บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

4.1.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมและคะน้า

4.1.1.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิม

ปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 231 และ 237 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 134 และ 139 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ยของปลาทับทิม เท่ากับ 24.06 และ 22.90 เซนติเมตรตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่า ระบบ DRFT-Fish ที่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร และมีการปรับค่า pH ของน้ำ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิม เนื่องจากปลาทับทิมเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมสูง ทนต่อความเค็มที่ 10-15 ppt. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ระหว่าง 5-10 (Thomas and Masser. 1999)

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ตัว)

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	Fish	DRFT-Fish	
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	231±11.59	237±20.60	ns
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	134±8.97	139±18.30	ns
ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	24.06±0.38	22.90±0.78	ns
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	5.81±0.61	5.25±0.84	ns

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.1.1.2 การเจริญเติบโตของคะน้า

คะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 62.70 และ 74.32 กรัมต่อต้นตามลำดับ และ น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 5.07 และ 5.63 กรัมต่อต้นตามลำดับ ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่เท่ากับ 4.33 และ 4.17

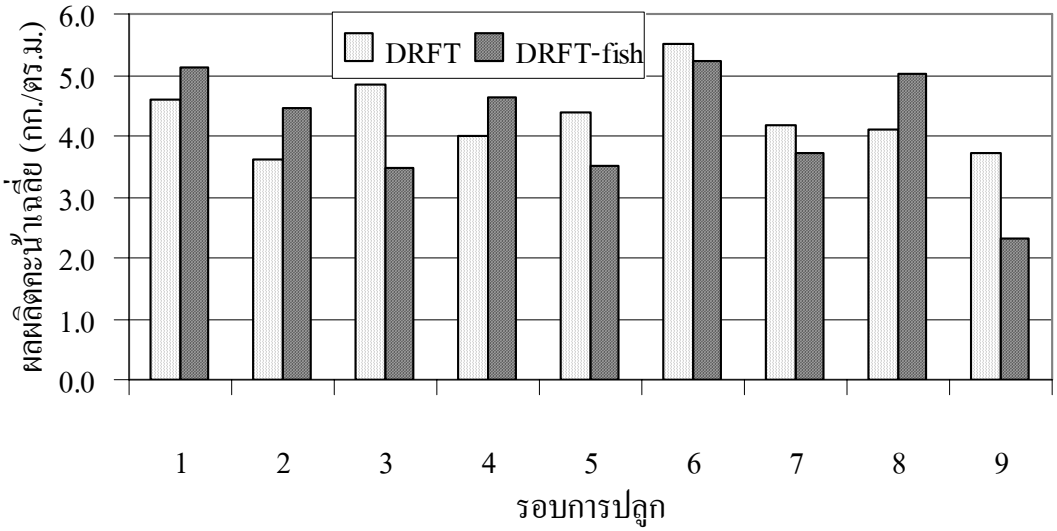
กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ และผลผลิตรวมตลอดการทดลองของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 46.72 และ 45.59 กิโลกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	DRFT	DRFT-Fish	
น้ำหนักสดเฉลี่ย (กรัม/ต้น)[1]	62.70±5.97	74.32±8.78	ns
น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม/ต้น)[1]	5.07±0.55	5.63±0.70	ns
ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กก./ตร.ม.)[2]	4.33±0.19	4.17 ±0.33	ns
ผลผลิตรวมตลอดการทดลอง (กก.)[3]	46.72	46.59	-

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)
[1] = ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลคะน้า 15 ต้น (สุ่ม 1 เดือน/ครั้ง/5 ต้น) รวม 3 ครั้ง
[2] = ค่าเฉลี่ยจาก 9 รอบปลูก (รอบปลูกละ 100 ต้น) ต่อพื้นที่ 1 ตร.ม.
[3] = คิดจากผลผลิตรวม 9 รอบปลูก

แนวโน้มการเจริญเติบโตของคะน้า จากผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ แสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าผลผลิตคะน้าในรอบการปลูกที่ 9 ของระบบ DRFT-Fish ลดลงอย่างมาก เนื่องจากพบว่าลักษณะของใบคะน้าแสดงอาการเป็นพิษ (necrosis) มีลักษณะปลายใบมีรอยไหม้ ขอบใบหงิก บางส่วนของใบเป็นสีขาว หรือสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 4.2 ก., ข.) อาจเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้เกิดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายที่พืชต้องการปริมาณน้อยและเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะโซเดียม (Na) และเกลือที่เป็นส่วนผสมของอาหารปลาที่ตกค้างอยู่ในระบบ โดยปริมาณโซเดียมในสารละลายมีความเป็นพิษต่อพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น โซเดียมที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm. ในสารละลายจะเป็นพิษต่อผักสลัด สตรอเบอร์รี่ และกุหลาบ เป็นต้น (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) โดยที่คะน้าสามารถเจริญเติบโตในดินที่มีระดับความเค็ม 12.1-16.0 mmho/cm (สมศรี อรุณินท์. 2534)



