



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง)
ปริญญา

.....
วิทยาศาสตรการประมง

สาขา

.....
ชีววิทยาประมง

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อากาศต่างๆ กันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและพื้นบ่อ
ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในระบบปิด

Comparative Study on Aeration Systems for Water Quality and Pond Bottom
Management in Closed Culture System of Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon*
Fabricius

นามผู้วิจัย นายสาริต ประเสริฐศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลอ ลิ้มสุวรรณ, Ph.D.)

กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิติ ชูเชิด, Ph.D.)

กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราห์ เทพาคูดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

.....
(รองศาสตราจารย์อนงค์ จิรภัทร์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อากาศต่างๆ กันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและพื้นบ่อในการเลี้ยงกุ้ง
กุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในระบบปิด

Comparative Study on Aeration Systems for Water Quality and Pond Bottom Management in
Closed Culture System of Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon* Fabricius

โดย

นายสาธิต ประเสริฐศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-1424-1

สาริต ประเสริฐศรี 2549: การศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อากาศต่างๆ กันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและ
พื้นบ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในระบบปิด ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์การประมง) สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง ปรธานกรรมการที่
ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลอ ลิมสุวรรณ, Ph.D. 70 หน้า.

ISBN 974-16-1424-1

การศึกษาระบบการให้อากาศแบบต่างๆ กันในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราความหนาแน่น 50,000 ตัว
ต่อไร่ ระบบที่ 1 ใช้เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า 2 เครื่อง สำหรับบ่อขนาด 3.4 ไร่ ระบบที่ 2 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า
ขนาด 2 แรงม้า 4 เครื่องต่อบ่อขนาด 5.8 ไร่และระบบที่ 3 ใช้เครื่องรถยนต์ขนาด 100 แรงม้า 1 เครื่องต่อบ่อ
ขนาด 4.5 ไร่ 2 บ่อ ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วเฉลี่ยของกระแสในบ่อที่ระดับ 100 เซนติเมตรมีค่า
เท่ากับ 0.14 ± 0.024 , 0.19 ± 0.025 และ 0.23 ± 0.084 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ การศึกษาศักยภาพในการเกิด
สภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศของดินก้นบ่อ โดยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (redox potential) ของดิน
บริเวณแนวห่านอาหารและในแนวเลนกลางบ่อที่วางระบบเครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3
มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของดินบริเวณแนวห่านอาหารระหว่าง -134 ถึง -102, -67 ถึง -13 และ -166 ถึง 91
มิลลิโวลต์(mv) สำหรับระบบการให้อากาศระบบที่ 3 ค่าความต่างศักย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการ
เลี้ยง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการรวมตะกอนเลนพื้นบ่อเข้าสู่กลางบ่อและมีความสะอาดในบริเวณแนวห่าน
อาหารพื้นบ่อมากกว่าระบบการให้อากาศระบบที่ 1 และ 2 เนื่องจากระยะระหว่างใบพัดตีน้ำแต่ละแขนใกล้เคียงกว่า
ระบบอื่นๆ ทำให้กระแสแรงกว่าการรวมตะกอนเลนจึงดีกว่า ส่วนระบบที่ 2 บ่อมีขนาดใหญ่กว่าและจำนวน
เครื่องให้อากาศเพียง 4 เครื่อง ระยะระหว่างเครื่องให้อากาศไกลที่สุด กระแสและการรวมตะกอนเลนจึงไม่ดี
เท่ากับระบบที่ 3 ในการศึกษาคุณภาพน้ำที่สำคัญได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พีเอช ความเป็นด่าง แอมโมเนีย
รวมและไนไตรท์ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงพบว่าค่าคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งที่ให้อากาศระบบที่ 3 มีค่า
เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าระบบที่ 1 และ 2 จึงทำให้ผลผลิตจากบ่อที่ให้อากาศระบบที่ 3 สูงที่สุดคือ มีค่าเฉลี่ย
 $1,126 \pm 231.09$ กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเทียบกับระบบที่ 1 คือ 730 ± 37.41 กิโลกรัมต่อไร่ และระบบที่ 2 ซึ่งต่ำที่สุด
เป็น 559 ± 169.97 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในด้านการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานพบว่าบ่อที่ให้อากาศ
ระบบที่ 2 มีต้นทุนด้านพลังงานต่ำกว่าบ่อที่ให้อากาศระบบที่ 1 และบ่อที่ให้อากาศระบบที่ 3 ในสภาวะที่ราคา
น้ำมันดีเซลอยู่ในระดับที่สูงประมาณ 24 บาทต่อลิตร เนื่องจากเป็นบ่อขนาดใหญ่และใช้เครื่องให้อากาศจำนวน
จำกัด เพราะปล่อยกุ้งในอัตราความหนาแน่นไม่สูงเพียง 50,000 ตัวต่อไร่ และค่ากระแสไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับ
ราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบัน ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระบบการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีความ
เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงที่ใช้เครื่องรถยนต์สำหรับบ่อขนาด 4-5 ไร่ จำนวน 2 บ่อ ส่วนการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า
ต้นทุนค่าพลังงานจะต่ำกว่า แต่ถ้าต้องการผลผลิตที่สูงกว่าสำหรับบ่อขนาด 5-6 ไร่ ควรจะเพิ่มเครื่องให้อากาศ
มากขึ้น

สาริต ประเสริฐศรี

ลายมือชื่อนิสิต

ชลอ ลิมสุวรรณ

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

29 / มี.ค. / 2549

Satit Prasertsri 2006: Comparative Study on Aeration Systems for Water Quality and Pond Bottom Management in Closed Culture System of Black Tiger Shrimp *Penaeus monodon* Fabricius. Master of Science (Fisheries Science), Major Field: Fisheries Science, Department of Fishery Biology. Thesis Advisor: Assistant Professor Chalor Limsuwan, Ph.D. 70 pages. ISBN 974-16-1424-1

This study compared the effectiveness of three different aeration systems of black tiger shrimp farms where the shrimp were raised at the density of 50,000 shrimp per 1,600 m²(rai). Aeration system 1, used two 11-hp engines for a pond with an area of 5,440 m²(3.4 rai). System 2, used four 2-hp electric motors for a pond with an area of 9,280 m² (5.8 rai). System 3, used one 100-hp automobile engine for two ponds with an area of 7,200 m²(4.5 rai). The results showed that the average rate of flow of the water, measured at 100 cm from the surface, was 0.14 ± 0.024 , 0.19 ± 0.025 and 0.23 ± 0.084 m/s in the three systems, respectively. The potential for aerobic or anaerobic condition of the soil at the bottom of the ponds was assessed by measuring the redox potential of the soil in the feeding area and in the middle of the pond. The redox potential at the feeding area came out to -134 to -102 millivolts (mv) in system 1, -67 to -13 mv in system 2 and -166 to 91 mv in system 3. In system 3 the redox potential of the soil rose the longer the shrimp were in the pond. In system 3 more of the sediment and mud was moved to the center of the pond and the feeding area remained cleaner compared to system 1 and system 2. This was apparently because the distance of the aerating paddle wheels in system 3 were closer together, producing a stronger water current that moved the sediment more effectively. In system 2 the ponds were larger but there were only four aerators so there was a greater distance between aerators. The water did not flow as much and the sediment was not moved as much as in system 3. Water quality was analyzed by measuring dissolved oxygen, pH, alkalinity, total ammonia and nitrite throughout the culture period. The water quality remained more stable in system 3 than in system 1 or system 2, resulting in a greater harvest. The farmer using system 3 was able to produce on average $1,126 \pm 231.09$ kg/rai compared to 730 ± 37.41 kg/rai for system 1 and 559 ± 169.97 kg/rai for system 2. A comparison of the energy costs showed that system 2 (with electric motors) had the lowest costs when diesel fuel cost 24 baht a liter. This was partly because the farmer using system 2 used fewer aerators per pond area and the stocking density only 50,000 shrimp per 1,600 m². This study concluded that aeration system 3 (automobile engine) is suitable for two (6,400–8,000 m²) ponds. In system 3, if a farmer wants to get a bigger harvest for a larger pond (8,000–9,600 m²) then more aerators should be added.

Satit Prasertsri

Student's signature

Chalor Limsuwan

Thesis Advisor's signature

29 / March / 2006

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชลอ ลีมสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิติ ชูเชิด กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วราห์ เทพาหุดี กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรี แก้วสุรลิขิต ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยเพื่อพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ กุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งก้ามกรามอย่างยั่งยืน โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ขอขอบคุณคุณคุณเดชา บันลือเดช เจ้าของฟาร์มเลี้ยงกุ้ง อ.สามร้อยยอด จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ คุณนิธิต ภัทรกุลชัย เจ้าของฟาร์มเลี้ยงกุ้ง อ.บางแพ จ.ราชบุรี และคุณมนัสชัย พูลชัย เจ้าของฟาร์มเลี้ยงกุ้ง อ.แหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์บ่อเลี้ยงกุ้งในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษา ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาและกำลังใจตลอดมา

สาธิต ประเสริฐศรี

พฤษภาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	26
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	51
สรุปผล	51
ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	53
ภาคผนวก	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 เกณฑ์ในการพิจารณากำหนดประเภทเนื้อดินจากปริมาณของอนุภาค ในกลุ่มขนาดหลัก	10
 ตารางผนวกที่	
1 พื้นที่รวมเลนต่อพื้นที่บ่อ	62
2 ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อ	62
3 ปริมาณดินเลนกลางบ่อ	62
4 ผลของการจับกึ่งกลุ่ดดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	63
5 ผลของการจับกึ่งกลุ่ดดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	63
6 ผลของการจับกึ่งกลุ่ดดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	63
7 ปริมาณอาหารกึ่งตลอดระยะเวลาการเลี้ยง	64
8 องค์ประกอบเนื้อดินของบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน	64
9 ค่าความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	65
10 ค่าความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	65
11 ค่าความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	66
12 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	67
13 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	67
14 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	67
15 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ตามระยะเวลาการเลี้ยง	68
16 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 ตามระยะเวลาการเลี้ยง	69
17 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกึ่งกลุ่ดดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ตามระยะเวลาการเลี้ยง	70

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 1	21
2 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 2	21
3 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 3	22
4 เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า ของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 1	22
5 มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 2	23
6 เครื่องยนต์ขนาด 100 แรงม้า ของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 3	23
7 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 1	24
8 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 2	24
9 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 3	25
10 ความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศ แตกต่างกัน 3 ระบบ	29
11 พื้นที่เลนต่อพื้นที่บ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศ แตกต่างกัน 3 ระบบ	29
12 พื้นที่เลนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	30
13 พื้นที่บ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่อง ให้อากาศระบบที่ 1	30
14 พื้นที่บ่อบริเวณมุมบ่อของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศ ระบบที่ 1	31
15 พื้นที่เลนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	31
16 พื้นที่บ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่อง ให้อากาศระบบที่ 3	32
17 พื้นที่เลนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	32
18 พื้นที่บ่อบริเวณแนวหวานของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศ ระบบที่ 2	33
19 ลักษณะของกุ้งเหงือกดำเนื่องจากปัญหาพื้นที่บ่อของบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่อง ให้อากาศระบบที่ 1	33

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ลักษณะกึ่งตัวสกรปรกเนื่องจากปัญหาพื้นบ่อของบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	34
21	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	37
22	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	37
23	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	38
24	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	38
25	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	39
26	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	39
27	เปรียบเทียบผลผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน	41
28	เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน	42
29	ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	42
30	ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	43
31	ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	43
32	ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2	44
33	ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	44
34	ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อกึ่งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3	45
35	สีน้ำเขียวเข้มในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1	50
36	สีน้ำในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบที่ 3	50
37	หอยที่พื้นบ่อในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่	50

การศึกษาเปรียบเทียบระบบการให้อากาศต่างๆ กันเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและพื้นบ่อใน
การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในระบบปิด

Comparative Study on Aeration Systems for Water Quality and Pond Bottom

Management in Closed Culture System of Black Tiger Shrimp

Penaeus monodon Fabricius

คำนำ

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง เนื่องจาก
ผลผลิตส่วนใหญ่สำหรับการส่งออกและมีมูลค่าสูงสามารถทำกำไรให้กับเกษตรกรอย่างมาก
ในระยะเวลาอันสั้น ทำให้รูปแบบการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงได้รับความสนใจและพัฒนาไป
อย่างรวดเร็ว จากการเลี้ยงแบบธรรมชาติ (extensive) ในยุคแรกๆมาเป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา
(semi-intensive) ในเวลาต่อมาและพัฒนาจนเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาหรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น
(intensive) จนทำให้ประเทศไทยเป็นผู้นำในด้านการผลิตและการส่งออก โดยเฉพาะในปี
พ.ศ. 2543 มีปริมาณการส่งออกถึง 250,000 ตัน ทำรายได้เข้าประเทศมากกว่าหนึ่งแสนล้านบาท
(เครือเจริญโภคภัณฑ์, 2544)

เนื่องจากปัญหาการเกิดโรคไวรัสหัวเหลือง (yellow-head virus) ในปี พ.ศ. 2533 และไวรัส
สดวงขาว (white spot syndrome virus) ปี พ.ศ. 2537 ได้ทำความเสียหายแก่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่าง
รุนแรงทุกพื้นที่ (ชลอ, 2543) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการเลี้ยงจากระบบเปิดที่มีการถ่ายน้ำระหว่าง
การเลี้ยงปริมาณมาก มาเป็นระบบกึ่งปิดกึ่งเปิดและระบบปิดที่มีการเติมน้ำและเปลี่ยนถ่ายน้ำ
น้อยลง แต่ปัญหาที่ตามมาคือ ผู้เลี้ยงจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการควบคุมคุณภาพน้ำ และ
ปริมาณแพลงก์ตอนให้อยู่ในระดับที่พอดี และความแม่นยำในการให้อาหาร เพราะอาหารที่เหลือจะ
ทำให้เกิดปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (ชลอ และคณะ, 2547) มีปัญหาพื้นบ่อ (พุทท และ สำรอง,
2542) และมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจเติบโต ทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก (โสภณ และ ชูสินธุ์, 2542)

ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบระบบปิดที่มีการถ่ายน้ำน้อย เครื่องให้อากาศมีความจำเป็นมาก
ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน ซึ่งใช้ในการหายใจของสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตอื่นๆในบ่อ

โดยเฉพาะในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์และช่วยในการจัดการตะกอน และของเสียที่มีในบ่อให้อยู่ในลักษณะที่สามารถกำจัดได้ง่าย โดยทำให้รวมกันในบริเวณกลางบ่อ และไม่มีการฟุ้งกระจาย แต่สิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ จำนวนเครื่องให้อากาศและการวางตำแหน่ง เครื่องให้อากาศต้องมีความเหมาะสมกับรูปร่างลักษณะของบ่อ ความลึก รวมทั้งองค์ประกอบเนื้อ ดินที่เครื่องให้อากาศสามารถทำความสะอาดพื้นบ่อได้

การศึกษาครั้งนี้ต้องการทราบประสิทธิภาพของเครื่องให้อากาศแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ในการ เลี้ยงกุ้ง ซึ่งในปัจจุบันประสบปัญหาวิกฤติน้ำมันแพง ผู้ประกอบการจึงมีการประหยัดการใช้เครื่อง ให้อากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียได้ ดังนั้นต้องหาจุดเหมาะสมที่ประหยัดและให้ผลดีต่อการเลี้ยงกุ้ง โดยการวิเคราะห์จากคุณภาพน้ำ พื้นบ่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตจากการใช้เครื่องให้อากาศแบบ ต่างๆ กัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาจำนวนและรูปแบบการจัดวางเครื่องให้อากาศที่เหมาะสม เพื่อให้การรวม เลนพื้นบ่อดีที่สุด
2. เพื่อศึกษาความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เหมาะสมต่อการรวมเลนพื้นบ่อใน สภาพเนื้อดินที่แตกต่างกัน
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างเครื่องให้อากาศที่ใช้พลังงานไฟฟ้า กับเครื่องให้อากาศที่ใช้พลังงานจากน้ำมัน
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตในบ่อเลี้ยงที่มีการใช้เครื่องให้อากาศต่างๆ กัน

การตรวจเอกสาร

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

จากประวัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย เริ่มมีการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยอาศัยลูกกุ้งจากธรรมชาติในปี พ.ศ. 2473 และกรมประมงประสบความสำเร็จในการเพาะพันธุ์กุ้งกุลาดำได้ในปี พ.ศ. 2516 หลังจากนั้นได้เริ่มมีการเพาะเลี้ยงกันอย่างจริงจังปี พ.ศ. 2521 (วิทย์, 2525) และได้มีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงมาเป็นแบบกึ่งพัฒนา ในปี พ.ศ. 2525 โดยในระบายนี้อย่างคงเป็นการเลี้ยงแบบไม่หนาแน่นมากนัก (ประมาณ 15-25 ตัวต่อตารางเมตร) มีการใช้เครื่องให้อาหารและการจัดการอื่นๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ต่อมา มีการใช้วิชาความรู้ด้านต่างๆ ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมากขึ้น จึงมีการพัฒนาการเลี้ยงเป็นแบบพัฒนา โดยปล่อยกุ้งในอัตราความหนาแน่นตั้งแต่อัตรา 25 ตัวต่อตารางเมตรขึ้นไป (ชลอ, 2543)

ในปี พ.ศ. 2533 เกษตรกรประสบปัญหาการเกิดโรคไวรัสหัวเหลืองระบาดในระบายนีภาควิชาการก็ได้เข้ามามีบทบาทมากในการพัฒนาระบบและวิธีการเลี้ยงต่างๆ เพื่อลดปัญหาเรื่องโรคระบาด โดยเริ่มมีการเลี้ยงกุ้งระบบปิดหรือระบบถายนํ้าน้อย รวมถึงมีการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำมากขึ้น โดยเฉพาะแถบลุ่มแม่น้ำบางปะกง หลังจากนั้นต่อมาก็เกิดปัญหาการระบาดของโรคไวรัสชนิดใหม่ คือโรคดวงขาว (ตัวแดงดวงขาว) ขึ้นอีก ซึ่งโรคนี้ได้ทำความเสียหายเป็นบริเวณกว้างครอบคลุมในทุกพื้นที่การเลี้ยง และยังคงทำความเสียหายให้กับการเลี้ยงกุ้งจนถึงในปัจจุบัน ต่อมาในปี พ.ศ. 2541 ได้เกิดโรคไวรัสดวงขาวระบาดขึ้นในกลุ่มประเทศอเมริกากลางและอเมริกาใต้ส่งผลให้ผลผลิตกุ้งในกลุ่มประเทศดังกล่าวลดลงมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ราคากุ้งในประเทศยังคงสูงต่อเนื่องจนถึง พ.ศ. 2543 มีการขยายพื้นที่การเลี้ยงและพยายามเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากย้อนมาดูประสิทธิภาพการผลิตกุ้งในระยะตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เป็นต้นมา จะพบว่าขนาดของกุ้งกุลาดำจากการเลี้ยงเล็กลงเรื่อยๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเลี้ยงในระบบปิดที่มีการปล่อยลูกกุ้งในความหนาแน่นสูง นอกจากนั้นผลผลิตต่อพื้นที่การเลี้ยงก็เริ่มลดลงตามมาด้วย เพราะอัตราการรอดของกุ้งก็มีแนวโน้มต่ำลงจาก 80-90 เปอร์เซ็นต์ จนเหลือประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการตายของกุ้งต่ำลง คือ ปัญหาในเรื่องโรคและคุณภาพของลูกกุ้ง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ มีการปล่อยลูกกุ้งหนาแน่นมากขึ้นเพื่อชดเชยกับอัตราการรอดที่ต่ำลง (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

