



ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง

การใช้ฟอร์มาลินควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

Using Formalin to Control Phytoplankton *Oscillatoria* sp.

โดย

นายชาญวิทย์ พายัพวัฒนวงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

..... ดึงหน้ เรืองสมบุญ .....

(อาจารย์ศุภรัตน์ เรืองสมบุญ)

ปท  
84951  
2542

17039

13 พ.ย. 2543

ภาคิขารรับรองแล้ว

..... สมชาย ทวี .....

(อาจารย์สมชาย หวังวิบูลย์กิจ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 5 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้ฟอร์มาลินควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

Using Formalin to Control Phytoplankton *Oscillatoria* sp.



T099339

โดย

นายชาญวิทย์ พายัพวัฒนวงษ์

ปพ.  
๙495ก  
254๓

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... ๑๑๖๘๖  
วัน,เดือน,ปี..... 15 ๑๖ ๒๕๔๓

เสนอ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพ ฯ พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทความย่อปัญหาพิเศษ

### เรื่อง

#### การใช้ฟอร์มาลินควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

#### Using Formalin to Control Phytoplankton *Oscillatoria* sp.

การใช้ฟอร์มาลินเพื่อควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ใช้ปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. เริ่มต้นที่  $5 \times 10^5$  เซลล์ ต่อ มิลลิลิตร โดยใช้ปริมาตร 3 ลิตรต่อ 1 ตู้ทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 0 (ชุดควบคุม) , 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ppm ศึกษาคุณภาพน้ำหลังเติมฟอร์มาลินในชั่วโมงที่ 1 , 3 , 6 , 24 , 48 , 72 และ 96 พบว่าทุกความเข้มข้นของฟอร์มาลินสามารถควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ได้ภายใน 24 ชั่วโมง โดยที่ความเข้มข้น 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 แพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ตายหมดที่ชั่วโมงที่ 24 , 6 , 3 , 3 และ 1 ตามลำดับ และความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เหมาะสมที่สุดต่อการควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. อยู่ที่ 20 ppm ซึ่งค่าคุณภาพน้ำที่ 20 ppm ตลอดจนการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าต่ำที่สุด  $8.715 \pm 0.016$  ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $9.661 \pm 0.049$  ในชั่วโมงที่ 6 , อุณหภูมิมีค่าต่ำที่สุด  $26.7 \pm 0.2$  องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 72 และสูงที่สุด  $29.2 \pm 0.1$  องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 0 , ค่าความเป็นด่างมีค่าต่ำที่สุด  $153.333 \pm 6.429$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $184.667 \pm 10.066$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 96 , ไนโตรเจนมีค่าต่ำที่สุด  $0.1065 \pm 0.0017$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $0.2625 \pm 0.0425$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 96 , แอมโมเนียมีค่าต่ำที่สุด  $0.00052 \pm 0.0004$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 6 และสูงที่สุด มิลลิกรัม/ลิตร  $0.0071 \pm 0.0096$  ในชั่วโมงที่ 0 และแอมโมเนียอิสระมีค่าต่ำที่สุด  $0.00025 \pm 0.0002$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 24 และสูงที่สุด  $0.0036 \pm 0.0029$  ในชั่วโมงที่ 96 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าความเข้มข้นที่ 20 ppm มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถทำการฆ่าแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ได้ ทำให้ประหยัดต้นทุน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำน้อยที่สุด ระยะเวลาในการฆ่า *Oscillatoria* sp. อยู่ที่ชั่วโมงที่ 6

## คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือของบุคคลหลายฝ่าย อันเป็นเหตุที่ทำให้ผู้เขียนมีความรู้สึกสำนึกในบุญคุณ โดยบุคคลที่ผู้เขียนจะกล่าวถึงต่อไปนี้มีส่วนร่วมที่จะทำให้อุปสรรคของผู้เขียนมีความสมบูรณ์ดังที่เห็น และหากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องไป ผู้เขียนขอรับความผิดพลาดนั้นไว้แต่เพียงผู้เดียว

ขอขอบคุณ อาจารย์สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ และ อาจารย์สมชาย หวังวิบูลยกิจ ผู้ให้คำปรึกษาในการดำเนินการทำการทดลองโดยตลอด ด้วยความเคารพ

ขอบคุณ คุณภิตติศักดิ์ สุกใส , คุณตะวัน รัตนวิภาค , คุณอัญชลี ศิริเกตุ , คุณกรรณิการ์ พวงเพชร , และ คุณชนิกา คงสวัสดิ์ ผู้ช่วยในการทำการทดลอง

ขอบคุณ คุณพ่อ ชาญชัย พายัพวัฒนวงษ์ และ คุณแม่ วิภา พายัพวัฒนวงษ์ ที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูอุปการะอย่างดี มอบอำนาจการตัดสินใจในการเลือกดำเนินชีวิต และให้ทุก ๆ สิ่ง ทุก ๆ อย่าง ขอพระคุณอย่างสูง ด้วยความเคารพอย่างยิ่ง

ขอบคุณ คุณณัฐธิดา เศรษฐกุลดี , คุณเนตรนารี นาวีชลนิยม , คุณสุรัตน์ แก้วจรัส ที่ช่วยในการหาข้อมูล , ให้คำปรึกษา , ให้กำลังใจ และช่วยงานทดลอง ขอขอบคุณจากใจจริง

ขอบคุณ เพื่อน ๆ โรงเรียนเก่าที่ ให้ความร่วมมือในการทำการทดลอง ตลอดจนช่วยหาข้อมูล และให้กำลังใจ ขอขอบคุณจากใจจริง

ขอบคุณ พี่ , ท้องทะเล และ ต้นไม้ป่าเขา ที่ช่วยให้จิตใจบริสุทธิ์ มีสมาธิ มีปัญญา เพื่อใช้ในทางแก้ปัญหาอย่างสันติวิธี

ขอบคุณ คอมพิวเตอร์ที่ไม่เสียนในการทำงาน ทำให้งานลุล่วงด้วยดี แม้จะมีติดขัดเป็นบางครั้ง แต่ยังดีกว่าไม่มีใช้

ขอบคุณ รุ่นพี่ , รุ่นน้อง , เพื่อน ๆ และ คณาจารย์ ตลอดจนทุกคนในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ประสบการณ์ , ความรู้ , มิตรภาพ , สายสัมพันธ์อันดี และได้ให้ออกคตข้างหน้า ขอขอบคุณจากใจจริง

นายชาญวิทย์ พายัพวัฒนวงษ์

(  )

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญภาพ	(2)
สารบัญตาราง	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์	17
วิธีการทดลอง	18
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	22
สรุปผลการทดลอง	38
ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	47

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 จำนวนเซลล์ของ <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลอง	26
2 ลักษณะของเซลล์ของ <i>Oscillatoria</i> sp. ก. ก่อนเติมฟอร์มาลิน ข. หลังเติมฟอร์มาลิน	26
3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง	28
4 อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง	29
5 ค่าความเป็นต่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง	31
6 ค่าไนโตรเจนเฉลี่ยตลอดการทดลอง	33
7 ค่าปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดตลอดการทดลอง	35
8 ค่าแอมโมเนียอิสระตลอดการทดลอง	37



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	คุณลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์ของ formalin	5
2	ความเป็นพิษเฉียบพลัน (96 ชั่วโมง -LC <sub>50</sub> ) ของฟอร์มาลินต่อปลาบางชนิด	12
ตารางผนวกที่		
1	จำนวนเซลล์ของ <i>Oscillatoria</i> sp. เฉลี่ย	52
2	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เฉลี่ย	53
3	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย	54
4	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) เฉลี่ย	55
5	ค่าไนไตรท์ (Nitrite) เฉลี่ย	56
6	ค่าแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) เฉลี่ย	57
7	ค่าแอมโมเนียอิสระ (Unionize ammonia) เฉลี่ย	58

## การใช้ฟอร์มาลินควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

### Using Formalin to Control Phytoplankton *Oscillatoria* sp.

#### คำนำ

ในปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ได้ประสบกับปัญหามากมายที่ส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้มีจำนวนลดลง จำเป็นที่จะต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาเหล่านี้ และปัญหาหนึ่งที่มีผลต่อการทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีบทบาทต่อการเพาะเลี้ยงมากก็คือ การบลูมของแพลงก์ตอนพืช ซึ่งการบลูมของแพลงก์ตอนนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลโดยตรงต่อสัตว์น้ำ ทำให้สัตว์น้ำเกิดการระคายเคืองบริเวณเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณเหงือกที่ใช้ในการหายใจ อีกส่วนหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำอันเนื่องมาจากการใช้ออกซิเจนของแพลงก์ตอนพืชในเวลากลางวัน และการขาดออกซิเจนอันเนื่องมาจากการตาย (drop) ของแพลงก์ตอนพืชและออกซิเจนถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลาย เหล่านี้คือปัญหาโดยรวมของแพลงก์ตอนในบ่อเพาะเลี้ยง แต่ปัญหาจากแพลงก์ตอนอีกอย่างหนึ่งที่พบและทำให้เกิดความเสียหายมากก็คือ การเกิดสารที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำหลังจากการตายของแพลงก์ตอนอันเนื่องมาจากการเน่าสลาย สารพิษต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น มีผลกระทบโดยตรงต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้ผลผลิตมีปริมาณลดลง แต่แพลงก์ตอนพืชก็ยังมีประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ เช่น เป็นแหล่งอาหารธรรมชาติในบ่อ ช่วยเพิ่มออกซิเจนในเวลากลางวันให้กับปลา และมีประโยชน์ทางอ้อมในการช่วยลดความโปร่งแสงของน้ำทำให้สัตว์น้ำไม่เครียด ดังนั้นการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชให้เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการทดลองนี้แพลงก์ตอนที่นำมาศึกษาคือ *Oscillatoria* sp.

กลุ่มสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีผลเสียต่อการเพาะเลี้ยงมากมาย โดยปัญหาที่สำคัญ ได้แก่ ทำให้เนื้อสัตว์น้ำมีกลิ่นโคลน และเมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายลงยังก่อให้เกิดการเน่าอย่างรุนแรงมีแอมโมเนียเกิดขึ้นในบ่อ ทำให้สัตว์น้ำเครียด การกินอาหารลดลง และเศษซากของสาหร่ายจะเข้าไปอุดตันซี่เหงือกสัตว์น้ำ ทำให้สัตว์น้ำหายใจไม่สะดวกเกิดการระคายเคือง อาจเกิดโรคหรือติดเชื้อได้

ฟอร์มาลินเป็นสารเคมีที่ได้มีการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมานานแล้ว โดยฟอร์มาลินนิยมใช้ในการป้องกันและรักษาโรคสัตว์น้ำ ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่ใช้ในการรักษาโรคสัตว์น้ำมีความเป็นพิษอย่างสูงต่อแพลงก์ตอนสามารถฆ่าแพลงก์ตอนได้ โดยการทดลองนี้จะทดลองหาค่าความเป็นพิษของฟอร์มาลินในระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช ศึกษาผลกระทบจากการใช้ฟอร์มาลินในการควบคุม และหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการใช้ฟอร์มาลินในการควบคุม เพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพ และความเป็นไปได้ในการใช้ฟอร์มาลินในการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช และผลกระทบจากการใช้ฟอร์มาลินต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ

การใช้สารเคมีในการเพาะเลี้ยงต้องคำนึงถึงผลกระทบที่ตามมาจากการใช้สารเคมีด้วย ดังนั้น ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการทดสอบหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้สารเคมีเพื่ออนาคตของการเพาะเลี้ยงที่มีประสิทธิภาพ

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เหมาะสมในการควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ในการใช้ฟอร์มาลินควบคุม *Oscillatoria* sp.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจเอกสาร

### 1. ฟอर्मาลิน (Formalin)

#### 1.1. คุณสมบัติทางกายภาพ

ฟอर्मาลิน หรือในวงการแพทย์เรียกว่า “น้ำยาดองศพ” ลักษณะทั่วไปของสารละลายฟอर्मาลิน คือ เป็นสารละลายใส ไม่มีสีหรือเทียบได้ไม่เกินแพลทินัมโคบอลต์สเกล (platinum cobalt scale) แออร์ 10 เมื่อตรวจสอบตาม ASTM D 1209 มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว และปราศจากสิ่งแปลกปลอม (ภัทรา , 2540) สามารถจุดไฟติด และเป็นโพลีเมอร์แก๊สที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ (WHO , 1991) ความหนาแน่น 1.08 ละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปสารละลายฟอर्मาลดีไฮด์ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ฆ่าเชื้อโรค (disinfectant) ใช้ดับกลิ่น (deodorant) ใช้ป้องกันไม่ให้สภาพศพเน่าเปื่อย (ภัทรา , 2540)

#### 1.2. คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์

ฟอर्मาลินมีสูตรโมเลกุล  $\text{CH}_2\text{O}$  มีน้ำหนักโมเลกุล 30.03 เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยฟอर्मาลดีไฮด์ 37 - 40 เปอร์เซ็นต์ แต่จะคิดเป็นฟอर्मาลินเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปกติจะมีเมทานอลผสมอยู่ประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันไม่ให้ฟอर्मาลินเปลี่ยนรูปเป็น พาราฟอर्मาลดีไฮด์ ซึ่งเป็นพิษมากกว่าฟอर्मาลินมาก ฟอर्मาลินเป็นสารรีดิวซ์อย่างแรง (strong reducing agent) เมื่อถูกอากาศจะถูกออกซิไดซ์ช้า ๆ ไปเป็นกรดฟอर्मิก (formic acid) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 2.8 - 4.5 ฟอर्मาลินมีความสามารถในการรวมตัวได้กับน้ำ แอลกอฮอล์ และ อะซีโตน (acetone) สารดังต่อไปนี้ไม่สามารถใช้ร่วมกับฟอर्मาลินได้ คือ แอมโมเนีย อัลคาไลด์ (alkaline) แทนนิน (tannin) สารประกอบเหล็ก เจลาติน (gelatin) ไบซัลไฟด์ (bisulfide) เกลือทองแดง เหล็ก เงิน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ไอโอดีน และต่างทับทิม ( $\text{KmnO}_4$ ) (ภัทรา , 2540 ; Windholz , 1976) ฟอर्मาลินเมื่อเก็บไว้นาน ๆ หรือ เก็บในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4.4 องศาเซลเซียส (40 องศาฟาเรนไฮต์) ฟอर्मาลินจะเปลี่ยนรูปไปเป็น พาราฟอर्मาลดีไฮด์ หรือที่เรียกชื่อว่า ไทออกซีเมทิลีน (trioxymethylene) มีลักษณะเป็นตะกอนสีขาว มีความเป็นพิษสูงกว่าฟอर्मาลินมาก (Roberts และ Shepherd , 1979 ; Wellborn , 1979 ; Kabata , 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1** คุณลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์ของ formalin

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์และ ทดสอบตาม
1	ฟอร์มาลดีไฮด์ ร้อยละโดยน้ำหนักไม่น้อยกว่า	37	ASTMD 2194
2	กรดอิสระ (คำนวณเป็นHCOOH) ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.03	ISO 2225
3	คลอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.0025	ISO 2221
4	ซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.0025	ISO 2222
5	เถ้า ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	0.01	ISO 2224
6	เมทานอล ร้อยละโดยน้ำหนักไม่เกิน	6.0 ถึง 15.0	ISO 2224
7	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่ต่ำกว่า	1.0749	ASTMD 891 (method B)
8	ความเป็นกรด - ต่าง	2.8 ถึง 4.5	ISO 2224

สูตรโครงสร้างทางเคมีของฟอร์มาลีน และ คุณสมบัติบางประการ



สูตรโครงสร้างทางเคมี CH<sub>2</sub>O

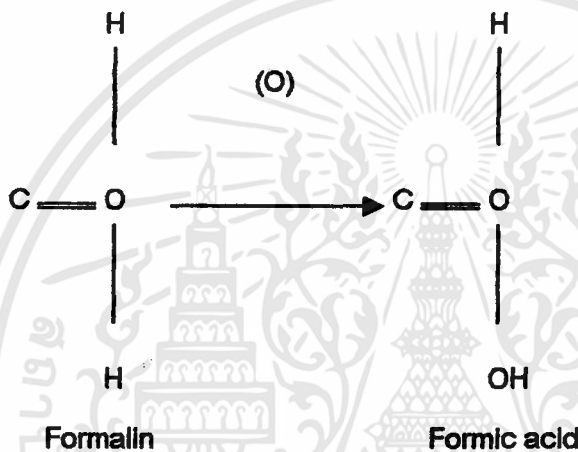
อุณหภูมิที่ติดไฟเอง (auto - Ignition temp.)	80.6 ° F
จุดเดือด	-3 ° F
ความหนาแน่น	1.0
น้ำหนักโมเลกุล	30.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3. ผลของฟอร์มาลินต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ

#### 1.3.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen)

ฟอร์มาลินมีผลไปลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำโดยตรง โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดึงออกซิเจนออกจากน้ำ แล้วเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก (Roberts และ Shepherd , 1979 ; Wellborn , 1979) ดังสมการ



ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ สามารถลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลงได้มากกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ซึ่งพบว่าฟอร์มาลินเข้มข้น 75 ppm สามารถลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจาก 5.8 ppm ลงเกือบถึง 0.2 ppm ในเวลา 48 ชั่วโมง (เต็มดวง และคณะ , 2530) และฟอร์มาลินความเข้มข้นตั้งแต่ 25 ppm ขึ้นไป จะสามารถลดปริมาณออกซิเจนจาก 7.5 ppm เหลือ 3.55 ppm และที่ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 50 และ 75 ppm สามารถลดปริมาณออกซิเจนจาก 7.4 ppm เหลือ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ ในช่วงเวลา 48 ชั่วโมงเช่นกัน (มะลิวรรณ , 2531)

นอกจากผลทางตรงยังมีผลในการลดปริมาณ ออกซิเจนทางอ้อมโดยฟอร์มาลินที่ 25 และ 50 ppm สามารถฆ่าแพลงก์ตอนพืชทำให้การผลิตออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชลดลง ในขณะที่เดียวกันมีการใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายซากแพลงก์ตอนพืชโดยจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงมากกว่าปกติ (Allison , 1962 ; มะลิวรรณ , 2531)

### 1.3.2 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ (total ammonia)

การลดลงของแอมโมเนียในน้ำ โดยสารละลายฟอร์มาลีนในช่วง 24 ชั่วโมงพบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงอย่างมากหลังจากเติมสารละลายฟอร์มาลีนระดับความเข้มข้น 80 ,100 ,120 ,160 และ 180 ppm (วินิจ และคณะ , 2530) เนื่องจากแอมโมเนียในน้ำสามารถรวมตัวกับฟอร์มาลีนกลายเป็นสารประกอบที่เรียกว่า methylenetetramine จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำลดลง (ธงชัย , 2525)

แอมโมเนียที่อยู่ในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia ,  $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียไอออน (ionized ammonia) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Hans และคณะ , 1994) ทั้ง 2 รูปแบบของแอมโมเนียจะอยู่ในรูปใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างและ อุณหภูมิ ดังสมการ



กล่าวคือในสภาวะที่ความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะมีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ (Boyd , 1988) แอมโมเนียในปลาเลี้ยงสัตว์น้ำได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ (Organic substance) ในรูปของอาหารที่ให้สัตว์น้ำ ของเสียหรือเศษอาหารที่เหลืออยู่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ โดยมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง เนื่องจากเหงือกถูกทำลาย นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย - ไนโตรเจน มีขึ้นหลังจากการตายของแพลงก์ตอนจำนวนมาก ความทนทานของสัตว์น้ำต่อแอมโมเนียนั้นขึ้นอยู่กับชนิด, สรีระของสัตว์น้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ปริมาณแอมโมเนียในระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 0.4 – 2 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (ชลอ , 2535) สำหรับค่าแอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia) ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ มีค่าเท่ากับ 0.0396 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร (ไมตรี และจากรรรณ , 2528)

### 1.3.3 ความเป็นต่างของน้ำ (alkalinity)

ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้น 25 , 50 และ 75 ppm ไม่มีผลต่อค่าความเป็นต่างของน้ำ (เด็มดวง และคณะ , 2530) แต่วินิจ และคณะ (2530) ทำการทดลองในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 10 ppt ใส่ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้น 80 , 100 , 120 , 160 และ 180 ppm หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าความเป็นต่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นต่างต่อแหล่งน้ำคือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างรวดเร็วเกินไป ความเป็นต่างของน้ำจึงใช้เป็นเครื่องแสดงความสามารถของน้ำที่ป้องกันไม่ให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเปลี่ยนแปลง (buffering capacity) หากปรากฏว่าแหล่งน้ำมีค่าความเป็นต่างต่ำ แสดงว่ามี buffering capacity น้อย ค่าความเป็นต่างของน้ำจะเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยค่าความเป็นต่างที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 120 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ สูงกว่า (ไมตรี และจารุวรรณ , 2528)

### 1.3.4 ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH)

ฟอร์มาลินมีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน แต่ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำไม่มีผลต่อความเป็นพิษของฟอร์มาลิน (Phelps , 1975) การดึงออกซิเจนจากน้ำเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก ก็มีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลงด้วย (มะลิวรรณ , 2531) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ 6.5 – 9.0 (ไมตรี และจารุวรรณ , 2528)

### 1.3.5 อุณหภูมิของน้ำ (temperature)

ฟอร์มาลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ แต่อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อความเป็นพิษ และการสลายตัวของฟอร์มาลิน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเป็นพิษของฟอร์มาลินจะเพิ่มขึ้น และสลายตัวได้เร็วขึ้น (Rucker และคณะ 1963 ; Phelps, 1975 ; Roberts และ Shepherd , 1979)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะผันแปรตามอากาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ดี อยู่ระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส

#### 1.4. การใช้ฟอร์มาลินในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ฟอร์มาลินจะใช้ในการ ป้องกัน และกำจัดปรสิตจำพวกโปรโตซัวและโมโนจีน รวมทั้งเชื้อรา และแบคทีเรีย (Wright , 1976 ; Kabata , 1985) วิธีการใช้ที่นิยมคือ การจุ่ม (dip) การแช่ระยะสั้น (short – tembath) และการแช่ยาว (indefinite treatment) การใช้ฟอร์มาลินเพื่อกำจัดปรสิตภายนอกต้องเลือกใช้ในระดับที่เหมาะสมกับขนาดและชนิดของปลา (เต็มดวง , 2529) เนื่องจากปลาที่สัมผัสกับฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้นสูงถึง 200 ppm จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อและสรีระ รวมทั้งอาจทำให้ปลาตายได้ (Wedemeyer และ Yasutake , 1974 ; Williams และ Wootten , 1981)

การใช้ฟอร์มาลินส่วนใหญ่จะใช้แช่นานตลอดไปให้ฟอร์มาลินสลายตัวไปเอง โดยความเข้มข้นที่ใช้กับบ่อเลี้ยงปลาในการรักษาโรคปลาคิดต่อกันเป็นเวลานานจะอยู่ในช่วง 25 – 50 ppm แล้วแต่ชนิดของปรสิต (สิทธิ , 2524 ; กมลพร และสุปราณี , 2526) ในการควบคุมปรสิตมักใช้ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้น 125 – 250 ppm แช่นาน 60 นาที หรือใช้ความเข้มข้น 25 ppm แช่ระยะยาว (Wright , 1976) ฟอร์มาลินที่ใช้สำหรับควบคุมเชื้อราบนไซปลามีความเข้มข้นสูงถึง 1600 – 2000 ppm แช่นาน 15 นาที (ชะลอ , 2528) การใช้ฟอร์มาลินในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กล้วยโดยการใส่ฟอร์มาลินเข้มข้น 200 – 250 ppm แช่ลูกปลากะพงขาวขนาดเล็ก ในระยะเวลา 60 นาที เพื่อฆ่าเชื้อโรค (สิริ และเพิ่มศักดิ์ , 2528) การอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำในบ่อใส่ฟอร์มาลินเข้มข้น 30 - 50 ป้องกันและรักษาโรค แต่ควรให้อากาศอย่างเพียงพอ และควรเปลี่ยนสารละลายฟอร์มาลินใหม่ทุก 24 ชั่วโมง เพราะฟอร์มาลินจะสลายตัวได้ดีเมื่อสัมผัสอากาศ (สิทธิ , 2524 ; วินิจและคณะ , 2530) การกำจัด *Zoothamnium* sp. ในกุ้งทะเล โดยกุ้งระยะ postlarva 1 – 5 ใช้ฟอร์มาลินเข้มข้น 25 ppm แช่นาน 12 ชั่วโมง กุ้งระยะ postlarva 6 ขึ้นไป ใช้ระดับความเข้มข้น 40 – 50 ppm แช่นาน 12 ชั่วโมง และ กุ้งระยะ post larva 10 ขึ้นไปใช้ความเข้มข้น 150 – 200 ppm แช่นาน 30 นาที หรือ 20 – 30 ppm แช่ระยะยาว (ลิลลา , 2528 ; ชลอ , 2530 ก , ข) ลูกกุ้งตั้งแต่ระยะ nauplius จนถึง post larvae ต้น ๆ ยังมีความทนทานต่อพิษของฟอร์มาลินไม่เพียงพอที่จะใช้ฟอร์มาลิน ในการกำจัดโรคและปรสิตได้ สำหรับกุ้งขนาดใหญ่ และระยะ post larvae ของกุ้งกุลาดำตั้งแต่ post larvae 6 ขึ้นไปที่จะสามารถใช้ฟอร์มาลินได้ เพราะมีความทนทานเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ยนต์ และประติษฐ , 2530) นอกจากนี้การใช้ฟอร์มาลินกำจัดโรค และปรสิตในลูกกุ้งนั้น อาจมีผลให้ลูกกุ้งลอกคราบช้ากว่าปกติ (อดุลย์ และคณะ , 2530) ได้มีการแนะนำให้ใช้ฟอร์มาลินในการป้องกันและกำจัดโปรโตซัว ได้แก่ อีค (*Ichthyophthirius multifiliis*) เห็บระฆัง (*Trichodina* sp.) *Epistylis* sp. ใช้ในการป้องกันและกำจัดปลิงใส (*Monogenetic trematode*) เป็นต้น (กมลพร และ สุปรานี , 2526)

นอกจากนี้ฟอร์มาลินยังสามารถนำมาใช้ทำความสะอาดเครื่องใช้และภาชนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ฆ่าเชื้อในน้ำก่อนที่จะใช้ฟักไข่หรืออนุบาลลูกปลา ลูกกุ้ง (ยนต์ และประติษฐ , 2530) ใช้ในการเก็บรักษาเนื้อเยื่อ (Humason , 1979) และฆ่าเชื้อแบคทีเรียรวมทั้งสิ่งที่มีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ (Kabata , 1985)

การตกค้างของฟอร์มาลินในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ เมื่อนำปลาที่ได้รับการสัมผัสกับฟอร์มาลินที่มีความเข้มข้นสูง ๆ มาตรวจหาปริมาณฟอร์มาลินในตัวปลา พบว่าไม่มีการตกค้างของฟอร์มาลินที่กล้ามเนื้อ ตับ และกระเพาะเลือด (Sills, 1979) เช่นเดียวกับการทดลองในกุ้ง (*Penaeus stylirostris*) จึงถือว่าเป็นผลดีในการที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือเกิดการสะสมของฟอร์มาลินในร่างกายผู้บริโภคสัตว์น้ำที่ผ่านการใช้ฟอร์มาลินในการป้องกันและกำจัดโรค (Hose และ Lightner , 1980)

#### 1.5. ความเป็นพิษของฟอร์มาลินต่อสัตว์น้ำ

ฟอร์มาลินถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในการป้องกันและกำจัดโรค แต่ผู้ใช้จะต้องมีความระมัดระวังในการเลือกระดับความเข้มข้นให้เหมาะสมกับชนิดของสัตว์น้ำ ความเป็นพิษเฉียบพลันของฟอร์มาลิน ( $LC_{50}$ ) ที่ 96 ชั่วโมงต่อปลาชนิดต่าง ๆ (ตารางที่ 2)

หาความเป็นพิษเฉียบพลันที่ 48 ชั่วโมง ของลูกกุ้งแสบวัยระยะ Mysis I และ II , Post larvae I และ II ได้ค่าความเป็นพิษมัธยฐาน อยู่ที่ระหว่าง 1.34 – 4.15 ppm ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่ปลอดภัย 0.01 – 0.04 ppm หาค่า  $LC_{50}$  ที่ 48 ชั่วโมง ของกุ้งแสบวัยระยะ Mysis I และ II , Post larvae I และ II มีค่า 4.1 , 1.3 , 2.2 และ 3.1 ppm ตามลำดับ (สิริ และเพิ่มศักดิ์ , 2528)  $LC_{50}$  ที่ 48 ชั่วโมง ของลูกกุ้งกุลาดำ ระยะ Post larvae I เท่ากับ 40.2 ppm ที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 35 ppm (สมลักษณ์ , 2526) ค่าความเป็นพิษมัธยฐาน (TLm) ที่ 24 ชั่วโมง ต่อลูกกุ้งกุลาดำระยะ nauplius , protozoa , mysis , post larvae 1 , post larvae 6 , post larvae 11 มีค่าเท่ากับ 12.3 , 9.8 , 2.4 , 14.5 , 132.6 และ 117.2 ppm ตามลำดับ และค่า TLm ที่ 48 ชั่วโมง

ของลูกกุ้งกุลาดำระยะ post larvae 1 , post larvae 6 , post larvae 11 มีค่าเท่ากับ 7.08 , 128.8 และ 110.8 ppm ตามลำดับ (อดุลย์ และคณะ 2530)

การเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำ ความเป็นพิษของฟอร์มาลินมีมากใน 24 ชั่วโมงแรก และได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในลูกปลาใน และปลาช่อนที่เหลืรอดตายจากการทดลองพิษเฉียบพลัน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ลูกปลาตะเพียนขาวมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ที่ซีเหลือง และตับมีไขมันเพิ่มขึ้น (สิริและเพิ่มศักดิ์ , 2528) การแช่ปลา steelhead trout และ chinook salmon ในฟอร์มาลินความเข้มข้น 200 ppm นาน 1 ชั่วโมง มีผลทำให้เซลล์บุผิวของซีเหลืองของปลาทั้ง 2 ชนิด มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นเกิดการเสื่อมสภาพและมีการตายของเซลล์บุผิวของซีเหลือง เหงือกของปลา steelhead trout ถูกทำลายมากกว่าปลา chinook salmon (Wedemeyer และ Yasutake, 1974) ส่วนการใช้ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในปลา rainbow trout พบว่าเซลล์ตับของปลาเกิดการเสื่อมสภาพของไซโตพลาสซึม (cytoplasmic degeneration) (Williams และ Wootten, 1981)

ผลกระทบต่อการศึกษาเจริญเติบโต พบว่าเมื่อใช้ฟอร์มาลินในระดับความเข้มข้น 25 และ 50 ppm ติดต่อกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาใน แต่ที่ความเข้มข้น 75 ppm ใช้ติดต่อกันนาน 4 สัปดาห์ มีผลทำให้ปลาใน เจริญเติบโตช้าลง (เต็มดวง , 2529)

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษเฉียบพลัน (96 ชั่วโมง -LC<sub>50</sub>) ของฟอร์มาลินต่อปลาบางชนิด

ชนิดของปลา	คุณภาพของน้ำ			96 ชั่วโมง LC50 (ppm)	ชนิดของการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
	อุณหภูมิ (°C)	ความกระด้าง (ppm)	pH			
American eel black eel stage	22	40 - 48	7.2 - 7.6	224	น้ำนิ่ง	Hinton และ Eversols (1979)
American eel glass eel stage	22	40 - 48	7.2 - 7.6	84	น้ำนิ่ง	Hinton และ Eversols (1979)
American eel yellow phase	23	41 - 48	7.2 - 7.7	85	น้ำนิ่ง	Hinton และ Eversols (1979)
Atlantic salmon	12	20	6.5	173	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)
Black bullhead	12	20	6.5	62.1	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)
bluegill	12	20	6.5	100	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)
Channel catfish	12	20	6.5	65.8	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)
Largemouth bass	12	20	6.5	143	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)
Rainbow trout	12	20	6.5	118	น้ำนิ่ง	Bills และคณะ (1977)

## 1.6. ผลของฟอร์มาลินต่อแพลงก์ตอนพืช

ฟอร์มาลินระดับความเข้มข้น 15 ppm จะมีผลทำให้แพลงก์ตอนพืชตาย แต่ ฟอร์มาลินจะไปทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง เนื่องจากทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำลดลง นอกจากนี้ออกซิเจนที่ละลายน้ำบางส่วนจะถูกดึงไปใช้ในการเน่าสลายของซากแพลงก์ตอนพืชทำให้ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ในน้ำเพิ่มขึ้น (Allison , 1962 ; Wellborn , 1979) ฟอร์มาลินที่ความเข้มข้น 25 และ 50 ppm ซึ่งเป็นระดับที่ใช้รักษาโรคสัตว์น้ำมีนั้นมีความเป็นพิษอย่างสูงต่อแพลงก์ตอน สามารถฆ่าแพลงก์ตอนได้ โดยน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงจะใสขึ้นและมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง (มะลิวรรณ , 2531)

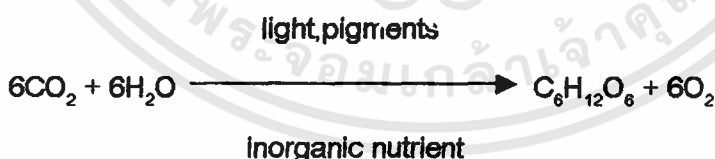
ฟอร์มาลินที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้ แพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros* sp. , *Chlorella* sp. และ *Oscillatoria* sp. ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 60 ppm ที่ 48 ชั่วโมง , 120 ppm ที่ 48 ชั่วโมง และ 60 ppm ที่ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ

## 2. แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)

### 2.1. ประโยชน์ของแพลงก์ตอนพืช

2.1.1. เป็นแหล่งอาหารธรรมชาติในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.1.2. ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อในช่วงกลางวัน โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังสมการ



2.1.3. ช่วยลดความโปร่งแสงของน้ำ (transparency) อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเครียดของสัตว์น้ำ

2.1.4. ช่วยลดปริมาณของเสียหรือสารพิษในน้ำ โดยที่แพลงก์ตอนพืชจะมีกระบวนการนำของเสีย หรือสารพิษเหล่านี้ไปใช้ ของเสียหรือสารพิษในน้ำ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแก๊สมีเทน เป็นต้น

2.1.5. ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ (Indicator) ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีธาตุอาหารเหมาะสมจะมีแพลงก์ตอนหลายชนิดปะปนอยู่ แต่ละชนิดมีปริมาณน้อย แต่ถ้าแหล่งน้ำมีธาตุอาหารมากเกินไปจะมีแพลงก์ตอนน้อยชนิดแต่ละชนิดนั้นมีปริมาณมาก จึงเป็นชนิดที่เด่น (dominant species)

## 2.2. แพลงก์ตอนพืชที่มีปัญหา

แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำเปลี่ยนสีบ่อยที่สุดในประเทศไทย คือ *Oscillatoria erythraea* หรือชื่อพ้องกับ *Trichodesmium erythraeum* รองลงมาคือ *Noctiluca scintillans* หรือชื่อพ้องกับ *Noctiluca miliaris* การที่น้ำเปลี่ยนสีนี้มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเมื่อแพลงก์ตอนปริมาณมากตายลงพร้อม ๆ กันทำให้เกิดการเน่าสลาย และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง นอกจากนั้นซากแพลงก์ตอนพืชจะไปอุดตันเหงือกของสัตว์น้ำได้ และ แพลงก์ตอนพืชชนิด *Noctiluca scintillans* เมื่อตายยังปล่อยแอมโมเนียภายในเซลล์ออกมาซึ่งผลทำให้มีปริมาณแอมโมเนียสูงในระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

## 2.3. แพลงก์ตอนพืชที่ใช้ในการทดลอง (*Oscillatoria* sp.)

แพลงก์ตอนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ *Oscillatoria* sp. ซึ่งมีการจัดจำแนกดังนี้

Division *Cyanophyta*

Order *Nostocales*

Family *Oscillatoriaceae*

Genus *Oscillatoria*

2.3.1. *Oscillatoria* sp. หรือเรียกอีกชื่อหนึ่ง คือ สาหร่ายขนแมว มีลักษณะเป็นเส้นสายเดี่ยว ๆ หรืออยู่รวมเป็นกลุ่มหนาแน่นแต่ละสายไม่แตกแขนง ทรย์โคนประกอบด้วยเซลล์แถวเดียวเรียงต่อกันเป็นสาย โดยมีความกว้างของเซลล์สม่ำเสมอตลอดสาย โดยปกติแต่ละเซลล์มักมีขนาดกว้างมากกว่ายาว ยกเว้นบางชนิดเท่านั้นที่เฉพาะเซลล์ปลาย ๆ ทรย์โคนเท่านั้นที่อาจเรียวยาวหรือแคบลง และเซลล์ปลายสุด (apical cell) อาจมี คาลิปทรา (calyptra) อยู่ซึ่งมีลักษณะคล้ายหมวกปีก หรือมีผนังเซลล์พองออก (capitate) *Oscillatoria* sp. เป็นสาหร่ายที่ไม่มีซีทหุ้ม แต่อาจมีน้ำ

ใส ๆ หุ้มอยู่ ผงเซลล์มีลักษณะคล้ายแบคทีเรียแกรมลบ สารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงกระจายอยู่ทั่วเซลล์ ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริง เป็นสกุลที่สามารถเคลื่อนไหวได้ทั้งแบบเลื่อนไหล (gliding) หรือแกว่งซ้ายขวา (oscillating) โดยส่วนตัวแล้ว *Oscillatoria* sp. ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เอง ภายในเซลล์ของมันจะมีเม็ดอากาศเล็ก ๆ (Gas Vacuole) ลักษณะเป็นถุงบาง ๆ ภายในเม็ดอากาศนี้จะบรรจุก๊าซไนโตรเจนเมื่อมีแสงแดดก็จะพองตัวและลอยขึ้นเนื่องจากความดันก๊าซ การสืบพันธุ์โดยการเกิดเซลล์ตายภายในสายและสร้างเซพาราชันดิส (separation disc) แบ่งทรัพยากรออกเป็นฮอริโมโกน หรือ ฮอริโมโกนเนียบ ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ลักษณะพิเศษของ *Oscillatoria* sp. คือ สามารถเจริญได้ดีแม้ในสภาพปอเนาะ นอกจากนี้ยังสามารถตรึงสารประกอบไนโตรเจนได้ เช่น เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นกรดอะมิโนเพื่อใช้เป็นอาหารในเซลล์สาหร่าย (ฝ่ายวิชาการและพัฒนาผลิตภัณฑ์, 2542)

2.3.2. แหล่งที่พบ พบทุกแหล่งน้ำทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย ทะเล และทะเลสาบน้ำเค็มหรือตามที่ชื้นแฉะทั่วไป

2.3.3. การใช้สารเคมีกับ *Oscillatoria* sp. เทคนิคในการลดความหนาแน่นของสาหร่ายขนแมวสามารถใช้สารเคมีได้หลาย ๆ ชนิด หากให้ใช้ง่ายที่สุดคือ กลุ่มสารที่ทำให้ตกตะกอน เช่น สารส้ม , ซีโอไลท์เหนียว หรือวัสดุปูน (ใช้ช่วงไม่มีแสงแดดจะได้ผลดีที่สุด) แต่ที่นิยมใช้และมีจำหน่ายทั่วไปได้แก่ บี.เค.ซี ปริมาณการใช้ 1 – 2 ลิตรต่อไร่ โดยใส่ บี.เค.ซี ในตอนเช้า เมื่อสาหร่ายขนแมวลอยขึ้นมาให้ใช้ไม้ไผ่กันทางทิศใต้ลม แล้วใช้อวนลากขึ้นมาทิ้งบนฝั่ง หากตรวจพบว่าสาหร่ายขนแมวเริ่มมีการเพิ่มปริมาณมากผิดปกติ อาจใช้สารประกอบ คอปเปอร์ซีเลท ปริมาณ 1 ลิตรต่อไร่ที่ระดับน้ำลึก 1 เมตร จะช่วยลดปริมาณของสาหร่ายขนแมวลงได้ อย่างไรก็ตามภายหลังการใช้ บี.เค.ซี และคอปเปอร์ซีเลทประมาณ 3 – 5 วัน ควรมีการใช้จุลินทรีย์ปริมาณ 0.5 – 1.0 กิโลกรัมต่อไร่เพื่อช่วยลดปัญหาการเน่าเสียของพื้นบ่อลงได้

ผลการใช้ฟอร์มาลินกับแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. พบว่า ระดับความเข้มข้นสูงสุดของฟอร์มาลินที่ไม่มีผลทำให้ *Oscillatoria* sp. ลดการเจริญเติบโตลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 1.00 ppm และระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้ *Oscillatoria* sp. ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 60.00 ppm ที่เวลา 96 ชั่วโมง และผลกระทบของฟอร์มาลินที่ทำให้ *Oscillatoria* sp. ลดการเจริญเติบโตลงครึ่งหนึ่งของชุดควบคุม ( $LC_{50}$ ) ที่ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 7.2 ppm (จามรี , 2540.)

2.3.4. ประโยชน์ และโทษ *Oscillatoria* sp. มีประโยชน์ คือ เป็นตัวช่วยขจัดของเสียในน้ำ ซึ่งได้แก่ ธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุประกอบอื่น ๆ ที่เกิดจากการย่อย

สลายของเศษอาหาร สิ่งขับถ่าย ซากพืชและสัตว์ที่ตายในบ่อ ธาตุอาหารพวกไนโตรเจนหากมีปริมาณมากจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์ *Oscillatoria* sp. ช่วยกำจัดธาตุพวกนี้ โดยการนำไปใช้เพื่อสร้างอาหารให้กับตัวเอง อีกทั้งยังมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำในตอนกลางวัน ส่วนโทษ จะคล้ายกับแพลงก์ตอนพืชทั่ว ๆ ไป โดยในกรณีที่ตายลงเป็นจำนวนมากจะเกิดกระบวนการย่อยสลาย ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างมาก สัตว์น้ำจะขาดออกซิเจน เกิดสารพิษพวกแอมโมเนีย และไนไตรท์สูง อีกทั้ง *Oscillatoria* sp. ยังสามารถผลิตสารจีออสมิน ออกมาทำให้สัตว์น้ำมีกลิ่นโคลน ทำให้สัตว์น้ำมีราคาถูกลง

2.3.5. การป้องกันการบลูมของ *Oscillatoria* sp. โดยปกติการมีชนิดของแพลงก์ตอนที่หลากหลายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสิ่งที่ดี เนื่องจากจะทำให้สีน้ำค่อนข้างคงที่จากการสังเกตปอดทั่ว ๆ ไปที่มีการบลูมของสาหร่ายชนิดอื่น พบว่าความหลากหลายของแพลงก์ตอนในบ่อจะลดลงทันที ดังนั้นการป้องกันการบลูมของสาหร่ายชนิดอื่นให้ได้ผลที่สุดคือ การตรวจสอบความหลากหลายของแพลงก์ตอนในบ่อเพาะเลี้ยงอย่างสม่ำเสมออย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ หากพบว่าชนิดแพลงก์ต่อน้อย และเริ่มมีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายชนิดอื่นมากขึ้น ควรใช้ปูนมาร์ล หรือซีโอไลท์เนื้อหนัก ช่วงไม่มีแดด และตรวจสอบคุณภาพน้ำให้ละเอียดมากขึ้น เช่น ค่าอัลคาไลน์รวม , ค่า pH ของน้ำ หากพบการเปลี่ยนแปลงควรมีการปรับเปลี่ยนคุณภาพน้ำให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นวิธีการที่เราสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้เนื่องจากการนำเอาแพลงก์ตอนที่หลากหลายเข้ามาในบ่อเลี้ยงให้มากขึ้นอีกทางหนึ่ง เวลาในการถ่ายน้ำก็เป็นสิ่งที่ผู้เลี้ยงควรคำนึงถึง หากเป็นเวลากลางวันควรถ่ายน้ำส่วนบน แต่ถ้าเป็นกลางคืนก็ควรถ่ายน้ำส่วนล่าง เนื่องจากสาหร่ายชนิดอื่นจะตกตะกอนในเวลากลางคืน

## อุปกรณ์

1. แพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. จำนวนเซลล์  $5 \times 10^6$  เซลล์/มิลลิลิตร
2. โหลแก้วขนาดบรรจุ 10 ลิตร
3. น้ำผ่านการกรอง และน้ำกลั่น
4. เครื่องชั่งละเอียด
5. กัดยงจุลทรรศน์
6. สไลด์นับเม็ดเลือด
7. ตู้ปลาขนาดบรรจุ 3 ลิตร
8. เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง และอุณหภูมิ ยี่ห้อ ORION รุ่น model 710A
9. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Milton Roy รุ่น Spectronic 401
10. เครื่องแก้ว และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
11. สารเคมีสำหรับเตรียมอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอน
12. ฟอर्मาลิน
13. อุปกรณ์ให้อากาศ

## วิธีการทดลอง

### 1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด หรือ CRD (Completely Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ทรีตเมนต์ ในแต่ละทรีตเมนต์มี 3 ซ้ำดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ไม่ใส่ ฟอรัมาลิน ลงในตู้ทดลอง

ทรีตเมนต์ที่ 2 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ใส่ ฟอรัมาลินที่ ความเข้มข้น 15 ppm

ทรีตเมนต์ที่ 3 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ใส่ ฟอรัมาลินที่ ความเข้มข้น 20 ppm

ทรีตเมนต์ที่ 4 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ใส่ ฟอรัมาลินที่ ความเข้มข้น 25 ppm

ทรีตเมนต์ที่ 5 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ใส่ ฟอรัมาลินที่ ความเข้มข้น 30 ppm

ทรีตเมนต์ที่ 6 จำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp.  $5 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร ใส่ ฟอรัมาลินที่ ความเข้มข้น 35 ppm

วิเคราะห์ข้อมูลจาก เปอร์เซ็นต์เซลล์ของแพลงก์ตอน *Oscillatoria* sp. ที่ตายหลังจากที่ได้รับ ฟอรัมาลินที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน เพื่อทราบผลของฟอรัมาลินในระดับที่เหมาะสมต่อการควบคุมความหนาแน่นของ *Oscillatoria* sp.

### 2. การทดลองหาค่าความเข้มข้นของฟอรัมาลินที่ใช้ในการตรึงแพลงก์ตอนพืช

#### 2.1. ทดสอบหาความเข้มข้นของ formalin

ทำการทดลองที่ ระดับความเข้มข้นของฟอรัมาลินที่ 0 , 5 , 15 , 25 , 35 และ 45 ppm เพื่อหาค่าความเข้มข้นในระดับต่ำที่สุดที่สามารถฆ่าแพลงก์ตอน *Oscillatoria* sp. ได้ โดยในแต่ละชุดการทดลองจะมี 2 ซ้ำ ปริมาณที่ใช้ในการทดลอง 3 ลิตร ต่อ 1 ตู้ทดลอง

2.2. ทดสอบผลของความหนาแน่นของจำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp. ต่อการทำงานของ formalin

ทำการทดลองที่ ระดับความหนาแน่นของจำนวนเซลล์ต่าง ๆ กัน ดังนี้

$7 \times 10^5$ ,  $5 \times 10^5$ ,  $10^5$ ,  $5 \times 10^4$ ,  $10^4$ ,  $5 \times 10^3$  cell / ml ใช้ความเข้มข้นที่สามารถฆ่าแพลงก์ตอนได้ ที่เป็นค่ากลาง จากตอนที่ 1 โดยในแต่ละชุดการทดลองจะมี 2 ซ้ำ ปริมาณที่ใช้ในการทดลอง 3 ลิตร ต่อ 1 คู่ทดลอง

### 3. การทดลองหาค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เหมาะสมในการควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

#### 3.1. การเตรียม *Oscillatoria* sp.

ทำการแยก *Oscillatoria* sp. จากน้ำตัวอย่างที่ได้จาก คลองประเวศบุรีรมย์ เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร นำเชื้อไปเพาะขยายจนได้ปริมาณที่จะนำไปทดลอง โดยวิธีการขยายมีดังนี้

3.1.1 นำหัวเชื้อที่ได้จากการแยกน้ำตัวอย่างมาขยาย โดยหัวเชื้อที่ใช้จะอยู่ในช่วงต้น Stationary phase

3.1.2 นำมาใส่ลงถังขนาด 15 ลิตร จากนั้นเติมน้ำกรองให้ได้ 15 ลิตร แล้วเติมปุ๋ยที่ใช้เลี้ยงแพลงก์ตอนพืช สูตรเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงิน

3.1.3 ให้ออกซิเจนตลอดเพื่อไม่ให้ *Oscillatoria* sp. ตกตะกอนและตายไป

3.1.4 ทำการเพาะขยายแพลงก์ตอน *Oscillatoria* sp. ให้มีปริมาณเพียงพอที่จะใช้ในการทดลอง ตลอดการทดลอง โดยจะต้องเพาะขยายแพลงก์ตอน *Oscillatoria* sp. ให้มีจำนวนเซลล์สูงที่สุด (ประมาณ  $5 \times 10^5$  cell / ml)

### 3.2. การเตรียมตู้ทดลอง

ทำความสะอาดตู้ทดลอง ตากให้แห้ง นำไปทดลอง โดยจะแยกตู้ทดลองเป็น ทริตเมนต์ แต่ละทริตเมนต์จะมี 3 ตู้การทดลอง เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจเช็คผลการทดลอง ควรมีการติดเครื่องหมายที่ตู้ทดลอง

### 3.3. การเตรียมความเข้มข้นของ ฟอर्मาลิน

คำนวณปริมาณ ฟอर्मาลินที่ต้องใช้ในการทดลองทั้งหมด เพื่อให้การเตรียมฟอर्मาลินเหมาะสมต่อการนำไปใช้ และทำให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ โดยสูตรการคำนวณคือ

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$N_1$  = ความเข้มข้นของ ฟอर्मาลินใน stock  
 $N_2$  = ความเข้มข้นของ ฟอर्मาลินที่ต้องการ  
 $V_1$  = ปริมาตรของ ฟอर्मาลินที่ใช้ (มีหน่วยเป็น ml)  
 $V_2$  = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง (3,000 ml)

### 3.4. การดำเนินการทดลอง

ควรดำเนินการทดลองในช่วงเวลา 10.00 นาฬิกา เพราะเป็นเวลาที่นิยมใส่สารเคมีในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อรักษาและป้องกันโรคสัตว์น้ำ

3.4.1. นำ *Oscillatoria* sp. ที่เพาะไว้ที่จำนวนเซลล์  $5 \times 10^6$  ใส่ลงในตู้ทดลองที่ได้เตรียมไว้ ตู้ทดลองละ 3 ลิตร โดยไม่มีการให้ออกซิเจน วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนใส่ฟอर्मาลินทุกตู้การทดลอง ทั้งหมด 12 ตู้การทดลอง โดยรวมชุดควบคุม

3.4.2. ใส่ฟอर्मาลินที่ระดับความเข้มข้นที่จะทดลอง คือ 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ppm และมีชุดควบคุม ที่ไม่ใส่ ฟอर्मาลิน

3.4.3. เวลาในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังใส่สารฟอर्मาลิน มีดังนี้ วิเคราะห์ ในชั่วโมงที่ 1 , 3 , 6 , 24 , 48 , 72 และ 96

3.4.4. คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) , อุณหภูมิ , ความเป็นด่าง (Alkalinity) , ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2$ ) , แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) , แอมโมเนียอิสระ (unionize ammonia) และความโปร่งแสง

3.4.5. ทำการตรวจปริมาณเปอร์เซ็นต์เซลล์ที่ตายของ *Oscillatoria* sp. ตรวจดูลักษณะเซลล์

### 3.5. การบันทึกผลการทดลอง

ทำการบันทึกโดยการบันทึกจำนวนเซลล์ทั้งก่อน และหลังการทดลองใส่ฟอร์มาลิน และทำการบันทึกผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) , อุณหภูมิ , ความเป็นด่าง (Alkalinity) , ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2$ ) , แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) , แอมโมเนียอิสระ (unionize ammonia) และความโปร่งแสง โดยแยกบันทึกในแต่ละชั่วโมงที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### 3.6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test เป็นการวิเคราะห์ผลของเคมีภัณฑ์ที่มีต่อแพลงก์ตอนพืช

## 4. ระยะเวลาการทดลอง

เดือน กุมภาพันธ์ 2542 – เดือน พฤษภาคม 2542

## 5. สถานที่ทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง ดังนี้

### 1. การทดลองหาค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่ใช้ในการครีโอลแพลงก์ตอนพืช

#### 1.1. ทดสอบหาความเข้มข้นของ formalin

ทำการทดลองที่ ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่ 0 , 5 , 15 , 25 , 35 และ 45 ppm จะมี 2 ชั่วโมง ปริมาณที่ใช้ในการทดลอง 3 ลิตร ต่อ 1 ตู้ทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

เวลา	0 ppm	5 ppm	15 ppm	25 ppm	35 ppm	45 ppm
15 นาที	0	0	0	√	√	√
30 นาที	0	0	√	√+	√√	√√
1 ชั่วโมง	0	0	√+	√√	√√+	√√√
2 ชั่วโมง	0	√+	√√	√√√	√√√	√√√
3 ชั่วโมง	0	√+	√√+	√√√	√√√	√√√
4 ชั่วโมง	0	√+	√√+	√√√	√√√	√√√
6 ชั่วโมง	0+	√+	√√+	√√√	√√√	√√√
24 ชั่วโมง	00	√√	√√+	√√√	√√√	√√√
48 ชั่วโมง	00	√√	√√√	√√√√	√√√√	√√√√

- 0 = ลักษณะปกติ น้ำเป็นสีเขียวเข้ม โดยลักษณะของเซลล์ *Oscillatoria* sp. ยังคงปกติไม่พบการแตกหัก หรือ ซาดท่อน
- 0+ = เซลล์เริ่มเกาะที่ผิวตู้ทดลอง น้ำเป็นสีเขียวอ่อน
- 00 = มีการตกตะกอนตามธรรมชาติ น้ำเป็นสีเขียวอ่อน มีเซลล์เกาะที่พื้น และ ผิวตู้ทดลอง
- √ = เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ที่มุม และขอบตู้ทดลอง กลุ่มเซลล์รวมตัวเป็นก้อนตกตะกอนอยู่ที่พื้นตู้ทดลอง สีน้ำเริ่มจาง เนื่องจากสีของเซลล์เริ่มอ่อนลง เพราะรังควัดฤหรือคลอโรฟิลล์เริ่มถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\checkmark+$  = มีฟองอากาศเล็ก ๆ ตามผิวตู้ทดลอง กลุ่มเซลล์รวมตัวกันไม่หนาแน่นมาก เริ่มมีบางส่วนลอยสู่น้ำ สีน้ำจางลง ลักษณะของเซลล์เมื่อส่องดู พบว่า สีของเซลล์เริ่มอ่อนลงมากขึ้น เพราะรังควัตถุ หรือ คลอโรฟิลล์เริ่มถูกทำลายมากขึ้น
- $\checkmark\checkmark$  = น้ำเริ่มใสขึ้น แต่ยังมีสีเขียวอ่อน ๆ พบกลุ่มเซลล์ลอยเป็นแผ่นที่ผิวน้ำ กลุ่มเซลล์มีสีเขียวเข้ม ยังมีฟองก๊าซ และกลุ่มเซลล์ที่อยู่พื้นตู้ทดลอง
- $\checkmark\checkmark+$  = น้ำเริ่มใส เซลล์ที่พื้นตู้ทดลอง ลอยที่ผิวเพิ่มมากขึ้น
- $\checkmark\checkmark\checkmark$  = กลุ่มเซลล์ส่วนมากลอยอยู่ที่ผิวน้ำ น้ำใสจนเกือบไม่มีสีเขียว พบสีของเซลล์ *Oscillatoria* sp. จางลงมาก และมีการขาดท่อนมากขึ้น
- $\checkmark\checkmark\checkmark\checkmark$  = มีคราบสีเหลืองเกิดขึ้นที่ ขอบตู้ทดลอง และที่พื้นตู้ทดลองบางส่วน น้ำเริ่มขุ่น มีกลุ่มเซลล์ลอยที่ผิวน้ำ

การทดลองจะเห็นว่า ความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่ใช้ในการตรึง *Oscillatoria* sp. มีประสิทธิภาพต่างกัน โดยความเข้มข้นมากจะเห็นผลเร็วกว่า และรุนแรงกว่า โดยสังเกตจากที่ความเข้มข้นสูง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปไม่นาน ก็สามารถสังเกตพบความเปลี่ยนแปลงได้ โดยจะเกิดการรวมตัวของกลุ่มเซลล์ และตกตะกอนลงที่พื้นตู้ทดลอง ส่วนลักษณะเซลล์พบว่า ก่อนเติมฟอร์มาลิน ลักษณะเซลล์มีสีเขียวเข้ม เป็นเส้นสายยาว หลังเติมฟอร์มาลินพบว่า ลักษณะของเซลล์เปลี่ยนไป คือ มีการขาดท่อน และสีเซลล์ซีดลง เนื่องมาจากรังควัตถุ หรือ คลอโรฟิลล์ ถูกทำลายไป ซึ่งเป็นไปตามลักษณะภายนอกคือ ที่ความเข้มข้นสูงจะพบว่าการขาดท่อนของเซลล์ *Oscillatoria* sp. มีมากกว่า

## 1.2. ทดสอบความหนาแน่นของจำนวนเซลล์ *Oscillatoria* sp. ต่อผลของ formalin

ทำการทดลองที่ ระดับความหนาแน่นของจำนวนเซลล์ต่าง ๆ กัน ดังนี้

$7 \times 10^6$ ,  $5 \times 10^5$ ,  $10^5$ ,  $5 \times 10^4$ ,  $10^4$ ,  $5 \times 10^3$  cell / ml โดยในแต่ละชุดการทดลองจะมี 2 ซ้ำ ปริมาณที่ใช้ในการทดลอง 3 ลิตร ต่อ 1 ตู้ทดลอง ความเข้มข้นที่ใช้ คือ 25 ppm ได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	$7 \times 10^6$ cell	$5 \times 10^5$ cell	$10^5$ cell	$5 \times 10^4$ cell	$10^4$ cell
10 นาที	0+	0+	0	00	00
15 นาที	√	√	√	00	00
20 นาที	√+	√+	√	00	00
30 นาที	√√	√√	√+	00	00
45 นาที	√√	√√	√√	00	00
1 ชั่วโมง	√√	√√	√√	00	00
3 ชั่วโมง	√√√	√√√	√√	00	00
6 ชั่วโมง	√√√	√√√	√√	00	00
24 ชั่วโมง	√√√√	√√√√	√√	00	00
48 ชั่วโมง	√√√√	√√√√	√√	00	00

- 0 = ลักษณะปกติ น้ำเป็นสีเขียวเข้ม
- 0+ = เซลล์เริ่มรวมตัวกัน สีน้ำเริ่มแยกชั้น มวลน้ำบางส่วนเริ่มใส
- 00 = ไม่สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากสีน้ำมีความใสมาก พบเพียงมีฟองก๊าซเกิดขึ้นเล็กน้อย ที่พื้นตู้การทดลอง
- √ = เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ที่มุม และขอบตู้ทดลอง กลุ่มเซลล์รวมตัวเป็นก้อนตกตะกอนอยู่ที่พื้นตู้ทดลอง สีน้ำเริ่มจาง เป็นสีเขียวอ่อน
- √+ = มีฟองอากาศเล็ก ๆ ตามผิวตู้ทดลอง กลุ่มเซลล์รวมตัวกันไม่หนาแน่นมาก เริ่มมีบางส่วนลอยสู่น้ำ สีน้ำจางลง
- √√ = น้ำเริ่มใสขึ้น แต่ยังมีสีเขียวอ่อน ๆ พบกลุ่มเซลล์ลอยเป็นแผ่นที่ผิวน้ำ กลุ่มเซลล์มีสีเขียวเข้ม ยังมีฟองก๊าซ และกลุ่มเซลล์ที่อยู่พื้นตู้ทดลอง
- √√√ = น้ำเริ่มใส เซลล์ที่พื้นตู้ทดลอง ลอยที่ผิวเพิ่มมากขึ้น กลุ่มเซลล์ส่วนมากลอยอยู่ที่ผิวน้ำ น้ำใสจนเกือบไม่มีสีเขียว
- √√√√ = มีคราบสีเหลืองเกิดขึ้นที่ ขอบตู้ทดลอง และที่พื้นตู้ทดลองบางส่วน น้ำเริ่มขุ่น มีกลุ่มเซลล์ลอยที่ผิวน้ำ

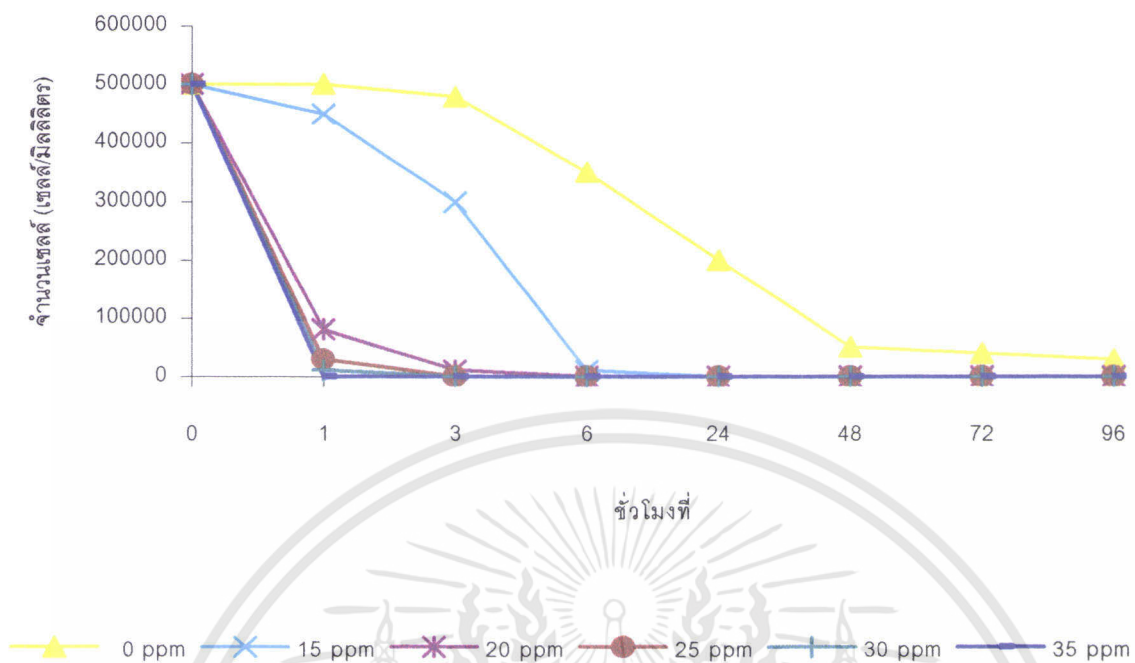
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้พบว่าความหนาแน่นของจำนวนเซลล์มีผลต่อการทำงานของฟอร์มาลินโดยที่จำนวนเซลล์น้อยกว่าจะมีการตายของ *Oscillatoria* sp. ก่อนที่จำนวนเซลล์มากกว่า แต่เนื่องจากจำนวนเซลล์ที่น้อยมาก ๆ ทำให้สังเกตผลไม่ชัดเจน แต่สภาพเซลล์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือเมื่อโดยแสงไม่มีการเคลื่อนไหว และคลอโรฟิลล์ถูกทำลายทำให้สีจางลง ส่วนลักษณะของเซลล์มีการถูกทำลายที่คลอโรฟิลล์เหมือนกันทำให้สีของเซลล์จางลง และพบการขาดท่อนของเซลล์

## 2. การทดลองหาค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เหมาะสมในการควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp.

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเซลล์ และจำนวนเซลล์ของ *Oscillatoria* sp.

ลักษณะของเซลล์ของ *Oscillatoria* sp. หลังทำการใส่ฟอร์มาลินในชุดทดลองที่ ความเข้มข้น 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ppm ในชั่วโมงแรกเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบการขาดท่อนของเซลล์ และพบการรวมกลุ่มกันของกลุ่มเซลล์ภายในตู้ทดลองและตกตะกอนลงสู่พื้นตู้ทดลอง โดยที่พบมากที่สุดอยู่ที่ ความเข้มข้น 35 ppm รองลงมาคือที่ 30 ppm ส่วนจำนวนเซลล์จะลดลงแปรผันตามความเข้มข้น คือความเข้มข้นมากจำนวนเซลล์ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนเซลล์ลดลงมากที่สุดในการทดลองนี้ อยู่ที่ ความเข้มข้น 35 ppm ที่เวลา ชั่วโมงที่ 1 ความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนเซลล์ลดลงน้อยที่สุด อยู่ที่ 15 ppm ที่เวลา ชั่วโมงที่ 24 แต่ทุกความเข้มข้นยกเว้นชุดควบคุม สามารถลดจำนวนเซลล์ของ *Oscillatoria* sp. ได้หมดภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากใส่สาร (ภาพที่ 1 , ตารางผนวกที่ 1) ลักษณะของเซลล์หลังใส่ฟอร์มาลินเปรียบเทียบกับเซลล์ก่อนใส่ฟอร์มาลินลักษณะของเซลล์แตกต่างกัน โดย *Oscillatoria* sp. เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ มีลักษณะเป็นท่อน ๆ ซึ่งต่างจากเซลล์ปกติคือ เซลล์ปกติจะมีลักษณะเป็นเส้นสายยาว ส่วนลักษณะของคลอโรฟิลล์ของเซลล์ที่ใส่ฟอร์มาลินถูกทำลายลง ทำให้สีของเซลล์อ่อนกว่าเซลล์ปกติ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 จำนวนเซลล์ของ *Oscillatoria* sp. ตลอดการทดลอง



ก

ข

ภาพที่ 2 ลักษณะของเซลล์ของ *Oscillatoria* sp. ก. ก่อนเติมฟอรัมาลิน ข.หลังเติมฟอรัมาลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำหลังจากใส่ฟอร์มาลิน

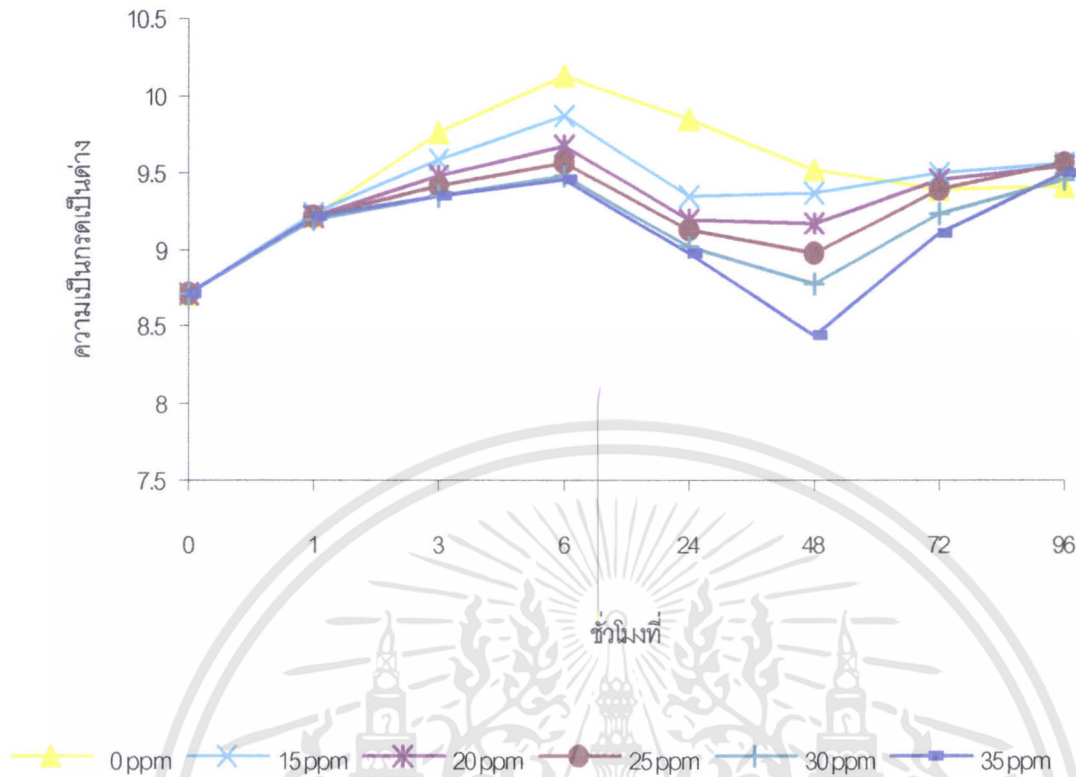
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ 6.5 – 9.0 (ไมตรี และ จารุวรรณ , 2528)

ก่อนการเติมฟอร์มาลินค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยของน้ำ 8.715 และหลังจากการเติมฟอร์มาลินพบว่า ชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 9.218 - 10.121 ส่วนที่ความเข้มข้น 15 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 9.230 - 9.861 ที่ความเข้มข้น 20 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 9.156 - 9.661 ที่ความเข้มข้น 25 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 8.961 - 9.559 ที่ความเข้มข้น 30 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 8.780 - 9.475 และที่ความเข้มข้น 35 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 8.442 - 9.494 (ตารางผนวกที่ 2) จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในทุกชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลินมีช่วงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง ชั่วโมงที่ 24 ถึงชั่วโมงที่ 48 ยกเว้นในชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 ซึ่งพบว่า ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำตลอดการทดลอง โดยชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 10 ที่ชั่วโมงที่ 6 เนื่องจากชุดการทดลองที่ 20 , 25 , 30 และ 35 ppm สามารถฆ่าแพลงก์ตอนได้หมดที่ชั่วโมงที่ 6 , 3 , 3 และ 1 ตามลำดับ สาเหตุที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นมาจากการที่ แพลงก์ตอน *Oscillatoria* sp. ยังมีชีวิตอยู่ทำให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มออกซิเจน และลดคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเนื่องจากฟอร์มาลินมีการดึงออกซิเจนจากน้ำเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก และฟอร์มาลินยังไปฆ่าแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ทำให้ลดการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดลองพบว่าทุกชุดทดลองที่เติมฟอร์มาลิน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้นชุดควบคุม และชุดทดลองที่ 15 ppm ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 6 มีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากชั่วโมงที่ 6 ถึงชั่วโมงที่ 48 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าลดลง หลังชั่วโมงที่ 48 ถึงชั่วโมงที่ 96 ชุดทดลองที่ใส่ฟอร์มาลินทั้งหมด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งในชุดควบคุมหลังจากชั่วโมงที่ 6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะลดลงตลอด สาเหตุการเปลี่ยนแปลงจากการที่ฟอร์มาลินมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเพราะฟอร์มาลินเปลี่ยนไปเป็นกรดฟอร์มิก เมื่อฟอร์มาลินเริ่มสลายตัวจึงทำให้กรดฟอร์มิกลดค่าความเป็นกรดเป็นด่างจึงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



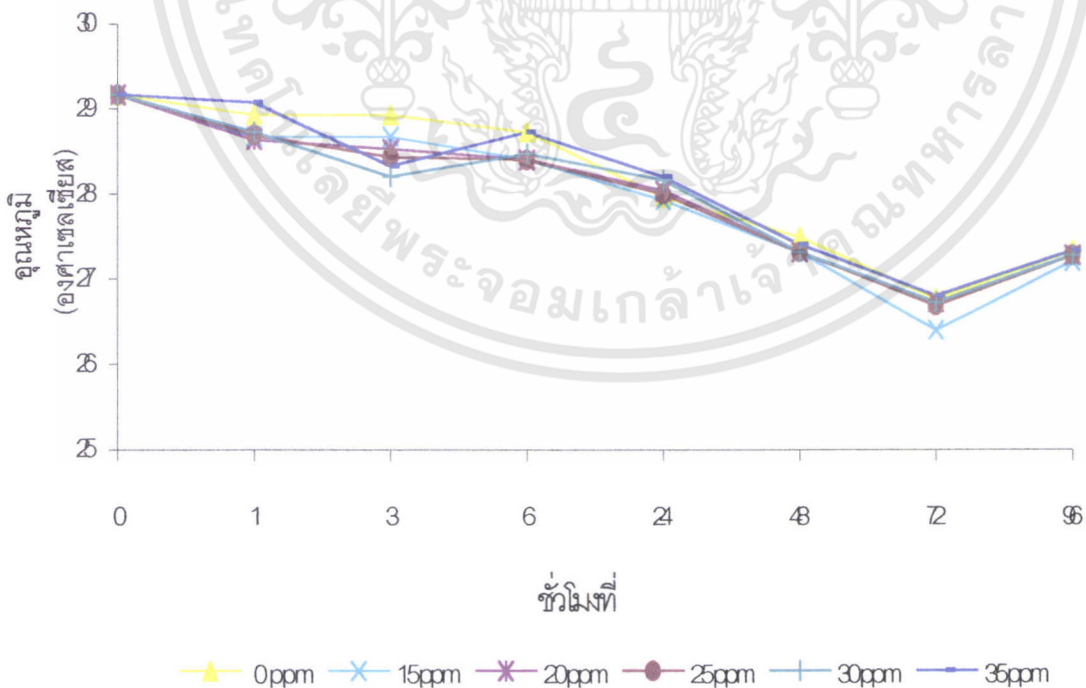
ภาพที่ 3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติค่าความเป็นกรดเป็นด่าง พบว่าชั่วโมงที่ 1 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ชั่วโมงที่ 3 ชุดทดลองที่ 15 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 20 , 25 , 30 , 35 ppm และชุดควบคุม แต่ชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับ ชุดทดลองที่ 20 , 25 , 30 และ 35 ppm ชั่วโมงที่ 6 ชุดควบคุมและชุดทดลองที่ 15 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับทุกชุดทดลอง แต่ชุดควบคุมที่ 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 25 , 30 และ 35 ppm ชั่วโมงที่ 24 ชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับทุกชุดทดลอง แต่ชุดควบคุมที่ 15 , 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 20 , 25 , 30 และ 35 ppm ชั่วโมงที่ 48 ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ชั่วโมงที่ 72 ชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับทุกชุดการทดลอง แต่ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ชั่วโมงที่ 96 ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ 15 , 30 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ppm แต่ชุดควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm (ตารางผนวกที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. อุณหภูมิ (Temperature)

ก่อนการเติมฟอร์มาลิน อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมีค่า 29.2 องศาเซลเซียส หลังจากเติมฟอร์มาลิน ที่ชุดควบคุมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.8 – 28.9 ส่วนที่ความเข้มข้น 15 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 26.4 – 28.7 ที่ความเข้มข้น 20 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 26.7 – 28.6 ที่ความเข้มข้น 25 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 26.7 – 28.7 ที่ความเข้มข้น 30 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 26.7 – 28.7 และที่ความเข้มข้น 35 ppm มีค่าอยู่ในช่วง 29.8 – 29.2 โดยในชุดทดลองหลังใส่ฟอร์มาลิน มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ 26.4 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 72 ที่ความเข้มข้น 15 ppm และอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 29.1 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 1 ที่ความเข้มข้น 35 ppm (ตารางผนวกที่ 3) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำจะผันแปรตามอากาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์อุณหภูมิที่ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ดี อยู่ระหว่าง 25 – 32 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในในแต่ละชุดการทดลองจะคล้ายคลึงกัน คือ ในชั่วโมงที่ 1 ถึง 24 อุณหภูมิจะคงที่ หลังชั่วโมงที่ 24 ถึง 72 จะลดลง และลดต่ำสุดที่ ชั่วโมงที่ 72 สาเหตุเนื่องมาจากที่ชั่วโมงที่ 72 เกิดฝนตก ทำให้อุณหภูมิกว้างต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิในน้ำต่ำไปด้วย และอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นในชั่วโมงที่ 96 (ภาพที่ 4) แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยพบว่า อุณหภูมิของทุกชุดทดลองอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ



ภาพที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

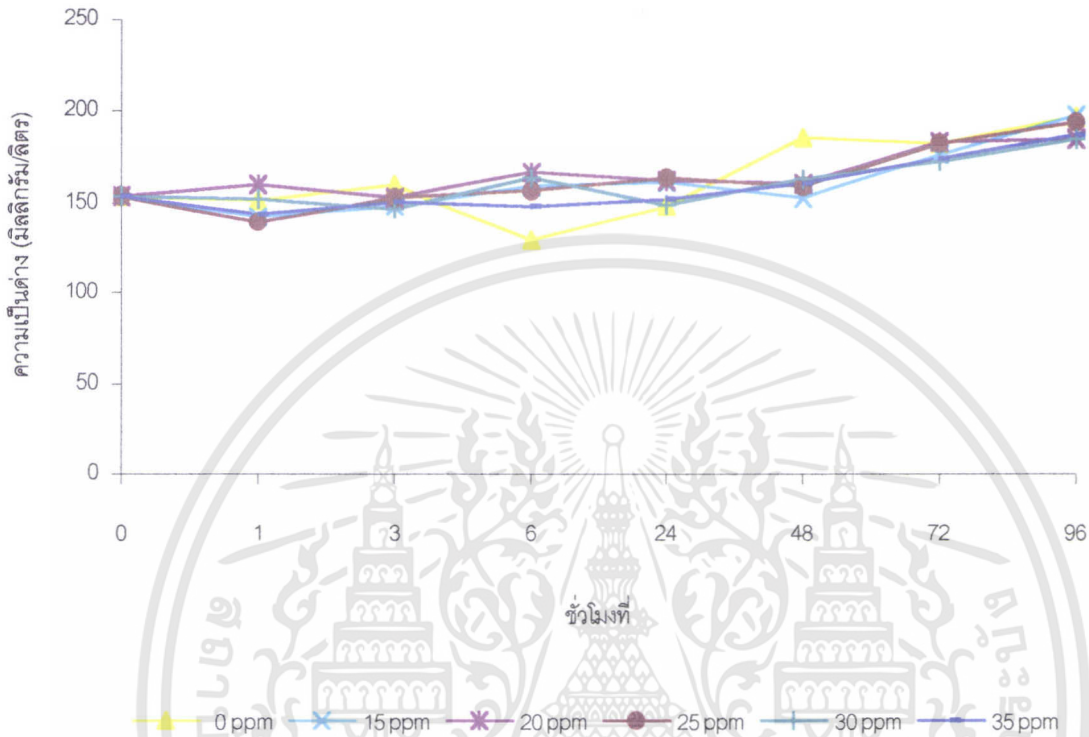
### 3. ความเป็นด่าง (Alkalinity)

คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นด่างต่อแหล่งน้ำคือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างรวดเร็วเกินไป ความเป็นด่างของน้ำจึงใช้เป็นเครื่องแสดงความสามารถของน้ำที่ป้องกันไม่ให้ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเปลี่ยนแปลง (buffering capacity) หากปรากฏว่าแหล่งน้ำมีค่าความเป็นด่างต่ำ แสดงว่ามี buffering capacity น้อย ค่าความเป็นด่างของน้ำจะเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 120 หรือ สูงกว่า (ไมตรี และ จารุวรรณ , 2528)

ก่อนการเติมฟอร์มาลิน ค่าความเป็นด่างเฉลี่ยของน้ำ มีค่าเป็น 153.3 และหลังการเติมฟอร์มาลินพบว่า ชุดควบคุมมีความเป็นด่างต่ำสุดเป็น 129.3 ในชั่วโมงที่ 6 และมีค่าสูงสุดเป็น 197.3 ในชั่วโมงที่ 96 ส่วนในชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลินค่าความเป็นด่างเฉลี่ย มีค่าต่ำสุดเป็น 139.3 ในชั่วโมงที่ 1 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 25 ppm ค่าความเป็นด่างสูงสุดเป็น 198.0 ในชั่วโมงที่ 96 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 15 ppm การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างพบว่าค่าความเป็นด่างของทุกชุดทดลองตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึง ชั่วโมงที่ 48 มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่หลังจากชั่วโมงที่ 48 ถึง ชั่วโมงที่ 96 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง ค่าความเป็นด่างมีความเปลี่ยนแปลงน้อยน้อยและไม่ชัดเจน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ เต็มดวง และคณะ (2530) แสดงว่าฟอร์มาลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่าง ส่วนการที่ค่าความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากการที่คาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำแล้วกลายเป็นคาร์บอนเนต (ภาพที่ 5) จากการศึกษาพบว่าค่าความเป็นด่างของทุกชุดทดลอง อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตสัตว์น้ำ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าความเป็นด่าง พบว่าในชั่วโมงที่ 1 ชุดทดลองที่ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับทุกชุดการทดลองรวมทั้งชุดควบคุมยกเว้นชุดการทดลองที่ 25 ppm ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 25 ppm ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับทุกชุดการทดลองรวมทั้งชุดควบคุมยกเว้นชุดการทดลองที่ 20 ppm ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ส่วนชั่วโมงที่ 3 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดควบคุมที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ยกเว้นกับชุดทดลองที่ 30 ppm ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม ชั่วโมงที่ 6 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 15 , 25 และ 35 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 20 และ 30 ppm ชั่วโมงที่ 24 , 72 และ 96 ชุดควบคุมและทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนชั่วโมงที่ 48 ทุกชุดการ

ทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ทุกชุดการทดลอง จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม (ตารางผนวกที่ 4)



ภาพที่ 5 ค่าความเป็นต่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง

#### 4. ค่าไนไตรท์ (Nitrite)

ไนไตรท์โดยปกติเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้เช่นเดียวกับแอมโมเนีย แต่มักเกิดในปริมาณไม่มากในแหล่งน้ำธรรมชาติ เว้นแต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารที่โปรตีนสูง ซึ่งไนไตรท์จะเกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาระหว่างกลางของขบวนการ nitrification โดยแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียกลายเป็นสารประกอบพวกไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และ ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ตามลำดับ (ไมตรี และ จารุวรรณ , 2528) ซึ่งไนเตรทที่ได้จากขบวนการ nitrification จะไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ถ้าเป็นไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ นอกจากนี้ถ้าอยู่ในสภาพที่ขาดอากาศ จะเกิดปฏิกริยารีดักชันไนเตรทให้กลับไปเป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียที่อยู่ในดินหรือน้ำ ไนไตรท์จะไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเลือด และระบบเลือดทำให้เลือดคั่งและที่ร้ายแรงที่สุดคือไนไตรท์ จะไปทำให้เมธิโมโกลบินไปออกซิไดส์เหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์รัส ( $\text{Fe}^{++}$ ) ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน ให้อยู่ในรูปเฟอร์ริก ( $\text{Fe}^{+++}$ ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ในเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

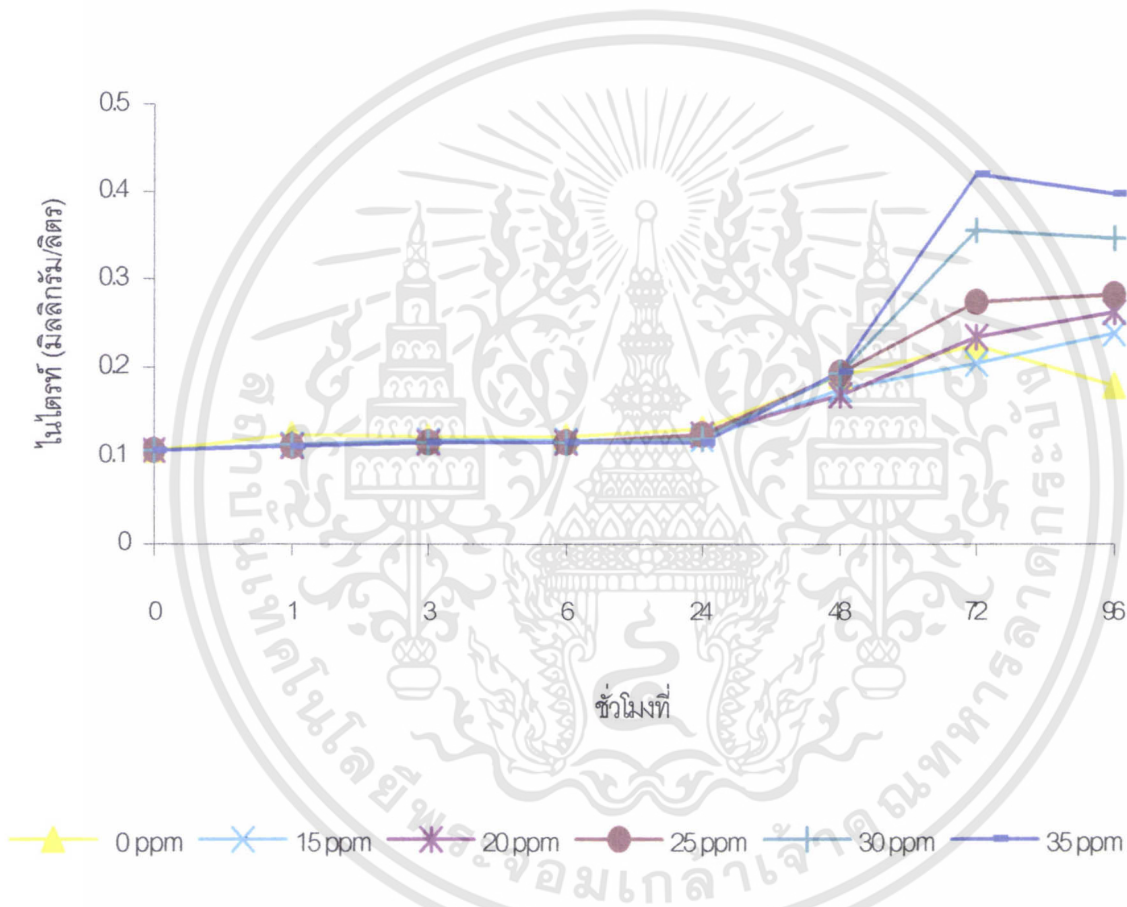
เลือกให้เป็น เมธิโมโกลบิน (methemoglobin) โดยเม็ดเลือดจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมกับออกซิเจนได้ ส่งผลให้เลือดไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทำให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจน และเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำตาย (Wetzel , 1975) ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำควรมีค่าเท่ากับ 0.359 มิลลิกรัม/ลิตร (Sprague , 1971 อ้างโดย ศิริวรรณ , 2538)

ก่อนการเติมฟอร์มาลิน ค่าไนไตรท์เฉลี่ยของน้ำมีค่าเป็น 0.1065 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการเติมฟอร์มาลินพบว่า ชุดควบคุมมีค่าไนไตรท์ต่ำสุดเป็น 0.12267 ในชั่วโมงที่ 3 และมีค่าสูงสุดเป็น 0.2244 ในชั่วโมงที่ 72 ส่วนในชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลินค่าไนไตรท์เฉลี่ย มีค่าต่ำสุดเป็น 0.11047 ในชั่วโมงที่ 1 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 35 ppm ค่าไนไตรท์เฉลี่ยสูงสุดเป็น 0.4196 ในชั่วโมงที่ 72 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 35 ppm การเปลี่ยนแปลงของค่าไนไตรท์พบว่าค่าไนไตรท์ของชุดทดลองตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึง ชั่วโมงที่ 24 มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่หลังจากชั่วโมงที่ 24 ถึง ชั่วโมงที่ 72 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ชุดควบคุมและชุดทดลองที่ 25 , 30 และ 35 ppm ค่าไนไตรท์มีค่าสูงที่สุด ในชั่วโมงที่ 72 เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* สามารถช่วยขจัดพวกไนโตรเจนโดยการนำไปใช้เพื่อเพิ่มอาหารให้กับตนเองจึงเป็นการลดปริมาณไนไตรท์ เมื่อแพลงก์ตอนตายจึงทำให้ค่าไนไตรท์สูงขึ้นและค่าแอมโมเนียทั้งหมดก็สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ได้โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลางของ nitrification และหลังจากชั่วโมงที่ 72 ถึง 96 ค่าไนไตรท์มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย ยกเว้นชุดทดลองที่ 15 และ 20 ppm ยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อย ทำให้ไนเตรท เปลี่ยนรูปกลับมาเป็นไนไตรท์ (ภาพที่ 6) จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองค่าไนไตรท์อยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นชุดการทดลองที่ 35 ppm ปริมาณไนไตรท์มีอยู่ระหว่าง 0.11047 – 0.4196 ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำในช่วงชั่วโมงที่ 72 ถึงชั่วโมงที่ 96

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าไนไตรท์ พบว่าในชั่วโมงที่ 1 และ 3 ทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม ส่วนชั่วโมงที่ 6 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ชั่วโมงที่ 24 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 20 และ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 15 , 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 15 , 20 , 25 และ 30 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 15 , 30 และ 35 ppm แต่ชุดทดลองที่ 35 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 20 และ 25 ppm ชั่วโมงที่ 48 ชุดควบคุมและทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ชั่วโมงที่ 72 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm ชั่วโมงที่ 96 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 20 , 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 20 , 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm (ตารางผนวกที่ 5)



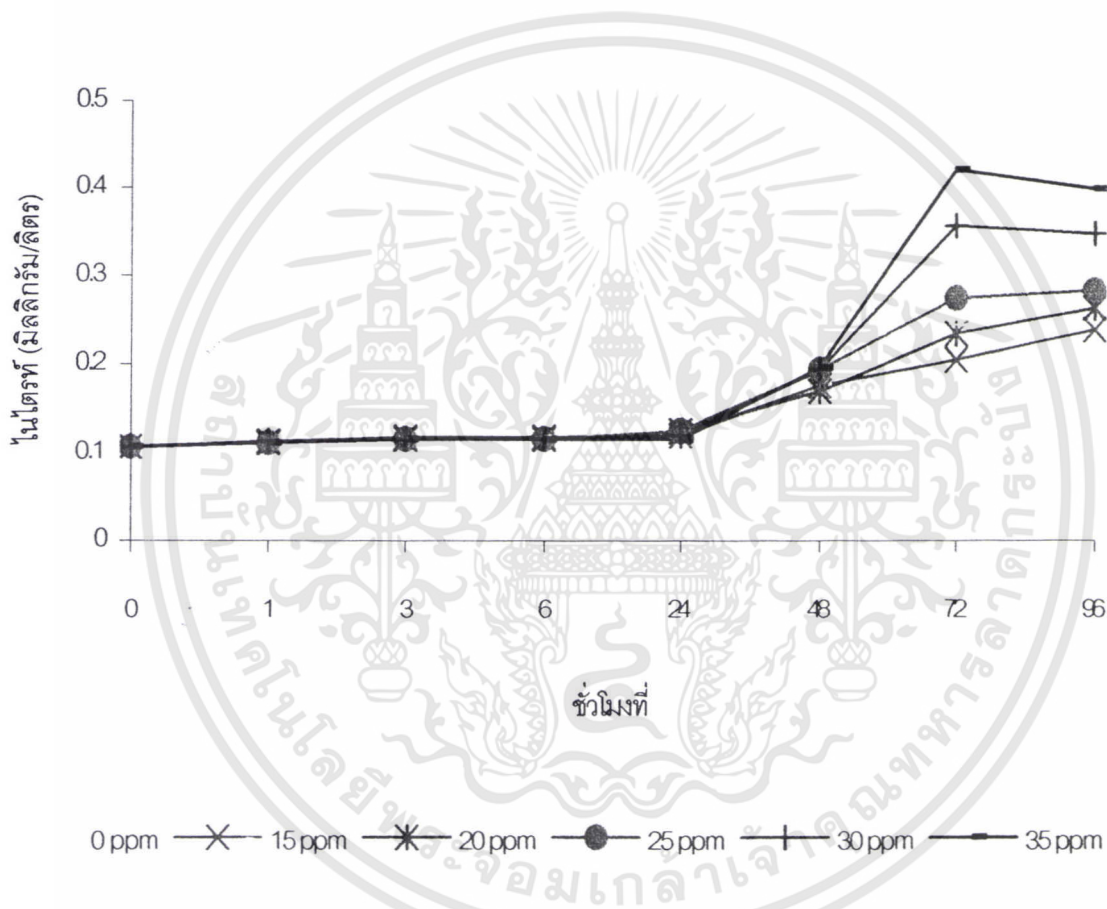
ภาพที่ 6 ค่าไนเตรตเฉลี่ยตลอดการทดลอง

##### 5. ค่าแอมโมเนีย (Total ammonia)

แอมโมเนียที่อยู่ในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia ,  $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียไอออน (ionized ammonia) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm ชั่วโมงที่ 96 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 20 , 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 20 , 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm (ตารางผนวกที่ 5)



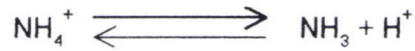
ภาพที่ 6 ค่าไนเตรทเฉลี่ยตลอดการทดลอง

##### 5. ค่าแอมโมเนีย (Total ammonia)

แอมโมเนียที่อยู่ในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ ได้แก่ แอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia ,  $\text{NH}_3$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียไอออน (ionized ammonia) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

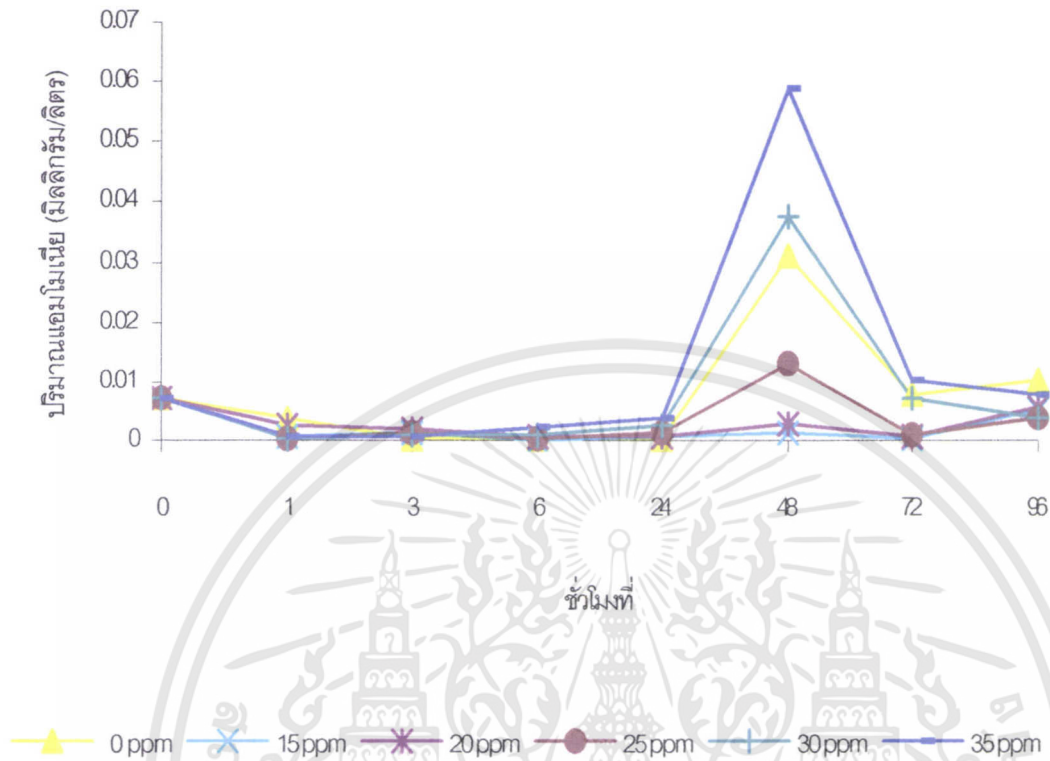
สัตว์น้ำ (Hans และคณะ , 1994) ทั้ง 2 รูปแบบของแอมโมเนียจะอยู่ในรูปใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างและ อุณหภูมิ ดังสมการ



กล่าวคือในสภาวะที่ความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะมีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ (Boyd , 1988) แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ (Organic substance) ในรูปของอาหารที่ให้สัตว์น้ำ ของเสียหรือเศษอาหารที่เหลืออยู่จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ โดยมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำลดลง เนื่องจากเหงือกถูกทำลาย นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย - ไนโตรเจนมีขึ้นหลังจากการตายของแพลงก์ตอนจำนวนมาก ความทนทานของสัตว์น้ำต่อแอมโมเนียนั้นขึ้นอยู่กับชนิด , สรีระของสัตว์น้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ปริมาณแอมโมเนียในระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 0.4 - 2 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่ควรมเกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร (ชลด , 2535)

ก่อนการเติมฟอร์มาลิน ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดของน้ำมีค่าเป็น 0.0071 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการเติมฟอร์มาลินพบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณแอมโมเนียต่ำสุดเป็น 0.00022 ในชั่วโมงที่ 3 และมีค่าสูงสุดเป็น 0.10320 ในชั่วโมงที่ 96 ส่วนในชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลิน ปริมาณแอมโมเนีย มีค่าต่ำสุดเป็น 0.00012 ในชั่วโมงที่ 6 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 15 ppm ปริมาณแอมโมเนียสูงสุดเป็น 0.05870 ในชั่วโมงที่ 48 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 35 ppm ส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียพบว่าปริมาณแอมโมเนียของชุดทดลองตั้งแต่ ชั่วโมงที่ 1 ถึง ชั่วโมงที่ 24 มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนียสามารถรวมตัวกับฟอร์มาลินได้ แต่เริ่มการทดลองมีค่าแอมโมเนียน้อยจึงไม่เห็นความแตกต่าง แต่หลังจากชั่วโมงที่ 24 ถึง ชั่วโมงที่ 48 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในชุดทดลองที่ 25 , 30 และ 35 ppm ปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงที่สุด ในชั่วโมงที่ 48 เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. มีการตายและเกิดการเน่าสลายที่ชั่วโมงที่ 3 , 3 และ 1 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าแอมโมเนียมีปริมาณมาก อีกทั้งประสิทธิภาพของฟอร์มาลินเริ่มเสื่อมลง ยกเว้นชุดทดลองที่ 15 และ 20 ppm ยังคงคงที่ เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. มีการตายและเกิดการเน่าสลาย ช้ากว่า คือ ชั่วโมงที่ 24 และ 6 ตามลำดับ และหลังจากชั่วโมงที่ 48 ถึง 72 ปริมาณแอมโมเนียมีการเปลี่ยนแปลงลดลง ส่วนชุดทดลองที่ 15 และ 20 ppm กลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. เริ่มมีการตายและเกิดการเน่าสลายมากขึ้นจึงมีการสะสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 7) จากการทดลองศึกษาพบว่า ปริมาณแอมโมเนียในชุดควบคุม และทุกชุดการทดลองมีค่าเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

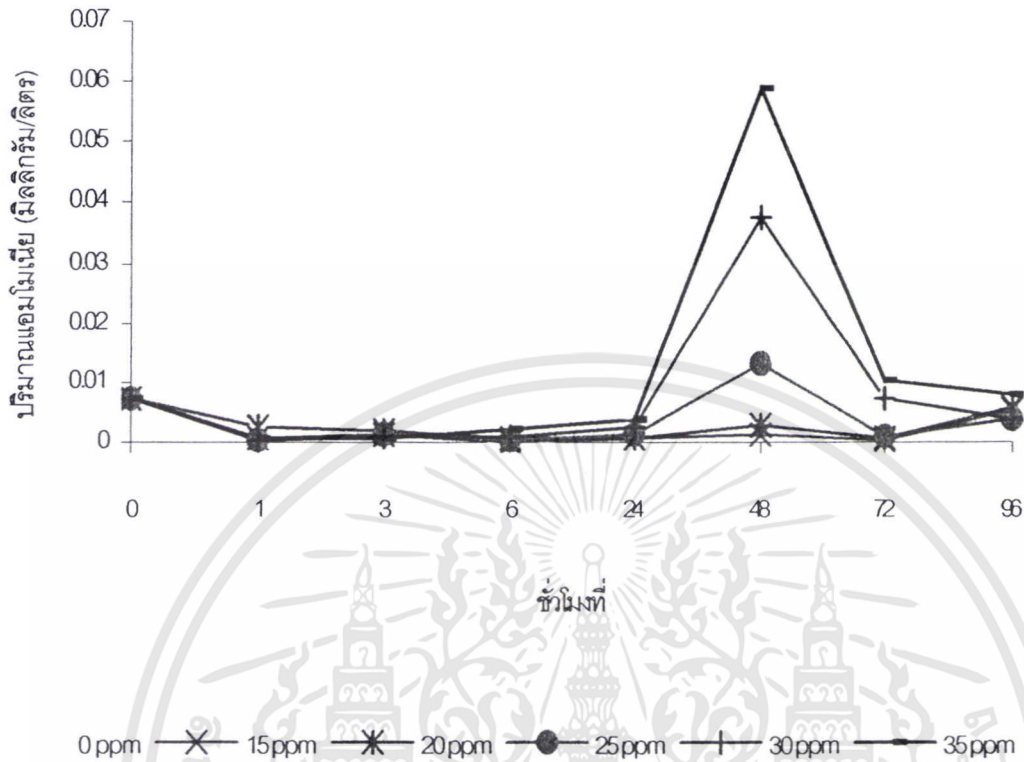
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ค่าปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดตลอดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด พบว่าในชั่วโมงที่ 1, 3 และ 96 ชุดควบคุมและทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนชั่วโมงที่ 6 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15, 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 30 ppm แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm และชุดทดลองที่ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 30 ppm ชั่วโมงที่ 24 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm ชั่วโมงที่ 48 ชุดการทดลองที่ 35 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม และทุกชุดการทดลอง ส่วนชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 25 และ 30 ppm แต่ชุดการทดลองที่ 30 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับทุกชุดการทดลอง และชุดการทดลองที่ 15 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 25 ppm ชั่วโมงที่ 72 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ค่าปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดตลอดการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด พบว่าในชั่วโมงที่ 1, 3 และ 96 ชุดควบคุมและทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนชั่วโมงที่ 6 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15, 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 30 ppm แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm และชุดทดลองที่ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 30 ppm ชั่วโมงที่ 24 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 25 ppm แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 25 และ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับชุดทดลองที่ 30 ppm แต่ชุดทดลองที่ 25 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm ชั่วโมงที่ 48 ชุดการทดลองที่ 35 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดควบคุม และทุกชุดการทดลอง ส่วนชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 25 และ 30 ppm แต่ชุดการทดลองที่ 30 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับทุกชุดการทดลอง และชุดการทดลองที่ 15 และ 20 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 25 ppm ชั่วโมงที่ 72 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับที่ชุดการทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm (ตารางผนวกที่ 6)

## 6. แอมโมเนียอิสระ (Unionized ammonia)

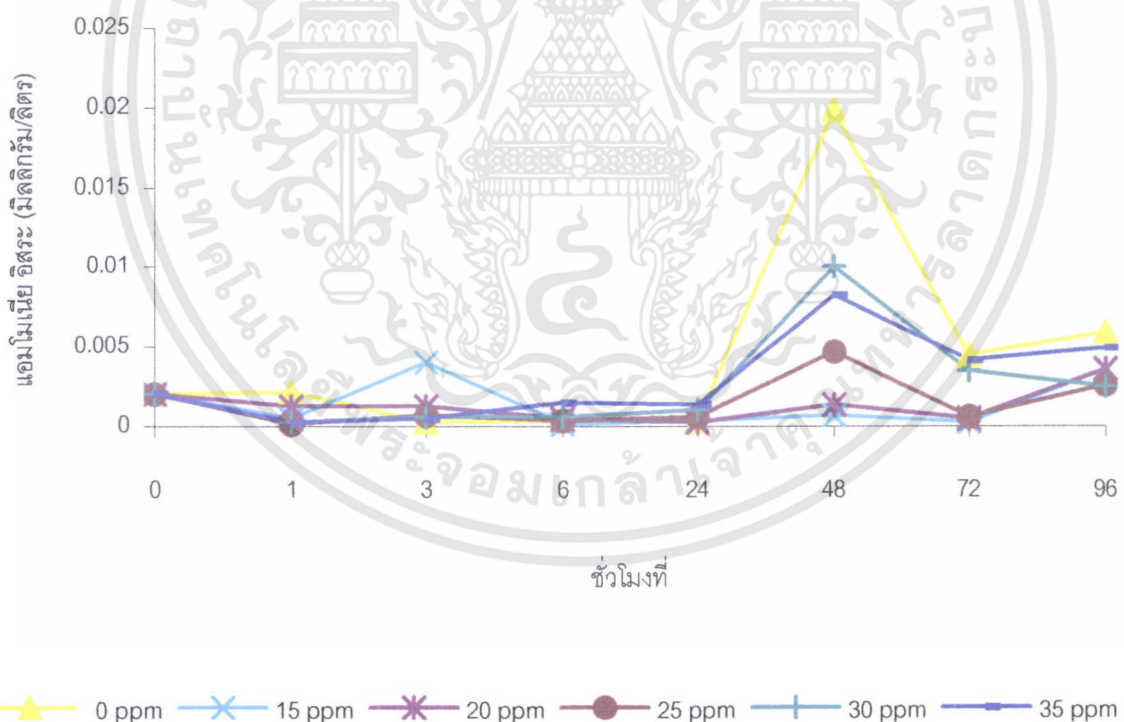
แอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia) เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สำหรับปริมาณแอมโมเนียอิสระในธรรมชาติที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำมีค่าไม่เกิน 0.0396 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณแอมโมเนียอิสระที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลาไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร (ไมตรี และจารุวรรณ , 2528)

ก่อนการเติมฟอร์มาลิน ปริมาณแอมโมเนียอิสระของน้ำมีค่าเป็น 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการเติมฟอร์มาลินพบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณแอมโมเนียอิสระต่ำสุดเป็น 0.00018 ในชั่วโมงที่ 3 และมีค่าสูงสุดเป็น 0.05960 ในชั่วโมงที่ 96 ส่วนในชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลิน ปริมาณแอมโมเนียอิสระ มีค่าต่ำสุดเป็น 0.00010 ในชั่วโมงที่ 6 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 15 ppm ปริมาณแอมโมเนียอิสระสูงสุดเป็น 0.01003 ในชั่วโมงที่ 48 ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 30 ppm ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียอิสระพบว่าปริมาณแอมโมเนียอิสระของชุดทดลองตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึง ชั่วโมงที่ 24 มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่หลังจากชั่วโมงที่ 24 ถึง ชั่วโมงที่ 48 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ชุดทดลองที่ 25 , 30 และ 35 ppm ปริมาณแอมโมเนียอิสระ มีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงที่ 48 เนื่องจากในชั่วโมงที่ 48 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง และมีปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดสูง จึงมีโอกาสทำให้ปริมาณแอมโมเนียอิสระลดลงโดยจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียอิสระ และหลังจากชั่วโมงที่ 48 ถึง 72 พบว่าปริมาณแอมโมเนียอิสระมีการเปลี่ยนแปลงลดลงตามปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด หลังจากชั่วโมงที่ 72 ถึง 96 ค่าแอมโมเนียอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูง และมีปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียอิสระลดลง โดยจะเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียอิสระ (ภาพที่ 8) จากการทดลองศึกษาพบว่า ปริมาณแอมโมเนียอิสระในชุดควบคุมและทุกชุดการทดลองที่เติมฟอร์มาลิน ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแอมโมเนียอิสระ พบว่าชั่วโมงที่ 1 , 3 และ 96 ชุดควบคุมและทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนชั่วโมงที่ 6 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 , 20 , 25 และ 30 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 35 ppm และชุดทดลองที่ 35 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 20 และ 30 ppm ชั่วโมงที่ 24 ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 30 ppm แต่ชุดการทดลองที่ 20 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 ppm ส่วนชุดทดลองที่ 30 ppm ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับชุดทดลองที่ 35 ppm แต่ชุดการทดลองที่ 35 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm ชั่วโมงที่ 48 ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดควบคุม ส่วนชุดการทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 25 , 30 และ 35 ppm ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และชุดการทดลองที่ 20 , 25 และ 35 ppm ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ชุดการทดลองที่ 15 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm เช่นเดียวกับที่ชุดการทดลองที่ 20 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 30 ppm ชั่วโมงที่ 72 ชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm เช่นเดียวกับที่ชุดการทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ชุดควบคุม และชุดทดลองที่ 30 และ 35 ppm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) กับชุดทดลองที่ 15 , 20 และ 25 ppm (ตารางผนวกที่ 7)



ภาพที่ 8 ค่าแอมโมเนียอิสระตลอดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

การใช้ฟอร์มาลินเพื่อควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ใช้ปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. เริ่มต้นที่  $5 \times 10^5$  เซลล์ ต่อมิลลิลิตร โดยใช้ปริมาตร 3 ลิตรต่อ 1 ตู้ทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 0 (ชุดควบคุม) , 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ppm โดยศึกษาคุณภาพน้ำจาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง , อุณหภูมิ , ความเค็ม , ไนโตรเจน , แอมโมเนีย และแอมโมเนียอิสระ ก่อนเติมฟอร์มาลิน และหลังเติมฟอร์มาลิน ชั่วโมงที่ 1 , 3 , 6 , 24 , 48 , 72 และ 96 พบว่าทุกความเข้มข้นของฟอร์มาลินสามารถควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ได้โดย ที่ความเข้มข้น 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 แพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. ตายหมดที่ชั่วโมงที่ 24 , 6 , 3 , 3 และ 1 ตามลำดับ และความเข้มข้นของฟอร์มาลินที่เหมาะสมที่สุดต่อการควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. อยู่ที่ 20 ppm

การใช้ฟอร์มาลินเพื่อควบคุมความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* sp. พบว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลินทุกค่าที่ใช้ในการทดลองสามารถควบคุม *Oscillatoria* sp. ได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยค่าความเข้มข้นที่สามารถฆ่า *Oscillatoria* sp. ได้เร็วที่สุด คือ ที่ 35 ppm ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นจากการทดลองผลของคุณภาพน้ำ พบว่าคุณภาพของน้ำที่เหมาะสมที่สุดต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำโดยไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำในการทดลองนี้ อยู่ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลิน 20 ppm ซึ่งเป็นค่าที่มีความเป็นพิษต่อคุณภาพน้ำน้อยที่สุดและมีระยะเวลาในการฆ่า *Oscillatoria* sp. ที่เหมาะสม คืออยู่ที่ชั่วโมงที่ 6 ส่วนค่าคุณภาพน้ำที่ 20 ppm ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าต่ำที่สุด  $8.715 \pm 0.016$  ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $9.661 \pm 0.049$  ในชั่วโมงที่ 6 , อุณหภูมิมีค่าต่ำที่สุด  $26.7 \pm 0.2$  องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 72 และสูงที่สุด  $29.2 \pm 0.1$  องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 0 , ค่าความเป็นด่างมีค่าต่ำที่สุด  $153.3 \pm 6.4$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $184.7 \pm 10.1$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 96 , ไนโตรเจนมีค่าต่ำที่สุด  $0.1065 \pm 0.0017$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 0 และสูงที่สุด  $0.2625 \pm 0.0425$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 96 , แอมโมเนียมีค่าต่ำที่สุด  $0.00052 \pm 0.0004$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 6 และสูงที่สุด มิลลิกรัม/ลิตร  $0.0071 \pm 0.0096$  ในชั่วโมงที่ 0 และแอมโมเนียอิสระมีค่าต่ำที่สุด  $0.00025 \pm 0.0002$  มิลลิกรัม/ลิตร ในชั่วโมงที่ 24 และสูงที่สุด  $0.0036 \pm 0.0029$  ในชั่วโมงที่ 96 มิลลิกรัม/ลิตร

ค่าความเข้มข้นที่ 20 ppm นี้จะเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป ซึ่งสามารถทนต่อคุณภาพน้ำดังกล่าวได้ และความเข้มข้นที่ 20 ppm นี้เป็นความเข้มข้นที่น้อยกว่าความเข้มข้นที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับปอปลาในการรักษาโรคปลา โดยใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลาานซึ่งความเข้มข้นที่ใช้รักษาโรค อยู่ที่ 25 – 50 ppm แล้วแต่ชนิดของปรสิต ฟอ์มาลินยังมีผลต่อออกซิเจน คือ ทำให้ออกซิเจนลดลงจึงควรใช้ในปอปลาชนิดที่ทนต่อสภาวะที่ออกซิเจนลดต่ำลงได้ เช่น ปลาตุ๊ก และปลาช่อน ส่วนปลา และสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ที่ความเข้มข้นนี้ไม่มีผล คือ ปลาไน และ กุ้งทะเล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลอง ควรหาวิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยใช้เครื่องมือที่มีความสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการทดลอง
2. ในการทดลองควรลดอัตราเสี่ยงที่จะส่งผลทำให้ค่าผิดพลาด เช่น ป้องกันน้ำฝนที่อาจทำให้คุณภาพน้ำของการทดลองเปลี่ยนไป , ระวัง และ ป้องกัน อันตรายจากบุคคล
3. ควรมีการทดลองหาค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือทดลอง หรือ ค่าความผิดพลาด จากตัวบุคคล เพื่อความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง
4. หลังเติมฟอร์มาลินพบว่าค่าคุณภาพน้ำจากทุกความเข้มข้นของฟอร์มาลินไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ที่ความเข้มข้นของฟอร์มาลินมากจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยพิษของฟอร์มาลินเอง ซึ่งในการใช้กำจัดแพลงก์ตอนพืชไม่จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นสูงมาก ควรใช้ความเข้มข้นที่แนะนำในการทดลองหรืออาจเพิ่มขึ้นในการนำไปใช้จริง เนื่องจากปัจจัยหลาย ๆ อย่างมีผลต่อการสลายตัวของฟอร์มาลิน เช่น อุณหภูมิ , ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง , แสงแดด และออกซิเจน เป็นต้น แต่ความเข้มข้นที่ใช้ไม่ควรเกิน 25 – 30 ppm เพราะเป็นความเข้มข้นที่ใช้ในการกำจัด และป้องกันปรสิต ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

## เอกสารอ้างอิง

กมลพร ภวภูตานนท์ และสุปราณี ชินบุตร. 2526. ผลิตปลาน้ำจืดของไทย. สถาบัน  
ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 63 น.

จามรี ภูเงิน. 2540. การประเมินการใช้ฟอร์มาลิน และคอเปอร์ซัลเฟตเพื่อควบคุมความ  
หนาแน่นของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon fabricius*).  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลีมสุวรรณ. 2528 โรคปลา. ภาควิชาชีววิทยาประมง , คณะประมง , มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 227 น.

\_\_\_\_\_. 2530 ก. โรคกุ้งทะเลที่มีสาเหตุมาจากไวรัส และแบคทีเรีย, น. 9 – 26 ใน  
เอกสารประกอบการสัมมนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ครั้งที่ 1. คณะประมง, มหาวิตย  
ลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2530 ข. ปัญหาในการอนุบาลลูกกุ้งทะเล เนื่องจากชูโอแทมเนียม และ  
ราแลคคินีเดียม, น. 62 – 72 ใน เอกสารประกอบการสัมมนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล  
ครั้งที่ 1. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2535. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. ฐานเศรษฐกิจ จตุจักร , กรุงเทพฯ. 202 น.

เต็มดวง พึ่งขจรบุญ. 2529. ความเป็นพิษและผลของฟอร์มาลินในระดับที่ไม่ทำให้ปลา  
ตายต่อปลาน้ำจืดบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.

เต็มดวง พึ่งขจรบุญ, ชลอ ลีมสุวรรณ และ สุปราณี ชินบุตร. 2530 ความเป็นพิษของ  
ฟอร์มาลินต่อปลาไน , น. 13 – 22 . ในรายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 25  
สาขาประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ.

- มะลิวรรณ แสงจันทร์. 2531. การสลายตัวของฟอร์มาลินและความเป็นพิษต่อ *Aeromonas hydrophila* และแพลงก์ตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจรรุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำ และวิธีการวิเคราะห์ สำหรับงานวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 115 น.
- ฝ่ายวิชาการและพัฒนาผลิตภัณฑ์. 2542. การควบคุมสาหร่ายขนแมวในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. โลกสัตว์น้ำ, 5(2) : 2-3.
- ลิลลา เมืองแป้น. 2528. โปรโตซัวที่ทำให้เกิดปัญหาในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล (*Penaeus monodon* & *P. merguensis*). เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2528. ฝ่ายทดลองและวิจัยเพื่อการเพาะเลี้ยง, กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 13 น.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2524. แพลงก์ตอนวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 329 น.
- วินิจ ต้นสกุล, ทองสุข แซ่ลี่ และ เอกลักษณ์ แซ่โล้ว. 2530. พิษเฉียบพลันและผลของการใช้ฟอร์มาลินต่อลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน. น. 23 - 33. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 25 สาขาประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วีระพร ศรีอรุณพรหม, 2538. ความเป็นพิษของฟอร์มาลิน แกลื้อแกง โทวิโดน ไอโอดีน และ เบนซิลโคเนียมคลอไรด์ในปลาตุลุมผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมลักษณ์ คันธะพุกษ์, 2526. ลักษณะทางชีววิทยาบางประการ และวิธีการกำจัดหุโ  
แถมเนียมชนิด A (*Zoothamnium* sp. A) ด้วยสารเคมีในบ่อเพาะลูกกุ้งกุลาดำ.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลง  
กรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุภาวดี โกยคุลย์, 2537. ประสิทธิภาพของฟอร์มาลินในการลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ  
และผลกระทบต่อกุ้งกุลาดำ และปลาตุ๊กตาส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิริ ทุกขวินาศ และ เพิ่มศักดิ์ เฟิงมาก, 2528. พิษเฉียบพลันของฟอร์มาลินต่อลูกกุ้งแชนไวย  
(*Penaeus merquiensis* de man) วัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 29/2528.  
สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จ.สงขลา, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 18 น.

สิทธิ บุญยรัตนผลิน. 2524. สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดโรคสัตว์น้ำ. สถาบัน  
ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 68 น.

ศิริวรรณ คัดประเสริฐ, 2538. การใช้สารฆ่าทะเลช่วยลดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้ง  
จากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพระบุตร, เพิ่มศักดิ์ เฟิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโชค สุวรรณมณี  
และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แบบ  
พัฒนาเอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2532 สถาบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรม  
ประมง, กรุงเทพฯ. 35 น.

ยนต์ มุสิก และ ประดิษฐ์ ชนชื่นชอบ. 2530. ความเป็นพิษของฟอร์มาลินต่อกุ้งทะเล และ  
ความเป็นไปได้ในการใช้ฟอร์มาลินกำจัดโรค และปรสิตของกุ้งทะเล, น. 90 – 95.  
ใน เอกสารประกอบการสัมมนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ครั้งที่ 1. คณะประมง,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภัทรา ปัญญาวัฒนกิจ. 2540. อันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 45(145) : 33 – 34.

อดุลย์ แม่เฒ่า, ประดิษฐ์ ชนชื่นชอบ, บุญเกิด โสมปัดทุม และอุดม บุญชม. 2530. ระดับความเป็นพิษของฟอร์มาลินต่อลูกกุ้งกุลาดำ. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดสตูล, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 13 น.

Allison, R. 1962. The effect of formalin and other parasiticides upon oxygen concentrations in ponds. Proc. Annu. Conf. Southeast Assoc. Game Fish Comm. 16 : 446 – 449.

Bill, T.D., L.L. Marking and J.H. Chandler. 1977. Fomalin : Its toxicity to nontarget aquatic organisms, persistence and counteraction. U.S. Fish Wildl. Serv. Invest. Fish. Control. 73 : 1 – 7.

Boyd , C.E. 1989. Water Quality Management Aeration in Shrimp Farming. Fisherier and Allied Aquaculture Department Series 2 Auburn University , Alabama. 77 p.

Hans , A., H.V. Jay and K.K. Mak. 1994. Introduction to The Gerera Principles of Aquaculture . Food Products Press, In Imprint of the Hawort Press , Inc. New York. 172 p.

Hose, J.E. and D.V. Lightner. 1980. Absence of formaldehyde residues in penaeid shrimp exposed to formalin. Aquaculture 21 : 197 – 201.

Hinton, M.J. and A.G. Eversols. 1979. Toxicity of ten chemicals commonly used in aquaculture to the black eel stage of the american eels. Proc. World Maricul. Soc. 10 : 554.

- Humason, G.L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. 4 th ed., W.H. Freeman and Company, San Francisco. 661 p.
- Kabata, Z. 1985. *Parasites and Kisease of Fish Culture in the Tropics*. Taylor & Francis, London. 318 p.
- Phelps, R.P. 1975. *Toxicity and efficacy of five chemotherapeutics used in aquaculture when applied to waters of different quality*. Ph.D. thesis, Auburn Univ., Auburn, Alabama.
- Robert, R.J. and C.J. Shepherd. 1979. *Handbook of Trout and Salmon Disease*. The Whitefriars Press Ltd., London. 172 p.
- Rucker, R.R., W.G. Taylor and D.P. Toney. 1963. Formalin in the hatchery. *Prog. Fish - Cult* 25(4) : 203 – 207.
- Sills, J.B. 1979. Residues of formaldehyde undetected in fish exposed to formalin. *Prog. Fish-Cult* 41(2) : 67 – 68.
- Wedemeyer, G. and W.T. Yasutake. 1974. Stress of formalin in juvenile spring chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and steelhead (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 31 : 179 – 184.
- Wellborn, T.L. 1979. Control and therapy, pp. 61 – 92. In J.A. Plumb (ed.). *Principle Disease of Farm. Raised Catfish*. Southern Cooperative Seres No. 225. Alabama, U.S.A.
- Wetzel , R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Sawnders Co. , Philadeiphia. 743 p.

Williams, H.A. and R. Wootten. 1981. Some effect of therapeutic levels of formalin and copper sulphate on blood parameters in ranbow trout. *Aquaculture* 24 : 341 – 353.

WHO. 1991. Environmental health criteria 89 : Formaldehyde, pp. 3 – 45. In *Formaldehyde : Health and Safety guide No. 57* , Formaldehyde – Standards I . Series, WHO Library Cataloguing In Publication Data. World Health Organization, Geneva.

Windholz, M. 1976. The Merck Index. 9<sup>th</sup> ed., Merck & Co., Inc., New Jercy. 1313 p.

Wright, L.D. 1976. Effect of malachite green and formalin on the survival of largemouth bass eggs and fly. *Prog. Fish – Cult.* 38(3) : 155 – 157.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การวิเคราะห์หาปริมาณค่าความเป็นด่างในน้ำ

1. ตวงตัวอย่างน้ำ 50 ลบ.ซม. ใส่ลงใน flask ขนาด 250 ลบ.ซม.
2. หยด phenolphthalein 2 หยดเขย่าให้ผสมกัน
- ถ้าสารละลายใสแสดงว่า phenolphthalein alkalinity = 0 นั่นคือในน้ำไม่มีสารประกอบคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ )
- ถ้าสารละลายมีสีชมพูแสดงว่าในตัวอย่างน้ำมีสารประกอบของคาร์บอเนตละลายอยู่นั้นคือ phenolphthalein alkalinity > 0 ให้ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02 N phenolphthalein alkalinity (ppm) = ปริมาตร(ลบ.ซม.)ของสารละลาย 0.02 N ที่ใช้ไปคูณด้วย 20
3. นำสารผสมจากข้อ 2 มาหยด methyl orange 2 หยดเขย่าเพื่อให้ผสมกันจะได้สารละลายสีเหลือง
4. ไตเตรทด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มจุดปริมาตรของสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ทั้งหมดที่ใช้ไป

### การคำนวณ

Total alkalinity (ppm) = ปริมาตรของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ทั้งหมดคูณด้วย 20

Methyl orange alkalinity (ppm) = Total alkalinity – phenolphthalein alkalinity

### การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในน้ำ

สารเคมีและวิธีการเตรียมสารละลาย

1. Buffer solution

ใช้ Ammonia chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 100 กรัม

Sodium tetraborate 20 กรัม

EDTA (disodium dihydrate) 1 กรัม

ละลายในน้ำกลั่น (deionized water) จนได้ปริมาตรครบ 1000 ลบ.ซม.

2. Sulphanilamide solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆรินกรด HCl เข้มข้น 100 ลบ.ซม.ลงใน beaker ที่มีน้ำกลั่น 300 ลบ.ซม. คนให้เข้ากัน  
 ๕ กรัมแล้วนำมาละลายในสารละลายกรด HCl แล้วเติมน้ำกลั่น (deionized  
 water) จนได้ปริมาตรครบ 500 ลบ.ซม.

### 3. N-I-(naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride (NNE)

ใช้ NNE 0.5 กรัมละลายในน้ำกลั่น (deionized water) จนได้ปริมาตรครบ 500 ลบ.ซม.  
 จะได้สารละลายสีชมพูจางๆหรือไม่ก็มี เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาล (ถ้าสารละลายเปลี่ยนสี  
 ชมพูหรือน้ำตาลเข้มต้องเตรียมใหม่)

### 4. Nitrite standard ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )

ใช้ Sodium nitrite ( $\text{NaNO}_2$ ) ที่อบแห้ง 0.4952 กรัมละลายในน้ำกลั่น (deionized  
 water) จนได้ปริมาตรครบ 1000 ลบ.ซม. สารละลายนี้จะมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 100 ppm หรือ 1  
 ลบ.ซม.ของสารละลาย = 100 ไมโครกรัมของ  $\text{NO}_2\text{-N}$

### วิธีการวิเคราะห์หาไนไตรท์ ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) ในน้ำตัวอย่าง

1. กรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง
2. ดูดน้ำตัวอย่างที่กรองแล้ว 25 ลบ.ซม. และน้ำกลั่น 25 ลบ.ซม. เพื่อทำเป็น blank เปรียบ  
 เทียบใส่ลงในขวดแก้ว
3. เติม Buffer solution ลงไปตัวอย่างละ 2.5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
4. เติม Sulphanilamine solution ลงไปตัวอย่างละ 0.5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกันตั้งทิ้งไว้  
 5 นาที
5. เติม NNE ลงไปตัวอย่างละ 0.5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกันตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที  
 แต่ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมงแล้วนำไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่  
 ความยาวคลื่น 543 nm. บันทึกค่า absorbance ที่วัดได้ไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานที่  
 ทำไว้

### การทำกราฟมาตรฐานสำหรับไนไตรท์ ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) standard curve)

1. นำสาร  $\text{NaNO}_2$  (อบที่ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง) 0.4925 กรัมละลายน้ำแล้วเติมน้ำ  
 กลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 ลบ.ซม. (100ppm)

2. ดูดสารละลายมา 2.5 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 ลบ.ซม.(0.5ppm)
3. ดูดสารละลายจาก 500 ลบ.ซม.มา 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , 30 , 40 , 50ลบ.ซม. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 ลบ.ซม.
4. เติม Buffer solution ลงไปขวดละ 5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
5. เติม Sulphanilamide solution ลงไปขวดละ 1 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
6. เติม NNED solution ลงไปขวดละ 1 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกันหลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาทีแต่ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมงแล้วนำไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 nm. บันทึกค่า absorbance ที่วัดได้หลังจากนั้นนำค่า absorbance ที่ลบค่า blank ออกแล้วมา plot กับค่าความเข้มข้นในแต่ละระดับ ลากเส้นตรงผ่านจุดที่อยู่ในแนวเดียวกันมากที่สุดเส้นตรงนี้จะใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบเพื่อหาความเข้มข้นของไนไตรท์

#### การวิเคราะห์แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>-N) ในน้ำ

สารเคมีที่ใช้และวิธีการเตรียมสารละลาย

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ไม่มีแอมโมเนีย (ammonia free water) ทำได้โดยการกรองน้ำกลั่นที่มีสารสังเคราะห์ (ion-exchang resin) หรือใช้วิธีกลั่น 2 ครั้งโดยนำน้ำกลั่นครั้งแรกมาเติมกรด H<sub>2</sub>SO เข้มข้น 0.1ลบ.ซม.ต่อน้ำ 1 ลิตรแล้วกลั่นอีกครั้ง
2. Hypochlorite stock ใช้ Sodium hypochlorite (5.5 percent available chlorine) หรือใช้น้ำยาฟอกสี (Bleach) ที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งจะมีคลอรีนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำยานี้จะเสื่อมคุณภาพตามระยะเวลา จึงไม่ควรเก็บไว้นานโดยบรรจุในภาชนะทึบแสงและปิดฝาให้แน่น
3. Alkaline stock solution ใช้ Sodium citrate 100 กรัม กับ Sodium hydroxide (NaOH) 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (deionized water) จนได้ปริมาตรครบ 500 ลบ.ซม.
4. Oxidizing reagent ใช้ Alkaline stock solution 4 ส่วนผสมกับ Hypochlorite stock 1 ส่วนสารละลายนี้เตรียมเมื่อต้องการใช้ในแต่ละครั้งแล้วเก็บไว้ในขวดทึบแสงปิดฝาให้สนิทจนกระทั่งถึงเวลาใช้
5. Sodium nitroprusside reagent ใช้ Sodium nitroprusside 1 กรัมละลายในน้ำกลั่น (deionized water) จนได้ปริมาตรครบ 200 ลบ.ซม.

6. Phenol reagent ใช้ Phenol 100 กรัมละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ ( $C_2H_5OH$ ) 95 เปอร์เซ็นต์ จนได้ปริมาตรครบ 1000 ลบ.ซม

7. Ammonia standard ใช้ Ammonia chloride ( $NH_4Cl$ ) ที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 3.818 กรัมละลายในน้ำกลั่น (deionized water) จนได้ปริมาตรครบ 1000 ลบ.ซม.

#### วิธีการหาแอมโมเนีย ( $NH_3-N$ ) จากน้ำตัวอย่าง

1. ดูนํ้าตัวอย่าง 25 ลบ.ซม.และน้ำกลั่น 25 ลบ.ซม.เพื่อเปรียบเทียบเป็น Blank ใส่ลงในขวดขนาด 100 ลบ.ซม.
2. เติม Phenol reagent 1 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
3. เติม Sodium nitroprusside reagent 1 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
4. เติม Oxidizing reagent 2.5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกันตั้งทิ้งไว้อย่าง 1 ชั่วโมงแต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมงแล้วนำไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 nm. บันทึกค่า absorbance ที่วัดได้ไปหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานที่ทำไว้

#### การทำกราฟมาตรฐานของแอมโมเนีย ( $NH_3-N$ )

1. นำ  $NH_4Cl$  (อบที่ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง) 0.3819 กรัมนำมาละลายแล้วเติมนํ้ากลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 ลบ.ซม.(100 ppm)
2. นำมา 2 ลบ.ซม. ทำการ dilute ให้ได้ปริมาตร 100 ลบ.ซม.(2 ppm)
3. ดูดสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนีย 0 , 2 , 5 , 10 , 15 , 20 ลบ.ซม.ลงใน flask แล้วเติมนํ้ากลั่นให้ได้ปริมาตร 20 ลบ.ซม.
4. เติม Phenol reagent 2 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
5. เติม Sodium nitroprusside reagent 2 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกัน
6. เติม Oxidizing reagent 5 ลบ.ซม. เขย่าให้ผสมกันตั้งทิ้งไว้อย่าง 1 ชั่วโมงแต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมงแล้วนำไปวัดค่า absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 nm. บันทึกค่า absorbance ที่วัดได้หลังจากนั้น plot ค่าความเข้มข้นกับค่า absorbance ที่วัดได้บนกระดาษกราฟลากเส้นตรงผ่านจุดที่อยู่ในแนวเดียวกันมากที่สุดเส้นตรงนี้จะใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบเพื่อหาความเข้มข้นของแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 จำนวนเซลล์ของ *Oscillatoria* sp. เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	500000	500000	480000	350000	200000	100000	100000	60000
15 ppm	500000	450000	300000	10000.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
20 ppm	500000	80000.0	10000.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
25 ppm	500000	30000.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30 ppm	500000	10000.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
35 ppm	500000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

ตารางผนวกที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	8.715 ±	9.218 ±	9.765 ±	10.121 ±	9.853 ±	9.504 ±	9.389 ±	9.395 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.106 <sup>a</sup>	0.262 <sup>a</sup>	0.142 <sup>a</sup>	0.272 <sup>a</sup>	0.037 <sup>a</sup>	0.115 <sup>a</sup>	0.051 <sup>b</sup>
15 ppm	8.715 ±	9.230 ±	9.578 ±	9.861 ±	9.337 ±	9.356 ±	9.489 ±	9.548 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.089 <sup>a</sup>	0.091 <sup>ab</sup>	0.048 <sup>b</sup>	0.050 <sup>b</sup>	0.012 <sup>b</sup>	0.015 <sup>a</sup>	0.016 <sup>a</sup>
20 ppm	8.715 ±	9.218 ±	9.471 ±	9.661 ±	9.190 ±	9.156 ±	9.450 ±	9.542 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.075 <sup>a</sup>	0.071 <sup>b</sup>	0.049 <sup>c</sup>	0.026 <sup>bc</sup>	0.022 <sup>c</sup>	0.034 <sup>a</sup>	0.048 <sup>a</sup>
25 ppm	8.715 ±	9.209 ±	9.407 ±	9.557 ±	9.125 ±	8.961 ±	9.373 ±	9.559 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.075 <sup>a</sup>	0.070 <sup>b</sup>	0.048 <sup>cd</sup>	0.056 <sup>bc</sup>	0.047 <sup>d</sup>	0.038 <sup>a</sup>	0.068 <sup>a</sup>
30 ppm	8.715 ±	9.188 ±	9.334 ±	9.475 ±	9.012 ±	8.780 ±	9.239 ±	9.443 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.074 <sup>a</sup>	0.079 <sup>b</sup>	0.065 <sup>d</sup>	0.089 <sup>c</sup>	0.052 <sup>b</sup>	0.049 <sup>b</sup>	0.074 <sup>ab</sup>
35 ppm	8.715 ±	9.204 ±	9.346 ±	9.449 ±	8.957 ±	8.442 ±	9.102 ±	9.494 ±
	0.016 <sup>a</sup>	0.054 <sup>a</sup>	0.056 <sup>b</sup>	0.050 <sup>d</sup>	0.067 <sup>c</sup>	0.076 <sup>f</sup>	0.070 <sup>c</sup>	0.129 <sup>ab</sup>

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวดิ่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ 3 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	28.933 ± 0.058 <sup>ab</sup>	28.933 ± 0.057 <sup>a</sup>	28.733 ± 0.058 <sup>a</sup>	27.967 ± 0.058 <sup>c</sup>	27.500 ± 0.000 <sup>a</sup>	26.767 ± 0.153 <sup>a</sup>	27.333 ± 0.153 <sup>a</sup>
15 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	28.667 ± 0.115 <sup>b</sup>	28.667 ± 0.058 <sup>b</sup>	28.400 ± 0.000 <sup>b</sup>	27.933 ± 0.058 <sup>c</sup>	27.300 ± 0.000 <sup>c</sup>	26.400 ± 1.217 <sup>a</sup>	27.200 ± 0.100 <sup>a</sup>
20 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	28.633 ± 0.153 <sup>b</sup>	28.533 ± 0.058 <sup>bc</sup>	28.400 ± 0.100 <sup>b</sup>	28.033 ± 0.058 <sup>abc</sup>	27.300 ± 0.000 <sup>c</sup>	26.733 ± 0.153 <sup>a</sup>	27.267 ± 0.115 <sup>a</sup>
25 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	28.700 ± 0.200 <sup>b</sup>	28.433 ± 0.058 <sup>cd</sup>	28.400 ± 0.100 <sup>b</sup>	28.000 ± 0.173 <sup>bc</sup>	27.300 ± 0.000 <sup>c</sup>	26.700 ± 0.100 <sup>a</sup>	27.267 ± 0.115 <sup>a</sup>
30 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	28.733 ± 0.251 <sup>b</sup>	28.200 ± 0.173 <sup>e</sup>	28.467 ± 0.115 <sup>b</sup>	28.167 ± 0.115 <sup>ab</sup>	27.300 ± 0.000 <sup>c</sup>	26.733 ± 0.153 <sup>a</sup>	27.267 ± 0.115 <sup>a</sup>
35 ppm	29.167 ± 0.115 <sup>a</sup>	29.067 ± 0.208 <sup>a</sup>	28.333 ± 0.153 <sup>de</sup>	28.733 ± 0.153 <sup>a</sup>	28.200 ± 0.100 <sup>a</sup>	27.400 ± 0.000 <sup>b</sup>	26.800 ± 0.100 <sup>a</sup>	27.333 ± 0.058 <sup>a</sup>

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวนั่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่								
	0	1	3	6	24	48	72	96	
0 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	151.3 ± 6.1 <sup>ab</sup>	160.0 ± 7.2 <sup>a</sup>	129.3 ± 32.9 <sup>b</sup>	148.7 ± 7.6 <sup>a</sup>	186.0 ± 22.7 <sup>a</sup>	182.7 ± 10.3 <sup>a</sup>	197.3 ± 14.2 <sup>a</sup>	
15 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	142.0 ± 5.3 <sup>ab</sup>	148.7 ± 1.2 <sup>ab</sup>	158.7 ± 1.2 <sup>ab</sup>	161.3 ± 14.5 <sup>a</sup>	152.7 ± 11.7 <sup>b</sup>	176.7 ± 8.1 <sup>a</sup>	198.0 ± 13.1 <sup>a</sup>	
20 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	160.0 ± 17.5 <sup>a</sup>	152.7 ± 9.0 <sup>ab</sup>	166.7 ± 4.2 <sup>a</sup>	162.0 ± 11.1 <sup>a</sup>	160.7 ± 5.0 <sup>b</sup>	183.3 ± 1.2 <sup>a</sup>	184.7 ± 10.1 <sup>a</sup>	
25 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	139.3 ± 9.0 <sup>b</sup>	152.7 ± 6.1 <sup>ab</sup>	156.7 ± 10.3 <sup>ab</sup>	163.3 ± 12.2 <sup>a</sup>	158.7 ± 5.0 <sup>b</sup>	182.7 ± 8.3 <sup>a</sup>	194.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	
30 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	152.0 ± 3.5 <sup>ab</sup>	146.7 ± 1.2 <sup>b</sup>	163.3 ± 15.5 <sup>a</sup>	149.3 ± 4.2 <sup>a</sup>	162.7 ± 9.9 <sup>b</sup>	172.7 ± 6.4 <sup>a</sup>	184.7 ± 9.5 <sup>a</sup>	
35 ppm	153.3 ± 6.4 <sup>a</sup>	144.0 ± 7.2 <sup>ab</sup>	150.7 ± 6.4 <sup>ab</sup>	148.7 ± 1.2 <sup>ab</sup>	152.0 ± 7.2 <sup>a</sup>	160.7 ± 10.1 <sup>b</sup>	174.7 ± 6.1 <sup>a</sup>	187.3 ± 4.6 <sup>a</sup>	

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวดิ่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ 5 ค่าไนไตรท์ (Nitrite) เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.12360 ± 0.0125 <sup>a</sup>	0.12267 ± 0.0051 <sup>a</sup>	0.12143 ± 0.0064 <sup>a</sup>	0.13197 ± 0.0059 <sup>a</sup>	0.19130 ± 0.0149 <sup>a</sup>	0.22440 ± 0.0368 <sup>c</sup>	0.18060 ± 0.1090 <sup>c</sup>
15 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.11243 ± 0.0005 <sup>b</sup>	0.11683 ± 0.0010 <sup>b</sup>	0.11693 ± 0.0008 <sup>ab</sup>	0.12017 ± 0.0071 <sup>bc</sup>	0.17590 ± 0.0313 <sup>a</sup>	0.20380 ± 0.0378 <sup>c</sup>	0.23770 ± 0.0119 <sup>c</sup>
20 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.11143 ± 0.0005 <sup>b</sup>	0.11617 ± 0.0007 <sup>b</sup>	0.11623 ± 0.0003 <sup>ab</sup>	0.12453 ± 0.0013 <sup>ab</sup>	0.16960 ± 0.0208 <sup>a</sup>	0.23300 ± 0.0629 <sup>c</sup>	0.26250 ± 0.0425 <sup>bc</sup>
25 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.11183 ± 0.0016 <sup>b</sup>	0.11587 ± 0.0008 <sup>b</sup>	0.11630 ± 0.0011 <sup>ab</sup>	0.12423 ± 0.0041 <sup>ab</sup>	0.19410 ± 0.0082 <sup>a</sup>	0.27390 ± 0.0563 <sup>bc</sup>	0.28280 ± 0.0513 <sup>bc</sup>
30 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.11303 ± 0.0026 <sup>b</sup>	0.11613 ± 0.0004 <sup>b</sup>	0.11527 ± 0.0012 <sup>b</sup>	0.12103 ± 0.0053 <sup>bc</sup>	0.19310 ± 0.0084 <sup>a</sup>	0.35500 ± 0.0627 <sup>ab</sup>	0.34560 ± 0.0421 <sup>ab</sup>
35 ppm	0.1065 ± 0.0017 <sup>a</sup>	0.11047 ± 0.0005 <sup>b</sup>	0.11570 ± 0.0007 <sup>b</sup>	0.11573 ± 0.0009 <sup>b</sup>	0.11487 ± 0.0023 <sup>c</sup>	0.19490 ± 0.0151 <sup>a</sup>	0.41960 ± 0.0188 <sup>a</sup>	0.39720 ± 0.0232 <sup>a</sup>

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวนั่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ 6 ค่าแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	0.0071 ±	0.00369 ±	0.00022 ±	0.00036 ±	0.00035 ±	0.03119 ±	0.00777 ±	0.01032 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0040 <sup>a</sup>	0.0002 <sup>a</sup>	0.0001 <sup>b</sup>	0.0004 <sup>c</sup>	0.0140 <sup>bc</sup>	0.0044 <sup>a</sup>	0.1415 <sup>a</sup>
15 ppm	0.0071 ±	0.00076 ±	0.00110 ±	0.00012 ±	0.00059 ±	0.00117 ±	0.00039 ±	0.00540 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>a</sup>	0.0016 <sup>a</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.0002 <sup>c</sup>	0.0016 <sup>d</sup>	0.0002 <sup>b</sup>	0.0037 <sup>a</sup>
20 ppm	0.0071 ±	0.00246 ±	0.00182 ±	0.00052 ±	0.00053 ±	0.00287 ±	0.00076 ±	0.00560 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0038 <sup>a</sup>	0.0018 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>b</sup>	0.0004 <sup>c</sup>	0.0036 <sup>d</sup>	0.0007 <sup>b</sup>	0.0045 <sup>a</sup>
25 ppm	0.0071 ±	0.00032 ±	0.00110 ±	0.00042 ±	0.00127 ±	0.01297 ±	0.00097 ±	0.00370 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0001 <sup>a</sup>	0.0006 <sup>a</sup>	0.0002 <sup>b</sup>	0.0002 <sup>bc</sup>	0.0090 <sup>cd</sup>	0.0008 <sup>b</sup>	0.0030 <sup>a</sup>
30 ppm	0.0071 ±	0.00046 ±	0.00093 ±	0.00090 ±	0.00246 ±	0.03755 ±	0.00712 ±	0.00380 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0001 <sup>a</sup>	0.0005 <sup>a</sup>	0.0006 <sup>ab</sup>	0.0017 <sup>ab</sup>	0.0045 <sup>b</sup>	0.0036 <sup>a</sup>	0.0030 <sup>a</sup>
35 ppm	0.0071 ±	0.00050 ±	0.00069 ±	0.00216 ±	0.00382 ±	0.05870 ±	0.01028 ±	0.00780 ±
	0.0096 <sup>a</sup>	0.0002 <sup>a</sup>	0.0005 <sup>a</sup>	0.0019 <sup>a</sup>	0.0010 <sup>a</sup>	0.0205 <sup>a</sup>	0.0046 <sup>a</sup>	0.0072 <sup>a</sup>

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ 7 ค่าแอมโมเนียอิสระ (Unionize ammonia) เฉลี่ย

ความเข้มข้น ของ CH <sub>2</sub> O	ชั่วโมงที่							
	0	1	3	6	24	48	72	96
0 ppm	0.002 ±	0.00214 ±	0.00018 ±	0.00032 ±	0.00031 ±	0.01988 ±	0.00448 ±	0.00596 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.0025 <sup>a</sup>	0.0001 <sup>a</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.0004 <sup>bc</sup>	0.0084 <sup>a</sup>	0.0025 <sup>a</sup>	0.0799 <sup>a</sup>
15 ppm	0.002 ±	0.00040 ±	0.00402 ±	0.00010 ±	0.00033 ±	0.00067 ±	0.00025 ±	0.00360 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.0003 <sup>a</sup>	0.0050 <sup>a</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>bc</sup>	0.0009 <sup>d</sup>	0.0001 <sup>b</sup>	0.0025 <sup>a</sup>
20 ppm	0.002 ±	0.00119 ±	0.00119 ±	0.00039 ±	0.00025 ±	0.00131 ±	0.00047 ±	0.00360 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.0018 <sup>a</sup>	0.0012 <sup>a</sup>	0.0003 <sup>ab</sup>	0.0002 <sup>c</sup>	0.0016 <sup>cd</sup>	0.0001 <sup>b</sup>	0.0029 <sup>a</sup>
25 ppm	0.002 ±	0.00016 ±	0.00069 ±	0.00030 ±	0.00057 ±	0.00467 ±	0.00054 ±	0.00260 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.000 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>a</sup>	0.0002 <sup>b</sup>	0.000 <sup>bc</sup>	0.0031 <sup>bcd</sup>	0.0004 <sup>b</sup>	0.0021 <sup>a</sup>
30 ppm	0.002 ±	0.00023 ±	0.00053 ±	0.00060 ±	0.00096 ±	0.01003 ±	0.00341 ±	0.00240 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.000 <sup>a</sup>	0.0003 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>ab</sup>	0.0006 <sup>ab</sup>	0.0011 <sup>b</sup>	0.0017 <sup>a</sup>	0.0019 <sup>a</sup>
35 ppm	0.002 ±	0.00026 ±	0.00042 ±	0.00141 ±	0.00139 ±	0.00829 ±	0.00415 ±	0.00490 ±
	0.0027 <sup>a</sup>	0.000 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>a</sup>	0.0012 <sup>a</sup>	0.0004 <sup>a</sup>	0.0011 <sup>bc</sup>	0.0017 <sup>a</sup>	0.0045 <sup>a</sup>

\*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวแนวดิ่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์