



รายงานการวิจัย

ศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการ
เพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

(The potential use of constructed wetlands in reclamation water
for *Hybrid Catfish* aquaculture)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการ
เพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

(The potential use of constructed wetlands in reclamation water
for *Hybrid Catfish* aquaculture)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรียา ยิ้มรัตน์บวร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ บุญอนันตสร

สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ สำนักวิชาเทคโนโลยีเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม/2556

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553 ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย สถานที่ในการทำวิจัย และเครื่องมือ-อุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์ และผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

- นางสาวโสธิชา กิจอาสา และนายกันตพงษ์ เผือกแก้ว ผู้ช่วยในการวิจัยใน ส่วน การศึกษาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ และ นางสาวชนิษฐา ดิษทัต นางสาวปานประดับ สินปรุ และ นางสาว วันเพ็ญ ภัคดีจอหอ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต ที่ได้ทำร่วมทำวิจัยโครงการนี้ในรายวิชา 303485 ปัญหาพิเศษ

- นายสุนัย พลายมี หัวหน้างานสัตว์น้ำ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมทั้ง บุคลากรฝ่ายสนับสนุนทุกท่าน ที่ได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี และนางสาวศิริวรรณ เพชรสมบัติ หัวหน้างานกลุ่มห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ และนายมานะ ชาญ เวช พนักงานวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ที่ได้ให้การช่วยเหลือ และคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากรและนักศึกษา ของสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและ สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ที่ได้ให้การช่วยเหลือ คำแนะนำ และการสนับสนุนในด้านต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้ ทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2556

บทคัดย่อ

ศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม

น้ำเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณมากและมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ การศึกษาครั้งนี้นำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม และหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่เป็นการลดการใช้ทรัพยากรน้ำ การศึกษาประกอบด้วยชุดทดลองจำนวน 2 ชุด ได้แก่ (1) ชุดควบคุม (CAS) ประกอบไปด้วยบ่อเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม โดยใช้น้ำประปา จำนวน 3 บ่อ และ (2) ชุดทดลอง (RAS) ประกอบไปด้วยบ่อเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม 4 บ่อ โดยใช้น้ำที่ผ่านระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมระหว่าง แบบไหลใต้ผิว-แบบไหลผ่านพื้นผิว (SF-FWS) ทำการเดินระบบภายใต้สภาวะอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าระบบ SF-FWS มีประสิทธิภาพในการกำจัด สารอินทรีย์ในรูป BOD₅, COD TKN และ TP เท่ากับ ร้อยละ 55.29, 69.83, 42.36 และ 48.18 ตามลำดับ ค่าคุณภาพน้ำที่หมุนเวียนออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้น ค่าแอมโมเนีย และ TP ค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม ทั้งแบบ CAS และ RAS มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของคุณภาพน้ำที่การหมุนเวียนออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ต่อ สมรรถนะการเจริญเติบโต สุขภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลาของปลาตุ๊กตาส้ม (*C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) ที่ระยะเวลาการทดลอง 5 เดือน แผนการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ประกอบด้วย 2 ทรีทเมนต์ คือ ระบบ RAS และ ระบบ CAS ในแต่ละทรีทเมนต์ ประกอบด้วยจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ ทำการเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้มด้วยความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร ในบ่อซีเมนต์ขนาด 1.2 x 2.4 ตารางเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด ของปลาตุ๊กตาส้ม พบว่า ค่า น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาตุ๊กตาส้ม ทั้งสองกลุ่มทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้อัตราการรอดของทั้ง 2 กลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ทำการวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊กตาส้ม ก่อนเริ่มการทดลองและทุก ๆ เดือนตลอดการทดลอง ได้แก่ ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ฮีโมโกลบิน และจำนวนเม็ดเลือดแดง พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นค่าฮีโมโกลบินที่ระยะเวลาการทดลองที่ 4 เดือน ค่าฮีโมโกลบินของปลาตุ๊กตาส้มที่เลี้ยงในระบบ RAS มีค่าต่ำกว่าค่าฮีโมโกลบินของปลาตุ๊กตาส้มในระบบ CAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลาและค่าเคมีโลหิต เพื่อเปรียบเทียบ

ผลกระทบต่อสุขภาพปลา พบว่า ปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS และ ระบบ CAS มีค่าองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลา ได้แก่ เเปอร์เซนต์โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ เถ้า และความชื้น ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS และ ระบบ CAS ค่าเคมีโลหิต ได้แก่ ค่ากลูโคส ค่าคลอเลสเทอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ ค่ายูเรียในเลือด ค่าครีเอตินิน ค่ากรดยูริก ค่าอัลบูมินในเลือด ค่าบิลิรูบิน ค่าเอ็นไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล และ ค่าสารอิเลคโตรไลต์ในเลือด ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และค่าออสโมลาริตี ไม่แตกต่างกัน แต่หาปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS มีค่าโปรตีนรวมในเลือด ค่าโกลบูลิน และ ค่าเอ็นไซม์ SGOT และ SGPT สูงกว่า และค่าสัดส่วนโปรตีนอัลบูมินต่อโกลบูลิน ต่ำกว่า ปลาทดลองในกลุ่ม CAS อย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าความแตกต่างของค่าเคมีโลหิตเหล่านี้อาจบ่งชี้ความผิดปกติของการทำงานของตับอันเนื่องมาจากการเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสมด้วยระบบน้ำ RAS ในระยะยาว แต่ข้อมูลเหล่านี้ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าระบบ RAS ส่งผลกระทบต่อสุขภาพปลาตุ๊กตุ๊กผสม เนื่องจากยังขาดข้อมูลด้านช่วงค่ามาตรฐานของค่าเคมีโลหิตเหล่านี้ของปลาตุ๊กตุ๊กผสม โดยภาพรวมค่าพารามิเตอร์ทางชีววิทยาต่างในการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS และ ระบบ CAS มีสุขภาพดีใกล้เคียงกัน ดังนั้น พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีศักยภาพในการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้สำหรับการเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสมได้ ภายในระยะเวลา 5 เดือน โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราผลผลิตและสุขภาพของปลาตุ๊กตุ๊กผสม



The potential use of constructed wetlands in reclamation water for *Hybrid Catfish* aquaculture

Aquaculture produces large amount of wastewater with high concentration of organic matter. It is a cause of water pollution when it was discharged into public water resources. The objective of this study was to investigate the water reclamation potential by using constructed wetlands for *Hybrid Catfish* culture to minimize the water volume requirement for aquaculture. The control aquaculture systems (CAS) with 3 ponds were *Hybrid catfish* culture with tap water, and the reclamation aquaculture systems(RAS) with 3 ponds were *Hybrid catfish* culture with reclaimed water from combination constructed wetland system consist of subsurface constructed wetlands and free water surface constructed wetlands (SF-FWS). The RAS systems were operated under HLR of 0.32 m³/m²-d. The result showed that SF-FWS effectively removed BOD₅, COD, TKN and TP in range of 55.29, 69.83, 42.36 and 48.18% respectively. The quality of water reclamation from RAS was in range of standard for aquaculture except ammonia and TP. There were no significant difference in water qualities between CAS and RAS. The effects of water quality of recirculating aquaculture system (RAS) on growth performance, health and chemical composition of body of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) were investigated for 5-month experimental period. The experimental design was completely randomized with two treatment culture systems including the use of wetland for recirculating aquaculture system (RAS) and the system that the effluent water was replaced with the tap water (Control aquaculture system; CAS). Each of experimental system was replicated three times at a density of 50 fish m⁻² in concrete pond (1.2 * 2.4 m²). Growth performances, including weight gain (WG), specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) as well as survival rate were evaluated at the end of month 5 of the experimental period. The WG, SGR and FCR of fish were not significant between both groups ($P>0.05$). In addition, the survival rate (SR) was similar in both groups. Through experimental period, hematological analyses were conducted at the beginning of the experiment and at

each month of culture period. At the beginning of the experiment, hematological parameters including hematocrit, hemoglobin and red blood cell number were not significant different between fish raised in CAS and RAS ($P>0.05$). Except for hemoglobin at month 4, all hematological parameters appeared similar. The hemoglobin of hybrid catfish raised in RAS system was significantly lower than that of hybrid catfish in CAS at month-4 ($P<0.05$) only. By the end of experiment, the chemical composition of body and the blood chemistry parameters were determined to assess the hybrid catfish health. The result showed that hybrid catfish raised in RAS and CAS had similar chemical composition including percentage of protein, lipid, fiber, ash and moisture. In addition, hybrid catfish raised in CAS and RAS had similar values of most blood chemistry parameters such as glucose, cholesterol, triglyceride, BUN, creatinin, uric acid, albumin total bilirubin, alkaline phosphatase, cortisol hormone, calcium, phosphorous, iron and osmolarity. However, the hybrid catfish raised in RAS had higher total protein, globulin, albumin/globulin ratio, SGOT and SGPT than that of hybrid catfish raised in CAS. Although the higher of these parameters might preliminary indicate that long-term RAS might have deleterious effect on liver function, due the lack of the reference value of these blood chemistry parameters, the information of this study was not enough to summarize that RAS had adverse effects on hybrid catfish health. Combined together, most biological parameters of hybrid catfish raised in RAS and CAS demonstrated that hybrid catfish raised in RAS and CAS had similarly good health.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป.....	ค

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลาตุ๊กตุ๊กผสม.....	5
2.1.1 การเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสม	6
2.1.2 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊ก.....	10
2.1.3 ค่าโลหิตวิทยาของปลาตุ๊ก.....	12
2.1.4 ความสำคัญของปลาตุ๊กผสมในตลาดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	12
2.1.5 ผลผลิตของปลาตุ๊กผสม	13
2.2 ลักษณะน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา	14
2.2.1 อุณหภูมิ.....	14
2.2.2 ความเป็นกรด-ด่าง.....	14
2.2.3 ความเป็นกรด	15
2.2.4 สภาพต่างของน้ำ	16
2.2.5 ความโปร่งใสของน้ำ.....	17
2.2.6 ความขุ่น.....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.7 สารอาหารต่างๆ.....	18
2.2.8 ก๊าซต่างๆในน้ำ	18
2.2.9 สารพิษต่างๆในน้ำ	21
2.2.10 พิษของโลหะหนัก.....	23
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	25
2.4 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	26
2.4.1 องค์ประกอบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	27
2.4.2 ชนิดและหน้าที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	30
2.4.3 ปัจจัยสถานะแวดล้อมภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	33
2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	34
2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์.....	34
2.5.2 การกำจัดไนโตรเจน.....	35
2.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	37
2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	39
2.6.1 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ	39
2.6.2 ความลึกของน้ำ.....	39
2.6.3 อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์.....	40
2.6.4 อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์	40
2.6.5 ความลึกของตัวกลาง.....	40
2.6.6 ความพรุนของดิน	40
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
2.7.1 ปลายดุกกลมผสม.....	40
2.7.2 การหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ประโยชน์โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	41
2.7.3 ต้นกกฝรั่ง.....	43
2.7.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	44
2.7.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบ FWS และ SF	45
2.7.6 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม.....	46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย.....	49

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2	ระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย.....49
3.3	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....49
3.3.1	แผนผังการทดลอง..... 49
3.3.2	การเตรียมปลาทดลอง..... 50
3.3.3	การออกแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์..... 53
3.3.4	การเริ่มเดินระบบ..... 58
3.3.5	การเดินระบบ..... 59
3.3.6	การศึกษาระบบ CAS และ RAS..... 61
3.3.7	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....62
3.3.8	เปรียบเทียบผลผลิตและผลกระทบทางสุขภาพ.....63
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูล..... 67
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	
4.1	การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....68
4.1.1	ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี..... 68
4.1.2	ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี.....69
4.1.3	ค่าของแข็ง.....69
4.1.4	ไนโตรเจน..... 74
4.1.5	ฟอสฟอรัส.....75
4.2	การประเมินอัตราการเจริญเติบโตของต้นกกรงกาในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์....77
4.3	การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด เพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้.....77
4.3.1	ค่าบีโอดี.....78
4.3.2	ค่าซีโอดี.....78
4.3.3	ค่า TS.....78
4.3.4	ค่า TSS.....78
4.3.5	ค่าแอมโมเนีย.....79
4.3.6	ค่า TP.....79
4.3.7	สรุปผลการศึกษาคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....79
4.4	คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาสวม.....80
4.4.1	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 ค่าอุณหภูมิ.....	81
4.4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	81
4.4.4 ค่า BOD ₅	81
4.4.5 ค่า COD.....	82
4.4.6 ค่าของแข็ง.....	82
4.4.7 แอมโมเนีย.....	82
4.4.8 ค่าฟอสฟอรัส.....	88
4.4.9 สรุปผลคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลา.....	88
4.5 ผลผลิตของปลาดุกกลมผสมและผลกระทบทางสุขภาพ.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัย	
สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	98
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก	
ก. คุณภาพน้ำที่เข้า-ออกภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	XXX
ข. ความสูงของต้นกกรงก้าในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์.....	XXX
ค. สภาวะแวดล้อมของน้ำภายในบ่อของระบบ CAS และ RAS.....	XXX
ง. คุณภาพน้ำภายในบ่อของระบบ CAS และ RAS.....	XXX
ประวัติผู้ทำวิจัย.....	XXX

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่มีขนาดใหญ่ประเภทหนึ่ง มีความต้องการน้ำในปริมาณสูง และทำให้มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นมาก หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้องแล้วจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ เนื่องจากลักษณะน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเข้มข้นของค่าของแข็งและสารอาหารสูง ทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันซึ่งมีผลทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้ น้ำเกิดการเน่าเสียส่งผลกระทบต่อการใช้งานน้ำของมนุษย์ในการอุปโภคและบริโภค อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรมีการจัดการน้ำเสียอย่างเหมาะสม

เป็นการส่งเสริมการพัฒนาแบบยั่งยืนเพื่อให้มีทรัพยากรน้ำใช้ต่อไปได้ในอนาคต ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงอีกครั้ง เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการจัดการน้ำเสียสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และป้องกันการเกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

การเพาะเลี้ยงปลาเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่สำหรับประเทศไทย ปลาดุกเป็นปลาที่นิยมเพาะเลี้ยงเป็นอันดับสองรองจากปลานิล เนื่องจากมีผลกำไรต่อหน่วยการผลิตสูง จากข้อมูลกรมประมงในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีปริมาณปลาดุก 149,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5,000 ล้านบาท ในขณะที่อันดับหนึ่งได้แก่ ปลานิลมีปริมาณ 244,300 ตัน คิดเป็นมูลค่า 7,254 ล้านบาท (กรมประมง, 2548) ปลาดุกจัดเป็นปลาที่มีความต้องการของตลาดค่อนข้างสูง เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสามารถสร้างงานและรายได้ให้กับผู้เลี้ยงค่อนข้างมาก เนื้อปลาดุกไม่เพียงบริโภคภายในประเทศเท่านั้น ยังมีการส่งออกไปขายสู่ตลาดต่างประเทศด้วย พันธุ์ปลาดุกที่นิยมเลี้ยงกันมากในปัจจุบันได้แก่ ปลาดุกลูกผสม (*Hybrid catfish*) นิยมเลี้ยงมากกว่าร้อยละ 80 ของพันธุ์ปลาดุกทั้งหมด (Senanan et al., 2004) โดยเป็นลูกผสมระหว่างปลาดุกอุยกับปลาดุกรัสเซีย (ดุยกุ้งหรือดุยกเทศ) ปลาดุกลูกผสมชนิดนี้จะเลี้ยงง่ายโตเร็ว มีความต้านทานโรคได้ดี ปลาดุกเป็นปลาน้ำจืดที่มีผลผลิตต่อพื้นที่สูงสุดและให้ผลผลิตต่อปีสูงสุดในอันดับ 1-3 โดยมีผลผลิตเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 40,000 ตัน/ปี (ยงยุทธ เคนคำภา, 2549) นอกจากนี้ปลาดุกเป็นปลาที่มีอวัยวะช่วยหายใจพิเศษที่สามารถดึงเอาออกซิเจนจากอากาศไปใช้ในการหายใจได้ ทำให้ปลาดุกสามารถอยู่ได้ในน้ำที่มีค่าการละลายออกซิเจนต่ำ (Dunham et al., 1983) ดังนั้นปลาดุกจึงมีความทนทานและอาศัยอยู่ในน้ำที่มีคุณภาพต่ำได้มากกว่าปลาชนิดอื่น ๆ น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากบ่อเลี้ยงปลาดุกจึงมีคุณภาพต่ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติสูง

การจัดการน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลา ในปัจจุบันมักจะใช้วิธีกักเก็บน้ำทิ้งไว้ในบ่อหรือเรียกว่าระบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) กลไกการบำบัดของเสียในระบบบ่อผึ่งอาศัยหลักการตามธรรมชาติ เช่น การย่อยสลายของเสียโดยจุลินทรีย์ การสังเคราะห์แสงหรือการหมัก เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ร้อยละ 50-80 มีความต้องการระยะเวลาในการกักเก็บนานและใช้พื้นที่มาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงได้นำเอาระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลา เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ใกล้เคียงกับระบบบำบัดแบบอื่น ๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อีกทั้งยังสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย เชื้อโรคและโลหะหนักต่าง ๆ ได้ดี และพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบ่อผึ่งมีความต้องการพื้นที่น้อยกว่า (Kootatep et al, 2002) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้าง มีค่าบำรุงรักษาระบบค่อนข้างต่ำ และไม่ยุ่งยากในการควบคุมดูแลในขณะดำเนินงาน เหมือนกับระบบบ่อผึ่ง (Kadlec and Knight, 1995; Cooper et al., 1996) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติที่ไม่ซับซ้อนมากในการกำจัดของเสีย ได้แก่ กระบวนการกรอง การตกตะกอน การดูดซับสารอาหารของพืชและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ นอกจากนี้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ยังเป็นแหล่งอนุรักษ์และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ มีความหลากหลายทางชีวภาพ ทำให้เกิดการรักษาสสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม (US.EPA, 2000) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงนำเอาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มาใช้บำบัดน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาทุกกลุ่มผสม เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพดีและสามารถหมุนเวียนน้ำที่ผ่านระบบบำบัดกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกครั้ง เป็นการลดปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน ประหยัดพื้นที่ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้การเพาะเลี้ยงปลาดุกมีผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น สามารถทำกำไรสูงสุดได้หากมีการจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสมกับสภาพทางธรรมชาติที่มีอยู่ และสามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาศักยภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการหมุนเวียนน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกผสม

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการหมุนเวียนน้ำ เพื่อนำไปใช้ในการประเมินความต้องการของพื้นที่ในการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของคุณภาพน้ำจากการหมุนเวียนน้ำต่อผลผลิตการเพาะเลี้ยง

ปลาตุ๊กตุ๊กผสม และสมรรถนะการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสม

1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของคุณภาพน้ำจากการหมุนเวียนน้ำต่อสุขภาพปลาตุ๊ก โดยการศึกษาค่าทางโลหิตวิทยา ค่าภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจงและค่าสารละลายในเลือด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลาตุ๊กผสมระหว่างระบบที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากภายนอก และระบบที่หมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

1. ศึกษาความเหมาะสมของคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสม เช่น อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าอัลคาไลน์ ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ ค่าฟอสฟอรัส เป็นต้น

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสม โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เช่น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ และค่าฟอสฟอรัส เป็นต้น

3. ศึกษาอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ที่เหมาะสมโดยเพิ่มอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ที่สูงกว่าที่ได้จากการคำนวณ

4. เพื่อหาค่าคงที่ของการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสม เพื่อนำไปประเมินหาพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อหมุนเวียนจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสม

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของคุณภาพน้ำต่อผลผลิตปลาตุ๊กผสม

เปรียบเทียบในแง่ของผลผลิตและสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาตุ๊กผสมจะเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางด้าน การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารเพื่อเป็นค่าบ่งบอกถึงต้นทุนอาหารที่ใช้ ค่าทางโลหิตวิทยา ค่าสารละลายเคมีในเลือด และค่าองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลาตุ๊กผสม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ผลการศึกษาที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปสร้างเป็นระบบปิดของการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสม โดยการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ เพื่อบำบัดน้ำเสียจากการ

เพาะเลี้ยงและนำกลับน้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตูกุผสมอีกครั้ง เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่ทำอาชีพเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตูกุผสมทั่วประเทศไทย เพราะการสร้างระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์เป็นระบบที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ได้จริง และเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่ด้วยเช่นกัน

ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ด้วยระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดโดยการบำบัดทางชีวภาพ



บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ที่สภาวะอัตรการะรับน้ำทางชลศาสตร์สูง มีรายละเอียด หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ปลาดุกลูกผสม

ปลาดุกลูกผสมหรือปลาดุกอูย เป็นปลาน้ำจืดของไทยชนิดหนึ่งมีชื่อสามัญว่า *Hybrid catfish* และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Carias macrocephalus* พบว่ามีการแพร่กระจายทั่วไปเกือบทุกภาคของประเทศไทย ปลาดุกลูกผสมเป็นปลาที่อาศัยอยู่ตามแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ท้องทุ่งนา มีอุปนิสัยการกินอาหารแบบไม่เลือก ส่วนใหญ่ในธรรมชาติมักจะกินพวกซากสัตว์ที่เน่าเปื่อย หนอน แมลง และลูกปลาเล็ก ๆ เป็นอาหาร ปลาดุกลูกผสมเป็นปลาไม่มีเกล็ด รูปร่างเรียวยาว ด้านข้างแบน หัวแบนลง กะโหลกท้ายทอยป้านและโค้งมน เียงที่ครีบทูมีฟันเลื่อยด้านนอก และด้านในครีบทู ครีบทู ครีบทูหางแยกจากกัน ปลายครีบทูกลมมน มีหนวด 4 คู่ (สุธามาศ ย้อยสุวรรณ, 2543) มีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจอยู่บริเวณช่องเหงือกมีทรวงทงคล้ายต้นไม้เล็ก ๆ ลำตัวมีสีน้ำตาลจนดำถึงเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เป็นปลาในตระกูล Clarias เช่นเดียวกับกับปลาดุกด้าน แต่ปลาดุกลูกผสมแตกต่างจากปลาดุกด้านที่ตรงบริเวณปลายกระดูกท้ายทอยมีลักษณะมนโค้ง นอกจากนี้ปลาดุกลูกผสมเป็นปลาที่แข็งแรงอดทนต่อการขาดออกซิเจนได้ดี เป็นปลาที่มีการเจริญพันธุ์ค่อนข้างเร็วภายในระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก็จะเจริญเติบโตเต็มวัยสามารถนำมาเพาะพันธุ์ได้ เมื่อเลี้ยงปลาในระยะหนึ่ง น้ำในบ่อจะมีคุณภาพเสื่อมลงเนื่องจากสิ่งขับถ่ายออกจากตัวปลาและเศษอาหารเหลือตกค้างในบ่อปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงจะเริ่มจับได้ตั้งแต่ปลาอายุ 8-10 สัปดาห์ ซึ่งจะมีขนาด 6-10 ตัวต่อกิโลกรัม ปลาดุกที่มีขนาด 5-10 cm จะมีอัตราการปล่อยจะอยู่ในช่วง 60-90 ตัวต่อตารางเมตร (Brown, 1977)

ปลาดุก (catfish) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย การเพาะเลี้ยงปลาดุกสามารถทำได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียใต้ (Fedoruk, 1981) จากข้อมูลการรวบรวมผลผลิตและมูลค่าของสัตว์น้ำที่ได้จากการทำการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด พบว่าผลผลิตปลาดุกมีปริมาณการผลิตเป็นอันดับสองรองจากปลานิล และมีมูลค่าของการจำหน่ายเป็นอันดับที่สองของมูลค่าสัตว์น้ำจืดทั้งหมด (รูปที่ 2.1) การเพาะเลี้ยงปลานิลมีความสำคัญต่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศ แต่การเพาะเลี้ยงปลาดุกนั้น สำหรับเพื่อการบริโภคภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ปลาดุกจัดเป็นอาหารโปรตีนที่สำคัญของคนไทย ทั่วทุกภาค การเพาะเลี้ยงปลาดุกสามารถทำได้ทั่วทุกภาคในประเทศไทย รูปแบบของการเพาะเลี้ยงปลาดุกมีทั้งการเพาะเลี้ยงในบ่อดิน นาข้าว ร่องสวน บ่อซีเมนต์และในกระชัง ทั้งนี้เพราะว่าปลาดุกเป็นปลาที่สามารถเลี้ยงในสภาพความหนาแน่นสูง มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว มีความทนทานต่อ

สภาพแวดล้อมได้ดี และให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ทำให้มีผู้นิยมเลี้ยงปลาดุกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ขนาดของฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาดุกมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ เป็นทั้งการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นอาชีพหลัก และอาชีพเสริมของเกษตรกรทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นการเลี้ยงเพื่อเป็นอาหารในครัวเรือน ปลาดุกยังเป็นปลาที่รัฐบาลส่งเสริมในโครงการประมงโรงเรียน ประมงหมู่บ้าน จึงทำให้เกิดกิจกรรมที่เป็นประโยชน์และได้ผลพลอยได้เป็นอาหารของชุมชน เพื่อสร้างสังคมในชุมชนชนบทให้เข้มแข็ง

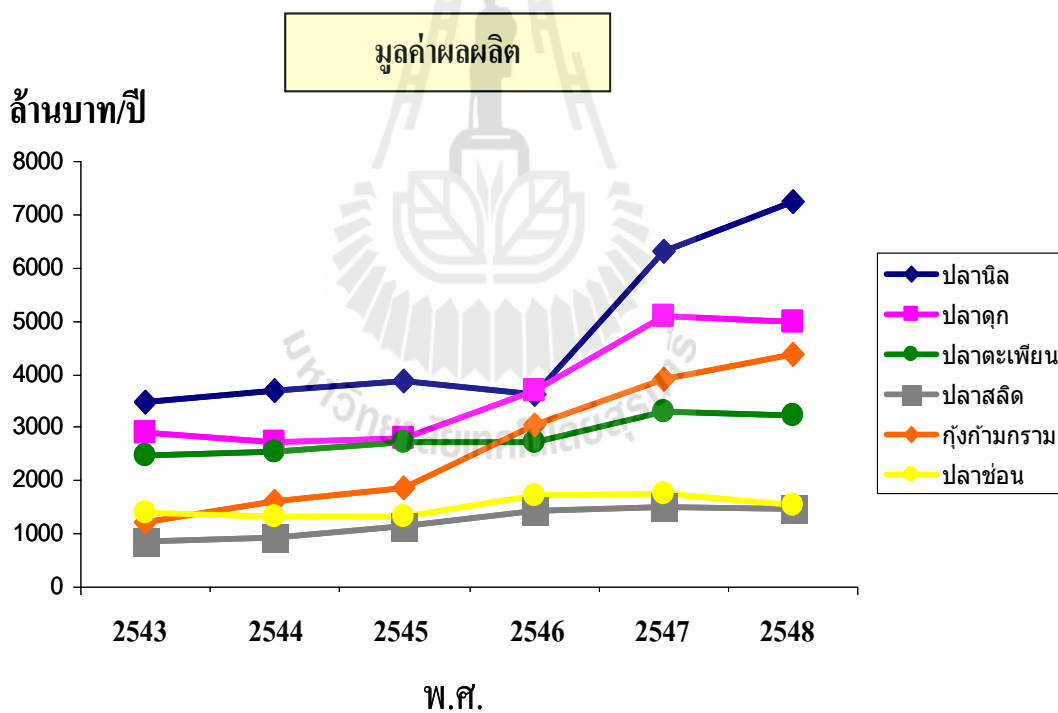
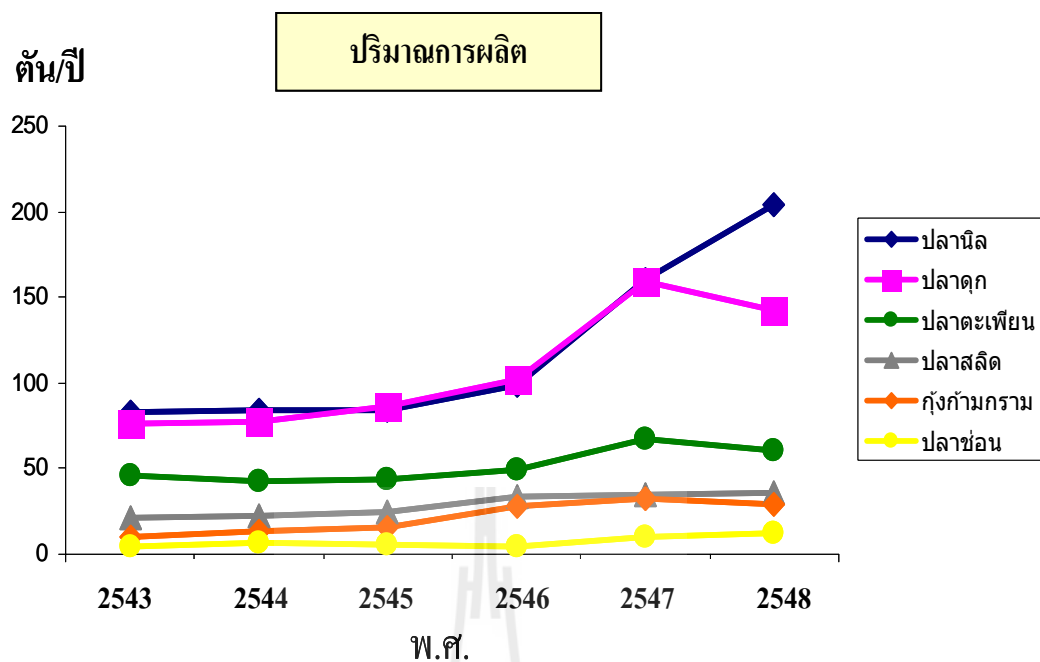
ปลาดุกที่เป็นที่นิยมเลี้ยงในปัจจุบันนี้ คือ ปลาดุกลูกผสม (Hybrid catfish) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เป็นการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกยักษ์เพศผู้ (หรือปลาดุกเทศ หรือปลาดุกรัสเซีย) (*Clarias gariepinus*) กับปลาดุกอุยเพศเมีย (*C. macrocephalus*) ได้ปลาดุกลูกผสมที่เนื้อมีรสชาติคล้ายปลาดุกอุย และมีการเจริญเติบโตเร็ว และทนทานต่อโรคมากขึ้น การเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในปัจจุบันนี้เป็นการเพาะเลี้ยงแบบครบวงจร เกษตรกรสามารถเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ภายในฟาร์ม แล้วนำพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกยักษ์เพศผู้และปลาดุกอุยเพศเมียที่มีความสมบูรณ์เพศมาเพาะลูกพ่อแม่พันธุ์ปลาดุกลูกผสมโดยการฉีดฮอร์โมนสังเคราะห์ (Luteinizing Hormone Releasing Hormone analogue; LHRHa) ร่วมกับวิธีการผสมเทียม (Artificial fertilization) การอนุบาลลูกปลาดุกทำได้ทั้งในบ่อซีเมนต์ และบ่อดิน และการเลี้ยงปลาขนาดตลาดก็ทำได้ทั้งในบ่อดินและบ่อซีเมนต์เช่นเดียวกัน ความหนาแน่นของปลาที่นิยมปล่อยเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ คือ 50-70 ตัวต่อตารางเมตร (ขนาดลูกปลา 2-3 เซนติเมตร) และในบ่อดิน เท่ากับ 40-100 ตัวต่อตารางเมตร อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสามารถใช้ได้ทั้งอาหารสำเร็จรูป และอาหารที่เกษตรกรเตรียมเองจากผลพลอยได้ของการปศุสัตว์อื่น ๆ ระยะเวลาการเลี้ยงโดยทั่วไปประมาณ 90 วันก็สามารถจับขายได้ ทำให้การเพาะเลี้ยงปลาดุกเชิงพาณิชย์สามารถทำได้อย่างน้อยถึง 3 รุ่นต่อปี

2.1.1 การเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

น้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบการเลี้ยงแบบเข้มข้น มักจะมีคุณภาพต่ำ สาเหตุเนื่องมาจากประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาดุกลูกผสม และการให้อาหารของผู้เลี้ยง ผู้เลี้ยงให้อาหารที่มีคุณภาพสูงแต่ปลาดุกลูกผสมไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ และการให้อาหารปลาดุกลูกผสมแล้วปลากินไม่หมด ทำให้อาหารเหลือทิ้งอยู่ในน้ำที่ใช้เลี้ยง และบางส่วนปลาขับถ่ายสารอาหารออกมาในน้ำที่ใช้เลี้ยง ซึ่งเป็นบ่อเกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมมักจะมีสีเขียวขุ่นเข้มอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ความอุดมสมบูรณ์ของแพลงก์ตอนพืชที่มากเกินไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวัน ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ค่า pH ทำให้คุณภาพน้ำมีความแตกต่างกันสูง ส่งผลให้ปลาเกิดความเครียด มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำลง อัตราการแลกเปลี่ยนสูงขึ้น และความทนทานต่อโรคต่ำลง สภาพการณ์น้ำทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาดุกลูกผสมทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดย

การถ่ายน้ำในบ่อออก และนำน้ำจากแหล่งน้ำสาธารณะเข้ามาในบ่อเพื่อเจือจางจำนวนแพลงก์ตอนทำให้มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งน้ำที่เลี้ยงปลาดังกล่าวนี้เมื่อปล่อยลงแหล่งน้ำสาธารณะจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในแหล่งน้ำ แต่ถ้าหากว่าเป็นช่วงฤดูแล้ง หรือน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะมีปริมาณน้อย หรือมีคุณภาพไม่เหมาะสม ก็จะทำให้เกษตรกรไม่สามารถทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำได้ ส่งผลเสียต่อผลผลิตของปลาดุกลูกผสม ซึ่งในบางสภาวะการณ์ที่น้ำในบ่อมีแพลงก์ตอนมากอาจส่งผลทำให้ค่าการละลายออกซิเจนในช่วงกลางคืนต่ำมาก ๆ ทำให้ปลาดุกลูกผสมตายอย่างเฉียบพลันได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการวิจัยพัฒนาเพื่อให้ได้ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด หรือระบบการเลี้ยงที่นำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดน้ำแบบชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางการจัดการการใช้ทรัพยากรน้ำของประเทศไทย ที่มีน้อยลงทุกวันให้เกิดประโยชน์สูงสุด สัตว์น้ำเพื่อให้เกิดการใช้กันอย่างคุ้มค่า แต่ในทางปฏิบัติจริงผู้เลี้ยงควรพิจารณาด้านการเกิดโรคและพยาธิ เพราะการเลี้ยงปลาในระบบดังกล่าวอาจเสี่ยงต่อการระบาดของโรคและพยาธิได้

การพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์เพื่อการนำน้ำที่ใช้เลี้ยงกลับมาใช้ใหม่ (recirculating aquaculture system; RAS) เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรน้ำ ได้มีการศึกษากันมากในระบบการเลี้ยงปลาดุกอัฟริกัน (*C. gariepinus*) ในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา (Eding and Kamstra, 2001) และได้มีรายงานการศึกษาระบบ RAS ในประเทศไนจีเรีย การศึกษาระบบเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่โดยมีการควบคุมคุณภาพน้ำในด้านต่าง ๆ เช่น ค่าการละลายออกซิเจน (Dissolved oxygen; DO) ของแข็งที่แขวนลอย (solid suspension; SS) ปริมาณแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) สรุปผลได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลผลิตและมูลค่าของสัตว์น้ำที่ได้จากการทำการประมงรวมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
 ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองประมงต่างประเทศ
 กรมประมง (รวบรวมข้อมูลจากกรมศุลกากร)

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการพัฒนาการเลี้ยงปลาดุกอัฟริกัน ด้วยระบบ RAS

	ระยะวัยอ่อน (fingerlings)	ระยะวัยรุ่น (juvenile)	ระยะโตเต็ม วัย (Adult)
จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)	28	30	154
ความหนาแน่นของปลา (ตัวต่อตารางเมตร)	20,000-30,000	6,000-9,000	150-300
อัตราการรอด (%)	75-80	75-93	77-88
น้ำหนักของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	4.2	11.2	981.0
ค่าอัตราการแลกเนื้อ (FCR)	0.60-0.78	1.01-2.08	1.15-1.68

ที่มา : (Akinwole and Faruroti, 2007)

การเปรียบเทียบผลผลิตปลา โดยดูจากค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการเจริญเติบโตในปลา ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) และอัตราการตายเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการนำมาใช้ในการพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาดุกด้วยการหมุนเวียนน้ำแบบปิด เช่นการวิจัยการเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาดุกเรนโบว์เทร่าในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด (recirculating system) เปรียบเทียบกับการเลี้ยงปลาดุกในระบบที่มีน้ำมีการไหลเข้าและออกจากระบบ (flow through system) (d'orbcastel et al., 2009) นอกจากนี้ยังได้มีการรายงานผลการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลาดุกอัฟริกันในระบบหมุนเวียนน้ำ โดยทำการเพาะเลี้ยงในฟาร์มต่าง ๆ ในประเทศไนจีเรีย (Akinwole and Faturoti, 2007) และผลของสมรรถนะการเจริญเติบโตของการเลี้ยงปลาดุก *C. batrachus* ด้วยระบบหมุนเวียนน้ำ (Fadhil et al., 2011)

ดังนั้น เพื่อเป็นการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น จึงควรจะมีการตรวจวัด และติดตามสุขภาพของปลาที่ทำการเพาะเลี้ยงไปด้วย การตรวจวิเคราะห์หัตถ์สุขภาพของปลาทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยาในปลา การวิเคราะห์ค่าเคมีในเลือดของปลา โดยค่าทางโลหิตวิทยาและค่าเคมีมักจะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบสุขภาพของปลาในการวิจัยในหลายด้าน ทั้งในด้านการวิจัยทางโภชนศาสตร์ การวิจัยทางด้านพิษวิทยาในสัตว์น้ำ และการวิจัยทางด้านชีววิทยาพื้นฐานโดยทั่ว ๆ ไป และค่าทางเคมีในเลือดยังได้นำไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการวิจัยทางด้านการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบน้ำหมุนเวียนน้ำแบบปิด

ในการพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลาดุกด้วยระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดสำหรับปลาดุก ได้มีการตรวจวัดค่าทางเคมีในเลือดเพื่อเป็นพารามิเตอร์ในการชี้วัดสุขภาพปลา ค่าพารามิเตอร์ที่

ทำการตรวจวัดได้แก่ ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hematocrit) ค่าเกลือแร่หรือสารอิเล็กโทรไลต์ในเลือด ได้แก่ โซเดียม (Sodium) โพแทสเซียม (Potassium) คลอไรด์ (Chloride) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) ไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ฟอสเฟต (Phosphate) เหล็ก (Iron) สารเมตาบอลิซึมในเลือด ได้แก่ ค่าโปรตีนในเลือด ค่าอัลบูมิน ค่าโกลบูลิน ค่าอัตราส่วนอัลบูมินต่อโกลบูลิน ค่าน้ำตาลในเลือด (glucose) ค่าคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ค่าเอ็นไซม์ในเลือด ได้แก่ alanine aminotransferase (ALT) หรือค่าเอ็นไซม์ serum glutamic pyruvic acid transaminase (SGPT), Aspartate aminotransferase (AST) หรือค่าเอ็นไซม์ serum glutamic oxaloacetic acid transaminase (SGOT), Alkaline phosphatase และ creatinine kinase (Chen et al., 2003) นอกจากนี้ยังได้มีการวิจัยเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์สุขภาพปลา โดยได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา และค่าเคมีในเลือดดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้ทราบค่ามาตรฐานของค่าดังกล่าวในการเลี้ยงปลานิลลูกผสม (*Oreochromis aureus* x *O. nilotica*) (Mauel et al., 2007) โดยทำการเปรียบเทียบค่าทางโลหิตวิทยาและค่าเคมีในเลือดที่ทำการศึกษากับค่าอ้างอิง (reference interval) และค่าที่ได้มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ มีการศึกษาเกี่ยวกับความหนาแน่นของปลา พบว่าความหนาแน่นของปลาส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตปลาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้มีการศึกษาถึงระดับความหนาแน่นของการปล่อยปลาที่เหมาะสมต่อการปล่อยปลาลงเลี้ยงในระบบการหมุนเวียนแบบปิด โดยได้มีการศึกษาในการเพาะเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้า (rainbow trout) โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้านโลหิตวิทยา ได้แก่ ค่าจำนวนเม็ดเลือดแดง (red blood cell number) ปริมาณฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hematocrit) ค่า mean corpuscular volume, mean corpuscular hemoglobin concentration และ mean corpuscular hemoglobin (Docan et al., 2011) และการศึกษาในปลาซีบาส (sea bass; *Dicentrarchus labrax*) ก็ได้มีการเปรียบเทียบเพื่อหาระดับความหนาแน่นของการปล่อยลงเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแลสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยได้มีการการวิเคราะห์ค่า โปรตีนในเลือด ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ค่ากลูโคส ค่าโซเดียม ค่าโพแทสเซียมในเลือด และระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการบ่งชี้สุขภาพปลา

