



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การประมง)  
ปริญญา

..... วิทยาศาสตร์การประมง ..... ชีววิทยาประมง .....

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม  
(*Litopenaeus vannamei*)

Efficiency of a Newly Developed Oxygen Injection System in Farm-reared  
Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

นามผู้วิจัย นายชวลิต อัครคหลิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....  
( รองศาสตราจารย์ชลอ ลิมสุวรรณ, Ph.D. )

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

หัวหน้าภาควิชา .....  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ วีระไวทยะ, M.Sc. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....  
( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ในการเลี้ยง  
กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

Efficiency of a Newly Developed Oxygen Injection System in Farm-reared  
Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

โดย

นายชวลิต อัครคหสิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การประมง)

พ.ศ. 2552

ชวลิต อัครคหสิน 2552: ประสิทธิภาพของระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ในการเลี้ยง  
กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
(วิทยาศาสตร์การประมง) สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชลอ ลิมสุวรรณ, Ph.D. 150 หน้า

ผลการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนกับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียวในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อขนาด 6 ไร่ จำนวน 6 บ่อ แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง จำนวน 3 บ่อ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า บ่อละ 4 เครื่อง ร่วมกับระบบเติมอากาศแบบฉีดออกซิเจน ในขณะที่กลุ่มควบคุม จำนวน 3 บ่อ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว บ่อละ 8 เครื่อง ปล๋อยลูกกุ้งโพสลาว่า 12 ในอัตราความหนาแน่น 120,000 ตัวต่อ ไร่ (75 ตัวต่อตารางเมตร) เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มระหว่าง 5-10 พีพีที เป็นระยะเวลา 110 วัน พบว่าปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายเฉลี่ยในบ่อทดลอง เท่ากับ  $1,217 \pm 50.48$  กิโลกรัมต่อไร่ และ  $70.2 \pm 5.67$  เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าบ่อควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $925 \pm 93.36$  กิโลกรัมต่อไร่ และ  $55.6 \pm 2.75$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในส่วนของกำไรสุทธิขั้นต้นของบ่อทดลองและบ่อควบคุมเท่ากับ 49,393 และ 30,695 บาทต่อไร่ ตามลำดับ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในเวลาตอนเช้าของบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5.36 \pm 0.766$  มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.84 \pm 0.636$  มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในรอบวันในบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ยมากกว่าบ่อควบคุมและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) สำหรับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหัวน้ำอาหารของบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินบริเวณกลางบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $-94.4 \pm 28$  มิลลิโวลต์ น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) กับกลุ่มควบคุมซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $-141.5 \pm 33.4$  มิลลิโวลต์ การศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้ระบบฉีดออกซิเจนสามารถช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและมีสภาพพื้นบ่อที่ดีจึงช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมได้

Chawalit Akkarakahasin 2009: Efficiency of a Newly Developed Oxygen Injection System in Farm-reared Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*).

Master of Science (Fisheries Science), Major Field: Fisheries Science, Department of Fishery Biology. Thesis Advisor: Associate Professor Chalor Limsuwan, Ph.D.  
150 pages.

Comparison between paddle wheel aerators plus oxygen injection system and entirely paddle wheel aerators on pond-reared Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) was studied. Six ponds with an area of approximately 9,600 m<sup>2</sup> (6 rai) were used and divided into two groups. Three experimental ponds were installed with four 3-hp electric motors and oxygen injection system, while three control ponds were installed with eight 3-hp electric motors. The postlarvae stages 12 were stocked at the density of 120,000 shrimp/rai (75 shrimp/m<sup>2</sup>) and reared in water salinity ranging from 5-10 ppt for 110 days. Yields and survival rates in the experimental ponds were 1,217±50.48 kg/rai and 70.2±5.67% respectively, which were significantly higher (p<0.05) than in the control ponds at 925±93.36 kg/rai and 55.6±2.75%, respectively. The average net profit in the experimental ponds was 49,393 baht/rai compared to 30,695 baht/rai for the control ponds.

In the experimental ponds, dissolved oxygen in the morning was an average of 5.36±0.766 mg/l, which was significantly higher than 4.84±0.636 mg/l in the control ponds. The daily dissolved oxygen in the experimental ponds between 24.00 and 06.00 hours was significantly higher than in the control ponds. There was no significantly different between the redox potential value of the soil in the feeding area of the experimental and the control ponds, while the average redox potential values of the soil in the middle of the experimental ponds of -94.4±28 mv was significantly higher (p<0.05) than the -141.5±33.4 mv of the control ponds. In conclusion, this study indicates that use of an oxygen injection system cooperating with paddle wheel aerators could increase yields and survival rates due to higher dissolved oxygen and better condition of the pond bottom.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชลอ ลีมีสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตี ชูเชิด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษา  
แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนสนับสนุนการดำเนินการทดลองเก็บตัวอย่าง จน  
วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประทีภย์ ตาบทิพย์สุวรรณ ประธานการสอบ  
วิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ ผู้ทรงคุณวุฒิจาก  
ภายนอกสถาบันที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์มี  
ความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณนคร หาญไกรวิไลย์ เจ้าของนครพงศ์ฟาร์ม ที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการ  
ดำเนินการเก็บตัวอย่างงานวิจัย ขอขอบคุณพีวรัท บุญเย็น ผู้จัดการฟาร์มที่ช่วยเหลือเอื้อเพื่อข้อมูล  
ตลอดจนอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการเก็บตัวอย่างงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบริษัท  
OxSeaVision ที่สนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆปริญญาโท ที่น่ารักทุกคนและพี่ปริญญาเอกทุกคน ที่ให้ความ  
ช่วยเหลือ แนะนำและคำปรึกษา ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ให้การสนับสนุนให้คำปรึกษาและกำลังใจ ช่วยเหลือใน  
ด้านต่างๆที่สนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ชวลิต อัครคหลิน

มีนาคม 2552

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	34
ผลและวิจารณ์ผล	45
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	109
สรุป	109
ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	111
ภาคผนวก	131
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	150

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เกณฑ์ในการพิจารณากำหนดประเภทเนื้อดินจากปริมาณของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลัก	14
2	ผลกระทบของพีเอชต่อกิ่งกุลาดำ	26
3	คุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว	52
4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหว่านอาหารในรอบวันในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	61
5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	62
6	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	68
7	การเปลี่ยนแปลงพีเอชในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	72
8	การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	76
9	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	80
10	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างรวมในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	84
11	การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	88
12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	92
13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม	96

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อกดลองที่ใช้ระบบออกซิเจนแบบใหม่และบ่อกวควบคุม	100
15	น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อกดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนและบ่อกวควบคุม	104
16	ผลผลิตของบ่อกดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนและบ่อกวควบคุม	105
17	ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนขั้นต้นของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อกดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนกับบ่อกวควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว	108
ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตในบ่อกดลองที่ระบบออกซิเจนแบบใหม่และบ่อกวควบคุม	132
2	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อกดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อกวควบคุม	133
3	คุณสมบัติของน้ำตลอดการเลี้ยง	134
4	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อกดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 30 วัน	140
5	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อกวควบคุมเมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 30 วัน	141
6	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อกดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 60 วัน	142

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
7	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกึ่งชาววนนา ไม่อายุ 60 วัน	143
8	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีด ออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกึ่งชาววนนาไม่อายุ 90 วัน	144
9	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกึ่งชาววนนา ไม่อายุ 90 วัน	145
10	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีด ออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกึ่งชาววนนาไม่อายุ 109 วัน	146
11	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกึ่งชาววนนา ไม่อายุ 109 วัน	147
12	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์พื้นบ่อทดลองที่ใช้ระบบ ฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม	148
13	ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์พื้นบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อ ควบคุมตลอดการเลี้ยง	149

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังฟาร์ม นครพนงศ์ อำเภอ ปากท่อ จ. ราชบุรี	35
2	บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	35
3	แผนผังการวางเครื่องให้อากาศและการวางสายออกซิเจนในบ่อทดลอง	36
4	แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อควบคุม	36
5	การวางสายออกซิเจนภายในบ่อ	39
6	ถังออกซิเจน	39
7	ผู้ควบคุมการเปิด-ปิด ก๊าซออกซิเจน	40
8	ฟองออกซิเจนที่ออกมาตามสายบริเวณแนวหัวานอาหาร	40
9	การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ	44
10	การชั่งน้ำหนักกุ้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล	44
11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการเลี้ยง	53
12	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำตลอดการเลี้ยง	53
13	การเปลี่ยนแปลงพีเอชตลอดการเลี้ยง	54
14	การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตลอดการเลี้ยง	54
15	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดการเลี้ยง	55
16	การเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงตลอดการเลี้ยง	55
17	การเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างรวมตลอดการเลี้ยง	56
18	การเปลี่ยนแปลงความกระด้างตลอดการเลี้ยง	56
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดการเลี้ยง	57
20	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออนตลอดการเลี้ยง	57

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรต์ตลอดการเลี้ยง	58
22	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหว่าน อาหารในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	63
23	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหว่าน อาหารในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	63
24	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหว่าน อาหารในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	64
25	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหว่าน อาหารในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	64
26	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อ ในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	65
27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อ ในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	65
28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อ ในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	66
29	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อ ในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	66
30	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	69
31	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	69
32	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	70
33	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	70
34	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	73
35	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	73
36	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	74

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	74
38	การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	77
39	การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	77
40	การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	78
41	การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	78
42	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	81
43	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	81
44	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	82
45	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	82
46	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	85
47	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	85
48	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	86
49	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	86
50	การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	89
51	การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	89
52	การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	90
53	การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	90
54	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	93
55	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	93

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	94
57	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	94
58	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน	97
59	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน	97
60	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน	98
61	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน	98
62	ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ตลอดการเลี้ยง	100
63	ดินบริเวณพื้นบ่อบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจน	101
64	ดินบริเวณพื้นบ่อบ่อควบคุม	101
65	การเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนและบ่อควบคุม	104
66	ปริมาณผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจน	106
67	ปริมาณผลผลิตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อควบคุม	106

**ประสิทธิภาพของระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ในการเลี้ยง  
กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)**

**Efficiency of a Newly Developed Oxygen Injection System in Farm-reared  
Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)**

**คำนำ**

เนื่องจากปัญหากุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) มีการเจริญเติบโตช้าได้ผลผลิตต่ำ จนทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่ประสบปัญหาขาดทุน ในที่สุดกรมประมงต้องอนุญาตให้มีการนำเข้าพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เข้ามาในประเทศไทยเพื่อการเพาะเลี้ยงในปี พ.ศ. 2545 เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว สามารถเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นสูง และให้ผลผลิตในปริมาณสูง (ชลด และ พรเลิศ, 2547; Groth, 1997; Tacon, 2002) จึงทำให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จนในปัจจุบันมีเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม สูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ โดยการเลี้ยงส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา ปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นสูง มีการให้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูงตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง ทำให้มีการสะสมของสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง โดยเฉพาะบางฟาร์มที่มีการเลี้ยงโดยใช้ระบบปิดหรือเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย ซึ่งใช้กันมากในพื้นที่มีการระบาดของโรคที่สร้างความเสียหายรุนแรง และในพื้นที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จในการเลี้ยงระบบนี้คือ เกษตรกรต้องทราบถึงศักยภาพการผลิตของบ่อเลี้ยง ดังนั้นอัตราการปล่อยลูกกุ้งจะต้องเหมาะสมกับความสามารถของบ่อที่จะรองรับได้ ผู้เลี้ยงต้องมีความรู้ความเข้าใจในการควบคุมคุณภาพน้ำและปริมาณแพลงก์ตอนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยเฉพาะปริมาณการให้อาหารจะต้องมีความแม่นยำ นอกจากนี้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์การให้อากาศที่เพียงพอที่จะรองรับผลผลิตกุ้งที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงในบ่อ เพราะถ้าเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอและกุ้งมีอัตราการรอดตายสูง เมื่อกุ้งมีอายุประมาณ 60-70 วัน หลายฟาร์มมักจะพบปัญหา

กุ้งไม่กินอาหารหรือกินอาหารลดลง เนื่องจากคุณภาพน้ำและพื้นบ่ออยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เกษตรกรหลายรายมักจะแก้ปัญหาโดยการเติมจุลินทรีย์ลงไปเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และของเสียที่สะสมบริเวณพื้นบ่อ แต่การย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียส่วนใหญ่จำเป็นต้อง

ออกซิเจน (ยนต์, 2539) ถ้าในบ่อมีปริมาณออกซิเจนในระดับต่ำอยู่แล้ว เนื่องจากเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอจะทำให้เกิดปัญหาสุขภาพออกซิเจนในตอนกลางคืนจนกระทั่งเช้ามีคของวันต่อมา ส่งผลกระทบต่อการกินอาหาร และสุขภาพของกุ้ง กุ้งบางส่วนที่อ่อนแออาจจะป่วยเป็นโรคตายได้ในที่สุด ที่ผ่านมามีส่วนใหญ่วิศวกรจะใช้เครื่องให้อากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ และช่วยทำความสะอาดพื้นบ่อโดยเฉพาะบริเวณแนวห่านอาหารให้ตะกอนรวมกันอยู่บริเวณกลางบ่อ ส่วนมากฟาร์มเลี้ยงกุ้งจะใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้า ถ้าบริเวณนั้นสามารถติดตั้งเชื่อมโยงไฟฟ้าเข้าไปในฟาร์ม ส่วนบริเวณที่ไม่สามารถใช้กระแสไฟฟ้า เกษตรกรจำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์ แม้ว่าระบบเครื่องให้อากาศที่ใช้เครื่องยนต์จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบใช้ไฟฟ้ามากก็ตาม โดยเฉพาะในสภาวะวิกฤตที่ราคาน้ำมันสูงขึ้นมากในปัจจุบัน (ชโล และคณะ, 2550) โดยปัจจุบันเครื่องให้อากาศที่เกษตรกรนิยมใช้มาก คือ เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำซึ่งมีข้อจำกัด คือใบพัดตีอยู่ในระดับผิวน้ำเท่านั้นจึงทำให้กระแสน้ำในระดับลึกไม่แรงมาก ถ้าบ่อมีความลึกมากการทำความสะอาดพื้นบ่อทำได้น้อยและกระทบต่อการแพร่กระจายของออกซิเจนที่ละลายน้ำในระดับพื้นบ่ออาจไม่ดีเท่าที่ควร

สำหรับการศึกษานี้ใช้ระบบให้อากาศแบบใหม่โดยฉีดออกซิเจนเข้าไปในบ่อเลี้ยงโดยตรง ไม่มีการใช้พลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์แต่ออกซิเจนจากถังผ่านบ่อ ปรับความดันเข้าไปในบ่อเลี้ยงจึงทำให้ประหยัดค่าพลังงานที่ใช้ได้มาก อีกทั้งการเติมออกซิเจนเข้าไปในบ่อเลี้ยงโดยตรงน่าจะมีผลโดยตรงต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงทำให้คุณภาพน้ำและสภาพโดยทั่วไปในบ่อดีขึ้น กุ้งจะมีสุขภาพแข็งแรง กินอาหารดีและมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี รวมทั้งอัตราการรอดตายที่สูงขึ้นด้วย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตอัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว
4. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

## การตรวจเอกสาร

### 1. การเลี้ยงกุ้งขาวในประเทศไทย

กุ้งขาวแปซิฟิก หรือกุ้งขาวแวนนาไม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vannamei* ชื่อสามัญที่ FAO รับรองและใช้เรียกกันทั่วโลกคือ whiteleg shrimp มีถิ่นกำเนิดในแถบตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก ของทวีปอเมริกาใต้ ตั้งแต่ประเทศเปรู จนถึงทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก กุ้งขาวแวนนาไมเป็นที่นิยมเลี้ยงกันมากในประเทศเอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู ปานามา ฮอนดูรัส โคลอมเบียและบราซิล (Pérez Farfante and Kensley, 1997; Rosenbery, 1999) และมีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในบริเวณแถบเอเชีย เช่น จีน ไต้หวัน (Tu *et al.*, 1999) อินโดนีเซีย และไทย เนื่องจากกุ้งขาวเป็นกุ้งที่เลี้ยงค่อนข้างง่าย มีการเจริญเติบโตเร็ว รวมทั้งให้ผลผลิตต่อไร่ในปริมาณสูง ประเทศไทยจึงหันมาเลี้ยงกุ้งขาว เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำประสบปัญหากุ้งโตช้าทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ขาดทุน ขณะเดียวกันมีเกษตรกรบางส่วนทดลองเลี้ยงกุ้งขาวให้ผลค่อนข้างดีทำให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาว ในทวีปเอเชียมีการนำเข้ากุ้งชนิดนี้เข้ามาเลี้ยงครั้งแรกที่ประเทศไทย ไต้หวันในปี พ.ศ. 2539 สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2545 กรมประมงอนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวที่ปลอดเชื้อ (specific pathogen free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยงทำให้ผลผลิตกุ้งขาวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

กุ้งขาวแวนนาไมสามารถอาศัยในช่วงน้ำที่มีความเค็มที่กว้างตั้งแต่ 0.5-40 ส่วนในพันส่วน (พีพีที) (Mair, 1980; Castile and Lawrence, 1981; Smith and Lawrence, 1990; Bray *et al.*, 1994; Samocha *et al.*, 2001) จากการรายงานการเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มต่ำ ให้ผลผลิตต่อไร่ในปริมาณสูง (Akiyama and Dominy, 1991) ในประเทศไทย ภิญโญ (2545) เสนอแนวทางในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำแต่น้ำความเค็มปกติจะให้ผลดีกว่าน้ำความเค็มต่ำ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวถึงรูปแบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยแบ่งตามความเค็มของน้ำได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มต่ำ เป็นการเลี้ยงในเขตพื้นที่น้ำจืด เช่น พื้นที่ทางภาคกลางใช้น้ำความเค็มต่ำมากจนเกือบจะเป็นระดับที่ถือว่าเป็นน้ำจืด โดยจะใช้น้ำเค็มจากนาเกลือที่มี

ความเค็ม 100-200 พีพีที มาเติมในน้ำจืดเพื่อให้ได้ระดับความเค็มประมาณ 3-4 พีพีที แล้วทำการเลี้ยงในระบบปิด มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อย ส่วนใหญ่จะกั้นคอกก่อน โดยใช้ผ้าพลาสติกพื้นที่ประมาณ 100-150 ตารางเมตร ความลึกประมาณ 80 เซนติเมตร แล้วเติมน้ำจากนาเกลือเข้าไปในคอกจนได้ความเค็มประมาณ 8-10 พีพีที หลังจากนั้นก็จะใช้ลูกกุ้งซึ่งปรับความเค็มจากโรงเพาะฟักมาแล้วโดยลูกกุ้งระยะ โปสลา รว 10-12 มาปล่อยในคอกอนุบาลประมาณ 3-4 วัน ก็เปิดคอกออกมาจะอนุบาลในคอกไม่นาน เนื่องจากกุ้งขาวจะกินอาหารเก่ง อาจจะมีการกินกันเอง ส่วนอีกวิธีหนึ่งเกษตรกรจะไม่ทำคอกเหมือนกุ้งกุลาดำ คือ เตรียมน้ำความเค็มประมาณ 3-5 พีพีที ทิ้งบ่อแล้วให้ทางโรงเพาะฟักปรับความเค็มของลูกกุ้งอยู่ที่ความเค็มต่ำที่สุดประมาณใกล้เคียงกับที่ปล่อยในบ่อแล้วนำลูกกุ้งมาปล่อยโดยตรง การปล่อยลูกกุ้งโดยตรงในบ่อจะให้อัตราการรอดสูงกว่า ถ้าปล่อยลูกกุ้ง 100,000 ตัว จะมีผลผลิตประมาณ 1,000 กิโลกรัม (1 ตัน) หรือมากกว่า 1 ตันเล็กน้อยได้กุ้งขนาด 60-80 ตัวต่อกิโลกรัม ภายใต้ระยะเวลาการเลี้ยง 3 เดือน

2. การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มปกติ คือ น้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีที ขึ้นไปในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะการเลี้ยงทางภาคใต้ ส่วนใหญ่จะมีการปล่อยลูกกุ้งอย่างหนาแน่นมากกว่า 120,000 ตัวต่อไร่ ผลผลิตประมาณ 2 ตันต่อไร่ อัตรารอดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นกระแสน้ำของกุ้งขาวที่ออกมาในช่วงตั้งแต่กลางปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมา โดยเฉพาะการเลี้ยงทางภาคใต้โดยใช้น้ำความเค็มปกติ ทำให้ในหลายจังหวัดทางภาคใต้ซึ่งไม่เคยเลี้ยงกุ้งขาวมาก่อนหันมาเลี้ยงกุ้งขาวมากขึ้นมีผลผลิตสูงประมาณ 3-4 ตันต่อไร่ โดยมีการปล่อยลูกกุ้งอย่างหนาแน่นมากกว่า 150,000 ตัวต่อไร่ การเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติจะได้ผลดีกว่าน้ำความเค็มต่ำเนื่องจากการถ่ายน้ำในปริมาณที่มากในช่วงท้ายๆ ของการเลี้ยง

นอกจากนี้กุ้งขาวแวนนาไม่ยังสามารถเลี้ยงในบ่อที่ปูด้วยโพลีเอททิลีน (พีอี) โดย ชลอ และ พรเลิศ (2547) รวบรวมข้อแตกต่างระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวในบ่อปูด้วยพีอีและบ่อดินภายในฟาร์มเดียวกันไว้ดังนี้

1. บ่อที่ปูด้วยพีอี จะมีอุณหภูมิที่ผิวน้ำและพื้นบ่อจะสูงกว่าบ่อดินประมาณ 0.5-1 องศาเซลเซียส

2. สีนํ้าในบ่อพืธี จะเขียวเร็วกว่าบ่อดิน เพราะว่าบ่อพืธีไม่มีตะกอนดินแขวนลอยมาบังแสง อาหารที่เหลือจะเป็นปุ๋ยและอาหารให้กับแพลงก์ตอน ทำให้แพลงก์ตอนเพิ่มจำนวนได้รวดเร็ว และต่อเนื่อง ในขณะที่บ่อดินมีตะกอนมากทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนมีน้อยกว่า

3. กุ้งขาวที่เลี้ยงในบ่อดินซึ่งมีตะกอนมากน้ำขุ่นจะมีสีซีดขาว ถ้าตะกอนมีมากอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในที่สุดกุ้งบางส่วนจะเครียด และจะมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง ในขณะที่กุ้งขาวในบ่อที่ปลูกด้วยพืธีสีจะเข้มกว่าเนื่องจากได้รับอาหารธรรมชาติ คือแพลงก์ตอนอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำไปต้มสุก สีของกุ้งจากบ่อพืธีจะแดงเข้มกว่าโดย อรอนงค์ (2547) รายงานว่า ความแตกต่างของสีเปลือกกุ้งน่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อ ถ้าปริมาณแพลงก์ตอนเหมาะสมคือมีสีเขียวอมน้ำตาล สีกุ้งจะเข้มกว่าบ่อที่น้ำขุ่นมีตะกอนมากและมีแพลงก์ตอนน้อย

## 2. ความสำคัญของเครื่องให้อากาศ

ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งขาวส่วนใหญ่เป็นแบบพัฒนาฝีมือการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น การใช้เครื่องให้อากาศมีความจำเป็นในการช่วยรักษาระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง โดยเฉพาะในเวลากลางคืน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเริ่มลดลงและมีปริมาณต่ำสุดในตอนเช้ามืด ถ้าไม่มีเครื่องให้อากาศเพียงพอจะเกิดปัญหาได้ และอีกจุดประสงค์หนึ่งที่สำคัญของการใช้เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลคือ ทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนเวียนภายในบ่อ เพื่อทำความสะอาดพื้นบ่อในบริเวณแนวหวานอาหาร เนื่องจากกุ้งใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณพื้นบ่อ ชลอ (2535) อธิบายถึงการเปิดเครื่องให้อากาศมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ทำความสะอาดพื้นบ่อ โดยเฉพาะบริเวณแนวหวานอาหารและรวมเลนหรือตะกอนไปไว้บริเวณกลางบ่อ ซึ่งถ้ารวมเลนไม่ได้พื้นบ่อส่วนใหญ่มีตะกอนเลนกระจายมาก กุ้งอาจจะมีปัญหาเหงือกค้ำ หนวดกุด หางกร่อนได้ และในสภาวะที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่มีปัญหาการเกิดโรค ในช่วงปี พ.ศ. 2530-2532 เครื่องให้อากาศที่ใช้ไฟฟ้า 2 แรงม้า แบบใบพัดตีน้ำ (paddle wheel) หรือแอร์เจ็ต (air jet) สามารถรองรับผลผลิตหรือน้ำหนักกุ้งในบ่อได้ประมาณ 1,200 กิโลกรัม แต่ถ้ามีการถ่ายน้ำมากและบ่อลึกมากกว่า 1.50 เมตร อาจจะสามารถรับกุ้งได้ถึง 1,400 กิโลกรัม (ชลอ, 2535) เครื่องให้อากาศจะทำให้นํ้าในบ่อหมุนเวียน มีการผสมรวมกันเพื่อกระจายออกซิเจนให้ทั่วบ่อและลดการแบ่งชั้นของน้ำ และยังช่วยเร่งการย่อยสลายรวมทั้งลดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (ชลอ, 2535; วิรัช, 2544; Avnimelech, 1992) McGraw *et al.* (2001) พบว่าการ

เพิ่มขึ้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะมีผลทำให้อัตราการรอดและผลผลิตของการเลี้ยงกุ้งขาว  
แวนนาไม และ *L. styrostris* สูงขึ้น

ปกติอัตราการแพร่ของออกซิเจนในน้ำจะขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำเป็นหลักซึ่ง  
Gnezdiloff (1999) ศึกษาพบว่าเครื่องให้อากาศแบบใบพัดคือน้ำที่ผลิตโดยประเทศไต้หวันจะมี  
ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเร็วรอบลดลงต่ำกว่า 100 รอบต่อนาที เพราะการใช้ความเร็ว  
รอบมากเกินไปจะทำให้เกิดการกระเด็นออกของน้ำด้านหลังมากขึ้น (Peterson, 1999 and  
Patterson, 2000) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกระแสน้ำและปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ  
จะขึ้นอยู่กับลักษณะของบ่อ ชนิดเครื่องให้อากาศ นอกจากนั้นความเค็มที่ลดลงจะมีผลต่อการเพิ่ม  
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศด้วย เนื่องจากทำให้แรงดึงผิวลดลงและทำให้  
ฟองอากาศมีขนาดเล็กลงมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนก๊าซเพิ่มขึ้น (Fast *et al.*, 1999) แต่ปริมาณ  
ออกซิเจนจะลดลงเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 10 เซนติเมตรต่อวินาที (Delgado *et al.*,  
2003) ถึงแม้เครื่องให้อากาศจะมีประโยชน์แต่ปริมาณที่มากเกินไปอาจจะมีผลในทางลบต่อการ  
เลี้ยงกุ้งกุลาดำเช่นกัน โดย Funge-Smith and Briggs (1998) พบว่าตะกอนในบ่อเกิดจากการกัด  
เซาะของกระแสน้ำ เนื่องจากเครื่องให้อากาศประมาณ 88-93 เปอร์เซ็นต์ และเป็นสาเหตุของการ  
สะสมอินทรีย์วัตถุในบ่อประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอนันต์ (2538) กล่าวว่า การควบคุมและ  
รักษาคุณภาพน้ำทางฟิสิกส์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง ควรติดตั้งเครื่องช่วยเพิ่มอากาศ แล้วเปิดเครื่องทำให้น้ำ  
เคลื่อนที่สัมผัสกับอากาศอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดกระแสน้ำภายในบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งช่วยพุงเศษ  
อาหาร สิ่งขับถ่าย และซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่แขวนลอยในน้ำให้มีการย่อยสลายกลางน้ำเพื่อเหลือ  
เป็นตะกอนรวมกันตกลงพื้นบ่อให้น้อยที่สุด เป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มามาก เพียงพอต่อการ  
ดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ภายในบ่อ พร้อมทั้งช่วยป้องกันมิให้เกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ  
เช่น ป้องกันมิให้เกิดการแบ่งชั้นความเค็มและคุณภาพน้ำอื่นๆ ป้องกันมิให้เกิดการสะสมความร้อน  
หรือเกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกในน้ำ

#### ระบบเติมอากาศ

ในการเติมอากาศลงไปในน้ำเสียจะใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ โดย  
สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ คือ แบบตัวกระจายอากาศ (diffused aeration) แบบตี  
น้ำ (mechanical aeration) และแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (high – purity oxygen) (เกรียงศักดิ์, 2537)  
ในส่วนของระบบเติมอากาศแบบใช้ตัวกระจายอากาศ อาศัยหลักการให้อากาศที่เกิดจากเครื่องเป่า

อากาศ หรือเครื่องดูดอากาศทำการพ่นหรือเป่าลงไปในน้ำเสีย โดยมากอากาศที่ถูกพ่นลงไปในน้ำ จะมีลักษณะเป็นฟองอากาศ ซึ่งจะมีขนาดฟองอากาศขนาดต่างๆกัน ดังนี้ ขนาดเล็ก (fine bubble) มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 10 - 30 เปอร์เซ็นต์ ขนาดกลาง (medium bubble) มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 6 - 15 เปอร์เซ็นต์ ขนาดใหญ่ (coarse bubble) มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนประมาณ 4 - 8 เปอร์เซ็นต์ (เกรียงศักดิ์, 2537) และในการพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของตัวกระจายอากาศแบ่งได้เป็นแบบต่างๆ ดังนี้ แบบรูพรุนเล็ก (porous diffusers) เช่น plate diffusers, tube diffusers dome diffusers และ disc diffusers แบบไม่ใช่รูพรุนเล็ก (nonporous diffusers) เช่น fixed orifice, valved orifice, static tubes และ perforated hose และแบบอื่นๆ เช่น jet, aspirating และ u - tube (เกรียงศักดิ์, 2537) ปัจจุบันมีเครื่องให้อากาศที่นิยมใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้งหลายชนิด ดังนี้

### 1. เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ

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

### 2. เครื่องให้อากาศแบบแอร์เจ็ต

เครื่องให้อากาศแบบนี้มีเฉพาะที่ใช้มอเตอร์ มีท่อนลอยในตัว ซึ่งเครื่องให้อากาศแบบนี้เหมาะสมกับบ่อที่มีระดับน้ำลึกและพื้นบ่อแข็งสามารถปรับมุมของกระแสน้ำในการทำความสะอาดพื้นบ่อได้ทั่วไป โดยมากมักจะติดตั้งแอร์เจ็ตที่มุมบ่อเพื่อต้องการความแรงของกระแสน้ำหรือถ้าเป็นบ่อที่มีขนาดใหญ่อาจติดตั้งวงในเพื่อให้เลนรวมกันกลางบ่อ (ชโล, 2543)

### 3. เครื่องให้อากาศแบบใบพัดสไปรอล (spiral)

มีลักษณะคล้ายเครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ แต่ใบพัดเป็นท่อพีวีซีตัดเฉียง (หรือมีการดัดแปลงใช้วัสดุอื่นที่คงทน) และติดตั้งใบพัดกับแกนหมุนในลักษณะเป็นเกลียว (spiral) จะทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ คุณสมบัติคล้ายกับเครื่องตีน้ำแบบธรรมดา คือ ใบพัดตีน้ำในระดับผิวน้ำจะลึกลงไปไม่มาก แต่นิยมการตีน้ำที่ความเร็วรอบสูงกว่าใบพัดตีน้ำธรรมดา ทำให้เกิดฟองละอองน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก ช่วยในการเพิ่มปริมาณออกซิเจน (ชลอ, 2543)

### 4. เครื่องให้อากาศแบบเคล้าน้ำ

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

### ผลของการเพิ่มออกซิเจนลงไปใต้น้ำ

อนันต์ (2536) และ Boyd (1990) พบว่า การเร่งบำบัดน้ำแบบเดิมอากาศลงในน้ำเพื่อช่วยให้น้ำภายในบ่อเคลื่อนที่สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง มีออกซิเจนละลายในน้ำปริมาณมากอย่างเพียงพอ (> 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทั้งต่อการดำรงชีวิตของกุ้ง และสิ่งมีชีวิตอื่นๆภายในบ่อ ช่วยเร่งกระบวนการทางธรรมชาติ ในการย่อยสลายของเสียต่างๆ ภายในบ่อให้เปลี่ยนกลับเป็นห่วงโซ่อาหารธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง บำบัดแก๊สพิษต่างๆหรือเป็นการลดแก๊สพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไข่เน่า แก๊สแอมโมเนีย ภายในบ่อ และบำบัดสารพิษต่างๆ เช่น เหล็กอ็อกไซด์ในรูปของเฟอร์รัส ( $Fe^{2+}$ ) การเติมอากาศยังช่วยป้องกันมิให้เกิดน้ำแบ่งชั้นความเค็มหลังเติมน้ำ หรือหลังฝนตก ตลอดจนป้องกันมิให้เกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิและคุณสมบัติต่างๆของน้ำภายในบ่อเลี้ยง ผลของการให้อากาศภายในบ่อเป็นการเพิ่มอากาศให้กับดินในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร สามารถควบคุมปริมาณแพลงก์ตอน เนื่องจากการฟุ้งกระจายของตะกอนดินทำให้การเกิดของแพลงก์ตอนมีน้อย และช่วยในการเพิ่มอากาศให้กับน้ำ ตลอดจนการหมุนเวียนของน้ำกระจายทั่วบ่อ เป็นการเป่า

ให้สารพิษพื้นก้นบ่อระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ (ยนต์, 2530; ชีวิน และ จรัสเกียรติ, 2533) ผลของการทำให้น้ำหมุ่นเวียนภายในบ่อ ช่วยทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของบ่อสะอาด ทำให้น้ำที่อยู่ในบ่อไม่มีความแตกต่างเรื่องความเค็ม อุณหภูมิ ออกซิเจน หรือการแบ่งชั้นของน้ำ และน้ำหมุ่นช่วยในด้านเพิ่มปริมาณออกซิเจน เมื่อน้ำได้เคลื่อนที่หรือไหลจะทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศ และน้ำเพิ่มมากขึ้น และยังช่วยไล่แก๊สเสีย เมื่อน้ำได้เคลื่อนที่ไปนั้น น้ำส่วนหนึ่งก็จะเคลื่อนไหวไปจนกระทั่งถึงก้นบ่อ ช่วยผลักดันตะกอนให้เคลื่อนที่ ในตะกอนเหล่านั้นมักจะมีก๊าซที่เสียปะปนอยู่ด้วย (อนันต์, 2538 และ Boyd, 1995)

ผลการศึกษาการเติมอากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ทางด้านการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และ คุณภาพน้ำ ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้ดังนี้

ในการเพิ่มผลผลิตของปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) บ่อควบคุมที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำกว่าบ่อที่มีเครื่องให้อากาศที่มีกำลังมากกว่า (Boyd, 1990) ในการเลี้ยงกุ้ง *Penaeus penicillatus* ที่มีอัตราความหนาแน่นสูงถึง 286 ตัวต่อตารางเมตร โดยใช้เครื่องให้อากาศจำนวนมาก (11.47 kw/ha) ส่วนบ่อที่มีเครื่องให้อากาศต่ำกว่า (7.5 kw/ha) ทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำมากที่บริเวณพื้นบ่อของการเลี้ยงและถ้าสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูงกว่า 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถให้ผลผลิตสูงมาก (Chen *et al.* 1988) ในขณะที่ในการเลี้ยงกุ้ง *Penaeus vannamei* ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในระดับต่ำ กุ้งจะมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ทำให้ค่าอัตราแลกเปลี่ยนสูงมาก (Sandifer *et al.*, 1987) ซึ่งผลการศึกษาคล้ายกับ Wyban *et al.* (1989)

### แหล่งที่มาของออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

แหล่งที่มาของออกซิเจนที่ละลายน้ำได้มาจาก 3 แหล่ง คือ

1. การแพร่จากอากาศ เนื่องจากอากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปอร์เซ็นต์สูง (20.95 เปอร์เซ็นต์) การแพร่ของออกซิเจนจากอากาศจึงเป็นแหล่งที่ให้ออกซิเจนที่สำคัญแก่แหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำจะเกิดขึ้นได้ก็เพียงในสภาวะที่ปริมาณของออกซิเจนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าจุดอิ่มตัวเท่านั้น ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำต่ำกว่าจุดอิ่มตัวมาก จะมีการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำในอัตราสูง อัตราการแพร่ของออกซิเจนจาก

อากาศอุ่นจะขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำด้วยแรงลมที่ทำให้ผิวน้ำเป็นคลื่นจะช่วยให้การแพร่ของออกซิเจนลงสู่น้ำเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิสูงและความเค็มสูง การละลายได้ของออกซิเจนจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำและความเค็มต่ำกว่า

2. การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและพรรณไม้น้ำในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีแพลงก์ตอนพืชหรือพรรณไม้น้ำที่ขึ้นอยู่ใต้น้ำมาก การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นมากในช่วงเวลากลางวันที่มีแสง แสงจึงเป็นแหล่งให้ออกซิเจนแก่น้ำที่สำคัญ การผลิตออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและพรรณไม้น้ำจะทำให้น้ำในแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนสูงในช่วงกลางวันที่มีการสังเคราะห์แสงและบ่อยครั้งที่จะวัดออกซิเจนในแหล่งน้ำได้สูงเกินจุดอิ่มตัวสำหรับในบ่อเลี้ยงกุ้ง การสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันมาจากปริมาณแพลงก์ตอนพืชเป็นส่วนใหญ่ซึ่งในบ่อที่มีปริมาณแพลงก์ตอนอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะในบ่อที่เลี้ยงด้วยค้ำยน้ำความเค็มต่ำ มักจะมีแพลงก์ตอนในกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินมาก (ชลด, 2543) ส่วนในบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งขาวร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่ การสังเคราะห์แสงส่วนใหญ่ในระยะแรกที่มีการเลี้ยงกุ้งน่าจะมาจากสาหร่ายไส้ไก่ เนื่องจาก ปริมาณแพลงก์ตอนจะมีน้อยมากในบ่อที่มีสาหร่ายไส้ไ้มาก (จริยวดี และคณะ, 2552)

3. จากการใช้เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาซึ่งมีการปล่อยลูกกุ้งอย่างหนาแน่นจำเป็นต้องมีการให้อากาศ ซึ่งในแต่ละฟาร์มมีการใช้เครื่องให้อากาศแตกต่างกันไปทั้งจำนวนและชนิดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการเลี้ยงและเป้าหมายของการผลิต

### สาเหตุของปัญหาการขาดออกซิเจนหรือมีปริมาณออกซิเจนต่ำ

ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น มีการให้อาหารในปริมาณมากจึงมีเศษอาหารตกค้าง และมีสิ่งขับถ่ายจากสัตว์น้ำในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณรวมของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบในบ่อสูงและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การสะสมและการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารลงสู่ น้ำ กระตุ้นให้เกิดการเพิ่มปริมาณของแพลงก์ตอนพืชมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันมีความแตกต่างกันมาก โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนจะมีการใช้ออกซิเจนในปริมาณมาก ซึ่งทำให้มีโอกาสเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนในตอนเช้ามืดได้ ซึ่งจะมีผลต่อสัตว์น้ำและการสะสมของสารพิษพวกแอมโมเนียและไนไตรท์ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากการย่อยสลายสารดังกล่าวไม่สมบูรณ์ ในสภาวะที่มีอากาศมีครีมีหรือเกิดฝนตกติดต่อกันหลายวันทำให้

อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชต่ำลง ขณะที่ปริมาณออกซิเจนที่ใช้มีปริมาณเท่าเดิมทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนได้เช่นกันและจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ทั้งในด้านการกินอาหาร การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายได้

### ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำ

ระดับของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะกุ้งทะเล ช่วงที่ดีที่สุดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อกุ้ง ควรสูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะมีการเจริญเติบโตช้า (ชโล, 2543; พุทธ และคณะ, 2543)

### ผลของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่อคุณภาพน้ำอื่นๆ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มีผลต่อคุณภาพน้ำอื่นๆ ส่วนใหญ่จะเป็นในลักษณะของความสัมพันธ์ที่เป็นผลมาจากปริมาณออกซิเจนมากกว่าผลโดยตรงได้แก่

#### 1. ผลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ

ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูง สัตว์น้ำก็จะทนทานต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่ละลายในน้ำได้เพิ่มขึ้น (Boyd, 1979)

#### 2. ผลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (Un-ionized ammonia)

ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีระดับต่ำก็จะมีผลทำให้ความเป็นพิษของปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนมีความเป็นพิษสูงขึ้น (Boyd, 1979; Alabaster and Lloyd, 1982) ปลา rainbow trout มีความทนทานต่อพิษของแอมโมเนียที่ปริมาณออกซิเจนต่ำได้น้อยกว่าที่ปริมาณออกซิเจนสูงกว่า (Boyd, 1994)

### 3. ผลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของไนโตรเจน

ปริมาณออกซิเจนมีผลกระทบต่อความเป็นพิษของไนโตรเจน เนื่องจาก ไนโตรเจนจะลดความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจนของเลือด โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีเลือดสีแดง เช่น ปลา channel catfish ซึ่งในสภาพที่มีไนโตรเจน ระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะต้องสูงมากกว่าปกติ ปลาจึงจะทนทานต่อไนโตรเจนได้ (Lewis and Morris, 1986)

#### อิทธิพลของดินพื้นบ่อที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวข้องในการเลี้ยงกุ้งทะเล นอกจากถูกใช้เป็นที่ฝังตัวอยู่อาศัยของกุ้ง ยังเป็นบริเวณที่มีการสะสมของเสียที่เป็นทั้งสิ่งขับถ่ายจากกุ้ง เศษอาหารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อตลอดช่วงระยะเวลาที่เลี้ยง และซากของแพลงก์ตอนที่ตาย รวมทั้งตะกอนสารอินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำและสิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มั่นสิน (2536) ได้กล่าวว่า ดินมีความสำคัญต่อผลผลิตของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ คุณสมบัติของดินที่ดีคือ มีความสามารถในการดูดซับและปลดปล่อยธาตุอาหารลงในน้ำเพื่อก่อให้เกิดผลผลิต ดินที่อยู่ในที่ใกล้เคียงกันอาจมีความสามารถในการผลิตแตกต่างกัน ส่วนประกอบทางเคมีของดินที่มีผลต่อการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษา บางครั้งผลผลิตของบ่อที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยก็ให้ผลผลิตเท่ากันหรือมากกว่าบ่อที่ใส่ปุ๋ยจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

#### เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติของดินที่บ่งถึงขนาดของชิ้นส่วนของสารต่างๆที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน หยาบหรือความละเอียดขององค์ประกอบหลักของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523) หรือหมายถึงสัดส่วนอนุภาคทรายทรายแป้งและดินเหนียวกลุ่มอนุภาคทั้ง 3 นี้เมื่อประกอบกันเข้าในสัดส่วนสัมพัทธ์ต่างๆกันจะได้ชั้นหรือลักษณะของเนื้อดินมากมาย (สุรศักดิ์, 2520; คุณิต, 2535) ตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียวจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.05-2, 0.002-0.05 และน้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตรตามลำดับ (Boyd, 1995) และอนุภาคดินที่เล็กกว่า 0.001 มิลลิเมตร เรียกว่าสารแขวนลอย (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 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)

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก ซากพืช ซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา (root exudates) และที่จุลินทรีย์ในดิน (soil organisms) สังเคราะห์ขึ้นมาแล้วสะสมอยู่ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญโดยประมาณคือ คาร์บอน 58 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสและกำมะถันอย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีสารอื่นอีกเล็กน้อย (Jackson, 1958) โดยอยู่ในรูปต่าง ๆ ตั้งแต่ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฮิวมัส ลิกนิน เซลลูโลส จนถึงที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลบางชนิด กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์บางชนิด (สมศักดิ์, 2528) แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อาหารที่เหลือ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การตาย