ภาพที่ 4.1 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish
หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกคะน้าเท่ากับ 42 วัน

(ก) (ข)

ภาพที่ 4.2 อาการเป็นพิษ (necrosis) ของใบคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish (ก), (ข)

ระบบ DRFT-Fish มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของรากพืช จากการทดลองระบบ DRFT มีลักษณะรากที่สมบูรณ์กว่าระบบ DRFT-Fish เนื่องจากมีลักษณะรากยาว สีขาว และมีจำนวนมาก แตกต่างกับระบบ DRFT-Fish ที่มีลักษณะรากสั้น อวบ สีขาวแต่มีตะกอนสีน้ำตาลเกาะอยู่จำนวนมาก (ภาพที่ 4.3) ที่มีลักษณะเช่นนี้เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง เป็นสาเหตุให้รากสั้น (Zweig. 1986)

(ก) (ข)

ภาพที่ 4.3 ลักษณะรากคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT (ก) และระบบ DRFT-Fish (ข)

4.1.2 ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณไนเตรทในใบคะน้า

4.1.2.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นคะน้า

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นคะน้าของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) แสดงให้เห็นว่าน้ำจากการเลี้ยงปลาทับทิมที่มีการเติมสารละลายธาตุอาหารพืช สามารถนำไปปลูกพืชได้โดยไม่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชไปสะสมที่ใบ สอดคล้องกับ Rakocy and Masser (1992) และ Miao,X. et al. (2002) ที่กล่าวว่า ในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้ โดยมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้เป็นไปตามปกติ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	4.25±0.05	0.55±0.02	5.45±0.16	2.51±0.05	0.34±0.01
DRFT-Fish	4.28±0.06	0.56±0.02	5.62±0.13	2.39±0.05	0.33±0.01
T-test	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.1.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้า

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนในรากของคะน้าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในรากของคะน้าระบบ DRFT-Fish มากกว่าในระบบ DRFT เนื่องจากในระบบ DRFT-Fish มีไนโตรเจนอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่าระบบ DRFT (ภาพที่ 4.9) ซึ่ง NH_4^+ เป็นรูปของไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (ยงยุทธ โอสถสภา. 2543) ดังนั้นรากพืชของระบบ DRFT-Fish จึงมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าของระบบ DRFT และอาจเนื่องจากมีตะกอนบางส่วนเกาะบริเวณรากพืช และเมื่อนำไปวิเคราะห์ จึงทำให้มีค่าไนโตรเจนสูงขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	4.05±0.05	0.06±0.02	3.68±0.15	1.87±0.47	0.07±0.02
DRFT-Fish	4.38±0.12	0.06±0.01	4.21±0.21	1.44±0.21	0.06±0.02
T-test	*	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)
* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

4.1.2.3 ปริมาณไนเตรทในใบคะน้า

ระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทในใบคะน้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,036.1 และ 5,259.8 $mgNO_3/g$ FW ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่มีผลต่อการสะสมปริมาณไนเตรทในใบ (ตารางที่ 4.5) ปริมาณไนเตรทในใบคะน้าที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยสอดคล้องกับการสำรวจเบื้องต้นของ ไพรัตน์ (2547) ในการตรวจสอบปริมาณไนเตรทของผักใบชนิดต่างๆ ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินที่จำหน่ายในตลาด พบว่า ผักชนิดต่างๆ (ผักโชว์จีน, กวางตุ้งฮ่องเต้, ผักกาดขาวไดโตเกียว, คะน้าฮ่องกง, คะน้ายอด, ผักบุ้ง และผักโขม) ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินมีความเข้มข้นไนเตรทเฉลี่ย 4,000-7,000 $mgNO_3/g$ FW เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรทระดับสูงสุดในพืชผักตามข้อบังคับของสหภาพยุโรปปี 2536 เช่น ผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) กำหนดไว้ที่ 2,500-4,500 $mgNO_3/g$ FW (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) ปริมาณไนเตรทในการทดลองนี้มีค่าเกินมาตรฐาน แต่ลักษณะการบริโภคผักของคนไทย ส่วนมากจะนำไปปรุงเป็นอาหารด้วยความร้อนก่อน (โดยการลวก ต้ม และนึ่ง) ซึ่งความร้อนสามารถช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (สุวรรณา. 2547) สอดคล้องกับการ

ทดลองของ ออมทอง (2548) ที่วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในคะน้าพบว่ามีค่าเฉลี่ย 5,335 $mgNO_3/g$ FW แต่เมื่อนำคะน้าไปต้ม พบว่าปริมาณไนเตรทลดลงเหลือเพียง 2,898 $mgNO_3/g$ FW