2.1.2 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงปลาดุก

1) การเตรียมบ่อ

การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมสามารถเลี้ยงได้ทั้งในบ่อดินและบ่อซีเมนต์ คือ

1.1) การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ควรปรับสภาพของน้ำในบ่อที่เลี้ยงให้มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย ต้องแน่ใจว่าบ่อซีเมนต์จะต้องหมดฤทธิ์ของปูน ระดับน้ำในบ่อเมื่อเริ่มปล่อยลูกปลาน้ำขนาด 2-3 cm ควรมีความลึกประมาณ 20-30 cm เมื่อลูกปลาเติบโตขึ้นค่อย ๆ เพิ่ม

ระดับน้ำให้สูงขึ้นตามลำดับโดยเพิ่มระดับน้ำประมาณ 5 ซม./อาทิตย์ ให้อาหารเม็ดประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ปลาจะเติบโตได้ขนาดประมาณ 100-200 กรัม/ตัว ในระยะเวลาเลี้ยงประมาณ 90 วัน อัตราการรอดประมาณร้อยละ 80 (กรมประมง, 2547)

1.2) การเลี้ยงในบ่อดิน การเลี้ยงในบ่อดินควรจะมีการเตรียมบ่อ ดังนี้

- จะต้องตากบ่อให้แห้ง ปรับสภาพบ่อให้สะอาด
- ใส่ปูนขาวเพื่อปรับสภาพของดิน
- นำน้ำเข้าบ่อโดยกรองไม่ให้ศัตรูของลูกปลาดูดเข้ามากับน้ำจมนี

ระดับน้ำลึก 30-40 cm วันรุ่งขึ้นจึงปล่อยปลาและเพื่อให้ลูกปลามีอาหารกินควรเติมไรแดงในอัตราประมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อเป็นอาหารแก่ลูกปลาหลังจากนั้นจึงให้อาหารผสมแก่ลูกปลา ลูกปลาที่นำมาเลี้ยงควรตรวจดูว่ามีสภาพปกติการปล่อยลูกปลาลงบ่อเลี้ยงจะต้องปรับสภาพอุณหภูมิของน้ำในบ่อและน้ำในบ่อให้เท่า ๆ กันก่อน โดยการแช่ถุงบรรจุลูกปลาในน้ำประมาณ 30 นาที จึงปล่อยลูกปลาเวลาที่เหมาะสมในการปล่อยลูกปลาควรเป็นตอนเย็นหรือตอนเช้า (กรมประมง, 2547)

2) ขั้นตอนการเลี้ยง

2.1) อัตราปล่อยปลาดุกลูกผสมขนาด 2-3 cm ควรปล่อยในอัตราประมาณ 40-100 ตัวต่อตารางเมตรซึ่งขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเลี้ยง คือ ชนิดของอาหารขนาดของบ่อและระบบการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (กรมประมง, 2547)

2.2) การให้อาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ด มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม เพราะง่ายต่อการจัดการและทราบปริมาณอาหารที่ปลากินต่อมื้อหรือต่อวัน การให้อาหารควรปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

- ให้อาหารปลาตรงตามเวลาทุกวัน
- ให้อาหารปลาตามตำแหน่งเดิมทุกครั้ง
- ปรับปริมาณอาหารเพิ่มขึ้นตามลำดับน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น ประมาณสัปดาห์ละครั้ง

2.3) การถ่ายเทน้ำ ปริมาณน้ำในบ่อเลี้ยงปลาควรมีระดับลึก 20-30 เซนติเมตร เมื่อลูกปลาเติบโตขึ้นค่อย ๆ เพิ่มระดับน้ำให้สูงขึ้นตามลำดับ โดยเพิ่มระดับน้ำประมาณ 5 ซม./อาทิตย์ การถ่ายเทน้ำออกจากบ่อปลาประมาณร้อยละ 20 ของน้ำในบ่อ 3 วันต่อครั้ง หรือถ้าในบ่อเริ่มเสียจะต้องถ่ายน้ำมากกว่าปกติ

2.4) การป้องกันโรค การเกิดโรคของปลาดุกที่เลี้ยงมักจะเกิดจากปัญหาคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงไม่ดีซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการให้อาหารมากเกินไปจนอาหารเหลือเน่าเสีย ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคได้โดยต้องหมั่นสังเกตเมื่อปลาหยุดกินอาหารจะต้องหยุดให้

อาหารทันที เพราะปลาตุ๊กถูกผสมมีนิสัยชอบกินอาหารที่ใหม่ โดยถึงแม้จะกินอิ่มแล้วถ้าให้อาหารใหม่อีกก็จะคายหรือสำรอกอาหารเก่าทิ้งแล้วกินอาหารที่ใหม่อีก (กรมประมง, 2547)

2.1.3 ค่าทางโลหิตวิทยาของปลาคุก

ค่าทางโลหิตวิทยามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการศึกษาทางด้านโรคของปลา เนื่องจากระบบหมุนเวียนเลือดของปลามีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมภายนอกและระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยาสามารถนำไปใช้เป็นหลักเกณฑ์ที่จะบอกถึงการตอบสนองของร่างกายต่อสิ่งที่มีมากระตุ้น ค่าทางโลหิตที่นิยมศึกษา ได้แก่

1) *ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Pack cell volume) หรือฮีมาโตคริต (hemotocrit)* เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด ผลที่ได้คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าฮีมาโตคริตของปลาอยู่ในช่วงกว้างและมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดปลา อายุ ภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม ฤดูกาล และความแตกต่างระหว่างเพศ ในปลาเพศผู้ฮีมาโตคริตสูงกว่าปลาเพศเมีย ค่าฮีมาโตคริตของปลาคุก มีค่าอยู่ในช่วง 20.43-41.12 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย 31.62 ± 1.03 เปอร์เซ็นต์ (กำมัชพล ภูรีพงศ์, 2550) การเปลี่ยนแปลงค่าฮีมาโตคริตของปลามักเกิดจากปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเครียด เช่น การเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูง การอดอาหาร การจับและการขนส่ง คุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสม การติดเชื้อแบคทีเรีย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน และการชักนำจากสารเคมี เป็นต้น (Klinger et al., 1983; Clem et al., 1984; Ellsaesser and Clem, 1986)

2) *ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin)* เป็นองค์ประกอบสำคัญของเม็ดเลือดแดงซึ่งทำหน้าที่พาออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (พรวิชัย ลำเจียกเทศ, 2548)

ค่าทางโลหิตวิทยาจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการขยายพันธุ์ ความสามารถในการต้านทานโรค อีกทั้งยังเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการตอบสนองต่อความเครียดและสรีรวิทยาของปลา (รักพงษ์ เพชรคำ และ ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์, 2540; Ellis, 1982; Wendelaar, 1997; Barton, 1997)

2.1.4 ความสำคัญของปลาคูกผสมในตลาดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปลาคูก เป็นปลาที่มีการเพาะเลี้ยงมานานและจัดเป็นปลาเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ได้มีการเลี้ยงกันอยู่ทั่วไป โดยมีการเพาะเลี้ยงเพื่อการอุปโภคบริโภคในครัวเรือนหรือการเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม ปลาคูกสามารถปล่อยเลี้ยงในอัตราการปล่อยที่หนาแน่นมากสูง 74 ตัวต่อตารางเมตร (Stickney, 1993) และมีความต้านทานต่อคุณภาพน้ำต่ำ อีกทั้งยังเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว จึงส่งผลให้ปลาคูกเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มในการผลิตที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากตลาดมีความต้องการอย่างสม่ำเสมอจากปลานิล จะเห็นได้จากข้อมูลปริมาณผลผลิตใน

ตลาดและผลมูลค่าสัตว์น้ำจืดในประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ปริมาณปลาตุกในปี พ.ศ. 2548 มีจำนวนผลผลิตประมาณ 149,000 ตัน (กรมประมง, 2548)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าสัตว์น้ำจืดที่จับได้ทั้งประเทศ จำแนกตามชนิด ปี 2546-2548

ชนิดสัตว์น้ำ	2546		2547		2548	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
	(1,000 ตัน)	(ล้านบาท)	(1,000 ตัน)	(ล้านบาท)	(1,000 ตัน)	(ล้านบาท)
ปลาช่อน	28.2	1,735.70	29.8	1,757	24.9	1,543.30
ปลาตุก	115.4	3,702.20	166.1	5,102.70	149	4,998.90
ปลาหมอ	12.5	458.8	10.2	369.3	16.2	602.3
ปลาตะเพียน	88	2,735.60	106.8	3,294.70	108.9	3,218.90
ปลานิล	123.6	3,629.40	203.1	6,298.50	244.3	7,254.10
ปลาไน	9.4	323.5	13.8	441.9	10.3	352.6
ปลาสิด	36.1	1,417.60	37.8	1,511.60	37	1,468.90
ปลาสร้อย-เทโพ	26	578	33.7	858.5	37.2	803.3
ปลาไหล	0.4	25.4	0.3	26.6	0.2	8
ปลาอื่น ๆ	85.6	2,059.80	86.7	2,688.80	71.6	2,900.70
กุ้งก้ามกราม	28.5	3,039.70	33	3,898.70	31.8	4,359.10
กุ้งอื่น ๆ	0.5	43.1	0.2	16.5	1.4	57.9
สัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ	5.3	506.5	5.9	484.3	5.4	447.3

หมายเหตุ : กรมประมง (2548)

2.1.5 ผลผลิตของปลาดุกลูกผสม

ผลผลิตของปลาดุกลูกผสม เป็นปัจจัยในการบ่งบอกถึงอัตราการเจริญเติบโตและสมรรถภาพของผลผลิตในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) น้ำหนัก (Weight) มีหน่วยเป็นกรัม มีความสัมพันธ์กับความยาวของปลาดุกลูกผสม เมื่อระยะเวลาในการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ค่าน้ำหนักและความยาวของปลาดุกลูกผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น
- 2) ความยาว (Length) มีหน่วยเป็นเซนติเมตร มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของปลาดุกลูกผสม ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง

3) น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (Average daily weight gain : ADG) มีหน่วยเป็นกรัมต่อวัน เป็นค่าน้ำหนักตัวของปลาดุกลูกผสมที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง ตั้งแต่การชั่งน้ำหนักครั้งแรกจนถึงการชั่งน้ำหนักสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง

4) เพอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (Weight gain) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของปลาดุกลูกผสมตั้งแต่เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

5) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate : SGR) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อวัน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในเพาะเลี้ยงและน้ำหนักของปลาดุกลูกผสมตั้งแต่เริ่มต้นและสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง

6) อัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio : FCR) ไม่มีหน่วย เป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณอาหาร (หน่วย) ที่ปลาดุกลูกผสมกินเข้าไปต่อน้ำหนักตัวของปลาดุกลูกผสมที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วย

7) อัตราการรอดตาย (Survival rate) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นอัตราส่วนการรอดชีวิตของปลาดุกลูกผสมหลังสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง

2.2 ลักษณะของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา

2.2.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อปลา (Lawson, 1995) เพราะปลาเป็นสัตว์เลือดเย็นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ได้ ดังนั้นสัตว์เลือดเย็นเหล่านี้จะทนต่อสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหันได้ในช่วงที่แคบกว่าสัตว์เลือดอุ่น ผลที่เกิดขึ้นจากการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทำให้สัตว์น้ำอาจช็อคถึงตายได้ (Thermal death) (สุภาพร สุกรีเหลือ, 2538) อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นอาจทำให้การกินอาหารของปลาหยุดชะงัก มีการเจริญเติบโตช้าลงและอุณหภูมิที่สูงมากเกินไปจะทำให้ปลากระวนกระวาย มีอาการลอยตัวขึ้นมาบริเวณผิวน้ำ อ่อนเพลียจนตายได้ และมีผลต่อการฟักไข่ของปลาอีกด้วย สำหรับปลาดุกลูกผสมอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจะอยู่ในช่วง 27-29 °C (Tucker and Robinson, 1990)

2.2.2 ความเป็นกรดต่างของน้ำ (Positive potential of Hydrogen ions)

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ หรือเรียกว่า pH เป็นค่าที่แสดงให้ทราบว่าน้ำหรือสารละลายนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือด่าง บอกระดับความเข้มข้นของ H⁺ ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 น้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-9 สำหรับบ่อเลี้ยงปลา ค่า pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงบ่ายแพลงค์ตอนพีชและพีชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการสังเคราะห์แสง ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ค่า pH

ของน้ำจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนในช่วงเช้ามีดเนื่องจากมีการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำแต่ไม่มีกิจกรรมในการสังเคราะห์แสง ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณสูงขึ้น มีผลทำให้ค่า pH ของน้ำลดลง ค่าของ pH ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6-9 (Tucker and Hagraves, 2004) และค่า pH ของน้ำควรจะเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2 หน่วยในรอบวัน ระดับ pH ในบ่อปลาที่มีความสำคัญมากเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของปลา ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ความเป็นกรดต่างของน้ำนอกจากจะมีผลต่อสัตว์น้ำโดยตรงแล้วยังมีผลทางอ้อม เช่น ทำให้สารพิษชนิดอื่น ๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง ค่า pH ที่สูงขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544; Lawson, 1995)

2.2.3 ความเป็นกรดของน้ำ (Acidity)

ความเป็นกรดของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะให้โปรตอน หรือ H^+ เพื่อให้ต่างเป็นกลาง (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2540) น้ำที่มีความเป็นกรดสูงแต่อาจจะมีค่า pH ไม่อยู่ในระดับที่เป็นกรดมาก หากน้ำดังกล่าวสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH ได้ดี ในแหล่งน้ำตัวที่ควบคุมไม่ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงมาก ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนเนต เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดของน้ำเกิดจากหลายสาเหตุ ดังนี้

1) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide acidity) น้ำที่มี pH ต่ำกว่า 8.5 จะมีความเป็นกรดปะปนอยู่เสมอ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญตามแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปคาร์บอนไดออกไซด์จะมีการดูดซึมและถ่ายเทระหว่างน้ำกับอากาศตลอดเวลา เพื่อรักษาปริมาณของน้ำในถังที่ คือให้อยู่ในสภาวะที่สมดุล ปกติน้ำใต้ดินจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากกว่าเนื่องจากการไหลผ่านชั้นดินที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตซึ่งไม่เพียงพอจะทำให้สะเทินคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้เกิดไบคาร์บอนเนต ความเป็นกรดของน้ำที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเดียว จะไม่ทำให้ pH ของน้ำลดลงต่ำกว่า 4.5 (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544)

2) แร่ธาตุ (Mineral acidity) ค่าความเป็นกรดที่มี pH ต่ำกว่า 4.5 จะเกิดกรดของแร่ธาตุบางชนิด เช่น กรดกำมะถัน หรือเกลือแร่บางชนิดที่ละลายน้ำแล้วมีสภาพเป็นกรด เช่น เกลือของเหล็ก พบได้จากการถ่ายเทของเสียของโรงงานอุตสาหกรรม แต่น้ำธรรมชาติก็อาจมีกรดจากแร่ธาตุได้เช่นกัน ความเป็นกรดโดยตัวมันเองไม่ถือว่าเป็นสารมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำเพียงแต่ใช้เป็นเครื่องมือที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ผลที่เกิดขึ้นต่อสัตว์น้ำส่วนมากจะปรากฏในรูปความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นกรดของน้ำอาจจะมีผลทำให้ความเป็นพิษของสารพิษบางชนิดเปลี่ยนแปลงไปได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544)

2.2.4 สภาพต่างของน้ำ (Alkalinity)

ความเป็นต่างของน้ำเป็นความสามารถของน้ำที่จะสะเทินกรดหรือที่จะรับโปรตอน ความเป็นต่างของน้ำประกอบไปด้วยคาร์บอเนต (CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) และ ไฮดรอกไซด์ (OH) เป็นส่วนใหญ่ (มันสัน ตันทูลเวศม์, 2540) ความเป็นต่างของน้ำมักเกิดขึ้นจาก

- 1) เกลือของกรดอ่อน เช่น พวกคาร์บอเนต บอเรต ฟอสเฟต และซิลิเกต
- 2) กรดอ่อนและเบสอ่อน เช่น ไฮดรอกไซด์ ในบางสภาวะธรรมชาติจะมีคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์สูง เช่น น้ำที่มีแหล่งค้ตอนพีชมาก

ค่าความเป็นต่างตามธรรมชาติไม่ถือว่าเป็นสารพิษ โดยปกติในบ่อเลี้ยงปลาจะมีค่าความเป็นต่างอยู่ระหว่าง 40-400 mg/l as CaCO_3 (Lawson, 1995) ค่าความเป็นต่างจะมีผลเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น ค่า pH ของน้ำ ค่าความเป็นกรด และค่าความกระด้าง (Hardness) เป็นต้น คุณสมบัติของค่าความเป็นต่างของน้ำคือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลง pH เร็วเกินไป ถ้าค่าความเป็นต่างสูงจะป้องกันมิให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงมาก ถ้าความเป็นต่างต่ำ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในรอบวันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะอันตรายต่อสัตว์น้ำ

ค่าความเป็นต่างของน้ำกับความกระด้างของน้ำมักมีความสัมพันธ์กัน น้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้เลี้ยงสัตว์ควรมีค่าความเป็นต่างและความกระด้างใกล้เคียงกัน เราสามารถปรับความเป็นต่างได้โดยการเติมปูนขาว ในบางพื้นที่มีปัญหาเกี่ยวกับค่าความเป็นต่างของน้ำสูงและค่าความกระด้างต่ำมักทำให้ค่า pH ของน้ำสูงจนทำให้ปลาตายได้ โดยเฉพาะในช่วงตอนบ่ายซึ่งมีแหล่งค้ตอนพีชมีการสังเคราะห์แสงสูง การแก้ไขทำได้โดยใช้สารเคมี เช่น บัวแอมโมเนียม อะลูมิเนียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลเฟต (ประเทือง เชาววิทย์กลาง, 2534)

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของค่า pH ต่อสุขภาพของปลา

ระดับ pH	ผลที่ปรากฏ
3.0-3.5	มีปลาไม่มากที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้หลายชั่วโมง ถึงแม้ว่าจะมีพืชและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจะปรากฏอยู่ก็ตาม
3.5-4.0	ระดับจำกัดการมีชีวิตของปลา salmonids แต่ปลาบางชนิด เช่น roach tench perch pike สามารถอยู่ได้ แต่ต้องภายหลังจากการปรับตัวของปลาแล้ว
4.0-4.5	เป็นระดับอันตรายสำหรับปลา salmonids roach tench ปลาทอง และปลาไน ซึ่งไม่มีการปรับตัวมาก่อนหน้านี้ ระดับอันตรายนี้ยังสัมพันธ์กับขนาดและอายุของปลาด้วย

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของค่า pH ต่อสุขภาพของปลา (ต่อ)

ระดับ pH	ผลที่ปรากฏ
4.5-5.0	เป็นอันตรายต่อไข่และตัวอ่อนของ salmonids และในปลาโตที่เคยอยู่ในน้ำอ่อนที่มีแคลเซียม โซเดียม และคลอไรด์น้อย
5.0-6.0	ไม่เป็นอันตรายต่อปลาถ้าหากคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ ไม่มีเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ในระดับพีเอชต่ำของระดับนี้จะเป็นอันตรายต่อ salmonids ถ้าหากมีแคลเซียม โซเดียม คลอไรด์ และอุณหภูมิของน้ำต่ำ
6.0-6.5	ไม่เป็นอันตรายต่อปลาชนิดใด ถึงแม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
6.5-9.0	ไม่เป็นอันตรายต่อปลา ถึงแม้จะมีความเป็นพิษของสารอื่นที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระดับนี้ก็ตาม
9.0-9.5	เป็นอันตรายต่อปลา salmonids และ perch หากอยู่ในระดับนี้นาน ๆ
9.5-10.0	เป็นอันตรายต่อการพัฒนาของปลาบางชนิด และจำกัดการมีชีวิตของปลา salmonids หากอยู่เป็นเวลานาน
10.0-10.5	ปลา salmonids และ roach มีชีวิตอยู่ได้ในระยะสั้น
10.5-11.0	ปลา salmonids จะตายทันที และปลาทอง ปลาไน tench และ pike จะทนอยู่ได้นาน
11.0-11.5	ปลาทุกชนิดจะตายอย่างรวดเร็ว

หมายเหตุ : มงคล ปริ้มผล (2533)

2.2.5 ความโปร่งใสของน้ำ (Transparency depth)

ค่าความโปร่งใสของน้ำเป็นความสามารถในการวัดการส่องผ่านของแสงในการทะลุผ่านลงไปใต้น้ำ ความโปร่งใสของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ควรมีค่าอยู่ ระหว่าง 30-60 cm ถ้าค่าความโปร่งใสต่ำกว่า 30 cm แสดงว่าน้ำมีความขุ่นหรือมีปริมาณแพลงค์ตอนมากเกินไป แต่ถ้าน้ำมีความโปร่งใสมากกว่า 60 cm ขึ้นไปแสดงว่าน้ำนั้นไม่มีความอุดมสมบูรณ์ ไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มงคล ปริ้มผล, 2533)

2.2.6 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นในน้ำเกิดขึ้นจากการที่น้ำมีสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น ดิน ทราย สารอินทรีย์ขนาดเล็ก แพลงค์ตอน จุลชีพขนาดเล็ก เป็นต้น โดยมีผลต่อการยอมให้แสงส่องผ่านลดลง

ซึ่งมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำจะปกคลุมร่างกายของสัตว์ มีผลทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดประสิทธิภาพลง ค่าความขุ่นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลาอยู่ระหว่าง 5-10 NTU (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544)

2.2.7 สารอาหารต่าง ๆ

2.2.7.1 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติมีปริมาณไม่สูงมากแต่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารอาหารที่กำหนดปริมาณผลผลิตของสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงในบ่อ การขาดแคลนฟอสฟอรัสมีผลทำให้ผลผลิตต่ำ ฟอสฟอรัสในน้ำมีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสในดินก้นบ่อ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544) ฟอสฟอรัสอาจพบในรูปสารละลายน้ำหรืออนุภาคแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลา ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้มักเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ส่วนสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำมักเป็นออร์โธฟอสเฟต อนุภาคแขวนลอยที่มีฟอสฟอรัส ได้แก่ แพลงก์ตอนต่าง ๆ แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือตะกอนแขวนลอยให้กลายเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา ควรมีความอยู่ระหว่าง 0.10-0.50 mg/l (วัดในรูปของฟอสฟอรัส) ถ้าน้ำในบ่อเป็นน้ำกระด้างที่มีแคลเซียมมาก และมีค่า pH สูง ฟอสเฟตจะตกผลึกในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ทำให้มีออร์โธฟอสเฟตละลายในน้ำน้อยลง ถ้าค่า pH ยิ่งสูงขึ้นก็ยิ่งจะมีออร์โธฟอสเฟตละลายในน้ำได้น้อยลง (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มันรัช ตัณฑุลเวศม์, 2547)

2.2.7.2 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนละลายน้ำมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ถ้าก๊าซไนโตรเจนละลายอยู่ในน้ำเกินจุดอิ่มตัวอาจมีผลทำให้เกิดโรคฟองก๊าซในเลือด (Gas Bubble Disease) (Lawson, 1995) เมื่อปลาอาศัยอยู่ในน้ำที่มีไนโตรเจนละลายน้ำสูงเกินจุดอิ่มตัวปกติ กระแสเลือดในตัวปลาจะดูดซับไนโตรเจนจากน้ำ เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างไนโตรเจนในน้ำและในเลือด ปลาจึงมีไนโตรเจนละลายอยู่ในเลือดมากเกินกว่าปกติ หากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจนมีผลทำให้ไนโตรเจนบางส่วนในเลือดกลายเป็นก๊าซ ฟองก๊าซจะทำให้เกิดภาวะอุดตันในหลอดเลือด ทำให้การหมุนเวียนของเลือดเกิดติดขัดปลาจะตายได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544)

2.2.8 ก๊าซต่าง ๆ ในน้ำ

2.2.8.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดินและในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปล่อย

ออกซิเจนอิสระออกมาละลายอยู่ในน้ำและจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2525)

บ่อปลาที่มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่น้อยเป็นเวลานาน ๆ อาจเป็นอันตรายต่อปลาได้ ภายใต้สภาวะดังกล่าวปลาอาจติดเชื้อโรคจากแบคทีเรียได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามปลาที่เลี้ยงอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่สูงเกินระดับบ่อตัวก็เป็นโรคได้ง่าย โรคที่เกิดจากน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่มากเกินไป เรียกว่า โรคฟองอากาศในเลือด ซึ่งเกิดจากการเกิดฟองก๊าซในเลือดในขณะที่ปลาเคลื่อนไหวตัวจากน้ำที่มีออกซิเจนสูงมายังน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ โรคดังกล่าวทำให้ปลาตายในขณะที่เคลื่อนที่ไปมาอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อย (มันสิน ตันฑุลเวศม์ และ มันรัชต์ ตันฑุลเวศม์, 2547) การศึกษาอิทธิพลของออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อิทธิพลของออกซิเจนละลายน้ำที่มีต่อปลา

ออกซิเจนละลายน้ำ	อิทธิพลที่มีต่อปลา
< 5 mg/l	อาจถึงตายถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ๆ หลายชั่วโมง
1-5 mg/l	ปลามีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปลาจะ เจริญเติบโตช้า และไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี
>5 mg/l	เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ แต่ไม่เกินระดับบ่อตัว

ที่มา : มันสิน ตันฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา (2544)

ปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนออกซิเจนต่ำไม่เท่ากัน บางชนิดอาจมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มี DO อยู่ 0.5 mg/l ได้หลายชั่วโมง แต่ปลาหลายชนิดทน DO ต่ำได้เพียง 3 mg/l โดยทั่วไประดับ DO ต่ำสุดที่ปลาจะทนได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาสัมผัส ปลาอาจมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ 0.5 mg/l ได้หลายชั่วโมง ปลามักทนออกซิเจนละลายน้ำต่ำได้ดีในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน สำหรับลำน้ำทั่วไปปลาเริ่มตายเมื่อมี DO ต่ำกว่า 3 mg/l ดังนั้นควรมีค่า DO อย่างน้อย 5 mg/l ปลาจึงจะมีชีวิตอยู่ได้เป็นปกติ (Stickney, 1993) ปลาตุ๊กตาสวมมีอัตราการรอดตายสูงกว่าปลาคูอเมริกัน (*Channel catfish*) เมื่ออาศัยอยู่ในน้ำที่ค่าออกซิเจนละลายอยู่น้อย (Dunham et al.,1983) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบอัตราการตายของปลาดุกอเมริกันและปลาดุกลูกผสม ที่ระดับค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

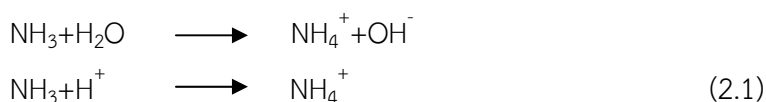
ลักษณะที่เพาะเลี้ยง	ร้อยละอัตราการตายของปลาดุกอเมริกัน	ร้อยละอัตราการตายของปลาดุกลูกผสม
บ่อ	50.5	7.5
แปลงทดลอง	87.5	51
ถัง	100	33

ที่มา : Dumham et al., (1983)

ปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลา มักมีสาเหตุมาจากการมีปริมาณแพลงค์ตอนมากเกินไป (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2525) และสาเหตุที่ทำให้มีแพลงค์ตอนมากเกินไปก็เนื่องมาจากการเติมปุ๋ยหรือให้อาหารมากเกินไป ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีปริมาณน้อยในช่วงก่อนที่พระอาทิตย์ขึ้นและจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันจนถึงช่วงเย็นและจะลดลงในช่วงกลางคืนเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงสิ้นสุดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปน้ำที่ความโปร่งใสของน้ำระหว่าง 30-60 cm เป็นน้ำที่มีแพลงค์ตอนมากบ่อน้ำที่มีความทึบ 10-20 cm ออกซิเจนมักเหลือน้อยมากในตอนกลางคืน จนถึงขั้นปลาลอยหัวที่ผิวน้ำได้ การขาดแคลนออกซิเจนในบ่อปลา มักเกิดขึ้นในตอนกลางคืน (Lawson, 1995)

2.2.8.2 ก๊าซไนโตรเจนละลายน้ำ

สัตว์น้ำเกือบทุกชนิดขับถ่ายของเสียที่เป็นสารไนโตรเจนมากกว่าร้อยละ 50 อยู่ในรูปของแอมโมเนีย แอมโมเนียเข้าสู่ปลาโดยผ่านทางปุย และอาหารปลา ซึ่งสิ่งขับถ่ายของปลาและการเน่าเปื่อยของสารประกอบไนโตรเจน (มันลิน ตันทูลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544) แอมโมเนียในน้ำอาจอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) หรือแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) แอมโมเนียอิสระเป็นพิษอย่างมากต่อปลา แต่แอมโมเนียไอออนไม่เป็นพิษ สัดส่วนของ NH_3 และ NH_4^+ ในน้ำขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิและปริมาณเกลือแร่ ปริมาณ NH_3 จะเพิ่มตามระดับ pH และอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Lawson, 1995) pH มีอิทธิพลต่อเคมีของแอมโมเนียในน้ำมากกว่าอุณหภูมิ ปริมาณเกลือแร่ในน้ำมีอิทธิพลน้อยเช่นเดียวกับอุณหภูมิแต่มีอิทธิพลในทางตรงกันข้าม คือ แอมโมเนียจะมีน้อยลงถ้ามีปริมาณเกลือแร่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในสมการที่ (2.1)



2.2.8.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

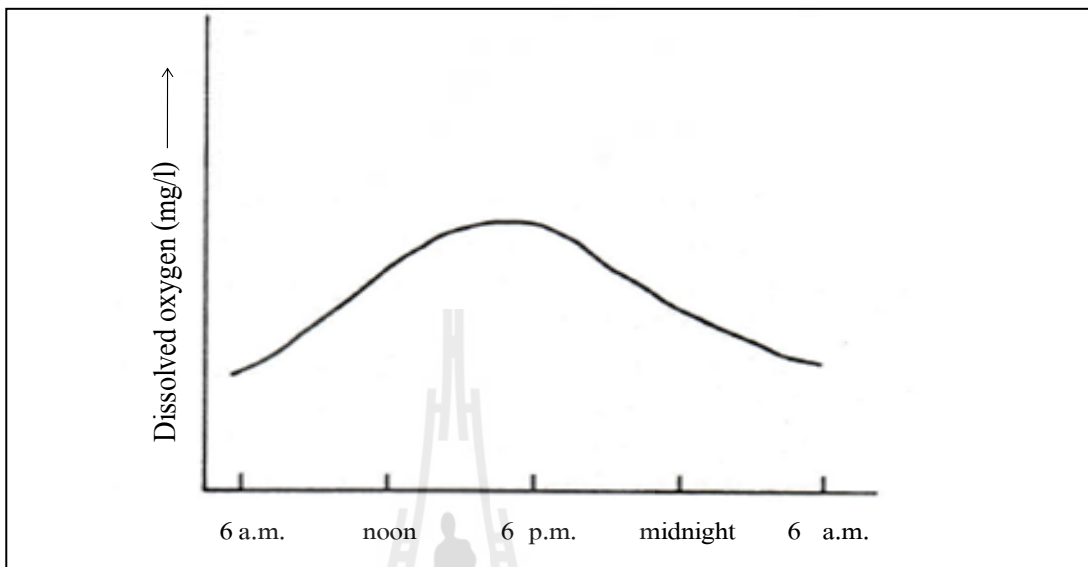
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีความสามารถละลายน้ำได้ดี คาร์บอนไดออกไซด์มีปรากฏอยู่ในแหล่งน้ำทั่วไป ซึ่งในระดับปกติไม่เกิน 10 mg/l และสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200 เท่า แต่เนื่องจากมีคาร์บอนไดออกไซด์น้อย จึงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซอื่น ๆ คาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2525) ในบ่อเลี้ยงปลา คาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่จะถูกใช้โดยพืชขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ในขณะที่เดียวกันบ่อปลาจะได้คาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจของพืชและสัตว์และการเน่าเสียของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการย่อยสลายของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรียนี้ จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ จำนวนแบคทีเรีย และอุณหภูมิ (ประเทือง เชาวรัชกลาง, 2534) ในตอนกลางวันคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงมักมีปริมาณสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อเลี้ยงปลาลดลง ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีแพลงค์ตอนมาก จะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อาจถูกใช้ไปจนหมดตั้งแต่เช้า เมื่อถึงเวลากลางคืนซึ่งไม่มีการสังเคราะห์แสงแต่ยังคงมีกระบวนการหายใจและคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ดีเนื่องจากอุณหภูมิลดลง จึงทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงรุ่งเช้าของวันใหม่จากนั้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อย ๆ ลดน้อยลง จนกระทั่งถึงตอนสายหรือตอนบ่าย เนื่องจากพืชโดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2525) การผันแปรของคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การผันแปรดังกล่าวเกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชหนาแน่นจะรุนแรงกว่าในบ่อเลี้ยงปลาที่มีแพลงค์ตอนพืชเพียงเล็กน้อย

2.2.9 สารพิษต่าง ๆ ในน้ำ

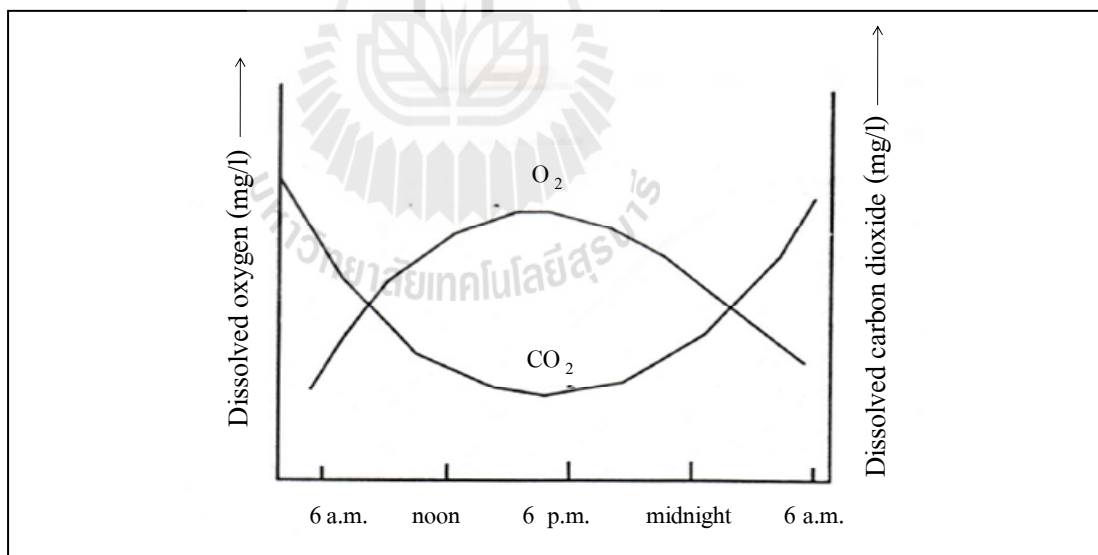
2.2.9.1 พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียจะทำให้ปลาไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือด ถ้า NH_3 ในน้ำมีปริมาณสูงเกินไปในขณะที่ระดับแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น ปลาขับถ่ายแอมโมเนียได้น้อยลงและระดับแอมโมเนียในเลือดและในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของเลือดมีค่าสูงขึ้นและเป็นผลเสียต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ทำให้มีความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน ความเข้มข้นเพียงประมาณ 0.025 mg/l ก็สามารถส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของปลา ถ้าจำกัดปริมาณของแอมโมเนียอิสระไม่เกิน 0.025 mg/l (เพื่อไม่ให้พิษต่อปลา) ปริมาณของแอมโมเนียทั้งหมด ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) ในน้ำที่มี pH และอุณหภูมิต่าง ๆ จะต้องมีค่าไม่เกินตัวเลขในตารางที่ 2.6 จะเห็นว่า ถ้าอุณหภูมิ 30°C ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมดจะสูงถึง 3.1 mg/l ได้โดยไม่เป็นพิษต่อปลาในน้ำที่มี pH 7 แต่ถ้า pH ของน้ำ

สูงถึง 9 แอมโมเนียทั้งหมดจะต้องไม่เกิน 0.056 mg/l มิฉะนั้นแล้วปลาจะเป็นอันตรายเนื่องจากแอมโมเนียเป็นพิษ (มันซิน ตันทูลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544) ค่าของแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรน้อยกว่า 1 mg/l (Lawson, 1995)



รูปที่ 2.2 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาในรอบวัน (Lawson, 1995)



รูปที่ 2.3 การผันแปรในช่วงวันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อเลี้ยงปลา (Lawson, 1995)

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมด ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) ที่ยอมให้มีได้ในน้ำโดยไม่เป็นอันตรายหรือมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา (NH_3 ไม่เกิน 0.025 mg/l)

อุณหภูมิ (°C)	pH = 7	pH = 7.5	pH = 8	pH = 8.5	pH = 9	pH = 9.5
5	19.6	6.3	2	0.65	0.22	0.088
10	12.4	5.9	1.37	0.45	0.16	0.068
15	9.4	4.3	0.93	0.31	0.12	0.054
20	6.3	2	0.65	0.22	0.088	0.045
25	4.4	1.43	0.47	0.17	0.069	0.039
30	3.1	1	0.33	0.12	0.056	0.035

หมายเหตุ : มันซิน ตัณซุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา (2544)

2.2.9.2 พิษของไนไตรท์

ไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินได้ ทำให้เมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่ได้รับไนไตรท์จึงมีเมทฮีโมโกลบินในเลือด ซึ่งเห็นได้เป็นสีน้ำตาล ปลาที่มีอาการเช่นนี้ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ เนื่องจากไม่สามารถใช้ออกซิเจน การสะสมตัวของไนไตรท์เชื่อว่าเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (มันซิน ตัณซุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2544) ค่าของไนไตรท์ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 mg/l (Meade, 1989)

2.2.10 พิษของโลหะหนัก

ปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะถูกปนเปื้อนด้วยสารชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยเกิดจากการทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย เป็นต้น เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องอาศัยแหล่งน้ำจากธรรมชาติ (ประเทือง ลำเจียกเทศ, 2534) สารพิษเหล่านี้จึงมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยตรงสารพิษที่กล่าวมามี 2 ประเภท คือ

- 1) โลหะหนัก เป็นสารที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ เช่น พรอท ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และโครเมียม สารเหล่านี้ทำอันตรายต่อสัตว์น้ำในระดับความเข้มข้นต่ำและจะสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์ ซึ่งสามารถถ่ายทอดมายังผู้บริโภคได้
- 2) สารเคมีจากการเกษตรกรรม โดยการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช สารปราบวัชพืช สารกำจัดเชื้อรา ซึ่งมีมากมายหลายชนิด บางชนิดสลายตัวเร็ว บางชนิดสลายตัวช้า

จากตารางที่ 2.7 สรุปรายละเอียดคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ ละพารามิเตอร์

ตารางที่ 2.7 คุณภาพน้ำที่ใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ลำดับที่	พารามิเตอร์	หน่วย	ปลา ¹	หอย ¹	ปลาตุ๊ก	
1	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	ไม่เกิน	MPN/100 มล.	10	1	
		สูงสุด	MPN/100 มล.	100	5	
2	อินทรีย์สาร					
	COD ²	ไม่เกิน	mg/l	50		
	BOD	ต่ำสุด	mg/l	10	5	10.5 ²
		สูงสุด	mg/l	30	20	41.2 ²
	DO	ไม่เกิน	mg/l	5		> 5 ³
น้ำมัน	สูงสุด	mg/l	5	2		
3	pH	-	-	6.5-8.5	6.5-8.5	7.5 - 8.5 ³
4	คุณสมบัติทางกายภาพ					
	ความขุ่น	ต่ำสุด	NTU	5	5	
		สูงสุด	NTU	10	50	
	สี	ต่ำสุด	หน่วยสี	5	10	
		สูงสุด	หน่วยสี	10	50	
	SS	ต่ำสุด	mg/l	10	10	40 ⁴
		สูงสุด	mg/l	20	100	225 ⁴
	สารลอยน้ำ(Floating Solids)	ต่ำสุด	mg/l	ไม่มี	ไม่มี	
		สูงสุด	mg/l	มีได้บ้าง	มีได้บ้าง	
	Alkalinity ⁶			mg/l	10-400	

ตารางที่ 2.7 คุณภาพน้ำที่ใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (ต่อ)

ลำดับที่	พารามิเตอร์	หน่วย	ปลา ¹	หอย ¹	ปลาดุก	
5	คุณสมบัติทางเคมี					
	Total Solids	ต่ำสุด	mg/l	1,000		
		สูงสุด	mg/l	5,000		
	Chloride Cl ⁻	ต่ำสุด	mg/l	1,000		
		สูงสุด	mg/l	2,500		
	สารที่เป็นพิษ	ต่ำสุด	mg/l	0.5	1	
		สูงสุด	mg/l	10		
	Phenol	ต่ำสุด	mg/l	0.1	1	
		สูงสุด	mg/l	1	10	
	Ammonia ⁵ (NH ₄)		mg/l	0.02 - 1		
	Ammonia ⁵ (TAN)		mg/l	< 1		
	Nitrite ⁵ (NO ₂)		mg/l	< 0.1		
Nitrate ⁵ (NO ₃)		mg/l	0 - 3			
Total phosphorus ⁵		mg/l	< 0.5			
6	อุณหภูมิ	°C	16	21	27 - 29 ⁶	

หมายเหตุ : ¹ มั่นสิน ตันกุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา (2544)

² Tucker and Hargreaves (2003)

³ Stickney (1993)

⁴ Tucker and Abramo (2008)

⁵ Meade (1989)

⁶ Tucker and Robinson (1990)

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันการจัดการน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลามักจะใช้วิธีกักเก็บน้ำทิ้งไว้ในบ่อหรือระบบบ่อฝิ่ง (Oxidation pond) ซึ่งมีความสามารถในการรองรับและบำบัดของเสียได้เช่นเดียวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แต่กลไกหรือกระบวนการในการบำบัดของเสียในบ่อฝิ่งจะไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพดีเท่ากับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพราะบ่อฝิ่งไม่มีชั้นกรองและพืชภายในระบบ ดังนั้นกลไกในการบำบัดของเสียในบ่อฝิ่งจึงอาศัยหลักการตามธรรมชาติ เช่น การย่อยสลายของของเสีย

การสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการเก็บกักค่อนข้างนานเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) แม้ว่ากระบวนการบำบัดของเสียในบ่อฝังและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีลักษณะเหมือนกัน คือ ใช้หลักการทางธรรมชาติ แต่การออกแบบและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ก็ระบบบ่อฝังแตกต่างกัน ในตารางที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์การออกแบบและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝังและระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีระยะเวลาในการเก็บกักน้อยกว่าระบบบ่อฝัง ทำให้ลดพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างระบบ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดอินทรีย์ใกล้เคียงกับระบบบ่อฝัง และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและตะกอนแขวนลอยสูงกว่าระบบบ่อฝัง

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์การออกแบบและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบ่อฝังและพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

พารามิเตอร์	บ่อฝัง	พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์
เกณฑ์การออกแบบ		
- Loading Rate (ha/m ³ -d)	3-14	2.14-7.16
- ความลึก (m)	1.2-2.5	0.1-0.6
- เวลาเก็บกัก (d)	80-180	4-15
ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย (%)		
- สารอินทรีย์	50-80	70-96
- ไนโตรเจน	10-50	25-85
- ฟอสฟอรัส	10-50	10-75
- ตะกอนแขวนลอย	50-60	60-90

หมายเหตุ : Kootatep et al. (2002)

2.4 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (constructed wetlands)

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีน้ำท่วมถึงหรือชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสภาวะการอึดตัวด้วยน้ำไว้ได้ (Kadlec and Kight, 1996) ความลึกของน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีระดับแตกต่างกันไปและน้ำจะไหลผ่านเข้าไปในบริเวณพืชขึ้นกันอยู่หนาแน่นอย่างช้า ๆ พืชส่วนใหญ่ที่พบในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ต้องเป็นพืชที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมและสภาพขาดออกซิเจนของดินได้ พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

เลียนแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ เช่น พืชจำพวกอ้อ (*Phragmites*) กก (*Scirpus*) และธูปฤาษี (*Typha*) บนตัวกลาง ได้แก่ ทราย กรวดหรือดินซึ่งใช้เป็นตัวกรอง ในบางครั้งพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์อาจถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบ ๆ และยาว โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เพราะจะมีการปรับระดับดินที่พื้นบ่อและมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในบ่อ และสามารถปรับเปลี่ยนหรือตัดแปลงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ภายในบ่อได้ตามความต้องการโดยอาศัยหลักการจัดการเกี่ยวกับพืชและองค์ประกอบอื่น ๆ ของระบบ (Reed et al., 1988)

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดของเสียจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของชั้นกรอง การสะสมในพืช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ พืชในระบบสามารถกำจัดมลสารต่าง ๆ ได้ด้วยการออกซิโดรีดิวชัน สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กลไกสำคัญที่ใช้ในการบำบัดของเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แสดงไว้ในตารางที่ 2.10 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดของเสียอีกระบบหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้าง การควบคุมการทำงานและบำรุงรักษาระบบค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มทัศนียภาพและเป็นสถานที่พักผ่อนได้อีกด้วย (Kadlec and Knight, 1996; Cooper et al., 1996; lamchaturapatr et al., 2007)

2.4.1 องค์ประกอบของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Wetland Component)

องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีดังต่อไปนี้

1) ตัวกลาง (substrata)

ตัวกลางที่เลือกนำมาใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไปโดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในตัวกลางเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ นอกจากนี้จะเป็นที่ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่าง ๆ ด้วย ลักษณะทางกายภาพของตัวกลางก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วยตัวอย่างเช่น ตัวกลางที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับในการบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย

ตัวกลางของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ แยกตามปริมาณของออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งได้แก่

- บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ บริเวณนี้ น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้
- บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (mildly anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน (aerobic) ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ตัวกลางได้บางส่วน
- บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Strongly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของตัวกลางและในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ

ตารางที่ 2.9 กลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

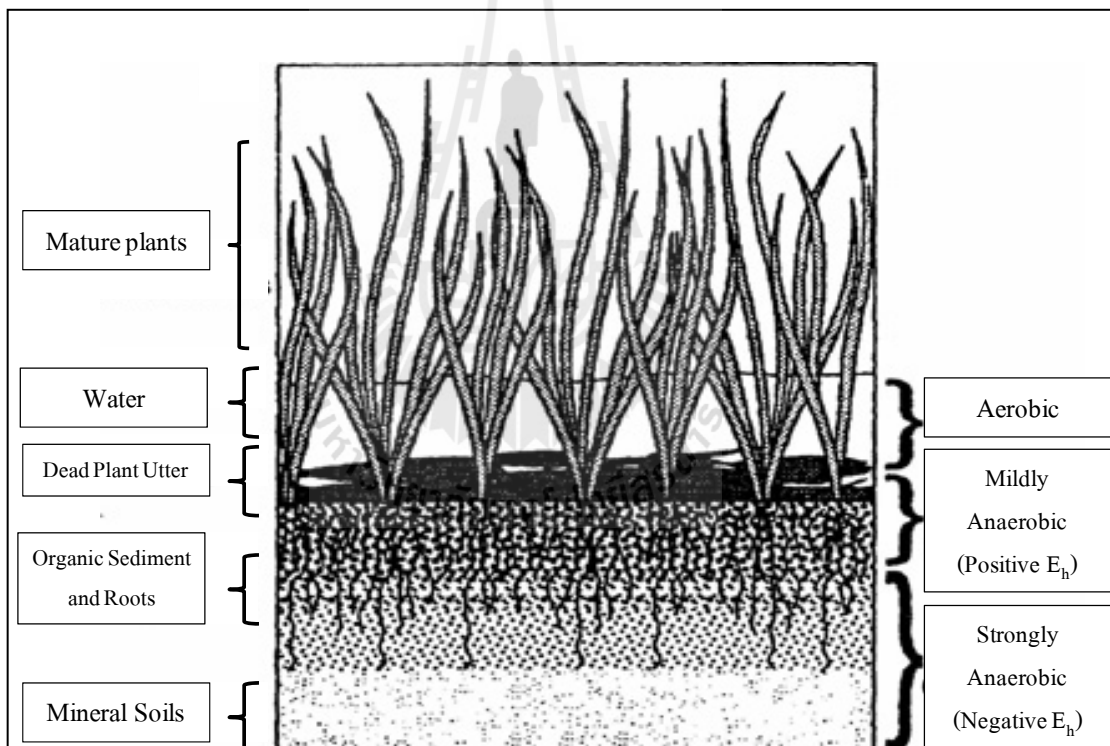
องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน
	- การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์
	- การตกตะกอน
ไนโตรเจน	- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์
	- พืชนำไปใช้
	- การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- ดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-ตกตะกอนโดยอะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม และแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน)
	- พืชนำไปใช้
เชื้อโรค	- การตกตะกอน
	- การกรอง
	- การตายตามธรรมชาติ
	- รังสี UV

หมายเหตุ : กลอยกาณูจ์ เก้าเนตรสุวรรณ (2544)

2) จุลินทรีย์ (microbial organisms)

จุลินทรีย์จะมีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและเกาะกันอยู่ในรูปของตะกอน โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมสู่พื้นบ่อเกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ ออกซิเจนและไม่ใช้

ออกซิเจนที่เกาะติดอยู่กับพืชและที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศจะเกิดขึ้นในช่วงที่ออกซิเจนขาดแคลนหรือเกิดในชั้นตะกอนที่ไม่มีออกซิเจน สารที่ถูกย่อยสลายแล้วจะกลายเป็นปุ๋ยสำหรับพืชดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป (สุชาติดา ปุณณสัมฤทธิ์, 2548) จุลินทรีย์ที่พบในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว โดยทั่วไป จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหารและพลังงานสำหรับการดำรงชีพของจุลินทรีย์พืช ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลินทรีย์คือสารอินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะมีการจัดสถานะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี



รูปที่ 2.4 ตัวยกกลางของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Kedlec and Knight, 1996)

3) พืช (Plants)

หน้าที่หลักของพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์คือการลำเลียงออกซิเจน โดยผ่านทางระบบรากพืช ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในตัวยกกลางที่ระดับ

ต่ำกว่าพื้นผิวประมาณ 50-150 cm โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบและลำเลียงออกซิเจนซึ่งใช้หลักการแพร่ (Diffusion) และการไหลพาของอากาศ (Convective) ลงไปยังระบบราก ทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนได้ดีกว่าการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียวปกติแล้วพันธุ์ของพืชที่จะปลูกในระบบพื้นที่ชุ่มประดิษฐ์ควรเป็นพืชที่สามารถพบได้ในท้องถิ่น เพราะพืชจะคุ้นเคยกับสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่ในบริเวณนั้นจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี (U.S.EPA, 2000) อย่างไรก็ตามลักษณะของน้ำเสียที่จะใช้บำบัดก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วย เช่น พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอาหารสูง ๆ เช่น สิ่งปฏิกูล หรือน้ำเสียจากการเกษตร คือ ธูปฤาษี กก อ้อ และหญ้าน้ำค้าง เป็นต้น นอกจากนี้การใช้สารอาหารของพืชมีบทบาทสำคัญในการกำจัดไนโตรเจนฟอสฟอรัส และมลสารอื่น ๆ ในน้ำเสียด้วย อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกจำกัดโดยอัตราการเจริญเติบโตสุทธิและความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อในพืชที่มีอายุน้อยความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) และลดลงเมื่อโตเต็มที่ (กลอยกาญจน์ เก้าเนตรสุวรรณ, 2544) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อและอัตราการนำไปใช้ของพืชแต่ละชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.10 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและอัตราการนำไปใช้ของพืช

พืช	อัตราการนำไปใช้ (กิโลกรัม/ตารางเมตร/ปี)		ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อพืช (กรัม/กิโลกรัม)		อัตราการเติบโต (ต้นต่อตารางเมตร ต่อปี)
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	
ธูปฤาษี	0.06-0.263	0.0075- 0.0403	5-24	0.5-4	0.0008-0.0061
หญ้าน้ำ ทรงกระเทียม	0.0125	0.0018	8-27	1-3	-
อ้อ	0.0225	0.0035	18-21	2-3	0.01-0.06

หมายเหตุ : Reddy and Dedusk (1987)

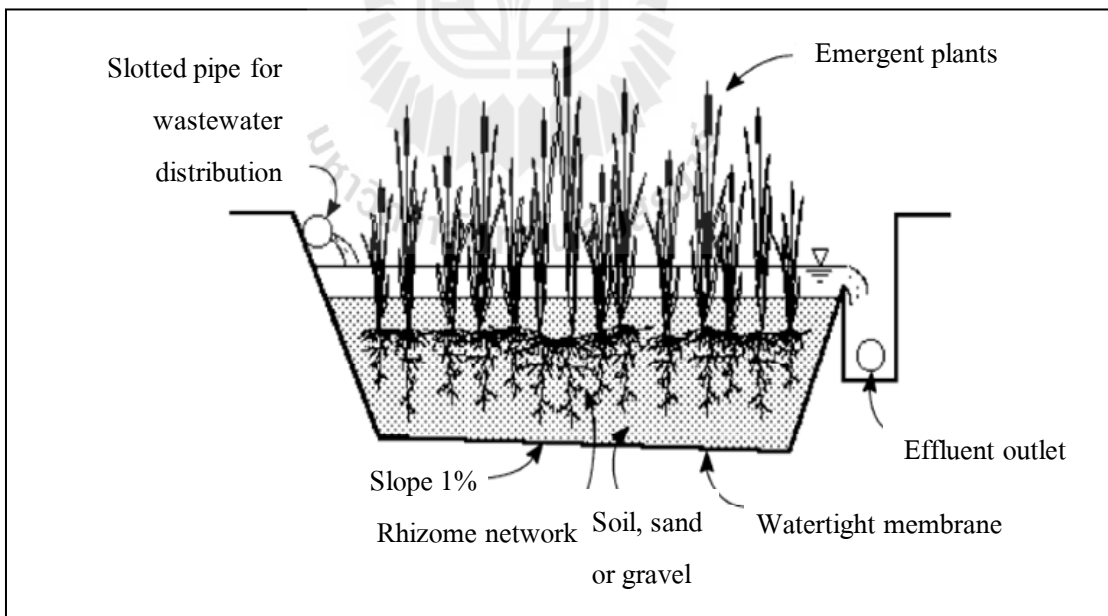
2.4.2 ชนิดและหน้าที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) *พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Free Water Surface Systems : FWS)* ระบบนี้จะประกอบด้วยแอ่งหรือร่อง ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่น ๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่าง ๆ ที่จะช่วยให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือตัวกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

โดย เฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้า ๆ ผ่านกึ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบ จะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (Plug-Flow) ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาการไหลล้นตัวของระบบลดลงได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีอยู่ในช่วง 45-60 kg/ha-d (U.S.EPA, 2000)

การกำจัดสารอินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและแหล่งออกซิเจนที่จะใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดของเสียโดยจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนหนึ่งได้มาจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำและปริมาณออกซิเจนที่จะถูกลำเลียงผ่านไปยังส่วนรากของพืช ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยรูปที่ 2.6 ก. เป็นบริเวณใกล้ผิวน้ำซึ่งระบบมีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศ จะเกิดขึ้นที่ส่วนของลำต้นพืชหรือชั้นตัวกลางซึ่งเป็นบริเวณที่มีการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนบริเวณรอบ ๆ ต้นพืชก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ต้นพืชและเกิดกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนรูปที่ 2.6 ข. แสดงกระบวนการบำบัดบริเวณรากพืช ซึ่งเป็นบริเวณที่จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนทำการบำบัดน้ำเสียซึ่งออกซิเจนส่วนใหญ่มาจากการแพร่กระจายจากบรรยากาศผ่านในต้นพืชและแพร่ออกทางรากของพืช และรูปที่ 2.6 ค. แสดงกระบวนการบำบัดบริเวณตัวกลางที่อยู่ลึกลงไปจากรากพืช เป็นบริเวณที่จุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนทำการบำบัดน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)



รูปที่ 2.5 พื้นที่น้ำชุ่มประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว (Polprasert, 2004)

2) **พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow Systems : SF)**
ระบบนี้ประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน มีตัวกลางเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตัวกลางที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 cm) กรวดและดินชนิดต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน (Reed et al., 1988) น้ำเสียที่ไหลผ่านด้านข้างหรือไหลในแนวตั้งของตัวกลางจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวน้ำของตัวกลางและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกลางจะอึดตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศขึ้น แต่พืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้

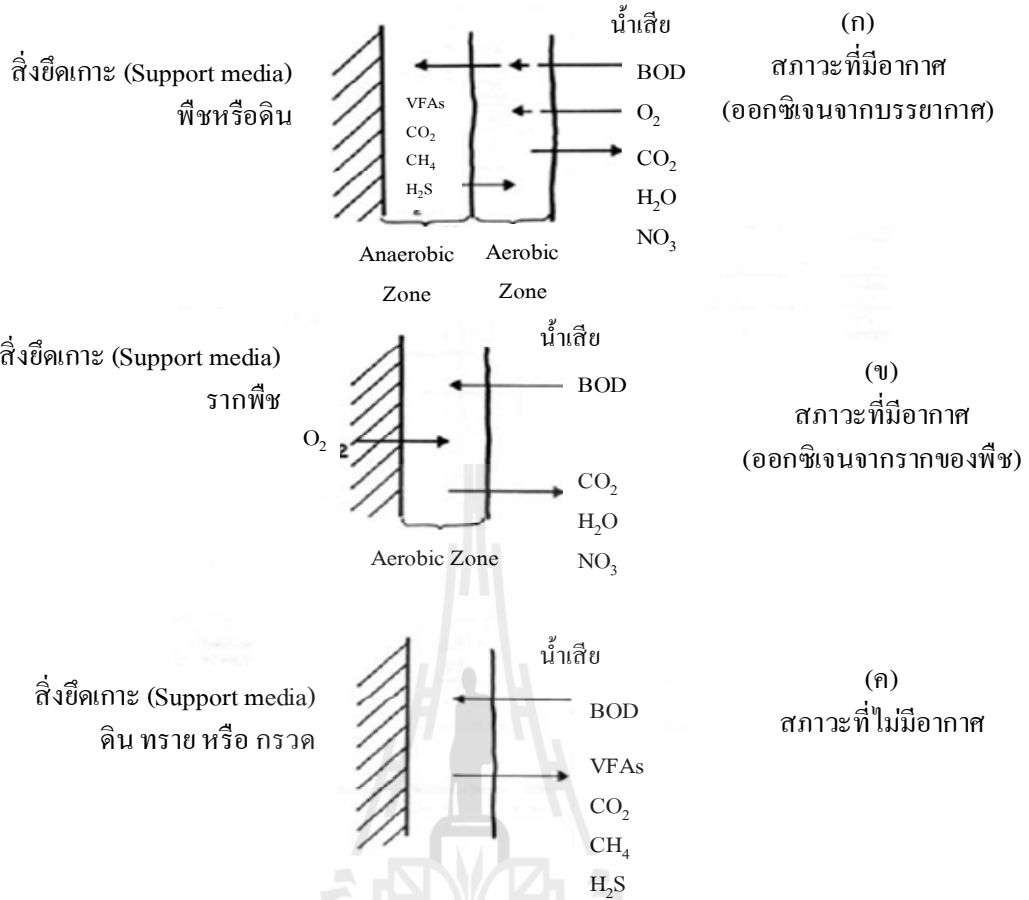
2.4.3 ปัจจัยสภาวะแวดล้อมภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

2.4.3.1 ออกซิเจน (Oxygen)

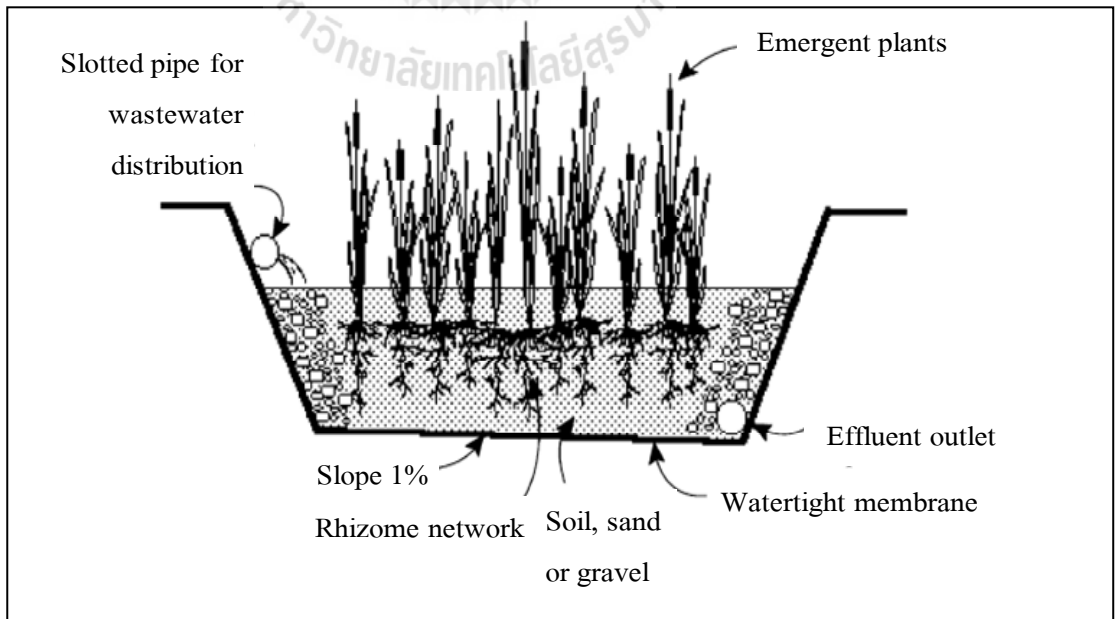
ออกซิเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถมีได้ด้วยการถ่ายเทออกซิเจน (Oxygen Transfer) จากบรรยากาศสู่น้ำและการดึงออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเกิดขึ้นที่ใบพืชผ่านไปยังก้านพืช เข้าสู่ระบบรากพืช ในส่วนของตัวกลางซึ่งสัมผัสกับรากและไรโซมสามารถเกิดสภาวะแอโรบิกและแอนแอโรบิกได้ (Reed et al., 1988) ออกซิเจนจากรากจะถ่ายออกสู่บริเวณราก (Root Zone) ทำให้เกิดสภาวะแอโรบิก ดังนั้น สภาวะแอโรบิกและสภาวะแอนแอโรบิกจึงเป็นส่วนประกอบของชั้นตัวกลางนั่นเอง Reed et al.(1988) ได้รายงาน bahwa พืชโพลีพืชน้ำสามารถถ่ายเทออกซิเจนจากพื้นผิวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ได้ 5-45 กรัมออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชและระดับความเค้นของดิน (Soil Stress)

2.4.3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อการทำงานของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนการทำงานบางอย่างของระบบ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูง การระเหยและการคายน้ำของพืชจะมากทำให้ความเข้มข้นของมลสารเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการทำให้เจือจางก่อนเข้าระบบหรือมีการบำบัดขั้นต้นเพิ่มเติม ส่วนในช่วงอุณหภูมิต่ำมากจนทำให้น้ำเป็นน้ำแข็ง ต้องมีการเติมอากาศเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำ ป้องกันไม่ให้น้ำแข็งตัว กรณีอุณหภูมิสูงอาจทำให้การบำบัดเป็นไปไม่ดี เพราะความร้อนจะทำลายพืชบางชนิดหรือเพิ่มอัตราการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการเสียสมดุลของอัตราการลดค่าบีโอดีและการละลายออกซิเจนจากบรรยากาศ นอกจากนี้ น้ำที่ร้อนขึ้นอาจทำให้น้ำที่ออกจากระบบมีอุณหภูมิสูงกว่ามาตรฐาน แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำอัตราการย่อยสลายจะลดลง และพืชบางชนิดอาจตายได้ ทำให้แบคทีเรียไม่มีที่ยึดเกาะ และไม่มีสารไหลซึมของสารประกอบบางอย่างในพืช และถ้าอุณหภูมิลดลงถึงศูนย์องศาเซลเซียสการย่อยสลายจะหยุดลง (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2538)



รูปที่ 2.6 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)



รูปที่ 2.7 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้พื้นผิว (Polprasert, 2004)

2.4.3.3 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีผลต่อลักษณะทางเคมีของน้ำ และสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เนื่องจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการชีววิทยาจะเกิดในช่วงพีเอชที่จำกัด เช่น การบำบัดโดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในช่วงพีเอช 4.0-9.5 และการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันโดยสิ่งมีชีวิตอยู่ในช่วงพีเอช 6.5-7.5 แต่จะดีที่สุดในช่วงพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือมากกว่า เป็นต้น นอกจากนี้พีเอชยังเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ด้วย (Kadlec and Knight, 2006)

2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดของเสียจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของชั้นกรอง การสะสมในพีช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ พีชในระบบสามารถกำจัดมลสารต่างๆ ได้ด้วยการออกซิไดซ์ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กลไกสำคัญที่ใช้ในการบำบัดของเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แสดงไว้ใน มีดังต่อไปนี้

2.5.1 การกำจัดสารอินทรีย์

จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และเกาะกันอยู่ในรูปของตะกอน โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมลงสู่พื้นบ่อเกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนที่เกาะติดอยู่กับพีช และที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศจะเกิดขึ้นในช่วงที่ออกซิเจนขาดแคลนหรือเกิดในชั้นตะกอนที่ไม่มีออกซิเจนสารที่ถูกย่อยสลายแล้วจะกลายเป็นปุ๋ยสำหรับพีชดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ง่ายจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน โดยจะขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำ อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ และแหล่งออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาการบำบัดสำหรับกรณีที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรอง และอัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นกรอง (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

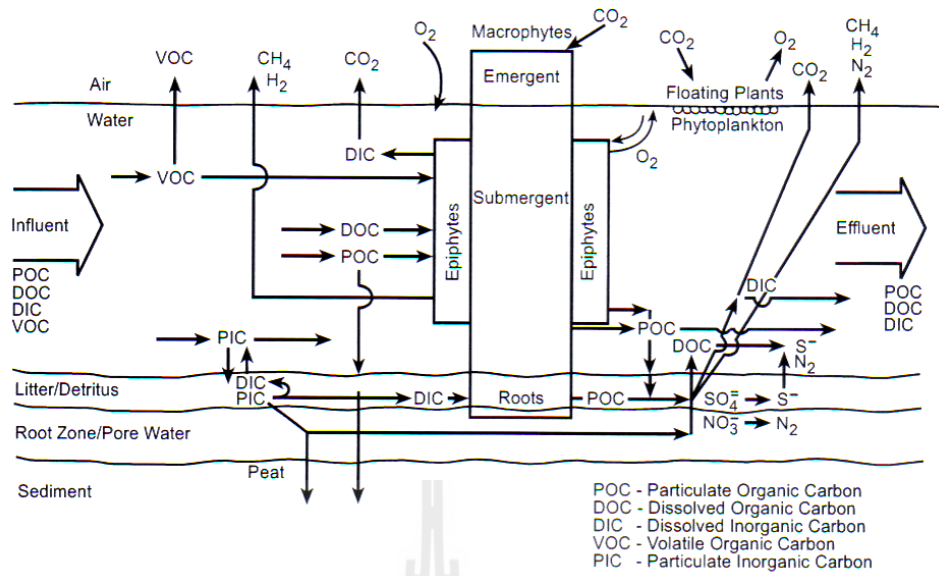
กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แสดงดังรูปที่ 2.8 จุลินทรีย์จะมีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และเกาะกันอยู่ในรูปของตะกอน โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมลงสู่พื้นบ่อเกิดการย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนที่เกาะติดอยู่กับพีช และที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศจะเกิดขึ้นในช่วงที่ออกซิเจนขาดแคลนหรือเกิดในชั้นตะกอนที่ไม่มีออกซิเจน สารที่ถูกย่อยสลายแล้วจะกลายเป็นปุ๋ยสำหรับพีชดูดซึม

ไปใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนได้ง่ายจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลาง โดยจะขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำ อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ และแหล่งออกซิเจนที่ใช้ในปฏิบัติการการบำบัดสำหรับกรณีที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว ส่วนพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางจะขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรอง และอัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นกรอง โดยออกซิเจนสามารถถ่ายเทผ่านได้ง่าย

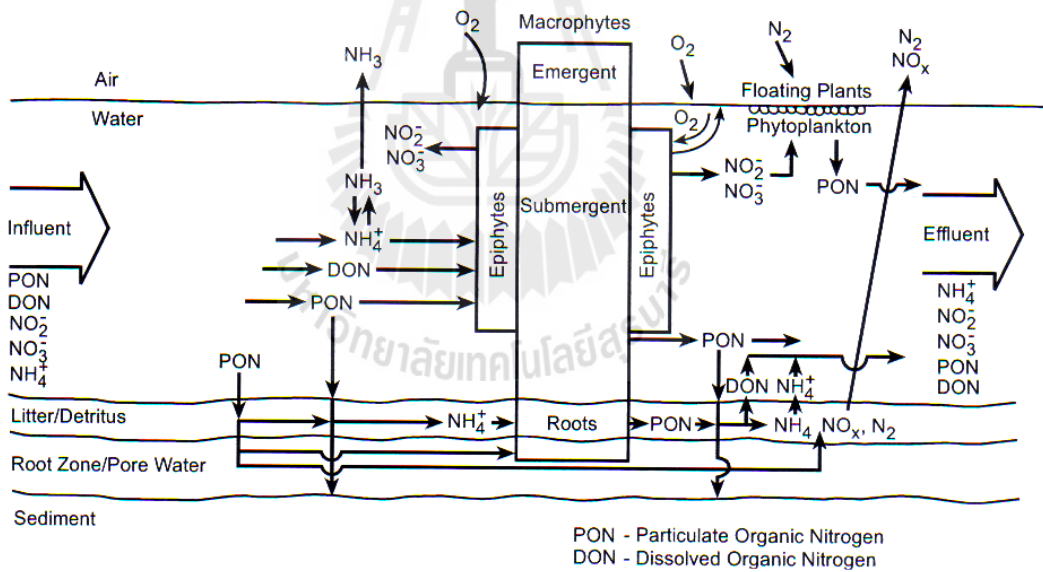
2.5.2 การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีหลายกลไก คือ การนำไปใช้โดยพืช การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในดิน การระเหยในรูปของแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งการบำบัดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ เช่น แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่มีออกซิเจน และ ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันมาจากการถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ และที่ซึมผ่านจากรากพืช (กลอยกาญจน์ เก้าเนตรสุวรรณ, 2544)

กลไกการกำจัดไนโตรเจนในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แสดงดังรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าในการกำจัดไนโตรเจนที่เกิดขึ้น มีทั้งการกำจัดด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยส่วนใหญ่แล้วไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) การดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในพืช และการระเหยของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ส่วนมากจะพบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย ในสภาวะที่มีพีเอชและอุณหภูมิสูงกระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) ไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน เป็นขั้นตอนแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นจะเกิดกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน โดยมีไนโตรที่ไนโตรเจน เป็นสารที่อยู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยานี้ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดในน้ำหรือดินที่มีออกซิเจนเพียงพอ (Aerobic) ซึ่งจะรวมถึงบริเวณรอบ ๆ รากพืชด้วย แต่ถ้าระบบอยู่ในสภาวะที่ไร้อากาศหรือออกซิเจน (Anoxic) กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) จะเกิดขึ้นและ ไนเตรทไนโตรเจน จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนโตรที่ไนโตรเจน และ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในที่สุด นอกจากการกำจัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ที่เกิดจากจุลินทรีย์แล้ว ยังเกิดการดูดซับไนเตรทไนโตรเจนและแอมโมเนียมไนโตรเจนด้วยตัวกลาง โดยประจุลบของ ไนเตรทไนโตรเจนจะถูกยึดติดกับไอออนบวกบริเวณพื้นผิวของตัวกลาง เช่น แร่ดินเหนียว ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางด้านไฟฟ้า (Electrostatic Bonding) คือ ประจุลบของไนเตรทไนโตรเจนจะถูกยึดอยู่กับประจุบวกของตัวกลาง และยังเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์



รูปที่ 2.8 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (U.S. EPA, 2000)



รูปที่ 2.9 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (U.S. EPA, 2000)

ไอออนในสารละลาย เมื่อ ไนเตรทไนโตรเจนเข้าไปแทนที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของตัวกลางได้ เช่น โลหะหนักพวก อะลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น การดูดซับแอมโมเนียมไนโตรเจนด้วยตัวกลางจะเป็นการดูดซับไอออนบวก (Adsorption of Cation) ของอนุภาคตัวกลางที่มีประจุบริเวณผิวเป็นลบ โดยแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ถูกยึดอยู่ที่ผิวของตัวกลางจะการยึดแบบหลวม ๆ สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยไอออนบวกชนิดอื่นได้ (ปัทมา วิทยากร, 2533) นอกจากนี้แอมโมเนียมไนโตรเจนยังสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกกับไอออนบวกที่เกาะอยู่บริเวณผิวของตัวกลางได้ เช่น โพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน เป็นต้น (Evangelou, 1998; Demir et al., 2002)

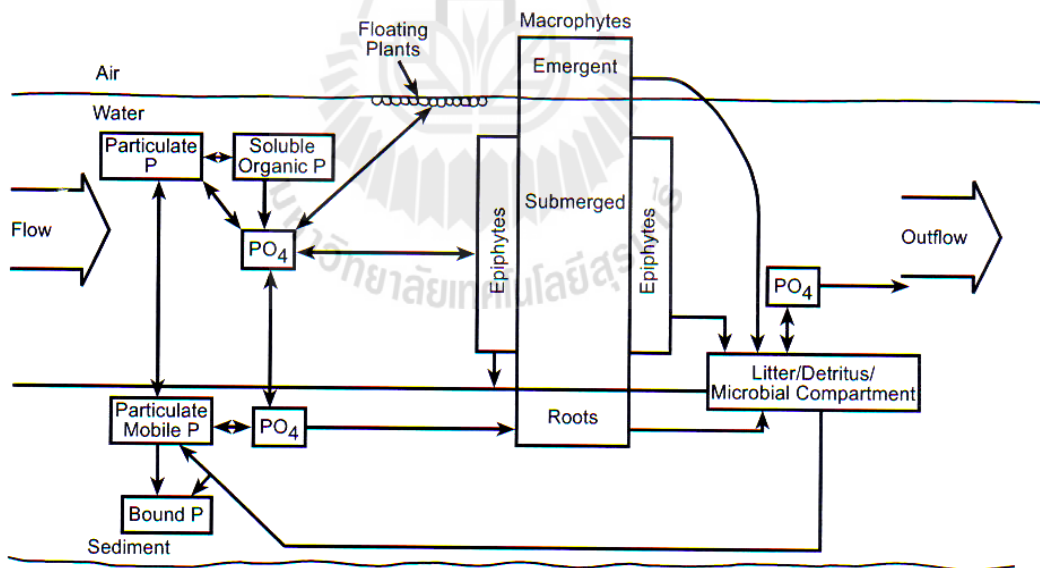
2.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ คือ การตกตะกอนผลึก การดูดซับโดยตัวกลาง และการดูดซึมโดยพืช ซึ่งส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นที่ชั้นของตัวกลาง ถ้าหากตัวกลางมีส่วนผสมของเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น เมื่อตัวกลางดูดซับฟอสฟอรัสไว้พืชจะดูดซึมผ่านราก และนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ต่อไป โดยเมื่อฟอสฟอรัสยึดติดกับตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แล้ว จากนั้นจะเกิดการดูดซับ และตกตะกอนผลึก โดยความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลางแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของตัวกลางชนิดนั้น ๆ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) สารประกอบฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำจะมาจากน้ำที่ไหลเข้า และการพัดพาของบรรยากาศ ส่วนใหญ่จะพบฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ ของแข็ง และฟอสฟอรัสอินทรีย์ในรูปของแข็ง การกำจัดฟอสฟอรัสของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ได้แก่ การตกตะกอนผลึก การดูดซับโดยตัวกลาง การย่อยสลายของจุลินทรีย์ และการดูดซึมโดยพืช ซึ่งส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นที่ชั้นของตัวกลาง โดยการทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียมที่ประกอบอยู่ในตัวกลาง (Zhu et al., 1997; Bubba et al., 2003) จากนั้นพืชจะดูดซึมผ่านทางราก และนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ต่อไป โดยเมื่อฟอสฟอรัสยึดติดกับตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แล้ว จากนั้นจะเกิดการดูดซับ และตกตะกอนผลึก โดยความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลางแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของตัวกลางชนิดนั้น ๆ

กระบวนการกักเก็บและแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำทั่วไป แสดงในรูปที่ 2.10 โดยจะเห็นได้ว่าวงจรของฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีส่วนประกอบสำคัญหลายอย่างได้แก่ น้ำ พืช สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก อนุภาคต่าง ๆ ในระบบ และตัวกลาง ฟอสฟอรัสตามธรรมชาติที่เข้าสู่ระบบมาจากน้ำที่เข้าสู่ระบบ และการพัดพาในอากาศ ทั้งในรูปสารละลายและรูปของแข็ง ส่วนฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบจะปนไปกับน้ำออก และซึมลงไปที่ดินชั้นตัวกลางและชั้นตะกอน

ฟอสฟอรัสบางส่วนก็ระเหยไปในอากาศ กลไกของการกำจัดฟอสฟอรัสในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญที่สุดคือ การซึมลงไปในชั้นตัวกลาง และมีการสะสมที่ตัวกลางชั้น ส่วนในแง่ของการดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ของพืช และกิจกรรมการนำไปใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิต เช่น ปลา หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำถือเป็นส่วนน้อยในกรณีที่ต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น การใช้ส่วนผสมระหว่างชั้นตัวกลางที่มีเหล็กและอลูมิเนียมได้รับความนิยม โดยอาจจะมีการเติมทรายเข้าไปเพื่อช่วยปรับค่าการนำการไหล ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบดีขึ้น (Steiner and Freeman, 1989)

กลไกการบำบัดมลสารต่าง ๆ ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การดูดซับ การตกตะกอน การกรองของตัวกลาง การสะสมในพืช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ สรุปกลไกการบำบัดที่สำคัญของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สามารถแสดงดังตารางที่ 2.12



รูปที่ 2.10 กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (U.S. EPA, 2000)

ตารางที่ 2.11 สรุปกลไกการกำจัดมลสารต่าง ๆ ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

มลสาร	กลไกการกำจัด
สารอินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพ โดยสภาวะแอโรบิก แพคัลเททีฟ และแอนแอโรบิกแบบคทีเรีย ที่อาศัยอยู่บนพืชและชั้นตะกอน - กระบวนการดูดซับ - การกรอง - การตกตะกอน
ไนโตรเจน	<ul style="list-style-type: none"> - ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน / ดีไนตริฟิเคชัน - การดูดซับโดยตัวกลาง - การดูดซึมโดยพืช - การระเหยเป็นไอ
ฟอสฟอรัส	<ul style="list-style-type: none"> - การกรอง - การตกตะกอน - การดูดซับด้วยตัวกลาง - การดูดซึมโดยพืช

2.6 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวและแบบไหลใต้พื้นผิวจะมีปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบดังต่อไปนี้ (U.S.EPA, 2000)

2.6.1 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time : HRT)

มีหน่วยเป็น วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ใช้จะกำหนดโดยตั้งสมมุติฐานว่ามีการกวนสมบูรณ์หรือเป็นปลั๊กโฟลว์ (Plug Flow) การหาค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แท้จริงทำได้ยากเพราะการไหลในระบบจะซับซ้อน เนื่องจากมีพืชเจริญเติบโตอยู่ และพืชจะไปแทนที่ปริมาตรน้ำจำนวนหนึ่งด้วย (ศุขาคานตวนิชกูร, 2538) ระยะเวลาเก็บกักน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการเกิดการย่อยสลายทางชีววิทยาหรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ (กฤตธี วงศ์สถิตย์, 2544)

2.6.2 ความลึกน้ำ (Water Depth)

ความลึกของน้ำมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวเท่านั้น ระดับน้ำจะเป็นปัจจัยหลักในการเลือกและบำรุงรักษาพืชในระบบ เพราะพืชบางชนิดต้องการที่จะอยู่ในน้ำตื้นไปจนถึงระดับที่ลึกขึ้นตามแต่ชนิดของพืช (ศุขาคานตวนิชกูร, 2548)

2.6.3 อัตราภาระบรรทุกทุกชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR)

มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ (ตารางเมตร-วัน) เป็นปริมาตรของน้ำที่เติมต่อวันต่อพื้นที่ผิวของระบบ ปกติแล้วระบบพืชน้ำส่วนใหญ่จะดำเนินแบบไหลต่อเนื่อง (ศุขสา กานตวนิชกูร, 2538)

2.6.4 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ (เฮกแตร์-วัน) เช่น ค่าบีโอดี เป็น กิโลกรัม บีโอดี/ (เฮกแตร์-วัน) เป็นมวลของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อหน่วยพื้นที่ผิวของระบบต่อหน่วยวัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหล และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (สุชาติ ปุณณสัมฤทธิ์, 2548)

2.6.5 ความลึกของตัวกลาง (Depth of media)

มีหน่วยเป็น เมตร มีความสัมพันธ์กับความยาวของรากพืช หากความลึกของชั้นตัวกลางมีความเหมาะสมกับความยาวของรากพืชจะส่งผลให้พืชสามารถพัฒนาระบบรากได้ดี

2.6.6 ความพรุนของดิน (porosity)

มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ของระบบ หากตัวกลางที่เลือกใช้มีค่าความพรุนสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดจะสูงด้วย และใช้พื้นที่ในการกำจัดน้อยลง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 ปลาตุ๊กกฤษม

เตชา นาวานุเคราะห์ และ ชลิต อินทรรัตน์ (2543) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลาตุ๊กกฤษมที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตกลม โดยทำการเลี้ยงที่อัตราการปล่อย 3 ระดับ คือ 30 50 และ 70 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าที่อัตราการปล่อย 70 ตัวต่อตารางเมตร มีการเจริญเติบโตได้ดี ที่อัตราการปล่อย 50 และ 70 ตัวต่อตารางเมตร มีอัตราการเปลี่ยนเป็นเนื้อต่ำกว่าอัตราการปล่อย 30 ตัวต่อตารางเมตร โดยมีอัตราการรอดตายของปลาตุ๊กกฤษมในสัปดาห์สุดท้ายมีค่าเท่ากับร้อยละ 50.05 40.23 และ 41.84 ที่อัตราการปล่อย 30 50 และ 70 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ

วิกรม เจตนาวิชย์ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาค่าทางโลหิตวิทยา เคมีคลินิก และพยาธิวิทยาของปลาตุ๊กกฤษมที่แสดงอาการดีซ่าน พบว่าสาเหตุที่ปลาตุ๊กกฤษมแสดงอาการดีซ่านเป็นผลมาจากเม็ดเลือดแดงถูกทำลายทำให้เกิดสภาวะโลหิตจาง ซึ่งรวมถึงสาเหตุของอาการขาดธาตุอาหารและแร่ธาตุ รวมถึงคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมโดยตรวจพบค่าไนโตรเจนในน้ำสูงซึ่งส่งผลให้เนื้อเยื่อในร่างกายของปลาเกิดสภาวะขาดออกซิเจนทำให้ปลาอ่อนแอ

วีณา เคยพุดชา และคณะ (2550) ได้มีการศึกษาผลของออกซิเจนละลายในน้ำต่อค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊ก โดยทำการเลี้ยงปลาตุ๊กในน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำ 3 ระดับ คือ (1) ค่า

ออกซิเจนละลายน้ำ 5-6 ppm (ระดับปกติ) (2) ออกซิเจนละลายน้ำต่ำระยะสั้น (3 ชั่วโมง) และ (3) ออกซิเจนละลายน้ำต่ำระยะยาว (90 วัน) พบว่าออกซิเจนละลายน้ำระดับปกติและออกซิเจนละลายน้ำต่ำระยะสั้นมีผลมีค่าทางโลหิตวิทยาทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในสถานะที่มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำในระยะยาว พบว่าค่า cortisol มีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากปลาได้รับความเครียดจากปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำ

บัญญัติ ศิริธนาวงศ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาผลของความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตายและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาดุกทะเลมาเลี้ยงในกระชังขนาด 1.5 m^3 ด้วยความหนาแน่น 3 ระดับ คือ 20 25 และ 100 ตัวต่อตารางเมตร ให้อาหารแตกต่างกัน 3 แบบ คือ 1 2 และ 3 ครั้งต่อวัน พบว่าการเลี้ยงปลาดุกที่ความหนาแน่น 25 ตัวต่อตารางเมตร ให้ผลน้ำหนัก อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด และอัตราการรอดตายในทุกความถี่การให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Senanan et al. (2004) พบว่ามากกว่าร้อยละ 80 ของปลาดุก เกษตรกรนิยมเลี้ยงปลาดุกลูกผสมเนื่องจากการเจริญเติบโตเร็วและมีความทนทานสูง Tucker and D'Abramo (2008) รายงานว่าน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกมีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.5-8.5 และ Stickney and Andrews (1972) พบว่าปลาดุกอยู่ในช่วง 26 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงคืออุณหภูมิ -30°C

Nieuwgiessen et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของอายุและความหนาแน่นของการเลี้ยงปลาดุกอเมริกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ เฟส 2a ความหนาแน่น 67-1067 ตัวต่อตารางเมตร พบว่ามีน้ำหนัก 102.1 ± 3.49 กรัม และเฟส 2b ความหนาแน่น 67-333 ตัวต่อตารางเมตร มีน้ำหนัก 1044.6 ± 31.6 กรัม โดยทำการเปรียบเทียบค่าทางกายภาพ ค่าทางสรีรวิทยาและค่าทางพฤติกรรม พบว่าในเฟส 2a เมื่อเพิ่มความหนาแน่นอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและความตื่นตัวเพิ่มขึ้น จะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 1.85-2.28 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนในเฟส 2b ความหนาแน่นไม่มีผลกระทบต่อปลา ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 1.17-1.27 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

2.7.2 การหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้โดยผ่านการบำบัดด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

Swartz and Boyd (1995) ได้ศึกษาโดยนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมาใช้ในการหมุนเวียนน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุก โดยแบ่งระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ออกเป็น 2 เซลล์ คือ เซลล์แรกปลูกพืช 2 ชนิด ได้แก่ กกสามเหลี่ยมและหญ้าส่วนอีกเซลล์ปลูกหญ้ากินนี่เพียงชนิดเดียว ซึ่งจะศึกษาที่ระยะเวลาเก็บกัก 1 2 3 และ 4 วัน โดยมีอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 77-91 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวันผลการศึกษาพบว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวสามารถ

หมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในบ่อเลี้ยงปลาโดยมี ประสิทธิภาพของระบบสามารถบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 59-84 ไนเตรทร้อยละ 51-75 BOD ร้อยละ 37-67 และของแข็งแขวนลอยร้อยละ 75-87 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน เป็นช่วงที่ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ดีที่สุด

Lin et al. (2002) ได้ศึกษาการบำบัดสารอาหารที่อยู่ในน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลา โดยนำเอาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวต่ออนุกรมกับแบบไหลใต้พื้นผิว โดยมีระยะเวลาในการเดินระบบ 8 เดือน และอัตราการระรับน้ำทางชลศาสตร์ 1.8-13.5 cm/d ผลการศึกษาพบว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวสามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้มากกว่าแบบไหลใต้พื้นผิวแต่แบบไหลใต้พื้นผิวมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ร้อยละ 86-98 และฟอสฟอรัสร้อยละ 32-71 ความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แล้วมีค่าต่ำสามารถหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ในการเลี้ยงปลาได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปลา

Lin et al. (2003) ศึกษาการนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวและไหลใต้พื้นผิวซึ่งต่ออนุกรมกัน เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง เพื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบชุดควบคุมและระบบชุดทดลอง ที่อัตราการระรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.3 m/d มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 71 ไนเตรทร้อยละ 90 ไนเตรทร้อยละ 68 ในชุดทดลองหลังจากผ่านการบำบัดโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แล้วมีค่าของแข็งแขวนลอย ความขุ่น ไนเตรทมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องจากในชุดควบคุมไม่มีระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับค่าอัตราการรอดตายและน้ำหนักของกุ้งในชุดควบคุมและชุดทดลองมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 71 2.3 ± 1.5 กรัมต่อตัว และร้อยละ 90 3.8 ± 1.8 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

Gu et al. (2007) ได้ทำการศึกษาเอาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้พื้นผิว มาบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากบ่อเลี้ยงปลาคาร์พ ปลาตะเพียน และปลาดุก โดยศึกษาคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ (1) ระบบชุดควบคุมซึ่งไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ และ (2) ระบบชุดทดลองซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัด BOD₅ ร้อยละ 70.5 ของแข็งแขวนลอยร้อยละ 81.9 ไนเตรทร้อยละ 80.1 และฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 80.1 และมีอัตราการรอดตายของปลาในระบบชุดควบคุมและชุดทดลองมีค่าร้อยละ 71.9-90.6 และร้อยละ 97.2-98.8 ตามลำดับ

Zachritz et al. (2008) ศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินเพื่อหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยศึกษาการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจน ที่อัตราการระรับน้ำทางชลศาสตร์ 3.03 m/d จากผลการศึกษาพบว่าระบบประสิทธิภาพของระบบสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรทและไนเตรทได้ร้อยละ 69.2

46.87 และ 40.6 ตามลำดับ ความลึกของชั้นตัวกลางและอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสภาวะใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดไนโตรเจน

2.7.3 ต้นกกฝรั่ง

สำหรับพืชที่เลือกใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ต้นกกฝรั่ง (รูปที่ 2.10) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cyperus alternifolius* L. เป็นพืชโผล่พ้นน้ำ (Aquatic plant) ลำต้นสั้นอยู่ใต้ดินมีลักษณะเป็นเหง้า สามารถแตกกอได้ ส่วนของลำต้นอยู่เหนือดินสูงประมาณ 1.0 – 1.5 เมตร ลำต้นมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมที่ค่อนข้างมนกลม ใบเป็นแผ่นบางเป็นกระจุกหุ้มอยู่ที่ส่วนโคนของลำต้น รูปร่างเรียวยาวกันเป็นวงประมาณ 20 อัน มีลักษณะเรียวยาวแบนปลายตัด ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1 เซนติเมตร สีเขียวสด ดอกออกจากโคนต้นตามซอกใบ เป็นช่อดอกเล็กๆ ช่อกันสองชั้น ดอกมีขนาดเล็กสีขาวอมเขียว เมื่อต้นแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ก้านช่อดอกสีเขียวอ่อน และมีใบประดับเป็นจำนวนมาก สามารถพบตามที่มีน้ำขัง ริมคลอง และตามทุ่งน้ำขึ้นและทั่วไป ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดและการแตกกอ ประโยชน์ของต้นกกฝรั่งสามารถใช้เป็นสมุนไพรแก้ไข้ใน การตกเลือดจากอวัยวะภายใน แก้ปากเป็นแผล ฯลฯ (สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538)

การเลือกใช้ต้นกกฝรั่ง เนื่องจากมีความทนต่อสารพิษสามารถปรับตัวเข้ากับลักษณะสมบัติของน้ำเสียได้ดี และสามารถเจริญเติบโตและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้ตลอดการทดลอง นอกจากนี้โครงสร้างของต้นกกฝรั่งเป็นพืชที่มีเส้นใยที่ไม่เน่าสลายง่าย จึงมีผลน้อยในการก่อให้เกิดการเจือปนของสารอินทรีย์กลับคืนสู่น้ำเสียอีกครั้งหนึ่ง (กิตติ เอกอำพน และสำออง หอมชื่น, 2529) และต้นกกฝรั่งก็ยังเป็นพืชที่พบได้เกือบทุกแห่งในประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 5 – 7.5 ส่วนอุณหภูมิ 16 – 26 องศาเซลเซียส และมีความสามารถทนต่อความเค็มได้สูงสุด 20 ppt (กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546) โดยที่ผ่านมามีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับต้นกกฝรั่งที่ใช้ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ จากการศึกษาของ เกียรติศักดิ์ และ ศุวศา (2546) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม ซึ่งใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าต้นกกฝรั่งสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้ร้อยละ 0.43 – 3.68 ของไนโตรเจนรวม และต้นกกฝรั่งยังมีความทนต่อโลหะหนัก จึงมีการนำต้นกกฝรั่ง มาใช้เพื่อกำจัดแคดเมียม และแมงกานีส โดยต้นกกฝรั่งจะดูดซึมโลหะต่างๆ ไปไว้บริเวณราก (Cheng et al., 2002) ดังนั้นการกำจัดมลสารโดยตรงขึ้นกับความสามารถของรากพืชที่จะดูดซึมสารต่างๆ และกระบวนการทางชีวเคมีภายในพืชเอง



รูปที่ 2.11 ต้นกกฝรั่ง

2.7.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

Schulz and Rennert (2003) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาเทราต์โดยใช้ระบบ

พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 ค่า คือ 3.5, 5.5 และ 11 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 67-72 ซีโอดีร้อยละ 30-31 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 41-53 และไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 19-30 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและแอมโมเนียมีค่าต่ำ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5.5 ชั่วโมง และ 11 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับ 3 ชั่วโมง ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาได้

Summerfelt et al. (1999) ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้พื้นผิวในแนวตั้งและแบบไหลแนวนอน ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาเทราต์ พืชที่ใช้ในระบบคือหญ้าแฝก จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแบบไหลในแนวนอนและแนวตั้ง ประสิทธิภาพในการบำบัด ของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 98 และ 96 COD ทั้งหมด ร้อยละ 91 และ 72 ฟอสฟอรัสทั้งหมด ร้อยละ 90 และ 82 แอมโมเนียทั้งหมด ร้อยละ 89 และ 86 ตามลำดับ

นอกจากนี้ Zachritz and Jacquez (1993) ศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดังกล่าว ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงปลา พบว่าสามารถลดของแข็งและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ร้อยละ 67.2 และ 87.0 ตามลำดับ โดยการกำจัดฟอสฟอรัสเกิดจากการดูดซับโดยตัวกลางในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (Zhu et al, 1997; Drizo, 1998; Grüneberg and Kern, 2001; Sakadevan and Bavor, 1998). จากการศึกษา Mantovi et al (2003) ได้นำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มนม พบว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้ร้อยละ 90.8, 91.9, 79.1 และ 60.6 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี

การในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางมาใช้ในการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โดย Maine et al (2006) ได้ทำการศึกษาการบำบัดโลหะหนัก 3 ชนิด คือ โครเมียม นิเกิล และสังกะสี ซึ่งเกิดจากโรงงานเหล็กโดยมีการปนเปื้อนในน้ำเสียโดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลาง ผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมร้อยละ 86 และกำจัดนิเกิลและสังกะสีร้อยละ 67 จากการศึกษาของ Ojstršek et al (2007) นำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม สามารถกำจัดสีย้อมได้ร้อยละ 70 และ COD ร้อยละ 88 ซึ่งกลไกสำคัญในการบำบัดสีและสารอินทรีย์เกิดจากกระบวนการใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

2.7.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS และแบบ SF

Kadlec (2009) ได้ทำการเปรียบเทียบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวและไหล

ใต้พื้นผิว และพบว่า ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีข้อดีคือมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ของแข็งแขวนลอย แอมโมเนีย ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างดี แต่ในฤดูหนาวประสิทธิภาพของระบบจะลดลงและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและแมลงต่างๆ ส่วนระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้พื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ไนเตรทและเชื้อโรคได้ค่อนข้างดี สามารถรับอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์สูงกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว แต่จะมีปัญหาเรื่องการอุดตันของตัวกลาง

Li et al. (2008) ได้ศึกษาระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ 3 แบบ คือ 1) แบบไหลใต้ผิวนวนดิ่ง (VSF) 2) แบบไหลใต้พื้นผิวนวนอน (HSF) และ 3) แบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) โดยทำการศึกษาทดลองความสามารถในการฟอกตัวของน้ำในทะเลสาบไท่ห้ว ประเทศจีน ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.64 m/d ในแต่ละระบบ ผลการศึกษาพบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ร้อยละ 17-40 แอมโมเนียร้อยละ 23-46 ไนเตรทร้อยละ 34-65 ไนโตรเจนร้อยละ 20-56 และฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 35-66 พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้พื้นผิวแบบไหลนวนดิ่งและแบบไหลนวนอนมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียสูงแต่แบบไหลผ่านพื้นผิวมีผลกระทบน้อยกว่าที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์สูง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ออกจากระบบบำบัดแบบไหลใต้ในนวนดิ่งและนวนอนมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำระดับ 3 ของจีน

Moortel et al. (2009) ทำการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวและไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 36.6 ± 3.3 ฟอสฟอรัสร้อยละ 36.0 ± 5 และ COD ร้อยละ 60.8 ± 7.1 ในขณะที่แบบไหลใต้พื้นผิวมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าโดย

ไนโตรเจนทั้งหมด 96.7 ± 1.9 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 71.7 ± 7.7 และ COD ร้อยละ 88.1 ± 3.5 การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบำบัดแบบไหลผ่านพื้นผิวมีประสิทธิภาพค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้อจำกัดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน สำหรับตัวกลางในระบบบำบัดแบบไหลใต้พื้นผิวจะใช้กรวดเป็นตัวกลางทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิวที่ใช้ดินเป็นตัวกลาง เพราะกรวดมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสได้มากกว่าดิน

Naz et al (2009) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดิน ชนิดไหลในแนวขวาง (Horizontal subsurface flow; HSSF) และระบบไหลผ่านพื้นผิว (FWS) พบว่า ระบบ HSSF มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย และค่าซีโอดี สูงกว่าระบบแบบ FWS โดยเฉพาะในช่วงสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง และปัญหาของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS ในสภาวะที่มีอัตราการระเหยน้ำทางชลศาสตร์สูง ๆ ในเฉพาะช่วงฤดูใบไม้ผลิ จะทำให้เกิดปัญหาสาหร่ายเกิดขึ้นมาก

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวดิน และแบบไหลใต้ผิวดินตัวกลาง สามารถสรุปข้อดี และข้อเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.13

2.7.6 ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม

เป็นการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบต่างๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปจะเป็นการนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับแบบไหลใต้ผิวดินตัวกลางมาต่อกันหรือต่อขนานกัน เนื่องจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินตัวกลางอย่างเดียวพบว่ามีประสิทธิภาพไนตริฟิเคชันได้น้อยกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว จึงมีการนำเอาพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมาใช้ร่วมกัน เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมีความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินตัวกลาง นอกจากนี้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวยังสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี สำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินตัวกลางสามารถกรองของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำได้ แต่ถ้ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากจะทำให้เกิดการสะสมและอุดตัน จึงมีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวมาเชื่อมเพื่อทำการตกตะกอนของแข็งแขวนลอยบางส่วนออกจากน้ำ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544) จากช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมมาใช้ โดยนำข้อดีของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินตัวกลางมาใช้ร่วมกัน

Lin et al. (2003) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวดินตัวกลางต่อกัน เพื่อบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาให้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 47 – 86 เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอยบางส่วนออก จากนั้นพื้นที่ชุ่ม

น้ำประติษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางจึงกรองของแข็งแขวนลอยออกอีกครั้ง ส่วนค่าซีโอดีในพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 22 - 55 โดยซีโอดีสามารถกำจัดได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว โดยจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามพืชจำนวนมากย่อยสลายสารอินทรีย์ ในการกำจัดสารอินทรีย์จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบ FWS ต่อกับแบบ SF ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 1.8-13.5 cm/d พบว่าค่าคงที่อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบ FWS จะมีค่าในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปไนโตรเจนได้ดี ส่วนระบบ SF จะมีค่าในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปฟอสฟอรัสได้ดี ต่อมา Lin et al., (2002) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวกับพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางต่ออนุกรมกันอีกครั้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส พบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบผสมสามารถกำจัดแอมโมเนีย และฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงร้อยละ 86 - 98 และ 32 - 71 ตามลำดับ เนื่องจากการนำพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิว และแบบไหลใต้ผิวดักกลางมาต่ออนุกรมกัน ซึ่งทำให้เกิดทั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันได้ดี และพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบไหลใต้ผิวดักกลางสามารถดูดซับมลสารต่างๆ ไว้ในตัวกลางได้มากกว่าแบบไหลผ่านพื้นผิว

จากรายงานการวิจัยจะเห็นได้ว่าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์ทั้งสองแบบ มีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน เช่น ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบ FWS มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน ได้ดีกว่า ขณะที่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประติษฐ์แบบ SF มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส และของแข็งแขวนลอย ดังนั้นหากนำทั้งสองระบบมาผสมกันจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.12 ข้อดี – ข้อเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS และแบบ SF

ชนิดของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์	อ้างอิง	ข้อดี	ข้อเสีย
พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านพื้นผิวตัวกลาง (FWS)	Cameron et al (2003) Pimpan and Jindal, (2009) กรมควบคุมมลพิษ, 2546 Maine et al (2009)	<ul style="list-style-type: none"> ● สามารถบำบัด กำจัด สารอินทรีย์, ของแข็ง แขนวลอยทั้งหมด , ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสและ กำจัดเชื้อโรคได้ ● รับออกซิเจนจาก บรรยากาศได้โดยตรง ● สามารถกำจัดโลหะหนัก ได้ เช่น ทองแดง แคดเมียม โครเมียม นิเกิล 	<ul style="list-style-type: none"> ● เกิดปัญหาในเรื่องของการ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ุง ● ใช้พื้นที่ในการก่อสร้าง มาก
พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวตัวกลาง (SF)	Brix et al, 2001; Vymazal et al, 1998) Maine et al (2006) (Zhu et al, 1997; Drizo, 1998; Grüneberg and Kern, 2001; Sakadevan and Bavor, 1998) กรมควบคุมมลพิษ, 2554	<ul style="list-style-type: none"> ● มีประสิทธิภาพในการกำจัด สารอินทรีย์, ของแข็ง แขนวลอยทั้งหมด, ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ ● สามารถกำจัดโลหะหนัก ได้ เช่นโครเมียม นิเกิล และ สังกะสี ● เกิดการกำจัดฟอสฟอรัส โดยการดูดซับของตัวกลาง ในพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ● จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนสามารถ เจริญเติบโตได้ในบริเวณ รากของพืช 	<ul style="list-style-type: none"> ● เกิดปัญหาการอุดตันของ ชั้นตัวกลาง ● เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ได้น้อยกว่าแบบไหลผ่าน พื้นผิว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

ทำการวัดพารามิเตอร์ทั้งหมด ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 และชุดการทดลองติดตั้งอยู่ภายในบริเวณสถานีวิจัยบ่อเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3.2 ระยะเวลาทำการศึกษาวิจัย

ช่วงระยะเวลาการวิจัยอยู่ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554

3.3 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 แผนผังการทดลอง

รายละเอียดแผนผังการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบไปด้วย

3.3.1.1 ระบบ CAS (Control Aquaculture System) เป็นชุดควบคุมประกอบไปด้วยบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมจำนวน 3 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 มีลักษณะเป็นบ่อซีเมนต์สี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาด กว้างยาวสูง = 1.50x3.16x0.50 เมตร โดยกำหนดความลึกของน้ำเท่ากับ 0.40 เมตร กำหนดให้เป็นชุดควบคุม ได้แก่ บ่อ C1, C2 และ C3 เพื่อใช้เลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบถ่ายเทน้ำจากภายนอก

3.3.1.2 ระบบ RAS (Recirculating Aquaculture System) เป็นชุดทดลองหมุนเวียนน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ผสมแบบไหลใต้ผิวดิน (SF) ต่ออนุกรมกับแบบไหลบนผิวดิน (FWS) ซึ่งในงานวิจัยนี้เรียกว่า ระบบแบบ SF-FWS ระบบนี้ประกอบไปด้วย

1) บ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมจำนวน 3 บ่อ เป็นบ่อซีเมนต์สี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดของบ่อเท่ากับบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมของระบบ CAS โดยกำหนดความ

ลึกของน้ำ เท่ากับ 0.40 เมตร เท่ากับ กำหนดให้เป็นชุดทดลอง ได้แก่ บ่อ R1, R2 และ R3 เพื่อใช้เลี้ยงปลาตุ๊กตาผสมแบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

2) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ประกอบไปด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF จำนวน 1 บ่อ ต่ออนุกรมกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS จำนวน 1 บ่อ รายละเอียดการออกแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS แสดงในหัวข้อ 3.3.2

3.3.2 การเตรียมปลาทดลอง

ปลาดุกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นปลาดุกผสม (Clarias macrocephalus x C. gariepinus) ได้จากฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีน้ำหนัก ความยาวลำตัวและความกว้างลำตัวดังแสดงใน ตารางที่ 3.1 เริ่มการทดลอง โดยทำการสุ่มปลาทดลองลงในบ่อเพาะเลี้ยงปลาทั้ง 6 บ่อ เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 50 ตัวต่อตารางเมตร ระดับน้ำตลอดการเลี้ยง เท่ากับ 0.40 เมตร ทำการเลี้ยงปลาเพื่อปรับสภาพเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง แบบให้กินแบบเต็มที่เป็นเวลา 15 นาที (ad libitum) อุณหภูมิน้ำตลอดการเลี้ยง อยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเลี้ยงปลาประมาณ 5 เดือน ตลอดการเลี้ยงให้อาหารปลาด้วยอาหารสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และไขมันไม่น้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการบันทึกน้ำหนักปลา และน้ำหนักอาหารที่ปลาได้รับ ถ้าพบปลาตาย จะนำปลาออกและทำการบันทึกข้อมูล

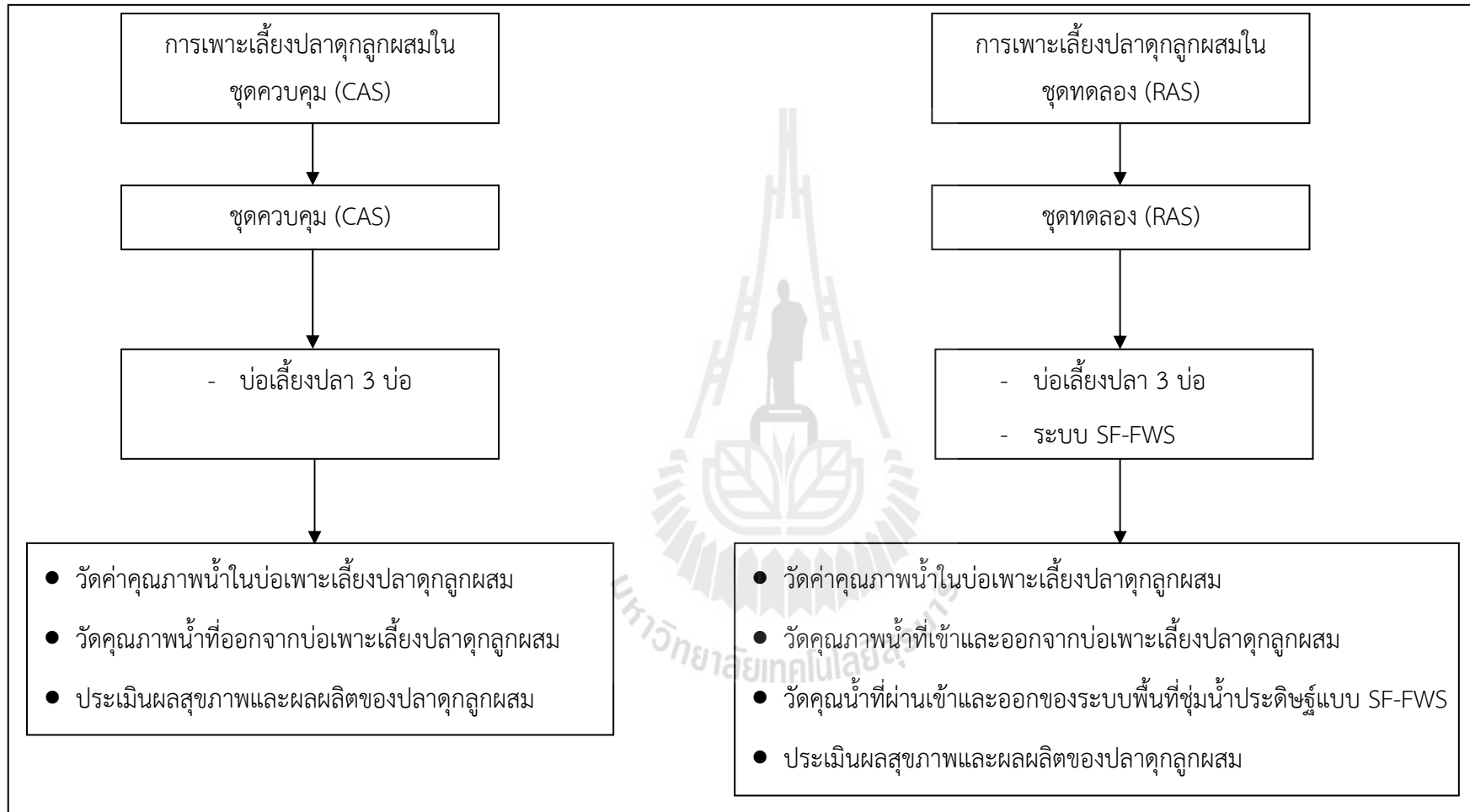
ชุดควบคุม เป็นบ่อเพาะเลี้ยงปลาด้วยระบบ CAS ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากภายนอกเข้าสู่บ่อ โดยทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ มีจำนวนทั้งหมด 3 บ่อ

ชุดทดลอง กลุ่มเลี้ยงปลาในระบบน้ำ RAS เป็นระบบปิด โดยการหมุนเวียนน้ำที่ได้รับ การบำบัดน้ำด้วยระบบน้ำที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีจำนวนทั้งหมด 3 บ่อ

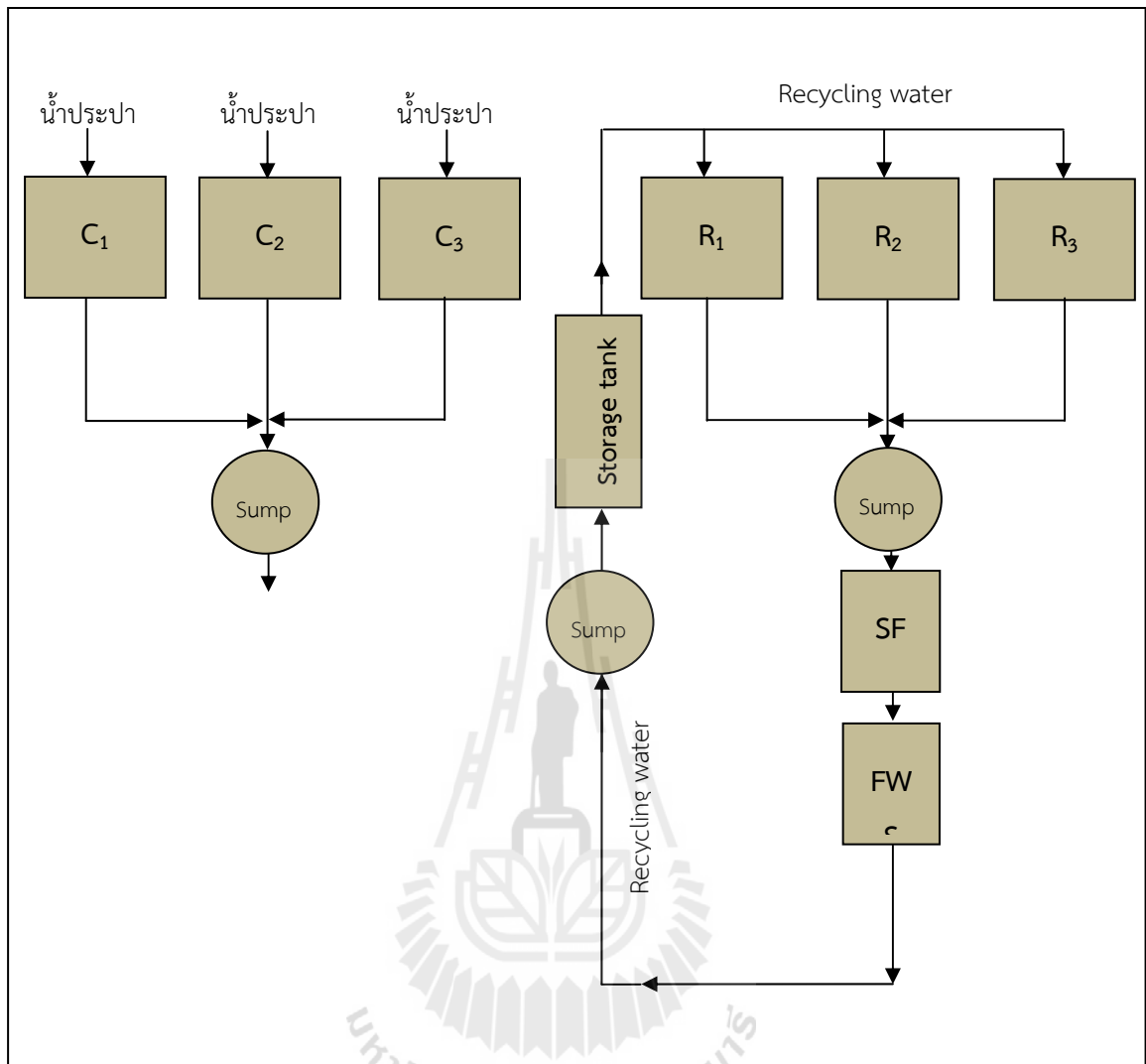
ตารางที่ 3.1 น้ำหนักปลาดุกผสม ก่อนเริ่มทำการศึกษา(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของบ่อเพาะเลี้ยงปลาแบบ CAS และ RAS

	ระบบการเลี้ยงปลาดุกผสม	
	CAS	RAS
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	7.47 \pm 0.56	8.14 \pm 0.73
ความยาวมาตรฐานลำตัว (เซนติเมตร)	9.20 \pm 0.10	9.55 \pm 0.27
ความยาวทั้งหมดลำตัว (เซนติเมตร)	10.47 \pm 0.12	10.77 \pm 0.20
ความลึกลำตัว (เซนติเมตร)	1.47 \pm 0.06	1.60 \pm 0.10

ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 3.3 บ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้กลมผสม ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.3.3 การออกแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

รายละเอียดค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สรุปในตารางที่ 3.2 ระบบตั้งอยู่บริเวณสถานีวิจัยบ่อเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีลักษณะเป็นบ่อทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 0.6x3.0x1.0 เมตร (กว้างxยาวxสูง) จำนวน 2 บ่อ โดยในบ่อที่ 1 เป็นบ่อจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบ SF รับน้ำเสียที่ออกจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาด้วยระบบ RAS เมื่อน้ำเสียผ่านบ่อ SF จะเข้าสู่บ่อที่ 2 ซึ่งเป็นบ่อจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบ FWS ซึ่งต่ออนุกรมกับบ่อแบบ SF รูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงแผนผังระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS และรูปภาพระบบจริงที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ระบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ประกอบไปด้วย

1) พืช

พืชที่เลือกใช้ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ คือ ต้นกกรงก้า (*Cyperus involuca* Rottb.) ดังแสดงในรูป 3.6 เนื่องจากสามารถปรับตัวและทนทานต่อสภาพน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดซีโอดี ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน

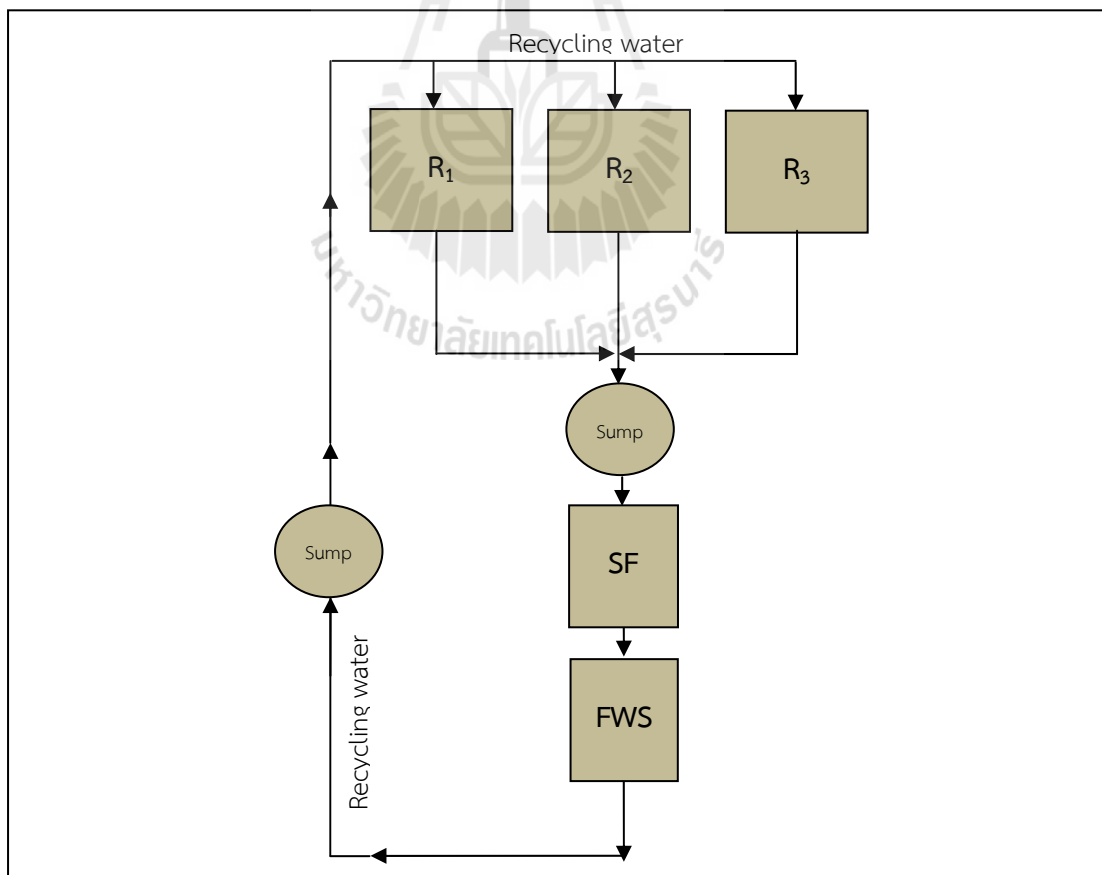
2) ตัวกลาง

ตัวกลางของชุดจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 บ่อ ได้แก่ หินดินดาน ดินร่วนปนทราย การเลือกใช้ตัวกลางหินดินดาน ในบริเวณส่วนกลางที่เกิดการบำบัดน้ำ (Treatment

zone) เนื่องจากมีลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นตัวกลางในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีไอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Daothaisong and Yimrattanabovorn, 2008; Drizo et al., 1997; 1999; 2000) ส่วนตัวกลางบริเวณที่ใช้ปลูกพืชเลือกใช้ดินร่วนปนทราย เพื่อให้รากพืชสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดี โดยมีรายละเอียดการปูตัวกลาง ในแต่ละระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ดังต่อไปนี้

- ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF บริเวณน้ำเสียเข้าและออกจากระบบจะใช้หินดินดานขนาด 2 -4 มิลลิเมตร บริเวณส่วนกลางจะใช้หินดินดานขนาด 0.5-2.0 มิลลิเมตร ให้มีความลึกเท่ากับ 0.70 เมตร ส่วนด้านบนจะใช้ดินร่วนปนทรายหนา 0.10 เมตร เพื่อใช้สำหรับปลูกพืช และกำหนดให้ระดับน้ำที่ไหลได้มีตัวกลางมีความลึก 0.70 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งสรุปรายละเอียดในการออกแบบระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

- ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS จะใช้หินดินดานขนาด 0.5-2.0 มิลลิเมตร เป็นตัวกลาง ปูที่ระดับความลึก 0.40 เมตร ส่วนด้านบนจะใช้ดินร่วนปนทรายหนา 0.10 เมตร เพื่อใช้สำหรับปลูกพืช และกำหนดระดับน้ำเหนือผิวดินให้มีความลึก 0.30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.4 แผนผังระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS



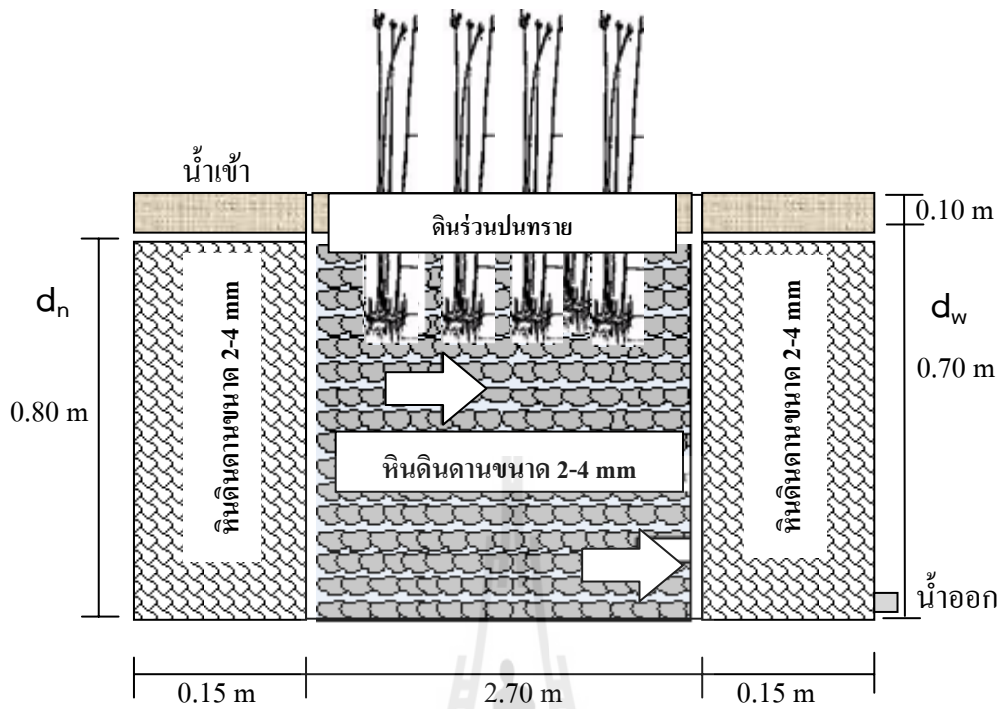
รูปที่ 3.5 ระบบจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

ตารางที่ 3.2 สรุปรายละเอียดของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

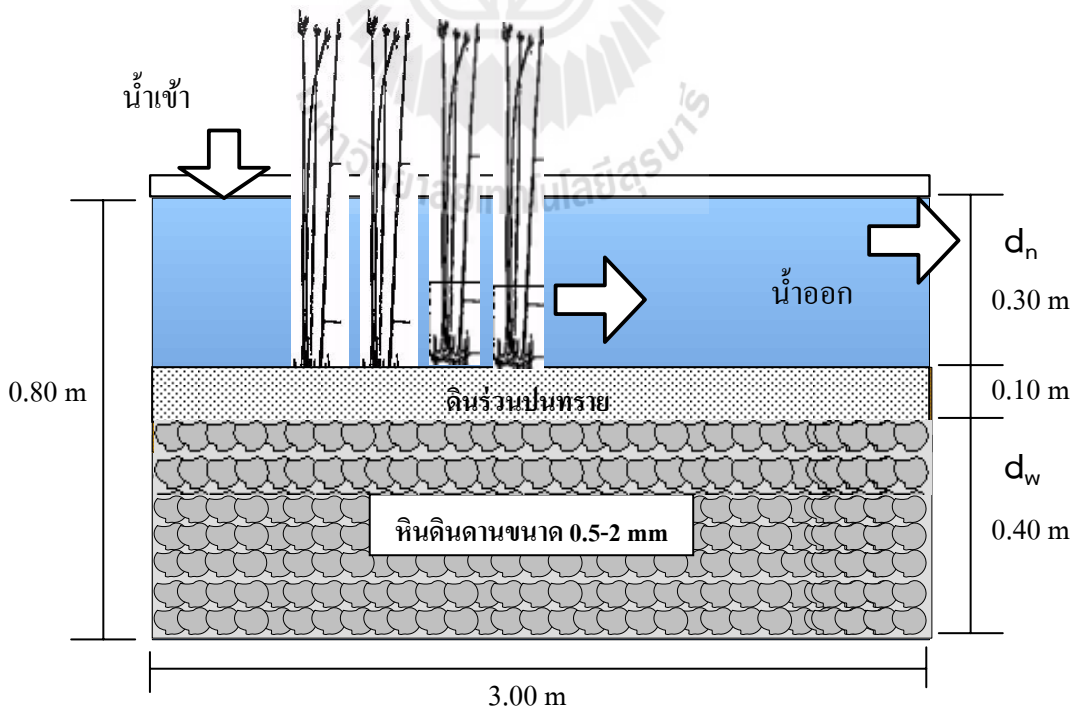
ค่าที่ใช้ในการออกแบบ	US.EPA (2000)		ค่าที่ใช้การศึกษา	
	FWS	SF	FWS	SF
ความพรุน	0.32-0.45	0.32-0.45	0.40	0.40
ระดับน้ำ (m)	< 0.5	0.3-0.9	0.30	0.70
ความลึกของตัวกลาง (m)	-	0.3-0.8	0.50	0.80
สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง			5: 1	5 : 1
ความยาว (m)	-	-	3.0	3.0
ความกว้าง (m)	-	-	0.6	0.6



รูปที่ 3.6 ต้นกกรงก (Cyperus involucra Rottb.) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.7 ภาพตัดขวางการปูตัวกลางของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF



รูปที่ 3.8 ภาพตัดขวางการปูตัวกลางของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS

3.3.4 การเริ่มเดินระบบ

3.3.4.1 การเตรียมพีช

นำต้นกกมาเพาะเลี้ยงภายในบริเวณที่มีการติดตั้งชุดการทดลองก่อนที่จะนำไปปลูกภายในบ่อพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 บ่อ เพื่อให้พีชสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมจริงของการศึกษา จากนั้นทำการคัดเลือกพีชที่มีขนาดและความสมบูรณ์โดยลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน เช่น ขนาดของลำต้น จำนวนกิ่งก้าน และสีใบ เป็นต้น นำต้นกกที่คัดเลือกไปตัดให้มี ความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วนำมาปลูกในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 บ่อ ให้มี ระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 0.15 เมตร มีความหนาแน่น 42 ต้นต่อตารางเมตร โดยในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบทำการปล่อยน้ำประปาเข้าไปยังบ่อทั้ง 2 เพื่อให้พีชสามารถค่อย ๆ ปรับตัว เข้ากับสภาวะแวดล้อม เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ก่อนที่จะเริ่มเดินระบบการทดลอง

3.3.4.2 การศึกษาผลของอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์

น้ำเสียที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มแบบ RAS จะถูกนำเข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ เท่ากับ $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ อ้างอิงจากผลการศึกษาของ ศศิวิมล สุดแสน (2554) พบว่า อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ ที่ เท่ากับ $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ เหมาะสมในการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่ม โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต และสุขภาพของปลาตุ๊กตากลุ่ม ดังนั้น จากค่าอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ที่กำหนดไว้ นำมาคำนวณหาอัตราการไหลของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยสมการที่ 3.1 และ คำนวณหาระยะเวลาเก็บกักน้ำในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF และแบบ FWS จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

สมการคำนวณอัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ (US.EPA, 2000)

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A} \quad (3.1)$$

โดย HLR = อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate) ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (m^3/d)

A = พื้นที่หน้าตัดของบ่อ (m^2)

สมการหาอัตราการไหลสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS (US.EPA, 1993)

$$Q = \frac{LWd}{t} \quad (3.2)$$

- โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (m^3/d)
 L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (m)
 W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (m)
 d_w = ความลึกของน้ำ (m)
 n = อัตราส่วนช่องว่างดิน
 t = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (d)

สมการหาอัตราการไหลสำหรับพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF (US.EPA, 1993)

$$Q = \frac{LW[d_n + d_w]}{t} \quad (3.3)$$

- โดยที่ Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำ (m^3/d)
 L = ความยาวของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (m)
 W = ความกว้างของพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ (m)
 d_n = ความลึกของชั้นดิน (m)
 d_w = ความลึกของน้ำ (m)
 n = อัตราส่วนช่องว่างดิน
 t = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (d)

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดสภาวะต่างๆในการเดินระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

	หน่วย	ระบบ SF	ระบบ FWS	รวมระบบ SF-FWS
อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์	$m^3 m^{-2} d^{-1}$	0.32	0.32	0.32
อัตราการไหล	m^3/d	1.152	1.152	1.152
ระยะเวลาเก็บกัก	d^{-1}	1.59	0.47	2.06

3.3.5 การเดินระบบ

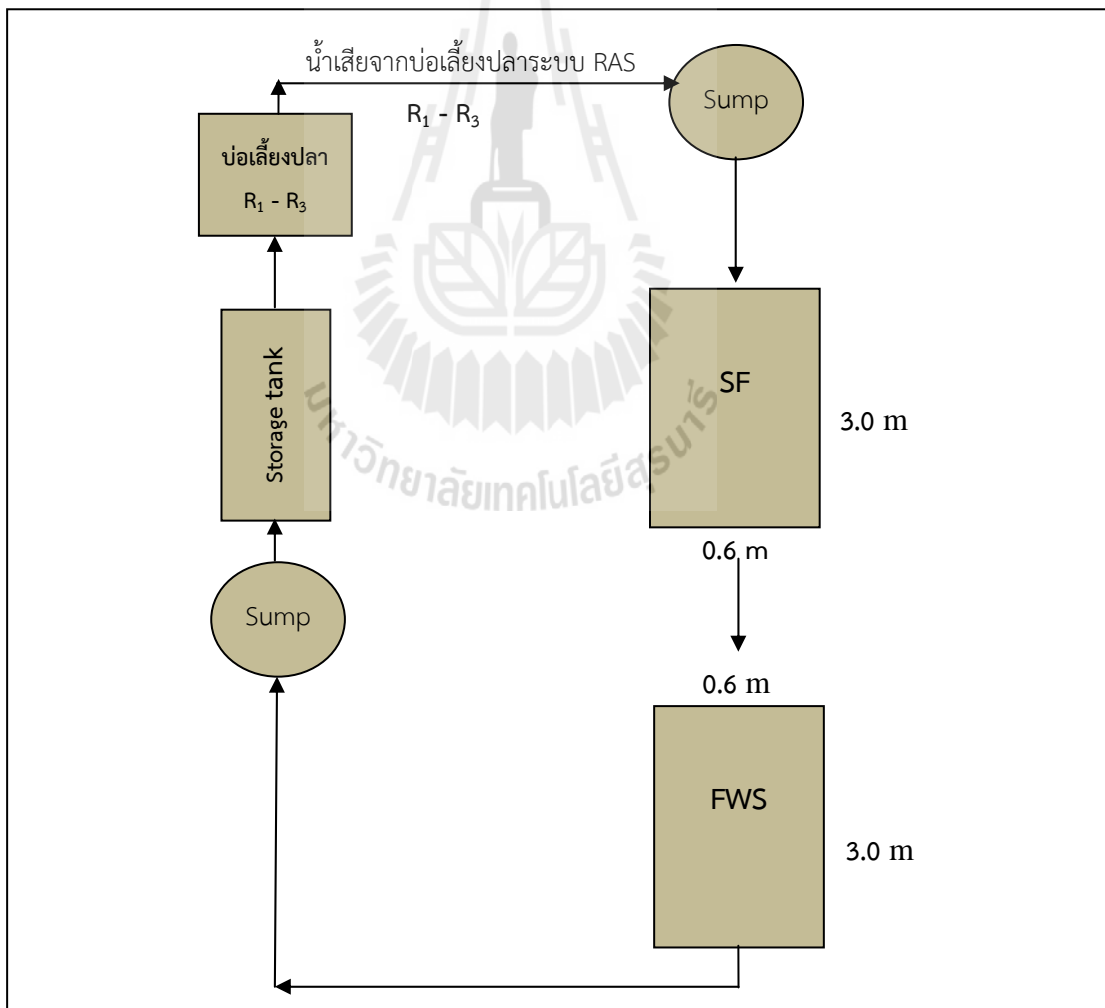
3.3.5.1 การเดินระบบ RAS

การหมุนเวียนน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกกลมผสมโดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ RAS ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 3.9 ทำการเพาะเลี้ยงปลาดุกกลมผสมในบ่อปลาประมาณ 3/4 ของน้ำในบ่อไปยังถังรวบรวมน้ำ ที่จุด W_1 ในรอบแรกจะเติมน้ำประปาลงในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อให้ได้ระดับน้ำเท่ากับ 0.40 เมตรเหมือนเดิม ส่วนน้ำที่อยู่ในถังเก็บน้ำ (W_1) จะถูกปล่อยเข้าไปยังระบบ

จำลองพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF (W_2) จะไหลเข้าสู่ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS และน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS (W_3) จะถูกรวบรวมที่ถังเก็บรวบรวมน้ำก่อนปั๊มขึ้นสู่ถังกักเก็บน้ำ (Storage tank) เพื่อไหลเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยงปลา (บ่อ R_{1-3}) ให้ได้ระดับน้ำในบ่อเลี้ยงปลา เท่ากับ 0.40 เมตรเหมือนเดิม

3.3.5.2 การเดินระบบ CAS

สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบ CAS เป็นระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม การเปลี่ยนน้ำในบ่อเลี้ยงปลา จะทำการปล่อยน้ำออกจากบ่อเลี้ยงปลาประมาณ 3/4 ของน้ำในบ่อ และเติมน้ำประปาที่ถูกพักไว้ เพื่อกำจัดคลอรีนก่อนนำเข้าไปใช้ในบ่อเลี้ยงปลาจนได้ระดับความลึก 0.40 เมตร โดยมีระยะเวลาในการเปลี่ยนน้ำเหมือนกับระบบ RAS



รูปที่ 3.9 แผนผังการหมุนเวียนน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบ RAS

3.3.6 การศึกษาระบบ CAS และ RAS

3.3.6.1 ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้งแบบ CAS และ แบบ RAS

ทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาแบบ CAS จำนวน 3 บ่อ ที่จุดเก็บตัวอย่าง C_{1-3} และบ่อเพาะเลี้ยงปลาแบบ RAS จำนวน 3 บ่อ ที่จุดเก็บตัวอย่าง R_{1-3} ดังแสดงในแผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างในรูปที่ 3.10 เก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 7 วัน โดยค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) อุณหภูมิ (Temperature) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าของแข็งทั้งหมด(TS) ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ค่าของแข็งแขวนลอย(TSS) บีโอดี(BOD) ซีโอดี (COD) ฟอสฟอรัสทั้งหมด(Total Phosphorus) ทีเคเอ็น(TKN) ออร์แกนิกไนโตรเจน(Organic-N) แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia-N) เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและดูความแตกต่างคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาของระบบ CAS และระบบ RAS เพื่อเปรียบเทียบกัน

3.3.6.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

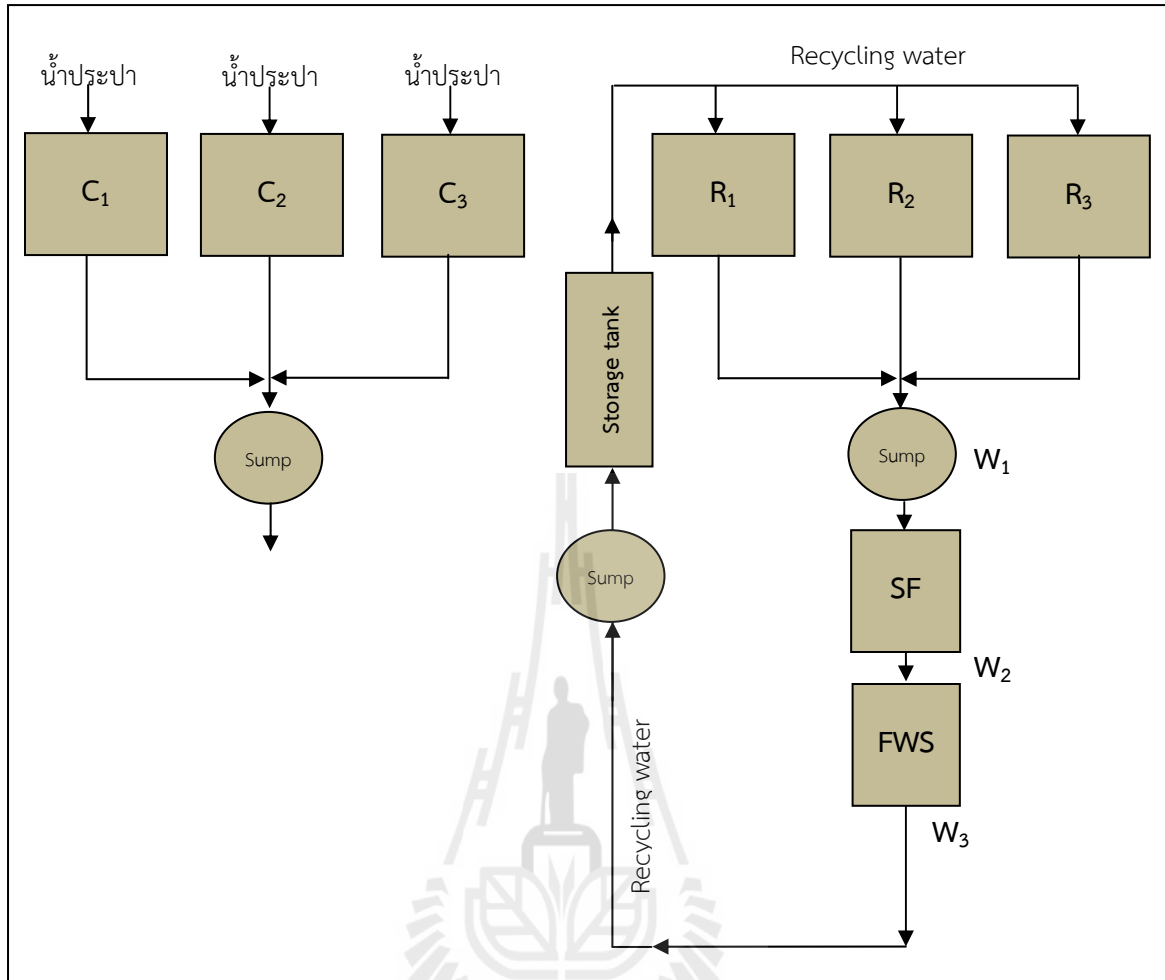
โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม SF-FWS

ทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำออกจากบ่อเลี้ยงปลาแบบ RAS จำนวน 3 บ่อ ที่จุดรวบรวมน้ำ (จุดเก็บตัวอย่าง W_1) เก็บน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF ที่จุดเก็บตัวอย่าง W_2 และน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ FWS ที่จุดเก็บตัวอย่าง W_3 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ สัปดาห์ ค่าที่ได้นำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละพารามิเตอร์ ได้แก่ BOD_5 COD TS TSS TDS TKN Org-N Ammonia-N และ TP โดยใช้สมการที่ 3.4 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบแบบผสม SF-FWS

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ (\%)} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (3.4)$$

โดย C_i = ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ในน้ำเข้าระบบ

C_e = ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ในน้ำออกจากระบบ



รูปที่ 3.10 จุดเก็บตัวอย่างตัวอย่างคุณภาพน้ำของระบบ CAS และ RAS

3.3.6.3 ศึกษาความเหมาะสมของคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ เพื่อหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตู้กลมผสม

โดยทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ จุดเก็บตัวอย่าง W_3 (ก่อนหมุนเวียนน้ำเข้าบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้กลมผสมแบบ RAS) โดยทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้ TSS COD Ammonia (NH_4^+) และ TP เพื่อศึกษาความเหมาะสมของคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในการหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตู้กลมผสม

3.3.7 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้า-ออกระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์และน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้กลมผสมแบบ CAS และแบบ RAS ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้า-ออกระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเข้า-ออก	วิธีการวิเคราะห์
COD (mg/l)	Close Reflux Method
BOD ₅ (mg/l)	Azide Modification Method
TS(mg/L)	Evaporation
TSS (mg/l)	Filtration/Evaporation
TDS (mg/L)	Filtration/Evaporation
TKN (mg/l)	TKN method
Ammonia (mg/l)	Nesslerization
TP (mg/l)	Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric Method

หมายเหตุ : APHA et al. (2005)

ตารางที่ 3.5 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม

ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อปลา	วิธีการวิเคราะห์
DO (mg/l)	DO meter
pH	pH Meter
Conductivity (µs/cm)	Multiprobe
Temperature (°C)	Thermometer

หมายเหตุ : APHA et al. (2005)

3.3.8 ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของปลาตู้ลูกผสมและผลกระทบต่อสุขภาพปลาตู้ลูกผสมระหว่างระบบแบบ CAS และระบบแบบ RAS

3.3.8.1 ผลผลิตของปลาตู้ลูกผสม

ทำการชั่งน้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากินและวัดค่าความยาวและชั่งน้ำหนักของปลาตู้ลูกผสมทั้ง 6 บ่อ ก่อนที่จะปล่อยลงบ่อเพาะเลี้ยงและหลังจากที่เลี้ยงจนครบ 45 วัน (Desai and Singh, 2009) จำนวนตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด 12 ตัวอย่างต่อครั้ง โดยทำการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความยาวลำตัว
- 2) น้ำหนักตัว

- 3) น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain; ADG) (กรัม/วัน) วิธีการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 3-5

$$ADG = \frac{W_2 - W_1}{T} \quad (3.5)$$

- 4) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่ม (percentage weight gain, WG) (%) วิธีการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 3-6

$$WG = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.6)$$

- 5) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) (%/วัน) วิธีการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 3-7

$$SGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T} \times 100 \quad (3.7)$$

- 6) อัตราการรอดตาย (survival rate) (%) วิธีการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 3-8

$$Survivalrate = \frac{finaloffish}{Initialoffish} \times 100 \quad (3.8)$$

- 7) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) วิธีการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ 3-9

$$FCR = \frac{Wetweightgain}{Dryweightoffeed} \times 100 \quad (3.9)$$

โดย W_1 = น้ำหนักของปลาดุกลูกผสมเริ่มต้น (g)
 W_2 = น้ำหนักของปลาดุกลูกผสมสุดท้าย (g)
 T = ระยะเวลาทดลอง (วัน)

3.3.8.2 การเปรียบเทียบค่าทางโลหิตวิทยา ระหว่าง 2 กลุ่มการทดลองที่เลี้ยงปลาตุ๊ก ลูกผสมในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ แบบประดิษฐ์ (RAS) โดยทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1) ทำการสุ่มตัวอย่างปลาในแต่ละกลุ่มทดลอง ทุก ๆ 1 เดือน มาทำการสลบปลาด้วยการนำ ปลาไปแช่ในน้ำที่มี phenoxy ethanol ที่ระดับความเข้มข้น 300 mg/kg ทำการเก็บตัวอย่างเลือด ปลา โดยใช้เข็มขนาด 21 g เจาะเลือดที่เส้นเลือด dorsal aorta แล้วแบ่งเลือดเป็นสองส่วน ส่วนที่ หนึ่งใส่ในหลอดที่มี 15 % Na₂EDTA ปริมาตร 2.0 % ของปริมาณเลือดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าทาง โลหิตวิทยา

2) วิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่

2.1) การนับจำนวนเม็ดเลือดแดงทั้งหมด (Total red blood cell count)

ทำการเจือจางเลือดแดงให้ได้สัดส่วน 1:200 แล้วหยดสารละลายเลือดลงใน Hemocytometer แล้วทิ้งไว้สักครู่หนึ่งจนสารละลายเซลล์เม็ดเลือดหยุดนิ่ง ทำการนับจำนวนเม็ด เลือดแดง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า โดยนับจากสี่เหลี่ยมจัตุรัส 5 ช่อง (medium-sized square) คำนวณจำนวนเม็ดเลือดแดงต่อ 1 ไมโครลิตรของเลือด (mm³) ได้เท่ากับ จำนวนเม็ด เลือดแดงที่นับได้ x 10,000

2.2) การวิเคราะห์ค่าฮีโมโกลบิน (Hemoglobin concentration; Hb)

วิเคราะห์ค่าฮีโมโกลบินในเลือดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ Advia® 60 hematology system (Bayer Healthcare, NY)

2.3) การวิเคราะห์ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Pack cell volume)

ใช้หลอด microcapillary tube ตูดเลือดตัวอย่าง แล้วนำไปปั่นที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที แล้วอ่านค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (%) ด้วย microhematocrit reader

3) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มปลาเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบในเนื้อปลา (proximate analysis) และการเปรียบเทียบค่าเคมีในเลือด ระหว่าง 2 กลุ่มการทดลองที่เลี้ยงปลาตุ๊ก ลูกผสมในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ แบบประดิษฐ์ (RAS) โดยทำการสุ่มตัวอย่างปลาในแต่ละกลุ่มทดลอง มาทำการสลบปลาด้วยการนำ ปลาไปแช่ในน้ำที่มี phenoxy ethanol ที่ระดับความเข้มข้น 300 mg/kg ทำการเก็บตัวอย่างเลือด ปลา โดยใช้เข็มขนาด 21 g เจาะเลือดที่เส้นเลือด dorsal aorta แล้วแบ่งเลือดเป็นสองส่วน ส่วนที่ หนึ่งใส่ในหลอดที่มี 15 % Na₂EDTA ปริมาตร 2.0 % ของปริมาณเลือด เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่าง พลาสมา อีกส่วนหนึ่งใส่ในหลอดทดลองสำหรับเก็บซีรัมเพื่อให้เลือดแข็งตัว เก็บตัวอย่างพลาสมาโดย การปั่นที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที และเก็บตัวอย่างซีรัม

โดยการปั่นที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที ตัวอย่างพลาสมาและซีรัมจะส่งตรวจในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ (บริษัทกรุงเทพอาร์ไอเอ แล็บ จำกัด)

4) ค่าเคมีในเลือด

- 4.1) blood urea nitrogen
- 4.2) Creatinin
- 4.3) กรดยูริก (Uric acid)
- 4.4) โปรตีนรวมในเลือด (Total serum protein)
- 4.5) อัลบูมิน (Albumin)
- 4.6) โกลบูลิน (Globulin)
- 4.7) อัลบูมิน/โกลบูลิน (Albumin/Globulin)
- 4.8) ค่าบิลิรูบิน (Total Bilirubin)
- 4.9) ค่า Fasting Blood Sugar (glucose)
- 4.10) ค่าคอเลสเตอรอล (Cholesterol)
- 4.11) ค่าไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

5) ค่าเอนไซม์แสดงภาวะการทำงานของตับ

- 5.1) ค่า Serum glutamic oxalocetic transaminase (SGOT)
- 5.2) ค่า Serum glutamic pyruvic transaminase (SGPT)
- 5.3) ค่าการทำงานของตับ alkaline Phosphatase (Alk)

6) ค่าฮอร์โมนคอร์ติซอล

7) ค่าเกลือแร่ในเลือด

- 7.1) ค่าแคลเซียมในเลือด
- 7.2) ค่าฟอสฟอรัส
- 7.3) ค่าเหล็กในเลือด
- 7.4) ค่าออสโมลาริตี (Osmolarity)

8) หลังจากทำการเก็บตัวอย่างเลือด จึงทำการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลา ตามวิธีการของ AOAC (1990) ดังนี้

- 8.1) เปอร์เซนต์โปรตีนในเนื้อปลา
- 8.2) เปอร์เซนต์ไขมันในเนื้อปลา

8.3 เปอร์เซนต์ไฟเบอร์ในเนื้อปลา

8.4 เปอร์เซนต์ความชื้นในเนื้อปลา

8.5 เปอร์เซนต์เถ้าในเนื้อปลา

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 ประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกกลุ่มผสมโดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยใช้ข้อมูลคุณภาพเข้าและออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบ นำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการบำบัดในแต่ละพารามิเตอร์ที่อัตราการรับน้ำทางศาสตร์แตกต่างกัน ได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัด BOD₅ COD TS TSS TKN และ TP นำข้อมูลที่คำนวณได้มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Paired Test

3.4.2 การควบคุมดูแลคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกกลุ่มผสมในบ่อ CAS จำนวน 3 บ่อ และบ่อ RAS จำนวน 3 บ่อ และนำไปเปรียบเทียบค่ามาตรฐานในการเพาะเลี้ยงปลา

3.4.3 ศึกษาคุณภาพน้ำที่เข้าระบบเพาะเลี้ยงปลาดุกกลุ่มผสม เพื่อดูความเหมาะสมของคุณภาพน้ำเข้าบ่อเลี้ยงปลาดุกกลุ่มผสมให้ได้ตามมาตรฐานการเพาะเลี้ยงปลา

3.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติในครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows, version 10 (SPSS Inc, Chicago, IL) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มทดลองที่เป็นผลเนื่องจากระบบที่เลี้ยงปลาดุกกลุ่มผสมในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) การทดสอบด้วยอุณหภูมิน้ำด้วย Student's t-test ยอมรับผลความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการประเมินความเป็นไปได้ในการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้มโดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม SF-FWS ในการศึกษาได้เปรียบเทียบผลผลิต สมรรถนะการเลี้ยง และค่าทางโลหิตของการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม ทั้ง 2 ระบบ คือ ชุดควบคุม (CAS) เป็นระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม และชุดทดลอง (RAS) ซึ่งเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้มโดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม SF-FWS และทำการประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้ม ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 การประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

จากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาส้มระบบแบบ RAS ทำการหมุนเวียนน้ำโดยใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ที่ $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ ผลการศึกษาดังกล่าว ประสิทธิภาพของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการหมุนเวียน ดังสรุปในตารางที่ 4.1

4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี (BOD_5)

ค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ที่เข้าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS อยู่ในช่วง $88.50\text{-}7.36 \text{ mg/L}$ และมีค่าความเข้มข้นของ BOD_5 ที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS อยู่ในช่วง $36.67\text{-}1.58 \text{ mg/L}$ (รายละเอียดผลการศึกษา แสดงในตารางที่ 4-1 และตารางที่ ก-1 ในภาคผนวก ก) รูปที่ 4-1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ BOD_5 ที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS เมื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ ร้อยละ 55.29 (ตารางที่ 4-2) โดยมีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 เท่ากับ 40.64 kg/ha.d การกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ส่วนใหญ่เกิดในระบบแบบ SF มีประสิทธิภาพในการกำจัด ร้อยละ 43.49 มีอัตราการกำจัด เท่ากับ 31.97 kg/ha.d วัน ส่วนระบบ FWS ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ ร้อยละ 11.80 มีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ เท่ากับ 8.67 kg/ha.d ดังแสดงในรูปที่ 4-2 และ 4-3

4.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป ซีโอดี (COD)

ค่าความเข้มข้นของ COD ที่เข้าระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS อยู่ในช่วง 400.00-36.86 mg/L และมีค่าความเข้มข้นของ COD ที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS อยู่ในช่วง 64.00-7.17 mg/L (ตารางที่ 4-1 และรายละเอียดผลการศึกษ แสดงในตารางที่ ก-2 ในภาคผนวก ก) รูปที่ 4-1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ COD ที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS และเมื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d ดังแสดงในรูปที่ 4-2 และตารางที่ 4-2 พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ ร้อยละ 69.83 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี โดยมีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD เท่ากับ 250.64 kg/ha.d การกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ส่วนใหญ่เกิดในระบบแบบ SF เช่นเดียวกับการกำจัด BOD โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด ร้อยละ 65.29 มีอัตราการกำจัด เท่ากับ 234.36 kg/ha.d ส่วนระบบ FWS ประสิทธิภาพในการกำจัดเพียง ร้อยละ 4.54 มีอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ เท่ากับ 16.28 kg/ha.d ดังแสดงในรูปที่ 4-3

เมื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าผลการศึกษามีประสิทธิภาพโดยรวมของระบบแบบ SF-FWS สูงกว่าผลการศึกษาของ ศศิวิมล สุดแสน (2554) ที่ทำการศึกษากาหม่นเวียนน้ำเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสม โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ RAS-FWS และระบบ RAS-SF ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD เท่ากับร้อยละ 60.67 และ 65.33 ตามลำดับ โดยพบว่าอัตราการกำจัดสารอินทรีย์โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF สูงกว่าแบบ FWS และที่พบจากการศึกษาของ Lin et al (2005) ซึ่งใช้ระบบผสมแบบ FWS-SF มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ อยู่ในช่วงร้อยละ 37-54 และ Sindilariu et al (2007, 2008) ใช้ระบบ SF บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงปลา trout เพื่อหม่นเวียนน้ำกลับไปใช้ พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ BOD₅ อยู่ในช่วงร้อยละ 24.3-52.2 และ 37.1-48.6 ตามลำดับ

4.1.3 ค่าของแข็ง

น้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เข้าระบบบำบัดแบบ SF-FWS มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย เท่ากับ 414.27 mg/L ของแข็งส่วนใหญ่ร้อยละ 80 อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำ (TDS) เท่ากับ 362.2 mg/L และในรูปของแข็งแขวนลอย (TSS) เท่ากับ 52.07 mg/L (ตารางที่ 4-1 และรายละเอียดผลการศึกษาค่า TS, TDS และ TSS แสดงในตารางที่ ก-3, ก-4 และ ก-5 ในภาคผนวก ก ตามลำดับ) รูปที่ 4-4 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ ของแข็งในรูปต่างๆ ที่เข้า-ออกใน ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d ดังแสดงในรูปที่ 4-5 และตารางที่ 4-2

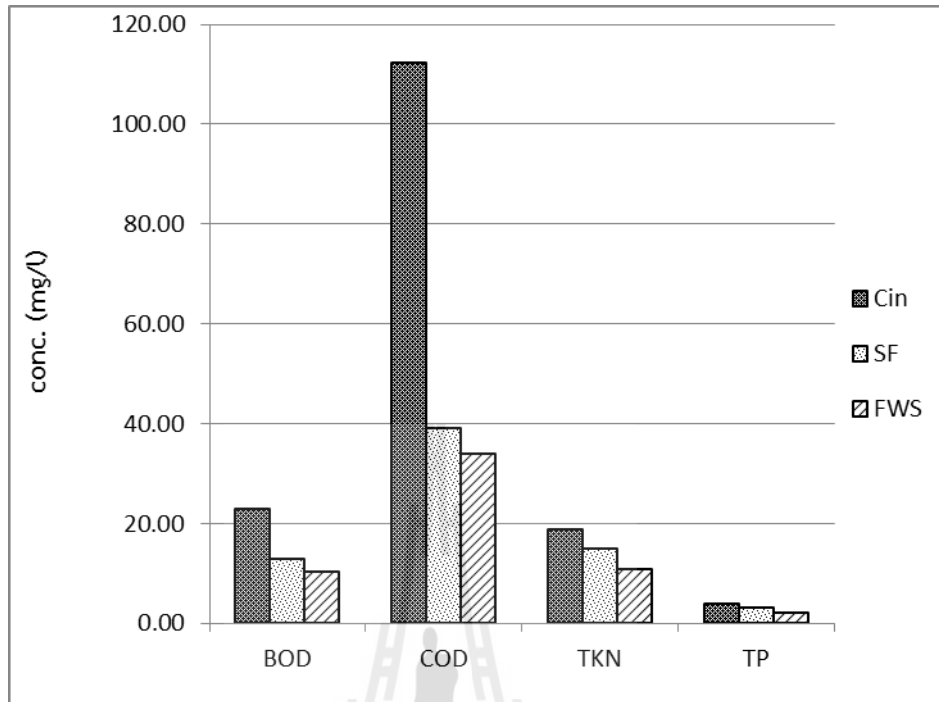
ตารางที่ 4-1 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสีย ที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

พารามิเตอร์	หน่วย	W ₁ (น้ำเข้าระบบ)			W ₂ (น้ำออกจากถังแบบ SF)			W ₃ (น้ำออกจากระบบบำบัด)		
		Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD
BOD ₅	mg/L	88.50 - 7.36	23.01	19.15	45.33 - 3.33	13.00	10.80	36.67 - 1.58	10.29	8.62
COD	mg/L	400.00-36.86	112.37	95.09	64.00-7.17	39.00	15.95	68.00-4.10	33.91	16.58
TS	mg/L	609.0-186.0	414.27	107.49	518.0-149.0	357.61	111.51	510.0-122.0	323.46	114.61
TDS	mg/L	496.00-186.0	362.2	74.57	477.0-149.0	339.11	98.68	429.0-122.0	313.82	89.92
TSS	mg/L	117.00-0.00	52.07	40.21	81.00-0.00	19.93	24.56	113.0-0.00	23.93	38.54
TKN	mg/L	67.91-2.24	18.74	18.60	37.40-0.88	14.85	13.15	27.26-0.88	10.80	9.46
NH ₃ -N	mg/L	29.11-1.47	11.15	9.11	30.49-0.88	9.13	7.91	18.29-0.88	7.12	6.56
Org-N	mg/L	38.81-0.00	10.13	11.73	21.57-0.00	7.63	7.22	13.40-0.00	4.91	3.85
TP	mg/L	55.79-0.93	3.99	3.30	42.29-0.30	3.02	2.87	28.91-0.10	2.07	2.34

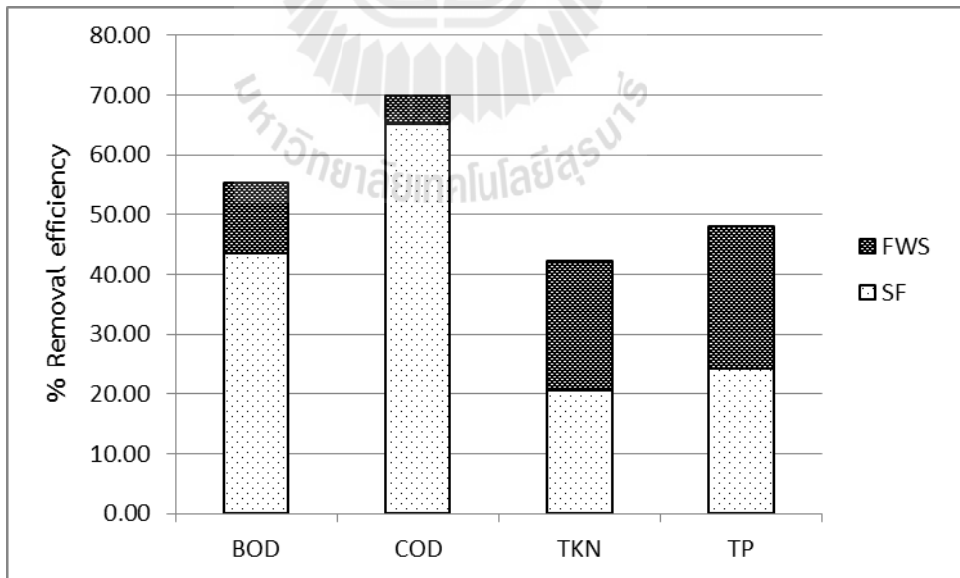


ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และอัตราการกำจัดสารต่างๆ ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

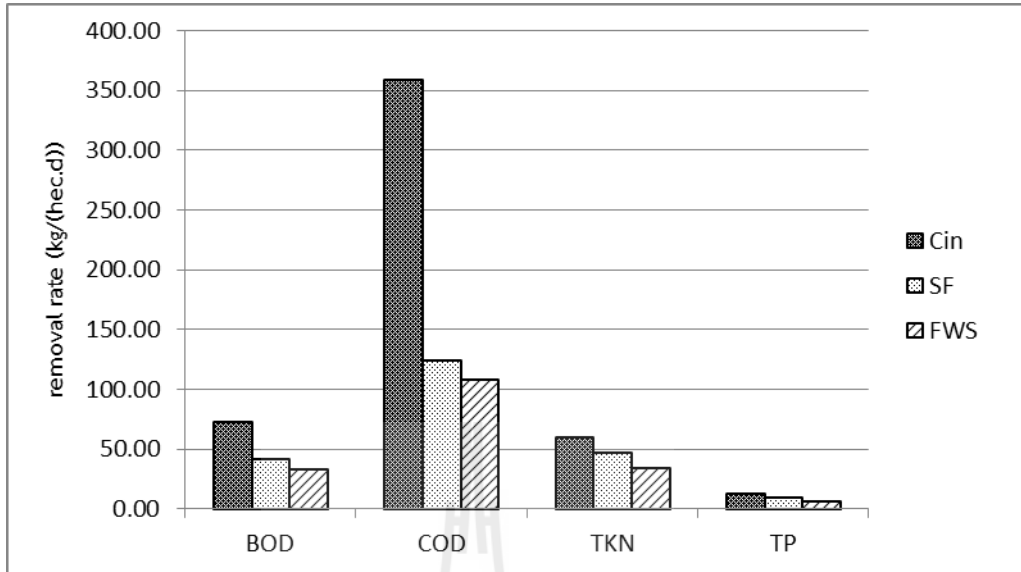
พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (mg/l)			อัตราการไหล (m ³ /d)			พื้นที่ (m ²)			Organic loading rate (kg / (hec.d))			Removal rate (kg / (hec.d))			Removal efficiency (%)		
	W ₁	W ₂	W ₃	SF	FWS	Total	SF	FWS	Total	น้ำเข้า	SF	FWS	SF	FWS	Total	SF	FWS	Total
BOD ₅	23.01	13.00	10.29	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	73.51	41.54	32.87	31.97	8.67	40.64	43.49	11.80	55.29
COD	112.37	39.00	33.91	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	358.95	124.59	108.31	234.36	16.28	250.64	65.29	4.54	69.83
TKN	18.74	14.85	10.80	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	59.87	47.45	34.51	12.42	12.94	25.36	20.74	21.62	42.36
TP	3.99	3.02	2.07	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	12.73	9.65	6.60	3.08	3.05	6.13	24.20	23.98	48.18
TS	414.27	357.61	323.46	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	1323.36	1142.36	1033.29	181.00	109.07	290.07	13.68	8.24	21.92
TSS	52.07	19.93	23.93	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	166.34	63.66	76.44	102.68	0	89.90	61.73	0	61.73
TDS	362.20	339.11	313.82	0.575	0.575	1.15	1.80	1.80	3.60	1157.02	1083.26	1002.49	73.76	80.77	154.53	6.37	6.98	13.36



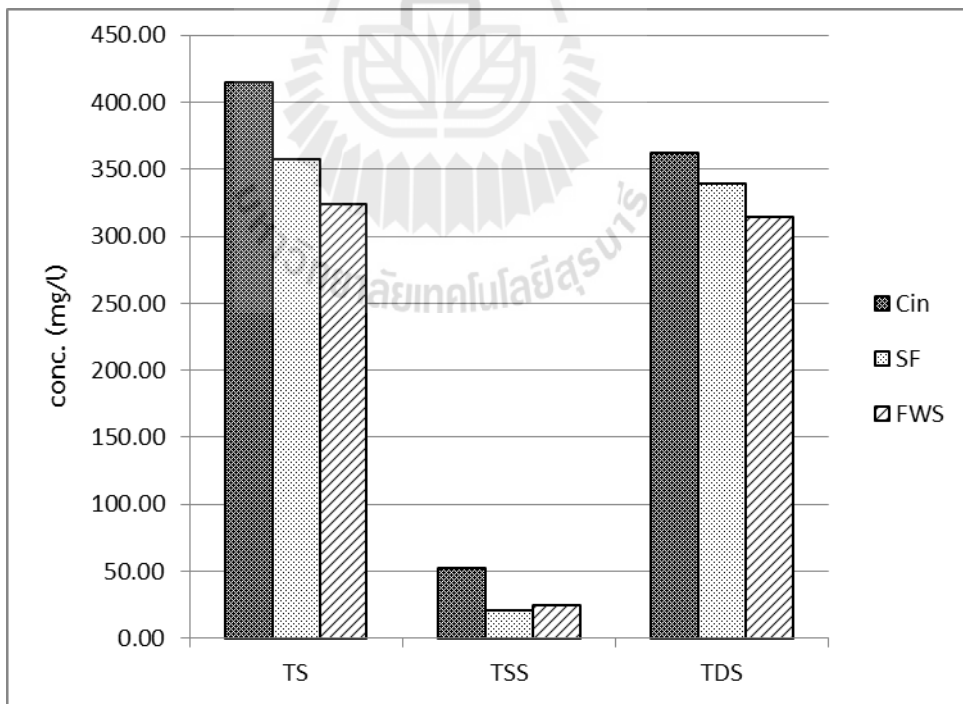
รูปที่ 4-1 ความเข้มข้นของสารในน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ที่เข้า-ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS



รูปที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารต่างๆของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS



รูปที่ 4-3 อัตราการกำจัดสารต่างๆในน้ำเสีย ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS



รูปที่ 4-4 ความเข้มข้นของแข็งในน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ที่เข้า-ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด TS ร้อยละ 21.92 TSS ร้อยละ 61.73 และ TDS ร้อยละ 13.36 โดยของแข็งส่วนใหญ่ถูกกำจัดที่ระบบ SF มากกว่าระบบ FWS โดยระบบ SF มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ขณะที่ระบบ FWS ไม่สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้เลย ระบบ SF-FWS นี้มีอัตราการกำจัดของแข็ง TS, TDS และ TSS เท่ากับ 290.07, 154.53 และ 89.90 kg/ha.d ตามลำดับ (รูปที่ 4-6) เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยของ ศศิวิมล สุดแสน (2554) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาตกลูกผสม โดยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ RAS-FWS และระบบ RAS-SF ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับร้อยละ 69.91 และ 64.27 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด TSS ของระบบ RAS-SF และผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ ร้อยละ 60 ขณะที่ระบบ RAS-FWS มีประสิทธิภาพในการกำจัด TSS สูงกว่าผลการศึกษาที่จากงานวิจัยนี้มาก อาจเนื่องมาจาก ในงานวิจัยนี้ มีค่า HRT เท่ากับ 2.06 วัน ขณะที่ของ ศศิวิมล มีค่า HRT เท่ากับ 1.0 วัน ทำให้น้ำเสียในงานวิจัยนี้มีเวลาอยู่ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์นานกว่า ทำให้มีโอกาสในการเกิดการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิต เช่น แพลงตอนพืช แบคทีเรียพวกออโตโทรฟ(autotroph) และสาหร่าย เป็นสาเหตุของปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในระบบบ่อแบบ FWS น้ำเสียได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง ระบบการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์จะถูกกำจัดโดยยีสต์เกาะที่ผิวของต้นพืชและมีบางส่วนถูกกรองโดยชั้นของตัวกลาง (Schulz et al., 2003)

4.1.4 ไนโตรเจน

จากลักษณะน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตกลูกผสมที่เข้าระบบบำบัดแบบ SF-FWS (ตารางที่ 4-1 และรายละเอียดผลการศึกษาค่า TKN, NH₃-N และ Org-N แสดงในตารางที่ ก-6, ก-7 และ ก-8 ในภาคผนวก ก ตามลำดับ) พบว่า มีค่าที่เคเอ็น (TKN) เฉลี่ย เท่ากับ 26.82 mg/L ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) เฉลี่ย เท่ากับ 9.48 mg/L และค่าออร์แกนิก-ไนโตรเจน (Org-N) เฉลี่ย เท่ากับ 23.12 mg/L จะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตกส่วนใหญ่อยู่ในรูป Org-N ซึ่งของเสียที่ละลายอยู่ในน้ำ เนื่องจากปริมาณอาหารที่ปลากินไม่หมด และของเสียจากปลาที่สะสมอยู่ในบ่อ เป็นต้น

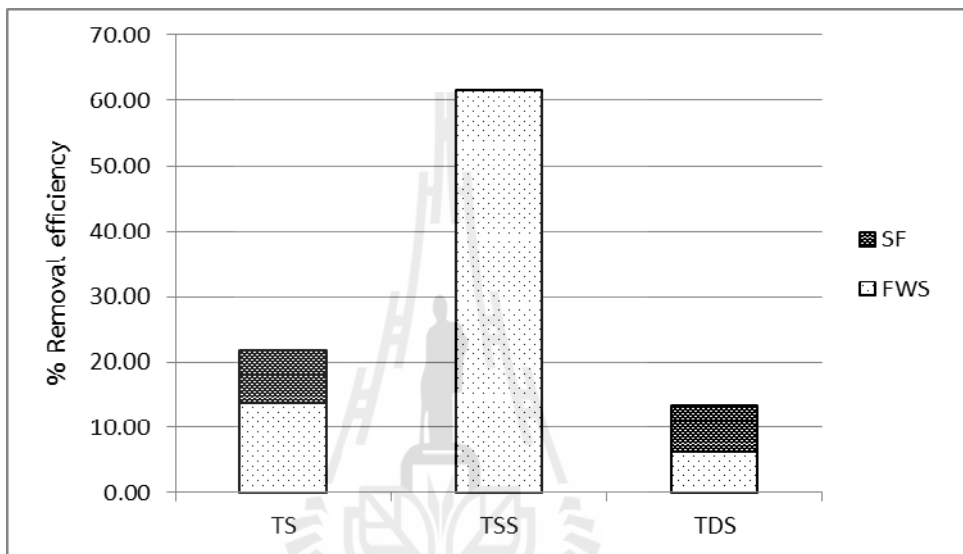
จากรูปที่ 4-1 แสดงปริมาณความเข้มข้น TKN ที่เข้า-ออก ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ ร้อยละ 42.36 โดยบ่อแบบ SF และ FWS มีประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ใกล้เคียงกัน เท่ากับ ร้อยละ 20.74 และ 21.61 ตามลำดับ และ ในรูปที่ 4-3 แสดงอัตราการกำจัด TKN พบว่า มีอัตราการกำจัดไนโตรเจน เท่ากับ 25.36 kg/ha.d โดยทั้งระบบบ่อแบบ SF และ FWS มี

ประสิทธิภาพร้อยละ 20.74 และ 21.62 และอัตราการกำจัดไนโตรเจน เท่ากับ 12.42 และ 12.94 kg/ha.d ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระบบบ่อแบบ FWS จะสูงกว่าเล็กน้อย จากการศึกษาของ Lin et al. (2003) พบว่าในระบบ FWS สามารถรับออกซิเจนได้โดยตรงจากอากาศทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ทั้งแบบใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจน เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (nitrification) แต่ระบบ SF โดยส่วนใหญ่จะเกิดกระบวนการย่อยสลายได้ทั้งแบบไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน(denitrification) และจากการศึกษาของ Kadlec and Knight (1996) และ U.S.EPA (2000) พบว่ากลไกหลักของการกำจัด TKN เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน และกลไกอื่นๆ ได้แก่ การนำไปใช้โดยพืช การดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจนในดิน การระเหยในรูปของแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งการบำบัดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ เช่น แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่มีออกซิเจน และไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันมาจากทั้งการถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ และที่ซึมผ่านจากรากพืช (Gottschall et al., 2007) พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนซึ่งจะเกิดในชั้นออกซิไดซ์และรีดิวซ์ของตัวกลางหรือผิวน้ำของรากพอยเรียกว่า Root zone effect ซึ่งจะทำให้ระบบเกิดสภาวะมีออกซิเจน (Kadlec and Knight, 2006) และส่วนของพืชที่จมอยู่ใต้ตัวกลางนั้น สารอินทรีย์ในโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียในการออกซิไดซ์และรีดิวซ์ของชั้นตัวกลาง โดยที่ชั้นของการออกซิไดซ์และส่วนที่อยู่ใต้ตัวกลางของพืชเป็นตำแหน่งสำคัญสำหรับไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย และเปลี่ยนเป็นไนเตรทในที่สุดโดยแบคทีเรีย ที่ระดับพีเอชสูงแอมโมเนียจะอยู่ในรูปก๊าซแอมโมเนีย และสูญหายไปในบรรยากาศโดยกระบวนการระเหย ไนเตรทในชั้นรีดิวซ์จะลดลงโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) การกรองและบางส่วนถูกพืชดูดซึมไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

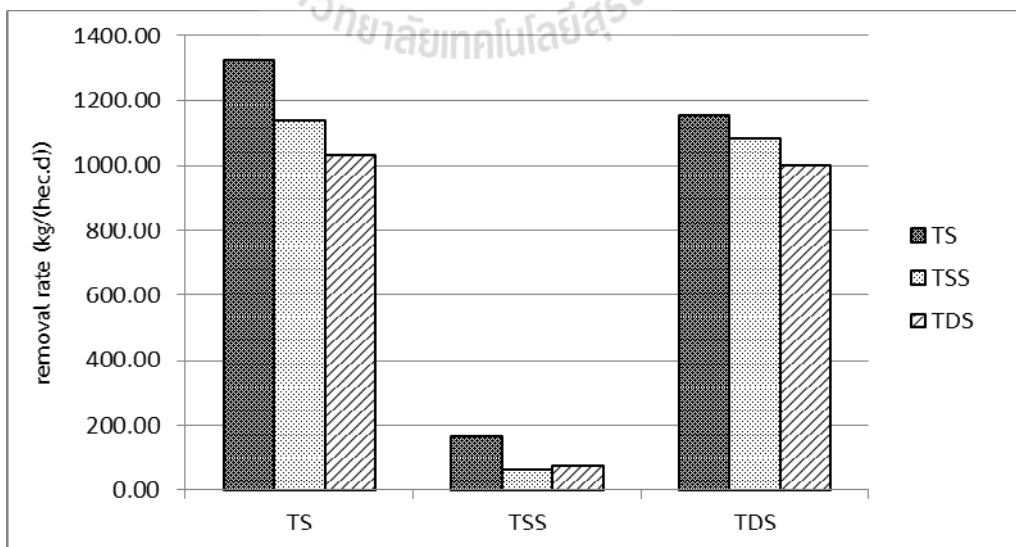
4.1.5 ฟอสฟอรัส (TP)

น้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กผสมที่เข้าระบบบำบัดแบบ SF-FWS (ตารางที่ 4-1 และรายละเอียดผลการศึกษาในตารางที่ ก-9 ในภาคผนวก ก) พบว่า มีค่าฟอสฟอรัส (TP) อยู่ในช่วงเท่ากับ 55.79-0.93 mg/L และ 28.91-0.10 mg/L (รูปที่ 4-1) เมื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด TP ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ $0.32 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ ดังแสดงในรูปที่ 4-2 และตารางที่ 4-2 พบว่า มีค่า เท่ากับร้อยละ 48.18 โดยระบบบ่อแบบ SF มีประสิทธิภาพในการบำบัด TP สูงกว่า ระบบบ่อแบบ FWS เล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 24.20 และ 23.98 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) และมีอัตราการกำจัด TP ของทั้งระบบ เท่ากับ 6.13 kg/ha.d ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sindilariu et al. (2008) ที่ศึกษา

คุณภาพน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาเทราส์ที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ โดยศึกษาที่อัตราภาระรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.9-3.9 ลิตรต่อวินาที พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการกำจัด TP ร้อยละ 39.6-54.6 Daizo et al. (2000) กล่าวว่ากลไกหลักของการกำจัด TP ได้แก่ การตกตะกอน การดูดซับและการกรองที่ตัวกลาง และจากการศึกษาของ Li et al. (2010) และ Lai et al.(2009) พบว่าระบบ SF จะมีกระบวนการดูดซับฟอสฟอรัสเอาไว้ที่ตัวกลางและพีชจะดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเนื้อเยื่อและเจริญเติบโต



รูปที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS



รูปที่ 4-6 อัตราการกำจัดของแข็งในน้ำเสีย ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

4.2 การประเมินอัตราการเจริญเติบโตของต้นกิ้งก่าภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

ในทุกๆสัปดาห์ทำการวัดความสูงของต้นกิ้งก่า เป็นระยะเวลา 5 เดือน ผลการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4-3 (รายละเอียดข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข) ที่ใช้เป็นพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สุ่มตัวอย่างวัดความสูงของต้นกิ้งก่าที่ 3 ตำแหน่งของแต่ละบ่อ จากระยะทางน้ำเข้า ดังต่อไปนี้ จุดที่ 1, 2 และ 3 ที่ระยะ 0.00-0.50, 0.50-1.50 และ 1.50-3.00 เมตร พบว่าที่จุดทางน้ำเข้า-ออก ของแต่ละบ่อ พืชจะมีความสูงมากกว่าในบริเวณช่วงกลางของบ่อ แสดงว่าพืชมีอัตราการเจริญเติบโตสูง เนื่องจากภายในบริเวณนี้จะมีน้ำขังของสารอินทรีย์ และสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าระบบสูง และเมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นกิ้งก่าระหว่างบ่อแบบ SF และ FWS จะเห็นได้ว่าความสูงเฉลี่ยของต้นกิ้งก่าภายในบ่อ SF เท่ากับ 103.74 ซม. สูงกว่าต้นกิ้งก่าภายในบ่อ FWS มีความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 92.72 ซม. ผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลอัตราการกำจัดสารต่างๆในน้ำเสียในหัวข้อ 4.1 พบว่าอัตราเฉลี่ยการกำจัดสารต่างๆส่วนใหญ่เกิดขึ้นในบ่อพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF สูงกว่าบ่อแบบ FWS

ตารางที่ 4-3 ความสูงของต้นกิ้งก่าที่ปลูกในบ่อพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF และ FWS

ตำแหน่งที่เก็บความสูงพืชจากทางน้ำเข้า (เมตร)	ความสูงของต้นกิ้งก่าในบ่อ SF (ซม.)			ความสูงของต้นกิ้งก่าในบ่อ FWS (ซม.)		
	Max - Min	Mean	S.D.	Max - Min	Mean	S.D.
0.00 - 0.50	180 - 30	110.08	40.16	134 - 30	91.54	26.94
0.50 - 1.50	176 - 30	97.08	41.68	145 - 30	92.31	29.15
1.50 - 3.00	180 - 30	104.08	39.17	140 - 30	94.31	27.23
เฉลี่ย	178.67 - 30	103.74	40.34	139.67 - 30	92.72	27.77

4.3 การประเมินคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด เพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

จากตารางที่ 4-4 แสดงค่าคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS ก่อนเข้าบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม เปรียบเทียบค่าคุณภาพน้ำที่ได้กับค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยมีรายละเอียดของคุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

4.3.1 ค่า BOD₅

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่า BOD₅ พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 10.29 mg/L เมื่อพิจารณาค่า BOD₅ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า BOD₅ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจากการศึกษาของ Samudro et al. (2010) พบว่าค่า BOD₅ ที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าน้อยกว่า 50 mg/L เนื่องจากค่า BOD₅ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสกปรกของน้ำ ซึ่งเกิดเนื่องจากเศษอาหารที่ปลากินและของเสียที่ปลาขับถ่าย ถ้ามีปริมาณมาก มีผลทำให้ค่า DO ในน้ำลดลง

4.3.2 ค่า COD

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่า COD พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 33.91 mg/L และเมื่อพิจารณาค่า COD เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า COD มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลกระทบของ COD ต่อคุณภาพจะเป็นลักษณะเดียวกันกับค่า BOD₅

4.3.3 ค่า TS

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่า TS พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 323.46 mg/L และเมื่อพิจารณาค่า TS เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า TS มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลของค่า TS ที่ตรวจวัดได้มีค่าค่อนข้างต่ำ มีผลดีต่อค่าความโปร่งใสของน้ำ ค่าความขุ่น และปริมาณสารอินทรีย์ ทำให้แสงสามารถส่องผ่านบ่อเพาะเลี้ยงปลา ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนพืช (มันสิน และ ไพพรรณ , 2544)

4.3.4 ค่า TSS

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่า TSS พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 23.93 mg/L เมื่อพิจารณาค่า TSS เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า TSS มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดย Tucker และ Hargreaves (2003) กล่าวว่าค่า TSS ในบ่อเลี้ยงปลาดุกควรมีค่าไม่เกิน 225 mg/L ปริมาณ TSS ในบ่อปลาจะเกิดจากแพลงค์ตอน ของเสียที่ปลาขับออกมา เศษอาหารที่ปลากินไม่หมดและอนุภาคของดินที่ฟุ้งกระจายในบ่อปลา หากของแข็งในบ่อปลามีมากเกินไปจะทำให้ไปอุดตันเหงือกของปลา ขัดขวางการลำเลียงออกซิเจนในเลือดของปลา ขวางกั้นแสงและออกซิเจนจากอากาศลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (Swann,1997; Samudro and Mangkoedihardjo,2010)

4.3.5 ค่าแอมโมเนีย (NH₄)

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่าแอมโมเนีย พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.12 mg/L เมื่อพิจารณาค่าแอมโมเนียเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่าแอมโมเนียมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน การศึกษาของ Tucker และ Hargreaves (2003) กล่าวว่าค่าแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 1.00 mg/L เนื่องจากแอมโมเนียมีผลต่อการลดการลำเลียงออกซิเจนของปลา และมีผลทำให้เกิดความเป็นพิษต่อปลาได้ (Stickney, 1993) แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ เมื่อพิจารณาค่า SD ของข้อมูลค่าแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้ จะเห็นได้ว่า ค่า SD มีค่าค่อนข้างสูง เท่ากับ 6.56 และควรนำข้อมูล ค่าอุณหภูมิ น้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง มาพิจารณาประกอบ เช่น ถ้าอุณหภูมิ น้ำ อยู่ในช่วง 10-20 °C และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ค่าความเข้มข้นแอมโมเนียทั้งหมดที่ยอมให้มีได้ในน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายหรือมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ได้ถึง 6.3-12.4 mg/L (มันสิน และ ไพพรรณ , 2544)

4.3.6 ค่าฟอสฟอรัส

จากผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS สำหรับค่า TP พบว่ามีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.07 mg/L เมื่อพิจารณาค่า TP เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4.4 พบว่าค่า TP ในน้ำออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดให้ปริมาณ TP ที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้มีค่าน้อยกว่า 0.50 mg/L ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจาก TP เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย หากในบ่อมีสาหร่ายมากจะทำให้ น้ำในบ่อปลาขาดออกซิเจนในเวลากลางคืน แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ ข้อมูลค่า TP ที่ตรวจวัดได้ อยู่ในช่วง 0.10-28.91 และมีค่า SD เท่ากับ 2.34 mg/L ทำให้ข้อมูลมีการแปรปรวนค่อนข้างมาก อีกทั้งค่า TS และ TSS ของน้ำออก มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้น จึงยังไม่มีปัญหาการเจริญเติบโตของสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงปลา และน้ำมีลักษณะการไหลอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากได้ทำการหมุนเวียนน้ำเข้า-ออก บ่อเพาะเลี้ยงปลาตลอดเวลา

4.3.7 สรุปผลการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์

จากการศึกษาคูณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS พบว่าค่าคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกกลมผสม ยกเว้น ค่าแอมโมเนีย และ TP ดังนั้น ในภาพรวมคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกกลมผสมได้

ตารางที่ 4-4 คุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด เพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำทิ้งเพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้			มาตรฐาน
		Min-Max	Mean	SD	Min-Max
BOD ₅	mg/L	1.58-36.67	10.29	8.62	10-30 ¹
COD	mg/L	4.10-68.00	33.91	16.58	≤ 50 ¹
TS	mg/L	122.0-510.0	323.46	114.61	1,000-5,000 ¹
TDS	mg/L	122.0-429.0	313.82	89.92	-
TSS	mg/L	0.00-113.0	23.93	38.54	< 225 ²
TKN	mg/L	0.88-27.26	10.80	9.46	-
NH ₃ -N	mg/L	0.88-18.29	7.12	6.56	0.02-1.0 ²
Org-N	mg/L	0.00-13.40	4.91	3.85	-
TP	mg/L	0.10-28.91	2.07	2.34	< 0.5 ¹

¹ มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงปลา (มันสิน และ ไพพรรณ , 2544)

²Tucker and Hargreaves (2004)

4.4 คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

จากตารางที่ 4-5, 4-6 และ 4-7 แสดงผลการศึกษาคูณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมของระบบ CAS และระบบ RAS โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค. และ ง) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

จากตารางที่ 4-5 (รายละเอียดผลการศึกษา แสดงในภาคผนวก ค) ค่าเฉลี่ยของ DO ในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบ CAS และระบบ RAS มีค่าเท่ากับ 4.56 และ 4.14 mg/L ตามลำดับ พบว่าผลค่า DO ดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (DO > 5 mg/L; Meade,1989) เมื่อเปรียบเทียบค่า DO ของระบบ CAS และ RAS จะเห็นได้ว่าค่า DO ของระบบ RAS และ CAS มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ค่า DO มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของปลาเป็นอย่างมาก และจากผลการศึกษาของ Swann (1997) กล่าวว่าถ้าออกซิเจนในน้ำมีค่าน้อยกว่า 2 mg/L จะมีผลทำให้ปลาเสียชีวิตได้ ปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนออกซิเจนต่ำไม่เท่ากัน บางชนิดอาจมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มี DO อยู่ 0.5 mg/L ได้หลายชั่วโมง แต่ปลาหลายชนิดทน DO ต่ำได้เพียง 3 mg/L โดยทั่วไประดับ DO ต่ำสุดที่ปลาจะทนได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาสัมผัส ปลาอาจมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มี

ออกซิเจนละลายอยู่ 0.5 mg/L ได้หลายชั่วโมง ปลาหมักทนออกซิเจนละลายน้ำต่ำได้ดีในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน สำหรับลำน้ำทั่วไปปลาเริ่มตายเมื่อมี DO ต่ำกว่า 3 mg/L ดังนั้นควรมีค่า DO อย่างน้อย 5 mg/L ปลาจึงจะมีชีวิตอยู่ได้เป็นปกติ (Stickney, 1993) ปลาตุ๊กตุ๊กผสมมีอัตราการรอดตายสูงกว่าปลาคอกอเมริกัน (*Channel catfish*) เมื่ออาศัยอยู่ในน้ำที่ค่าออกซิเจนละลายอยู่น้อย (Dunham et al., 1983)

4.4.2 ค่าอุณหภูมิ (Temperature)

จากตารางที่ 4-5 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS มีค่าเท่ากับ 26.57 และ 26.80 °C ตามลำดับ พบว่าผลค่าอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของทั้งระบบ CAS และ RAS มีค่าไม่แตกต่างกัน Tucker และ Robinson (1990) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาควรมีค่าอยู่ระหว่าง 27 – 29 °C และจากผลการศึกษาของ Swann (1997) และถาวร ทันใจ (2551) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีผลต่อการดำรงชีวิต พฤติกรรม การเจริญเติบโต การกินอาหาร และการสืบพันธุ์ของปลา

4.4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากตารางที่ 4-5 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค) ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS มีค่าเท่ากับ 8.0 และ 7.79 ตามลำดับ พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (7.5 -8.5; Tucker และ Abramo, 2008) โดยค่าเฉลี่ยของ pH ในบ่อเลี้ยงปลาทั้งสองระบบไม่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาของ Stickney (1993) และ Osman (2010) พบว่าค่า pH มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งถ้า pH มีค่าสูงกว่า 9 จะทำให้สาหร่ายในบ่อเลี้ยงปลาเจริญเติบโตได้ดี

4.4.4 ค่า BOD₅

จากตารางที่ 4-6, 4-7 และรูปที่ 4-7 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ง) ค่าเฉลี่ย BOD₅ ในบ่อเลี้ยงปลาคูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS มีค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง 20.94-22.10 และ 27.26-30.08 mg/L ตามลำดับ พบว่าผลค่า BOD₅ ดังกล่าวมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่าเฉลี่ยของ BOD₅ ในบ่อเลี้ยงปลาแบบ RAS มีค่าสูงกว่าบ่อเลี้ยงปลาแบบ CAS ค่า BOD₅ จะส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาคูกผสม

ตารางที่ 4-5 ค่าคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม ระบบ CAS (C_1-C_3) และระบบ RAS (R_1-R_3)

Parameter	Units	CAS (C_1-C_3)			RAS (R_1-R_3)			ค่ามาตรฐาน
		Min-Max	Mean	SD	Min-Max	Mean	SD	
DO	mg/l	0.07-6.99	4.56	1.97	0.08-6.86	4.14	2.03	>5
Temp	°C	25.10-29.50	26.57	1.03	25.50-29.10	26.90	0.94	27-29
pH	-	6.06-9.98	8.00	1.03	5.94-9.86	7.79	1.09	7.5-8.5
TDS	mg/l	0.10-0.69	0.36	0.12	0.38-0.77	0.48	0.12	
Conductivity	µs/cm	36-739.80	627.39	239.21	3.44-1,019	742.70	336.66	

4.4.5 ค่า COD

จากตารางที่ 4-6, 4-7 และรูปที่ 4-8 (รายละเอียดผลการศึกษแสดงในภาคผนวก ง) ค่าเฉลี่ย COD ในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS มีค่าเฉลี่ย อยู่ในช่วง 106.04-120.69 และ 136.52-204.55 mg/L ตามลำดับ พบว่าผลค่า COD ดังกล่าวมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่าเฉลี่ยของ COD ในบ่อเลี้ยงปลาแบบ RAS มีค่าสูงกว่าบ่อเลี้ยงปลาแบบ CAS ค่า COD เช่นเดียวกับค่า BOD₅ ถ้ามีปริมาณสูงจะส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นช่วงเวลา ก่อนทำการหมุนเวียนน้ำในระบบ CAS

4.4.6 ค่าของแข็ง

จากตารางที่ 4-6, 4-7 รูปที่ 4-9 และ 4-10 ค่าเฉลี่ย TS และ TSS ของน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมทั้งระบบ CAS และระบบ RAS ทุกบ่อ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และทั้งสองระบบมีค่าไม่แตกต่างกัน (รายละเอียดผลการศึกษแสดงในภาคผนวก ง)

4.4.7 แอมโมเนีย (NH₄)

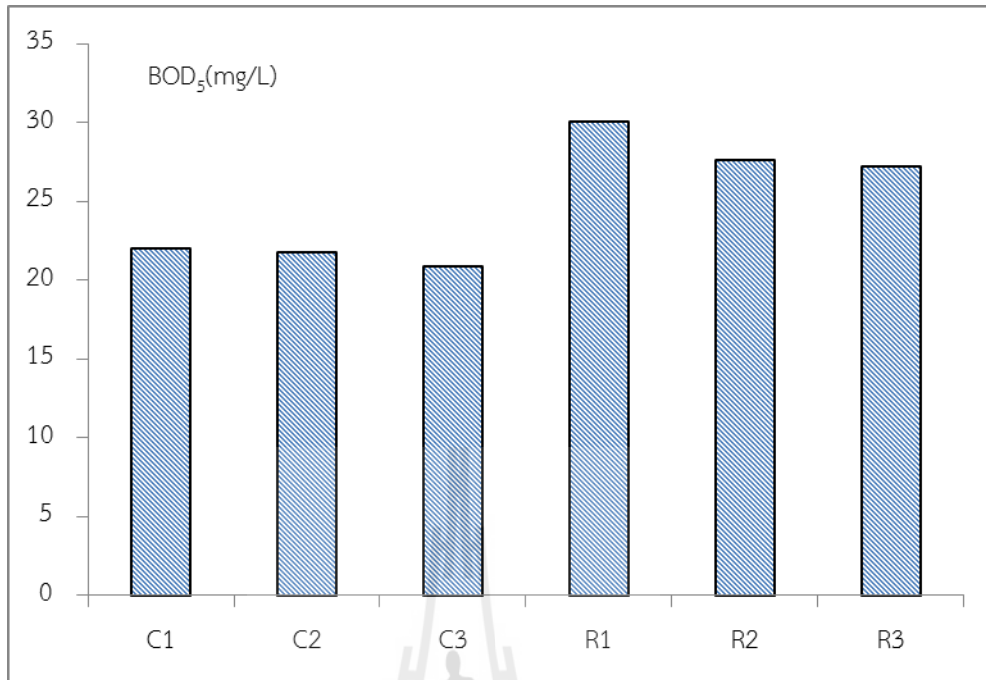
จากตารางที่ 4-6, 4-7 และ รูปที่ 4-11 (รายละเอียดผลการศึกษแสดงในภาคผนวก ง) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS อยู่ในช่วง 8.65-9.48 และ 11.84-12.89 mg/L ตามลำดับ พบว่าผลค่าแอมโมเนียดังกล่าวมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าแอมโมเนียของระบบ RAS และ CAS มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบ pH และอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาที่ได้จากการศึกษา พบว่าค่าของแอมโมเนียในระบบควรมีค่าไม่เกิน 1.00-1.43 mg/L จึงจะไม่เป็นพิษต่อปลาตู้ลูกผสม ดังนั้น จึงควรมีการควบคุม pH ไม่ให้เกิน 7.0 โดยการเติม alum เพื่อลด pH และปริมาณแอมโมเนียในบ่อปลา (Tucker และ Abramo, 2008)

ตารางที่ 4-6 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสมแบบ CAS (บ่อควบคุม)

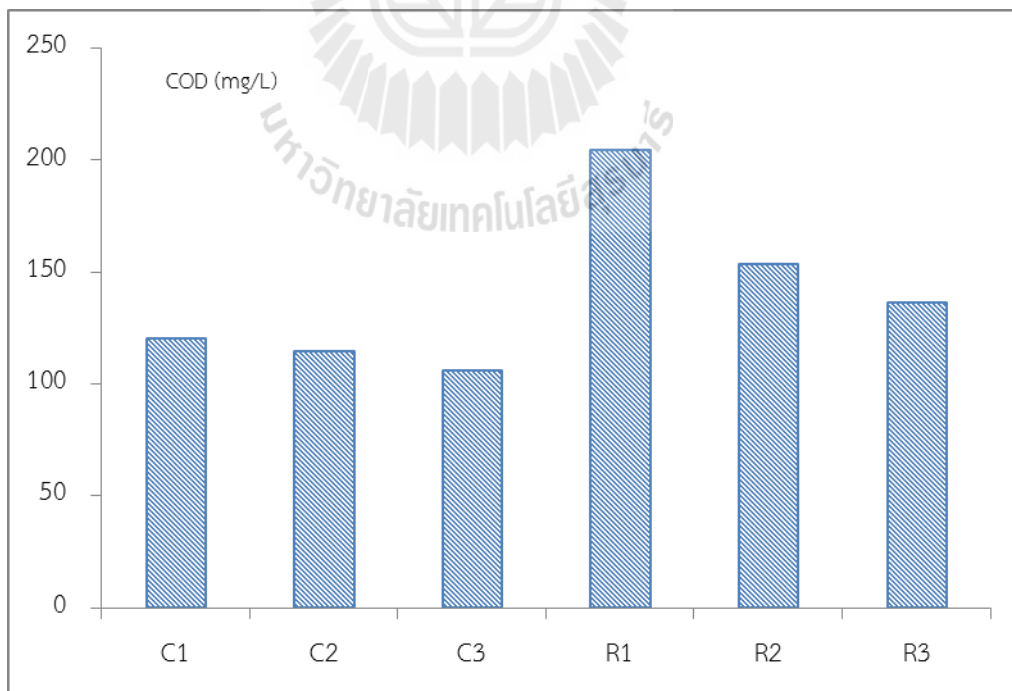
พารามิเตอร์	หน่วย	C ₁			C ₂			C ₃		
		Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD
BOD ₅	mg/L	38.25 - 13.17	22.10	7.97	79.42 - 6.10	21.81	18.49	51.08 - 9.50	20.94	11.18
COD	mg/L	328.00 - 71.60	120.69	64.13	224.00 - 28.67	114.93	49.35	198.00 - 61.44	106.04	39.06
TS	mg/L	595.00 - 204.00	370.86	106.72	481.00 - 142.00	321.79	117.52	482.00 - 130.00	326.43	89.95
TSS	mg/L	231.00 - 10.00	70.86	52.65	167.00 - 0.00	60.36	48.90	202.00 - 0.00	63.50	51.41
TDS	mg/L	466.00 - 194.00	300.00	73.66	422.00 - 142.00	261.43	88.46	338.00 - 130.00	262.93	65.09
TKN	mg/L	163.78 - 0.59	26.82	40.87	79.93 - 0.88	18.42	20.13	103.95 - 1.54	19.62	25.95
NH ₃ -N	mg/L	30.30 - 0.59	9.48	8.86	24.57 - 0.88	8.65	7.50	35.41 - 1.18	8.71	7.73
Org-N	mg/L	143.45 - 0.00	23.12	39.45	57.75 - 0.00	13.03	15.27	78.54 - 0.00	14.54	21.43
TP	mg/L	35.22 - 0.95	2.52	0.88	33.59 - 1.03	2.40	1.01	32.89 - 0.68	2.35	1.22

ตารางที่ 4-7 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาตู้ลูกผสมแบบ RAS (บ่อทดลองแบบหมุนเวียนน้ำ)

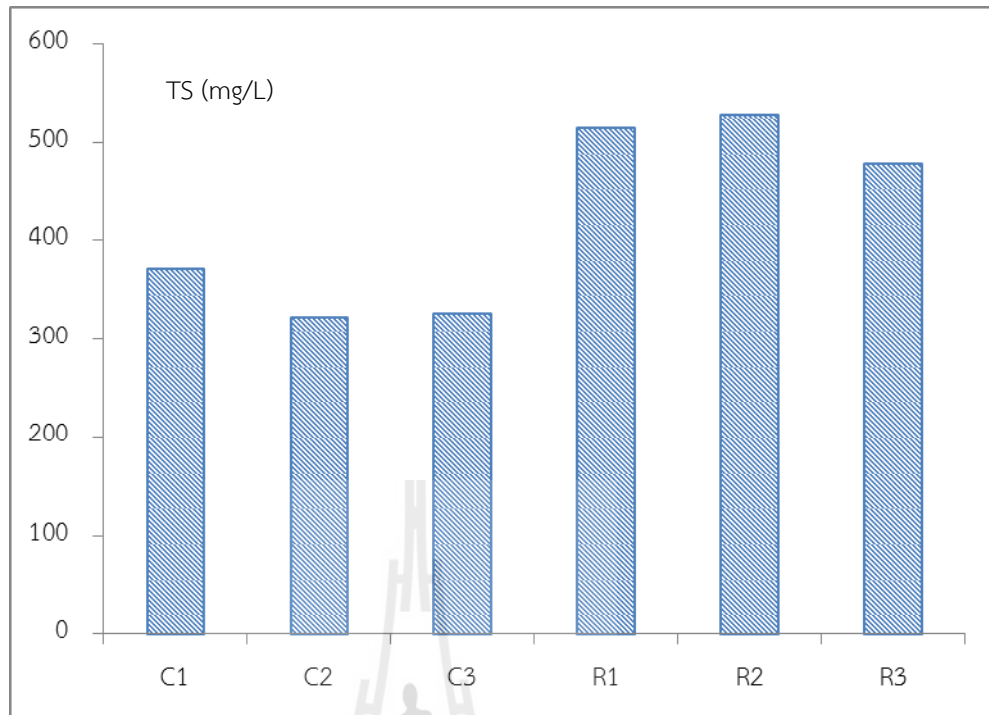
พารามิเตอร์	หน่วย	R ₁			R ₂			R ₃		
		Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD	Max-Min	Mean	SD
BOD ₅	mg/L	49.58 - 17.57	30.08	10.28	52.17 - 14.97	27.71	9.60	60.58 - 5.47	27.26	12.62
COD	mg/L	404.00 - 59.39	204.55	112.10	378.00 - 34.82	153.75	95.25	227.48 - 40.96	136.52	55.26
TS	mg/L	773.00 - 190.00	514.14	181.60	1449.50 - 202.00	528.32	296.35	702.00 - 230.00	478.32	130.23
TSS	mg/L	375.00 - 0.00	164.84	112.28	1082.00 - 0.00	187.07	269.55	250.00 - 0.00	109.86	73.67
TDS	mg/L	455.00 - 190.00	347.66	85.19	453.00 - 202.00	343.75	75.75	452.00 - 230.00	362.11	68.60
TKN	mg/L	125.66 - 1.18	27.73	31.91	142.30 - 1.47	30.09	36.07	141.37 - 2.06	23.07	33.65
NH ₃ -N	mg/L	33.73 - 1.18	11.98	9.19	37.88 - 0.88	12.89	10.47	47.59 - 0.88	11.84	11.34
Org-N	mg/L	91.94 - 0.00	21.00	25.17	104.41 - 0.00	22.93	29.18	93.79 - 0.00	14.98	26.10
TP	mg/L	86.82 - 1.65	6.20	4.42	79.70 - 1.60	5.69	4.26	89.19 - 0.48	6.37	7.31



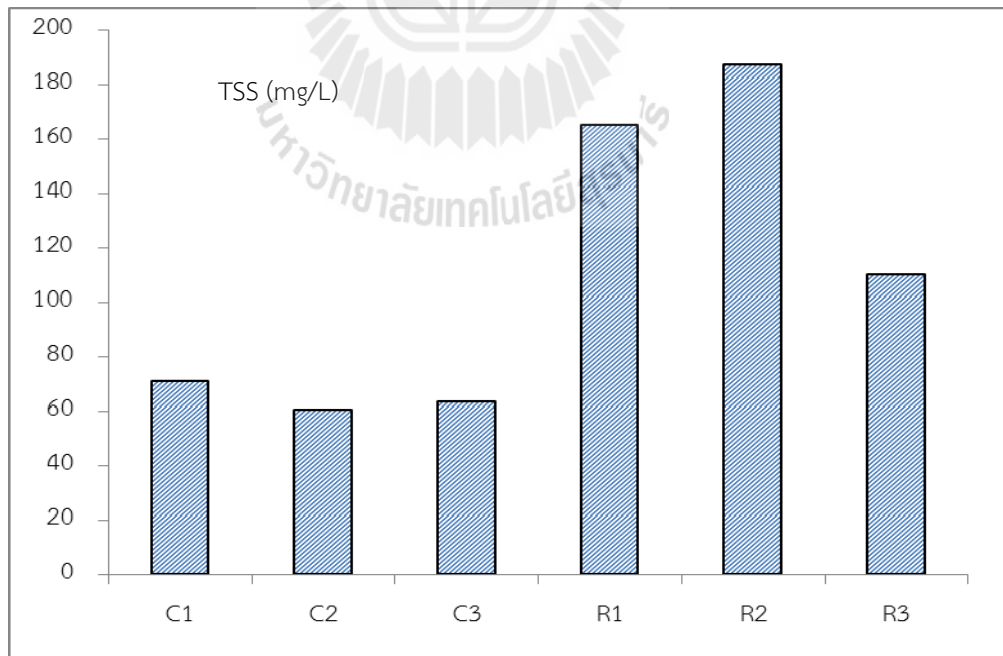
รูปที่ 4-7 ค่า BOD₅ ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน BOD₅ =10-30 mg/L



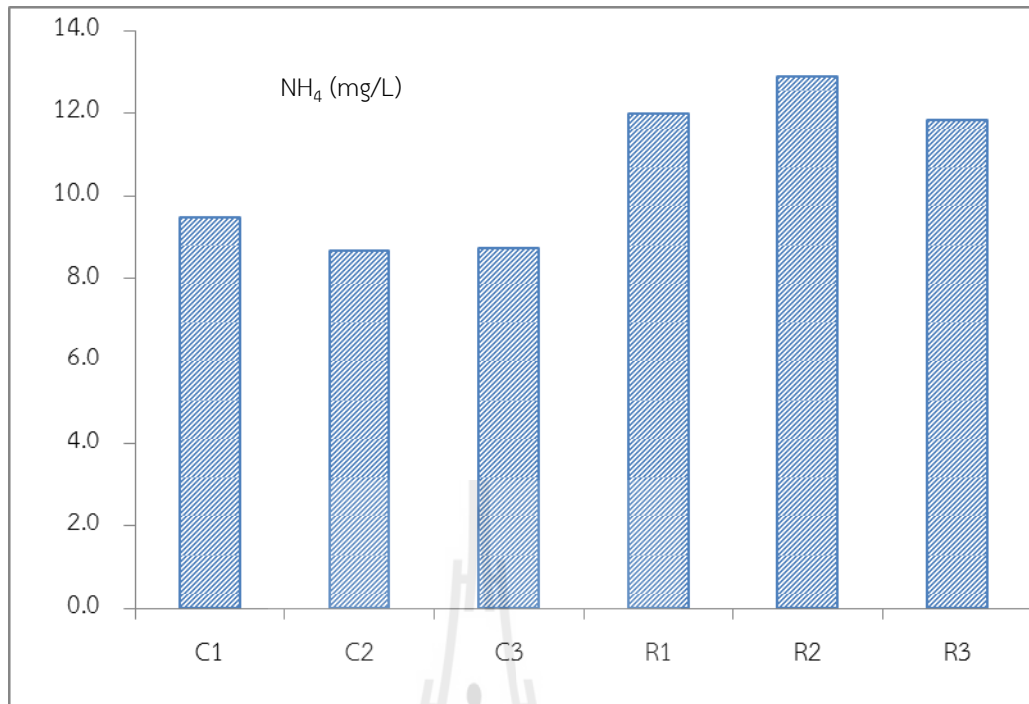
รูปที่ 4-8 ค่า COD ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้ลูกผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน COD ≤ 50 mg/L



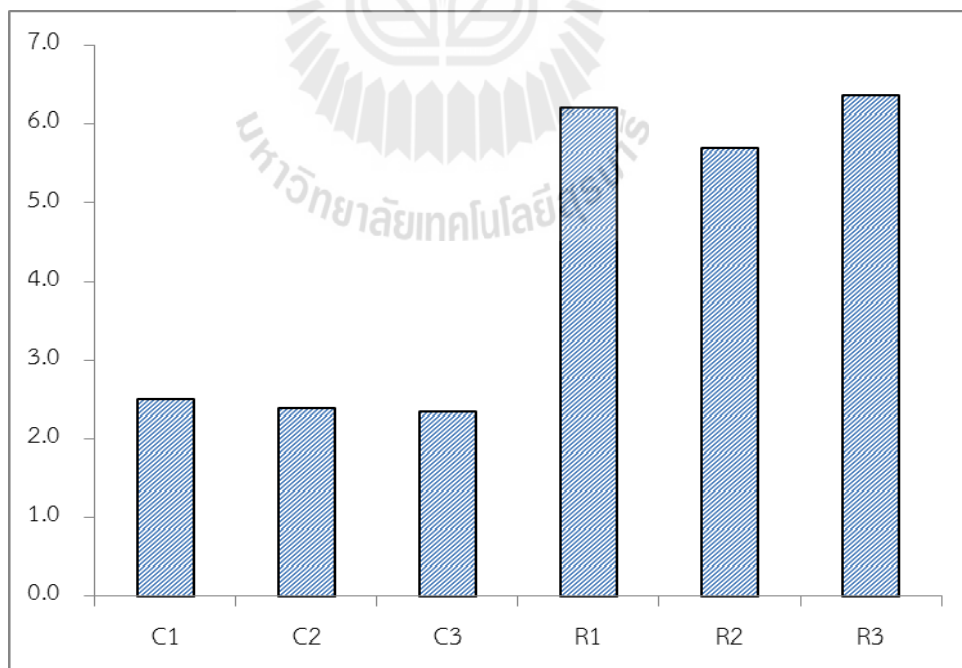
รูปที่ 4-9 ค่า TS ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน TS= 1,000-5,000 mg/L



รูปที่ 4-10 ค่า TSS ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน TSS < 225 mg/L



รูปที่ 4-11 ค่า NH₄ ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน NH₄ = 0.02-1.0mg/L



รูปที่ 4-12 ค่า TP ของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3
 ค่ามาตรฐาน TP < 0.05 mg/L

4.4.8 ค่าฟอสฟอรัส

จากตารางที่ 4-6, 4-7 และรูปที่ 4-12 (รายละเอียดผลการศึกษแสดงในภาคผนวก ง) ค่าเฉลี่ย TP ในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมระบบ CAS และระบบ RAS อยู่ในช่วง 2.35-2.52 และ 4.42-6.37 mg/L ตามลำดับ พบว่าผลค่า TP ดังกล่าวมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาแบบ RAS สูงกว่า แบบ CAS มีแนวโน้มในการเจริญเติบโตของสาหร่าย ควรทำการหมุนเวียนน้ำในบ่อ พบว่าผลค่าแอมโมเนียดังกล่าวมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าแอมโมเนียของระบบ RAS และ CAS มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบ pH และอุณหภูมิของน้ำในบ่อปลาที่ได้จากการศึกษา พบว่าค่าของแอมโมเนียในระบบควรมีค่าไม่เกิน 1.00-1.43 mg/L จึงจะไม่เป็นพิษต่อปลาดุกลูกผสม ดังนั้น จึงควรมีการควบคุม pH ไม่ให้เกิน 7.0 โดยการเติม alum เพื่อลด pH และปริมาณแพลงค์ตอนพืชในบ่อปลา (Tucker และ Abramo, 2008)

4.4.9 สรุปผลคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลา

บ่อเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมระบบ CAS และ RAS มีค่าคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ pH, BOD₅, TS และ TSS อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยงปลา ยกเว้นค่า DO, COD แอมโมเนีย และ TP มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ควรทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 7.0 และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในระบบ CAS กับ RAS พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การหมุนเวียนเพื่อนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม แบบระบบปิด ไม่มีผลแตกต่างกันกับระบบถ่ายน้ำออกจากภายนอก

4.5 ผลผลิตของปลาดุกลูกผสม

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าผลผลิตของปลาดุกลูกผสมระหว่างระบบ CAS และ RAS ที่อัตราการรับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 m³/m²-d เป็นระยะเวลา 5 เดือน เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโต ผลการศึกษามีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-8 พบว่า ปลาดุกลูกผสมที่ทำการเพาะเลี้ยงทั้งระบบ CAS และ RAS มีค่าน้ำหนักตัว (final body weight) ความยาวลำตัวทั้งแบบความยาวมาตรฐาน (standard length) และความยาวลำตัวทั้งหมด (total length) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงทั้งระบบ CAS และ RAS มีค่าน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน (Average daily weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงทั้งในระบบ CAS และ RAS มีค่าประสิทธิภาพการใช้อาหาร หรือค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อัตราการรอดของการ

เลี้ยงปลาตุ๊กกลุ่มผสมของทั้งระบบ CAS และ ระบบ RAS มีค่าอยู่ในเกณฑ์สูง ร้อยละ 94.6 และ 95.5 ตามลำดับ

ในช่วงระหว่างการเลี้ยงปลาตุ๊กกลุ่มผสมมีการตรวจวัดค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (hematocrit) ความเข้มข้นฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และ จำนวนเม็ดเลือดแดง (red blood cell number) ดังแสดงในตารางที่ 4-9 โดยทำการตรวจวัดก่อนเริ่มการทดลอง ทำการเจาะเลือดปลาหลังจากนำปลามาเลี้ยงเพื่อปรับสภาพในบ่อทดลองเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ และเมื่อนำข้อมูลไปทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า ค่าทางโลหิตวิทยาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น จึงเริ่มเข้าสู่การทดลองเพื่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กกลุ่มผสมในระบบน้ำ 2 ระบบ คือ ระบบ CAS และ ระบบ RAS และทำการตรวจวัดค่าทางโลหิตวิทยาทุกเดือน คือ เดือนที่ 1 – 5 จากผลการศึกษาพบว่าค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊กกลุ่มผสมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่ทำการวัดตลอดระยะเวลาการตรวจวัด 5 เดือนของการเจริญเติบโต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊กกลุ่มผสมระหว่างการเลี้ยงปลาในระบบ CAS และ ระบบ RAS ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงระหว่างเดือนที่ 1 – 3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในเดือนที่ 4 ของการทดลองการเลี้ยงปลาในระบบ CAS และ ระบบ RAS พบว่าปลาที่เลี้ยงในระบบ RAS มีค่าฮีโมโกลบินต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงในระบบ CAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ทว่าค่าฮีมาโตคริตและค่าจำนวนเม็ดเลือดแดงไม่แตกต่างกันระหว่างปลาที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS ($P>0.05$) ในเดือนที่ 5 ของการทดลอง พบว่าค่าโลหิตวิทยาทั้ง 3 ค่าไม่แตกต่างระหว่างปลาที่เลี้ยงในระบบ CAS และระบบ RAS

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสุขภาพของปลาในการเลี้ยงระหว่างระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ทำการตรวจวัดค่าทางเคมีในเลือด ได้แก่ ค่ากลูโคสในเลือด ค่าคลอเลสเทอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ ค่ายูเรียในเลือด (blood urea nitrogen) ค่าครีเอตินิน (creatinin) ค่ากรดยูริก (Uric acid) ค่าโปรตีนรวมในเลือด (Total protein) ค่าอัลบูมินในเลือด (albumin) ค่าโกลบูลิน (globulin) ค่าสัดส่วนโปรตีนอัลบูมินต่อโกลบูลิน (albumin/globulin) และค่าบิลิรูบิน (total bilirubin) ผลการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4-10 พบว่า ปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS มีค่ากลูโคส ค่าคลอเลสเทอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ ค่ายูเรียในเลือด ครีเอตินิน (creatinin) กรดยูริก ค่าอัลบูมินในเลือด และค่าบิลิรูบิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS มีค่าโปรตีนรวมในเลือด ค่าโปรตีนโกลบูลิน และค่าสัดส่วนโปรตีนอัลบูมินต่อโกลบูลิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS มีค่าโปรตีนรวมในเลือด โกลบูลิน ต่ำกว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ

RAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่งผลให้ปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS มีค่า อัลบูมิน ต่อโกลบูลิน สูงกว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงด้วยระบบ RAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าเอ็นไซม์ที่เป็นค่าชี้วัดการทำงานของตับของ ปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ได้แก่ เอ็นไซม์ serum glutamic oxaloacetic acid transaminase (SGOT) เอ็นไซม์ serum glutamic pyruvic acid transaminase (SGPT) และ เอ็นไซม์ alkaline phosphatase ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4-11 พบว่า ปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS มีค่า SGOT และ ค่า SGPT สูงกว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS มีค่า เอ็นไซม์ alkaline phosphatase อยู่ในช่วง 0 - 12.5 U/L และ 0 - 5.0 U/L ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลที่เป็นฮอร์โมนที่บ่งบอกสถานะความเครียดของสัตว์ ในปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงด้วยระบบ CAS เมื่อเปรียบเทียบกับปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงด้วยระบบ RAS นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4-8 อัตราการรอดและสมรรถนะการเจริญเติบโต (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของ ปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เพาะเลี้ยงในระบบที่ CAS และในระบบ RAS

	ระบบการเลี้ยงปลาตุ๊กผสม	
	CAS	RAS
น้ำหนักตัวสุดท้าย (กรัม)	76.76 \pm 2.24	74.29 \pm 1.94
ความยาวมาตรฐานลำตัว (เซนติเมตร)	18.96 \pm 0.75	17.91 \pm 0.93
ความยาวทั้งหมดลำตัว (เซนติเมตร)	21.09 \pm 0.59	21.08 \pm 0.71
ความลึกลำตัว (เซนติเมตร)	4.11 \pm 0.13	3.94 \pm 0.30
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	69.30 \pm 2.79	66.15 \pm 1.34
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน (กรัม/วัน)	0.71 \pm 0.03	0.68 \pm 0.01
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน)	2.38 \pm 0.11	2.26 \pm 0.07
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio)	2.09 \pm 0.11	1.88 \pm 0.10
อัตราการรอด (%)	94.6 \pm 0.4	95.5 \pm 0.7

ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4-9 ค่าโลหิตวิทยา (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กแกผสมในระบบ CAS และในระบบ RAS

	เริ่มการทดลอง	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	39.39 \pm 2.69	35.39 \pm 2.30
Hemoglobin (g/dL)	7.19 \pm 0.16	7.22 \pm 0.19
Red blood cell number ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	2.22 \pm 0.14	2.19 \pm 0.08
	เดือนที่ 1	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	38.69 \pm 3.30	36.40 \pm 1.22
Hemoglobin (g/dL)	10.48 \pm 1.70	10.92 \pm 1.27
Red blood cell number ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	2.61 \pm 0.08	2.49 \pm 0.13
	เดือนที่ 2	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	34.57 \pm 1.50	35.67 \pm 0.12
Hemoglobin (g/dL)	10.99 \pm 0.55	11.11 \pm 0.78
Red blood cell number ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	2.67 \pm 0.10	2.45 \pm 0.27
	เดือนที่ 3	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	28.03 \pm 2.24	29.43 \pm 1.91
Hemoglobin (g/dL)	11.45 \pm 0.15	10.40 \pm 0.24
Red blood cell number ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	3.09 \pm 0.34	2.83 \pm 0.24

ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4-9 (ต่อ)

	เดือนที่ 4	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	40.63 ± 3.01	35.10 ± 2.61
Hemoglobin (g/dL)	11.45 ± 0.15 ^a	10.40 ± 0.24 ^b
Red blood cell number (× 10 ⁶ /mm ³)	3.09 ± 0.34	2.83 ± 0.24
	เดือนที่ 5	
	CAS	RAS
Hematocrit (%)	30.44 ± 2.22	28.67 ± 1.45
Hemoglobin (g/dL)	9.30 ± 0.12	8.89 ± 0.90
Red blood cell number (× 10 ⁶ /mm ³)	2.39 ± 0.11	2.31 ± 0.11

ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4-10 ค่าเคมีในเลือดของปลาตุ๊กตากลุ่มผสม (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่เลี้ยงในระบบ CAS และในระบบ RAS

ค่าเคมีในเลือด	ระบบการเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม	
	CAS	RAS
Glucose	68.33 ± 16.02	55.83 ± 16.15
Cholesterol	172.67 ± 54.52	214.33 ± 85.65
Triglyceride	177.33 ± 10.41	174.00 ± 3.61
Blood urea nitrogen (mg/dL)	3.89 ± 0.19	3.56 ± 0.20
Creatinin (mg/dL)	0.13 ± 0.03	0.12 ± 0.01
Uric acid (mg/dL)	0.49 ± 0.13	0.34 ± 0.05
Total protein (g/dL)	3.71 ± 0.12 ^a	3.92 ± 0.04 ^b
Albumin (g/dL)	1.24 ± 0.02	1.25 ± 0.04
Globulin (g/dL)	2.47 ± 0.07 ^a	2.69 ± 0.03 ^b
Albumin / Globulin	0.51 ± 0.02 ^a	0.47 ± 0.00 ^b
Total Bilirubin (mg/dL)	0.12 ± 0.04	0.19 ± 0.02

ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4-11 ค่าเอ็นไซม์แสดงภาวะการทำงานของตับและฮอร์โมนคอร์ติซอลของปลาดุกลูกผสม (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่เลี้ยงในระบบ CAS และในระบบ RAS

	ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม	
	CAS	RAS
SGOT ¹ (U/L)	143.56 \pm 17.24 ^a	235.44 \pm 53.62 ^b
SGPT ² (U/L)	18.00 \pm 2.90 ^a	26.89 \pm 5.18 ^b
Alkalin phosphatase (U/L)	0 – 12.5	0 – 5.0
ฮอร์โมนคอร์ติซอล	9.87 \pm 2.19	9.38 \pm 6.14

ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบระดับเกลือแร่ต่าง ๆ ในเลือดปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ได้แก่ ระดับ แคลเซียมในเลือด ฟอสฟอรัสในเลือด และ ค่าเหล็กในเลือด ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4-12 พบว่า ค่าดังกล่าวของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และระบบ RAS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าออสโมลาริตี (osmolarity) ของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4-12 ค่าเกลือแร่ในเลือดของปลาดุกลูกผสม (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่เลี้ยงในระบบ CAS และในระบบ RAS

	ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม	
	CAS	RAS
แคลเซียม (mg/dL)	13.97 \pm 0.26	14.22 \pm 1.26
ฟอสฟอรัส (mg/dL)	39.00 \pm 3.12	37.20 \pm 4.23
เหล็ก (μ g/dL)	112.44 \pm 32.34	95.33 \pm 36.81
ค่าออสโมลาริตี (mOsm/kg)	313.56 \pm 19.34	316.22 \pm 5.42

ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS และในระบบ RAS พบว่า ค่าองค์ประกอบทางเคมีในร่างกายของปลาดุกลูกผสม ได้แก่ค่า ความชื้น (moisture) เเปอร์เซ็นต์โปรตีน (Crude protein) เเปอร์เซ็นต์ไขมัน (Crude fat) ไฟ

เบอร์ (Fibre) และ เถ้า (Ash) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปลาตุ๋กที่เลี้ยงทั้งระบบ CAS และ ระบบ RAS ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 องค์ประกอบทางเคมีของปลาตุ๋กผสม (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่เลี้ยงในระบบ CAS และในระบบ RAS

องค์ประกอบทางเคมี (Proximate chemical composition)	ระบบการเลี้ยงปลาตุ๋กผสม	
	CAS	RAS
ความชื้น (%)	73.80 \pm 2.27	73.49 \pm 0.16
Crude protein (%)	18.30 \pm 0.01	18.35 \pm 0.08
Crude fat (%)	8.94 \pm 1.30	6.59 \pm 0.57
Crude fibre (%)	0.49 \pm 0.20	0.42 \pm 0.06
เถ้า (%)	2.54 \pm 0.40	2.59 \pm 0.04

ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากผลการศึกษา การเลี้ยงปลาตุ๋กผสมในระบบ CAS และ ระบบ RAS พบว่า มีสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัด ได้แก่ ค่าอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และ ค่าน้ำหนักตัวและความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อนำไปทดสอบค่านัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงปลาตุ๋กผสมในระบบปิดด้วยระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อปลาหรือผลผลิตปลา และไม่มีผลต่อการอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราใน Danish model ระหว่างระบบน้ำหมุนเวียน (recirculating system) และระบบน้ำไหลผ่านเข้าและออกจากระบบ (Flow through system) ซึ่งพบว่าปลาเรนโบว์เทราที่เลี้ยงทั้งสองระบบมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและ ค่า FCR ไม่แตกต่างกัน (D'orbcastel et al., 2009) ได้มีรายงานการศึกษาโดยการนำน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๋กผสมไปเลี้ยงปลานิลแล้วจึงหมุนกลับมาใช้ในบ่อปลาตุ๋กผสม โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่ทำการหมุนเวียนน้ำกลับที่ 3 วัน และ 7 วัน เปรียบเทียบกับการไม่ได้หมุนเวียนน้ำไปเลี้ยงปลานิลและกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งพบว่า การนำน้ำออกไปเลี้ยงปลานิล 3 วัน แล้วหมุนเวียนกลับมาเลี้ยงปลาตุ๋กใหม่ มีผลให้ปลาตุ๋กมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่า FCR เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ได้หมุนเวียนน้ำ แต่ปลานิลที่ได้รับน้ำที่หมุนเวียนช่วง 7 วัน มีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลานิลที่เลี้ยงโดยได้รับน้ำที่หมุนเวียนที่ระยะ 3 วัน (Yi et al., <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/755.pdf>) และ ก ร อ ค ก ร

เพาะเลี้ยงปลานิลลูกผสม (*O. niloticus* x *O. aureus*) ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด พบว่าปลานิลลูกผสมมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเทียบเคียงได้กับการเพาะเลี้ยงปลาชนิดเดียวกันด้วยระบบอื่น ๆ แต่ปลานิลที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการศึกษาครั้งนี้มีค่า FCR สูงกว่าการเพาะเลี้ยงปลานิลชนิดเดียวกันนี้ด้วยระบบน้ำแบบอื่น (Shnel et al., 2002) ได้มีรายงานการศึกษาการนำระบบการเพาะปลาด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดไปใช้กับปลาตุก (*European catfish; Silurus glanis*) สำหรับการเพาะเลี้ยงในฤดูหนาวที่อุณหภูมิน้ำต่ำและมีผลให้ปลาตุกมีการเจริญเติบโตช้า ผลการศึกษาพบว่าปลาตุกที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดมีการเจริญเติบโตสูงกว่าปลาตุกที่เลี้ยงในระบบเปิด ทั้งนี้อัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่านั้นเกิดเนื่องจากการเลี้ยงปลาตุกในระบบปิดในช่วงฤดูหนาวนั้นทำให้อุณหภูมิน้ำในการเพาะเลี้ยงสูงกว่าระบบการเพาะเลี้ยงแบบเปิด (David MCIWEM, 2006) นอกจากนี้การศึกษากการเพาะเลี้ยงปลา ซึ่งได้แก่ ปลานิลและปลา gilthead seabream ในระบบน้ำทะเลหมุนเวียนแบบปิดนั้น พบว่าปลาทั้งสองชนิดมีการผลสมรรถนะการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาทั้งสองชนิด

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าผลการศึกษาที่ผ่านมาและการศึกษาครั้งนี้ ส่วนใหญ่จะให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ การเพาะเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตปลา และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลา ได้มีรายงานการศึกษากการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ในปลาตุก *Chrysichthys nigrodigitatus* และ ปลา sea bass (*D. labrax*) พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานั้นคือ ความหนาแน่นของการเลี้ยงปลาหรืออัตราการปล่อยปลาลงเลี้ยง (Pangni et al., 2008; Sammouth et al., 2009) ผลการศึกษาค้นคว้าอัตราการรอดของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมด้วยระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) มีอัตราการรอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาค้นคว้าสอดคล้องกับการศึกษากการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำหมุนเวียน ในปลาเรนโบว์เทรา ปลาตุกลูกผสมร่วมกับปลานิล และปลานิลลูกผสม (Shnel et al., 2002; Yi et al., <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/755.pdf>; d' orbcastel et al., 2009) อย่างไรก็ตามได้มีรายงานการศึกษากการเพาะเลี้ยงปลา gilthead seabream ในระบบหมุนเวียนน้ำนั้น ปลาเมื่ออัตราการรอดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รายงานว่าเป็นสาเหตุมาจากการเกิดพาราสิตรระบาดในการเลี้ยงปลาขึ้น (Gelfand et al., 2003) ซึ่งรายงานการศึกษานี้เป็นตัวอย่างที่ดี ที่นำไปสู่การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาด้วยระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิด ในด้านการสร้างหรือพัฒนาระบบการกำจัดพาราสิตรหรือตัวอ่อนของพาราสิตรรวมทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา เพื่อป้องกันการเกิดโรครระบาดอันเนื่องมาจากพาราสิตรและเชื้อโรคอื่น ๆ ค่าทางโลหิตวิทยาเป็น

ดัชนีอื่นหนึ่งที่มีกนิยมนำมาใช้ในศึกษาสุขภาพปลา (Adhikari et al., 2004; Silveira-Coffigny et al., 2004; De Andrade et al., 2007; Bittencourt et al., 2003) จากผลการศึกษาค่าทางโลหิตวิทยาตลอดการเลี้ยง โดยทำการติดตามวิเคราะห์ค่าในททุก ๆ เดือน พบว่า ปลาที่มีค่าทางโลหิตวิทยาอันได้แก่ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ค่าฮีโมโกลบิน และค่าจำนวนเม็ดเลือดแดง เปลี่ยนไปตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตที่ระยะ 5 เดือน ทั้งนี้ความแตกต่างของค่าดังกล่าวตลอดระยะเวลาการทดลองนี้อาจจะเป็นผลมาจาก ระยะการเจริญเติบโตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยา และสภาวะแวดล้อมที่เกิดร่วมกันของทั้งสองระบบ CAS และ ระบบ RAS ในระหว่างการเลี้ยง ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และสภาพอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าทางโลหิตวิทยาระหว่างการเลี้ยงปลาตุ๊กกลุ่มด้วยระบบ CAS และระบบ RAS นั้น พบว่าค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊กกลุ่มทั้งสองระบบโดยส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นการตรวจวัดที่เดือนที่ 4 ของการทดลองที่ค่าฮีโมโกลบินแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาตุ๊กกลุ่มด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด RAS นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพปลาตุ๊กกลุ่ม การศึกษาวิจัยด้านการติดตามสุขภาพปลาในด้านโลหิตวิทยาในระบบการเลี้ยงปลาด้วยระบบน้ำหมุนเวียนนั้น มีการรายงานไว้น้อยส่วนใหญ่จะเป็นการรายงานในด้านของการเปรียบเทียบความหนาแน่นของปลา หรืออัตราการปล่อยปลาต่อค่าทางโลหิตวิทยาในการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งได้รายงานว่าความหนาแน่นปลาส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยาส่วนใหญ่ในการเพาะเลี้ยงปลาด้วยระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิด (Docan et al., 2011; Kamal and Omar, 2011)

การศึกษาค่าเคมีในเลือดและฮอร์โมนความเครียดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินสุขภาพของปลา (Adhikari et al., 2004; Silveira-Coffigny et al., 2004; De Andrade et al., 2007; Maule et al., 1989) รายงานการศึกษาในเรื่องของค่าทางเคมีในเลือดในการเลี้ยงปลาด้วยระบบหมุนเวียนมีค่อนข้างจำกัด ส่วนหนึ่งจะเป็นการรายงานถึงค่ามาตรฐานของปลาในระบบการเพาะเลี้ยงแบบหมุนเวียน (Chen et al., 2003; Muel et al., 2007) และมีการรายงานถึงความหนาแน่นของปลาที่เลี้ยงในระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิดนั้นมีผลต่อค่าเคมีในเลือดปลา (Sammouth et al., 2009; Kamal and Omar, 2011) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าทางเคมีในเลือดโดยส่วนใหญ่ได้แก่ ค่า กลูโคส ค่าคลอเลสเทอรอล ค่าไตรกลีเซอไรด์ ค่ายูเรียในเลือด ค่าตรีเอตินิน ค่ากรดยูริก ค่าอัลบูมิน และค่าบิลิรูบิน ของปลาตุ๊กกลุ่มที่เลี้ยงในระบบ CAS และ ระบบ RAS นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่า โปรตีนรวมในเลือด ค่าโกลบูลิน ในปลาตุ๊กกลุ่มที่เลี้ยงด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด RAS นั้นมีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าวในปลาตุ๊กกลุ่มที่เลี้ยงในระบบ CAS และปลาตุ๊กกลุ่มในกลุ่ม RAS มีค่า อัลบูมิน/โกลบูลิน ต่ำกว่าปลาตุ๊กกลุ่มในกลุ่ม CAS ค่าทั้งสามที่ต่างกันนั้น อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดการติดเชื้อแบบเรื้อรัง ความผิดปกติของการทำงานของไตและ/หรือตับ การสูญเสียน้ำออกจากร่างกาย ความผิดปกติของระบบการ

แลกเปลี่ยนออกซิเจน ภาวะการทำลายเม็ดเลือดแดงก่อนสิ้นอายุขัย เป็นต้น แต่ทว่าเมื่อพิจารณาจากค่าทางโลหิตวิทยาที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งไม่มีภาวะที่ชี้ให้เห็นว่าค่าทางโลหิตวิทยาจะแตกต่างกันมากนัก อีกทั้งปลาตุ๊กกลุ่มผสมเป็นปลาที่มีอวัยวะช่วยหายใจ และสามารถอยู่ในได้น้ำที่มีระดับการละลายออกซิเจนในน้ำต่ำได้ จึงสามารถสรุปในเบื้องต้นนี้ได้ว่า ค่าทางเคมีในเลือด อันได้แก่ ค่าโปรตีนในเลือด ค่าโกลบูลิน และค่าอัลบูมิน/โกลบูลินของปลาตุ๊กกลุ่มผสมในระบบ RAS ที่แตกต่างจากปลาตุ๊กกลุ่มผสมในระบบ CAS นั้น ไม่น่าเกิดจากสาเหตุจากระบบการหมุนเวียนโลหิตและการแลกเปลี่ยนก๊าซออกได้ ค่าเกลือแร่ หรือค่าอิเล็กโทรไลต์ต่าง ๆ ในเลือด ได้แก่ ระดับแคลเซียม ระดับฟอสฟอรัส ปริมาณเหล็ก รวมทั้งค่าออสโมลาริตีในปลาตุ๊กทั้งสองระบบไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ค่ายูเรียในเลือด ค่าครีเอตินิน ค่ากรดยูริก อีกทั้งระดับของฮอร์โมนคอร์ติซอลของปลาตุ๊กที่เลี้ยงในระบบ RAS และ ระบบ CAS ไม่แตกต่างกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบขับถ่ายหรือการทำงานของไตปลา น่าจะไม่ใช่สาเหตุของความแตกต่างของค่า ค่าโปรตีนในเลือด ค่าโกลบูลิน และค่าอัลบูมิน/โกลบูลิน ในปลาทดลองในระบบ RAS ที่แตกต่างจากปลาทดลองในระบบ CAS

ผลการศึกษาค้างนี้ พบว่า ค่า SGOT และ SGPT ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้การทำงานของตับในปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS สูงกว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ CAS ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลค่าเคมีในเลือดทั้งหมดเข้าด้วยกันนั้น การศึกษาค้างนี้จึงสรุปได้ว่า ค่าโปรตีนในเลือด ค่าโกลบูลิน ค่าอัลบูมิน/โกลบูลิน ค่า SGOT และ ค่า SGPT ของปลาตุ๊กกลุ่มผสมในระบบ RAS ที่แตกต่างจากปลาตุ๊กกลุ่มผสมในระบบ CAS นั้นเป็นผลจากความผิดปกติของการทำงานของตับปลา อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าโปรตีนในเลือด ค่าโกลบูลิน และค่าอัลบูมิน/โกลบูลิน รวมทั้ง SGOT และ SGPT นั้นเป็นเพียงความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวนี้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยระหว่างค่าที่อ่านได้จากผลตุ๊กกลุ่มผสมในกลุ่ม CAS และ กลุ่ม RAS และอาจจะไม่มากพอที่จะทำให้ค่าดังกล่าวเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นการศึกษาค้างนี้จึงยังไม่สามารถสรุปไปได้อย่างแน่ชัดว่าปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิด RAS จะมีความผิดปกติของการทำงานของตับปลา การศึกษาค้างนี้เป็นเพียงผลเบื้องต้นที่ชี้ประเด็นถึงผลของการใช้น้ำในระบบหมุนเวียนในระยะยาวอาจจะส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของการทำงานของตับ ซึ่งน่าจะนำไปเป็นประเด็นในการศึกษาต่อเพื่อหาสาเหตุที่ชัดเจนต่อไป

ผลการศึกษาค้างนี้ พบว่า ค่าองค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลาอันได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์ เถ้า และความชื้นของร่างกายปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงในระบบ RAS และ ระบบ CAS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้มีรายงานการศึกษาพบว่าคุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเคมีในร่างกายปลา นิล (Lim et al., 2007; Olvera-Novoa et al., 1997; Cavaleiro et al., 2007; Soltan et al., 2008) ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าระบบน้ำของทั้งระบบ CAS และ ระบบ RAS นั้นไม่ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ในอาหารของปลาตุ๊กกลุ่มผสมที่เลี้ยงทั้งสองระบบ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัย

1. ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสม โดยสารอินทรีย์ ในรูป BOD, COD, TKN และ TP ใกล้เคียงกับระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการศึกษาที่ผ่านมา
2. การประเมินคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงปลา พบว่า ค่าคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสม ยกเว้น ค่าแอมโมเนีย และ TP ดังนั้น ในภาพรวมคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ แบบ SF-FWS มีศักยภาพในการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสมเพื่อนำกลับมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสมได้อีก
3. บ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสมระบบ CAS และ RAS มีค่าคุณภาพน้ำ อุณหภูมิ pH, BOD₅, TS และ TSS อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยงปลา ยกเว้นค่า DO, COD แอมโมเนีย และ TP มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ควรทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 7.0 และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในระบบ CAS กับ RAS พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการหมุนเวียนเพื่อนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสม แบบระบบปิด ไม่มีผลแตกต่างกันกับระบบถ่ายน้ำออกจากภายนอก
4. ปลาตุ๊กตากลูผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายน้ำจากภายนอก (CAS) และในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน หรืออาจจะสรุปได้ว่าการเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสมด้วยระบบ 2 ระบบ ให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน
5. อัตราการรอดของการเลี้ยงปลาตุ๊กตากลูผสมระบบที่มีการถ่ายน้ำจากภายนอก (CAS) และระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ไม่แตกต่างกัน
6. ค่าทางโลหิตวิทยาโดยรวมของปลาตุ๊กตากลูผสมที่เลี้ยงด้วยในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ไม่แตกต่างกับค่าทางโลหิตวิทยาของปลาตุ๊กตากลูผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายน้ำจากภายนอก (CAS)
7. สุขภาพโดยรวม ซึ่งพิจารณาจากค่าทางเคมีโลหิตของปลาตุ๊กตากลูผสมที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) ไม่แตกต่างจากปลาตุ๊กตากลูผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายน้ำจากภายนอก (CAS)

8. ค่าทางเคมีโลหิตที่บ่งชี้การทำงานของตับของปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) ซึ่งอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ความผิดปกติของการทำงานของตับปลา อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนนัก ข้อมูลด้านค่ามาตรฐานของค่าทางเคมีในเลือดดังกล่าวนี้ จะทำให้สามารถสรุปผลได้ชัดเจนมากขึ้น
9. องค์ประกอบทางเคมีของร่างกาย ได้แก่ เฟอร์เรติน โปรตีน ไซมัน ไฟเบอร์ เกล็ด และความชื้นของปลาตุ๊กตุ๊กผสม ที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ (RAS) และ ระบบที่มีการถ่ายเทน้ำจากภายนอก (CAS) มีค่าไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ควรนำไปใช้เป็นโมเดลสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาในบ่อดิน ซึ่งเป็นสภาพจริงของการผลิตประดุกตุ๊กผสมทางการค้า
2. ควรมีการศึกษาค่ามาตรฐานทางค่าทางโลหิตวิทยา และค่าเคมีในเลือด ของปลาตุ๊กตุ๊กผสมเพื่อนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสม และนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสมในระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิดต่อไป
3. ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีข้อบ่งชี้ประเด็นของความผิดปกติของการทำงานของตับของปลาตุ๊กตุ๊กผสมที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีการบำบัดด้วยระบบชุ่มน้ำแบบประดิษฐ์ ซึ่งควรจะมีการศึกษาเพื่อให้ทราบผลที่แน่ชัดต่อไป
4. ควรมีการศึกษาพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตุ๊กผสมด้วยระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีขั้นตอนการกำจัดเชื้อโรคและพาราสิตปลา

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2546). เทคนิคการบำบัดน้ำเสีย
บางวิธี การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ และการทดสอบพิษวิทยาสำหรับน้ำทิ้ง. เล่มที่ 4. พิมพ์
ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กรมควบคุมมลพิษ และ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2548). การศึกษาโครงการพัฒนาแนวทาง
ด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ [ออนไลน์]. ได้จาก :
http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm
- กรมประมง. (2548). ปริมาณและมูลค่าสัตว์น้ำจืดที่จับได้ทั่วประเทศ จำแนกตามชนิด ปี 2546-
2548. [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www.fisheries.go.th/fish>.
- กลอยกาญจน์ เก้าเนตรสุวรรณ. (2544). การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้
ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สห
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัมชวล ภูริพงศ์. (2550). พยาธิสภาพของเนื้อเยื่อและโลหิตวิทยาของปลาบางชนิดในแม่น้ำโขง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤตธี วงศ์สถิตย์. (2544). การบำบัดน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ถาวร ทันใจ. (2551). การเจริญเติบโตของปลาตุ๊กตาสวยภายใต้สภาพการควบคุมอุณหภูมิและการ
เลี้ยงในสภาพแวดล้อมปกติ. ประชุมวิชาการประมง. กรมการประมง. กรุงเทพมหานคร.
- ทิพย์สุดา ต่างประโคน, ผ่องใส จันทร์ศรี, และ สุพรรณ ชันน้ำเที่ยง. (2549). การเลี้ยงปลาดุกอุยเทศ
ในบ่อพลาสติกที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 64/2549.
สำนักงานวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง. 15 หน้า.
- ประเทือง เชาววิทย์กลาง. (2534). คุณภาพน้ำทางการประมง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
ฟิลิปปินส์เซ็นเตอร์.

- พรวิชัย ลำเจียกเทศ. (2548). **เทคนิคพื้นฐานทางโลหิตวิทยา** (Basic Hematological Techniques) ภาควิชาจุลทรรศนศาสตร์คลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.
- มงคล ปริ้มผล. (2533). **การศึกษาสาเหตุและการป้องกันโรคในปลาตุ๊กอูย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันลิน ตันตุลเวศม์. (2540). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันตุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. (2544). **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันตุลเวศม์ และ มันรัช ตันตุลเวศม์. (2547). **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยงยุทธ์ เคนคำภา. (2549). **หลักสูตรท้องถิ่นเรื่อง ปลาตุ๊กเงินล้าน**. [ออนไลน์]. ได้จาก : 202.143.137.100/kruyongyut/fff6.pdf.
- รักพงษ์ เพชรคำ และ ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์. (2540). **ผลของความเค็มต่อดัชนีทางโลหิตบางชนิดของปลาตุ๊กอูย (*Clarias macrophalus*)**. รายงานการวิจัย ภาควิชาประมง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เวียง เชื้อโพธิ์หัก. (2525). **คุณภาพน้ำน้ำกักกำลังการผลิตของบ่อปลา**. ภาควิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- สุชาดา ปุณณสัมฤทธิ์. (2548). **การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบผสม**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุธามาศ ย้อยสุวรรณ. (2543). **กายวิภาคเปรียบเทียบของปลาตุ๊กอูย (*Claris macrocephalus* Gunther) ปลาตุ๊กรัสเซีย (*Claris gariepinus*) และปลาตุ๊กปักอูย (*Claris macrocephalus* x *C. gariepinus*)**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุภาพร สุกรีเหลือง. (2538). **การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท พิมพ์ดี จำกัด.
- Adhikari, S., Sarkar, B., Chatterjee, A., Mahapatra, C.T., Ayyappan, S. (2004). Effects of cypermethrin and carbofuran on certain hematological parameters and prediction of their recovery in a freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton). *Ecotoxicol. Environm. Safety* 58:220-226.
- Akinwole, A.O., Faturoti, E.O. (2007). Biological performance of African Catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in recirculating system in Ibalan. *Aquaculture Engineering* 36: 18-23.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official methods of analysis. Washington, DC, USA.
- Barton, B. A. (1997). **Stress in finfish: past, present and future- a historical perspective**. In: Iwana, G.K., Pickering, A.D., Sumpster, J.P., Schreck,, C.B. (eds). Fish stress and health in aquaculture. Soc Exper boil Seminar Series, Vol 62. Cambridge University Press, New York. P 1-34.
- Bittencourt, N.L.R., Molinari, L.M., Scoaris, D.O., Pedroso, R.B., Nakamura, C.V., Ueda-Nakamura, T., Filho, B.A.A., Filho, B.P.D., 2003. Hematological and biochemical values for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in a semi-intensive system. *Acta Scientiarum.Biological Sciences* 25, 385-389.
- Brown, E. E. (1977). **World Fish Farming Cultivation and Economics**, AVI Publishing, Westport, CT.
- Bubba, M.D., Arias, C.A. and Brix H. (2003). Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in surface flow constructed wetlands as measured by the Langmuir isotherm. *Water Research*. 37: 3390-3400.
- Cavalheiro, J.M.O., Souza, E.O., Bora, P.S., 2007. Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) feed. *Bioresource Technology* 98, 602-606.