ของเพลงก์ตอนและของเสียที่สัตว์น้ำปล่อยออกมารวมทั้งตะกอนที่มากับน้ำปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ (Boyd, 1990)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเนื้อดินมีความสำคัญต่อการสร้างบ่อแต่ในด้านการจัดการบ่อจะมีความสำคัญน้อยมาก เนื่องจากประเภทของเนื้อดินภายในบ่อจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่เนื้อดินในแต่ละจุดภายในบ่ออาจจะเปลี่ยนแปลงได้จากการกัดเซาะและการตกตะกอนภายในบ่อ (สุวณิช, 2540) ดินที่ใช้ในการสร้างบ่อต้องมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ ดินจึงจะกักน้ำได้ดี การตากบ่อหรือการไถพรวนทำได้ง่าย (Boyd, 1995) และจากการศึกษาคุณสมบัติของดินในบริเวณนาทุ่งและป่าไม้ชายเลนในพื้นที่จังหวัดตราดของพุง (2532) พบว่าดินบริเวณนาทุ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายและดินเหนียวปนทรายโดยมีอนุภาคทราย 18.0-93.0 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแป้ง 3.0-51.0 เปอร์เซ็นต์และอนุภาคดินเหนียว 20-48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินบริเวณป่าไม้ชายเลนมีอนุภาคทราย 17.0-84.3 เปอร์เซ็นต์ ซล และ พรเลิศ (2547) เปรียบเทียบปัจจัยต่างๆที่แตกต่างกันระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งที่ได้ผลผลิตดีกับบ่อที่มีปัญหากุ้งตายจะพบว่าบ่อที่ประสบความสำเร็จส่วนใหญ่จะเป็นบ่อที่มีสภาพพื้นบ่อเป็นดินเหนียว ดินลูกรังซึ่งค่อนข้างจะแน่นแข็งและสะอาดตลอดการเลี้ยงส่วนบ่อที่เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายมักจะมีปัญหามากกว่าทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุที่สภาพดินร่วนซุยเป็นแหล่งสะสมของเสียในระหว่างการเลี้ยง

### สารอินทรีย์ที่พบในดินและน้ำ

สารอินทรีย์ที่พบในดินและน้ำ สารอินทรีย์เหล่านี้มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และสารอื่นๆ (Jackson, 1958; Allison, 1965) Pierce and Felbeck (1972) ได้จำแนกสารอินทรีย์ในน้ำและในดินออกเป็น 2กลุ่ม คือ

1. Non humic substances ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยได้อย่างรวดเร็ว

2. Humic substances ได้แก่ ซากพืช ซากสัตว์ ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้ากว่า

## แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดิน

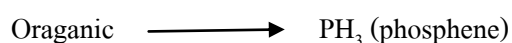
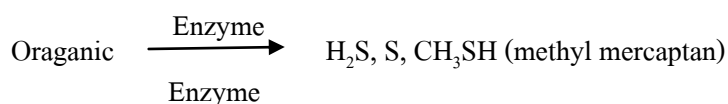
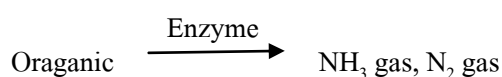
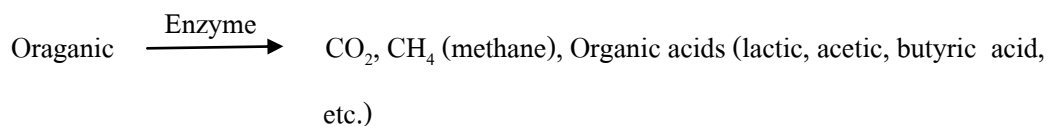
อินทรีย์วัตถุในดินเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่

1. จากการสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์
2. จากการสลายตัวของ stable manure ประกอบสิ่งขับถ่ายของสัตว์
3. จากเซลล์ของจุลินทรีย์ดิน

การสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินเกิดขึ้นจากการกระทำของจุลินทรีย์ในดินซึ่งได้แก่แบคทีเรีย รา และสาหร่ายเซลล์เดียว แต่ส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมของแบคทีเรีย (สมศักดิ์ และคณะ 2522) การสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี (aerobic condition) มักมีสาร intermediate product เกิดขึ้นเสมอ ได้แก่ กรดต่างๆ และแอลกอฮอล์ และจะสะสมอยู่ไม่นานก็จะสลายต่อโดยจุลินทรีย์ ส่วนดินที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดี (anaerobic condition) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวจะสะสมอยู่เป็นเวลานาน ได้แก่ กรด acetic กรดformic และsimple organic (สมศักดิ์, 2528)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งรวมทั้งของเสียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยแบคทีเรียเป็น 2 กรณี คือ การย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน และการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพียงพอ ส่วนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำขาดออกซิเจนหรือในน้ำมีออกซิเจนต่ำผลที่ได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศเพียงพอ (นิวุฒิ, 2534) ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี สารอินทรีย์จะถูกพวก hetero-aerobe ย่อยสลายผลที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ฮิวมัส และสารอื่นๆ ส่วนการย่อยในสภาวะที่มีอากาศถ่ายเทไม่ดี เช่น สภาพน้ำขัง ผลที่ได้จะมีสาร intermediate product เพิ่มมากขึ้น (สมเจตน์ และคณะ, 2526) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการสะสมสารอินทรีย์ในตะกอนดิน คือ ค่าพีเอชของดิน และปริมาณอนุภาคของดินเหนียว นอกจากนั้นปริมาณสารอินทรีย์ยังมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับการถ่ายน้ำ (นิวุฒิ, 2534) ปัจจัยที่ควบคุมการสลายตัวของสารอินทรีย์มีทั้งองค์ประกอบทางเคมีของ

สารอินทรีย์เอง จนถึงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ ค่าพีเอชและปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสารประกอบที่มี C, N, S, P แสดงการสลายตัวได้ดังนี้



อัตราการหายใจของดินพื้นบ่อ (respiration) ขึ้นอยู่กับระดับความหนาแน่น (Boyd and Pippopinyo, 1994) และระยะเวลา (Schroeder, 1987) ซึ่งการเลี้ยงที่ใช้ระยะเวลานานจะมีการหายใจหรือใช้ออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น ในการเลี้ยงที่ให้อาหารปกติ นอกจากนั้น Boyd and Pippopinyo (1994) กล่าวว่ามีการสูญเสียปริมาณออกซิเจน เพื่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แบบใช้ออกซิเจน (aerobic decomposition) เกิดในชั้นดินได้ลึกเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับว่ามีการแพร่ผ่านของออกซิเจนลงสู่ชั้นดินได้ลึกแค่ไหน ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่มักมีความหนาเพียง 0.5 มิลลิเมตร (Schroeder, 1987) หรือ 0.5-2.4 มิลลิเมตรเท่านั้น (Howler and Bouldin, 1971) ขณะที่อัตราการแพร่ของออกซิเจนสูงสุดจากบรรยากาศ (maximum rate of oxygen diffusion) เท่ากับ 4 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน นั้น แสดงว่า การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) จะถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจนที่ระดับนี้เท่านั้น Boyd and Pippopinyo (1994) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการหายใจของดินตะกอนในช่วงเวลาต่างกัน ในบ่อเลี้ยงปลาแบบพัฒนา คือในช่วงตากบ่อ (ดินสามารถได้รับออกซิเจนโดยตรงจากบรรยากาศ) ดินมีอัตราการหายใจเฉลี่ย 4.7 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวัน ขณะที่ช่วงเลี้ยงปลา (มีสภาพน้ำขัง) พบว่า มีอัตราการหายใจของดินเฉลี่ยเพียง 0.75 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวัน หรือกล่าวได้ว่าการหายใจของดินทั้งหมดในช่วง 12 วันแรกของการตากบ่อเท่ากับ 68 เปอร์เซ็นต์ของการหายใจของดินทั้งหมดในช่วงการเลี้ยง 152 วัน ซึ่งให้เห็นว่าสภาพที่มีน้ำขังในบ่อทำให้ออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์บริเวณพื้นบ่อ ความต้องการออกซิเจนของดินพื้นบ่อ (sediment oxygen demand) ทำให้เกิดการสูญเสีย

ออกซิเจนไปมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการออกซิเจนรวมในบ่อ (total oxygen demand) (Madenjian, 1987) หรือคิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้จากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช (Riise and Roos, 1997) โดยอัตราการหายใจของคืนตะกอนบริเวณผิวดินจะมีค่าสูงที่สุดและมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น

### ตะกอนและดินเลนพื้นบ่อ

ตะกอนและดินเลนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งมีความสำคัญต่อการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากกุ้งใช้เวลาส่วนใหญ่อาศัยบริเวณพื้นบ่อเพื่อการดำรงชีพและหากินอาหารตะกอนดินและดินเลนก้นบ่อเกิดจากเศษอาหาร ซากแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตที่ตายทับถมกันตลอดระยะเวลาเลี้ยง ซึ่งจากการศึกษาคุณภาพตะกอนดินของ คุณิต และคณะ (2536) พบว่า อัตราการตกตะกอน ปริมาณแอมโมเนียในตะกอนดิน ฟอสฟอรัสรวม ไนโตรเจนรวมและไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง และตะกอนดินสามารถปล่อยแอมโมเนียออกมาสู่มวลน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งได้

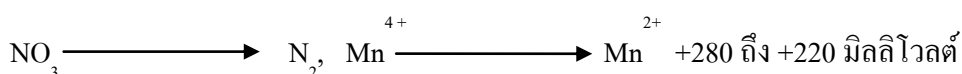
บริเวณพื้นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตะกอนเกิดขึ้นจากอนุภาคของแข็งต่างๆ ได้แก่ หิน (rock) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) ดินเหนียว (clay) เศษสารอินทรีย์และซากพืชซากสัตว์ต่างๆซึ่งอาจจะมีมาจากภายนอกและที่เกิดขึ้นภายในบ่อ แหล่งที่มาที่สำคัญของตะกอนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ อนุภาคดินที่แขวนลอยอยู่ในแหล่งน้ำก่อนที่จะสูบน้ำเข้าไปในบ่อป้อนและอาหารที่ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำและตะกอนที่เกิดขึ้นภายในบ่อจากกิจกรรมทางชีวภาพในระหว่างการเลี้ยง (Boyd, 1995)

การให้อากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดตะกอนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เป็นบ่อดิน เครื่องให้อากาศทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ ซึ่งจะพัดพาตะกอนบ่อด้านในและบริเวณพื้นบ่อในบริเวณที่กระแสน้ำมีความเร็วสูงและอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้นจะไปตกตะกอนอีกครั้งหนึ่งในบริเวณอื่นของบ่อที่มีความเร็วของกระแสน้ำต่ำกว่า ซึ่งพบว่าในบ่อที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่องนั้นมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูงกว่าบ่อที่มีการให้อากาศเป็นครั้งคราว (Thomforde and Boyd, 1992) บ่อเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยมักจะมีเครื่องให้อากาศขนาด 0.75 กิโลวัตต์ จำนวนมากถึง 8 ชุดต่อบ่อหรือมากกว่านี้ ซึ่งกระแสน้ำที่เกิดจากเครื่องให้อากาศจะไปพัดพาตะกอนก้นบ่อเป็นแถบกว้างประมาณ 10 - 15 เมตร รอบๆ บ่อรวมทั้งจะพัดพาตะกอนด้านใน โดยอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากการพัดพาจะไปตกตะกอนในบริเวณพื้นที่ตรงกลางของก้นบ่อซึ่งมีความเร็วของกระแสน้ำต่ำกว่าตะกอนที่เกิดขึ้นหนาประมาณ 30-45 เซนติเมตร ซึ่งครอบคลุม 30-50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่

ก้นบ่อ (Boyd, 1995) ดังนั้นนอกจากจะทำให้เกิดการกักเซาะแล้วยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตอีกด้วย เพราะพลังงานที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งคิดเป็นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตขณะที่ค่าอาหารประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ และค่าพันธุ์กุ้ง 15 เปอร์เซ็นต์ (Taparhudee, 2003) Boyd (1992) ได้ศึกษาถึงระบบการจัดการตะกอนที่อยู่ในบ่อ โดยเฉพาะเศษอาหารและสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำเองโดยอาศัยเครื่องให้อากาศเพื่อทำให้ตะกอนไปรวมกันที่กลางบ่อโดยปรับระดับให้พื้นก้นบ่อมีความลาดเอียงเข้าหาตรงกลางบ่อเพื่อความสะดวกในการจัดการพื้นก้นบ่อ

### ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของดิน (redox potential)

ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์โพเทนเชียล หรือค่า Eh เป็นการวัดเชิงปริมาณของแนวโน้มในระบบที่จะออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์สารประกอบ ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะเป็นบวกและมีค่าสูงในระบบออกซิเดชันในดินที่มีออกซิเจนอยู่เพียงพอ ดินที่มีออกซิเจนอยู่จะมีสีน้ำตาล น้ำตาลเหลืองหรือเขียวมะกอก เนื่องจากการที่สารประกอบของเหล็กในดินถูกออกซิไดซ์ไป ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์อยู่ในช่วง 0 ถึง +600 มิลลิโวลต์ และมีค่าเป็นลบหรือต่ำในระบบรีดักชันรุนแรง คือ ดินที่เน่าเสียหรือไม่มีออกซิเจนอยู่เลย (ทัศนีย์, 2534; Guy, 1992; Boyd, 1995) โดยมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์อยู่ในช่วงติดลบอาจต่ำลงถึง -200 มิลลิโวลต์หรือน้อยกว่านี้ และสีของดินจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีดำ ในที่สุด (จารุมาศ, 2548) โดยทั่วไปค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์มีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของดิน (Masuda and Boyd, 1994b) ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลโดยประมาณที่สารประกอบต่างๆ ในดินจะถูกรีดิวซ์ดังสมการ(ทัศนีย์, 2534)



ชลด (2533) กล่าวว่า การตรวจดูสภาพพื้นที่บ่อต่างๆ ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากกึ่งกลางค้ำ จะใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ที่บริเวณพื้นที่บ่อปริมาณเลนกันบ่อจึงมีความสำคัญต่อการประเมินสภาพพื้นที่บ่อเป็นอย่างมาก โดยดูจากสีและความหนาของเลนรวมทั้งกลิ่นด้วยการดูเลนจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในบ่อที่ไม่มีระบบการระบายน้ำกลางบ่อ (central drain) นอกจากการตรวจเลนกันบ่อ แล้วการวัดค่าบางอย่างสามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพของกันบ่อได้เช่นค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้วัดศักยภาพในการเกิดสภาวะที่มีอากาศหรือไม่มีอากาศของน้ำและดินกันบ่อได้จะเป็นการหาปริมาณสัดส่วนของสารที่มีคุณสมบัติในการให้หรือรับอิเล็กตรอนในน้ำนั้นๆ และสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพการที่มีอากาศของน้ำและดินกันบ่อได้โดยค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะอยู่ในช่วง + 600 สำหรับน้ำที่มีคุณภาพดีถึง - 350 มิลลิโวลต์สำหรับกันบ่อที่สกปรกค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของออกซิเจนที่จะถูกใช้ไปในบริเวณพื้นที่บ่อถ้าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นลบมากอาจจะต้องมีการจัดการแก้ไข เช่น เมื่อวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลได้ประมาณ - 120 ถึง -150 มิลลิโวลต์อาจจะต้องทำการดูเลนบริเวณนั้นหรือจัดการให้พื้นที่บ่อดีขึ้น การวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลบริเวณพื้นที่บ่อตามจุดต่างๆ ในบ่อเป็นช่วงๆ ของการเลี้ยงจะสามารถบอกได้ว่าบริเวณไหนเริ่มเสียหรือมีแนวโน้มที่จะไม่ดีสามารถที่จะแก้ไขได้แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการวิจัยอย่างจริงจังถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลและอัตราการเกิดโรคหรือสุขภาพอื่นๆ ของกุ้งในปัจจุบันนี้ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขนาดใหญ่หลายฟาร์มใช้วัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลบริเวณพื้นที่บ่อประกอบในการพิจารณาถึงการจัดการสภาพต่างๆ ในบ่อ ยนต์ และ พรพันธ์ (2534) ได้ศึกษาคุณภาพดินพื้นที่บ่อและตะกอนในระบบการเลี้ยงกึ่งกลางค้ำแบบหนาแน่นบริเวณพื้นที่อยู่รอบๆ จังหวัดกันอ่าวไทยพบว่าค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเป็นลบตลอดเวลา จากการศึกษาของ Boyd (1995) ในประเทศเอกวาดอร์พบว่าในดินระดับความลึก 5 เซนติเมตรเมื่อเริ่มต้นในการเลี้ยงกึ่งกลางค้ำรีดอกซ์โพเทนเชียลจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 50 มิลลิโวลต์หลังจากเลี้ยงกึ่งเป็นเวลา 3-4 เดือนค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลลดลงเหลือ -400 มิลลิโวลต์ จากการศึกษาของ ดำรงค์ (2540) พบว่าในดินพื้นที่บ่อเลี้ยงกึ่งกลางค้ำที่เลี้ยงในระบบปิดโดยให้อากาศบนพื้นที่กันบ่อมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +63.01 ถึง -295.00 มิลลิโวลต์ ระบบแขวนลอยตะกอนมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +65.99 ถึง -188.00 มิลลิโวลต์ และในระบบการเลี้ยงแบบน้ำหมุนเวียนรวมตะกอนมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเฉลี่ย +61.85 ถึง -171.41 มิลลิโวลต์ สาธิต (2549) กล่าวว่า การวางระบบเครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำให้มีความเหมาะสมกับขนาดและความลึกของบ่อจนสามารถทำให้เกิดกระแส น้ำที่มีความเร็วพอที่จะพัดพาเศษอาหารและซากแพลงก์ตอนออกจากบริเวณแนวหัวอาหารและทำให้บริเวณแนวเลนกลางบ่อมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอที่ใช้ในการย่อยสลาย ทำให้ค่ารีดอกซ์บริเวณแนวหัวอาหารมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

## การจัดการดินฟุ้งบ่อ

ปัจจุบันการจัดการดินฟุ้งบ่อทำได้หลายวิธี เช่น ทางด้านกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของบ่อและต้นทุนการทำความสะอาดของเสียทั้งหมด หรือเกือบทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเลี้ยงชุดหนึ่งๆ ควรจะได้รับการกำจัดออกไปเพื่อจะแน่ใจว่าฟุ้งบ่อสะอาดพอเพียง และสามารถเลี้ยงกุ้งได้ตลอดรอบการเลี้ยง โดยทั่วไปการทำความสะอาดฟุ้งบ่อ หลังจากเสร็จสิ้นการเลี้ยงแต่ละรุ่นมี 2 วิธี คือ วิธีหนึ่งทิ้งให้ฟุ้งบ่อแห้งแล้วขนย้าย หรือกำจัดของเสียบริเวณกลางบ่อออกไป วิธีที่สองการฉีดเลนคือ การล้างเอาของเสียที่อยู่ชั้นใต้ดินบริเวณฟุ้งบ่อออกไปก่อนที่จะทำการตากบ่อ (พรเลิศ และคณะ, 2537)

### 3. คุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งทะเล

#### 1. ปริมาณที่ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen , DO)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในบ่อเลี้ยงกุ้ง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้การกินอาหารลดลง (กรมประมง, 2546) กุ้งตายได้ ปริมาณออกซิเจนในน้ำควรอยู่ระหว่าง 4 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงจุดอิ่มตัวโดยปกติปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อควรอยู่ในระดับ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chen, 1985) โดยทั่วไปออกซิเจนภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีที่มาจาก 3 ทาง คือ การแพร่จากอากาศสู่ผิวน้ำ จากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และจากการใช้เครื่องหรืออุปกรณ์เพิ่มอากาศ ในบ่อเลี้ยงกุ้งการละลายของออกซิเจนในน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องให้อากาศ เนื่องจากในเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนถึงเวลาเช้ามีด จึงมีความจำเป็นในการเปิดเครื่องให้อากาศเพื่อช่วยในการเพิ่มออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและช่วยทำให้อัตราการรอดตายเพิ่มมากขึ้นด้วย (Madenjian, 1990) ความต้องการออกซิเจนภายในบ่อ จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามระยะเวลาของการเลี้ยง ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะลดต่ำลงตั้งแต่เวลา 18.00 น. และอัตราการลดลงของปริมาณออกซิเจนละลายส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการบริโภคออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง ปริมาณออกซิเจนละลายจะเริ่มลดลงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าจุดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งตั้งแต่เวลาประมาณ 02.00 น. และจะอยู่ในสภาวะนี้จนกว่าจะถึงเช้าวันใหม่ (พุทธ และคณะ, 2543)

ชลด และ พรเลิศ (2547) ได้สรุป ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มีผลต่อกุ้งไว้ ดังนี้

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งเจริญเติบโตดี สารอินทรีย์สลายตัวได้เร็ว

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 3-4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งเจริญเติบโตช้าลง การสะสมของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งกินอาหารน้อยลง การเจริญเติบโตช้า โอกาสป่วยเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะขึ้นมาอยู่บริเวณผิวน้ำ กุ้งที่อ่อนแอจะลอกคราบแล้วตาย และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะตาย

พุทธ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้องการบริโภคออกซิเจนจากการหายใจของน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อกุ้ง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่กุ้งสามารถนำไปใช้ได้ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีผลผลิตต่างกัน (640 และ 399 กรัมต่อตารางเมตร) พบว่าการหายใจทั้งหมดของบ่อเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเลี้ยง โดยเป็นการหายใจเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงของน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ และ กุ้งเท่ากับ 45, 45 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การหายใจของบ่อที่มีผลผลิตต่างกันจะแตกต่างกันเมื่อเลี้ยงกุ้งนานกว่า 100 วัน และยังพบว่าช่วงหลังที่ยังคืนจนถึงเช้าตรู่ บ่อเลี้ยงกุ้งที่มีผลผลิตต่ำมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่กุ้งสามารถนำไปใช้ได้อยู่มากกว่าบ่อที่มีผลผลิตสูง

## 2. อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสัตว์น้ำ ควบคุมการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของพืชและสัตว์ ซึ่งแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียส (ศิริเพ็ญ, 2543) โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มแสง กระแสลม ปริมาณสารแขวนลอยและความลึก (Conroy and Herman, 1970) สภาพแวดล้อม ความเข้มแสง และค่าการนำไฟฟ้า การละลายของออกซิเจนในน้ำ (Boyd, 1990) โดยถ้าปริมาณความเข้มแสงมากก็จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำสูงขึ้น (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเพราะเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะทำให้การแตกตัวเป็นไอออนของเกลือมากขึ้น (สุธี, 2543) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ

อย่างรวดเร็วสามารถทำให้เกิดอันตรายโดยตรงต่อสัตว์น้ำก็ได้ เช่นทำให้ระบบการควบคุมการปรับสมดุลของน้ำและเกลือแร่ในร่างกายผิดปกติไป ซึ่งจะทำให้ร่างกายอ่อนแอและตายได้ (Moncrief and Jones, 1977) เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลง ในขณะที่กระบวนการเมตาบอลิซึมผันแปรตามอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้สัตว์น้ำที่ต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนได้ นอกจากนี้การทำงานของพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการย่อยสลายสิ่งปฏิภูลต่างในน้ำจะเพิ่มขึ้นและต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนเร็วขึ้นเป็นเหตุให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้ (Alexander, 1976) กุ้งเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิของร่างกายจะอยู่ในระดับเดียวกับอุณหภูมิน้ำ สำหรับกุ้งกุลาดำจะกินอาหารดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิ ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส (ชลอ, 2534) ส่วนกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 26-33 องศาเซลเซียส (Wickins and Lee., 2002)

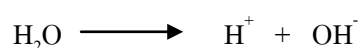
### 3. ความเค็ม (salinity)

ความเค็มของน้ำเกิดจากเกลือต่างๆ ที่ละลายในน้ำ หมายถึง ปริมาณเป็นกรัมของเกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำทะเล 1 กิโลกรัม เมื่ออนุมูลคาร์บอนทั้งหมดเปลี่ยนเป็นออกไซด์ อนุมูลโบรไมด์ และไอโอดีน ถูกแทนที่ด้วยอนุมูลคลอไรด์และสารอินทรีย์ทั้งหมดถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ (มนูวดี, 2532; Sverdrup *et al.*, 1942) และมีอีกความหมายคือ ความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ (Boyd, 1989) ความเค็มจะมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) หรือส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) ในทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้หน่วยวัดความเค็มในรูปของส่วนในพันส่วน (part per thousand; ppt) หรือย่อเป็นพีพีทีหรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำ ในแหล่งน้ำจืดส่วนมากจะมีค่าระหว่าง 0.5-1 พีพีที ความเค็มของน้ำทะเลปกติจะมีค่าระหว่าง 30-35 พีพีที ซึ่งมีไอออนสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในการก่อให้เกิดความเค็มของน้ำมีอยู่ 7 ชนิด ได้แก่ โซเดียม โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต และไบคาร์บอเนต (Boyd, 1989) กุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีพและเจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็มต่ำกว่า 15 พีพีที (Musig and Ruttanagosrigit, 1982; Boyd, 1987) แต่ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 15-20 พีพีที และสามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 5 พีพีทีได้ และถ้าความเค็มสูงกว่า 35 พีพีที ทำให้การเจริญเติบโตลดลง (สไบทิพย์ และคณะ, 2543) และกุ้งสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงกว้างที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 พีพีที (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) น้ำในนากุ้งในประเทศไทยมีความเค็มอยู่ระหว่าง 5-38 พีพีที แต่กุ้งจะโตช้าลงเมื่อน้ำนั้นมีความเค็มสูงกว่า 36 พีพีที (บรรจง, 2521) แต่ในปัจจุบันพบว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีความเค็ม 3-10 พีพีที จะง่ายกว่าการเลี้ยงด้วยน้ำทะเลความ

เค็มปกติ เนื่องจากน้ำที่มีความเค็มต่ำมีปัญหาจากโรคน้อยมาก โดยเฉพาะปัญหาจากโรคแบคทีเรีย รื่องแสงและแพลงก์ตอนในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต กุ้งขาวแวนนาไมไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีใน น้ำที่มีความเค็มระหว่าง 0-35 พีพีที แต่ไม่ควรต่ำกว่า 3 พีพีที ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และกุ้งขาว แวนนาไมระยะโพสลาร์วามีความสามารถในการปรับตัวและสามารถต้านทานต่อสภาพแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างเฉียบพลัน (Silvia *et al.*, 2004) การเปลี่ยนแปลงระดับความเค็ม ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระดับน้ำในช่วงวันและฤดูกาล สามารถส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต ของกุ้งกุลาดำได้หากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลัน ตามปกติกุ้งกุลาดำสามารถที่จะปรับตัว อาศัยอยู่ได้ในความเค็มที่สูงถึง 40 พีพีที จนถึงความเค็มต่ำ 1-2 พีพีที หากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น อย่างช้าๆ น้ำที่มีความเค็มสูงจะทำลายอาหารธรรมชาติของกุ้งซึ่งเป็นพวกแพลงก์ตอนพืชน้ำกร่อยที่ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง อีกทั้งค่าความเค็มสูงยังสามารถเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการตก ตะกอนของสารอินทรีย์ และยังมีผลต่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำบริเวณพื้นบ่อได้ (Costanz *et al.*, 2004) แต่น้ำที่มีความเค็มอยู่ในระดับต่ำก็สามารถสร้างปัญหาได้เช่นเดียวกัน คือ ทำให้กลุ่ม แบคทีเรีย โปรโตซัว สามารถเจริญเติบโตได้ง่าย และทำให้สภาพพื้นบ่อจะเสียเร็ว (ไกรวัล, 2535) Ponce-Palafox *et al.* (1997) ได้อธิบายไว้ว่า สำหรับกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในความเค็มสูงกว่า 20 พีพีที กุ้งในระยะ juvenile จะมีอัตราการรอดที่ดี นอกจากนี้ความเค็มและอุณหภูมิยังมีผลกับอัตราการ รอดตายของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชียด้วย (Lester and Pante, 1991) กุ้งขาวแวนนาไมในระยะโพส ลาร์วาก็จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็มประมาณ 20 พีพีที และเมื่อความเค็มลดลงเหลือ 5 พีพีที หรือ สูงถึง 45 พีพีที การเจริญเติบโตจะลดลง

#### 4. ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือ พีเอช (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือพีเอช (pH) ของน้ำ หมายถึง ความเข้มข้นของไฮโดรเจน อีออน ( $H^+$ ) ที่มีอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร แต่เนื่องจากค่าที่วัดได้เป็นค่าที่น้อยมาก จึงได้ กำหนดค่าของพีเอชเป็นค่าลบล็อก (-log) ของกิจกรรมของไฮโดรเจนอีออนในน้ำเพื่อที่จะได้ค่าเป็น จำนวนเต็มที่ง่ายต่อการอ่านค่า (ยนต์, 2530) การแตกตัวของน้ำเป็นดังนี้ (นิคม, 2546)



พีเอชของน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของกิ้งกูดาค้ำและมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำตัวอื่นๆ เช่น มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น พีเอชของน้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงกิ้งกูดาค้ำควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 และความผันแปรของพีเอชในรอบวันไม่ควรมากกว่า 0.5 (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ค่าของพีเอชมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำ (ความเป็นด่างทั้งหมด) และอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจ แหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณแพลงก์ตอนมาก ถ้าความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของน้ำต่ำ ค่าพีเอชในตอนเช้าอาจลดต่ำลงถึง 6 และสูงกว่า 11 ในช่วงบ่าย (Kungvankij *et al.*, 1986; Boyd and Tucker, 1998)

การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในรอบวันในบ่อเลี้ยงกิ้งกูดาค้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติของดิน ความเป็นด่าง การผลิต การใช้คาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณอ็อกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งในช่วงกลางวันแพลงก์ตอนพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากใบคาร์บอนเตเพื่อการสังเคราะห์แสงทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ถ้าแพลงก์ตอนพืชมีปริมาณมากจะทำให้ค่าพีเอชสูงในตอนบ่าย ส่วนในเวลากลางคืนคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการหายใจโดยแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบ่อรวมทั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ค่าพีเอชต่ำในตอนเช้ามืด (ชลอ, 2543) ปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชด้วย คือ ถ้ามีปริมาณแพลงก์ตอนมากจะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าพีเอชต่ำสุดและสูงสุดในรอบวันมาก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อปริมาณของสารพิษในบ่อเลี้ยงกิ้ง เช่น แอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในรอบวันมากเกินไปจะมีผลทำให้กิ้งเครียดมีผลต่อการเจริญเติบโตของกิ้ง การแก้ปัญหาทำได้โดยถ่ายน้ำมากขึ้นเพื่อลดความเข้มข้นของปริมาณแพลงก์ตอน (ชัยญันท์, 2547) หรือในกรณีที่ค่าความเป็นด่างของน้ำต่ำ จำเป็นต้องเติมวัสดุปูนเพื่อเพิ่มค่าความเป็นด่างจะทำให้พีเอชของน้ำในตอนเช้าและตอนบ่ายเปลี่ยนแปลงน้อยลง ค่าพีเอชยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสารพิษชนิดอื่นๆ ที่เป็นอันตรายให้มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ คือ ถ้าค่าพีเอชมีระดับสูงขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าค่าพีเอชมีระดับลดลงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น (ศิริ, 2546 ; Tucker and Boyd, 1985) เมื่อไฮโดรเจนอ็อกซิเจนถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเตอ็อกซิเจน น้ำก็จะแตกตัวเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับสมดุลของไฮโดรเจนอ็อกซิเจน และไฮดรอกซิลอ็อกซิเจน โดยในระหว่างที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วระดับพีเอชที่ผิวน้ำอาจสูงถึง 10.4 (Abiliovitch, 1972) และอาจสูงมากถึง 11.0 (Zur, 1981) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยในบ่อกึ่ง หากปรากฏว่าน้ำหรือดินในบ่อมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป การใส่ปุ๋ยก็จะไม่เกิดผลดีแต่อย่างใดและเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ โดยจะต้องปรับปรุงให้ค่า

พีเอชสูงขึ้นจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมเสียก่อนจึงใส่ปุ๋ยเพื่อให้ปุ๋ยสามารถละลายและถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยสิ่งมีชีวิตในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Colt and Armstrong, 1979)

Boyd (1982) ได้รายงานว่ ผลของพีเอชต่อกุ้งมีการศึกษาไม่มาก แต่น่าจะคล้ายกับปลา ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลกระทบของพีเอชต่อกุ้งกุลาดำ

พีเอช	ผลกระทบ
น้อยกว่า 4	เป็นกรด กุ้งตาย
มากกว่า 4-6	การเจริญเติบโตช้า
มากกว่า 6-9	การเจริญเติบโตดีที่สุด
มากกว่า 9-11	การเจริญเติบโตช้า
มากกว่า 11	เป็นด่าง กุ้งตาย

น้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งควรมีพีเอชอยู่ระหว่าง 7.8-8.3 ในน้ำทะเลที่มีอินทรีย์วัตถุคาร์บอนน้อยกว่า 10-12 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น กุ้งจะโตช้าลงและมีอัตราการตายสูงถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่า 6.4 อัตราการตายของกุ้งจะสูงยิ่งขึ้น ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่า 5.0 (บรรจง, 2521) Chiang *et al.* (1989) รายงานว่ระดับพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 7.3-8.8

#### 5. ความกระด้าง (hardness)

ความกระด้างของน้ำ คือ อีออนของโลหะวาเลนซ์สอง ซึ่งได้แก่ แคลเซียมอีออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แมกนีเซียมอีออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) เป็นส่วนใหญ่ (ยนต์, 2530) หน่วยความเข้มข้นวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของหินปูน ( $\text{mg/l as CaCO}_3$ ) ความกระด้างโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับความเป้นด่าง เพราะอีออนลบของความเป้นด่าง และอีออนบวกของความกระด้างโดยปกตินี้ได้มาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต

ความกระด้าง(hardness) ของน้ำเกิดจากไอออนของโลหะที่มีประจุตั้งแต่ 2 ประจุขึ้นไป ได้แก่  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  และ  $\text{Mn}^{+2}$  (Rowe and Abdel-Magid, 1995) ไอออนพวกนี้สามารถทำปฏิกิริยากับสบู่ตกตะกอนและทำปฏิกิริยากับไอออนที่มีประจุลบบางชนิดในน้ำเกิดตะกอนสาเหตุหลักของความกระด้างของน้ำคือ ไอออนวาเลนซ์สอง โดยอลูมิเนียม ( $\text{Al}^{+3}$ ) และเหล็กในรูปเฟอร์ริก ( $\text{Fe}^{+3}$ ) ก็ทำให้เกิดความกระด้างเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามในระดับพีเอชของน้ำธรรมชาติจะพบไอออนทั้งสองชนิดนี้น้อยมาก ความกระด้างของน้ำอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท (ยนต์, 2539)

1. ความกระด้างชั่วคราว (temporary hardness หรือ carbonate hardness) ซึ่งเป็นความกระด้างที่เกิดจากเกลือคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนตกับโลหะวาเลนซ์สอง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมไบคาร์บอเนต

2. ความกระด้างถาวร (permanent hardness หรือ non-carbonate hardness) เป็นความกระด้างที่เกิดจากเกลือของโลหะวาเลนซ์สองกับไอออนลบตัวอื่น เช่น คลอไรด์ซัลเฟต

ส่วนใหญ่ความกระด้างของน้ำมักเกิดจากตะกอนของแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ซึ่งจะวัดออกมาเป็นปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ปริมาณความกระด้างรวม หมายถึง ผลรวมของความกระด้างอันเนื่องมาจากผลรวมความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม (ศิริเพ็ญ, 2543 ; Tchobanoglous and Schroeder, 1987)

ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีค่าความกระด้างน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างและพีเอช นอกจากนี้ความกระด้างของน้ำยังช่วยลดความเป็นพิษได้เช่นกัน โดยเฉพาะพวกโลหะหนัก ดังนั้นน้ำกระด้างปานกลางหรือสูงจึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในการแบ่งความกระด้างของน้ำจะใช้ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่มีอยู่เป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งได้ดังนี้ (Sawyer and McCarty, 1967)

น้ำอ่อน	0 - 75	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $\text{CaCO}_3$
น้ำค่อนข้างกระด้าง	75 - 150	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $\text{CaCO}_3$
น้ำกระด้าง	150 - 300	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $\text{CaCO}_3$
น้ำกระด้างมาก	> 300	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ $\text{CaCO}_3$

ปลาและสัตว์น้ำในกลุ่มกุ้งและปู ต้องการแคลเซียมในการสร้างกระดูก และเปลือกสัตว์น้ำในกลุ่มกุ้ง และปูจะดูดซับแคลเซียมจากน้ำระหว่างการลอกคราบจึงต้องมีปริมาณแคลเซียมในน้ำในระดับที่พอเพียง (Filber and Lutz, 1982) ความกระด้างโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับความเป็นด่าง เพราะว่าไอออนลบของความเป็นด่าง และไอออนบวกของความกระด้างโดยปกตินี้ได้มาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต (Boyd, 1982) ความกระด้างที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และคณะ, 2547) ถ้าความกระด้างของน้ำต่ำควรจะมีการเติมเกลือแร่ลงไปช่วงเวลาที่กุ้งมีการลอกคราบหรือผสมเกลือแร่ในอาหารให้กุ้งกินเพื่อทดแทนปริมาณที่ไม่เพียงพอในน้ำ

ความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างและพีเอช นอกจากนี้ความกระด้างของน้ำยังช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษหลายชนิดโดยเฉพาะพวกโลหะหนัก ดังนั้นน้ำกระด้างปานกลางหรือสูงจึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ น้ำอ่อน โดยเฉพาะน้ำฝนไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528)

## 6. ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างของน้ำ หมายถึง ความสามารถหรือคุณสมบัติของน้ำที่จะรับเอาไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) (Manahan, 1993) นั่นก็คือในแหล่งน้ำจะประกอบด้วยคาร์บอเนต ( $CO_3^{2-}$ ) ไบคาร์บอเนต ( $HCO_3^-$ ) และไฮดรอกไซด์ ( $OH^-$ ) เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะมีพวกบอเรต (borates) ซิลิเกต (silicates) ฟอสเฟต (phosphate) และสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่บ้าง แต่เป็นจำนวนน้อย (ชาญยุทธ, 2533) สารประกอบเหล่านี้จะทำให้น้ำมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 โดยที่พีเอชของน้ำนั้นจะเป็นตัวกำหนดสารประกอบที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อน้ำที่มีพีเอช 7-8.3 จะมีไบคาร์บอเนตมาก น้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 8.3 ขึ้นไปจะเริ่มมีคาร์บอเนตน้ำที่มีพีเอช 9.5-10.5 จะมีคาร์บอเนตมากและน้ำที่มีพีเอช 11 จะมีไฮดรอกไซด์มาก ค่าความเป็นด่างมีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น พีเอช ความเป็นกรด และความกระด้าง เป็นต้น (Brawn *et al.*, 1983) ความเป็นด่างของน้ำจึงเป็นค่าแสดงถึงความสามารถของน้ำที่จะป้องกันไม่ให้พีเอชเปลี่ยนแปลง (buffer capacity) (Wedemeyer *et al.*, 1976) น้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.5 จะไม่พบความเป็นด่างอยู่เลย (Molye, 1945; Mairs, 1966) หากปรากฏว่าแหล่งน้ำนั้นมีค่าความเป็นด่างต่ำก็แสดงว่ามี buffer capacity น้อย พีเอชของน้ำแห่งนั้นจะเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ความเป็นด่างจะแตกต่างกันออกไปโดยมีค่าตั้งแต่ 25 จนถึง 400-500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1982; 1990) ความเป็นด่างของน้ำที่เหมาะสมในการ

เลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในช่วง 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1982) ความรุนแรงของความเป็นพิษของโลหะลดลงเมื่อความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปพีเอชเพิ่มขึ้นตามความเป็นด่าง (Boyd and Tucker, 1998)

ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวว่า ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและกุ้งทะเลทุกชนิด ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 7. แอมโมเนีย (ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำที่วันแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียที่ใช้แอมโมเนียเป็นอาหารโดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้ในโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท (Patrick, 1977) แอมโมเนียเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ กระบวนการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือ แพลงก์ตอนที่ตาย เศษซากพืชซากสัตว์และสารอินทรีย์อื่นๆ โดยจุลินทรีย์ (Boyd, 1982) ในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ (Tucker and Boyd, 1985; Wickins, 1985) และจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาซึ่งมีการให้อาหารในปริมาณมากทำให้มีของเสียและเศษอาหารสะสมอยู่ในบ่อตามระยะเวลาการเลี้ยงส่งผลให้เกิดแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียที่มีมากจะเป็นอันตรายต่อกุ้ง แอมโมเนียที่พบอยู่ในน้ำจะอยู่ในสองรูปแบบคือแอมโมเนียที่แตกตัวเป็นไอออน (ionize ammonia;  $\text{NH}_4^+$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยและแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (un-ionize ammonia;  $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ การวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจึงเป็นการวัดแอมโมเนียทั้งสองรูปนี้ ค่าที่วัดได้จะเรียกว่าค่าแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen; TAN) ตัวอย่างการแตกตัวของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส พีเอช 7 มีค่าแอมโมเนียรวม 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นจะมีแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน  $1 \times (0.6/100) = 0.0571$  มิลลิกรัมต่อลิตร องค์การอนามัยโลกได้กำหนดมาตรฐานของแหล่งน้ำให้มีปริมาณแอมโมเนียไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งสองรูปนี้จะเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิ แต่จะพบว่าค่าพีเอชจะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนมากกว่าอุณหภูมิ (Boyd, 1989) คือ เมื่อพีเอชสูงอัตราส่วนของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนจะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น การที่แอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นจะทำให้กุ้ง

จับถ่ายแอมโมเนียได้น้อยลง ก่อให้เกิดการสะสมแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ทำให้ค่าพีเอชของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น โดยจะเข้าทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งออกซิเจน กุ้งจะอ่อนแอและติดเชื้อโรคได้ง่าย แต่ถ้ามีพีเอชลดลง แอมโมเนียมีอันตรายส่วนที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลง ส่วนอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นพิษของแอมโมเนียจะสูงตามไปด้วย (Boyd, 1982) และเมื่อค่าพีเอชลดลง ความเป็นพิษของแอมโมเนียก็จะลดลง ระดับแอมโมเนียที่ทำให้กุ้งโตช้าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้สัตว์น้ำตาย โดยทั่วไประดับแอมโมเนียที่ปลอดภัยสำหรับการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

#### 8. ไนไตรท์ (nitrite)

ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่งเกิดจากการที่สารอินทรีย์จมตัวลงและทับถมที่พื้นบ่อถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในระหว่างอนุภาคตะกอนให้เป็นธาตุอาหารพืชต่างๆ โดยกระบวนการย่อยสลายจำเป็นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ สำหรับกระบวนการย่อยสลายก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้ค่าพีเอชลดลง การย่อยสลายโปรตีนทำให้เกิดแอมโมเนียซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์และถ้าบริเวณดังกล่าวมีออกซิเจนเพียงพอและมีแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ไนไตรท์และไนเตรท (จารุมาศ, 2545) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการแปรสภาพแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ โดยการทำงานของจุลินทรีย์ (วิทยา, 2526; เพิ่มพูน, 2528; Alexander, 1961) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการ ammonization ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารประกอบโปรตีนจะสลายตัวคือ ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compound ต่าง ๆ และในที่สุดจะเป็นอามีน (amine) และกรดอะมิโน (amino acid) อีกกระบวนการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกันคือกระบวนการ ammonification ซึ่งเกิดต่อเนื่องจาก ammonization สารประกอบพวกอามีนหรือกรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แอลกอฮอล์ และพลังงาน (วิทยา, 2526) แหล่งน้ำทั่วไปพบที่มีความเข้มข้นต่ำเฉลี่ยน้อยกว่า 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่แหล่งน้ำที่รับน้ำเสียพบไนไตรท์ในความเข้มข้นที่สูงกว่าเช่นเดียวกับบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นสูง เพราะไนบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีอัตราการเติมไนโตรเจนในรูปของอาหารเม็ดปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยคอกลงในบ่อ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะต่ำ (น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เนื่องจากแอมโมเนียซึ่งเป็นสารตั้งต้นถูกแปลงก็พืชนำไปใช้ (Boyd and Tucker, 1998)

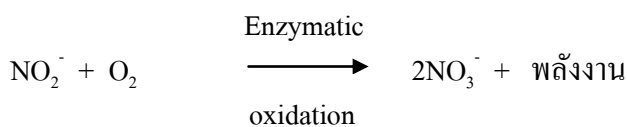
ในบ่อเลี้ยงกุ้งการสะสมไนโตรเจนในน้ำเกิดจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์และปล่อยแอมโมเนียออกมามาก ไนโตรเจนที่เป็นอนินทรีย์ในโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ระดับความเป็นพิษของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำและค่าพีเอชน้ำลดลงนอกจากนี้ความเป็นพิษของไนโตรเจนจะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนโตรเจนต่อสัตว์น้ำจึงค่อนข้างต่ำ (ชโล และ พรเลิศ, 2547) เช่นเดียวกับแอมโมเนียโดยไนโตรเจนที่ปลดประสิทธิภาพในการขนส่งออกซิเจนของเลือดและทำลายเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ปริมาณคลอไรด์ในน้ำช่วยลดความเป็นพิษของไนโตรเจนต่อสัตว์น้ำได้ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อยจึงไม่ค่อยมีปัญหาจากความเป็นพิษของไนโตรเจน เพราะน้ำกร่อยมีความเข้มข้นของคลอไรด์สูง ความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมักจะต่ำ น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (Boyd, 1990; Lawson, 1995) โดยการแปรสภาพแอมโมเนียจะเกิดขึ้นโดยenzymatic oxidation ซึ่งเป็นกิจกรรมของ nitrifying bacteria ซึ่งเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน กระบวนการแปรสภาพจะมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1  $\text{NH}_3$  หรือ  $\text{NH}_4^+$  จะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ได้แก่ *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*

ขั้นตอนที่ 2 ไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรท



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ *Nitrobacter*

การป้องกันปัญหาความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนโตรเจนสามารถทำได้โดยการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ที่ตกค้างและเน่าสลายภายในบ่อ เพื่อให้เกิดแอมโมเนียน้อยที่สุด การเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือเพิ่มออกซิเจนในน้ำสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนได้

## 9. ความโปร่งแสง (transparency)

ความโปร่งแสงของน้ำวัดเป็นความลึกที่สามารถมองเห็นวัตถุแผ่นวงกลม (Secchi disc) ที่หย่อนลงไปใต้น้ำจนถึงความลึกที่มองไม่เห็นวัตถุดังกล่าว (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณแพลงก์ตอนพืชและตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงกุ้ง ความขุ่นของน้ำที่เกิดจากแพลงก์ตอนโดยปกติจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ เพราะจะทำให้มีอาหารธรรมชาติสำหรับสัตว์น้ำที่อุดมสมบูรณ์ในขณะเดียวกันทำให้เกิดปัญหาพรรณไม้น้ำและสาหร่ายตามพื้นบ่อ เนื่องจากแสงแดดส่องไม่ถึงพื้นบ่อ สำหรับความขุ่นที่เกิดจากตะกอนดินจะไปทับถมบริเวณพื้นบ่อและสารแขวนลอยประเภทสารอินทรีย์อาจทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนทำให้บริเวณนั้นเน่าเสียเกิดก๊าซพิษ เช่น แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ยนต์, 2530) หากน้ำในบ่อมีความขุ่นมาก จะทำให้ค่าความโปร่งแสงของน้ำในบ่อน้อยเกินไปแสงจะส่องไม่ถึงพื้นบ่อ ทำให้สาหร่ายพื้นบ่อตายและเกิดการเน่าเสียตามมา แต่ถ้าน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งใสเกินไปอาหารธรรมชาติจะมีน้อย ความโปร่งแสงที่เหมาะสมในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่จะอยู่ในช่วง 25-50 เซนติเมตร (Brock and Main, 1994) ความโปร่งแสงที่ลดลงมากเกินไปเนื่องจากการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชอาจจะทำให้ความแตกต่างของระดับพีเอชในรอบวันมีมากขึ้นซึ่งจะทำให้กุ้งเครียดและส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต (ชลอ, 2534)

## 10. ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity หรือ EC) เป็นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหรือของเหลวอื่นที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าของน้ำขึ้นกับปริมาณไอออน mobility valence และ relative concentration และชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำหรือของเหลว รวมทั้งอุณหภูมิของน้ำ ความเค็มสามารถวัดได้โดยค่าการนำไฟฟ้าในดิน และวัดจากความหนาแน่นโดยใช้ hydrometers (Reid, 1961) ถ้าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำสูงขึ้น และถ้าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายลดลง แสดงว่าปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำต่ำลง (APHA *et al.*, 1989) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำธรรมชาติทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100-1,500 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (Todd, 1959) ขณะที่ทำการวัดสารประกอบอนินทรีย์ เช่น กรดอนินทรีย์ เบส และเกลือ เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีตรงข้ามกับสารอินทรีย์ซึ่งไม่แตกตัวในน้ำ ดังนั้นจึงไม่นำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำแต่บอกเพียงว่ามีสารเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารในน้ำเท่านั้น (กรรณิการ์, 2522) ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้า

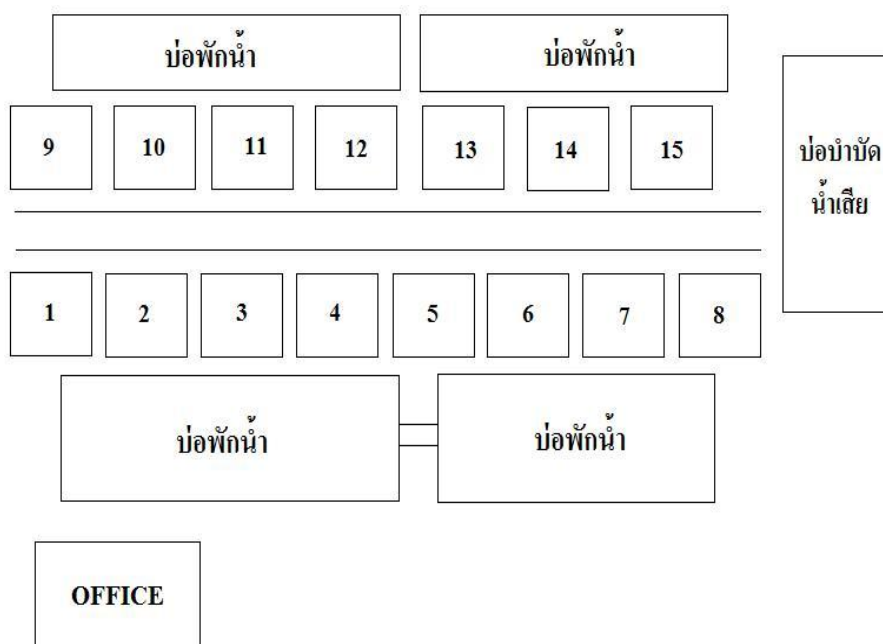
ของน้ำจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และพีเอชของน้ำ น้ำที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 9 หรือต่ำกว่า 5 จะมีผลต่อการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเพราะน้ำหรือของเหลวที่มีสภาพความเป็นกรดแก่หรือเป็นด่างแก่จะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออนมาก ทำให้ค่า ionic mobility สูงขึ้น (พัชรดา, 2543) และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมากสารต่างๆจะแตกตัวได้ดี ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ไมตรี และ จารุวรรณ (2528) ได้กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือ อุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนของสารต่าง ๆ ทำให้สมเจตน์ และคณะ (2529) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่น้อยกว่า 1 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) หรือมิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/cm) จะไม่มีความเค็ม ส่วนค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 2-4 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร จะมีความเค็มต่ำ ค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 5-8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร จะมีความเค็มปานกลาง และค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 9 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร จะมีความเค็มสูง นอกจากนี้จากการที่การนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล ทำให้สามารถนำค่าการนำไฟฟ้านี้มาใช้ในการศึกษาหาขอบเขตการแพร่กระจายความเค็มจากบ่อเลี้ยงกุ้งสู่บริเวณข้างเคียงได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์จากค่าการนำไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งสู่แหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ (ประวิทย์ และ พิภพ, 2539)

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน ที่อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือน พฤษภาคม - สิงหาคม 2551 ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำโดยใช้ระบบปิดน้ำหมุนเวียน คือ น้ำที่ระบายออกจากบ่อเลี้ยงในระหว่างการเลี้ยงและในขณะที่จับกุ้งจะมีการสูบลับเข้าไปในบ่อพักน้ำ หลังจากทำการบำบัดน้ำให้มีคุณภาพที่เหมาะสมแล้วก็จะนำกลับมาใช้เลี้ยงกุ้งในรุ่นต่อไป พื้นที่ฟาร์มทั้งหมด 198 ไร่ ประกอบด้วย พื้นที่บ่อพักน้ำ ประมาณ 50 ไร่ พื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งประมาณ 84 ไร่ แบ่งเป็น 15 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีขนาดประมาณ 6 ไร่ (ภาพที่ 1) มีความลึกประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งเป็นฟาร์มที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ 5-10 พีพีที นำลูกกุ้งขาวระยะโพสลาาร์วา 12 เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 120,000 ตัวต่อไร่ มีการล้อมตาข่ายรอบบ่อเพื่อป้องกันสัตว์จำพวกปูที่อาจจะเป็นพาหะของเชื้อไวรัสเข้าไปในบ่อ (ภาพที่ 2) ในการศึกษาได้แบ่งการทดลอง ดังนี้

บ่อทดลองมีขนาดประมาณ 6 ไร่ จำนวน 3 บ่อ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความลึกประมาณ 1.5 เมตร และพื้นบ่อเป็นดินเหนียว มีการใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าบ่อละ 4 เครื่อง แต่ละเครื่องมี 1 แขน แต่ละแขนมีใบพัดตีน้ำ 14 วง มีระบบเติมอากาศ แบบระบบฉีดออกซิเจนลงในบ่อ มีสายเติมอากาศทั้งหมด 6 สาย มี 1 สายเป็นสายหลักต่อกับเครื่องเติมอากาศโดยตรงซึ่ง 6 สายนี้ในแต่ละสายมีรูเล็กๆ จำนวนมากสำหรับอากาศออกสู่ภายในบ่อ (ภาพที่ 3)

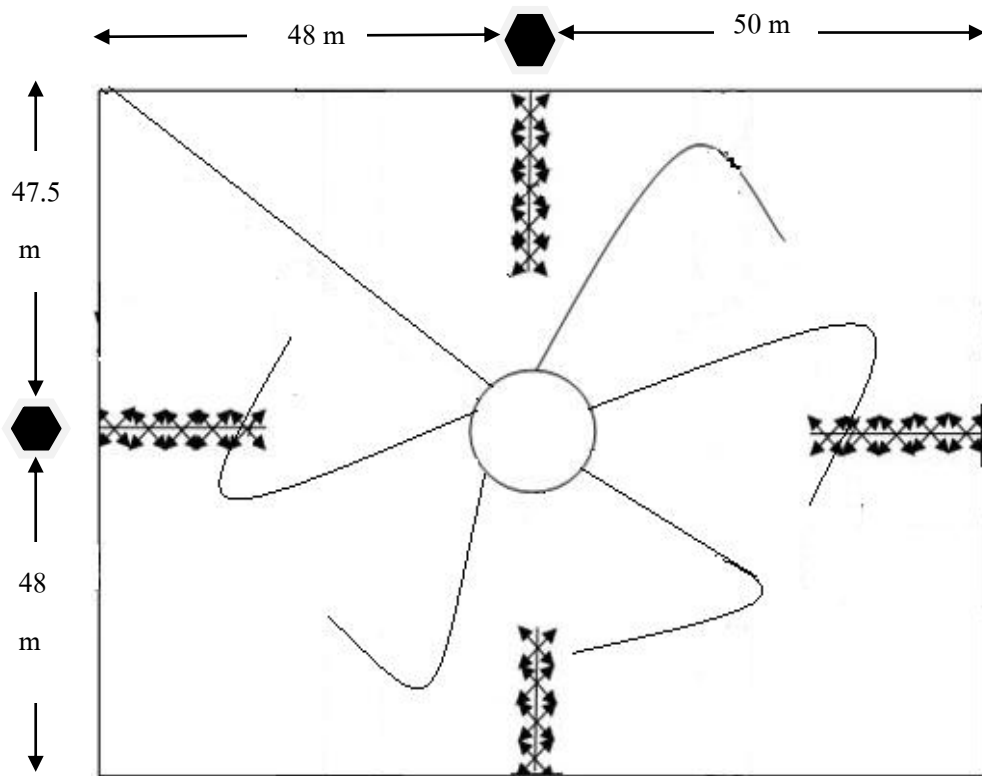
บ่อควบคุมจำนวน 3 บ่อ ขนาดประมาณ 6 ไร่ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความลึกประมาณ 1.5 เมตรและพื้นบ่อเป็นดินเหนียว ใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที บ่อละ 8 เครื่อง แต่ละเครื่องมี 1 แขน แต่ละแขนมีใบพัดตีน้ำ 14 วง (ภาพที่ 4)



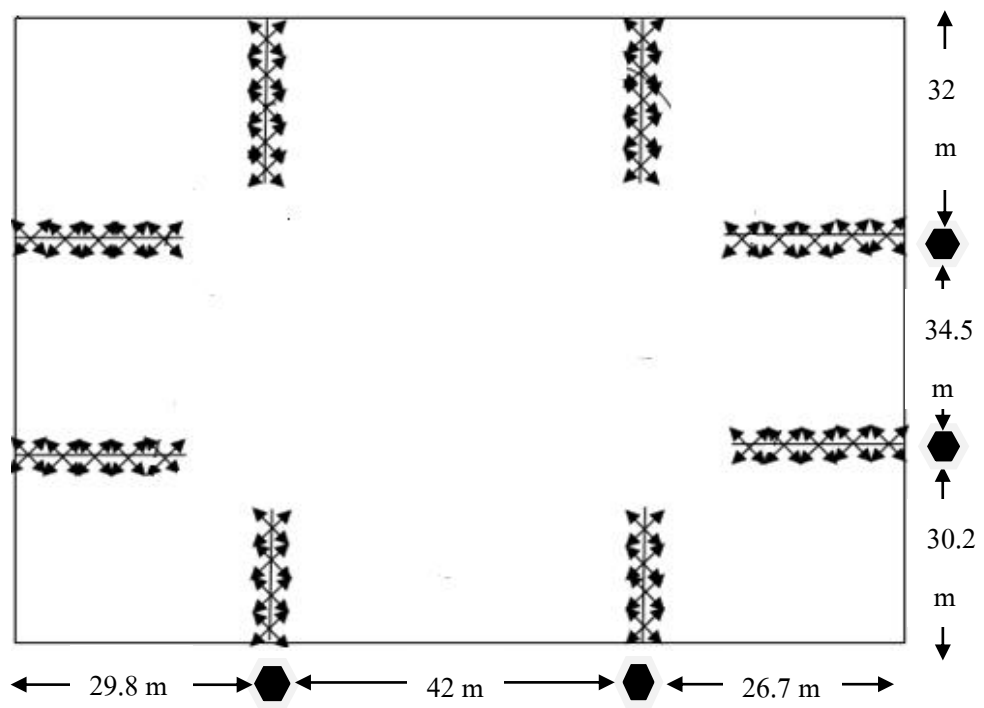
ภาพที่ 1 แผนผังฟาร์ม นครพนงศ์ อำเภอ ปากท่อ จ. ราชบุรี



ภาพที่ 2 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม



ภาพที่ 3 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศและการวางสายออกซิเจน ในบ่อทดลอง



ภาพที่ 4 แผนผังการวางเครื่องให้อากาศในบ่อควบคุม

### การเตรียมบ่อ

หลังจากจับกุ้งเสร็จจากรอบการเลี้ยงที่ผ่านมา ตากบ่อนานประมาณ 1 เดือน นำดินเลนพื้นบ่อออก หลังจากนั้นปรับสภาพพื้นบ่อโดยบ่อทดลองมีการวางสายเติมอากาศทั้งหมด 6 สาย ในแนวรัศมีบริเวณหว่านอาหาร และมี 1 สายเป็นสายหลัก (ภาพที่ 5) ต่อกับถังออกซิเจนเหลวที่มีมาตรฐาน (ภาพที่ 6) และมีแผงควบคุมการปิด-เปิด (ภาพที่ 7) ซึ่งเมื่อเปิดใช้งานจะสังเกตเห็นได้จากการมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นดังภาพที่ 8 และมีเครื่องให้อากาศ แบบมอเตอร์ไฟฟ้า บ่อละ 4 เครื่อง ส่วนบ่อควบคุมมีการเตรียมบ่อเหมือนกับบ่อทดลอง แต่ไม่มีการวางสายเติมอากาศ มีเพียง เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้า บ่อละ 8 เครื่อง

### การเตรียมน้ำ

หลังจากเตรียมบ่อ สูบน้ำจากบ่อพักน้ำซึ่งมีความเค็มอยู่ระหว่าง 5-10 พีพีที เข้าสู่บ่อเลี้ยง โดยผ่านถุงกรองไนลอน เพื่อป้องกันสัตว์น้ำต่างๆ เข้าไปในบ่อ เมื่อระดับน้ำสูงประมาณ 1.20 เมตร เปิดเครื่องให้อากาศเพื่อให้น้ำหมุนเวียน ใส่ปูนขาวและโดโลไมท์ ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้คุณภาพน้ำต่างๆ มีความเหมาะสม และเกิดอาหารธรรมชาติ เช่น แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์

### การปล่อยลูกกุ้ง

นำลูกกุ้งระยะ โปสลาร์วา 2 (พี12) ที่ผ่านการตรวจด้วยเทคนิคพีซีอาร์ (PCR: polymerase chain reaction) หรือปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสว่าปลอดเชื้อไวรัสดวงขาว (white spot syndrome virus; WSSV) ไวรัสหัวเหลือง (yellow head virus; YHV) ไวรัสทอรา (Taura syndrome virus; TSV) และไวรัสตัวพิกการ (infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus; IHNV) และผ่านการปรับระดับความเค็มจากโรงเพาะฟักลงมาที่ 10 พีพีที เมื่อลูกกุ้งลำเลียงมาถึงฟาร์มในเวลาประมาณ 16.00 น. แล้วจึงนำลูกกุ้งที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกไปใส่ในบ่อ เพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำในบ่อและในถุงที่บรรจุลูกกุ้งให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันประมาณ 20 นาที หลังจากนั้นปล่อยลูกกุ้งลงสู่บ่อเลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 120,000 ตัวต่อไร่ (75 ตัวต่อตารางเมตร)

## การเลี้ยงและการให้อาหาร

ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปริมาณโปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ และใยอาหาร (fiber) 4 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง คือ 7.00, 11.00, 16.00 และ 22.00 น. โดยเดินหว่านรอบบ่อจากขอบบ่อเข้าไปภายในบ่อ โดยเริ่มให้อาหารวันแรกในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัว เมื่อกุ้งอายุ 21 วัน จึงเริ่มทำการปรับอาหารตามขอ โดยเริ่มจากใส่อาหารในขอ 1 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 2 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อกุ้งอายุ 60 วัน ใส่อาหารในขอ 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 2 ชั่วโมง และเมื่อกุ้งอายุ 90 วัน ใส่อาหารในขอ 7 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 1 ชั่วโมง 30 นาที ระหว่างการเลี้ยงในระยะ 50 วันแรกไม่มีการถ่ายน้ำ แต่จะมีการเติมน้ำจากบ่อพักน้ำเข้ามาทดแทนส่วนที่ระเหยหรือซึมออกไปและเมื่อความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงลดลงเรื่อยๆ ในกรณีที่มีฝนตกติดต่อกันหลายวันจะนำน้ำเค็มจากนาเกลือมาเติมเพื่อเพิ่มความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและในช่วงเวลาที่น้ำมีสีเข้มมาก เนื่องจากมีปริมาณแพลงก์ตอนหนาแน่นหรือเมื่อปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์อยู่ในระดับที่สูงจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อควบคุมให้คุณสมบัติของน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง



ภาพที่ 5 การวางสายออกซิเจนภายในบ่อ



ภาพที่ 6 ถังออกซิเจน



ภาพที่ 7 ตู้ควบคุมการเปิด-ปิด ก๊าซออกซิเจน



ภาพที่ 8 ฟองออกซิเจนที่ออกมาตามสายบริเวณแนวหว่านอาหาร

## 1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำที่สำคัญระหว่างบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่อ (ภาพที่ 9) บริเวณแนวหวานอาหาร เพื่อวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ และพีเอช โดยวิเคราะห์ทุกวันในเวลา 7.00 น. และ 15.00 น. ส่วนคุณสมบัติของน้ำอื่นๆ ได้แก่ ความเค็ม การนำไฟฟ้า ความโปร่งแสง ความเป็นด่าง ความกระด้าง ปริมาณแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวดเก็บตัวอย่างในช่วงเช้าประมาณ 9.00 น. และรักษาตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ในกล่องโฟมแช่เย็นด้วยน้ำแข็งขณะลำเลียงขนส่งที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ก่อนวิเคราะห์น้ำนำตัวอย่างออกมาจากกล่องโฟม รอจนกระทั่งมีอุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิห้องวิเคราะห์น้ำแต่ละตัวอย่าง ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาคารจินดาเทียมเมธ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยวิเคราะห์ทุกๆ 10 วัน จนกระทั่งจับกุ้ง

### การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในรอบวัน

ทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ พีเอช ความเค็ม การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง ความกระด้างรวม แอมโมเนีย และไนไตรท์ ในรอบวันของบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่อ ในเวลา 3.00, 6.00, 9.00, 12.00, 15.00, 18.00, 21.00 และ 24.00 เมื่อกุ้งอายุ 30, 60, 90 และ 109 วัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลา การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำที่ทำการศึกษา มีดังนี้

- อุณหภูมิ น้ำ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M
- พีเอช วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดพีเอช Ecoscan pH 5/6
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M
- ความเค็ม วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT
- ความเป็นด่างรวม วิเคราะห์โดยใช้วิธี Titration method (APHA *et al.*, 1995)
- ความกระด้าง (hardness) โดยวิธี EDTA Titrimetric method (APHA *et al.*, 1995)
- แอมโมเนียรวม วิเคราะห์โดยใช้วิธี Phenol-hypochlorite method (APHA *et al.*, 1995)
- ไนไตรท์ วิเคราะห์โดยใช้วิธี Colorimetric method (APHA *et al.*, 1995)
- ค่าการนำไฟฟ้า วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT

นำข้อมูลคุณภาพสมบัติของน้ำของบ่อที่มีการใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม มาเปรียบเทียบกับทางสถิติโดยใช้วิธี T-test (Steel and Torrie, 1980)

## 2. การเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะวัดค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลทุกๆ 20 วัน โดยใช้เครื่อง Ecoscan EUTECH Instruments ทั้งในแนวหน้าอาหารจำนวน 4 จุด และกลางบ่อจำนวน 4 จุด จากนั้นนำค่าที่ได้ในแต่ละจุดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยในตำแหน่งเดิมจนกระทั่งสิ้นสุดการเลี้ยง นำข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อที่มีการใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม มาเปรียบเทียบกับทางสถิติโดยใช้วิธี t-test (Steel and Torrie, 1980)

## 3. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ กับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

เมื่อกุ้งอายุ 40 วัน จะเริ่มสุ่มกุ้งเพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 10) ทุก 10 วัน โดยการใช้แหขนาดตาถี่สุ่มกุ้ง โดยจะสุ่มกุ้งอย่างน้อยบ่อละ 2 จุด คือ บริเวณมุมบ่อและบริเวณหน้าเครื่องให้อากาศ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งในแต่ละบ่อเพื่อให้ทราบถึงการเจริญเติบโต จนกระทั่งจับกุ้ง

### การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตแต่ละช่วง (กรัม/ตัว/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยปัจจุบัน} - \text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยครั้งก่อน}}{\text{ระยะเวลาที่เพิ่มจากการชั่งครั้งก่อน}}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตสะสม (กรัม/ตัว/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยปัจจุบัน} - \text{น้ำหนักกุ้งตอนปล่อย}}{\text{อายุการเลี้ยง}}$$

การศึกษาปริมาณผลผลิต

$$\text{ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่จับได้ทั้งหมด}}{\text{พื้นที่บ่อ}}$$

การศึกษ้อัตรการรอดตาย

$$\text{อัตรการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่เหลือ}}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด}} \times 100$$

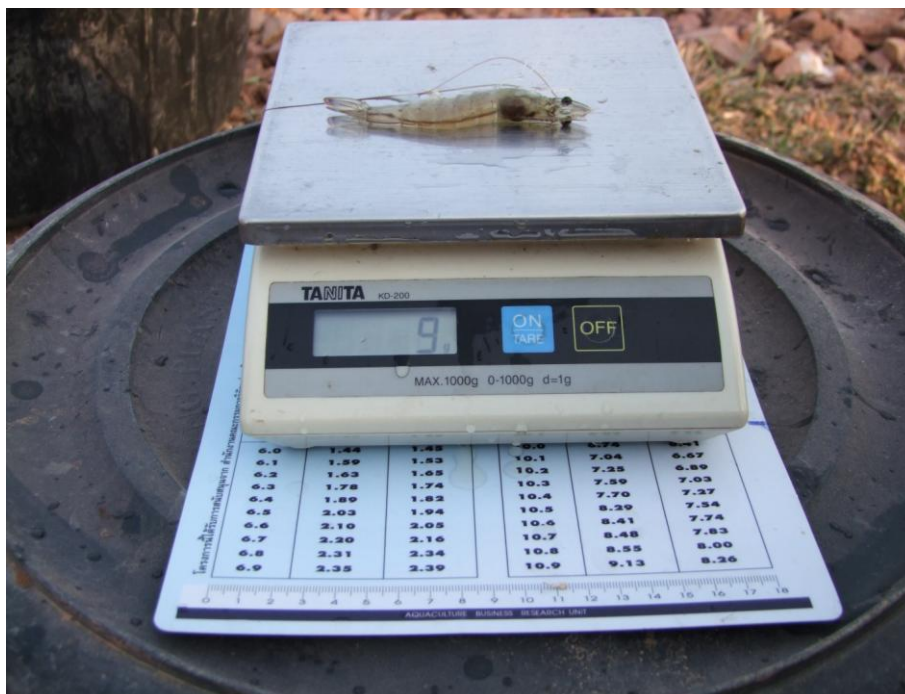
นำข้อมูลอัตรการเจริญเติบโต อัตรการรอดตาย และ ผลผลิตของบ่อที่มีการ ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม มาเปรียบเทียบกับทางสถิติโดยใช้วิธี t-test (Steel and Torrie, 1980)

#### 4. การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

เก็บข้อมูลทั้งหมดที่เป็นค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงกุ้ง เพื่อคิดต้นทุนได้แก่ ค่าออกซิเจนเหลว ค่าอุปกรณ์กุ้ง อาหาร ไฟฟ้า น้ำมัน แรงงาน สารเคมี และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ส่วนราคาขายกุ้งเป็นรายได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลตอบแทนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 9 การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ



ภาพที่ 10 การชั่งน้ำหนักกุ้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

## ผลและวิจารณ์ผล

### 1. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบผลิตออกซิเจนแบบใหม่ กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

#### 1.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม

##### 1.1.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในตอนเช้าของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $5.36 \pm 0.766$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $4.84 \pm 0.636$  มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตอนบ่ายของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-11.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $7.41 \pm 1.098$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-10.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $7.27 \pm 1.015$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในตอนเช้าของบ่อทดลอง (ตารางที่ 3 และภาพที่ 11) มีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจาก บ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนเข้าไปในบ่อเลี้ยงโดยตรง โดยใช้ระบบผลิตออกซิเจนแบบใหม่ ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งไม่มีการผลิตออกซิเจนจากแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อ แต่มีการใช้ออกซิเจนมากที่สุด โดยการหายใจของของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดภายในบ่อ และการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อทดลองอยู่ในระดับที่เหมาะสมและไม่เปลี่ยนแปลงมากในรอบวัน ซึ่งต่างจากบ่อควบคุมที่มีการใช้เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำเพียงอย่างเดียว ช่วยทำให้เกิดกระแสในน้ำภายในบ่อ พัดพาเศษอาหาร สิ่งขับถ่าย ของเสีย และซากสิ่งมีชีวิตต่างๆที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมอยู่บริเวณกลางบ่อ แต่เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำ ใบพัดอยู่ในระดับผิวน้ำเท่านั้น ถ้าบ่อมีความลึกมากจะส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของออกซิเจนที่ละลายน้ำในระดับพื้นบ่อ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เม็คส์ (2550) ทดลองวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงที่มีการเปิดเครื่องให้อากาศอย่างเต็มที่ พบว่า ระดับความลึกที่มากขึ้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าลดลง โดยเฉพาะช่วงเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง ในบ่อที่กึ่งมีขนาดใหญ่ และมีอัตราการรอดตายสูง มีการให้อาหารในปริมาณมาก อาหารที่เหลือจะมีการสะสมบริเวณพื้นบ่อ ทำให้ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายในปริมาณมาก ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนมีค่าลดต่ำกว่าบ่อที่มีกึ่งไม่หนาแน่นมาก

### 1.1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำในตอนเช้าของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 27.2-31.1 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย  $28.9 \pm 0.71$  องศาเซลเซียส ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 27.2-30.7 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย  $28.8 \pm 0.67$  องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของน้ำช่วงบ่ายของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 28.1-33.4 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย  $30.8 \pm 1.07$  องศาเซลเซียส ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 28-33.9 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย  $30.7 \pm 1.20$  องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 12) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจากทำการทดลองเลี้ยงในฟาร์มเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้อุณหภูมิมิมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาเลี้ยง อุณหภูมิในบางช่วงมีค่าต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีฝนตกติดต่อกันทำให้อุณหภูมิต่ำลงต่ำกว่าระดับปกติ อาจส่งผลกระทบต่อกรกินอาหาร และการเจริญเติบโตลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ควรอยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

### 1.1.3 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำช่วงเช้าของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-9.0 และมีค่าเฉลี่ย  $8.0 \pm 0.19$  ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 7.6-8.8 และมีค่าเฉลี่ย  $8.0 \pm 0.19$  ค่าพีเอชของน้ำช่วงบ่ายของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-8.9 และมีค่าเฉลี่ย  $8.4 \pm 0.20$  ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 7.8-9.0 และมีค่าเฉลี่ย  $8.5 \pm 0.17$  (ตารางผนวกที่ 3) ค่าพีเอชของน้ำของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 13) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงค่าพีเอชทั้งตอนเช้าและบ่ายอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่อยู่ระหว่าง 7.0-9.0 (Brock and Main, 1994) การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีค่าลดลงและมีค่าต่ำสุดในช่วงเช้ามืด เนื่องจากการสะสมของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการหายใจของแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตในน้ำและการย่อยสลายของเสียภายในบ่อ และจะมีค่าสูงสุดในตอนบ่าย เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้จากการหายใจของสิ่งมีชีวิต และไปคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ โดยแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชใน

รอบวัน มากกว่า 0.5 เพราะ การเปลี่ยนแปลงของพีเอชมากเกินไป ส่งผลทำให้กุ้งเครียดมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

#### 1.1.4 ความเค็ม

ความเค็มของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-9 พีพีที และมีค่าเฉลี่ย  $6.7 \pm 1.35$  พีพีที ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 4.8-9.3 พีพีที และมีค่าเฉลี่ย  $6.5 \pm 1.33$  พีพีที (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยความเค็มของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 14) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจาก เป็นการทดลองเลี้ยงในฟาร์มเดียวกัน ที่มีการจัดการในการเลี้ยงเหมือนกันทำให้การเปลี่ยนแปลงความเค็มมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ค่าความเค็มค่อยๆลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ มีการเติมน้ำจืดจากบ่อพักน้ำเข้าไปทดแทนน้ำที่รั่วซึมและระเหยออกไปรวมทั้งมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ้าง อีกทั้งยังมีฝนตกในบางวันทำให้ความเค็มในบ่อมีค่าลดลงแต่ในช่วงวันที่ 70 ของการเลี้ยงมีการเติมน้ำเค็มจากนาเกลือเพิ่มความเค็ม ทำให้ความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ด้วยน้ำความเค็มต่ำระหว่างการเลี้ยงความเค็มไม่ควรต่ำกว่า 3 พีพีที จะทำให้การเลี้ยงได้ผลผลิตสูงและสามารถเลี้ยงกุ้งได้ขนาดใหญ่ด้วย ในการทดลองครั้งนี้ความเค็มตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำ คือ สูงกว่า 3 พีพีที ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

#### 1.1.5 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 8.2-15.53 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย  $11.99 \pm 1.96$  มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.5-16.99 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย  $11.43 \pm 1.99$  มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าในบ่อทดลองและบ่อควบคุม(ตารางที่ 3 และภาพที่ 15) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามความเค็มของน้ำ การเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงและบางช่วงที่มีฝนตก ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าลดลงตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีความ

สัมพันธ์แปรผันตามความเค็มและมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับความเค็มตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง (Boyd, 1982; 2002)

#### 1.1.6 ความโปร่งแสง

ความโปร่งแสงของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 8-50 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย  $24.9 \pm 14.07$  เซนติเมตร ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 10-48 เซนติเมตรและมีค่าเฉลี่ย  $22.4 \pm 11.29$  เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยความโปร่งแสงของบ่อทดลอง และบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 16) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าความโปร่งแสงมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยง เนื่องจากปริมาณแพลงก์ตอนที่เพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากปริมาณอาหารที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเลี้ยง แพลงก์ตอนพืชจะใช้ทั้งแอมโมเนียและไนโตรเจนเป็นแหล่งของไนโตรเจนในการเพิ่มจำนวน รวมถึงสภาพพื้นบ่อที่เป็นตะกอน การชะล้างของดินภายในบ่อ โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเลี้ยงทำให้ปริมาณตะกอนและแพลงก์ตอนที่มีจำนวนมากส่งผลให้ค่าความโปร่งแสงมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้ภายในฟาร์มมีการใช้วัสดุปุ๋ยในกลุ่มโคโลไมท์ที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารสำคัญของแพลงก์ตอนพืช ความโปร่งแสงของน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ควรรออยู่ระหว่าง 25-50 เซนติเมตร (Brock and Main, 1994) แต่ในบางช่วงเวลาของการทดลองครั้งนี้ค่าความโปร่งแสงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมซึ่งการลดปัญหาสามารถทำได้โดยควบคุมปริมาณการให้อาหารให้น้อยลง รวมทั้งการถ่ายน้ำที่มีปริมาณแพลงก์ตอนและตะกอนออกไปมากขึ้นและเติมน้ำจากบ่อพักเข้าไปทดแทน (ชลอ, 2535)

#### 1.1.7 ความเป็นค่ารวม

ค่าความเป็นค่ารวมของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 122.67-269.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $175.13 \pm 42.41$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 134.67-282.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $189.18 \pm 35.41$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าความเป็นค่ารวมของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 17) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าความเป็นค่ารวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง เนื่องจาก อายุการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการสะสมปริมาณของเสียภายในบ่อเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะช่วงท้ายของการเลี้ยงปริมาณของเสียในบ่อเพิ่มมากขึ้น แบคทีเรียเกิดกระบวนการย่อย

สารอินทรีย์ การหายใจของแพลงก์ตอนพืช และสิ่งมีชีวิตอื่นภายในบ่อ ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามาก โดยเฉพาะในตอนกลางคืน ทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงสูงขึ้น (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) ความเป็นด่างรวมที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมควรอยู่ระหว่าง 50-150 มิลลิกรัมต่อลิตร (Brock and Main, 1994) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ ในช่วงสัปดาห์ท้ายๆ ก่อนข้างจะอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งน่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตบ้าง เพราะในบ่อที่ความเป็นด่างสูงมากและพีเอชของน้ำสูง กุ้งจะมีตะกรันและไม่ลอกคราบทำให้การเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ (ชลอ, 2543)

#### 1.1.8 ความกระด้าง

ค่าความกระด้างของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 1,201.33-2,294.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $1,593.17 \pm 268.17$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 1,178.67-2,556 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $1,563.23 \pm 345.14$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าความกระด้างของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 18) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าความกระด้างมีค่าลดลงในช่วงเดือนแรก เนื่องจากกุ้งขาวมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงมีการดึงแร่ธาตุในน้ำเพื่อนำไปสร้างเปลือกในการเจริญเติบโต และมีฝนตกติดต่อกัน ในระหว่างการเลี้ยงมีการเติมแร่ธาตุลงไปเพื่อรักษาระดับของความกระด้างไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากเกินไป โดยในช่วงท้ายของการเลี้ยงมีค่าค่อนข้างคงที่ ค่าความกระด้างของน้ำทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุมอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงซึ่งมีค่าความเค็มต่ำคือไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ค่าความกระด้างของน้ำมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับความเค็ม คือ ช่วงที่น้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น ความกระด้างก็จะสูงขึ้นไปด้วย

#### 1.1.9 แอมโมเนียรวม

ปริมาณแอมโมเนียรวมของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-1.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.75 \pm 0.239$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.34-1.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.86 \pm 0.294$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณแอมโมเนียรวมของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 19) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าแอมโมเนียรวมมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามระยะเวลาในการเลี้ยง เนื่องจากการให้อาหารในปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามขนาดกุ้งที่โตขึ้นตลอดระยะเวลาในการ

เลี้ยง ทำให้มีการสะสมของเศษอาหารที่เหลือภายในบ่อและสิ่งขับถ่ายที่กึ่งขับออกมา รวมทั้งการตายของแพลงก์ตอนที่สะสมมากขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียภายในบ่อมีปริมาณสูงขึ้น แต่มีบางช่วงของการเลี้ยงมีการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้ค่าแอมโมเนียลดลง แต่ในช่วงท้ายของการเลี้ยงกุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต้องให้อาหารเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียจึงสูงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งปริมาณแอมโมเนียส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่สูงเกินมาตรฐานที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ , 2547)

#### 1.1.10 แอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออน

ปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออนซึ่งเป็นแอมโมเนียที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.12 \pm 0.560$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.18 \pm 0.946$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออนของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 20) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจากบ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนโดยตรงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่สูงในบ่อทดลอง ทำให้แบคทีเรียในกลุ่มไนโตรไฟอิงแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงค่าปริมาณแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมมีค่าในช่วง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่อนข้างเป็นระดับที่สูงมีผลทำให้กุ้งโตช้าแต่ยังไม่สูงถึงระดับที่จะทำให้กุ้งเครียดจนอาจจะทำให้กุ้งตายได้ถึงปริมาณแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษมีค่ามากกว่า 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (พุทธ, 2545)

#### 1.1.11 ไนไตรท์

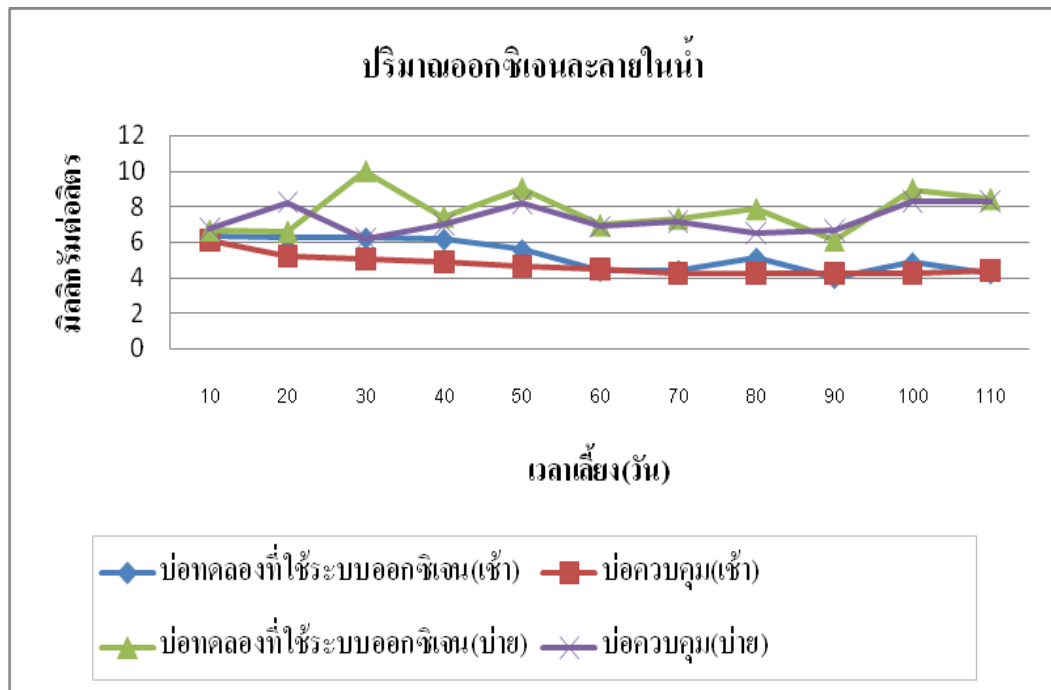
ปริมาณไนไตรท์ของบ่อทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.46 \pm 0.26$  มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย  $0.57 \pm 0.337$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณไนไตรท์ของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 3 และภาพที่ 21) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจาก ปริมาณไนไตรท์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยงเช่นเดียวกับ

ปริมาณแอมโมเนียรวมที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดผลงอกจากการสะสมสารอินทรีย์ที่เกิดจากอาหารที่เหลือ การขับถ่ายของเสียของกิ้งและการตายของตอนภายในบ่อ โดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อที่มีตะกอนต่าง ๆ ทับถมรวมกันในปริมาณมากจึงทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในบ่อขึ้นได้ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547; Boyd, 1982) แต่ในช่วงท้ายของการเลี้ยงปริมาณไนโตรเจนมีค่าลดลง สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำและเติมจุลินทรีย์การย่อยสลายทำให้ไนโตรเจนมีค่าลดลงแต่ส่วนใหญ่ทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับสูงกว่ามาตรฐานซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกิ้งควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Brock and Main, 1994) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่สูงนี้น่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กิ้งทั้งบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีการเจริญเติบโตช้ากว่ามาตรฐานปกติ

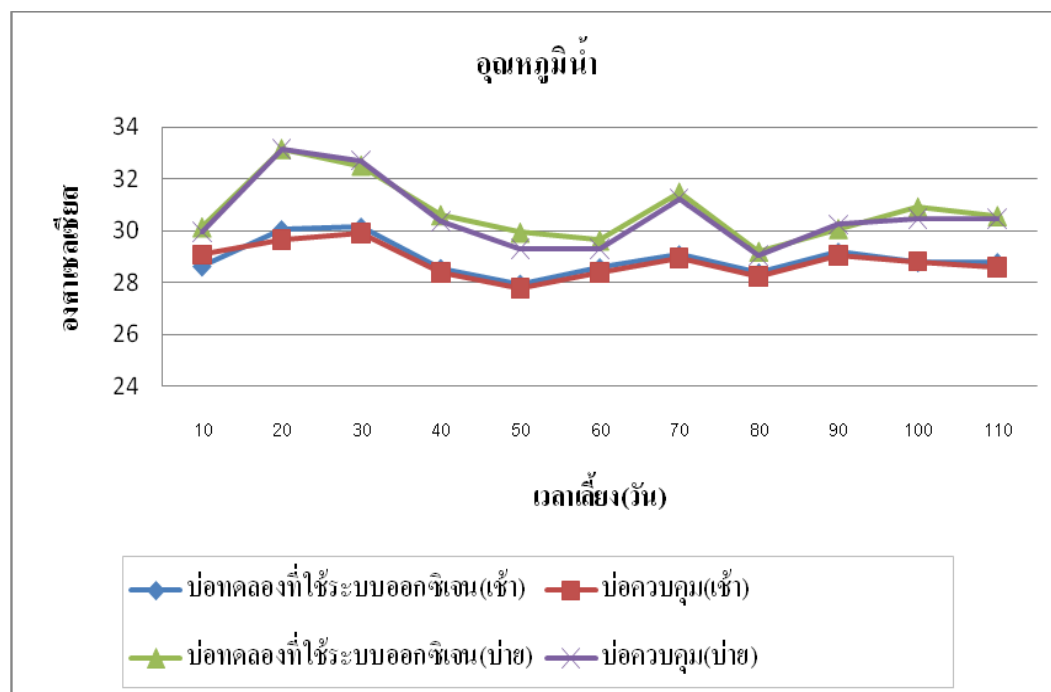
**ตารางที่ 3** คุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบบีดออกซิเจนกับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

คุณสมบัติของน้ำ	บ่อทดลองที่ใช้ระบบบีดออกซิเจน		บ่อควบคุม	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ - เช้า	3.8-6.7	5.36±0.766 <sup>a</sup>	3.8-6.5	4.84±0.636 <sup>b</sup>
(มิลลิกรัมต่อลิตร) - บ่าย	4.5-11.2	7.41±1.098 <sup>a</sup>	4.2-10.5	7.27±1.015 <sup>a</sup>
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส) - เช้า	27.2-31.1	28.9±0.71 <sup>a</sup>	27.2-30.7	28.8±0.67 <sup>a</sup>
- บ่าย	28.1-33.4	30.8±1.07 <sup>a</sup>	28-33.9	30.7±1.20 <sup>a</sup>
พีเอช - เช้า	7-9	8.0±0.19 <sup>a</sup>	7.6-8.8	8.0±0.19 <sup>a</sup>
- บ่าย	7.5-8.9	8.4±0.20 <sup>a</sup>	7.8-9.0	8.4±0.20 <sup>a</sup>
ความเค็ม (พีพีที)	4.5-9	6.7±1.35 <sup>a</sup>	4.8-9.3	6.5±1.33 <sup>a</sup>
การนำไฟฟ้า	8.2-15.53	11.99±1.96 <sup>a</sup>	8.5-16.99	11.43±1.99 <sup>a</sup>
(มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)				
ความโปร่งแสง (เซนติเมตร)	8-50	24.9±14.07 <sup>a</sup>	10-48	22.4±11.29 <sup>a</sup>
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	122.67-269.33	175.13±42.41 <sup>a</sup>	134.67-282.67	189.18±35.41 <sup>a</sup>
ความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,201.33-2,294.7	1,593.17±268.17 <sup>a</sup>	1,178.67-2,556	1,563.23±345.14 <sup>a</sup>
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.3-1.17	0.75±0.239 <sup>a</sup>	0.34-1.38	0.86±0.294 <sup>a</sup>
แอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.01-0.23	0.12±0.560 <sup>a</sup>	0.03-0.43	0.18±0.946 <sup>b</sup>
ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.04-0.8	0.46±0.26 <sup>a</sup>	0.03-1.02	0.57±0.337 <sup>a</sup>

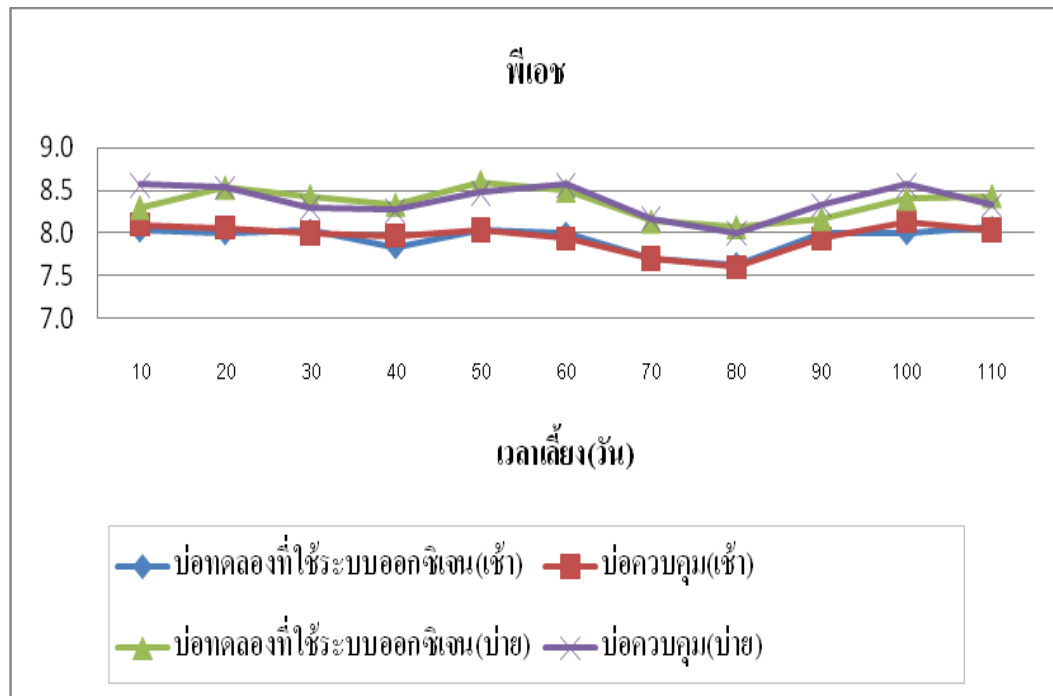
**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



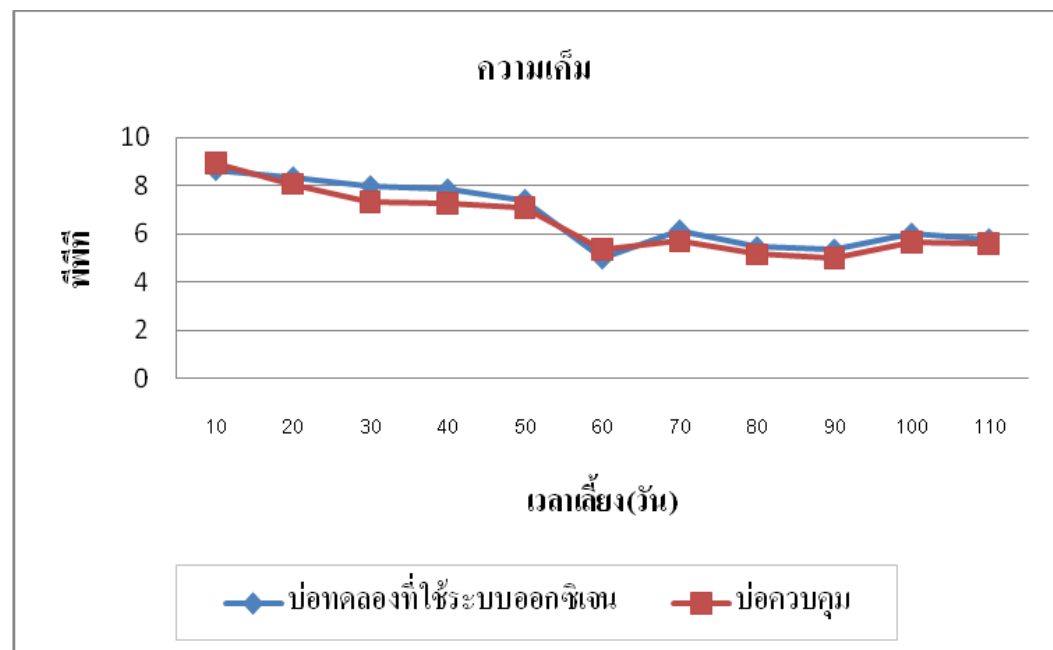
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการเลี้ยง



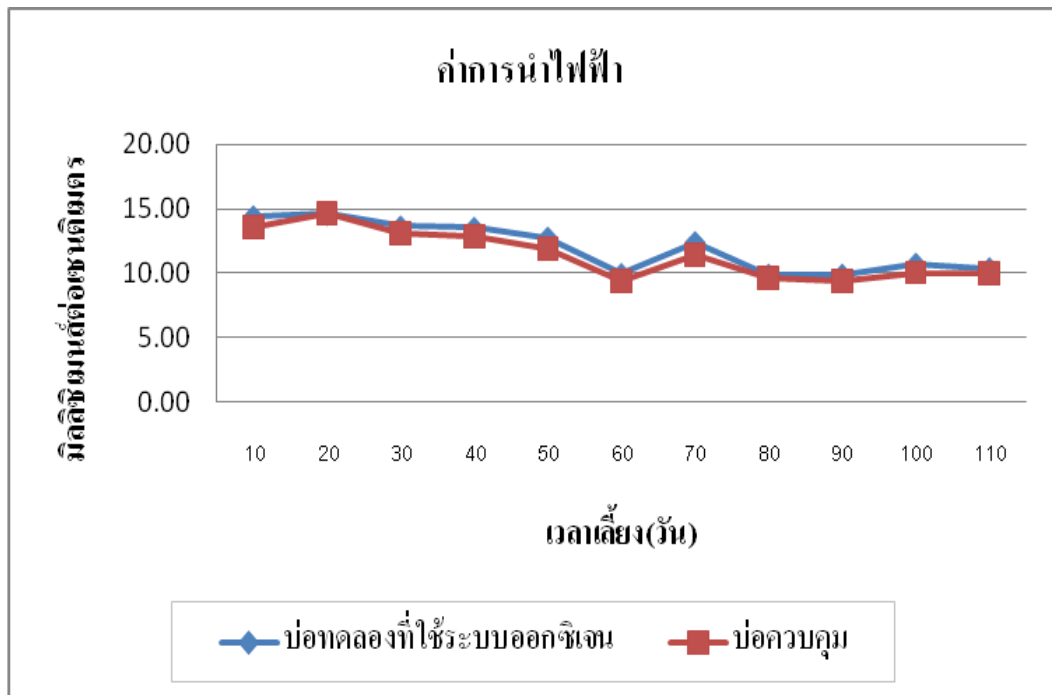
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำตลอดการเลี้ยง



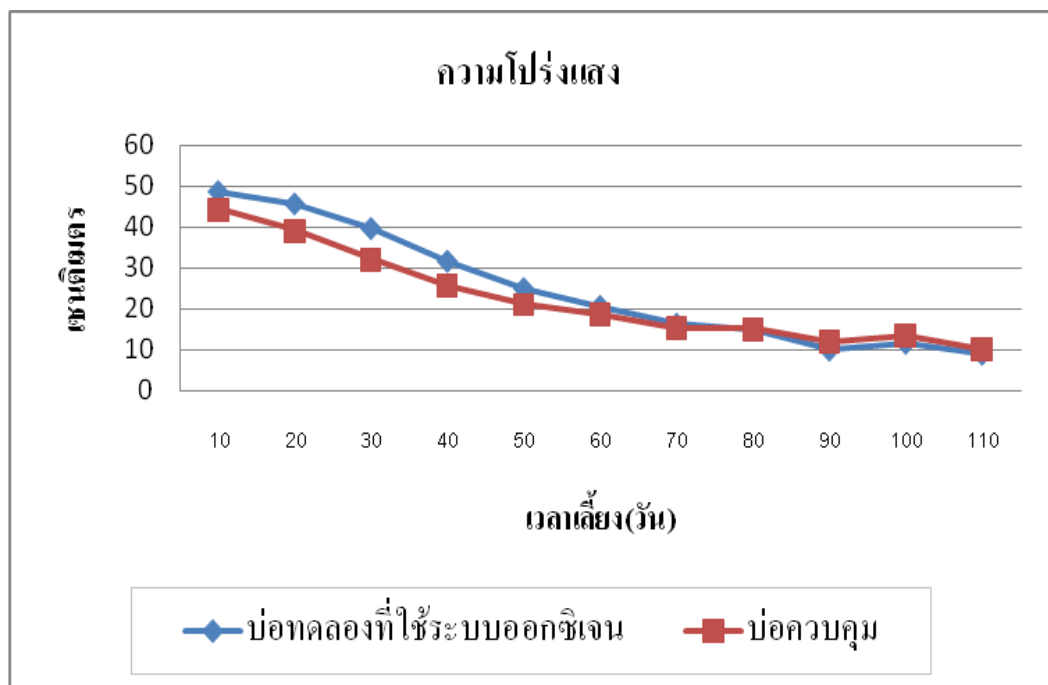
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงพีเอชตลอดการเลี้ยง



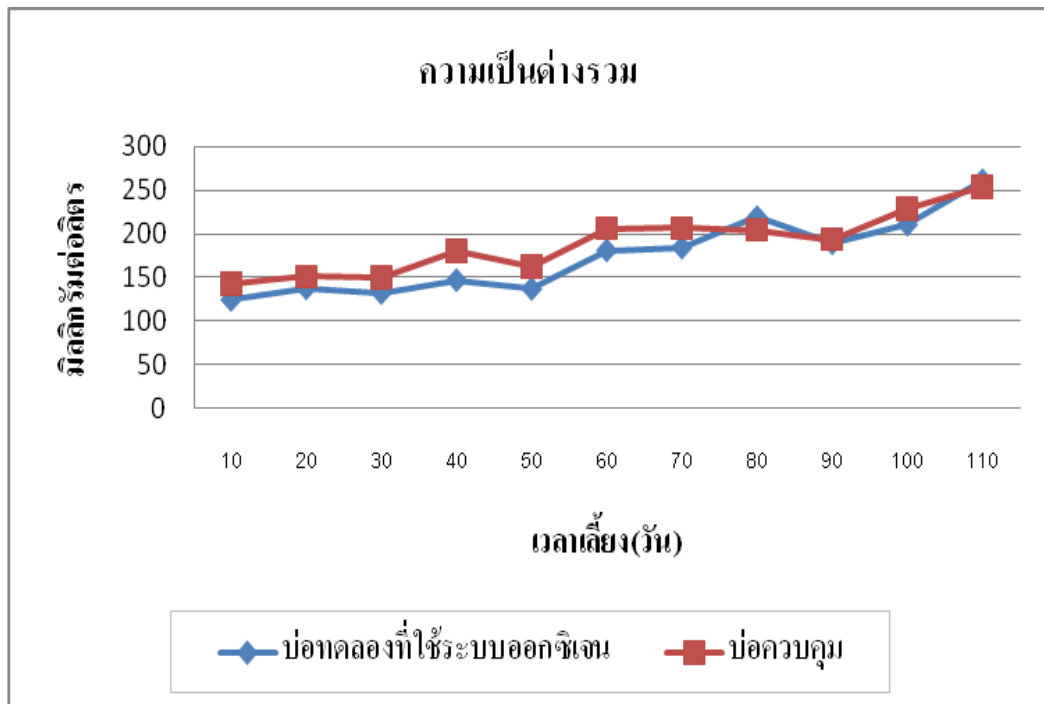
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตลอดการเลี้ยง



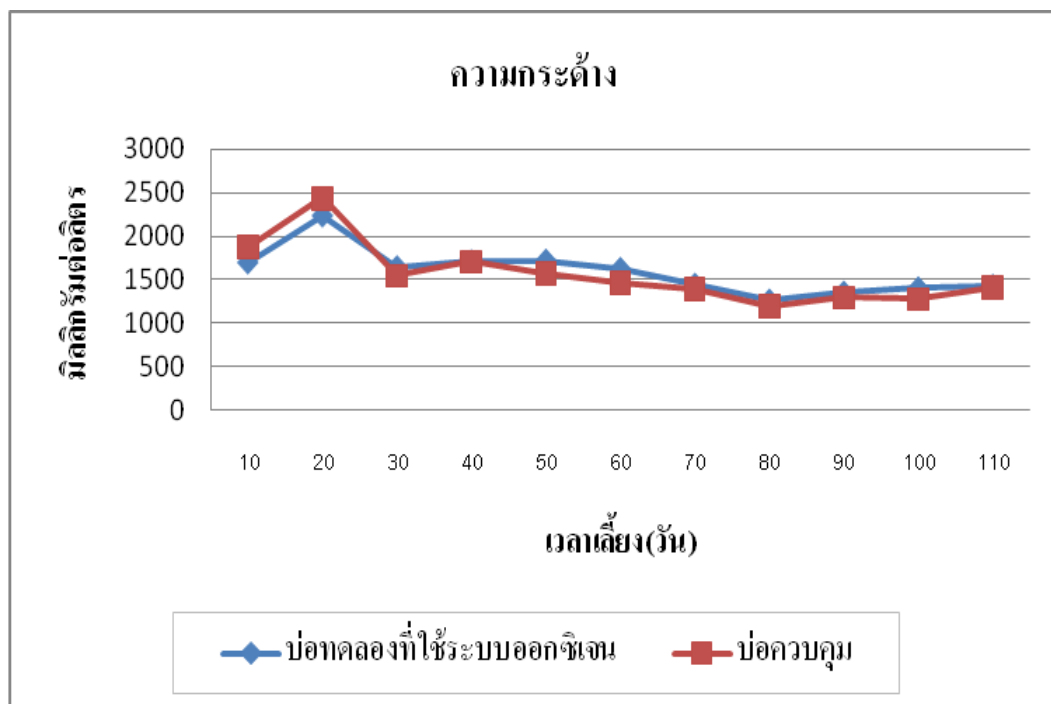
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดการเลี้ยง



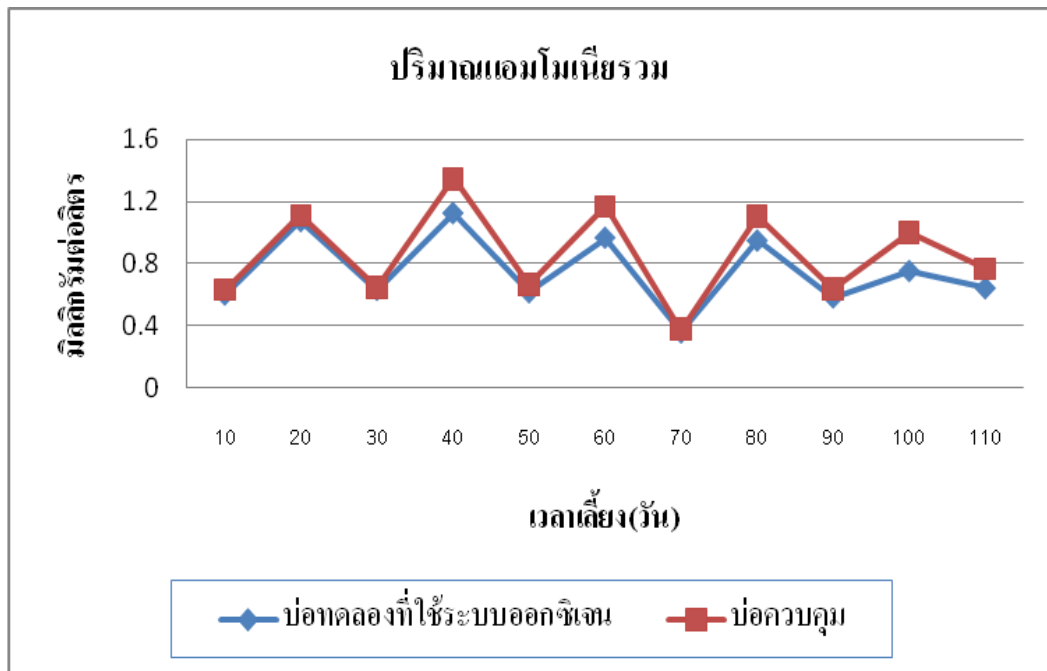
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงตลอดการเลี้ยง



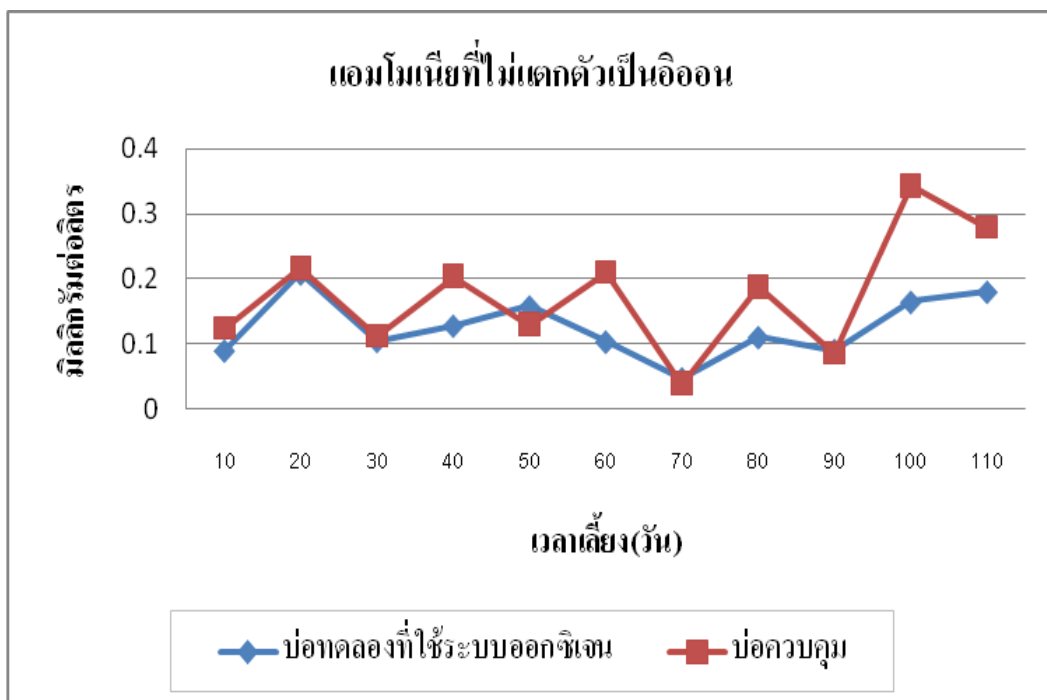
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงความเป็นต่างรวมตลอดการเลี้ยง



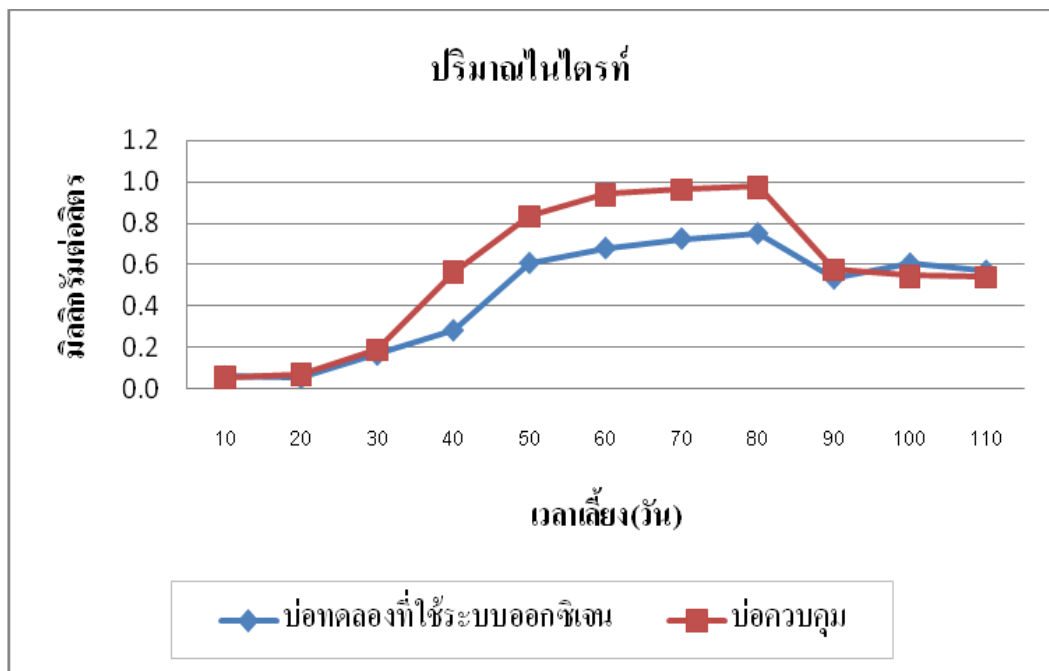
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความกระด้างตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออนตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนตลอดการเลี้ยง

## 1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำรอบวันในบ่อทดลองและบ่อควบคุม

### 1.2.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในรอบวันทำการทดลอง เป็นระยะเวลา 110 วัน พบว่า บ่อทดลองและบ่อควบคุมจะมีค่าสูงสุดเมื่อเวลา 15.00 น. และมีค่าต่ำสุดเมื่อเวลา 06.00 น. โดยบริเวณแนวหว่านอาหารพบว่าที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.7-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 22) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5-6.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 23) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.4-7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-7.9 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 24) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 3.9-6.4 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.4-6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4 และภาพที่ 25) และบริเวณแนวเลนกลางบ่อพบว่า ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.7-6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 26) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-6.4 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.4-6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 27) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.6-7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 28) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.5-6.3 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.0-6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 29) โดยช่วงเวลาตั้งแต่ 24.00-6.00 น. ทั้งหมด 4 เดือน พบว่า บริเวณแนวหว่านอาหารและแนวเลนกลางบ่อมีค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อทดลอง (ตารางที่ 5) มีค่าสูงกว่าบ่อควบคุมซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) เนื่องจาก บ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนเข้าไปในบ่อเลี้ยงโดยตรงมีออกซิเจนตลอดระยะเวลาในตอนกลางคืนจนถึงตอนเช้าของวันต่อมาในขณะที่บ่อควบคุมในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งไม่มีการผลิตออกซิเจนจากแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อ แต่มีการใช้ออกซิเจนมากที่สุดโดยการหายใจของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดภายในบ่อและการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ตลอดช่วงกลางคืนจนถึงเช้ามืดก่อนสว่างทำให้ออกซิเจนลดลงเรื่อยๆและต่ำสุดในตอนเช้า (ชโล และ พรเลิศ, 2547) การเติมออกซิเจนด้วยระบบนี้จะทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเลี้ยงกึ่งมีปริมาณออกซิเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสม มากกว่าบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

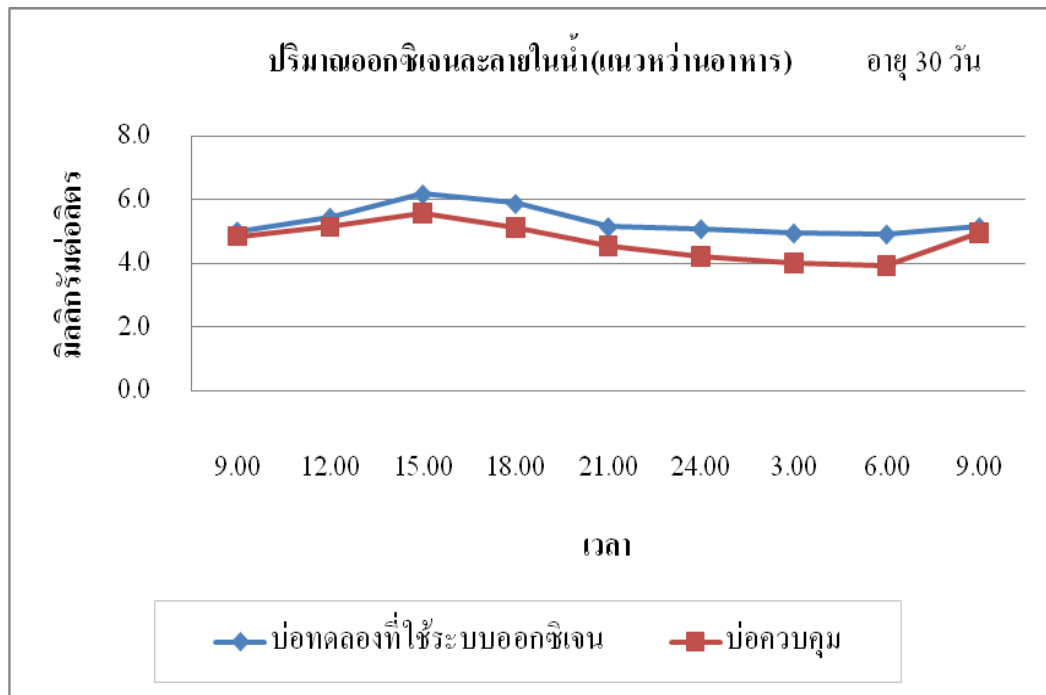
ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเปลี่ยนแปลงคล้ายกับพีเอช คือมีค่าต่ำสุดตอนเช้ามืด เนื่องจากปริมาณออกซิเจนจะถูกใช้ไปในการย่อยสลายของสาร อินทรีย์โดยจุลินทรีย์และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อตลอดระยะเวลากลางวันจนถึงตอนเช้า แต่ในตอนกลางวันเมื่อมีแสงแดดแพลงก์ตอนพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสงปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นและสูงสุดในตอนบ่ายซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวห่านอาหารในรอบวันในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

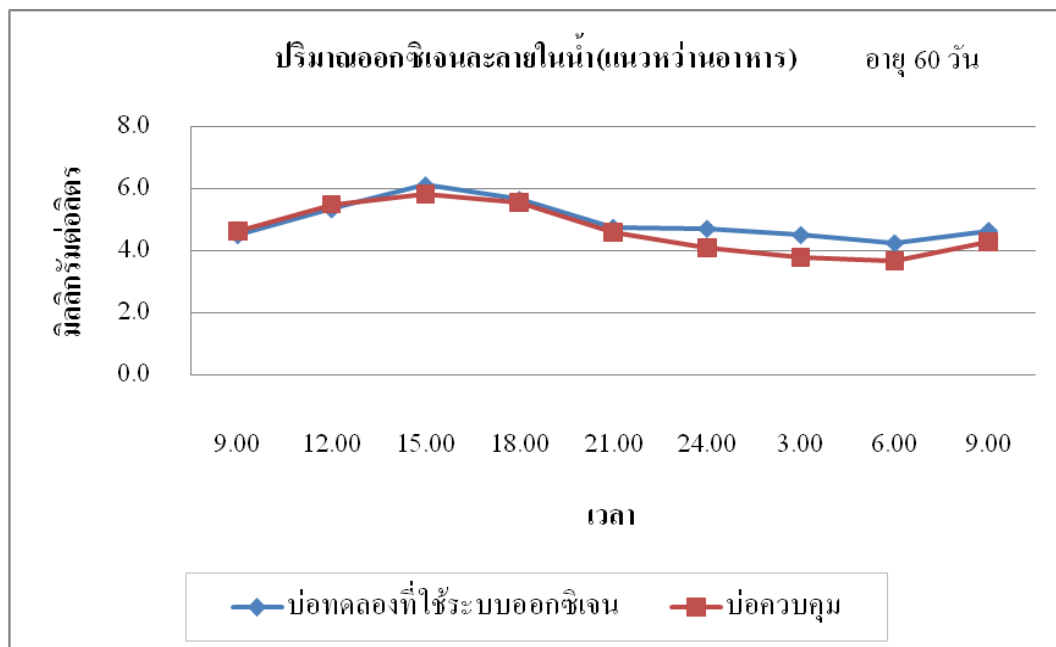
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	5.03±0.23 <sup>a</sup>	4.87±0.253 <sup>a</sup>	4.53±0.252 <sup>a</sup>	4.63±0.702 <sup>a</sup>	5.8±0.20 <sup>a</sup>	5.83±0.404 <sup>a</sup>	3.67±0.208 <sup>a</sup>	3.97±0.153 <sup>a</sup>
12.00	5.47±0.306 <sup>a</sup>	5.17±0.231 <sup>a</sup>	5.37±0.058 <sup>a</sup>	5.5±0.608 <sup>a</sup>	6.47±0.116 <sup>a</sup>	6.8±0.265 <sup>a</sup>	5.9±0.10 <sup>a</sup>	6.07±0.252 <sup>a</sup>
15.00	6.2±0.917 <sup>a</sup>	5.6±0.40 <sup>a</sup>	6.13±0.116 <sup>a</sup>	5.83±0.723 <sup>a</sup>	7.0±0.20 <sup>a</sup>	7.5±0.361 <sup>a</sup>	6.33±0.578 <sup>a</sup>	6.6±0.265 <sup>a</sup>
18.00	5.9±0.656 <sup>a</sup>	5.13±0.306 <sup>a</sup>	5.67±0.116 <sup>a</sup>	5.57±0.757 <sup>a</sup>	6.17±0.252 <sup>a</sup>	6.4±0.265 <sup>a</sup>	5.27±0.116 <sup>a</sup>	5.27±0.208 <sup>a</sup>
21.00	5.17±0.351 <sup>a</sup>	4.57±0.351 <sup>a</sup>	4.77±0.252 <sup>a</sup>	4.6±0.436 <sup>a</sup>	5.1±0.346 <sup>a</sup>	5.37±0.473 <sup>a</sup>	4.03±0.153 <sup>a</sup>	4.37±0.451 <sup>a</sup>
24.00	5.1±0.173 <sup>a</sup>	4.23±0.289 <sup>b</sup>	4.73±0.058 <sup>a</sup>	4.1±0.265 <sup>b</sup>	5.27±0.153 <sup>a</sup>	4.63±0.322 <sup>b</sup>	4.43±0.116 <sup>a</sup>	3.93±0.231 <sup>b</sup>
3.00	4.97±0.058 <sup>a</sup>	4.03±0.208 <sup>b</sup>	4.53±0.058 <sup>a</sup>	3.8±0.265 <sup>b</sup>	5.53±0.153 <sup>a</sup>	4.47±0.306 <sup>b</sup>	4.10±0.10 <sup>a</sup>	3.57±0.208 <sup>b</sup>
6.00	4.93±0.208 <sup>a</sup>	3.93±0.058 <sup>b</sup>	4.27±0.058 <sup>a</sup>	3.67±0.153 <sup>b</sup>	5.57±0.208 <sup>a</sup>	4.3±0.173 <sup>b</sup>	4.03±0.153 <sup>a</sup>	3.53±0.153 <sup>b</sup>
9.00	5.17±0.153 <sup>a</sup>	4.97±0.153 <sup>a</sup>	4.67±0.208 <sup>a</sup>	4.3±0.20 <sup>a</sup>	5.97±0.153 <sup>a</sup>	5.77±0.153 <sup>a</sup>	4.7±0.20 <sup>a</sup>	4.73±0.153 <sup>a</sup>

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

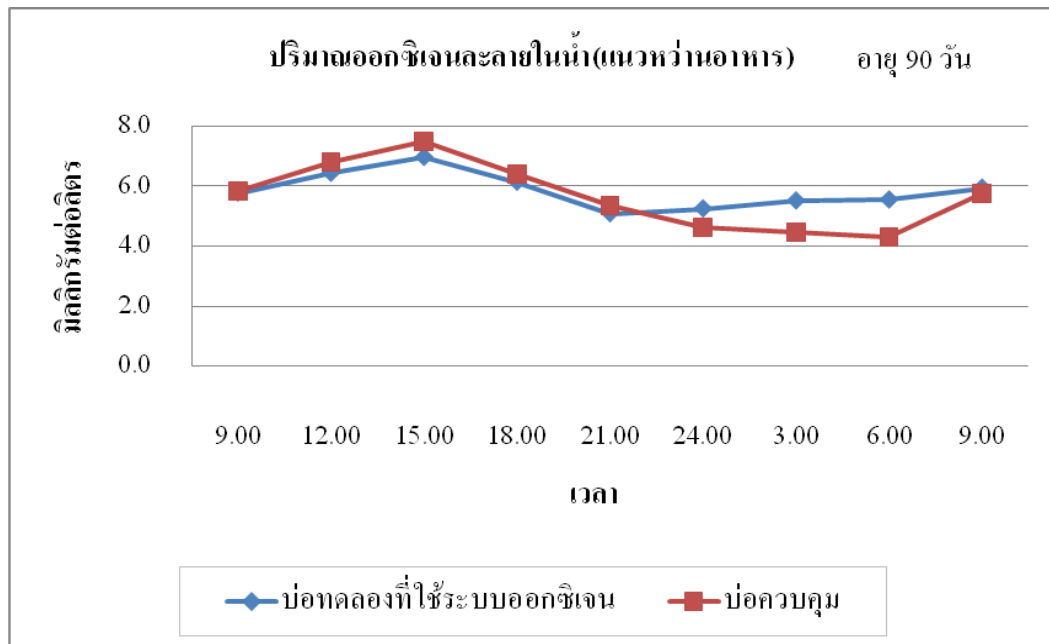
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	4.97±0.208 <sup>a</sup>	4.73±0.208 <sup>a</sup>	4.5±0.20 <sup>a</sup>	4.53±0.551 <sup>a</sup>	5.67±0.208 <sup>a</sup>	5.63±0.404 <sup>a</sup>	3.6±0.173 <sup>a</sup>	3.83±0.058 <sup>a</sup>
12.00	5.43±0.404 <sup>a</sup>	5.07±0.153 <sup>a</sup>	5.27±0.208 <sup>a</sup>	5.27±0.586 <sup>a</sup>	6.3±0.153 <sup>a</sup>	6.6±0.265 <sup>a</sup>	5.7±0.10 <sup>a</sup>	5.77±0.306 <sup>a</sup>
15.00	6.23±0.751 <sup>a</sup>	5.7±0.436 <sup>a</sup>	6.17±0.208 <sup>a</sup>	5.63±0.551 <sup>a</sup>	7.1±0.265 <sup>a</sup>	7.47±0.306 <sup>a</sup>	6.13±0.153 <sup>a</sup>	6.47±0.252 <sup>a</sup>
18.00	5.6±0.656 <sup>a</sup>	4.9±0.265 <sup>a</sup>	5.63±0.153 <sup>a</sup>	5.33±0.569 <sup>a</sup>	6.0±0.20 <sup>a</sup>	6.07±0.231 <sup>a</sup>	5.03±0.153 <sup>a</sup>	4.97±0.208 <sup>a</sup>
21.00	4.83±0.289 <sup>a</sup>	4.4±0.346 <sup>a</sup>	4.5±0.30 <sup>a</sup>	4.27±0.231 <sup>a</sup>	4.77±0.306 <sup>a</sup>	5.1±0.361 <sup>a</sup>	3.7±0.265 <sup>a</sup>	3.97±0.208 <sup>a</sup>
24.00	5.23±0.208 <sup>a</sup>	3.9±0.20 <sup>b</sup>	5.03±0.058 <sup>a</sup>	3.77±0.252 <sup>b</sup>	5.4±0.10 <sup>a</sup>	4.47±0.208 <sup>b</sup>	4.9±0.10 <sup>a</sup>	3.63±0.153 <sup>a</sup>
3.00	5.1±0.173 <sup>a</sup>	3.9±0.173 <sup>b</sup>	4.8±0.10 <sup>a</sup>	3.5±0.10 <sup>b</sup>	5.73±0.153 <sup>a</sup>	4.1±0.10 <sup>b</sup>	4.73±0.208 <sup>a</sup>	3.37±0.153 <sup>a</sup>
6.00	5.13±0.116 <sup>a</sup>	3.77±0.058 <sup>b</sup>	4.67±0.153 <sup>a</sup>	3.5±0.10 <sup>b</sup>	5.77±0.153 <sup>a</sup>	4.07±0.231 <sup>b</sup>	4.63±0.116 <sup>a</sup>	3.23±0.252 <sup>a</sup>
9.00	5.3±0.058 <sup>a</sup>	5.03±0.208 <sup>a</sup>	4.67±0.208 <sup>a</sup>	4.3±0.361 <sup>a</sup>	5.63±0.208 <sup>a</sup>	5.47±0.153 <sup>a</sup>	4.7±0.265 <sup>a</sup>	4.27±0.208 <sup>a</sup>



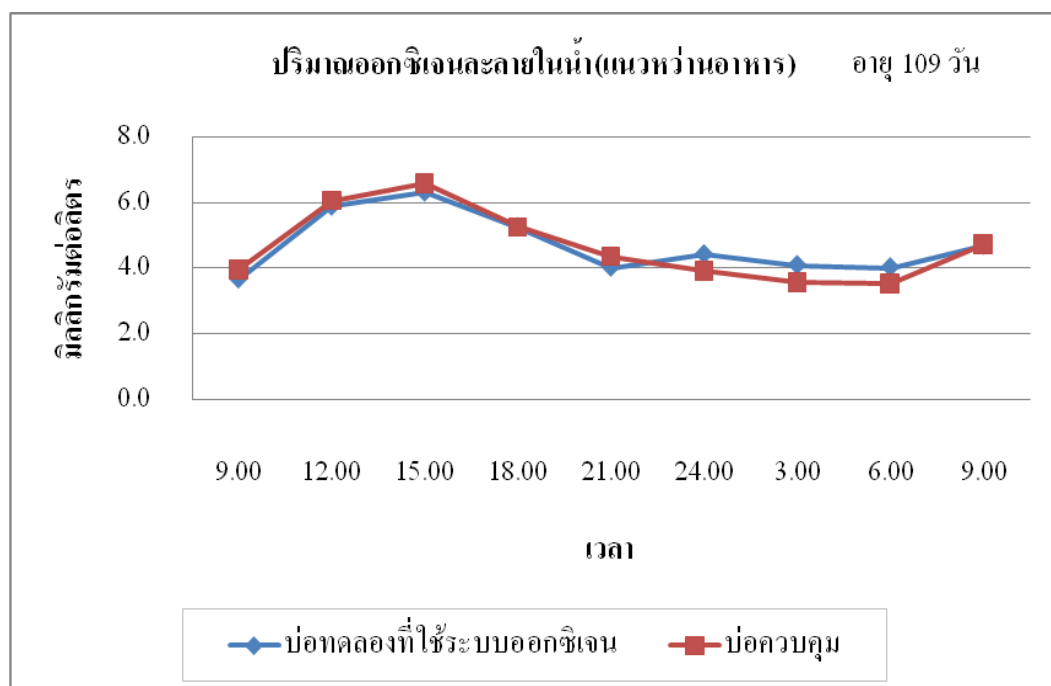
ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหน้าอาหารในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



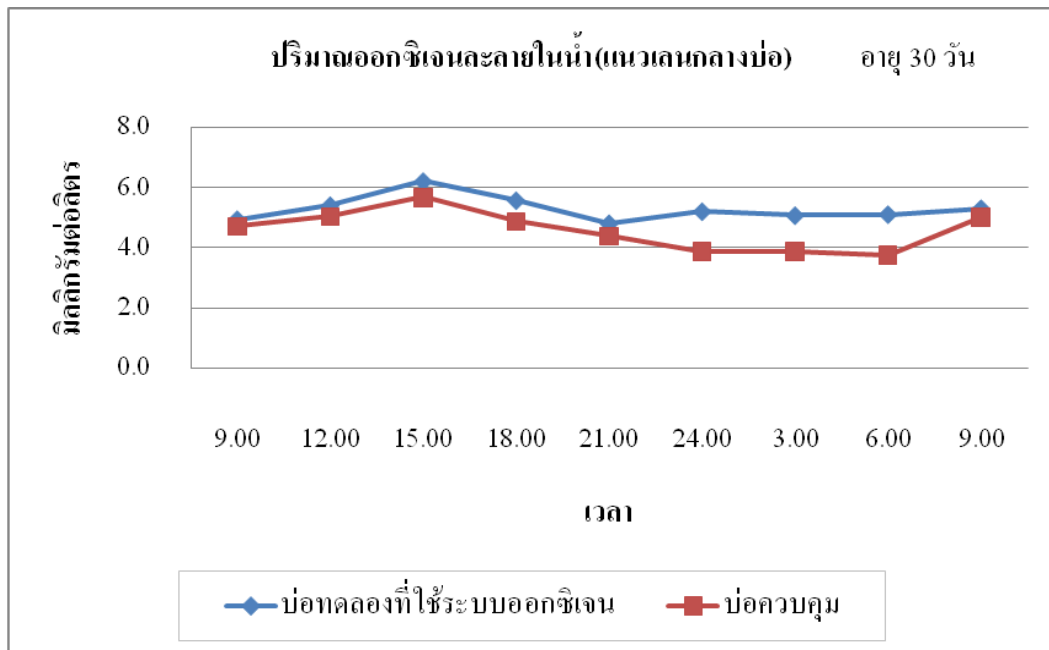
ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหน้าอาหารในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



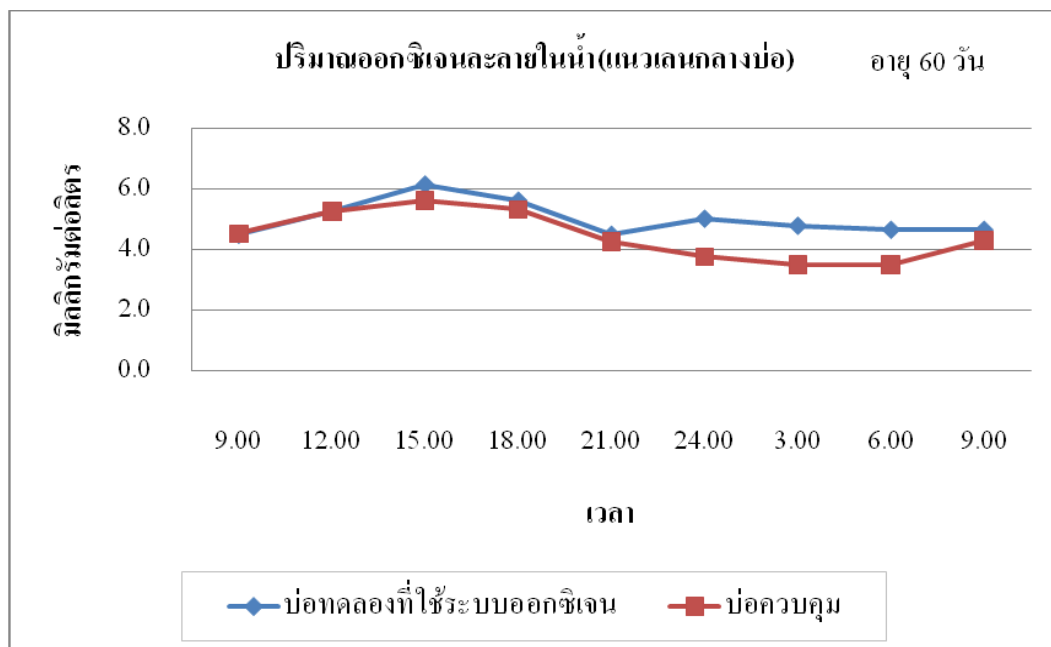
**ภาพที่ 24** การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหน้าอาหารในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



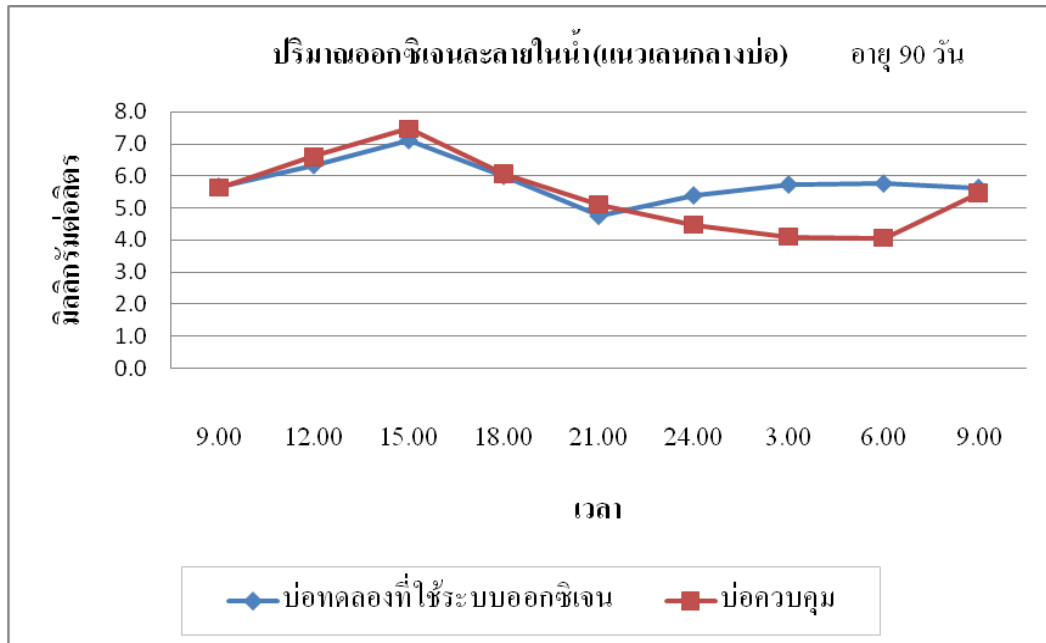
**ภาพที่ 25** การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหน้าอาหารในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน



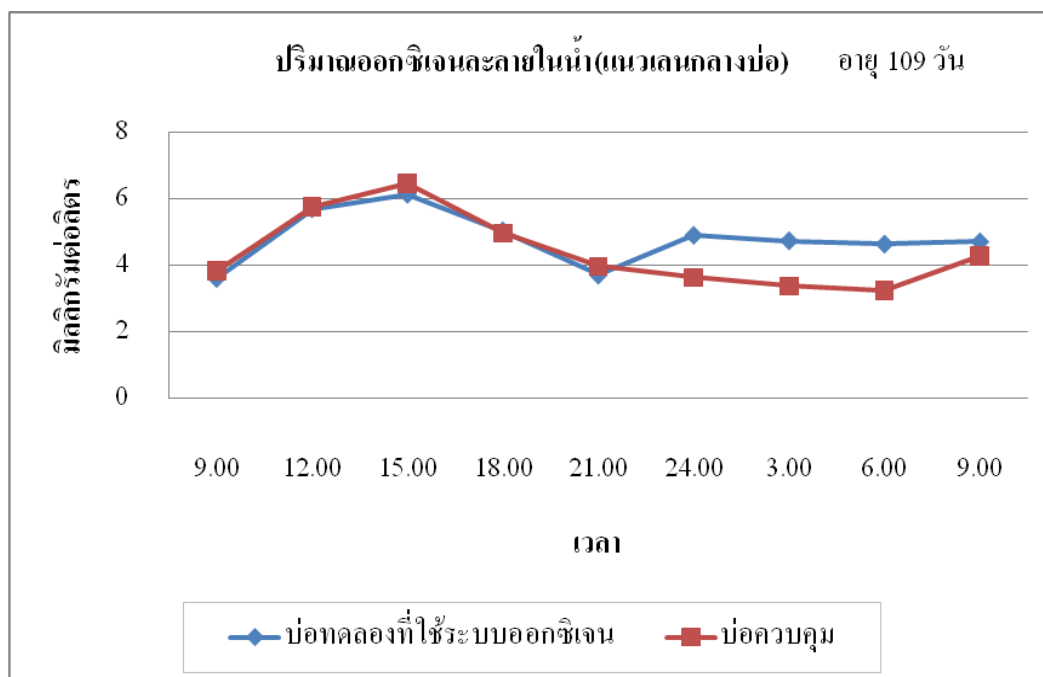
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



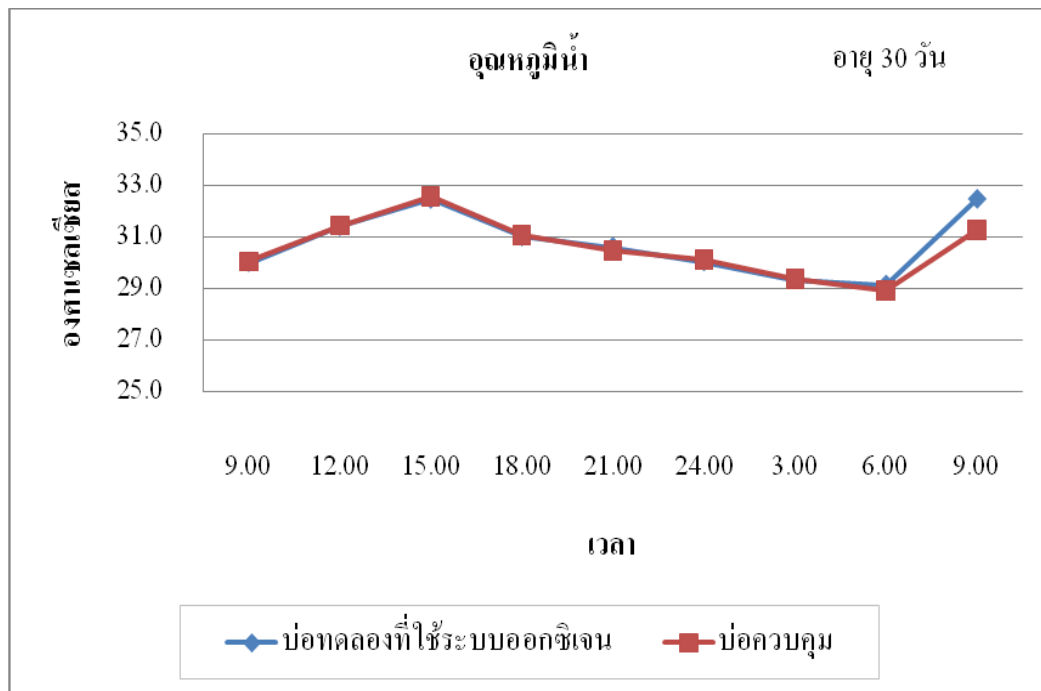
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบริเวณแนวเลนกลางบ่อในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.2 อุณหภูมิของน้ำ

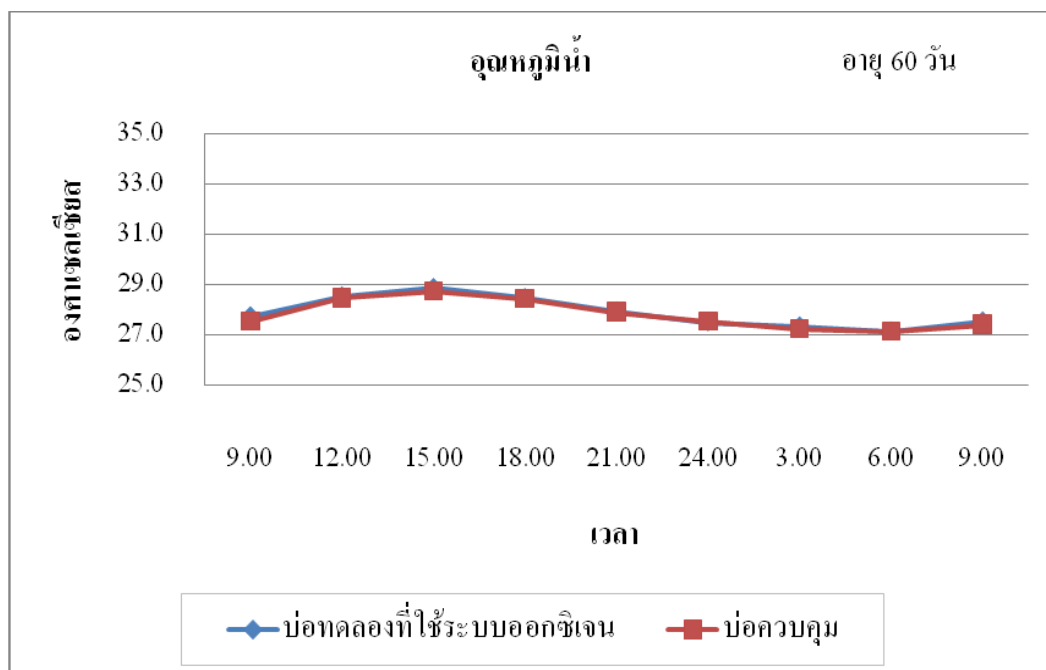
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน พบว่า บ่อทดลองที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 29.1-34.5 องศาเซลเซียส บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 28.9-32.7 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 30) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 27.2-29.1 องศาเซลเซียส บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 27.1-28.9 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 31) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 26.7-28.6 องศาเซลเซียส บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 26.5-28.7 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 32) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 28.2-31.3 องศาเซลเซียส บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 28.1-31.2 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 33) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 6) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศความเข้มของแสงอาทิตย์ กระแสลม ความลึกของน้ำและความขุ่น (ภิญโญ, 2545) การเปลี่ยนแปลงเป็นไปอย่างใกล้เคียงกันและจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2-3 องศาเซลเซียส ในรอบวัน (ยนต์, 2539) จากการศึกษาของ พรรณีภา (2547) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวัน พบว่า อุณหภูมิของน้ำจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 6.00 น. และสูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

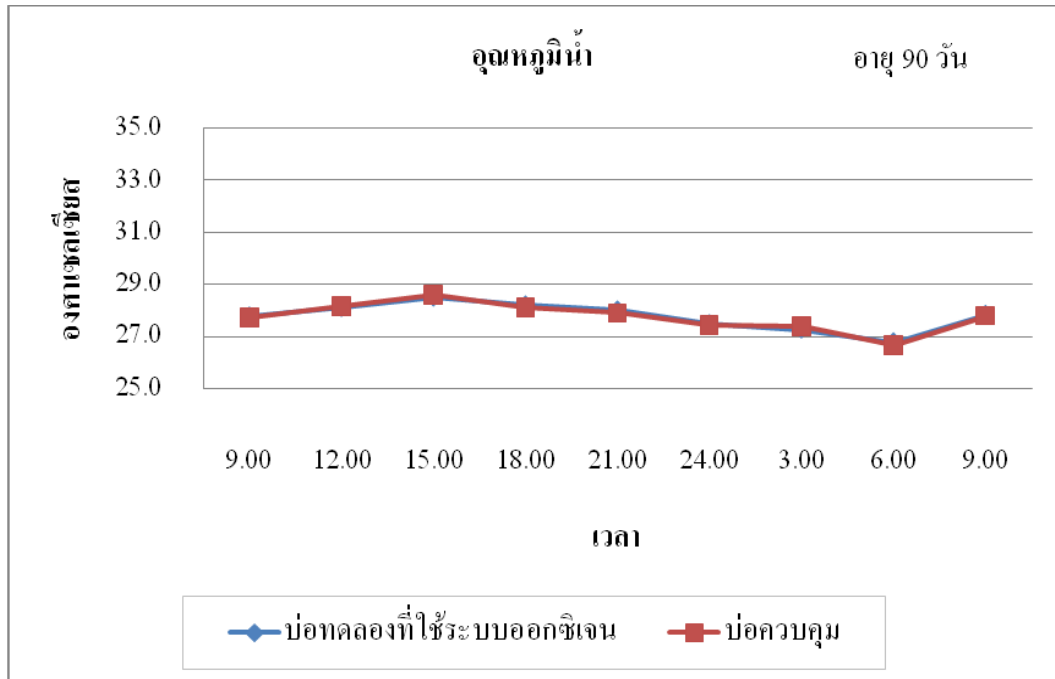
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	30.0±0.58 <sup>a</sup>	30.1±0.06 <sup>a</sup>	27.8±0.21 <sup>a</sup>	27.6±0.12 <sup>a</sup>	27.8±0.15 <sup>a</sup>	27.7±0.06 <sup>a</sup>	29.0±0.10 <sup>a</sup>	28.8±0.06 <sup>a</sup>
12.00	31.4±0.06 <sup>a</sup>	31.5±0.06 <sup>a</sup>	28.6±0.15 <sup>a</sup>	28.5±0.30 <sup>a</sup>	28.1±0.0 <sup>a</sup>	28.2±0.06 <sup>a</sup>	29.0±0.12 <sup>a</sup>	28.9±0.15 <sup>a</sup>
15.00	32.5±0.0 <sup>a</sup>	32.6±0.10 <sup>a</sup>	28.9±0.17 <sup>a</sup>	28.8±0.23 <sup>a</sup>	28.5±0.10 <sup>a</sup>	28.6±0.10 <sup>a</sup>	31.2±0.10 <sup>a</sup>	31.1±0.10 <sup>a</sup>
18.00	31.0±0.06 <sup>a</sup>	31.1±0.10 <sup>a</sup>	28.5±0.20 <sup>a</sup>	28.5±0.15 <sup>a</sup>	28.2±0.10 <sup>a</sup>	28.1±0.10 <sup>a</sup>	30.2±0.10 <sup>a</sup>	30.2±0.06 <sup>a</sup>
21.00	30.6±0.12 <sup>a</sup>	30.5±0.20 <sup>a</sup>	28.0±0.06 <sup>a</sup>	27.9±0.06 <sup>a</sup>	28.0±0.10 <sup>a</sup>	27.9±0.10 <sup>a</sup>	29.5±0.12 <sup>a</sup>	29.5±0.06 <sup>a</sup>
24.00	30.1±0.12 <sup>a</sup>	30.1±0.12 <sup>a</sup>	27.5±0.15 <sup>a</sup>	27.6±0.06 <sup>a</sup>	27.5±0.06 <sup>a</sup>	27.4±0.12 <sup>a</sup>	29.3±0.06 <sup>a</sup>	29.1±0.06 <sup>a</sup>
3.00	29.4±0.25 <sup>a</sup>	29.4±0.10 <sup>a</sup>	27.4±0.15 <sup>a</sup>	27.3±0.06 <sup>a</sup>	27.3±0.06 <sup>a</sup>	27.4±0.10 <sup>a</sup>	28.3±0.06 <sup>a</sup>	28.2±0.10 <sup>a</sup>
6.00	29.2±0.23 <sup>a</sup>	28.9±0.06 <sup>a</sup>	27.2±0.06 <sup>a</sup>	27.2±0.06 <sup>a</sup>	26.8±0.06 <sup>a</sup>	26.7±0.15 <sup>a</sup>	28.3±0.06 <sup>a</sup>	28.1±0.06 <sup>a</sup>
9.00	32.5±1.73 <sup>a</sup>	31.3±0.10 <sup>a</sup>	27.6±0.06 <sup>a</sup>	27.4±0.06 <sup>a</sup>	27.8±0.06 <sup>a</sup>	27.8±0.10 <sup>a</sup>	28.9±0.10 <sup>a</sup>	28.9±0.06 <sup>a</sup>



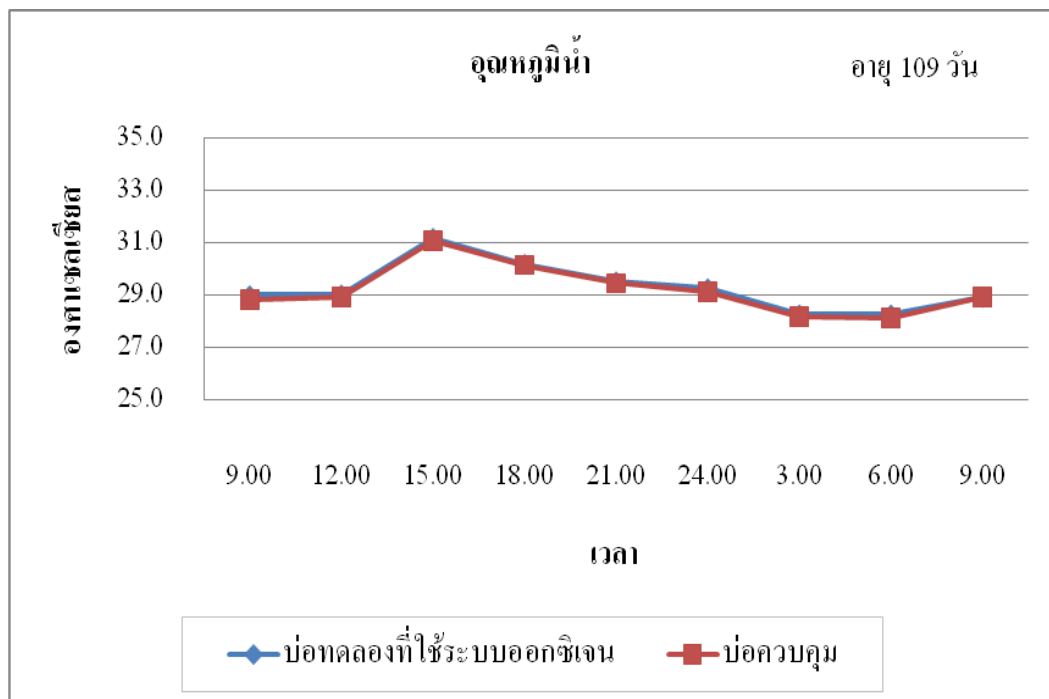
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



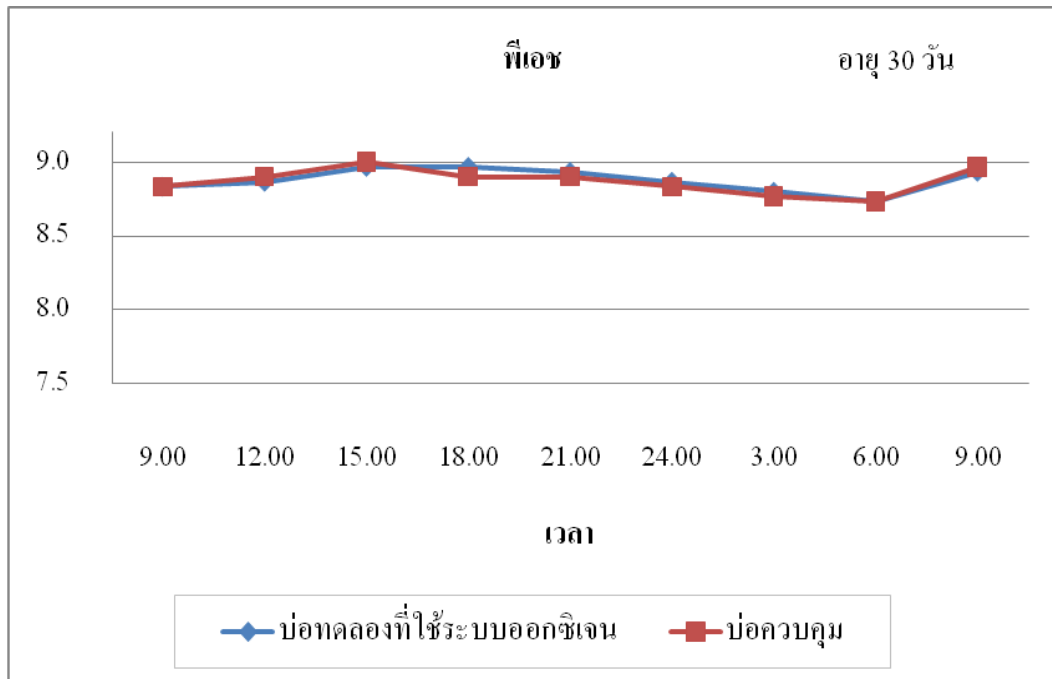
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.3 ฟีเอช

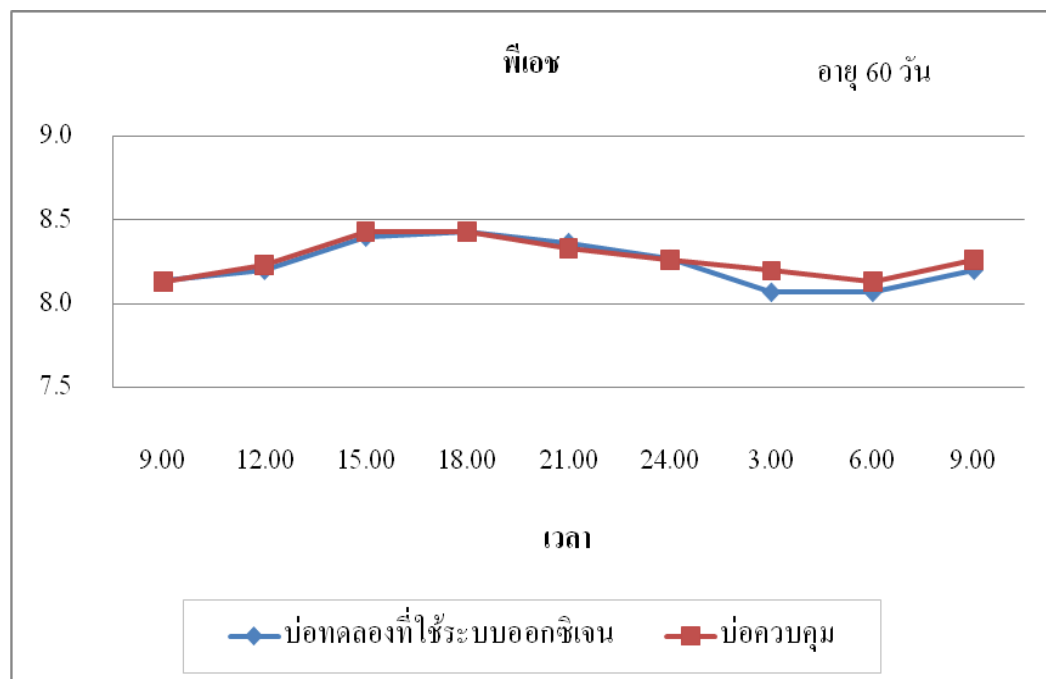
การเปลี่ยนแปลงฟีเอชในรอบวันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่า บ่อทดลองและบ่อควบคุมโดยพบว่าในวันที่30ของการเลี้ยง มีค่าอยู่ระหว่าง 8.7-9.1 บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.7-9.1 (ภาพที่ 34) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน หรือกุ้งมีอายุ 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-8.5 บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-8.7 (ภาพที่ 35) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 7.9-8.8 บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.1-8.9 (ภาพที่ 36) ส่วนในเดือนสุดท้ายหรือที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 8.4-8.8 บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.5-8.9 (ภาพที่ 37) ค่าเฉลี่ยฟีเอชของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 7) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) เนื่องจาก ระหว่างการเลี้ยงมีการควบคุมที่จะให้ระดับฟีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง โดยการเติมวัสดุปูนในกรณีที่ฟีเอชต่ำกว่าปกติและถ่ายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแพลงก์ตอนหนาแน่นมากทำให้ค่าฟีเอชไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งคือ ฟีเอชในรอบวันไม่แตกต่างกัน 0.5 (ชลอ, 2543)

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงพีเอชในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

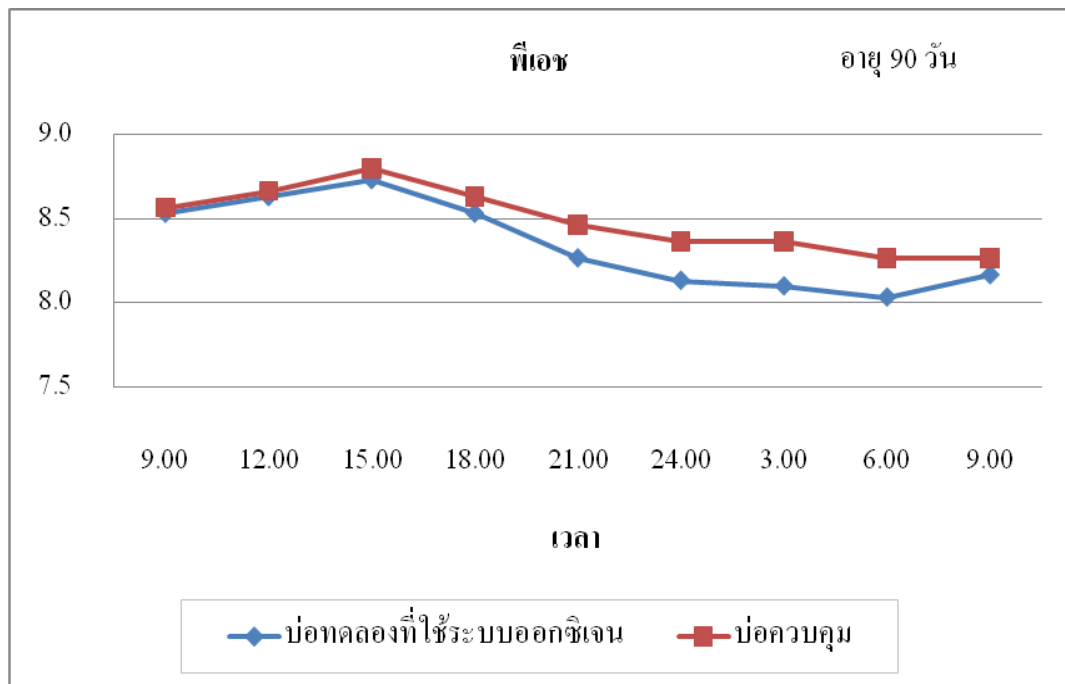
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	8.8±0.15 <sup>a</sup>	8.8±0.15 <sup>a</sup>	8.1±0.12 <sup>a</sup>	8.1±0.23 <sup>a</sup>	8.5±0.15 <sup>a</sup>	8.6±0.11 <sup>a</sup>	8.6±0.12 <sup>a</sup>	8.7±0.12 <sup>a</sup>
12.00	8.9±0.12 <sup>a</sup>	8.9±0.15 <sup>a</sup>	8.2±0.10 <sup>a</sup>	8.2±0.23 <sup>a</sup>	8.6±0.06 <sup>a</sup>	8.7±0.06 <sup>a</sup>	8.7±0.10 <sup>a</sup>	8.8±0.06 <sup>a</sup>
15.00	9.0±0.12 <sup>a</sup>	9.0±0.10 <sup>a</sup>	8.4±0.10 <sup>a</sup>	8.4±0.25 <sup>a</sup>	8.7±0.06 <sup>a</sup>	8.8±0.10 <sup>a</sup>	8.8±0.10 <sup>a</sup>	8.8±0.06 <sup>a</sup>
18.00	9.0±0.12 <sup>a</sup>	8.9±0.0 <sup>a</sup>	8.4±0.12 <sup>a</sup>	8.4±0.25 <sup>a</sup>	8.5±0.06 <sup>a</sup>	8.6±0.12 <sup>a</sup>	8.6±0.15 <sup>a</sup>	8.7±0.06 <sup>a</sup>
21.00	8.9±0.06 <sup>a</sup>	8.9±0.0 <sup>a</sup>	8.4±0.15 <sup>a</sup>	8.3±0.25 <sup>a</sup>	8.3±0.21 <sup>a</sup>	8.5±0.15 <sup>a</sup>	8.6±0.12 <sup>a</sup>	8.6±0.06 <sup>a</sup>
24.00	8.9±0.06 <sup>a</sup>	8.8±0.06 <sup>a</sup>	8.3±0.12 <sup>a</sup>	8.3±0.21 <sup>a</sup>	8.1±0.15 <sup>a</sup>	8.4±0.15 <sup>a</sup>	8.5±0.15 <sup>a</sup>	8.6±0.06 <sup>a</sup>
3.00	8.8±0.06 <sup>a</sup>	8.8±0.06 <sup>a</sup>	8.1±0.12 <sup>a</sup>	8.2±0.20 <sup>a</sup>	8.1±0.20 <sup>a</sup>	8.4±0.15 <sup>a</sup>	8.5±0.12 <sup>a</sup>	8.6±0.12 <sup>a</sup>
6.00	8.8±0.06 <sup>a</sup>	8.9±0.17 <sup>a</sup>	8.1±0.12 <sup>a</sup>	8.1±0.12 <sup>a</sup>	8.0±0.15 <sup>a</sup>	8.3±0.15 <sup>a</sup>	8.4±0.06 <sup>a</sup>	8.5±0.06 <sup>a</sup>
9.00	8.9±0.06 <sup>a</sup>	9.0±0.1 <sup>a</sup>	8.2±0.10 <sup>a</sup>	8.3±0.06 <sup>a</sup>	8.2±0.15 <sup>a</sup>	8.3±0.15 <sup>a</sup>	8.8±0.06 <sup>a</sup>	8.7±0.06 <sup>a</sup>



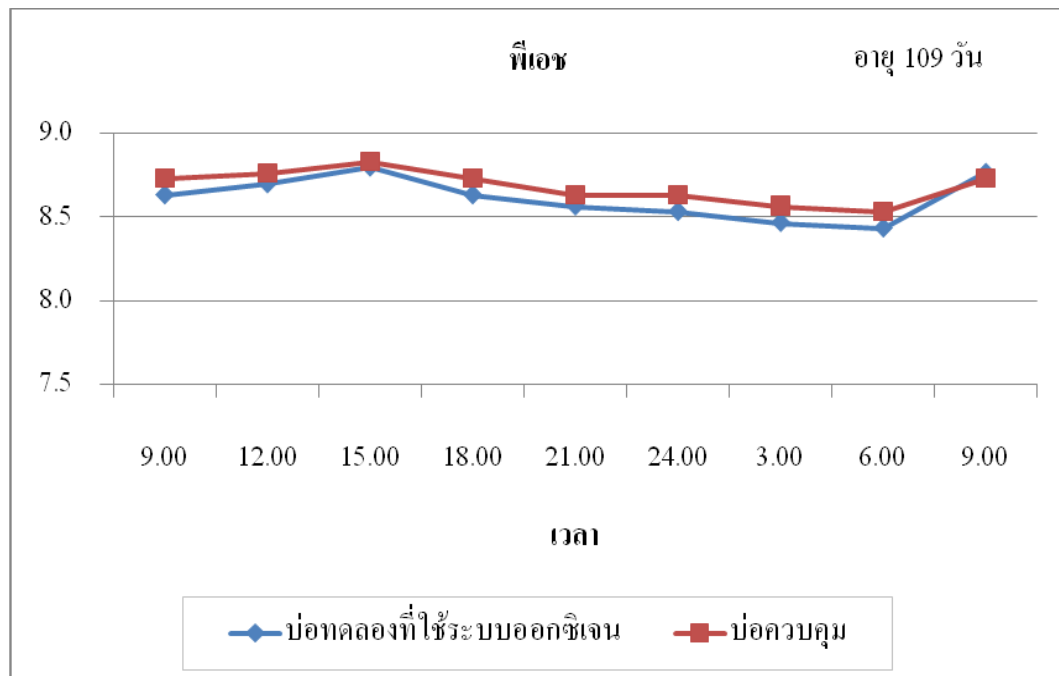
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



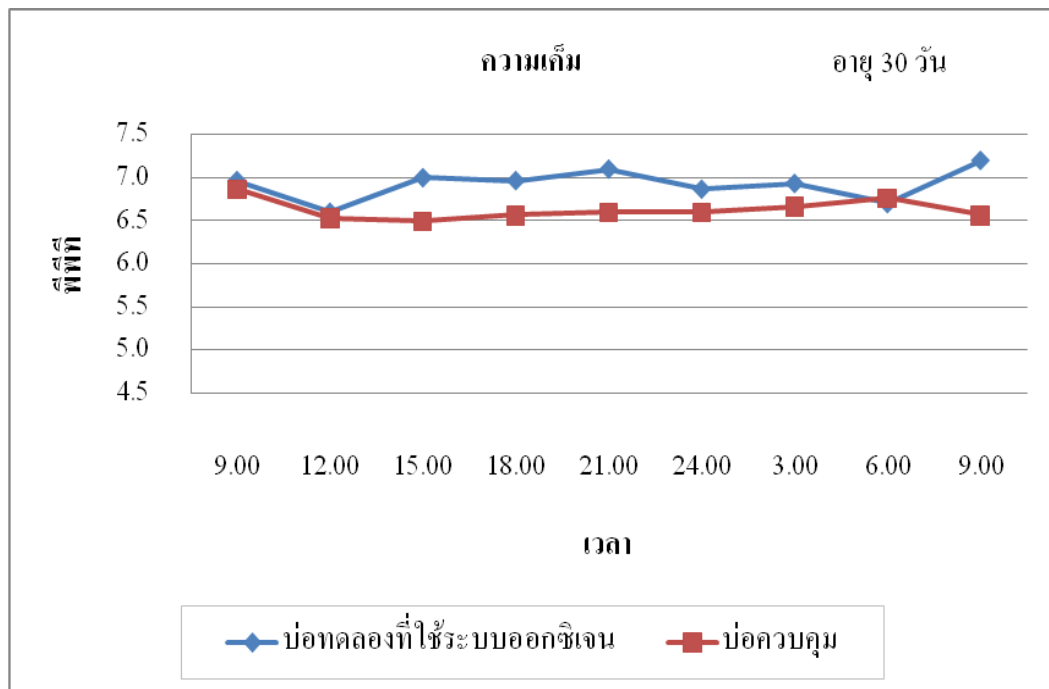
ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

#### 1.2.4 ความเค็ม

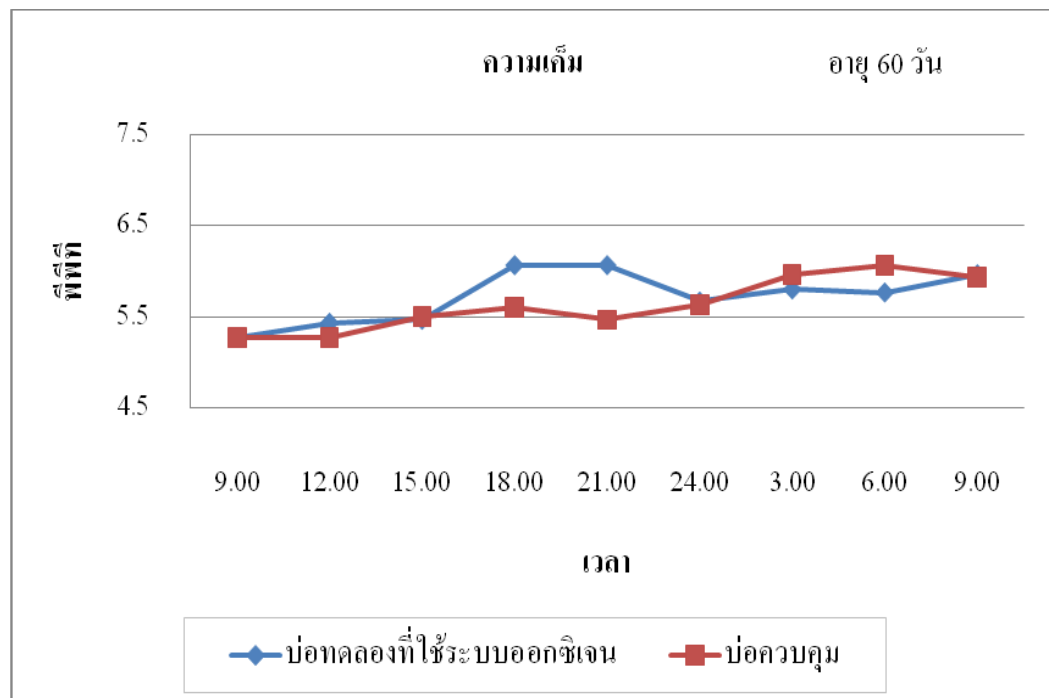
การเปลี่ยนแปลงของความเค็มในรอบวันของบ่อทดลอง วันที่30ของการเลี้ยงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.7-8.2 พีพีที บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 5.7-7.3 พีพีที (ภาพที่ 38) ในวันที่60 หรือที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.1-6.5 พีพีที บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 4.8-6.8 พีพีที (ภาพที่ 39) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 4.9-6.7 พีพีที บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 4.8-6.6 พีพีที (ภาพที่ 40) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.6-7.1 พีพีที บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-7.2 พีพีที (ภาพที่ 41) ค่าเฉลี่ยความเค็มในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 8) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) จากการทดลองพบว่า ค่าความเค็มมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในช่วงที่เก็บตัวอย่างทั้ง4ช่วงเวลา ทั้งนี้อาจจะเกิดจากตำแหน่งในการวัดความเค็มที่แตกต่างกันและการใช้เครื่องให้อากาศเพื่อคลุกเคล้าน้ำในขณะนั้น

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

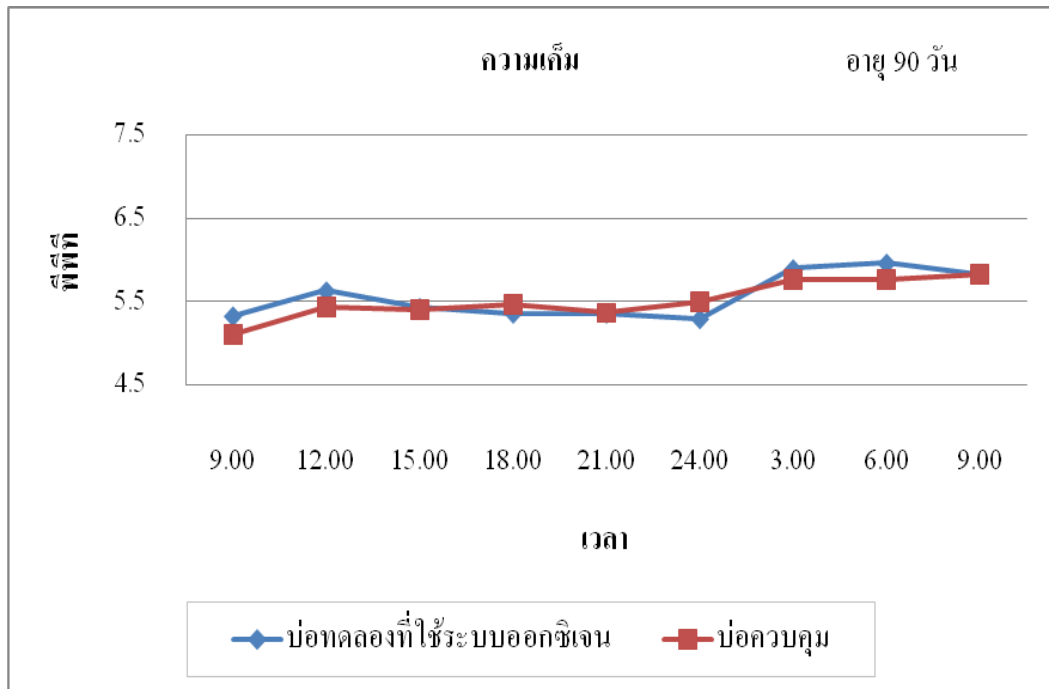
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	7.9±0.45 <sup>a</sup>	6.9±0.38 <sup>a</sup>	5.3±0.21 <sup>a</sup>	5.3±0.06 <sup>a</sup>	5.3±0.49 <sup>a</sup>	5.1±0.27 <sup>a</sup>	6.1±0.23 <sup>a</sup>	5.9±0.52 <sup>a</sup>
12.00	6.6±0.90 <sup>a</sup>	6.5±0.76 <sup>a</sup>	5.4±0.15 <sup>a</sup>	5.3±0.40 <sup>a</sup>	5.6±0.25 <sup>a</sup>	5.4±0.23 <sup>a</sup>	6.2±0.45 <sup>a</sup>	6.1±0.92 <sup>a</sup>
15.00	7±0.92 <sup>a</sup>	6.5±0.66 <sup>a</sup>	5.5±0.06 <sup>a</sup>	5.5±0.10 <sup>a</sup>	5.4±0.31 <sup>a</sup>	5.4±0.17 <sup>a</sup>	6.2±0.61 <sup>a</sup>	6.0±0.81 <sup>a</sup>
18.00	7.0±1.14 <sup>a</sup>	6.6±0.81 <sup>a</sup>	6.1±0.40 <sup>a</sup>	5.6±0.10 <sup>a</sup>	5.4±0.40 <sup>a</sup>	5.5±0.29 <sup>a</sup>	6.4±0.66 <sup>a</sup>	6.1±0.81 <sup>a</sup>
21.00	7.1±1.18 <sup>a</sup>	6.6±0.82 <sup>a</sup>	6.1±0.51 <sup>a</sup>	5.5±0.25 <sup>a</sup>	5.4±0.31 <sup>a</sup>	5.4±0.12 <sup>a</sup>	6.2±0.65 <sup>a</sup>	6.1±0.72 <sup>a</sup>
24.00	6.9±0.90 <sup>a</sup>	6.6±0.82 <sup>a</sup>	5.7±0.31 <sup>a</sup>	5.6±0.31 <sup>a</sup>	5.3±0.35 <sup>a</sup>	5.5±0.35 <sup>a</sup>	6.3±0.65 <sup>a</sup>	6.1±0.78 <sup>a</sup>
3.00	6.9±0.81 <sup>a</sup>	6.7±0.71 <sup>a</sup>	5.8±0.44 <sup>a</sup>	6.0±0.31 <sup>a</sup>	5.9±0.60 <sup>a</sup>	5.8±0.64 <sup>a</sup>	6.4±0.50 <sup>a</sup>	6.1±0.78 <sup>a</sup>
6.00	6.7±0.92 <sup>a</sup>	6.8±0.55 <sup>a</sup>	5.8±0.65 <sup>a</sup>	6.1±0.64 <sup>a</sup>	6.0±0.70 <sup>a</sup>	5.8±0.64 <sup>a</sup>	6.4±0.45 <sup>a</sup>	6.1±0.72 <sup>a</sup>
9.00	7.2±0.95 <sup>a</sup>	6.6±0.55 <sup>a</sup>	6.0±0.55 <sup>a</sup>	5.9±0.76 <sup>a</sup>	5.8±0.81 <sup>a</sup>	5.8±0.67 <sup>a</sup>	6.4±0.55 <sup>a</sup>	6.0±0.69 <sup>a</sup>



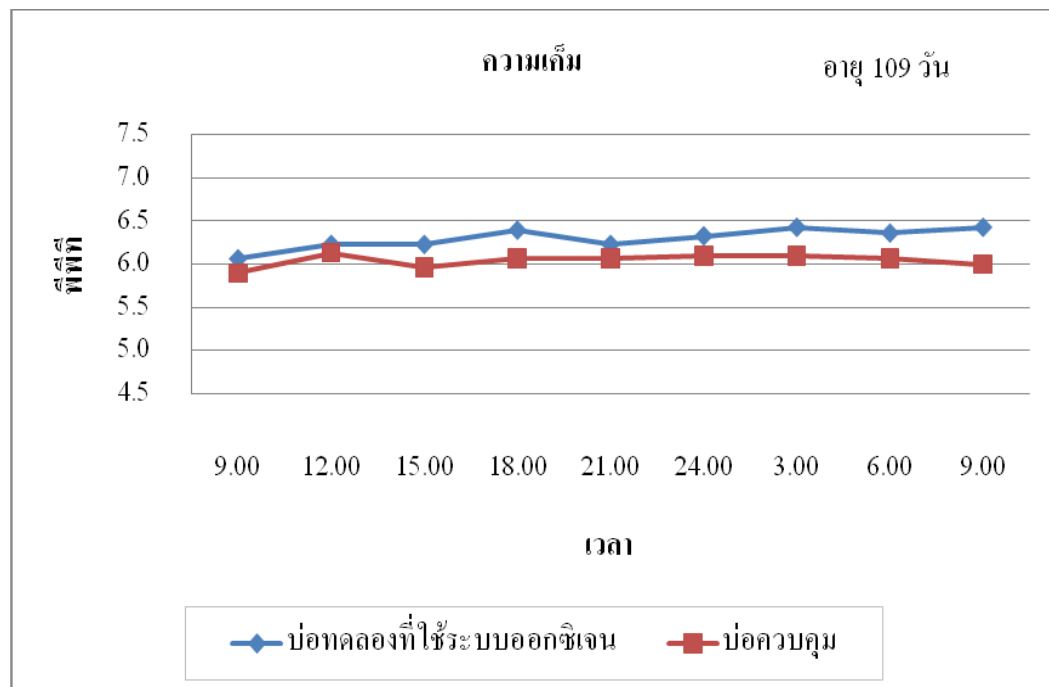
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



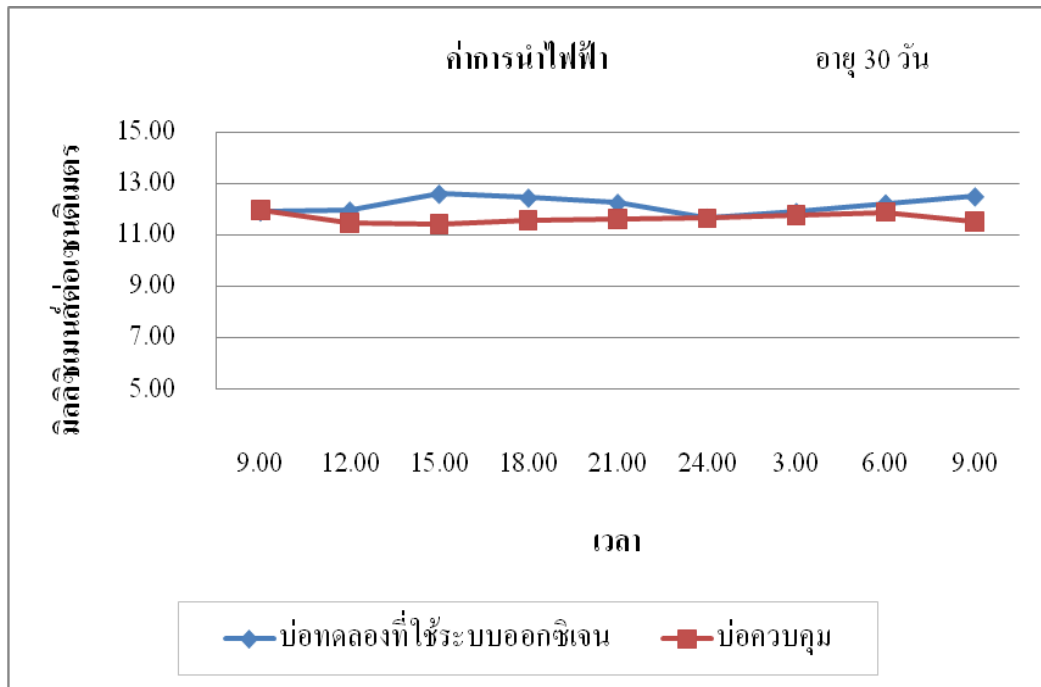
ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.5 การนำไฟฟ้า

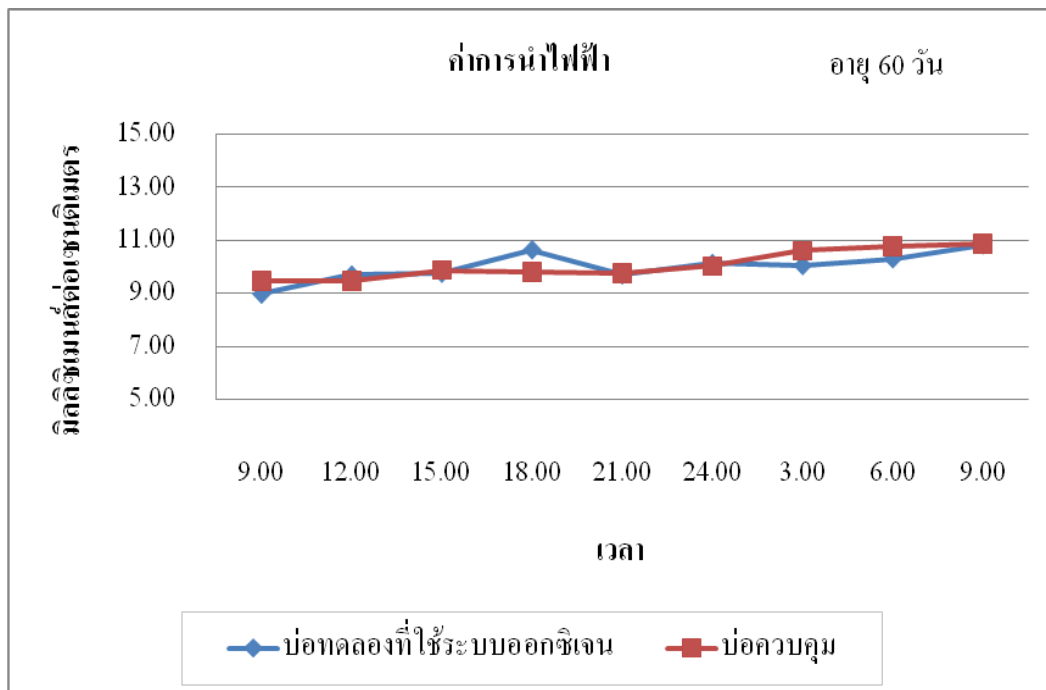
การเปลี่ยนแปลงของการนำไฟฟ้าในรอบวันของบ่อทดลองในวันที่ 30 มีค่าอยู่ระหว่าง 10.20-14.34 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บ่อควบคุมค่าอยู่ระหว่าง 10.03-12.86 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (ภาพที่ 42) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 8.06-11.55 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 9.20-11.94 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (ภาพที่ 43) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 8.77-11.7 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 9.25-11.66 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (ภาพที่ 44) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 10.02-12.54 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 9.81-12.44 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (ภาพที่ 45) ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 9) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) เช่นเดียวกับความเค็ม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในรอบวันจะมีความสัมพันธ์แปรผันตามความเค็มและมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับความเค็ม Boyd (1982; 2002)

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

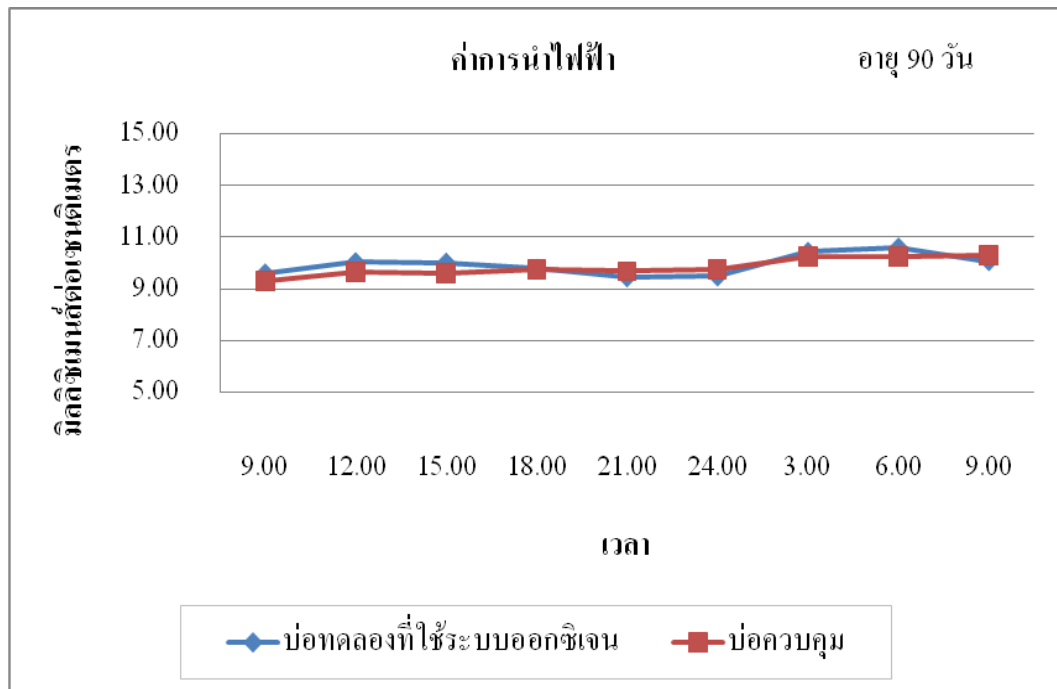
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	11.93±1.05 <sup>a</sup>	12.01±0.69 <sup>a</sup>	8.97±0.84 <sup>a</sup>	9.45±0.78 <sup>a</sup>	9.60±0.72 <sup>a</sup>	9.3±0.70 <sup>a</sup>	10.78±0.38 <sup>a</sup>	10.47±0.77 <sup>a</sup>
12.00	11.96±1.80 <sup>a</sup>	11.52±1.35 <sup>a</sup>	9.70±1.36 <sup>a</sup>	9.46±0.26 <sup>a</sup>	10.07±0.41 <sup>a</sup>	9.69±0.35 <sup>a</sup>	11.07±0.63 <sup>a</sup>	10.83±1.40 <sup>a</sup>
15.00	12.62±1.54 <sup>a</sup>	11.45±1.27 <sup>a</sup>	9.77±1.17 <sup>a</sup>	9.86±0.12 <sup>a</sup>	10.05±0.47 <sup>a</sup>	9.63±0.27 <sup>a</sup>	11.00±1.14 <sup>a</sup>	10.64±1.40 <sup>a</sup>
18.00	12.47±2.08 <sup>a</sup>	11.62±1.36 <sup>a</sup>	10.66±0.78 <sup>a</sup>	9.80±0.32 <sup>a</sup>	9.81±0.36 <sup>a</sup>	9.78±0.49 <sup>a</sup>	11.29±1.15 <sup>a</sup>	10.77±1.38 <sup>a</sup>
21.00	12.26±1.96 <sup>a</sup>	11.65±1.36 <sup>a</sup>	9.71±0.78 <sup>a</sup>	9.76±0.45 <sup>a</sup>	9.47±0.59 <sup>a</sup>	9.71±0.31 <sup>a</sup>	11.04±1.10 <sup>a</sup>	10.77±1.19 <sup>a</sup>
24.00	11.67±1.25 <sup>a</sup>	11.69±1.30 <sup>a</sup>	10.14±0.85 <sup>a</sup>	10.01±0.55 <sup>a</sup>	9.51±0.57 <sup>a</sup>	9.79±0.50 <sup>a</sup>	11.29±0.94 <sup>a</sup>	10.79±1.22 <sup>a</sup>
3.00	11.90±1.51 <sup>a</sup>	11.81±1.13 <sup>a</sup>	10.06±0.77 <sup>a</sup>	10.60±0.44 <sup>a</sup>	10.47±1.0 <sup>a</sup>	10.27±1.11 <sup>a</sup>	11.19±0.86 <sup>a</sup>	10.80±1.21 <sup>a</sup>
6.00	12.24±1.77 <sup>a</sup>	11.92±0.96 <sup>a</sup>	10.32±1.04 <sup>a</sup>	10.76±1.03 <sup>a</sup>	10.63±1.07 <sup>a</sup>	10.29±1.09 <sup>a</sup>	11.23±0.78 <sup>a</sup>	10.74±1.07 <sup>a</sup>
9.00	12.52±1.66 <sup>a</sup>	11.57±0.94 <sup>a</sup>	10.85±0.96 <sup>a</sup>	10.86±0.94 <sup>a</sup>	10.10±1.46 <sup>a</sup>	10.34±1.15 <sup>a</sup>	11.34±0.97 <sup>a</sup>	10.67±1.07 <sup>a</sup>



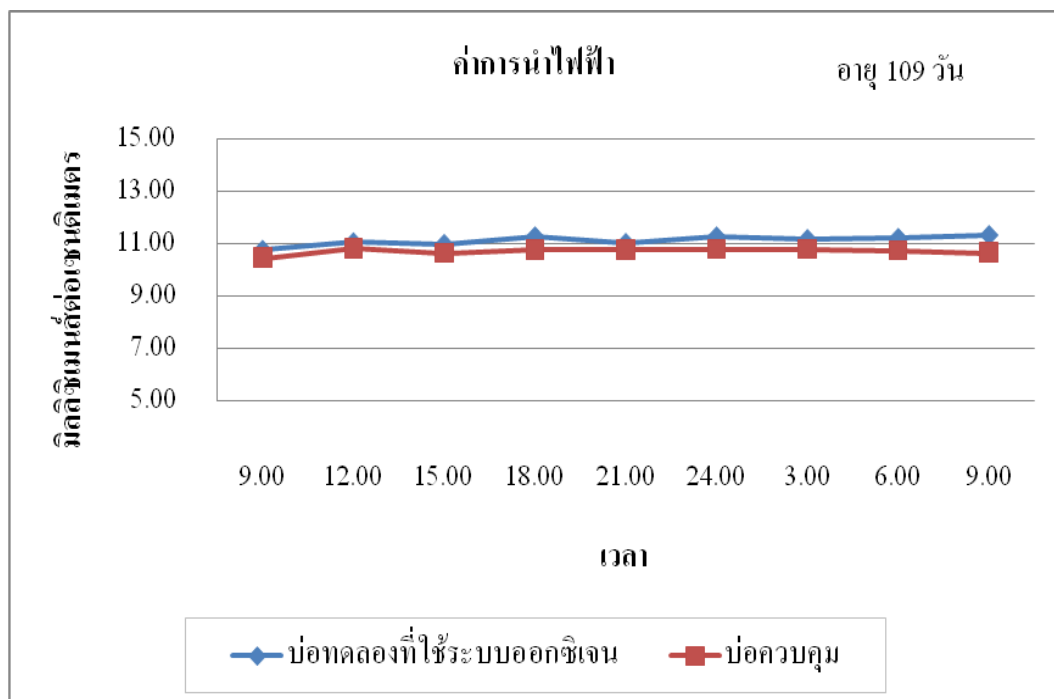
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



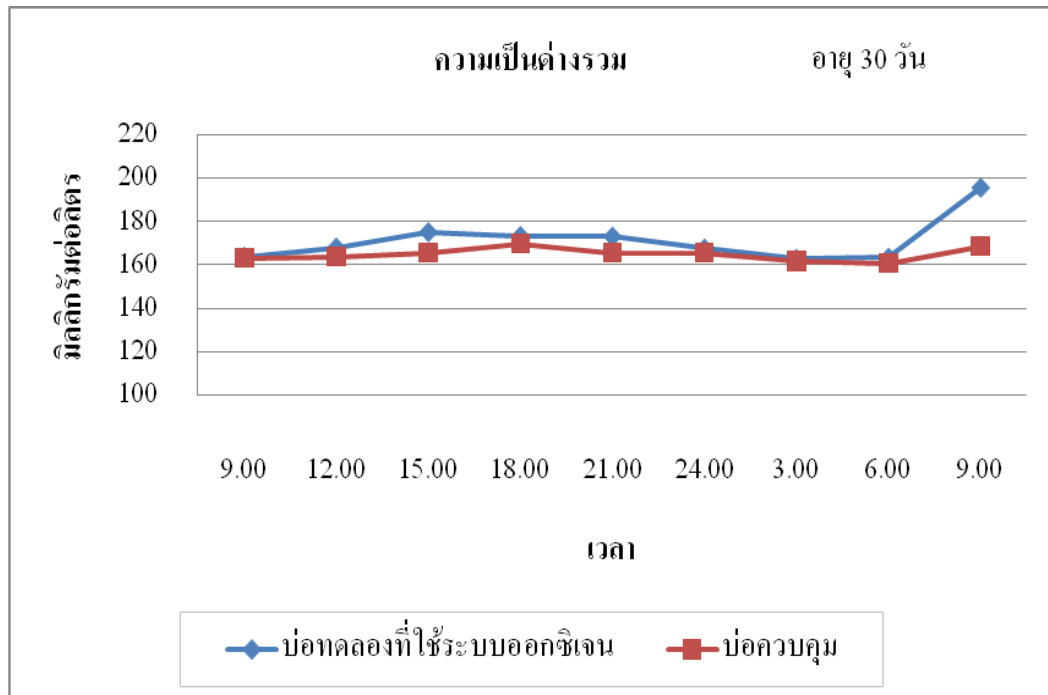
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.6 ความเป็นค่ารวม

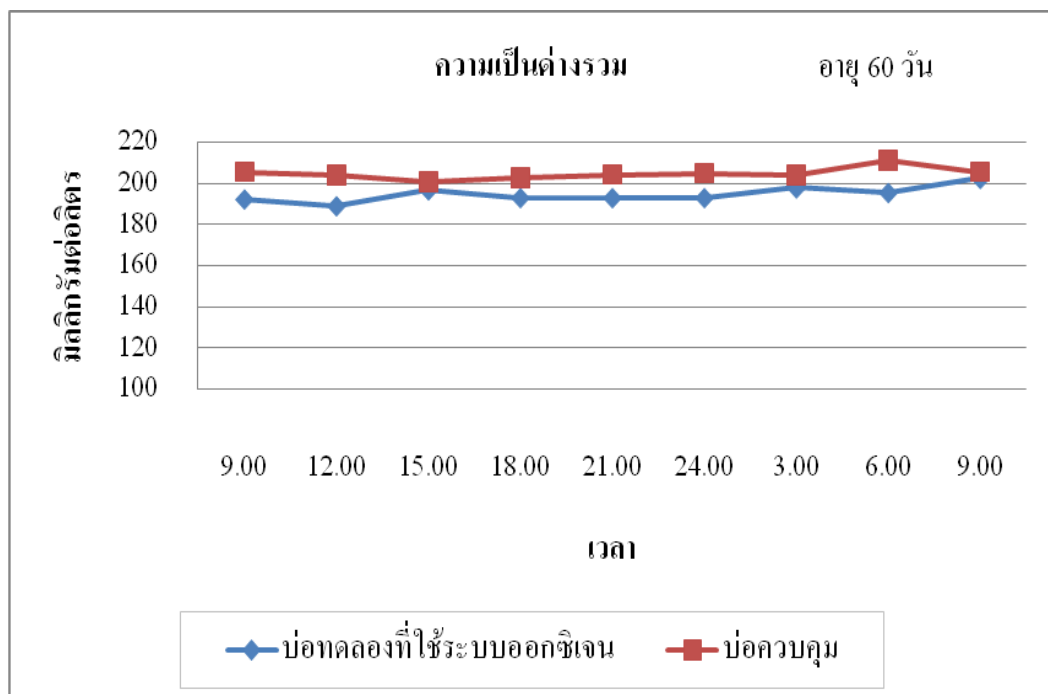
การเปลี่ยนแปลงของความเป็นค่ารวมในรอบวันในบ่อทดลองที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 153.33-197.33 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 142-180.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 46) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 182-218 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 192-222 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 47) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 186.67-231.33 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 189.33-235.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 48) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 192.67-218 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 190.67-226.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 49) ค่าเฉลี่ยความเป็นค่ารวมของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) การเปลี่ยนแปลงรอบวันค่าความเป็นค่าในเดือนที่ 3 และ 4 มีค่าสูงที่สุดในเวลา 24.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับศรีชัย (2539) ที่ทำการศึกษาคุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำ พบว่าความเป็นค่าทั้งหมดในรอบวันจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยมีค่าสูงสุดของรอบวันอยู่ในเวลา 24.00 น. ซึ่งน่าจะมาจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมาจากระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตในตอนกลางคืน แต่ในช่วงตั้งแต่ 24.00-6.00 น. มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างรวมในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

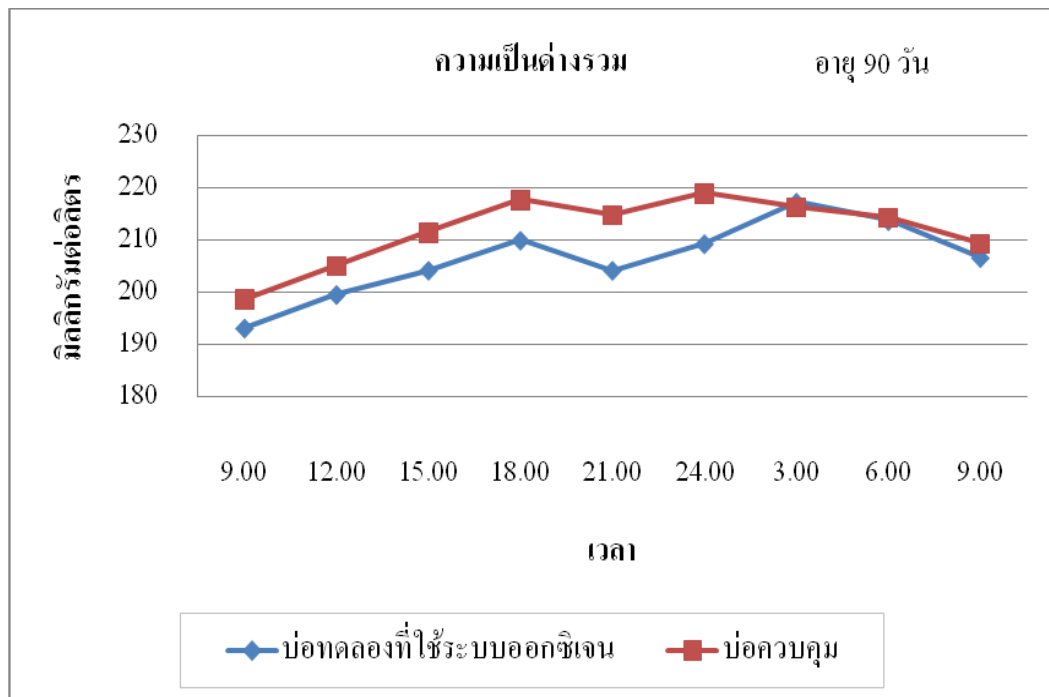
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	164.0±10.73 <sup>a</sup>	163.3±8.67 <sup>a</sup>	192.7±4.62 <sup>a</sup>	206.0±7.69 <sup>a</sup>	193.1±5.83 <sup>a</sup>	198.7±11.37 <sup>a</sup>	206.9±4.02 <sup>a</sup>	211.1±5.18 <sup>a</sup>
12.00	168.2±6.30 <sup>a</sup>	163.8±14.01 <sup>a</sup>	189.3±5.46 <sup>a</sup>	204.2±8.57 <sup>a</sup>	199.6±10.55 <sup>a</sup>	205.1±3.91 <sup>a</sup>	207.6±9.67 <sup>a</sup>	208.2±9.58 <sup>a</sup>
15.00	175.3±8.35 <sup>a</sup>	165.8±8.49 <sup>a</sup>	197.1±2.14 <sup>a</sup>	201.1±8.23 <sup>a</sup>	204.2±11.74 <sup>a</sup>	211.6±4.68 <sup>a</sup>	204.7±17.98 <sup>a</sup>	208.6±14.67 <sup>a</sup>
18.00	173.6±6.48 <sup>a</sup>	169.8±17.16 <sup>a</sup>	193.3±10.91 <sup>a</sup>	202.9±3.91 <sup>a</sup>	210.0±13.38 <sup>a</sup>	217.8±4.44 <sup>a</sup>	207.1±11.67 <sup>a</sup>	209.8±8.44 <sup>a</sup>
21.00	173.3±8.74 <sup>a</sup>	165.6±14.69 <sup>a</sup>	193.3±9.82 <sup>a</sup>	204.7±10.97 <sup>a</sup>	204.2±13.39 <sup>a</sup>	214.9±5.18 <sup>a</sup>	212.2±3.67 <sup>a</sup>	215.3±11.02 <sup>a</sup>
24.00	167.8±12.69 <sup>a</sup>	165.6±20.44 <sup>a</sup>	193.3±7.02 <sup>a</sup>	205.3±12.72 <sup>a</sup>	209.3±5.93 <sup>a</sup>	219.1±15.70 <sup>a</sup>	218.7±1.76 <sup>a</sup>	214.0±7.21 <sup>a</sup>
3.00	163.1±10.38 <sup>a</sup>	161.8±10.01 <sup>a</sup>	198.0±0.67 <sup>a</sup>	204.2±6.16 <sup>a</sup>	217.3±13.68 <sup>a</sup>	216.4±14.69 <sup>a</sup>	207.6±9.37 <sup>a</sup>	213.8±9.58 <sup>a</sup>
6.00	163.6±4.73 <sup>a</sup>	160.9±10.12 <sup>a</sup>	195.8±15.57 <sup>a</sup>	211.6±9.34 <sup>a</sup>	213.8±4.44 <sup>a</sup>	214.4±9.71 <sup>a</sup>	204.2±6.41 <sup>a</sup>	203.8±10.10 <sup>a</sup>
9.00	195.8±2.69 <sup>a</sup>	168.7±17.32 <sup>a</sup>	202.7±13.28 <sup>a</sup>	206.0±5.03 <sup>a</sup>	206.7±13.32 <sup>a</sup>	209.3±9.02 <sup>a</sup>	210.7±6.43 <sup>a</sup>	211.1±4.54 <sup>a</sup>



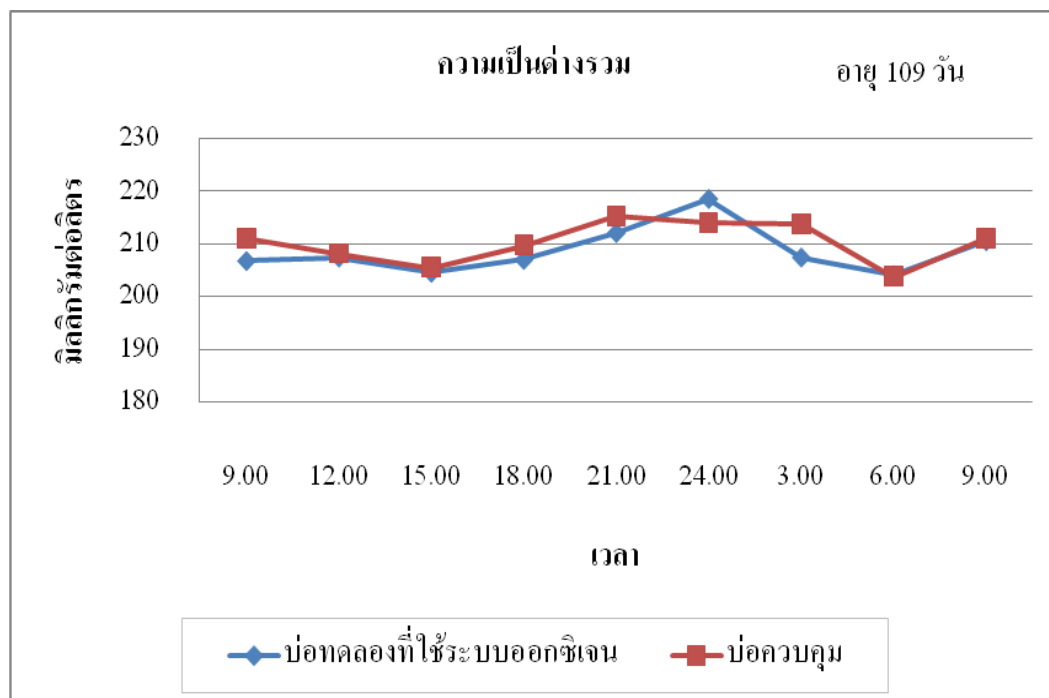
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



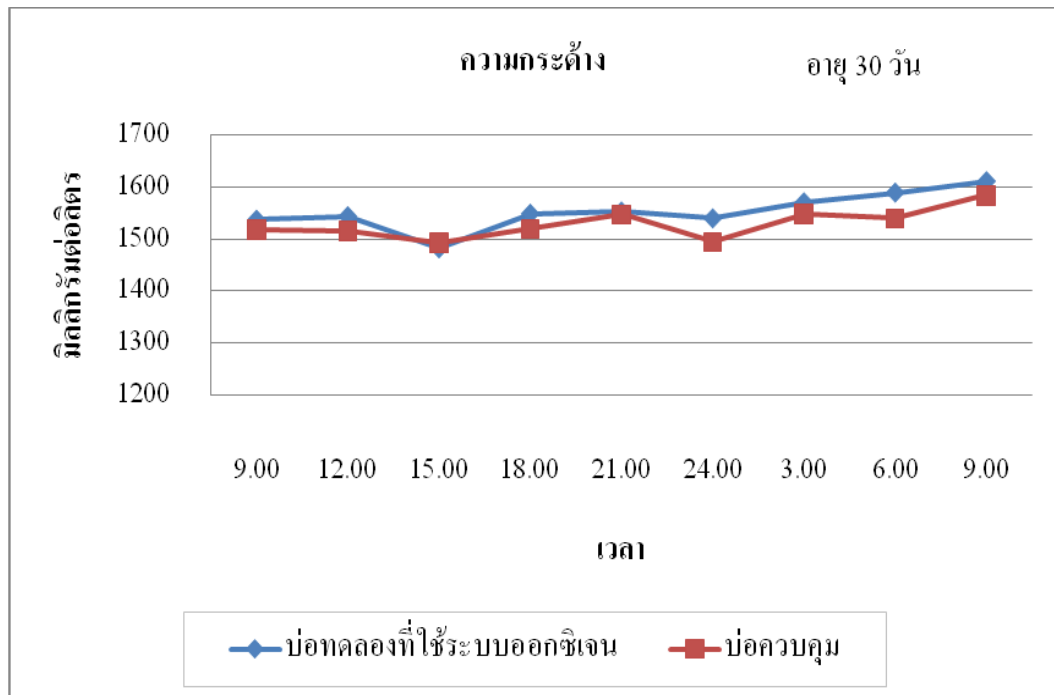
ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.7 ความกระด้าง

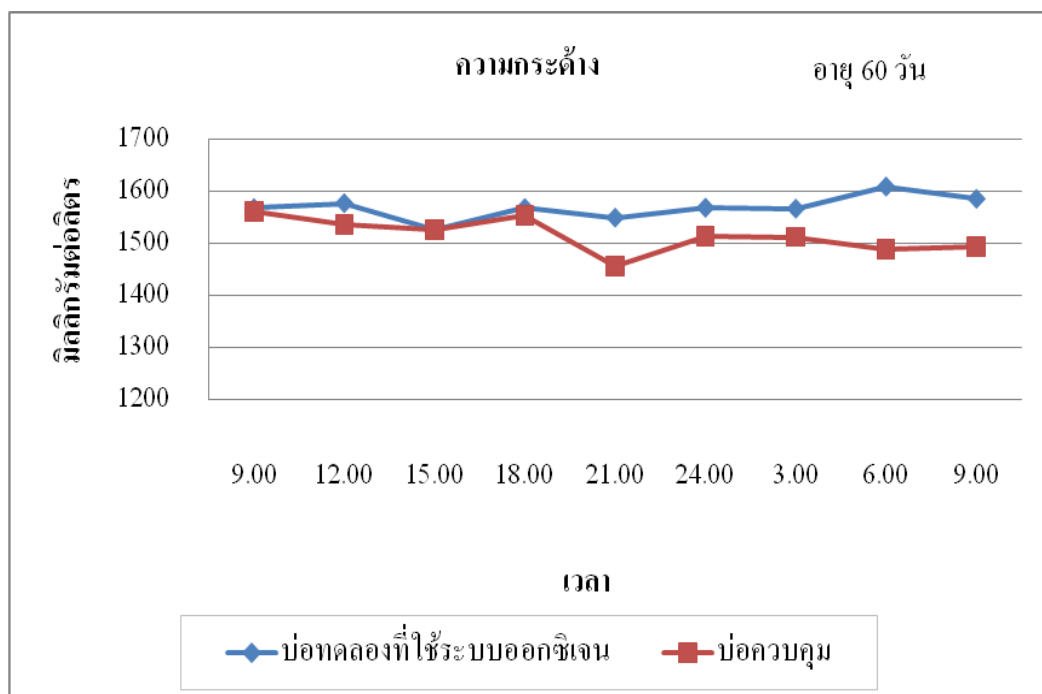
การเปลี่ยนแปลงของความกระด้างในรอบวันในบ่อทดลองและบ่อควบคุมจะมีค่าสูง สุดเมื่อเวลา 15.00 น. และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเวลา 06.00 น. โดยพบว่าที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1,373.33-1,724 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 1413.33-1749.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 50) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1,440-1,805.33 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,320-1,702.67 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 51) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1,202.67-1,684 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุม (ภาพที่ 52) มีค่าอยู่ระหว่าง 1,257.33-1,540 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1,304-1,584 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,210.67-1,613.33 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 53) ค่าเฉลี่ยค่าความกระด้างในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 11) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) การเปลี่ยนแปลงรอบวันค่าความกระด้างมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลง ความกระด้างของน้ำมีค่าสัมพันธ์กับความเป็นด่างและพีเอช เนื่องจากอิออนลบของความเป็นด่าง และอิออนบวกของความกระด้างจะได้อามาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต (Boyd, 1982)

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

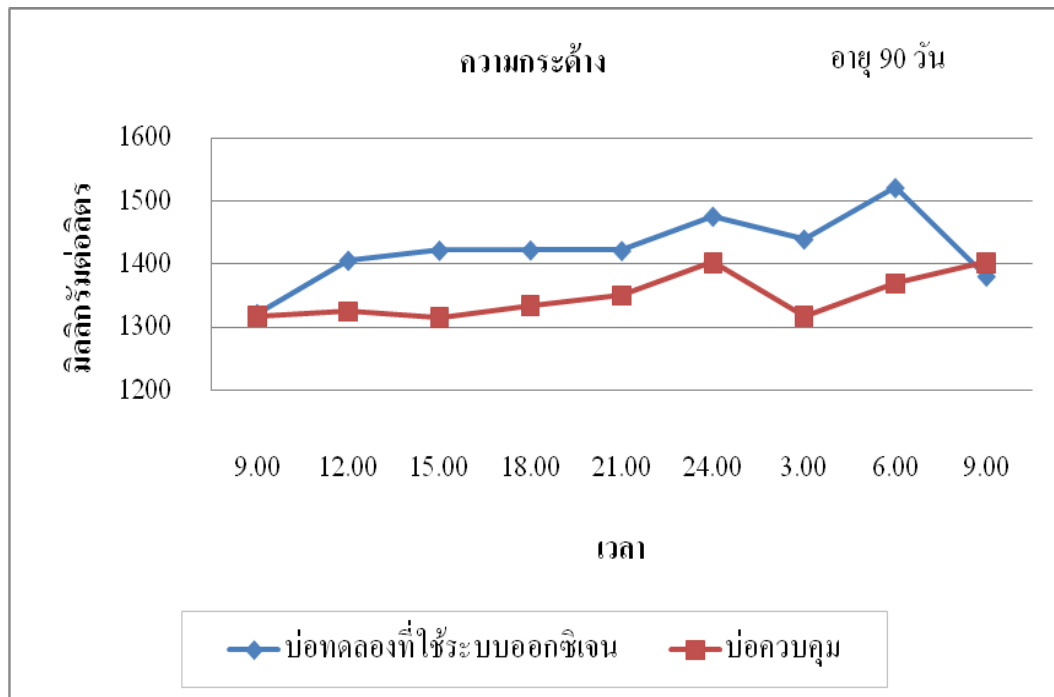
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	1536.9±139.4 <sup>a</sup>	1518.7±80.0 <sup>a</sup>	1568.4±205.4 <sup>a</sup>	1561.8±91.5 <sup>a</sup>	1321.8±52.9 <sup>a</sup>	1319.1±36.1 <sup>a</sup>	1444.4±58.2 <sup>a</sup>	1402.7±48.5 <sup>a</sup>
12.00	1543.5±145.5 <sup>a</sup>	1516.4±82.0 <sup>a</sup>	1578.2±154.5 <sup>a</sup>	1536.4±144.8 <sup>a</sup>	1406.7±80.4 <sup>a</sup>	1327.1±78.1 <sup>a</sup>	1437.8±72.6 <sup>a</sup>	1411.6±71.5 <sup>a</sup>
15.00	1482.2±101.2 <sup>a</sup>	1492.9±61.3 <sup>a</sup>	1526.2±102.1 <sup>a</sup>	1526.2±80.7 <sup>a</sup>	1422.7±103.9 <sup>a</sup>	1316.9±64.5 <sup>a</sup>	1409.8±94.7 <sup>a</sup>	1376.4±174.0 <sup>a</sup>
18.00	1548.4±116.4 <sup>a</sup>	1519.6±17.6 <sup>a</sup>	1568.9±104.4 <sup>a</sup>	1555.1±110.1 <sup>a</sup>	1423.1±90.2 <sup>a</sup>	1336.4±36.6 <sup>a</sup>	1468.4±62.4 <sup>a</sup>	1348.9±199.3 <sup>a</sup>
21.00	1552.9±67.0 <sup>a</sup>	1548.4±177.4 <sup>a</sup>	1550.2±110.7 <sup>a</sup>	1457.8±151.5 <sup>a</sup>	1422.2±71.4 <sup>a</sup>	1352.0±72.1 <sup>a</sup>	1473.3±102.1 <sup>a</sup>	1383.1±163.4 <sup>a</sup>
24.00	1539.6±38.7 <sup>a</sup>	1495.1±42.0 <sup>a</sup>	1569.3±158.5 <sup>a</sup>	1515.1±84.34 <sup>a</sup>	1476.9±63.0 <sup>a</sup>	1404.4±74.7 <sup>a</sup>	1430.2±84.0 <sup>a</sup>	1419.6±106.3 <sup>a</sup>
3.00	1570.2±53.3 <sup>a</sup>	1548.9±7.8 <sup>a</sup>	1567.6±108.8 <sup>a</sup>	1513.3±119.0 <sup>a</sup>	1440.5±127.0 <sup>a</sup>	1319.1±12.3 <sup>a</sup>	1455.1±124.2 <sup>a</sup>	1392.4±147.5 <sup>a</sup>
6.00	1588.9±93.8 <sup>a</sup>	1540.9±112.2 <sup>a</sup>	1610.2±38.1 <sup>a</sup>	1489.3±93.9 <sup>a</sup>	1522.7±169.1 <sup>a</sup>	1371.6±45.7 <sup>a</sup>	1446.2±114.2 <sup>a</sup>	1419.6±136.9 <sup>a</sup>
9.00	1610.7±100.9 <sup>a</sup>	1585.3±69.6 <sup>a</sup>	1586.7±109.1 <sup>a</sup>	1494.7±110.5 <sup>a</sup>	1381.3±216.0 <sup>a</sup>	1403.6±122.3 <sup>a</sup>	1461.8±107.6 <sup>a</sup>	1402.2±186.0 <sup>a</sup>



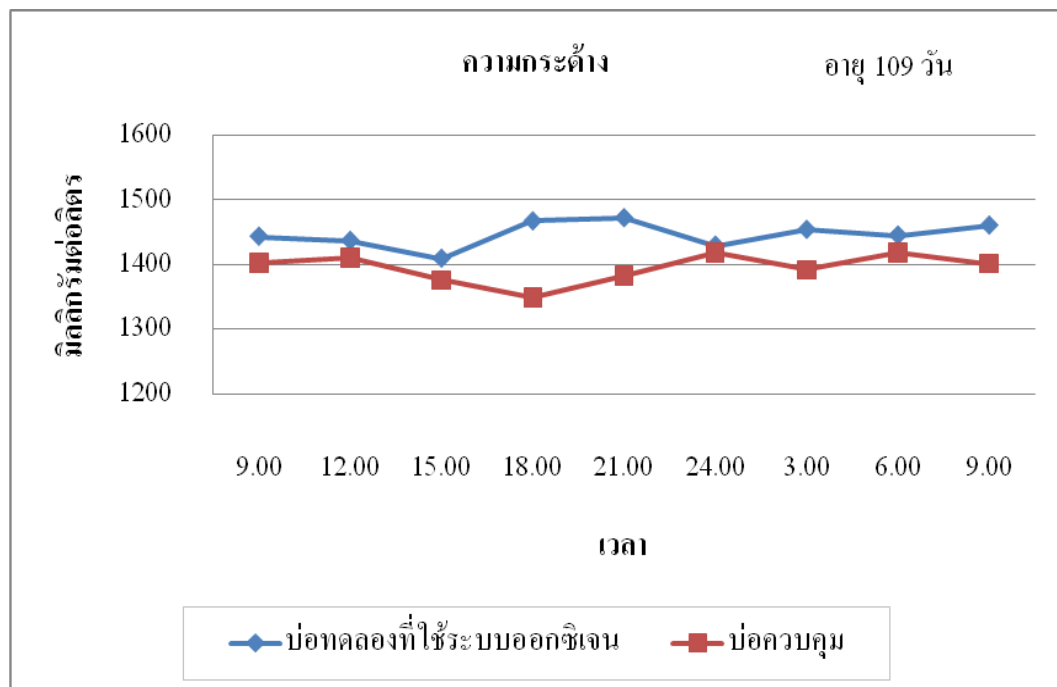
ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 52 การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



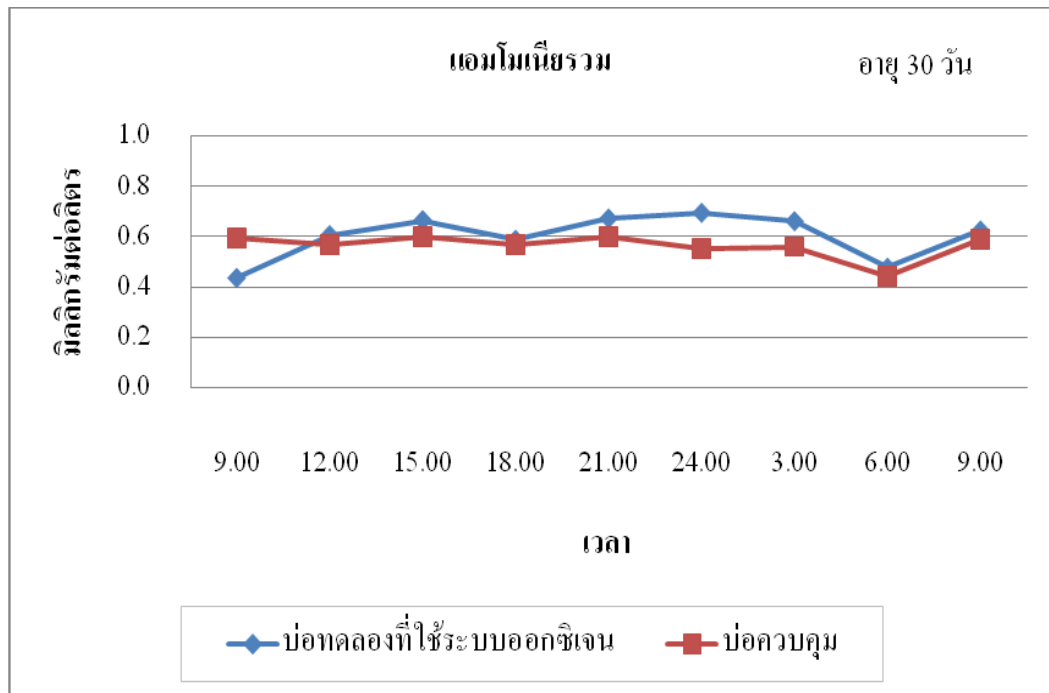
ภาพที่ 53 การเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.8 แอมโมเนียรวม

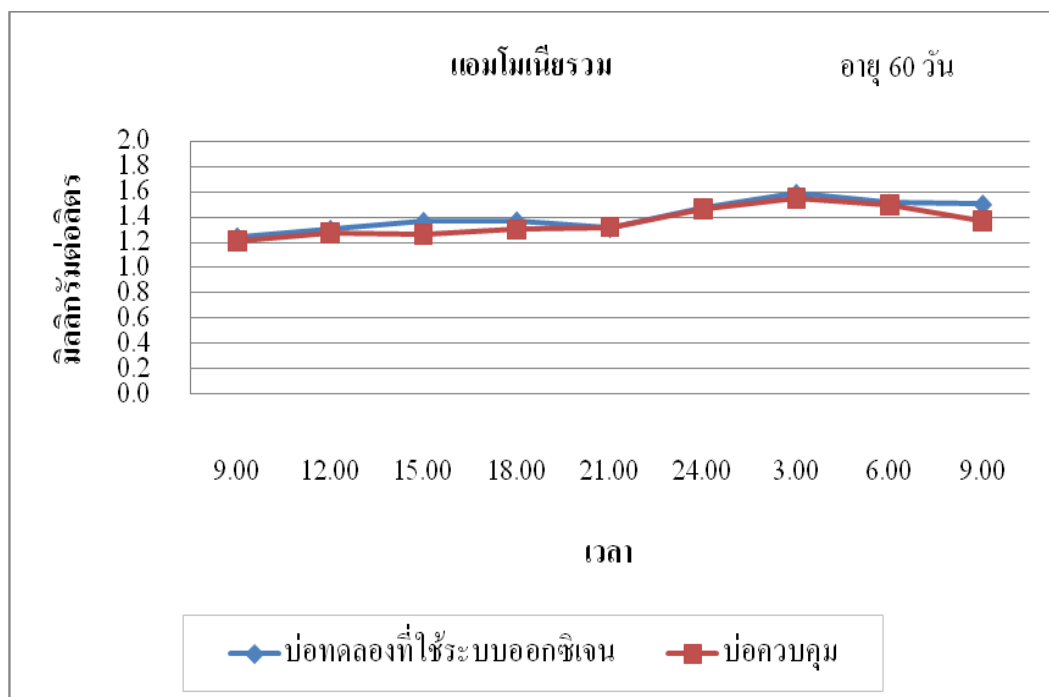
การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียรวมในรอบวัน พบว่า บ่อทดลองวันที่30 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.37-0.77 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38-0.82 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 54) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.89-1.66 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 1.08-1.64 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 55) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.52-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.41-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 56) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.43-0.89 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.50-0.93 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 57) ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียรวมในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 12) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในรอบวันมีไม่มากนัก แต่ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงบ้างจากการถ่ายน้ำ โดยเฉพาะในช่วงก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะมีปริมาณสูงขึ้นเช่นในวันที่60ของการเลี้ยงแอมโมเนียมีค่าสูง แต่หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียจะลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ สำหรับปริมาณแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมควรมีปริมาณน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Brock and Main 1994)

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

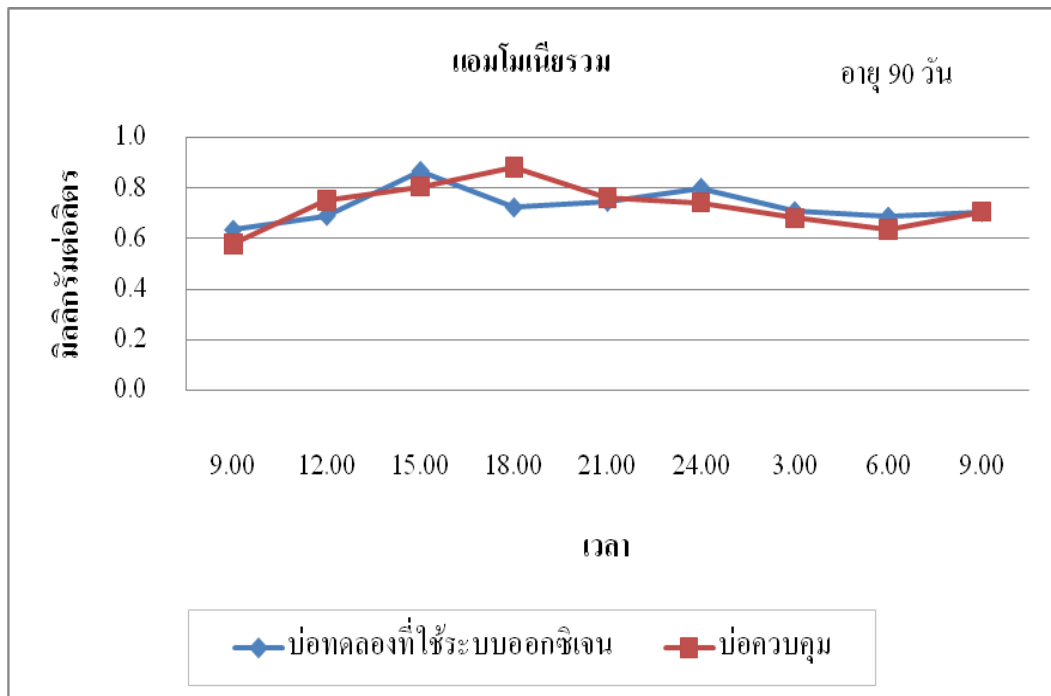
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	0.44±0.103 <sup>a</sup>	0.59±0.075 <sup>a</sup>	1.25±0.329 <sup>a</sup>	1.21±0.145 <sup>a</sup>	0.64±0.097 <sup>a</sup>	0.58±0.160 <sup>a</sup>	0.67±0.219 <sup>a</sup>	0.63±0.124 <sup>a</sup>
12.00	0.61±0.117 <sup>a</sup>	0.57±0.039 <sup>a</sup>	1.31±0.039 <sup>a</sup>	1.27±0.026 <sup>a</sup>	0.69±0.103 <sup>a</sup>	0.75±0.034 <sup>a</sup>	0.68±0.091 <sup>a</sup>	0.56±0.032 <sup>a</sup>
15.00	0.67±0.062 <sup>a</sup>	0.60±0.147 <sup>a</sup>	1.39±0.156 <sup>a</sup>	1.27±0.068 <sup>a</sup>	0.87±0.123 <sup>a</sup>	0.81±0.184 <sup>a</sup>	0.69±0.095 <sup>a</sup>	0.67±0.091 <sup>a</sup>
18.00	0.59±0.125 <sup>a</sup>	0.57±0.195 <sup>a</sup>	1.37±0.181 <sup>a</sup>	1.30±0.123 <sup>a</sup>	0.73±0.134 <sup>a</sup>	0.89±0.039 <sup>a</sup>	0.81±0.073 <sup>a</sup>	0.79±0.139 <sup>a</sup>
21.00	0.67±0.089 <sup>a</sup>	0.60±0.126 <sup>a</sup>	1.32±0.067 <sup>a</sup>	1.32±0.051 <sup>a</sup>	0.75±0.036 <sup>a</sup>	0.76±0.120 <sup>a</sup>	0.74±0.181 <sup>a</sup>	0.74±0.170 <sup>a</sup>
24.00	0.70±0.114 <sup>a</sup>	0.56±0.234 <sup>a</sup>	1.48±0.045 <sup>a</sup>	1.47±0.048 <sup>a</sup>	0.80±0.122 <sup>a</sup>	0.74±0.214 <sup>a</sup>	0.60±0.061 <sup>a</sup>	0.64±0.034 <sup>a</sup>
3.00	0.66±0.124 <sup>a</sup>	0.56±0.185 <sup>a</sup>	1.59±0.067 <sup>a</sup>	1.55±0.095 <sup>a</sup>	0.71±0.186 <sup>a</sup>	0.68±0.154 <sup>a</sup>	0.66±0.118 <sup>a</sup>	0.69±0.072 <sup>a</sup>
6.00	0.48±0.034 <sup>a</sup>	0.44±0.056 <sup>a</sup>	1.52±0.122 <sup>a</sup>	1.50±0.084 <sup>a</sup>	0.69±0.167 <sup>a</sup>	0.64±0.097 <sup>a</sup>	0.62±0.050 <sup>a</sup>	0.66±0.022 <sup>a</sup>
9.00	0.63±0.057 <sup>a</sup>	0.59±0.154 <sup>a</sup>	1.51±0.097 <sup>a</sup>	1.37±0.057 <sup>a</sup>	0.71±0.205 <sup>a</sup>	0.71±0.186 <sup>a</sup>	0.58±0.055 <sup>a</sup>	0.63±0.046 <sup>a</sup>



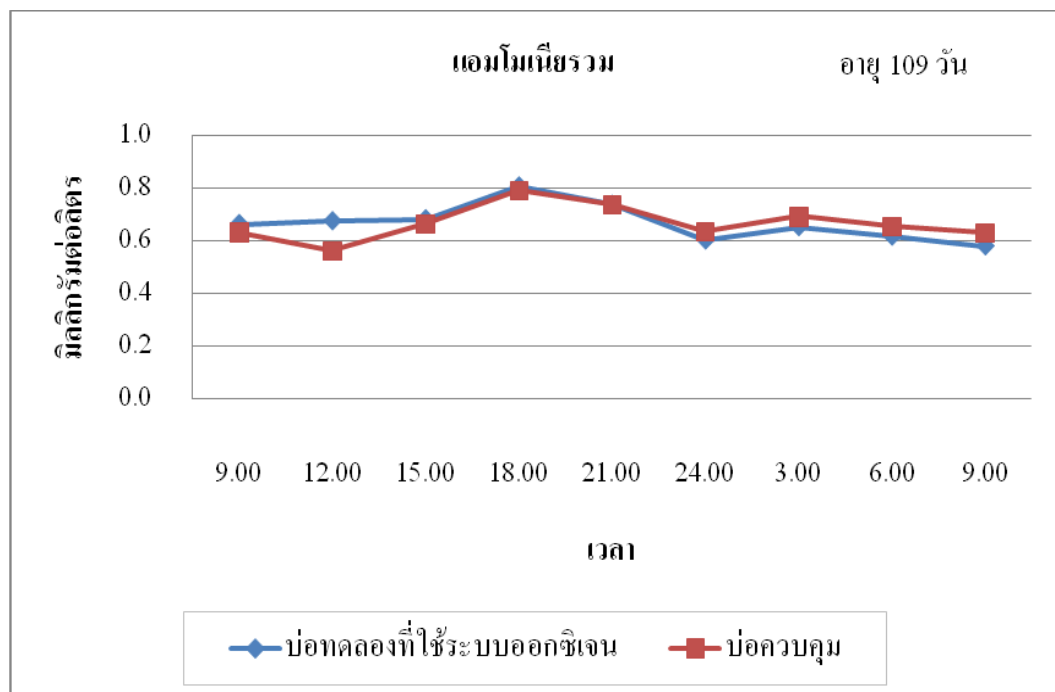
ภาพที่ 54 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 55 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



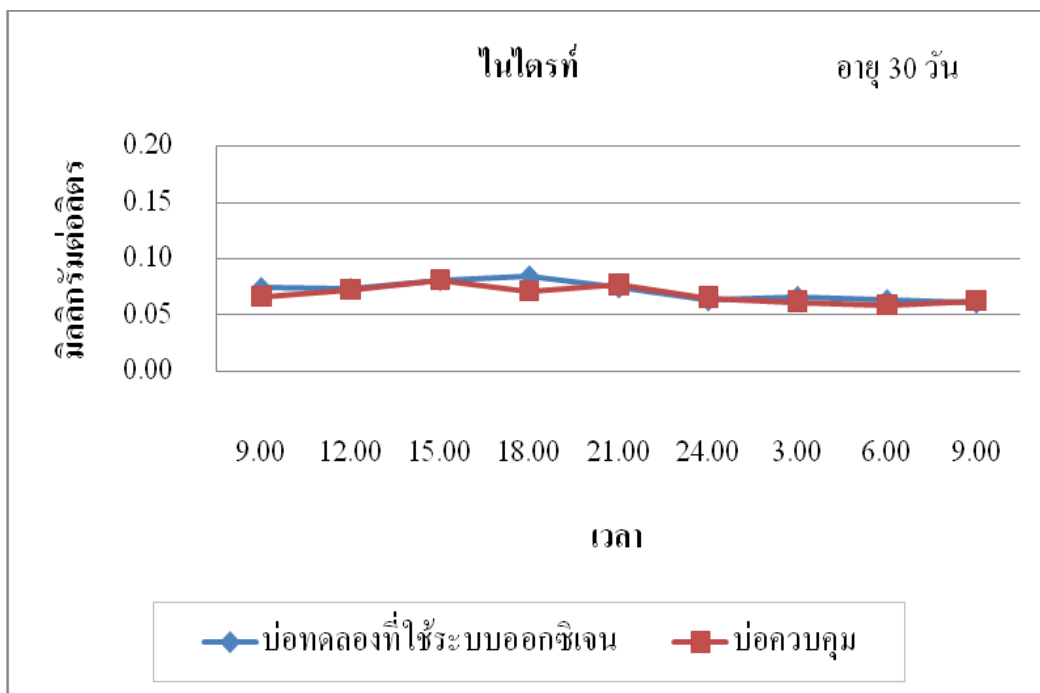
ภาพที่ 57 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมในรอบวันที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

### 1.2.9 ไนไตรท์

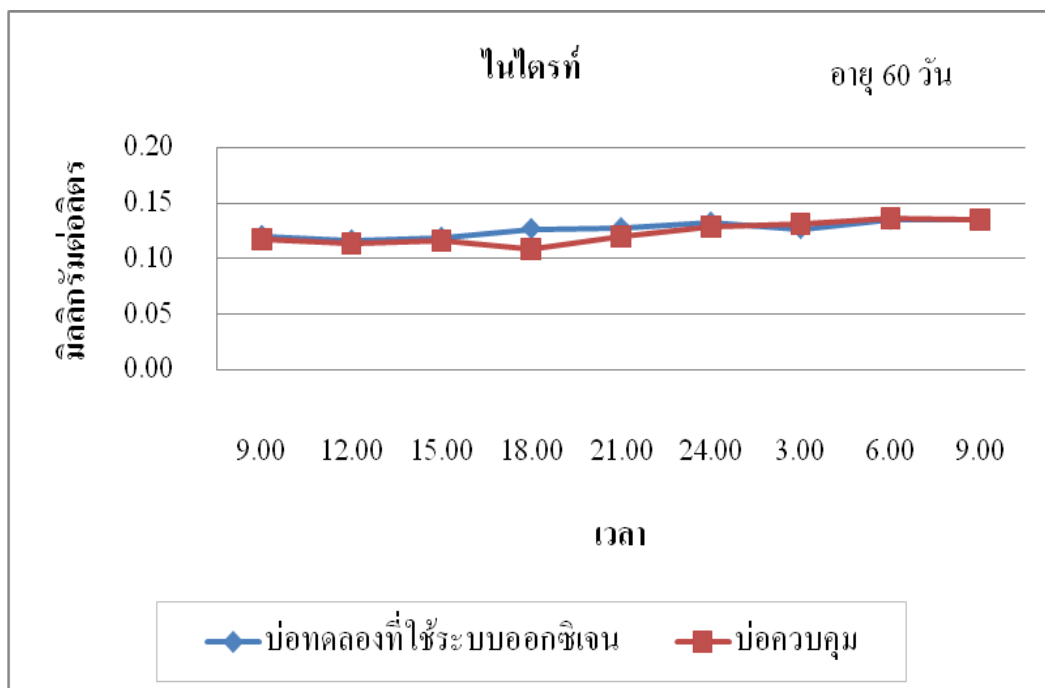
การเปลี่ยนแปลงของไนไตรท์ในรอบวัน ในบ่อทดลองที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 58) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 59) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.11-0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 60) ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.07-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 61) ค่าเฉลี่ยไนไตรท์ในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 13) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 4-11) ปริมาณไนไตรท์ในรอบวันมีค่าค่อนข้างคงที่และไม่สูงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำและเติมจุลินทรีย์เป็นระยะๆ ซึ่งความเป็นพิษของไนไตรท์จะลดลง เมื่อปริมาณคลอไรด์ในน้ำมีค่าสูง ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีปริมาณคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำค่อนข้างต่ำ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวันระหว่างบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

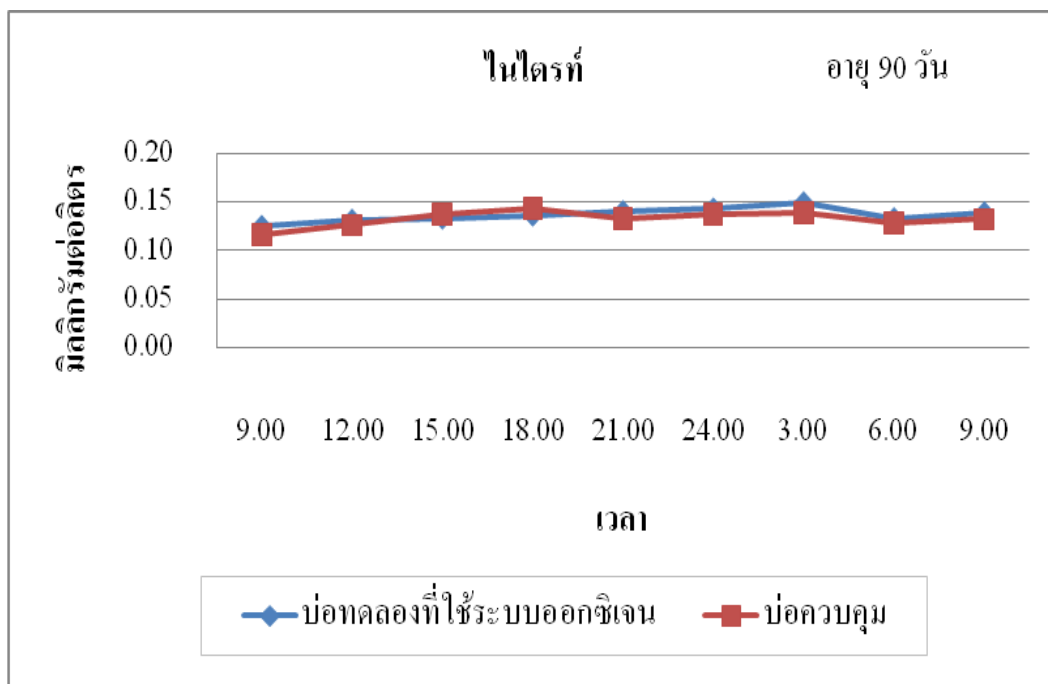
เวลา	ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)							
	30		60		90		109	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
9.00	0.07±0.001 <sup>a</sup>	0.07±0.010 <sup>a</sup>	0.12±0.010 <sup>a</sup>	0.12±0.017 <sup>a</sup>	0.13±0.017 <sup>a</sup>	0.12±0.012 <sup>a</sup>	0.08±0.010 <sup>a</sup>	0.09±0.007 <sup>a</sup>
12.00	0.07±0.005 <sup>a</sup>	0.07±0.011 <sup>a</sup>	0.12±0.015 <sup>a</sup>	0.11±0.016 <sup>a</sup>	0.13±0.028 <sup>a</sup>	0.13±0.012 <sup>a</sup>	0.08±0.010 <sup>a</sup>	0.08±0.007 <sup>a</sup>
15.00	0.08±0.004 <sup>a</sup>	0.08±0.003 <sup>a</sup>	0.12±0.009 <sup>a</sup>	0.12±0.021 <sup>a</sup>	0.13±0.026 <sup>a</sup>	0.14±0.014 <sup>a</sup>	0.08±0.010 <sup>a</sup>	0.08±0.011 <sup>a</sup>
18.00	0.09±0.007 <sup>a</sup>	0.07±0.010 <sup>a</sup>	0.13±0.010 <sup>a</sup>	0.11±0.016 <sup>a</sup>	0.14±0.018 <sup>a</sup>	0.14±0.016 <sup>a</sup>	0.08±0.011 <sup>a</sup>	0.09±0.003 <sup>a</sup>
21.00	0.08±0.005 <sup>a</sup>	0.08±0.009 <sup>a</sup>	0.13±0.005 <sup>a</sup>	0.12±0.007 <sup>a</sup>	0.14±0.013 <sup>a</sup>	0.13±0.006 <sup>a</sup>	0.09±0.006 <sup>a</sup>	0.09±0.007 <sup>a</sup>
24.00	0.06±0.005 <sup>a</sup>	0.07±0.005 <sup>a</sup>	0.13±0.004 <sup>a</sup>	0.13±0.006 <sup>a</sup>	0.14±0.016 <sup>a</sup>	0.14±0.012 <sup>a</sup>	0.08±0.003 <sup>a</sup>	0.09±0.003 <sup>a</sup>
3.00	0.07±0.009 <sup>a</sup>	0.06±0.007 <sup>a</sup>	0.13±0.003 <sup>a</sup>	0.13±0.009 <sup>a</sup>	0.15±0.017 <sup>a</sup>	0.14±0.004 <sup>a</sup>	0.08±0.011 <sup>a</sup>	0.08±0.005 <sup>a</sup>
6.00	0.06±0.007 <sup>a</sup>	0.06±0.002 <sup>a</sup>	0.14±0.013 <sup>a</sup>	0.14±0.019 <sup>a</sup>	0.13±0.006 <sup>a</sup>	0.13±0.011 <sup>a</sup>	0.09±0.007 <sup>a</sup>	0.09±0.010 <sup>a</sup>
9.00	0.06±0.017 <sup>a</sup>	0.06±0.009 <sup>a</sup>	0.14±0.006 <sup>a</sup>	0.14±0.014 <sup>a</sup>	0.14±0.013 <sup>a</sup>	0.13±0.013 <sup>a</sup>	0.09±0.007 <sup>a</sup>	0.09±0.011 <sup>a</sup>



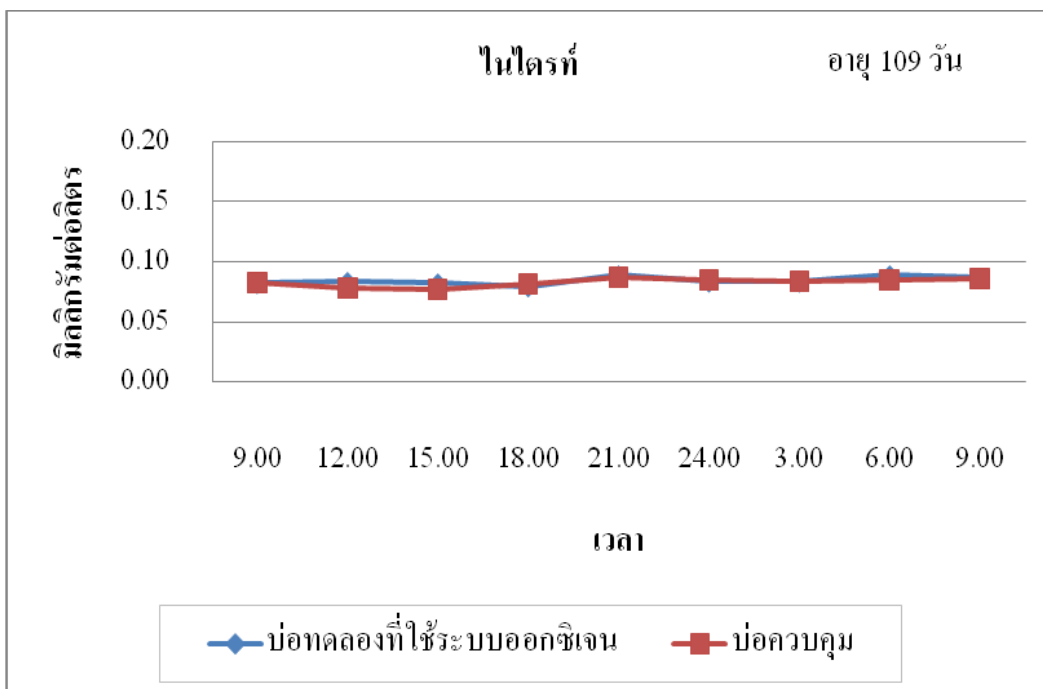
ภาพที่ 58 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 30 วัน



ภาพที่ 59 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 60 วัน



ภาพที่ 60 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน



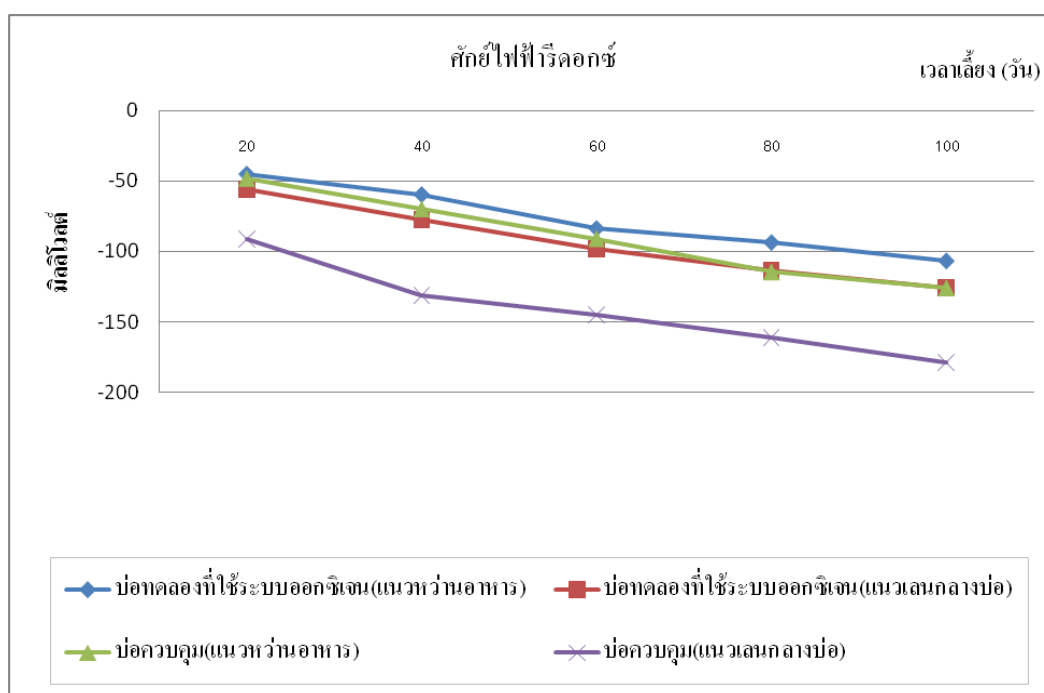
ภาพที่ 61 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในรอบวัน ที่ระยะเวลาการเลี้ยง 109 วัน

## 2. การศึกษาเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนกับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

ผลการศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อบริเวณแนวหว่านอาหารและแนวเลนกลางบ่อของบ่อทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $-78 \pm 25.2$  และ  $-94.4 \pm 28$  มิลลิโวลต์ และบ่อควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $-90 \pm 31.9$  และ  $-141.5 \pm 33.4$  มิลลิโวลต์ (ตารางที่ 14 และภาพที่ 62) พบว่า บริเวณแนวหว่านอาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 12-13) เนื่องจากบ่อควบคุมมีจำนวนเครื่องให้อากาศในแนวหว่านอาหารมากกว่าบ่อทดลอง ซึ่งสามารถพัดพาตะกอนหรือเศษอาหารที่ไปรวมอยู่บริเวณแนวเลนกลางบ่อทำให้พื้นบ่อบริเวณนี้สะอาด ส่วนบริเวณแนวเลนกลางบ่อมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 12-13) เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และของเสียที่สะสมบริเวณพื้นบ่อ แบคทีเรียต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย (ชนต์, 2539) โดยเฉพาะบ่อควบคุมมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบมากกว่า เพราะว่าเป็นบริเวณแนวเลนกลางบ่อเป็นที่รวมของตะกอน อาหารที่เหลือในแต่ละวันและของเสียที่กระแสน้ำพัดเข้ามาบริเวณแนวกลางบ่อ เมื่อระยะเวลาผ่านไปเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ เกิดเป็นเลนเป็นจำนวนมากและเพิ่มปริมาณสูงขึ้น จนกระทั่งส่วนที่อยู่ด้านล่างขาดออกซิเจน (ภาพที่ 64) ทำให้มีความเน่าเสียมากในบริเวณนั้นค่ารีดอกซ์จึงต่ำมาก (ชโล, 2533) ส่วนในบ่อทดลองมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบน้อยกว่าเพราะบริเวณแนวเลนกลางบ่อมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Avnimelech, 1992) เนื่องจากการวางท่อให้อากาศโดยการเติมออกซิเจนบริเวณกลางบ่อ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนในบริเวณกลางบ่อมากกว่าบ่อควบคุม ซึ่งออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายทำให้ดินบริเวณพื้นบ่อไม่มีสีดำ (ภาพที่ 63) แต่ทั้งบ่อควบคุมและบ่อทดลอง จะมีค่าแวนโนมที่มีค่าเป็นลบสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการเลี้ยงมากขึ้นจากตะกอนที่ทับถมมากขึ้นเรื่อยๆ

ตารางที่ 14 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อทดลองที่ใช้ระบบบิโอดีออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม

เวลาเลี้ยง (วัน)	บ่อทดลองที่ใช้ระบบบิโอดีออกซิเจนแบบใหม่		บ่อควบคุม	
	แนวหวานอาหาร (มิลลิโวลต์)	แนวเลนกลางบ่อ (มิลลิโวลต์)	แนวหวานอาหาร (มิลลิโวลต์)	แนวเลนกลางบ่อ (มิลลิโวลต์)
20	-45	-56	-48	-91
40	-60	-78	-70	-131
60	-84	-98	-91	-145
80	-94	-114	-115	-161
100	-107	-126	-126	-179
เฉลี่ย	$-78 \pm 25.2^a$	$-94.4 \pm 28^a$	$-90 \pm 31.9^a$	$-141.5 \pm 33.4^b$



ภาพที่ 62 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 63 ดินบริเวณพื้นที่บ่อป๋อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจน



ภาพที่ 64 ดินบริเวณพื้นที่บ่อป๋อควบคุม

### 3. การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตอัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อเลี้ยงที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนกับบ่อที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

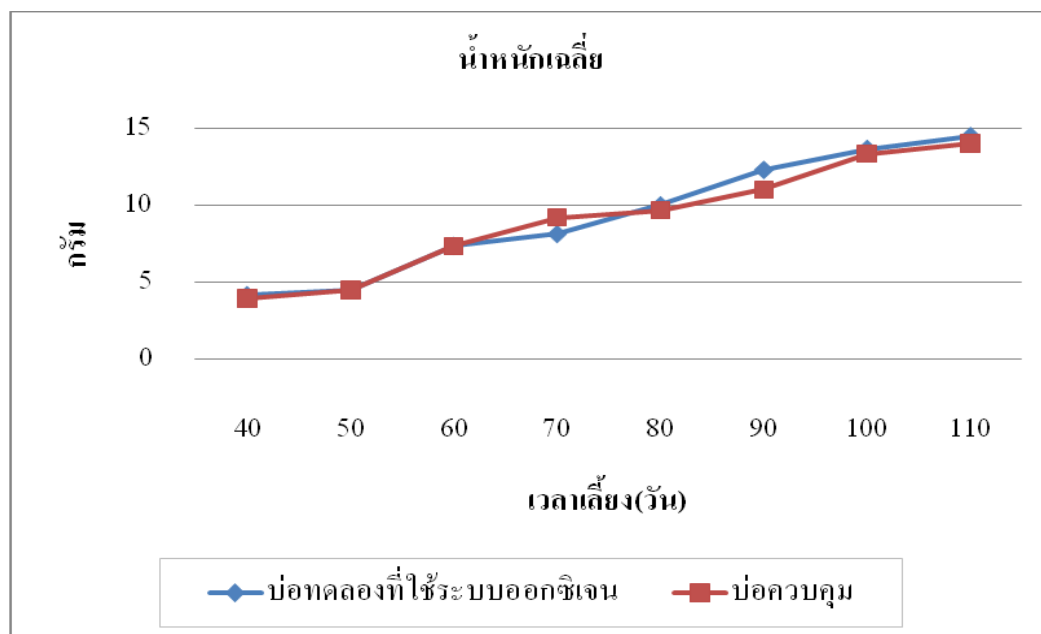
จากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต ขนาดของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองและบ่อควบคุม 3 บ่อ แสดงไว้ในตารางที่ 15 และภาพที่ 65 ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 110 วัน ผลการศึกษาพบว่า ตั้งแต่วันที่ 80 เป็นต้นไป บ่อทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าบ่อควบคุม เนื่องจากบ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนเข้าไปในบ่อในช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้ออกซิเจนมากที่สุดทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อทดลองอยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่เปลี่ยนแปลงมากในรอบวัน กรมประมง (2546) กล่าวว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้ง หลังจากจับกุ้งเมื่อนำมาค่านวนหาค่าเฉลี่ยผลผลิตกุ้ง  $1217 \pm 50.48$  กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย  $14.51 \pm 0.563$  กรัม อัตราการเจริญเติบโต  $0.132 \pm 0.0053$  กรัมต่อวัน อัตราการรอดตาย  $70.2 \pm 5.67$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราการแลกเนื้อ  $1.74 \pm 0.140$  (ภาพที่ 66) ในขณะที่บ่อควบคุมให้ผลผลิตเฉลี่ย  $925 \pm 93.36$  กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย  $14.06 \pm 1.49$  กรัม อัตราการเจริญเติบโต  $0.128 \pm 0.0131$  กรัมต่อวัน อัตราการรอดตาย  $55.6 \pm 2.75$  เปอร์เซ็นต์ และอัตราการแลกเนื้อ  $1.91 \pm 0.081$  (ภาพที่ 67) (ตารางที่ 16) เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แต่ปริมาณผลผลิต และอัตราการรอดตายมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) (ตารางผนวกที่ 1) เนื่องจากบ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนลงไปภายในบ่อ การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีผลทำให้สภาพทั่วไปในบ่อดีกว่าบ่อที่มีออกซิเจนต่ำกว่าซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม (McGraw *et al.*, 2001) ในกรณีที่มีออกซิเจนอยู่ในระดับต่ำส่งผลให้กุ้งอ่อนแอ การกินอาหารลดลง เกิดการสะสมของอาหารที่เหลือมาก โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเลี้ยง พบว่า ปริมาณค่าแอมโมเนีย และปริมาณไนไตรท์ มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือแอมโมเนีย ควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ส่วนปริมาณไนไตรท์ควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยงยุทธ และ คณิต, 2537)

ปริมาณค่าแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้นในช่วงท้าย ส่วนใหญ่เกิดจากการตายของแพลงก์ตอน การสะสมของอาหารที่เหลือและของเสียที่ขับถ่ายออกมาจากกุ้ง โดยที่แบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียต้องการออกซิเจนในการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ (เพิ่มพูน, 2528; Alexander, 1961) ถ้ามีปริมาณออกซิเจนเพียงพอปฏิกิริยาเกิดอย่างต่อเนื่องจนได้ไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ (จารุมาศ, 2545) แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนมีปริมาณไม่เพียงพอจะเกิดการสะสมทั้งแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำมีปริมาณสูงขึ้น กุ้งจะกินอาหารลดลง การเจริญเติบโต

ซ้ำ อ่อนแอ และทยอยตายในช่วงท้ายๆของการเลี้ยง ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนอยู่ในระดับปริมาณที่เหมาะสมตลอดเวลาจะช่วยทำให้อัตราการรอดตายเพิ่มมากขึ้น (Madenjian, 1990)

ตารางที่ 15 น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ระบบ  
ฉีดออกซิเจน และบ่อควบคุม

เวลาเลี้ยง (วัน)	บ่อทดลอง		บ่อควบคุม	
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)
40	4.2	0.11	4	0.10
50	4.5	0.03	4.5	0.05
60	7.37	0.29	7.37	0.29
70	8.13	0.08	9.23	0.19
80	10	0.19	9.7	0.05
90	12.3	0.23	11.03	0.13
100	13.6	0.13	13.37	0.23
110	14.5	0.09	14.06	0.07



ภาพที่ 65 การเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนและบ่อควบคุม

ตารางที่ 16 ผลผลิตของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนและบ่อควบคุม

บ่อ	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราแลกเนื้อ
บ่อทดลองที่ใช้ระบบออกซิเจน					
1	1,171	15.15	0.138	64.40	1.88
2	1,271	14.09	0.128	75.73	1.6
3	1,209	14.29	0.130	70.53	1.73
เฉลี่ย	1,217±50.48 <sup>a</sup>	14.51±0.563 <sup>a</sup>	0.132±0.0053 <sup>a</sup>	70.2±5.67 <sup>a</sup>	1.74±0.140 <sup>a</sup>
บ่อควบคุม					
3	896	14.29	0.130	52.64	1.98
4	1,029	15.39	0.140	56.14	1.82
5	849	12.5	0.114	58.07	1.92
เฉลี่ย	925±93.36 <sup>b</sup>	14.06±1.49 <sup>a</sup>	0.128±0.0131 <sup>a</sup>	55.6±2.75 <sup>b</sup>	1.91±0.081 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



ภาพที่ 66 ขนาดของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ระบบบึงคอกซีเจน



ภาพที่ 67 ขนาดของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อควบคุม

#### 4. ศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนขั้นต้นจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลอง และบ่อควบคุม (ตารางที่ 17) พบว่าบ่อทดลองมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 115,441 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ยเท่ากับ 164,834 บาทต่อไร่ ส่วนบ่อควบคุมมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 90,745 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ยเท่ากับ 121,439 บาทต่อไร่ ซึ่งการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองจะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าบ่อควบคุมซึ่งจะเห็นได้จากบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ จะมีกำไรสุทธิขั้นต้นเฉลี่ย 49,393 บาทต่อไร่ โดยมียกมากกว่าในบ่อควบคุม ซึ่งมีกำไรสุทธิขั้นต้นเฉลี่ยเพียง 30,694 บาทต่อไร่ เนื่องจาก บ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนลงไปภายในบ่อ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับที่เหมาะสม มีผลทำให้การเจริญเติบโตและอัตราการรอด รวมถึงสภาพทั่วไปในบ่ออยู่ในสภาพดีขึ้น ดีกว่าบ่อควบคุม กุ้งจึงมีปริมาณผลผลิตและอัตราการการรอดตายสูงกว่า ทำให้ได้ผลตอบแทนสูงกว่าบ่อควบคุม

ตารางที่ 17 ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดอกที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว

	บ่อดอก	บ่อควบคุม
<b>ต้นทุน</b>		
- ค่าออกซิเจนเหลว	105,280	-
- ค่าลูกพันธุ์	62,530	62,530
- ค่าอาหาร	393,531	327,594
- ค่าน้ำเค็ม	14,667	14,667
- ค่าไฟฟ้า	29,952	52,992
- ค่าน้ำมัน	3,507	3,507
- ค่าแรงงาน	32,966	32,966
- ค่าสารเคมีและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	50,211	50,211
- รวมต้นทุนทั้งหมด	692,644	544,467
- รวมต้นทุน (บาทต่อไร่)	115,441	90,745
- รวมต้นทุน (บาทต่อกิโลกรัม)	95	98
<b>รายได้</b>		
- รายได้ทั้งหมด	989,001	728,631
- รายได้ (บาทต่อไร่)	164,834	121,439
- รายได้ (บาทต่อกิโลกรัม)	135	131
<b>ผลตอบแทน</b>		
กำไรขั้นต้นทั้งหมด	296,357	184,164
กำไรสุทธิขั้นต้น(บาทต่อไร่)	49,393	30,694
กำไรสุทธิขั้นต้น (บาทต่อกิโลกรัม)	40	33

## สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้เครื่องให้อากาศร่วมกับระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่กับบ่อควบคุมที่ใช้เครื่องให้อากาศเพียงอย่างเดียว พบว่า คุณสมบัติของน้ำตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาในบ่อทดลอง และบ่อควบคุม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในตอนเช้า มีค่าสูงกว่าบ่อควบคุม และค่าแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออนมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุม ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากบ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ออกซิเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่เปลี่ยนแปลงมากในรอบวัน แบคทีเรียสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ปริมาณแอมโมเนียในรูปที่เป็นพิษมีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุม ส่วนคุณสมบัติของน้ำอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนผลการศึกษาคุณสมบัติของคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองและบ่อควบคุม พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในรอบวัน ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจาก บ่อทดลองมีการเติมออกซิเจนในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ออกซิเจนอยู่ในระดับที่เหมาะสม ส่วนคุณสมบัติของน้ำอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

ผลการศึกษาค่าค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินพื้นบ่อ บริเวณแนวหัวน้ำอาหารและบริเวณแนวเลนกลางบ่อของบ่อทดลอง มีค่าเฉลี่ย  $-78 \pm 25.2$  และ  $-94.4 \pm 28.0$  มิลลิโวลต์ ส่วนบ่อควบคุมมีค่าเฉลี่ย  $-90 \pm 31.9$  และ  $-141.5 \pm 33.4$  มิลลิโวลต์ บริเวณแนวเลนกลางบ่อมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ผลการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ โดยบ่อทดลองได้ผลผลิต 1,217 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 70.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบ่อควบคุมได้ผลผลิต 925 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 55.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) บ่อทดลองมีเติมออกซิเจนลงไปภายในบ่อทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสมส่งผลให้สภาพทั่วไปภายในบ่อดีขึ้น ทำให้กุ้งมีอัตราการรอดตายสูงและมีผลผลิตที่ดี ส่วนอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทำความสะอาดสายออกซิเจนเพื่อป้องกันตะกอนต่างๆที่เกาะหุ้มสายเติมอากาศ ทำให้เกิดการอุดตันหรือปริมาณออกซิเจนออกมาน้อยกว่าที่ต้องการ
2. ควรมีการควบคุมปริมาณอาหารในช่วงท้ายๆของการเลี้ยง เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำและพื้นบ่อให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม
3. ควรมีการทดลองใช้ระบบฉีดออกซิเจน ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในอัตราความหนาแน่นสูงกวานี้

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง. 2542. คู่มือจัดการฟาร์มเลี้ยงกุ้งในกลุ่มประเทศอาเซียน (Manual of ASEAN Good Shrimp Management Practice). สถาบันวิจัยและการพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, กรมประมง.

\_\_\_\_\_ สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. 2546. ระเบียบและการปฏิบัติการเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกรามตามมาตรฐาน จี เอ พี พ.ศ. 2546. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. โครงการประเมินผลกระทบการนำ กุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เข้าประเทศไทย. หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522. เคมี่ของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. โรงพิมพ์บริษัทสารมวลชน จำกัด, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. วิศวกรรมกรำจัดน้ำเสีย. เล่มที่ 3, มิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

ไกรวัล แฝ้วฉ่ำ. 2535. อิทธิพลของความเข้มแสงและความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายในการอนุบาลกุ้งกุลาดำวัยอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2523. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2535. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ชญา ฌรงค์ฤทธิ. 2535. ผลกระทบจากการทำนาในที่ป่าชายเลนต่อคุณสมบัติของดินบริเวณ  
อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2545. ดินตะกอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์.

\_\_\_\_\_. 2548. ดินตะกอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.

จารุวัฒน์ นภิตภักดิ์ และ สมนึก กบิลรัมย์. 2530. การบริโภคออกซิเจนเปรียบเทียบของกึ่งกุลาดำ  
*Penaeus monodon Fabricius* ที่ถูกบีบตาและตาปกติ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 13/2530  
สถานีประมงน้ำจืดระยอง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

จوزهดี พงศ์มณีรัตน์, สิริ ทุกข์วินาศ และ สถาพร ดิเรกบุษราคม. 2528. ความซุกซมของแพลงก์  
ตอนพืชและความสัมพันธ์กับคุณสมบัติบางประการของน้ำทางเคมี-ฟิสิกส์และผลผลิตในนา  
กึ่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช. เอกสารวิชาการฉบับที่ 28 สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง  
จังหวัดสงขลา. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ชาญยุทธ คงภิมณีนัน. 2533. คู่มือปฏิบัติการคุณภาพน้ำทางการประมง. คณะเกษตรศาสตร์  
บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ชลบุรี.

ชลอ ลี้มสุวรรณ. 2533. การป้องกันและรักษาโรคกุ้ง. เอกสารประกอบการสอน วิชาชีววิทยา  
ประมง 332. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

\_\_\_\_\_. 2534. คัมภีร์การเลี้ยงกึ่งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลี้มสุวรรณ. 2535. คัมภีร์การเลี้ยงกึ่งกุลาดำ. โรงพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ จำกัด, กรุงเทพฯ.

- ชลอ ลี้มสุวรรณ. 2543. **กึ่งไทย 2000 ผู้ความยั่งยืน และมิตรกับสิ่งแวดล้อม.** โรงพิมพ์เจริญรัตน์ การพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- ชลอ ลี้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัฐชกุล. 2547. **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย.** สนับสนุนการจัดการพิมพ์โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช เนื่องในวโรกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 5 ธันวาคม พ.ศ.2547. บริษัทเมจิก แพ็บลิเคชั่น จำกัด.
- ชลอ ลี้มสุวรรณ และ นิติ ชูจิต. 2550. การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม โดยใช้ระบบเครื่องให้อากาศที่แตกต่างกัน, น. 555-563. ใน รายงานประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (สาขาประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คูสิต มานะจติ. 2535. **ปลูกพืชทั่วไป.** ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คูสิต ต้นวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และ คณิต ไชยคำ 2536. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 5/2536 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.
- ดำรงค์ โดหะลักษณะเดช. 2540. **การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ระบบการให้อากาศต่าง ๆ กันเพื่อจัดการคุณภาพน้ำและดินพื้บ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทรงศักดิ์ ศรีบุญจิตต์, อารี วิบูลย์พงศ์, พฤกษ์ ยิบมันตะศิริ, กุศล ทองงาม, อัครพงศ์ อ้นทอง และ นฤมล เขาวนวิฑยางกูร. 2543. **ผลกระทบของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต่อเศรษฐกิจไทย.** ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2534. **ดินที่ใช้ปลูกข้าว.** ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ชัยญ์นันท์ สุนทรมังคโล. 2547. ผลของปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่อคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนในการเลี้ยงกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีวิน วานิชเสณี และ จรัสเกียรติ มหานิรันดร์. 2533. โครงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บรรจง เทียนส่งรัมย์. 2521. หลักการเลี้ยงกุ้งทะเล. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปกรณ์ อุ่นประเสริฐ. 2531. เทคนิคการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ประชาชนการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ประวิทย์ โต้วัฒนะ และ พิภพ ปราบณรงค์. 2539. การสะสมตัวและการเคลื่อนที่ของไอออนจากน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงกุ้งในหน้าดินตื้นที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและทรัพยากรดินในอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. วารสารสงขลานครินทร์. 18(1): 113-127.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พรณิภา พรหมเพ็ชร. 2547. การศึกษาการเลี้ยงกุ้งขาวแฉะฟิฟ (Litopenaeus vannamei) แบบพัฒนาด้วยน้ำความเค็มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรเลิศ จันทร์รัชชกุล, เจ เอฟ เทอร์นบอด และชลอ ลิมสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ, กรมประมง, เกษตรกลางบางเขน, กรุงเทพฯ.
- พุทธ ส่องแสงจินดา, ชัชวาล อินทรมนตรี และ ลักขณา ละอองศิริวงศ์. 2543. การบริโภคนอกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีผลผลิตต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2543. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย, สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- พุทธ ส่องแสงจินดา. 2544. การจัดการสารประกอบไนโตรเจนและออกซิเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมการเพาะเลี้ยงและสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย กรมประมง, สงขลา.
- พัชรดา เหมมัน. 2543. การศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำและดิน แพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ในเขตพื้นที่น้ำจืด จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เพิ่มพูน กิรติกสิกร. 2528. เคมี่ของดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- พุทธ ส่องแสงจินดา, ชัชวาล อินทรมนตรี และ ลักขณา ละอองศิริ. 2543. การบริโภคออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีผลผลิตต่างกัน. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 4/2543. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย จังหวัดสงขลา. กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ไพบูลย์ ประพุดิธรรม. 2528. เคมี่ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภิญโญ เกียรติภิญโญ. 2545. วิธีปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แอล. แวนนาไม. สำนักพิมพ์เมืองเกษตร แม่กกาซีน, สมุทรปราการ.
- นิวุฒิ หวังชัย. 2534. การสะสมและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ที่เลี้ยงแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มนูวดี หังสพฤษ. 2532. สมุทรศาสตร์เคมี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มาลินี วิชาวุธ และ สมยศ สิทธิโชคพันธ์. 2548. การนำเข้าพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวตามระเบียบกรมประมง. วารสารการประมง 58 (2): 170-171.

- เมธีส เบญจประเสริฐศรี. 2550. การศึกษาการใช้เครื่องให้อากาศแบบใบพัดตีน้ำชนิดมอเตอร์และเครื่องยนต์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิคม ละอองศิริวงศ์. 2546. การวิเคราะห์น้ำ, น.63-148. ใน นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร, บรรณาธิการ. **วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (Method of Water Analysis for Coastal Aquaculture)**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง.
- มะลิ บุญยรัตผลิน. 2531. อาหารและการให้อาหาร. น. 59-89. ใน เอกสารการสัมมนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา, 10-11 ธันวาคม 2537. ป.โกภักดิ์ ร่วมกับหอการค้าจังหวัดตรังและภาควิชาวาริชศาสตร์, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ณ โรงแรมธรรมรินทร์, ตรัง.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง**. สถาบันประมงน้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- ยนต์ มุสิก. 2530. **กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลา II**. เอกสารประกอบการสอนวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยนต์ มุสิก และ พรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอนและดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณก้นอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1 (1): 47-55.

ยนต์ มุสิก, สุริยันต์ ัญญกิจจานุกิจ และ พรพันธ์ พุทธรักษาอนุกุล. 2531. การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน อัตราการตกตะกอน คุณภาพน้ำและคุณภาพดินในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แบบหนาแน่น. รายงานเสนอบริษัท กรุงเทพเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ จำกัด. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2539. คุณภาพน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิภูษิต มั่นทะเลจิตร, วรวิทย์ ชีวาพร, สมถวิล จริตควร. 2534. ปัจจัยทางนิเวศวิทยาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius (ปัจจัยทางกายภาพ). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

วิรัช จีวแหยม. 2544. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิทยา มะเสนา. 2526. จุลวิทยาทางดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ศิริเพ็ญ ตรีไชยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมศักดิ์ วังไณ. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ.

สมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรัก จันท์เจริญสุข, วิโรจน์ อัมพิทักษ์ และ อัญชลี สุทธิปรการ. 2529. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธี เกื้อเกตุ. 2543. การสะสมและการกระจายของไอออนจากน้ำทะเลในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เขตน้ำจืด: กรณีศึกษาที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมประสงค์ ชันถม. 2539. ผลของความเค็มต่ำต่ออัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการ  
ฉบับที่ 8/2539. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดชุมพร. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์  
น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2539. เอกสารคำสอนวิชา 530-441 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชา  
วาริชศาสตร์, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2520. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุริยะ จันทร์แก้ว. 2540. ผลของแอมโมเนียและความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโต ระยะเวลาการลอก  
คราบและปริมาณแคลเซียมในเปลือกของกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุริยัน รัชฎกิจจานุกุล. 2532. การเปลี่ยนแปลง ปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แบบหนาแน่น.  
วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ บริเวณอ่าวไทย  
ตอนใน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

สามารถ เปรมกิจ, บุญชัย เอี่ยมปรีชา และ สมยศ สิทธิโชคพันธ์. 2532. การแก้ไขปัญหาพื้นบ่อใน  
การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. วารสารการประมง ปีที่ 42, เล่มที่ 5: 381-385.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2546. การเตรียมบ่ออย่างไรจึงเลี้ยงกุ้งทะเลได้ผล. วารสารการประมง ปีที่ 56,  
เล่มที่ 6: 1-16.

- โสภณ อ่อนคง และ ชูสินธุ์ ชนะสิทธิ์. 2542. แนวทางการจัดการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล, สตูล.
- อนันต์ ตันสะพานิช. 2536. แนวทางปฏิบัติการเลี้ยงกุ้งกาดำระบบปิด และระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่. กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, เพชรบุรี.
- \_\_\_\_\_. 2538. การปรับแนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกาดำระบบปิดและระบบรีไซเคิล. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี, เพชรบุรี.
- อรพินท์ จินตสถาพร. 2530. การใช้ออกซิเจนของกุ้งทะเลชนิดที่พบในนาุ้งธรรมชาติของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ ประวิทย์วิไลกุล. 2547. การเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งขาวแอฟริกา (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) ในบ่อดินและบ่อที่ปูด้วยโพลีเอททิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Abliliovitch, A. 1972. **Oxygen Regime in Fish Ponds**. Ph. D. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem.
- Ahmad, T. and C.E. Boyd. 1988. Design and performance of paddlewheel aerators. **Aqua. Eng** 7: 39-62.
- Alabaster, J. S. and R. Lloyd. 1982. **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. Butterworths, London.
- Alexander, M. 1961. **Introduction to Soil Microbiology**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- \_\_\_\_\_. 1976. **Introduction to Soil Microbiology**. 2nd. Ed., John Wiley and Sons, New York.

Allan, G.L., G.B. Maguire and S.J. Hopkins. 1990. Acute and chronic toxicity of juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of low dissolved oxygen levels. **Aquaculture** 91: 265-280.

\_\_\_\_\_. 1991. Lethal level of low dissolved oxygen and effect of short-term oxygen stress on subsequent growth of juvenile *Penaeus monodon*. **Aquaculture** 94: 27-37.

Allison, L.E. 1965. Walkley – Black method. pp. 1372 – 1376. In C.A. Blak, D.D. Evans, S.L. White, L.E. Ensminger and F.F. Olatk., ed. **Method of Soil Analysis**. American Society of Agronomy Inc, New York.

Alonso-Rodríguez and Páez-Osuna. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. **Aquaculture** 219: 317-336.

APHA, AWWA, and WEFA. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition. United Book Press, Maryland.

Akiyama, D. M. and W. G. Dominy. 1991. **Penaeid Shrimp Nutrition for Commercial Feed Industry**. American Soybean Association and Oceanic Institute. Waimanalo, USA.

Arrignon, J.V.C., J.V. Huner, P.J. Laurent, J.M. Griessinger, D. Lacroix, P. Gonduin and M. Autrand. 1994. **Warm-Water Crustaceans**. The Macmillan Press Ltd. London and Basingstoke.

Avnimelech, Y. N. Mozes and B. Weber. 1992. Effect of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulate fish ponds. **Aqua. Eng**, 11: 157-169.

- Boyd, C. E. 1979. **Water Quality in Warmwater Fish Ponds**. Agriculture Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama.
- \_\_\_\_\_. 1982. **Water Quality in Management for Fish Pond Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- \_\_\_\_\_. 1987. **Evaluation of Water Quality and Water Quality Management Techniques for Brackish water Aquaculture in Ponds in Thailand**. Report for the Asian Development Bank, Manila, Philippines.
- \_\_\_\_\_. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming**. Fisheries and Aquaculture Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.
- \_\_\_\_\_. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- \_\_\_\_\_. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management, pp. 16-18. *In* Proceeding Of the Special Session on Shrimp Farming. Wyban, J, ed. **World Aqua Soc**. Baton Rouge Louisiana, USA.
- \_\_\_\_\_. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aqaculture**. Chapman and Hall, New York.
- \_\_\_\_\_ and C.S. Tucker. 1998. **Pond Aquaculture Water Quality Management**. Kluwer Academic Publishers, Boston. 700 p.
- \_\_\_\_\_ and S. Pippopinyo. 1994. Factors affecting respiration in dry pond bottom soils. **Aquaculture** 120: 283-293.

- Bray, W. A., A. L. Lawrence and J. R. Leung-Trujillo. 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei* with observations on the interactions of IHNV virus and salinity. **Aquaculture** 122: 133-146
- Brawn, T.E., A.W. Morley, N.T. Sanderson and R.D. Tait. 1983. Report of a large fish kill resulting from natural acid water condition in Austrawa. **J. Fish Biol.** 22 (1): 43-47.
- Brock, J.A. and K. Main. 1994. **A Guide to the Common Problems and Diseases of Cultured *Penaeus vannamei***. Publ. by the Oceanic Institute, Makapu Point, HI, USA.
- Burford, M.A., P.J. Thompson, R.P. McIntosh, R.H. Bauman and D.C. Pearson. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture** 219: 393-411.
- Castille, F.L. and A.L. Lawrence. 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. **Comp. Biochem. Physiol.** 68: 75-80.
- Chen, H.C. 1985. Water quality criteria for farming the grass shrimp *Penaeus monodon*. pp. 165. **In Proceeding of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawn/Shrimps. 4-7 December 1981**, SEAFDEC, Iloilo, Philippines.
- Chen, J., C. Liu, Y. Lin and C. Lee. 1988. Super intensive culture of red tailed shrimp *Penaeus penicillatus*. **J. World Aquacul. Soc.** 19 : 127-131.
- Chiang P., C.H. Huo and C.F. Liu. 1989. **Pond Preparation for Shrimp Grow-out**. Paper Presented at Shrimp at Shrimp Farm Workshop, August 8-10, 1989, Songkhla.
- Colt, J. and D. Armstrong. 1979. **Nitrogen Toxicity of Fish, Crustaceans and Molluscs**. Dept. Civil Eng., Univ. California, Davis.

- Conroy, D.A. and R.L. Herman. 1970. **Textbook of Fish Diseases**. T. F. H. Publication, Inc., New Jersey.
- Delgado, P.C., Y. Avinimelech., R. Mcneil., D. Bratvold., C. Browdy and P. Sandifer. 2003. Physical, chemical and biological characteristics of distinctive regions in paddlwheel aerated shrimp ponds. **Aquaculture** 217: 235-248.
- Dore, I. and C. Frimodt. 1987. **An Illustrated Guide to Shrimp of the World**. Osprey Books, Huntington, New York.
- Durfor, C. J. and E. Becker. 1968. Constituents and properties of water. pp. 24-41. *In* W.A. Pettyjohn. 1972. **Water Quality in a Stressed Environment**. Burgess Pub. Co., Minneapolis, Min..
- Fast, A.W., E.C. Tan., D.F. Stevens., J.C. Olson., J. Qin and D.K. Barclay. 1999. Paddle wheel aerator oxygen transfer efficiencies at three salinities. **Aqua. Eng** 19: 99-103.
- Fieber, L.A. and P.L. Lutz. 1982. Calcium requirements for molting in *Macrobrachium rosenbergii*. **J. World Maricul. Soc.** 13: 21-27.
- Florida Caribbean Science Center. 1998. Fact sheet for *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Nonindigenous Aquatic Species (NAS)**. Available Source: [http://nis.gsmfc.org/nis\\_Factsheet.php](http://nis.gsmfc.org/nis_Factsheet.php), October 22, 2004.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. **Introductions and Movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific**, pp. 1-92. *In* FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- 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.
- Groth, A. 1997. **Effects of Carnitine on Growth, Survival and Body Composition of Juvenile Tiger Shrimps, *Penaeus monodon* (Fabricius 1798), in Pond Culture (Iloilo, Philippines)**. Fachbereich Biologie/Chemie, Universitat Bremen.
- Guy, D. 1992. **The Ecology of the Fish Pond System**. Institute of Animal Ecology, University of Ghent, Belgium.
- Holthuis, L.B. 1980. Shrimp and prawns of the world: An annotated catalogue of species of interest to fisheries. **FAO Fisheries Synopsis** 125: 152-271.
- Howeler, R. H. and D. R. Bouldin. 1971. The diffusion and consumption of oxygen in submerged soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 35: 202-208.
- Iversen, E. and K. Hale. 1992. **Aquaculture sourcebook. A Guide to North American Species**. 1<sup>st</sup> ed. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 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 Phillipines (RLCP)**. Lioilo, Phillipines.
- Landbau, V.V. 2002. **Naturalland Standards for Organic Aquaculture** Grafelfing, Germany.
- Lawson, T.B. 1995. **Fundamentals of Aquaculture Engineering**. Chapman and Hall, New York.

- Lee, D.O'C. and J.F. Wickins. 1992. **Crustacean Farming**. Blackwell Scientefic Publications, London.
- Lester, L. J. and J. R. Pante. 1991. Penaeid temperature and salinity response, pp. 515-534. *In* A. W. Fast and L. J. Lester, eds. **Marine Shrimp Culture Principle and Practices**. Elsevier Amsterdam.
- Lewis, W. M., Jr. and D. P. Morris. 1986. Toxicity of nitrite to fish: a review. **Trans. Am. Fish. Soc.** 155 (2): 183-195.
- Madenijian, C. P., G. L. Rogers and A. W. Fast. 1987. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds in Hawaii : Evaluation of traditional methods. **Aquac. Eng.** 6: 191-208
- Madenijian, C. P. 1990. Pattern of oxygen production and consumption in intensively managed shrimp ponds. **Aquac. Eng.** 21: 407-417.
- Maitland, P. S. 1978. **Biology of Freshwater**. Blackies & Son Ltd., London.
- Mairs, D. F. 1966. A total alkalinity atlas for marine lake water. **Limnol. Oceanogr.** 11: 68-72.
- Mair, J. M. 1980. Salinity and water-type preferences of four species of postlarval shrimp (*Penaeus*) from West Mexico. **J. Exp. Mar. Bio. Eco.** 45: 69-82.
- Masuda, K. and C.E. Boyd. 1994b. Effect of aeration, alum treatment, liming, and organic matter application on phosphorus exchange between soil and water in aquaculture pond at Auburn, Alabama. **J. World Aquac. Soc.** 25: 405-416

- 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.
- McGraw, W., W., D.A. Davis, D. Teichert-Coddington and D.B. Rouse. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity endpoint and rate of salinity reduction. **J. World Aquac. Soc.** 33: 78-84.
- Menz, A. and B.F., Blake. 1980. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** 48: 99-111.
- Moncrief, J.W. and W.H. Jones. 1977. **Element of Physical Chemistry**. Addison-Wesley Publ. Co., Inc., Reading Mass.
- Moyle, J.B. 1945. Some chemical factors. Influencing the distribution of aquatic plants in minnesota. **Am. Midl. Natur.** 34: 402-420.
- Musig, Y and W. Ruttanagosrigit. 1982. **Effects of Salinity on Survival Rate of *Penaeus monodon* Larvae**. Brackishwater Fisheries Division, Thai. Dept. of Fisheries, Bangkok.
- Paquotte, P., L. Chim, L.M. Martin, E. Lemos, M. Stern and G. Tosta. 1998. Intensive culture of shrimp *Penaeus vannamei* in floating cages: zootechnical, economic and environmental aspects. **Aquaculture** 164: 151-166.
- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms-diatom communities. pp. 284-332. *In* D.Werener, eds. **The Biology of Diatoms**. University of California Press, Berkeley.

- Primavera, J.H., F.D. Parado-Esteba and J.L. Leбата. 1998. Morphometric relationship of length and weight of giant tiger prawn *Penaeus monodon* according to life stage, sex and source. **Aquaculture** 164: 67-75.
- Pérez Farfante, I. and B. Kensley. 1997. **Penaeid and Sergestoid Shrimp and Prawns of the World**. Keys and Diagnoses for the Families and Genera. Memories du Museum Nation D. Historie Naturelle, Paris, France. 233 p.
- 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.
- Pierce, R.H. and G.T. Felbeck. 1972. A Composition of three method of extracting organic matter from soil and marine sediment, p. 32. *In* Poroledo, D. and H.L. Golterman (eds.). Humic substance, **There Structure and Function in the Biosphere**. Wagenin-gen: Center for Agriculture Publishing and Documentation.on, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall,Inc., New York.
- Ponce-Palafox, J., C.A. Martine-Palacios and L.G. Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. **Aquaculture** 157: 107-115.
- Poxon, M. G. and S. B. Allouse. 1982. Water quality criteria for marine fisheries. **Aqua. Eng.** 1:153-191.
- Reid, G.K. 1961. **Ecology of Inland Water and Estuarine**. Reinhold, New York.
- Riise, J. C. and N. Roos. 1997. Benthic metalism and the effect of biotuation in fertilized polyculture pond in Northeast Thailand. **Aquaculture**. 150 : 45-62.

Rosenberry, R. 1999. World Shrimp Farming 1999. p. 320 *In* **Shrimp News International**, San Diego, CA, USA.

Rowe, D. R. and I.M. Abdel-Majid. 1995. **Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse**. CRC Press, Inc., Boca Raton.

Samocha, T. M., A. D. Davis, A. L. Lawrence, C. R. Collins, and P. Van Wyk. 2001. Intensive and super-intensive production of the Pacific white *Litopenaeus vannamei*, p. 573. *In* **Greenhouse-enclose Raceway System**. Book of Abstract, Aquaculture 2001, Lake Buena vista, FL.

\_\_\_\_\_, T.M., A.L. Lawrence, C.R. Collins, C.R. Emberson, J.L. Harvin and P.M. van Wyk. 2001. Development of intergrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei* p. 643-675. In C.L. Browdy and D.E. Jory. (ed.). *The New Wave, Proceedings for the Special Session of Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Samocha, T. M., L. Hamper, C.R. Emberson, A.D. Davis, D. McIntosh, A.L. Lawrence and P. Van Wyk. 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida. **J. Appl. Aquac.** 12(1): 1-30.

Sawyer, C. N. and P. L. McCarty. 1967. **Chemistry for Salinity Engineers**. McGraw-Hill Book Co., New York.

Schroeder, G. L. 1987. Carbon and nitrogen budget in manured fish pond on Israel ' s coastal plain. **Aquaculture** 62: 259-279.

Sandifer, P.A., J.S. Hopkins and A.D. Stokes. 1987. Intensive culture potential of *Penaeus vannamei*. **J. World Aquac. Soc.** 18 : 40-100.

- Silvia , G-J. , A.A. Urias-Reyes, F. Vazquez-Ortiz , and G. Hernandez-Watanabe. 2004. Ammonia efflux rates and free amino levels in *Litopenaeus vannamei* postlarvae during sudden salinity changes. **Aquaculture** 233: 573-581.
- Smith, L. L. and A. L. Lawrence. 1990. Feasibility of penaeid shrimp culture in inland saline ground water-fed pond. **Tex. J. Sci.** 42 (1), 3-12
- Stokes, A. 2000. Recent experience with commercial closed pond culture of *Litopenaeus vannamei* in the America, pp. 44-46. *In The 6th Roche aquaculture conference Asia Pacific, 29 September 2000.* Bangkok.
- Shapiro, J. and O. Zur. 1981. A simple *in situ* method for measuring benthic respiration. **Water. Res.** 15: 283-285
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. **Principal and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2<sup>nd</sup> Ed.)**. McGraw-hill Inc., Newyork
- Tacon, A. G. J. 2002. Thematic review of feed and feed management practices in shrimp aquaculture, p. 69. *In The World Bank, Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific [NACA], World Wildlife Fund [WWF] and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.* 69 p.
- Taparhudee, W. 2003. **Financial (and Economic) Performance of Shrimp Farming Classified by Water Management.** Kasetsart University Fisheries Research Bulletin, 26 September 2003.
- Tchobanoglous, G. and E. D. Schroeder. 1987. **Water Quality.** Addison-Wesly Pub. Co. Inc., Reading.

- Tu, C., H. Huang, S. Chuang, J. Hsu, S. Kuo, N. Li, T. Hsu, M. Li and S. Lin. 1999. Taura syndrome in Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* cultured in Taiwan. **Dis. Aquat. Org.** 38: 159-161.
- Tucker, C. S. and C. E. Boyd. 1985. Water quality, pp. 135-227. *In* C. S. Tucker (ed.). **Channel Catfish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- Wassenberg, T.J. and B.J. Hill. 1987. Natural diet of the tiger prawns *Penaeus esculentus* and *P. semisulcatus*. **Aus. J. Mar. Freshwater Res.** 38: 169-182.
- Wedemeyer, G. A., P. M. Fred and L. Smith. 1976. **Diseases of Fish**. Book V. TF. H. Publication, Inc. Ltd., England.
- Wickins, J.F. and D.C. Lee. 2002. **Crustacean Farming (2nd ed.)**. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK.
- 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.
- Yokoyama, H. 2003. Environmental quality criteria for fish farms in Japan. **Aquaculture** 226: 45-56.
- Zur, O. 1981. Primary production in intensive fish ponds and a complete organic carbon balance in the ponds. **Aquaculture** 23: 197-210.

ภาคผนวก

**ตารางผนวกที่ 1** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตในบ่อทดลองที่ระบบออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม

	ค่าเฉลี่ย		t	df	P
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม			
ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่)	1217±50.48	925±93.36	4.771	4	<0.05
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	14.51±0.563	14.06±1.49	0.498	4	>0.05
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	0.121±0.0047	0.117±0.0121	0.488	4	>0.05
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	70.2±5.67	55.6±2.75	4.012	4	<0.05
อัตราการแลกเนื้อ	1.71±0.140	1.91±0.081	-1.820	4	>0.05

**ตารางผนวกที่ 2** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่ และบ่อควบคุม

ค่าเฉลี่ย	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) - เช้า	5.36±0.768	4.84±0.636	9.607	654	>0.05
- บ่าย	7.41±1.098	7.27±1.015	1.710	676	>0.05
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส) - เช้า	28.9±0.71	28.8±0.67	0.863	676	>0.05
- บ่าย	30.8±1.07	30.7±1.20	1.099	676	>0.05
พีเอช - เช้า	8.0±0.19	8.0±0.19	-1.681	676	>0.05
- บ่าย	8.4±0.20	8.4±0.20	-976	676	<0.05
ความเค็ม (พีพีที)	6.7±1.35	6.5±1.33	0.725	64	>0.05
การนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)	11.99±1.96	11.43±1.99	1.157	64	>0.05
ความโปร่งแสง (เซนติเมตร)	24.9±14.07	22.4±11.29	0.782	64	>0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	175.13±42.41	189.18±35.41	-1.461	64	>0.05
ความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1593.17±268.17	1563.23±345.14	0.394	64	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.75±0.239	0.86±0.294	-1.597	64	>0.05
แอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.12±0.560	0.18±0.946	-1.509	64	<0.05
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.46±0.26	0.57±0.337	-2.661	52	>0.05

ตารางผนวกที่ 3 คุณสมบัติของน้ำตลอดการเลี้ยง

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
10	1	6.3	6.6	28.7	30.2	8.0	8.2	8.3	13.90	48	123	1692	0.56	0.09	0.06
	2	6.3	6.6	28.6	30.2	7.9	8.2	9.0	15.02	50	124	1680	0.61	0.10	0.05
	3	6.3	6.7	28.6	30.0	8.2	8.5	8.6	14.31	48	127	1720	0.63	0.07	0.07
	4	6.1	7.0	29	29.9	8.2	8.5	9.3	13.15	40	135	1824	0.66	0.16	0.03
	5	6.0	6.6	29.1	29.9	7.9	8.6	8.5	13.28	48	151	1895	0.60	0.10	0.07
	6	6.1	6.6	29.1	30.0	8.2	8.6	9.0	14.25	45	142	1908	0.63	0.11	0.06
20	1	6.2	6.6	30.1	33.3	8.0	8.5	8.0	14.35	45	141	2244	1.10	0.21	0.05
	2	6.2	6.6	30.1	33.1	7.9	8.6	8.7	15.53	45	134	2164	1.14	0.22	0.07
	3	6.2	6.5	29.9	33.0	8.1	8.5	8.3	13.92	47	138	2295	0.98	0.19	0.04
	4	5.4	8.7	29.7	33.1	8.1	8.4	7.8	13.20	35	143	2556	1.19	0.23	0.05
	5	5.1	8.0	29.6	33.1	8.0	8.6	7.9	15.63	42	158	2335	1.04	0.20	0.09
	6	5.1	8.0	29.6	33.2	8.1	8.6	8.5	15.13	40	151	2425	1.10	0.21	0.07

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
30	1	6.2	11.2	30.2	32.4	8.0	8.5	7.6	13.25	40	137	1611	0.64	0.12	0.16
	2	6.2	11.2	30.1	32.4	8.0	8.6	8.3	14.38	40	129	1589	0.61	0.12	0.17
	3	6.3	7.5	30.1	32.7	8.1	8.2	8.0	13.23	39	131	1732	0.63	0.07	0.17
	4	5.4	8.1	29.7	32.7	7.9	8.4	6.7	11.91	30	140	1553.	0.67	0.09	0.18
	5	4.8	5.2	29.9	32.7	8.1	8.2	7.2	12.73	34	155	1527	0.62	0.12	0.19
	6	4.8	5.2	30.1	32.7	8.0	8.3	8.1	14.53	32	157	1579	0.64	0.13	0.21
40	1	6.2	7.5	28.7	30.6	7.8	8.3	7.4	12.96	30	149	1673	1.17	0.13	0.28
	2	6.2	7.5	28.5	30.6	7.9	8.3	8.4	14.53	32	148	1659	1.12	0.13	0.32
	3	6.1	7.2	28.4	30.6	7.8	8.4	7.7	13.02	33	144	1803	1.09	0.12	0.25
	4	4.8	7.0	28.3	30.5	8.0	8.3	6.6	11.71	22	176	1543	1.34	0.15	0.48
	5	4.9	7.0	28.4	30.3	7.9	8.3	7.0	12.56	28	185	1809	1.38	0.23	0.62
	6	4.9	7.0	28.4	30.3	8.0	8.2	7.6	14.23	27	179	1780	1.32	0.22	0.59

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
50	1	5.5	8.7	28.1	30.0	8.0	8.6	7.0	12.37	24	141	1639	0.63	0.15	0.56
	2	5.5	8.7	27.8	29.9	8.1	8.6	8.2	13.45	25	132	1588	0.69	0.23	0.59
	3	5.7	9.6	27.9	29.9	8.0	8.6	7.0	12.39	26	139	1933	0.52	0.09	0.67
	4	4.7	7.9	27.7	28.7	8.0	8.3	6.6	10.75	20	169	1464	0.77	0.13	0.75
	5	4.6	8.2	27.8	29.6	8.0	8.5	7.0	11.54	23	157	1665	0.59	0.10	0.90
	6	4.6	8.5	27.8	29.6	8.1	8.6	7.6	13.43	20	162	1584	0.64	0.16	0.85
60	1	4.3	7.5	28.6	29.8	8.0	8.6	4.5	8.20	20	181	1615	1.03	0.01	0.67
	2	4.2	7.5	28.6	29.6	8.1	8.4	5.3	10.36	20	188	1503	0.97	0.16	0.62
	3	4.7	5.8	28.5	29.5	7.9	8.5	5.1	11.14	22	175	1756	0.90	0.13	0.75
	4	4.1	5.5	28.3	29.3	7.8	8.4	4.8	9.2	18	201	1437	1.19	0.26	0.91
	5	4.7	7.4	28.4	29.3	8.0	8.6	5.5	8.5	20	213	1469	1.18	0.20	0.97
	6	4.7	7.7	28.4	29.3	8.0	8.7	5.8	10.34	18	205	1495	1.13	0.17	0.95

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
70	1	4.4	8.1	29.1	31.5	7.7	8.1	5.8	11.68	18	188	1403	0.39	0.04	0.67
	2	4.4	8.1	29.1	31.5	7.6	8.3	7.0	13.73	15	183	1389	0.30	0.03	0.70
	3	4.4	5.7	29.0	31.4	7.8	8.0	5.6	11.76	16	183	1541	0.38	0.06	0.80
	4	4.3	7.1	28.9	31.3	7.7	8.3	5.3	10.63	15	199	1396	0.38	0.04	0.94
	5	4.2	7.3	28.9	31.2	7.7	8.0	5.6	11.19	16	213	1384	0.34	0.03	0.95
	6	4.2	7.0	29.0	31.2	7.7	8.2	6.2	12.38	15	208	1401	0.40	0.05	0.99
80	1	5.2	7.7	29.0	29.2	7.7	8.0	5.2	9.43	15	221	1201	1.01	0.12	0.75
	2	5.0	7.7	28.0	29.2	7.6	8.0	5.8	10.22	15	217	1209	0.98	0.11	0.70
	3	5.1	8.1	28.1	29.2	7.6	8.2	5.3	9.85	15	220	1376	0.86	0.10	0.80
	4	4.2	5.9	27.9	28.9	7.6	7.9	5.1	9.64	15	205	1179	1.02	0.17	0.93
	5	4.3	6.8	27.9	29.1	7.6	8.0	5.1	9.14	15	201	1187	1.16	0.20	1.02
	6	4.3	6.8	28.9	29.1	7.6	8.1	5.3	10.03	15	209	1225	1.13	0.19	0.98

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
90	1	4.0	6.0	29.2	30.1	8.0	8.1	5.1	9.53	10	189	1332	0.60	0.09	0.51
	2	4.0	6.0	29.2	30.1	8.1	8.2	5.9	10.40	8	187	1316	0.59	0.06	0.53
	3	4.0	6.2	29.1	30.0	7.9	8.2	5.0	9.59	12	193	1413	0.56	0.12	0.56
	4	4.1	6.8	29.1	30.1	8.0	8.6	5.2	9.30	12	197	1281	0.61	0.06	0.49
	5	4.3	6.6	29.0	30.2	7.8	8.2	4.8	9.25	14	189	1323	0.64	0.10	0.60
	6	4.3	6.6	29.0	30.4	8.0	8.2	5.0	9.52	10	195	1289	0.66	0.10	0.64
100	1	5.0	8.9	28.8	30.8	8.0	8.5	5.85	10.35	10	210	1389	0.78	0.17	0.59
	2	4.7	9.1	28.9	30.9	8.0	8.4	6.4	11.34	12	209	1380	0.76	0.16	0.56
	3	4.8	8.8	28.7	31.0	8.0	8.3	5.8	10.41	13	214	1439	0.72	0.16	0.66
	4	4.0	8.3	28.8	30.6	8.3	8.6	5.6	9.92	13	232	1308	1.02	0.31	0.51
	5	4.5	9.3	28.6	30.7	8.1	8.6	5.6	9.98	15	220	1257	1.03	0.43	0.55
	6	4.2	7.3	29.0	30.1	8.0	8.5	5.8	10.12	12	234	1271	0.94	0.29	0.57

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

อายุกุ้ง (วัน)	บ่อ	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)		pH		Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Trans. (cm.)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	NH <sub>3</sub> (mg/l)	Nitrite (mg/l)
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย								
110	1	4.5	8.5	28.7	30.8	7.9	8.4	8.5	10.35	10	267	1400	0.71	0.22	0.57
	2	4.1	8.3	28.9	30.5	8.0	8.4	8.3	10.42	12	269	1420	0.62	0.19	0.56
	3	4.2	8.4	28.7	30.4	8.3	8.5	8.4	10.28	13	249	1471	0.59	0.13	0.58
	4	4.3	8.5	28.5	30.3	8.2	8.5	8.5	9.98	13	283	1516	0.72	0.18	0.46
	5	4.5	8.2	28.7	30.7	7.9	8.3	8.2	9.95	15	233	1348	0.83	0.41	0.60
	6	4.4	8.2	28.5	30.4	8.0	8.2	8.2	10.01	12	248	1373	0.74	0.25	0.57

**ตารางผนวกที่ 4** การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฟิโคโนออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 30 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	5.0	5.0	30.0	8.8	7.0	11.93	164	1537	0.44	0.07
12.00 น.	5.5	5.4	31.4	8.9	6.6	11.96	168	1544	0.61	0.07
15.00 น.	6.2	6.2	32.5	9.0	7.0	12.62	175	1482	0.67	0.08
18.00 น.	5.9	5.6	31.0	9.0	7.0	12.47	174	1548	0.59	0.09
21.00 น.	5.2	4.8	30.6	8.9	7.1	12.26	173	1553	0.67	0.07
24.00 น.	5.1	5.2	30.1	8.9	6.9	11.67	168	1540	0.70	0.06
3.00 น.	5.0	5.1	29.4	8.8	6.9	11.90	163	1570	0.66	0.07
6.00 น.	4.9	5.1	29.2	8.7	6.7	12.24	164	1589	0.48	0.06
9.00 น.	5.2	5.2	32.5	8.9	7.2	12.52	196	1611	0.63	0.06

ตารางผนวกที่ 5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 30 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	4.9	4.7	30.1	8.8	6.9	12.01	163	1519	0.59	0.07
12.00 น.	5.2	5.1	31.5	8.9	6.5	11.52	164	1516	0.57	0.07
15.00 น.	5.6	5.7	32.6	9.0	6.5	11.45	166	1493	0.60	0.08
18.00 น.	5.1	4.9	31.1	8.9	6.6	11.62	170	1520	0.57	0.07
21.00 น.	4.6	4.4	30.5	8.9	6.6	11.65	166	1548	0.60	0.08
24.00 น.	4.2	3.9	30.1	8.8	6.6	11.69	166	1495	0.55	0.07
3.00 น.	4.0	3.9	29.4	8.8	6.7	11.81	162	1549	0.56	0.06
6.00 น.	3.9	3.8	28.9	8.7	6.8	11.92	161	1541	0.44	0.06
9.00 น.	5.0	5.0	31.3	9.0	6.6	11.57	169	1585	0.59	0.06

**ตารางผนวกที่ 6** การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฟิโคโนออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 60 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	4.5	4.5	27.8	8.1	5.3	8.97	193	1568	1.25	0.12
12.00 น.	5.4	5.3	28.6	8.2	5.4	9.70	189	1578	1.31	0.12
15.00 น.	6.1	6.2	28.9	8.4	5.5	9.77	197	1526	1.37	0.12
18.00 น.	5.7	5.6	28.5	8.4	6.1	10.66	193	1569	1.37	0.13
21.00 น.	4.8	4.5	28.0	8.4	6.1	9.71	193	1550	1.32	0.13
24.00 น.	4.7	5.0	27.5	8.3	5.7	10.14	193	1569	1.48	0.13
3.00 น.	4.5	4.8	27.4	8.1	5.8	10.06	198	1568	1.59	0.13
6.00 น.	4.3	4.7	27.2	8.1	5.8	10.32	196	1610	1.51	0.14
9.00 น.	4.7	4.7	27.6	8.2	6.0	10.85	203	1587	1.51	0.14

ตารางผนวกที่ 7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 60 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	4.6	4.5	27.6	8.1	5.3	9.45	206	1562	1.21	0.12
12.00 น.	5.5	5.3	28.5	8.2	5.3	9.46	204	1536	1.27	0.11
15.00 น.	5.8	6.2	28.8	8.4	5.5	9.86	201	1526	1.27	0.12
18.00 น.	5.6	5.6	28.5	8.4	5.6	9.80	203	1555	1.30	0.11
21.00 น.	4.6	4.5	27.9	8.3	5.5	9.76	205	1458	1.32	0.12
24.00 น.	4.1	5.0	27.6	8.3	5.6	10.01	205	1515	1.47	0.13
3.00 น.	3.8	4.8	27.3	8.2	6.0	10.60	204	1513	1.55	0.13
6.00 น.	3.7	4.7	27.2	8.1	6.1	10.76	212	1489	1.50	0.14
9.00 น.	4.3	4.7	27.4	8.3	5.9	10.86	206	1495	1.37	0.14

**ตารางผนวกที่ 8** การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบบำบัดออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 90 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	5.8	5.7	27.8	8.5	5.3	9.64	193	1322	0.64	0.13
12.00 น.	6.5	6.3	28.1	8.6	5.6	10.07	200	1407	0.69	0.13
15.00 น.	7.0	7.1	28.5	8.7	5.4	10.05	204	1423	0.87	0.13
18.00 น.	6.2	6.0	28.2	8.5	5.4	9.81	210	1423	0.73	0.14
21.00 น.	5.1	4.8	28.0	8.3	5.4	9.47	204	1422	0.75	0.14
24.00 น.	5.3	5.4	27.5	8.1	5.3	9.51	209	1477	0.80	0.14
3.00 น.	5.5	5.7	27.3	8.1	5.9	10.47	217	1440	0.71	0.15
6.00 น.	5.6	5.8	26.8	8.0	6.0	10.63	214	1523	0.69	0.13
9.00 น.	6.0	5.6	27.8	8.2	5.8	10.10	207	1381	0.71	0.14

ตารางผนวกที่ 9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 90 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	5.8	5.6	27.7	8.6	5.1	9.32	199	1319	0.58	0.12
12.00 น.	6.8	6.6	28.2	8.7	5.4	9.69	205	1327	0.75	0.13
15.00 น.	7.5	7.5	28.6	8.8	5.4	9.63	212	1317	0.81	0.14
18.00 น.	6.4	6.1	28.1	8.6	5.5	9.78	218	1336	0.89	0.14
21.00 น.	5.4	5.1	27.9	8.5	5.4	9.71	215	1352	0.76	0.13
24.00 น.	4.6	4.5	27.4	8.4	5.5	9.79	219	1404	0.74	0.14
3.00 น.	4.5	4.1	27.4	8.4	5.8	10.27	216	1319	0.68	0.14
6.00 น.	4.3	4.1	26.7	8.3	5.8	10.29	214	1372	0.64	0.13
9.00 น.	5.8	5.5	27.8	8.3	5.8	10.34	209	1404	0.71	0.13

ตารางผนวกที่ 10 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 109 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	3.7	3.6	29.0	8.6	6.1	10.78	207	1444	0.67	0.08
12.00 น.	5.9	5.7	29.0	8.7	6.2	11.07	208	1438	0.68	0.08
15.00 น.	6.3	6.1	31.2	8.8	6.2	11.00	205	1410	0.69	0.08
18.00 น.	5.3	5.0	30.2	8.6	6.4	11.29	207	1468	0.81	0.08
21.00 น.	4.0	3.7	29.5	8.6	6.2	11.04	212	1473	0.74	0.09
24.00 น.	4.4	4.9	29.3	8.5	6.3	11.29	219	1430	0.60	0.08
3.00 น.	4.1	4.7	28.3	8.5	6.4	11.19	208	1455	0.66	0.08
6.00 น.	4.0	4.6	28.3	8.4	6.4	11.23	204	1446	0.62	0.09
9.00 น.	4.7	4.7	28.9	8.8	6.4	11.34	211	1462	0.58	0.09

ตารางผนวกที่ 11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในรอบวันของบ่อควบคุมเมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุ 109 วัน

เวลา	D.O. (mg/l)		Temp. (°C)	pH	Salinity (ppt)	EC. (mS/cm)	Tot. Alk (mg/l)	Hardness (mg/l)	TAN (mg/l)	Nitrite (mg/l)
	side	central								
9.00 น.	4.0	3.8	28.8	8.7	5.9	10.47	211	1403	0.63	0.08
12.00 น.	6.1	5.8	28.9	8.8	6.1	10.83	208	1412	0.56	0.08
15.00 น.	6.6	6.5	31.1	8.8	6.0	10.64	206	1376	0.67	0.08
18.00 น.	5.3	5.0	30.2	8.7	6.1	10.77	210	1349	0.79	0.08
21.00 น.	4.4	4.0	29.5	8.6	6.1	10.77	215	1383	0.74	0.09
24.00 น.	3.9	3.6	29.1	8.6	6.1	10.79	214	1420	0.64	0.09
3.00 น.	3.6	3.4	28.2	8.6	6.1	10.80	214	1392	0.69	0.08
6.00 น.	3.5	3.2	28.1	8.5	6.1	10.74	204	1420	0.66	0.08
9.00 น.	4.7	4.3	28.9	8.7	6.0	10.67	211	1402	0.63	0.09

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์พื้นบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุม

ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (มิลลิโวลต์)	บ่อทดลอง		บ่อควบคุม		t	df	P
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย			
บริเวณแนวหน้าอาหาร	-45 ถึง -107	-78±25.2	-48 ถึง -126	-90±31.9	0.662	8	P>0.05
บริเวณกลางบ่อ	-56 ถึง -126	-94.4±28	-91 ถึง -179	-141.5±33.4	2.413	8	P<0.05

ตารางผนวกที่ 13 ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์พื้นบ่อทดลองที่ใช้ระบบฉีดออกซิเจนแบบใหม่และบ่อควบคุมตลอดการเลี้ยง

เวลาเลี้ยง (วัน)	บ่อทดลอง						บ่อควบคุม					
	แนวหน้าอาหาร			กลางบ่อ			แนวหน้าอาหาร			กลางบ่อ		
	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 3	บ่อ 4	บ่อ 5	บ่อ 6	บ่อ 4	บ่อ 5	บ่อ 6
20	-49	-47	-41	-56	-54	-58	-45	-51	-49	-91	-89	-92
40	-61	-63	-56	-75	-78	-80	-66	-70	-74	-132	-138	-140
60	-75	-78	-73	-94	-91	-109	-81	-84	-86	-166	-159	-161
80	-96	-94	-91	-113	-113	-115	-114	-113	-116	-161	-160	-162
100	-107	-109	-105	-127	-128	-130	-125	-128	-125	-178	-181	-177

**ประวัติการศึกษา และการทำงาน**

ชื่อ – นามสกุล	นายชวลิต อัครคหสิน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทาง	-
วิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-