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนเตรทในใบคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	ปริมาณไนเตรทในใบคะน้าเฉลี่ย ($mgNO_3/g$ FW)
DRFT	5036.1±200
DRFT-fish	5259.8±246
T-test	ns

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.1.2 คุณภาพน้ำ

ดังแสดงในภาพที่ 4.4-4.12/ ตารางที่ 4.6

4.1.3.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature) พบว่า อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 23.70, 24.16 และ 24.31 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

4.1.3.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.73, 5.38 และ 5.97 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในระบบ DRFT-Fish และระบบ Fish มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าระบบ DRFT เนื่องจากระบบ DRFT-Fish และระบบ Fish มีการทำงานของกระบวนการไนตริฟริเคชันโดยแบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ทำให้ต้องมีการใช้ออกซิเจนปริมาณ ปริมาณออกซิเจนจึงลดลงเนื่องจากถูกใช้ในปริมาณมาก (Timmons and Losordol. 1994)

4.1.3.3 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) พบว่าค่า pH เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.55, 7.27 และ 6.45 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.2-6.8 เพื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในสารละลายต่อพืช (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2541) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า pH ต่ำกว่าระบบ Fish ซึ่งไม่มีการปรับค่า pH

4.1.3.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity ; EC) พบว่าค่า EC เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 3.11, 0.52 และ 3.15 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในระบบ DRFT

และระบบ DRFT-Fish มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วง 2.8-3.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม. 2544) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า EC สูงกว่าในระบบ Fish ซึ่งไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นระบบปิด ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในอาหารปลาทำให้ค่า EC สูงขึ้น

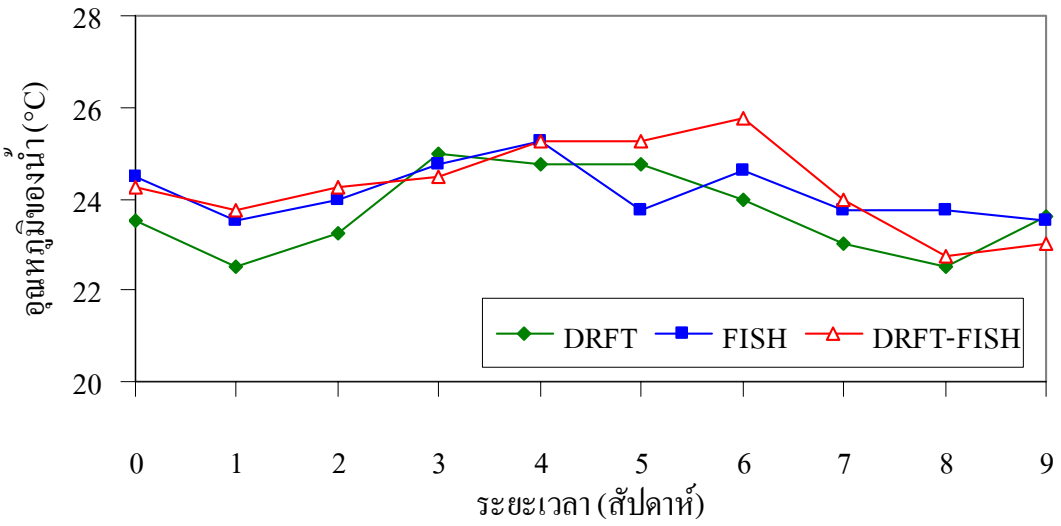
4.1.3.5 ความเป็นด่าง (alkalinaty) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 37.05, 85.15 และ 50.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีค่าความเป็นด่างต่ำที่สุด เนื่องจากทั้ง 2 ระบบมีการควบคุมค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.0-6.5 (เป็นกรดอ่อน) ทำให้ความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน แตกตัวได้คาร์บอนไดซ์ออกไซด์กับน้ำ จึงทำให้ค่าความเป็นด่างลดลง (Timmons and Losordol. 1994)

4.1.3.6 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen) พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.44, 0.41 และ 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด จากการทดลองพบว่าระบบ DRFT-Fish ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 หลังจากลงปลา มีปริมาณแอมโมเนียสูงเฉลี่ย 3.41-4.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเมื่อเริ่มมีกระบวนการกินอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการย่อยอาหารของปลา ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แบคทีเรียมีปริมาณน้อยอยู่ และปริมาณไบโอบอลที่มีจำนวนน้อยทำให้พื้นที่อาศัยของแบคทีเรียมีน้อยเช่นกัน ทำให้เกิดกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียช้าสะสมอยู่ในระบบสูง แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนียของระบบ DRFT-Fish ลดลงช้ากว่าระบบ Fish เนื่องจากมีการใส่กรดไนตริกเพื่อปรับค่า pH ให้เหมาะสมกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร มีผลกระทบต่อการเจริญของแบคทีเรียที่อยู่ในสภาพ pH ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟริเคชัน แต่เนื่องจาก pH และอุณหภูมิของน้ำต่ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์ของอัลไอออไนซ์แอมโมเนียค่าปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของปลา (Wheaton. 1977)

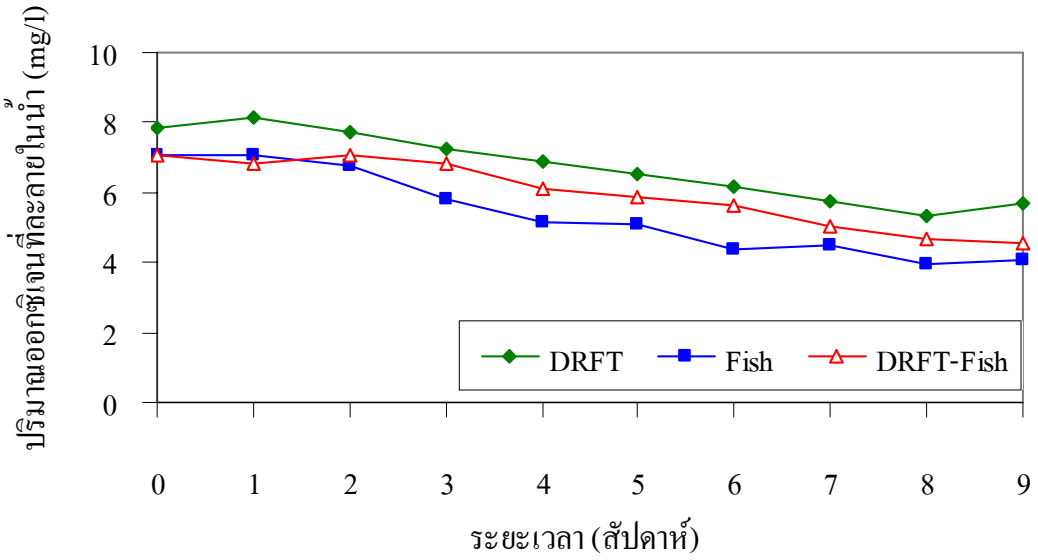
4.1.3.7 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.16, 1.72 และ 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยสูงกว่าระบบ DRFT ปริมาณไนไตรท์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากปลามีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดของเสียมากขึ้น แบคทีเรียทำงานได้ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการสะสมมากขึ้น แต่จะมีค่าสูงเพียงระยะสั้นเท่านั้น

4.1.3.8 ปริมาณไนเตรท (nitrate nitrogen) พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 99.73, 22.95 และ 71.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทสูงกว่าระบบ Fish เนื่องจากมีการเติมสารละลายธาตุอาหารเพิ่ม เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ต้องมีปริมาณไม่เป็นอันตรายต่อปลา สอดคล้องกับ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ (2544) ที่กล่าวว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีค่าไนเตรทน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

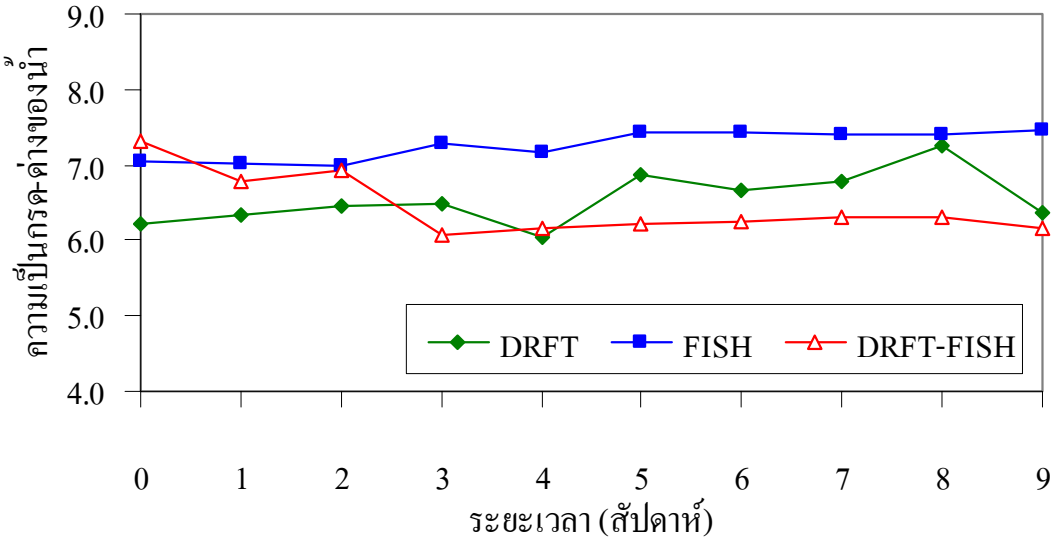
4.1.3.9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 23.19, 2.53 และ 23.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเติมสารละลายธาตุอาหารเพิ่ม เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำสูงกว่าระบบ Fish



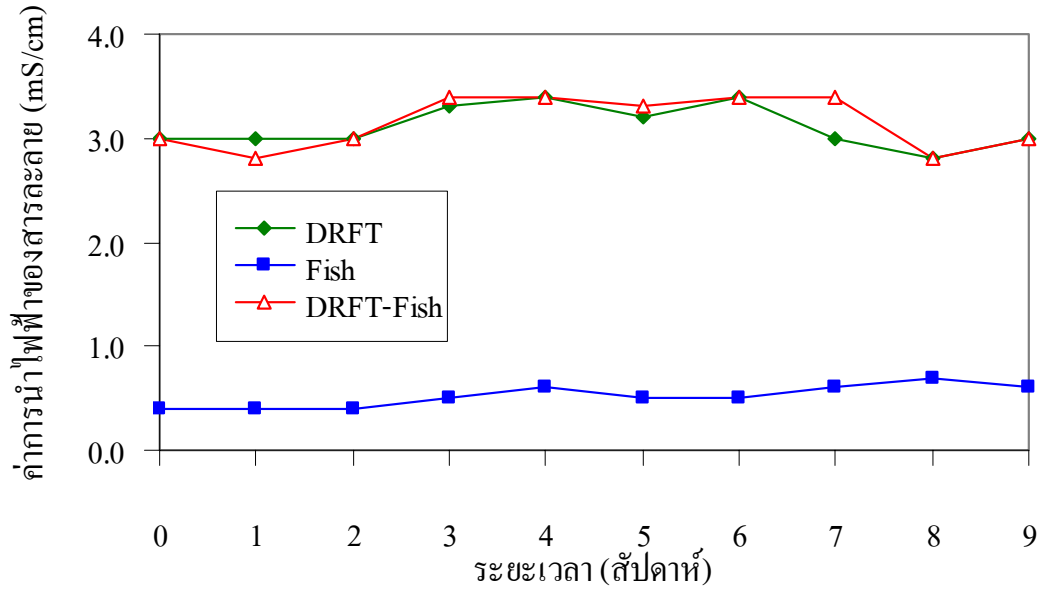
ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



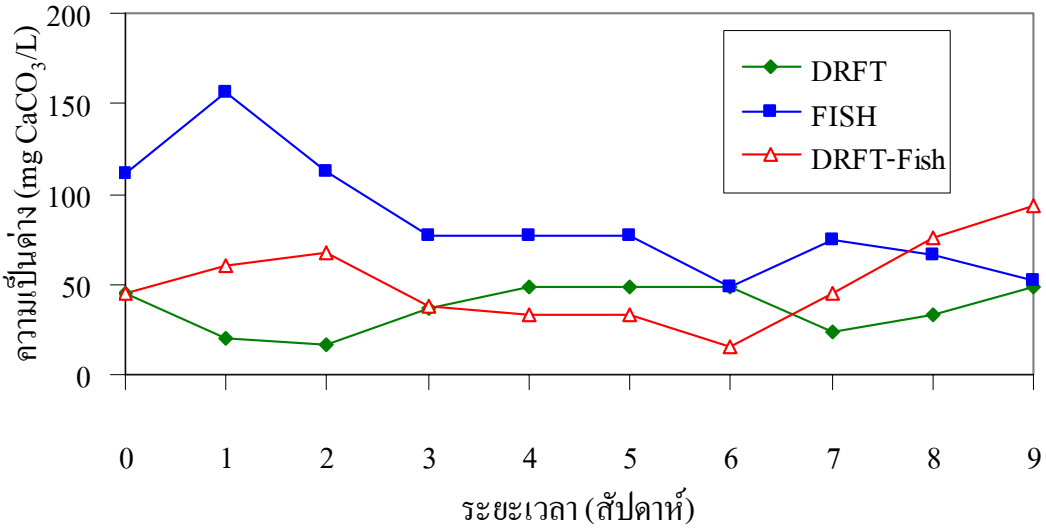
ภาพที่ 4.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



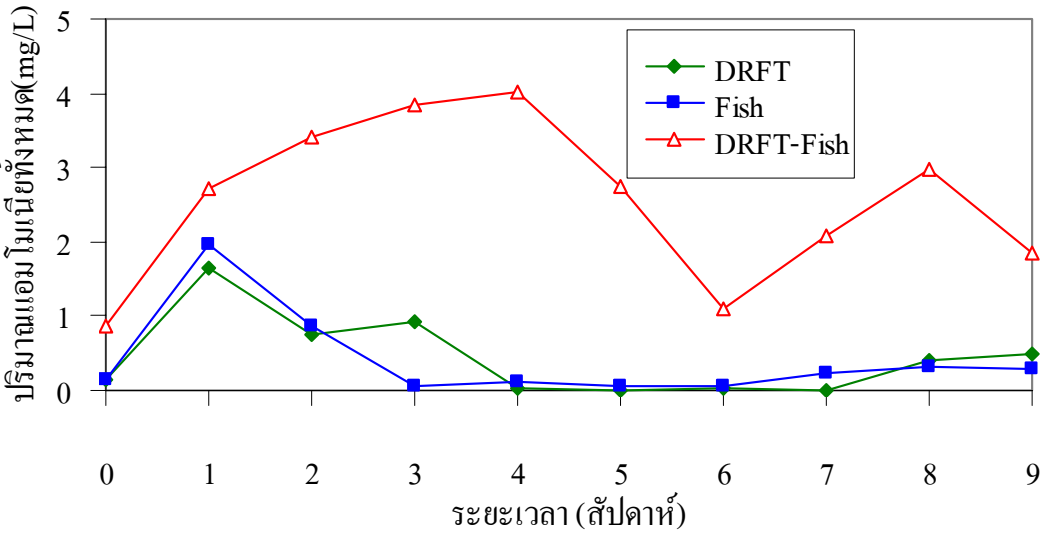
ภาพที่ 4.6 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



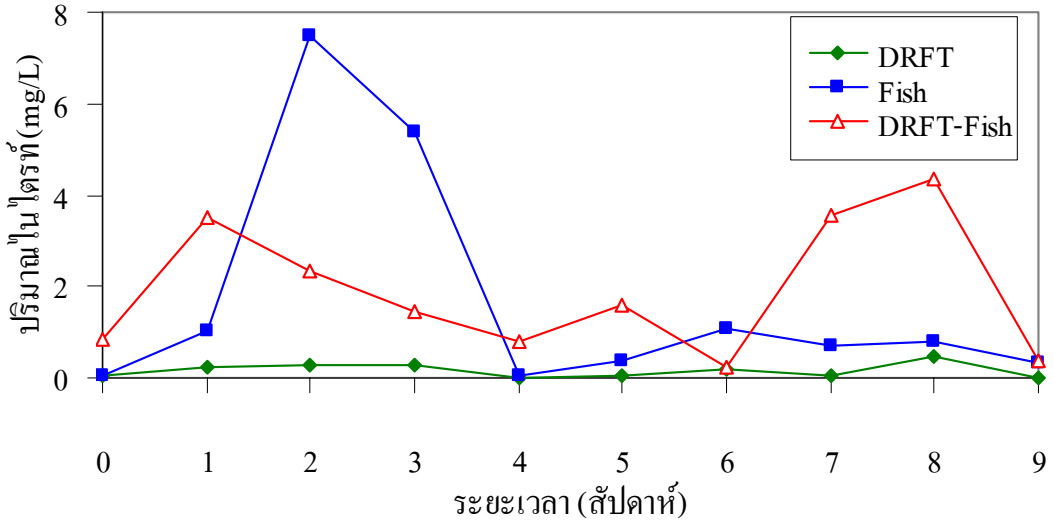
ภาพที่ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



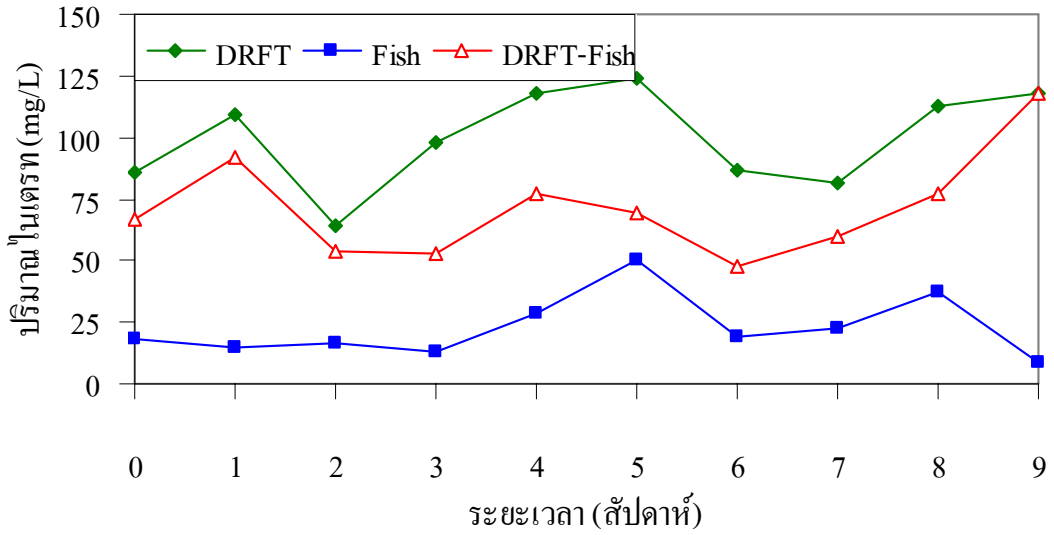
ภาพที่ 4.8 ความเป็นด่างในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



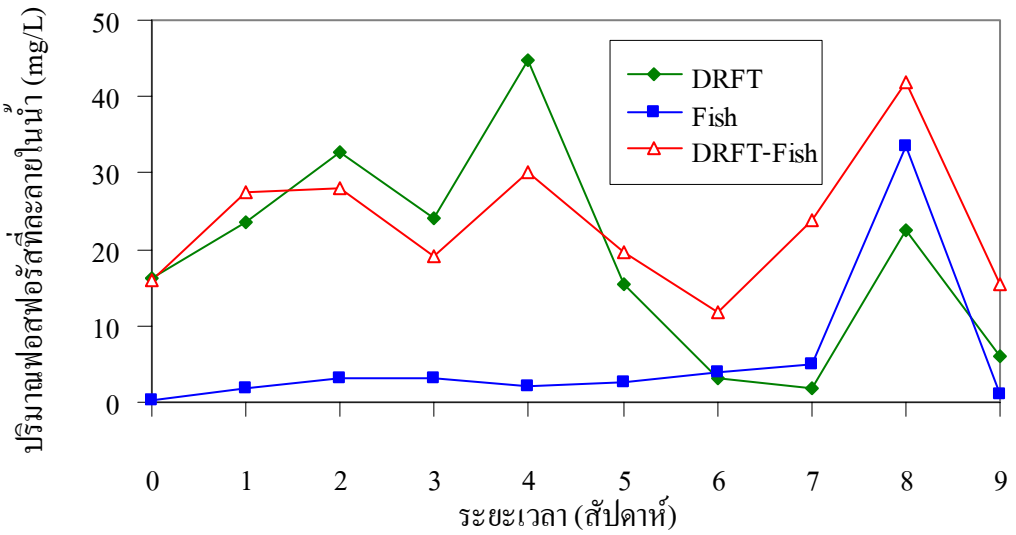
ภาพที่ 4.9 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนไตรท์ในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish

4.1.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของคะน้า

จากการศึกษาประสิทธิภาพของคะน้าในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 5.13, 16.50, 14.11 และ 6.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.1 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีประสิทธิภาพการบำบัดไนไตรท์ดีที่สุด แต่ยังมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียต่ำ เพียง 5.13 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีตะกอนเกาะบริเวณรากพืช และรางบนโต๊ะปลูก ทำให้เกิดการย่อยสลายของตะกอน ส่งผลให้น้ำที่ไหลออกจากโต๊ะปลูก มีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น

ความสม่ำเสมอของการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำร้อยละ 70, 60, 10 และ 40 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.2 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีความสม่ำเสมอของการบำบัดไนเตรทต่ำเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ (1 ครั้งจากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง) (ภาคผนวกตารางที่ ง.1) แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงมีการปรับปรุงระบบกรอง และระบบชีวภาพ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.1.5)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (%)และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ (%) ของคะน้าระบบ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง

□	พิสัย	% การบำบัดน้ำ[1]	% ความสม่ำเสมอของการบำบัด
แอมโมเนีย	1.26-12.57	5.13±1.45	70
ไนไตรท์	1.54-45.39	16.5±6.18	60
ไนเตรท	14.11	14.11	10
ฟอสฟอรัส	1.50-13.62	6.06±2.80	40

หมายเหตุ : [1] = ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยสัปดาห์ที่มีการบำบัดตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

4.1.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

โครงสร้างของระบบ DRFT-Fish ในการทดลองที่ 1 มีปัญหาหลายจุดเริ่มจาก

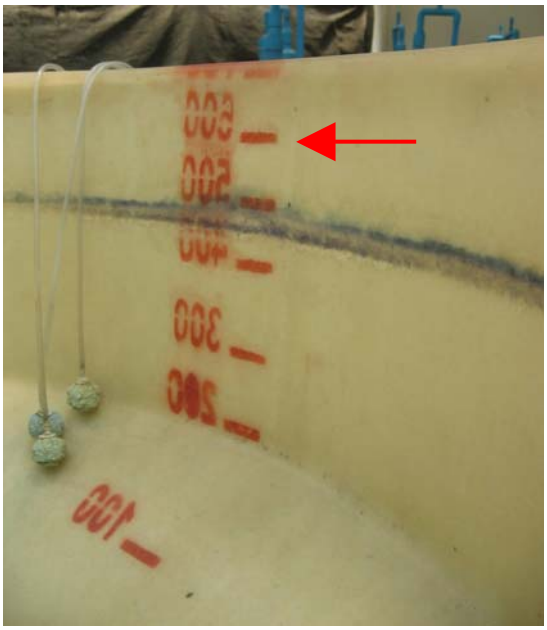
4.1.5.1 ระดับของน้ำที่ใส่ในถังเลี้ยงปลามีปริมาณมากเกินไป ต่ำกว่าขอบถังเพียง 10 เซนติเมตร ทำให้ปลากระโดดออกนอกถังได้ (ภาพที่ 4.13) ในการทดลองที่ 2 จึงปรับระดับน้ำให้ลดลง บรรจุปริมาตรน้ำ 500 ลิตร และมีตาข่ายปิดด้านบน

4.1.5.2 ถังตกตะกอน บริเวณท่อต่อเชื่อมระหว่าง 2 ถัง มีขนาดท่อ 3/4 นิ้ว เมื่อมีตะกอนขนาดใหญ่ทำให้ตะกอนอุดตันบริเวณทางเข้าท่อ ส่งผลให้เกิดน้ำล้นออกทางด้านบนของถังตกตะกอน (ภาพที่ 4.14) และบริเวณท่อ PVC เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถัง เมื่อเดินระบบไปประมาณ 2 เดือน เริ่มมีการอุดตันเนื่องจากตะกอนขนาดเล็กเกาะสะสมที่ผิวของท่อ เมื่อมีปริมาณมากทำให้ช่องว่างในท่อ PVC เล็กลงน้ำไหลผ่านช้าลง และเกิดการอุดตันง่าย ต้องถอดมาทำความสะอาดบ่อย (ภาพที่ 4.15) ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับปรุงระบบกรองให้มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ขึ้น เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนที่จะไปอุดตันบริเวณท่อน้ำ

4.1.5.3 การถ่ายตะกอนเวลา 10.00 น. และ 17.00 น. เพียง 2 ครั้ง ไม่เพียงพอเนื่องจากในช่วงเช้ามักจะมีการอุดตันของตะกอนบริเวณช่วงท่อที่เชื่อมของถังตกตะกอน และท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับเป็นตั้งเวลาอัตโนมัติ ทุก 4 ชั่วโมงครั้งละ 10 วินาที

4.1.5.4 ถังชีวภาพ ขนาดของใยกรอง และจำนวนของไบโอบอลน้อยไป เนื่องจากพบตะกอนขนาดใหญ่จำนวนมากในรางบนโต๊ะปลูก (ภาพที่ 4.16) และที่เกาะอยู่บริเวณรากพืชมีการสะสมจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 4.17) ในการทดลองที่ 2 จึงเพิ่มปริมาณใยกรองและไบโอบอล เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนที่จะสะสมอยู่ในระบบและเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรีย

4.1.5.5 การปลูกคะน้าในระบบ DRFT-Fish พบว่าเมื่อไม่มีการใส่สารละลายธาตุอาหารเพิ่ม ใบของคะน้าจะเริ่มมีสีเขียวอ่อน เหลือง และซีด ทำให้ต้องมีการใส่สารละลายธาตุอาหารเพิ่มในปริมาณมากอยู่เสมอ แสดงว่าปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากของเสียจากปลาไม่เพียงพอแก่คะน้า และลักษณะของใบคะน้าในสัปดาห์ที่ 12 ของการปลูกแสดงอาการเป็นพิษ (necrosis) มีลักษณะปลายใบมีรอยไหม้ ขอบใบหงิก บางส่วนของใบเป็นสีขาว หรือสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 4.2) เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอาจทำให้เกิดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายที่พืชต้องการปริมาณน้อย และเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะโซเดียม (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) และเกลือที่เป็นส่วนผสมของอาหารปลาที่ตกค้างอยู่ในระบบ ทำให้ทราบว่าคะน้าไม่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช เนื่องจากต้องการปริมาณธาตุอาหารที่สูง และทนต่อปริมาณเกลือที่ต่ำ ดังนั้นจึงทดลองเลือกชนิดผักที่มีความเหมาะสม และเจริญเติบโตได้ดี เมื่อปลูกร่วมกับระบบการเลี้ยงปลา ในการทดลองที่ 2 ต่อไป



ภาพที่ 4.13 สัญลักษณ์บอกปริมาตรน้ำในถังเลี้ยงปลาของระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish

ภาพที่ 4.14 ลักษณะด้านบนของถังตกตะกอนและทางเข้าท่อของระบบ DRFT-Fish

ภาพที่ 4.15 บริเวณท่อ PVC เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถัง

ภาพที่ 4.16 ลักษณะของตะกอนในรางบนโต๊ะปลูกในระบบ DRFT-Fish

ภาพที่ 4.17 ลักษณะของรากคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish