

การพัฒนาระบบเติมอากาศหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงแดดสำหรับการ
เพาะเลี้ยงปลานิล



นางสาวเพ็ญพิชา เนียมสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

DEVELOPMENT OF A SOLAR CIRCURATING-WATER
AERATION SYSTEM FOR TILAPIA CULTURE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2021

การพัฒนาระบบเติมอากาศหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงแดดสำหรับการเพาะเลี้ยง
ปลาไนล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

ประธานกรรมการ



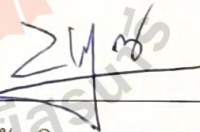
(ผศ. ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



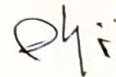
(ผศ. ดร.สมร พรชื่นชูวงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)



(รศ. ดร.บิณชาติ กฤตาคม)

กรรมการ



(ผศ. ดร.พรรษา ลิปลับ)

กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เพ็ญพิชา เนียมสกุล : การพัฒนาระบบเติมอากาศหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงแดดสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล (DEVELOPMENT OF A SOLAR CIRCULATING-WATER AERATION SYSTEM FOR TILAPIA CULTURE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ คุณศรีสุข, 116 หน้า.

คำสำคัญ : ระบบเติมอากาศ/การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ/ออกซิเจนละลายในน้ำ/ พลังงานแสงอาทิตย์/ ปล่องลมแดด

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลานิล อุปกรณ์เติมอากาศแบบใช้ไฟฟ้าถูกใช้ในการเติมออกซิเจนเข้าสู่บ่อปลานิลเพื่อรักษาออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้อยู่เหนือค่าที่ต้องการ อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลส่วนใหญ่มีบ่อเพาะเลี้ยงอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน ดังนั้นการใช้อุปกรณ์เติมอากาศแบบใช้ไฟฟ้าจึงยากที่จะเข้าถึง งานวิจัยนี้ได้นำเสนออุปกรณ์เติมอากาศโดยใช้พลังงานจากแสงแดดที่เรียกว่า ระบบเติมอากาศแบบน้ำหมุนเวียน พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Circulation Aeration System, SCWAS) สำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล โดยระบบนี้ประกอบไปด้วย แผงรับความร้อน แท่งนำความร้อน และท่อนำทิศทางการไหล การทำงานของระบบเกิดขึ้นเมื่อแผงรับแดดดูดซับความร้อนและถ่ายเทให้กับแท่งนำความร้อนที่อยู่ในบ่อ ซึ่งการทำเช่นนี้ทำให้เกิดผลของแรงลอยตัว โดยเป็นสาเหตุให้น้ำที่ก้นบ่อร้อนและลอยตัวขึ้น ส่งผลให้การกระจายตัวของออกซิเจนเกิดขึ้นอย่างทั่วถึงตลอดความลึกของบ่อ ในการวิจัยได้นำแบบจำลองเชิงตัวเลขมาใช้ในการประเมินแนวคิดการออกแบบโดยดำเนินการผ่านโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อค้นหาขนาดและอัตราการไหลที่สมเหตุสมผลของระบบ ผลจากการจำลองพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมของทางเข้า ทางออก และฐานของระบบ ควรมีค่าเป็น 1: 2: 3 และสัดส่วนที่เหมาะสมในการติดตั้งบนแท่งนำความร้อนควรมีค่าเป็น 0.92 ผลจากการจำลองยังชี้ให้เห็นอีกว่า การติดตั้งบนแท่งนำความร้อนสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้ง นอกจากนี้ระบบ SCWAS ต้นแบบยังถูกนำไปติดตั้งและทดสอบในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยผลที่ได้จากการทดลองระบุว่าอุปกรณ์สร้างการไหลเวียนน้ำได้ในรัศมี 1.5 เมตร จากจุดศูนย์กลางระบบ และการไหลเวียนนี้สามารถเพิ่มระดับ DO ที่ก้นบ่อได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับส่งเสริมการเพาะเลี้ยงปลานิล นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการรอดปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS สูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยมีค่าเท่ากับ 96.15 และ 94.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และน้ำหนักเฉลี่ยสุทธิ น้ำหนักที่ได้รับ DGR และ FE เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS เทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ที่ความแตกต่างทางสถิติที่ $P <$

0.05 ซึ่งเป็นที่พึงพอใจ นอกจากผลที่กล่าวมาข้างต้นยังได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย โดยผลเปิดเผยว่า ระบบ SCWAS สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 5.5 ปี ซึ่งมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 34,896 บาท และอัตราผลตอบแทนเมื่อสิ้นสุดเวลาโครงการเท่ากับ 21.42 เปอร์เซ็นต์



สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา ไพฑูริย์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาทิตย์

ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สไมล์

PHENPHICHA NIAMSAKUL: DEVELOPMENT OF A SOLAR CIRCULATING-WATER
AERATION SYSTEM FOR TILAPIA CULTURE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ATIT
KOONSRSISUK, Ph.D., 116 PP.

Keyword : AERATOR/AQUACULTURE/DISSOLVED OXYGEN/SOLAR AERATOR/SOLAR
ENERGY/SOLAR CHIMNEY

Dissolved oxygen (DO) is one factor that promotes tilapia's growth. Electric aeration devices are commonly used to add oxygen to the tilapia pond to keep the dissolved oxygen above the required level. However, many fish farms are located far from the national electrical grid. Consequently, using the electric aeration device is expensive. This research proposes a solar-powered aeration system called the Solar Water Circulation Aeration System (SCWAS) for tilapia culture. This aeration system mainly consists of a solar collector, a heat-conducting rod, and a draft tube. The operation occurs when the solar collector absorbs heat and transfers it to the pond's heat-conducting rod. This creates a buoyancy effect and causes the heated water at the pond bottom to rise, resulting in an even distribution of dissolved oxygen throughout the pond's depth. The numerical simulations of the system were implemented using ANSYS Fluent software to evaluate this design concept. An appropriate geometry that provides a reasonable water circulation flow rate was determined. The appropriate ratio of draft tube inlet (r), draft tube outlet (R), and unit base (L) were determined to be 1: 2: 3. Also, the appropriate insulation length ratio (F) is 0.92. The simulations showed that attaching fins to the conducting rod increases the circulation flow rate compared to that of 'no fin attached.' A prototype of the SCWAS was constructed and tested for five months in a tilapia culture pond. The experimental results indicated that the device generates water circulation with a radius of 1.5 meters from the center of the draft tube. This circulation can increase the DO level at the pond's bottom. The average DO level at the bottom is 4.76 mg/L, which is within the acceptable range. The survival rate of tilapia in a pond with SCWAS was 96.15 percent, compared to 94.55 percent in a pond without SCWAS. Meanwhile, the final weight, weight gain, DGR, and FE of fish in the pond with SCWAS and in the pond without the SCWAS system were statistically different at $P < 0.05$. Economic analysis revealed that SCWAS has a

payback period of 5.5 years. It has a net present value (NPV) of 34,896 Baht and an internal rate of return (IRR) of 21.42 percent.



School of Mechanical Engineering
Academe Year 2021

Student's Signature วิวัฒน์ ทรัพย์
Advisor's Signature ดร.พิเชษฐ์
Co-Advisor's Signature ดร.สม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานต่าง ๆ บุคคลหรือกลุ่มบุคคล และสถานที่ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในครั้ง นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มอบทุนกิตติบัณฑิต สำหรับการศึกษต่อในระดับปริญญาโท ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่มอบโอกาสดี ๆ ในการพัฒนาตนเองทั้งทางด้านการเรียนและการสอนในทุก ๆ ภาคการศึกษา และขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยที่เอื้ออำนวยสถานที่ทำการทดลองในครั้งนี้

และวิทยานิพนธ์นี้จะไม่เกิดขึ้นหากปราศจากบุคคลดังต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ คุณศรีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่เมตตา อบรมสั่งสอน มอบความรู้ทางวิชาการ ให้คำปรึกษาด้านการวิจัย และให้คำแนะนำในการปรับแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีทุกประการ และขอขอบคุณอาจารย์ที่คอยอบรมสั่งสอนในการใช้ชีวิตให้เป็นผู้ที่พัฒนาตนเองอยู่เสมอ ท่านเป็นแบบอย่างที่ดีที่ควรค่าแก่การดำเนินรอยตาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมร พรชื่นชูวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ที่ช่วยจัดหาทุนในการทำวิจัยครั้งนี้มาให้ หากปราศจากทุนจากโครงการ “การพัฒนาระบบเติมอากาศและเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับสมาร์ตฟาร์มเมอร์” แล้ววิทยานิพนธ์ก็ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ และขอขอบคุณอาจารย์ที่มอบความรู้ทางด้านวิชาการ คอยชี้แนะแนวทางในการเขียนเล่มตลอดจนช่วยตรวจทานความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์นี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กระวี ตรีอำรรค ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์สำหรับคำแนะนำในการปรับแก้และช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรษา ลิบลับ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ทั้งสองท่านที่กรุณาสละเวลาเพื่อมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์นี้ และยังช่วยให้คำแนะนำในการปรับแก้เล่มเป็นอย่างดี

อาจารย์สุนัย พลายมี และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยทุกท่าน ขอขอบคุณในความช่วยเหลือสำหรับการจัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่ในการทดลอง ทั้งยังคอยสนับสนุนแรงงานในการทดลองแต่ละครั้งด้วย

นายศิริพงษ์ ปะวะโก ขอขอบคุณพี่มอสที่คอยช่วยเหลือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ในการจัดทำระบบควบคุมต่าง ๆ หากปราศจากพี่มอสแล้วงานวิจัยนี้คงไม่มีข้อมูลมาเขียนผลการทดสอบระบบ

น้อง ๆ โพรเจกต์ปริญญาตรีทุกคน ขอขอบคุณที่คอยช่วยเหลือในการติดตั้งระบบและเก็บข้อมูลซึ่งหากปราศจากน้อง ๆ งานวิจัยนี้คงยากที่จะสำเร็จ ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีเสมอมา

เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในกลุ่มวิจัย ขอขอบคุณทุกคนในกลุ่มวิจัยที่คอยเป็นกำลังที่ดีเสมอมา
ขอขอบคุณทุกความห่วงใยที่มีให้ตลอด ทุกคนในกลุ่มวิจัยน่ารักมาก

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นความรัก และคอยสนับสนุนเรื่อยมา เป็นกำลังใจให้ทุก
ครั้งที่ท้อ เป็นทุกสิ่งทุกอย่างในชีวิต ถ้าไม่มีพวกเขา คงไม่มีเรา และไม่มีงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณจริง ๆ

นอกเหนือจากนี้ อยากขอขอบคุณสถานที่ต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยเติมเต็มชีวิต ให้สามารถใช้ชีวิต
ได้อย่างสมดุล เหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบคุณศูนย์บรรณสารและสื่อสารการศึกษาที่เป็นสถานที่เงียบและ
สงบ ขอขอบคุณต้นไม้หน้าบรรณสาร ๆ ที่คอยให้ความร่มเย็น ขอขอบคุณสระสามแสนที่เป็นสถานที่ออก
กำลังกายอย่างดีเยี่ยม และยังเป็นสถานที่ดูพระอาทิตย์ตกได้อย่างสวยงาม ขอขอบคุณใต้หอพักที่ให้
แหล่งพักผ่อนในช่วงแรกของการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณศาลาลอยที่มีอาหารราคาถูกลง ๆ อร่อย ๆ
ให้ทาน ขอขอบคุณร้านกาแฟทุก ๆ ร้านที่เป็นแหล่งพักผ่อนยามเช้าและมีอเมริกาโน่เย็นหวานน้อยให้จับ
ทุก ๆ วัน ขอขอบคุณทุก ๆ คน และทุก ๆ อย่างในชีวิตเรา

เพ็ญพิชา เนียมสกุล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	3
2.2 การเพาะเลี้ยงปลานิล.....	4
2.3 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	6
2.3.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ.....	6
2.3.2 การแบ่งชั้นทางความร้อนกับระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	8
2.4 เครื่องเติมอากาศ.....	9
2.4.1 เครื่องเติมอากาศตามแนวระนาบ.....	9
2.4.2 เครื่องเติมอากาศตามแนวตั้ง.....	11
2.5 เครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	12
2.6 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์.....	14
2.6.1 แนวคิดการออกแบบระบบ SUPA.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 แนวคิดการออกแบบระบบ SUpA.....	14
2.6.2 อุปกรณ์หลักของระบบ SUpA.....	15
2.6.3 การประเมินความเป็นไปได้ของระบบ SUpA.....	16
2.7 โรงไฟฟ้าปล่องลมแดด SCPP.....	18
2.7.1 การปรับปรุงปล่องลมของโรงไฟฟ้า SCPP.....	21
2.7.2 การปรับปรุงหลังคารับแดดของโรงไฟฟ้า SCPP.....	21
2.8 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน.....	24
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์.....	26
3.1.1 การศึกษาแบบจำลองการไหลโดยธรรมชาติ.....	26
3.1.2 สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลโดยธรรมชาติ.....	28
3.1.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขและวิธีดำเนินการ.....	31
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	43
3.2.1 การสร้างชุดทดลอง SCWAS ต้นแบบ.....	43
3.2.2 เครื่องมือวัดและตำแหน่งการติดตั้งชุดบันทึกข้อมูล.....	47
3.2.3 การทดลองระบบ SCWAS ต้นแบบร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงปลา.....	50
3.3 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์.....	54
3.3.1 ตัวชี้วัด.....	54
3.3.2 รายการสำหรับประเมินมูลค่า.....	55
4 ผลการศึกษาและการอภิปราย.....	60
4.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	60
4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องกับผลการทดลอง.....	60
4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องกับแบบจำลอง.....	64
4.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์.....	66
4.2.1 การศึกษาขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อน.....	67
4.2.2 การศึกษาขนาดของรูปทรง.....	68
4.2.3 การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน.....	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 อิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ.....	71
4.3 ผลการทดสอบระบบ SCWAS ต้นแบบกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล.....	72
4.3.1 การทดสอบระบบ SCWAS ในที่ไม่มีปลานิล.....	72
4.3.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SCWAS กับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล.....	75
4.3.3 การประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต.....	79
4.3.4 การเปรียบเทียบออกซิเจนที่ละลายในน้ำภายในบ่อทดลอง.....	81
4.3.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในบ่อทดลอง.....	82
4.4 ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์.....	84
5 บทสรุป.....	85
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	95
ก. การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SCWAS และการประเมินค่าใช้จ่ายในกรณีเปลี่ยนวัสดุ.....	95
ข. การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์.....	100
ค. ภาพการทำงาน.....	105
ง. ผลงานทางวิชาการ.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทางด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล.....5
2.2	การศึกษารูปทรงปล่องที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ.....21
2.3	การศึกษารูปทรงของแผงรับแดดที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ.....23
3.1	การศึกษาแบบจำลองการไหลเวียนโดยธรรมชาติ.....27
3.2	พารามิเตอร์และช่วงที่ทำการศึกษาในแต่ละการจำลอง.....31
3.3	นิยามสำหรับชื่อขอบเขตของแบบจำลอง.....33
3.4	คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 °C.....34
3.5	เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้สำหรับการจำลองระบบ SCWAS.....35
3.6	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลักพร้อมช่วงที่เปลี่ยนแปลงสำหรับการจำลอง.....36
3.7	พารามิเตอร์และขนาดที่ใช้ในการศึกษารูปแบบการติดตั้งแห่งนำความร้อน.....38
3.8	พารามิเตอร์และขนาดที่เกี่ยวข้องในการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ.....39
3.9	การศึกษาความเป็นอิสระของกริดสำหรับแบบจำลอง 3 มิติ.....42
3.10	การศึกษาความเป็นอิสระของกริดสำหรับแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร.....42
3.11	คุณสมบัติของเครื่องมือวัด.....48
3.12	น้ำหนักปลานิลโดยเฉลี่ยและแผนการให้อาหารในแต่ละมือ.....52
3.13	ข้อมูลการให้อาหารปลานิลในแต่ละเดือน.....52
3.14	การจัดประเภทรายรับและค่าใช้จ่ายสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล.....55
3.15	รายละเอียดสำหรับค่าอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิดที่ถูกนำมาประเมิน.....56
3.16	รายละเอียดในการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศ.....57
3.17	รายละเอียดสำหรับค่าพันธุ์ปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง.....57
3.18	รายละเอียดสำหรับค่าอาหารปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง.....57
3.19	รายละเอียดสำหรับรายได้จากการขายปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง.....58
3.20	รายละเอียดสำหรับการประเมินค่าซากของอุปกรณ์เติมอากาศ.....58
3.21	การประเมินมูลค่าแบบแยกรายการสำหรับ 1 รอบการเพาะเลี้ยง.....59
4.1	อัตราการไหลเวียนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความยาวถนนบนแห่งนำความร้อน.....68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.2	อัตราการไหลเวียนจากการติดตั้งแห่งนำความร้อนที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ.....71
4.3	อัตราการไหลเวียนจากการขยายรูปทรงในแนวระนาบด้วยขนาดต่าง ๆ.....72
4.4	ค่า DO โดยเฉลี่ยที่ระยะควบคุมต่าง ๆ ที่ทำการตรวจวัดมีการไหลเวียน.....78
4.5	การเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโตของพลาณิลของบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 5 เดือน.....80
4.6	การประเมินความเป็นไปได้ 4 แบบของบ่อที่ติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศที่แตกต่างกัน.....85
ก.1	รายการค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างระบบ SCWAS ขึ้นมาใช้งานด้วยตนเอง.....97
ข.1	การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งระบบ SCWAS ต้นแบบ.....101
ข.2	การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งระบบ SCWAS ในกรณีที่ใช้วัสดุทดแทน.....101
ข.3	การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อประเมินที่ติดตั้ง Pump ในการเติมอากาศ.....102
ข.4	การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อประเมินที่ติดตั้ง Paddle wheels ในการเติมอากาศ.....102
ข.5	อัตราการคำนวณค่าไฟฟ้าตามที่ กฟน. กำหนด.....103

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สัดส่วนโดยเฉลี่ยของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2554 ถึง 2563.....	4
2.2	โมเลกุลของออกซิเจนอิสระในน้ำ.....	6
2.3	ระดับความต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำสำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิด.....	7
2.4	ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับปรากฏการณ์ Thermal stratification.....	8
2.5	เครื่องเติมอากาศชนิดกัลโบพัด.....	10
2.6	เครื่องเติมอากาศชนิดบับลม.....	11
2.7	เครื่องกระจายอากาศใต้น้ำ.....	12
2.8	ลักษณะการไหลเวียนของน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยง.....	15
2.9	แนวคิดแรกเริ่มของการออกแบบระบบ SUpA.....	16
2.10	ระบบ SUpA สำหรับการศึกษาของ Sur et al. (2016).....	17
2.11	ระบบ SCPP ต้นแบบที่ตั้งอยู่ ณ. ประเทศสเปน.....	18
2.12	รูปทรงของระบบ SCPP.....	19
2.13	รูปทรงระบบ SUpA.....	20
2.14	รูปทรงระบบ SCPP พร้อมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.15	ระบบเติมอากาศ SCWAS สำหรับการศึกษาวิจัย.....	25
3.1	โดเมนการคำนวณสำหรับแบบจำลอง 3 มิติและชื่อขอบเขต.....	32
3.2	โดเมนการคำนวณสำหรับแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตรและชื่อขอบเขต.....	33
3.3	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาหลัก.....	36
3.4	รูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่ทำการศึกษา.....	38
3.5	รูปแบบการขยายรูปทรงตามแนวระนาบทั้ง 4 ขนาด พร้อมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการศึกษา.....	39
3.6	แผนภาพแสดงวิธีการศึกษาพารามิเตอร์ที่จำลอง เพื่อประเมินหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบ SCWAS.....	40
3.7	ส่วนประกอบและโครงสร้างของระบบ SCWAS ต้นแบบ ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS.....	44
3.8	ส่วนประกอบของแผงรับแดดที่ถูกขยาย.....	45
3.9	ปล่องนำกระแสการไหลที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกใส.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ระบบ SCWAS ก่อนนำลงไปทดสอบในบ่อเพาะเลี้ยง.....	46
3.11 การเชื่อมต่อ DO sensor รุ่น SEN0237 เข้ากับบอร์ด Arduino.....	47
3.12 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิรุ่น DS18B20.....	47
3.13 ชุดบันทึกข้อมูลที่ใช้ร่วมกับระบบ SCWAS.....	49
3.14 การติดตั้งชุดบันทึกข้อมูลและตำแหน่งการวัดค่า DO ทั้ง 4 จุด.....	50
3.15 บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS.....	50
3.16 ลักษณะทางกายภาพของบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล.....	51
4.1 ชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005).....	61
4.2 ผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) โดยที่ (ก) Regime A. (ข) Regime B. (ค) Regime C.	62
4.3 ผลจากแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS FLUENT โดยที่ (ก) Regime A. (ข) Regime B. (ค) Regime C.	62
4.4 การเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณของแบบจำลองกับผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005)	63
4.5 ผลจากแบบจำลองของ Mahmoud et al. (2015).....	64
4.6 ผลจากการจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผู้วิจัย.....	65
4.7 Velocity contour ของระบบที่ทำการตรวจสอบ.....	66
4.8 Temperature contour ของระบบที่ทำการตรวจสอบ.....	66
4.9 อัตราการไหลเวียนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางแห่งนำความร้อน.....	67
4.10 อิทธิพลขนาดของรูปทรงที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน.....	69
4.11 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ของน้ำชั้นบนสำหรับบ่อชั่วคราว.....	73
4.12 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ของน้ำชั้นล่างสำหรับบ่อชั่วคราว.....	74
4.13 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment ทั้ง 2 ระดับสำหรับบ่อชั่วคราว.....	75
4.14 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 1 เมตร.....	76
4.15 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 เมตร.....	76
4.16 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 2 เมตร.....	77
4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแดดในวันที่ทำการทดลอง.....	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.18	การเปรียบเทียบน้ำหนัปกปทานิลโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่ทำการสู่มัจจำนวน 100 ตัว ในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศ.....	79
4.19	การเปรียบเทียบ DO ระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นบน.....	81
4.20	การเปรียบเทียบ DO ระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นล่าง.....	81
4.21	การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นบน.....	82
4.22	การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นล่าง.....	83
4.23	การประเมิน PBP และ NPV สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลที่ติดตั้งระบบ SCWAS เทียบกับบ่อประเมินที่ติดตั้ง Pump และ Paddle wheels.....	84
ก.1	ระบบ SCWAS มุมมอง 3 มิติ.....	94
ก.2	ระบบ SCWAS มุมมองด้านหน้า.....	94
ก.3	โครงสร้างโดยรวมของระบบ SCWAS.....	95
ก.4	รูปทรง Draft tube.....	95
ก.5	ส่วนประกอบ Solar collector.....	96
ก.6	ส่วนประกอบระบบ SCWAS ก่อนประกอบเข้าด้วยกัน.....	98
ก.7	ระบบ SCWAS หลังประกอบเข้าด้วยกัน.....	99

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$abs(n)$	=	มูลค่าสะสมของปีที่ y โดยใช้ค่าบวก
A_{HR}	=	พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของ Heating rod (W/m^2)
AR	=	Area ratio of chimney entrance over chimney exit
AV	=	กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละรอบของการเพาะเลี้ยง (Annual value)
AW	=	กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละงวด
C_{food}	=	ต้นทุนค่าอาหารสำหรับ 1 kg ซึ่งในการคำนวณเท่ากับ 25 บาท
con	=	Convergent chimney
DA	=	Degree angle of chimney
D_{fin}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Fin
D_{HR}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Heating rod
div	=	Divergent chimney
DO	=	Dissolved oxygen
D_{RT}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Rod top
H_{col}	=	ความสูงของหลังคา
$H_{draft\ tube}$	=	ความสูงของปล่องนำกระแสการไหล
H_{inlet}	=	ความสูงบริเวณทางเข้าที่อยู่ระหว่างพื้นกับหลังคา
H_{outlet}	=	ความสูงบริเวณทางออกปล่อง
H_{total}	=	ความสูงโดยรวมของโดเมนการคำนวณ
i	=	อัตราส่วนลดที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25% (Discount rate)
L	=	ความสูงของรูปทรง (m)
L_{fin}	=	ความยาวของ Fin
L_{HR}	=	ความยาวของ Heating rod
L_{sul}	=	ความยาวฉนวนความร้อน
L_{total}	=	ความยาวโดยรวมของ Central rod
m	=	Mass flow rate
n	=	ระยะเวลาโครงการ
N_{fish}	=	จำนวนปลา (ตัว)
N_{meal}	=	จำนวนมือที่ให้ในแต่ละวัน (มือ)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

p	=	มูลค่าสะสมเริ่มต้นที่มีค่าเป็นบวก
p	=	มูลค่าสะสมเริ่มต้นที่มีค่าเป็นบวก
Q	=	ความร้อนที่ถ่ายเทจาก Solar collector มายัง Heating rod (W)
R_{base}	=	รัศมีฐาน
R_{inlet}	=	รัศมีทางเข้าปล่อง
R_{outlet}	=	รัศมีทางออกปล่อง
SCPP	=	Solar Chimney Power Plant
SCWAS	=	Solar Circulating-Water Aeration System
S_{fin}	=	ระยะห่างระหว่าง Fin
SUpA	=	Solar Updraft Aeration System
t	=	งวดที่คำนวณ
time	=	ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (day)
V	=	ความเร็ว (m/s)
$W_{fish,avg}$	=	น้ำหนักปลาเฉลี่ยจากการสุ่มจับ 100 ตัว (kg)
W_{final}	=	น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง (g)
$W_{food/day}$	=	อาหารที่ให้ต่อวัน (kg/day)
$W_{food/meal}$	=	อาหารที่ให้ต่อมื้อ (kg/meal)
W_{gain}	=	น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)
$W_{initial}$	=	น้ำหนักปลาในตอนเริ่มต้นการเลี้ยง (g)
y	=	จำนวนปีก่อนที่มูลค่าสะสม (Cumulative value) จะเป็นบวก
Z	=	ความสูง (m)
g	=	ค่าคงที่ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
β	=	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของของไหล ($1/K$)
T_s	=	อุณหภูมิพื้นผิวที่ถูกทำให้ร้อน ($^{\circ}C$)
T_{∞}	=	อุณหภูมิของของไหล ($^{\circ}C$)
L	=	ความยาวรูปทรง (m)
ν	=	ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล (m^2/s)
α	=	การแพร่ความร้อนของของไหล (m^2/s)
$\cdot q$	=	ฟลักซ์ความร้อนที่กระจายบนพื้นผิวที่ถูกทำให้ร้อน (W/m^2)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Pr	=	Prandtl Number
Gr_L	=	Grashof Number
Ra_L	=	Rayleigh Number
ρ_∞	=	ความดันของของไหล (Pa)
V_0	=	ความเร็วของของไหลที่ถูกขับเคลื่อนด้วยแรงลอยตัว (m/s)
ΔT	=	ผลต่างอุณหภูมิของของไหล ($^{\circ}C$)
U_f	=	ความเร็วเสียดทาน (m/s)
Re	=	Rayleigh Number
ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
τ_w	=	แรงเฉือนของของไหลที่ชั้นขีดผิว (N.m)
U_∞	=	ความเร็วของกระแสการไหล (m/s)
C_f	=	ค่าคงที่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Rayleigh Number

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทุกชนิด เนื่องจากสัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ กระบวนการเผาผลาญอาหาร และกระบวนการขับถ่ายของเสีย หากในบ่อเพาะเลี้ยงมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตช้าเนื่องจากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ และหากมีปริมาณออกซิเจนมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อผลผลิตของผู้เพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรอยู่ระหว่าง 4 – 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยปกติปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีมากในเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากกลางวันเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ในเวลากลางคืนไม่เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีการใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในบ่อเชิงอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จึงนิยมติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เติมอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่ยังเป็นระบบที่ต้องการการเชื่อมต่อไปไฟฟ้างิจจะสามารถทำงานได้ แต่ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ของประเทศเป็นเกษตรกรที่ทำการเพาะเลี้ยงในบ่อขนาดเล็กและห่างไกลจากแหล่งชุมชน ทำให้การเชื่อมต่อไปไฟฟ้าง่ายไม่ถึง อีกทั้งอุปกรณ์เติมอากาศที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น ปั๊ม (Pump) และกงล้อใบพัด (Paddle wheels) ยังเป็นระบบที่สามารถเติมอากาศได้เฉพาะผิวบ่อซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าออกซิเจนที่เหมาะสมอยู่แล้ว

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาระบบเติมอากาศที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า เพื่อให้ผู้เพาะเลี้ยงส่วนใหญ่ซึ่งเป็นเกษตรกรในชนบทสามารถเข้าถึงได้ และเป็นระบบที่สามารถเติมอากาศให้กับน้ำชั้นล่างของบ่อเพื่อทำการปรับปรุงค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลได้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาและออกแบบระบบเติมอากาศแบบน้ำหมุนเวียน (Solar Circulating-Water Aeration System, SCWAS) โดยใช้พลังงานจากแสงแดด สำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิลของเกษตรกรในบ่อขนาดเล็ก โดยในการวิจัยแบ่งวัตถุประสงค์ย่อยออกเป็นดังนี้

1.2.1 เพื่อทำการจำลองหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบเติมอากาศ SCWAS

1.2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลจากการใช้ระบบเติมอากาศ SCWAS และทำการเปรียบเทียบกับบ่อเพาะเลี้ยงที่ไม่ติดตั้งระบบเติมอากาศ

1.2.3 เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการเลือกใช้งานระบบ SCWAS สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาเชิงตัวเลขใช้การจำลองบนโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อประเมินขนาดที่เป็นไปได้ของระบบเติมอากาศ SCWAS ต้นแบบ

1.3.2 เป็นระบบเติมอากาศที่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า

1.3.3 ทำการทดลองกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยบ่อมีขนาด 750 ตารางเมตร และลึก 1.5 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์เติมอากาศที่ไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า ที่สามารถปรับปรุงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลของเกษตรกรได้ นอกจากนี้ ยังเป็นระบบต้นแบบที่สามารถนำไปใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นที่ต้องการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ด้วย

บทที่ 2

ปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากรายงานของ Food and Aquaculture Organization of the United Nation (FAO) คาดว่าผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปี พ.ศ. 2574 จะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2561 โดยเพิ่มเป็น 204 ล้านตัน จาก 179 ล้านตัน ซึ่งผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการบริโภค และถูกคาดว่าจะสูงถึงร้อยละ 89 ในปี พ.ศ. 2574 ด้วยเหตุผลอันเนื่องมาจากความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากรายได้ที่สูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจโลก (FAO, 2022)

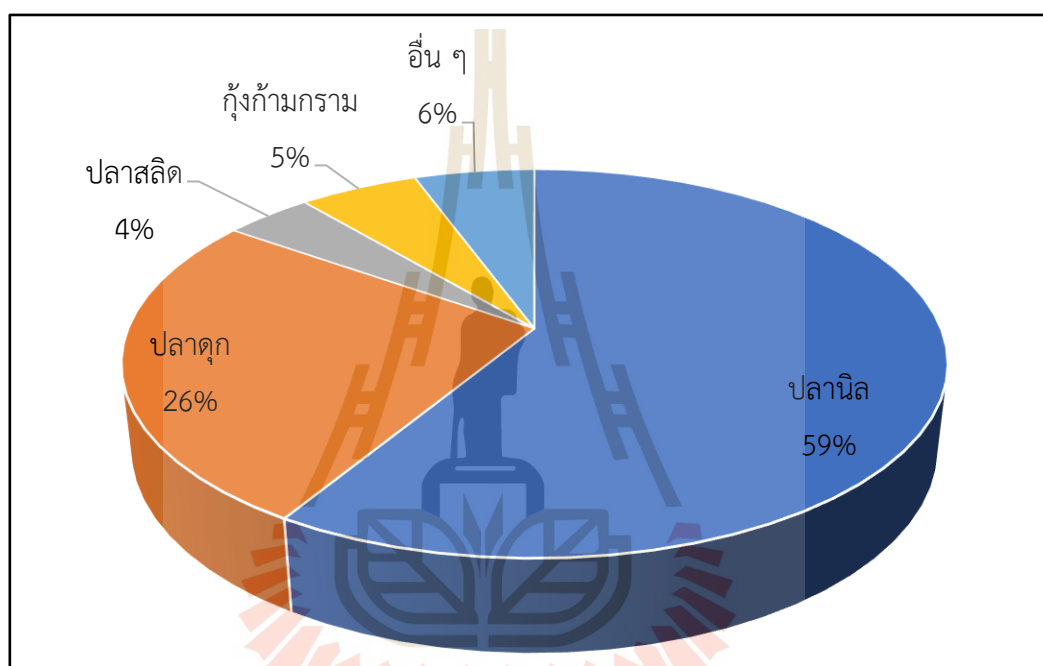
ผลผลิตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ของโลกในปี พ.ศ. 2574 จะมาจากทวีปเอเชียเป็นหลัก โดยคาดว่าจีนจะยังคงผลิตได้มากที่สุดอันเนื่องมาจากสภาพภูมิประเทศที่เอื้อต่อความสามารถในการเพิ่มผลผลิต (FAO, 2022) ซึ่งขณะเดียวกันไทยที่เป็นหนึ่งในประเทศของภูมิภาคนี้จะยังคงมีความสามารถในการผลิตสัตว์น้ำเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกด้วยเช่นกัน โดยจากรายงานข้อมูลสถิติของกรมการประมง (2565) แสดงให้เห็นว่าผลผลิตในประเทศจากปี พ.ศ. 2554 ถึง 2565 มาจากการทำประมงร้อยละ 62.98 และมาจากการเพาะเลี้ยงร้อยละ 37.02 อย่างไรก็ตาม ทาง FAO มีนโยบายให้ทำการประมงที่ยั่งยืนเพื่อลดการทำลายมหาสมุทร ทะเล แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการประมงโลกและยังคงมีผลผลิตอย่างต่อเนื่อง ควรส่งเสริมให้ผู้ผลิตหันมาทำการเพาะเลี้ยงและเพิ่มผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงเป็นหลัก

Phan et al. (2009) พบว่าผู้ผลิตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกกว่าร้อยละ 72 เป็นเกษตรกรที่ทำการเพาะเลี้ยงในที่นาของตน (Extensive farm) แต่สามารถผลิตได้ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผู้ผลิตสัตว์น้ำเชิงการค้า (Intensive farm) เนื่องมาจากบ่อเพาะเลี้ยงเชิงการค้ามีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศจึงสามารถเพาะเลี้ยงได้อย่างหนาแน่นและมีผลผลิตที่มากกว่าบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกรที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศ

ดังนั้น เพื่อให้มีผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทันตามความต้องการบริโภคและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ควรส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตในบ่อเพาะเลี้ยงของตน ซึ่งนอกจากจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นและสามารถพึ่งพาตนเองได้ในระยะยาว

2.2 การเพาะเลี้ยงปลานิล

ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2554 – 2563) พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยทำการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นหลัก โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 201,359 ตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 59 ของผลผลิตสัตว์น้ำจืดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และคิดเป็นมูลค่า 9,900 ล้านบาท โดยผลผลิตและมูลค่ามีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.69 และ 4.99 ต่อปี ตามลำดับ (กลุ่มสถิติการประมง กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, 2565)



รูปที่ 2.1 สัดส่วนโดยเฉลี่ยจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2554 ถึง 2563

ปลานิล หรือ Nile tilapia อยู่ในตระกูลซิคลิดี (Cichlidae) มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ที่ทวีปแอฟริกา พบทั่วไปตามหนอง บึง และทะเลสาบ ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจของไทยนับตั้งแต่ปี 2508 เป็นต้นมา เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เติบโตเร็ว รสชาติอร่อย เป็นที่ต้องการของตลาด และกรมการประมงยังส่งเสริมให้ทำการเพาะเลี้ยงอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นปลาที่ได้รับพระราชทานมาจากในหลวงรัชกาลที่ 9 เพื่อให้เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้ตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งถือเป็นแนวคิดในการพัฒนาชุมชนให้มีความยั่งยืน เมื่อชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้แล้วก็จะส่งผลต่อความมั่นคงภายในประเทศ (กรมประมง, 2564) ดังนั้น ปลานิลจึงเป็นปลาที่เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเพาะเลี้ยงเพื่อยังชีพและสามารถนำไปจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้เข้าสู่ครัวเรือนได้ง่ายกว่าการเพาะเลี้ยงปลาชนิดอื่น ๆ

การเพาะเลี้ยงปลานิลให้เจริญเติบโตได้ดีประกอบไปด้วย ปัจจัยทางด้านอาหาร และคุณภาพน้ำ ซึ่งปัจจัยทางด้านอาหารจะช่วยให้ปลานิลโตเร็ว น้ำหนักดี โดยในการเพาะเลี้ยงควรมีการให้อาหารที่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน ซึ่งโดยทั่วไปจะให้อาหารร้อยละ 3 ของน้ำหนักตัว และแบ่งให้ 2 ครั้งต่อวัน (กรมประมง, 2564) สำหรับคุณภาพน้ำที่ดีจะช่วยให้ปลานิลมีสุขภาพดี ไม่เครียด และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอีกทางหนึ่งด้วย

คุณภาพน้ำที่ดีที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของปลานิลมีตัวชี้วัดที่หลากหลาย แต่ที่สำคัญมีอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงแดดจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวน้ำ โดยทั่วไปแล้วภายในหนึ่งวันอุณหภูมิในน้ำจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในส่วนของความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ของน้ำเป็นการวัดคุณสมบัติทางเคมี โดยทำการวัดปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำออกมา แสดงให้เห็นความเป็นกรด หรือด่างของน้ำได้ และปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตัวสุดท้ายคือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินคุณภาพน้ำ เนื่องจากมีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ หากระดับออกซิเจนสูงหรือต่ำเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำและยังส่งผลต่อคุณภาพน้ำอีกด้วย ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงปลานิลจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตที่ดีและยังช่วยให้เกษตรกรมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย สำหรับค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทางด้านคุณภาพแสดงดังตารางที่ 2.1

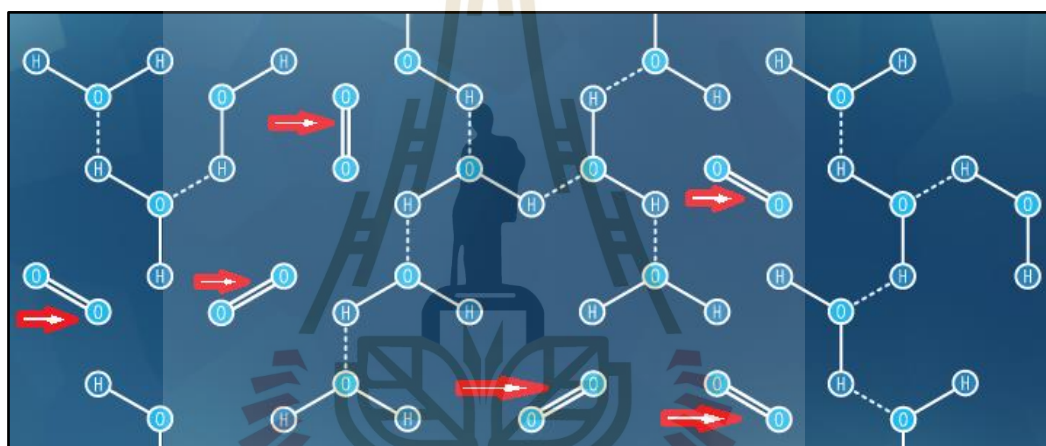
ตารางที่ 2.1 ค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยทางด้านคุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงปลานิล (กรมประมง, 2564)

ปัจจัยทางด้านคุณภาพน้ำ	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ (°C)	25 - 32
ความเป็นกรด - ด่าง	6.5 - 8
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)	4 - 15

2.3 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) คือ จำนวนออกซิเจนอิสระที่อยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการประเมินคุณภาพน้ำ และในการวัดค่านี้หน่วยวัดจะถูกระบุเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)

ออกซิเจนอิสระ คือออกซิเจนที่ไม่เป็นสารประกอบของน้ำ และไม่ยึดติดกับองค์ประกอบอื่น นอกจากออกซิเจนด้วยกัน โดยสูตรโมเลกุลทางเคมีของออกซิเจนอิสระคือ O_2 ดังนั้น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำคือ การปรากฏตัวของโมเลกุล O_2 ภายในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากรูปจะเห็นว่า มีโมเลกุลของออกซิเจนบางส่วนถูกยึดเหนี่ยวอยู่กับไฮโดรเจน ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) โดยส่วนนี้จะไม่ถูกนับรวมเป็นระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Fondriest Environmental Inc., 2021)

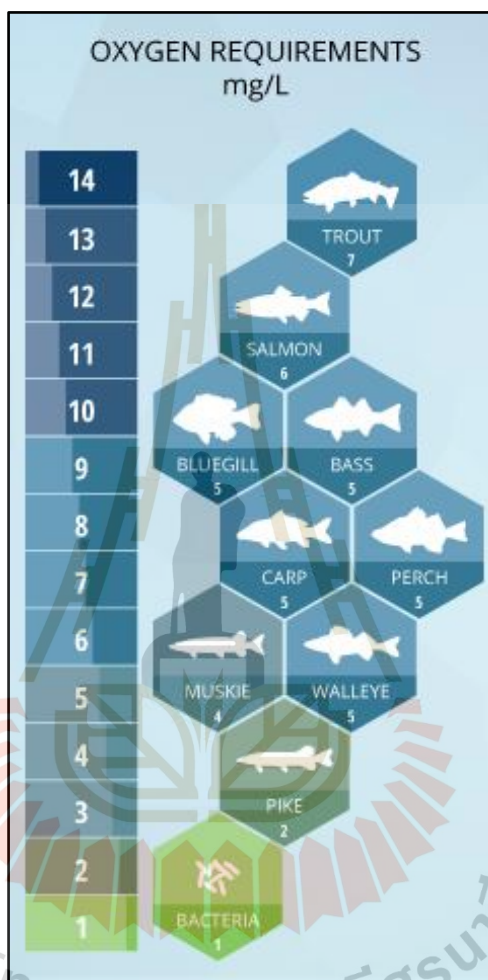


รูปที่ 2.2 โมเลกุลของออกซิเจนอิสระในน้ำ (O_2) (Fondriest Environmental Inc., 2021)

2.3.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายสายพันธุ์ในแหล่งน้ำ เช่น ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง แบคทีเรีย และพืช เป็นต้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการหายใจเช่นเดียวกับสัตว์บก ปลาและกุ้งได้รับออกซิเจนเพื่อการหายใจทางเหงือก ในขณะที่สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชน้ำและแพลงก์ตอนต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อการหายใจ ในขณะที่ไม่มีการสังเคราะห์แสง สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดต้องการปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน สิ่งมีชีวิตจำพวก ไล่เดือน ปู ต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำค่อนข้างต่ำคือประมาณ 1 ถึง 6 mg/L ปลาต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระดับที่สูงกว่าคือ 4 ถึง 15 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ ยังมีสิ่งมีชีวิตในสปิชีส์ของจุลินทรีย์ที่มีความต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเช่นกัน เพื่อช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุที่ด้านล่างของแหล่งน้ำ ซึ่งการย่อยสลายของจุลินทรีย์นี้มีความสำคัญ

อย่างยิ่งในกระบวนการรีไซเคิลสารอาหารในแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม หากมีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากเกินไปในแหล่งน้ำที่มีการหมุนเวียนน้ำไม่บ่อยหรือไม่มีการหมุนเวียนเกิดขึ้น ออกซิเจนที่ชั้นล่างของแหล่งน้ำจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว (Fondriest Environmental Inc., 2021)



รูปที่ 2.3 ระดับความต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำสำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิด (Fondriest Environmental Inc., 2021)

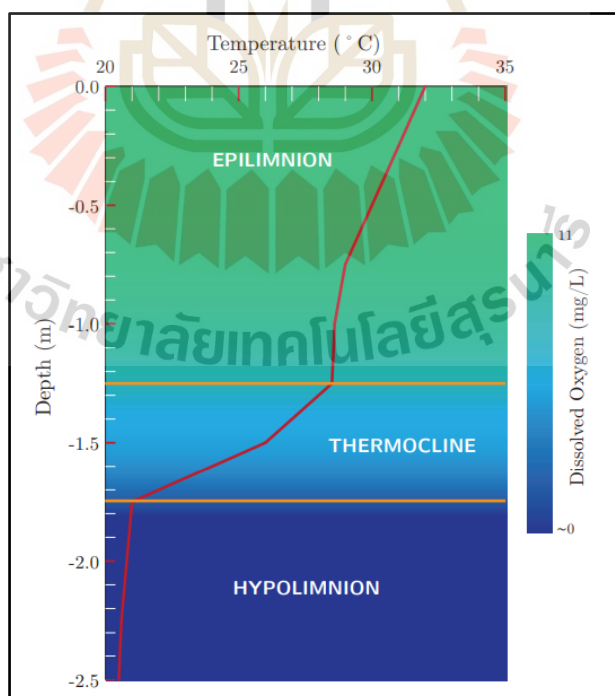
Wetzel (2001) รายงานว่า หากความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงต่ำกว่า 1 mg/L จะส่งผลให้อัตราการตายของปลาเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ปลาแต่ละชนิดมีระดับความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ส่วนระดับวิกฤตที่ปลายังคงสามารถมีชีวิตรอดแต่อาจจะไม่สามารถเติบโตได้คือ 1 mg/L หากระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำยังคงอยู่ที่ระดับนี้เป็นเวลานานปลาอาจจะตายได้ ตัวอย่างเช่น ในเวลากลางคืนของฤดูหนาวที่อากาศเย็นจัด ส่งผลให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 1 mg/L หากปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นขาดออกซิเจนเป็น

เวลานานหลายชั่วโมงจะส่งผลให้ปลาตายเป็นจำนวนมาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Winterkill” โดยพบเห็นได้บ่อยในเขตขั้วโลกที่มีน้ำแข็งปกคลุมเป็นเวลานาน เป็นต้น

นอกจากระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำจะก่อให้เกิดปัญหาแล้ว การที่ระดับออกซิเจนละลายในน้ำสูงกว่าปกติยังก่อให้เกิดปัญหาได้ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ในระหว่างวันของฤดูร้อนที่แดดจัด พืชจะมีการสังเคราะห์แสงดีกว่าปกติทำให้ระดับออกซิเจนที่ผิวบ่อสูงมาก หรือบริเวณน้ำตื้น ที่น้ำตื้นจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำอย่างรวดเร็วจะมีความสามารถในการเติมอากาศสูงซึ่งทำให้น้ำมีความอิ่มตัวอย่างรวดเร็ว โดยสถานะในลักษณะนี้เรียกว่า “Supersaturation” และหากสัตว์น้ำอยู่ในสถานะนี้เป็นเวลานาน อาจส่งผลให้ปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นตายด้วยโรคที่เกิดจากทางผิวหนัง ซึ่งเรียกว่า โรคฟองอากาศ (Gas bubble) เป็นต้น

2.3.2 การแบ่งชั้นทางความร้อนกับระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ในระหว่างวันบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกรเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การแบ่งชั้นทางความร้อน (Thermal Stratification) ซึ่งเป็นสถานะที่อุณหภูมิน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงมีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยจะลดลงตามความลึกของบ่อ ซึ่งเป็นผลมาจากแสงแดดที่ตกกระทบกับผิวน้ำทำให้น้ำที่ผิวด้านบนบ่อมีอุณหภูมิสูงและจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความลึกของบ่อเพิ่มมากขึ้น และปรากฏการณ์นี้ยังมีความสัมพันธ์กับระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.4 ด้วย



รูปที่ 2.4 ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับปรากฏการณ์ Thermal stratification (Mahmoud et al., 2015)

น้ำที่อยู่ชั้นบน เรียกว่า Epilimnion เป็นชั้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดและระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากที่สุด เนื่องจากน้ำอยู่ชั้นบนสุดของแหล่งน้ำจึงได้รับออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชโดยตรงและน้ำในชั้นนี้ยังเกิดการเคลื่อนที่อย่างเนื่องจากกระแสลมที่พัดผ่านอีกด้วยจึงเป็นสาเหตุให้น้ำในชั้นนี้มีระดับออกซิเจนที่สูง

น้ำที่อยู่ชั้นกลาง เรียกว่า Thermocline เป็นชั้นที่มีอุณหภูมิและระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่าน้ำชั้นบน เนื่องจากน้ำในชั้นนี้อยู่ลึกกว่าน้ำชั้นแรกทำให้ออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชแพร่ไม่ถึงและกระแสลมไม่สามารถพัดผ่านน้ำในชั้นนี้ได้ จากการสังเกตจะเห็นว่า น้ำในชั้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน ซึ่งอาจทำให้ปลาเกิดอาการนี้้อค เนื่องจากการปรับสภาพร่างกายให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รวดเร็วไม่ได้

น้ำที่อยู่ชั้นล่าง เรียกว่า Hypolimnion เป็นชั้นที่มีค่าอุณหภูมิและระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำสุด เนื่องจากน้ำในชั้นนี้อยู่ลึกที่สุด ทำให้การแพร่ของออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชมาไม่ถึง น้ำในชั้นนี้นอกจากจะไม่มี的增加ขึ้นของระดับออกซิเจนแล้ว ยังมีการใช้ออกซิเจนอย่างต่อเนื่องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียและการหายใจเอาออกซิเจนของสัตว์ที่อยู่ในหน้าดินตลอดเวลา

2.4 เครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยมีเทคนิคในการนำอากาศเข้าไปผสมกับน้ำในลักษณะต่าง ๆ จากรายงานของ Chen et al. (1995) พบว่า บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีเครื่องเติมอากาศสามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงถึงร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับบ่อที่ไม่มีเครื่องเติมอากาศ และจากรายงานของ Mahmoud et al. (2015) พบว่า ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้เครื่องเติมอากาศชนิดกังล้อใบพัดเป็นส่วนใหญ่โดยคิดเป็นร้อยละ 53 มีการใช้เครื่องเติมอากาศชนิดปั๊มอากาศคิดเป็นร้อยละ 25 เครื่องกระจายอากาศใต้น้ำร้อยละ 20 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 2 จากชนิดเครื่องเติมอากาศข้างต้นสามารถแบ่งตามลักษณะการเติมอากาศได้ 2 ประเภท คือ เครื่องเติมอากาศตามแนวระนาบ และเครื่องเติมอากาศตามแนวตั้ง

2.4.1 เครื่องเติมอากาศตามแนวระนาบ

เครื่องเติมอากาศตามแนวระนาบ คือเครื่องเติมอากาศที่ทำการเติมอากาศที่บริเวณผิวน้ำและมักทำการติดตั้งที่ผิวบ่อ โดยที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการเพาะเลี้ยงมี 2 ชนิด ประกอบไปด้วย กังล้อใบพัด (Paddle wheels) และปั๊มอากาศ (Pump)

เครื่องเติมอากาศชนิดกังล้อใบพัด เป็นชนิดที่นิยมใช้งานมากที่สุดในบ่อเพาะเลี้ยงเชิงการค้า (Intensive farm) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศสูงสุด ซึ่งเครื่องเติมอากาศชนิดนี้ประกอบไปด้วย มอเตอร์ เพลลา และใบพัด การเติมอากาศของอุปกรณ์ชนิดนี้เกิดขึ้นจากการที่

มอเตอร์ทำงานส่งกำลังไปยังเพลลาเพื่อทำให้ใบพัดหมุน เมื่อใบพัดหมุนน้ำที่สัมผัสกับใบพัดจะเกิดการเคลื่อนที่ตามทิศทางของใบพัด และในขณะเดียวกันการเติมออกซิเจนจะเกิดขึ้นจากการที่น้ำกระเซ็นไปสัมผัสกับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องเติมอากาศชนิดกังล้อใบพัด (IndiaMART InterMESH Ltd, 2022)

สำหรับบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นเครื่องเติมอากาศที่นิยมใช้สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงที่มีความหนาแน่นไม่สูงมากนัก (Semi-Intensive farm) เมื่อเทียบกับการใช้งานเครื่องเติมอากาศชนิดกังล้อใบพัด และยังเป็นชนิดที่สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด เครื่องเติมอากาศชนิดนี้สามารถเพิ่มระดับออกซิเจนให้กับบ่อเพาะเลี้ยงได้จากการที่บ่อบำบัดน้ำเสียรอบ ๆ เข้าตัวเครื่องและถูกลำเลียงไปยังท่อที่มีการเชื่อมต่อไปยังบ่อเพาะเลี้ยง เมื่อน้ำถูกแรงพ่นของอากาศจากการทำงานของบ่อบำบัดจะทำให้ระดับออกซิเจนภายในบ่อเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม หากมีการเพาะเลี้ยงอย่างหนาแน่น เช่น บ่อเชิงการค้า จำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์เติมอากาศหลายตัว



รูปที่ 2.6 เครื่องเติมอากาศชนิดปั๊มอากาศ (<http://sabuyjaishop.com>)

2.4.2 เครื่องเติมอากาศตามแนวตั้ง

เครื่องเติมอากาศตามแนวตั้ง คือเครื่องเติมอากาศที่สามารถเติมอากาศได้ตามแนวลึกของบ่อ ซึ่งมักจะติดตั้งที่ก้นบ่อ นอกจากนี้เครื่องเติมอากาศประเภทนี้ยังสามารถทำลายการแบ่งชั้นความร้อนของน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงได้ ตัวอย่างเครื่องเติมอากาศประเภทนี้ เช่น เครื่องกระจายอากาศใต้น้ำ (Diffused aeration) เป็นต้น

เครื่องกระจายอากาศใต้น้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ความดันในการเป่าลมเพื่อให้น้ำเกิดฟองอากาศและลอยตัวขึ้นมายังผิวน้ำด้านบน เครื่องเติมอากาศชนิดนี้ติดตั้งที่ก้นบ่อทำให้มีความสามารถในการสร้างฟองอากาศได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศได้ และเครื่องกระจายอากาศที่สามารถสร้างฟองอากาศได้เล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศได้มากกว่า เนื่องจากฟองอากาศที่เล็กจะสามารถแทรกเข้าไปในผิวน้ำได้มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องกระจายอากาศใต้น้ำ (Pro Pond and Lakes Company, 2022)

จากตัวอย่างข้างต้น พบว่า เครื่องเติมอากาศที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำตามแนวระนาบเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม จากปรากฏการณ์การแบ่งชั้นความร้อนแสดงให้เห็นว่า ที่ผิวด้านบนบ่อยังคงมีระดับออกซิเจนที่สูงต่างจากน้ำในชั้นล่างที่มีระดับออกซิเจนต่ำและเป็นบริเวณที่ต้องการการเพิ่มออกซิเจนมากที่สุด และจากตัวอย่างข้างต้นมีเครื่องเติมอากาศตามแนวตั้ง ซึ่งจะช่วยให้ช่วยทำลายการแบ่งชั้นทางความร้อนของน้ำภายในบ่อและส่งผลให้ระดับออกซิเจนของน้ำชั้นล่างเพิ่มขึ้นได้จากการผสมกันของน้ำในแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน แต่ถึงกระนั้น เครื่องเติมอากาศเหล่านี้ยังจำเป็นต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงในการเปิดใช้งานทุกครั้ง และถึงแม้จะมีการเชื่อมต่อเครื่องเติมอากาศเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่เครื่องเติมอากาศเหล่านี้ยังต้องทำงานแม้ในวันที่ฝนตกไม่มีแสงแดด นอกจากนี้แผงโซลาร์เซลล์ยังมีราคาที่สูงหากมีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเนื่องตลอดเวลา

2.5 เครื่องเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

จากหัวข้อที่ผ่านมา เครื่องเติมอากาศที่นิยมใช้ยังเป็นระบบที่ต้องการเชื่อมต่อกับไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ในประเทศเป็นเกษตรกรในเขตชนบท มีบ่อเพาะเลี้ยงอยู่

ห่างไกลจากแหล่งชุมชนทำให้การเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าไม่ถึง และหากทำการเชื่อมต่อเครื่องเติมอากาศเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์จะเป็นการเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิต ทำให้เกษตรกรผู้ซึ่งทำการเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งอาหารและอาชีพเสริมมีรายได้ที่ลดลงและอาจจะไม่คุ้มค่าในที่สุด อีกทั้งในบ่อเพาะเลี้ยงระหว่างวันเกิดปรากฏการณ์การแบ่งชั้นทางความร้อน (Thermal stratification) และการระเหยของออกซิเจนจากผิวน้ำสู่บรรยากาศ (Supersaturation) ด้วย ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ปรากฏการณ์แรกคือ การแบ่งชั้นทางความร้อน เกิดขึ้นจากน้ำชั้นบนได้รับแสงแดดโดยตรงทำให้น้ำในชั้นนี้อุ่นกว่าน้ำชั้นล่าง และน้ำภายในบ่อยังเกิดช่วงที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสิ่งนี้จะป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตภายในบ่อเพาะเลี้ยงหากปรับสภาพอุณหภูมิภายในร่างกายไม่ทัน

ปรากฏการณ์ที่สองคือ การระเหยของออกซิเจนจากผิวน้ำสู่บรรยากาศ สิ่งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพืชที่อยู่รอบบ่อมีการสังเคราะห์แสงมากกว่าปกติและแพร่ลงสู่น้ำ แต่น้ำในขณะนั้นมีความอิ่มตัวของอากาศอยู่แล้วจึงไม่สามารถรับออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชได้อีก อีกทั้งน้ำที่ชั้นบนได้รับความร้อนจากแสงแดด จึงทำให้ออกซิเจนที่อยู่ผิวน้ำเกิดการระเหยสู่บรรยากาศไปด้วย และหากสัตว์น้ำได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์นี้เป็นเวลานานจะทำให้ปลาเสี่ยงเกิดโรคทางผิวหนัง

จากปรากฏการณ์ทั้งสองข้างต้น นอกจากเครื่องเติมอากาศจะสามารถเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้แล้ว ยังต้องคำนึงถึงผลอย่างอื่นร่วมด้วย อย่างแรกคือเครื่องเติมอากาศควรมีความสามารถในการทำลายการแบ่งชั้นของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน อย่างที่สองคือไม่ควรเติมอากาศในบริเวณที่มีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงอยู่แล้ว เช่น ที่ผิวน้ำ เพราะนั่นจะทำให้การเติมอากาศจากเครื่องสูญเปล่า แต่สิ่งที่ควรคำนึงคือ การนำออกซิเจนที่มีมากบริเวณผิวน้ำลงมายังน้ำชั้นล่างเพื่อลดการสูญเสียออกซิเจนสู่บรรยากาศ และยังเป็นการเพิ่มระดับออกซิเจนให้กับน้ำชั้นล่างที่มีความต้องการออกซิเจนในกิจกรรมย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอีกด้วย

จากข้อจำกัดในการเข้าถึงไฟฟ้าและข้อควรตระหนักในการเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกร จึงได้มีนักวิจัยกลุ่มหนึ่งที่ทำการศึกษาและออกแบบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนโดยใช้พลังงานจากแสงแดดในการขับเคลื่อนระบบ ซึ่งระบบนี้ใช้วิธีการเติมอากาศแบบใหม่ในการเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง โดยการทำให้น้ำเกิดการไหลเวียนเพื่อนำออกซิเจนที่มีอยู่มากบริเวณผิวน้ำลงมาให้กับน้ำที่อยู่ด้านล่างบ่อ ซึ่งระบบนี้มีข้อดีและสิ่งที่น่าสนใจคือ

- 1) เป็นระบบที่ใช้พลังงานจากแสงแดดในการเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทำให้เกษตรกรในเขตชนบทซึ่งเป็นผู้เพาะเลี้ยงหลักของประเทศสามารถเข้าถึงได้ง่าย

- 2) เป็นระบบเติมอากาศที่สามารถทำลายการแบ่งชั้นความร้อนในบ่อเพาะเลี้ยงได้ จึงช่วยลดความเสี่ยงในกรณีที่เกิดอาการเนื้องอก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน
- 3) เป็นระบบที่มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก หากเกิดปัญหาขึ้นเกษตรกรสามารถแก้ไขได้ด้วยตนเองในทันที
- 4) เป็นระบบมีราคาที่ไม่แพง เกษตรกรสามารถจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่มีในท้องถิ่นและสร้างเครื่องเติมอากาศขึ้นมาใช้งานได้เอง

จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลให้ผู้ทำการวิจัยสนใจและทำการศึกษาระบบการเติมอากาศในลักษณะนี้เพิ่มเติม

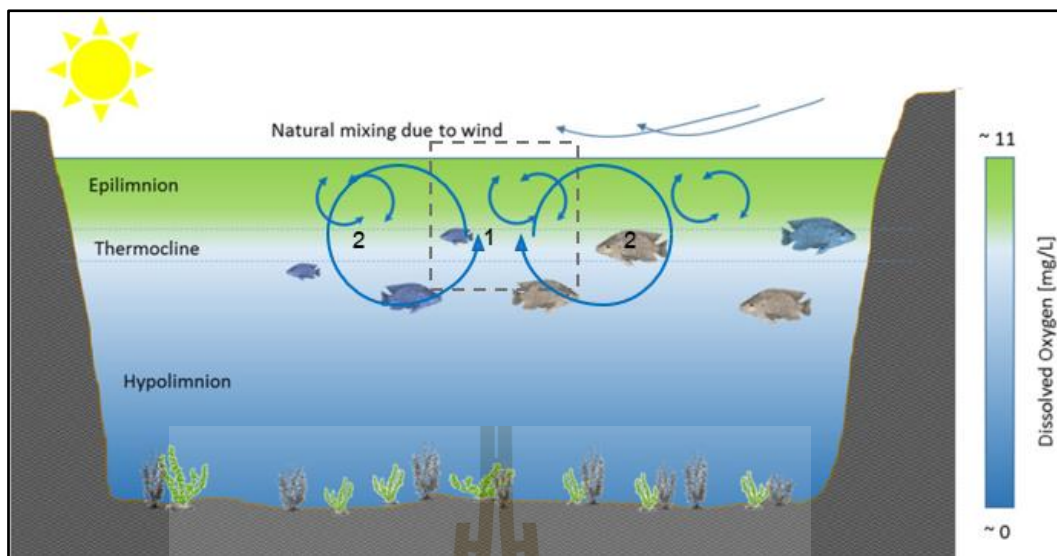
2.6 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Updraft Aeration System, SUpA) เป็นระบบเติมอากาศแบบใหม่ ที่ถูกคิดขึ้นโดยกลุ่มวิจัยของมหาวิทยาลัยโทรอนโต ประเทศแคนาดา เป็นการนำวิจัยร่วมกับ NISTPASS ซึ่งเป็นสถาบันวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศเวียดนามที่มุ่งเน้นไปที่ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ

2.6.1 แนวคิดการออกแบบระบบ SUpA

ระบบ SUpA ที่ทำการออกแบบในตอนเริ่มต้นนำทีมโดย Mahmoud et al. (2015) ซึ่งได้ทำการคิดค้นระบบนี้ขึ้นมาเพื่อให้เกษตรกรในชนบทสามารถเข้าถึงได้และยังง่ายต่อการบำรุงรักษา ระบบ SUpA เกิดจากการพยายามที่จะนำออกซิเจนที่มีอยู่มากที่ผิวน้ำด้านบนบ่อลงมายังน้ำชั้นล่างเพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำชั้นล่างซึ่งเป็นบริเวณที่มีความต้องการออกซิเจนสูง และสิ่งนี้ยังเป็นการส่งเสริมให้น้ำมีคุณภาพดีและเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำอีกด้วย

การทำงานของระบบ SUpA เป็นการทำให้ น้ำเกิดการไหลเวียนด้วยหลักการการพาความร้อนจากธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งการไหลเวียนลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อ น้ำในบริเวณที่ 1 ได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำในบริเวณนี้มีความหนาแน่นน้อยกว่าบริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ได้รับความร้อน โดยตามหลักการของแรงลอยตัว (Buoyant force) น้ำในบริเวณที่ 2 ที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะพยายามแทรกตัวเข้าไปแทนที่น้ำในบริเวณที่ 1 ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะหมุนวนเพื่อไปรับออกซิเจนที่มีอยู่มากที่ผิวน้ำด้านบนบ่อลงมายังด้านล่างของบ่อและการเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะนี้ยังช่วยทำลายการแบ่งชั้นความร้อนได้ด้วย



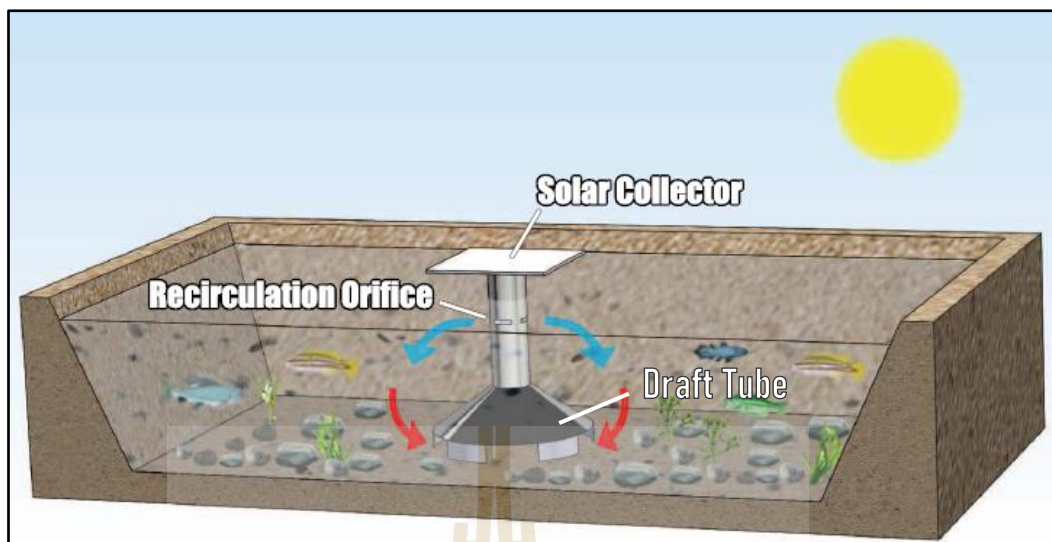
รูปที่ 2.8 ลักษณะการไหลเวียนของน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยง (Mahmoud, 2016)

2.6.2 อุปกรณ์หลักของระบบ SUpA

ระบบ SUpA สามารถสร้างการไหลเวียนน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงได้จากการมีตัวนำความร้อน ซึ่งนำความร้อนจากแสงแดดลงไปให้กับน้ำที่อยู่ก้นบ่อ และมีตัวเก็บรวบรวมพลังงานแสงแดด เพื่อใช้ในการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับตัวนำความร้อน โดยอุปกรณ์หลักและแนวคิดแรกเริ่มในการออกแบบระบบแสดงดังรูปที่ 2.9 สำหรับหน้าที่และวัสดุหลักของส่วนประกอบทั้งสองข้างต้นเป็นดังนี้

แผงรับแสงแดด (Solar collector) ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมความร้อนจากแสงแดด ทำจากแผ่นอลูมิเนียมทาสีดำเพื่อให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนได้มากที่สุด และด้านบนครอบด้วยกระจกใสเพื่อสร้างปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งเป็นการรักษาความร้อนที่เกิดจากการรวบรวมไว้ให้นานที่สุด และด้านล่างถูกหุ้มด้วยฉนวนความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม

ตัวนำความร้อน (Heat conductor) ทำหน้าที่นำความร้อนจากแผงรับแดดลงมาให้กับน้ำที่อยู่ชั้นล่างของบ่อเพื่อสร้างการไหลเวียน ทำจากวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น อลูมิเนียม และมีการหุ้มฉนวนบางส่วนเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนก่อนถึงตำแหน่งที่ต้องการถ่ายเทความร้อน



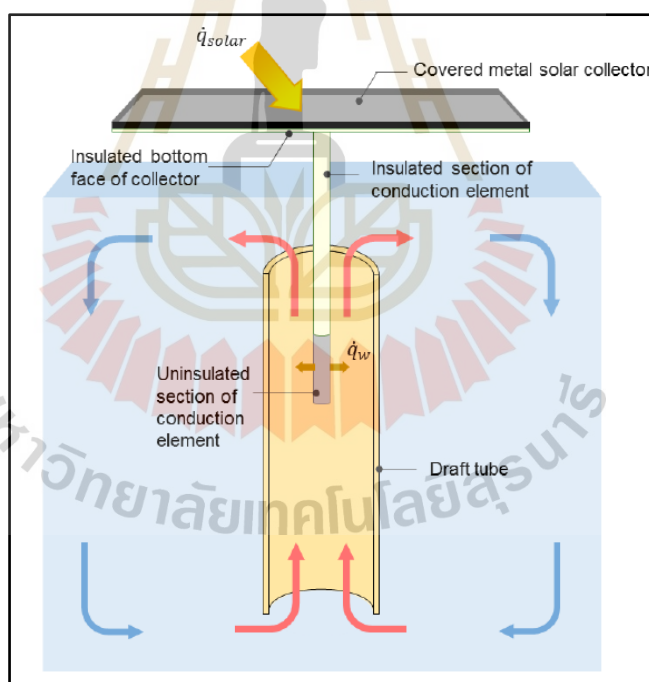
รูปที่ 2.9 แนวคิดแรกเริ่มของการออกแบบระบบ SUpA (Mahmoud et al., 2015)

2.6.3 การประเมินความเป็นไปได้ของระบบ SUpA

การออกแบบระบบ SUpA นำเสนอเป็นครั้งแรกในงานวิจัยของ Mahmoud et al. (2015) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยระบบแรกเริ่มนี้มีตัวนำความร้อน (Heat conductor) ซึ่งเป็นตัวเดียวกับปล่องบังคับทิศทางการไหลของน้ำ (Draft tube) โดยทำหน้าที่ 2 อย่างในเวลาเดียวกัน คือ ผนังด้านในของปล่องจะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนจากแผงรับแดดลงมายังน้ำที่อยู่ชั้นล่างของบ่อ และในขณะเดียวกันเมื่อน้ำได้รับความร้อนจะลอยตัวไปตามการบังคับทิศทางของปล่อง โดยการศึกษานี้ได้ทำการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamic, CFD) ผ่านโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของแนวคิดในการออกแบบระบบ นอกจากนี้ยังทำการจำลองเชิงตัวเลข (Mathematic model) ผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ที่เกิดขึ้นภายในบ่อเพาะเลี้ยงด้วย สำหรับการประเมินความเป็นไปได้เกี่ยวกับการไหลเวียนของน้ำที่เกิดขึ้นจากแนวคิดของการออกแบบระบบ ได้ใช้แบบจำลอง 2 มิติ บนโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วการไหลเวียนของน้ำที่ตำแหน่งศูนย์กลางของระบบที่ได้ออกแบบไว้สำหรับขนาดแผงรับแสงแดดคงที่ สำหรับขนาดรูปทรงที่เหมาะสมของระบบที่ได้รับจาก Taguchi Method และผลจากการจำลองเชิงตัวเลขพบว่า ระบบที่ทำการออกแบบสามารถรักษาระดับ DO ไว้ได้ และสามารถเพิ่ม DO ให้กับน้ำชั้นล่างได้

Sur et al. (2016) ทำการศึกษาและออกแบบระบบ SUpA แบบใหม่เพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานของเกษตรกร โดยระบบ SUpA ของ Sur และคณะ มีตัวนำความร้อนจากแผงรับแดดแยกออกจากปล่องบังคับทิศทางการไหลของน้ำอย่างชัดเจน ซึ่งต่างจากการออกแบบ

ของ Mahmoud และคณะ ที่เป็นตัวเดียวกันแต่ทำ 2 หน้าทีพร้อม ๆ กัน ระบบ SUpA ของ Sur ประกอบไปด้วย แผงรับแดด (Solar collector) ปล่องบังคับทิศทางการไหลของน้ำ (Draft tube) และตัวนำความร้อน (Heat conductor) ซึ่งเป็นแท่งยาวที่อยู่ตรงกลางเชื่อมต่อกับแผงรับแดดและยื่นลงมาในน้ำ โดยภาพประกอบการออกแบบระบบ SUpA ของ Sur และคณะ แสดงดังรูปที่ 2.25 เพื่อประเมินการทำงานของระบบ ได้ทำการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) และจำลองเชิงตัวเลข (Mathematic model) ในการจำลองทาง CFD ได้ใช้แบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร ผ่านการทำงานของโปรแกรม Ansys Fluent การจำลองนี้ใช้ในการประเมินหาอัตราการไหลเวียนของน้ำที่เกิดขึ้นในระบบ และนำอัตราการไหลเวียนที่ได้ไปประเมินหาค่า DO ที่อาจจะเกิดขึ้นภายในบ่อเพาะเลี้ยงผ่านแบบจำลองเชิงตัวเลขบนโปรแกรม MATLAB นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบระบบที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัยนี้ในบ่อเพาะเลี้ยงอีกด้วย และผลจากการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ระบบ SUpA ของ Sur และคณะ สามารถปรับปรุงค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อได้ และเพิ่มขึ้น 9% เมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิง



รูปที่ 2.10 ระบบ SUpA สำหรับการศึกษาของ Sur et al. (2016)

จากงานวิจัยของ Mahmoud et al. (2015) และ Sur et al. (2016) แสดงให้เห็นว่า ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (SUpA) สามารถปรับปรุงระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ที่ชั้นล่างของบ่อได้ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจงานวิจัยข้างต้นพบว่าปล่องบังคับ

ทิศทางการไหลของน้ำมีลักษณะเป็นปล่องตรงคล้ายกับรูปทรงของ Solar chimney power plant (SCPP) ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้พลังงานจากแสงแดดในการผลิตกระแสไฟฟ้า และมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของโรงไฟฟ้าชนิดนี้ ด้วยการปรับปรุงให้รูปทรงปล่องมีลักษณะบานออก ดังนั้น เพื่อสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้นของระบบ SUpA จึงมีความน่าสนใจในการทำให้ปล่องบังคับทิศทางการไหลของน้ำมีลักษณะบานออก ซึ่งการศึกษาระบบ SCPP สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มสมรรถนะของระบบ SUpA ได้อย่างไร จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.7 โรงไฟฟ้าปล่องลมแดด SCPP

โรงไฟฟ้าปล่องลมแดด (Solar Chimney Power Plant, SCPP) ถือกำเนิดขึ้นครั้งแรกในประเทศสเปน ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าต้นแบบที่ใช้พลังงานจากแสงแดดในการขับเคลื่อนระบบเพื่อผลิตไฟฟ้า ระบบนี้มี 3 ส่วนประกอบ ได้แก่ หลังคารับแดด (Collector) ปล่อง (Chimney) และกังหัน (Turbine) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

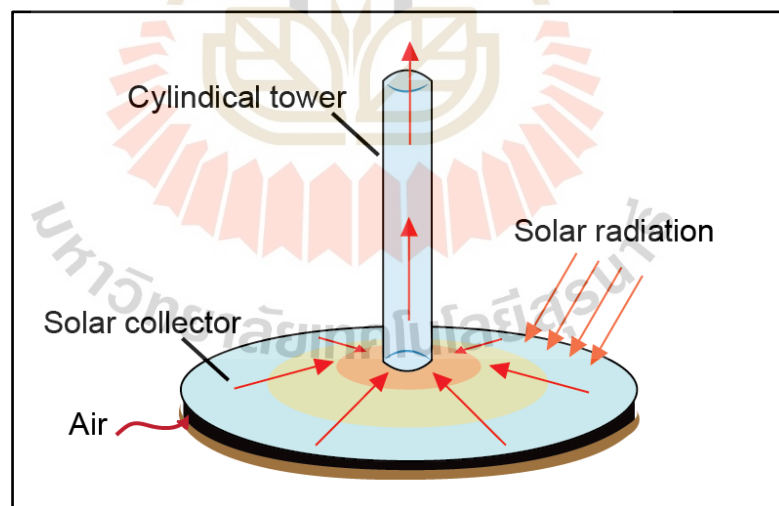


รูปที่ 2.11 ระบบ SCPP ต้นแบบที่ตั้งอยู่ ณ. ประเทศสเปน (Deloee et al., 2018)

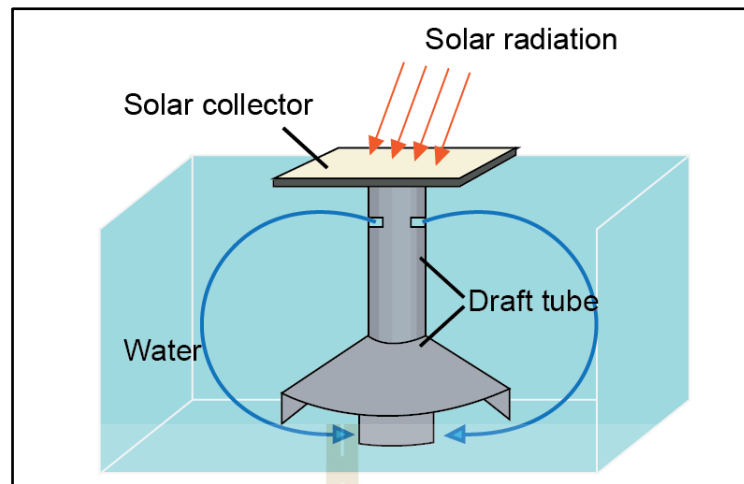
ระบบ SCPP ทำงานโดยเริ่มจากการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายใต้แผงรับแดดผ่านไปยังกังหัน ส่งผลให้เกิดการหมุนของใบพัดเปลี่ยนพลังงานทางกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้า อากาศที่ผ่าน

กั้งหันไปแล้วจะเคลื่อนที่ไปตามการบังคับทิศทางของปล่อง ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศนี้เกิดจากการที่อากาศเมื่ออยู่ภายใต้แผงรับแดดได้รับความร้อนจากปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งเกิดขึ้นจากแผงรับแดดสร้างขึ้นมา เมื่ออากาศที่อยู่ภายใต้แผงรับแดดร้อนขึ้นจะเกิดการเคลื่อนตัวของโมเลกุลอากาศเนื่องจากอากาศในบริเวณที่ได้รับความร้อนนั้นจะมีความหนาแน่นที่น้อย จึงทำให้อากาศส่วนที่อยู่ภายนอกแผงรับแดดที่มีความหนาแน่นปกติซึ่งมีค่ามากกว่า เกิดการเคลื่อนที่และแทรกตัวเข้ามาแทนที่อากาศบริเวณใต้แผงรับแดด ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศในลักษณะนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy force) ที่เกิดจากความแตกต่างของความดัน

จากการทำงานของระบบ SCPP จะเห็นว่าระบบนี้ใช้หลักการของแรงลอยตัวทำให้ระบบสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับระบบ SUpA ที่ถูกเสนอในงานวิจัยของ Mahmoud et al. (2015) และ Sur et al. (2016) ที่ขับเคลื่อนด้วยแรงลอยตัวเช่นเดียวกัน แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ของไหลที่เคลื่อนที่ภายในระบบ ซึ่งของไหลที่ผ่านระบบ SCPP เป็นอากาศ ส่วนของไหลที่ผ่านระบบ SUpA เป็นน้ำ ถึงแม้ว่าระบบ SUpA ของไหลที่วิ่งผ่านเป็นน้ำแต่สามารถเกิดแรงลอยตัวได้เช่นเดียวกับอากาศ และถูกพิสูจน์แล้วในงานวิจัยของ Sur et al. (2016) ที่ทำการทดสอบระบบ SUpA ในบ่อเพาะเลี้ยง ระบบ SCPP และ SUpA นอกจากจะมีหลักการการทำงานที่เหมือนกันแล้ว ยังจะเห็นได้ว่ารูปทรงระบบทั้ง 2 ยังมีความคล้ายคลึงกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ



2.12 รูปทรงของระบบ SCPP (Ferahta et al., 2012)

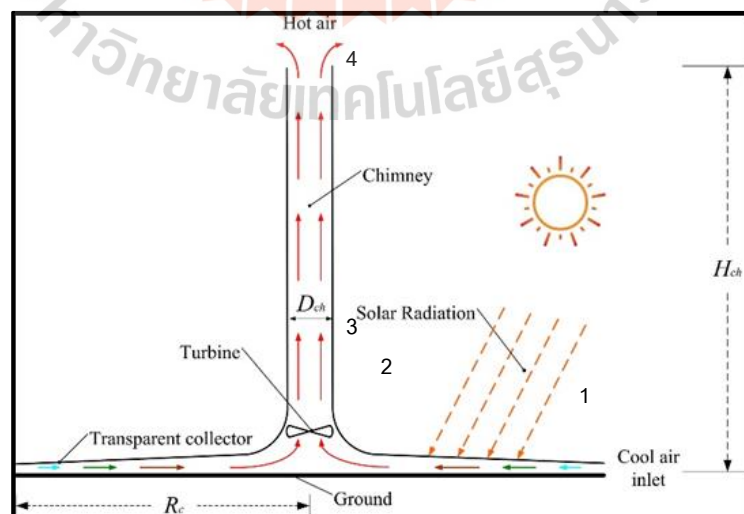


2.13 รูปทรงของระบบ SupA (Mahmoud et al., 2015)

ดังนั้น เพื่อศึกษาแนวทางในการเพิ่มสมรรถนะของระบบ SupA จึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะของระบบ SCPP ที่สามารถช่วยในการเพิ่มสมรรถนะของระบบ SupA ได้ดังนี้

2.7.1 การปรับปรุงปล่องลมของโรงไฟฟ้า SCPP

มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ทำการศึกษาระบบ SCPP เพื่อหาทางเพิ่มสมรรถนะของระบบ ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การศึกษารูปทรงปล่อง และรูปทรงแผงรับแดด โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง โดยพารามิเตอร์ของระบบที่สอดคล้องกับการศึกษาดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปทรงระบบ SCPP พร้อมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Gou et al., 2021)

เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบ ได้นำเสนอผลของอัตราการไหล (Flow rate) และกำลังงาน (Power output) โดยนำเสนอเป็นตัวแปรไร้มิติเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบกับระบบต้นแบบ หากผลที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ารูปทรงที่ศึกษานั้นดีกว่ารูปทรงของระบบต้นแบบ และในทางกลับกันหากผลที่ได้มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่ารูปทรงที่ศึกษานั้นแย่กว่ารูปทรงต้นแบบ สำหรับผลการศึกษาที่ได้จากการจำลองของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 การศึกษารูปทรงปล่องที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ

Paper	System dimension		Chimney shape	Performance	
	R _{col} (m)	H _{chim} (m)		Flow rate	Power output
1. Koonsisuk and Chitsomboon (2013)	100	100	AR: 2, 4, 6, 8, 16, 32 (div) ^a	\dot{m} : 1.64, 2.71, 3.48, 4.18, N/A, N/A,	4.27, 18.49, 69.07, 179.16 , 120
			AR: 0.25, 0.5, 0.75 (con) ^b	\dot{m} : 0.35, 0.62, 0.83	0.06, 0.25, 0.54
2. Ming (2013)	1000	800	AR: 1.56, 2.25 (div) ^a	V: 1.03, 1.06	1.04, 1.06
			AR: 0.25, 0.56 (con) ^b	V: 0.70, 0.93	0.70, 0.93
3. Lebbi et al. (2015)	12.5	12.3	AR: 4, 9, 16, 25, 36 (div) ^a	\dot{m} : 2.41, 2.81, 2.83 , 2.67, 2.43	15.3, 24.3, 26.1 , 19.5, 15.3
			AR: 0.25 (con) ^b	\dot{m} : 0.26	0.02
4. Chergui et al. (2015)	1	N/A	DA: 2.4, 4, 7 (div) ^a	\dot{m} : 1.17 , 1.08, 0.71	4.23 , 3.94, 2.89
			DA: 4, 7 (con) ^b	\dot{m} : 0.53, 0.36	0.86, 0.44

ตารางที่ 2.2 การศึกษารูปทรงปล่องที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ (ต่อ)

Paper	System dimension		Chimney shape	Performance	
	R _{col} (m)	H _{chim} (m)		Flow rate	Power output
5. Patel et al. (2014)	8	10	DA: 1, 2, 3 (div) ^a	V: 2.39, 2.84, 2.95	13.60, 22.84, 25.62
6. Okada et al. (2015)	0.33	0.4	DA: 4 (div) ^b	V: 1.38 - 1.44	2.6 - 3

หมายเหตุ: ^a หมายถึง Divergent chimney สำหรับ AR หรือ DA

^b หมายถึง Convergent chimney สำหรับ AR หรือ DA

ตารางที่ 2.2 เป็นการศึกษาการรูปร่างปล่องของระบบ SCPP ตามการศึกษาในบทความที่ 1 ถึง 3 จะเห็นว่ามีการใช้อักษรย่อ AR ในการระบุรูปทรงปล่อง ซึ่งเป็นการระบุตามสัดส่วนของพื้นที่ทางออกปล่องต่อพื้นที่ทางเข้าปล่อง หาก $AR > 1$ ปล่องมีลักษณะบานออก (Divergent chimney, div) หาก $AR < 1$ ปล่องมีลักษณะสอบเข้า (Convergent chimney, con) และตามการศึกษาในบทความที่ 4 ถึง 6 จะเห็นว่ามีการใช้อักษรย่อ DA ในการระบุรูปทรง ซึ่งเป็นการระบุตามองศาปล่องที่บานออก (div) หรือมีลักษณะสอบเข้า (con)

จากผลการศึกษาในตารางที่ 2.2 พบว่ารูปทรงปล่องที่ให้สมรรถนะที่ดีที่สุดคือรูปทรงที่มีลักษณะเป็นปล่องบาน (div)^a ส่วนรูปทรงปล่องที่มีลักษณะสอบเข้า (con)^b มีสมรรถนะต่ำกว่ากรณีอ้างอิง ซึ่งดูได้จากตัวเลขสมรรถนะที่น้อยกว่า 1 จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การทำให้ปล่องมีลักษณะบานออกจะช่วยให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งรวมไปถึงการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้เชื้อเพลิง (m) ของของไหลในระบบด้วย นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ (div)^a จะส่งผลให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของ (div)^a มีค่าที่เหมาะสมอยู่ สังเกตได้จากการลดลงของสมรรถนะเมื่อ (div)^a เพิ่มมากเกินไป จากในตารางจะเห็นว่า จุดที่เหมาะสมของรูปทรงที่ให้สมรรถนะที่ดีที่สุดไม่ใช่จุดเดียวกันเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดทั้งหมดของระบบที่ทำการศึกษาด้วย ดังนั้น หากจะอนุมานว่า ระบบใดระบบหนึ่งมีลักษณะรูปทรงและหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน การที่ทำให้ปล่องมีลักษณะบานออก (div)^a อาจช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบนั้นได้เช่นเดียวกัน

2.7.2 การปรับปรุงหลังการรับแดดของโรงไฟฟ้า SCPP

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบ SCPP ด้วยการทำให้หลังการรับแดดมีความเอียงด้วยค่าต่าง ๆ โดยผลจากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การศึกษารูปทรงของแผงรับแดดที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ

Paper	System dimension		Collector shape	Performance	
	R _{col} (m)	H _{chim} (m)		Flow rate	Power output
1. Koonsisuk and Chitsomboon (2013)	100	100	AR: 0.125 ^a , 0.25 ^a , 0.5 ^a , 0.75 ^a , 1 ^a , 2 ^a , 5 ^a , 10 ^a , 20 ^a , 25 ^{b,ref.}	rather constant and equal to Ref. value ^y	all cases are less than Ref. value ^y
2. Chergui et al. (2015)	1	N/A	H _{inlet} : 0.1, 0.2, 0.3 ^a	0.92, 0.98, 0.99 ^z	0.78, 0.95, 0.99 ^z
			H _{outlet} : 0.4 ^b		
3. Patel et al. (2014)	8	10	H _{inlet} : 0.1 ^a	~0.67 all cases ^y	~0.3 all cases ^y
			H _{outlet} : 0.5, 0.75, 1 ^b		

หมายเหตุ: ^{ref.} หมายถึง ค่า area ratio อ้างอิง
^{a < b} หมายถึง collector ที่มีความเอียงเป็นบวก
^y หมายถึง ค่าที่อ่านจากกราฟ
^z หมายถึง ค่าที่รายงานจากบทความนั้น ๆ

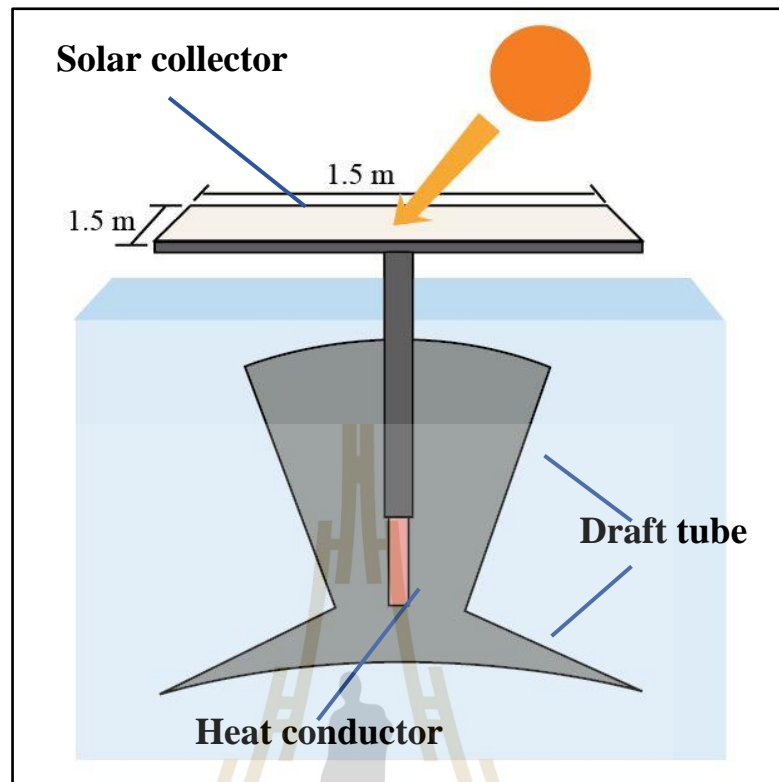
ตารางที่ 2.3 เป็นการศึกษารูปทรงของแผงรับแดด โดยจำลองให้แผงรับแดดมีความเอียง ซึ่งแต่ละบทความที่ได้นำเสนอในตารางใช้ตัวแปรที่แตกต่างกันออกไปในการระบุความเอียง โดยในบทความที่ 1 ระบุเป็นสัดส่วนของพื้นที่ทางเข้าต่อด้วยพื้นที่ทางออกของ Solar collector โดยเป็นพื้นที่ของหมายเลข 1 และ 2 ตามที่ระบุในรูปที่ 2.14 และในบทความลำดับที่ 2 และ 3 ระบุเป็นความสูง โดยความสูงทางเข้าเป็นตำแหน่งหมายเลข 1 และความสูงทางออกเป็นตำแหน่งหมายเลข 2 ดังในรูปที่ 2.14

จากผลการศึกษาในตารางที่ 2.3 พบว่าเมื่อแผงรับแดดมีความเอียงเพิ่มขึ้น (สังเกตได้จาก a เข้าใกล้ b มากขึ้น) ส่งผลให้สมรรถนะของระบบ รวมไปถึงอัตราการไหล (m) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในบทความที่ 2 แต่สำหรับบทความที่ 1 และ 3 ค่าที่ได้ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการอ่านค่าจากกราฟ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าค่าที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่า 1 ในทุก ๆ รูปทรงที่ทำการศึกษา นั้นหมายความว่า การทำให้แผงรับแดดมีความเอียงจะส่งผลให้สมรรถนะของระบบ รวมไปถึง m ที่ได้ มีค่าต่ำกว่าระบบที่มีรูปทรงของแผงรับแดดที่ขนานไปกับพื้นราบ (ไม่มีความเอียง) ดังนั้น การที่แผงรับแดดมีความเอียงอาจจะไม่ใช่แนวทางในการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

ดังนั้น หากระบบ SupA มีการออกแบบให้ปล่องมีลักษณะบานออกก็อาจจะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะนี้จะเกี่ยวข้องกับอัตราการไหลของของไหลภายในระบบด้วย และหากอัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของน้ำเพิ่มมากขึ้นและในทำนองเดียวกัน หากน้ำมีการไหลเวียนที่ดีขึ้นอาจเป็นผลดีต่อการนำออกซิเจนที่มีอยู่มากด้านบนบ่อลงมายังด้านล่างของบ่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ด้านล่างบ่อให้มีค่ามากขึ้นเพื่อให้เหมาะแก่การอยู่อาศัยของสัตว์น้ำและส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดีต่อไป

2.8 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน

ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน (Solar Circulating-Water Aeration System, SCWAS) ได้รับแนวคิดมาจากระบบ SupA จากงานวิจัยของ Mahmoud et al. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาระบบเติมอากาศชนิดนี้มาก่อน และได้รับแนวคิดในการเพิ่มสมรรถนะการทำงานให้ดีขึ้นมาจากการศึกษาระบบ SCPP ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่อาศัยแรงขับเคลื่อนของอากาศในการเปลี่ยนพลังงานทางกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาจากระบบ SupA และ SCPP พบว่าทั้ง 2 ระบบนี้มีรูปทรงและหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน แต่ของไหลที่วิ่งผ่านระบบแตกต่างกัน ซึ่งของไหลที่วิ่งผ่านระบบ SupA เป็นน้ำ ส่วนระบบ SCPP เป็นอากาศ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดของทั้ง 2 ระบบมาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อพัฒนาระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยรูปทรงของระบบ SCWAS ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบเติมอากาศ SCWAS สำหรับการศึกษาวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยสำหรับการศึกษาระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Circulating Water-Aeration System, SCWAS) ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

- 3.1 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์
- 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย
- 3.3 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

3.1 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการทำงานของระบบ SCWAS ได้สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขขึ้นในโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อประเมินหาขนาดที่เป็นได้ของระบบก่อนนำไปสร้างชุดต้นแบบสำหรับหัวข้อนี้ประกอบไปด้วย การศึกษาแบบจำลองการไหลโดยธรรมชาติ สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลโดยธรรมชาติ และแบบจำลองเชิงตัวเลขพร้อมวิธีวิธีดำเนินการจำลอง

3.1.1 การศึกษาแบบจำลองการไหลโดยธรรมชาติ

จากแนวคิดในการออกแบบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ ในหัวข้อ 2.6 จะเห็นว่าระบบนี้ทำงานบนหลักการไหลเวียนโดยธรรมชาติ (Natural convection) คือทำให้น้ำเกิดการไหลเวียนด้วยความแตกต่างของความดันน้ำภายในระบบ ซึ่งการที่น้ำภายในระบบมีความดันที่แตกต่างกันเกิดจากการนำความร้อนจากแสงแดดลงไปทั้งยังด้านล่างบ่อ และเมื่อน้ำที่อยู่บริเวณนั้นได้รับความร้อน น้ำจะมีความดันลดลงและต่ำกว่าบริเวณอื่น ซึ่งทำให้น้ำที่มีความหนาแน่นมากกว่าแทรกตัวเข้ามาแทนที่ในทันที ด้วยเหตุผลนี้ น้ำจึงสามารถลอยตัวขึ้นไปยังด้านบนบ่อและเกิดการไหลเวียนของน้ำภายในระบบได้ โดยการไหลเวียนที่ใช้พลังงานจากแสงแดดเป็นตัวขับเคลื่อนนี้เรียกว่า “การไหลเวียนโดยธรรมชาติ”

เพื่อที่จะสามารถจำลองระบบที่เป็นการไหลเวียนโดยธรรมชาติได้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการจำลองระบบ SCWAS ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การศึกษาแบบจำลองการไหลเวียนโดยธรรมชาติ

Reference	Study method	Fluid	Ra (10^9)	Study model	Result
Wu and Lei (2015)	Five different turbulence models in CFD study are compared.	Air	1.5	standard k-e model, (RNG) k-e model, realisable k-e mode, standard k- ω model, (SST) k- ω model	The SST k- ω model has the best overall performance.
Ganguli et al. (2011)	CFD simulation was performed and was compared with the experimental result.	Water	18800	(SST) k- ω model	An excellent result was found between the CFD simulation and experimental measurement.
Ampofo and Karayiannis (2003)	CFD model will be compared with an experimental study of low-level turbulence natural convection.	air	1.58	k- ω model	From the comparison, the k-e model can predict the mean quantities such as velocity and temperature reasonably well.

ตารางที่ 3.1 การศึกษาแบบจำลองการไหลเวียนโดยธรรมชาติ (ต่อ)

Reference	Study method	Fluid	Ra (10^9)	Study model	Result
Vieira et al. (2014)	Different turbulence models based on Reynolds Averaged Navier-Stokes equations were studied.	air	1~ 100	standard k- ω , low Reynolds k- ω and (SST) k- ω model	The conclusion was that the most promising model proves to be the SST k- ω , due to its accuracy and robustness.

จากการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่า SST k- ω ถูกแนะนำให้ใช้กับแบบจำลองการไหลโดยธรรมชาติมากที่สุด และเป็นแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนในสมการของ Navier-Stokes ทั้งนี้เนื่องจาก Rayleigh Number (Ra_L) ที่มีความคล้ายกับ Nusselt Number (Nu) ในการไหลโดยการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่ง Ra_L ใช้ในการกำหนดลักษณะการไหลของของไหลในชั้นขีดผิว โดยค่าของ Ra_L ขึ้นอยู่กับรูปทรง ลักษณะการจัดเรียง การกระจายตัวของอุณหภูมิที่พื้นผิว และคุณสมบัติของของไหล ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาข้างต้นที่มี $Ra_L \geq 10^9$ ถือเป็นกรไหลแบบปั่นป่วนด้วยกันทั้งสิ้น และในการแก้ปัญหาการไหลโดยธรรมชาติมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมเพื่อจะได้สังเกตการไหลที่อยู่ภายในชั้นขอบเขตได้อย่างแม่นยำ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ SST k- ω ในแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนสำหรับจำลองระบบ SCWAS

3.1.2 สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลโดยธรรมชาติ

การไหลเวียนโดยธรรมชาติ หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความหนาแน่นของของไหลจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วการไหลเวียนโดยธรรมชาติจะถูกจัดเป็น 2 ประเภทคือ การไหลภายใน และการไหลภายนอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าของไหลถูกจำกัดให้อยู่ในปริมาตรปิดหรือสามารถเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวที่ว่างได้ ซึ่งการไหลเวียนโดยธรรมชาติถูกกำหนดด้วยตัวเลขไร้มิติสองขนาดที่เรียกว่า Grashof Number (Gr_L) และ Rayleigh Number (Ra_L) โดยมีนิยามตาม (Smith, 2013) ดังนี้

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (3-1)$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (3-2)$$

ในกรณีที่มีความร้อนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวที่ถูกทำให้ร้อนในสมการ 3-1 และ 3-2 สามารถเขียนใหม่เป็น

$$Gr_L = \frac{g\beta\dot{q}L^4}{k\nu^2} \quad (3-3)$$

$$Ra_L = \frac{g\beta\dot{q}L^4}{k\alpha\nu} \quad (3-4)$$

ในขณะที่ \dot{q} คือ ฟลักซ์ความร้อนที่กระจายบนพื้นผิวที่ถูกทำให้ร้อน (W/m^2) จะได้ความสัมพันธ์ของ Grashof Number (Gr_L) และ Rayleigh Number (Ra_L) เป็นดังสมการที่ 3-5

$$Ra_L = Gr_L \times Pr \quad (3-5)$$

ลักษณะการไหลของของไหลที่ถูกขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวจะได้รับการแก้ปัญหาด้วยสมการควบคุมของ Navier-Stokes ซึ่งประกอบไปด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) สมการโมเมนตัม (Momentum equation) และสมการพลังงาน (Energy equation) เพื่อสะท้อนการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของของไหล (β) จะเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการกำหนดเทอมของโมเมนตัม และมีนิยามเป็นดังนี้

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3-6)$$

ความสัมพันธ์ข้างต้นถูกนำมาใช้ในวิธีการของ Boussinesq approximation เพื่อเร่งการคำนวณในตัวแก้ปัญหาการไหลเชิงตัวเลข โดยที่อนุพันธ์บางส่วนของความหนาแน่นจะถูกแทนที่ด้วยความแตกต่างที่จำกัดของความหนาแน่นและอุณหภูมิ ซึ่งสิ่งนี้นำไปสู่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ความดันคงที่ ดังสมการต่อไปนี้

$$\rho_\infty - \rho = \rho\beta(\tau - \tau_\infty) \quad (3-7)$$

วิธีการของ Boussinesq approximation มีการใช้โดยทั่วไปในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวความร้อนกับของไหลมีค่าน้อยกว่า 40 °C ในการใช้วิธีการประมาณของ Boussinesq ความเร็วของของไหลที่ถูกขับเคลื่อนด้วยแรงลอยตัว สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$V_0 = \sqrt{g\beta\Delta Tz} \quad (3-8)$$

สำหรับฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3-9

$$\dot{q} = \frac{Q}{A_{HR}} \quad (3-9)$$

ในการคำนวณหาฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทสู่น้ำสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทราบขนาดความร้อนที่แผงรับแดดสามารถดูดซับไว้ได้ (Q) ซึ่งในการจำลองนี้กำหนดให้ความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบบนแผงรับแดดมีค่าเท่ากับ 728 W/m² และแผงรับแดดมีประสิทธิภาพในการดูดซับไว้ได้ 45% ดังนั้นในทุกการจำลองความร้อน และแผงรับแดดมีขนาดเท่ากับ 1.5 ตารางเมตร ดังนั้น ความร้อนที่แผงรับแดดดูดซับไว้ได้มีค่าเท่ากับ 738 W
- 2) คำนวณหาฟลักซ์ความร้อนที่จะถูกถ่ายเทให้กับน้ำ (\dot{q}) โดยใช้สมการที่ 3-9 ทั้งนี้พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนสู่น้ำ (A_{HR}) จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการจำลอง ซึ่งจะถูกคำนวณจากสมการดังนี้

$$A_{HR} = \pi D_{HR} L_{HR} + \pi (D_{HR} / 2)^2 \quad (3-10)$$

3.1.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขและวิธีดำเนินการ

เพื่อประเมินแนวคิดในการออกแบบระบบ SCWAS และหาขนาดที่เป็นไปได้ของรูปทรงได้ทำการจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent เวอร์ชัน 18.0 โดยประกอบไปด้วย การศึกษาขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อน การศึกษาขนาดของรูปทรง การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน และอิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ ซึ่งในแต่ละการศึกษามีวัตถุประสงค์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและช่วงการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และช่วงที่ทำการศึกษาในแต่ละการจำลอง

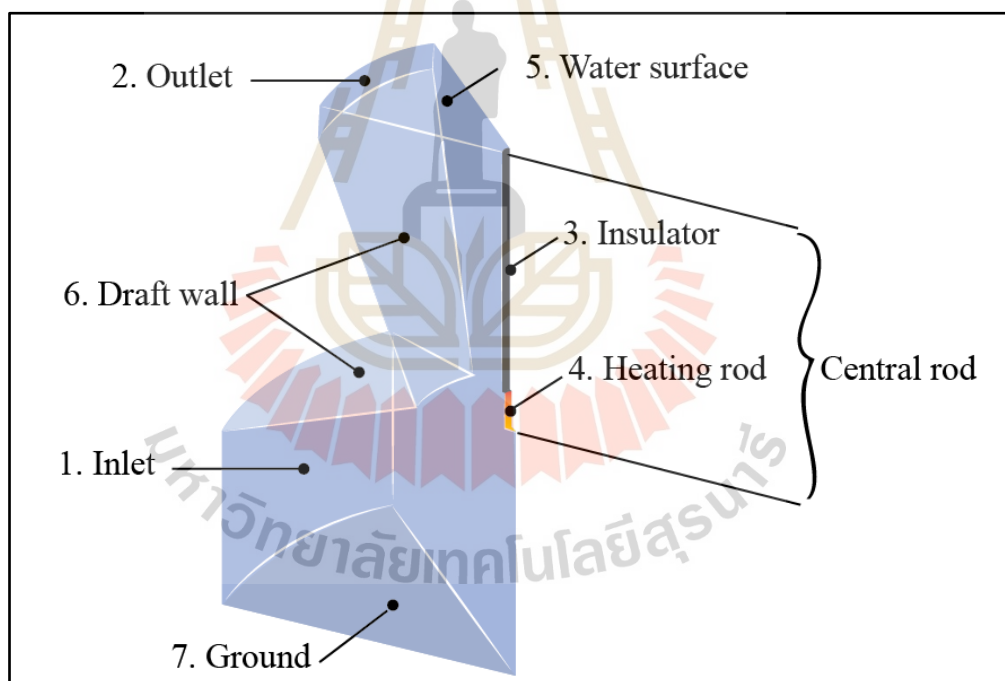
ลำดับที่	การศึกษา	จุดประสงค์	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	ช่วงการศึกษา (m)
1	ขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อน	เพื่อดูอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของแท่งนำความร้อนและอัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระยะการหุ้มฉนวน	D_{HR}	2.54 – 10.16*
			L_{sul}	0 – 0.60
2	ขนาดของรูปทรง	เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูปทรงที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน	R_{outlet}	0.1 – 0.4
			R_{base}	0.2 - 1
			H_{col}	0.05 – 0.4
			H_{outlet}	0.025 – 0.2
3	รูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน	เพื่อดูอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน	L_{sul1}	0.65
			L_{sul2}	0.5
			L_{fin}	0.09
4	อิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ	เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจากการขยายรูปทรงในแนวระนาบ	R_{inlet}	0.1 - 0.25
			R_{outlet}	0.2 - 0.50
			R_{base}	0.3 - 0.75

หมายเหตุ: * หมายถึง หน่วยถูกระบุเป็น cm

3.1.3.1 โดเมนการคำนวณและชื่อขอบเขตการจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีทั้ง 3 มิติ (3D) และ 2 มิติแบบแกนสมมาตร (2D axisymmetric) โดยแบบจำลอง 3 มิติ ได้นำมาใช้ในการศึกษาขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อน การศึกษาขนาดของรูปทรง การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน และอิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ และแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร ได้นำมาใช้ในการจำลองเพื่อตรวจสอบรัศมีการไหลเวียนจากการได้รับขนาดที่เหมาะสมของระบบ SCWAS ในแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งโดเมนที่ใช้สำหรับการศึกษาเป็นดังนี้

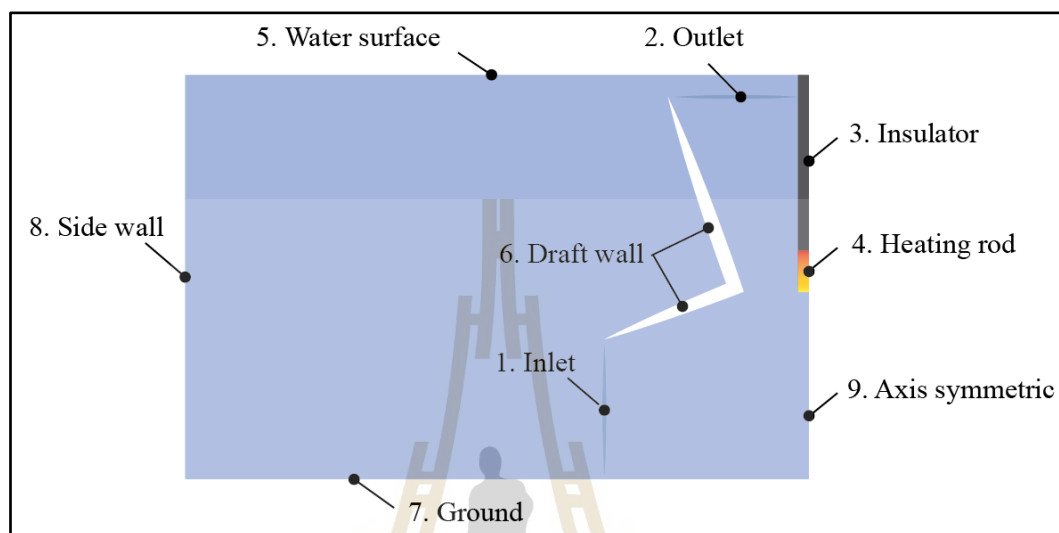
ในการจำลองเพื่อประเมินหาขนาดของระบบ SCWAS ได้ใช้แบบจำลอง 3 มิติ และทำการจำลองเพียง 1 ส่วน 8 ของรูปทรงทั้งหมด (หรือคิดเป็น 45 องศาจากทั้งหมด 360 องศา) และภายในโดเมนการคำนวณมีเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำภายในระบบเท่านั้น สำหรับโดเมนการคำนวณของแบบจำลอง 3 มิติ และการตั้งชื่อขอบเขตแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โดเมนการคำนวณสำหรับแบบจำลอง 3 มิติและชื่อขอบเขต

สำหรับการจำลองเพื่อตรวจสอบรัศมีการไหลเวียนจากการได้รับขนาดที่เหมาะสมของระบบ SCWAS ได้ใช้แบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร เนื่องจากโดเมนการคำนวณมีขนาดใหญ่และต้องการดูเส้นทางการไหลเวียนที่เกิดขึ้นจึงได้เลือกใช้แบบจำลองนี้ ดังนั้นในการตรวจสอบรัศมีการไหลเวียนจึงได้ใช้แบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตรเพื่อความรวดเร็วในการ

คำนวณของโปรแกรม และภายในโดเมนการคำนวณมีเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเช่นเดียวกับแบบจำลอง 3 มิติ โดยโดเมนที่ใช้ในการคำนวณและชื่อขอบเขตการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.2 และนิยามชื่อขอบเขตแสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.2 โดเมนการคำนวณสำหรับแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตรและชื่อขอบเขต

ตารางที่ 3.3 นิยามสำหรับชื่อขอบเขตของแบบจำลอง

ลำดับที่	ชื่อขอบเขต	นิยาม
1	Inlet	ผนังทางเข้าของน้ำ
2	Outlet	ผนังทางออกของน้ำ
3	Insulator	ผนังฉนวนกันความร้อนสูญเสีย
4	Heating rod	ผนังความร้อนที่มีการถ่ายสู่น้ำ
5	Water surface	ผนังที่น้ำสัมผัสกับอากาศ
6	Draft wall	ผนังท่อร่างของระบบ
7	Ground	ผนังด้านล่างของบ่อ
8	Side wall	ผนังด้านข้างของบ่อ
9	Axis symmetric	แกนสมมาตร

3.1.3.2 สมมติฐานการจำลองและเงื่อนไขเริ่มต้น

ทั้งแบบจำลอง 3 มิติ และแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตรมีสมมติฐานการจำลองเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองที่ตั้งอยู่บนเงื่อนไขเดียวกัน โดยในการจำลองกำหนดให้คุณสมบัติของน้ำไม่ว่าจะเป็น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก และสัมประสิทธิ์การขยายตัว ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 30 °C และค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 °C (Cengel et al., 2017)

Property	Value	Unit
Density	996	kg/m ³
Specific heat capacity	4178	J/kg°C
Gravitational constant	9.81	m/s ²
Volume expansion coefficient	0.3×10^{-3}	1/K

นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้ความดันโดยรวม (Total pressure) ของระบบมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากเป็นปัญหาที่อาศัยหลักการของแรงลอยตัว โดยมีการใช้ Boussinesq approximation ที่การไหลไม่ขึ้นกับความแตกต่างของความดัน

3.1.3.3 เงื่อนไขขอบเขตการจำลอง

เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในแบบจำลองทั้ง 2 มีการกำหนดเช่นเดียวกัน แต่มีบางขอบเขตในแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตรที่เพิ่มเติมเข้ามาจากแบบจำลอง 3 มิติ นั่นคือ Side wall และ Axis symmetric ซึ่งเป็นการกำหนดผนังด้านข้างและแกนสมมาตรของแบบจำลอง สำหรับการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในแบบจำลองทั้ง 2 แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้สำหรับการจำลองระบบ SCWAS

No.	Boundary	Momentum	Thermal
1	Inlet	Pressure-inlet	30 °C
2	Outlet	Pressure-outlet	30 °C
3	Insulator	No-slip	Adiabatic
4	Heating rod	No-slip	Heat flux*

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้สำหรับการจำลองระบบ SCWAS (ต่อ)

No.	Boundary	Momentum	Thermal
5	Water surface	No-slip	30 °C
6	Draft wall	No-slip	Adiabatic
7	Ground	No-slip	Adiabatic
8	Side wall	No-slip	Adiabatic
9	Axis symmetric	N/A	N/A

หมายเหตุ: * Heat flux สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-9)

ที่ขอบเขตของ Inlet และ Outlet ถูกกำหนดให้เป็น Pressure-inlet และ Pressure-outlet ในสมการโมเมนตัม โดยมีการตั้งค่าของ Gauge pressure เท่ากับศูนย์ และกำหนดให้น้ำมีอุณหภูมิเท่า 30 °C สำหรับใช้คำนวณในสมการพลังงาน

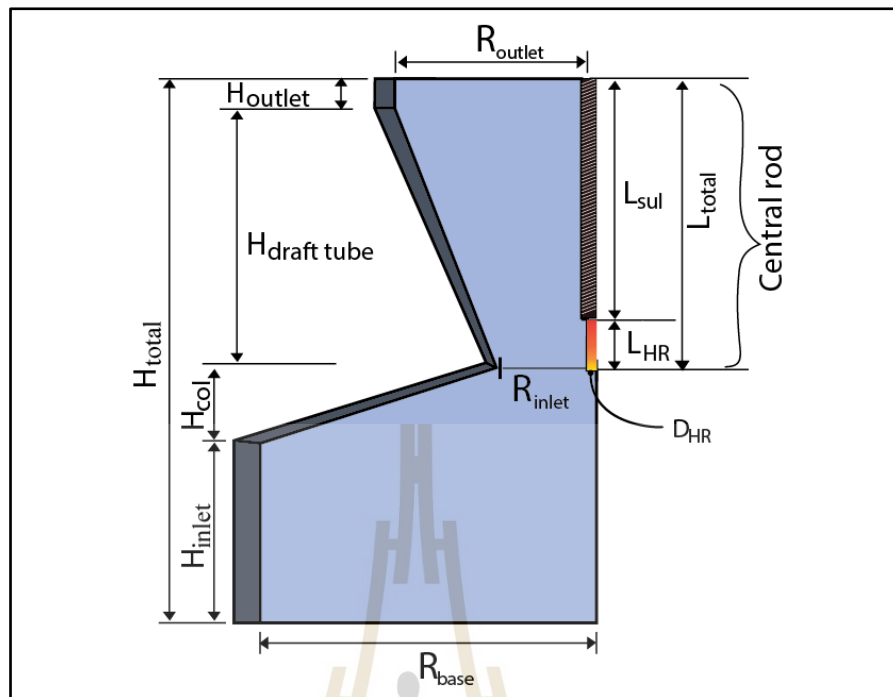
ที่ขอบเขตของ Insulator, Heating rod, Water surface, Draft wall, Ground และ Side wall กำหนดให้ความเร็วของของไหลในชั้นขีดผิวที่วิ่งผ่านผนังเหล่านี้มีค่าเป็น ศูนย์ ดังนั้น No-slip จึงถูกนำมาใช้ในสมการโมเมนตัม ส่วนในสมการพลังงานที่ขอบเขตของ Insulator, Draft wall, Ground และ Side wall ถูกกำหนดให้เป็นผนังที่ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทเข้าออกได้ และที่ขอบเขตของ Heating rod มีการกำหนดฟลักซ์ความร้อนเข้าไปในสมการพลังงาน โดยฟลักซ์ความร้อนที่ถูกถ่ายเทให้กับน้ำจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของ Heating rod นั่นหมายความว่าหากพื้นที่ของ Heating rod เปลี่ยนจะส่งผลให้ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณฟลักซ์ความร้อนที่จะถูกถ่ายเทให้กับน้ำในแต่ละการจำลองได้ตั้งสมการที่ (3-9) และสุดท้าย Axis symmetric ถูกกำหนดให้เป็นแกนที่มีความสมมาตรในแบบจำลอง 2 มิติ

3.1.3.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ SCWAS และวิธีดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของระบบ SCWAS ได้แบ่งการศึกษา ออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาหลัก และการศึกษารอง โดยทั้ง 2 การศึกษามีวิธีการดังนี้

การศึกษาหลัก

การศึกษาหลัก เป็นการศึกษาเพื่อหาขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่ง นำความร้อน และขนาดของรูปทรง สำหรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลักแสดงรูปที่ 3.3 และช่วงที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาหลัก

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหลักพร้อมช่วงที่เปลี่ยนแปลงสำหรับการจำลอง

Relating section	Parameter	Initial value	Optimal value	Varied range	Unit
1. การศึกษา แท่งนำความ ร้อน	D_{HR}	2.54	5.08	2.54 – 10.16	cm
	L_{sul}	0.60		0 – 0.60	m
	L_{HR}	0.05		Varied with L_{sul}	m
	L_{total}	0.70		Constant	m
2. การศึกษา อิทธิพลของ รูปทรง	R_{inlet}	0.1		Constant	m
	R_{outlet}	0.2		0.1 – 0.4	m
	R_{base}	0.7		0.2 - 1	m
	H_{col}	0.3	0.2	0.05 – 0.4	m
	H_{outlet}	0.05		0.025 – 0.2	m
	H_{inlet}	0.5		Constant*	m
	$H_{draft\ tube}$	0.65		Constant*	m
	H_{total}	1.5		Constant*	m

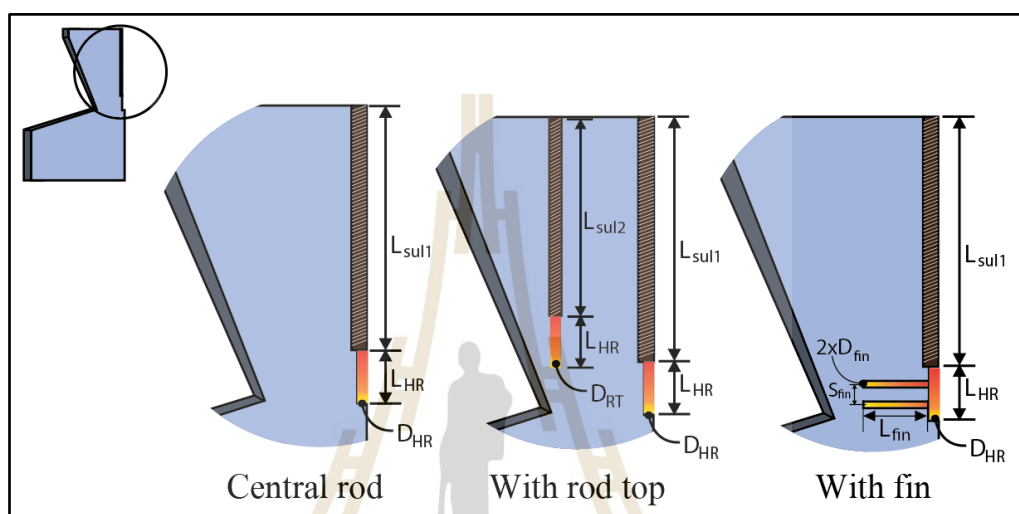
การศึกษาหลักได้เริ่มต้นจากการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแท่งนำความร้อน จากนั้นจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรง โดยตอนเริ่มต้นที่ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบ SCWAS ได้ถูกกำหนดให้มีขนาดตามค่าเริ่มต้น (Initial value) ยกเว้นพารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา ซึ่งจะถูกละเลี่ยนแปลงขนาดตามช่วงที่กำหนดใน Varied range ซึ่งได้ถูกระบุไว้ในตารางที่ 3. 4 ข้างต้น และเมื่อทำการจำลองครบทุกขนาดตามช่วงที่กำหนด จะได้ขนาดที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์ตัวนั้นมา แล้วทำการอัปเดตค่าที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์ตัวนั้น (Optimal value) เพื่อใช้ในการจำลองสำหรับการศึกษาพารามิเตอร์ตัวถัดไป ซึ่งถ้าหากเป็นกรณีที่ทำการศึกษาพารามิเตอร์ตามช่วงที่กำหนดแล้ว ยังพบว่าค่าที่เหมาะสมเป็นค่าเดียวกับค่าที่กำหนดในตอนเริ่มต้น ในการจำลองถัดไปสามารถใช้ค่าเริ่มต้นเป็นค่าที่เหมาะสมในการจำลองพารามิเตอร์ตัวถัดไปได้เลย ตัวอย่างเช่น ในตอนเริ่มต้นทำการศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งนำความร้อน (D_{HR}) โดยมีขนาดที่ทำการศึกษาดั้งแต่ 2.54 cm ไปจนถึง 10.16 cm และพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ มีขนาดคงที่ตามค่าเริ่มต้น เมื่อทำการจำลองจนครบทุกค่าที่ทำการเปลี่ยนแปลง พบว่าค่าที่ดีที่สุดของ D_{HR} คือ 5.08 cm จึงทำการอัปเดตเป็นค่าที่เหมาะสมและใช้ในการจำลองเพื่อหา L_{sul} ที่เหมาะสมถัดไป และเมื่อทำการจำลอง L_{sul} แล้วพบว่า L_{sul} ที่ดีที่สุดคือ 0.60 m ดังนั้นค่าที่เหมาะสมกับค่าเริ่มต้นจึงเป็นค่าเดิม และใช้ค่าที่ดีที่สุดนี้จำลองเพื่อหาขนาดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ตัวถัดไปอีก โดยการจำลองในส่วนนี้ได้ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ตัวถัดไป และเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรูปทรงและเงื่อนไขสำหรับการจำลองนี้ ซึ่งกระบวนการจำลองเพื่อหาขนาดที่ดีที่สุดของรูปทรงระบบ SCAWS สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.7

การศึกษารอง

หัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาหลักในหัวข้อที่ผ่านมา ทั้งนี้เพื่อทำการตรวจสอบดูว่ารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่แตกต่างกันจะส่งผลอย่างไรต่ออัตราการไหลเวียน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลจากการขยายรูปทรงตามแนวระนาบ เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้น สำหรับการศึกษานี้ทั้ง 2 หัวข้อมีวิธีการดังนี้

- การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน
 - การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแท่งนำความร้อน 3 รูปแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - 1) Central rod เป็นรูปแบบที่มีแท่งนำความร้อนเพียงแท่งเดียวที่ติดตั้งอยู่ตรงกลางระบบ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาหลัก โดยถูกกำหนดเป็นรูปแบบอ้างอิง
 - 2) With rod top เป็นรูปแบบที่มี Central rod อยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยแท่งนำความร้อนอีก 8 แท่งในแนวรัศมี หรือเรียกว่า Central rod with rod top

3) With fin เป็นรูปแบบที่มี Central rod อยู่ตรงกลางและมีครีบริบติดอยู่บนปลายของ Central rod จำนวน 2 แถว หรือเรียกว่า Central rod with fin สำหรับขนาดรูปทรงที่นำมาใช้ในการศึกษาได้รับมาจากขนาดที่ดีที่สุดจากการศึกษาหลัก ส่วนขนาดของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแท่งนำความร้อนได้ใช้ขนาดตามที่ระบุในตารางที่ 3.7 และรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่ทำการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.4



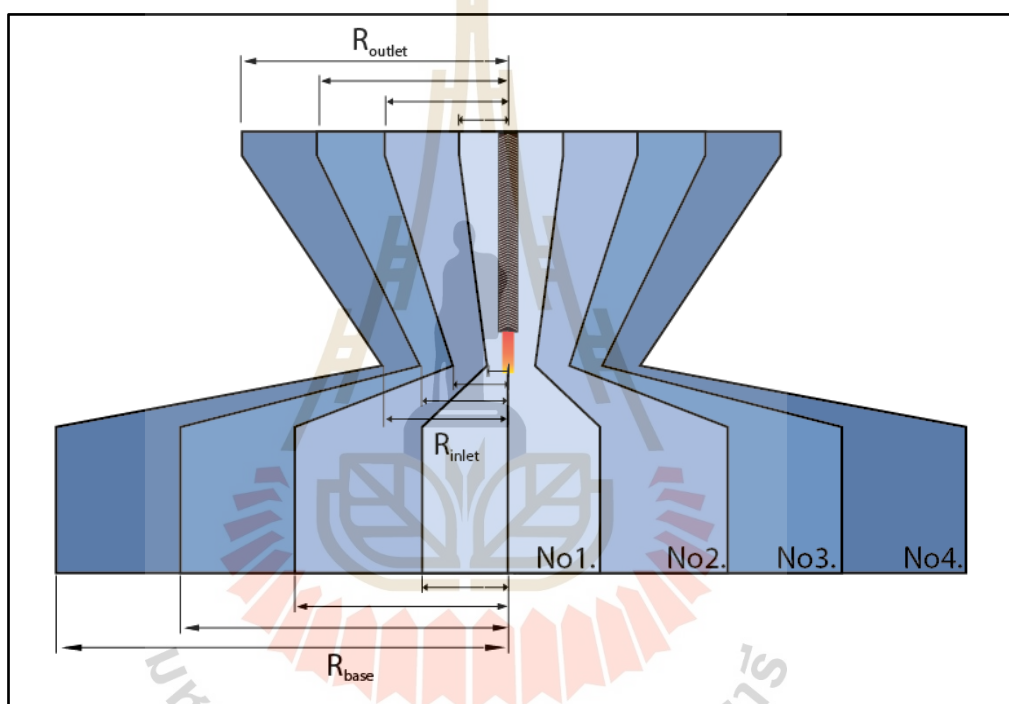
รูปที่ 3.4 รูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์และขนาดที่ใช้ในการศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน

Parameter	Unit	Type of heating rod		
		Central rod	With rod top	With fin
L_{sul1}	m	0.65	0.65	0.65
L_{sul2}	m	-	0.50	-
L_{HR}	m	0.05	0.05	0.05
L_{RT}	m	-	0.05	-
L_{fin}	m	-	-	0.09
D_{HR}	cm	2.54	2.54	2.54
D_{RT}	cm	-	6.35	-
D_{fin}	cm	-	-	6.35
S_{fin}	cm	-	-	1.6

- อิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ

การศึกษานี้ได้ทำการขยายรูปทรงตามแนวระนาบ เพื่อตรวจสอบอัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} ทั้งนี้ขนาดของพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงได้รับมาจากขนาดที่ดีที่สุดจากการศึกษาหลัก โดยในการศึกษานี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} ในสัดส่วน 1 : 2 : 3 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ได้รับมาจากการศึกษาหลัก และในการศึกษาได้ทำการจำลอง 4 ขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สำหรับขนาดของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาแสดงในตารางที่ 3.8

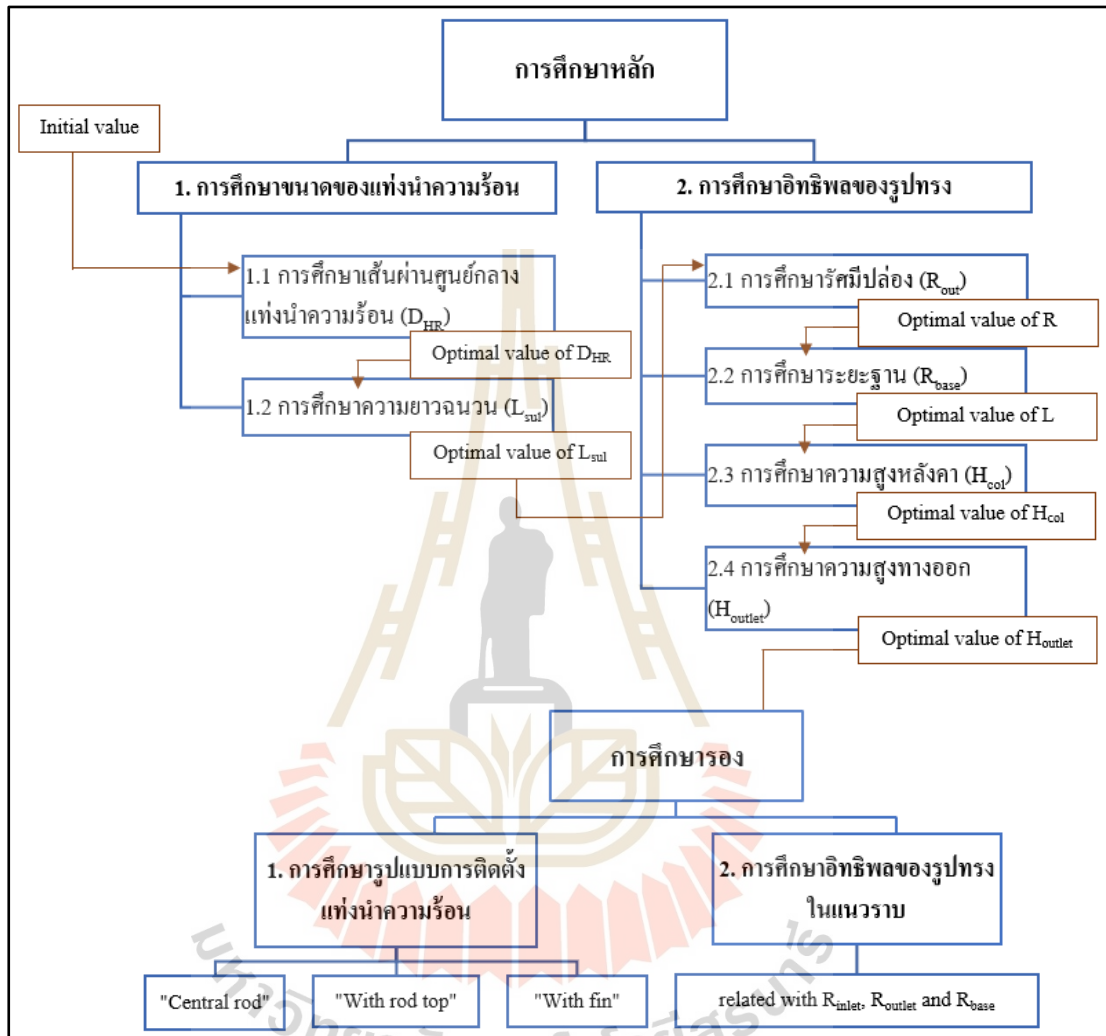


รูปที่ 3.5 รูปแบบการขยายรูปทรงตามแนวระนาบทั้ง 4 ขนาด

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์และขนาดที่เกี่ยวข้องในการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ

No.	R_{inlet}	R_{outlet}	R_{base}	Unit
1.	0.10	0.2	0.3	m
2.	0.15	0.30	0.45	m
3.	0.20	0.40	0.60	m
4.	0.25	0.50	0.75	m

สำหรับวิธีการศึกษาพารามิเตอร์แต่ละตัวที่ได้ดำเนินการจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมของระบบ SCWAS มีวิธีการศึกษาดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงวิธีการศึกษาพารามิเตอร์ที่จำลองเพื่อประเมินหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบ SCWAS

3.1.3.5. วิธีดำเนินการจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent

เพื่อหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบ SCWAS ในโปรแกรม ANSYS Fluent มีวิธีการดำเนินการจำลองดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลอง 3 มิติขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีขนาดเริ่มต้นตามตารางที่ 3.6 สำหรับการจำลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้สร้างแบบจำลอง 2 มิติแบบแกน

สมมตรดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยได้รับขนาดของรูปทรงมาจากการศึกษาตั้งปรากฏในหัวข้อ 4.2.2 และก่อนที่จะทำการศึกษาเพื่อทำการจำลองในหัวข้อต่าง ๆ ได้ทำการศึกษาความเป็นอิสระของกริดสำหรับแบบจำลองที่จะใช้ก่อน ซึ่งผลจากการศึกษาเป็นดังนี้

- 2) ศึกษาความเป็นอิสระของกริด เพื่อให้แน่ใจว่าขนาดของกริดในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะไม่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้น โดยในสร้างแบบจำลองได้เลือกใช้กริดที่มีลักษณะรูปทรงสามเหลี่ยม (Triangular) ในแบบจำลอง 3 มิติ และเลือกใช้กริดที่มีลักษณะสี่เหลี่ยม (Quadrilateral) สำหรับแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร ตามคำแนะนำของ ANSYS Inc. (2018) ทั้งนี้เนื่องจากกริดในลักษณะนี้เหมาะกับรูปทรงที่มีความซับซ้อน ซึ่งเหมาะกับรูปทรงของระบบ SCWAS ที่มีความโค้ง ชัน และบาน และนอกจากนี้ยังได้ทำการกำหนดขนาดของกริดในชั้นแรกเพื่อให้การคำนวณในบริเวณนี้มีความละเอียดมากขึ้นเนื่องจากเป็นบริเวณที่อยู่ชิดกับผนัง ซึ่งของไหลในบริเวณนี้ได้รับอิทธิพลจากแรงเฉือนโดยตรง โดยขนาดของกริดชั้นแรก (ΔS) ตามนิยามของ White (2002) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-11

$$\Delta S = \frac{y^+ v}{\sqrt{\frac{0.013 U_f}{\text{Re}^{1/7}}}} \quad (3-11)$$

สำหรับ U_f สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-12

$$U_f = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (3-12)$$

ในขณะที่ τ_w คือ แรงเฉือนของของไหลที่ชั้นขีดผิว สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-13

$$\tau_w = \frac{C_f}{2} \rho U_\infty^2 \quad (3-13)$$

โดยที่ C_f สามารถหาได้จากสมการที่ 3-14

$$C_f = \frac{0.026}{Re^{1/7}} \quad (3-14)$$

และ Rayleigh Number สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-15

$$Re = \frac{U_\infty L}{\nu} \quad (3-15)$$

ผลจากการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดในแบบจำลอง 3 มิติ และแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร แสดงดังตารางที่ 3.9 และ 3.10 ดังนี้

ตารางที่ 3.9 การศึกษาความเป็นอิสระของกริดสำหรับแบบจำลอง 3 มิติ

No.	Grid name	Elements	Mass flow rate (kg/s)	Error (%)
1	Grid 1	26,862	1.5564	N/A
2	Grid 2	35,816	1.6598	6.64
3	Grid 3	47,754	1.7400	4.83
4	Grid 4	63,672	1.7880	2.76
5	Grid 5	79,590	1.7920	0.22
6	Grid 6	99,488	1.7917	0.01

ตารางที่ 3.10 การศึกษาความเป็นอิสระของกริดสำหรับแบบจำลอง 2 มิติแบบแกนสมมาตร

No.	Grid name	Elements	Mass flow rate (kg/s)	Error (%)
1	Grid 1	2,271	3.7261	N/A
2	Grid 2	3,027	3.8845	4.25
3	Grid 3	4,037	4.0192	3.47
4	Grid 4	5,382	4.1249	2.63
5	Grid 5	6,728	4.1359	0.27
6	Grid 6	8,409	4.1390	0.08

จากตารางที่ 3.9 และ 3.10 พบว่า เมื่อจำนวน Element เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าของอัตราการไหลเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะพบว่าที่จำนวน Element น้อยจะมีความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตามหากในการจำลองใช้จำนวน Element มากขึ้นแต่ค่าอัตราการไหลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักอาจส่งผลให้เวลาในการจำลองเพิ่มขึ้น ดังนั้น ในการจำลองจึงเลือกใช้ขนาดของ กริดหมายเลข 4 เนื่องจากเมื่อเพิ่มความละเอียดของกริดแล้วพบว่าผลที่ได้แตกต่างกันเล็กน้อย และเพื่อความเร็วในการคำนวณของโปรแกรมจำลองได้เลือกใช้กริดที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 3%

- 3) การตั้งค่าในโปรแกรมจำลอง ในการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทั้ง 3 มิติและ 2 มิติแบบแกนสมมาตรได้ใช้ค่าตามตารางที่ 3.3 และทุกการจำลองได้ทำการตั้งค่าวิธีการคำนวณในโปรแกรม ANSYS Fluent ดังนี้ SIMPLE Algorithm ถูกนำมาใช้ในการสมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง QUICK Scheme ถูกนำไปใช้ในสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน และเลือกใช้ Second order upwind method สำหรับการแก้ปัญหาพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลและอัตราการขยายตัวของของไหล และใช้ PRESTO Method สำหรับเทอมของความดัน และสุดท้าย Under relaxation factors มีค่าเป็น 0.3, 0.7 และ 0.9 สำหรับใช้ในการคำนวณเทอมของความดัน (Pressure) ความเร็ว (Velocity) และพลังงาน (Energy) ตามลำดับ (Mahmoud et al., 2015) และเพื่อให้แน่ใจว่าคำตอบที่ได้จากการจำลองในโปรแกรมมีความแม่นยำ ได้ทำการตั้งค่า Residual สำหรับสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม k และ ω ไว้ที่ 10^{-4} และในส่วนของสมการพลังงานได้ตั้งค่าไว้ที่ 10^{-7} (Mahmoud et al., 2015) และกำหนดให้โปรแกรมทำการคำนวณทั้งหมด 2000 รอบ

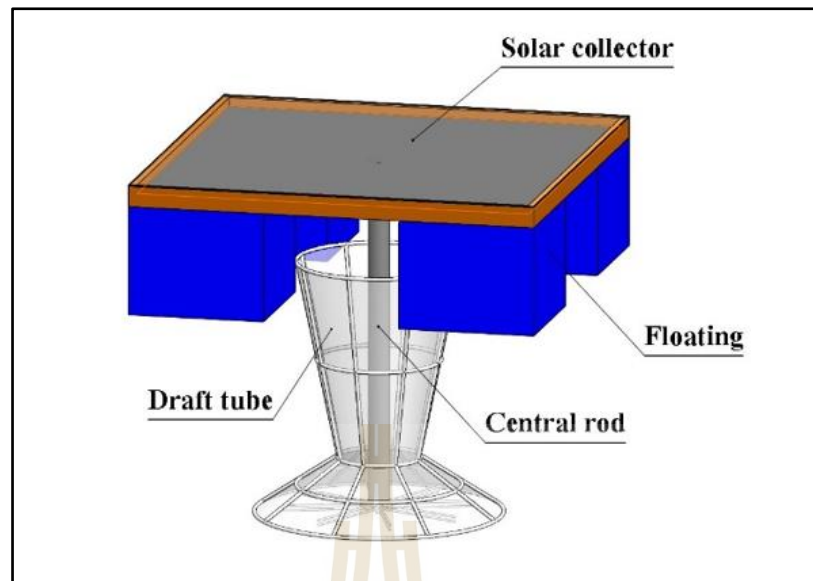
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

หัวข้อนี้นำเสนอวิธีการสร้างชุดทดลองต้นแบบ เครื่องมือวัดและตำแหน่งการติดตั้งชุดบันทึกข้อมูล และการทดลองระบบ SCWAS ต้นแบบร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงปลาชนิด โดยดำเนินการดังต่อไปนี้

3.2.1 การสร้างชุดทดลอง SCWAS ต้นแบบ

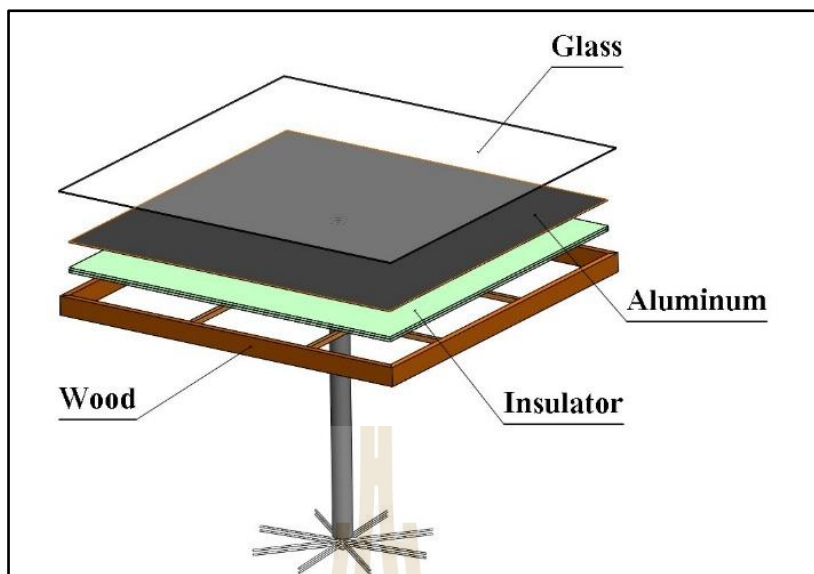
สำหรับการสร้างชุดทดลอง SCWAS ต้นแบบ มีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) นำขนาดของระบบ SCWAS ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent ไปออกแบบทางวิศวกรรมในโปรแกรม SOLIDWORKS โดยรูปทรงและส่วนประกอบหลักของระบบ SCWAS ต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.7 สำหรับขนาดของระบบถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบและโครงสร้างของระบบ SCWAS ต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

- 2) แผงรับแดด (Solar collector) ทำจากอลูมิเนียมหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อเก็บพลังงานความร้อน และด้านบนครอบด้วยกระจกหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับอากาศที่อยู่ภายใต้กระจก นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมได้ด้วย ส่วนด้านข้างถูกครอบด้วยกรอบไม้ และด้านล่างถูกปิดด้วยโฟมหนา 1 นิ้ว เพื่อป้องกันความร้อนรั่วไหลออกจากระบบ สำหรับภาพประกอบของแผงรับแดดที่ถูกออกแบบในโปรแกรม SOLIDWORKS แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของแผงรับแดดที่ถูกขยาย

- 3) แท่งนำความร้อน (Central rod) ทำจากอลูมิเนียมเพลตตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 นิ้ว ซึ่งถูกติดอยู่กับแผงรับแดดที่ถูกยึดไว้ด้วยสกรูและกาวนำความร้อน เพื่อนำความร้อนจากแผงรับแดดลงมายังน้ำที่ด้านล่างบ่อ และเพื่อไม่ให้ความร้อนสูญเสียก่อนถึงตำแหน่งที่ต้องการได้ทำการหุ้มฉนวนที่มีความหนา 3/8 นิ้ว และเคลือบด้วยพลาสติกใสหุ้มอาหารอีกชั้นเพื่อป้องกันน้ำรั่วไหลเข้าไปยังฉนวนความร้อน
- 4) โครงสร้างปล่องนำทิศทางการไหล (Draft tube) ทำจากอลูมิเนียมเพลทกลาง 1/2 นิ้ว และหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อให้น้ำไหลตามทิศทางที่กำหนด สำหรับโครงสร้างของปล่องและแท่งนำความร้อนก่อนประกอบเข้ากับแผงรับแดดแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ปล่องนำทิศทางการไหลที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกใส

- 5) ชิ้นส่วนของระบบ SCWAS ต้นแบบถูกประกอบเข้าด้วยกันก่อนนำไปทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



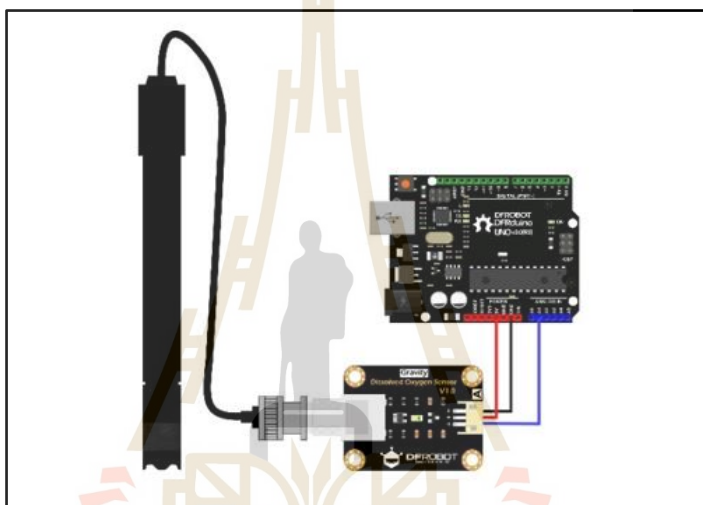
รูปที่ 3.10 ระบบ SCWAS ต้นแบบก่อนนำไปทดลองในบ่อเพาะเลี้ยงปลา

3.2.2 เครื่องมือวัดและตำแหน่งการติดตั้งชุดบันทึกข้อมูล

สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการวัดผล วิธีการสอบเทียบ และการติดตั้งชุดบันทึกข้อมูลในตำแหน่งต่าง ๆ โดยแสดงดังต่อไปนี้

3.2.2.1 เครื่องมือวัด

ในการเก็บข้อมูลการทดลองได้ใช้ DO sensor และ Temperature sensor เพื่อวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำและอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งทำการต่อเข้ากับบอร์ด Arduino ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ และ sensor ทั้ง 2 มีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อ DO sensor รุ่น SEN0237 เข้ากับบอร์ด Arduino (Arduitrronics, 2022)



รูปที่ 3.12 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิรุ่น DS18B20 (Arduitrronics, 2022)

ตารางที่ 3.11 คุณสมบัติของเครื่องมือวัด

ลำดับ	อุปกรณ์	แบรนด์/ รุ่น	หน้าที่	คุณสมบัติ
1	DO sensor	SEN0237	วัดค่าออกซิเจน ที่ละลายในน้ำ	Measuring range: 0 - 20 mg/L Maximum temperature: 55 °C Measuring precision: ± 0.01 mg/L Time response: 98%
2	Temperature sensor	DS18B20	วัดค่าอุณหภูมิ ในน้ำ	Measuring temperature: -55 - 125°C Measuring precision: ± 0.5 °C

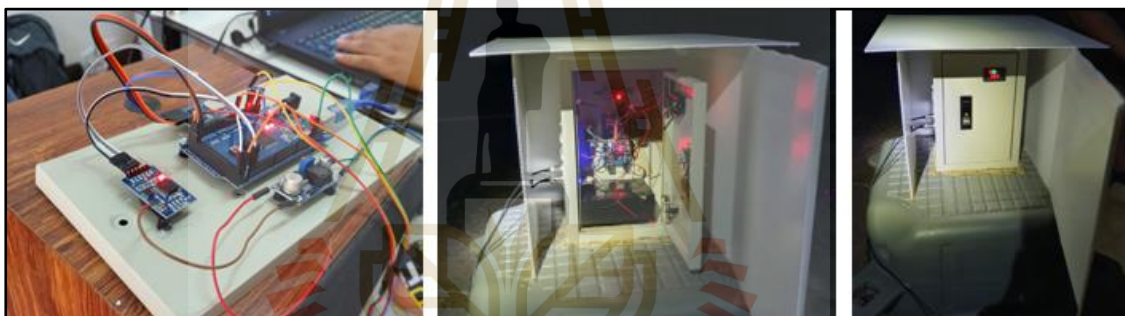
3.2.2.2 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ถูกลำดับไปใช้งานได้ทำการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนเสมอ เพื่อความแม่นยำของข้อมูลที่ได โดยการสอบเทียบนี้ได้ดำเนินการโดยห้องโพรเจกต์ที่เข้ามาช่วย สนับสนุนการทำงาน สำหรับขั้นตอนในการสอบเทียบเป็นดังนี้

- วิธีการสอบเทียบ DO sensor รุ่น SEN0237
 - 1) เตรียมน้ำสะอาดปริมาณ 30 มิลลิลิตรจำนวน 1 แก้ว และเตรียมน้ำสะอาดครึ่งแก้ว
 - 2) เตรียม DO sensor ให้เรียบร้อยโดยทำการเติมสารละลาย NaOH ที่หัววัด และเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และต่อสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการสอบเทียบ
 - 3) คัดลอกโค้ดจากคู่มือการใช้งาน DO sensor ลงไปยังบอร์ด Arduino
 - 4) ใส่สารละลาย Regent A ลงในน้ำสะอาด 30 มิลลิลิตร เพื่อทำให้น้ำมีค่าออกซิเจนเป็นศูนย์ และใส่หัวทรายพร้อมเปิดออกซิเจนลงในน้ำสะอาดอีกแก้วที่เตรียมไว้
 - 5) หย่อนหัว DO sensor ลงในแก้วที่ใส่สารละลาย Regent A แล้วรอนค่าหนึ่ง จากนั้นกด Calibrate บนหน้าจคอมพิวเตอร์ที่ทำการสอบเทียบ
 - 6) นำ DO sensor หย่อนลงอีกแก้วที่ทำการใส่หัวทรายออกซิเจนไว้แล้ว จากนั้นรอนค่าหนึ่ง แล้ว Calibrate บนหน้าจคอมพิวเตอร์อีกครั้ง เป็นอันเสร็จสิ้นวิธีการสอบเทียบ
 - 7) และเพื่อทำการตรวจสอบค่าจาก DO sensor ที่ทำการสอบเทียบไปแล้ว ได้ดำเนินการตรวจสอบกับ YSI meter อีกครั้ง โดยนำหัววัดของ DO sensor จุ่มลงในน้ำสะอาดที่ไม่มีสารละลายใด ๆ แล้วรอให้ค่าที่แสดงบนหน้าจคอมพิวเตอร์นิ่ง และนำหัววัดของ YSI meter จุ่มลงในแก้วเดียวกันแล้วรอนค่าหนึ่ง แล้วอ่านค่า DO จากทั้ง 2 วิธีเทียบกัน หากมี

ค่าแตกต่างกันผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการสอบเทียบอีกครั้งจนกว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือต่างกันเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรในแต่ละครั้ง

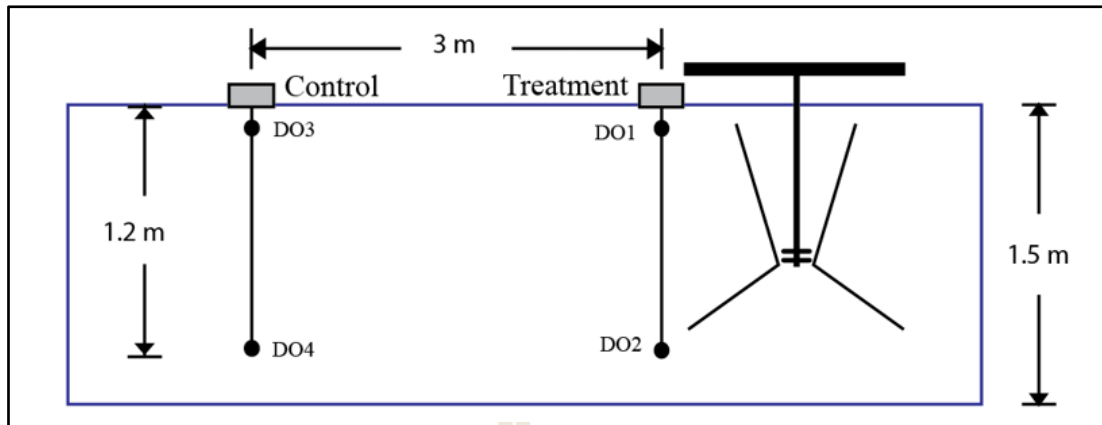
- วิธีการสอบเทียบ Temperature sensor รุ่น DS18B20
 - 1) เตรียม Temperature sensor, บอร์ด Arduino และน้ำสะอาด
 - 2) เชื่อมต่อ Temperature sensor เข้ากับ บอร์ด Arduino และต่อสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์
 - 3) ต้มน้ำให้เดือดที่ 100 °C แล้วจุ่มหัว Temperature sensor ลงไป อย่าให้โดนวัสดุอื่นยกเว้น น้ำที่เดือด แล้วรอให้ค่าที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์คงที่ แล้วบันทึกค่า
 - 4) จากนั้นทำการเตรียมน้ำเย็นจัดที่อุณหภูมิ 0 °C โดยทำการใส่น้ำแข็งลงไปเต็มแก้วแล้วเทน้ำใส่ประมาณ 80 % ของแก้ว จากนั้นจุ่มหัววัดลงไป และรอให้ค่าที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์คงที่ แล้วบันทึกค่า
 - 5) ขทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้จากการวัดและอัปเดตโค้ดเพื่อเรียกใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.13 ชุดบันทึกข้อมูลที่ใช้ร่วมกับระบบ SCWAS

3.2.2.3 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

ในการทดลองได้นำชุดทดลองต้นแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบ SCWAS จำนวน 1 เครื่อง และชุดบันทึกข้อมูลจำนวน 2 ชุด ไปติดตั้งในบ่อทดลอง โดยในการวัดได้ทำการติดตั้งชุดบันทึกข้อมูลในตำแหน่ง Treatment และ Control เพื่อบันทึกค่า DO สำหรับตำแหน่งใกล้และไกลระบบซึ่งในแต่ละตำแหน่งได้ทำการวัดค่า DO 2 ระดับ ประกอบไปด้วย ระดับบน และระดับล่าง โดยทำการวัดห่างจากผิวน้ำเป็นระยะ 10 cm และ 120 cm ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า DO ที่ได้จากการวัดทั้ง 4 ตำแหน่ง จะถูกนำไปตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่อไป สำหรับภาพประกอบตำแหน่งการวัดค่า DO ในบ่อเพาะเลี้ยงแสดงดังรูปที่ 3.14



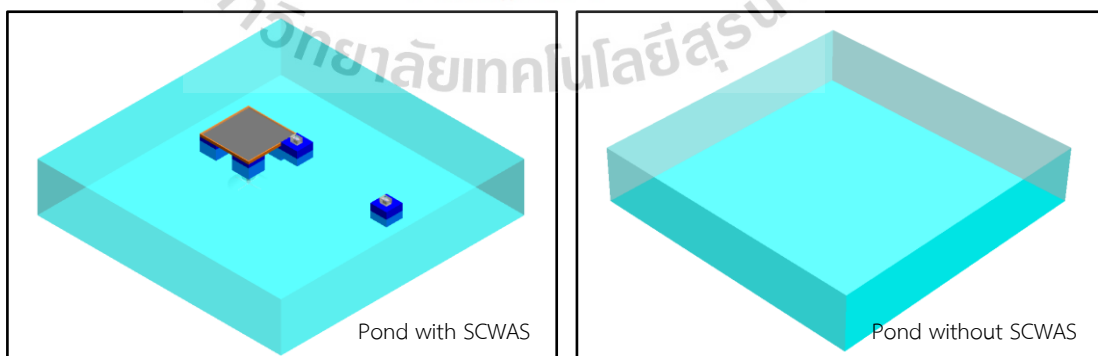
รูปที่ 3.14 การติดตั้งชุดบันทึกข้อมูลและตำแหน่งการวัดค่า DO ทั้ง 4 จุด

ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SCWAS ได้ดำเนินการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง Control ไป 3 ระยะ ประกอบไปด้วย 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร ส่วนตำแหน่ง Treatment จะถูกควบคุมให้คงที่ตลอดการศึกษา โดยผลที่ได้จะถูกนำเสนอในหัวข้อที่ 4.3.2

3.2.3 การทดลองระบบ SCWAS ต้นแบบร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล

นำระบบ SCWAS ที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับบ่อปลานิล โดยทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 5 เดือน และทำการประเมินผลของการเจริญเติบโตของปลานิล โดยการศึกษาที่มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมบ่อดินสำหรับการทดลองจำนวน 2 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีขนาด 750 ตารางเมตร ลึก 1.5 เมตร ซึ่งบ่อแรกทำการติดตั้งระบบ SCWAS ต้นแบบ (With SCWAS) และอีกบ่อไม่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ (Without SCWAS) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS (บ่อ 1) กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS (บ่อ 2)

- 2) ทำการติดตั้งกระชังที่มีขนาด 104 ตารางเมตรในบ่อทดลองทั้ง 2 โดยในการติดตั้งให้ความสูงระหว่างกันบ่อถึงกระชังมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับการเพาะเลี้ยงจริงของเกษตรกร สำหรับลักษณะทางกายภาพของบ่อที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ลักษณะทางกายภาพของบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล

- 3) ทำการปล่อยปลานิลในอัตรา 2.5 ตัวต่อตารางเมตร (บริษัท เบทาโกร จำกัด มหาชน, 2563) โดยคิดเป็น 312 ตัวต่อบ่อ
- 4) ในระหว่างการทดลอง ให้อาหารปลานิลในอัตรา 3% ของน้ำหนักตัว (บริษัท เบทาโกร จำกัด มหาชน, 2563) โดยแบ่งให้จำนวน 2 มื้อต่อวัน คือเวลา 10.00 น. และ 16.00 น.
- 5) ในแต่ละเดือน ทำการสุ่มปลานิลขึ้นมาจำนวน 100 ตัว เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลานิลที่ทำการเลี้ยง ($W_{fish,avg}$) และนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินน้ำหนักอาหารที่จะให้ในแต่ละมื้อ โดยคำนวณจากสมการที่ 3-15
- 6) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทดลองเลี้ยงปลานิล ได้นำข้อมูลการเพาะเลี้ยงไปประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยใช้สมการที่ 3-16 ถึง 3-22 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สำหรับข้อมูลการเลี้ยงปลานิลเป็นระยะเวลา 5 เดือนแสดงดังตารางที่ 3.12 และ 3.13

ตารางที่ 3.12 น้ำหนักปลาเฉลี่ยและแผนการให้อาหารในแต่ละมือ

รายการ	ค่าเริ่มต้น		เดือนที่ 1		เดือนที่ 2		เดือนที่ 3		เดือนที่ 4		เดือนที่ 5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
N_{fish}	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312
$W_{fish,avg}$	257	257	560	517	773	735	902	871	1079	1014	1226	1166
$W_{food/day}$	2.4	2.4	5.2	4.8	7.2	6.8	8.4	8.1	10.1	9.5	11.5	10.9
$W_{food/meal}$	1.2	1.2	2.6	2.4	3.6	3.5	4.2	4.1	5.1	4.8	5.7	5.5

ตารางที่ 3.13 ข้อมูลการให้อาหารปลาในแต่ละเดือน

วันที่	อาหารที่คำนวณ (kg)		อาหารที่ให้จริง (kg)		อาหารที่เหลือ (kg)	
	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 1	บ่อ 2	บ่อ 1	บ่อ 2
05 ก.ค. – 09 ส.ค. 62	84.08	84.09	65.00	65.00	19.08	19.09
10 ส.ค. – 13 ก.ย. 62	178.20	164.54	112.00	110.00	66.20	54.54
14 ก.ย. – 19 ต.ค. 62	253.23	240.68	126.00	125.00	127.23	115.68
20 ต.ค. – 23 พ.ย. 62	278.48	269.13	152.00	150.00	126.48	119.13
24 พ.ย. – 26 ธ.ค. 62	333.16	313.32	159.91	157.89	173.25	155.43

ปริมาณอาหารที่จะให้กับปลาในแต่ละมือจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน เพื่อความง่ายในการคำนวณได้น้ำหนักปลาเฉลี่ยในเดือนล่าสุดที่ทำการสุ่มมาเป็นตัวแทนข้อมูลของน้ำหนักปลา และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-16

$$W_{food/meal} = (W_{fish,avg} \times N_{fish} / N_{meal}) \times 3\% \quad (3-16)$$

Weight gain (g) หรือ W_{gain} คือ น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$W_{gain} = W_{final} - W_{initial} \quad (3-17)$$

Specific growth rate (%/day) หรือ SGR คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ซึ่งเป็นตัวแปรที่แสดงถึงการเติบโตต่อวันโดยเฉลี่ยสำหรับช่วงเวลาในการเพาะเลี้ยง สามารถคำนวณได้จาก

$$SCR = \frac{\ln(W_{\text{final}}) - \ln(W_{\text{initial}})}{\text{time}} \quad (3-18)$$

Daily growth rate (g/day) หรือ DGR คือ อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน สามารถคำนวณได้จาก

$$DGR = \frac{W_{\text{final}} - W_{\text{initial}}}{\text{time}} \quad (3-19)$$

Survival rate (%) หรือ SR คือ อัตราการรอดของปลา สามารถคำนวณได้จาก

$$SR = (N_{\text{final}} / N_{\text{initial}}) \times 100 \quad (3-20)$$

Feed conversion ratio (-) หรือ FCR คือ ปริมาณอาหารที่ใช้ต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น โดยคำนวณดังนี้

$$FCR = W_{\text{food}} / W_{\text{final}} \quad (3-21)$$

Feed efficiency (%) หรือ FE คือ ประสิทธิภาพในการใช้อาหาร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$FE = (W_{\text{gain}} / W_{\text{food}}) \times 100 \quad (3-22)$$

FCR (Baht/kg) คือ ต้นทุนค่าอาหารที่เกิดจากอาหารที่ใช้ต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Feed cost per kg FCR} = (C_{\text{food}}) \times \text{FCR} \quad (3-23)$$

3.3 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

3.3.1 ตัวชี้วัด

เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำระบบ SCWAS ไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลานิล ได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และทำการเปรียบเทียบผลกับบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งปั๊มลม (Pump) และกังหันตีน้ำ (Paddle wheel) ในการเติมออกซิเจนเข้าสู่บ่อ โดยในการวิเคราะห์ได้ใช้ตัวชี้วัด 3 ตัว ซึ่งประกอบไปด้วย NPV, PBP และ IRR ร่วมกันเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งาน สำหรับตัวชี้วัดทั้ง 3 มีนิยามดังนี้

NPV ย่อมาจาก Net present value (Bath) คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ในการระบุว่า เครื่องเติมอากาศแบบใดให้ผลประกอบการเป็นอย่างไรในการลงทุนตลอดระยะเวลาโครงการ หากค่าที่ประเมิน ณ เวลาปัจจุบันเป็นบวก แสดงว่าโครงการนั้นมีกำไรจากการลงทุนในครั้ง นี้ และหากค่าที่ประเมินเป็นลบ แสดงว่าโครงการนั้นขาดทุน ซึ่ง NPV จะขึ้นอยู่กับผลรวมของกระแสเงินสดสุทธิในแต่ละงวด (หรือปี) และอัตราส่วนลดที่ใช้ในการคำนวณ สำหรับการประเมิน NPV สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-23

$$\text{NPV} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{AV}}{(1+i)^t} \quad (3-23)$$

โดยที่ AV คือ กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละรอบการเพาะเลี้ยง
i คือ อัตราส่วนลด ในการประเมินนี้มีค่าเท่ากับ 3% ต่อปี

PBP ย่อมาจาก Payback period (year) คือ จุดคุ้มทุน ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ในการระบุเวลาคืนทุนสำหรับการลงทุนในโครงการใด ๆ ถ้าหากค่าที่ประเมินมีค่ามาก แสดงว่าโครงการนั้นคืนทุนช้า โดยการคำนวณได้คิดอัตราส่วนลดรวมด้วยเนื่องจากมูลค่าของเงินลดลงทุก ๆ ปีตามอัตราเงินเฟ้อที่เพิ่มขึ้น สำหรับการประเมิน PBP สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-24

$$\text{PBP} = y + \text{abs}(n) / p \quad (3-24)$$

IRR ย่อมาจาก Internal rate of return (%) คือ อัตราผลตอบแทน ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ในการระบุว่า การลงทุนในโครงการใด ๆ ให้ผลตอบแทนเฉลี่ยรายปี (หรือรายงวด) เป็นเท่าใด สำหรับการคำนวณคิดอยู่บนพื้นฐานที่ว่า NPV เท่ากับศูนย์ และไม่คิดอัตราส่วนลด และโดยทั่วไปแล้ว การคำนวณหา IRR มักมีความซับซ้อนจึงนิยมใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่อยู่ใน Excel เพื่อทำการคำนวณซึ่งมีวิธีการดังนี้

$$= \text{IRR} (\text{first cell: last cell}) \quad (3-25)$$

โดยในการใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูป first cell คือ ค่าจากแถวแรกของมูลค่ารายปี ซึ่งทำการเลือกตั้งตั้งแต่ค่าแรกจนถึงค่าสุดท้ายของมูลค่านี้ โดยค่าสุดท้ายจะถูกระบุเป็น last cell

3.3.2 รายการสำหรับประเมินมูลค่า

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีความจำเป็นที่จะต้องประเมินค่าใช้จ่ายและรายรับที่เกี่ยวข้องในการเพาะเลี้ยงปลาชนิด เพื่อนำไปใช้ในการประเมินกระแสเงินสดสุทธิที่จะได้รับในแต่ละรอบการเพาะเลี้ยง โดยรายการที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายและรายรับในการเพาะเลี้ยงพร้อมการจัดประเภทแสดงดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 การจัดประเภทรายรับและค่าใช้จ่ายสำหรับการเพาะเลี้ยงปลาชนิด

รายการ	รายละเอียด	ประเภท
ค่าใช้จ่าย	ค่าอุปกรณ์เติมอากาศ	Capital cost
	ค่าไฟฟ้า	Flexible cost
	ค่าพันธุ์ปลาชนิด	Flexible cost
	ค่าอาหาร	Flexible cost
	ค่าบำรุงรักษา	Fix cost
รายรับ	รายได้จากการขาย	Income
	ค่าซาก	Income

จากตารางที่ 3.14 ค่าเครื่องเติมอากาศถูกจัดให้เป็น Capital cost เนื่องจากเป็นการลงทุนซื้อเครื่องเติมอากาศเพียงครั้งเดียวตลอดระยะเวลาโครงการ สำหรับค่าอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิดที่นำมาประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 3.15

ค่าไฟฟ้า ในที่นี้คือค่าไฟที่เกิดจากการเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศ ซึ่งถูกจัดให้เป็น Flexible cost เนื่องจากค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงที่เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศ โดยในการประเมินนี้ได้กำหนดให้เครื่องเติมอากาศที่ใช้ไฟฟ้า ประกอบไปด้วย Pump และ Paddle wheels เปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดย Pump ที่ใช้ในประเมินมีกำลังเท่ากับ 100 วัตต์ จำนวน 2 ตัว สำหรับบ่อประเมินที่มีพื้นที่ 750 ตารางเมตร และใช้ Paddle wheel จำนวน 2 ใบพัด ที่มีกำลังเท่ากับ 746 วัตต์ สำหรับบ่อประเมินขนาด 750 ตารางเมตร และบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS ไม่มีการคิดค่าไฟฟ้า เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่มีการเชื่อมต่อไฟฟ้าในการเติมอากาศ สำหรับรายละเอียดการคำนวณค่าไฟฟ้าได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.16

ค่าพันธุ์ปลานิล และค่าอาหาร ถูกจัดให้เป็น Flexible cost เช่นเดียวกับค่าไฟฟ้า เนื่องจากทั้ง 2 ค่าขึ้นอยู่กับจำนวนปลานิลที่ต้องการเลี้ยง หากเกษตรกรต้องการกำไรที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มจำนวนปลาที่เลี้ยงในบ่อ 2 ค่านี้จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้วย ซึ่งรายละเอียดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.17 และตารางที่ 3.18 ตามลำดับ

ค่าบำรุงรักษา ถูกจัดให้เป็น Fix cost และได้กำหนดให้ระบบ SCWAS มีค่าบำรุงรักษาในแต่ละรอบการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 200 บาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้ามาทาบขนแผงรับแดด เพื่อให้สามารถดูดซับความเข้มแสงแดดได้ดีเมื่อมีการใช้งานไประยะหนึ่ง ส่วนการประเมินค่าบำรุงรักษาของ Pump และ Paddle wheels ถูกประเมินให้มีค่าเท่ากับ 12.5% ต่อปีของราคาเครื่องทั้งหมดตามคำแนะนำของ Thailandindustry (2022)

รายได้จากการขาย และค่าซาก ถูกจัดให้เป็น Income เนื่องจากเป็นเงินได้จากการจำหน่ายปลานิล และเป็นเงินได้จากการขายซากของเครื่องเติมอากาศหลังจากสิ้นสุดโครงการแล้ว ซึ่งรายรับทั้ง 2 นี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.19 และ ตารางที่ 3.20 ตามลำดับ

สำหรับการประเมินค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงปลานิลในบ่อที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 3 ชนิด มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.15 รายละเอียดสำหรับค่าอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิดที่ถูกนำมาประเมิน

รายการ	เครื่องเติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle wheels
ค่าสร้าง (บาท)	37,500.00	-	-
ทุนลอย 4 ตัว	6,000.00	-	-
ค่าอุปกรณ์เติมอากาศ (บาท)	43,500.00	10,934.00	15,900.00

ตารางที่ 3.16 รายละเอียดในการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เติมอากาศ

รายการ	เครื่องเติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle wheels
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	-	200	746
ระยะเวลาเปิดใช้งาน (ชม./วัน)	-	24	24
ไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน (Unit)	-	144	537
อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/Unit)	-	คิดตาม กฟน.*	
ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท)	-	504.80	2,188.33
ค่าไฟฟ้าต่อรอบ (บาท)	-	2,524.01	10,941.64

หมายเหตุ : * สามารถดูอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณได้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 3.17 รายละเอียดสำหรับค่าพันธุ์ปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง

รายการ	เครื่องเติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle wheels
จำนวนปลานิล (ตัว)	312	312	312
ค่าพันธุ์ (บาท/ตัว)	10	10	10
ค่าพันธุ์ปลานิลต่อรอบ (บาท)	3,120.00	3,120.00	3,120.00

ตารางที่ 3.18 รายละเอียดสำหรับค่าอาหารปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง

รายการ	เครื่องเติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle wheels
น้ำหนักอาหารที่ใช้ (กก.)	615	615	615
ค่าอาหารต่อกิโลกรัม (บาท)	25	25	25
ค่าอาหารปลานิลต่อรอบ (บาท)	15,375.00	15,375.00	15,375.00

สำหรับการประเมินรายรับจากการเพาะเลี้ยงปลานิลของบ่อที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 3 ชนิด มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.19 รายละเอียดสำหรับรายได้จากการขายปลานิลต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง

รายการ	เครื่องเติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle wheels
น้ำหนักปลาต่อตัว (กก.)	1.23	1.23	1.23
ราคาขายต่อกิโลกรัม (บาท)	60	60	60
รายได้จากการขายต่อรอบ (บาท)	22,932.00	22,932.00	46,158.00

ตารางที่ 3.20 รายละเอียดสำหรับการประเมินค่าซากของอุปกรณ์เติมอากาศ

รายการ	เครื่องเติมอากาศ			
	SCWAS		Pump	Paddle wheels
	ต้นแบบ	เปลี่ยนวัสดุ		
ค่าเครื่องเติมอากาศ (บาท)	43,500.00	20,330.00	10,934.00	15,900.00
ค่าเสื่อมราคา (%/ปี)	10	10	10	10
อายุโครงการที่ประเมิน (ปี)	10	10	10	10
ค่าซากต่อปี (บาท)	435.00	203.33	109.34	159.00
ค่าซากต่อรอบ (บาท)	217.50	104.15	54.67	79.50

จากการประเมินค่าใช้จ่ายและรายได้ข้างต้นจะถูกนำไปคำนวณหากระแสเงินสดสุทธิในแต่ละรอบของการเพาะเลี้ยง (Annual value, AV) โดย 1 รอบการเพาะเลี้ยงใช้เวลา 5 เดือน และในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์นี้ได้กำหนดให้ระยะเวลาโครงการคือ 10 ปี และอัตราส่วนลด (Discount rate, i) เท่ากับ 3% ต่อปี ในการคำนวณเพื่อหามูลค่าปัจจุบัน (Present value, PV) ได้กำหนดให้ t คือ 1 รอบการเพาะเลี้ยงซึ่งใช้เวลา 5 เดือน ดังนั้น i ที่ใช้ในการประเมินในครั้งนี้จึงเท่ากับ $3\% \times (5/12)$ โดยคิดเป็น 1.25 % ต่อรอบ และมูลค่าที่ถูกประเมินสำหรับบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศทั้ง 3 ชนิดเป็นดังตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 การประเมินมูลค่าแบบแยกรายการสำหรับ 1 รอบการเพาะเลี้ยง

รายการ		เครื่องเติมอากาศ			
		SCWAS		Pump	Paddle wheels
		ต้นแบบ	เปลี่ยนวัสดุ		
Capital cost	1. ค่าเครื่องเติมอากาศ	-43,500	-20,830	-10,934.00	-15,900
Flexible cost	1. ค่าพันธุ์ปลา	-3,120	-3,120	-3,120	-3,120
	2. ค่าอาหารปลา	-15,375	-15,375	-15,375	-15,375
	3. ค่าไฟฟ้า	0	0	-2,524	-10,941
Fix cost	1. ค่าบำรุงรักษา	-200	-200	-218	-993
Income	1. การจำหน่ายปลา	22,932	22,932	22,932	22,932
	2. ค่าซาก	217.50	104.15	54.67	135.42
Annual value*	1. กระแสเงินสดสุทธิ	4,455	4,341	2,186	-7,418

หมายเหตุ: * คำนวณจาก Income - (Flexible cost + Fix cost)



บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปราย

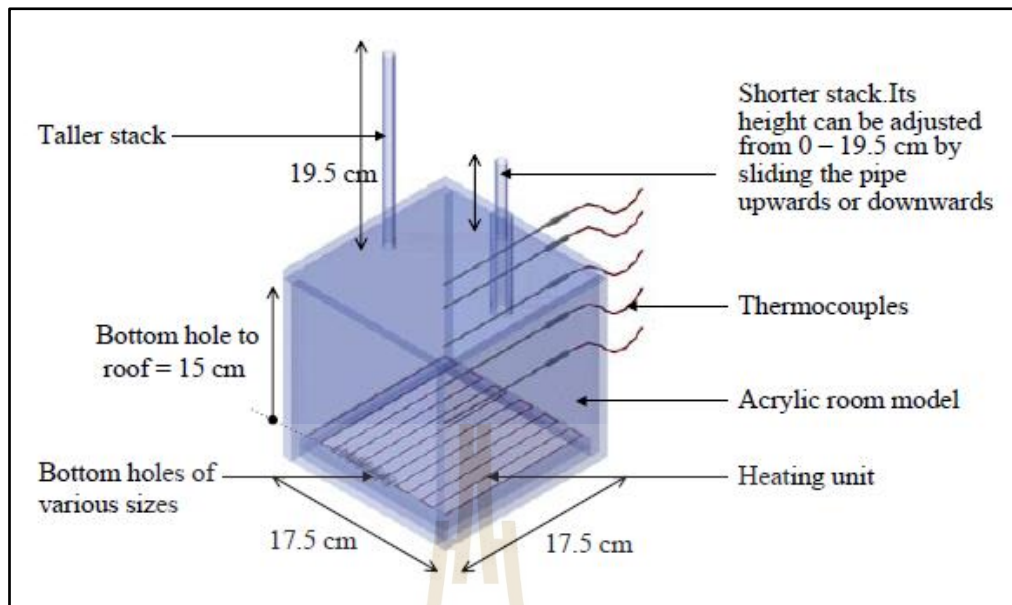
ในหัวข้อนี้นำเสนอผลจากการศึกษาระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Circulating-Water Aeration System, SCWAS) โดยประกอบไปด้วย ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ผลจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ผลจากการทดสอบระบบ SCWAS ต้นแบบกับบ่อเพาะเลี้ยงปลา นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลจากการประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS และทำการเปรียบเทียบกับบ่อที่ใช้เครื่องเติมอากาศชนิดอื่นร่วมด้วย โดยผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อตรวจสอบการใช้งานโปรแกรม ANSYS Fluent สำหรับการจำลองระบบ SCWAS ของผู้ทำการศึกษา ได้ดำเนินการตรวจสอบกับ 2 บทความ โดยบทความแรกก็นำมาตรวจสอบเป็นบทความที่ทำการทดลองเกี่ยวกับระบบปรับอากาศแต่ใช้น้ำเป็นสารทำงานเพื่อดูอิทธิพลการเคลื่อนที่ของไหล และบทความที่สองเป็นบทความที่ทำการจำลองเกี่ยวกับระบบเติมอากาศเพื่อตรวจสอบการเส้นทางการไหลเวียนของน้ำ โดยผลจากการตรวจสอบความถูกต้องจาก 2 บทความดังกล่าวเป็นดังนี้

4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องกับผลการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องจากการใช้งานโปรแกรมในครั้งนี้ ได้ดำเนินการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลกับบทความของ Chenvidyakarn and Woods (2005) ซึ่งเป็นบทความที่ทำการทดลองเกี่ยวกับระบบปรับอากาศภายในอาคารเพื่อศึกษาอิทธิพลการไหลเวียนของของไหลจากการรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 กรณี โดยชุดทดลองที่ถูกสร้างขึ้นเป็นชุดทดลองขนาดเล็ก มีการใช้น้ำแทนอากาศ และใช้ฮีตเตอร์แทนไหลความร้อนภายในอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005)

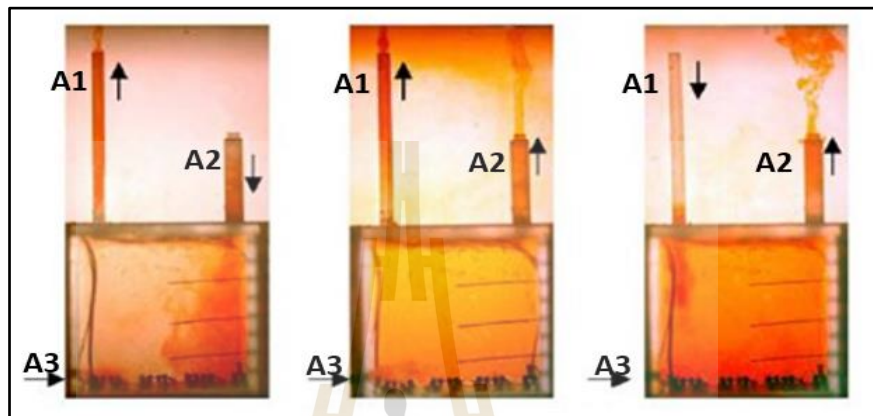
สำหรับสาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบของ Chenvidyakarn and Woods (2005) ในการตรวจสอบการใช้งานโปรแกรม เนื่องจากระบบนี้มีความคล้ายคลึงกับระบบ SCWAS ในแง่ของหลักการทำงานที่อาศัยแรงลอยตัว (Buoyant force) เพื่อให้สารทำงานซึ่งเป็นน้ำเกิดการไหล ดังนั้น ในการตรวจสอบการใช้งานโปรแกรมของผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองให้คล้ายคลึงกับชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) ขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS Fluent และนำผลที่ได้จากการจำลองไปเปรียบเทียบกับผลทดลองทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยผลที่ได้เป็นดังนี้

4.1.1.1 การเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพ

ในการเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพได้นำผลจากแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent มาเปรียบเทียบกับผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) โดยทำการสังเกตเส้นทางการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยในการเปรียบเทียบนี้ได้ทำการตรวจสอบทั้งหมด 3 กรณี ประกอบไปด้วย

- (ก) Regime A. ซึ่งมีการกำหนดให้ A3 และ A2 เป็นทางเข้า ส่วน A1 เป็นทางออกของของไหล
- (ข) Regime B. ซึ่งมีการกำหนดให้ A3 เป็นทางเข้า ส่วน A1 และ A2 เป็นทางออกของของไหล
- (ค) Regime B. ซึ่งมีการกำหนดให้ A3 และ A1 เป็นทางเข้า ส่วน A2 เป็นทางออกของของไหล

ในการตรวจสอบผลได้ทำการเปรียบเทียบกับ 3 กรณี เพื่อที่จะได้เห็นเส้นทางการไหลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อรูปแบบ (Regime) ที่ศึกษาแตกต่างกัน โดยผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) แสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนผลจากแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent แสดงดังรูปที่ 4.3

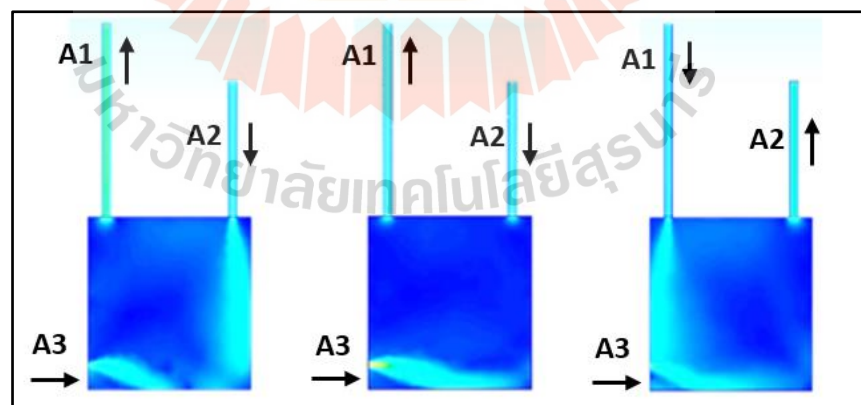


(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.2 ผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) โดยที่ (ก) Regime A. (ข) Regime B. (ค) Regime C.



(ก)

(ข)

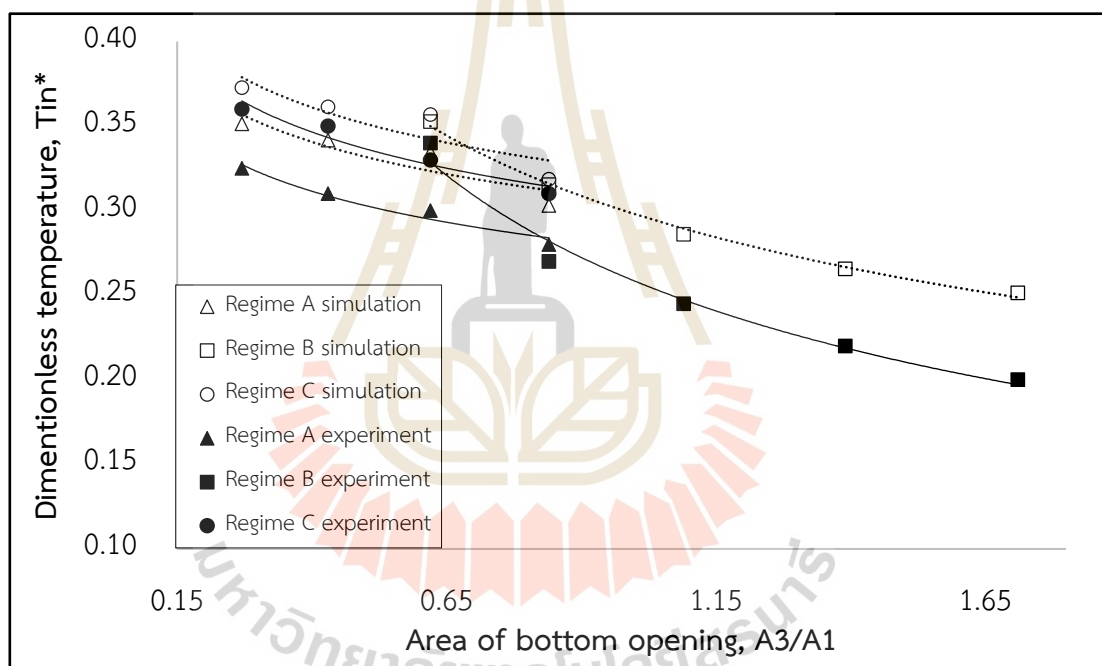
(ค)

รูปที่ 4.3 ผลจากแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS Fluent โดยที่ (ก) Regime A. (ข) Regime B. (ค) Regime C.

จากรูปที่ 4.3 สังเกตเห็นว่าเส้นทางการไหลของทั้ง 3 Regime มีลักษณะคล้ายคลึงกับการไหลที่เกิดขึ้นในชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005) สามารถเห็นได้จากสีของการ contour บนแบบจำลองกับชุดทดลอง ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าผลจากการตรวจสอบเชิงคุณภาพของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับผลจากชุดทดลองที่นำมาอ้างอิง

4.1.1.2 การเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณ

สำหรับการเปรียบเทียบผลในเชิงปริมาณได้นำผลเชิงตัวเลขที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลของชุดทดลองอ้างอิง โดยทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไร้มิติ (T_{in}^*) ของทั้ง 3 Regime ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของ A3/A1 ในสัดส่วนต่าง ๆ โดยผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4



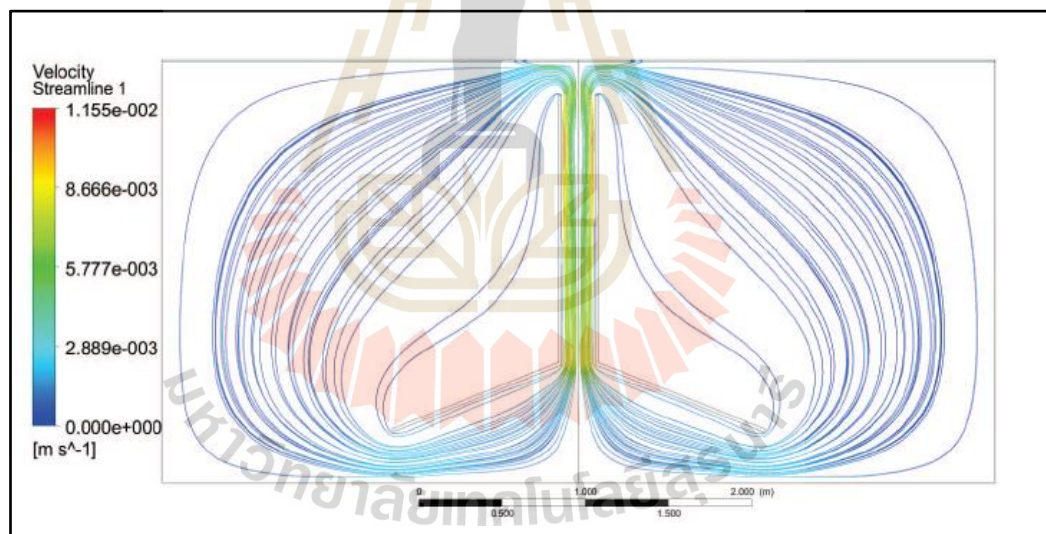
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณของแบบจำลองกับผลจากชุดทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2005)

จากรูปที่ 4.4 พบว่าผลจากแบบจำลอง (Simulation) ทั้ง 3 Regime มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากชุดทดลอง (Experiment) ของ Chenvidyakarn and Woods (2005) และจากการคำนวณคลาดเคลื่อนของ T_{in}^* พบว่าผลจากแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปจากผลของชุดทดลองอยู่ในช่วง 2 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการจำลองได้กำหนดให้ฟลักซ์ความร้อนมีการกระจายตัวทั่วทั้งบริเวณที่เป็นพื้นของแบบจำลอง แต่ในชุด

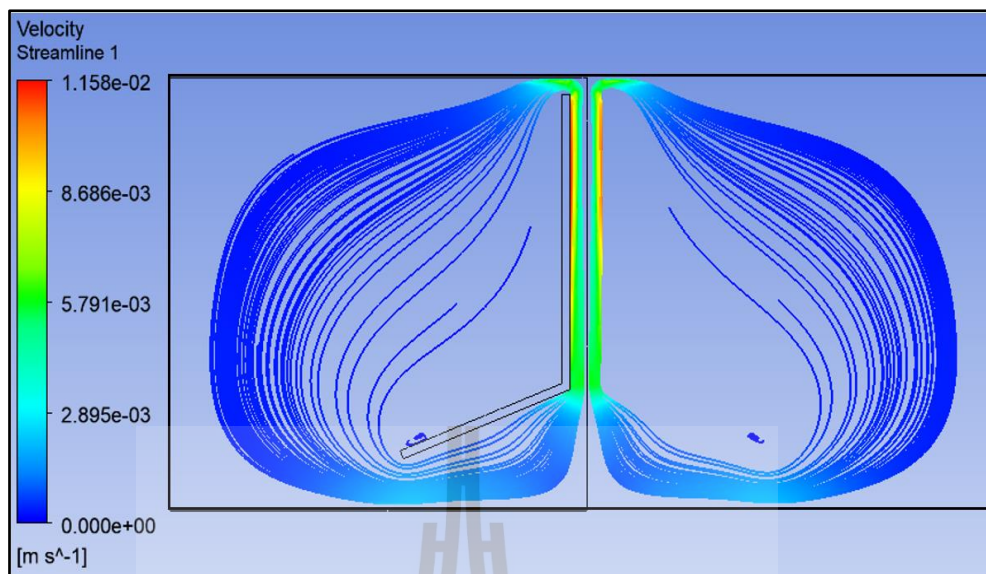
ทดลอง ความร้อนได้จากการติดตั้งฮีตเตอร์เข้าไปบนพื้นในลักษณะที่ขีดไปมาเพียงบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งทำให้ความร้อนไม่สามารถกระจายได้อย่างสม่ำเสมอ (สามารถดูตำแหน่งในการติดตั้งฮีตเตอร์ของชุดทดลองได้จากรูปที่ 4.1) ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีความแตกต่างไปจากอุณหภูมิของชุดทดลองและส่งผลให้ค่า T_{in}^* คลาดเคลื่อนไปด้วย

4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องกับแบบจำลอง

สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองได้ดำเนินการเปรียบเทียบกับบทความของ Mahmoud et al. (2015) ซึ่งเป็นบทความที่นำเสนอการจำลองระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนรุ่นแรก โดยมีชื่อย่อว่า SUpA โดยในการศึกษาระบบ SUpA ของ Mahmoud และคณะได้ใช้การจำลองเชิงตัวเลขผ่านโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อดูลักษณะการไหลเวียนที่เกิดขึ้นและได้ตรวจสอบความเร็วจากการไหลเวียนของน้ำที่แบบจำลองสามารถทำได้ โดยผลจากการศึกษาของ Mahmoud เทียบกับผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของผู้วิจัยแสดงดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ผลจากแบบจำลองของ Mahmoud et al. (2015)

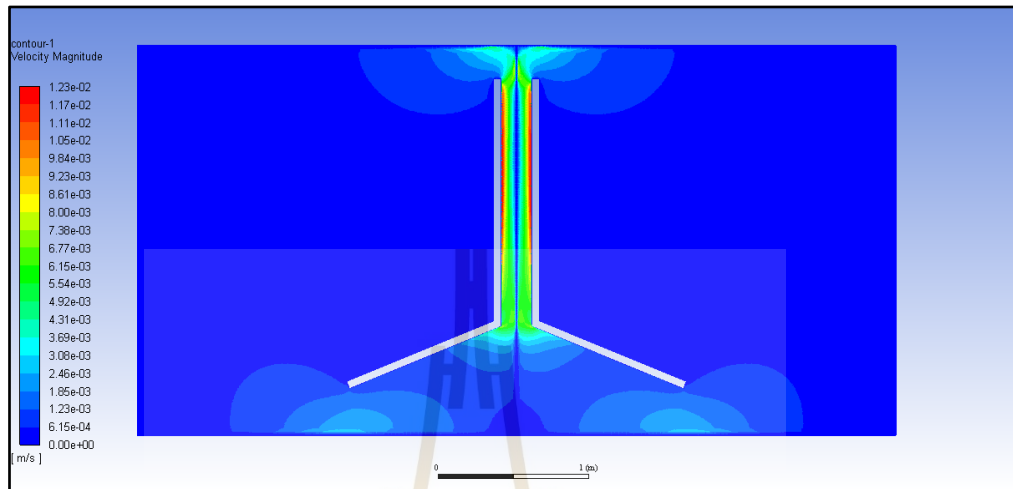


รูปที่ 4.6 ผลจากการจำลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผู้วิจัย

จากการเปรียบเทียบลักษณะการไหลเวียนจากแบบจำลองของ Mahmoud et al. (2015) และของผู้วิจัยเอง พบว่าลักษณะการไหลเวียนน้ำที่เกิดจากการจำลองมีความคล้ายคลึงกัน มีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในบริเวณที่อยู่ใกล้กับรูปทรงของระบบที่ทำการจำลอง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากจำนวนกริดที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งในบทความไม่ได้ระบุว่าใช้จำนวนเท่าไร แต่ในการตรวจสอบครั้งนี้ได้ใช้กริดจำนวนเท่ากับ 11889 elements ดังนั้น สาเหตุที่ทำให้ลักษณะการไหลเวียนมีความแตกต่างกันเป็นผลมาจากการใช้จำนวนกริดไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ความละเอียดในการแสดงผลไม่เท่ากันด้วย และจากการเปรียบเทียบความเร็วที่บริเวณศูนย์กลางของระบบ พบว่าแบบจำลองสามารถทำได้ 0.0060 เมตรต่อวินาที ในขณะที่แบบจำลองของ Mahmoud et al. (2015) สามารถทำได้ 0.0059 เมตรต่อวินาที โดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.28 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ ยังได้นำเสนอ velocity contour และ temperature contour ซึ่งเป็นการพล็อตสีของความเร็วและอุณหภูมิที่อยู๋ภายในแบบจำลองที่ทำการตรวจสอบ โดยผลการพล็อต velocity contour ดังในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่ปล่องและมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านปล่อง ซึ่งสามารถสังเกตการเพิ่มขึ้นของความเร็วได้จากสีที่ถูกพล็อตบนรูป และผลการพล็อต temperature contour ดังในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัมผัสกับผนังปล่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจากผนังปล่องสู่น้ำ และในขณะเดียวกันน้ำที่อยู่บริเวณตรงกลางปล่องจะมีอุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่น้ำไปไม่ถึง และเมื่อน้ำเคลื่อนไปยังบริเวณทางออกจะ

สังเกตเห็นว่า น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งเป็นอิทธิพลมาจากการสะสมความร้อนของน้ำเมื่อเคลื่อนที่ผ่านปล่อง



รูปที่ 4.7 Velocity contour ของระบบที่ทำการตรวจสอบ



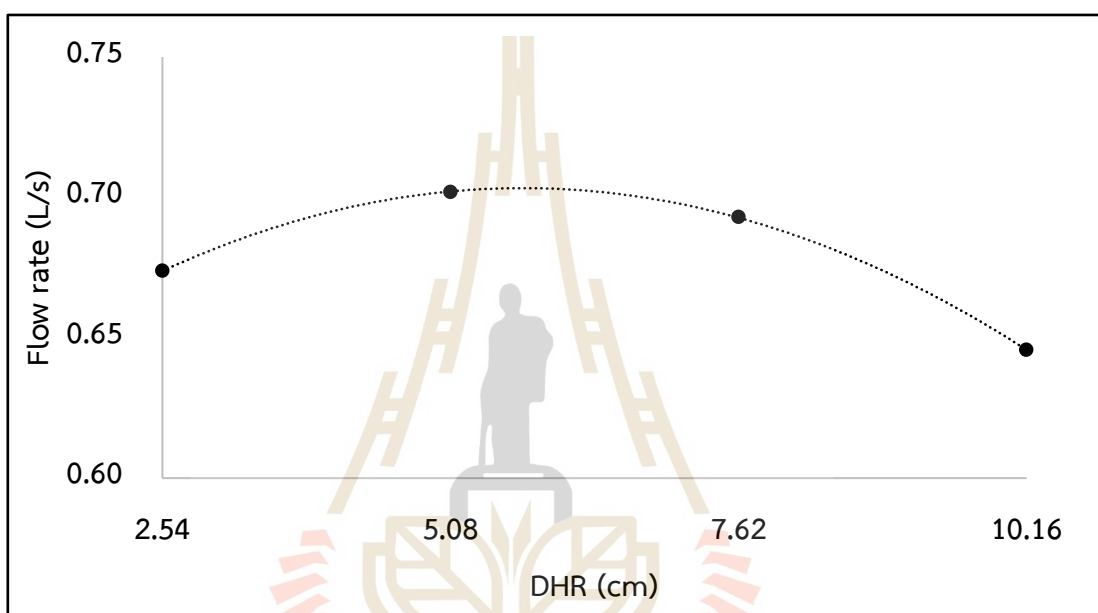
รูปที่ 4.8 Temperature contour ของระบบที่ทำการตรวจสอบ

4.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการจำลองระบบ SCWAS ที่ดำเนินการในโปรแกรม ANSYS Fluent ทั้งนี้เพื่อหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบ SCWAS ต้นแบบ โดยผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังนี้

4.2.1 การศึกษาขนาดและระยะการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อน

การศึกษาในหัวข้อนี้ประกอบไปด้วย การศึกษาเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งนำความร้อน (D_{HR}) และการศึกษาอิทธิพลความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน โดยในการศึกษานี้รูปทรงระบบรวมไปถึงความยาวของแท่งนำความร้อนมีขนาดตามค่าเริ่มต้น (Initial value) ที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.4 ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะฉนวนที่ถูกหุ้มบนแท่งนำความร้อนจะเปลี่ยนแปลงตามการศึกษานั้น โดยผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้



รูปที่ 4.9 อัตราการไหลเวียนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งนำความร้อน

จากรูปที่ 4.9 เป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งนำความร้อน (D_{HR}) ตั้งแต่ 2.54 เซนติเมตร ไปจนถึง 10.16 เซนติเมตร จากรูปพบว่าอัตราการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่ D_{HR} อยู่ระหว่าง 2.54 ถึง 5.08 เซนติเมตร และหลังจากนั้น D_{HR} มีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากขนาดของ D_{HR} ที่ใหญ่ขึ้นจะไปขัดขวางการไหลของน้ำภายในปล่องให้ไหลยากขึ้นในขณะที่ปล่องมีขนาดเท่าเดิม ดังนั้นขนาด D_{HR} ที่เหมาะสมสำหรับขนาดรูปทรงนี้คือ 5.08 เซนติเมตร และ D_{HR} ที่เหมาะสมนี้จะถูกนำไปใช้ในการจำลองถัดไปเพื่อศึกษาอิทธิพลความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลเวียนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน

L_{sul} (m)	L_{HR} (m)	Flow rate (L/s)	Ratio
0.00	0.70	0.21	1
0.05	0.65	0.26	1.18
0.15	0.55	0.28	1.30
0.25	0.45	0.31	1.44
0.35	0.35	0.36	1.64
0.40	0.30	0.39	1.79
0.44	0.26	0.42	1.93
0.50	0.20	0.45	2.08
0.60	0.10	0.53	2.47
0.65	0.05	0.62	2.85
0.675	0.025	0.60	2.79

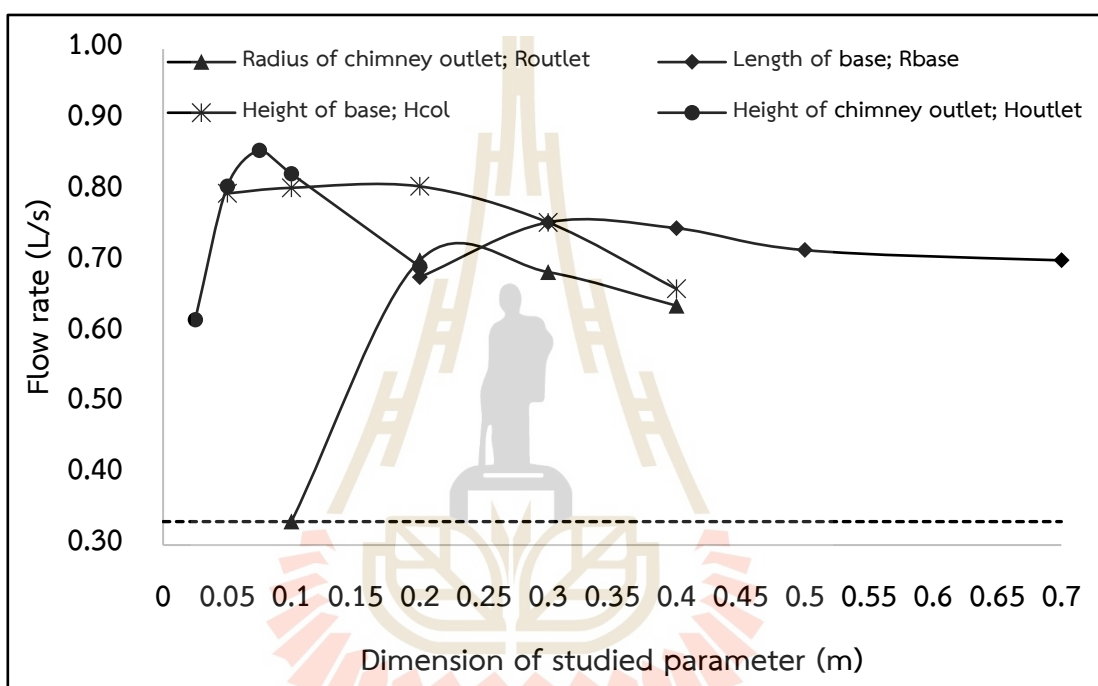
หมายเหตุ: การจำลองนี้ H_{outlet} เท่ากับ 0.05 เมตร และ L_{total} เท่ากับ 0.70 เมตร

ตารางที่ 4.1 เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน (L_{sul}) ที่ความยาวของ Central rod เท่ากับ 0.70 เมตร และความยาวของ Heating rod ที่สัมผัสกับน้ำ เท่ากับ L_{HR} ซึ่งเป็นระยะที่ผกผันกับ L_{sul} จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า การที่ L_{sul} เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟลักซ์ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ L_{HR} ลดลง (ซึ่งเป็นระยะที่ผกผันกับ L_{sul}) และการที่ฟลักซ์ความร้อนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดแรงลอยตัวได้ดีขึ้นตามการประมาณการของ Boussinesq อย่างไรก็ตาม อัตราการไหลเวียนจะมากที่สุดเมื่อ L_{sul} เท่ากับ 0.65 เมตร และมี L_{HR} เท่ากับ 0.05 เมตร หลังจากนั้นอัตราการไหลเวียนจะเริ่มลดลงเมื่อ L_{sul} เพิ่มมากกว่านี้ นั่นหมายความว่า L_{HR} ที่น้อยมาก ๆ จะส่งผลให้อัตราการไหลเวียนลดลงได้ถึงแม้ว่าฟลักซ์ความร้อนจะมากขึ้นก็ตาม นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นถึง 2.85 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีฉนวนบนแท่งนำความร้อน ดังนั้น ระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งฉนวนความร้อนคือ 0.65 m และมีระยะที่สัมผัสกับน้ำเท่ากับ 0.05 เมตร

4.2.2 การศึกษาขนาดของรูปทรง

สำหรับการศึกษาในหัวข้อนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรง ซึ่งประกอบไปด้วย รัศมีทางออกปล่อง (R_{outlet}), ระยะฐาน (R_{base}), ความสูงหลังคา (H_{co}) และความสูงทางออก (H_{outlet}) โดยในการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_{RH}) และความยาวฉนวน

บนแท่งนำความร้อน (L_{su}) มีขนาดคงที่ เท่ากับ 5.08 เซนติเมตร และ 0.65 เมตร ตามลำดับ และใน ส่วนของขนาดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 โดยในการจำลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาไปที่ละตัว เพื่อ ค้นหาขนาดที่ดีที่สุดสำหรับพารามิเตอร์ตัวนั้น และทำการอัปเดตเป็นขนาดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ ตัวนั้นเพื่อใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ตัวถัดไป (สามารถดูวิธีดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมได้ในหัวข้อ 3.1.3.4) โดยผลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อิทธิพลขนาดของรูปทรงที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน

รูปที่ 4.10 เป็นอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูปทรง โดยมีพารามิเตอร์ 4 ตัวที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังนี้

จากการเปลี่ยนแปลงรัศมีทางออกปล่อง (R_{outlet}) ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.4 เมตร พบว่า อัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 0.1 ถึง 0.2 เมตร และลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 เมตร ฉะนั้น R_{outlet} ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้คือ 0.2 เมตร เนื่องจากให้อัตราการไหลเวียนมากที่สุด และให้รูปทรงมีลักษณะเป็นปล่องบาน และจากการเปรียบเทียบกับกรณีอ้างอิง ที่ R_{outlet} เท่ากับ 0.1 เมตร ซึ่งเป็นรูปทรงปล่องตรง พบว่าอัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นถึง 2.08 เท่า ดังนั้น เพื่อให้ได้ อัตราการไหลเวียนที่เพิ่มขึ้นปล่องควรมีลักษณะบานออก และบานในสัดส่วนที่เหมาะสม

จากการเปลี่ยนแปลงระยะฐาน (R_{base}) ตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.5 เมตร พบว่าอัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นในช่วง 0.2 ถึง 0.3 เมตร และเริ่มลดลงเมื่อ R_{base} มากกว่า 0.3 เมตร ดังนั้น R_{base} ที่เหมาะสมสำหรับรูปทรงนี้คือ 0.3 เมตร และให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นถึง 2.27 เมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิงที่ R_{base} เท่ากับ 0.7 เมตร

จากการเปลี่ยนแปลงความสูงหลังคา (H_{col}) ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.4 เมตร พบว่าอัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความสูงหลังคาเพิ่มขึ้นจาก 0.05 เป็น 0.2 เมตร และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงหลังคาเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ถึง 0.4 เมตร ฉะนั้นสามารถกล่าวได้ว่า H_{col} ที่เพิ่มมากเกินไปไม่ส่งผลดีต่ออัตราการไหลเวียน ดังนั้น H_{col} ที่เหมาะสมสำหรับรูปทรงนี้คือ 0.2 เมตร และให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นถึง 2.42 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิงที่ H_{col} เท่ากับ 0.3 เมตร

จากการเปลี่ยนแปลงความสูงทางออก (H_{outlet}) ตั้งแต่ 0.025 ถึง 0.2 เมตร พบว่าอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 0.025 ถึง 0.075 เมตร และลดลงในช่วง 0.075 ถึง 0.2 เมตร ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าความสูงทางออกมีผลต่ออัตราการไหลเป็นอย่างมาก สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะที่ความสูงทางออกเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้น H_{outlet} ที่เหมาะสมสำหรับรูปทรงนี้คือ 0.075 เมตร และให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้น 2.57 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิงที่ H_{outlet} เท่ากับ 0.05 เมตร

จากการเปลี่ยนขนาดของพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวที่เกี่ยวข้องกับรูปทรง พบว่าขนาดของพารามิเตอร์มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้น โดยแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงท้าย เนื่องจากพบขนาดที่เหมาะสมของตนเองแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการอัปเดตค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวนั้นเพื่อใช้ในการจำลองพารามิเตอร์ตัวถัดไป โดยในการศึกษานี้ขนาดของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรูปทรงคือ R_{outlet} เท่ากับ 0.2 เมตร, R_{base} เท่ากับ 0.3 เมตร, H_{col} เท่ากับ 0.2 เมตร และ H_{outlet} เท่ากับ 0.075 เมตร ซึ่งให้อัตราการไหลเวียนเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อวินาที และเพิ่มขึ้นถึง 2.57 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิง และเป็นที่น่าสังเกตสำหรับขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} เป็น 0.1, 0.2 และ 0.3 เมตร ตามลำดับ และหากคิดเป็นสัดส่วนจะได้ 1 : 2 : 3 ซึ่งถือเป็นสัดส่วนที่ดีสำหรับพารามิเตอร์ทั้ง 3 นี้

4.2.3 การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน

หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน เพื่อตรวจสอบดูว่ารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนแบบใดเหมาะสมที่จะถูกติดตั้งในระบบ SCWAS โดยรูปแบบที่เหมาะสมได้พิจารณาจากอัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบการติดตั้งแท่งนำความร้อน 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วย Central rod, With rod top และ With fin (สามารถดูรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนทั้ง 3 พร้อมคำอธิบายเพิ่มเติมได้ในหัวข้อ

ที่ 3.1.3.4) สำหรับขนาดของรูปทรงที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำการจำลองในการศึกษานี้ได้รับมาจากค่าที่เหมาะสมจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2.2 และในส่วนของแท่งนำความร้อนทั้ง 3 รูปแบบได้ใช้ขนาดตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.7 และผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการไหลเวียนจากการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ

Model	Flow rate (L/s)	Ratio
Central Rod	0.6186	1.00
With Rod Top	0.4953	0.80
With Fin	0.7042	1.14

จากการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนทั้ง 3 ที่ปรากฏในตารางที่ 4.2 พบว่ารูปแบบที่ให้อัตราการไหลเวียนมากที่สุดคือ With fin รองลงมาคือ Central rod และรูปแบบที่เป็น With rod top ให้อัตราการไหลเวียนต่ำสุด จากผลชี้ให้เห็นว่าหากติดตั้งแท่งนำความร้อนที่มี fin ร่วมด้วย (With fin) จะให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นจากเดิมในกรณีที่มีเพียง Central rod อย่างเดียวถึง 1.14 เท่า และหากติดตั้งแท่งนำความร้อนเพิ่มเข้ามาล้อมรอบ Central rod (With rod top) จะให้อัตราการไหลเวียนลดลง และเมื่อเทียบกับกรณีดั้งเดิมที่มีเพียง Central rod อย่างเดียว พบว่าอัตราการไหลเวียนลดลงเหลือเพียง 0.80 เท่า ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งแท่งนำความร้อนภายในระบบ SCWAS คือ With fin ซึ่งเป็นรูปแบบที่ให้อัตราการไหลเวียนสูงสุดจากการศึกษานี้

4.2.4 อิทธิพลของรูปทรงตามแนวระนาบ

หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการขยายรูปทรงในแนวระนาบด้วยขนาดต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบระหว่าง Central rod กับ With fin ซึ่งเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการศึกษาเริ่มต้นกับรูปแบบที่ดีที่สุดที่ได้รับจากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา โดยในการศึกษานี้ได้ทำการขยายขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} ด้วยสัดส่วน 1 : 2 : 3 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ได้รับจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2.2 และขนาดของพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงได้รับมาจากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2.2 ด้วยเช่นกัน แต่ไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาด เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงในแนวตั้ง สำหรับผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลเวียนจากการขยายรูปทรงในแนวระนาบด้วยขนาดต่าง ๆ

No.	R_{inlet} (m)	R_{outlet} (m)	R_{base} (m)	Flow rate (L/s)	
				Central rod	With fin
1	0.10	0.20	0.30	0.86	0.92
2	0.15	0.30	0.45	1.04	1.30
3	0.20	0.40	0.60	1.20	1.77
4	0.25	0.50	0.75	1.33	2.24

จากการขยายรูปทรงตามแนวระนาบด้วยขนาดต่าง ๆ ที่มีสัดส่วนของ $R_{inlet} : R_{outlet} : R_{base}$ เป็น 1 : 2 : 3 พบว่าเมื่อรูปทรงขยายใหญ่ขึ้นจะให้อัตราการไหลเวียนสูงขึ้นทั้ง 2 รูปแบบ และรูปแบบที่เป็น With fin ยังคงให้อัตราการไหลเวียนที่สูงกว่ารูปแบบที่มีเพียง Central rod อย่างเดียว โดย With fin ให้อัตราการไหลเวียนสูงถึง 2.24 ลิตรต่อวินาที และ Central rod ให้อัตราการไหลเวียนเท่ากับ 1.33 ลิตรต่อวินาที ฉะนั้นสามารถกล่าวได้ว่า การที่ระบบ SCWAS มีขนาดใหญ่ขึ้นตามแนวระนาบเป็นผลดีต่อการไหลเวียนของน้ำภายในบ่อ อย่างไรก็ตาม การที่ขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} เพิ่มมากขึ้นยังหมายถึงการใช้วัสดุในการสร้างที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นในการสร้างระบบ SCWAS ต้นแบบจึงได้เลือกขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} ที่บรรลุอัตราการไหล 1 ลิตรต่อวินาที ซึ่งจากผลชี้ให้เห็นว่าหากเลือกขนาดในลำดับที่ 2 จะทำให้ได้อัตราการไหลเวียนมากกว่า 1 ลิตรต่อวินาที และเป็นขนาดที่ไม่ใหญ่จนเกินไป และหากเพิ่ม Fin เข้าไปบน Central rod ยังสามารถเพิ่มอัตราการไหลเวียนได้ถึง 1.30 ลิตรต่อวินาที ดังนั้นในการสร้างระบบ SCWAS จึงได้เลือกใช้ขนาดของ R_{inlet} , R_{outlet} และ R_{base} เป็น 0.15, 0.30 และ 0.45 ตามลำดับ

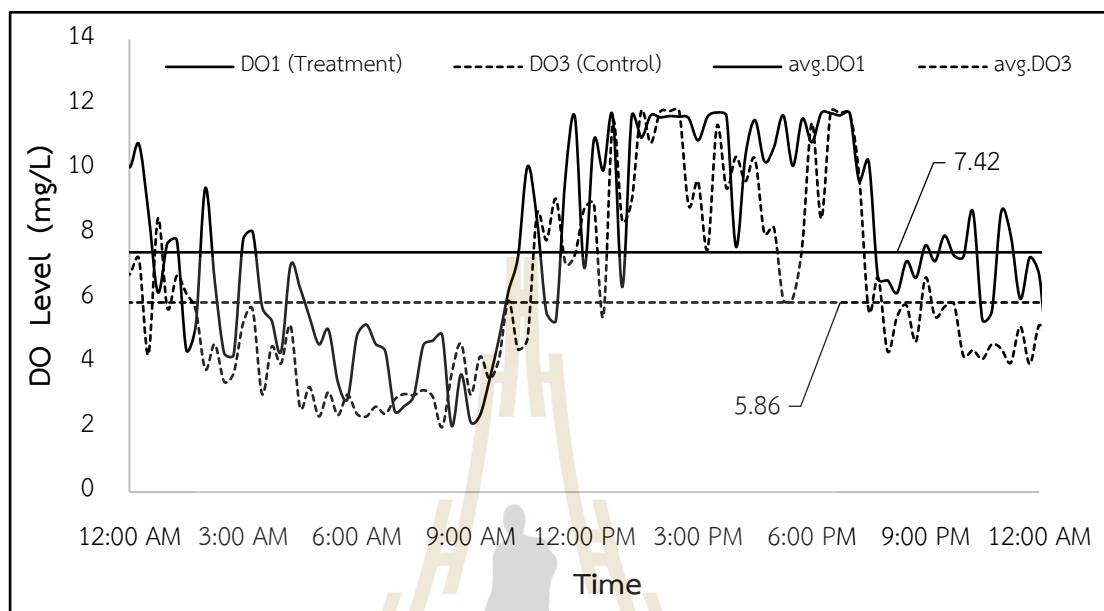
4.3 ผลการทดสอบระบบ SCWAS ต้นแบบกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล

หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการทดสอบระบบ SCWAS ต้นแบบ จากการนำระบบที่สร้างขึ้นไปทดสอบร่วมกับการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นระยะเวลา 5 เดือน และทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยที่ได้เป็นดังนี้

4.3.1 การทดสอบระบบ SCWAS ในบ่อที่ไม่มีปลานิล

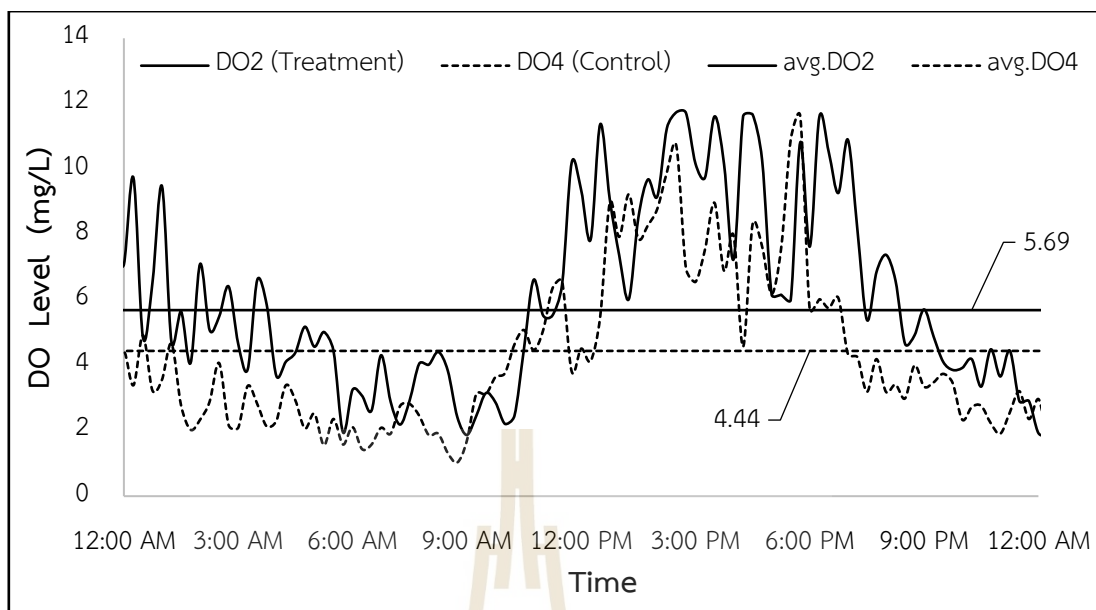
การทดลองนี้ได้ดำเนินการในวันที่ 9 มิถุนายน 2561 โดยนำระบบ SCWAS พร้อมชุดบันทึกข้อมูลไปติดตั้งในบ่อชั่วคราวที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงปลานิล เพื่อทำการตรวจสอบเบื้องต้นก่อน

นำลงไปติดตั้งในบ่อเพาะเลี้ยงจริง และจุดค่า DO ระหว่างตำแหน่ง Treatment และ Control ห่างกันเท่ากับ 3 เมตร โดยผลจากการตรวจสอบค่า DO ของน้ำชั้นบนแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ของน้ำชั้นบนสำหรับบ่อชั่วคราว

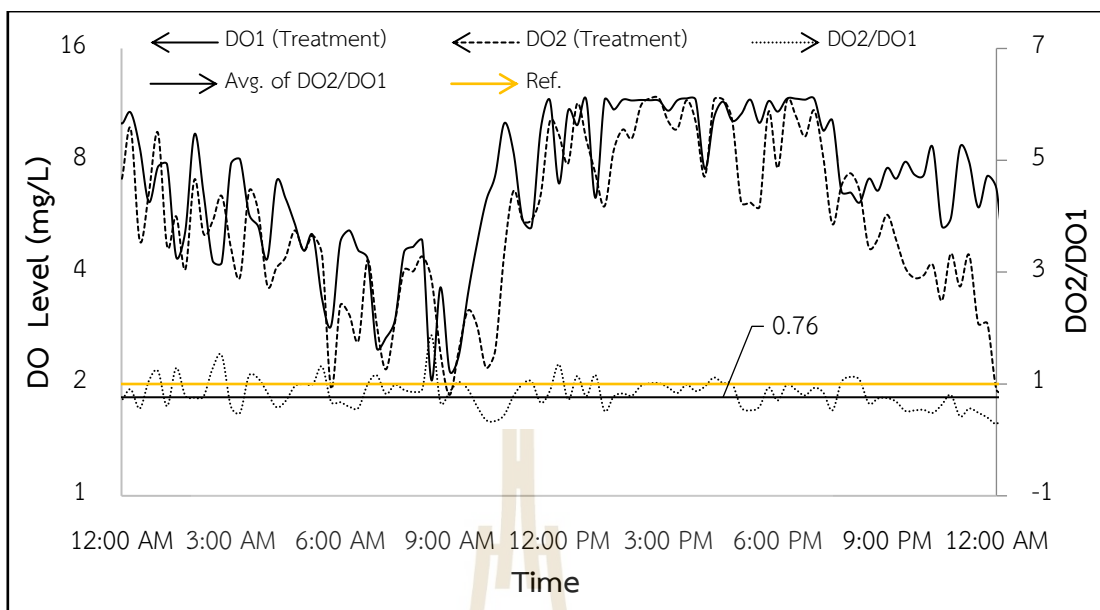
รูปที่ 4.11 เป็นการแสดงค่า DO ของน้ำชั้นบนในรอบ 1 วัน โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 00.00 น. ไปจนถึง 00.00 น. ของวันถัดไป จากรูปสังเกตเห็นว่า ค่า DO มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยค่า DO จะเริ่มลดลงหลังจากเวลา 00.00 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเวลา 9.00 น.จากนั้นค่า DO จะค่อนข้างคงที่ในช่วง 12.00 น. ไปจนถึง 18.00 น. และหลังจากนั้นค่า DO จะเริ่มลดลงอีกครั้ง ซึ่งแนวโน้มที่ปรากฏนี้ได้รับอิทธิพลมาจากความเข้มแสงแดดที่ส่งผลให้ค่า DO เพิ่มขึ้นหลังจากเวลา 9.00 น. และลดลงหลังจาก 18.00 น. จากการเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control พบว่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment มีค่าสูงกว่า ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ตำแหน่ง Control มีค่าเฉลี่ยของ DO ทั้งวันเท่ากับ 5.86 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ของน้ำชั้นล่างสำหรับบ่อชั่วคราว

รูปที่ 4.12 เป็นการแสดงค่า DO ในรอบ 1 วันระหว่างตำแหน่ง Treatment และ Control เช่นเดียวกับรูปที่ 4.11 แต่เป็นการเปรียบเทียบที่น้ำชั้นล่าง จากรูปแสดงให้เห็นว่าแนวโน้ม DO ของน้ำชั้นล่างมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำชั้นบน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของบ่อที่ส่งผลให้ DO ที่ตำแหน่งวัดเดียวกัน ณ. เวลาเดียวกันมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน และจากรูปยังพบว่า ค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment มีค่าสูงกว่าตำแหน่ง Control ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.69 และ 4.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบค่า DO โดยเฉลี่ยของน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างที่ตำแหน่ง Treatment และ Control พบว่า ค่า DO ของน้ำชั้นล่างมีค่าต่ำกว่าน้ำชั้นบน ซึ่งเป็นผลมาจากการลดทอนความเข้มแสงแดดเมื่อน้ำมีความลึกมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าค่า DO โดยเฉลี่ยที่น้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างมีค่าแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ตำแหน่ง Treatment มีความแตกต่างเท่ากับ 1.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ตำแหน่ง Control มีความแตกต่างเท่ากับ 1.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลจากการเปรียบเทียบทางสถิติยังชี้ให้เห็นว่า DO ที่น้ำชั้นล่างของทั้ง 2 ตำแหน่ง มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำชั้นบน ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่าระบบ SCWAS ช่วยเพิ่มค่าออกซิเจนให้กับน้ำชั้นล่างได้ นอกจากนี้ยังพบว่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment มีค่าเป็น 1.40 เท่าของตำแหน่ง Control

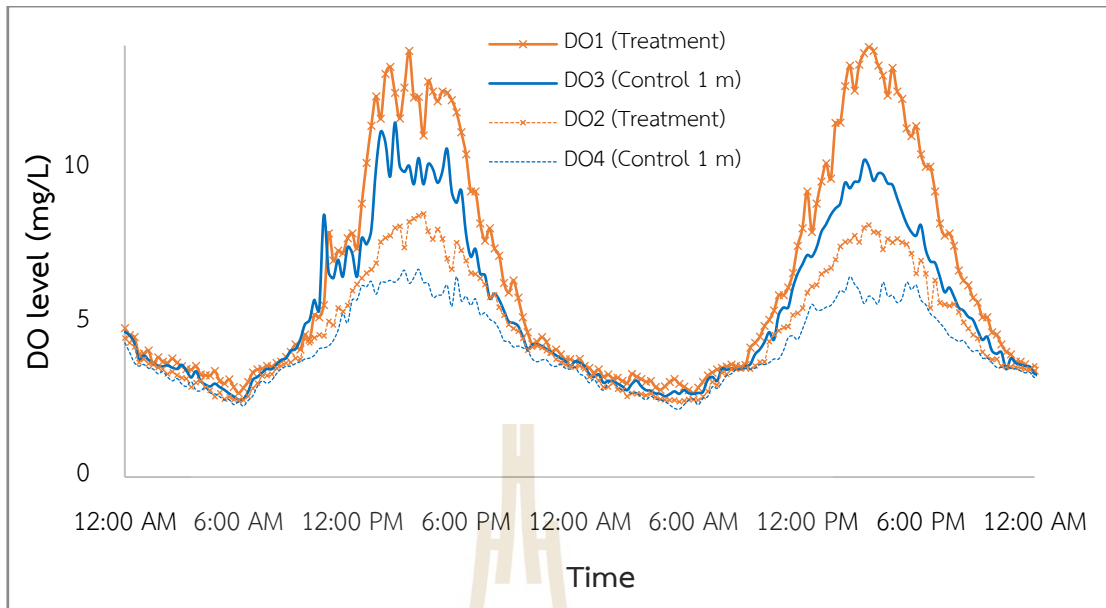


รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment ทั้ง 2 ระดับสำหรับบ่อชั่วคราว

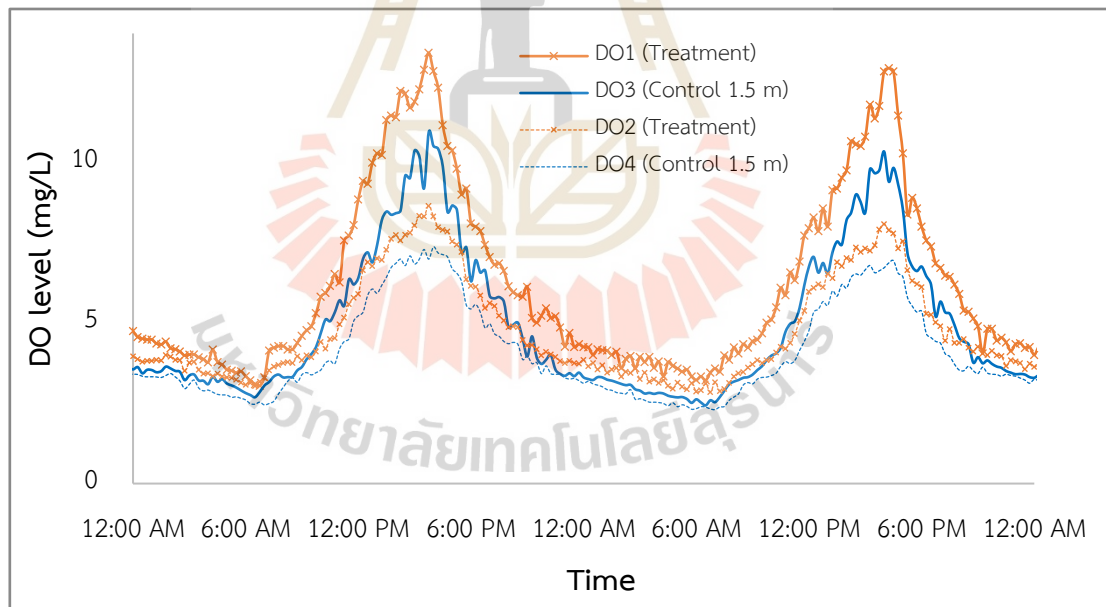
รูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment ซึ่งแสดงเป็นสัดส่วนระหว่างน้ำชั้นล่างและน้ำชั้นบน (DO_2/DO_1) จากรูปพบว่า ค่าเฉลี่ยของ DO_2/DO_1 เท่ากับ 0.76 ซึ่งเข้าใกล้ค่าอ้างอิงที่ 1 สามารถกล่าวได้ว่า ระบบ SCWAS สามารถเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่น้ำชั้นล่างให้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำชั้นบนได้ และหากมองอีกแง่หนึ่งระบบนี้สามารถนำออกซิเจนที่มีอยู่มากจากน้ำชั้นบนบ่อลงมายังน้ำชั้นล่างของบ่อได้ จนทำให้ค่า DO ทั้ง 2 ระดับใกล้เคียงกัน

4.3.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SCWAS กับบ่อเพาะเลี้ยงปลา

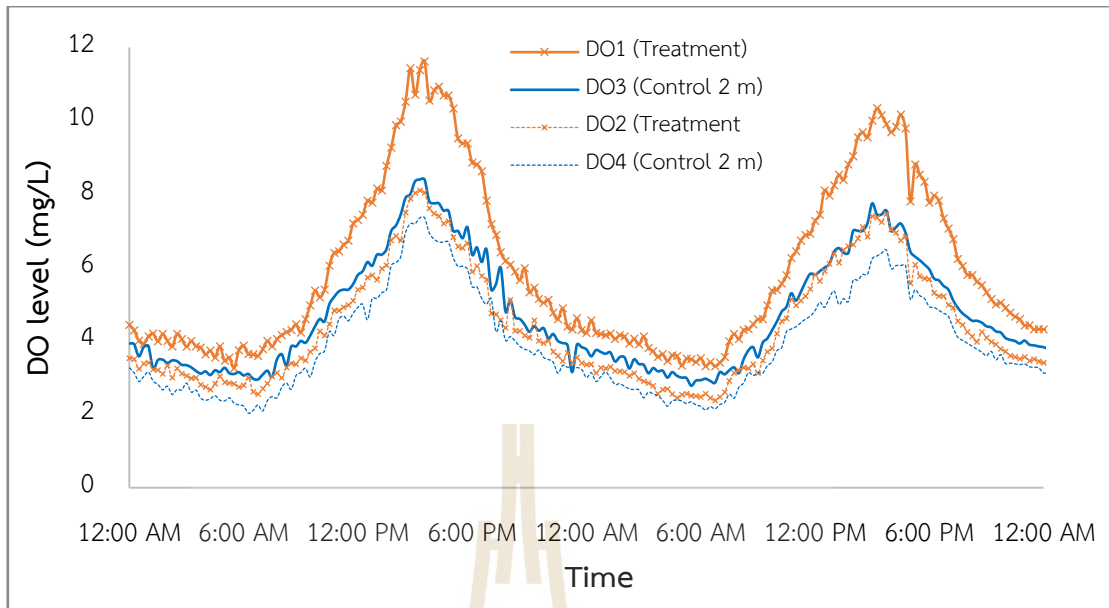
หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ SCWAS ในบ่อทดลองที่มีการเพาะเลี้ยงปลา โดยการตรวจสอบได้ดำเนินการวัดค่า DO ที่ตำแหน่ง Control เปรียบเทียบกัน 3 ระยะ ประกอบไปด้วย 1 เมตร, 2 เมตร และ 3 เมตร โดยผลที่จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ



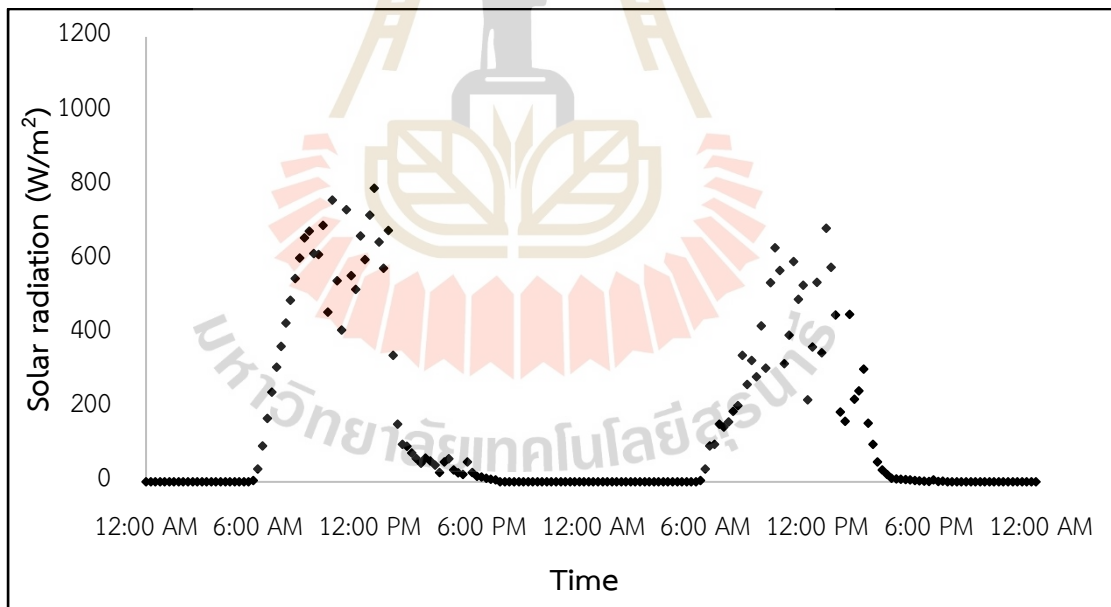
รูปที่ 4.14 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 1 เมตร



รูปที่ 4.15 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 เมตร



รูปที่ 4.16 การตรวจสอบค่า DO ที่ระยะ Control เท่ากับ 2 เมตร



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงแดดในวันที่ทำการทดลอง

รูปที่ 4.14 ถึง 4.16 เป็นการแสดงค่า DO รอบ 2 วันในบ่อดทดลองที่ทำการเพาะเลี้ยงปลาไนล์ ซึ่งทำการแสดงค่า DO ทั้ง 4 จุด โดยตำแหน่ง Treatment ประกอบไปด้วย DO1 และ DO2 ตำแหน่ง Control ประกอบไปด้วย DO3 และ DO4 ซึ่ง DO1 และ DO3 เป็นจุดวัดที่ระดับน้ำชั้นบน ส่วน DO2 และ DO4 เป็นจุดวัดที่ระดับน้ำชั้นล่าง

จากรูปที่ 4.14 ถึง 4.16 พบว่าแนวโน้มของ DO เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีการลดลงหลัง 00.00 น. และเพิ่มขึ้นในเวลา 6.00 น. โดยมีความมากที่สุดเมื่อเวลาประมาณ 15.00 น. และหลังจากนั้นจะเริ่มลดลงอีกครั้ง และเพิ่มขึ้นในช่วง 6.00 น. ของวันถัดไป ซึ่งแนวโน้มของ DO นี้จะสอดคล้องกับพฤติกรรมความเข้มแสงแดดในรอบวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.17

เพื่อทำการตรวจสอบรัศมีการไหลเวียนของน้ำจากการใช้ระบบ SCWAS ในการเพาะเลี้ยงปลาไนล์ ได้ทำการหาค่า DO โดยเฉลี่ยของทั้ง 3 ระยะที่ถูกควบคุมมาเปรียบเทียบกัน โดยผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า DO โดยเฉลี่ยที่ระยะควบคุมต่าง ๆ ที่ทำการตรวจรัศมีการไหลเวียน

ตำแหน่งการวัด DO	ระดับที่วัด	ระยะ Control ที่ทำการตรวจสอบ		
		1 เมตร	1.5 เมตร	2 เมตร
DO1 (Treatment)	Top layer	6.45	6.24	5.96
DO2 (Treatment)	Bottom layer	4.78	4.76	4.39
DO3 (Control)	Top layer	5.47*	4.98	4.74
DO4 (Control)	Bottom layer	4.20*	4.08	3.91

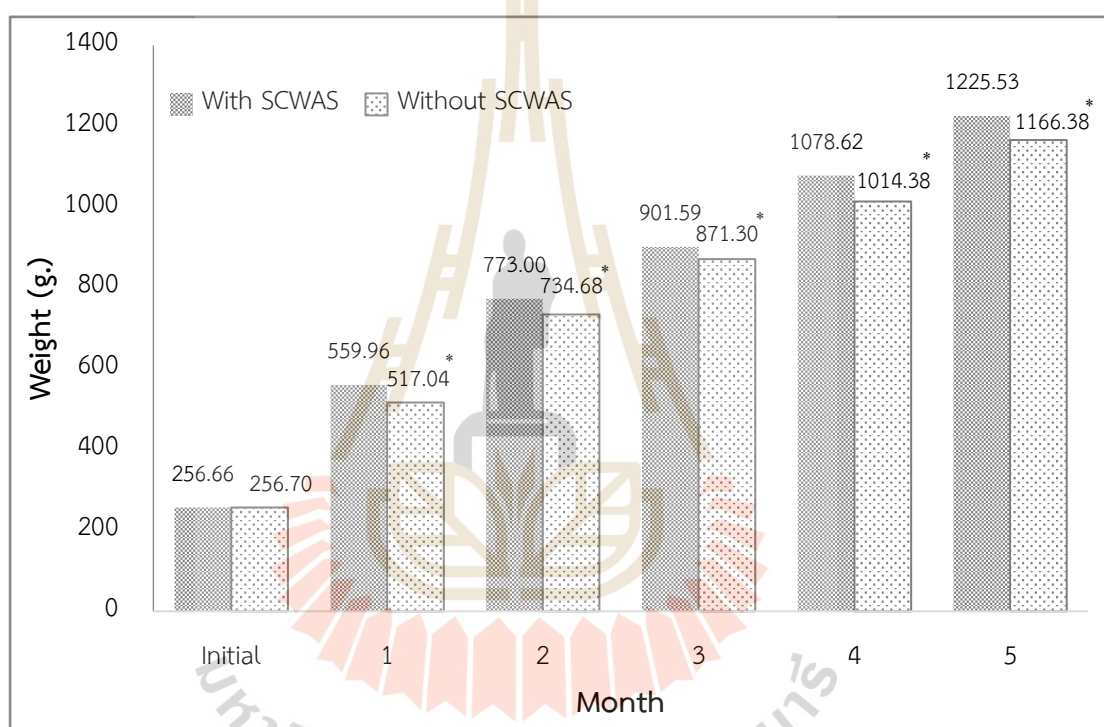
หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า DO โดยเฉลี่ยจะลดลงเมื่อระยะ Control ห่างออกไป อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองนี้สังเกตเห็นว่า ที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 เมตร มีค่า DO ใกล้เคียงกับระยะ Control เท่ากับ 2 เมตร แต่มีค่าที่แตกต่างจากรยะ Control เท่ากับ 1 เมตร อย่างเห็นได้ชัด และจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า DO1 และ DO2 ที่ระยะ Control ทั้ง 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ DO3 และ DO4 ที่ระยะ Control เท่ากับ 1 เมตร มีความแตกต่างจากรยะ Control เท่ากับ 1.5 และ 2 เมตร แต่ในขณะเดียวกันที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 เมตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับระยะ Control เท่ากับ 2 เมตร ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า รัศมีการทำงานของ

ระบบ SCWAS คือ 1.5 เมตร เนื่องจากเมื่อทำการควบคุมระยะ Control ออกไป 2 เมตร แล้วพบว่าค่า DO โดยเฉลี่ยแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงจากการได้รับอิทธิพลการทำงานจากระบบ SCWAS

4.3.3 การประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโต

หัวข้อนี้นำเสนอผลการประเมินสมรรถนะการเติบโตของปลานิลที่ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างบ่อทดลองที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ซึ่งนำหนักปลานิลโดยเฉลี่ยจากการสุ่มจับจำนวน 100 ตัวต่อบ่อ เพื่อนำไปประเมินผลแสดงดังรูปที่ 4.18



หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบน้ำหนักปลานิลโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่ทำการสุ่มจับจำนวน 100 ตัว ในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักปลานิลโดยเฉลี่ยในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS และมีความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$ จากผลการทดลอง 1 เดือนแรก พบว่าปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 256.66 กรัม เป็น 559.96 กรัม โดยเพิ่มขึ้นถึง 2.18 เท่า ในขณะที่บ่อเทียบเพิ่มขึ้นเพียง 2.01 เท่า และตลอดการเลี้ยงในระยะเวลา 5 เดือน พบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS ให้น้ำหนักปลานิลสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ

SCWAS ที่ความแตกต่างทางสถิติ $P < 0.05$ นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินสมรรถนะการเติบโตของปลาจากบ่อดอกทั้ง 2 แบบ และเปรียบเทียบผลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลของบ่อดอกที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อดอกที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง 5 เดือน

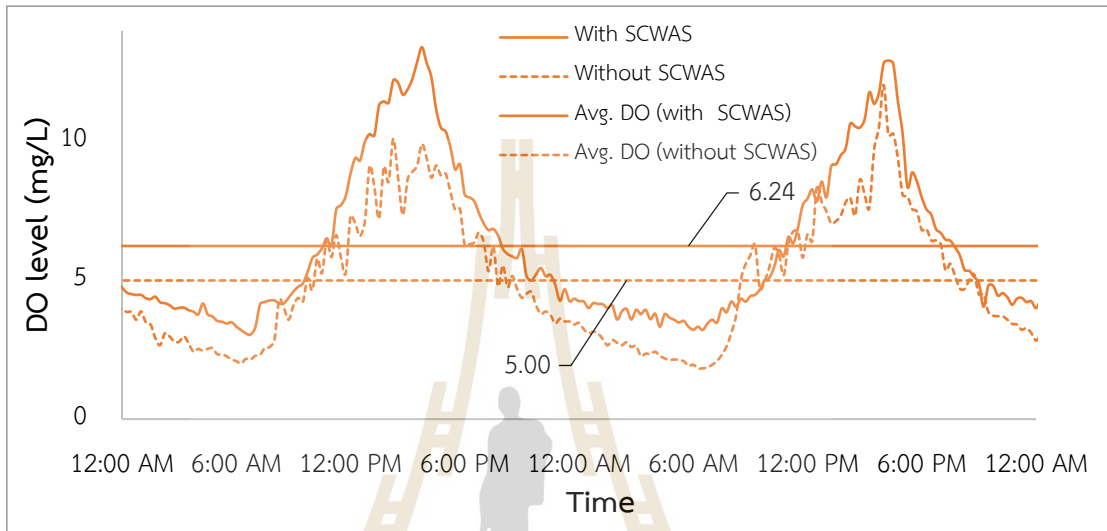
Parameter	Pond aeration		P-value
	With SCWAS	Without SCWAS	
Initial weight (g)	256.66± 4.42	256.70± 5.02	0.703
Final weight (g)	1225.53±76.23	1166.38±64.50	0.000*
Weight gain (g)	968.87±71.29	909.68±60.28	0.042*
Specific growth rate, SGR (%/day)	0.78±0.03	0.74±0.03	0.728
Daily growth rate, DGR (g/day)	5.70± 0.42	5.35± 0.35	0.041*
Feed conversion ratio, FCR	2.05± 0.15	2.15± 0.13	0.098
Feed efficiency, FE (%)	49.15± 3.61	46.15± 3.05	0.042*
Survival rate (%)	96.15	94.55	
Feed cost per kg FCR (Baht/kg)	24.60	24.32	

หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

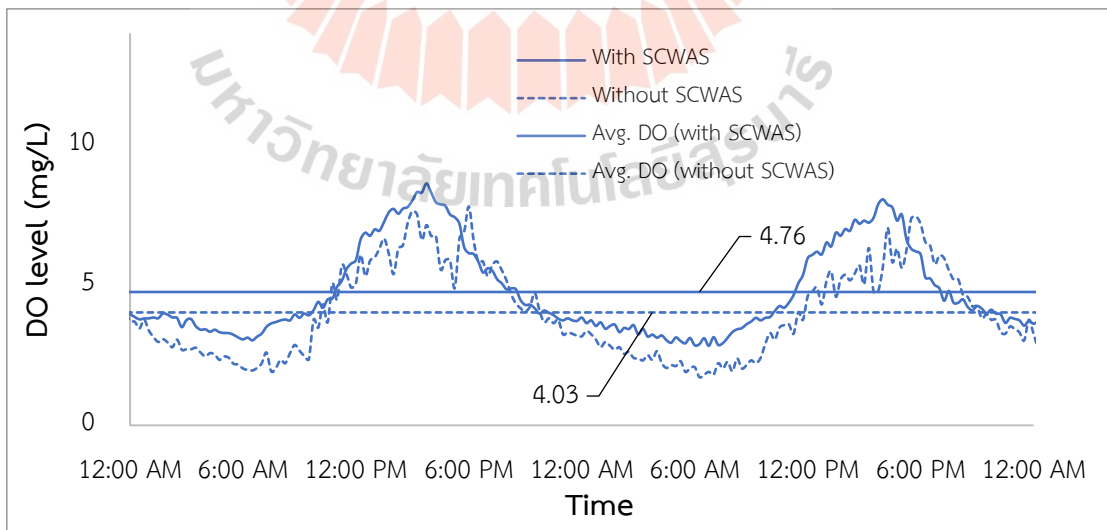
ตารางที่ 4.5 เป็นผลการประเมินสมรรถนะการเติบโตของปลานิลในบ่อดอกที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อดอกที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยผลการประเมินถูกแสดงเป็นค่า Mean ± SE ซึ่งเป็นผลจากตัวอย่างปลานิลที่สุ่มจับจำนวน 100 ตัว จากผลพบว่า บ่อดอกที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีสมรรถนะการเติบโตดีกว่าบ่อดอกที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ สำหรับ Final weight, Weight gain, DGR และ FE นอกจากนี้ยังพบว่า บ่อดอกที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีอัตราการรอดสูงกว่าบ่อดอกที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ อย่างไรก็ตาม แม้จะเห็นว่า Feed cost per kg ของบ่อดอกที่ติดตั้งระบบ SCWAS จะมีค่ามากกว่าบ่อดอกที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS แต่ค่านี้ถือว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4.3.4 การเปรียบเทียบออกซิเจนที่ละลายในน้ำภายในบ่อดูด

หัวข้อนี้นำเสนอผลการเปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำระหว่างบ่อดูดที่ตั้งระบบ SCWAS กับบ่อดูดที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS และทำการเปรียบเทียบค่า DO ทั้งระดับชั้นบนและน้ำชั้นล่าง โดยผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า DO ระหว่างบ่อดูดที่ตั้งระบบ SCWAS กับบ่อดูดที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับระดับน้ำชั้นบน

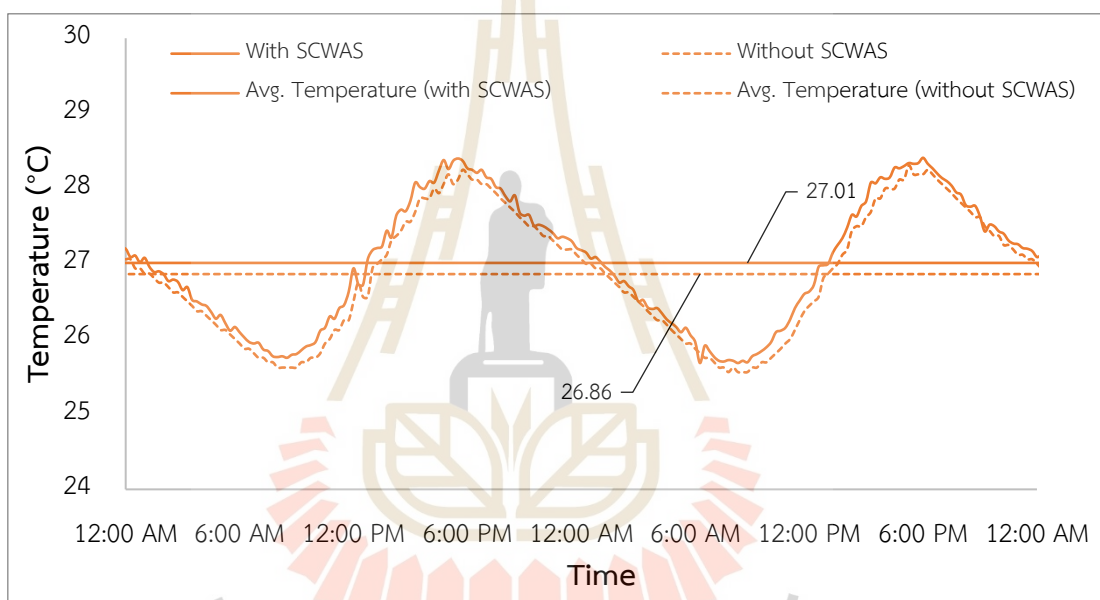


รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบ DO ระหว่างบ่อดูดที่ตั้งระบบ SCWAS กับบ่อดูดที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับระดับน้ำชั้นล่าง

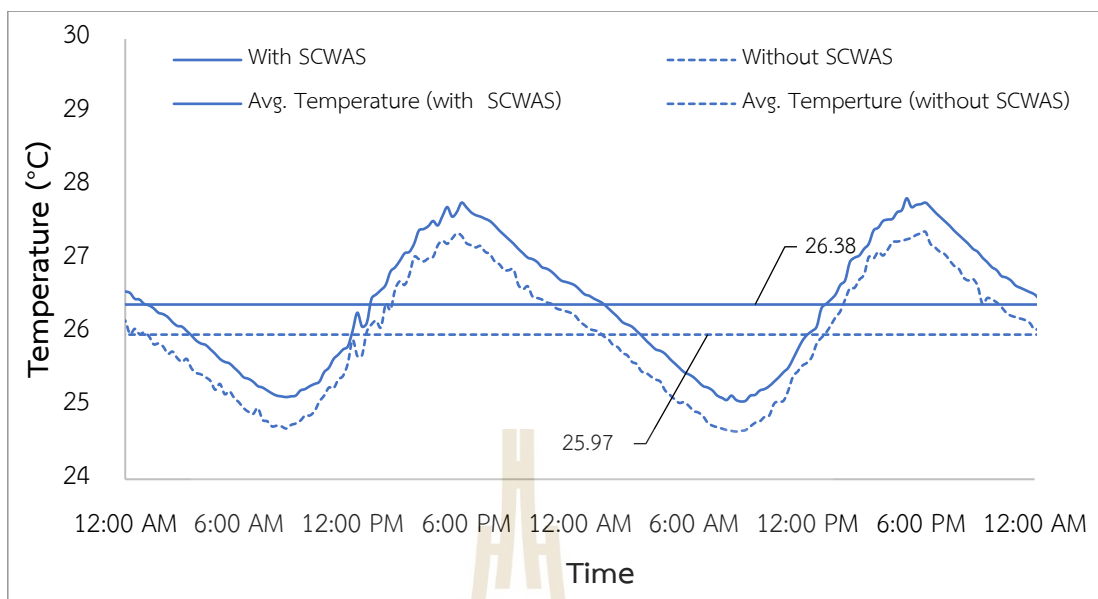
จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 พบว่า แนวโน้มของ DO มีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่า DO โดยเฉลี่ยแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่า ค่า DO โดยเฉลี่ยของบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่ามากกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ นอกจากนี้ยังพบว่า DO ที่น้ำชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตที่ดีของปลา

4.3.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำภายในบ่อทดลอง

ผลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่าง แสดงดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นบน



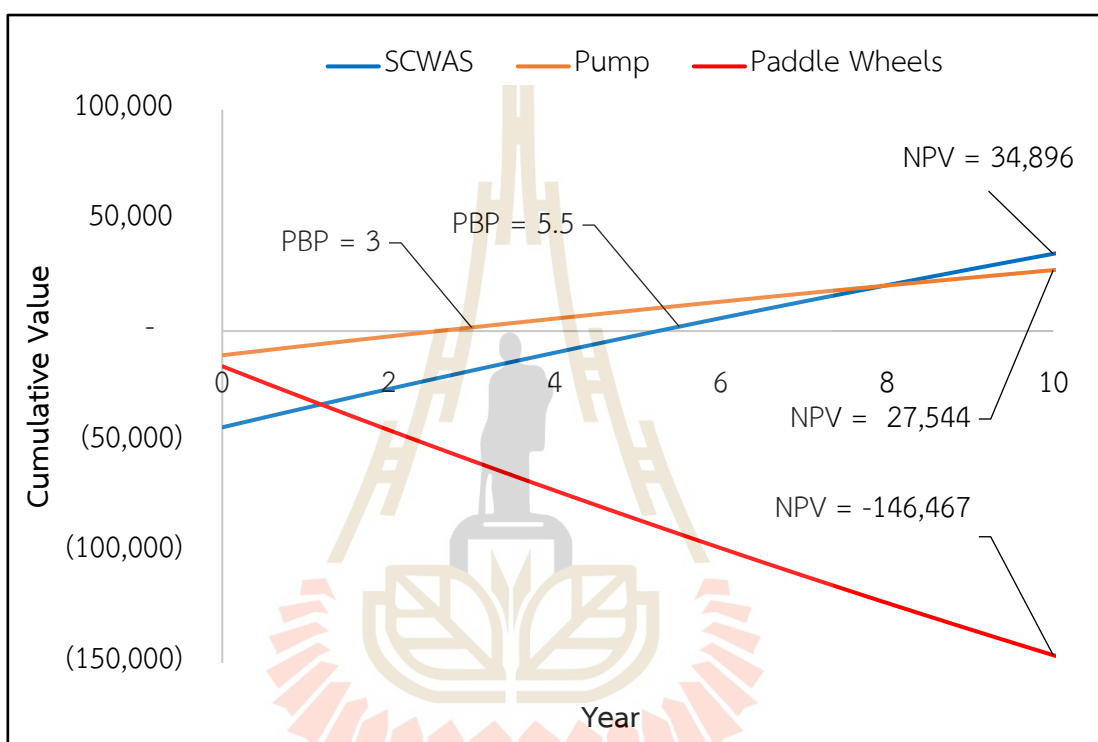
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS สำหรับน้ำชั้นล่าง

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่า แนวโน้มของอุณหภูมิมีลักษณะเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงแดดที่ตกกระทบผิวน้ำ โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงกลางวันอุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง และเริ่มลงเรื่อยๆ ในช่วงเย็น จากผลการทดลองเห็นว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยมีค่าเป็น 27.01 °C และ 26.86 °C สำหรับผิวน้ำชั้นบน และมีค่าเป็น 26.38 °C และ 25.97 °C สำหรับน้ำชั้นล่างตามลำดับ จากผลดังกล่าวพบว่า ที่ผิวน้ำชั้นบนของบ่อทดลองทั้ง 2 มีอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ในขณะเดียวกันที่ผิวน้ำชั้นล่างอุณหภูมิมีความแตกต่างกันมากกว่า เนื่องจากอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนของระบบ SCWAS สู่น้ำชั้นล่าง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS จะมีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS แต่ค่าอุณหภูมิน้ำยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา

จากการเปรียบเทียบค่า DO และอุณหภูมิน้ำระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS พบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS สามารถให้ค่า DO และอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาได้ทั้งระดับน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่าง และมีค่าที่ดีกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยค่า DO ของทั้ง 2 ระดับมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ ด้วย

4.4 ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

หัวข้อนี้นำเสนอผลจากการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของบ่อเพาะเลี้ยงปลา นิลที่ติดตั้งระบบ SCWAS และทำการเปรียบเทียบกับบ่อประเมินที่ติดตั้งปั๊มลม (Pump) และกังหันตีน้ำ (Paddle wheels) ซึ่งเป็นเครื่องเติมอากาศที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป โดยในการประเมินนี้ได้ทำการวิเคราะห์ PBP, NPV และ IRR ร่วมกัน ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การประเมิน PBP และ NPV สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลที่ติดตั้งระบบ SCWAS เทียบกับบ่อประเมินที่ติดตั้ง Pump และ Paddle wheels

จากรูปที่ 4.23 พบว่าบ่อเพาะเลี้ยงปลานิลที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีระยะเวลาคืนทุน (PBP) ช้ากว่าบ่อประเมินที่ติดตั้ง Pump ส่วนบ่อประเมินที่ติดตั้ง Paddle wheels ไม่สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า เมื่อสิ้นสุดโครงการบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS ให้กำไร (NPV) มากกว่าบ่อประเมินที่ถูกติดตั้งด้วย Pump และผลจากการประเมิน IRR แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การประเมินความเป็นไปได้ 4 แบบของบ่อที่ติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศที่แตกต่างกัน

รายการ	อุปกรณ์เติมอากาศ			
	SCWAS		Pump	Paddle wheels
	ต้นแบบ	เปลี่ยนวัสดุ		
Capital cost (Bath)	-43,500	-20,830	-10,934	-15,900
PBP (year)	5.5	2.5	3	-
NPV (Bath)	34,896	68,345	27,544	-146,467
IRR (%)	21.42	49.46	47.35	-
Saving cost (%)	-26	2	0	-

จากการวิเคราะห์ PBP, NPV และ IRR ร่วมกัน พบว่า บ่อประเมินที่ถูกติดตั้งด้วย Pump มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งด้วยระบบ SCWAS ต้นแบบ อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนวัสดุ ระยะเวลาคืนทุน (PBP) เร็วขึ้น กำไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ (NPV) เพิ่มขึ้น และส่งผลให้อัตราผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ (IRR) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าบ่อประเมินที่ถูกติดตั้งด้วย Pump และสามารถประหยัดต้นทุนได้ร้อยละ 2 ต่อปีเมื่อเทียบกับกรณีใช้ Pump ในการเติมอากาศ

ในกรณีที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS ต้นแบบ กับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS พบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบานสำหรับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล (Solar Circulating-Water Aeration System, SCWAS) เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการเลือกใช้งานระบบเติมอากาศเพื่อเพิ่มค่าออกซิเจนเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยงของตน จากผลการศึกษาดำเนินการจำลองในคอมพิวเตอร์ การทดลองระบบ SCWAS ต้นแบบกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล และการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดที่เป็นไปได้ของระบบ SCWAS ต้นแบบ โดยทำการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม ANSYS Fluent จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การจำลองเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งนำความร้อน (D_{HR}) ตั้งแต่ 2.54 ถึง 10.16 เซนติเมตร พบว่าอัตราการไหลเวียนของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 2.54 ถึง 5.08 เซนติเมตร และหลังจากนั้นอัตราการไหลมีค่าลดลง โดยพบว่าขนาด 5.08 เซนติเมตร ให้อัตราการไหลเวียนสูงสุดเท่ากับ 0.70 ลิตรต่อวินาที
- 2) ในการศึกษาเพื่อหาขนาดของรูปทรง พบว่าขนาดที่เหมาะสมสำหรับ รัศมีทางออกปล่อง (R_{out}), รัศมีฐาน (R_{base}), ความสูงหลังคา (H_{col}) และ ความสูงทางออกปล่อง (H_{outlet}) คือ 0.2, 0.3, 0.2 และ 0.075 เมตร ตามลำดับ ซึ่งให้อัตราการไหลเวียนเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อวินาที โดยเพิ่มขึ้นเป็น 2.57 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิง
- 3) จากการศึกษาพบว่า ระบบ SCWAS ที่ทำการออกแบบนี้มีสัดส่วนของ (R_{inlet}), (R_{outlet}) และ (R_{base}) ที่เหมาะสมคือ 1: 2: 3 ซึ่งเป็นสัดส่วนตามแนวระนาบ และอัตราการไหลสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการขยายรูปทรงตามแนวระนาบ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาจเพิ่มขึ้นตามขนาดของระบบที่ขยายใหญ่ขึ้น
- 4) จากการศึกษาเปรียบเทียบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่ต่างกัน 3 รูปแบบ พบว่า With fin เป็นรูปแบบที่ให้อัตราการไหลเวียนสูงสุด รองลงมาคือ Central rod และ With rod top ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ Central rod ซึ่งเป็นรูปแบบอ้างอิง พบว่า With fin สามารถให้อัตราการไหลเวียนสูงกว่า

โดยคิดเป็น 1.41 เท่า ส่วน With rod top ให้อัตราการไหลเวียนต่ำกว่าและคิดเป็น 0.80 เท่า

5.1.2 การทดสอบระบบ SCWAS ต้นแบบร่วมกับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ SCWAS ต้นแบบ โดยการนำระบบที่สร้างขึ้นไปทดสอบร่วมกับการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นระยะเวลา 5 เดือน และทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) จากการตรวจสอบรัศมีทำงานของระบบ SCWAS พบว่า ที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 และ 2 เมตร มีค่า DO โดยเฉลี่ยแตกต่างกันเล็กน้อยและไม่มี ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ แต่ที่ระยะ Control เท่ากับ 1.5 และ 1 เมตร พบว่า ค่า DO โดยเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ จากผลสามารถกล่าวได้ว่า รัศมีทำงานของระบบ SCWAS ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 1.5 เมตร
- 2) จากการทดลองพบว่า น้ำหนักปลานิลโดยเฉลี่ยในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ตลอดการเลี้ยงในระยะเวลา 5 เดือน และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$
- 3) จากการประเมินสมรรถนะการเติบโตของปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS เทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS พบว่า Final weight, Weight gain, DGR และ FE มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการรอดของปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่าเท่ากับ 96.15 เปอร์เซ็นต์
- 4) จากการเปรียบเทียบค่า DO พบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่า DO โดยเฉลี่ยสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS โดยในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่า DO โดยเฉลี่ยที่ระดับน้ำชั้นบนและชั้นล่างเท่ากับ 6.24 และ 4.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล
- 5) ในการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิในบ่อเพาะเลี้ยง พบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS ทั้ง 2 ระดับที่ทำการวัด อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยมีค่าเท่ากับ 27.01 และ 26.38 องศาเซลเซียส สำหรับระดับน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างตามลำดับ

5.1.3 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของบ่อเพาะเลี้ยงปลาที่ติดตั้งระบบ SCWAS เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้กับเกษตรกรหรือผู้ประกอบการที่สนใจ และทำการเปรียบเทียบกับบ่อประมงที่ติดตั้งปั๊มลม (Pump) และกังหันตึ้นน้ำ (Paddle wheels) โดยสรุปได้ดังนี้

- 1) จากการประเมินพบว่า บ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งระบบ SCWAS ต้นแบบ สามารถคืนทุนได้ภายใน 5.5 ปี มีกำไรหลังสิ้นสุดโครงการเท่ากับ 34,896 บาท ในขณะที่บ่อประมงที่ถูกติดตั้งด้วย Pump มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 3 ปี มีกำไรเมื่อสิ้นสุดโครงการเท่ากับ 27,544 บาท และบ่อประมงที่ถูกติดตั้งด้วย Paddle wheels ไม่สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาโครงการ
- 2) ในการประเมินหาอัตราผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ พบว่า บ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งด้วยระบบ SCWAS ต้นแบบ มี IRR ต่ำกว่าบ่อประมงที่ติดตั้งด้วย Pump อย่างไรก็ตาม IRR สามารถเพิ่มขึ้นได้ในกรณีเปลี่ยนวัสดุในการสร้าง Draft tube ซึ่งจะทำให้ IRR เปลี่ยนจาก 21.42 เป็น 49.46 เปอร์เซ็นต์ต่อปี โดยส่งผลต่อกำไรเมื่อสิ้นสุดโครงการให้เพิ่มขึ้นเป็น 68,345 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนลดลงเท่ากับ 2.5 ปี และสามารถประหยัดเงินลงทุนลงได้ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อปีเมื่อเทียบกับบ่อประมงที่ติดตั้งด้วย Pump

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) สำหรับผู้ที่สนใจนำระบบ SCWAS ไปใช้กับบ่อเพาะเลี้ยงของตนเอง สามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ด้วยการใช้ไม้ไผ่สานเป็นรูปทรงปล่อง Draft tube ทดแทนโครงของระบบต้นแบบที่ทำจากอลูมิเนียมได้ เนื่องจากส่วนนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของระบบ เป็นเพียงตัวช่วยนำกระแสการไหลเวียนเท่านั้น และหากต้องการเพิ่มกระแสการไหลเวียน ซึ่งจะทำให้ค่า DO เพิ่มขึ้นไปด้วย สามารถสร้างระบบให้ใหญ่ขึ้นตามแนวระนาบด้วยสัดส่วนของ R_{out} , R_{base} และ H_{col} เป็น 1: 2: 3 ส่วนความสูงของระบบจะขึ้นอยู่กับ การติดตั้งกระชัง โดยในการสร้างควรกำหนดให้ความสูงทางเข้ามีค่าเท่ากับ ความสูงจากก้นบ่อถึงก้นกระชัง และหากนำระบบนี้ใช้งาน ควรติดตั้งทุก ๆ 3 เมตร เพื่อรักษาระดับ DO ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ
- 2) เพื่อให้ระบบสามารถรับความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรทำความสะอาดกระจกที่ครอบด้านบนแผงรับแดดทุก ๆ สัปดาห์ เนื่องจากมักจะมีสิ่งสกปรกติดจากการใช้งานไประยะหนึ่ง และควรทาสีด้านบนแผงรับแดดที่ทำจากอลูมิเนียมทุก ๆ รอบการเพาะเลี้ยง

เนื่องจากจะเป็นตัวช่วยในการดูดซับพลังงานแสงแดด ทำให้ระบบสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและส่งผลไปยังค่า DO

- 3) สำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต ควรออกแบบระบบให้มีน้ำหนักเบาลงหรือขนาดเล็กลงแต่ยังคงมีความสามารถในการรักษาค่า DO ที่ดี เนื่องจากในระหว่างการติดตั้งระบบพบปัญหาในการเคลื่อนย้าย จำเป็นต้องใช้คนจำนวนมากเพราะระบบมีขนาดใหญ่ และหากระบบมีขนาดเล็กลงอาจจะส่งผลให้ค่าก่อสร้างลดลง ซึ่งเป็นผลดีกับผลประโยชน์ของผู้ที่นำระบบนี้ไปใช้งานในบ่อเพาะเลี้ยงของตนได้



รายการอ้างอิง

- กรมประมง. (19 มกราคม 2565). การเลี้ยงปลานิล. เข้าถึงได้จาก <https://www.fisheries.go.th/sf-naratiwas/nile.html>
- กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมงนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาประมง. (2562). สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2560. ไทย: กรมประมง.
- บริษัท เบทาโกร จำกัด มหาชน. (22 ธันวาคม 2563). คู่มือการเลี้ยงปลานิลและปลานิลเนื้อแดง. เข้าถึงได้จาก คู่มือการเลี้ยงปลานิลและปลานิลเนื้อแดง-batagro: www.Betagrofeed.com
- เอกชัย เกิดสวัสดิ์. (15 ธันวาคม 2563). สถานการณ์ด้านเศรษฐกิจของสหกรณ์กับทิศทางแนวโน้มปี 2562. เข้าถึงได้จาก https://www.cad.go.th/ewt_news.php?nid=40060&filename=index
- American Public Health Assoc. (1999). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.)**. Baltimore: MD: American Public Health Association.
- American Public Health Assoc. (2021, January 20). **American Water Works Assoc. & Water Environment Federation**. Retrieved from <https://www.fondriest.com/environmental-measurements>
- Ampofo, F., & Karayiannis, T. G. (2003). **Experimental benchmark data for turbulent natural convection in an air filled square cavity**. International Journal of Heat and Mass Transfer, 3551-3572.
- ANSYS Inc. (2018, January 19). **Choosing the Appropriate Mesh Type**. Retrieved from Ansys Inc.: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node164.htm>
- Arduitrronics. (2022, January 11). **Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino**. Retrieved from <https://www.arduitronics.com/p/3013>

- Boehrer, B., & Schultze, M. (2008). **Stratification of Lakes**. Helmholtz Centre for Environmental Research -UFZ, Magdelburg. Retrieved from <https://worldwidescience.org/topicpages/g/german+chemical+society.html>
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Turner, R. H. (2017). **Fundamentals of Thermal Fluid Sciences**. New York: McGraw-Hill.
- Chen, H., Hu, B., & Charles, A. T. (1995). **Chinese integrated fish farming: a comparative bioeconomic analysis**. *Aquaculture research*, 81-94.
- Chenvidyakarn, T., & Woods, A. (2005). **Multiple steady states in stack ventilation**. *Building and Environment*, 399-410.
- Chergui, T., Bouhadjar, A., Boualit, A., Lebbi, M., Boutina, L., & Larbi, S. (2015). **Improved thermo-hydrodynamic field quality in the solar chimneys**. IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress (pp. 1-6). IEEE.
- Claude E Boyd. (1998). **Pond water aeration systems**. *Aquacultural engineering*, 9-40.
- Delooee, M. S., Golzarian, M. R., & Tabasizadeh, M. (2018). **Enhancing the Performance of a Laboratory-scale Solar Chimney by Geometric Modifications**. In 5th International Conference and Exhibition on Solar Energy (ICESE 2018). University of Tehran.
- FAO. (2022). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Rome, Italy: Sustainability in action. Retrieved from <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Ferahta, F., Bougoul, S., & Abid, C. (2012). **Effect of collector efficiency on leveled electricity cost of 200 MW solar chimney power plant in India**. *Sustainability in Energy and Buildings*, 581-588.
- Fluence. (2022, January 8). **Tornado subsurface aerators**. Retrieved from Water online: <https://www.wateronline.com/doc/tornado-subsurface-aerators-0001>
- Fondriest Environmental Inc. (2021, January 19). **Measuring Dissolved Oxygen and its Effects on Water Quality**. Retrieved from Fondriest environmental products: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/>
- Frank M. White. (2002). **Fluid Mechanics (5th Edition)**. McGraw-Hill.

- Ganguli, A. A., Pandit, A. B., Joshi, J. B., & Vijayan, P. K. (2011). **Hydrodynamic and heat transfer characteristics of a centrally heated cylindrical enclosure: CFD simulations and experimental measurements.** *Chemical Engineering Research and Design*, 2024-2037.
- Guo, P., Zhou, Y., Zhang, D., Xu, B., & Li, J. (2021). **Numerical investigation and multi-objective thermo-economic optimization of a solar chimney power plant.** *International Journal of Energy Research*, 10317-10331.
- IndiaMART InterMESH Ltd. (2022, January 8). **Paddle Wheel Aerator.** Retrieved from IndiaMART: <https://www.indiamart.com/proddetail/aquaculture-paddle-wheel-aerator-20206411230.html>
- Koonsrisuk, A., & Chitsomboon, T. (2013). **Effects of flow area changes on the potential of solar chimney power plants.** *Energy*, 400-406.
- Lebbi, M., Boualit, H., Chergui, T., Boutina, L., Bouabdallah, A., & Oualli, H. (2015). **Tower outlet/inlet radii ratio effects on the turbulent flow control in a solar chimney.** IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress (pp. 1-6). IEEE.
- Mahmoud, A. (2016). **A Passive Solar-thermal Aeration System for Rural Pond Aquaculture.** Canada: University of Toronto.
- Mahmoud, A., Quang, T. N., Pavlov, E., & Bilton, A. (2015). **Development of a solar updraft aeration system for pond aquaculture in resource-constrained environments.** 2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 306-313). Seattle, WA, USA: IEEE.
- Ming, T., de Richte, R. K., Meng, F., Pan, Y., & Liu, W. (2013). **Chimney shape numerical study for solar chimney power generating systems.** *International Journal of Energy Research*, 310-322.
- Okada, S., Uchida, T., Karasudani, T., & Ohya, Y. (2015). **Improvement in Solar Chimney Power Generation by Using a Diffuser Tower.** *Journal of Solar Energy Engineering*, 137(3).

- Patel, S. K., Prasad, D., & Ahmed, M. R. (2014). **Computational studies on the effect of geometric parameters on the performance of a solar chimney power plant.** *Energy Conversion and Management*, 424-431.
- Phan, L. T., Bui, T. M., Nguyen, T. T., Gooley, G. J., Ingram, B. A., Nguyen, H. V., & De Silva, S. S. (2009). **Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* in the Mekong Delta, Vietnam.** *Aquaculture*, 227-236.
- Pro Pond and Lakes Company. (2022, January 8). **Diffused aerators.** Retrieved from Propondandlakes: <https://propondandlakes.com/lake-pond-diffused-aerators/>
- Smith, R. (2013). **Supercritical Fluid Science and Technology.** Science Direct.
- Sur, S., Mahmoud, A., Ebrahimi Khabbazi, A., Pavlov, E., & Bilton, A. M. (2016). **Computational modeling and field evaluation of an innovative solar updraft aeration system for aquaculture in the developing world.** *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. 50107. North Carolina: American Society of Mechanical Engineering.
- Vieira, C. B., Niceno, B., & Su, J. (2014). **Computational Simulation of Turbulent Natural Convection in a Volumetrically Heated Square Cavity.** *International Conference on Nuclear Engineering*. American Society of Mechanical Engineers.
- Watt, M. K. (2021, January 20). **A Hydrologic Primer for New Jersey Watershed Management.** (Water-Resources Investigation Report 00-4140). Retrieved from <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/references/#DORef>
- Wetzel, R. G. (2001). **Limnology: Lake and River Ecosystems (3rd ed.).** San Diego, CA: Academic Press.
- Wu, T., & Lei, C. (2015). **On numerical modelling of conjugate turbulent natural convection and radiation in a differentially heated cavity.** *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 454-466.



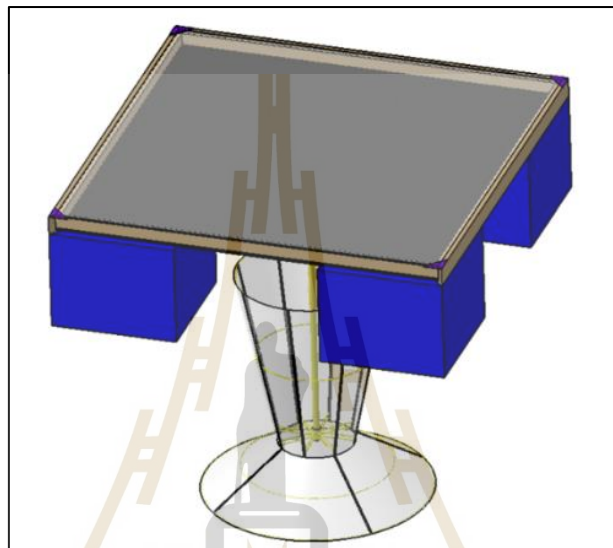
ภาคผนวก ก

แบบทางวิศวกรรมของระบบ SCWAS และการประเมินค่าใช้จ่ายในกรณี
เปลี่ยนวัสดุ

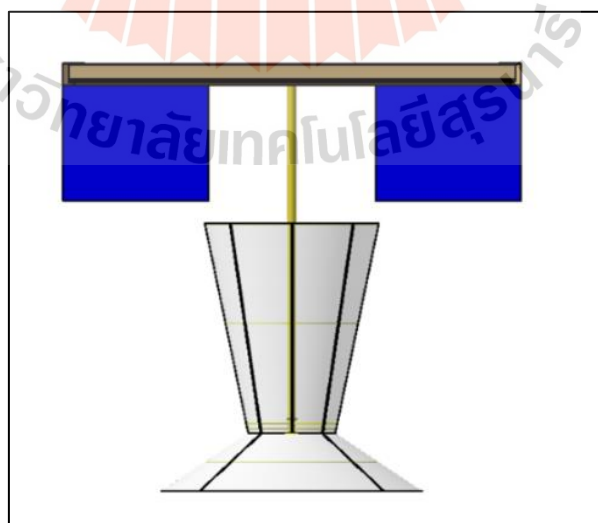
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 แบบทางวิศวกรรมของระบบ SCWAS

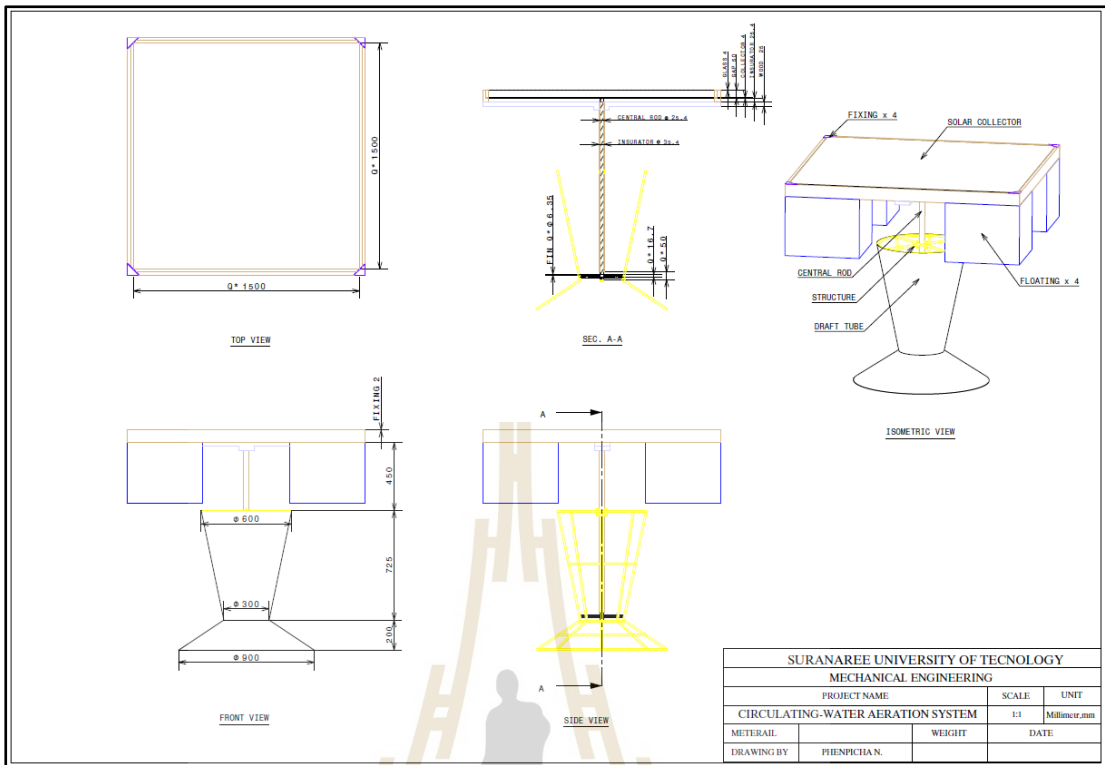
มุมมอง 3 มิติและมุมมองด้านหน้าของระบบ SCWAS ที่ถูกออกแบบในโปรแกรม SOLIDWORKS แสดงดังรูปที่ ก.1 และ ก.2 ตามลำดับ และ drawing สำหรับโครงสร้างโดยรวมของระบบ รูปทรงของ draft tube และส่วนประกอบของ solar collector แสดงดังรูปที่ ก.3 ก.4 และ ก.5 ตามลำดับ



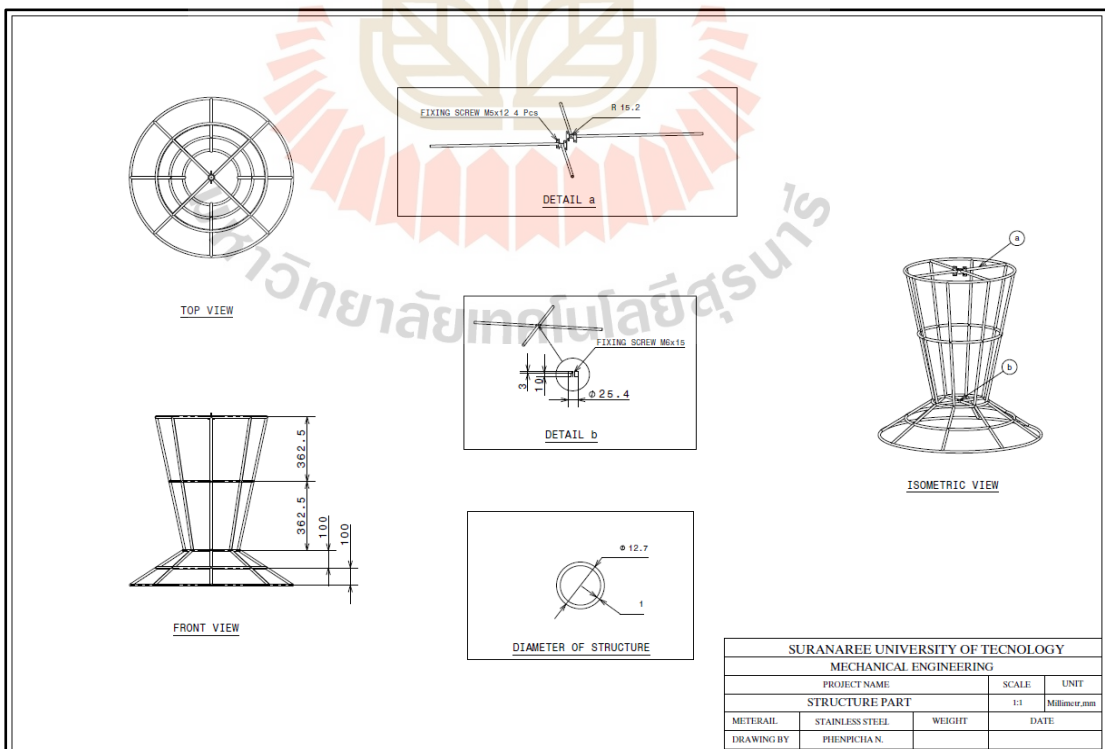
รูปที่ ก.1 ระบบ SCWAS มุมมอง 3 มิติ



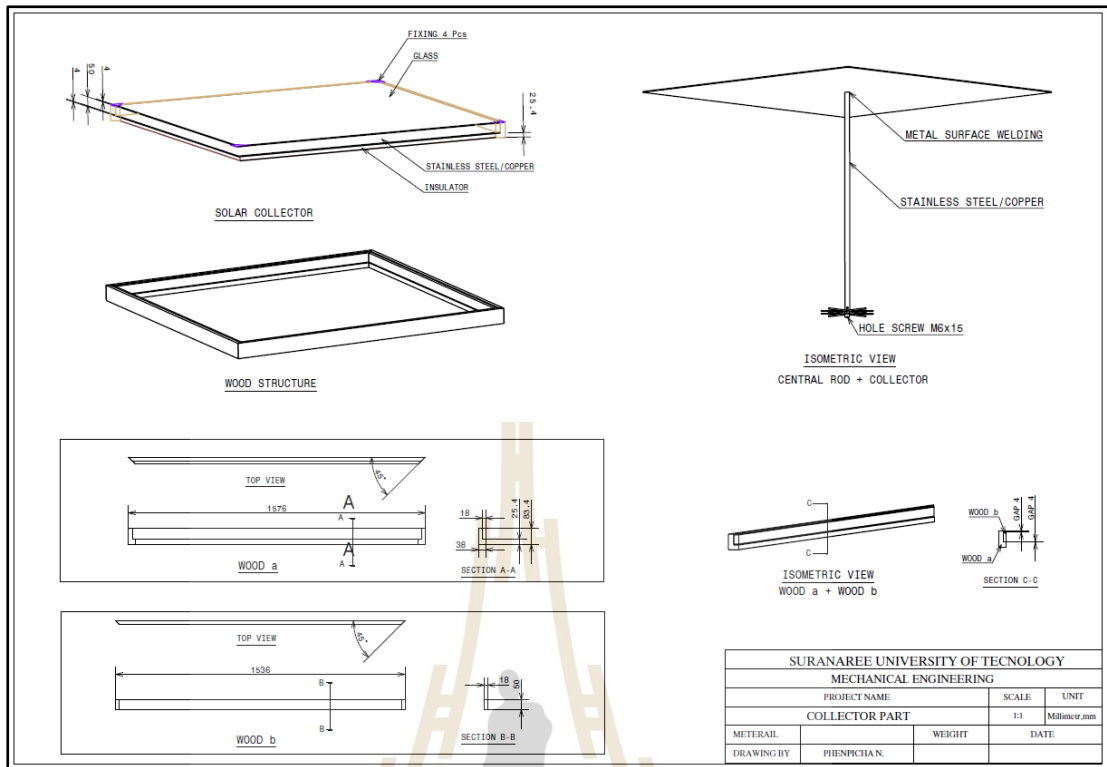
รูปที่ ก.2 ระบบ SCWAS มุมมองด้านหน้า



รูปที่ ก.3 โครงสร้างโดยรวมของระบบ SCWAS



รูปที่ ก.4 รูปทรง Draft tube



รูปที่ ก.5 ส่วนประกอบ Solar collector

ก.2 การประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับกรณีสร้างระบบเอง

เพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต เกษตรกรสามารถสร้างระบบ SCWAS ที่ได้ทำการออกแบบไว้ในงานวิจัยนี้ขึ้นมาใช้งานเองได้ สำหรับค่าวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างระบบตามขนาดที่แนะนำไว้ในงานวิจัยถูกแสดงไว้ในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 รายการค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างระบบ SCWAS ขึ้นมาใช้งานด้วยตนเอง

รายการ	ขนาด (cm)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน (หน่วย)	ราคาสุทธิ (บาท)
ตัวนำความร้อน				
อลูมิเนียมแผ่นหนา 5 มม.	120 x 240	11,370.00	1	11,370.00
อลูมิเนียมแผ่นหนา 5 มม.	30 x 30	590.00	1	590.00
อลูมิเนียมเพลตัน Dia. 1 นิ้ว	100	250.00	1	250.00
อลูมิเนียมเพลตัน Dia. 1/4 นิ้ว	200	250.00	1	250.00
ตัวเพิ่มพลังงานความร้อน				
กระจกแผ่นหนา 5 มม.	150 x 150	1,500.00	1	1,500.00
ฉนวนกันความร้อน				
โฟมแผ่นหนา 1 นิ้ว	60 x 12	100.00	3	300.00
ฉนวนหุ้มท่อ Aeroflex หนา 3/8 นิ้ว ขนาดภายใน 1 นิ้ว	183	70.00	1	70.00
โครงสร้าง*				
กรอบไม้วางแผ่นอลูมิเนียม	150 x 150			
รูปทรงปล่อง (Draft tube) (วัสดุทดแทน)	จากงานวิจัย			
อื่น ๆ				
ตุ้มลอย		1500.00	4	6000.00
น้ำยาผสมสารรอยเชื่อมอลูมิเนียม		500.00	1	500.00
รวม				20,830.00

ในกรณีที่เกษตรกรสร้างระบบ SCWAS ขึ้นมาใช้งานเอง จะมีค่าใช้จ่ายหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตัวนำความร้อน ตัวเพิ่มพลังงานความร้อน ฉนวนกันความร้อน ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะเป็นตัวเหนี่ยวนำความร้อนไปยังบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อสร้างกระแสการไหลเวียน และในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างที่เป็น

กรอบไม้เพื่อวางแผ่นอลูมิเนียมและกันความร้อนสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อม เกษตรกรสามารถหาวัสดุที่มีในท้องถิ่นมาใช้ในการสร้างได้ อีกทั้งรูปทรงปล่อง ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้ใช้โครงสร้างอลูมิเนียม ซึ่งราคาวัสดุค่อนข้างสูงและไม่ได้เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนแต่อย่างใด จึงอยากแนะนำให้เกษตรกรสร้างรูปทรงขึ้นมาจากการสานไม้ไผ่ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น

ก.3 ส่วนประกอบของระบบ SCWAS ต้นแบบ

ระบบเติมอากาศที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบก่อนและหลังเป็นดังนี้



รูปที่ ก.6 ส่วนประกอบระบบ SCWAS ก่อนประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ ก.7 ระบบ SCWAS หลังประกอบเข้าด้วยกัน





ข.1 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ ข.1 การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งระบบ SCWAS ต้นแบบ

รอบที่	เดือนที่	ปีที่	Cost				Income		Value		Indicators		
			Capital cost ค่าอุปกรณ์เดิมอากาศ (43,500.00)	ค่าพันธุ์ปลา	ค่าอาหารปลา	ค่าไฟฟ้า	ค่าบำรุงรักษา	การจำหน่ายปลา	ค่าซาก	AV	PV	PBP	NPV
0	0	0.00							(43,500.00)	(43,500.00)	(43,500.00)	47,623.02	21.17%
1	5	0.42		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,363.70	(39,136.30)	
2	10	0.83		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,309.83	(34,826.47)	
3	15	1.25		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,256.62	(30,569.84)	
4	20	1.67		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,204.07	(26,365.77)	
5	25	2.08		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,152.17	(22,213.60)	
6	30	2.50		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,100.91	(18,112.69)	
7	35	2.92		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,050.28	(14,062.41)	
8	40	3.33		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	4,000.28	(10,062.13)	
9	45	3.75		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,950.89	(6,111.24)	
10	50	4.17		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,902.11	(2,209.13)	
11	55	4.58		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,853.94	1,644.81	
12	60	5.00		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,806.36	5,451.17	
13	65	5.42		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,759.37	9,210.54	
14	70	5.83		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,712.96	12,923.49	
15	75	6.25		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,667.12	16,590.61	
16	80	6.67		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,621.84	20,212.46	
17	85	7.08		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,577.13	23,789.59	
18	90	7.50		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,532.97	27,322.55	
19	95	7.92		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,489.35	30,811.91	
20	100	8.33		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,446.27	34,258.18	
21	105	8.75		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,403.73	37,661.90	
22	110	9.17		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,361.70	41,023.61	
23	115	9.58		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,320.20	44,343.81	
24	120	10.00		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	181.25	4,418.25	3,279.21	47,623.02	

ตารางที่ ข.2 การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อประเมินที่ติดตั้งระบบ SCWAS ในกรณีที่ใช้วัสดุทดแทน

รอบที่	เดือนที่	ปีที่	Cost				Income		Value		Indicators		
			Capital cost ค่าอุปกรณ์เดิมอากาศ (20,830.00)	ค่าพันธุ์ปลา	ค่าอาหารปลา	ค่าไฟฟ้า	ค่าบำรุงรักษา	การจำหน่ายปลา	ค่าซาก	AV	PV	PBP	NPV
0	0	0.00							(20,830.00)	(20,830.00)	(20,830.00)	68,344.89	49.25%
1	5	0.42		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,270.41	(16,559.59)	
2	10	0.83		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,217.69	(12,341.90)	
3	15	1.25		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,165.62	(8,176.28)	
4	20	1.67		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,114.19	(4,062.09)	
5	25	2.08		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,063.40	1.32	
6	30	2.50		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	4,013.23	4,014.55	
7	35	2.92		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,963.69	7,978.24	
8	40	3.33		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,914.75	11,892.99	
9	45	3.75		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,866.42	15,759.42	
10	50	4.17		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,818.69	19,578.11	
11	55	4.58		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,771.55	23,349.65	
12	60	5.00		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,724.98	27,074.64	
13	65	5.42		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,679.00	30,753.63	
14	70	5.83		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,633.58	34,387.21	
15	75	6.25		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,588.72	37,975.93	
16	80	6.67		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,544.41	41,520.34	
17	85	7.08		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,500.65	45,020.99	
18	90	7.50		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,457.44	48,478.43	
19	95	7.92		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,414.75	51,893.18	
20	100	8.33		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,372.59	55,265.78	
21	105	8.75		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,330.96	58,596.73	
22	110	9.17		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,289.83	61,886.57	
23	115	9.58		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,249.22	65,135.79	
24	120	10.00		(3,120.00)	(15,375.00)	-	(200.00)	22,932.00	86.79	4,323.79	3,209.11	68,344.89	

ตารางที่ ข.3 การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อประเมนที่ติดตั้ง Pump ในการเติมอากาศ

รอบที่	เดือนที่	ปีที่	Cost					Income		Value		Indicators		
			Capital cost ค่าอุปกรณ์เติมอากาศ (10,000.00)	ค่าฟันสูบลำ	Flexible cost ค่าอาหารปลา	ค่าไฟฟ้า	Fix cost ค่าบำรุงรักษา	การจำหน่ายปลา	ค่าซาก	AV	PV	PBP	NPV	IRR
0	0	0.00							(10,000.00)	(10,000.00)	(10,000.00)	26,188.46	41.17%	
1	5	0.42		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,732.99	(8,267.01)		
2	10	0.83		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,711.60	(6,555.41)		
3	15	1.25		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,690.47	(4,864.94)		
4	20	1.67		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,669.60	(3,195.34)		
5	25	2.08		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,648.99	(1,546.35)		
6	30	2.50		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,628.63	82.28		
7	35	2.92		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,608.52	1,690.80		
8	40	3.33		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,588.66	3,279.46		
9	45	3.75		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,569.05	4,848.51		
10	50	4.17		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,549.68	6,398.19		
11	55	4.58		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,530.55	7,928.74		
12	60	5.00		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,511.65	9,440.39		
13	65	5.42		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,492.99	10,933.38		
14	70	5.83		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,474.56	12,407.94		
15	75	6.25		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,456.35	13,864.30		
16	80	6.67		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,438.37	15,302.67		
17	85	7.08		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,420.62	16,723.29		
18	90	7.50		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,403.08	18,126.36		
19	95	7.92		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,385.76	19,512.12		
20	100	8.33		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,368.65	20,880.77		
21	105	8.75		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,351.75	22,232.52		
22	110	9.17		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,335.06	23,567.58		
23	115	9.58		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,318.58	24,886.16		
24	120	10.00		(3,120.00)	(15,375.00)	(2,524.01)	(200.00)	22,932.00	41.67	1,754.66	1,302.30	26,188.46		

ตารางที่ ข.4 การคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับบ่อประเมนที่ติดตั้ง Paddle wheels ในการเติมอากาศ

รอบที่	เดือนที่	ปีที่	Cost					Income		Value		Indicators		
			Capital cost ค่าอุปกรณ์เติมอากาศ (32,500.00)	ค่าฟันสูบลำ	Flexible cost ค่าอาหารปลา	ค่าไฟฟ้า	Fix cost ค่าบำรุงรักษา	การจำหน่ายปลา	ค่าซาก	AV	PV	PBP	NPV	IRR
0	0	0.00							(32,500.00)	(32,500.00)	(32,500.00)	1,091.93	3.68%	
1	5	0.42		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,608.65	(30,891.35)		
2	10	0.83		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,588.79	(29,302.56)		
3	15	1.25		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,569.18	(27,733.38)		
4	20	1.67		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,549.80	(26,183.57)		
5	25	2.08		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,530.67	(24,652.90)		
6	30	2.50		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,511.77	(23,141.13)		
7	35	2.92		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,493.11	(21,648.02)		
8	40	3.33		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,474.68	(20,173.34)		
9	45	3.75		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,456.47	(18,716.87)		
10	50	4.17		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,438.49	(17,278.38)		
11	55	4.58		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,420.73	(15,857.65)		
12	60	5.00		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,403.19	(14,454.46)		
13	65	5.42		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,385.87	(13,068.59)		
14	70	5.83		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,368.76	(11,699.83)		
15	75	6.25		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,351.86	(10,347.97)		
16	80	6.67		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,335.17	(9,012.80)		
17	85	7.08		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,318.69	(7,694.12)		
18	90	7.50		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,302.41	(6,391.71)		
19	95	7.92		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,286.33	(5,105.38)		
20	100	8.33		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,270.45	(3,834.94)		
21	105	8.75		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,254.76	(2,580.18)		
22	110	9.17		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,239.27	(1,340.90)		
23	115	9.58		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,223.97	(116.93)		
24	120	10.00		(6,280.00)	(15,375.00)	(22,809.66)	(200.00)	46,158.00	135.42	1,628.76	1,208.86	1,091.93		

ข.2 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับบ่อประเมนที่ติดตั้ง Pump และ Paddle wheels ในการเติมอากาศ ได้ใช้อัตราการคำนวณค่าไฟฟ้าตามที่ กฟน. กำหนด โดยในแต่ละหน่วยไฟฟ้ามีอัตราการคิดไฟฟ้างวดตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 อัตราการคำนวณค่าไฟฟ้าตามที่ กฟน. กำหนด

หน่วยที่	จำนวนหน่วย	อัตรา/หน่วย
1 ถึง 15	15	2.3488
16 ถึง 25	10	2.9882
26 ถึง 35	10	3.2405
36 ถึง 100	65	3.6237
101 ถึง 150	50	3.7171
151 ถึง 400	250	4.2218
400 เป็นต้นไป	-	4.4217
ค่าบริการ	-	8.19

จากตารางข้างต้น ได้นำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่เกิดจากติดตั้ง Pump และ Paddle wheel สำหรับใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงปลานิลในแต่ละรอบ สำหรับบ่อทั้ง 2 ที่ทำการประเมินค่าไฟฟ้ามีการคำนวณดังนี้

- สำหรับบ่อประเมนที่ติดตั้ง Pump

กำลังไฟของอุปกรณ์เติมอากาศ

200 วัตต์

เปิดใช้งานเป็นเวลา

24 ชั่วโมง/วัน

$$\therefore \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือนจึงมีค่าเป็น } \frac{200 \times 24 \times 30}{1000} = 144 \text{ หน่วย}$$

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าต่อเดือนมีค่า

$$= (15 \times 2.3488) + (10 \times 2.9882) + (10 \times 3.2405) + (65 \times 3.6237) + (44 \times 3.7171) + 8.19$$

$$= 504.80 \text{ บาท}$$

และ ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยงจึงเท่ากับ $504.80 \times 5 = 2,524.01$ บาท

- สำหรับบ่อปะนระเณินที่ติดตั้ง Paddle wheels
กำลังไฟของอุปกรณ์เติมอากาศ 1491 วัตต์
เปิดใช้งานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง/วัน
- ∴ จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือนจึงมีค่าเป็น $\frac{1491 \times 24 \times 30}{1000} = 1074$ หน่วย
ดังนั้น ค่าไฟฟ้าต่อเดือนมีค่า

$$= (15 \times 2.3488) + (10 \times 2.9882) + (10 \times 3.2405) + (65 \times 3.6237) + (50 \times 3.7171)$$

$$+ (250 \times 4.2218) + (674 \times 4.4217) + 8.19$$

$$= 4,561.93 \text{ บาท}$$
- และ ค่าไฟฟ้าต่อ 1 รอบการเพาะเลี้ยง $4561.93 \times 5 = 22,809.65$ บาท





ภาคผนวก ค

ภาพการทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การติดตั้งระบบ SCWAS ในบ่อดทดลอง



การจัดเตรียมชุดบันทึกข้อมูลก่อนลงติดตั้งในบ่อดทดลอง



การติดตั้งชุดบันทึกข้อมูล



การเก็บ SD การ์ด



การชั่งน้ำหนักปลานิลเพื่อเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต



บรรยากาศการทำงาน





ภาคผนวก ง

ผลงานทางวิชาการ

รายชื่อบทความทางวิชาการ

เพ็ญพิชา เนียมสกุล และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2561). การจำลองระบบเติมอากาศแบบหมุนเวียน
น้ำด้วยพลังงานแสงแดด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 32, จังหวัดมุกดาหาร, 3 – 6 กรกฎาคม 2561.

เพ็ญพิชา เนียมสกุล และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2562). การจำลองระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียน
ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน. การประชุม การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 18, จังหวัดกระบี่, 20 – 21 มีนาคม 2562

เพ็ญพิชา เนียมสกุล และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2562). อิทธิพลของขนาดสำหรับระบบเติมอากาศ
แบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน. การประชุมวิชาการเครือข่าย
พลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 (15th Conference on Energy Network of
Thailand), จังหวัดนครราชสีมา, 21 - 24 พฤษภาคม 2562

เพ็ญพิชา เนียมสกุล และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2563). การจำลองและการทดสอบระบบเติมอากาศ
แบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงแดด. การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อน
และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน และกระบวนการ ครั้งที่ 19, จังหวัดจันทบุรี, 12 - 13
มีนาคม 2563

เพ็ญพิชา เนียมสกุล, สมร พรชื่นชูวงศ์ และ อาทิตย์ คุณศรีสุข. (2565). การจำลองและการทดสอบ
ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. RMUTP Research Journal.
Accepted (21 December 2021).

CST – 013

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32
3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดนุกดาหาร

การจำลองระบบเติมอากาศแบบหมุนเวียนน้ำด้วยพลังงานแสงแดด Simulation of a solar circulating-water aeration system

เหนือพิชา นีรมสกุ^{1*} และ อาทิตย์ คุณศรีสุข¹

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 อ.มหาวิทยาลัย ค.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: niamsaku1994@gmail.com, 0903540116

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอแนวคิดการออกแบบระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเลี้ยงปลา ส่วนประกอบหลักของระบบการเติมอากาศประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ ปล่อง และส่วนทางเข้าของน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ถูกดูดซับไว้โดยแผงรับแสงอาทิตย์จากนั้นจะถูกถ่ายเทไปยังผนังปล่อง เนื่องจากผนังปล่องหุ้มฉนวน ความร้อนจึงถ่ายเทจากผนังปล่องด้านในไปยังน้ำที่อยู่ติดกับผนังปล่อง น้ำร้อนขึ้นจึงเกิดแรงลอยตัวในน้ำส่งผลให้น้ำที่ก้นบ่อเกิดการไหลขึ้นด้านบน การไหลนี้สามารถสร้างการไหลเวียนและเพิ่มอากาศในน้ำได้ บทความนี้ได้ศึกษามลของการใช้ปล่องที่มีลักษณะบานออก โดยใช้อัตราส่วน พื้นที่หน้าตัดปล่องที่ทางออกต่อด้วยพื้นที่ทางเข้าปล่อง (Area Ratio, AR) เป็นพารามิเตอร์ระบุความบานของปล่อง โดยศึกษาเมื่อ AR มีค่าเท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 และศึกษาในช่วงที่ความเข้มแสงแดดมีค่า 400-600 W/m² จากการจำลองพบว่า การเพิ่ม AR สามารถเพิ่มความเร็วการไหลได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของ AR ช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของการไหลและเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำ

คำหลัก: ระบบเติมอากาศ; การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ; ออกซิเจนละลายในน้ำ; พลังงานแสงอาทิตย์; ปล่องลมแดด

Abstract

This paper introduces a design of a solar-energy aeration system for a fish-farming pond. This aeration system mainly consists of a solar collector, a draft tube, and a water entrance section. Solar energy is absorbed by the solar collector, and then conducted along the wall of the draft tube. As the outer wall is insulated, the heat is transferred from the tube to the water adjacent to the inner wall of the tube. This can create a buoyancy effect and make the water at the bottom of the pond to flow up. This flow can circulate and aerate the water. In this study, an effect of using a divergent draft tube was investigated. The degree of divergence is characterized by using an outlet/inlet area ratio (AR) of the draft tube. The systems with AR of 1, 2, 3, and 4 were examined. Also, the solar heat flux was varied 400 - 600 W/m² in this study. It was found that increasing of AR can increase the flow velocity notably. It should be noted that increasing of AR can increase the degree of flow turbulence, and consequently the circulation rate of water.

Keywords: Aerator; Aquaculture; Dissolved oxygen; Solar energy; Solar chimney

1. บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นภาคการผลิตอาหารที่เติบโตอย่างรวดเร็ว นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 เป็นต้นมา โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 8.7% ในภูมิภาคเอเชีย

แปซิฟิก [1] ประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่เป็นผู้นำด้านการทำประมงของโลก โดยข้อมูลจาก FAO (The state of world fisheries and aquaculture) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2557 ไทยติดอันดับ 1 ใน 20 ของการผลิต

การจำลองระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน
SIMULATION OF A SOLAR CIRCULATING-WATER AERATION SYSTEM USING A DIVERGENT DRAFT TUBE

เพ็ญพิชา เนียมสกุล

อาทิตย์ คุณศรีสุข

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ต.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี

อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

E-mail: niamsakul1994@gmail.com

Tel: 0903540116

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเลี้ยงปลา ส่วนประกอบหลักของระบบเติมอากาศมี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ปล่อง และฐาน ทำงานโดยแผงรับความร้อนดูดซับรังสีอาทิตย์ไว้แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังผนังปล่อง ผนังด้านนอกถูกหุ้มฉนวนไว้ ความร้อนถูกถ่ายโอนจากปล่องด้านในสู่น้ำที่อยู่ติดกับผนังปล่อง ด้วยสาเหตุนี้จึงก่อให้เกิดแรงลอยตัวและทำให้น้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อไหลขึ้นด้านบนซึ่งทำให้น้ำเกิดการไหลเวียนและสามารถเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำภายในบ่อได้ บทความนี้ได้ศึกษาผลของการใช้ปล่องที่มีลักษณะบานออกโดยใช้อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดทางออกปล่องต่อด้วยพื้นที่หน้าตัดทางเข้าปล่อง (Area Ratio, AR) เป็นพารามิเตอร์ระบุความบานของปล่อง และได้ทำการศึกษา AR ตั้งแต่ 1 ถึง 6 จากการจำลองพบว่า การเพิ่ม AR สามารถเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหาก AR เพิ่มขึ้นเกินไปทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลง จากการจำลองแสดงให้เห็นว่า AR เท่ากับ 4 สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มากที่สุด ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การไหลเวียนของน้ำในการศึกษานี้ และนอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดรูเจาะ ตำแหน่งความสูงรูเจาะ และขนาดแผงรับความร้อน ผลการศึกษาพบว่า การผสมผสานที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านี้ช่วยเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำและปริมาณการไหลเวียน

คำสำคัญ: ระบบเติมอากาศ, การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, ออกซิเจนละลายในน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, ปล่องลมแดด

Abstract

This paper introduces a design of a solar-energy aeration system for a fish-farming pond. This aeration system mainly consists of a solar collector, a draft tube, and a water entrance section. Solar energy is absorbed by the solar collector, and then conducted along the wall of the draft tube. As the outer wall is insulated, the heat is transferred from the tube to the water adjacent to the inner wall of the tube. This can create a buoyancy effect and make the water at the bottom of the pond to flow up. This flow can circulate and aerate the water. In this study, an effect of using a divergent draft tube was investigated. The degree of divergence was characterized by using an outlet/inlet area ratio (AR) of the draft tube. The systems with AR equal to 1 to 6 were examined to determine the ratio that gave the maximum water flow rate. It was found that increasing of AR could increase the flow rate notably when AR values were lower than a certain value. However, when AR was bigger than a certain value, the flow rate decreased. The simulation showed that AR = 4 provided the maximum water flow rate, which the flow rate is an indicator for the water circulation rate in this study. In addition, the effect of the diameter and the height of the recirculation orifice, and the size of the solar collector were investigated. The results showed that a proper combination of these parameters enhanced the water circulation rate and the radius of the circulation.

Keywords: Aerator, aquaculture, dissolved oxygen, solar energy, solar chimney

EMP-xx

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15
21-24 พฤษภาคม 2562 จังหวัดนครราชสีมา

อิทธิพลของขนาดสำหรับระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดปล่องบาน
EFFECTS OF GEOMETRIES FOR A SOLAR CIRCULATING-WATER AERATION
SYSTEM USING A DIVERGENT DRAFT TUBE

เพ็ญพิชชา เนียมสกุล* อาทิตย์ คุณศรีสุข

*สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: niamsakul1994@gmail.com, 0903540116

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเลี้ยงปลา ส่วนประกอบหลักของระบบเติมอากาศมี ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ปล่อง และฐาน ทำงานโดยแผงรับความร้อนดูดซับรังสีอาทิตย์ไว้แล้วถ่ายความร้อนไปยังผนังปล่อง ผนังด้านนอกถูกหุ้มฉนวนไว้ ความร้อนถูกถ่ายโอนจากปล่องด้านในสู่น้ำที่อยู่ติดกับผนังปล่อง ด้วยสาเหตุนี้จึงก่อให้เกิดแรงลอยตัวและทำให้น้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อไหลขึ้นด้านบนซึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนและสามารถเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำภายในบ่อได้ บทความนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าหาขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์เติมอากาศแบบปล่องบาน โดยพิจารณาจากอัตราการไหลเวียน ในการศึกษานี้เป็นการจำลองเชิงตัวเลขของระบบโดยใช้โปรแกรม Ansys FLUENT การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดรูปทรงของระบบที่สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงสุด การศึกษาพบว่าความสูงฐาน 0.3 ม. และความสูงทางเข้า 0.5 ม. ให้อัตราการไหลสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนพื้นที่ที่เหมาะสมของทางออกของปล่องและทางเข้าคือ 2.0 ในขณะที่รัศมีทางเข้าที่เหมาะสมและรัศมีทางออกคือ 0.4 ม. และ 0.8 ม. ตามลำดับ พื้นที่ขนาดใหญ่ของรูเจาะจะให้อัตราการไหลที่มากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นรูเจาะ 2 แถวยังให้อัตราการไหลสูงสุดและตำแหน่งของรูจะต้องใกล้กับผิวน้ำ

คำหลัก: ระบบเติมอากาศ; การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ; ออกซิเจนละลายในน้ำ; พลังงานแสงอาทิตย์; ปล่องลมแดด

Abstract

This study investigates a solar-energy aeration system for a fish-farming pond. This aeration system mainly consists of a solar collector, a draft tube, and a water entrance section. Solar energy is absorbed by the solar collector, and then conducted along the wall of the draft tube. As the outer wall is insulated, the heat is transferred from the tube to the water adjacent to the inner wall of the tube. This can create a buoyancy effect and make the water at the bottom of the pond to flow up. This flow can circulate and aerate the water. In this study, the numerical simulations of the system were implemented using Ansys FLUENT program. The objective of this study is to determine the system geometries that can maximize the water flow rate. It was found that the base height of 0.3 m and the entrance height of 0.5 m provides the maximum flow rate. It was also found that the optimum area ratio of the draft tube exit and entrance is 2.0. While the optimum entrance radius and exit radius are 0.4 m and 0.8 m, respectively. Larger area of the vent holes provides larger flow rate. Furthermore, 2 rows of the vent holes provides the maximum flow rate, and the hole position should be closed to the water surface.

Keywords: Aerator; aquaculture; dissolved oxygen; solar energy; solar chimney

การจำลองและการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงแดด SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF A SOLAR CIRCULATING-WATER AERATION SYSTEM

เพ็ญพิชา เนียมสกุล
อาทิตย์ คุณศรีสุข

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
สำนักวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: atit.sut@gmail.com
Tel: 0801685996

บทคัดย่อ

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดในระบบการเพาะเลี้ยงปลาบตความนี้ไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แผงรับรังสีอาทิตย์ แท่งนำความร้อน และปล่องนำทิศทางการไหลของน้ำ การทำงานเกิดขึ้นเมื่อแผงรับรังสีอาทิตย์ดูดซับความร้อนไว้ จากนั้นความร้อนถูกถ่ายโอนไปยังแท่งนำความร้อนที่อยู่ในน้ำ สิ่งนี้จะทำให้เกิดการลอยตัวและทำให้น้ำอุ่นที่ก้นบ่อไหลขึ้นด้านบน จึงทำให้เกิดการกระจายตัวของออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระดับความลึกของบ่อ เพื่อประเมินแนวคิดการออกแบบนี้ ได้ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขโดยดำเนินการในโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อให้ได้รูปทรงที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากอัตราการไหลที่ดีที่สุด ผลการจำลองพบว่ารัศมีที่เหมาะสมของทางเข้าปล่อง (r) : ทางออกปล่อง (R) : ฐาน (L) มีค่าเท่ากับ 1 : 2 : 3 นอกจากนี้อัตราส่วนความยาวหนวที่เหมาะสม (F) คือ 0.92 การจำลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งบนแท่งนำความร้อนสามารถเพิ่มอัตราการไหลเวียนให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแบบไม่ติดตั้ง ดังนั้นแบบของระบบเติมอากาศนี้ถูกสร้างและทดสอบ ผลจากการทดสอบระบบพบว่าสามารถปรับปรุงระดับ DO ที่ชั้นล่างของบ่อได้ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร

คำสำคัญ: ระบบเติมอากาศ, การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, ออกซิเจนละลายในน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, ปล่องลมแดด

Abstract

Dissolved oxygen is one of the most critical aspects of water quality in a fish culture system. This paper aims to design a water aeration system powered by solar energy. This aeration system mainly consists of a solar collector, a heat conducting rod and draft tube. The operation occurs when the solar collector absorb heat, then heat is transfer to the heat conducting rod in the pond. This creates a buoyancy effect and makes the heated water at the pond bottom to flow up, thereby producing an even dissolved oxygen distribution along the pond depth. To evaluate this design concept, the numerical simulations of the system were implemented using ANSYS Fluent software. An appropriate geometry that provide the reasonable water circulation flow rate was determined. It was found that the appropriate radius ratio of the draft tube inlet (r) : draft tube outlet (R) : unit base (L) is equal to 1 : 2 : 3. Also, the appropriate insulation length ratio (F) is 0.92. The simulations showed that installing fins to the conducting rod increases the circulation flow rate compared to that of 'no fin attached'. A prototype of aeration system was built and tested. The experimental results indicated that the device can increase the DO level at the pond bottom. The DO levels at the bottom were 2 to 12 mg/L.

Keywords: Aerator, aquaculture, dissolved oxygen, solar energy, solar chimney

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การจำลองและการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เพ็ญพิชา เนียมสกุล¹ สมร พรชื่นชวงส์² และ อาทิตย์ คุณศรีสุข^{3*}

^{1,3}สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์

²สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

รับบทความ แก้ไขบทความ..... ตอบรับบทความ (ผู้เขียนไม่ต้องกำหนด)

บทคัดย่อ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในระหว่างวันน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงถูกแบ่งชั้นทำให้ DO แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ และความแตกต่างของอุณหภูมินี้เกิดขึ้นเมื่อ ผิวน้ำชั้นบนถูกทำให้ร้อนด้วยแสงแดดจึงทำให้น้ำชั้นบนร้อนกว่าน้ำชั้นล่าง ด้วยเหตุผลนี้ น้ำชั้นบนที่สัมผัสกับอากาศจึงเป็นบริเวณที่มีปริมาณ DO มากที่สุด ในทางตรงกันข้ามน้ำในชั้นลึกสุดถูกแยกจากอากาศจึงเป็นบริเวณที่มีปริมาณ DO น้อยที่สุด การศึกษานี้ นำเสนอระบบเติมอากาศที่เรียกว่า ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (SCWAS) โดยระบบ SCWAS นี้ใช้พลังงานความร้อนจากแสงแดดเพื่อสร้างการไหลเวียนธรรมชาติ กล่าวอีกในหนึ่งคือการไหลเวียนนี้ทำให้น้ำจากด้านล่างไหลขึ้นด้านบนและน้ำจากด้านบนไหลลงด้านล่างบ่อ ซึ่งการไหลเวียนในลักษณะนี้ทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่และเพิ่มปริมาณ DO ได้ การไหลเวียนของน้ำจะย้ายออกซิเจนที่มีอยู่มากที่ผิวน้ำชั้นบนลงมายังน้ำชั้นล่าง และขับให้น้ำชั้นล่างที่มีออกซิเจนต่ำขึ้นไปขูดซับออกซิเจนที่มีอยู่มากที่ผิวน้ำชั้นบน เพื่อประเมินแนวคิดในการออกแบบ ได้ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ดำเนินการในโปรแกรม ANSYS Fluent ตามผลการจำลองระบบ SCWAS สามารถให้การไหลเวียนตามธรรมชาติได้ ซึ่งพบว่าอัตราการไหลเวียนที่ได้รับเท่ากับ 2.24 ลิตรต่อวินาที เมื่อสัดส่วนระหว่าง ทางเข้าปล่อง (I), ทางออกปล่อง (R) และฐาน (L) มีค่าเป็น 1: 2: 3 นอกจากนี้ระบบ SCWAS ต้นแบบได้สร้างและติดตั้งในบ่อเพาะเลี้ยงปลาบิล และชุดบันทึกข้อมูลที่ทำการสอบเทียบแล้วได้ทำการติดตั้งเพื่อตรวจสอบสมรรถนะ ของชุดต้นแบบ ผลการทดลองระบุว่า ค่า DO โดยเฉลี่ยที่ผิวน้ำชั้นบนและน้ำชั้นล่างเพิ่มขึ้น 1.45 และ 1.40 เท่าตามลำดับเมื่อเทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ SCWAS การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาคืนทุนของระบบ SCWAS คือ 4.58 ปี และงบลงทุนต่ำกว่า เครื่องเติมอากาศชนิด Paddle wheel คิดเป็น 17.49 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : เครื่องเติมออกซิเจน; ระบบเติมอากาศ; การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ; ออกซิเจนละลายในน้ำ; พลังงานแสงอาทิตย์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 0168 5996, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: otit@sut.ac.th

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเพ็ญพิชา เนียมสกุล เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2537 บิดาชื่อ นายเฉลิมชล เนียมสกุล มารดาชื่อ นางสมบุรณ์ บุญโสภณ มีน้องชาย 2 คน ชื่อ นายพงศกร เนียมสกุล และ นาย วรากร เนียมสกุล อาศัยอยู่บ้านเลขที่ 76 หมู่ที่ 10 ตำบลหนองบัวสันต อำเภอยางสีสุราช จังหวัด มหาสารคาม เข้าเรียนชั้นอนุบาล 1 ถึงชั้นประถม 6 ที่โรงเรียนบ้านหนองแวง เป็นโรงเรียนประจำ หมู่บ้าน จากนั้นได้สอบเข้าเรียนต่อชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ที่โรงเรียนพศกษุมิพิสัย อำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม เมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แล้ว ได้สมัครเข้าเรียนในระดับปริญญาตรี ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในทันที

สำหรับแรงจูงใจในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทก็คือ “ความฝัน” ซึ่งเป็นความฝันหนึ่งของเด็กปริญญาตรีที่ว่า เมื่อจบการศึกษาระดับนี้แล้ว อยากจะเข้าเรียนต่อระดับปริญญาโทอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นเหตุผลให้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทนี้ ตอนเข้ามาเรียนเข้ามาด้วยความฝัน ตอนจบก็จบด้วยความฝันที่ใหญ่ขึ้นกว่าเดิม ซึ่งการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ทำให้ตัวผู้เขียนเองได้พัฒนาตนเองในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิชาการ ด้านการสื่อสาร ด้านมนุษยสัมพันธ์ และด้านการใช้ชีวิต ทำให้เป็นผู้ที่สามารถจัดการกับระบบความคิดได้ดีขึ้น และยังสามารถจัดการกับปัญหาที่อันเนื่องมาจากการทำวิจัยและจากภายนอกได้ดีขึ้นอีกด้วย และท้ายที่สุดผู้เขียนได้ค้นพบว่าการเรียนต่อในครั้งนี้ถือว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าที่สุด และจะคงเป็นประสบการณ์ที่ดีที่อยู่ในความทรงจำตลอดไป