- Chen, C.-Y., Wooster, G. A., Getchell, R. G., Bowser, P. R. and Timmons, M. B. (2003). Blood chemistry of healthy, nephrocalcinosis-affected and ozone-treated tilapia in a recirculation system, with application of discriminant analysis. *Aquaculture*. 218: 89-102.
- Clem, L., Faulmann, E., Miller, N., Ellsaesser, D., Lobb, C., and Cuchens, M. (1984). Temperature-mediated processes in teleost immunity: differential effects of in vitro and in vivo temperatures on mitogenic responses of channel catfish lymphocytes. *comp immunol*. 8: 313-322.
- Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B., and Shute, R. B. E. (1996). **Reed Bed and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. WRc Swindon :Wiltshire.
- De Andrade, J.I.A., Ono, E.A., De Menezes, G.C., Brasil, E.M., Roubach, R., Urbinati, E.C., Tavares-Dias, M., Marcon, J.L., Affonso, E.G. (2007). Influence of diets supplemented with vitamins C and E on piracucu (*Arapaima gigas*) blood parameters. *Comp. Biochem. Physiol.* 146: 576-580.
- Docan, A., Cristea, V., Dediu, L., Mocanu, M. and Grecu, I. (2011). The impact of level of the stocking density on the haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture, aquarium, conservation & legislation*. 4: 536-541.
- Drizo, A., Frost C. A., Grace, J., and Smith, K. A. (1997). Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow using shale as a substrate. **Water Science and Technology**. 35 (5) : 95-102.
- Drizo, A., Frost, C. A., Grace, J., and Smith, K. A. (1999). Physical-chemical screening of phosphate removing substrates for use in constructed wetland systems. **Water Research**. 33(17) : 3595-3602.
- Drizo, A., Frost, C. A., Grace, J., and Smith, K. A. (2000). Phosphate and ammonium distribution in pilot-scale constructed wetland with horizontal subsurface flow using shale as a substrate. **Water Research**. 34 (9) : 2483-2490.

- Dunham, R. A., Smitherman, R. O., and Webber, C. (1993). Relative tolerance of channel x blue hybrid and channel catfish to low dissolved concentrations, **Prog. Fish-Cult.**, 45, 55.
- Ellsaesser, D., and Chem, L. (1986). Haematological and immunological changes in channel catfish stressed by handling and transport. **J Fish Biol.** 28 : 511-521.
- Ellis, A. (1982). **Differences between the immune mechanisms of fish and higher vertebrates.** In: Roberts R. (ed) Microbial diseases of fish. Academic Press, London, p 1-30.
- Fedoruk, A.N. (1981). A management perspective on stress and infectious diseases in Clarias farming. National Inland Fisheries Institute (THA/75/012/WP10), Thailand. 10 pp.
- Gelfand, I., Barak, Y., Even-Chen, Z., Cytryn, E., Rijn, R. J., Krom, M. D. and Neori, A. (2003). A novel zero discharge intensive seawater recirculating system for the culture of marine fish. *Journal of the world aquaculture society.* 34: 344-358.
- Gu, L., Zhenbin, W., Shuping, C., Wei, L., Feng, H., Guiping, F., and Fei, Z. (2007). Application of Constructed Wetlands on Wastewater Treatment for Aquaculture Ponds. **J Natural Sciences.**Vol.12,1131-1135.
- Iamchaturapart, I., Yi, S. W., and Rhee, J. S. (2007). Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface-flow (VFS) constructed wetland. **Ecology Engineering.** 29, 287-293.
- Kadlec, R. H., and Knight, R. L. (1996). **Treatment Wetlands.**Lewis Publishers, New York.
- Kadlec, R. H. (2009). Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands. **Ecological Engineering.** 35, 159-174.
- Kamal, S. M. and Omar, W. A. (2011). Effect of different stocking densities on hematological and biochemical parameters of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* fingerlings. *Life science journal.* 8: 580-586.

- Klinger, H., Deventhai, H., and Hilge, V. (1983). Water quality and stocking density as stressors of channel catfish (*Ictalurus punctatus* Rafinesque). **Aquaculture**. 30: 263-272.
- Koottatep, T., Polprasert, C., Oanh, N. T. K., Surinkul, N., Montangero, A., and Strauss, M. (2002) **Constructed Wetlands for Septage Treatment-Towards Effective Faecal Sludge Management**. AIT, Thailand.
- Lawson, T. B. (1995). **Fundamental of Aquacultural Engineering**. New York : Chapman and Hall.
- Lai, Y. F., and Lam, C. K. (2009). **Phosphorus sorption by sediments in a subtropical constructed wetland receiving stormwater runoff**. *Ecological Engineering*. 35(5) : 735-743.
- Li, M., Zhou, Q., Tao, M., Wang, Y., Jiang, L., and Wu, Z. (2010). Comparative study of microbial community structure in different filter media of constructed wetland. **Journal of Environmental Sciences** .22(1) : 127-133.
- Lin, Y-F., Jing, S-R., Lee, D-Y., and Wang, T-W. (2002). Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. **Aquaculture**. 209, 169-184.
- Lin, Y-F., Jing, S-R., and Lee, D-R.(2003). The potential use of constructed wetland in a recirculating aquaculture system for shrimp **culture**.*Envi. poll.*123:107-113.
- Maule, A., Tripp, R., Kaattari, S., Schreck, C. 1989. Stress alters immune function and disease resistance in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. endocrinol* 120: 135-142.
- Mauel, M. J., Miller, D. L. and Merrill, A. L. (2007). Hematologic and plasma biochemical values of healthy hybrid tilapia (*Oreochromis aureus x Oreochromis nilotica*) maintained in a recirculating system. *Journal of zoo and wildlife medicine*. 38: 420-424.
- Meade, J. W. (1989). **Aquaculture management**. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Moortel, A. M. K., Rousseau, D. P. L., Tack, F. M. G., and Pauw, N. D. (2009). A comparative study of surface and subsurface flow constructed wetland for treatment of combined sewer overflows: A greenhouse experiment. **Eco. Eng.** 35:175-183.
- Nieuwegissen, P. G., Olwo, J., Khong, S., Verreth, J. A. J., and Schrama, W. (2009). Effect of age and stocking density on the welfare of African catfish *Clarias gariepinus* Burchell. **Aquaculture.** 288: 69-75.
- Ojstrsek, A., Fakin, D., and Vrhovsek, D. (2007). Residual dyebath purification using a system of constructed wetland. **Dyes and Pigments.** 74: 503-507.
- Osman, M. A., Mohamed, M. A. M., Ali, M. H. H., and Al-Afify, A. D. G. (2010). Assessment of Agriculture Drainage Water Quality to be Used for Fish Farm Irrigation. **Nature and Science.** 8: 8.
- Olvera-Novoa, M.A., Pereira-Pacheco, F., Olivera-Castillo, L., Pérez-Flores, V., Navarro, L., Sámano, J.C. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*) protein concentrate as replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. **Aquaculture** 158, 107–116.
- Pangni, K., Atse, B.C., Kouassi, N.J. (2008). Effect of stocking density on growth and survival of the African catfish *Chrysichthys nigrodigitatus*, Clariidae (Lacepede 1803) larvae in circular tanks. **Livestock Research for Rural Development** 20:7 pp.
- Polprasert, C. (2004). **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Principles and Practices.** **Dev Eco.** AIT, Thailand.
- Reed, R. C., Middlebrooks, E. J., and Crites, R. W. (1988). **Natural Systems for Waste Management and Treatment.** New York : McGraw-Hill.
- Reddy, K. R., and Debusk, W. F. (1987). **Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants.** In R.H. Kadlec, and R.L. Knight. **Treatment wetland.** Michigan : Lewis Publishers.

- Samudro, G., and Mangkoedihardjo, S. (2010). Review on BOD, COD and BOD/COD ratio: A Triangle zone for toxic, biodegradable and stable levels. **J. Academic Res.** 2(4), 235-239.
- Sammouth, S., Roque d'Orbcastel, E., Gasset, E., Lemarie, G., Breuil, G., Marino, G., Coeurdacier, J-L., Fivelstad, S. and Blancheton, J-P. (2009). The effect of density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) performance in a tank-based recirculating system. *Aquacultural engineering*. 40: 72-78.
- Senanan, W., Kapuscinski, A. R., Na-Nakhon, U., and Miller, L. M. (2004). Genetic impacts of hybrid catfish farming (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) on native catfish populations in central Thailand. **Aquaculture**. 235,167-184.
- Schulz, C., Gelbrecht, J., and Rennert, B. (2003). **Constructed wetland with free water surface for treatment of aquaculture effluents.** *J Appl. Ichthyol.* 20 : 64-70.
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z. and van Rijn, J. (2002). Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural engineering*. 26: 191-203.
- Silveira-Coffigny, R., Prieto-Trujillo, A., Ascencio-Valle, F. (2004). Effects of different stressors in haematological variables in cultured *Oreochromis aureus* S. *Comp. Biochem. Physiol.* 139: 245-250.
- Sindilariu, P. D., Schulz, C., and Reiter, R. (2007). Treatment of flow-trough trout aquaculture effluent in a constructed wetland. **Aquac.** 270 : 92-104.
- Sindilariu, P. D., Wolter, C., and Reiter, R. (2008). Constructed wetland as a treatment method for effluents from intensive trout farms. **Aquaculture**. 227, 179-184.
- Soltan, M.A., Hanafy, M.A., Wafa, M.I.A., 2008. Effect of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Global Veterinaria* 2 (4), 157-164.

- Stickney, R. R. (1993). **Culture of nonsalmonid freshwater fishes. (2nd ed.)**. Florida : CRC Press.
- Summerfelt, S. T., Adler, P. R., Glenn, D. M., and Kretschmann, R. N. (1999). Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. **Aquaculture Engineering**. 19: 81-92.
- Swann, L. (1997). A Fish Farmer's Guide to understanding water quality. **Water quality**. [ออนไลน์].ได้จาก: <http://aquanic.org/publicat/state/il-in/il-in.htm>
- Tucker, C. S., and Hargreaves, J. A. (2004). Biology and Culture of Channel Catfish. **Dev aquacul fish sci**. vol.34. New York : Elsevier.
- Tucker, C. S., and D'Abramo, L. R. (2008). **Managing High pH in Freshwater Ponds**. SRAC Publication No. 4604.
- Tucker, C. S., and Robinson, E. H. (1990). **Channel Catfish Farming Handbook**. New York : Van Nostrand Reinhold.
- U.S. EPA. (1993). **Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment, A Technology Assessment**. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (2000). **Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment**. Ohio: United States Environmental Protection Agency.
- Wendelaar, B. S. (1997). The stress response in fish. **Physiological Reviews**. 77: 591-625.
- Yi, Y., Sethteethunyahan, R., Lin, C.K. Recycling wastewater of intensive hybrid catfish culture for semi-intensive Nile tilapia culture. 755-762, <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/755.pdf>;
- Zachritz , W. H., Hanson, A. T., Saucedo, J. A., and Fitzsimmons, K. M. (2008). Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production system. **Aquacultural Engineering**, 39, 16-23.

Zhu T., Jenssen P.D., Maehlum T. and Krogstad T. (1997). Phosphorus sorption and chemical characteristics of light aggregate (LWA): potential filter media in treatment wetland. *Water Science and Technology*. 35(5): 103-108.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2544). การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ **Combined Constructed Wetland** ในเขตอากาศร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เดชา นาวานุเคราะห์ และ ชลิต อินทรรัตน์. (2543). การศึกษาการเจริญเติบโตของปลาตกอยู่ที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตกลมด้วยอัตราการปล่อยที่ต่างกัน. รายงานวิจัย สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก.

วิกรม เจตนาวนิชย์ สุชีรา สุขศิลป์ชัย อาภาพร เพียรรุ่งโรจน์ จิรศักดิ์ ตั้งตรงไพโรจน์ สุขประดิษฐ์หวังในธรรม และ อัจฉริยา ไสละสูต. (2549). การศึกษาค่าทางโลหิตวิทยา เคมีคลินิกและพยาธิวิทยาของปลาตกบักที่แสดงอาการตีช้ำน. การประชุมวิชาการทางสัตวแพทย์และการเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพมหานคร. การเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพมหานคร.

วีณา เคยพุดชา มาลินี กิตกำธร เกสรสะตู่ และ อัจฉริยา ไสละสูต. (2550). ผลของออกซิเจนละลายในน้ำต่ำระยะสั้น (DO, 0 ppm, 3 ชั่วโมง) และ ออกซิเจนละลายในน้ำต่ำระยะยาว (DO, 3-4 ppm, 90 วัน). ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

บัญญัติ ศิริธนาวงศ์ สุพิศ ทองรอด ทิวต์ มณีโชติ และ ละอองทิพย์ มัทธูรศ. (2551). การศึกษาความหนาแน่นและความถี่ในการให้อาหารปลาตกทะเล (*Plotosus canius*) ที่เลี้ยงในกระชัง. วารสารวิจัย ราชภัฏพระนคร.

110#

ภาคผนวก ก



111#

ตาราง ก-1 ค่าบีโอดีที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	BOD (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	17.670	3.580	1.580
13/6/2554	14.20	10.37	2.07
20/6/2554	22.70	12.88	11.88
27/6/2554	88.5	45.33	36.67
11/7/2554	19.77	9.80	7.33
19/7/2554	14.75	10.57	10.28
25/7/2554	8.60	3.33	3.80
1/8/2554	24.20	24.20	10.87
8/8/2554	17.97	12.80	13.20
15/8/2554	16.37	18.13	14.30
22/8/2554	23.38	18.08	14.78
5/9/2554	18.35	10.40	8.80
12/9/2554	18.68	8.27	12.08
26/9/2554	7.36	3.55	3.68
30/9/2554	32.68	3.77	3.02
Max	88.50	45.33	36.67
Min	7.36	3.33	1.58
Max - Min	88.50 - 7.36	45.33 - 3.33	36.67 - 1.58
Mean	23.01	13.00	10.29
S.D.	19.15	10.80	8.62

112#

ตาราง ก-2 ค่าซีโอดีที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	COD (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	400	31	35
13/6/2554	131.38	46.648	23.8
21/6/2554	188	64	68
27/6/2554	179.09	54.12	36.41
7/11/2554	38.91	7.17	4.10
19/7/2554	36.86	19.46	18.43
25/7/2554	59.79	16.16	14.54
1/8/2554	67.9	55.1	37.39
8/8/2554	66.37	36.11	54.66
16/8/2554	71.63	48.4	35.82
22/8/2554	73.92	38.4	22.08
20/9/2554	70.27	44.90	40.99
29/9/2554	74.88	41.28	46.08
30/9/2554	114.14	43.30	37.39
Max	400.00	64.00	68.00
Min	36.86	7.17	4.10
Max - Min	400.00 - 36.86	64.00 - 7.17	68.00 - 4.10
Mean	112.37	39.00	33.91
S.D.	95.09	15.95	16.58

113#

ตาราง ก-3 ค่าของแข็งทั้งหมดที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	TS (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	609	427	369
13/6/2554	535	319	260
21/6/2554	473	391	355
27/6/2554	424	310	268
7/11/2554	186	149	122
19/7/2554	274	220	128
25/7/2554	373	244	238
1/8/2554	340	365	319
8/8/2554	395	394	392
15/8/2554	424	518	455
22/8/2554	445.75	484.5	454.5
5/9/2554	356	260	314
12/9/2554	460	432	344
19/9/1954	505	493	510
Max	609.00	518.00	510.00
Min	186.00	149.00	122.00
Max - Min	609.00 - 186.00	518.00 - 149.00	510.00 - 122.00
Mean	414.27	357.61	323.46
S.D.	107.49	111.51	114.61

114#

ตาราง ก-4 ค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	TSS (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	113	19	7
13/6/2554	117	5	2
21/6/2554	93	81	113
27/6/2554	66	30	28
7/11/2554	0	0	0
19/7/2554	0	0	0
25/7/2554	5	0	0
1/8/2554	18	13	11
8/8/2554	15	2	0
15/8/2554	42	62	27
22/8/2554	60	27	25
5/9/2554	54	0	0
12/9/2554	74	22	12
19/9/1954	72	18	110
Max	117.00	81.00	113.00
Min	0.00	0.00	0.00
Max - Min	117.00 - 0.00	81.00 - 0.00	113.00 - 0.00
Mean	52.07	19.93	23.93
S.D.	40.21	24.56	38.54

115#

ตาราง ก-5 ค่าของแข็งละลายน้ำที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	TDS (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	496	408	362
13/6/2554	418	314	358
21/6/2554	380	310	242
27/6/2554	358	280	240
7/11/2554	186	149	122
19/7/2554	274	220	228
25/7/2554	368	264	238
1/8/2554	322	350	308
8/8/2554	380	392	392
15/8/2554	382	456	428
22/8/2554	385.75	457.5	429.5
5/9/2554	302	260	314
12/9/2554	386	410	332
19/9/1954	433	477	400
Max	496.00	477.00	429.50
Min	186.00	149.00	122.00
Max - Min	496.00 - 186.00	477.00 - 149.00	429.00 - 122.00
Mean	362.20	339.11	313.82
S.D.	74.57	98.68	89.92

116#

ตาราง ก-6 ค่าที่เคเอ็นที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	TKN (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	19.95	13.83	8.51
13/6/2554	17.02	13.83	8.51
21/6/2554	45.59	37.40	22.11
27/6/2554	34.13	27.57	21.84
7/11/2554	2.35	0.88	0.88
19/7/2554	4.12	2.94	3.23
25/7/2554	6.72	4.48	4.76
1/8/2554	23.56	18.94	20.79
8/8/2554	31.88	34.65	20.79
16/8/2554	21.71	22.18	19.87
22/8/2554	67.91	36.04	27.26
5/9/2554	9.80	12.60	7.00
12/9/2554	3.78	2.24	2.10
19/9/2554	5.18	5.18	1.68
26/9/2554	3.92	3.22	1.82
30/9/2554	2.24	1.68	1.68
Max	67.91	37.40	27.26
Min	2.24	0.88	0.88
Max – Min	67.91 - 2.24	37.40 - 0.88	27.26 - 0.88
Mean	18.74	14.85	10.80
S.D.	18.60	13.15	9.46

117#

ตาราง ก-7 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	NH ₃ -N (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	11.97	7.45	1.86
13/6/2554	10.37	7.98	2.93
21/6/2554	18.29	15.83	13.92
27/6/2554	22.66	16.93	18.29
7/11/2554	1.47	0.88	0.88
19/7/2554	1.76	2.06	1.47
25/7/2554	5.60	3.08	2.52
1/8/2554	15.708	13.86	13.86
8/8/2554	27.72	30.492	17.094
16/8/2554	8.778	12.012	12.936
22/8/2554	29.106	14.784	13.86
5/9/2554	9.8	8.4	7
12/9/2554	3.78	2.24	2.1
19/9/2554	5.18	5.18	1.68
26/9/2554	3.92	3.22	1.82
30/9/2554	2.24	1.68	1.68
Max	29.11	30.49	18.29
Min	1.47	0.88	0.88
Max – Min	29.11 - 1.47	30.49 - 0.88	18.29 - 0.88
Mean	11.15	9.13	7.12
S.D.	9.11	7.91	6.56

118#

ตาราง ก-8 ค่าออร์แกนิกไนโตรเจนที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	Org-N (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	7.98	6.38	6.65
13/6/2554	6.65	5.85	5.59
21/6/2554	27.30	21.57	8.19
27/6/2554	11.47	10.65	3.55
7/11/2554	0.88	0.00	0.00
19/7/2554	2.35	0.88	1.76
25/7/2554	1.12	1.40	2.24
1/8/2554	7.854	5.082	6.93
8/8/2554	4.158	4.158	3.696
16/8/2554	12.936	10.164	6.93
22/8/2554	38.808	21.252	13.398
5/9/2554	0	4.2	0
12/9/2554	0	0	0
19/9/2554	0	0	0
26/9/2554	0	0	0
30/9/2554	0	0	0
Max	38.81	21.57	13.40
Min	0.00	0.00	0.00
Max – Min	38.81 - 0.00	21.57 - 0.00	13.40 - 0.00
Mean	10.13	7.63	4.91
S.D.	11.73	7.22	3.85

119#

ตาราง ก-9 ค่าฟอสฟอรัสที่เข้า-ออก จากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ SF-FWS

Date	TP (mg/l)		
	W1	W2	W3
6/6/2554	0.93	0.30	0.10
13/6/2554	2.98	0.95	0.25
21/6/2554	3.55	1.48	0.55
27/6/2554	4.33	3.35	1.78
7/11/2554	1.23	1.03	0.70
19/7/2554	1.75	1.48	0.98
25/7/2554	1.93	1.33	0.75
1/8/2554	4.48	4.35	3.65
8/8/2554	5.93	5.83	4.03
15/8/2554	8.73	8.13	7.18
22/8/2554	12.85	9.36	6.40
19/9/2554	3.00	2.00	1.65
26/9/2554	1.70	0.65	0.13
3/10/2554	2.43	2.08	0.78
Max	55.79	42.29	28.91
Min	0.93	0.30	0.10
Max - Min	55.79 - 0.93	42.29 - 0.30	28.91 - 0.10
Mean	3.99	3.02	2.07
S.D.	3.30	2.87	2.34

120#

ภาคผนวก ข



121#

ตารางที่ ข-1 ความสูงของต้นกกเรียงภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในบ่อแบบ SF ที่ระยะห่าง
จากจุดน้ำเข้าต่างๆ

Date	ความสูงของต้นกกเรียง (cm.)			
	ระยะห่างจุดเก็บตัวอย่างจากทางน้ำเข้าของบ่อ (m.)			
	3.0-1.5	1.5-0.5	0.5-0.0	เฉลี่ย
6/6/2554	80	65	90	78.33
13/6/2554	85	70	95	83.33
21/6/2554	100	88	98	88.00
11/7/2011	30	30	30	30.00
14/7/2011	76	60	77	60.00
19/7/2011	91	83	90	83.00
25/7/2011	98	88	98	88.00
1/8/2011	105	98	110	98.00
8/8/2011	107	103	126	103.00
15/8/2011	114	111	127	111.00
22/8/2554	112	115	132	115.00
19/9/2011	175	175	178	176
26/9/2011	180	176	180	178.66
Max	180.00	176.00	180.00	178.66
Min	30.00	30.00	30.00	30.00
Max - Min	180 - 30	176 - 30	180 - 30	178.66 - 30
Mean	104.08	97.08	110.08	99.41
S.D.	39.17	41.68	40.16	40.97

122#

ตารางที่ ข-2 ความสูงของต้นกกเรียงภายในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ ในบ่อแบบ FWS ที่ระยะห่าง
จากจุดน้ำเข้าต่าง ๆ

Date	ความสูงของต้นกกเรียง (cm.)			
	ระยะห่างจุดเก็บตัวอย่างจากทางน้ำเข้าของบ่อ (m.)			
	3.0-1.5	1.5-0.5	0.5-0.0	เฉลี่ย
6/6/2554	78	80	70	75.00
13/6/2554	85	85	75	80.00
21/6/2554	93	93	89	91.00
11/7/2011	30	30	30	30.00
14/7/2011	75	70	76	73.00
19/7/2011	85	80	86	83.00
25/7/2011	94	90	94	92.00
1/8/2011	100	90	98	94.00
8/8/2011	106	96	99	97.50
15/8/2011	107	98	100	99.00
22/8/2554	100	100	106	103.00
19/9/2011	133	143	133	136.33
26/9/2011	140	145	134	139
Max	140.00	145.00	134.00	139.00
Min	30.00	30.00	30.00	30.00
Max - Min	140 - 30	145 - 30	134 - 30	139 - 30
Mean	94.31	92.31	91.54	91.76
S.D.	27.23	29.15	26.94	27.53

123#

ภาคผนวก ค



#

ตารางที่ ค-1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบระบบ RAS (R1-R3)

พารามิเตอร์	R1				R2				R3				R1 - R3		
	Max	Min	Mean	S.D.	Max	Min	Mean	S.D.	Max	Min	Mean	S.D.	Max - Min	Mean	S.D.
DO	5.78	0.24	3.85	1.89	5.92	0.08	4.22	2.09	6.86	0.24	4.34	2.10	6.86 - 0.08	4.14	2.03
Temp	29.00	25.80	27.03	0.93	28.90	25.50	26.88	0.94	29.10	25.60	26.81	0.94	29.10 - 25.50	26.90	0.94
pH	9.73	5.94	7.76	1.09	9.86	6.04	7.78	1.11	9.86	6.07	7.83	1.07	9.86 - 5.94	7.79	1.09
TDS	0.77	0.39	0.49	0.12	0.73	0.38	0.47	0.12	0.72	0.38	0.49	0.11	0.77 - 0.38	0.48	0.12
Conductivity	1019.00	3.58	756.88	317.67	991.00	3.49	774.38	315.78	999.00	3.44	696.86	376.52	1019.00 - 3.44	742.70	336.66

ตารางที่ ค-2 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแบบระบบ CAS (C1-C3)

พารามิเตอร์	C1				C2				C3				C1 - C3		
	Max	Min	Mean	S.D.	Max	Min	Mean	S.D.	Max	Min	Mean	S.D.	Max - Min	Mean	S.D.
DO	6.99	0.07	4.81	2.23	5.87	0.37	4.47	1.83	5.76	0.14	4.39	1.85	6.99 - 0.07	4.56	1.97
Temp	29.50	25.50	26.55	1.10	29.20	25.30	26.61	1.02	28.90	25.10	26.55	0.98	29.50 - 25.10	26.57	1.03
pH	9.73	6.18	7.99	0.99	9.98	6.06	8.01	1.08	9.98	6.25	8.02	1.04	9.98 - 6.06	8.00	1.03
TDS	0.69	0.33	0.39	0.10	0.65	0.13	0.35	0.12	0.66	0.10	0.34	0.13	0.69 - 0.10	0.36	0.12
Conductivity	738.90	3.41	625.24	239.21	739.80	3.36	631.10	239.81	738.70	3.36	625.84	238.61	739.80 - 3.36	627.39	239.21

#

ภาคผนวก ง



#

ตาราง ง-1 ค่าบีโอดีของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตากลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3

Date	BOD (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	14.43	6.100	9.500	27.330	25.430	5.470
13/6/2554	22.90	7.03	29.83	49.58	26.53	13.90
20/6/2554	38.25	44.83	51.08	44.00	36.83	33.25
27/6/2554	36.9	79.42	37.47	32.03	31.37	36.47
11/7/2554	16.87	13.17	14.97	36.42	40.25	39.42
19/7/2554	31.10	20.17	17.93	21.57	23.63	24.07
25/7/2554	17.93	21.53	15.27	45.42	52.17	60.58
1/8/2554	24.77	13.40	21.33	19.43	29.67	26.37
8/8/2554	13.17	12.23	16.80	25.13	22.07	24.30
15/8/2554	19.90	19.33	18.77	17.57	22.77	20.17
22/8/2554	19.95	24.25	25.80	19.45	19.03	19.85
5/9/2554	13.53	12.16	10.44	23.18	22.40	22.42
12/9/2554	19.48	10.82	17.63	28.68	14.97	24.48
26/9/2554	25.93	23.29	11.7	37.42	30.02	33.36
30/9/2554	16.38	19.38	15.65	24.06	18.53	24.82
Max	38.25	79.42	51.08	49.58	52.17	60.58
Min	13.17	6.10	9.50	17.57	14.97	5.47
Max - Min	38.25 - 13.17	79.42 - 6.10	51.08 - 9.50	49.58 - 17.57	52.17 - 14.97	60.58 - 5.47
Mean	22.10	21.81	20.94	30.08	27.71	27.26
S.D.	7.97	18.49	11.18	10.28	9.60	12.62

#

ตาราง ง-2 ค่าซีโอดีของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ RAS=R1-R3

Date	COD (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	160	224	166	226	378	194
13/6/2554	133.28	102.82	106.62	365.57	188.5	102.82
21/6/2554	328	190	198	404	298	168
27/6/2554	84.62	88.56	74.78	399.05	122.02	94.46
7/11/2554	71.6	28.67	61.44	65.54	34.82	40.96
19/7/2554	83.9	81.92	63.49	59.39	40.96	43.01
25/7/2554	115.54	113.93	118.78	164.83	77.57	100.19
1/8/2554	94.46	135.79	101.35	103.32	91.51	131.86
8/8/2554	99.55	81.01	77.1	197.15	124.93	144.45
16/8/2554	106.48	147.14	91.96	180.05	225.45	227.48
22/8/2554	80.64	77.76	72.96	220.8	131.52	136.32
20/9/2554	121.02	128.83	126.88	158.11	122.98	181.54
29/9/2554	117.12	117.12	121.92	153.60	140.16	162.24
30/9/2554	93.48	91.51	103.32	166.30	176.14	184.00
Max	328.00	224.00	198.00	404.00	378.00	227.48
Min	71.60	28.67	61.44	59.39	34.82	40.96
Max - Min	328.00-71.60	224.00-28.67	198.00-61.44	404.00-59.39	378.00-34.82	227.48-40.96
Mean	120.69	114.93	106.04	204.55	153.75	136.52
S.D.	64.13	49.35	39.06	112.10	95.25	55.26

#

ตาราง ง-3 ค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาสวย ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ

RAS=R1-R3

Date	TS (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	543	411	330	607	547	450
13/6/2554	350	269	245	611	559	505
21/6/2554	595	419	482	773	643	498
27/6/2554	315	236	276	644	470	515
7/11/2554	204	142	130	190	202	230
19/7/2554	267	249	288	274	309	314
25/7/2554	305	277	262	363	296	392
1/8/2554	316	398	398	442	414	461
8/8/2554	412	413	378	650	627	702
15/8/2554	396	481	425	605	582	637
22/8/2554	396	476	387	630.9	1449.5	611.5
5/9/2554	280	188	322	280	370	378
12/9/2554	456	388	380	430	402	410
19/9/1954	357	158	267	698	526	593
Max	595.00	481.00	482.00	773.00	1449.50	702.00
Min	204.00	142.00	130.00	190.00	202.00	230.00
Max - Min	595.00-204.00	481.00-142.00	482.00-130.00	773.00-190.00	1449.50-202.00	702.00-230.00
Mean	370.86	321.79	326.43	514.14	528.32	478.32
S.D.	106.72	117.52	89.95	181.60	296.35	130.23

#

ตาราง ง-4 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้กลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ

RAS=R1-R3

Date	TSS (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	77	63	42	155	119	50
13/6/2554	90	103	111	297	225	67
21/6/2554	231	141	202	375	265	100
27/6/2554	49	34	30	256	148	115
7/11/2554	10	0	0	0	0	0
19/7/2554	35	27	28	12	55	22
25/7/2554	49	37	38	89	70	88
1/8/2554	42	50	60	68	50	105
8/8/2554	68	73	62	203	189	250
15/8/2554	108	167	93	207	210	205
22/8/2554	48	54	58	230.7	1082	187
5/9/2554	66	14	64	64	56	86
12/9/2554	82	74	96	104	42	66
19/9/1954	37	8	5	247	108	197
Max	231.00	167.00	202.00	375.00	1082.00	250.00
Min	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max - Min	231.00 - 10.00	167.00 - 0.00	202.00 - 0.00	375.00 - 0.00	1082.00 - 0.00	250.00 - 0.00
Mean	70.86	60.36	63.50	164.84	187.07	109.86
S.D.	52.65	48.90	51.41	112.28	269.55	73.67

#

ตาราง ง-5 ค่าของแข็งละลายน้ำของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาคอม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ

RAS=R1-R3

Date	TDS (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	466	348	288	452	428	400
13/6/2554	260	166	134	314	334	438
21/6/2554	364	278	280	398	378	318
27/6/2554	266	202	246	388	322	400
7/11/2554	194	142	130	190	202	230
19/7/2554	232	222	260	262	254	282
25/7/2554	256	240	224	274	226	304
1/8/2554	274	348	338	374	364	356
8/8/2554	344	340	316	420	438	452
15/8/2554	288	314	332	398	372	432
22/8/2554	348	422	329	400.25	367.5	424.5
5/9/2554	214	174	258	216	314	292
12/9/2554	374	314	284	326	360	344
19/9/1954	320	150	262	455	453	397
Max	466.00	422.00	338.00	455.00	453.00	452.00
Min	194.00	142.00	130.00	190.00	202.00	230.00
Max - Min	466.00-194.00	422.00-142.00	338.00-130.00	455.00-190.00	453.00-202.00	452.00-230.00
Mean	300.00	261.43	262.93	347.66	343.75	362.11
S.D.	73.66	88.46	65.09	85.19	75.75	68.60

#

ตาราง ง-6 ค่าที่เคเอ็นของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตู้กลุ่มผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ

RAS=R1-R3

Date	TKN (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	51.60	21.01	19.68	28.20	27.40	41.50
13/6/2554	42.56	35.11	24.21	52.67	62.78	34.85
21/6/2554	52.14	32.49	51.05	49.69	61.97	17.75
27/6/2554	32.76	22.39	22.39	46.41	37.95	24.57
7/11/2554	0.59	0.88	2.35	1.18	1.47	2.06
19/7/2554	3.23	4.70	6.76	4.12	5.29	5.59
25/7/2554	3.92	6.16	11.48	9.52	14.84	9.52
1/8/2554	19.40	20.33	20.33	26.33	22.64	20.79
8/8/2554	28.64	24.49	19.87	34.65	41.58	23.56
16/8/2554	11.09	25.41	18.48	37.42	31.88	18.94
22/8/2554	163.78	79.93	103.95	125.66	142.30	141.37
5/9/2554	10.50	11.90	4.20	11.20	14.00	9.80
12/9/2554	1.82	2.80	2.24	3.92	3.64	3.92
19/9/2554	2.66	2.80	2.94	4.76	4.34	5.04
26/9/2554	2.38	2.38	2.38	3.92	4.34	4.90
30/9/2554	2.10	1.96	1.54	4.06	5.04	5.04
Max	163.78	79.93	103.95	125.66	142.30	141.37
Min	0.59	0.88	1.54	1.18	1.47	2.06
Max - Min	163.78-0.59	79.93-0.88	103.95-1.54	125.66-1.18	142.30-1.47	141.37-2.06
Mean	26.82	18.42	19.62	27.73	30.09	23.07
S.D.	40.87	20.13	25.95	31.91	36.07	33.65

#

ตาราง ง-7 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาสวย ระบบบ่อ CAS=C1-C3

และ RAS=R1-R3

Date	NH ₃ -N (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	17.29	9.31	7.71	12.77	9.04	16.49
13/6/2554	15.16	16.49	14.90	19.15	24.21	11.17
21/6/2554	30.30	24.57	22.66	18.84	18.29	10.37
27/6/2554	18.84	13.65	13.65	21.02	21.02	20.75
7/11/2554	0.59	0.88	1.18	1.18	0.88	0.88
19/7/2554	1.47	2.06	2.94	2.35	2.65	1.47
25/7/2554	3.36	3.92	3.92	4.48	7.84	5.32
1/8/2554	9.702	7.854	12.012	13.398	14.784	12.936
8/8/2554	14.322	14.322	15.246	21.252	27.258	19.866
16/8/2554	6.468	6.93	6.468	15.708	11.088	13.86
22/8/2554	20.328	22.176	25.41	33.726	37.884	47.586
5/9/2554	4.9	6.3	4.2	11.2	14	9.8
12/9/2554	1.82	2.8	2.24	3.92	3.64	3.92
19/9/2554	2.66	2.8	2.94	4.76	4.34	5.04
26/9/2554	2.38	2.38	2.38	3.92	4.34	4.9
30/9/2554	2.1	1.96	1.54	4.06	5.04	5.04
Max	30.30	24.57	25.41	33.73	37.88	47.59
Min	0.59	0.88	1.18	1.18	0.88	0.88
Max - Min	30.30 - 0.59	24.57 - 0.88	35.41 - 1.18	33.73 - 1.18	37.88 - 0.88	47.59 - 0.88
Mean	9.48	8.65	8.71	11.98	12.89	11.84
S.D.	8.86	7.50	7.73	9.19	10.47	11.34

#

ตาราง ง-8 ค่าออร์แกนิกไนโตรเจนของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาคอม ระบบบ่อ CAS=C1-C3

และ RAS=R1-R3

Date	org-N (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	34.31	11.70	11.97	15.43	18.35	25.00
13/6/2554	27.40	18.62	9.31	33.52	38.57	23.67
21/6/2554	21.84	7.92	28.39	30.85	43.68	7.37
27/6/2554	13.92	8.74	8.74	25.39	16.93	3.82
7/11/2554	0.00	0.00	1.18	0.00	0.59	1.18
19/7/2554	1.76	2.65	3.82	1.76	2.65	4.12
25/7/2554	0.56	2.24	7.56	5.04	7.00	4.20
1/8/2554	9.702	12.474	8.316	12.936	7.854	7.854
8/8/2554	14.322	10.164	4.62	13.398	14.322	3.696
16/8/2554	4.62	18.48	12.012	21.714	20.79	5.082
22/8/2554	143.451	57.75	78.54	91.938	104.412	93.786
5/9/2554	5.6	5.6	0	0	0	0
12/9/2554	0	0	0	0	0	0
19/9/2554	0	0	0	0	0	0
26/9/2554	0	0	0	0	0	0
30/9/2554	0	0	0	0	0	0
Max	143.45	57.75	78.54	91.94	104.41	93.79
Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max - Min	143.45-0.00	57.75-0.00	78.54-0.00	91.94-0.00	104.41-0.00	93.79-0.00
Mean	23.12	13.03	14.54	21.00	22.93	14.98
S.D.	39.45	15.27	21.43	25.17	29.18	26.10

#

ตาราง ง-9 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาตุ๊กตาผสม ระบบบ่อ CAS=C1-C3 และ

RAS=R1-R3

Date	TP (mg/l)					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
6/6/2554	1.75	1.03	0.68	1.65	2.73	0.48
13/6/2554	2.23	2.03	2.08	4.15	4.48	1.98
21/6/2554	3.10	2.63	1.98	4.45	4.10	2.43
27/6/2554	1.98	1.33	2.50	4.25	3.80	2.88
7/11/2554	2.13	1.33	1.20	2.13	1.98	1.88
19/7/2554	1.53	1.33	1.00	2.03	2.00	1.90
25/7/2554	3.03	3.00	2.80	4.78	2.88	3.68
1/8/2554	3.13	2.70	2.58	5.53	4.33	3.93
8/8/2554	3.55	2.98	3.13	9.63	9.03	10.85
15/8/2554	3.15	4.03	3.40	13.05	14.53	27.70
22/8/2554	4.03	4.41	5.50	15.79	14.06	14.12
19/9/2554	1.75	2.23	1.88	10.03	8.10	9.03
26/9/2554	2.93	2.68	2.75	7.55	6.10	6.25
3/10/2554	0.95	1.90	1.43	1.83	1.60	2.10
Max	35.22	33.59	32.89	86.82	79.70	89.19
Min	0.95	1.03	0.68	1.65	1.60	0.48
Max - Min	35.22 - 0.95	33.59 - 1.03	32.89 - 0.68	86.82 - 1.65	79.70 - 1.60	89.19 - 0.48
Mean	2.52	2.40	2.35	6.20	5.69	6.37
S.D.	0.88	1.01	1.22	4.42	4.26	7.31

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นางสาวจรียา ยี่มรัตน์บวร

ที่อยู่ปัจจุบัน 79/2 ถนนนคร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224-457

ประวัติการศึกษา

- | | |
|------|---|
| 1990 | B.Sc. (Sanitary Science) Mahidol University, Bangkok, Thailand |
| 1994 | M.Sc. (Environmental Science) Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand |
| 2000 | M.Sc.(Environmental Chemistry) Kochi University, Japan |
| 2003 | Ph.D.(Environmental Technology) Ehime University, Japan |