จนกระทั่งปี พ.ศ. 2544 ราคากุ้งเริ่มลดต่ำลง เนื่องจากผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นทั่วโลกและผู้ซื้อเริ่มใช้มาตรการตรวจสอบสารตกค้างในผลิตภัณฑ์กุ้ง ส่งผลกระทบทำให้ผู้ประกอบการขาดทุนบางส่วนต้องเลิกกิจการ พื้นที่การเลี้ยงกุ้งเริ่มลดลง จึงเกิดภาวะวิกฤตกับอุตสาหกรรมกาเลี้ยงกุ้งอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2545 จนถึง ปี พ.ศ. 2547 เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งกุลาดำจำนวนมากประสบปัญหากุ้งโตช้า ไม่ได้ขนาดในขณะที่ยังขายและมีกุ้งหลายขนาด โดยเฉพาะมีกุ้งขนาดเล็ก 3-5 กรัม หรือที่เกษตรกรนิยมเรียกกุ้งจึกโกเป็นจำนวนมาก หลังจากกรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่ปลอดเชื้อเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2545 เกษตรกรส่วนหนึ่งที่กำลังประสบปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จึงหันไปเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและแนวโน้มการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้เพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้เกษตรกรที่ยังคงเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีเหลือเพียงไม่กี่ราย เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง ทำให้กุ้งที่ผลิออกมาส่วนใหญ่จะมีขนาดตั้งแต่ 120 ตัวต่อกิโลกรัม จนถึง 50 ตัวต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรที่จะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะต้องพยายามเลี้ยงกุ้งมีขนาดโตกว่า 50 ตัวต่อกิโลกรัม โดยควรจะเลี้ยงให้ได้ขนาด 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม เพื่อหลีกเลี่ยงกุ้งขาวแวนนาไมขนาดเล็กและจะได้ราคาสูงพอที่ประกอบเป็นอาชีพต่อไปได้ ดังเช่นเกษตรกรบางกลุ่มในพื้นที่ภาคกลางที่เลี้ยงด้วยความเต็มใจ กลุ่มเกษตรกรอำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดจันทบุรี (ชลอ และ นิติ, 2548)

ความสำคัญของเครื่องให้อากาศ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนามีการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่นระหว่าง 30-50 ตัวต่อตารางเมตร จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องให้อากาศเพื่อรักษาระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง โดยเฉพาะในเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเริ่มลดลงและมีปริมาณต่ำสุดในตอนเช้ามืด ถ้าไม่มีเครื่องให้อากาศเพียงพอจะเกิดปัญหาได้ และอีกจุดประสงค์หนึ่งที่สำคัญของการใช้เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือ ทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนภายในบ่อ เพื่อทำความสะอาดพื้นบ่อในบริเวณแนวหัวอาหาร เนื่องจากกุ้งกุลาดำใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณพื้นบ่อ ในสภาวะที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่มีปัญหาการเกิดโรคในช่วงปี พ.ศ. 2530-2532 เครื่องให้อากาศที่ใช้ไฟฟ้า 2 แรงม้า แบบใบพัดตีน้ำ (paddle wheel) หรือแอร์เจ็ต (air jet) สามารถรองรับผลผลิตหรือน้ำหนักกุ้งในบ่อได้ประมาณ 1,200 กิโลกรัม แต่ถ้ามีการถ่ายน้ำมากและบ่อลึกมากกว่า 1.50 เมตร อาจรองรับกุ้งได้ถึง 1,400 กิโลกรัม (ชลอ, 2535) การเปิดเครื่องให้อากาศมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ทำความสะอาดพื้นบ่อ โดยเฉพาะบริเวณแนวให้อาหารและรวมเลนหรือตะกอนไปไว้กลางบ่อ ซึ่งถ้ารวมเลนไม่ได้พื้นบ่อส่วนใหญ่มีตะกอนเลน

มากก็อาจจะมีปัญหาเหงือกดำ หนองคุด หางกร่อนได้ McGraw *et al.* (2001) พบว่าการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะมีผลทำให้อัตราการรอดและผลผลิตของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม และ *L. styrostris* สูงขึ้น Ahmad and Boyd (1988) ทำการศึกษาพบว่าบ่อที่ปล่อยกุ้งในความหนาแน่น 25-40 ตัวต่อตารางเมตรควรใช้เครื่องให้อากาศประมาณ 1-3 แรงม้าต่อไร่

ปกติอัตราการแพร่ของออกซิเจนในน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำเป็นหลัก ซึ่ง Gnezdiloff (1999) ศึกษาพบว่าเครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำที่ผลิตโดยประเทศไต้หวันจะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเร็วรอบลดลงต่ำกว่า 100 รอบต่อนาที เพราะการใช้ความเร็วรอบมากเกินไปจะทำให้เกิดการกระเด็นออกของน้ำด้านหลังมากขึ้น (Peterson, 1999 and Patterson, 2000) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกระแสน้ำและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะของบ่อ ชนิดเครื่องให้อากาศ แต่ปริมาณออกซิเจนจะลดลงเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 10 เซนติเมตรต่อวินาที (Delgado *et al.*, 2003) ถึงแม้เครื่องให้อากาศจะมีประโยชน์แต่ปริมาณที่มากเกินไปอาจจะมีผลในทางลบต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเช่นกัน โดย Funge-Smith and Briggs (1998) พบว่าตะกอนในบ่อเกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ เนื่องจากเครื่องให้อากาศประมาณ 88-93 เปอร์เซ็นต์และเป็นสาเหตุของการสะสมอินทรีย์วัตถุในบ่อประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์

ในปัจจุบันมีเครื่องให้อากาศที่นิยมใช้กันหลายชนิด ดังนี้

1. เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ

เครื่องให้อากาศแบบนี้นิยมเรียกทั่วไปว่า เครื่องตีน้ำมีทั้งแบบมอเตอร์ใช้ไฟฟ้าและแบบใช้เครื่องยนต์ ข้อจำกัดคือใบพัดตีน้ำในระดับผิวน้ำ ดังนั้นกระแสน้ำที่เคลื่อนตัวในระดับน้ำลึกพื้นบ่อจะไม่แรงมาก ถ้าบ่อเลี้ยงมีระดับน้ำลึกมาก การทำความสะอาดพื้นบ่อทำได้้น้อยมาก ถ้าเป็นเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ที่ปรับความเร็ว 60 รอบต่อนาที ความลึกของน้ำควรอยู่ระหว่าง 1.2-1.4 เมตร ถ้าเป็นมอเตอร์ที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ความลึกของน้ำควรอยู่ระหว่าง 1.4-1.6 เมตร (ชโล, 2543)

2. เครื่องให้อากาศแบบแอร์เจ็ต

เครื่องให้อากาศแบบนี้มีเฉพาะที่ใช้มอเตอร์เหมาะสมกับบ่อที่มีระดับน้ำลึก และพื้นบ่อแข็งสามารถปรับมุมของกระแสน้ำในการทำความสะดวกพื้นบ่อได้ทั่วไป โดยมากมักจะติดตั้งแอร์เจ็ตที่มุมบ่อเพื่อต้องการความแรงของกระแสน้ำหรือถ้าเป็นบ่อที่มีขนาดใหญ่อาจติดตั้งวงในเพื่อให้เลนรวมกันกลางบ่อ (ชลอ, 2543)

3. เครื่องให้อากาศแบบใบพัดสไปรอล (spiral)

มีลักษณะคล้ายเครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ แต่ใบพัดเป็นท่อพีวีซีตัดเฉียง (หรือมีการดัดแปลงใช้วัสดุอื่นที่ทน) และติดตั้งใบพัดกับแกนหมุนในลักษณะเป็นเกลียว (spiral) จะทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ คุณสมบัติคล้ายกับเครื่องตีน้ำแบบธรรมดา แต่นิยมการตีน้ำที่ความเร็วรอบสูงกว่าใบพัดตีน้ำธรรมดา ทำให้เกิดฟองละอองน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก ช่วยในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน (ชลอ, 2543)

4. เครื่องให้อากาศแบบเคล้าน้ำ

เครื่องให้อากาศแบบนี้จะมีใบพัดตีน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์ที่มีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าเครื่องให้อากาศทั่วไป และสามารถทำให้พื้นบ่อสะอาดเป็นบริเวณกว้างได้ดี ควรใช้ร่วมกับเครื่องให้อากาศประเภทอื่น เนื่องจากเครื่องเคล้าน้ำไม่สามารถเพิ่มออกซิเจนได้ในปริมาณเท่ากับเครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำและแอร์เจ็ต เครื่องให้อากาศแบบเคล้าน้ำเหมาะสมกับบ่อที่มีพื้นแข็งและความลึกไม่น้อยกว่า 1.4 เมตร (ชลอ, 2543)

ตะกอนและดินเลนพื้นบ่อ

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตะกอนที่เกิดขึ้นมาจากอนุภาคของแข็งต่างๆ ได้แก่ หิน (rock) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) ดินเหนียว (clay) เศษสารอินทรีย์ และซากพืชซากสัตว์ต่างๆ ซึ่งอาจจะมาจากภายนอกและที่เกิดขึ้นภายในบ่อ แหล่งที่มาที่สำคัญของตะกอนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อนุภาคดินที่แขวนลอยอยู่ในแหล่งน้ำก่อนที่จะสับเข้าไปในบ่อ ปุ๋ยและอาหารที่ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำ และตะกอนที่เกิดขึ้นภายในบ่อจากกิจกรรมทางชีวภาพในระหว่างการเลี้ยง (Boyd, 1995)

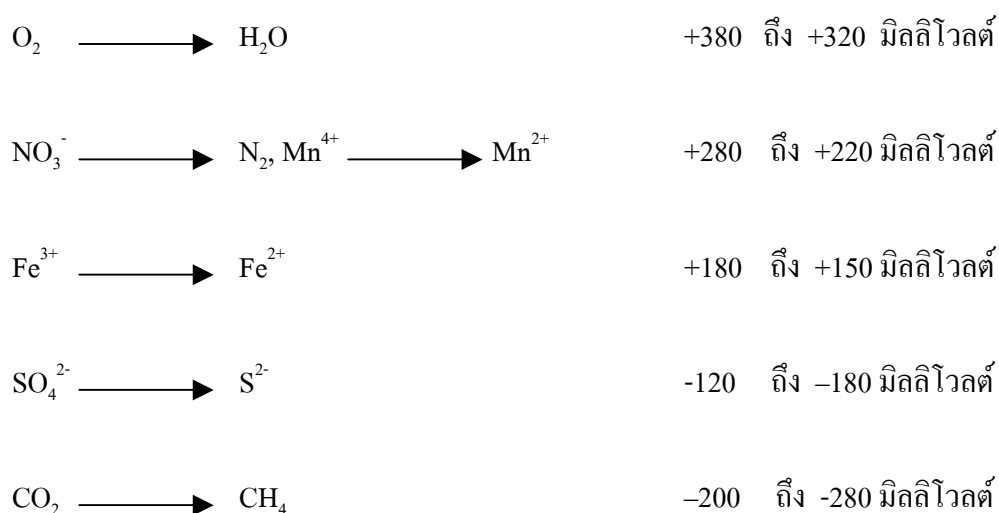
การให้อากาศเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการก่อให้เกิดตะกอนภายในบ่อ เนื่องจากเครื่องให้อากาศ ทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ ซึ่งจะไปกัดเซาะขอบบ่อและพื้นก้นบ่อในบริเวณที่กระแสน้ำมีความเร็วสูง และอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้นจะไปตกตะกอนอีกครั้งหนึ่งในบริเวณอื่นของบ่อที่มีความเร็วของกระแสน้ำต่ำกว่า (Boyd, 1995) Thomforde and Boyd (1992) พบว่าในบ่อที่มีการเปิดเครื่องให้อากาศอย่างต่อเนื่องจะมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูงกว่าบ่อที่มีการให้อากาศเป็นครั้งคราว การกัดเซาะที่รุนแรง การตกตะกอน และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของก้นบ่อจะเกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา บ่อเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยที่มีขนาดประมาณ 4-6 ไร่ มักจะมีเครื่องให้อากาศขนาด 1 แรงม้า มากถึง 8 ชุดต่อบ่อ หรือมากกว่านี้ ซึ่งกระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศจะไปกัดเซาะดินก้นบ่อเป็นแถบกว้างประมาณ 10-15 เมตร รอบๆ บ่อ รวมทั้งจะกัดเซาะคันดินด้านใน โดยอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากการกัดเซาะจะไปตกตะกอนในบริเวณพื้นที่ตรงกลางของก้นบ่อซึ่งมีความเร็วของกระแสน้ำต่ำกว่า ตะกอนที่เกิดขึ้นหนาประมาณ 30-45 เซนติเมตร ครอบคลุม 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ก้นบ่อ (Boyd, 1995) ฉะนั้นนอกจากจะทำให้เกิดการกัดเซาะแล้วยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตอีกด้วย เพราะพลังงานที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งคิดเป็นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนการผลิต ขณะที่ค่าอาหารประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ และค่าพันธุ์กุ้ง 15 เปอร์เซ็นต์ (Taparhudee, 2003)

Boyd (1992) ได้ศึกษาถึงระบบการจัดการตะกอนที่อยู่ในบ่อ โดยเฉพาะเศษอาหารและสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำเอง โดยอาศัยเครื่องให้อากาศเพื่อทำให้ตะกอนไปรวมกันที่กลางบ่อ โดยปรับระดับให้พื้นก้นบ่อมีความลาดเอียง เข้าหาตรงกลางบ่อ เพื่อความสะดวกในการจัดการพื้นก้นบ่อ และ Boyd (1992) อ้างถึง Wyban *et al.* (1988) ; Wyban and Seweeney (1989) ที่ทดลองการเลี้ยงกุ้งอย่างหนาแน่นแบบระบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้บ่อขนาด 347 ตารางเมตร ความลึก 1.3 เมตร มีความลาดเอียง 2 เปอร์เซ็นต์ และท่อระบายของเสียขนาด 20 เซนติเมตรกลางบ่อ อัตราการปล่อยลูกกุ้ง 45 - 100 ตัวต่อตารางเมตร แล้วใช้ เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ เพื่อเพิ่มออกซิเจนและทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำผลปรากฏว่าสามารถผลิตได้สูงสุด 5.12 ตันต่อไร่ ภายใน 174 วัน ตะกอนพื้นบ่อพบว่า อัตรา 81 เปอร์เซ็นต์ จะพบตะกอนอยู่ที่กลางบ่อ และพื้นที่ 72 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นพื้นที่ที่สะอาด ซึ่งระบบนี้จะทำให้พวกตะกอนที่มีขนาดเล็กและไม่ใหญ่มาก ไปรวมตัวกันที่กลางบ่อ สะดวกที่จะทำการระบายออกไปได้

ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของดิน(redox potential)

การวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นการวัดเชิงปริมาณของแนวโน้มของระบบที่จะออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์สารประกอบ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะเป็นบวกและมีค่าสูงในระบบออกซิเดชัน และจะมีค่าเป็นลบและมีค่าต่ำในระบบรีดักชันรุนแรง (ทัศนีย์, 2534 ; Guy, 1992 ; Boyd, 1995)

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลโดยประมาณที่สารประกอบต่างๆ ในดินจะถูกรีดิวซ์ดังสมการ (ทัศนีย์, 2534)



ชโล (2533) กล่าวว่า การตรวจสอบสภาพพื้นที่บ่อต่างๆ ไป มีความจำเป็นมาก เนื่องจากกึ่งกลางค่าจะใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณพื้นที่บ่อ ปริมาณเลนกันบ่อจึงมีความสำคัญต่อการประเมินสภาพพื้นที่บ่อเป็นอย่างมาก โดยดูจากสีและความหนาของเลน รวมทั้งกลิ่นด้วย การดูเลนจึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะในบ่อที่ไม่มีระบบการระบายน้ำกลางบ่อ (central drain) นอกจากการตรวจเลนกันบ่อแล้ว การวัดค่าบางอย่างสามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพของกันบ่อได้ เช่น ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้วัดศักยภาพในการเกิดสภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศของน้ำและดินกันบ่อได้จะเป็นการหาปริมาณสัดส่วนของสารที่มีคุณสมบัติในการให้หรือรับอิเล็กตรอนในน้ำนั้นๆ และสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพการที่มีอากาศของน้ำและดินกันบ่อได้ โดยค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะอยู่ในช่วง + 600 สำหรับน้ำที่มีคุณภาพดี ถึง - 350 มิลลิโวลต์ สำหรับกันบ่อที่สกปรก ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของออกซิเจนที่จะถูกใช้ไปในบริเวณพื้นที่บ่อ ถ้าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นลบมากอาจจะต้องมีการจัดการแก้ไข เช่น เมื่อวัดค่ารีดอกซ์โพ

เทนเซิลได้ประมาณ - 120 ถึง -150 มิลลิโวลต์ อาจจะต้องทำการดูแลบริเวณนั้นหรือจัดการให้พื้นบ่อดีขึ้น การวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลบริเวณพื้นบ่อตามจุดต่างๆ ในบ่อเป็นช่วงๆ ของการเลี้ยงจะสามารถบอกได้ว่าบริเวณไหนเริ่มเสียหรือมีแนวโน้มที่จะไม่ดี สามารถที่จะแก้ไขได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการวิจัยอย่างจริงจังถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลและอัตราการเกิดโรค หรือสุขภาพอื่นๆ ของกุ้ง ในปัจจุบันนี้ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขนาดใหญ่หลายฟาร์มใช้วัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลบริเวณพื้นบ่อประกอบในการพิจารณาถึงการจัดการสภาพต่างๆ ในบ่อ ยนต์ และ พรพันธุ์ (2534) ได้ศึกษาคุณภาพดินพื้นบ่อและตะกอนในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่อยู่รอบๆ จังหวัดกันอ่าวไทยพบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นลบตลอดเวลา และจากการศึกษาของ Boyd (1995) ในประเทศเอกวาดอร์พบว่า ในดินระดับความลึก 5 เซนติเมตร เมื่อเริ่มต้นในการเลี้ยงกุ้งค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 50 มิลลิโวลต์ หลังจากเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 3-4 เดือนค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลลดลงเหลือ -400 มิลลิโวลต์ และจากการศึกษาของ ดำรงค์ (2540) พบว่า ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในระบบปิดโดยให้อากาศบนพื้นกันบ่อมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +63.01 ถึง -295.00 มิลลิโวลต์ระบบแขวนลอยตะกอนมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +65.99 ถึง -188.00 มิลลิโวลต์ และในระบบการเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนรวมตะกอนมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +61.85 ถึง -171.41 มิลลิโวลต์

เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดิน เป็นสมบัติของดินที่บ่งถึงขนาดของชิ้นส่วนของสารต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดินโดยบ่งถึงความหยาบ หรือความละเอียดขององค์ประกอบหลักของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523) หรือ หมายถึง สัดส่วนอนุภาคทราย อนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว กลุ่มอนุภาคทั้ง 3 นี้ เมื่อประกอบกันเข้าในสัดส่วนสัมพันธ์ต่างๆ กันจะได้ขึ้นหรือลักษณะของเนื้อดินมากมาย (สุรศักดิ์, 2520 ; ดุสิต, 2535) ตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.05-2, 0.002-0.05 และน้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตร ตามลำดับ (Boyd, 1995) และอนุภาคดินที่เล็กกว่า 0.001 มิลลิเมตร เรียกว่า สารแขวนลอย (ไพบูลย์, 2528 ; Boyd, 1995)

ตารางที่ 1 เกณฑ์ในการพิจารณากำหนดประเภทเนื้อดินจากปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลัก

ประเภทเนื้อดิน	ปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	ทราย	ทรายแป้ง	เหนียว
เหนียว (clay)	0-45	0-40	40-100
เหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)	0-20	40-60	40-60
เหนียวปนทราย (sandy clay)	45-65	0-20	35-55
ร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam)	0-20	40-70	30-40
ร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)	45-80	0-28	20-35
ร่วน (loam)	20-52	28-50	7-30
ร่วนปนทราย (sandy loam)	45-85	0-50	0-20
ทรายร่วน (loamy sand)	70-90	0-15	0-15
ทราย (sand)	85-100	0-15	0-10

ที่มา: สมเจตน์ และคณะ (2526)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเนื้อดินมีความสำคัญต่อการสร้างบ่อ แต่ในด้านการจัดการบ่อจะมีความสำคัญน้อยกว่า เนื่องจากประเภทของเนื้อดินภายในบ่อจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เนื้อดินในแต่ละจุดภายในบ่ออาจจะเปลี่ยนแปลงได้จากการกัดเซาะและการตกตะกอนภายในบ่อ (สุวนิช, 2540) ดินที่ใช้ในการสร้างบ่อต้องมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ ดินจึงจะกักน้ำได้ดี การตากบ่อหรือการไถพรวนทำได้ง่าย (Boyd, 1995) และจากการศึกษาคุณสมบัติของดินในบริเวณนาทุ่งและป่าไม้ชายเลนในพื้นที่จังหวัดตราดของ พยุ่ง (2532) พบว่าดินบริเวณนาทุ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย และดินเหนียวปนทราย โดยมีอนุภาคทราย 18.0-93.0 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแป้ง 3.0-51.0 เปอร์เซ็นต์และอนุภาคดินเหนียว 2.0-48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินบริเวณป่าไม้ชายเลนมีอนุภาคทราย 17.0-84.3 เปอร์เซ็นต์ ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวว่าจากการเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่แตกต่างกันระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้ผลผลิตดีกับบ่อที่มีปัญหาทุ่งตาย จะพบว่าบ่อที่ประสบความสำเร็จส่วนใหญ่จะเป็นบ่อที่มีสภาพพื้นบ่อเป็นดินเหนียว ดินลูกรัง ซึ่งค่อนข้างจะแน่น แข็ง และสะอาดตลอดการเลี้ยง ส่วนบ่อที่เป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย มักจะ

มีปัญหามากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุที่สภาพดินร่วนซุยเป็นแหล่งสะสมของเสียที่ดีในระหว่างการเลี้ยง

คุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolve oxygen, DO)

ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้กุ้งตายได้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อจะเปลี่ยนแปลงคล้ายกับพีเอชคือมีค่าต่ำสุดในตอนเช้ามืด เนื่องจากใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อ ส่วนในตอนกลางวัน เมื่อมีแสงแดดการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในบ่อจะเพิ่มขึ้นและจะมีปริมาณสูงสุดในตอนบ่าย ปกรณ์ (2531) กล่าวว่าออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการเพิ่มผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยเฉพาะการใช้เครื่องให้อากาศต่างๆ ปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำอยู่ในระดับที่มากกว่า 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (จารุวัฒน์ และ สมนึก, 2530) ซึ่งสอดคล้องกับ Chen (1985) กล่าวว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่า 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับที่วิกฤติสำหรับการดำรงชีวิตโดยปกติของกุ้ง โดยปกติออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำควรรักษาให้อยู่ในระดับ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. อุณหภูมิของน้ำ (water temperature)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงและโดยอ้อมต่อสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่นและสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของแหล่งน้ำ ในประเทศไทยอุณหภูมิแปรผันในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเป็นไปแบบซ้ำๆ (ประเทือง, 2534) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งทั่วไปควรอยู่ระหว่าง 28 -30 องศาเซลเซียส (Boyd and Fast, 1992) ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป กุ้งจะเกิดอาการตัวอ้วน เนื่องจากกล้ามเนื้อเกร็งและถ้าอุณหภูมิต่ำ

กว่า 25 องศาเซลเซียส กุ้งจะหยุดว่ายน้ำและไม่กินอาหาร เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส กุ้งจะตาย (Boyd, 1982)

3. ความโปร่งแสง (transparency)

ความโปร่งแสงของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมักจะเกิดจากการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยง และจากตะกอนแขวนลอยในน้ำ (Boyd, 1989) ความขุ่นของน้ำที่เกิดจากแพลงก์ตอนโดยปกติจะเป็นสิ่งที่ดีสำหรับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เพราะจะทำให้มีอาหารธรรมชาติสำหรับสัตว์น้ำที่อุดมสมบูรณ์ ในขณะเดียวกัน ทำให้ลดปัญหาพืชน้ำและสาหร่ายตามพื้นบ่อ เนื่องจากแสงแดดส่องไม่ถึงพื้นบ่อ สำหรับความขุ่นที่เกิดจากตะกอนดินจะไปทับถมบริเวณพื้นบ่อ และสารแขวนลอยประเภทสารอินทรีย์ อาจทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจน ทำให้บริเวณนั้นเน่าเสีย เกิดก๊าซพิษ เช่น แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ยนต์, 2530) ความโปร่งแสงของน้ำในบ่อ หากมีค่าน้อยเกินไป ก็น้ำมีความขุ่นมาก จะทำให้แสงส่องไม่ถึงพื้นบ่อและขัดขวางการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้เกิดตายและเน่าเสียของสาหร่ายพื้นบ่อ แต่ถ้าน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีความโปร่งแสงมากเกินไปน้ำจะใสและมีอาหารธรรมชาติน้อย ค่าความโปร่งแสงที่เหมาะสมในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรอยู่ในช่วง 40-60 เซนติเมตร (Boyd, 1989)

4. ความเค็ม (salinity)

ความเค็มของน้ำเกิดจากเกลือต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำ คำจำกัดความของความเค็ม คือ ปริมาณเป็นกรัมของเกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำทะเล 1 กิโลกรัม เมื่ออนุมูลคาร์บอเนตทั้งหมดเปลี่ยนเป็นออกไซด์ อนุมูลโบรไมด์และไอโอดีนถูกแทนที่ด้วยอนุมูลคลอไรด์และสารอินทรีย์ทั้งหมดถูกออกซิไดซ์ (มนูวดี, 2532) ความเค็มมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำมาก ความเค็มของน้ำจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย ซึ่งเป็นผลมาจากความต่างของแรงดันออสโมติกภายในตัวและภายนอกตัวสัตว์น้ำ สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะทนต่อความเค็มได้ กุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวในความเค็ม 5-40 ส่วนในพันส่วน แต่การเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหันจะทำให้กุ้งกุลาดำไม่สามารถปรับตัวได้ทัน ดังนั้นในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงควรรักษาความเค็มของน้ำในบ่อให้คงที่ หรือถ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มก็ให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ซึ่งความเค็มก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงนั้น ไม่ควรแตกต่างกันมากกว่า 5-10 ส่วนในพันส่วน (Kungwankij and Chua, 1986) และถ้าความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 2-3 นาที

สัตว์น้ำจะไม่สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้สัตว์น้ำตายได้ (Boyd and Tucker, 1998) กุ้งกุลาดำเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความเค็ม 15-30 ส่วนในพันส่วน (Boyd, 1992) และสามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 5 ส่วนในพันส่วนได้ และถ้าความเค็มสูงกว่า 35 ส่วนในพัน จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง (สะไบทิพย์ และคณะ, 2543)

5. ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือ พีเอช (pH)

พีเอชของน้ำ เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่า น้ำนั้นเป็นกรดหรือด่าง หากน้ำมีพีเอชต่ำกว่า 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นกรด แต่ถ้าค่าพีเอชมีค่ามากกว่า 7 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอชของน้ำ ผิวดินส่วนใหญ่จะผันแปรในรอบวัน เนื่องจากการสังเคราะห์แสงและการหายใจ การผันแปรของพีเอชมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำและอัตราการสังเคราะห์แสง รวมถึงอัตราการหายใจ ค่าพีเอชในช่วงเช้าอาจลดต่ำลงถึง 6 และสูงกว่า 11 ในช่วงบ่าย (Boyd and Tucker, 1998) ความแตกต่างของพีเอชในรอบวัน ถ้ามีความแตกต่างมากเกินไปจะเป็นอันตราย กรณีที่มีค่าพีเอชสูงขึ้นในตอนบ่ายจนถึงระดับ 9 หรือ 10 นั้น หากเกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ก็ยังไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอช เกินกว่า 0.5 หน่วยในรอบวัน (ชลอ, 2543)

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผลทางอ้อมของพีเอชและปฏิสัมพันธ์ของพีเอชกับคุณภาพน้ำอื่นๆมีความสัมพันธ์มากกว่า ผลเนื่องจากพิษของพีเอชโดยตรง ค่าพีเอชมีผลต่อการแสดงออกของความเป็นพิษของคุณสมบัติของน้ำอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นสัดส่วนของแอมโมเนียในรูป NH_3 ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อพีเอชลดลงไฮโดรเจนซัลไฟด์จะอยู่รูป H_2S ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น (Boyd and Fast, 1992)

6. ความกระด้าง (hardness)

ความกระด้างของน้ำเกิดจากอิออนของโลหะที่มีประจุตั้งแต่ประจุ 2 ขึ้นไป อีออนพวกนี้สามารถทำปฏิกิริยากับสบู่ตกตะกอนและทำปฏิกิริยากับอีออนที่มีประจุลบบางชนิดในน้ำเกิดตะกอน สาเหตุหลักของความกระด้างของน้ำคืออีออนวาเลนซ์สอง ความกระด้างของน้ำอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท (ยนต์, 2539)

1. ความกระด้างชั่วคราว (temporary hardness หรือ carbonate hardness) ซึ่งเป็นความกระด้างที่เกิดจากเกลือ คาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต กับโลหะวาเลนซ์สอง เช่น แคลเซียม คาร์บอเนต หรือแคลเซียมไบคาร์บอเนต

2. ความกระด้างถาวร (permanent hardness หรือ non-carbonate hardness) เป็นความกระด้างที่เกิดจากเกลือของโลหะวาเลนซ์สองกับอออนลบตัวอื่น เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต

ปลาและสัตว์น้ำในกลุ่มกุ้ง-ปู (crustacean) ต้องการแคลเซียมในการสร้างกระดูกและเปลือก สัตว์น้ำในกลุ่มกุ้ง-ปู จะดูดซับแคลเซียมจากน้ำระหว่างการลอกคราบ จึงต้องมีปริมาณแคลเซียมในน้ำในระดับที่พอเพียง (Filber and Lutz, 1982) ความกระด้างโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับความเป็นด่าง เพราะว่าอออนลบของความเป็นด่างและอออนบวกของความกระด้างโดยปกตินั้นได้มาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต (Boyd, 1982) ความกระด้างที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และคณะ, 2547)

7. ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่าง หมายถึง ความสามารถของน้ำที่จะรับ H^+ เพื่อให้กรดเป็นกลาง น้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 4.3 จะมีค่าความเป็นด่างเสมอ พีเอชยิ่งสูงจะมีสภาพความเป็นด่างมากขึ้น สารประกอบที่ทำให้เกิดความเป็นด่างมี 3 ชนิด คือ ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ความเป็นด่างมีความสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและกุ้งทะเลทุกชนิดค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความเป็นด่างมีความสำคัญเพราะความเป็นด่างมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำอื่นๆ ที่มีผลต่อสุขภาพของสัตว์น้ำหรือความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศ อออนที่ไม่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักบางชนิดเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำรุนแรงความสามารถในการละลายและความเข้มข้นของอออนอิสระลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ดังนั้นความรุนแรงของความเป็นพิษของโลหะลดลง เมื่อความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปพีเอช เพิ่มขึ้นตามความเป็นด่าง (Boyd and Tucker, 1998) การเลี้ยงกุ้งทะเลระดับความเป็นด่างไม่ควรจะต่ำกว่า 50-60 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อไม่ให้มีผลต่อการสร้างเปลือกของกุ้ง (ยนต์, 2539)

8. ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity)

การนำไฟฟ้าหรือสภาพนำไฟฟ้า หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือของเหลวอื่นๆ ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณไอออน ความเข้มข้น อุณหภูมิ ของน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ของเหลวที่เป็นกรดและเกลือของอนินทรีย์สาร จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี (สิริ, 2528)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มลดการนำไฟฟ้าของน้ำ

1. ถ้าปริมาณของแข็งที่ละลาย (dissolved solids) มีจำนวนมาก จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงเพราะปริมาณ dissolve solids จะมีส่วนเพิ่มความสามารถเกี่ยวกับ ionic mobility
2. อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น จะทำให้การแตกตัวเป็นไอออนของเกลือมากยิ่งขึ้น
3. ปริมาณพีเอชของน้ำที่มากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น เพราะน้ำหรือของเหลวที่เป็นกรดและด่างแก่จะมีปริมาณ H^+ และ OH^- มากซึ่งมีผลทำให้ค่า ionic mobility สูง

9. แอมโมเนีย (ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำอื่นๆ ยกเว้นแพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหาร แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะแบ่งเป็นสองรูปแบบ คือ แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในการวัดแอมโมเนียทั่วไปจะวัดรวมทั้งสองรูป แอมโมเนียทั้งสองรูปจะเปลี่ยนกลับไปกลับมาตามพีเอชของน้ำและอุณหภูมิของน้ำ โดยเฉพาะพีเอชสูงอัตราส่วนของแอมโมเนียจะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าพีเอชของน้ำลดลง แอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียมไอออนจะมีอัตราส่วนมากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง เมื่อแอมโมเนียในน้ำปริมาณสูงขึ้น จะมีผลทำให้การจับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้พีเอชของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์ แอมโมเนียจะทำให้

การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น แอมโมเนียจะไปทำลายเหงือก และความสามารถในการขนส่งออกซิเจนและกึ่งอ่อนแอติดเชื้อโรคได้ง่าย ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียทำให้สัตว์น้ำตายปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ NH_3 แต่แอมโมเนียระหว่าง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้กุ้งโตช้า สำหรับระดับที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงกุ้งควรน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

10. ไนไตรท์ (nitrite)

ไนไตรท์เป็นสารประกอบระหว่างกลางในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยทั่วไปไนไตรท์จะไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำ เพราะไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วแต่ในบางสภาวะ หากอัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียเร็วกว่าอัตราการออกซิไดซ์ ไนไตรท์ก็จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้ แหล่งน้ำทั่วไปพบที่มีความเข้มข้นต่ำเฉลี่ยน้อยกว่า 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่แหล่งน้ำที่รับน้ำเสียพบไนไตรท์ในความเข้มข้นที่สูงกว่า เช่นเดียวกับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นสูง เพราะในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราการเติมไนโตรเจนในรูปของอาหารเม็ด ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยคอกลงในบ่อ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะต่ำ (น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากแอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นถูกแปลงกักเก็บนำไปใช้ (Boyd and Tucker, 1998) ระดับความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าพีเอชน้ำลดลง นอกจากนี้ความเป็นพิษของไนไตรท์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเปรียบเทียบระบบการให้อาากาศที่แตกต่างกัน 3 ระบบ

ในการศึกษาครั้งนี้เก็บข้อมูลในฟาร์มเลี้ยงกึ่งอุตสาหกรรมที่ใช้อุปกรณ์เครื่องให้อาากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

1.1 ระบบที่ 1 ใช้เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า ความเร็วรอบ 60-65 รอบต่อนาที ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกึ่งอุตสาหกรรมในเครือเกษตรสมบูรณ์ อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นฟาร์มที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ 2-5 ส่วนในพันส่วน นำลูกกึ่งอุตสาหกรรมระยะโพสลาว่า 15 ที่ผ่านการตรวจคุณภาพโดยวิธีชมไบโอเทค เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 50,000 ตัวต่อไร่ ในบ่อทดลองที่มีพื้นที่ 3.4 ไร่ จำนวน 4 บ่อ (R1, R2, R3 และ R4) ใช้เครื่องยนต์บ่อละ 2 เครื่อง เครื่องยนต์แต่ละเครื่องมี 2 แขนยาว แต่ละแขนมีใบพัดน้ำ 20-25 วง บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ภาพที่ 1) มีความลึกประมาณ 1.4 เมตร และพื้นบ่อเป็นดินเหนียว

1.2 ระบบที่ 2 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกึ่งอุตสาหกรรมภาคเอกชน ตำบลพลี อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นฟาร์มที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติ นำลูกกึ่งอุตสาหกรรมระยะโพสลาว่า 15 ที่ผ่านการตรวจคุณภาพว่าปลอดโรคไวรัสดวงขาว เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 50,000 ตัวต่อไร่ ในบ่อทดลองที่มีพื้นที่ 5.8 ไร่ จำนวน 4 บ่อ (C1, C2, C3 และ C4) แต่ละบ่อใช้เครื่องให้อาากาศ 4 เครื่อง แต่ละเครื่องมีใบพัด 13 วง บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ภาพที่ 2) มีความลึกประมาณ 1.4 เมตร และพื้นบ่อเป็นดินเหนียวแข็ง

1.3 ระบบที่ 3 ใช้เครื่องรถยนต์ 4 สูบ (ED33) ขนาด 100 แรงม้า ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกึ่งอุตสาหกรรมภาคเอกชน ตำบลไร่เก่า อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ โดยใช้น้ำเค็มบาดาลผสมกับน้ำจืดจนได้ความเค็มประมาณ 15 ส่วนในพันส่วน นำลูกกึ่งอุตสาหกรรมระยะโพสลาว่า 15 ที่ผ่านการตรวจคุณภาพว่าปลอดโรคไวรัสดวงขาว เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 50,000 ตัวต่อไร่ ในบ่อขนาด 4.5 ไร่ จำนวน 4 บ่อ โดย 1 เครื่องใช้สำหรับบ่อเลี้ยง 2 บ่อ แต่ละบ่อมี 8 แขน แต่ละแขนมีใบพัดน้ำ 12-15 วง บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ภาพที่ 3) มีความลึกประมาณ 1.4 เมตร และพื้นบ่อเป็นดินเหนียวแข็ง

ก่อนการเลี้ยงกุ้งเก็บตัวอย่างดินในแนวทแยงมุมของบ่อทดลองทั้ง 4 มุม โดยใช้ core sampler ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วนำแต่ละจุดมาผสมกัน ตัวอย่างดินดังกล่าวจะนำไปวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน (texture) ที่ภาค วิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเปรียบเทียบความเร็วของกระแสจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

เมื่อกุ้งอายุ 30 วัน จะเริ่มวัดความเร็วของกระแสในบ่อทดลองเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เริ่มมีการเปิดเครื่องให้อากาศอย่างเต็มที่ โดยใช้เครื่องวัดความเร็วกระแส (flow meter) รุ่น Flow Probe FP101&201 โดยวัดในช่วงที่มีการเปิดเครื่องให้อากาศทุกเครื่อง จำนวน 2 จุด ในบริเวณที่มีการเกิดกระแสน้ำสูงสุดจากเครื่องให้อากาศที่มีระยะห่างจากใบพัดประมาณ 10 เมตร โดยแต่ละจุดจะวัดทุก 3 ระดับต่ำจากผิวน้ำ คือ 30, 50 และ 100 เซนติเมตร ทำการวัด 3 สัปดาห์ จนกระทั่งสิ้นสุดการเลี้ยง

3. การเปรียบเทียบค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลโดยใช้เครื่อง Ecoscan EUTECH Instruments ทั้งในแนวหน้าอาหารจำนวน 4 จุด และกลางบ่อจำนวน 4 จุด จากนั้นนำค่าที่ได้ในแต่ละจุดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย วัดทุก 3 สัปดาห์ ในตำแหน่งเดิมจนกระทั่งสิ้นสุดการเลี้ยง

หลังจากจับกุ้ง เก็บตัวอย่างดินในบริเวณดินเลนกลางบ่อ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter; OM) ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคำนวณหาปริมาณของเสียในบ่อ โดยวัดความกว้าง ความยาว ความลึกของเลนในบ่อ พร้อมถ่ายภาพประกอบ

4. การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก 3 สัปดาห์ คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณแอมโมเนียรวม ปริมาณไนโตรเจน ความเป็นด่าง ความกระด้าง และค่าความนำไฟฟ้า โดยคุณสมบัติของน้ำที่สามารถวิเคราะห์ได้ระหว่างการเก็บตัว

อย่างจะกระทำในพื้นที่ที่ทันที่ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ สำหรับคุณสมบัติของน้ำที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่จะนำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ โดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่จะทำการวิเคราะห์ไว้ในกล่องโฟม แช่เย็นด้วยน้ำแข็งขณะลำเลียงขนส่ง ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนวิเคราะห์นำตัวอย่างน้ำออกมาจากกล่องโฟม รอจนกระทั่งมีอุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิห้องจึงวิเคราะห์ แต่ละตัวอย่างจะวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

อุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ วัดโดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M

พีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช รุ่น Ecoscan pH 5/6

อุณหภูมิ วัดโดยใช้ เครื่อง YSI DO 200-4M

ความเค็ม วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT

ปริมาณแอมโมเนียรวม วัดโดยใช้วิธี Phenol-hypochlorite method (APHA *et al.*, 1995)

ปริมาณไนโตรเจน วัดโดยใช้วิธีของ APHA *et al.* (1995)

ความเป็นด่าง วัดโดยใช้วิธี Titration (APHA *et al.*, 1995)

ความกระด้าง วัดโดยใช้วิธี EDTA Titrimetric Method (APHA *et al.*, 1995)

ความโปร่งแสง วัดโดยใช้ Secchi disk

ค่าความนำไฟฟ้า วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT

5. การเปรียบเทียบผลผลิตและต้นทุนในด้านพลังงานจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3ระบบ

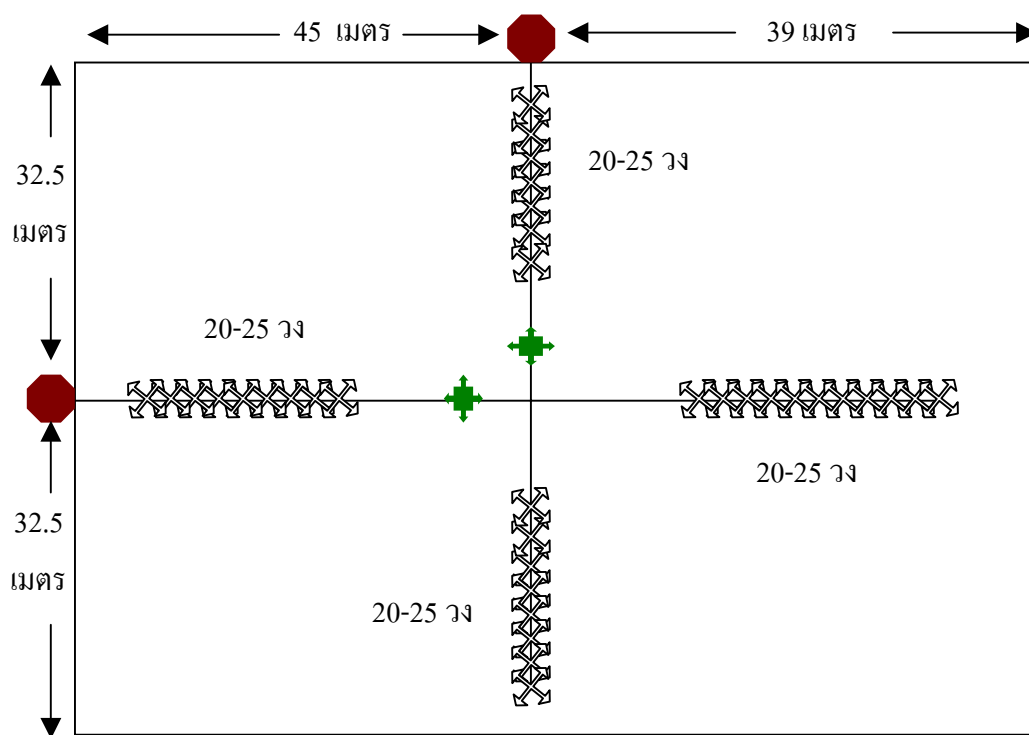
หลังจากการจับกุ้ง จะเก็บข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณอัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโต สะสม อัตราการแลกเนื้อ และปริมาณผลผลิต รวมทั้งเก็บข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการใช้พลังงานในการใช้เครื่องให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนค่าพลังงานในการใช้เครื่องให้อากาศในแต่ละระบบ

6. สถานที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน

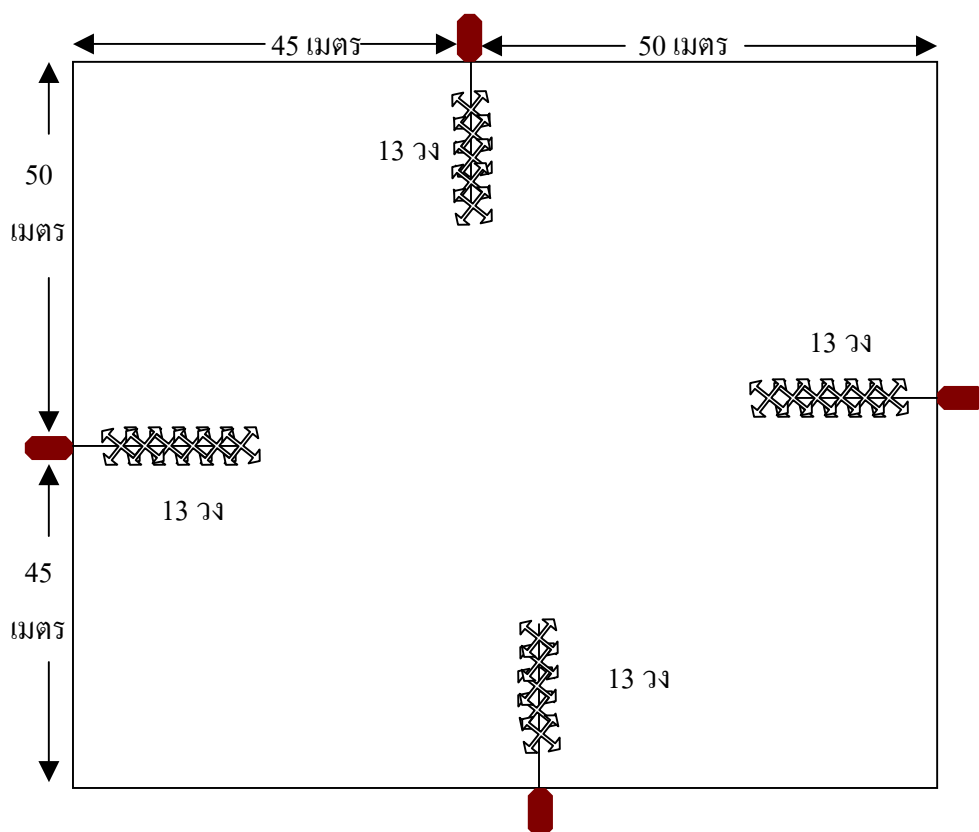
1. วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำที่อาคารโรคสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
บางเขน กรุงเทพฯ
2. วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บาง
เขน กรุงเทพฯ

7. ระยะเวลาในการทดลอง

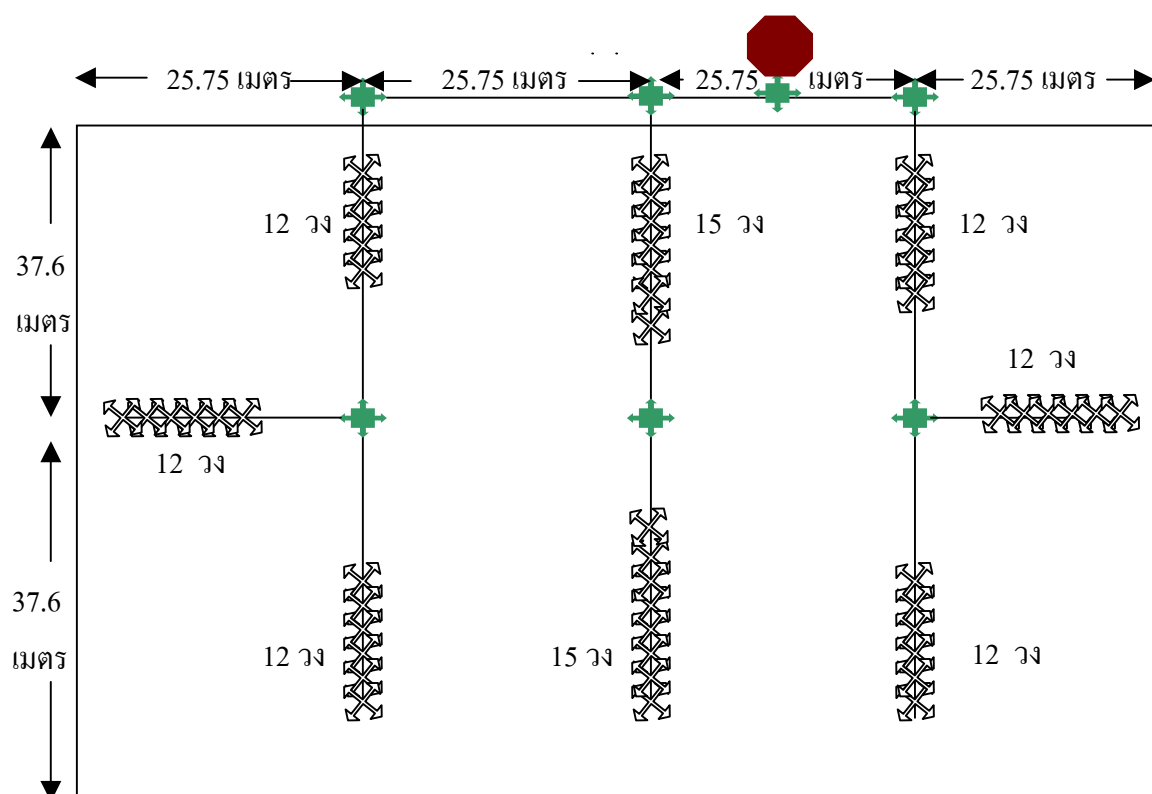
ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ตั้งแต่เดือนเมษายน 2548 – กันยายน 2548



ภาพที่ 1 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 1



ภาพที่ 2 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 2



ภาพที่ 3 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบที่ 3



ภาพที่ 4 เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า ของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 5 มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 6 เครื่องรยยนต์ขนาด 100 แรงม้าของการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 3



ภาพที่ 7 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 8 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 9 ลักษณะการวางเครื่องให้อากาศระบบที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาความเร็วของกระแสน้ำ พื้นที่รวมเลนต่อพื้นที่บ่อ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อ ปริมาณดินเลนกลางบ่อ และองค์ประกอบเนื้อดิน ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศต่างกัน 3 ระบบ

ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.27 ± 0.023 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.21 ± 0.018 เมตรต่อวินาที และที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.14 ± 0.024 เมตรต่อวินาที พื้นที่รวมเลนเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่บ่อจะเท่ากับ 11.3 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 1) จากการวิเคราะห์เลนกลางบ่อจะมีปริมาณสารอินทรีย์ 1.88 ± 0.275 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 2) ส่วนปริมาณดินเลนกลางบ่อเมื่อคิดเป็นน้ำหนักจะมีปริมาณ 65.29 ± 3.10 ตันต่อไร่ (ตารางภาคผนวกที่ 3) องค์ประกอบเนื้อดินพื้นบ่อจัดเป็นดินประเภทดินเหนียว คือ มีอนุภาคทราย 15-25 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 26-36 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคดินเหนียว 43-57 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

ความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 ที่ระดับความลึก 30, 50 และ 100 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.30 ± 0.23 , 0.24 ± 0.014 และ 0.19 ± 0.025 เมตรต่อวินาที พื้นที่เลนกลางบ่อคิดเป็น 20.79 ± 0.80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บ่อ (ตารางภาคผนวกที่ 1) ส่วนปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนมีค่าเฉลี่ย 1.98 ± 0.123 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 2) และมีปริมาณดินเลนกลางบ่อ 66.53 ± 2.85 ตันต่อไร่ (ตารางภาคผนวกที่ 3) องค์ประกอบเนื้อดินพื้นบ่อเป็นดินประเภทดินเหนียว คือ มีอนุภาคดินเหนียว 41-51 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเป็น อนุภาคทราย 17-29 เปอร์เซ็นต์ และทรายแป้ง 30-36 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

ความเร็วของกระแสน้ำที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่ระดับความลึก 30, 50 และ 100 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.37 ± 0.029 , 0.31 ± 0.041 และ 0.23 ± 0.048 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เลนกลางบ่อเท่ากับ 12.54 ± 0.92 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 1) และปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อสูงถึง 3.15 ± 0.173 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 2) ส่วนปริมาณดินเลนกลางบ่อมากถึง 72.6 ± 0.655 ตันต่อไร่ (ตารางภาคผนวกที่ 3) สำหรับองค์ประกอบ

เนื้อดินเป็นดินประเภทดินเหนียว คือ มีอนุภาคดินเหนียวอยู่ระหว่าง 43-47 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทราย 25-27 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคทรายแป้ง 26-30 เปอร์เซ็นต์ และ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

ความเร็วของกระแสไฟฟ้าในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องรถยนต์ 100 แรงม้าหรือเครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของความเร็วในทุกระดับความลึกมากที่สุด รองลงมาคือ การใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องยนต์ ตามลำดับ โดยความเร็วของกระแสไฟฟ้าที่ผิวน้ำจะสูงที่สุดและค่อยๆ ลดลงตามระดับความลึกของน้ำในทุกระบบการใช้เครื่องให้อากาศ (ภาพที่ 10)

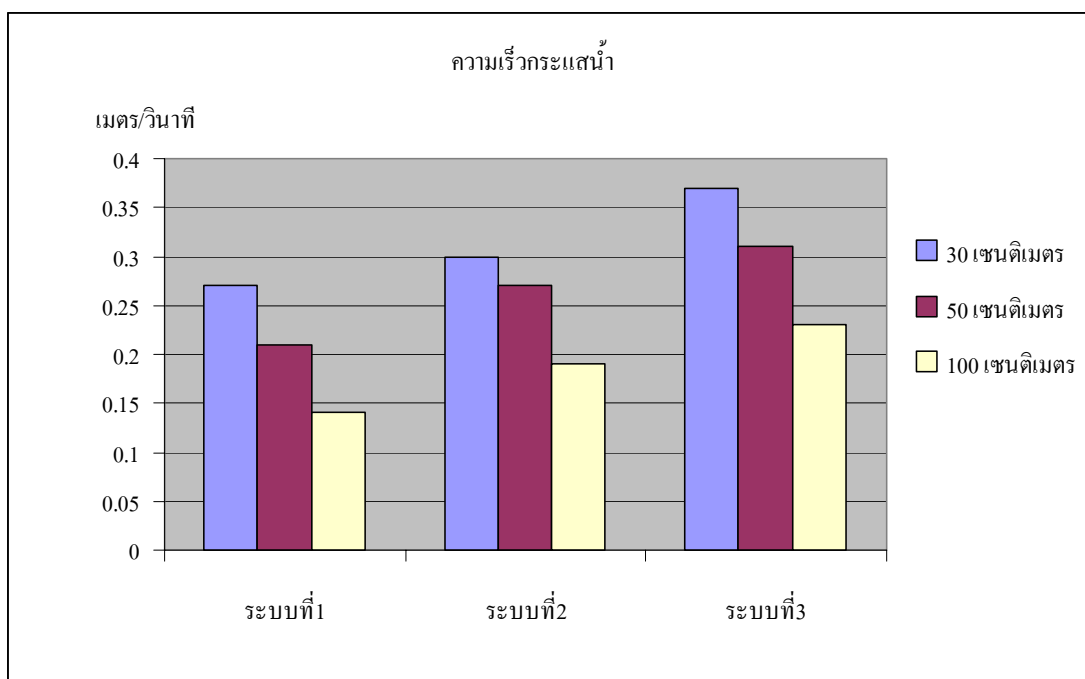
บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้ามีพื้นที่เลนกลางบ่อมากที่สุด รองลงมา คือ บ่อที่ใช้เครื่องรถยนต์และเครื่องยนต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11 และ 12) เนื่องจากบ่อมีขนาดใหญ่ที่สุดและใบพัดตีน้ำในแต่ละแฉกมีจำนวนน้อยกว่าระบบอื่นๆ ทำให้กระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศไม่สามารถรวมเลนให้อยู่ในพื้นที่จำกัดได้ ส่วนบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 หรือเครื่องยนต์ แม้จะมีพื้นที่เลนบริเวณกลางบ่อน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่บ่อ แต่เนื่องจากความเร็วกระแสไฟฟ้าต่ำที่สุด จึงไม่สามารถพัดพาตะกอนในแนวหวานอาหารได้ทั้งหมด จึงทำให้บริเวณแนวหวานอาหารมีเลนกระจายโดยทั่วไป (ภาพที่ 13) โดยเฉพาะในบริเวณมุมบ่อ ซึ่งเป็นพื้นที่อับ จะมีเลนกระจายมาก (ภาพที่ 14)

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องรถยนต์จะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีปริมาณมากที่สุด (ตารางภาคผนวกที่ 7) และมีผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมักจะมีค่าสูงกว่าดินตะกอนทั่วไปประมาณ 2-3 เท่า โดยปริมาณสารอินทรีย์ที่ตรวจพบผันแปรตามสภาพพื้นบ่อเดิม และลักษณะการจัดการบ่อและการให้อาหารระหว่างการเลี้ยง (จารุมาศ, 2545)

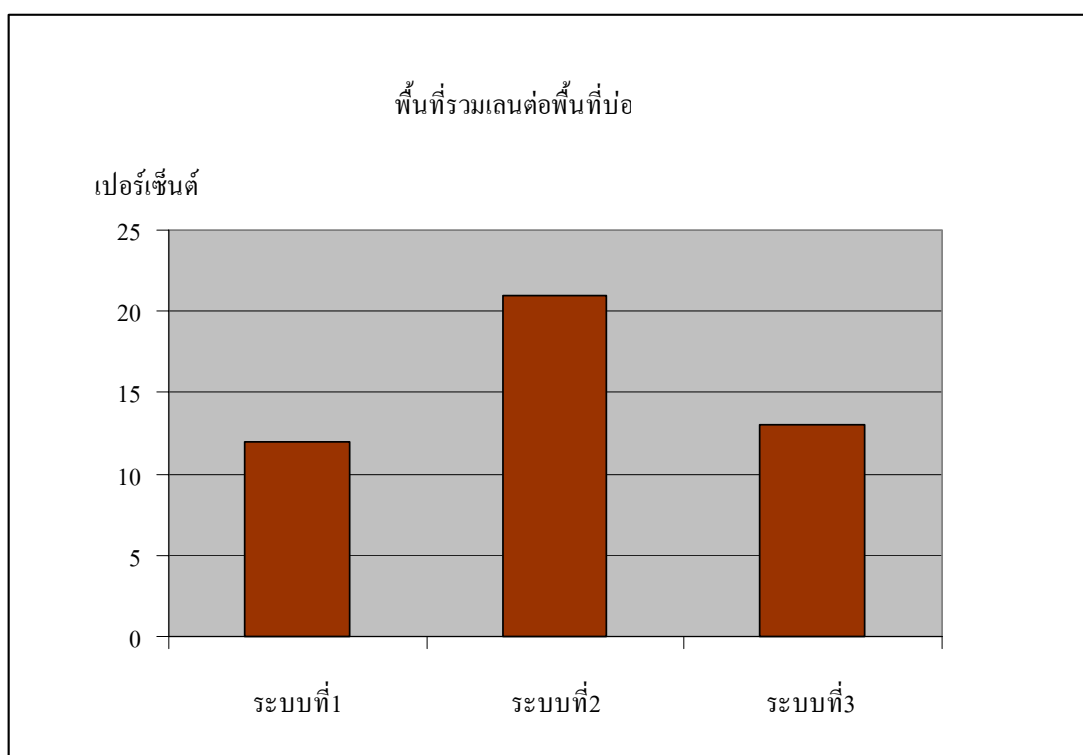
สำหรับปริมาณเลนที่สะสมรวมกันบริเวณพื้นที่กลางบ่อที่ใช้เครื่องรถยนต์เป็นเครื่องให้อากาศมีค่ามากที่สุด เนื่องจากความเร็วของกระแสไฟฟ้ามากที่สุดในทุกระดับความลึกของน้ำ ทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณขอบบ่อและพัดพาเอาตะกอนพื้นบ่อไปรวมกันกลางบ่อได้ดีกว่าการใช้เครื่องให้ระบบอื่นๆ ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่ง Boyd (1995) รายงานว่า บ่อเลี้ยงกุ้งที่พัฒนาในประเทศไทย มักมีการใช้เครื่องให้อากาศขนาด 1 แรงม้ามากถึง 8 ชุดต่อบ่อหรือมากกว่านี้ ซึ่งกระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศจะไปกัดเซาะดินก้นบ่อเป็นแถบกว้างประมาณ 10-15 เมตร รอบๆ บ่อ รวมทั้งจะกัดเซาะคันดินด้านใน

การศึกษาองค์ประกอบเนื้อดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศต่างกัน 3 ระบบ พบว่าบ่อที่ใช้ในการศึกษานี้ทั้งหมดมีเนื้อดินเป็นดินประเภท ดินเหนียว เนื่องจากมีอนุภาคดินเหนียวระหว่าง 40-100 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทราย 0-45 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคทรายแป้ง 0-40 เปอร์เซ็นต์ (สมเจตน์ และคณะ, 2526)

จากผลการศึกษาความเร็วของกระแสน้ำ พื้นที่ของปริมาณเลนต่อพื้นที่บ่อ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อ ปริมาณดินเลนกลางบ่อ และองค์ประกอบเนื้อดิน ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องรถยนต์ขนาด 100 แรงม้า มีการรวมเลนเข้าสู่กลางบ่อได้ดี (ภาพที่ 15) และพื้นที่บริเวณแนวหวานอาหารสะอาดเป็นบริเวณกว้าง (ภาพที่ 16) เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำมากพอที่จะพัดพาตะกอนและเศษอาหารที่เหลือออกจากแนวหวานอาหาร ซึ่งเกิดจากการวางเครื่องให้อากาศที่มีระยะห่างเหมาะสมกับขนาดบ่อ ทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนภายในบ่อได้ดี ส่วนบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องให้อากาศมีการรวมเลนเข้าสู่กลางบ่อได้ดีและพื้นที่บริเวณแนวให้อาหารสะอาด แต่มีพื้นที่รวมเลนเป็นบริเวณกว้างมากกว่า เนื่องจากการวางแขนของเครื่องให้อากาศที่ลงไปใบบ่อมีระยะน้อยเกินไป เพราะมอเตอร์มีกำลังเพียง 2 แรงม้า ไม่สามารถที่จะเพิ่มใบพัดตีน้ำจำนวนมากได้ ถ้าใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมากกว่านี้และเพิ่มจำนวนใบพัดตีน้ำ การรวมเลนจะมีประสิทธิภาพมากกว่านี้และจะเพิ่มพื้นที่แนวให้อาหารมากขึ้น สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 คือเครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า บ่อละ 2 เครื่อง ไม่สามารถรวมเลนเข้าสู่กลางบ่อได้ทั้งหมด ทำให้บริเวณแนวหวานอาหารมีการกระจายของตะกอนมาก เนื่องจากความเร็วกระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศไม่มากพอที่จะทำให้ตะกอนดินและซากแพลงก์ตอนเข้าสู่กลางบ่อได้ทั้งหมด ซึ่งการใช้ใบพัดตีน้ำจำนวนมากและความเร็วรอบที่ต่ำเพียง 60 รอบต่อนาที อาจจะไม่เพียงพอสำหรับพื้นที่บ่อและโครงสร้างของดินในลักษณะนี้ อาจจะแก้ปัญหาได้โดยลดจำนวนใบพัดตีน้ำให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มความเร็วยรอบให้มากขึ้น พื้นที่บ่อจะสะอาดมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 10 ความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ



ภาพที่ 11 พื้นที่รวมเลนต่อพื้นที่บ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ



ภาพที่ 12 พื้นที่เลนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 13 พื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 14 พื้นที่บริเวณหนองของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 15 พื้นที่เลนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3



ภาพที่ 16 พื้นที่บริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อาหารระบบที่ 3



ภาพที่ 17 พื้นที่เล่นของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อาหารระบบที่ 1



ภาพที่ 18 พื้นที่บริเวณแนวหว่านของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 19 ลักษณะของกุ้งเหี่ยวดำเนื่องจากปัญหาพื้นที่บ่อของบ่อกุ้ง
ที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 20 ลักษณะกุ้งตัวสกปรกเนื่องจากปัญหาพื้นบ่อของบ่อกุ้ง
ที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1

2. การศึกษาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อระหว่างการเลี้ยงจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

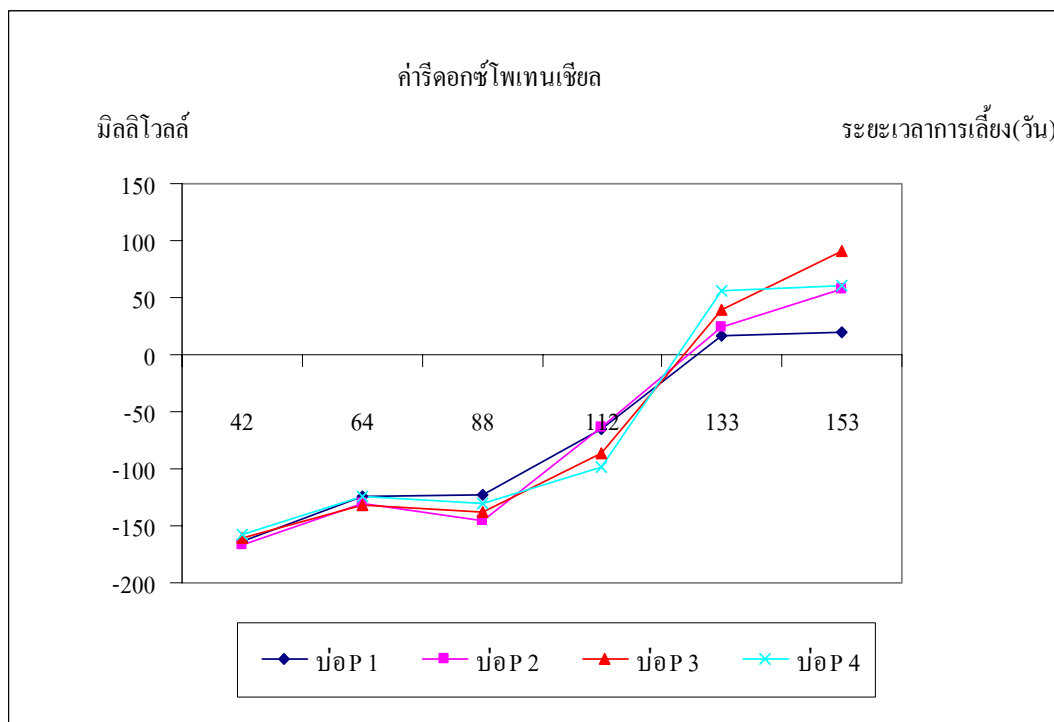
ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหัวน้ำอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง -134 ถึง -102 มิลลิโวลต์ และบริเวณที่มีเลนกลางบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง ถึงมิลลิโวลต์ -170 ถึง -125 มิลลิโวลต์ (ตารางผนวกที่ 12)

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหัวน้ำอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง -79 ถึง -13 มิลลิโวลต์ และบริเวณเลนกลางบ่อ มีค่าอยู่ระหว่าง -178 ถึง -64 มิลลิโวลต์ (ตารางผนวกที่ 13)

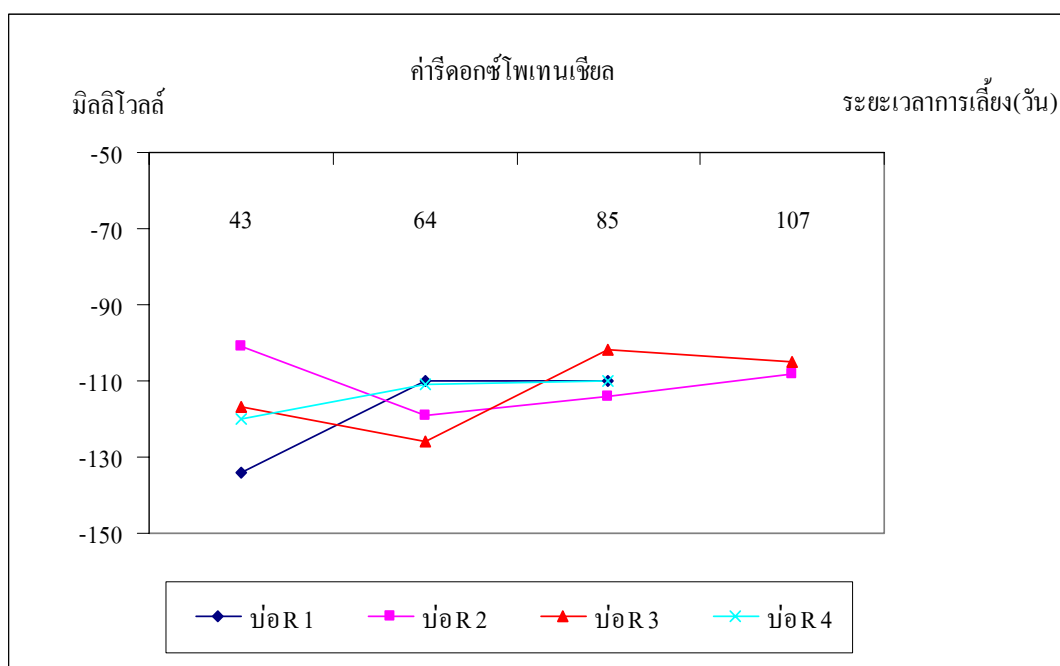
ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง -160 ถึง 91 มิลลิโวลต์ และบริเวณแนวเลนกลางบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง -123 ถึง -77 มิลลิโวลต์ (ตารางผนวกที่ 14)

ผลการศึกษาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการใช้เครื่องให้อากาศต่างกัน 3 ระบบ พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของบ่อที่มีการให้อากาศระบบที่ 3 คือ ใช้เครื่องรถยนต์ขนาด 100 แรงม้า 1 เครื่องสำหรับบ่อเลี้ยง 2 บ่อ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจาก -160 มิลลิโวลต์จนมีค่าเป็นบวก เมื่ออายุการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 21) เนื่องจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรมากพอที่จะพัดพาตะกอนหรือเศษอาหารที่อยู่ในบริเวณแนวหวานอาหารออกไปได้ทั้งหมด โดยเฉพาะเมื่ออายุการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นจะมีการเปิดเครื่องให้อากาศมากขึ้น จึงทำให้บริเวณแนวหวานอาหารสะอาดมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับที่ไม่มีการเน่าเสียของพื้นบ่อ สัมพันธ์จากค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง ส่วนในบ่อที่มีการใช้เครื่องให้อากาศในระบบที่ 1 คือ เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า 2 เครื่องต่อบ่อ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ภาพที่ 22) คือมีค่าต่ำกว่า -102 มิลลิโวลต์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องให้อากาศแบบอื่นๆ และไม่สามารถพัดพาตะกอนเศษอาหารเหลือและซากแพลงก์ตอนออกจากบริเวณแนวหวานอาหารได้ทั้งหมด จึงทำให้เกิดการตกค้างและเน่าเสียบริเวณแนวหวานอาหารอยู่ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบที่ 2 คือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า บ่อละ 4 เครื่อง มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ภาพที่ 23) โดยค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการเลี้ยง แต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ซึ่งค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าไม่ต่ำกว่า -79 มิลลิโวลต์ เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับ 100 เซนติเมตรมีค่ามากกว่าของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 แม้ว่าจะมีขนาดใหญ่ที่สุด แต่พื้นบ่อเป็นดินเหนียวแข็งมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการพัดพาตะกอนหรือเศษอาหารเหลือออกจากบริเวณแนวหวานอาหารได้มากกว่า Chen (1989) ได้แบ่งระดับของการวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลไว้ ดังนี้ ในสภาวะออกซิไดซ์ (oxidized) จะมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลอยู่ในช่วง 400-700 มิลลิโวลต์ ในสภาวะรีดิวซ์ปานกลาง (moderately reduced) มีค่า 100-400 มิลลิโวลต์ ในสภาวะรีดิวซ์ (reduced) มีค่า 100-(-100) มิลลิโวลต์ และในสภาวะรีดิวซ์สูง (highly reduce) มีค่า (-100)-(-300)

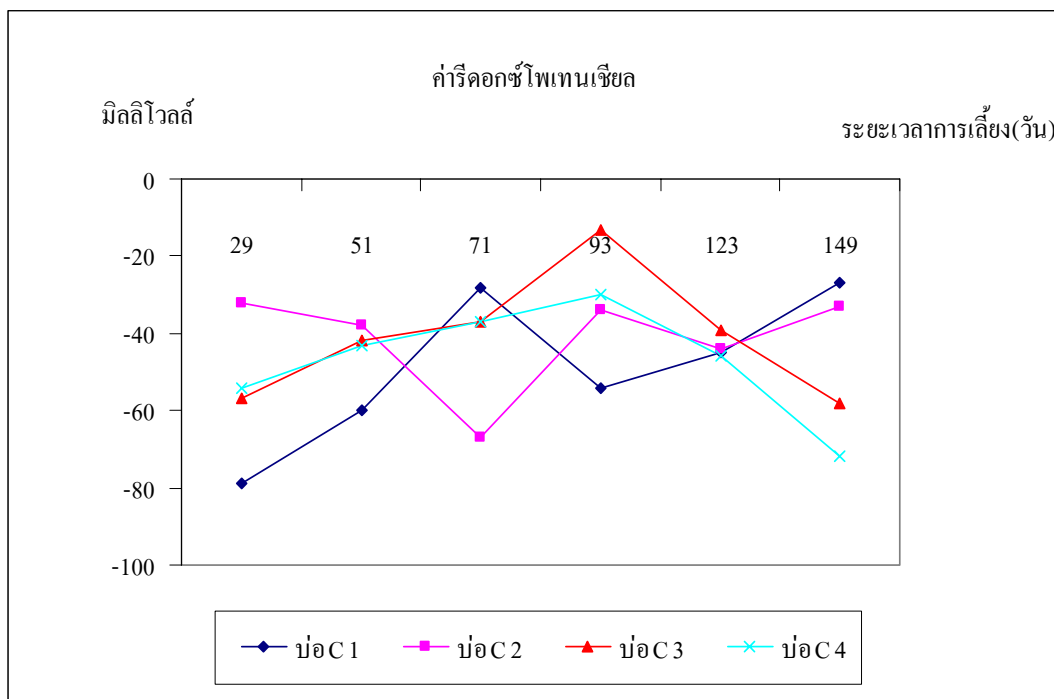
ผลการศึกษาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวเลนกลางบ่อ พบว่าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศทั้ง 3 ระบบมีค่าต่ำกว่าในแนวหัวนาอาหาร เนื่องจากในบริเวณแนวกลางบ่อเป็นที่รวมของตะกอนที่กระแสน้ำพัดพาเข้ามารวมกัน ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเกิดเลนเป็นจำนวนมากและเพิ่มปริมาณสูงมากขึ้น จนกระทั่งส่วนที่อยู่ด้านล่างขาดออกซิเจน ทำให้มีความเน่าเสียในบริเวณนั้นมาก ทำให้มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำมาก ส่วนค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบที่ 2 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากอีก 2 ระบบคือ มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลลดต่ำลงตามระยะเวลาการเลี้ยง (ภาพที่ 24) เนื่องจากการที่แกนของเครื่องให้อากาศที่วางลงในบ่อมีความยาวน้อยในขณะที่บ่อมีขนาดใหญ่ ทำให้กระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศไม่หมุนเวียนทั่วถึงตลอดทั้งบ่อโดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนในบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบที่ 3 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ภาพที่ 25) เนื่องจากเครื่องให้อากาศมีประสิทธิภาพมากพอที่จะทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนทั่วทั้งบ่อ ทำให้บริเวณกลางบ่อมีปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สำหรับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 แม้จะมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง (ภาพที่ 26) แต่มีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเกิดจากระบบการให้อากาศระบบที่ 2 มีแกนยาวเพียงพอที่จะทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนทั่วทั้งบ่อ แต่เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรต่ำ ทำให้การหมุนเวียนของน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่กระจายไปยังพื้นบ่อมีปริมาณน้อย



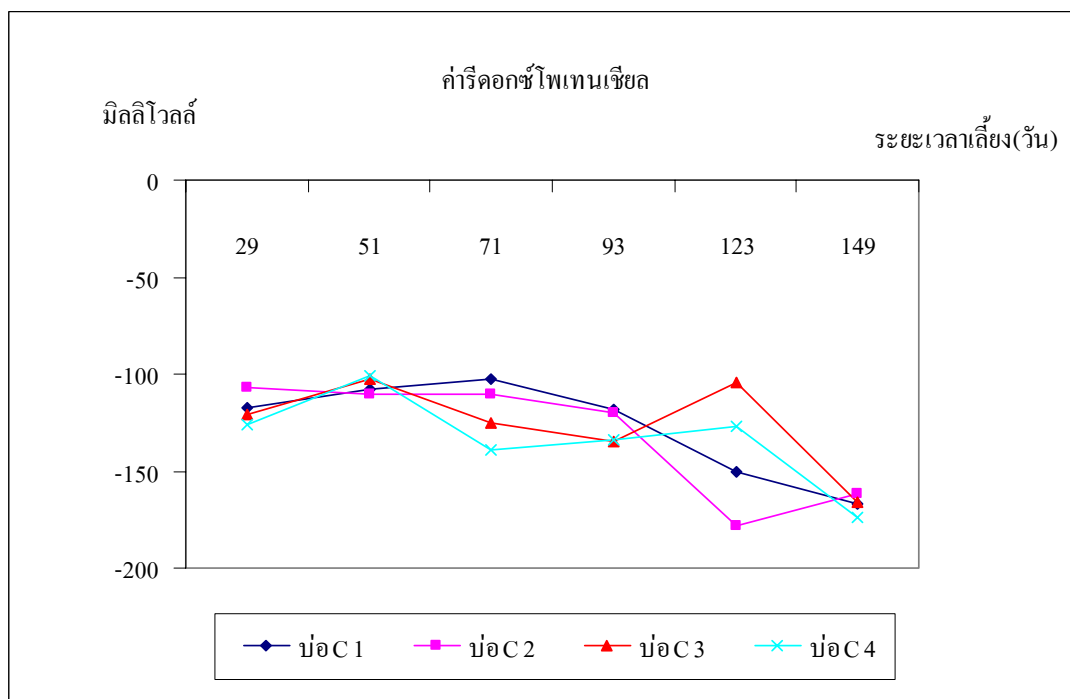
ภาพที่ 21 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อากาศระบบที่ 3



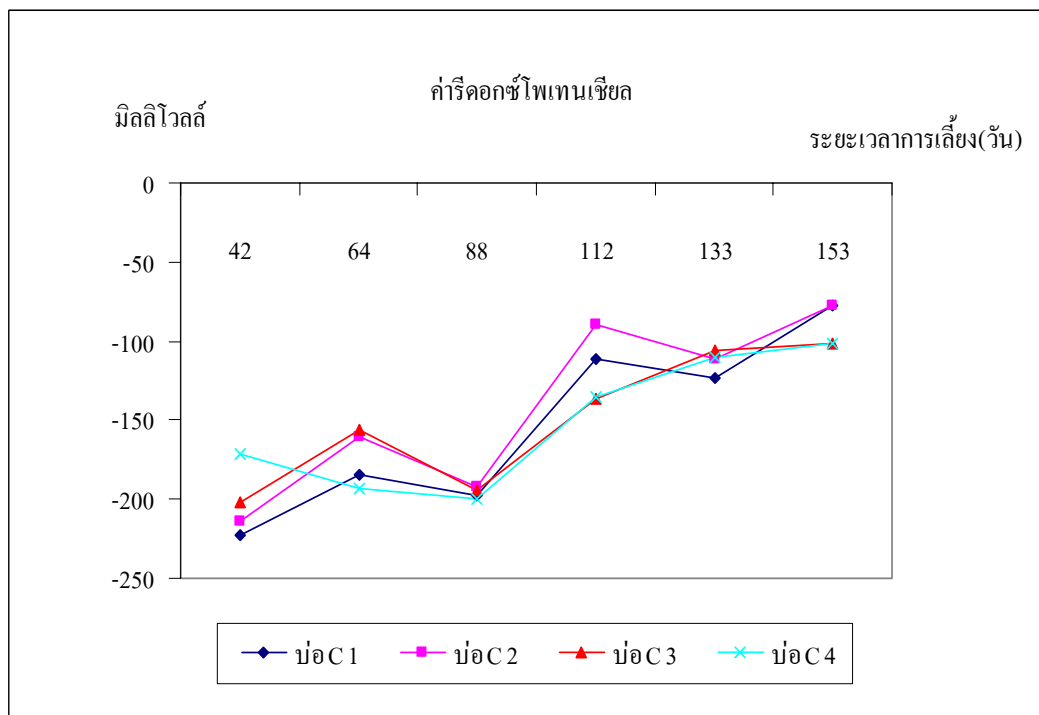
ภาพที่ 22 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



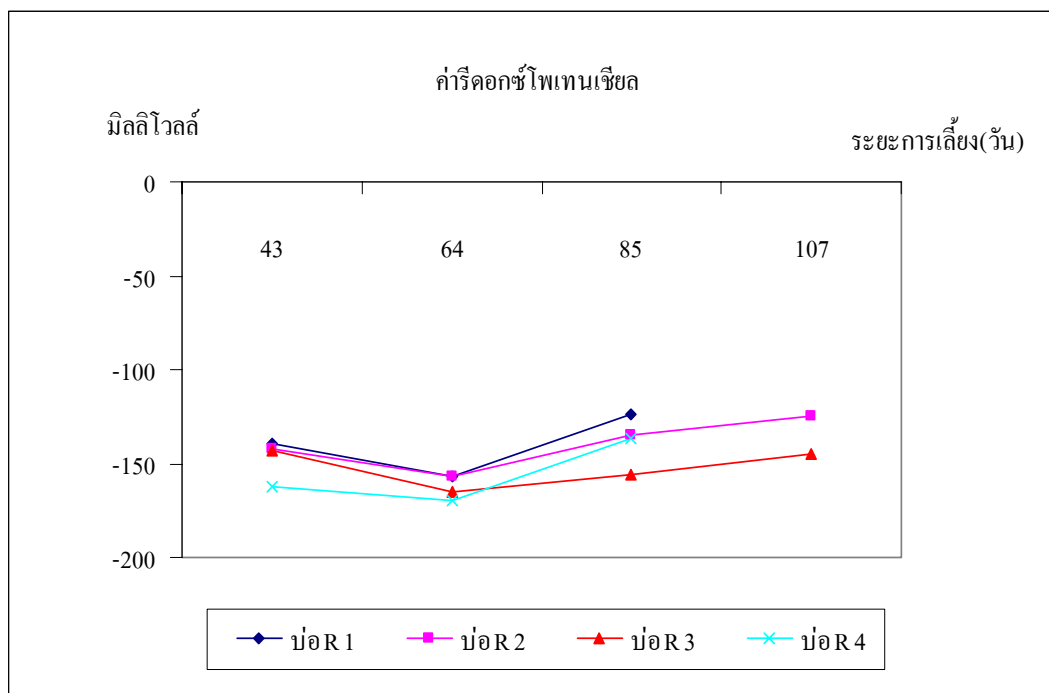
ภาพที่ 23 ค่ารีดออกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหวานอาหารของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อาหารระบบที่ 2



ภาพที่ 24 ค่ารีดออกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อาหารระบบที่ 2



ภาพที่ 25 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อากาศระบบที่ 3



ภาพที่ 26 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้
เครื่องให้อากาศระบบที่ 1

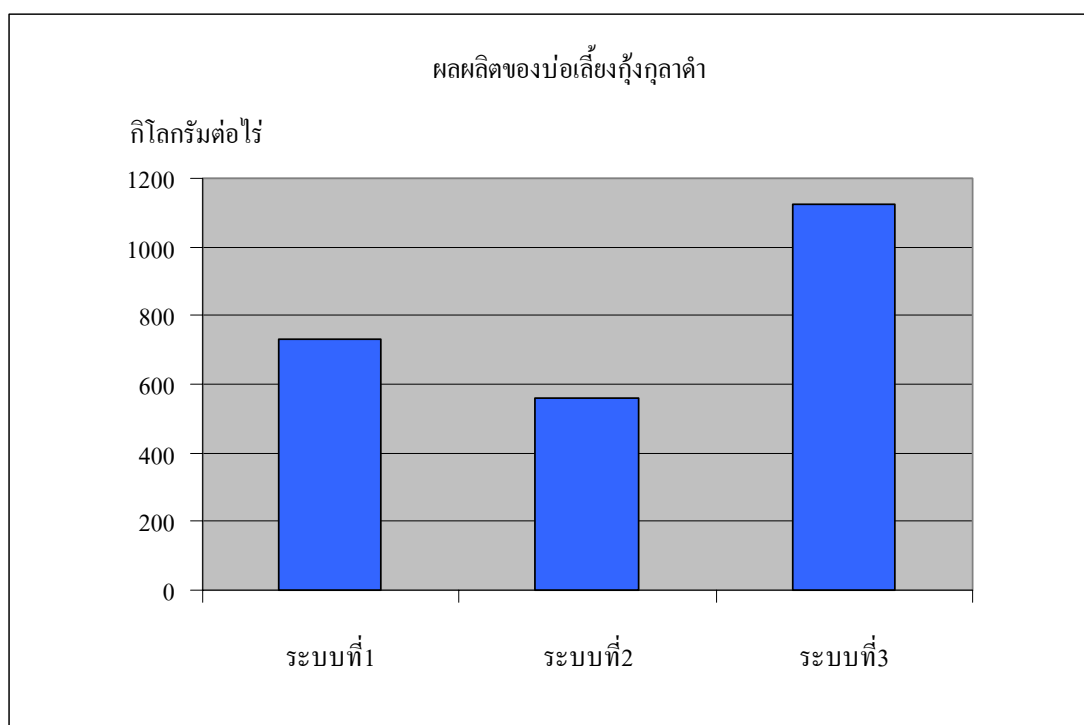
3. การเปรียบเทียบผลผลิตและต้นทุนด้านพลังงานจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

อัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 (เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า 2 เครื่องต่อ 1 บ่อ ขนาด 3.4 ไร่) มีค่าเฉลี่ย 68.21 ± 14.05 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตสะสมมีค่าเฉลี่ย 0.16 ± 0.028 กรัมต่อวัน อัตราการแลกเนื้อมีค่าเฉลี่ย 1.71 ± 0.055 และมีปริมาณผลผลิต 730 ± 37.41 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางผนวกที่ 4) สำหรับมีต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 12,426 บาทต่อไร่ โดยการเปิดเครื่องให้อากาศตั้งแต่วันที่ 18.00 น.-06.00 น. จะเปิดเครื่องให้อากาศตอนกลางวัน เฉพาะช่วงที่ฟ้าปิด

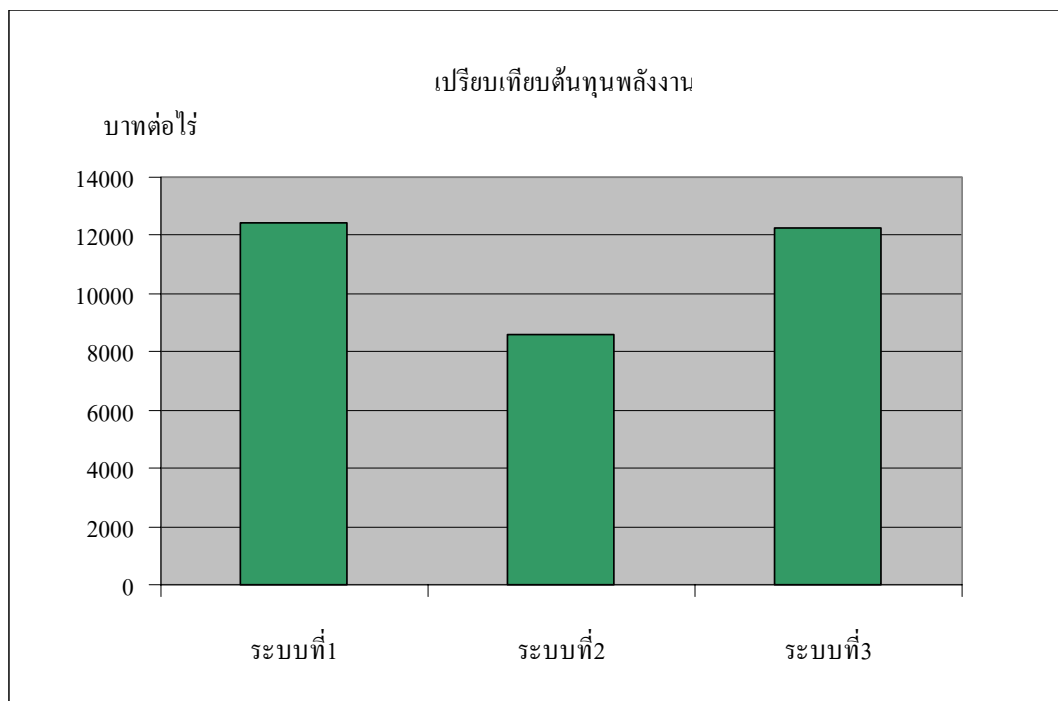
ผลการศึกษาอัตราการรอดตายของกุ้งจากบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 (มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 4 เครื่องต่อ 1 บ่อ ขนาด 5.8 ไร่) มีค่าเฉลี่ย 68.33 ± 8.82 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตสะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.089 ± 0.022 กรัมต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ มีค่าเฉลี่ย 2.07 ± 0.22 และมีปริมาณผลผลิต 559.25 ± 169.97 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางผนวกที่ 5) ส่วนต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 8,624 บาทต่อไร่ โดยการเลี้ยงในเดือนแรกจะเปิดเครื่องให้อากาศทั้ง 4 เครื่อง ตลอดทั้งวัน หลังจาก 1 เดือน ช่วงกลางวันเปิดเครื่องให้อากาศ 2 เครื่อง ส่วนกลางคืนเปิดเครื่องให้อากาศ 4 เครื่อง เปิดเมื่อเวลา 18.00 น.-06.00 น.

ผลการศึกษาอัตราการรอดตายของกุ้งในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 (เครื่องยนต์ขนาด 100 แรงม้า 1 เครื่องต่อ 2 บ่อ ขนาด 4.5 ไร่) มีค่าเฉลี่ย 76.07 ± 6.57 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตสะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.013 กรัมต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.99 ± 0.144 และได้ปริมาณผลผลิต $1,126.5 \pm 231.09$ กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางผนวกที่ 6) และสำหรับต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดจากการใช้เครื่องให้อากาศตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 12,267 บาทต่อไร่ โดยการเลี้ยงในเดือนแรกจะไม่เปิดเครื่องให้อากาศ นอกจากมีการใส่วัสดุปูน หลังจาก 1 เดือน จะเปิดเครื่องให้อากาศระหว่างเวลา 03.00 น. – 07.00 น. เมื่อกุ้งมีอายุ 45 วัน การเปิดเครื่องให้อากาศในเวลากลางวัน 1 ชั่วโมง ก่อนให้อาหาร และเมื่อกุ้งอายุ 60-90 วัน จะเปิดเครื่องให้อากาศก่อนการให้อาหารแต่ละมื้อ 1 ชั่วโมง ส่วนกลางคืนจะเปิดเครื่องให้อากาศระหว่าง 24.00 น. – 07.00 น. เดือนที่ 4 เพิ่มการเปิดเครื่องให้อากาศก่อนให้อาหารเป็น 1.5 ชั่วโมง

ผลการเลี้ยงกุ้งจากบ่อที่มีระบบเครื่องให้อากาศต่างกัน พบว่า อัตราการรอดตาย การเจริญเติบโตสะสมและปริมาณผลผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ดีกว่าบ่อที่ใช้การให้อากาศระบบที่ 1 และระบบที่ 2 (ภาพที่ 27) เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องให้อากาศที่สามารถทำให้เกิดกระแสน้ำมากพอที่จะทำให้บริเวณพื้นที่หวนอาหารสะอาดเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งจะทำให้กุ้งมีสุขภาพแข็งแรง กินอาหารและเจริญเติบโตได้ดี พุทธ และคณะ (2533) กล่าวว่า กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่มีการอาศัยอยู่ที่พื้นก้นบ่อเกือบตลอดเวลา และยังใช้เป็นที่ฝังตัวอาศัยอยู่ด้วย (สามารถ และคณะ, 2532) และจากการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานพบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าต้นทุนพลังงานต่ำกว่าระบบที่ 1 และระบบที่ 3 (ภาพที่ 28) ทั้งที่มีเวลาการเปิดเครื่องเครื่องให้อากาศมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเป็นบ่อขนาดใหญ่และใช้เครื่องให้อากาศเพียง 4 เครื่องเท่านั้น เมื่อนำมาคิดค่าต้นทุนพลังงานต่อไร่จึงต่ำสุด และจากสภาวะราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบันนี้มีราคาสูงลิตรละประมาณ 24 บาท ทำให้บ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 และระบบที่ 3 ที่ใช้น้ำมันดีเซล จึงมีต้นทุนพลังงานเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้ไฟฟ้า



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบผลผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน



ภาพที่ 28 เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน



ภาพที่ 29 ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 30 ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 31 ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 32 ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2



ภาพที่ 33 ผลผลิตกุ้งกุลาดำที่ได้จากบ่อกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3



ภาพที่ 34 ขนาดกุ้งกุลาดำที่จับจากบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3

4. การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกัน 3 ระบบ

4.1 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 ในช่วงเช้ามีค่าอยู่ระหว่าง 3.73-4.7, 4.03-5.06 และ 4.15-4.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงบ่ายมีค่าอยู่ระหว่าง 7.84-10.3, 7.04-8.89 และ 6.08-7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) จะเห็นได้ว่าในช่วงออกซิเจนต่ำสุด ส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง เพราะระดับที่วิกฤตและทำให้กุ้งมีการ เจริญเติบโตช้าจะต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (พุทธร, 2546) ส่วนในช่วงที่ปริมาณออกซิเจนสูงสุดในรอบวัน คือ ตอนบ่ายในบ่อที่ใช้เครื่องชนิด คือ ระบบที่ 1 จะมีปริมาณออกซิเจนสูงมาก เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชที่มีเป็นจำนวนมาก (ภาพที่ 35) เมื่อเปรียบเทียบกับฟาร์มที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชไม่หนาแน่นมากนัก (ภาพที่ 36)

4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 ในช่วงเช้ามีค่าอยู่ระหว่าง 29.6-30.48, 28-31.1 และ 27.4-29.95 องศาเซลเซียส ช่วงบ่ายมีค่าอยู่ระหว่าง 32.43-31.05, 33.3-29.28 และ 29.1-31.35 องศาเซลเซียส (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) อุณหภูมิของน้ำในบ่อเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ กระแสลม ความลึกของบ่อ ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่นและสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของแหล่งน้ำ ในประเทศไทยอุณหภูมิในรอบปีจะแปรผันในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส (ประเทือง, 2534) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเป็นไปแบบซ้ำๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งทั่วไปควรอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส (Boyd and Fast, 1992)

4.3 พีเอช

พีเอชของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการศึกษา โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงจากฟาร์มที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 ในช่วงเช้ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.36-8.25, 7.08-7.8 และ 7.43-7.94 ช่วงบ่ายมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.1-9.39, 7.52-8.41 และ 7.87-8.63 (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าพีเอชในตอนบ่ายจากบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำในระยะแรกของการเลี้ยง เนื่องจากมีหอยที่พื้นบ่อมาก (ภาพที่ 37) ซึ่งชโล (2543) ให้เหตุผลว่าในระหว่างที่หอยมีการเจริญเติบโตจะดึงแคลเซียมและแร่ธาตุต่างๆในน้ำไปสร้างเปลือก จึงมีผลทำให้แร่ธาตุต่างๆลดลง โดยเฉพาะจะทำให้ค่าความเป็นด่างลดลงมากจนอาจถึงระดับที่กุ้งขนาดเล็กหรือลูกกุ้งที่เริ่มปล่อยลงเลี้ยงในบ่อลอกคราบไม่ออกและตายได้ และพีเอชช่วงบ่ายของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีค่ามากในช่วงท้ายของการเลี้ยง เนื่องจากมีค่าความโปร่งแสงน้อยมาก จากการที่มีปริมาณแพลงก์ตอนมาก จึงมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงมาก ในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงแดด มีผลทำให้พีเอชของน้ำสูงมากขึ้นด้วย ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 (ชโล และ พรเลิศ, 2547)

4.4 ความโปร่งแสง

ค่าความโปร่งแสงของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ฟาร์ม โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 12.75-23.5, 12.5-45.5 และ 21-39.5 เซนติเมตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าความโปร่งแสงจะมีค่าน้อยลงตามระยะเวลาการเลี้ยงที่มากขึ้น โดยเฉพาะในฟาร์มที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ที่เลี้ยงในพื้นที่น้ำจืดที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก ทำให้ค่าความโปร่งแสงต่ำกว่าฟาร์มอื่นๆ โดยค่าความโปร่งแสงที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งควรอยู่ 40-60 เซนติเมตร (Boyd, 1989)

4.5 ความเค็ม

ความเค็มของน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการศึกษาในครั้งนี้โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.7-3.25, 2.63-36 และ 6.5-9.85 ส่วนในพันส่วน (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าความเค็มในแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่การเลี้ยงแตกต่างกันมาก โดยแนวโน้มของความเค็มในทุกระบบจะลดลงตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีความเค็มต่ำสุด เนื่องจากการเลี้ยงในพื้นที่น้ำจืดด้วยน้ำความเค็มต่ำ ส่วนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีความเค็มมากที่สุด เนื่องจากการเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติและค่าความเค็มที่มีการลดลงมากตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากช่วงที่ทำการศึกษามีฝนตกหนัก ทำให้ความเค็มลดต่ำลงมากในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง ความเค็มที่เหมาะสมและให้การเจริญเติบโตดีที่สุด คือ อยู่ระหว่าง 15-20 ส่วนในพันส่วน แต่ในปัจจุบันพบว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ความเค็ม 3-10 ส่วนในพันส่วน จะง่ายกว่าการเลี้ยงด้วยน้ำทะเลความเค็มปกติ คือ 30-35 ส่วนในพันส่วน เนื่องจากน้ำที่มีความเค็มต่ำมีปัญหาด้านการเกิดโรคน้อยมาก โดยเฉพาะโรคแบคทีเรียเรื้อรังแสง (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

4.6 การนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 3.3- 4.3, 4.87-58.75 และ

11.39-16.79 มิลลิโอห์มต่อเซนติเมตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่านำไฟฟ้าของน้ำในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศทั้ง 3 ระบบมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเค็ม ซึ่งในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำต่ำสุด เนื่องจากการเลี้ยงด้วยการเติมน้ำจากนาเกลือผสมน้ำจืดให้ได้ความเค็มประมาณ 3-5 พีพีที ส่วนบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อมากที่สุด เนื่องจากการเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติ คือ ความเค็มประมาณ 20-30 พีพีที

4.7 ความเป็นต่าง

ค่าความเป็นต่างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 80-112.18, 56.33-135.33 และ 179.8-372 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าความเป็นต่างของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 ในช่วงแรกของการเลี้ยงมีค่าลดลงมาก เนื่องจากที่พื้นบ่อมีหอยเป็นจำนวนมาก จึงมีการเติมวัสดุปูนเพื่อให้ค่าความเป็นต่างเพิ่มขึ้น และบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีค่าความเป็นต่างมากกว่าระบบอื่นและเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากการเลี้ยงด้วยน้ำเค็มบาดาลผสมน้ำจืดและมีการเติมวัสดุปูนลงในบ่อเลี้ยงตลอดการเลี้ยง ซึ่งการเลี้ยงกุ้งทะเลระดับความเป็นต่างไม่ควรจะต่ำกว่า 50-60 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อไม่ให้มีผลต่อการสร้างเปลือกของกุ้ง (ยนต์, 2539)

4.8 ความกระด้าง

ค่าความกระด้างของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 554.84-778.13, 1,116.25-6,145 และ 2,047.54-3,279.34 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าความกระด้างของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีค่าลดลงมากโดยเฉพาะในช่วง 1-2 เดือนแรกของการเลี้ยง เนื่องจากกุ้งมีการเจริญเติบโตจึงใช้แร่ธาตุต่างๆ ในการลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต ส่วนในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 ความกระด้างลดลงตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากการเจริญเติบโตของกุ้งและที่พื้นบ่อซึ่งมีหอยเป็นจำนวนมากซึ่งก็ใช้แร่ธาตุต่างๆ ในการเจริญเติบโตเช่นกัน และบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ค่าความกระด้างจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากในระหว่างการเลี้ยงมีการเติมแร่ธาตุความกระด้างโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับความ

เป็นค่าเพราะว่าอออนลบของความเป็นค่าและอออนบวกของความกระด้างโดยปกตินี้ได้มาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต (Boyd, 1982)

4.9 แอมโมเนียรวม

ค่าแอมโมเนียรวมของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.054-0.38, 0.63-0.95 และ 0.32-0.91 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าแอมโมเนียรวมในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำเมื่อสีน้ำเข้มมากขึ้น ในระบบที่ 2 ค่าแอมโมเนียรวมสูงตลอดการเลี้ยง เนื่องจากการให้อาหารในปริมาณมาก และในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ค่าแอมโมเนียรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากปริมาณอาหารและของเสียภายในบ่อที่มากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าน้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, 2542) Boyd (1989) กล่าวว่า แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย นอกจากนี้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารในปริมาณมาก จะทำให้มีแอมโมเนียในปริมาณมากด้วยเช่นกัน

4.10 ไนไตรท์

ค่าไนไตรท์ของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ระบบที่ 2 และระบบที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.012-0.046, 0.008-0.092 และ 0.026-0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางภาคผนวกที่ 15, 16 และ 17) ค่าไนไตรท์ของน้ำในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศทั้ง 3 ระบบมีค่าต่ำในระยะแรกของการเลี้ยงและจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง เนื่องจากการสะสมปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดจากการขับถ่ายของกุ้ง การตายของแพลงก์ตอนและอาหารเหลือ พุท (2546) รายงานว่า การพบไนไตรท์ 0.5-1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่กินอาหารน้อยลงจากการเลี้ยงแบบระบบปิด โดยใช้น้ำหมุนเวียนที่มีการให้ออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าปริมาณไนไตรท์สูงถึง 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเลี้ยงกุ้งได้ โดยไม่มีปัญหาในการจัดการให้อาหาร ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นน่าจะไม่ได้เกิดจากการเป็นพิษของไนไตรท์โดยตรง



ภาพที่ 35 สีนํ้าเขียวเข้มในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1



ภาพที่ 36 สีนํ้าในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศแบบที่ 3



ภาพที่ 37 หอยที่พื้นบ่อในบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

ระบบเครื่องให้อากาศของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 (เครื่องยนต์ขนาด 100 แรงม้า 1 เครื่องต่อ 2 บ่อ ขนาด 4.5 ไร่) มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงที่ใช้เครื่องยนต์ในบ่อขนาด 4-5 ไร่เนื่องจากการรวมตะกอนเลนเข้าสู่กลางบ่อได้ดี มีพื้นบ่อบริเวณแนวหว่านอาหารสะอาดและมีบริเวณกว้างมากภายในบ่อ ซึ่งเกิดจากการวางตำแหน่งของเครื่องให้อากาศในบ่อมีความเหมาะสมและมีความเร็วของกระแสน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนต่อเนื่องภายในบ่อ ส่วนบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 (เครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า 2 เครื่องต่อ 1 บ่อ ขนาด 3.4 ไร่) กระแสน้ำมีความเร็วต่ำ เนื่องจากมีใบพัดคีน้าจำนวนมาก และความเร็วรอบที่ใช้เพียง 60 รอบต่อนาที ทำให้บริเวณแนวหว่านอาหารไม่สะอาดและที่พื้นบ่อบริเวณมุมบ่อมีการสะสมของตะกอนเลน เนื่องจากระยะห่างระหว่างแต่ละแขนคีน้ามากทำให้กระแสน้ำไม่ต่อเนื่องภายในบ่อ และระบบที่ 2 (มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 4 เครื่องต่อ 1 บ่อ ขนาด 5.8 ไร่) มีพื้นที่เลนภายในบ่อเป็นบริเวณกว้างมาก ทำให้มีพื้นที่สะอาดบริเวณแนวหว่านอาหารน้อย ซึ่งเกิดจากบ่อมีขนาดใหญ่และใบพัดคีน้าในแต่ละแขนมีจำนวนน้อย

ผลการศึกษาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหว่านอาหารแสดงให้เห็นชัดเจนว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีความเร็วของกระแสน้ำมากพอ สามารถที่พัดพาตะกอนและเศษอาหารออกจากแนวหว่านอาหารได้ทั้งหมด ทำให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในระหว่างการเลี้ยงมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเป็นค่าบวก เนื่องจากที่พื้นบ่อในบริเวณแนวหว่านอาหารมีความเน่าเสียลดน้อยลงตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ส่วนบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ซึ่งมีความเร็วของกระแสน้ำไม่เพียงพอที่จะพัดพาตะกอนเลนออกจากแนวหว่านอาหารได้ ทำให้มีตะกอนเลนกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินบริเวณแนวหว่านอาหารมีค่าติดลบตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อบริเวณแนวเลนของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีค่าลดลง ตามระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากใบพัดคีน้ามีจำนวนน้อย ทำให้กระแสน้ำที่เกิดขึ้นไม่หมุนเวียนทั่วทั้งบ่อโดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์

การเปรียบเทียบต้นทุนพลังงาน พบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 มีต้นทุนพลังงานต่ำกว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 และระบบที่ 3 ในสถานะที่ราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบันมีระดับสูงประมาณ 24 บาทต่อลิตร เนื่องจากเป็นบ่อขนาดใหญ่และใช้เครื่องให้อากาศจำนวนจำกัด และค่ากระแสไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบัน

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตสะสมเฉลี่ยและผลผลิตเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตสะสมและผลผลิตมากกว่าในบ่อที่มีการใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 และระบบที่ 2 เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบเครื่องให้อากาศที่สามารถทำให้พื้นบ่อบริเวณแนวหัวอาหารสะอาด และเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งทำให้กุ้งมีบริเวณพื้นสะอาดที่ใช้อาศัยและกินอาหารเป็นบริเวณกว้างและทำให้บ่อเลี้ยงสามารถรองรับความหนาแน่นของกุ้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อกุ้งมีการเจริญเติบโตตามระยะเวลาการเลี้ยงได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

เกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีการวางระบบเครื่องให้อากาศภายในบ่อให้มีความเหมาะสมกับรูปร่าง และขนาดของบ่อ รวมทั้งขนาดของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ควรมีขนาดที่เหมาะสมที่จะสามารถทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนได้ทั่วทั้งบ่อและสามารถที่รวมเลนเข้าสู่กลางบ่อได้ดี เพื่อให้เกิดพื้นที่สะอาดในบริเวณแนวหัวอาหาร เนื่องจากกุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่อาศัยและกินอาหารในบริเวณพื้นบ่อ

เกษตรกรควรวางแผนของเครื่องให้อากาศที่ย่นลงไปภายในบ่อให้มีความยาวเหมาะสมกับขนาดของบ่อ และมีจำนวนใบพัดดีน้ำจำนวนมากพอที่จะทำให้เกิดพื้นที่เลนบริเวณกลางบ่อน้อยที่สุดและมีพื้นที่สะอาดในบริเวณหัวอาหารเป็นบริเวณกว้างมากภายในบ่อ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเร็วกระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศแบบใบพัดดีน้ำที่ใช้กับเครื่องยนต์และมอเตอร์ชนิดและขนาดต่างๆ ว่าทำให้เกิดกระแสน้ำห่างออกไปจากตัวแกนดีน้ำได้เป็นระยะกี่เมตร เพื่อศึกษาหาความเหมาะสมของระยะห่างของการวางแผนดีน้ำ เพื่อทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนต่อเนื่องภายในบ่อ และสามารถกำหนดกำลังแรงม้าของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ที่ใช้ให้เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงานในสถานะปัจจุบัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2523. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 301 น.

เครือเจริญโภคภัณฑ์. 2544. **ข่าวกุ้ง**. วารสารเครือเจริญโภคภัณฑ์ 12 (156): 1-4.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2545. **ดินตะกอน**. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 110 น.

จารุวัฒน์ นกิตกัญ และ สมนึก กบิลรัมย์. 2530. การบริโภคออกซิเจนเปรียบเทียบของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius ที่ถูกบีบตาและตาปกติ. **เอกสารวิชาการ** ฉบับที่ 13/2530 สถานีประมงน้ำจืดระยอง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 53 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2533. การป้องกันและรักษาโรคกุ้ง. **เอกสารประกอบการสอน วิชาชีววิทยาประมง 332**. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 60 น.

_____. 2535. **คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. โรงพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ จำกัด, กรุงเทพฯ. 202 น.

_____. 2543. **กุ้งไทย 2000 สู่อุตสาหกรรม และมิตรกับสิ่งแวดล้อม**. โรงพิมพ์เจริญรัตน์ การพิมพ์. กรุงเทพฯ. 260 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทน์รัชชกุล. 2547. **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 206 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ, วราห์ เทพาหุดี, นิติ ชูเชิด และ พรเลิศ จันทน์รัชชกุล. 2547. **การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิดแบบต่างๆ**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 23 น.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ นิติ ชูเชิด. 2548. **แนวทางการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอนาคต**. **เอกสารเผยแพร่** สำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 15 น.

ดุสิต มานะจุติ. 2535. **ปฐพีทั่วไป**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 350 น.

ดำรงค์ โลหะลักษณะเดช. 2540. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ระบบการให้อาาต่าง ๆ กัน เพื่อจัดการคุณภาพน้ำและดินพื้นบ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2534. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 420 น.

ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ. 2531. **เทคนิคการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. สำนักพิมพ์ประชาชนการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 41 น.

ประเทือง เขาววันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ. 86 น.

พยุ่ง ภัทรกุลชัย. 2532. **สมบัติของดินและความต้องการปุ๋ยของดินในบริเวณนาุ้งและป่าไม้ชายเลนของจังหวัดตราด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2546. **ออกซิเจนกับการจัดการเลี้ยงกุ้งและการพัฒนา**. น. 224-229. ใน **สุรศักดิ์ ดิลกเกียรติ. กุ้งไทยก้าวใหม่ สู่หนึ่งในผู้นำกุ้งโลกอย่างยั่งยืน**. โรงพิมพ์กพล, กรุงเทพฯ.

พุทธ ส่องแสงจินดา, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, ศุภโยค สุวรรณมณี และ วิชาญ ชูสุวรรณ. 2533. **ข้อสังเกตเกี่ยวกับคุณสมบัติดินบางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2533**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 15 น.

พุทธ ส่องแสงจินดา, สำรอง อินเอก. 2546. การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทะเลจากการทดลองย่อยสลายอาหารกุ้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 51/2533. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 14 น.

ไพบุลย์ ประพุดิธรรม. 2528. เคมิดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 502 น.

มนูดี หังสพฤษ. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 329 น.

ยนต์ มุกสิก. 2530. กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลา II. เอกสารประกอบการสอนวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 87 น.

_____. 2539. คุณภาพน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 180 น.

ยนต์ มุกสิก, สิริยงค์ รัชกิจจานุกิจ และ พรพันธ์ พุทธรักษานุกูล. 2531. การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน อัตราการตกตะกอน คุณภาพน้ำและคุณภาพดินในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แบบหนาแน่น. รายงานเสนอบริษัท กรุงเทพเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ จำกัด. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 107 น.

ยนต์ มุกสิก และ พรพันธ์ พุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอนและดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณกันอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1 (1): 47-55.

วิทย์ ธารชลาณุกิจ. 2525. ประวัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย:บทความวิชาการและเอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 61 น.

สมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข, วิโรจน์ อัมพพิทักษ์ และ อัญชลี
 สุทธิปรการ. 2526. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพี, คณะเกษตรศาสตร์,
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 673 น.

สะไบทิพย์ อมรจารุจิต, พัชรีดา เหมมัน, สิริ ทุกข์วินาศ และ รังสีไชย ทับแก้ว. 2543. การศึกษา
 การผันแปรของคุณภาพน้ำและดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในเขตพื้นน้ำ
 จืด จังหวัดราชบุรี. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 10 /2543. สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยง
 กุ้งทะเล, กรมประมง. 62 น.

สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล กรมประมง. 2542. **คู่มือการจัดการฟาร์มเลี้ยงกุ้งใน
 กลุ่มประเทศอาเซียน**. สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, กรุงเทพฯ. 31 น.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2528. วิถีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่
 4/2528. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง, สงขลา. 157 น.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2520. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์,
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 508 น.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอำเภอไทยตอนใน.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โสภณ อ่อนคง และ ชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์. 2542. แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาการ
 เลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล, สตูล. 39 น.

อรพินท์ จินตสถาพร. 2530. การใช้ออกซิเจนของกุ้งทะเลชนิดที่พบในนาุ้งธรรมชาติของประเทศ
 ไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Ahmad, T. and C.E. Boyd. 1988. Design and Performance of Paddlewheel Aerators.
Aquacultural Engineering 7: 39-62.

- Allan, G.L., G.B. Maguire and S.J. Hopkins. 1990. Acute and Chronic Toxicity of Ammonia to Juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the Influence of Low Dissolved Oxygen Levels. **Aquaculture** 91: 265-280.
- APHA, AWWA. and WEE. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition United Book Press, Maryland. 1,220 p.
- Boyd, C.E. 1982. **Water Quality Management for Fish Pond Culture**. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 318 p.
- _____. 1987. **Water Quality Management for Brackish Water Pond with Emphasis on Shrimp Farming in Thailand**. Auburn University, Alabama.
- _____. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming**. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2 . Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University, Alabama. 82 p.
- _____. 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Department of Fisheries and Allied Aquaculture, Auburn University, Alabama, USA. 482 p.
- _____. 1992. Shrimp Pond Bottom Soil and Sediment Management. *In Proceeding Of the Special Session on Shrimp Farming*. World Aqua Soc. Orlando, Florida.
- _____. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture**. Chapman and Hall, Newyork. 348 p.
- _____. 1998. Pond Water Aeration Systems. **Aquacultural Engineering** 18 : 9-40.

- Boyd, C.E. and A.W. Fast. 1992. Pond Monitoring and Management. pp. 497-513. *In* A.W. Fast and L.J. Lester. **Marine Shrimp Culture: Principles and Practices**. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Boyd, C.E. and C.S. Tucker. 1998. **Pond and Aquaculture Water Quality Management**. Kluwer Academic Publishers, Boston. 700 p.
- Briggs, M.R.P. and S.J. Funge-Smith. 1994. A Nutrient Budget of Some Intensive Marine Shrimp Ponds in Thailand. **Aquac. Fish. Manage** 25: 789-811.
- Chen, H.C. 1985. Water Quality Criteria for Farming the Grass Shrimp *Penaeus monodon*. **Proceeding of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawn/Shrimps. 4-7 December 1981**, SEAFDEC, Iloilo, Phillippines. 165 p.
- Chien, Y.H. 1989. The Management of Sediment in Prawn Pond. pp. **219-243** *In* **Proceedings III, Brazilian Prawn Culture Symposium Proceeding, , MCI Aquaculture**, Soao Pessoa-PB, Brazil.
- Delgado, P.C., Y. Avinimelech., R. Mcneil., D. Bratvold., C. Browdy and P. Sandifer. 2003. Physical, Chemical and Biological Characteristics of Distinctive Regions in Paddlewheel Aerated Shrimp Ponds. **Aquaculture** 217: 235-248.
- Faster, J.R.M. and T.W. Beard. 1973. Experiments to Assess the Suitability of Nile Species of Prawns for Intensive Cultivation. **Aquaculture** 3(4): 355-368.
- Fast, A.W., E.C. Tan., D.F. Stevens., J.C. Olson., J. Qin and D.K. Barclay. 1999. Paddlewheel Aerator Oxygen Transfer Efficiencies at Three Salinities. **Aquacultural Engineering** 19: 99-103.

- Fieber, L.A. and P.L. Lutz. 1982. Calcium Requirements for Molting in *Macrobranchium rosenbergii*. **J. World Maricul. Soc.** 13: 21-27.
- Funge-Smith, S.J. and M.R.P. Briggs. 1998. Nutrient Budgets in Intensive Shrimp Ponds: Implications for Sustainability. **Aquaculture** 164: 117-133.
- Gnezdiloff, L.K. 1999. **Modelling of Dissolved Oxygen from an Aerator**. Bachelor of Engineering Thesis, James Cook University of North Queensland, Townsville, Australia.
- Guy, D. 1992. **The Ecology of the Fish Pond System**. Institute of Animal Ecology, University of Ghent, Belgium. 230 p.
- Kungwankij, P. and T.E. Chen. 1986. **Shrimp Culture Design Operation and Management**. **Aquaculture Department**, Southeast Asian Fisheries Development Center, Network of Aquaculture Center. *In Asia* (NACA), Region Lead Center in Phillippines (RLCR). Lioilo, Phillippines. 178 p.
- McGraw, W., D.R. Teichert-Coddington., D.B. Rouse and C.E. Boyd. 2001. Higher Minimum Dissolved Oxygen Concentrations Increase Penaeid Shrimp Yields in Earthen Ponds. **Aquaculture** 199: 311-321.
- Mckee, J.E. and H.W. Wolf . 1963. **Water Quality Criteria**. 2nd ed., State of Calif., State Water Quality Control Board, Publ. NO.3-4 , Sacramento. 548 p.
- Moncrief, J.W. and W.H. Jones. 1977. **Element of Physical Chemistry**. Addison-Wesley Publ. Co., Reading Mass.
- Peterson, E.L. and J.C. Patterson. 1999. Speed Control of Mechanical Aerators. pp. 45-47 *In* : Stafford, C. **Proceeding of the prawn farmers workshop held at DPI south Johnstone 20-21 October 1999**, DPI Northern Fisheries Centre, Cairns.

Peterson, E.L. and J.C. Patterson. 2000. Energy Auditing Aquaculture Facilities. pp. 177-181.

In: 3rd Queensland environmental conference-sustainable environmental solutions for industry and government, 25 and 26 May 2000, Brisbane.

Shepherd, C.J. and N.R. Bromage. 1988. **Intensive Fish Farming.** BSP Professional Book, London. 404 p.

Taparhudee, W. 2003. **Financial (and Economic) Performance of Shrimp Farming Classified by Water Management.** Kasetsart University Fisheries Research Bulletin, 26 September 2003.

Wyban, J.A., J.N. Sweeney and R.A. Kanna. 1988. Shrimp yield and economic potentials of intensive round pond systems. **J. World Aqua. Soc.** 19 : 210-217.

Wyban, J.A. and J.N. Sweeney. 1989. Intensive Shrimp Growout Trials in a Round Pond. **Aquaculture**, 76: 215-225.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 พื้นที่รวมเลนต่อพื้นที่บ่อ (เปอร์เซ็นต์)

บ่อเลี้ยง	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3
1	10.18	20.16	11.92
2	10.38	20.99	13.87
3	14.63	20.16	11.94
4	10.02	21.84	12.42
เฉลี่ย	11.3±0.02	20.79±0.80	12.54±0.92

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเลนกลางบ่อ(เปอร์เซ็นต์)

บ่อเลี้ยง	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3
1	2.2	1.8	3.2
2	2	2	3.2
3	1.7	2.1	3.3
4	1.6	2	2.9
เฉลี่ย	1.88±0.275	1.98±0.123	3.15±0.173

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณดินเลนกลางบ่อ(ตันต่อไร่)

บ่อเลี้ยง	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3
1	62.34	67.78	72.56
2	65.83	63.85	73.34
3	69.41	64.55	72.74
4	63.59	69.93	71.75
เฉลี่ย	65.29±3.10	66.53±2.85	72.6±0.655

ตารางผนวกที่ 4 ผลการจับกุ้งกุลาดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1

บ่อเลี้ยง	เวลาการเลี้ยง (วัน)	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราแลกเนื้อ (FCR)	อัตราการเจริญเติบโต สะสม (กรัม/วัน/ตัน)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
1	103	54	1.73	0.19	720
2	107	58.43	1.77	0.17	683
3	107	82.01	1.64	0.13	770
4	103	78.4	1.7	0.14	747
ค่าเฉลี่ย	105±2.31	68.21±14.05	1.71±0.055	0.16±0.028	730±37.41

ตารางผนวกที่ 5 ผลการจับกุ้งกุลาดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2

บ่อเลี้ยง	เวลาการเลี้ยง (วัน)	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราแลกเนื้อ (FCR)	อัตราการเจริญเติบโต สะสม (กรัม/วัน/ตัน)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
1	157	64.15	2.15	0.084	513
2	157	74.31	2.27	0.12	811
3	150	76.86	1.75	0.067	461
4	150	57.98	2.11	0.086	452
ค่าเฉลี่ย	153.5±4.014	68.33±8.82	2.07±0.22	0.089±0.022	559.25±169.97

ตารางผนวกที่ 6 ผลการจับกุ้งกุลาดำของบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3

บ่อเลี้ยง	เวลาการเลี้ยง (วัน)	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราแลกเนื้อ (FCR)	อัตราการเจริญเติบโต สะสม (กรัม/วัน/ตัน)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
1	158	72.29	1.84	0.19	1013
2	160	68.74	2.11	0.17	859
3	158	81.78	2.13	0.19	1277
4	160	81.45	1.91	0.2	1357
ค่าเฉลี่ย	159±1.15	76.07±6.57	1.99±0.144	0.19±0.013	1126.5±231.09

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณอาหารกุ้งตลอดระยะเวลาการเลี้ยง(ตัน)

บ่อเลี้ยง	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3
1	3,780	4,775	7,496
2	3,630	5,533	7,271
3	3,740	4,053	10,917
4	3,810	4,052	10,424
เฉลี่ย	3,753±82.61	4,603±707.2	9,027±1,910.0

ตารางผนวกที่ 8 องค์ประกอบเนื้อดินของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อาหารแตกต่างกัน

บ่อเลี้ยงกุ้ง	เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทราย	เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแป้ง	เปอร์เซ็นต์ อนุภาคดินเหนียว	ประเภทเนื้อดิน
R 1	15	28	57	ดินเหนียว
R 2	19	26	55	ดินเหนียว
R 3	25	26	49	ดินเหนียว
R 4	21	36	43	ดินเหนียว
C 1	19	30	51	ดินเหนียว
C 2	17	36	47	ดินเหนียว
C 3	27	30	43	ดินเหนียว
C 4	29	30	41	ดินเหนียว
P 1	27	30	43	ดินเหนียว
P 2	25	28	47	ดินเหนียว
P 3	25	26	49	ดินเหนียว
P 4	25	28	47	ดินเหนียว

ตารางผนวกที่ 9 ค่าความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 (เมตร/วินาที)

ความลึก	30 เซนติเมตร				50 เซนติเมตร				100 เซนติเมตร			
อายุกุ้ง	43	64	85	107	43	64	85	107	43	64	85	107
R 1	0.258	0.252	0.267	-	0.204	0.181	0.211	-	0.127	0.120	0.126	-
R 2	0.268	0.318	0.259	0.278	0.214	0.227	0.193	0.201	0.118	0.140	0.104	0.167
R 3	0.284	0.308	0.271	0.301	0.205	0.215	0.245	0.214	0.172	0.130	0.184	0.169
R 4	0.245	0.241	0.278	-	0.183	0.198	0.186	-	0.144	0.144	0.130	-

ตารางผนวกที่ 10 ค่าความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 (เมตร/วินาที)

จุดเก็บ	30 เซนติเมตร						50 เซนติเมตร						100 เซนติเมตร					
อายุกุ้ง	29	51	71	93	123	149	29	51	71	93	123	149	29	51	71	93	123	149
C 1	0.327	0.262	0.316	0.334	0.327	0.281	0.254	0.246	0.249	0.254	0.220	0.241	0.198	0.223	0.220	0.156	0.202	0.162
C 2	0.311	0.314	0.298	0.313	0.305	0.297	0.234	0.256	0.248	0.233	0.237	0.248	0.218	0.213	0.224	0.198	0.175	0.152
C 3	0.271	0.281	0.292	0.275	0.377	0.258	0.223	0.280	0.210	0.226	0.225	0.233	0.184	0.198	0.195	0.186	0.196	0.165
C 4	0.314	0.324	0.301	0.298	0.294	0.329	0.239	0.275	0.251	0.245	0.233	0.246	0.195	0.201	0.213	0.209	0.203	0.125

ตารางผนวกที่ 11 ความเร็วของกระแสน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 (เมตร/วินาที)

จุดเก็บ	30 เซนติเมตร						50 เซนติเมตร						100 เซนติเมตร					
อายุกุ้ง	42	64	88	112	133	153	42	64	88	112	133	153	42	64	88	112	133	153
P 1	0.343	0.345	0.385	0.405	0.403	0.379	0.256	0.259	0.249	0.361	0.322	0.329	0.133	0.208	0.194	0.293	0.255	0.259
P 2	0.386	0.375	0.324	0.435	0.388	0.391	0.251	0.295	0.284	0.38	0.331	0.321	0.190	0.182	0.213	0.347	0.288	0.248
P 3	0.383	0.337	0.396	0.390	0.412	0.382	0.266	0.267	0.285	0.364	0.352	0.343	0.205	0.187	0.199	0.287	0.274	0.218
P 4	0.330	0.346	0.366	0.376	0.334	0.380	0.267	0.285	0.289	0.349	0.299	0.348	0.198	0.226	0.226	0.302	0.265	0.227

ตารางผนวกที่ 12 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 (มิลลิโวลต์)

จุดเก็บ	แนวหัวน้ำอาหาร				แนวเลนกลางบ่อ			
อายุกุ้ง	43	64	85	107	43	64	85	107
R 1	-134	-110	-110	-	-139	-157	-124	-
R 2	-101	-119	-114	-108	-142	-157	-135	-125
R 3	-117	-126	-102	-105	-143	-165	-156	-145
R 4	-120	-111	-110	-	-162	-170	-137	-

ตารางผนวกที่ 13 ค่ารีดออกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 (มิลลิโวลต์)

จุดเก็บ	แนวหัวนอาหาร						แนวเลนกลางบ่อ					
อายุกุ้ง	29	51	71	93	123	149	29	51	71	93	123	149
C 1	-79	-60	-28	-54	-45	-27	-117	-108	-103	-118	-150	-167
C 2	-32	-38	-67	-34	-44	-33	-107	-110	-110	-120	-178	-162
C 3	-57	-42	-37	-13	-39	-58	-121	-103	-125	-135	-104	-166
C 4	-54	-43	-37	-30	-46	-72	-126	-101	-139	-134	-127	-174

ตารางผนวกที่ 14 ค่ารีดออกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 (มิลลิโวลต์)

จุดเก็บ	แนวหัวนอาหาร						แนวเลนกลางบ่อ					
อายุกุ้ง	42	64	88	112	133	153	42	64	88	112	133	153
P 1	-164	-124	-123	-65	16	20	-223	-184	-198	-111	-123	-78
P 2	-166	-131	-146	-64	24	58	-214	-161	-192	-90	-111	-77
P 3	-160	-132	-138	-87	40	91	-202	-156	-194	-136	-106	-102
P 4	-157	-124	-130	-98	56	61	-171	-193	-200	-135	-110	-102

ตารางผนวกที่ 15 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 1 ตามระยะเวลาการเลี้ยง

คุณภาพน้ำ		ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)			
		43	64	85	107
Dissolve Oxygen	(เช้า)	3.73±0.32	4.1 ±0.6	4.18±0.64	4.7±0.14
(ppm)	(บ่าย)	7.84±0.82	10.3±0.75	9.79±0.68	10.27±0.23
Water temperature	(เช้า)	30.48 ±0.52	30.1±0.53	30.28±0.59	29.6±0.71
(°C)	(บ่าย)	31.85±0.19	31.78±0.3	32.43±0.54	31.05±0.21
pH	(เช้า)	7.36 ±0.25	7.92±0.21	8.25±0.18	7.88±0.02
	(บ่าย)	8.1±0.37	8.7±0.22	9.39±0.17	8.18±0.06
Transparency (cm.)		23.5±4.04	18.75±2.22	12.75±0.5	17.5±0.71
Salinity (ppt)		3.25±0.24	2.5±0.17	1.88±0.15	1.77±0.21
Conductivity (mmhos./cm.)		3.59±1.46	4.3±1.14	3.56±0.22	3.3±0.42
Alkalinity (ppm)		112.18±4.25	85.67±4.3	81.67±12.72	80±2.83
Hardness (ppm)		778.13±44.78	560.67±15.26	555.33±56.72	554.84±68.12
Ammonia (ppm)		0.36±0.15	0.054±0.08	0.16±0.41	0.38±0.34
Nitrite (ppm)		0.014±0.006	0.012±0.005	0.046±0.03	0.013±0.012

ตารางผนวกที่ 16 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 2 ตามระยะการเวลาเลี้ยง

คุณภาพน้ำ		ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)						
		3	29	51	71	93	123	149
Dissolve Oxygen	(เช้า)	4.17 ±0.16	4.42±0.34	4.25±0.31	5.06±0.21	4.68±0.37	4.03±0.47	4.43±0.43
	(บ่าย)	7.28±0.34	7.72±0.4	7.25±0.54	8.89±0.93	8.19±0.49	7.04±0.99	7.73±0.76
Water temperature	(เช้า)	31.1 ±0.14	30±0.18	28.35±0.31	28.43±0.36	28±0.18	28.23±0.22	28.6±0.29
	(บ่าย)	33.3±0.12	31.8±0.14	29.85±0.25	29.28±0.17	29.3±0.08	29.53±0.21	29.95±0.06
pH	(เช้า)	7.08 ±0.12	7.34±0.08	7.28±0.29	7.8±0.17	7.74±0.24	7.58±0.16	7.48±0.32
	(บ่าย)	7.52±0.2	7.34±0.08	7.28±0.29	7.8±0.17	7.74±0.24	7.58±0.16	7.48±0.32
Transparency (cm.)		45.5±5.8	45±9.13	32.25±9.22	28.5±9.04	27.75±2.22	12.5±3.79	26.25±4.65
Salinity (ppt)		36±0.85	24.15±0.71	16.1±0.26	9.4±0.18	10.98±0.42	6.73±0.26	2.63±0.19
Conductivity (mmhos./cm.)		58.75±0.81	38.49±1.05	26.36±0.37	16.05±0.29	18.5±0.68	11.86±0.43	4.87±0.34
Alkalinity (ppm)		115.8±6.97	72.02±14.71	61.5±14.16	56.33±7.59	88.67±10.84	135.33±12.96	96.67±11.25
Hardness (ppm)		6,145±178.3	5,981.5±174.2	3,979.5±115.4	2,874.8±22.14	2,616.5±123.6	1,927.5±115.1	1,116.25±177.6
Ammonia (ppm)		0.84±0.05	0.77±0.07	0.95±0.03	0.77±0.08	0.79±0.12	0.63±0.18	0.74±0.23
Nitrite (ppm)		0.019±0.02	0.008±0.005	0.011±0.008	0.014±0.01	0.01±0.012	0.08±0.008	0.092±0.011

ตารางผนวกที่ 17 ผลคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้เครื่องให้อากาศระบบที่ 3 ตามระยะการเวลาเลี้ยง

คุณภาพน้ำ		ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)					
		42	64	88	112	133	153
Dissolve Oxygen	(เช้า)	4.38 ±0.33	4.53±0.29	4.88±0.68	4.89±0.52	4.74±0.9	4.15±0.99
(ppm)	(บ่าย)	7.66±0.41	6.08±0.37	6.22±0.9	7.7±0.42	6.98±0.65	6.28±0.49
Water temperature	(เช้า)	29.95 ±0.22	29.3±0.38	28.55±0.31	28.2±0.34	28.25±0.17	27.4±0.22
(°C)	(บ่าย)	31.35±0.1	30.1±0.17	29.95±0.13	29.1±0.1	29.8±0.1	28.15±0.05
pH	(เช้า)	7.73 ±0.12	7.48±0.11	7.58±0.07	7.9±0.15	7.13± 0.19	7.94±0.06
	(บ่าย)	8.55±0.09	7.87±0.19	8.07±0.13	8.27±0.12	7.92±0.22	8.63±0.22
Transparency (cm.)		21±6.5	32.5±7.68	25±6.22	24.5±7.25	27±5.82	39.5±10.28
Salinity (ppt)		9.85±0.34	9.85±0.41	8.05±0.36	6.5±0.24	7.75±0.45	6.95±0.43
Conductivity (mmhos./cm.)		16.75±0.59	16.79±0.66	14±0.61	11.39±0.41	13.40±0.83	12.1±0.7
Alkalinity (ppm)		179.8±7.87	204.97±10.64	272.33±18.27	263.33±4.19	365±29.76	372±23.54
Hardness (ppm)		2,047.54±95.59	2,089.6±73.13	2,424±127.62	2,602.67±150.98	3,279.34±147.12	3,068.5±217.96
Ammonia (ppm)		0.75±0.14	0.32±0.097	0.58±0.27	0.90±0.07	0.91±0.058	0.87±0.091
Nitrite (ppm)		0.054±0.017	0.026±0.007	0.038±0.006	0.066±0.018	0.099±0.016	0.1±0.002