บทที่ 1
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การเลี้ยงปลาสวยงามหรือปลาตู้ (Aquarium fish) ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยเลี้ยงเป็นงานอดิเรกให้ความเพลิดเพลินและความสวยงาม การเลี้ยงปลาตู้จึงแพร่หลายไปทั่วโลก ซึ่งการเลี้ยงปลาในตู้และมีระบบน้ำหมุนเวียนสามารถรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและ ช่วยเพิ่มอัตรารอด และอัตราการเจริญเติบโต ทำให้สามารถเลี้ยงในความหนาแน่นสูงช่วยลดมลภาวะของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และยังนำไปใช้ในการเลี้ยงและจัดการพ่อแม่พันธุ์ การเพาะฟัก อนุบาลลูกปลาและผลิตปลานิ้วในปลาหลายชนิดเช่น ปลาแอตแลนติกคอด (*Gadus morhua*) และปลาไหล (*Anguilla anguilla*) โดยฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาขนาดปลานิ้วส่วนใหญ่ในแถบเมดิเตอร์เรเนียน นิยมผลิตลูกปลาในระบบน้ำหมุนเวียนและมีระบบกรองช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งทำให้ผลิตลูกปลาเพิ่มจำนวนขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ (สุนิตย์ และคณะ, 2547; Ridha and Cruz, 2001) เป็นผลมาจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยงจะมีผลโดยตรงกับอัตรารอด การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ (Laohavisuti, 1997) พรเลิศและคณะ (2537) พบว่าหากคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงจากจุดที่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเครียดและอ่อนแอส่งผลให้สัตว์น้ำเกิดโรคได้ง่ายขึ้น จึงต้องมีแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการคุณภาพน้ำเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการให้อาหารและสิ่งขับถ่ายของปลาที่ปล่อยออกมาระหว่างการเลี้ยง วิธีการกรองน้ำจัดเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดตะกอนและสารแขวนลอยในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำ Moe (1992) ได้แบ่งระบบการกรองน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำไว้ 3 ประเภท คือ การกรองโดยวิธีทางชีวภาพ (Biological filtration) การกรองโดยวิธีทางเคมี (Chemical filtration) และการกรองโดยวิธีทางกายภาพ (Mechanical filtration) การศึกษาครั้งนี้จะใช้ทั้ง 3 ระบบร่วมกันโดยใช้วัสดุกรอง เช่น ทราย ถ่านกะลามะพร้าว และเส้นใยพลาสติก เพื่อลดต้นทุนในการผลิตระบบกรอง ยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนให้สูงขึ้นตลอดจนลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยใช้ปลาดุกเป็นสัตว์ทดลอง เนื่องจากปลาดุกมีความทนทานสูงจึงเหมาะสมในการศึกษาคุณภาพน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสูงและระยะเวลาการทดลองที่ยาวนาน

การตรวจเอกสาร

1. ระบบกรองน้ำ

ระบบกรองน้ำเริ่มแรกมีการใช้เฉพาะการผลิตน้ำประปาเท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1949 โรงงานบำบัดน้ำเสียได้ใช้ระบบกรองน้ำในการกำจัดตะกอนแขวนลอย บีโอดี ตะกอนฟอสฟอรัส และตะกอนเคมีที่เกิดขึ้น เพราะการกรองน้ำเป็นทั้งวิธีทางกายภาพและเคมีที่ช่วยในการกำจัดสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำ รวมทั้งความสกปรกต่างๆ เช่น ความขุ่น แบคทีเรีย ไวรัส และจุลินทรีย์อื่นๆ วรายุส (2541) พบว่าการกรองน้ำเกิดจากตะกอนหรือความขุ่นถูกดักจับและติดค้างอยู่บนผิวของสารกรอง ซึ่งเครื่องกรองแบบนี้ได้แก่ เครื่องกรองทราย และเครื่องกรองถ่าน โดยการกรองสารแขวนลอยออกจากน้ำต้องอาศัยกลไก 2 ชุด ที่แตกต่างกัน สารแขวนลอยขนาดใหญ่หรือฟล้อคที่แข็งแรงสามารถจะตกตะกอนบนสารกรองหรือติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรองโดยกลไกจับสารแขวนลอย (Attachment mechanism) ส่วนสารแขวนลอยขนาดเล็กต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่กระจาย (Diffusion force) และมีกลไกดูดติดผิวซึ่งเป็นกลไกเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport mechanism) ทำให้มีการตกตะกอนและติดค้างบริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง การสูญเสียความดัน (Head loss) จึงสูงในบริเวณด้านบนของชั้นกรอง แต่สามารถแก้ไขโดยการเพิ่มอัตราการกรองให้สูงขึ้น (มั่นสิน, 2542) ส่วนประสิทธิภาพของการกรองน้ำจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง และตัวเครื่องกรองเอง ซึ่งคุณสมบัติของน้ำที่เข้าเครื่องกรอง ได้แก่ อุณหภูมิและความสามารถในการถูกกรองของน้ำ (Filtrability) รูปร่าง ความเข้มข้น ความเหนียว ขนาดของอนุภาคแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ ความหนืด ส่วนสมบัติของสารกรองที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรอง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของสารกรอง ความพรุนของสารกรอง การเรียงตัวของสารกรอง ความลึกและการสูญเสียความดันในชั้นกรอง ประสิทธิภาพของระบบกรองเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง ความพรุนที่ลดลงหรือความลึกที่เพิ่มขึ้นในชั้นกรอง การสูญเสียความดันจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของสารกรองที่ลดลง (มั่นสิน, 2542)

2. ระบบกรองทราย (Sand filter system)

ระบบกรองทรายสามารถแบ่งตามอัตราการกรองน้ำได้ 2 ชนิด คือ ระบบกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid sand filter system) และระบบกรองทรายแบบกรองช้า (Slow sand filter system) โดยระบบกรองทรายแบบกรองเร็วเป็นระบบที่รวมกันของระบบ straining ระบบ flocculation และระบบ sedimentation เข้าด้วยกัน น้ำเสียที่ต้องการกรองจะไหลผ่านชั้นกรองจากส่วนบนลงสู่ส่วนล่าง โดยชั้นกรองประกอบด้วยชั้นทรายและชั้นกรวดอยู่ด้านล่าง อัตรากรองน้ำของเครื่องกรองแบบนี้จะอยู่ในช่วง 4-6 ลบ.ม./(ตร.ม.ชม.) และหากค่า head loss ในชั้นกรองสูงขึ้นมากควรทำการล้างชั้นกรอง โดยปกติแล้วควรล้างชั้นกรองในทุกๆ 6-24 ชม. ของเวลาในการกรองน้ำ ซึ่งควรใช้เวลาในการล้างชั้นกรองประมาณ 5-10 นาที และควรใช้อัตราล้างชั้นกรองประมาณ 800-900 ลบ.ม./(ตร.ม.วัน) ส่วนระบบกรองทรายแบบกรองช้าจะมีการกรองร่วมกันของระบบ straining ระบบ adsorption และระบบ biological flocculation ทรายที่ใช้เป็นสารกรองจะมีขนาด 0.2-0.35 มิลลิเมตร มีอายุการใช้งานประมาณ 30-150 วัน เครื่องกรองทรายสามารถลดความขุ่นและสีออกจากน้ำได้ดี แต่ข้อเสียของเครื่องกรองแบบนี้คือ ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก ไม่เหมาะกับการกรองน้ำที่มีปริมาณของสารอินทรีย์และอัตราไหลเข้าของน้ำเสียสูงๆ (เกรียงศักดิ์, 2537)

การใช้ระบบกรองทรายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำจะใช้ปั๊มลมหรือแรงดันจากลมช่วยในการหมุนเวียนน้ำ โดยจะใช้ทรายหนาประมาณ 5 ซม. วางไว้บริเวณพื้นตู้ให้น้ำไหลผ่าน ซึ่งจะเป็นการกรองเอาเศษอาหารและขยะต่างๆ ไว้เพื่อให้น้ำสะอาดไหลกลับไปในตู้ผ่านท่อที่วางตั้งไว้ ส่วนขยะที่ถูกกรองติดกรวดอยู่ก็จะถูกย่อยสลายไปโดยแบคทีเรียซึ่งจะเจริญอยู่บริเวณพื้นผิวของทราย แต่น้ำที่ไหลผ่านทรายจะเลือกบริเวณที่มีแรงต้านทานน้อยที่สุด เช่น บริเวณที่ทรายไม่ได้อัดตัวแน่นทำให้บริเวณอื่นๆ ที่เหลือกลายเป็นแหล่งเพาะแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) แบคทีเรียเหล่านี้สามารถผลิตสารหลายชนิดซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้เช่น ก๊าซไข่เน่า (hydrogen sulfide) มีเทน และสารอื่นๆ เมื่อเกิดการสะสมของขยะเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบอุดตัน และมีแบคทีเรียที่ไม่ต้องการมากขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดก็เกิดการเน่าเหม็นขึ้นได้ แม้ว่าระบบนี้จะเป็นระบบที่ง่ายต่อการแก้ไข แต่ก็อุดตันบ่อยทำให้ต้องรื้อเอากรวดทั้งหมดออกมาล้าง หรือเปลี่ยนใหม่ก่อนที่จะติดตั้งใหม่ ข้อเสียคือปลาจะต้องปรับตัวกับน้ำใหม่บ่อยๆ อาจก่อให้เกิดความเครียดได้ ถึงแม้ว่าระบบนี้จะมีข้อเสียหลายอย่าง แต่ถือว่าเป็นระบบที่มีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับระบบอื่น และดูสวยงามเพราะมองไม่เห็นชัดเจน แต่ในการเลี้ยงปลาปอมปาดัวร์อาจไม่เหมาะสมนัก (นันทริกา, 2536) ส่วน You และคณะ (2002) ใช้ระบบปิดหมุนเวียนสำหรับ

ปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้กรองทราย กรองถ่านกัมมันต์ และกรองชีวภาพเป็นองค์ประกอบหลักในการลดการปนเปื้อนจากของเสียที่เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงและรักษาสภาพแวดล้อม ในลักษณะเดียวกันกับการทดลองของ Cornick และ Stewart (1977) ที่ใช้สารกรองที่เป็นทรายร่วมกับถ่านกัมมันต์ในการลดการตายของ American lobster ที่เกิดจากการสะสมของแอมโมเนียในน้ำสำหรับเพาะเลี้ยง และเม็ดทรายขนาดเล็กสามารถลดบีโอดีและฟอสเฟตได้เกือบทั้งหมด และลดไนเตรทได้ 25 เปอร์เซ็นต์ แต่จะพบปัญหาการอุดตันบริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง (DeVries, 1972)

3. ระบบกรองถ่าน (Charcoal and activated carbon filtration system)

การนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเริ่มต้นจากโครงการ Advance Wastewater Treatment Research (AWTR) ในช่วงต้นของทศวรรษที่ 19 บริเวณทะเลสาบ Tahoe มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา และที่เมือง Windhoek ประเทศอาฟริกาใต้ (Weber, 1981) จนถึงปัจจุบันถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้เพื่อการดูดซับมลสารทั้งในน้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่เป็นสารอินทรีย์รวมถึงสารพิษต่างๆ เช่น มลสารในรูปสี ทีโอซี (Total Organic Carbon : TOC) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) ฟีนอล (Phenol) ไซลีน (Xylene) คลอโรฟีนอล (Chlorophenols) และดีดีที (Dichlorodiphenyltrichloroethane : DDT) (Cheremisinoff and Morresi, 1974) เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือกระบวนการทางเคมีทำให้ช่องว่างในเม็ดถ่านเพิ่มขึ้น โดยวัตถุดิบที่ใช้จะผ่านการบดและคัดขนาด แล้วนำไปเผา (carbonization) ที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (superheated steam) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 800-900 $^{\circ}$ซ. หรือใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น สังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) (ดำรงและอภิสิทธิ์, 2533) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 600-700 $^{\circ}$ซ. (Hassler, 1963) ถ่านกัมมันต์ที่ได้จึงมีความพรุน (porosity) และพื้นที่ผิวภายใน (internal surface area) สูง (มั่นสิน, 2542) นันทริกา (2536) แนะนำว่าในการเลี้ยงสัตว์น้ำในตู้สามารถใช้ถ่านกัมมันต์ดึงเอาสารที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น โปรตีน ไนไตรท์ ไนเตรท และแอมโมเนีย ออกมาได้ จึงป้องกันไม่ให้น้ำขุ่น เมื่อมีการให้อาหารมากเกินไป และดูดซับกลิ่นได้ดีมาก แต่จะดูดซับสารที่มีประโยชน์ เช่น แร่ธาตุต่างๆ วิตามินหรือสารอื่นๆ ที่เราเติมลงในน้ำออกมาด้วยรวมถึงสามารถช่วยในการกรองแบบชีวภาพไปในตัวด้วย แต่ประสิทธิภาพจะไม่ดีเท่าวัสดุที่ใช้กรองทางชีวภาพโดยตรง โดยอาจติดตั้ง

เอาไว้วันสองวันจนน้ำสะอาด หรือใช้หลังจากที่เราใส่ยาชนิดต่างๆ ลงในน้ำแล้วต้องการทำให้ตู้ปลาสะอาดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการใช้ถ่านกัมมันต์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วๆ ไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon) และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular activated carbon) การใช้ชนิดผงจะเติมลงไปในน้ำเสียโดยตรงแล้วจึงกรองแยกออกมามีลักษณะเดียวกับการใช้สารเคมีหรือเรียกว่าการดูดซับแบบเทที่ละงวด (Batch adsorption process) (มั่นสิน, 2542) โดยใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดจะมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดทรายกรองน้ำ ในการใช้จะบรรจุในถังให้น้ำไหลผ่าน โดยจะได้รับความนิยมสูงในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำเพราะว่ามีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบดูดซับแบบไหลต่อเนื่อง และสามารถรับน้ำทิ้งที่มีมลสารในปริมาณมากได้ดี อีกทั้งยังสามารถฟื้นสภาพหลังการใช้งานได้ (regeneration) โดยการกำจัดสารที่ถูกดูดซับไว้ออกจากโพรงของเม็ดถ่าน เช่น การใช้ความร้อน การใช้ตัวทำละลาย การใช้กรดเบส และการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สำหรับการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับมลสารในน้ำทิ้งมักกระทำโดยการใช้ความร้อน (จินตนา, 2541) ซึ่งจะทำให้โพรงภายในเม็ดถ่านขยายใหญ่ขึ้นและส่งผลให้พื้นที่ผิวภายในลดลง (Hutchins, 1981) นอกจากนี้การฟื้นสภาพแต่ละครั้งจะสูญเสียถ่านประมาณร้อยละ 6 ของปริมาณเริ่มต้น (Mcginnis, 1981)

เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะสามารถลดค่าทีโอซี ปรอท ซีโอดี และโครเมียมได้ 89 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์, 89-92 เปอร์เซ็นต์ และ 9-25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ประสงค์, 2545; Sritharan,1987) ซึ่งสอดคล้องกับ Dawalle และ Chan (1977); Sublette และคณะ (1982); Shen และ Chaung (1998) ในการศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์เมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบตะกอนเร่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของผงถ่านที่เติม อายุสลัดจ์ อุณหภูมิ และเวลากักน้ำ (Cheremisinoff and Ellerbusch,1978) โดยควรมีเวลากักเก็บน้ำสูงกว่า 8-9 ชม. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหาร (O'Brien,1990) ส่วน Spotte (1970) พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงในการลดของแข็งแขวนลอยและความขุ่น ส่วนค่าไนเตรทที่ลดลงเป็นผลมาจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์มากกว่าการดูดซับโดยตัวของมันเอง และซีโอดีที่ละลายน้ำ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ที่หายไปจะเข้าไปอยู่ในสิ่งมีชีวิต ทำให้การใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับของแข็งแขวนลอยในน้ำหรือพวกสารอินทรีย์ที่มีความคงตัวสูงไปติดอยู่ที่เม็ดของถ่านกัมมันต์ จะทำให้น้ำหนักของมันเพิ่มขึ้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะเวลาในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ของถ่านกัมมันต์จะต้องใช้

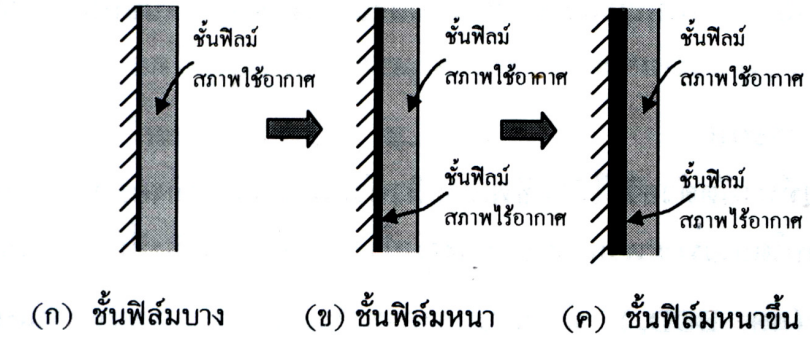
ระยะเวลานานกว่าการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็ก (Snoeyink ,1990) สำหรับการใช้ถ่านกัมมันต์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Correia (2001) พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นชั้นกรองใส่ลงไปในถังที่ใช้ขนส่งปลา Ratfish สามารถดูดซับแอมโมเนียและลดความเครียดของปลาได้ดี ในลักษณะเดียวกันกับ Tseng และคณะ (1990) ที่ได้ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยวิธี Fluidized bed สามารถลดแอมโมเนียได้ 27.55 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นหากมีสาหร่ายขนาดเล็กเกาะที่ผิวของถ่านกัมมันต์ แต่จะมีการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มสูงขึ้น

4. การเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ

ประชากรของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำถูกกำหนดตามคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันของน้ำ แสง ความเค็ม ความขุ่น ความเป็นกรด-ด่าง และองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งหน้าที่หลักของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำคือ เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในการผลิตสารอินทรีย์ ย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตปลดปล่อยแร่ธาตุคืนสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปใช้สำหรับการผลิตขั้นต้นเซลล์ในรูปสารอินทรีย์เข้าสู่สายใยอาหาร และทำให้เกิดวัฏจักรของธาตุ โดยแบคทีเรียพวกออโตโทรฟ (Autotroph) มีบทบาทที่สำคัญในวัฏจักรของสารอาหารในแหล่งน้ำ ส่วนกิจกรรมของ Chemolithotroph มีความสำคัญในวัฏจักรของธาตุไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และเหล็กของแหล่งน้ำ (ดวงพร, 2545)

การเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเป็นระบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์บริเวณผิวตัวกลางเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสีย (อาภรณ์, 2542) จะต้องอาศัยวัสดุติดตั้งอยู่ภายในระบบบำบัดน้ำเสียและให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้จุลินทรีย์เกาะผิวตัวกลางหนาขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนและกำจัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท) ส่วนน้ำที่ผ่านระบบบำบัดออกมาจะมีตะกอนแขวนลอยน้อยมากเพราะถูกดักไว้ด้วยผิวตัวกลาง และในทางทฤษฎีความสามารถของระบบกรองชีวภาพจมน้ำสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มขึ้นของขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและความขรุขระของผิวตัวกลางและจะแปรผันตรงต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะยึดผิวตัวกลาง (เกรียงศักดิ์, 2543) โดยเฉพาะในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำที่มีอินทรีย์คาร์บอนเป็นสารให้อิเล็กตรอนขณะที่ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแบคทีเรียเจริญเติบโตเกาะติดเพื่อกำจัดไนโตรเจนหรือเปลี่ยนจากแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท

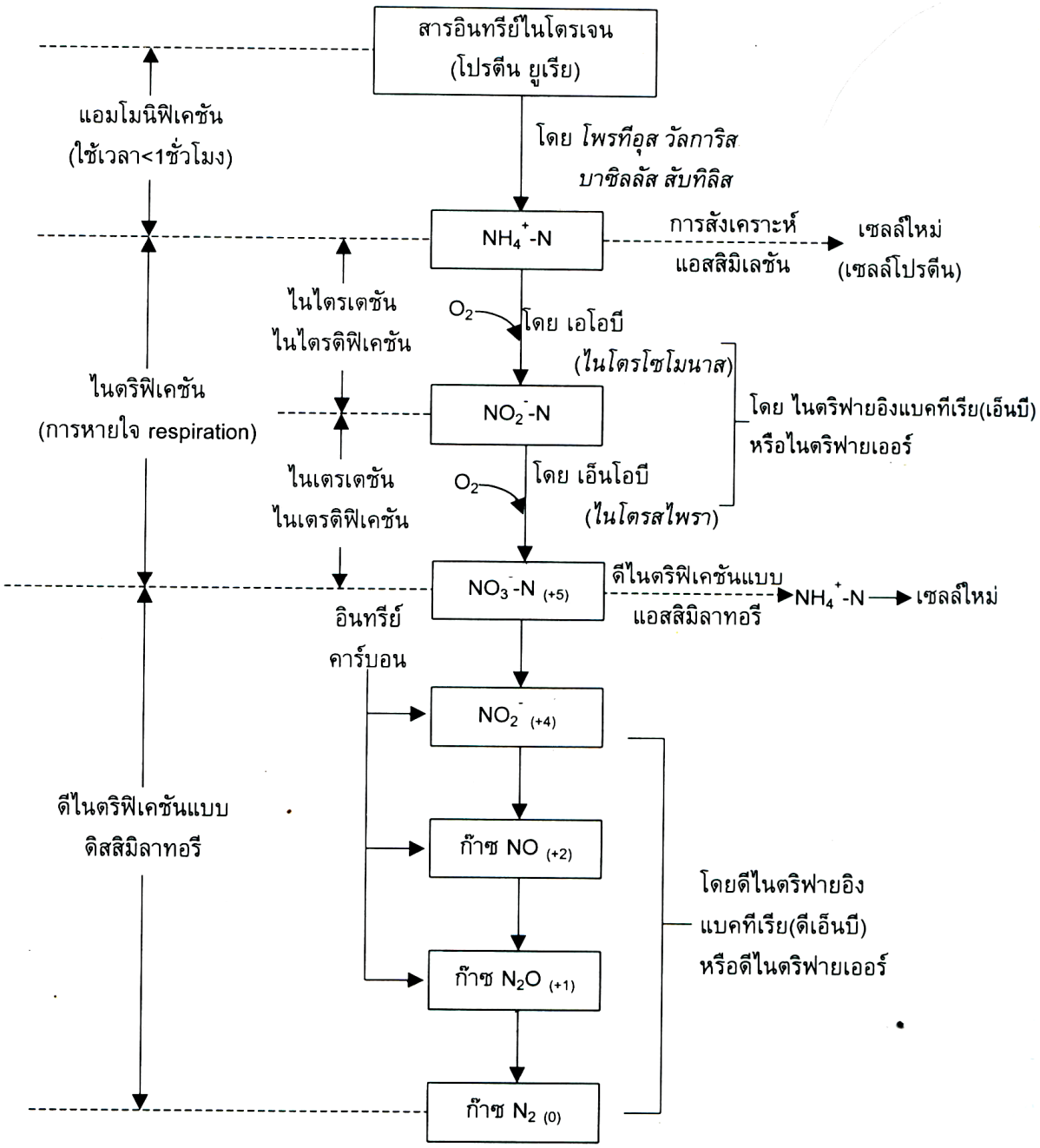
(Nitrification) เป็นการบำบัดเหมือนระบบโปรยกรองหรือระบบแผ่นหมุนชีวภาพหรือระบบถังกรองใช้อากาศ แต่ต้องมีตัวกลางเพียงพอในการเกิดไนตริฟิเคชันหลังจากได้ผ่านระบบย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนแล้ว (รูปที่ 1) (ธงชัย, 2544) ซึ่งคุณสมบัติตัวกลางที่เหมาะสมต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง การต้านทานน้ำต่ำ จัดวางตัวกลางในทรงกระบอกตั้งให้น้ำไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอ มีความคงทนสูง จับตะกอนแขวนลอยได้ดี หาได้ง่ายและราคาถูก โดยทั่วไปตัวกลางที่มีลักษณะเป็นเม็ดสามารถจับตะกอนแขวนลอยในน้ำได้ดีแต่จะมีการต้านทานกระแสน้ำในปริมาณสูงทำให้เกิดปัญหาอุดตันได้ง่าย โดยเฉพาะตัวกลางที่เป็นเม็ดเล็กๆ ที่มีหลายขนาดคละกันทำให้มีค่ารูพรุนต่ำ สำหรับตัวกลางที่เป็นลักษณะแผ่นเรียบ แผ่นลอนหรือแผ่นตาข่ายจะดักตะกอนแขวนลอยได้ต่ำมากแต่มีอายุการกรองที่ยาวนาน (เกรียงศักดิ์, 2543) สำหรับอัตราการไหลของน้ำที่สูงขึ้นจะลดการเพิ่มขึ้นของฟิล์มจุลินทรีย์ในช่วงต้นการเดินระบบ แต่เมื่อฟิล์มจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ปกติดีแล้วอัตราไหลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนสูงขึ้น (Heukelekian, 1956 อ้างโดยเกรียงศักดิ์, 2543) บางช่วงฟิล์มจุลินทรีย์หนามากจนไม่สามารถยึดเกาะผิวตัวกลางได้จะมีบางส่วนหลุดออกมา หรืออาจเกิดจากแรงปะทะของกระแสน้ำทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้



รูปที่ 1 การเพิ่มขึ้นของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลาง (เกรียงศักดิ์, 2543)

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาจากตัวสัตว์น้ำโดยตรงและเศษอาหารที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ (นันทวิกา, 2536) เมื่อสารอินทรีย์เหล่านี้ผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันจนสารอินทรีย์เปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนียแล้วจะเกิดกระบวนการสังเคราะห์หรือ assimilation ของไนโตรเจนเอาไปสร้างเซลล์ใหม่ของตัวจุลินทรีย์เอง ในขณะเดียวกันถ้าสารอาหารชนิดคาร์บอนลดลงจนเหลือน้อยและมีอากาศเพียงพอจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นโดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนย่อยคือ nitritification และ nitratification ในสองกระบวนการนี้

จุลินทรีย์ชนิดเฮเทอโรทรอฟ (เช่น *Arthrobacter* และ *Aspergillus*) จะมีบทบาทเพียงเล็กน้อย ส่วนชนิดออโตทรอฟจะมีบทบาทสูงและหลังจากออกซิไดซ์ NH_4^+ ไปเป็น NO_2^- และ NO_3^- ในสภาวะมีอากาศจะได้พลังงานสำหรับใช้ตรึง CO_2 หรือ HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} มาเป็นแหล่งคาร์บอน ในระบบจึงต้องมีสภาพความเป็นด่างเพียงพอเพื่อป้องกันการลดลงของความเป็นกรด-ด่าง ในขั้นตอน nitritification แบคทีเรียที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียมไปเป็นไนไตรท์ เรียกว่า ammonium oxidizing bacteria (AOB) โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้แก่กลุ่ม *Nitrosomonas* (เช่น *N. europaea* และ *N. oligocarbogenes*), *Nitrosospira*, *Nitrosococcus* และ *Nitrosolobus* ส่วนในขั้นตอน nitratification แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ไปเป็นไนเตรท เรียกว่า nitrite oxidizing bacteria (NOB) โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้แก่กลุ่ม *Nitrobacter* (เช่น *N. agilis* และ *N. winogradski*), *Nitrospira* และ *Nitrococcus* (รูปที่ 2) (ธงชัย, 2544) โดยเชื่อกันว่าแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrobacter* เป็นกลุ่มหลักในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Bitton, 1994) ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Burrell และคณะ (1997) ที่พบว่า *Nitrospira* เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในการเปลี่ยนไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทไม่ใช่ *Nitrobacter* ตามที่เชื่อกันมาในอดีต และพบว่าพลาสติกเป็นตัวกลางที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในระบบกรองแบบ nitrification filter เพื่อกำจัดแอมโมเนียในน้ำทิ้ง (Bolton and Kein, 1976 อ้างโดย อาภรณ์, 2542) ส่วน Porubcan (1991) อ้างโดย Gatesoupe (1999) ใช้ระบบกรองชีวภาพเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในตริฟายเออร์เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ทำให้อัตรารอดของกุ้งกุลาดำเพิ่มสูงขึ้น ทั้งสามารถรักษาคุณสมบัติของน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (วุฒิและพรพงษ์, 2540; Boyd, 1979) สอดคล้องกับการทดลองของสิริและคณะ (2542) ที่ใช้วิธีทางชีวภาพปรับปรุงคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยกระบวนการเกิด ไนตริฟิเคชันสามารถลดค่าบีโอดี ได้ 76.3 เปอร์เซ็นต์, ไนโตรเจนรวม 35.7 เปอร์เซ็นต์, แอมโมเนียรวม 84.8 เปอร์เซ็นต์, อินทรีย์สารรวม 24.8 เปอร์เซ็นต์, คลอโรฟิลล์ เอ 74.5 เปอร์เซ็นต์ และตะกอนแขวนลอย 82.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเติมจุลินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตถ่าน (Charcoal-bio) ในการกรองน้ำเสียสามารถกำจัดไนเตรทและแอมโมเนียจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ถ่านปกติ (Shamin *et al*., 2001) ทั้งนี้ปริมาณแบคทีเรียในระบบกรองชีวภาพที่ใช้ทรายเป็นสารกรองลดลงเมื่อมีการใช้ยาในการรักษาโรคปรสิตในสัตว์น้ำ โดยหากใช้ $CuSO_4$ 0.2 มก./ล. จะลดจำนวนแบคทีเรียรวมลง 2-3 เปอร์เซ็นต์ และหากใช้ Neguvon 0.6 มก./ล. แบคทีเรียจะตายทั้งหมด (Kabasawa and Yamada, 1972)



รูปที่ 2 ขั้นตอนต่างๆ ในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (ธงชัย, 2544)

หมายเหตุ : ไนโตรเจนลดลงจากการเอาไปสร้างเซลล์ใหม่น้อยมาก ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าซีโอดีที่ลดลง

5. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1) อุณหภูมิ

ปลาน้ำจืดหลายชนิดเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 22-30 °ซ. หากอุณหภูมิน้ำสูงขึ้นมีผลให้ปลากินอาหารได้ดีและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แต่ออกซิเจนละลายน้ำได้ลดลง (Hargreaves and Tucker, 2003; Akinwole and Faturoti, 2007) โดยเฉพาะปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2-3 °ซ. ของจุดที่เหมาะสมหรือเพิ่มขึ้นจาก 28 °ซ. เป็น 30 °ซ. เช่นเดียวกับปลากะพงที่อุณหภูมิเหมาะสมคือ 26.8 °ซ. แต่อัตราเจริญเติบโตสูงสุดที่อุณหภูมิ 29.2 °ซ. (Buentello *et al*., 2000)

2) ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) หากมีความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.5-9.5 จะมีปัญหากับความเป็นด่างทั้งหมดที่เพิ่มสูงขึ้น (Saha *et al*., 2002) ทำให้แอมโมเนียเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปอยู่ในรูป NH_3 ซึ่งมีพิษสูงกว่า โดยปริมาณแอมโมเนีย 3.0 มก./ล. ทำให้ปลาน้ำจืดตายที่ความเป็นกรด-ด่าง 8.5 แต่เพียงเป็นอันตรายที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.0 (Lewbart, 1998; Golombieski *et al*., 2003) และความเป็นกรด-ด่างในน้ำลดลงจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของปลาและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถละลายน้ำเป็น H_2CO_3 และแตกตัวให้ H^+ และ HCO_3^- (Boyd, 1990; Colt, 2006)

3) ความเป็นด่างทั้งหมด

น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาควรมีความเป็นด่างทั้งหมดสูงกว่า 20-40 มก./ล. เพื่อเพิ่มผลผลิตปลาที่เลี้ยง แต่ผลผลิตปลาที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เพิ่มขึ้นจากความเป็นด่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น แต่เกิดจากฟอสเฟตและสารอาหารอื่นๆ ที่เพิ่มขึ้นตามความเป็นด่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น (มั่นสินและไพพรรณ, 2539; สมหมาย, 2539) แต่ในปลาบางชนิดเช่น ปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในความเป็นด่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในปริมาณสูงจนความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 10 แต่อัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียลดลงมากกว่า 25 % ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในเลือด ตับ และกล้ามเนื้อเพิ่มสูงขึ้น และตายหากความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นถึง 11 (Saha *et al*., 2002)

4) ออกซิเจนละลายน้ำ

ปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนออกซิเจนต่ำได้ไม่เท่ากัน บางชนิดอาจมีชีวิตอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ 0.5 มก./ล. แต่ปลาหลายชนิดทนต่อออกซิเจนละลายต่ำได้เพียง 3 มก./ล. ตามปกติระดับออกซิเจนต่ำสุดที่ปลาทนได้ขึ้นอยู่กับเวลาสัมผัส (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) จึงควรให้มีออกซิเจนละลายน้ำอย่างน้อย 3-3.5 มก./ล. และยังเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มั่นสินและไพพรรณ, 2539; Seo and Boyd, 2001; Akinwole and Faturoti, 2007; Colt, 2006) หากออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี (Buentello *et al*., 2000) แต่หากปลาอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายน้ำเกินจุดอิ่มตัว ปลาจะมีโอกาสเป็นโรค gas bubble disease (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) และปัจจัยที่ควบคุมการละลายของออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของอากาศ ความเค็มของน้ำ และความอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำ (สมหมาย, 2539)

5) บีโอดี (Biochemical oxygen demand : BOD)

ปริมาณบีโอดีที่ไม่เป็นอันตรายในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 10-30 มก./ล. (มั่นสินและไพพรรณ, 2539; Boyd and Gross, 1999 อ้างโดย Xinglong and Boyd, 2005) หากปริมาณบีโอดีสูงกว่านี้อาจทำให้น้ำขาดแคลนออกซิเจนได้ (ไมตรีและจารุวรรณ, 2528 อ้างโดยประทีป, 2544)

6) แอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นพิษต่อปลาทำให้ปลาไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือด ถ้า NH_3 ในน้ำมีปริมาณสูงเกินไปมีผลให้ความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้นและเป็นผลเสียต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆและต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจนทำให้ปลามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตลดลง (มั่นสินและไพพรรณ, 2539; Colt and Tchobanoglous, 1978; Hargreaves and Kucuk, 2001; Colt, 2006) โดยปริมาณแอมโมเนียในรูปของ NH_3 ที่ทำให้ปลาน้ำจืดหลายชนิดตายในเวลาอันสั้นอยู่ที่ 0.2-2 มก./ล. (EIFAC, 1973) และความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นมีผลให้แอมโมเนียเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปอยู่ในรูป NH_3 ซึ่งมีพิษสูงกว่า (Lewbart, 1998) ซึ่งปริมาณแอมโมเนียรวมเพียง 4.5 มก./ล. สามารถทำให้ปลา channel catfish ตายหมดภายใน 24 ชม. ที่ความเป็นกรด-ด่าง 9 และหากลดความเป็นกรด-ด่างให้เหลือ 7 จะต้องมีปริมาณแอมโมเนียรวมถึง 263.6 มก./ล.จึงทำให้ channel catfish ตายหมดภายใน 24 ชม. (Tomasso *et al*., 1980)

7) ไนไตรท์

ปริมาณไนไตรท์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อปลาในบ่อมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-5 มก./ล. (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) และปลาน้ำจืดหลายชนิดมี 96-h LC_{50} ของไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.66-200 มก./ล. (สมหมาย, 2539) โดยไนไตรท์สามารถแพร่ผ่าน chloride cells บริเวณเหงือกและทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) เป็นเมทธิโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งเป็นเม็ดเลือดที่ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้และมีสีน้ำตาลจึงเกิดอัตราการตายสูงในปลาที่มีอาการเช่นนี้ (Lewbart,1998; Grommen *et al*., 2002; Golombieski *et al*., 2003) แก้ไขได้โดยการเพิ่มไอออนของ chloride ให้ไนไตรท์เข้าสู่เซลล์ของปลาได้ลดลง ซึ่งในบ่อเลี้ยงปลา channel catfish สามารถเพิ่มอัตราส่วนน้ำหนัก Cl : NO_2^- ได้ถึง 10.1 : 1 โดยที่ไม่เป็นอันตรายกับปลาที่เลี้ยง (Schwedler and Tucker, 1983 อ้างโดย Colt, 2006) และความเป็นพิษของไนไตรท์สูงขึ้นเมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลง (Tomasso, 1994 อ้างโดย Colt, 2006)

8) ไนเตรท

ไนเตรทมีอันตรายต่อปลาน้ำจืดต่ำมาก ซึ่ง 96-h LC_{50} ของไนเตรทต้องสูงกว่า 1000 มก./ล. และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนยังทำให้ปริมาณไนเตรทลดลง (Colt, 2006) แต่ปริมาณไนเตรทเพียง 20 มก./ล. มีความเป็นพิษสูงต่อปลาการ์ตูน (*Amphiprion ocellaris*) (Frakes and Hoff, 1982) และมีอันตรายต่อหมึก (*Sepioteuthis lessoniana*) ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. (Walsh *et al*., 2002)

9) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ไม่เป็นอันตรายต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 10-20 มก./ล. (มั่นสินและไพพรรณ, 2539) แต่ไม่เป็นอันตรายกับปลา African catfish (*Clarias gariepinus*) แม้มีของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 36 มก./ล. (Akinwole and Faturoti, 2007) และหากมีของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงถึง 105.06 มก./ล. จึงมีโอกาสสูงให้ปลา channel catfish เกิดโรค gill disease (Seo and Boyd, 2001)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด

2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด

3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดต้นทุนและเพิ่มอายุการใช้งานโดยใช้ระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด