



## รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบเติมอากาศและให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับสมาร์ท  
ฟาร์มเมอร์

(Development of an automatic aeration and fish-feeding  
system for smart farmers)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบเติมอากาศและให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับสมาร์ต  
ฟาร์มเมอร์

(Development of an automatic aeration and fish-feeding  
system for smart farmers)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมร พรชื่นชวงค์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ คุณศรีสุข

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2561

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2563

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช) ผ่านมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณสุนัย พลายมี นักวิชาการเกษตรประจำฟาร์มประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คุณธราทิพย์ พิทักษ์สงค์ ผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ ขอขอบคุณพนักงานประจำฟาร์มประมงทุกท่าน และนักศึกษากลุ่มวิชาปัญหาพิเศษ สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2563

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงปลานิล ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจอันดับ 1 ของไทย ก่อให้เกิดรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก แต่ผู้เลี้ยงปลานิลยังคงประสบปัญหาทางด้านต้นทุนค่าอาหาร คิดเป็นร้อยละ 60 - 70 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งอาจเกิดจากความสูญเสียจากการให้อาหารโดยใช้แรงงานคน ปัญหาค่าแรงขั้นต่ำที่เพิ่มสูงขึ้น การขาดแคลนแรงงานให้อาหารหรือผู้เลี้ยงประกอบอาชีพหลายอย่าง ดังนั้นการหาวิธีการให้อาหารรูปแบบอื่นแทนการให้อาหารโดยใช้แรงงานคน น่าจะมีประโยชน์สำหรับธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ งานวิจัยนี้จึงออกแบบและสร้างเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่มีระบบแจ้งเตือนข้อความไปยังผู้เลี้ยง และทดลองให้อาหารปลานิลในอัตรา 3% ต่อน้ำหนักตัว โดยเลี้ยงในกระชังในบ่อดิน จำนวน 500 ตัว/บ่อ ด้วยวิธีการให้อาหารที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารโดยใช้คนให้อาหาร น้ำหนักปลาทดลองเริ่มต้นหนัก 473.64 + 8.73 กรัม ให้อาหารเป็นระยะเวลา 4 เดือน จากนั้นประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิล โดยนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มการทดลอง ผลที่ได้พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจาเพาะ (SGR) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปลานิลที่เลี้ยงโดยใช้คนให้อาหาร ( $P > 0.01$ ) และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า การให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 9 ปี

นอกจากปัจจัยทางด้านอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตแล้ว คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมของการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลัน เช่นอากาศร้อนจัดติดต่อกันหลายวัน แล้วมีฝนตกติดต่อกัน 2-3 วัน ทำให้อุณหภูมิของน้ำในรอบวันแตกต่างกันมากทำให้ปลาเกิดการน็อคน้ำ ส่งผลให้ปลาตายได้ การใช้เครื่องเติมอากาศจะทำให้ปลาในบ่อเลี้ยงมีชีวิตรอดได้ อย่างไรก็ตามเครื่องเติมอากาศที่มีขายในท้องตลาดส่วนใหญ่เน้นมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้า จึงทำให้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงปลาสูงขึ้นหากต้องเปิดเครื่องเติมอากาศอยู่ตลอดเวลา งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยใช้หลักการหมุนเวียนของน้ำเพื่อทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในบ่อเพิ่มขึ้น จากนั้นนำระบบที่สร้างขึ้นทดสอบในบ่อเลี้ยงปลานิลที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น  $256.68 \pm 0.47$  กรัม จำนวน 312 ตัว จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงปลาที่ไม่ติดตั้งระบบเติมอากาศ เป็นระยะเวลา 5 เดือน ผลการทดสอบพบว่าบ่อเพาะเลี้ยงที่ติดตั้งระบบเติมอากาศมีค่า DO สูงกว่าบ่อเพาะเลี้ยงที่ไม่ติดตั้งระบบ และจากการประเมิน

สรณษการเจรญเตบโตะของปลานิลในบ่อทดลองท้ง 2 บ่อพบว่าบ่อที่ตดตั้งระบบเตมอากาศมีสรณษการเจรญเตบโตะทุกพารามิเตอร์ที่ทำการเปรยบเทียบสูงและตกว่าบ่อที่ไม่ได้ตดตั้งระบบ ( $P < 0.01$ )



## ABSTRACT

Currently, aquaculture is important to the Thai economy. Especially the tilapia culture, which is the first economic freshwater fish in Thailand generating a lot of income into the country. But Nile tilapia farmers are still facing the problem with the feed costs (60-70%) of the total production cost. Which may cause from the loss of feeding by manual labor with the problem of increasing the minimum wage and the shortage of labor or farmers have many occupations. Therefore, finding other methods of feeding instead of labor could be useful for aquaculture business. This research aimed to design and construct automatic fish feeder with a message notification system. Experimental tilapia 500 fish/pond with an average initial weight of  $473.64 \pm 8.73$  g were randomly reared in cage and fed with a rate of 3% body weight/day. Two different feeding methods, feeding using automatic machine and feeding by labor were investigated. After fish rearing for 4 months, fish were evaluated for growth performance. The results showed that feeding methods did not affect the growth performances (weight gain, specific growth rate (SGR), daily growth rate (DGR), feed conversion ratio (FCR), feed efficiency (FE) and protein efficiency ratio (PER) ( $P > 0.01$ ). From economic evaluation, it was found that feeding with automatic fish feeder payback period was met in 9 years.

Water quality especially dissolved oxygen is very important for aquaculture, which is an indicator of the suitability of the livelihood of aquatic animals. Suddenly climate changed such as continuous high temperature and then heavy rain caused a different water temperature in day cycle led fish die, by using aerators can improve survival rate. In general, most aerators in aquaculture system used electrical power, resulting in an increasing aquaculture cost. This research aimed to design and construct the aeration systems using energy from sunlight and water circulation. This system is called solar circulating water aeration system (SCWAS). Two different aeration systems with and without SCWAS were applied to tilapia pond (312 fish/pond) with an average initial weight of  $256.68 \pm 0.47$  g were randomly reared in cage and fed with a rate of 3% body weight/day and reared for 5 months. The results showed that pond with aerated system (SCWAS) had significant higher dissolved oxygen and growth performances than pond without (SCWAS) system ( $P < 0.01$ ).

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการทำวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ปรัชญ์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ปรานิล.....	4
2.2 เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	7
2.3 เครื่องเติมออกซิเจน.....	9
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	13
3.2 การออกแบบระบบควบคุม.....	22
3.3 การทดลองให้อาหารปลา.....	30
3.4 การประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร.....	32
3.5 การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	32
3.6 การออกแบบและสร้างชุดต้นแบบระบบเติมอากาศ.....	32
3.7 การวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	36
3.8 การเตรียมบ่อทดลอง.....	37

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษา</b>	
4.1 ผลการทดสอบเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ.....	39
4.2 ผลการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์.....	48
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>56</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
<b>ภาคผนวก ก</b> แบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	60
<b>ภาคผนวก ข</b> ข้อมูลการสอบเทียบเซ็นเซอร์สำหรับวัดค่า.....	63
<b>ประวัตินักวิจัย.....</b>	<b>68</b>





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	8
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ.....	24
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดในระบบแจ้งเตือน.....	29
ตารางที่ 3.3 ช่วงค่าที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิล.....	30
ตารางที่ 3.4 น้ำหนักปลาเริ่มต้นและอัตราการให้อาหารสำหรับปลาทดลอง.....	37
ตารางที่ 4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลที่ได้รับจากเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และให้ด้วยคน ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงนาน 4 เดือน .....	44
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนสำหรับโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารรายปี.....	45
ตารางที่ 4.3 กระแสเงินสดรับของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารรายปี.....	46
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ.....	46
ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน.....	47
ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ.....	47
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลสำหรับบ่อที่มีการติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ.....	53
ตารางที่ ข.1 ค่า DO ที่วัดได้จากการทดสอบด้วย DO sensor และ DO meter.....	64
ตารางที่ ข.2 ค่า pH ที่วัดได้จากการทดสอบด้วย pH sensor.....	66

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของปลานิล.....	4
รูปที่ 2.2 การแบ่งชั้นทางความร้อนและ DO ระหว่างวันภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	10
รูปที่ 2.3 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์.....	11
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	13
รูปที่ 3.2 hopper ที่ทำการออกแบบ.....	15
รูปที่ 3.3 แผ่นงานหมุนเจาะรู.....	16
รูปที่ 3.4 ท่อทางออกของอาหารภายในเครื่อง.....	16
รูปที่ 3.5 ท่อทางออกของอาหารภายนอกเครื่อง.....	17
รูปที่ 3.6 Stepper motor แบบ DC 12 V.....	17
รูปที่ 3.7 blower แบบ DC 12 V.....	18
รูปที่ 3.8 ชุดต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่สร้างเสร็จ.....	19
รูปที่ 3.9 ถังเก็บอาหาร.....	19
รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบภายในเครื่องให้อาหารปลา.....	20
รูปที่ 3.11 ขาดังของเครื่องให้อาหารปลา.....	20
รูปที่ 3.12 แผนภาพระบบควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	23
รูปที่ 3.13 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ.....	26
รูปที่ 3.14 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบแจ้งเตือนน้ำหนัก อาหารในถัง.....	27
รูปที่ 3.15 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบแจ้งเตือนค่า DO, ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำ.....	28
รูปที่ 3.16 บ่อทดลองให้อาหารปลา.....	31
รูปที่ 3.17 เครื่องให้อาหารปลาสำหรับการทดลอง.....	31
รูปที่ 3.18 การสูบลำน้ำขึ้นน้ำลงในบ่อ.....	32
รูปที่ 3.19 ขนาดของระบบเติมอากาศ.....	33
รูปที่ 3.20 แบบที่วาดในโปรแกรม Solidwork.....	34
รูปที่ 3.21 ส่วนประกอบของแผงรับแดดพร้อมกับแท่งนำความร้อน.....	34

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบของระบบเติมอากาศ.....	35
รูปที่ 3.23 ต้นแบบระบบเติมอากาศ.....	35
รูปที่ 3.24 การติดตั้งระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยง.....	36
รูปที่ 3.25 ชุดบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	36
รูปที่ 3.26 จุดวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเลี้ยง.....	37
รูปที่ 3.27 ตำแหน่งการวัดออกซิเจนในน้ำสำหรับบ่อเลี้ยง.....	37
รูปที่ 3.28 การเตรียมบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ติดตั้งระบบเติมอากาศ.....	38
รูปที่ 3.29 การเตรียมบ่อเลี้ยงปลาชนิดที่ไม่ติดตั้งระบบเติมอากาศ.....	38
รูปที่ 4.1 ผลการแจ้งเตือนค่า DO, ค่า pH, ค่าอุณหภูมิในน้ำ และค่าน้ำหนักอาหารในถังเก็บอาหาร.....	39
รูปที่ 4.2 การแสดงผลค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุม การแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD.....	40
รูปที่ 4.3 การแสดงผลค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุม การแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD.....	40
รูปที่ 4.4 ระดับ DO ในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และบ่อที่ให้ด้วยคน.....	41
รูปที่ 4.5 ระดับ pH ในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องและบ่อที่ให้ด้วยคน.....	41
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องและบ่อที่ให้ด้วยคน.....	42
รูปที่ 4.7 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาชนิดให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และปลาชนิดให้อาหารด้วยคนในแต่ละเดือน.....	43
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่า DO ของบ่อที่ติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่มีการติดตั้งระบบ.....	49
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ชั้นบนของบ่อที่ติดตั้งระบบ.....	49
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ.....	50
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่า DO ชั้นบนกับชั้นล่างที่จุดใกล้เครื่อง.....	50
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่า DO ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ.....	51
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา.....	51
รูปที่ 4.14 น้ำหนักปลาเฉลี่ยรายเดือน.....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ก.1 แบบของถังเก็บอาหารหรือ hopper.....	61
รูปที่ ก.2 แบบของฝาเครื่อง.....	61
รูปที่ ก.3 แบบภายนอกเครื่อง.....	62
รูปที่ ก.4 แบบท่อสวม blower.....	62
รูปที่ ข.1 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO Meter) รุ่น YSI Pro20i.....	64
รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ที่วัดได้จาก DO sensor และค่า DO ที่วัดได้จาก DO meter.....	65
รูปที่ ข.3 Buffer solution pH 4.01 + 0.02.....	65
รูปที่ ข.4 Buffer solution pH 7.00 + 0.02.....	66
รูปที่ ข.5 Buffer solution pH 10.01 + 0.02.....	66
รูปที่ ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่วัดได้จาก pH sensor และค่า pH ของ Buffer solution.....	67

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

### อักษรย่อ

DO	=	Dissolved Oxygen
DGR	=	Daily growth rate
FCR	=	Feed conversion ratio
FE	=	Feed efficiency
PER	=	Protein efficiency ratio
SGR	=	Specific growth rate



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการทำวิจัย

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นเกษตรกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงปลานิล จัดเป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจอันดับหนึ่งของไทย และไทยยังสามารถผลิตปลานิลได้เป็นลำดับที่ 4 รองจาก จีน อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ จัดเป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญ สามารถส่งออกและเป็นที่ต้องการของคนทั่วไป โดยผลผลิตปลานิลกว่าร้อยละ 90 ใช้บริโภคภายในประเทศ มีเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น ส่งออกไปยังต่างประเทศและปลานิลบางส่วนมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ (เกวลิน หนูฤทธิ์, 2561) ปลานิลจึงเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม แม้ว่ารายได้จากการส่งออกปลานิลจะมีมูลค่าสูง แต่ผู้เลี้ยงปลานิลกลับประสบปัญหาด้านค่าอาหาร โดยต้นทุนด้านค่าอาหารคิดเป็นร้อยละ 60-70 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Asian Development Bank, 2005) การพิจารณาหาแนวทางลดต้นทุนค่าอาหาร จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ การจัดการการให้อาหารให้มีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนด้านค่าอาหารลง เนื่องจากการให้อาหารโดยใช้แรงงานคน เป็นการให้อาหารที่นิยมให้ด้วยมือ ทำให้เกิดผลเสีย อาทิ ปริมาณอาหารที่ให้ไม่มีความแม่นยำ ให้อาหารเกินความต้องการของปลา ซึ่งจะส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำและเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายต้นทุนค่าอาหารปลา และเมื่อผู้เลี้ยงจำเป็นต้องไปทำธุระที่อื่นเป็นเวลาหลายวัน อาจทำให้ปลาขาดอาหารหรือเสียชีวิต ส่งผลให้ผลผลิตปลาที่ได้มีขนาดแตกต่างกันและขายได้ในราคาที่ไม่ดี นอกจากนี้ในปัจจุบันมีปัญหาเรื่องค่าแรงขั้นต่ำที่เพิ่มสูงขึ้น และคนวัยหนุ่มสาวนิยมทำงานในภาคอุตสาหกรรมมากกว่าภาคเกษตร จึงทำให้มีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน ดังนั้นการหาวิธีการในการให้อาหารแบบอื่นแทนการให้อาหารโดยใช้แรงงานคนจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

ประกอบกับในช่วงระยะสองสามปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ภาครัฐได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมเกษตรกรไทยด้วยแนวคิด Smart Farmer เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตในภาคการเกษตรให้มีความแม่นยำสูง การลดต้นทุนในกระบวนการผลิต การเพิ่มคุณภาพมาตรฐานการผลิตและมาตรฐานสินค้า การลดความเสี่ยงจากศัตรูพืชและจากภัยธรรมชาติ และการจัดการและส่งผ่านความรู้ที่มุ่งให้ ความสำคัญต่อการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศของเกษตรกร (ฤทัยชนก จริงจิตร, 2558) ส่งเสริมให้เกษตรกรนำความรู้ทางด้านเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้กับการเกษตรของตน

นอกจากปัจจัยด้านอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เข้ามามีส่วนร่วม อาทิ คุณภาพน้ำ ความต้านทานโรค เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพที่ดีของปลา (นฤชญา ไกรเนตร, 2016) ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลจึงต้องตระหนักถึงปัจจัยเหล่านี้เป็นพิเศษ เพื่อจะได้มีความมั่นใจในการเพาะเลี้ยงปลานิลและเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อการ

บริโภคต่อไป จะเห็นว่าคุณภาพน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่ของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ดังนั้นคุณภาพน้ำจึงควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตที่ดี คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลประกอบไปด้วย ปริมาณการละลายออกซิเจนในน้ำ (dissolved oxygen, DO) อุณหภูมิ และความเป็นกรดต่างของน้ำ (pH) ซึ่งค่า DO มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเนื่องจากสัตว์ทุกชนิดย่อมต้องการออกซิเจนในการหายใจ หาก DO ในบ่อมีค่าไม่เหมาะสมหรือต่ำเกินไปที่ปลาสามารถอาศัยอยู่ได้จะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตช้า การขยายพันธุ์ไม่ดี ปลาอาจตายได้หากปริมาณออกซิเจนไม่เหมาะสมเป็นเวลานาน และส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร (นฤมล อัครเกษมณี, 2544)

ในบ่ออุตสาหกรรมการเกษตรขนาดใหญ่มีระบบการเติมอากาศที่ช่วยปรับปรุงค่า DO ในบ่อเพาะเลี้ยงซึ่งเป็นการนำออกซิเจนเข้าสู่ น้ำ โดยระบบเติมอากาศที่ใช้กันโดยทั่วไป เป็นเครื่องกระจายอากาศแบบฉีด (Air-injection diffusers) เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow pumps) และเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ (Paddle wheel aerator) เป็นต้น ระบบเติมอากาศที่มีขายในท้องตลาดเหล่านี้มีสมรรถนะในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาและเป็นระบบที่เชื่อมต่อโดยใช้ไฟฟ้า จากการศึกษาล่าสุดของประเทศจีนแสดงให้เห็นว่าบ่อที่มีระบบการเติมอากาศให้ผลผลิตสูงกว่าบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศถึง 47% (Chen et al., 1995) แต่อย่างไรก็ตามเครื่องเติมอากาศส่วนใหญ่มักติดตั้งอยู่บริเวณผิวน้ำอาจทำให้ค่า DO เพิ่มสูงขึ้นบริเวณผิวน้ำเท่านั้นไม่สามารถเพิ่ม DO บริเวณก้นบ่อได้ จึงอาจทำให้ความหนาแน่นของปลาต่อพื้นที่บริเวณผิวน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตช้าลง เนื่องจากเกิดการแย่งออกซิเจนในการหายใจ ทั้งนี้พื้นที่ทำการเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่ของเกษตรกรมักอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน การที่จะใช้ระบบเติมอากาศที่ใช้ไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อไฟฟ้ามายังบ่อด้วย และอุปกรณ์เติมอากาศที่มีจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่ก็มีราคาแพงซึ่งคิดเป็น 15% ของต้นทุนการในการเตรียมบ่อทั้งหมด (Kumar et al., 2013) และหากเครื่องเสียหายต้องมีการซ่อมบำรุงผู้ดูแลจำเป็นต้องมีทักษะในด้านนี้ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีความชำนาญในการซ่อมบำรุงจำเป็นต้องจ้างคนมาซ่อมระบบเหล่านี้ให้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นถือได้ว่าเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต ดังนั้นระบบการเติมอากาศในบ่อเพาะเลี้ยงปลาที่ใช้ไฟฟ้าจึงถือว่ามีข้อจำกัดในการเข้าถึงสำหรับเกษตรกรผู้มีรายได้น้อยในเขตชนบท จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นไม่ว่าจะเป็นการให้อาหารปลาด้วยคนทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น และปัญหาเครื่องเติมออกซิเจนในปัจจุบันมักใช้พลังงานจากไฟฟ้าทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติและระบบเติมอากาศที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล เพื่อยกระดับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้เป็นระบบสมาร์ตฟาร์มเมอร์

**1.2** วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเติมอากาศและให้อาหารปลาที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ

**1.3** สมมติฐานของงานวิจัย

- การติดตั้งระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลานิล ส่งผลให้สมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลดีกว่าบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศ
- การให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลา

**1.4** ขอบเขตของงานวิจัย

เป็นการศึกษาออกแบบโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ แล้วสร้างชุดต้นแบบ ระบบเติมอากาศ และเครื่องให้อาหารปลาที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยทดสอบกับบ่อเลี้ยงปลานิล ณ ฟาร์มประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงปลาในบ่อปกติ

**1.5** ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติและระบบเติมอากาศ





## บทที่ 2

### ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปลานิล

ปลานิล เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูลซิคลิดี (Cichlidae) มีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกา พบทั่วไปตามหนอง บึง และทะเลสาบ ในประเทศชูดาน ยูกันดา แทนแกนยีกา โดยที่ปลาชนิดนี้เจริญเติบโตเร็วและเลี้ยงง่าย เหมาะสมที่จะนำมาเพาะเลี้ยงในบ่อได้เป็นอย่างดี จึงได้รับความ นิยม และเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชีย รูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศ แต่ลักษณะพิเศษของปลานิล คือ ริมฝีปากบนและล่างเสมอกัน โดยที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว ตามลำตัวมีลายพาดขวางจำนวน 9 - 10 แถบ

นอกจากนี้ ลักษณะทั่วไปของปลานิล มีครีบหลังมีเพียง 1 ครีบ มีเกล็ดตามแนวเส้นข้างตัว 33 เกล็ด ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้ม ที่กระดุกแก้มมีจุดสีเข้มอยู่จุดหนึ่ง บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลัง ครีบกันและครีบหางมีจุดสีขาวและสีดำตัดขวาง คล้ายลายข้าวตอก (กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง, 2560) ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ของปลานิลแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของปลานิล (Arphatsara Rassamee, 2560)

ปลานิลมีนิสัยชอบอยู่รวมกันเป็นฝูง ยกเว้นเวลาสืบพันธุ์ มีความอดทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ ปลานิลทนต่อความเค็มได้ถึง 20 ส่วนในพัน ทนต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้ดีในช่วง 6.5 - 8.3 และสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ปลานิลปรับตัวและเจริญเติบโตได้ไม่ดี เนื่องจากถิ่นกำเนิดเดิมของปลาชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน รูปร่างภายนอกของปลานิลเพศผู้และเพศเมียจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่สังเกตลักษณะเพศได้ จากการดูตุ่มเพศ (genital papillae) ที่บริเวณใกล้กับช่องทวาร โดยปลาเพศผู้จะมีตุ่มเพศลักษณะเรียวยาวยื่นออกมา ส่วนปลาเพศเมียมีลักษณะตุ่มเพศมีลักษณะค่อนข้างใหญ่และกลมมีรูช่วงกลางขนาดปลาที่จะแยกเพศได้ชัดเจนต้องเป็นปลาที่มีความยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป สำหรับปลาที่มี

ขนาดโตเต็มที่สามารส่งเทศเพศได้ด้วยการดูสีที่ลำตัว โดยสีบริเวณใต้คางและลำตัวของปลาเพศผู้จะมีสีเข้มกว่าปลาเพศเมีย ซึ่งเมื่อถึงช่วงผสมพันธุ์สีจะยิ่งเข้มยิ่งขึ้น โดยในปลาวัยเดียวกัน ปลานิลเพศผู้จะมีขนาดใหญ่กว่าปลาเพศเมีย

ปลานิลสามารถผสมพันธุ์และวางไข่ได้ตลอดปี โดยใช้เวลา 2 - 3 เดือน/ครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอและเหมาะสม ในระยะเวลา 1 ปี จะผสมพันธุ์ได้ 5 - 6 ครั้ง ซึ่งขนาดอายุและช่วงการสืบพันธุ์ของปลาแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม และสภาพทางสรีรวิทยาของปลา โดยเริ่มมีพัฒนาการของไข่และน้ำเชื้อ เมื่อมีความยาวประมาณ 6.5 เซนติเมตร (กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ, 2560)

### 2.1.1 อัตราการปล่อยปลาและการให้อาหาร

อัตราการปล่อยปลาอยู่ภายใต้การตัดสินใจ ควรคำนึงถึงระยะเวลาการเลี้ยงปลานิลในกระชัง การเร่งให้ผลผลิตออกมาในเวลาอันรวดเร็ว และต้องการปลาขนาดใหญ่ จะต้องปล่อยปลาลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นต่ำ จำเป็นต้องปล่อยลูกปลานิลขนาดใหญ่ ในทางตรงกันข้าม หากมีความต้องการปลาขนาดเล็ก ผู้เลี้ยงสามารถปล่อยปลาในอัตราความหนาแน่นสูงหรือร่นระยะเวลาเลี้ยงให้สั้นลง การเลี้ยงปลาในกระชังเป็นรูปแบบการเลี้ยงปลาแบบพัฒนา (intensive) หรือกึ่งพัฒนา (semi-intensive) เน้นการให้อาหาร เพื่อเร่งผลผลิตและการเจริญเติบโต จึงควรจะใช้อาหารที่มีคุณค่าทางโปรตีนค่อนข้างสูง และเหมาะสมกับความต้องการของปลาแต่ละขนาด ปัจจัยที่สำคัญควรนำมาประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับการให้อาหารปลาในกระชัง ได้แก่ ระดับโปรตีนที่เหมาะสม ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลานิลที่มีอายุต่างกันจะแตกต่างกัน สำหรับลูกปลาวัยอ่อน (Juvenile) และลูกปลานิ้ว (Fingerling) ต้องการอาหารที่มีระดับโปรตีนประมาณ 30 - 40% แต่ในปลาใหญ่ต้องการอาหารที่มีโปรตีนประมาณ 25 - 30% ส่วนการให้อาหารตามขนาดของปลา สำหรับปลาขนาดเล็กให้อาหาร 20% ของน้ำหนักของปลา สำหรับปลารุ่น อัตราการให้อาหารจะลดลงเหลือประมาณ 6 - 8% ของน้ำหนักของปลา และสำหรับปลาขนาดใหญ่ อัตราการให้อาหารจะเหลือประมาณ 3 - 4% ของน้ำหนักของปลา (สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง กรมประมง, 2557)

นอกจากนี้ ในการเลี้ยงปลานิลควรคำนึงถึงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล เช่นมีความเป็นกรด - ด่างอยู่ระหว่าง 6.5 - 8.0 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ไม่ควรต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแอมโมเนียไม่ควรมากกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (ฝ่ายบริการวิชาการ สัตว์น้ำ บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน, 2557)

### 2.1.2 การประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหาร

เมื่อการเลี้ยงปลาเสร็จสิ้น ทำการวิเคราะห์ผลโดยนำข้อมูลที่บันทึกจากการเลี้ยง มาประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหาร โดยประเมินสมรรถนะต่าง ๆ จากสมการที่ 2.1

$$\text{Final weight (g)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยงรวมทั้งหมด}}{\text{จำนวนปลาทั้งหมด}} \quad (2.1)$$

$$\text{Weight gain (g)} = \text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น} \quad (2.2)$$

$$\text{Specific growth rate, SGR (\%/day)} = (\ln W_{t+1} - \ln W_t) / T \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ  $W_{t+1}$  คือ น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง  
 $W_t$  คือ น้ำหนักปลาเริ่มต้น  
 $T$  คือ ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)

$$\text{Daily growth rate, DGR (g/day)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง} - \text{น้ำหนักปลาเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการเลี้ยง}} \quad (2.4)$$

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาหลังสิ้นสุดการเลี้ยง}}{\text{จำนวนปลาที่ปล่อยเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\text{Feed conversion ratio, FCR} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}} \quad (2.6)$$

$$\text{Feed efficiency, FE (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้}} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\text{Protein efficiency ratio, PER} = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{น้ำหนักของโปรตีนในอาหารที่ปลาได้รับ}} \quad (2.8)$$

$$\text{Feed cost per kg FCR (Baht/kg)} = \text{ต้นทุนค่าอาหาร 1 กิโลกรัม} \times \text{FCR} \quad (2.9)$$

## 2.2 เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

### 2.2.1 ปรัชญาวิศวกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันเกษตรกรหันมาประกอบอาชีพเลี้ยงปลาเพื่อจำหน่ายกันมากขึ้น จึงเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยงปลามากขึ้นตาม จากการศึกษาพบว่าในการเลี้ยงปลา มีค่าใช้จ่ายด้านอาหารปลาสูงที่สุด โดยต้นทุนด้านค่าอาหารคิดเป็น 60 - 70% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Asian Development Bank, 2005) จึงทำให้การจัดการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้อาหารปลา เพื่อลดการสูญเสีย เป็นเรื่องที่นักวิจัยต่างให้ความสนใจ จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่ามีการทำวิจัยเกี่ยวกับการให้อาหารปลาหลากหลายรูปแบบ ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การออกแบบระบบการให้อาหารปลา และสร้างเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่สามารถให้อาหารปลาได้ตามเวลาที่ต้องการ ซึ่งเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ โดยทั่วไปถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ เครื่องให้อาหารแบบอยู่กับที่ (fixed feeder) และเครื่องให้อาหารแบบเคลื่อนที่ (mobile feeder) (Zulkefly, 2010) จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่าโดยส่วนใหญ่ทำการออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติแบบอยู่กับที่มากกว่าแบบเคลื่อนที่ โดยพบการออกแบบแบบเคลื่อนที่ในงานของ Shaari et al. (2011) ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการนำสายเคเบิลมาใช้ และมีความยุ่งยากซับซ้อน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจออกแบบและสร้างเครื่องให้อาหารปลาแบบอยู่กับที่ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่า สะดวกสำหรับการซ่อมบำรุง และการเติมอาหาร ส่วนข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งได้จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ทำเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัตินอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น ถูกนำมาจัดเป็นหมวดหมู่เพื่อจำแนกให้เห็นสิ่งที่เหมือนหรือแตกต่างกันของแต่ละงานวิจัย โดยแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.1 เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบงานวิจัย

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

Researcher	Method	Type of fish	Controller	Dispenser	Power supply	Additional equipment
Shima et al. (2001)	Testing and Performance evaluation	Rainbow trout fry fish	N/A	N/A	N/A	highly sensitive micro-switch
Chang et al. (2005)	Design and Testing	Eel	PLC	AC motor	electricity supply	photoelectric sensor
Shaari et al. (2011)	Design and Testing	N/A	PLC	DC motor	electricity supply	transmitter
Noor et al. (2012)	Design and Testing	N/A	micro-controller & timer	DC motor	electricity supply	N/A
Ozigbo et al. (2013)	Design and Performance evaluation	N/A	micro-controller & timer	DC motor	electricity supply	N/A
Ogunlela and Adebayo (2016)	Testing and Performance evaluation	Juvenile cat fish	Timer	bi-directional motor	electricity supply	N/A
Premalatha et al. (2017)	Design and Simulation	N/A	Micro-controller & timer	DC motor	electricity supply	ultrasonic sensor and GSM modem
Wei et al. (2017)	Design and Testing	N/A	PLC	DC motor	N/A	blower

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ว่างานต่าง ๆ จะมีเป้าหมายในการออกแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติเหมือนกัน แต่มีการใช้อุปกรณ์ควบคุมระบบให้อาหารปลาที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้ microcontroller กับ timer และกลุ่มที่ใช้ Programmable logic Control (PLC) เป็นตัวควบคุมระบบ

Chang et al. (2005), Shaari et al. (2011) และ Wei et al. (2017) เลือกใช้ PLC ควบคุมการทำงานของระบบ โดยเขียนโปรแกรมคำสั่งผ่าน ladder diagram ใส่เครื่อง PLC เพื่อกำหนดเวลาจ่ายอาหาร ซึ่งข้อดีของ PLC เมื่อเปรียบเทียบกับ microcontroller คือ เขียนได้ง่ายกว่า ไม่ซับซ้อน เป็นที่นิยมใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม แต่มีราคาแพง (ศิวัชพงษ์, 2555) แต่ในทางตรงกันข้าม งานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งใช้ microcontroller กับ timer เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบให้อาหารปลา ซึ่งได้แก่ Noor et al. (2012), Ozigbo et al. (2013) และ Premalatha et al. (2017) โดย

microcontroller เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ราคาไม่แพง microcontroller คือ controller ที่ประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลและหน่วยความจำ ซึ่งมีหลายขนาดให้เลือกใช้ (ศิเวพงษ์, 2555) งานวิจัยนี้จึงสนใจเลือกใช้ microcontroller เป็นตัวควบคุมระบบให้อาหารปลา

นอกจากนี้ จากตารางที่ 2.1 มีงานวิจัยกลุ่มหนึ่งที่ไม่ได้ทำแค่การออกแบบเพียงอย่างเดียว แต่มีการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลา (Performance evaluation) ร่วมด้วย โดย Ozigbo et al. (2013) นำเสนอการประเมินสมรรถนะโดยการหา efficiency จากปริมาณอาหารที่ออกมาจากเครื่องต่อปริมาณอาหารที่ใส่เข้าไปในเครื่อง และ Ogunlela and Adebayo (2016) ออกแบบเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาจากการให้อาหารด้วยคนและการให้อาหารด้วยเครื่องจาก Feed conversion ratio (FCR) และ Feeding efficiency (FE)

Noor et al. (2012) เสนอเทคนิค Pulse Width Modulation (PWM) ที่สามารถใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต้องการ และสามารถปรับความเร็วของการจ่ายอาหารได้ จากการทดสอบพวกเขาพบว่าเมื่อปรับ %PWM เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะทางที่อาหารกระจายไปได้เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ การเลือกใช้ blower ตามงานวิจัยของ Wei et al. (2017) เป็นอุปกรณ์ช่วยในการกระจายอาหารลงสู่น้ำ ซึ่งช่วยให้อาหารไปได้ไกล และไม่แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ส่วน Premalatha et al. (2017) ออกแบบระบบการให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับการประยุกต์ใช้กับการเลี้ยงในอะควอเรียม มีการจำลองการต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ก่อนการสร้างเครื่องจริงโดยใช้โปรแกรม Proteus ซึ่งแตกต่างจากงานอื่น มีความพิเศษตรงที่สามารถสร้างระบบให้สามารถส่ง SMS แจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านอุปกรณ์ GSM Modem

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น งานวิจัยนี้จึงต้องการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยเลือกใช้ microcontroller เป็นตัวควบคุมระบบให้อาหารปลา เลือกใช้ Stepper motor แบบ DC และ blower แบบ DC เป็นตัวควบคุมสั่งการในส่วนการจ่ายอาหาร รวมทั้งมีการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เข้ามาร่วมด้วย

## 2.3 เครื่องเติมออกซิเจน

### 2.3.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

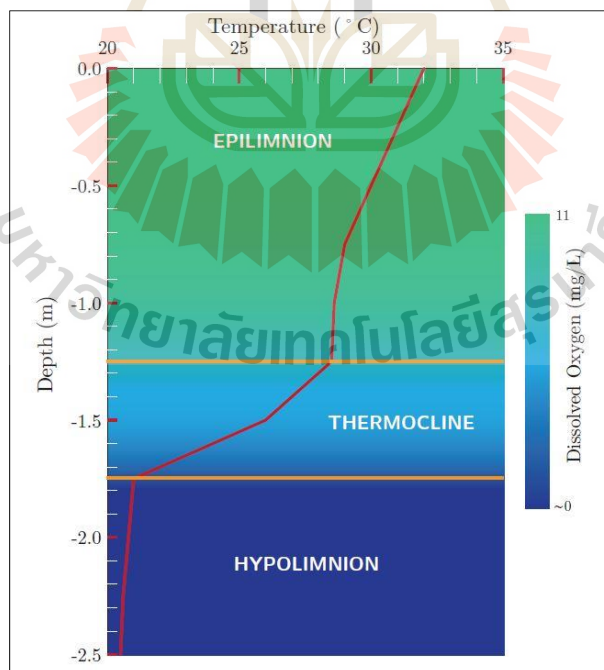
ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ถือเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลา เนื่องจากสัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจและย่อยอาหาร จึงถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดของการกระบวนการจัดการคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Culberston and Piedrahita, 1996) ในบ่อเพาะเลี้ยงขนาดเล็กโดยทั่วไปมักมีคุณภาพน้ำที่ไม่ดีซึ่งนำไปสู่ผลผลิตที่ต่ำ เนื่องจากค่าออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต โดยทั่วไปออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงมาจากการสังเคราะห์แสงโดยแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ในบ่อ และการแพร่กระจายของออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยง โดยการสร้างออกซิเจนโดยแพลงก์ตอนพืชเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงแดด ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นบนสุดของบ่อ ในขณะที่ส่วนลึกของบ่อเป็นบริเวณที่มีค่า



ออกซิเจนต่ำสุด และเป็นบริเวณที่ต้องการออกซิเจนมากที่สุด ในเวลากลางคืนแพลงก์ตอนพืชและปลาใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจซึ่งทำให้ค่าออกซิเจนโดยรวมของบ่อลดลง

ในช่วงเวลากลางวันบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดการแบ่งชั้นทางความร้อน (Thermal stratification) ดังรูปที่ 2.2 (Mahmoud et al, 2015) ผลจากการแบ่งชั้นทางความร้อนนี้ทำให้ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของบ่อมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน เนื่องจากการลดทอนความเข้มแสงแดด ซึ่งน้ำที่อยู่ด้านบนเป็นบริเวณที่น้ำมีความอุ่นและมีค่าออกซิเจนสูงสุด น้ำบริเวณนี้มีความอึดตัวและไม่สามารถรับออกซิเจนได้อีกจึงแพร่ไปในบรรยากาศ ซึ่งบริเวณนี้เรียกว่า EPILIMNION ในขณะที่น้ำที่อยู่ด้านล่างสุดของบ่อเรียกว่า HYPOLIMNION เป็นบริเวณที่น้ำค่อนข้างเย็นและมีค่าออกซิเจนน้อย

น้ำที่อยู่ในบริเวณ HYPOLIMNION ต้องการออกซิเจนมากที่สุด แต่มักจะมีค่าออกซิเจนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนผิวน้ำดินและขาดการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำ หากในบ่อเพาะเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน (พบในบริเวณที่เรียกว่า THERMOCLINE) จะส่งผลต่อค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หากมีค่าไม่เพียงพอต่อการปรับสภาพจะก่อให้เกิดสถานการณ์ที่เรียกว่าปลาน็อกน้ำได้ และอาจส่งผลให้อัตราการตายของปลาสูงหรือการเติบโตที่ไม่ดีถ้าบ่อเพาะเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนและอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Lovell et al, 2012) ในบ่อเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่จึงพยายามที่จะรักษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ซึ่งโดยทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 4 mg/L ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำด้วย



รูปที่ 2.2 การแบ่งชั้นทางความร้อนและ DO ระหว่างวันภายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

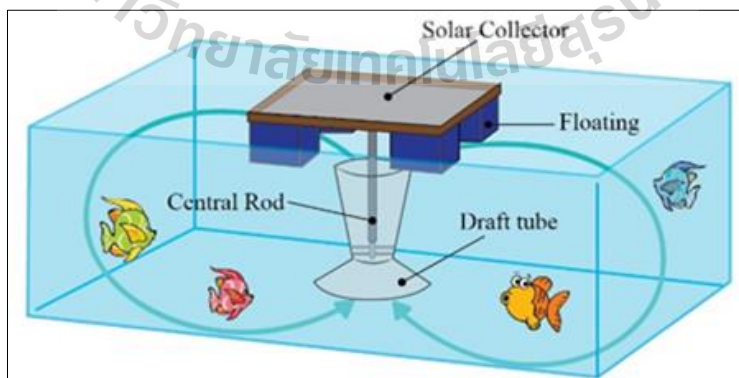
ที่มา: Mahmoud et al, 2015

### 2.3.2 แนวคิดการออกแบบระบบเติมอากาศ

ในบ่ออุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศเพื่อเติมออกซิเจนสู่น้ำ ระบบที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ เครื่องกระจายอากาศแบบชนิด เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน และชุดสเปรย์น้ำ เป็นต้น การเติมอากาศแบบนี้พบว่ามีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงได้ และให้ผลผลิตสูงกว่าบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศถึง 47% (Chen et al, 1995) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เติมอากาศที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาแพงโดยคิดเป็นเกือบ 15% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดและนอกจากนี้จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าที่ปลอดภัย (Kumar et al, 2013) ซึ่งทำให้เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์เหล่านั้นได้เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง และการบำรุงรักษาต้องใช้ความชำนาญ

เครื่องเติมอากาศที่มีขายโดยทั่วไปส่วนใหญ่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า และเป็นการเติมอากาศที่ผิวน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีออกซิเจนที่สูงอยู่แล้ว ซึ่งสัตว์น้ำส่วนใหญ่อาศัยอยู่ภายในบ่ออย่างหนาแน่น ดังนั้นควรให้ความสำคัญกับการเติมอากาศในส่วนความลึกเพื่อช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลาชนิด ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนาระบบเติมอากาศที่อาศัยพลังงานแสงแดด โดยใช้หลักการไหลเวียนของน้ำในการเพิ่มค่าออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งระบบนี้มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการบำรุงรักษา เนื่องจากไม่มีส่วนที่ใดหมุน โดยเรียกระบบดังกล่าวนี้ว่า ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar circulating-water aeration system, SCWAS) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีส่วนประกอบพื้นฐานดังนี้

1. แผ่นอลูมิเนียมทาสีดำทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดซับความร้อนจากแสงแดด ซึ่งเรียกว่าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar collector)
2. กระจกใสครอบแผ่นอลูมิเนียมช่วยลดการสูญเสียความร้อน
3. แท่งอลูมิเนียมที่ติดอยู่กับตัวดูดซับความร้อน (Central rod)
4. ปล่องบังคับทิศทางการไหลของน้ำ (Draft tube)
5. ทวนลอย (Floating)



รูปที่ 2.3 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์  
(Solar circulating-water aeration system, SCWAS)



การทำงานเกิดขึ้นเมื่อแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อยู่เหนือผิวน้ำได้รับความร้อนจากแสงแดด โดยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์นี้ทำมาจากแผ่นอลูมิเนียมเคลือบด้วยกระจกใสเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศผ่านการพาความร้อน และผิวด้านล่างถูกปิดด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อไม่ให้ความร้อนที่ดูดซับมาไว้สูญเสียไปกับบรรยากาศก่อนถ่ายเทให้กับแท่งนำความร้อน ความร้อนที่ถูกดูดซับไว้โดยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะถูกส่งถ่ายไปยังส่วนที่ลึกของบ่อโดยการนำความร้อนของแท่งนำความร้อน ไม่ให้ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำก่อนจะถึงตำแหน่งที่ต้องการ มีการหุ้มฉนวนความร้อนของแท่งนำความร้อนไว้และปล่อยความร้อนออกยังระดับความลึกที่ต้องการ

พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับแท่งนำความร้อนจะกระจายไปยังน้ำที่อยู่ลึกโดยอาศัยการพาความร้อน น้ำที่อยู่ใกล้แท่งนำความร้อนจะอุ่นขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของน้ำบริเวณนั้นลดลงและก่อให้เกิดแรงลอยตัว ผลจากแรงลอยตัวนี้จะทำให้น้ำลอยสู่ผิวน้ำ ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำแบบอิสระทั่วทั้งบ่อ ปล่อยทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำและควบคุมระดับน้ำทางเข้าที่กั้นบ่อด้วยเมื่อน้ำเกิดการไหลเวียนน้ำที่ไหลขึ้นสู่ผิวน้ำจะนำออกซิเจนที่มีความอิ่มตัวในชั้น EPIILMNION ลงมายังก้นบ่อที่มีค่าออกซิเจนต่ำ การทำเช่นนี้จะทำให้ออกซิเจนในน้ำมีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

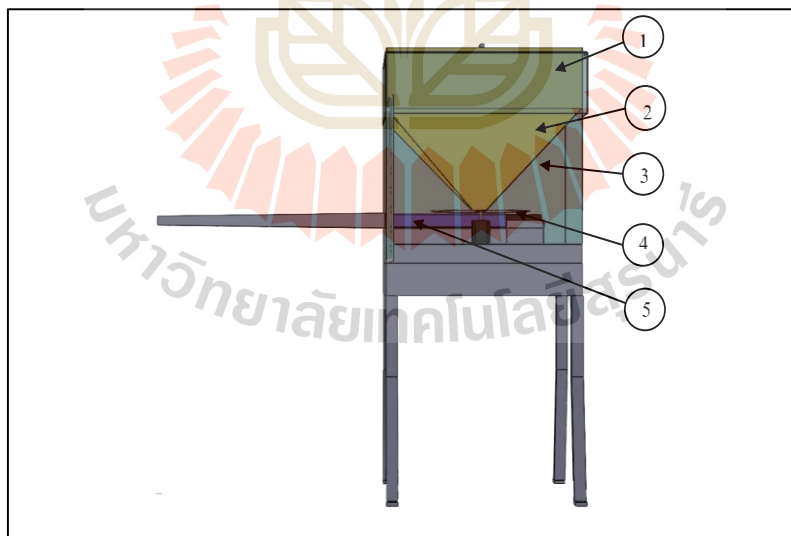
งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบเติมอากาศและเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับสมาร์ตฟาร์มเมอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ และได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องโดยการติดตั้งในบ่อเลี้ยงปลานิล และทำการวัดสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิล ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

#### 3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ

##### 3.1.1 การออกแบบเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ

ออกแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบ ดังนี้ คือ

1. ฝาถังเก็บอาหาร
2. ถังเก็บอาหาร (hopper)
3. ตู้ครอบถังเก็บอาหาร
4. แผ่นจานหมุนเจาะรู ที่ต่อกับมอเตอร์
5. ท่อทางออกของอาหารที่ต่อกับ blower ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

หลักการการทำงานของเครื่องให้อาหารปลาที่ทำการออกแบบทำงานโดยอาหารเม็ดที่บรรจุอยู่ภายในถังเก็บอาหาร (hopper) ไหลตามแรงโน้มถ่วงผ่านรูทางออกของถังเก็บอาหาร ซึ่งเป็นรูสี่เหลี่ยมขนาด 3 cm x 3 cm โดยมีแผ่นจานหมุนเจาะรูที่ต่อกับมอเตอร์ ทำหน้าที่ในการควบคุมการ

เปิดปิดจ่ายอาหาร โดยแผ่นจานหมุน เจาะรูสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับ รูทางออกของถังเก็บอาหารทั้งหมด 4 รู ห่าง 90 องศาเท่า ๆ กัน เมื่อเครื่องทำงาน มอเตอร์หมุนรูเจาะของจาน มาตรงกับทางออกของถังเก็บอาหาร ทำให้อาหารไหลลงท่อทางออกที่ต่อกับ blower และ blower ทำหน้าที่เป่าให้อาหารออกไปจากท่อ

### 3.1.1.1 ถังเก็บอาหาร (hopper)

ออกแบบถังเก็บอาหาร (hopper) ให้เป็นรูปทรงแบบ Rectangular Hopper ที่สามารถบรรจุอาหารปลาหนัก 20 kg ได้ โดยเริ่มต้นหาปริมาตรของอาหารแบบกอง (bulk volume) จากการนำอาหารเม็ดที่จะนำมาใช้ในการเลี้ยงปลาใส่ภาชนะทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยนำอาหารปลาหนัก 1 kg ใส่ภาชนะ และปาดอาหารให้มีระดับเดียวกัน นำเวอร์เนียร์คาลิเปอร์มาวัดขนาดภายในของกล่อง และความสูงของระดับอาหารเป็นจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของขนาด ได้ว่า ขนาดกว้าง 8.4 cm ยาว 14 cm และสูง 20 cm นำขนาดที่ได้ ไปคำนวณหาปริมาตรของอาหารหนัก 1 kg จากสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \quad (3.1)$$

$$\text{จาก ปริมาตรของอาหารหนัก 1 kg} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$\text{ปริมาตรของอาหารหนัก 1 kg} = 8.4 \times 14 \times 20 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรของอาหารหนัก 1 kg} = 2,352 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาตรของอาหารหนัก 1 kg} = 0.002352 \text{ m}^3$$

หาปริมาตรของอาหารหนัก 20 kg

$$\text{ปริมาตรของอาหารหนัก 20 kg} = 0.002352 \text{ m}^3 \times 20 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาตรของอาหารหนัก 20 kg} = 0.04704 \text{ m}^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของ Rectangular Hopper ที่สามารถบรรจุอาหารปลาหนัก 20 kg จะต้องมีปริมาตรมากกว่าหรือเท่ากับ  $0.04704 \text{ m}^3$

โดยสูตรคำนวณหาปริมาตรของ Rectangular Hopper (Taylor, n.d.) คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$V = (H/3) [(X^2Y - x^2y) / (X - x)] \quad (3.2)$$

เมื่อ  $V = \text{Volume}$

$H = \text{Height between Bases}$

$X = \text{Length of Upper Rectangular Base}$

$Y = \text{Width of Upper Rectangular Base}$

$x = \text{Length of Lower Rectangular Base}$

$y = \text{Width of Lower Rectangular Base}$

จากนั้นหาปริมาตรของ hopper ที่ต้องการสร้างซึ่งประกอบด้วยปริมาตรทรงกรวยและปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยการกำหนดค่าขึ้นมาและลองคำนวณปริมาตร

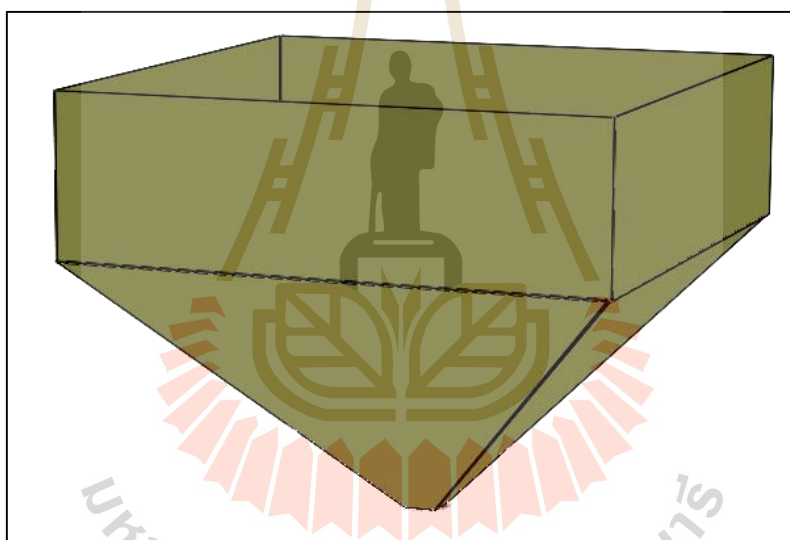
### หาปริมาตรส่วนที่ 1 : ปริมาตรกรวย

กำหนดให้ขนาดของทรงกรวยมี  $X = 0.50 \text{ m}$   $Y = 0.50 \text{ m}$   $x = 0.03 \text{ m}$   $y = 0.03 \text{ m}$  และ  $H = 0.25 \text{ m}$  เมื่อนำไปคำนวณดังสมการที่ 3.2 ได้ว่า ปริมาตรทรงกรวยเท่ากับ  $0.02216 \text{ m}^3$

### หาปริมาตรส่วนที่ 2 : ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

กำหนดให้ขนาดของทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีขนาดกว้าง  $0.50 \text{ m}$  ยาว  $0.50 \text{ m}$  และสูง  $0.15 \text{ m}$  เมื่อนำไปคำนวณดังสมการที่ 3.1 ได้ว่า ปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่ากับ  $0.03750 \text{ m}^3$

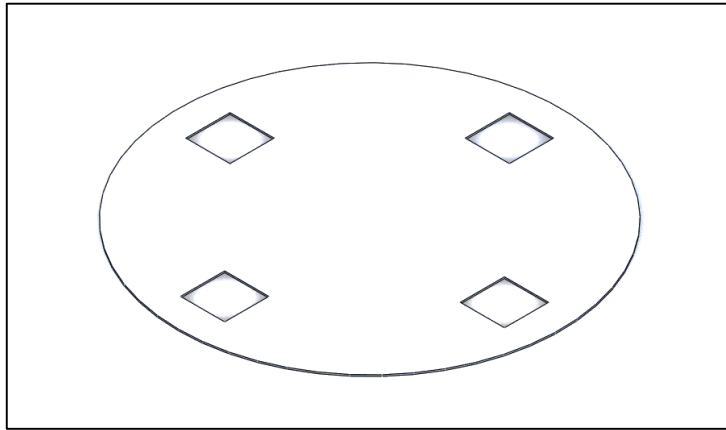
ปริมาตรของ hopper ที่ต้องการ ประกอบด้วยปริมาตรทรงกรวยและปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก มีปริมาตรรวมกันเท่ากับ  $0.05966 \text{ m}^3$  ซึ่งมากกว่าปริมาตรของ hopper ที่สามารถบรรจุอาหารปลาหนัก  $20 \text{ kg}$  ได้ คือ มากกว่า  $0.04704 \text{ m}^3$  อยู่  $26.83\%$  ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำค่าขนาดเหล่านี้ไปออกแบบ ได้ลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 hopper ที่ทำการออกแบบ

#### 3.1.1.2 แผ่นจานหมุนเจาะรู

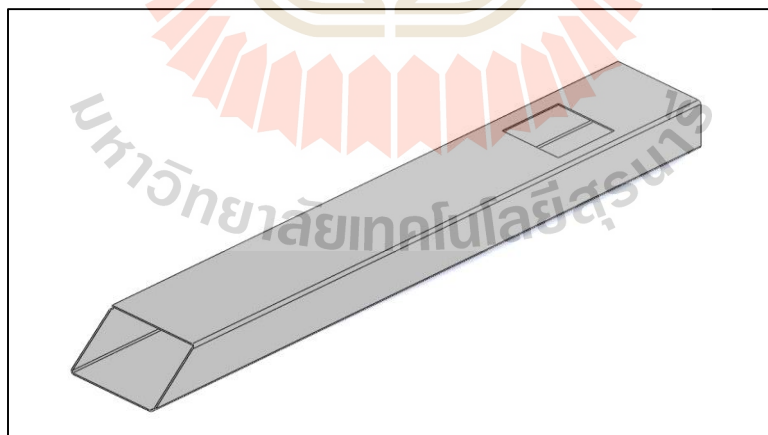
ออกแบบแผ่นจานหมุนเจาะรูที่ต่อกับมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิดปิดจ่ายอาหาร โดยกำหนดให้แผ่นจานหมุน เจาะรูสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับรูทางออกของถังเก็บอาหาร ซึ่งเป็นรูสี่เหลี่ยมขนาด  $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$  ทั้งหมด 4 รู ห่าง 90 องศาเท่า ๆ กัน เพื่อลดระยะเวลาการจ่ายอาหาร จากเริ่มแรกที่ออกแบบให้เจาะรูเพียง 1 รู เมื่อนำจานหมุนไปทดสอบพบว่า ต้องรอเวลานาน กว่ารูที่เจาะจะมาตรงกับปากทางออกของ hopper ทำให้จ่ายอาหารได้ช้า โดยแผ่นจานหมุนเจาะรูที่ออกแบบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว  $26 \text{ cm}$  แสดงดังรูปที่ 3.3



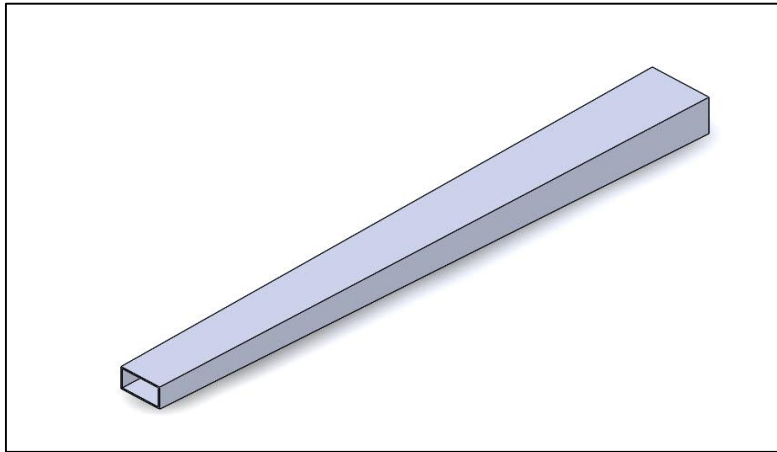
รูปที่ 3.3 แผ่นจานหมุนเจาะรู

### 3.1.1.3 ท่อทางออกของอาหาร

ออกแบบท่อทางออกของอาหารที่ต่อกับ blower ซึ่งประกอบด้วยท่อที่อยู่ภายในเครื่องและท่อที่อยู่ภายนอกเครื่อง ท่อภายในเครื่องออกแบบให้สามารถสวมเข้ากับ blower ที่เลือกใช้ได้พอดี โดยเจาะรูสี่เหลี่ยมที่มีขนาดกว้างกว่ารูทางออกของ hopper และรูนบนจานหมุนเล็กน้อย โดยรูที่เจาะมีขนาด 4 cm x 4 cm เพื่อให้อาหารลงสู่ท่อได้สะดวก ท่อทางออกของอาหารภายในเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.4 ท่อภายนอกเครื่องออกแบบให้สามารถสวมเข้ากับท่อภายในเครื่องได้พอดี โดยออกแบบให้ท่มีลักษณะเรียวลงเพื่อให้อาหารออกจากท่อได้ไกลขึ้นเนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดทางออกของท่อโดยให้ทางออกของท่มีขนาด 2 cm x 4 cm ท่อทางออกของอาหารภายนอกเครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ท่อทางออกของอาหารภายในเครื่อง



รูปที่ 3.5 ท่อทางออกของอาหารภายนอกเครื่อง

#### 3.1.1.4 มอเตอร์ที่เลือกใช้

เลือกใช้ Stepper motor แบบ DC 12 V จำนวน 1 ตัว ต่อกับแผ่นจานหมุนเจาะรู เพื่อทำหน้าที่ควบคุมจานหมุนให้เปิดปิดจ่ายอาหาร โดยเลือกใช้ Stepper Motor 12 V 1.5 A มี Step Angle เท่ากับ 1.8 องศา (Arduinoall, n.d.) แสดงดังรูปที่ 3.6 สาเหตุที่เลือกใช้ เนื่องจากมอเตอร์ประเภทนี้สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้อย่างแม่นยำด้วยตัวเลขขององศาหรือระยะทาง ทำให้จานหมุนมีความแม่นยำในการหยุดตามตำแหน่งที่ต้องการ กล่าวคือหยุดตรงตำแหน่งที่ไม่เจาะรู Stepper motor หรือ Stepping Motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ มีลักษณะการขับเคลื่อนโดยการหมุนรอบแกน 360 องศาแต่ไม่ต่อเนื่องจะเคลื่อนไปเป็นสเต็ป ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลา โดยการทำงานของมอเตอร์ใช้อุปกรณ์ช่วยในการขับเคลื่อน คือ Stepping Motor Drive และตัว Controller (Factomart Admin, 2016)



รูปที่ 3.6 Stepper motor แบบ DC 12 V

### 3.1.1.5 Blower ที่เลือกใช้

เลือกใช้ blower ในการควบคุมจ่ายอาหาร เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป่าให้อาหารลงสู่หน้า โดยเลือกใช้ blower แบรินต์ SANYO DENKI SAN ACE แรงดันไฟฟ้า: 12 V 1.85A ความเร็วรอบ: 5,800 RPM (YD cooling fan Store, ม.ป.ป.) แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 blower แบบ DC 12 V

### 3.1.2 สร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ

ผู้วิจัยดำเนินการจ้างผู้รับเหมาประกอบชุดต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยตัวเครื่องและส่วนประกอบภายในเครื่องใช้วัสดุสแตนเลสเกรด 304 เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับอาหารปลาจึงต้องเลือกใช้วัสดุที่ไม่ขึ้นสนิมง่าย และไม่มีการปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของปลาและส่วนขาตั้งของเครื่องใช้วัสดุเป็นเหล็กทาสีกันสนิมเพื่อลดต้นทุนในการสร้าง ซึ่งชุดต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่สร้างเสร็จ ถึงเก็บอาหาร และส่วนประกอบภายในเครื่องให้อาหารปลา แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ



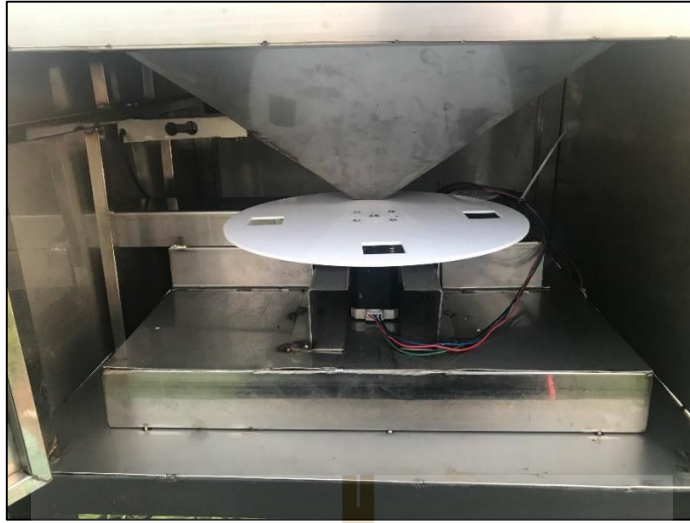


รูปที่ 3.8 ชุดต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติที่สร้างเสร็จ



รูปที่ 3.9 ถังเก็บอาหาร





รูปที่ 3.10 ส่วนประกอบภายในเครื่องให้อาหารปลา

โดยขาตั้งของเครื่องสร้างแบบให้สามารถปรับระดับได้ทั้ง 4 ขา โดยมีเหล็กสวมและที่ขันยึดแบบ 6 เหลี่ยม และบริเวณปลายขาตั้งมีลักษณะแบน ๆ มีรูสำหรับใส่เหล็กเส้นตอกยึดกับพื้นดินเพื่อป้องกันเครื่องล้มโดยขาตั้งเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขาตั้งของเครื่องให้อาหารปลา

### 3.1.3 การออกแบบระบบ Solar cell

การออกแบบระบบ Solar cell เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่เครื่องให้อาหารปลาในกรณีไฟฟ้าเข้าไม่ถึงหรือแหล่งจ่ายไฟอยู่ห่างไกลจากบริเวณบ่อเลี้ยงปลา ประกอบด้วย 3 อุปกรณ์หลักที่สำคัญ ดังนี้

1. แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell Panel) ทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
2. แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่ เก็บกระแสไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้ไว้
3. เครื่องควบคุม (Solar Charge Controller) ทำหน้าที่ ควบคุมการชาร์จไฟจากแผงโซลาร์เซลล์ลงแบตเตอรี่และควบคุมการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ไปเครื่องใช้ไฟฟ้า

#### วิธีการคำนวณระบบ Solar cell

กำหนดให้คำนวณหาที่ภาระโหลดของน้ำหนักอาหารสูงสุดที่เครื่องให้อาหารสามารถให้ได้ต่อวัน คือ 20 kg/วัน

จากการทดสอบให้อาหารปลาด้วยแผ่นจานหมุนเจาะรูขนาด 3 cm x 3 cm จำนวน 4 รู พบว่า ให้อาหารน้ำหนัก 1 kg เป็นเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 105 วินาที โดยให้เป็นเวลา 2 ครั้ง/วัน ให้ครั้งละ 10 kg

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น เวลาการให้อาหารที่ภาระโหลดสูงสุด} &= 10 \text{ kg/ครั้ง} \times 105 \text{ วินาที/kg} \times 1 \text{ นาที/} \\ & 60 \text{ วินาที} \times 1 \text{ ชั่วโมง/60 นาที} \\ &= 0.292 \text{ ชั่วโมง/ครั้ง} \end{aligned}$$

เมื่อได้เวลาการให้อาหารที่ภาระโหลดสูงสุดแล้ว นำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ระบบ Solar cell

#### 1. หาขนาดของแผง Solar cell

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของแผง Solar cell} &= \text{ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด} / 5 \text{ ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่} \\ & \text{น่าจะได้ใน 1 วัน)} \\ &= (\text{พลังงานขณะให้อาหาร} + \text{พลังงานตอนไม่ให้อาหาร}) / 5 \text{ ชั่วโมง} \\ &= \{(12 \text{ V} \times 2.4 \text{ A} \times 0.292 \text{ ชั่วโมง} \times 2 \text{ ครั้ง}) + (12 \text{ V} \times 0.3 \text{ A} \times (24 \\ & - 0.584 \text{ ชั่วโมง}))\} / 5 \text{ h} \\ &= (16.8192 + 84.2976) \text{ Wh} / 5 \text{ h} \\ &= 101.1168 \text{ Wh} / 5 \text{ h} \\ &= 20.22 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของแผง Solar cell ที่ใช้ คือ ขนาด 12 V 20 W

## 2. แบตเตอรี่ (Battery)

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดของแบตเตอรี่ (Ah)} &= \text{ค่าพลังงานรวม} / (\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.6 \text{ (\% การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่)}) \\
 &= 101.1168 \text{ Wh} / (12 \text{ V} \times 0.6) \\
 &= 14.044 \text{ Ah}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นขนาด 12 โวลต์ 14.044 Ah หรือมากกว่า

ดังนั้น เลือกขนาดของแบตเตอรี่เป็นขนาด 12 โวลต์ 20 Ah

## 3. เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller)

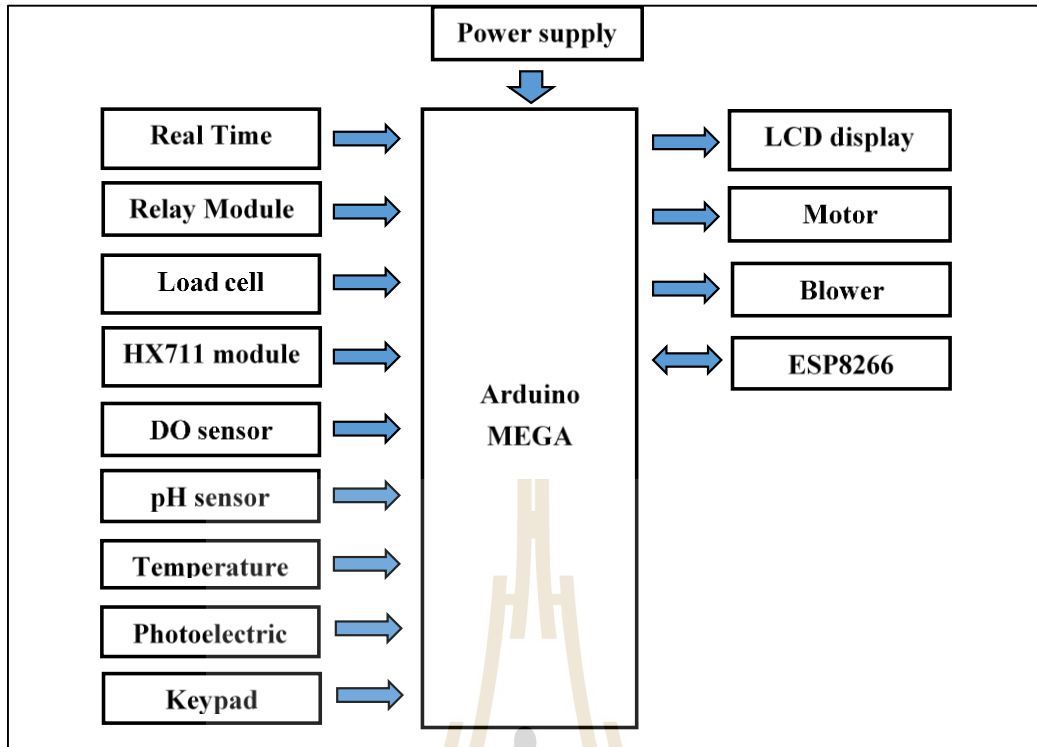
ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่หากต้องการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ควรมีขนาดเกินกระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ดังนั้น เลือกใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ขนาด 10 A สรุปเลือกใช้อุปกรณ์ระบบโซลาร์เซลล์ ดังรายละเอียดดังนี้ 1) แผงโซลาร์เซลล์ ( Solar Cell Panel ) ขนาด 12 V 20 W

2) แบตเตอรี่ ( Battery ) ขนาด 12 V 20 Ah และ 3) เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ( Solar Charge Controller ) ขนาด 10 A

## 3.2 การออกแบบระบบควบคุม

### 3.2.1 ภาพรวมของระบบ

ออกแบบระบบควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยเลือกใช้ microcontroller เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบร่วมกับ Real Time Clock ในการตั้งค่าเวลาเปิดปิดจ่ายอาหาร โดย microcontroller ที่นำมาใช้ คือ บอร์ด Arduino MEGA และเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ด ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติ โดยมีแผนภาพอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพระบบควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3.12 ระบบควบคุมให้อาหารปลาอัตโนมัติ มีอุปกรณ์หลักที่สำคัญ คือ Arduino Mega เป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ ทำหน้าที่ควบคุม สั่งการ และรับส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ มี Real Time Clock (RTC) ทำหน้าที่ควบคุมการให้อาหารตามเวลาที่กำหนด โดยใช้แหล่งจ่ายพลังงาน เป็นแผง Solar cells สะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์เก็บไว้ใน Battery โดยมี Step Down Regulator ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดัน 12 V จากแบตเตอรี่ เป็นแรงดันต่ำประมาณ 5 V เพื่อจ่ายพลังงานให้กับบอร์ด ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งจ่ายพลังงาน และมี Relay Module ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรในระบบ

โดยอุปกรณ์ที่เป็น input ให้กับระบบ ได้แก่ Real Time clock, Relay Module, Load cell sensor, HX711 module DO sensor, pH sensor, Temperature sensor, Photoelectric sensor และ Keypad หรือปุ่มกด ส่วนอุปกรณ์ที่เป็น output ของระบบ ได้แก่ LCD display, Motor และ blower และอุปกรณ์ที่เป็นทั้ง input และ output ของระบบ คือ ESP8266 module ซึ่งเป็นโมดูล Wi-Fi ช่วยให้อุปกรณ์อื่น ๆ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ internet ได้ นอกจากนี้มีการเลือกใช้อุปกรณ์ Photoelectric sensor มาทำหน้าที่ เป็นตัวช่วยให้งานหมุนปิดรูถังอาหารสนิทหรือหยุดตรงบริเวณที่ไม่เจาะรู โดยทำการบากร่องของงานหมุนประมาณ 2 มม ทำมุม 45 องศากับรูเจาะบนงานทั้ง 4 รู เพื่อให้เซ็นเซอร์ตรวจจับบริเวณเนื้อชิ้นส่วนของงานหมุนที่หายไป และเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับ ระบบจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน งานหมุนจะหยุดตรงบริเวณที่ไม่เจาะรูพอดี โดยเลือกใช้เป็น Counter module motor speed sensor ซึ่งจัดเป็น Photoelectric sensor ประเภทหนึ่งรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

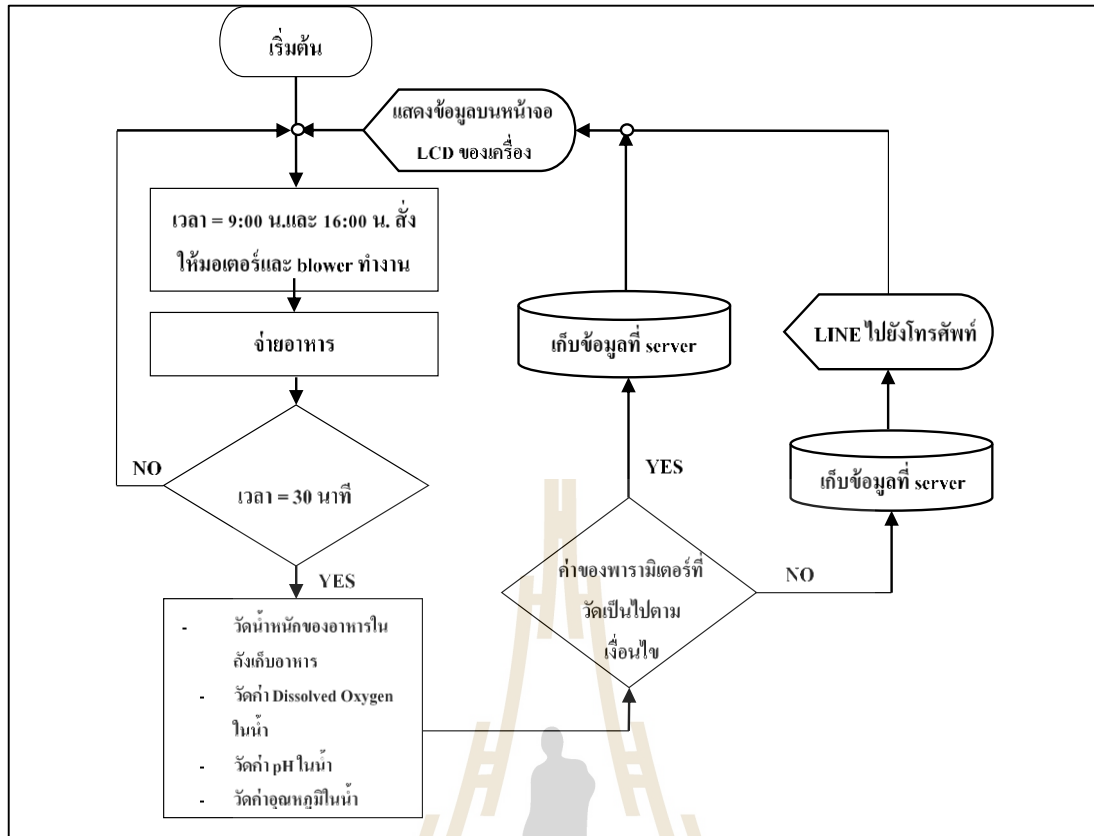
ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้	หน้าที่	Specification
1	Arduino Mega	หน่วยประมวลผลกลางของระบบ, ควบคุมการทำงานของระบบ	Operating Voltage 5 V Input Voltage 7 – 12 V Digital I/O Pins 54 Analog Input Pins 16 DC Current for 3.3V Pin 50 mA (Gravitech, n.d.)
2	Real Time Clock (RTC)	อุปกรณ์ที่ให้ค่าเวลาตามจริง	Accuracy $\pm 2$ ppm from 0°C to 40°C 3.3 V Operation (Arduitrronics, 2557)
3	Step down Regulator Module	แปลงแรงดันไฟฟ้า	แปลงแรงดัน 4 – 40 V เป็น 1.25 - 30 V ให้กระแสสูงสุด 3 A มีจอแสดงผล (Myarduino, 2559)
4	Relay Module	ตัดต่อวงจร	โมดูลรีเลย์ 4 ช่อง 5 V ควบคุมโหลดแรงดันไฟฟ้า DC และ AC Maximum Load AC 250 V/10 A, DC 30 V/10 A กระแสขั้วรีเลย์ 15 - 20 mA มี LED แสดงสถานะ (Mltelectronic, ม.ป.ป.).
5	ESP8266	ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นผ่าน Wi-Fi	แรงดันไฟฟ้า 3.0 - 3.6 V กระแสเฉลี่ย 80 mA ทำงานได้ที่อุณหภูมิ - 40°C - 125°C (Arduinoall, 2561a)

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้	หน้าที่	Specification
6	LCD Display	แสดงผลข้อมูล	จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด สีเหลือง แรงดันไฟฟ้า 5 V
7	Photoelectric sensor	ตรวจจับวัตถุ	ให้สัญญาณ Digital Output และ Analog Output เมื่อมีวัตถุมาบังที่ร่องตรวจนับ ให้สัญญาณเป็น 1 แรงดันไฟฟ้า 5 V และมีหลอดไฟ LED แสดงการทำงาน (Arduinoall, 2561b)

กระบวนการทำงานของระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ แสดงให้เห็นเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 3.13 โดยระบบให้อาหารตามเวลา คือ เวลา 9:00 น. และ 16:00 น. มอเตอร์และ blower จะทำงานและจ่ายอาหารออกมาโดยทุก ๆ 30 นาที ระบบจะดำเนินการตรวจสอบและวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามลำดับ ซึ่งการทำงานของ Arduino เป็นการตรวจวัดที่ใช้ระยะเวลารวดเร็วมาก จึงทำให้มีลักษณะคล้ายกับทำงานไปพร้อม ๆ กัน ประกอบด้วยการตรวจวัดน้ำหนักของอาหารในถังเก็บอาหาร การวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) ค่า pH ในน้ำ และค่าอุณหภูมิในน้ำ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเงื่อนไขที่ตั้งค่าไว้ เมื่อค่าที่วัดเป็นไปตามเงื่อนไขหรือค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่กำหนด ระบบจะส่งข้อมูลค่าที่วัดได้ไปเก็บไว้ที่ server หรือ cloud และแสดงข้อมูลค่าที่วัดได้บนหน้าจอ LCD ของเครื่องให้อาหารปลา แต่หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ระบบจะส่งข้อมูลค่าที่วัดได้ไปเก็บไว้ที่ server จากนั้นจะส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่าน LINE ไปยังโทรศัพท์ของผู้เลี้ยง และแสดงข้อมูลค่าที่วัดได้บนหน้าจอ LCD

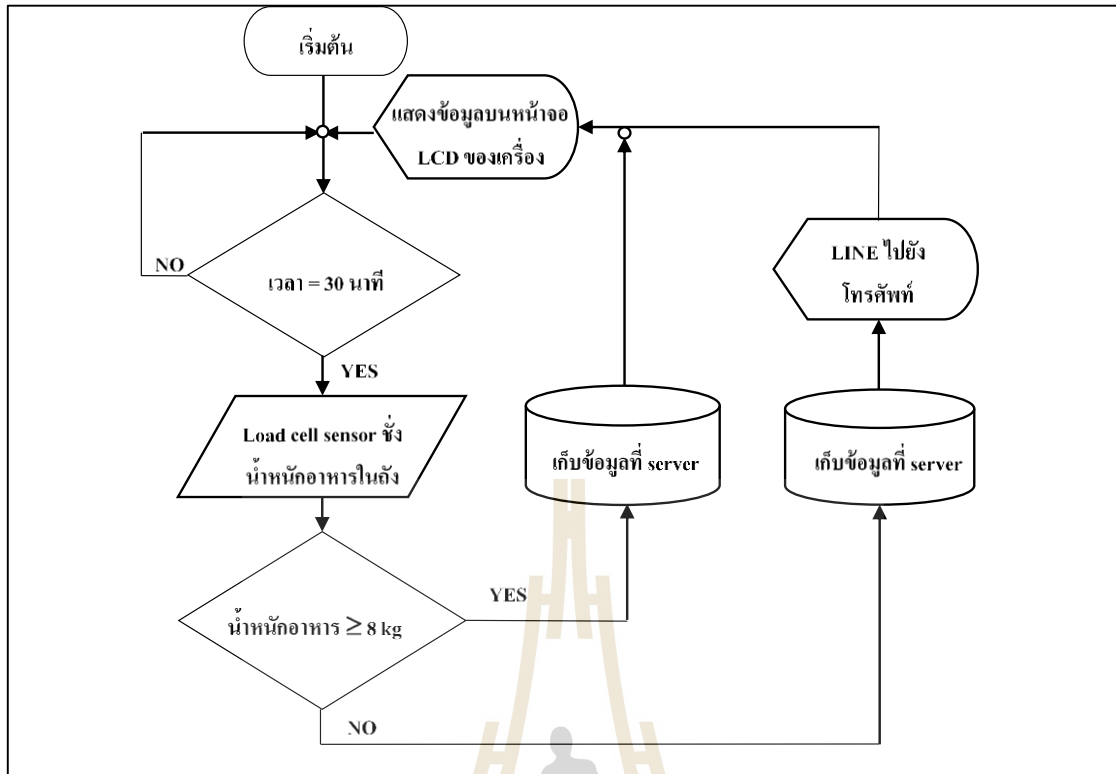




รูปที่ 3.13 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติ

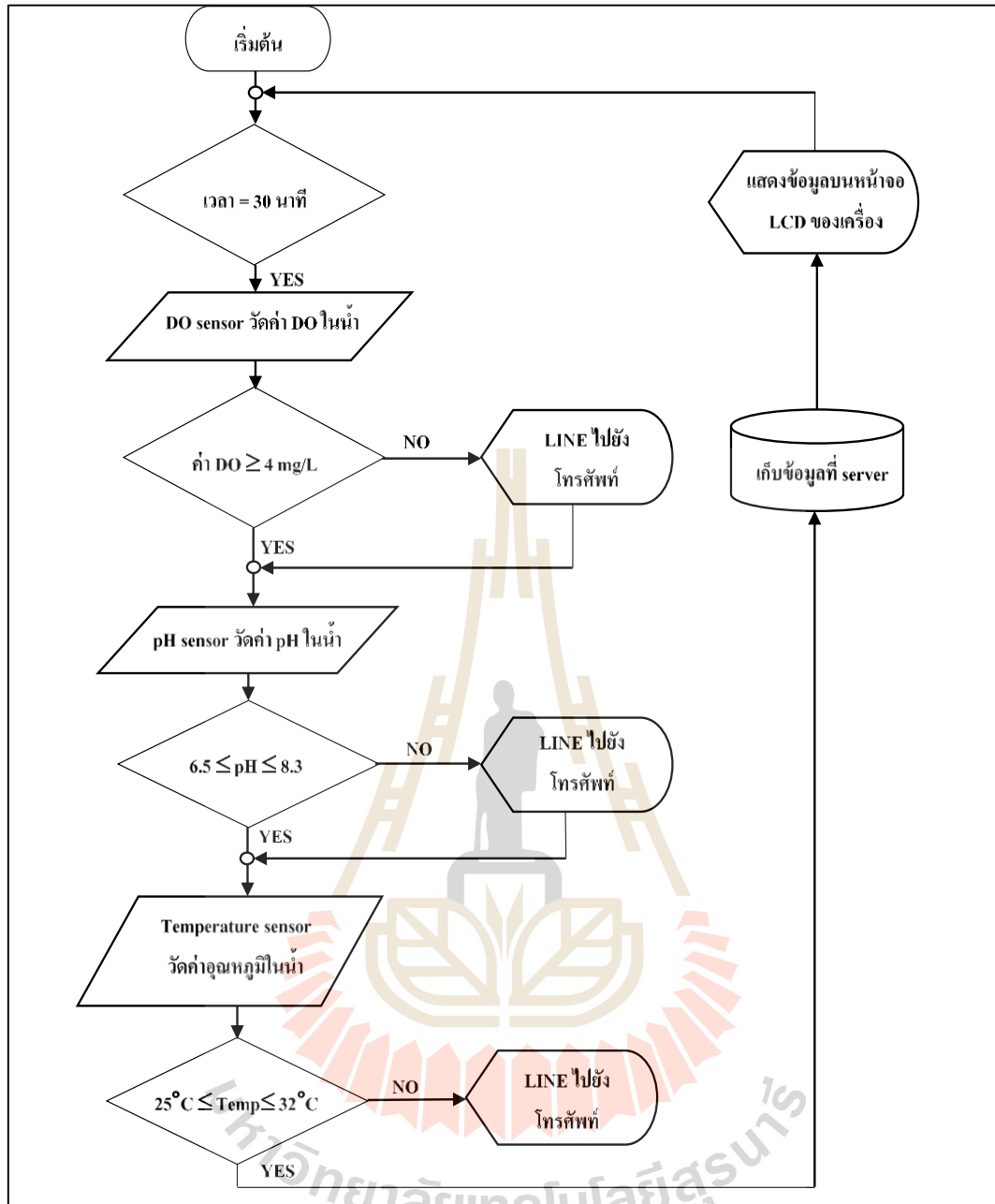
### 3.2.2 ระบบแจ้งเตือน

การตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบแจ้งเตือน จะใช้ค่าที่วัดจาก sensors เฉพาะ และมีเงื่อนไขหรือช่วงค่าที่ใช้สำหรับการตรวจสอบแตกต่างกัน โดยกำหนดให้ระบบทำการตรวจสอบทุก ๆ 30 นาที และข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บที่ server ทุกครั้ง แต่หากมีการตรวจพบค่าพารามิเตอร์ที่อยู่นอกช่วงที่กำหนด ระบบจะแจ้งเตือนผู้ใช้ผ่านทาง LINE โดยขั้นตอนการควบคุมของแต่ละระบบแจ้งเตือนมี flowchart การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ 3.15 ซึ่งประกอบด้วย การตรวจวัดน้ำหนักของอาหารในถังเก็บอาหาร ใช้ Load cell sensor ทำหน้าที่ชั่งน้ำหนักอาหารภายในถัง และการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ ใช้ DO sensor, pH sensor และ Temperature sensor ทำหน้าที่ในการวัด ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบแจ้งเตือนน้ำหนักอาหารในถัง





รูปที่ 3.15 แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบแจ้งเตือนค่า DO, ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำ

### 3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

การตรวจวัดน้ำหนักรวมของอาหารในถังเก็บอาหาร การตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่า pH ในน้ำ และค่าอุณหภูมิในน้ำ ใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัด แสดงรายละเอียดดังตารางที่

3.2

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดในระบบแจ้งเตือน

ลำดับ	อุปกรณ์ที่ใช้	แบรนด์/ รุ่น	หน้าที่	Specification
1	Load cell sensor	Load cell sensor 50 kg	ชั่งน้ำหนักอาหารในถัง	Capacity: 50 kg, Error $\pm$ 0.03 (Myarduino, 2560)
2	HX711 module	HX711 module	ขยายสัญญาณจาก Load cell sensor	ขยายสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิทัล ใช้แรงดันไฟฟ้า 2.6 - 5.5 V (Mosfex, 2017)
3	DO sensor	Atlas-Scientific	วัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	Measuring Range: 0 - 20 mg/L Max Temperature: 50°C Measuring Precision: $\pm$ 0.01 mg/L Accuracy within two significant (XX.XX mg/L) Response Time: $\leq$ 2 min
4	pH sensor	DFROBOT รุ่น SEN0169	วัดค่า pH ในน้ำ	ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V Measuring Range: 0 - 14 pH Measuring Precision: $\leq$ 0.02 pH Measuring Temperature: 0 - 60°C Response Time: $\leq$ 1 min
5	Temperature sensor	DS18B20	วัดค่าอุณหภูมิในน้ำ	ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 - 5 V Measuring Temperature: -55 - 125°C

การตรวจวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่า pH ในน้ำ และค่าอุณหภูมิในน้ำ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา การกำหนดเงื่อนไขในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ จึงจำเป็นต้องกำหนดให้มีช่วงค่าที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงปลานิล ซึ่งแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ช่วงค่าที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานิล

พารามิเตอร์	ช่วงค่าที่เหมาะสม
ค่า Dissolved Oxygen	$\geq 4$ mg/L (ฝ่ายบริการวิชาการสัตว์น้ำ บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน), 2557)
ค่า pH	6.5 – 8.3 (กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ, 2560)
ค่าอุณหภูมิ	25°C - 32°C (กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ, 2560)

### 3.3 การทดลองให้อาหารปลา

#### 3.3.1 การเตรียมปลาทดลองและการให้อาหาร

นำลูกปลานิลแปลงเพศขนาดน้ำหนักเริ่มต้น  $470.56 \pm 13.69$  กรัม และ  $476.72 \pm 11.08$  กรัม มาทำการเลี้ยงในกระชังที่อยู่ในบ่อดิน เลี้ยงด้วยอาหารปลาที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ โดยเลี้ยงปลาจำนวน 500 ตัว/บ่อ ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้อาหารปลา 2 วิธี โดย

- บ่อที่ 1 : ให้อาหารด้วยเครื่องอัตโนมัติ
- บ่อที่ 2 : ให้อาหารด้วยแรงงานคน (ให้ด้วยมือ)
- ก่อนเริ่มให้อาหารทำการสุ่มปลาทดลองมาชั่งน้ำหนักจำนวน 20% ของจำนวนปลาทั้งหมด เพื่อบันทึกค่าน้ำหนักปลาเริ่มต้นของทั้งสองบ่อ
- ให้อาหารเม็ดปลาทุกสูตรทางการค้าที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ และให้อาหารในอัตรา 3% ต่อน้ำหนักตัว ให้วันละ 2 ครั้ง เวลา 09:00 น. และ 16:00 น. เป็นระยะเวลา 4 เดือน
- สุ่มปลาจำนวน 20% ของจำนวนปลาทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก 1 ครั้ง/เดือน

#### 3.3.2 การเตรียมบ่อทดลอง

บ่อทดลองใช้บ่อดินที่มีขนาดกว้าง 15 เมตร ยาว 50 เมตร ลึก 1.5 เมตร ใส่ น้ำลึก 1.2 เมตร จำนวน 2 บ่อ และใช้กระชังขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 15 เมตร ติดตั้งลงในบ่อดินจำนวน 1 กระชัง/บ่อ โดยทำการทดลอง ณ ฟาร์มประมงมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภาพบ่อทดลองให้อาหารปลา ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 บ่อทดลองให้อาหารปลา

### 3.3.3 การติดตั้งเครื่องให้อาหารปลาสำหรับการทดลอง

ติดตั้งเครื่องให้อาหารปลาสำหรับการทดลอง พร้อมตู้ควบคุมและแหล่งจ่ายพลังงาน Solar cell ที่บ่อทดลอง 1 บ่อ บริเวณกึ่งกลางกระชังริมบ่อเลี้ยงปลา เครื่องให้อาหารปลาสำหรับการทดลอง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องให้อาหารปลาสำหรับการทดลอง



### 3.4 การประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหาร

หลังจากการเลี้ยงปลานิลด้วยวิธีการให้อาหารที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และการให้อาหารด้วยมือ เป็นระยะเวลา 4 เดือน ทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารของปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องอัตโนมัติและให้อาหารด้วยคน การสุ่มปลาชั่งน้ำหนัก แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.18 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลของการให้อาหารแต่ละวิธีต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหาร ดังสมการที่ 2.1–2.9 และนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มการทดลองด้วยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.01$  โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 17.0



รูปที่ 3.18 การสุ่มปลาชั่งน้ำหนัก

### 3.5 การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

คำนวณหาระยะเวลาการคืนทุน (Payback period) สำหรับการสร้างเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ ซึ่งระยะเวลาการคืนทุน คือ การหารระยะเวลาที่จะได้เงินสตรับเท่ากับเงินลงทุน (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2560) โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{กระแสเงินสดรับเฉลี่ยต่อปี}} \quad (3.3)$$

### 3.6 การออกแบบและสร้างชุดต้นแบบระบบเติมอากาศ

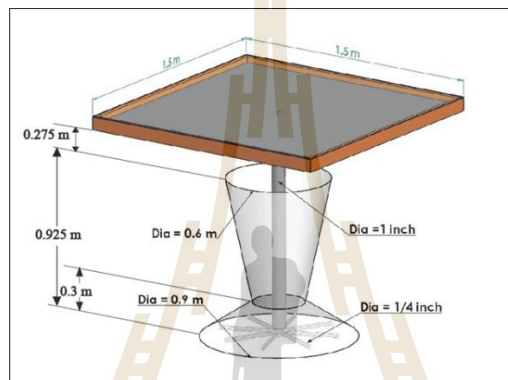
#### 3.6.1 การจำลองเชิงตัวเลข

ขนาดของระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้จากการจำลองหาขนาดที่เหมาะสมในโปรแกรม Ansys FLUENT ซึ่งในการจำลองได้ทำการหาขนาดที่เหมาะสมสำหรับแผงรับรังสีความร้อนขนาด 1.5 x 1.5 เมตร โดยพารามิเตอร์หลักๆ ที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. รูปทรงของปล่องบาน (draft tube)
2. ขนาดแท่งนำความร้อน (central rod)

ขนาดที่เหมาะสมของระบบพิจารณาจากอัตราการไหลเวียน โดยขนาดที่ให้อัตราการไหลเวียนมากกว่าหรือเท่ากับ 1 L/s จะถูกเลือกมาใช้ในการสร้าง จากการจำลองได้ขนาดที่เหมาะสมดังรูปที่

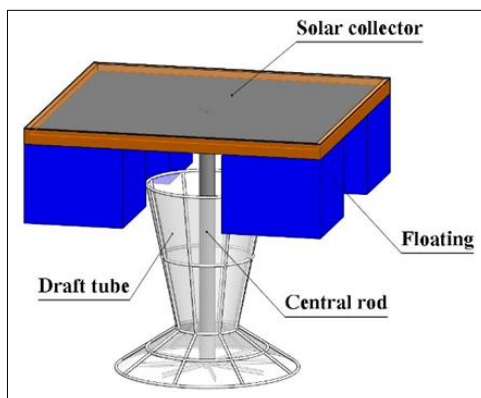
3.19



รูปที่ 3.19 ขนาดของระบบเติมอากาศ

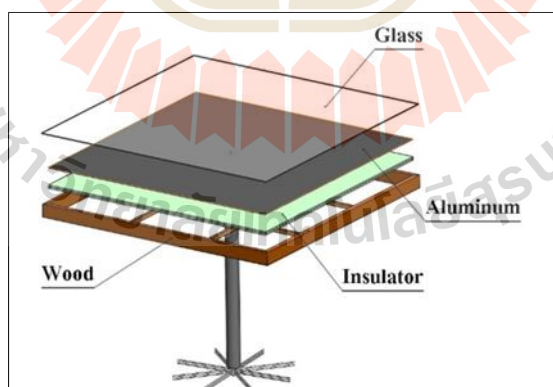
### 3.6.2 การออกแบบในโปรแกรม

ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนนี้ มีขนาดความกว้าง 1.5 เมตร ความยาว 1.5 เมตร และความสูง 1.25 เมตร โดยส่วนที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะอยู่บนน้ำโดยวางอยู่บนทุ่นลอย และส่วนที่เป็นแท่งนำความร้อนกับปล่องอยู่ใต้น้ำ ส่วนประกอบหลักของระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนประกอบไปด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (solar collector) ซึ่งทำหน้าที่รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ แท่งนำความร้อน (central rod) ทำหน้าที่นำความร้อนจากแผงรับแดดลงมายังก้นบ่อ ปล่อง (draft tube) ทำหน้าที่เหนี่ยวนำทิศทางการไหลของน้ำเพื่อให้เกิดการไหลตามทิศทางที่กำหนดและการไหลนี้จะช่วยทำลายการแบ่งชั้นความร้อนและช่วยปรับปรุงค่าออกซิเจนที่ก้นบ่อ และส่วนประกอบสุดท้ายคือ ทุ่นลอย (floating) ทำหน้าที่พยุงชุดเติมอากาศให้ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ แบบที่วาดในโปรแกรม Solidwork แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แบบที่วาดในโปรแกรม Solidwork

เพื่อเพิ่มสมรรถนะของแผงรับแดด ให้มีความสามารถในการรับแดดได้ดียิ่งขึ้นได้ใช้กระจก (glass) ปิดด้านบนเพื่อช่วยเพิ่มความร้อนให้กับแผงรับแดดที่ทำจากอลูมิเนียมทาสีดำ (aluminum) ที่วางอยู่ด้านล่างโดยแผ่นกระจกกับแผ่นอลูมิเนียมติดห่างกัน 4 เซนติเมตร โดยมีกรอบไม้ทำเป็นกรอบไว้เพื่อกันไม่ให้อากาศที่ร้อนภายใต้กระจกสูญเสี้ออกไปสู่สิ่งแวดล้อม และมีการติดตั้งฉนวนความร้อน (insulator) ใต้แผ่นอลูมิเนียมไม่ให้ความร้อนแผ่ลงบนผิวน้ำ นอกจากนี้ยังมีแท่งนำความร้อน ที่ทำจากเพลลาอลูมิเนียมและมีการหุ้มฉนวนความร้อนไว้ระยะหนึ่งเพื่อไม่ให้ความร้อนแผ่ลงในน้ำในบริเวณที่ไม่ต้องการ ส่วนสาเหตุที่แผงรับแดดและแท่งนำความร้อนทำจากอลูมิเนียมเนื่องจากมีค่าการนำความร้อนที่สูงจะช่วยให้การนำความร้อนมายังกันบ่อได้ดียิ่งขึ้นและช่วยปรับปรุงค่าออกซิเจนได้ดีกว่าการเลือกใช้วัสดุอื่น ส่วนประกอบของแผงรับแดดได้แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ส่วนประกอบของแผงรับแดดพร้อมกับแท่งนำความร้อน

### 3.6.3 การสร้างต้นแบบ

เมื่อออกแบบต้นแบบระบบเติมอากาศในโปรแกรม Solidwork เสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้นำแบบที่ได้ไปสร้างชุดต้นแบบขึ้นมา โดยส่วนที่เป็นปล่องบาน (draft tube) สร้างขึ้นจากโครงอลูมิเนียม และหุ้มด้วยพลาสติกใส ส่วนที่เป็นแท่งนำความร้อน (central rod) ทำจากแท่งอลูมิเนียม เนื่องจากนำ



ความร้อนได้ดี และทำการหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อนโครงของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทำจากไม้ เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่าโครงสร้างที่เป็นโครงเหล็ก สำหรับส่วนของส่วนประกอบที่ถูกสร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.22 และชุดต้นแบบของระบบเติมอากาศที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วแสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบของระบบเติมอากาศ



รูปที่ 3.23 ต้นแบบระบบเติมอากาศ

เมื่อสร้างชุดต้นแบบเสร็จแล้ว ได้นำระบบไปติดตั้งในบ่อเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่อง ซึ่งการติดตั้งระบบเติมอากาศลงในบ่อแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การติดตั้งระบบเติมอากาศในบ่อเลี้ยง

### 3.7 การวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

#### 3.7.1 ชุดวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

เพื่อทำการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำหรือ DO ได้ทำการสร้างชุดเก็บข้อมูลเพื่อนำมาบันทึกค่า DO ในแต่ละวัน โดยทำการเขียนโปรแกรมให้บันทึกค่า DO ทุก ๆ 15 นาที ลงบนบอร์ด Arduino และบันทึกค่า DO ลงบนการ์ด แหล่งพลังงานที่จ่ายให้กับบอร์ดมาจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งเข้าไปในตู้คอนโทรล สำหรับชุดบันทึกข้อมูลค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำแสดงดังรูปที่ 3.25



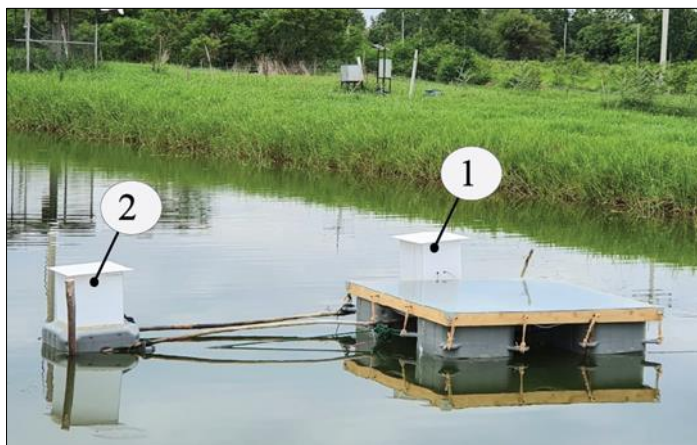
รูปที่ 3.25 ชุดบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

#### 3.7.2 ตำแหน่งการวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ชุดบันทึกค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมี 2 ชุด ประกอบไปด้วย

1. ชุดที่อยู่ติดกับระบบ เรียกว่า ตำแหน่งใกล้เครื่อง
2. ชุดที่อยู่ห่างจากระบบ เรียกว่า ตำแหน่งไกลเครื่อง

การติดตั้งชุดบันทึกค่าออกซิเจนของระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3.26

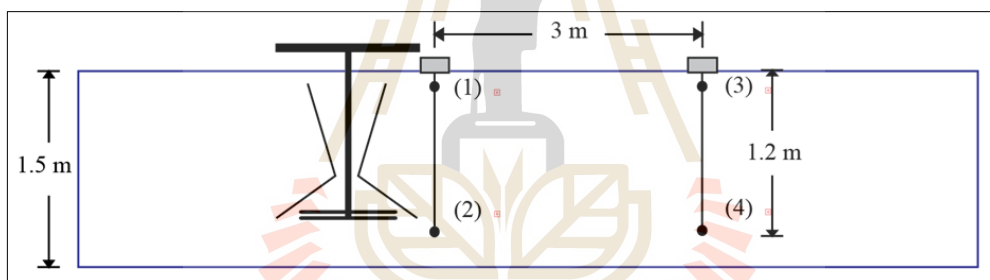


รูปที่ 3.26 จุดวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อเลี้ยง

ชุดบันทึกข้อมูลแต่ละชุดทำการวัด DO ด้วยกัน 2 จุด ประกอบไปด้วย

- ชั้นบน ซึ่งประกอบไปด้วยจุดวัดที่ 1 และ 3
- ชั้นล่าง ซึ่งประกอบไปด้วยจุดวัดที่ 2 และ 4

ภาพแสดงจุดวัด 1 ถึง 4 ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ตำแหน่งการวัดออกซิเจนในน้ำสำหรับบ่อเลี้ยง

### 3.8 การเตรียมบ่อทดลอง

การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลาจากบ่อที่ทำการติดตั้งระบบเติมอากาศจากงานวิจัยกับบ่อที่ไม่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ ทั้งสองบ่อที่ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเจริญเติบโตมีเงื่อนไขเริ่มต้น ดังนี้

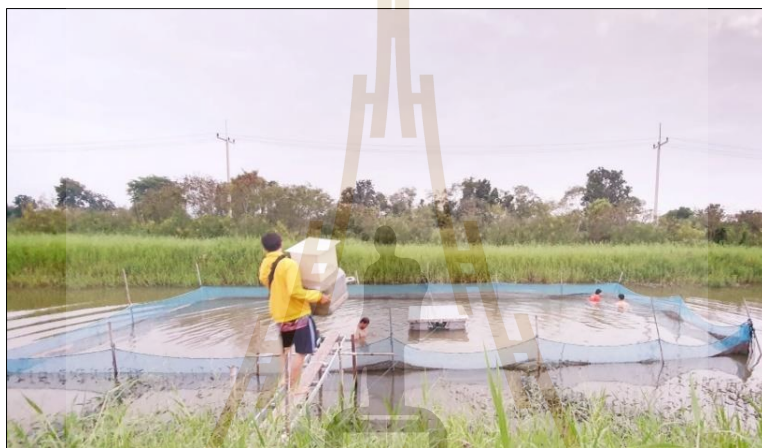
ตารางที่ 3.4 น้ำหนักปลาเริ่มต้น และอัตราการให้อาหารสำหรับปลาทดลอง

เงื่อนไขเริ่มต้น	บ่อที่ติดตั้งระบบ	บ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ
จำนวนปลา/กระชัง (ตัว)	312	312
อัตราการสูม (%)	31.2%	31.2%
น้ำหนักเฉลี่ย/ตัว (กรัม)	256.66	256.70
อัตราการให้อาหาร (%)	3%	3%
จำนวนมือให้อาหาร (มือ/วัน)	2	2



จากตารางที่ 3.4 บ่อเลี้ยงปลานิลทั้ง 2 บ่อมีเงื่อนไขเริ่มต้นเหมือนกัน โดยมีบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศและบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ แต่ละบ่อให้อาหารเท่ากันคือ 3% ของน้ำหนักตัว และให้อาหาร 2 เวลา คือ 10.00 น. และ 16.00 น. ในส่วนของการวัดน้ำหนักปลา ได้ทำการสุ่มซั่งทุก ๆ เดือน จำนวน 31.2% หรือ 100 ตัว ของจำนวนปลาแต่ละบ่อ

สำหรับการเตรียมบ่อทดลอง ใช้บ่อดินที่มีขนาดกว้าง 15 เมตร ยาว 50 เมตร ลึก 1.5 เมตร ใส่น้ำลึก 1.5 เมตร จำนวน 2 บ่อ และใช้กระชังขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 15 เมตร ติดตั้งลงในบ่อดินจำนวน 1 กระชัง/บ่อ โดยทำการทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ภาพบ่อทดลองที่ทำการติดตั้งระบบเติมอากาศและบ่อไม่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ แสดงในรูปที่ 3.28 และ 3.29 ตามลำดับ



รูปที่ 3.28 การเตรียมบ่อเลี้ยงปลานิลที่ติดตั้งระบบเติมอากาศ



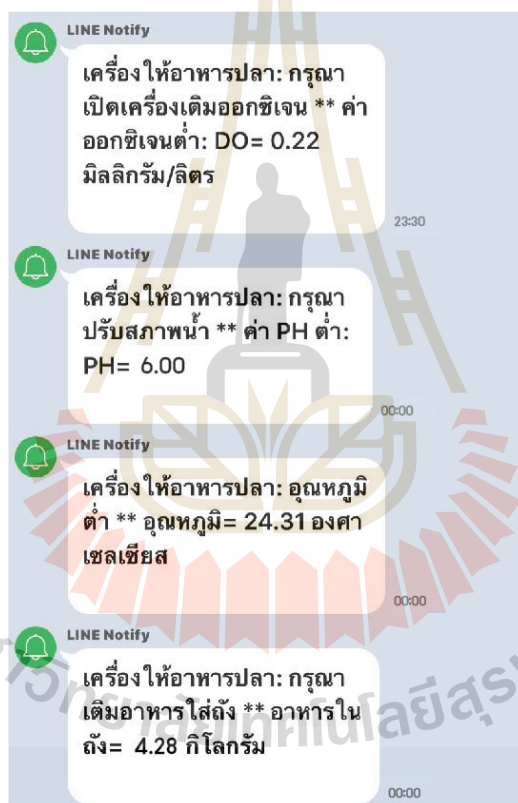
รูปที่ 3.29 การเตรียมบ่อเลี้ยงปลานิลที่ไม่ติดตั้งระบบเติมอากาศ

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 ผลการทดสอบเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ

เก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ ดังนี้ เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าน้ำหนักอาหารในถังเก็บอาหาร ตรวจวัดค่า DO ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำ และพบว่าค่าที่วัดไม่อยู่ในช่วงค่าที่กำหนด หรือไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ระบบควบคุมจะมีการแจ้งเตือน โดยระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน LINE ไปยังโทรศัพท์ของผู้ใช้ โดยผลการแจ้งเตือนค่า DO, ค่า pH, ค่าอุณหภูมิในน้ำ และค่าน้ำหนักอาหารในถังเก็บอาหาร แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการแจ้งเตือนค่า DO, ค่า pH, ค่าอุณหภูมิในน้ำ และค่าน้ำหนักอาหารในถังเก็บอาหาร

นอกจากการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน LINE แล้ว ระบบยังมีการแสดงผลค่าต่าง ๆ ที่ถูกวัดด้วยเซ็นเซอร์บนหน้าจอ LCD ของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ซึ่งแสดงให้เห็นทั้งค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือน (ระบบมีการแจ้งเตือนข้อความ) และค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือน (ระบบไม่มีการแจ้งเตือนข้อความ) การแสดงผลค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.2 และการ

แสดงผลค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.3



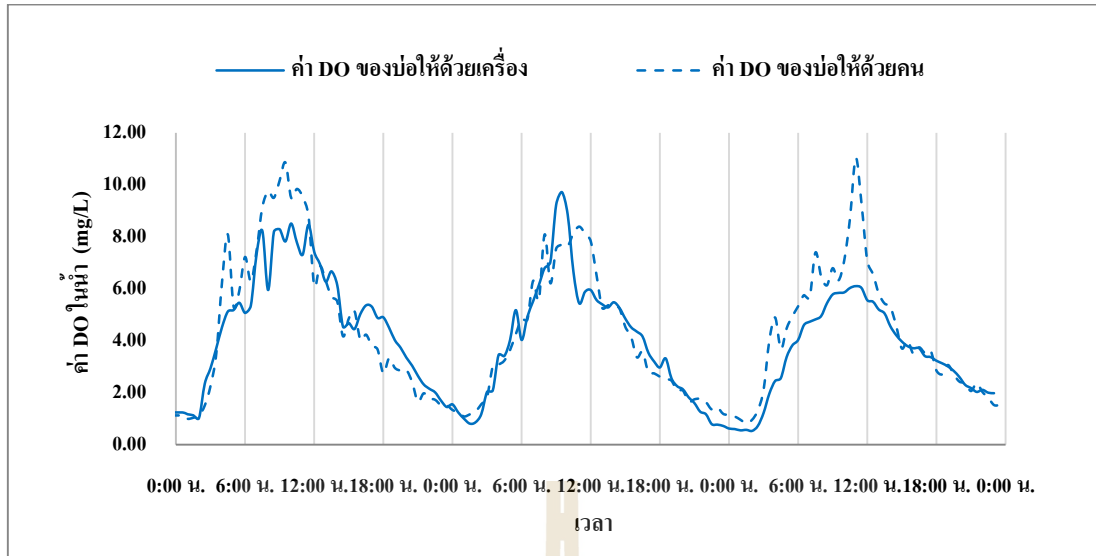
รูปที่ 4.2 การแสดงผลค่าที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD



รูปที่ 4.3 การแสดงผลค่าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในระบบควบคุมการแจ้งเตือนบนหน้าจอ LCD

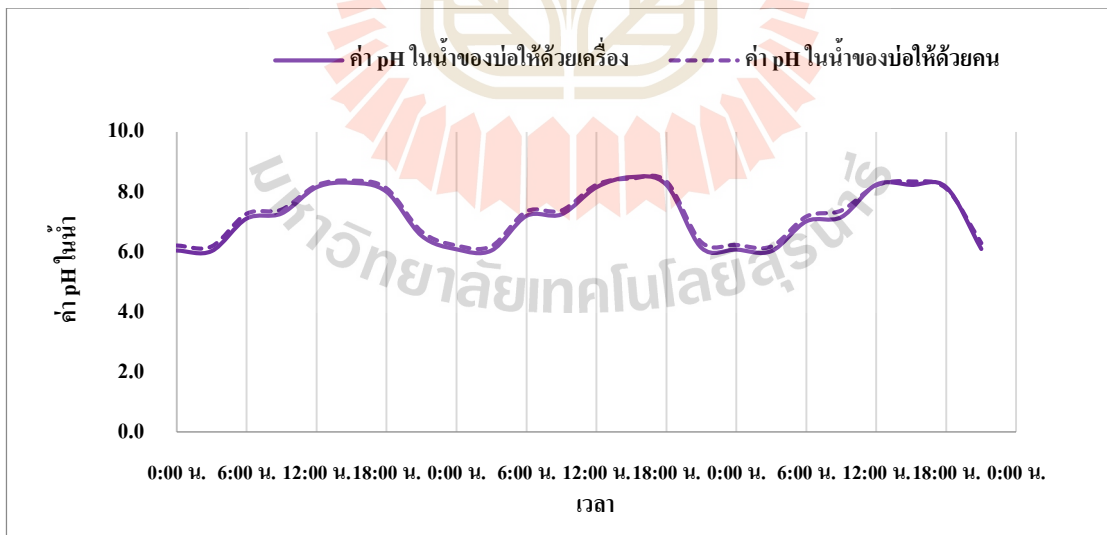
จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า การแสดงผลบนหน้าจอ LCD จะไม่มีการแจ้งเตือนว่ามีค่าผิดปกติ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าด้วยตนเอง ในขณะที่การแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือจะรายงานเมื่อมีการผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยที่ต้องการพัฒนาเครื่องให้อาหารปลาแก่ผู้เลี้ยงปลานิลที่ต้องการใช้เวลาเพื่อทำธุรกิจอื่นร่วมด้วย โดยอาจไม่มีความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและค่าที่วัดได้ แต่ต้องการทราบความผิดปกติเกิดขึ้น เพื่อที่จะได้ดำเนินการแก้ไขหรือแจ้งช่างให้มาตรวจสอบได้ทัน

นอกจากนี้ ระบบมีการเก็บข้อมูลค่า DO ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำ ของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและบ่อที่ให้ด้วยคน เก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน คือวันที่ 7 ถึง 9 มิถุนายน 2562 นำผลการวัดค่า DO ค่า pH และค่าอุณหภูมิในน้ำมาพล็อตเป็นกราฟ แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เกิดขึ้นในรอบวัน ดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ระดับ DO ในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและบ่อที่ให้ด้วยคน

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ระดับ DO ในน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจาก ช่วงเวลากลางวันมีแสงแดด ทำให้พีชน้ำและแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในน้ำเกิดการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในช่วงกลางวันมากกว่าช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเป็นเวลาที่พีชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ระดับ DO ในน้ำลดต่ำลงในช่วงเวลากลางคืน และพบว่า ในช่วงเวลากลางวันระดับ DO ในน้ำของบ่อให้ด้วยคนสูงกว่าบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

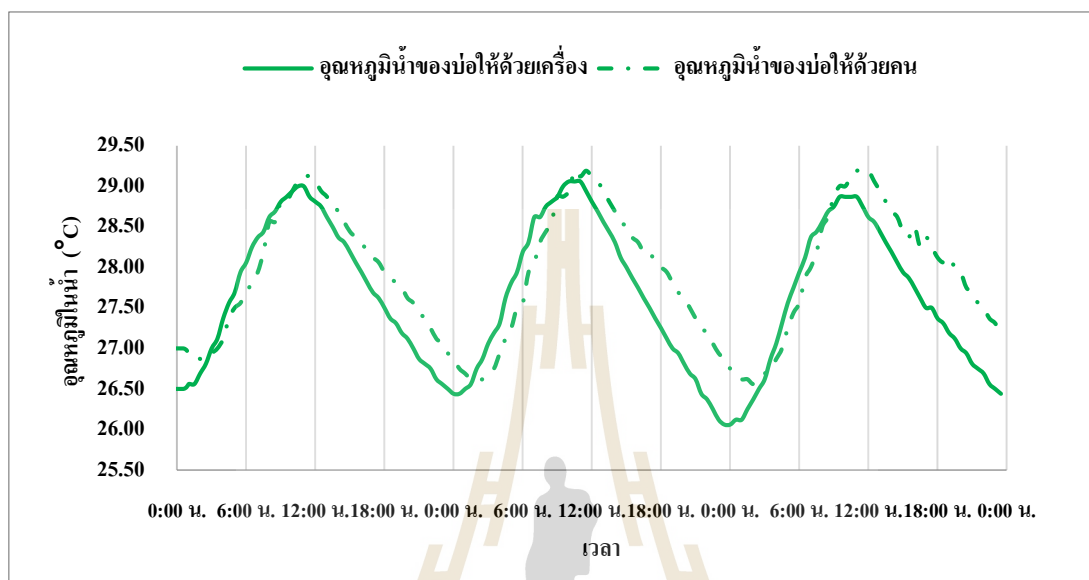


รูปที่ 4.5 ระดับ pH ในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องและบ่อที่ให้ด้วยคน

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ระดับ pH ในน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจาก ช่วงเวลากลางวันมีแสงแดด ทำให้พีชน้ำและแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในน้ำเกิดการสังเคราะห์แสง ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในการสังเคราะห์แสง พีชน้ำและแพลงก์ตอนพืชจะ



กำจัดความเข้มข้นของ  $\text{CO}_2$  ในน้ำ (Stone and Thomforde, 2004) ส่งผลให้ปริมาณ Hydrogen ไออออนในน้ำสูง ทำให้ระดับ pH สูง และในช่วงเวลากลางคืน pH จะลดลงตามการสะสมของ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยระดับ pH ในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติอยู่ในช่วงค่า 6.03 – 8.49 และบ่อที่ให้ด้วยคนอยู่ในช่วงค่า 6.18 – 8.45

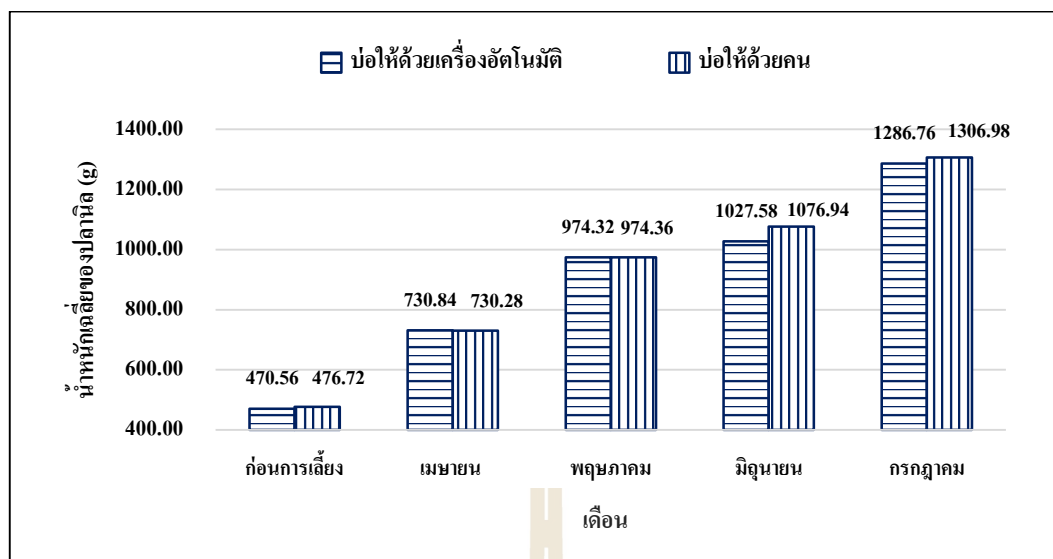


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องและบ่อที่ให้ด้วยคน

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืนเช่นกัน โดยพบว่าอุณหภูมิในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติต่ำกว่าบ่อที่ให้ด้วยคนเล็กน้อย อุณหภูมิในน้ำของบ่อที่ให้ด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ อยู่ในช่วงค่า  $26.06^{\circ}\text{C}$  –  $29.06^{\circ}\text{C}$  และบ่อที่ให้ด้วยคนอยู่ในช่วงค่า  $26.56^{\circ}\text{C}$  –  $29.19^{\circ}\text{C}$

#### 4.1.2 ผลของการใช้เครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิล

จากการทดลองให้อาหารปลานิล 2 กลุ่มการทดลอง คือ การให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารด้วยคน จำนวน 2 ครั้ง/วัน ให้เวลา 09:00 น. และ 16:00 น. เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยสุมปลาจำนวน 20% ของจำนวนปลาทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก 1 ครั้งต่อเดือน น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องอัตโนมัติและปลานิลที่ให้อาหารด้วยคนในแต่ละเดือน แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและปลานิลที่ให้อาหารด้วยคนในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและปลานิลที่ให้อาหารด้วยคน มีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือน แต่พบว่าในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ปลานิลที่ให้อาหารด้วยคนมีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่าปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ประมาณ 20.22 – 49.36 กรัม อาจมีสาเหตุมาจาก ลักษณะการให้อาหารของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ซึ่งมีการให้อาหารแบบค่อย ๆ ให้ ทำให้อาหารที่ออกมาตกกระทบบนผิวน้ำเกิดการสั่นสะเทือนน้อยกว่าการให้อาหารด้วยคนที่สาดอาหารให้ปลา ทำให้อาหารที่ออกมาตกกระทบบนผิวน้ำเกิดการสั่นสะเทือนน้อยกว่าการให้อาหารด้วยคน ที่สาดอาหารให้ปลา ทำให้อาหารที่ออกมาตกกระทบบนผิวน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมากกว่า เป็นการกระตุ้นให้ปลารับรู้และมากินอาหารได้มากกว่า โดยจากการสังเกตพฤติกรรมกินอาหารของปลาพบว่า ปลานิลในบ่อที่ให้อาหารด้วยคน ว่ายมากินอาหารจำนวนมากกว่ปลานิลในบ่อที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

หลังจากการเลี้ยงปลานิลด้วยวิธีการให้อาหารที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการให้อาหารด้วยคน เป็นระยะเวลา 4 เดือน ทำการประเมินผลของการใช้เครื่องให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิล โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มการทดลองด้วยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.01$  พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลานิลที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปลานิลที่ให้อาหารด้วยคน ( $P > 0.01$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 อย่างไรก็ตามพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ มีน้ำหนักสุดท้าย (Final weight) แตกต่างจากปลานิลที่เลี้ยงด้วยคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) โดยปลานิลที่เลี้ยงด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสุดท้ายน้อยกว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยคนเท่ากับ 20.22 กรัม

ตารางที่ 4.1 สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลที่ได้รับจากเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และให้ด้วยคน ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงนาน 4 เดือน

พารามิเตอร์	รูปแบบการให้อาหาร	
	เครื่องอัตโนมัติ	แรงงานคน
Initial weight (g)	470.56 ± 13.69	476.72 ± 11.08
Final weight (g)	1286.76 ± 12.10	1306.98 ± 14.42*
Weight gain (g)	816.2 ± 3.73	830.26 ± 7.35
Specific growth rate, SGR (%/day)	0.74 ± 0.01	0.74 ± 0.00
Daily growth rate, DGR (g/day)	5.96 ± 0.03	6.06 ± 0.05
Feed conversion ratio, FCR	1.64 ± 0.01	1.62 ± 0.01
Feed efficiency, FE (%)	61.10 ± 0.28	62.16 ± 0.55
Protein efficiency ratio, PER	2.04 ± 0.01	2.07 ± 0.02
Survival rate (%)	95.00	97.60
Cost per kg feed (Baht/kg)	25.00	25.00
Feed cost per kg FCR (Baht/kg)	41.00	40.50

หมายเหตุ : \* หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของลักษณะการให้อาหารของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติกับการให้อาหารด้วยคน ลักษณะการให้อาหารของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติมีการปล่อยอาหารออกมาเพียงบริเวณเดียว จึงทำให้การกระจายตัวของอาหารไปสู่ปลานิลได้น้อย ทำให้ปลานิลตัวที่มาถึงก่อนได้กินอาหารมากกว่าตัวที่ไกล ส่งผลให้ปลานิลตัวที่ไกลมีน้ำหนักตัวน้อยกว่า ในขณะที่การให้อาหารด้วยคน จากการสังเกตพบว่าเมื่อคนทำการสาต่ออาหารลงบ่อ เม็ดอาหารจะมีการกระจายเป็นวงกว้างมากกว่าเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

#### 4.2.3 การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ 3 โครงการ คือโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ โครงการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหาร และโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ซึ่งประเมินจากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) โดยทำต้นทุนสำหรับโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหาร ที่มีระยะเวลาของโครงการ 4 เดือนให้เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยคิดให้เป็นการเลี้ยงจำนวน 2 ครั้ง/ปี เพื่อนำไปคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน โดย

ต้นทุน และกระแสเงินสดรับของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหาร แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนสำหรับโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารรายปี

รายการ	การเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ (บาท/ปี)	การเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหาร (บาท/ปี)
<b>1. ต้นทุนคงที่</b>	<b>133,280</b>	<b>60,000</b>
ค่าจ้างเหมาทำชุดต้นแบบเครื่องให้อาหารปลา	33,000	0
ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์ blower และเซ็นเซอร์	37,500	0
ค่าอุปกรณ์ Solar cell	2,780	0
ค่าชุดท่อและเตรียมท่อ	56,000	56,000
ค่ากระชังและอุปกรณ์	4,000	4,000
<b>2. ต้นทุนผันแปร</b>	<b>43,350</b>	<b>43,850</b>
ค่าจ้างแรงงานให้อาหารปลา (0.5 บาท/กก.)	0	500
ค่าพันธุ์ปลา (10 บาท/ตัว)	10,000	10,000
ค่าอาหารปลาที่ให้ทั้งหมด (25 บาท/กก.)	33,350	33,350
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>176,630</b>	<b>103,850</b>

ตารางที่ 4.3 กระแสเงินสดรับของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติและการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารรายปี

รายการ	การเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ (บาท/ปี)	การเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหาร (บาท/ปี)
ต้นทุนผันแปร	-43,350	-43,850
ขายปลาได้ทั้งหมด (60 บาท/กก.)	57,600	57,600
<b>รวมทั้งสิ้น</b>	<b>14,250</b>	<b>13,750</b>

จากตารางที่ 4.4 พบว่า โครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 9.35 ปี หรือ 9 ปี 4 เดือน

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

ปีที่	กระแสเงินสดรับ	กระแสเงินสดสะสม
0	-131,780	-131,780
1	14,250	-117,530
2	14,250	-103,280
3	14,250	-89,030
4	14,250	-74,780
5	14,250	-60,530
6	14,250	-46,280
7	14,250	-32,030
8	14,250	-17,780
9	14,250	-3,530
10	14,250	<b>10,720</b>

จากตารางที่ 4.5 พบว่า โครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 4.36 ปี หรือ 4 ปี 4 เดือน

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน

ปีที่	กระแสเงินสดรับ	กระแสเงินสดสะสม
0	-60,000	-60,000
1	13,750	-46,250
2	13,750	-32,500
3	13,750	-18,750
4	13,750	-5,000
5	13,750	<b>8,750</b>
6	13,750	22,500
7	13,750	36,250
8	13,750	50,000
9	13,750	63,750
10	13,750	77,500

ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ

รายการ	จำนวน
เงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ (บาท/ปี)	133,280
เงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน (บาท/ปี)	60,000
เงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ (บาท/ปี)	73,280
รายรับต่อปี (บาท/ปี)	14,250.00
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	<b>5.14</b>

จากตารางที่ 4.6 พบว่าโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 5.14 ปี หรือ 5 ปี 2 เดือน

จากการหาระยะเวลาต้นทุนของโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ และโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน พบว่าโครงการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถคืนทุนได้ช้าที่สุด โดยคืนทุนช้ากว่าโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคนเท่ากับ 5 ปี แต่สำหรับโครงการที่มีการเลี้ยงปลาโดยใช้คนให้อาหารอยู่ แต่เปลี่ยนมาใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติสามารถคืนทุนได้เร็วกว่าโครงการที่เลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติตั้งแต่แรกเริ่ม โดยคืนทุนช้ากว่าโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคนเท่ากับ 9 เดือน

อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แม้จะพบว่าการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติจะคืนทุนช้าที่สุด เป็นโครงการที่ไม่ควรลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการเลี้ยงปลาโดยใช้แรงงานคน แต่จากผลการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติก็ชี้ให้เห็นว่าสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลที่เลี้ยง ไม่แตกต่างจากปลานิลที่เลี้ยงโดยใช้คนให้อาหาร และการเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถช่วยลดการบริหารจัดการคนได้ ในกรณีที่เกิดการขาดแคลนแรงงานให้อาหารหรือผู้เลี้ยงมีงานที่ต้องทำหลายอย่าง การเลี้ยงปลาด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลงทุนสำหรับผู้เลี้ยงปลา

## 4.2 ผลการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์

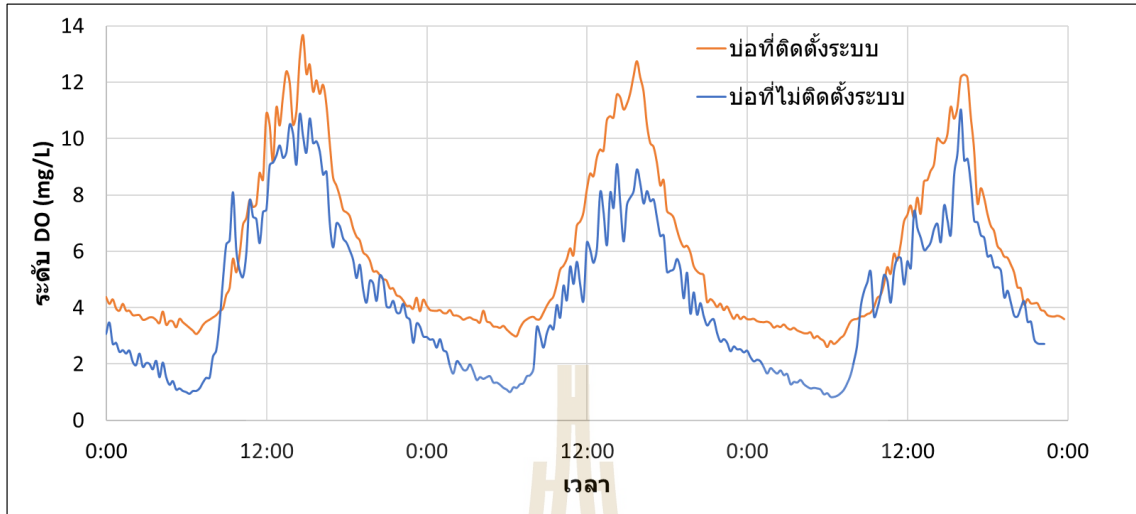
สำหรับการประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบ ได้ทำการวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อที่ติดตั้งระบบเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ และนอกจากนี้ยังทำการวัดค่าออกซิเจนที่ชั้นบนและชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าระบบที่ออกแบบสามารถเพิ่มค่าออกซิเจนที่ชั้นล่างของบ่อได้ และนอกจากนี้ ยังทำการวัดสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลของบ่อที่ติดตั้งระบบเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ ผลจากการทดสอบเป็นดังนี้

### 4.2.1 ผลการศึกษาออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

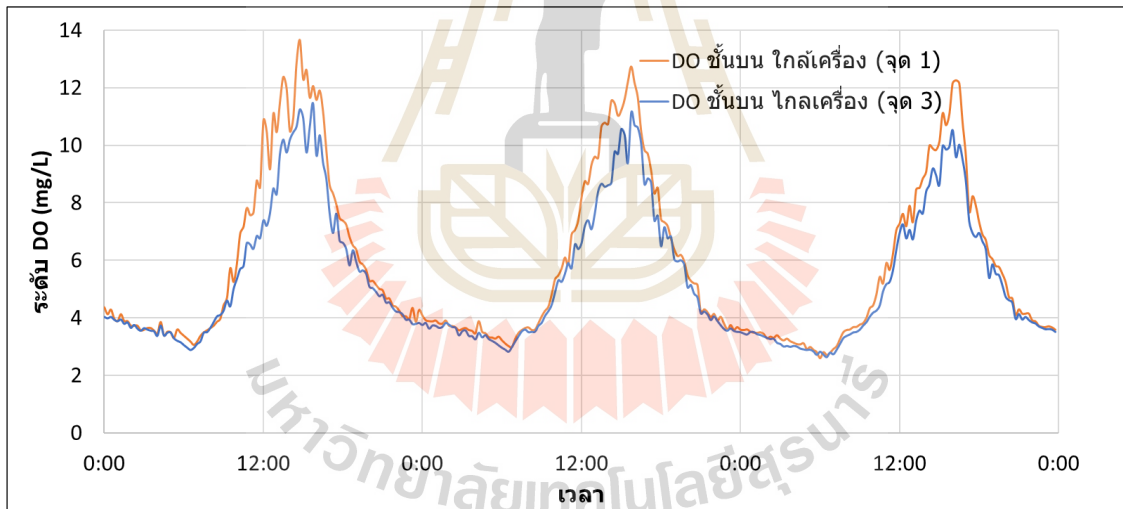
ผลการเปรียบเทียบออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อที่ติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ เมื่อวัดค่า DO ต่อเนื่องกัน 3 วัน จากกราฟพบว่า ค่า DO ในบ่อที่ติดตั้งระบบมีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ ในช่วงกลางวันบ่อที่ติดตั้งระบบมีค่า DO สูงถึง 13.80 mg/L และค่าต่ำสุดในช่วงกลางคืน คือ 3 mg/L ถือว่าอยู่ในช่วงที่ปลาสามารถอาศัยอยู่ได้ ถึงแม้ว่าในช่วงกลางคืนจะมีค่า DO ที่ต่ำกว่า 4 mg/L (ค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต) แต่ก็ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ผลจากการเปรียบเทียบค่า DO ทางสถิติ พบว่าบ่อที่ติดตั้งระบบมีค่า DO แตกต่างจากบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ ที่ ( $P < 0.01$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และผลการเปรียบเทียบออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ชั้นบนของบ่อที่ติดตั้งระบบ โดยทำการเปรียบเทียบตำแหน่งใกล้และไกลเครื่อง (สามารถดูจุดวัดที่ 1 และ 3 ได้จากหัวข้อ 3.7.2) จากกราฟพบว่า จุดที่ 1 มีค่า DO สูงกว่าจุดที่ 3 ในช่วงกลางวัน แต่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และช่วงกลางคืนสังเกตว่าทั้ง 2 จุดมีค่า DO ที่เท่ากัน สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงกลางวันจุดที่ 1 ค่า DO สูงกว่า จุดที่ 3 เนื่องจากอยู่ใกล้



เครื่อง ซึ่งทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลเวียนได้ดีกว่า จึงทำให้ค่า DO จุดที่ 1 สูงกว่าจุดที่ 3 นั้นเอง แสดงดังรูปที่ 4.9

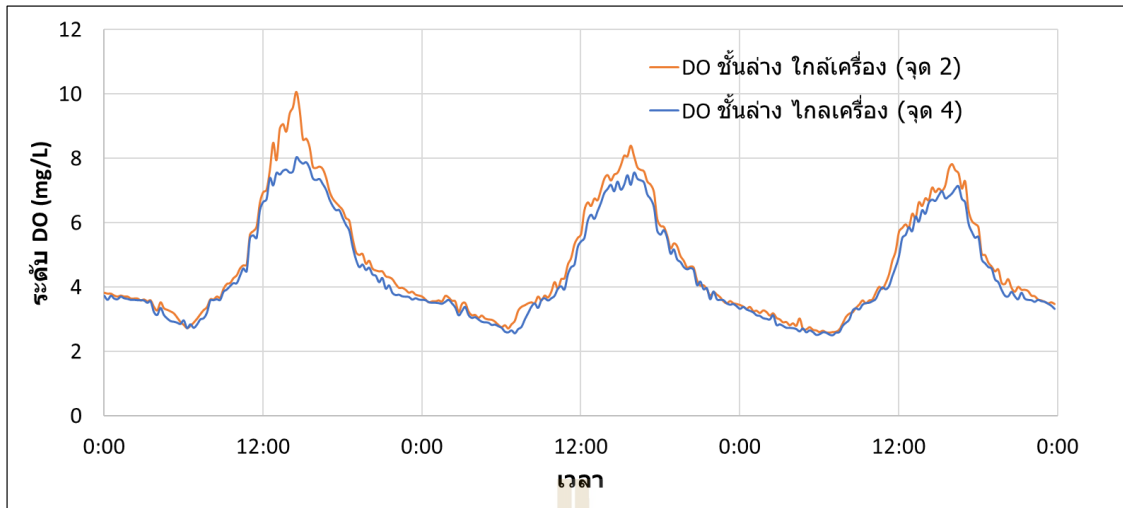


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่า DO ของบ่อที่ติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่มีการติดตั้งระบบ



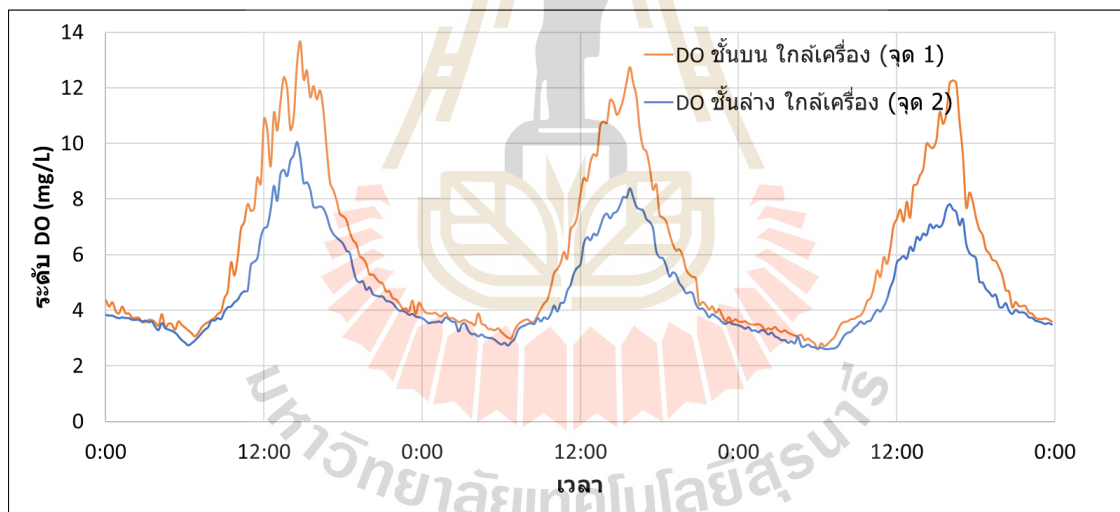
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ชั้นบนของบ่อที่ติดตั้งระบบ

จากรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ จากกราฟจะเห็นว่าค่า DO ที่ตำแหน่งใกล้และไกลเครื่อง (จุด 2 และจุด 4 ตามลำดับ) มีค่าใกล้เคียงกัน ต่างกันเพียงเล็กน้อยในช่วงกลางวัน ดังนั้นระบบที่ออกแบบในงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มระดับ DO ที่ชั้นล่างของบ่อได้ ทั้งระยะใกล้และไกลเครื่อง



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ

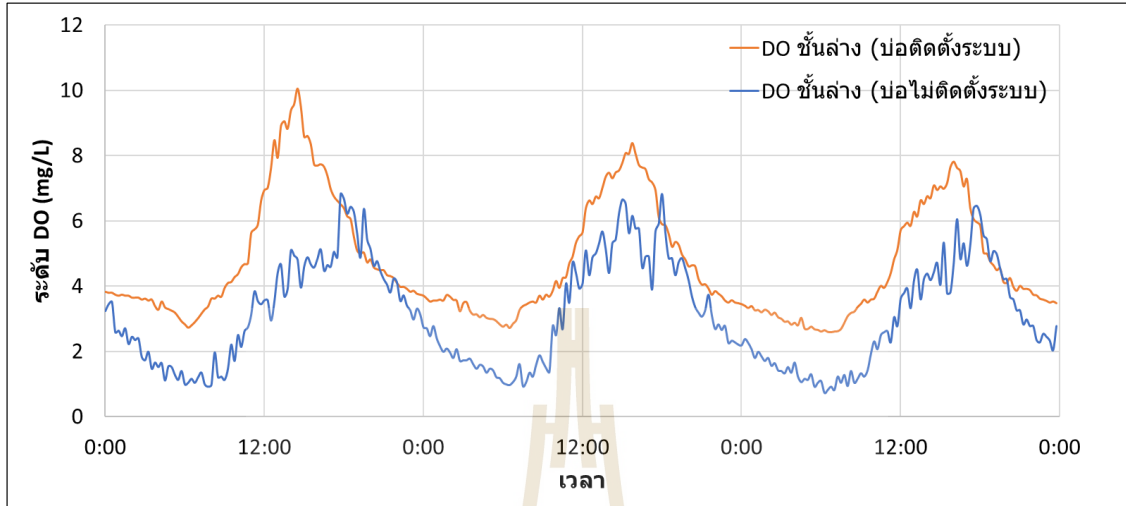
ผลการเปรียบเทียบออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ชั้นบนและชั้นล่างที่ตำแหน่งใกล้เครื่องของบ่อที่ติดตั้งระบบ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่า DO ชั้นบนกับชั้นล่างที่จุดใกล้เครื่อง

จากรูปที่ 4.11 พบว่า DO ชั้นบนมากกว่า DO ชั้นล่าง เนื่องจากค่า DO แตกต่างกันตามความลึกของบ่อ ถึงแม้ว่าในช่วงกลางวัน DO ชั้นบน และชั้นล่างจะแตกต่างกัน แต่ค่า DO ในช่วงกลางคืนยังคงใกล้เคียงกัน นั่นแสดงให้เห็นว่าระบบมีการเติมออกซิเจนที่ด้านล่างของบ่อ โดยการหมุนเวียนเอาน้ำด้านบนที่มีออกซิเจนสูงลงมาละลายออกซิเจนที่ด้านล่างของบ่อ อย่างไรก็ตาม การหมุนเวียนนี้ก็ยังไม่สามารถเพิ่มออกซิเจนที่ด้านล่างให้เทียบเท่ากับด้านบนได้ แต่ก็ถือว่าระบบนี้สามารถทำงานได้ดี

ระดับหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า DO ชั้นล่างกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ การเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.12

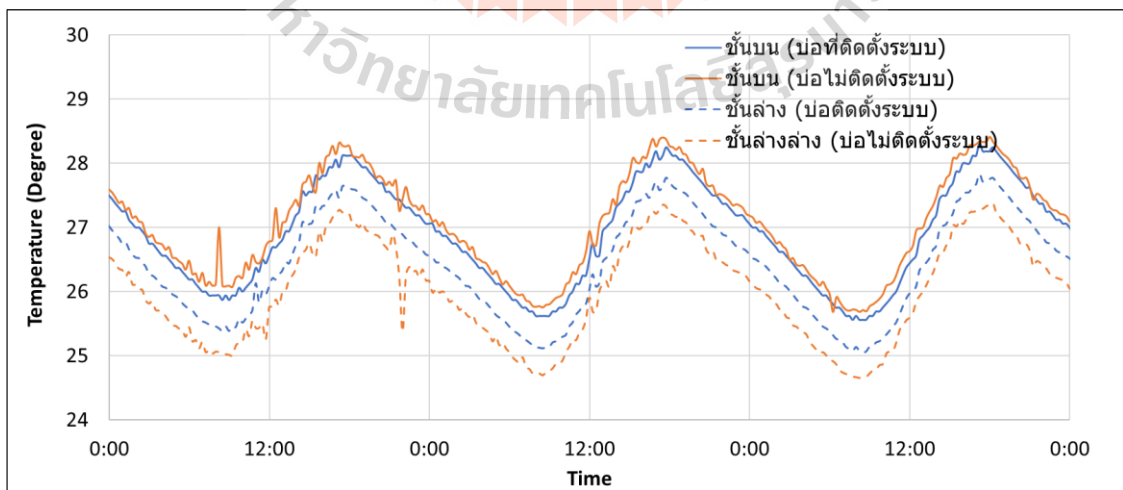


รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่า DO ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ

จากรูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อที่มีการติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ จากกราฟพบว่า ค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อที่ติดตั้งระบบ สูงกว่าบ่อไม่ติดตั้งระบบ ทั้งกลางวันและกลางคืน แสดงให้เห็นว่า บ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศจากงานวิจัยมีการหมุนเวียนน้ำ จึงทำให้ค่า DO ที่ชั้นล่างของบ่อเพิ่มขึ้น และสูงกว่าบ่อปกติที่ไม่มีการติดตั้งระบบ

#### 4.2.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิ

ผลจากการวัดค่าอุณหภูมิในบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศและบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบเติมอากาศ แสดงดังรูปที่ 4.13

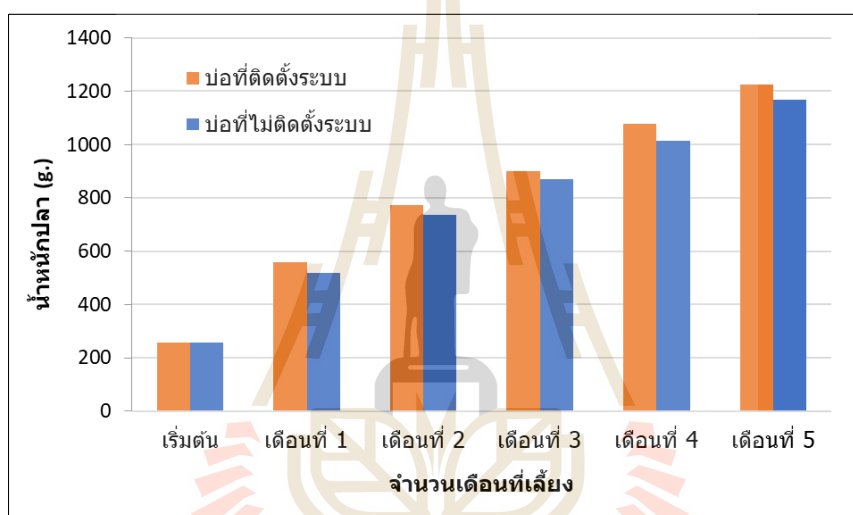


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน โดยช่วงกลางวันมีอุณหภูมิที่สูง และอุณหภูมิลดลงในช่วงกลางคืน อย่างไรก็ตามอุณหภูมิทั้งสองบ่อยังคงอยู่ในช่วงที่ปลาสามารถเจริญเติบโตได้ดี (25 – 32 องศาเซลเซียส)

#### 4.2.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลอง

จากการทดลองระบบเติมอากาศร่วมกับการศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิล ได้ทำการทดลอง 2 บ่อ คือ บ่อที่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ และบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศ แต่ละบ่อมีปลานิลที่ใช้ในการทดลองจำนวน 312 ตัวเท่ากัน และให้อาหาร 2 มื้อ คือเวลา 10.00 น. และ 16.00 น. ทำการทดลองจำนวน 5 เดือน โดยสุ่มปลาจำนวน 31.2% ของจำนวนปลาทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก 1 ครั้ง/เดือน น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลของทั้ง 2 บ่อทดลองในแต่ละเดือน แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 น้ำหนักปลานิลเฉลี่ยรายเดือน

จากรูปที่ 4.14 เป็นการแสดงน้ำหนักปลาเฉลี่ยที่ชั่งรายเดือน จากกราฟพบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลในบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศมีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศ นั้นแสดงให้เห็นว่า บ่อที่มีค่าออกซิเจนที่สูงกว่าส่งผลให้น้ำหนักปลาเฉลี่ยสูงกว่าด้วย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยน้ำหนักปลาเฉลี่ยในบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศมีน้ำหนักมากกว่าบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศอยู่ประมาณ 30.29 - 64.24 กรัม และนอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตทางสถิติเพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล

จากการทดสอบเลี้ยงปลานิลในบ่อทดลอง 2 บ่อ คือ บ่อที่มีการติดตั้งระบบเติมอากาศ และบ่อที่ไม่มีระบบเติมอากาศ โดยเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 เดือน ทำการประเมินผลของการใช้เครื่องเติมอากาศร่วมกับการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิล ได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มการทดลองด้วยวิธี T-test ที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.01$  การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลสำหรับบ่อที่มีการติดตั้งระบบกับบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ

พารามิเตอร์	บ่อทดลอง	
	ติดตั้งระบบ	ไม่ติดตั้งระบบ
Initial weight (g)	256.66+0.44	256.70+0.50
Final weight (g)	1225.53+7.62 <sup>a</sup>	1166.38+6.45 <sup>b</sup>
Weight gain (g)	968.87+7.19 <sup>a</sup>	909.68+6.00 <sup>b</sup>
Specific growth rate, SGR (%/day)	0.78+0.00 <sup>a</sup>	0.74+0.00 <sup>b</sup>
Daily growth rate, DGR (g/day)	5.70+0.04 <sup>a</sup>	5.35+0.04 <sup>b</sup>
Feed conversion ratio, FCR	2.05+0.02 <sup>a</sup>	2.15+0.01 <sup>b</sup>
Feed efficiency, FE (%)	49.15+0.36 <sup>a</sup>	46.15+0.30 <sup>b</sup>
Protein efficiency ratio, PER	1.64+0.01 <sup>a</sup>	1.54+0.01 <sup>b</sup>
Survival rate (%)	96.15	94.55
Cost per kg feed (Baht/kg)	25	25
Feed cost per kg FCR (Baht/kg)	24.6	24.32

หมายเหตุ : <sup>a, b</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ )

จากตารางที่ 4.7 พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (DGR) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FE) และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) ของปลานิลทั้ง 2 บ่อทดลอง มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) และบ่อที่ติดตั้งระบบเต็มอากาศจากงานวิจัยมีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ดีกว่าบ่อที่ไม่มีการติดตั้งระบบ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติและระบบเติมอากาศ จากนั้นนำระบบไปประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารของปลานิล **สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้**

สมรรถนะการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการให้อาหารของปลานิลที่เลี้ยงด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ไม่แตกต่างจากปลานิลที่เลี้ยงโดยใช้คนให้อาหาร ( $P > 0.01$ ) และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถคืนทุนช้ากว่าการให้อาหารโดยใช้คน แต่อย่างไรก็ตามการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหารอัตโนมัติสามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานได้

สำหรับการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถสรุปได้ว่าระบบเติมอากาศสามารถเพิ่มค่า DO ชั้นล่างของบ่อเลี้ยงปลานิลได้ แม้ในเวลากลางคืนไม่มีแสงแดดบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศยังคงให้ค่า DO สูงกว่าบ่อที่ไม่ติดตั้งระบบ ( $P < 0.01$ ) และจากการประเมินสมรรถนะการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลองทั้ง 2 พบว่าบ่อที่ติดตั้งระบบเติมอากาศมีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ดีกว่าบ่อที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ ( $P < 0.01$ )

#### ข้อเสนอแนะ

เครื่องให้อาหารอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีความจุสูงสุด 20 กิโลกรัม เนื่องจากการสร้างเครื่องต้นแบบให้อาหารปลาอัตโนมัติครั้งแรก หากต้องการนำเครื่องนี้ไปพัฒนาต่อควรสร้างเครื่องที่มีขนาดความจุเพิ่มมากขึ้น เพื่อประหยัดเวลาสำหรับผู้เลี้ยงที่ไม่ต้องเติมอาหารบ่อย

จากการสังเกตลักษณะการให้อาหารของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติที่มีการปล่อยอาหารออกมาเพียงบริเวณเดียว ทำให้มีการกระจายตัวของอาหารได้น้อย หากต้องการนำไปพัฒนาต่อควรทำให้ท่อทางออกของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติ สามารถเคลื่อนที่ไปซ้ายไปขวาได้ เพื่อช่วยให้การกระจายอาหารเป็นวงกว้าง เช่นเดียวกับการสาธิตอาหารโดยใช้คน

จากการสังเกตลักษณะการให้อาหารของเครื่องให้อาหารอัตโนมัติซึ่งมีการให้อาหารแบบค่อย ๆ ให้ ทำให้อาหารตกกระทบบนผิวน้ำ เกิดการสั่นสะเทือนน้อยกว่าการให้อาหารด้วยคนที่มีการสาธิตอาหาร ทำให้ผิวน้ำเกิดการสั่นสะเทือนมากกว่า ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ปลารับรู้และมากินอาหารได้มากกว่า หากนำไปพัฒนาต่อควรเลือกใช้ blower ขนาดใหญ่ที่มีกำลังสูงเพื่อให้สามารถพ่นอาหารออกไปได้แรงและไกลมากขึ้น



ระบบเติมอากาศมีน้ำหนักร่อนข้างเยอะ การขนย้ายและติดตั้งลงในบ่อเพาะเลี้ยงค่อนข้างยุ่งยาก ถ้าหากจะพัฒนาต่อควรคำนึงถึงเรื่องความสะดวกสบายในการขนย้ายและติดตั้งด้วย

เมื่อติดตั้งระบบเติมอากาศลงไปบ่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วสังเกตว่ากระจกที่ครอบแผงดูดซับความร้อนมีความสกปรกจากฝุ่นละออง ควรทำความสะอาดทุกครั้งที่เห็นสิ่งสกปรกบนกระจก เพื่อคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

เมื่อจุ่มเซ็นเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำเป็นเวลานานต่อเนื่อง พบว่ามีตะไคร่น้ำมาเกาะรอบๆ หัววัดและมีตะกอนภายในสารละลายที่จุ่มหัววัด ทำให้ค่าที่ได้ไม่แม่นยำ ควรเอาเซ็นเซอร์ขึ้นมาทำความสะอาดทุกวัน และเปลี่ยนสารละลายทุกครั้ง



## เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2560). การตัดสินใจการลงทุน. เมื่อ 20/02/2561, จากเว็บไซต์:  
<https://bsid.dip.go.th/th/category/financial-accounting/fs-investmentdections>
- กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง. (2560). การเพาะเลี้ยงปลานิล. กรุงเทพฯ:  
โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด
- กองวิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำ. (2560). ความแตกต่างระหว่างเพศและการผสมพันธุ์. สืบค้นเมื่อ  
12/04/2561, จากเว็บไซต์: <http://www.fisheries.go.th/genetic/index.php/2013-11-15-01-35-24/85-2013-11-25-08-28-46/101-2014-02-06-01-52-39?showall=&start=3>
- เกวลิน หนูฤทธิ์. (2560). สถานการณ์การผลิตและการค้าปลานิลและผลิตภัณฑ์ในช่วง 6 เดือนแรก ปี  
2560. สืบค้นเมื่อ 17/01/2561, จากเว็บไซต์: <http://www.fisheries.go.th/strategy/fish-economic/pdf/ปลานิล6เดือนแรกปี60.pdf>
- นฤนา ไกรเนตร. (2016). เอกสารคำแนะนำการเพาะเลี้ยงปลานิล. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์  
การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- นฤมล อัสวเกศมณี. (2544). คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาน้ำจืด. เมื่อ 29 มกราคม 2561,  
จากเว็บไซต์: [http://oservice.skru.ac.th/ebook/lessoncheck.asp?lesson\\_code=3639](http://oservice.skru.ac.th/ebook/lessoncheck.asp?lesson_code=3639)
- ฝ่ายบริการวิชาการสัตว์น้ำ บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน). (2557). คู่มือการเลี้ยงปลานิลและปลานิล  
แดง. สืบค้นเมื่อ 12/04/2561, จากเว็บไซต์: <http://betagrofeed.com/community/wp-content/uploads/2014/12/คู่มือการเลี้ยงปลานิลและปลานิลแดง.pdf>
- ฤทัยชนก จริงจิตร. (2558). เจาะลึก “Smart Farmer” แค่แนวคิดใหม่ หรือจะพลิกโฉมการเกษตร  
ไทย. สืบค้นเมื่อ 24/12/2560, จากเว็บไซต์: <http://www.socialsmartfarmer.com/?nameknowledge&file=readknowledge&id=5>
- ศิวะพงษ์ ธิโสภา. (2555). ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC. สืบค้นเมื่อ 09/01/2561, จากเว็บไซต์:  
<https://elec-thai.blogspot.com/2012/12/pic.html>
- สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง กรมประมง. (2557). การเลี้ยงปลานิลในกระชัง.  
สืบค้นเมื่อ 09/01/2561, จากเว็บไซต์: <http://www.fisheries.go.th/it-database/dbweb/ebook/pdf/1การเลี้ยงปลานิลในกระชัง.pdf>
- Arduinoall. (2561a). NodeMCU ESP8266 / ESP8285 Arduino #1 ESP8266 คือ. สืบค้นเมื่อ  
20/02/2561, จากเว็บไซต์: <https://www.arduinoall.com/>
- Arduinoall. (2561b). เซนเซอร์นับจำนวน เซนเซอร์แสงนับรอบความเร็ว counter module motor  
speed sensor counter เซนเซอร์กัมพู. สืบค้นเมื่อ 22/02/2561, จากเว็บไซต์:  
<https://www.arduinoall.com/>

YD cooling fan Store. (ม.ป.ป.). ใช้ SANYO DENKI SAN ACE 9BAM12GC2-2 12 V 1.85A Blower turbine 9733 พัฒนาระบายความร้อน. สืบค้นเมื่อ 22/02/2561, จากเว็บไซต์: <https://th.aliexpress.com/item/32829973279.html>

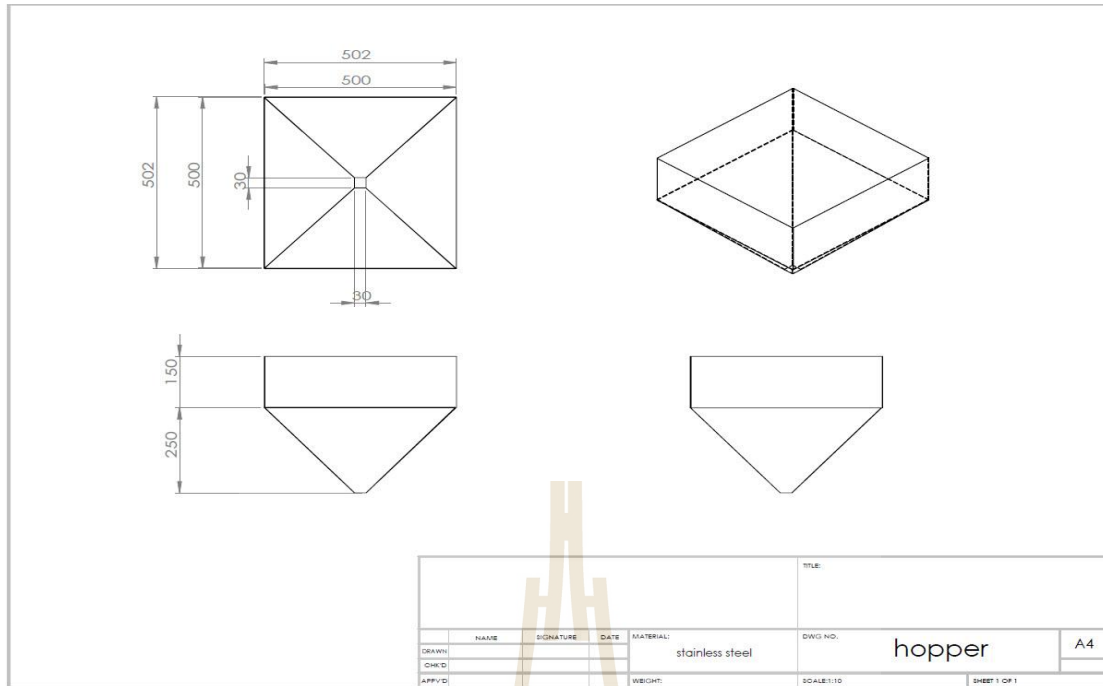
Zulkefly, M. E. I. (2010). Development of PLC Controlled Aerial Fish Feeding System (Doctoral dissertation, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia).



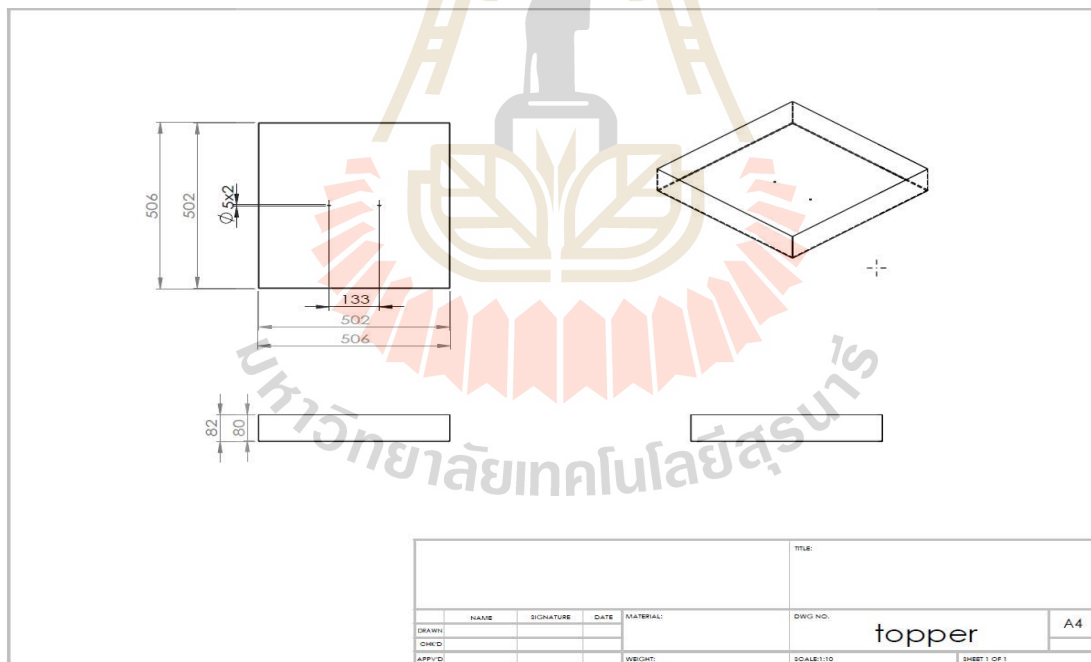
ภาคผนวก ก

แบบเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ

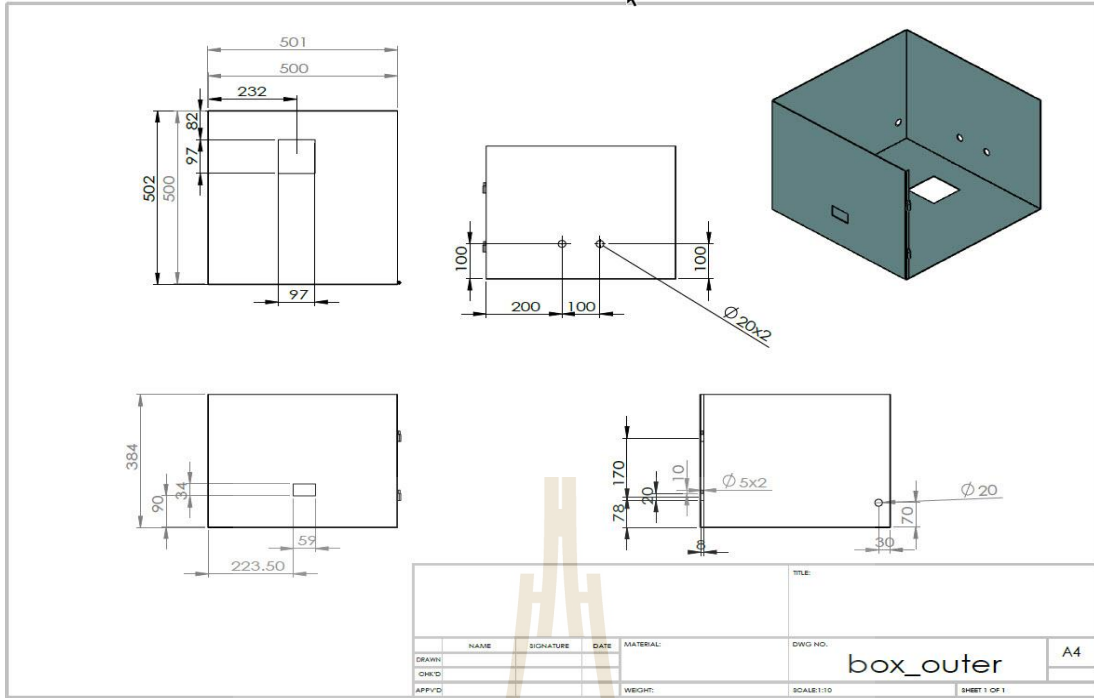




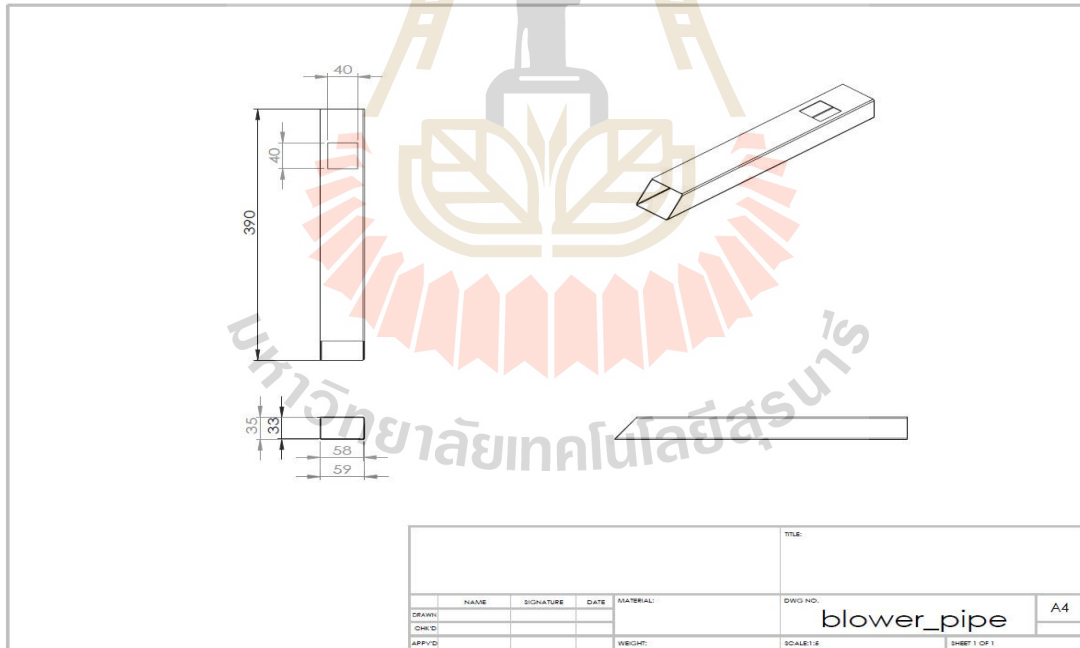
รูปที่ ก.1 แบบของถังเก็บอาหารหรือ hopper



รูปที่ ก.2 แบบของฝาเครื่อง



รูปที่ ก.3 แบบภายนอกเครื่อง



รูปที่ ก.4 แบบท่อสวม blower



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการสอบเทียบเซ็นเซอร์สำหรับวัดค่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ข้อมูลการสอบเทียบเซ็นเซอร์สำหรับวัดค่า

### ข.1 การสอบเทียบ DO sensor

ทำการสอบเทียบ DO sensor โดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO Meter) รุ่น YSI Pro20i มาทดสอบ แสดงดังรูปที่ ค.1 เพื่อเปรียบเทียบค่า DO ที่วัดได้จาก DO sensor กับค่า DO ที่วัดได้จาก DO meter โดยทดสอบจุ่มน้ำตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงปลาจำนวน 5 แหล่ง และบันทึกค่า DO ในหน่วย mg/L ค่า DO ที่วัดได้ แสดงดังตารางที่ ค.1

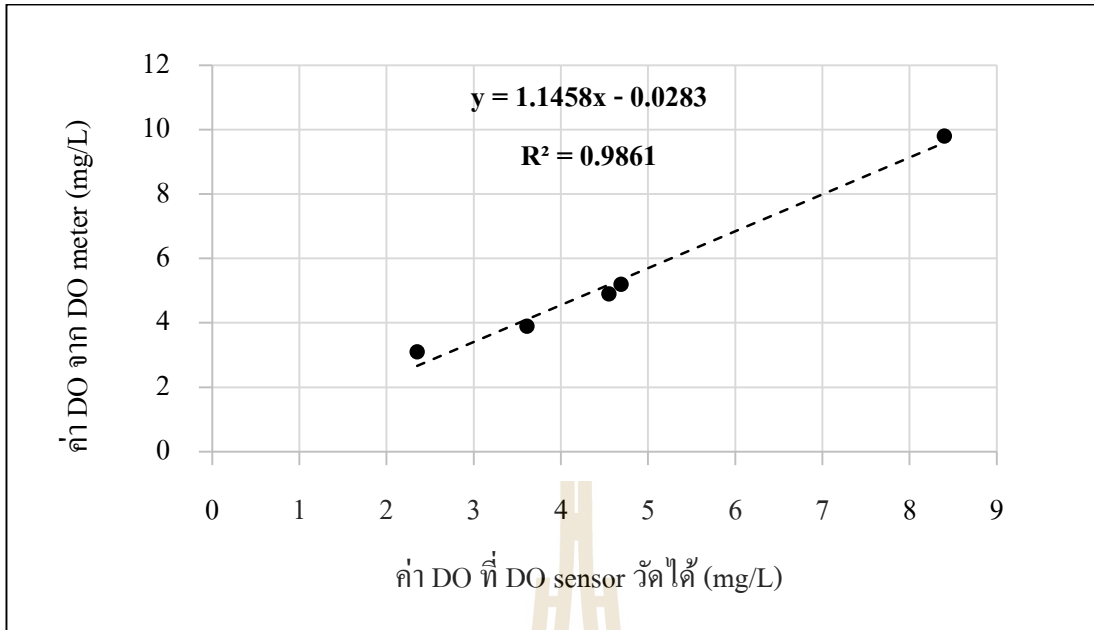


รูปที่ ข.1 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO Meter) รุ่น YSI Pro20i

ตารางที่ ข.1 ค่า DO ที่วัดได้จากการทดสอบด้วย DO sensor และ DO meter

แหล่งน้ำ	ค่า DO จาก DO sensor (mg/L)	ค่า DO จาก DO meter (mg/L)
1	2.35	3.10
2	3.61	3.90
3	4.55	4.90
4	4.69	5.20
5	8.40	9.80

จากตารางที่ ข.1 นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ เพื่อทำ Curve-fitting หาสมการที่จะนำไปใส่ในโปรแกรม เพื่อให้ค่าที่วัดได้ออกมาเทียบเท่ากับเครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจวัดค่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ที่วัดได้จาก DO sensor และค่า DO ที่วัดได้จาก DO meter แสดงดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ที่วัดได้จาก DO sensor และค่า DO ที่วัดได้จาก DO meter จากรูปที่ ข.2 ได้สมการจากการสอบเทียบที่ต้องนำไปใส่ในโปรแกรม คือ  $y = 1.1458x - 0.0283$

## ข.2 การสอบเทียบ pH sensor

ทำการสอบเทียบค่า pH โดยใช้ pH sensor จุ่ม Buffer solution pH เป็นสารละลายที่ใช้ควบคุมความเป็นกรดและเบสของสารละลาย หรือสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน ซึ่งมีค่า pH คงที่ จำนวน 3 ชนิด คือ Buffer solution pH  $4.01 \pm 0.02$ , Buffer solution pH  $7.00 \pm 0.02$  และ Buffer solution pH  $10.01 \pm 0.02$  แสดงดังรูปที่ ค.3, ค.4 และ ค.5 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบค่า pH ที่ pH sensor วัดได้จากการจุ่ม Buffer solution pH กับค่า pH จริงของ Buffer solution ค่า pH ที่วัดได้ แสดงดังตารางที่ ค.2



รูปที่ ข.3 Buffer solution pH 4.01 + 0.02



รูปที่ ข.4 Buffer solution pH 7.00 + 0.02

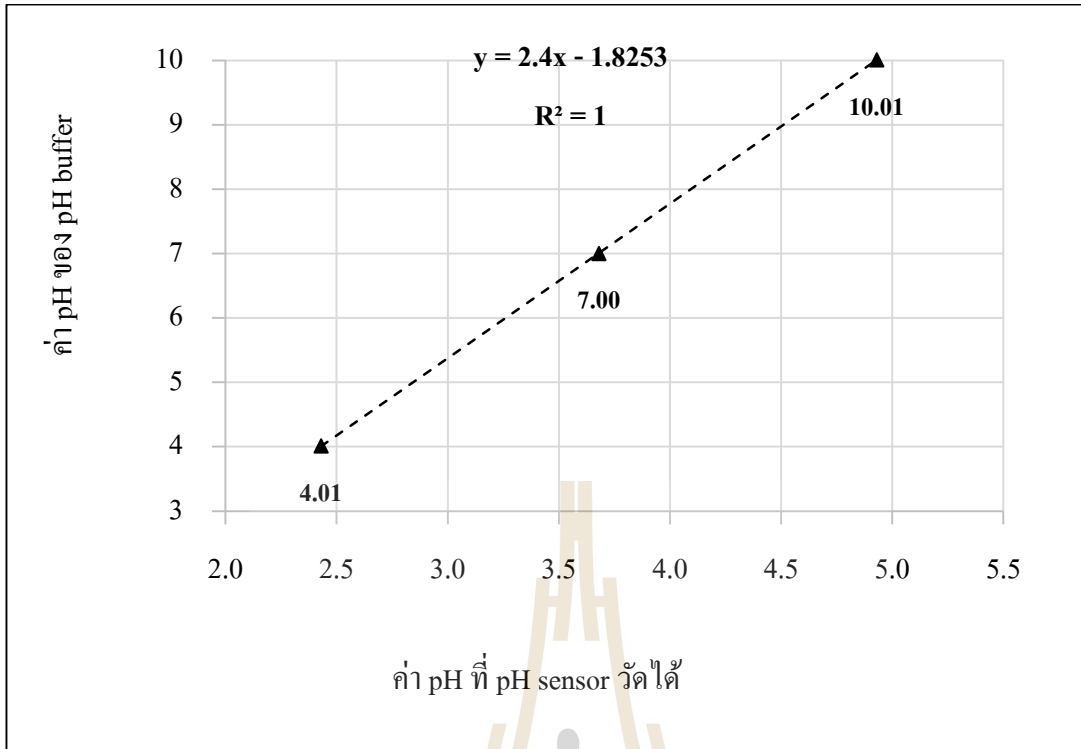


รูปที่ ข.5 Buffer solution pH 10.01 ± 0.02

ตารางที่ ข.2 ค่า pH ที่วัดได้จากการทดสอบด้วย pH sensor

ค่า pH ที่วัดได้จาก pH sensor	ค่า pH ของ Buffer solution
2.43	4.01
3.68	7.00
4.93	10.01

จากตารางที่ ข.2 นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ เพื่อทำ Curve-fitting หาสมการที่จะนำไปใส่ในโปรแกรม เพื่อให้ค่าที่วัดได้ออกมาเทียบเท่ากับเครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจวัดค่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่วัดได้จาก pH sensor และค่า pH ของ Buffer solution แสดงดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ที่วัดได้จาก pH sensor และค่า pH ของ Buffer solution

จากรูปที่ ข.6 ได้สมการจากการสอบเทียบที่ต้องนำไปใส่ในโปรแกรม คือ  $y = 2.4x - 1.8253$

## ประวัตินักวิจัย

### ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ: (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมร พรชื่นชูวงศ์

(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Dr. Samorn Ponchunchoovong

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 3. สถานที่ติดต่อ:

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี อำเภอเมือง จ.นครราชสีมา 30000 Tel: (044) 224377-8 Fax: (044)

224150 E-mail: [samorn@sut.ac.th](mailto:samorn@sut.ac.th)

### 4. ประวัติการศึกษา:

Degree	Institution	Year	Country
B.Sc. (Biology)	Prince of Songkhla University	1992	Thailand
M.Sc. (Zoology)	Chulalongkorn University	1995	Thailand
Ph.D (Aquaculture)	Asian Institute of Technology	2003	Thailand

### 5. สาขาวิชาการที่ชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา):

- Fish reproduction
- Cryogenic sperm banking

### 6. ผลงานวิจัย: Selected Publication

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2003. Effect of cryoprotectants, extenders and freezing rates on the fertilization rates of frozen striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage), sperm. Aquaculture research, 34: 887-893.

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2006. Cryopreservation of black eared catfish, *Pangasius larnaudii* sperm. Aquaculture research, 37: 955-957.

Ponchunchoovong, S. 2008. Effects of freezing rates on the cryopreservation of striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) sperm. Proceedings "The 13<sup>th</sup> Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008, Hanoi, Vietnam. P. 406.

Kwantong, S. and Bart, A. N. 2009. Fertilization efficiency of cryopreserved sperm from striped catfish, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage). Aquaculture Research, 40: 292-297.



- Dokpong, D., **S. Ponchunchoovong**, U. Amsin, U. Piasoongnoen & S. Singhae. 2009. The effect of freezing Rates on the cryopreservation of Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* ( Sauvage, 1878) sperm. Proceedings 2nd International conference on sustainable animal agriculture for developing countries 8- 11 November, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia. P. 268-270.
- Nipon, S., R. Yahsiro , S. Tunkijjanukij and **S. Ponchunchoovong** . 2009. Preservation of Humpback Grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes, 1828) Spermatozoa. Kasetsart University Fisheries research Bulletin Vol. 33(2): May, 2009. p. 12-23.
- Samorn, P.**, Duangchan. D., Unnop, I., Uraiwan, P. and Sombut, S. 2010. The effect of dilution ratios on short- term storage of Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* ( Sauvage, 1878) sperm. Proceedings “ The 14 th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies (AAAP). August 23-27, 2010, Pingtung Taiwan, ROC P. 322.
- Ponchunchoovong, S.** and Plime S. 2010. Effect of combinations of cryoprotectants and freezing rates on cryopreservation of the spermatozoa of Striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* ( Sauvage, 1878). Kasetsart J. (Nat. Sci.) 44: 1153-1161.
- Ponchunchoovong, S.** , D. Dokpong, U. Imsilp, U. Piasoongnoen& S. Singsee. 2011. Fertilization efficiency of fresh and frozen sperm from Small scale mud carp, *Cirrhinus microlepis* ( Sauvage, 1878) . Proceedings 3rd International conference on sustainable animal agriculture for developing countries. 26- 29 July, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand. P.75.
- Vechklang, K., S. Boonanuntanasarn, **S. Ponchunchoovong**, N. Pirarat & C. Wanapu. 2011. The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. Aquaculture Nutrition. P. 1365-2095.
- Ponchunchoovong, S.**, S. Kainin, U. Imsilp & U. Piasoongnoen. 2011. The effect of freezing procedures on the cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* sperm. World academy of science, engineering and technology. 24- 26 August, 2011. Paris, France. P.1257-1261.
- Samorn Ponchunchoovong**. 2011. Cryopreservation of *Pangasius* spp. Spermatozoa. Germany. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 65 pp.

- Kainin, S. **Ponchunchoovong, S.**, U. Imsilp & S. Singsee. 2012. Cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* Sauvage, 1880 spermatozoa. **Aquaculture research: 1-9.**
- Thipsuda Boonmatan, Samorn **Ponchunchoovong**, Theerachai chormai, Thevin Vongpralub. 2013. Effect of extenders on preservation of native chicken “Luang hang kao” spermatozoa. International Conference on Engineering and Applied Science. November 2013, Osaka, Japan. P. 2033-2038.
- Jiraporn P., **Ponchunchoovong, S.** & Payooha, K. 2014. Partial replacement of fish meal by brewer’s yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pagasius bocourti*) juveniles. *Aquaculture Nutrition* DOI: 10.1111/anu.12280.
- Kainin, S. **Ponchunchoovong, S.**, U. Imsilp & S. Singsee. 2014. Cryopreservation of Mekong catfish, *Pangasius bocourti* Sauvage, 1880 spermatozoa. *Aquaculture Research*, 45: 859-867.
- Ladoktha, P., **Ponchunchoovong, S.** and Udomkarn, C. 2015. Effect of activators solution on motility and fertilization of frozen black shark, *Labeo chrysophekadion* spermatozoa. *BioEvolution*, 2(62-65).
- Tangpakdeewijit, S., **S. Ponchunchoovong** and T. Vongpralub. 2015. Effect of extenders on frozen semen quality of Thai native chicken (Lueng hang kao). *KHON KAEN AGR. J. 43 SUPPL. 2: 86-89.*
- Jiraporn P., **Ponchunchoovong, S.** & Payooha, K. 2016. Partial replacement of fishmeal by brewer’s yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus*\**Pagasius bocourti*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 22:575-585.
- Kanjana, T. and **Ponchunchoovong, S.** 2016. The replacement of fish meal with rice wine residual on growth performance in diets of Thai Panga (*Pangasianodon hypophthalmus* × *Pangasius bocourti*). The 67<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP 2016). August 29- September 2. Belfast, England.
- Kanjana, T. and **Ponchunchoovong, S.** 2016. The effect of replacement of fishmeal by rice wine residual on growth performance and intestinal morphology of Thai

Panga. The 1<sup>st</sup> International conference on Tropical Animal Science and Production 2016 (TASP 2016). July 26-31, V 2 p. 80-84 Ambaasader Bangkok, Thailand.

Phimphan, L., Ponchunchoovong, S & Udomkarn, C. 2017. Preservation of black sharkminnow, *Labeo chrysophekadion* (Bleeker, 1849) spermatozoa. *Aquaculture Research*, 48: 3837-3847.

S. **Ponchunchoovong** and S. Takpukdeevichit. 2017. Effect of antioxidant on frozen semen quality and fertility rate of native chickens (Leung Hang Kao). The 68<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP 2017). September 28- October 1. Tallinn, Croatia.

S. **Ponchunchoovong** and P. Ladogtha. 2018. Cryopreservation of Black sharkminnow, *Labeo chrysophekadion* (Bleeker, 1849) spermatozoa. The 69<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP 2018). August 27-31. Dubrovnik, Estonia.

Vui V. Nguyen, Ponchunchoovong, S. Kupittyanant, S. Kupittyanant, P. 2019. Effects of egg yolk and soybean lecithin on sperm quality determined by computer-assisted sperm analysis and confocal laser scanning microscope in chilled canine sperm. DOI:10.1002/vms3.158.

#### 7. งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

การอนุรักษ์และพัฒนาไก่พื้นเมืองในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (เป็นผู้ร่วมวิจัย รับผิดชอบโครงการวิจัย 30%)

#### ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี
4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก: วศ.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ.2552

ปริญญาตรี: วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2540

## 5. สาขาที่ชำนาญเป็นพิเศษ

การอนุรักษ์พลังงาน

## 6. ผลงานทางวิชาการ /ผลงานวิจัยบางส่วน :

### บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1. Phueksaphanrat, T., Koonsrisuk, A. Energy cost analysis of an organic rankine cycle with exhaust gas in off design conditions. Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering 2020; 8(1): 48-58
2. Truong, N.T.T., Suttichaiya, A., Hiamhoen, W., Thinnongwaeng, P., Ariyawong, C., Boontawan, P., Rarey, J., Tongroon, M., Sukjit, E., Koonsrisuk, A., Boontawan, A. Production of medium chain fatty acid ethyl ester, combustion, and Its gas emission using a small-scale gas turbine jet engine. International journal of green energy 2019; 16(14): 1304-1316
3. Ming T, Gong T, de Richter RK, Liu W, Koonsrisuk A. Freshwater generation from a solar chimney power plant. Energy Conversion and Management 2016; 113: 189-200.
4. Koonsrisuk A. Comparison of conventional solar chimney power plants and sloped solar chimney power plants using second law analysis. Solar Energy 2013; 98 (Part A): 78-84.
5. Koonsrisuk A, Chitsomboon T. Effects of flow area changes on the potential of solar chimney power plants. Energy 2013; (51): 400-406.
6. Koonsrisuk A, Chitsomboon T. Mathematical modeling of solar chimney power plants. Energy 2013; (51): 314-322.
7. Koonsrisuk A. Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants. Energy 2012; 47 (1): 582-589.
8. Lorente, S., Koonsrisuk, A., Bejan, A., 2010. Constructal distribution of solar chimney power plants: few large and many small. International Journal of Green Energy, Vol. 7 (6), pp. 557-592.
9. Koonsrisuk, A., Lorente, S., Bejan, A., 2009. Constructal solar chimney configuration. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53 (1-3), pp. 327-333.
10. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. A single dimensionless variable for solar chimney power plant modeling. Solar Energy, Vol. 83 (12), pp. 2136-2143.

11. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. Accuracy of theoretical models in the prediction of solar chimney performance. *Solar Energy*, Vol. 83 (10), pp. 1764-1771.
12. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. Partial geometric similarity for solar chimney power plant modeling. *Solar Energy*, Vol. 83 (9), pp. 1611-1618.
13. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2007. Dynamic similarity in solar chimney modeling. *Solar Energy*, Vol. 81 (12), pp. 1439-1446.

#### **บทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ**

1. Aumpai N., Koonsrisuk A. An experimental investigation of an integrated system of split air conditioner and indirect evaporative cooler, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
2. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance comparison of an optimized Kalina cycle and optimized ORC power plant with a heat source temperature of 100 – 300°C, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
3. Hinlailoed H., Theamtat T., Koonsrisuk A. A comparison of three different cooling systems for an ORC power plant, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
4. Le T. H., Chitsomboon T., and Koonsrisuk A. Effect of water feed rate and water depth in the basin on the solar water distillation, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
5. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Simulation and experimental study of a solar circulating-water aeration system, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
6. Prasetyadi, A., Koonsrisuk, A., An analysis of exergy, availability and accessibility of water usage in hospital, in Proceeding of the 15th Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th -13th, 2020, Chanthaburi, Thailand.

7. Piriyaikulwat W., Koonsrisuk A. Comparative study of an ORC and TLC power plant, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Process, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
8. Raksa-in W., Koonsrisuk A. Performance analysis of using zeotropic mixtures and pure working fluids in an ORC power plant with a heat source temperature of 100 - 300°C, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
9. Theamtat T., Koonsrisuk A. Simulation of an indirect evaporative cooler, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
10. Wandu A., Koonsrisuk A. Performance comparison of an evaporative cooling and conventional air-conditioning systems in a data center, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
11. Hinlailoed T., Koonsrisuk A. Performance comparison of a subcritical, supercritical and trilateral organic rankine cycles for a heat source temperature of 60-90 C, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
12. Thepsena C., Koonsrisuk A. Design and analysis of thermal power plants with a heat source temperature of 260 C 280 C and 300 C, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
13. Klongdee S., Wattananusit K., Koonsrisuk A. Performance Enhancement of a Solar chimney dryer, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
14. Mongpraneet A., Koonsrisuk A. Power generation using geothermal heat source by the organic rankine cycle power plant (ORC), In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
15. Prasetyadi A., Koonsrisuk A. Energy and water conservation evaluation of the centralized HVAC system for Suranaree University Technology Hospital, In:



Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

16. Hinlailoed T., Koonsrisuk A. Performance of scroll expander and pump for a 1 kW ORC power plant, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

17. Le T. H., Chitsomboon T., Koonsrisuk A. Solar distillation of water using inclined tubes as receiver and condenser, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

18. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Effects of geometries for a solar circulating-water aeration system using a divergent draft tube, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

19. Thongchai T., Koonsrisuk A. Comparative investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 210°C - 250°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

20. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 160 - 200°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

21. Klongdee S., Koonsrisuk A. Effects of geometries on a solar chimney dryer, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

22. Raksa - in W., Koonsrisuk A. Investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 130 - 150°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

23. Virunchit P., Koonsrisuk A. Simulations of power generation from data center waste heat, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

24. Mongpraneet A., Koonsrisuk A. Performance investigate of trilateral, subcritical and supercritical organic Rankine cycle driven by geothermal heat source, In:

Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

25. Seesungnoen P., Koonsrisuk A. Investigation of a photovoltaic/thermal solar system, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

26. Prasetyadi A., Koonsrisuk A. Second law analysis of the centralized HVAC system of Suranaree University of Technology Hospital, In: Proceedings of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

27. Le T. H., Chitsomboon T., Koonsrisuk A. Solar distillation of water using inclined tubes as receiver and condenser, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

28. Thepsena C., Koonsrisuk A. Performance optimization of an ORC power plant with a heat temperature of 260°C 280°C and 300°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

29. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Simulation of a solar circulation-water aeration system using a divergent draft tube, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

30. Thongchai T., Koonsrisuk A. Comparative investigation of subcritical and supercritical ORC power plant for a heat source temperature of 210°C - 250°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

31. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance investigation of an ORC power plant of a heat source temperature of 160 - 200°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

32. Piriyaikulwat W., Koonsrisuk A. Feasibility study on ORC power generation from boiler exhaust gas, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass

Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

33. Raksa-in W., Koonsrisuk A. Design of Organic Rankine cycle (ORC) power plant in subcritical and supercritical at heat source 130, 140, and 150°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

34. Virunchit P., Koonsrisuk A. Thermodynamic optimization of a subcritical ORC power generation from data center waste heat, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

35. Phueksaphanrat T., Koonsrisuk A. Waste heat recovery from a hospital with ORC power plant, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

36. Koonsrisuk A. Learning achievement, student satisfaction, and factors influencing the School selection of the students in the School of Mechanical Engineering of Suranaree University of Technology, In: Proceedings of the 5th National & International Conference on Curriculum and Instruction (NICCI), March 4, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

37. Piriyaikulwat W, Koonsrisuk A. Simulation of heat transfer and pressure drop in a plate heat exchanger, In: Proceedings of the 9th Engineering Science Technology and Architecture Conference (ESTACON), September 7, 2018. Khon Kaen, Thailand.

38. Chansawang B, Koonsrisuk A. Simulation of a 500-kW sloped solar chimney power plant powered by industrial waste heat. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

39. Kamonsan T, Somsanuk R, Koonsrisuk A. Performance investigation of a dew-point air-conditioning associated with desiccants for Thailand. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

## 7. งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

- การเพิ่มประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าวัฏจักรคาลินาโดยใช้กลยุทธ์การควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อผลิตไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำ
- การผลิตไฟฟ้าที่ยั่งยืนด้วยเทคโนโลยีโออาร์ซีโดยใช้ความร้อนจากการเผาทำลายขยะติดเชื้อ
- ศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบไฮบริดระหว่างระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับระบบอัดไอเพื่อร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย



## แบบประวัติส่วนตัว

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข

การศึกษา/คุณวุฒิ : ปริญญาเอก : วศ.ต. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,  
พ.ศ.2552

ปริญญาตรี : วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,  
พ.ศ. 2540

ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการทำงาน : 2557 - ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
2553 - 2557 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสบการณ์การทำงานวิจัย :

- Visiting researcher, Institut für Verfahrens- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Austria, April 2018 - September 2018
- Visiting researcher, Institute of Sustainable Energy Technology, University of Nottingham, UK, May 2014 - July 2014
- Visiting researcher, Laboratoire Materiaux et Durabilite des Constructions, Université de Toulouse, France, May 2012 - July 2012 and September 2012 - December 2012
- Visiting researcher, Constructal Design Group, Duke University, USA, October 2008 - May 2009
- Research assistant, Two Phase Flow Laboratory, Technical University of Nova Scotia (now called Dalhousie University), Canada, September 1996 - December 1996

ผลงานทางวิชาการ /ผลงานวิจัย :

บทความในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1. Phueksaphanrat, T., Koonsrisuk, A. Energy cost analysis of an organic rankine cycle with exhaust gas in off design conditions. *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering* 2020; 8(1): 48-58
2. Truong, N.T.T., Suttichaiya, A., Hiamhoen, W., Thinnongwaeng, P., Ariyawong, C., Boontawan, P., Rarey, J., Tongroon, M., Sukjit, E., Koonsrisuk, A., Boontawan, A. Production of medium chain fatty acid ethyl ester, combustion, and Its gas emission using a small-scale gas turbine jet engine. *International journal of green energy* 2019; 16(14): 1304-1316
3. Ming T, Gong T, de Richter RK, Liu W, Koonsrisuk A. Freshwater generation from a solar chimney power plant. *Energy Conversion and Management* 2016; 113: 189-200.
4. Koonsrisuk A. Comparison of conventional solar chimney power plants and sloped solar chimney power plants using second law analysis. *Solar Energy* 2013; 98 (Part A): 78-84.
5. Koonsrisuk A, Chitsomboon T. Effects of flow area changes on the potential of solar chimney power plants. *Energy* 2013; (51): 400-406.
6. Koonsrisuk A, Chitsomboon T. Mathematical modeling of solar chimney power plants. *Energy* 2013; (51): 314-322.
7. Koonsrisuk A. Mathematical modeling of sloped solar chimney power plants. *Energy* 2012; 47 (1): 582-589.
8. Lorente, S., Koonsrisuk, A., Bejan, A., 2010. Constructal distribution of solar chimney power plants: few large and many small. *International Journal of Green Energy*, Vol. 7 (6), pp. 557-592.
9. Koonsrisuk, A., Lorente, S., Bejan, A., 2009. Constructal solar chimney configuration. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53 (1-3), pp. 327-333.
10. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. A single dimensionless variable for solar chimney power plant modeling. *Solar Energy*, Vol. 83 (12), pp. 2136-2143.
11. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. Accuracy of theoretical models in the prediction of solar chimney performance. *Solar Energy*, Vol. 83 (10), pp. 1764-1771.
12. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2009. Partial geometric similarity for solar chimney power plant modeling. *Solar Energy*, Vol. 83 (9), pp. 1611-1618.



13. Koonsrisuk, A., Chitsomboon, T., 2007. Dynamic similarity in solar chimney modeling. *Solar Energy*, Vol. 81 (12), pp. 1439-1446.

บทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ

1. Aumpai N., Koonsrisuk A. An experimental investigation of an integrated system of split air conditioner and indirect evaporative cooler, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
2. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance comparison of an optimized Kalina cycle and optimized ORC power plant with a heat source temperature of 100 – 300°C, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
3. Hinlailoed H., Theamtat T., Koonsrisuk A. A comparison of three different cooling systems for an ORC power plant, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
4. Le T. H., Chitsomboon T., and Koonsrisuk A. Effect of water feed rate and water depth in the basin on the solar water distillation, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
5. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Simulation and experimental study of a solar circulating-water aeration system, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
6. Prasetyadi, A., Koonsrisuk, A., An analysis of exergy, availability and accessibility of water usage in hospital, in Proceeding of the 15th Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th -13th, 2020, Chanthaburi, Thailand.
7. Piriyaikulwat W., Koonsrisuk A. Comparative study of an ORC and TLC power plant, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Process, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.

8. Raksa-in W., Koonsrisuk A. Performance analysis of using zeotropic mixtures and pure working fluids in an ORC power plant with a heat source temperature of 100 - 300°C, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
9. Theamtat T., Koonsrisuk A. Simulation of an indirect evaporative cooler, In: Proceedings of the 15th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipment and Processes, March 12th - 13th, 2020. Chanthaburi, Thailand.
10. Wandt A, Koonsrisuk A. Performance comparison of an evaporative cooling and conventional air-conditioning systems in a data center, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
11. Hinlailoed T., Koonsrisuk A. Performance comparison of a subcritical, supercritical and trilateral organic rankine cycles for a heat source temperature of 60-90 C, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
12. Thepsena C., Koonsrisuk A. Design and analysis of thermal power plants with a heat source temperature of 260 C 280 C and 300 C, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
13. Klongdee S., Wattananusit K., Koonsrisuk A. Performance Enhancement of a Solar chimney dryer, In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
14. Mongpraneet A., Koonsrisuk A. Power generation using geothermal heat source by the organic rankine cycle power plant (ORC), In: Proceedings of the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference 2019, Aug 30, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
15. Prasetyadi A., Koonsrisuk A. Energy and water conservation evaluation of the centralized HVAC system for Suranaree University Technology Hospital, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

16. Hinlailoed T., Koonsrisuk A. Performance of scroll expander and pump for a 1 kW ORC power plant, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
17. Le T. H., Chitsomboon T., Koonsrisuk A. Solar distillation of water using inclined tubes as receiver and condenser, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
18. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Effects of geometries for a solar circulating-water aeration system using a divergent draft tube, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
19. Thongchai T., Koonsrisuk A. Comparative investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 210°C - 250°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
20. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 160 - 200°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
21. Klongdee S., Koonsrisuk A. Effects of geometries on a solar chimney dryer, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
22. Raksa - in W., Koonsrisuk A. Investigation of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 130 - 150°C, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
23. Virunchit P., Koonsrisuk A. Simulations of power generation from data center waste heat, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
24. Mongpraneet A., Koonsrisuk A. Performance investigate of trilateral, subcritical and supercritical organic Rankine cycle driven by geothermal heat source, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

25. Seesungnoen P., Koonsrisuk A. Investigation of a photovoltaic/thermal solar system, In: Proceedings of the 15th conference of Energy Network of Thailand (E - NETT), May 21st - 24th, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.
26. Prasetyadi A., Koonsrisuk A. Second law analysis of the centralized HVAC system of Suranaree University of Technology Hospital, In: Proceedings of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
27. Le T. H., Chitsomboon T., Koonsrisuk A. Solar distillation of water using inclined tubes as receiver and condenser, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
28. Thepsena C., Koonsrisuk A. Performance optimization of an ORC power plant with a heat temperature of 260°C 280°C and 300°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
29. Niamsakul P., Koonsrisuk A. Simulation of a solar circulation-water aeration system using a divergent draft tube, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
30. Thongchai T., Koonsrisuk A. Comparative investigation of subcritical and supercritical ORC power plant for a heat source temperature of 210°C - 250°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
31. Duangduean S., Koonsrisuk A. Performance investigation of an ORC power plant of a heat source temperature of 160 - 200°C, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
32. Piriyakulwat W., Koonsrisuk A. Feasibility study on ORC power generation from boiler exhaust gas, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.
33. Raksa-in W., Koonsrisuk A. Design of Organic Rankine cycle (ORC) power plant in subcritical and supercritical at heat source 130, 140, and 150°C, In: Proceeding of the

14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

34. Virunchit P., Koonsrisuk A. Thermodynamic optimization of a subcritical ORC power generation from data center waste heat, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

35. Phueksaphanrat T., Koonsrisuk A. Waste heat recovery from a hospital with ORC power plant, In: Proceeding of the 14th conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes, March 20th - 21st, 2019. Krabi, Thailand.

36. Koonsrisuk A. Learning achievement, student satisfaction, and factors influencing the School selection of the students in the School of Mechanical Engineering of Suranaree University of Technology, In: Proceedings of the 5th National & International Conference on Curriculum and Instruction (NICCI), March 4, 2019. Nakhon Ratchasima, Thailand.

37. Piriyaikulwat W, Koonsrisuk A. Simulation of heat transfer and pressure drop in a plate heat exchanger, In: Proceedings of the 9th Engineering Science Technology and Architecture Conference (ESTACON), September 7, 2018. Khon Kaen, Thailand.

38. Chansawang B, Koonsrisuk A. Simulation of a 500-kW sloped solar chimney power plant powered by industrial waste heat. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

39. Kamonsan T, Somsanuk R, Koonsrisuk A. Performance investigation of a dew-point air-conditioning associated with desiccants for Thailand. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

40. Klongdee S, Koonsrisuk A. Simulation of a solar chimney dryer. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

41. Niamsakul P, Koonsrisuk A. Simulation of a solar circulating-water aeration system. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

42. Piriyaikulwat W, Koonsrisuk A. Simulation of heat transfer and pressure drop in a plate heat exchanger with phase change. In: Proceedings of the 32th Conference of

Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

43. Prasetyadi A, Koonsrisuk A. A reference system architecture for integrated energy and water in a hospital. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

44. Pueksaphanrat T, Koonsrisuk A. Simulation of the heat dissipation from the boiler the ORC. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

45. Somsanuk R, Kamonsan T, Koonsrisuk A. Simulation of a hybrid dew-point evaporative cooling. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 4-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

46. Thepsena C, Pawako S, Koonsrisuk A. Development of the control system for an automatic fish feeding system. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

47. Virunchit P, Koonsrisuk A. Simulation of an ORC power plant utilizing data center waste heat. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

48. Wandu A, Koonsrisuk A. Calculation of the cooling load for a data center. In: Proceedings of the 32th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 3-6, 2018. Mukdahan, Thailand.

49. Chansawang B, Koonsrisuk A. Design of a sloped solar chimney power plant, In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.

50. Hinlailoed T, Koonsrisuk A. Design of a small scale ORC prototype, In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.

51. Laphan A, Koonsrisuk A. Working fluid selection for a 1MW ORC power plant in Thailand, In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.

52. Kamonsan T, Somsanuk R, Koonsrisuk A. Performance investigation of a liquid desiccant air-conditioning system. In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.



53. Prasetyadi A, Koonsrisuk A. Energy-Water Nexus: Water of Electricity in Indonesia, In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.
54. Piriyaikulwat W, Prasetyadi A, Koonsrisuk A. Simple Linear Heat Model for Virtual Water Estimation of Thermal Power Plant with Wet Cooling System, In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.
55. Somsanuk R, Kamonsan T, Koonsrisuk A. Modelling and dynamic simulation of a liquid desiccant air-conditioning system in Thailand. In: Proceedings of the 13th Conference of Energy Network of Thailand (E-NETT), May 31 – June 2, 2017. Chiang Mai, Thailand.
56. Chansawang B, Sri-on T, Koonsrisuk A. Performance assessment of an absorption air-conditioning system driven by evacuated-tube solar collectors for 7-Eleven stores in Thailand, in: Proceedings of the 30th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 5-8, 2016. Songkhla, Thailand.
57. Kamonsan T, Sri-on T, Koonsrisuk A. Performance assessment of an absorption air-conditioning system driven by a natural-gas furnace for 7-Eleven stores in Thailand. In: Proceedings of the 30th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 5-8, 2016. Songkhla, Thailand.
58. Mongpraneet, A, Sri-on T, Koonsrisuk A. Performance assessment of an absorption air-conditioning system driven by flat-plate solar collectors for 7-Eleven stores in Thailand. In: Proceedings of the 30th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 5-8, 2016. Songkhla, Thailand.
59. Somsanuk R, Sri-on T, Koonsrisuk A. Performance assessment of an absorption air-conditioning system driven by an electrical heater for 7-Eleven stores in Thailand. In: Proceedings of the 30th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 5-8, 2016. Songkhla, Thailand.
60. Mongpraneet, A, Koonsrisuk A. Numerical simulation of Organic Rankine Cycle (ORC) using Matlab, In: Proceedings of the 29th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 1-3, 2015, Nakhon Ratchasima, Thailand.
61. Sri-on T, Koonsrisuk A. An appropriate cooling-water configuration for hybrid-ground source heat pump systems in Thailand, In: Proceedings of the 29th Conference of



Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), July 1-3, 2015, Nakhon Ratchasima, Thailand.

62. Sri-on T, Koonsrisuk A. Cooling performance of a hybrid Ground-Source Heat Pump with Different Cooling-Water Loop Configurations, In: Proceeding of the 34th National Graduate Research Conference (NGRC), March 27, 2015, Khon Kaen, Thailand.

63. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2008. A Single Dimensionless Variable for Solar Tower Plant Modeling. In: Proceedings of the 22th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand (Vol. 4, pp.305-312.). Pathum Thani, Thailand.

64. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2007. The Effect of Plant Geometry on the Potential of a Solar Tower. In: Proceedings of the 11st Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, Phuket, Thailand.

65. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2006. Partial Similarity in Solar Tower Modeling. In: Proceedings of the 20th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Nakhon Ratchasima, Thailand.

บทความในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. Chansawang B., Koonsrisuk A. (2019). Design of a sloped solar chimney power plant powered by industrial waste heat, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

2. Duangduean S., Koonsrisuk A. (2019). Electricity generation from a heat source at temperature of 160-200°C, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

3. Kamonsan T., Somsanuk R., Koonsrisuk A. (2019). Experimental investigation of a liquid desiccant air-conditioning system in Thailand, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

4. Klongdee S., Koonsrisuk A. (2019). Design of a solar chimney dryer, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

5. Le T. H., Chitsomboon T., Koonsrisuk A. (2019). Development of a solar water distiller with a receiver and condenser, In: Proceedings of the 10th TSME International

Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

6. Phueksaphanrat T., Koonsrisuk A. (2019). Energy cost analysis of an organic Rankine cycle with exhaust gas in off design conditions, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

7. Prasetyadi A., Koonsrisuk A. (2019). Minimization of energy and water cost for the main building of Suranaree University of Technology Hospital (SUTH), In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

8. Raksa-in W., Koonsrisuk A. (2019). Waste heat recovery power plant for a heat source temperature of 130-150°C, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

9. Somsanuk R., Kamonsan T., Koonsrisuk A. (2019). Simulation of a hybrid dew-point evaporative cooling system, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

10. Theamtat T., Koonsrisuk A. (2019). Fluid selection and optimal operating conditions of an ORC, and trilateral Rankine cycle power plant for a heat source temperature of 210°C - 250°C, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

11. Thepsena C., Koonsrisuk A. (2019). Performance optimization of a subcritical ORC, supercritical ORC, and trilateral Rankine cycle power plant with a heat source temperature of 260°C 280°C and 300°C, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

12. Virunchit P., Koonsrisuk A. (2019). Comparative study of power generation systems powered by data center waste heat, In: Proceedings of the 10th TSME International Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

13. Wandt A., Koonsrisuk A. (2019). Performance Evaluation of an Evaporative Cooling Air-Conditioning System for a Data Center, In: Proceedings of the 10th TSME International

Conference in Mechanical Engineering (TSME-ICoME), December 10th-13th, 2019. Pattaya, Thailand.

14. Prasetyadi, A, Koonsrisuk, A. Exergy Analysis of water system for Suranaree University of Technology Hospital (SUTH) main building. In: Proceedings of The 37th Conference of ASEAN Federation of Engineering Organizations (CAFEO 37), September 11-14, 2019. Jakarta, Indonesia.

15. Prasetyadi, A, Koonsrisuk, A. Evaluation of the centralized HVAC chilled water pumps of Suranaree University of Technology Hospital main building. In: Proceedings of The 3rd International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development, October 23 – 24, 2019. Jogjakarta, Indonesia.

16. Prasetyadi A, Koonsrisuk A. Investigation and modeling of energy and water consumption of a centralized chiller system in Suranaree University of Technology Hospital. In: Proceedings of the 25th Tri-University International Joint Seminar & Symposium (Tri-U), November 4-8, 2018. Chiang Mai, Thailand.

17. Piriyaikulwat W, Koonsrisuk A. Thermal performance and pressure drop characteristics of the heat exchangers in an ORC power plant. In: Proceedings of the 25th Tri-University International Joint Seminar & Symposium (Tri-U), November 4-8, 2018. Chiang Mai, Thailand.

18. Prasetyadi A, Koonsrisuk A. Type and quality of energy and water in a tropical hospital. In: Proceedings of the 3rd International Tropical Renewable Energy Conference (i-TREC), September 6-8, 2018. Bali, Indonesia.

19. Pawakote P, Koonsrisuk A. Design of a solar dryer with fins and baffles for rice-cracker drying. In: Proceedings of the 1st International Joint Conference on Clean Energy and Smart Grid (CCESG 2018), February 24-26, 2018. Bangkok, Thailand.

20. Koonsrisuk A. Second-law analysis of solar chimney power plants. In: Proceedings of the 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, October 16-18, 2013. Pattaya, Chonburi, Thailand.

21. Koonsrisuk A. Evaluation for drying potential of solar chimney power plants. In: Proceedings of the 12th International Conference on Sustainable Energy technologies (SET-2013), August 26-29, 2013, Hong Kong.

22. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2010. Theoretical Turbine Power Yield in Solar Chimney Power Plants. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies: Theory and Application – ThETA 3, Cairo, Egypt.
23. Koonsrisuk, A., Lorente, S., Bejan, A., 2010. Constructal Pattern of Solar Chimney Power Plants on Land. In: Proceedings of the 1st TSME International Conference on Mechanical Engineering, Ubon Ratchathani, Thailand.
24. Koonsrisuk, A. and Chitsomboon, T., 2006. Effect of Tower Area Change on the Potential of Solar Tower. In: Proceedings of the 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment, Bangkok, Thailand.

#### บทความด้านการเรียนการสอน

1. อาทิตย์ คุณศรีสุข, 2562. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความพึงพอใจของนักศึกษา และปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย ด้านหลักสูตรและการสอน ครั้งที่ 5 (The 5th National & International Conference on Curriculum & Instruction), นครราชสีมา.
2. อาทิตย์ คุณศรีสุข, 2560. การศึกษารูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทางและการเรียนรู้แบบเชิงรุก. การประชุมวิชาการปฏิบัติการการเรียนรู้ (Learning in Action), สมาคมเครือข่ายการพัฒนาวิชาชีพอาจารย์และองค์กรระดับอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย (ควอท), กรุงเทพฯ.

#### ประสบการณ์การเป็นผู้ประเมินบทความวิชาการ :

1. Reviewer, Applied Energy, 2011-present
2. Reviewer, Energy, 2011-present
3. Reviewer, Solar Energy, 2006-present
4. Reviewer, Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, 2014-present
5. Reviewer, Energy Conversion and Management, 2014-present
6. Reviewer, International Journal of Green Energy, 2018
7. Reviewer, Environmental Progress & Sustainable Energy, 2018
8. Reviewer, International Journal of Energy Research, 2017-present
9. Reviewer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012-present
10. Reviewer, Journal of Heat Transfer, Transactions of the ASME, 2016

11. Reviewer, Progress in Energy and Combustion Science, 2016
12. Reviewer, International Journal of Ambient Energy, 2015
13. Reviewer, Applied Thermal Engineering, 2015
14. