รหัสโครงการ SUT1-104-55-12-05

รายงานการวิจัย

การศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวจากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต: กรณีศึกษาจังหวัดตรัง ประเทศไทย

THE STUDY OF CARBON EMISSION OF GIANT PERCH (*Lates calcarifer*) AND PACIFIC WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) MEAT PRODUCTION FROM FISHERY FARMS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT: A CASE STUDY IN TRANG PROVINCE, THAILAND

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT1-104-55-12-05

รายงานการวิจัย

การศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวจากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต: กรณีศึกษาจังหวัดตรัง ประเทศไทย

THE STUDY OF CARBON EMISSION OF GIANT PERCH (*Lates calcarifer*) AND PACIFIC WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) MEAT PRODUCTION FROM FISHERY FARMS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT: A CASE STUDY IN TRANG PROVINCE, THAILAND

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธานี
สาขาวิชาชีวิทยา
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2555
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มกราคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมจากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกจังหวัดตรังเป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้ การศึกษาดังกล่าวได้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือจากหลายฝ่ายจนทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในเรื่องการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว พร้อมทั้งยังได้ข้อมูลการถ่ายเทมวลคาร์บอนเพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลคาร์บอนที่สำคัญของประเทศ ฉะนั้น คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด อาทิ สำนักงานประมงจังหวัดตรังที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลฟาร์มประมง พร้อมทั้งเจ้าที่ทุกท่านที่ให้ความสะดวกแก่การเข้าสำรวจฟาร์มประมง นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ทุกท่านที่มีส่วนสำคัญในการวิจัย

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสภาวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) จากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งได้ทำการศึกษาในเขตพื้นที่จังหวัดตรังทางภาคใต้ของประเทศไทย ในระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 โดยทำการสำรวจอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว รวมทั้งอัตราการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊สปิโตรเลียมเหลวในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด นอกจากนี้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สำรวจและสอบถามข้อมูลประมงจากเกษตรกรเจ้าของฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวจำนวน 145 ฟาร์ม และฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจำนวน 270 ฟาร์ม พร้อมทั้งได้นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งระบบของการผลิตเนื้อสัตว์น้ำ ผลการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำผ่านการกินอาหาร พบว่าอาหารปลากะพงขาวและอาหารกุ้งขาวแวนนาไมมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.0079±0.0089 และ 0.0075±0.0053 กก.คาร์บอน/กก.สัตว์น้ำ/วัน ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายของปลากะพงขาวคือ 0.0077±0.0089 ส่วนกุ้งขาวแวนนาไมมีค่าเท่ากับ 0.0064±0.0052 กก.คาร์บอน/กก.สัตว์น้ำ/วัน นอกจากนี้ อัตราการปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์น้ำพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยคาร์บอนจากตัวกุ้งเท่ากับ 0.0012±0.0007 และปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 0.0001±0.0001 กก.คาร์บอน/กก.สัตว์น้ำ/วัน ในขณะเดียวกัน อัตราการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานของฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมเท่ากับ 27.6841±22.1796 และ 11.6632±10.3780 กก.คาร์บอน/กก.สัตว์น้ำ/วัน ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งระบบพบว่ากระบวนการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงและการผลิตเนื้อปลากะพงขาวก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่ากระบวนการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงและการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม นอกจากนี้ พบว่าการปล่อยคาร์บอนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานภายในฟาร์มประมงและการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการขนส่ง ดังนั้น ผลการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอีกภาคหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ABSTRACT

The study of carbon emission of giant perch (*Lates calcarifer*) and Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) meat production from fishery farms using life cycle assessment (LCA) was conducted in Trang province, southern Thailand during October, 2011 to September, 2012. The objectives of this study were to investigate the rate of carbon massflow from aquatic animal feed to fish and shrimp, and to study the carbon emission from electricity, diesel and liquefied petroleum gas (LPG) use in fishery farms. Total 145 fish and 270 shrimp farm owners were interviewed and questionnaired. Carbon content, carbon fixation and carbon emission were also analyzed. The results revealed that the rate of carbon massflow from aquatic animal feed (C-input) of giant perch and Pacific white shrimp were 0.0079±0.0089 and 0.0075±0.0053 kg.C/kg aquatic animal/day, respectively. The carbon fixation in giant perch was 0.0077±0.0089 and Pacific white shrimp was 0.0064±0.0052 kg.C/kg aquatic animal/day. Furthermore, the ratio of carbon emitted were 0.0012±0.0007 and 0.0001±0.0001 kg.C/kg aquatic animal/day of Pacific white shrimp and giant perch, respectively. In the same time, the carbon emission from energy usage in giant perch farms was 27.6841±22.1796 and Pacific white shrimp farms was 11.6632±10.3780 kg.C/kg aquatic animal/day. So, the carbon emission from giant perch meat production increased more environmental impacts than from Pacific white shrimp meat production. Additionally, the environmental impacts were mainly caused by energy use, farm-level effluents and transportation. It can be concluded that fishery farming system was an important part of environmental problems.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	8
1.3 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	8
1.4 ขอบเขตของแผนงานวิจัย	8
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 ระบบนิเวศและความสัมพันธ์เชิงระบบ (Ecosystems and system relationship)	11
2.2 วัฏจักรแร่ธาตุในระบบนิเวศ	19
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	29
2.4 การปล่อยแก๊สเรือนกระจกกับภาคการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	39
2.5 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	56
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่าง ๆ	60
2.7 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	69
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	73
3.1 ชนิดของฟาร์มประมงและพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา	73
3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	75
3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย	79
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	81
3.5 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย	82
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล	85
4.1 การสำรวจปริมาณฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิดในจังหวัดตรัง	85
4.2 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ	91
4.3 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว	101

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ในอาหารสัตว์น้ำ เนื้อสัตว์น้ำ และมูลสัตว์น้ำ รวมทั้งการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว	109
4.5 แนวทางการวิเคราะห์เพื่อลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว ตลอดจนแนวโน้มของการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง	114
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	117
5.1 สรุปผลการศึกษา	117
5.2 ข้อเสนอแนะ	120
เอกสารอ้างอิง	122
ภาคผนวก	138
ภาคผนวก ก ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยคาร์บอนจากพลังงานไฟฟ้า น้ำมันแก๊สปิโตรเลียมเหลว และปริมาณการใช้คาร์บอนในรูปของพลังงานต่าง ๆ	138
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนด้วยเครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro	143
ภาคผนวก ค ข้อมูลฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว	146
ภาคผนวก ง การเผยแพร่ความรู้	150
ประวัตินักวิจัย	159

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของสหรัฐอเมริกา ปี พ.ศ. 2545 – 2550	5
1.2	ชนิดสัตว์น้ำที่ทำการศึกษาและมูลค่าของสัตว์น้ำที่จับได้ในจังหวัดตรัง ปี พ.ศ. 2552	9
2.1	ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ	24
2.2	ค่าศักยภาพของแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดในการทำให้อุณหภูมิโลกร้อนขึ้น	33
2.3	จำนวนฟาร์มเลี้ยง พื้นที่เลี้ยง และปริมาณผลผลิตกุ้งทะเลจากการเพาะเลี้ยง ปี พ.ศ. 2545 – 2555	45
2.4	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2555	46
2.5	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2555	47
2.6	ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยไปสหภาพยุโรป ปี พ.ศ. 2550 – 2555	49
2.7	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกและนำเข้าปลากะพงขาวของไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2553	52
2.8	ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537	63
2.9	การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane	65
2.10	ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie และ Morgan	65
2.11	ตัวอย่างการจัดผลลัพธ์ในรูปของเมตริกซ์	67
2.12	ตัวอย่างการคำนวณผลลัพธ์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกทำฟาร์มประมง โดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ	67
2.13	ผลลัพธ์ที่สถานะ X	68
2.14	ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกจากการทำฟาร์มประมง	69
3.1	จำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงและตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว แยกเป็นอำเภอในพื้นที่จังหวัดตรัง	76
3.2	ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง	77
3.3	ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง	77
3.4	ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ในแต่ละฟาร์มประมงของอำเภอที่ 1 ในพื้นที่จังหวัดตรัง	77
3.5	ตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับการเก็บข้อมูลทางการประมงแต่ละชนิด ในการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มประมงของแต่ละอำเภอในจังหวัดตรัง	83
4.1	ประเภทของการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรัง	87
4.2	ปัจจัยในการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ในจังหวัดตรัง	88
4.3	ประเภทของการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง	90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.4	ปัจจัยในการผลิตปลากะพงขาวน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ในจังหวัดตรัง	91
4.5	การถ่ายเทมวลคาร์บอน การตรึงคาร์บอนมาสะสมในร่างกาย และการปล่อยคาร์บอนจากกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว	92
4.6	ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว	94
4.7	ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทจากอาหารสัตว์น้ำ (C_{input}) คาร์บอนที่สะสมในร่างกายสัตว์น้ำ ($C_{fixation}$) คาร์บอนที่ปล่อยจากสัตว์น้ำ ($C_{emitted}$) ในรูปของมูลสัตว์น้ำแห้งและในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลสด การหายใจและการย่อยอาหาร	94
4.8	ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยคาร์บอน ($C_{emitted}$) กับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไม (C_{input}) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	96
4.9	ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยคาร์บอน ($C_{emitted}$) กับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวปลากะพงขาว (C_{input}) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	96
4.10	สัดส่วนเนื้อรวม เปลือก กระดูก และอวัยวะภายในของสัตว์น้ำแต่ละชนิด	98
4.11	ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอน ($C_{fixation}$) กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไม (C_{input}) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	99
4.12	ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอน ($C_{fixation}$) กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวปลากะพงขาว (C_{input}) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	99
4.13	ค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอน ($C_{emission}$) จากการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำในจังหวัดตรัง	103
4.14	ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกินและน้ำหนักมูลแห้งที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาเปรียบเทียบที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน	110
4.15	ความสัมพันธ์ของค่าร้อยละความชื้น ขี้เถ้า ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของอาหารสัตว์น้ำ มูลสัตว์น้ำ และร่างกายสัตว์น้ำ	111
4.16	การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบของเมตริกซ์ (Payoff matrix)	112
4.17	การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ	113
4.18	การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการประยุกต์ใช้กฎสูงสุด (Maximax rules)	113
4.19	ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำฟาร์มประมง	114
4.20	ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกจากการทำฟาร์มประมง	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก	2
1.2	ขั้นตอนการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม และความสัมพันธ์ของข้อมูลการถ่ายเทมวลคาร์บอนในฟาร์มประมง	10
2.1	วัฏจักรของน้ำ	20
2.2	วัฏจักรคาร์บอนที่มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง	22
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรคาร์บอนและออกซิเจน	23
2.4	วัฏจักรคาร์บอนและปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็น 10^{15} กรัม	25
2.5	แหล่งกักเก็บคาร์บอน	26
2.6	วัฏจักรไนโตรเจน	28
2.7	ระบบการถ่ายเทมวลคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มประมง	61
3.1	ตำแหน่งฟาร์มเลี้ยงกุ้งภายในจังหวัดตรัง	74
3.2	ขอบเขตการศึกษาการถ่ายเทและการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวจากการทำฟาร์มประมงในจังหวัดตรัง	84
4.1	สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสัตว์น้ำ	93
4.2	ร้อยละสัดส่วนปริมาณคาร์บอน (C) ที่ถูกตรึงในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกุ้งขาวแวนนาไมที่ถ่ายเทมาจากอาหารที่กุ้งกินต่อวัน	101
4.3	ร้อยละสัดส่วนปริมาณคาร์บอน (C) ที่ถูกตรึงในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายปลากะพงขาวที่ถ่ายเทมาจากอาหารที่ปลากินต่อวัน	101
4.4	ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	104
4.5	ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ในการผลิตเนื้อปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	104
4.6	สัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	105
4.7	สัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในฟาร์มเลี้ยง และตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาว	106
4.8	การใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม	107
4.9	การใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยง ตลาด และโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาว	107
4.10	ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว เปรียบเทียบระหว่างฟาร์มเลี้ยงและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ โดยคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	108
4.11	เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในอาหาร ร่างกายและมูลของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว	112

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C	=	ปริมาณคาร์บอน
C_{input} และ C-input	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยในอาหารสัตว์น้ำรวมกับปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยในรูปของพลังงานที่ใช้
$C_{fixation}$ และ C-fixation	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกตรึงสะสมในร่างกายของสัตว์น้ำ
$C_{emission}$ และ C-emission	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์น้ำ
$C_{emitted}$ และ C-emitted	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกปล่อยจากตัวสัตว์น้ำซึ่งเกิดจากผลรวมของปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในมูลสัตว์น้ำรวมกับปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดขึ้นจากมูลสัตว์น้ำ การย่อยอาหาร และการหายใจของสัตว์น้ำ
C_{output} และ C-output	=	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของมูลสัตว์น้ำ
CO_2	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
CH_4	=	แก๊สมีเทน
N_2O	=	แก๊สไนตรัสออกไซด์
GWPS	=	ศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน
FE	=	พลังงานที่สูญหายในรูปของมูลสัตว์น้ำ
GE	=	พลังงานรวมในอาหาร
FCR	=	Feed conversion ratio คือ การเปลี่ยนอาหารที่กินมาเป็นน้ำหนักตัว ทำให้ทราบว่าสัตว์เลี้ยงที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ต้องใช้อาหารจำนวนเท่าใด และสามารถประเมินได้ว่าอาหารชนิดนั้นมีคุณภาพดีหรือไม่
LPG	=	แก๊สปิโตรเลียมเหลว
kWh	=	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
kg	=	กิโลกรัม (กก.)
Kcal	=	กิโลแคลอรี่
KJ	=	กิโลจูล

บทที่ 1

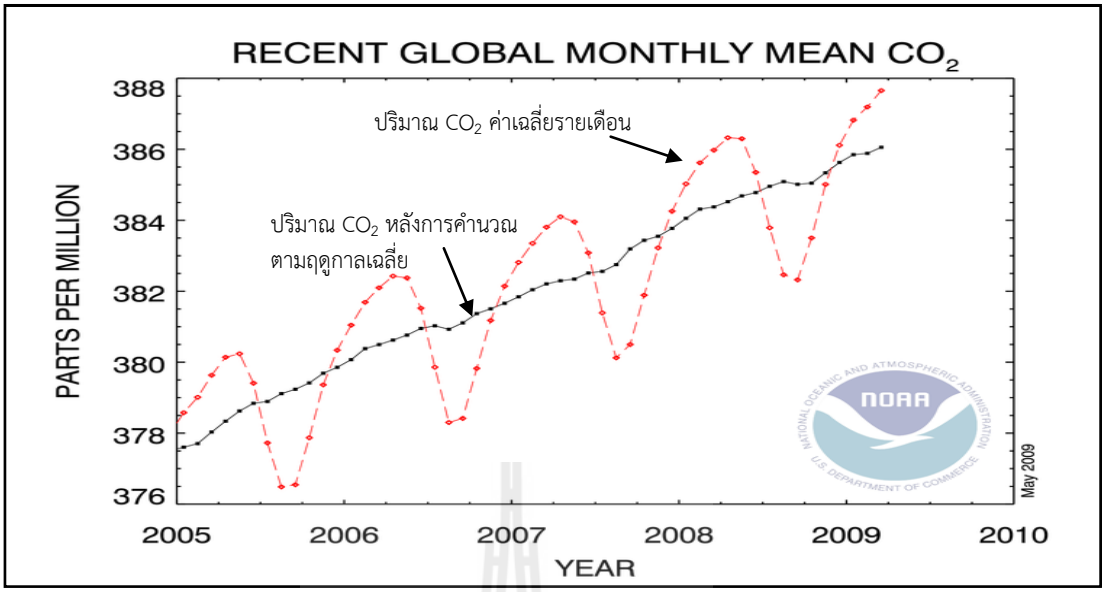
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของสภาพอากาศซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน

ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) คือ ปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่ควรจะสะท้อนกลับแต่กลับถูกดูดกลืนไว้โดยโมเลกุลของไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) สาร CFCs และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ภายในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น เมื่อเวลาผ่านไปทำให้โมเลกุลเหล่านี้มีพลังงานสูงขึ้นซึ่งจะสามารถถ่ายเทพลังงานซึ่งกันและกันได้ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในชั้นบรรยากาศสูงยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคืออุณหภูมิภายในชั้นบรรยากาศของโลกและในมหาสมุทรสูงขึ้นจนอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

การประชุม Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ใน ค.ศ. 1995 ณ ประเทศอังกฤษ กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของโลกที่เกิดจากแก๊สเรือนกระจกเป็นผลมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (รูปที่ 1.1) ดังนั้น การป้องกันหรือการแก้ไขปัญหานั้นมนุษย์จะต้องลดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกลง นอกจากนี้ IPCC (1995) ได้ทำนายว่าใน ค.ศ. 2100 ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3 ฟุต ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติต่าง ๆ ปัญหาการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์ รวมทั้งปัญหาการแพร่กระจายและการเพิ่มจำนวนของเชื้อโรคที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ในขณะเดียวกันมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอาจเสียชีวิตด้วยมลภาวะในอากาศและคลื่นความร้อนที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์อาจได้รับผลกระทบหรือเสียหายจากภาวะภัยแล้ง น้ำท่วม หรือพายุ และการเกิดปรากฏการณ์ที่ภูเขาน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกละลาย ทำให้ระดับน้ำในทะเลเพิ่มสูงขึ้นท่วมแผ่นดินและก่อให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์ นอกจากนี้ การปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์จากการใช้พลังงาน การทำเกษตรกรรมและปศุสัตว์ รวมทั้งการพัฒนาและการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า และการทำลายสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศโลก
ที่มา: NOAA, 2009

พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เป็นกฎหมายระหว่างประเทศเพื่อให้เกิดพันธกรณีที่จะทำให้การลดแก๊สเรือนกระจกเป็นจริงในทางปฏิบัติมากขึ้นตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) โดยมีการเจรจาต่อรองและตกลงกันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ปัจจุบันพิธีสารเกียวโตได้ครอบคลุมประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งในปัจจุบันได้ครอบคลุมมากกว่า 160 ประเทศ และสามารถแสดงค่าปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์จากทั่วโลก โดยหลักการสำคัญของพิธีสารเกียวโตคือประเทศอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต้องเป็นผู้นำในการต่อสู้กับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนประเทศกำลังพัฒนาสามารถดำเนินการตามกำลังและความสามารถในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกตามนโยบายและข้อตกลงในการปล่อยแก๊สเรือนกระจก นั่นคือให้ประเทศที่พัฒนาแล้ว (จำนวน 43 ประเทศ) มีพันธกรณีที่ต้องลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกตามอนุสัญญาฯ ดังกล่าว ในขณะที่ประเทศกำลังพัฒนาอื่น ๆ (เช่น กลุ่มประเทศภายใน ASEAN จีน และอินเดีย) ไม่มีพันธกรณีในการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ซึ่งจากข้อตกลงนี้เองจึงทำให้ประเทศสหรัฐอเมริกานำมาใช้อ้างเป็นเหตุผลที่ไม่ยอมให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต ทั้งที่สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดในโลก (IPCC, 2001)

ในขณะที่ประเทศไทยได้ร่วมลงนามและให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโตเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2545 ตามลำดับ แม้ประเทศไทยจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาตามบัญชีประเทศตามอนุสัญญาฯ ซึ่งไม่มีพันธกรณีในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก แต่ก็มีส่วนร่วมในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกผ่านกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) ตามพิธีสารเกียวโต ทั้งนี้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้เริ่มวางแผนการดำเนินงานตามพิธีสารเกียวโตในการทำ CDM เพื่อให้ประเทศไทยได้ประโยชน์จากโครงการนี้ในหลาย ๆ ด้าน อาทิ ก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนให้กับประเทศ การพัฒนา

ด้านเทคโนโลยีที่สะอาด รวมทั้งการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ในด้านการจัดการเพื่อลดแก๊สเรือนกระจกให้แพร่หลายในประเทศ เป็นต้น

จากปัญหาในเรื่องสิ่งแวดล้อมที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้หลายประเทศให้ความสำคัญกับปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตและมีการจัดตั้งมาตรฐานนานาชาติในเรื่องการปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยกำหนดให้ ISO 14067 แล้วเสร็จในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 สำหรับในประเทศไทยมีการเสริมสร้างความรู้ทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแก๊สเรือนกระจกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการคำนวณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of products) โดยใช้ตัวบ่งชี้โอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ซึ่งสามารถคำนวณจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตามมาตรฐานสากล ISO 14040 และ ISO 14044 เพื่อการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ประเทศภายในทวีปเอเชียที่ได้ทำ National Database แล้ว ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี มาเลเซีย และไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศแรกในกลุ่มอาเซียนที่มีการทำฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์และพยายามจัดตั้งเครือข่ายด้าน LCI/LCA และ Carbon footprint ในอาเซียนด้วย ทั้งนี้ ประเทศไทยคาดหวังจะเป็นผู้นำในอาเซียนที่ดำเนินการเรื่องสิ่งแวดล้อมตามเป้าหมายยุทธศาสตร์ของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดว่าภายใน พ.ศ. 2550 – 2560 ไทยจะเป็นศูนย์กลางและผู้นำของอาเซียนในการผลิตสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การประชุมวิชาการของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติในเรื่อง “การจัดทำฉลากการปล่อยคาร์บอนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย” โดย ดร.รัตนวรรณ มั่งคั่ง ผู้ประสานงานโครงการนำร่องการพัฒนาศักยภาพอุตสาหกรรมอาหารไทยเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอนซึ่งได้รับการสนับสนุนโดยสหภาพยุโรป (European Union) กล่าวถึงการจัดทำฉลากคาร์บอนในประเทศอังกฤษว่ามีการพัฒนาฉลากคาร์บอนควบคู่ไปกับการพัฒนาหน่วยงานรับรองฉลากคาร์บอนและมาตรฐานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความเชื่อมั่นและไว้วางใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้น ในปัจจุบันอังกฤษมีสินค้าอุปโภคบริโภคหลายชนิดที่มีการติดฉลากคาร์บอนแล้ว ในขณะเดียวกัน ดร.รุ้งนภา ทองพูล นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กล่าวว่า ประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาฉลากคาร์บอนโดยสามารถแสดงปริมาณการปล่อยแก๊ส CO_2 ของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งมีการพิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งานของผู้บริโภค และการกำจัดหรือนำของเสียนั้นมารีไซเคิล รวมถึงการแนะนำผู้บริโภคในการใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานหรือการปล่อยแก๊ส CO_2 น้อยที่สุด

การดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศในแหล่งน้ำมีบทบาทที่สำคัญ โดยคาร์บอนที่ถูกเก็บรักษาอยู่ในรูปนี้มักเสี่ยงต่อการถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกครั้ง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนในระบบนิเวศจากกระบวนการดูดซับคาร์บอนไว้ในรูปต่าง ๆ เช่น การดูดซับคาร์บอนไว้ภายในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ รวมทั้งการตรึงคาร์บอนของสาหร่ายและพืชน้ำต่าง ๆ สามารถช่วยแบ่งเบาปัญหาการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศได้ (อรรถชัย จินตะเวช, 2547)

ระบบนิเวศในแหล่งน้ำมีศักยภาพในการตรึงคาร์บอนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของระบบนิเวศนั้น ๆ โดยเฉพาะความสามารถในการตรึงคาร์บอนให้อยู่ในรูปของเนื้อสัตว์น้ำ

ในแต่ละชนิดและแต่ละช่วงอายุของสัตว์น้ำ ซึ่งในการถ่ายเทมวลคาร์บอนตามปิรามิดอาหารจะเป็นกุญแจสำคัญสำหรับในการศึกษาครั้งนี้ ทันทีที่คาร์บอนถูกตรึงไว้ให้อยู่ในรูปของชีวมวล คาร์บอนจะถูกตรึงสะสมไว้ในรูปของเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวได้นานเท่าใดก่อนที่จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นแก๊ส CO_2 ออกสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้นการตรึงคาร์บอน (Carbon fixation) ในที่นี้ก็คือการดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศแบบกึ่งถาวรให้มาอยู่ในรูปของเนื้อสัตว์น้ำซึ่งคล้ายคลึงกับกระบวนการที่เรียกว่า การสะสมปริมาณคาร์บอนสุทธิ (Net carbon production) เท่ากับการสะสมของปริมาณคาร์บอนระหว่างการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ ของสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการอธิบายการหาปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยตามเวลา (Time averaged carbon stocks) มีหน่วยเป็นน้ำหนักของคาร์บอนต่อเวลา (van Noordwijk *et al.*, 1997; 1998) ดังนั้นกระบวนการในการตรึงคาร์บอนในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าการปล่อยแก๊ส CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศจะถูกบรรเทาได้โดยกระบวนการตรึงคาร์บอนไว้ในรูปของเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว

นิตยา เลาหะจินดา (2549) กล่าวถึงการผลิตอาหารและการย่อยสลายต้องสมดุลกันจึงจะทำให้สิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกทำให้มนุษย์ได้เพิ่มอัตราการย่อยสลายอันเป็นต้นเหตุสำคัญในการเพิ่มปริมาณของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศซึ่งเพิ่มมากขึ้นเกินกว่าที่ผู้ผลิต ได้แก่ พืชบก พืชน้ำ รวมทั้งสาหร่ายจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทันจึงอาจส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลก ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากการทำฟาร์มประมงและการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำ พลังงานที่ใช้ในการเลี้ยง การจับ และการขนส่งสัตว์น้ำ รวมทั้งการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมด้วย

การประมงเป็นภาคการผลิตอาหารที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของโลกเพื่อสนองต่อการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก โดยเฉพาะอาหารทะเลซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง มีราคาถูก และมีความต้องการเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรโลก นอกจากนี้ United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) ระบุว่า ในปี ค.ศ. 2030 ผลิตภัณฑ์จากอาหารทะเลต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้นประมาณ 85 ล้านตันต่อปี เพื่อให้สามารถรองรับต่อความต้องการบริโภคของประชากรทั่วโลก ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากอาหารทะเลจำพวกกุ้งและปลาประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ทั่วโลก หรือ เท่ากับ 48 ล้านตันนั้นเป็นผลผลิตกุ้งและปลาที่ได้มาจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยง นอกจากนั้น FAO ยังระบุว่าอาหารทะเลที่ผลิตได้ทั่วโลก 79 เปอร์เซ็นต์มาจากประเทศกำลังพัฒนา โดยขณะนี้กลุ่มประเทศที่มีการเติบโตในการบริโภคอาหารทะเลมากที่สุด ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และเอเชีย เป็นต้น

ในประเทศไทยเองซึ่งได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมและการทำฟาร์มประมงเป็นหลัก สามารถสร้างรายได้จากการส่งออกผลิตภัณฑ์ประมงเป็นมูลค่าปีละหลายแสนล้านบาท รวมทั้งยังเป็นแหล่งสร้างงานที่สำคัญ ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตอาหารทะเลติดอันดับ 1 ใน 10 ของโลก ผลผลิตทางการประมงอยู่ระหว่าง 3.4 – 3.6 ล้านตันต่อปี ซึ่งผลิตภัณฑ์ประมงที่ทำรายได้จากการส่งออกมากที่สุดและเป็นอันดับหนึ่งของโลก ได้แก่ กุ้งสด แช่เย็น กุ้งแช่แข็ง กุ้งอบแห้ง กุ้งต้มสุก กุ้งกระป๋อง และกุ้งแปรรูป เป็นต้น รวมทั้งผลิตภัณฑ์จำพวกปลา หมึก และหอย ทั้งนี้ตลาดส่งออกที่สำคัญของไทย ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป

แคนาดา จีน เกาหลีใต้ และไต้หวัน เป็นต้น (Asia Pacific Food Industry Thailand, 2006) ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารทะเลของสหรัฐอเมริกา ปี พ.ศ. 2545 – 2550 (หน่วย: ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ)

พ.ศ.	2545	2546	2547	2548	2549	2550 (7M)
1. จีน	679.7	897.2	955.9	1,089.2	1,426.0	1,258.5
+, - %	-	32.0	6.5	13.9	30.9	12.5
สัดส่วน	8.6	10.4	11.0	11.7	14.0	14.2
2. ไทย	587.4	652.3	546.7	688.4	841.2	712.5
+, - %	-	11.1	-16.2	25.9	22.2	5.9
สัดส่วน	7.4	7.5	6.3	7.4	8.2	8.0
3. อินโดนีเซีย	242.8	279.5	450.5	510.0	527.3	507.7
+, - %	-	15.1	61.2	13.2	0.34	14.2
สัดส่วน	3.1	3.2	5.2	5.5	5.2	5.7
4. เวียดนาม	478.6	568.4	405.9	467.8	468.1	438.1
+, - %	-	18.8	-28.6	15.3	0.1	5.9
สัดส่วน	6.0	6.6	4.7	5.0	4.6	4.9
รวมทั้งโลก	7,925.1	8,665.5	8,708.0	9,282.2	10,197.0	8,861.3
+, - %	-	9.3	0.5	6.6	9.9	6.2
สัดส่วน	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

หมายเหตุ: ข้อมูลใน ปี พ.ศ. 2550 แสดงข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนกรกฎาคม
ที่มา: World Trade Atlas, 2008

ในแง่ของผลผลิตทางการประมง พบว่าในบางประเทศเริ่มมีการคำนวณค่า Carbon footprint มากขึ้นทั้งในอังกฤษ ฝรั่งเศส สวิสเซอร์แลนด์ แคนาดา ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นต้น โดยเฉพาะประเทศออสเตรเลียได้ใช้โปรแกรมคำนวณค่า Carbon footprint ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำประมง โดยพิจารณาตั้งแต่ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในเรือประมงไปจนถึงกล่องบรรจุภัณฑ์สินค้าสัตว์น้ำ ทั้งยังเรียกร้องให้สินค้าที่นำเข้าจากประเทศไทยต้องติดฉลาก Carbon footprint บนผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วย นอกจากนั้น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และรัฐแคลิฟอร์เนียของประเทศสหรัฐอเมริกากำลังพิจารณาเพื่อออกกฎหมายบังคับใช้ฉลาก Carbon footprint ส่วนในประเทศจีนเริ่มสนใจและศึกษาการทำฉลาก Carbon footprint ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องส่งออก เพื่อเป็นหลักฐานแสดงแก่ประเทศคู่ค้าที่สำคัญต่าง ๆ ฉะนั้นประเทศไทยเองก็ควรเตรียมความพร้อมโดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมอาหารของไทยในการวิเคราะห์และการจัดการด้าน Carbon footprint อย่างจริงจัง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดต่างประเทศและเพื่อรักษาเสถียรภาพในเรื่องราคาสินค้าทางการเกษตร ทั้งนี้เพื่อสร้างระบบ

ประกันความเสี่ยงทางการเกษตรและรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เพื่อเป็นโอกาสในการก้าวเป็นผู้นำด้านการทำฉลาก Carbon footprint ในระดับอาเซียนและเตรียมความพร้อมในการใช้มาตรฐาน ISO 14067 ที่ต้องนำแก๊สเรือนกระจกเข้ามาพิจารณาร่วมเป็นครั้งแรก ซึ่งมาตรฐานสากลนี้ได้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 เป็นต้นมา

ปัจจุบันองค์การบริหารจัดการแก๊สเรือนกระจกและสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยได้ร่วมกันพัฒนาระบบฉลากคาร์บอนกับสินค้าอุปโภคบริโภคต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก ทั้งนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อเตรียมความพร้อมให้แก่ผู้ประกอบการไทยในการส่งออกผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไปยังสหภาพยุโรป ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะมีความเข้มงวดในเรื่องดังกล่าวมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ฉลากคาร์บอนจะทำให้ผู้บริโภคทราบว่าในแต่ละขั้นตอนการผลิตสินค้านั้น ๆ ผู้ประกอบการได้ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นปริมาณเท่าใด หลังจากที่ผู้ประกอบการได้ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตแล้ว โดยฉลากคาร์บอนจะแสดงค่าการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสู่บรรยากาศต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ด้วยการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) หรือสินค้า เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ตลอดจนการใช้ผลิตภัณฑ์ และการจัดการหลังการใช้ผลิตภัณฑ์แล้ว โดยการประเมิน LCA จะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อประเมินการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของการได้มาซึ่งสินค้าหรือบริการนั้น ๆ โดยการแสดงผลในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent)

สำหรับการจัดทำฉลากคาร์บอนในประเทศไทย ดร.ปัญจพร เวชยันต์วิวัฒน์ จากสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กล่าวถึงจุดประสงค์ของการทำฉลากคาร์บอนในประเทศไทยเพื่อสร้างความตระหนักด้านกลไกการตลาดให้ผู้ประกอบการผลิตสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยปรับปรุงวัตถุดิบ กระบวนการผลิต กระบวนการขนส่งให้มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปริมาณที่ลดลง เพื่อแสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อสังคมที่จะช่วยลดการใช้พลังงานและต้นทุน ทั้งยังเป็นข้อมูลและทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคในการเลือกซื้อสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ รวมทั้งการมีส่วนร่วมที่จะลดการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ ดังนั้นการสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างความแตกต่างให้กับสินค้าไทยในตลาดต่างประเทศโดยการพัฒนาสินค้าหรือเทคโนโลยีที่สามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่น้อยลงแก่ผู้ประกอบการไทยต่อการค้าระหว่างประเทศในอนาคตที่อาจมีการพัฒนาเงื่อนไขของการกีดกันทางด้านการค้าที่เข้มงวดมากขึ้นในด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมาตรการป้องกันภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตซึ่งต้องไม่มีส่วนในการทำลายชั้นบรรยากาศ หากผู้ประกอบการในประเทศไทยไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับมาตรฐานเหล่านี้ อาจต้องสูญเสียโอกาสทางการตลาดของโลกได้

ขณะเดียวกัน Dr. Paolo Bray ผู้อำนวยการกลุ่มพิทักษ์ทรัพยากรทางทะเล (Friend of the Sea) เรียกร้องให้มีการคำนวณค่า Carbon footprint เพื่อกำหนดปริมาณแก๊ส CO_2 ที่ถูกปล่อยในชั้นบรรยากาศของโลกจากผลิตภัณฑ์ประมง โดยมีขั้นตอนการคำนวณ คือ การนำระยะทางขนส่งโดยเริ่มคำนวณตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์ที่พร้อมสำหรับการบริโภคหรือได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (End product) มาเป็นตัวคำนวณ ตัวอย่างการคำนวณในการทำประมง เช่น ในขั้นตอนการจับปลา (Fishing stage) จะส่งผลกระทบต่อการปล่อยแก๊ส CO_2 มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนอีกด้วย สำหรับการปล่อยแก๊ส CO_2 ที่เหลืออีก 10 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ การขนส่ง และการบริโภคผลิตภัณฑ์ประมงซึ่ง

ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ ยังได้ยกตัวอย่างค่า Carbon footprint ที่ถูกปล่อยจากการทำประมงสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ อาทิ ปลาแอนโชวี หรือ ปลาซาร์ดีน 1 กิโลกรัม มีการปล่อยแก๊ส CO_2 ประมาณ 0.7 กก. หรือ กุ้ง 1 กก. ปล่อยแก๊ส CO_2 ประมาณ 26 กก. และปลาทูน่า 1 กก. ปล่อยแก๊ส CO_2 ระหว่าง 3.1 – 9.8 กก. เป็นต้น ในขณะที่องค์กร Marine Stewardship Council กล่าวว่ามีการทำฉลาก Eco-labelled sustainable seafood product ในสินค้าประมงแล้วมากกว่า 1,000 รายการ ซึ่งเป็นการรับรองว่าสินค้าประมงนั้น ๆ ได้มาจากการทำประมงที่ยั่งยืน จึงนับว่าเป็นแนวทางสำคัญที่ประเทศไทยควรติดตามเพราะนอกจากการทำประมงที่ยั่งยืนแล้ว ยังสามารถส่งเสริมภาพลักษณ์และเพิ่มมูลค่าแก่สินค้าประมงไทยในตลาดโลกอีกด้วย (Thaieurope.net, 2008)

ฉะนั้น เพื่อให้ทันต่อกระแสความตื่นตัวของประชาคมโลกที่ให้ความสำคัญต่อการแสดงฉลาก Carbon footprint ลงบนผลิตภัณฑ์สำหรับส่งออก ภาคการประมงของไทยจึงจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อป้องกันการถูกกีดกันทางการค้าของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำในอนาคต โดยเฉพาะกุ้งทะเล ปลาทูน่า ปลาแมคเคอเรล และปลานิล เป็นต้น ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกสำคัญและครองความเป็นผู้นำในตลาดโลก ในแง่ของงานวิจัยอาจต้องมีการวิจัยที่สามารถหาคำตอบได้อย่างแน่ชัดถึงปริมาณแก๊สเรือนกระจกหรือค่า Carbon footprint ที่ถูกปล่อยออกมาตลอดทั้งกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ รวมถึงการคิดค้นวิธีการจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ลดต้นทุนในการผลิตสัตว์น้ำ แล้วยังสามารถแสดงฉลาก Carbon footprint หรือฉลากที่แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำหรือกระบวนการผลิตสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ มีส่วนช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้สินค้าประมงของไทยจะไม่ถูกกีดกันทางการค้าและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้สินค้าประมงสามารถแข่งขันอย่างทัดเทียมได้ในตลาดโลก

นอกจากนี้ การสร้างเกราะป้องกันให้แก่ผลิตภัณฑ์ประมงของไทยจากปัญหาเรื่องภาวะโลกร้อน โดยให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องตระหนักถึงผลกระทบของปัญหาโลกร้อนที่มีต่อผลผลิตทางการประมง เพื่อกระตุ้นให้มีการวิจัยและการพัฒนามากขึ้น โดยเฉพาะการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวซึ่งจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย ให้มีกระบวนการเพาะเลี้ยงที่ปล่อยแก๊ส CO_2 สู่บรรยากาศน้อยสุด แต่ยังคงให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีเช่นเดิม เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดทั้งภายในและนอกประเทศ และสามารถรักษาตำแหน่งของประเทศที่มีการส่งออกสินค้าประมงในอันดับต้น ๆ ของโลก แม้จะมีการแปรปรวนทางสภาพอากาศมากขึ้นในอนาคต

ดังนั้นจากที่กล่าวมาจึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากกิจกรรมการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว เพื่อหาอัตราการปล่อยและการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว เช่น กระบวนการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม การขนส่ง การจับ และการเก็บรักษาความสดของสัตว์น้ำ สำหรับเป็นฐานข้อมูลบัญชีคาร์บอนของประเทศในการจัดลำดับความสำคัญของการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มประมง รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปล่อยแก๊ส CO_2 น้อยที่สุด โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกจังหวัดตรังเป็นกรณีศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยเรื่องการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมจากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งได้ทำการศึกษาในจังหวัดตรัง คือ

1. เพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมผ่านการกินตามลำดับห่วงโซ่อาหารก่อนถึงผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

2. เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรัง

3. เพื่อเสนอแนวทางการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมให้มีการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศลดลง แต่ได้ปริมาณเนื้อสัตว์น้ำใกล้เคียงกับแนวทางเดิม เพื่อการพัฒนาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย

1.3 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.3.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นฐานข้อมูลการถ่ายเทมวลคาร์บอน (Total emission rate) และปัจจัยการถ่ายเทมวลคาร์บอน (Emission factor) จากกระบวนการผลิตอาหารจากฟาร์มประมง เพื่อเป็นฐานข้อมูลบัญชีคาร์บอนของประเทศ

2. เมื่อทราบการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งระบบจากการผลิตอาหารประเภทเนื้อสู่ผู้บริโภคอาจนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดทำรายงานฯ ตามพันธกรณีที่ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโต

3. สามารถแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรมีระบบการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวที่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยที่สุด

1.3.2 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2. สำนักงานประมงจังหวัดตรัง

3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 5 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

4. สถาบันการศึกษาและมหาวิทยาลัยต่างๆ

5. กรมประมง

6. หน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

1.4 ขอบเขตของแผนงานวิจัย

เพื่อให้การศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมจากการทำฟาร์มประมงเป็นตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยโดยอาศัยข้อมูลด้านการทำฟาร์มประมงในจังหวัดตรังเป็นกรณีศึกษา เพราะจังหวัดตรังมีอาณาเขตติดต่อกับชายฝั่งทะเลอันดามัน ประกอบกับเกษตรกรในพื้นที่นิยมทำฟาร์มเลี้ยง

ปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมเป็นหลัก นอกจากนี้ จังหวัดตรังเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการทำฟาร์มประมงเพราะมีลำน้ำที่มีความสำคัญด้วยกัน 3 สาย ได้แก่ แม่น้ำตรัง ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากเขาวังหีบของเทือกเขาหลวงในจังหวัดนครศรีธรรมราช แม่น้ำสายที่สอง คือ แม่น้ำปะเหลียน ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาบรรทัดในเขตพื้นที่อำเภอปะเหลียน และคลองกะลาแส รวมถึงต้นน้ำที่เกิดจากควนปลวกร้อน ควนชะไน และควนน้ำแดงในบริเวณชายแดนจังหวัดตรังและกระบี่ นอกจากนี้ยังมีลำห้วยบริวารที่คอยส่งน้ำให้อีกกว่า 100 สาย ทั้งนี้ยังมีบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกติดต่อกับฝั่งทะเลอันดามันซึ่งครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มีความยาวประมาณ 119 กิโลเมตร พร้อมด้วยหมู่เกาะต่าง ๆ กระจัดกระจายอีกกว่า 46 เกาะ รวมทั้งพื้นที่ป่าชายเลนที่ยังคงสภาพอุดมสมบูรณ์และมีความเหมาะสมต่อการทำฟาร์มประมง ในขณะเดียวกัน บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันยังอุดมไปด้วยสัตว์ทะเลนานาชนิด ทำให้ประชาชนที่อาศัยในแถบชายฝั่งทะเลอันดามันมีการประกอบอาชีพประมงเป็นหลัก เพื่อตอบสนองต่อความต้องการอาหารของประชาชนภายในจังหวัดตรังเอง รวมทั้งประชาชนจากท้องถิ่นใกล้เคียงและสำหรับเป็นสินค้าส่งออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชาชนจากจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีการอพยพเข้ามาอาศัยภายในจังหวัดตรังเพื่อประกอบอาชีพ ซึ่งมีจำนวนมากโดยอาจเป็นลูกจ้างในสวนยางพารา ลูกเรือประมง ลูกจ้างในโรงงานอุตสาหกรรม และอาชีพรับจ้างบริการทั่วไป

การศึกษาครั้งนี้มีการลงพื้นที่ในจังหวัดตรังเพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ 2 ประเภท ได้แก่ ฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในบ่อดิน ซึ่งเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลักของจังหวัดตรังดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ชนิดสัตว์น้ำที่ทำการศึกษาและมูลค่าของสัตว์น้ำที่จับได้ในจังหวัดตรัง ปี พ.ศ. 2552

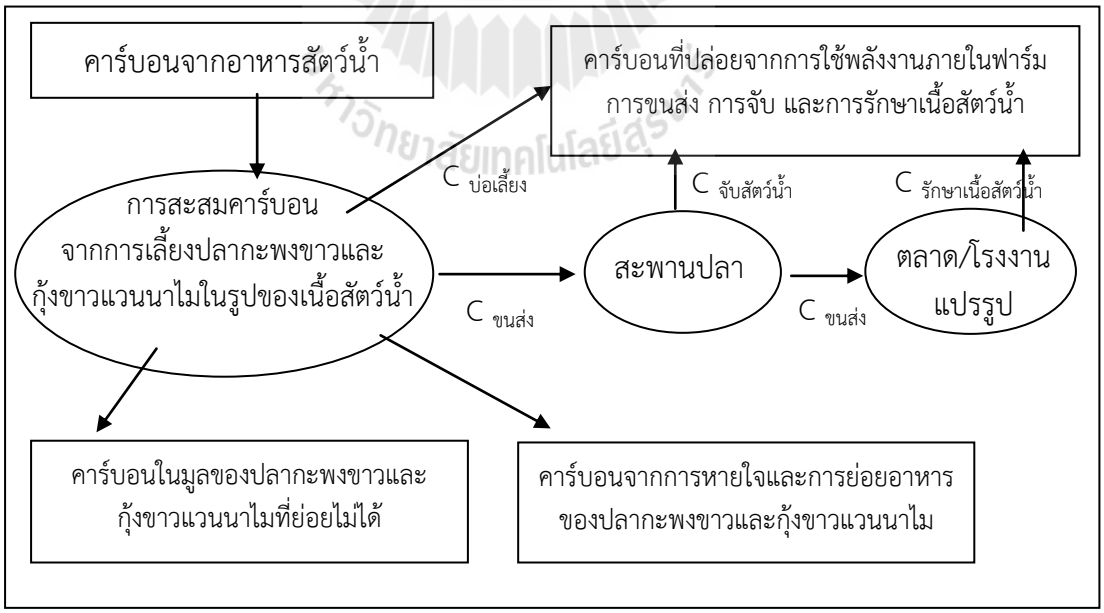
ชนิดสัตว์น้ำ	แหล่งที่อยู่	มูลค่า (บาท)	หมายเหตุ
กุ้งขาว	น้ำเค็ม	3,900,902,906	สัตว์หน้าดิน
ปลากะพงขาว	น้ำเค็ม	1,339,400,000	ปลาผิวน้ำ

ที่มา: กรมประมง

การเก็บข้อมูลฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่ทำการศึกษา โดยเลือกฟาร์มประมงที่มีการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่มีอายุอยู่ในช่วงที่ใช้ประโยชน์หรือให้เนื้อได้เท่านั้น โดยสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเลี้ยง ลักษณะการกินอาหาร ชนิดและปริมาณของอาหาร ตลอดจนการใช้พลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟาร์มประมง ซึ่งทำการสำรวจในทุก ๆ อำเภอของจังหวัดตรัง ประกอบด้วย 6 อำเภอ โดยเน้นแหล่งข้อมูลฟาร์มประมงที่ได้ขึ้นทะเบียนฟาร์มกับกรมประมงจังหวัดตรังเป็นหลัก สำหรับขั้นตอนการประเมินและการวิเคราะห์ระบบสามารถพิจารณาเสมือนว่าระบบนั้นอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวลคาร์บอนที่ถ่ายทอดไปตามปิรามิดอาหาร ในขณะที่การประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยพิจารณาการปล่อยคาร์บอนทั้งจากตัวสัตว์น้ำและจากการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG) รวมทั้งการตรึงคาร์บอนมาไว้ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม แสดงดังรูปที่ 1.2

ซึ่งแสดงปริมาณคาร์บอนสุทธิที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม โดยการสะสมคาร์บอนสามารถคำนวณได้จากปริมาณคาร์บอนเริ่มแรกในอาหารสัตว์น้ำที่ใช้ในระบบการเลี้ยงตั้งลบด้วยปริมาณคาร์บอนต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์น้ำต่อวันที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของสิ่งขับถ่ายจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในรูปของกากอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ และจากการหายใจของสัตว์น้ำ รวมทั้งจากการย่อยอาหารของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงสัตว์น้ำถึงช่วงอายุที่สามารถจับปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมขายได้ นอกจากนี้ยังมีการคำนวณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานตลอดการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม การขนส่งสัตว์น้ำ การจับสัตว์น้ำ ตลอดจนพลังงานที่ใช้ในการรักษาความสดของเนื้อสัตว์น้ำ โดยสามารถจำแนกพลังงานที่มีส่วนสำคัญในกิจกรรมฟาร์มประมงออกเป็น 4 ส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน หรือ แก๊ส LPG ที่ใช้ในฟาร์มประมง (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน)
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันที่ใช้ในการจับปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน)
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมโดยการแช่แข็ง (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน)
- ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมไปยังสะพานปลา ตลาด หรือ โรงงานแปรรูป (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน)



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม และความสัมพันธ์ของข้อมูลการถ่ายเทมวลคาร์บอนในฟาร์มประมง

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบนิเวศและความสัมพันธ์เชิงระบบ (Ecosystems and system relationship)

การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งมีความสัมพันธ์ทั้งทางบวกหรือทางลบ พบได้ว่าไม่มีสิ่งมีชีวิตชนิดใดสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยลำพังโดยไม่ต้องพึ่งพาสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดังนั้น ถ้าสิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปย่อมต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ด้วย เช่น การดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำชนิดอื่น ๆ ก็ต้องมีการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ในขณะเดียวกัน ต้องมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต เช่น แร่ธาตุและแสงแดด เป็นต้น ต้องมีการใช้พลังงานและการแลกเปลี่ยนสารอาหารซึ่งกันและกันเป็นวัฏจักรที่ดำเนินไปเป็นระบบภายใต้ความสมดุลของธรรมชาติ ดังนั้นหากระบบใดมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบเกี่ยวเนื่องไปทั้งระบบ ทำให้เกิดปัญหากับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ระบบดังกล่าวนี้เรียกว่า ระบบนิเวศ ซึ่งหมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตทั้งหมดกับสิ่งแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นอาศัยอยู่

นิตยา เลาหะจินดา (2528) ให้นิยามและความหมายของระบบนิเวศไว้ว่า ระบบนิเวศเป็นระบบที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมโดยการเรียงลำดับขั้นของการกินแบบต่าง ๆ ตลอดจนการหมุนเวียนของสารอาหาร แร่ธาตุ และการถ่ายทอดพลังงานจนทำให้เกิดองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตเป็นระบบที่มีลักษณะแตกต่างกัน

นอกจากนี้ มุกดา สุขสมาน (2536) ได้ให้คำจำกัดความของระบบนิเวศว่าเป็นระบบความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยมีการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุและถ่ายทอดพลังงานกับสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ซึ่งเริ่มจากพืชที่เรียกว่า ผู้ผลิตโดยมีกระบวนสำคัญในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมี (คาร์โบไฮเดรต) ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและสามารถถ่ายทอดพลังงานที่ได้นั้นไปสู่ผู้บริโภคผ่านการกินอาหาร เมื่อสัตว์ตายก็จะถูกย่อยสลายโดยผู้ย่อยสลาย พลังงานนั้นก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของธาตุอาหารสำหรับพืชแล้วลงกลับไปอยู่ในพื้นดินอีกครั้ง ทำให้สสารและแร่ธาตุมีการหมุนเวียนเกิดเป็นวัฏจักร (Cycle) องค์ประกอบของระบบนิเวศสามารถจำแนกออกเป็น 2 องค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ องค์ประกอบที่มีชีวิต (Biotic components) และองค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (Abiotic components)

องค์ประกอบที่มีชีวิต (Biotic components) ได้แก่ ผู้ผลิต (Product) ผู้บริโภค (Consumer) และผู้ย่อยสลาย (Decomposer) ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้งสาม 3 ประเภทที่กล่าวมาแล้วต่างมีความสัมพันธ์กันไม่ทางตรงก็ทางอ้อม ความสัมพันธ์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งคือการกินกันเป็นทอด ๆ ทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานในระบบ โดยสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตจะมีจำนวนมากที่สุด รองลงมาเป็นผู้บริโภคขั้นต้น ส่วนผู้บริโภคขั้นสุดท้ายจะมีจำนวนน้อยที่สุด โดยปกติจำนวนของสิ่งมีชีวิตในแต่ละระดับจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทำให้สิ่งมีชีวิตในระดับอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่

เกิดขึ้นนี้ก็เพื่อให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในธรรมชาติสามารถดำรงชีวิตได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถแจกแจงความสำคัญขององค์ประกอบที่มีชีวิตต่อระบบนิเวศในแง่ของบทบาทและหน้าที่ (Ecological niche) ได้เป็น 3 ระดับดังนี้

ก. ผู้ผลิต (Producer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชหรือสาหร่ายที่สามารถสร้างอาหารได้เองจากสารอนินทรีย์โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีซึ่งจะถูกเก็บไว้อยู่ในรูปของสารอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ดังสมการที่ 2.1

แสงและคลอโรฟิลล์

$$6CO_2 + 12H_2O \text{ ----------> } 6(CH_2O) + 6O_2 + 6H_2O \qquad (2.1)$$

ข. ผู้บริโภค (Consumers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้แต่จะดำรงชีวิตได้โดยการบริโภคสารอาหารจากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 ผู้บริโภคระดับปฐมภูมิ (Primary consumer) คือ ผู้บริโภคที่กินพืชเป็นอาหาร (Herbivores)
- กลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคระดับทุติยภูมิ (Secondary consumer) คือ ผู้บริโภคที่กินสัตว์เป็นอาหาร (Carnivores)
- กลุ่มที่ 3 ผู้บริโภคระดับตติยภูมิ (Tertiary consumer) คือ ผู้บริโภคที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (Omnivores)

ค. ผู้ย่อยสลาย (Decomposers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สร้างอาหารเองไม่ได้แต่สามารถดำรงชีวิตและมีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ตายแล้ว ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ โดยการผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายจนกลายเป็นสารประกอบโมเลกุลที่มีขนาดเล็กในรูปของสารอาหาร ได้แก่ จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เห็ด รา และแบคทีเรีย เป็นต้น ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นช่วยทำให้สารอาหารกลับคืนสู่พื้นดินอีกครั้ง

สำหรับองค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (Abiotic components) นอกจากสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันแล้ว องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิตในระบบนิเวศก็มีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตเช่นกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

ก. สารอนินทรีย์ (Inorganic substances) ประกอบด้วยแร่ธาตุและสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น

ข. สารอินทรีย์ (Organic compound) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และฮิวมัส เป็นต้น

ค. สภาพภูมิอากาศ (Climate regime) ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น อากาศ และพื้นผิวที่อยู่อาศัย รวมเรียกว่าปัจจัยจำกัด (Limiting factors)

นอกจากนี้ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช (2539) กล่าวว่า ระบบนิเวศหมายถึงหน่วยพื้นที่หนึ่งซึ่งประกอบด้วยสิ่งแวดล้อมนานาชนิดที่ดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันหรือคละกันที่มีพฤติกรรมและเอกลักษณ์

ร่วมกันหรือหน่วยที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของสังคมสิ่งมีชีวิตที่เน้นหนักในด้านกิจกรรมและหน้าที่ของสมาชิกกลุ่มต่าง ๆ ในสังคม เช่น การแปรสภาพ การถ่ายทอดพลังงาน การหมุนเวียนของสารและแร่ธาตุอาหาร เป็นต้น การสร้างอินทรียวัตถุและการใช้ผลิตผลที่สร้างขึ้นเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตจนทำให้เกิดดุลยภาพในระบบ

สำหรับในแหล่งน้ำเองก็มีสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย หรือการตกตะกอนทับถมกัน สารอินทรีย์เหล่านี้ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ เช่น คาร์บอน คิดเป็นร้อยละ 58 ออกซิเจน คิดเป็นร้อยละ 20 ไฮโดรเจน คิดเป็นร้อยละ 10 ไนโตรเจน คิดเป็นร้อยละ 1 กำมะถัน คิดเป็นร้อยละ 1 และยังมีธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย (Black *et al*., 1965) องค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำและในดินมีความสลับซับซ้อนกันซึ่งบางชนิดไม่สามารถจำแนกได้ นอกจากนี้ ที่มาของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่มาจากเศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์ และมูลสัตว์ เป็นต้น

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) แก๊สออกซิเจน (O_2) และส่วนประกอบของสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ โดยการย่อยสลายของสารอินทรีย์จะเกิดได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 5 – 35 $^{\circ}$C อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์มักเพิ่มเป็นเท่าตัวในทุก ๆ 10 $^{\circ}$C ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในแหล่งน้ำ และการย่อยสลายของสารอินทรีย์เกิดได้ดีที่ค่า pH เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย โดยสามารถเกิดขึ้นในสภาวะที่มีหรือไม่มีแก๊ส O_2 ก็ได้ ซึ่งสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในช่วงที่มีการย่อยสลายแบบใช้แก๊ส O_2 และจะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และแก๊สมีเทน (CH_4) ในช่วงที่มีการย่อยสลายแบบไร้แก๊ส O_2 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2536)

2.1.1 การศึกษาด้านนิเวศวิทยาของระบบนิเวศ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ระดับ คือ

1) สิ่งมีชีวิต (Organism)

เป็นการศึกษาถึงการดำรงชีวิตของสัตว์และพืชโดยอาศัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพอื่น ๆ เช่น อาหาร น้ำ ความชื้น แสงแดด และดิน ว่ามีลักษณะอย่างไร มีผลต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์อย่างไร ตัวอย่างเช่น การศึกษาความเป็นอยู่ของช้างหรือการสำรวจปริมาณต้นสักในป่าดอยอินทนนท์ โดยศึกษาว่าอะไรที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดให้สัตว์หรือพืชชนิดนั้น ๆ สามารถอาศัยอยู่ในป่าเหล่านั้นหรือปัจจัยอะไรที่เป็นตัวกำหนดให้พืชหรือสัตว์บางชนิดสามารถเจริญเติบโตอยู่ในสภาพแวดล้อมเช่นนั้นได้

2) ประชากร (Population)

เป็นการศึกษาถึงกลุ่มหรือจำนวนของพืชหรือสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่อาศัยอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง อย่างเช่น การศึกษาเรื่องการเพิ่มจำนวนของหนูนาในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางหรือการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่อาจทำให้เกิดการเพิ่มหรือลดจำนวนลงของสัตว์หรือพืชนั้น ๆ

3) ชุมชน (Communities)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประชากรของพืชและสัตว์ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น เสือสามารถดำรงชีวิตได้โดยอาศัยอาหารจากการล่าสัตว์ชนิดอื่นมาเป็นอาหารหรือกวางที่ดำรงชีวิตด้วยการกินพืชเป็นอาหาร ในขณะเดียวกัน พืชก็ต้องอาศัยแร่ธาตุอาหารในดิน น้ำ และอากาศเพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกัน

4) ชีวบริเวณ (Ecosphere หรือ Biosphere)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่สามารถดำรงชีวิตในระบบนิเวศที่หลากหลาย

2.1.2 ความสมดุลในธรรมชาติ (Balance of nature)

ความสมดุลทางธรรมชาติเป็นภาวการณ์ทางธรรมชาติของระบบนิเวศใดก็ตามที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอย่างสมบูรณ์ หรือหมายความว่าภาวะแห่งความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมของกลุ่มสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีผลให้จำนวนหรือปริมาณของกลุ่มสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ดำรงอยู่ในธรรมชาติอย่างเหมาะสม สามารถควบคุมการถ่ายทอดพลังงานและสารอาหารที่ไหลเวียนอยู่ในสภาพที่สมดุลได้ทั้งหมด องค์ประกอบที่สำคัญในระบบนิเวศจะต้องทำหน้าที่ครบถ้วนด้วยกัน 3 กลุ่ม คือ มีผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลาย ในขณะที่กลุ่มของสิ่งที่ไม่มีชีวิตเองก็ต้องทำหน้าที่คอยสนับสนุนอย่างต่อเนื่องไม่ขาดหาย ความสมดุลทางธรรมชาติจึงมีความแตกต่างกันไปตามความแตกต่างของระบบนิเวศนั้น ๆ ซึ่งในทางธรรมชาติระบบนิเวศจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเป็นไปโดยธรรมชาติหรือมนุษย์ก็ได้ ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นไปได้ 2 แบบ คือ การเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันและแบบค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศโดยธรรมชาติแบบกะทันหันนี้จะทำให้ระบบนิเวศเสียสมดุลและมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้น ซึ่งอาจทำให้ตายหรือสูญพันธุ์ เช่น การเกิดไฟไหม้ป่า อุทกภัย และการเกิดโรคระบาด ฯลฯ สำหรับการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปตามธรรมชาติ เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยมาก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปนานเข้าการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นนี้จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างชัดเจนมากขึ้น เช่น ทุ่งนาหรือไร่ร้างอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นทุ่งหญ้าและพืชจำพวกไม้พุ่มในเวลาต่อมา จนในที่สุดหากไม่มีสิ่งแวดล้อมภายนอกมารบกวนก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์ได้ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ (กฤษณ์ มงคลปัญญา และ อมรา ทองปาน, 2540; เกษม จันทร์แก้ว, 2540)

ดังนั้นการปรับเปลี่ยนของระบบนิเวศ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- การเปลี่ยนแปลงขั้นปฐมภูมิ (Primary succession) เป็นการปรับเปลี่ยนที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งแวดล้อมนั้นยังไม่ปรากฏสิ่งมีชีวิตใด ๆ มาก่อน หรือเป็นสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีร่องรอยของอินทรียวัตถุ ตัวอย่างเช่น บริเวณที่มีภูเขาไฟระเบิด ได้แก่

ในเขตหนาวมีหิน ⟶ มอส ⟶ ต้นไม้เตี้ย ⟶ ต้นสน ⟶ ป่าสมบูรณ์

- การเปลี่ยนแปลงขั้นที่สอง (Secondary succession) เป็นการปรับเปลี่ยนของระบบนิเวศเมื่อเข้าสู่ระยะต้นของการพัฒนาระบบนิเวศ เช่น เมื่อป่าถูกทำลายจะทำให้เกิดหญ้าและไม้พุ่มขึ้นมาทดแทน

ในขณะเดียวกัน การสูญเสียความสมดุลในระบบนิเวศอาจเกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือมนุษย์ ซึ่งทำให้องค์ประกอบของระบบนิเวศถูกเปลี่ยนแปลงไป หากเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ระบบนิเวศจะสามารถแก้ไขได้ด้วยตนเอง แต่หากเกิดจากมนุษย์ ระบบนิเวศจะแก้ไขได้ยากมาก เมื่อมนุษย์มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นย่อมมีการพัฒนาวิถีชีวิตมากขึ้นด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อสนองความต้องการในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้ความเป็นอยู่สุขสบายมากขึ้น มนุษย์จึงได้ชื่อว่าเป็นตัวการทำลายระบบนิเวศมากที่สุด

ภาวะสมดุลในระบบนิเวศที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขสำคัญ ได้แก่

1. โครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในระบบต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม ทั้งชนิด ปริมาณ สัดส่วน และการกระจายตัวของส่วนประกอบ ดังนี้

- ชนิดของส่วนประกอบต่าง ๆ ถ้าระบบนิเวศใดมีชนิดของพืชหรือสัตว์มาก จะทำให้ระบบนิเวศนั้นมีระดับความหลากหลายทางชีวภาพสูงและมีเสถียรภาพมากขึ้น

- ปริมาณและสัดส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามโครงสร้างของระดับการถ่ายทอดอาหารภายในระบบ เช่น จำนวนที่เหมาะสมระหว่างสัตว์ที่กินเนื้อกับสัตว์ที่กินพืช

- การกระจายตัวของส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในระบบนิเวศต้องเหมาะสมและมีสมรรถนะการรองรับได้ของระบบ เช่น สิ่งมีชีวิตต้องมีการอาศัยอยู่ไม่หนาแน่นจนเกินไป

2. กลไกการทำงานของระบบที่คอยปรับโครงสร้างและส่วนประกอบที่ต้องทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น กลไกความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ผู้ถูกล่าซึ่งจะช่วยควบคุมจำนวนประชากรสัตว์ในธรรมชาติให้มีจำนวนที่เหมาะสม เป็นต้น

2.1.3 ความสัมพันธ์เชิงอาหาร (Food relationship)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะมีชีวิตอยู่หรือตายไปแล้วก็ตาม ย่อมเป็นแหล่งของพลังงานอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ซึ่งการถ่ายเทพลังงานอาหารมีลักษณะเหมือนกับการถ่ายเทของพลังงานอื่น ๆ โดยทั่วไป

ห่วงโซ่อาหาร (Food chain) หมายถึง พลังงานที่ผู้ผลิตได้รับมาจากดวงอาทิตย์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอาหารซึ่งจะมีการถ่ายทอดไปตามลำดับขั้นของการกินอาหารภายในระบบนิเวศ กล่าวคือ ผู้บริโภคได้รับพลังงานจากผู้ผลิตผ่านการกินต่อกันเป็นทอด ๆ ในแต่ละลำดับขั้นของการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่งพลังงานจะค่อย ๆ ลดลงไปในแต่ละลำดับ โดยมีการสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน ดังนั้น กระบวนการเคลื่อนย้ายหรือการถ่ายทอดพลังงานในรูปของสารอาหารจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคผ่านการกินต่อกันเป็นทอด ๆ นี้เรียกว่า “ห่วงโซ่อาหาร” หรือบางครั้งอาจเรียกว่า “ห่วงโซ่พลังงาน” (Energy chain) ซึ่งห่วงโซ่อาหารนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ห่วงโซ่อาหารชนิดที่มีการกินอาหารโดยตรง (Grazing food chain) โดยเริ่มจากพืชสีเขียวที่ถูกสัตว์กินพืชกินในขั้นแรกและสัตว์กินสัตว์เป็นอาหารมากินสัตว์กินพืชอีกทอดหนึ่ง เป็นต้น

ส่วนประเภทที่สอง คือ ห่วงโซ่อาหารของการสลายอินทรียวัตถุ (Detritus food chain) เริ่มจากอินทรียวัตถุที่ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ก่อนแล้วจึงค่อยมาถูกสัตว์กิน และสัตว์นี้ก็กลายเป็นอาหารของสัตว์ชนิดอื่น ๆ ต่อไป

สายใยอาหาร (Food web) ในธรรมชาติมีการถ่ายทอดพลังงานและสารอาหารในแต่ละลำดับชั้นไม่เป็นสายตรงเสมอไป เพราะสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง ๆ อาจกินอาหารได้หลากหลายชนิดและขณะเดียวกันอาจตกเป็นเหยื่อของผู้ล่าชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดได้เช่นกัน สายใยอาหารประกอบด้วยห่วงโซ่อาหารหลายสายมาเชื่อมโยงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในสังคมชีวิตที่มีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างซับซ้อน ดังนั้นระบบนิเวศใดที่มีสายอาหารซับซ้อนแสดงว่ามีเสถียรภาพสูง เพราะมีโอกาสที่จะเสียสมดุลได้น้อย แต่หากมีสิ่งมีชีวิตชนิดใดสูญหายไปก็ยังมีสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ มาทดแทนได้ทำให้ไม่เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศ

ดังนั้นทั้งห่วงโซ่อาหาร (Food chain) และสายใยอาหาร (Food web) ต่างมีผลดีและให้ประโยชน์ต่อระบบนิเวศในแง่ของการถ่ายทอดพลังงานอาหาร รวมทั้งรักษาสมดุลของธรรมชาติ แต่ก็มีหลายกรณีที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแล้วทำให้ระบบนิเวศเสียสมดุล เช่น อากาศเป็นพิษ น้ำเสีย อาหารเป็นพิษ หรืออันตรายที่เกิดจากการใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช เป็นต้น

2.1.4 การถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศ

มวลชีวภาพ (Biomass) หมายถึง ผลผลิตที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งเกิดจากพืชหรือผู้ผลิต พลังงานเคมีที่ได้นี้จะถูกเก็บสะสมไว้ในพันธะเคมีของสารประกอบอินทรีย์ นับเป็นพลังงานที่มีคุณภาพสูง ซึ่งจัดเป็นมวลชีวภาพด้วยเช่นกัน แต่พลังงานเคมีซึ่งเป็นพลังงานศักย์จะลดน้อยลงเมื่อพันธะเคมีในสสารถูกทำลายลงโดยกระบวนการหายใจภายในเซลล์ (Cell respiration) ของสิ่งมีชีวิตที่เป็นสมาชิกในห่วงโซ่หรือสายใยอาหาร กล่าวได้ว่าหน้าที่สำคัญของระบบนิเวศ คือ การถ่ายทอดพลังงาน (Energy flow) และการหมุนเวียนของธาตุอาหาร (Nutrient cycle) ตามลำดับขั้นของการบริโภคต่อกันเป็นทอด ๆ อย่างมีระบบ โดยการถ่ายทอดพลังงานเข้าไปในระบบนิเวศเริ่มจากผู้ผลิตหรือพืชที่มีสีเขียวสามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมีมาสะสมอยู่ในรูปของสารอาหารด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และพร้อมที่จะถ่ายทอดต่อไปยังผู้บริโภคในลำดับต่าง ๆ (สัตว์ที่กินพืช ⟶ สัตว์ที่กินเนื้อ ⟶ สัตว์ที่กินทั้งพืชและเนื้อเป็นอาหาร เป็นต้น) ซึ่งเป็นผู้รับช่วงเอาพลังงานที่ผู้ผลิต (พืช) ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ โดยมีแบคทีเรีย เห็ด รา และจุลชีพต่าง ๆ คอยทำหน้าที่ย่อยสลายสิ่งที่เหลือหรือถูกถ่ายเทออกมาจากกระบวนการถ่ายทอดพลังงานให้กลับเข้าสู่ระบบการผลิตและการบริโภคอีกครั้ง หรือที่เรียกว่า “การถ่ายทอดตามระดับการส่งถ่ายพลังงาน (Trophic levels)” โดยการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร (Food chain) และข่ายใยอาหาร (Food web) (อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531; Odum, 1971)

นอกจากนี้ ก่อนที่จะมีการถ่ายเทมวลชีวภาพจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค มวลชีวภาพบางส่วนจะมีการสลายพันธะและใช้เป็นพลังงานในผู้ผลิต โดยพลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนจากกระบวนการหายใจ (Respiration) ที่ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงจัดว่าเป็นการถ่ายทอดพลังงานที่ไม่ครบวงจร (Noncyclic) แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่มีคุณภาพสูงซึ่งถูกถ่ายทอดต่อไปยังผู้บริโภคที่อยู่ในลำดับขั้นต่อ ๆ ไปจะมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะในห่วงโซ่อาหารที่สั้น

จะมีการลดประสิทธิภาพการถ่ายทอดพลังงานจากลำดับขั้นอาหารหนึ่งไปยังลำดับขั้นอาหารต่อ ๆ ไป ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนโดยพลังงาน 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บไว้ในพืชจะถูกเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพของสัตว์กินพืช ส่วนอีกประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ จะถูกใช้ไปเพื่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้น นอกจากนี้ ยังสูญเสียไปในรูปของความร้อนจากกระบวนการถ่ายทอดพลังงานและการหายใจ เหลือไว้สำหรับส่งต่อไปได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น พลังงานที่เก็บไว้จะลดลงจากเดิมมากยิ่งขึ้นเมื่อห่วงโซ่อาหารยาวขึ้นหรือลำดับขั้นอาหารเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าพลังงานอาหารถูกถ่ายทอดไปนั้นจะลดลงตามลำดับความยาวที่เพิ่มขึ้นของห่วงโซ่อาหาร

พลังงาน หมายถึง ความสามารถที่จะทำงานหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (The ability to do work or produce change) พลังงานส่วนใหญ่ในระบบนิเวศได้มาจากแสงอาทิตย์ โดยพืชเป็นผู้นำพลังงานแสงมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมีดังที่กล่าวมาข้างต้นและพลังงานเคมีนี้จะเปลี่ยนต่อไปเป็นพลังงานกลและพลังงานความร้อน มนุษย์ได้รับพลังงานจากอาหารที่กินเข้าไปจากพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นพลังงานที่แฝงอยู่ในอาหาร คือ พลังงานเคมีหรือพลังงานศักย์ (Potential energy) เป็นพลังงานที่ถูกเก็บสะสมไว้ในอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งเมื่อถูกนำไปใช้พลังงานศักย์ก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ (Kinetic energy) หมายถึงพลังงานที่เกิดขึ้นในขณะที่อนุภาคนั้นมีการเคลื่อนที่

1) การถ่ายทอดพลังงานสามารถอธิบายตามกฎเทอร์โมไดนามิกส์ (Law of thermodynamics) ได้ 2 ข้อ คือ กฎข้อที่ 1 เป็นกฎแห่งการคงอยู่ (Law of conservation) พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปจากรูปหนึ่งไปยังอีกรูปหนึ่งได้ แต่พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่หรือถูกทำลายได้และสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ส่วนกฎข้อที่ 2 เป็นกฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of entropy) เมื่อพลังงานถูกถ่ายทอดหรือถูกเปลี่ยนรูปไป บางส่วนของพลังงานจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนและการหายใจ ส่วนที่สูญเสียไปนี้เป็นส่วนที่ไร้ประโยชน์ เรียกว่า เอนโทรปี (Entropy) ระหว่างที่พลังงานไหลและเปลี่ยนรูปไปนั้นเอนโทรปีจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ นั่นคือในระบบนิเวศใดก็ตามที่มีค่าเอนโทรปีสูงแสดงว่าความไม่เป็นระเบียบในระบบนิเวศนั้นมีมากและพลังงานภายในระบบที่สามารถทำงานได้มีน้อย และถ้าในระบบใดมีค่าเอนโทรปีต่ำแสดงว่าระบบนิเวศนั้นมีความเป็นระเบียบมากและพลังงานที่สามารถทำงานได้ในระบบมีมากซึ่งจะไม่สามารถทำงานได้อีกต่อไป

2) การหมุนเวียนธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกับการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศซึ่งจะมีการถ่ายเทไปในทิศทางเดียว (One-way flow) แต่การหมุนเวียนของสารอาหารและแร่ธาตุในระบบนิเวศซึ่งมีลักษณะเป็นการหมุนแบบวัฏจักร (Recycle) เมื่อเกิดการบริโภคอาหารต่อกันเป็นทอด ๆ ของสิ่งมีชีวิต จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุสารอาหารภายในระบบนิเวศด้วย เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลงองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกกลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายให้กลายเป็นสารอนินทรีย์กลับมาสู่สิ่งแวดล้อมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง การหมุนเวียนของแร่ธาตุและสารอาหารผ่านสิ่งมีชีวิตและพื้นผิวโลกนี้ เรียกว่า Biogeochemical cycle สารอาหารและแร่ธาตุล้วนเป็นสิ่งที่จำเป็นในโพรโทพลาซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจัดเป็นองค์ประกอบของเซลล์และการเพิ่มจำนวนของเซลล์ที่ทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตต่อไป นอกจากนี้ในโลกนี้มีแร่ธาตุมากกว่า 90 ชนิด แต่แร่ธาตุที่สิ่งมีชีวิตต้องการนำมาใช้ในการสร้างโมเลกุลมี

ประมาณ 30 – 40 ชนิด และต้องการในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ ออกซิเจน คิดเป็นร้อยละ 65 คาร์บอน คิดเป็นร้อยละ 18 ไฮโดรเจน คิดเป็นร้อยละ 10 ไนโตรเจน คิดเป็นร้อยละ 3.3 แคลเซียม คิดเป็นร้อยละ 1.5 ฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 1.9 และ ซัลเฟอร์ คิดเป็นร้อยละ 0.025 (ร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัวของสิ่งมีชีวิต) (Kupchella and Hyland, 1989; Marsh and Grossa, 1996) แร่ธาตุต่าง ๆ มีเส้นทางของวงจรการหมุนเวียนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุและสารอาหารเหล่านั้น ซึ่งสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกเช่นกัน การหมุนเวียนของแร่ธาตุและสารอาหารนี้แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

- การหมุนเวียนแร่ธาตุและสารอาหารผ่านบรรยากาศ (Gaseous nutrient cycle) ทำให้เกิดการหมุนเวียนแร่ธาตุกลับเข้าไปสู่ระบบนิเวศอีกครั้ง โดยจะมีบรรยากาศเป็นแหล่งรองรับและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และน้ำ เป็นต้น
- การหมุนเวียนของแร่ธาตุและสารอาหารผ่านการตกตะกอนในพื้นดิน (Sedimentary nutrient cycle) แร่ธาตุที่เข้าสู่วัฏจักรนี้ได้มาจากการผุกร่อนโดยสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งจะไม่มีการหมุนเวียนของแร่ธาตุกลับเข้าสู่ระบบนิเวศอีก หรืออาจมีแต่เกิดน้อยมากซึ่งมีพื้นโลกเป็นแหล่งรองรับ ทำให้มีแนวโน้มว่าอาจจะขาดแคลน ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และซัลเฟอร์ เป็นต้น

การหมุนเวียนสารอาหารและแร่ธาตุภายในระบบนิเวศจะเกิดขึ้นใกล้กับพื้นผิวของโลก ความแตกต่างระหว่างการหมุนเวียนของสารอาหารกับพลังงานที่เห็นได้ชัดเจน ได้แก่ การถ่ายทอดสารอาหารเป็นวัฏจักร (Cycle) แต่การถ่ายทอดพลังงานนี้จะไม่เป็นวัฏจักร (Noncyclic) เนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศเป็นไปตามกฎเทอร์โมไดนามิกส์ในข้อที่ 1 และ 2 ซึ่งข้อหนึ่งกล่าวว่า “พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้แต่จะไม่มีการสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลายได้” ส่วนข้อสองกล่าวว่า “เมื่อพลังงานถูกเปลี่ยนรูปไปในขณะที่มีการถ่ายทอดพลังงานแล้ว พลังงานจะถูกเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของพลังงานประสิทธิภาพต่ำ” เช่น ความร้อน จึงไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก ส่วนการหมุนเวียนแร่ธาตุอาหารในระบบนิเวศนั้นจะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร โดยผู้ผลิต (พืช หรือ สาหร่าย) เป็นผู้เริ่มนำแร่ธาตุอาหารเข้ามาใช้ในระบบเพื่อการสร้างเนื้อเยื่อ และมีการหมุนเวียนผ่านห่วงโซ่อาหารไปยังผู้บริโภคระดับต่าง ๆ ในที่สุดเมื่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดตายลง ผู้ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากจะย่อยซากเหล่านั้นในสภาพของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายมาเป็นแร่ธาตุอาหารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลงเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก

นอกจากนี้ Odum (1971) และ Cunningham and Saigo (2001) กล่าวว่า สารอาหารในมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตจะถูกนำไปใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งการกินเป็นลำดับขั้นในห่วงโซ่อาหารนั้นมิใช่ทุกส่วนของพืชหรือสัตว์ที่จะถูกกินและสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมเพื่อนำมาสร้างเนื้อเยื่อของผู้บริโภคในการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด แต่จะมีเพียงบางส่วนที่กินไม่ได้ รวมทั้งส่วนที่กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยได้จึงเป็นของเหลือที่ผู้ย่อยสลายซากจะทำหน้าที่ย่อยสลายและกลายเป็นสารอาหารมาสะสมในระบบนิเวศต่อไป

2.2 วัฏจักรแร่ธาตุในระบบนิเวศ

พลังงานที่ทำให้อนุภาคของสสารต่าง ๆ ประกอบกันเข้าเป็นธาตุในชนิดต่าง ๆ เช่น คาร์บอน ออกซิเจน และธาตุอื่น ๆ ที่พบแล้วประมาณ 105 ชนิด ทั้งนี้มีเพียงประมาณ 24 ชนิดที่ถูกนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของโพรโทพลาซึม (วินัย วีระวัฒนานนท์, 2530)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตจะถูกนำไปหมุนเวียนอยู่ในสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ เช่น พืชใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศมาช่วยในการสร้างคาร์โบไฮเดรต โดยมีกระบวนที่เปลี่ยนจากอนินทรียสารให้กลายมาเป็นอินทรียสาร ส่วนมนุษย์และสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารซึ่งเป็นการรับเอาอินทรียสารเข้าสู่ร่างกาย ในที่สุดก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นอนินทรียสารต่อไป ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น นอกจากนี้ พบว่าร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และกำมะถัน ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

2.2.1 วัฏจักรของแร่ธาตุและสารอาหารที่สำคัญ

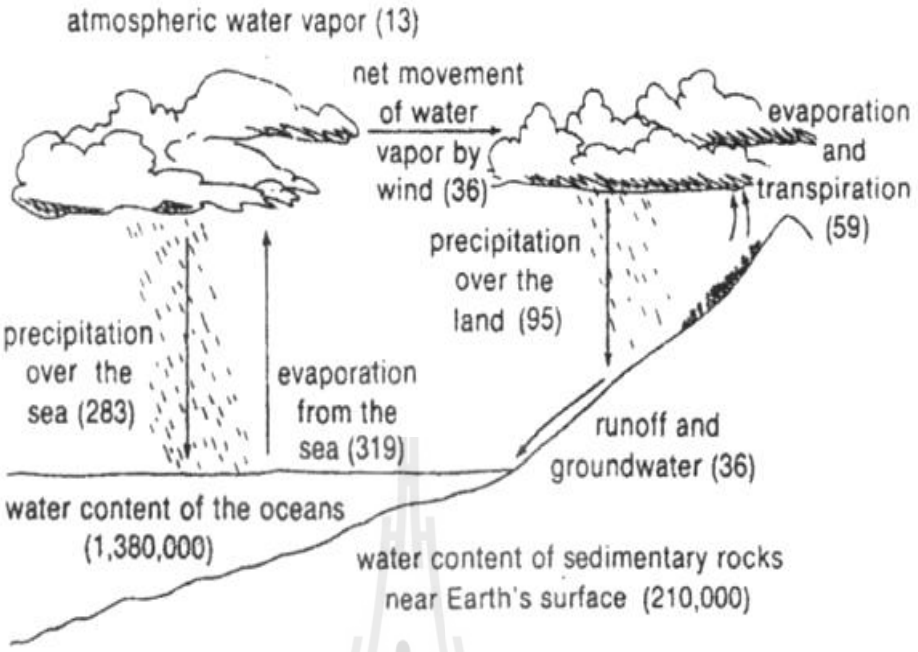
1) วัฏจักรของน้ำ (Hydrological cycle)

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งนี้ยังพบว่าน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์สิ่งมีชีวิตซึ่งมีปริมาณมากและเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนที่สำคัญ ทั้งยังพบว่าในสิ่งมีชีวิตบางชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ พื้นที่ทั้งหมดของโลกมีพื้นที่ที่เป็นน้ำมากกว่าร้อยละ 73 โดยพื้นที่ที่เป็นน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในมหาสมุทรและน้ำใต้ดิน ทั้งนี้น้ำที่มีอยู่ในระบบนิเวศเกิดจากขบวนการระเหย (Evaporation) ของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ในพื้นโลก รวมทั้งขบวนการคายน้ำ (Transpiration) ของพืช และจากหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ที่ตกลงมาบนพื้นผิวโลก น้ำจากกระบวนการระเหยและการคายน้ำที่ได้นี้จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศแล้วรวมตัวกันกลายเป็นไอน้ำในอากาศก่อนที่จะตกลงมาในรูปของฝน ลูกเห็บ และหิมะ (รูปที่ 2.1) วัฏจักรของน้ำส่วนใหญ่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างพื้นผิวโลกและบรรยากาศโดยการกลั่นตัวและการระเหย โดยปริมาณการระเหยของน้ำในแต่ละแห่งจะมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล นอกจากนี้ แหล่งน้ำในพื้นผิวโลกมีอยู่หลายประเภท เช่น แหล่งน้ำฝน แหล่งน้ำผิวดิน (ได้แก่ น้ำในมหาสมุทร แม่น้ำลำคลอง ทะเล และทะเลสาบ เป็นต้น) และแหล่งน้ำในดิน เป็นต้น

วัฏจักรของน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 วัฏจักร คือ

- วัฏจักรระยะสั้น เป็นวัฏจักรที่ไม่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต โดยน้ำจะระเหยออกจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น ทะเล มหาสมุทร หรือแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น น้ำจะระเหยกลายเป็นไอแล้วจึงรวมกันกลายเป็นก้อนเมฆก่อนที่จะตกลงมาเป็นน้ำฝนไหลลงสู่ทะเล มหาสมุทร และบริเวณต่าง ๆ ต่อไป

- วัฏจักรระยะยาว เป็นวัฏจักรที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต เช่น กระบวนการหายใจของพืชและสัตว์ การคายน้ำของพืช เป็นต้น ซึ่งน้ำในรูปนี้จะรวมตัวกันกลายเป็นก้อนเมฆแล้วจึงตกลงมาเป็นน้ำฝนลงสู่พื้นโลก



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ
หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือปริมาณของน้ำ มีหน่วยเป็น 10^{18} กรัม (Ricklefs, 1982)

2) วัฏจักรออกซิเจน (Oxygen cycle)

ออกซิเจน (O_2) เป็นธาตุที่พบในอากาศประมาณ 20.97 เปอร์เซ็นต์ พบมากในบรรยากาศรองจากแก๊ส N_2 และสามารถพบแก๊ส O_2 ในดินประมาณ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ยังเป็นธาตุที่มีความสำคัญในแหล่งน้ำด้วย เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ก็ต้องมีแก๊ส O_2 อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องกัน ดังนั้น การสังเคราะห์ด้วยแสงในผู้ผลิตจะทำให้ได้แก๊ส O_2 ออกมาหมุนเวียนในระบบ โดยแก๊ส O_2 ในระบบมีอยู่ในหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น พืชและสัตว์มีการหายใจโดยรับเอาแก๊ส O_2 เข้าไปใช้โดยตรงหรืออาจพบแก๊ส O_2 อยู่อย่างอิสระ หรือแก๊ส O_2 ที่อยู่ในรูปสารประกอบในสารเคมีต่าง ๆ และแก๊ส O_2 ยังสามารถละลายอยู่ในแหล่งน้ำหรือเป็นสารประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่าง ๆ และสามารถอยู่ในรูปของเกลือได้ด้วย นอกจากนี้แก๊ส O_2 ที่ละลายอยู่ในแหล่งสะสมเหล่านี้จะไม่ถูกนำมาใช้โดยตรงในระบบนิเวศ ดังนั้นจากที่กล่าวมานี้พบว่าวัฏจักรของแก๊ส O_2 ค่อนข้างสลับซับซ้อน เพราะต้องผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการหายใจ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับวัฏจักรน้ำและวัฏจักรคาร์บอนด้วย

ในกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต พบว่าแก๊ส O_2 จะเข้ามาร่วมทำปฏิกิริยากับสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ ดังสมการที่ 2.2

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O \qquad (2.2)$$

สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชนั้น พืชจะนำพลังงานแสงมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมี แล้วนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์จากน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงคือแก๊ส O_2 อิสระกลับเข้าสู่บรรยากาศอีกครั้ง

$$6CO_2 + 12H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \qquad (2.3)$$

3) วัฏจักรคาร์บอน (Carbon cycle)

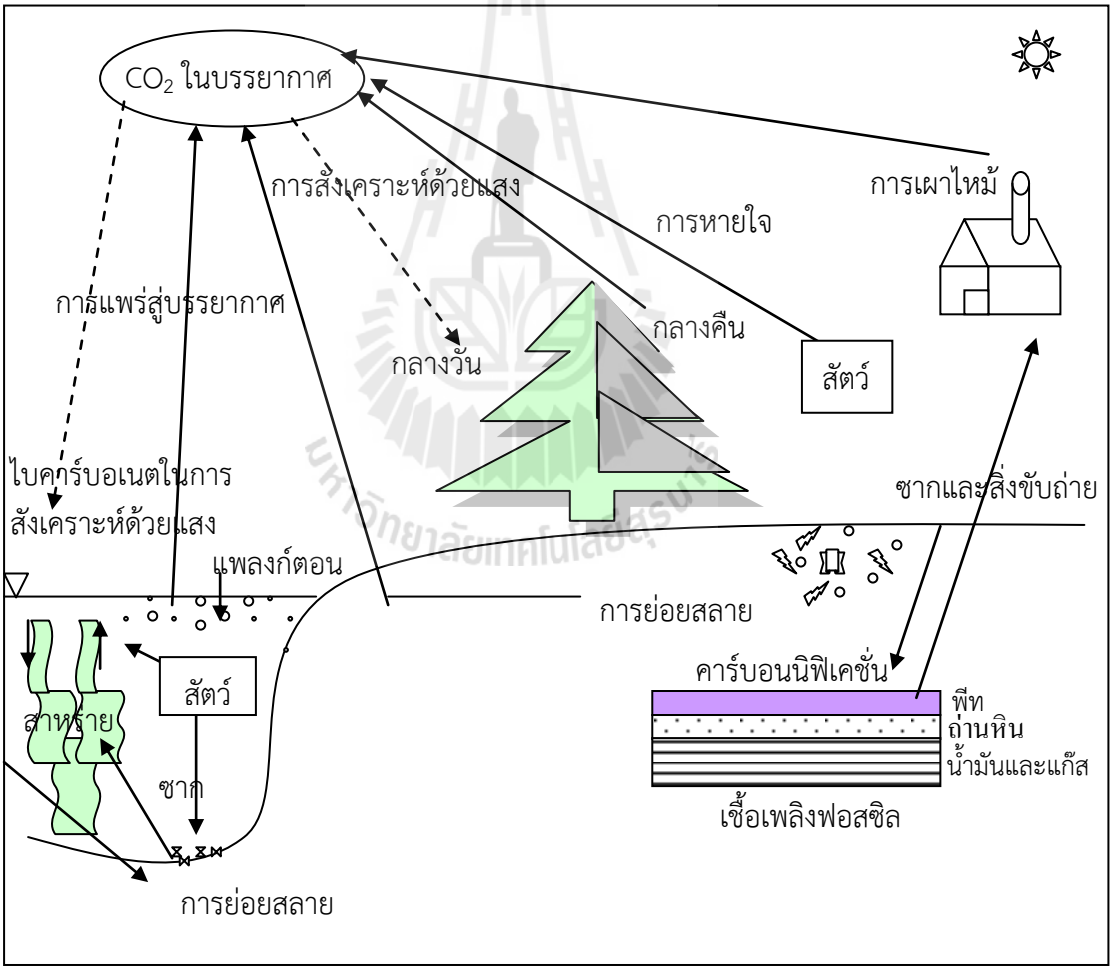
คาร์บอนเป็นธาตุที่สำคัญธาตุหนึ่งซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ทุกชนิดในสิ่งมีชีวิต โดยทำหน้าที่คล้ายกับโครงหรือแกนให้กับสารประกอบนั้น ๆ ดังนั้น วัฏจักรคาร์บอนจึงเป็นหัวใจสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดและระบบนิเวศด้วย วัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยตรงมากกว่าแก๊ส O_2 และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างสารประกอบอินทรีย์ (CH_2O) กับแก๊ส CO_2 ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งจะใช้คาร์บอนเพื่อการสร้างคาร์โบไฮเดรต ส่วนกระบวนการหายใจในสิ่งมีชีวิตนั้นจะสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลับไปเป็นคาร์บอนเช่นเดิม

สารอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในหลาย ๆ แหล่งภายในระบบนิเวศ คาร์บอนที่พบในบรรยากาศมักอยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 โดยส่วนที่ละลายในน้ำจะอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เมื่อมีการทำปฏิกิริยาแล้วจะแตกตัวให้ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO_3^-) จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาแล้วแตกตัวให้คาร์บอเนตอิออน (CO_3^{2-}) แล้วจึงตกตะกอนไปสะสมในรูปสารประกอบพวกแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งปริมาณของการสะสมและรูปแบบในการหมุนเวียนของคาร์บอนนั้นจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากการแลกเปลี่ยนคาร์บอนที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศเกิดค่อนข้างช้ามาก ดังนั้น วัฏจักรคาร์บอนที่เกิดในแหล่งน้ำและบนบกจึงแยกออกจากกันอย่างชัดเจน

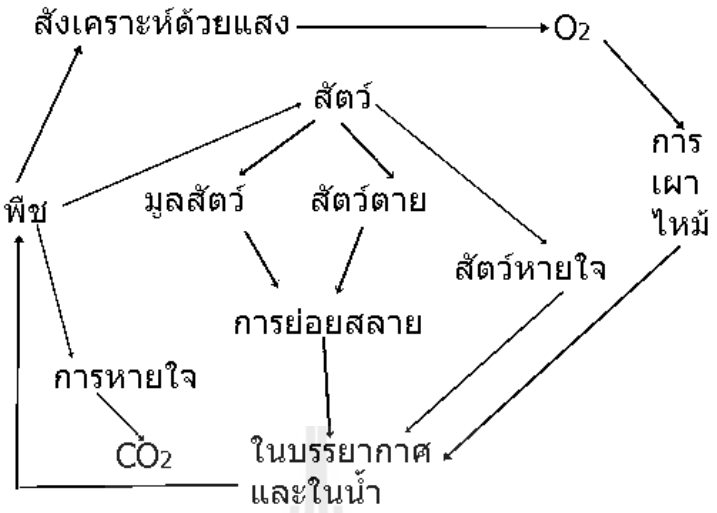
นอกจากนี้ ระบบนิเวศในแหล่งน้ำโดยมีผู้ผลิตส่วนใหญ่ ได้แก่ พืชหรือสาหร่ายน้ำจะใช้แก๊ส CO_2 ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วปล่อยแก๊ส O_2 กลับเข้าสู่บรรยากาศหรือแหล่งน้ำอีกครั้งโดยกระบวนการหายใจ พร้อม ๆ กันนั้นก็จะปล่อยสารละลายอินทรีย์ให้กับแหล่งน้ำ นอกจากนี้ พืชจะเก็บธาตุคาร์บอนไว้ในรูปของสารอินทรีย์แล้วถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภคผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ซึ่งอัตราการจับคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศของพืชในระบบนิเวศแต่ละแหล่งมีค่าไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น ป่าเขตร้อนมีอัตราการจับคาร์บอน (ในรูปของแก๊ส CO_2) ในอัตราปีละ 1 – 2 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร ในขณะที่เขตทุนดราหรือทะเลทรายที่ว่างเปล่าสามารถดักจับคาร์บอนได้เพียง 10 – 20 กรัม ต่อ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นเพียงร้อยละ 1 – 2 ของป่าเขตร้อนเท่านั้น ส่วนในเขตอบอุ่น บริเวณที่เป็นป่าหรือบริเวณที่ทำการเพาะปลูกพืชมีอัตราการจับคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.4 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร ในขณะเดียวกัน สัตว์จะปล่อยแก๊ส CO_2 ออกสู่อากาศโดยกระบวนการหายใจ เมื่อพืชและสัตว์นั้นตายลงจะพบว่ามีธาตุคาร์บอนสะสมอยู่ด้วย โดยคาร์บอนที่อยู่ในรูปของซากพืชและซากสัตว์บางชนิดนั้นไม่สามารถย่อยสลายได้ ฉะนั้น เมื่อถูกเก็บสะสมไว้เป็นเวลานาน ๆ หลายร้อยล้านปี เศษซากพืชและซากสัตว์เหล่านั้นจะกลายเป็นสารที่ให้พลังงานสูง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้มนุษย์จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนเผาไหม้ต่าง ๆ เมื่อเกิดการเผาไหม้ก็จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอน โดยแก๊สคาร์บอน

เหล่านี้จะถูกปล่อยกลับเข้าสู่บรรยากาศต่อไปโดยการหมุนเวียนคาร์บอนเกิดขึ้นระหว่างสิ่งมีชีวิตเป็นหลัก ซึ่งเกิดขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ และการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีการเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิง และการผุพังอยู่กับที่ (Weathering) ของหินปูน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เกิดเป็นแก๊ส CO_2 กลับเข้าสู่บรรยากาศจนเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effects) ขึ้นทั่วโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้งโลกนิเวศนั้นพบว่าอัตราการสร้างสารอินทรีย์จากคาร์บอนทั้งหมด คิดเป็นน้ำหนักของสารอินทรีย์ได้ประมาณ 20,000 – 30,000 ล้านตันต่อปี

ความสัมพันธ์ของวัฏจักรของคาร์บอนและน้ำต้องควบคู่กันไปเสมอ เนื่องจากผู้ผลิตต้องการใช้น้ำและแก๊ส CO_2 ควบคู่กันไปในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนั้น ยังมีความสัมพันธ์กับแก๊ส O_2 อีกด้วย โดยแก๊ส CO_2 จะเกิดจากกระบวนการหายใจและการย่อยสลายเป็นหลัก



รูปที่ 2.2 วัฏจักรคาร์บอนที่มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
ที่มา: Smith, 1974



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรคาร์บอนและออกซิเจน
ที่มา: สันต์ สิริภักดิ์, 2536

สารอนินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในหลายแหล่งภายในระบบนิเวศ อย่างเช่น CO_2 ที่อยู่ในรูปของแก๊สที่สะสมอยู่ในอากาศ หรือ CO_2 ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำ คาร์บอเนตในรูปของสารละลายในแหล่งน้ำและคาร์บอเนตที่อยู่ในรูปของดินตะกอน รวมถึงคาร์บอนในแหล่งสะสมต่าง ๆ เหล่านี้ สิ่งมีชีวิตสามารถนำเอาสารอนินทรีย์คาร์บอนไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนหรือการไหลผ่านคาร์บอนที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวหน้าน้ำและอากาศเป็นไปอย่างช้ามาก นอกจากนี้ ธาตุคาร์บอนในสภาพหินปูน (Carbonate rock) อาจมีการผุกร่อนตามธรรมชาติและอาจถูกชะล้างไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำกลายเป็นสารละลายคาร์บอเนต ซึ่งคาร์บอนที่อยู่ในรูปนี้พืชน้ำและสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไปได้ ในขณะที่บางส่วนของสารละลายคาร์บอเนตมักอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิกแล้วจะแตกตัวให้แก๊ส CO_2 และน้ำ ทั้งนี้แก๊ส CO_2 จากปฏิกิริยาการแตกตัวนี้สามารถซึมผ่านผิวหน้าน้ำกลับสู่บรรยากาศได้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.4 – 2.7 โดยสมการเคมีของแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดได้ทั้งสองทางซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ เช่น pH และอุณหภูมิ เป็นต้น

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \text{ (กรดคาร์บอนิก)} \quad (2.4)$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO^-_3 \text{ (ไบคาร์บอเนตอิออน)} \quad (2.5)$$

$$HCO^-_3 \longrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \text{ (คาร์บอเนตอิออน)} \quad (2.6)$$

$$CO_3^{2-} + \text{อิออนบวก เช่น } Ca^{2+} \longrightarrow CaCO_3 \text{ (เกลือคาร์บอเนต)} \quad (2.7)$$

นอกจากนั้น แก๊ส CO_2 มีความสามารถในการละลายน้ำและมีค่าความเข้มข้นในแหล่งน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 จากตารางแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ มีแก๊ส CO_2 ละลายอยู่ในน้ำเท่ากับ 0.48 มก./ล. และปริมาณแก๊ส CO_2 ที่ละลายในน้ำจะแปรผกผันกับระดับอุณหภูมิของน้ำ นั่นคือ ถ้าแก๊ส CO_2 ละลายน้ำได้มากจะส่งผลให้ระดับ pH ของน้ำยิ่งลดลง ซึ่งทำให้แหล่งน้ำนั้นมีสภาพเป็นกรดจึงไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น ๆ

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	CO_2 ละลายน้ำ (มก./ล.)
0	1.10
5	0.91
10	0.76
15	0.65
20	0.56
25	0.48
30	0.42

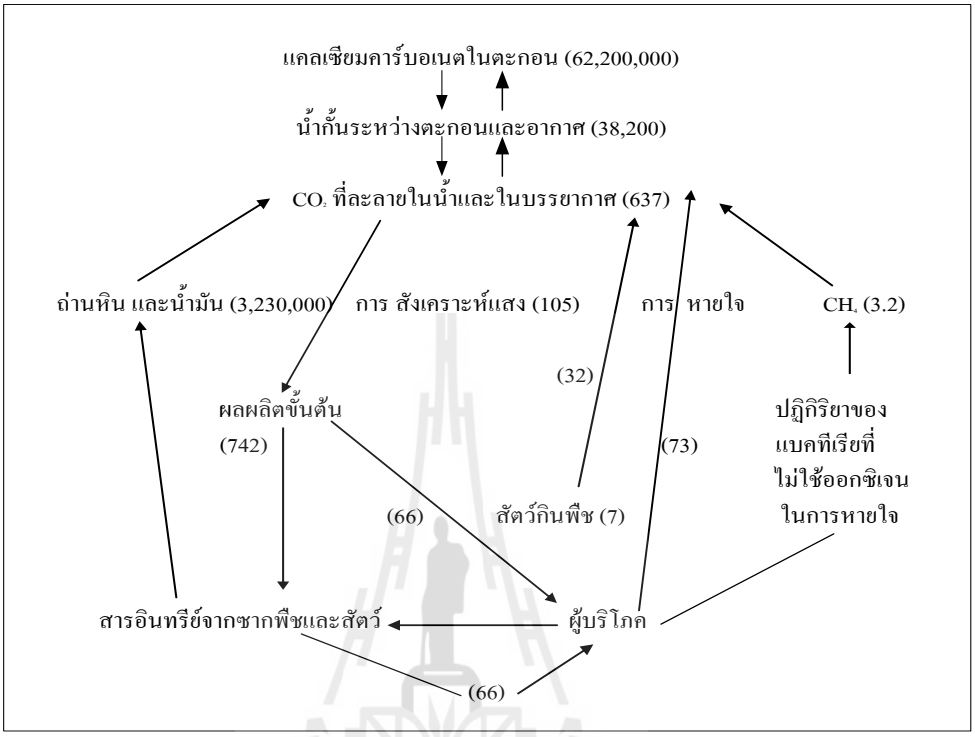
ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2536

วัฏจักรคาร์บอนในแหล่งน้ำและบนบกค่อนข้างแยกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ปริมาณการปล่อยแก๊ส CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น กล่าวว่าในศตวรรษหน้าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศอาจมีมากถึง 2 เท่าของในปัจจุบัน จึงทำให้ชั้นบรรยากาศรอบโลกร้อนขึ้นอีกประมาณ 1.5 – 4.5 $^{\circ}C$ (มุกดา สุขสมาน, 2536)

ส่วนในมหาสมุทรนั้นมีแพลงก์ตอนพืชคอยทำหน้าที่จับคาร์บอนประมาณ 4 หมื่นล้านตันต่อปี ทั้งแก๊ส CO_2 ที่ใช้ในการหายใจกับแก๊ส O_2 ที่ถูกปล่อยออกมาส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปของแก๊สที่สามารถละลายน้ำในบริเวณผิวหน้าของมหาสมุทร แม้ว่าคาร์บอนในมหาสมุทรจะสามารถหมุนเวียนเป็นวัฏจักรได้แต่ก็ยังมีการแลกเปลี่ยนแก๊ส CO_2 (รวมทั้งแก๊ส O_2) ระหว่างผิวหน้าของชั้นบรรยากาศกับทะเลโดยอาศัยลมและคลื่นเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนนี้ และไม่ว่าขณะใดก็ตามปริมาณแก๊ส CO_2 ที่ละลายอยู่ในบริเวณผิวหน้าของน้ำทะเลจะยังคงความสมดุลกับความเข้มของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศเสมอ

แบบแผนการหมุนเวียนและการเปลี่ยนแปลงรูปของคาร์บอนเป็นวัฏจักรในทะเลนั้นพบว่ามีความแตกต่างจากวัฏจักรคาร์บอนที่พบบนบกอย่างชัดเจน ดังจะเห็นได้ว่าผลผลิตของคาร์บอนบนบกส่วนใหญ่ถูกจำกัดโดยปริมาณของน้ำจืดและฟอสฟอรัส ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ในดินจะเป็นตัวการจำกัดที่สำคัญน้อยลงไป สำหรับในทะเล ผลผลิตคาร์บอนกลับถูกจำกัดโดยปริมาณธาตุอาหารหลายชนิดด้วยกัน คือ ไม่ใช่เฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจนที่ต้องการเป็นจำนวนมากเท่านั้น แต่ยังต้องการแร่ธาตุอื่น ๆ อีกหลายชนิด แม้มีเพียงจำนวนน้อย โดยเฉพาะธาตุเหล็ก เป็นต้น

เนื่องจากการแก่งแย่งอาหารในทะเลมีมาก สิ่งมีชีวิตหลายชนิดจึงพยายามปรับตัวให้มีความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.4 วัฏจักรคาร์บอนและปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็น 10^{15} กรัม
ที่มา: Ricklefs, 1973

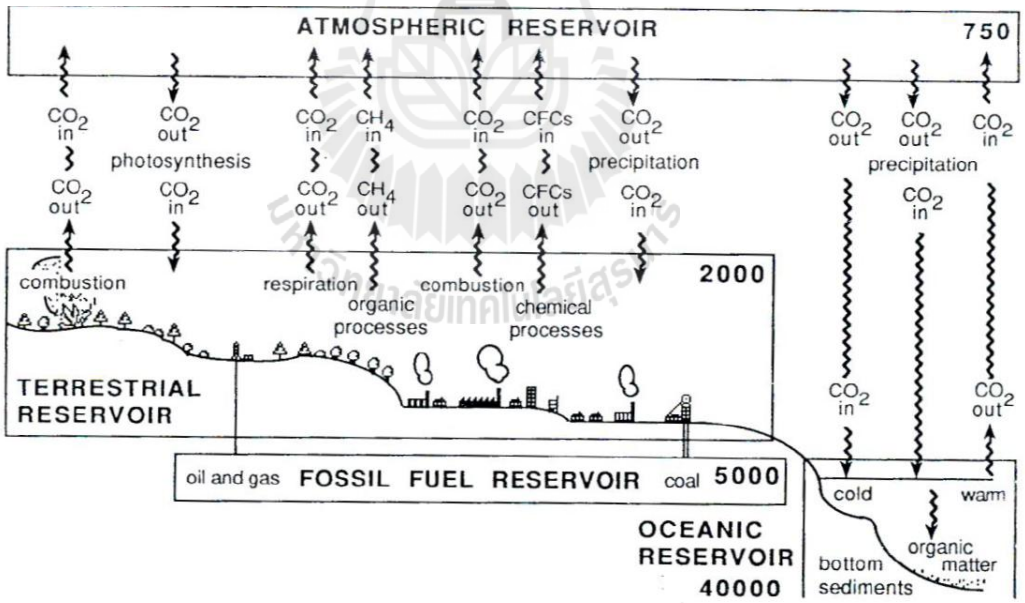
สำหรับบริเวณที่มีผลผลิตสูงนั้นเชื่อว่าเป็นเพราะได้รับธาตุอาหารจากก้นทะเล ยกตัวอย่างเช่น ในบริเวณชายฝั่งของชิลี ชายฝั่งทะเลของญี่ปุ่น และบริเวณกระแสน้ำอุ่นกัลป์สตรีมซึ่งเป็นบริเวณที่มีปลาชุกชุม พบว่ามีอัตราการจับคาร์บอนสูงสุดถึง 0.3 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตรต่อปี ความอุดมสมบูรณ์ในบริเวณเหล่านี้ล้วนเป็นผลจากปรากฏการณ์น้ำยกตัวสูงขึ้น (Upwelling) เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณทะเลเปิดใกล้เขตร้อนแล้วพบว่ามีอัตราการดักจับคาร์บอนต่ำมากคือไม่ถึงหนึ่งในสิบของบริเวณดังกล่าว

มวลอินทรีย์ (Biomass) จากทุกระดับของการบริโภคในท้องทะเลส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สำหรับแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหลายนั้นเมื่อตายไปแล้วก็จะค่อย ๆ จมตัวลงสู่บริเวณพื้นท้องทะเล ในที่สุดจะถูกย่อยสลายให้อยู่ในรูปของอินทรียสาร บางส่วนของอินทรียสารเหล่านี้อาจรอดพ้นจากการถูกออกซิไดซ์และจมลงสู่ก้นทะเลลึก ซึ่งในกรณีนี้เท่ากับเป็นการเพิ่มคาร์บอนในรูปของคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตอิออนในบริเวณพื้นท้องทะเลได้ ในสภาพการณ์ดังกล่าวนี้โอกาสที่คาร์บอนจะกลับคืนสู่วัฏจักรอีกครั้งจึงเป็นไปได้ยากขึ้น

วัฏจักรคาร์บอนเป็นวัฏจักรที่มีมหาสมุทรเป็นแหล่งสำรองใหญ่ซึ่งมีการประมาณว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมในมหาสมุทรมีมากกว่า 50 เท่าของบรรยากาศ (บรรยากาศเป็นแหล่ง

สำรองคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.03 – 0.04) ดังนั้นแหล่งสำรองในมหาสมุทรจึงเป็นตัวควบคุมปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศทั้งหมด และแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศกับในทะเล หรือในแหล่งน้ำย่อมมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันอยู่เสมอ ทั้งนี้เป็นไปโดยวิธีการแพร่ธรรมดา ซึ่งทิศทางของการแพร่นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้น นอกจากนี้ แหล่งน้ำยังมีโอกาสได้รับคาร์บอนจากบรรยากาศในรูปของน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วละลายเอาแก๊ส CO_2 ที่อยู่ในอากาศลงมาด้วย โดยน้ำฝน 1 ลิตร พบว่ามีแก๊ส CO_2 ละลายอยู่ประมาณ 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร และการละลายของแก๊ส CO_2 ลงในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3)

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าวัฏจักรคาร์บอนนั้นสามารถแยกออกได้เป็น 2 วัฏจักร คือ วัฏจักรบนบกและวัฏจักรในน้ำ แม้ว่าพืชบกจะมีบทบาทสำคัญในการตรึงคาร์บอนเอาไว้ในรูปของสารอินทรีย์ แต่แหล่งควบคุมใหญ่ของปริมาณคาร์บอนยังคงเป็นแม่น้ำ ลำคลอง ทะเล และมหาสมุทร ฉะนั้นปริมาณแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศยังคงขึ้นอยู่กับปริมาณแก๊ส CO_2 ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งในธรรมชาติมีกลไกในการควบคุมความสมดุลของปริมาณคาร์บอนทั้งบนบกและในแหล่งน้ำเป็นอย่างดี กล่าวคือ เมื่อคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตถูกชะล้างจากบนบกลงสู่แหล่งน้ำ โดยเฉพาะในทะเล ทำให้ทะเลมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันคาร์บอนในทะเลก็จะตกตะกอนลงสู่ก้นทะเลลึก ทำให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ในทะเลลดลงไป



รูปที่ 2.5 แหล่งกักเก็บคาร์บอน
ที่มา: Kemp, 1994

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งเก็บกักนั้นมีความผันแปรเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแหล่งเก็บกักและอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนจะแปรผกผันกัน กล่าวคือแหล่งเก็บกักขนาดเล็ก

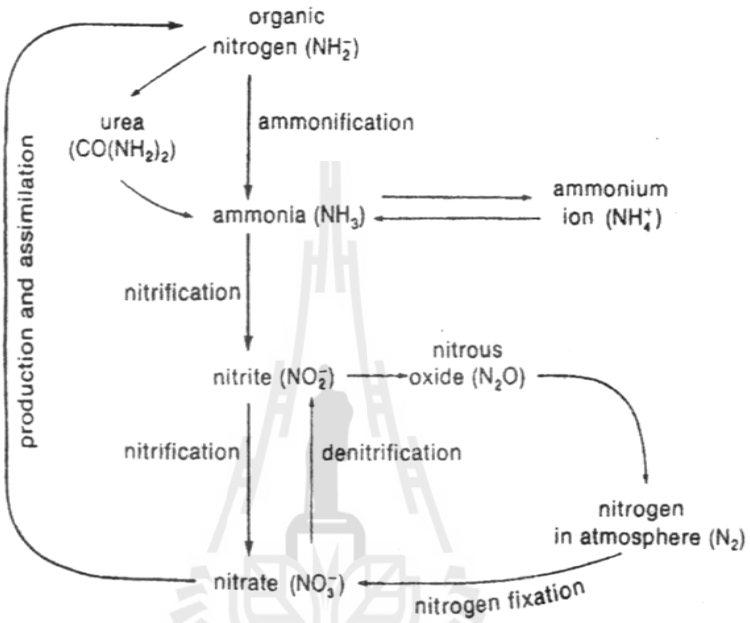
(เช่น ชั้นบรรยากาศ พื้นผิวของมหาสมุทร และพืชพรรณธรรมชาติ รวมทั้งการเก็บกักในรูปของเนื้อเยื่อในร่างกายของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ) สามารถแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่แหล่งเก็บกักขนาดใหญ่ อย่างเช่นในชั้นหินจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนได้ช้ากว่า และเมื่อพิจารณาจากอัตราการแลกเปลี่ยนกับขนาดและความตื้นลึกของแหล่งเก็บกัก พบว่าวัฏจักรของคาร์บอนจะแลกเปลี่ยนได้รวดเร็วในแหล่งเก็บกักขนาดเล็กที่บริเวณพื้นผิว และมีอัตราการแลกเปลี่ยนเป็นไปได้ช้าลงในแหล่งเก็บกักขนาดใหญ่ที่อยู่ลึกลงไป นอกจากนั้น คาร์บอนในระบบนิเวศสามารถเคลื่อนย้ายไปมาระหว่างแหล่งเก็บกักหลัก ๆ ได้หลากหลายแหล่ง ยกตัวอย่างเช่น ชั้นบรรยากาศสามารถเก็บกักคาร์บอนได้มากกว่า 750 พันล้านตัน ในขณะที่ คาร์บอนประมาณ 2,000 พันล้านตัน นั้นจะถูกเก็บกักไว้ในพื้นดิน และอีกประมาณ 40,000 พันล้านตันจะถูกเก็บกักไว้ในแหล่งน้ำและมหาสมุทร

นอกจากนี้ แหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากซากฟอสซิลก็เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญเช่นกัน โดยสามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ประมาณ 5,000 พันล้านตัน โดยที่ไม่มีการนำคาร์บอนมาใช้ในวงจรเป็นเวลานับล้านปี แต่ในขณะเดียวกัน คาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมในรูปนี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้นอันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ในปัจจุบัน โดยการนำเอาพลังงานจากซากฟอสซิลจากการทำเหมืองเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงขึ้นและได้ออกมาซึ่งแก๊ส CO_2 เป็นกระบวนการปล่อยแก๊ส CO_2 ไปสู่บรรยากาศในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของคาร์บอนตามธรรมชาติ โดยการหมุนเวียนของคาร์บอนที่พบมากที่สุด คือ การหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนพื้นผิวดินกับการหมุนเวียนระหว่างชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร ถึงแม้ว่าการหมุนเวียนนี้จะแตกต่างกันไปตามเวลาแต่การหมุนเวียนของคาร์บอนในธรรมชาติในระยะยาวนั้นจะไม่ส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เพราะมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโลกและบรรยากาศ ในทางกลับกัน การที่เราทำให้คาร์บอนในบรรยากาศเพิ่มขึ้นโดยผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากกิจกรรมต่าง ๆ แม้เป็นปริมาณที่น้อยกว่าคาร์บอนที่เกิดโดยธรรมชาติ แต่กลับส่งผลให้ระบบในธรรมชาติไม่สามารถรองรับได้ทันที จนเกิดความไม่สมดุลระหว่างแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติกับปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ระบบไม่สามารถดูดซับแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และแก๊ส CO_2 ส่วนที่เหลือนี้ก็จะยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นให้กับภาวะเรือนกระจกมากขึ้นจนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลกร้อนขึ้น

4) วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าธาตุคาร์บอน เพราะเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและสารอินทรีย์อื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น กรดนิวคลีอิก ดังนั้น ธาตุไนโตรเจนจึงเป็นธาตุที่จำเป็นยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด แม้ว่าในชั้นบรรยากาศจะมีแก๊ส N_2 มากที่สุดโดยมีองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 78 ของปริมาณอากาศทั้งหมด ซึ่งมากกว่าแก๊สชนิดอื่น ๆ แต่เนื่องจากแก๊ส N_2 เป็นแก๊สที่ไม่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จึงไม่สามารถนำแก๊ส N_2 ในบรรยากาศมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรงแต่จะสามารถนำมาใช้ได้เมื่ออยู่ในสภาพของสารประกอบ เช่น ยูเรีย แอมโมเนีย ไนเตรท และกรดอะมิโน เป็นต้น (อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531)

ไนโตรเจนที่มีอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในพืชและสัตว์ถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2) หรือไนเตรท (NO_3) ซึ่งจะถูกพืชและสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ และส่วนหนึ่งของสารประกอบ N_2 เหล่านี้จะถูกพืชนำไปใช้โดยตรงหรือผ่านกระบวนการหรือกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับ N_2 ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกทาง คือ NH_3 ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็น NO_3 โดยการย่อยสลายของแบคทีเรีย (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 วัฏจักรไนโตรเจน
ที่มา: Ricklefs, 1982

สำหรับไนโตรเจนในแหล่งน้ำมักพบอยู่ในรูปของแก๊ส N_2 ที่ละลายน้ำและสารประกอบ N_2 ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 ชนิด คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen) แอมโมเนีย (Ammonia) ไนเตรท (Nitrate) และ ไนไตรท์ (Nitrite) เขียนสมการได้ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด = สารอินทรีย์ไนโตรเจน + แอมโมเนีย + ไนเตรท + ไนไตรท์
หรือ = สารอินทรีย์ไนโตรเจน + สารอนินทรีย์ไนโตรเจน

ผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน เรียกว่า ทีเคเอ็นไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen หรือ TKN)

TKN = สารอินทรีย์ไนโตรเจน + แอมโมเนียไนโตรเจน
ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด = ทีเคเอ็นไนโตรเจน + ไนเตรท + ไนไตรท์

แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยที่พบได้มากที่สุดในแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็ม เนื่องจากในอากาศพบแก๊ส N_2 มากถึง 78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแก๊ส N_2 สามารถละลายในแหล่งน้ำได้มากกว่าแก๊ส O_2 ถึงแม้ว่าแก๊ส N_2 จะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าแก๊ส O_2 แต่สารอินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิดก็ไม่สามารถนำแก๊ส N_2 ที่อยู่ในรูปนี้มาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ทั้งนี้แก๊ส N_2 ที่ละลายในน้ำอาจมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เนื่องจากถ้าแก๊ส N_2 ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำเกินจุดอิ่มตัวอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและอาจทำให้สัตว์น้ำเสียชีวิตได้

นอกจากนั้น พบว่าแก๊ส N_2 ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความสกปรกหรือการปนเปื้อนของแหล่งน้ำได้ เพราะชนิดของแก๊ส N_2 ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่ผ่านไป นับจากที่เริ่มมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำเกิดขึ้น น้ำที่เพิ่งสกปรกใหม่ ๆ จะมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนหรือแอมโมเนีย แต่เมื่อเวลาผ่านไปทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีทำให้แก๊ส N_2 เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ NO_2 และ NO_3 ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ข้อมูลไนโตรเจนจึงสามารถบ่งบอกถึงความสกปรกหรือการปนเปื้อนของน้ำว่าอยู่ในระดับใดได้คร่าว ๆ

Tacon (1998) ได้อธิบายการหมุนเวียนไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ดังนี้ ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนเมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะกลายเป็นซากเน่าเปื่อย (Detritus) และขับไนโตรเจนออกมาในรูปแอมโมเนียม (NH_4) โดยกระบวนการ Nitrification ในสภาวะที่มีแก๊ส O_2 ต่อมาแก๊ส NH_3 นี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็น NO_2 และ NO_3 จากนั้น NO_3 จะถูกดูดซับไปใช้โดยพืชสีเขียวและถูกเก็บอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนก่อนที่จะถูกส่งผ่านไปยังสัตว์ที่กินพืชตามห่วงโซ่อาหารซึ่งอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนเช่นกัน โดยอินทรีย์ไนโตรเจนในพืชสีเขียวและสัตว์เหล่านั้นจะหมุนเวียนไปอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนที่ไม่มีชีวิตอีกครั้งในรูปของสิ่งขับถ่ายและการตายของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ สัตว์ในห่วงโซ่อาหารก็มีการขับไนโตรเจนออกมาในรูป NH_3 ซึ่งจะกลายเป็น NH_4 แล้วเข้าสู่กระบวนการ Nitrification เช่นเดียวกับ NH_4 ที่ถูกปล่อยออกมาโดยกลุ่มจุลินทรีย์ ทั้งนี้ ไนโตรเจนในรูป NH_4 ส่วนหนึ่งจะระเหยออกสู่บรรยากาศในรูปของแก๊ส NH_3 จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลายเป็นไนโตรเจนในซากเน่าเปื่อย โดยจะถูกหมุนเวียนไปสู่สัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อยในห่วงโซ่อาหารและสัตว์เหล่านั้นจะขับไนโตรเจนออกมาสู่แหล่งน้ำในรูปของ NH_3 นอกจากนี้ ในระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศมาอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนภายในเซลล์ และมีการหมุนเวียนไปสู่สัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อยและสัตว์ที่กินเซลล์สาหร่ายและแบคทีเรียเหล่านี้ภายในห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนจะเปลี่ยน NO_2 ให้เป็น NO_3, NH_3 และแก๊ส N_2 โดยกระบวนการ Denitrification

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกได้เกิดขึ้นแล้ว หลักฐานที่ยืนยันได้ชัดเจนคือการละลายของธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งในบริเวณขั้วโลก การฟอกขาวของแนวปะการัง หรือระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น ระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งปัญหาความแห้งแล้งที่ยาวนานขึ้นและทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น ทั้งนี้มีรายงานขององค์การอนามัยโลกระบุว่ามีประชากรจำนวนมากกว่า

150,000 คน ต้องเสียชีวิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทุกปี ด้วยเหตุนี้จึงต้องเร่งลงมือกระทำการบางอย่างก่อนที่โลกของเราจะถูกทำลายจนเสียหายและมิอาจเยียวยาได้

ในปัจจุบันนี้โลกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกว่าเมื่อ 2,000 ปี ที่แล้ว โดยในทศวรรษที่ 1990 เป็นทศวรรษที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดของโลกและในศตวรรษที่ 1900 เป็นศตวรรษที่ร้อนที่สุดในรอบ 1,000 พันปี ปีที่ร้อนที่สุดทั้ง 7 ปี ล้วนเกิดขึ้นในทศวรรษนี้โดยปี พ.ศ. 2541 เป็นปีที่ร้อนที่สุด หากสถานการณ์ยังเป็นเช่นนี้ต่อไปจนถึงช่วงสิ้นศตวรรษ อุณหภูมิโลกจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าช่วงใด ๆ ในรอบ 2 ล้านปีที่ผ่านมา

ข้อมูลจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้ระบุว่ามีความจำเป็นที่ต้องรักษาระดับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้อยู่ในระดับต่ำกว่าระดับ 2 $^{\circ}C$ เทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดตามมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Bert *et al.*, 2007)

คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีหลักฐาน ที่ได้จากการสังเกตการณ์ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา พบว่าสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุสำคัญมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งกว่าหนึ่งศตวรรษที่มนุษย์พึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เพื่อตอบสนองความต้องการด้านพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น การเผาไหม้ถ่านหินจะปล่อยแก๊สที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหลายชนิด เช่น แก๊ส CO_2 ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ และพบว่าเมื่อแก๊ส CO_2 ถูกปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศมากเท่าไรก็เท่ากับเป็นการเพิ่มผลกระทบจากภาวะเรือนกระจกให้กับโลกมากขึ้นด้วยการกักเก็บความร้อนและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในโลกให้สูงขึ้น สิ่งนี้เองที่ทำให้เกิดผลกระทบร้ายแรงตามมาต่อระบบนิเวศของโลก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะมีผลกระทบต่อประเทศกำลังพัฒนามากที่สุด (Solomon *et al.*, 2007)

สำหรับประเทศไทยเองได้ให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยเป้าหมายของอนุสัญญาฯ ซึ่งความสำคัญของอนุสัญญาฯ นี้คือการรักษาระดับความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศให้คงที่ โดยต้องไม่คุกคามต่อระบบการผลิตอาหารของมนุษย์ อีกทั้งได้ร่วมลงนามและให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งประเทศไทยต้องจัดทำรายงานแห่งชาติเพื่อเสนอต่อประเทศภาคีสมาชิกและสนับสนุนการวิจัยที่ช่วยลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะจากแหล่งกำเนิด โดยมีการจัดทำฐานข้อมูลการจัดการทรัพยากรเพื่อติดตามตรวจสอบบัญชีคาร์บอนของประเทศและสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อน การตระหนักถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่มีต่อสภาพแวดล้อม รวมทั้งการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาให้แก่ประชาชน แต่ปัญหาในปัจจุบันนี้คือข้อมูลที่เกี่ยวกับคาร์บอนและการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์ยังไม่เพียงพอที่จะเชื่อมโยงกับข้อมูลได้ ทำให้การประมาณค่าปริมาณคาร์บอนมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ในขณะเดียวกัน ค่าที่ได้หรือข้อมูลที่มีอยู่ยังไม่ละเอียดมากนักและที่สำคัญคือผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งสะสมคาร์บอนในภูมิภาคเขตร้อนยังมีน้อยมาก (Pfaff *et al.*, 2000)

นอกจากนี้ Canadell and Noble (2001) กล่าวว่า ในขณะนี้โลกเริ่มเข้าสู่ยุคที่ยังไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน ซึ่งปัญหาการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมโลกที่เกิดขึ้นอันเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์

ทำให้นักวิทยาศาสตร์จากหลายประเทศต่างหาทางป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก โดยสามารถสรุปได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- วัฏจักรคาร์บอน โดยกิจกรรมของมนุษย์นั้นสามารถทำให้ความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 และ CH_4 เพิ่มขึ้นมากกว่าที่เคยเกิดขึ้นมาก่อนและหลายครั้งที่ปรากฏว่าเกิดขึ้นเร็วกว่าที่ธรรมชาติจะสามารถปรับเปลี่ยนได้
- การผลิตอาหารของมนุษย์ลดลงมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะผลผลิตจากประเทศยากจนซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากปัญหาโลกร้อน
- ปัญหาความรุนแรงของภัยแล้งและน้ำท่วมที่เพิ่มขึ้น
- อัตราการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศที่เพิ่มขึ้นทั้งในทะเลและบนบก

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ

สภาพภูมิอากาศในช่วงดึกดำบรรพ์และสภาพภูมิอากาศในช่วงยุคโฮโลซีนได้ถูกนำมาพิจารณาประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งได้สร้างความแม่นยำของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและในช่วงระยะ 100 – 10,000 ปีในอนาคตได้ เช่น จากการแปลสัณฐานของผิวเปลือกโลกในช่วง 50 – 100 ล้านปีที่ผ่านมามีหลักฐานยืนยันว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าสุดประมาณ 1 $^{\circ}C/10$ ล้านปี ซึ่งแนวโน้มเหล่านี้ทำให้โลกเย็นตัวลง ในขณะเดียวกัน การกล่าวถึงการคงที่ของภูมิอากาศในอดีตเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศตามธรรมชาติในปัจจุบัน แม้จะมีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในปัจจุบันมากขึ้น แต่การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติยังคงคาดการณ์ได้ยาก แต่ก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ว่าบางส่วนของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนี้สามารถเกิดขึ้นได้โดยทั่วไป ดังนั้นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในยุคนี้จึงเปรียบเสมือนคำอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศตามธรรมชาติ จึงมีการรวมองค์ประกอบต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในอดีตมาใช้ในการวิเคราะห์ในปัจจุบัน

การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศตามธรรมชาติได้สะท้อนให้เห็นในแต่ละภูมิภาค ทั้งนี้ในครึ่งศตวรรษที่ผ่านมาพบว่าปริมาณแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่าจากยุคก่อนอุตสาหกรรม ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะเรือนกระจกอาจรวมถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโดยธรรมชาติ โดยวงจรของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศกว่า 1,000 ปีถัดไป สาเหตุเนื่องจากการหมุนของแกนโลกที่สร้างสภาวะสมดุลของโลกและพลังงานจากดวงอาทิตย์

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศจากกิจกรรมของมนุษย์

การสะสมของแก๊ส CO_2 ที่ปล่อยออกมามีด้วยกัน 3 ปัจจัยหลัก คือ

1) การเพิ่มขึ้นของประชากร จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่บนโลกซึ่งมีความจำเป็นในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรม การขนส่ง หรือการทำความร้อนภายในบ้านเรือน กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับการเกษตรและการประมง รวมทั้งการเจริญเติบโตของเมืองซึ่งจะส่งผลให้เกิดการตัดไม้ทำลายพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 – 6 พันล้านคน ในช่วงระยะเวลา 100 ปีที่ผ่านมา

เนื่องจากการผลิตอาหารจากภาคเกษตรกรรม การประมง และการแพทย์ที่เจริญก้าวหน้าทำให้สภาพชีวิตของมนุษย์ดีขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของอัตราการเจริญเติบโตของเมืองและรายได้ของเมืองเพิ่มสูงขึ้น ทำให้จำนวนประชากรโลกจาก 6,000 ล้านคน ในปี ค.ศ. 2000 อาจเพิ่มจำนวนขึ้นเกือบ 11,000 ล้านคน ในระหว่าง ปี ค.ศ. 2075 – 2100

2) ปริมาณการปล่อยแก๊ส CO_2 ต่อคน โดยค่าเฉลี่ยของแก๊ส CO_2 ที่ถูกปล่อยออกมาต่อคนบนพื้นผิวโลกเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยมาตรฐานของการอาศัยอยู่ซึ่งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และในอดีตที่ผ่านมากระบวนการเหล่านี้ได้มาซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมของมนุษย์แบบวันต่อวัน (เช่น จากรถยนต์ เครื่องทำความร้อน และเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน ฯลฯ) สำหรับการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการทำการค้าแบบเศรษฐกิจกึ่งอุตสาหกรรมไปสู่การทำการค้าแบบอุตสาหกรรมเต็มตัว หรือในบางประเทศที่มีการเปลี่ยนแปลงจากเศรษฐกิจแบบเกษตรกรรมไปสู่เศรษฐกิจแบบกึ่งอุตสาหกรรม เป็นต้น

3) ประสิทธิภาพของการใช้แก๊ส CO_2 ในช่วงไม่กี่ศตวรรษถัดไปนี้ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ ในขณะที่การใช้พลังงานถ่านหินเริ่มลดลง จึงมีความสัมพันธ์กับความสะอาดจากการเผาไหม้และการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ

2.3.3 ปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) คือ ภาวะที่ชั้นบรรยากาศของโลกกระทำตัวเสมือนกระจกที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากแสงอาทิตย์ผ่านลงมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวในช่วงอินฟราเรดที่ควรจะแผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ด้วยหมอกเมฆ รวมทั้งแก๊สเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศซึ่งช่วยทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สะท้อนกลับออกไปจากผิวโลกเสียทั้งหมด จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลกจึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลก แต่เดิมปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกมักเป็นไปตามธรรมชาติของโลกที่เกิดขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์โลก เพราะปรากฏการณ์นี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของผิวโลกในช่วงกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก โดยไม่ทำให้ร้อนเกินไปในเวลากลางวันและไม่หนาวเกินไปในเวลากลางคืนจนมนุษย์และสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ไม่สามารถจะอยู่อาศัยได้เช่นเดียวกับบนดวงจันทร์ อย่างไรก็ตาม กิจกรรมต่าง ๆ ทางเศรษฐกิจของมนุษย์ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา ทำให้เกิดการสะสมแก๊สเรือนกระจกและการเก็บกักความร้อนไว้ในชั้นบรรยากาศของโลกมากเกินสมดุล จึงทำให้พื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นจนทำให้เกิดปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระบบนิเวศบนพื้นผิวโลกที่อาจส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลกและการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในอนาคต

1) องค์ประกอบของแก๊สเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลง

องค์ประกอบของแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญนั้น นอกจากจะมีไอน้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักหรือประมาณ 2 ใน 3 แล้วยังประกอบไปด้วยแก๊สอื่น ๆ อีกหลายชนิด แต่ที่มีอิทธิพลและเป็นแก๊สที่สามารถดักรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ดีพบด้วยกัน 6 ชนิด (IPCC, 1996) คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) สารไฮโดรฟลูออโร-

คาร์บอน (HFCs) สารเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และสารซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ยังมีแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) เป็นสารที่ใช้ทำความเย็นและใช้ในกระบวนการผลิตโฟม แต่สารนี้ยังไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว

ในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบไปด้วยแก๊สหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงตามคุณสมบัติทางเคมีของแก๊สแต่ละชนิด ดังนั้นแก๊สที่มีปริมาณมากจนเกินสมดุลในชั้นบรรยากาศก็จะมีการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศมากด้วย ทั้งนี้แก๊สบางชนิดสามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานหลายร้อยปี หรือแก๊สบางชนิดอาจมีการสะสมอยู่ได้ในเวลาเพียงไม่กี่ปีก็สามารถสลายไปได้ ซึ่งแก๊สเรือนกระจกที่กล่าวถึงนี้ก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากมันมีปริมาณที่มากเกินสมดุลในชั้นบรรยากาศ มันจึงสามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศและสะสมอยู่ได้เป็นเวลานานหลายปี นอกจากนี้ แก๊สเรือนกระจกอาจแบ่งได้เป็นสองพวกตามอายุของการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ ได้แก่ แก๊สจำพวกที่มีอายุการสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศในระยะเวลาสั้น เนื่องจากแก๊สเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับไอน้ำหรือแก๊สชนิดอื่น ๆ จึงทำให้แก๊สเหล่านั้นมีอายุสะสมเฉลี่ยสั้น ส่วนแก๊สอีกพวกหนึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีอายุสะสมเฉลี่ยนานหลายปี เช่น แก๊ส CO_2, CH_4, N_2O และ CFC เป็นต้น ซึ่งแก๊สเหล่านี้นับเป็นแก๊สที่เป็นตัวการหลักของการเกิดภาวะเรือนกระจก เนื่องจากมันมีอายุสะสมเฉลี่ยยาวนานและสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าแก๊สเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากแก๊สเรือนกระจกนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนหรือดูดกลืนรังสีความร้อน โดยเฉพาะรังสีความร้อนที่โลกคายออกไป ซึ่งตารางที่ 2.2 ได้แสดงศักยภาพของแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดในการทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น

ตารางที่ 2.2 ค่าศักยภาพของแก๊สเรือนกระจกแต่ละชนิดในการทำให้อุณหภูมิโลกร้อนขึ้น

แก๊สเรือนกระจก	ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (เทียบเท่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1
มีเทน (CH_4)	21
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	310
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	140 - 11,700
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PCFs)	6,500 - 9,200
ซัลเฟอร์เฮกซาฟลูโอไรด์ (SF_6)	23,900

ที่มา: UNFCCC, 2007

นอกจากนี้ แก๊ส CO_2 เกือบทั้งหมดเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นถ่านหิน น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งเกิดจากการตัดไม้ทำลายป่า ส่วนแก๊ส CH_4 มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญจากการหมักของเศษซากพืชในแหล่งน้ำ เช่น การทับถมของต้นข้าวหรือตอข้าวจนเน่าสลายในนาข้าว เป็นต้น ส่วนแหล่งกำเนิดของแก๊ส N_2O เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่มี

ส่วนผสมของไนเตรท เป็นต้น ส่วนสาร PFCs, HFCs และ SF_6 นั้น เป็นสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยใช้เป็นตัวขับดันให้เกิดเป็นละอองฝอย เช่น ในกระป๋องสเปรย์หรือเป็นสารที่ใช้ในการเป่าลมในอุตสาหกรรมซึ่งสามารถพบเห็นได้ง่ายคือการใช้ในเครื่องทำความเย็น เช่น ตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ส่วนสาร PFCs, HFCs และ SF_6 นั้นเป็นสารที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone depleting substances) จึงเป็นสารที่อยู่ภายใต้การควบคุมตามพิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol) ซึ่งเป็นพิธีสารที่อยู่ภายใต้อนุสัญญาเวียนนา (Vienna Convention) พิธีสารนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้มีการเลิกใช้สารทั้ง 3 ชนิดนี้ โดยกลุ่มประเทศพัฒนาแล้วเลิกใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 และกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาจะต้องยกเลิกการใช้ทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2558 ในขณะเดียวกัน แก๊สอื่น ๆ ที่เหลือ อันได้แก่ CO_2, CH_4 และ N_2O นั้นอยู่ภายใต้การควบคุมโดยอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention On Climate Change: UNFCCC) (UNFCCC, 2007) โดยอนุสัญญาฯ นี้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2537 สำหรับประเทศไทยเองก็ได้มีการให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาฯ ฉบับนี้ในวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2537 และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2538 เรื่อยมา เนื่องจากอนุสัญญาฯ ฉบับนี้ไม่มีข้อผูกพันทางกฎหมายจึงทำให้ประเทศต่าง ๆ ไม่ยอมดำเนินการเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกอย่างจริงจัง ดังนั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามอนุสัญญาฯ จึงได้มีการกำหนดพันธกรณีที่มีข้อผูกพันทางกฎหมายขึ้น ซึ่งเป็นสาระสำคัญของพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ที่อยู่ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) โดยประเทศไทยได้ร่วมลงนามในพิธีสารเกียวโตตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 และให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโตในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งพิธีสารเกียวโตมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 นอกจากนั้น พิธีสารเกียวโตได้ระบุกลไกเพื่อช่วยให้ประเทศภาคีในกลุ่มภาคผนวกที่ I (Annex I Parties) สามารถบรรลุพันธกรณี ซึ่งประกอบด้วย 3 กลไกทางการตลาด คือ กลไกการดำเนินโครงการร่วมกัน (Joint Implementation: JI) กลไกการซื้อขายสิทธิ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Emission trading: ET) และกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) เป็นต้น

United Nations Environment Programme (UNEP) ในปี พ.ศ. 2531 ได้รวบรวมนักวิทยาศาสตร์ชั้นนำทั่วโลกก่อตั้งเป็นคณะขึ้นมาเพื่อศึกษาและประเมินองค์ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศขึ้นภายใต้ชื่อ International Panel on Climate Change (IPCC) จากการศึกษาของคณะ IPCC พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2, CH_4 และ N_2O ในชั้นบรรยากาศจากยุคก่อนอุตสาหกรรมถึงร้อยละ 30, 145 และ 15 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับช่วงปี พ.ศ. 2000 และมีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะ 250 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 280 ppm ในปี พ.ศ. 2293 และเพิ่มเป็น 368 ppm ในปี พ.ศ. 2543 ทั้งนี้ ในปี พ.ศ. 2534 มีการประมาณว่าปริมาณแก๊ส CO_2 ในอากาศอาจมีปริมาณมากถึง 26,000 ตัน (กรรณิการ์ กิจติเวชกุล, 2548)

นอกจากนี้ มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศกับอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก พบว่าการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลกจะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นด้วย นักวิทยาศาสตร์จึงทำการสำรวจเพื่อวัดปริมาณแก๊ส CO_2 และอุณหภูมิ

ของโลกย้อนกลับไปเมื่อ 650,000 ปีก่อน โดยทำการวิเคราะห์แท่งน้ำแข็งจาก Vostok ice core ที่ขุดเจาะมาจากทวีปแอนตาร์คติกา และทำการวิเคราะห์ฟองอากาศที่กักเก็บอยู่ในแท่งน้ำแข็ง ซึ่งทำให้เข้าใจถึงปริมาณแก๊ส CO_2 ณ ช่วงเวลานั้นและอุณหภูมิในขณะที่เกิดแท่งน้ำแข็งขึ้น ซึ่งจากการศึกษาและการวิจัยความสัมพันธ์ของปริมาณแก๊ส CO_2 และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลก เมื่อความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลกลดลง อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะลดลงตามด้วยและเมื่อความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกจะเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแก๊ส CO_2 มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก แต่เรื่องที่ทำให้น่าตกใจก็คือตลอดระยะเวลา 650,000 ปีที่ผ่านมา ไม่มีช่วงเวลาใดเลยที่ชั้นบรรยากาศโลกมีปริมาณแก๊ส CO_2 สูงเกินระดับ 300 ppm เหมือนในปัจจุบัน ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทำนายว่าถ้าปริมาณแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศมีค่าสูงถึง 450 ppm เมื่อใด จะก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วต่อสภาพอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สเรือนกระจกที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นกว่าบรรดาแก๊สเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน และก็มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกมหาศาลในอนาคต ถ้าหากโลกของเรายังไม่ยอมหยุดการปล่อยแก๊สชนิดนี้สู่ชั้นบรรยากาศโลก โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่อาศัยอยู่บนพื้นผิวโลก ประกอบกับการลดลงของพื้นที่ป่าไม้หรือพืชพรรณธรรมชาติที่จะไปช่วยดูดซับเอาแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งแก๊ส CO_2 ถึงแม้จะเป็นแก๊สที่มีจำนวนเพียงเล็กน้อย คือมีประมาณร้อยละ 0.033 เท่านั้นในชั้นบรรยากาศของโลก แต่แก๊ส CO_2 กลับมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศจะดูดซับความร้อนเอาไว้และไม่ยอมให้ความร้อนนี้ผ่านกลับออกไป เมื่อความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามามาก แต่กลับระบายออกไปได้น้อยจะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ละลาย ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นจนอาจเกิดน้ำท่วมโลกได้ในอนาคต

2) แก๊สเรือนกระจกกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (Weather) ต่างกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate) โดย Solomon *et al*. (2007) กล่าวไว้ว่า สภาพอากาศ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงเป็นรายวันหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพของอากาศในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่านั้นมาก เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในช่วงปีเทียบกับปีก่อน ๆ หรือเป็นการเปรียบเทียบระหว่างทศวรรษหรือศตวรรษ เป็นต้น แก๊สเรือนกระจกอาจไม่มีข้อมูลแสดงให้เห็นเมื่อมีการวัดสภาพอากาศ แต่ผลกระทบจากแก๊สเรือนกระจกต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นเราสามารถศึกษาผลกระทบได้ด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ โดยการเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกทั้งด้านปริมาณและความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศจะเป็นสิ่งที่จำกัดการสะท้อนกลับของพลังความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มากระทบยังโลก ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกกลับขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศ ฉะนั้น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้คาดการณ์ว่า

หากมีการดำเนินชีวิตและเศรษฐกิจดังเช่นปัจจุบัน อาจจะส่งผลให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นอีก 1 – 3.5 °C ในปี พ.ศ. 2643

ในปี ค.ศ. 1890 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อว่า Svante Arrhenius ได้ศึกษาถึงผลของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลก ในกรณีที่ลดความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศลงครึ่งหนึ่ง หลังจากคำนวณอย่างละเอียดเป็นเวลาหลายปี เขาก็ได้ข้อสรุปว่าปริมาณแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศโลกที่ลดลงครึ่งหนึ่งจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกลดลงถึง 5 °C นอกจากนี้ Svante ยังได้พิจารณาว่าโลกได้เข้าสู่ช่วงเริ่มต้นของยุคอุตสาหกรรมแล้ว ซึ่งในอนาคตปริมาณแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศจะต้องเพิ่มขึ้น อันเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินและเชื้อเพลิงต่าง ๆ และจะต้องมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอีก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Greenhouse Effect นั่นเอง ซึ่งจากการคำนวณของเขาพบว่าถ้าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศในขณะนั้นเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอีก 6 °C โดยอ้างอิงจากอัตราการใช้ถ่านหินมาเป็นเชื้อเพลิงในขณะนั้น

สภาวะที่โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นหรือที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) แม้ว่าจะมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นเพียงไม่กี่องศา แต่ผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้นจะมีความรุนแรงในหลาย ๆ ด้าน โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้มีการประมาณไว้ว่าในอดีตกว่าหมื่นปีที่ผ่านมา อุณหภูมิโลกได้เพิ่มขึ้นประมาณ 50 °C เท่านั้น หากอุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าในอดีตด้วยอัตรา 1 – 3.5 °C ดังที่กล่าวมา ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือความรุนแรงของพายุต่าง ๆ ปริมาณและรูปแบบการตกของน้ำฝนที่อาจเปลี่ยนไป บางพื้นที่หรือบางประเทศอาจได้รับประโยชน์จากสภาวะโลกร้อน แต่ในขณะที่บางประเทศอาจได้รับผลกระทบ นอกจากนี้ อุณหภูมิพื้นผิวโลกที่สูงขึ้นอาจทำให้ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นปีละ 1 – 2 มิลลิเมตร จากการละลายของน้ำแข็งในบริเวณเขตขั้วโลกหรืออาจรุนแรงถึงขนาดที่ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นอีกประมาณ 20 เซนติเมตร ภายในปี พ.ศ. 2573 ในขณะเดียวกัน ด้านหน่วยอุตุนิยมวิทยาโลกของ UN รายงานว่าในช่วงปี พ.ศ. 2548 จะเป็นทศวรรษที่อากาศของโลกร้อนที่สุดเป็นประวัติกาล โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 0.48 °C ทำให้ความร้อนบริเวณพื้นผิวโลกได้แพร่กระจายออกไปตั้งแต่แอฟริกา ออสเตรเลีย บราซิล จีน และสหรัฐอเมริกา ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนนี้ทำให้อุณหภูมิในบริเวณขั้วโลกเหนือมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นประวัติกาล ในขณะที่ปริมาณน้ำแข็งในบริเวณขั้วโลกใต้ได้ลดลงกว่าร้อยละ 20 ซึ่งเป็นผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เชื่อมโยงกันทั้งโลกตั้งแต่บริเวณขั้วโลกเหนือจนถึงขั้วโลกใต้ (Solomon *et al*., 2007)

นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้มากขึ้น โดยพืชสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้น ทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำลดลง แต่ก็มีผลกระทบอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องเช่นกัน ซึ่งล้วนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีผลต่อการทำเกษตรกรรม อาทิเช่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืช โดยในเขตหนาวจะมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชยาวนานขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางด้านผลผลิตและเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านศักยภาพของการเกษตรตามสภาพภูมิศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงด้านผลผลิตนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ

ภูมิอากาศในภูมิภาคที่อยู่ในละติจูดสูงมากกว่าภูมิภาคที่อยู่ในละติจูดต่ำ นอกจากนั้น การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลก็อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่นำมาใช้ทางการเกษตรด้วยหรือการเกิดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่เกษตรกรรม และปัญหาน้ำทะเลหนุนเข้าสู่แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน (วิสาข์ สุพรรณไพบูลย์, 2543)

การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็นต่างส่งผลกระทบแก่ปริมาณสัตว์น้ำในมหาสมุทรให้ลดจำนวนลงอย่างมาก เนื่องจากภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นส่งผลกระทบต่อการไหลของกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็นในมหาสมุทร และส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของมหาสมุทร เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ที่เคยอาศัยในบริเวณกระแสน้ำอุ่นของแคลิฟอร์เนียลดจำนวนลงกว่าร้อยละ 70 นับจากปี พ.ศ. 2493 ส่งผลให้ความชุกชุมของปลาในมหาสมุทรลดลงและทำให้นกทะเลลดจำนวนลงอย่างเห็นได้ชัด

ในขณะเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสุขภาพของมนุษย์ขึ้นอยู่กับการได้รับอาหารที่เพียงพอ น้ำดื่มที่สะอาด การดำรงชีวิตในสภาพสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ดี ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศจะทำให้เกิดภัยธรรมชาติบ่อยขึ้นและรุนแรงมากขึ้น เช่น มีผู้เสียชีวิตจากคลื่นรังสีความร้อนในเมืองชิคาโก เอเธนส์ และนิวเดลีเพิ่มขึ้นทุกปี หรือทวีปยุโรปกลางที่ประสบกับปัญหาน้ำท่วมครั้งใหญ่รุนแรงที่สุดในศตวรรษถึง 3 ครั้งในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา เป็นต้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงโดยเฉพาะการเกิดพายุเฮอริเคนและการเกิดอุทกภัย รวมทั้งแผ่นดินถล่มอันเนื่องจากฝนตกหนัก หิมะถล่ม และสภาวะอากาศแห้งแล้งที่นำไปสู่การเกิดปัญหาไฟป่า ซึ่งสามารถทำลายระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน เช่น ถนน ท่าเรือ ระบบการติดต่อสื่อสาร และการคมนาคม ความมั่นคงทางอาหาร รวมทั้งระบบการจัดส่งพลังงานและที่อยู่อาศัย ทั้งนี้กลุ่มประเทศที่มีความเสี่ยงสูง ได้แก่ ประเทศที่เป็นหมู่เกาะขนาดเล็ก ประเทศที่กำลังพัฒนา และประเทศที่มีความหนาแน่นของประชากรตามแนวชายฝั่งสูงแต่ยังขาดระบบการป้องกันที่ดี

สำหรับประเทศไทยเองก็มีศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีรายงานล่าสุดว่าระดับน้ำทะเลทางฝั่งทะเลอันดามันเพิ่มระดับสูงขึ้นประมาณ 8 – 12 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาน้ำกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง ดังเช่นที่เคยเกิดปัญหานี้แล้วในปี พ.ศ. 2548 นอกจากนี้ประเทศไทยยังประสบปัญหาภัยแล้งอย่างรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้พื้นที่ที่เป็นแหล่งเกษตรกรรมภายใน 63 จังหวัดทั่วประเทศได้รับความเสียหายกว่า 5 ล้านไร่ สร้างความเสียหายแก่ประชาชนมากถึง 9.2 ล้านคน และก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่ามากเกือบ 8 พันล้านบาท ทั้งนี้ภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดระยองซึ่งมีรายงานปริมาณน้ำฝนลดลงและพบกับปัญหาฝนทิ้งช่วงส่งผลให้ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อนำมาใช้สำหรับภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมทั้งหมดในพื้นที่ของภาคตะวันออกโดยเฉพาะแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเกิดปัญหาขาดแคลน รวมทั้งเกิดปัญหาการแย่งชิงทรัพยากรน้ำระหว่างภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม

ดังที่กล่าวมาแล้ว ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมเป็นภาคีในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change) ตั้งแต่วันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2537 และได้

ลงนามให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ภายใต้อนุสัญญาฯ เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2545 โดยมีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทำหน้าที่เป็นสำนักงานผู้ประสานงานตามอนุสัญญาฯ ซึ่งอนุสัญญาฯ นี้มีขึ้นมาเพื่อความร่วมมือในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก อันเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนและนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันก่อให้เกิดความแปรปรวนทางธรรมชาติที่นับวันจะทวีความรุนแรงและการคุกคามต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งนี้ หลักการของอนุสัญญาฯ นี้คือความร่วมมือในความรับผิดชอบที่แตกต่างกันโดยแบ่งกลุ่มประเทศในความรับผิดชอบต่อการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มประเทศภายใต้ภาคผนวกที่ 1 ได้แก่ ประเทศที่พัฒนาแล้วและกลุ่มประเทศนอกภาคผนวกที่ 1 โดยกลุ่มประเทศที่ถูกจัดอยู่ในภาคผนวกที่ 1 ล้วนเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วหรือมีระดับการพัฒนาประเทศอยู่ในระยะของการเปลี่ยนไปสู่ประเทศพัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่มีปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับสูงจึงมีพันธกรณีที่ต้องลดปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระยะที่ 1 ในระดับ 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 โดยเทียบจากฐานการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเดิมของปี พ.ศ. 2533 ซึ่งประเทศที่ถูกจัดอยู่นอกภาคผนวกที่ 1 (รวมทั้งประเทศไทย) ต้องทำหน้าที่ในการให้ความร่วมมือต่อการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบสมัครใจซึ่งไม่มีเป้าหมายในปริมาณของการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกตามพันธกรณีที่ชัดเจนแต่อย่างใด และความร่วมมืออีกทางหนึ่งที่ประเทศในกลุ่มนอกภาคผนวกที่ 1 ทำได้ภายใต้กลไกของพิธีสารเกียวโตคือการร่วมดำเนินโครงการพัฒนาที่สะอาด โดยจะดำเนินโครงการเองหรือสามารถร่วมดำเนินโครงการกับประเทศภายใต้ภาคผนวกที่ 1 ในประเทศของตนเพื่อขายปริมาณคาร์บอนที่สามารถลดได้ เพื่อนำไปใช้คำนวณในการลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนให้แก่ประเทศภายใต้ภาคผนวกที่ 1 ตามปริมาณการลดแก๊สเรือนกระจกดังที่ระบุตามข้อพันธกรณีต่อไป

ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมของโลกซึ่งในรายงานฉบับนี้ขอเจาะจงเฉพาะปัญหาโลกร้อนนั้นมีแรงผลักดันมาจาก 3 สาเหตุหลัก ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ความต้องการบริโภคอาหารของประชากรโลก และปัญหาเทคโนโลยีที่เก่าล้าสมัย เพราะเมื่อ 50 ปีที่ผ่านมา มนุษย์เป็นผู้มีส่วนสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นและจากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของพื้นผิวโลกอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 จนถึง ปี ค.ศ. 2005 พบว่าอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นสาเหตุให้ฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2005 เมืองหลายร้อยแห่งในสหรัฐอเมริกามีอุณหภูมิสูงมากจนทำลายสถิติเดิมที่เคยมีมาในอดีต ทั้งนี้ในปี ค.ศ. 2003 เกิดคลื่นรังสีความร้อนทำให้ประชาชนในทวีปยุโรปเสียชีวิตเกือบ 30,000 คน และในประเทศอินเดียก็มีผู้เสียชีวิตประมาณ 1,500 คน ในขณะที่ ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อความหลากหลายทางชีวภาพและชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งพบว่าประมาณ 20 – 30 ชนิด อาจสูญพันธุ์ได้หากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นอีก 1.5 – 2.5 $^{\circ}$C โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะทำให้ผลผลิตจากภาคเกษตรกรรมในบริเวณเขตละติจูดต่ำลดจำนวนลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร ผลกระทบจากการเกิดพายุและการเกิดฝนตกอย่างรุนแรงอาจมีผลเสียหายต่อผลผลิตจากการชะล้างพังทลายของหน้าดินและปัญหาน้ำท่วม อีกทั้งปัญหาภัยแล้งที่ทำให้ประสบปัญหาผลผลิตตกต่ำ การปศุสัตว์เสียหายเนื่องจากการขาดแคลนพืชสำหรับเป็นอาหารสัตว์ ปัญหาสัตว์เลี้ยงล้มตายลง และปัญหาการเกิดไฟป่าที่อาจทวีความรุนแรงมากขึ้น

2.4 การปล่อยแก๊สเรือนกระจกกับภาคการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันความต้องการบริโภคอาหารทะเลมีปริมาณมากกว่า 110 ล้านตันทั่วโลก (Arthur, 2008) ทั้งนี้มีความต้องการเพิ่มขึ้นประมาณ 68 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2551 จากเดิม 2.6 ล้านตัน ของปี พ.ศ. 2513 (Aubin *et al*., 2006; FAO, 2009; 2010) เนื่องจากปัญหาการเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลกและความต้องการบริโภคอาหารทะเลต่อคน นอกจากนั้นที่อาหารทะเลได้ทวีความสำคัญและกลายมาเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญมนุษย์ เพราะอาหารทะเลมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเมื่อเทียบกับอาหารประเภทโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ แต่ปัญหาการลดลงของผลิตภัณฑ์ทางทะเลเนื่องจากการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ (Naylor *et al*., 2000; Pauly *et al*., 2002) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงในด้านความสดของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการแล่นเรือออกไปทำประมงในแต่ละครั้งก็มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นจากราคาน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณของผลผลิตสัตว์น้ำที่ได้ลดจำนวนลงไปมากกว่าครึ่งจากการทำประมงในอดีต ดังนั้น กิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงเป็นทางเลือกเดียวที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับอาหารทะเลทั่วโลกได้ (FAO, 2009) ฉะนั้นจากความต้องการอาหารทะเลที่เพิ่มขึ้นนี้จึงสะท้อนให้เห็นถึงการขยายตัวของพื้นที่ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วโลก รวมทั้งการให้ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ ในแง่ของกระบวนการเพาะเลี้ยงและความก้าวหน้าในเทคโนโลยีการผลิต เพื่อตอบสนองต่อความต้องการอาหารทะเลที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก (Andersson and Levin, 1999; Tacon and Metian, 2009)

ภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกเป็นทั้งผู้บริโภคอาหารทะเลรายใหญ่และผู้ผลิตอาหารทะเลที่สำคัญของโลก ซึ่งพบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วโลกตั้งอยู่ในเอเชีย (Kharas, 2010) ทั้งนี้มากกว่า 2 ทศวรรษที่ผ่านมา การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยยังคงมีการขยายตัวทั้งในด้านพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและในด้านการผลิตอาหารทะเล อันเป็นผลสืบเนื่องจากความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคจนเกิดการขยายตัวของตลาด จนในปัจจุบันพื้นที่สำหรับฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากเริ่มแรกมีการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำเฉพาะบริเวณอ่าวไทยในจังหวัดสมุทรสาครและสมุทรสงครามเท่านั้น ก่อนจะมีการขยายฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำไปยังจังหวัดอื่น ๆ ในเขตภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลางในบางพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำจืดที่มีความสำคัญต่อการผลิตข้าวและพืชผลที่สำคัญของประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคใต้มีการขยายพื้นที่ทำฟาร์มประมงอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว เนื่องจากข้อได้เปรียบในเรื่องของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงและความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำธรรมชาติ ตลอดจนการจัดหาลูกพันธุ์สัตว์น้ำและแหล่งอนุบาลลูกพันธุ์สัตว์น้ำที่ดำเนินการได้สะดวกกว่าพื้นที่อื่น ๆ

ประเทศไทยสามารถผลิตสัตว์น้ำจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงได้เป็นอันดับ 4 ของโลก โดยในปี พ.ศ. 2553 มีรายงานปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำที่มาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้งตามชายฝั่งทะเลและการเพาะเลี้ยงน้ำจืด รวมทั้งสิ้น 1.286 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 88,165 ล้านบาท ทั้งนี้มูลค่าของผลผลิตสัตว์น้ำที่มาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงชายฝั่งมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 ของมูลค่าผลผลิตสัตว์น้ำทั้งหมด โดยพบว่ากุ้งเป็นสัตว์น้ำที่มีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงและมีจำนวนผลผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 49 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมดที่มีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยง ในขณะที่ พ.ศ. 2554 ประเทศในกลุ่มอาเซียนมีปริมาณผลผลิตรวมจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเท่ากับ 16.11 ล้านตัน โดยประเทศไทยมีผลผลิตจาก

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประมาณ 1.414 ล้านตัน จัดเป็นอันดับ 4 ของอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซีย (7.94 ล้านตัน) เวียดนาม (3.05 ล้านตัน) และฟิลิปปินส์ (2.61 ล้านตัน) ตามลำดับ นอกจากนี้ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของไทยที่มีการเลี้ยงมากที่สุดคือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย (ร้อยละ 52.98) ได้แก่ กุ้งขาวแวนนาไม ปลากะพงขาว และปลากะรัง เป็นต้น รองลงมาคือการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ร้อยละ 33.61) ได้แก่ ปลานิล ปลาดุก และปลาตะเพียนขาว เป็นต้น รวมทั้งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเล (ร้อยละ 13.44) ได้แก่ หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยนางรม เป็นต้น นอกจากนี้ ปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีมูลค่ารวม 87,198 ล้านบาท ซึ่งลดลงร้อยละ 6.3 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2554 ทั้งนี้ในช่วง 7 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2556 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีมูลค่าทั้งสิ้น 35,367 ล้านบาท ซึ่งลดลงร้อยละ 30.47 เนื่องจากสินค้าส่งออกส่วนใหญ่ที่เป็นกุ้งทะเลได้ประสบกับปัญหาโรคตายด่วน (Early Mortality Syndrome: EMS) ในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา และยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาโรคดังกล่าวได้ ขณะที่ตลาดส่งออกภายในอาเซียนที่สำคัญของไทย ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย รองลงมาคือ สิงคโปร์และเวียดนาม เป็นต้น

ดังนั้น จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการส่งออก เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้นำและมีความสามารถในการผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551ก) โดยทั่วไป ผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวมีที่มาจาก 2 แหล่ง คือ การจับในแหล่งน้ำธรรมชาติและการทำฟาร์มเพาะเลี้ยง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กุ้งขาวแวนนาไมที่มีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยง วิธีการเลี้ยง และคุณภาพของสัตว์น้ำมากขึ้นสำหรับการส่งออกเป็นหลัก ดังนั้น ผลิตภัณฑ์กุ้งขาวแวนนาไมส่วนใหญ่จึงมาจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงเพราะสามารถควบคุมคุณภาพของเนื้อสัตว์น้ำได้อย่างครอบคลุม ในขณะที่ปลากะพงขาวมีการเพาะเลี้ยงเพื่อการบริโภคภายในประเทศเป็นหลักและมีการส่งออกจำหน่ายเพียงบางส่วนเฉพาะประเทศใกล้เคียง โดยพื้นที่เพาะเลี้ยงส่วนมากมักอยู่ในภาคตะวันออกและภาคใต้ เกษตรกรส่วนใหญ่มีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวแบบพัฒนาซึ่งมีการควบคุมปัจจัยการผลิตทั้งหมด เช่น พ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำ ลูกพันธุ์สัตว์น้ำ อาหารสัตว์น้ำ ยารักษาโรค ตลอดจนกรรมวิธีในการเลี้ยง (สถาบันอาหาร, 2548) จึงทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่อปีสูงและมีคุณภาพดี

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไมหรือกุ้งขาวแปซิฟิก (*Penaeus vannamei*) หรือ Pacific white shrimp หรือที่เรียกกันทั่วไปคือ White leg shrimp เป็นกุ้งพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้พบแพร่กระจายทั่วไปตามธรรมชาติในบริเวณชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่ตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกไปจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู เนื่องจากภูมิภาคในแถบนี้มีระดับความลึกของน้ำจากเส้นแนวชายฝั่งยาวลงไปประมาณ 72 เมตร ประกอบกับมีพื้นท้องทะเลเป็นโคลนซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตและเป็นแหล่งอาหารที่อุดมสมบูรณ์ของสัตว์น้ำทุกชนิด นอกจากจะพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติแล้วยังมีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา กัวเตมาลา เอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู นิคารากัว คอสตาริกา ปานามา ฮอนดูรัส โคลัมเบีย และบราซิล เป็นต้น เนื่องจากกุ้งสายพันธุ์นี้เป็นสัตว์น้ำที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อ

สภาพแวดล้อม เลี้ยงง่าย และเจริญเติบโตได้เร็ว จึงสามารถขยายพันธุ์ตามธรรมชาติได้กว้างไกลและทำให้การเพาะเลี้ยงแพร่หลายไปทั่วโลกไม่เฉพาะแต่ในทวีปอเมริกาเท่านั้น แต่ยังแพร่หลายเข้าไปในประเทศจีน ไต้หวัน อินโดนีเซีย รวมทั้งประเทศไทยเองก็ได้มีการนำเอาสายพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมมาเริ่มทดลองเลี้ยงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 แต่การทดลองเลี้ยงในครั้งนั้นยังไม่ประสบความสำเร็จมากนัก และต่อมาในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมที่ปลอดเชื้อ (Specific Pathogen Free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยงจนสามารถผลิตลูกพันธุ์กุ้งที่มีคุณภาพและปลอดเชื้อสำหรับเกษตรกรที่มีความต้องการไปเลี้ยงในฟาร์มประมง ในขณะที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระยะนั้นประเทศไทยได้ประสบกับปัญหากุ้งโตช้าเลี้ยงไม่ได้ขนาดตามที่ตลาดต้องการ และมีปัญหาโรคเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกษตรกรต้องปรับเปลี่ยนมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแทนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในขณะนั้น นับเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่เกษตรกรนำมาเลี้ยงในช่วงที่กุ้งกุลาดำมีปัญหาในการเลี้ยง นอกจากนี้ การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมใช้ต้นทุนต่ำกว่าอีกทั้งยังใช้ระยะเวลาเลี้ยงสั้นกว่ากุ้งกุลาดำและได้ผลผลิตมากกว่าประมาณ 1 – 2 ตัน/ไร่ และเกษตรกรยังสามารถขายผลผลิตกุ้งขาวได้ในราคาใกล้เคียงกับกุ้งกุลาดำ ทำให้เกษตรกรเริ่มหันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมากขึ้นเรื่อยจนในปี พ.ศ. 2548 เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีจำนวนมากถึงร้อยละ 80 ของเกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งทั้งหมดของประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551ข)

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งทะเลขนาดเล็กมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้าความเค็มในช่วงกว้างตั้งแต่ 3 – 35 ppt (ส่วนในพันส่วน) สามารถกินอาหารได้หลายประเภท และสามารถทำการเลี้ยงได้ตลอดทั้งปี แต่ในช่วงฤดูกาลที่ไม่เหมาะสมอาจพบปัญหาในระหว่างที่เลี้ยงได้ เช่น ในช่วงหน้าร้อนระหว่างเดือนมีนาคม – เมษายน ซึ่งมีสภาพอากาศค่อนข้างร้อนจัด ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงช่วงบ่ายมีอุณหภูมิสูงเกิน 32 $^{\circ}$C ทำให้กุ้งไม่กินอาหารและส่งผลต่อสุขภาพของกุ้งที่เลี้ยงได้ ฉะนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 28 – 30 $^{\circ}$C โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรจะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมประมาณ 90 – 120 วัน ได้ผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมขนาด 80 – 90 ตัว/กิโลกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2544; พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล และคณะ, 2547) นอกจากนี้ กุ้งขาวแวนนาไมมีความสามารถในการเคลื่อนไหวได้รวดเร็วและว่ายน้ำอยู่ตลอดเวลาจึงต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิตค่อนข้างสูง ดังนั้น ระบบการให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจึงต้องเพียงพอ

จากที่กล่าวมาข้างต้น แก๊ส O_2 มีความจำเป็นสำหรับกระบวนการหายใจของกุ้งเพื่อการเผาผลาญอาหารแล้วเปลี่ยนมาเป็นพลังงานและสร้างการเจริญเติบโต ฉะนั้นระดับแก๊ส O_2 ละลายน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมต้องไม่น้อยกว่า 5 มก./ล. ซึ่งการขาดแก๊ส O_2 ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อในการเลี้ยงกุ้ง เพราะทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลงและเจริญเติบโตค่อนข้างช้า บ่อเลี้ยงกุ้งใดที่มีปริมาณแก๊ส O_2 ละลายในบ่อเลี้ยงต่ำกว่า 3 มก./ล. มีความเสี่ยงที่กุ้งจะเจริญเติบโตช้า การสะสมของเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งและพื้นบ่อเน่าเสียได้ง่าย ทำให้การเลี้ยงกุ้งมีปัญหาเกษตรกรจึงต้องรีบแก้ไขปัญหาโดยเร็วมิฉะนั้นจะเกิดปัญหาต่อเนื่องตามมาจนแก้ไขยาก นอกจากนี้การละลายของแก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ ความเค็ม และระดับความสูงจากน้ำทะเลเป็นต้น ฉะนั้น การละลายของแก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำจะลดลงเมื่อปัจจัยเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้น แก๊ส O_2 จากอากาศสามารถแพร่เข้าไปละลายน้ำได้ดีในแหล่งน้ำที่มีปริมาณแก๊ส O_2 น้อย เมื่อแก๊ส O_2 ละลายใน

แหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (แก๊ส O_2 ละลายในน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์) การแพร่ของแก๊ส O_2 จากน้ำสู่อากาศและอากาศสู่น้ำมีค่าเท่ากัน และเมื่อเราใช้เครื่องเพิ่มแก๊ส O_2 มากขึ้น ก็จะทำให้แก๊ส O_2 แพร่จากน้ำออกสู่อากาศ

การหายใจของกุ้งขาวแวนนาไม แบคทีเรีย และแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งทำให้แก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำน้อยลงต่ำกว่าจุดอิ่มตัว (Oxygen depletion) แต่ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชจะทำให้เกิดสภาวะที่แก๊ส O_2 ละลายเกินจุดอิ่มตัว (Super-saturation) ทำให้ระดับกิจกรรมการหายใจและการสังเคราะห์ด้วยแสงในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมขึ้นอยู่กับความเข้มของสีน้ำ ดังนั้น แหล่งน้ำที่มีแพลงก์ตอนพืชในปริมาณมากก็จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นด้วย ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงมีแก๊ส O_2 สูงมากในเวลากลางวันจนถึงตอนเย็น และการหายใจในเวลากลางคืนทำให้การใช้แก๊ส O_2 หมดไปอย่างรวดเร็ว และแก๊ส O_2 จะมีความเข้มข้นต่ำสุดในเวลาเช้าตรู่ ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงของแก๊ส O_2 ในรอบวันเกิดในช่วงกว้าง ส่วนแหล่งน้ำที่มีสีน้ำใสหรือมีแพลงก์ตอนพืชปริมาณน้อยส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจในน้ำน้อยลง ฉะนั้นการแกว่งตัวของแก๊ส O_2 ในรอบวันก็จะแคบลง

นอกจากนั้น ปริมาณแก๊ส O_2 ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมควรทำการวัดอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าแก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำมีความเข้มข้นที่เหมาะสมหรือไม่ ถ้าหากแก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำมีค่าสูงกว่า 4 มก./ล. ปัญหาเกี่ยวกับแก๊ส O_2 จะหมดไป ถ้าเกษตรกรใช้เครื่องเติมแก๊ส O_2 ที่มีประสิทธิภาพอย่างเพียงพอ ดังนั้น ความเข้าใจเบื้องต้นสำหรับเกษตรกรคือเมื่อเพิ่มปริมาณอาหารในบ่อเลี้ยงก็ต้องเพิ่มการให้แก๊ส O_2 ในแหล่งน้ำให้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้ การใช้เครื่องเพิ่มแก๊ส O_2 ยังมีประโยชน์ในการระบายแก๊สหรือสารประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปของแก๊ส เช่น แก๊ส CO_2 (ในสภาพน้ำที่ความเป็นกรด – ด่างต่ำ) หรือ แก๊ส NH_3 (ในสภาพน้ำที่ความเป็นกรด – ด่างสูง) ที่มีปริมาณมากในบ่อเลี้ยงกุ้งให้แพร่หลุดออกมาจากบ่อเลี้ยง เนื่องจากการใช้เครื่องเพิ่มแก๊ส O_2 ในความเร็วที่เหมาะสมจนทำให้น้ำที่ถูกดันขึ้นมาแตกเป็นฝอยเล็ก ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำให้มากขึ้นซึ่งช่วยให้อัตราการแพร่ของแก๊สดีขึ้น

สำหรับแหล่งที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลในภาคตะวันออกและภาคกลาง รวมทั้งภาคใต้บริเวณฝั่งอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลอันดามัน อันได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร ระยอง จันทบุรี ตราด ฉะเชิงเทรา ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล พัทลุง และสงขลา เป็นต้น นอกจากนี้บ่อที่ใช้เลี้ยงกุ้งในปัจจุบันเป็นบ่อรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้างและความยาวไม่แตกต่างกันมากนัก รูปแบบการเลี้ยงในปัจจุบันที่นิยมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดิน เป็นประเภทที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงกันมากที่สุด เนื่องจากมีการลงทุนต่ำและไม่ต้องใช้วัสดุมากนัก สภาพของดินก้นบ่อที่สะอาดจะทำหน้าที่ในการดูดซับสารอินทรีย์ ธาตุอาหาร และแร่ธาตุส่วนเกินที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง ทั้งยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของกลุ่มแบคทีเรียที่ช่วยทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียต่าง ๆ ซึ่งเป็นการช่วยรักษาคุณภาพน้ำ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียในน้ำให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนบ่อเลี้ยงที่มีพื้นบ่อสกปรกจะมีสารอินทรีย์และธาตุอาหารสะสมอยู่มาก จึงมีการปล่อยของเสียและธาตุอาหารรวมทั้งสารพิษออกมา ซึ่งมีผลให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม ทำให้เกษตรกรไม่สามารถ

รักษาสมดุลภายในบ่อเลี้ยงได้ ในขณะเดียวกัน บ่อดินที่ใช้เลี้ยงกุ้งได้ดีต้องมีแก๊ส O_2 ละลายน้ำในปริมาณที่เพียงพอเพื่อให้หน้าดินมีสภาพที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของกุ้งขาวแวนนาไม

- การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อที่ปูด้วยผ้าโพลีเอทีลีน เป็นบ่อดินที่มีการนำผ้าโพลีเอทีลีนมาปูรองที่พื้นบ่อรวมทั้งบริเวณขอบบ่อทั้งสี่ด้านเพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาดพื้นบ่อในระหว่างที่เลี้ยงกุ้ง ข้อดีของการปูด้วยผ้าโพลีเอทีลีนจะช่วยลดบทบาทของหน้าดินในการควบคุมระบบนิเวศภายในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น ลดความต้องการแก๊ส O_2 ของหน้าดิน เนื่องจากพื้นบ่อที่สกปรกและช่วยในการควบคุมสัตว์น้ำที่เป็นพาหะของไวรัสต่าง ๆ เข้าและออกจากบ่อเลี้ยง นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความหนาแน่นของลูกกุ้งที่ปล่อยลงเลี้ยงได้ แต่บ่อเลี้ยงที่มีการปูผ้าโพลีเอทีลีนต้องใช้เงินลงทุนสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลเสียจากการปูผ้าโพลีเอทีลีนที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น ของเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อระหว่างที่มีการเลี้ยงกุ้งจะหมุนเวียนได้เร็วขึ้น ซึ่งทำให้สีของน้ำในบ่อเลี้ยงเข้มได้ง่าย นอกจากนี้ การปูผ้าโพลีเอทีลีนไม่ดีหรือเกิดการรั่วซึมจะทำให้เกิดความชื้นและการหมักหมมของดินใต้แผ่นผ้าและมีการปล่อยแก๊สออกมาแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างหน้าดินกับผ้าโพลีเอทีลีน ทำให้ผิวพื้นไม่เรียบและของเสียที่สะสมอยู่ในบ่อระหว่างที่เลี้ยงอาจจะไหลกระจายไปอยู่ในบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บริเวณกลางบ่อจึงทำให้ยากต่อการรวบรวมเลน หากเกษตรกรต้องการเลี้ยงกุ้งในความหนาแน่นสูง เกษตรกรต้องมีอุปกรณ์ที่ดีในการจัดการเรื่องการย่อยสลายของเสียและสารอินทรีย์ภายในบ่อเลี้ยง ทั้งต้องคอยหมั่นตรวจสอบสภาพของผ้าโพลีเอทีลีนให้อยู่ในสภาพดีไม่ฉีกขาดหรือรั่วซึมอยู่สม่ำเสมอ

2.4.2 สภาพการตลาดของกุ้งขาวแวนนาไม

สำหรับการกระจายผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไม โดยทั่วไปจะมีลักษณะการเคลื่อนย้ายผลผลิตกุ้งจากแหล่งผลิตหรือบ่อเลี้ยงผ่านพ่อค้าคนกลางในระดับต่าง ๆ จนไปถึงผู้บริโภคหรือพ่อค้าส่งออก ซึ่งเป็นการซื้อ – ขายผลผลิตในระดับฟาร์มหรือตลาดท้องที่ในแหล่งเพาะเลี้ยงหรือแหล่งผลิตเอง ส่วนพ่อค้าคนกลางจะซื้อผลผลิตโดยวิธีการประมูลที่ปากบ่อแล้วจึงส่งจำหน่ายให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมไปแปรรูปเพื่อการส่งออกโดยตรง ทั้งนี้ ในบางกรณีเกษตรกรอาจจำหน่ายผลผลิตผ่านตลาดกลางค้ากุ้งให้แก่แพกุ้ง ซึ่งก็คือพ่อค้าตัวแทนหรือนายหน้าคอยทำหน้าที่ซื้อขายด้วยการประมูลในตลาดกลางและมีค่านายหน้าเป็นค่าตอบแทน

จากการศึกษาลักษณะฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมภายในจังหวัดตรัง พบว่าแหล่งรับซื้อหรือตลาดรวมผลผลิตกุ้งและสิ่งอำนวยความสะดวกในด้านการตลาดสามารถแบ่งตลาดซื้อขายกุ้งได้ 3 ระดับ คือ

1) ตลาดท้องที่ เป็นตลาดที่อยู่ในแหล่งเพาะเลี้ยงหรือแหล่งผลิตซึ่งทำหน้าที่รวบรวมผลผลิตกุ้งจากบ่อเลี้ยงต่าง ๆ จัดเป็นตลาดขนาดเล็ก ส่วนพ่อค้าคนกลางมีจำนวนน้อยราย ปริมาณการซื้อขายผลผลิตกุ้งมีไม่มากนักในแต่ละครั้ง สิ่งอำนวยความสะดวกทางการตลาดน้อย พ่อค้าคนกลางจะซื้อผลผลิตกุ้งจากเกษตรกรด้วยวิธีประมูลราคาโดยตรง

2) ตลาดท้องถิ่น เป็นตลาดที่อยู่ในเขตการค้าหรือตลาดกลางค้ากุ้งของจังหวัดตรัง ซึ่งเป็นที่รวบรวมผลผลิตกุ้งจากตลาดท้องที่ในแหล่งผลิตหรือแหล่งเลี้ยงโดยวิธีการประมูล แล้วจำหน่ายต่อไปยังตลาดอื่น ๆ ตลาดระดับนี้เป็นตลาดระดับกลาง พ่อค้าคนกลางมีจำนวนมาก ปริมาณกุ้งในการซื้อขายแต่ละครั้งมีจำนวนมาก และมีสิ่งอำนวยความสะดวกค่อนข้างสมบูรณ์

3) ตลาดปลายทาง หมายถึง ตลาดในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตลาดส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งและตลาดขายส่งกุ้งไปยังตลาดอื่น ๆ ปริมาณการค้าผลผลิตกุ้งในแต่ละครั้งมีจำนวนมาก และมีการแข่งขันกันสูง มีสิ่งอำนวยความสะดวกด้านตลาดพร้อม ทั้งยังมีอิทธิพลในการกำหนดราคาซื้อขายผลผลิตกุ้งมีข่าวสารที่สมบูรณ์ ฯลฯ

ขณะที่สถานการณ์สินค้ากุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์ส่งออกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555 พบว่าผลผลิตกุ้งทะเลจากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณทั้งสิ้น 472,881 ตัน ประกอบด้วยกุ้งขาวแวนนาไม จำนวน 457,661 ตัน (ร้อยละ 96.78) และกุ้งกุลาดำจำนวน 15,220 ตัน (ร้อยละ 3.22) เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้านี้มีการผลิตลดลงคิดเป็นร้อยละ 6.2 ซึ่งเป็นผลจากการลดลงของผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม คิดเป็นร้อยละ 8.6 แต่มีการเพิ่มการผลิตกุ้งกุลาดำมาแทนเกือบ 10 เท่าตัว (ตารางที่ 2.3) โดยส่วนใหญ่กุ้งกุลาดำที่ผลิตได้จะส่งออกไปขายที่ประเทศจีนในรูปของกุ้งที่มีชีวิตแต่ผลผลิตกุ้งกุลาดำในปีนี้มีปริมาณน้อยกว่าปีก่อน เนื่องจากปัญหาการแพร่ระบาดของโรคตายด่วนในกุ้งขาวแวนนาไมซึ่งพบปัญหานี้ในบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงของภาคตะวันออกและบางส่วนของภาคใต้ ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัดรวมทั้งการรักษาโรคดังกล่าว

สำหรับปี พ.ศ. 2556 จากราคากุ้งที่อยู่ในระดับสูงกลายเป็นปัจจัยบวกที่ชักจูงใจให้เกษตรกรมีการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัจจัยด้านลบที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตกุ้งทะเล ทั้งจากสถานการณ์โรคระบาดที่ยังคงต้องเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด รวมทั้งสภาพอากาศที่แปรปรวน และปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น (เช่น อาหารกุ้ง พลังงานที่ใช้ในฟาร์มเลี้ยง และแรงงาน ฯลฯ) รวมทั้งปัจจัยภายนอก เช่น ค่าเงินบาทที่แข็งค่า และกรณีที่สหรัฐอเมริกากล่าวหาว่าประเทศไทยมีการอุดหนุนสินค้ากุ้งทะเล ปัญหาการใช้แรงงานเด็ก และปัญหาการใช้แรงงานบังคับในอุตสาหกรรมกุ้งไทย เป็นต้น

ในขณะเดียวกัน ปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทั้งหมด 19,858 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 2,436 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านี้ พบว่าปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งลดลง คิดเป็นร้อยละ 5.6 แต่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 66.9 โดยมีปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งสดแช่เย็นและกุ้งแช่แข็งมากที่สุด (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.3 จำนวนฟาร์มเลี้ยง พื้นที่เลี้ยง และปริมาณผลผลิตกุ้งทะเลจากการเพาะเลี้ยง ปี พ.ศ. 2545 – 2555

ปี	จำนวนฟาร์ม (ราย)	พื้นที่เลี้ยง (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)			
			รวมกุ้งทุกชนิด	กุ้งกุลาดำ	กุ้งแวนนาไม	กุ้งอื่น ๆ
2545	31,179	464,881	264,924	260,574	-	-
2546	34,977	512,620	330,725	194,909	132,364	3,452
2547	33,411	445,001	360,289	106,884	251,698	1,707
2548	33,444	448,908	401,250	26,055	374,487	708
2549 *	30,732	423,628	507,184	3,977	503,207	-
2550 *	30,311	427,511	444,751	3,300	441,451	-
2551 *	25,041	342,235	466,330	1,912	464,418	-
2552 *	25,131	330,068	566,976	1,078	565,898	-
2553 *	-	-	553,909	2,393	551,516	-
2554 *	-	-	502,188	1,456	500,732	-
2555 *	-	-	472,881	15,220	457,661	-
% การเปลี่ยนแปลงเทียบกับปีก่อน	-	-	- 6.2	+ 945.3	- 8.6	-

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง

* ข้อมูลผลผลิตจากศูนย์ประสานงานความปลอดภัยด้านอาหารประมง และสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

** ข้อมูลผลผลิตจากระบบตรวจสอบข้อมูล MD Online สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

ตารางที่ 2.4 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2555

ปี	กุ้งสดแช่แข็ง		กุ้งปรุงแต่ง		กุ้งกระป๋อง		กุ้งแห้ง		กุ้งต้มสุกแช่เย็น		รวมกุ้งทุกชนิด	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2545	29,835	7,178	3,790	109	11	2	12	1	191	15	33,840	7,303
2546	26,524	6,346	4,981	50	22	4	1,571	11	20	11	33,117	6,422
2547	17,986	3,530	4,556	113	7	1	1,191	13	0	0	23,741	3,657
2548	14,776	3,058	5,399	60	65	9	3,509	28	0	0	23,749	3,155
2549	12,622	2,901	4,331	69	4.53	0.16	3,870	29	0	0	20,828	3,000
2550	7,696	1,387	56.55	9.48	39.93	6.81	3,433	22.69	749	29.01	11,974	1,455
2551	10,516	2,893	513.74	122.24	30.52	8.71	3,776	27.22	1,972	20.90	16,808	3,072
2552	8,166	1,546	602	172	23.48	4.52	3,811	37.62	3,634	23.41	16,237	1,784
2553	8,305	1,335	640	168	14.54	7.07	4,209	40.84	4,156	28.22	17,325	1,580
2554	6,723	1,257	498	98	5.29	0.77	6,653	53.50	7,156	49.41	21,034	1,459
2555	9,687	2,111	871	226	103	15.60	4,450	50.55	4,748	32.84	19,858	2,436
% การเปลี่ยนแปลงเทียบกับปีก่อน	+44.09	+67.91	+75.06	+129.52	+1,848	+1,923	-33.11	-5.51	-33.65	-33.53	-5.59	+66.92

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองต่างประเทศ กรมประมง ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากกรมศุลกากร

ตารางที่ 2.5 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2555

ปี	กุ้งสดแช่แข็ง		กุ้งปรุงแต่ง		กุ้งกระป๋อง		กุ้งแห้ง		กุ้งต้มสุกแช่เย็น		รวมกุ้งทุกชนิด	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2545	99,223	34,406	104,649	37,287	7,446	2,161	337	92	56	11	211,711	73,957
2546	118,913	35,918	108,279	34,205	6,436	1,549	363	101	101	27	234,092	71,801
2547	122,518	32,532	112,431	33,268	5,355	1,348	490	126	163	30	240,957	67,312
2548	158,407	37,827	116,674	32,463	4,259	1,097	540	126	158	32	280,038	71,544
2549	178,247	42,835	152,251	41,826	4,487	1,155	760	169	1,065	290	336,810	86,275
2550	196,769	42,689	126,334	31,588	25,554	5,689	242	61.03	1,110	286	350,009	80,313
2551	197,585	42,913	137,396	35,995	18,342	4,171	296	95.40	686	111	354,305	83,285
2552	210,821	46,205	155,478	41,953	15,668	3,541	389	93.65	686	117	383,042	91,909
2553	241,729	53,077	165,598	43,469	11,663	2,818	315	74.08	641	99	419,946	99,537
2554	201,756	52,314	178,763	54,624	6,214	1,948	254	72.09	1,467	384	388,455	109,342
2555	185,634	46,112	161,254	48,778	821	368	448	145.58	232	69.97	348,390	95,473
% การเปลี่ยนแปลงเทียบกับปีก่อน	-7.99	-11.85	-9.79	-10.70	-86.79	-81.13	+76.50	+101.94	-84.18	-81.79	-10.31	-12.68

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองต่างประเทศ กรมประมง ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากกรมศุลกากร

ส่วนการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลของไทยในปี พ.ศ. 2555 โดยมีปริมาณการส่งออกทั้งสิ้น 348,390 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 95,473 ล้านบาท การส่งออกมีปริมาณและมูลค่าลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านี้ คิดเป็นร้อยละ 10.3 และ 12.7 ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีปริมาณการส่งออกลดลง เช่น กุ้งกระป๋อง (-86.8 เปอร์เซ็นต์) กุ้งต้มสุกแช่เย็น (-84.2 เปอร์เซ็นต์) กุ้งปรุงแต่ง (-9.8 เปอร์เซ็นต์) และกุ้งสดแช่แข็ง (-8.0 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ตารางที่ 2.5) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลมีปริมาณส่งออกที่ลดลงในตลาดของสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปประมาณ 28.2 และ 15.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งไปยังตลาดในกลุ่มประเทศอาเซียนมากขึ้นเกือบ 1.5 เท่า

- ตลาดส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลที่สำคัญของประเทศไทย

(1) สหรัฐอเมริกา

ปี พ.ศ. 2555 สหรัฐอเมริกามีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลทั้งหมด 533,499 ตัน ซึ่งมีปริมาณลดลงจากช่วงเดียวกันของปีก่อน คิดเป็นร้อยละ 7.2 ทั้งนี้เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจที่ยังไม่ฟื้นตัวจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภค และเมื่อพิจารณาถึงการนำเข้าจากประเทศไทยจะเห็นได้ว่ามีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลประมาณ 135,557 ตัน โดยลดลงจากปีก่อนถึงร้อยละ 26.7 แต่ยังคงเป็นอันดับหนึ่งสำหรับยอดการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งทะเลทั้งหมด ในขณะที่มีการนำเข้าจากประเทศอินเดีย เอกวาดอร์ และอินโดนีเซียด้วย แต่กลับมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นสำหรับในปี พ.ศ. 2556 อุตสาหกรรมกุ้งทะเลไทยยังคงต้องเผชิญกับปัญหาในด้านการผลิตและการค้า อันเนื่องจากสภาพอากาศที่แปรปรวน ปัญหาโรคระบาดในฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล และปัญหาด้านแรงงานที่ประเทศไทยยังตกอยู่ในบัญชีเฝ้าระวังระดับ 2 (Tier 2 watch list) ของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ การถูกไต่สวนกรณีการอุดหนุนสินค้ากุ้ง (CVD) เป็นต้น

(2) ญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งในปี พ.ศ. 2555 รวมทั้งสิ้น 182,691 ตัน ซึ่งลดลงจากปีก่อนในช่วงเวลาเดียวกัน คิดเป็นร้อยละ 11.0 ทั้งนี้ การนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งของประเทศญี่ปุ่นมีปัจจัยเป็นลบ คือ ในช่วงปลายปีมีปัญหาค่าเงินเยนที่อ่อนค่าลงเมื่อเทียบกับเงินดอลลาร์สหรัฐฯ ประกอบกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคไปบริโภคสินค้าอื่นที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดระดับค้าปลีก นอกจากนี้ ญี่ปุ่นยังมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งจากประเทศอาร์เจนตินามากขึ้น (กุ้ง sea bob) เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกุ้งขาวแวนนาไมและกุ้งกุลาดำ

ในขณะเดียวกัน สำหรับปี พ.ศ. 2555 ญี่ปุ่นมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งจากประเทศไทยทั้งสิ้น 35,291 ตัน (ร้อยละ 19.3) รองลงมา คือ ประเทศเวียดนามมีปริมาณ 33,779 ตัน (ร้อยละ 18.5) ประเทศอินโดนีเซียเท่ากับ 31,427 ตัน (ร้อยละ 17.2) ประเทศอินเดียมีปริมาณทั้งสิ้น 27,652 ตัน (ร้อยละ 15.1) ประเทศจีนมีประมาณ 14,478 ตัน (ร้อยละ 7.9) และประเทศอื่น ๆ อีกประมาณ 40,064 ตัน (ร้อยละ 22.0) โดยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งลดลงจากประเทศจีน อินเดีย ไทย และเวียดนาม เมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อน ในขณะที่ การนำเข้าผลิตภัณฑ์กุ้งจากประเทศอินโดนีเซียกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น

(3) สหภาพยุโรป (EU)

นับตั้งแต่ประเทศไทยได้รับคืนสิทธิพิเศษทางภาษี (GSP) จากกลุ่มสหภาพยุโรป เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2548 เป็นต้นมา ทำให้ผลิตภัณฑ์กุ้งสดแช่เย็นและกุ้งสดแช่แข็งมีอัตราใหม่สำหรับภาษีนำเข้าอยู่ที่ร้อยละ 4.2 จากเดิมอัตราภาษีนำเข้าที่ร้อยละ 12 และกุ้งปรุงแต่งมีอัตราภาษีนำเข้าร้อยละ 7 จากเดิมอัตราภาษีนำเข้าร้อยละ 20 ซึ่งเป็นอัตราเดียวกันกับประเทศคู่แข่งอื่น ๆ โดยเฉพาะประเทศมาเลเซีย อินเดีย และอินโดนีเซีย เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยมีความสามารถแข่งขันทางด้านราคาได้อย่างเป็นธรรมขึ้นในตลาดสหภาพยุโรป

อย่างไรก็ตาม ขณะนี้สหภาพยุโรปได้มีการทบทวนการให้สิทธิ GSP แก่สินค้ากุ้งไทยอีกครั้ง เนื่องจากไทยมีรายได้ต่อหัวเฉลี่ยเกินกว่าเกณฑ์ที่สหภาพยุโรปกำหนด คือ มากกว่า 3,975 เหรียญสหรัฐ/คน/ปี ติดต่อกันเป็นเวลา 3 ปี (พ.ศ. 2553 – 2555) จึงเข้าข่ายที่จะถูกตัดสิทธิ ซึ่งจากเดิมอัตราภาษีนำเข้าสำหรับกุ้งสดแช่เย็นและกุ้งสดแช่แข็ง คิดเป็นร้อยละ 4.2 เป็นอัตรานำเข้าร้อยละ 12 ส่วนกุ้งปรุงแต่งซึ่งเดิมมีอัตรานำเข้าร้อยละ 7 เพิ่มขึ้นเป็นอัตรานำเข้าร้อยละ 20 เช่นเดิม ซึ่งคาดว่าจะมีผลบังคับใช้อัตราดังกล่าวในปี พ.ศ. 2557 ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงข้อมูลสถิติการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งสดแช่เย็นและกุ้งสดแช่แข็ง และกุ้งแปรรูปของไทยไปสู่สหภาพยุโรป โดยในปี พ.ศ. 2555 มีปริมาณส่งออกทั้งสิ้น 50,538 ตัน คิดเป็นมูลค่า 14,026 ล้านบาท ซึ่งปริมาณและมูลค่าการส่งออกลดลงร้อยละ 15.2 และ 12.2 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปีก่อน ทั้งนี้ ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยลดลงมากในประเทศสเปน (-44.7 เปอร์เซ็นต์) เบลเยี่ยม (-43.7 เปอร์เซ็นต์) ฝรั่งเศส (-26.7 เปอร์เซ็นต์) และอิตาลี (-31.5 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตาม ประเทศคู่ค้าที่สำคัญของไทยในสหภาพยุโรป คือ สหราชอาณาจักรและเยอรมัน ซึ่งไทยส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งไปประเทศดังกล่าวประมาณ 39.5 และ 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ ประเทศสเปน ฝรั่งเศส เบลเยี่ยม และอิตาลี มีสัดส่วน 11.6, 9.9, 7.3 และ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับของปริมาณการส่งออกไปสหภาพยุโรปทั้งหมด

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยไปสหภาพยุโรป ปี พ.ศ. 2550 – 2555

ปี	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2550	30,926	7,706
2551	39,652	9,696
2552	52,135	12,346
2553	66,148	14,923
2554	59,564	15,980
2555	50,538	14,026
% การเปลี่ยนแปลงเทียบกับปีก่อน	-15.15	-12.23

ที่มา: ส่วนเศรษฐกิจการประมง, กรมประมง, 2555

2.4.3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับปลากะพงขาว

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำกร่อยขนาดใหญ่ที่สุดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* (Bloch) ชื่อสามัญเรียกว่า Giant perch, Silver perch หรือ Sea bass เป็นปลาทะเลชนิดหนึ่งที่สามารถปรับตัวให้อยู่ในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็มได้ดี นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของหลายประเทศในเขตร้อน และประเทศทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย ได้แก่ ประเทศอินเดีย ศรีลังกา บังคลาเทศ เมียนมาร์ ไทย มาเลเซีย เวียดนาม บอร์เนียว ฟิลิปปินส์ และปาบัวนิวกินี รวมทั้งทางตอนเหนือของออสเตรเลีย และแถบชายฝั่งทะเลของจีน เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนั้นสามารถพบปลากะพงขาวได้ทั่วไปตามชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำใหญ่ ๆ ที่มีทางออกติดต่อกับทะเลที่มีป่าชายเลนขึ้นปกคลุมทางจังหวัดตราด จันทบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสงคราม ตรัง สตูล กระบี่ นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นต้น ตลอดจนถึงตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย โดยเป็นปลาที่สามารถอพยพไปมาระหว่างน้ำทะเลกับน้ำจืด โดยพ่อแม่พันธุ์ปลากะพงขาวมักอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ไม่ห่างออกไปจากชายฝั่งมากนักหรือมักอาศัยอยู่ชุกชุมตามบริเวณปากแม่น้ำ ลำคลอง และทะเลสาบ โดยทั่วไปแล้วเมื่อปลากะพงขาวมีความสมบูรณ์ทางเพศต้องอพยพไปสู่บริเวณปากแม่น้ำและทะเลเพื่อการสืบพันธุ์และวางไข่ในน้ำทะเลที่มีความเค็มประมาณ 28 – 32 ppt หลังจากนั้นไข่จะถูกพัดพาเข้าสู่บริเวณชายฝั่งและฟักออกเป็นตัว ลูกปลากะพงขาวที่ฟักออกเป็นตัวแล้วจะดำรงชีวิตในน้ำกร่อยและในน้ำจืดตามบริเวณปากแม่น้ำ ลำคลอง และปากทะเลสาบ หรือบริเวณป่าชายเลน จนปลามีอายุได้ 2 – 3 ปี มีขนาดตัว 3 – 5 กิโลกรัม ปลากะพงขาวตัวเต็มวัยจะเคลื่อนตัวออกสู่ทะเลเพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจพบปลากะพงขาวสามารถขึ้นไปอาศัยและเจริญเติบโตยังแหล่งน้ำจืดหรืออาศัยอยู่ไกลจากทะเลนับเป็นร้อย ๆ กิโลเมตรได้ จึงจัดเป็นปลาประเภทสองน้ำอย่างแท้จริง นอกจากนี้ ปลากะพงขาวยังมีความสำคัญทางเศรษฐกิจทั้งในแง่การใช้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ และในการกีฬาตกปลา อีกทั้งยังเลี้ยงเป็นปลาสวยงามได้อีกด้วย

ปลากะพงขาวเป็นปลาเศรษฐกิจที่กรมประมงต่างส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในเขตพื้นที่จังหวัดที่ติดต่อกับชายทะเลของประเทศไทยทั้งในอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากเป็นปลาที่สามารถหาพันธุ์ได้ง่าย เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตได้เร็ว เนื้อปลามีรสชาติดี สามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภทและมีราคาค่อนข้างสูง จึงเป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภค โดยทั่วไปใช้เวลาเลี้ยงปลาประมาณ 6 – 8 เดือน (ขนาดตลาด 500 – 800 กรัม) ก็สามารถจับปลาขึ้นขายได้ ทั้งยังสามารถเลี้ยงปลาได้ดีในบริเวณที่มีน้ำขุ่นและในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเค็มในช่วงกว้าง ทั้งนี้ยังเป็นปลาเนื้อขาวจึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคประกอบกับความต้องการบริโภคเนื้อปลาที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดีและมีไขมันน้อย (กรมประมง, 2536; จรวย เพชรรัตน์, 2542)

สำหรับการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในประเทศไทยนั้นมีมานานแล้ว โดยในระยะแรกเป็นการรวบรวมพันธุ์ปลาที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในการเลี้ยง จนเริ่มมีการพัฒนาอย่างจริงจังโดยสถานีประมงจังหวัดสงขลาเริ่มทำการทดลองเพาะพันธุ์ปลาชนิดนี้โดยวิธีการผสมเทียมเมื่อปี พ.ศ. 2514 แต่ประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2516 ประเทศไทยจึงเป็นประเทศแรกที่สามารถเพาะพันธุ์

ปลากะพงขาวได้สำเร็จเป็นแห่งแรกของโลก จากนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับปลากะพงขาวเรื่อยมา ส่งผลให้การเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวในประเทศไทยได้พัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบัน ประเทศไทยสามารถเพาะพันธุ์ปลากะพงขาวได้เป็นจำนวนมาก จึงทำให้การเลี้ยงปลากะพงขาวในประเทศไทยแพร่หลายมากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องการจำกัดพื้นที่ของการเลี้ยงอยู่ในบริเวณจังหวัดที่มีพื้นที่ติดต่อทะเลหรือมีน้ำทะเลแพร่กระจายไปถึงเท่านั้น สำหรับรูปแบบของการเลี้ยงปลากะพงขาวมีทั้งการเลี้ยงในบ่อดินและกระชัง สำหรับอาหารที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาวนั้น เกษตรกรยังคงใช้ปลาสดมาเป็นอาหารในการเลี้ยงปลากะพงขาวตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน (ฉลอง อักโขมี, 2544)

นอกจากนี้ กรมประมงได้ส่งเสริมการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งในบ่อดินและในกระชังอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในเขตจังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย อันได้แก่ จังหวัดตรัง พังงา กระบี่ สตูล นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปลาที่นิยมทำการเพาะเลี้ยง ได้แก่ ปลาช่อนทะเล ปลากะรัง และปลากะพงแดง (กรมประมง, 2536) แต่ปลาที่นิยมทำการเพาะเลี้ยงมากที่สุด ได้แก่ ปลากะพงขาว โดยนิยมเลี้ยงใน 2 รูปแบบ (Boonyaratpalin, 1989) คือ

(1) การเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อ เป็นการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินและบ่อซีเมนต์ ซึ่งสามารถเลี้ยงได้ทั้งในบริเวณน้ำเค็ม น้ำกร่อย และน้ำจืด

(2) การเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชัง บริเวณที่เลี้ยง คือ ปากแม่น้ำหรือลำคลองที่ติดต่อกับชายฝั่งทะเล ปากอ่าว และทะเลสาบ หรือพื้นที่ที่มีคลื่นลมน้อย ซึ่งสามารถเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำกร่อยและนำเค็ม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- การเลี้ยงในกระชังชนิดอยู่กับที่ มักจะเลี้ยงในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้น – น้ำลงน้อย โดยทั่วไปกระชังจะมีขนาด 5x5x2.5 หรือ 3x3x2.5 เมตร
- การเลี้ยงในกระชังชนิดลอย มีการเลี้ยงในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของของระดับน้ำขึ้น – น้ำลงมาก โดยทั่วไปกระชังจะมีขนาด 5x5x2.5 หรือ 3x3x2.5 เมตร

2.4.4 สภาพการตลาดของปลากะพงขาว

สำหรับตลาดซื้อขายผลผลิตปลากะพงขาวพบว่าเกษตรกรร้อยละ 90 ขายผลผลิตด้วยตนเองที่ฟาร์ม รองลงมาร้อยละ 8 มีการนำผลผลิตไปขายที่ตลาดในท้องถิ่น และอีกร้อยละ 2 นำผลผลิตไปขายที่ร้านอาหาร สำหรับรูปแบบของผลผลิตปลากะพงขาวที่ขาย พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ร้อยละ 98 ขายปลากะพงขาวที่ยังมีชีวิต ที่เหลืออีกร้อยละ 2 ขายปลากะพงขาวแบบแช่แข็ง โดยในการกำหนดราคาผลผลิตของเกษตรกรส่วนใหญ่พบว่าร้อยละ 75 ผู้ซื้อเป็นผู้กำหนดราคาเอง รองลงมาร้อยละ 14 มีการตกลงราคาตามท้องตลาด และอีกร้อยละ 11 ผู้ขายเป็นผู้กำหนดราคาเอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกำหนดราคาซื้อขายสินค้า ผู้ซื้อมักจะเป็นผู้กำหนดราคาเองทำให้เกษตรต้องเสียเปรียบ (ไพสิฐ เลาหะกูล, 2544; กฤษณ์ เสรีรัตน์, 2545; ธีรวุฒิ ชีพชัยอิสสระ, 2545) ผลผลิตปลากะพงขาวที่ได้จากฟาร์มเลี้ยงนี้เพื่อรองรับความต้องการการบริโภคภายในประเทศและส่งไปขายยังต่างประเทศ เช่น ประเทศไต้หวัน สิงคโปร์ มาเลเซีย ฮ่องกง และประเทศจีน เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ปริมาณและมูลค่าการส่งออก และนำเข้าปลากะพงขาวของไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2553

ปี	การนำเข้า		การส่งออก	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2545	13.31	0.74	62.19	5.43
2546	16.31	7.76	23.39	2.62
2547	37.29	11.64	37.79	3.43
2548	137.56	14.97	156.11	10.79
2549	84.64	29.92	84.19	17.69
2550	169.93	7.59	120.49	18.57
2551	718.53	43.70	789.70	28.45
2552	166.13	18.86	275.00	26.07
2552 (ม.ค. - มี.ค.)	70.41	8.72	18.01	3.88
2553 (ม.ค. - มี.ค.)	45.14	6.08	23.56	2.07

หน่วย : ตัน มูลค่า : ล้านบาท

ที่มา: ส่วนเศรษฐกิจการประมง, กรมประมง, 2555

ในปี พ.ศ. 2552 ผลผลิตจากการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวมีปริมาณสูงถึง 14,818 ตัน คิดเป็น 83.18 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งทั้งหมด และมีมูลค่าของผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งสิ้น 1,700 ล้านบาท แบ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินประมาณ 156.7 ล้านบาท และการเลี้ยงในกระชังเท่ากับ 1,503.4 ล้านบาท (กรมประมง, 2552) ในขณะเดียวกัน ปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีการนำเข้าผลผลิตปลากะพงขาวในรูปปลาแช่แข็ง (Frozen fish) ทั้งหมด 166.13 ตัน คิดเป็นมูลค่า 18.86 ล้านบาท ทั้งปริมาณและมูลค่าลดลง -77 และ -57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากปี พ.ศ. 2551 (ปริมาณ 718.53 ตัน มูลค่า 43.7 ล้านบาท) โดยมีการนำเข้าผลผลิตปลากะพงขาวจากหลายประเทศ ทั้งนี้มีการนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นมากเป็นอันดับหนึ่ง ประมาณ 86.44 ตัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 52 รองลงมา ได้แก่ คุ๊กไอร์แลนด์ ประมาณ 50 ตัน หรือร้อยละ 30 และจากประเทศจีน 25 ตัน หรือ ร้อยละ 15 นอกจากนี้ ประเทศไทยมีการส่งออกปลากะพงขาวในปี พ.ศ. 2552 ในรูปปลาแช่แข็ง (Frozen fish) ทั้งหมด 275 ตัน คิดเป็นมูลค่า 26.07 ล้านบาท ปริมาณและมูลค่าลดลง -65 และ -8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากปี พ.ศ. 2551 (ปริมาณทั้งสิ้น 789.7 ตัน มูลค่า 28.45 ล้านบาท) ซึ่งตลาดส่งออกหลักของผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาว คือประเทศจีนเป็นอันดับหนึ่งมีปริมาณทั้งสิน 139.32 ตัน คิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมาคือ ประเทศเวียดนามมีปริมาณ 57.48 ตัน คิดเป็นร้อยละ 21 รวมทั้งประเทศออสเตรเลียมีปริมาณ 57.26 ตัน หรือร้อยละ 21 และประเทศอื่น ๆ รวมทั้งสิ้น 3.24 ตัน หรือร้อยละ 8

2.4.5 กระบวนการย่อยและการดูดซึมโปรตีนของสัตว์น้ำ

กระบวนการย่อยและการดูดซึมโปรตีนของสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการของกระบวนการย่อยอาหารและการย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารและลำไส้ ซึ่งกระบวนการย่อยอาหารในสัตว์น้ำวัยอ่อนจะเริ่มมีการพัฒนาในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ ซึ่งการพัฒนาในส่วนของระบบทางเดินอาหารนั้นมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา (Activity) ของเอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร ในขณะที่ Baragi และ Lovell (1986) ได้แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารในกระเพาะของปลาสไตรป์บาสส์ (striped bass, *Morone saxatilis*) ที่กินอาหารแตกต่างกัน 3 ชนิด โดยพบว่ามีเอนไซม์ 4 ชนิด คือ ทริปซิน ไคโมทริปซิน คาร์บอกซีเปปไทเดส และเปปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน ปฏิกิริยาของเอนไซม์เหล่านี้กล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในแง่พัฒนาการของระบบทางเดินอาหาร โดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงจากภายในเซลล์ไปสู่การย่อยโปรตีนภายในระบบการย่อยอาหาร โดยเอนไซม์ทริปซินมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการพัฒนาของปลาจนกระทั่งปลามีอายุได้ 12 วัน และจะมีปริมาณลดลงเมื่อปลามีอายุ 16 วัน และปริมาณของเอนไซม์ทริปซินจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อปลามีอายุ 25 วัน

Walford และ Lam (1993) ได้ศึกษาพัฒนาการของระบบทางเดินอาหารและการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์โปรติโอไลติกในปลากะพงขาว พบว่ากระเพาะอาหารและ Pyloric sphincter ยังไม่เริ่มทำงานจนกระทั่งปลามีอายุ 13 วัน หลังจากฟักเป็นตัวและยังไม่สมบูรณ์จนกระทั่งปลามีอายุ 17 วัน นอกจากนี้ พบว่าปลากะพงขาวที่มีอายุ 6 วัน จะมีปฏิกิริยาของ Pinocytotic ที่ระดับสูงใน Rectal cell และเมื่อปลากะพงขาวมีอายุ 14 วัน จะสามารถดูดซึมโปรตีนขนาดใหญ่ได้ด้วย Rectal cell ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด – ด่างใน Anterior gut พบว่าปลากะพงขาวที่มีอายุได้ 8 วัน จะมีความเป็นกรด – ด่างใน Anterior gut อยู่ในช่วง 7.7 แต่เมื่อปลามีอายุ 17 วัน ความเป็นกรด – ด่างในกระเพาะอาหารกลายเป็นกรดอยู่ที่ 5.0 และเอนไซม์เปปซินเพิ่มขึ้นจากระดับเริ่มต้น และเมื่อปลามีอายุได้ 22 วัน กระเพาะอาหารอยู่ในสภาพที่เป็นกรดมากขึ้น คือ มีค่าความเป็นกรด – ด่างอยู่ที่ 3.7 และปฏิกิริยาของเอนไซม์เปปซินเกิดขึ้นได้ดีส่งผลให้ปลาสามารถย่อยโปรตีนได้ดีด้วย

ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำเป็นค่าที่แสดงให้ทราบว่าสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยอาหารหรือสารอาหารประเภทต่าง ๆ ได้ดีเพียงไร โดยทั่วไป อาหารที่กินเข้าไปจะถูกย่อยจากโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงและถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะอาหารหรือลำไส้เพื่อนำไปเผาผลาญให้เกิดพลังงาน ฉะนั้นการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารจึงอาจคำนวณจากผลต่างของอาหารที่กินเข้าไปและของเสียที่ย่อยไม่ได้แล้วถูกขับออกมาเป็นอุจจาระ ซึ่งจะได้เป็นอาหารที่ถูกย่อยหรือดูดซึมเข้าไปนั่นเอง ต่อมาได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำโดยใช้สารอินดิเคเตอร์ และสามารถทราบถึงเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของสารอาหารหรืออาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไป โดยเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของอาหารนี้จะแสดงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร (Apparent digestibility coefficient) (วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2536)

ในขณะที่ วิธีการเก็บรวบรวมมูลสัตว์น้ำก็มีความสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำเช่นกัน เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโดยวิธีอ้อมจะนิยมเก็บ

มูลสัตว์น้ำที่อยู่ในน้ำ ทำให้มูลบางส่วนอาจถูกละลายในน้ำ และสารอาหารมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์น้ำมีค่าสูงเกินจริง (Henken *et al*., 1987) ดังนั้น จึงควรเลือกใช้วิธีการเก็บมูลสัตว์ที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำแต่ละชนิดด้วย

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย (2536) ได้แนะนำวิธีการเก็บมูลของปลาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารของปลา ดังนี้

1) การตัดลำไส้ (Intestinal dissection) โดยตัดส่วนปลายของลำไส้เหนือช่องทวารขึ้นมาประมาณ 2.5 เซนติเมตร หรือมากกว่าเล็กน้อย (ขึ้นกับชนิดของปลา) เนื่องจากเป็นบริเวณที่เสร็จสิ้นจากกระบวนการย่อยอาหารและพร้อมจะขับถ่ายของเสียออกนอกตัวปลาแล้ว แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องฆ่าปลาที่ศึกษา

2) การดูดช่องทวาร (Anal suction) วิธีนี้มีอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแก้ว (Glass cannula) และมีปั๊มดูดอากาศ เพื่อดูดมูลของปลาออกมาจากช่องทวารโดยไม่จำเป็นต้องฆ่าปลาที่ศึกษา

3) การรีด (Stripping) ทำได้โดยการจับปลามารีดบริเวณท้องและช่องทวารเพื่อให้มูลออกมา แต่วิธีนี้ผู้ปฏิบัติต้องมีความชำนาญมากเพราะหากไม่ระมัดระวังอาจทำให้ปลามีอาการช้ำและตายได้

4) การรวบรวมในน้ำ (Collection from water column) วิธีนี้ต้องปล่อยให้ปลาถ่ายมูลออกมาตามปรกติ แล้วค่อยทำการรวบรวมมูลทันที ซึ่งวิธีการเก็บมูลอาจแตกต่างกันไป ตั้งแต่การใช้ผ้าตาถี่หรือตะแกรงถี่มารองอยู่ด้านล่างของตู้ทดลอง เมื่อปลาถ่ายมูลออกมาก็สามารถยกผ้าหรือตะแกรงออกหรืออาจใช้สายอากาศพลาสติกขนาดเล็กเข้าไปดูดหรือการทำกาลักน้ำให้มูลปลาออกมาหรืออาจใช้เครื่องเก็บมูลอัตโนมัติ เป็นต้น ในปัจจุบันจะนิยมใช้วิธีนี้กันมาก เนื่องจากมีการรบกวนปลาน้อย

การเก็บมูลปลาแต่ละวิธีที่กล่าวมานี้สามารถนำไปดัดแปลงตามชนิดของสัตว์น้ำได้ แต่เนื่องจากสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีการขับถ่ายมูลที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหารในปลาไน (*Cyprinus carpio*) ของ Degani *et al.* (1997) พบว่ามูลของปลาจะละลายน้ำอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากที่จะเก็บมูลมาได้โดยไม่สูญเสียจากการละลาย ดังนั้นจึงใช้วิธีการเก็บรวบรวมมูลโดยการรีดท้อง

แต่ในทางตรงข้าม การขยายตัวของฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวของประเทศไทยได้สร้างความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบในด้านลบต่อแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น การบุกรุกป่าชายเลน มลพิษจากน้ำทิ้งของฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ การเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำและดินในแหล่งเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการปล่อยแก๊สที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eutrophication) และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ในขณะเดียวกัน ความต้องการของปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่ดิน น้ำ อาหารสัตว์ พลังงาน ตลอดจนสารเคมี และยารักษาโรคต่าง ๆ ที่นำไปสู่การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งปัญหาความขัดแย้งระหว่างเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำกับเกษตรกรผู้ทำนาข้าวและปลูกพืชอื่น ๆ จนต้องมีมติจากคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2541 กำหนดให้มีการระงับการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในเขตพื้นที่น้ำจืด ทั้งยังเกิดปัญหายาปฏิชีวนะตกค้างใน

สินค้ากุ้งสดแช่แข็งที่เตรียมส่งออกไปยังสหภาพยุโรปเมื่อปลายปี พ.ศ. 2544 ในที่สุดก็มีมติจากคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 ที่กำหนดมาตรการควบคุมการใช้ยาปฏิชีวนะในสัตว์อย่างเข้มงวดเพื่อสร้างความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศต่อคุณภาพอาหารทะเลของไทย นอกจากนี้ ยังมีความพยายามขององค์กรเอกชน (NGO) หลายแห่งทั่วโลกพยายามผลักดันให้มีการบังคับใช้มาตรการต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การห้ามใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะ การห้ามการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในเขตพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม การป้องกันมลภาวะและน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์จากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว การห้ามเพาะพันธุ์โดยวิธีพันธุวิศวกรรม การห้ามนำปลาซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์มาทำเป็นอาหารสัตว์น้ำ การห้ามใช้แรงงานที่ผิดกฎหมาย และการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่ออาชีพการประมง เป็นต้น จนปัจจุบันมาตรการต่าง ๆ เหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้เป็นเงื่อนไขทางการค้าในลักษณะธุรกิจต่อธุรกิจหรือระหว่างผู้ซื้อต่อผู้ขายเพื่อให้ผู้ผลิตสินค้าต่างคำนึงถึงความต้องการของผู้บริโภคเป็นหลัก

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอันเนื่องจากในระหว่างที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการปล่อยของเสียออกมาในระหว่างการผลิต เช่น แก๊สที่เป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ความเป็นกรดของอากาศและแหล่งน้ำจากแก๊สต่าง ๆ การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eutrophication) ซึ่งเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของไนโตรเจน (เช่น ไนเตรท แอมโมเนีย และฟอสเฟต) และการลดลงของทรัพยากรทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต (Pelletier *et al*., 2007) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและของเสียต่าง ๆ จากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Wu *et al*., 1994; Enell, 1995; Wu, 1995; Muir, 2005; Colt *et al*., 2008) โดยเกิดจากการใช้พลังงานเป็นหลัก ซึ่งการใช้พลังงานในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเชื่อมโยงกับรูปแบบการเลี้ยง ความหนาแน่นของสัตว์น้ำ และวิธีการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสัมพันธ์กับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างอัตโนมัติ ในขณะเดียวกัน การใช้พลังงานสำหรับการผลิตทางอ้อม เช่น อาหารสัตว์น้ำ สารเคมี และยารักษาโรค ตลอดจนปัจจัยการผลิตวัสดุต่าง ๆ เช่นเดียวกับการใช้พลังงานในด้านการขนส่งและการรักษาความสดของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยเหล่านี้ต่างเป็นตัวแปรสำคัญระหว่างระบบของการผลิตอาหารทะเล (Colt *et al*., 2008)

ดังนั้น ภาคประมงจึงมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับปัญหาโลกร้อนด้วยกันสองด้าน คือ เป็นทั้งผู้ปล่อยแก๊สเรือนกระจกพร้อม ๆ กับแหล่งที่ช่วยทำหน้าที่ดูดซับแก๊ส CO_2 จากอากาศมาเก็บกักไว้ในมวลชีวภาพ เช่น ในพืชน้ำ สาหร่าย ตะกอนดิน หรือการกักเก็บไว้ในรูปของเนื้อเยื่อสัตว์น้ำและในซากสัตว์น้ำ เป็นต้น แก๊สที่ถูกปล่อยจากภาคประมง ได้แก่ CO_2, CH_4 และ N_2O ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการจัดการดิน พืชน้ำ สาหร่าย สัตว์น้ำ และการใช้ปุ๋ย รวมทั้งการให้อาหารสัตว์น้ำในกระบวนการของการผลิต ซึ่งแก๊ส CO_2 เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์และกระบวนการหายใจของสัตว์น้ำ ปริมาณของแก๊ส CO_2 ในระดับสูงที่สามารถตรวจสอบได้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเนื่องจากอัตราการโหลดอาหารสูง (Adams *et al*., 2012) นอกจากนี้ การปล่อยแก๊ส CH_4 ของจุลินทรีย์จากการย่อยสลายในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน มีสาเหตุสำคัญจากการขาดการจัดการอาหารและของเสียอย่างเหมาะสม (Rakocy *et al*., 2006) ขณะที่การปล่อยแก๊ส N_2O เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน รวมทั้งการให้อาหารสัตว์น้ำที่มากจนเหลือตกค้างและเกิดกระบวนการแปรสภาพกลายเป็นแก๊ส N_2O จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ หรือจากกระบวนการหมัก การย่อยสลายของเศษซาก การขับถ่าย

ปัสสาวะและอุจจาระของสัตว์น้ำ ตลอดจนการเผาเศษวัสดุเหลือใช้หรือวัชพืชซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการปล่อยแก๊ส CO_2 สู่บรรยากาศ

นอกจากนี้ การทำฟาร์มประมงยังมีการขยายตัวเข้าไปแทนที่พื้นที่ป่าชายเลนอย่างมากและรวดเร็วในหลาย ๆ ประเทศ ซึ่งพบเป็นปัญหาสำคัญในการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนในหลายประเทศ ขณะเดียวกัน พบว่าป่าชายเลนเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนทางธรรมชาติที่สำคัญ ทั้งยังเป็นแหล่งเพาะฟักตัวอ่อนของสัตว์น้ำหลายชนิด รวมทั้งเป็นกำแพงธรรมชาติที่ช่วยกำบังลมและคลื่นที่สำคัญ นอกจากนั้น ยังมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำตามธรรมชาติและนำมาซึ่งความเสื่อมโทรมของดินอันเกิดจากการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์และปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปอินทรียวัตถุในดินละลายไปกับกระแสน้ำและเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นแก๊ส CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศในที่สุด

แม้ในปัจจุบันภาคประมงจะไม่ใช่สาเหตุใหญ่ของปัญหาการเกิดแก๊สเรือนกระจกเมื่อเทียบกับภาคพลังงานและภาคอุตสาหกรรม แต่ในอนาคตเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ภาคประมงจะทวีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเป็นผู้ผลิตอาหารหลักแก่ประชากรโลก โดยอาหารทะเลอาจเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น แต่หากเกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องจากแก๊สเรือนกระจกก็จะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของอาหารทะเลได้ และเนื่องจากภาคประมงเป็นภาคที่สามารถดูดซับแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญจากชั้นบรรยากาศและสามารถตรึงไว้ในพืชน้ำ สาหร่าย สัตว์น้ำ และตะกอนดินได้ จึงสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอื่น ๆ ได้ ซึ่งเหมาะที่จะใช้กำหนดเป็นภาคยุทธศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาโลกร้อนที่ต้นเหตุได้ดี เพื่อให้ได้ข้อมูลจริงที่เป็นตัวแทนของประเทศที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือปกป้องผลประโยชน์ของประเทศและเป็นผลงานสนับสนุนให้บุคคลากรของประเทศได้มีผลงานพร้อมกับการทำหน้าที่ปกป้องผลประโยชน์ของประเทศในเวทีโลกได้ และเป็นการเตรียมการป้องกันภัยล่วงหน้า รวมทั้งแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเศรษฐกิจในด้านการเกษตรของประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2.5.1 ความหมายของการประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

UNFCCC (2007) ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินวงจรชีวิตไว้ว่า “LCA” คือ กระบวนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยพิจารณากระบวนการผลิต รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องในลักษณะของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการใช้พลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะรวมถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการต่าง ๆ ในการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศวิทยา สุขอนามัย และการนำทรัพยากรสิ้นเปลืองมาใช้เป็นหลัก โดยอาจไม่คำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์และสังคมศาสตร์มากนัก ส่วนองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า “เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต”

สุรัส ตั้งไพฑูรย์ (2547) กล่าวว่า LCA คือ การประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงและสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในเชิงปริมาณ ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในระบบการผลิต การขนส่ง การใช้ การซ่อมแซมบำรุง การทิ้ง และการทำลายผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ ปราณี พันธุมสินชัย (2541) ได้นิยามความหมายของการประเมินวงจรชีวิตว่าคือการรวบรวมและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต โดยเริ่มจากการนำวัตถุดิบมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การผลิต การเก็บ การใช้ การทิ้ง และการกำจัด หรือ คิดหาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนหมดอายุ (Cradle-to-Grave) โดยมักพิจารณาในแง่ของการใช้ทรัพยากร สุขภาพอนามัยของมนุษย์ และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

ดังนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Production life cycle) ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ตลอดจนกระบวนการผลิต การขนส่ง และการแจกจ่ายผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการใช้ผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้ใหม่หรือการแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การประเมินวงจรชีวิตจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาผลกระทบของสิ่งแวดล้อมที่เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวงจร ตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน รวมทั้งการกำจัดทิ้ง โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยชุมชน และปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคู่กับการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-design) เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิต ซึ่งส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรและพลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดภาระทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ถูกนำมาใช้แพร่หลายทั่วโลกโดยรัฐบาลและองค์กรด้านอุตสาหกรรมเพื่อช่วยให้ทราบถึงที่มาของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างผลิตภัณฑ์หรือบริการกับสิ่งแวดล้อม โดยมีการสนับสนุนให้เรียนรู้และทำความเข้าใจถึงผลิตภัณฑ์และกระบวนการต่าง ๆ ของวงจรชีวิตเพื่อที่จะหาหนทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.5.2 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีกรอบการทำงานซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในกิจกรรมที่มีความเกี่ยวข้องและเกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ในการปล่อยของเสียต่าง ๆ จากผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2) การประเมินและการหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

3) การประเมินเพื่อหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมและใช้ข้อมูลที่สามารถแสดงถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกิจกรรมเหล่านี้มาเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

2.5.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ได้แก่

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์เป็นขั้นตอนแรกในการประเมิน LCA เพื่อพิจารณาว่าควรใช้การวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมแบบใดเข้ามาช่วยและในขั้นตอนเดียวกันนี้เราต้องประเมินว่าการวิเคราะห์ใดสามารถนำมาใช้ประเมินได้ ส่วนการกำหนดขอบเขตการศึกษามีความสัมพันธ์กับเป้าหมายในการศึกษา โดยมีรายละเอียดการกำหนดดังนี้

- การกำหนดเป้าหมาย (Goal definition) เป็นการกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการทำการประเมินวงจรชีวิต โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ เช่น วิศวกรออกแบบสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการปรับปรุงรูปแบบผลิตภัณฑ์หรือผู้บริโภคนำผลการวิเคราะห์ไปเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2544) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะในส่วนของวิธีการประเมิน LCA ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ ผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดถ้าการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้เป้าหมายเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผลเพราะทำให้สามารถแจกแจงความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ของเนื้อหาได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การนำผลการวิเคราะห์จากการประเมินวงจรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการประเมิน LCA มาพิจารณา

- การกำหนดขอบเขต (Scope definition) คือ การบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและการรวบรวมสิ่งที่อำนวยประโยชน์ต่อเป้าหมายของการประเมิน LCA ซึ่งประกอบด้วยการกำหนดสิ่งที่ต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงวัตถุประสงค์ของการศึกษา การออกแบบตัวแปรการประเมินทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA และการบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของการประเมิน LCA ซึ่งการกำหนดขอบเขตประกอบด้วยขอบเขตระบบ หมายถึงขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์หมายรวมเอาหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกันที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกันหรือ

หลายอย่าง โดยสามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากรวัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่าง ๆ

ฉะนั้น หน้าที่และหน่วยการทำงานของระบบ (Function and functional unit) ซึ่งระบบอาจมีหน้าที่หลายอย่างและหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA โดยขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ดังนั้น ในการกำหนดขอบเขตของการศึกษาจึงต้องระบุหน้าที่ของระบบที่ทำการศึกษาให้ชัดเจน และหน่วยการทำงาน (Functional unit) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบ จึงมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานของการประเมิน LCA ที่สามารถวัดผลความแตกต่างของระบบได้ และมีหน้าที่พื้นฐาน 3 ประการ คือ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทน และคุณสมบัติพื้นฐาน

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึง การเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้รับมาจากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ซึ่งหมายรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ ขั้นตอนนี้รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การสร้างหน่วยข้อมูล (Data unit) และหน่วยของกระบวนการ (Process unit) การรวบรวมข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล และสุดท้ายเป็นการนำเสนอข้อมูลในรูปของแบบฟอร์มที่เข้าใจง่าย

3) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

LCIA คือ การนำข้อมูลมาแปลงค่าและแยกตามชนิดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยรับข้อมูลจากการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Inventory) เราจะทราบข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างที่เป็นสิ่งสำคัญ แต่บางอย่างอาจไม่ใช่ เพื่อให้การประเมิน LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการที่ต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม แหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ โดยการประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับประเด็นหลัก ๆ คือ การเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Selection) การนิยามประเภท (Category definition)

การจัดแบ่งหรือจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) การแปลงข้อมูลเป็นค่าความสามารถก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Characterization) การเทียบค่าความสามารถที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Weighting) และการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) เป็นต้น

4) การตีความและแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการทำรายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำกลับไปกลับมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงและคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาจึงควรคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วย

นอกจากนี้ การประเมินวงจรชีวิตถูกนำมาใช้ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยได้มีการก่อตั้งกลุ่มเครือข่ายการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Thai LCA Network) ขึ้นที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นแห่งแรก และต่อมาในปี พ.ศ. 2543 มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยหลักการประเมินวงจรชีวิตเกี่ยวกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยได้จัดตั้งโครงการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยได้รับการสนับสนุนด้านเทคนิคจากรัฐบาลญี่ปุ่นผ่านโครงการความร่วมมือทางสิ่งแวดล้อม (Green Partnership Plan) และได้รับความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน อาทิเช่น กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ซึ่งกระบวนการประเมินวงจรชีวิตอ้างอิงกับหลักการของ ISO 14000 เพื่อการจัดทำฐานระบบข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตของประเทศไทยขึ้นอยู่กับความสำคัญก่อนหลัง โดยแบ่งเป็น

- ทรัพยากรและพลังงาน เช่น พลังงาน น้ำ และการขนส่ง
- วัตถุดิบ พิจารณาจากการใช้วัตถุดิบ เช่น พลาสติก กระดาษ ไฟเบอร์ และปิโตรเคมี
- การนำกลับมาใช้ใหม่และของเสียต่าง ๆ เช่น ขยะ น้ำทิ้ง และอากาศเสีย

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่าง ๆ

2.6.1 หลักการวิเคราะห์การกระจายหรือการถ่ายเทมวลคาร์บอน (Carbon massflow concept)

กิจกรรมของมนุษย์สำหรับการผลิตอาหารที่สำคัญได้มาจากกิจกรรมปศุสัตว์และการทำฟาร์มประมง ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชซึ่งเป็นอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำเพื่อให้สัตว์น้ำได้นำคาร์บอนที่อยู่ในอาหารไปสะสมและสร้างเป็นเนื้อเยื่อจนย้อนกลับมาเป็นอาหารสำหรับมนุษย์อีกครั้ง ดังนั้น วิธีการคำนวณเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลการถ่ายเทมวลคาร์บอนสามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการดังนี้

อัตราการถ่ายมวลเทคาร์บอน = จำนวนสัตว์น้ำ x ปัจจัยการถ่ายเทคาร์บอนต่อหน่วย (2.8)

UNECE Task Force on Emission Inventories and Projections; UNECE TFEIP (2004) ได้อธิบายถึงการกระจายหรือการถ่ายเทมวลคาร์บอนโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวล (Mass conservation) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยวิธีการคำนวณการถ่ายเทมวลคาร์บอนหรือการกระจายของมวลคาร์บอนทั้งหมดในรูปของน้ำหนักกิโลกรัมคาร์บอนต่อผลผลิตปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เช่น กิโลกรัมคาร์บอนต่อ 1 กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำหรือน้ำหนักคาร์บอนต่อพื้นที่ในแต่ละแหล่งที่ใช้ในการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมตามระยะเวลาในการเลี้ยงสัตว์น้ำเฉลี่ย ซึ่งสามารถแสดงการถ่ายเทมวลคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมประมงได้ดังรูปที่ 2.7 และเขียนเป็นสมการการถ่ายเทมวลคาร์บอนได้ดังนี้

$$E_{total} = E_{metabolic} + E_{grazing} + E_{housing} + E_{storage} + E_{spreading} \quad (2.9)$$

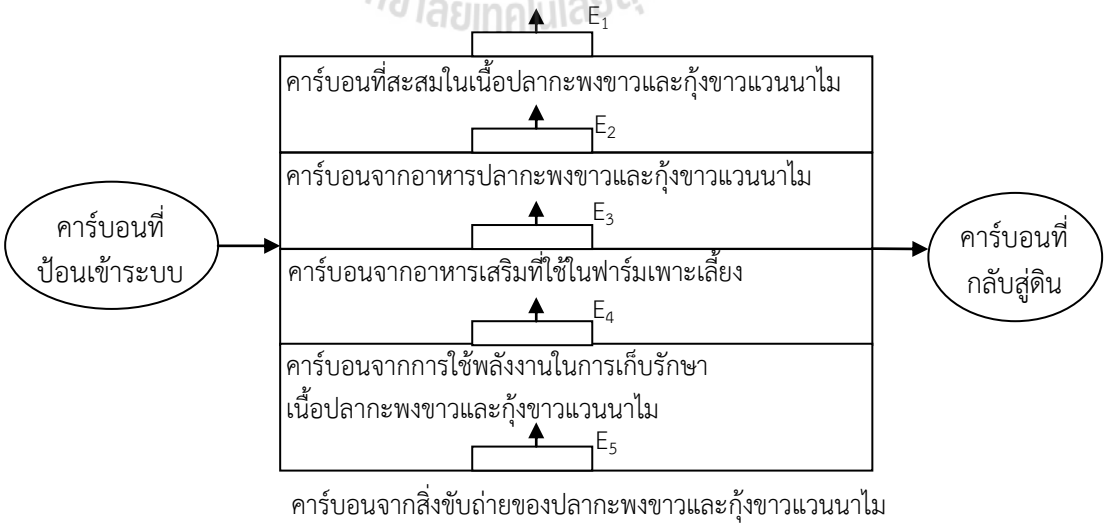
โดยที่ E_{total} = คาร์บอนจากการถ่ายเททั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำ)

$E_{metabolic}$ = คาร์บอนที่สะสมในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำ)

$E_{grazing} + E_{housing}$ = คาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำ รวมทั้งอาหารเสริมที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำ)

$E_{storage}$ = คาร์บอนจากการใช้พลังงานในการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำ)

$E_{spreading}$ = คาร์บอนในรูปของสิ่งขับถ่ายจากปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำ)



รูปที่ 2.7 ระบบการถ่ายเทมวลคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มประมง
ที่มา: UNECE, 2004

เมื่อได้ผลลัพธ์ที่ต้องการแล้วจึงนำมาสร้างความสัมพันธ์กับจำนวนของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (n_{animal}) ซึ่งจำนวนคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทมาอยู่ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม สามารถคำนวณได้โดยอาศัยผลรวมของปัจจัยการถ่ายเทมวลคาร์บอนในแต่ละส่วนของกิจกรรมการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ดังนี้

$$E_{total} = n_{animal} \times (EF_{metabolic} + EF_{grazing} + EF_{housing} + EF_{storage} + EF_{spreading}) \quad (2.10)$$

เมื่อ n = จำนวนปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละพื้นที่ (ตัว)

EF = ปัจจัยของการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำให้มาอยู่ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อพื้นที่) โดยคิดที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัมของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมหรือระยะเวลาเฉลี่ยในการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมจนสามารถจับมาเป็นอาหาร

นอกจากนี้ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (1994) ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ดังนี้

ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก
= แก๊ส CO_2 จากการใช้พลังงาน + แก๊ส CO_2 จากพื้นที่ป่าที่สูญเสีย + แก๊ส CH_4 จากการปลูกข้าว + แก๊ส CH_4 จากการประมง (2.11)

ปริมาณการปล่อยแก๊ส CH_4 จากการประมง (ตันเทียบเท่า CO_2)
= อัตราการปล่อย CH_4 ของสัตว์น้ำแต่ละประเภท x จำนวนประมง (2.12)

และแปลงหน่วยตันของ CH_4 ให้เป็นหน่วยตันเทียบเท่า CO_2 โดยคูณด้วย 21

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE) (2000) ได้รายงานปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537 ในรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537

แก๊ส	ปริมาณการปล่อยแก๊ส (พันตัน)	GWP* (เท่า)	เทียบเท่า CO_2 (พันตัน)	ร้อยละ
คาร์บอนไดออกไซด์	202,458.05	1	202,458	70.69
มีเทน	3,171.35	21	66,598	23.25
ไนตรัสออกไซด์	55.86	310	17,317	6.06
รวม			286,373	100.00

หมายเหตุ: *GWP = Global Warming Potential
ที่มา: MoSTE, 2000

2.6.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการทางสถิติ

กัลยา วานิชย์บัญชา (2545); Devore (1995) และ Edward and Frank (1998) ได้กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมเพื่อการประมาณค่าเฉลี่ยของจำนวนประชากรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าจริงกับค่าประมาณใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้น จึงต้องกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยด้วยกัน คือ ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญและความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้เกิดในการประมาณค่าเฉลี่ยประชากร (μ) ด้วยค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\overline{X}$)

ถ้าต้องการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยให้เกิดความผิดพลาดไม่เกินค่า e แล้ว ค่าประมาณแบบช่วงของค่าเฉลี่ยประชากรจะเท่ากับ $\overline{X} \pm e$ ดังสมการ

$$n = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{e}\right]^2 \qquad (2.13)$$

นอกจากนี้ ศรเทพ ธัมวาสร (2545) กล่าวว่า ความผิดพลาดในการประมาณค่าจำนวนประชากรด้วยขนาดตัวอย่างอาจเกิดขึ้นเนื่องจากค่า e = $\left|\overline{X} - \mu\right|$ ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ส่วนใหญ่จะกำหนดจำนวนประชากรให้เกิดความผิดพลาดสูงสุดได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือค่า e = (0.05) x ($\overline{X}$) ดังนั้น ศรเทพ ธัมวาสร (2545) และ Marks (1982) จึงอธิบายถึงวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่เกี่ยวกับงานวิจัยทางสัตว์ ดังนี้

$$n = \frac{n_0}{(1+\frac{n_0}{N})} \quad ; \text{เมื่อ} \quad n_0 = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{e}\right]^2 \qquad (2.14)$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดประชากร

$Z_{1-\alpha/2}$ = ค่าปกติมาตรฐานที่ได้จากตารางทางสถิต ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่น โดยงานวิจัยทางสัตว์ส่วนใหญ่จะพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.96

σ^2 = ค่าความแปรปรวนของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จากการใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\overline{X}$) ประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) ซึ่งงานวิจัยทางสัตว์ส่วนใหญ่จะคิดค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดที่ 5 เปอร์เซ็นต์

ในขณะที่ วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) เป็นวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัย เพื่อหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดและได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณอยู่ที่ร้อยละ 0.05 แสดงดังสูตร

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \qquad (2.15)$$

เมื่อ n = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดประชากรทั้งหมด

e = ระดับความคลาดเคลื่อน (0.05)

ในขณะเดียวกัน เพื่อความสะดวกต่อการคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมต่องานวิจัย จึงมีการประยุกต์ใช้ตารางสำเร็จรูปที่ได้จากสูตรคำนวณของ Yamane (1973) โดยอาศัยการคำนวณจากสูตรดังกล่าวข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 2.9

นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดย Robert Krejcie จากมหาวิทยาลัย Minisota และ Earyle Morgan จากมหาวิทยาลัย Texas โดยพวกเขาได้สร้างตารางกำหนดขนาดประชากรและขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้น เพื่อความสะดวกในการเลือกขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้นำตารางกำหนดขนาดตัวอย่างนี้มาประยุกต์ใช้การคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์น้ำและจำนวนฟาร์มเพาะเลี้ยงด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่างความคลาดเคลื่อน (e) = ± 5%
500	222
1,000	286
2,000	333
3,000	353
5,000	370
8,000	381
10,000	385
15,000	390
20,000	392
25,000	394
50,000	397
100,000	398

ที่มา: Yamane, 1973

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan

ขนาด ประชากร	ขนาด ตัวอย่าง	ขนาด ประชากร	ขนาด ตัวอย่าง	ขนาด ประชากร	ขนาด ตัวอย่าง
10	10	220	140	1200	291
15	14	230	144	1300	297
20	19	240	148	1400	302
25	24	250	152	1500	306
30	28	260	155	1600	310
35	32	270	159	1700	313
40	36	280	162	1800	317
45	40	290	165	1900	320
50	44	300	169	2000	322
55	48	320	175	2200	327
60	52	340	181	2400	331
65	56	360	186	2600	335
70	10	380	181	2800	338

ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan (ต่อ)

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง
75	14	400	196	3000	341
80	19	420	201	3500	246
85	24	440	205	4000	351
90	28	460	210	4500	351
95	32	480	214	5000	357
100	80	500	217	6000	361
110	86	550	225	7000	364
120	92	600	234	8000	367
130	97	650	242	9000	368
140	103	700	248	10000	373
150	108	750	256	15000	375
160	113	800	260	20000	377
170	118	850	265	30000	379
180	123	900	269	40000	380
190	127	950	274	50000	381
200	132	1000	278	75000	382
210	136	1100	285	100000	384

ที่มา: Krejcie and Morgan, 1970

ขณะที่ ไพบูลย์ แย้มเผื่อน (2542) และ Sullivan *et al.* (2003) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการตัดสินใจในการทำฟาร์มประมงโดยอาศัยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ ซึ่งยังไม่มีหลักการที่แน่นอนแต่มีความจำเป็นต้องหาวิธีวิเคราะห์เพื่อให้เป็นแนวทางเพื่อประกอบการตัดสินใจ โดยกล่าวถึงวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1) การจัดผลลัพธ์ในรูปแบบของเมตริกซ์ (Payoff matrix) โดยการนำทางเลือกต่าง ๆ และสถานการณ์ต่าง ๆ มาจัดเรียงกันในลักษณะตารางเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ตัวเลขที่อยู่ภายในเมตริกซ์จะเป็นค่าผลลัพธ์โดยกำหนดให้ทางเลือกอยู่ในแนวนอน ซึ่งในที่นี้ก็คือชนิดของการทำฟาร์มประมงและกำหนดให้สถานการณ์ต่าง ๆ อยู่ในแนวตั้ง ซึ่งในที่นี้ก็คือปริมาณการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ ดังนั้น ในการศึกษานี้จะพิจารณาปริมาณการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศทั้งจากตัวสัตว์น้ำและจากการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.11 (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

ตารางที่ 2.11 ตัวอย่างการจัดผลลัพธ์ในรูปของเมตริกซ์

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์	C-emission จากการใช้พลังงาน
ปลากะพงขาว		
กุ้งขาวแวนนาไม		

2) การวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจโดยการนำกฎของลาปลาซมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ บางครั้งเราไม่สามารถทราบถึงค่าความน่าจะเป็นของสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้เราไม่สามารถตัดสินใจในการเลือกทำฟาร์มประมงชนิดใดได้ ดังนั้น การนำเอากฎของลาปลาซมาประยุกต์ใช้จึงช่วยให้การกำหนดค่าของโอกาสที่อาจเกิดขึ้นจากการทำฟาร์มประมงในแต่ละสถานการณ์นั้นมีโอกาสเท่า ๆ กัน และเมื่อกำหนดให้ n เท่ากับจำนวนสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ทำให้ค่าของความน่าจะเป็นเท่ากับ 1/n ซึ่งในที่นี้จำนวนสถานการณ์การปล่อยคาร์บอนคือ n = 2 (การปล่อยคาร์บอนทั้งจากตัวสัตว์น้ำและจากการใช้พลังงาน) จึงทำให้โอกาสที่จะเกิดสถานการณ์ต่าง ๆ = ½ โดยกำหนดให้ความสำคัญของสถานการณ์ต่าง ๆ มีโอกาสเกิดขึ้นเท่ากันหมด ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์เฉลี่ยของแต่ละทางเลือกจากการรวมค่าการปล่อยคาร์บอนจากสถานการณ์ต่าง ๆ โดยนำมาคูณกับค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่อาจจะเกิดขึ้น แล้วพิจารณาผลลัพธ์เฉลี่ยของทางเลือกที่ออกมาว่าค่าใดมีค่าต่ำสุดจึงแสดงว่าเราควรเลือกทำฟาร์มประมงชนิดนั้นเพราะแสดงถึงการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศต่ำสุด ในขณะที่ ผลลัพธ์เฉลี่ยจากทางเลือกใดมีค่าสูงสุดแสดงว่าทางเลือกของการทำฟาร์มประมงชนิดนั้นจะถูกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2.12 (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542)

ตารางที่ 2.12 ตัวอย่างการคำนวณผลลัพธ์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกทำฟาร์มประมงโดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	(การปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์น้ำ + จากการใช้พลังงาน)/n	สถานการณ์การปล่อยคาร์บอน (กก.C/กก.สัตว์/วัน)
ปลากะพงขาว		
กุ้งขาวแวนนาไม		

3) กฎสูงสุดเพื่อการตัดสินใจโดยประยุกต์ใช้วิธีของเฮอร์วิกซ์ในการตัดสินใจต่อการเลือกทำฟาร์มประมงชนิดต่าง ๆ โดยในขั้นตอนแรกต้องเลือกสถานการณ์ที่จะปล่อยคาร์บอนเข้าสู่บรรยากาศสูงสุดของทุก ๆ ทางเลือกหรือสถานการณ์นั้น ๆ ก่อน จากนั้นในขั้นตอนที่สองจึงต้อง

พิจารณาทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งแสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ (Sullivan *et al*., 2003)

$$\frac{\max}{i}\left[\frac{\max Pij}{j}\right] \qquad (2.16)$$

เมื่อ P_{ij} เป็นผลลัพธ์ทางเลือก i ของสถานการณ์ j จากตารางที่ 2.11

ถ้าพิจารณาจากตารางที่ 2.11 ผลลัพธ์ซึ่งถูกจัดอยู่ในรูปของเมตริกซ์ เมื่อต้องการเลือกสถานการณ์ที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดจากทุกทางเลือกจะได้สถานะเท่ากับ X ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นตารางดังแสดงในตารางที่ 2.13 ซึ่งจะช่วยเลือกสถานการณ์ที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดจากทางเลือกต่าง ๆ ทั้งนี้จะพิจารณาผลลัพธ์จากทางเลือกใดที่ให้ค่าสูงสุด นั่นแสดงว่าทางเลือกของการทำฟาร์มประมงชนิดนั้นถูกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด ในขณะที่ ผลลัพธ์จากทางเลือกใดให้ผลลัพธ์ต่ำสุดแสดงว่าควรเลือกทำฟาร์มประมงชนิดนั้นเพราะมีการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศต่ำสุด (Sullivan *et al*., 2003)

ตารางที่ 2.13 ผลลัพธ์ที่สถานะ X

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	$\frac{\max Pij}{i(x)}$
ปลากะพงขาว	
กุ้งขาวแวนนาไม	

4) การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจโดยประยุกต์ใช้กฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำฟาร์มประมงชนิดใด ๆ นั่นคือ ถ้าเราตัดสินใจเลือกทางเลือกใดแล้ว แต่อาจไม่ได้เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดจึงทำให้เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า ค่าความเสียใจ (Regret) ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ตัดสินใจต้องการหลีกเลี่ยงโดยการเลือกค่าที่ต่ำสุดจากค่าความเสียใจสูงสุดในแต่ละทางเลือกนั้น โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการประยุกต์ใช้โดยการเลือกผลลัพธ์จากทางเลือกใดก็ตามที่มีการปล่อยคาร์บอนออกมาสูงสุดในแต่ละสถานการณ์ แล้วจึงนำผลลัพธ์ดังกล่าวนั้นลบด้วยค่าการปล่อยคาร์บอนทุกตัวจากแต่ละทางเลือกในสถานการณ์เดียวกัน ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้คือค่าความเสียใจ (Regret) ดังแสดงในตารางที่ 2.14 จากนั้นจึงนำมาเลือกเอาค่าที่ต่ำสุดของแต่ละทางเลือก ซึ่งช่วยทำให้การตัดสินใจนั้นถูกต้องมากยิ่งขึ้นและมีค่าความเสียใจหรือความผิดพลาดน้อยลง สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\frac{\min}{i}\left[\frac{\max Rij}{j}\right] \qquad (2.17)$$

เมื่อ R_{ij} คือ ค่าความเสียใจ สำหรับทางเลือก i และ j ของสถานการณ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.14 ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกจากการทำฟาร์มประมง

ทางเลือกของการทำประมง	$\left[\frac{\max Rij}{j}\right]$
ปลากะพงขาว	
กุ้งขาวแวนนาไม	

จากตารางที่ 2.14 ผลลัพธ์ที่ต่ำสุดจากทางเลือกต่าง ๆ ที่ได้เลือกมาแล้วนั้นแสดงว่าทางเลือกของการทำฟาร์มประมงชนิดนั้นถูกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้สูงสุด ในขณะที่ผลลัพธ์ของทางเลือกใดที่มีค่าสูงสุด แสดงว่าเราควรเลือกทำฟาร์มประมงชนิดนั้น เพราะมีการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศต่ำสุด

2.7 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

อมรรัตน เสริมวัฒนกุล และคณะ (2548) ได้กล่าวถึงอาหารของสัตว์น้ำและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตอาหารไว้ว่า อาหารสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของสัตว์น้ำ จำนวนผลผลิตสัตว์น้ำ และคุณภาพของสัตว์น้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากอาหารสัตว์น้ำนับเป็นต้นทุนส่วนใหญ่คิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนทั้งหมดในการเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็มีเป้าหมายสำคัญคือ “กำไร” ซึ่งได้จากการเลี้ยงสัตว์น้ำให้เจริญเติบโต มีอัตราการรอดตายสูงและต้นทุนในการเลี้ยงต่ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ เกษตรกรผู้เลี้ยงต้องมีการจัดการฟาร์มที่เหมาะสม การให้อาหารที่มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อชนิดและขนาดของสัตว์น้ำที่เลี้ยง นอกจากนี้ ลักษณะของอาหารสำเร็จรูปที่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีต้องเกาะกันเป็นเม็ดไม่แตกร่วน มีความน่ากินสูง และความคงทนในน้ำได้ดี โดยอาหารดังกล่าวอาจเป็นอาหารที่ทำขึ้นเองหรืออาจซื้อมาใช้ก็ได้ หากเป็นอาหารที่ผลิตขึ้นเอง ผู้ผลิตต้องมีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำอาหาร การเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมด้วย แต่ถ้าเป็นอาหารสำเร็จรูปที่ซื้อมาควรรู้หลักการพิจารณาเลือกซื้อเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณภาพดี

นอกจากนี้ Hartung and Phillips (1994) กล่าวว่า มนุษย์เริ่มให้ความสนใจเรื่องของแก๊สเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากระบบการผลิตสัตว์มากขึ้น ซึ่งมีความรุนแรงและเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ จึงได้มีการศึกษาชนิดและปริมาณของแก๊สเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากการทำฟาร์มประมงเพื่อหาทางป้องกันหรือลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก่อให้เกิดแก๊ส NH_3 และ CH_4 ในระหว่างดำเนินกิจกรรมประมง ซึ่งแก๊สทั้งสองชนิดนี้เป็นแก๊สที่มีความเสี่ยงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของมูลสัตว์น้ำและอาหารสัตว์น้ำโดยกลุ่มจุลินทรีย์ รวมทั้งการปล่อยจากตัวสัตว์น้ำเองผ่านการหายใจ ฉะนั้น การลดการปล่อยแก๊ส CH_4 จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญซึ่งไม่เพียงแค่เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังลดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจให้น้อยลงอีกด้วย

ในขณะที่ Sommer *et al*. (2000) กล่าวว่า ถ้ามีการควบคุมจำนวนสัตว์ให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการบริโภคของประชากรโลก จะทำให้ปริมาณการเลี้ยงสัตว์ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนมากจนเกินความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งยังช่วยให้มูลสัตว์มีปริมาณน้อยลงและสามารถจัดการได้ง่ายขึ้น ฉะนั้น สิ่งสำคัญในการลดการแพร่กระจายของแก๊ส CH_4 อันเนื่องจากการสะสมของมูลสัตว์และการย่อยสลายของมูลสัตว์ คือ

- การเก็บรักษามูลสัตว์ไว้เพื่อใช้งานในรูปของแข็ง ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าการเก็บไว้ในรูปของเหลว
- การพัฒนาระบบในการควบคุมการแพร่กระจายของมูลสัตว์ที่ดี
- การเพิ่มระบบเติมอากาศที่ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์มาอยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 ซึ่งดีกว่าในรูปของแก๊ส CH_4
- ลดระยะเวลาของการเก็บรักษามูลสัตว์ โดยสามารถนำมูลสัตว์ไปใช้ประโยชน์ได้เร็วขึ้น
- มูลสัตว์เปียกให้เก็บใส่ภาชนะและเก็บรักษาไว้ในที่เย็น เช่น อาจเก็บไว้ใต้ดิน เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายของคาร์บอนช้าลง
- การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในระบบปิดซึ่งสามารถลดการกระจายของแก๊ส CH_4 ได้มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ Canadell and Pataki (2002) ได้กล่าวถึงแนวโน้มของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรคาร์บอนที่น่าสนใจ ดังนี้

- ควรทำการศึกษาวิธีการวัดแก๊ส CO_2 รวมทั้งการหาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน (Carbon fluxes) และการทดลองวัดแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นจริงจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยมีการขยายการศึกษาให้ครอบคลุมในทุก ๆ ภูมิภาค เช่น ในมหาสมุทรซึ่งอยู่ในบริเวณซีกโลกใต้หรือในทวีปเอเชียในภูมิภาคเขตร้อน เพื่อให้สามารถอธิบายระบบคาร์บอนที่เกิดขึ้นจริงของทั้งโลกได้
- ควรมีการพัฒนาข้อมูลการกระจายคาร์บอนให้มีความละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการพัฒนารูปแบบใหม่นี้ควรมาจากการใช้ข้อมูลในหลาย ๆ แหล่ง เพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคาร์บอนได้
- การปรับปรุงวิธีการประมาณค่าของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้
- การศึกษาทำความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและวัฏจักรไนโตรเจนที่มีผลต่อวัฏจักรคาร์บอนในเชิงของข้อจำกัดของสารอาหาร
- การศึกษาวิเคราะห์ เพื่อสร้างความเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ของคาร์บอนระหว่างกลไกของแหล่งเก็บกักคาร์บอน (Carbon sinks) และแหล่งกำเนิดคาร์บอน

ในขณะเดียวกัน งานวิจัยของ Wortmann *et al*. (2004) กล่าวว่า การรบกวนวัฏจักรคาร์บอนจะทำให้ระดับแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดการเร่งรอบวัฏจักรของน้ำให้เกิดเร็วขึ้นด้วยและเพิ่มการแปรปรวนของสภาพดิน ฟ้า อากาศ ซึ่งมีผลต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตต่อไป

สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นมีเทคนิคและเครื่องมือหลากหลายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยรูปแบบในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามักสนใจเพียงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมอันมาจาก

การปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิตหรือการใช้พลังงานเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมและหลากหลายมากขึ้น ซึ่งเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment; EIA) การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA) การประเมินด้านเทคโนโลยี (Technological Assessment: TA) การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Systems: EMS) การตรวจสอบสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing: EA) การประเมินรอยเท้าทางนิเวศน์ (Ecological Footprint: EF) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นต้น (Berg *et al.*, 1996)

Arnold (2000) ได้เปรียบเทียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยกันสองวิธี คือ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA) และการประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการประเมิน EIA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งมีความเหมาะสมเฉพาะในส่วนของโรงงานหรือโครงการเพื่อพิจารณาว่ามีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร และช่วยในการยืนยันการตัดสินใจทำกิจกรรมหรือโครงการนั้น ๆ โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ส่วนการประเมิน LCA นั้นเป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งออกเป็นสามทางหลัก ๆ คือ ผลกระทบทางสุขภาพมนุษย์ ผลกระทบทางระบบนิเวศวิทยา และการนำทรัพยากรธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการได้

นอกจากนั้น การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์และมีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในการผลิตสัตว์ (van der Werf and Petit, 2002) โดยพิจารณาผ่านการใช้วัสดุและพลังงานต่าง ๆ ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการจัดการวัตถุดิบ ขบวนการผลิต การขนส่ง และการกระจายผลิตภัณฑ์ไปสู่มือผู้บริโภค ตลอดจนการใช้ผลิตภัณฑ์และการบำรุงรักษาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่หรือการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น (Curran, 1993; Guinée, 2002; ISO, 2006) ซึ่งจะช่วยในการประเมินเชิงลึกของระบบการผลิตและกระบวนต่าง ๆ เพื่อเน้นถึงวิธีการในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การประเมิน LCA ได้รับการปรับปรุงใหม่เพื่อให้สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์อาหารทะเลด้วย (Mungkung and Gheewala, 2007) โดยการประเมิน LCA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินทางการเพาะเลี้ยงในรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive) และการเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive) (Aubin *et al*., 2009; Pelletier and Tyedmers, 2010; Phong *et al*., 2011)

Bunting และ Pretty (2007) ได้ทำการศึกษาการผลิตปลาแซลมอนที่มีระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกันทั้งในด้านลักษณะและปริมาณของวัสดุ การใช้ทรัพยากร และการใช้พลังงาน รวมทั้งได้ทำการประเมินการปล่อยมลพิษต่อหน่วยการผลิตในแต่ละภูมิภาคด้วย นอกจากนี้ Pelletier *et al*. (2009) ได้นำวิธีการประเมิน LCA มาใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจาก

ระบบการผลิตปลาแซลมอนโดยเลือกศึกษาจากชนิดของแหล่งพลังงานที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตปลาแซลมอนในแต่ละภูมิภาคที่แตกต่างกันของประเทศนอร์เวย์ อังกฤษ แคนาดา และชิลี เป็นต้น

Mungkung *et al*. (2006) ได้สนับสนุนให้นำวิธีการประเมิน LCA มาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำฉลากคาร์บอนสำหรับผู้บริโภคด้วย แต่ในทางกลับกัน Pelletier และ Tyedmers (2008) กล่าวว่าการประเมิน LCA ในปัจจุบันเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งแตกต่างจากการทำฉลากคาร์บอน ในขณะเดียวกัน Ellingsen *et al*. (2009) ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดในการกำหนดมาตรฐานของการทำฟาร์มประมงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการอภิปรายในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Diana (2009) ซึ่งได้ศึกษาโดยใช้หลักการประเมิน LCA ในการตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหรือความหลากหลายทางชีวภาพ เพื่อนำมาพัฒนารูปแบบการทำฟาร์มประมงที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

นอกจากนี้ Guttormsdóttir (2009) ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำประมงปลาคอดแช่แข็งในประเทศไอซ์แลนด์โดยใช้วิธีที่แตกต่างกันสองวิธี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ปลาคอดแปรรูปน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่ได้จากเรือประมงต้องใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการเผาไหม้ประมาณ 1.1 ลิตร และมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเท่ากับ 5.14 กิโลกรัม เทียบเท่า CO_2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

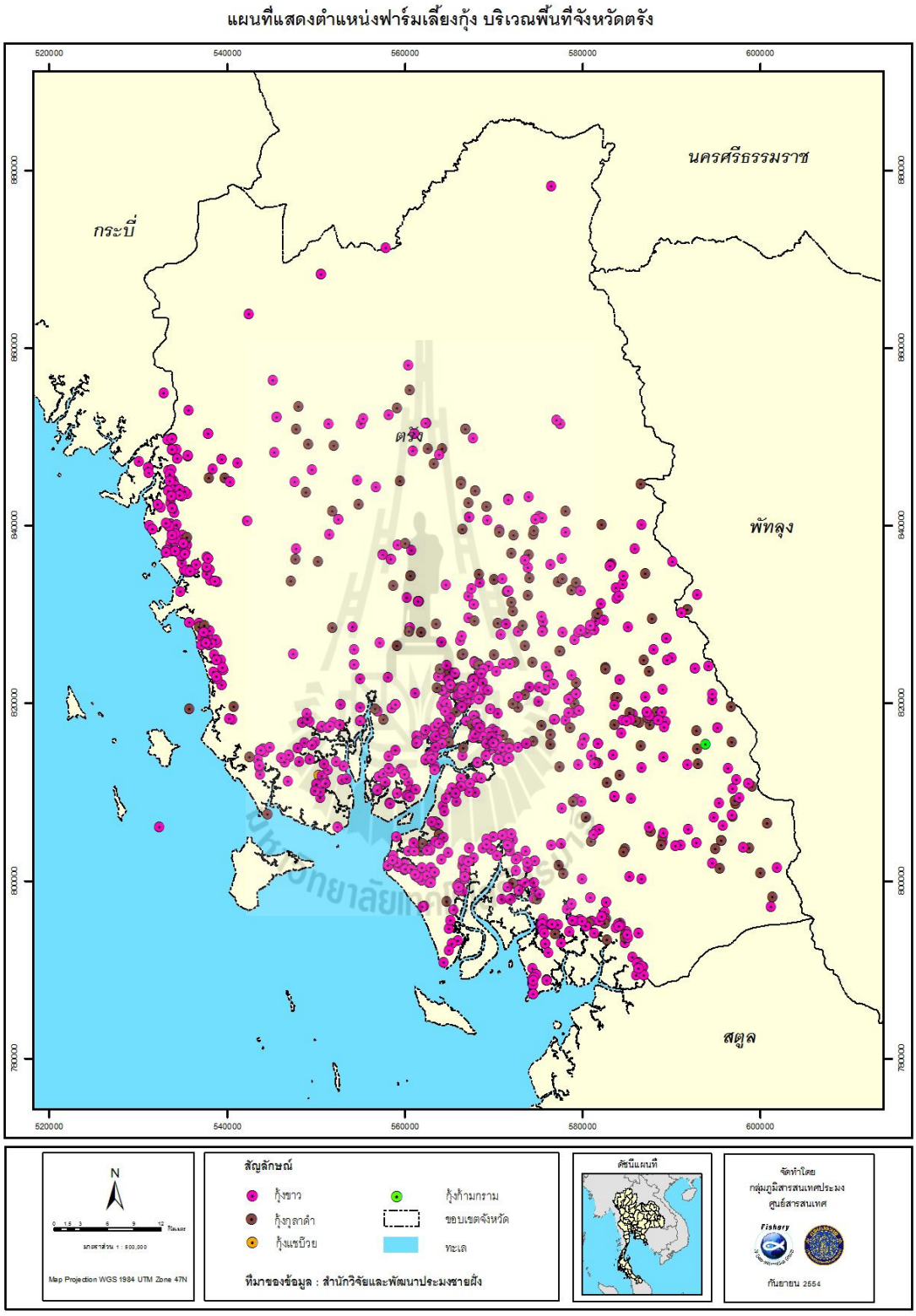
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

3.1 ชนิดของฟาร์มประมงและพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา

การดำเนินการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมจากการทำฟาร์มประมงในพื้นที่จังหวัดตรัง เพื่อให้การศึกษาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานจึงเลือกการประกอบกิจการฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรังเป็นพื้นที่ศึกษา เพราะการดำเนินกิจกรรมฟาร์มประมงทั้งสองชนิดนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดตรังและมีจำนวนเกษตรกรผู้ทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อดินเป็นจำนวนมาก

กระบวนการศึกษานี้มีความเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งจัดเป็นผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารและการแปรรูปคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำที่ถูกปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมกิน โดยจะเปลี่ยนมาเป็นคาร์บอนในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม รวมทั้งคาร์บอนในรูปของมูลสัตว์น้ำ โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง และรายละเอียดในการกระจายผลผลิตสัตว์น้ำจากสะพานปลา ตลาด หรือโรงงานแปรรูป รวมทั้งเกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง

การศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายในการศึกษาโดยพื้นที่ของจังหวัดตรังประกอบด้วย 10 อำเภอ ทั้งนี้ พื้นที่ที่มีการประกอบกิจการฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีทั้งสิ้น 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกันตัง สิเกา วังวิเศษ ย่านตาขาว ปะเหลียน และหาดสำราญ เป็นต้น โดยมีฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้ขึ้นทะเบียนกับกรมประมงจังหวัดตรังจำนวน 897 ฟาร์ม มีเนื้อที่ฟาร์มทั้งหมด 9,381 ไร่ และฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวจำนวน 232 ฟาร์ม มีเนื้อที่ฟาร์มทั้งหมด 84 ไร่ (กรมประมง, 2554)



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งฟาร์มเลี้ยงกุ้งภายในจังหวัดตรัง
ที่มา: กรมประมง, 2554

3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การสำรวจตัวอย่างด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลเพียงบางส่วนของประชากรทั้งหมด เพื่อเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ประชากรหมายถึงจำนวนของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำทั้งสองชนิด ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้คำนวณหาขนาดตัวอย่างจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่ขนาดความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ (ปรารถนา ยศสุข, 2551) โดยประยุกต์ใช้ตารางกำหนดขนาดตัวอย่างของ Krejcie และ Morgan (1970) เนื่องจากเป็นวิธีหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (ประธาน เกิดกล่ำ, 2549) ทั้งนี้ยังมีความเหมาะสมกับจำนวนประชากรสัตว์น้ำและจำนวนฟาร์มประมงด้วย โดยสามารถคำนวณจำนวนตัวอย่างของฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ตารางของ Krejcie และ Morgan (1970) ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้วในตารางที่ 2.10 บทที่ 2

จากตารางคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดของ Krejcie และ Morgan (1970) ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างอยู่ที่ร้อยละ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้จำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงและจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ใช้ฐานข้อมูลเกษตรกรที่ขึ้นทะเบียนฟาร์มประมงกับกรมประมงจังหวัดตรัง ปี พ.ศ. 2553) ซึ่งจำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงและตัวอย่างสัตว์น้ำทั้งสองชนิด ในแต่ละอำเภอสามารถคำนวณได้ตามสัดส่วนจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ต้องการ โดยเทียบสัดส่วนจากจำนวนฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมของเกษตรกร รวมทั้งจำนวนของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่มีการเลี้ยงในบ่อดิน ซึ่งมีรายชื่ออยู่ในฐานข้อมูลของประมงจังหวัดตรัง โดยสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละฟาร์มประมงตามอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดตรัง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 จำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงและตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว แยกเป็นอำเภอในจังหวัดตรัง

อำเภอ	กุ้งขาวแวนนาไม				ปลากะพงขาว			
	จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม	
	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
กันตัง	583,920,600	170	285	86	73,363	212	125	78
สิเกา	250,872,000	73	168	51	13,267	38	28	18
วังวิเศษ	44,250,000	13	56	17	-	-	-	-
ย่านตาขาว	89,340,000	26	94	28	-	-	-	-
ปะเหลียน	287,307,600	84	192	58	18,234	53	55	34
หาดสำราญ	113,277,600	33	102	30	33,351	97	24	15
รวม	**1,368,967,800**	**400**	**897**	**270**	**138,215**	**400**	**232**	**145**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง

อำเภอ	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	A_1	$A_1/100*n$	= X_1
2	A_2	$A_2/100*n$	= X_2
.	.	.	.
.	.	.	.
10	A_{10}	$A_{10}/100*n$	= X_{10}
Total	100		n_A

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง

อำเภอ	ฟาร์ม (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	F_1	$F_1/100*n$	= f_1
2	F_2	$F_2/100*n$	= f_2
.	.	.	.
.	.	.	.
10	F_{10}	$F_{10}/100*n$	= f_{10}
Total	100		n_f

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละฟาร์มประมง ของอำเภอที่ 1 ของจังหวัดตรัง

ฟาร์ม	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	AF_1	$AF_1/100*X_1$	= Y_1
2	AF_2	$AF_2/100*X_1$	= Y_2
.	.	.	.
.	.	.	.
f_1	.	.	.
Total	100		X_1

สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารสัตว์น้ำและมูลสัตว์น้ำแต่ละชนิดในแต่ละฟาร์มประมง รวมทั้งตัวอย่างเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้จากฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง โดยการศึกษานี้ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2555

วิธีการเก็บข้อมูลประมงโดยการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในด้านน้ำหนักและชนิดของอาหารสัตว์น้ำที่แต่ละฟาร์มใช้เลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม รวมถึงน้ำหนักตัวของสัตว์น้ำและปริมาณมูลสัตว์น้ำ นอกจากนี้ ยังสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเลี้ยงสัตว์น้ำ (ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง แก๊ส LPG และไฟฟ้า) ซึ่งสำรวจจากฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอโดยอาศัยการจับสลาก (ดัดแปลงมาจาก Cavana *et al*., 2000) เมื่อทราบน้ำหนักและชนิดของอาหารสัตว์น้ำที่ใช้แล้ว จึงนำตัวอย่างอาหารสัตว์น้ำแต่ละชนิดและมูลสัตว์น้ำจากการสุ่มเลือกอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1) วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารสัตว์น้ำ มูลสัตว์น้ำ เนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้จากฟาร์มประมงในแต่ละอำเภอของจังหวัดตรัง โดยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

- ร้อยละของความชื้นและของแข็งทั้งหมดจากน้ำหนักแห้งคงที่ที่ 70 ºC โดยนำตัวอย่างทั้งหมดที่ทราบน้ำหนักแล้วมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวิธีการของ Manlay *et al*. (2004)

- ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids) พิจารณาโดยน้ำหนักที่หายไปจากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบและของแข็งคงตัว (Fixed solids) พิจารณาโดยน้ำหนักที่เหลือจากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ºC จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที) โดยวิธีการของ APHA, AWWA, WEF (1992)

2) ปริมาณคาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำ บรรยากาศ และคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

- ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของตัวอย่างน้ำ เช่น CO_2, Alkalinity, CO_3^{-2}, HCO_3^{-}, DO, COD, BOD, Temperature, pH และ Salinity วิเคราะห์โดยวิธีของ APHA, AWWA, WEF (1992)

3) วิเคราะห์ข้อมูล

- อัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอน ได้แก่ การปล่อยคาร์บอน (C–emission) จากการใช้พลังงานภายในฟาร์มประมง การปล่อยคาร์บอน (C–emitted) ผ่านการหายใจ การย่อยอาหารและการขับถ่ายของเสียจากตัวสัตว์น้ำ รวมทั้งการตรึงคาร์บอน (C–fixation) ไว้ในร่างกายของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

- ประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอนของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

- สัดส่วนการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกับการตรึงคาร์บอนไว้ในเนื้อสัตว์น้ำที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน

- สัดส่วนการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์น้ำที่เท่ากัน

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิงหรือแก๊ส LPG ที่ใช้ในฟาร์มประมง (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจับปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

- ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการขนส่งลูกพันธุ์สัตว์น้ำ อาหาร แก๊ส LPG รวมทั้งผลผลิตปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมไปสะพานปลา ตลาด หรือโรงงานแปรรูป (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

4) นำตัวอย่างอาหารสัตว์น้ำ เนื้อสัตว์น้ำ และมูลสัตว์น้ำที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนโดยใช้เครื่องมือ LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในอาหารสัตว์น้ำ เนื้อสัตว์น้ำ และมูลสัตว์น้ำ ในขณะที่การวัดปริมาณคาร์บอนจากมูลสัตว์น้ำเปียกสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือ GAS Analyzer (Manlay *et al*., 2004)

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

การดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมจากการทำฟาร์มประมงในพื้นที่จังหวัดตรัง สามารถสรุปขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนของการเข้าถึงแหล่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่ต้องการ และปริมาณของข้อมูลประมงจากการคำนวณในข้างต้น โดยได้ทำการเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ด้วยการออกสำรวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวในพื้นที่จังหวัดตรัง ทั้งนี้ได้สัมภาษณ์เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำในรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเลี้ยงสัตว์น้ำภายในฟาร์มประมง อันได้แก่ ชนิดและปริมาณของอาหารสัตว์น้ำในฟาร์มประมง รูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำหนักตัวของสัตว์น้ำ ตลอดจนผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทั้งหมดที่จับได้ สัดส่วนของซากสัตว์น้ำแต่ละชนิด ตัวอย่างน้ำจากแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และปริมาณมูลสัตว์น้ำ รวมถึงข้อมูลการใช้พลังงานต่าง ๆ ภายในฟาร์มประมง (ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊ส LPG) นอกจากนี้ การเก็บตัวอย่างในฟาร์มประมงโดยใช้วิธีจับสลากเพื่อเลือกตัวอย่างปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมเฉพาะที่กำลังให้เนื้อเท่านั้น โดยไม่สนใจเพศหรือสภาวะต่าง ๆ ของร่างกายปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

- ขั้นตอนที่ 2 เป็นส่วนของการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณคาร์บอน ทั้งนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นการหาปริมาณคาร์บอนจากมูลสดของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวด้วยเครื่อง GAS Analyzer และส่วนที่สองเป็นการหาปริมาณคาร์บอนจากตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นมาแล้วด้วยเครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec

Micro ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นี้ ได้แก่ ตัวอย่างอาหาร ตัวอย่างเนื้อ และตัวอย่างมูลแห้งของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม โดยการเผาในความร้อนที่อุณหภูมิ 950 – 1000 ºC ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนจากตัวอย่างนี้ใช้น้ำหนักตัวอย่างละ 0.2 กรัม ที่ถูกห่อด้วย Tin foil capsule แล้วนำไปใส่ในเตาเผาที่รองรับด้วย Crucible ซึ่งเป็นระบบการเผาภายใต้บรรยากาศออกซิเจน โดยตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์และรีดักชั่นให้เป็นก๊าซผสมของ N_2, CO_2, H_2O และ SO_2 จากนั้นมีการใช้ปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนให้เป็นก๊าซบริสุทธิ์และวัดปริมาณด้วยตัวตรวจวัดชนิด Thermal Conductivity Detector และ Infrared Detector ซึ่งมีการประมวลผลและควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์แสดงค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ในคราวเดียวกัน ส่วนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นี้ได้มาด้วยวิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience sampling) (สุรินทร์ นิยมางกูร, 2542; ศรเทพ ธัมวาสร, 2545; Cavana *et al*., 2000) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างในการวิเคราะห์อย่างน้อย 200 ตัวอย่าง

เมื่อได้ค่าคาร์บอนจากห้องปฏิบัติการแล้วจึงนำมาหาค่าปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากกิจกรรมการทำฟาร์มประมงเทียบกับเวลา (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน) และนำมาใช้ในการหาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวผ่านการกินอาหารสัตว์น้ำ เพื่อบ่งชี้ถึงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนเทียบกับเวลา และการตรึงคาร์บอนให้มาสะสมอยู่ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม โดยการสมดุลมวลรวมทั้งการปล่อยคาร์บอนในแต่ละส่วนของขั้นตอนการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากการทำฟาร์มประมงในแต่ละชนิดในรูปของแก๊ส CO_2, CH_4 และมูลสัตว์น้ำ โดยอาศัยหลักการถ่ายเทมวล (UNECE, 2004) ดังสมการการปล่อยคาร์บอนรวมที่เขียนได้ดังสมการที่ 3.1

$$E_{total} = n_{animal} \times (EF_{metabolic} + EF_{spreading} + EF_{energy\ equivalent}) \qquad (3.1)$$

โดยที่ n_{animal} = จำนวนของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

E_{total} = คาร์บอนที่ถูกปล่อยทั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อวัน)

$EF_{metabolic}$ = คาร์บอนที่ปล่อยจากกระบวนการหายใจของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

$EF_{energy\ equivalent}$ = คาร์บอนที่ปล่อยจากการใช้พลังงานในการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม เช่น พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในฟาร์มประมงและตลาด รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แช่เย็นเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

$EF_{spreading}$ = คาร์บอนที่ปล่อยจากสิ่งขับถ่ายในรูปของเสียจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)

การศึกษาความสัมพันธ์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำฟาร์มประมงแต่ละชนิดโดยอาศัยความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนที่ได้ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมกับปริมาณคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม รวมทั้งปริมาณคาร์บอนที่จะถูกปล่อยออกมาจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม และจากการใช้พลังงานต่าง ๆ ภายในฟาร์มสำหรับกระบวนการเลี้ยงสัตว์น้ำ การจับสัตว์น้ำ การขนส่ง และการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) อัตราการปล่อยคาร์บอน (C–emitted) คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดซึ่งถูกขับถ่ายออกมาจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมในรูปของมูลสัตว์น้ำ (C–output) และในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลสัตว์น้ำ การหายใจและการย่อยอาหารของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (C–emitted) เทียบกับเวลา ซึ่งการปล่อยคาร์บอน (C–emitted) จากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมได้ โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2

อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted)
= (ปริมาณ C ในมูลของสัตว์น้ำ + แก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์น้ำ + ปริมาณ C จากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์น้ำ) เทียบกับเวลา (3.2)

2) อัตราการตรึงคาร์บอน (C-fixation) จากการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำ (C-input) ไปสู่ตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมโดยน้ำหนักอาหารสัตว์น้ำและน้ำหนักของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมเทียบกับเวลา โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3 ซึ่งอัตราการตรึงคาร์บอนนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะช่วยให้จัดลำดับความสามารถในการใช้อาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิดได้ โดยสัตว์น้ำชนิดใดที่มีความสามารถในการใช้อาหารได้สูงจะมีอัตราการตรึงคาร์บอนที่สูงด้วย

อัตราการตรึงคาร์บอน (C-fixation)
= (ปริมาณ C ทั้งหมดในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ – ปริมาณ C ในมูลของสัตว์น้ำ – ปริมาณ C จากแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์น้ำ – ปริมาณ C จากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์น้ำ) เทียบกับเวลา (3.3)

3) การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อพิจารณาว่าการทำฟาร์มประมงชนิดใดที่มีความเหมาะสมในการผลิตอาหารประเภทเนื้อมากกว่ากัน นั่นคือสัตว์น้ำชนิดนั้นต้องมีค่าประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอนสูงกว่าสัตว์น้ำ

ชนิดอื่นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน วิธีการหาค่าประสิทธิภาพการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมสามารถคำนวณได้ดังนี้

ประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอน
= (C จากอาหารสัตว์น้ำ – C ที่ถูกปล่อย) ÷ C จากอาหารสัตว์ (3.4)

4) การวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำฟาร์มประมงแต่ละชนิดสำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากสัดส่วนระหว่างคาร์บอนที่ถูกปล่อยต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงให้อยู่ในรูปเนื้อสัตว์น้ำเพื่อเป็นอาหารสำหรับมนุษย์ หมายความว่าสัตว์น้ำชนิดใดมีความเหมาะสมในการผลิตอาหารประเภทเนื้อจะต้องมีสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งวิธีการหาค่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำได้โดย

$$\text{สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับการตรึงคาร์บอนที่เท่ากัน} = \frac{\text{คาร์บอนที่ถูกปล่อย}}{\text{คาร์บอนที่ถูกตรึง}} \quad (3.5)$$

$$\text{สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับปริมาณคาร์บอนในอาหารที่เท่ากัน} = \frac{\text{คาร์บอนที่ถูกปล่อย}}{\text{คาร์บอนในอาหารสัตว์น้ำ}} \quad (3.6)$$

โดย คาร์บอนที่ถูกตรึง = ค่าคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม
คาร์บอนที่ถูกปล่อย = ค่าคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากการหายใจ การย่อยอาหารและมูลสัตว์น้ำ
คาร์บอนในอาหารสัตว์น้ำ = ค่าคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากอาหารปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม

3.5 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย

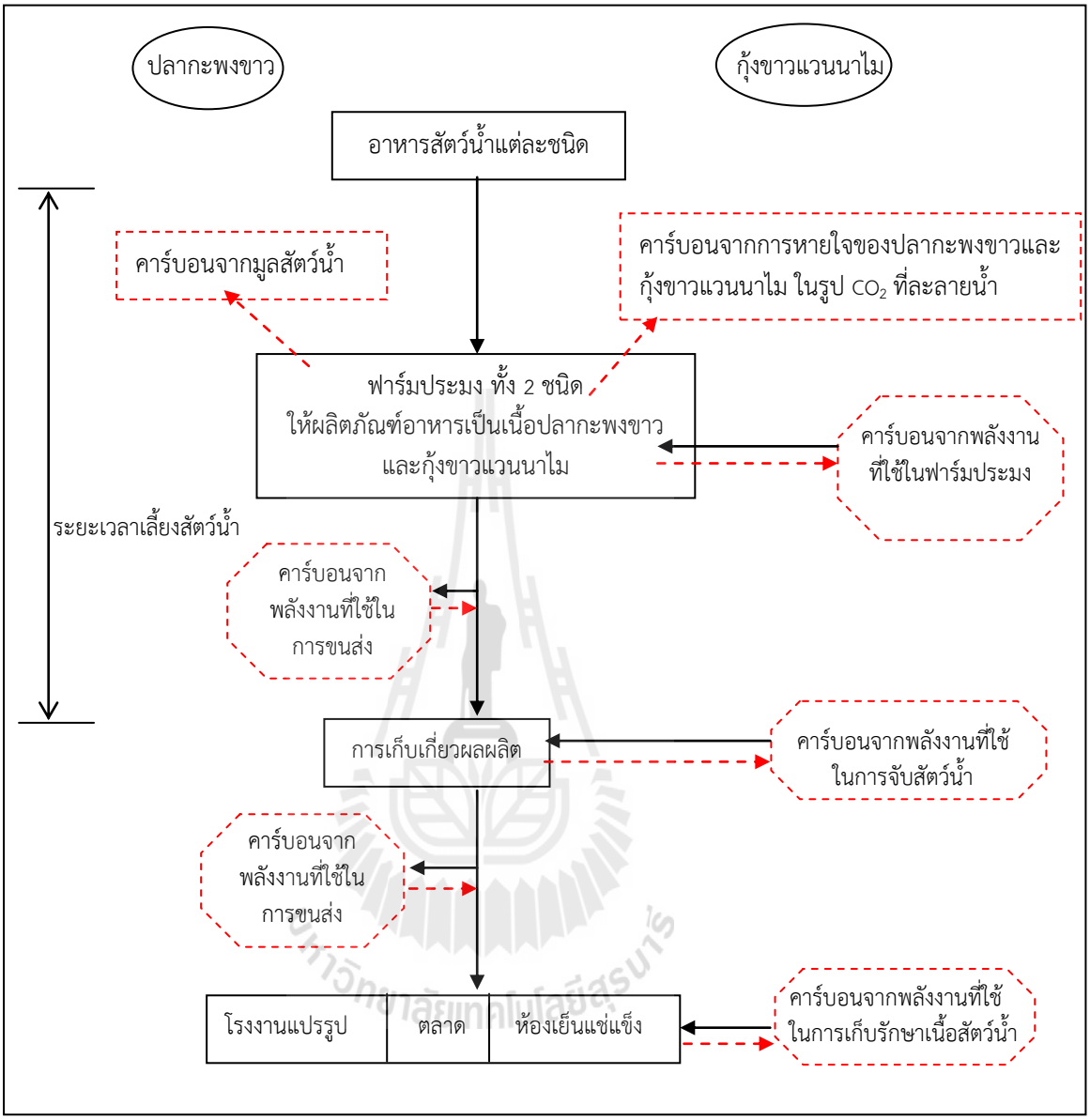
การศึกษาครั้งนี้เป็นการพิจารณาการถ่ายเทมวลคาร์บอนเริ่มจากอาหารสัตว์น้ำที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำในฟาร์มประมงไปสู่ตัวสัตว์น้ำ ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาตามระยะเวลาของการเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำที่ปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมสามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้จริง (โดยหักลบด้วยปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในมูลสัตว์น้ำ ลมหายใจ และการย่อยอาหารของสัตว์น้ำ) ซึ่งคาร์บอนที่เหลือนี้จะถูกนำมาตรึงสะสมไว้ในรูปของเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อเป็นอาหารสำหรับการบริโภคของมนุษย์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับการเก็บข้อมูลทางการประมงแต่ละชนิดในการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลตามฟาร์มประมงของแต่ละอำเภอในจังหวัดตรัง

วัน/เดือน/ปี ...../...../.....

ชนิดสัตว์น้ำ	อาหารที่ใช้เลี้ยง (กิโลกรัม/ตัว/วัน)		เวลาที่เลี้ยงสัตว์น้ำจนจับขึ้นขาย		น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่จับขายตลาด (กิโลกรัม/ตัว)	น้ำหนัก หรือ ร้อยละ (% หรือ กิโลกรัม/ตัว)		เนื้อที่ได้เฉลี่ย (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	น้ำหนักมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	ปริมาณพลังงานเฉลี่ย (กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน)			
	ชนิด	ปริมาณ	ระยะเวลา (วัน)	จำนวน (ตัว)		ซากสัตว์	เนื้อสัตว์			ฟาร์ม	ขนส่ง*	จับสัตว์น้ำ	รักษาความสด
ปลากะพงขาว													
กุ้งขาวแวนนาไม													

หมายเหตุ: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันหรือแก๊ส LPG สำหรับให้แสงสว่าง ระบบการให้อากาศในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมัน สำหรับใช้ในการจับปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม
ปริมาณพลังงานไฟฟ้า สำหรับทำความเย็นเพื่อการเก็บรักษาเนื้อปลากะพงขาวและเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม
ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในการขนส่งปลากะพงขาวและกุ้งขาวจากฟาร์มไปตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ
* พันธุ์สัตว์น้ำ อาหารสัตว์น้ำ แก๊ส LPG และผลผลิตสัตว์น้ำ



รูปที่ 3.2 ขอบเขตการศึกษาการถ่ายเทและการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวจากการทำฟาร์มประมงในจังหวัดตรัง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 การสำรวจปริมาณฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิดในจังหวัดตรัง

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดตรังพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งและมีความนิยมในการทำฟาร์มเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในพื้นที่จังหวัดตรัง รวมทั้งในหลาย ๆ จังหวัดใกล้เคียง ในขณะเดียวกัน ยังได้มีการพัฒนารูปแบบและระบบการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นและได้ผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำที่มีคุณภาพตามความต้องการของตลาดและผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนฟาร์มเลี้ยงและพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการบริโภคอาหารทะเลของประชากรโลกที่เพิ่มจำนวนขึ้น

ในการสืบค้นข้อมูลทะเบียนเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากกรมประมงจังหวัดตรัง พบว่าพื้นที่ที่มีการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวภายในจังหวัดตรังมีทั้งสิ้น 6 อำเภอ จากพื้นที่ทั้งหมด 10 อำเภอ โดยมีเกษตรกรผู้ประกอบกิจการฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมประมงจังหวัดตรังจำนวน 897 ฟาร์ม มีเนื้อที่รวมทั้งสิ้น 9,381 ไร่ ซึ่งมีการประกอบกิจการฟาร์มประมงด้วยกัน 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกันตัง สิเกา วังวิเศษ ย่านตาขาว ปะเหลียน และหาดสำราญ เป็นต้น ในขณะเดียวกัน เกษตรกรผู้ประกอบกิจการฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวที่ได้ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกับกรมประมงจังหวัดตรังมีจำนวน 232 ฟาร์ม มีเนื้อที่รวม 84 ไร่ และพบว่ามีการประกอบกิจการฟาร์มประมงเพียง 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอกันตัง สิเกา ปะเหลียน และหาดสำราญ เป็นต้น (กรมประมง, 2554) ซึ่งจากการลงสำรวจพื้นที่ฟาร์มประมงพบว่าอำเภอกันตังมีการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวมากที่สุดในจังหวัดตรัง รองลงมาคือ อำเภอปะเหลียน ทั้งนี้เนื่องจากความได้เปรียบในด้านสภาพพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการประกอบกิจการฟาร์มประมงและคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.1.1 ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรัง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการลงพื้นที่สำรวจและการเก็บตัวอย่างฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรัง จำนวนทั้งสิ้น 270 ฟาร์ม และตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมจำนวน 400 ตัว จากผลการสำรวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรังพบว่าเกษตรกรมีรูปแบบการทำฟาร์มประมงและกระบวนการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ คือ

1) ขนาดของฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรมีพื้นที่ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมค่อนข้างหลากหลาย โดยมีขนาดฟาร์มประมงตั้งแต่ 1.5 – 100 ไร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการดำเนินกิจการ

ฟาร์มประมงโดยเกษตรกรเจ้าของที่ดินเอง คิดเป็นร้อยละ 70 ซึ่งมีพื้นที่ฟาร์มเลี้ยงอยู่ระหว่าง 1.5 – 25 ไร่ และมีขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำระหว่าง 1 – 4.5 ไร่ต่อบ่อ ส่วนอีกร้อยละ 30 เป็นการเข้าไปเช่าที่ดินหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่าเพื่อประกอบกิจการฟาร์มประมงโดยบริษัทเอกชน ทั้งนี้มีการเช่าที่ดินหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเก่าที่มีขนาดฟาร์มตั้งแต่ 30 – 100 ไร่ และมีขนาดบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 5.5 – 12 ไร่ต่อบ่อ

2) ขั้นตอนและวิธีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

จากการสำรวจฟาร์มประมงในจังหวัดตรังพบว่าการดำเนินกิจการฟาร์มประมงโดยเจ้าของที่ดินเองมักไม่มีรูปแบบและระบบการเลี้ยงกุ้งที่แน่นอน โดยส่วนใหญ่เกษตรกรมักอาศัยประสบการณ์จากการเลี้ยงกุ้งที่ผ่านมาแล้วนำมาใช้ในการเลี้ยงของตน รวมทั้งการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายในฟาร์มประมง และยังไม่มีนักวิชาการประมงอยู่ประจำฟาร์มจึงทำให้ขั้นตอนการเลี้ยงต่าง ๆ มักแปรผันไปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งแตกต่างจากการดำเนินกิจการฟาร์มประมงโดยระบบของบริษัท เพราะจะมีรูปแบบและขั้นตอนการเลี้ยงกุ้งที่แน่นอน และมีเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ ในแต่ละขั้นตอนของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม นอกจากนี้ ยังมีนักวิชาการประมงอยู่ประจำภายในฟาร์มจึงสามารถวางแผนการเลี้ยงและมีระบบในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ดี ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมที่มีคุณภาพและได้จำนวนของผลผลิตเพิ่มขึ้น

3) ลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมและอาหารกุ้งขาวแวนนาไม

สำหรับการจัดหาลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมและอาหารกุ้งขาวแวนนาไมของเกษตรกร ซึ่งจากการสำรวจในแต่ละฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำก็มีความหลากหลายเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะการจัดหาแหล่งซื้อลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไม จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรมีแหล่งซื้อลูกพันธุ์กุ้งจากหลาย ๆ จังหวัด เช่น จังหวัดสงขลา กระบี่ พังงา ภูเก็ต ตรัง และชุมพร เป็นต้น โดยทั่วไป เกษตรกรจะเตรียมลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสลาร์วาที่ 12 – 15 เนื่องจากเป็นระยะที่ลูกกุ้งมีการพัฒนาเพียงพอที่จะทนและปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงได้ดี โดยเฉพาะการปรับตัวให้เข้ากับความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยง โดยมีการปล่อยลูกกุ้งลงเลี้ยงระหว่าง 100,000 – 150,000 ตัว/ไร่ ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, 2547)

ในขณะที่แหล่งซื้ออาหารกุ้งขาวแวนนาไมพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มักซื้ออาหารกุ้งจากร้านค้าที่เป็นตัวแทนจำหน่ายของบริษัทผลิตอาหารต่าง ๆ หรืออาจเป็นข้อตกลงกันระหว่างเจ้าของฟาร์มประมงกับแหล่งซื้อลูกพันธุ์กุ้ง นอกจากนี้ เกษตรกรจะซื้ออาหารกุ้งจากร้านค้าที่อยู่ใกล้เคียงกับฟาร์มเลี้ยงหรือร้านค้าภายในอำเภอที่เป็นแหล่งที่ตั้งของฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้นฟาร์มเลี้ยงที่มีการดำเนินกิจการประมงโดยบริษัทเอกชนเพราะจะมีรถบรรทุกอาหารกุ้งของบริษัทนั้น ๆ นำอาหารกุ้งมากระจายสู่ฟาร์มประมงในเครือ ประมาณเดือนละ 2 – 4 ครั้งต่อฟาร์ม หรืออาจเพิ่มจำนวนเที่ยวมากขึ้นตามปริมาณการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละฟาร์มประมง

4) การใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

สำหรับการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงพบว่ามีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) และแก๊ส LPG ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประเภทของการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรัง

ประเภทการใช้พลังงาน	แสงสว่าง	ปั๊มน้ำ	เครื่องให้อากาศ	เครื่องให้อาหาร
ไฟฟ้า	✓	✓	✓	✓
น้ำมันเชื้อเพลิง		✓	✓	
แก๊ส LPG			✓	

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าตลอดทั้งกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมมาเป็นผลิตภัณฑ์ออกสู่มือผู้บริโภคล้วนต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น จากการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ในทุก ๆ กิจกรรมภายในฟาร์มประมง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้มากสุดสำหรับการให้แสงสว่างภายในฟาร์ม รองลงมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อพักน้ำ เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทะเลก่อนที่จะปั๊มน้ำทะเลที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมต่อไป โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะปั๊มน้ำทะเลเข้าและออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งประมาณ 2 – 3 ครั้งต่อรอบของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เช่นเดียวกับเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งและเครื่องให้อาหารกุ้ง โดยเฉพาะเครื่องให้อากาศซึ่งมีการทำงานเป็นเวลา โดยส่วนใหญ่จะปิดเครื่องให้อากาศก่อนหว่านอาหารกุ้งประมาณ 0.5 – 1 ชั่วโมง และจะเปิดเครื่องให้อากาศอีกครั้งเมื่อหว่านอาหารกุ้งเสร็จประมาณ 30 นาที โดยเกษตรกรส่วนใหญ่มักให้อาหารกุ้งประมาณ 4 – 5 มื้อ/วัน (ขึ้นกับระยะเวลาของการเลี้ยงและการเจริญเติบโตของกุ้งที่เลี้ยง) ส่วนเครื่องให้อาหารกุ้งนั้นมีการตั้งระบบการหว่านอาหารแบบอัตโนมัติ คือ มีการตั้งเวลาให้เครื่องทำงานทุก ๆ 30 วินาที ทั้งนี้ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินกิจกรรมทั้งหมดภายในฟาร์มประมง มักพบเฉพาะฟาร์มเลี้ยงที่มีขนาดฟาร์มตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไป และเป็นการดำเนินกิจการฟาร์มประมงโดยบริษัทเอกชนเท่านั้น คิดเป็นร้อยละ 30 ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทั้งหมดของจังหวัดตรัง สำหรับฟาร์มเลี้ยงที่ดำเนินกิจการโดยเกษตรกรเจ้าของที่ดินเองนั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ความสว่างภายในฟาร์มเลี้ยงและอีกเพียงบางส่วนที่ใช้สำหรับเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งและการปั๊มน้ำทะเล

นอกจากนี้ ฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมส่วนใหญ่มักใช้เครื่องปั๊มน้ำที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ในการปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อพักน้ำก่อนเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคในน้ำก่อนที่จะปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยงต่อไป หรือบางฟาร์มอาจปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยงโดยตรงแล้วจึงค่อยพักน้ำและทำการฆ่าเชื้อโรคก่อนที่จะปล่อยลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมลงเลี้ยงก็ได้ สำหรับเครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งนี้ พบว่าเกษตรกรมีการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงค่อนข้างน้อย เนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันดีเซลที่ค่อนข้างสูงและต้องใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณมาก ดังนั้น เกษตรกรในจังหวัดตรังจึงเลือกแก๊ส LPG มาใช้ในการให้พลังงานแก่เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่าแหล่งพลังงานอื่น ๆ คิดเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทั้งหมดของจังหวัดตรัง โดยได้แสดงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปัจจัยในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม ในจังหวัดตรัง

ประเภท	หน่วย	ฟาร์ม
พื้นที่บ่อเลี้ยง	ไร่	4.53±2.07
ผลผลิตกุ้ง	กก./ไร่/ปี	3,775.77±1,552.50
ปริมาณอาหาร	กก./ไร่/ปี	26,585.91±20,785.62
FCR	กก./กก.	1.75±3.95
ไฟฟ้า	kWh/กุ้ง 1 กก./ไร่	12.82±14.17
น้ำมันดีเซล	ลิตร/กุ้ง 1 กก./ไร่	0.02±0.05
แก๊ส LPG	กก./กุ้ง 1 กก./ไร่	0.04±0.09

หมายเหตุ: kWh = กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

5) ตลาดหรือโรงงานแปรรูปกุ้งขาวแวนนาไม

จากการสำรวจพบว่าสภาพการตลาดของกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรังมีลักษณะเป็นตลาดท้องถิ่น ซึ่งเป็นตลาดกลางค้ากุ้งของจังหวัดตรัง โดยจะมีพ่อค้าคนกลางทำหน้าที่ในการรวบรวมผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมจากตลาดท้องที่ในแหล่งเพาะเลี้ยงต่าง ๆ โดยใช้วิธีการประมูลราคากุ้งขาวแวนนาไมก่อนแล้วจึงจำหน่ายผลผลิตกุ้งต่อไปยังตลาดมหาชัยที่อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมทั้งหมดของจังหวัดตรัง และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ มีการนำผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมส่งขายแก่โรงงานอาหารแปรรูประโนด จังหวัดสงขลา ในเครือของบริษัทซีพี ซึ่งผลผลิตกุ้งที่สามารถส่งขายที่โรงงานอาหารแปรรูประโนดนี้จะต้องมีขนาดใหญ่และมักเป็นผลผลิตที่ได้จากฟาร์มประมงในเครือบริษัทซีพี

4.1.2 ฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง พบว่าเกษตรกรมีรูปแบบการเลี้ยงปลากะพงขาวซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังและการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรนิยมเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังบริเวณปากแม่น้ำมากกว่าการเลี้ยงปลาในบ่อดิน เนื่องจากสามารถลดต้นทุนในการขุดสร้างบ่อเลี้ยงและลดค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษาบ่อเลี้ยง อีกทั้งยังสามารถเพิ่มพื้นที่ในการเลี้ยงปลากะพงขาวได้มากขึ้น มีความสะดวกในเลี้ยงและการดูแลรักษาสุขภาพของปลากะพงขาว รวมทั้งช่วยลดต้นทุนในด้านอาหาร เพราะเกษตรกรสามารถตรวจสอบและกำหนดปริมาณอาหารที่เพียงพอแก่ปลากะพงขาวได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายในการสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวกับการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินเป็นหลัก

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสำรวจฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่จังหวัดตรังทั้งสิ้น 145 ฟาร์ม และตัวอย่างปลากะพงขาวจำนวน 400 ตัว ดังนั้นจึงสามารถสรุปกระบวนการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินได้ดังนี้

1) ขนาดของฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดิน

จากการลงพื้นที่สำรวจฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวพบว่าฟาร์มมีพื้นที่ระหว่าง 0.05 – 6 ไร่ และมีขนาดบ่อเลี้ยงระหว่าง 0.05 – 2 ไร่ ซึ่งเป็นการดำเนินกิจการฟาร์มประมงโดยเกษตรกรเจ้าของที่ดินเองทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 100 โดยส่วนใหญ่เกษตรกรมักขุดบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวควบคู่ไปกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมภายในฟาร์มประมง แต่ขนาดของบ่อที่ใช้เลี้ยงปลากะพงขาวนั้นมีพื้นที่น้อยกว่าบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพราะการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินนั้นเกษตรกรไม่สามารถกำหนดปริมาณอาหารที่เพียงพอแก่ปลากะพงขาวที่เลี้ยงได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของปลากะพงขาว เพราะถ้าเกษตรกรมีการดูแลไม่ดีพออาจทำให้ปลากะพงขาวไม่กินอาหาร ซึ่งจะทำให้ปลาป่วยได้และก่อให้เกิดปัญหาการกินกันเองของปลาในบ่อเลี้ยง นอกจากนี้ ในการเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินยังต้องการน้ำทะเลสะอาดเพื่อมาเปลี่ยนถ่ายน้ำภายในบ่อเลี้ยงในปริมาณมากกว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพราะส่วนใหญ่เกษตรกรมักใช้ปลาสดหรือเศษปลาที่เหลือจากโรงงานแปรรูปอาหารมาใช้เป็นอาหารของปลากะพงขาวมากกว่าการใช้อาหารสำเร็จรูป จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยการเปลี่ยนถ่ายน้ำให้สม่ำเสมอ ทั้งนี้ ปลากะพงขาวชอบน้ำทะเลที่ค่อนข้างสะอาด ดังนั้น หากน้ำในบ่อเลี้ยงมีสภาพเน่าเสียหรือมีคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลา พบว่าปลากะพงขาวจะไม่กินอาหารซึ่งจะส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตช้ากว่าปรกติ และปลาอาจจะอ่อนแอลง

2) ขั้นตอนและวิธีการเลี้ยงปลากะพงขาว

จากการสำรวจพบว่าเกษตรกรมักใช้ปลาสดหรือเศษปลาจากโรงงานแปรรูปอาหารสัตว์น้ำมาใช้เป็นอาหารของปลากะพงขาว คิดเป็นร้อยละ 80 ซึ่งมากกว่าการใช้อาหารสำเร็จรูป คิดเป็นร้อยละ 20 ของการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งหมดในจังหวัดตรัง ทั้งนี้เพราะปลาสดหรือเศษปลานั้นมีราคาถูกกว่าอาหารสำเร็จรูปและยังทำให้ปลากะพงขาวกินอาหารได้ดีกว่า เจริญเติบโตเร็วกว่า และได้เนื้อปลาที่มีรสชาตินำรับประทานมากกว่าการใช้อาหารสำเร็จรูปด้วย ประกอบกับพื้นที่ที่เป็นแหล่งเลี้ยงปลากะพงขาวนั้นอยู่ติดบริเวณปากแม่น้ำในแหล่งที่มีการทำประมง ซึ่งเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลากะพงขาวส่วนใหญ่มักมีอาชีพเสริมเป็นชาวประมงควบคู่ไปด้วย ฉะนั้นเมื่อเกษตรกรออกเรือประมงยังสามารถคัดเลือกเอาปลาเหยื่อที่มีขนาดเล็กมาใช้เป็นอาหารสำหรับการเลี้ยงปลากะพงขาวได้ และยังสามารถไปรับซื้อเศษปลาสดจากโรงงานแปรรูปหรือสะพานปลาได้อีกทางหนึ่ง

สำหรับการให้อาหารปลากะพงขาว ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่มักให้ปลากินอาหารวันละ 1 – 2 ครั้ง ซึ่งหลักการให้อาหารปลากะพงขาวนั้นควรจะหว่านอาหารทีละน้อย ๆ เพื่อให้ปลาขึ้นมากินอาหารเรื่อย ๆ จนกว่าปลาจะอิ่ม โดยสังเกตจากอาการที่ปลากะพงขาวจะไม่ขึ้นมากินอาหารที่หว่านให้อีก ดังนั้น เกษตรกรที่เลี้ยงปลาจึงต้องอาศัยประสบการณ์ในการเลี้ยงควบคู่ไปกับการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นซึ่งไม่มีกระบวนการเลี้ยงที่แน่นอน

3) การจัดหาลูกพันธุ์ปลากะพงขาว

จากการสำรวจในแต่ละฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวพบว่าเกษตรกรมีแหล่งซื้อลูกพันธุ์ปลากะพงขาวจากหลาย ๆ จังหวัดเช่นเดียวกับกุ้งขาวแวนนาไม เช่น จังหวัดสตูล

พัทลุง สงขลา และตรัง เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมซื้อลูกพันธุ์ปลากะพงขาวที่มีขนาด 4 นิ้ว (ความยาว 10 เซนติเมตร) มาปล่อยลงเลี้ยงในบ่อ เพื่อประโยชน์ในการย่นเวลาของการเลี้ยงปลาและเป็นการเพิ่มอัตรารอดตายให้แก่ลูกปลากะพงขาวด้วย (มีอัตรารอดตายมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) แต่ก็มีต้นทุนค่าลูกพันธุ์ปลากะพงขาวที่ค่อนข้างสูงด้วย ทั้งนี้ อัตราการปล่อยลูกปลากะพงขาวที่มีขนาด 4 นิ้ว ลงเลี้ยงในบ่ออยู่ระหว่าง 3,000 – 5,000 ตัว/ไร่ ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 6 – 7 เดือน

4) การใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาว

สำหรับการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาว ซึ่งจากการสำรวจพบว่ามีการใช้พลังงานค่อนข้างหลากหลายทั้งไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊ส LPG เช่นเดียวกับฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงประเภทของการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง

ประเภทการใช้พลังงาน	แสงสว่าง	ปั๊มน้ำ	เครื่องให้อากาศ
ไฟฟ้า	✓	✓	
น้ำมันเชื้อเพลิง		✓	✓
แก๊ส LPG			✓

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าตลอดทั้งกระบวนการผลิตเนื้อปลากะพงขาวออกสู่มือผู้บริโภคล้วนต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในทุกกิจกรรมภายในฟาร์มประมง แต่จะถูกนำมาใช้มากสำหรับการให้แสงสว่างภายในฟาร์ม ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊มน้ำในการปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลานั้น คิดเป็นร้อยละ 30 ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งหมดในจังหวัดตรัง ส่วนอีกร้อยละ 70 เป็นการใช้เครื่องปั๊มน้ำที่ใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ในการปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยงก่อน แล้วจึงค่อยทำการพักน้ำและฆ่าเชื้อโรคในน้ำก่อนที่จะปล่อยลูกพันธุ์ปลากะพงขาวลงเลี้ยง ซึ่งส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยกัน 2 วิธี โดยวิธีแรกเป็นการเติมน้ำใหม่เข้าบ่อเลี้ยงทุก ๆ วัน พร้อมกับการปล่อยน้ำเก่าออกจากบ่อเลี้ยง และวิธีที่สองเป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำเก่าออกจากบ่อเลี้ยงประมาณ 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงค่อยระบายน้ำใหม่เข้าสู่บ่อเลี้ยง ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมมากเมื่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากะพงขาว

สำหรับการใช้เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาว โดยทั่วไปพบเฉพาะฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวที่มีขนาดใหญ่และมีการปล่อยปลาลงเลี้ยงที่ความหนาแน่นมากเท่านั้น ทั้งนี้มักเปิดเครื่องให้อากาศเมื่อเลี้ยงปลากะพงขาวในเดือนที่ 4 ของการเลี้ยงปลาจนกระทั่งจับปลากะพงขาวขึ้นขาย โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะเปิดเครื่องให้อากาศเฉพาะในเวลากลางคืนเท่านั้น นอกจากนั้น ผลการสำรวจพบว่าเกษตรกรที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับให้พลังงานแก่เครื่องให้อากาศมีค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันดีเซลที่ค่อนข้างสูงและความต้องการใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณมาก ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงปลากะพงขาวในจังหวัดตรังจึงนิยมใช้แก๊ส LPG มาเป็นพลังงานแก่เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงปลากะพงขาวมากกว่า คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟาร์มเลี้ยง

ปลากะพงขาวที่ใช้เครื่องให้อากาศทั้งหมดของจังหวัดตรัง โดยแสดงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการผลิตปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม ในพื้นที่จังหวัด ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยในการผลิตปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม ในจังหวัดตรัง

ประเภท	หน่วย	ฟาร์ม
พื้นที่บ่อเลี้ยง	ไร่	0.69±0.67
ผลผลิตปลา	กก./ไร่/ปี	2,230.83±1,560.11
ปริมาณอาหาร	กก./ไร่/ปี	7.46±6.86
FCR	กก./กก.	1.28±1.25
ไฟฟ้า	kWh/ปลา 1 กก./ไร่	170.34±171.10
น้ำมันดีเซล	ลิตร/ปลา 1 กก./ไร่	4.49±5.40
แก๊ส LPG	กก./ปลา 1 กก./ไร่	3.36±7.23

หมายเหตุ: kWh = กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

5) ตลาดซื้อขายปลากะพงขาว

จากการลงพื้นที่สำรวจตลาดซื้อขายผลผลิตปลากะพงขาวที่สำคัญในจังหวัดตรัง พบว่าเกษตรกรร้อยละ 90 มีการขายผลผลิตปลากะพงขาวด้วยตนเองที่ฟาร์มเลี้ยง ส่วนอีกร้อยละ 10 เกษตรกรจะนำผลผลิตปลากะพงขาวไปขายที่ตลาดภายในท้องถิ่นและร้านอาหารโดยตรง ซึ่งรูปแบบของผลผลิตปลากะพงขาวที่ขายนั้น พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ร้อยละ 95 ขายปลากะพงขาวที่ยังมีชีวิต และอีกร้อยละ 5 มีการขายปลากะพงขาวแบบแช่แข็ง

4.2 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยคาร์บอนต่อวันจากตัวกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว โดยเทียบจากน้ำหนักของผลผลิตสัตว์น้ำที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อน้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน) ซึ่งจากการศึกษาพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยคาร์บอนต่อน้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวันสูงกว่าปลากะพงขาว โดยมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ $1.2x10^{-3}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน และได้รับคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำผ่านการกินอาหารเท่ากับ $7.5x10^{-3}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ส่วนปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอนต่อวันเพียง $1.0x10^{-4}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน และได้รับคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำผ่านการกินอาหารเท่ากับ $7.9x10^{-3}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดกลับพบว่าปลากะพงขาวมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้สูงถึง 98.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่มีการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายเพียง 84.00 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การถ่ายเทมวลคาร์บอน การตรึงคาร์บอนมาสะสมในร่างกาย และการปล่อยคาร์บอนจากตัวของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปริมาณคาร์บอน	กุ้งขาวแวนนาไม	ปลากะพงขาว
น้ำหนักสัตว์น้ำมีชีวิตเฉลี่ย[1]	0.0156±0.0064	2.2979±1.2094
น้ำหนักมูลสดที่ขับถ่าย[2]	0.0061±0.0067	0.0048±0.0042
ร้อยละมูลที่ขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว	54.67	0.33
C_{input}[3]	0.0075±0.0053	0.0079±0.0089
$C_{fixation}$[3]	0.0064±0.0052	0.0077±0.0089
$C_{emitted}$[3]	0.0012±0.0007	0.0001±0.0001
$C_{emitted}/C_{input}$ (%)	16.00	1.27
$C_{emitted}/C_{fixation}$ (%)	18.75	1.30
ประสิทธิภาพการตรึง C = $(C_{input} - C_{emitted})/C_{input}$ (%)	84.00	98.73

หมายเหตุ: [1] หน่วย = กิโลกรัมต่อตัว
[2] หน่วย = กิโลกรัมต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อตัว
[3] หน่วย = กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน

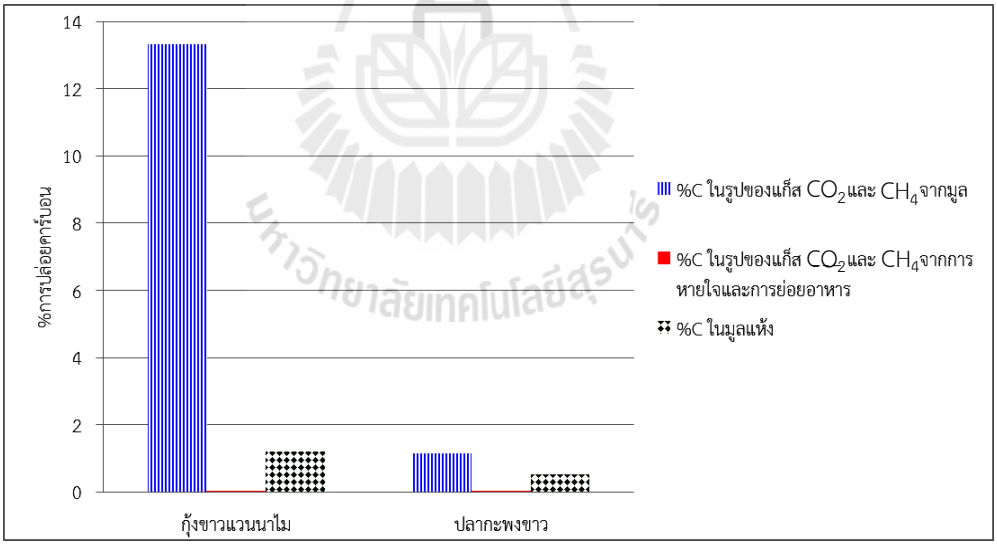
นอกจากนี้ กุ้งขาวแวนนาไมมีค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอนรวมต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวันสูงกว่าปลากะพงขาว คือ 0.0012±0.0007 และ 0.0001±0.0001 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของมูลจากสัตว์น้ำ โดยเฉพาะกุ้งขาวแวนนาไมซึ่งมีการปล่อยคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลคิดเป็น 13.33 เปอร์เซ็นต์ และปลากะพงขาวเท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนในมูลสัตว์น้ำแห้งพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมก็มีค่าสูงกว่าปลากะพงขาวเช่นกัน โดยคิดเป็น 1.2 และ 0.51 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาทั้งหมด สำหรับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากลมหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดมีค่าค่อนข้างน้อย โดยกุ้งขาวแวนนาไมพบเพียง 0.00003 เปอร์เซ็นต์ และปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อสัตว์น้ำในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อแกะ เนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อไก่ (Nemry *et al*., 2001)

ค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากการย่อยอาหารและการหายใจ รวมทั้งในมูลสัตว์น้ำแสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่าปลากะพงขาวมีสัดส่วนการปล่อยแก๊ส CH_4 ต่อ CO_2 มากกว่ากุ้งขาวแวนนาไม คือ 0.51 และ 0.47 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักตัวสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมเท่ากัน

ในขณะเดียวกัน Burg van den *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่ามูลของสัตว์น้ำที่ถูกขับถ่ายออกมา

และมีการสะสมภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน มูลสัตว์น้ำจะถูกย่อยสลายแล้วก่อให้เกิดเป็นแก๊ส CH_4 ขึ้นในบ่อเลี้ยง รวมทั้งแก๊ส N_2O ที่เกิดจากการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่อาศัยในบริเวณพื้นบ่อ โดยสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Ammonification จากนั้น NH_3 จะถูก oxidized อีกขั้นหนึ่งโดย Nitrifying bacteria เปลี่ยนให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรท (NO_3^-) จากนั้น NO_3^- จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแก๊ส N_2 โดย Denitrifying bacteria ภายใต้สภาวะที่ไม่มีแก๊ส O_2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rasenberg *et al.* (2013) ที่สรุปว่ามูลสัตว์น้ำที่ถูกขับถ่ายออกมาและถูกสะสมภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนแก๊สคาร์บอนนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแก๊ส CH_4 ในบ่อเลี้ยง นอกจากนี้ อาหารปลาที่เหลือในบริเวณพื้นบ่อประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ให้กลายเป็นปุ๋ยในบ่อเลี้ยง ยกตัวอย่างเช่น จากอาหารปลา 1 กิโลกรัม จะมีอาหารปลาประมาณ 50 กรัม ที่จะถูกย่อยสลายไปเป็นปุ๋ย โดยประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถปล่อยคาร์บอนออกมาประมาณ 25 กรัม และเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนเกิดแก๊ส CH_4 ประมาณ 33 กรัม

ทั้งนี้แก๊ส CH_4 มีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potentials [GWPs]) ได้มากกว่าแก๊ส CO_2 ถึง 23 เท่า (IPCC, 2001) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปลากะพงขาวมีส่วนในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้มากกว่ากุ้งขาวแวนนาไมจากการปล่อยแก๊ส CH_4



รูปที่ 4.1 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสัตว์น้ำ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์น้ำ	ค่าเฉลี่ยของแก๊ส	CH_4	CO_2	สัดส่วน CH_4 : CO_2	
กุ้งขาวแวนนาไม	มูล	0.0008±0.0005	0.0017±0.0011	0.47	0.47
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.000000±0.000000	0.000000±0.000000	0.01	
ปลากะพงขาว	มูล	0.0001±0.0000	0.0002±0.0001	0.50	0.51
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.000002±0.000001	0.000003±0.000002	0.67	

หมายเหตุ: หน่วย = กิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมสัตว์น้ำต่อวัน

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทจากอาหารสัตว์น้ำ (C_{input}) คาร์บอนที่สะสมในร่างกายสัตว์น้ำ ($C_{fixation}$) คาร์บอนที่ปล่อยจากสัตว์น้ำ ($C_{emitted}$) ในรูปของมูลสัตว์น้ำแห้งและในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลสด การหายใจและการย่อยอาหาร (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์น้ำ	ปริมาณ C ที่ถูกถ่ายเทจากอาหารสัตว์น้ำ (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	ปริมาณ C ที่ถูกตรึงสะสม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)			ปริมาณ C ที่ถูกปล่อย (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)			
		รวม C สะสมในร่างกาย (สมดุลมวล)	เนื้อสัตว์น้ำ	เปลือก กระดูก หนัง เลือด และอื่น ๆ (สมดุลมวล)	รวม C ถูกปล่อยจากสัตว์	มูลแห้ง	$C_{emitted}$ ของแก๊ส CO_2 และ CH_4	
							มูลสด	การย่อยอาหารและการหายใจ
กุ้งขาวแวนนาไม	0.0075±0.0053	0.0064±0.0052	0.0049	0.0015	0.0012±0.0007	0.0001	0.0011	0.00000000203
ปลากะพงขาว	0.0079±0.0089	0.0077±0.0089	0.0058	0.0019	0.0014±0.0011	0.00004	0.0001	0.00000086030

การศึกษาการกระจายคาร์บอนหรือการปล่อยคาร์บอนโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวล (Mass conservation) ตามที่ UNECE TFEIP (2004) ได้อธิบายไว้ว่าการปล่อยคาร์บอนโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวลสามารถบ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากการผลิตปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัมของผลผลิตสัตว์น้ำดังสมการที่ 4.1

C-emitted from aquatic animal = (0.0004) Pacific white shrimp +
(0.0005) Giant perch (4.1)

โดย C-emitted from aquatic animal = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (ตันคาร์บอนต่อปี)
Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)
Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

การศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (C_{input}) ผ่านการกินอาหาร และการที่สัตว์น้ำสามารถนำมวลคาร์บอนนี้มาสะสมไว้ในร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ ($C_{fixation}$) รวมทั้งปริมาณคาร์บอนที่ถูกขับถ่ายออกมาในรูปของมูลสัตว์น้ำหรือในรูปของแก๊สจากการย่อยอาหารและการหายใจจากตัวสัตว์น้ำ ($C_{emitted}$) ตลอดระยะของการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวดังแสดงในตารางที่ 4.7

นอกจากนี้ จากการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าปลากะพงขาวมีอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวปลาหรือมีการบริโภคคาร์บอนต่อน้ำหนักปลากะพงขาว 1 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากตัวของสัตว์น้ำทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าปริมาณการบริโภคคาร์บอน (C_{input}) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากตัวสัตว์น้ำ ($C_{emitted}$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์โดยสถิติสามารถสรุปสมการถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C-emitted กับ C-input ของกุ้งขาวแวนนาไมในสมการที่ 4.2

$C_{emitted}$ กุ้งขาวแวนนาไม = 0.014 (C_{input}อาหารกุ้ง) + 0.001 (4.2)

โดยที่ $C_{emitted}$ กุ้งขาวแวนนาไม = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากตัวกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอน/กุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม/วัน)
C_{input} อาหารกุ้ง = ปริมาณคาร์บอนในอาหารกุ้งที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไมผ่านการกินอาหารโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0075 ± 0.0053 (กิโลกรัมคาร์บอน/กุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม/วัน)

ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยคาร์บอน (C-emitted) กับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไม (C-input) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Regression Statistics			C-input and C-emitted of Pacific white shrimp	
			Observation	270
R Square	Adjusted R Square	Standard Error		
0.011	0.007	0.000689		
ANOVA	df	MS	F	Sig.
Regression	1	0.000	2.865	0.092
Residual	268	0.000		
Total	269			
	Coefficients	Standard Error	t Stat.	Sig.
Intercept	0.001	0.000	14.388	0.000
Variable	0.014	0.008	1.693	0.092

ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยคาร์บอน (C-emitted) กับคาร์บอนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวปลากะพงขาว (C-input) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Regression Statistics			C-input and C-emitted of Giant Perch	
			Observation	145
R Square	Adjusted R Square	Standard Error		
0.564	0.561	0.00005301		
ANOVA	df	MS	F	Sig.
Regression	1	0.000	185.001	0.000
Residual	143	0.000		
Total	144			
	Coefficients	Standard Error	t Stat.	Sig.
Intercept	0.00005095	0.000	13.776	0.001
Variable	0.007	0.000	13.601	0.000

สำหรับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง C-emitted กับ C-input ของปลากะพงขาว สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยได้ดังนี้

$$C_{emitted}\ \text{ปลากะพงขาว} = 0.007\ (C_{input}\text{อาหารปลา}) + 0.00005095 \qquad (4.3)$$

โดยที่ $C_{emitted}$ ปลากะพงขาว = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากตัวปลากะพงขาว (กิโลกรัมคาร์บอน/ปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม/วัน)

C_{input} อาหารปลา = ปริมาณคาร์บอนในอาหารปลาที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวปลากะพงขาวผ่านการกินอาหารโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0079±0.0089 (กิโลกรัมคาร์บอน/ปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม/วัน)

หลักการสมดุลมวลคาร์บอนพบว่าการถ่ายเทมวลคาร์บอนที่อยู่ในอาหารสัตว์น้ำให้มาสะสมในร่างกายกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวโดยพิจารณาที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อนำมาลบออกด้วยปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในมูลสัตว์น้ำแห้งและในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดจากมูลสัตว์น้ำสด รวมทั้งการย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์น้ำต่อวัน จากผลการวิเคราะห์สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกนำมาสะสมในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวต่อวันได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการดำรงชีวิตอย่างปกติและการทำงานในร่างกายของสัตว์น้ำ รวมทั้งการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในร่างกายสำหรับการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ การรักษาสมดุลของเกลือแร่และน้ำภายในร่างกายสัตว์น้ำ ตลอดจนการเคลื่อนที่ของอาหารในระบบการย่อยอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์ และการเคลื่อนไหวของสัตว์น้ำ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวล้วนต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น

ทั้งนี้ De Silva and Anderson (1995) ได้อธิบายไว้ว่าสัตว์จะได้รับพลังงานผ่านอาหารที่กินเข้าไปหรือจากพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายซึ่งพลังงานไม่จัดเป็นโภชนะ แต่พลังงานจะปรากฏอยู่ในรูปของพันธะเคมีในโมเลกุลของสารอาหารประเภทโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น ซึ่งพันธะเคมีนั้นมีหลายชนิดและให้พลังงานที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้น สัตว์แต่ละชนิดจึงมีความสามารถในการใช้พลังงานที่ได้รับจากอาหารที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะความสามารถในการย่อยอาหารได้ของสัตว์แต่ละชนิดแตกต่างกัน

นอกจากนี้ พัชรา วีระกะลัส (2544) ได้กล่าวว่า กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตล้วนประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีเอนไซม์มาทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสสารจากสารอาหารที่สิ่งมีชีวิตบริโภคเข้าไปให้กลายมาเป็นสสารในรูปของเซลล์และพลังงาน ซึ่งสิ่งมีชีวิตสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตได้ เช่น การเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต เป็นต้น

ดังนั้น ไม่ได้หมายความว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงมาสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์น้ำจากสมการสมดุลคาร์บอน ($C_{fixation} = C_{input} - C_{emitted}$) จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อและการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอทั้งหมด แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนอีกบางส่วนที่จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึมเพื่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำด้วย ในขณะเดียวกัน ยังมีปริมาณคาร์บอนบางส่วนที่อาจสูญเสียไปทุกครั้งจากการเปลี่ยนรูปในลักษณะของความร้อนตามกฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of Entropy) ของการถ่ายทอดพลังงาน

สำหรับการเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกนำมาสะสมอยู่ในร่างกายสัตว์น้ำต่อปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากอาหารสัตว์น้ำที่กุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวกินต่อวัน ($C_{fixation}/C_{input}$) จากผลการศึกษาพบว่าปลากะพงขาวมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนจากอาหารปลามาสะสมไว้ในร่างกายได้สูงถึง 97.47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่มีการตรึงคาร์บอนมาไว้ในร่างกายเพียง 85.33 เปอร์เซ็นต์ โดยสอดคล้องกับสัดส่วนเนื้อรวมที่ได้จากตัวปลากะพงขาวซึ่งมีค่าสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมด้วย และมีค่าเท่ากับ 84.40 และ 64.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยผล

การศึกษาร้อยละของเนื้อสัตว์น้ำ หนังปลา เลือด กระดูก และเปลือกของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สัดส่วนเนื้อรวม เปลือก กระดูก และอวัยวะภายในของสัตว์น้ำแต่ละชนิด (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์น้ำ	สัดส่วนเนื้อรวม (%)	สัดส่วนหนัง เลือด กระดูก เปลือก และอื่น ๆ (%)	$C_{fixation}/C_{input}$
กุ้งขาวแวนนาไม	64.504±7.431	35.424±9.397	85.33
ปลากะพงขาว	84.400±2.608	15.600±2.608	97.47

นอกจากนี้ การศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำแต่ละชนิดในช่วงอายุที่ให้เนื้อและปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมอยู่ในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด ทั้งนี้จากหลักการอนุรักษ์มวล (UNECE TFEIP, 2004) สามารถแสดงถึงการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากปริมาณการกินอาหารของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดที่ทำการศึกษาดังสมการที่ 4.4 และการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว ดังแสดงในสมการที่ 4.5

$$C_{input} = (0.0027)\ \text{Pacific white shrimp} + (0.0029)\ \text{Giant perch} \quad (4.4)$$

$$C_{fixation} = (0.0023)\ \text{Pacific white shrimp} + (0.0028)\ \text{Giant perch} \quad (4.5)$$

โดยที่ C_{input} = มวลคาร์บอนที่ถ่ายเทจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำผ่านการกินอาหาร ในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

$C_{fixation}$ = ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์น้ำ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)

Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาปริมาณการตรึงคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำมาสะสมไว้ในร่างกายของสัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณการบริโภคคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำ (C_{input}) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในร่างกายสัตว์น้ำ ($C_{fixation}$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอน (C-fixation) กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไม (C-input) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Regression Statistics			C-input and C-fixation of Pacific white shrimp	
			Observation	270
R Square	Adjusted R Square	Standard Error		
0.983	0.983	0.00068883		
ANOVA	df	MS	F	Sig.
Regression	1	0.007	15271.179	0.000
Residual	268	0.000		
Total	269			
	Coefficients	Standard Error	t Stat.	Sig.
Intercept	0.001	0.000	14.396	0.000
Variable	0.986	0.008	123.577	0.000

ตารางที่ 4.12 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงคาร์บอน (C-fixation) กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวปลากะพงขาว (C-input) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Regression Statistics			C-input and C-fixation of Giant Perch	
			Observation	145
R Square	Adjusted R Square	Standard Error		
0.996	0.996	0.00005293		
ANOVA	df	MS	F	Sig.
Regression	1	0.011	4042183.336	0.000
Residual	143	0.000		
Total	144			
	Coefficients	Standard Error	t Stat.	Sig.
Intercept	0.00008127	0.000	13.851	0.000
Variable	0.993	0.000	2010.518	0.000

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถเขียนเป็นสมการถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-fixation กับ C-input ของกุ้งขาวแวนนาไมในสมการที่ 4.6 และสมการที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C-fixation กับ C-input ของปลากะพงขาว

$$C_{fixation}\ \text{กุ้งขาวแวนนาไม} = 0.986\ (C_{input}\text{อาหารกุ้ง}) + 0.001 \qquad (4.6)$$

โดยที่ $C_{fixation}$ กุ้งขาวแวนนาไม = ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัมคาร์บอน/กุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม/วัน)

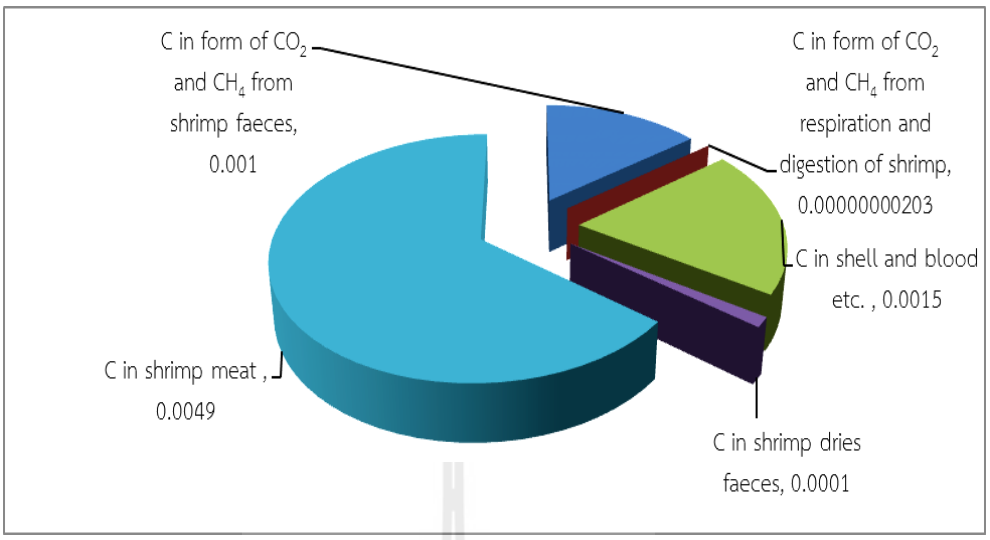
C_{input} อาหารกุ้ง = ปริมาณคาร์บอนในอาหารกุ้งที่ถูกถ่ายเทสู่ตัวกุ้งขาวแวนนาไมผ่านการกินอาหารโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0075 ± 0.0053 (กิโลกรัมคาร์บอน/กุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม/วัน)

$$C_{fixation} \text{ ปลากะพงขาว} = 0.993 (C_{input} \text{อาหารปลา}) + 0.00008127 \quad (4.7)$$

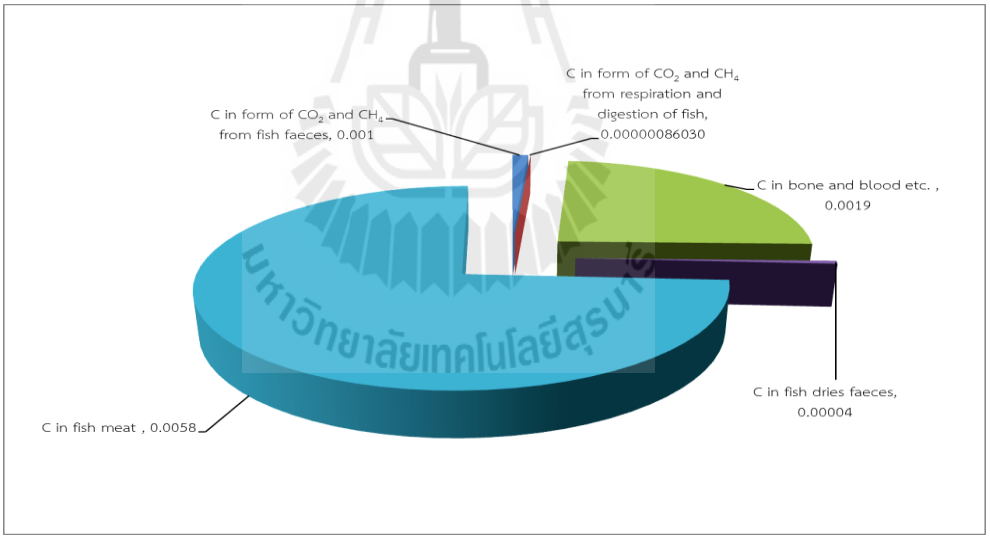
โดยที่ $C_{fixation}$ ปลากะพงขาว = ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงไว้ในร่างกายของปลากะพงขาว (กิโลกรัมคาร์บอน/ปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม/วัน)

C_{input} อาหารปลา = ปริมาณคาร์บอนในอาหารปลาที่ถูกถ่ายเทสู่ตัวปลากะพงขาวผ่านการกินอาหารโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0079 ± 0.0089 (กิโลกรัมคาร์บอน/ปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม/วัน)

นอกจากนี้ รูปที่ 4.2 และ 4.3 ได้แสดงสัดส่วนปริมาณคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำที่ถูกถ่ายเทไปสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์น้ำแต่ละชนิดที่ทำการศึกษา ซึ่งจากรูปดังกล่าวนี้สามารถอธิบายได้ว่าสัดส่วนคาร์บอนในอาหารสัตว์น้ำ คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกถ่ายเทมาสู่ตัวสัตว์น้ำแล้วคาร์บอนจะถูกตรึงมาสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์น้ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปลากะพงขาวมีค่าสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม คิดเป็น 97.47 และ 85.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีคาร์บอนอีกบางส่วนที่เหลือจากการตรึงไว้ในร่างกาย ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากตัวสัตว์น้ำผ่านกระบวนการขับถ่ายของเสีย การหายใจและการย่อยอาหาร โดยมีส่วนสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 1.66 และ 15.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าปลากะพงขาวมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายได้สูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมและมีการปล่อยคาร์บอนออกมาสู่บรรยากาศน้อยกว่าเช่นกัน ฉะนั้น ในการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวมีส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม



รูปที่ 4.2 ร้อยละสัดส่วนปริมาณคาร์บอน (C) ที่ถูกตรึงในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายกุ้งขาวแวนนาไม ที่ถ่ายเทมาจากอาหารที่กุ้งกินต่อวัน



รูปที่ 4.3 ร้อยละสัดส่วนปริมาณคาร์บอน (C) ที่ถูกตรึงไว้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายปลากะพงขาว ที่ถ่ายเทมาจากอาหารที่ปลากินต่อวัน

4.3 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว

การลงพื้นที่สำรวจฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว รวมทั้งตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ประมงในพื้นที่จังหวัดตรัง พบว่าฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละแหล่งมีการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อสัตว์น้ำออกสู่มือผู้บริโภคตลอดทั้งกระบวนการ อันได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับ

เครื่องปั๊มน้ำเพื่อปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การให้แสงสว่าง รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องให้อากาศและเครื่องให้อาหารสัตว์น้ำ นอกจากนี้ การใช้พลังงานจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องให้อากาศและการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องปั๊มน้ำในการปั๊มน้ำทะเลและสำหรับเครื่องให้อากาศภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมถึงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการขนส่งลูกพันธุ์สัตว์น้ำ อาหารสัตว์น้ำ และแก๊ส LPG มายังฟาร์มประมง และผลผลิตสัตว์น้ำจากฟาร์มประมงไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ซึ่งผลการศึกษาการใช้พลังงานภายในฟาร์มประมงพบว่าฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอน ($C_{emission}$) จากการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 16.30603 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ซึ่งสูงกว่าฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม คือ 11.66323 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งลูกพันธุ์ปลา อาหารปลา และแก๊ส LPG มายังฟาร์มประมง รวมทั้งผลผลิตปลากะพงขาวไปสู่ตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

การพิจารณาการใช้พลังงานในตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ซึ่งจากการลงพื้นที่สำรวจในจังหวัดตรัง พบว่าจะมีพ่อค้าคนกลางคอยรวบรวมผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมจากฟาร์มเลี้ยงต่าง ๆ มาที่ตลาดค้ากลางกุ้งของจังหวัดก่อนที่จะมีการกระจายผลผลิตกุ้งไปยัง 2 แหล่งด้วยกัน คือ ตลาดมหาชัย อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร โดยผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไม ร้อยละ 80 จะถูกส่งมาที่ตลาดแห่งนี้ เนื่องจากเกษตรกรสามารถขายผลผลิตกุ้งได้ราคาค่อนข้างยุติธรรม และอีกร้อยละ 20 ของผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมจะถูกส่งไปยังโรงงานอาหารแปรรูประโนด จังหวัดสงขลา ซึ่งผลผลิตกุ้งส่วนใหญ่ที่ถูกส่งมาขายที่โรงงานแปรรูปนี้ล้วนเป็นผลผลิตที่ได้จากฟาร์มเลี้ยงในเครือของบริษัทซีพี ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่สามารถแสดงข้อมูลการใช้พลังงานในส่วนของตลาดหรือโรงงานแปรรูปสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมในจังหวัดตรังได้

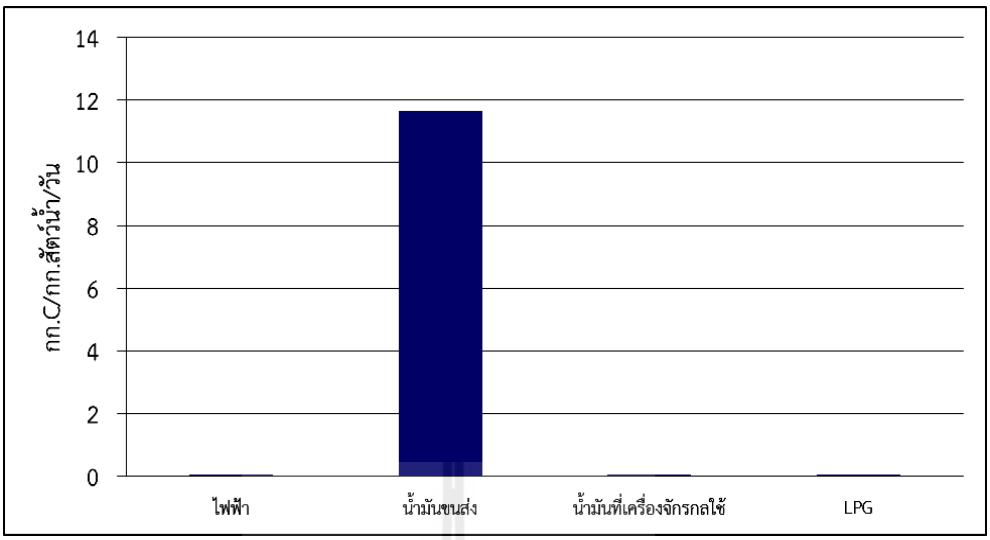
นอกจากนี้ ในการสำรวจตลาดหรือโรงงานแปรรูปสำหรับปลากะพงขาวในพื้นที่จังหวัดตรัง พบว่าเกษตรกรมีการกระจายผลผลิตปลากะพงขาวใน 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ ตลาดและร้านอาหาร ซึ่งการใช้พลังงานในส่วนของตลาดหรือโรงงานแปรรูปปลากะพงขาวส่วนใหญ่ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าสำหรับให้แสงสว่าง พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาว และการใช้แก๊ส LPG สำหรับการปรุงอาหาร ซึ่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอน ($C_{emission}$) จากการใช้พลังงานเท่ากับ 11.37811 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวและแก๊ส LPG เช่นเดียวกันกับฟาร์มประมง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 เช่นกัน

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอน (C-emission) จากการใช้พลังงานภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำในจังหวัดตรัง (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

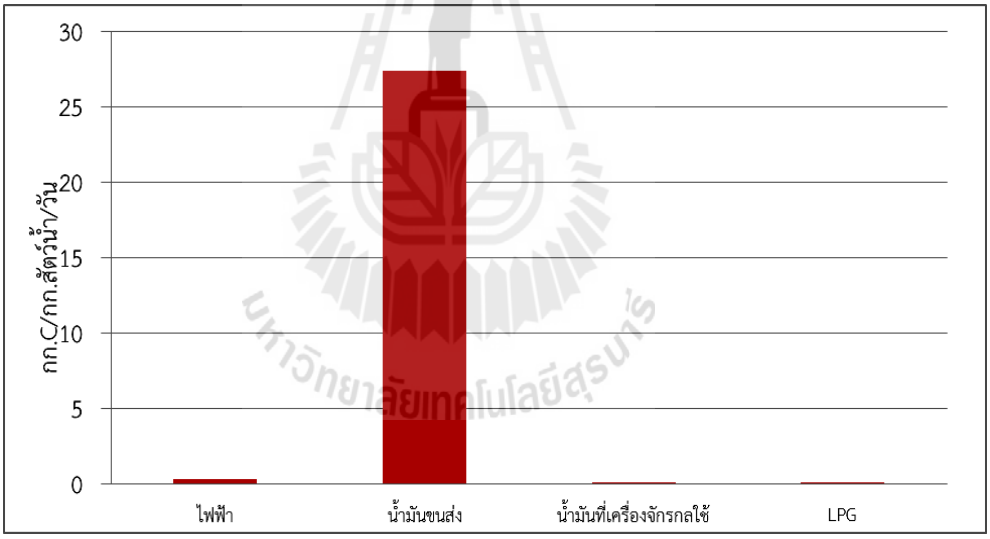
ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนจากการใช้พลังงาน		C-emission (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	
		กุ้งขาวแวนนาไม	ปลากะพงขาว
ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ	ไฟฟ้า	0.01320±0.01161	0.27835±0.26380
	น้ำมันขนส่ง	11.64956±10.36493	16.01955±11.38632
	น้ำมันที่เครื่องจักรกลใช้	0.00038±0.00101	0.00403±0.00402
	LPG	0.00009±0.00040	0.00410±0.00654
	รวม C จากการใช้พลังงาน/น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กก./วัน	11.66323	16.30603
ตลาดหรือโรงงานแปรรูป	ไฟฟ้า	N.D.	0.00662±0.00622
	น้ำมันขนส่ง	N.D.	11.35943±10.50312
	LPG	N.D.	0.01206±0.00955
	รวม C จากการใช้พลังงาน/น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กก./วัน	N.D.	11.37811
รวม $C_{emission}$ จากการใช้พลังงานทั้ง 2 แหล่ง	กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน	11.66323	27.68414

หมายเหตุ: * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 (2556) และ TC Common data (2556) ได้วิเคราะห์ค่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.5610 Kg.CO_2/kWh หรือ 0.153 kg.C/kWh

** Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) ได้ระบุค่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ในการขนส่ง = 0.0494 kg.CO_2/1 ton-km หรือ 0.014 kg.C/1 ton-km และการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (เผาไหม้อยู่กับที่) น้ำมันดีเซลมีค่า CO_2-emission = 2.7080 kg.CO_2/L หรือ 0.739 kg.C/L และจากการใช้แก๊ส LPG จะเกิด CO_2-emission = 3.11 Kg.CO_2/1 kg.LPG หรือ 0.848 kg.C/1 kg.LPG



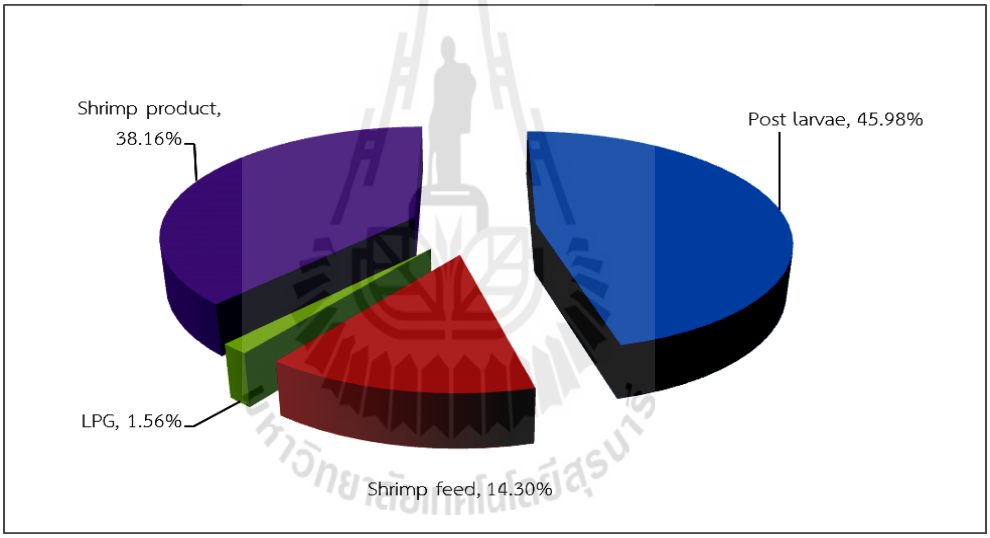
รูปที่ 4.4 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)



รูปที่ 4.5 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ในการผลิตเนื้อปลากะพงขาว 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)

จากผลการศึกษาการใช้พลังงานทั้งในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำแต่ละชนิดแล้วพบว่าพลังงานส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์น้ำคือพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งและพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งกุ้งขาวแวนนาไมพบว่ามีระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไมมายังฟาร์มประมงเท่ากับ 194.73 กิโลเมตร และระยะทางเฉลี่ยสำหรับการขนส่งอาหารกุ้งและแก๊ส LPG มายังฟาร์มประมงเท่ากับ 67.16 กิโลเมตร โดยเกษตรกรนิยมใช้รถกระบะในการบรรทุก ส่วนผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมจะ

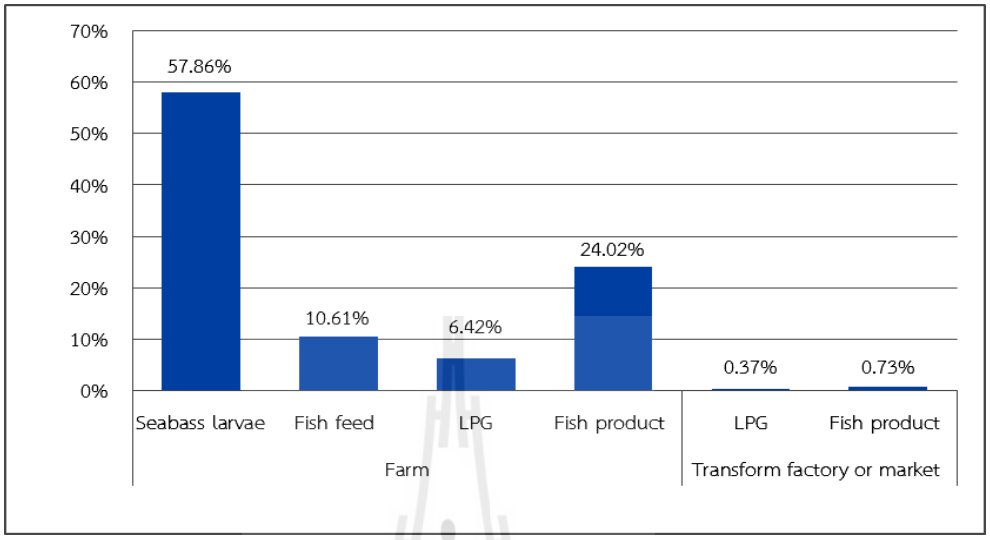
ถูกบรรทุกโดยรถบรรทุกตู้เย็น 10 ล้อ เพื่อกระจายผลผลิตไปยังตลาดมหาชัยหรือโรงงานแปรรูปอาหารระโนดซึ่งมีระยะทางขนส่งเฉลี่ย 161.65 กิโลเมตร โดยสามารถแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับการขนส่งดังรูปที่ 4.6 ในขณะที่ การใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งปลากะพงขาวสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการพิจารณาการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในช่วงของฟาร์มเลี้ยง ได้แก่ การขนส่งลูกปลามายังฟาร์มโดยรถกระบะมีระยะทางเฉลี่ย 79.28 กิโลเมตร ระยะทางเฉลี่ยสำหรับการขนส่งอาหารปลาและแก๊ส LPG โดยรถมอเตอร์ไซค์พ่วงมายังฟาร์มประมงเท่ากับ 23.34 กิโลเมตร และระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูปโดยรถกระบะเท่ากับ 32.92 กิโลเมตร ส่วนที่สองเป็นการพิจารณาการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในช่วงของตลาดหรือโรงงานแปรรูป ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการใช้พลังงานสำหรับการขนส่งเพียงแก๊ส LPG และผลผลิตปลากะพงขาวโดยรถกระบะมีระยะทางเฉลี่ยในการขนส่ง คือ 0.51 และ 0.98 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยสามารถแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับการขนส่งดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 สัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

สอดคล้องกับการศึกษาของ Pelletier and Tyedmers (2010) ที่สรุปไว้ว่ามีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระหว่างกระบวนการผลิต การแปรรูปผลิตภัณฑ์ และการขนส่งวัตถุดิบแต่ละชนิดก่อนที่จะนำเข้าสู่โรงเพาะฟักสัตว์น้ำ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ และโรงงานแปรรูป จนกระทั่งการกระจายผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำสู่ผู้บริโภค ซึ่งความต้องการใช้พลังงานในกระบวนการต่าง ๆ และระยะทางสำหรับการขนส่ง ตลอดจนรูปแบบในการขนส่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีความสำคัญต่อการปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งสิ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mungkung *et al.* (2006) ที่สรุปว่าระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำมีส่วนสำคัญในการปล่อยแก๊สเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะเดียวกัน ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณอาหารสัตว์น้ำ และการใช้ปูนขาวสำหรับ

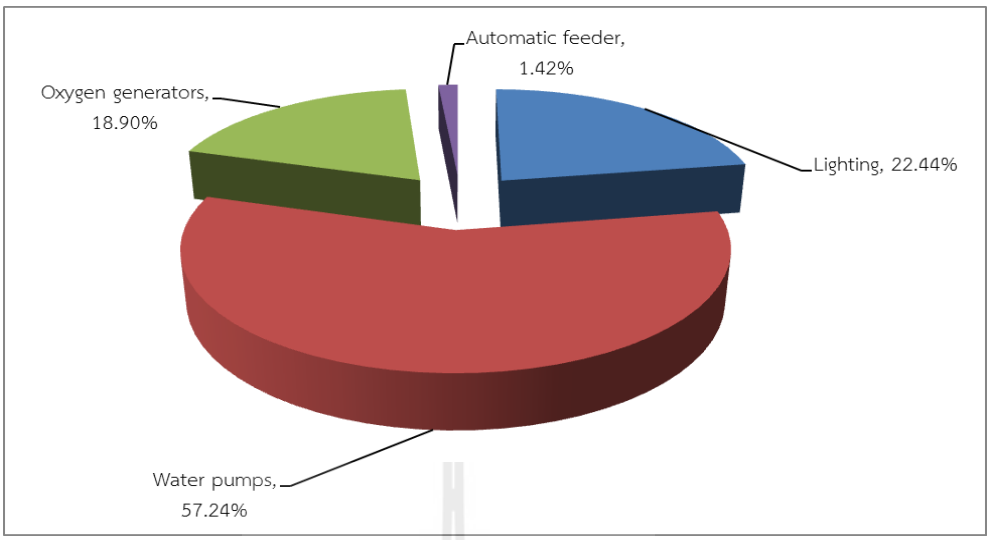
ปรับสภาพของน้ำและดินในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มแพลงก์ตอนพืชและอาหารธรรมชาติภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำล้วนมีความสำคัญต่อปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น



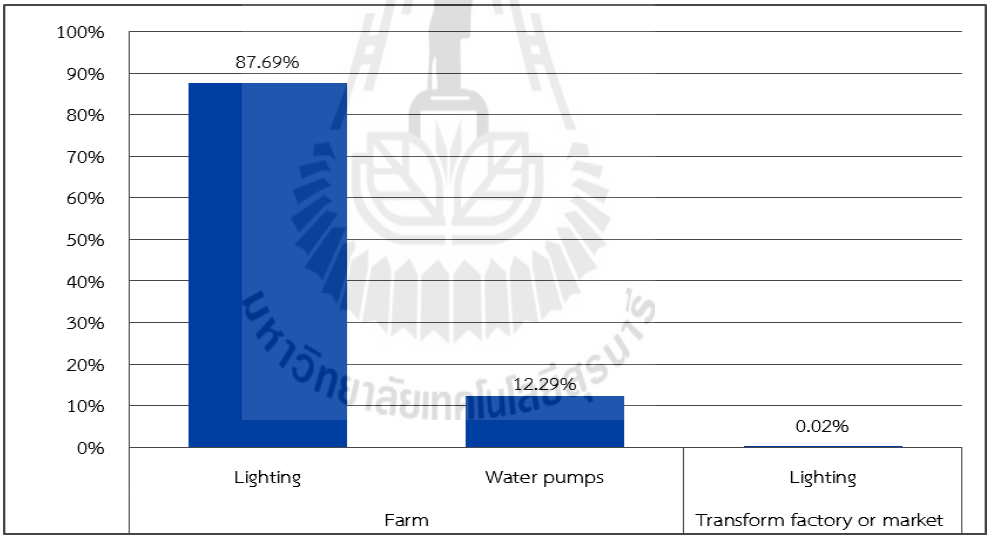
รูปที่ 4.7 สัดส่วนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งในฟาร์มเลี้ยงและตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาว

นอกจากนี้ การใช้พลังงานไฟฟ้าเองก็มีส่วนสำคัญต่อการปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาสามารถระบุได้ว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊มน้ำเพื่อปั๊มน้ำทะเลสูงที่สุด (4,4895.39 และ 6,996.97 กิโลวัตต์ตามลำดับ) รองลงมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการให้แสงสว่าง (17602.10 และ 49921.66 กิโลวัตต์ ตามลำดับ) ดังแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งในฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

ผลการศึกษาเรื่องการใช้พลังงานในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Hagos (2012) ที่รายงานว่าการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในเอเชียมีการปล่อยแก๊ส CO_2 จากกระบวนการผลิตอาหารปลามากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ และอีก 25 เปอร์เซ็นต์ มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั๊มน้ำเพื่อปั๊มน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยง ในขณะที่ การทำฟาร์มเลี้ยงปลาช่อนทะเลพบว่ามีการปล่อยแก๊ส CO_2 จากกระบวนการผลิตอาหารปลาประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานน้ำมันดีเซลสำหรับการขนส่งวัตถุดิบต่าง ๆ โดยเรือมายังฟาร์มประมงประมาณ 23 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 การใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

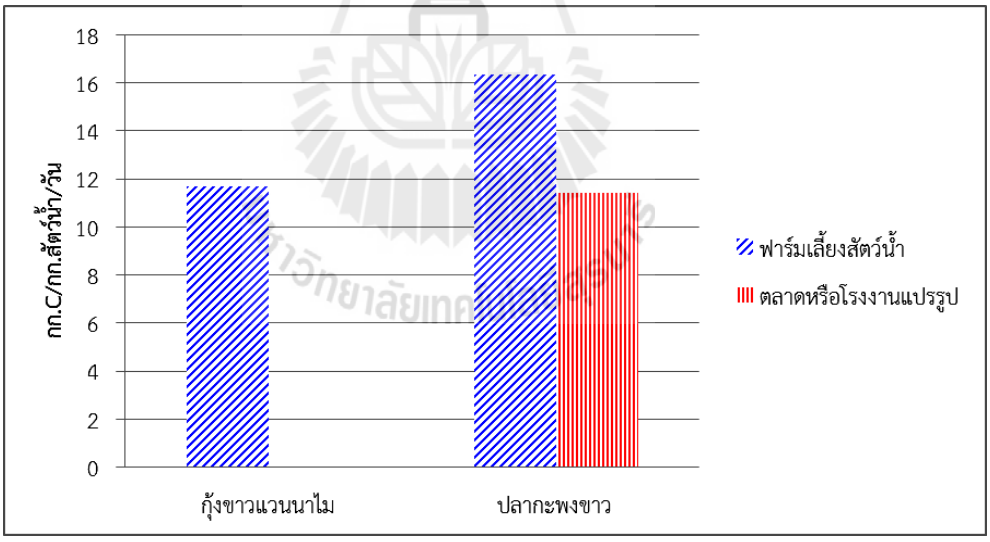


รูปที่ 4.9 การใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยง ตลาด และโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลากะพงขาว

จากการศึกษาพบว่าปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำ ความหนาแน่นของสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยง และปริมาณแก๊สออกซิเจนในบ่อเลี้ยง รวมทั้งเทคนิคในการจัดการฟาร์มประมงซึ่งล้วนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำในแต่ละรอบของการเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากนี้ Schwantes *et al*. (2009) กล่าวว่า อัตราการให้อาหารและการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงมีความสำคัญยิ่งต่อการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย เช่นเดียวกันมีการรายงานว่าขนาดของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตกุ้ง ปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการเลี้ยงกุ้ง และอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยง (Gordon and Bjorndal, 2009) ในขณะที่ Ruiz-Velazco *et al*. (2010) ได้รายงานว่า

การใช้เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการรอดและผลผลิตของกุ้งในรูปแบบการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตกุ้งได้มากถึง 32 เปอร์เซ็นต์ต่อรอบของการเลี้ยงกุ้ง

ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบจากผลผลิตสัตว์น้ำที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เท่ากัน พบว่ากระบวนการผลิตเนื้อปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอน (C-emission) จากการใช้พลังงานรวมทั้งฟาร์มเลี้ยงปลาและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม คิดเป็น 70.36 และ 29.64 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณการปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์น้ำ ตามลำดับ จากที่กล่าวมาข้างต้นการผลิตเนื้อปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอน (C-emission) จากการใช้พลังงานรวมสูงสุดเท่ากับ 27.68414 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน (ตารางที่ 4.13) ซึ่งเป็นการปล่อยคาร์บอนสูงสุดในช่วงของฟาร์มเลี้ยง (16.30603 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน) ในขณะที่มีการปล่อยคาร์บอนจากตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเท่ากับ 11.37811 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลรวมของปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานทั้งหมดจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ สามารถสรุปได้ว่าในแง่ของการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อปลากะพงขาวออกสู่มือผู้บริโภคนั้นมีส่วนสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเมื่อเทียบที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมเท่ากัน (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว เปรียบเทียบระหว่างฟาร์มเลี้ยงและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ โดยคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัม (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)

ผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานทั้งฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$C_{emission\ (พลังงาน)}$ = (4.2571) Pacific white shrimp + (10.1047) Giant perch (4.8)

โดยที่ $C_{emission\ (พลังงาน)}$ = ปริมาณคาร์บอนรวมที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวผ่านการกินอาหาร (ตันคาร์บอนต่อปี)

Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)

Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ในอาหารสัตว์น้ำ เนื้อสัตว์น้ำ และมูลสัตว์น้ำ รวมทั้งการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว

การศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างอาหาร มูล และเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว โดยได้สำรวจปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำแต่ละชนิดกิน รวมทั้งปริมาณมูลที่สัตว์น้ำแต่ละชนิดขับถ่ายออกมาใน 1 วันต่อตัว ทั้งนี้ยังเก็บข้อมูลด้านน้ำหนักของสัตว์น้ำที่มีชีวิตเฉลี่ยจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำที่ทำการศึกษา เพื่อนำมาเปรียบเทียบสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของมูลสัตว์น้ำแห้งที่ถูกขับถ่ายออกมาต่อน้ำหนักของอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปในแต่ละวัน ซึ่งพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีการขับถ่ายมูลออกมาในปริมาณที่มากกว่าปลากะพงขาวคิดเป็น 32.956 และ 26.040 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกินเข้าไป ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) ในทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกินต่อน้ำหนักสัตว์น้ำที่มีชีวิตเฉลี่ยรวมทั้งน้ำหนักมูลสัตว์น้ำแห้งที่ถูกขับถ่ายออกมาต่อน้ำหนักสัตว์น้ำที่มีชีวิต กลับพบว่าปลากะพงขาวมีปริมาณการกินอาหารและการขับถ่ายมูลออกมามากกว่ากุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการบริโภคคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำ (C_{input}) และปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาจากตัวสัตว์น้ำ ($C_{emitted}$) โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ต่อปริมาณคาร์บอนในอาหารที่กุ้งขาวแวนนาไมกิน ซึ่งมีค่าสูงกว่าในปลากะพงขาวเท่ากับ 13.333 และ 1.150 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในมูลสัตว์น้ำทั้งสองชนิดที่ได้ขับถ่ายออกมาเทียบกับปริมาณคาร์บอนจากอาหารที่สัตว์น้ำกินต่อวัน พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีสัดส่วนดังกล่าวสูงกว่าในปลากะพงขาวเช่นเดียวกัน คิดเป็น 1.200 และ 0.506 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในอาหารสัตว์น้ำ เนื้อและร่างกายของสัตว์น้ำ รวมทั้งมูลของสัตว์น้ำแต่ละชนิดจากห้องปฏิบัติการ พบว่าปลากะพงขาวมีปริมาณคาร์บอนสะสมในเนื้อและร่างกายมากกว่ากุ้งขาวแวนนาไม (49.64 และ 42.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สามารถสนับสนุนผลการศึกษาได้ว่าการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากุ้งขาวแวนนาไม หรือกล่าวได้ว่าปลากะพงขาวมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายได้ดีกว่ากุ้งขาวแวนนาไม ดังแสดงในรูปที่ 4.11

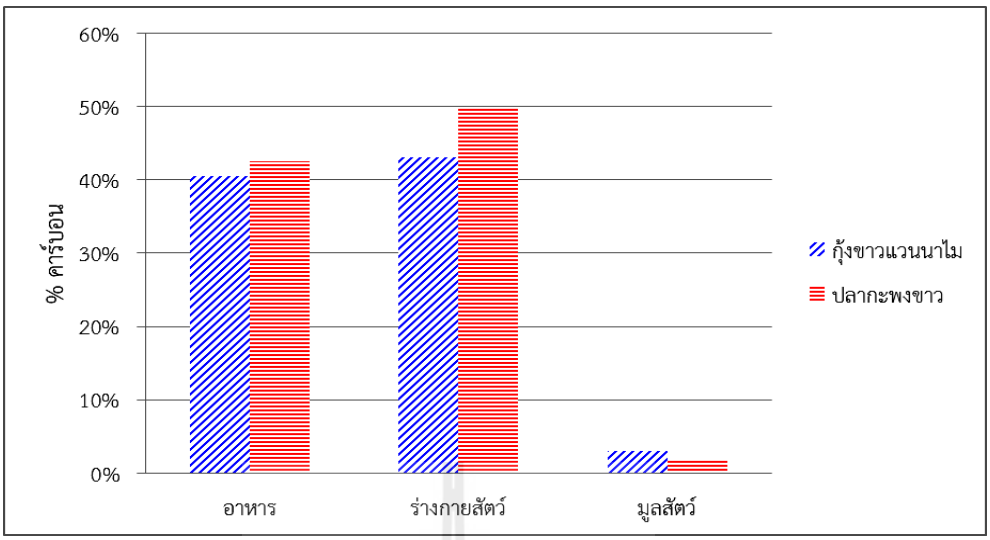
ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกินและน้ำหนักมูลแห้งที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาเปรียบเทียบที่น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์น้ำ	กุ้งขาวแวนนาไม	ปลากะพงขาว
เวลาการเลี้ยงสัตว์น้ำเฉลี่ยจากฟาร์มประมงที่ทำการศึกษา (วัน)	88.20741±20.56329	300.34483±184.85886
น้ำหนักสัตว์น้ำที่มีชีวิต (กก./ตัว)	0.01557±0.00637	2.29793±1.20942
น้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกิน (กก./ตัว/วัน)	0.00022±0.00020	0.01020±0.01055
น้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกิน (กก./กก.สัตว์น้ำ/วัน)	0.01857±0.01301	0.01851±0.02101
น้ำหนักมูลสัตว์น้ำแห้งที่ขับถ่าย (กก./ตัว/วัน)	0.00009±0.00010	0.00333±0.00323
น้ำหนักมูลสัตว์น้ำแห้งที่ขับถ่าย (กก./กก.สัตว์น้ำ/วัน)	0.00612±0.00669	0.00482±0.00419
น้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกินต่อน้ำหนักสัตว์น้ำที่มีชีวิต	0.029%	4.253%
น้ำหนักมูลสัตว์น้ำแห้งที่ขับถ่ายต่อน้ำหนักสัตว์น้ำที่มีชีวิต	0.009%	11.075%
น้ำหนักมูลสัตว์น้ำแห้งที่ขับถ่ายต่อน้ำหนักอาหารแห้งที่สัตว์น้ำกิน	32.956%	26.040%
C ในรูปแก๊ส CO_2 และ CH_4 ต่อ C ในอาหารสัตว์น้ำ	13.333%	1.150%
C ในมูลสัตว์น้ำต่อ C ในอาหารสัตว์น้ำ	1.200%	0.506%

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของค่าร้อยละความชื้น ขี้เถ้า ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของอาหารสัตว์น้ำ มูลสัตว์น้ำ และร่างกายสัตว์น้ำ (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สัตว์น้ำ	ชนิด	ความชื้น (%)	ขี้เถ้า (%)	ของแข็งระเหย (%TVS)	ปริมาณคาร์บอน (%C)	ความสัมพันธ์ %TVS และ%C	R^2
กุ้งขาวแวนนาไม	อาหาร	8.803±1.374	73.015±4.451	82.131±4.035	40.685±1.207	%TVS = 0.118(%C) + 77.325	0.100
	มูล	48.460±10.449	17.560±6.232	56.192±15.899	2.939±2.064	%TVS = 0.283(%C) + 55.362	0.100
	เนื้อ	79.427±2.086	82.377±1.596	77.973±3.937	42.605±0.644	%TVS = 0.251(%C) + 67.287	0.200
	เปลือก	68.218±9.453	64.575±4.393	17.330±13.056	38.495±1.199	%TVS = 0.026(%C) + 16.345	0.010
ปลากะพงขาว	อาหาร	55.620±30.165	74.294±3.550	71.281±4.611	42.705±2.689	%TVS = 0.183(%C) + 79.081	0.110
	มูล	50.370±4.279	60.277±5.791	39.107±9.247	1.802±0.578	%TVS = 2.074(%C) + 35.368	0.170
	เนื้อ	75.318±4.243	80.870±0.839	79.168±3.592	49.516±1.128	%TVS = 0.269(%C) + 92.507	0.070
	หนัง	65.183±2.532	68.173±1.915	69.933±4.786	34.529±1.175	%TVS = 2.421(%C) - 13.656	0.354
	กระดูก	62.542±6.242	92.069±6.683	91.392±7.438	37.278±1.336	%TVS = 0.713(%C) + 64.796	0.160

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนในอาหาร ร่างกายและมูลของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยได้แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้น ขี้เถ้า (Ash) ของแข็งระเหย (TVS) และปริมาณคาร์บอนจากตัวอย่างอาหาร มูล และเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว รวมทั้งยังแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของของแข็งระเหย (%TVS) กับค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอน (%C) ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างต่าง ๆ จากห้องปฏิบัติการได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น

ในขณะเดียวกัน ผลการศึกษาที่ได้นี้ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องจากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งสองชนิด ซึ่งอาศัยการจัดผลลัพธ์ในรูปแบบของเมตริกซ์ (Payoff matrix) โดยการนำเอาทางเลือกต่าง ๆ ได้แก่ การทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว รวมทั้งสถานการณ์การปล่อยคาร์บอนมาเรียงลำดับกันดังแสดงในตารางที่ 4.16 แล้วจึงทำการวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจโดยอาศัยทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542; Sullivan *et al*., 2003) ดังนี้

ตารางที่ 4.16 การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปแบบของเมตริกซ์ (Payoff matrix)

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์น้ำ	C-emission จากการใช้พลังงาน
กุ้งขาวแวนนาไม	0.0012	11.6632
ปลากะพงขาว	0.0001	27.6841

การวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ โดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซเพื่อนำมาประกอบการตัดสินในการบ่งชี้ชนิดของการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานการณ์ในการปล่อยคาร์บอนที่อาจเกิดขึ้นให้มีความน่าจะเป็นเท่า ๆ กัน หมายความว่ามีการกำหนดให้ความสำคัญของสถานการณ์ต่าง ๆ มีค่าเท่ากันหมด (ในที่นี้ n = 2) ดังแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 4.17 โดยผลการวิเคราะห์นี้สามารถสรุปได้ว่าการทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเป็นทางเลือกของการทำฟาร์มประมงที่ดีที่สุด (5.8322) ในขณะที่ การทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อปลากะพงขาวจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด (13.8421) โดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ

ตารางที่ 4.17 การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาซ

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	(C-emitted + C-emission)/n
กุ้งขาวแวนนาไม	(0.0012 + 11.6632)/2
ปลากะพงขาว*	(0.0001 + 27.6841)/2

หมายเหตุ: *ชนิดสัตว์น้ำที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

นอกจากนี้ การนำกฎสูงสุด (Maximax rules) เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจโดยการประยุกต์ใช้วิธีของเฮอร์วิกซ์ในการตัดสินใจต่อการเลือกทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ ด้วยการเลือกสถานการณ์การปล่อยคาร์บอนจากตารางที่ 4.16 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่สูงสุด จากนั้นจึงนำมาหาทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดจากทุกทางเลือกอีกครั้งหนึ่ง (สมการที่ 2.16 ในบทที่ 2) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่าการทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อปลากะพงขาว เพราะการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาว โดยการประยุกต์ใช้วิธีกฎสูงสุด (Maximax rules)

ตารางที่ 4.18 การปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำโดยการประยุกต์ใช้กฎสูงสุด (Maximax rules)

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	$\frac{\max Pij}{i(x)}$
กุ้งขาวแวนนาไม	11.6632
ปลากะพงขาว*	27.6841

หมายเหตุ: *ชนิดสัตว์น้ำที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

เมื่อนำกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ (Minimax regret rule) ของแต่ละทางเลือกในการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งสองชนิดมาประยุกต์ใช้เพื่อต้องการหลีกเลี่ยงค่าความเสียใจจากการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ด้อยกว่า ซึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกผลลัพธ์สูงสุดของแต่ละสถานการณ์

การปล่อยคาร์บอนจากตารางที่ 4.16 แล้วนำผลลัพธ์ดังกล่าวนั้นตั้งลบด้วยผลลัพธ์ทุก ๆ ตัวของแต่ละสถานการณ์ และจัดผลลัพธ์ที่ได้ใหม่ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.19 จากนั้นจึงเลือกค่าเสียใจสูงสุดของแต่ละทางเลือกนั้น แล้วจึงเลือกค่าต่ำสุดของแต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่ง (สมการที่ 2.17 ในบทที่ 2) ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์ที่ได้ใหม่ในตารางที่ 4.20 ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อปลากะพงขาว เพราะการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาว เมื่อพิจารณาโดยการประยุกต์ใช้วิธีกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ

ตารางที่ 4.19 ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำฟาร์มประมง

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์น้ำ	C-emission จากการใช้พลังงาน
กุ้งขาวแวนนาไม	0	16.0209
ปลากะพงขาว	0.0011	0

ตารางที่ 4.20 ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกจากการทำฟาร์มประมง

ทางเลือกของการทำฟาร์มประมง	$\left[\frac{\max Rij}{j}\right]$
กุ้งขาวแวนนาไม	16.0209
ปลากะพงขาว*	0.0011

หมายเหตุ: *ชนิดสัตว์น้ำที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีและกฎต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการบ่งชี้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทำฟาร์มประมงทั้งสองชนิดในการศึกษาครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่าการเลือกทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมเป็นทางเลือกของการทำฟาร์มประมงที่ดีที่สุด ในขณะที่การทำฟาร์มเลี้ยงและการผลิตเนื้อปลากะพงขาวจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากุ้งขาวแวนนาไม

4.5 แนวทางการวิเคราะห์เพื่อลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว ตลอดจนแนวโน้มของการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง

ผลรวมของค่าวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์น้ำในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลสัตว์น้ำ การหายใจ และการย่อยอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด (ตารางที่ 4.7) และการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำของ

จังหวัดตรัง (ตารางที่ 4.13) พบว่าค่าการปล่อยคาร์บอนรวมต่อกิโลกรัมของสัตว์น้ำต่อปีในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 4.258 และ 10.105 ตันคาร์บอนต่อสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ดังนั้น ตามหลักการอนุรักษ์มวล (UNECE TFEIP, 2004) และผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถนำมาบ่งชี้ถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการทำฟาร์มประมงเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว ดังสมการที่ 4.9 ดังนี้

$$C_{emitted\ (ตัวสัตว์น้ำ+พลังงาน)} = (4.258)\ \text{Pacific white shrimp} + (10.105)\ \text{Giant perch} \quad (4.9)$$

โดยที่ $C_{emitted\ (ตัวสัตว์น้ำ+พลังงาน)}$ = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์น้ำและจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (ตันคาร์บอนต่อปี)

Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)

Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

ผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศจากการทำฟาร์มประมงพบว่าตลอดทั้งกระบวนการของการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวออกสู่มือผู้บริโภค ล้วนมีการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศอันเนื่องจากการใช้พลังงานทั้งสิ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง ดังนั้นในการพิจารณาเพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอน ควรให้ความสนใจในประเด็นของการลดปริมาณการใช้พลังงานหรือการปรับเปลี่ยนแนวทางในการใช้พลังงาน ซึ่งจะสามารถลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวลงได้ เช่น ในระยะของการเลี้ยงสัตว์น้ำภายในฟาร์มประมง เกษตรกรควรเลือกใช้แก๊ส LPG มาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแก่เครื่องให้อากาศภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแทนการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) เนื่องจากแก๊ส LPG มีประสิทธิภาพในกระบวนการเผาไหม้สูงกว่า เกิดเขม่าควันน้อยกว่าและไม่มีขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ นอกจากนี้ แก๊ส LPG ยังเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด โดยคุณสมบัติที่สำคัญของแก๊ส LPG จะให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงระหว่าง 11,832 – 12,034 Kcal/kg หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 13.70 kWh/kg (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

ในขณะเดียวกัน แนวทางการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งตั้งแต่การขนส่งลูกพันธุ์สัตว์น้ำ อาหารสัตว์น้ำ และแก๊ส LPG มายังฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ ตลอดจนการขนส่งผลผลิตสัตว์น้ำจากฟาร์มประมงไปสู่ตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าเป็นภาคที่มีการใช้พลังงานและมีการปล่อยคาร์บอนออกมามากที่สุด ดังนั้นควรแนะนำให้เกษตรกรลดระยะทางสำหรับการขนส่งและลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งลง เช่น ควรเลือกซื้ออาหารสัตว์น้ำและแก๊ส LPG ภายในอำเภอหรือพื้นที่ใกล้เคียงกับฟาร์มประมง รวมทั้งควรวางแผนปริมาณการใช้อาหารสัตว์น้ำและแก๊ส LPG ตลอดจนวัตถุดิบอื่น ๆ ในกระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อช่วยลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งวัตถุดิบต่าง ๆ ลงได้ นอกจากนี้ ในการขนส่งผลผลิตสัตว์น้ำจากฟาร์มเลี้ยงไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป สำหรับการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมนั้น

พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมจับสัตว์น้ำจากฟาร์มของตนแล้วขนส่งผลผลิตไปยังตลาดมหาชัยโดยตรง โดยไม่ผ่านตลาดค้ากลางกุ้งของจังหวัด ซึ่งบางครั้งปริมาณผลผลิตในการขนส่งต่อเที่ยวอาจมีจำนวนค่อนข้างน้อย ดังนั้นควรแนะนำให้เกษตรกรส่งผลผลิตไปยังตลาดค้ากลางกุ้งของจังหวัดก่อนหรืออาจให้พ่อค้าคนกลางมาช่วยทำหน้าที่ในการรวบรวมผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมก่อนที่จะขนส่งไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูปต่อไป เพื่อลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งได้ ขณะที่การผลิตเนื้อปลากะพงขาว พบว่าเกษตรกรมักจับปลากะพงขาวขึ้นขายเมื่อมีลูกค้ามาติดต่อซื้อหรืออาจทยอยจับปลาขึ้นขายโดยการคัดปลาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นขายก่อน ทำให้ไม่มีกำหนดเวลาในการเลี้ยงปลากะพงขาวที่แน่นอน ฉะนั้นเกษตรกรควรหาตลาดหรือแหล่งขายผลผลิตปลากะพงขาวภายในท้องถิ่นหรือพื้นที่ใกล้เคียงกับฟาร์มเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น และมีการปรับปรุงอัตราการปล่อยปลาลงเลี้ยงในความหนาแน่นต่อพื้นที่บ่อเลี้ยงที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาการอ่อนแอและการเจริญเติบโตช้าในปลากะพงขาว ซึ่งจะช่วยให้ปลากินอาหารได้ทั่วถึง มีสุขภาพแข็งแรงและมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ทำให้เกษตรกรสามารถนำผลผลิตปลาขึ้นขายในเวลาใกล้เคียงกันได้

นอกจากนี้ แนวทางในการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวอีกแนวทางหนึ่ง โดยการจัดลำดับความสำคัญตั้งแต่การเลือกชนิดของสัตว์น้ำที่ควรแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรมีการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงเพื่อการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากสัตว์น้ำ เช่น จากการศึกษาในครั้งนี้ควรส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่าปลากะพงขาว เนื่องจากสัดส่วนของการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งจากตัวกุ้งขาวแวนนาไมและจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งมีค่าต่ำกว่าการผลิตเนื้อปลากะพงขาว นอกจากนี้ ควรคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิดให้ได้ขนาดที่เหมาะสมต่อความต้องการของตลาดและผู้บริโภคด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนต่อวันจากกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว โดยเทียบจากน้ำหนักของผลผลิตสัตว์น้ำที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อน้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวัน (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน) พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยคาร์บอนต่อน้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อวันสูงกว่าปลากะพงขาวทั้งที่ได้รับคาร์บอนจากอาหารน้อยกว่า นั่นคือกุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ $1.2x10^{-3}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน และได้รับคาร์บอนจากอาหารกุ้งผ่านการกินอาหารเท่ากับ 7.5×10^{-3} กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ในขณะที่ ปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอนต่อวันเพียง $1.0x10^{-4}$ กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน และได้รับคาร์บอนจากอาหารปลาผ่านการกินอาหารเท่ากับ 7.9×10^{-3} กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน แสดงให้เห็นว่าปลากะพงขาวสามารถตรึงคาร์บอนที่ได้รับจากอาหารมาเก็บสะสมไว้ในร่างกายสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม

นอกจากนี้ ค่าการปล่อยคาร์บอนต่อวันของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวส่วนใหญ่พบว่ามีการปล่อยคาร์บอนออกมาในรูปของมูลสัตว์น้ำ โดยกุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลกุ้ง คิดเป็น 13.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในรูปของมูลสัตว์น้ำแห้งพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมก็มีค่าสูงกว่าปลากะพงขาวเช่นกัน ซึ่งคิดเป็น 1.20 และ 0.51 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณมูลสัตว์น้ำ โดยจากการสำรวจข้อมูลฟาร์มประมงพบว่ากุ้งขาวแวนนาไมมีการขับถ่ายมูลออกมากกว่าปลากะพงขาว

สำหรับการปล่อยคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดพบว่ามีค่าค่อนข้างน้อย ทั้งนี้กุ้งขาวแวนนาไมมีการปล่อยออกมาเพียง 0.00003 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาทั้งหมด เพราะโดยธรรมชาติปลากะพงขาวเป็นปลาที่ปราดเปรียว ว่องไว ว่ายน้ำรวดเร็ว และสามารถกระโดดพ้นน้ำได้สูงเมื่อมีอาการตกใจหรือไล่เหยื่อ ในขณะที่กุ้งขาวแวนนาไมสามารถหาอาหารกินได้ทุกระดับความลึกของน้ำ มีนิสัยชอบว่ายล่องน้ำตามบริเวณขอบบ่อเลี้ยง และมักจะลอกคราบทุก ๆ สัปดาห์ และมีนิสัยตกใจง่าย ฉะนั้น จะเห็นได้ว่าปลากะพงขาวมีกระบวนการเมตาลิซึมในการดำรงชีวิตสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม

ผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำที่ได้ สามารถนำมาเขียนเป็นสมการโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวล (Mass conservation) ซึ่งจะได้แนวทางเพื่อนำมาบ่งชี้ปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากการผลิตเนื้อปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไมที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัมของผลผลิตสัตว์น้ำ ดังสมการที่ 5.1

$$C\text{-emitted}_{(\text{สัตว์น้ำ})} = (0.0004)\ \text{Pacific white shrimp} + (0.0005)\ \text{Giant perch} \quad (5.1)$$

โดย $C\text{-emitted}_{(\text{สัตว์น้ำ})}$ = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม (ตันคาร์บอนต่อปี)
Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)
Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

สำหรับการเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกสะสมในร่างกายสัตว์น้ำต่อปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากอาหารสัตว์น้ำที่กุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวกินต่อวัน ($C_{fixation}/C_{input}$) จากผลการศึกษาพบว่าปลากะพงขาวมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนจากอาหารมาสะสมไว้ในร่างกายได้สูงถึง 97.47 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไมที่มีการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายเพียง 85.33 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับสัดส่วนเนื้อรวมที่ได้จากตัวปลากะพงขาวซึ่งมีค่าสูงกว่ากุ้งขาวแวนนาไม และมีค่าเท่ากับ 84.400 และ 64.504 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นอกจากนี้ ผลการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำผ่านการกินอาหาร และปริมาณคาร์บอนที่ถูกสะสมในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิด ทั้งนี้จากหลักการอนุรักษ์มวลสามารถแสดงถึงปริมาณการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากปริมาณการกินอาหารของสัตว์น้ำทั้งสองชนิดดังสมการที่ 5.2 และการตรึงคาร์บอนมาสะสมไว้ในร่างกายของกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว ดังแสดงในสมการที่ 5.3

$$C_{input} = (0.0027)\ \text{Pacific white shrimp} + (0.0029)\ \text{Giant perch} \quad (5.2)$$

$$C_{fixation} = (0.0023)\ \text{Pacific white shrimp} + (0.0028)\ \text{Giant perch} \quad (5.3)$$

โดยที่ C_{input} = มวลคาร์บอนที่ถ่ายเทจากอาหารสัตว์น้ำไปสู่ตัวสัตว์น้ำผ่านการกินอาหารในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ (ตันคาร์บอนต่อปี)
$C_{fixation}$ = ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์น้ำ (ตันคาร์บอนต่อปี)
Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)
Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

5.1.2 ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว

ผลการศึกษาการใช้พลังงานภายในฟาร์มประมงพบว่าฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวมีการปล่อยคาร์บอน ($C_{emission}$) จากการใช้พลังงานรวมเท่ากับ 16.30603 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ซึ่งสูงกว่าฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่มีการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานภายในฟาร์มประมง

เพียง 11.66323 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งลูกพันธุ์ปลา อาหารปลา และแก๊ส LPG มายังฟาร์มประมง รวมทั้งการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวไปสู่ตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ

นอกจากนี้ การใช้พลังงานในส่วนของตลาดหรือโรงงานแปรรูปปลากะพงขาวส่วนใหญ่ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าสำหรับการให้แสงสว่าง พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวและแก๊ส LPG มายังตลาด รวมทั้งการใช้แก๊ส LPG สำหรับการปรุงอาหาร ทั้งนี้มีการปล่อยคาร์บอน ($C_{emission}$) จากการใช้พลังงานทั้งสิ้น 11.37811 กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน ซึ่งการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งผลผลิตปลากะพงขาวและแก๊ส LPG เช่นเดียวกับฟาร์มประมง

ในขณะเดียวกัน ผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานทั้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_{emission\ (พลังงาน)} = (4.2571)\ \text{Pacific white shrimp} + (10.1047)\ \text{Giant perch} \quad (5.4)$$

โดยที่ $C_{emission\ (พลังงาน)}$ = ปริมาณคาร์บอนรวมที่ถูกปล่อยจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวผ่านการกินอาหาร (ตันคาร์บอนต่อปี)

Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)

Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

5.1.3 แนวทางการวิเคราะห์เพื่อลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนจากกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว ตลอดจนแนวโน้มของการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวในจังหวัดตรัง

ผลรวมของค่าวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์น้ำแต่ละชนิดในรูปในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลสัตว์น้ำ การหายใจ และการย่อยอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด และการปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานทั้งฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำในพื้นที่จังหวัดตรัง พบว่าค่าการปล่อยคาร์บอนรวมต่อกิโลกรัมของสัตว์น้ำต่อปีในการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวมีค่าเท่ากับ 4.258 และ 10.105 ตันคาร์บอนต่อน้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ดังนั้น ตามหลักการอนุรักษ์มวลและจากผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถนำมาบ่งชี้ถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมจากการทำฟาร์มประมงสำหรับการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว ดังนี้

$$C_{emitted\ (ตัวสัตว์น้ำ+พลังงาน)} = (4.258)\ \text{Pacific white shrimp} + (10.105)\ \text{Giant perch} \quad (5.5)$$

โดยที่ $C_{emitted\ (ตัวสัตว์น้ำ+พลังงาน)}$ = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์น้ำและจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว (ตันคาร์บอนต่อปี)

Pacific white shrimp = น้ำหนักกุ้งขาวแวนนาไม (กิโลกรัม)

Giant perch = น้ำหนักปลากะพงขาว (กิโลกรัม)

ฉะนั้น ผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศจากการทำฟาร์มประมงพบว่าตลอดทั้งกระบวนการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวออกสู่มือผู้บริโภค ล้วนมีการปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศอันเนื่องจากการใช้พลังงานทั้งสิ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง ดังนั้น ในการพิจารณาเพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนควรให้ความสนใจในประเด็นของการลดปริมาณการใช้พลังงานหรือแนวทางในการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถลดการปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาว ดังนี้

- แนวทางที่หนึ่ง การจัดลำดับความสำคัญตั้งแต่การเลือกชนิดของสัตว์น้ำที่ควรแนะนำและส่งเสริมให้ทำฟาร์มเพาะเลี้ยงสำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากสัตว์น้ำ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ควรส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่าปลากะพงขาว เนื่องจากสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนรวมทั้งจากตัวกุ้งขาวแวนนาไมและจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อกุ้งมีค่าต่ำกว่าในการทำฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาว

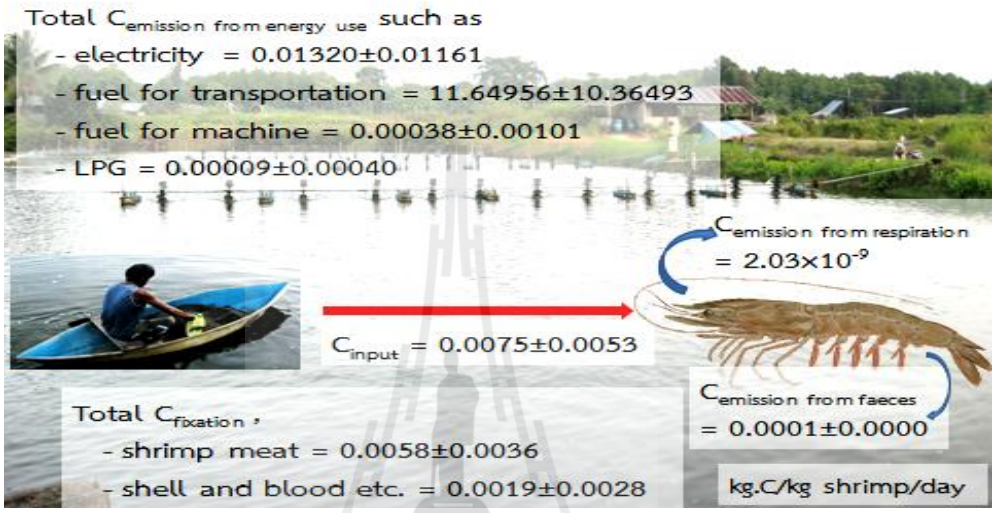
- แนวทางที่สอง ควรเลือกใช้แก๊ส LPG มาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแก่เครื่องให้อากาศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) เนื่องจากแก๊ส LPG มีประสิทธิภาพในกระบวนการเผาไหม้สูงกว่า เกิดเขม่าควันน้อยกว่า และไม่มีขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ นอกจากนี้ แก๊ส LPG ยังเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยกว่าการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง

- แนวทางที่สาม ควรลดระยะทางสำหรับการขนส่งและลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งลง เช่น ควรเลือกซื้ออาหารสัตว์น้ำและแก๊ส LPG ภายในอำเภอหรือพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับฟาร์มประมง รวมทั้งควรวางแผนปริมาณการใช้อาหารสัตว์น้ำและแก๊ส LPG ตลอดจนวัตถุดิบอื่น ๆ ในกระบวนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งวัตถุดิบต่าง ๆ ลงได้

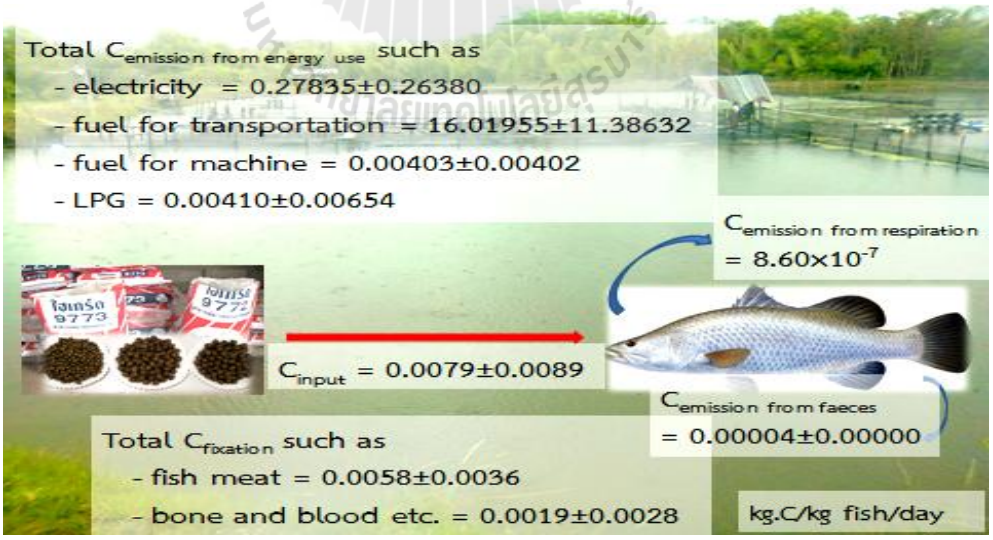
- แนวทางที่สี่ ควรแนะนำให้มีการรวบรวมผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมก่อนที่จะขนส่งไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป เพื่อลดจำนวนเที่ยวในการขนส่ง ส่วนผลผลิตปลากะพงขาวเกษตรกรควรปล่อยปลาลงเลี้ยงในความหนาแน่นที่เหมาะสมและควรตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้มีความเหมาะต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งจะช่วยให้ปลามีสุขภาพแข็งแรงและมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถขายผลผลิตปลากะพงขาวในเวลาใกล้เคียงกันได้ รวมทั้งยังเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงปลากะพงขาว

5.2 สรุปภาพรวมการถ่ายเทมวลคาร์บอน การตรึงคาร์บอน และการปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไมและเนื้อปลากะพงขาวจากการทำฟาร์มประมง

ผลการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากอาหารสัตว์น้ำ การตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายสัตว์น้ำ และการปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์น้ำและการใช้พลังงาน สามารถสรุปภาพรวมได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 ภาพรวมการถ่ายเทมวลคาร์บอน การตรึงคาร์บอน และการปล่อยคาร์บอนทั้งระบบของการผลิตเนื้อกุ้งขาวแวนนาไม



รูปที่ 5.1 ภาพรวมการถ่ายเทมวลคาร์บอน การตรึงคาร์บอน และการปล่อยคาร์บอนทั้งระบบของการผลิตเนื้อเนื้อปลากะพงขาว

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกจังหวัดตรังเป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีการประกอบกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นหลักและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนฟาร์มเลี้ยงกุ้งมากขึ้นในอนาคต ในขณะที่ฟาร์มเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อดินกลับมีจำนวนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรหันไปเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังแทน ในขณะเดียวกัน การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยเฉพาะทางภาคใต้และภาคตะวันออกในเขตจังหวัดที่มีพื้นที่ติดต่อกับชายฝั่งทะเล ซึ่งมีการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำหลากหลายชนิดด้วยกัน นอกจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาวแล้ว ยังมีการทำฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ กุ้งก้ามกราม หอยแมลงภู่ หอยนางรม ปลาดุก ปลานิล และปลาทับทิม ดังนั้น ควรให้ความสำคัญและเร่งทำการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากการทำฟาร์มประมงชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการถ่ายเทมวลคาร์บอนและการปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการผลิตเนื้อสัตว์น้ำ เพื่อการพัฒนาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย

2) การเก็บข้อมูลทางการประมงเพื่อพิจารณาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อสัตว์น้ำจากการทำฟาร์มประมง ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลเฉพาะฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำเท่านั้น ซึ่งยังไม่ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมดในการผลิตอาหารประเภทเนื้อที่ได้จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้น ในอนาคตควรส่งเสริมให้มีการศึกษาและวิจัยตั้งแต่กระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ อาหารเสริมที่นำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ และโรงเพาะฟักและอนุบาลลูกพันธุ์สัตว์น้ำด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2556). **สถิติพลังงานและการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2555**. ฝ่ายสิ่งแวดล้อมโครงการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 49 หน้า.

กระทรวงการต่างประเทศ ประเทศไทย. (2006). **การประมงนอกน่านน้ำและบทบาทของกระทรวงการต่างประเทศ** [ออนไลน์].สืบค้นจาก: http://www.mfa.go.th/web/1742.php?id=7251.

กรมประมง. (2536). **การเลี้ยงปลาน้ำกร่อย**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กรมประมง. (2552). **ผลผลิตการเลี้ยงปลาน้ำกร่อย จำแนกตามชนิดและประเภทการเลี้ยงเป็นรายจังหวัด ปี 2552** [ออนไลน์]. หนังสือสถิติการประมงแห่งประเทศไทย, กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, ศูนย์สารสนเทศ. กรมประมง. สืบค้นจาก: www.fisheries.go.th/it-stat/.

กรมประมง. (2554). **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2553** [ออนไลน์]. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, ศูนย์สารสนเทศ. กรมประมง. สืบค้นจาก: http://www.fisheries.go.th/it-stat/yearbook/data_2553/Yearbook/yearbook2010.pdf.

กรมประมง. (2555). **สถานการณ์สินค้ากุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์ ปี 2555** [ออนไลน์]. กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ, ส่วนเศรษฐกิจการประมง. กรมประมง. สืบค้นจาก: http://www.thai-frozen.or.th/news_45.php.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542). **Biomass energy in Asia: A study on selected technologies and policy options**. อ้างถึงใน นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช และ วันชัย ริ้วไพบูลย์. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรรณิการ์ กิจติเวชกุล. (2548). **CARBON CREDIT โลกสีดำจากพิธีสารเกียวโต**. นิตยสาร a day weekly. ฉบับที่ 043.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2545). **หลักสถิติ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกษม จันทร์แก้ว. (2540). **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 4. โครงการสหวิทยาการพัฒนาบัณฑิตศึกษา, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. เล่มที่ 4. มหาวิทยาลัยรังสิต.

กฤษณ์ มงคลปัญญา และ อมรา ทองปาน. (2540). **ชีววิทยา**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กฤษณ์ เสรีรัตน์. (2545). **การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของปลากะพงขาวในกระชังในจังหวัดสงขลา ปีการผลิต 2543**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จงจินต์ ผลประเสริฐ (2546). เราควรทำอย่างไร สำหรับพิธีสารเกียวโตในการลดปริมาณระบายแก๊สเรือนกระจก. **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย**. (หน้า 167-175). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จรวย เพชรรัตน์. (2542). **การวิเคราะห์ระบบย่อยของระบบธุรกิจเกษตร**. เอกสารประกอบการสอน คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฉลอง อักโขมี. (2544). **การวิเคราะห์เศรษฐกิจการเลี้ยงปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ในกระชัง ในอำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี**. ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาธุรกิจเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เฉลิมศักดิ์ วานิชสมบัติ. (2549). สภาวะโลกร้อน การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ นโยบาย กฎระเบียบ กระบวนการ และข้อดีของกลไกการพัฒนาที่สะอาด. **การสัมมนาวิชาการเรื่อง ผู้ประกอบการได้อะไร...จากโครงการด้านกลไกการพัฒนาที่สะอาด: Clean Development Mechanism, CDM**. (หน้า 1-31). กรุงเทพฯ: สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล. (2547). **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ: บริษัทเมจิค พับบลิเคชั่น จำกัด.

ทิม พรรณศิริ. (2531). **ชนิดของสัตว์เลี้ยง**. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, เล่มที่ 12.

ธีรวุฒิ ชีพชัยอิสสระ. (2545). **ต้นทุนและผลตอบแทนจากการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา กรณีศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.** ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาธุรกิจเกษตร. มหาวิทยาสงขลานครินทร์.

นิตยา เลาหะจินดา. (2528). **นิเวศวิทยา**. กรุงเทพฯ: บูรณาพาสาสน์.

นิตยา เลาหะจินดา. (2549). **นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช และ วันชัย ริ้วไพบูลย์. (2547). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประธาน เกิดกล่ำ. (2549). **ความต้องการฝึกอบรมของอาสาพัฒนาปศุสัตว์ประจำหมู่บ้านในจังหวัดน่าน** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dld.go.th/person/information/wor10/192.doc.

ปราณี พันธุมสินชัย. (2542). **ISO 14000 มาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมและกฎหมายสิ่งแวดล้อมไทย (สำหรับผู้บริหาร)**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรารถนา ยศสุข. (2551). **การสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:http://sas.mjuknow.org/modules/extcal/event.php?event=2.

พัชรา วีระกะลัส. (2544). **พลังงานและเมแทบอลิซึม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 438 หน้า.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2539). **นิเวศวิทยาบนบก**. กรุงเทพฯ: โครงการการศึกษาทั่วไป ฝ่ายบริการวิชาการ, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พูลทรัพย์ วิรุฬหกุล, นิรชา วงษ์จินดา, สมเกียรติ์ กาญจนาคาร, วราภา มหากาญจนกุล และ ณัฐชนก อมรเทวภัทร. (2547). การวิเคราะห์สภาพปัญหาความเสี่ยงของยาต้านจุลชีพในกระบวนการผลิตกุ้งกุลาดำ. **วารสารการประมง**. 57(2): 139-146.

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2542). **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

ไพสิฐ เลาหะกูล. (2544). **การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงปลากะพงในกระชัง ในจังหวัดพังงา**. ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาธุรกิจเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มุกดา สุขสมาน. (2536). **ชีวิตกับสภาพแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. (2544). **การจัดการคุณภาพน้ำและการำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ**. เล่มที่ 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มัลลิกา บุนนาค. (2551). **สถิติเพื่อการวิจัยและตัดสินใจ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. ภาควิชาสถิติ, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินัย วีระวัฒนานนท์. (2530). **สิ่งแวดล้อมศึกษา**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

วิสาข์ สุพรรณไพบูลย์. (2543). **ภาวะวิกฤติเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ**. โครงการบัณฑิตศึกษา, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและสาขาการจัดการลุ่มน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. (2536). **อาหารปลา**. ภาควิชาวาริชศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. 253 หน้า.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2538). **การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2544). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและพลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรเทพ ธัมวาสร. (2545). **กลยุทธ์การวิจัยทางสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

สถาบันอาหาร. (2548). ภาวการณ์ผลิตกุ้งของประเทศไทย ระบบจัดการการเพาะเลี้ยงกุ้ง. **วารสารสถาบันอาหาร**: 4-5.

สันต์ สิริภักดิ์. (2536). **การอนุรักษ์ดินและน้ำ**. กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์.

สุรัตน์ ตั้งไพฑูรย์. (2547). **Life cycle assessment (LCA) and eco design for the electrical and electronics industries**. กรุงเทพฯ: สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.

สุรินทร์ นิยมางกูร. (2542). **เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: เกษตรศาสตร์.

สมพงษ์ ธรรมถาวร. (2541). **หลักชีววิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เอกสารประกอบการสอนวิชาชีววิทยา, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (1994). **Thailand's national greenhouse gas inventory** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.thaiwikidata.org/wiki/index.php.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2544). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบการบริหารงานคุณภาพ: ข้อกำหนด มอก: 9001-2540**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. 30 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2547). **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี ๒๕๔๗**. เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ ๔๑๐. กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2551). **กุ้งทะเลเพาะเลี้ยง: เนื้อที่เพาะเลี้ยง ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ รายภาคและรายจังหวัด ปี 2551**. กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุล, พิสมัย สมสืบ, นุชนรี ทองศรี และ สาวิตรี วงศ์สุวรรณ. (2548). **อาหารและการผลิตอาหารสัตว์น้ำ**. กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง, กรมประมง.

อรรถชัย จินตะเวช. (2547). **การสะสมคาร์บอน**. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). **นิเวศวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

Adams, C. A., Andrews, J. E. and Jickells, T. (2012). Nitrous oxide and methane fluxes vs. carbon, nitrogen and phosphorous burial in new intertidal and saltmarsh sediments. **Science of The Total Environment**. 434: 240–251.

Agrawal, R. C. and Heady, E. O. (1972). **Operations research methods for agricultural decisions**. Iowa: The Iowa State University Press.

Andersson, D. I. and Levin, B. R. (1999). The biological cost of antibiotic resistance. **Current Opinion in Microbiology**. 2: 489-493.

APHA, AWWA, WEF. (1992). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18th edition. Wash. D.C., USA: American Public Health Assoc.

Arnold, T. (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**. 20(1): 435-456.

Arthur, J. R. (2008). General principles of the risk analysis process and its application to aquaculture. Quoted in Bondad-Reantaso, M. G., Arthur, J. R., Subasinghe, R. P. (Eds.). Understanding and applying risk analysis in aquaculture. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper**. 519: 3-8.

Asia Pacific Food Industry Thailand (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. (2006). **Trend Watch: Thailand's seafood industry**. หน้า 24-26 (อ้างอิงข้อมูลจากกรมส่งเสริมการส่งออกกระทรวงพาณิชย์).

Aubin, J., Papatryphon, E., van der Werf, H. M. G. and Chatzifotis, S. (2009). Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**. 17: 354-361.

Aubin, J., Papatryphon, E., van der Werf, H. M. G., Petit, J. and Morvan, Y. M. (2006). Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) recirculating production system using life cycle assessment. **Aquaculture**. 261: 1259-1268.

Baragi, V. and Lovell, R. T. (1986). Digestive enzyme activities in striped bass from first feeding through larva development. **Transactions of the American Fisheries Society**. 115: 478-484.

Berg, H., Michelsen, P., Troell, M., Folke, C. and Kautsky, N. (1996). Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. **Ecological Economics**. 18: 141-159.

Bert, M., Peter, B., Rutu, D. and Leo, M. (2007). **Climate change 2007: Mitigation**. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press.

Bishop, P. L. (2000). **Pollution prevention - fundamentals and practice**. New York: McGraw-Hill.

Black, C. A., Evans, D. D., White, S. L., Ensminger, L. E. and Clark, F. E. (1965). **Method of soil analysis**. New York: American Society of Agronomy. 1572 p.

Boonyaratpalin, S. (1989). Bacterial pathogens involved in the epizootic ulcerative syndrome of fish in Southeast Asia. **Journal of Aquatic Animal Health**. 1: 272-276.

Bouwman, A. F. (1998). Nitrogen oxides and tropical agriculture. **Nature**. 392: 866-867

Bunting, S. W. and Pretty, J. (2007). **Aquaculture development and global carbon budgets: Emissions, sequestration and management options**. Centre for Environment and Society Occasional Paper 2007-1. Colchester, UK: University of Essex.

Burg van den, S. W. K., Taal, C., Boer de, I. J. M., Bakker, T. and Viets, T. C. (2012). **Environmental performance of wild-caught North Sea whitefish: A comparison with aquaculture and animal husbandry using LCA**. LEI, Den Haag. Report no. 2011-090. 53 p.

Buswell, A. M. and Mueller, H. F. (1952). Mechanisms of methane fermentation. **Industrial Engineering Chemistry**. 44: 550-552.

Casey, T. J. (1981). Developments in anaerobic digestion. **Transactions of the Institute of Engineers in Ireland**. 105: 25-32.

Cavana, R. Y., Delahaye, B. L. and Sekaran, U. (2000). **Applied business research: Qualitative and quantitative methods**. New York: John Wiley & Sons.

Canadell, J. G. and Noble, I. (2001). Challenges of a changing earth. **Trends in Ecology & Evolution**. 16(12): 664-666.

Canadell, J. G. and Pataki, D. (2002). New advances in carbon cycle research. **Trends in Ecology & Evolution**. 17(4): 156-158.

Chaturvedi, M. L., Singh, U. B. and Ranjhan, S. K. (1973). Effect of feeding water-soaked and dry wheat straw on feed intake, digestibility of nutrients and VFA production in growing zebu and buffalo calves. **Journal of Agricultural Science**. 80(3): 393-397.

Colt, J., Summerfelt, S., Pfeiffer, T., Fivelstad, S. and Rust, M., (2008). Energy and resource consumption of land-based Atlantic salmon smolt hatcheries in the Pacific Northwest (USA). **Aquaculture**. 280: 94-108.

Cunningham, W. P. and Saigo, B. W. (2001). **Environmental science: A global concern**. 9th edition. Singapore: McGraw-Hill Higher Education. 646 p.

Curran, M. A. (1993). Broad-based environmental life cycle assessment. **Environmental Science & Technology**. 27: 430-436.

Dämmgen, U. and Webb, J. (2006). The development of the EMEP/CORINAIR guidebook with respect to the emissions of different nitrogen and carbon species from animal production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 112: 241-248.

Davidson, E. A. and Ackerman, I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**. 20: 161-193.

Davis, J. and Paustian, K. (2002). **The greenhouse effect and carbon sequestration**. Publication of Cooperative Extension. Department of Soil & Crop Sciences. Colorado State University.

De Silva, S. S. and Anderson, T. A. (1995). **Fish nutrition in aquaculture**. Aquaculture Series 1. London: Chapman and Hall. 384 p.

Degani, G., Viola, S. and Yehuda, Y. (1997). Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus*). **Israeli Journal of Aquaculture**. 49(3): 115-123.

Devore, J. L. (1995). **Probability and statistics for engineering and the sciences**. 4th edition. USA: Wadsworth.

Diana, J. S. (2009). Aquaculture production and biodiversity conservation. **Bioscience**. 59: 27-38.

Dunn, M. S., Camien, M. N., Malin, R. B., Murphy, E. A. and Reiner, P. J. (1949). Percentages of twelve amino acids in blood, carcass, heart, kidney, liver, muscle, and skin of eight animals. **University of California publications in Physiology**. 8: 293-325.

Edward, A. M. and Frank, R. (1998). **Statistical procedures for analysis of environmental monitoring data and risk assessment**. New Jersey: Prentice-Hall.

Ellingsen, H., Olaussen, J. O. and Utne, I. B. (2009). Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry: A preliminary study focusing on farmed salmon. **Marine Policy**. 33: 479-488.

Enell, M. (1995). Environmental-impact of nutrients from Nordic fish farming. **Water Science and Technology**. 31: 61-71.

FAO. (2009). **The state of world fisheries and aquaculture 2008**. Rome: FAO.

FAO. (2010). **FishStat plus: Universal software for fishery statistical time series**. Aquaculture Production: 1950-2007; Capture Fisheries 1950-2007. Rome: FAO Fisheries Department.

Gordon, D. V. and Bjerndal, T. (2009). A comparative study of production factors and productivity for shrimp farms in three Asian countries: Bangladesh, India, and Indonesia. **Aquaculture Economics and Management**. 13: 176-190.

Guinée, J. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 7: 311-313.

Guttormsdóttir, A. B. (2009). Life cycle assessment on Icelandic cod product based on two different fishing methods. M.Sc. Thesis. Environmental impacts from fisheries. University of Iceland.

Hagos, W. K. (2012). **Survey of resource use efficiency and estimation of carbon and water footprints in fish farming systems using life cycle analysis**. Ph.D. Thesis. Environment and Science, University of Rhode Island.

Hanzade, H. A., Ersoy, A. M. and Sadriye, K. (2001). Effect of mineral matter on the reactivity of lignite chars. **Energy Conversion and Management**. 42: 11-20

Hartung, J. (1992). Emission and control of gases and odorous substances from animal housing and manure stores. **Ziegler, Biersack and Littmark Hygiene**. 192(5): 389-418.

Hartung, J. and Phillips, V. R. (1994). Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 57(3): 173-189.

Henken, A. M., Tigghelaar, A. J. and van Muiswinke, W. E. (1987). Effects of feeding level on antibody production in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), after injection of *Yersinia ruckeri* O-antigen. **Journal of Fish Diseases**. 11: 85-88.

Herren, R. V. (1994). **The science of animal agriculture**. New York: Delmar publishers Inc.

Herren, R. V. (1998). **The science of animal agriculture**. 2nd edition. New York: Deimar. 260 p.

Hirota, M., Tang, Y., Hu, Q., Kato, T., Hirata, S., Mo, W., Cao, G. and Mariko, S. (2005). The potential importance of grazing to the fluxes of carbon dioxide and methane in an alpine wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau. **Atmospheric Environment**. 39: 5255-5259.

Hogan, K. B. (1993). Anthropogenic methane emissions in the United States: Estimates for 1990 report to congress. Washington: United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Houghton, R. A. and Hackler, J. L. (2000). Changes in terrestrial carbon storage in the United States, the roles of agriculture and forestry. **Global Ecology and Biogeography**. 9: 125-144.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). **Contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1996). **Guidelines for national greenhouse gas inventory** [On-line]. Available: http://www.ipcc-nggip. iges.or.jb/public/gl/invs1.htm.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). **Climate change 2001, the scientific basis**. The third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). **ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก**. อ้างอิงใน องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. พิมพ์ครั้งที่ 1. 49 หน้า.

International Organization for Standardization (ISO). (2006). **Environmental management-life cycle assessment: Requirements and guidelines, ISO 14044**. Switzerland: ISO International organization for standards.

Izac, A. M. N. and Swift, M. J. (1994). On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in Sub-Saharan Africa. **Ecological Economics**. 11: 105-125.

Iwasaki, K., Haryu, T., Tano, R., Terada, F., Itoh, M. and Kameoka, K. (1982). New animal metabolism facility especially the description of respiration apparatus. **Bulletin of the National Institute of Animal Industry**. 39: 41-78.

Kharas, H. (2010). **The emerging middle class in developing countries**. Paris: OECD Development Centre. 61 p.

Keller, M., Veldkamp, E., Weitz, A. M. and Reiners, W. A. (1993). Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica. **Nature**. 365: 244-246.

Kemp, D. D. (1994). Global environmental issues: A climatological approach. 2nd edition. London: Routledge. 224 p.

Kerr, S., Liu, S., Pfaff, A. S. P. and Hughes, R. F. (2003). Carbon dynamics and land-use choices: Building a regional-scale multidisciplinary model. **Journal of Environmental Management**. 69: 25-37.

Kirchgessner, M., Windisch, W. and Miller, H. L. (1995). **Nutritional factors for the quantification of methane production**. Quoted in Engelhardt, W. V., Leonhard-Marek, S., Breves, G. and Giesecke, D. (Eds.). Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. pp. 333-348.

Kirkwood, R. C. and Longley, A. J. (1995). **Clean technology and the environment**. London: Blackie Academic.

Krejcie, R. V. and Morgan, E. W. (1970). **Determining sample size for research activities**. Educational and psychological measurement. pp. 607-610.

Kupchella, C. E. and Hyland, M. C. (1989). **Environmental science: Living within the system of nature**. 2nd edition. Boston: Allyn and Bacon. 637 p.

Leng, P. A. (1991). **Improving ruminant production and reduction methane emissions from ruminants by strategic supplementation**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Levin, E., Collins, V., Varner, D. S., Williams, G. and Hardenbrook, H. J. (1973). Dietary protein for man and animal. **Illinois Veterinarian**. 16: 10-14.

Jonathan, L. (2000). **Living planet report 2000**. Switzerland: World Wide Fund for Nature.

Loladze, I. (2002). Rising atmospheric CO_2 and human nutrition: Toward globally imbalanced plant stoichiometry. **Trends in Ecology & Evolution**. 17(10): 457-461.

Malhi, Y. and Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. **Trends in Ecology & Evolution**. 15(8): 332-337.

Manlay, R. J., Kaïré, M., Masse, D., Chotte, J. L., Ciornei, G. and Floret, C. (2002a). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna I. The plant component under semi-permanent cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 88(3): 215-232.

Manlay, R. J., Chotte, J. L., Masse, D., Laurent, J. Y. and Feller, C. (2002b). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna II. Plant and soil components under continuous cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 88(3): 249-269.

Manlay, R. J., Ickowicz, A., Masse, D., Floret, C., Richard, D. and Feller, C. (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African savanna I. Element pools and structure of a mixed-farming system. **Agricultural Systems**. 79: 55-81.

Marks, G. R. (1982). **Designing a research project**. California: Lifetime Learning.

Marsh, W. M. and Grossa, J. (1996). **Environmental geography: Science, land use, and earth systems**. New York: John Wiley & Sons. 426 p.

Martin, B. A. (1965). **ตำราโภชนาการเบื้องต้น**. แปลและเรียบเรียงโดย ชวลิต รัตนกุล. New York: Holt Rinehart and Winston.

Maynard, L. A. and Loosli, J. K. (1969). **Animal Nutrition**. New York: McGraw-Hill.

Misra, K. B. (1996). **Clean production - environmental and economic perspectives**. Berlin: Springer-Verlag.

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE). (2000). **Thailand's initial national communication under the United Nations Framework Convention on climate change**. Bangkok: MoSTE.

Muir, J. (2005). Managing to harvest? Perspectives on the potential of aquaculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**. 360: 191-218.

Mungkung, R. T., Haes de, H. A. U. and Clift, R. (2006). Potentials and limitations of life cycle assessment in setting ecolabelling criteria: A case study of Thai shrimp aquaculture product. **International Journal of Life Cycle Assessment**. 11: 55-59.

Mungkung, R. T. and Gheewala, S. (2007). **Use of life cycle assessment (LCA) to compare the environmental impacts of aquaculture and agri-food products**. Quoted in Bartley, D. M., Brugère, C., Soto, D., Gerber, P. and Harvey, B. (Eds.). Comparative assessment of the environmental cost of aquaculture and other food production sector: Methods for meaningful comparisons. FAO/WFT Expert Workshop, 24-28 April 2006, Vancouver, Canada, FAO Fisheries Proceedings, No. 10, Rome. pp. 87-96.

National Agricultural Statistics Service (NASS). (2002). **Census of Agriculture**. Washington: National Agricultural Statistics Service, United States Department of Agriculture.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2009). **Trends in atmospheric carbon dioxide-global** [On-line]. Available: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends.

National Transportation Statistics. (2000). **C-emission from petrol used for transporting** [On-line]. Available: http://www.vcacarfueldata.org.uk/downloads.; http://www.gdrc.org/uem/CO2-Cal/CO2-Calculator.html.

Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kaustky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folkes, C. and Lubchenco, J. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**. 405: 1017-1024.

Nemry, F., Theunis, J., Brechet, T. and Lopez, P. (2001). **Greenhouse gas emissions reduction and material flows**. Institute Wallan, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, Belgium.

Odum, E. P. (1971). **Fundamentals of Ecology**. London: W.B. Saunders.

Paillat, J. M., Robin, P., Hassouna, M. and Leterme, P. (2005). Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. **Atmospheric Environment**. 39: 6833-6842.

Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., Walters, C. J., Watson, R. and Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. **Nature**. 418: 689-695.

Pelletier, N. L., Ayer, N. W., Tyedmers, P. H., Kruse, S. A., Flysjo, A., Robillard, G., Ziegler, F., Scholz, A. J. and Sonesson, U. (2007). Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: Review and prospectus. **International Journal of Life Cycle Assessment**. 12: 414-421.

Pelletier, N. and Tyedmers, P. (2008). Life cycle considerations for improving sustainability assessments in seafood awareness campaigns. **Environmental Management**. 42: 918-931.

Pelletier, N. and Tyedmers, P. (2010). Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. **Journal of Industrial Ecology**. 14: 467-481.

Pelletier, N. L., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjo, A., Kruse, S., Cancino, B. and Silverman, H. (2009). Not all salmon are created equal: Life cycle assessment (LCA) of global salmon farming systems. **Environmental Science & Technology**. 43: 8730-8736.

Pfaff, A. S. P., Kerr, S., Hughes, R. F., Liu, S., Sanchez-Azofeifa, G. A., Schimel, D., Tosi, J. and Watson, V. (2000). The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. **Ecological Economics**. 35: 203-221.

Phong, L. T., de Boer, I. J. M. and Udo, H. M. J. (2011). Life cycle assessment of food production in integrated agriculture-aquaculture systems of the Mekong Delta. **Livestock Science**. 139: 80-90.

Plant, R. A. J. and Bouman, B. A. M. (1999). Modeling nitrogen oxide emissions from current and alternative pastures in Costa Rica. **Journal of Environmental Quality**. 28(3): 866-872.

Pollution Control Department. (2003). **Acid deposition control strategy in the Kingdom of Thailand**. Japan International Cooperation Agency.

Polprasert, C. (1996). **Organic waste recycling**. 2nd edition. Chichester: Wiley.

Rakocy, J. E., Masser, M. P. and Losordo, T. M. (2006). **Recirculating aquaculture tank production systems aquaponics - integration fish and plant culture**. Auburn, USA: SRAC Publication.

Ramankutty, N. and Foley, J. (1999). Estimating historical changes in global land cover, croplands from 1700-1992. **Global Biogeochemical Cycles**. 13: 997-1027.

Rasenberg, M. M. M., Poelman, M., Smith, S. R. and Hoof van, L. J. W. (2013). **GHG emissions in aquatic production systems and marine fisheries**. Netherlands: IMARES Wageningen UR. 12 p.

Ricklefs, R. E. (1973). **Ecology**. Massachusetts: Chirm Press. อ้างอิงใน อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). นิเวศวิทยา (หน้า 115-117). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

Ricklefs, R. E. (1982). **Ecology**. 2nd edition. New York: Chiron Press. pp. 717-843.

Robert, L. H. (1978). **Meat, poultry and seafood technology**. New Jersey: Prentice-Hall.

Ruiz-Velazco, J. M. J., Hernandez-Llamas, A., Gomez-Munoz, V. M. and Magallon, F. J. (2010). Dynamics of intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* affected by white spot disease. **Aquaculture**. 300: 113-119.

Sauerbeck, D. R. (2001). CO_2 emissions and C sequestration by agriculture-perspectives and limitations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 60: 253-266.

Schimel, D. S. (1995). Terrestrial ecosystems and the global carbon cycle. **Global Change Biology**. 1: 77-91.

Schwantes, V. S., Diana, J. S. and Yi, Y. (2009). Social, economic and production characteristics of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture in Thailand. **Aquaculture**. 287: 120-127.

Sere, C. and Steinfeld, H., (1996). **World livestock production systems: Current status, issues and trends**. Animal Production and Health Paper. Vol. 127. Rome: FAO.

Simpson, J. R. (1993). Urbanization, agro-ecological zones and food production sustainability. **Outlook on Agriculture**. 22: 233-239.

Smith, R. L. (1974). **Ecology and field biology**. 2nd edition. New York: Harper and Row. 850 p.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (2007). **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007**. Cambridge: Cambridge University Press.

Sommer, S. G., Peteren, S. O. and Sogaard, H. T. (2000). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. **Journal of Environmental Quality**. 29: 744-751.

Stallard, R. F. (1998). Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: Coupling weathering and erosion to carbon burial. **Global Biogeochemical Cycles**. 12: 231-257.

Stumn, W. and Morgan, J. J. (1996). **Aquatic chemistry – chemical equilibria and rates in natural waters**. 3rd edition. New York: Wiley.

Sullivan, W. G., Wicks, E. M. and James, L. T. (2003). **Engineering economy**. 12th edition. New Jersey: Pearson Education.

Sundquist, E. T., Stallard, R. F., Bliss, N. B., Markewich, H. W., Harden, J. W., Pavich, M. J. and Dean, W. E. (1998). **Mississippi basin carbon project science plan**. Geological Survey Open-File Report. Reston: Geological Survey Open-File.

Tacon, A. G. J. (1998). **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp: A training manual 3** [On-line]. Available: http://www.fao.org/docrep/field/003/AB467E/AB467E00.htm.

Tacon, A. G. J. and Metian, M. (2009). Fishing for feed or fishing for food: Increasing global competition for small pelagic forage fish. **A Journal of the Human Environment**. 38: 294-302.

Tamminga, S. (1992). **Gaseous pollutants by farm animal enterprises**. Quoted in Phillips, C. and Piggins, D. (Eds.). Farm animals and the environment. (pp 345-357). CAB International, UK: Wallingford.

Tamminga, S. (2003). Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science**. 84: 101-111.

TC Common data. (2556). **ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก**. อ้างอิงใน องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). **แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร**. โครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. พิมพ์ครั้งที่ 1. 49 หน้า.

Thaieurope.net. (2008). **สถานการณ์ตลาดการค้าสินค้าประมงในสหภาพยุโรป** [On-line]. Available: http://www.thai-frozen.or.th/th/hotnews_detail.asp?menu=News&sid=503.

Thanee, N., Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009a). Comparison of carbon emitted from ox buffalo pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 16(2): 79-90.

Thanee, N., Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009b). Comparison of carbon emitted factors from ox and buffalo farms and slaughterhouses in meat production. **Thai Journal of Agricultural Science**. 42(2): 97-107.

Thanee, N., Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009c). The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 23(2): 37-51.

UNECE. (2004). **Task Force on Emission Inventories and Projections** [On-line]. Available: http://tfeip-secretariat.org/unece.htm.

UNFCCC. (2007). **Total aggregate greenhouse gas emission of individual annex I parties, 1990-2005, greenhouse gas inventory data** [On-line]. Available: http://unfccc.int/files/inc/graphics/image/gif/graph4_2007_ori.gif.

U.S. EPA, AP-42. (1995). **Compilation of air pollutant emission factors** [On-line]. Available: http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.htm.

U.S. Environmental Protection Agency. (2002). **Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2000** [On-line]. Available: http://worldcat.org/oclc/46804660/viewonline.

van der Werf, H. M. G. and Petit, J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: A comparison and analysis of twelve indicator based methods. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 93: 131-145.

van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K. and Bernoux, M. (1997). Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**. 79: 187-225.

van Noordwijk, M., Murdiyarso, D., Hairiah, K., Wasrin, U. R., Rachman, A. and Tomich, T. P. (1998). **Forest soil under alternatives to slash and burn agriculture in Sumatra, Indonesia**. Quoted in Schulte, A. and Ruhiyat, D. (Eds.). Soils of tropical forest ecosystems: Characteristics, ecology and management. Berlin: Springer-Veriag. pp. 175-185.

van Soest, P. J. (1982). **Nutritional ecology of the ruminant**. Corvallis: O & B Books.

Veldkamp, E., Davidson, E. A., Erickson, H. E., Keller, M. and Weitz, A. M. (1999). Soil nitrogen cycling and nitrogen oxide emissions along a pasture chronosequence in the humid tropics of Costa Rica. **Soil Biology and Biochemistry**. 31: 387-394.

Verchot, L. V., Davidson, E. A., Cattanio, J. H., Ackerman, I. L., Davidson, H. E. and Keller, M. (1999). Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**. 15: 31-46.

Vermoesen, A., Van Cleemput, O. and Hofman, G. (1996). Long term measurements of N_2O emissions. **Energy Conversion and Management**. 37: 1279-1284.

Waisanen, P. J. and Bliss, N. B. (2000). Changes in population and agricultural land in conterminous United States counties, 1790-1997. **Global Biogeochemical Cycles**. 16(4): 11-37.

Walford, J. and Lam, T. J. (1993). Development of digestive tract and proteolytic enzyme activity in seabass (*Lates calcarifer*) larvae and juveniles. **Aquaculture**. 109: 187-205.

Watson, R. T., Noble, L. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J. and Dokken, D. J. (2000). **Land use, land use change, and forestry**. A Spec. Rep. IPCC. Published for the Intergovernment Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press.

Werner, S. and Morgan, J. J. (1981). **Aquatic chemistry: An introduction emphasizing chemical equilibrium water**. New York: John Willey & Sons. 320 p.

Williams, H. H., Curtin, L. V., Abraham, J., Loosli, J. K. and Maynard, L. A. (1954). Estimation of growth requirements for amino acids by assay of the carcass. **Journal of Biological Chemistry**. 208: 277-286.

World Health Organization. (1993). **Assessment of source of air, water and land pollution** [On-line]. Available: http://www.who.int/environmental_information/Information_resources/on-line_general.htm.

World Trade Atlas. (2008). **ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ**. Copy right 2008 office of the Board of Investment [On-line]. Available: http://www.boi.go.th/thai/asean/Indonesia/capt4_p5n.html.

Wortmann, U. G., Herrle, J. O. and Weissert, H. (2004). Altered carbon cycling and coupled changes in early Cretaceous weathering patterns: Evidence from integrated carbon isotope and sandstone records of the western Tethys. **Earth and Planetary Science Letters**. 220: 69-82

Wu, R. S. S., Lam, K. S., Mackay, D. W., Lau, T. C. and Yam, V. (1994). Impact of marine fish farming on water-quality and bottom sediment: A case-study in the subtropical environment. **Marine Environmental Research**. 38: 115-145.

Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. **Marine Pollution Bulletin**. 31: 159-166.

Yamane, T. (1973). **Mathematics for economists: An elementary survey**. 2nd edition. New Delhi: Prentice-Hall.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยคาร์บอนจากพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน แก๊สปิโตรเลียมเหลว และปริมาณการใช้คาร์บอนในรูปของพลังงานต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยคาร์บอนจากพลังงานเชื้อเพลิง (เผาไหม้อยู่กับที่)

ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ (kg CO_2eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	L	1.6812	IPCC, 2007
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	kg	3.1100	IPCC, 2007
ก๊าซธรรมชาติ	MJ	0.0099	IPCC, 2007
ดีเซล	L	2.7080	IPCC, 2007
เบนซิน	L	2.1896	IPCC, 2007
ถ่านหิน (coking coal)	kg	2.6268	IPCC, 2007
ถ่านหินลิกไนต์ (Lignite)	kg	1.0624	IPCC, 2007
น้ำมันเตา	L	3.0883	IPCC, 2007
น้ำมันเตา	MJ	0.0926	IPCC, 2007
น้ำมันก๊าซ (Kerosene)	L	2.4777	IPCC, 2007
สารชีวมวล (Biomass)	kg	0.6930	IPCC, 2007
ไบโอดีเซล	L	2.6265	IPCC, 2007

ตารางที่ 1.2 ตัวอย่างตัวคูณการปล่อยคาร์บอนจากพลังงานเชื้อเพลิง (เผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่)

ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ (kg CO_2eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	L	1.5362	IPCC, 2007
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	kg	2.8400	IPCC, 2007
ก๊าซธรรมชาติ (CNG)	Kg	2.2472	IPCC, 2007
ดีเซล	L	2.7446	IPCC, 2007
เบนซิน	L	2.1896	IPCC, 2007
ก๊าซโซฮอล์ (Gasohol)	L	2.1896	IPCC, 2007
ไบโอดีเซล	L	2.6265	U.S. Energy Information Administration

ตารางที่ 1.3 มลพิษจากการผลิตไฟฟ้าในหน่วยกรัมต่อกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (g/kWh)

ชนิดโรงไฟฟ้า		CO_2	NO_2	SO_2
เชื้อเพลิงพาณิชย์	ถ่านหิน	322.80	1.80	3.40
	น้ำมัน	258.50	0.88	1.70
	ก๊าซธรรมชาติ	178.00	0.90	0.001
	นิวเคลียร์	7.80	0.003	0.03
พลังงานหมุนเวียน	ชีวมวล	0.00	0.60	0.14
	ลม	6.70	ต่ำมาก	ต่ำมาก
	พลังงานน้ำ	5.90	ต่ำมาก	ต่ำมาก
	พลังงานใต้พิภพ	51.50	ต่ำมาก	ต่ำมาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 1.4 การวิเคราะห์ค่า C-input จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 kWh จากสัดส่วนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555

สัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย*	การผลิตพลังงานไฟฟ้า		ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์	C-input จากการใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณ CO_2 (ตัน)
	ความสามารถของเชื้อเพลิง	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง			
น้ำมันเตา 0.84%	11.05 kWh/L	น้ำมันเตาชนิดเบาที่ 15 ^{O}C = 930 กรัม/ลิตร	น้ำมันเตา C_nH_{2n+2} (C = 14-20) = 168/198x930/11.05	0.0716 Kg.C_{C20H42}/kWh 0.0714 Kg.C_{C14H30}/kWh	968,767
น้ำมันดีเซล 0.24%	10.12 kWh/L	น้ำมันดีเซลที่ 20 ^{O}C = 850 กรัม/ลิตร	น้ำมันดีเซล ($C_{12}H_{26}$) = 144/170x850/10.12	0.0711 Kg.C_{C12H26}/kWh	50,904
ถ่านหิน/ลิกไนต์ 19.28%	2.91 kWh/kg	ถ่านหินลิกไนต์** = มี %C = 73% โดยน้ำหนัก	1g C_{CH4}=2.9/667x16/12	0.251 Kg.$C_{ลิกไนต์}$/kWh	17,717,652
ก๊าซธรรมชาติ 66.90%	0.29 kWh/m^3	1 m^3 CH_4 หนัก 0.667 kg ที่สภาวะมาตรฐาน 20 ^{O}C 1atm	1 kg C_{CH4} = 5.783 kWh	0.173 Kg.C_{CH4}/kWh	24,597,771
biomass 1.90%	3.52 kWh/kg	biomass*** (ชานอ้อย+แกลบ,เซลลูโลส) = มี %C = 45% โดยน้ำหนัก		0.128 Kg.$C_{biomass}$/kWh	-
พลังงานน้ำ 10.76%				-	-
พลังงานลม+แสงอาทิตย์ น้อยมาก				-	-
การใช้พลังงานไฟฟ้า 1 kWh เท่ากับ				0.158 Kg.C/kWh	0.5610 Kg.CO_2-eq/kWh

หมายเหตุ: * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 (2556) และ TC Common data (2556)

** Hanzade *et al*. (2001)

*** Brody (1945) และ Maynard and Loosli (1969)

ตารางที่ 1.5 ค่าเฉลี่ย C-input จากพลังงานที่ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำและตลาดหรือโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอน		C-input (กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน)	
		กุ้งขาวแวนนาไม	ปลากะพงขาว
ฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ	ไฟฟ้า	0.01443±0.01270	0.30442±0.28851
	น้ำมันขนส่ง	13.74903±12.23290	18.90659±13.43835
	น้ำมันที่เครื่องจักรกลใช้	0.00037±0.00098	0.00393±0.00392
	LPG	0.00087±0.00388	0.03966±0.06331
	รวม C-input/น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กก./วัน	13.76470	19.25460
ตลาดหรือโรงงานแปรรูป	ไฟฟ้า	N.D.	0.00724±0.00680
	น้ำมันขนส่ง	N.D.	13.59376±12.42851
	LPG	N.D.	0.11676±0.09246
	รวม C-input/น้ำหนักสัตว์น้ำ 1 กก./วัน	N.D.	13.71776
รวม C-input ทั้ง 2 แหล่ง	กก.C/กก.สัตว์น้ำ/วัน	13.76470	32.97236

หมายเหตุ: * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 (2556) และ TC Common data (2556)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนด้วยเครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การใช้เครื่องมือ LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro สำหรับการวิเคราะห์หาค่าคาร์บอน

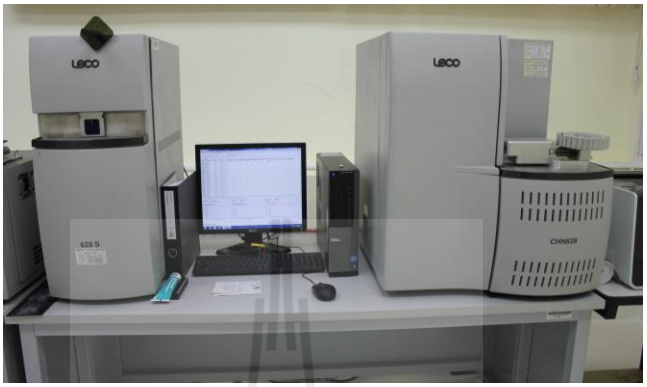
1. หลักการทำงานของเครื่องมือ

เครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro เป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นี้ ได้แก่ ตัวอย่างอาหารสัตว์น้ำ ตัวอย่างเนื้อสัตว์น้ำ รวมทั้งตัวอย่างมูลแห้งของปลากะพงขาวและกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งต้องเตรียมตัวอย่างก่อนจะวิเคราะห์ด้วยเครื่องโดยการนำตัวอย่างทั้งหมดมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 ^{O}C และนำตัวอย่างไปบดให้ละเอียด สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องชั่งตัวอย่างหนักประมาณ 0.2 กรัม ห่อด้วย Tin foil capsule จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ห่อเรียบร้อยแล้วใส่ลงในช่องสำหรับเผา (Loading chamber) โดยเผาในความร้อนที่อุณหภูมิ 950 – 1350 ^{O}C ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ 30 ตัวอย่างต่อรอบ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ตัวอย่างต้องทำซ้ำ 3 ครั้ง ในขณะเดียวกัน ตัวอย่างจะถูกนำไปใส่ในเตาเผาที่รองรับด้วย Crucible ซึ่งเป็นระบบการเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจน โดยตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์และรีดักชั่นให้เป็นแก๊สผสมของ N_2, CO_2, H_2O และ SO_2 จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อเปลี่ยนให้เป็นแก๊สบริสุทธิ์และสามารถวัดปริมาณด้วยตัวตรวจวัดชนิด Thermal Conductivity Detector และ Infrared Detector ซึ่งมีการประมวลผลและควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์แล้วแสดงค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ในคราวเดียวกัน

2. ขั้นตอนการใช้เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

1. เปิดปั๊มลม
2. เปิดถังแก๊สฮีเลียมและแก๊สออกซิเจน
3. เปิด Power supplies ของเครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro และเครื่อง LECO รุ่น S628
4. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบเชื่อมกับเครื่องมือวิเคราะห์ จากนั้นเปิดโปรแกรมวิเคราะห์ Software 628 series
5. ตั้งระบบให้เป็นการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ โดยตั้งอุณหภูมิในการเผาที่ 950 ^{O}C จากนั้นรอให้เครื่องตั้งระบบของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ
6. เมื่อได้อุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ต้องการ หน้าจอคอมพิวเตอร์จะขึ้นว่า Please Enter Security Access ให้กด Enter
7. จากนั้นหน้าจอคอมพิวเตอร์จะขึ้นว่า Please Enter Your name ให้ใส่ชื่อตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ พร้อมทั้งปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ จากนั้นจึงกด Enter
8. ปรับค่าด้วยสาร EDTA หรือ Blank ในเตาเผาก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าแก๊สที่เป็นมาตรฐาน โดยสาร EDTA หรือ Blank ที่นำมาใช้มีค่าแสดงเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน เท่ากับ 41.06±0.09, 5.55±0.03 และ 9.56±0.03 ตามลำดับ โดยชั่งสาร EDTA แล้วห่อด้วย Tin foil capsule จำนวน 3 ซ้ำ ใส่ในภาชนะสำหรับนำเข้าช่องของเตาเผา แล้วกดเลือกเมนู Configuration และเลือก Drift โปรแกรมจะสั่งให้เครื่องปล่อยสาร EDTA ที่ห่อแล้วลงไปเผาครั้งละ 1 capsule แล้วทำการประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์จนแสดงค่าออกมาเป็น

เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน จนครบทั้ง 3 ซ้ำ ตรวจสอบค่าที่ได้ เมื่อได้ค่าเปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกับค่าแสดงเปอร์เซ็นต์ที่เราทราบของสาร EDTA แล้วจึงค่อยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ต้องการจนครบ



รูปที่ 2.1 เครื่อง LECO รุ่น CHN628+TruSpec Micro

รูปที่ 2.2 ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างในการเตา ตัวอย่าง Tin foil capsule และตัวอย่างที่ห่อด้วย Tin foil capsule เสร็จเรียบร้อยพร้อมเข้าเตาเผา

ภาคผนวก ค

ข้อมูลฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมและปลากะพงขาว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ

คุณภาพน้ำ	ระดับที่เหมาะสม
อุณหภูมิ	28-32 $^{\circ}$C
ออกซิเจนละลายน้ำ	≥5 mg/l
คาร์บอนไดออกไซด์	≤20 mg/l
ความเป็นกรด-ด่าง	7.0-8.3
ความเค็ม	0.5-35 ppt
คลอไรด์	≥300 ppm
โซเดียม	≥200 ppm
ความกระด้างรวม (ในรูป $CaCO_3$)	≥150 ppm
แคลเซียม (Calcium hardness ในรูป $CaCO_3$)	≥100 ppm
แมกนีเซียม (Magnesium hardness ในรูป $CaCO_3$)	≥50 ppm
ความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity ในรูป $CaCO_3$)	≥100 ppm
แอมโมเนียอิสระ (NH_3)	≤0.03 mg/l
ไนไตรท์ (NO_2^-)	≤1 mg/l
ไนเตรท (NO_3^-)	≤60 mg/l
เหล็กทั้งหมด (Total Iron)	≤1.0 mg/l
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	≤2 ppb
คลอรีน (Chlorine)	≤10 ppb
แคดเมียม (Cadmium)	≤10 ppb

หมายเหตุ: ppt = ส่วนในพันส่วน, ppm = ส่วนในล้านส่วน, ppb = ส่วนในพันล้านส่วน
ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 3.2 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานสูงสุด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-9.0
Biochemical Oxygen Demand	mg/l	20
สารแขวนลอย (Suspended solid)	mg/l	70
แอมโมเนีย (NH_3)	mg/l	1.1
ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	mg/l	0.4
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	mg/l	0.01
ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen)	mg/l	0.4

ที่มา: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 3.3 โปรแกรมการให้อาหารในช่วง 30 วันแรก (ต่อจำนวนลูกกุ้ง 100,000 ตัว)

วันที่	อาหาร/วัน (กิโลกรัม)	อาหารสะสม (กิโลกรัม)
1	2.5	2.5
2	2.6	5.1
3	2.7	7.8
4	2.8	10.6
5	2.9	13.5
6	3.0	16.5
7	3.1	19.6
8	3.3	22.9
9	3.5	26.4
10	3.7	30.1
11	3.9	34.0
12	4.1	38.1
13	4.3	42.4
14	4.5	46.9
15	4.8	51.7
16	5.1	56.8
17	5.4	62.2
18	5.7	67.9
19	6.0	73.9
20	6.3	80.2
21	6.6	86.8
22	6.9	93.7
23	7.2	100.9
24	7.5	108.4
25	7.8	116.2
26	8.1	124.3
27	8.4	132.7
28	8.7	141.4
29	9.0	150.4
30	9.3	159.7

หมายเหตุ: เริ่มจาก 2.5 กิโลกรัม/100,000 ตัว/วัน
วันที่ 2-7 เพิ่ม 100 กรัม/100,000 ตัว/วัน
วันที่ 8-14 เพิ่ม 200 กรัม/100,000 ตัว/วัน
วันที่ 15-30 เพิ่ม 300 กรัม/100,000 ตัว/วัน

ที่มา: ภิญโญ เกียรติภิญโญ. (2545). **วิธีปฏิบัติสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว แอล แวนนาไม**. กรุงเทพฯ. 120 หนา.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 การเจริญเติบโตของปลากะพงขาวที่เลี้ยงในบ่อดิน

จำนวนวัน	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม.)	อัตรารอด (%)	FCR
0	18.70	11.40	-	-
60	149.30	21.60	88	1.10
90	309.00	27.90	87	1.10
120	384.20	29.50	87	1.30
150	501.5	32.10	80	1.40
210	677.88	36.00	74	1.40
260	696.00	39.00	66	1.9

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

การเผยแพร่ความรู้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. การเสนอผลงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

ผลการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) และกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) จากการทำฟาร์มประมงโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตในเขตพื้นที่จังหวัดตรัง ได้มีการเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัยในระดับนานาชาติ โดยส่งผลงานวิชาการเรื่อง “Life cycle assessment of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) farming system in Trang province, Thailand” เข้าร่วมการประชุมงานวิชาการระดับนานาชาติที่คุนหมิง ประเทศจีน ในชื่องาน “The 2014 The Second International Conference on Materials, Transportation and Environmental Engineering” ระหว่างวันที่ 30 – 31 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557

2. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารต่างประเทศ

ผลงานวิชาการเรื่อง “Life cycle assessment of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) farming system in Trang province, Thailand” ที่ได้เข้าร่วมการประชุมงานวิชาการระดับนานาชาติที่คุนหมิง ประเทศจีน ในชื่องาน “The 2014 The Second International Conference on Materials, Transportation and Environmental Engineering” ระหว่างวันที่ 30 – 31 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2557 ได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร “Advanced Materials Research” ฉบับที่ 1030 – 1032 หน้า 679 – 682

3. นักศึกษาบัณฑิตศึกษาสำเร็จปริญญาดุษฎีบัณฑิต หลักสูตรวิชาชีววิทยาสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 1 คน คือ นางสาววัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การเสนอผลงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

014 The Second International Conference on Materials, Transportation and Environmental Engineering

CMTEE 2014

KunMing, July 30-31, 2014

http://www.hk-ceis.com/cmtee2014

Official Acceptance and Invited Letter

Thank you for your submission to CMTEE 2014. We are pleased to inform you that your paper

Paper id: cmtee-7179
Title: Life cycle assessment of pacific white shrimp (Penaeus vannamei) farming system in Trang province, Thailand
Contact Author: Watcharaporn Tantipanatip, Suwit Jitpukdee, Prayong Keeratiurai, Khwanta Tantikamton,and Nathawut Thanee
Account number: momojay_25@hotmail.com
Password: gLkhcPP9

Due to review of CMTEE 2014 Committees, your paper was accepted as a regular paper in CMTEE 2014. Your paper will be published in international journal **Advanced Materials Research** **(ISSN: 1022-6680)** *of with the Publishing Services of the Trans Tech Publications Inc , which are online available in full text via the platform www.scientific.net. All accept papers will be indexed by EI Compendex and ISTP. The length of the paper should not exceed 4 pages without extra pages fees and less than 3 pages will not be published. In order to make high quality of CMTEE 2014 proceedings, the camera-ready version should follow* **Advanced Materials Research** *format strictly. If your paper not follow AMR format strictly, your paper will be not indexed by EI and ISTP.*

Kindly send your Final paper (PDF and MS-word), completed Registration Form, Copyright Form and the Scanned Payment of the applicable registration fee to cmtee2014.reg@vip.163.com *before* **July.10**, *2014.*

If the copyright not be submitted; your paper will not be included in **Advanced Materials Research** *and Indexed by EI and ISTP.*
We hope to see you in Kunming, July, 2014.

Best wishes,

CMTEE 2014 International Committee
Control Engineering and Information Science Research Association (CEIS)
2014.7.1

CMTEE 2014 组委会

For and on behalf of
CONTROL ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCE RESEARCH ASSOCIATION
控制工程與信息科學研究協會
Authorized Signature(s)

控制工程與信息科學研究協會

2014 The Second International Conference on Materials, Transportation and Environmental Engineering

KunMing, July 30-31, 2014

http://www.hk-ceis.com/cmtee2014

INVOICE OF CMTEE 2014

TO: Suranaree University of Technology

Paper id: cmtee-7179

Title: Life cycle assessment of pacific white shrimp (Penaeus vannamei) farming system in Trang province, Thailand

Authors: Watcharaporn Tantipanatip, Suwit Jitpukdee, Prayong Keeratiurai, Khwanta Tantikamton and Nathawut Thanee

Congratulations! The review processes for The 2014 The Second International Conference on Materials, Transportation and Environmental Engineering (CMTEE 2014) has been completed. We are pleased to inform you that your paper identified above has been accepted for publication and **oral presentation**. You are cordially invited to **present the paper orally** at CMTEE 2014 to be held on July 30-31, 2014, Kun Ming, China. The CMTEE 2014 is co-sponsored by International Control Engineering and Information Science Research Association (CEIS)、**Advanced Materials Research (ISSN: 1022-6680)**.

Your paper has been published in international journal **Advanced Materials Research (ISSN: 1022-6680)** of with the Publishing Services of the Trans Tech Publications Inc. All accept papers has been indexed by EI Compendex.

INVOICE OF CMTEE 2014

ID	Title	Name	pages	Registration Fee
cmtee-7179	Life cycle assessment of pacific white shrimp (Penaeus vannamei) farming system in Trang province, Thailand	Watcharaporn Tantipanatip, Suwit Jitpukdee, Prayong Keeratiurai, Khwanta Tantikamton and Nathawut Thanee	4	300 USD

For and on behalf of

CMTEE 2014International Committee

Control Engineering and Information Science Research Association (CEIS)

2014.07.15

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารต่างประเทศ

Advanced Materials Research Vols. 1030-1032 (2014) pp 679-682
Online available since 2014/Sep/22 at www.scientific.net
© (2014) Trans Tech Publications, Switzerland
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.679

Submitted: 10.07.2014
Accepted: 10.07.2014

Life cycle assessment of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) farming system in Trang province, Thailand

Watcharaporn Tantipanatip[1,a], Suwit Jitpukdee[2,b], Prayong Keeratiurai[3,c], Khwanta Tantikamton[4,d] and Nathawut Thanee[5,e*]

[1,4,5]School of Biology, Institute of Science, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Suranaree Subdistrict, Muang District, Nakhon Ratchasima Province, 30000, Thailand, Tel: +6644224298, Fax: +6644224633

[2]Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, 179, Moo 3, Maifad Subdistrict, Sikao District, Trang Province, 92150, Thailand, Tel: +66857975500

[3]School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mittraparp-Nongkai Road, Muang District, Nakhon Ratchasima Province, 30000, Thailand, Tel: +66814700185, Fax: +6644295139

[a]momojay_25@hotmail.com, [b]spukdeejit@yahoo.com, [c]keeratiural_pray@windowslive.com, [d]krukwan@gmail.com, [e*]nathawut@sut.ac.th

Keywords: Carbon emission, Life cycle assessment, Pacific white shrimp, Thailand

Abstract. Life cycle assessment (LCA) of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) was conducted in Trang province, southern Thailand during January, 2011 to December, 2012 to investigate the rate of carbon massflow in shrimp farming. Total 106 shrimp farm owners were interviewed and questionnaired. Carbon content, carbon fixation and carbon emission were also analyzed. The results revealed that the rate of carbon massflow from shrimp feed (C-input) was 0.015±0.031, carbon fixation in shrimp was 0.014±0.031, the carbon emission from shrimp was 0.001±0.000 and energy usage was 22.676±16.891 kg.C/kg shrimp/day. The environmental impacts were mainly caused by energy use, farm-level effluents and transportation. It can be concluded that Pacific white shrimp farming system was an important part of environmental problems.

Introduction

Aquaculture is of great importance worldwide, serving as an alternative source to traditional food production systems to help accommodate expansion of the human population. In addition, the rapid development of shrimp aquaculture has been accompanied by a growing and vociferous host of criticisms, largely related to the potential impacts on local ecosystems. The potential advantages of these systems are better isolation of the culture shrimp from wild shrimp and aquatic animals, reduced disease transmission and escapes, and the capture and treatment of shrimp wastes. While there have been attempts to market aquatic animals [1], the energy and resource consumption of these systems have not been clearly documented and compared with existing production systems.

Life Cycle Assessment (LCA) is a systematic approach to analyze and assess the environmental impacts of a product or process over its entire life cycle [1,2]. Therefore, LCA can be used to quantify potential environmental burdens throughout the life cycle of shrimp production. It can be used to calculate the energy and material usage in an overall process. Moreover, LCA can also provide a framework for evaluating environmental performance and identifying the major processes in energy use, as well as global warming, acidification and eutrophication impacts.

The purpose of this study was to assess carbon emission for development of the carbon footprint in Pacific white shrimp production which focused on carbon transferred to food chain and fixed in shrimp meat products. In particular, the estimation of the rate of carbon massflow from animal feed to shrimp, and including the carbon emissions from electricity, petroleum and liquefied petroleum gas (LPG) used during shrimp production were studied in Trang province, southern Thailand.

All rights reserved. No part of contents of this paper may be reproduced or transmitted in any form or by any means without the written permission of TTP, www.ttp.net. (ID: 202.28.41.6-02/10/14,17:16:36)

Materials and methods

Study Area

Trang province was selected which represented Pacific white shrimp production of Thailand based on the data of Department of Fisheries [3]. This province has large areas and provides many Pacific white shrimp farms.

Data Acquisition

The determination of the random sample sizes of Krejcie and Morgan [4] was applied to calculate the number of samples in this study. Therefore, the sample used for the case study is a group of 106 Pacific white shrimp farms and 151 shrimps at the farm size less than 5 rais (0.008 sq.km^2). The data were obtained through a series of questionnaires filled out by the owners of 106 farms. Questionnaires comprised a wide range of operational aspects (consumption of electricity, fuel, and LPG) as well as aspects related to transportation. The questionnaire was based on inventory data for life cycle analysis [5,6]. The analytical methods are shown in Table 1.

Table 1 Analysis methods to study shrimp feed, shrimp products and faeces.

Characteristic	Method
Moisture content	Known sampling dried weight, dried at 103-105 °C for 24 hrs. [7]
Carbon content	LECO-CHN628 Carbon and Sulfur Analyser, and Gas Analyzer Respiration Trial System [8,9]
Volatile solid	Lost weight from known weight or volume of samples, incinerate at 550 °C for 30 min. [10]
Fixed solid	Remain weight from known weight or volume, incinerate at 550 °C for 30 min. [10]
Weight	Weigh shrimp [8]

Results and discussion

Grow-out Farming

The survey yielded primary data on pond area, culture periods, stocking, feed use, water management, and use of other inputs such as electricity, fuel and LPG (Table 2).

This study did not cover the feed brands used; later verification revealed that several farmers used different brands during one production cycle. As a result, the feed conversion ratio (FCR), the amount of feed used to raise a kilogramme of shrimp accounting for all forms of feed loss, for several individual farms could not be related to a specific feed used. This made it less relevant to include this variability in the further calculations.

Table 2 Farm-level inputs and outputs (mean±SD) for the production of 1 kilogramme live-weight of Pacific white shrimp at the farm size less than 5 rais.

Item	Unit	Farm
Pond area	rai	3.24±0.88
Shrimp production	kg/rai/year	3,890.99±1,867.29
Feed consumed	kg/rai/year	23,907.06±26,238.58
FCR	kg/kg	1.71±1.14
Electricity use	kWh/kg shrimp/rai	0.021±0.037
Diesel use	l/kg shrimp/rai	0.033±0.066
LPG use	kg/kg shrimp/rai	0.080±0.0.130

Amount of Carbon Emission and Rates of Carbon Input

The carbon contents in the unit of kilogramme carbon per kilogramme of shrimp product per day (kg.C/kg shrimp/day) were used to study the carbon massflow from shrimp feed for feeding to the biomass of shrimp (C-input). The rate of transference of carbon from animal feed to shrimp was 0.015±0.031, and carbon fixation of shrimp was 0.014±0.031 kg.C/kg shrimp/day. The C-input

minus the carbon contents emitted in faeces, digestion, and respiration (C-emission) was the carbon mass which was fixed in the body (C-fixation). These values compared favorably with the reports to carbon emissions associated with beef, pork, poultry, and sheep productions [1,8,11,12]. The study of the rate of total carbon input from animal feed to shrimp by consumption and fixation in shrimp bodies and faeces during rearing duration are shown in Table 3.

Table 3 Average of C-input, C-fixation, C-output and C-emission of CO_2 and CH_4 from of shrimp (mean±SD).

Amount C transferred from animal feed to shrimp (kg.C/kg shrimp/day)			0.015±0.031
Carbon fixation (kg.C/kg shrimp/day)	Meat		0.009±0.019
	Shell and blood etc.		0.005±0.012
	Total C accumulated in body (mass equilibrium)		0.014±0.031
Carbon emission (kg.C/kg shrimp/day)	Dry faeces		0.0001±0.0001
	C-emission of CO_2 and CH_4	Faeces	0.001±0.000
		Digestion and respiration	0.000000002±0.000000009
	Total C-emission from shrimp		0.001±0.000

Carbon emission from energy use in Pacific white shrimp production

Overall, shrimp farming had consistently higher on-farm energy and shrimp feed use. Higher stocking density and water exchange rates also required more electricity, LPG or fuel use for aeration and pumping in farm. Most of carbon emission from the use of energy and transportation for Pacific white shrimp farms was used for transportations of shrimp feed, post larvae, and LPG to farms, round-trip transport distances by pickups, and shrimp product transportation to the transformation factories or markets by refrigerator-trucks. The calculated carbon emissions for production of 1 kg Pacific white shrimp are shown in Table 4.

Shrimp farming impacts came from the use of shrimp feed, electricity generation, wastewater treatment, construction of material production and shrimp metabolism. Electricity consumption was the largest contributor to global warming, eutrophication, and solid waste emission. The electricity requirements of equipment at the shrimp farm were 9.44 kWh/kg shrimp, mainly consumed by water pumps (62.13%), lighting (20.24%), oxygen generators (16.97%), and automatic feeder (0.66%). The result is consistent with previous researches [6,8,12], which reported that the energy use is the most contributor to resource use and carbon emissions associated with shrimp production.

Table 4 Average of C-input and C-emission from energy sectors of Pacific white shrimp farms (mean±SD) at the farm size less than 5 rais.

Energy used in Pacific white shrimp farms (kg.C/kg shrimp/day)	C-input	C-emission
Transportation	26.747±19.911	22.663±16.870
Electricity (lighting, aeration and water pumps)	0.010±0.015	0.010±0.014
Diesel (water pumps and aeration)	0.001±0.001	0.001±0.001
LPG	0.003±0.006	0.003±0.006
Total carbon contents	26.761±19.933	22.676±16.891

Conclusions

This study evaluated the environmental and energy performance associated with Pacific white shrimp production on size of farm less than 5 rais in Trang province, southern Thailand. The

results revealed that shrimp farming contributed the most to the energy use and environmental impacts in the life cycle assessment. Results of this study show that the farm location was also an important factor for the use of energy and transportation. Therefore, the reduction of the carbon emission from energy consumption such as reduction of electricity in farms, reduce distance for transportation of shrimp feed, post larvae to farms and shrimp product to markets should be considered and managed. It can reduce carbon emission in the shrimp production.

Acknowledgment

The researchers acknowledge the Centre for Scientific and Technological Equipment, Suranaree University of Technology (SUT) and Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus for providing laboratory analyses. This work received financial support from SUT and the National Research Council of Thailand.

References

[1] N. Pelletier and P. Tyedmers. Feeding farmed salmon: Is organic better? Aquaculture. 272 (2007), 399-416.

[2] D.M. Bartley, C. Brugere, D. Soto, P. Gerber and B. Harvey. Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: Methods for meaningful comparisons. FAO Fisheries Proceedings. NO. 10. Rome, FAO (2007), 241 p.

[3] Information on http://www.kungthai.com/KungThai/con_detail.php?id=26

[4] R.V. Krejcie and E.W. Morgan. *Educational and psychological measurement* (1970), pp 608-609.

[5] P. Tyedmers. *Energy consumed by north Atlantic fisheries*. University of British Columbia (2002), 23p.

[6] N. Pelletier. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. Agric. Syst. 98 (2) (2008), 67-73.

[7] R.J. Manlay, A. Ickowicz, D. Masse, C. Floret, D. Richard and C. Feller. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African Savanna-I, element pools and structure of a mixed-farming system. Agric. Syst. 79 (2004), 55-81.

[8] T. Nathawut, D. Wut and K. Prayong. Comparison of carbon emitted from ox, buffalo, pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. Suranaree J. Sci. Technol 16 (2) (2009), 79-90.

[9] T. Kawashima, F. Terada and M. Shibata. *Respiration experimental system. In: Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand*, edited by Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (2000), pp1-21.

[10] APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th edition. Washington. D.C., USA: American Public Health Association, (1992).

[11] F. Nemry, J. Theunis, T. Brechet and P. Lopez. *Greenhouse gas emissions reduction and material flows*. Institute Wallan, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, Belgium, (2001).

[12] E. Papatryphon, J. Petit, S. Kaushik and H. Van der Werf. Environmental impact assessment of salmonid feeds using life cycle assessment (LCA). Ambio. 33 (6) (2004), 316-323.

Materials, Transportation and Environmental Engineering II
10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032

Life Cycle Assessment of Pacific White Shrimp (*Penaeus vannamei*) Farming System in Trang Province, Thailand
10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.679

ประวัตินักวิจัย

I. หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ ธานี
   ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Assistant Professor Dr. Nathawut Thanee
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3–4099–00527–28–4
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์: 044-224633, 089-9492052
โทรสาร: 044-224633
E-mail: nathawut@sut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

Year	Degree	Field	Institution/Country
1978	B.Sc.	Biology	Khon Kean University Khon Kean, Thailand
1980	M.Sc.	Environmental Biology	Mahidol University Bangkok, Thailand
1988	Ph.D.	Ecological Entomology	Massey University Palmerston North, New Zealand
1998	Ph.D.	Plant Health	Massey University Palmerston North, New Zealand
1982	Postgraduate Certificate	Bioassay Techniques	Biotropical Center Bogor, Indonesia
1990	Postgraduate Certificate	Integrated Environmental Planning and Management	Griffith University Nathan, Australia
1992	Postgraduate Certificate	Mathematical Ecology	International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy
1994	Postgraduate Certificate	Island Ecosystem and Ecotourism	Biotropical Center Bogor, Indonesia
2002	Postgraduate Certificate	Water Quality Management And Planning	ATPAC/USA/Canada Mae Jo University, Thailand

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Environmental Planning and Management

Integrated Pest Management

Ecosystem Analysis and Management

Ecotourism and Environmental Conservation

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยโครงการ

โครงการ “ลักษณะนิเวศวิทยาบางประการของสัตว์ป่าที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชจังหวัดนครราชสีมา” ประกอบด้วยโครงการย่อย 3 โครงการ

โครงการที่ 1 “การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็กและความสัมพันธ์กับระบบนิเวศที่แตกต่างกันในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา”

โครงการที่ 2 “การศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อและระบบนิเวศป่าแบบต่าง ๆ ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา”

โครงการที่ 3 “แมลงผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศป่า ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา”

7.2 หัวหน้าโครงการ

โครงการที่ 1 “ความหลากหลายของชนิดแมลงในดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการที่สถานวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา”

โครงการที่ 2 “การใช้ที่ดินในลุ่มแม่น้ำชีและผลต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำชี”

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1) ภูกิจ พันธ์เกษม, ธำรง เปรมปรีดิ์, สงวน ปัทมธรรมกุล, **ณัฐวุฒิ ธานี** และ ธิติ วิสารัตน์. (2553). การเก็บกักคารบอนของแปลงปลูกไม้ตะกู. **งานประชุมวิชาการประจำปีมหาวิทยาลัยรังสิต Rsucon 2010**. สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี.

2) ภูกิจ พันธ์เกษม, ธำรง เปรมปรีดิ์, สงวน ปัทมธรรมกุล, **ณัฐวุฒิ ธานี** และ ธิติ วิสารัตน์. (2553). การเก็บกักคารบอนของแปลงปลูกไม้โตเร็ว. **งานประชุมวิชาการระดับชาติ เรื่อง “ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 1 ความเสี่ยงและโอกาสท้าทายในกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก Climate Thailand Conference 2010”**. สำนักวิเคราะห์และรับรองโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (สวร.) องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) กรุงเทพมหานคร.

3) Dathong, W., **Thanee, N.**, Saipunkaew, W., Potter, M. and Thanee, T. (2014). Air pollution influences epiphytic lichen diversity in the Northeast of Thailand. **Advanced Materials Research**. 1030-1032: 287-291.

4) Krainara, P., **Thanee, N.**, Tantipanatip, W., Aroon, S., Thanee, T. and Potter, M. (2014). Plankton communities and physicochemical properties in seawater

post tsunami 2004 damaged in Phang Nga Province, Thailand. **Advanced Materials Research**. 1030-1032: 558-561.

5) Tantipanatip, W., Jitpukdee, S., Keeratiurai, P., Tantikamton, K. and **Thanee, N**. (2014). Life cycle assessment of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) farming system in Trang province, Thailand. **Advanced Materials Research**. 1030-1032: 679-682.

6) Keeratiurai, P., **Thanee, N.** and Vichairattatragul, P. (2013). Assessment of the carbon emitted from the layer and young chicken farming under the uncertainty. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(9): 630-644.

7) Keeratiurai, P., **Thanee, N.** and Vichairattatragul, P. (2013). Assessment of the carbon massflow from the layer farming with life cycle inventory. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(9): 673-682.

8) Keeratiurai, P. and **Thanee, N.** (2013). The decision making to reduce carbon emission under uncertainty of herbivore meat production. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(7): 531-540.

9) Keeratiurai, P. and **Thanee, N.** (2013). Comparison of carbon equivalent emissions under uncertainty of energy using for industries of pig and broiler meat production. **Science Series Data Report**. 5(5): 55-65.

10) Aroon, S., Artchawakom, T., Hill, J. G. and **Thanee, N.** (2012). Seasonal variation in the diet of common Palm Civet (*Paradoxurus hermaphroditus*) at Sakaerat Biosphere Reserve, Thailand. **Proceedings of the 8th Inter conference Inter-University Cooperation Program. ASEAN Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, and Environmental Stability**. 8 - 12 July, 2012. Kyung Hee University, Seoul, Korea (The Best Practice Awards).

11) Keeratiura P., Pankasam, P., Prempree T., Patamatamkul, S. and **Thanee, N.** (2012). Carbon sequestration of fast growing tree. **European Journal of Operational Research (EJOR).** 81(4): 459-464.

12) Pankasam, P., Prempree T., Keeratiura P., Patamatamkul, S. and **Thanee, N.** (2012). Carbon sequestration of fast growing tree for rural electricity generation. **International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2012). Periodical of Advanced Materials Research on title Electrical Power & Energy Systems**. Mainland, China. pp. 516-517.

13) **Thanee, N.** and Thipsantia, P. (2012). Relationship between termite biodiversity and gut protozoa at Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima province, Thailand. **Proceedings of the 8th Inter conference Inter-University Cooperation Program. ASEAN Knowledge Networks for the Economy,**

Society, Culture, and Environmental Stability. 8 - 12 July, 2012. Kyung Hee University, Seoul, Korea.

14) Pitakpong, A., Saipunkaew, W., Dathong, W. and **Thanee, N.** (2011). Use of epiphytic lichens as bioindicators for air quality monitoring in Nakhon Ratchasima municipality, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

15) Sukteeka, S. Jitpukdee, S. and **Thanee, N.** (2011). Species diversity of millipedes in Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

16) Tantikamton, K., Nhaknaen, P., Pokaew, K., Ninlaor, N. and **Thanee, N.** (2011). Solid waste composition and the behavior of household solid waste management in some small islands, Trang province, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

17) Tantipanatip, T., **Thanee, N.** and Keeratiurai, P. (2011). Carbon massflow from egg production using life cycle assessment to develop carbon footprint in Khon Kaen and Nakhon Nayok provinces, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

18) Thipsantia, P. and **Thanee, N.** (2011). Biodiversity of termites and their relationship to dry dipterocarp and dry evergreen ecosystems at Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima province, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka (The Best Practice Awards).

19) Vichairattanatragul, P., **Thanee, N.** and Keeratiurai, P. (2011). Carbon footprint of fattening pig production in Thailand: Case studies in Ratchaburi, Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces. **Proceedings of the 7th Inter conference**

Inter-University Cooperation Program. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

20) Thassanapak, H., Qinglai, F., Grant-Mackei, J., Chonglakmani, C. and **Thanee, N.** (2011). Middle Traissic radiolarian faunas from Chiang Dao, Northern Thailand. **Palaleoworld**. 20: 179-202.

21) Boonriam, W., Yamada, A., Saitoh, S., Hasin, S., Wiwatwitaya, D., Artchawakom, T. and **Thanee, N.** (2010). How much area is foraged by termites in tropical forest. **The 7th Conference of the Pacific Rim Termite Research Group, Singapore**. 1st and 2nd March 2010.

22) Kudthalang, N. and **Thanee, N.** (2010). The assessment of water quality in the upper part of the Chi Basin using physicochemical variables and benthic macroinvertibrates. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 17(2): 165-176.

23) **Thanee, N.** and Keeratiurai, P. (2010). Carbon footprint and carbon massflow for chicken meat and egg production in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. **The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference**, Nong Khai, Thailand. 6 p.

24) **Thanee, N.**, Saipankaew, W. and Pitakpong, A. (2010). Use of lichens as bioindicators for air quality monitoring in Nakhon Ratchasima municipality area. **The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference**, Nong Khai, Thailand. 6 p.

25) Aroon, S., Artchawachom, T., Hill, J. G., Kupittayanant, S. and **Thanee, N.** (2009). Ectoparasites of the common palm civet (*Paradoxurus hermaphroditus*) at Sakaerat Environmental Research Station, Thailand. **Suranaree Journal of Science and Tachnology**. 16(4): 277-281.

26) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009). Comparison of carbon emitted factors from ox and buffalo farms and slaughterhouses in meat production. **Thai Journal of Agricultural Science.** 42(2): 97-107.

27) **Thanee, N.,** Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). Comparison of carbon emitted for meat production from ox buffalo pig and chicken. **Proceedings of the 8th National Convention on Environmental Engineering, Suranaree University of Technology**, Nakhon Ratchasima, March 25-27, 2009.

28) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009). Comparison of carbon emitted from ox buffalo pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 16(2): 79-90.

29) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 23(2): 37-51.

30) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo and pig production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Proceedings of the 5th International Conference-University Cooperation Program, Toward Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, Environment and Health for the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific**. Kohinoor Continental Hotel, Mumbai, India, September 6-10, 2009.

31) **Thanee, N.**, Kupittayanant, S. and Pinmongkholgul, S. (2009). **Prevalence of ectoparasites and blood parasites in small mammals at Sakaerat Environmental Research Station, Thailand.** Thai Journal of Agricultural Science. 42(3): 149-158.

32) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2008). Comparison of carbon emission factors from ox and buffalo farms and energy of slaughterhouses in meat production. **Proceedings of International Conference, Energy Security and Climate Change: Issues, Strategies, and Options (ESCC 2008)**, Sofitel Centara Grand Hotel, Bangkok, Thailand, August 06-08, 2008.

33) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2008). Comparison of carbon mass flow and emission factors from ox and buffalo farms in meat production. **Proceedings of the 4th International Conference, Knowledge Networks and Regional Development in the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific**, Golden Dragon Hotel, Kunming, Yunnan Province, People's Republic of China, June 22-27, 2008.

34) **Thanee, N.**, Dankittikul, W. and Keeratiurai, P. (2007). The study of carbon mass flow in milk production from daily farms: A case study in Nachon Ratchasima province. **Proceedings of the Second GMSARN International Conference, Sustainable Development: Challenges and Opportunities for the Greater Mekong Subregion**. Pattaya, Thailand, December 12-14, 2007.

35) Chitnarin, A., **Thanee, N.**, Crasquin-Soleau, S. and Chonglakmani, C. (2006). First discovery of Middle Triassic (Anisian) ostracods from the Pha Khan Formation, Northern Thailand. **Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium**, New Zealand (poster).

36) Chonglakmani, C., Noipaw, N., Chitnarin, A. and **Thanee, N.** (2006). Late Triassic (Norian) stromatolites and ostracods from the Huai Hin Lat Formation,

North-Central, Thailand. **Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium**, New Zealand (poster).

37) Thassanapak, H., Qinglai, F., Chonglakmani, C., Udchachon, M. and **Thanee, N.** (2006). Middle Triassic radiolarians from Chiang Dao area, Northern Thailand. **Interred XI: Radiolarians in Stratigraphy & Paleoceanography**, New Zealand (poster).

38) Uchachon, M., Chonglakmani, C., Campbell, H. and **Thanee, N.** (2006). Paleoecolgogy of the Permian Alatoconchid bivalves from North-Central, Thailand. **International Palaeontological Congress**, China (poster).

39) Pongswat, S., **Thanee, N.**, Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y. and Nontanum, S. (2005). Water quality and diversity of phytoplankton in a hard-water lake, Thailand. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 13(1): 55-70.

40) Onlamai, C. and **Thanee, N.** (2004). Some ecological aspects of little honeybee (*Apis florae* F.) and type of sugar contents in honey in Northeast Thailand. **Pakistan Journal of Biologcal Sciences**. 7(4): 658-661.

41) Pongswat, S., Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y., **Thanee, N.** and Somsiri, C. (2004). Phytoplankton in the Rama IX lake, a mand-made lake, Pathumthani province, Thailand. **ScienceAsia**. 30: 261-267.

II. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ดร.ประยงค์ กีรติอุไร
ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Dr. Prayong Keeratiurai
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-3099-01285-23-4
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ถ. มิตรภาพ-หนองคาย อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์: 0-4420-3778, 08-1470-0185
โทรสาร: 0-4420-3785
E-mail: keeratiurai_pray@windowslive.com, prayong_kee@yahoo.co.th

5. ประวัติการศึกษา

Education	Year	Institutes
วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)	2537	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
MBA. (การจัดการทั่วไป)	2542	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	2545	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
วศ.ด. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	2552	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

พัฒนาชุมชน ปศุสัตว์ การจัดการงานวิศวกรรม

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

โครงการที่ 1 “การศึกษาความเหมาะสมของการวางระบบและออกแบบระบบสุขาภิบาล การจัดการขยะชุมชน และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศภูฝอยลม” ของชุดโครงการ “การศึกษาจัดทำแผนแม่บทเพื่อพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศภูฝอยลม อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี”

โครงการที่ 2 “การศึกษาวิจัยเพื่อประเมินหาแหล่งพื้นที่และเทคโนโลยีจัดการขยะรองรับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวนานาชาติและการจัดทำรายงานการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA)” ของโครงการ “การพัฒนาพื้นที่อำเภอวังน้ำเขียวให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวระดับนานาชาติ”

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1) ณัฐวุฒิ ธานี, วุฒิ ด่านกิตติกุล และ **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2552). การเปรียบเทียบการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตเนื้อจากโคเนื้อ กระบือ สุกร และไก่เนื้อ. **วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย**. 23(3): 85-96.

2) **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2552). **การศึกษาประเมินความเหมาะสมเลือกแนวทางในการจัดการระบบบำบัดน้ำเสีย และแนวทางการจัดการขยะชุมชนจากนักท่องเที่ยวที่มาภูฝอยลม**. ชุดโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บท เพื่อพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศภูฝอยลม อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี. มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.

3) **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2552). **การศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ชุดโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บท เพื่อพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศภูฝอยลม อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี**. มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.

4) **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2549). **การศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ชุดโครงการวิจัยแผนการพัฒนาอำเภอ วังน้ำเขียวให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวระดับชาติ**. มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.

5) **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2547). **การศึกษาการจัดการขยะชุมชน**. โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน บ้านหินตั้งและบ้านแก่นนคร อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา.

6) **ประยงค์ กีรติอุไร.** (2546). **การลดปริมาณของเสียเนื่องจากปัญหาคุณภาพโดยกระบวนการการจัดการทางวิศวกรรม**. การประชุมวิชาการวิศวกรรม มอ. วิชาการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, จังหวัดสงขลา. 21 – 22 สิงหาคม.

7) ธนาบัติ ร้อยศรี, **ประยงค์ กีรติอุไร**, พิเชษฐ์ คมสัน, สมชาย อารีย์สมบูรณ์ และณรงค์ กุหลาบ. (2538). ผลของความร้อนต่อกำลังของคอนกรีต. **วิศวกรรมสาร มข**. 22(1): 1-8.

8) Tantipanatip, W., Jitpukdee, S., **Keeratiurai, P.**, Tantikamton, K. and Thanee, N. (2014). Life cycle assessment of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*)

farming system in Trang province, Thailand. **Advanced Materials Research**. 1030-1032: 679-682.

9) **Keeratiurai, P.** (2011). Applications of life cycle assessment to tapioca starch production in Thailand. **Proceedings of the International Conference-University Cooperation Program, Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub - region and Asia-Pacific, Cinnamon Grand Hotel, Colombo Sri Lanka**.

10) Saengtorng, P. and **Keeratiurai, P.** (2011). Environmental perspective on municipal solid waste management system in Chaiyaphum. **การประชุมวิชาการระดับชาติ "ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการ" ครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, มีนาคม 17-18.

11) Saengtorng, P. and **Keeratiurai, P.** (2011). Environmental impact on municipal solid waste management system in Chaiyaphum. **Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering, Recent Researches in Power Systems & System Science, Penang, Malaysia**.

12) Tantipanatip, T., Thanee, N. and **Keeratiurai, P.** (2011). Carbon massflow from egg production using life cycle assessment to develop carbon footprint in Khon Kaen and Nakhon Nayok provinces, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

13) Vichairattanatragul, P., Thanee, N. and **Keeratiurai, P.** (2011). Carbon footprint of fattening pig production in Thailand: Case studies in Ratchaburi, Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

14) **Keeratiurai, P.** and Thanee, N. (2010). Carbon mass flow and greenhouse gas emission from eggs production using life cycle assessment in Nakhorn Ratchasima Province, Thailand. **Proceedings of the 5th GMSARN International Conference 2010 on Sustainable Development and Climate Change: Challenges and Opportunity in GMS, Luang Prabang City, Lao PDR**.

15) Thanee, N. and **Keeratiurai, P.** (2010). Carbon footprint and carbon massflow for chicken meat and egg production in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. **Proceedings of the 4th Technology and Innovation for sustainable**

Development International Conference (TISD2010) Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

16) Thanee, N. and **Keeratiurai, P.** (2010). Life cycle assessment of chicken and pig meat production with regard to carbon footprint: Case study of Nakhon Ratchasima Province, Thailand. **Proceedings of the International Conference-University Cooperation Program, Toward Enhancement of Economic, Social, Technological and Environmental Development for Welfare Implications in the Greater Mekong Sub - region and Asia-Pacific, Jogjakarta Plaza Hotel, Yogyakarta Indonesia**.

17) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2009). Comparison of carbon emitted factors from ox and buffalo farms and slaughterhouses in meat production. **Thai Journal of Agricultural Science**. 42(2): 97-107.

18) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2009). Comparison of carbon emitted for meat production from ox buffalo pig and chicken. **Proceedings of the 8th National Convention on Environmental Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima**.

19) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, K.** (2009). Comparison of carbon emitted from ox buffalo pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. **Suranaree Journal of Since and Technology**. 16(2): 79-90.

20) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Proceedings of the 5th International Conference-University Cooperation Program, Toward Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, Environment and Health for the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific, Kohinoor Continental Hotel, Mumbai, India**.

21) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 23(2): 37-51.

22) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2008). Comparison of carbon emission factors from ox and buffalo farms and energy of slaughterhouses in meat production. **Proceedings of International Conference, Energy Security and Climate Change: Issues, Strategies, and Options (ESCC 2008), Sofitel Centara Grand Hotel, Bangkok, Thailand**.

23) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, P.** (2008). Comparison of carbon mass flow and emission factors from ox and buffalo farms in meat production. **Proceedings of the 4th International Conference, Knowledge**

Networks and Regional Development in the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific, Golden Dragon Hotel, Kunming, Yunnan Province, People's Republic of China.

24) **Keeratiurai, P.** (2007). The study of carbon mass flow of food production from animal husbandry to develop C-emission factors: A case study in NAKHON RATCHASIMA Province. **Articles The 1st National Symposium on Graduate Research, Surindra Rajabhat University**.

25) Thanee, N., Dankittikul, W. and **Keeratiurai, K.** (2007). The study of carbon mass flow in milk production from dairy farms: A case study in Nakhon Ratchasima province. **Proceedings of the Second GMSARN International Conference, Sustainable Development: Challenges and Opportunities for the Greater Mekong Subregion**. Pattaya, Thailand.

26) **Keeratiurai, P.** and Polprasert, C. (2004). Polymer wastewater treatment by anaerobic process. **Proceedings of the 9th National Convention on Civil Engineering. Cha-Am, Petchaburi**.

27) **Keeratiurai, P.** (2003). Treatment of polymer wastewater using anaerobic process. **Vongchavalitkul University Academic Journal**. Vol.4, No.2.

28) **Keeratiurai, P.** (2002). Dechlorination of polymer wastewater using anaerobic contact process. **Extended Abstracts The 3rd National Symposium on Graduate Research, Suranaree University of Technology**.

III ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ. ดร.สุวิทย์ จิตรภักดี
   ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Assistant Professor Dr. Suwit Jitpukdee
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-9305-00835-41-8
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง 179 ม.4 ต.ไม้ฝาด อ.สิเกา จ.ตรัง 92150
โทรศัพท์: 075-204051-5
โทรสาร: 075-204059
E-mail: suwitjit@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

Education	Year	Institutes
ศษ.บ. (ชีววิทยา)	2531	มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ สงขลา
วท.ม. (สัตววิทยา)	2537	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปร.ด. (ชีววิทยาสิ่งแวดล้อม)	2548	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) : ไม่มี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1) กนกรัตน์ นาวีการ, พรทิพย์ หนักแน่น, **สุวิทย์ จิตรภักดี** และ อนันต์ ปัญญาศิริ. (2552). The study on behavior and opinion toward the community garbage management in Koh Libong Village, Village, Trang Province. **วารสารงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย** (มทร.ศรีวิชัย). ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (ก.ค.-ธ.ค.).

2) Tantipanatip, W., **Jitpukdee, S.,** Keeratiurai, P., Tantikamton, K. and Thanee, N. (2014). Life cycle assessment of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) farming system in Trang province, Thailand. **Advanced Materials Research**. 1030-1032: 679-682.

3) **Jitpukdee, S.** (2009). Crystalline structure of sagitta otoliths from 8 fish species in different habitats. **Journal of Microbiology Society in Thailand**. 23(1): 58-61.

4) **Jitpukdee, S.** and Wannitikul, P. (2004). Different morphology of sagitta otoliths of *Cephalopholis* spp. from Southern Thailand. **Proceedings of 8th Asia-Pacific Conference on Electron Microscopy** (8APEM) (Ed. N. Tanaka.). pp. 870-871. (Japanese Society of Microscopy: Kanazawa, Japan).

5) **Jitpukdee, S.** and Wannitikul, P. (2004). Sagitta morphology and crystalline structure on sulcus acusticus in *Nemipterus* spp. from coast of Thailand. **Proceedings of the 4th Asian Microscopy Conference and the 3rd Vietnam Conference on Electron Microscopy**. 5-6 January 2004. Hanoi, Vietnam.

6) Wannitikul, P. and **Jitpukdee, S.** (2004). Morphology of sagitta and cryatals on sulcus of Megalops cyprinoids. **Journal of Microscopy Society of Thailand**. 18: 57-60.

7) **Jitpukdee, S.** and Wannitikul, P. (2004). Shape of sagitta and sulcus acusticus of sciaenidae from southern coast of Thailand. **Proceedings of international conference on zological. Beijing, China**.

8) Wannitikul, P. and **Jitpukdee, S.** (2004). Crystals on sulcus acusticus of sagitta of *Muraenesox cireneus*. **Proceedings of 8th Asia-Pacific Conference on**

Electron Microscopy (8APEM)' (Ed. N. Tanaka.). pp. 870-871. (Japanese Society of Microscopy: Kanazawa, Japan).

9) **Jitpukdee, S.** and Wannitikul, P. (2003). Sagitta otolith morphology of perciformes (Mugillidae, Sillaginidae, Carangidae, Lutjanidae, Gerreidae, Haemulidae, Mullidae) from Southern coasts of Thailand. **Proceeding of 29th congress on Science and Technology of Thailand**. 20-22 October 2003. Khon Kaen University, Khon Kaen.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี