03	^a 13.10±2.66 ^a	^a 5.73±0.65 ^b	^b 7.92±1.48 ^b	^b 8.50±0.90 ^b	^a 12.45±2.51 ^a
	5NW	^a 7.90±0.92	^b 6.97±1.59 ^a	^c 1.42±0.16 ^c	^c 4.55±1.10 ^b	^d 5.58±0.78 ^{ab}	^b 7.03±0.44 ^a
	10NW	^a 7.53±0.59	^b 5.82±0.35 ^b	^b 2.52±0.73 ^c	^c 4.85±0.54 ^b	^{cd} 6.32±1.30 ^{ab}	^b 7.53±0.78 ^a
	SW	^b 2.62±0.53	^a 11.75±1.06 ^a	^a 6.53±0.42 ^b	^a 11.68±0.81 ^a	^a 12.23±0.24 ^a	^b 7.37±0.23 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับประเด็นอื่นๆ สามารถสรุปแนวโน้มได้ดังนี้

- DO ในระบบเดิมต่อเนื่องค่าจะมีความผันแปรสูงกว่าระบบกะ และไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม่มีค่า DO สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม่มีค่า DO สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน แต่พบว่า DO ของชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกโกงกางใบใหญ่ ฟังกาหัวส้มดอกแดง โปรงแดง และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชเช่นเดียวกับในระบบกะ ทั้งนี้เพราะสภาพของระบบที่แน่นทึบจากการแตกกิ่งเป็นพุ่มทำให้การเติมอากาศโดยลม และการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเกิดขึ้นได้จำกัดกว่า

- ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (NW และ 2NW) มีค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง (5NW และ 10NW) ซึ่งเป็นแนวโน้มลักษณะเดียวกับในระบบกะ

- มีแนวโน้มว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บนาน 7 วัน จะทำให้ DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ โดยค่า DO อยู่ในช่วง 4.47-12.33, 3.32-9.85 และ 1.42-13.10 mg/l ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแนวโน้มดังกล่าวค่อนข้างผันแปรและไม่ชัดเจน

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า BOD อยู่ในช่วง 25.67-32.50, 41.75-56.42, 71.00-90.50 และ 80.50-109.00 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียทุกความเข้มข้นดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD อยู่ในช่วง 3.00-12.33 mg/l ซึ่งไม่เกินมาตรฐานกำหนด (20 mg/l) เมื่อใช้ระยะกักเก็บเพียง 3 วัน แต่มีข้อสังเกตคือ เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน จะทำให้ค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 5 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้แตกต่างจากระบบกะ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลากักเก็บนาน 5 และ 7 วัน จึงจะทำให้ค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ตารางที่ 4-17)

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลากักเก็บนานขึ้น เช่นเดียวกันกับระบบกะ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่า 75.36-95.31, 81.15-94.78 และ 73.48-91.84% ตามลำดับ

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง (5NW และ 10NW) สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (NW และ 2NW) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่องมีศักยภาพสูงในการรองรับน้ำเสียที่มี BOD สูงและยังใช้ระยะกักเก็บสั้นกว่าระบบกะด้วย (ตารางที่ 4-18 และรูปที่ 4-13 ถึง 4-14)

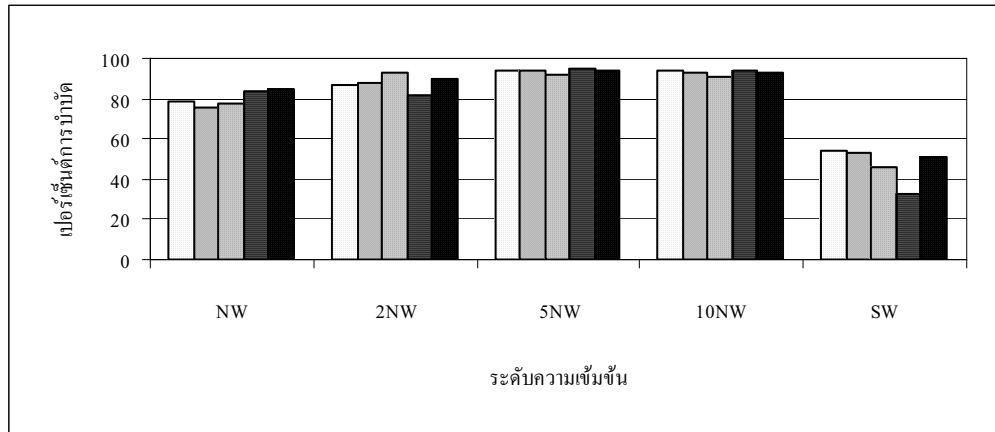
ตารางที่ 4-17 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โรงกลั่นใหญ่	แสมทะเล	ฟังกาหัวตุ้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^c 25.67±12.71	4.44±2.27	4.95±2.25	4.55±1.11	^b 3.15±1.58	3.55±1.74
	2NW	^b 56.42±9.23	7.80±4.62	7.35±3.17	4.20±1.13	^a 10.10±3.52	5.70±4.28
	5NW	^a 90.50±5.27	5.10±0.90	5.30±2.69	7.40±2.96	^b 4.20±2.86	5.90±0.96
	10NW	^a 109.00±15.59	6.60±3.17	7.30±2.13	9.80±2.41	^{ab} 6.90±1.97	7.20±5.05
	SW	^c 16.53±4.10	7.55±4.03	7.65±6.14	8.90±5.85	^a 10.45±4.26	9.15±7.16
5	NW	^c 26.00±6.76	4.35±2.22	4.65±3.90	4.20±1.97	3.10±1.22	3.50±0.92
	2NW	^b 52.50±6.54	5.42±2.20	5.40±1.37	4.80±0.65	5.58±1.37	4.38±0.34
	5NW	^a 71.00±8.66	4.70±2.59	6.20±2.71	8.70±6.32	3.80±1.95	4.10±2.55
	10NW	^a 80.50±10.85	7.10±1.42	5.30±0.46	6.50±2.00	7.00±4.20	7.60±3.99
	SW	^d 7.35±1.13	2.45±0.83	3.10±0.71	3.80±0.17	3.75±0.98	2.35±0.31
3	NW	^b 32.50±13.94	^c 5.80±0.17 ^{ab}	^d 4.60±0.17 ^{bc}	^c 5.40±0.90 ^{ab}	^b 3.00±1.31 ^c	^b 6.60±1.31 ^a
	2NW	^b 41.75±15.45	^b 7.10±0.17 ^b	^c 5.90±0.17 ^c	^a 9.90±0.30 ^a	^a 10.30±0.46 ^a	^b 6.80±0.17 ^b
	5NW	^a 74.50±10.24	^a 8.33±0.29 ^c	^a 12.33±0.76 ^a	^b 7.00±0.50 ^d	^a 10.33±0.58 ^b	^a 8.50±0.50 ^c
	10NW	^a 82.00±4.82	^{ab} 6.67±0.29 ^c	^b 6.83±0.29 ^c	^a 9.50±0.50 ^a	^a 9.67±0.58 ^a	^{ab} 7.83±0.29 ^b
	SW	^c 6.70±0.23	^d 4.19±1.03	^c 3.44±0.39	^d 3.81±0.29	^b 4.13±0.32	^c 4.06±0.76

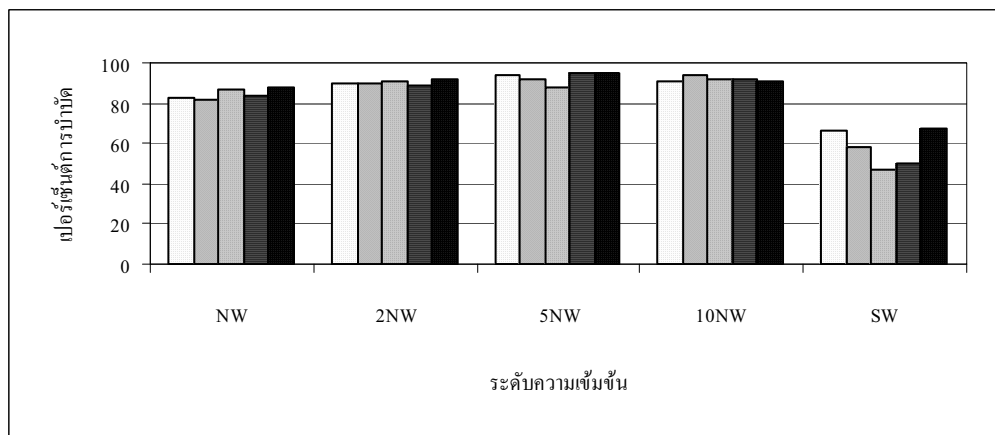
ตารางที่ 4-18 เปอร์เซนต์การบำบัดบีโอดี เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โรงกลั่นใหญ่	แสมทะเล	ฟังกาหัวตุ้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 79.04±17.92	75.36±21.67	^a 77.63±14.46	^a 84.04±14.85	^a 85.03±7.23
	2NW	^a 86.78±5.59	87.33±3.31	^a 92.61±1.23	^a 81.68±7.57	^a 89.83±8.28
	5NW	^a 94.31±1.33	94.14±2.95	^a 91.81±3.26	^a 95.31±3.17	^a 93.43±1.40
	10NW	^a 93.70±3.53	93.19±2.42	^a 90.73±3.2	^a 93.44±2.52	^a 93.03±5.33
	SW	^b 54.44±18.19	53.51±31.31	^b 46.33±27.97	^b 44.83±20.72	^b 50.74±25.67
5	NW	^a 83.08±3.98	^a 81.15±9.50	^a 86.56±5.12	^b 83.92±7.61	^a 87.29±1.07
	2NW	^a 89.36±5.24	^a 89.41±3.71	^a 90.67±2.26	^{ab} 89.06±3.72	^a 91.52±1.60
	5NW	^a 93.58±2.81	^a 91.45±2.87	^a 88.19±7.74	^a 94.78±2.23	^a 94.41±3.01
	10NW	^a 91.22±0.70	^a 93.38±0.54	^a 91.91±2.51	^a 91.64±3.90	^a 90.84±3.65
	SW	^b 66.56±9.91 ^a	^b 58.04±4.24 ^{ab}	^b 47.24±10.30 ^b	^c 49.51±5.82 ^b	^b 67.10±9.55 ^a
3	NW	^a 79.98±7.69	^a 84.26±5.71	^{ab} 80.56±10.32	^a 88.59±8.91	^a 76.31±13.42
	2NW	^a 81.45±6.30	^a 84.57±5.30	^b 74.10±9.01	^b 73.48±7.55	^a 82.34±5.71
	5NW	^a 88.70±1.25 ^{ab}	^a 83.13±3.43 ^c	^a 90.54±0.74 ^a	^a 85.87±2.90 ^{bc}	^a 88.50±1.04 ^{ab}
	10NW	^a 91.84±0.50 ^a	^a 91.62±0.75 ^{ab}	^a 88.38±0.28 ^c	^a 88.14±1.32 ^c	^a 90.42±0.26 ^b
	SW	^b 37.16±17.26	^b 48.61±6.85	^c 43.09±3.71	^c 38.33±6.52	^b 39.25±11.90

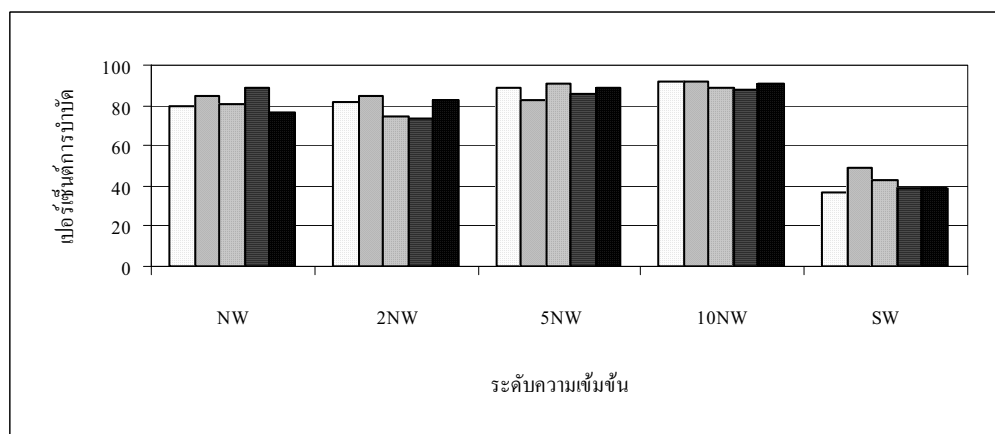
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



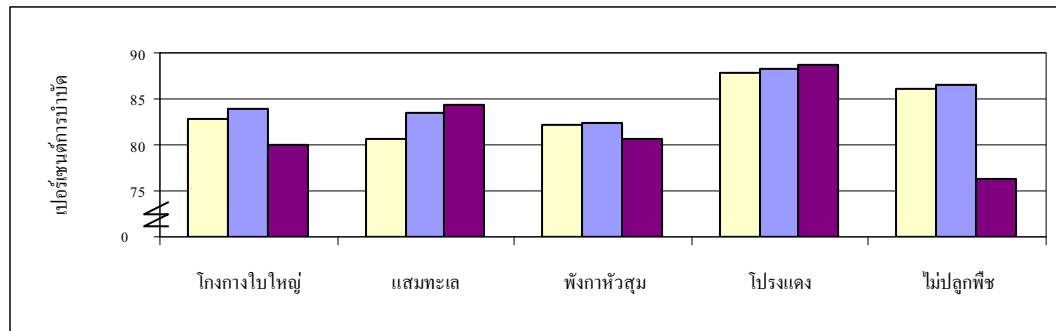
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



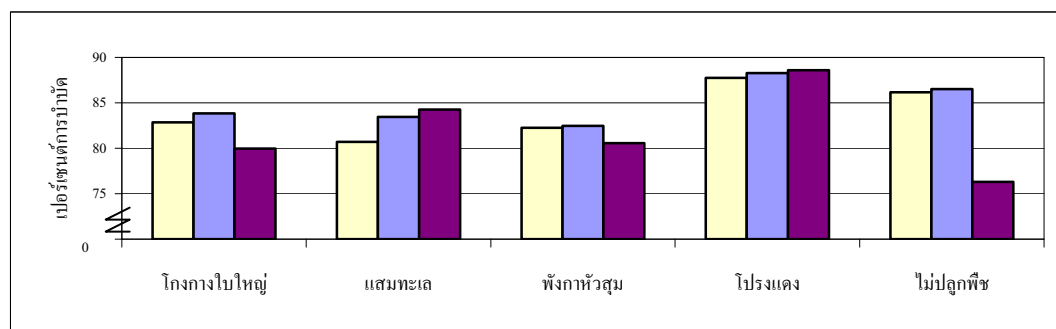
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



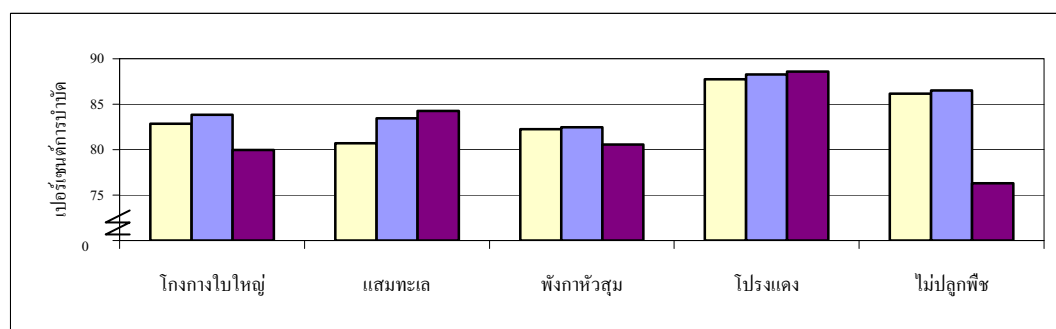
รูปที่ 4-13 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



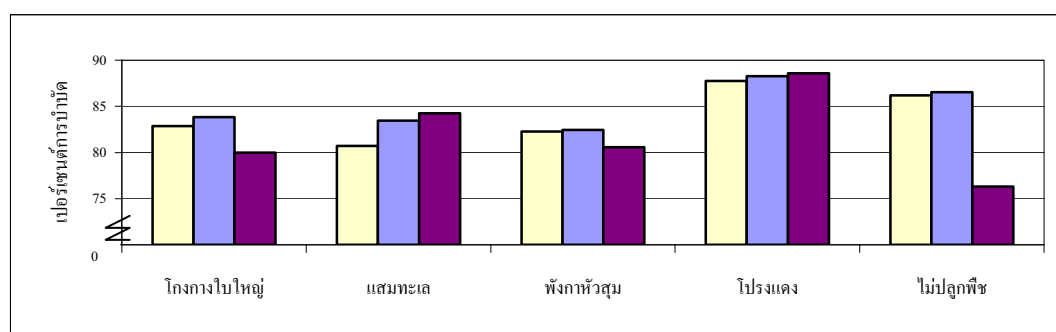
(ก) น้ำเสีย NW



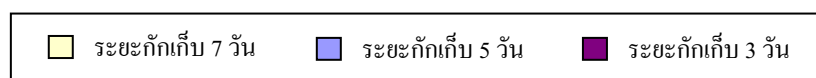
(ข) น้ำเสีย 2 NW



(ค) น้ำเสีย 5 NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-14 เปอร์เซนต์การบำบัดปิโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า TN อยู่ในช่วง 18.116-26.778, 46.542-49.684, 107.022-117.258 และ 210.996-224.342 mg/l ตามลำดับ เมื่อักเก็บน้ำเสียไว้ในชุดทดลองนานขึ้นจะทำให้ค่า TN ของน้ำที่ผ่านการบำบัดลดลง กล่าวคือ เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 และ 5 วัน ชุดทดลองทุกชุด (ทั้งที่ปลูกกล้าไม้และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช) สามารถบำบัดน้ำเสีย NW, 2NW และ 5NW ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด (35 mg/l) แต่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสีย 10NW ให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l ได้ และเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน สามารถบำบัดได้เฉพาะน้ำเสีย NW และ 2NW ให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสีย 10NW ได้หากใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน (ตารางที่ 4-19) ดังนั้นหากน้ำเสียมียค่า TN สูงมาก เช่นน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าเฉลี่ย TN 216.803 ± 14.908 mg/l จะไม่สามารถบำบัดโดยใช้ระบบเดิมต่อเนื่องหากใช้ระยะเวลาการกักเก็บเพียง 7 วัน แต่อาจต้องใช้ระยะเวลาการกักเก็บที่นานขึ้น

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการกักเก็บนานขึ้น เช่นเดียวกันกับระบบกะ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน มีค่า 71.35-91.86, 61.66-85.57 และ 49.18-76.33% ตามลำดับ

โดยทั่วไป พบแนวโน้มว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน และ 5 วัน มีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 5NW เพราะถึงแม้ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 5NW จะมีปริมาณ TN และ BOD สูงกว่าชุดทดลอง NW แต่ก็มียค่า DO สูงกว่า ทำให้กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ดีกว่า (กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน และไนตริฟิเคชัน) แต่ในชุดทดลอง 10NW นั้น มีปริมาณ TN และ BOD สูงมาก ทำให้ DO ซึ่งถึงแม้ในช่วงเริ่มต้นจะมีค่าสูง ถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว จนเป็นปัจจัยจำกัดของกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน ทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลอง 10NW มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นอื่น แต่เมื่อใช้ระยะการกักเก็บ 3 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW และมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน (ตารางที่ 4-20 และรูปที่ 4-15 ถึง 4-16) ขณะที่ระบบกะ พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของทุกระยะกักเก็บ มีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW รองลงมาคือ 2NW และ 5NW ตามลำดับ และค่าต่ำสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 10NW

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ไม่เห็นแนวโน้มความแตกต่างที่ชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งพบว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

หากเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ระหว่างระบบกะ และระบบเดิมต่อเนื่อง พบว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน เปอร์เซ็นต์การบำบัดของระบบทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ระบบกะมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN สูงกว่าระบบเดิมต่อเนื่อง

ตารางที่ 4-19 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง
โครงการที่ 1-1

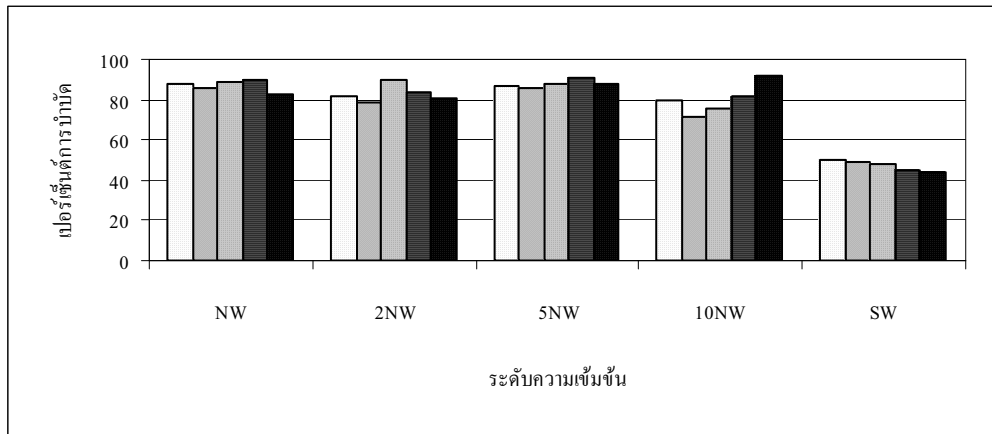
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โก่งกังใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^d 26.787±0.907	^c 3.298±0.860	^b 3.702±1.742	^b 2.955±2.417	^b 2.644±0.658	^d 4.636±1.804
	2NW	^c 49.684±0.95	^{bc} 9.209±4.312	^b 10.329±6.25	^b 4.853±1.553	^b 8.244±3.263	^c 9.831±4.034
	5NW	^b 117.258±4.87	^b 15.711±7.01	^b 16.489±7.31	^b 14.467±12.9	^b 11.138±1.88	^b 14.373±6.18
	10NW	^a 224.342±9.21	^a 45.733±14.0	^a 64.151±31.1	^a 55.004±33.1	^a 40.818±31.8	^a 18.324±4.53
	SW	^c 4.853±1.057	^c 2.427±0.524	^b 2.427±0.370	^b 2.396±0.579	^b 2.738±1.135	^d 3.018±0.623
5	NW	^d 18.116±7.123	^d 4.262±1.903	^d 4.636±1.314	^d 4.418±2.600	^d 2.613±0.657	^c 2.924±1.863
	2NW	^c 48.440±4.28	^c 13.471±6.04	^c 15.369±5.48	^c 16.116±5.31	^c 10.982±7.14	^b 14.902±6.34
	5NW	^b 107.022±4.74	^b 19.164±3.95	^b 28.933±10.6	^b 30.769±10.1	^b 27.067±11.8	^b 15.524±5.85
	10NW	^a 210.996±22.9	^a 52.516±10.4	^a 77.653±7.99	^a 78.929±10.6	^a 70.124±13.0	^a 45.267±10.4
	SW	^c 2.893±0.343	^d 1.773±0.396	^d 1.929±0.382	^d 1.836±0.148	^d 1.867±0.140	^c 1.680±0.337
3	NW	^d 21.560±0.907	^d 7.591±0.494 ^b	^d 9.458±0.438 ^a	^d 7.436±0.544 ^c	^d 5.133±1.057 ^d	^d 8.338±1.127 ^b
	2NW	^c 46.542±0.98	^b 26.569±1.26	^c 23.302±0.75	^c 24.049±0.84	^c 22.524±0.39	^c 21.156±1.06
	5NW	^b 109.107±4.34	^c 25.262±1.08	^b 49.529±0.73	^b 50.618±0.68	^b 55.347±0.70	^b 26.071±0.40
	10NW	^a 215.320±2.96	^a 84.373±2.38	^a 96.196±1.20	^a 95.698±0.60	^a 98.467±0.77	^a 76.502±0.90
	SW	^c 3.391±0.295	^c 2.240±0.198	^c 2.427±0.140	^c 2.396±0.148	^c 2.489±0.219	^c 2.333±0.247

ตารางที่ 4-20 เปอร์เซนต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาตกเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

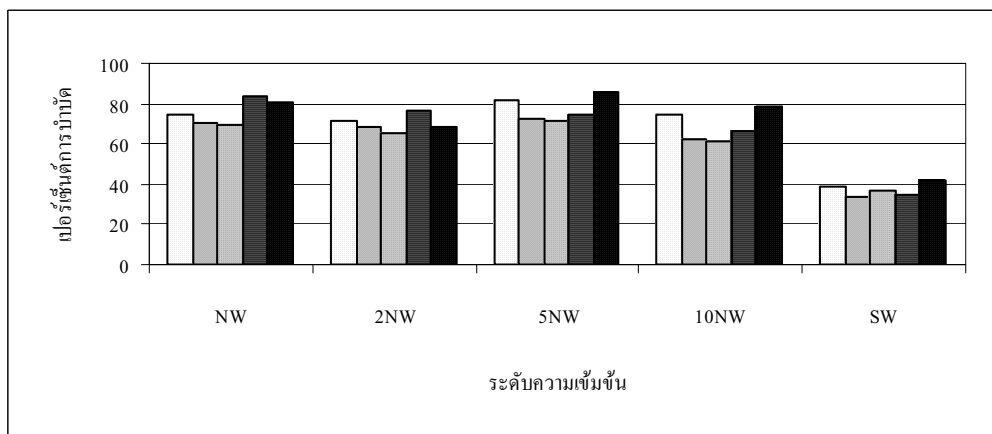
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โก่งกังใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 87.60±3.62	^a 86.04±6.74	^a 88.72±9.53	^a 90.13±2.40	^{bc} 82.71±6.54
	2NW	^{bc} 81.36±8.89	^{ab} 79.07±12.82	^a 90.18±3.26	^a 83.34±6.75	^c 80.12±8.34
	5NW	^{ab} 86.80±7.25	^a 86.01±10.93	^a 87.74±11.42	^a 90.54±9.45	^{ab} 87.92±4.93
	10NW	^c 79.56±6.51 ^b	^b 71.35±14.16 ^b	^b 75.67±14.22 ^b	^a 81.51±15.01 ^a	^a 91.86±1.86 ^a
	SW	^d 49.90±4.58	^c 48.95±8.64	^c 47.89±18.18	^b 45.26±12.69	^d 43.59±6.60
5	NW	^a 74.72±13.78	^a 70.45±16.91	^a 69.60±25.49	^a 83.46±8.90	^a 80.18±17.77
	2NW	^a 71.42±14.30	^a 67.95±12.63	^a 65.70±13.22	^{ab} 76.50±16.31	^b 68.13±15.11
	5NW	^a 81.96±4.09 ^{ab}	^a 72.94±8.63 ^c	^a 71.32±8.22 ^c	^{ab} 74.82±9.81 ^{bc}	^a 85.57±4.80 ^a
	10NW	^a 74.31±8.31 ^a	^a 62.43±8.17 ^b	^a 61.66±9.76 ^b	^b 65.84±10.16 ^b	^{ab} 78.11±6.34 ^a
	SW	^b 39.28±9.51	^b 33.86±8.24	^b 36.36±5.24	^c 35.08±7.33	^c 42.34±10.10
3	NW	^b 64.80±1.47 ^b	^a 56.13±1.01 ^d	^a 65.54±1.58 ^b	^a 76.33±4.07 ^a	^c 61.45±3.80 ^c
	2NW	^d 42.93±2.15 ^c	^b 49.94±0.97 ^c	^c 48.33±1.34 ^d	^{bc} 51.59±1.20 ^b	^d 54.55±1.95 ^a
	5NW	^a 76.78±5.52 ^a	^a 54.55±1.61 ^b	^b 53.52±2.50 ^b	^c 49.18±3.08 ^c	^a 76.07±4.09 ^a
	10NW	^c 60.82±0.79 ^b	^a 55.32±0.54 ^c	^b 55.55±0.37 ^c	^b 54.27±0.43 ^d	^b 64.47±0.25 ^a
	SW	^c 33.66±7.80	^c 28.34±3.99	^d 29.19±5.21	^d 26.63±4.25	^c 31.23±3.61

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

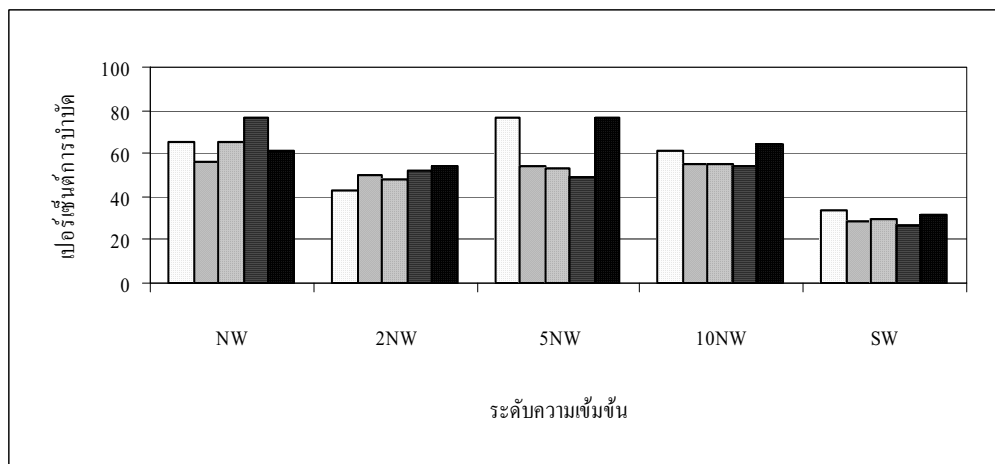
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาการกักเก็บ 7 วัน



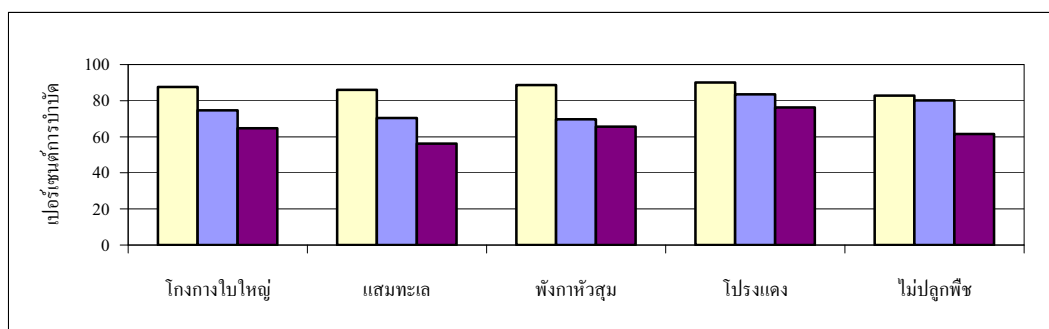
(ข) ระยะเวลาการกักเก็บ 5 วัน



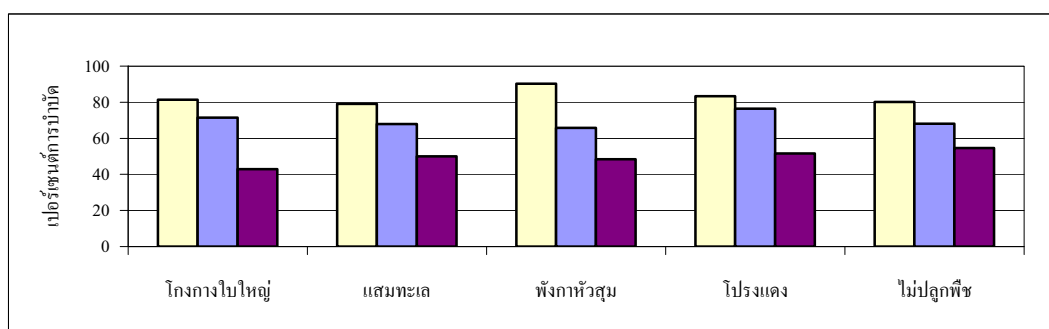
(ค) ระยะเวลาการกักเก็บ 3 วัน



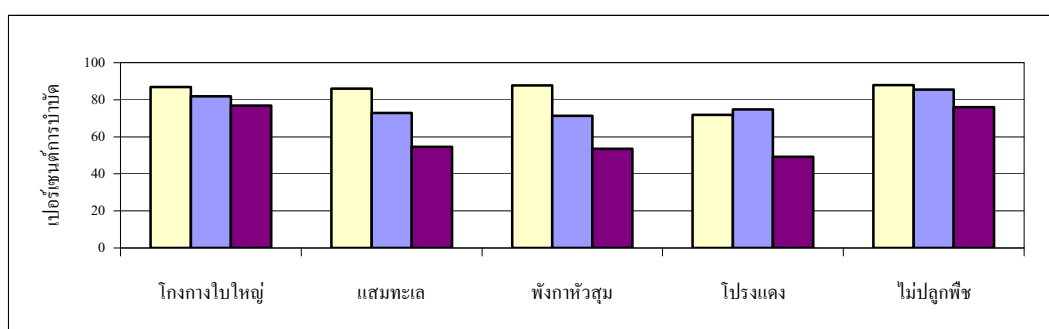
รูปที่ 4-15 เปอร์เซ็นต์การบำบัดในโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาการกักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



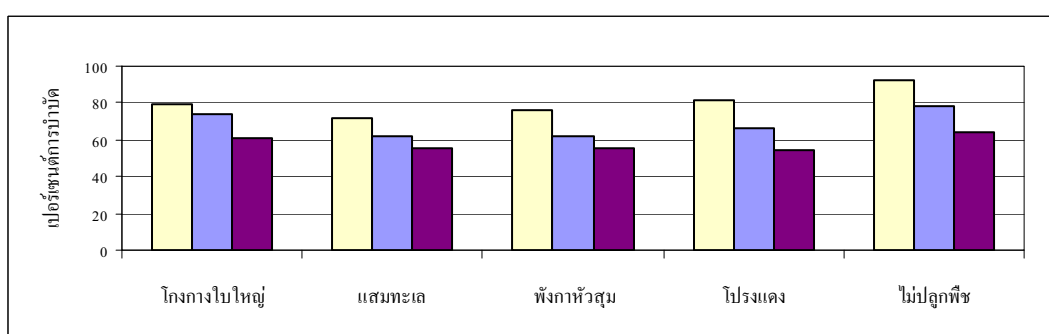
(ก) น้ำเสีย NW



(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW

ระยะกักเก็บ 7 วัน
 ระยะกักเก็บ 5 วัน
 ระยะกักเก็บ 3 วัน

รูปที่ 4-16 เปอร์เซนต์การบำบัดในโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_3\text{-N}$)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าแอมโมเนียอยู่ในช่วง 15.270-19.324, 5.819-7.040, 14.362-18.461 และ 28.912-31.738 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสีย 2NW มีค่าแอมโมเนียต่ำที่สุด เช่นเดียวกับในระบบกะ (ตารางที่ 4-21) อย่างไรก็ตามในระบบเดิมต่อเนื่องพบว่าน้ำเสีย 5NW ก็ยังมีค่าแอมโมเนียต่ำกว่าน้ำเสีย NW ด้วย

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดิมต่อเนื่องมีความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำกว่าระบบกะอย่างมาก โดยจะเห็นได้ชัดเจนที่สุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าแอมโมเนียของน้ำออกอยู่ในช่วง 1.780-3.280 mg/l ขณะที่ระบบกะมีค่าแอมโมเนียของน้ำออกอยู่ในช่วง 10.871-25.681 mg/l ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียของระบบเดิมต่อเนื่องสูงกว่าระบบกะมาก

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น เช่นเดียวกันกับระบบกะ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ เมื่อใช้ระยะเก็บกัก 7, 5 และ 3 วัน มีค่า 71.97-99.39, 56.44-98.25 และ 19.94-99.22% ตามลำดับ (ตารางที่ 4-22 และรูปที่ 4-17 ถึง 4-18)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนีย (ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้) สูงที่สุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW (97.12-99.45%) รองลงมาคือ 5NW (91.05-97.63%) และ 10NW (88.45-93.81%) ตามลำดับ และต่ำที่สุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 2NW (19.94-87.02%) ซึ่งเป็นเพราะน้ำเสีย NW (17.334 mg/l) มีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียสูงกว่าน้ำเสีย 5NW (15.903 mg/l) และ 2NW (6.585 mg/l) ขณะที่น้ำเสีย 10NW มีค่าแอมโมเนียสูงสุด (30.411 mg/l) ซึ่งหากสรุปแนวโน้มการบำบัดแอมโมเนียในระบบกะเปรียบเทียบกับระบบเดิมต่อเนื่องจะพบแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ หากน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงมากหรือต่ำมากจะทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียลดลง

ระบบเดิมต่อเนื่อง

ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	NW	>	5NW	>	10NW	>	2NW
ความเข้มข้นในน้ำเข้า (mg/l)	17.334		15.903		30.411		6.585

ระบบกะ

ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	NW	>	2NW	>	5NW	>	10NW
ความเข้มข้นในน้ำเข้า (mg/l)	13.682		9.783		20.083		38.716

นอกจากนี้ไม่พบแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งแตกต่างไปจากระบบกะซึ่งพบว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4-21 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

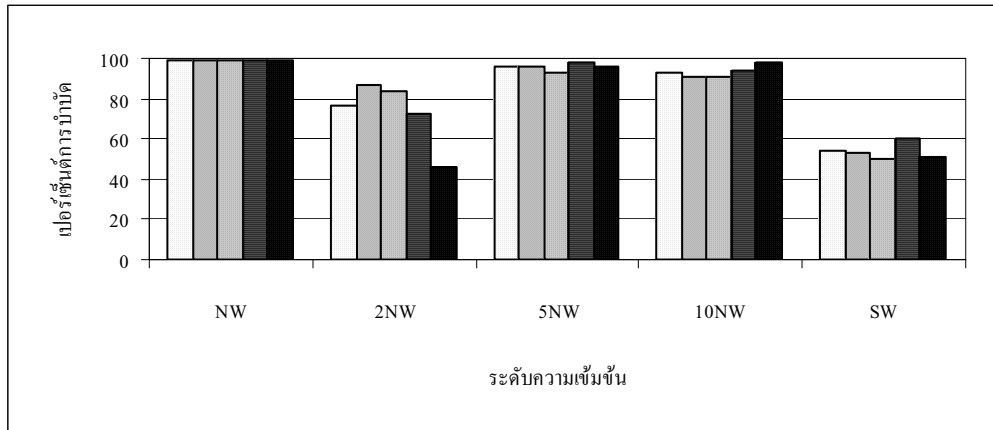
ักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โถงทางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^b 19.324±2.992	^d 0.121±0.039	^c 0.145±0.052	^d 0.115±0.053	^c 0.113±0.043	^c 0.104±0.013
	2NW	^d 7.040±0.631	^b 1.586±0.548 ^b	^b 0.904±0.076 ^c	^c 1.108±0.177 ^c	^a 1.938±0.539 ^b	^a 3.871±0.897 ^a
	5NW	^c 18.461±0.426	^c 0.776±0.569 ^b	^b 0.759±0.473 ^b	^b 1.352±0.088 ^a	^b 0.438±0.152 ^b	^b 0.693±0.403 ^b
	10NW	^a 31.738±0.839	^a 2.150±0.679 ^b	^a 2.904±0.666 ^a	^a 3.066±0.245 ^a	^a 2.020±0.615 ^b	^b 0.780±0.358 ^c
	SW	^c 0.165±0.032	^d 0.070±0.028	^c 0.076±0.002	^d 0.082±0.021	^c 0.064±0.005	^c 0.078±0.015
5	NW	^b 15.270±1.337	^c 0.331±0.033 ^b	^d 0.442±0.086 ^a	^d 0.289±0.019 ^{bc}	^d 0.265±0.077 ^c	^d 0.139±0.026 ^d
	2NW	^d 6.895±0.251	^a 2.918±1.707	^a 3.006±0.443	^a 2.834±0.627	^a 2.918±0.666	^a 3.197±0.558
	5NW	^c 14.362±0.807	^c 0.627±0.133 ^b	^c 0.760±0.198 ^b	^c 1.158±0.139 ^a	^c 0.811±0.214 ^b	^{bc} 0.627±0.438 ^b
	10NW	^a 30.583±1.232	^b 2.076±0.666 ^{ab}	^b 2.522±0.434 ^a	^b 2.137±0.524 ^{ab}	^b 1.982±0.266 ^b	^b 0.888±0.579 ^c
	SW	^c 0.527±0.030	^c 0.310±0.016 ^a	^d 0.229±0.064 ^b	^d 0.310±0.012 ^a	^d 0.343±0.072 ^a	^{cd} 0.330±0.049 ^a
3	NW	^b 17.406±0.964	^d 0.212±0.078 ^b	^d 0.350±0.052 ^a	^c 0.333±0.019 ^a	^d 0.134±0.014 ^c	^d 0.177±0.044 ^{bc}
	2NW	^d 5.819±0.520	^a 2.176±0.575 ^b	^a 4.401±0.120 ^a	^a 2.590±0.892 ^b	^a 4.654±0.352 ^a	^a 4.153±0.326 ^a
	5NW	^c 14.888±0.757	^c 0.941±0.182 ^c	^c 1.170±0.229 ^b	^b 1.326±0.115 ^a	^c 0.918±0.071 ^c	^c 0.525±0.042 ^d
	10NW	^a 28.912±3.990	^b 1.752±0.182 ^d	^b 3.280±0.229 ^a	^a 2.867±0.115 ^b	^b 3.082±0.071 ^{ab}	^b 2.027±0.042 ^c
	SW	^c 0.531±0.116	^d 0.161±0.046 ^{bc}	^c 0.143±0.051 ^c	^c 0.196±0.055 ^b	^d 0.251±0.031 ^a	^d 0.200±0.037 ^b

ตารางที่ 4-22 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

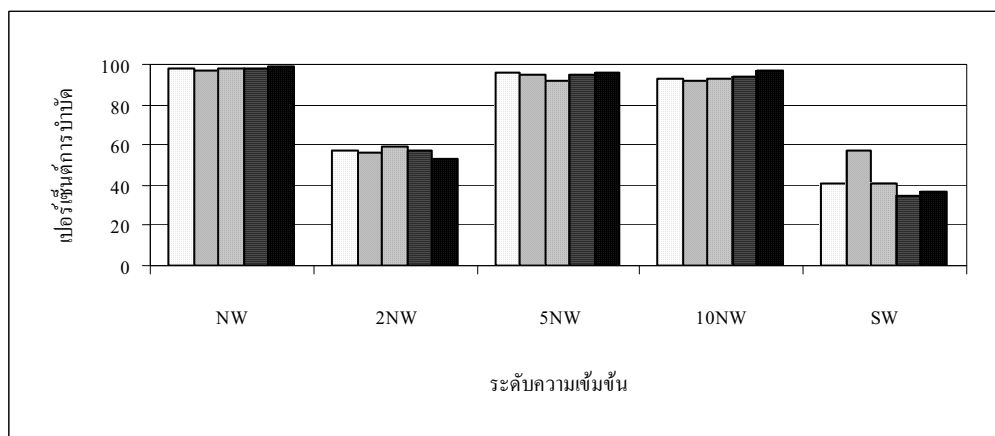
ักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โถงทางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 99.35±0.25	^a 99.23±0.30	^a 99.37±0.30	^a 99.39±0.27	^a 99.45±0.14
	2NW	^b 76.98±8.61 ^b	^b 87.02±2.22 ^a	^c 84.02±3.68 ^a	^b 71.97±8.28 ^b	^b 45.44±7.88 ^c
	5NW	^a 95.78±2.73 ^a	^a 95.92±2.12 ^a	^b 92.68±0.31 ^b	^a 97.63±0.73 ^a	^a 96.26±1.86 ^a
	10NW	^a 93.19±1.96 ^b	^b 90.81±2.00 ^c	^b 90.32±0.84 ^c	^a 93.63±1.71 ^b	^a 97.52±1.02 ^a
	SW	^c 53.99±27.42	^c 52.80±16.78	^d 50.44±16.34	^c 60.13±15.59	^b 50.57±21.40
5	NW	^a 97.82±0.23 ^c	^a 97.12±0.35 ^d	^a 98.10±0.14 ^{bc}	^a 98.25±0.48 ^b	^a 99.09±0.11 ^a
	2NW	^b 57.18±26.03	^b 56.44±5.96	^c 58.75±9.87	^b 57.49±10.60	^b 53.44±9.23
	5NW	^a 95.65±0.91 ^a	^a 94.67±1.78 ^a	^b 91.95±1.17 ^b	^a 94.40±1.27 ^a	^a 95.73±2.96 ^a
	10NW	^a 93.25±1.98 ^{bc}	^a 91.79±1.13 ^c	^b 93.02±1.60 ^{bc}	^a 93.49±1.10 ^b	^a 97.13±1.80 ^a
	SW	^c 40.98±4.63 ^b	^b 56.71±11.50 ^a	^d 41.03±3.94 ^b	^c 34.72±13.90 ^b	^c 36.87±11.83 ^b
3	NW	^a 98.75±0.52 ^b	^a 97.96±0.41 ^c	^a 98.08±0.09 ^c	^a 99.22±0.08 ^a	^a 98.96±0.31 ^{ab}
	2NW	^c 61.68±13.20 ^a	^d 23.77±8.15 ^b	^b 55.30±15.57 ^a	^d 19.94±2.81 ^b	^d 27.86±10.66 ^b
	5NW	^a 93.61±1.55 ^b	^b 92.18±1.22 ^c	^a 91.05±1.14 ^d	^{ab} 93.83±0.39 ^b	^{ab} 96.46±0.35 ^a
	10NW	^a 93.81±1.02 ^a	^b 88.45±1.60 ^c	^a 90.05±0.24 ^b	^b 89.21±1.06 ^{bc}	^b 92.70±2.39 ^a
	SW	^b 69.80±6.30 ^{ab}	^c 73.56±4.25 ^a	^b 62.80±9.67 ^b	^c 50.11±14.76 ^c	^c 61.44±7.67 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

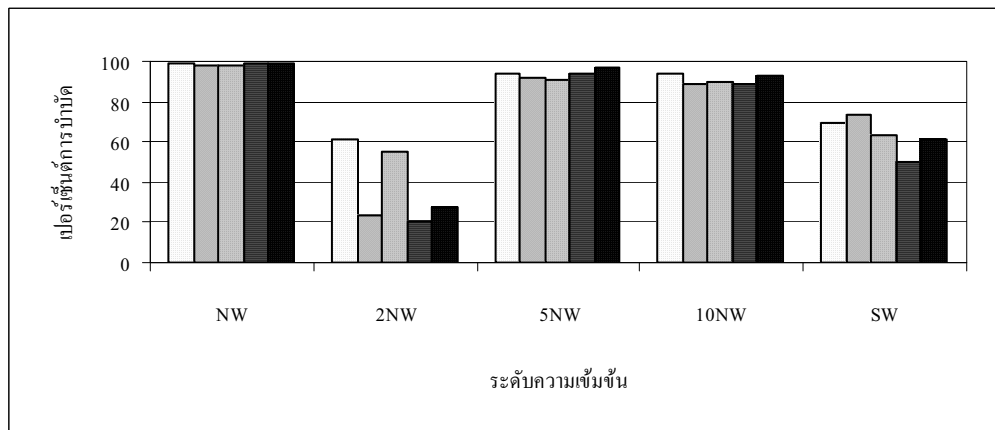
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



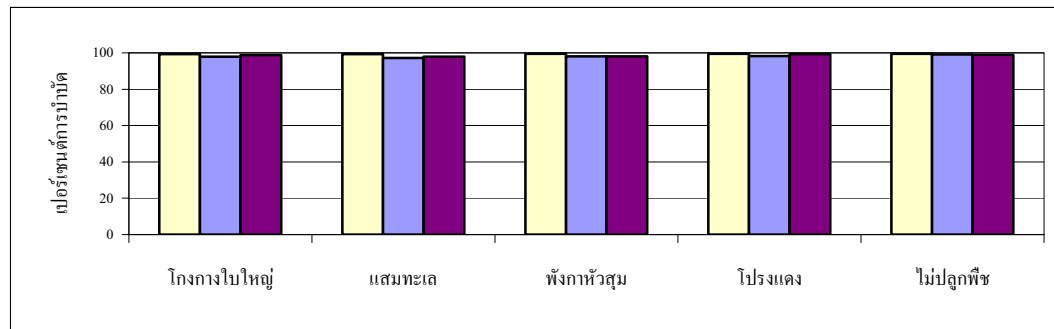
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



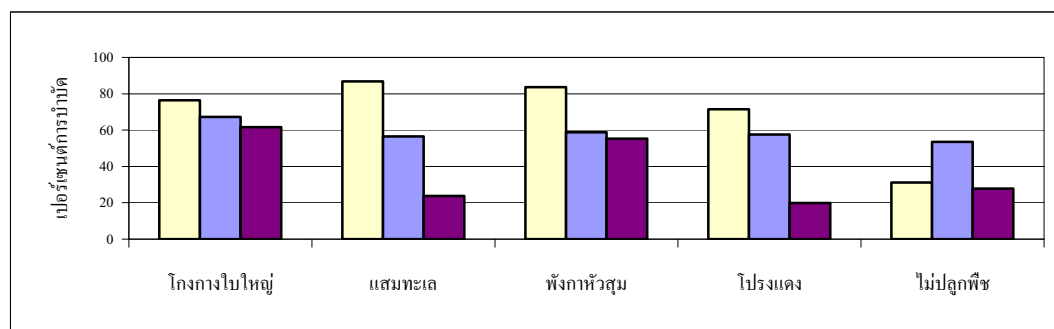
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



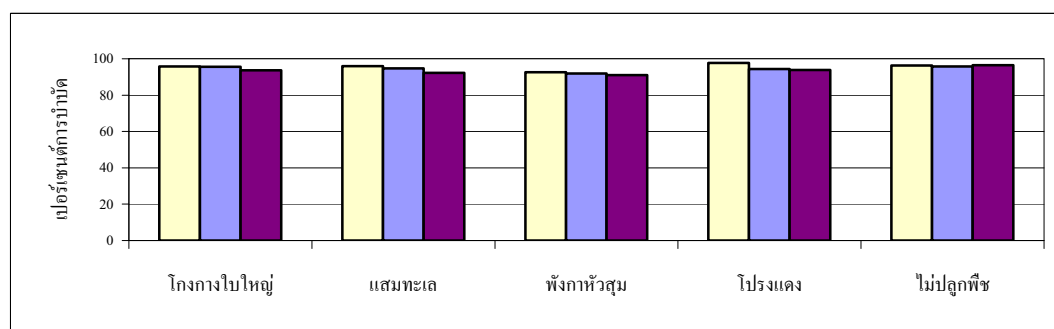
รูปที่ 4-17 เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



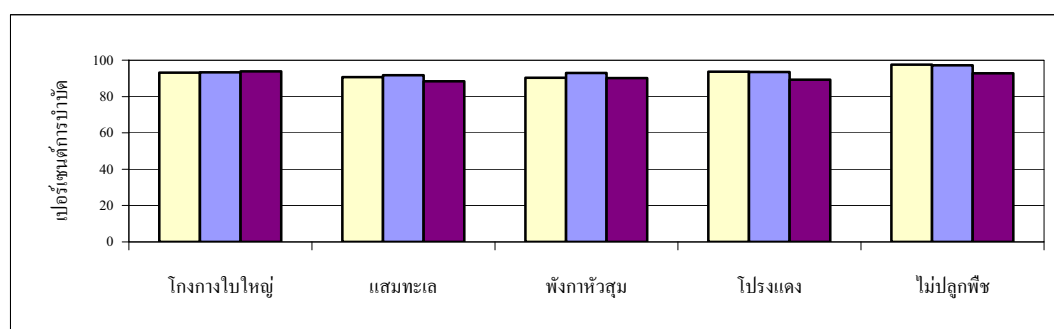
(ก) น้ำเสีย NW



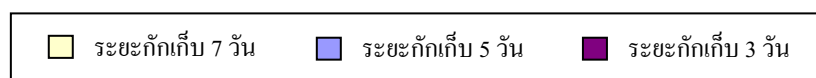
(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-18 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen : $\text{NO}_3\text{-N}$)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าไนเตรทอยู่ในช่วง 0.125-0.180, 0.596-1.063, 0.598-1.123 และ 0.585-1.217 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความผันแปรค่อนข้างสูง และน้ำเสีย NW มีค่าไนเตรทต่ำกว่าน้ำเสียที่ปรับความเข้มข้น (2NW, 5NW และ 10NW) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW (ตารางที่ 4-23)

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรท เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน สูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีค่า 34.69-89.43, 33.00-66.74 และ 29.55-58.30% ตามลำดับ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่แตกต่างจากระบบกะ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน สูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทในน้ำเสียทุกความเข้มข้นในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ (29.55-89.43%) สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (28.26-75.83%) และมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด (31.78-80.27%) ต่ำกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น (29.55-84.57%) ซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับระบบกะ

โดยทั่วไป พบว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 และ 5 วัน เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW ส่วนใหญ่สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 2NW, 5NW และ 10NW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน เปอร์เซ็นต์การบำบัดมีค่าผันแปรมาก และไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจน (ตารางที่ 4-24 และ รูปที่ 4-19 ถึง 4-20) ทั้งนี้เพราะถึงแม้ น้ำเสีย NW มีความเข้มข้นของไนเตรทและบีโอดีต่ำ แต่มี DO ต่ำ ทำให้ไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียถูกออกซิไดส์เปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทได้จำกัด ดังนั้นเมื่อไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำเข้าถูกบำบัดโดยการดูดซับไปใช้โดยพืชและโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทมีค่าสูงกว่าในน้ำเสียปรับความเข้มข้นซึ่งมี DO สูง และเกิดกระบวนการออกซิไดส์เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียให้เป็นไนเตรทได้ดีกว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดจึงต่ำ ขณะที่ระบบกะ พบว่า ทุกระยะกักเก็บ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW และ 2NW มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง (5NW และ 10NW) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-23 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

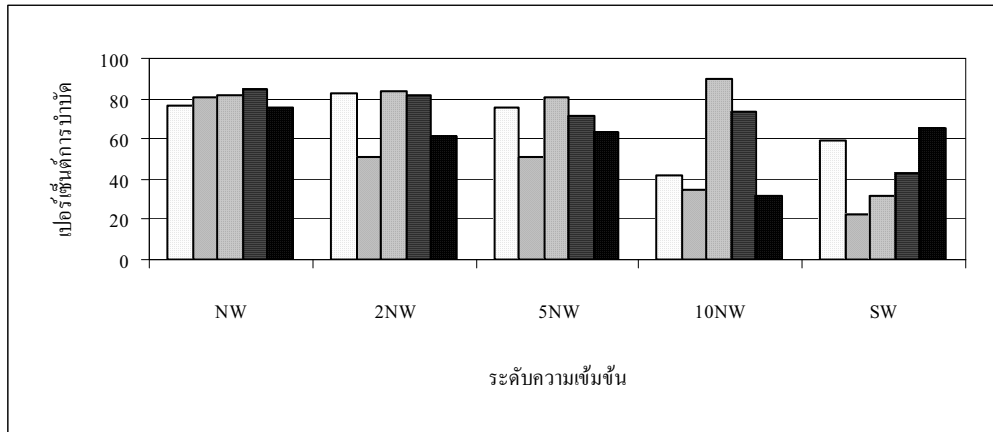
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โคงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^b 0.125±0.027	^d 0.031±0.019	^c 0.026±0.011	^c 0.024±0.012	^c 0.020±0.009	^c 0.032±0.014
	2NW	^a 0.596±0.013	^c 0.106±0.026 ^c	^b 0.294±0.066 ^a	^a 0.100±0.061 ^c	^b 0.109±0.057 ^c	^b 0.234±0.011 ^b
	5NW	^a 0.598±0.018	^b 0.144±0.020 ^c	^b 0.292±0.073 ^a	^a 0.117±0.037 ^d	^a 0.170±0.046 ^c	^b 0.223±0.006 ^b
	10NW	^a 0.585±0.007	^a 0.340±0.020 ^b	^a 0.382±0.073 ^a	^b 0.062±0.037 ^d	^a 0.159±0.046 ^c	^a 0.398±0.006 ^a
	SW	^c 0.034±0.004	^d 0.014±0.004 ^c	^c 0.028±0.002 ^a	^c 0.024±0.004 ^a	^c 0.020±0.008 ^b	^d 0.012±0.002 ^c
5	NW	^b 0.180±0.065	^d 0.073±0.034	^d 0.069±0.024	^d 0.073±0.044	^d 0.087±0.036	^c 0.041±0.016
	2NW	^a 1.063±0.085	^b 0.528±0.013 ^d	^b 0.612±0.005 ^a	^a 0.547±0.008 ^c	^a 0.568±0.010 ^b	^b 0.601±0.019 ^a
	5NW	^a 1.123±0.035	^c 0.474±0.021 ^d	^c 0.530±0.017 ^b	^c 0.394±0.028 ^c	^b 0.499±0.011 ^c	^b 0.591±0.007 ^a
	10NW	^a 1.210±0.010	^a 0.703±0.021 ^c	^a 0.811±0.017 ^b	^b 0.451±0.028 ^d	^c 0.402±0.011 ^c	^a 0.868±0.007 ^a
	SW	^c 0.101±0.027	^d 0.047±0.008 ^d	^d 0.095±0.010 ^a	^d 0.083±0.009 ^b	^d 0.068±0.010 ^c	^c 0.045±0.007 ^d
3	NW	^b 0.155±0.006	^c 0.086±0.007 ^b	^c 0.080±0.006 ^c	^c 0.087±0.008 ^b	^d 0.094±0.006 ^a	^d 0.074±0.004 ^d
	2NW	^a 0.957±0.027	^b 0.661±0.051 ^a	^a 0.654±0.059 ^a	^b 0.636±0.040 ^a	^c 0.597±0.043 ^b	^b 0.590±0.040 ^b
	5NW	^a 1.086±0.012	^a 0.766±0.063 ^a	^b 0.492±0.027 ^d	^b 0.635±0.008 ^c	^a 0.685±0.054 ^b	^a 0.620±0.029 ^c
	10NW	^a 1.217±0.010	^a 0.755±0.024 ^a	^b 0.507±0.022 ^c	^a 0.702±0.025 ^b	^b 0.642±0.065 ^c	^c 0.546±0.031 ^d
	SW	^c 0.107±0.004	^c 0.054±0.004 ^d	^c 0.090±0.010 ^a	^c 0.074±0.004 ^b	^d 0.062±0.005 ^c	^c 0.047±0.006 ^c

ตารางที่ 4-24 เปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรทเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

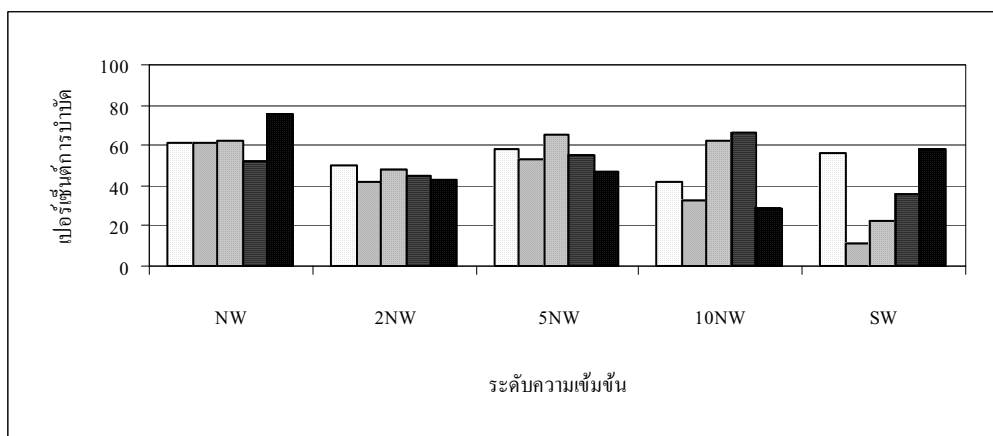
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
		โคงกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^a 76.97±9.16 ^{bc}	^a 80.27±3.96 ^{abc}	^{ab} 82.09±4.78 ^{ab}	^a 84.57±3.88 ^a	^a 75.83±5.21 ^c
	2NW	^a 82.23±4.47 ^a	^b 50.86±10.06 ^c	^{ab} 83.35±9.69 ^a	^{ab} 81.86±9.07 ^a	^b 60.79±2.35 ^b
	5NW	^a 75.91±9.19 ^{ab}	^b 51.44±11.53 ^d	^b 80.31±7.47 ^a	^b 71.68±6.77 ^b	^b 62.77±9.14 ^c
	10NW	^c 41.79±7.42 ^c	^c 34.69±3.88 ^d	^a 89.43±2.62 ^a	^{ab} 72.96±7.70 ^b	^c 31.98±6.52 ^d
	SW	^b 59.01±10.72 ^a	^d 22.18±6.02 ^c	^c 31.52±12.16 ^b	^c 42.63±21.81 ^b	^d 64.83±6.57 ^a
5	NW	^a 60.78±5.90 ^b	^a 61.35±3.19 ^b	^a 62.47±12.04 ^b	^b 52.55±7.09 ^c	^a 75.57±8.15 ^a
	2NW	^b 50.05±4.81 ^a	^c 42.14±4.64 ^c	^b 48.25±4.25 ^{ab}	^c 45.18±4.72 ^{bc}	^c 43.13±5.64 ^c
	5NW	^a 57.80±7.48 ^b	^b 52.78±7.03 ^d	^a 64.92±1.67 ^a	^b 55.57±3.26 ^c	^c 47.28±6.36 ^c
	10NW	^c 41.89±5.76 ^c	^d 33.00±4.73 ^d	^a 62.72±0.93 ^b	^a 66.74±2.54 ^a	^d 28.26±2.78 ^c
	SW	^a 56.45±3.34 ^a	^c 11.56±2.11 ^d	^c 22.28±2.44 ^c	^d 36.22±3.19 ^b	^b 58.49±3.17 ^a
3	NW	^b 44.40±3.65 ^c	^b 48.02±2.91 ^b	^a 43.73±3.93 ^c	^b 39.53±2.74 ^d	^a 52.34±2.17 ^a
	2NW	^d 30.87±4.75 ^b	^c 31.78±4.42 ^b	^b 33.53±2.59 ^b	^b 40.87±3.99 ^a	^c 38.22±5.82 ^a
	5NW	^d 29.55±5.15 ^d	^a 54.67±2.77 ^a	^a 41.50±1.02 ^b	^b 36.95±6.13 ^c	^b 42.90±5.71 ^b
	10NW	^c 37.96±2.36 ^c	^a 58.30±1.82 ^a	^a 42.35±1.75 ^d	^a 47.29±5.05 ^c	^a 55.19±2.26 ^b
	SW	^a 49.61±2.74 ^b	^d 15.96±7.92 ^c	^c 30.94±1.88 ^d	^b 41.53±6.34 ^c	^a 55.96±6.12 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

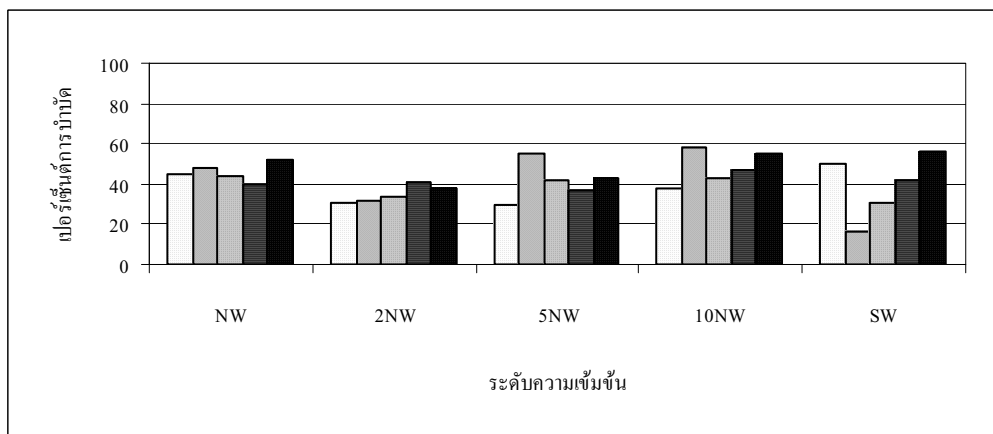
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



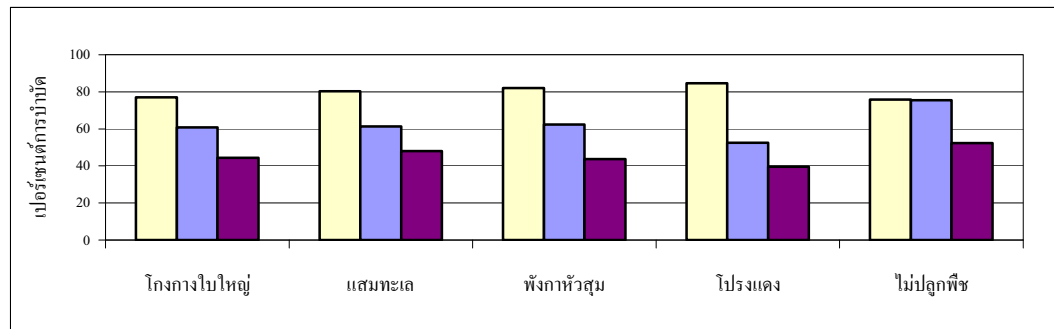
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



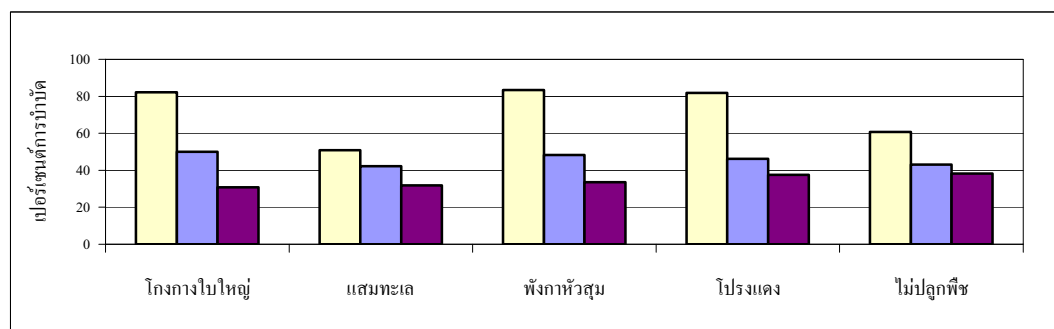
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



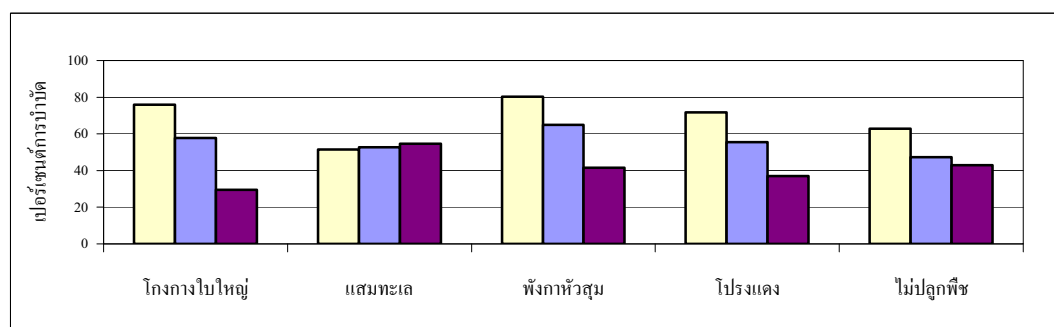
รูปที่ 4-19 เปอร์เซ็นต์การบำบัดในตรของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



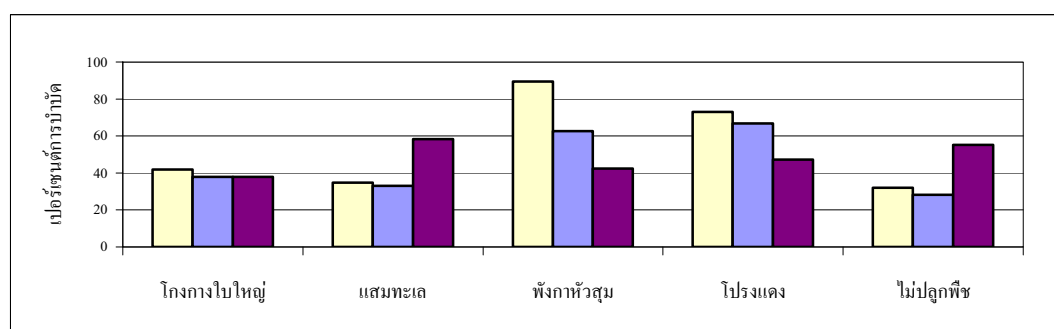
(ก) น้ำเสีย NW



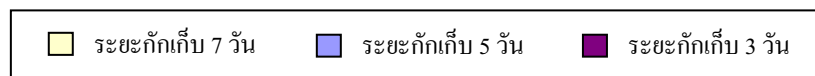
(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-20 เปอร์เซนต์การบำบัดในตรของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่า TP อยู่ในช่วง 5.585-6.039, 8.618-9.468, 20.319-21.839 และ 40.472-46.514 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่า TP ลดลงเป็น 1.869-3.573, 1.904-4.313, 3.188-4.852 และ 5.037-8.006 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-25)

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ได้น้ำเสียความเข้มข้นสูงจะสูงกว่าชุดทดลองที่ได้น้ำเสียความเข้มข้นต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ได้น้ำเสีย 10NW สูงกว่าชุดทดลอง 5NW, 2NW และ NW ตามลำดับ มีค่าระหว่าง 82.75-91.18, 77.72-86.12, 51.32-79.01 และ 36.77-68.22% ตามลำดับ (โดยแนวโน้มดังกล่าวจะชัดเจนเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน และ 5 วัน) ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ได้น้ำเสีย NW สูงกว่า ชุดทดลอง 2NW, 5NW และ 10NW ตามลำดับ (ตารางที่ 4-26 และ รูปที่ 4-21 ถึง 4-22) แสดงให้เห็นว่าระบบเติมต่อเนื่องมีศักยภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ TP สูง ซึ่งคาดว่าวิธีการปล่อยน้ำแบบเติมต่อเนื่องทำให้น้ำซึมซาบลงสู่ชั้นใต้ดินได้ดีทำให้การบำบัด TP ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางกายภาพ-เคมี ได้แก่ การดูดซับกับอนุภาคดินเหนียว (adsorption with clay particle) การตกตะกอนเคมี (precipitation) กับเหล็กและอะลูมิเนียมเกิดขึ้นได้ดี

โดยทั่วไปพบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 และ 5 วัน สูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน ซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันกับระบบกะ

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งพบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-25 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

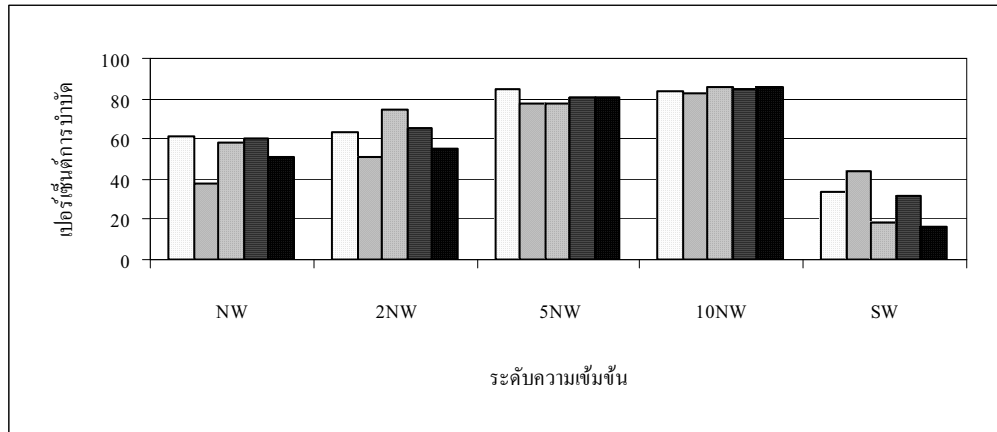
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โรงกลั่นใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^d 6.039±1.397	^c 2.332±0.365 ^b	^b 3.721±0.408 ^a	^c 2.590±1.009 ^b	^{cd} 2.315±1.28 ^b	^{bc} 2.884±0.192
	2NW	^c 8.847±0.200	^{bc} 3.233±1.335	^b 4.313±1.802	^c 2.308±0.788	^{bc} 3.054±1.760	^b 3.959±1.438
	5NW	^b 21.839±0.517	^b 3.435±1.287	^b 4.852±1.064	^b 4.854±2.029	^b 4.262±1.108	^b 4.198±1.187
	10NW	^a 46.496±0.655	^a 7.526±1.450	^a 8.006±2.831	^a 6.414±1.360	^a 6.963±3.139	^a 6.468±4.020
	SW	^c 1.195±0.083	^d 0.795±0.182 ^b	^c 0.663±0.130 ^c	^d 0.980±0.137 ^a	^d 0.817±0.127 ^b	^c 1.002±0.181 ^a
5	NW	^d 5.585±0.211	^b 2.899±0.202 ^b	^b 3.529±0.045 ^c	^b 2.947±0.214 ^b	^c 2.160±0.469 ^c	^c 1.997±0.287 ^c
	2NW	^c 9.468±1.204	^c 1.904±1.253	^c 3.095±0.438	^c 2.228±0.862	^c 2.454±0.774	^c 2.370±0.865
	5NW	^b 21.318±1.442	^b 3.188±0.054	^{bc} 3.288±0.447	^b 3.384±0.396	^b 3.411±0.769	^b 2.935±0.480
	10NW	^a 46.514±2.060	^a 5.382±0.316 ^a	^a 5.032±0.199 ^a	^a 5.214±0.570 ^a	^a 5.244±0.514 ^a	^a 4.119±0.743 ^b
	SW	^c 0.978±0.040	^d 0.527±0.092 ^d	^d 0.624±0.093 ^b	^d 0.729±0.051 ^a	^d 0.683±0.071 ^a	^d 0.596±0.051 ^c
3	NW	^d 5.887±0.226	^d 3.301±0.138 ^b	^d 3.573±0.100 ^a	^d 3.126±0.072 ^c	^d 1.869±0.061 ^c	^d 2.532±0.067 ^d
	2NW	^c 8.618±0.148	^c 3.660±0.134 ^c	^c 4.148±0.188 ^a	^c 3.866±0.176 ^b	^c 3.601±0.174 ^d	^b 3.760±0.102 ^b
	5NW	^b 20.319±0.469	^b 4.382±0.224 ^a	^b 4.438±0.109 ^a	^b 4.081±0.144 ^b	^b 4.381±0.068 ^a	^c 3.653±0.095 ^c
	10NW	^a 40.472±1.782	^a 6.174±0.129 ^a	^a 5.559±0.098 ^c	^a 6.036±0.051 ^b	^a 6.185±0.095 ^a	^a 5.307±0.081 ^d
	SW	^c 0.859±0.046	^c 0.681±0.039 ^b	^c 0.695±0.028 ^b	^c 0.695±0.037 ^b	^c 0.712±0.045 ^b	^c 0.799±0.027 ^a

ตารางที่ 4-26 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

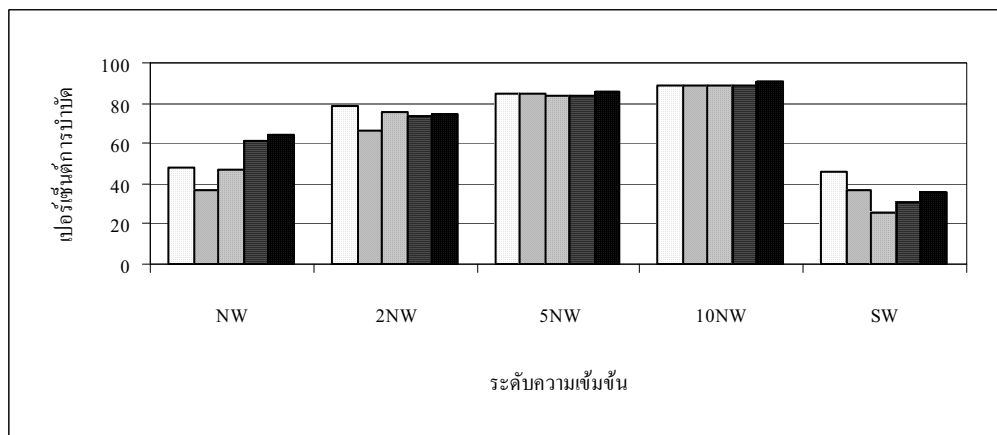
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โรงกลั่นใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
7	NW	^b 61.02±7.38 ^a	^c 37.43±11.63 ^b	^c 57.68±14.11 ^a	^b 60.49±23.74 ^a	^b 51.50±7.73 ^a
	2NW	^b 63.49±15.15 ^a	^b 51.32±20.35 ^b	^b 74.01±8.54 ^a	^b 65.63±19.68 ^a	^b 55.30±16.26 ^b
	5NW	^a 84.25±5.86	^a 77.75±4.92	^{ab} 77.72±9.51	^a 80.40±5.34	^a 80.74±5.98
	10NW	^a 83.80±3.22	^a 82.75±6.19	^a 86.20±2.93	^a 85.00±6.79	^a 86.01±8.84
	SW	^c 34.03±12.00 ^a	^{bc} 43.93±13.69	^d 18.25±8.04 ^c	^c 31.63±9.36 ^b	^c 16.62±10.32 ^c
5	NW	^c 48.15±2.29 ^b	^c 36.77±2.02 ^c	^c 47.12±5.00 ^b	^c 61.11±9.30 ^a	^c 64.34±4.24 ^a
	2NW	^b 79.01±14.92	^b 66.71±7.05	^b 75.84±10.77	^b 73.40±10.06	^b 74.40±10.79
	5NW	^{ab} 85.00±1.56	^a 84.49±3.07	^a 84.02±3.18	^a 83.86±4.61	^a 86.12±3.50
	10NW	^a 88.43±0.54 ^b	^a 89.18±0.24 ^b	^a 88.81±0.80 ^b	^a 88.74±0.78 ^b	^a 91.18±1.27 ^a
	SW	^c 46.21±8.18 ^a	^c 36.30±8.31 ^b	^d 25.47±3.20 ^c	^d 30.30±5.28 ^{bc}	^d 36.05±8.02 ^b
3	NW	^d 43.92±1.72 ^d	^d 39.27±1.81 ^c	^d 46.84±2.07 ^c	^c 68.22±1.27 ^a	^c 56.91±2.49 ^b
	2NW	^c 57.52±1.81 ^a	^c 51.88±1.81 ^c	^d 55.13±2.26 ^b	^d 58.23±1.77 ^a	^c 56.36±1.63 ^{ab}
	5NW	^b 78.41±2.69 ^c	^b 78.16±2.81 ^c	^b 79.92±1.92 ^b	^b 78.43±2.32 ^c	^b 82.02±1.97 ^a
	10NW	^a 84.71±0.97 ^b	^a 86.25±0.42 ^a	^a 85.06±0.61 ^b	^a 84.70±0.54 ^b	^a 86.87±0.60 ^a
	SW	^c 20.75±2.94 ^a	^c 19.02±4.75 ^a	^c 19.02±3.35 ^a	^c 17.12±4.48 ^a	^d 9.85±4.27 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

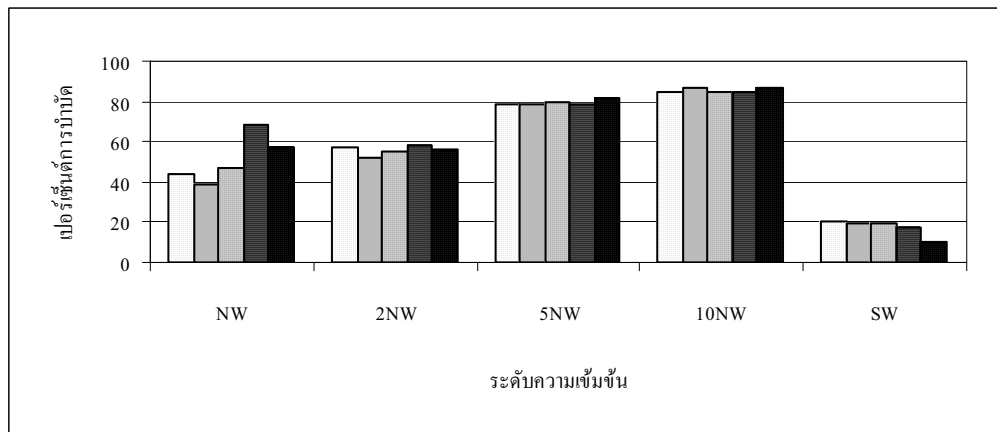
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาที่กักเก็บ 7 วัน



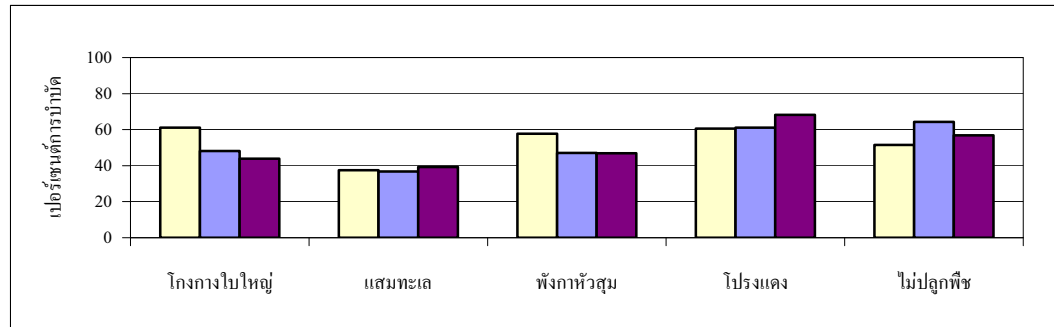
(ข) ระยะเวลาที่กักเก็บ 5 วัน



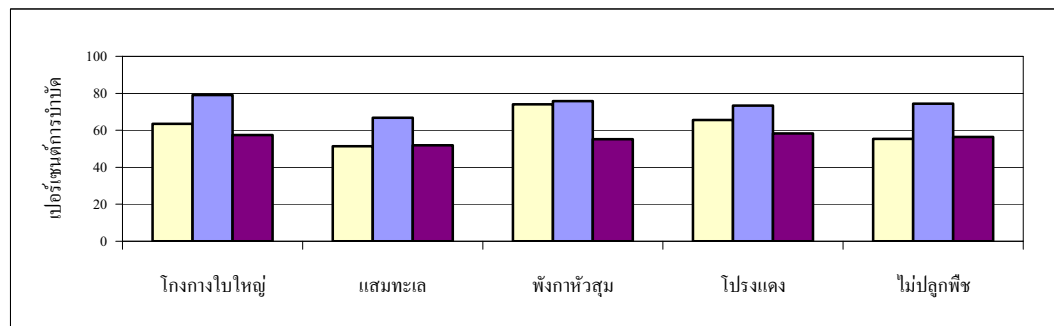
(ค) ระยะเวลาที่กักเก็บ 3 วัน



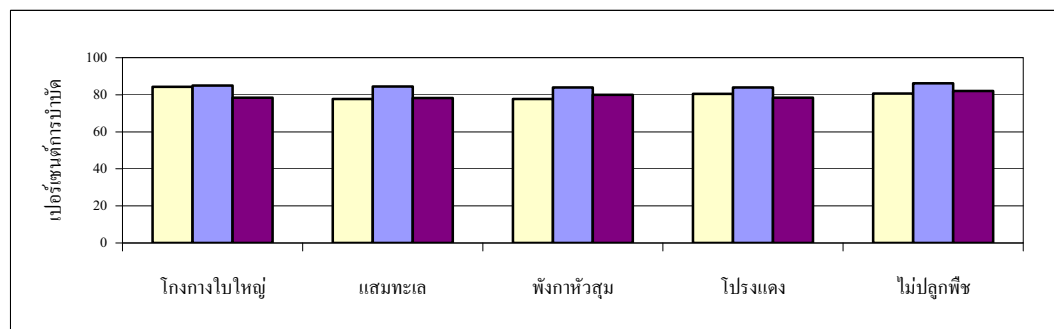
รูปที่ 4-21 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาที่กักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



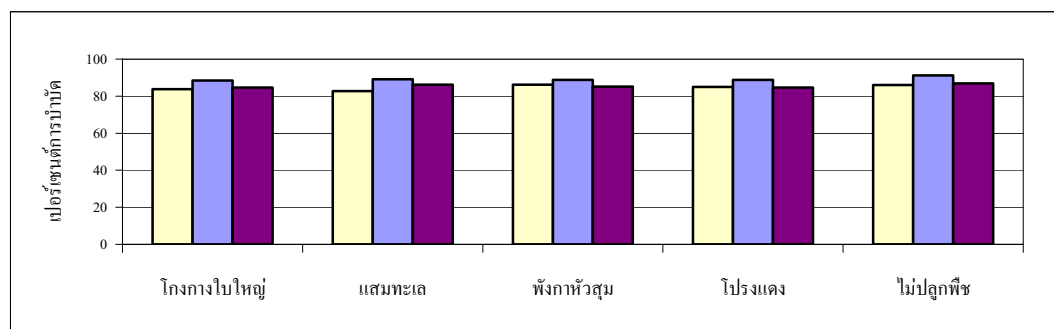
(ก) น้ำเสีย NW



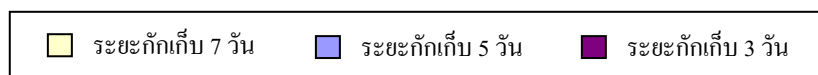
(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-22 เปอร์เซ็นต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-phosphate)

น้ำเสีย NW, 2NW, 5NW และ 10NW ที่เข้าสู่ชุดทดลอง มีค่าออร์โธฟอสเฟต อยู่ในช่วง 3.077-4.288, 5.416-7.407, 17.843-19.865 และ 34.776-43.158 mg/l ตามลำดับ น้ำเสียดังกล่าวเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าออร์โธฟอสเฟตลดลงเป็น 0.914-3.050, 1.313-4.174, 2.181-4.737 และ 4.103-6.665 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-27)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูงจะสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 10NW สูงกว่าชุดทดลอง 5NW, 2NW, NW ตามลำดับ มีค่าระหว่าง 80.84-89.74, 73.48-88.29, 35.14-81.28, และ 12.52-78.66% ตามลำดับ (โดยแนวโน้มจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน แต่เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน แนวโน้มดังกล่าวมีความผันแปรและไม่ชัดเจนเท่า) ซึ่งแตกต่างจากระบบกะ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW สูงกว่า ชุดทดลอง 2NW, 5NW และ 10NW ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต เมื่อใช้ระยะเวลากักเก็บ 7 วัน สูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ มีค่าระหว่าง 44.91-89.74, 17.48-89.07 และ 12.52-82.66 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-28 และ รูปที่ 4-23 ถึง 4-24) ซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับระบบกะ

โดยสรุปเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP

ตารางที่ 4-27 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง
โครงการที่ 1-1

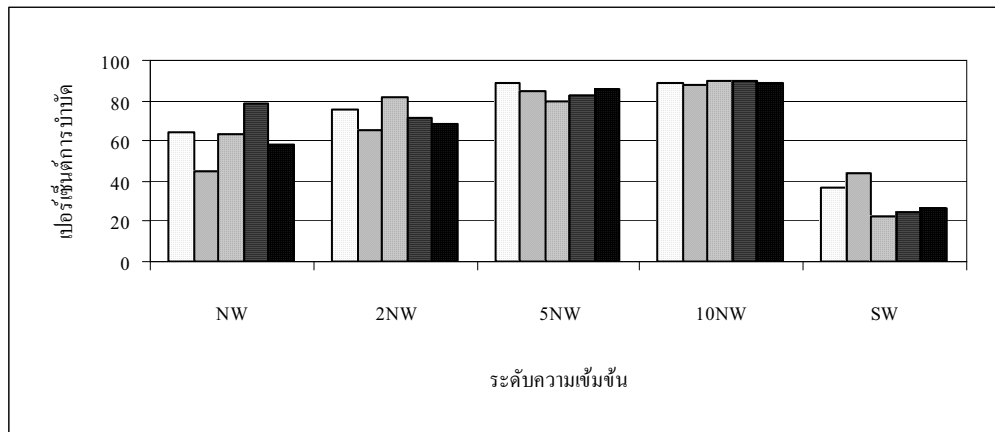
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
			โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
7	NW	^d 4.288±0.071	^b 1.538±0.401 ^b	^b 2.361±0.449 ^a	^b 1.557±0.634 ^b	^c 0.914±0.406 ^c	^b 1.800±0.228 ^b
	2NW	^c 7.407±0.367	^b 1.787±0.800 ^a	^b 2.551±1.086 ^a	^b 1.390±0.537 ^b	^b 2.108±0.712 ^a	^b 2.338±0.963 ^a
	5NW	^b 18.531±0.68	^b 2.181±1.007	^b 2.825±0.730	^a 3.796±2.359	^a 3.263±1.715	^b 2.580±0.851
	10NW	^a 40.621±1.58	^a 4.587±0.922	^a 5.008±1.910	^a 4.173±1.364	^a 4.103±1.928	^a 4.682±2.636
	SW	^c 0.537±0.054	^c 0.344±0.062 ^b	^c 0.301±0.072 ^c	^b 0.419±0.061 ^a	^c 0.403±0.022 ^a	^c 0.423±0.096 ^a
5	NW	^d 3.077±0.130	^c 2.421±0.039 ^a	^c 2.458±0.062 ^a	^c 2.542±0.192 ^a	^c 1.899±0.364 ^b	^c 1.687±0.220 ^c
	2NW	^c 5.416±0.205	^d 1.313±0.682 ^c	^{bc} 2.805±0.514	^d 1.790±0.603 ^b	^c 2.040±0.391 ^b	^c 1.747±0.378 ^b
	5NW	^b 19.865±1.444	^b 2.920±0.074	^b 3.067±0.510	^b 3.135±0.491	^b 3.129±0.752	^b 2.651±0.454
	10NW	^a 43.158±3.332	^a 5.048±0.231 ^a	^a 4.718±0.365 ^a	^a 4.859±0.646 ^a	^a 4.945±0.578 ^a	^a 3.841±0.824 ^b
	SW	^c 0.556±0.054	^c 0.252±0.060 ^d	^d 0.285±0.080 ^c	^c 0.359±0.069 ^b	^d 0.434±0.079 ^a	^d 0.344±0.063 ^b
3	NW	^d 3.488±0.356	^d 2.841±0.246 ^a	^d 3.050±0.300 ^a	^d 2.917±0.041 ^a	^d 1.657±0.159 ^c	^c 2.498±0.292 ^b
	2NW	^c 6.441±0.408	^c 3.703±0.269 ^b	^c 4.174±0.223 ^a	^c 3.345±0.083 ^d	^c 3.560±0.128 ^b	^b 3.491±0.091 ^c
	5NW	^b 17.843±0.432	^b 4.281±0.412 ^b	^b 4.737±0.362 ^a	^b 4.652±0.521 ^a	^b 4.481±0.163 ^a	^b 3.592±0.144 ^c
	10NW	^a 34.776±2.146	^a 6.022±0.265 ^b	^a 6.040±0.480 ^b	^a 6.377±0.503 ^a	^a 6.665±0.535 ^a	^a 5.655±0.397 ^c
	SW	^c 0.405±0.014	^c 0.340±0.019 ^a	^c 0.342±0.011 ^a	^c 0.325±0.012 ^b	^c 0.346±0.013 ^a	^d 0.347±0.012 ^a

ตารางที่ 4-28 เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โทฟอสเฟตเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

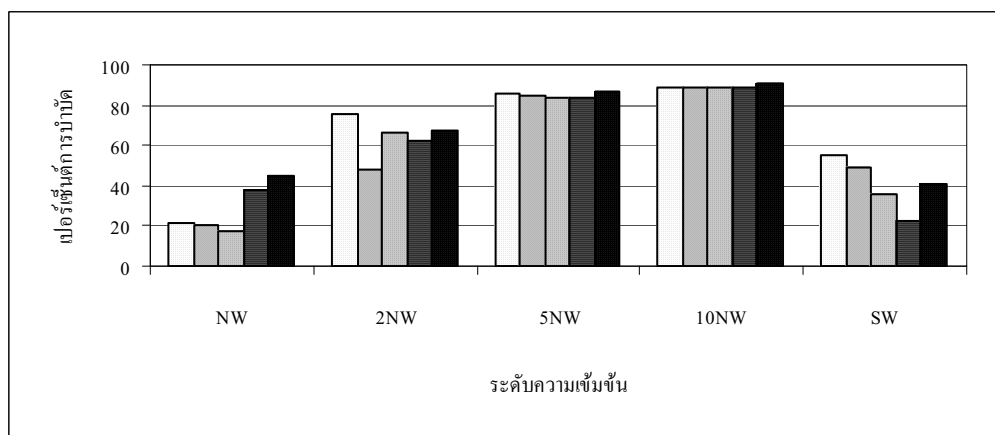
กักเก็บ (วัน)	ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
7	NW	^c 64.10±9.49 ^b	^c 44.91±10.71 ^c	^c 63.68±14.79 ^b	^{bc} 78.66±9.58 ^a	^c 58.00±5.49 ^b
	2NW	^b 75.51±11.90	^b 65.18±15.72	^{ab} 81.28±6.85	^c 71.47±9.64	^b 68.14±13.83
	5NW	^a 88.29±5.38	^a 84.80±3.81	^b 79.52±13.27	^{ab} 82.31±9.35	^a 86.11±4.88
	10NW	^a 88.63±2.60	^a 87.52±5.01	^a 89.61±3.65	^a 89.74±4.99	^a 88.30±6.74
	SW	^d 36.31±6.26 ^a	^c 43.88±13.17 ^a	^d 22.33±5.99 ^b	^d 24.65±4.93 ^b	^d 26.24±11.19 ^b
5	NW	^d 21.22±2.83 ^c	^c 20.03±2.69 ^c	^d 17.48±3.04 ^c	^c 38.23±11.84 ^b	^c 45.13±7.12 ^a
	2NW	^b 75.56±13.08 ^a	^b 48.04±10.47 ^c	^b 66.75±11.77 ^a	^b 62.20±7.89 ^b	^b 67.57±7.72 ^{ab}
	5NW	^a 85.26±1.43	^a 84.44±3.60	^a 84.08±3.67	^a 84.09±4.75	^a 86.53±3.49
	10NW	^a 88.28±0.62 ^b	^a 89.07±0.27 ^b	^a 88.78±0.77 ^b	^a 88.57±0.68 ^b	^a 91.17±1.33 ^a
	SW	^c 54.87±8.67 ^a	^b 49.06±11.64 ^a	^c 35.73±10.08 ^c	^d 22.16±10.12 ^d	^c 40.34±6.48 ^{bc}
3	NW	^d 18.39±3.60 ^c	^c 12.52±1.95 ^d	^d 15.62±8.33 ^{cd}	^c 52.45±0.97 ^a	^d 28.48±1.28 ^b
	2NW	^c 42.52±1.34 ^c	^c 35.14±1.80 ^d	^c 47.96±2.07 ^a	^d 44.64±1.58 ^b	^c 45.69±2.10 ^b
	5NW	^b 76.04±2.76 ^b	^b 73.48±3.16 ^c	^b 73.97±3.23 ^c	^b 74.89±1.85 ^{bc}	^b 79.87±1.22 ^a
	10NW	^a 82.66±0.86 ^b	^a 82.63±1.00 ^b	^a 81.66±1.11 ^c	^a 80.84±1.11 ^c	^a 83.73±0.86 ^a
	SW	^d 16.18±3.64 ^b	^d 15.63±2.59 ^b	^d 19.65±3.42 ^a	^c 14.50±2.31 ^b	^c 14.26±2.70 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

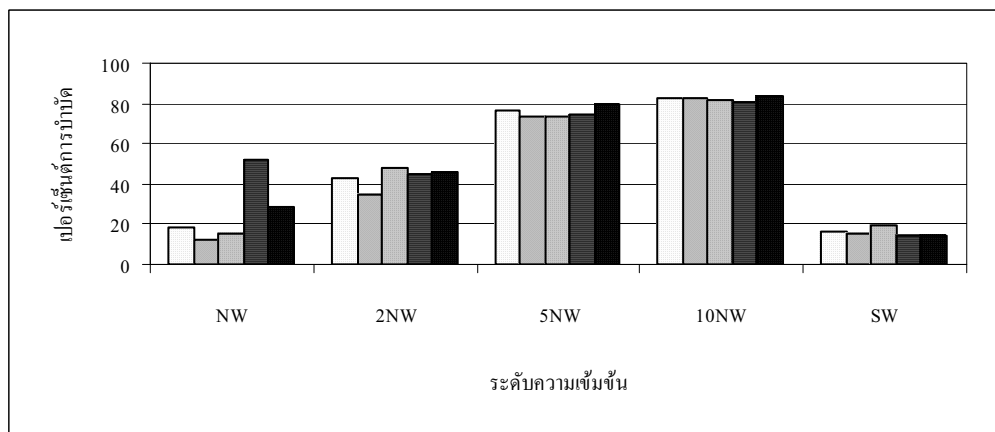
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) ระยะเวลาักเก็บ 7 วัน



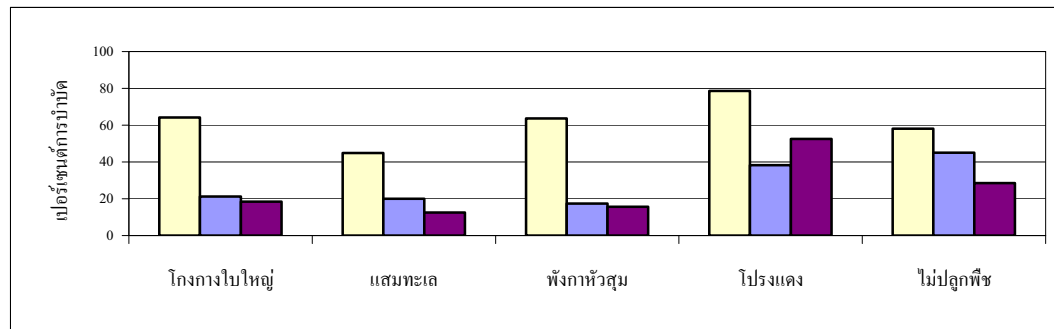
(ข) ระยะเวลาักเก็บ 5 วัน



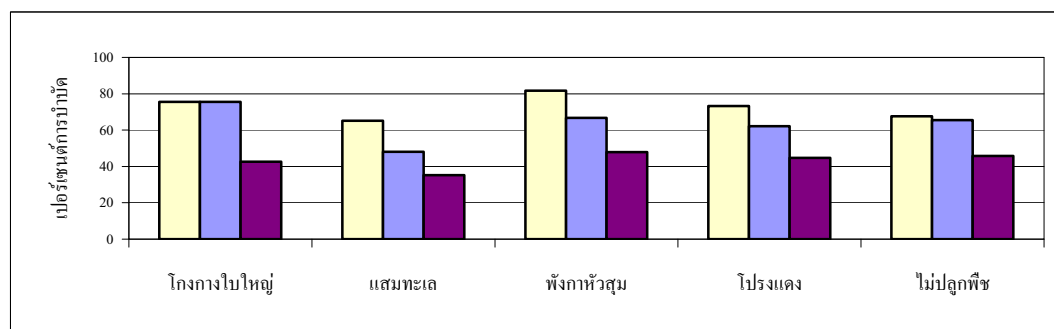
(ค) ระยะเวลาักเก็บ 3 วัน



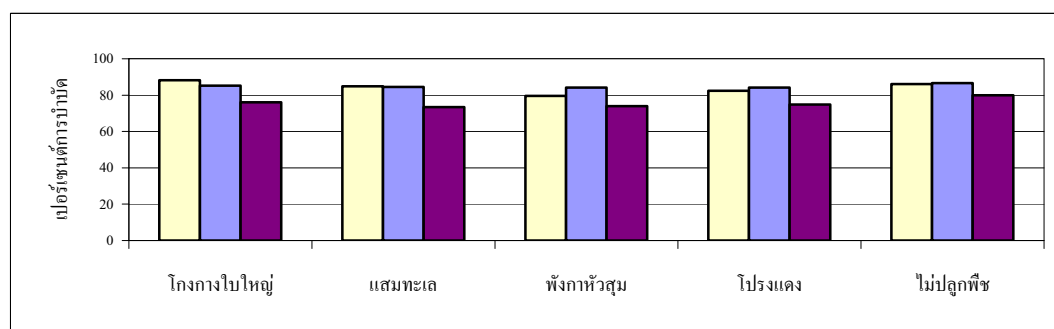
รูปที่ 4-23 เปอร์เซนต์การบำบัดคอรัฟฟอสเฟตของน้ำเสียเมื่อใช้ระยะเวลาักเก็บต่างกัน ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1



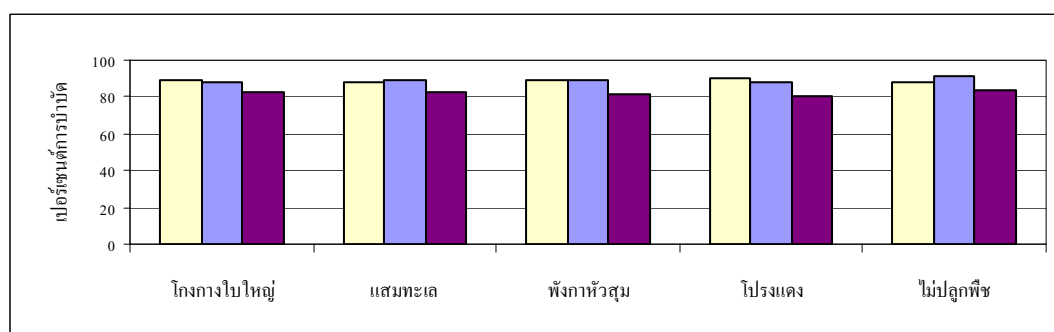
(ก) น้ำเสีย NW



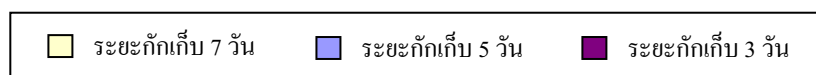
(ข) น้ำเสีย 2NW



(ค) น้ำเสีย 5NW



(ง) น้ำเสีย 10 NW



รูปที่ 4-24 เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-1

4.3 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียแบบกะได้ทดลองบำบัดโดยใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน รวม 9 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2

คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-29) สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW: normal wastewater) มีค่าเฉลี่ย pH (ความเป็นกรด-ด่าง) 7.22 ความเค็ม 0.60 psu, DO (dissolved oxygen) 0.0 mg/l ทุกการทดลอง, BOD (biochemical oxygen demand) 28.32 mg/l, TN (total nitrogen) 25.817 mg/l มีแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) 10.910 mg/l และไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) 0.033 mg/l, TP (total phosphorus) 7.153 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต (ortho- PO_4) 5.002 mg/l ซึ่งจะเห็นว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองย่อยที่ 1-1

น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็มเป็น 6, 12, 18 และ 24 psu ใช้ น้ำเสีย NW มาปรับความเค็มโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งน้ำเสียที่เตรียมได้จะมีค่าเฉลี่ยความเค็ม 6.02, 12.12, 17.94 และ 23.92 psu ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า 12.44, 23.57, 33.87 และ 44.51 mS/cm ตามลำดับ และค่าเฉลี่ย pH อยู่ในช่วง 7.16-7.25 ค่าเฉลี่ย BOD, TN และ TP ใกล้เคียงกันทุกระดับความเค็ม อยู่ในช่วง 25.69-28.48, 23.027-26.406 และ 7.549-7.622 mg/l ตามลำดับ ส่วน DO 0.00 mg/l ทุกระดับความเค็ม โดยสรุปจะเห็นว่าการปรับความเค็มของน้ำเสียโดยใช้เกลือ NaCl ไม่ได้ทำให้พารามิเตอร์ต่างๆ ของคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ยกเว้นค่าความเค็มเองและค่าการนำไฟฟ้าซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเค็ม และค่า pH ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจากน้ำเสียชุมชนปกติเล็กน้อย ส่วนพารามิเตอร์อื่นไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองจึงมีเฉพาะค่าความเค็มและการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนพารามิเตอร์อื่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-29 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

พารามิเตอร์	NW	6psu	12psu	18psu	24psu
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.22±0.09	7.24±0.10	7.25±0.08	7.18±0.09	7.16±0.10
อุณหภูมิ (°C)	27.72±2.94	27.70±3.02	27.78±3.10	27.84±3.16	28.21±3.17
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	^c 1.31±0.11	^d 12.44±0.72	^c 23.57±1.24	^b 33.87±0.88	^a 44.51±2.29
ความเค็ม (psu)	^c 0.60±0.00	^d 6.02±0.23	^c 12.12±0.33	^b 17.94±0.21	^a 23.92±0.72
ออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
บีโอดี (BOD) (mg/l)	28.32±8.27	28.48±7.21	26.89±7.15	26.04±5.97	25.69±5.78
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	25.817±3.026	23.027±3.326	26.196±4.408	26.406±5.239	24.400±2.187
แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) (mg/l)	10.910±1.352	10.249±1.938	11.194±1.862	11.598±2.370	10.265±0.476
ไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg/l)	0.033±0.020	0.029±0.017	0.035±0.014	0.036±0.020	0.031±0.013
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	7.153±1.478	7.622±0.855	7.770±1.317	7.617±0.582	7.549±0.622
ออร์โธฟอสเฟต (Ortho- PO_4) (mg/l)	5.002±1.050	5.304±0.567	5.430±0.945	5.314±0.312	5.275±0.559

หมายเหตุ NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu คือ น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6, 12, 18 และ 24 psu ตามลำดับ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.02-7.41 เมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่า pH สูงขึ้น โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu มีค่า pH ของน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในช่วง 7.74-9.00, 7.50-8.46, 7.67-8.38, 7.71-8.16 และ 7.82-8.82 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-30) ทั้งนี้เพราะการนำน้ำเสียซึ่งมีธาตุอาหารสูงเข้าสู่ชุดทดลองทำให้สาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตดี ซึ่งการสังเคราะห์แสงและการหายใจจะทำให้มีไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) เพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้น

มีข้อสังเกตว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชจะมีค่า pH สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกสาหร่ายไม้น้ำชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเค็มของน้ำเสีย ทั้งนี้เพราะชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีแสงส่องลงไปยังคอลัมน์น้ำได้ดีกว่า ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชสูง เป็นผลให้สมดุลคาร์บอนเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ทำให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้นมาก

ตารางที่ 4-30 ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

พารามิเตอร์	ชุดทดลอง	น้ำเข้า	น้ำออก				
			โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
pH	NW	7.22±0.09	^a 8.01±0.24 ^b	^a 7.82±0.29 ^{bc}	^b 7.74±0.15 ^c	^b 7.95±0.23 ^{bc}	^a 9.00±0.27 ^a
	6psu	7.24±0.10	^b 7.65±0.14 ^{bc}	^b 7.50±0.09 ^c	^b 7.69±0.13 ^b	^{bc} 7.82±0.16 ^b	^c 8.46±0.31 ^a
	12psu	7.25±0.08	^a 7.99±0.43 ^{bc}	^{ab} 7.67±0.15 ^c	^a 8.17±0.56 ^{ab}	^{bc} 7.82±0.18 ^{bc}	^c 8.38±0.40 ^a
	18psu	7.18±0.09	^a 7.93±0.23 ^b	^a 7.86±0.17 ^{bc}	^b 7.74±0.14 ^{bc}	^c 7.71±0.31 ^c	^{bc} 8.16±0.10 ^a
	24psu	7.16±0.10	^{ab} 7.87±0.19 ^c	^a 7.82±0.23 ^c	^a 8.28±0.23 ^b	^a 8.32±0.18 ^b	^{ab} 8.82±0.32 ^a
Conductivity (mS/cm)	NW	^c 1.31±0.11	^d 17.58±3.03	^c 16.72±5.54	^d 15.77±5.08	^c 14.99±2.74	^d 18.14±7.19
	6psu	^d 12.44±0.72	^d 22.56±6.08	^d 24.01±5.58	^c 26.77±3.65	^d 23.66±5.28	^c 24.41±5.78
	12psu	^c 23.57±1.24	^c 27.77±7.21	^c 29.54±4.57	^c 27.69±4.40	^c 28.69±4.46	^c 29.00±3.29
	18psu	^b 33.87±0.88	^b 38.95±6.22	^b 36.79±3.86	^b 37.71±3.72	^b 35.36±4.14	^b 40.53±3.67
	24psu	^a 44.51±2.29	^a 45.13±3.07	^a 44.92±4.88	^a 45.52±3.77	^a 44.00±4.28	^a 47.21±1.63
Salinity (psu)	NW	^c 0.60±0.00	^c 8.77±1.50	^c 9.67±3.23	^d 9.07±2.86	^c 8.54±1.56	^c 10.46±2.90
	6psu	^d 6.02±0.23	^d 13.96±3.36	^d 14.19±3.24	^c 15.04±2.02	^d 14.03±2.81	^d 15.49±2.27
	12psu	^c 12.12±0.33	^c 17.19±3.69	^c 17.32±1.53	^c 16.90±2.22	^c 17.46±2.41	^c 18.21±2.15
	18psu	^b 17.94±0.21	^b 23.69±3.05	^b 22.73±2.07	^b 23.23±2.15	^b 21.67±2.47	^b 24.73±1.53
	24psu	^a 23.92±0.72	^a 28.69±1.69	^a 29.16±2.40	^a 29.18±1.65	^a 28.36±0.75	^a 29.31±0.94

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การนำไฟฟ้าและความเค็ม (Conductivity and Salinity)

ความเค็มของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 0.60, 6.02, 12.12, 17.94 และ 23.92 psu ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีความเค็มสูงขึ้นเป็น 8.54-10.46, 13.96-15.49, 16.90-18.21, 21.67-24.73 และ 28.36-29.31 psu ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยของน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีการละลายของเกลือในดินในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มีระดับความเค็มต่ำ ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความเค็มสูงขึ้น

การนำไฟฟ้าของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 1.31, 12.44, 23.57, 33.87 และ 44.51 mS/cm ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 14.99-18.14, 22.56-26.77, 27.69-29.54, 35.36-40.53 และ 44.00-47.21 mS/cm ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความเค็ม เพราะค่าการนำไฟฟ้าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับสารละลายเกลือ (ตารางที่ 4-30)

มีข้อสังเกตว่า ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีค่าความเค็มและการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ในทุกระดับความเค็มของน้ำเสีย แสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชในระบบช่วยลดอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งถึงแม้พืชจะสามารถทำให้น้ำสูญเสียน้ำจากระบบโดยการคายน้ำ แต่คาดว่าอัตราการคายน้ำต่ำกว่าอัตราการระเหย จึงทำให้ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีความเค็มของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่า นอกจากนี้พบว่าน้ำเสียต่างระดับความเค็มมีค่าความเค็มและการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)

ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า 0.00 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า DO สูงขึ้น เป็น 4.50-13.29, 3.50-9.72, 4.96-13.72, 4.80-13.87 และ 5.68-14.78 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-31) ซึ่งจะเห็นว่ามีความสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเติมอากาศโดยลมที่สัมผัสผิวน้ำ การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชปริมาณมาก รวมทั้งการแลกเปลี่ยนอากาศบริเวณรากพืชในชุดทดลอง ซึ่งให้เห็นว่าความเค็มของน้ำที่สูงถึง 24 psu ไม่ได้ทำให้เกิดผลทางลบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แพลงก์ตอนพืช และกล้าไม้ในชุดทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดระหว่างชนิดพืช พบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชจะมีค่า DO (9.72-14.78 mg/l) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ (3.50-8.93 mg/l) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากการมีพืชปกคลุมทำให้การเติมอากาศโดยลมและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชเป็นไปอย่างจำกัด ค่า DO จึงต่ำกว่า รวมทั้งชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีการสะสมอินทรีย์สารที่ผิวดินสูง ทำให้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากในการย่อยสลาย จึงมี DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำ

มีข้อสังเกตว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24 psu ส่วนใหญ่มีค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มอื่น ทั้งนี้เพราะชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ผ่านการทดลองในโครงการย่อยที่ 1-1 มาก่อน โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24 psu เคยใช้เป็นชุดควบคุม (ได้รับน้ำทะเล ซึ่งมีธาตุอาหารและ BOD ต่ำกว่าน้ำเสีย) ทำให้กล้าไม้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ สภาพไม่แน่นอน ทบ ดังนั้นแสงจึงส่องลงไปได้มาก การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชจึงเกิดขึ้นได้ดี ทำให้ DO สูง นอกจากนี้ชุดทดลองดังกล่าวยังมีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินจากการทดลองในโครงการย่อยที่ 1-1 ต่ำ ดังนั้นออกซิเจนจึงถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุน้อย ทำให้ DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสูง

ตารางที่ 4-31 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
NW	0.00±0.00	6.47±2.10 ^b	^{ab} 4.50±2.22 ^b	^b 5.39±1.29 ^b	^b 6.44±1.17 ^b	^{ab} 13.29±2.68 ^a
6psu	0.00±0.00	4.98±9.89 ^{bc}	^b 3.50±1.99 ^c	^b 5.26±1.49 ^{bc}	^{bc} 5.87±1.95 ^b	^b 9.72±2.56 ^a
12psu	0.00±0.00	6.48±1.99 ^b	^{ab} 4.96±2.52 ^b	^b 5.36±1.32 ^b	^{bc} 5.54±1.17 ^b	^a 13.72±5.20 ^a
18psu	0.00±0.00	5.94±1.14 ^b	^a 6.43±1.86 ^b	^b 4.91±1.15 ^b	^c 4.80±0.93 ^b	^a 13.87±2.88 ^a
24psu	0.00±0.00	5.68±0.60 ^c	^a 6.08±0.98 ^c	^a 7.76±2.30 ^{bc}	^a 8.93±1.47 ^b	^a 14.78±4.66 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย BOD 28.32, 28.48, 26.89, 26.04 และ 25.69 mg/l ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกัน น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD ลดลงเป็น 3.43-9.91, 4.78-8.67, 5.37-10.68, 4.67-7.59 และ 3.15-7.46 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-32) ซึ่งจะเห็นว่าค่า BOD ของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานซึ่งใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l

ตารางที่ 4-32 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
NW	28.32±8.27	^a 9.91±2.86 ^a	^a 6.09±1.91 ^{bc}	^b 4.18±1.99 ^{cd}	^b 7.76±3.47 ^{ab}	^b 3.43±1.62 ^d
6psu	28.48±7.21	^{ab} 6.95±3.97 ^{ab}	^a 6.61±1.96 ^{ab}	^a 8.67±1.73 ^a	^b 5.92±2.72 ^b	^b 4.78±1.44 ^b
12psu	26.89±7.15	^{ab} 7.23±2.55 ^b	^a 5.68±2.19 ^b	^b 5.21±1.78 ^b	^a 10.68±4.35 ^a	^{ab} 5.37±1.72 ^b
18psu	26.04±5.97	^{ab} 7.59±3.28 ^a	^a 6.26±1.46 ^{ab}	^b 4.69±1.93 ^b	^b 4.67±2.04 ^b	^a 7.25±3.19 ^a
24psu	25.69±5.78	^b 4.67±2.28 ^b	^b 3.47±1.90 ^b	^a 7.46±3.57 ^a	^b 5.32±1.76 ^{ab}	^b 3.15±2.11 ^b

ตารางที่ 4-33 เปอร์เซนต์การบำบัดบีโอดี ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

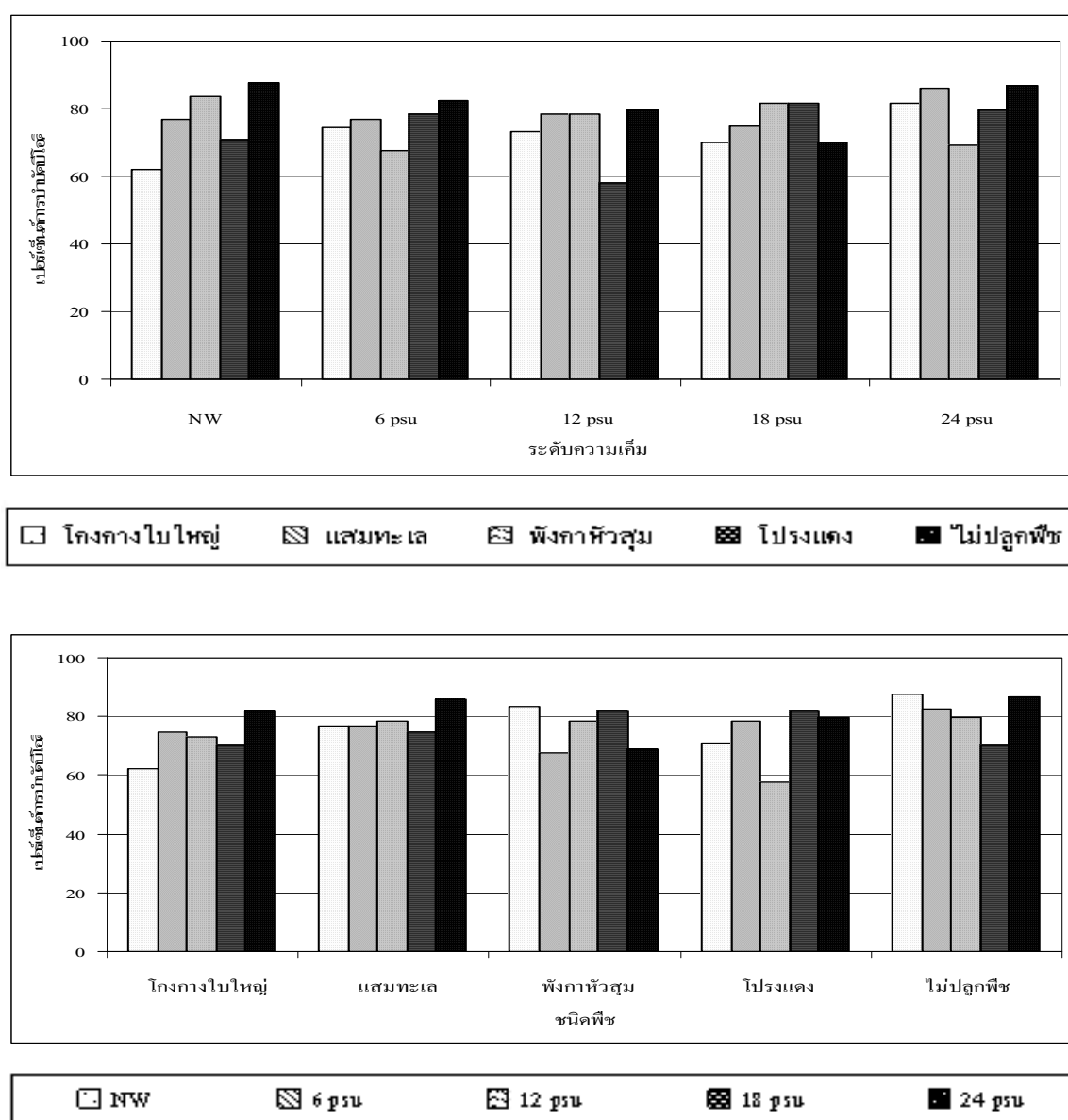
ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
NW	^b 62.14±16.45 ^c	76.77±10.04 ^{ab}	^a 83.57±10.40 ^a	^a 70.83±16.12 ^{bc}	^a 87.48±6.81 ^a
6psu	^{ab} 74.57±15.50	76.66±5.51	^b 67.74±9.91	^a 78.31±11.84	^a 82.53±6.37
12psu	^{ab} 73.12±6.79 ^a	78.58±8.52 ^a	^{ab} 78.43±11.46 ^a	^b 57.83±20.75 ^b	^a 79.49±6.88 ^a
18psu	^{ab} 70.03±14.44	74.74±8.33	^a 81.75±6.02	^a 81.69±8.45	^b 69.98±15.70
24psu	^a 81.55±9.29 ^a	86.07±8.18 ^a	^b 69.08±18.66 ^b	^a 79.48±4.43 ^a	^a 86.89±6.64 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยทั่วไปพบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (69.98-87.48%) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ทุกระดับความเค็ม (57.83-86.07%) (ยกเว้นความเค็ม 18psu ซึ่งพบว่าชุดทดลองที่ปลูกโปรงแดงมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด) เนื่องจากในชุดควบคุมมีค่า DO สูงกว่า ทำให้จุลินทรีย์สามารถนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD มีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับค่า DO ที่พบว่า ในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนว่ากล้าไม้ชนิดใดมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD สูง

เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียต่างระดับความเค็มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าผันแปร ไม่สามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียความเค็มใดมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD สูง (ตารางที่ 4-33 และ รูปที่ 4-25)



รูปที่ 4-25 เปอร์เซ็นต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ ไกรกรที่ 1-2

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TN ใกล้เคียงกันมีค่า 25.817, 23.207, 26.196, 26.406 และ 24.400 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า TN ลดลงเป็น 1.056-1.539, 1.411-2.244, 1.711-2.367, 2.172-3.206 และ 3.439-5.550 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า TN ต่ำกว่าที่มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 35 mg/l อยู่แล้ว และเมื่อผ่านการบำบัดจากชุดทดลองจะทำให้ค่า TN ลดลงมาก และมีแนวโน้มว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูงจะมีปริมาณ TN สูงกว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-34)

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu มีค่า 93.97-95.86, 90.13-93.80, 91.06-93.34, 87.96-91.56 และ 77.03-85.80% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN จะลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้นจะทำให้ชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ในชุดทดลองลดลง สอดคล้องกับที่ Tam (1998) ได้ศึกษาชนิดและประชากรของแบคทีเรียในดินป่าชายเลนทั้งชนิดใช้และไม่ใช้ออกซิเจน ไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย และดีไนโตรฟายอิงแบคทีเรียในพื้นที่ที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์ระดับความเค็ม 0 ppt สูงกว่าพื้นที่ที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็ม 15 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเป็นผลให้กระบวนการต่างๆ ได้แก่ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันลดลง ทำให้แอมโมเนียมและไนเตรทซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการมีปริมาณต่ำ ดังนั้นการบำบัดโดยการดูดซับไปใช้โดยพืชจึงลดต่ำลง เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ลดลง นอกจากนี้ ความเค็มที่สูงขึ้นทำให้ระบบลำเลียงน้ำและแร่ธาตุบริเวณรากขนอ่อน (root hair) เป็นไปได้ยากขึ้น ทำให้พืชมีโอกาสดูดซึมไนโตรเจนไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตได้น้อยลง (Clough, 1992) (ตารางที่ 4-35 และ รูปที่ 4-26)

ตารางที่ 4-34 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	25.817±3.026	^c 1.267±0.256 ^{bc}	^d 1.056±0.174 ^c	^d 1.161±0.234 ^c	^c 1.539±0.122 ^a	^c 1.478±0.439 ^{ab}
6psu	23.207±3.326	^c 1.633±0.324 ^b	^{cd} 1.411±0.167 ^b	^c 1.589±0.278 ^b	^c 2.050±0.482 ^a	^c 2.244±0.699 ^a
12psu	26.196±4.408	^c 1.756±0.356 ^b	^c 1.711±0.260 ^b	^c 1.722±0.340 ^b	^c 2.072±0.533 ^{ab}	^{bc} 2.367±0.726 ^a
18psu	26.406±5.239	^b 2.728±0.251 ^{ab}	^b 2.172±0.347 ^b	^b 2.222±0.485 ^b	^b 3.122±0.710 ^a	^b 3.206±0.966 ^a
24psu	24.400±2.187	^a 4.417±0.926 ^{bc}	^a 3.439±0.899 ^c	^a 4.272±0.701 ^{bc}	^a 5.178±0.817 ^{ab}	^a 5.550±1.528 ^a

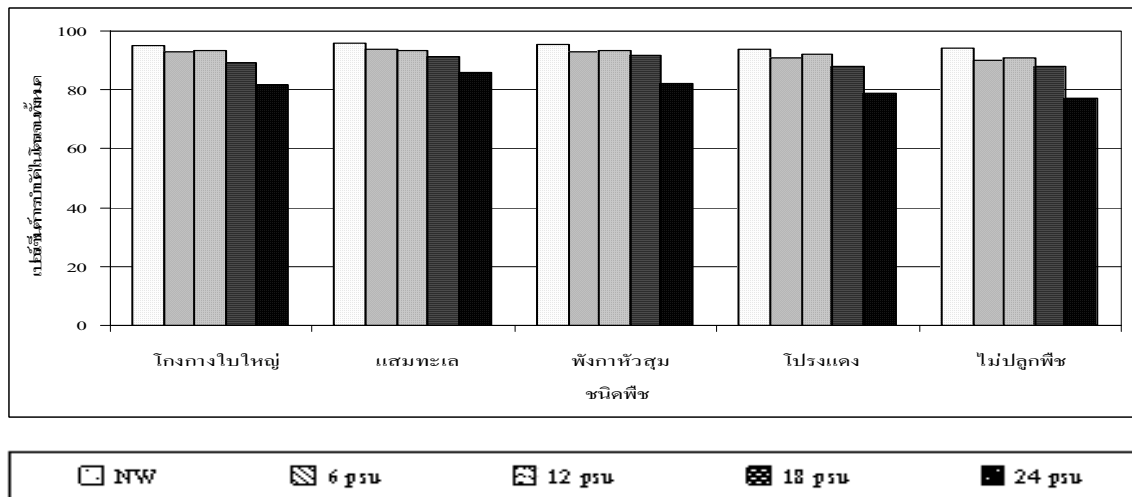
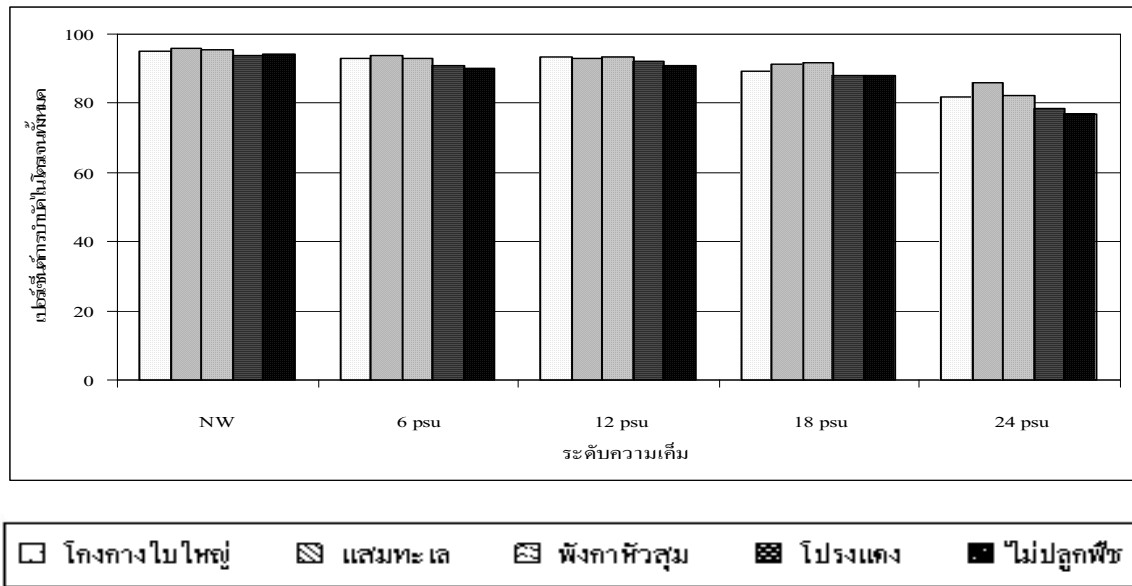
ตารางที่ 4-35 เปอร์เซนต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^a 95.06±1.04 ^{ab}	^a 95.86±0.87 ^a	^a 95.50±0.81 ^a	^a 93.97±0.83 ^c	^a 94.28±1.61 ^{bc}
6psu	^a 92.78±2.06 ^{ab}	^{ab} 93.80±1.18 ^a	^b 92.99±1.76 ^{ab}	^b 91.01±2.52 ^{bc}	^b 90.13±3.53 ^c
12psu	^a 93.28±1.19	^b 93.17±2.25	^b 93.34±1.30	^{ab} 92.08±2.00	^{ab} 91.06±2.73
18psu	^b 89.36±1.99 ^{ab}	^b 91.36±2.71 ^a	^b 91.56±1.39 ^a	^c 87.98±2.98 ^b	^b 87.96±3.35 ^b
24psu	^c 81.66±4.72 ^{abc}	^c 85.80±3.96 ^a	^c 82.30±3.69 ^{ab}	^d 78.70±3.36 ^{bc}	^c 77.03±7.17 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การบำบัด TN ระหว่างชนิดกล้าไม้ พบว่า เปอร์เซนต์การบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ (78.70-95.86%) สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (77.03-94.28%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TN ในชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเล (85.80-95.86%) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น (78.70-95.50%) ซึ่งอาจเป็นเพราะแสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตสูง รวมทั้งมีระบบรากหายใจจำนวนมาก จึงทำให้แสมทะเลสามารถดูดดึงไนโตรเจนปริมาณมากไปใช้



รูปที่ 4-26 เปอร์เซนต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบบะ โครงการที่ 1-2

แอมโมเนีย (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_3\text{-N}$)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียใกล้เคียงกันมีค่า 10.910, 10.249, 11.194, 11.598 และ 10.265 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าแอมโมเนียลดลงเป็น 0.696-0.897, 0.865-1.166, 0.771-0.939, 0.662-1.036 และ 0.757-1.337 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-36)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu และ 24psu อยู่ในช่วง 91.71-93.65, 88.37-91.29, 91.61-92.86, 90.83-93.86 และ 87.03-92.70% ตามลำดับ โดยทั่วไปไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ยกเว้นในชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW (93.25%) และต่ำสุดในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24 psu (87.03%) (ตารางที่ 4-37 และ รูปที่ 4-27)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด และชุดควบคุมไม่ปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24psu ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4-36 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

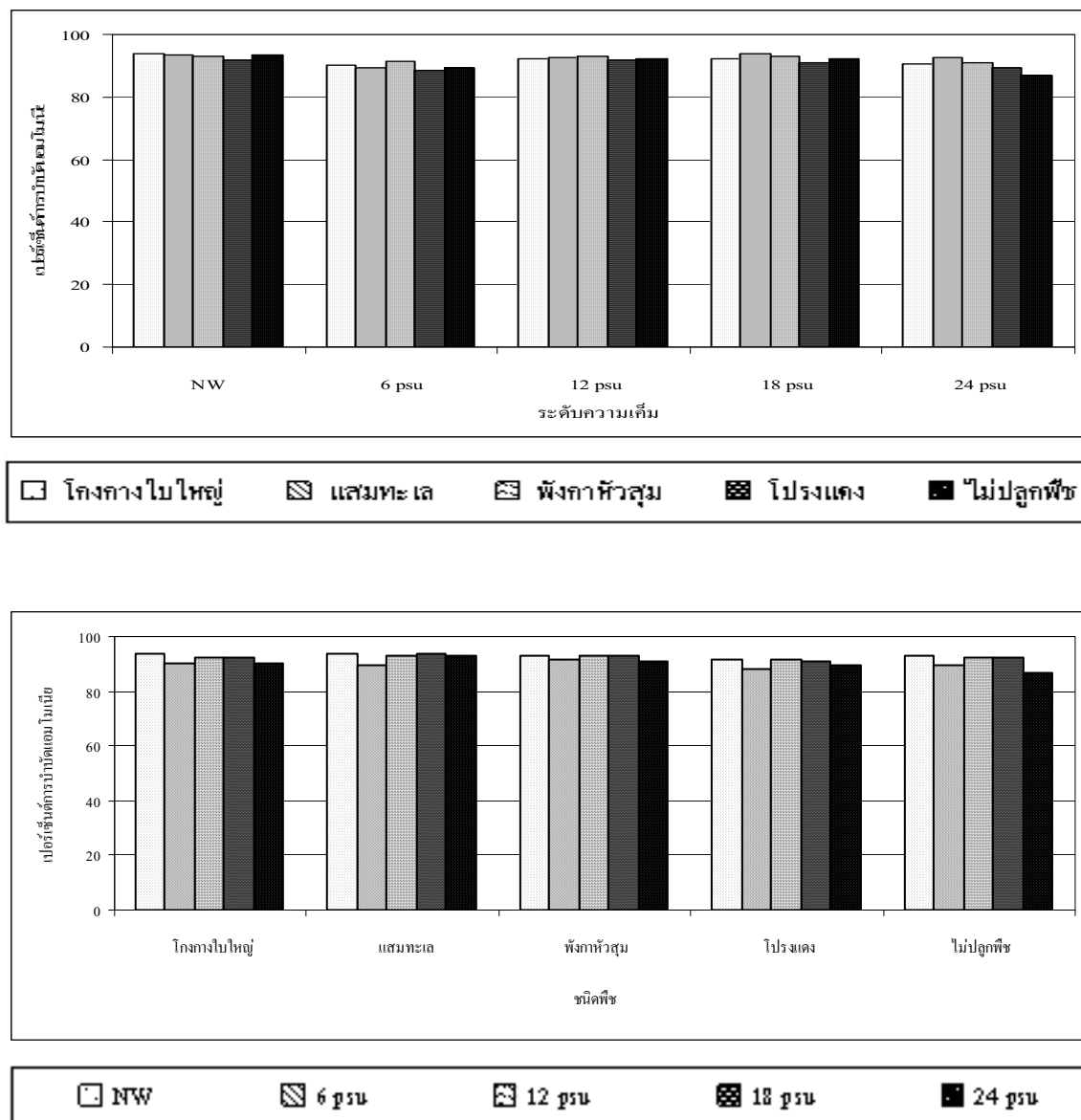
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกก้างใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	10.910±1.352	0.710±0.321	0.696±0.145	0.743±0.131	0.897±0.373	^b 0.761±0.388
6psu	10.249±1.938	0.974±0.275	1.035±0.634	0.865±0.134	1.166±0.297	^{ab} 1.041±0.376
12psu	11.194±1.862	0.851±0.212	0.771±0.094	0.785±0.104	0.939±0.235	^b 0.884±0.446
18psu	11.598±2.370	0.867±0.345	0.662±0.268	0.794±0.152	1.036±0.179	^b 0.905±0.463
24psu	10.265±0.476	0.987±0.404 ^{ab}	0.757±0.330 ^b	0.945±0.390 ^b	1.102±0.441 ^{ab}	^a 1.337±0.239 ^a

ตารางที่ 4-37 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนีย ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกก้างใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	93.65±2.80	93.49±1.88	93.16±1.21	91.71±4.07	^a 93.25±3.32
6psu	90.27±3.25	89.32±7.75	91.29±2.26	88.37±3.53	^{bc} 89.54±4.27
12psu	92.39±1.54	92.74±2.67	92.86±1.07	91.61±1.67	^{ab} 92.19±3.57
18psu	92.15±3.82	93.86±3.62	93.05±1.15	90.83±1.90	^{ab} 92.21±3.74
24psu	90.46±3.83 ^{ab}	92.70±3.11 ^a	90.86±3.71 ^a	89.34±4.20 ^{ab}	^c 87.03±2.02 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-27 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ ไครงการที่ 1-2

ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen : NO_3^-)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไนเตรท 0.033, 0.029, 0.035, 0.036 และ 0.031 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำเนื่องจาก DO ในน้ำเสียเป็น 0.00 mg/l น้ำในชุดทดลองเกือบทุกชุดเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าไนเตรทสูงขึ้นและมีค่าผันแปรสูง อยู่ในช่วง 0.046-0.258, 0.086-0.204, 0.028-0.161, 0.035-0.383 และ 0.020-0.104 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-38) ทั้งนี้เพราะค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าค่า DO ของน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมาก ทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี เป็นผลทำให้ได้ไนเตรทเป็นผลผลิตจากกระบวนการดังกล่าวปริมาณมาก ซึ่งถึงแม้พืชจะมีบทบาทสำคัญในการบำบัดไนเตรทโดยการดูดซับไปใช้ แต่คาดว่าอัตราการดูดซับไปใช้ของพืชต่ำ จึงทำให้ปริมาณไนเตรทสูงขึ้น

โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรทในน้ำเสียเกือบทุกชุดทดลองมีค่าเป็นลบ เนื่องจากปริมาณไนเตรทของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสูงขึ้นดังกล่าวแล้ว มีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น ซึ่งเป็นแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับการบำบัด TN (ตารางที่ 4-39)

ตารางที่ 4-38 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.033±0.020	0.069±0.043 ^b	0.046±0.054 ^b	^{ab} 0.062±0.070 ^b	^{ab} 0.158±0.116 ^{ab}	^{ab} 0.258±0.205 ^a
6psu	0.029±0.017	0.177±0.192	0.086±0.142	^a 0.145±0.074	^{ab} 0.171±0.135	^b 0.204±0.128
12psu	0.035±0.014	0.151±0.076 ^a	0.028±0.017 ^b	^a 0.129±0.174 ^a	^{ab} 0.147±0.098 ^a	^b 0.161±0.065 ^a
18psu	0.036±0.020	0.181±0.166 ^{bc}	0.035±0.043 ^c	^{ab} 0.051±0.063 ^c	^a 0.254±0.170 ^{ab}	^a 0.383±0.251 ^a
24psu	0.031±0.013	0.043±0.023 ^b	0.025±0.026 ^b	^b 0.020±0.009 ^b	^b 0.051±0.015 ^b	^b 0.104±0.073 ^a

ตารางที่ 4-39 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนเตรท ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
	โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	-405.93±798.73	-94.98±175.48	^a -197.33±334.36	-379.86±242.84	-1786.28±3197.38
6psu	-1038.33±2211.83	-172.10±260.94	^b -622.83±745.98	-1079.57±2148.23	-12.75.40±1519.89
12psu	-450.64±388.49 ^b	13.47±45.48 ^a	^{ab} -281.70±435.45 ^{ab}	-370.33±271.38 ^b	-432.00±330.66 ^b
18psu	-542.94±721.65 ^{ab}	-13.98±128.09 ^a	^a -55.47±182.25 ^a	-655.37±408.09 ^{bc}	-1193.23±1018.64 ^c
24psu	-69.71±113.38	17.99±58.36	^a 18.61±51.70	-103.09±113.80	-423.02±758.35

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TP ใกล้เคียงกัน คือ 7.153, 7.622, 7.770, 7.617 และ 7.549 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า TP ลดลงเป็น 2.600-3.313, 2.686-3.065, 2.476-3.384, 1.966-3.179 และ 1.365-2.671 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-40) โดยทั่วไปพบว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีค่า TP ในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นความเค็ม 6psu) และชุดทดลองที่ปลูกโปรงแดงมีค่า TP ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่าชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นความเค็ม 24psu)

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP มีค่าผันแปรสูง มีค่าอยู่ในช่วง 52.56-81.83% เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ระหว่างระดับความเค็มของน้ำเสียพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยกเว้นชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช) โดยมี

แนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP มีค่าสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu มีเปอร์เซ็นต์การบำบัด 52.56-62.70, 59.59-64.58, 55.13-67.73, 58.04-73.88 และ 64.09-81.83% ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการเพิ่มความเค็มของน้ำเสียโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะทำให้ดินมีความเป็นเกลือของโลหะเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินป่าชายเลนมีองค์ประกอบของเหล็ก (Fe) และ อะลูมินัม (Al) สูง ทำให้ฟอสฟอรัสสามารถตกตะกอน และถูกดูดซับโดยดินได้สูง (ตารางที่ 4-41 และ รูปที่ 4-28) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Ye et al. (2001) ทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำเทียมที่ปลูกกล้าไม้พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza*) กับ รังกะเที (*Kandelia candel*) บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยปรับน้ำเสียให้มีความเค็ม 0 และ 30 psu พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกพังกาหัวสุมดอกแดงสามารถบำบัด TP ได้ 91.8 และ 97.8 % และชุดทดลองที่ปลูกรังกะเทีสามารถบำบัดได้ 79.2 และ 88.0 % ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ระหว่างชนิดพืชพบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงที่สุดในทุกระดับความเค็ม (ยกเว้นความเค็ม 6psu) ซึ่งอาจเป็นเพราะแสมทะเลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจึงสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสปริมาณมากไปใช้ ในลักษณะเดียวกับที่พบว่าแสมทะเลสามารถดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกล้าไม้ชนิดอื่น

ตารางที่ 4-40 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

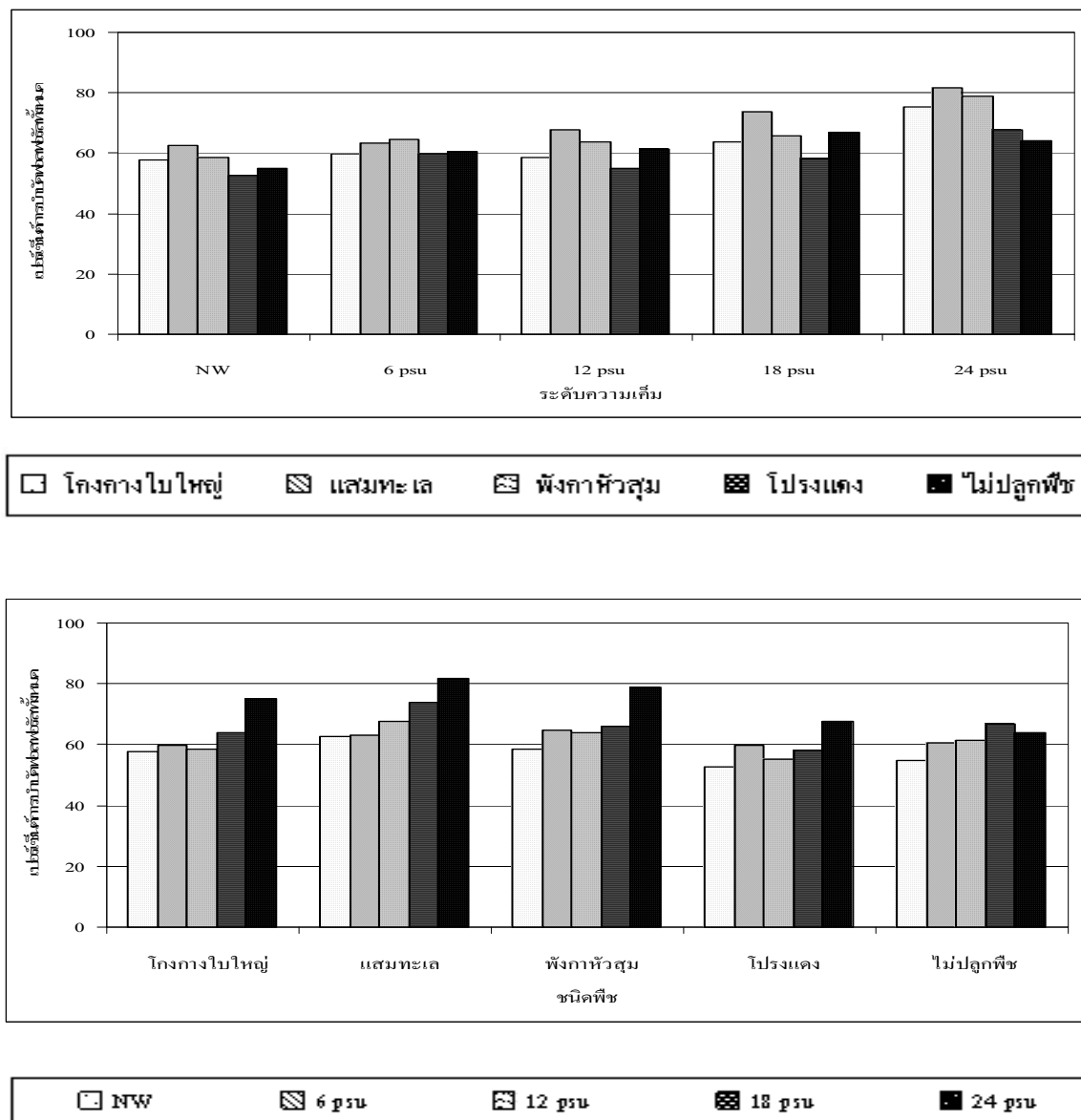
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกกงางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
NW	7.153±1.478	^{ab} 2.949±0.276 ^{ab}	^a 2.600±0.563 ^b	^a 2.861±0.334 ^{ab}	^a 3.313±0.365 ^a	3.036±0.679 ^{ab}
6psu	7.622±0.855	^{ab} 3.042±0.404	^a 2.793±0.447	^a 2.686±0.315	^a 3.065±0.590	2.989±0.607
12psu	7.770±1.317	^a 3.130±0.418 ^a	^a 2.476±0.532 ^b	^a 2.761±0.405 ^{ab}	^a 3.384±0.521 ^a	2.863±0.995 ^{ab}
18psu	7.617±0.582	^b 2.749±0.346 ^{ab}	^b 1.966±0.535 ^c	^a 2.600±0.274 ^b	^a 3.179±0.397 ^a	2.539±0.890 ^b
24psu	7.549±0.622	^c 1.868±0.367 ^{bc}	^c 1.365±0.183 ^c	^b 1.583±0.186 ^c	^b 2.412±0.727 ^{ab}	2.671±1.005 ^a

ตารางที่ 4-41 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกกงางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม้ปลูกพืช
NW	^b 57.62±7.06	^c 62.70±9.57	^c 58.69±8.91	^b 52.56±7.29	54.80±16.31
6psu	^b 59.75±6.33	^c 63.16±5.68	^b 64.58±3.82	^{ab} 59.59±7.77	60.44±8.90
12psu	^b 58.62±8.52	^{bc} 67.73±7.17	^b 63.90±5.56	^b 55.13±10.72	61.27±16.15
18psu	^b 63.77±5.16 ^{bc}	^b 73.88±8.16 ^a	^b 65.82±3.22 ^b	^b 58.04±6.59 ^c	66.88±10.66 ^b
24psu	^a 75.24±4.21 ^{ab}	^a 81.83±2.61 ^a	^a 78.87±3.11 ^a	^a 67.53±10.90 ^{bc}	64.09±14.50 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-28 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-phosphate)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต 5.002, 5.304, 5.430, 5.314 และ 5.275 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าออร์โธฟอสเฟตลดลงเป็น 1.774-2.307, 1.932-2.142, 1.766-2.313, 1.372-2.183 และ 0.948-1.847 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-42)

เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu มีค่าระหว่าง 52.68-63.82, 59.46-63.35, 56.15-67.05, 50.70-73.95 และ 64.16-81.88% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความเค็มของน้ำเสียเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่าสูงขึ้น โดยเปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24 psu สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียระดับความเค็มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการบำบัด TP อย่างไรก็ตามแนวโน้มดังกล่าวผันแปรไม่ชัดเจนเท่าเปอร์เซนต์การบำบัด TP (ตารางที่ 4-43 และ รูปที่ 4-29)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตระหว่างชนิดพืชพบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงที่สุดในทุกระดับความเค็ม (ยกเว้นความเค็ม 6psu) ซึ่งเป็นแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับการบำบัด TP

ตารางที่ 4-42 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

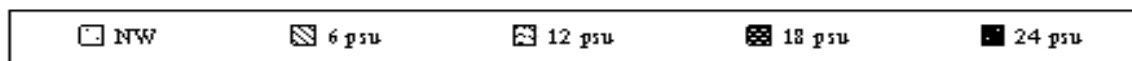
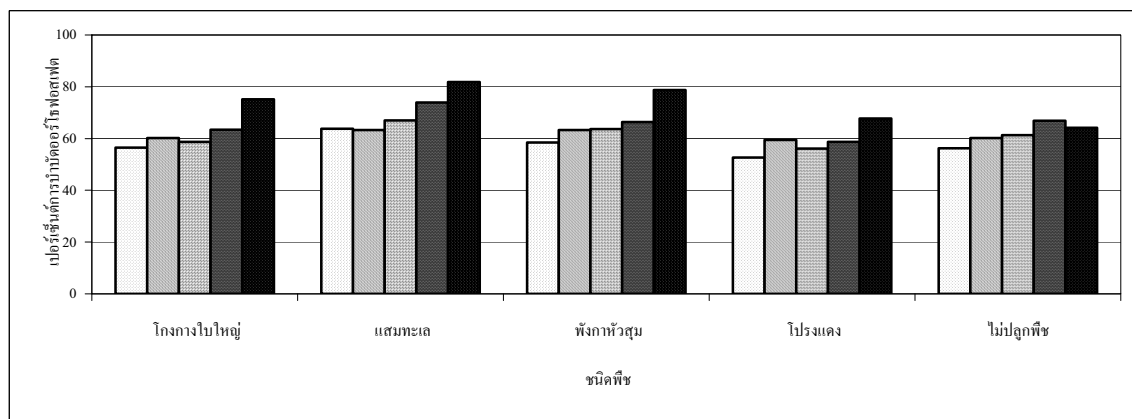
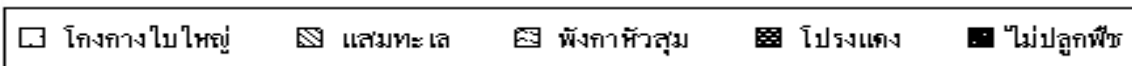
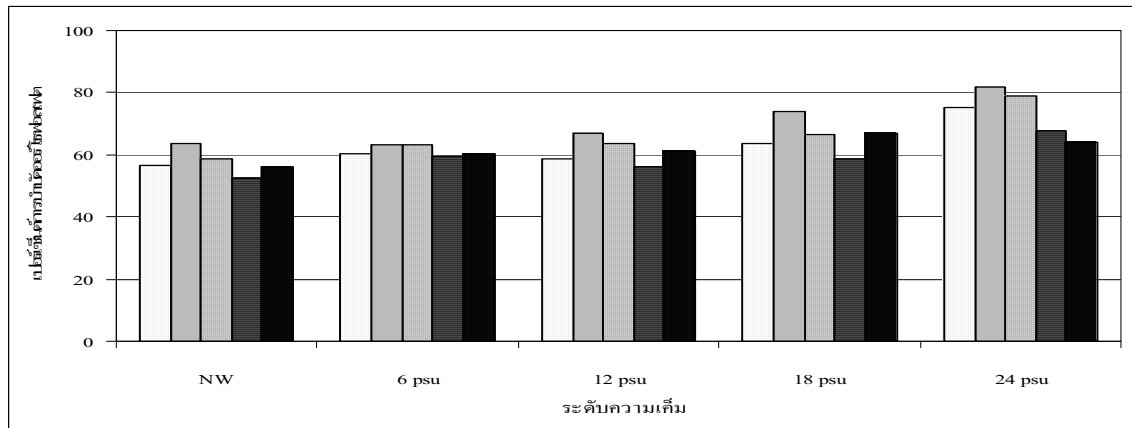
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกกงาใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	5.002±1.050	^a 2.115±0.251 ^{ab}	^a 1.774±0.423 ^b	^a 2.016±0.272 ^{ab}	^a 2.307±0.275 ^a	2.058±0.437 ^{ab}
6psu	5.304±0.567	^a 2.096±0.272	^a 1.944±0.371	^a 1.932±0.274	^a 2.142±0.405	2.092±0.364
12psu	5.430±0.945	^a 2.177±0.270	^a 1.766±0.332	^a 1.939±0.283	^a 2.313±0.327	2.004±0.677
18psu	5.314±0.312	^a 1.929±0.204 ^{ab}	^b 1.372±0.338 ^c	^a 1.784±0.100 ^b	^a 2.183±0.220 ^a	1.776±0.624 ^b
24psu	5.275±0.559	^b 1.303±0.192 ^{bc}	^c 0.948±0.121 ^c	^b 1.109±0.115 ^c	^b 1.661±0.494 ^{ab}	1.847±0.678 ^a

ตารางที่ 4-43 เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟต ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกกงาใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^c 56.48±8.21	^c 63.82±8.70	^c 58.49±8.50	^b 52.68±8.01	56.23±15.43
6psu	^{bc} 60.23±5.51	^c 63.33±5.61	^{bc} 63.35±5.24	^{ab} 59.46±7.59	60.16±8.25
12psu	^{bc} 58.78±8.71	^c 67.05±6.59	^{bc} 63.66±6.37	^b 56.15±9.86	61.30±15.51
18psu	^b 63.47±5.60 ^{bc}	^b 73.95±7.38 ^a	^b 66.32±2.73 ^b	^b 50.70±5.86 ^c	66.87±10.52 ^b
24psu	^a 75.10±3.92 ^{ab}	^a 81.88±2.76 ^a	^a 78.74±3.20 ^a	^a 67.72±11.14 ^{bc}	64.16±14.76 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-29 เปอร์เซ็นต์การบำบัดดอโรโฟสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

4.4 คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียแบบเดิมต่อเนื่องได้ทดลองบำบัดโดยใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน

รวม 9 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.4.1 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2

คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลอง (ตารางที่ 4-44) สามารถสรุปได้ดังนี้

น้ำเสียชุมชนปกติ (NW: normal wastewater) มีค่าเฉลี่ย pH 7.28 ความเค็ม 0.6 psu, DO 0.00 mg/l ทุกการทดลอง BOD 29.67 mg/l, TN 24.294 mg/l มีแอมโมเนีย 12.785 mg/l และไนเตรท 0.054 mg/l, TP 7.452 mg/l ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออร์โธฟอสเฟต 5.278 mg/l ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ใช้ในระบบกะ

น้ำเสียชุมชนที่ปรับความเค็มเป็น 6, 12, 18 และ 24 psu มีค่าเฉลี่ยความเค็มเท่ากับ 6.87, 12.37, 18.49 และ 25.10 psu ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าเท่ากับ 12.98, 21.86, 31.09 และ 38.46 mS/cm ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย pH อยู่ในช่วง 7.19-7.30 ค่าเฉลี่ย BOD, TN และ TP อยู่ในช่วง 20.18-25.20, 24.528-28.250 และ 6.788-7.850 mg/l ตามลำดับ ส่วน DO 0.00 mg/l ทุกระดับความเค็ม ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าความเค็มและการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-44 คุณภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ปรับความเค็มก่อนเข้าสู่ชุดทดลองทั้ง 9 ครั้ง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

พารามิเตอร์	NW	6 psu	12 psu	18 psu	24 psu
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.28±0.13	7.20±0.09	7.30±0.20	7.19±0.12	7.19±0.07
อุณหภูมิ (°C)	28.02±1.50	28.36±1.79	28.20±1.74	28.15±1.87	28.10±1.93
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	^c 1.23±1.38	^d 12.98±0.71	^c 21.86±0.91	^b 31.09±0.75	^a 38.46±1.53
ความเค็ม (psu)	^c 0.60±0.00	^d 6.87±0.28	^c 12.37±0.24	^b 18.49±0.45	^a 25.10±0.34
ออกซิเจนละลาย (DO) (mg/l)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
บีโอดี (BOD) (mg/l)	^a 29.67±7.81	^{ab} 25.20±6.33	^{ab} 24.87±5.39	^b 22.40±5.49	^b 20.18±5.53
ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (mg/l)	^d 24.294±1.167	^{cd} 24.528±1.690	^b 26.517±0.541	^{bc} 25.650±1.488	^a 28.250±0.959
แอมโมเนีย (NH ₄ -N) (mg/l)	12.785±2.720	12.689±2.231	12.512±1.904	12.471±2.396	2.648±1.661
ไนเตรท (NO ₃ -N) (mg/l)	0.054±0.108	0.039±0.086	0.048±0.095	0.027±0.032	0.072±0.139
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (mg/l)	^{ab} 7.452±1.047	^{ab} 7.120±0.549	^b 6.788±0.959	^b 6.822±0.519	^a 7.850±0.438
ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-PO ₄) (mg/l)	5.278±0.704	5.141±0.142	5.091±0.179	4.897±0.376	5.558±0.207

หมายเหตุ NW (normal wastewater) คือ น้ำเสียชุมชนปกติ; 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu คือ น้ำเสียชุมชนที่ปรับให้มีความเค็ม 6, 12, 18 และ 24 psu ตามลำดับ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่า pH 7.19-7.30 เมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่า pH สูงขึ้น อยู่ในช่วง 7.58-8.55 (ตารางที่ 4-45) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชจะมีค่า pH สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเค็มของน้ำเสียเช่นเดียวกับในระบบกะ

การนำไฟฟ้าและความเค็ม (Conductivity and Salinity)

ความเค็มของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 0.60, 6.87, 12.37, 18.49 และ 25.10 psu ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าความเค็มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 5.39-10.02, 12.82-16.63, 14.19-16.62, 17.97-23.86 และ 25.01-29.91 psu ตามลำดับ ซึ่งน้ำที่เข้าสู่ชุดทดลองแต่ละระดับความเค็ม รวมทั้งน้ำดังกล่าวที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การนำไฟฟ้าของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 1.23, 12.98, 21.86, 31.09 และ 38.46 mS/cm ตามลำดับ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 10.86-17.46, 22.51-28.70, 23.99-27.67, 30.15-39.24 และ 33.98-47.30 mS/cm ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความเค็ม

ตารางที่ 4-45 ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และความเค็มของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

พารามิเตอร์	ชุดทดลอง	น้ำเข้า	น้ำออก				
			โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
pH	NW	7.28±0.13	^b 7.82±0.20 ^b	^b 7.72±0.17 ^b	^{ab} 7.88±0.20 ^b	^a 8.04±0.32 ^b	8.75±0.69 ^a
	6psu	7.20±0.09	^a 8.08±0.34 ^{ab}	^b 7.71±0.14 ^b	^{ab} 7.95±0.71 ^{ab}	^{ab} 7.84±0.13 ^b	8.28±0.40 ^a
	12psu	7.30±0.20	^a 8.15±0.29 ^b	^b 7.99±0.26 ^{bc}	^b 7.75±0.26 ^c	^b 7.80±0.29 ^c	8.55±0.250 ^a
	18psu	7.19±0.12	^b 7.75±0.015 ^{bc}	^b 7.82±0.019 ^b	^b 7.58±0.18 ^c	^b 7.72±0.17 ^{bc}	8.55±0.29 ^a
	24psu	7.19±0.07	^a 8.08±0.17 ^{ab}	^b 7.85±0.30 ^b	^a 8.28±0.46 ^a	^a 8.07±0.21 ^{ab}	8.24±0.19 ^a
Conductivity (mS/cm)	NW	^c 1.23±1.38	^d 17.20±3.35 ^{ab}	^d 17.46±2.27 ^a	^c 15.55±4.75 ^{ab}	^d 10.86±4.49 ^c	^c 13.76±2.24 ^{bc}
	6psu	^d 12.98±0.71	^{cd} 22.56±3.05 ^b	^c 24.20±6.84 ^{ab}	^b 28.70±6.18 ^a	^c 22.51±3.90 ^b	^b 26.38±3.04 ^{ab}
	12psu	^c 21.86±0.91	^{bc} 27.67±4.00	^c 25.69±4.46	^b 24.10±5.07	^c 26.76±6.43	^b 23.99±4.42
	18psu	^b 31.09±0.75	^b 30.15±11.52	^b 31.42±6.79	^a 37.82±4.46	^b 33.91±7.61	^a 39.24±6.67
	24psu	^a 38.46±1.53	^a 41.01±2.44 ^b	^a 47.30±7.05 ^a	^a 39.78±6.17 ^b	^a 40.53±2.02 ^b	^a 33.98±8.98 ^c
Salinity (psu)	NW	^c 0.60±0.00	^d 10.02±1.99 ^a	^d 10.02±1.45 ^a	^c 9.02±2.92 ^a	^d 5.39±2.03 ^b	^c 8.16±1.34 ^a
	6psu	^d 6.87±0.28	^c 13.61±1.65	^c 14.58±4.70	^b 16.63±4.85	^c 12.82±2.67	^b 15.78±2.24
	12psu	^c 12.37±0.24	^{bc} 16.62±2.39	^{bc} 15.90±2.79	^b 14.44±3.19	^c 16.12±3.89	^b 14.19±2.96
	18psu	^b 18.49±0.45	^b 17.97±7.02	^b 19.23±4.54	^a 23.04±3.01	^b 20.80±5.39	^a 23.86±4.60
	24psu	^a 25.10±0.34	^a 25.21±2.13	^a 29.91±4.10	^a 25.01±4.95	^a 27.39±5.26	^a 25.22±4.23

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

แนวโน้มของความเค็มและการนำไฟฟ้าดังกล่าวมีลักษณะเดียวกับในระบบกะ แต่ค่าการนำไฟฟ้าและความเค็มของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเดิมต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะเล็กน้อย

ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO)

DO ของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองทุกชุดมีค่า 0.00 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า DO สูงขึ้นเป็น 4.49-14.06, 2.88-9.84, 3.86-9.80, 2.09-9.09 และ 4.83-7.11 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-46) ซึ่งจะเห็นว่ามีความสูงขึ้นมาก เช่นเดียวกับในระบบกะ แต่มีค่าค่อนข้างผันแปร

ค่า DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดของชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (7.11-14.06 mg/l) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ (2.09-6.28 mg/l) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับในระบบกะ เนื่องจากชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีการสะสมของเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่ร่วงหล่น ซึ่งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้ออกซิเจนถูกใช้ไป ประกอบกับชุดควบคุมไม่มีพืชปกคลุมทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้มากกว่าจึงมีการเติมอากาศ และการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชสูงกว่า และโดยทั่วไปพบว่าค่า DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะ ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะอัตราการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองต่ำ

ตารางที่ 4-46 ปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกหวัด	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.00±0.00	5.60±2.56 ^b	4.49±1.71 ^b	^{ab} 4.94±1.26 ^b	6.28±1.17 ^b	^a 14.06±2.82 ^a
6psu	0.00±0.00	4.41±2.06 ^{bc}	5.46±1.90 ^b	^{cd} 2.88±1.33 ^c	4.83±1.46 ^b	^b 9.84±1.86 ^a
12psu	0.00±0.00	6.19±2.22 ^b	5.43±1.58 ^{bc}	^{bc} 3.86±1.45 ^c	4.90±1.29 ^{bc}	^b 9.80±2.03 ^a
18psu	0.00±0.00	3.87±2.60 ^{bc}	5.09±1.19 ^b	^d 2.09±1.20 ^c	5.14±1.46 ^b	^{bc} 9.09±2.46 ^a
24psu	0.00±0.00	4.99±1.02 ^b	4.83±2.75 ^b	^a 5.66±1.11 ^{ab}	5.24±1.81 ^b	^c 7.11±0.97 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บีโอดี (Biological Oxygen Demand : BOD)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18 psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย BOD 29.67, 25.20, 24.87, 22.40 และ 20.18 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่ามีค่า BOD ลดลงเป็น 5.53-8.03, 6.23-9.20, 6.17-8.37, 7.03-9.90 และ 5.97-7.87 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-47) ซึ่งค่า BOD ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของทุกชุดทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานอาคารประเภท ก. ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/l เช่นเดียวกับในระบบกะ อย่างไรก็ตามพบว่าค่า BOD ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วของระบบเดิมต่อเนื่องสูงกว่าระบบกะ ทั้งนี้เพราะชุดทดลองของระบบเดิมต่อเนื่องมี DO ต่ำกว่าทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าระบบกะ ทำให้ค่า BOD สูงกว่า

เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu อยู่ในช่วง 71.30-80.87, 60.16-73.48, 63.77-71.42, 56.71-65.47 และ 59.09-67.65% ตามลำดับ โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียต่างระดับความเค็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มต่ำ (NW และ 6psu) มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง (18psu และ 24psu) ซึ่งแนวโน้มนี้ไม่พบในระบบอะไรก็ตามแนวโน้มนี้ไม่ชัดเจนนัก และค่าไม่แตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 4-48 และ รูปที่ 4-30) นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในระบบเดิมต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะ

เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งต่างจากระบบกะซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลจากการที่ DO ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่ำกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

ตารางที่ 4-47 ปริมาณบีโอดีของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

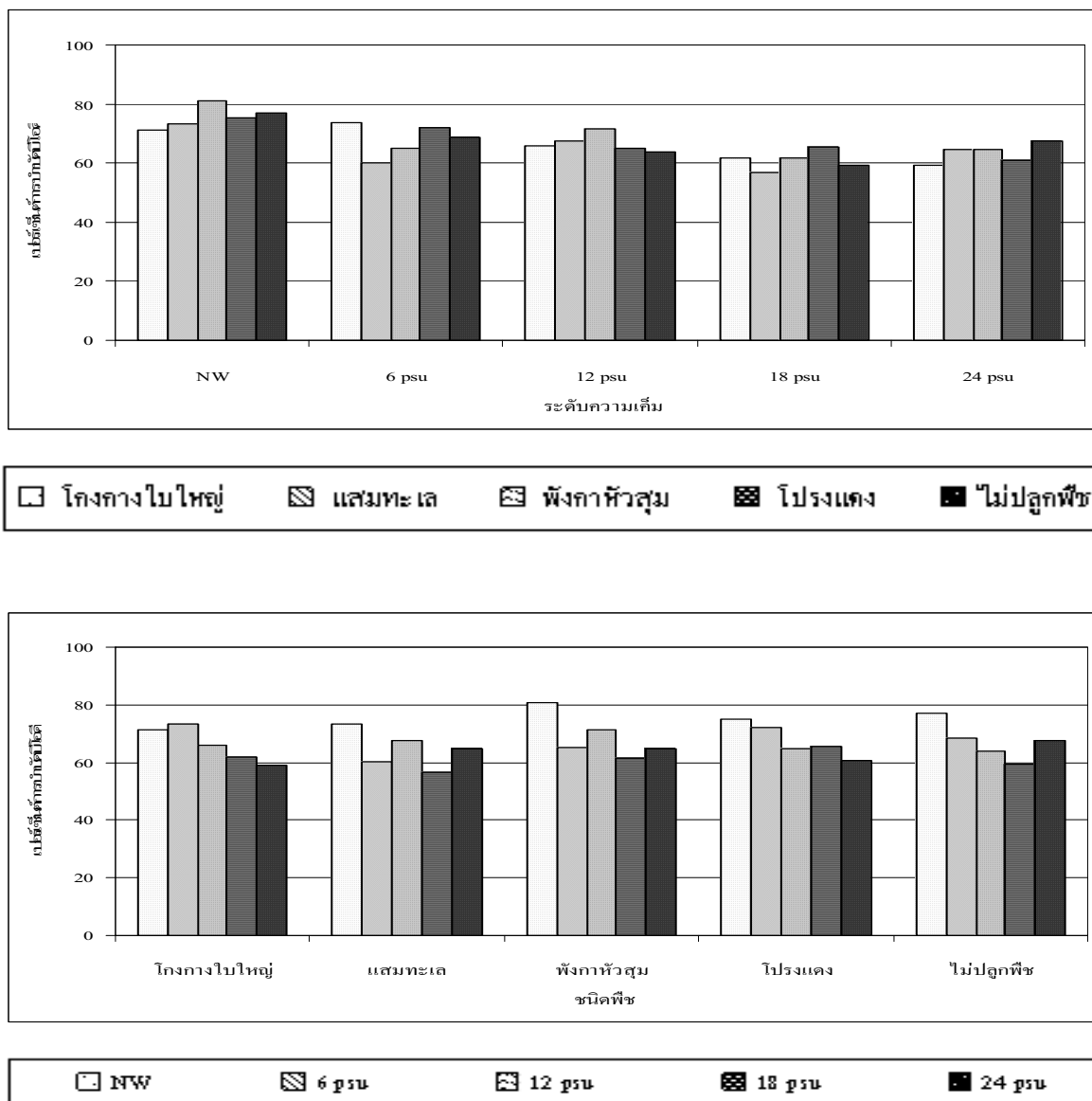
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^a 29.67±7.81	8.03±5.62	7.93±4.59	5.53±3.41	6.97±4.60	^a 6.80±2.80 ^a
6psu	^{ab} 25.20±6.33	6.23±2.85	9.20±4.17	8.67±5.69	6.77±4.11	^a 7.23±4.09 ^a
12psu	^{ab} 24.87±5.39	7.63±4.70	7.77±5.06	6.17±4.47	7.97±2.65	^a 8.37±3.14 ^a
18psu	^b 22.40±5.49	8.17±3.67	9.90±3.57	8.07±2.97	7.03±2.54	^a 8.47±3.71 ^a
24psu	^b 20.18±5.53	7.87±5.94	6.97±3.12	6.93±3.80	7.70±3.59	^a 5.97±2.55 ^a

ตารางที่ 4-48 เปอร์เซนต์การบำบัดบีโอดี ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุ่ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	71.30±24.35	73.29±15.12	80.87±12.61	75.20±19.51	76.85±10.05
6psu	73.48±13.24	60.16±23.49	64.98±23.14	72.00±17.29	68.62±21.61
12psu	65.99±27.35	67.57±19.76	71.42±25.23	64.88±20.26	63.77±18.64
18psu	61.84±17.05	56.71±20.29	61.63±18.11	65.47±18.47	59.25±21.67
24psu	59.09±30.26	64.60±13.95	64.67±16.94	60.85±16.08	67.65±18.81

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-30 เปอร์เซนต์การบำบัดบีโอดีของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TN 24.294, 24.528, 26.517, 25.650 และ 28.250 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า TN ลดลงเป็น 4.533-9.972, 3.861-7.483, 3.083-9.417, 2.683-8.487 และ 3.900-9.511 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-49) ซึ่งจะเห็นว่า TN ในน้ำที่ผ่านการบำบัดของระบบเดิมต่อเนื่องสูงกว่าระบบกะอย่างชัดเจน

เปอร์เซนต์การบำบัด TN ของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu มีค่าอยู่ในช่วง 58.89-81.38, 69.38-84.23, 64.46-88.35, 66.90-89.50 และ 66.30-86.19% ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างของเปอร์เซนต์การบำบัด TN ของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TN ของน้ำเสียความเค็มใดมีค่าสูงสุด ซึ่งแตกต่างจากระบบกะซึ่งพบว่า เปอร์เซนต์การบำบัด TN มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TN ในระบบเดิมต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะ

เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิดและชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกระดับความเค็ม และมีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเล (81.38-89.50%) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น (59.72-81.33%) และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (58.89-85.17%) (ตารางที่ 4-50 และรูปที่ 4-31) ซึ่งเป็นแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับในระบบกะ แต่ระบบกะเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนกว่า

ตารางที่ 4-49 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

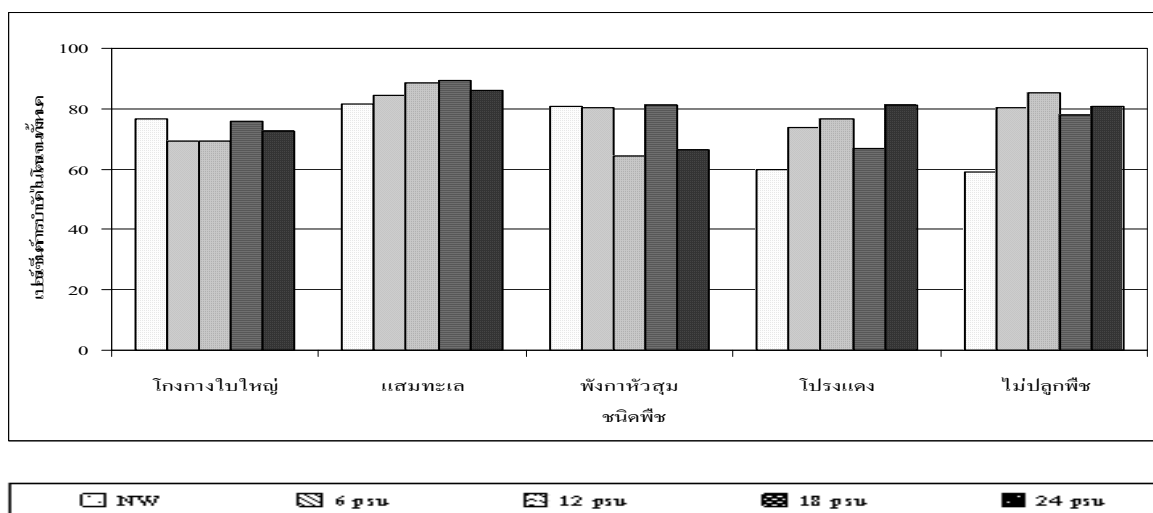
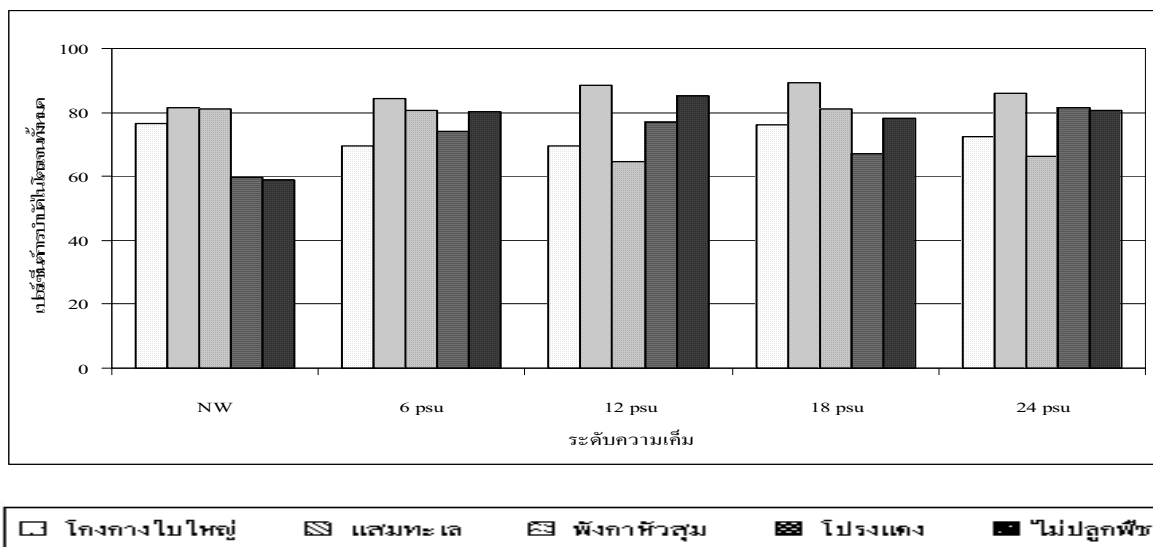
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกก้างใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^d 24.294±1.167	5.722±1.774 ^b	^a 4.533±1.464 ^b	^b 4.628±1.586 ^b	^a 9.772±1.650 ^a	^a 9.972±1.487 ^a
6psu	^{cd} 24.528±1.690	7.483±2.546 ^a	^{ab} 3.861±1.120 ^c	^b 4.744±1.372 ^{bc}	^b 6.400±1.685 ^{ab}	^b 4.806±1.908 ^{bc}
12psu	^b 26.517±0.541	8.111±2.952 ^a	^{bc} 3.083±0.932 ^c	^a 9.417±2.054 ^a	^b 6.139±2.299 ^b	^b 3.939±1.423 ^c
18psu	^{bc} 25.650±1.488	6.217±2.835 ^b	^c 2.683±0.575 ^c	^b 4.878±2.269 ^b	^a 8.478±1.702 ^a	^b 5.639±2.368 ^b
24psu	^a 28.250±0.959	7.839±2.452 ^a	^{ab} 3.900±0.882 ^b	^a 9.511±1.478 ^a	^b 5.261±2.016 ^b	^b 5.483±2.430 ^b

ตารางที่ 4-50 เปอร์เซ็นต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
	โกก้างใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	76.48±7.01 ^a	^c 81.38±5.87 ^a	^a 80.94±6.48 ^a	^d 59.72±6.85 ^b	^b 58.89±6.02 ^b
6psu	69.38±10.79 ^c	^{bc} 84.23±4.73 ^a	^a 80.53±6.08 ^{ab}	^b 73.97±6.44 ^{bc}	^a 80.25±8.27 ^{ab}
12psu	69.46±10.93 ^c	^{ab} 88.35±3.57 ^a	^b 64.46±7.84 ^c	^{ab} 76.82±8.70 ^b	^a 85.17±5.27 ^a
18psu	75.94±10.66 ^b	^a 89.50±2.40 ^a	^a 80.96±8.85 ^b	^c 66.90±6.68 ^c	^a 78.00±9.31 ^b
24psu	72.39±8.09 ^b	^{ab} 86.19±3.13 ^a	^b 66.30±5.28 ^b	^a 81.33±7.27 ^a	^a 80.69±8.19 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-31 เปอร์เซนต์การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

แอมโมเนีย (Ammonia Nitrogen : NH_3N)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย 12.785, 12.689, 12.512, 12.471 และ 12.648 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่า มีค่าแอมโมเนียลดลงเป็น 0.742-3.399, 0.888-2.689, 1.023-3.869, 1.155-3.835 และ 1.606-3.429 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-51) และพบว่าแอมโมเนียในน้ำที่ผ่านการบำบัดของระบบเดิมต่อเนื่องสูงกว่าระบบบ่อกะอย่างชัดเจน

เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu อยู่ในช่วง 71.71-94.01, 77.42-92.75, 68.55-92.06, 68.96-89.71 และ 72.77-87.24% ตามลำดับ โดยเปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสียต่างระดับความเค็มจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ได้น้ำเสียความเค็มสูง (18psu และ 24psu) มีเปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียต่ำ และชุดทดลองที่ได้น้ำเสีย NW มีเปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียสูง แต่แนวโน้มดังกล่าวผันแปรไม่ชัดเจน

เปอร์เซ็นต์การบำบัดแอมโมเนียในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิดและชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกระดับความเค็ม และมีแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเล (87.24-94.01%) สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น (68.96-87.84%) และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช (74.93-87.82%) (ตารางที่ 4-52 และรูปที่ 4-32) ซึ่งแนวโน้มนี้จะเห็นได้ชัดเจนกว่าในระบบกะ

ตารางที่ 4-51 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกกงใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	12.785±2.720	^c 1.597±1.401 ^c	^b 0.742±0.167 ^d	^b 2.417±0.488 ^b	^{ab} 3.399±1.038 ^a	^a 3.013±0.429 ^{ab}
6psu	12.689±2.231	^{ab} 2.552±0.53 ^a	^b 0.888±0.147 ^b	^b 2.547±0.910 ^a	^{bc} 2.656±0.874 ^a	^a 2.689±0.471 ^a
12psu	12.512±1.904	^a 3.215±1.096 ^a	^b 1.023±0.453 ^c	^a 3.869±0.673 ^a	^c 2.106±0.426 ^b	^a 1.342±1.236 ^{bc}
18psu	12.471±2.396	^{bc} 1.855±0.292 ^c	^{ab} 1.155±0.744 ^d	^{ab} 3.046±0.799 ^b	^a 3.835±1.101 ^a	^a 2.960±0.216 ^b
24psu	12.648±1.661	^a 3.429±0.958	^a 1.606±0.640	^b 2.393±1.411	^c 1.975±0.599	^a 2.939±3.170 ^a

ตารางที่ 4-52 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนีย ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกกงใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^a 87.84±8.86 ^{ab}	^a 94.01±1.81 ^a	^a 80.49±5.32 ^{bc}	^b 71.71±12.97 ^d	^c 74.93±8.99 ^{cd}
6psu	^{bc} 79.83±3.05 ^b	^a 92.75±2.07 ^a	^a 79.82±6.61 ^b	^{ab} 77.42±11.19 ^b	^{bc} 78.44±4.21 ^b
12psu	^{cd} 74.60±6.56 ^{cd}	^a 92.06±2.68 ^a	^b 68.55±6.51 ^d	^a 82.31±6.93 ^{bc}	^a 87.82±13.78 ^{ab}
18psu	^{ab} 84.42±5.00 ^a	^{ab} 89.71±7.65 ^a	^{ab} 74.97±8.41 ^b	^b 68.96±8.92 ^b	^c 75.55±4.46 ^b
24psu	^c 72.77±7.63 ^b	^b 87.24±5.25 ^a	^a 80.24±12.50 ^a	^a 84.07±5.34 ^a	^{ab} 77.36±21.91 ^a

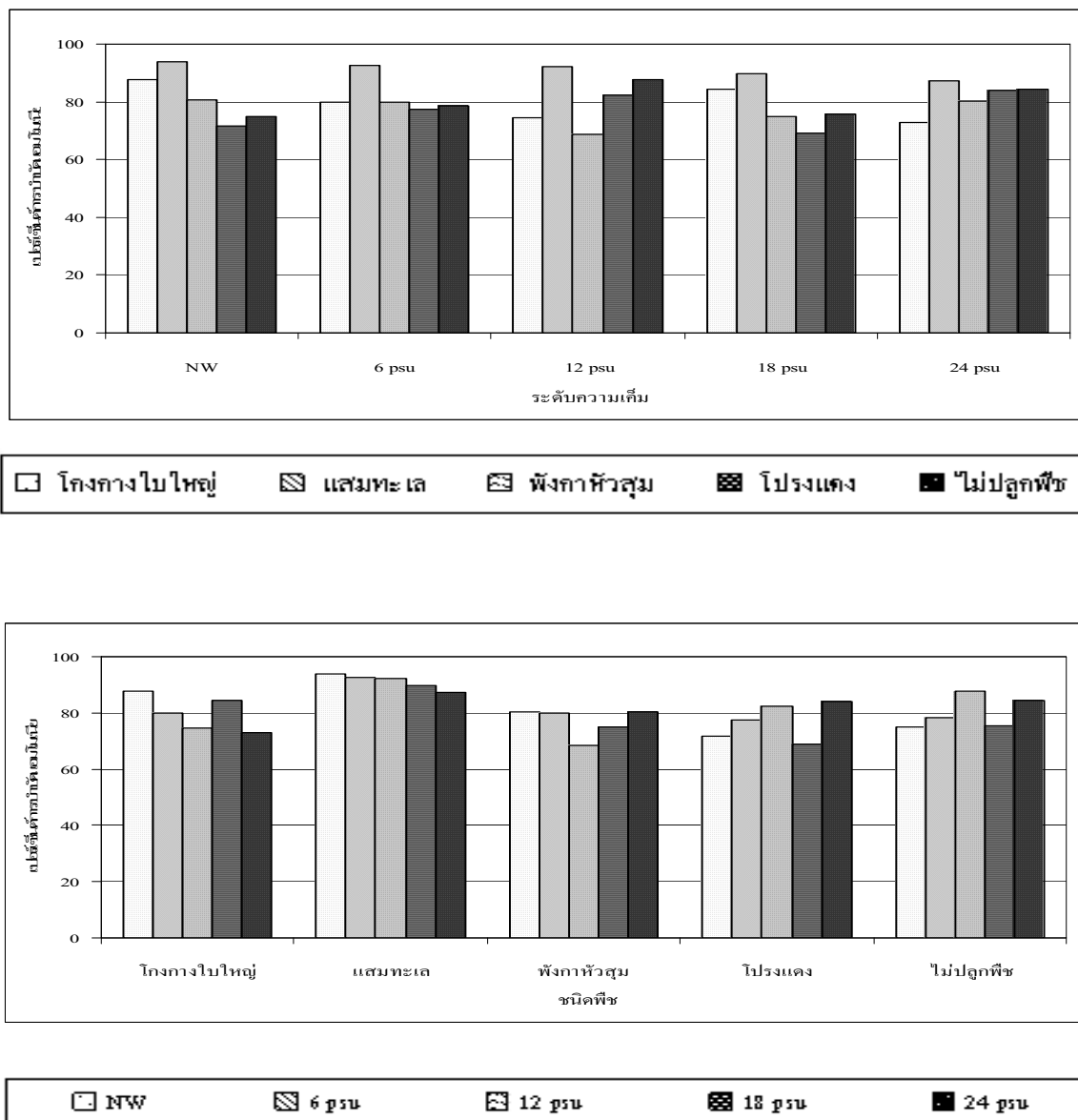
หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate Nitrogen : NO₃-N)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยไนเตรท 0.054, 0.039, 0.048, 0.027 และ 0.072 mg/l ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่ำเนื่องจากน้ำเสียทุกระดับความเค็มมีค่า DO 0.00 mg/l ทำให้ไนโตรเจนไม่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทได้ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าไนเตรทสูงขึ้นเป็น 0.073-0.116, 0.042-0.090, 0.055-0.085, 0.040-0.070 และ 0.039-0.057 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-53) เนื่องจากเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ชุดทดลองจะมีค่า DO สูงขึ้น ทำให้ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันได้

ดังนั้น เปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรททุกชุดทดลองจึงมีค่าติดลบ (ตารางที่ 4-54) ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกันกับระบบกะ



รูปที่ 4-32 เปอร์เซนต์การบำบัดแอมโมเนียของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรทระหว่างระดับความเค็มของน้ำเสีย พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24psu มีค่าสูงสุด (ค่าติดลบต่ำสุด) ซึ่งแสดงว่ามีการเพิ่มขึ้นของไนเตรทในชุดทดลองต่ำที่สุด ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงจะมีผลในทางยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน และไนตริฟิเคชัน

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรทระหว่างชนิดกล้าไม้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบแนวโน้มว่ากล้าไม้ใดมีเปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรทสูง

ตารางที่ 4-53 ปริมาณไนเตรทของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โรงกลึงใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.054±0.108	0.109±0.110	^a 0.092±0.043	^a 0.116±0.048	^a 0.114±0.045	^a 0.073±0.025 ^a
6psu	0.039±0.086	0.051±0.019	^b 0.049±0.019	^{bc} 0.072±0.033	^{ab} 0.090±0.042	^a 0.042±0.011 ^a
12psu	0.048±0.095	0.055±0.020	^b 0.063±0.021	^b 0.085±0.030	^b 0.079±0.035	^a 0.057±0.030 ^a
18psu	0.027±0.032	0.067±0.049	^b 0.040±0.016	^c 0.049±0.011	^{bc} 0.070±0.019	^a 0.040±0.022 ^a
24psu	0.072±0.139	0.057±0.036	^b 0.039±0.022	^{bc} 0.055±0.026	^c 0.040±0.020	^a 0.055±0.034 ^a

ตารางที่ 4-54 เปอร์เซนต์การบำบัดไนเตรท ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โรงกลึงใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	-534.13±572.69	-494.52±343.30	-658.95±514.20	-783.51±688.51	-544.42±504.37
6psu	-731.87±799.86	-588.03±540.17	-949.85±1036.96	-1205.25±1148.72	-508.81±503.76
12psu	-361.10±283.65	-581.09±758.07	-1076.63±1832.22	-1050.23±1524.46	-460.87±495.80
18psu	-765.39±1656.70	-264.76±342.61	-289.97±258.45	-530.11±536.47	-265.67±434.79
24psu	-121.89±139.57	-98.47±189.83	-299.13±551.58	-76.85±134.02	-289.06±708.38

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย TP 7.452, 7.120, 6.788, 6.822 และ 7.850 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า TP ลดลงอยู่ในช่วง 3.315-3.875, 2.585-3.273, 2.829-3.449, 2.564-3.275 และ 2.226-3.299 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-55) และพบว่า TP ในน้ำออกของระบบต่อเนื่องมีค่าใกล้เคียงกับระบบกะ

เปอร์เซนต์การบำบัด TP ของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu อยู่ในช่วง 47.18-54.66, 53.79-63.51, 48.30-57.58, 51.97-62.39 และ 57.76-71.59% ตามลำดับ เปอร์เซนต์การบำบัด TP ในน้ำเสียต่างระดับความเค็มแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มสูง (24psu) มีค่าสูงสุด สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 18psu, 12psu, 6psu และ NW ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบกะ นอกจากนี้พบว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TP ในระบบต่อเนื่องต่ำกว่าระบบกะ

เปอร์เซนต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างกันและชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเค็ม แต่มีค่าผันแปรและไม่ชัดเจน ไม่พบแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ใดมีค่าสูงสุด (ตารางที่ 4-56 และ รูปที่ 4-33) ขณะที่ระบบกะพบแนวโน้มว่าเปอร์เซนต์การบำบัด TP ของชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีค่าสูงสุด

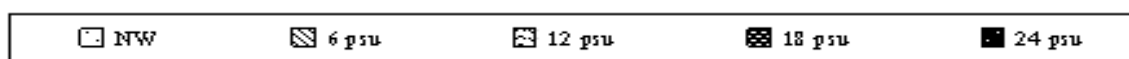
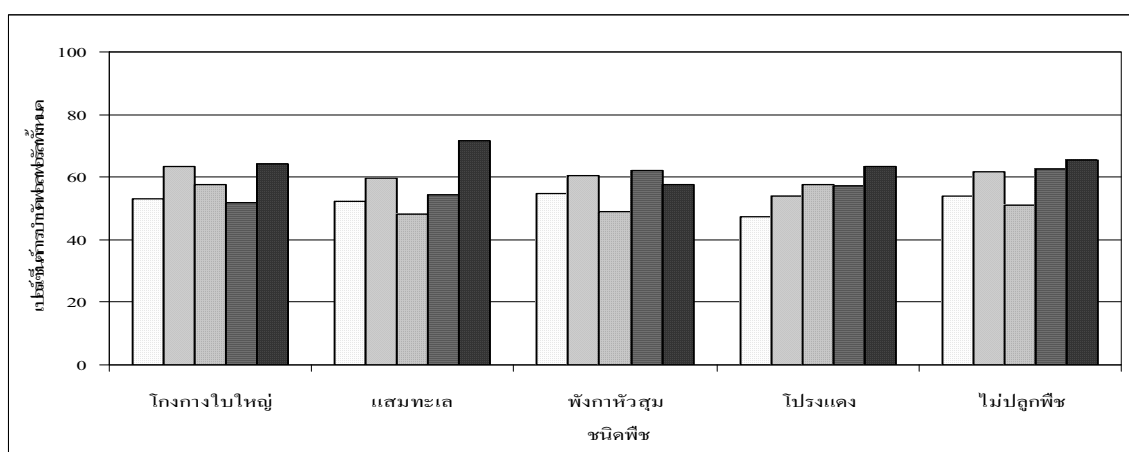
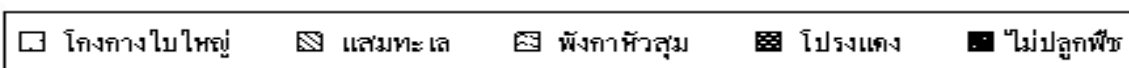
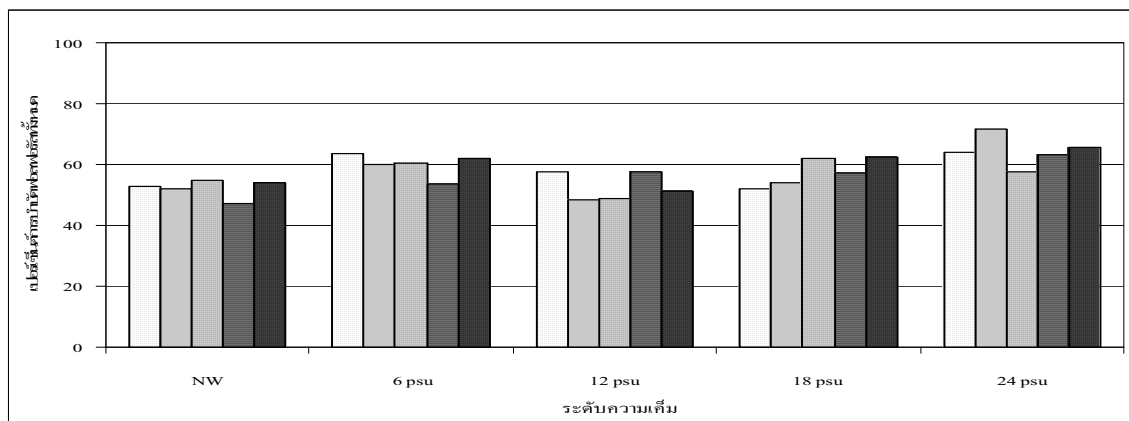
ตารางที่ 4-55 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โรงกาบใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{ab} 7.452±1.047	^a 3.451±0.223 ^b	^a 3.525±0.291 ^b	^a 3.315±0.344 ^b	^a 3.875±0.225 ^a	^a 3.376±0.385 ^b
6psu	^{ab} 7.120±0.549	^b 2.585±0.181 ^c	^c 2.844±0.388 ^b	^b 2.800±0.240 ^{bc}	^b 3.273±0.221 ^a	^b 2.700±0.295 ^{bc}
12psu	^b 6.788±0.959	^b 2.849±0.226 ^b	^{ab} 3.449±0.275 ^a	^a 3.411±0.347 ^a	^b 2.829±0.381 ^b	^a 3.300±0.645 ^a
18psu	^b 6.822±0.519	^a 3.275±0.389 ^a	^{bc} 3.116±0.551 ^a	^b 2.574±0.293 ^b	^b 2.887±0.760 ^{ab}	^b 2.564±0.475 ^b
24psu	^a 7.850±0.438	^b 2.807±0.316 ^b	^d 2.226±0.328 ^c	^a 3.299±0.555 ^a	^b 2.869±0.363 ^b	^b 2.690±0.466 ^b

ตารางที่ 4-56 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โรงกาบใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^{bc} 52.95±6.75	^c 52.10±6.21	^c 54.66±8.34	^c 47.18±7.43	^b 53.85±8.68
6psu	^a 63.51±3.76 ^a	^b 59.83±6.25 ^a	^{ab} 60.57±3.35 ^a	^{bc} 53.79±4.69 ^b	^a 61.87±5.22 ^a
12psu	^b 57.41±5.77 ^a	^c 48.30±8.08 ^b	^c 49.00±7.81 ^b	^{ab} 57.58±8.27 ^a	^b 51.02±9.38 ^{ab}
18psu	^c 51.97±4.81 ^b	^{bc} 54.17±8.25 ^b	^a 62.07±5.25 ^a	^{ab} 57.30±11.86 ^{ab}	^a 62.39±6.55 ^a
24psu	^a 64.15±4.48 ^b	^a 71.59±4.33 ^a	^{ab} 57.76±8.08 ^c	^a 63.30±5.46 ^{bc}	^a 65.52±7.17 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวดิ่ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-33 เปอร์เซนต์การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ออร์โธฟอสเฟต (Ortho-phosphate)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟต 5.278, 5.141, 5.091, 4.897 และ 5.558 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าออร์โธฟอสเฟตลดลงอยู่ในช่วง 2.327-2.811, 1.929-2.367, 2.078-2.518, 1.801-2.331 และ 1.654-2.400 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-57)

เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu มีค่าอยู่ในช่วง 46.11-55.19, 53.67-62.19, 49.68-58.55, 52.36-63.21 และ 56.76-70.27% ตามลำดับ เปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียต่างระดับความเค็มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งโดยทั่วไปพบว่าเปอร์เซนต์การบำบัดออร์โธฟอสเฟตในชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 24 psu มีค่าสูงสุด และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย NW มีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นแนวโน้มในลักษณะเดียวกับระบบกะ

เปอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรฟอสเฟตในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิดและชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความเค็ม ยกเว้นน้ำเสีย NW แต่มีค่าผันแปรและไม่ชัดเจน ไม่พบแนวโน้มว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP ในชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ใดมีค่าสูงสุด (ตารางที่ 4-58 และ รูปที่ 4-34) โดยแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรฟอสเฟตมีลักษณะเดียวกับการบำบัด TP ขณะที่ระบบกะพบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดในชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีค่าสูงสุด

ตารางที่ 4-57 ปริมาณคอโรฟอสเฟตของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

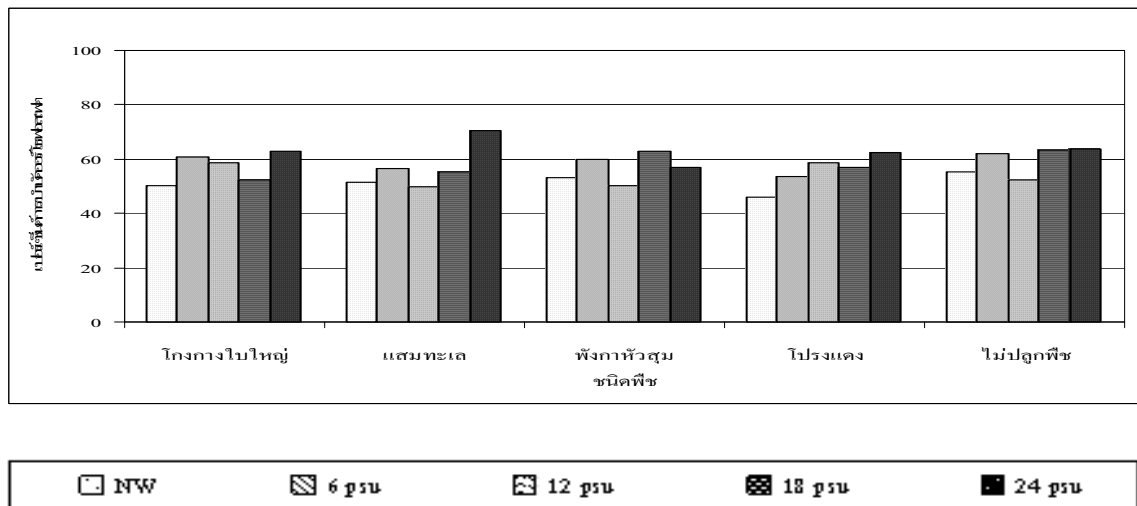
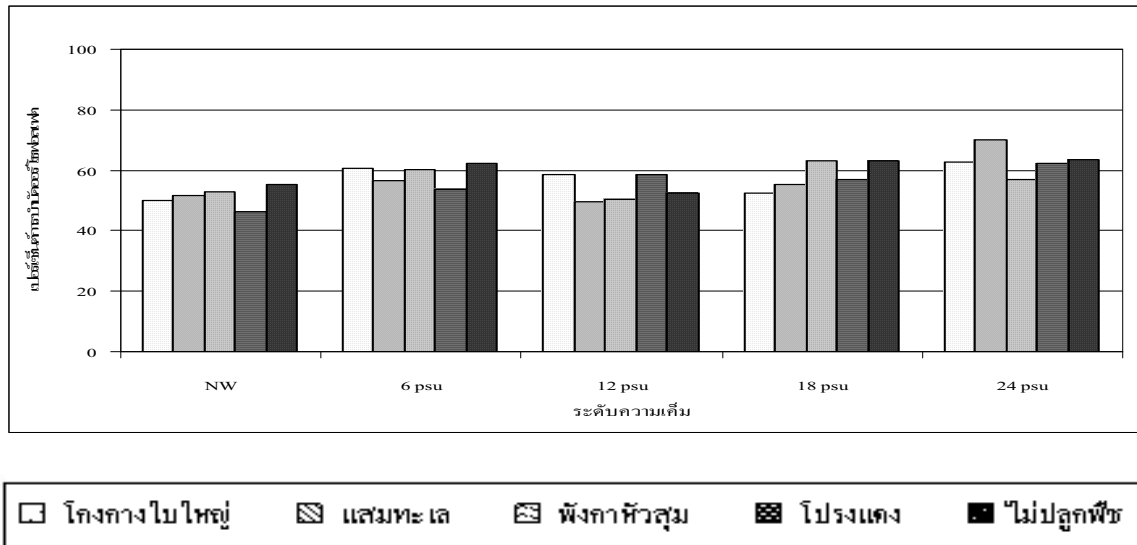
ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	5.278±0.704	^a 2.591±0.209 ^b	^a 2.526±0.188 ^{ab}	^a 2.444±0.240 ^{ab}	^a 2.811±0.169 ^a	^{ab} 2.327±0.309 ^c
6psu	5.141±0.142	^c 2.013±0.144 ^{bc}	^b 2.217±0.312 ^{ab}	^b 2.043±0.175 ^{bc}	^b 2.367±0.188 ^a	^c 1.929±0.227 ^c
12psu	5.091±0.179	^c 2.080±0.165 ^b	^a 2.518±0.201 ^a	^a 2.490±0.253 ^a	^b 2.078±0.278 ^b	^a 2.409±0.470 ^a
18psu	4.897±0.376	^b 2.331±0.297 ^a	^b 2.181±0.385 ^{ab}	^b 1.801±0.205 ^b	^b 2.079±0.547 ^{ab}	^c 1.801±0.335 ^b
24psu	5.558±0.207	^c 2.073±0.231 ^b	^c 1.654±0.239 ^c	^a 2.400±0.398 ^a	^b 2.095±0.265 ^b	^{bc} 2.017±0.350 ^b

ตารางที่ 4-58 เปอร์เซ็นต์การบำบัดคอโรฟอสเฟต ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
	โกกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวส้ม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	^b 50.12±7.94	^{bc} 51.63±5.59	^{bc} 53.04±7.09	^c 46.11±6.37	^{bc} 55.19±8.50
6psu	^a 60.65±3.88 ^{ab}	^b 56.73±6.06 ^{bc}	^a 60.12±3.52 ^{ab}	^b 53.67±5.38 ^c	^{ab} 62.19±5.98 ^a
12psu	^a 58.55±5.61 ^a	^c 49.68±7.87 ^b	^c 50.36±7.60 ^b	^{ab} 58.46±8.08 ^a	^c 52.33±9.13 ^{ab}
18psu	^b 52.36±5.50 ^b	^{bc} 55.31±7.96 ^{ab}	^a 63.01±5.05 ^a	^{ab} 57.15±11.97 ^{ab}	^a 63.21±6.41 ^a
24psu	^a 62.70±4.02 ^b	^a 70.27±4.00 ^a	^{ab} 56.76±7.40 ^c	^a 62.27±4.99 ^b	^a 63.60±6.79 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมซ้ายมือ (แนวตั้ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเค็มของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4-34 เปอร์เซนต์การบำบัดดอร์โฟสเฟตของน้ำเสียต่างระดับความเค็ม ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

4.5 การบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในโครงการย่อยที่ 1-2

4.5.1 การบำบัดโลหะหนักในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2

ทองแดง (Cu)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณทองแดงเฉลี่ย 0.264, 0.281, 0.474, 0.732 และ 0.403 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณทองแดงลดลงโดยมีค่าอยู่ในช่วง < 0.100-0.242, <0.100-0.144, 0.128-0.228, <0.100-0.217 และ 0.104-0.347 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-59) (ค่า detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.100 mg/l)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดง มีค่าผันแปรสูง อยู่ระหว่าง 8.33- > 86.34% และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดงระหว่างระดับความเค็มของน้ำเสียพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 18psu มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด (ตารางที่ 4-60)

ตารางที่ 4-59 ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.264±0.232	0.242	0.128	< 0.100	< 0.100	0.168
6psu	0.281±0.033	< 0.100	0.114	0.144	0.141	< 0.100
12psu	0.474±0.148	0.128	0.148	0.143	0.228	0.189
18psu	0.732±0.233	0.155	< 0.100	0.211	0.111	0.217
24psu	0.403±0.035	0.334	0.321	0.104	0.347	0.176

หมายเหตุ Detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.1 mg/l

ตารางที่ 4-60 เปอร์เซนต์การบำบัดทองแดง ในระบบกะ โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	8.33	51.52	> 62.12	> 62.12	36.36
6psu	> 64.41	59.43	48.75	49.82	> 64.41
12psu	73.00	68.78	69.83	51.90	60.13
18psu	78.83	> 86.34	71.17	84.84	70.36
24psu	17.12	20.35	74.19	13.90	56.33

ตะกั่ว (Pb)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณตะกั่วใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.500-0.569 mg/l น้ำที่ผ่านการบำบัดจากทุกชุดทดลองมีปริมาณตะกั่วลดลงต่ำกว่าค่า detection limit (0.500 mg/l) (ตารางที่ 4-61)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่ว มีค่าระหว่าง > 0.00- > 12.05% และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่วระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำเสียพบว่า ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 12psu มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด (ตารางที่ 4-62)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่วของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-61 ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบกะ ไคโรกราฟที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกนกังใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.500±0.000	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
6psu	0.500±0.000	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
12psu	0.569±0.097	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
18psu	0.511±0.016	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
24psu	0.500±0.000	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500

หมายเหตุ Detection limit ของตะกั่วเท่ากับ 0.5 mg/l

ตารางที่ 4-62 เปอร์เซนต์การบำบัดตะกั่ว ในระบบกะ ไคโรกราฟที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โกนกังใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000
6psu	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000
12psu	> 12.05	> 12.05	> 12.05	> 12.05	> 12.05
18psu	> 2.15	> 2.15	> 2.15	> 2.15	> 2.15
24psu	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000	> 0.000

4.5.2 การบำบัดโลหะหนัก ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2

ทองแดง (Cu)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24 psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณทองแดงเฉลี่ย 0.156, 1.500, 2.466, 1.102 และ 1.548 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณทองแดงลดลง มีค่าอยู่ในช่วง < 0.100, < 0.100-0.206, 0.122-0.183, < 0.100-0.400 และ < 0.100-0.189 mg/l ตามลำดับ (ตารางที่ 4-63) (ค่า detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.100 mg/l)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดงของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu อยู่ในช่วง > 35.90, 86.27- >93.33, 92.58-95.05, 63.70- > 90.33 และ 87.79- > 93.54% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดงระหว่างระดับความเค็มของน้ำเสีย พบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่ปรับระดับความเค็ม (6psu, 12psu, 18psu และ 24psu) มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มปกติ (NW) (ตารางที่ 4-64)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดงของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด พบว่า ชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช

ตารางที่ 4-63 ปริมาณทองแดงของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.156±0.105	< 0.100	< 0.100	< 0.100	< 0.100	< 0.100
6psu	1.500±1.400	< 0.100	< 0.100	0.206	< 0.100	0.129
12psu	2.466±3.193	0.122	0.127	0.127	0.166	0.183
18psu	1.102±1.133	0.127	< 0.100	0.125	< 0.100	0.400
24psu	1.548±1.809	0.165	0.161	0.189	< 0.100	0.149

หมายเหตุ Detection limit ของทองแดงเท่ากับ 0.100 mg/l

ตารางที่ 4-64 เปอร์เซนต์การบำบัดทองแดง ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์การบำบัด (%)				
	โกลกใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	> 35.90	> 35.90	> 35.90	> 35.90	> 35.90
6psu	> 93.33	> 93.33	86.27	> 93.33	91.40
12psu	95.05	94.85	94.85	93.27	92.58
18psu	88.48	> 90.33	88.66	> 90.93	63.70
24psu	89.34	89.60	87.79	> 93.54	90.37

ตะกั่ว (Pb)

น้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18 psu และ 24psu ที่เข้าสู่ชุดทดลองมีปริมาณตะกั่วเฉลี่ย 0.500, 1.045, 1.129, 0.796 และ 1.264 mg/l ตามลำดับ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากทุกชุดทดลองมีปริมาณตะกั่วลดลงต่ำกว่าค่า detection limit (0.500 mg/l) (ตารางที่ 4-65) เช่นเดียวกับในระบบกะ

เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่วของน้ำเสีย NW, 6psu, 12psu, 18psu และ 24psu อยู่ในช่วง > 0.00, > 52.15, > 55.71, > 37.19 และ > 60.43% ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่ปรับระดับความเค็ม (6psu, 12psu, 18psu และ 24psu) มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเค็มปกติ (NW) (ตารางที่ 4-66) ซึ่งแนวโน้มนี้ไม่พบในระบบกะ

เปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่วของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ต่างชนิด และชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชมีค่าไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับระบบกะ

ตารางที่ 4-65 ปริมาณตะกั่วของน้ำก่อนและหลังการบำบัด ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	น้ำเข้า (mg/l)	น้ำออก (mg/l)				
		โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	0.500±0.000	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
6psu	1.045±0.771	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
12psu	1.129±0.890	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
18psu	0.796±0.419	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500
24psu	1.264±1.080	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500	< 0.500

หมายเหตุ Detection limit ของตะกั่วเท่ากับ 0.5 ppm

ตารางที่ 4-66 เปอร์เซนต์การบำบัดตะกั่ว ในระบบต่อเนื่อง โครงการที่ 1-2

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์การบำบัด (%)				
	โก่งกางใบใหญ่	แสมทะเล	พังกาหัวสุม	โปรงแดง	ไม่ปลูกพืช
NW	> 0.00	> 0.00	> 0.00	> 0.00	> 0.00
6psu	> 52.15	> 52.15	> 52.15	> 52.15	> 52.15
12psu	> 55.71	> 55.71	> 55.71	> 55.71	> 55.71
18psu	> 37.19	> 37.19	> 37.19	> 37.19	> 37.19
24psu	> 60.43	> 60.43	> 60.43	> 60.43	> 60.43

4.6 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด

4.6.1 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1

การบำบัดน้ำเสียโดยระบบการปล่อยน้ำแบบกะ พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD, TN และ TP มีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บนาน 7 วัน และ เปอร์เซ็นต์การบำบัดของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง และโดยทั่วไปไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนของเปอร์เซ็นต์การบำบัดของพืชต่างชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ไม่มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช นอกจากนั้นพบว่าชุดทดลองสามารถใช้บำบัด BOD ในน้ำเสีย 10 NW ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 100 mg/l ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน 20 mg/l โดยใช้ระยะพักเก็บ 5 วัน (ยกเว้นชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช) และสามารถบำบัด TN ในน้ำเสีย 10 NW ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน 35 mg/l เมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บนาน 7 วัน (ยกเว้นชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืช)

4.6.2 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1

การบำบัดน้ำเสียโดยระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่อง พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD, TN และ TP มีค่าสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาพักเก็บ 7 วัน และเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD และ TP ของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นสูง (5NW และ 10NW) สูงกว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (2NW และ NW) แต่สำหรับเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 5NW จะมีค่าสูงสุด ขณะที่ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 10NW มีค่าต่ำสุด ซึ่งเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ของน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้นจะมีแนวโน้มผันแปรและไม่ชัดเจน และโดยทั่วไป ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนของเปอร์เซ็นต์การบำบัดของกล้าไม้แต่ละชนิด นอกจากนั้นพบว่า ชุดทดลองสามารถใช้บำบัดน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าเฉลี่ย BOD ประมาณ 100 mg/l ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน 20 mg/l โดยใช้ระยะพักเก็บเพียง 3 วัน แต่ไม่สามารถบำบัด TN ของน้ำเสีย 10NW ซึ่งมีค่าประมาณ 200 mg/l ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน 35 mg/l ถึงแม้จะใช้ระยะพักเก็บนาน 7 วัน ก็ตาม

4.6.3 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2

การบำบัดน้ำเสียที่มีระดับความเค็มต่างกันโดยระบบการปล่อยน้ำแบบกะ พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด TN มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP มีแนวโน้มตรงข้าม คือ มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น และโดยทั่วไปไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การบำบัดระหว่างกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด แต่พบแนวโน้มว่าชุดทดลองที่ปลูกแสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดทั้ง TN และ TP สูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้ชนิดอื่น สำหรับเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ของน้ำเสียต่างระดับความเค็มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบแนวโน้มว่าน้ำเสียระดับความเค็มใดมีเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD สูง และพบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD ในชุดควบคุมที่ไม่ปลูกพืชสูงกว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในชุดควบคุมมี DO ของน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงกว่า เนื่องจากสภาพของชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แน่นทึบทำให้การเติมอากาศโดยลมและแสงที่ส่องถึงผิวน้ำเป็นไปอย่างจำกัด ดังนั้น จะเห็นว่าการกำหนดระยะปลูกหรือความหนาแน่นของพืช นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

4.6.4 สรุปประเด็นด้านคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัด ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2

การบำบัดน้ำเสียที่มีระดับความเค็มต่างกันโดยระบบการปล่อยน้ำแบบเดิมต่อเนื่อง พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น (แต่แนวโน้มไม่ชัดเจน) ส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด TN ไม่สามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียความเค็มใดมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด แต่พบว่าชุดทดลองที่ปลูกกล้าไม้แสมทะเลมีเปอร์เซ็นต์การบำบัดสูงสุด ซึ่งแนวโน้มนี้มีลักษณะเดียวกับระบบกะ สำหรับเปอร์เซ็นต์การบำบัด $\text{NH}_3\text{-N}$ มีแนวโน้มว่า มีค่าต่ำลงเมื่อน้ำเสียมีความ

เข้มข้นสูงขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การบำบัด TP มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียมีความเค็มสูงขึ้น โดยลำดับ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเดียวกันกับระบบกะ และข้อสังเกตที่สำคัญคือ เปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD, TN แอมโมเนีย และ TP ของระบบเดิมต่อเนื่องมีค่าต่ำกว่าระบบกะ ซึ่งสาเหตุประการหนึ่งคืออัตราการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบเดิมต่อเนื่องมีค่าต่ำ

4.6.5 สรุปประเด็นด้านประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในโครงการย่อยที่ 1-2

การบำบัดโลหะหนัก (ทองแดงและตะกั่ว) ในระบบการปล่อยน้ำแบบกะและแบบเดิมต่อเนื่อง พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียที่ปรับระดับความเค็ม (6psu, 12psu, 18psu และ 24psu) มีค่าสูงกว่าน้ำเสียความเค็มปกติ (NW) (อย่างไรก็ตามไม่พบแนวโน้มดังกล่าวในระบบกะ) นอกจากนี้พบว่า เปอร์เซ็นต์การบำบัดทองแดงสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัดตะกั่วทั้งในระบบการปล่อยน้ำแบบกะและแบบเดิมต่อเนื่อง

บทที่ 5

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้

เนื้อหาในบทที่ 5 จะประกอบด้วยผลการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในโครงการที่ 1 การหาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน ของโครงการย่อยทั้งสองโครงการ คือ โครงการย่อยที่ 1-1 ผลของระยะเวลากักเก็บและความเข้มข้นของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน และโครงการย่อยที่ 1-2 ผลของความเค็มของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำป่าชายเลน โดยได้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอ ดังนี้

- 5.1 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-1
- 5.2 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-1
- 5.3 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบกะ ในโครงการย่อยที่ 1-2
- 5.4 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้ ในระบบเดิมต่อเนื่อง ในโครงการย่อยที่ 1-2
- 5.5 สรุปประเด็นด้านการเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้

5.1	การเจริญเติบโตและองค์ประกอบธาตุอาหารของกล้าไม้	ในระบบกะ	ในโครงการย่อยที่	1-1
5.1.1	การเจริญเติบโตของกล้าไม้	ในระบบกะ	ในโครงการย่อยที่	1-1

ได้ทำการวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด คือ โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุมดอกแดง และโปรงแดง 10 ครั้ง คือ ก่อนการทดลอง และภายหลังการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระยะกักเก็บ 7, 5 และ 3 วัน (ซึ่งทำการทดลองระยะกักเก็บละ 3 ซ้ำ)

การศึกษามวลชีวภาพใช้การสุ่มตัวแทนของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ชนิดละ 40 ต้น เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพกับความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง จากนั้นสามารถนำค่าความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละครั้งที่ทำการวัดไปแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณมวลชีวภาพ และนำไปคำนวณหาอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ

ผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

การเจริญเติบโตด้านความสูง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่มีความสูงเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 62.90-69.30 เซนติเมตร อันดับที่ 2 คือ แสมทะเล 59.30-66.73 เซนติเมตร อันดับที่ 3 คือ พังกาหัวสุมดอกแดง 43.58-47.81 เซนติเมตร โปรงแดง มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด 37.75-42.28 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า แสมทะเลมีความสูงเฉลี่ยสูงสุดอยู่ระหว่าง 73.14-91.03 เซนติเมตร อันดับที่ 2 คือ โกงกางใบใหญ่ 70.77-79.97 เซนติเมตร อันดับที่ 3 คือ พังกาหัวสุม 53.88-62.67 เซนติเมตร และ โปรงแดง มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด 46.66-53.25 เซนติเมตร (ตารางที่ ข 1 ภาคผนวก ข)

เมื่อคำนวณอัตราการเพิ่มพูนความสูงต่อเดือนของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเพิ่มพูนความสูง ระหว่างชนิดกล้าไม้ และระหว่างกล้าไม้ชนิดเดียวกันที่ได้รับน้ำเสีย ความเข้มข้นต่างกัน และระยะกักเก็บต่างกัน โดยวิธี three-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถสรุปได้ดังนี้

อัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยภายหลังการทดลองทุกระยะกักเก็บ พบว่า แสมทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด ขณะที่กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ พังกาหัวสุม และโปรงแดง มีอัตราการเพิ่มพูนความสูงต่ำกว่าและมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 5-1)

อัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ เมื่อใช้ระยะกักเก็บน้ำเสียต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน กล้าไม้ทุกชนิดมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุด เรียงตามลำดับดังนี้คือ แสมทะเล 6.22-14.39 เซนติเมตร/เดือน พังกาหัวสุม 4.14-7.36 เซนติเมตร/เดือน โกงกางใบใหญ่ 2.21-4.14 เซนติเมตร/เดือน และโปรงแดง 2.16-3.71 เซนติเมตร/เดือน และเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน และ 5 วัน พบว่า โดยทั่วไปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน พังกาหัวสุมและโปรงแดงมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน แต่โกงกางใบใหญ่และแสมทะเลกลับมีแนวโน้มตรงข้าม

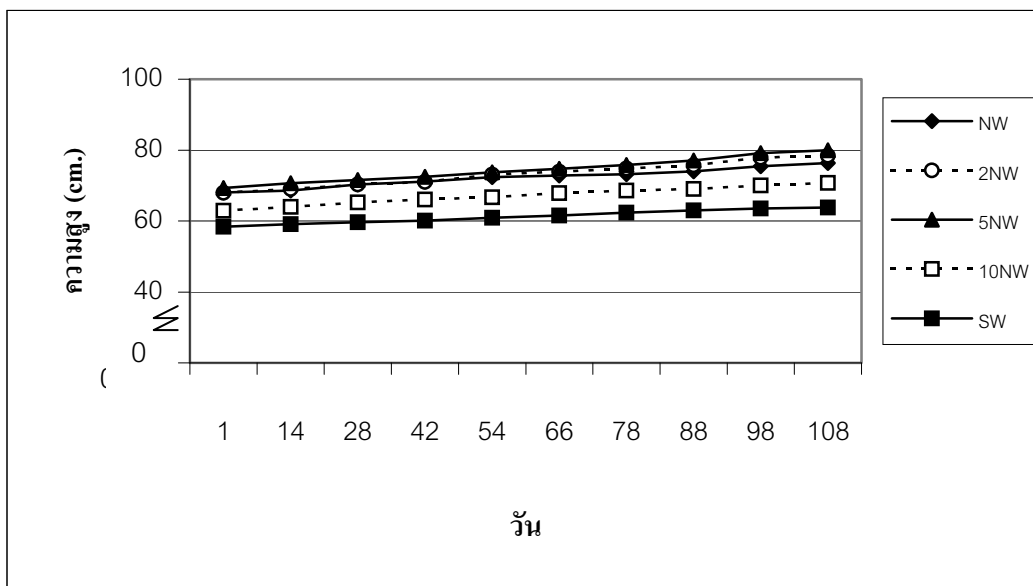
สาเหตุที่กล้าไม้ทุกชนิดอัตราการเพิ่มพูนความสูง สูงที่สุดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน เนื่องจากเมื่อระยะกักเก็บสั้นลงดินจะมีการระบายอากาศดีขึ้น มีการแลกเปลี่ยนอากาศบริเวณรากพืช อีกทั้งการทดลองกักเก็บน้ำเสียด้วยระยะกักเก็บ 3 วัน เป็นการทดลองที่ทำภายหลังระยะกักเก็บ 7 วัน และ 5 วัน ตามลำดับ กล้าไม้เริ่มมีอายุมากขึ้นทำให้เจริญเติบโตเป็นไปอย่างรวดเร็ว กอปรกับพื้นที่ในชุดทดลองจำกัด ทำให้กล้าไม้ต้องแก่งแย่งรับแสงแดดทำให้อัตราการเพิ่มพูนความสูงเป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งจากการสังเกตพบว่ากล้าไม้ที่อยู่ด้านในของชุดทดลองจะสูงกว่ากล้าไม้ที่อยู่บริเวณขอบ

อัตราเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ เมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า โดยทั่วไปกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด มีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงที่สุดเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้น 5NW รองลงมาคือ 10NW, 2NW และ NW ตามลำดับ (รูปที่ 5-1) และชุดทดลองควบคุมที่ได้รับน้ำทะเลมีอัตราการเพิ่มพูนความสูงต่ำที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Bolton and Greenway (1997) ซึ่งทำการศึกษาในพืชสกุลเสม็ด (*Melaleuca*) โดยใช้น้ำเสีย 4 ประเภท คือ น้ำเสียชุมชน (ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แล้ว) น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี TN และ TP เป็น 0.5 เท่าของน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี TN เป็น 2 เท่าของน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี TP เป็น 2 เท่าของน้ำเสียชุมชน พบว่า เสม็ดในชุดทดลองได้รับน้ำเสียที่มี TN เป็น 2 เท่า มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ส่วนชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียที่มี TN และ TP เป็น 0.5 เท่า มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้พบว่า กล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสีย 5NW มีอัตราการเพิ่มพูนความสูงสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสีย 10NW อาจเป็นเพราะน้ำเสีย 10NW มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ปริมาณ DO ต่ำ ทำให้ดินมีสภาพรีดิวซ์ รากพืชอาจทำงานผิดปกติ การดูดดึงและลำเลียงธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตถูกยับยั้ง (Pezeshki, 2001)

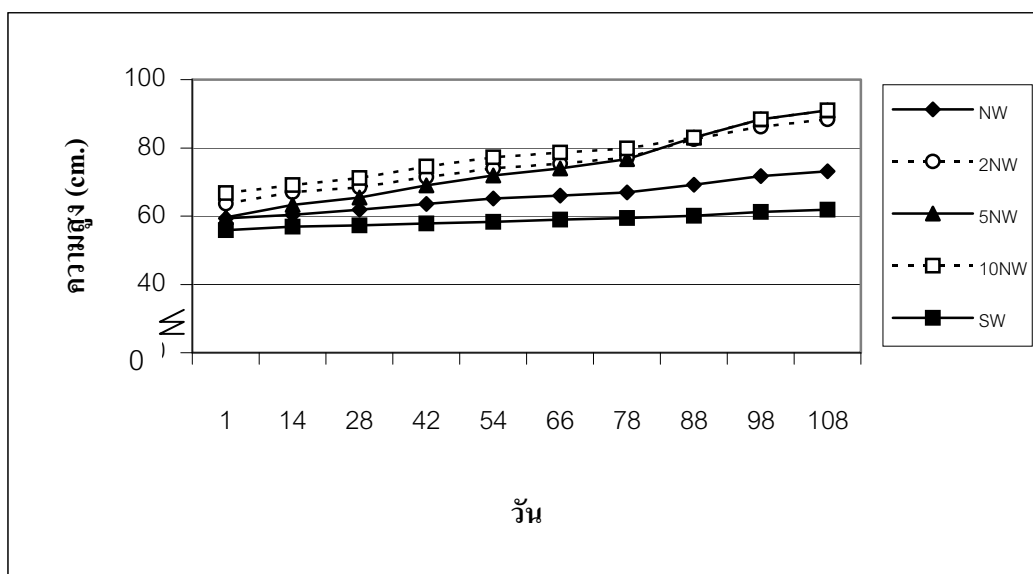
ตารางที่ 5-1 อัตราการเพิ่มพูนความสูงของกล้าไม้ ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่าศูนย์กลาง ก่อนการทดลอง (cm)	อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเดือน (cm.)		
			ภายหลัง ระยะกักเก็บ 7 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 5 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 3 วัน
โกก้างใบใหญ่	NW	68.03±10.84	^a 2.22±0.82 ^b	^b 1.42±0.87 ^c	^{ab} 3.17±1.38 ^a
	2NW	67.98±8.43	^a 2.17±1.46 ^b	^{ab} 2.38±1.02 ^b	^{ab} 3.59±1.48 ^a
	5NW	69.30±8.32	^a 2.23±0.83 ^b	^{ab} 1.90±0.84 ^b	^a 4.14±1.65 ^a
	10NW	62.90±7.64	^a 2.24±0.75	^b 1.54±1.44	^c 2.21±1.47
	SW	58.38±7.50	^b 1.21±0.70	^b 1.23±0.62	^{bc} 1.47±1.10
แสมทะเล	NW	59.30±9.38	^b 3.06±1.38 ^b	^b 2.02±1.97 ^b	^c 6.22±2.30 ^a
	2NW	63.62±11.31	^a 5.55±1.84 ^b	^a 3.33±2.39 ^b	^b 11.30±6.45 ^a
	5NW	59.64±10.36	^{ab} 6.67±2.43 ^b	^a 3.76±2.55 ^b	^{ab} 14.39±5.67 ^a
	10NW	66.73±10.49	^a 6.17±3.52 ^b	^a 3.42±1.82 ^c	^{ab} 9.95±4.49 ^a
	SW	55.91±6.09	^c 1.41±0.82 ^b	^{bc} 0.83±1.07 ^b	^c 2.38±1.67 ^a
พังกาหัวส้ม	NW	44.42±5.62	^a 1.89±0.66 ^b	^b 1.67±0.80 ^b	^c 4.14±2.50 ^a
	2NW	47.81±6.92	^a 1.82±0.84 ^c	^{ab} 3.14±1.69 ^b	^a 7.36±2.63 ^a
	5NW	43.58±3.11	^a 1.93±0.85 ^b	^a 2.59±1.12 ^b	^{bc} 5.42±2.38 ^a
	10NW	47.20±6.02	^a 1.90±1.04 ^b	^a 2.79±1.23 ^b	^b 5.70±2.72 ^a
	SW	44.04±6.27	^b 1.07±0.45 ^a	^c 0.57±0.39 ^b	^d 0.92±0.58 ^a
โปรงแดง	NW	39.55±5.44	^a 2.06±0.84 ^b	^a 2.97±1.28 ^a	^b 2.16±1.20 ^b
	2NW	37.75±4.81	^{ab} 1.72±0.77 ^b	^b 2.13±0.58 ^b	^a 3.22±1.49 ^a
	5NW	42.28±5.15	^a 2.04±0.98 ^b	^{ab} 2.56±0.92 ^b	^a 3.71±1.45 ^a
	10NW	40.74±3.94	^{bc} 1.56±0.62 ^b	^{ab} 2.60±0.96 ^a	^a 2.19±0.87 ^a
	SW	35.80±3.76	^c 1.18±0.46	^c 1.27±0.73	^b 1.69±1.14

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวนั่ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนั่ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

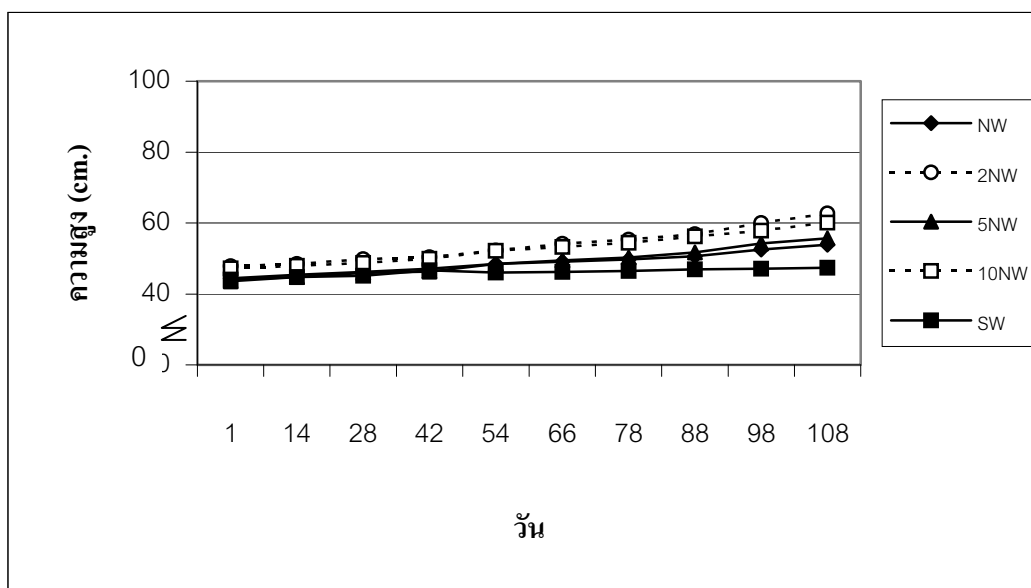


(ก) โก่งกางใบใหญ่

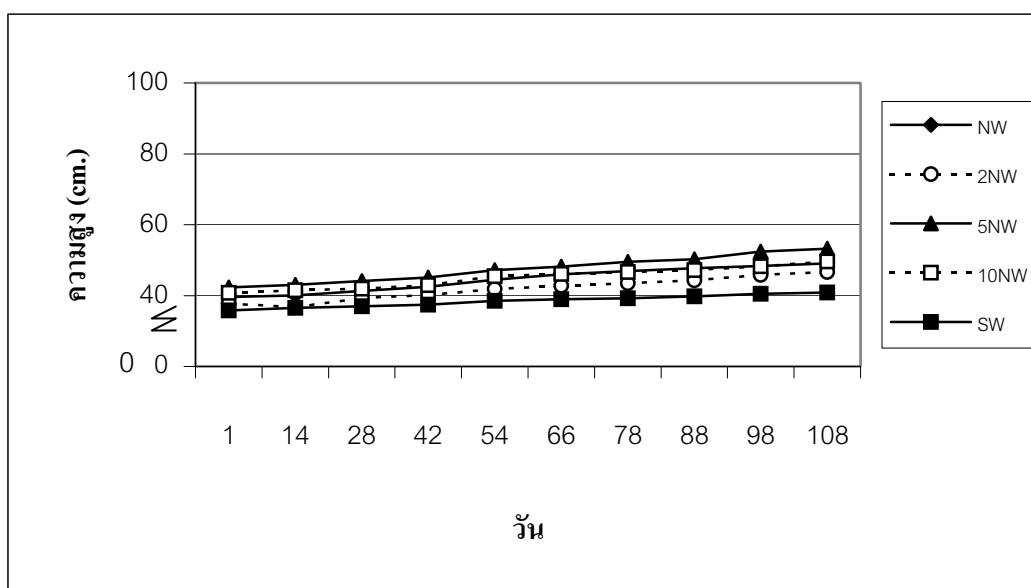


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 5-1 การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่ 1-1



(ค) พังกาหัวสุม



(ง) โปร่งแดง

รูปที่ 5-1 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านความสูงของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ ไครการที่ 1-1

การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุม และโปรงแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.68-1.58, 0.51-0.60, 0.47-0.53 และ 0.48-0.54 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเป็น 1.89-1.95, 0.79-0.89, 0.83-0.94 และ 0.72-0.87 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ ข 2 ภาคผนวก ข)

อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า เมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน โกงกางใบใหญ่มีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด และเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 และ 3 วัน พังกาหัวสุมมีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุด (ตารางที่ 5-2) ทั้งนี้เพราะโกงกางใบใหญ่เป็นพืชที่ชอบดินเลนและสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ดี ขณะที่พังกาหัวสุมเป็นพืชที่ชอบดินที่มีสภาพการระบายน้ำดี (สนิท อักษรแก้ว, 2542) และสอดคล้องกับ Ye et al. (2003) ซึ่งทดลองใส่น้ำเสียลงสู่ชุดทดลองซึ่งปลูกพังกาหัวสุมดอกแดง โดยใช้ระยะกักเก็บน้ำเสียต่างกัน 3 แบบ คือ แบบที่ 1 กักเก็บน้ำเสีย 12 สัปดาห์ แบบที่ 2 กักเก็บน้ำเสีย 8 สัปดาห์ แล้วปล่อยให้แห้ง 4 สัปดาห์ และแบบที่ 3 กักเก็บน้ำเสีย 4 สัปดาห์ แล้วปล่อยให้แห้ง 8 สัปดาห์ พบว่า เมื่อกักเก็บน้ำเสียนาน 12 สัปดาห์ จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพังกาหัวสุมลดลง

สำหรับกล้าไม้โปรงแดง พบว่า อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน รองลงมาคือ 5 วัน และต่ำสุดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 7 วัน ทั้งนี้เพราะพืชสกุลโปรงชอบดินที่มีสภาพการระบายน้ำดี และเป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นในแนวเขตด้านหลังของป่าชายเลน (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

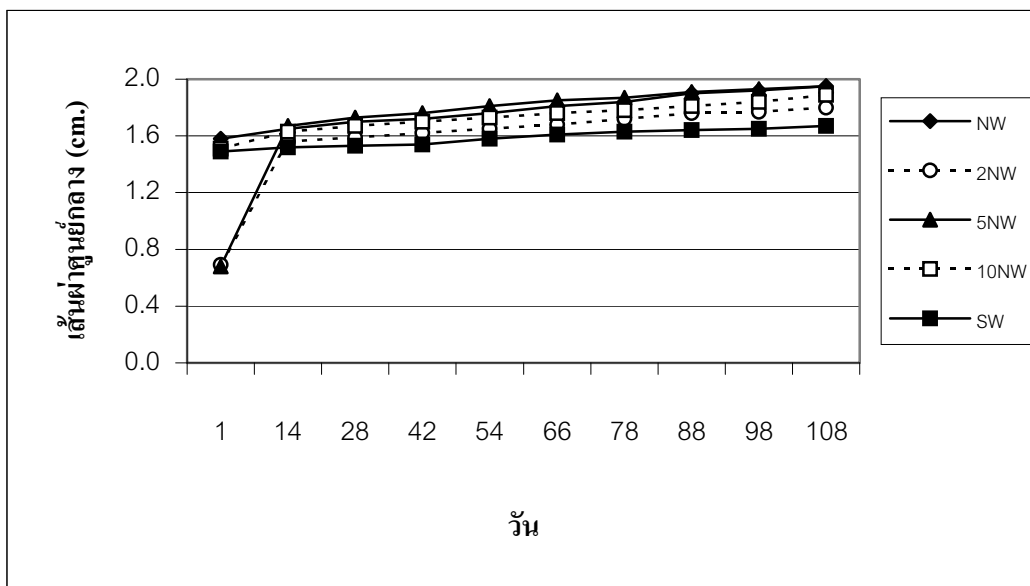
สำหรับกล้าไม้แสมทะเล พบว่า อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุดเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 วัน เพราะถึงแม้พืชสกุลแสมมักขึ้นอยู่ในแนวเขตด้านหน้าของป่าชายเลนถัดจากสกุลโกงกาง แต่ชอบดินที่มีสภาพการระบายน้ำดี (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ เมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าก่อนข้างผ่นแปร มีแนวโน้มว่ากล้าไม้มีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงที่สุดเมื่อได้รับน้ำเสียความเข้มข้น 5NW แต่ที่เห็นได้ชัดเจนคือ กล้าไม้ทุกชนิดที่ได้รับน้ำเสียมีอัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำทะเล (รูปที่ 5-2)

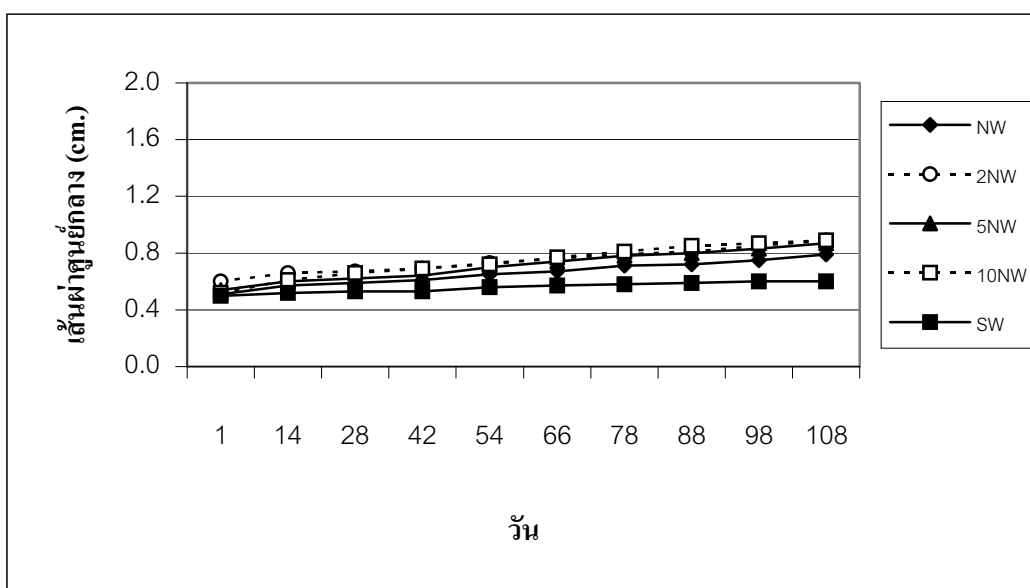
ตารางที่ 5-2 อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ ในระบบกะ โครงการที่ 1-1

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	เส้นผ่าศูนย์กลาง ก่อนการทดลอง (cm)	อัตราการเพิ่มพูนเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเดือน (cm.)		
			ภายหลัง ระยะกักเก็บ 7 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 5 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 3 วัน
โกก้างใบใหญ่	NW	1.58±0.19	^ก 0.10±0.05	0.10±0.05	^ข 0.11±0.07
	2NW	0.69±0.11	^ก 0.09±0.03	^ข 0.08±0.04	^ข 0.08±0.05
	5NW	0.68±0.13	^ก 0.12±0.05	^ก 0.09±0.06	^บ 0.08±0.06
	10NW	1.51±0.23	^า 0.09±0.05	^ก 0.07±0.03	^า 0.10±0.10
	SW	1.49±0.24	^บ 0.03±0.02	^ก 0.08±0.05	^บ 0.05±0.03
แสมทะเล	NW	0.51±0.11	^ข 0.07±0.03	^บ 0.09±0.07	^ข 0.08±0.06
	2NW	0.60±0.10	^ข 0.07±0.02	^ข 0.08±0.05	^ข 0.10±0.08
	5NW	0.54±0.11	^ข 0.07±0.04	^ข 0.12±0.07	^า 0.09±0.07
	10NW	0.52±0.09	^า 0.09±0.05	^ก ^ข 0.11±0.04	^า 0.08±0.04
	SW	0.50±0.07	^ค 0.02±0.01	^ก ^ข ^ค 0.04±0.03	^บ 0.02±0.02
พังกาหัวส้ม	NW	0.51±0.12	^ข ^ค 0.06±0.02	^า 0.13±0.05	^ก 0.16±0.07
	2NW	0.52±0.08	^ข ^บ ^ค 0.06±0.03	^ก 0.15±0.06	^ก 0.16±0.08
	5NW	0.47±0.08	^ข 0.09±0.04	^ก 0.13±0.05	^บ 0.08±0.05
	10NW	0.53±0.10	^บ 0.08±0.05	^ก 0.13±0.05	^บ 0.10±0.05
	SW	0.52±0.13	^ด 0.03±0.02	^ข 0.05±0.04	^ค 0.03±0.04
โปรงแดง	NW	0.56±0.08	^ข 0.06±0.03	^ค 0.05±0.03	^ข 0.09±0.05
	2NW	0.48±0.10	^ข 0.06±0.03	^ข ^บ ^ค 0.07±0.04	^ข 0.08±0.06
	5NW	0.55±0.08	^ข 0.08±0.04	^ก 0.11±0.06	^า 0.08±0.05
	10NW	0.54±0.09	^า 0.08±0.03	^ข ^ค 0.09±0.04	^า 0.07±0.04
	SW	0.47±0.08	^ค 0.02±0.01	^ก ^บ ^ค 0.07±0.05	^บ 0.03±0.03

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

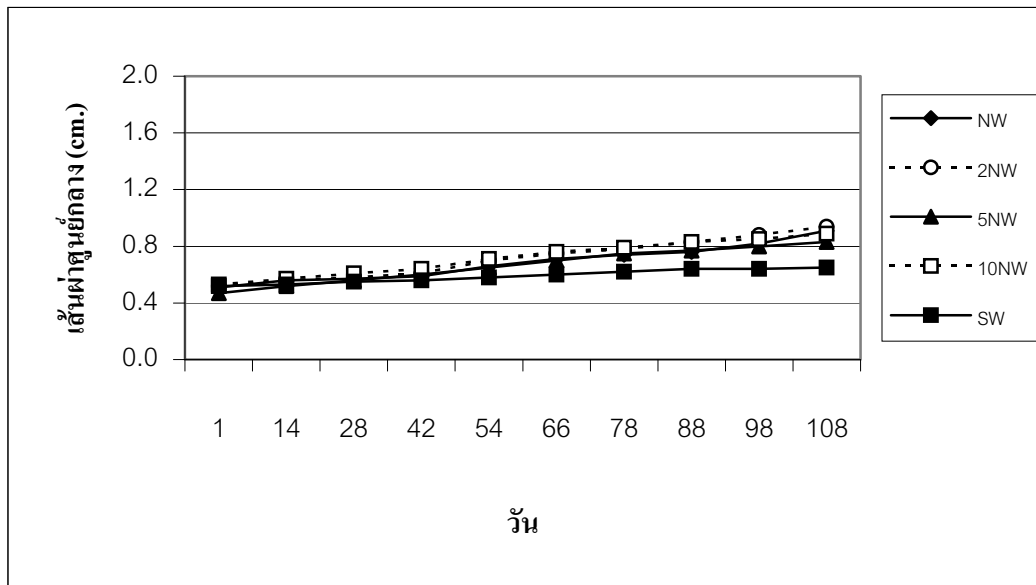


(ก) โกงกางใบใหญ่

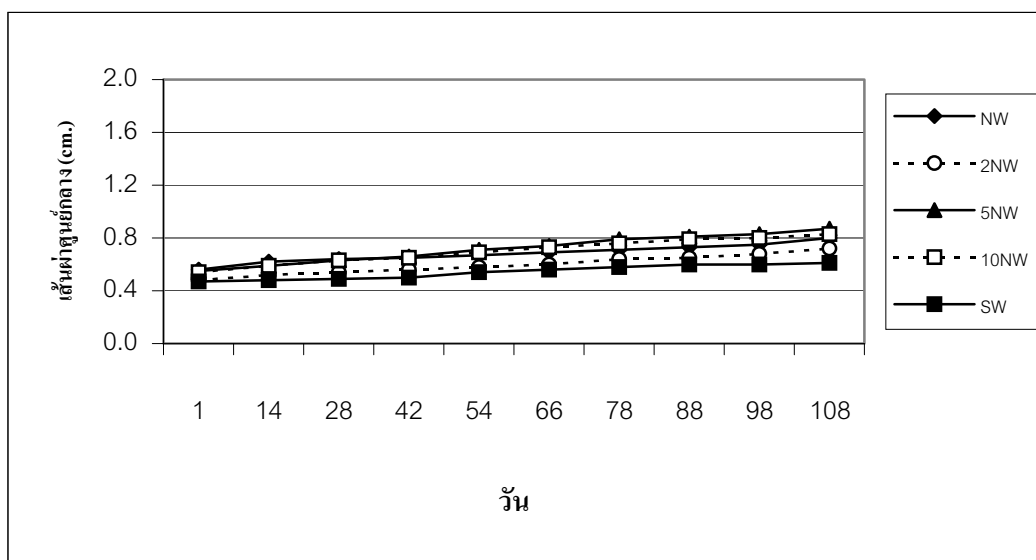


(ข) แสมทะเล

รูปที่ 5-2 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ โครงการที่



(ค) พังกาหัวสุม



(ง) โปรงแดง

รูปที่ 5-2 (ต่อ) การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของกล้าไม้ที่ปลูกในน้ำเสียต่างระดับความเข้มข้น ในระบบกะ
โครงการที่

การเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ

ได้ทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพของลำต้นและใบของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด เพื่อประเมินการเจริญเติบโตด้านมวลชีวภาพ สมการมวลชีวภาพและค่า R^2 แสดงในรูปที่ ข 1 ถึง ข 4 ภาคผนวก ข

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกกงางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุม และโปรงแดง มีมวลชีวภาพลำต้น 59.84-76.34, 9.42-12.54, 9.18-12.00 และ 6.13-7.83 กรัม/ม² ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีมวลชีวภาพลำต้น เพิ่มขึ้นเป็น 100.90-119.15, 20.72-28.26, 29.69-41.60 และ 12.47-17.78 กรัม/ม² ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากล้าไม้โกกงางใบใหญ่มีมวลชีวภาพลำต้นสูงกว่ากล้าไม้อื่นอย่างชัดเจน ถัดมาคือ พังกาหัวสุม แสมทะเล และโปรงแดง ตามลำดับ (ตารางที่ ข 3 ภาคผนวก ข)

ก่อนการทดลองบำบัดน้ำเสีย ในชุดทดลองที่ใช้บำบัดน้ำเสีย กล้าไม้โกกงางใบใหญ่ แสมทะเล พังกาหัวสุม และโปรงแดง มีมวลชีวภาพใบ 8.25-10.75, 5.50-7.29, 0.50-0.70 และ 3.23-6.25 กรัม/ม² ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีมวลชีวภาพใบ เพิ่มขึ้นเป็น 14.55-17.46, 11.3-16.19, 2.14-3.27 และ 18.73-33.44 กรัม/ม² ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าโปรงแดงมีมวลชีวภาพใบสูงที่สุด ถัดมาคือ โกกงางใบใหญ่ แสมทะเล และพังกาหัวสุม ตามลำดับ (ตารางที่ ข 4)

อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโกกงางใบใหญ่จะมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นสูงสุด อันดับที่ 2 คือ พังกาหัวสุม อันดับที่ 3 คือ แสมทะเล ขณะที่โปรงแดงมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่ำสุด (ตารางที่ 5-3)

อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ เมื่อใช้ระยะกักเก็บน้ำเสียต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 3 วัน กล้าไม้แสมทะเล พังกาหัวสุม และโปรงแดง มีอัตราการเพิ่มพูนสูงกว่าเมื่อใช้ระยะกักเก็บ 5 และ 7 วัน ทั้งนี้เพราะกล้าไม้ดังกล่าวชอบดินที่เป็นดินเลนค่อนข้างแข็งหรือดินเลนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี (Chapman and Ronaldson, 1958 อ้างถึงใน สนิท อักษรแก้ว, 2542)

อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ ที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีแนวโน้มว่ากล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสีย 5NW มีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพสูงที่สุด แต่แนวโน้มดังกล่าวค่อนข้างไม่ชัดเจนและผันแปรมาก อย่างไรก็ตามกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ที่ได้รับน้ำเสียมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้น้ำทะเลอย่างชัดเจน (ตารางที่ 5-3 และรูปที่ 5-3)

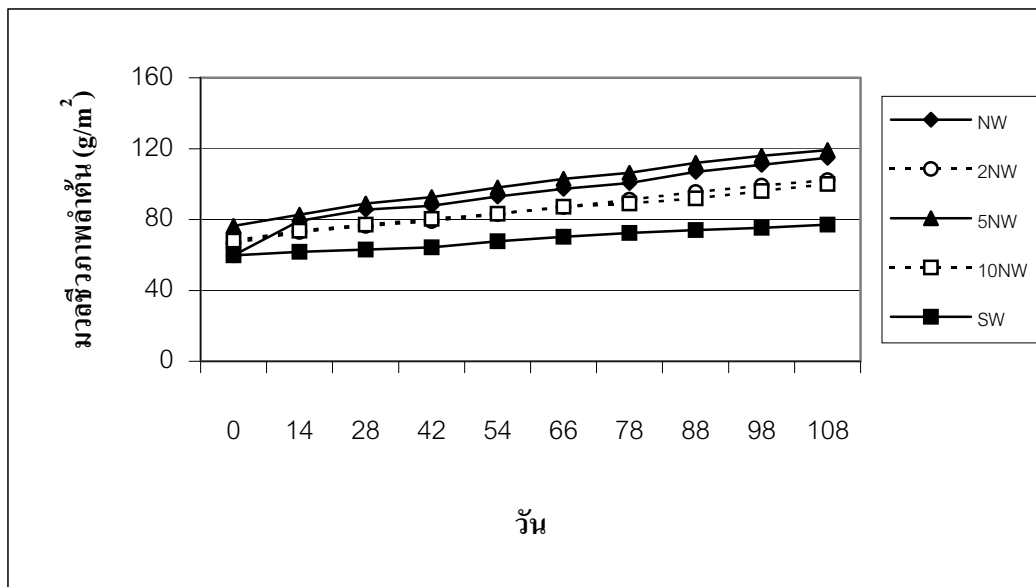
อัตราการเพิ่มพูนชีวภาพใบของกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโปรงแดงจะมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบสูงสุด อันดับที่ 2 คือ แสมทะเล อันดับที่ 3 คือ โกกงางใบใหญ่ และพังกาหัวสุมมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบต่ำสุด (ตารางที่ 5-4)

อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบของกล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้น คือ กล้าไม้ที่ได้รับน้ำเสีย 5NW มีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบสูงที่สุด แต่แนวโน้มดังกล่าวผันแปรมาก และกล้าไม้ทั้ง 4 ชนิด ที่ได้รับน้ำเสียมีอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพใบสูงกว่ากล้าไม้ที่ได้น้ำทะเลอย่างชัดเจน (ตารางที่ 5-4 และรูปที่ 5-4)

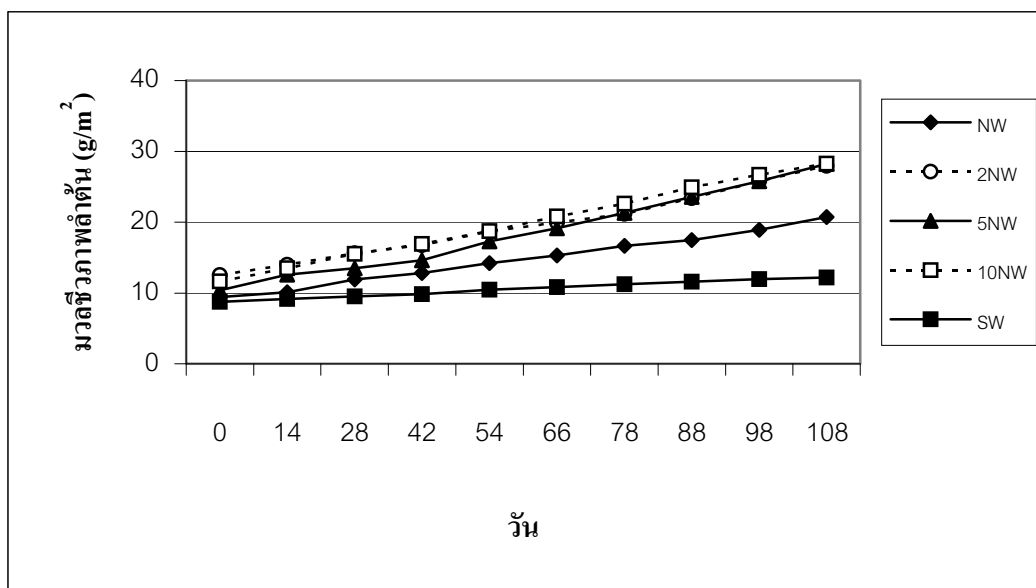
ตารางที่ 5-3 อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพลำต้นของกล้าไม้ ในระบบกะ ไคร่งการที่ 1-1

ชนิดพืช	ชุดทดลอง	มวลชีวภาพ ก่อนการทดลอง (g/m ²)	อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพต่อเดือน (g/m ²)		
			ภายหลัง ระยะกักเก็บ 7 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 5 วัน	ภายหลัง ระยะกักเก็บ 3 วัน
โก่งกางใบใหญ่	NW	59.84±20.80	^a 23.61±16.34 ^a	^{ab} 10.57±5.59 ^b	^a 14.41±9.11 ^b
	2NW	66.59±18.52	^b 8.91±3.06	^{ab} 10.16±4.12	^a 10.86±5.72
	5NW	76.34±21.51	^{ab} 11.68±4.61	^a 11.25±6.24	^a 12.95±7.05
	10NW	68.04±18.15	^b 8.80±3.76	^{bc} 7.78±3.63	^a 11.20±8.55
	SW	59.84±20.80	^c 3.12±0.21	^c 6.81±4.05	^b 4.76±2.79
แสมทะเล	NW	9.42±3.60	^b 2.44±0.97 ^b	^c 3.20±2.55 ^{ab}	^b 4.04±2.10 ^a
	2NW	12.54±3.85	^b 2.99±0.98 ^b	^{bc} 3.72±1.72 ^b	^a 6.74±3.86 ^a
	5NW	10.39±3.68	^{ab} 3.04±1.29 ^b	^a 5.54±3.12 ^a	^a 6.92±3.92 ^a
	10NW	11.67±3.07	^a 3.77±1.73 ^b	^{ab} 4.72±1.59 ^{ab}	^{ab} 5.64±2.43 ^a
	SW	8.76±2.13	^c 0.77±0.42	^d 1.17±0.85	^c 0.94±0.76
พังกาหัวสุ่ม	NW	11.06±5.33	^c 2.57±1.04 ^c	^b 6.16±2.82 ^b	^{ab} 11.65±5.80 ^a
	2NW	11.87±3.84	^{bc} 2.87±1.67 ^c	^a 9.12±4.79 ^b	^a 14.76±8.27 ^a
	5NW	9.18±2.86	^{ab} 3.71±1.79 ^b	^b 6.99±3.13 ^a	^c 6.92±3.31 ^a
	10NW	12.00±4.49	^a 4.01±2.76 ^b	^{ab} 8.15±4.04 ^a	^{bc} 9.51±5.61 ^a
	SW	11.42±6.23	^d 1.42±0.98	^c 2.03±1.37	^d 1.32±1.82
โปรงแดง	NW	7.83±1.95	^a 1.59±0.60 ^b	^{bc} 1.88±1.01 ^b	^a 2.79±1.40 ^a
	2NW	6.13±1.76	^b 1.22±0.55 ^b	^{bc} 1.89±1.00 ^a	^a 2.35±1.39 ^a
	5NW	8.02±2.07	^a 1.97±0.99 ^b	^a 3.33±1.75 ^a	^a 3.00±1.42 ^a
	10NW	7.65±2.14	^a 1.86±0.61 ^b	^b 2.59±0.98 ^a	^a 2.49±1.33 ^a
	SW	5.63±1.60	^c 0.51±0.22 ^b	^c 1.50±0.93 ^a	^b 0.90±0.86 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมซ้ายมือ (แนวดิ่ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษมุมขวามือ (แนวนอน) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 ตัวอักษรภาษาไทยมุมซ้ายมือ (แนวดิ่ง) ที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



(ก) โก่งกางใบใหญ่



(ข) แสมทะเล