บทที่ 4

ผลการทดลอง

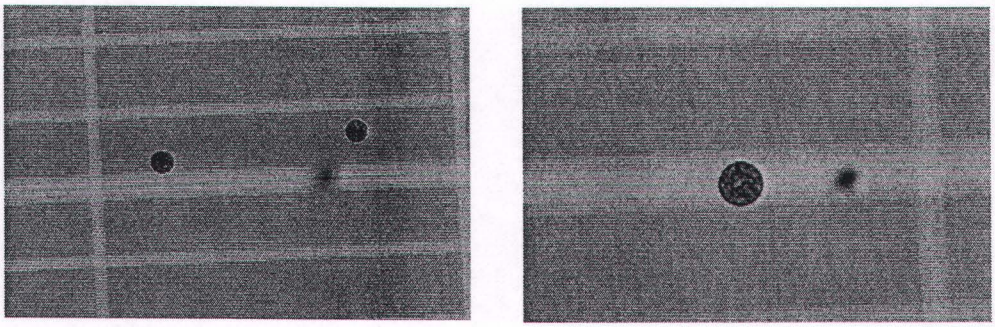
4.1 การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่กระตุ้นการเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งการดูดซึมสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่ายจะช่วยลดความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำลงได้ การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อประเมินการเติบโตของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในถังพลาสติกปริมาตร 6 ลิตร ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู ในสภาวะกลางแจ้ง โดยวางถังไว้ในบริเวณที่มีแสงแดดส่องถึงและอากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีการพ่นอากาศตลอดเวลา ส่วนแหล่งอาหารของจุลสาหร่ายจะมาจากการใส่อาหารกุ้งที่มีโปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 0.15 กรัม/วัน (0.025 กรัม/ลิตร-วัน) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอาหารเท่ากับ 0.009 กรัม-ไนโตรเจน/วัน (0.0015 กรัม-ไนโตรเจน/ลิตร/วัน)

จากการวิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายตลอดช่วงเวลาการทดลอง พบว่าได้ผลการทดลองแยกตามพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประเมินการเติบโตของจุลสาหร่ายและการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้ดังนี้

- *จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง*

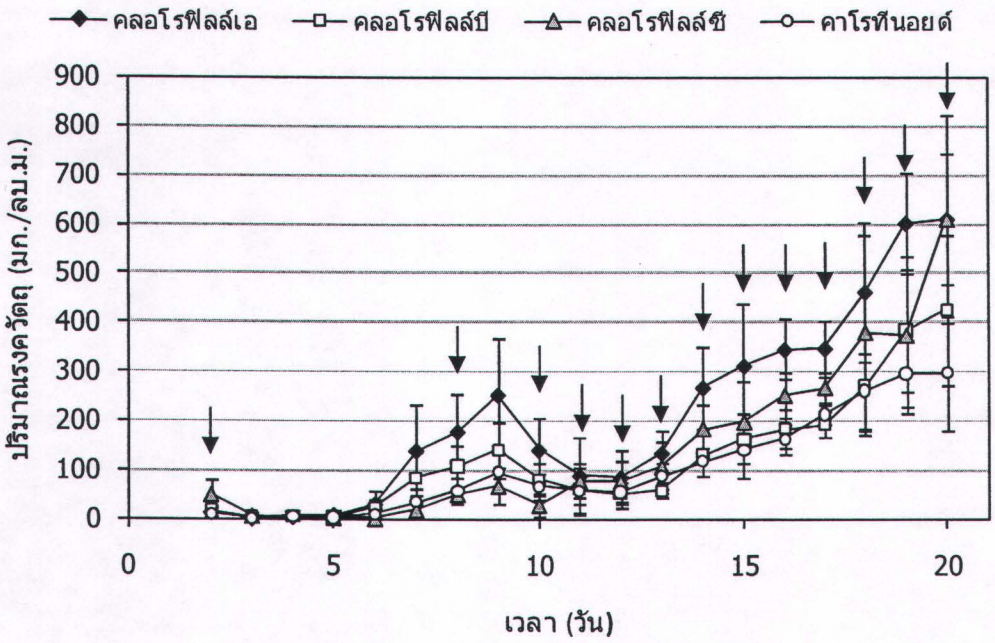
จากผลการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อติดตามการเติบโตของจุลสาหร่ายในถังเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 20 วัน เมื่อมีการใช้อาหารกุ้งบดเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าน้ำในถังเพาะเลี้ยงได้เปลี่ยนเป็นสีเขียวเมื่อเข้าสู่วันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งจากการนำตัวอย่างน้ำมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าสีเขียวของน้ำเกิดจากจุลสาหร่ายสีเขียวลักษณะรูปทรงกลมขนาดประมาณ 80 ถึง 100 ไมครอน โดยจุลสาหร่ายชนิดนี้เป็นชนิดหลักที่พบในถังเพาะเลี้ยง ส่วนจุลสาหร่ายชนิดอื่นๆ ที่พบมีจำนวนน้อยมากและค่อยๆ หายไปในช่วงหลังของการทดลอง คงเหลือเพียงจุลสาหร่ายสีเขียวรูปทรงกลมนี้เพียงชนิดเดียวที่ตรวจสอบได้เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยภาพของจุลสาหร่ายชนิดหลักนี้ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 จุลสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวรูปทรงกลมที่เติบโตขึ้นในถังเพาะเลี้ยง
เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ตามลำดับ

- *รงควัตถุในถังเพาะเลี้ยง*

ผลการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายพบว่า คลอโรฟิลล์เอเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับสีของน้ำที่เปลี่ยนไปพร้อมทั้งเริ่มตรวจพบจุลสาหร่ายสีเขียวจากถังเพาะเลี้ยงในชุดการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นจาก 32 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 6 เป็น 141 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 7 และขึ้นไปถึง 254 มก./ลบ.ม.ในวันที่ 9 ของการทดลอง ก่อนจะลดลงในช่วงวันที่ 9 ถึงวันที่ 12 แต่หลังจากนั้นได้เพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ จนมีปริมาณสูงสุดที่ 611 มก./ลบ.ม.ในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคาโรทีนอยด์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดช่วงเวลา 20 วัน แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุในช่วงก่อนและหลังวันที่ 10 ซึ่งเป็นผลมาจากการใส่อาหารกุ้งบดลงในถังเพาะเลี้ยง ทั้งนี้เนื่องจากการให้อาหารจะคำนึงถึงปริมาณอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำเป็นหลัก โดยอาหารกุ้งบดที่ใส่ลงไปจะใช้เวลาช่วงหนึ่งในการย่อยสลายเป็นแอมโมเนียออกมาสู่น้ำก่อนที่จุลสาหร่ายจะสามารถดูดซึมแอมโมเนียไปใช้ในการเติบโตได้ ดังนั้นการใส่อาหารติดต่อกันทุกวันจึงไม่เป็นผลดีเนื่องจากเป็นการเร่งให้เกิดจุลชีพชนิดอื่นๆ ที่เติบโตได้เร็วกว่าจุลสาหร่าย ซึ่งส่งผลให้น้ำเน่าเสียและทำให้จุลสาหร่ายไม่สามารถเติบโตได้ ดังนั้นในระหว่างการทดลองจึงมีการหยุดเติมอาหารกุ้งในระหว่างวันที่ 3 ถึง 7 และในวันที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคลอโรฟิลล์จะมีความสัมพันธ์กับการเติมอาหารกุ้งลงในน้ำ



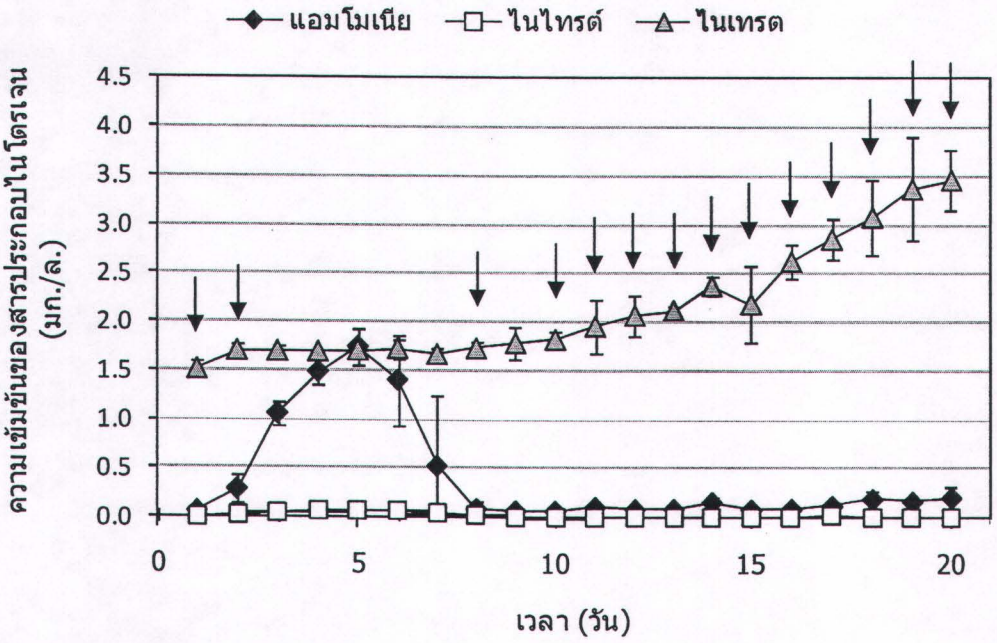
รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่พบในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกุ้งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน)

นอกจากนี้ผลการตรวจวัดรงควัตถุจากกราฟในรูปที่ 4.2 ยังแสดงให้เห็นว่ารงควัตถุที่พบมากที่สุดในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายคือคลอโรฟิลล์เอ เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอเป็นรงควัตถุชนิดหลักที่พบได้ในสาหร่ายทุกชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าสัดส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ซี และคาโรทีนอยด์มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงของการทดลอง โดยในระหว่างวันที่ 6 ถึงวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงพบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์บีมีค่าสูงสุดรองลงมาจากคลอโรฟิลล์เอ คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 24.5 ถึง 81.9 มก./ลบ.ม. แต่หลังจากวันที่ 11 เป็นต้นไปกลับพบว่ารงควัตถุที่มีค่ารองลงมาจากคลอโรฟิลล์เอเปลี่ยนไปเป็นคลอโรฟิลล์ซี โดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 78.8 ถึง 610.5 มก./ลบ.ม. ซึ่งระบุให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเป็นรงควัตถุที่พบได้ในสาหร่ายสีเขียว ในขณะที่คลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีเป็นรงควัตถุที่พบได้ในจุลสาหร่ายประเภทไดอะตอม (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ซีจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณไดอะตอมในน้ำนอกเหนือจากจุลสาหร่ายสีเขียวซึ่งเจริญเติบโตในถังเพาะเลี้ยงมาตั้งแต่ช่วงต้นของการทดลอง อย่างไรก็ตามผลจากการส่องดูตัวอย่างน้ำภายใต้กล้องจุลทรรศน์ในช่วงท้ายของการเพาะเลี้ยงกลับไม่พบจุลสาหร่ายชนิดอื่นมากนัก ซึ่งอาจเป็นได้ว่าไดอะตอมเหล่านี้กำลังอยู่ในระยะของการเพิ่มจำนวน และบางส่วนอาจเป็นไดอะตอมชนิดเกาะติด (Benthic diatom) ซึ่งจะเติบโตอยู่บริเวณก้นถังหรือบริเวณข้างถัง

- *สารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง*

การเติบโตของจุลสาหร่ายในช่วงก่อนวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยงเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของอาหารกุ้งในวันที่ 1 และวันที่ 2 ของการทดลอง โดยผลการวิเคราะห์แอมโมเนีย (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในวันที่ 5 โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.73 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร แล้วจึงค่อยๆ ลดลงจนเหลือ 0.098 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 8 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มจำนวนขึ้นของจุลสาหร่ายจากการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในน้ำภายหลังวันที่ 5 จนสูงสุดในวันที่ 8 และลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการลดลงของปริมาณรงควัตถุนี้น่าจะสืบเนื่องมาจากการลดลงของแอมโมเนียในน้ำซึ่งมีค่าลดลงต่ำมากหลังจากวันที่ 8 นั่นคือค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้มีค่าเพียง 0.07 ถึง 0.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และคงที่จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียดังกล่าวถือว่าเป็นความเข้มข้นต่ำที่ไม่ส่งผลต่อสัตว์น้ำ โดย Boyd และ Tucker (1998) รายงานว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ถือว่าอยู่ในช่วงสูงเกินไปและมีอันตรายต่อสัตว์น้ำคือมากกว่า 1 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ Timmons และคณะ (2002) ได้แนะนำเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำว่าปริมาณแอมโมเนียสำหรับน้ำในเขตอบอุ่นควรมีค่าต่ำกว่า 3 มก./ลิตร ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่พบในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าตัวเลขดังกล่าวมาก

ส่วนความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายนั้นพบว่า มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.003 ถึง 0.075 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดระยะเวลา 20 วัน ซึ่งถือเป็นค่าปกติที่พบได้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป นั่นคือ มีความเข้มข้นไม่เกิน 0.1 มก./ลิตร (Boyd และ Tucker, 1998) ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเทรตพบว่ามีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 1.51 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร และค่อยๆ เพิ่มปริมาณมากขึ้นจนมีความเข้มข้นเท่ากับ 3.46 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรในวันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยง ซึ่งตัวเลขดังกล่าวถือว่ายังอยู่ในช่วงความเข้มข้นต่ำที่ยังไม่ส่งผลต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากไนเทรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่จัดว่ามีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแอมโมเนียและไนไทรต์ โดย Hart และ O'Sullivan (1993) ได้แนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเมื่อไนเทรตมีความเข้มข้นมากกว่า 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เนื่องจากเป็นปริมาณที่จะทำให้เกิดความเครียดในสัตว์น้ำได้



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกุ้งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน)

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปที่ 4.3 ยังแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของไนเทรตในระหว่างการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย โดยเฉพาะตั้งแต่วันที่ 11 เป็นต้นมา ซึ่งคาดว่ามีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่เติบโตขึ้นในถังเพาะเลี้ยง เพราะโดยปกติแล้วจุลสาหร่ายจะเลือกนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เป็นอันดับแรก เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ ส่วนไนเทรตนั้นจุลสาหร่ายจะนำไปใช้ได้ก็ต่อเมื่อเปลี่ยนรูปไนเทรตให้กลายเป็นแอมโมเนียแล้ว ด้วยเหตุนี้ไนเทรตในน้ำจึงไม่ถูกใช้ไปโดยจุลสาหร่ายเนื่องจากในการทดลองมีการให้แอมโมเนียผ่านทางโปรตีนในอาหารกุ้งบดตลอดช่วงเวลาการทดลอง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงจึงน่าจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียส่วนหนึ่งในน้ำเป็นไนเทรตผ่านทางกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตร่วมกันของจุลสาหร่ายและแบคทีเรียในถังเพาะเลี้ยง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำคือกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันระหว่างจุลสาหร่ายและไนตริฟายอิงแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติในถังเพาะเลี้ยง โดยจุลสาหร่ายจะมีบทบาทมากในการลดปริมาณแอมโมเนียในช่วงต้นของการทดลอง และต่อมากระบวนการไนตริฟิเคชันจะมีบทบาทมากขึ้นหลังจากที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นแล้ว ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 10 วัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าหากไม่มีการจัดวัสดุยึดเกาะ

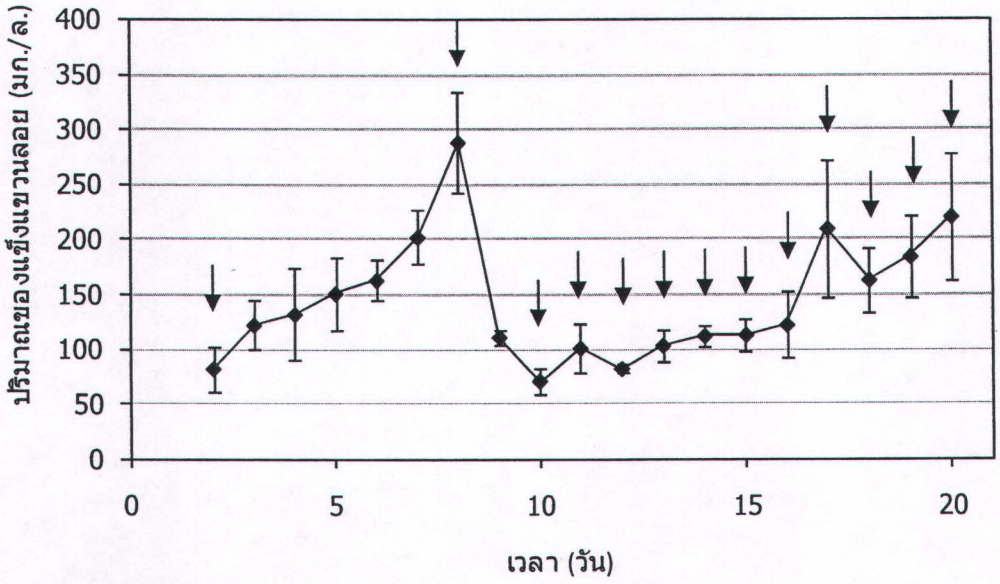
ให้กับแบคทีเรียอย่างเหมาะสม ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้แบบไม่สมบูรณ์ คือแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไทรต์ แต่ไนไทรต์จะไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเทรต ทำให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ขึ้นในน้ำ

- *ของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยง*

จากผลการตรวจวัดอนุภาคของแข็งในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์เอ แสดงให้เห็นว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำส่วนใหญ่เกิดจากเซลล์ของจุลสาหร่าย โดยของแข็งแขวนลอยมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 82.2 มก./ลิตร ในวันที่ 2 ไปอยู่ที่ 288.9 มก./ลิตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง นอกจากนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นยังอาจมาจากเซลล์ของแบคทีเรียที่เติบโตในน้ำและจากอาหารกุ้งบดที่ใส่ลงไปเพื่อเป็นแหล่งอาหารของจุลสาหร่าย โดยเมื่อถึงวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยได้เพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดที่ 220.6 มก./ลิตร แสดงให้เห็นถึงการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องของจุลสาหร่ายในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรงควัตถุที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วงสุดท้ายจะพบว่ามีค่าน้อยกว่าปริมาณในช่วงแรก (โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับวันที่ 8 ของการทดลอง) ซึ่งอาจเกิดจากการที่จุลสาหร่ายส่วนหนึ่งไปเกาะอยู่บนผนังด้านข้างถังเพาะเลี้ยง หรือที่เรียกว่าไดอะตอมชนิดเกาะติด (Benthic diatom) ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงอาจทำให้ของแข็งแขวนลอยในตัวอย่างน้ำที่เก็บมาวิเคราะห์มีค่าลดลงกว่าปริมาณที่ตรวจพบได้ในช่วงแรก

จากผลการทดลองในช่วงที่ 1 แสดงให้เห็นว่าจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการใช้อาหารกุ้งเป็นแหล่งไนโตรเจนสามารถช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้น้ำมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่มีการแนะนำไว้สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจะเห็นได้จากการลดลงของแอมโมเนียทันทีที่พบจุลสาหร่ายเติบโตขึ้นในน้ำ ซึ่งจุลสาหร่ายที่พบมีทั้งสาหร่ายสีเขียวและไดอะตอม อย่างไรก็ตามปริมาณไนเทรตที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดลองก็เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียในน้ำด้วยเช่นกัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายซึ่งใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 20 วัน (ลูกศรในภาพแสดงวันที่มีการเติมอาหารกุ้งลงในน้ำเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน)

4.2 การศึกษาระบบกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองจุลสาหร่าย

การทดลองชุดนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำ โดยได้เลือกใช้ไดอะตอมชนิด *Chaetoceros gracilis* เป็นตัวแทนของจุลสาหร่ายในน้ำเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรอง เนื่องจากจุลสาหร่ายชนิดนี้มีขนาดเซลล์เล็กมาก (6 ไมครอน) ซึ่งไม่สามารถทำการกรองแยกออกจากน้ำได้ด้วยผ้ากรองทั่วไป สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการกรองเป็นการทดลองที่สภาวะต่างๆ อันได้แก่ การเปรียบเทียบสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ รวมทั้งศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพการกรองระหว่างการใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที

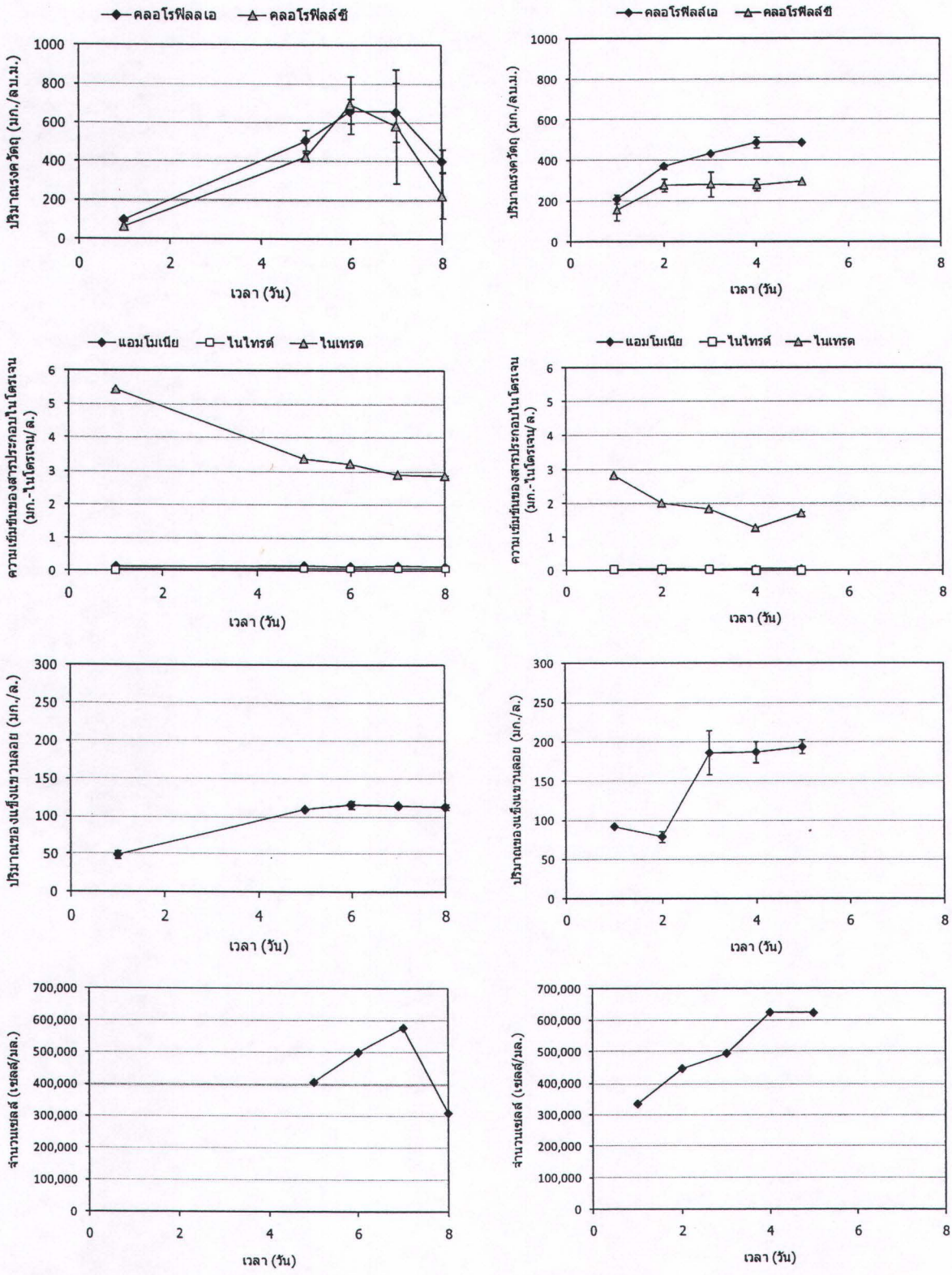
4.2.1 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อใช้ในการทดสอบระบบกรองแบบแบ่งส่วน

การทดลองเริ่มต้นจากการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* ในถังบรรจุน้ำทะเลปริมาตร 200 ลิตร ภายใต้สภาวะกลางแจ้งที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้เซลล์เติบโตเพิ่มความหนาแน่นจนถึงระดับที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์ซี

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ รวมทั้งปริมาณของแข็งแขวนลอย และจำนวนเซลล์ในระหว่างการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* แสดงดังรูปที่ 4.5

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของ *C. gracilis* ภายหลังการใส่หัวเชื้อเพื่อเพาะเลี้ยง ในถังปริมาตร 200 ลิตรโดยใส่สารอาหารเฉพาะวันแรกของการเพาะเลี้ยง พบว่า *C. gracilis* ใช้เวลาในการเติบโตในช่วง 4 ถึง 6 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของหัวเชื้อตั้งต้น โดยมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุดเฉลี่ย 6.25×10^5 เซลล์/มล. และพบว่า *C. gracilis* จะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อสารอาหารในน้ำหมดไป ดังจะเห็นได้จากการลดลงของปริมาณรงควัตถุเมื่อเข้าสู่วันที่ 8 ของการทดลองในการเพาะเลี้ยงครั้งที่ 1 ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์ในการเพาะเลี้ยงทั้ง 2 ครั้งมีค่าต่ำมาก เนื่องจากอาหารที่ใส่ลงไปให้ *C. gracilis* ประกอบด้วยไนเทรตเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเทรตจะมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจาก *C. gracilis* ได้ใช้ไนเทรตแทนการใช้แอมโมเนียที่มีปริมาณน้อยมากในน้ำ

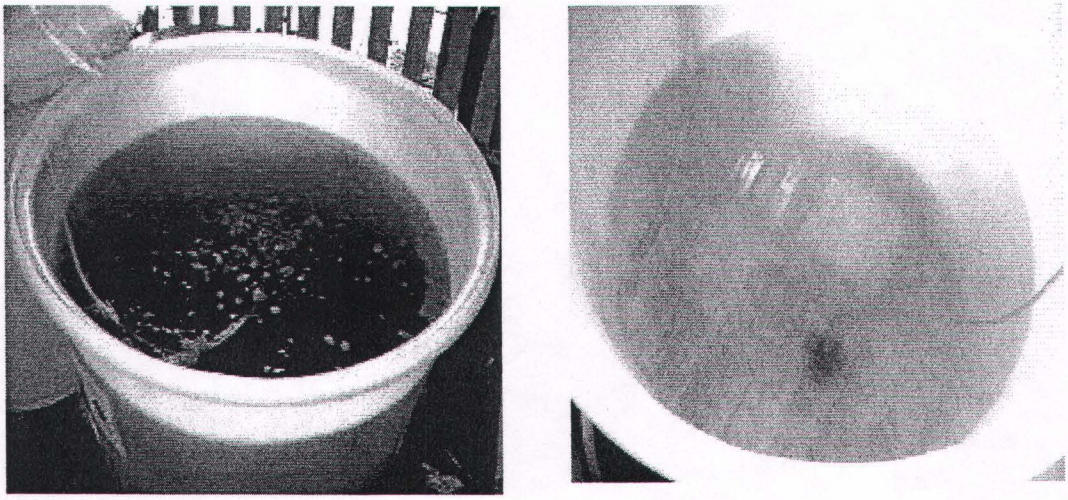
นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ซีที่พบในถังเพาะเลี้ยงจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของคลอโรฟิลล์เอตลอดระยะเวลาการทดลอง คือพบคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีสูงสุดในช่วง 490 ถึง 660 มก./ลบ.ม. ทั้งนี้เป็นเพราะ *C. gracilis* เป็นจุลสาหร่ายประเภทไดอะตอมที่อยู่ในดิวิชันคริสโซไฟตา ซึ่งรงควัตถุของสาหร่ายกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์ซีเป็นหลัก (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) และเนื่องจากการทดลองชุดนี้เป็นการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพียงชนิดเดียวโดยการใส่หัวเชื้อลงในน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว รวมทั้งสารอาหารที่ใส่ในวันแรกของการทดลองยังเป็นปุ๋ยสูตรน้ำที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยง *Chaetoceros* โดยเฉพาะ ผลการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำจากการเพาะเลี้ยงชุดนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนเซลล์ที่เติบโตขึ้นของจุลสาหร่าย ซึ่งต่างจากการทดลองในหัวข้อ 4.1 ที่มีการใส่อาหารกุ้งลงไปเป็นแหล่งไนโตรเจนในน้ำที่ไม่มีการฆ่าเชื้อ ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อพบคลอโรฟิลล์เออยู่ในช่วง 400 ถึง 600 มก./ลบ.ม. จะพบของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 มก./ลิตร อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอลดลงเนื่องจากการตายของ *C. gracilis* พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำยังคงมีค่าคงที่ เนื่องจากเมื่อจุลสาหร่ายตายไปรงควัตถุในเซลล์จะเกิดการเสื่อมสภาพทำให้ตรวจพบคลอโรฟิลล์ได้น้อยลง ในขณะที่ตัวเซลล์ของ *C. gracilis* ซึ่งมีเปลือกหุ้มเซลล์เป็นซิลิกานั้นยังคงอยู่ในน้ำ จึงสามารถตรวจพบได้จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเพาะเลี้ยง ซึ่งจุลสาหร่ายที่เลี้ยงได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองต่อไป



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยง *C. gracilis* ครั้งที่ 1 (ซ้าย) และครั้งที่ 2 (ขวา)

4.2.2 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อกำหนดให้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

ผลจากการทดลองกรองน้ำในถังเพาะเลี้ยงไดอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 25:75 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ โดยใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที (593 ลิตร/ชม.) และทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แสดงจะเป็นตัวแทนของเซลล์จุลสาหร่ายที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนรูปที่ 4.6 คือภาพถ่ายแสดงลักษณะและสีของน้ำที่มองเห็นได้จากถังเพาะเลี้ยงไดอะตอม *C. gracilis* ก่อนและหลังการกรอง



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายแสดงลักษณะและสีของน้ำจากถังเพาะเลี้ยง *C. gracilis*
(ก) น้ำในถังเพาะเลี้ยงก่อนการกรอง และ (ข) น้ำหลังการกรอง

ตารางที่ 4.1 การกรองไดอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)		
	25 : 75	50 : 50	100 : 0
ปริมาตรน้ำในถังเพาะเลี้ยง (ลิตร)	200	200	200
ปริมาตรน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	24	62	88
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	79.5	54.9	0
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	24.5	63.6	93.6
สัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองที่แท้จริง (เปอร์เซ็นต์)	23.6	53.7	100
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	78.9	204.8	303.4
ค่าฟลักซ์ที่ 60 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	77.1	197.1	276.6
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 60 นาที	2.2	3.7	8.8
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดในถังจุลสาหร่ายก่อนการกรอง (มก.)	250.7	238.2	275.9
คลอโรฟิลล์เอที่เหลือในถังจุลสาหร่ายหลังการกรอง (มก.)	220.6	164.4	154.5
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดที่ออกไปกับน้ำกรอง (มก.)	0.95	1.48	37.25
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดที่ติดอยู่บนไส้กรอง (มก.)	3.1	8.7	46.9
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บนไส้กรอง	10.3	11.8	38.6
คลอโรฟิลล์เอในถังจุลสาหร่ายต่อปริมาตร (มก./ลิตร)	1.25	1.19	1.38
คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง (มก./ลิตร)	1.21	1.17	0.96
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง	96.8	98.0	69.3

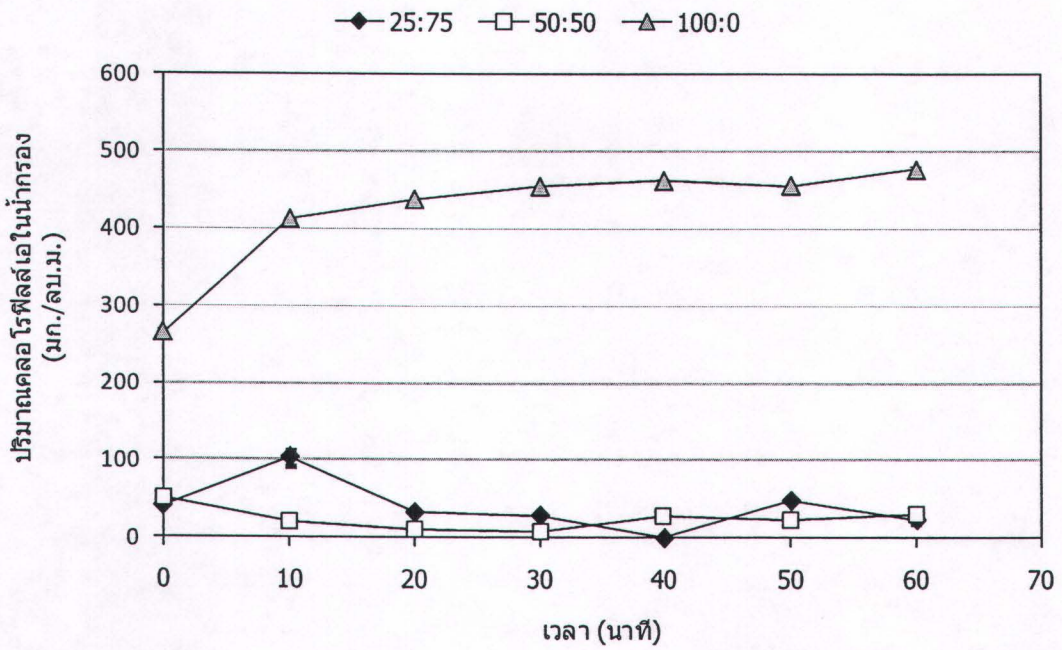
จากผลการทดลองพบว่าการปรับสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 25:75 หรือให้มีน้ำผ่านไส้กรองเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเข้านั้น จะทำให้เกิดการกรองน้ำจากถังเพาะเลี้ยงเป็นปริมาตรทั้งหมด 24 ลิตรจาก 200 ลิตรภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่าฟลักซ์เริ่มต้นที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 78.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ในขณะที่การปรับสัดส่วนน้ำกรองให้เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เกิดการกรองเพิ่มขึ้นเป็น 62 ลิตรในเวลา 1 ชม. และมีค่าฟลักซ์เริ่มต้นเท่ากับ 204.8 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ซึ่งมากกว่าค่าฟลักซ์ของน้ำกรองที่ 25 เปอร์เซ็นต์มากกว่าหนึ่งเท่าตัว นอกจากนี้เมื่อปรับสัดส่วนน้ำกรองให้เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์แล้ว พบว่าจะส่งผลให้เกิดอัตราการกรอง 88 ลิตรในเวลา 1 ชม. ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนน้ำกรองที่เหลือ แต่อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงพบว่าการ

ปรับสัดส่วนน้ำกรองให้เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์นั้นเมื่อนำมาใช้ในการกรองน้ำจากถังเพาะเลี้ยง *C. gracilis* จะทำให้น้ำทั้งหมดไหลผ่านไส้กรองไปโดยไม่มีน้ำอีกส่วนไหลล้นขึ้นสู่ช่องน้ำเวียน ดังนั้นสัดส่วนน้ำที่ผ่านไส้กรองที่แท้จริงจึงเป็น 100 เปอร์เซ็นต์และการกรองที่เกิดขึ้นในชุดการทดลอง 75:25 นี้จึงไม่ใช่การกรองแบบแบ่งส่วนแต่กลายเป็นการกรองโดยตรงทั้งหมดผ่านไส้กรอง

นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าการกรอง *C. gracilis* ทั้งหมดผ่านไส้กรองเมื่อกำหนดสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนไว้ที่ 75:25 หรือในความเป็นจริงคือ 100:0 นั้น จะทำให้มีเซลล์ของจุลสาหร่ายติดอยู่บนไส้กรองประมาณ 38.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่เข้าเครื่องกรอง ในขณะที่การกรองด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 จะมีเซลล์ของจุลสาหร่ายติดอยู่บนไส้กรองประมาณ 11.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับที่สัดส่วน 25:75 ที่มีปริมาณเซลล์ของจุลสาหร่ายติดอยู่บนไส้กรองประมาณ 10.3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่เข้าเครื่องกรอง โดยสาเหตุที่มีเซลล์ของ *C. gracilis* ติดอยู่บนไส้กรองเป็นปริมาณน้อยเมื่อใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนนั้นคาดว่าเป็นผลมาจากแรงเฉือนของน้ำที่ไหลอยู่รอบนอกไส้กรอง หรืออีกนัยหนึ่งคือแรงจากอัตราการไหลของน้ำเวียนที่ไหลออกทางช่องด้านบนของเครื่องกรองกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ส่งผลให้อนุภาคของเซลล์บนไส้กรองถูกพาไปกับน้ำมากกว่าจะติดอยู่บนพื้นผิวของไส้กรอง ซึ่งต่างจากการใช้วิธีกรองโดยตรงที่พบว่ามีเซลล์ของ *C. gracilis* ติดอยู่บนไส้กรองมากกว่าวิธีกรองแบบแบ่งส่วนประมาณ 3 เท่าตัว แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำทั้งหมดถูกบังคับให้ไหลผ่านไส้กรองไปจะส่งผลให้เกิดการสะสมของเซลล์บนพื้นผิวไส้กรองมากกว่าเมื่อมีการแบ่งน้ำส่วนหนึ่งเวียนกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ด้วยเหตุนี้ระบบกรองโดยตรงจึงสามารถเกิดการอุดตันของไส้กรองได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานในลักษณะของการกรองแบบแบ่งส่วน

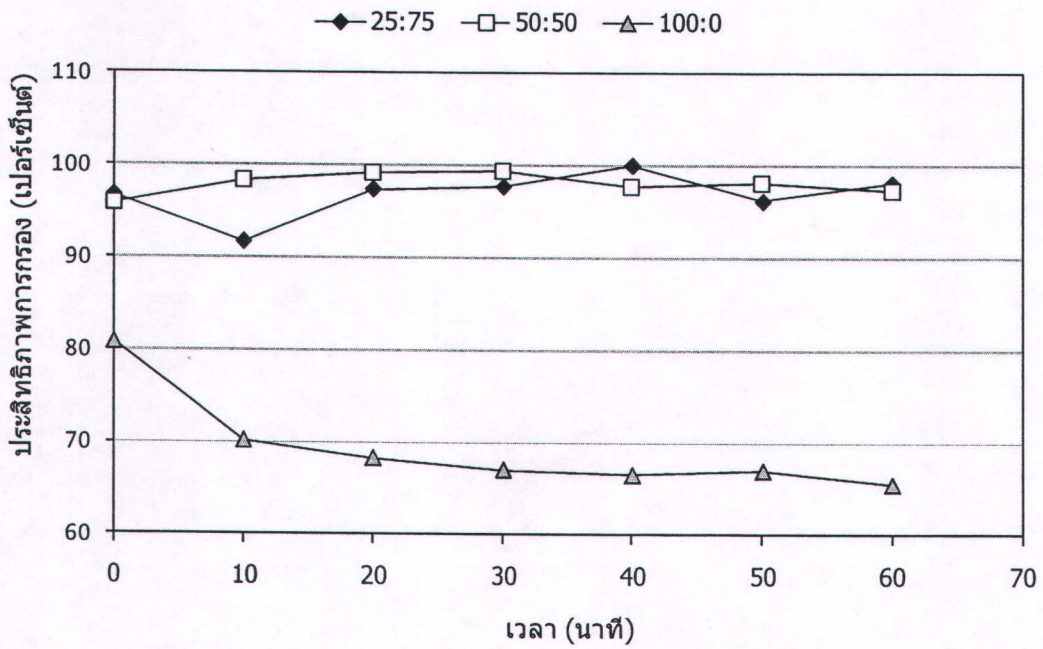
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 แล้วจะพบว่าภายในระยะเวลา 1 ชม.นั้น การปรับสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เท่ากับ 25:75 จะสามารถกรองน้ำออกมาได้เพียง 24 ลิตร จากปริมาตรน้ำในถังเพาะเลี้ยง 200 ลิตร เนื่องจากค่าฟลักซ์หรือก็คือปริมาตรน้ำที่ผ่านพื้นผิวไส้กรองต่อเวลานั้นมีค่าต่ำ เพราะปรับให้มีน้ำผ่านไส้กรองเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำเข้าทั้งหมด ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แยกได้มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการกรองที่สัดส่วนอื่นๆ ในเวลาเท่ากัน แต่ถ้าทำการพิจารณาจุลสาหร่ายในน้ำแต่ละลิตรที่กรองได้จะพบว่าการใช้สัดส่วนน้ำกรอง 25 เปอร์เซ็นต์นั้น จะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่แยกได้มีค่าเท่ากับ 1.21 กรัม/ลิตร จากความเข้มข้น 1.25 กรัม/ลิตรในถังเพาะเลี้ยง หรือคิดเป็น 96.8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อปริมาตรน้ำที่ผ่านไส้กรอง ซึ่งใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้เมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 คือสามารถแยกคลอโรฟิลล์เอออกมาได้ 1.17 กรัม/ลิตร จากทั้งหมด 1.19 กรัม/ลิตร ในถังเพาะเลี้ยง หรือคิดเป็น 98.0 เปอร์เซ็นต์จากความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอในน้ำ และเมื่อพิจารณาผลจากการใช้สัดส่วนน้ำกรองที่ 100:0 แล้วจะพบว่าปริมาณ

คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรองนั้นมีค่าต่ำสุด คือแยกคลอโรฟิลล์ออกได้ 0.14 จาก 0.22 กรัม/ลิตร ของน้ำเข้า หรือคิดเป็น 63.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอต่อปริมาตรน้ำ ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการกรองน้ำทั้งหมดผ่านไส้กรอง (กรองโดยตรง) แม้จะสามารถกรองน้ำได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการกรองแบบแบ่งส่วนในระยะเวลาเท่ากัน แต่ประสิทธิภาพการแยกคลอโรฟิลล์เอหรือก็คือเซลล์ของจุลสาหร่ายในน้ำกลับมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากไส้กรองที่ใช้ซึ่งมีเส้นใยขนาดรูพรุน 30 ไมครอนนั้นยังไม่สามารถกั้นเซลล์ของ *C. gracilis* ทั้งหมดที่มีขนาดประมาณ 6 ไมครอนได้อย่างสมบูรณ์ การกรองโดยตรงผ่านไส้กรอง 100 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เซลล์ของ *C. gracilis* หลุดรอดผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้มาก ต่างจากการใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนที่เซลล์ของ *C. gracilis* ส่วนใหญ่จะถูกพาเวียนกลับไปยังถังเพาะเลี้ยง ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านไส้กรองทุกๆ 10 นาที ทำให้พบว่าที่สัดส่วนน้ำกรอง 100 เปอร์เซ็นต์มีการหลุดรอดของเซลล์ จุลสาหร่ายผ่านไส้กรองไปในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของน้ำกรองมีค่าสูงกว่าการกรองที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน 25:75 และ 50:50 อย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในน้ำกรองที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

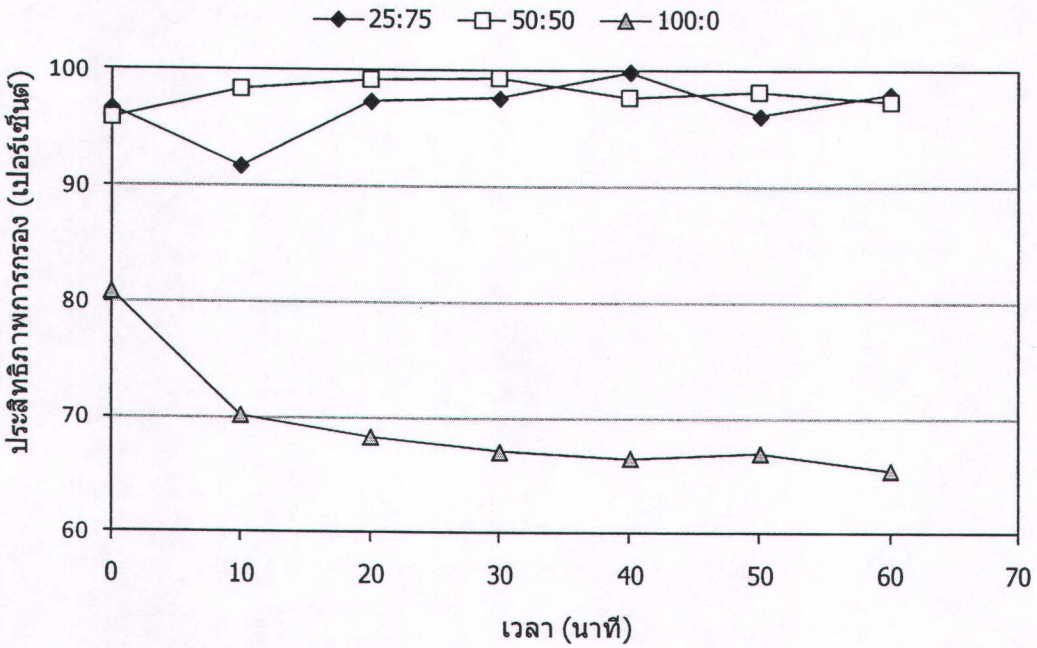
นอกจากนี้ในระหว่างทำการทดลองยังได้มีการตรวจวัดค่าฟลักซ์ทุกๆ 10 นาทีตลอดระยะเวลาการกรอง ทำให้พบว่าการกำหนดสัดส่วนน้ำกรองเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์นั้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วค่าฟลักซ์จะลดลงไปอยู่ที่ 276.6 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลงเหลือ 91.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์เริ่มต้น (รูปที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่ามีการอุดตันเกิดขึ้นบนไส้กรองและมีเซลล์บางส่วนที่หลุดรอดผ่านไส้กรองออกไปได้ ส่วนการกรองแบบแบ่งส่วนนั้นพบการลดลงของค่าฟลักซ์เพียงเล็กน้อย คือเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ากรองได้ 97.7 และ 96.3 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 และ 50:50 ตามลำดับ จึงสามารถใช้ไส้กรองไปได้เป็นระยะเวลานานกว่า ก่อนที่จะต้องมีการล้างทำความสะอาดต่อไป



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

ในส่วนประสิทธิภาพการกรองเซลล์ *C. gracilis* นั้นได้ทำการตรวจวัดโดยการเปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่กรองได้ ณ เวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาทีกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่กรองได้ในตอนเริ่มต้นของการทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยจะเห็นได้ว่าสภาวะการกรองที่มีประสิทธิภาพคงที่ที่สุดคือ ที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 50:50 ส่วนที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 นั้นพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการทดลอง แต่ยังคงมีประสิทธิภาพการกรองเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลา 60 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสภาวะการกรองที่ให้น้ำทั้งหมดไหลผ่านไส้กรองแล้วจะพบว่าประสิทธิภาพการกรองของ

ระบบมีค่าเริ่มต้นต่ำกว่าที่สภาวะการกรองอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 80.8 เปอร์เซ็นต์และลดลงเหลือ 70.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที จากนั้นจึงไปสิ้นสุดลงที่ 65.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งข้อมูลจากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกรองของระบบกรองโดยตรงนั้นมีค่าลดลงได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ประสิทธิภาพการกรองของระบบกรองแบบแบ่งส่วนมีค่าคงที่ได้ยาวนานกว่า หรืออีกนัยหนึ่งคือมีเซลล์ของจุลสาหร่ายหลุดรอดออกไปได้น้อยกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการทำงานของระบบกรองแบบแบ่งส่วนจะช่วยให้น้ำส่วนหนึ่งในเครื่องกรองสามารถไหลออกทางช่องน้ำเวียนได้ น้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองจึงไม่ได้ถูกบังคับให้ไหลผ่านไส้กรองไปทั้งหมดเหมือนในระบบกรองโดยตรง ที่ส่งผลให้เซลล์ของจุลสาหร่ายถูกแรงขับดันจากการไหลของน้ำจนทะลุผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้จำนวนหนึ่ง



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า สัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนของระบบการกรองแบบแบ่งส่วนนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการกรองจุลสาหร่ายขนาดเล็กออกจากน้ำ ซึ่งแม้ว่าการกรองที่สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน 75:25 (หรือในความเป็นจริงคือ 100:0) จะให้ค่าฟลักซ์ในการกรองมากที่สุด แต่กลับมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำสุด เนื่องจากมีเซลล์ของจุลสาหร่ายหลุดรอดออกมากับน้ำกรองเป็นปริมาณสูงกว่าการกรองที่สัดส่วนอื่นๆ ทั้งยังมีปริมาณเซลล์จุลสาหร่ายสะสมบนพื้นผิวไส้กรองมากที่สุดและยังเกิดการอุดตันได้เร็วที่สุดอีกด้วย ในขณะที่การกรองแบบแบ่งส่วนด้วยสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 นั้นพบว่ามีค่าฟลักซ์สูงกว่าที่สัดส่วน 25:75 มากกว่าเท่าตัว นอกจากนี้เมื่อคิดประสิทธิภาพการกรองโดยรวมแล้วจะพบว่าที่สัดส่วน 50:50 สามารถแยกคลอโรฟิลล์เอหรือเซลล์ของจุลสาหร่ายออกจากน้ำได้เป็นปริมาณใกล้เคียงกับที่สัดส่วน 25:75 แต่การกรองที่สัดส่วน 50:50 นั้นใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าเกือบ 3 เท่าตัว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพการกรองของระบบกรองแบบแบ่งส่วนก็คือ การปรับสัดส่วนน้ำขาออกจากเครื่องกรองให้เหมาะสม ซึ่งในการทดลองชุดนี้พบว่าสัดส่วนอัตราการไหลระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 50:50 เป็นสภาวะการกรองที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพการกรองเซลล์ *C. gracilis* ได้สูงที่สุด

ทั้งนี้ในการทดลองยังได้มีการติดตั้งเครื่องวัดความดันไว้ที่วาล์วน้ำทั้งทางน้ำเข้าและทางน้ำออกจากเรือนกรองเพื่อตรวจวัดและปรับแรงดันของน้ำในส่วนของน้ำกรองและน้ำเวียน แต่เนื่องจากแรงดันของน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าต่ำจนไม่สามารถวัดค่าความดันได้อย่างถูกต้อง และหากใช้แรงดันสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดการหลุดรอดของเซลล์จุลสาหร่ายผ่านรูพรุนของไส้กรองไปได้มาก ในการทดลองกรองจึงจำเป็นต้องใช้การปรับสัดส่วนด้วยอัตราการไหลของน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งสัดส่วนที่ระบุในงานวิจัยนี้ทั้งหมดเป็นสัดส่วนของน้ำที่ทำการวัดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และสัดส่วนเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหลังทำการกรอง เนื่องจากค่าฟลักซ์ที่ลดลงจะมีผลให้สัดส่วนของน้ำกรองที่ผ่านไส้กรองลดลงตามไปด้วย

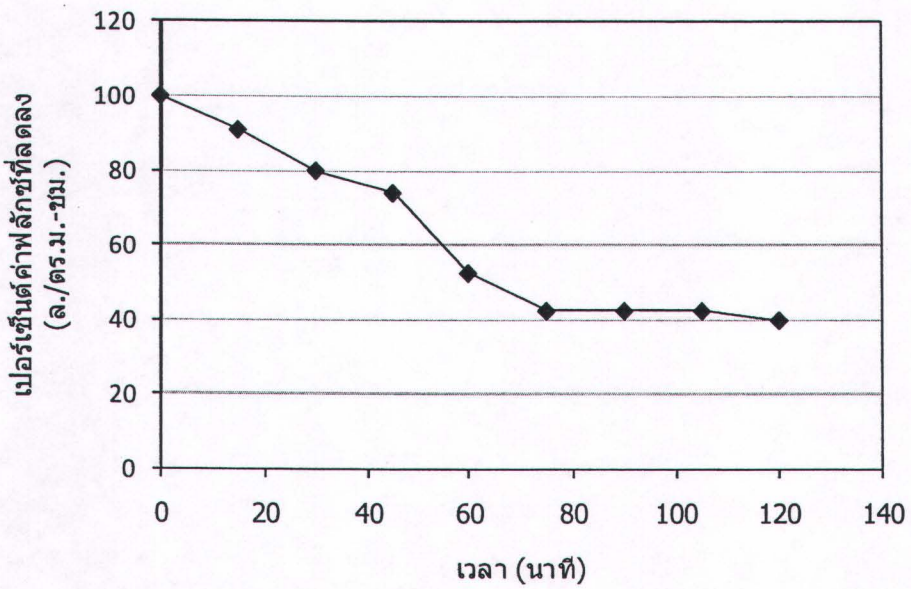
4.2.3 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อกำหนดให้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองให้เท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที (2,206 ลิตร/ชม.) ซึ่งเร็วขึ้นประมาณสองเท่าตัวจากการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 โดยกำหนดสัดส่วนของน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เป็น 25:75 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การกรองไดอะตอม *C. gracilis* ด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที

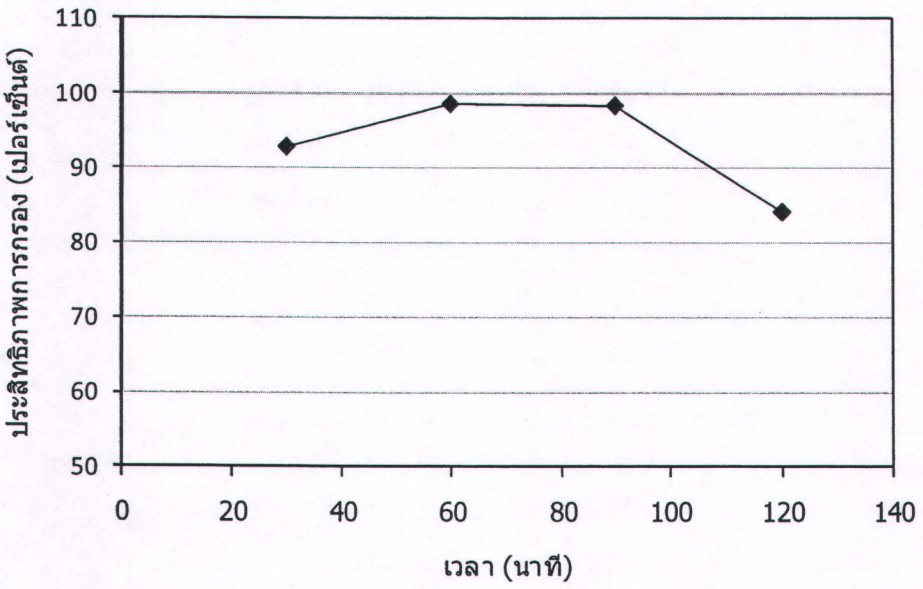
พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ค่าที่วัดได้
ปริมาตรน้ำในถังเพาะเลี้ยง (ลิตร)	170
ปริมาตรน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	105
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	225
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	90
สัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองที่แท้จริง (เปอร์เซ็นต์)	30
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	289.8
ค่าฟลักซ์ที่ 60 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	152.5
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 60 นาที	47.4
ค่าฟลักซ์ที่ 120 นาที (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	115.9
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงใน 120 นาที	60.0
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดในถังจุลสาหร่ายก่อนการกรอง (มก.)	104.8
คลอโรฟิลล์เอที่เหลือในถังจุลสาหร่ายหลังการกรอง (มก.)	42.0
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดที่ออกไปกับน้ำกรอง (มก.)	4.1
คลอโรฟิลล์เอทั้งหมดที่ติดอยู่บนไส้กรอง (มก.)	0.4
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บนไส้กรอง	0.6
คลอโรฟิลล์เอในถังจุลสาหร่ายต่อปริมาตร (มก./ลิตร)	0.62
คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง (มก./ลิตร)	0.58
เปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรอง	93.6

ผลจากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเป็น 0.0016 เมตร/วินาทีจะทำให้ค่าฟลักซ์เริ่มต้นของการกรองมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 289.8 ลิตร/ตร.ม.-ชม. (จาก 78.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที หรือมีค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเกือบ 4 เท่าตัว) แต่เมื่อทำการกรอง *C. gracilis* ไปเป็นเวลา 60 นาที พบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้ลดลงมาอยู่ที่ 152.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลงเท่ากับ 47.4 เปอร์เซ็นต์จากค่าฟลักซ์เริ่มต้น จากนั้นค่าฟลักซ์จึงเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 75 นาที และลดลงเหลือ 56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที

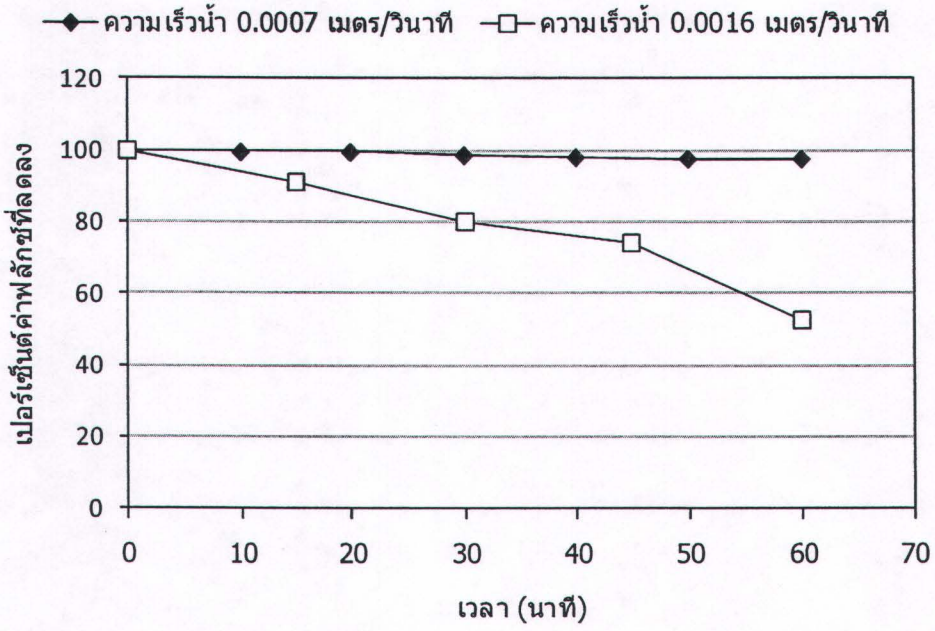
เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์ที่เริ่มคงที่ระหว่างการกรอง ณ เวลา 75 ถึง 120 นาทีนี้ แสดงให้เห็นถึงการคงตัวของสภาวะการอุดตันของไส้กรอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการสะสมของเซลล์ *C. gracilis* ที่ด้านบนพื้นผิวและที่ด้านในของตัวกรอง เนื่องจากเซลล์ของ *C. gracilis* มีขนาดเพียง 6 ไมโครเมตร ในขณะที่รูพรุนของไส้กรองที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดเท่ากับ 30 ไมครอน เซลล์ของ *C. gracilis* จึงอาจเกิดการสะสมตัวอยู่บนผิวของผนังรูพรุนของไส้กรองจึงก่อให้เกิดการอุดตันขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกรองมีค่าลดลงไปอยู่ที่ 84.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังผลการทดลองในรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงถึงการหลุดรอดของเซลล์จุลสาหร่ายออกมากับน้ำกรองเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากการที่เซลล์ของ *C. gracilis* ถูกแรงผลักดันจากน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เซลล์เหล่านี้หลุดรอดผ่านรูพรุนของไส้กรองออกมากับน้ำกรอง



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการกรองเมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วน ที่ความเร็วน้ำ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 120 นาที

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ของคลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บนไส้กรองเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาทีนั้นมีค่าเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่คลอโรฟิลล์เอที่ติดอยู่บนไส้กรองเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที มีค่าเท่ากับ 10.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากแรงเฉือนของน้ำบนพื้นผิวไส้กรองที่ก่อให้เกิดการชะเซลล์ *C. gracilis* ที่สะสมอยู่ให้ออกไปกับน้ำ โดยความแตกต่างนี้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่มีต่อการสะสมตัวของเซลล์จุลสาหร่ายบนไส้กรอง อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ยังชี้ให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์เอที่หลุดออกไปกับน้ำที่ความเร็ว 0.0016 เมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าที่ 0.0007 เมตร/วินาที (เท่ากับ 4.1 และ 0.95 มก. ตามลำดับ) จึงเป็นไปได้ว่าความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการผลักดันเซลล์จุลสาหร่ายให้ออกไปกับน้ำกรองเช่นกัน อย่างไรก็ดีความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีค่าไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์เอที่แยกได้ต่อปริมาตรน้ำกรองแล้วจะพบว่าที่ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาทีนั้นสามารถแยกเซลล์ *C. gracilis* ออกไปได้เท่ากับ 93.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที ที่สามารถแยกคลอโรฟิลล์เอออกไปได้เท่ากับ 96.8 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าฟลักซ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 60 นาทีของความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองทั้ง 2 ค่าแล้วจะพบว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาที มีแนวโน้มลดลงรวดเร็วกว่าที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที ซึ่งยังคงมีแนวโน้มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าฟลักซ์เมื่อทำการทดลองกรองแบบแบ่งส่วนที่ความเร็วน้ำ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที เป็นระยะเวลา 60 นาที

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าความเร็วของน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทั้งต่อแรงเฉือนบนพื้นผิวของไส้กรองและต่อแรงผลักดันที่ทำให้น้ำผ่านไส้กรองไป การลดลงของค่าฟลักซ์นี้จึงอาจเป็นผลมาจากการสะสมของเซลล์ *C. gracilis* ภายในรูพรุนของไส้กรองมากกว่าการสะสมบนพื้นผิว และเป็นไปได้ว่าแรงดันจากความเร็วของน้ำได้ทำให้เซลล์ของ *C. gracilis* หลุดออกไปกับน้ำกรองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการกรองแบบแบ่งส่วนในการทดลองนี้เป็นการใช้ไส้กรองเส้นใยที่มีราคาไม่แพง โดยได้ดัดแปลงจากไส้กรองตะกอนของเครื่องกรองน้ำดื่มที่ใช้กันในครัวเรือนทั่วไป ซึ่งตามปกติไส้กรองที่มีรูพรุนขนาด 30 ไมครอนนี้จะไม่สามารถใช้กรองเซลล์จุลสาหร่ายที่มีขนาดเล็กเช่น *C. gracilis* ได้ เพราะหากใช้การกรองโดยตรงจะทำให้เกิดการหลุดรอดของเซลล์ผ่านรูพรุนไปมากซึ่งเป็นสิ่งที่พบในการทดลองที่ 4.2.2 และเมื่อเปรียบเทียบระบบกรองชุดนี้กับการทดลองของ Morineau-Thomas และคณะ (2001) ที่ได้ใช้ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันแบบแบ่งส่วนร่วมกับเยื่อกรอง Polyvinylidene difluoride (PVDF) รวมทั้งทำการปรับปรุงลักษณะการไหลของของเหลวภายในเครื่องกรองเพื่อลดการสะสมของอนุภาคสารบนเยื่อกรอง ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาค่าฟลักซ์ของระบบ แม้จะสามารถลดการทับถมของอนุภาคสารบนพื้นผิวเยื่อกรองและเพิ่มค่าฟลักซ์ในการกรองได้ แต่ก็มีความยุ่งยากในการใช้งานสูงเนื่องจากต้องใช้ความรู้ในเรื่องการไหลของของเหลวและการออกแบบเครื่องกรองที่มีลักษณะเฉพาะตัว นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการใช้เยื่อกรอง Polyacrylonitrile ร่วมกับระบบกรองอัลตราฟิลเตรชันโดย Rossignol และคณะ (1999) ในการกรอง

จุลสาหร่าย *Haslea ostrearia* และ *Skeletonema costatum* แม้จะมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อเดินระบบโดยใช้ความดันและความเร็วต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในงานวิจัยนี้แล้วจะพบว่าการใช้ไส้กรองเส้นใยขนาด 30 ไมครอนมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ากันมาก เนื่องจากไส้กรองเส้นใยนี้ทำจากวัสดุที่มีราคาไม่แพง ต่างจากเยื่อกรอง Polyvinylidene difluoride และ Polyacrylonitrile ที่มีราคาสูงกว่าทั้งยังหาซื้อได้ยาก จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรในประเทศไทยซึ่งต้องการระบบบำบัดที่ใช้งานได้ง่ายและมีราคาไม่แพง ดังนั้นการใช้ไส้กรองเส้นใยร่วมกับเครื่องกรองน้ำที่มีการปรับปรุงอย่างง่ายให้เป็นระบบกรองแบบแบ่งส่วนจึงถือเป็นทางออกที่น่าสนใจสำหรับการนำไปใช้บำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในอนาคต

4.3 การประยุกต์ใช้ระบบกรองแบบแบ่งส่วนร่วมกับถังเลี้ยงกุ้งระบบปิด

การทดลองนี้เป็นการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยงกุ้งออกจากน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบชนิดของจุลสาหร่ายรวมทั้งปริมาณและลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei)* และกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ตลอดจนติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและผลที่เกิดขึ้นหลังทำการกรองแต่ละครั้ง ซึ่งกุ้ง 2 ชนิดนี้มีรูปแบบการเจริญในถังเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน โดยกุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำที่บริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหาร ในขณะที่กุ้งกุลาดำจะอาศัยอยู่ที่พื้นของถังเพาะเลี้ยงและไม่บริโภคจุลสาหร่ายเป็นอาหาร ดังนั้นการทำการทดลองกับถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำเปรียบเทียบกันจึงเป็นการศึกษาผลกระทบของชนิดกุ้งต่อปริมาณและประเภทของจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้น ตลอดจนเป็นการศึกษาปริมาณและความหนาแน่นของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยงแต่ละถัง ชุดการทดลองประกอบด้วยถังเพาะเลี้ยงขนาด 500 ลิตร จำนวน 5 ถัง ที่บรรจุน้ำทะเลความเค็ม 20 พีเอสยู ทำการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.46±0.91 กรัม และกุ้งกุลาดำที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 12.64±2.96 กรัม โดยทุกถังเพาะเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. แบ่งเป็นถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำอย่างละ 2 ถัง และมีถังควบคุมซึ่งเป็นถังที่มีการใส่อาหารแต่ไม่มีการเลี้ยงกุ้ง ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ปริมาณการให้อาหารกุ้งในแต่ละวันจะเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวมของกุ้งในถังเพาะเลี้ยง (สำหรับถังควบคุมคิดน้ำหนักกุ้งจากความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. และการให้อาหารจะพิจารณาจากอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำ)

4.3.1 ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนเมื่อนำมาใช้กรองตะกอนในถังเลี้ยงกุ้ง

การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งเป็นการทดสอบการใช้งานไส้กรองเป็นระยะเวลาติดต่อกันยาวนานหลายชั่วโมง เพื่อติดตามการลดลงของค่าฟลักซ์และระยะเวลาการทำงานของไส้กรองก่อนต้องมีการล้างทำความสะอาด และการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นการติดตามการลดลงของค่าฟลักซ์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการกรอง โดยในการทดลองช่วงที่ 2 นี้จะใช้ระยะเวลาในการกรองสั้นกว่าการทดลองช่วงที่ 1 และมีการวัดค่าฟลักซ์โดยละเอียดตลอดเวลา ซึ่งในการทดลองทั้ง 2 ช่วงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองระหว่างความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ตลอดจนมีการวัดปริมาณอนุภาคสารแขวนลอยที่ถูกแยกออกไปจากถังเลี้ยงกุ้ง

- *การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1*

จากการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 ในวันที่ 16 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยสูบน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งมาใส่ในถังพักก่อนทำการทดลองกรอง พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 12:88 และใช้ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0007 เมตร/วินาที จะใช้เวลาทั้งหมด 720 นาที ในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตร โดยค่าฟลักซ์ได้ลดลงอย่างต่อเนื่องจากค่าเริ่มต้นที่ 95.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ไปอยู่ที่ 39.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หลังเวลาผ่านไป 180 นาที จึงได้มีการปรับสัดส่วนน้ำกรองให้มีน้ำไหลผ่านไส้กรองมากขึ้น จากสัดส่วน 6:94 เป็น 10:90 ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 60.4 ลิตร/ตร.ม.-ชม. อย่างไรก็ตามพบว่าค่าฟลักซ์ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องแม้จะมีการปรับสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 18:82 และยังทำให้น้ำผ่านไส้กรองมีสีเข้มขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากแรงดันที่ทำให้จุลสาหร่ายในน้ำหลุดรอดผ่านไส้กรองออกมา และเมื่อเวลาผ่านไป 360 นาที พบว่าค่าฟลักซ์ลดลงไปอยู่ที่ 9.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลง 90 เปอร์เซ็นต์จากค่าฟลักซ์เริ่มต้น จากนั้นจึงได้มีการทำความสะอาดไส้กรองโดยนำมาล้างตะกอนออกด้วยน้ำสะอาด แล้วนำมาใช้กรองต่อเนื่องจากเดิมแต่ปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนให้เพิ่มขึ้นเป็น 15:85 พบว่าค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 78.6 ลิตร/ตร.ม.-ชม. จากนั้นจึงลดลงอย่างต่อเนื่องและไปสิ้นสุดลงที่ 14.5 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อเวลาผ่านไป 720 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	12:88	15:85	22:78	15:85	9:91	14:86
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	208.3	204.1	209.8	382.2	480.0	400.0
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	29.7	35.7	57.5	71.1	46.8	63.5
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	95.5	114.9	185.0	228.9	150.8	204.6
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	14.5	35.9	128.3	16.7	15.4	29.5
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	84.6	68.8	30.7	92.7	89.7	85.6
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	720*	300	180	90**	300	180

* มีการล้างไส้กรองหนึ่งครั้งหลังผ่านไป 360 นาที ** เกิดการอุดตันจนไม่สามารถกรองต่อได้อีก

การทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 2 ในวันที่ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 15:85 และใช้ไส้กรองอันเดิมจากการกรองครั้งที่ 1 ที่มีการล้างทำความสะอาดให้ดียิ่งขึ้นด้วยการใช้น้ำฉีดล้างเศษตะกอนที่ติดอยู่ออกไปจนหมด พบว่าทำให้ค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 114.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ก่อนจะลดลงเหลือ 35.9 ลิตร/ตร.ม.-ชม. หรือลดลง 68.8 เปอร์เซ็นต์ หลังทำการกรองเป็นระยะเวลา 300 นาที และเมื่อทำการทดลองกรองครั้งที่ 3 ในวันที่ 41 ของการทดลอง โดยใช้สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 22:78 พบว่าค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 185.1 ลิตร/ตร.ม.-ชม. และลดลงไปอยู่ที่ 128.3 ลิตร/ตร.ม.-ชม.หรือลดลง 30.7 เปอร์เซ็นต์ หลังเวลาผ่านไป 180 นาที ซึ่งระยะเวลาการกรองในทั้ง 3 การทดลองนี้ใช้ปริมาตรน้ำเป็นตัวกำหนด คือเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตรจากถังเลี้ยงกุ้งขาว โดยจะเห็นได้ว่าไส้กรองชนิดไส้ขนาดรูพรุน 30 ไมครอนนี้สามารถนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้งและให้ค่าฟลักซ์ในระดับที่ดี นอกจากนี้การเพิ่มค่าฟลักซ์ยังช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง ทำให้ค่าฟลักซ์ในการทดลองยังไม่ลดต่ำลงจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำการกรองได้ เช่นเดียวกับเมื่อทำการทดลองโดยใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองที่ 0.0016 เมตร/วินาที ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.3

ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวในตารางที่ 4.3 เป็นแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/

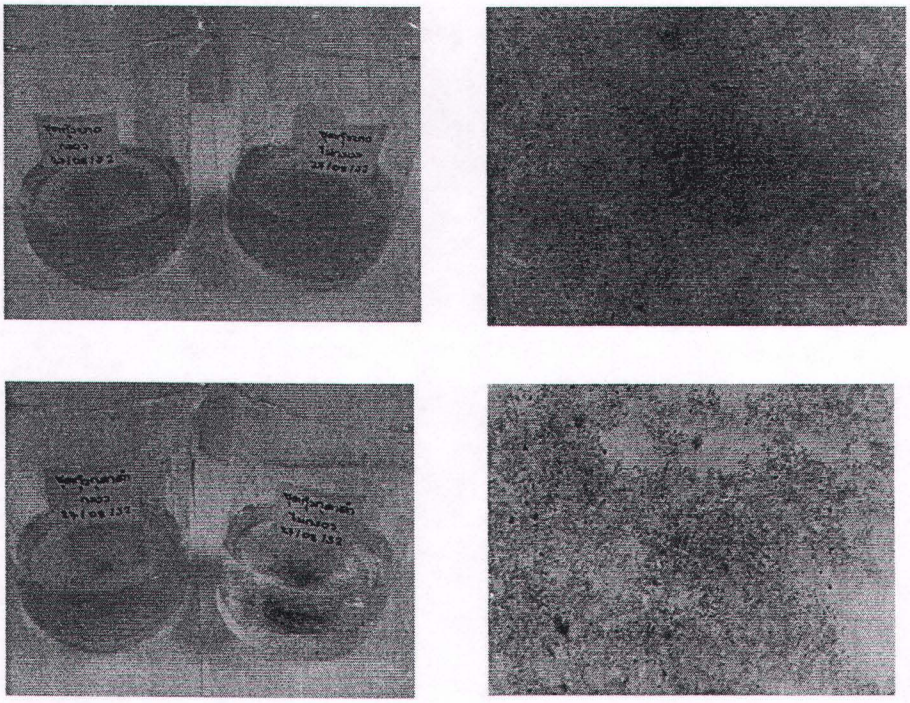
วินาที เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกรองและเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้พบว่าค่าฟลักซ์ของความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0016 เมตร/วินาที จะมีอัตราเร็วในการลดลงมากกว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที ในทุกครั้งที่ทำการกรอง โดยเฉพาะในการกรองบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการใช้งานไส้กรองก่อนเกิดการอุดตันจะพบว่าเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที จะสามารถใช้ไส้กรองไปได้เป็นระยะเวลา 360 นาทีก่อนจะต้องมีการล้างทำความสะอาด ในขณะที่ไส้กรองที่ใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที สามารถใช้งานไปได้เพียง 90 นาทีก่อนจะเกิดการอุดตันจนไม่สามารถทำการกรองต่อได้

ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองกับน้ำเวียนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นจาก 12:88 เป็น 22:78 จะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการกรองลงได้มาก (จาก 720 นาที เหลือ 300 นาที) และจะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่าฟลักซ์ (หรือการเพิ่มสัดส่วนของน้ำที่ผ่านไส้กรอง) ขึ้นหนึ่งเท่าตัว จะช่วยลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการกรองลงไปได้ถึง 4 เท่า คือลดลงจาก 720 นาทีเหลือ 180 นาทีในการกรองน้ำปริมาตร 200 ลิตร

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะพบว่าการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าถังเลี้ยงกุ้งขาวมาก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะแตกต่างกัน โดยอนุภาคสารแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะเกาะกันเป็นกลุ่มในลักษณะที่ไม่หนาแน่นมากนัก ในขณะที่อนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีความฟุ้งกระจายมากกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าอนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งความแตกต่างของอนุภาคสารแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดนี้ส่งผลต่อการอุดตันของไส้กรองและคุณภาพของน้ำกรองอย่างมาก เนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ฟุ้งกระจายในถังเลี้ยงกุ้งขาวสามารถก่อให้เกิดการอุดตันในไส้กรองและการหลุดรอดของอนุภาคผ่านไส้กรองได้มากกว่าอนุภาคสารที่เกาะตัวกันในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ การปรับสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนจากถังเลี้ยงกุ้งขาวจึงต้องกำหนดให้มีปริมาตรน้ำผ่านไส้กรอง (หรือก็คือค่าฟลักซ์) น้อยกว่าที่ใช้ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้หลุดรอดออกไปกับน้ำกรองได้มากเกินไป จึงกล่าวได้ว่าความแตกต่างของอนุภาคสารแขวนลอยที่เกาะตัวกันในน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งต่างชนิดจะมีผลต่อการเลือกใช้สัดส่วนการกรองที่เหมาะสม หากสารแขวนลอยมีการเกาะตัวกันแน่นเป็นกลุ่มก้อนจะช่วยให้สามารถกรองของแข็งแขวนลอยเหล่านั้นออกไปจากระบบเพาะเลี้ยงได้ง่ายกว่าอนุภาคที่อยู่ในลักษณะกระจายตัว ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2

ตารางที่ 4.4 การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	13:87	22:78	35:65	12:88	21:79	23:77
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	204.1	204.1	184.0	454.5	441.2	384.6
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	31.6	58.8	98.0	60.4	118.6	117.2
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	101.7	189.4	315.7	194.3	381.8	377.3
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	74.5	153.1	257.6	66.3	106.3	302.8
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	26.7	19.2	18.4	65.9	72.2	19.7
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	240	120	60	240	120	60

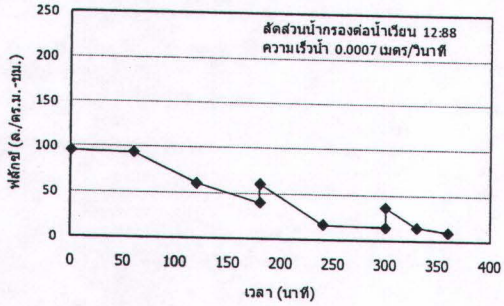


รูปที่ 4.13 อนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งขาว (บน) และจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง)

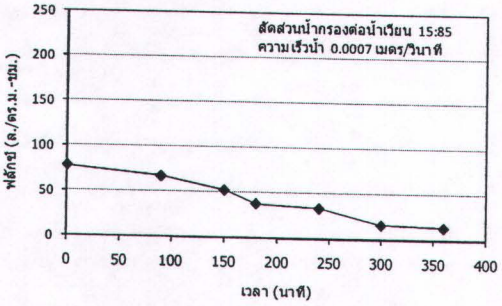
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ในส่วนของการลดลงของค่าฟลักซ์ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.14 และ 4.15 จะพบว่าค่าฟลักซ์ที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที จะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับค่าฟลักซ์ที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที โดยเฉพาะเมื่อปรับให้มีสัดส่วนน้ำผ่านไส้กรองมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์มีอัตราการลดลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งตรงกับที่ Koltuniewicz และคณะ (1995) ได้กล่าวไว้ว่าความเร็วน้ำเข้าจะมีผลต่อค่าฟลักซ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ความดันระหว่างเยื่อกรอง (Transmembrane pressure) ที่สูงขึ้น ส่วนการทดลองกรองน้ำด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที พบว่าค่าฟลักซ์จะลดลงในอัตราค่อนข้างคงที่ และเมื่อถึงจุดหนึ่งค่าฟลักซ์จะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว

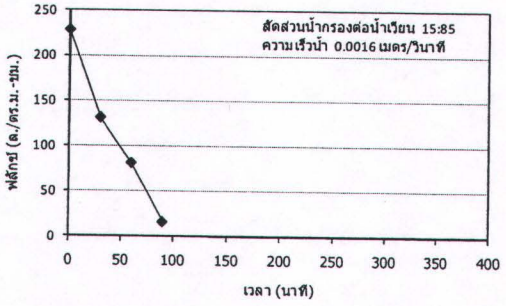
จากการทดลองกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำช่วงที่ 1 จะเห็นได้ว่าไส้กรองเส้นใยขนาดรูพรุน 30 ไมครอนสามารถนำมาใช้กรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งได้เป็นระยะเวลาสูงสุด 360 นาที ก่อนต้องมีการล้างทำความสะอาด และในการทดลองนี้ได้ใช้งานไส้กรองสูงสุดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 1,200 นาที โดยทำการล้างไส้กรองทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งพบว่าไส้กรองสามารถกรองน้ำได้ดีและยังคงให้ค่าฟลักซ์ที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก



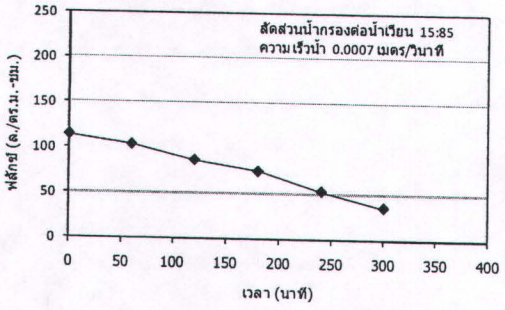
(ก)



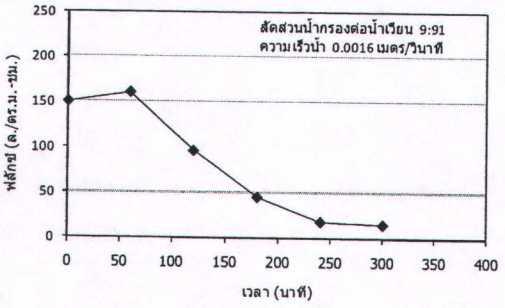
(ข)



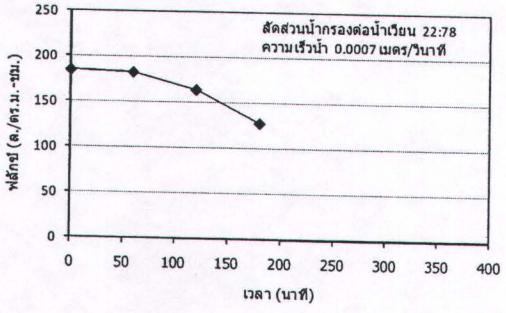
(ค)



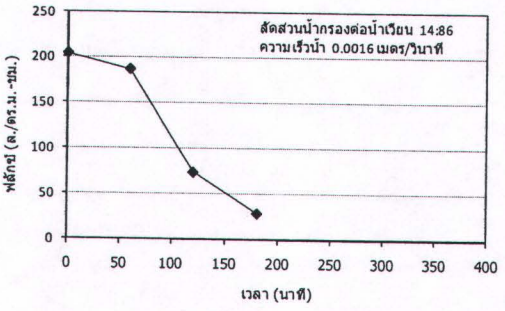
(ง)



(จ)

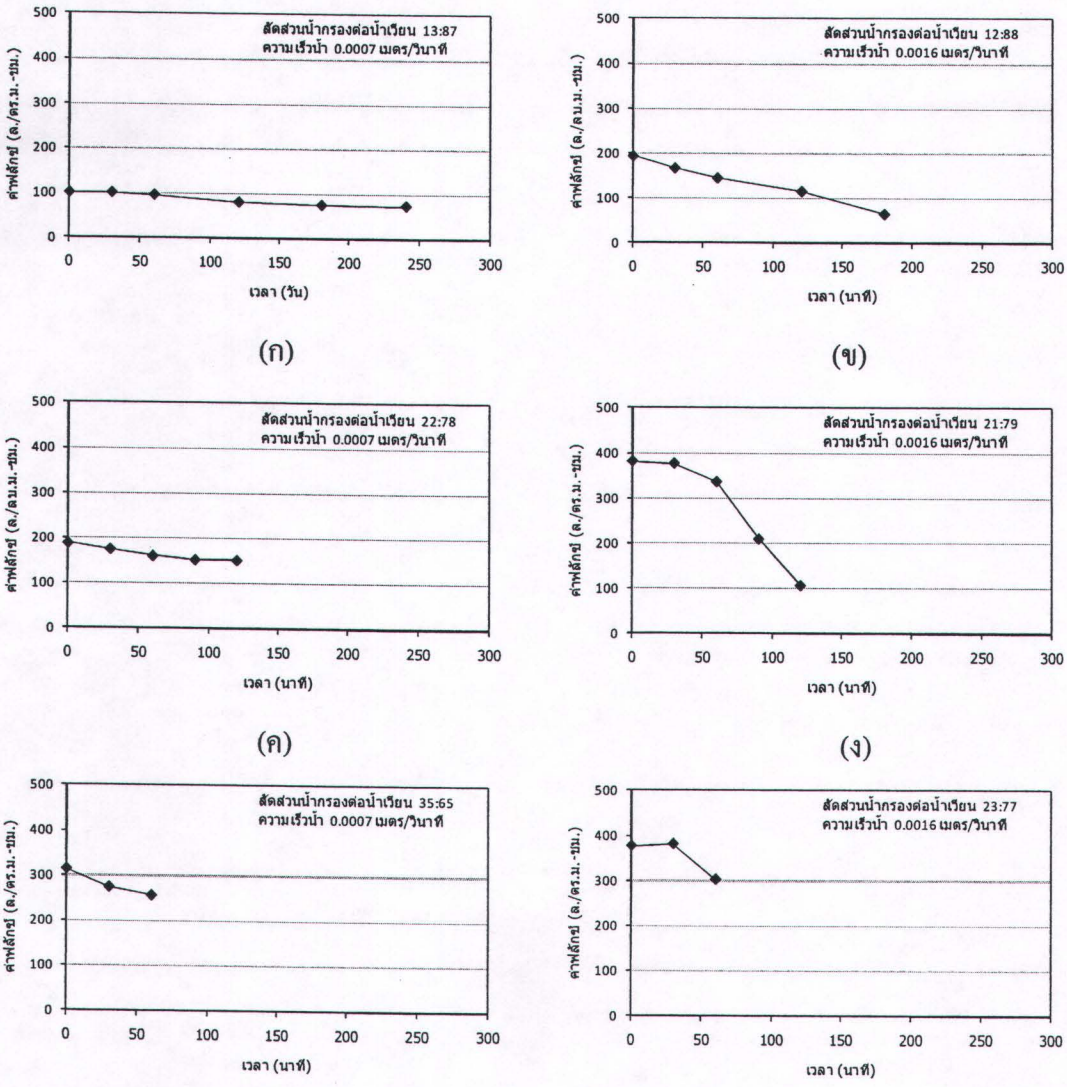


(ฉ)



(ช)

รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาว
ในวันที่ 16 (ก ข และ ค) วันที่ 19 (ง และ จ) และวันที่ 41 (ฉ และ ช) ของการเลี้ยงกุ้ง



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในวันที่ 23 (ก และ ข) วันที่ 42 (ค และ ง) และวันที่ 43 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง

- *อนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 1*

จากการวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากถังเลี้ยงกุ้งพบว่าในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 (วันที่ 16 และ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง) สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกมาได้ 22.7 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าผลจากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกมาได้ถึง 69.5 เปอร์เซ็นต์ในการกรองครั้งที่ 1 และ 76.6 เปอร์เซ็นต์ในการกรองครั้งที่ 2 (วันที่ 23 และ 42 ของการเลี้ยงกุ้ง) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในถังเลี้ยงกุ้งขาวยังคงมีค่า

ใกล้เคียงกับก่อนการกรองครั้งแรกแม้จะทำการกรองไปแล้วถึง 2 ครั้ง (ดังแสดงในตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่ายังคงมีอนุภาคสารแขวนลอยเหลืออยู่ในระบบเป็นปริมาณมาก และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ชนิดจะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาว 19 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อพิจารณาจากวันที่ทำการทดลองกรองครั้งที่ 1) แต่เมื่อทำการกรองผ่านไป 2 ครั้งพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพักซึ่งใช้ในการทดลองกรองของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าลดลงจาก 21,500 มก. ในวันแรกที่ทำการกรอง เหลือ 11,500 มก. หรือลดลง 46.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่าลักษณะที่แตกต่างกันของอนุภาคในถังเลี้ยงกุ้งมีผลต่อประสิทธิภาพการแยกตะกอนแขวนลอยเหล่านี้ออกจากน้ำ

ปริมาตรน้ำที่เหลืออยู่ที่ก้นถังพัก (ซึ่งเครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบขึ้นมาได้อีก) คือส่วนของอนุภาคของแข็งเข้มข้นที่จะถูกแยกออกไปจากระบบ โดยในถังเลี้ยงกุ้งขาวได้ทำการแยกอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นออกไปเป็นปริมาตรทั้งหมด 42.5 ลิตร จากการกรองทั้งสิ้น 3 ครั้ง และสามารถแยกเอาของแข็งแขวนลอยออกไปได้ทั้งหมด 18,255 มก. ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำสามารถแยกอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นออกไปได้เป็นปริมาตร 42.5 ลิตรเช่นกัน แต่สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกไปได้ถึง 38,425 มก. หรือมากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งขาว 52.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งช่วงที่ 1

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์	ถังเลี้ยงกุ้งขาว		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	17,400	15,000	17,500
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	3,955	3,520	10,780
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	17.5	11	14
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	22.7	23.5	61.6
พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์	**ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	21,500	25,000	11,500
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	14,950	19,140	4,335
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	23	11	8.5
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	69.5	76.6	37.7

- *การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2*

การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งในช่วงที่ 2 จะมีการตรวจวัดค่าฟลักซ์โดยละเอียดเพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการกรอง ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 โดยได้ทำการกรองเปรียบเทียบทั้งความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที และศึกษาสัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนในช่วง 20:80 ถึง 45:55 ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองได้ทำการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งเป็นปริมาตรเท่ากัน คือสูบน้ำปริมาตร 150 ลิตรมาไว้ในถังพักก่อนทำการกรอง และดำเนินการกรองไปจนกระทั่งเครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำที่เหลืออยู่ในถังพักได้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	35:65	40:60	45:55	20:80	25:75	25:75
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	174.4	167.1	142.5	659.3	618.5	645.2
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	90.9	109.1	114.1	157.9	218.9	229.0
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	292.7	351.2	367.3	508.4	705.1	737.4
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	172.5	281.6	299.9	66.6	453.5	182.9
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	41.1	19.8	18.3	86.9	35.7	75.2
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	177	147	140	155	75	95

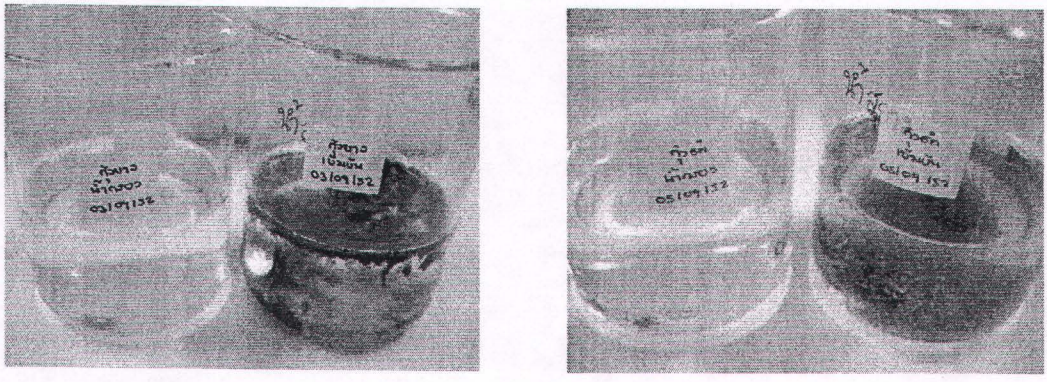
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	ความเร็วน้ำเข้า					
	0.0007 เมตร/วินาที			0.0016 เมตร/วินาที		
สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน	40:60	40:60	40:60	20:80	30:70	30:70
อัตราการไหลของน้ำเวียน (ลิตร/ชม.)	110.5	178.0	160.0	681.8	480.0	638.3
อัตราการไหลของน้ำกรอง (ลิตร/ชม.)	82.6	107.9	121.5	184.0	217.4	240.0
ค่าฟลักซ์เริ่มต้น (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	266.1	347.5	391.1	592.6	772.7	772.7
ค่าฟลักซ์สุดท้าย (ลิตร/ตร.ม.-ชม.)	249.6	328.5	302.8	418.1	715.5	705.1
เปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลง	6.2	5.4	22.6	29.4	7.4	8.7
ระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง (นาที)	165	135	133	80	60	60

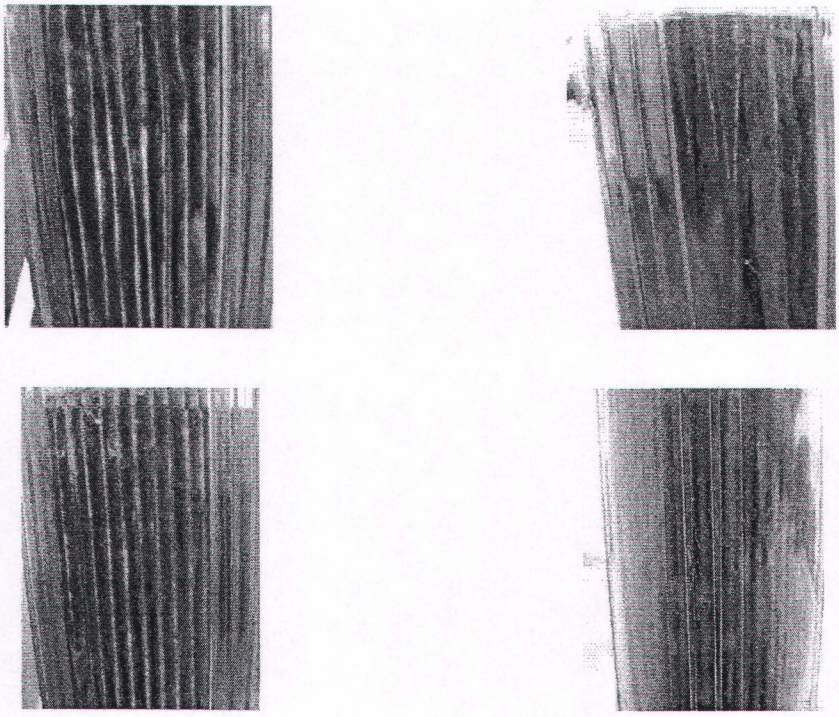
ผลจากการทดลองกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ความเร็วน้ำ 0.0007 เมตร/วินาที โดยใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียน 45:55 พบว่าตรวจวัดค่าฟลักซ์เริ่มต้นได้เท่ากับ 367.3 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ในขณะที่การใช้ความเร็วน้ำเข้า 0.0016 เมตร/วินาที จะวัดค่าฟลักซ์เริ่มต้นได้เท่ากับ 737.4 ลิตร/ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 25:75 ซึ่งค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าเมื่อใช้ความเร็วน้ำเข้าเครื่องกรองเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที สามารถพบได้ทั้งในการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แม้จะใช้สัดส่วนน้ำกรองต่ำกว่าที่ 0.0007 เมตร/วินาที แต่อย่างไรก็ตาม ในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวพบว่าความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0016 เมตร/วินาที จะทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 4.18) โดยตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนคือเมื่อใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 20:80 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์ต่อเวลาจะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงระหว่างนาทีที่ 60 ถึงนาทีที่ 100 จากนั้นค่าฟลักซ์จึงค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างนาทีที่ 100 ถึงนาทีที่ 155 ซึ่งเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์ต่อเวลาที่พบได้ทั่วไป และมักเกิดขึ้นจากการอุดตันของตัวกรอง (Field และคณะ, 1995) ส่วนการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 โดยใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 25:75 พบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้จะยังคงอยู่ในช่วงของการลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ยังไม่เข้าสู่ช่วงของการค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งคาดว่าน่าจะต้องใช้เวลาเกินกว่า 100 นาทีขึ้นไปที่จะทำให้การลดลงของค่าฟลักซ์เริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว เนื่องจากการกรองทั้ง 2 ครั้งนี้ใช้เวลาเพียง 75 และ 95 นาที ในการกรองน้ำปริมาตร 150 ลิตร ตามลำดับ

ในส่วนของการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที พบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาไม่มากนัก โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที และจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงจากการกรองด้วยความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที จะมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ค่าฟลักซ์ที่ลดลงเมื่อใช้ความเร็ว 0.0016 เมตร/วินาที ยกเว้นกรณีของสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 35:65 ที่พบว่าค่าฟลักซ์มีค่าลดลงเท่ากับ 41.1 เปอร์เซ็นต์ โดยคาดว่าเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยซึ่งยังคงมีปริมาณมากในถังเพาะเลี้ยง ทำให้ไส้กรองเกิดการอุดตันขึ้นเร็วกว่าการกรองในครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6 ซึ่งรายละเอียดของอนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้จะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

การกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าค่าฟลักซ์ทั้งที่ความเร็ว 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ไม่ได้มีค่าลดลงตามเวลามากนัก (ดังแสดงในรูปที่ 4.19) โดยพบว่าค่าฟลักซ์ที่วัดได้มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 5.4 ถึง 29.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าเกิดจากลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่แตกต่างกันระหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำดังได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่อย่างไรก็ตาม การทดลองในช่วงที่ 2 นี้ได้ดำเนินการหลังผ่านการเพาะเลี้ยงกุ้งมาแล้ว 2 เดือน ซึ่งจุลสาหร่ายและลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่พบในช่วงเวลานี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4.16) และยังพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวมีปริมาณมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการสะสมตัวของอนุภาคสารบนพื้นผิวไส้กรองและอาจก่อให้เกิดชั้นเค้ก (Cake layer formation) บนไส้กรอง ซึ่งจะเพิ่มแรงต้านทานต่อการกรองให้สูงขึ้น เนื่องจากแรงต้านทานในการกรองจะมาจากทั้งตัวกรองและจากชั้นเค้กที่ก่อตัวขึ้นระหว่างการกรอง (Huang และ Morrissey, 1998) โดยลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยที่สะสมตัวบนพื้นผิวไส้กรองในการทดลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.17



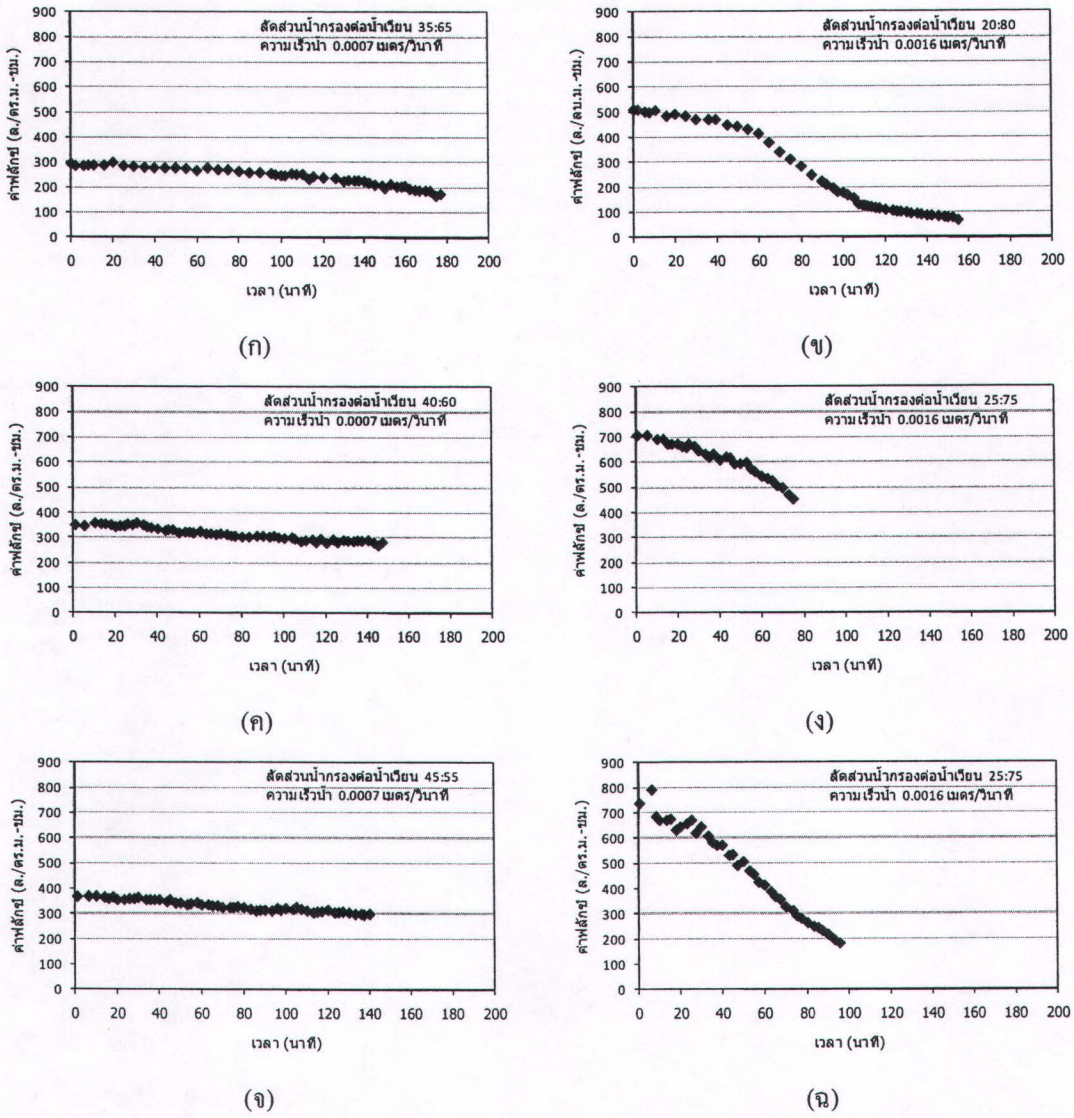
รูปที่ 4.16 รูปถ่ายเปรียบเทียบระหว่างน้ำกรองและน้ำที่มีอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นจากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาว (ซ้าย) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ขวา)



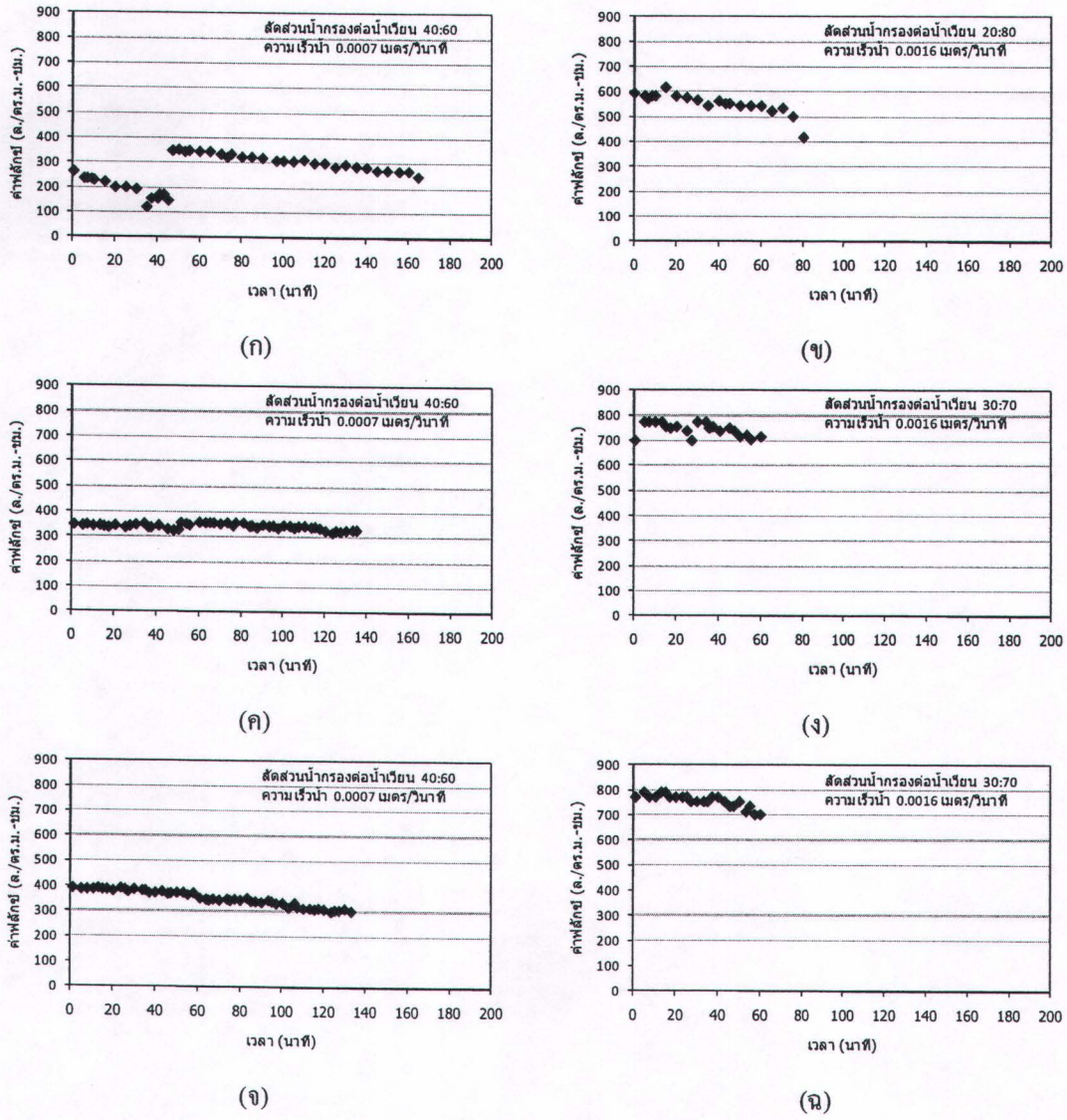
รูปที่ 4.17 รูปถ่ายการสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยบนพื้นผิวไส้กรองในการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาว (บน) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง)

การสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยบนพื้นผิวไส้กรองจากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวจะก่อให้เกิดการสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยขึ้นอย่างหนาแน่น และบีบอัดตัวกันอยู่ระหว่างแผ่นจีบของไส้กรอง ในขณะที่การสะสมตัวของอนุภาคสารแขวนลอยจากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะเกิดขึ้นอย่างเบาบางกว่า และไม่เกิดการบีบอัดกันระหว่างรอยจีบของไส้กรองอย่างที่เกิดขึ้นในกรณีของถังเลี้ยงกุ้งขาว

ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองระหว่างการใช้ความเร็วน้ำเข้าที่ 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที รวมทั้งการทดลองกรองน้ำที่สัดส่วนระหว่างน้ำกรองต่อน้ำเวียนค่าต่างๆ กัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวคือที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 เมตร/วินาที และใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนที่ 40:60 หรือ 45:55 เนื่องจากสัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนทั้ง 2 ค่านี้ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือตรวจพบค่าฟลักซ์ลดลง 19.8 และ 18.3 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งใช้เวลาในการกรอง 147 และ 140 นาที ตามลำดับ ในส่วนของการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่ความเร็วน้ำเข้าเท่ากับ 0.0016 เมตร/วินาที และใช้สัดส่วนน้ำกรองต่อน้ำเวียนเท่ากับ 30:70 เนื่องจากสามารถกรองน้ำได้เร็วกว่าที่ความเร็ว 0.0007 เมตร/วินาที ประมาณหนึ่งเท่าตัว และตรวจพบค่าฟลักซ์ลดลงเพียง 7.4 ถึง 8.7 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งขาว
ในวันที่ 74 (ก และ ข) วันที่ 81 (ค และ ง) และวันที่ 92 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์จากการกรองน้ำในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในวันที่ 75 (ก และ ข) วันที่ 82 (ค และ ง) และวันที่ 93 (จ และ ฉ) ของการเลี้ยงกุ้ง

- *อนุภาคสารแขวนลอยที่แยกได้ในการกรองแบบแบ่งส่วนช่วงที่ 2*

ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่กรองแยกจากถังเลี้ยงกุ้งในช่วงที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพการแยกที่ความเร็วน้ำเข้า 0.0007 และ 0.0016 เมตร/วินาที ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 และ 4.9 โดยพบว่าจากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้งหมด 3 ครั้ง สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกได้ทั้งหมด 34,215.5 มก. ส่วนการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 3 ครั้ง สามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกได้ 22,840 มก. ซึ่งเมื่อรวมกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองในช่วงที่ 1 พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่แยกออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีค่าเท่ากับ 52,470.5 มก. และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่แยกออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะมีค่าเท่ากับ 61,265 มก. จากการกรองทั้งหมดถังละ 6 ครั้ง ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้ง 102 วัน ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกออกจากระบบนี้คือส่วนของของเสียที่จะมีการนำไปทิ้งในภายหลัง โดยเมื่อคิดจากปริมาตรน้ำทั้งหมดที่แยกออกจากถังเพาะเลี้ยงพบว่าได้แยกน้ำออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นปริมาตร 69 ลิตร และแยกน้ำออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นปริมาตร 64 ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำทั้งหมด 500 ลิตรแล้ว ถือว่าอนุภาคสารแขวนลอยเข้มข้นที่ถูกแยกออกไปนี้มีปริมาตรน้อยกว่ามาก นั่นคือไม่ถึง 1 ใน 5 ของปริมาตรน้ำทั้งหมด ดังนั้นเมื่อมองจากปริมาณของเสียที่ต้องแยกทิ้งจากระบบแล้ว จะพบว่าการใช้วิธีกรองอนุภาคสารแขวนลอยจากถังเพาะเลี้ยงด้วยเครื่องกรองแบบแบ่งส่วน จะช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่จะถูกทิ้งจากระบบเพาะเลี้ยงสู่สิ่งแวดล้อมไปได้มาก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวช่วงที่ 2

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5		ครั้งที่ 6	
	ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)					
	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในถังพัก (มก.)	29,500		21,500		9,000	
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	8,100	7,245	5,145	4,180	4,698	4,847.5
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	6.75	7	3	3.5	2.7	3.5
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	27.5	24.6	23.9	19.4	52.2	53.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่แยกได้จากการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำช่วงที่ 2

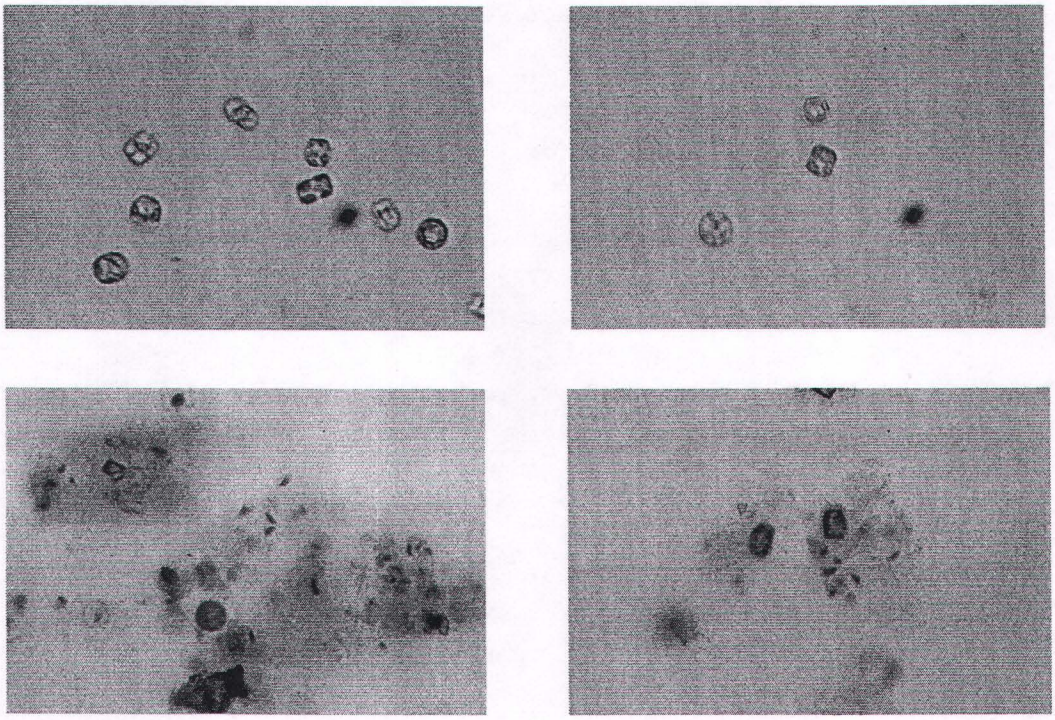
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5		ครั้งที่ 6	
	ความเร็วน้ำ (เมตร/วินาที)					
	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016	0.0007	0.0016
ของแข็งแขวนลอยในระบบ (มก.)	27,500		12,000		11,500	
ของแข็งแขวนลอยที่แยกได้ (มก.)	2,497.5	4,257.5	4,320	2,870	5,025	3,870
ปริมาตรน้ำที่แยกออกจากระบบ (ลิตร)	1.5	6.5	4.5	3.5	2.5	3.0
เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้	9.1	15.5	36.0	23.9	43.7	33.6

4.3.2 รงควัตถุและอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้ง

- *รงควัตถุและจุลสาหร่ายที่พบในถังเลี้ยงกุ้ง*

ผลการตรวจวัดปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำตลอดระยะเวลา 102 วัน พบว่าคลอโรฟิลล์เอในน้ำได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในช่วง 2 ถึง 3 สัปดาห์แรกของการเพาะเลี้ยง ซึ่งลักษณะและปริมาณของจุลสาหร่ายที่พบจะแตกต่างกันไประหว่างถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 21 ของการเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ถัง (ยังไม่มีการกรองเกิดขึ้นในช่วงเวลานี้) คือมีค่าเท่ากับ 783.64 และ 822.48 มก./ลบ.ม. ภายในถังที่กำหนดให้มีการกรองและไม่มีการกรองตามลำดับ ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้ง 2 ถัง พบว่าคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 13 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยมีค่าเท่ากับ 1,814.22 และ 1,890.72 มก./ลบ.ม. ภายในบ่อที่กำหนดให้มีการกรองและไม่มีการกรองตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอหรือจุลสาหร่ายที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวมีปริมาณมากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำถึงหนึ่งเท่าตัว ซึ่งทั้งนี้อาจเกิดจากจุลสาหร่ายที่ติดมากับตัวกุ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยง เนื่องจากกุ้งขาวที่นำมาใช้ในการทดลองนี้นำมาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงแบบบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งเป็นระบบที่เกิดจุลสาหร่ายในน้ำได้มาก จึงอาจทำให้จุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาวเติบโตได้รวดเร็วและมีปริมาณมากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยจุลสาหร่ายที่พบหลังการเพาะเลี้ยง 1 สัปดาห์จากถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นจุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมสีน้ำตาลที่มีลักษณะเซ็นทริก (Centric diatom) ซึ่งเมื่อส่องตัวอย่าง

น้ำด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมองเห็นจุลสาหร่ายเป็นรูปทรงกลม (ด้านบนของเซลล์) และรูปทรงกระบอก (ด้านข้างของเซลล์) ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้พบจุลสาหร่ายชนิดนี้เช่นกัน แต่เป็นการพบหลังผ่านการเพาะเลี้ยงไปเป็นเวลา 1 เดือน นอกจากนี้จุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นยังมีการรวมตัวกันอยู่ในลักษณะเป็นฟล็อก (Floc) โดยฟล็อกที่เกิดในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป จะมาจากส่วนผสมของจุลชีพหลายชนิด เช่น แบคทีเรียเส้นใย รวมทั้งเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอย สารอินทรีย์โพลีเมอร์ ไอออนประจุบวก และเซลล์ที่ตายแล้ว (Jorand และคณะ, 1995) ซึ่งฟล็อกที่พบอาจมีขนาดใหญ่ได้ถึง 1,000 ไมโครเมตร (Schryver และคณะ, 2008) และจากงานวิจัยของ Burford และคณะ (2003) ได้มีการรายงานไว้ว่าแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะรวมกลุ่มอยู่ร่วมกับอนุภาคของฟล็อกมากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งฟล็อกที่มีส่วนผสมของจุลสาหร่ายสีน้ำตาลที่พบในถังเลี้ยงกุ้งแสดงไว้ในรูปที่ 4.20



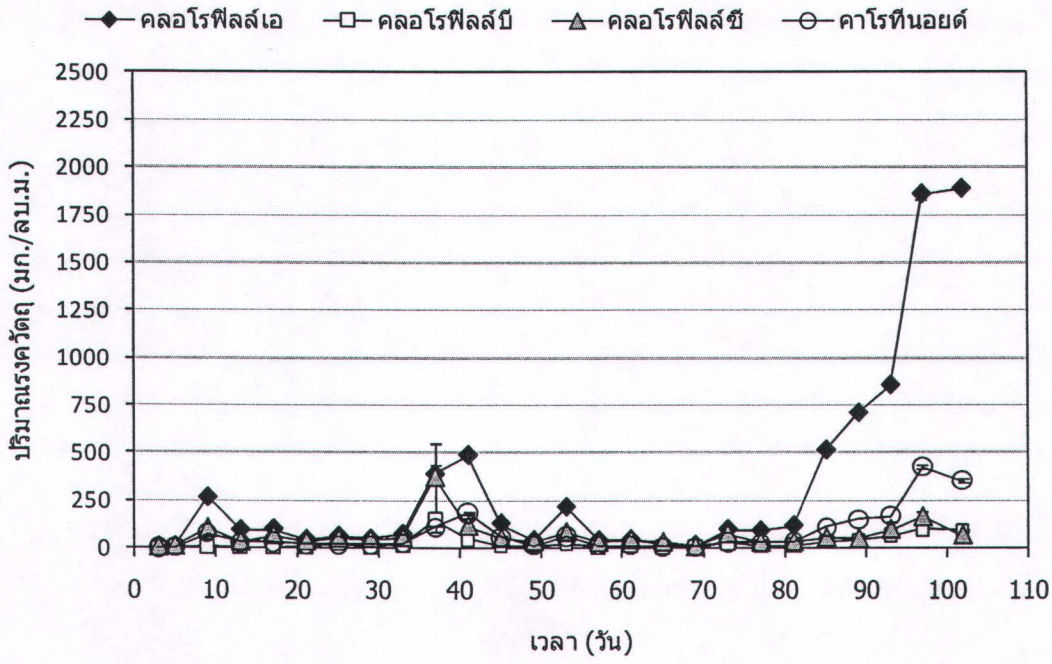
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่พบในถังลี้ยงกุ้งขาว (บน) และฟล็อกที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ล่าง) ในช่วงระยะแรกของการเลี้ยงกุ้ง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

ผลการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในช่วงต้นของการทดลองพบว่าไม่ได้สร้างความแตกต่างระหว่างถังที่มีการกรองและไม่มีการกรองมากนัก ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งพบว่าปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังมีค่าลดต่ำลงหลังจากจุลสาหร่ายเติบโตจนถึงจุดสูงสุด โดยเฉพาะในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะเห็นได้ชัดเจน

ว่าจุลสาหร่ายลดลงต่ำมากทั้งในถังที่ทำการกรองและไม่ทำการกรองในทิศทางเดียวกัน ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบการลดลงของปริมาณรงควัตถุเช่นกัน แต่เกิดขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าถังเลี้ยงกุ้งขาว ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุนี้คาดว่าเกิดจากการตายของจุลสาหร่ายในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทิ้งระยะการกรองในถังเลี้ยงกุ้งขาวหลังทำการกรอง 2 ครั้งในวันที่ 16 และ 19 ของการเลี้ยงกุ้ง พบว่าจะเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและไม่มีการกรอง นั่นคือในถังที่มีการกรองพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 348.85 มก./ลบ.ม. ส่วนถังที่ไม่มีการกรองพบคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 582.15 มก./ลบ.ม. ในวันที่ 37 ของการเลี้ยงกุ้ง ก่อนที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในถังที่ทำการกรองจะลดลงเหลือ 177.72 มก./ลบ.ม. หลังการกรองในวันที่ 41 ในขณะที่ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรองพบคลอโรฟิลล์เอเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ 854.20 มก./ลบ.ม. และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอของถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 381.55 มก./ลบ.ม. ส่วนถังที่ไม่กรองมีค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์เออยู่ที่ 717.17 มก./ลบ.ม. หรือมากกว่าถังที่ทำการกรอง 46.8 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการกรองพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 227.74 มก./ลบ.ม. ในขณะที่ถังที่ไม่ทำการกรองมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเฉลี่ยเท่ากับ 372.37 มก./ลบ.ม. หรือแตกต่างกับถังที่ทำการกรอง 38.8 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในส่วนนี้จะเห็นได้ว่าคลอโรฟิลล์เอหรือจุลสาหร่ายที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งขาวจะมีปริมาณมากกว่าที่เกิดขึ้นในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำประมาณหนึ่งเท่าตัว (เมื่อเปรียบเทียบจากถังที่ไม่ทำการกรอง)

นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการเว้นระยะการกรองในถังเลี้ยงกุ้งขาวเป็นเวลา 32 วัน (ภายหลังการกรองในวันที่ 41) คลอโรฟิลล์เอที่ตรวจวัดได้จากถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองก็ยังคงมีปริมาณน้อยกว่าถังที่ไม่กรอง นั่นคือพบคลอโรฟิลล์เอ 620.97 มก./ลบ.ม. ในถังที่กรอง และพบคลอโรฟิลล์เอ 1,122.95 มก./ลบ.ม. ในถังที่ไม่กรอง (ในวันที่ 73 ของการเลี้ยงกุ้ง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแยกจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งออกไปส่วนหนึ่งจะช่วยลดการเพิ่มจำนวนของจุลสาหร่ายในภายหลังได้มาก ส่วนการกรองเพิ่มอีก 3 ครั้งในช่วงท้ายของการทดลองพบว่าแม้จะได้ดำเนินการกรองอย่างต่อเนื่อง แต่จุลสาหร่ายก็ยังคงเติบโตเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังจะสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอทุกครั้งหลังการกรอง (รูปที่ 4.23) ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นหลังเว้นระยะการกรองเป็นเวลา 22 วัน พบว่าคลอโรฟิลล์เอในถังที่ทำการกรองเพิ่มจำนวนขึ้นไปอยู่ที่ 406.61 มก./ลบ.ม. ซึ่งมากกว่าถังที่ไม่ทำการกรองที่พบคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 339.75 มก./ลบ.ม. แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้งที่ทำการกรองและไม่ทำการกรองนั้นมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยควบคุมจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นตัวกำหนดปริมาณสูงสุดที่จุลสาหร่ายในแต่ละถังเพาะเลี้ยงจะสามารถเติบโตได้ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปนั้นมีการรายงานไว้โดย Boyd และ Tucker (1998) ว่าอยู่ในช่วงตั้ง

แต่ 0 ถึงมากกว่า 500 มก./ลบ.ม. และจากงานวิจัยอื่นๆ เช่น Teichert-Coddington และคณะ (1999) ได้รายงานไว้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 431.2 ถึง 678.3 มก./ลบ.ม. นอกจากนี้ Burford และคณะ (2003) ยังได้รายงานว่าพบคลอโรฟิลล์เอจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวในช่วง 134.29 ถึง 435.10 มก./ลบ.ม. ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ทำการกรองในการทดลองนี้จึงถือได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พบได้ปกติทั่วไป



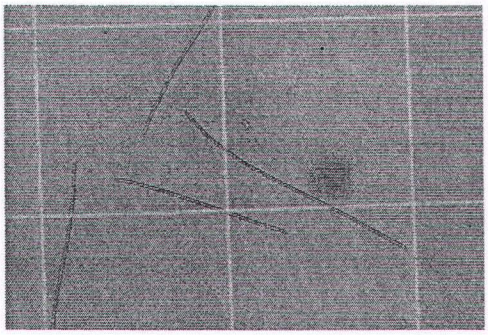
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังควบคุม ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน

ในส่วนของถังควบคุมพบว่าการใส่อาหารกุ้งลงในถังจะทำให้เกิดการสะสมของอาหารที่ก้นบ่อเป็นปริมาณมาก จุลสาหร่ายในระบบจึงใช้เวลานานในการเติบโตเนื่องจากสารอาหารที่สามารถนำไปใช้ได้ยังคงอยู่ในรูปของอาหารเม็ดเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงหลังของการทดลองพบว่าจุลสาหร่ายในถังควบคุมได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 4.21) และในวันสุดท้ายของการทดลองได้ตรวจพบปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่มากกว่าที่พบในถังเลี้ยงกุ้งทุกถัง คือมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 1,891.13 มก./ลบ.ม. โดยจุลสาหร่ายที่พบมีลักษณะเป็นเส้นสีเขียวซึ่งแตกต่างจากที่พบในถังเลี้ยงกุ้งถังอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

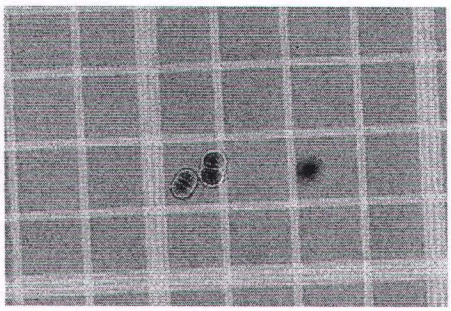
ผลจากการส่องตรวจตัวอย่างน้ำในถังเพาะเลี้ยงด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าจุลสาหร่ายที่พบในแต่ละช่วงเวลามักมีชนิดหนึ่งเป็นชนิดหลัก เช่นจุลสาหร่ายกลุ่มไดอะตอมที่พบในช่วงต้นของการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำ แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลองพบว่าจุลสาหร่าย

ที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวกลับเปลี่ยนเป็นจุลสาหร่ายรูปทรงกลมสีเขียว ทั้งที่มีเมือกหุ้มเกาะติดกันเป็นคู่และที่เป็นเซลล์เดี่ยว ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบจุลสาหร่ายสีเขียวรูปทรงกลมเช่นกัน แต่จากการส่องตัวอย่างน้ำดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ทำให้พบว่าจุลสาหร่ายที่อยู่แยกเป็นเซลล์เดี่ยวมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในช่วงแรกของการเลี้ยงกุ้งมาก เนื่องจากจุลสาหร่ายส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นฟล็อกร่วมกับจุลสาหร่ายอื่นๆ รวมทั้งแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ซึ่งการอยู่ร่วมกันของจุลสาหร่ายและแบคทีเรียนี้จะเป็นไปในลักษณะของการเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน คือจุลสาหร่ายจะผลิตออกซิเจนให้กับแบคทีเรียเพื่อให้แบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และในขณะเดียวกันจุลสาหร่ายก็จะนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจของแบคทีเรียมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการที่เกิดขึ้นจึงเป็นการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนระหว่างจุลสาหร่ายและแบคทีเรีย (Munoz และ Guieysse, 2006)

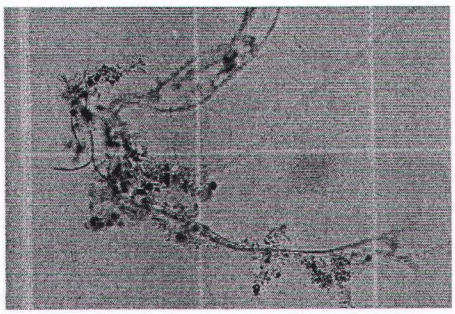
ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง พบว่าจุลสาหร่ายในน้ำในช่วงหลังของการทดลองจะอยู่ในลักษณะของฟล็อกขนาดใหญ่ (ดังแสดงในรูปที่ 4.22) และพบแบคทีเรียเส้นใยเกาะกลุ่มอยู่ร่วมกับจุลสาหร่ายเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เป็นเพราะถังเลี้ยงกุ้งทั้ง 2 ถังไม่ได้มีการกรองและไม่มีการบำบัดด้วยวิธีใดๆ เลยตลอดการทดลอง จึงทำให้เกิดฟล็อกจากแบคทีเรียที่เติบโตขึ้นจากของเสียในน้ำเป็นปริมาณมาก ในส่วนของถังที่มีการกรองแม้จะพบฟล็อกเช่นกัน แต่ก็เป็นปริมาณที่น้อยกว่าเนื่องจากอนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้ได้ถูกกรองออกไปด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนแล้วจำนวนหนึ่ง จึงช่วยลดจำนวนฟล็อกส่วนเกินในระบบไปได้มาก



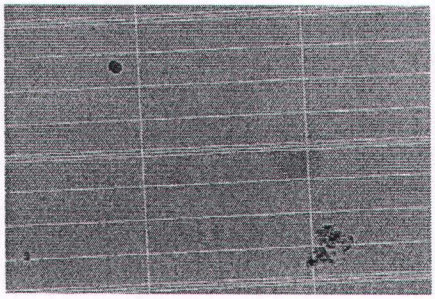
จุลสาหร่ายที่พบในถังควบคุม



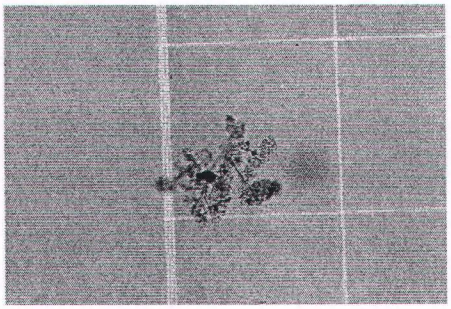
จุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง



ฟล็อกในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง

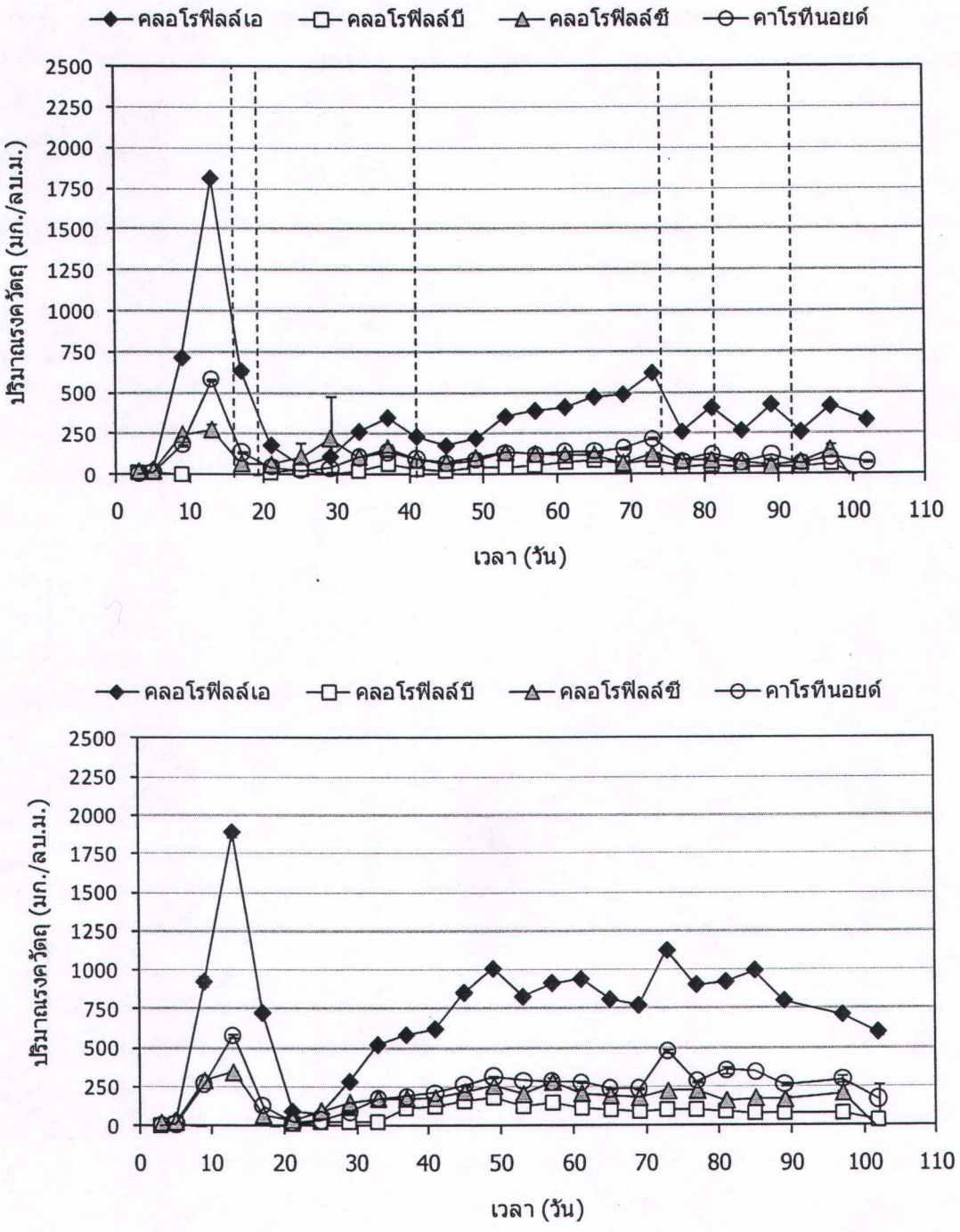


จุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง

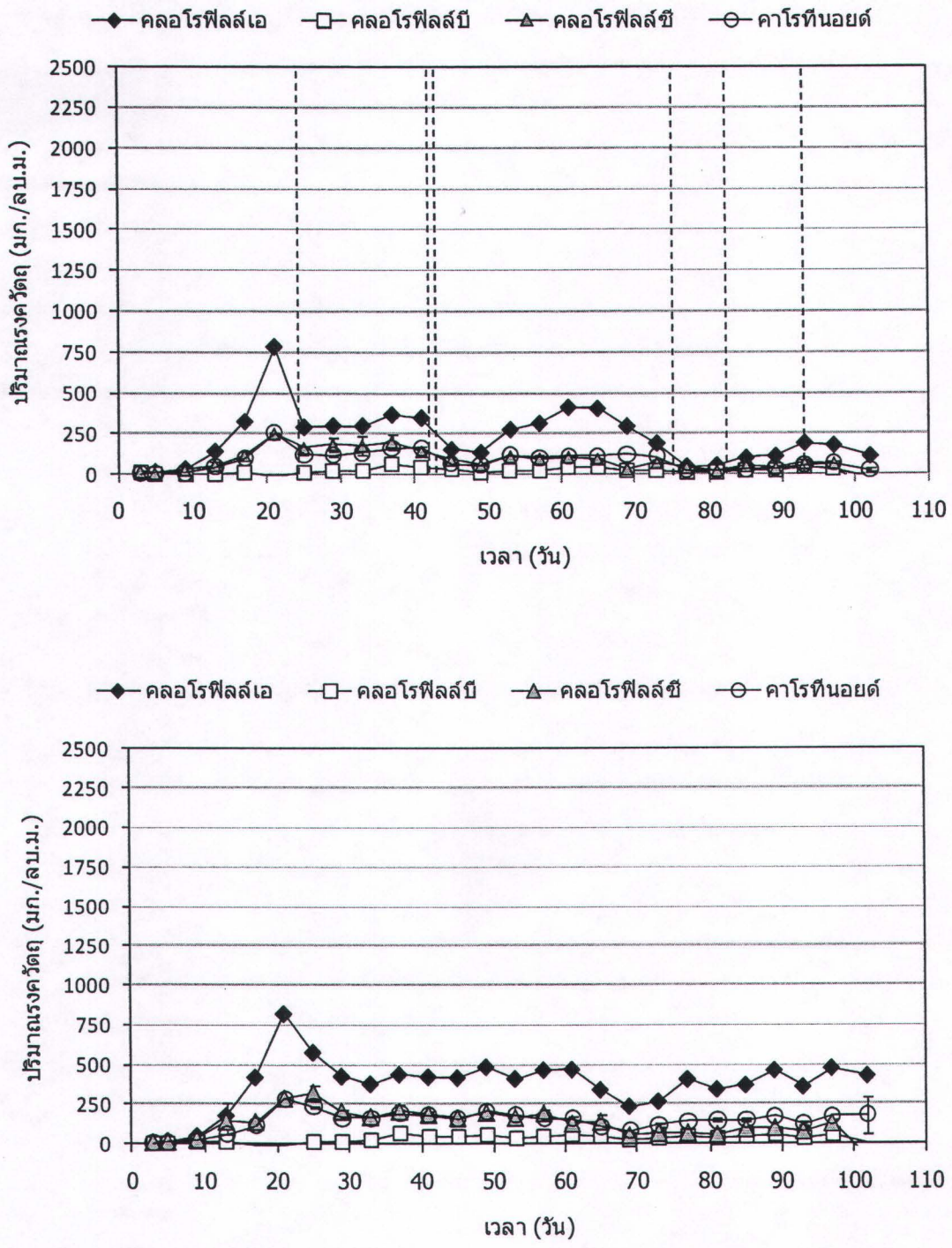


ฟล็อกในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง

รูปที่ 4.22 รูปถ่ายจุลสาหร่ายที่พบในถังเพาะเลี้ยงในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลอง เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



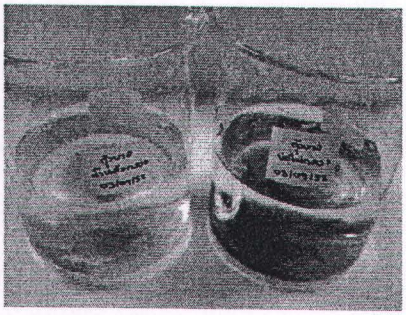
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณรงควัตถุในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง

- *อนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้ง*

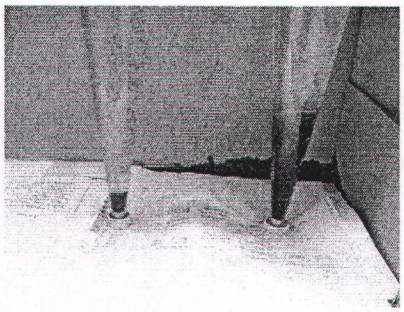
ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าถังเพาะเลี้ยงที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากที่สุดในวันสุดท้ายของการทดลองคือถังควบคุม โดยพบอยู่ที่ 410.0 มก./ลิตร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของของแข็งแขวนลอยในถังควบคุมนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์เอในช่วงเวลาเดียวกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.26) จึงกล่าวได้ว่าจุลสาหร่ายเป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิดสารแขวนลอยขึ้นในถังควบคุม ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งขาวพบว่าการกรองในช่วงที่ 1 (วันที่ 16 19 และ 41) ยังไม่สามารถสร้างความแตกต่างระหว่างถังที่กรองและไม่กรองได้มากนัก แต่เมื่อทำการกรองในช่วงที่ 2 (วันที่ 74 81 และ 92) พบว่าของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีปริมาณน้อยลงกว่าถังที่ไม่กรองอย่างเห็นได้ชัด (ดังแสดงในรูปที่ 4.27) โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าเท่ากับ 115.0 มก./ลิตร ในวันสุดท้ายของการเลี้ยงกุ้ง ในขณะที่ถังที่ไม่กรองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 375.0 มก./ลิตร หรือมากกว่าถังกรอง 69.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้นพบว่าระบบกรองแบบแบ่งส่วนสามารถแยกอนุภาคสารแขวนลอยเหล่านี้ออกได้ดีตั้งแต่ช่วงแรกของการทดลอง คือพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดทุกครั้งหลังทำการกรอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากลักษณะของอนุภาคสารแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่กรองแยกได้ง่ายกว่าอนุภาคที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาว เนื่องจากมีลักษณะเป็นฟล็อกเกาะกันเป็นกลุ่ม ซึ่งในวันสุดท้ายของการเลี้ยงกุ้งพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่กรองมีค่าเท่ากับ 100.0 มก./ลิตร ส่วนในถังที่ไม่กรองมีค่าเท่ากับ 300.0 มก./ลิตร หรือมากกว่าถังที่กรอง 66.7 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่าการกรองด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนสามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกไปได้มากและสามารถนำมาใช้รักษาระดับของอนุภาคสารแขวนลอยให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่ง Timmons และคณะ (2002) ได้มีการแนะนำเอาไว้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีค่าเกิน 80 มก./ลิตร ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าหลังการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวแบบแบ่งส่วนในวันที่ 81 และ 92 ของการเลี้ยงกุ้ง สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงเหลือ 56.7 และ 76.7 มก./ลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวสามารถเพิ่มจำนวนไปอยู่ที่ประมาณ 100 มก./ลิตรได้ภายในเวลา 4 ถึง 6 วัน ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่าหลังการกรองของแข็งแขวนลอยในวันที่ 82 และวันที่ 93 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงเหลือ 36.7 และ 50.0 มก./ลิตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะใช้เวลาประมาณ 6 ถึง 10 วันในการเพิ่มปริมาณให้เท่ากับ 100 มก./ลิตร ซึ่งการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยที่จะเกิดขึ้นในระบบนี้จะช่วยให้สามารถวางแผนการกรองได้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวในชุดการทดลองนี้ควรทำทุกๆ 4 วัน และการกรองถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีการทำทุกๆ 6 วัน เพื่อให้อนุภาคสารแขวนลอยในระบบมีค่าอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนดอยู่เสมอ ซึ่งกำหนดการกรองนี้

จะแตกต่างกันไปตามระบบเพาะเลี้ยงแต่ละระบบ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเกิดอนุภาคสารและลักษณะของของแข็งแขวนลอยในระบบนั้นๆ นอกจากนี้จากผลการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นในประเทศไทยโดย Dierberg และ Kiattisimkul (1996) พบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ตรวจพบมีค่าตั้งแต่ 92 จนถึง 797 มก./ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของแข็งแขวนลอยที่พบในถังเลี้ยงกุ้งหลังทำการกรองในงานวิจัยนี้มีปริมาณที่ต่ำกว่านั้นมาก

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (SV 30) ในวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าตัวอย่างน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองมีปริมาตรตะกอนที่ 30 นาทีเท่ากับ 2 มล./ลิตร ในถังที่ไม่มีการกรองพบปริมาตรตะกอนเท่ากับ 45 มล./ลิตร ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่ามีปริมาตรตะกอนอยู่ที่ 4 มล./ลิตร สำหรับถังที่มีการกรองและ 25 มล./ลิตร สำหรับถังที่ไม่มีการกรอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่มีในแต่ละถังเพาะเลี้ยงดังได้กล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนี้ผลการวัดปริมาตรตะกอนยังแสดงให้เห็นว่ามีตะกอนในถังเลี้ยงกุ้งขาวมากกว่าในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอนุภาคที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นเช่นนี้มักมีสัดส่วนของจุลสาหร่ายอยู่สูงกว่าสัดส่วนของแบคทีเรีย (Hargreaves, 2006) ดังนั้นการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำจึงเป็นการแยกจุลสาหร่ายส่วนใหญ่ออกไปจากระบบด้วยเช่นกัน

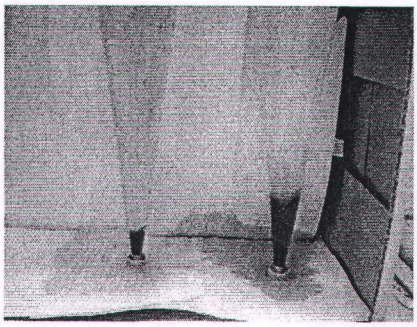


น้ำตัวอย่างจากถังเลี้ยงกุ้งขาว



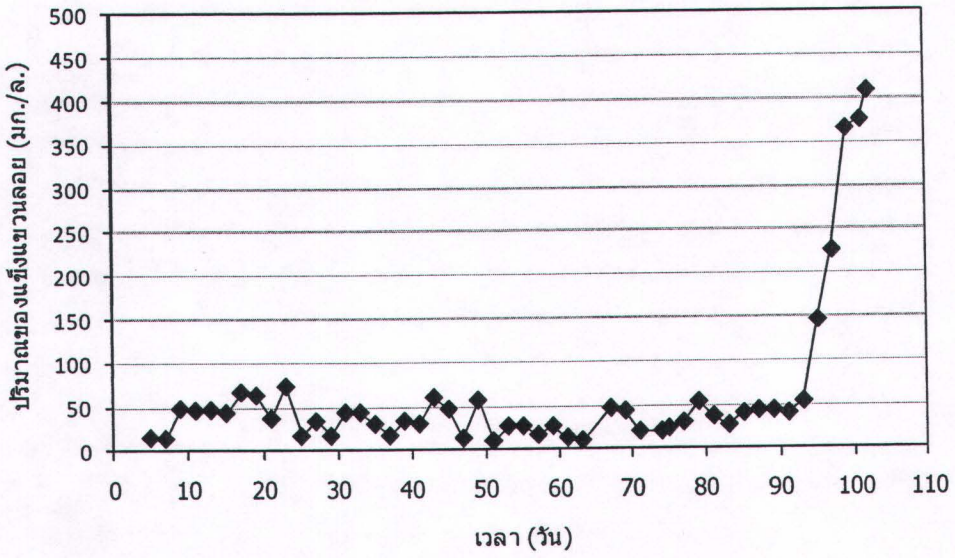
การวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้งขาว

น้ำตัวอย่างจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ



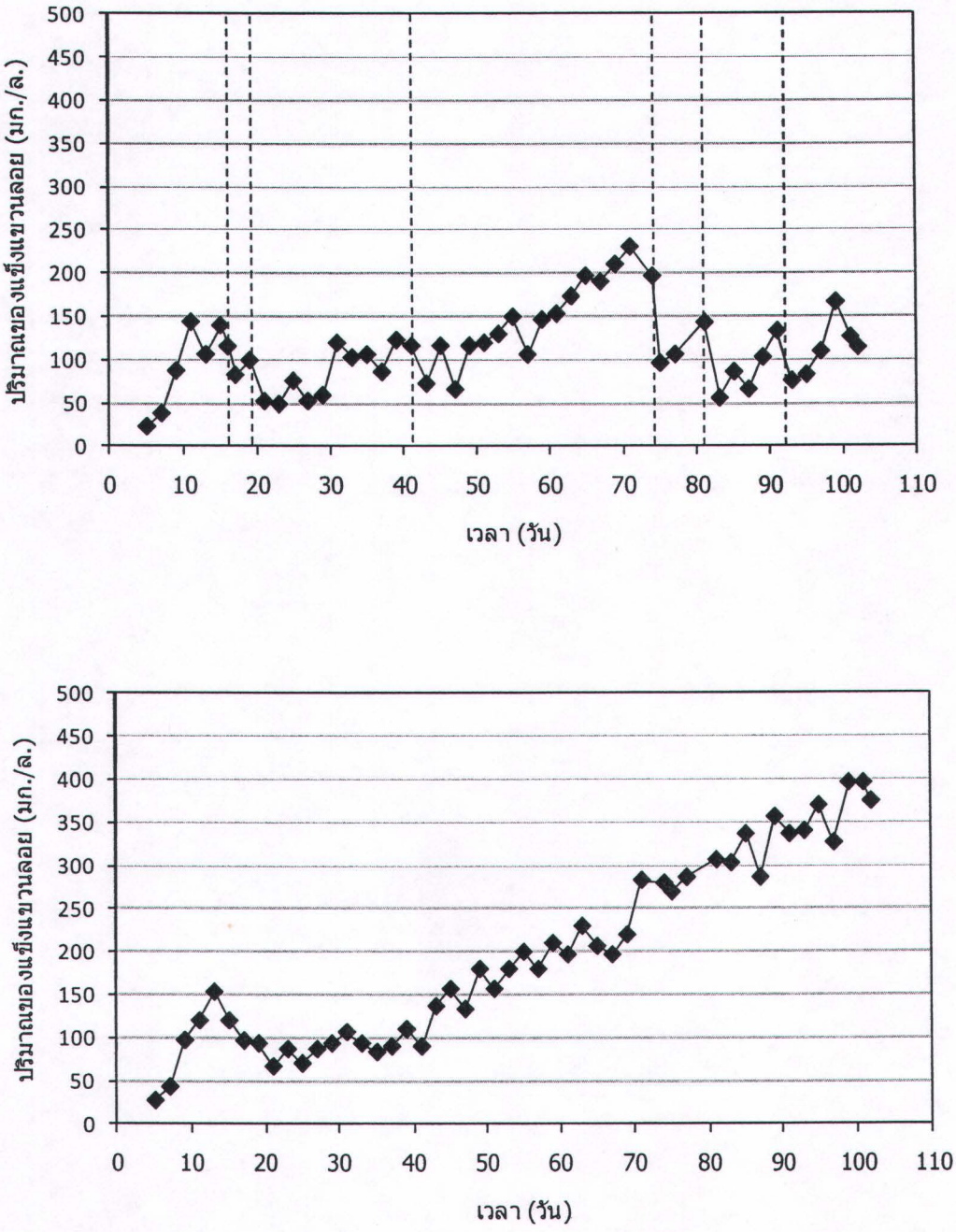
การวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

รูปที่ 4.25 รูปถ่ายเปรียบเทียบน้ำจากถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและถังเพาะเลี้ยงที่ไม่มีการกรอง (ซ้าย) และการวัดปริมาตรตะกอนจากถังเลี้ยงกุ้ง (ขวา)

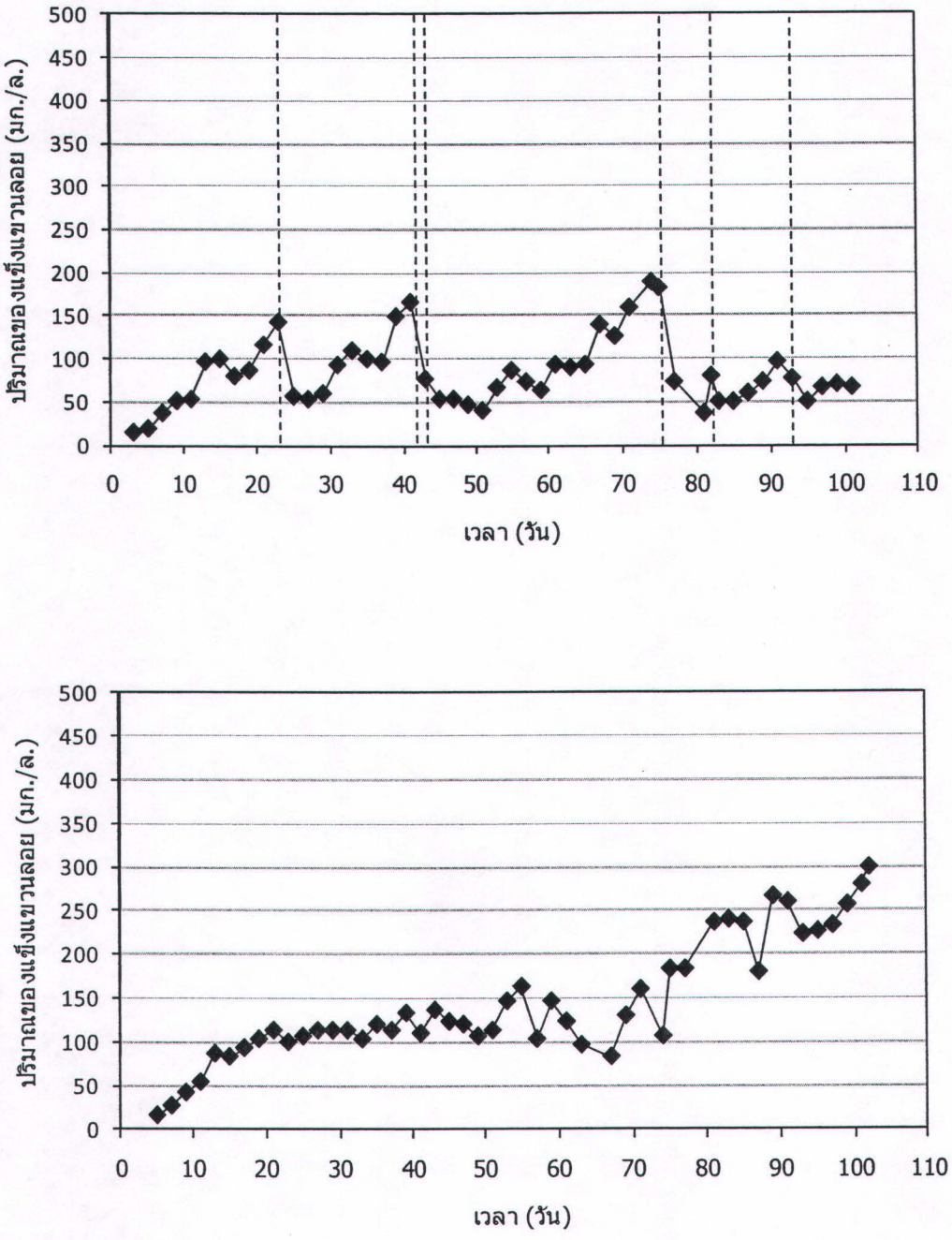


รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังควบคุม
ตลอดระยะเวลาเพาะเลี้ยง 102 วัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการกรองน้ำจากถังเลี้ยงกุ้งจะพบว่าสามารถแยกทั้งจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกจากน้ำได้ดี ทำให้ทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์เอและของแข็งแขวนลอยที่พบมีปริมาณน้อยกว่าในถังที่ไม่มีการกรองอย่างเห็นได้ชัด (หลังทำการกรองทั้งสิ้น 6 ครั้ง ในระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งทั้งหมด 102 วัน) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับกระบวนการตกตะกอนในงานวิจัยของ Teichert-Coddington และคณะ (1999) จะพบว่าแม้กระบวนการตกตะกอนจะสามารถแยกของแข็งแขวนลอยออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดี คือแยกตะกอนได้เท่ากับ 1,285 กก. จากปริมาตรน้ำทั้งหมด 10,000 ลบ.ม. แต่ก็พบว่า 68 เปอร์เซ็นต์ของของแข็งแขวนลอยที่แยกได้นี้คือสารอนินทรีย์ เนื่องจากบ่อเพาะลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยที่กล่าวถึงนี้เป็นแบบบ่อดินกลางแจ้ง จึงมีสารอนินทรีย์ในระบบมาก ในขณะที่จุลสาหร่าย แบคทีเรีย และอนุภาคสารอินทรีย์อื่นๆ ในน้ำนั้นไม่สามารถตกตะกอนได้โดยง่าย เพราะสามารถลอยตัวตามธรรมชาติหรือมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำทะเล (Funge-Smith และ Briggs, 1998) ดังนั้นการนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้งานร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์น้ำเค็ม จึงเป็นสิ่งที่สามารถทำได้และสามารถนำมาใช้แยกสารอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไร้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำหนดความถี่ที่ต้องทำการกรองได้จากอัตราการเพิ่มจำนวนของคลอโรฟิลล์เอและอนุภาคสารแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยง เพื่อรักษาปริมาณจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำให้มีอยู่ในระดับที่เหมาะสม และเพื่อรักษาสภาพน้ำในระบบให้มีคุณภาพดีอยู่เสมอ



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง

4.3.3 คุณภาพน้ำในถังเพาะเลี้ยง

การทดลองในช่วงนี้แบ่งถังเพาะเลี้ยงออกเป็น 5 ชุด ได้แก่ ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายที่ไม่มีการกรอง (ชุดควบคุม) ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง ถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง และถังเลี้ยงจุลสาหร่ายร่วมกับกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง ทำการทดลองต่อเนื่องโดยเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 102 วัน และตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ค่าความเป็นด่าง และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งพบว่าได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงกุ้งที่ได้ทำการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 102 วัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าสูงสุด – ค่าต่ำสุด)				
	ถังควบคุม	ถังเลี้ยงกุ้งขาว (กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งขาว (ไม่กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (กรอง)	ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ไม่กรอง)
ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ลิตร)	6.35±0.22 (6.64-6.00)	6.30±0.25 (6.61-5.98)	6.14±0.36 (6.61-5.62)	6.17±0.15 (6.39-6.04)	6.01±0.25 (6.49-5.68)
ความเป็นด่าง (มก./ลิตร)	107.50±23.63 (140-90)	110.00±24.49 (140-90)	110.00±18.36 (130-90)	116.67±15.28 (130-100)	116.67±5.77 (120-110)
อุณหภูมิ (°ซ)	30.04±1.34 (31.80-28.10)	29.99±1.30 (31.80-28.10)	30.56±1.25 (32.30-28.60)	29.93±1.14 (31.50-28.10)	30.11±1.27 (31.70-28.30)

- *ออกซิเจนละลาย*

ปริมาณออกซิเจนละลายในถังเลี้ยงกุ้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การกินอาหาร และสุขภาพของกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น มีค่าต่ำกว่า 2.50 มก./ลิตร จะทำให้กุ้งเริ่มเกิดการตาย ส่วนค่าออกซิเจนละลายที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งคือตั้งแต่ 3.60 ถึง 5.00 มก./ลิตร ส่วนการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในการทดลองนี้พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในแต่ละถังจะอยู่ในช่วง 5.62 ถึง 6.64 มก./ลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายในถังเลี้ยงกุ้งจึงถือได้ว่ามีอย่างเพียงพอ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ซึ่งออกซิเจนในน้ำส่วนหนึ่งจะมาจากการเติมอากาศผ่านหัวทรายลงในถัง และอีกส่วนหนึ่งจะมาจากการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายในน้ำ อย่างไรก็ตามหากในน้ำมีจุลสาหร่ายความหนาแน่นสูงจำนวนจุลสาหร่ายที่มากเกินไปก็อาจทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำในช่วงเช้ามืด เนื่องจากใน

เวลากลางคืนจุลสาหร่ายต้องใช้ออกซิเจนละลายเพื่อการหายใจ เมื่อมีแสงสว่างจุลสาหร่ายจึงจะทำการสังเคราะห์แสงเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำมากขึ้น แต่เนื่องจากในการเพาะเลี้ยงนี้มีการให้อากาศด้วยเครื่องให้อากาศอย่างเพียงพอตลอดเวลา จึงไม่พบปัญหาดังกล่าว

- *ความเป็นด่าง (Alkalinity)*

ค่าความเป็นด่างในถังเพาะเลี้ยงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง เนื่องจากคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของความเป็นด่างเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการลอกคราบของกุ้งและสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง (Wurts, 2002) โดยค่าความเป็นด่างเฉลี่ยในการทดลองนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 107 ถึง 116 มก./ลิตร และค่าที่พบต่ำสุดในถังเลี้ยงกุ้งระหว่างทำการทดลองคือเท่ากับ 90 มก./ลิตร ซึ่งโดยทั่วไปความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำคือไม่ต่ำกว่า 100 มก./ลิตร (Hart และ O'sullivan, 1993) โดยในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง เมื่อมีการตรวจพบค่าความเป็นด่างของน้ำที่ต่ำกว่า 100 มก./ลิตร จะทำการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไปในถังเลี้ยงกุ้งเพื่อรักษาความเป็นด่างให้สูงกว่า 100 มก./ลิตร ตลอดช่วงเวลาการทดลอง เพื่อให้กุ้งขาวและกุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ

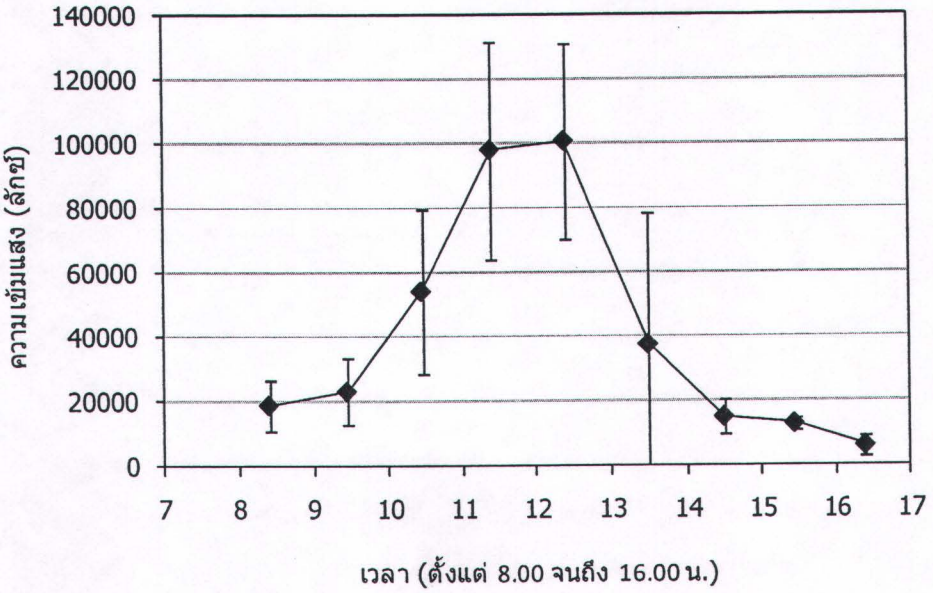
- *อุณหภูมิ*

อุณหภูมิของน้ำโดยทั่วไปจะมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศ และเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ จุลสาหร่าย และต่อการละลายของออกซิเจน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำคือตั้งแต่ 25 ถึง 33 °ซ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้กุ้งเกิดการงอตัว ส่วนอุณหภูมิที่ลดลงต่ำกว่า 18 °ซ จะทำให้กุ้งไม่ว่ายน้ำและหยุดการกินอาหาร และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 14 °ซ จะทำให้กุ้งตายได้ (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552) ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิในถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำในการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิของน้ำจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 28 ถึง 32 °ซ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมทั้งต่อการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำ (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

- *ปริมาณแสงสว่าง*

จากผลการวัดแสงสว่างในบริเวณที่ทำการทดลองเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงตลอดช่วงเวลากลางวัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.29 โดยพบว่าความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 ถึง 13.00 น. คือมีปริมาณตั้งแต่ 101,100 ลักซ์ ไปจนถึง 119,400 ลักซ์ จากนั้นจึงจะลดต่ำลงจนเหลือประมาณ 1,700 ถึง 9,300 ลักซ์ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 16.00 น. เป็นต้นไป

อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มแสงในช่วงเวลากลางวันมีความผันแปรค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน (ในการทดลองได้เริ่มทำการเลี้ยงกุ้งตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายนจนถึงปลายเดือนกันยายน) ในบางวันจึงพบความเข้มแสงต่ำแม้ในช่วงเที่ยงวัน (49,300 ลักซ์) แต่โดยปกติแล้วในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงสูงอยู่เสมอ และจุลสาหร่ายที่ตรวจพบในถังเพาะเลี้ยงทุกถังก็มีปริมาณมากตลอดการทดลอง ดังนั้นปริมาณของแสงสว่างจึงไม่ใช่ปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของจุลสาหร่ายในการทดลองนี้



รูปที่ 4.29 ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงกลางวันระหว่างการทดลองเลี้ยงกุ้ง

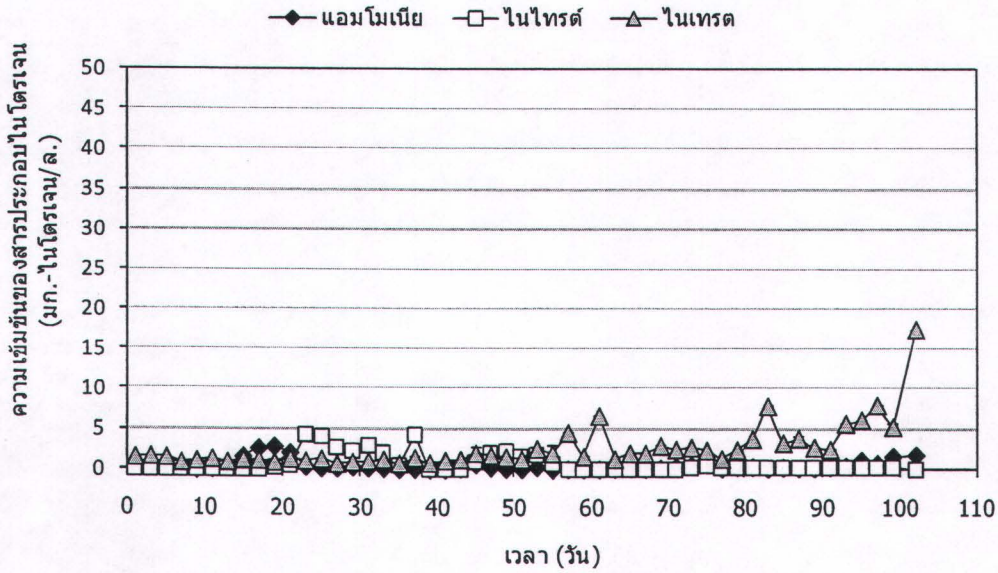
- *สารประกอบไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง*

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนต่างๆ ทั้งความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรตในถังควบคุมเปรียบเทียบกับถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองและไม่มีการกรอง พบว่ามีรายละเอียดแยกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

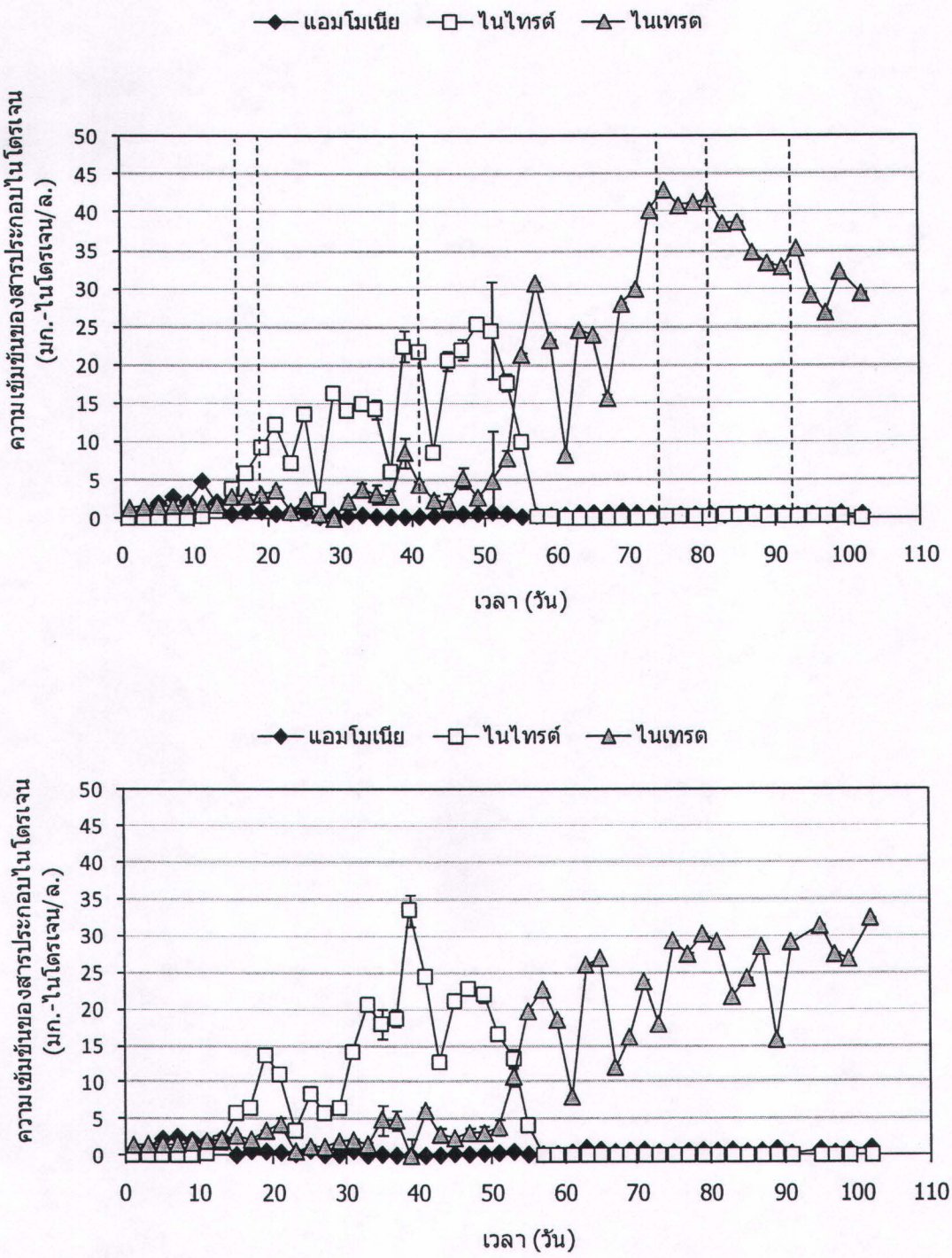
1) แอมโมเนีย

การตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม (Total ammonia nitrogen: TAN) ในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองและไม่มีการกรอง ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง 102 วัน แสดงผลดังรูปที่ 4.31 โดยพบว่าแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 4.891 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 11 ของการเลี้ยงกุ้ง (ยังไม่มีการกรองเกิดขึ้น) ส่วนถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำ

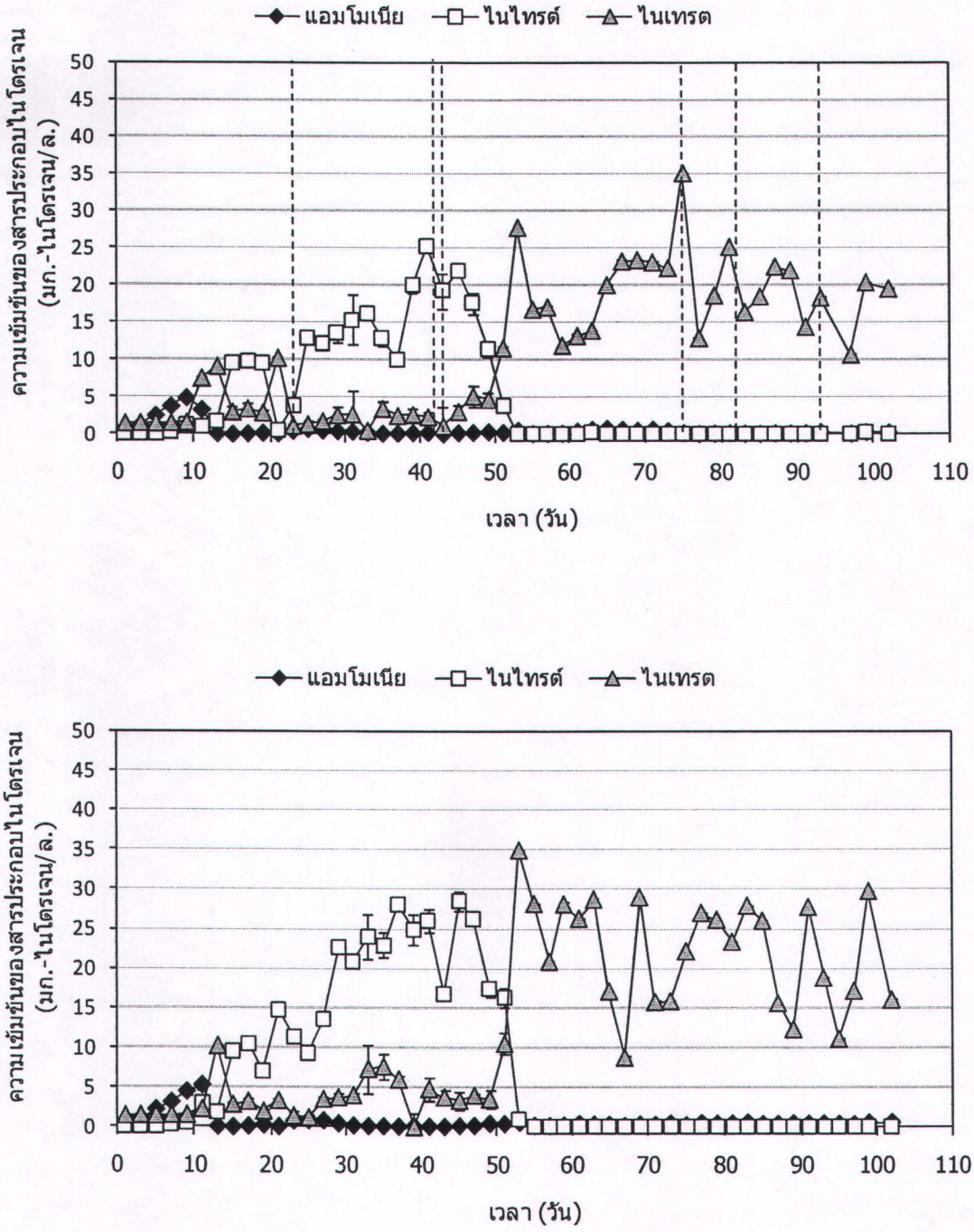
การกรองพบแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 2.605 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในช่วงเวลาเดียวกัน จะพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าลดลงเมื่อคลอโรฟิลล์เอเพิ่มจำนวนขึ้นถึงจุดสูงสุด (ในวันที่ 13 ของการเลี้ยงกุ้ง) คือตรวจวัดแอมโมเนียได้เท่ากับ 2.069 และ 0.482 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 13 และ 15 ตามลำดับ และเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกันในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่ทำการกรอง ซึ่งการลดลงของแอมโมเนียทันทีที่พบการเติบโตของจุลสาหร่ายนี้สอดคล้องกับผลการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายตามธรรมชาติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 หลังจากนั้นจึงพบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.665±0.802 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดการเพาะเลี้ยง ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งขาวไม่กรองมีแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.673±0.605 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งขาวทั้ง 2 ถังนี้ยังคงมีค่าต่ำกว่า 1 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงจัดว่ายังคงอยู่ในช่วงที่ไม่สูงเกินไป (Boyd และ Tucker, 1998) ในส่วนของถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองพบความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดอยู่ที่ 4.974 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง (รูปที่ 4.32) และมีความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.585±0.979 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ส่วนถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำไม่กรองพบความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 5.244 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 11 ของการเลี้ยงกุ้ง และตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียตลอดการเพาะเลี้ยงได้เท่ากับ 0.625±1.003 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร โดยพบว่าปริมาณแอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าลดลงเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มเพิ่มจำนวนมากขึ้นเช่นเดียวกับในถังเลี้ยงกุ้งขาว แสดงให้เห็นถึงการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเติบโตของจุลสาหร่ายซึ่งเป็นหนึ่งในวัฏจักรไนโตรเจนที่มีความสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังควบคุม ตลอดการเพาะเลี้ยง 102 วัน



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง (บน) และถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง (ล่าง) ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน โดยเส้นประแสดงวันที่ทำการกรอง

เนื่องจากการศึกษานี้เน้นการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่าย ซึ่งเมื่อแยกจุลสาหร่ายออกจากน้ำโดยการกรองก็จะเป็นการกำจัดแอมโมเนียออกไปจากระบบ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่ายและไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่พบตามธรรมชาติในน้ำจากการทดลองนี้กับผลการบำบัดแอมโมเนียจากตัวกรองชีวภาพที่ผ่านการตรึงหัวเชื้อในงานวิจัยของมนวิ กานต์ ขจรบุญ (2551) จะพบว่าถังเลี้ยงกุ้งที่มีตัวกรองชีวภาพสามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงจนมีค่าเฉลี่ยในน้ำเท่ากับ 0.25±0.45 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ภายในระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งขาว 90 วัน ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีตัวกรองชีวภาพให้ยึดเกาะ จึงสามารถเติบโตเพิ่มจำนวนและบำบัดแอมโมเนียผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในขณะเดียวกันในรายงานการวิจัยของ Burford และคณะ (2003) ก็ได้มีการกล่าวถึงการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (จุลสาหร่าย) และแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาว โดยการศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในสภาวะที่มีแสงและไร้แสงในงานวิจัยนี้ทำให้พบว่าทั้งแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียต่างมีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำ คือเกิดการบำบัดแอมโมเนีย 84.72 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. ในสภาวะมีแสง (จุลสาหร่ายสังเคราะห์แสงและใช้แอมโมเนียในกิจกรรมของเซลล์) และ 40.54 ไมโครกรัม/ลิตร-ชม. ในสภาวะที่ไร้แสง หลังการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวเป็นเวลา 55 ถึง 75 วัน อย่างไรก็ตาม การใส่ตัวกรองชีวภาพลงในถังเลี้ยงกุ้งเพื่อให้แบคทีเรียมีแหล่งยึดเกาะน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดแอมโมเนียในระบบได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์แอมโมเนียในการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าจุลสาหร่ายและแบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ตามธรรมชาติ ยังไม่สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียให้มีค่าต่ำกว่า 0.5 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร การลดปริมาณแอมโมเนียจากการเลี้ยงกุ้งจึงทำได้เพียงการลดความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยงลงจากเดิม

สำหรับผลการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในระบบ พบว่าปริมาณแอมโมเนียในถังกรองและไม่กรองของถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำไม่ได้มีความแตกต่างกัน และไม่มีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียอย่างเห็นได้ชัดในระหว่างการเพาะเลี้ยงในแต่ละถัง เนื่องจากจุลสาหร่ายในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ในสภาวะของการเปลี่ยนแปลงเสมอ คือมีการตายและมีการเพิ่มจำนวนอยู่ตลอดเวลา และจุลสาหร่ายชนิดหลักที่จะพบในน้ำก็สามารถเปลี่ยนไปได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่วัน (Burford และคณะ, 2003) อย่างไรก็ตาม ผลการกรองจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยจากถังเลี้ยงกุ้งด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วนแสดงให้เห็นว่า แม้การกรองจะทำให้อนุภาคสารแขวนลอยในน้ำลดปริมาณลงได้อย่างชัดเจน (รูปที่ 4.27 และ 4.28) แต่ก็ไม่ได้ทำให้แอมโมเนียในถังเลี้ยงกุ้งที่มีการกรองลดลงกว่าถังที่ไม่มีการกรองแต่อย่างใด

2) ไนไทรต์

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนไทรต์ในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน พบว่าปริมาณไนไทรต์เพิ่มสูงขึ้นมากในช่วงวันที่ 15 ถึงวันที่ 55 ของการเลี้ยงกุ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 4.31) โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 25.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 49 ซึ่งถือเป็นความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Hargreaves, 1998) และไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งควรมีความเข้มข้นของไนไทรต์ไม่เกิน 1.0 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2535) แม้จะได้มีการกรองอนุภาคสารแขวนลอยออกจากถังเลี้ยงกุ้งขาวในวันที่ 16 และ 19 ของการเพาะเลี้ยงก็ไม่พบการลดลงของไนไทรต์หลังทำการกรอง แต่หลังการกรองถังเลี้ยงกุ้งขาวในวันที่ 41 พบว่ามีการลดลงของไนไทรต์จากความเข้มข้น 21.8 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เหลือ 8.5 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อแยกอนุภาคของแข็งออกไป 61.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดในถังพัก ซึ่งสูงกว่าการกรองในวันที่ 16 และ 19 (แยกของแข็งแขวนลอยได้ 22.7 และ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณไนไทรต์ได้เพิ่มกลับมาอยู่ที่ 20.7 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 45 ของการเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ยังพบการเพิ่มปริมาณของไนไทรต์ในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรองในช่วงระยะเวลาเดียวกัน คือตั้งแต่วันที่ 13 ถึง 55 ของการเลี้ยงกุ้ง โดยพบความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 33.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 39 ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นสูงสุดของบ่อที่กรองอยู่ 24.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองพบว่าไนไทรต์เพิ่มปริมาณสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 9 ถึงวันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 4.32) และพบความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่ 25.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 41 ส่วนในถังที่ไม่กรองพบว่าไนไทรต์เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 11 ถึงวันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 28.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 45 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไนไทรต์ในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณของไนตริฟายอิงแบคทีเรียกลุ่มออกซิไดส์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria: AOB) เช่น *Nitrosomonas* sp. ที่เปลี่ยนรูปของแอมโมเนียในน้ำให้เป็นไนไทรต์ ทำให้ความเข้มข้นของไนไทรต์ในน้ำเพิ่มสูงขึ้นมาก ก่อนที่ไนไทรต์จะลดปริมาณลงเมื่อแบคทีเรียกลุ่มออกซิไดซ์ไนไทรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria: NOB) เช่น *Nitrobacter* sp. เติบโตขึ้นและเปลี่ยนไนไทรต์ในน้ำให้กลายเป็นไนเทรตในช่วงหลังจากวันที่ 50 ของการเลี้ยงกุ้งไปแล้ว ทำให้ไนไทรต์ในทุกถังลดลงต่ำกว่า 1.0 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ไปจนจบการเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไนเทรตเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่พบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับในงานวิจัยของมนวิกานต์ ขจรบุญ (2551) อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ตัวกรองชีวภาพจะช่วยร่นระยะเวลาการสะสมของไนไทรต์ (งานวิจัยนี้พบไนไทรต์สะสมในช่วงวันที่ 8 ถึงวันที่ 22 ของการเลี้ยงกุ้ง) และไนไทรต์ที่สะสมก็มีปริมาณต่ำกว่าในการทดลองนี้มาก คือสะสมอยู่ในช่วง 1.40 ถึง 5.33 มก.ไนโตรเจน/ลิตร และเนื่องจากจุลสาหร่ายในถังเพาะเลี้ยงจะเลือกใช้แอมโมเนีย

มากกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ ยกเว้นเมื่อแอมโมเนียในน้ำลดลงต่ำกว่า 0.03 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงจะเกิดการสะสมไนเทรตเข้าสู่เซลล์ในปริมาณมาก (Hargreaves, 1998) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดหาแหล่งยึดเกาะให้กับไนตริฟายอิงแบคทีเรียร่วมกับการแยกจุลสาหร่ายที่เติบโตในถังเลี้ยงกุ้งหลังเกิดการนำสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์แล้ว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำให้ดียิ่งขึ้น

3) ไนเทรต

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของไนเทรตตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 102 วัน แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของไนเทรตในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรองตั้งแต่วันที่ 55 เป็นต้นไป (ดังแสดงในรูปที่ 4.31) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณไนไทรต์ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยตรวจพบว่าไนเทรตมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 42.9 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 75 ของการเลี้ยงกุ้ง ส่วนถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรองพบการสะสมตัวของไนเทรตตั้งแต่วันที่ 53 ของการเพาะเลี้ยง และพบความเข้มข้นของไนเทรตสูงสุดเท่ากับ 32.3 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 102 ซึ่งน้อยกว่าปริมาณไนเทรตสูงสุดที่พบในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง ส่วนในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรองพบว่าไนเทรตเริ่มสะสมตัวมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้ง (รูปที่ 4.32) โดยมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 35 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ในวันที่ 75 และพบการสะสมของไนเทรตในถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรองตั้งแต่วันที่ 51 ของการเลี้ยงกุ้งเช่นกัน โดยพบความเข้มข้นสูงสุด 34.8 มก.-ไนโตรเจน/ลิตรในวันที่ 53 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของไนเทรตในถังเลี้ยงกุ้งทุกถังเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือเพิ่มปริมาณมากขึ้นหลังเกิดการสะสมตัวของไนไทรต์เป็นระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มี 2 ขั้นตอนต่อเนื่องและอาจเกิดได้ในอัตราเร็วไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ขึ้นได้ นอกจากนี้ไนตริฟายอิงแบคทีเรียยังเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ช้า เพราะพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชันมีค่าต่ำ (Boyd และ Tucker, 1998) การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์จึงต้องรอให้ AOB และ NOB เพิ่มจำนวนมากขึ้นจนสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไทรต์ และไนไทรต์เป็นไนเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะสามารถลดความเข้มข้นของไนไทรต์ที่สะสมในน้ำลงได้ และการเพิ่มขึ้นของจุลชีพในถังเพาะเลี้ยงจะทำให้ระบบมีความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียมีบทบาทในวัฏจักรสารอาหารมากขึ้น แม้ว่าการบำบัดสารอาหารในน้ำโดยจุลสาหร่ายจะยังคงเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในระบบที่มีการสังเคราะห์แสงก็ตาม (Hargreaves, 2006)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเทรตจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่ตรวจพบในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำมีค่าไม่เกิน 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร ตลอดการเพาะเลี้ยง ซึ่งความเข้มข้นที่ 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร นี้ได้มีการแนะนำไว้โดย Hart และ O'Sullivan (1993) ว่าควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อความปลอดภัยของสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของไนเทรตในถังเพาะเลี้ยงแต่ละถังจะมีความผันแปรไปในแต่ละวันค่อนข้างมาก ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรมีการติดตั้งระบบดีไนตริฟิเคชันเพื่อการบำบัดไนเทรต เพราะแม้ว่าไนเทรตจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยกว่าสารประกอบไนโตรเจนตัวอื่นๆ (Boyd และ Tucker, 1998) แต่ถ้าไนเทรตสะสมตัวในปริมาณมากเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดความเครียดในสัตว์น้ำได้ นอกจากนี้ไนเทรตในน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการเติบโตอย่างมากมายของสาหร่าย (Algal bloom) ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Jackson และ Lochmann, 1992) ดังนั้นการบำบัดไนเทรตในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและก่อนจะมีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงมีความสำคัญ เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมของระบบเพาะเลี้ยงนั้นๆ ให้อยู่ในสภาวะที่ดีอยู่เสมอ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในแต่ละถังเพาะเลี้ยงแสดงให้เห็นถึงการบำบัดแอมโมเนียโดยจุลสาหร่ายที่เติบโตขึ้นในระบบ และการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจากไนตริฟายอิงแบคทีเรียในน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม ได้พบการสะสมตัวของไนไทรต์ในระบบเป็นระยะเวลานานและยังมีการเพิ่มขึ้นของไนเทรตในช่วงเดือนสุดท้ายของการทดลอง ส่งผลให้คุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงมีค่าลดต่ำลง ซึ่งในงานวิจัยของ Chuntapa และคณะ (2003) ได้มีการศึกษาการนำสาหร่ายชนิดไซยาโนแบคทีเรีย *Spirulina platensis* มาเพาะเลี้ยงร่วมกับกุ้งกุลาดำเพื่อบำบัดไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง และพบว่า *S. platensis* สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.6 มก./ลิตร และควบคุมระดับของไนเทรตให้อยู่ในช่วง 16 ถึง 18 มก./ลิตรได้ โดยมีการเก็บเกี่ยวเซลล์ของ *S. platensis* ออกจากระบบแบบกึ่งต่อเนื่องด้วยผ้ากรองขนาดรูกรอง 60 ไมครอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้แล้วจะพบว่าจุลสาหร่ายในถังเลี้ยงกุ้งขาวและถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำยังไม่สามารถลดความเข้มข้นของไนไทรต์และไนเทรตลงได้ เนื่องจากไม่พบความสอดคล้องกันระหว่างการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์เอกับปริมาณของไนไทรต์และไนเทรตในน้ำ ความสามารถในการควบคุมสารประกอบไนโตรเจนแต่ละชนิดจึงน่าจะขึ้นอยู่กับประเภทของจุลสาหร่ายที่มีอยู่ในระบบเพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม การนำระบบกรองแบบแบ่งส่วนมาใช้ในการกรองจุลสาหร่ายออกจากน้ำจะช่วยให้สามารถทำการกรองได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถติดตั้งเครื่องกรองคู่กับถังเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและสามารถทำการเดินระบบเมื่อถึงเวลาที่ต้องการแยกจุลสาหร่าย ตลอดจนของแข็งแขวนลอยอื่นๆ ออกจากน้ำ นอกจากนี้ ระบบกรองแบบแบ่งส่วนยังสามารถนำไปใช้ได้กับการแยกไบโอฟล็อก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เริ่มมีการนำมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งนี้ ไบโอฟล็อกคือการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นพลังงาน (Hetertrophic bacteria) ร่วมกับจุลสาหร่ายในลักษณะที่เป็นฟล็อกภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม (Schryver และคณะ, 2008) ซึ่งการกรองแบบแบ่งส่วนจะสามารถแยกฟล็อกจำนวนมากที่เกิดขึ้นออกไปจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ เช่นเดียวกับที่ได้ดำเนินการใน

งานวิจัยนี้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องกรองแบบแบ่งส่วนที่ประยุกต์จากเครื่องกรองน้ำทั่วไป และไส้กรองน้ำชนิดไส้ขนาดรูพรุน 30 ไมครอน มีศักยภาพในการนำไปใช้งานทั้งในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำและในระบบไบโอฟล็อก เพื่อเป็นหนึ่งในทางเลือกสำหรับการนำไปใช้งานจริงของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไปในอนาคต

4.3.4 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งทดลอง

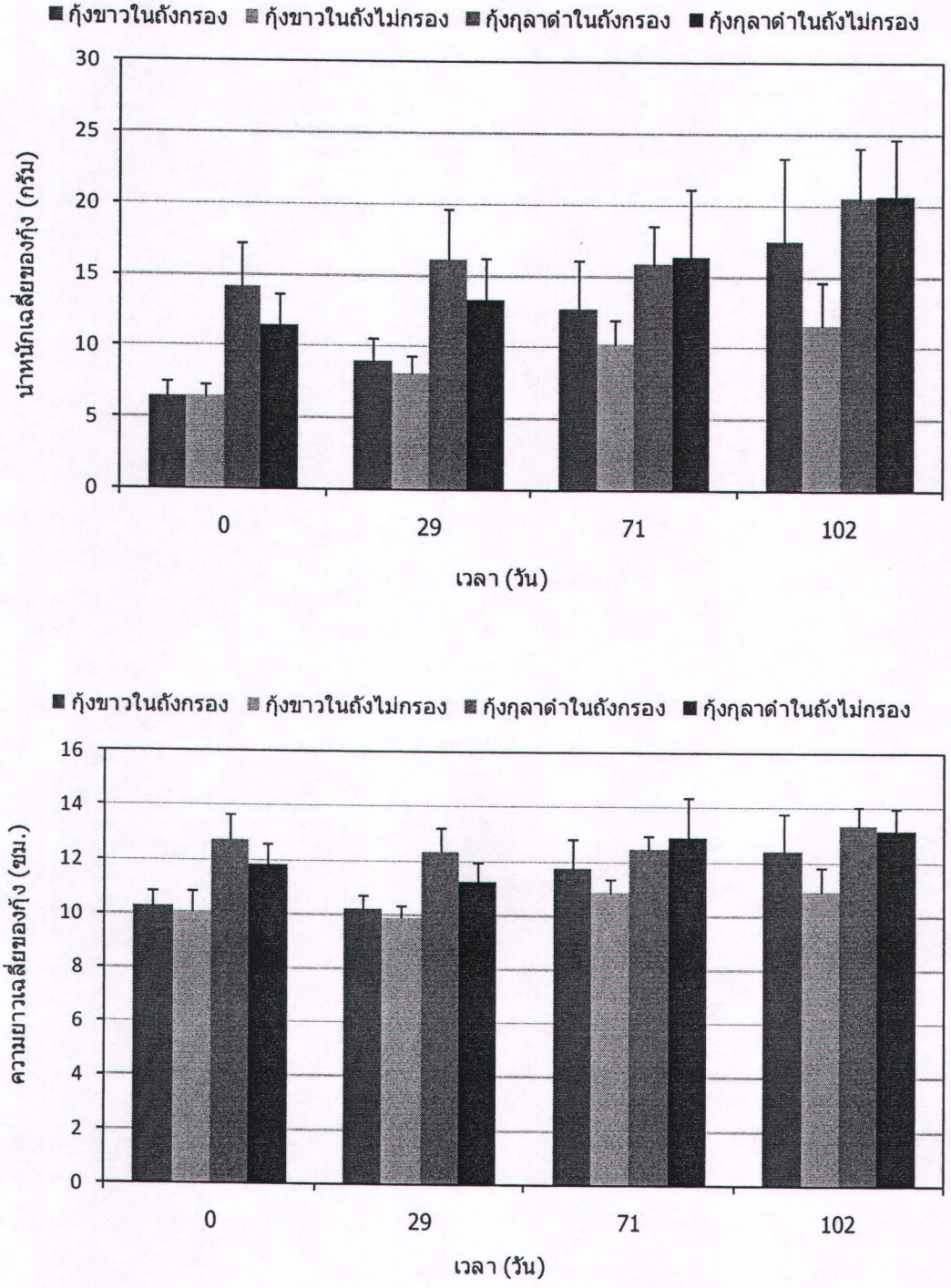
ผลการเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและไม่มีการกรองเป็นระยะเวลา 102 วัน โดยปล่อยกุ้งเริ่มต้นในถังเพาะเลี้ยงที่ความหนาแน่น 0.5 กก./ลบ.ม. (0.35 ตัว/ตารางเมตร) และทำการตรวจวัดจำนวนกุ้ง น้ำหนัก และความยาวของกุ้งในแต่ละถังทุกๆ 1 เดือน แสดงในรูปที่ 4.33 โดยพบว่ากุ้งในแต่ละถังเพาะเลี้ยงมีการเจริญเติบโตขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากน้ำหนักเฉลี่ยที่วัดได้ในวันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยง แต่อย่างไรก็ตาม ผลการเลี้ยงกุ้งในตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าอัตราการรอดของทั้งกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงทุกถังมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าอัตราการรอดของกุ้งขาวในถังไม่กรองตะกอนมีค่าเพียง 23.08 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนกุ้งเริ่มต้นทั้งหมด และแม้จะได้ทำการกรองแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกไปจากถังเพาะเลี้ยงกุ้งขาว ก็พบว่าอัตราการรอดในถังเลี้ยงกุ้งขาวที่กรองมีค่าไม่แตกต่างกัน คือเท่ากับ 25.64 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเลี้ยงกุ้งกุลาดำพบว่ามีอัตราการรอดที่สูงกว่าการเลี้ยงกุ้งขาว คือพบกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรองเท่ากับ 44.44 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนกุ้งเริ่มต้น และพบกุ้งกุลาดำในถังที่ไม่มีการกรองเท่ากับ 31.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการตายของกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำนี้คาดว่าเกิดจากการสะสมตัวของไนไทรต์ในช่วงประมาณวันที่ 10 ถึงวันที่ 55 ของการเพาะเลี้ยง โดยจากรายงานการวิจัยของ Lin และ Chen (2003) พบว่าระดับความเข้มข้นของไนไทรต์ที่ปลอดภัยสำหรับการเลี้ยงลูกกุ้งขาวคือเท่ากับ 15.2 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อใช้น้ำทะเลความเค็ม 25 พีเอสยู แต่ในการเพาะเลี้ยงนี้พบไนไทรต์สูงสุดอยู่ในช่วง 25.2 ถึง 33.4 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อกุ้งในระบบได้ ส่วนความเป็นพิษของไนเทรตต่อกุ้งได้มีการรายงานไว้โดย Muir และคณะ (1991) ว่าความเข้มข้นของไนเทรตที่ 10 มก./ลิตร จะส่งผลให้ลูกกุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดเท่ากับ 29.46 ถึง 65.15 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเทรตที่ 100 มก./ลิตร จะส่งผลให้ลูกกุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดอยู่ที่ 4.98 ถึง 63.64 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเทรตในการทดลองนี้แล้วจะพบว่าแม้ไนเทรตในทุกถังเพาะเลี้ยงจะมีความเข้มข้นสูงสุดไม่เกิน 50 มก.-ไนโตรเจน/ลิตร แต่การสะสมของไนเทรตในช่วงระยะหลังของการเพาะเลี้ยงก็อาจส่งผลต่อสุขภาพของกุ้งได้เช่นกัน ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Muir และคณะ (1991) ว่าไนเทรตสามารถส่งผลต่ออัตราการรอดของกุ้งได้ในช่วงค่อนข้างกว้าง และมีความผันแปรสูงในแต่ละความเข้มข้น การรักษาไนเทรตให้มีค่าต่ำจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของกุ้งให้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.11 การเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังเพาะเลี้ยงที่มีการกรองและไม่มีการกรองตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 102 วัน

ผลการเลี้ยงกุ้ง	บ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง	บ่อเพาะเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง	บ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง	บ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	102	102	102	102
จำนวนกุ้งเริ่มต้น (ตัว)	39	39	18	22
จำนวนกุ้งในวันสุดท้าย (ตัว)	10	9	8	7
ขนาดน้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	6.47±1.02	6.45±0.81	14.13±3.08	11.41±2.27
ขนาดความยาวเริ่มต้น (ซม.)	10.26±0.57	10.09±0.74	12.73±0.96	11.80±0.76
ขนาดน้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	17.42±5.91	11.58±3.03	20.56±3.47	20.70±4.05
ขนาดความยาวสุดท้าย (ซม.)	12.41±1.42	10.93±0.90	13.33±0.75	13.17±0.84
น้ำหนักอาหารทั้งหมด (กรัม)	1,301.45	1,068.26	1,106.60	936.58
น้ำหนักกุ้งที่ปล่อย (กก./ตร.ม., กก./ลบ.ม.)	0.35, 0.50	0.35, 0.50	0.36, 0.51	0.35, 0.50
น้ำหนักกุ้งวันสุดท้าย (กก./ตร.ม., กก./ลบ.ม.)	0.24, 0.35	0.15, 0.21	0.23, 0.33	0.20, 0.29
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว-วัน)	17.36	11.52	20.42	20.59
ผลผลิต (กก./ไร่)	398.17	238.17	376.00	331.20
อัตราการรอดตายวันที่ 29 (เปอร์เซ็นต์)	79.49	82.05	88.89	63.64
อัตราการรอดตายวันที่ 71 (เปอร์เซ็นต์)	48.72	28.21	50.00	36.36
อัตราการรอดตายวันที่ 102 (เปอร์เซ็นต์)	25.64	23.08	44.44	31.82

ผลการตรวจวัดความยาวของกุ้งในแต่ละถังเพาะเลี้ยง แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของกุ้งในทุกถัง โดยเฉพาะกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรองและไม่มีการกรอง พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 20.42 และ 20.59 กรัม/ตัว-วัน ตามลำดับ ส่วนกุ้งขาวในถังที่กรองพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 17.36 กรัม/ตัว-วัน ในขณะที่กุ้งขาวในบ่อที่ไม่มีการกรองมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด คือเท่ากับ 11.52 กรัม/ตัว-วัน จึงอาจเป็นได้ว่ากุ้งกุลาดำมีความสามารถในการทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่ากุ้งขาว และจากการเปรียบเทียบผลการเลี้ยงกุ้งในทุกถังเพาะเลี้ยงจะเห็นได้ว่าถังที่มีการกรองและไม่มีการกรองมีอัตราการรอดไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในถังเลี้ยงกุ้งขาว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกรองน้ำจากถังเพาะเลี้ยงด้วยระบบกรองแบบแบ่งส่วน แม้จะสามารถแยกจุลสาหร่ายและอนุภาคสารแขวนลอยออกไปจากระบบได้มาก แต่ก็ยังไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำในระบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งได้ โดยเฉพาะไนไทรต์และไนเทรตที่มีในความเข้มข้นสูงจนอาจเป็นอันตรายต่อกุ้ง เนื่องจากจุลสาหร่ายจะกำจัดแอมโมเนียในน้ำเป็นหลัก ดังนั้นการจะรักษาอัตราการรอดของกุ้งและควบคุมคุณภาพน้ำก่อนจะมีการปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดไนไทรต์และไนเทรตร่วมด้วย เช่นการใช้ตัวกรองชีวภาพร่วมกับการบำบัดด้วยจุลสาหร่ายและการใช้ระบบบำบัดดีไนตริฟิเคชัน เพื่อให้กุ้งสามารถอยู่รอดได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นปริมาณมาก และลดการปล่อยน้ำที่ไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้มีความหนาแน่นระดับปานกลาง คือ 0.35 กก./ตร.ม. หรือคิดเป็นความหนาแน่นของกุ้งขาวเท่ากับ 54 ตัว/ตร.ม. และกุ้งกุลาดำเท่ากับ 24 ถึง 30 ตัว/ตร.ม. แต่เนื่องจากเป็นการปล่อยกุ้งขนาดใหญ่ คือมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 6 ถึง 14 กรัม จึงไม่อาจเทียบได้กับการปล่อยลูกกุ้งขนาด P15 ซึ่งเป็นกุ้งที่มีความยาวตั้งแต่ 1.5 ซม. ขึ้นไป (ประจวบ หลำอุบล, 2546) ที่มักปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินกลางแจ้ง ซึ่งแม้จะมีความหนาแน่นสูงถึง 50 ถึง 100 ตัว/ตร.ม. แต่กุ้ง P15 นั้นมีน้ำหนักเพียง 0.07 กรัม/ตัว หรือคิดเป็น 0.0035 ถึง 0.007 กก./ตร.ม. เท่านั้น หลังจากนั้นกุ้งจะเจริญเติบโตจนมีน้ำหนักถึง 6 กรัมได้ในเวลาประมาณ 2 เดือน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเลี้ยงกุ้งด้วยความหนาแน่นที่ใช้ในการทดลองนี้จะทำให้เกิดของเสียไนโตรเจนเป็นปริมาณมากเกินกว่าที่จะสามารถบำบัดได้ด้วยจุลสาหร่ายเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.33 น้ำหนักเฉลี่ย (บน) และความยาวเฉลี่ย (ล่าง) ของกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำในถังที่มีการกรองและไม่มีการกรอง ซึ่งได้ทำการตรวจวัดในวันที่ 0 29 71 และ 102 ของการเพาะเลี้ยง

4.3.5 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง

ผลการประเมินสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen budget analysis) โดยการเปรียบเทียบปริมาณและสัดส่วนทั้งหมดของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบเพาะเลี้ยงทั้ง 5 ชุด ตลอดระยะเวลา 102 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ซึ่งไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบเลี้ยงประกอบด้วย อาหารกุ้งทั้งหมดที่ใส่ในถังเพาะเลี้ยง ไนโตรเจนที่มีอยู่ในเนื้อกุ้ง และไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำ โดยในระหว่างการเพาะเลี้ยงกุ้ง ไนโตรเจนในแต่ละส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงถ่ายโอนมวล เช่นจากไนโตรเจนในเม็ดอาหารจะเข้าไปสะสมอยู่ในตัวกุ้งเมื่อกุ้งมีการเจริญเติบโต รวมทั้งสะสมอยู่ในจุลสาหร่ายและจุลชีพอื่นๆ ในน้ำ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลองแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบจะอยู่ในส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ (Unaccounted nitrogen) โดยไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์จะมาจากอาหารกุ้ง ในขณะที่อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จะเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในเนื้อเยื่อของกุ้ง และอีกประมาณ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์จะเป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของไนโตรเจนในวันสุดท้ายที่ทำการทดลองจะพบว่าในถังเลี้ยงกุ้งขาวและกุ้งกุลาดำจะมีไนโตรเจนอยู่ในน้ำตั้งแต่ 17.92 ถึง 24.53 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ ส่วนถังควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงกุ้งพบไนโตรเจนในน้ำ 24.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสะสมของไนโตรเจนในตัวกุ้งพบว่ามีสัดส่วนเพียง 4.52 ถึง 7.02 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงกุ้งในการทดลองนี้มีอัตราการรอดต่ำและไม่ได้มีการชั่งน้ำหนักของกุ้งที่ตายไป น้ำหนักรวมของกุ้งที่เหลือรอดในวันสุดท้ายของการทดลองจึงไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงสัดส่วนของไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกกุ้งนำไปสะสมไว้ได้ อย่างไรก็ตาม คาดว่าไนโตรเจนจำนวนมากที่ไม่สามารถระบุได้ในระบบน่าจะอยู่ในส่วนของอนุภาคสารแขวนลอยในน้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากพบว่าในถังเลี้ยงกุ้งมีปริมาณจุลสาหร่ายและของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นมาก ไนโตรเจนส่วนหนึ่งจึงน่าจะถูกนำเข้าไปเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ของจุลสาหร่ายและภายในฟล็อก (floc) ที่เกิดขึ้นในถังเพาะเลี้ยง โดยฟล็อกในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักประกอบไปด้วยแบคทีเรีย สารอินทรีย์ และเซลล์ที่ตายแล้ว (Jorand และคณะ, 1995) และได้มีการรายงานไว้โดย Burford และคณะ (2003) ว่าสามารถตรวจพบไนโตรเจนจากตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวในช่วง 16.42 ถึง 18.65 กรัม/กก. นอกจากนี้ไนโตรเจนส่วนหนึ่งในถังเพาะเลี้ยงอาจมีการระเหยไปในรูปของก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และอาจมีการระเหยไปบางส่วนในรูปของก๊าซแอมโมเนียได้เช่นกัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.12 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง 5 ชุด ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 102 วัน

องค์ประกอบไนโตรเจน	ถังควบคุม		ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง	
	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)
<u>ไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ</u>										
อาหารกุ้ง	41.80	95.63	79.13	88.60	64.95	86.62	67.28	86.49	56.94	84.87
กุ้ง	-	-	8.20	9.18	8.18	10.91	8.27	10.63	8.16	12.16
ไนโตรเจนรวมทั้งหมด (TN)	1.03	2.36	1.06	1.19	0.95	1.27	1.30	1.67	1.08	1.61
อนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (DIN)	0.88	2.01	0.92	1.03	0.90	1.20	0.94	1.21	0.91	1.36
ไนโตรเจนที่เข้าทั้งหมด	43.71	100.00	89.31	100.00	74.98	100.00	77.79	100.00	67.09	100.00

ตารางที่ 4.12 การประเมินสมดุลไนโตรเจนในถังเพาะเลี้ยง 5 ชุด ตลอดการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นระยะเวลา 102 วัน (ต่อ)

องค์ประกอบไนโตรเจน	ถังควบคุม		ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งขาวที่ไม่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีการกรอง		ถังเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่มีการกรอง	
	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก (กรัม)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)
ไนโตรเจนรวมทั้งหมด (TN)	10.87	24.87	16.37	18.33	18.39	24.53	13.94	17.92	12.83	19.12
อนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (DIN)	9.61	21.98	15.00	16.79	16.75	22.34	9.96	12.80	8.32	12.40
กุ้ง	-	-	5.66	6.34	3.39	4.52	5.35	6.88	4.71	7.02
ส่วนที่ไม่สามารถระบุได้	31.96	73.12	66.36	74.30	52.30	69.75	57.56	73.99	48.64	72.50