

การใช้เทคนิคอิเล็กโทรไลซิสในการบำบัดน้ำในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมระบบปิด

Application of Electrolysis Water Treatment Technique in a *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 Closed Hatchery System

คำนำ

จากสถิติการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลของประเทศไทยจะเห็นได้ว่าการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในช่วงปี 2541-2547 จำนวนฟาร์มกุ้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตและมูลค่าเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด นับตั้งแต่ปี 2541 มีปริมาณ 252,731 ตัน มูลค่า 58,960 ล้านบาท และผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงปี 2547 ผลผลิตสูงถึง 360,289.1 ตัน มูลค่า 44,753 ล้านบาท เนื่องจากเกษตรกรหันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมซึ่งให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าเดิม เป็นผลให้ผลผลิตรวมสูงขึ้น แต่ราคากุ้งทุกชนิดตกต่ำมูลค่าจึงลดลง อย่างไรก็ตามมูลค่ารวมจากการเพาะเลี้ยงกุ้งยังมีมูลค่าสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ (กรมประมง, 2549) จากการที่ปริมาณการเพาะเลี้ยงกุ้งเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความต้องการลูกกุ้งของผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มจำนวนตามไปด้วย ทำให้มีการขยายกำลังผลิตลูกกุ้งเพิ่มมากขึ้น แต่สิ่งที่ตามมาก็คือ ปริมาณความต้องการน้ำสะอาดสำหรับโรงเพาะฟัก เนื่องจากน้ำทะเลชายฝั่งตามธรรมชาติมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคสูงโดยเฉพาะพื้นที่บริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ซึ่งป้าชายเลนได้ถูกทำลายไปเป็นจำนวนมากสาเหตุจากความต้องการเพิ่มพื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งโดยเฉพาะกุ้งกุลาดำ ทำให้ขาดระบบกรองสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องมีการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำก่อนนำมาใช้ในโรงเพาะฟัก โดยสารเคมีที่นิยมใช้กันมากคือ คลอรีนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์น้ำเข้าที่มีราคาแพงพอสมควร นอกจากนี้ประสิทธิภาพที่ได้ยังไม่ดีนักเมื่อเทียบกับคลอรีนน้ำและก๊าซคลอรีน

ในปัจจุบันโรงเพาะฟักสัตว์น้ำทะเลของต่างประเทศ ได้มีการนำกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสหรือกระบวนการแยกสารด้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตก๊าซคลอรีนเข้ามาใช้ในโรงเพาะฟักเพื่อลดการใช้สารเคมี และเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการบำบัดน้ำก่อนนำไปใช้ ซึ่ง Jorquera *et al.* (2002) ได้ประยุกต์เทคนิคนี้ใช้ในโรงเพาะฟักหอยระดับการค้าและได้เสนอแนะว่าสามารถใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิสกับน้ำที่ใช้ในโรงเพาะฟักได้

ดังนั้นการศึกษการใช้คลอรีนจากกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสในการฆ่าเชื้อในน้ำที่ใช้ในโรงเพาะฟักกุ้งทะเลนี้ เป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำเทคนิคกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในโรงเพาะฟักของประเทศไทย ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการไปใช้ในโรงเพาะฟักเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับระบบกรองในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิม

การตรวจเอกสาร

กุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไม หรือกุ้งขาวแปซิฟิก ถูกค้นพบโดย Boone ในปี ค.ศ. 1931 มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Litopenaeus vannamei* ชื่อสามัญที่ FAO รับรองและใช้เรียกกันโดยทั่วไปคือ whiteleg shrimp เป็นกุ้งพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้ พบทั่วไปบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ตะวันออก จากตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู กุ้งขาวแวนนาไมมีการเลี้ยงกันมากในประเทศเอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู ปานามา สอนดัวร์ส โคลัมเบียและบราซิล (Rosenberry, 1998)

ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาวแวนนาไม

Perez Farfante and Kensley (1997) ได้อธิบายลักษณะทั่วไปของกุ้งสกุลนี้ว่า ผิวของตัวกุ้งเรียบเป็นมัน กริ (rostrum) มีความยาวปานกลาง ลักษณะยื่นยาวอยู่ด้านบน (dorsal) มีฟันกริด้านล่าง (ventral teeth) 2-4 ซี่ ในกุ้งระยะวัยอ่อนกริจะยาวกว่าก้านหนวด (antennular peduncle) และเมื่อโตขึ้นกริจะมีขนาดสั้นลง ซึ่งบางครั้งกริอาจมีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของปล้องที่ 2 ของหนวดคู่ที่ 1 (antennules) บริเวณเปลือกคลุมส่วนหัวและส่วนอก (carapace) มีหนวดคู่ที่ 2 (antenna) และหนามตับ (hepatic spine) ชัดเจน ไม่พบหนามที่อยู่บริเวณตา (orbital spine) และหนามที่อยู่มุมด้านล่างของส่วนหน้าเปลือกคลุมหัว (pterygostomian spine) ไม่มีร่องตา (postocular sulcus) ขนาดของสันหลังกริ (postrostral carina) มีความยาวต่างกัน ในบางครั้งอาจยาวถึงบริเวณขอบด้านหลังของเปลือกคลุมหัว สันข้างกริ (adrostral carina) และร่องข้างกริ (adrostral sulcus) สัน อยู่บริเวณกริที่อยู่เหนือกระเพาะอาหาร (epigastric tooth) ไม่พบสันที่อยู่หน้ากระเพาะอาหาร (gastrofrontal carina) โดยส่วนมากสันที่อยู่ระหว่างกระเพาะกับตา (gastro-orbital carina) จะสั้นและอยู่ก่อนทางด้านหน้าประมาณ 2-3 ของระยะห่างระหว่างหนามตับ (hepatic spine) และส่วนบริเวณตา (orbital margin) ร่องที่อยู่ระหว่างตากับหนวด (orbital-antennal sulcus) สามารถเห็นได้ชัดเจน สันคอ (cervical carina) และ สันตับ (hepatic carina) คมด้านข้างและเป็นร่องลึก ไม่พบสันที่อยู่ระหว่างเหงือกและหัวใจ (branchiocardiac carina) นอกจากนี้ยังไม่พบร่องตามยาว (longitudinal suture) และร่องตามขวาง (transverse suture) ส่วนลำตัวที่ปล้องที่ 6 มีสันเรียงตัวกัน (cicatrices) 3 อัน ตามความยาวของลำตัวด้านบน ส่วนหาง (telson) เรียบ หนวดคู่ที่ 1 ไม่มีหนามบริเวณปล้องแรก (parapenaeid spine)

เส้นหนวด (antennular flagella) สั้นกว่าส่วนเปลือกคลุมหัวมาก แผ่นรยางค์ของ maxilla คู่ที่ 1 ยาว ประกอบด้วยปล้อง 3-4 ปล้อง ส่วนปลายเป็นเส้น ischial spine อยู่ที่ปล้องที่ 1 และ basal spine อยู่ที่ปล้องที่ 2 ของขาเดิน (pereopod) คู่ที่ 1

ลักษณะสีของลำตัวเป็นสีขาว หรือเป็นที่รู้จักกันว่า “กุ้งขาว” (white shrimp) ลักษณะลำตัวของกุ้งชนิดนี้ออกสีฟ้า เนื่องจากมีโครมาโตฟอร์ (chromatophore) สีฟ้า ซึ่งจะรวมกันมาเกือบถึงบริเวณหางในส่วน of telson และ uropod (Eldred and Hutton, 1960)

ภิญโญ (2545) กล่าวว่า ลักษณะเฉพาะของกุ้งขาวแวนนาไมที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดคือ บริเวณพื้นกรีดด้านบนจะหยักและถี่ในช่วงปลาย กริมมีลักษณะตรง มีพื้นกรีดด้านล่าง 2 อัน และ ด้านบน 8 อัน ความยาวกริมจะยาวกว่าลูกตาไม่มาก และพบว่าลำไส้กุ้งชนิดนี้เห็นชัดกว่ากุ้งขาวอื่น ๆ

การเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม

การฟักตัวเพื่อเข้าสู่ระยะนาอเพลียส (nauplius) จะเกิดขึ้นหลังจากการวางไข่ ประมาณ 14 ชั่วโมง (Aquacop, 1979) การพัฒนาในระยะวัยอ่อนของกุ้งขาวแวนนาไมจะแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ดังนี้ ระยะนาอเพลียสมี 6 ระยะ (N1-N6) ระยะโปรโตซัว (protozoa) มี 3 ระยะ (Z1-Z3) และระยะไมซิส (mysis) 3 ระยะ (M1-M3) หลังจากนั้นเข้าสู่ระยะวัยอ่อน (larvae) และระยะโพสท์ลาร์วา (postlarvae) ซึ่งเป็นระยะวัยอ่อนขั้นสุดท้าย ลูกกุ้งระยะนี้มีลักษณะคล้ายกุ้งโตมากขึ้น มีการลอกคราบทุกวัน ซึ่งการเรียกลูกกุ้งระยะนี้จะระบุเป็นจำนวนวันคือ P1, P2, P3 ถึง P15 ตัวเลขที่กำกับคือจำนวนวันที่ลูกกุ้งเข้าสู่ระยะฟิหรือระยะโพสท์ลาร์วา (Kitani, 1986) นอกจากนี้ Lee and Wickins (1992) ยังกล่าวอีกว่า อัตราการเจริญเติบโตขึ้นกับความถี่ของการลอกคราบ และมีการเพิ่มขนาดในแต่ละครั้งที่ลอกคราบ ทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สารอาหาร และสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การกินอาหาร

กุ้งขาวแวนนาไม่สามารถกินได้ทั้งพืช สัตว์ และซากของสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณกลางน้ำ ทั้งยังสามารถกินสิ่งมีชีวิตที่อยู่บริเวณผิวน้ำดินและซากของสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วย (Wassenberg and Hill, 1987) โดยการกินอาหารของกุ้งนั้นจะแตกต่างกันไปตามอายุ ซึ่งสามารถแยกได้ตามระยะของวัยอ่อนดังนี้

ระยะนาอเพลียส (nauplius) ลูกกุ้งระยะนี้จะไม่กินอาหารจากภายนอก เนื่องจากมีไข่แดง (yolk) ติดอยู่

ระยะโปรโตซัว (protozoa) เริ่มกินพืชและแพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กเป็นอาหาร โดยช่วงปลายของวัยอ่อนระยะนี้ จะเริ่มกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารด้วย

ระยะไมซิส (mysis) ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะนี้จะกินอาหารทั้งที่เป็นแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์

ระยะโพสท์ลาร์วา (postlarvae) โดยมากจะกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหาร และเริ่มกินสัตว์ที่ตายแล้ว เนื่องจากลูกกุ้งวัยอ่อนระยะนี้เตรียมที่จะปรับตัวอาศัยบริเวณผิวดิน

ระยะจูเวนิล (juvenile) ซึ่งเป็นลูกกุ้งระยะวัยรุ่น มักจะกินสัตว์และพืชที่ตายแล้วเป็นอาหาร ทั้งยังสามารถกินอาหารได้ทุกชนิด และมักเป็นพวกหากินเวลากลางคืน

คลอรีน

คุณสมบัติของคลอรีน

คลอรีนถูกค้นพบโดยนักเคมีชาวสวีเดน Kar Wilhelm Scheel ในปี ค.ศ. 1774 (Laubusch, 1971) มนุษย์รู้จักนำคลอรีนมาใช้ประโยชน์นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 (Bass *et al.*, 1977) ในอุณหภูมิปกติจะมีสถานะเป็นก๊าซที่มีสีเขียวทองอ่อน มีความเป็นพิษอย่างรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิต คลอรีนจะมีสถานะเป็นของเหลวอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส (กรรณิการ์, 2544 ; สมเกียรติ, 2528) มีการนำคลอรีนมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

1. ด้านสาธารณสุข ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งชุมชนและโรงงาน
2. ด้านอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลงและวัตถุมีพิษหลายชนิด ใช้ฟอกขจัดสีในโรงงานกระดาษและโรงงานทอผ้า ใช้ในระบบหล่อเย็น เพื่อลดหรือกำจัดสารร้ายและแบคทีเรียที่จับเมื่อได้หรือกำจัดและป้องกันไม่ให้เพรียงเจริญเติบโตในระบบหล่อเย็น ใช้ทำความสะอาดในอุตสาหกรรมแช่เยือกแข็ง การใช้คลอรีนในระบบหล่อเย็น (Cooling System) ของโรงงานอุตสาหกรรม หรือ โรงไฟฟ้า เพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตที่ติดมาในระบบซึ่งทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของระบบหล่อเย็นลดลง (วิทยา, 2525; มั่นสินและไพพรรณ, 2524)
3. ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีการนำคลอรีนมาใช้เพื่อฆ่าเชื้อในบ่อเพาะฟักอนุบาลหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ใช้ฆ่าเชื้อโรคในบ่อปลาและเครื่องมือต่าง ๆ ในการประมงและกำจัดสัตว์น้ำที่ไม่ต้องการในบ่อ Herwig (1979) พบว่า คลอรีนสามารถกำจัดโปรโตซัว (Protozoa) ที่เป็นปรสิตได้เป็นอย่างดี
4. ด้านอื่น ๆ ใช้ฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำ และป้องกันไม่ให้มีสาหร่ายเกิดขึ้น ใช้ทำความสะอาดในด้านเกษตรกรรม เช่น ทำความสะอาดโคนมก่อนรีดนม

การใช้คลอรีนนํานั้นนิยมใช้ใน 2 ลักษณะ คือ ใช้คลอรีนในสถานะที่เป็นก๊าซ (Cl_2) และใช้คลอรีนในสถานะที่เป็นของเหลวหรือผง ซึ่งอยู่ในรูป Hypochlorite โดยมีชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น Chlorine Bleach, Clorox, Household Bleach Zonite เป็นต้น

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ

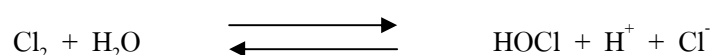
คลอรีนเมื่อถูกเติมลงไปในน้ำ เพื่อจุดประสงค์ในการทำลายสิ่งมีชีวิตในน้ำ จะมีปฏิกิริยาแตกตัว ให้สารประกอบคลอรีนหลายตัว เพราะคลอรีนมีสมบัติในการเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดี ซึ่งจะมีประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ดังนี้ (กรรณิการ์, 2544; Brungs, 1973)

1. เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) สารอนินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้น้ำมีสีและกลิ่น ได้แก่ เหล็ก (Fe^{+2}) แมงกานีส (Mn^{+2}) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)
2. ทำลายสารอินทรีย์ (organic matter) ซึ่งทำให้เกิดสีและกลิ่นในน้ำ
3. เป็นตัวช่วยในการตกตะกอน ซึ่งพบว่าเมื่อเติมคลอรีนในน้ำ จะทำให้เกิดการตกตะกอนที่ดีขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำ
4. เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการลดค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำในอัตราส่วนคลอรีน 1 ส่วน ทำลาย BOD ได้ 2 ส่วน

คลอรีนที่ใช้เติมลงในน้ำมากที่สุดได้แก่ สารประกอบคลอรีนพวก Hypochlorite เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ มีลักษณะเป็นผงซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ซึ่งผลิตได้ในประเทศไทยอยู่ในรูปสารละลาย โดยมีคลอรีนอิสระ (free chlorine) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคลอรีน (Cl_2) ซึ่งเป็นก๊าซเหลวบรรจุในถังเหล็กภายใต้ความกดดันสูง ซึ่งการใช้มีอันตรายมาก (มันสัน และไพพรรณ, 2524)

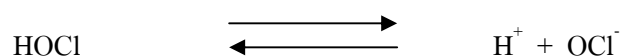
สารประกอบคลอรีนดังกล่าว เมื่อละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้ในรูปต่าง ๆ ดังนี้ (เฮเลน และ บุษบา, 2525; วิทยา, 2525)

1. คลอรีนอิสระ (free chlorine) คือ คลอรีนที่อยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอไรท์ (HOCl), อนุมูลไฮโปคลอไรท์ (OCl⁻) หรือก๊าซคลอรีน (Cl₂) ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



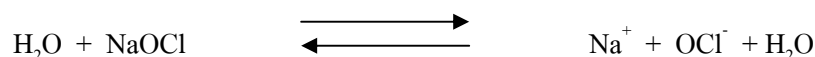
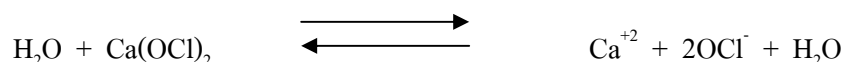
ที่อุณหภูมิปกติเมื่อเติมคลอรีนลงในน้ำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ และเสร็จสมบูรณ์ภายใน 2-3 วินาทีเท่านั้น แต่ถ้าสารละลายเจือจาง และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำ ปฏิกิริยาจะเกิดก่อนไปทางขวา และมีคลอรีน (Cl₂) หลงเหลืออยู่ในปฏิกิริยาเล็กน้อย

นอกจากนี้ HOCl ยังแตกตัวได้อีก ดังสมการ



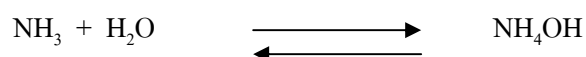
ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิ ถ้าค่า pH ต่ำจะเกิด HOCl ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่าค่า OCl⁻ (Floyd, 1979)

นอกจากนี้เมื่อใช้ Ca(OCl)₂ หรือ NaOCl แทน Cl₂ เติมลงไปน้ำจะได้ปฏิกิริยาดังนี้

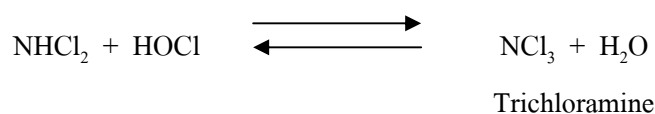
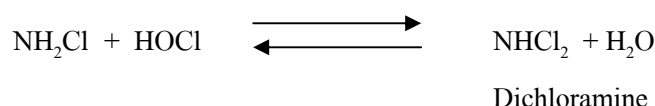
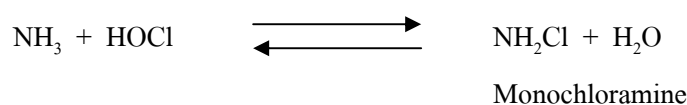


การเติมคลอรีน หรือสารพวก Hypochlorite ลงในน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาได้ปริมาณของ HOCl กับค่า OCl⁻ ในสารละลายแตกต่างกันไป หากค่า pH ในสารละลายต่างกันโดย Cl₂ มีแนวโน้มที่ทำให้ค่า pH มีค่าลดลงในขณะที่ Hypochlorite มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้น (Zillich, 1972)

2. คลอรีนรวมตัว (combined chlorine) คือ คลอรีนที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่รวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) หรือสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) ซึ่งแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในลักษณะ ดังนี้



เมื่อเติมคลอรีน (Cl_2) หรือ Hypochlorite จะเกิดปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้



ความเข้มข้นของ Monochloramine (NH_2Cl), DiChloramine (NHCl_2) และ Trichloramine (NCl_3) จะขึ้นอยู่กับ พีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าความต้องการคลอรีน และอัตราส่วนระหว่างคลอรีนกับไนโตรเจน

3. คลอรีนตกค้าง (residual chlorine) คือ คลอรีนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำภายหลังจากทำปฏิกิริยาต่าง ๆ แล้ว ถ้าเหลืออยู่ในสภาพของคลอรีนอิสระเรียกว่า free chlorine residual ถ้าคลอรีนจำนวนนั้นรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนเรียกว่า combined chlorine residual

ปกติ free chlorine residual จะอยู่ในรูปของ HOCl มากกว่า OCl^- และจะมีความเป็นพิษสูงกว่า combined chlorine residual สำหรับพวกคลอรีนตกค้างนี้จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณคลอรีนตกค้างก่อนที่จะปล่อยทิ้งหรือนำน้ำไปใช้ประโยชน์

ชนิดของคลอรีนและการใช้งาน

คลอรีนที่อยู่ในรูปของสารประกอบมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน และการใช้งานก็ไม่เหมือนกัน เช่น

1. คลอรีนน้ำ (Liquid chlorine) เป็นสารละลายของก๊าซคลอรีน (Cl_2) ในน้ำ กรรมวิธีการผลิตโดยการผ่านก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำ ซึ่งก๊าซคลอรีนมีความสามารถในการละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ คือละลายได้เพียง 6.41 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อคลอรีนละลายอยู่ในน้ำประมาณ 2/3 จะอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ (Cl_2) และส่วนที่เหลือ 1/3 จะรวมตัวกับน้ำกลายเป็นกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ดังสมการ



คลอรีนน้ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการฟอกสี การฆ่าเชื้อในน้ำประปา และสระว่ายน้ำ ข้อดีของคลอรีนน้ำก็คือ มีราคาถูก แต่จะไม่สะดวกในการใช้งาน เพราะควบคุมความเข้มข้นที่แน่นอนได้ยาก ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งจึงควรระมัดระวังในการใช้คลอรีนน้ำประเภทนี้โดยเฉพาะการใช้ในระหว่างการเลี้ยง

2. สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) เป็นสารประกอบของเกลือโซเดียมหรือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ สารประกอบเหล่านี้จะผลิตออกมาจำหน่ายในรูปของเหลวหรือของแข็งก็ได้ เช่น ที่เกษตรกรรู้จักทั่วไปในนามของคลอรีนผง ซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดอยู่หลายแบบเช่น

- แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ผง ซึ่งมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจมีคลอรีนออกฤทธิ์ถึง 90 - 94 เปอร์เซ็นต์ขึ้นกับประสิทธิภาพในการผลิต

- ปูนคลอรีน (chlorinated lime) ผลิตออกมาในรูปผงซึ่งมีส่วนประกอบของแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Ca(OCl)_2), เกลือแคลเซียมคลอไรต์ (CaCl_2) และปูนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) โดยมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์อยู่ในช่วง 24 - 37 เปอร์เซ็นต์

สำหรับโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) นั้นไม่สามารถผลิตออกมาในรูปของแข็งได้ เนื่องจากสภาพไม่คงตัว สลายตัวได้ง่ายเมื่อเป็นของแข็งและถ้ามีความบริสุทธิ์สูงจะกลายเป็นวัตถุระเบิดได้ ดังนั้นการผลิตจำหน่ายจะนำมาละลายน้ำ ซึ่งจะคงสภาพได้ดีกว่า โดยมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์อยู่ในช่วง 14 – 15 เปอร์เซ็นต์ มีชื่อทางการค้าทั่วไปคือ คลอโรกซ์

3. สารประกอบคลอไรท์ (chlorite) ปัจจุบันการผลิตเป็นอุตสาหกรรมมีโซเดียมคลอไรท์ (NaClO_2) ตัวเดียว มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ละลายน้ำได้ดี มีความสามารถในการละลายน้ำได้ถึง 460 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดจะให้ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) จึงใช้สำหรับเป็นตัวผลิตคลอรีนไดออกไซด์อีกต่อหนึ่ง ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถใช้ในการกำจัดพยาธิภายนอกหรือยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ระดับความเข้มข้น 2 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. สารประกอบคลอเรต (chlorate) เช่น โซเดียมคลอเรต (NaClO_3) มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว ละลายน้ำได้ดี โดยละลายน้ำได้ถึง 957 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โซเดียมและโปแตสเซียมคลอเรต สามารถใช้ผลิตคลอรีนไดออกไซด์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังใช้ผลิตยาปราบวัชพืช ใช้ในอุตสาหกรรมการสกัดแร่ยูเรเนียม และโปแตสเซียมคลอเรตยังใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไม้จืดไฟ โซเดียมคลอเรตสามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ใช้ในการกำจัดพยาธิภายนอก เช่น โปรโตซัวบางชนิด ปลิงใส แต่ความเข้มข้นที่ใช้ในการกำจัดค่อนข้างสูง จึงไม่ค่อยนิยมใช้กัน

5. สารประกอบเปอร์คลอเรต (perchlorate) เช่น โซเดียมเปอร์คลอเรต (NaClO_4) แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (NH_4ClO_4) และโปแตสเซียมเปอร์คลอเรต (KClO_4) นอกจากนี้ยังอยู่ในรูปเกลือแมกนีเซียมได้ด้วย สำหรับโซเดียมเปอร์คลอเรตเป็นของแข็งสีขาว มีความสามารถในการละลายน้ำได้ถึง 2106 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การใช้ประโยชน์จากสารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้ผลิตวัตถุระเบิด เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนจรวด สารดูดความชื้น แต่ยังไม่มียางานในการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

6. คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide) มีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและระเบิดได้ง่าย ดังนั้นในกรรมวิธีการผลิตคลอรีนไดออกไซด์จึงต้องการก๊าซเฉื่อยพวกก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเจือจางได้มีการใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสีย จากการทดลองพบว่า คลอรีนไดออกไซด์ มี

ความเป็นพิษค่อนข้างสูงคือ คลอรีนไดออกไซด์ในน้ำ 300 ไมโครกรัมต่อลิตร ขึ้นไปสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* และแบคทีเรียอื่น ๆ ได้เกือบหมดและเพียง 47 ไมโครกรัมต่อลิตร ของคลอรีนไดออกไซด์ในน้ำก็สามารถฆ่าอาร์ทีเมียได้ สำหรับการใช้งานของคลอรีนไดออกไซด์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก

7. ซิมโคลซีน (Symclosene) มีชื่อทางเคมีว่า ไตรคลอโรอิมิโนไซยานูริก

(trichloroiminocyanuric acid) หรือ ไตรคลอโรไอโซไซยานูริก แอซิด (trichloroisocyanuric acid) ผลิตออกมาโดยมีชื่อทางการค้าว่า คลอริล (chloreol) การผลิตทำได้โดยใช้ก๊าซคลอรีนทำปฏิกิริยากับกรดไซยานูริกในสภาพที่เป็นด่าง มีการผลิตและจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อ ค.ศ. 1952 ที่ผลิตออกมาจำหน่ายและอยู่ในรูปของแข็ง เมื่อละลายน้ำจะกลายเป็นกรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid) โดยมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อละลายน้ำแล้วทำให้ฟิเอชของน้ำลดลง เนื่องจากสภาพเป็นกรดของตัวสาร อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการละลายน้ำของสารคลอรีนชนิดนี้ไม่ค่อยดีนักเมื่อเทียบกับตัวอื่น ๆ เนื่องจากละลายน้ำได้เพียง 2 กรัมในน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการผลิตออกจำหน่ายโดยใช้ชื่อแบ็บโอ (Bab-O) สำหรับใช้ทำความสะอาดฆ่าเชื้อในโรงเรือน แต่ยังไม่มียางานการใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (White, 1992)

ผลของคลอรีนต่อเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส

เนื่องจากคลอรีนสามารถออกฤทธิ์ทำลายสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ได้ จึงได้มีการนำเอาประโยชน์ข้อนี้มาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำทะเลก่อนนำมาใช้ในโรงเพาะฟัก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้งานควรรู้ถึงวิธีการใช้และความเข้มข้นที่เหมาะสม ซึ่งได้มีการทดลองผลของคลอรีนต่อการกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ดังเช่น

เชื้อราและโปรโตซัว คลอรีนสามารถทำลายเชื้อราและโปรโตซัวที่เป็นพยาธิกับกุ้งกุลาดำหรือสัตว์อื่น ๆ เช่น ซูเทมเนียม อีฟิไตลิส ได้ ตัวอย่างการใช้คลอรีนในการกำจัดเชื้อเหล่านี้เช่น โซเดียมคลอไรท์ (Sodium chlorite) ที่ระดับความเข้มข้น 20 – 40 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถกำจัดหนอนสมอและอีฟิไตลิสได้ คลอรีน 1 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำลายตัวอ่อนของหอยนางรมและทำลายแพลงก์ตอนสัตว์ได้หลายชนิด อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นสูงเกินไป ประสิทธิภาพในการทำลายของคลอรีนจะลดลง

เชื้อแบคทีเรีย มีการทดลองมากมายถึงประสิทธิภาพของคลอรีนในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียพบว่า ความเข้มข้นของคลอรีน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลยับยั้งแบคทีเรียและไวรัสโคโนในน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งจนหมดหลังการเติมคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ส่วนคลอรีน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลในการยับยั้งแบคทีเรียและไวรัสโคโนจนหมดหลังจากเติมคลอรีนไปแล้ว 30 นาที จนตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง (สุวรรณ และ พรเลิศ, 2539) อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นในการกำจัดจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำด้วย ถ้าในน้ำมีตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์มากก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียของคลอรีนลดลง

เชื้อไวรัส ผลของคลอรีนในการกำจัดเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดโรคในกุ้งทะเลพบว่าต้องใช้ความเข้มข้นของคลอรีนสูงถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ 1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 20 นาทีถึงจะทำลายเชื้อไวรัส BP (*Baculovirus penaei*) ได้ ซึ่งไวรัสชนิดนี้พบได้ในกุ้งกุลาดำ แต่ไม่ก่อให้เกิดการตายรุนแรง สำหรับเชื้อไวรัสหัวเหลืองพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของคลอรีน 25 – 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถทำลายไวรัสได้ อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถใช้คลอรีนในการทำลายเชื้อไวรัสในน้ำได้ แต่ในกรณีที่กุ้งเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสแล้วจะไม่สามารถใช้คลอรีนในการรักษาโรคไวรัสได้ นอกจากใช้ยาฆ่าเชื้อไม่ให้มีการระบาดไปยังบ่อใกล้เคียง (Berg *et al.*, 1980)

จิตชาติ (2538) พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่เลี้ยงด้วยน้ำที่บำบัดด้วยคลอรีน 18 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนน้อยกว่าบ่อที่เลี้ยงด้วยน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยคลอรีน โดยสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 3–9 ชั่วโมงหลังจากเติมคลอรีน และสามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงหลังเติมคลอรีน สามารถลดจำนวนแพลงก์ตอนลงประมาณ 50 และ 99.6 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเติมคลอรีน 1 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ

อรวรรณ (2541) พบว่า คลอรีน 18 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียรวมได้ 99 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 3 – 12 ชั่วโมง และสามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

อุษณีย์ และ สิริ (2540) พบว่าคลอรีนสามารถลดปริมาณและกำจัดเชื้อ Yellow head disease ได้ โดยความเข้มข้นของคลอรีน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณเชื้อไวรัสได้

คลอรีนผงมีบทบาทในการทำมาสะอาดและฆ่าเชื้อโรค เช่น การเตรียมน้ำในโรงเพาะฟัก การเตรียมน้ำก่อนปล่อยสัตว์น้ำลงเลี้ยงโดยมีอัตราการใช้ที่แตกต่างกันไป เช่น การเตรียมน้ำในโรงเพาะฟักใช้ในอัตรา 6 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยงค์, 2530) การเตรียมน้ำในบ่อดินก่อนปล่อยพันธุ์สัตว์น้ำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดศัตรูของสัตว์น้ำ ตัวอ่อนของแมลง ตัวอ่อนของสัตว์น้ำที่ไม่พึงประสงค์และเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำใช้อัตรา 30 – 50 กิโลกรัมต่อไร่ (พรเลิศ และคณะ, 2537) นอกจากนี้การใช้คลอรีนผงกำจัดแบคทีเรีย *Vibrio harveyi* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเรืองแสงในกุ้งกุลาดำพบว่าใช้ในอัตรา 1, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดแบคทีเรียดังกล่าวได้ในเวลา 24 ชั่วโมง (สถาพร และ สุนิตย์, 2540) ส่งผลให้เกษตรกรนิยมใช้คลอรีนผงฆ่าเชื้อในน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากขึ้น ทำให้มีการนำเข้าคลอรีนผงจากต่างประเทศมีปริมาณสูงขึ้นเป็นลำดับ

ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อความเป็นพิษของคลอรีน

คลอรีนมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ในน้ำได้อย่างกว้างขวางทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียให้สารพวกคลอรามีน (chloramine) หรือทำปฏิกิริยากับฟีนอล (phenol) ก็จะได้สารพวกคลอโรฟีนอล (chlorophenol) หรือทำปฏิกิริยากับไทโอไซยาเนต (thiocyanate) จะได้สารพวกไซยาโนเจนคลอไรด์ (cyanogen chloride) ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาได้สารตัวใหม่นี้แล้วจะทำให้ความเป็นพิษของคลอรีนเปลี่ยนไปโดยอาจจะมี ความเป็นพิษสูงขึ้น (synergistic effect) หรือความเป็นพิษลดลง (antagonistic effect)

นอกจากนี้ถ้าน้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษของคลอรีนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Hileman, 1982) ในขณะเดียวกันถ้าแคลเซียมในน้ำเพิ่มมากขึ้น ความเป็นพิษของคลอรีนในน้ำจะลดลง (จารุวรรณ, 2525)

การศึกษาความเป็นพิษของคลอรีนกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเป็นพิษของคลอรีนจะสูงขึ้นด้วย Capuzzo (1979a) LC_{50} ของคลอรีนในเวลา 30 นาที ที่มีต่อโรติเฟอร์ และตัวอ่อนของหอยนางรม อายุ 7 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.18 และ 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ของคลอรีนอิสระ ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 26 องศาเซลเซียสค่า LC_{50} ของคลอรีนในเวลา 30 นาที ลดลงเหลือ 0.02 และ 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร ของคลอรีนอิสระตามลำดับ

ความเป็นพิษของคลอรีนต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

การศึกษาถึงความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของคลอรีน พบว่า คลอรีนมีระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษต่ำมาก กล่าวคือ ในระดับความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย สัตว์น้ำจะอพยพหนีออกไป ทำให้บริเวณดังกล่าวไม่มีสัตว์น้ำอาศัยอยู่ FAO (1974) ได้รายงานไว้ว่า ในความเข้มข้นของคลอรีน 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม (Total residual chlorine, TRC) ปลา Rainbow trout จะหลบหนีออกไป และในระดับความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ปลา Brook trout และ Brown trout ก็จะอพยพหลบหนีออกไปอีกเช่นเดียวกัน แต่ถ้าความเข้มข้นของคลอรีนสูงถึง 0.37 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่พบปลาชนิดใด ๆ เลย (Brungs, 1973) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ FAO (1974) ที่ว่าความเข้มข้นของคลอรีนมากกว่า 0.008 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม พวก Salmonid และ Corse fish จะตายภายในเวลา 96 ชั่วโมง นอกจากนี้จากการทดลองของ Dandy (1972) พบว่าปลา Brook trout จะมีชีวิตอยู่ได้ภายในเวลา 9, 18 และ 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นของคลอรีนเท่ากับ 0.35, 0.08 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ตามลำดับ และในความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ปลา Rainbow trout จะตายภายในเวลา 96 ชั่วโมง (Zeitoun, 1977)

การศึกษาถึงความเป็นพิษในระยะยาว (Chronic toxicity) ของคลอรีน พบว่า ระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่ทำให้เกิดพิษเรื้อรังนั้นมีค่าต่ำมาก คือที่ระดับความเข้มข้นของคลอรีน เท่ากับ 0.058 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม จะยับยั้งการวางไข่ของปลา และที่ความเข้มข้น 0.043 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม จะยั้งระยะเวลาการวางไข่ออกไป ทำให้จำนวนครั้งของการวางไข่ในรอบปีลดลง และลดจำนวนไข่ต่อการวางไข่แต่ละครั้ง (Brungs, 1971; Zillich, 1972) นอกจากนี้ ถ้าความเข้มข้นของคลอรีนสูงถึง 0.012 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม จะยับยั้งการสืบพันธุ์ของ Scud แต่ถ้าความเข้มข้นของคลอรีนต่ำกว่า 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวมสิ่งมีชีวิตในน้ำยังสามารถสืบพันธุ์ได้ตามปกติ (Morgan and Prince, 1977) นอกจากนี้ในการวางไข่ของสัตว์น้ำถ้าไข่สัมผัสกับคลอรีนที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ไข่เสียไม่สามารถฟักออกเป็นตัวอ่อนได้ เนื่องจากคลอรีนทำลายผนังเซลล์ของไข่ เป็นผลทำให้ผนังเซลล์ของไข่บวม พอง ซึ่งจากการทดลองของ Morgan and Prince (1977) พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีน 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม จะทำลายไข่ของ White perch และ striped bass ได้ และถ้าว่า ความเข้มข้นของคลอรีนต่ำกว่า 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ไข่ก็สามารถฟักออกเป็นตัวอ่อนได้ แต่ผลที่ตามมา ก็คือ ตัวอ่อนมีลักษณะผิดปกติที่กระดูกสันหลัง (vertebral column) มีลำตัวพอม ขนาดเล็กกว่าปกติอย่างชัดเจน และถ้าเพิ่มความ

เข้มข้นของคลอรีน การพัฒนาของตัวอ่อนจะหยุดชะงัก (Morgan and Prince, 1977) และถ้าความเข้มข้นของคลอรีนรวมเกิน 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอ่อนของ Striped bass จะสูญเสียการทรงตัวในการว่ายน้ำ และตัวอ่อนเหล่านี้มักถูกสัตว์อื่นจับกินเป็นอาหารได้ง่าย (Morgan and Prince, 1977) ส่วนที่เหลือรอดก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลง (Arthur *et al.*, 1972) มีรูปร่างผิดปกติ (Anderson, 1974; Larson *et al.*, 1977) เนื่องจากคลอรีนทำลายระบบการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) และทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ผิดปกติไปด้วย (Zeitoun, 1977)

Grothe and Eaton (1975) และ Bass *et al.* (1977) ได้ทำการศึกษาในปลา fathead minnows (*Pimephales promelas*), blue gill (*Lepomis macrochirus*) และ rainbow trout (*Salmo gairdneri*) พบว่า คลอรีนจะเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มของสัตว์ทดลอง โดยคลอรีนจะมีผลต่อ epithelium cell ของเยื่อหุ้ม เอนไซม์จะถูกยับยั้ง เนื่องจาก Sulfa-hydryl group (-SH) ของ amino acid ในเอนไซม์จะถูก oxidize ทำให้การทำงานของเอนไซม์ไม่สามารถกลับคืนสู่ปกติได้ (Zeitoun, 1978a) ทำให้ epithelium cell เกิดการบวมน้ำ (oedema) ขรุขระเสียรูปทรงปกติ (Bass *et al.*, 1977) และมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ (hyperplasia) กับบางเซลล์ก็เกิดการตาย (necrosis) เยื่อหุ้มไม่สามารถทำหน้าที่ตามปกติ ทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจน (hypoxia) ซึ่งจะพบอาการผิดปกติ ดังนี้

1. มีอาการทวนทวาย (hyperactivity)
2. ว่ายน้ำขึ้นมาสูบอากาศตามผิวหนัง มีอาการเสียดสมดุลงของร่างกาย
3. ระบบ metamorphosis ผิดปกติไป โดยคลอรีนจะไปยับยั้งเอนไซม์ triosephosphic dehydrogenase ที่ใช้ในการ oxidize กลูโคส

ในการขาดแคลนออกซิเจน ปลาหรือสัตว์ทดลองจะพยายามเพิ่มอัตราการหายใจเพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย (oxygen uptake) มากกว่าระดับปกติ ทำให้กระแสดเลือดหมุนเวียนอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการนำคลอรีนเข้าสู่ร่างกายของสัตว์ทดลองได้มาก และรวดเร็วขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อคลอรีนแพร่เข้ากระแสเลือด จะทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์ของเม็ดเลือดแดงโดยจะลด glutathione ซึ่งเป็นตัวป้องกันการ oxidize ฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และไลโปโปรตีน (lipoprotein) ของผนังเซลล์ (cell membrane) (Bhagavan, 1974) ทำให้เม็ดเลือดแตก (hemolysis)

ซึ่งส่งผลอย่างอื่นติดตามมา เช่น เกิดอาการโลหิตจาง (anemia) เมื่อเม็ดเลือดแดงนำออกซิเจนไปเลี้ยงร่างกายได้น้อยและพบว่า คลอรีนจะ oxidize ฮีโมโกลบิน ให้เป็น เมธิโมโกลบิน (methemoglobin) โดย oxidize เหล็กในฮีโมโกลบินจาก Fe^{+2} เป็น Fe^{+3} และ เมธิโมโกลบิน จะไม่สามารถรับออกซิเจน ทำให้สัตว์เกิดอาการขาดออกซิเจนรุนแรงขึ้น (Grothe and Eaton, 1975 ; Booth *et al.*, 1981) นอกจากนี้พบว่าปริมาณฮีมาโตคริต (hematocrit) เพิ่มขึ้นมากผิดปกติ คาดว่ามาจากเซลล์เม็ดเลือดแดงที่แตก ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้เลือดของสัตว์ทดลองมีสีคล้ำ มีความเข้มข้น และหนืด ทำให้การไหลเวียนของเลือดเป็นไปอย่างช้ามาก และมีการอุดตันในเส้นเลือดบางแห่ง (Bass *et al.*, 1977) ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองเกิดการช็อก (shock) และตายเพราะขาดออกซิเจนในที่สุด

คลอรีนมีผลให้ระบบควบคุม และการทำงาน (homeostasis) ในตัวของร่างกายสูญเสียสมดุล โดยจะไปยับยั้งโปรตีนที่สร้าง fibrinogen (Booth *et al.*, 1981; Bass *et al.*, 1977) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในตับทำให้โปรตีนจับกันเป็นก้อน และการสะสมไกลโคเจนลดลง และเซลล์ตับจะมีการตายด้วย

ก่อนสัตว์ทดลองจะตายจะมีอาการทรมานทรมาย มีอาการขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง คล้ายสัตว์น้ำที่ได้รับโลหะหนัก เช่น พรอท ตะกั่ว แคดเมียม (ประมาณ, 2523) หรือได้รับพิษจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Zeitoun, 1978a) ทั้งที่ในน้ำ มีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอที่สัตว์นั้นจะดำรงชีวิตได้อย่างปกติ ประกอบกับระบบ homeostasis เสียสมดุลไป ทำให้ประสาทส่วนกลางเสียการรับรู้เกี่ยวกับการทรงตัว และทิศทาง สัตว์ทดลองจึงมีพฤติกรรมการว่ายน้ำเปลี่ยนไป (Zeitoun, 1978b; Booth *et al.*, 1981)

สารเคมีที่ให้คลอรีนในน้ำแต่ละตัวนั้น เมื่อละลายน้ำจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมไม่เหมือนกัน เช่น ก๊าซคลอรีน เมื่อละลายน้ำจะมีแนวโน้มทำให้ค่าพีเอชของน้ำลดลง และเมื่อใช้สารพวก hypochlorite ($NaOCl$, $Ca(OCl)_2$) ค่าพีเอชจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Merken, 1958) ซึ่งจะทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำแตกต่างกัน เพราะค่าพีเอชมีผลโดยตรงต่อสัดส่วนของรูปแบบของคลอรีน เช่น อัตราส่วนระหว่าง $HOCl$ (hypochlorous acid) : OCl^- (hypochlorite anion) โดยคลอรีนตกค้าง $HOCl$ จะมีปริมาณมากในช่วงค่าพีเอช 3.4 – 7.5 และจะมีความเป็นพิษสูงกว่า OCl^- ซึ่งจะมีปริมาณมากในช่วงค่าพีเอชที่สูงกว่าขึ้นไป (Zillich, 1972; Brungs, 1973)

นอกเหนือจากชนิดของสารเคมีที่มีผลต่อความเป็นพิษของคลอรีนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น ความเข้มข้นของคลอรีน และระยะเวลาสัมผัส (contact time) ถ้าใช้ความเข้มข้นต่ำจะต้องใช้เวลาสัมผัสนาน แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงเวลาสัมผัสก็น้อยลง

นอกจากนี้ยังขึ้นกับขนาด น้ำหนัก และอายุของสิ่งมีชีวิตด้วย กล่าวคือ สัตว์ทดลองที่มีน้ำหนักมาก จะมีความทนต่อความเป็นพิษของคลอรีนได้มากกว่าสัตว์ทดลองชนิดเดียวกันที่มีน้ำหนักน้อยกว่า (Larson *et al.*, 1977) ซึ่ง Zeitoun (1977) ก็ได้รายงานเช่นเดียวกันว่าปลาตัวเล็กจะอ่อนแอ (sensitive) ต่อความเป็นพิษของคลอรีนมากกว่าปลาตัวใหญ่ และสัตว์น้ำวัยอ่อนจะมีความทนทานต่อพิษของคลอรีนน้อยกว่าสัตว์น้ำชนิดเดียวกันที่มีขนาดโตแล้ว ตัวอย่างเช่น ในระดับความเข้มข้นของคลอรีนรวม (Total residual chlorine, TRC) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ปลา Brook trout จะมีชีวิตอยู่ได้ถึง 96 ชั่วโมง (Zeitoun, 1977) ในขณะที่ตัวอ่อนของ Brook trout มีชีวิตอยู่ได้เพียง 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม แต่ Morgan and Prince (1977) รายงานว่าสัตว์น้ำวัยอ่อนชนิดเดียวกันที่มีอายุมากขึ้น จะอ่อนแอต่อความเป็นพิษของคลอรีนมากกว่าตัวอ่อนที่มีอายุน้อยกว่า ซึ่งจากการทดลองของ พบว่า ตัวอ่อนของ Blue back herring อายุ 1 วัน จะตายหมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 0.36 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ส่วนตัวอ่อนอายุ 3 วัน จะตายหมดที่ความเข้มข้น 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม และ LC_{50} ของคลอรีน ในเวลา 48 ชั่วโมง ที่มีตัวอ่อนอายุ 1 วัน เท่ากับ 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีนรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอ่อนที่มีอายุมากจะทนต่อความเป็นพิษของคลอรีนได้น้อยกว่าตัวอ่อนที่มีอายุน้อยกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอ่อนในระยะ Fry stage ซึ่งเป็นระยะที่เปลี่ยนการใช้อาหารจาก yolk sac มาเป็นหาอาหารกินเอง (Larson *et al.*, 1977) ทั้งนี้ความทนทานต่อความเป็นพิษของคลอรีนยังขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีผู้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความเป็นพิษของคลอรีน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น จะไปกระตุ้นกิจกรรม (activity) ของสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปจะเร่งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้ขบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ เร่งความเร็วมากขึ้น และทำให้ขบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การหายใจ การว่ายน้ำ การกินอาหาร การขับถ่าย และการเดินของหัวใจสูงขึ้น ทำให้ต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น เพื่อกระบวนการสันดาปอาหารให้เกิดพลังงานเพียงพอต่อกิจกรรมของสัตว์ แต่การที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนจะลดลง กล่าวคือ จุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจะมีปริมาณ 12.8 มิลลิกรัมต่อลิตรของคลอรีน ที่ 5 องศาเซลเซียส และลดลงเป็นลำดับเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น เช่น ออกซิเจนในน้ำจะลดเหลือ 9.2

มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส และเหลือเพียง 7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ทำให้สัตว์น้ำเกิดการขาดแคลนออกซิเจน (ประมวล, 2523) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้มีความเป็นพิษของคลอรีนเพิ่มขึ้นไปด้วย (synergistic effect) ซึ่ง Hodson and Sprague (1975) กล่าวว่า สัตว์ทดลองจะไวต่อสารพิษ และเชื้อโรคเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการออกซิเจนลดลง สัตว์ต้องหายใจเร็วขึ้น ทำให้น้ำผ่านเหงือกมากกว่าปกติเป็นโอกาสให้สารพิษซึมผ่านเหงือกได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิ และคลอรีนเสริมความเป็นพิษกัน (synergistic effect) ดังตารางที่ 1 ที่แสดงถึงผลการทดลองความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนร่วมกับอุณหภูมิซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาไว้

ตารางที่ 1 สรุปรายงานความเป็นพิษเฉียบพลัน (LC₅₀) ของคลอรีนที่ชั่วโมงต่าง ๆ และระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

สัตว์ทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น ของคลอรีนรวม (mg/l TRC)	การทดลอง	เอกสารอ้างอิง
Giant freshwater Prawn	27	0.24	LC ₅₀ -48 hr	ประมาณ (2523)
(<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)	32	0.23	LC ₅₀ -48 hr	ประมาณ (2523)
	37	0.13	LC ₅₀ -48 hr	ประมาณ (2523)
Coon Stripe Shrimp	10	0.30	LC ₅₀ -96 hr	Gibson และคณะ(1976)
(<i>Pandalus danae</i>)	15	0.21	LC ₅₀ -96 hr	Gibson และคณะ(1976)
	20	0.13	LC ₅₀ -96 hr	Gibson และคณะ(1976)
Juvenile Oyster 7 days old	20	0.12	LC ₅₀ -30 min	Capuzzo (1979b)
(<i>Crassostrea virginica</i>)	26	0.07	LC ₅₀ -30 min	Capuzzo (1979b)
Coho Salmon	10	0.56	LC ₅₀ -30 min	Seegert และ Brook(1978)
(<i>Onchorhynchus kisutch</i>)	20	0.29	LC ₅₀ -30 min	Seegert และ Brook(1978)
Copepod	5	1.54	LC ₅₀ -30 min	Latimer และคณะ (1975)
(<i>Limnocalanus macrurus</i>)	10	1.54	LC ₅₀ -30 min	Latimer และคณะ (1975)
(<i>Cyclops bicuspidatus thomasi</i>)	15	5.61	LC ₅₀ -30 min	Latimer และคณะ (1975)
	20	5.76	LC ₅₀ -30 min	Latimer และคณะ (1975)
Rainbow Trout	15	0.5	LC ₅₀ -62 hr	Bass และคณะ (1977)
(<i>Salmo gairdneri</i>)	32	0.5	LC ₅₀ -30 hr	Bass และคณะ (1977)
	10	0.99	LC ₅₀ -30 hr	Seegert และ Brook(1978)
	15	0.94	LC ₅₀ -30 hr	Seegert และ Brook(1978)
	20	0.43	LC ₅₀ -30 hr	Seegert และ Brook(1978)
Bluegill	25	0.54	LC ₅₀ -48 hr	ประมาณ (2523)
(<i>Lepomis macrochirus</i>)	32	0.47	LC ₅₀ -48 hr	ประมาณ (2523)

การใช้คลอรีนในการเลี้ยงกุ้งทะเล

จิตชาติ (2538) รายงานว่า การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในระบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้คลอรีนความเข้มข้น 18 มิลลิกรัมต่อลิตร บำบัดน้ำจำนวน 6 บ่อ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 1,156 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะเวลาเลี้ยง 143 วัน ขนาดกุ้ง 29.22 กรัม อัตรารอด 66.42 เปอร์เซ็นต์ อัตราแลกเนื้อ 1.90 ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงไม่ประสบปัญหาการติดโรค สุขภาพกุ้งแข็งแรง ในขณะที่บ่อที่ควบคุม 2 บ่อ ซึ่งเป็นบ่อซึ่งใช้น้ำสำหรับเลี้ยงโดยไม่ผ่านการบำบัดด้วยคลอรีน สามารถเลี้ยงได้ 85 วัน กุ้งเกิดอาการติดเชื้อโรคหัวเหลือง (yellow head disease) และมีอัตราการรอดเพียง 13 เปอร์เซ็นต์

อุษณีย์ และ สิทธิ (2540) พบว่า ระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของคลอรีนต่อกุ้งกุลาดำขนาด 10 – 13 เซนติเมตร ที่ทำให้กุ้งตาย 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่ามาตรฐานความเป็นพิษของคลอรีนในเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 56.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่สามารถนำคลอรีนมาใช้ในการรักษาโรคไวรัสหัวเหลืองโดยตรงในกุ้งกุลาดำได้

ถึงแม้ว่าสารประกอบคลอรีนจะมีหลายชนิด แต่ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ ของคลอรีนที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือการเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันนี้มีเพียงสารประกอบคลอรีนในกลุ่มไฮโปคลอไรท์เท่านั้น ซึ่งอาจจะเป็นเกลือโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปสารละลาย หรือเรียกกันว่าคลอโรกซ์ ซึ่งมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์ประมาณ 14 – 15 เปอร์เซ็นต์ หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ จะอยู่ในรูปของคลอรีนผง ซึ่งมีปริมาณคลอรีนออกฤทธิ์ประมาณ 50 -60 เปอร์เซ็นต์ และไม่ว่าจะเป็นคลอรีนผงหรือสารละลายก็มีประสิทธิภาพในการใช้งานเหมือนกัน ถ้ามีปริมาณสารออกฤทธิ์ตามที่กำหนดไว้ สำหรับคลอรีนไดออกไซด์ถึงแม้ว่าจะมีฤทธิ์สูง แต่ยังไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ส่วนโซเดียมคลอไรท์ก็มีใช้บ้างแต่ไม่มากเท่าไฮโปคลอไรท์

เนื่องจากคลอรีนเป็นสารที่ออกฤทธิ์ต่อสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างรุนแรง โดยเฉพาะสารอินทรีย์ในน้ำ ดังนั้นเมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำที่จะเตรียมเพื่อเลี้ยงกุ้ง คลอรีนจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ทำลายสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นไข่ปลา ไข่หอย หรือเชื้อโรคทั้งเชื้อโปรโตซัว เชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส ในปัจจุบันเกษตรกรทั่วไปใช้คลอรีนในการเตรียมน้ำในอัตราส่วน 30 – 50 กิโลกรัมต่อไร่ที่ระดับความลึกของน้ำ 1 เมตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 15 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นขนาดนี้ก็เพียงพอในการทำลายสิ่งมีชีวิตและเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ ถ้าน้ำไม่มีตะกอนมากเกินไป คลอรีนจะออกฤทธิ์ได้ดีในสภาพน้ำที่มีพีเอชเป็นกลาง ถ้าพีเอชของน้ำสูงหรือ

ต่ำเกินไปก็จะทำให้คลอรีนออกฤทธิ์น้อยลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและแสงแดดที่จัดก็มีผลทำให้การออกฤทธิ์ของคลอรีนลดน้อยลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการเตรียมน้ำของเกษตรกร ถ้าจะให้คลอรีนออกฤทธิ์ได้ดีที่สุดก็ควรจะให้ น้ำมีตะกอนแขวนลอยน้อย พิเศษของน้ำควรอยู่ในช่วง 7.0 – 8.0 และที่สำคัญควรใช้ในช่วงเวลาเย็น ที่มีแสงแดดน้อยเพื่อให้การออกฤทธิ์ของคลอรีนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

หลังจากใช้คลอรีนแล้วน้ำจะใสขึ้นเพราะคลอรีนจะไปทำปฏิกิริยากับตะกอนแขวนลอยต่าง ๆ ในน้ำและทำลายแบคทีเรียด้วย ดังนั้นน้ำที่ใสขึ้นแล้วจะมีชีวิตเล็ก ๆ ในน้ำ จากนั้นเกษตรกรควรเปิดเครื่องให้อากาศเพื่อให้คลอรีนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำสลายตัวไป ถ้าแดดจัด ๆ คลอรีนจะสลายตัวได้เร็วขึ้น หลังจากคลอรีนสลายตัวหมดก็สามารถเตรียมน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งต่อไป

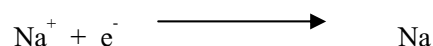
กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)

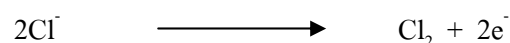
การแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแยกสลายด้วยไฟฟ้า คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยแยกปฏิกิริยาออกเป็นสองส่วน คือ ออกซิเดชันกับรีดักชัน ครั้งที่ เป็นออกซิเดชันเกิดขึ้นที่แอโนด ส่วนครั้งที่ เป็นรีดักชันเกิดที่แคโทด แอนไอออนเคลื่อนที่เข้าหาแอโนด ถ้าอิเล็กตรอนจากแอนไอออนให้แก่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนแคตไอออนเคลื่อนที่เข้าหาแคโทด แล้วรับอิเล็กตรอนจากแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว ได้โซเดียมเกาะที่แคโทด และแก๊สคลอรีนออกมาที่แอโนด แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาขึ้น มีการแยกเกลือโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ ในสภาพของแข็งนำไฟฟ้าไม่ได้ เพราะไอออนของแข็งเคลื่อนที่ไม่ได้ แต่เมื่อให้ความร้อนจนโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 800 °C ใส่ขั้วไฟฟ้าที่เฉื่อย เช่น แท่งคาร์บอนหรือแพลตินัมลงไป แล้วผ่านกระแสไฟฟ้า โดยต่อจากแหล่งทำไฟกระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ จะพบว่าโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลวนำไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพราะในสภาพของเหลวไอออนเคลื่อนที่ได้สะดวก การนำไฟฟ้าเกิดขึ้นดังกระบวนการต่อไปนี้

(ก) Na^+ เคลื่อนที่ไปสู่แคโทด ซึ่งมีประจุลบ รับอิเล็กตรอนจากแคโทด เกิดรีดักชัน Na^+ เปลี่ยนเป็น โลหะโซเดียม

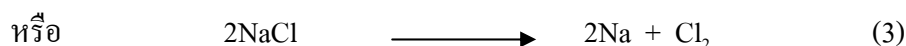
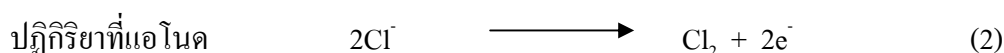
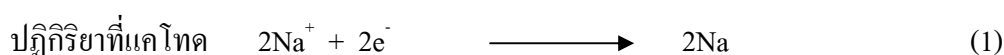


(ข) Cl^- เคลื่อนที่ไปสู่แอโนด ซึ่งมีประจุบวก ให้อิเล็กตรอนจากแอโนด เกิดออกซิเดชัน Cl^- เปลี่ยนเป็นอะตอมคลอรีน แล้วอะตอมคลอรีนสองอะตอมรวมกันเป็นแก๊สคลอรีน 1 โมเลกุล ได้แก๊สคลอรีนปุดออกมาทางแอโนด



กระแสไฟฟ้าเดินวนครบวงจรได้เพราะแอโนดรับอิเล็กตรอนจากแอนไอออน Cl^- อิเล็กตรอนเดินไปตามวงจรไฟฟ้านอกของเหลวมาที่แคโทดแล้วถ่ายโอนไปสู่แคตไอออน Na^+ อิเล็กตรอนหายไปทางแคโทดแล้วได้อิเล็กตรอนกลับมาทางแอโนดครบเป็นวงจร สำหรับภายในของเหลว การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าสืบเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของไอออนในสนามไฟฟ้า

ผลที่ได้จากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 1 โมล ทำให้เกิดโซเดียม 1 โมล และคลอรีน $\frac{1}{2}$ โมล เพื่อให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับรีดักชันสมดุลกัน จึงทำจำนวนอิเล็กตรอนให้เท่ากันเสียดังนี้



กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลว ทำให้ได้โซเดียมที่แคโทดและแก๊สคลอรีนที่แอโนด กระบวนการเช่นนี้เป็นการแยกสลายสารด้วยไฟฟ้า เราเรียกว่าโซเดียมคลอไรด์ที่หลอมเหลวถูกแยกสลายด้วยไฟฟ้า ไฟฟ้าเป็นแรงผลักดันให้ปฏิกิริยาที่ไม่เกิดขึ้นเองเช่นนี้

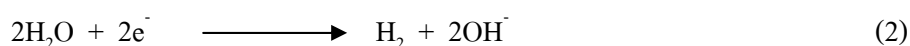
เกิดขึ้นได้ อุปกรณ์ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยภาชนะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ที่มีขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่งต่อจากแหล่งทำไฟกระแสตรง เรียกว่า “เซลล์อิเล็กโทรไลต์” เซลล์ชนิดนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

ปฏิกิริยา (1) และ (2) ซึ่งเกิดที่แคโทดและแอโนดเป็นครึ่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยาออกซิเดชันนั่นเอง เมื่อรวมกันแล้วจึงจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันโดยสมบูรณ์

ถ้าเราทำการแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยไฟฟ้า สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ได้จากการละลายโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ ภายในสารละลายไม่ได้มีแต่เพียง Na^+ และ Cl^- เท่านั้น แต่ยังมีโมเลกุลน้ำซึ่งอาจถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ได้ด้วย สิ่งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ มีดังนี้

(ก) Na^+ เคลื่อนที่ไปสู่แคโทด

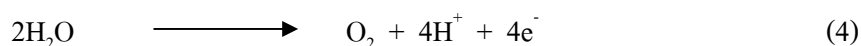
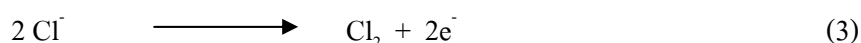
(ข) ที่แคโทด มีทั้ง Na^+ และโมเลกุลน้ำ อาจเกิดรีดักชันขึ้นกับ Na^+ หรือโมเลกุลน้ำดังนี้



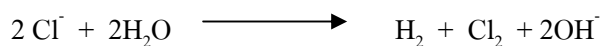
ระหว่าง Na^+ กับ H_2O ถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า Na^+ ปฏิกิริยาที่แคโทดจึงเป็นปฏิกิริยา (2) ได้แก๊สไฮโดรเจน

(ค) Cl^- เคลื่อนที่ไปสู่แอโนด

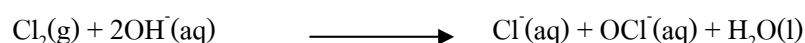
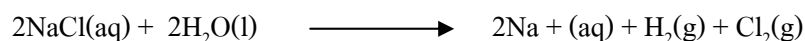
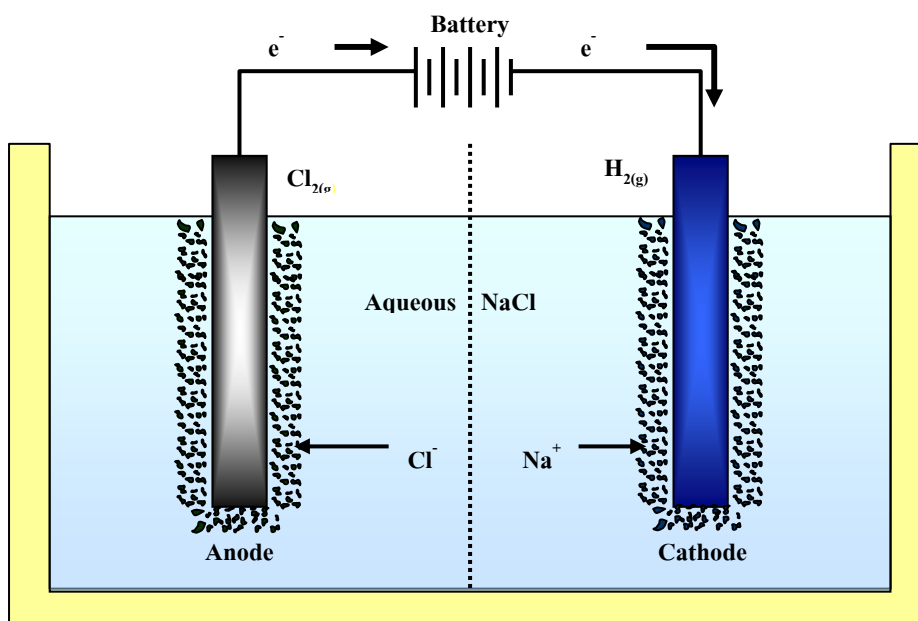
(ง) ที่แอโนดมีทั้ง Cl^- และโมเลกุลน้ำ อาจเกิดออกซิเดชันขึ้นกับ Cl^- หรือโมเลกุลน้ำดังนี้



แต่เนื่องจาก Cl^- ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่า H_2O ปฏิกิริยา (3) จึงเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แอโนดได้ แก๊สคลอรีน ปฏิกิริยาของเซลล์ได้จากการรวม (2) และ (3) เข้าด้วยกัน



การแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เข้มข้นพอควรด้วยไฟฟ้า ได้แก๊สไฮโดรเจนที่แคโทดและแก๊สคลอรีนที่แอโนด (ภาพที่ 1) ส่วน Na^+ คงอยู่ในสารละลายตามเดิม และเมื่อทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้าเรื่อยไปนานเข้าก็จะมี OH^- สะสมมากขึ้น ภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้าแล้ว ถ้าเอาสารละลายที่เหลือไประเหยจะได้อะดัมของแข็งโซเดียมไฮดรอกไซด์ตกผลึกออกมา การแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยไฟฟ้าจึงเป็นวิธีเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วย (กฤษณา, 2538)



ภาพที่ 1 หลักการของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshimizu *et al.* (2005)

การใช้กระบวนการอิเล็กโทรไลซิสในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Whangchai *et al.* (2003a) ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการลดปริมาณแพลงก์ตอนพืชด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า ในน้ำทะเลเทียมที่ใช้ในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ระดับต่าง ๆ กัน (ในรูป COD; 8, 41 และ 94 mg/l) และที่ พีเอชต่าง ๆ กัน (6.5, 7.2, 8.2, 8.9 และ 9.5) โดยใช้สารละลายเกลือทะเลเทียมเป็นตัวนำไฟฟ้า (ความเค็ม 35 ppt อุณหภูมิ $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$) มีแพลงก์ตอนพืช (*Skeletonema* sp.) และสารอินทรีย์ ที่ได้จากแหล่งของเศษอาหารกุ้งที่เติมลงไป การศึกษาปริมาณของแพลงก์ตอนจะดูจากปริมาณคลอโรฟิล เอ และวัดอัตราการลดลงของ COD โดยใช้เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ที่กำลังไฟฟ้าช่วงระดับ 0-0.6 วัตต์ชั่วโมงต่อลิตร ผลของการใช้กระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้านี้ (ตารางที่ 2) สามารถลดปริมาณของแพลงก์ตอนพืชลงได้อย่างรวดเร็ว แต่การลดปริมาณ COD จะยากกว่า ในการลดปริมาณแพลงก์ตอนค่าคลอโรฟิลเอ ในน้ำที่มีพีเอชต่ำจะลดลงได้ดีกว่าในน้ำที่มีพีเอชสูง และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า COD ในน้ำที่มีค่า COD สูงจะลดลงได้น้อยกว่าในน้ำที่มี COD ต่ำ

ตารางที่ 2 ผลของการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าที่ระดับกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ กัน ต่อปริมาณคลอโรฟิลเอ และค่า COD

Specific energy (watt x h/l)	Reduction (%)	
	Chlorophyll <i>a</i>	COD
0	0	0
0.2	26.7	0
0.4	32.2	0
0.6	36.6	5.9

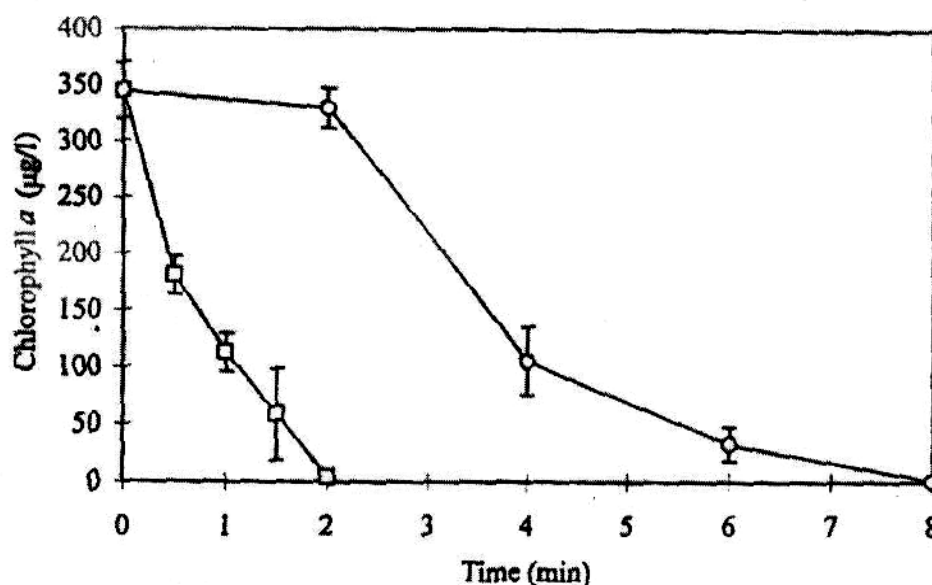
ที่มา: Whangchai *et al.* (2003a)

จากการศึกษาผลของอิเล็กโทรไลซิสต่อแบคทีเรียที่อยู่ในน้ำของ Jorquera *et al.* (2002) โดยใช้น้ำทะเลที่ผ่านการกรองขนาด $10\ \mu\text{m}$ (sand filter, Jacuzzi) มาผ่านเครื่องอิเล็กโทรไลซิสที่ออกแบบให้สามารถแยกโมเลกุลของ NaCl ในน้ำให้ปล่อยออกมาอยู่ในรูป hypochlorite ion (OCl^-) และ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (Na^+) วิธีการฆ่าเชื้อทำดังนี้คือ 1) ผ่านน้ำทะเลเข้าสู่เครื่องอิเล็กโทรไลซิสที่

อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที ที่ระดับกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ กัน 11 ระดับ โดยเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.1-2.0 แอมแปร์ (1.9-2.1 V) และ 2) ผ่านน้ำทะเลเข้าสู่เครื่องฆ่าเชื้อด้วยคลื่นแสง UV (Rainbow Lifegard, USA; 40W) ด้วยอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที และน้ำที่ไม่ได้ไหลผ่านระบบฆ่าเชื้อ

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณเชื้อจากการนับจากจานเลี้ยงเชื้อ (CFU), การนับโดยตรงด้วยการย้อมสี 4',6' diamidino-2-phenylindole (DAPI) และการนับแบคทีเรียที่ยังมีชีวิตด้วย 6-carboxy fluorescein diacetate (6CFDA) แสดงให้เห็นว่า ประชากรเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ เมื่อให้กระแสไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.3 แอมแปร์ (≥ 2.13 mg Cl⁻/l) นอกจากนี้ในการทดลองหาความเข้มข้นที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำทะเล ที่รู้ว่าเป็นสาเหตุของโรคในหอยเชลล์ คือ *Vibrio anguillarum* ด้วยการใช้เครื่องอิเล็กโทรไลซิสโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ 1.0 และ 4.0 แอมแปร์ และสามารถฆ่าเชื้อในการเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียว (*Isochrysis galbana*) ที่ใช้เป็นอาหารของหอยโดยไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และเมื่อนำเทคนิคนี้มาใช้ประยุกต์กับโรงเพาะฟักหอยระดับการค้าแล้ว สามารถได้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้การฆ่าเชื้อด้วยเครื่องอบไอน้ำความดันสูง หรือการฆ่าเชื้อด้วยคลื่นแสง UV ผลการศึกษานี้จึงได้ข้อเสนอแนะว่าสามารถใช้เครื่องอิเล็กโทรไลซิสที่ปลดปล่อยคลอรีนอิสระ (Cl⁻) ที่ระดับต่ำ ๆ กับน้ำที่ใช้ในโรงเพาะฟักได้ (Jorquera *et al.*, 2002)

นอกจากการใช้กระบวนการอิเล็กโทรไลซิสในการฆ่าเชื้อในน้ำที่ใช้ในโรงเพาะฟักแล้ว Whangchai *et al.* (2003b) ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมแพลงก์ตอนพืชด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้า (using TiO₂ as an anode) เปรียบเทียบกับ electroflotation (using aluminum alloy as an anode) โดยการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับระบบ ในสารละลาย 3 ลิตร ของน้ำทะเลเทียม (ความเค็ม 30 ppt ; พีเอช 8.2) ที่มีส่วนประกอบของแพลงก์ตอนพืช (*Skeletonema* sp.) ซึ่งน้ำนี้ใช้ในการเลี้ยงกุ้งญี่ปุ่น (*Penaeus japonicus*) ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการมาแล้ว ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการทั้งสองกระบวนการสามารถกำจัดแพลงก์ตอนพืชอย่างได้ผล แต่ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนก็คือกระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าระบบ electroflotation ถึง 4.3 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่า คลอโรฟิล เอ ระหว่างการบำบัดด้วยไฟฟ้า; electro-oxidation (□) และ electroflotation (○) ในน้ำทะเลเทียมที่ใช้สำหรับเลี้ยงกุ้ง ทุกค่าในเส้นกราฟแสดงค่า $\pm$ SD ในการทดลองที่มี 3 ซ้ำ

ที่มา: Whangchai *et al.* (2003b)

อรุณชัย และคณะ (2546) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำ บ่อเลี้ยงกุ้งของคลอรีนผงและคลอรีนที่ผลิตจากน้ำทะเลพบว่า คลอรีนที่ผลิตจากเครื่องโดยใช้ กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 50 แอมแปร์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อในน้ำได้ โดยไม่มีผลกระทบ ด้านลบต่อสุขภาพกุ้ง คลอรีนที่ได้จากเครื่องผลิตคลอรีนจะสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำ และ ควบคุมปริมาณเชื้อได้ในระยะ 4 วันหลังจากเริ่มเดินเครื่อง ส่วนปริมาณเชื้อแบคทีเรียในบ่อที่ใช้ คลอรีนผงจะเพิ่มขึ้นหลังจากใช้เพียง 12 ชั่วโมง ซึ่งสรุปได้ว่า เครื่องผลิตคลอรีนจากน้ำทะเล สามารถผลิตคลอรีนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำได้ และไม่มีผลเสียต่อสุขภาพกุ้ง

Yoshimizu *et al.* (1998) และ Tsuzuki *et al.* (1999) ได้ทดสอบระบบบิเล็กโทรไลซิสใน ห้องปฏิบัติการเช่นกัน พบว่า วิธีการนี้สามารถลดปริมาณแพลงก์ตอน แบคทีเรีย ไวรัส ได้ถึง 99%

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

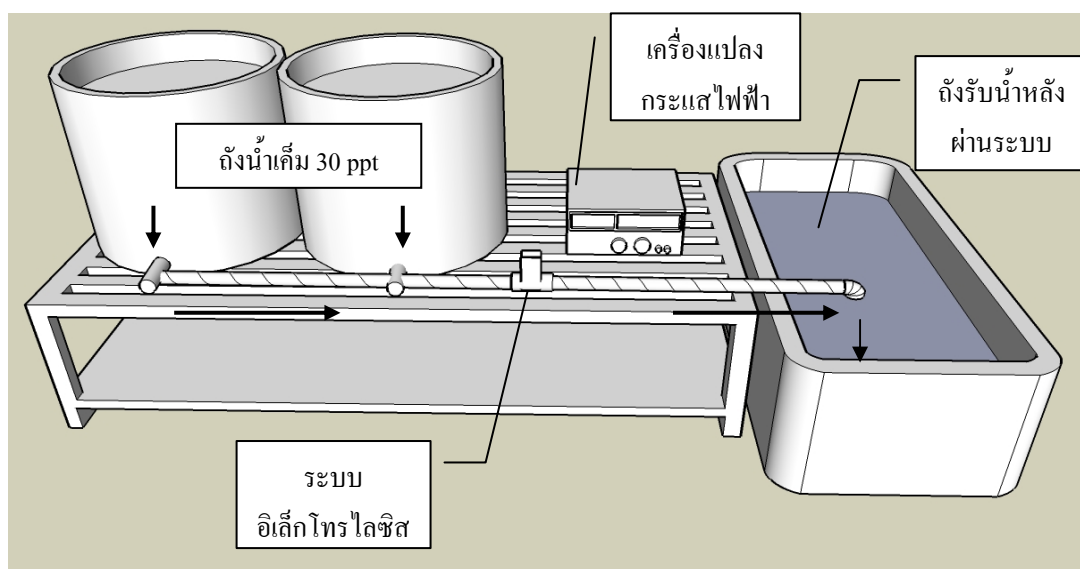
1. น้ำทะเลจากนาเกลือความเค็ม 140 ppt
2. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นกระแสตรง (DC POWER SUPPLY HY 3020)
3. ขั้วไฟฟ้ามาตรฐาน
 - 3.1 ขั้วบวก คือ อลูมิเนียมอัลลอยด์ (Aluminium alloy)
 - 3.2 ขั้วลบ คือ ไททาเนียมเคลือบด้วยไททาเนียมออกไซด์ (Titanium-based metals coated with TiO_2)
4. สายไฟฟ้าชนิดปากคีบ
5. Autoclave
6. เครื่องแก้วและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
7. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
 - 7.1 Spectrophotometer (Shimadzu UV-1201)
 - 7.2 TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
8. เครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย
9. อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย
 - 9.1 Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar (TCBS)
 - 9.2 Plate Count Agar (PCA)
10. อุปกรณ์ในการทดลอง
 - 10.1 ถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 500 ลิตร
 - 10.2 ถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร
 - 10.3 ถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 2 ลูกบาศก์เมตร
11. สัตว์ทดลอง
 - กุ้งขาวแวนนาไม *Litopenaeus vannamei* ระยะนาอเพลียส (Nauplius)

วิธีการ

ในการศึกษานี้ได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกเป็นการศึกษากระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่ต้องการ ที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิสร่วมกับระบบกรองในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิม

1. การศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของระบบอิเล็กโทรไลซิสที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่ต้องการที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ

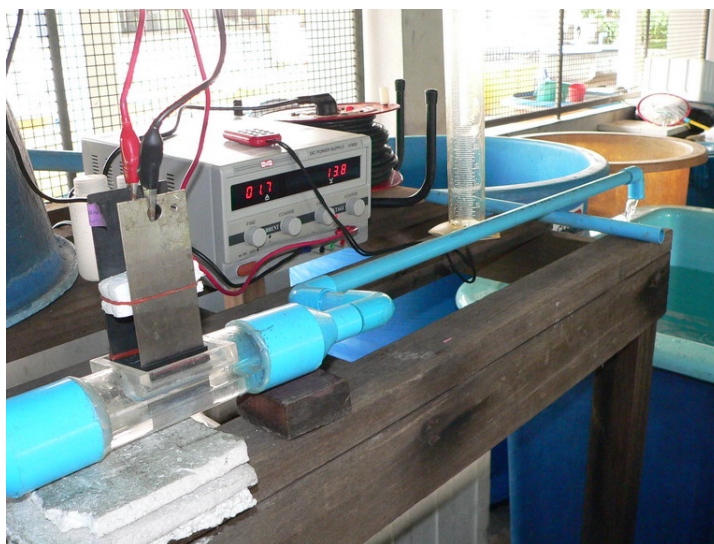
ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ ที่ได้จากการนำน้ำเค็มที่มีความเค็ม 30 ppt (ความเค็มปกติที่ใช้ในโรงเพาะฟัก) มาผ่านถังที่ติดตั้งระบบอิเล็กโทรไลซิส (ภาพที่ 3) โดยใช้กระแสไฟฟ้าหลายระดับ และอัตราการไหลของน้ำผ่านระบบหลายระดับ น้ำที่ผ่านออกมาจากระบบจะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนด้วยวิธี DPD Ferrous Titrimetric Method (APHA *et al.*, 1995) เพื่อหาระดับกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมที่จะสามารถผลิตคลอรีนได้ในระดับที่สามารถฆ่าเชื้อในน้ำได้



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของระบบทดลอง กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

ระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่ต้องการ โดยมีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ คลอรีน 10 มิลลิกรัม ต่อลิตรมีผลในการยับยั้งแบคทีเรียและไวรัสโจนหมดหลังจากเติมคลอรีนไปแล้ว 30 นาที จนตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง (สุวรรณ และ พรเลิศ, 2539)

โดยขนาดของขั้วไฟฟ้า (กว้าง x ยาว) ที่ใช้ในการผลิตคลอรีน มีดังนี้ ขั้วบวก มีขนาด 6 x 15 เซนติเมตร ขั้วลบ มีขนาด 5 x 15 เซนติเมตร และขนาดพื้นที่ที่สัมผัสกับน้ำเค็ม คือ ขั้วบวก 6 x 1.5 เซนติเมตร และขั้วลบ 5 x 1.5 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 3 เซนติเมตร (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขั้วไฟฟ้าผลิตคลอรีนของระบบอิเล็กทรอนิกส์

2. การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับระบบกรองในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิม

2.1 การเตรียมการทดลอง

2.1.1 การเตรียมน้ำสำหรับทดลอง

ทำการเจือจางน้ำเค็มให้ได้ความเค็ม 30 ppt และแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาใส่คลอรีนผงความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อฆ่าเชื้อในน้ำ และส่วนที่สองนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (ภาพที่ 5) โดยนำข้อมูลจากเบื้องต้นมาวิเคราะห์กำหนดอัตราไหลและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อในน้ำ หลังจากนั้นมีการให้อากาศอย่างเต็มที่เพื่อเร่งให้คลอรีนสลายตัวเป็นเวลา 3-4 วัน (ภาพที่ 6) และเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำที่ใช้ทดลอง ก่อนใช้ทดสอบระดับการตกค้างของคลอรีนในน้ำด้วย KI (โปแตสเซียมไอโอไดต์) เพื่อป้องกันความเป็นพิษของคลอรีนที่อาจเกิดขึ้นกับลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้ทดลอง



ภาพที่ 5 น้ำที่ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 6 การให้อากาศเพื่อสลายคลอรีนก่อนการอนุบาลลูกกุ้ง

2.1.2 สัตว์ทดลอง

ลูกกุ้งขาวแวนนาไม *Litopenaeus vannamei* ระยะนาอเพลียส (Nauplius)

2.1.3 อาหารทดลอง

มีการให้อาหารลูกกุ้งในระยะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ระยะนาอเพลียส (Nauplius) จนถึงระยะซูเอีย 3 (Zoea 3) ให้แพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros* sp. 5 มื้อต่อวัน โดยแต่ละครั้งมีการนับจำนวนแพลงก์ตอนในถังเลี้ยงให้มีประมาณ 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

- ระยะไมซิส 1 (Mysis I) ถึงระยะไมซิส 3 (Mysis 3) และเริ่มให้อาหารของ *Artemia* sp. และแพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros* sp. 5 มื้อต่อวัน เป็นอาหารแก่ลูกกุ้ง

- ระยะโพสท์ลาร์วา 1 (Postlarva 1) จนถึงระยะโพสท์ลาร์วา 15 (Postlarva 15) ให้อาหารของ *Artemia* sp. วันละ 5 ครั้ง

2.2 การดำเนินการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง (ภาพที่ 7) แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ดังนี้ (ภาพที่ 8)

ชุดการทดลองที่ 1 (Control) นำน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีนผงความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มาอนุบาลลูกกุ้ง เป็นระบบเปิด (วิธีการที่เกษตรกรทั่วไปปฏิบัติ)

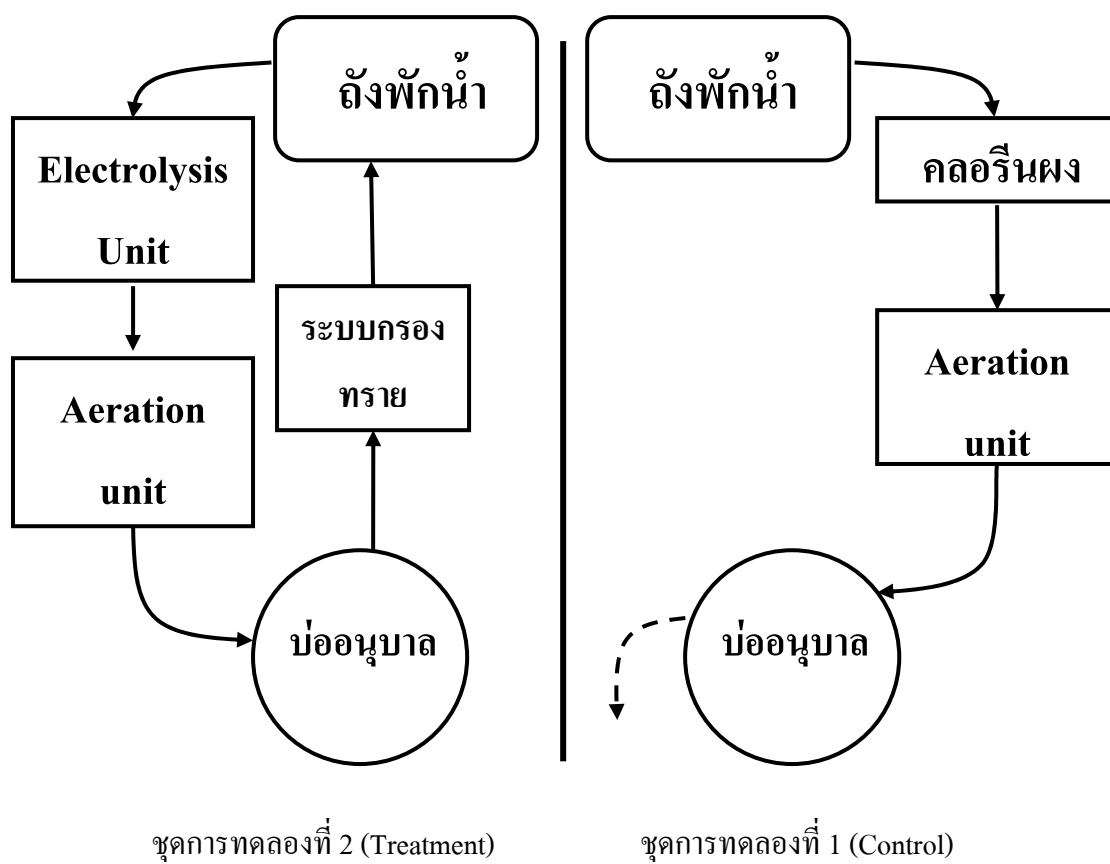
ชุดการทดลองที่ 2 (Treatment) นำน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์มาอนุบาลลูกกุ้ง เป็นระบบปิด (มีการใช้ระบบกรองทรายร่วมด้วย ก่อนนำน้ำจากการอนุบาลครั้งที่ 1 มาอนุบาลต่อในการอนุบาลครั้งที่ 2 และ 3)

ภายหลังจากที่คลอรีนสลายตัว ทำการอนุบาลลูกกุ้งตั้งแต่วัยระยะนาเพลียส (Nauplius) จนถึงระยะโพสท์ลาร์วา 15 (Postlarva 15) โดยใช้ถังไฟเบอร์ขนาด 500 ลิตร ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt ปริมาตร 300 ลิตร จำนวน 6 ถัง โดยแต่ละถังปล่อยลูกกุ้งในอัตรา 100 ตัวต่อน้ำ 1 ลิตร และมีการปรับลดความเค็มของน้ำระหว่างการอนุบาล โดยเริ่มทำการปรับความเค็มให้ลดลงเมื่อลูกกุ้งเข้าระยะโพสท์ลาร์วา 5-7 และลดความเค็มให้ได้ประมาณ 15 ppt เมื่อลูกกุ้งระยะโพสท์ลาร์วา 15

ในการทดลองส่วนที่ 2 นี้จะทำ 3 ครั้งด้วยกัน เพื่อเป็นการทดสอบการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระบบปิด

หมายเหตุ ในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 2 วัน ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก 7 วัน (ตารางที่ 3) หลังจากปล่อยกุ้งจนกระทั่งจับกุ้ง

รูปแบบการทดลองมีดังนี้ คือ



ภาพที่ 7 แผนผังการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 8 รูปแบบการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม

ตารางที่ 3 รายละเอียด และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
<u>คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี</u>	
ค่าพีเอช (pH)	TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
อุณหภูมิ	TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
ความเค็ม	TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
ค่าการนำไฟฟ้า	TOA Water Quality Checker (WQC-20A)
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	Indophenol Blue method (Grasshoff, 1976)
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	Diazotization method (Grasshoff, 1976)
ความเป็นด่างรวม	Titration method (APHA <i>et al.</i> 1995)
ปริมาณคลอรีนอิสระ	DPD Ferrous Titrimetric Method (APHA <i>et al.</i> 1995)
<u>คุณภาพน้ำทางชีววิทยา</u>	
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด	Total Plate Count method (APHA <i>et al.</i> 1995)
ปริมาณเชื้อ <i>Vibrio</i> spp.	Selective media technique (APHA <i>et al.</i> 1995)

2.3 การศึกษาอัตราการตาย และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง

ทำการวัดอัตราการตายและอัตราการเจริญเติบโตของลูกกุ้งหลังสิ้นสุดการอนุบาล โดยสุ่มนับลูกกุ้งที่ปล่อยในแต่ละถัง จำนวนถึงละ 3 ซ้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วคูณด้วยจำนวนซ้อนที่จับได้ จะได้จำนวนลูกกุ้งที่เหลือรอดทั้งหมด

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่เหลือ}}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด}} \times 100$$

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต เช่น ค่าอาหาร ค่าลูกพันธุ์ ค่าพลังงาน ค่าแรงงาน ค่าสารเคมี ฯลฯ จะถูกเก็บตลอดการเลี้ยง และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองจะมีการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.4.1 แนวคิดการวิเคราะห์ต้นทุน

การศึกษาต้นทุนของการอนุบาลกึ่งขาวแวนนาไม่จะพิจารณาถึงโครงสร้างของต้นทุน

2.4.2 โครงสร้างต้นทุน

ต้นทุนการผลิตแบ่งออกเป็นต้นทุนผันแปร (Variable cost) และต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

ต้นทุนผันแปร คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปัจจัยผันแปร ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ผู้ผลิตสามารถจะเพิ่มหรือลดได้ในระยะเวลาที่ทำการศึกษา ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าพันธุ์กึ่ง ค่าอาร์ทีเมีย ค่าน้ำเค็ม ค่าสารเคมี ค่าจ้างแรงงาน ค่าไฟฟ้า

$$\text{ต้นทุนผันแปร} = \text{ค่าพันธุ์กึ่ง} + \text{ค่าอาร์ทีเมีย} + \text{ค่าน้ำเค็ม} + \text{ค่าสารเคมี} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า}$$

ต้นทุนคงที่ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ปัจจัยซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายประเภทนี้มีความเกี่ยวข้องกับทุนที่เรียกว่า เงินทุนจม (Sunk capital investment) ต้นทุนคงที่ที่เป็นเงินสดแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าวัสดุเครื่องมือถาวรที่ใช้ในการผลิต ต้นทุนคงที่ที่ไม่เป็นเงินสดคือ ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ชุดอิเล็กทรอนิกส์ และค่าเสื่อมราคาระบบกรองทราย

ค่าเสื่อมราคารายเดือนจะหาได้โดยนำราคาซื้อ หรือราคาทุนของทรัพย์สินแต่ละอย่าง มูลค่าซากของทรัพย์สินนั้น ๆ และอายุการใช้งานมาคำนวณ การคำนวณค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight-line depreciation method) เป็นดังนี้

$$D = \frac{(P - S)}{L}$$

กำหนดให้	D	=	ค่าเสื่อมราคา
	P	=	ราคาซื้อหรือราคาทุนของทรัพย์สิน
	S	=	มูลค่าซากของทรัพย์สิน
	L	=	อายุการใช้งานของทรัพย์สิน

ซึ่งอาจสมมติให้มูลค่าซากของทรัพย์สินเป็นศูนย์

ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ชุดอิเล็กทรอนิกส์ + ค่าเสื่อมราคาระบบ
โครงข่าย

ดังนั้นต้นทุนทั้งหมดสามารถพิจารณาได้ดังนี้

ต้นทุนทั้งหมด = ต้นทุนผันแปร + ต้นทุนคงที่

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยของอัตราการรอดตาย ขนาดลูกกุ้ง คุณภาพน้ำ ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ T-test ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ระยะเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่เดือน มีนาคม พ.ศ. 2549 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2549

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่ต้องการที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ

จากการศึกษาการผลิตคลอรีนของระบบบิเล็กโทรไลซิส โดยทำการกำหนดอัตราไหลของน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ppt ไว้ 3 ระดับ คือ 2.5, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที และในแต่ละอัตราไหลเริ่มต้นผ่านกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์ เพื่อผลิตคลอรีนที่สามารถฆ่าเชื้อได้ซึ่ง สุวรรณ และ พรเลิศ (2539) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่สามารถฆ่าเชื้อได้คือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสอดคล้องกับ Sousa *et al.* (2001) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของคลอรีนที่ 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถฆ่าเชื้อ *Vibrio cholerae* ได้

1.1 การทดลองผลิตคลอรีนที่อัตราไหล 2.5 ลิตรต่อนาที โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์

จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของคลอรีนเฉลี่ย ที่สามารถผลิตได้จากการผ่านระบบบิเล็กโทรไลซิส ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์ สามารถผลิตคลอรีนได้ที่ 0.38, 1.38, 2.83, 3.06, 4.54, 6.23, 7.86, 9.49 และ 11.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 9)

1.2 การทดลองผลิตคลอรีนที่อัตราไหล 3 ลิตรต่อนาที โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์

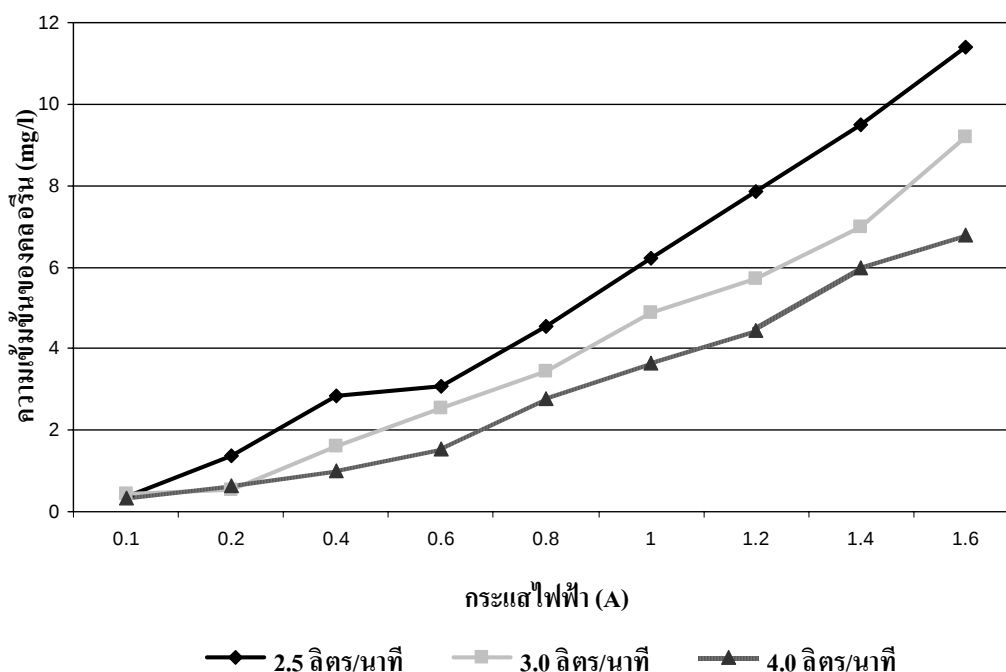
จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของคลอรีนเฉลี่ย ที่สามารถผลิตได้จากการผ่านระบบบิเล็กโทรไลซิส ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์ สามารถผลิตคลอรีนได้ที่ 0.42, 0.53, 1.60, 2.53, 3.43, 4.87, 5.71, 6.99 และ 9.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 9)

1.3 การทดลองผลิตคลอรีนที่อัตราไหล 4 ลิตรต่อนาที โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์

จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของคลอรีนเฉลี่ย ที่สามารถผลิตได้จากการผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 และ 1.6 แอมแปร์ สามารถผลิตคลอรีนได้ที่ 0.32, 0.64, 0.99, 1.54, 2.76, 3.64, 4.44, 5.99 และ 6.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 9)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่อัตราไหล 2.5, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความเข้มข้นของคลอรีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	2.5 ลิตรต่อนาที	3.0 ลิตรต่อนาที	4.0 ลิตรต่อนาที
0.1 A	0.38	0.42	0.32
0.2 A	1.38	0.53	0.64
0.4 A	2.83	1.60	0.99
0.6 A	3.06	2.53	1.54
0.8 A	4.54	3.43	2.76
1.0 A	6.23	4.87	3.64
1.2 A	7.86	5.71	4.44
1.4 A	9.49	6.99	5.99
1.6 A	11.39	9.18	6.79



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่ผลิตได้จากระบบอิเล็กโทรไลซิสที่อัตราไหล 2.5, 3 และ 4 ลิตรต่อนาที

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำทะเลระบบอิเล็กโทรไลซิสสามารถผลิตคลอรีนได้ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสของน้ำทะเลกับขั้วไฟฟ้าน้อยลง มีผลทำให้การผลิตคลอรีนลดลงเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบการผลิตคลอรีนที่อัตราไหลเดียวกันแต่มีการเพิ่มกระแสไฟฟ้านั้น จะเห็นได้ว่า ระบบอิเล็กโทรไลซิสสามารถผลิตคลอรีนได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Kasai *et al.* (2006) ที่รายงานว่า การใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิสโดยการปล่อยให้น้ำทะเลไหลผ่านขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดนั้น สามารถนำเชื้อในน้ำทะเลได้ โดยกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำเป็นตัวควบคุมปริมาณความเข้มข้นของไฮโปคลอไรท์ ทั้งนี้ Ferrigno *et al.* (1999) ยังกล่าวอีกว่า ความเข้มข้นของคลอรีนที่ผลิตจากอิเล็กโทรไลซิส ขึ้นอยู่กับจำนวนของขั้วอิเล็กโทรดซึ่งอยู่ในระบบน้ำนิ่งหรือระบบน้ำไหล อัตราการไหลของน้ำและกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ความเข้มข้นของกรดไฮโปคลอรัสยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ใช้ และกระแสไฟฟ้าอีกด้วย (Hsu, 2003) จากการทดลองครั้งนี้ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ และอัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่ต้องการและมีผลต่อการนำเชื้อในน้ำ ซึ่งสามารถผลิตคลอรีนได้ถึง 11.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ และอัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที ในการศึกษาเกี่ยวกับระบบกรองใน

การอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิมในการทดลองส่วนที่ 2 ต่อไป

2. การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ร่วมกับระบบกรองในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิม

2.1 การศึกษาคุณภาพน้ำในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม

ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 รอบการอนุบาล ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า พีเอช ความเป็นด่างรวม ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรที่-ไนโตรเจน ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมทั้งหมด แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 4, 5 และ 6 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำทางสถิติระหว่างน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ค่าทางสถิติแสดงไว้ดังตารางผนวกที่ 1, 2 และ 3

2.1.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 6.17 – 7.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 6.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 6.57 – 7.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 6.85 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 5)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.87 – 6.73 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) มี ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 6.31 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 6.27 – 6.87 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 มีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 2

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มา ทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในแต่ละสัปดาห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย น้ำ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์สุดท้ายที่ทำการจับกุ้งปริมาณออกซิเจน ที่ละลายน้ำ มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 5)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.20 – 6.97 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) มี ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 5.81 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5.13 – 7.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 5.99 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในช่วงสัปดาห์ สุดท้ายที่ทำการจับกุ้งมีค่าลดลงจากสัปดาห์เริ่มต้น

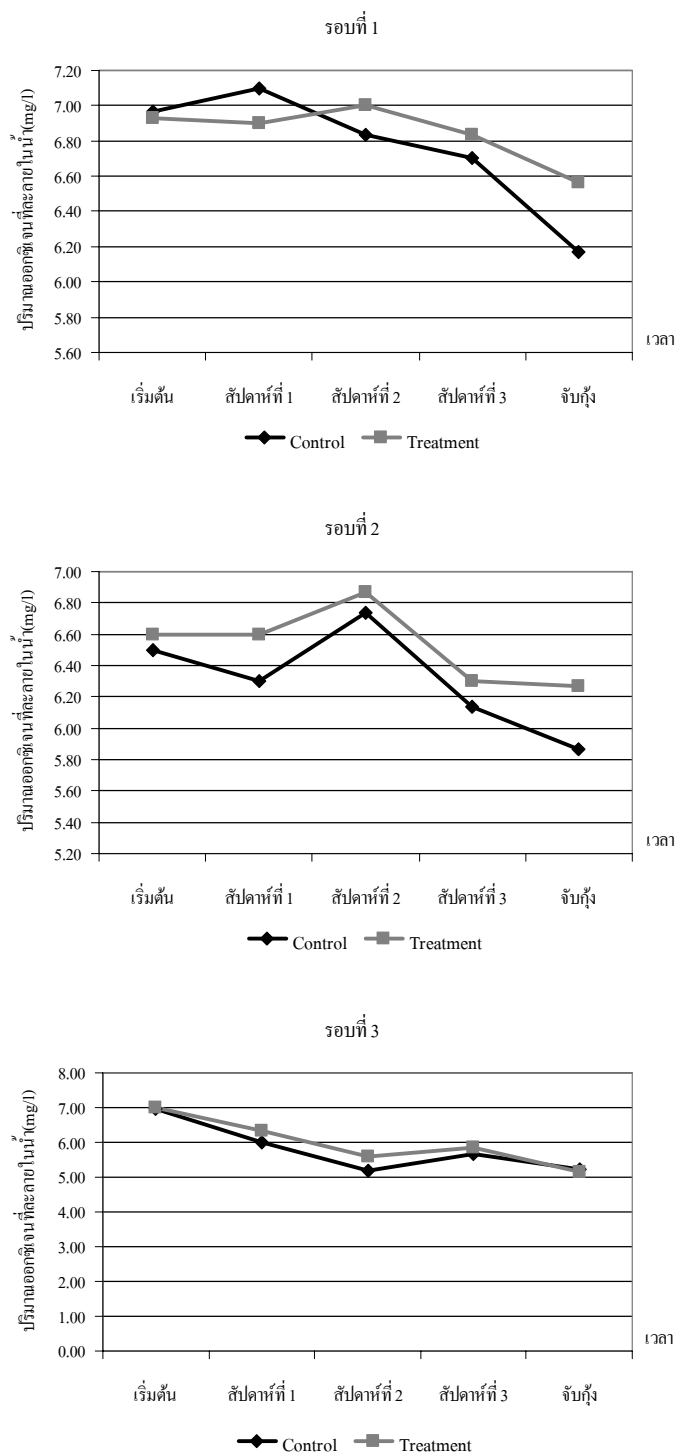
เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มา ทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในแต่ละสัปดาห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย น้ำ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 5)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของสัตว์เป็นอย่างมาก เพราะนอกจากสัตว์น้ำจะใช้ในการหายใจแล้ว ออกซิเจนยังเป็นตัวควบคุมกระบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นขึ้นกับความกดอากาศ อุณหภูมิของน้ำ และความเค็ม (ยนต์, 2539) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตั้งแต่ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปนั้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ระหว่าง 4.0-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์น้ำมีชีวิตรอยู่ได้ แต่จะเจริญเติบโตช้า และหากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนในถังเลี้ยงกุ้งที่ทำการศึกษาพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทั้งในถังเลี้ยงกุ้งที่มีการเตรียมน้ำโดยคลอรีนผง และในถังเลี้ยงกุ้งที่น้ำผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโอดีทไรซิส มีค่าสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 3 รอบการเลี้ยงตลอดการทดลอง ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของลูกกุ้ง

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ในแต่ละสัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ปริมาณออกซิเจนที่	เริ่มต้น	6.96 $\pm$ 0.15	6.93 $\pm$ 0.06	0.354	4	0.742
ละลายในน้ำ (mg/l)	สัปดาห์ที่ 1	7.10 $\pm$ 0.36	6.90 $\pm$ 0.00	0.961	4	0.391
	สัปดาห์ที่ 2	6.83 $\pm$ 0.12	7.00 $\pm$ 0.10	-1.890	4	0.132
	สัปดาห์ที่ 3	6.70 $\pm$ 1.00	6.83 $\pm$ 0.15	-1.265	4	0.275
	จับกุ้ง	6.17 $\pm$ 0.12	6.57 $\pm$ 0.55	-1.231	4	0.286
การอนุบาลรอบที่ 2						
ปริมาณออกซิเจนที่	เริ่มต้น	6.50 $\pm$ 0.07	6.60 $\pm$ 0.01	-2.449	4	0.070
ละลายในน้ำ (mg/l)	สัปดาห์ที่ 1	6.30 $\pm$ 0.17	6.60 $\pm$ 0.44	-1.108	4	0.330
	สัปดาห์ที่ 2	6.73 $\pm$ 0.15	6.87 $\pm$ 0.06	-1.414	4	0.230
	สัปดาห์ที่ 3	6.13 $\pm$ 0.25	6.30 $\pm$ 0.30	-0.737	4	0.502
	จับกุ้ง	5.87 $\pm$ 0.23**	6.27 $\pm$ 0.56**	-2.910	4	0.440
การอนุบาลรอบที่ 3						
ปริมาณออกซิเจนที่	เริ่มต้น	6.97 $\pm$ 0.06	7.00 $\pm$ 0.00	-1.000	4	0.374
ละลายในน้ำ (mg/l)	สัปดาห์ที่ 1	6.00 $\pm$ 0.10**	6.33 $\pm$ 0.06**	-5.000	4	0.007
	สัปดาห์ที่ 2	5.20 $\pm$ 0.26	5.60 $\pm$ 0.17	-2.191	4	0.094
	สัปดาห์ที่ 3	5.67 $\pm$ 0.25	5.87 $\pm$ 0.15	-1.177	4	0.305
	จับกุ้ง	5.23 $\pm$ 0.12	5.13 $\pm$ 0.59	0.290	4	0.786

หมายเหตุ ** = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ของน้ำที่ใช้ คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

การเลี้ยงรอบที่ 1 อุณหภูมิน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 27.6 – 29.5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 28.25 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 27.7 – 29.5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 28.24 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 และมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 6)

การเลี้ยงรอบที่ 2 อุณหภูมิน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 29.3 – 32.2 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 31.39 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 29.4 – 32.1 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 31.37 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 6)

การเลี้ยงรอบที่ 3 อุณหภูมิน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 30.3 – 34.0 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 31.99 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 30.2 – 32.4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 31.24 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่สิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

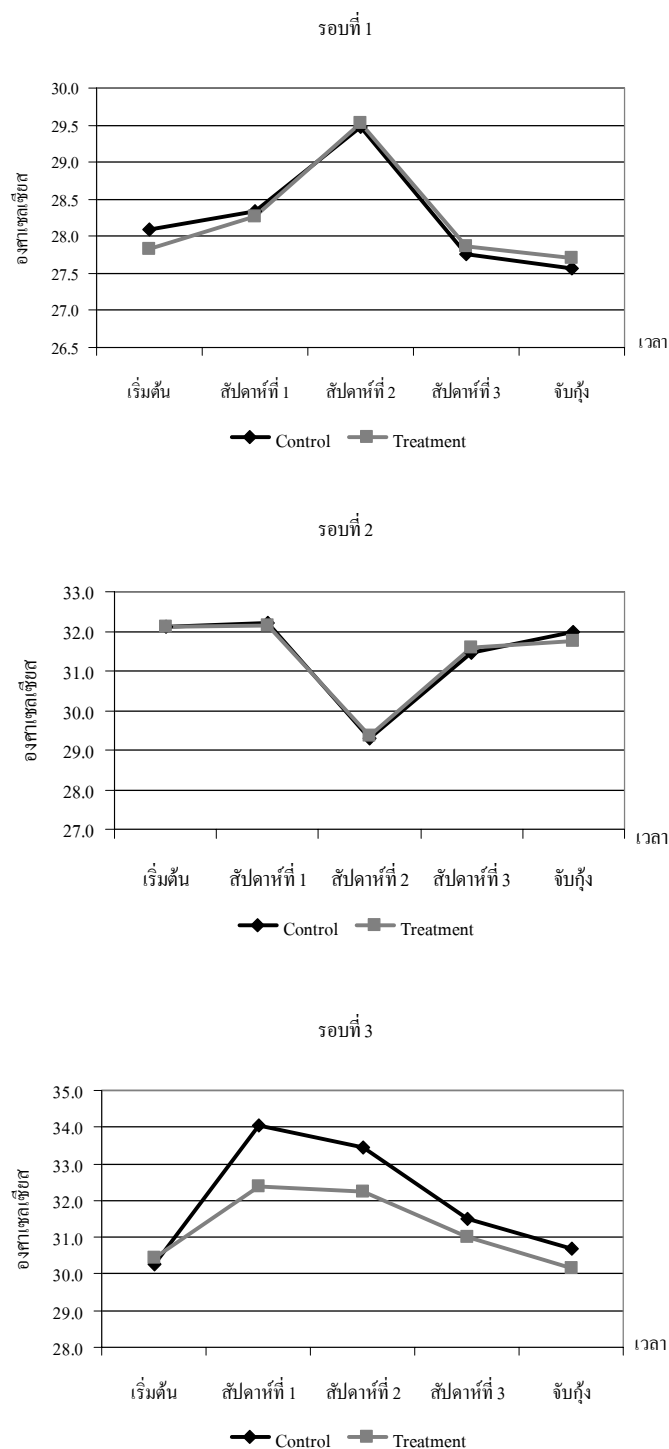
เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในแต่ละสัปดาห์อุณหภูมิของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 อุณหภูมิของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 6)

อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสัตว์ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมให้มากขึ้นเป็นผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตที่มากขึ้น จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอุณหภูมิตลอดการศึกษาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแปซิฟิกคือระหว่าง 27-34 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ Ponce-Parafox *et al.* (1997) ที่พบว่า กุ้งขาวแวนนาไมในระยะวัยอ่อนจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิน้ำ (Temperature) ในแต่ละสัปดาห์ในการอนุบาล กุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลองรินผง	น้ำอิเล็กทรอนิกส์			
การอนุบาลรอบที่ 1						
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	28.10 $\pm$ 0.26	27.83 $\pm$ 0.15	1.512	4	0.205
	สัปดาห์ที่ 1	28.33 $\pm$ 0.06	28.27 $\pm$ 0.06	1.414	4	0.230
	สัปดาห์ที่ 2	29.47 $\pm$ 0.12	29.53 $\pm$ 0.15	-0.603	4	0.579
	สัปดาห์ที่ 3	27.77 $\pm$ 0.15	27.87 $\pm$ 0.12	-0.905	4	0.417
	จับกุ้ง	27.57 $\pm$ 0.12	27.70 $\pm$ 0.10	-1.512	4	0.205
การอนุบาลรอบที่ 2						
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	32.00 $\pm$ 0.10	32.00 $\pm$ 0.10	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 1	32.20 $\pm$ 0.36	32.13 $\pm$ 0.64	0.158	4	0.882
	สัปดาห์ที่ 2	29.30 $\pm$ 0.30	29.37 $\pm$ 0.21	-0.316	4	0.768
	สัปดาห์ที่ 3	31.47 $\pm$ 0.29	31.60 $\pm$ 0.44	-0.442	4	0.682
	จับกุ้ง	32.00 $\pm$ 0.20	31.77 $\pm$ 0.23	1.323	4	0.256
การอนุบาลรอบที่ 3						
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เริ่มต้น	30.27 $\pm$ 0.12	30.43 $\pm$ 0.06	-2.236	4	0.089
	สัปดาห์ที่ 1	34.03 $\pm$ 0.21	32.37 $\pm$ 1.12	2.525	4	0.065
	สัปดาห์ที่ 2	33.43 $\pm$ 0.21	32.23 $\pm$ 0.81	2.490	4	0.067
	สัปดาห์ที่ 3	31.50 $\pm$ 0.26**	31.00 $\pm$ 0.10**	3.062	4	0.038
	จับกุ้ง	30.70 $\pm$ 0.20	30.17 $\pm$ 0.40	2.049	4	0.110

หมายเหตุ ** = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอเล็กโทรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.3 ความเค็ม (Salinity)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ความเค็มของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมีค่าอยู่ระหว่าง 31–15 ppt (ภาพที่ 12) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 23.7 ppt (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 31–15 ppt (ภาพที่ 12) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 23.6 ppt (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค็มมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 3 ค่าความเค็มของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 7) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลความเค็มของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ความเค็มของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมีค่าอยู่ระหว่าง 31–14 ppt (ภาพที่ 12) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 23.4 ppt (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 31–15 ppt (ภาพที่ 12) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 23.7 ppt (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค็มมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่าความเค็มของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 ค่าความเค็มของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 7)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ความเค็มของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงมีค่าอยู่ระหว่าง 31-15 ppt (ภาพที่ 12) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 24.8 ppt (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 31-13 ppt (ภาพที่ 12) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 23.7 ppt (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค็มมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

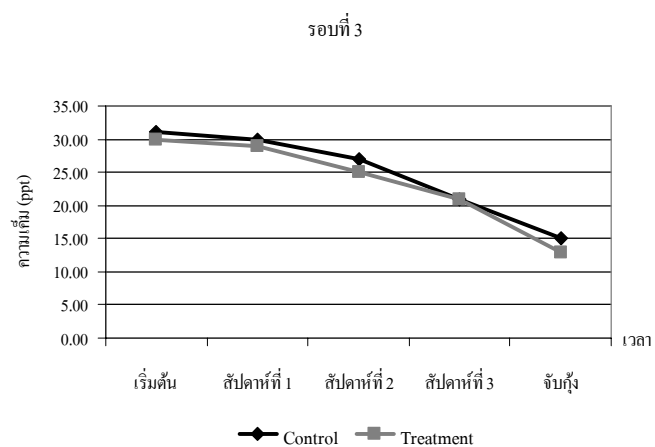
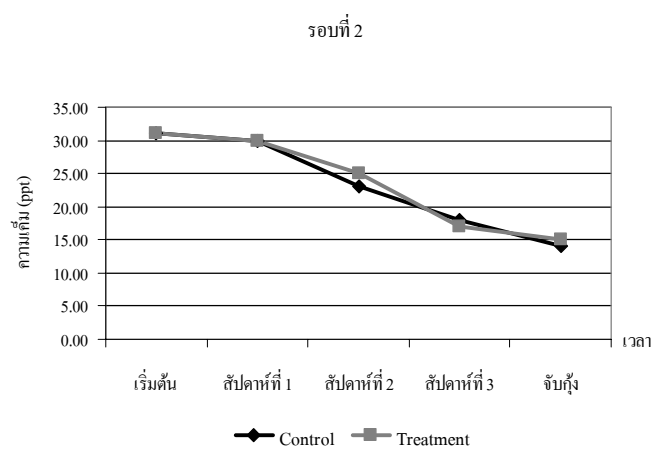
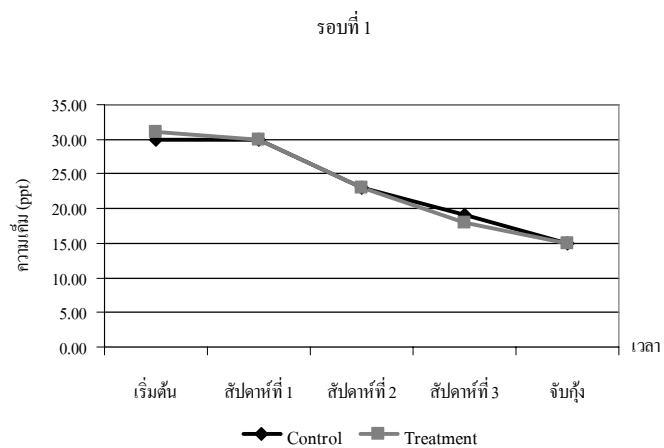
เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเค็มของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่าความเค็มของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 7) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 ความเค็มของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ความเค็มที่ลดลงจากประมาณ 30 ppt เหลือประมาณ 15 ppt (ภาพที่ 12) ทั้งนี้เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงตามโรงเพาะฟักเพื่อใช้ในการเลี้ยงกุ้งความเค็มต่ำในบ่อดิน จากการศึกษาของ Brock and Main (1994) ได้กล่าวไว้ว่า ระดับความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ควรรอยู่ในช่วง 3-35 ppt และความเค็มที่สูงมากเกินไปจะทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ความเค็มอยู่ในระดับที่เหมาะสม

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเค็ม (Salinity) ของน้ำในแต่ละสัปดาห์ในการอนุบาล กุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ความเค็ม (ppt)	เริ่มต้น	30.40 $\pm$ 0.02**	30.30 $\pm$ 0.02**	7.071	4	0.002
	สัปดาห์ที่ 1	31.17 $\pm$ 0.06**	31.43 $\pm$ 0.06**	-5.657	4	0.005
	สัปดาห์ที่ 2	23.00 $\pm$ 0.10	23.00 $\pm$ 0.17	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 3	19.10 $\pm$ 0.10**	18.27 $\pm$ 0.21**	6.250	4	0.003
	จับกุ้ง	14.93 $\pm$ 0.15	15.07 $\pm$ 0.15	-1.069	4	0.345
การอนุบาลรอบที่ 2						
ความเค็ม (ppt)	เริ่มต้น	31.00 $\pm$ 0.10	31.00 $\pm$ 0.10	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 1	30.37 $\pm$ 0.06	30.47 $\pm$ 0.06	-2.121	4	0.101
	สัปดาห์ที่ 2	23.03 $\pm$ 0.06**	24.97 $\pm$ 0.06**	-41.012	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 3	18.23 $\pm$ 0.15**	17.10 $\pm$ 0.10**	10.752	4	0.000
	จับกุ้ง	14.13 $\pm$ 0.15**	15.07 $\pm$ 0.12**	-8.442	4	0.001
การอนุบาลรอบที่ 3						
ความเค็ม (ppt)	เริ่มต้น	31.00 $\pm$ 0.11**	30.00 $\pm$ 0.12**	10.580	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	30.00 $\pm$ 0.10**	29.07 $\pm$ 0.12**	10.583	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 2	27.13 $\pm$ 0.15**	25.23 $\pm$ 0.12**	17.186	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 3	21.03 $\pm$ 0.06	21.00 $\pm$ 0.00	1.000	4	0.374
	จับกุ้ง	15.00 $\pm$ 0.17**	13.00 $\pm$ 0.00**	20.000	4	0.000

หมายเหตุ ^{**} = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความเค็ม (Salinity) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.10-2.54 S/m (ภาพที่ 13) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.95 S/m (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5.11-2.52 S/m (ภาพที่ 13) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.91 S/m (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น และสัปดาห์ที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 5.05-2.28 S/m (ภาพที่ 13) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.48 S/m (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 5.06-2.43 S/m (ภาพที่ 13) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.79 S/m (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพบมีค่าอยู่ระหว่าง 4.94-2.39 S/m (ภาพที่ 13) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.97 S/m (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบบิโกลิซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 4.80-2.08 S/m (ภาพที่ 13) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.83 S/m (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบบิโกลิซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง เนื่องจากการปรับลดความเค็มลงระหว่างการอนุบาล

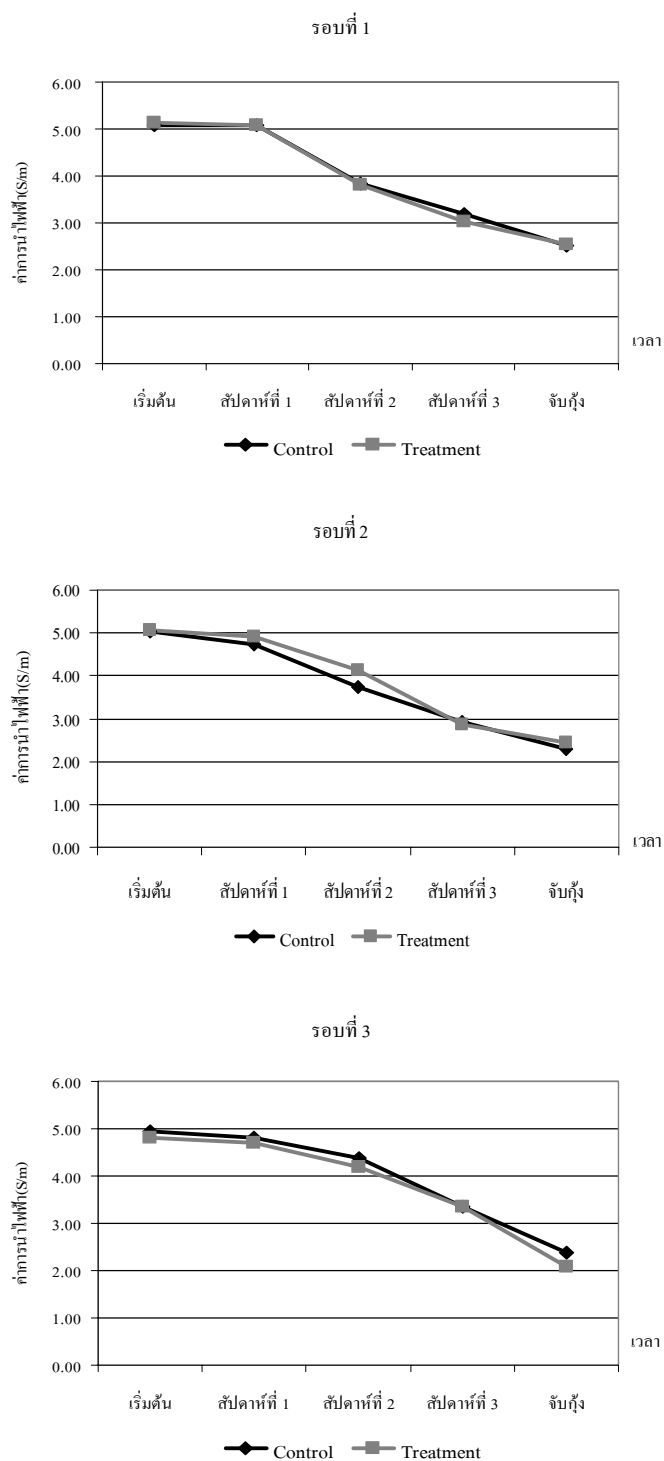
เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 8)

ผลจากการศึกษาจะเห็นได้ว่า ค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 3 รอบการเลี้ยงมีค่าสูงสุดในช่วงแรกของการเลี้ยงและมีค่าลดลงเมื่อมีการปรับความเค็มลดลง โดยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำขึ้นกับไอออนต่าง ๆ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} และ Fe^{3+} (ลวไมย, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับประวิทย์ และ พิภพ (2539) ที่กล่าวว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงกับปริมาณธาตุต่าง ๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล เมื่อความเค็มลดลงเป็นผลให้ปริมาณอนินทรีย์ไอออนน้อยลง จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง การวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำสามารถใช้แทนการวัดความเค็มของน้ำได้ (Boyd, 2002)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำในแต่ละสัปดาห์ในการ
อนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	เริ่มต้น	5.09 $\pm$ 0.01 ^{**}	5.06 $\pm$ 0.01 ^{**}	4.000	4	0.016
	สัปดาห์ที่ 1	5.10 $\pm$ 0.01	5.10 $\pm$ 0.01	-2.121	4	0.101
	สัปดาห์ที่ 2	3.83 $\pm$ 0.03	3.81 $\pm$ 0.02	1.044	4	0.355
	สัปดาห์ที่ 3	3.20 $\pm$ 0.02 ^{**}	3.05 $\pm$ 0.01 ^{**}	13.568	4	0.000
	จับกุ้ง	2.54 $\pm$ 0.02	2.52 $\pm$ 0.02	0.894	4	0.422
การอนุบาลรอบที่ 2						
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	เริ่มต้น	5.05 $\pm$ 0.01	5.06 $\pm$ 0.01	-1.225	4	0.288
	สัปดาห์ที่ 1	4.73 $\pm$ 0.05 ^{**}	4.91 $\pm$ 0.06 ^{**}	-4.158	4	0.014
	สัปดาห์ที่ 2	3.24 $\pm$ 0.04 ^{**}	4.13 $\pm$ 0.23 ^{**}	-6.707	4	0.003
	สัปดาห์ที่ 3	2.67 $\pm$ 0.15	2.92 $\pm$ 0.05	-1.934	4	0.125
	จับกุ้ง	1.69 $\pm$ 0.03	1.93 $\pm$ 0.16	-2.592	4	0.061
การอนุบาลรอบที่ 3						
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	เริ่มต้น	4.94 $\pm$ 0.09	4.80 $\pm$ 0.10	1.788	4	0.148
	สัปดาห์ที่ 1	4.81 $\pm$ 0.05	4.71 $\pm$ 0.92	1.631	4	0.178
	สัปดาห์ที่ 2	4.37 $\pm$ 0.35 ^{**}	4.20 $\pm$ 0.10 ^{**}	2.833	4	0.047
	สัปดาห์ที่ 3	3.35 $\pm$ 0.01	3.36 $\pm$ 0.01	-0.756	4	0.492
	จับกุ้ง	2.39 $\pm$ 0.02 ^{**}	2.08 $\pm$ 0.01 ^{**}	32.880	4	0.000

หมายเหตุ ^{**} = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโกลีทโรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.5 ค่าพีเอช (pH)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ค่าพีเอชของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงมีค่าอยู่ระหว่าง 7.63-8.06 (ภาพที่ 14) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.84 (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 7.70-8.02 (ภาพที่ 14) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.87 (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่าพีเอชของน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 9) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 ที่ค่าพีเอชของน้ำมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ค่าพีเอชของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงมีค่าอยู่ระหว่าง 7.31-8.00 (ภาพที่ 14) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.64 (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 7.56-8.08 (ภาพที่ 14) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.82 (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ค่าพีเอชของน้ำไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 9) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ที่ค่าพีเอชของน้ำมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ค่าพีเอชของน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงมีค่าอยู่ระหว่าง 7.44-8.06 (ภาพที่ 14) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.71 (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.30-8.06 (ภาพที่ 14) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.67 (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

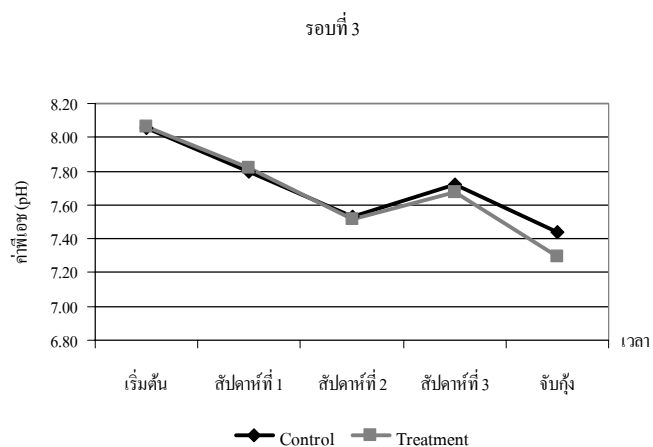
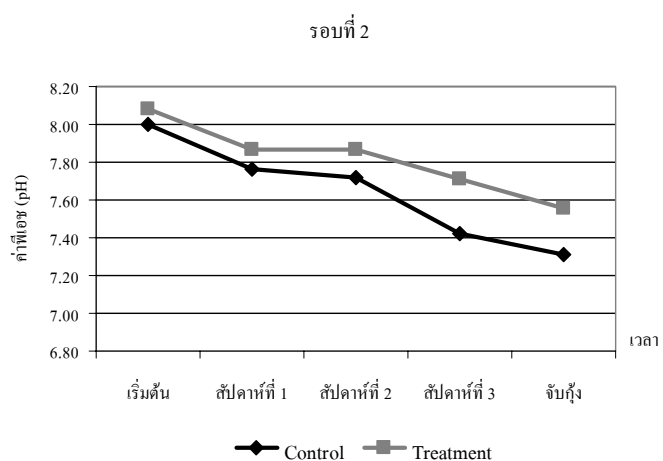
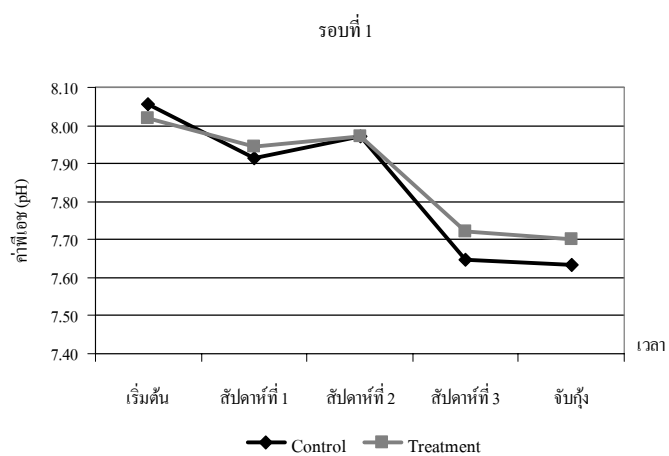
เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในแต่ละสัปดาห์ค่าพีเอชของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 9)

จากผลการทดลองข้างต้นมีค่าพีเอช (pH) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมซึ่ง Brock and Main (1994) กล่าวว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกุ้งขาวแปซิฟิกควรอยู่ในช่วง 7-9 ซึ่งใกล้เคียงกับมณจันทร์ และคณะ (2542) ที่รายงานไว้ว่า กุ้งจะเจริญเติบโตได้ดีถ้ามีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6-9 และจะเจริญเติบโตช้าที่พีเอช 4-6 และ 9-11 จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการผลิตและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อหรือแหล่งน้ำซึ่งเกิดจากการหายใจ การเน่าสลายของสารอินทรีย์ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ และมีผลให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำอาจเกิดจากการผสมของมวลน้ำที่มีระดับพีเอชที่ต่างกันด้วย (ยนต์, 2539)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพีเอช (pH) ของน้ำในแต่ละสัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาว-
แวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
พีเอช (pH)	เริ่มต้น	8.06 $\pm$ 0.04	8.02 $\pm$ 0.00	1.677	4	0.169
	สัปดาห์ที่ 1	7.91 $\pm$ 0.01**	7.94 $\pm$ 0.01**	-6.364	4	0.003
	สัปดาห์ที่ 2	7.97 $\pm$ 0.03	7.97 $\pm$ 0.01	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 3	7.65 $\pm$ 0.12	7.72 $\pm$ 0.03	-1.000	4	0.374
	จับกุ้ง	7.63 $\pm$ 0.13	7.70 $\pm$ 0.04	-0.839	4	0.449
การอนุบาลรอบที่ 2						
พีเอช (pH)	เริ่มต้น	8.00 $\pm$ 0.09	8.08 $\pm$ 0.03	-1.494	4	0.209
	สัปดาห์ที่ 1	7.77 $\pm$ 0.02	7.87 $\pm$ 0.10	-1.853	4	0.138
	สัปดาห์ที่ 2	7.72 $\pm$ 0.09	7.87 $\pm$ 0.11	-1.862	4	0.136
	สัปดาห์ที่ 3	7.42 $\pm$ 0.17**	7.71 $\pm$ 0.04**	-2.821	4	0.048
	จับกุ้ง	7.31 $\pm$ 0.04**	7.56 $\pm$ 0.14**	-3.041	4	0.038
การอนุบาลรอบที่ 3						
พีเอช (pH)	เริ่มต้น	8.06 $\pm$ 0.01	8.06 $\pm$ 0.00	1.000	4	0.374
	สัปดาห์ที่ 1	7.80 $\pm$ 0.03	7.82 $\pm$ 0.01	-1.323	4	0.256
	สัปดาห์ที่ 2	7.53 $\pm$ 0.03	7.51 $\pm$ 0.08	0.421	4	0.695
	สัปดาห์ที่ 3	7.72 $\pm$ 0.03	7.68 $\pm$ 0.13	0.608	4	0.576
	จับกุ้ง	7.44 $\pm$ 0.03	7.30 $\pm$ 0.51	0.486	4	0.653

หมายเหตุ ** = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ อิเล็กโทรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.6 ความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ค่าความเป็นด่างรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 79.0-112.7 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 97.40 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 83.0-100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 91.07 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความเป็นด่างรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นด่างรวมมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความเป็นด่างรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ค่าความเป็นด่างรวมของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลที่ค่าความเป็นด่างรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ค่าความเป็นด่างรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 78.7-100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 90.80 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 77.3-100.3 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 88.87 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความเป็นด่างรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความเป็นด่างรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ค่า

ความเป็นต่างรวมของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ที่ค่าความเป็นต่างรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ค่าความเป็นต่างรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 82.7-102.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 90.79 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 81.0-101.3 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ภาพที่ 15) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 90.00 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความเป็นต่างรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

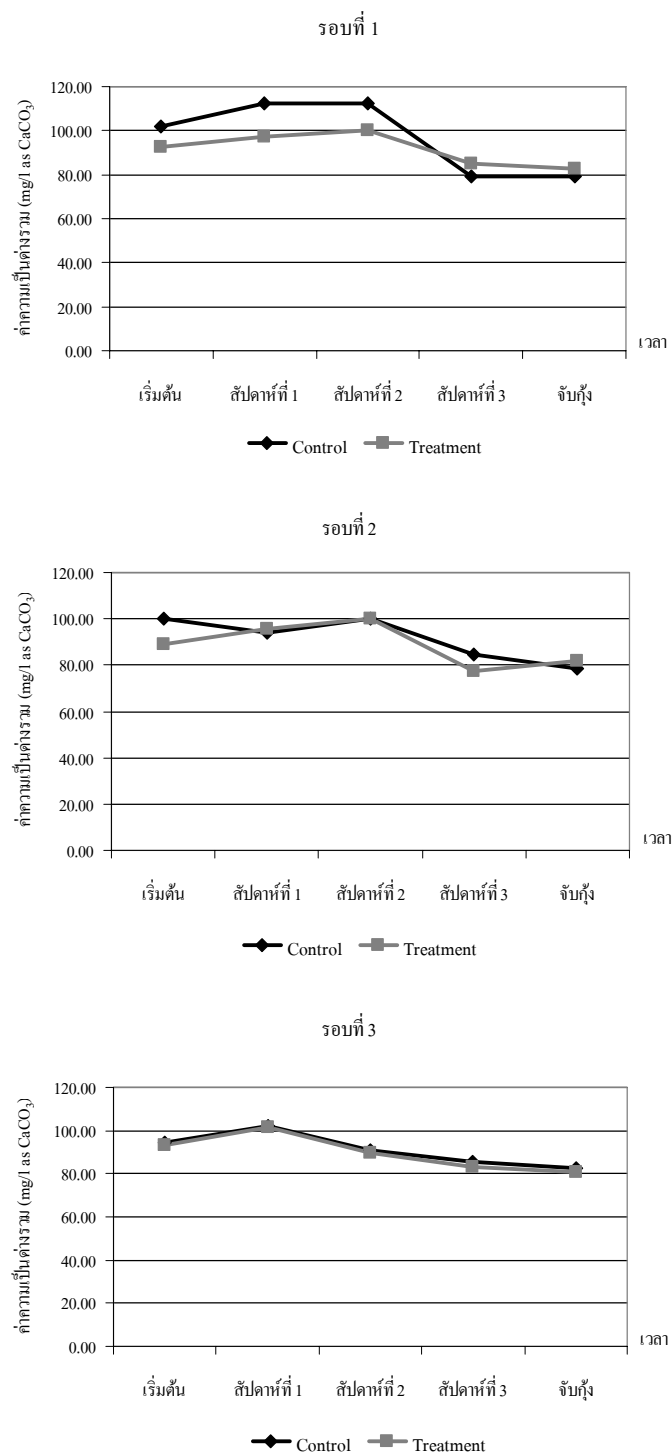
เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความเป็นต่างรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในแต่ละสัปดาห์ค่าความเป็นต่างรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 10)

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นต่างรวมของน้ำที่ผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิสมีค่าต่ำกว่าน้ำที่ใช้คลอรีนผงในกาฆ่าเชื้อในน้ำ ทั้งนี้ความเป็นต่างรวมตลอดระยะเวลาในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมทั้ง 3 รอบ อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่ง Brock and Main (1994) รายงานว่าความเป็นต่างที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีค่าระหว่าง 50-150 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 ซึ่งสอดคล้องกับ ยนต์ (2539) ที่กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งทะเลต้องการระดับความเป็นต่างไม่ต่ำกว่า 50-60 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อโครงสร้างเปลือกของกุ้ง และบางครั้งต้องการระดับความเป็นต่างสูงกว่านี้ เพื่อช่วยด้านการเปลี่ยนแปลงพีเอชน้ำที่มีความเป็นต่างสูงจะมีระบบด้านการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ดี ทำให้พีเอชของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมาก

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity) ของน้ำในแต่ละ
สัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ความเป็นด่างรวม (mg/l as CaCO ₃)	เริ่มต้น	100.00 $\pm$ 2.00**	92.67 $\pm$ 3.06**	4.427	4	0.011
	สัปดาห์ที่ 1	112.67 $\pm$ 2.08**	97.00 $\pm$ 0.00**	13.035	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 2	112.33 $\pm$ 4.16**	100.00 $\pm$ 0.00**	5.131	4	0.007
	สัปดาห์ที่ 3	79.00 $\pm$ 2.65	82.67 $\pm$ 6.66	-0.886	4	0.425
	จับกุ้ง	81.00 $\pm$ 1.00	83.00 $\pm$ 3.98	-0.843	4	0.447
การอนุบาลรอบที่ 2						
ความเป็นด่างรวม (mg/l as CaCO ₃)	เริ่มต้น	100.00 $\pm$ 1.50**	89.00 $\pm$ 1.00**	10.568	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	94.00 $\pm$ 2.00	95.67 $\pm$ 2.08	-1.000	4	0.374
	สัปดาห์ที่ 2	100.00 $\pm$ 1.73	100.33 $\pm$ 2.08	-0.213	4	0.842
	สัปดาห์ที่ 3	84.67 $\pm$ 3.06**	77.33 $\pm$ 2.31**	3.317	4	0.029
	จับกุ้ง	75.33 $\pm$ 1.15**	82.00 $\pm$ 2.00**	-5.000	4	0.007
การอนุบาลรอบที่ 3						
ความเป็นด่างรวม (mg/l as CaCO ₃)	เริ่มต้น	94.67 $\pm$ 1.15	93.33 $\pm$ 1.15	1.414	4	0.230
	สัปดาห์ที่ 1	102.00 $\pm$ 2.00	101.33 $\pm$ 4.16	0.250	4	0.815
	สัปดาห์ที่ 2	91.00 $\pm$ 2.31	89.67 $\pm$ 2.08	0.744	4	0.498
	สัปดาห์ที่ 3	85.30 $\pm$ 1.51	83.00 $\pm$ 2.80	1.252	4	0.279
	จับกุ้ง	81.00 $\pm$ 3.40	82.67 $\pm$ 2.08	-0.725	4	0.509

หมายเหตุ ^{**} = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ (P < 0.05)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอ็อกซิไดซ์ไฮโดรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.7 แอมโมเนียรวม (Total Ammonia-Nitrogen)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ค่าแอมโมเนียรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4078-4.8899 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.916 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0408-3.4231 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.471 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในชุดควบคุม (Control) ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 2 แล้วจึงมีค่าลดลง ส่วนในชุดทดลอง (Treatment) ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 3 หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลที่ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ค่าแอมโมเนียรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2197-2.9489 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.449 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1744-2.8837 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.311 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอีกในสัปดาห์ที่ 3 แล้วจึงลดลงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในช่วงเริ่มต้น และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ค่าแอมโมเนียรวมระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0780-3.3152 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.168 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0314-3.0491 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 16) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.167 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียรวมมีสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงช่วงสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นในช่วงเริ่มต้น ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11)

จากคำดังกล่าวเป็นการรายงานผลในรูปของความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนียไนโตรเจนมาตรฐานรวม (Total Ammonia-Nitrogen; มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่ง Boyd (1995) กล่าวว่า แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำมีทั้งในสภาพมีไอออน (ionized form; NH_4^+) และไม่มีไอออน (un-ionized form; NH_3) แต่แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำกว่าแอมโมเนีย (NH_3) มาก (ยนต์, 2539) และพิษของแอมโมเนียจะมากขึ้นถ้ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียอยู่ในรูปไม่มีไอออนเพิ่มขึ้นตามระดับพีเอชและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

Chin and Chen (1987) รายงานว่าที่ความเค็ม 34 ppt ค่า LC_{50} ที่ 24 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่ 6.00, 8.48, 24.04 และ 52.11 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลทำให้ลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะนาอเพลียส ชูเอีย ไมซิส และระยะโพสท์ลาวา ตายลง 50

เปอร์เซ็นต์ และ ค่า LC_{50} ที่ 48 ชั่วโมง ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่ 14.39 และ 27.73 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อลูกกุ้งกุลาดำระยะไมซิส และระยะโพสท์ลาร์วา ทั้งนี้ยังกล่าวอีกว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่ปลอดภัยต่อลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสท์ลาร์วาไม่ควรเกิน 1.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่ควรเกิน 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับลูกกุ้งระยะนอเพลียส

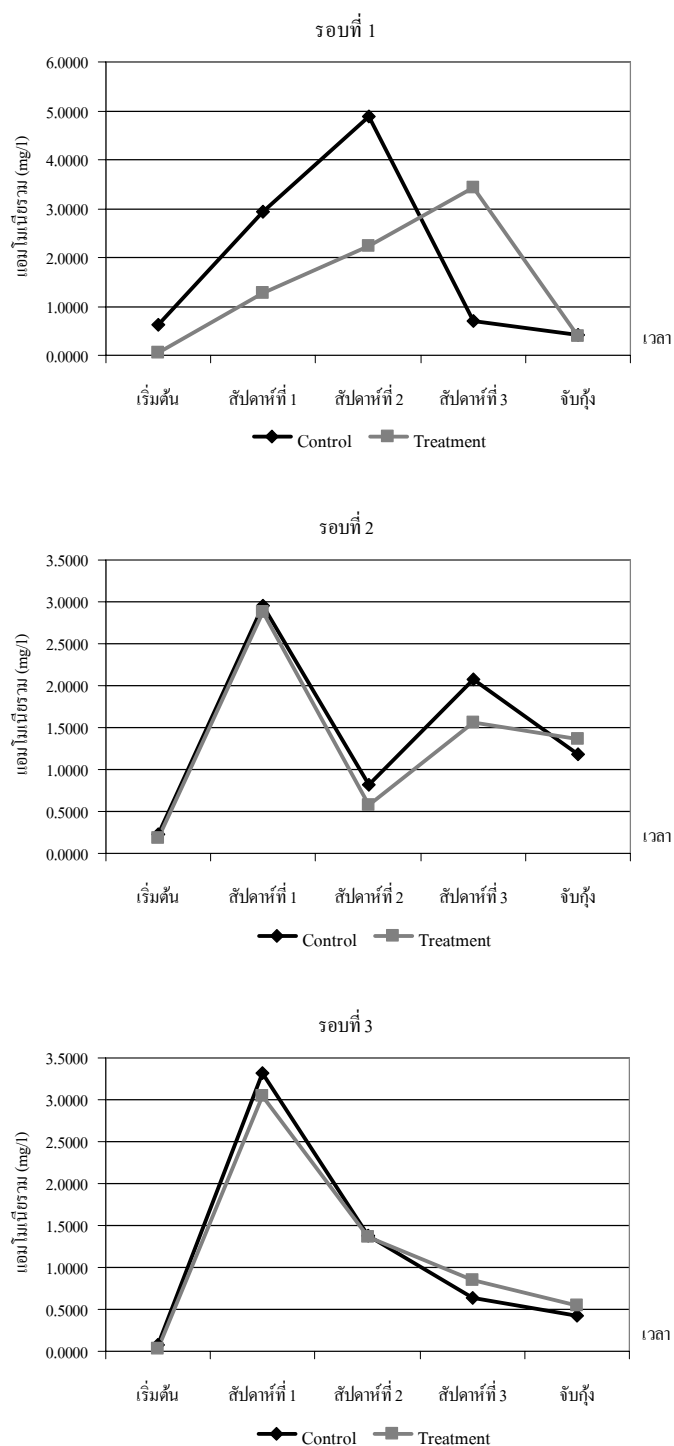
จากการศึกษาในครั้งนี้ความแตกต่างของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 1 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในช่วงแรกยังไม่มีผลกระทบของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในถังทดลองมากนัก แต่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 1 นี้ ได้ทำการให้แพลงก์ตอนพืช *Chaetoceros* sp. เป็นอาหารลูกกุ้งในช่วงสัปดาห์แรกของการอนุบาล โดยไม่ได้ผ่านอุ้งกรองเพื่อแยกเซลล์ *Chaetoceros* sp. ออกจากน้ำ จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณธาตุอาหารหรือปุ๋ยในน้ำจากการเลี้ยง *Chaetoceros* sp. ที่ถูกเพิ่มลงไปโดยตรงในถังอนุบาลนั้น เป็นผลทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งรวมไปถึงสิ่งขับถ่ายและเศษซากอาหารเหลือจากลูกกุ้งก็เป็นแหล่งในการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียเช่นกัน

ซึ่ง Brock and Main (1994) รายงานว่าปริมาณแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวควรมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในการเลี้ยงกุ้งขาวทั้ง 3 รอบการทดลองปริมาณแอมโมเนียรวมจะมีค่าสูงเกินระดับมาตรฐานในบางช่วงระยะเวลาของการเลี้ยงและมีค่าสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ของการเลี้ยง อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ของการเลี้ยงเกิดการย่อยสลายของเศษอาหารที่เหลือและปริมาณแพลงก์ตอนที่ตายและในเวลานี้เป็นช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย ปริมาณอาหารสะสมจะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหาร ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลืออยู่ภายในบ่อ ส่งผลให้มีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูง เนื่องจากมีการสะสมของสารอินทรีย์ และน้ำไม่มีการหมุนเวียนสู่ภายนอกจึงเกิดการย่อยสลายให้แอมโมเนียออกมา และในการอนุบาลนี้ปิดถังทดลองด้วยพลาสติกคัดลอกการทดลอง ดังนั้นการที่ก๊าซแอมโมเนียจะระเหยสู่บรรยากาศจึงเกิดขึ้นได้น้อย

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณแอมโมเนียรวม (Total Ammonia-Nitrogen) ของน้ำใน
แต่ละสัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
แอมโมเนียรวม (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.629 $\pm$ 0.03**	0.041 $\pm$ 0.01**	30.698	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	2.942 $\pm$ 0.06**	1.270 $\pm$ 0.15**	17.696	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 2	4.889 $\pm$ 0.93**	2.244 $\pm$ 0.41**	4.498	4	0.011
	สัปดาห์ที่ 3	0.714 $\pm$ 0.21	3.423 $\pm$ 2.52	-1.853	4	0.138
	จับกุ้ง	0.408 $\pm$ 0.21	0.379 $\pm$ 0.12	0.210	4	0.844
การอนุบาลรอบที่ 2						
แอมโมเนียรวม (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.220 $\pm$ 0.00**	0.174 $\pm$ 0.00**	18.058	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	2.949 $\pm$ 0.38	2.884 $\pm$ 1.35	0.081	4	0.940
	สัปดาห์ที่ 2	0.824 $\pm$ 0.00	0.572 $\pm$ 0.27	1.609	4	0.183
	สัปดาห์ที่ 3	2.079 $\pm$ 0.48	1.564 $\pm$ 0.25	1.660	4	0.172
	จับกุ้ง	1.175 $\pm$ 0.02**	1.363 $\pm$ 0.08**	-3.933	4	0.017
การอนุบาลรอบที่ 3						
แอมโมเนียรวม (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.078 $\pm$ 0.01**	0.031 $\pm$ 0.00**	8.182	4	0.001
	สัปดาห์ที่ 1	3.315 $\pm$ 0.17	3.049 $\pm$ 0.10	2.353	4	0.078
	สัปดาห์ที่ 2	1.382 $\pm$ 0.02	1.367 $\pm$ 0.01	1.033	4	0.360
	สัปดาห์ที่ 3	0.638 $\pm$ 0.13	0.842 $\pm$ 0.07	-2.457	4	0.070
	จับกุ้ง	0.429 $\pm$ 0.11	0.547 $\pm$ 0.08	-1.552	4	0.196

หมายเหตุ ^{**} = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ (P < 0.05)



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวม (Total Ammonia-Nitrogen) ของน้ำที่ใช้คลอรีน ผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโเล็กโทรไลซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการ เลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.8 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ปริมาณไนไตรท์ระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0216-0.0683 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 17) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 0.0395 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0059-0.0866 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 17) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 0.0355 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณไนไตรท์มีแนวโน้มสูงขึ้นจากช่วงเริ่มต้นอนุบาลลูกกุ้งจนถึงสัปดาห์ที่ 3 จึงมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลปริมาณไนไตรท์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 12) ยกเว้นในช่วงเริ่มต้น และสัปดาห์ที่ 2 ของการอนุบาลที่ปริมาณไนไตรท์มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ปริมาณไนไตรท์ระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0312-0.2948 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 17) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 0.233 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0171-0.2883 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 17) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 0.191 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพรมและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณไนไตรท์มีค่าสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 2 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอีกในสัปดาห์ที่ 3 แล้วจึงลดลงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ของน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 สัปดาห์ที่ 3 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาล

ปริมาณไนไตรท์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 12) ยกเว้นในช่วงเริ่มต้น และ สัปดาห์ที่ 2 ของการอนุบาลที่ปริมาณไนไตรท์มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ปริมาณไนไตรท์ระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย คลอรีนพวงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0123-0.0995 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ภาพที่ 17) มีค่าเฉลี่ยตลอด การเลี้ยงเท่ากับ 0.051 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0243-0.1056 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ ลิตร (ภาพที่ 17) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 0.081 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วย คลอรีนพวงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 3 หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่าง ทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า ในช่วงเริ่มต้น สัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณไนไตรท์มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 12) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 1 และช่วงสิ้นสุดการอนุบาลที่ ปริมาณไนไตรท์ในน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

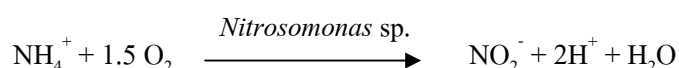
จากคำดังกล่าวเป็นการรายงานผลในรูปของความเข้มข้นไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite nitrogen; NO_2^- -N มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่ง Chen and Chin (1988) รายงานว่าที่ความเค็ม 34 ppt ปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจนที่สูงกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะนอเพลีสถึงระยะไมซิส และไนไตรท์ไนโตรเจนที่สูงกว่า 1.36 มิลลิกรัม ต่อลิตร จะมีผลต่อกุ้งระยะโพสท์ลาร์วา 6 และยังพบว่ากุ้งที่มีอายุมากกว่าจะมีความทนทานต่อไน ไตรท์ได้มากกว่าอีกด้วย

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในครั้งนี้ พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ของการเลี้ยงในรอบที่ 2 ไนไตรท์มีค่าสูงซึ่งอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อลูกกุ้ง เนื่องจากมีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเกิน 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ในช่วงที่มีปริมาณไนไตรท์ สูงก็จะพบว่าปริมาณแอมโมเนียรวมก็สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งการสะสมของเสียภายในถังเลี้ยงที่มีอย่าง ต่อเนื่อง เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นได้ และปริมาณ

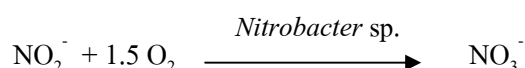
ไนไตรท์ที่มีมากยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาและรอบของการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยเช่นกัน และไนไตรท์ยังเป็นสารตัวกลางของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันซึ่งเกิดขึ้นด้วยกระบวนการทางชีวเคมีของแบคทีเรีย

จากภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าการอนุบาลรอบที่ 1 และ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และสาเหตุที่ไนไตรท์สูงอาจเกิดจากการสะสมของไนไตรท์ ซึ่งยงค์ (2539) กล่าวว่าในน้ำที่มีพีเอชสูงและค่าของแอมโมเนียสูงปริมาณของจุลินทรีย์ *Nitrobacter* sp. อาจลดลงจนลงทำให้กระบวนการเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทเกิดขึ้นในปริมาณน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมอาจเป็นผลให้จุลินทรีย์ชนิดนี้ทำงานได้ดีขึ้น

Boyd (1995) กล่าวว่า ในสภาพที่มีโมเลกุลของออกซิเจนเพียงพอ แอมโมเนียสามารถถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ร่วมกับการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ที่มีอยู่ในน้ำ เรียกกระบวนการนี้ว่าไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ดังแสดงในสมการ



ไนไตรท์ที่เกิดจากแบคทีเรียสกุล *Nitrosomonas* sp. จะมาสะสมอยู่ในน้ำ ถ้าในน้ำมีโมเลกุลของออกซิเจนมากเพียงพอ ไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรทด้วยแบคทีเรียสกุล *Nitrobacter* sp.

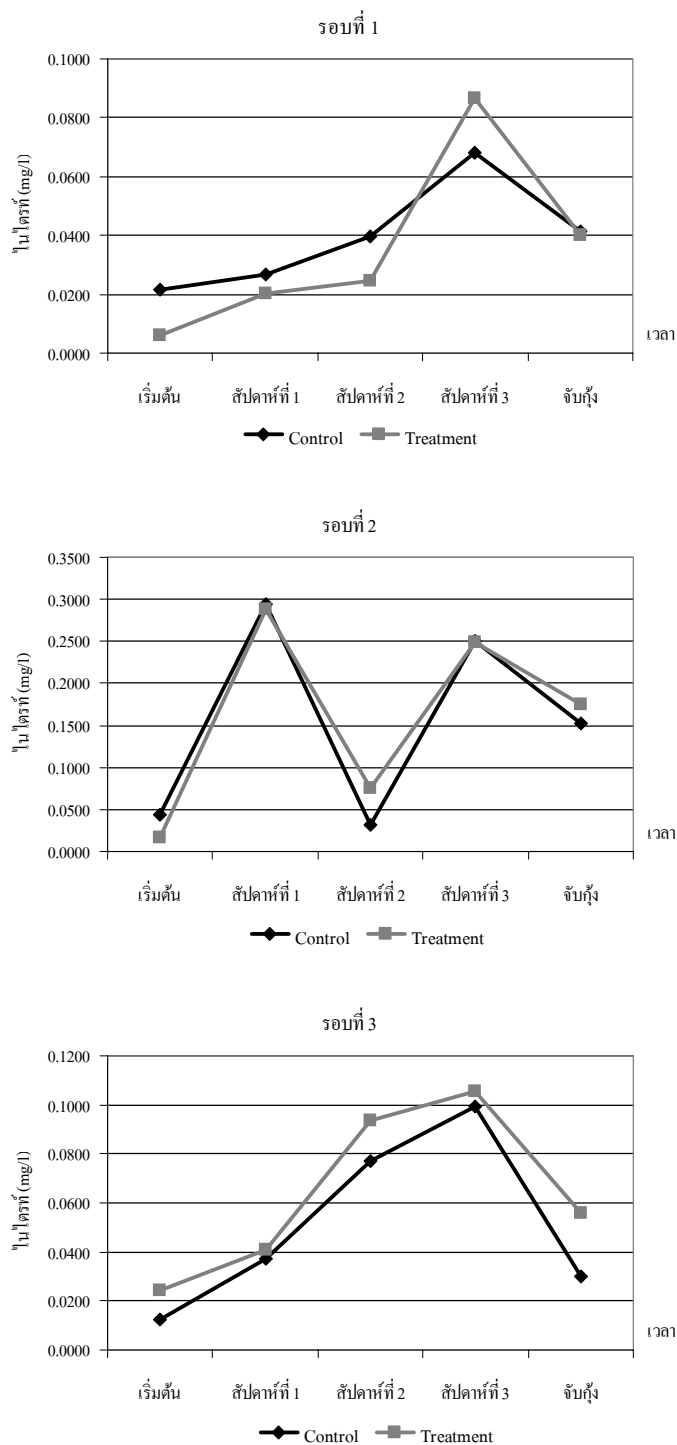


ซึ่งกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยนั้นถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัยอาทิเช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนเริ่มต้นพีเอช และจำนวนประชากรของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Hargreaves, 1998)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen) ในแต่ละ
สัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.022 $\pm$ 0.00**	0.006 $\pm$ 0.00**	13.054	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	0.027 $\pm$ 0.00	0.020 $\pm$ 0.01	1.243	4	0.282
	สัปดาห์ที่ 2	0.040 $\pm$ 0.01**	0.025 $\pm$ 0.01**	2.821	4	0.048
	สัปดาห์ที่ 3	0.068 $\pm$ 0.02	0.087 $\pm$ 0.03	-0.749	4	0.495
	จับกุ้ง	0.042 $\pm$ 0.00	0.040 $\pm$ 0.00	1.891	4	0.132
การอนุบาลรอบที่ 2						
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.044 $\pm$ 0.03**	0.017 $\pm$ 0.01**	16.919	4	0.000
	สัปดาห์ที่ 1	0.295 $\pm$ 0.04	0.288 $\pm$ 0.05	0.182	4	0.865
	สัปดาห์ที่ 2	0.031 $\pm$ 0.01**	0.075 $\pm$ 0.01**	-9.662	4	0.001
	สัปดาห์ที่ 3	0.250 $\pm$ 0.00	0.248 $\pm$ 0.01	0.429	4	0.690
	จับกุ้ง	0.153 $\pm$ 0.03	0.175 $\pm$ 0.00	-1.380	4	0.240
การอนุบาลรอบที่ 3						
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg-N/l)	เริ่มต้น	0.012 $\pm$ 0.00**	0.024 $\pm$ 0.00**	-5.818	4	0.004
	สัปดาห์ที่ 1	0.037 $\pm$ 0.00	0.040 $\pm$ 0.00	-1.271	4	0.273
	สัปดาห์ที่ 2	0.077 $\pm$ 0.00**	0.106 $\pm$ 0.01**	-6.725	4	0.003
	สัปดาห์ที่ 3	0.100 $\pm$ 0.01**	0.179 $\pm$ 0.03**	-3.912	4	0.017
	จับกุ้ง	0.030 $\pm$ 0.02	0.056 $\pm$ 0.01	-2.551	4	0.063

หมายเหตุ ^{**} = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ (P < 0.05)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen) ของน้ำที่ใช้คลอรีนผง และน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโอดีกรโพลีซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.1.9 ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำ (*Vibrio* spp.)

การเลี้ยงรอบที่ 1 ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 6.2 \times 10^3$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.38×10^3 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 1) และน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 6.9 \times 10^3$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.67×10^3 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 ของการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 1 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า แต่ละสัปดาห์ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 13)

การเลี้ยงรอบที่ 2 ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 2.63 \times 10^4$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 1.04×10^4 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 2) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 2.10 \times 10^4$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 7.76×10^3 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกช่วงสัปดาห์จนถึงเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 2 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า แต่ละสัปดาห์ปริมาณเชื้อไวรัสโคโนในน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 13)

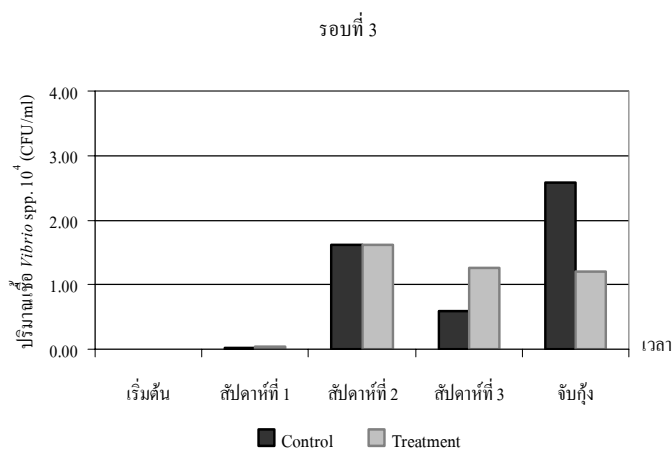
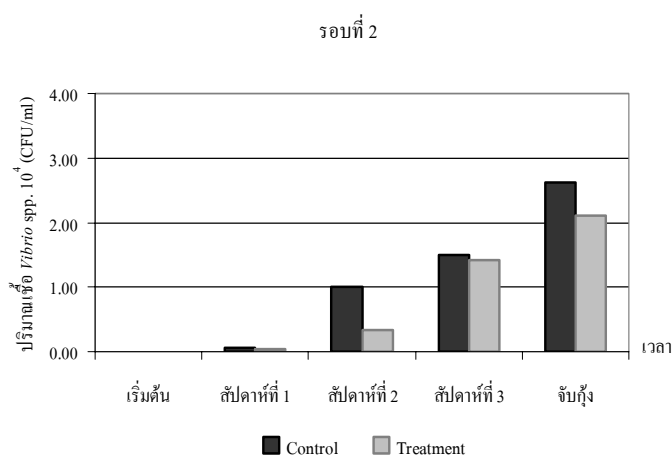
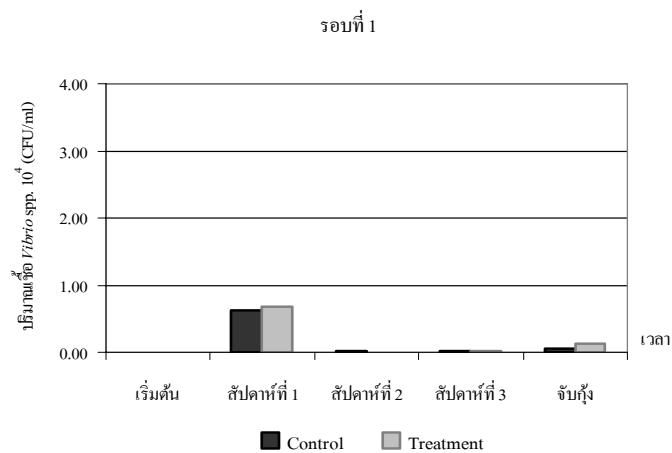
การเลี้ยงรอบที่ 3 ปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพบมีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 2.58 \times 10^4$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 9.64×10^3 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 - 1.62 \times 10^4$ CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 18) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 8.30×10^3 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 2 และมีค่าลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 3 สัปดาห์ แต่ในช่วงสิ้นสุดการอนุบาลปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำในชุดควบคุม (Control) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า แต่ละสัปดาห์ปริมาณเชื้อไวรัสโอินน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 13)

การศึกษาปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. โดยใช้อาหาร selective media สำหรับแยกเชื้อ *Vibrio* spp. พบว่าปริมาณแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำช่วงเริ่มต้น ไม่พบเชื้อ *Vibrio* spp. และปริมาณแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้นไปจนถึงช่วงสิ้นสุดการเลี้ยง ทั้งนี้ปริมาณเชื้อที่เพิ่มจำนวนขึ้นเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดจากการให้อาหารในการเลี้ยงกุ้งและสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้งเอง จึงมีการสะสมที่พื้นถึง ทั้งนี้พัชรี (2530) รายงานว่าเชื้อชนิดนี้มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในธรรมชาติเมื่อเชื้อเข้ามาอยู่ในบ่อเลี้ยงโดยมากับน้ำทะเล และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมก็สามารถเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในการตรวจพบปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. จำนวนมากอาจเป็นตัวบ่งบอกถึงอันตรายในการเลี้ยงกุ้งได้ เพราะมี *Vibrio* spp. หลายชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคกุ้ง ปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. ที่พบในการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับรายงานของ นันทริก (2532) อ้างโดย สิทธิ และคณะ (2532) ที่พบว่า ในเลี้ยงกุ้งระยะอนุบาลถึงโพสต์ล่าวา 13 พบค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. มีค่า 0.2×10^5 ถึง 1.82×10^6 CFU/มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดโรคติดเชื้อที่รุนแรงต่อกุ้งแต่อย่างใด

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณเชื้อไวรัส (*Vibrio* spp.) ในแต่ละสัปดาห์ในการ
อนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
การอนุบาลรอบที่ 1						
ปริมาณเชื้อ (<i>Vibrio</i> spp.) ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.000 $\pm$ 0.00	0.000 $\pm$ 0.00	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 1	0.613 $\pm$ 0.12	0.686 $\pm$ 0.32	-0.375	4	0.727
	สัปดาห์ที่ 2	0.004 $\pm$ 0.00	0.002 $\pm$ 0.00	1.776	4	0.150
	สัปดาห์ที่ 3	0.001 $\pm$ 0.00	0.001 $\pm$ 0.00	0.135	4	0.899
	จับกุ้ง	0.058 $\pm$ 0.03	0.137 $\pm$ 0.13	-1.063	4	0.348
การอนุบาลรอบที่ 2						
ปริมาณเชื้อ (<i>Vibrio</i> spp.) ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.000 $\pm$ 0.00	0.000 $\pm$ 0.00	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 1	0.060 $\pm$ 0.07	0.032 $\pm$ 0.02	0.463	4	0.556
	สัปดาห์ที่ 2	1.008 $\pm$ 0.46	0.329 $\pm$ 0.08	2.525	4	0.065
	สัปดาห์ที่ 3	1.497 $\pm$ 0.12	1.417 $\pm$ 0.29	0.447	4	0.678
	จับกุ้ง	2.630 $\pm$ 0.51	2.100 $\pm$ 0.14	1.743	4	0.156
การอนุบาลรอบที่ 3						
ปริมาณเชื้อ (<i>Vibrio</i> spp.) ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.001 $\pm$ 0.00	0.004 $\pm$ 0.00	-1.103	4	0.332
	สัปดาห์ที่ 1	0.023 $\pm$ 0.00	0.047 $\pm$ 0.00	-1.565	4	0.193
	สัปดาห์ที่ 2	1.623 $\pm$ 0.20	1.623 $\pm$ 0.17	0.000	4	1.000
	สัปดาห์ที่ 3	0.593 $\pm$ 0.39	1.263 $\pm$ 0.22	-2.611	4	0.059
	จับกุ้ง	2.580 $\pm$ 1.23	1.213 $\pm$ 0.28	1.873	4	0.134



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อไวรัส (Vibrio spp.) ในน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโกลิซิสในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

ความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 2 ของการอนุบาล พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 14)

การเลี้ยงรอบที่ 3 ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำระหว่างการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนพบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.03×10^4 - 6.77×10^4 CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 19) มีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.16×10^4 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 3) และน้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01×10^4 - 8.14×10^4 CFU/มิลลิลิตร (ภาพที่ 19) ค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยงเท่ากับ 3.42×10^4 CFU/มิลลิลิตร (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 3) จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดช่วงการอนุบาลลูกกุ้ง

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำในการเลี้ยงรอบที่ 3 มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ พบว่า แต่ละสัปดาห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 14)

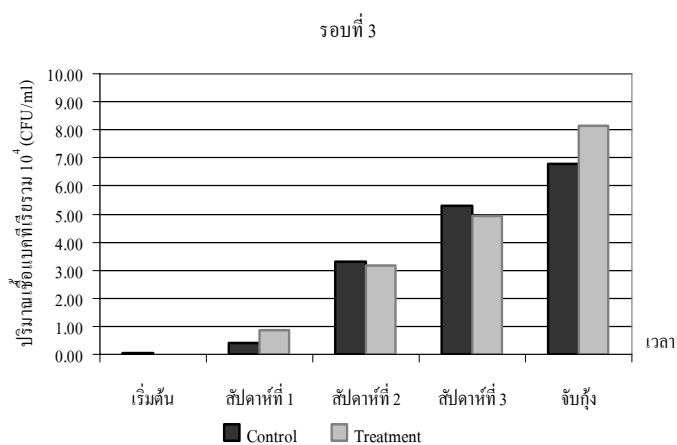
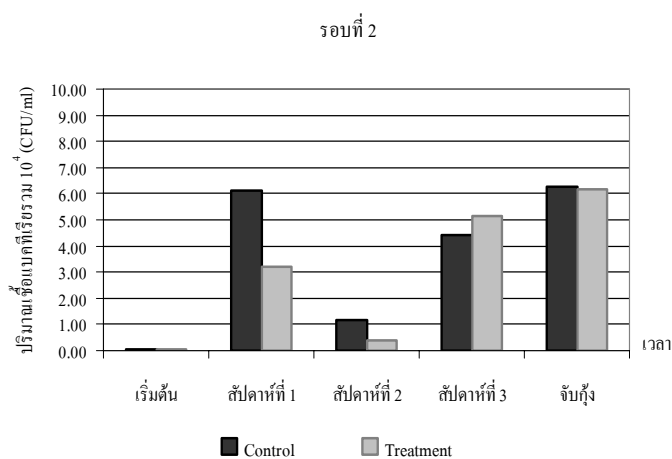
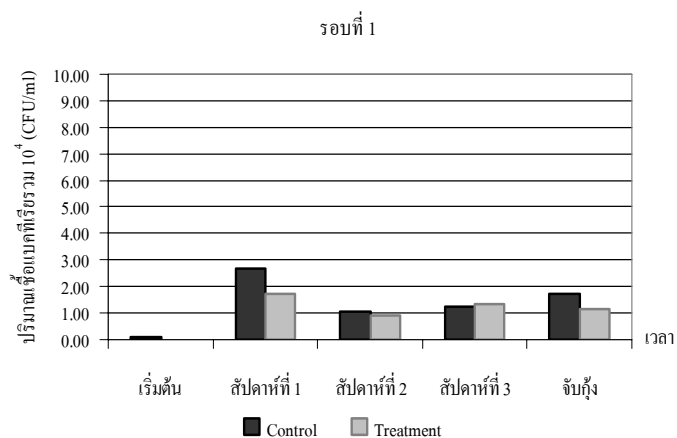
จากผลการศึกษาปริมาณแบคทีเรียรวมในน้ำซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณแบคทีเรียในน้ำจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแบคทีเรียรวมในน้ำมีจำนวนมากขึ้นกว่าสัปดาห์แรก (ภาพที่ 19) เนื่องจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มาจากเศษอาหารเหลือจากการให้อาหารและการขับถ่ายของลูกกุ้ง จึงมีการสะสมที่พื้นถึงอนุบาล ทั้งนี้แบคทีเรียยังสามารถเจริญและตกค้างบริเวณท่อสายยางที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ผนังถึงอนุบาลและท่ออากาศที่ใช้ในถึงอนุบาล ในบางช่วงของการอนุบาลจำนวนของแบคทีเรียลดลงซึ่งอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งช่วยให้ปริมาณแบคทีเรียในน้ำลดจำนวนลง ในการเลี้ยงกุ้งรอบที่ 2 และ 3 ในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการเลี้ยงพบว่าปริมาณแบคทีเรียรวมในน้ำมีจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สิทธิ และคณะ (2532) ที่รายงานว่าในช่วงเริ่มต้นของการเลี้ยงปริมาณแบคทีเรียรวมและเชื้อ *Vibrio* spp. ในน้ำจะมีปริมาณน้อยกว่าในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง ซึ่งในการศึกษครั้งนี้ปริมาณแบคทีเรียรวมในน้ำที่พบมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับรายงานของ นันทริกา (2532) อ้างโดย สิทธิ และคณะ (2532) ที่พบว่าในเลี้ยงกุ้งระยะนอเพ็ลิสถึงโพสท์ลาวา 13 พบค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม มีค่า 1.25×10^6 ถึง 3.87×10^7 CFU/มิลลิลิตร และปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดโรค ทั้งนี้การเกิดโรค

ที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียมีสาเหตุโน้มนำจากความไม่สมดุลของระบบนิเวศภายในบ่อซึ่งคุณภาพน้ำไม่เหมาะสม เช่น มีก๊าซพิษมาก มีสารอินทรีย์ตกค้างในปริมาณมาก และมีเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคกับกุ้งในน้ำปริมาณมากเกินไป (พรชัย, 2545)

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำ (Total Bacteria) ในแต่ละสัปดาห์ในการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	สัปดาห์	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
		น้ำคลอรีนผง	น้ำอิเล็กโทรไลซิส			
<u>การอนุบาลรอบที่ 1</u>						
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.110 $\pm$ 0.04	0.084 $\pm$ 0.03	0.895	4	0.421
	สัปดาห์ที่ 1	2.701 $\pm$ 1.02	1.743 $\pm$ 0.51	1.457	4	0.219
	สัปดาห์ที่ 2	1.045 $\pm$ 0.09	0.923 $\pm$ 0.55	0.376	4	0.726
	สัปดาห์ที่ 3	1.237 $\pm$ 0.34	1.320 $\pm$ 0.13	-0.397	4	0.712
	จับกุ้ง	1.733 $\pm$ 1.59	1.137 $\pm$ 0.32	0.638	4	0.558
<u>การอนุบาลรอบที่ 2</u>						
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.006 $\pm$ 0.00	0.007 $\pm$ 0.00	-1.719	4	0.161
	สัปดาห์ที่ 1	6.143 $\pm$ 2.67	3.200 $\pm$ 0.46	1.887	4	0.132
	สัปดาห์ที่ 2	1.174 $\pm$ 0.23**	0.390 $\pm$ 0.08**	2.525	4	0.005
	สัปดาห์ที่ 3	4.417 $\pm$ 1.55	5.133 $\pm$ 0.38	-0.778	4	0.480
	จับกุ้ง	6.247 $\pm$ 0.91	6.150 $\pm$ 0.39	0.170	4	0.874
<u>การอนุบาลรอบที่ 3</u>						
ปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม ($\times 10^4$ CFU/ml)	เริ่มต้น	0.032 $\pm$ 0.02	0.008 $\pm$ 0.00	2.678	4	0.055
	สัปดาห์ที่ 1	0.400 $\pm$ 0.13	0.850 $\pm$ 0.35	-2.083	4	0.106
	สัปดาห์ที่ 2	3.300 $\pm$ 2.09	3.167 $\pm$ 1.98	0.080	4	0.940
	สัปดาห์ที่ 3	5.283 $\pm$ 1.78	4.933 $\pm$ 0.26	0.366	4	0.754
	จับกุ้ง	6.773 $\pm$ 2.57	8.140 $\pm$ 3.27	-0.569	4	0.600

หมายเหตุ ** = แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม (Total Bacteria) ในน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

2.2 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)

การเลี้ยงรอบที่ 1 อัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย ในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) และกลุ่มทดลอง (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์) มีค่าเท่ากับ 47.46 และ 39.74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 20)

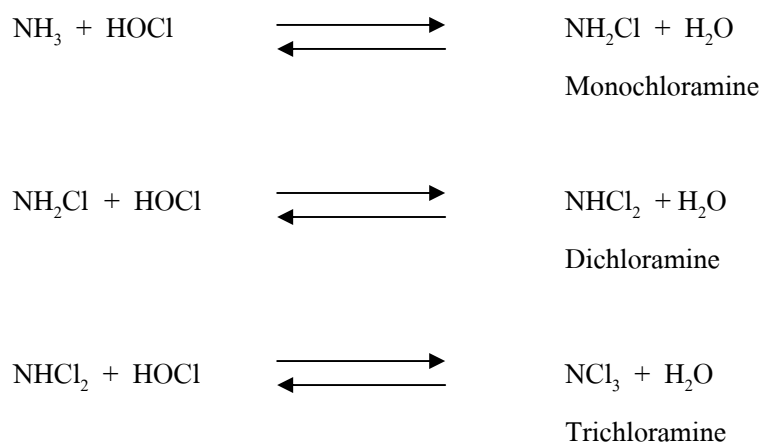
การเลี้ยงรอบที่ 2 อัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย ในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) และกลุ่มทดลอง (น้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์) มีค่าเท่ากับ 58.59 และ 41.18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 20)

การเลี้ยงรอบที่ 3 อัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมเฉลี่ย ในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) และกลุ่มทดลอง (น้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 2 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์) มีค่าเท่ากับ 80.16 และ 70.55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 20)

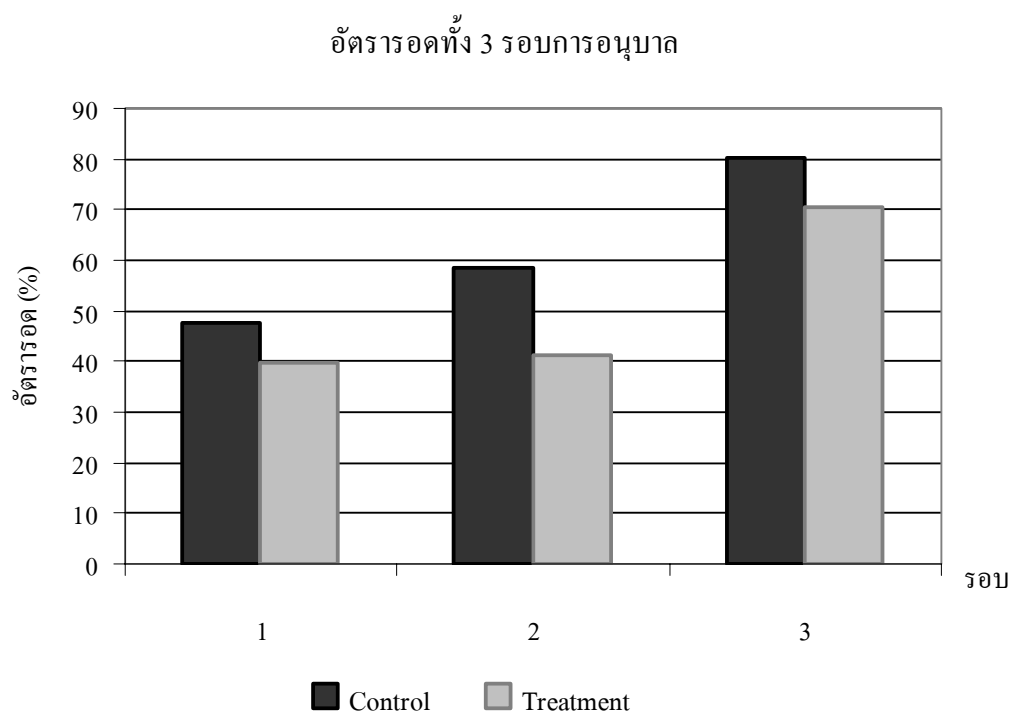
ในการเลี้ยงรอบที่ 1 และ 2 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งในกลุ่มทดลอง (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) เนื่องจากค่าความเป็นด่างรวมในน้ำในกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (ตารางที่ 10) ซึ่งความเป็นด่างรวมมีผลกระทบต่อการสร้างเปลือกของกุ้ง (ยงค์, 2539) และตลอดช่วงระยะเวลาของการเลี้ยง คุณภาพน้ำในบางช่วงของการเลี้ยงไม่เหมาะสมต่อลูกกุ้ง ซึ่งได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ที่มีการสะสมมากจนเป็นอันตรายต่อลูกกุ้งได้ (ตารางที่ 11 และตารางที่ 12)

ในการเลี้ยงรอบที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของกุ้งในกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมเช่นกัน ซึ่งพบว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในกลุ่มทดลองมีปริมาณสูงกว่าในกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 12) ซึ่งปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน สามารถแสดงถึงสถานะที่ไม่เหมาะสมที่เกิดขึ้นภายในถังเลี้ยง และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่ออัตราการรอดตายของลูกกุ้งได้ และสาเหตุที่อัตราการรอดตายของลูกกุ้งที่อนุบาลด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่ำกว่าการอนุบาลลูกกุ้งด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง อาจเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาของกรดไฮโปคลอรัส (HOCl)

และไฮโปคลอไรท์ไฮดรอกซิล (OCl⁻) กับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบปิดที่มีการหมุนเวียนของน้ำ
กลับมาใช้ เป็นสารประกอบคลอรีน ดังสมการ



ซึ่งสารประกอบ Dichloramine และ Trichloramine มีความเป็นพิษมากกว่า
Monochloramine และคลอรีนอิสระ ซึ่งคลอรีนตกค้างนี้ยากต่อการกำจัดออกจึงอาจมีผลต่ออัตรา
รอดตายของลูกกุ้ง (Lawson, 1995; Rajapogal *et al.*, 1997; Stauber, 1998)



ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของลูกกุ้ง (เปอร์เซ็นต์) ที่อนุบาลในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้ คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 รอบการอนุบาล

2.3 การเจริญเติบโต

สำหรับการอนุบาลกุ้งทั้ง 3 รอบการทดลอง ได้ทำการวัดการเติบโตขนาดของลูกกุ้ง ระยะโพสท์ลาร์วา 15 เมื่อสิ้นสุดการอนุบาล ซึ่งในการอนุบาลรอบที่ 1 กุ้งในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) มีความยาวเฉลี่ย 13.03 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0090 กรัม และกุ้งในกลุ่มทดลอง (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส) มีความยาวเฉลี่ย 14.70 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0152 กรัม เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทั้งทางด้านความยาวและน้ำหนักที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$) (ตารางที่ 15)

การอนุบาลรอบที่ 2 กุ้งในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) มีความยาวเฉลี่ย 11.39 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0062 กรัม และกลุ่มทดลอง (น้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส) มีความยาวเฉลี่ย 14.28 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0171 กรัม เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทั้งทางด้านความยาวและน้ำหนักที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P > 0.05$) (ตารางที่ 15)

การอนุบาลรอบที่ 3 กุ้งในกลุ่มควบคุม (น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผง) มีความยาวเฉลี่ย 13.14 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0097 กรัม และกลุ่มทดลอง (น้ำจากการเลี้ยงรอบที่ 1 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส) มีความยาวเฉลี่ย 10.97 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.0040 กรัม เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทั้งทางด้านความยาว ($P > 0.05$) แต่พบความแตกต่างของน้ำหนักที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) (ตารางที่ 15)

เมื่อพิจารณาขนาดน้ำหนักลูกกุ้งในการอนุบาลรอบที่ 3 พบว่ากลุ่มควบคุมมีน้ำหนักสูงกว่ากลุ่มทดลอง อาจเกิดจากการตกค้างของสารประกอบคลอรีน ซึ่งคลอรีนมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ และเป็นปัจจัยที่ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้าเนื่องจากเกิดความเครียด (Judith, 1997) รวมถึงปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่มีค่าสูง (ตารางที่ 12) ซึ่งสามารถแสดงได้ถึงสภาวะที่ไม่เหมาะสมที่เกิดขึ้นภายในถังอนุบาล ซึ่งสอดคล้องกับ สุขชาติ (2542) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ สามารถบอกถึงความเหมาะสมของระบบการเลี้ยงที่มีการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่นว่า ระบบได้สร้างความเครียดให้กับลูกกุ้ง และอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิตกุ้งได้ขนาดค่อนข้างเล็ก จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการ

เมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมให้มากขึ้น ทำให้สัตว์น้ำมีความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมที่อนุบาลด้วยน้ำที่ใช้คลอรีนผง (ชุดควบคุม) และน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

ชุดการทดลอง	น้ำหนักตัวเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	ความยาวตัวเฉลี่ย (มิลลิเมตร/ตัว)
การอนุบาลรอบที่ 1		
ชุดควบคุม	0.0090±0.0045 ^a	13.03±2.10 ^a
น้ำผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0.0152±0.0043 ^a	14.70±1.06 ^a
P-Value	0.153	0.285
การอนุบาลรอบที่ 2 (หมุนเวียนน้ำจากรอบที่ 1)		
ชุดควบคุม	0.0062±0.0041 ^a	11.39±1.88 ^a
น้ำผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0.0171±0.0118 ^a	14.28±2.94 ^a
P-Value	0.202	0.225
การอนุบาลรอบที่ 3 (หมุนเวียนน้ำจากรอบที่ 2)		
ชุดควบคุม	0.0097±0.0031 ^a	13.14±1.06 ^a
น้ำผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0.0040±0.0015 ^b	10.97±1.31 ^a
P-Value	0.046	0.090

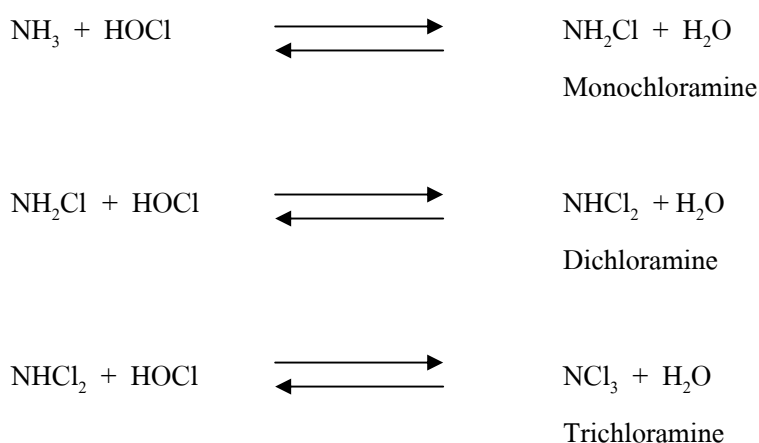
หมายเหตุ a,b = อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$)

2.4 ประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่อคุณภาพน้ำ และแบคทีเรีย

2.4.1 ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total Ammonia-Nitrogen)

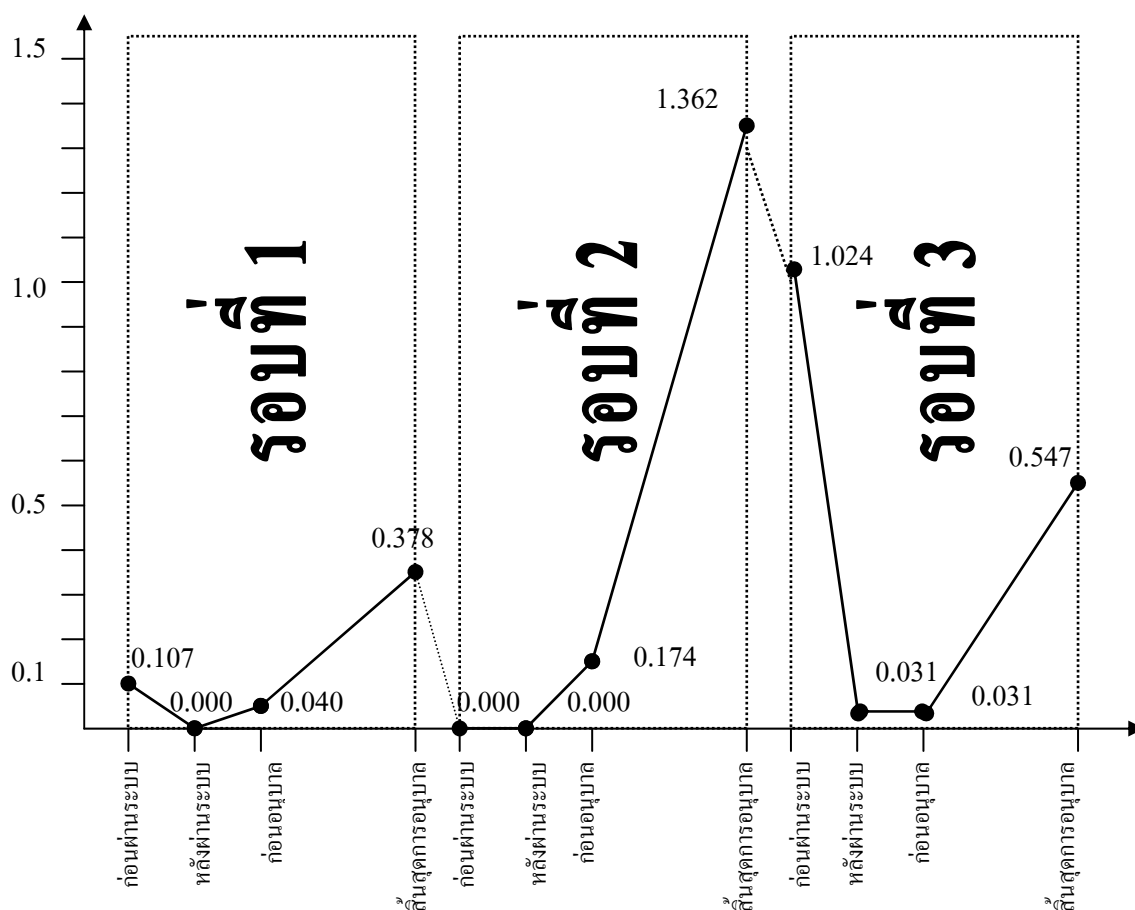
ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ อัตราไหล่ 2.5 ลิตรต่อนาที โดยในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 ปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 0.107 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตรเมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ปริมาณแอมโมเนียมีค่า 0.000 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร ซึ่งมีค่าลดลง หรือคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดที่ถูกกำจัดออก และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการอนุบาล เมื่อนำน้ำจากการอนุบาลรอบที่ 1 มาใช้ต่อในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 2 ไม่พบปริมาณแอมโมเนียรวมก่อนทำการผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้เนื่องมาจากแอมโมเนียสามารถเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซและแพร่ออกสู่อากาศได้ และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลมีปริมาณแอมโมเนีย 1.362 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร และลดลงเหลือ 1.024 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร ก่อนการผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการอนุบาลรอบที่ 3 เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์พบว่าปริมาณแอมโมเนียรวมลดลงจาก 1.024 เป็น 0.031 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร หรือลดลง 96.9 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแอมโมเนียรวมทั้งหมด

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 21 จะเห็นได้ว่า น้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงก่อนการเลี้ยงทั้ง 3 รอบการทดลอง เมื่อนำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์แล้ว พบว่าปริมาณแอมโมเนียรวมลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก NH_3 จะทำปฏิกิริยากับ Cl_2 และ HOCl เพื่อเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การจะได้เป็นชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ NH_3 , Cl_2 และ pH ของน้ำ ดังสมการ



ทั้ง Monochloramine, Dichloramine และ Trichloramine มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคมากและใช้ในการวัดคลอรีนตกค้างในน้ำ ซึ่งอาจสรุปได้ว่า free chlorine ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนบางตัวเกิดเป็น combined chlorine คลอรีนรวมกับแอมโมเนียเกิดเป็น chloramine ซึ่งรวมทั้ง Monochloramine, Dichloramine และ nitrogen trichloride ความเข้มข้นและรูปของคลอรามินขึ้นอยู่กับ พีเอช อุณหภูมิ อัตราส่วนของคลอรีนต่อไนโตรเจน (กรรณิการ์, 2544)

mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$

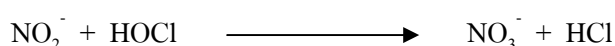


ภาพที่ 21 ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total Ammonia-Nitrogen) ของน้ำก่อนผ่านระบบอเล็กโทรไลซิส น้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบอเล็กโทรไลซิส ก่อนทำการอนุบาลลูกกุ้ง และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไม

2.4.2 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen)

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอิเล็กโทรไลซิสที่ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ อัตราไหล่ 2.5 ลิตรต่อนาที ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิสมีค่า 0.209 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรเมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิสปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน มีค่า 0.001 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งมีค่าลดลง หรือคิดเป็น 99.52 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนไตรท์ทั้งหมดที่ถูกกำจัดออก และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการอนุบาล เมื่อนำน้ำจากการอนุบาลรอบที่ 1 มาใช้ต่อในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 2 พบว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในน้ำก่อนการผ่านระบบลดลงจาก 2.239 เป็น 0.000 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งมีค่าลดลง 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาผ่านด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลมีปริมาณไนไตรท์ 0.174 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และก่อนการผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส เพื่อใช้ในการอนุบาลรอบที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 3.313 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิสพบว่า ปริมาณไนไตรท์ลดลงจาก 3.313 เป็น 0.720 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร หรือลดลง 78.27 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ทั้งหมด

จาก ภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิสสามารถลดปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ที่มีอยู่ในน้ำได้ ซึ่ง White (1992) กล่าวว่า สารประกอบไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับ free chlorine ดังสมการ

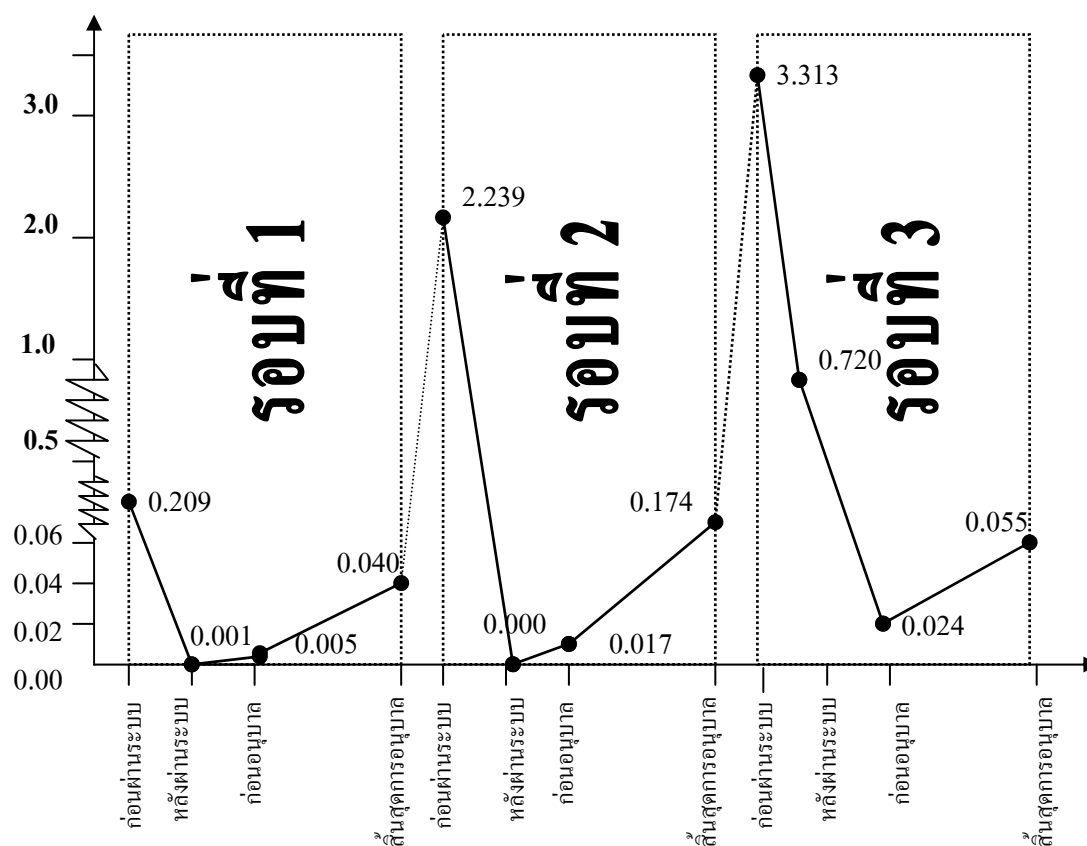


ซึ่งจะต้องใช้ 2 อะตอมของคลอรีนเพื่อผลิต HOCl 1 โมเลกุล และต้องใช้คลอรีน 5 ส่วนในการออกซิไดซ์ไนไตรท์-ไนโตรเจน 1 ส่วนโดยไนไตรท์ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะต้องใช้ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ของ free chlorine อย่างไรก็ตาม combined chlorine จะไม่ทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ ซึ่งสอดคล้องกับกรณีการ (2544) ที่กล่าวว่า สารลดออกซิเจนในน้ำที่พบบ่อย เช่น H_2S , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- สารอนินทรีย์เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติมลงไปได้น้ำได้

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 21 และภาพที่ 22 จะเห็นได้ว่าหลังจากนำน้ำที่ใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งมาผ่านระบบกรอง ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าลดลง และปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากระบบกรองที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นระบบกรองที่คัดลอกแบบมา

จากระบบกรองชีวภาพ (biofilters) แบบโปรยกรอง (trickling filters) ประกอบด้วยถังที่บรรจุตัวกลางที่เป็นทรายหยาบ (sand media) ขนาดประมาณ 1.2-2.5 มิลลิเมตร ซึ่งแบคทีเรียสามารถเกาะอยู่บริเวณผิวของตัวกลาง และออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้ตามช่องว่างระหว่างตัวกลาง ซึ่งน้ำจากการอนุบาลลูกกุ้งจะไหลผ่านตัวกลางแบบบนลงล่าง (downward) จึงทำให้แบคทีเรียพวก Nitrifying bacteria ช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ได้ (Lawson, 1995)

mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$



ภาพที่ 22 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen) ของน้ำก่อนผ่านระบบบิโอดีทโรไลซิส น้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบบิโอดีทโรไลซิส ก่อนทำการอนุบาลลูกกุ้ง และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไม

2.4.3 ค่าพีเอช (pH)

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ อัตราไหล่ 2.5 ลิตรต่อนาที ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 ค่าพีเอชของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 7.86 เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่า 7.95 เมื่อนำน้ำจากการอนุบาลรอบที่ 1 มาใช้ต่อในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 2 พบว่าค่าพีเอชของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 7.98 เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ค่าพีเอช มีค่าเท่ากับ 8.00 และเมื่อนำน้ำหมุนเวียนมาใช้ในการอนุบาลรอบที่ 3 ค่าพีเอชของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์มีค่า 7.82 และมีค่าพีเอชลดลงเล็กน้อยเหลือ 7.72 หลังจากนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (ภาพที่ 23)

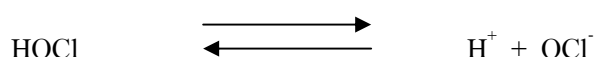
ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น กฤษณา (2538) กล่าวว่าเกิดได้จากการแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เข้มข้นพอควรด้วยไฟฟ้า ได้แก๊สไฮโดรเจนที่แคโทดและแก๊สคลอรีนที่แอโนด ส่วน Na^+ คงอยู่ในสารละลายตามเดิม และเมื่อทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้าเรื่อยไปนานเข้าก็จะมี OH^- สะสมมากขึ้นภายหลังการแยกสลายด้วยไฟฟ้าแล้วถ้าเอาสารละลายที่เหลือไประเหยจะได้น้ำแข็งโซเดียมไฮดรอกไซด์ตกผลึกออกมา การแยกสลายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ด้วยไฟฟ้าจึงเป็นวิธีเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วย

ทั้งนี้ Katayose *et al.* (2007) ได้รายงานว่าคลอรีนที่อยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอไรต์ (HOCl), อนุมูลไฮโปคลอไรต์ (OCl^-) หรือก๊าซคลอรีน (Cl_2) จะทำปฏิกิริยาดังนี้

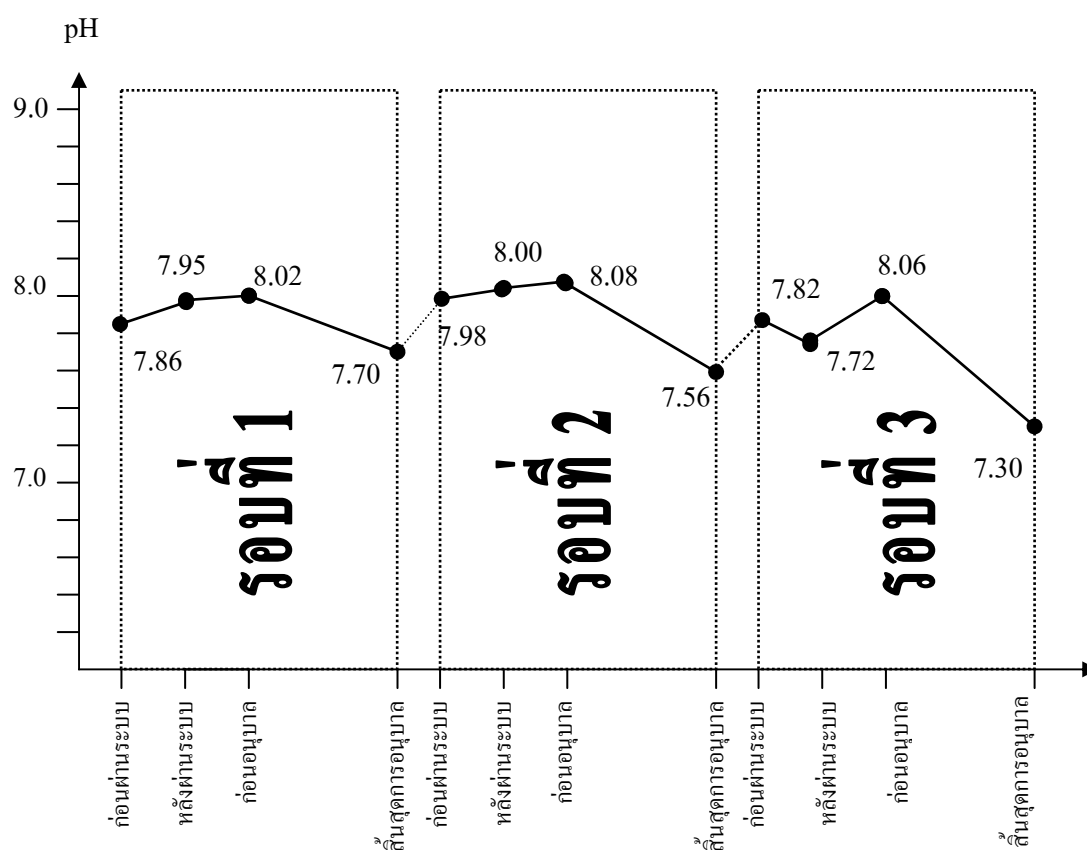


ที่อุณหภูมิปกติเมื่อเติมคลอรีนลงในน้ำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ และเสร็จสมบูรณ์ภายใน 2-3 วินาทีเท่านั้น แต่ถ้าสารละลายเจือจาง และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำ ปฏิกิริยาจะเกิดค่อนข้างช้า และมีคลอรีน (Cl_2) หลงเหลืออยู่ในปฏิกิริยาน้อย (Floyd, 1979)

นอกจากนี้ HOCl ยังแตกตัวได้อีก ดังสมการ



ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิ ถ้าค่า pH ต่ำจะเกิด HOCl ซึ่งมี
ความเป็นพิษสูงกว่าค่า OCl^- (Floyd, 1979)



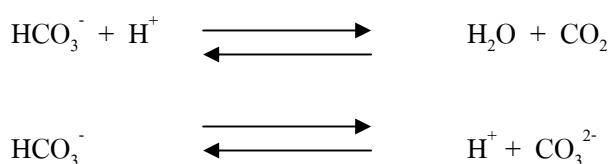
ภาพที่ 23 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส น้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ
อิเล็กโทรไลซิส ก่อนทำการอนุบาลลูกกุ้ง และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม

2.4.4 ความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity)

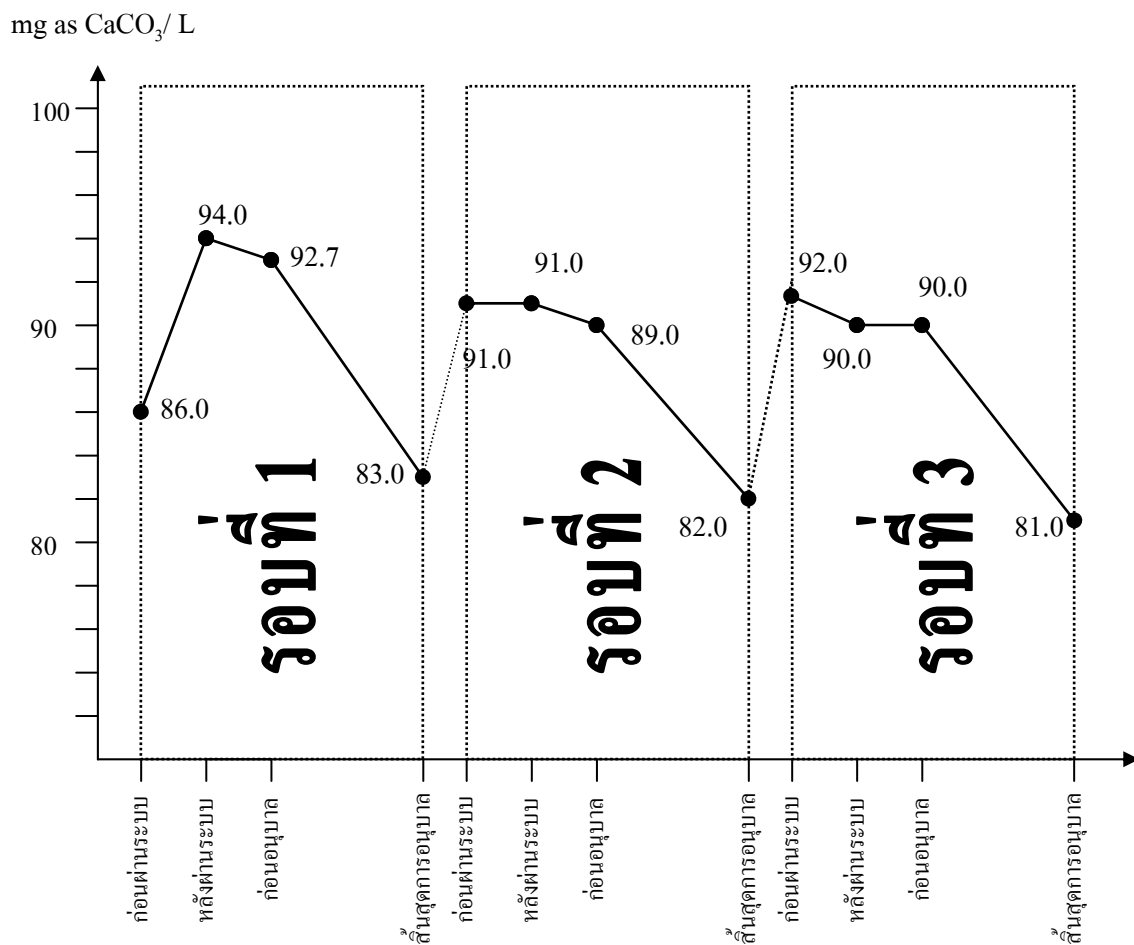
ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบิโเล็กโทรไลซิสที่ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ อัตราไหล่ 2.5 ลิตรต่อนาที ในการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมรอบที่ 1 ค่าความเป็นด่างรวมในน้ำก่อนผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสมีค่า 86.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสค่าความเป็นด่างรวมเพิ่มขึ้นเป็น 94.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 เมื่อนำน้ำจากการอนุบาลรอบที่ 1 มาใช้ต่อในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 2 พบว่าค่าความเป็นด่างรวมในน้ำก่อนผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสมีค่า 91.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสพบว่า ค่าความเป็นด่างรวมมีค่าเท่าเดิมคือ 91.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 และเมื่อนำน้ำหมวนเวียนมาใช้ในการอนุบาลรอบที่ 3 ค่าความเป็นด่างรวมของน้ำก่อนผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสมีค่า 92.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 และมีค่าลดลงเล็กน้อยเหลือ 90.0 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 หลังจากนำน้ำมาผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิส (ภาพที่ 24)

ค่าความเป็นด่างรวมที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านระบบบิโเล็กโทรไลซิสมีความสอดคล้องกับค่าพีเอช ซึ่ง ชนค์ (2539) กล่าวว่าค่าความเป็นด่างจะเป็นตัวด้านการเปลี่ยนแปลงของพีเอชของน้ำเมื่อมีการเติมกรดหรือด่างลงไป ในน้ำธรรมชาติค่าความเป็นด่างส่วนใหญ่เกิดจากไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และอาจมีคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) อยู่บ้างในปริมาณพอควรในบางสภาวะ

สารละลายเจือจางของจากไบคาร์บอเนตจะมีสภาวะเป็นด่างอ่อน เนื่องจากจากไบคาร์บอเนตสามารถแสดงปฏิกิริยาได้ทั้งปฏิกิริยากรดและปฏิกิริยาด่าง ดังสมการ



เนื่องจากรูปแบบของอออนที่ทำให้เกิดความเป็นด่างในน้ำส่วนใหญ่คือ HCO_3^- , CO_3^{2-} และ OH^- มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลง H^+ โดยตรงจากสมการข้างต้นความเป็นด่างในรูปแบบต่างๆ จึงถูกจำกัดโดยพีเอชของน้ำ ซึ่งในน้ำอาจมีค่าความเป็นด่างที่เกิดจากจากไบคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว เมื่อพีเอชของน้ำอยู่ที่ 4.5 – 8.3



ภาพที่ 24 ค่าความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity) ของน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ น้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ก่อนทำการอนุบาลลูกกุ้ง และเมื่อสิ้นสุดการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไม

2.4.5 ปริมาณเชื้อไวรัส (Vibrio spp.) และเชื้อแบคทีเรียรวม (Total Bacteria)

ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในการเตรียมน้ำเพื่ออนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 1 พบว่า ระบบอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี โดยปริมาณไวรัสและแบคทีเรียรวมในน้ำก่อนผ่านระบบมีปริมาณเท่ากับ 1.55×10^2 และ 6.10×10^4 CFU/มิลลิลิตร แต่หลังจากผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับกระแสไฟฟ้า 1.6 แอมแปร์ อัตราไหล 2.5 ลิตรต่อนาที พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อไวรัสและแบคทีเรียรวมได้ทั้งหมด และเมื่อนำน้ำจากการอนุบาลรอบที่ 1 (ภาพที่ 25) มาใช้ต่อในการอนุบาลลูกกุ้งรอบที่ 2 พบว่ามีปริมาณไวรัสและแบคทีเรียรวมในน้ำ เท่ากับ 1.03×10^3 และ 4.50×10^3 CFU/มิลลิลิตร เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ไม่พบปริมาณเชื้อไวรัสและแบคทีเรียรวมในน้ำ (ภาพที่ 26) และในการหมุนเวียนน้ำในรอบที่ 2 เพื่อใช้ในการอนุบาลรอบที่ 3 ก่อนการผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีปริมาณไวรัสและแบคทีเรียรวมในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 3.10×10^2 และ 6.30×10^3 CFU/มิลลิลิตร เมื่อนำน้ำมาผ่านระบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ปริมาณเชื้อไวรัสและแบคทีเรียรวมลดลงเหลือ 0 และ 0.18×10^2 CFU/มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 16

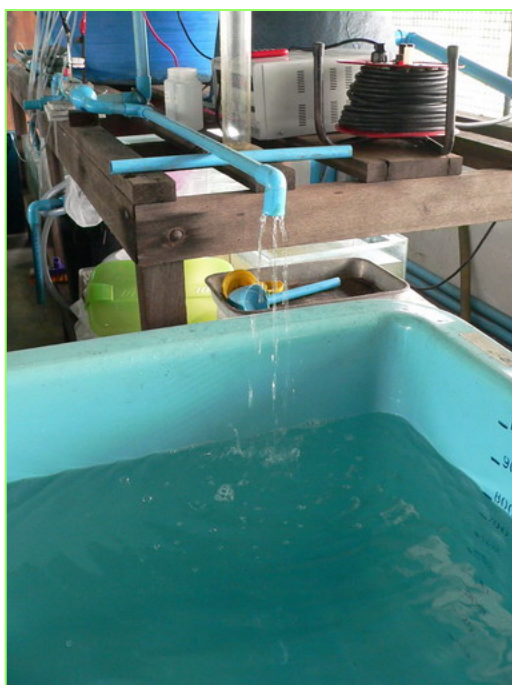
จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพของในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในการเตรียมน้ำเพื่ออนุบาลลูกกุ้งได้เป็นอย่างดี คือสามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียรวมในน้ำได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Yoshimizu *et al.* (1998) และ Tsuzuki *et al.* (1999) ที่รายงานว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถลดปริมาณแพลงก์ตอน แบคทีเรีย ไวรัส ได้ถึง 99% เนื่องจากเมื่อน้ำทะเลผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ คลอไรด์ไอออน (Cl⁻) จะถูกออกซิไดซ์เป็นคลอรีน และจะถูกไฮโดรไลต์เป็นกรดไฮโปคลอรัส ซึ่งมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ (Katayose *et al.* 2007) ทั้งนี้ความสามารถของคลอรีนในการฆ่าเชื้อยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ สารหอยแขวน แอมโมเนีย ไนโตรเจน เหล็ก ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคลดน้อยลง (กรรณิการ์, 2544)

ตารางที่ 16 ปริมาณเชื้อไวรัส (Vibrio spp.) และปริมาณแบคทีเรียรวม (Total bacteria) ในน้ำก่อนผ่าน และหลังผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้ง 3 รอบการอนุบาล

	Vibrio spp. (CFU/ml)	Total plate count (CFU/ml)	Reduction rate (%)
<u>การอนุบาลรอบที่ 1</u>			
น้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	1.55×10^2	6.10×10^4	-
น้ำหลังผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0	0	>99.9
<u>การอนุบาลรอบที่ 2</u> (หมุนเวียนน้ำจากรอบที่ 1)			
น้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	1.03×10^3	4.50×10^3	-
น้ำหลังผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0	0	>99.9
<u>การอนุบาลรอบที่ 3</u> (หมุนเวียนน้ำจากรอบที่ 2)			
น้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	3.10×10^2	6.30×10^3	-
น้ำหลังผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์	0	0.18×10^2	99.7



ภาพที่ 25 ลักษณะของน้ำจากการอนุบาลกุ้งรอบที่ 1 ก่อนผ่านระบบบำบัดอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 26 ลักษณะของน้ำจากการอนุบาลกุ้งรอบที่ 1 หลังผ่านระบบบำบัดอิเล็กทรอนิกส์

2.5 ต้นทุนการผลิตการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระหว่างการใช้คลอรีนผงบกับการหมุนเวียนน้ำโดยการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

ต้นทุนในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนคงที่ และ ต้นทุนผันแปร

1. รายจ่ายหรือต้นทุนคงที่ ในการทดลองครั้งนี้ต้นทุนคงที่ที่จัดอยู่ในหมวดนี้ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาชุดระบบอิเล็กทรอนิกส์ และค่าเสื่อมราคาระบบกรองทราย

สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของชุดระบบอิเล็กทรอนิกส์ และระบบกรองทรายเป็นการประเมินค่าเสื่อมราคา การประเมินค่าเสื่อมราคา (Depreciation cost) จะประเมินที่มูลค่าซาก ซึ่งในการศึกษารังนี้ จะกำหนดค่าซากเท่ากับศูนย์

ชุดระบบอิเล็กทรอนิกส์มีราคาซื้ออยู่ที่ประมาณ 25,000 บาท และค่าใช้จ่ายในการทำระบบกรองทรายอยู่ที่ 300 บาท

2. รายจ่ายหรือต้นทุนผันแปร ในการทดลองครั้งนี้ต้นทุนที่จัดอยู่ในหมวดนี้ ได้แก่ ค่าลูกพันธุ์กุ้งขาว ค่าอาร์ทีเมีย ค่าน้ำเค็ม ค่าสารเคมี (คลอรีนผง) ค่าแรงงาน และค่าไฟฟ้า

ค่าพันธุ์ลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะอนุบาล 100,000 ตัว ราคา 1,000 บาท

ค่าแรงงาน อัตราค่าจ้างแรงงานอยู่ที่ 175 บาทต่อวัน เป็นลักษณะการจ้างงานในการกำจัดตะกอนที่เกิดจากการใช้คลอรีนผงเมื่อมีการเตรียมน้ำเพื่ออนุบาลลูกกุ้ง

จากการทดลองอนุบาลลูกกุ้งทั้ง 3 รอบ การคำนวณเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต พบว่า การอนุบาลลูกกุ้งในรอบที่ 1 ชุดทดลองที่ใช้คลอรีนผงฆ่าเชื้อในน้ำมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,392.27 บาท ส่วนชุดการทดลองที่ฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,342.83 บาท (ตารางที่ 17)

การอนุบาลลูกกุ้งในรอบที่ 2 ชุดทดลองที่ใช้คลอรีนผงฆ่าเชื้อในน้ำมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,392.27 บาท ส่วนชุดการทดลองที่ฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,239.89 บาท (ตารางที่ 17)

การอนุบาลลูกกุ้งในรอบที่ 3 ชุดทดลองที่ใช้คลอรีนผงฆ่าเชื้อในน้ำมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,392.27 บาท ส่วนชุดการทดลองที่ฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 2,239.89 บาท (ตารางที่ 17)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ต้นทุนการผลิตของการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมโดยนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ และนำน้ำหมุนเวียนมาผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์นั้น มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการใช้คลอรีนผงในการฆ่าเชื้อในน้ำ ซึ่งการเลี้ยงกุ้งอย่างต่อเนื่อง หรือการอนุบาลลูกกุ้งติดต่อกันหลายรุ่นโดยหมุนเวียนน้ำมาใช้ ไม่ทำให้อัตรารอดของลูกกุ้งต่ำลงหรือเกิดปัญหาในการเลี้ยง ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้เห็นได้ว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์มีศักยภาพในการอนุบาลลูกกุ้งได้ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตในด้านคุณภาพน้ำ และสารเคมี และสามารถเลี้ยงกุ้งได้ถึง 3 รอบการอนุบาล

ตารางที่ 17 ต้นทุนการผลิตการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมระหว่างการใช้คลอรีนผกกับการหมุนเวียนน้ำโดยการบำบัดด้วยระบบบิโเล็กโทรไลซิส

หน่วย : บาท		
รายการ	คลอรีนผก	ระบบบิโเล็กโทรไลซิส
<u>ต้นทุนครั้งที่ การอนุบาลรอบที่ 1</u>		
ค่าเสื่อมราคาชุดบิโเล็กโทรไลซิส (ต่อเดือน)	-	138.88
<u>ต้นทุนผันแปร</u>		
ค่าลูกพันธุ์กุ้งขาว	1,000.00	1,000.00
ค่าอาร์ทีเมีย	850.00	850.00
ค่าน้ำเค็ม 140 ppt		
- เพาะ <i>Chaetoceros</i> sp., อาร์ทีเมีย และอนุบาลลูกกุ้ง	333.79	333.79
ค่าสารเคมี	33.48	* 11.16
ค่าแรงงานในการกำจัดตะกอน	175.00	-
ค่าไฟฟ้า	-	9.00
รวมต้นทุนการเลี้ยง	2,392.27	2,342.83
<u>ต้นทุนครั้งที่ การอนุบาลรอบที่ 2</u>		
ค่าเสื่อมราคาชุดบิโเล็กโทรไลซิส (ต่อเดือน)	-	138.88
ค่าเสื่อมราคากระบอกกรองทราย (ต่อเดือน)	-	8.33
<u>ต้นทุนผันแปร</u>		
ค่าลูกพันธุ์กุ้งขาว	1,000.00	1,000.00
ค่าอาร์ทีเมีย	850.00	850.00
ค่าน้ำเค็ม 140 ppt		
- เพาะ <i>Chaetoceros</i> sp. และอาร์ทีเมีย	111.26	111.26
- อนุบาลลูกกุ้ง	222.53	111.26
ค่าสารเคมี	33.48	* 11.16
ค่าแรงงานในการกำจัดตะกอน	175.00	-
ค่าไฟฟ้า	-	9.00
รวมต้นทุนการเลี้ยง	2,392.27	2,239.89

ตารางที่ 17 (ต่อ)

รายการ	หน่วย : บาท	
	คลอรีนผง	ระบบอิเล็กทรอนิกส์
<u>ต้นทุนคงที่ การอนุบาลรอบที่ 3</u>		
ค่าเสื่อมราคาชุดอิเล็กทรอนิกส์ (ต่อเดือน)	-	138.88
ค่าเสื่อมราคาระบบกรองทราย (ต่อเดือน)	-	8.33
<u>ต้นทุนผันแปร</u>		
ค่าลูกพันธุ์กุ้งขาว	1,000.00	1,000.00
ค่าอาร์ทีเมีย	850.00	850.00
ค่าน้ำเค็ม 140 ppt		
- เพาะ <i>Chaetoceros</i> sp. และอาร์ทีเมีย	111.26	111.26
- อนุบาลลูกกุ้ง	222.53	111.26
ค่าสารเคมี	33.48	11.16*
ค่าแรงงานในการกำจัดตะกอน	175.00	-
ค่าไฟฟ้า	-	9.00
รวมต้นทุนการเลี้ยง	2,392.27	2,239.89

หมายเหตุ * เป็นค่าสารเคมี (คลอรีนผง) จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะ *Chaetoceros* sp. และอาร์ทีเมีย

เมื่อเปรียบเทียบการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไมระหว่างน้ำที่ใช้คลอรีนผงและน้ำที่ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์และการใช้คลอรีนผงในการมาเชื้อในน้ำ

	ระบบอิเล็กทรอนิกส์	คลอรีนผง
<u>ความสะดวกในการใช้งาน</u>		
- ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ	มีประสิทธิภาพสูง	มีประสิทธิภาพสูง
- การผสมกับมวลน้ำ	ผสมกับมวลน้ำได้ทั่วถึง	มีปัญหาเรื่องการละลายของผงคลอรีน
- ตะกอนคลอรีน	ไม่มีตะกอน	มีตะกอนตกค้าง
- การเก็บรักษา	เก็บรักษาง่าย	เก็บรักษายากกว่า
- ความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน	ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสโดยตรง	ผู้ใช้ต้องสัมผัสโดยตรง
<u>ต้นทุนค่าใช้จ่าย</u>		
- ต้นทุนการผลิต	ต่ำกว่า	สูงกว่า

จากการศึกษาในครั้งนี้ น้ำจากระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาหมวนเวียนใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งได้ถึง 2 รอบการอนุบาล แต่อย่างไรก็ตามอาจต้องมีการใช้วัสดุปูน (CaCO_3) ในการปรับคุณภาพน้ำเพื่อช่วยในการเพิ่มระดับ pH และค่าความเป็นด่างรวมของน้ำก่อนใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง ซึ่งอาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ทั้งนี้ในการอนุบาลลูกกุ้งต้องดูความเหมาะสมของคุณภาพน้ำเป็นสำคัญ

สรุป

1. การศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าและอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการผลิตคลอรีนในระดับที่ต้องการที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อในน้ำ

การใช้กระแสไฟฟ้าที่ 1.6 แอมแปร์ และอัตราการไหลของน้ำที่ 2.5 ลิตรต่อนาที สามารถผลิตคลอรีนได้ในระดับที่ต้องการฆ่าเชื้อในน้ำ คือที่ระดับความเข้มข้น 11.39 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระดับความเข้มข้นของคลอรีนที่ต้องการคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบอิเล็กโทรไลซิส ร่วมกับระบบกรองในการอนุบาลกุ้งขาว-แวนนาไมในระบบปิดเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนผงในระบบเปิดแบบดั้งเดิม

ในแต่ละรอบของการอนุบาล ค่าคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนไตรท์ ฟิเอช ความเป็นด่างรวม รวมทั้งปริมาณเชื้อไวรัสและปริมาณแบคทีเรียรวม ของน้ำที่ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในการอนุบาลกุ้งทั้ง 3 รอบ

การศึกษ้อัตรารอดและการเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมที่อนุบาลด้วยน้ำที่ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงและน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส มีเปอร์เซ็นต์อัตรารอดในแต่ละรอบของการอนุบาลไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 รอบ แต่น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่อนุบาลในน้ำที่ฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนผงมีน้ำหนักเฉลี่ย มากกว่าลูกกุ้งที่อนุบาลในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบอิเล็กโทรไลซิส ในการอนุบาลรอบที่ 3 ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละรอบของการอนุบาล ไม่แตกต่างกัน

ระบบอิเล็กโทรไลซิสสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนได้มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งยังสามารถลดปริมาณเชื้อไวรัส (*Vibrio* spp.) และปริมาณแบคทีเรียรวมได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำน้ำมาใช้ในการอนุบาลลูกกุ้งทั้ง 3 รอบการทดลอง

จากการศึกษาทดลองเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตการอนุบาลกุ้งขาวแวนนาไมระหว่างการ
ใช้คลอรีนผงกับการหมุนเวียนน้ำโดยการบำบัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ระบบอิเล็ก-
ทรอนิกส์ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการใช้คลอรีนผงในการฆ่าเชื้อในน้ำ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาปริมาณไอออนในน้ำ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม คลอไรด์และซัลเฟตในน้ำก่อนผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิสและหลังผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส
2. ควรมีการศึกษาตรวจวัด ความเข้มข้นของ Monochloramine (NH_2Cl), Dichloramine (NHCl_2) และ Trichloramine (NCl_3) ในน้ำหลังผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส เนื่องจากสารประกอบคลอรีนเหล่านี้มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
3. การนำน้ำมาหมุนเวียนใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง โดยผ่านระบบกรองทราย อาจสามารถกรองสารอินทรีย์ในน้ำได้บางส่วนเท่านั้น จึงน่าจะมีการเพิ่มหน่วยบำบัด เช่น การใช้พืชน้ำ หรือการให้อากาศซึ่งจะช่วยในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลง ก่อนจะนำน้ำมาผ่านระบบอิเล็กโทรไลซิส ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอิเล็กโทรไลซิสในการฆ่าเชื้อในน้ำได้ดีขึ้น
4. การนำระบบอิเล็กโทรไลซิสมาใช้ อาจต้องมีการใช้วัสดุปูน (CaCO_3) ในการปรับคุณภาพน้ำเพื่อช่วยในการเพิ่มระดับ pH และค่าความเป็นด่างรวมของน้ำก่อนใช้ในการอนุบาลลูกกุ้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง. 2549. สถิติผลผลิตการเลี้ยงกุ้งทะเลประจำปี 2547. เอกสารฉบับที่ 6/2549. กลุ่มวิจัย และวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมประมง. กรุงเทพฯ. 50 น.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมี่ของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ. 370 น.

กฤษณา ชุตินา. 2538. หลักเคมีทั่วไป เล่ม 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 825 น.

จันทร์รา ศรีสมวงศ์. 2546. ศักยภาพของพื้นที่เลี้ยงหอยบริเวณปากแม่น้ำแคว จังหัดจันบุรีและ จังหัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุวรรณ ธีระวงษ์สุนทร. 2525. พืชเลี้ยงปลานของแอมโมเนียที่มีต่อกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนระยะ ต่างๆกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรพล แก่นทอง. 2549. วิธีคิดค่าไฟประเภทต่างๆ. แหล่งที่มา:

<http://www.mea.or.th/internet/ERcalculate.xls>, 6 ตุลาคม 2549.

จิตชาติ ชิตชน. 2538. ผลของคลอรีนต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในระบบน้ำหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล คงน้อย. 2550. การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F). แหล่งที่มา:

<http://www.mea.or.th/Ft/main.htm>, 14 กุมภาพันธ์ 2550.

ประมวล ไชกลือชัย. 2523. พืชเลี้ยงปลานของคลอรีนในระบบสัมผัสเป็นครั้งคราวต่อปลากระพงขาว และกุ้งก้ามกรามที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประวิทย์ ไตวัฒนะ และ พิภพ ปราบณรงค์. 2539. การสะสมตัวและการเคลื่อนที่ของไอออนจากน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงกุ้งในหน้าดินตื้นที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและทรัพยากรดินในอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. วารสารสงขลานครินทร์. 18(1): 113-127

เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวด. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 82 น.

พัชร อังกูระ. 2530. อนุกรมวิธานแบบนิวเมอริคัลของเชื้อจุลินทรีย์ในสกุลวibriโอจากอ่าวไทยตอนใน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย รุ่งศรี. 2545. การใช้สารประกอบจุลินทรีย์ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียสกุลวibriโอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเลิศ จันทร์รัชชกุล, เจ เอฟ เทอร์นบอ และ ชลอ ลิมสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและการป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันสุขภาพสัตว์น้ำ, กรมประมง, เกษตรกลางบางเขนจตุจักร, กรุงเทพฯ.

ภิญโญ เกียรติภิญโญ. 2545. วิธีปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แอล. แวนนาไม (Practical Technology for *Litopenaeus vannamei* Culture). สำนักพิมพ์เมืองเกษตรแม่กาจีน, สมุทรปราการ.

มณจันทร์ เมฆชน , จารุวรรณ สมศิริ , นันทพร จารุพันธุ์ และ บพิธ จารุพันธุ์. 2542. รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในภาคตะวันออกของประเทศไทย. ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 77 น.

มันสิน ดันทุลเวสม์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 351 น.

มันสิน ดันทุเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2524. การปรับแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบหมักน้ำ ระบบหล่อเย็น ระบบประปาในอาคาร. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 169 น.

มันสิน ดันทุเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2538. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย ในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 319 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการ วิจัยทางประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 115 น.

ยนต์ มุสิก. 2530. เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำ เตรียมบ่อและกำจัดศัตรูในการเลี้ยงกุ้งทะเล, น. 73-89. เอกสารประกอบการสัมมนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ครั้งที่ 1. ชมรมวิทยาศาสตร์การ ประมงและคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก. 2539. คุณภาพน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 180 น.

ลวไมย สวาระก. 2546. การศึกษาการใช้แร่ธาตุผสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยา เพียรวิจิตร. 2525. เทคโนโลยีกำจัดน้ำเสีย. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 104 น.

สถาพร ดิเรกบุบราคม และ สุนิตย์ โรจนพิทยากุล. 2540. ผลของคลอรีนต่อแบคทีเรียเรืองแสงในน้ำ ทะเลที่มีตะกอนดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2540. สถาบันการวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 7 น.

สมเกียรติ์ กาญจนาคาร. 2528. ความเป็นพิษของคลอรีนต่อปลา. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. คณะ ประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 15 น.

สิทธิ บุญยรัตผลิน, วนัศา คมเวช, พุทธ ส่องแสงจินดา, เจนจิตต์ คงกำเนิด และ วินัย กระจายวงศ์.

2532. โรคกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตกลม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2532. สถาบันการวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 17 น.

สุชาติ อิงธรรมจิตร. 2542. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

(*Penaeus monodon*) ในจังหวัดนครปฐม. เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2542. กองสิ่งแวดล้อม ประมง, กรมประมง.

สุวรรณ วรสิงห์ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2539. ความเป็นพิษเฉียบพลันและผลของคลอรีนที่มี

ต่อกุ้งกุลาดำ, *Penaeus monodon*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2539. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 26 น.

อรรณณ เรืองเดชกรณ์. 2541. ผลการใช้คลอรีนและไตรคลอโรฟอนในการเตรียมน้ำเพื่อเลี้ยงกุ้ง

กุลาดำแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุษณีย์ เอกปนิธานพงศ์ และ สิทธิ บุญยรัตผลิน. 2540. ประสิทธิภาพของคลอรีนต่อเชื้อไวรัสที่ทำให้

ให้เกิดโรคหัวเหลืองในกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 13/2540. สถาบันการวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง. 8 น.

อรุณชัย พุทธเจริญ, พรเลิศ จันทรรักษ์กุล และ พลาชีได้ สุปาชีอันเต้. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบ

การใช้คลอรีนผกกับเครื่องผลิตคลอรีนจากน้ำทะเลในการเลี้ยงกุ้ง. วารสารการประมง.

56(4): 347-351.

เฮเลน กิตติพิมลพร และ นุชบา บันเทิงสุข. 2525. การเติมคลอรีน. โรงงาน 2(1): 37-44.

Anderson, R. 1974. Seawater chlorination and the survival and growth of the early developmental stages of plaice, *Pleuronectes platessa* (L.), and dover sole, *Solea solea* (L.).

Aquaculture 4: 41-53.

- APHA, AWWA and WPCA. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 15th ed., American Public Health Association, Washington, D.C. 1,134 p.
- Aquacop. 1979. Penaeid reared broodstock: closing cycle of *P.monodon*, *P.stylostris* and *P.vannamei*. **Proc. World Maricult. Soc.** 10: 445-452.
- Arthur, W.J. and L.G. Eaton. 1972. Chloramine toxicity to amphipod (*Gramarus pseudolinnaeus*) and fathead minnow (*Pimephales promelas*). **J. Fish Res. Board. Can.** 28(12): 1841-1845.
- Bass, M.L, C.R. Berry and A.G. Heath. 1977. Histopathological effect of intermittent chlorine exposure on bluegill (*Lepomis macrochirus*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Wat. Res.** 11: 731-738.
- Berg, J.D., E.M. Aieta and P.V. Robert. 1980. Comparison of viral and bacterial indicators of disinfectant in wastewater with chlorine dioxide and chlorine, pp. 711-722. In R.L. Jolley, W.A. Brung, R.B. Cumming and V.A. Jacobs (eds.). **Water Chlorination Environment Impact and Health Effect vol. 3**. Ann. Arbor Science Publisher, Inc., Michigan.
- Bhagavan, N.V. 1974. **Biochemistry**. J.B. Lippincott Co., Philadelphia, Pennsylvania. 964 p.
- Booth, M.P., C.M. Sellers, Jr. and N.E. Garrison. 1981. Effect of intermittent chlorination on plasma proteins of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Bull. Environm. Cont. Toxicol.** 26: 163-170.
- Boyd, C.E. 1982. **Quality Management for Pond Fish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands. 318 p.
- _____. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture**. Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA. 347 p.

- Boyd, C.E. 2002. Dissolved salt in water for inland low-salinity shrimp culture. **Glob. Aquac. Advocate**. 5: 40-50.
- Brock, J.A. and K. Main. 1994. **A Guide to the Common Problems and Diseases of Culture *Penaeus vannamei***. The Oceanic Institute, Makapuu Point, Honolulu, HI, USA. 241 p.
- Brungs, W.A. 1971. Chlonic effect of constant elevated temperature on the fathead minnow (*Pimipheles promeles*). **Trans. Am. Fish Soc.** 100: 639-645.
- _____. 1973. Effect of residual chlorine on aquatic life. **J.WPCF**. 15(10): 2180-2189.
- Capuzzo, J.M. 1979 a. The effect of free chlorine and chloramines on growth and respiration rates of larval lobsters (*Homorus americanus*). **Wat. Res.** 11(12): 1021-1024.
- Capuzzo, J.M. 1979 b. The effect of temperature on toxicity of chlorined colling water to marine animals. **Marine Pollution Bull.** 10: 1-12.
- Chen, J.-C. and Chin, T.-S. 1988. Acute toxicity of nitrite to tiger prawn, *Penaeus monodon*, larvae. **Aquaculture** 69: 253-262.
- Chin, T.-S. and Chen, J.-C. 1987. Acute toxicity of ammonia to larvae of tiger prawn, *Penaeus monodon*. **Aquaculture** 66: 247-253.
- Dandy, J.W.T. 1972. Activity respose yo chlorine in the brood trout (*Salvelinus fontinalis*). **Can. J. Zool.** 50: 405-410.
- Eldred, B. and R.F. Hutton. 1960. On the grading and identification of domestic commercial shrimps (Family Penaeidae) with a tentative world list of commercial Penaeids. **Quart. J. Flor. Acad. Sci.** 23(2): 89-118.

- FAO. 1974. Water criteria for European freshwater fish. EIFAC technical Paper No. 20. **Wat. Res.** 8: 681-682.
- Ferrigno, R., C. Comninellis, V. Reid, C. Modes, R. Scannell and H.H. Girault. 1999. Coplanar interdigitated band electrodes for electrosynthesis. Part 6. hypochlorite electrogeneration from sea water electrolysis. **Electrochimica Acta.** 44: 2871-2878.
- Floyd, R. 1979. In activation by chlorine of single poliovirus in water. **Environ. Sci. Technol.** 13(4): 432-433.
- Grasshoff, K. 1976. **Methods of Seawater Analysis.** Verlag Chemie, Weinheim, New York. 317 p.
- Gibson, I.C., T.O. Thatcher and C.W. Apts. 1976. Some effect of temperature, chlorine and copper on the survival and growth of coon strip shrimp. **Thermal Ecology 2, Technical Information Center Energy Research and Development Administration.** Minneapolis. 56 p.
- Grothe, D.R. and J.W. Eaton. 1975. Chlorine induce mortality in fish. **Trans. Am. Fish Soc.** 104(4): 800-802.
- Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181
- Herwig, N. 1979. **Handbook of Drugs and Chemicals Used in the Treatment of Fish Disease.** Charles C. Thomas Publisher, Illinois, U.S.A. 272 p.
- Hileman, B. 1982. The chlorination question. **Environ. Sci. Technol.** 16(1): 15A-17A.
- Hodson, P.V. and J.B. Sprague. 1975. Temperature induced change in acute toxicity of zinc to Atlantic salmon (*Salmo salar*). **J. Fish Res. Board Can.** 32: 1-10.

- Hsu, S.Y. 2003. Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature of efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator. **J. Food Eng.** 60: 469-473.
- Jorquera, M.A., G. Valencia, M. Eguchi, M. Katayose and C. Riquelme. 2002. Disinfection of seawater for hatchery aquaculture systems using electrolytic water treatment. **Aquaculture** 207: 213-224.
- Judith M. Capuzzo. 1977. The effects of free chlorine and chloramine on growth and respiration rates of larval lobsters (*Homarus Americanus*). **Water Research** 11: 1021-1024.
- Kasai, H., M. Yoshimizu and K. Numba. 2006. Elimination of *Escherichia coli* from oyster using electrolyzed seawater. In CD-ROM **Proceedings of the JSPS-NRCT International Symposium, Joint Seminar 2006, Innovation Technology for the Sustained Development of Fishery and Aquaculture**. 18-20 December 2006, Kasetsart University, Thailand.
- Katayose, M., K. Yoshida, N. Achiwa and M. Eguchi. 2007. Safety of electrolyzed seawater for use in aquaculture. **Aquaculture** 264: 119-129.
- Kitani, H. 1986. Larval development of the white shrimp (*Penaeus vannamei*, Boone) reared in the laboratory and statistical observation of its naupliar stages. **Bull. of Jpn. Soc. of Sci. Fish.** 52: 1,131-1,139
- Larson, G.L., F.E. Hutchinson and L.P. Lampesti. 1977. Laboratory determination of acute and sublethal toxicities of inorganic chlorines to early life stages of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Yran. Am. Fish Soc.** 106(3): 268-277.
- Latimer, D.L., A.S. Brook and A.M. Beeton. 1975. Toxicity of 30 minutes exposure of residual chlorine to the copepod, *Limnocalanus macrurus* and *Cyclops bicuspidatus* Thomasi. **J. Fish Res. Board Can.** 32: 2495-2501.

- Laubusch, E.J. 1971. Chlorination and other disinfection process, pp. 158-224. *In* **The American Water Work Association, Inc. Water Quality and treatment**. McGraw-Hill Book company, New York.
- Lawson, T.B. 1995. **Fundamentals of Aquacultural Engineering**. CHAPMAN&HALL. New York. 355 p.
- Lee, D.O.C. and J.F. Wickins. 1992. **Crustacean Farming**. Blackwell Scientific Publication, London.
- Merken, J.C. 1958. Studies on toxicity of chlorine and chloramines to rainbow trout. **J. Water Waste Treat.** 7: 150-151.
- Morgan, II, R.P. and R.D. Prince. 1977. Chlorine toxicity to eggs and larvae of five Chesapeake bay fishes. **Trans. Am. Fish Soc.** 10(4): 380-385.
- Perez Farfante, I. and B. Kensley. 1997. **Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World. Keys and Diagnoses for the Families and Genera**. Memories du Museum Nation D'Histoire Naturelle, Paris, France. 233 p.
- Ponce-Palafox, J., C.A. Martinez-Palacios and L.G. Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. **Aquaculture** 157: 107-115.
- Rajapogal, S., K.V.K. Nair, G. der Velde and H.A. Inner. 1997. Response of mussel *Brachidontes striatulus* to chlorination: an experiment study. **Aquat. Toxicol.** 39, 135-149.
- Rosenberry, R. 1998. World Shrimp Farming 1998. p 164. *In* **Shrimp News International**. San Diego, CA, USA.

- Stauber, J.L. 1998. Toxicity of chlorate to marine microalgae. **Aquat. Toxicol.** 41, 213-227.
- Seegert, G.L. and H.S. Brooks. 1978. The effect of intermittent chlorination on coho salmon, alewife, spottail shiner and rainbow smelt. **Trans. Am. Fish Soc.** 107(2): 346-353.
- Sousa, O.V., R.H.S.F. Vieira, T.R. Patel, E. Hofer and V.P. Mesquita. 2001. Effect of chlorine on cells of *Vibrio cholerae*. **Food Microbiol.** 18: 355-359.
- Tsuzuki, K., T. Tanaka, T. Takagi and M. Shimomura. 1999. Effect of electrochemical treatment on *microcystis* extinction. **J. Water Environ. Soc.** 22: 228-231. (Japanese with English abstract)
- Wassenberg, T.J. and B.J. Hill. 1987. Natural diet of the tiger prawns *Penaeus esculentus* and *P. semisulcatus*. **Aus. J. Mar. Freshwater Res.** 38: 169-182.
- Whangchai, N., N. Nomura and M. Matsumura. 2003a. Factors affecting phytoplankton removal by electro-oxidation of artificial seawater. **Chiang Mai J. Sci.** 30: 255-259.
- Whangchai, N., N. Nomura and M. Matsumura. 2003b. Phytoplankton control in artificial seawater using electrolytic treatments. **Thai J. Agric. Sci.** 36: 297-304.
- White, G.C. 1992. **Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants 3rd edition**. Van Nostrand reinhold Company, New York. 1,308 p.
- Yoshimizu, M., A. Ishikawa, Y. Hori, T. Yoshinaka, Y. Ezura, K. Watanabe and T. Uenishi. 1998. Disinfection of water system for aquaculture by electrolyzation of sea water. pp. 82-83. **In Functional Water Symposium'98, Functional Water Foundation**. Tokyo, Japan. (Japanese with English abstract)

- Yoshimizu, M. and H. Kasai. 2005. Disinfection of seawater for aquaculture by an electrolytic apparatus and its application to fisheries sanitation. pp. 269-277. *In* **Proceedings of the JSPS-NRCT International Symposium, Joint Seminar 2005, Productivity techniques and effective utilization of aquatic animal resources into the new century.** 19-21 December 2005, Kasetsart University, Thailand.
- Zeitoun, H. I. 1977. The effect of chlorine toxicity on certain blood parameters of adult rainbow trout (*Salmo gairdneri*) **Env. Bio. Fish.** 1(2): 189-195.
- _____. 1978 a. Assessment of intermittently chlorinated heated effluents on survival of adult rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at power generating facilities. **Environ. Sci. Technol.** 12(10): 1173-1179.
- _____. 1978 b. The recovery and hematological rehabition of chlorine stressed adult rainbow trout (*Salmo gairdneri*) **Env. Bio. Fish.** 3(4): 355-359.
- Zillich, J.A. 1972. Toxicity of combined chlorine residuals to freshwater fish. **J. WPCF.** 44(2): 212-220.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม
รอบที่ 1

คุณภาพน้ำ	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
	น้ำคลองรีนผง	น้ำอิเล็กทรอนิกส์			
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.75 $\pm$ 0.37	6.85 $\pm$ 0.27	- 0.787	28	0.438
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.25 $\pm$ 0.70	28.24 $\pm$ 0.70	0.026	28	0.979
ความเค็ม (ppt)	23.72 $\pm$ 6.53	23.61 $\pm$ 6.68	0.044	28	0.965
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	3.95 $\pm$ 1.05	3.91 $\pm$ 1.08	0.103	28	0.919
pH	7.84 $\pm$ 0.19	7.87 $\pm$ 0.14	- 0.435	28	0.667
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO ₃)	97.40 $\pm$ 15.40	91.07 $\pm$ 8.01	1.413	28	0.169
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.916 $\pm$ 1.85	1.471 $\pm$ 1.61	0.704	28	0.487
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.0395 $\pm$ 0.02	0.0355 $\pm$ 0.03	0.418	28	0.679
ปริมาณ <i>Vibrio</i> spp. (CFU/ml)	1,375.27 $\pm$ 2,510.94	1,673.27 $\pm$ 3,030.51	- 0.293	28	0.771
ปริมาณแบคทีเรียรวม (CFU/ml)	13,653.33 $\pm$ 11,403.12	10,414.20 $\pm$ 6,499.38	0.956	28	0.347

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม
รอบที่ 2

คุณภาพน้ำ	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
	น้ำคลองรีนผง	น้ำอิเล็กทรอนิกส์			
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.31 $\pm$ 0.35	6.53 $\pm$ 0.31	- 1.844	28	0.076
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.39 $\pm$ 1.13	31.37 $\pm$ 1.10	0.049	28	0.961
ความเค็ม (ppt)	23.35 $\pm$ 6.85	23.72 $\pm$ 6.85	- 0.147	28	0.884
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	3.48 $\pm$ 1.31	3.79 $\pm$ 1.25	- 0.672	28	0.507
pH	7.64 $\pm$ 0.27	7.82 $\pm$ 0.20	- 2.016	28	0.054
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO ₃)	90.80 $\pm$ 10.03	88.87 $\pm$ 8.91	0.558	28	0.581
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.449 $\pm$ 1.02	1.311 $\pm$ 1.10	0.356	28	0.725
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.233 $\pm$ 0.14	0.191 $\pm$ 0.78	0.993	28	0.329
ปริมาณ <i>Vibrio</i> spp. (CFU/ml)	10,390.00 $\pm$ 10,458.99	7,755.33 $\pm$ 8,772.62	0.747	28	0.461
ปริมาณแบคทีเรียรวม (CFU/ml)	36,080.53 $\pm$ 29,088.24	29,886.67 $\pm$ 25,455.22	0.621	28	0.540

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณภาพน้ำตลอดการอนุบาลลูกกุ้งขาวแวนนาไม
รอบที่ 3

คุณภาพน้ำ	Mean $\pm$ S.D.		T-test	df	P
	น้ำคลองรีนผง	น้ำอิเล็กทรอนิกส์			
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.81 $\pm$ 0.69	5.99 $\pm$ 0.70	- 0.683	28	0.500
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.99 $\pm$ 1.55	31.24 $\pm$ 1.09	1.525	28	0.139
ความเค็ม (ppt)	24.83 $\pm$ 6.23	23.66 $\pm$ 6.42	0.508	28	0.616
ค่าการนำไฟฟ้า (S/m)	3.97 $\pm$ 1.00	3.83 $\pm$ 1.05	0.383	28	0.705
pH	7.71 $\pm$ 0.22	7.67 $\pm$ 0.34	0.352	28	0.728
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO ₃)	90.79 $\pm$ 7.79	90.00 $\pm$ 7.55	0.283	28	0.779
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.168 $\pm$ 1.20	1.167 $\pm$ 1.07	0.003	28	0.998
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.051 $\pm$ 0.03	0.081 $\pm$ 0.06	- 1.687	28	0.103
ปริมาณ <i>Vibrio</i> spp. (CFU/ml)	9,642.67 $\pm$ 11,465.01	8,300.33 $\pm$ 7,117.95	0.385	28	0.703
ปริมาณแบคทีเรียรวม (CFU/ml)	31,577.33 $\pm$ 30,860.08	34,196.00 $\pm$ 33,617.91	- 0.222	28	0.826