



รายงานการวิจัย

นวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากขยะพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรม
การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน

Green Fish Cage Innovation from Recycled Plastic Waste for
Sustainable Aquaculture Industry Development

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์ | Kattinat Sagulsawasdipan |
| กัตตินेत्र สกุลสวัสดิพันธ์ | Kattinet Sagulsawasdipan |
| ณานิกา แซ่แฉ่ ชุกกลิ่น | Chanika Saenge Chooklin |
| สุพัชชา ชูเสียงแจ้ว | Supatcha Chooseanjaew |
| อัจฉรสิริ อนุมณี | Adcharasiri Anumanee |

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำปี พ.ศ. 2565

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2565 เป็นงานวิจัยประยุกต์เพื่อก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการคิดค้นนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัดเช่าที่เทิร์นตรงวอเตอร์ฟิลเตอร์ สำหรับคำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการขึ้นรูปและประกอบกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ขอขอบคุณ ดร.ศิลปชัย เสนารัตน์ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการประเมินสุขภาวะของสัตว์น้ำ ความเป็นพิษ และการสะสมสารพิษของกระชังต่อสัตว์น้ำ

ขอขอบคุณ ธนากรปุม้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการขึ้นรูปและประกอบกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย และนางสาวภาวินี ตกจินตอง ที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

กัตตินาฎ สกุลสวัสดิพันธ์ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2566

นวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากขยะพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน

กัตตินาฏ สกุกสวัสดิพันธ์¹ กัตติเนตร สกุกสวัสดิพันธ์² ฌานิกา แซ่แง ชุกลิน¹
สุพชชา ชูเสียงแจ้ว¹ และอัจฉรสิริ อนุมณี³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการสร้างนวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน โดยใช้พลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง: เอสดีพีอี (HDPE) ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเม็ดพลาสติกใหม่และเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจำนวน 3 ชุดการทดลอง คือ 70:30 50:50 และ 30:70 จากการศึกษาพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีความสามารถในการขึ้นรูปกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ โดยกระชังต้นแบบในงานวิจัยครั้งนี้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร มีขั้นตอนการประกอบและติดตั้งกระชัง 4 ขั้นตอนหลักคือ การทดสอบอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง การตัดชิ้นส่วนเพลทฟอร์ม การติดตั้งชิ้นส่วนของกระชังต้นแบบ และการเชื่อมต่อท่อ HDPE ด้วยความร้อน จากการศึกษาพบว่ากระชังต้นแบบไม่ชักนำให้เกิดสภาวะที่ไม่ดีต่อสัตว์น้ำ และไม่พบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมสะสมในกล้ามเนื้อและตับปลาทุกชุดการทดลอง จากการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำมาสร้างกระชังมีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้ในงานทางด้านการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเชื่อมโยงกับสุขภาพของผู้บริโภค สำหรับผลการทดสอบแรงลอยตัวพบว่ากระชังต้นแบบทั้ง 3 ชุดการทดลองสามารถลอยน้ำได้และสามารถรับน้ำหนักได้อย่างน้อย 1 ตัน ดังนั้นกระชังต้นแบบที่ผลิตนี้จึงมีคุณสมบัติโดดเด่นในด้านความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ดี เช่น น้ำ และเคมีของน้ำทะเล คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำทะเล เช่น คลื่นและลม ความเป็นกรด - ด่างของน้ำทะเล แสงแดด และเพรียงทะเล เป็นต้น โดยคาดว่าจะมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 15 ปีขึ้นไป เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาขยะทะเล ช่วยลดปริมาณการก่อเกิดขยะทะเลจากกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งคณะผู้วิจัยมีความคาดหวัง และมีเป้าหมายในการยกระดับอาชีพให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลลึก รวมถึงการส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างมีความรับผิดชอบต่อ

คำสำคัญ: กระชังปลา อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พลาสติกรีไซเคิล นวัตกรรม

¹ อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² อาจารย์คณะสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³ อาจารย์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Green Fish Cage Innovation from Recycled Plastic Waste for Sustainable Aquaculture Industry Development

Kattinat Sagulsawasdipan¹ Kattinet Sagulsawasdipan² Chanika Saenge Chooklin¹
Supatcha Chooseanjaew¹ and Adcharasiri Anumanee³

Abstract

This research approached for green fish cage innovation from recycled plastic waste to develop sustainability of aquaculture. The plastic using in the study was the combination of High Density Polyethylene (HDPE) and recycled-HDPE (R-HDPE) granule with the 3 ratios of those combination 70:30, 50:50, and 30:70 respectively. All those ratios can be formed thermoplastic as the green fish cage with the round shape and 6 meters of diameter. The procedures to create the fish cage were first, the testing of fish cage clamping device, second, plate-formed cutting, third, installation the parts of the fish cage prototype, last, forming HDPE pipeline through thermal. The results of the experiments had shown that the fish cage didn't lead to harm marine animal healthful. The amount of cadmium and lead in the muscle and liver of the fish were not detected in those 3 experiments. This was confirmed that the combination of HDPE and R-HDPE can be the material to create the fish cage with healthful for aquaculture and it's also correlated to positive consumer's health. Form the results of floating property, all fish cages in those 3 experiments were floatable with 1 ton of compression property. Therefore, the researchers summarized the uniqueness properties of the green fish cage prototypes which were strength, corrosive durable, physical properties on sea water including wave and wind, chemical property among base and acid from sea water, including sunshine and barnacles. The use life of the fish cage in the study preictally would be at least 15 years. This can approach for marine waste solution and would reduce marine waste from aquaculture activities that can make the fishermen on the coastal area enhance their career with responsibility.

Keyword: fish cage, aquaculture industry, plastics recycle, innovation

¹ Department of Marine Science and Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of technology Srivijaya, Trang.

² Department of Faculty of Veterinary Science, Rajamangala University of technology Srivijaya.

³ Department of Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญภาพ..... | ช |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 2 |
| 3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 24 |
| 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 24 |
| บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 25 |
| 1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยในปีที่ 1..... | 25 |
| 2. การศึกษาการออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 25 |
| 3. การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 26 |
| 4. การวิเคราะห์ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยง สัตว์น้ำ..... | 31 |
| 5. การคัดเลือกกระชังต้นแบบที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 31 |
| บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล..... | 32 |
| 1. การออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 32 |
| 2. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ในห้องปฏิบัติการ..... | 40 |
| 3. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง | 54 |
| 4. การวิเคราะห์ศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 56 |
| บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย..... | 57 |
| 1. ผลการออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 57 |
| 2. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 57 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3. ผลการคัดเลือกกระชังต้นแบบที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 58 |
| ข้อเสนอแนะ..... | 59 |
| บรรณานุกรม..... | 60 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 : แสดงการแยกชนิดพลาสติกโดยอาศัยหลักการความหนาแน่น..... | 10 |
| ตารางที่ 2 : List of histological alteration index (Hal) in the hepatic tissue of <i>Oreochromis niloticus</i> (I, II and III – severity stages of alteration)..... | 29 |
| ตารางที่ 3 : พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... | 30 |
| ตารางที่ 4 : การให้ความร้อนและแรงกดต่อ HDPE สำหรับประกอบผลิตภัณฑ์กระซัง ต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทรงกลม..... | 36 |
| ตารางที่ 5 : ความยาวเหยียดเฉลี่ยของปลาไนล (Linnaeus, 1758) ในแต่ละชุดการทดลอง. | 41 |
| ตารางที่ 6 : ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในกล้ามเนื้อและตับปลาไนล..... | 49 |
| ตารางที่ 7 : ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการทดลองในวันที่ 7 30 และ 120..... | 51 |



สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ 1 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต..... | 5 |
| ภาพที่ 2 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง..... | 6 |
| ภาพที่ 3 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ..... | 6 |
| ภาพที่ 4 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีโพรพิลีน..... | 7 |
| ภาพที่ 5 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีไวนิล คลอไรด์..... | 8 |
| ภาพที่ 6 : ตัวอย่างพลาสติกโพลีสไตรีน..... | 9 |
| ภาพที่ 7 : สัญลักษณ์พลาสติกที่รีไซเคิลได้..... | 10 |
| ภาพที่ 8 : ขั้นตอนรีไซเคิลพลาสติก..... | 15 |
| ภาพที่ 9 : ผลิตภัณฑ์จากเม็ดพลาสติกรีไซเคิล..... | 16 |
| ภาพที่ 10 : Micronuclei and other nuclear abnormalities observed in the peripheral erythrocytes of fish due to metals..... | 18 |
| ภาพที่ 11 : Light microscopy and illustrated Livers of yellow perch <i>Perca flavescens</i> (A) Diet 1; No control group high-density polyethylene (HDPE), (B) Diet 3; 2% HDPE, (C) Diet 2; 1% HDPE, (D) Diet 4; 4% HDPE, (E) Diet 5; 8% HDPE, (F) A higher magnification picture of Diet 2. Abbreviations: Glycogen (G), Kupffer cell (KC) and Lipid vacuoles (LV)..... | 19 |
| ภาพที่ 12 : การออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ..... | 25 |
| ภาพที่ 13 : การเตรียมตัวอย่างพลาสติก HDPE ขนาด 4 x 4 เซนติเมตร..... | 26 |
| ภาพที่ 14 : การบรรจุตัวอย่างพลาสติก HDPE สำหรับการทดลอง..... | 27 |
| ภาพที่ 15 : การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง..... | 31 |
| ภาพที่ 16 : การตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นส่วนเชื่อมต่อกระชังด้วยแรงดันอากาศ (a) การเติมอากาศ (b) กดให้จมน้ำเพื่อให้เกิดแรงดันต่างและซึมออกมา..... | 32 |
| ภาพที่ 17 : การวัดท่อ HDPE (a) และการตัดท่อ HDPE ตามขนาด (b) ซึ่งแตกต่างกันตามขนาดของเส้นรอบวงของกระชัง..... | 33 |
| ภาพที่ 18 : การติดตั้งชิ้นส่วนเชื่อมต่อเข้ากับท่อขดกลมวงที่ 1 - 3..... | 34 |
| ภาพที่ 19 : ฐานและที่ยึด (a) แผ่นความร้อน (b) ชุดไฮดรอลิกส์ (c) เครื่องปาดผิว (d)..... | 35 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 20 : ชุดการทดลองที่ 1 ผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตร ส่วนผสมของเม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70 : 30..... | 37 |
| ภาพที่ 21 : ชุดการทดลองที่ 2 ผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตร ส่วนผสมของเม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 30 : 70..... | 37 |
| ภาพที่ 22 : ชุดการทดลองที่ 3 ผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตร ส่วนผสมของเม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 : 50..... | 38 |
| ภาพที่ 23 : แบบร่างตาข่ายอวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ความลึก 5 เมตรสำหรับ นวัตกรรมการกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทรงกลม..... | 39 |
| ภาพที่ 24 : การตัดเย็บส่วนท้ายตาข่ายอวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ความลึก 5 เมตรสำหรับการประกอบเป็นกระชังเลี้ยงปลาในทะเล..... | 39 |
| ภาพที่ 25 : การติดตั้งกระชังในพื้นที่ศึกษา..... | 40 |
| ภาพที่ 26 : Light microscopy and illustrated erythrocyte of <i>Oreochromis niloticus</i> , L. (A) An overview showing the distribution of red blood cell, Normal (B) and illustrated (C) erythrocyte a from representative fish for 7 days after exposure, (D) normal and illustrated (E) erythrocyte from a fish representative for 30 days after exposure, (F) normal and illustrated (G) erythrocyte for 120 days after exposure. Abbreviations: the cytoplasm (Cy black arrow) and the nucleus (N black arrow)..... | 44 |
| ภาพที่ 27 : Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of <i>Oreochromis niloticus</i> , L. after exposure for 7 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality. | 45 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| <p>ภาพที่ 28 : Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of <i>Oreochromis niloticus</i>, L. after exposure for 30 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality.</p> | 46 |
| <p>ภาพที่ 29 : Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of <i>Oreochromis niloticus</i>, L. after exposure for 120 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality....</p> | 47 |
| <p>ภาพที่ 30 : Light microscopic level showing the liver histopathology of <i>Oreochromis niloticus</i>, L. for 7, 30, 120 days after exposure. Abbreviations: Hepatocyte (Hp), Vacuolar cell degeneration (Vd), Pyknotic nucleus (Pn), Karyolysis (Ka). H&E staining method.....</p> | 48 |
| <p>ภาพที่ 31 : แรงแลยตัวสุหธิ แรงแลยตัว และแรงแน้มถ่วงจากการประมาณค่าของกระซัง.....</p> | 54 |
| <p>ภาพที่ 32 : (a) ทดสอบการลยตัวของกระซังเฉพาะน้ำหน้กของตัวกระซัง (b) ทดสอบการเพิ่มน้ำหน้กโดยผู้ปฏิบัติงานขึ้นถ่วงน้ำหน้ก.....</p> | 55 |

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากนโยบายประเทศไทย 4.0 มุ่งสู่การปรับปรุง หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม รวมทั้งยุทธศาสตร์การพัฒนาที่ยั่งยืน ด้านการพัฒนาที่ยั่งยืนหน่วยงานทั้งภาครัฐ และเอกชนต่างตื่นตัวในการนำนวัตกรรมสีเขียวมาใช้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นต่อธุรกิจอุตสาหกรรมทั้งสิ่งแวดล้อม สังคม และชุมชน ท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจโลกได้อย่างเข้มแข็งและยั่งยืน โดยนวัตกรรมสีเขียวที่ถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม เริ่มตั้งแต่การวางแผนการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ โดยการนำเอาสินค้าหรือวัสดุที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) หรือการนำเข้าสู่การผลิตใหม่เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นให้กับการผลิตชนิดอื่น ๆ (Recycle) ซึ่งช่วยลดการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติลง การใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดการเกิดของเสียอันตรายในระหว่างการผลิต และช่วยลดขยะที่จะฝังกลบหรือทำลายหลังการบริโภค นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนากระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ การนำนวัตกรรมมาใช้ในกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้การใช้วัตถุดิบพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่ผลิตภัณฑ์สีเขียวที่ลดการเกิดมลพิษและลดการเกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต จะเห็นได้ว่านวัตกรรมสีเขียวก่อให้เกิดผลดีต่ออุตสาหกรรมทั้งในด้านความคุ้มค่า ช่วยลดต้นทุนทั้งวัตถุดิบและพลังงานในภาคอุตสาหกรรม และยังมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อความยั่งยืนในอนาคตต่อไป

สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าการออกแบบและสร้างกระชังเลี้ยงสัตว์น้ำตามแนวชายฝั่งในประเทศไทยทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน เกษตรกรนิยมสร้างกระชังที่ใช้เป็นโครงเหล็ก และใช้ทุ่นถังพลาสติกหรือโฟมเป็นส่วนประกอบจำนวนมาก และต้องประสบปัญหาความคงทนแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ และมีอายุการใช้งานน้อย ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเป็นภาระให้กับเกษตรกรเพิ่มขึ้น บางช่วงเวลายังต้องเผชิญปัญหาจากสถานการณ์ภัยพิบัติ ทำให้เกิดความเสียหายกับกระชัง รวมทั้งทำให้เกิดปัญหามลพิษกับสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ เศษโฟม เศษซากจากกระชังที่หมดสภาพกลายเป็นส่วนหนึ่งของขยะทะเล ในกรณีของประเทศไทยที่เห็นได้ชัด เช่น เหตุการณ์การตายของวาฬนาร์รองศรีบัสัน เมื่อวันที่ 28 พ.ค.2561 ที่ตำบลนาทับ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา สัตว์แพทย์พบว่ามีอาการลอยตัวผิดปกติ ก่อนที่จะมีการสำรวจพลาสติก และตายในเวลาต่อมา ผลการชันสูตรพบว่าสาเหตุการตายนั้นเกิดจากการที่วาฬกินพลาสติก เศษโฟม และขยะอื่น ๆ เข้าไปทำให้ระบบย่อยอาหารอุดตัน และนายจตุพร บุรุษพัฒน์ อธิบดีกรมทรัพยากรทางทะเล

และชายฝั่ง (อทช.) ระบุว่าสัตว์ทะเลจำนวนมากต้องตายเพราะปัญหาขยะทะเล โดยเฉพาะขยะพลาสติกและเศษโฟม หากประเทศไทยไม่เร่งลดปริมาณขยะในทะเล อาจส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ทางทะเลชายฝั่ง และมนุษย์ในที่สุด

การสร้างนวัตกรรมรักษ์โลก จึงเป็นไอเดียที่จะช่วยลดขยะล้นโลกโดยเฉพาะขยะทะเล โดยการนำพลาสติกรีไซเคิลกลับมาแปรสภาพให้กลายเป็นเครื่องมือต่าง ๆ รวมไปถึงคิดค้นนวัตกรรมที่ช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงาน และการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ จากสาเหตุดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วย “นวัตกรรมสีเขียว (Green Innovation)” โดยการออกแบบ และสร้างกระชังเลี้ยงปลาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากพลาสติกรีไซเคิล (พลาสติกที่ใช้แล้ว) บางประเภทที่มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิด มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกกระแทก ไม่แตกร้าวง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ท่อประปา โตะ - เก้าอี้พับได้ ถุงพลาสติก เป็นต้น จะเห็นได้ว่าวัสดุเหล่านี้มีความคงทน และมีระยะเวลาในการใช้งานที่ยาวนาน สามารถรีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งยังมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำแนวทางเศรษฐกิจสีน้ำเงินมาใช้ทั้งป้องกัน และแก้ปัญหาขยะทะเล ทำให้พลาสติกเหลือใช้กลายเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตนวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากขยะพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนต่อไป ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาขยะทะเลได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังคาดหวังว่าช่วยลดต้นทุนในการทำกระชังเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน และทดแทนการใช้หินโม่ให้กับอาชีพผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ในอนาคต

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

พลาสติก หรือ Plastics มาจากภาษากรีก “Plastikos” แปลว่า สามารถหลอมเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ ซึ่งพลาสติกชนิดแรกถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1868 คือ เซลลูลอยด์ ซึ่งนำมาใช้ในการผลิตลูกบิลเลียดแทนงาช้าง ซึ่งในขณะนั้นเป็นกีฬาที่มีความนิยมสูง โดยผู้ค้นพบ คือ John Wesley Hyatt (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554) ต่อมาในปี ค.ศ. 1909 Leo Hendrick Baekeland ได้ค้นพบพลาสติกชื่อ ฟีนอลม, พอร์มัลดีไฮด์ซึ่งฟีนอล, พอร์มัลดีไฮด์ได้จากการผสมฟีนอลกับพอร์มัลดีไฮด์เข้าด้วยกัน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Bakelite เป็นพลาสติกแข็ง ทนความร้อนได้ดี และสามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ตามแม่พิมพ์โดยใช้ความร้อนซึ่งสามารถนำเอา Bakelite มาใช้ผลิตเป็นด้านกระทะ หูหม้อหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ซึ่งสมาคมวิศวกรพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้จำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้ พลาสติก คือ วัสดุ

ที่ประกอบด้วยสารหลายอย่างมีน้ำหนักโมเลกุลสูงลักษณะอ่อนตัว ขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง

พลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้แทนวัสดุธรรมชาติ เนื่องจากมีราคาไม่แพง และหาได้ง่าย ซึ่งพลาสติกแต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันไป บางชนิดเมื่อโดนความร้อนจะอ่อนตัวลง บางชนิดเมื่อโดนความเย็นจะแข็งตัวขึ้น แต่บางชนิดถึงแม้โดนความร้อนหรือความเย็นก็จะไม่มีการเปลี่ยนสภาพ เช่น ไนลอน ยางเทียม ซึ่งสามารถนำเอามาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่ม และส่วนประกอบของเรือหรือรถยนต์ได้ พลาสติกเป็นวัสดุซึ่งถูกสังเคราะห์มาจากสารประกอบอินทรีย์ หรือเซลลูโลสซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเซลลูโลสที่ถูกนำไปสังเคราะห์เป็นพลาสติกนั้นประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคลอรีน เมื่อนำมาสังเคราะห์โดยกระบวนการ “พอลิเมอไรเซชัน” จะกลายเป็นพลาสติกหรือพอลิเมอร์ที่เราใช้ในปัจจุบัน ซึ่งความหมายของคำว่า พลาสติกและพอลิเมอร์มีลักษณะใกล้เคียงกัน คำว่า “พลาสติก” จะหมายถึงสารผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพ และฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปทรงต่าง ๆ เช่น ถัง จาน และช้อน ส่วนคำว่า “พอลิเมอร์” มักหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใย และกาว เป็นต้น (กษมน, 2557)

2.2 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกสามารถแบ่งออกตามลักษณะการยึดเกาะตัวของโครงสร้างโมเลกุลได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิด คือ เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตติง (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

2.2.1 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษ คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใด จะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวร หมายความว่า จะเอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Cross Linking Among Polymer Chains) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับการทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูงและโดยมากต้องการแรงอัดด้วย ได้แก่ พลาสติกจำพวกที่เป็นจานเชียบูหรี ซุดถ้วย ชาม จานพลาสติกชนิดพิเศษที่เรียกว่า เมลามีน (Melamine) ซึ่งมีสมบัติทนการตกแตกและความร้อนได้ดีมาก เวลาถูกประกายไฟจะไม่ลุกไหม้ที่พบเห็นกันทั่วไปเป็นผลิตภัณฑ์ภาชนะที่ใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ถาด ถ้วย และช้อน ตัวอย่างเทอร์โมเซตติงพลาสติก เช่น

1) เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) มีสมบัติทางเคมี ทนแรงดันได้ 7,000 - 135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000 - 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25 - 0.35 ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด และนิยมใช้กันมาก มีทั้งที่เป็นสีเรียบและลวดลายสวยงาม ข้อเสียคือ น้ำส้มสายชู จะซึมเข้าเนื้อพลาสติกได้ง่าย ทำให้เกิดรอยด่าง แต่ไม่มีพิษภัยเพราะไม่มีปฏิกิริยากับพลาสติก

2) ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde) มีความต้านทานต่อตัวทำละลายสารละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกอาจพองบวมได้เนื่องจากน้ำหรือแอลกอฮอล์ พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำฝาจุกขวดและหม้อ

2.2.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เป็นเม็ดพลาสติกที่เมื่อขึ้นรูปแล้วสามารถนำกลับมาหลอมและใช้ใหม่ได้ เทอร์โมพลาสติกที่สำคัญและพบมากในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทของไทย อาจแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- พลาสติกเชิงพาณิชย์ (Commodity Plastic) เช่น PP PE และ PVC
- พลาสติกเชิงวิศวกรรม (Engineering Plastic) เช่น ABS PMMA PC

เป็นต้น

สำหรับเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญและใช้มากในประเทศไทยมีอยู่ประมาณ 8 ประเภท ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีสไตรีน (PS) เอบีเอส (ABS) อะคริลิก (PMMA) โพลีอะซีทัล (Polyacetal) และโพลีคาร์บอนเนต (PC) ซึ่งแต่ละประเภทจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

1) โพลีเอทิลีน (Polyethylene Resins : PE) โดยทั่วไปโพลีเอทิลีนมีสีขาวขุ่น (Milky White) ลักษณะคล้ายขี้ผึ้งไม่เกาะติดน้ำ สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ มีน้ำหนักเบามาก โพลีเอทิลีนมีปริมาณการใช้สูงสุดในประเทศขณะนี้ นิยมใช้ทำเครื่องใช้ เครื่องเรือนทั่วไป ของเล่นเด็ก ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุต่าง ๆ เช่น ถู๊กอบแก๊บ เป็นต้น โพลีเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น Low Density Polyethylene (LDPE) High Density Polyethylene (HDPE) และที่ได้พัฒนาใหม่ให้มีคุณสมบัติยิ่งขึ้นนิยมใช้มากคือ Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) กับ Ultra - High Molecule Weigh Polyethylene (UHMW PE) ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีน เช่น

(ก) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) พลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นพลาสติกที่ค่อนข้างแข็งและเหนียวไม่เปราะแตกง่าย และส่วนใหญ่จะใสทำให้มองเห็นความใสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายใน (ภาพที่ 1) จึงนิยมใช้บรรจุ น้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลตยังมีสมบัติป้องกันการแพร่

ผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี จึงนิยมใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม ขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยโพลีเอสเตอร์สำหรับทำเสื้อกันหนาว พรมและใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน



ภาพที่ 1 ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

(ข) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density

Polyethylene, HDPE)

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติเหนียว แข็ง มีสีขุ่น ทนต่อสารเคมี รักษารูปทรงได้ดีและสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 105 องศาเซลเซียส เป็นพลาสติกที่ค่อนข้างนิ่มแต่เหนียวไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสันทสวยงาม ราคาถูกขึ้นรูปได้ง่ายทนสารเคมีจึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว นอกจากนี้ภาชนะที่ทำจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดบรรจุนม เพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้ว ศาลา หรือม้านั่งในสวน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

(ค) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density

Polyethylene, LDPE)

โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีความทนทานต่อสารเคมีกรดและด่าง อีกทั้งยังแปรรูปได้ง่าย เป็นฉนวนได้ดีและไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ มีความสามารถในการรับแรงกระแทกและความยืดหยุ่น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นพลาสติกนิ่ม สามารถยืดตัวได้ดีในระดับหนึ่ง มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ห่อของและถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร และถุงใส่ขนมปัง นอกจากนี้ยังนำมาใช้ผลิตขวดที่มีลักษณะนิ่ม ที่ต้องการให้บีบได้ง่าย เช่นขวดบรรจุสารละลาย ขวดบรรจุซอส เป็นต้น (ภาพที่ 3) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหิ้ว หรือถังขยะ



ภาพที่ 3 ตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

2) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) เป็นพลาสติกที่แข็ง เหนียวทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่นถุง กล่อง ขาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น

หลอดดูดน้ำ เป็นต้น (ภาพที่ 4) โพลีโพรพิลีนสามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้โดยนิยมนผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน กรวยสำหรับเติมน้ำมัน



ภาพที่ 4 ตัวอย่างพลาสติกโพลีโพรพิลีน

โพลีโพรพิลีนเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ระดับหนึ่ง แต่สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 150 องศาเซลเซียส เหนียว แข็งแกร่ง ทนต่อแรงอัด และแรงกระแทก ไม่สึกกร่อนง่าย ทนต่อสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

(ก) Homopolymer Polypropylene เป็นโพลีโพรพิลีนที่มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่าโพลีเอทิลีน ขึ้นรูปง่ายใช้ในงานฉีดทั่วไป งานที่ใช้เม็ดพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่

- งานฉีดขึ้นรูป เช่น ถัง กะละมัง ตะกร้า ของเด็กเล่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ทางการแพทย์ ภาชนะบรรจุทั่วไป เป็นต้น
- แผ่นฟิล์ม ใช้ทำฟิล์มใส ถูกร้อน ถูงเย็น ซองใส่เสื้อยืด ฟิล์มห่อหุ้มบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน

- งานเป่า เช่น เป่าขวด ที่นำ มาใช้งานเช่นเดียวกับ HDPE

- งานสิ่งทอ ทำ เส้นใย กระสอบสาน เชือก แห อวน เป็นต้น

(ข) Block Copolymer Polypropylene เป็นโพลีโพรพิลีนที่รับแรงกระแทกสูงกว่าประเภท Homopolymer ขึ้นรูปง่าย งานที่ใช้เช่นเดียวกับ Homopolymer Polypropylene แต่ต้องรับแรงกระแทกสูงที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำเช่น Toptable ในตู้เย็น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า อุปกรณ์รถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุที่ต้องการรับแรงกระแทกสูง แบตเตอรี่ แก้วอีสานาม เป็นต้น

(ค) Random Copolymer Polypropylene เป็นโพลีโพรพิลีนที่มีความใสเป็นคุณสมบัติพิเศษ ใช้งานฉีดเป็นส่วนใหญ่ งานที่ใช้ได้แก่ กล่องบรรจุอาหารทั่ว ๆ ไป

3) โพลีไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) มีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี ก๊าซ และน้ำซึมผ่านเข้าไม่ได้ ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศได้ดี มีน้ำหนักเบา และมีราคาค่อนข้างถูก ซึ่งจากคุณสมบัติที่ดีเหล่านี้ โพลีไวนิล คลอไรด์จึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น รางน้ำ วงกบหน้าต่าง ท่อน้ำ สายเคเบิลไฟฟ้า ใช้ในการบรรจุหีบห่อสินค้า และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น โพลีไวนิล คลอไรด์ที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น ท่อน้ำพีวีซี ขวดพีวีซี ผนังเทียม เป็นต้น ไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพีวีซีเพียงอย่างเดียว แต่จะผสมสารเติมแต่งอื่น ๆ อีกหลายชนิด เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ความต้องการ อาทิ สารปรับปรุงแรงกระแทก สารเสริมสภาพพลาสติก สารคงสภาพ เป็นต้น (ภาพที่ 5) โพลีไวนิล คลอไรด์สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อน้ำประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่งพลาสติก



ภาพที่ 5 ตัวอย่างพลาสติกโพลีไวนิล คลอไรด์

4) โพลีสไตรีน (Polystyrene Resins: PS) มีความหดตัวน้อยมาก มีความแข็งแรงคงทนดี แต่เปราะ สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ ผิวเรียบและใส ไม่มีรสและกลิ่น เป็นฉนวนไฟฟ้าดี ความดูดซึมน้ำต่ำ ไม่เหมาะกับการใช้ภายนอก ทนความร้อนได้พอสมควร โพลีสไตรีนใช้ทำกล่องบรรจุอาหารชนิดใส กล่องบรรจุของใช้อื่น ๆ เช่น แปรงสีฟัน ถังบรรจุเครื่องดื่มของเด็กเล่น แผง และตู้โทรทัศน์วิทยุ ไฟท้ายรถ ไม้บรรทัด เป็นต้น ในรูปโฟม ซึ่งเรารู้จักในชื่อ สไตรโฟม (Styrofoam) ใช้ทำป้าย และสิ่งประดับในงานต่าง ๆ วัสดุกันแตกในกล่องบรรจุของแผ่น ฉนวนกันความร้อนและเสียง เป็นต้น (ภาพที่ 6) โพลีสไตรีน สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตไม้แขวนเสื้อ กล่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือของใช้อื่น ๆ



ภาพที่ 6 ตัวอย่างพลาสติกโพลีสไตรีน

5) อะคริโลไนไตรล บิวทาไดโอน สไตรีน (ABS - Acrylonitrile - Butadiene - Styrene: ABS) มีคุณสมบัติรับแรงกระทบได้ดีมาก ทนความร้อนสูงถึง 212 องศาฟาเรนไฮต์ ทนกรดและด่างได้ดีพอสมควร เป็นฉนวนไฟฟ้าดี มีคุณสมบัติพิเศษที่นำไปชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าได้ดี เช่น ชุบโครเมียม ป้ายชื่อรถยนต์นิยมนำไปทำปุ่มหมุนวิทยุโทรทัศน์ อะคริโลไนไตรล บิวทาไดโอน สไตรีน จะใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ เช่น กระจกมองข้าง กระจังหน้ารถยนต์ เป็นต้น อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น จาน ชาม ตะเกียบ

6) อะคริลิก (Acrylic) พลาสติก PMMA (Polymethyl Methacrylate) หรือที่รู้จักกันดีในนาม “อะคริลิก” เป็นพลาสติกที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายด้วยคุณสมบัติโดดเด่นในด้านความใสเทียบเคียงกระจก มีความมันเงา และทนทานต่อสภาพแวดล้อม PMMA สามารถนำมาใช้ทั้งในงานฉีดขึ้นรูป (Injection) และงานอัดรีด (Extrusion) ได้เป็นอย่างดี โดยชิ้นงานที่เห็นกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ หน้าปัทม์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ฝาครอบไฟ ก้อนน้ำคริสตัล เครื่องใช้ในครัวเรือนที่คล้ายเครื่องแก้ว เลนส์ กรอบแว่นตา เป็นต้น

7) โพลีอะซีทัล (Polyacetal) จัดเป็น Engineering Plastics ตัวหนึ่งใช้แทนชิ้นส่วนโลหะที่หล่อโดยวิธี Die Casting นอกจากนี้ยังใช้ทำ ชิ้นส่วนในรถยนต์ และเครื่องจักรกล เช่น คาบูเรเตอร์เกียร์ แบริง บูช ลูกกลิ้ง ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวและเสียดทาน นอกจากนี้ ยังใช้ทำเป็นขวดบรรจุสเปรย์ได้อีกด้วย

8) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นเทอร์โมพลาสติกเรซิน (Thermoplastic Resin) มีคุณสมบัติที่สำคัญหลายด้าน ได้แก่ ทนต่อแรงกระแทกสูง มีความใสทำให้นำมาประยุกต์ใช้ในงาน Optic ได้อย่างกว้างขวาง (แสงผ่านได้ร้อยละ 90) มีขนาดคงที่ในระหว่างการขึ้นรูปและมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กน้อยหลังจากผ่านการขึ้นรูปแล้ว ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียส จนถึง +120 องศาเซลเซียส เมื่อเกิดการลุกไหม้สามารถดับได้เองจึงถูกนำมาใช้งานในสถานที่ที่การลุกไหม้เป็นสิ่งอันตราย มีความทนทานต่อสภาวะอากาศ

และโอโซนได้ดีมาก สามารถนำมาใช้กับงานภายนอกอาคารได้ ไม่เป็นพิษ จึงนำมาใช้เป็นภาชนะในการบรรจุอาหารและยาได้ และมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมนำมาใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า

โพลีคาร์บอเนตจึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตสินค้าได้หลายประเภท เช่น ทำแว่นตานิรภัย Compact Disc กระจกหน้าต่าง Housing ของคอมพิวเตอร์ ฝาครอบไฟฟ้าหน้ารถยนต์และขวด เป็นต้น

2.3 เทอร์โมพลาสติกที่รีไซเคิลได้

เทอร์โมพลาสติกเมื่อถูกความร้อนทำให้เกิดการอ่อนตัว สามารถนำกลับมาหลอมเหลว และขึ้นรูปได้หลายครั้ง จึงนิยมนำพลาสติกชนิดนี้มารีไซเคิล (Recycle) โดยการบดและหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกที่รีไซเคิล จะมีการแสดงสัญลักษณ์บนผลิตภัณฑ์ โดยใช้สัญลักษณ์ลูกศรวิ่งวนเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า มีเลขกำกับภายใน และมีอักษรภาษาอังกฤษที่ฐานสามเหลี่ยม (ภาพที่ 7) และสามารถแยกชนิดของพลาสติกโดยอาศัยหลักการความหนาแน่นที่แตกต่างกันตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1



ภาพที่ 7 สัญลักษณ์พลาสติกที่รีไซเคิลได้

ตารางที่ 1 แสดงการแยกชนิดพลาสติกโดยอาศัยหลักการความหนาแน่น

| ประเภทพลาสติก | จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่น |
|------------------|----------------------------|-------------|
| พีอีที (PET) | 250 - 260 | 1.38 - 1.39 |
| เอสดีพีอี (HDPE) | 130 | 0.95 - 0.97 |
| พีวีซี (PVC) | 75 - 90 | 1.15 - 1.35 |
| แอลดีพีอี (LDPE) | 110 | 0.92 - 0.94 |
| พีพี (PP) | 160 - 170 | 0.90 - 0.91 |
| พีเอส (PS) | 70-115 | 1.05 - 1.07 |

2.3.1 โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) เป็นพอลิเมอร์ใส ไม่มีสี แข็งทนทานต่อแรงกระแทก จึงนิยมใช้ทำขวดน้ำดื่ม และเนื่องจากมีสมบัติ

ในการป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดีจึงนำมาใช้ทำขวดบรรจุน้ำอัดลม สามารถนำมารีไซเคิลได้ โดยการทำเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

2.3.2 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) การจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างมีความเป็นระเบียบ และมีปริมาณโครงสร้างผลึกสูง มีความขุ่น ทนกรด และด่างได้ดี จึงนิยมใช้ทำภาชนะบรรจุสารเคมี ถังขยะ ถังน้ำเอสตีพีอี สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดีจึงนำมาใช้ทำขวดนม นิยมนำมารีไซเคิลเป็น ม้านั่ง ขวดใส่น้ำยาซักผ้า

2.3.3 โพลีไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) เนื่องจากมีคลอรีนอะตอม อยู่ในสายโซ่ จึงทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้มีความแข็งแรงมาก นิยมใช้ทำท่อน้ำประปา ผนังเทียม ฉนวนหุ้มสายไฟ ถ้าเติมพลาสติกไซเซออร์ (Plasticizer) ลงไปจะทำให้นิ่ม นำมาทำเป็นโฟมสายยาง ม่าน พลาสติกชนิดนี้ถูกนำมารีไซเคิลเป็นท่อน้ำประปาเพื่อการเกษตร

2.3.4 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) โครงสร้างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก จึงทำให้มีปริมาตรสูง มีความหนาแน่นต่ำ มีความโปร่งแสง นิยมใช้ทำสายหุ้มทองแดง ถุงใส่ของ ถุงเย็นบรรจุอาหาร แผ่นฟิล์มสามารถรีไซเคิลเป็นถุงใส่ขยะได้

2.3.5 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP) มีสมบัติคล้ายกับพลาสติกพีอี แต่มีความหนาแน่นต่ำกว่า พลาสติกพีอีเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด แต่มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกระแทกสูง นิยมทำบานพับ และฝาขวดที่มีการเปิดปิดเป็นประจำ ทำภาชนะบรรจุอาหาร เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นผลึก สามารถนำมารีไซเคิลเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชนได้

2.3.6 โพลีสไตรีน (Polystyrene Resins: PS) พอลิเมอร์ในเชิงการค้าอยู่ในรูปของอสังฐาน มีลักษณะแข็ง ใส แต่เปราะ ข้อดีของโพลีสไตรีน คือ สามารถผลิตเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย นิยมใช้งานขึ้นรูปด้วยการฉีด นำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง ทำถาดโฟมบรรจุอาหาร นำมารีไซเคิลเป็น กล่องวีดีโอ ไม้แขวนเสื้อ

2.3.7 พลาสติกชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลาสติก 6 ชนิดแรก เช่น พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อแรงกระแทกสูง ทนอุณหภูมิได้ดี นิยมใช้ทำ หมวกนิรภัย แวนนิรภัย ขวดนมเด็กฝา ครอบไฟรถยนต์ ไฟจราจร บ้ายโฆษณา

2.4 การรีไซเคิลพลาสติก

2.4.1 ประเภทการรีไซเคิลพลาสติกพลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี และมีราคาถูก น้ำหนักเบาสามารถผลิตให้มีสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้จากการเลือกชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมี กระบวนการผลิต

และกระบวนการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังสามารถปรุงแต่งสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบันทำให้เรามีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ และสีให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการ รีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีโดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary Recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Tertiary Recycling) และการรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary Recycling)

1) การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกัน และไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

2) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ หรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอม และขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ

(ก) การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical Recycling) เป็นเทคนิคที่ง่าย และนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน โดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภท และสีมาล้างทำความสะอาดก่อนนำมาบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรดสองหรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิล เพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือนำมาผสมกับเม็ดใหม่ เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการก่อนนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยคุณภาพของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนี้จะเป็นตัวกำหนดการนำไปใช้งานและปริมาณการผสมที่ต้องการปัญหาในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกคือหลังจากผ่านกระบวนการรีไซเคิลในแต่ละครั้งพลาสติกจะมีคุณภาพต่ำลงปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่โมเลกุลของ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในเกิดประโยชน์สูงสุด และมีราคาถูกลงเรื่อยๆ จนบางครั้งไม่คุ้มต่อการลงทุน สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกขนาดเล็ก ๆ หรือ เศษกาวทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้นหรือ มีความใสลดลง นอกจากนี้ความชื้นในพลาสติก และความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเหลือง และมีสมบัติเชิงกลลดลงด้วย

(ข) การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical Modification) เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีข้อจำกัดในด้านสมบัติ การขึ้นรูปและการใช้งาน ดังนั้น การปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมีจะช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวหรือทำให้เม็ดรีไซเคิลมีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดใหม่ได้ การปรับปรุงนี้สามารถใช้ได้กับทั้งพลาสติกชนิดเดียวหรือพลาสติกผสม ถ้าเป็นพลาสติกชนิดเดียวก็จะใช้การเติมสารเคมีหรือใช้วิธีการผ่านด้วยรังสี แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากันที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า Compatibilizer

(ค) การหลอมอัดรีดร่วม และการฉีดร่วม (Coextrusion and Coinjection Moulding) การหลอมอัดรีดร่วม และการฉีดร่วมเป็นอีกเทคนิคหนึ่งของการรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้น ๆ เหมือนแซนด์วิช โดยที่ผิวหน้าเป็นชั้นที่ผลิตจากพลาสติกใหม่ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดีและมีสีสน่าใช้ ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

3) การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมี และทางความร้อน

(ก) การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical Recycling) เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก (Depolymerisation) ได้มอนอเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นและตกผลึกได้เป็นสารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นพอลิเมอร์ใหม่

(ข) การรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis) โครงสร้างของพอลิเมอร์สามารถเกิดการแตกหรือขาดได้โดยใช้ความร้อน เรียกว่า Thermolysis แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

(1) Pyrolysis เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นเป็นของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบสังเคราะห์ (Synthetic Crude Oil) สามารถนำกลับไปใช้ในโรงกลั่นและส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนภายในกระบวนการ

(2) Gasification เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบใช้ออกซิเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า Pyrolysis ผลลัพธ์ที่ได้คือ Syngas ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง แต่ถ้าทำการแยกก่อนนำมาใช้ในรูปของสารเคมีจะมีมูลค่าสูงขึ้น 2 - 3 เท่า

(3) Hydrogenation เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงมาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสายโซ่พอลิเมอร์ของเพทจะถูกทำให้แตก หรือขาดออกจากกันด้วยความร้อน และสัมผัสกับไฮโดรเจนที่มากเกินไปที่ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ จนเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (Cracking) และเกิดการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือดีเซล

กระบวนการรีไซเคิลทางความร้อนถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมี เพราะสามารถจัดการขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลาสติกได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูง และมีการผสมหรือปนเปื้อนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูง อย่างไรก็ตามพลาสติกเพทที่จะนำมารีไซเคิลทางความร้อนก็ควรมีการคัดขนาดหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกบ้าง

4) การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ แม้ว่าทุกวันนี้การรีไซเคิลพลาสติกยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก แต่ก็กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่เราให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมารีไซเคิลใช้ซ้ำจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้เรารักษาความสวยงามและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติไว้ได้ ซึ่งอีกไม่นานเราก็จะก้าวข้ามเข้าสู่ศตวรรษใหม่ที่วิทยาการและเทคโนโลยีต่าง ๆ จะได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น คนแห่งศตวรรษใหม่อาจต้องเปลี่ยนนิสัยทัศนคติเกี่ยวกับพลาสติก เมื่อพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วในศตวรรษหน้าไม่ได้กลายเป็นขยะอีกต่อไป แต่กลับกลายเป็นทรัพยากรสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

2.4.2 ขั้นตอนการรีไซเคิลพลาสติก (Elsevier applied Science, 1989)
การรีไซเคิลพลาสติก เป็นกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกให้อยู่ในรูปแบบที่นำไปใช้งานต่อได้ โดยในบางครั้ง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุรีไซเคิลนั้น มีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ เช่นการนำขวดพลาสติกมาหลอมและฉีดขึ้นรูปใหม่เป็นชุดโต๊ะและเก้าอี้ ในกระบวนการรีไซเคิลขั้นแรกต้องทำการแยกประเภทพลาสติกก่อน เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีลักษณะพิเศษคือมีน้ำหนักและความซับซ้อนทางโครงสร้างโมเลกุลสูง ทำให้พลาสติกแต่ละชนิดไม่สามารถผสมเข้าด้วยกันได้เหมือนสารชนิดอื่น เช่น แก้วหรือโลหะ หลังจากผ่านกระบวนการแยกประเภทพลาสติกแล้ว ขยะพลาสติกจะถูกส่งเข้ากระบวนการรีไซเคิล โดยมีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 8)

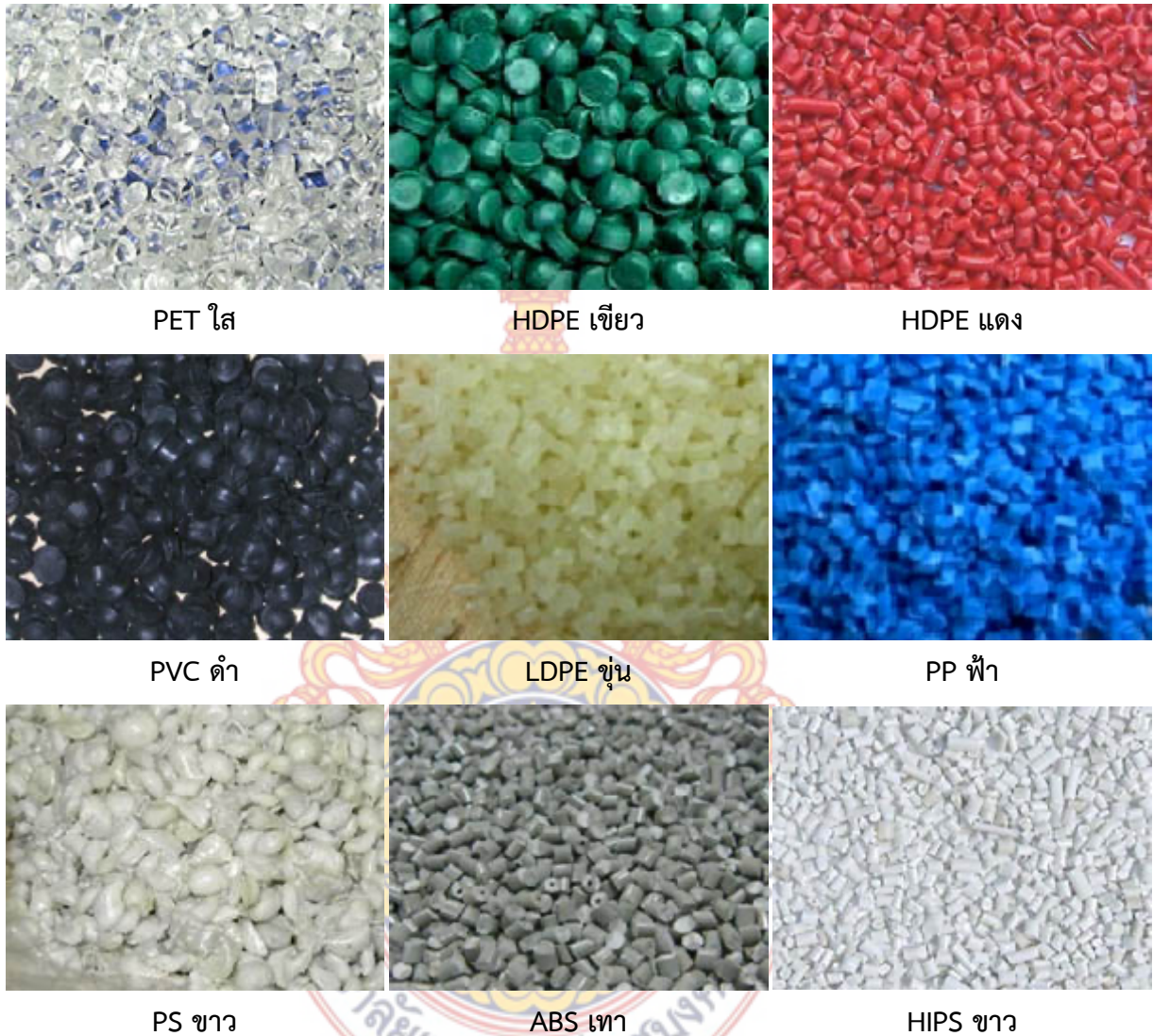


ภาพที่ 8 ขั้นตอนรีไซเคิลพลาสติก

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.)

- 1) การตรวจสอบประเภทของพลาสติก ขั้นตอนนี้เป็นการแยกประเภทของพลาสติก เช่น พลาสติกชนิดพีพี พลาสติกชนิดพีอี และพลาสติกชนิดไฮเดน เมื่อแยกประเภทของพลาสติกเสร็จแล้ว แยกคุณลักษณะของพลาสติก เช่น พลาสติกใช้สำหรับงานฉีด พลาสติกสำหรับงานเป่า หลังจากนั้นแยกเศษพลาสติกเป็นเศษพลาสติกใหม่ผ่านการใช้งานเพียงครั้งเดียว (พลาสติกสะอาด) กับเศษพลาสติกผ่านการล้างน้ำมาแล้ว หรือเศษพลาสติกเก่าที่สกปรก
- 2) การบดโม้พลาสติก ขั้นตอนนี้ทำการบดพลาสติกที่ได้แยกประเภทไว้แล้วให้เป็นชิ้นเล็ก หรือเรียกว่าสแครป เพื่อให้ง่ายต่อการหลอมพลาสติก หากเศษพลาสติกใดสกปรกจะต้องไปขั้นตอนล้างเพื่อทำความสะอาด หากเศษพลาสติกสะอาดจะถูกเตรียมเข้าเครื่องหลอม
- 3) การล้างพลาสติกให้สะอาด ขั้นตอนนี้สิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกไปโดยผ่านน้ำ และนำมาตากให้แห้งสนิท
- 4) การผสมแม่สีให้กับเศษพลาสติก ขั้นตอนนี้เป็นการผสมแม่สีเข้ากับเศษพลาสติกที่ได้มา เพื่อเม็ดพลาสติกที่ได้มาจะมีสีเฉดเดียวกัน โดยแม่สีนี้มีทั้งแบบชนิดเม็ด และแม่สีชนิดผง
- 5) หลอม (รีไซเคิล) พลาสติกด้วยความร้อน นำเศษพลาสติกที่ได้มาหลอมใหม่โดยใช้ความร้อนโดยผ่านทางเครื่องหลอมพลาสติก ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก พลาสติกเหลวที่ได้จะถูกส่งผ่านตะแกรงสแตนเลสที่มีขนาดละเอียดเพื่อดักสิ่งแปลกปลอมที่ยังตกค้างอยู่ในเศษพลาสติก จากนั้นพลาสติกเหลวจะผ่านเข้าสู่เครื่องอัดรีดออกมาเป็นเส้นเส้นพลาสติกเหล่านี้จะผ่านน้ำ โดยรางน้ำจะยาวประมาณ 5 - 10 เมตร เพื่อให้พลาสติก

แข็งตัวได้โดยใช้ระยะเวลาไม่นาน เส้นพลาสติกจะถูกตัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ ผ่านเครื่องตัดเม็ดพลาสติก หลังจากนั้นบรรจุลงถุง โดยที่น้ำหนักทั่วไปหนักถุงละ 25 กิโลกรัม ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกที่ผ่านขั้นตอนการรีไซเคิล แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลิตภัณฑ์จากเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

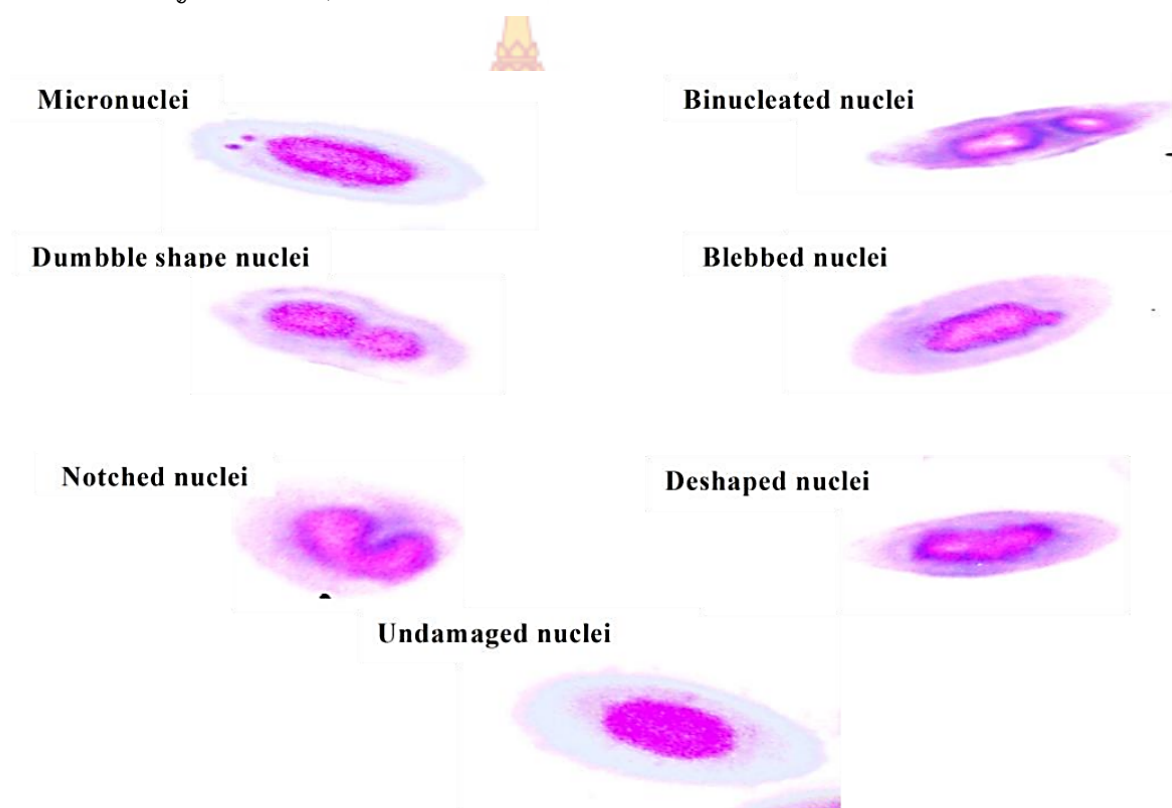
แหล่งที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (ม.ป.ป.)

2.5 การใช้ตัววัดทางชีวภาพเพื่อประเมินสุขภาพของปลา

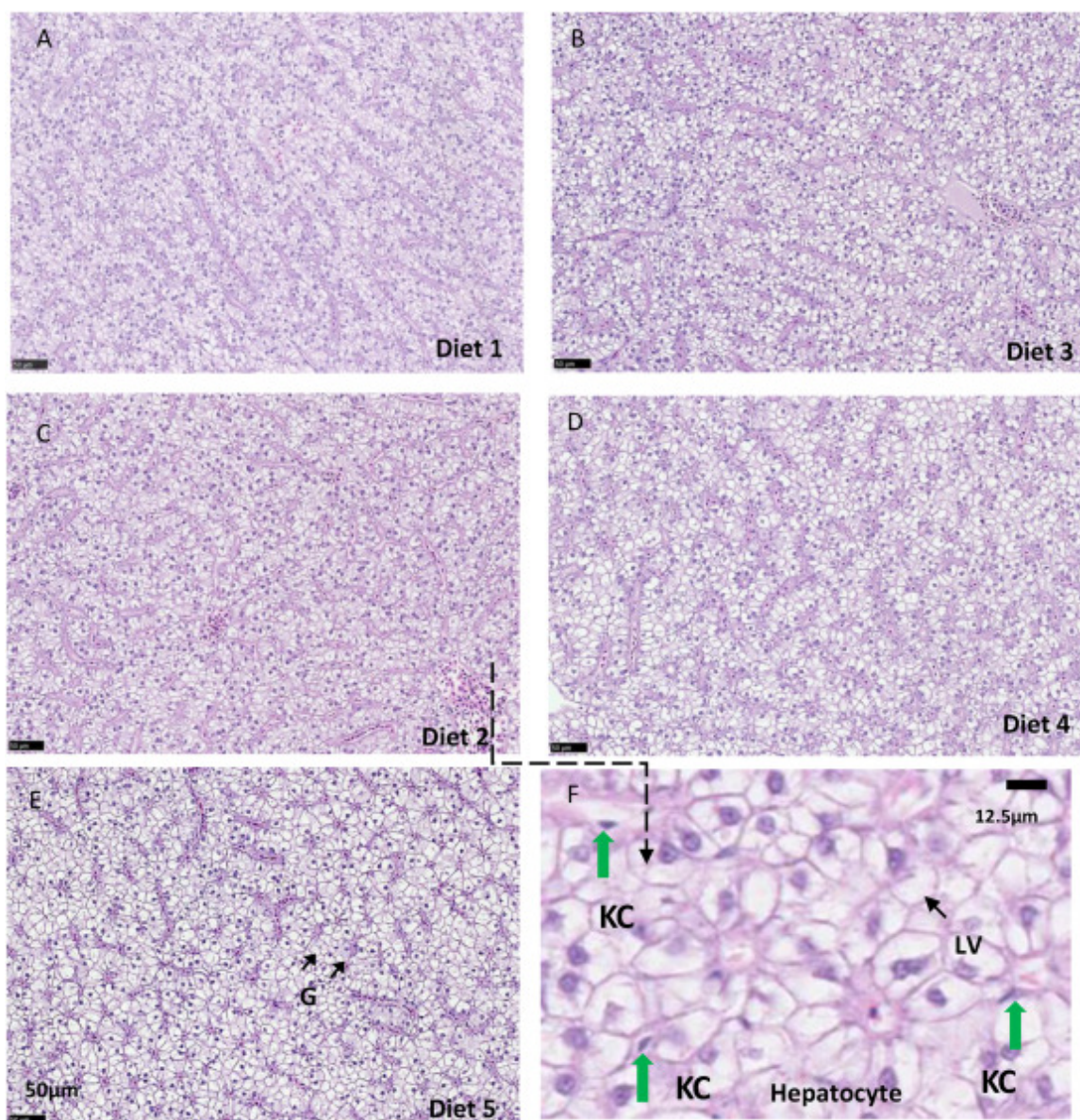
โลหิตวิทยาเป็นวิธีการหนึ่งในการตรวจสอบสถานะสุขภาพ มีการใช้อย่างกว้างขวางสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Hayashi et al., 1998; Witeska, 2022) การคัดเลือกตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Biomarker) โดยเฉพาะ Biomarker of Effect ซึ่งเป็นตัววัดทางชีวภาพที่แสดงถึงผลกระทบของสารเคมี ที่มีการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายของสัตว์ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักอวัยวะโลหิตวิทยา และจุลกายพยาธิวิทยา (Auró de Ocampo et al., 1999; Kendall et al., 2001) สอดคล้องกับการศึกษาของ RosaLinde - AriasAlan et al. (2008) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าโลหิตวิทยาในปลา *O. Niloticus*, L. จากกลุ่มการทดสอบ และจากการศึกษาในกลุ่มแม่น้ำปาราอีบาดูซูล ประเทศบราซิล ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก มีผลต่อความผิดปกติของนิวเคลียสในเซลล์เม็ดเลือดแดง ชนิด Dumbble Shape Nuclei , Notchrd Nuclei และ Blebbed Nuclei ในปลา *Labeo Rohita* จากประเทศปากีสถานที่อาศัยในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของโลหะบางชนิด (Kousar and Javed, 2015) (ภาพที่ 10) มีความสอดคล้องกับการศึกษาความผิดปกติของนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดแดงในปลาชนิดหินแขก *Siganus Javus* จากเกาะสีชังประเทศไทย หลังสัมผัสกับความเครียดจากสภาพแวดล้อมที่มีการรั่วไหลของน้ำมันอย่างรุนแรงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ สะท้อนถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม และพบความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงหลายชนิดในปลา *S. Javus* ซึ่งให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมของเกาะสีชังกำลังอยู่ภายใต้ผลกระทบเชิงลบและเชื่อมโยงผลกระทบที่ขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (Sopon et al., 2021)

จุลพยาธิวิทยาเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประเมินสุขภาพของปลาและสถานะระบบนิเวศ (Dalzochio et al., 2016) ซึ่งใช้ในการระบุถึงความผิดปกติทางเนื้อเยื่อวิทยาในหลายระดับของเซลล์เนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ (Senarat et al., 2015) ตัวอย่างเช่น Ayadia et al. (2015) ได้ทำการศึกษาประเมินผลของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และเนื้อเยื่อวิทยาในตับของปลานิล *O. Niloticus* ที่สัมผัสกับสีย้อม สอดคล้องกับการประเมินผลของมลพิษต่อตับในปลาบู่สีดำ *Gobius niger* (Linnaeus, 1758) ของ Louiz et al. (2018) ซึ่งบ่งชี้ว่าการทำงานของตับมีความผิดปกติเนื่องจากพบรอยโรคจำนวนมาก ซึ่งมาจากผลกระทบของการปล่อยมลพิษอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อการตอบสนองของไบโอมาร์คเกอร์ ซึ่งรวมถึงเซลล์ตับที่มีรอยโรคทางเนื้อเยื่อได้แก่ การเสื่อมแบบแวคูโอลา การหดตัวของนิวเคลียส และการสลายของนิวเคลียสของเซลล์ตับ (Ruiz et al., 2019) นอกจากอวัยวะตับของปลาแล้วอวัยวะเหงือกของปลาก็ยังเป็นเป้าหมายที่สำคัญของการวิเคราะห์ทางจุลพยาธิวิทยา ตัวอย่างการศึกษาการทดลองของ Figueiredo - Fernandes et al. (2007) พบว่าความเข้มข้นของทองแดงมีอิทธิพลต่อเนื้อเยื่อเหงือกและตับของปลานิล *O. Niloticus* สอดคล้องกับการศึกษาของ Kousar and Javed (2015) การเหนี่ยวนำสัมผัสกับทองแดงที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันที่ร้อยละ 17

25 33 และ 50 ของ 96 ชั่วโมง LC_{50} เป็นระยะเวลา 30 วัน ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นถึงความผิดปกติทางนิวเคลียร์ในเซลล์เม็ดเลือดแดงของปลา ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *Labeo rohita*, *Cirrhina mrigala*, *Ctenopharyngodon Idella* และ *Catla catla* ที่สัมผัสกับทองแดง พบความถี่ของไมโครนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่ผิดปกติสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าเฉลี่ยตามลำดับ (ภาพที่ 10) สอดคล้องกับการทดลองในปลา *Perca flavescens* ระยะวัยอ่อนที่ได้รับไมโครพลาสติกผสมกับอาหารผ่านสัปดาห์ 0 1 2 4 และ 8 กรัมโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงต่ออาหาร 100 กรัม พบมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวปลาตามความเข้มข้นของการทดลอง พบว่าค่าทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Lua et al., 2022) (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 Micronuclei and other nuclear abnormalities observed in the peripheral erythrocytes of fish due to metals
แหล่งที่มา: Kousar and Javed (2015)



ภาพที่ 11 Light microscopy and illustrated Livers of yellow perch *Perca flavescens* (A) Diet 1; No control group high-density polyethylene (HDPE), (B) Diet 3; 2% HDPE, (C) Diet 2; 1% HDPE, (D) Diet 4; 4% HDPE, (E) Diet 5; 8% HDPE, (F) A higher magnification picture of Diet 2. Abbreviations: Glycogen (G), Kupffer cell (KC) and Lipid vacuoles (LV)

แหล่งที่มา: Lua et al. (2022)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วจินี (2543) ศึกษาทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชนของเทศบาลเมืองตรัง ผลการศึกษาพบว่า มูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลเมืองตรังมีปริมาณเฉลี่ยวันละ 45.21 ตัน มีความหนาแน่นของมูลฝอยเฉลี่ย 283.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีองค์ประกอบของเศษอาหาร ผัก ผลไม้ สูงสุดร้อยละ 44.67 รองลงมาคือ กระจาดพลาสติก แก้ว เฉลี่ยร้อยละ 14.97 8.49 และ 6.21 ตามลำดับ นอกจากนี้เป็นมูลฝอยประเภทกิ่งไม้ ฝ้าย ร้อยละ 4.87 และ 3.43 ตามลำดับ ลักษณะทางเคมี พบว่า มีความชื้นร้อยละ 54.63 ปริมาณของแข็งรวมร้อยละ 45.37 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ร้อยละ 86.73 ปริมาณแฉะร้อยละ 13.27 ค่าความร้อน DSCV และ LSCV เท่ากับ 4,417 และ 1,596 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณและลักษณะของมูลฝอยโดยแยกแต่ละแหล่งกำเนิด พบว่า แหล่งกำเนิดที่มีปริมาณมูลฝอยสูงสุด คือที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม มีปริมาณวันละ 22.51 และ 7.74 ตัน ตามลำดับ องค์ประกอบของมูลฝอยจะแตกต่างกันตามลักษณะของกิจกรรม คือแหล่งกำเนิดมูลฝอยประเภทที่พักอาศัย พาณิชยกรรม และตลาดสด จะมีองค์ประกอบของมูลฝอยจำพวกเศษอาหารสูงสุด ส่วนแหล่งกำเนิดประเภทสถานที่ราชการและสาธารณูปการสถาบันการศึกษา จะมีองค์ประกอบของมูลฝอยจำพวกกระดาษสูงสุด ผลการศึกษาสถานการณ์การนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันพบว่า มีการนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ 4 รูปแบบ คือ 1) การนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์โดยการคัดแยกที่แหล่งกำเนิด ซึ่งแหล่งกำเนิดที่มีการนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือตลาดสด และสถาบันการศึกษา เท่ากับร้อยละ 100 ของกลุ่มตัวอย่าง รองลงมาคือแหล่งพาณิชยกรรม ที่พักนักท่องเที่ยว และสถาบันราชการเท่ากับร้อยละ 83.33 80.00 และ 73.33 ของกลุ่มตัวอย่าง ตามลำดับ มูลฝอยที่นำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยจำพวกกระดาษ แก้ว และโลหะ 2) การนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์โดยการคัดแยกในระหว่างการเก็บขนมูลฝอยโดยพนักงานเก็บขนมูลฝอย มีการคัดแยกเพื่อนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ เฉลี่ยวันละ 490.3 กิโลกรัม หรือเท่ากับร้อยละ 1.08 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3) การนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์โดยการคัดแยกที่สถานที่กำจัดมูลฝอยโดยผู้ขายมูลฝอย มีการคัดแยกมูลฝอยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เฉลี่ยวันละ 440 กิโลกรัม หรือเท่ากับร้อยละ 0.97 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด 4) การรับซื้อมูลฝอยที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตใหม่ มีการรับซื้อมูลฝอยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เฉลี่ยวันละ 2,210 กิโลกรัมหรือคิดเป็นร้อยละ 4.89 ของมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด

สุภารัตน์ (2556) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของขวดรีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ผ่านการขึ้นรูปใหม่ด้วยกระบวนการเป่าขึ้นรูปชนิดอัดรีด ซึ่งศึกษาจากขวดนม (R-HDPE) HDPE และ HDPE ที่มีการเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก โดยกรดสเตียริก (SA) ร้อยละ 1 และ IRGASURF ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารช่วยกระจายตัว ทำการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ

ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ และขึ้นรูปขวดด้วยเครื่องเป่าขึ้นรูปชนิดอัดรีด แบ่งขวดที่ได้ไปทดสอบ 16 รอบ โดยทำการทดสอบขวดทุก ๆ 3 รอบ ส่วนที่เหลือนำไปบดเพื่อนำไปขึ้นรูปขวด ทำซ้ำเช่นนี้จนครบของการขึ้นรูป พบว่าขวด สูตร R - HDPE และ HDPE มีค่าความหนืดที่สูงขึ้นเมื่อผ่านการรีไซเคิล ขณะที่สูตรที่มีการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตได้ค่าความหนืดที่ค่อนข้างคงที่ ขณะที่การกระจายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ในเนื้อพอลิเมอร์พบว่าการกระจายตัวที่ดีขึ้นเมื่อผ่านการรีไซเคิลมากขึ้น น้ำหนักขวดของสูตรที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่ามากกว่าขวดสูตร R-HDPE และ HDPE ส่วนความหนามีค่าน้อยกว่าขวดสูตร R - HDPE และ HDPE จากสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึกและเปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ HDPE จากขวดทุกสูตรใกล้เคียงกัน การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดและปริมาณการเกิดผลึกใน HDPE สำหรับสมบัติการรับแรงดึงพบว่าค่าความเค้นดึง ณ จุดขาดและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของขวด R - HDPE มีค่าใกล้เคียงกับ HDPE และสูงกว่า HDPE ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อผ่านการรีไซเคิล ส่วนค่ามอดูลัสมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติม แคลเซียมคาร์บอเนต และมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการรีไซเคิล เนื่องมาจากในการรีไซเคิลพบปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในพอลิเมอร์ลดลง สำหรับการใส่สารช่วยกระจายตัวกรดสเตียริกและ IRGASURF ทำให้การไหลของพอลิเมอร์ดีขึ้นการกระจายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ดีขึ้นขณะที่สมบัติการรับแรงดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

กษมน (2557) ศึกษาการผลิตน้ำมันจากพลาสติกด้วยเทคนิคไพโรไลซิส โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ อัตราการป้อนพลาสติก และอัตราส่วนของพลาสติกที่มีต่อผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกโดยเครื่องต้นแบบไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง พลาสติกที่ใช้ในการทดลองคือ พลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีเอทิลีน (PE) จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและของแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น การศึกษาแสดงให้เห็นว่าของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกพีอี น้อยกว่าของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกพีพี ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่มีปริมาณมากที่สุด (ร้อยละ 62.4) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสและอัตราการป้อนพลาสติก 0.33 กรัมต่อวินาที การศึกษาผลของอัตราส่วนของพลาสติกพีพี และ พีอี (1:1) พบว่าผลิตภัณฑ์เหลวจากการไพโรไลซิสที่ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์เหลวจากการไพโรไลซิสที่ 300 องศาเซลเซียส

ธัญญ์พิชชา และคณะ (2557) ศึกษาเทคโนโลยีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ติดตั้งแล้วในประเทศไทยโดยกระบวนการไพโรไลซิสจากผู้ประกอบการเอกชน และโครงการส่งเสริมการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 0.8 - 16 ตันต่อวัน ได้ผลผลิตน้ำมันแปรรูป 200 - 10,400 ลิตรต่อวัน โดยมีขนาดกำลังผลิต 0.8 ตันต่อวัน

ราคา 650,000 บาท ของโรงแรมคาแสดริเวอร์แคว รีสอร์ทแอนด์สปา รองลงมาขนาดกำลังผลิต 5 - 6 ตันต่อวันราคา 3 ล้านบาทของ บจก. ซีแซดพัฒนา ราคาส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 45 - 65 ล้านบาทและขนาดกำลังผลิต 10 -16 ตันต่อวัน ของบจก. เมืองสะอาด ราคา 96 ล้านบาท อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์เฉลี่ยของทุกเทคโนโลยีอยู่ในช่วง 300 - 500 องศาเซลเซียส การป้อนพลาสติกเข้าสู่เครื่องมี 2 แบบ คือ แบบกะและแบบต่อเนื่อง การทำความสะอาดเครื่องทุกบริษัททำทุกครั้ง ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากพลาสติก 1 ตันเฉลี่ยทุกแห่งได้น้ำมัน 600 ลิตร ชนิดของพลาสติกที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์คือพลาสติกชนิดพีพี และพีอี ค่าความชื้นร้อยละ 5 - 40 ค่าความปนเปื้อนร้อยละ 5 - 40 ศักยภาพของเทศบาลที่สามารถแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายใน 1 ปี ร้อยละ 20 สามารถผลิตน้ำมันได้ 32,083,500 ลิตรต่อปี ร้อยละ 50 สามารถผลิตน้ำมันได้ 80,190,500 ลิตรต่อปี ร้อยละ 100 สามารถผลิตน้ำมันได้ 160,454,000 ลิตรต่อปี และมีน้ำมันเชื้อเพลิงสำรองจากหลุมฝังกลบเก่า 2,540,338.91 ลิตร ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าผลตอบแทนจะสูงสุดเมื่อวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปคือ ขยะจากหลุม เมื่อเปรียบเทียบขนาดกำลังผลิตของเครื่องปฏิกรณ์พบว่า มูลค่าปัจจุบันและอัตราผลตอบแทนการลงทุนเหมาะสมที่จะลงทุน ส่วนระยะเวลาคืนทุนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 2 - 6 ปี และในส่วนของราคาขายของน้ำมันที่ได้จากการแปรรูป พบว่าขายน้ำมัน 18 บาทต่อลิตร และขายน้ำมันเตาเกรดเอราคา 23 บาทต่อลิตร โดยทั้งนี้การขายน้ำมันทั้ง 2 กรณีถือว่ามีมูลค่าต่อการลงทุน

วรุตม์ (2557) ศึกษาวิธีการแปลงขยะประเภทพลาสติกให้กลับมาเป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ โดยการใช้ขยะพลาสติกทำกระเบื้องหลังคาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานฉลากเขียวผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้จะนับเป็นวัสดุเขียว โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะของส่วนผสมใหม่จากพลาสติกรีไซเคิลและพลาสติกที่มีอยู่ในท้องตลาด ผลการทดสอบถูกนำมาใช้สำหรับ การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างแบบจำลองของหลังคาพลาสติกที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพลาสติกใหม่และพลาสติกรีไซเคิล ผลการวิจัยครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นศักยภาพในการทำผลิตภัณฑ์ใหม่และการลงทุน

Khait and Torkelson (1999) นักวิจัยจากประเทศสหรัฐอเมริกาทำการศึกษาเทคโนโลยีในการนำมูลฝอยพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยการแปรรูปพลาสติกให้เป็นผงที่มีความละเอียดเพื่อเพิ่มมูลค่าของพลาสติกรีไซเคิล โดยวิธีนี้เรียกว่า “Solid State Shear Pulverization Process (S3P)” ซึ่งจะทำให้การตัดเส้นพลาสติกขณะที่ถูกดึงให้เป็นเส้นใย โดยกระบวนการนี้ไม่ต้องผ่านการหลอมพลาสติกกระบวนการนี้จะเปลี่ยนจากพลาสติกที่มีหลายสีให้กลับเป็นสารตั้งต้นเดิม ทำให้ได้พลาสติกผงชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 74 ไมครอน ถึง 841 ไมครอน เพื่อนำเข้าสู่การผลิตเส้นใยใหม่ต่อไป โดยกระบวนการทำให้พลาสติกกลายเป็นผงนี้สามารถทำได้กับพลาสติกทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นมูลฝอยพลาสติกหลังจากการบริโภคและเศษพลาสติกจาก

กระบวนการอุตสาหกรรมยางทุกชนิด ผงพลาสติกที่ได้จากกระบวนการนี้มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการหลอมพลาสติกโดยตรงตามมาตรฐานการผลิตเส้นใยพลาสติก และการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีนี้เป็น การเพิ่มปริมาณการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ให้มากขึ้นด้วย

American Plastics Council (2001) อธิบายถึงวิธีการจัดการมูลฝอยพลาสติกในสหรัฐว่าส่วนใหญ่แล้วมูลฝอยพลาสติกจะถูกจัดการโดยการนำกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีการแปรรูปเชิงกล (Mechanical Recycling Process) ซึ่งเป็นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่และแปรสภาพโดยตรงทั้งโดยเครื่องจักรกล และด้วยมือของเจ้าหน้าที่บนสายพานเคลื่อนที่ และส่งไปบรรจุหีบห่อเพื่อนำไปแปรรูปต่อไป โดยหีบห่อของพลาสติกจะแยกเป็นประเภทของพลาสติกไว้ เช่น พลาสติกพีอีทีชนิดสีและชนิดใส พลาสติกเอชดีพีอีชนิดเดี่ยวหรือผสมพลาสติกอื่น เป็นต้น เมื่อเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลหีบห่อของพลาสติกจะถูกแกะออกจากหีบห่อ และถูกดันเข้าสู่ตัวกรองพิเศษซึ่งเรียกว่า Shaker Screen เพื่อกรองเอาสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ขนาดเล็กออกไปแล้วส่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ไปยังกรวย (Trash Hopper) รองรับของเสียต่อไป พลาสติกที่ผ่านการนำสิ่งปนเปื้อนออกแล้วจะผ่านเข้าสู่กระบวนการตัดให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก โดยขั้นตอนนี้สิ่งปนเปื้อน เช่น ฉลาก หรือสิ่งบรรจุมาในขวด จะถูกล้างและกำจัดออกไปชิ้นส่วนเกล็ดพลาสติกเหล่านี้จะนำเข้าสู่กระบวนการล้างเกล็ดพลาสติก และสิ่งปนเปื้อนจะถูกแยกด้วยการลอยตัวในถัง เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีความหนาแน่นไม่เท่ากันโดยพลาสติกพีอีทีมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจึงจมน้ำ ในขณะที่สิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ จะลอยไปกับน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ เกล็ดพลาสติกที่สะอาดแล้วจะถูกทำให้แห้งด้วยลมร้อน เครื่องแยกประเภทด้วยอากาศนี้จะแยกฟิล์ม และฉลากโดยการเป่าสิ่งเหล่านี้ออกไป เกล็ดพลาสติกจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการหลอม เต็มสารเคมีและขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

จะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ทั้งในประเทศ และต่างประเทศเน้นการศึกษาไปทางการรีไซเคิล เพื่อส่งเสริมกำลังผลิตทางอุตสาหกรรมพลาสติก ลักษณะงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลขยะพลาสติกกลับในรูปของเม็ดพลาสติกและศึกษาเกี่ยวกับส่วนผสมที่ทำให้ขยะพลาสติกที่รีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ให้มีคุณภาพใกล้เคียงหรือสูงขึ้นเพื่อทดแทนการผลิตพลาสติกจากการสังเคราะห์ ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูป และการใช้งานขยะพลาสติกจากการรีไซเคิลแบบประยุกต์ใช้งานจึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อตอบวัตถุประสงค์นั้น ๆ ผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าการนำพลาสติกที่รีไซเคิลมาใช้ประโยชน์ด้วยการขึ้นรูปสำหรับการสร้างกระชังเลี้ยงปลาให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำตามแนวชายฝั่ง เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะสม มีความคงทนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ใช้ทดแทนการสร้างกระชังรูปแบบเก่าที่ใช้โฟมและโครงเหล็กเป็นองค์ประกอบ

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1 เพื่อออกแบบ และสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำจากขยะพลาสติกกรีไซเคิล ตอบโจทย์ให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งและการเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลเล็ก ในแง่ของความทันสมัย คุ่มทุน คงทน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

3.2 เพื่อพัฒนา และส่งเสริมการสร้างอาชีพด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งให้มีความมั่นคง และยั่งยืน บนฐานทรัพยากรที่สมบูรณ์

3.3 เพื่อสร้างนวัตกรรมจากขยะพลาสติกกรีไซเคิลสู่ภาคอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ

4.1.1 เกิดการเปลี่ยนแปลงรายได้ของเกษตรกร/ชุมชน

4.1.2 เกิดการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระชังต้นแบบที่สร้างขึ้น มีความแข็งแรง คงทน ทำให้เกษตรกรไม่ต้องเปลี่ยนวัสดุสำหรับการสร้างกระชังบ่อยครั้งเป็นการลด ต้นทุนการเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.1.3 เกิดความมั่นคงในอาชีพ เนื่องจากกระชังต้นแบบสามารถลดความเสียหายเมื่อ เกิดภัยธรรมชาติ

4.2 ผลประโยชน์ด้านสังคม

4.2.1 เกิดความเข้มแข็งของกลุ่มเกษตรกร/ชุมชน

4.2.2 ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

4.2.3 ลดการเกิดโรคจากปัญหาขยะ

4.3 ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

4.3.1 คุณภาพสิ่งแวดล้อมในชุมชน ท้องถิ่นดีขึ้น เนื่องจากนวัตกรรมที่สร้างขึ้นเป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

4.3.2 เป็นการลดปริมาณการก่อเกิดขยะทะเล ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขยะทะเลได้ทางหนึ่งด้วย

4.3.3 เป็นการใช้ประโยชน์ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เนื่องจากการสร้างนวัตกรรม เป็นการลดการใช้วัตถุดิบตั้งต้นจากธรรมชาติ ก่อให้เกิดการหมุนเวียนทรัพยากรในชุมชน

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากขยะพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืนมีขั้นตอนการดำเนิน 5 ขั้นตอนดังนี้

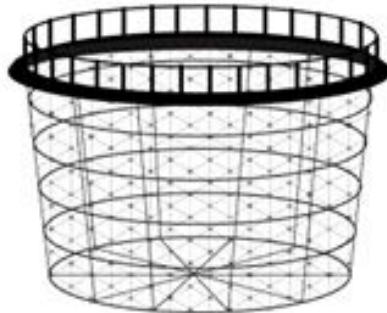
1. การวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยในปีที่ 1

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ท่อ HDPE สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการคัดเลือกชุดการทดลองพลาสติกแต่ละอัตราส่วนที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติขึ้นรูปท่อขนาด 180 มิลลิเมตร เพื่อสร้างกระชังเลี้ยงปลา จากการศึกษาพบว่าท่อ HDPE ทั้ง 3 ชุดการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นกระชังเลี้ยงสัตว์น้ำทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร ได้ทั้ง 3 ชุด โดยสามารถเชื่อมต่อกันสนิทและไม่แตกหัก

2. การศึกษาการออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำดัดแปลงจาก MOJJADA *et al.* (2013) ออกแบบให้กระชังเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร ออกแบบให้เป็นวง 3 วงซ้อนกัน ขนาดท่อ 180 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12 และยึดติดท่อทั้ง 3 เส้นด้วย Cage Bracket โดยมีขั้นตอนการประกอบและติดตั้งกระชัง 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

- 2.1 การทดสอบอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง (Cage Bracket)
- 2.2 การตัดชิ้นส่วนเพลทฟอร์มผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 2.3 การติดตั้งชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 2.4 การเชื่อมต่อท่อ HDPE ด้วยความร้อน



ภาพที่ 12 การออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

3. การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ดำเนินการ 2 รูปแบบ ในห้องปฏิบัติการและพื้นที่จริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาความเป็นพิษของกระชังต่อสัตว์น้ำ การสะสมของสารพิษ และการประเมิณสุขภาพของสัตว์น้ำ รวมทั้งการศึกษาคูณภาพน้ำ โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม (เลี้ยงปลานิลเพียงอย่างเดียว)

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 1 (เม็ดพลาสติกใหม่ 70: เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล 30)

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 2 (เม็ดพลาสติกใหม่ 50: เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล 50)

ชุดการทดลองที่ 4 เลี้ยงปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 3 (เม็ดพลาสติกใหม่ 30: เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล 70)

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างพลาสติก HDPE ทำการตัดท่อ HPDE แต่ละชุดการทดลอง ขนาดให้มีขนาด 4 x 4 เซนติเมตร ดังภาพที่ 13 ล้างน้ำสะอาด ตากแดดให้แห้ง ชั่งน้ำหนักพลาสติก แต่ละชุดทดลอง 500 กรัม บรรจุใส่ถุง และนำไปใส่ตู้เลี้ยงปลา ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 การเตรียมตัวอย่างพลาสติก HDPE ขนาด 4 x 4 เซนติเมตร



ภาพที่ 14 การบรรจุตัวอย่างพลาสติก HDPE สำหรับการทดลอง

3.1.2 การเตรียมระบบการเลี้ยงแบบปิดใช้บ่อตู้ปลาขนาด 20 นิ้ว (25 x 51 x 31 เซนติเมตร) จำนวน 12 บ่อ เลี้ยงปลาตู้ละ 35 ตัว ล้างทำความสะอาดและตากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน เติมน้ำลงบ่อในระดับความสูง 30 เซนติเมตร และเปิดอุปกรณ์ให้อากาศทิ้งไว้ประมาณ 3 - 4 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

3.1.3 การเตรียมลูกพันธุ์ปลานิลความยาว 3 - 4 เซนติเมตร จำนวน 420 ตัว (จำนวน 12 บ่อ เลี้ยงปลาตู้ละ 35 ตัว) ซื้อมีลูกพันธุ์ปลาจากฟาร์มเอกชนนำมาพักในบ่อทดลองเพื่อให้ลูกปลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม การให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปของปลานิลที่ขายตามท้องตลาด เพื่อให้ปลาชินกับอาหาร คัดเลือกลูกปลานิลที่ว่ายน้ำปกติและไม่มีแผลหรือรอยโรคบนผิวหนัง จากนั้นคัดขนาดลูกปลาให้มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งน้ำหนักและนับจำนวนลูกปลาลงตู้ปลา การจัดการและการให้อาหารปลาระหว่างทดลอง ปลาจะได้รับอาหารวันละ 1 ครั้ง คือเวลา 17.00 นาฬิกา โดยจำกัดปริมาณการให้อาหารแต่ละครั้งทุกชุดการทดลองเก็บตัวอย่างปลาช่วงเวลา 7 14 และ 120 วัน

3.1.4 การศึกษาสัญญาณและลักษณะที่วัดได้ สุ่มเก็บตัวอย่างปลานิลในแต่ละช่วงที่ทำการทดลองมาทำการสลับด้วยการแช่ในน้ำที่เย็นจัดอุณหภูมิ 2 - 4 องศาเซลเซียส Rapid Cooling Shock ตามวิธีการของ Wilson et al. (2009) ก่อนนำปลาที่สลับมาการเก็บข้อมูล ณ ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง หลังจากนั้นทำการวัดความยาวเหยียดของปลา (Total length) โดยกำหนดวัดจากปลายสุดของจะงอยปากจนถึงส่วนปลายสุดของครีบหางด้วยเวอร์เนียดิจิตอล (Vernier Digital)

3.1.5 การศึกษาทางโลหิตวิทยา สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเลือดจากปลานิลในแต่ละครั้งด้วยหลอดฉีดยาพลาสติกขนาด 1 มิลลิลิตร กับเข็มฉีดยาเบอร์ 21 G x 1 นิ้ว (0.8 x 25 มิลลิลิตร) ปริมาตร 0.3 - 0.5 มิลลิลิตร จากบริเวณหัวใจตามวิธีการมาตรฐานของ Singkhanan et al. (2019) หลังจากนั้นนำตัวอย่างเลือดมาหยดลงบนแผ่นสไลด์ประมาณ 10 ไมโครลิตร เปลี่ยนให้น้ำเลือด

เป็นฟิล์มบาง ๆ และทิ้งไว้ให้แห้งภายใต้อุณหภูมิต่ำ นำสไลด์เลือดมารักษาสภาพด้วยการแช่เมทานอล (Methanol) เป็นเวลา 1 นาที และทำการย้อมด้วยสี Wright's Giemsa ประมาณ 15 - 25 นาที ทำการล้างสีย้อมออกด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ Phosphate - buffered (PB, pH 7.4) นาน 30 นาที จากนั้นนำสไลด์เลือดมาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา และความผิดปกติของนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือด (100 เซลล์ ต่อปลาต่อสไลด์) และเซลล์เม็ดเลือดขาว (30 เซลล์ ต่อปลาต่อสไลด์) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Nikon Light Microscope) ที่กำลังขยาย 40X และ 100X บันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Nikon Light Microscope)

3.1.6 การศึกษาทางด้านมิถุวิทยา นำตัวอย่างปลานิลมาศึกษาตำแหน่งและปรากฏของรอยโรคภายนอกลำตัวหลังจากนั้น ทำการผ่าตัดเปิดช่องท้องและศึกษาถึงการปรากฏของรอยโรคตามอวัยวะต่าง ๆ พร้อมทั้งถ่ายรูปด้วยกล้องถ่ายรูป และบันทึกผล หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมารักษาสภาพเนื้อเยื่อในน้ำยาเดวิดสัน (Davidson's Fixative) ประมาณ 36 เซนติเมตร และนำมาผ่านกระบวนการทางด้านมิถุวิทยาตามวิธีของ Humason (1979) ย้อมด้วยสีฮีมาทอกซีลิน และอีโอซิน (Harris's Hematoxylin and Eosin: H&E) (Presnell and Schreibman, 1997; Suvarna et al., 2013) จากนั้นจะนำสไลด์เนื้อเยื่อมาศึกษาโครงสร้างมิถุวิทยา และจุลกายพยาธิวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงหลังจากนั้นนำรอยโรคมาคำนวณดัชนีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ (Histological Alteration Index) ตามวิธีการของ Poleksic and Mitrovic-Tutundzic (1994); Paulo et al. (2012); Silva Montes et al. (2015) (ตารางที่ 2) ด้วยสูตรคำนวณ คือ $HAI = 1 \times \Sigma I + 10 \times \Sigma II + 100 \times \Sigma III$ โดยกำหนดให้ I II และ III สอดคล้องกับตารางที่ 2 ตามลำดับ และกำหนดระดับความเสียหายของเนื้อเยื่อเป็น 5 ช่วง คือ 0 - 10 คือ การทำงานของอวัยวะต่อเนื้อเยื่อปกติ 11 - 20 คือ การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในอวัยวะต่อเนื้อเยื่อ 21 - 50 คือ การเปลี่ยนแปลงระดับปานกลางในอวัยวะต่อเนื้อเยื่อ 51 - 100 คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงในอวัยวะต่อเนื้อเยื่อ และ ค่า > 100 คือ การเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในอวัยวะต่อเนื้อเยื่อ เปรียบเทียบข้อมูล และจำแนกความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงทางจุลพยาธิวิทยาของปลานิล *O. Niloticus* (Linnaeus, 1758) ในระยะวัยรุ่น ดัดแปลงจาก Poleksic and Mitrovic-Tutundzic (1994); Paulo et al. (2012); Silva Montes et al. (2015)

ตารางที่ 2 List of histological alteration index (Hal) in the hepatic tissue of *Oreochromis niloticus* (I, II and III – severity stages of alteration)

| Organ | Histological alterations | Grades |
|----------------|--------------------------|--------|
| Hepatic tissue | Vacuolar degeneration | II |
| | Pyknotic nucleus | III |
| | Karylysis | III |

3.1.7 การวิเคราะห์ทางสถิติของการศึกษาโลหิตวิทยา นำข้อมูลความยาวเหยียด และร้อยละของความผิดปกติของนิวเคลียสเซลล์เม็ดเลือดแดงจากทุกกลุ่มการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังจากนั้นนำข้อมูลข้างต้นในช่วงเวลา 7 30 และ 120 วัน วิเคราะห์ด้วย One way anova และ Two way anova เนื่องจากเมื่อมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว เป็นปัจจัย (Factor) ที่ต้องการศึกษาตัวแปรที่เกิดจากสองตัวนี้ เรียกว่า ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ซึ่งมีความสำคัญ และเป็นตัวบ่งชี้ถึงผลลัพธ์ว่าปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยนั้นส่งผลต่อความผิดปกติหรือไม่ ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 22 ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

3.1.8 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหลัก ดำเนินการเมื่อเลี้ยงปลานิลภายในระบบปิด ผ่านไป 120 วัน เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อและตับวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของตะกั่วและแคดเมียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยการส่งวิเคราะห์ตัวอย่าง ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

3.1.9 การตรวจวัดคุณภาพน้ำจากตู้เลี้ยงปลานิล โดยการเก็บตัวอย่างน้ำจากตู้เลี้ยงปลานิลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 12 บ่อ เวลา 9.00 น. ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำตู้ละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์คุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

| พารามิเตอร์ | หน่วย | วิธีวิเคราะห์ |
|------------------------|--------------------------|---|
| 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง | - | Multiparameter Water Quality U-50 – HORIBA |
| 2) อุณหภูมิ | องศาเซลเซียส | Multiparameter Water Quality U-50 – HORIBA |
| 3) ความขุ่น | เอ็นทียู | Multiparameter Water Quality U-50 – HORIBA |
| 4) ของแข็งแขวนลอย | มิลลิกรัมต่อลิตร | Multiparameter Water Quality U-50 – HORIBA |
| 5) แอมโมเนีย | มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร | Water Testing MD 600 – Lovibond |
| 6) ไนโตรท์ | มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร | Water Testing MD 600 – Lovibond |

3.2 การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง

กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทดสอบการใช้งานในพื้นที่จริงเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการเก็บข้อมูลการศึกษาทุกเดือน เก็บข้อมูลดังนี้

3.2.1 มีความแข็งแรงและความคงทนของผลิตภัณฑ์

3.2.2 ไม่เสี่ยงต่อการรั่วซึม

3.2.3 ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อความเค็ม และไม่มีโลหะหนัก

3.2.4 สามารถทนต่อแสงอาทิตย์และรังสียูวีได้ดี เหมาะสมกับสำหรับสภาพ

อากาศ

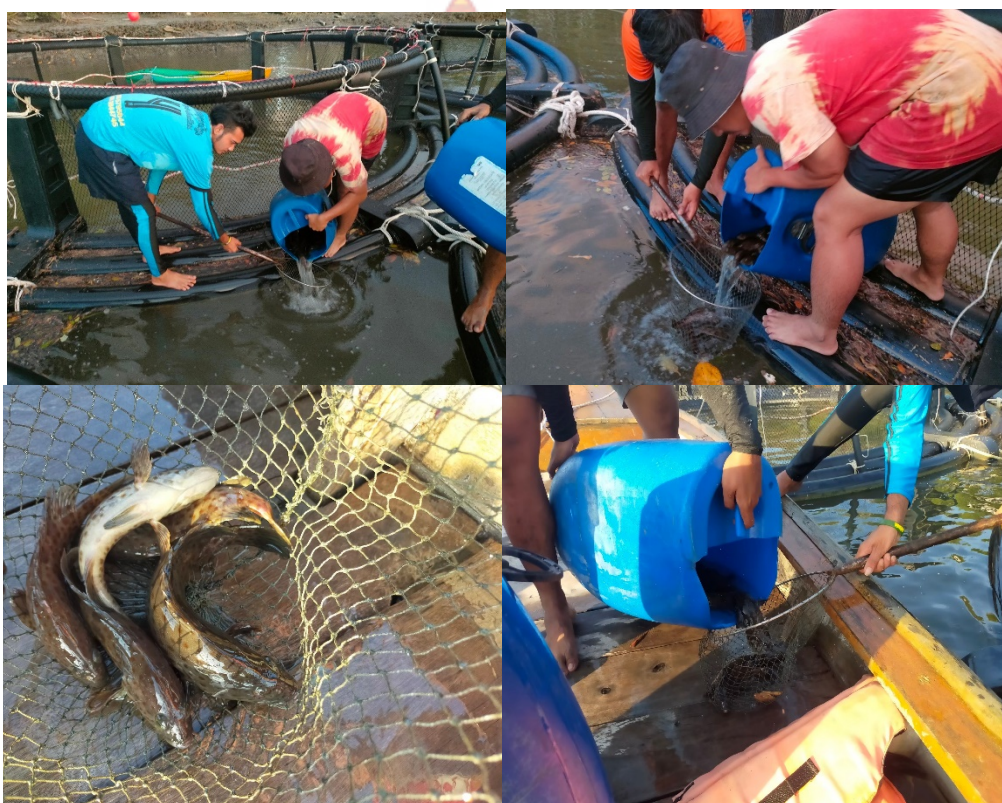
3.2.5 สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำ และสามารถรับน้ำหนักของวัตถุได้เป็นระยะ

เวลานาน

3.2.6 กระชังต้นแบบไม่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

4. การวิเคราะห์ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

นำข้อมูลจากการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในข้อ 3 เปรียบเทียบศักยภาพแต่ละชุดการทดลอง ดำเนินการทดสอบโดยการเลี้ยงปลาขนาด 6 - 10 นิ้ว กระชังละ 150 ตัวในพื้นที่จริง เป็นระยะเวลา 4 - 6 เดือน ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง

5. การคัดเลือกกระชังต้นแบบที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ

นำผลการศึกษาข้อมูลจากข้อ 2 3 และ 4 วิเคราะห์คุณสมบัติและศักยภาพของกระชังต้นแบบ สำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยพิจารณาจากความสามารถในการขึ้นรูป ความแข็งแรงและความคงทนของผลิตภัณฑ์ ไม่เสี่ยงต่อการรั่วซึม ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อความเค็ม ไม่มีโลหะหนัก สามารถทนต่อแสงอาทิตย์และรังสียูวีได้ดี เหมาะสมกับสำหรับสภาพอากาศ สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำ และสามารถรับน้ำหนักของวัสดุได้เป็นระยะเวลานาน และเป็นกระชังต้นแบบไม่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

บทที่ 3

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยครั้งนี้ ออกให้มีลักษณะรูปร่างเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร คิดเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงขนาด 28.27 ตารางเมตร และพื้นที่ติดตั้งขนาด 40.67 ตารางเมตร และมีความสูงจากผิวน้ำ 1.25 เมตร ซึ่งมีวงแหวน ทั้งหมด 3 วง เป็นองค์ประกอบย่อย วงที่ 1 มีรัศมี 3.00 เมตร วงที่ 2 มีรัศมี 3.30 เมตร และวงที่ 3 มีรัศมี 3.60 เมตร ตามลำดับ ขั้นตอนการประกอบและติดตั้งกระชังโดยละเอียด 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.1 การทดสอบอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง (Cage Bracket)

เมื่อออกแบบและขึ้นรูปอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง (Cage Bracket) ซึ่งมีลักษณะรูปตัว L และมีช่องสำหรับสอดท่อขนาด 100 มิลลิเมตร และ 180 มิลลิเมตร จำเป็นต้องทดสอบรอยร้าวตรงรอยต่อต่าง ๆ เพื่อป้องกันการรั่วซึมซึ่งจะเกิดปัญหาการจมลงของกระชังเนื่องจากการสูญเสียแรงลอยตัว การตรวจสอบรอยร้าวดำเนินการด้วยการอัดลมเข้าไปในอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง (Cage Bracket) จากนั้นนำมาจุ่มน้ำ และสังเกตฟองอากาศ หากเกิดฟองอากาศเนื่องจากการสูญเสียแรงดันของชิ้นส่วน แสดงให้เห็นว่าข้อต่อชิ้นนั้นเกิดการรั่วซึม (CRDG, 2022) ผลการทดสอบพบการรั่วซึมของอุปกรณ์จำนวน 7 ชิ้น ซึ่งได้นำส่งแก้ไขในลำดับต่อไป การตรวจสอบการรั่วซึมของอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง (Cage Bracket) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 16



(a)

(b)

ภาพที่ 16 การตรวจสอบรอยรั่วของชิ้นส่วนเชื่อมต่อกระชังด้วยแรงดันอากาศ

(a) การเติมอากาศ

(b) กดให้จมน้ำเพื่อให้เกิดแรงดันต่างและซึมออกมา

1.2 การตัดชิ้นส่วนเพลาทฟอร์มกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

กระชังมีลักษณะเป็นรูปวงกลมซึ่งขุดจากท่อ HDPE ที่มีขนาดเส้นรอบวงภายในท่อ มีขนาด 180 มิลลิเมตร ทั้งหมดจำนวน 3 เส้น โดยวงในสุดมีเส้นรอบวง 18.84 เมตร เส้นที่ 2 มีขนาดเส้นรอบวง 20.72 เมตร และเส้นที่ 3 มีขนาดเส้นรอบวง 22.61 เมตร การตัดท่อ HDPE ให้ได้ตามขนาดข้างต้น และสามารถนำไปประกอบเป็นกระชังในขั้นตอนต่อไป การวัดและตัดท่อ HDPE แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 17



(a)

(b)

ภาพที่ 17 การวัดท่อ HDPE (a) และการตัดท่อ HDPE ตามขนาด (b) ซึ่งแตกต่างกันตามขนาดของเส้นรอบวงของกระชัง

1.3 การติดตั้งชิ้นส่วนของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การประกอบกระชังดำเนินการโดยการร้อยชิ้นส่วนเชื่อมต่อรูปตัว L ที่ผ่านการตรวจสอบการรั่วซึมแล้วจำนวน 8 ชิ้น เข้ากับท่อขนาด 180 มิลลิเมตร ยาว 18.84 เมตร (วงแหวนวงที่ 1) โดยติดตั้งให้ ด้านนอนของรูปตัว L มีทิศทางเดียวกับแนวรัศมี และรูปตัว L ด้านตั้งตั้งฉากกับระนาบของกระชัง หรือตั้งฉากกับพื้น เนื่องจากช่องสำหรับสอดท่อมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ จึงทำให้สามารถปรับได้อย่างคล่องตัว เมื่อสอดท่อวงในครบทั้ง 8 ช่องแล้ว จากนั้นสอดท่อเข้าชิ้นส่วนเชื่อมต่อ วงแหวนวงที่ 2 และวงที่ 3 จนครบ จากนั้นจัดเรียงตำแหน่งของตัวเชื่อมต่อให้ทำมุมระหว่างกันทำมุม 45 องศา และทำการเชื่อมต่อด้วยความร้อนในขั้นตอนต่อไป แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การติดตั้งชิ้นส่วนเชื่อมต่อเข้ากับท่อขดกลมวงที่ 1 - 3

1.4 การเชื่อมต่อท่อ HDPE ด้วยความร้อน

สำหรับการเชื่อมต่อท่อโพลีเอทิลีน (HDPE) เพื่อขึ้นรูปให้เป็นวงแหวนอาศัยเทคนิคการเชื่อมต่อท่อ HDPE แบบต่อชน (Butt Fusion Welding) ซึ่งประกอบด้วย ฐานและที่ยึด (Clamping Device) แผ่นความร้อน (Heating Plate) ชุดไฮดรอลิก (Hydraulic Unit) เครื่องปาดผิว (Peeling Tool) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 19 โดยเวลาที่ในช่วงให้ความร้อน เวลาถอดเก็บแผ่นความร้อน เวลาช่วงเพิ่มแรงกด และเวลาในช่วงให้แรงกดคงที่ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความหนาของผนังท่อและความสูงของรอยเชื่อมแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4





(a)



(b)



(c)



(d)

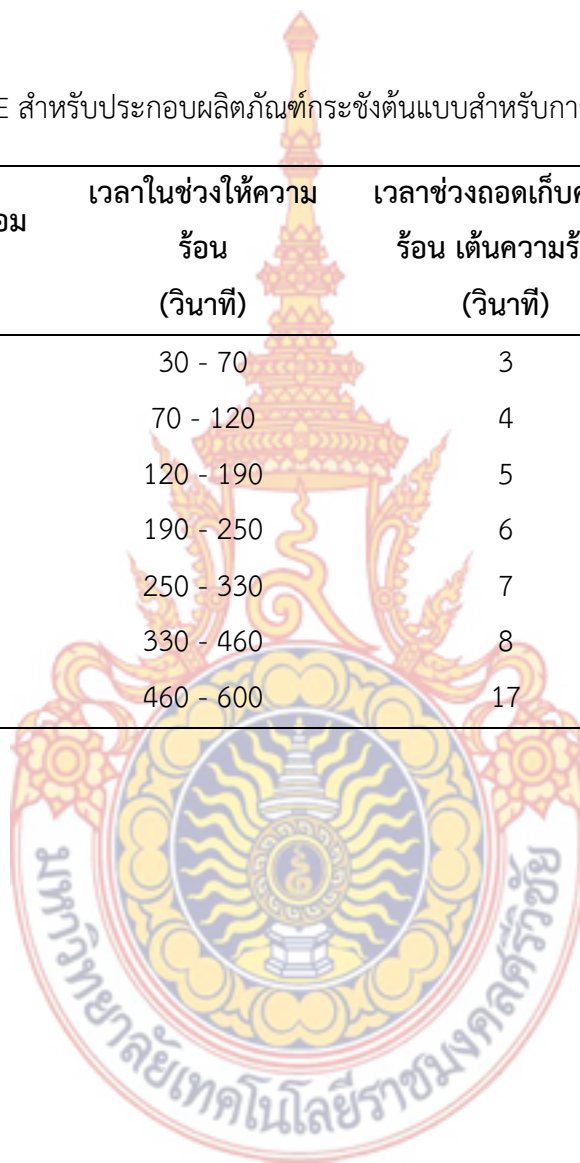
ภาพที่ 19 ฐานและที่ยึด (a) แผ่นความร้อน (b) ชุดไฮดรอลิกส์ (c) เครื่องปาดผิว (d)



ตารางที่ 4 การให้ความร้อนและแรงกดต่อ HDPE สำหรับประกอบผลิตภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทรงกลม

| ความหนาของผนังท่อหรือข้อต่อ (มิลลิเมตร) | ความสูงของรอยเชื่อม (มิลลิเมตร) | เวลาในช่วงให้ความร้อน (วินาที) | เวลาช่วงถอดเก็บความร้อน ต้นความร้อน (วินาที) | เวลาในช่วงเพิ่มแรงกด (วินาที) | เวลาในช่วงให้แรงกดคงที่ (วินาที) |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| 2.0 - 4.5 | 0.5 | 30 - 70 | 3 | 3 - 6 | 3 - 6 |
| 4.5 - 7.0 | 1.0 | 70 - 120 | 4 | 4 - 3 | 6 - 10 |
| 7.0 - 12.0 | 1.5 | 120 - 190 | 5 | 8 - 10 | 10 - 16 |
| 12.0 - 19.0 | 2.0 | 190 - 250 | 6 | 10 - 15 | 16 - 24 |
| 19.0 - 26.0 | 2.5 | 250 - 330 | 7 | 15 - 20 | 24 - 32 |
| 26.0 - 37.0 | 3.0 | 330 - 460 | 8 | 20 - 25 | 32 - 40 |
| 37.0 - 50.0 | 3.5 | 460 - 600 | 17 | 25 - 35 | 40 - 45 |

ที่มา : (BUTT FUSION WELDING, 2022)



เมื่อประกอบติดตั้งและเชื่อมต่อกระชังแล้วเสร็จทั้ง 3 อัตราส่วนของเม็ดพลาสติกใหม่ กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในสัดส่วน 70 : 30, 30 : 70 และ 50 : 50 เพื่อศึกษาศักยภาพของกระชัง ต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ กระชังที่ประกอบติดตั้งแล้วเสร็จแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 20 - 22



ภาพที่ 20 ชุดการทดลองที่ 1 ผลิตรังนกกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตราส่วนผสมของ เม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70 : 30



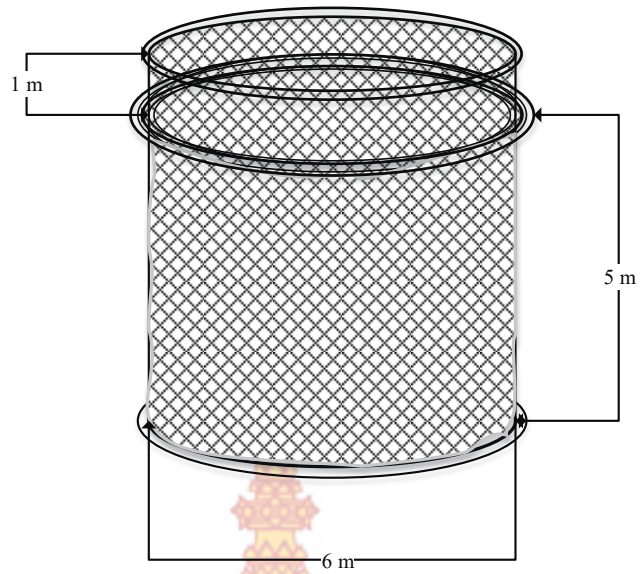
ภาพที่ 21 ชุดการทดลองที่ 2 ผลิตรังนกกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตราส่วนผสมของ เม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 30 : 70



ภาพที่ 22 ชุดการทดลองที่ 3 ผลิภัณฑ์กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำอัตราส่วนผสมของเม็ดพลาสติกใหม่กับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 : 50

1.5 การตัดเย็บตาข่ายอวนสำหรับกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การตัดเย็บตาข่ายอวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์สำหรับเลี้ยงปลา โดยตาข่ายอวนสีดำ PE.380/24 ขนาดตาข่าย 2 นิ้ว โดยตัดเย็บเข้ารูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 เมตร ความลึก 5 เมตร โดยมีส่วนโผล่พื้นน้ำสูง 1 เมตร ในแต่ละช่วงรอยต่อ ทั้งที่ระดับปากกระชัง ช่วงรอยต่อโผล่พื้นน้ำ 1 เมตร และที่ระดับก้นกระชัง ร้อยเชือก PP ขนาด 16 มิลลิเมตร เพื่อเสริมความแข็งแรงและช่วยพยุงโครงสร้างของตาข่ายกระชัง รวมทั้งหมด 3 เส้นรอบวง เพื่อการสร้างความแข็งแรงและการพยุงตัวของตาข่ายอวนในน้ำดังกล่าวข้างต้นยังมีการผูกห่วงเชือกสำหรับยึดสมอกับพื้นรอบเส้นรอบวงจำนวน 8 ห่วง และ ด้านบนที่ผิวน้ำผูกห่วง 4 ห่วงสำหรับยึด กับโครงสร้างยึดกระชัง รายละเอียดของตาข่ายอวนสำหรับประกอบกับกระชังแสดงรายละเอียดดังภาพสเก็ท และภาพขณะเย็บกระชังแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 23 และ 24 ตามลำดับ



ภาพที่ 23 แบบร่างตาข่ายอวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ความลึก 5 เมตรสำหรับนวัตกรรมการ
กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำทรงกลม



ภาพที่ 24 การตัดเย็บส่วนท้ายตาข่ายอวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ความลึก 5 เมตร
สำหรับการประกอบเป็นกระชังเลี้ยงปลาในทะเล

1.6 การติดตั้งกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ศึกษา

หลังการขึ้นรูปและประกอบกระชังสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วเสร็จ ดำเนินการติดตั้งกระชังในพื้นที่ศึกษา เพื่อศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การติดตั้งกระชังในพื้นที่ศึกษา

2. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในห้องปฏิบัติการ

2.1 ลักษณะที่วัดได้

ผลการศึกษาข้อมูลความยาวเหยียดของปลานิลในช่วงเวลา 7 30 และ 120 วัน รายละเอียดดังตารางที่ 5 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 21.131$ และ $p\text{-Value} = 0.010$) โดยค่าเฉลี่ยของความยาวเหยียดต่ำสุดในชุดการทดลองที่ 2 (เม็ดพลาสติกใหม่ 70: เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล 30) (ช่วงเวลา 120 วัน มีค่าเท่ากับ 2.32 ± 4.79 เซนติเมตร และสูงสุดในชุดการทดลองที่ 3 (เม็ดพลาสติกใหม่ 50: เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล 50) ช่วงเวลา 30 วัน มีค่าเท่ากับ 5.37 ± 0.63 เซนติเมตร สอดคล้องกับการรายงานถึงปลา *Oreochromis mossambicus* และปลานิล *O. Niloticus* มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นปกติตามช่วงวงจรชีวิตและระยะเวลาการเลี้ยง (Rungtongbaisuree et al., 2010; วุฒิพันธุ์ชัย, 2561; Ruangsomboon, 2010)

ตารางที่ 5 ความยาวเหยียดเฉลี่ยของปลานิล (Linnaeus, 1758) ในแต่ละชุดการทดลอง

| วันที่ทำการศึกษา | ชุดการทดลอง | ความยาวเหยียดเฉลี่ย \pm S.D. (เซนติเมตร) |
|------------------|---------------|--|
| 7 | 1 (ชุดควบคุม) | 4.9 ± 0.6^b |
| | 2 | 4.8 ± 0.6^b |
| | 3 | 5.0 ± 0.7^b |
| | 4 | 4.7 ± 0.6^b |
| 30 | 1 (ชุดควบคุม) | 5.3 ± 0.6^b |
| | 2 | 5.1 ± 0.7^b |
| | 3 | 5.4 ± 0.6^b |
| | 4 | 5.1 ± 0.6^b |
| 120 | 1 (ชุดควบคุม) | 4.2 ± 4.9^b |
| | 2 | 2.3 ± 4.7^a |
| | 3 | 4.1 ± 5.4^b |
| | 4 | 5.2 ± 5.3^b |

2.2 สัณฐานวิทยาและความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดง

ลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดงของปลานิลในทุก ๆ กลุ่มการทดลองและทุกช่วงเวลาค้นคว้าคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีรูปร่างกลมรี มีนิวเคลียสตรงกลางเซลล์รูปร่างกลมติดสีม่วงและไซโทพลาซึมติดสีน้ำเงินจาง (ภาพที่ 26A - 26G) สอดคล้องกับการรายงานของ Alkaladi et al. (2015) บ่งชี้สัณฐานวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดงในปลา *O. Niloticus* มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปไข่ในการทดลองทางโลหิตวิทยาและทางชีวเคมีเกี่ยวกับผลของวิตามินอีและซีต่อปลานิล *O. Niloticus* ที่สัมผัสกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Clauss et al. (2008) พบว่าสัณฐานวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดงปลากระดุกแข็งหลายชนิดได้แก่ ปลา *Golden trevally* ปลา *Mola mola* และปลา *Gnathanodon speciosus* มีไซโทพลาซึมของเซลล์เม็ดเลือดแดงมีรูปร่างเป็นวงรีและมีนิวเคลียสรูปร่างเหมือนรูปไข่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Stankevičiute et al. (2017) ความเป็นพิษต่อพันธุกรรมและความเป็นพิษต่อเซลล์จากการสัมผัสกับส่วนผสมของโลหะเชิงซ้อนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ที่สะสมอยู่ในปลา *Salmo salar* พบว่าเซลล์เม็ดเลือดแดงมีไซโทพลาซึมที่มีรูปร่างเป็นวงรีและมีนิวเคลียสรูปร่างเหมือนรูปไข่

ลูกตุ้มและมีรอยบาก (ภาพที่ 27G, 28G และ 29G) และความผิดปกติของนิวเคลียสชนิด Blebbed Shape มีนิวเคลียสเป็นวงรีและมีติ่งยื่นเล็กน้อย (ภาพที่ 27I, 28I และ 29I) สอดคล้องกับการรายงานของ Hamed et al. (2021) พบว่าความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงของปลานิล *O. Niloticus* เกิดขึ้นหลังจากได้รับสัมผัสกับไมโครพลาสติกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ตลอดจนโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ ตะกั่ว และ แคดเมียม (Obiakor et al., 2012) นอกจากนี้ Shahjahan et al. (2020) พบว่าความผิดปกติทางนิวเคลียส ของเซลล์เม็ดเลือดแดงปลา *Cyprinus carpio* เพิ่มขึ้น หลังจากได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แต่ความผิดปกติทางเซลล์เม็ดเลือดแดงของปลาอาจขึ้นอยู่กับชนิด เพศ อายุ อาหารและคุณภาพน้ำ (Supamataya et al., 1987; Mahasawasde, 1989)

หากพิจารณาความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงในภาพรวม พบว่าทุกกลุ่มการทดลองและตามช่วงเวลา 7 30 และ 120 วัน ตลอดจนรูปแบบของพลาสติกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Pillai's Trace = 0.098, F = 0.825, p-Value 0.671) สอดคล้องกับชนิดของความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน (Dumbble Shape มีค่า F = 1.821 และ p-Value = 0.055 : Notched Shape มีค่า F = 0.770 และ p-Value = 0.670 และ Blebbed Shape มีค่า F = 1.641 และ p-Value = 0.093) ซึ่งเป็นการรายงานครั้งแรก และเป็นไปได้ถึงความสอดคล้องกับ Lua et al. (2022) ที่ทดลองให้ไมโครพลาสติกโพลีเอทิลีน ความหนาแน่นสูงร่วมกับอาหารแก่ลูกปลา *P. Flavescens* ซึ่งให้เห็นว่าพลาสติกชนิดนี้ไม่มีผลต่อปลา ดังนั้นจึงยืนยันได้ว่าวัสดุกระชังที่มีส่วนผสมของพลาสติกชนิด HDPE ไม่มีผลชักนำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดปลานิล แต่ควรพิจารณาถึงค่าแอมโมเนียและไนโตรที่ที่สูงเกินมาตรฐานที่ตรวจพบได้ตลอดการทดลอง เช่นเดียวกับหลายงานวิจัยกล่าวตรงกันว่า แอมโมเนียมีผลขัดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากเหงือก และไนโตรที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายของฮีโมโกลบิน สอดคล้องกับการศึกษาของ Yildiz et al. (2006) พบว่าค่าทางโลหิตวิทยาของปลานิล *O. Niloticus* หลังสัมผัสกับไนโตรที่เข้มข้นที่ต่างกัน คือ 0.50 และ 1.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างช่วงเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีผลลดปริมาณของฮีโมโกลบิน เช่นเดียวกับการทดลองของ Molayemraftar et al. (2022) พบว่าการได้รับแอมโมเนียและไนโตรที่ในปริมาณสูงทำให้ปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ในเลือดของปลาแคร์พ *Cyprinus carpio* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการสะสมจนเป็นพิษในร่างกายปลา ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลาแคร์พ *C. carpio* โดยในการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ที่ตรวจพบในน้ำอาจที่มีผลชักนำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดงในปลานิล *O. niloticus*, L.

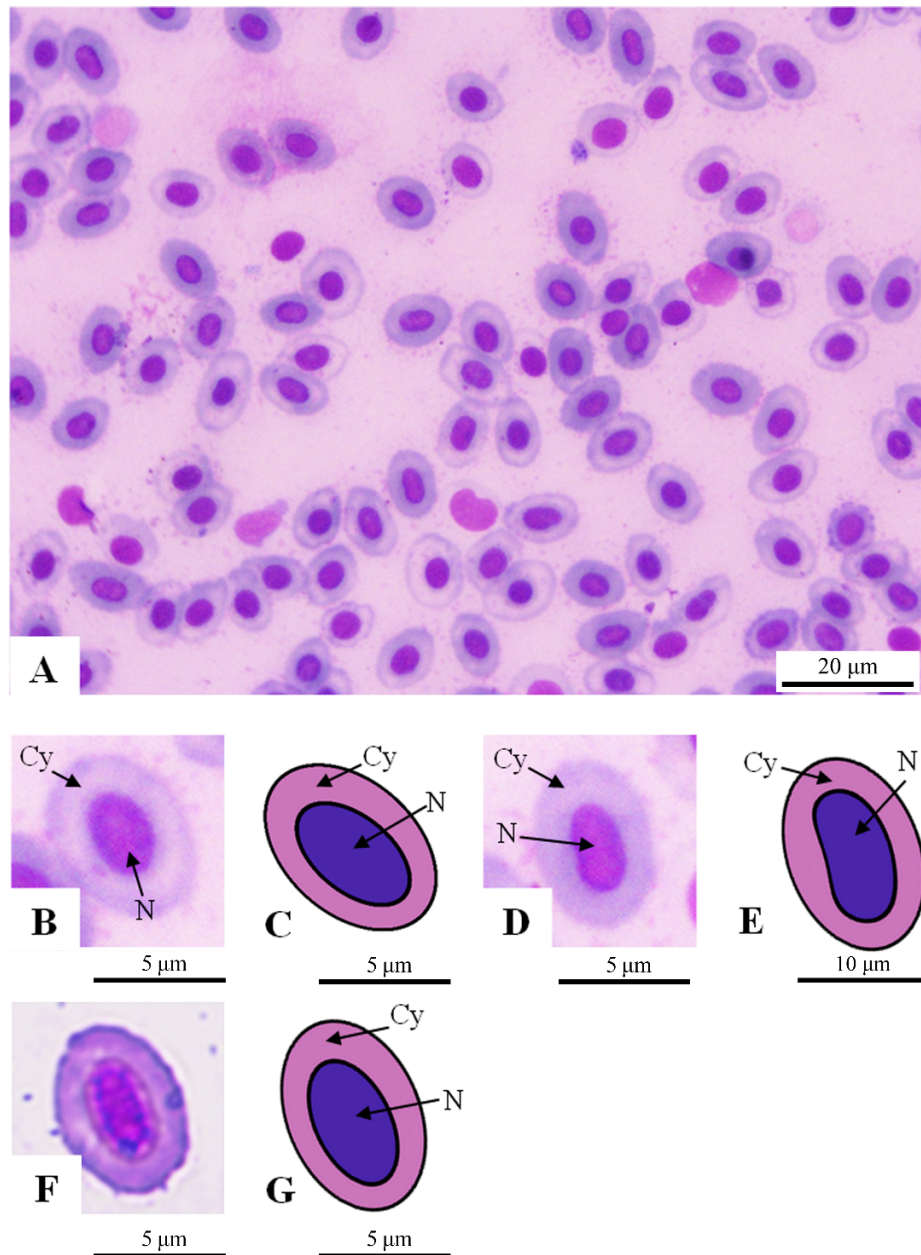
2.3 จุลกายพยาธิวิทยาและค่าดัชนีการเปลี่ยนทางด้านมิถุวิทยา

การปรากฏของจุลกายพยาธิวิทยาของตับของปลานิลในทุกช่วงเวลา 7 30 และ 120 วันพบคล้ายคลึงกันตลอดการทดลอง ได้แก่ การเสื่อมแบบแวคูโอลา (Vacuolar

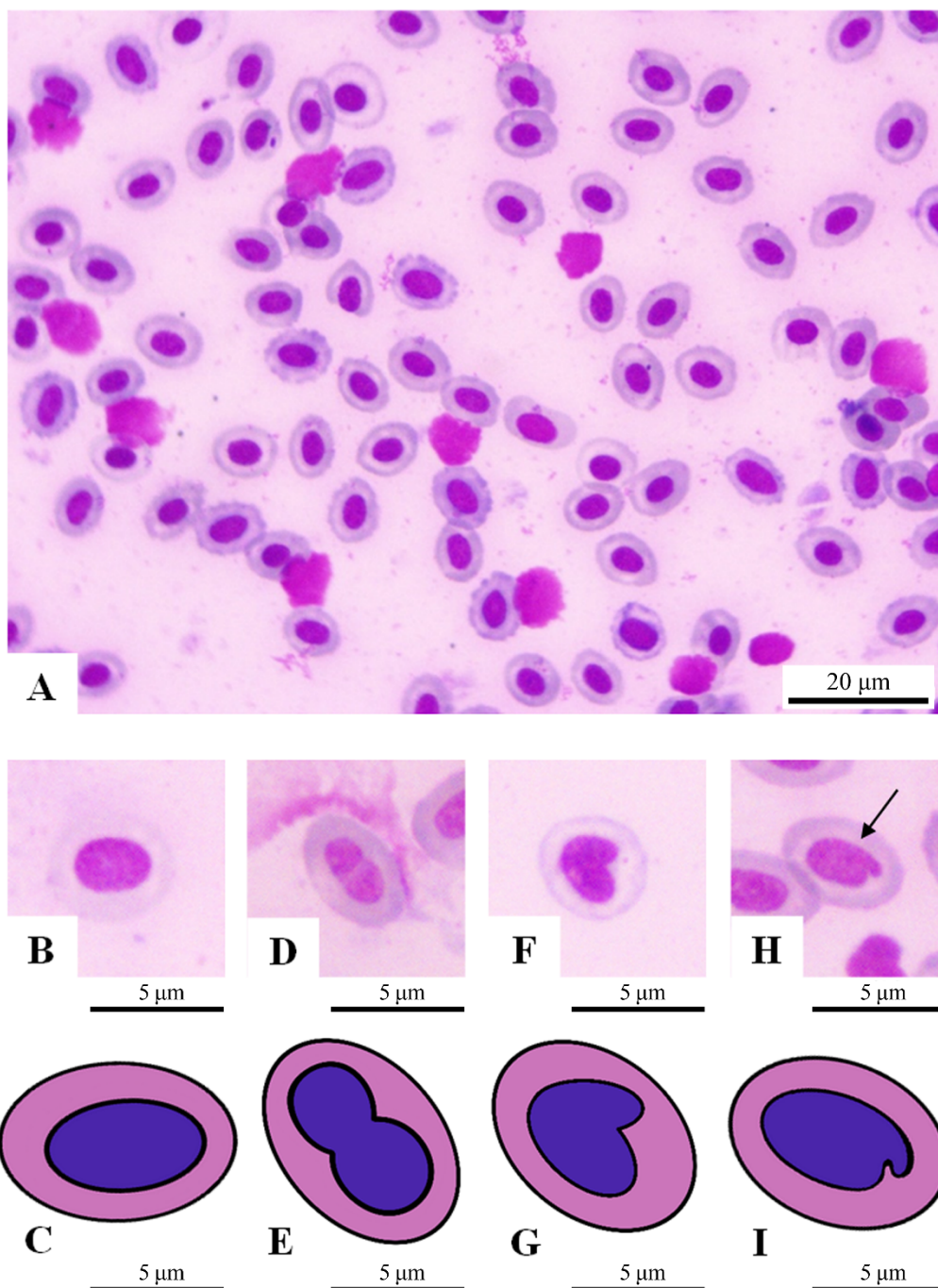
Degeneration) การหดตัวของนิวเคลียส (Pyknosis) และการสลายของนิวเคลียส (Karyolysis) ของเซลล์ตับ (ภาพที่ 30) ซึ่งรอยโรคเหล่านี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัย เช่น การสัมผัสกับสารคลอรีน ไฮโดรคาร์บอน การขาดอาหาร และการได้รับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ การเสื่อมของแควคิวโอลาร์ของเซลล์ตับเป็นรอยโรคที่พบเด่นในกลุ่มปลาและบ่งชี้ว่าแควคิวโอลาร์อาจเป็นไกลโคเจนหรือไขมัน (Wolf and Wheeler, 2018) และเชื่อมโยงถึงความเสียหายของตับ (Greenfield et al., 2008) ภายใต้หลายปัจจัยหลัก เช่น การสัมผัสกับสารพิษคลอรีนไฮโดรคาร์บอน โภชนาการอาหารที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดไขมันในตับในปลา ความเครียดด้านสิ่งแวดล้อม (Hinton et al., 1992; Robertson and Bradley, 1992; Schrank et al., 1997) และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ต่ำ (Hinton et al., 1992; Robertson and Bradley, 1992) สอดคล้องกับรายงานของ Zheng et al. (2014) ในปลา *Pelteobagrus fulvidraco* ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีค่าทางโภชนาการที่ต่ำ

ดัชนีการเปลี่ยนทางด้านมิถุนวิทยาของเนื้อเยื่อตับมีค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดการทดลอง และตามช่วงเวลาทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.321 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าทำงานของอวัยวะเนื้อเยื่อยังคงปกติ สอดคล้องกับการทดลองของ Lua et al. (2022) พบว่าลูกปลา *P. Flavescens* หลังได้รับไมโครพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง แม้ว่าจุลกายพยาธิวิทยาของตับเกิดขึ้น แต่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นชี้ให้เห็นว่าไม่มีเชื่อมโยงถึงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง

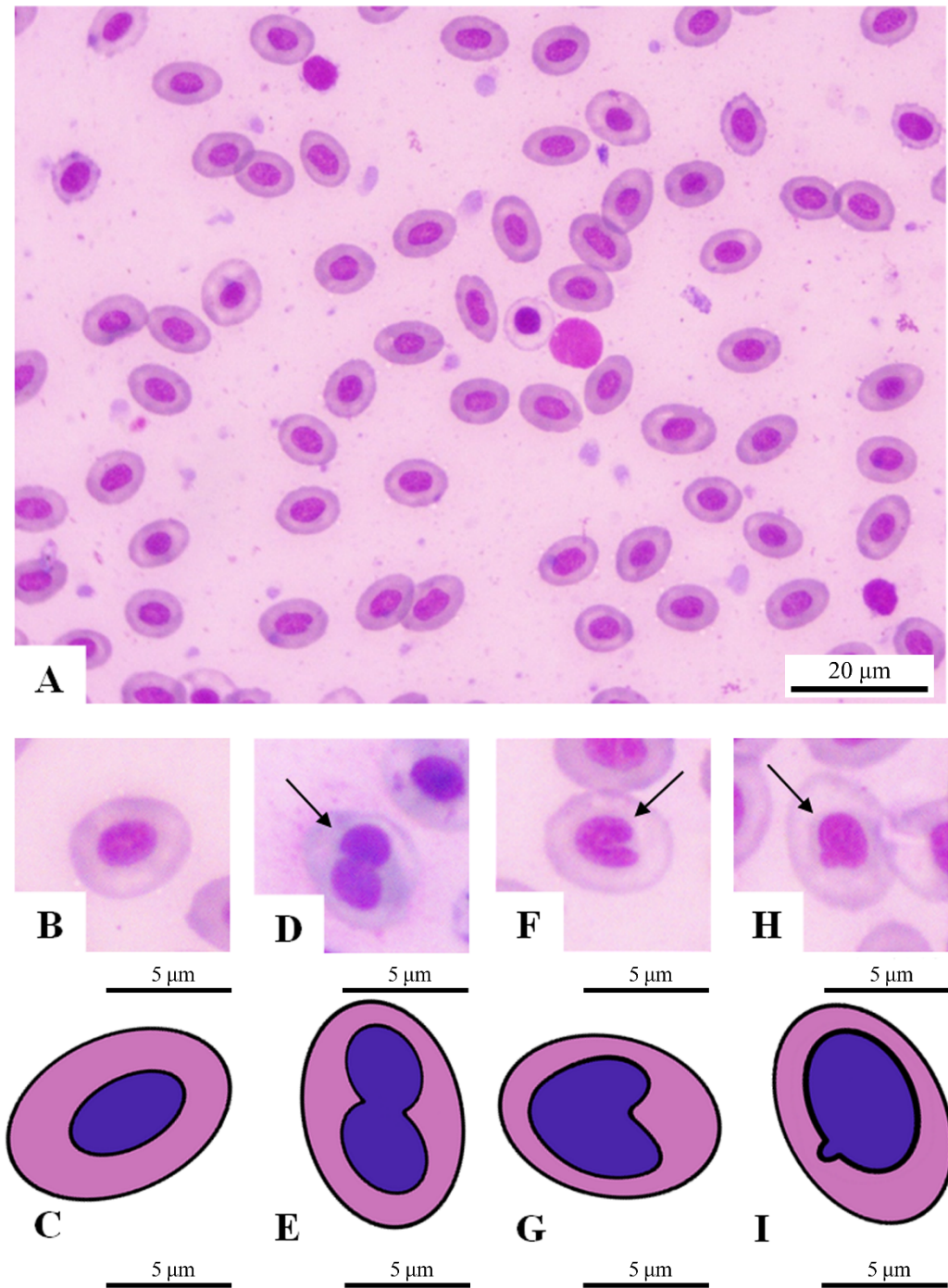




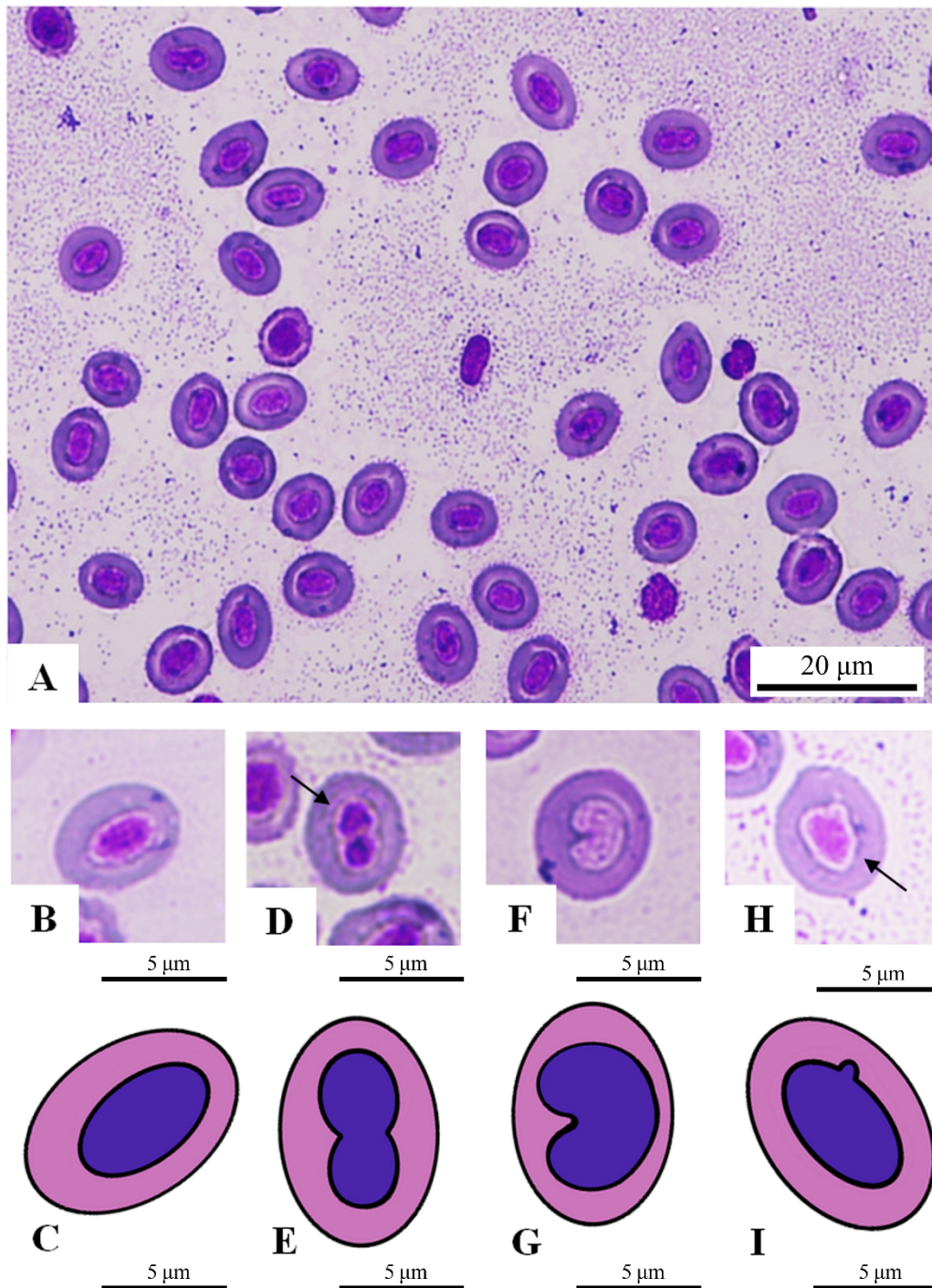
ภาพที่ 26 Light microscopy and illustrated erythrocyte of *Oreochromis niloticus*, L. (A) An overview showing the distribution of red blood cell, Normal (B) and illustrated (C) erythrocyte from a representative fish for 7 days after exposure, (D) normal and illustrated (E) erythrocyte from a fish representative for 30 days after exposure, (F) normal and illustrated (G) erythrocyte for 120 days after exposure. Abbreviations: the cytoplasm (Cy black arrow) and the nucleus (N black arrow).



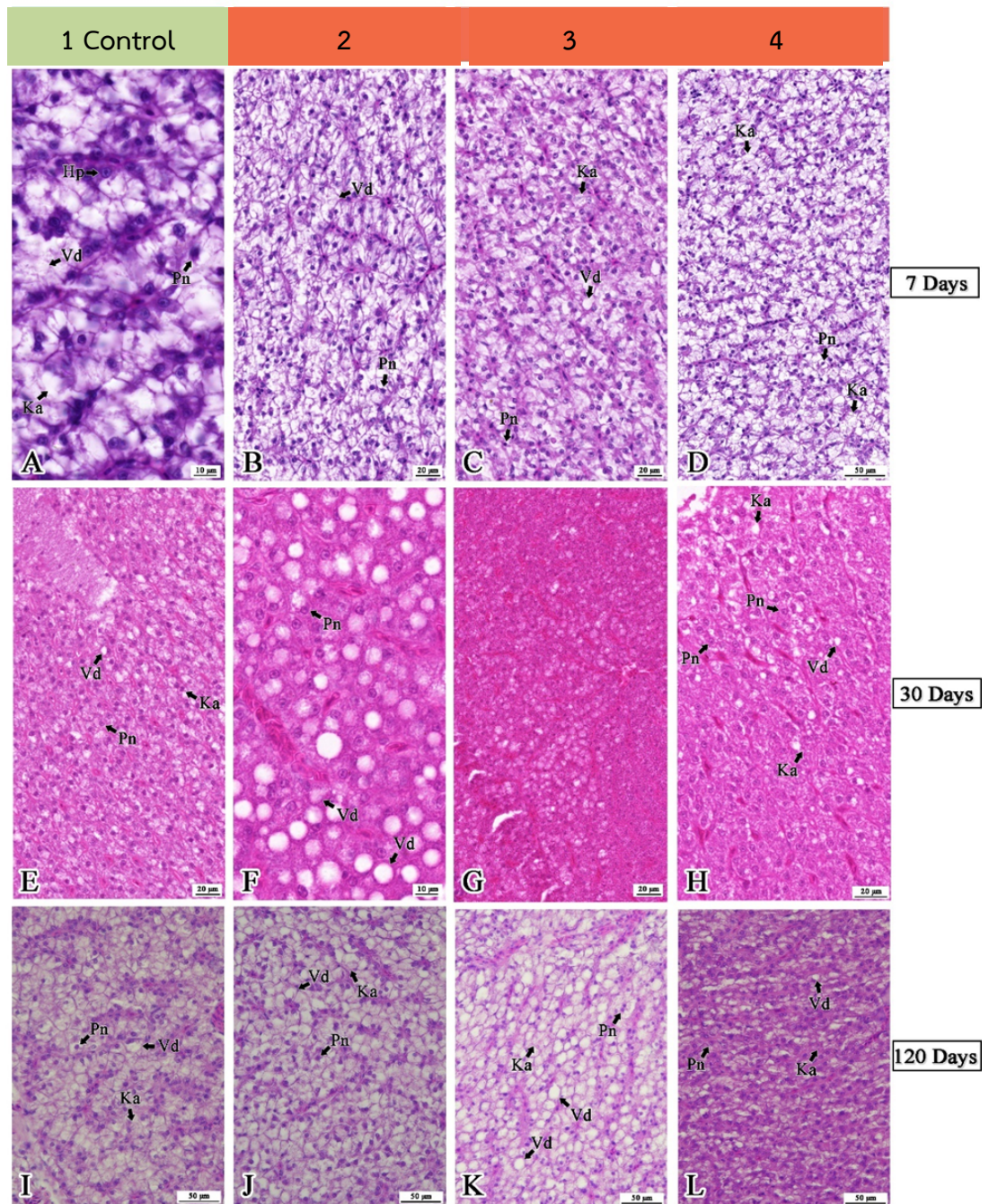
ภาพที่ 27 Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of *Oreochromis niloticus*, L. after exposure for 7 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality.



ภาพที่ 28 Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of *Oreochromis niloticus*, L. after exposure for 30 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality.



ภาพที่ 29 Light microscopy and illustrated nuclear abnormality of erythrocyte of *Oreochromis niloticus*, L. after exposure for 120 days. (A) overview of a peripheral blood smear, (B-C) Erythrocyte with normal nucleus, (D-E) dumbbell-shaped nucleus abnormality (F-G) notched-shaped nucleus abnormality, and (H-I) blebbed-shaped nucleus abnormality.



ภาพที่ 30 Light microscopic level showing the liver histopathology of *Oreochromis niloticus*, L. for 7, 30, 120 days after exposure. **Abbreviations:** Hepatocyte (Hp), Vacuolar cell degeneration (Vd), Pyknotic nucleus (Pn), Karyolysis (Ka). H&E staining method

2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกล้ามเนื้อและตับสัตว์น้ำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก คือ ตะกั่วและแคดเมียมในกล้ามเนื้อและตับปลานิลหลังการเลี้ยง 120 วัน ภายในระบบปิด จำนวน 4 ชุดการทดลองมีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 6 จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำมาสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ตรวจพบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมสะสมในกล้ามเนื้อและตับปลานิลทุกชุดการทดลอง

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในกล้ามเนื้อและตับปลานิล

| ชุดการทดลองที่ | ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) | | | |
|---|---|----------|--------|----------|
| | เนื้อ | | ตับ | |
| | ตะกั่ว | แคดเมียม | ตะกั่ว | แคดเมียม |
| 1. (ชุดควบคุม) (เลี้ยงปลานิลเพียงอย่างเดียว) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 2. ปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 1 (เม็ดพลาสติกใหม่ 70: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 30) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 3. ปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 2 (เม็ดพลาสติกใหม่ 50: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |
| 4. ปลานิลร่วมกับท่อ HPDE อัตราส่วนที่ 3 (เม็ดพลาสติกใหม่ 30: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70) | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ | ไม่พบ |

2.5 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบางประการ

ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 7 พบว่าทั้ง 4 ชุดการทดลองพบว่า มีค่าคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงระหว่างวันที่ 7 วัน ถึงวันที่ 120 ดังนี้ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในวันที่ 120 มีค่าเท่ากับ 32.62 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในวันที่ 120 มีค่าเท่ากับ 9.38 และมีค่าความเค็มเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.50 - 3.70 พีพีที และมีค่าเฉลี่ยแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.08 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยไนไตรท์

อยู่ระหว่าง 0.13 - 0.46 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งมีค่าคุณภาพน้ำบางประการไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ, 2565) เนื่องจากการเลี้ยงปลานิลในตู้ปลาเป็นระบบการเลี้ยงแบบปิดส่งผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของค่าไนไตรท์และแอมโมเนีย (เกิดทอง, 2550; Wei et al., 2001; Nimrat et al., 2021)



ตารางที่ 7 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการทดลองในวันที่ 7 30 และ 120

| Set of Experiments | Temperature (°C) ± S.D. | PH ± S.D. | Electric Conductivity (mS/cm) ± S.D. | Turbidity (NTU) ± S.D. | Total Dissolved Solids (g/L) ± S.D. | Salinity (ppt) ± S.D. | Nitrate (mg-N/L) ± S.D. | Ammonia (mg-N/L) ± S.D. |
|--------------------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Water quality | 25-32 | 6.5-8.3 | - | - | - | 0-25 | ≧ 0.1 | ≧ 0.5 |
| 1 (Control) | 28.44 ± 0.08 | 6.98 ± 0.20 | 5.53 ± 0.33 | 0.03 ± 0.04 | 3.48 ± 0.20 | 3.0 ± 0.2 | 0.13 ± 0.08 | 0.08 ± 0.04 |
| 7 Days | | | | | | | | |
| 2 | 28.48 ± 0.06 | 6.86 ± 0.12 | 4.8 ± 0.04 | 0.00 ± 0 | 3.07 ± 0.02 | 2.6 ± 0.04 | 0.24 ± 0.10 | 0.06 ± 0.02 |
| 3 | 28.43 ± 0.06 | 7.03 ± 0.14 | 6.02 ± 0.39 | 0.09 ± 0.12 | 3.79 ± 0.25 | 3.3 ± 0.22 | 0.19 ± 0.08 | 0.07 ± 0.03 |
| 4 | 28.43 ± 0.08 | 7.07 ± 0.19 | 5.87 ± 0.25 | 0.08 ± 0.10 | 3.70 ± 0.16 | 3.2 ± 0.17 | 0.19 ± 0.06 | 0.08 ± 0.01 |

ตารางที่ 7 (ต่อ)

| Set of Experiments | Temperature (°C) ± S.D. | PH ± S.D. | Electric Conductivity (mS/cm) ± S.D. | Turbidity (NTU) ± S.D. | Total Dissolved Solids (g/L) ± S.D. | Salinity (ppt) ± S.D. | Nitrate (mg-N/L) ± S.D. | Ammonia (mg-N/L) ± S.D. |
|--------------------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Water quality | 25-32 | 6.5-8.3 | - | - | - | 0-25 | ≧ 0.1 | ≧ 0.5 |
| 1 (Control) | 28.46 ± 0.14 | 6.42 ± 0.05 | 5.80 ± 0.75 | 5.57 ± 2.37 | 3.67 ± 0.45 | 3.1 ± 0.42 | 0.46 ± 0.00 | 0.06 ± 0.01 |
| 30 Days | | | | | | | | |
| 2 | 28.26 ± 0.08 | 6.06 ± 0.31 | 5.32 ± 0.27 | 5.13 ± 2.51 | 3.37 ± 0.15 | 2.9 ± 0.17 | 0.46 ± 0.02 | 0.04 ± 0.01 |
| 3 | 28.24 ± 0.04 | 6.65 ± 0.17 | 6.75 ± 0.45 | 2.56 ± 1.71 | 4.25 ± 0.28 | 3.7 ± 0.26 | 0.40 ± 0.02 | 0.07 ± 0.02 |
| 4 | 28.16 ± 0.04 | 6.48 ± 0.26 | 6.34 ± 0.07 | 5.63 ± 4.91 | 3.99 ± 0.05 | 3.4 ± 0.04 | 0.47 ± 0.02 | 0.07 ± 0.01 |

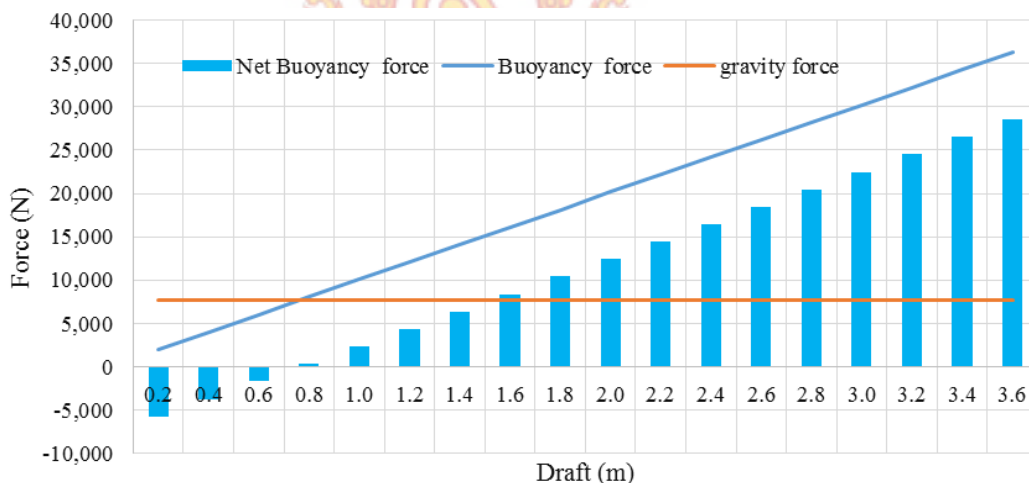
ตารางที่ 7 (ต่อ)

| Set of Experiments | Temperature (°C) ± S.D. | PH ± S.D. | Electric Conductivity (mS/cm) ± S.D. | Turbidity (NTU) ± S.D. | Total Dissolved Solids (g/L) ± S.D. | Salinity (ppt) ± S.D. | Nitrate (mg-N/L) ± S.D. | Ammonia (mg-N/L) ± S.D. |
|--------------------|-------------------------|-------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Water quality | 25-32 | 6.5-8.3 | - | - | - | 0-25 | ≧ 0.1 | ≧ 0.5 |
| 1 (Control) | 32.41 ± 0.03 | 9.32 ± 0.47 | 6.08 ± 0.32 | 0.00 ± 0 | 3.93 ± 0.32 | 3.3 ± 0.2 | 0.46 ± 0.01 | 0.03 ± 0.01 |
| 120 Days | | | | | | | | |
| 2 | 32.45 ± 0.06 | 9.24 ± 0.52 | 5.37 ± 0.11 | 0.00 ± 0 | 3.39 ± 0.07 | 2.9 ± 0.04 | 0.46 ± 0.03 | 0.04 ± 0.00 |
| 3 | 32.45 ± 0.08 | 8.77 ± 0.43 | 6.52 ± 0.38 | 0.00 ± 0 | 4.10 ± 0.23 | 3.5 ± 0.17 | 0.44 ± 0.03 | 0.03 ± 0.00 |
| 4 | 32.62 ± 0.03 | 9.38 ± 0.10 | 6.29 ± 0.27 | 0.05 ± 0.06 | 3.96 ± 0.17 | 3.4 ± 0.13 | 0.46 ± 0.01 | 0.02 ± 0.00 |

3. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง

3.1 ผลการทดสอบแรงลอยตัวของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดสอบแรงลอยตัวของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นการทดสอบทั้งการคำนวณทางทฤษฎีโดยหาแรงลอยตัวสุทธิ (CRDG, 2022) ซึ่งมีค่าขึ้นกับแรงลอยตัว และแรงจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งแรงทั้งคู่จะกระทำต่อกระชังให้มีผลต่อการลอยตัวของกระชัง โดยกรณีที่แรงลอยตัวมีค่ามากกว่าแรงลอยตัวจะทำให้กระชังลอยเหนือน้ำโดยมีปริมาตรบางส่วนของกระชังจมอยู่ในน้ำ กระชังมีน้ำหนักกว่า 787 กิโลกรัม คิดเป็นแรงโน้มถ่วง 7,728 นิวตัน (กราฟเส้นสีส้ม) ซึ่งจะมีระยะกินน้ำลึก 4 เซนติเมตร (ค่าแกน x) ที่ส่งผลให้เกิดแรงลอยตัวสูงกว่าแรงโน้มถ่วง โดยจะมีแรงลอยตัวสุทธิเท่ากับ 330 นิวตัน (กราฟแท่งสีฟ้า) รายละเอียดของแรงลอยตัวสุทธิที่ขึ้นกับระยะน้ำลึกของกระชังแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 31 และทำการทดสอบการลอยตัวของกระชังในพื้นที่ติดตั้งจริง ทดลองโดยให้ผู้ปฏิบัติงานขึ้นบนกระชังเพื่อทดสอบแรงจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นการทดสอบในสถานที่ติดตั้งจริงแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 32 ภาพที่ 32a ทดสอบการลอยตัวของกระชังเฉพาะน้ำหนักของตัวกระชัง และภาพที่ 32b ทดสอบการเพิ่มน้ำหนักโดยผู้ปฏิบัติงานขึ้นถ่วงน้ำหนัก



ภาพที่ 31 แรงลอยตัวสุทธิ แรงลอยตัว และแรงโน้มถ่วงจากการประมาณค่าของกระชัง



(a)

(b)

ภาพที่ 32 (a) ทดสอบการลอยตัวของกระชังเฉพาะน้ำหนักของตัวกระชัง
(b) ทดสอบการเพิ่มน้ำหนักโดยผู้ปฏิบัติงานขึ้นถ่วงน้ำหนัก

3.2 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของกระชังต้นแบบหลังการติดตั้งในพื้นที่จริง

หลังการติดตั้งกระชังต้นแบบในพื้นที่จริง ดำเนินการเก็บข้อมูลศักยภาพของกระชังต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ศักยภาพของกระชังแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2565 จนถึงมกราคม 2566 โดยมีผลการศึกษาดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 (เม็ดพลาสติกใหม่ 70: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 30) ชุดการทดลองที่ 2 (เม็ดพลาสติกใหม่ 50: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50) และชุดการทดลองที่ 3 (เม็ดพลาสติกใหม่ 30: เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 70) มีผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ มีความคงทน แข็งแรง สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำ และสามารถรับน้ำหนักของวัตถุได้เป็นระยะเวลานาน เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมตามท้องทะเล สามารถทนต่อการกัดกร่อน ความเค็มทน ทนต่อแสงอาทิตย์และรังสียูวีได้ดี ไม่เกิดความเสียหายต่อการรั่วซึมและแตกหักเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เช่น ฝนตกหนัก หรือ เกิดพายุ

3.3 ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่จริง

จากการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้ดำเนินการทดสอบโดยการเลี้ยงปลาขนาด 6 - 10 นิ้ว กระชังละ 150 ตัวในพื้นที่จริงเป็นระยะเวลา 6 เดือน ผลการดำเนินงานไม่สำเร็จตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่วางไว้ เนื่องจากปลาในกระชังเกิดการสูญหายระหว่างที่ทำการทดลอง จึงได้ยุติการทดลองและไม่สามารถสรุปผลการดำเนินการในหัวดังกล่าวได้

4. การวิเคราะห์ศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากผลการดำเนินการทดสอบกระชังต้นแบบทั้ง 3 ชุดการทดลองในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ บริเวณชายฝั่งหาดราชมงคตรงข้ามท่าเรือคลองสน เป็นระยะ 10 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2565 จนถึงมกราคม 2566 พบว่าในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในพื้นที่ศึกษามีสภาพอากาศที่แปรปรวน มีคลื่นสูงประมาณ 2 เมตร กระแสน้ำความเร็วสูงสุดประมาณ 2 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วลมสูงสุด 15 เมตรต่อวินาที รวมทั้งสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น แสง อุณหภูมิ ความเค็ม เป็นต้น และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น เพรียง เป็นต้น จากผลการทดสอบศักยภาพของกระชังต้นแบบ ทั้ง 3 ชุดการทดลองสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้เป็นอย่างดี และคาดว่ากระชังต้นแบบ ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในบริเวณชายฝั่งได้เป็นอย่างดี ทั้งบริเวณชายฝั่งและการเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลลึกในประเทศไทย และคาดว่าอายุการใช้งานแต่ละชุดการทดลองไม่ต่ำกว่า 15 ปี โดยผู้วิจัยคาดว่าคุณสมบัติของกระชังต้นแบบที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแนวชายฝั่ง และทะเลน้ำลึก จะเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการสัตว์เลี้ยง ที่มีความสามารถต้านคลื่น กระแสน้ำ และความรุนแรงลมได้ สามารถใช้งานได้จริงสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบกึ่งเปิด รวมทั้ง การเลี้ยงสัตว์น้ำในกระชังนอกชายฝั่งน้ำลึก สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความหนาแน่นสูงได้ สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และมีคุณภาพเนื้อดีขึ้นตามธรรมชาติเมื่อเทียบกับกระชังแบบดั้งเดิม อีกทั้ง คาดว่าจะช่วยลดโรคของสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี ด้วยข้อได้เปรียบดังกล่าว จะส่งผลให้ผลผลิตมีคุณภาพสูง ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจอย่างมากในอนาคต



บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างนวัตกรรมกระชังรักษ์โลกจากพลาสติกรีไซเคิลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน ดำเนินงานวิจัยต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ปี งานวิจัยครั้งนี้เป็นการดำเนินงานในปีที่ 2 ดำเนินออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในห้องปฏิบัติการและพื้นที่จริงจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า

1. ผลการออกแบบและสร้างกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

กระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยครั้งนี้ออกให้มีลักษณะรูปร่างเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร คิดเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงขนาด 28.27 ตารางเมตร และพื้นที่ติดตั้งขนาด 40.67 ตารางเมตร และมีความสูงจากผิวน้ำ 1.25 เมตร ซึ่งมีวงแหวน ทั้งหมด 3 วง ชั้นตอนการประกอบ และติดตั้งกระชังประกอบด้วย 4 ชั้นตอนหลักคือ การทดสอบอุปกรณ์สำหรับการยึดกระชัง การตัดชิ้นส่วนเพลทฟอร์มกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ การติดตั้งชิ้นส่วนของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และการเชื่อมต่อท่อ HDPE ด้วยความร้อน

2. ผลการศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษาศักยภาพของกระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่าสัญญาณวิทยาของเซลล์เม็ดเลือดแดง จุลกายพยาธิวิทยา และค่าดัชนีการเปลี่ยนทางด้านมิถุวิทยาของปลาไนล์ ซึ่งให้ไว้ในช่วง 7 30 และ 120 วัน ด้านสุขภาวะของปลาและความผิดปกติของไมโครนิวเคลียสของเซลล์เม็ดเลือดแดงปลาไนล์มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยพิจารณาถึงดัชนีการเปลี่ยนทางด้านมิถุวิทยามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.321 ซึ่งถึงการทำงานของอวัยวะปกติ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากระชังต้นแบบสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ชักนำให้เกิดสุขภาวะที่ไม่ดีต่อสัตว์น้ำ และไม่พบปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมสะสมในกล้ามเนื้อและตับปลาไนล์ทุกชุดการทดลอง การทดลองนี้สามารถยืนยันได้ว่าพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูงมีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้ในงานทางด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเชื่อมโยงกับสุขภาพของผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามความผิดปกติที่พบในสัตว์น้ำ อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบางประการสูงเกินมาตรฐานซึ่งส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาของสัตว์น้ำ

3. ผลการคัดเลือกกระชังต้นแบบที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากการทดสอบในภาคสนามเบื้องต้น พอจะแสดงให้เห็นศักยภาพของกระชังต้นแบบทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยมีผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้ โดยมีคุณสมบัติที่เป็นไปตามที่ผู้วิจัยได้ออกแบบรองรับไว้ มีความสวยงาม ทนสมัย มีความคงทน และสามารถใช้งานได้จริง นำไปสู่ผลิตภัณฑ์สีเขียวที่ลดการเกิดมลพิษทางทะเลและลดการเกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ช่วยลดต้นทุนในการทำกระชังเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีอยู่ในปัจจุบันในระยะยาว ลดการนำเข้าชิ้นงานจากต่างประเทศ และสามารถหันกลับมาส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมในการผลิตชิ้นงานภายในประเทศได้ เพื่อความยั่งยืนให้กับเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ในอนาคตต่อไป รวมทั้งคาดว่ากระชังต้นแบบสามารถต้านทานความคลื่นสูงได้อย่างน้อย 5 เมตร ความเร็วกระแสน้ำไม่น้อยกว่า 1.8 เมตรต่อวินาที และเหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีความรุนแรงของลมได้ อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในการเลี้ยงปลาทะเลแบบกึ่งเปิดและทะเลเปิดได้จริง และคาดว่าจะมีอายุการใช้งานของแต่ละชุดการทดลองไม่ต่ำกว่า 15 ปี



ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเสริมเพิ่มแรงลอยตัวและความแข็งแรงของกระชัง โดยการเพิ่มแรงลอยตัวภายในของท่อ HDPE และเพื่อลดความเสี่ยงจากการรั่วซึมในระยะยาวให้สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นตามอายุของท่อ เช่น การฉีดเพิ่ม พี.ยู.โฟม เพื่อป้องกันการจมและช่วยเสริมการลอยตัวภายในท่อ เป็นต้น
2. สามารถทำสีกันเพรียงและกันแสงยูวีได้ เพื่อการยืดอายุการใช้งานได้



บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. **อุตสาหกรรมทำเม็ดพลาสติกจากเศษพลาสติกเก่าที่ใช้แล้ว.**
แหล่งที่มา: http://www2.diw.go.th/l_Standard/Web/pane_files/Industry17.asp,
22 มกราคม 2563.
- เกิดทอง สุธาทิพย์. 2550. ประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแยกโพนแบบอนุกรมสำหรับการเลี้ยงปลาในล. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีทางทะเล คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.
- กษมน ประทีป ณ ถลาง. 2557. การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยเทคนิคไพโรไลซิส. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการพลังงาน ภาควิชาการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2554. **พอลิเมอร์.** 1-40.
- ธัญญ์พิชชา เอกบุศย์, ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และ วลัยรัตน์ อุตตะมะปรากรม. 2557. **การศึกษา ศักยภาพการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกในประเทศไทย. วารสารวิจัยพลังงาน** 11(1): 38-49.
- วจินี จงจิตร. 2543. ทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชนของเทศบาลเมืองตรัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วุฒิพันธุ์ชัย วีรพงศ์ และ นิรมรัตน์ สุปันธิต. 2561. โครงการวิจัยการพัฒนาสูตรอาหารเม็ดสำหรับการเลี้ยงปลาใน แนวทางการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วรุตม์ รัตนภักดี และ ภัทธนันท์ ทักขนนท์. 2557. แผ่นหลังคาพลาสติกรีไซเคิลเพื่อการป้องกันความร้อน, น. 88-95. ใน **โครงการประชุมวิชาการ ประจำปี 2557 Built Environment Research Associates Conference, BERAC 5, 2014.** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอำนาจเจริญ. 2565. **คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงปลาในล.** แหล่งที่มา: <https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/welcome/rfa-amnatcharoen>, 10 ธันวาคม 2565.
- สุภารัตน์ รักชลธิ. 2556. ขวดพลาสติกชนิดรีไซเคิลจากขวดนมที่ผลิตจาก HDPE: การเตรียมความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติเชิงกล. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- Alkaladi, A. , Nasr El-Deenb, A.M.N. , Afiffa, M. , Osama, A. and Zinadah, A. 2015. **Hematological and biochemical investigations on the effect of vitamin E and C on *Oreochromis niloticus* exposed to zinc oxide nanoparticles.** Available Source: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs0.2015.02.012>, Jan 7, 2023.
- American Plastics Council. 2001. **Glossary : Polyethylene Terephthalate (PET or PETE.** Available Source: http://www.plasticsresource.com/top_level/glossary_p.html, January 22, 2018.
- Auró de Ocampo, A. and Ocampo, L. 1999. Diagnóstico del estrés en peces. **Veterinary Mexico** 30: 337-344.
- Ayadia, I., Monteirod M.S., Regayae. I., Coimbrad, A., Fernandesd, F., Oliveirab, M.M., Peixotod, F. and Mnif, W. 2015. Biochemical and histological changes in the liver and gill of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* exposed to Red 195 Dye. **RSC Advances** 1: 2-37.
- Butt Fusion Welding. 2022. **Retrieved form tpp-pipe.com.** Available Source: <http://www.tpp-pipe.com/blog/hdpe-pipe-connector.html>, March 27,2022.
- Clauss, M.T., MVD., MS., Dove, D.M.D., D, P.h., Arnold, E.J. and MS, MT. 2008. Hematologic Disorders of Fish. **Vet Clin Exot Anim** (11): 445-462.
- CRDG, C.R. 2022. Explore Fluid Earth Retrieved form manoa.hawaii.edu. Available Source: <https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/physical/navigation-and-transportation-and-ship-design>, March 01, 2022.
- Dalzochio, T., Zimmermann, G., Petry, IE., Gehlen, G., and da Silva, L.B. 2016. The use of biomarkers to assess the health of aquatic ecosystems in Brazil: a review. **Journal of Aquatic Research** 8:289-298.
- Elsevierapplied science. 1989. **Pyrolysis and gasification.** London and New York.
- Figueiredo-Fernandes, A., Ferreira-Cardoso, V.J., Garcia-Santos., Monteiro, M.S., Carrola, J., Matos, P. and Fontainhas-Fernandes, A. (2007). Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, tilapia, *Oreochromis niloticus* eochromis niloticus, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira** 27(3): 103-109.

- Greenfield, B.K., Teh, S.J., Ross, J.R., Hunt, J., Zhang, G., Davis, J.A., Ichikawa, G., Crane, D., Hung, S.S., Deng, D., The, F.C. and Green, P.G. 2008. Contaminant concentrations and histopathological effects in Sacramento splittail (*Pogonictys macrolepidotus*). **Arch. Environ. Contam. Toxicol** 55: 270-281.
- Hamed, M., Osman, G.M.A., Badrey, E.A.A., Soliman, A.M.H. and Sayed, E.D.H.A. 2021. Microplastics-Induced Eryptosis and Poikilocytosis in Early-Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Published online** 12: 1-22.
- Hayashi, M., Ueda, T., Uyeno, K., Wada, K., Kinase, N., Saotome, K., Tanaka, N., Takai, A., Sasaki, Y.F. and Asno, N. 1998. Development of genotoxicity assay systems that use aquatic organisms. **Mutation Research** 399: 125-33.
- Humason, G.L. (1979) **Animal Tissue Techniques**. W.N. Freeman and Company, San Francisco. Available Source: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2011.02.027>, Dec 23, 2022.
- Hinton, D.E., Baumann, P.C., Gardner, G.R., Hawkins, W.E., Hendricks, J.D., Murchelano, R.A. and Okihiro, M.S. 1992. Histopathologic biomarkers Biochemical, physiological, and histological markers of anthropogenic stress. **Biomarkers, Lewis Publishers, Boca Raton, FL** 155-209.
- Kendall, R.J., Anderson, T.A., Baker, R.J., Bens, C.M., Carr, J.A., Chiodo, L.A., Cobb III, G.P., Dickerson, R.L., Dixon, K.R., Frame, L.T., Hooper, M.J., Martin, C.F., McMurry, S.T., Patino, R., Smith, E.E., and Theodorakis, C.W. 2001. **Ecotoxicology**. C.D. Klaassen (ed.), **Casarett and Doull's Toxicology**. MC Graw Hill Education, London.
- Kousar, S. and Javed, M. 2015. Studies on induction of nuclear abnormalities in peripheral blood erythrocytes of fish exposed to copper. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 15: 879-886.
- Khait, Klementina and Torkelson, John M. 1999. Novel Recycling Technology for Plastics and Rubber, pp. 114-119. Vol. 3., Solid State Shear Pulverization Process. *In R'99 Recovery Recycling Re-integration*. Switzerland, EMPA.

- Louiz, I., Palluel, O., Ben-Attia, M., Aït-Aïssa, A. and Hassine, O.K.B. 2018. Liver histopathology and biochemical biomarkers in *Gobius niger* and *Zosterisessor ophiocephalus* from polluted and non-polluted Tunisian lagoons (Southern Mediterranean Sea). **Marine Pollution Bulletin** 128: 248-258.
- Lua, X., Denga, F.D., Huang, F., Casub, F., Kracoa, E., Newton, J.R., Zohn, M., Teh, J.S., Watson, M.A., Shepherd, B., Ma, Dawood, A.O.M. and Rios Mendoza, M.L. 2022. Chronic exposure to high-density polyethylene microplastic through feeding alters the nutrient metabolism of juvenile yellow perch (*Perca flavescens*). **Animal Nutrition** (9): 143-158.
- Mahasawasde, S. 1989. Effects of Sodium Chloride on Hematology and Plasma Electrolytes in Walking Catfish (*Clarias batrachus* Linn.). **Kasetsart Journal** 23(2): 172-177.
- Mojjada, S.K., Imelda, J., Rao, P.S., Mukherjee, C.K., Ghosh, S. and Rao, G.S. 2013. Design, development and construction of open sea floating cage device for breeding and farming marine fish in Indian waters. **Indian J. Fish** 60(1): 61-65.
- Molayemraftar, T., Peyghan, Jalali R.M., Shahriari, A. 2022. **Single and combined effects of ammonia and nitrite on common carp, *Cyprinus carpio***. Toxicity, hematological parameters, antioxidant defenses, acetylcholinesterase, and acid phosphatase activities Aquaculture. Available Source: <https://doi.org/10.1016/J.aquaculture.2021.737676>, Jan 6, 2023.
- Nimrat, S., Siangjow, T. and Vuthiphandchai, V. 2021. Effect of nitrite on mortality and innate immunity response of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) reared in low-salinity water in simulated earthen pond. **Journal of Fisheries Technology Research** 15(2).
- Obiakor, M.O., Okonkwo, J.C., Nnabude, P.C. and Ezeonyejiaku, C.D. 2012. Ecogenotoxicology: Micronucleus assay in fish erythrocytes as *in situ* aquatic pollution biomarker: A review. **J Anim Sci Adv** 2:123-133.

- Paulo, D.V., Fontes, F.M. and Flores-Lopes, F. 2012. Histopathological alterations observed in the liver of *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) as a tool for the environmental quality assessment of the Cachoeira River, BA. Available Source: <https://doi.org/10.1590/S151969842012000100015>, Dec 22, 2022.
- Poleksic, V. and Mitrovic-Tutundzic, V. 1994. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. pp 339-352. **In R. Müller and R. Lloyd (eds) Sublethal and Chronic effects of Pollutants on Freshwater Fish.** Cambridge Univ, Press Cambridge.
- Presnell, J.K. and Schreibman, M.P. 1997. Humason's Animal Tissue Techniques. (5th ed.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.
- Robertson, J.C. and Bradley, T.M. 1992. Liver ultrastructure of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). **J. Morphol** 211: 41-54.
- RosaLinde-AriasAlan, A., AlburquerqueMarina, F., FreireJosino, M., Moreira, C. 2008. Biomarkers in an invasive fish species, *Oreochromis niloticus*, to assess the effects of pollution in a highly degraded Brazilian River. **Science of The Total Environment** 399: 1-3.
- Ruangsomboon, S., Choochote, S. and Taveekijakarn, P. 2010. Growth performance of red tilapia (*Oreochromis niloticus* XO. *mossambicus*) fed diets containing dried *Spirulina platensis*. Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Ruiz-Ramírez, A.J., Ramírez-Ayala, E., Tintos-Gómez, A., Salas-Villaseñor, C., García-Márquez, J.L., Borja-Gómez, I., Sepúlveda-Quiroz, A.C., Lezama-Cervantes, C. and Morales-Blake R.A. 2019. **Hepatocellular steatosis as a response to nutritional stressors in *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) grown in floating cages.** a case study. Available Source: <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue4-fulltext-14>, Jan 30, 2023
- Rungtongbaisuree, S., Duanyai, P., Eiamsaard, B. and Manmai, W. 2010. Comparison on Growth, Survival Rate and Yield among Ordinary Male, Sex-reversed Male and Triploid Nile Tilapia. **Technical Paper** 7: 1-32.

- Schrank, C.S., Cormier, S.M., Blazer, V.S. 1997. Contaminant exposure, biochemical, and histopathological biomarkers in white suckers from contaminated and reference sites in the Sheboygan River, Wisconsin. **J. Great Lakes Res** 23: 119-130.
- Senarat, S., Kettratad, J., Poolprasert, P., Jiraungkoorskul, W. and Yenchum, W. 2015. Histopathological findings of liver and kidney tissues of the yellow mystus, *Hemibagrus filamentus* (Fang and Chau, 1949), from the Tapee River, Thailand. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 37: 1-5.
- Silva Montes, C.D., Pantoja Ferreira, A.M., Santos Damasceno, S.D.S. and Rocha M.R. 2015. Environmental quality of an estuary in Amazon delta using immunohistochemical and morphological analyses of gill as biomarkers. **Acta Scientiarum Biological Sciences** 37(1): 113-121.
- Singkhanan, N., Kettratad, J., Senarat, S., Theerakamol, P., Para, C., and Kaneko, G. 2019. Morphological characterization of blood cells in five important estuarine fish species in Thailand during juvenile stages. **EnvironmetAsia** 12: 79-86.
- Sopon, A., kettratad, J., Piumsomboon, A., Kaneko, G. And Senarat, S. 2021. **The Use of Hematological and Histopathological Biomarkers to Assess the Health of Aquatic Ecosystems in Koh Sichang, Thailand**. Available Source: <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.085>, Dec 23,2022.
- Stankevičiūtė, M., Sauliūtė, G., Svecevičius, G., Kazlauskienė, N. and Barsienė, J. 2017. **Genotoxicity and cytotoxicity response to environmentally relevant complex metal mixture (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd) accumulated in Atlantic salmon (*Salmo salar*)**. Part I: importance of exposure time and tissue dependence. Available Source: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10646-017-1833-0>, Jan 6, 2023.
- Supamataya, K., Donyadon, Y. and Direkbusrakom, S. 1987. Blood analysis of immature cultured turbot. (*Scophthalmus maximus* L.). **Aquaculture** 40: 17-25.

- Suvarna, K.S., Layton, C. and Bancroft, J.D. 2013. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques. (7th ed.). Elsevier, C., Poleksic, V and Tutundzic, M. 1994. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution, 345.
- P. and FontainhasFernandes, A. 2007. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, tilapia, *Oreochromis niloticus* eochromis niloticus, exposed to waterborne copper, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira** 27(3): 103-109.
- Wilson, J.M., Bunte, R.M. and Carty, A.J. 2009. Evaluation of rapid cooling and tricaine methanesulfonate (MS222) as methods of euthanasia in zebrafish (*Danio rerio*). **Journal of the American Association for Laboratory Animal Science** 48: 785–787.
- Witeska, M. (2022). **Haematological methods in fish Not only for beginners**. Available Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848621011613>, Jan 6, 2023.
- Wei, T.L., Yu, R.L., Nie, X.P., Lai, Z.N. and Guo, Y.H. 2001. Harmful effect of nitrite on haemoglobin and methaemoglobin of crucian carp. **J. Dalian Fisheries University** 16: 67–71.
- Wolf, C.J. and Wheeler, R.J. 2018. **A critical review of histopathological findings associated with endocrine and non-endocrine hepatic toxicity in fish models**. Available Source: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.01.013>, Jan 30, 2023.
- Yildiz, Y. H. , Köksal, G. , Borazan, G. and Benli K. Ç. 2006. **Nitrite-induced methemoglobinemia in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus***. Available Source: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0426.2006.00761>, Jan 6, 2023.
- Zheng, J.L., Luo, Z., Zhuo, Q.M., Pan, X.Y., Song, F.Y., Hu, W. and Chen, L.Q. 2014. Dietary L- carnitine supplementation increases lipid deposition in the liver and muscle of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) through changes in lipid.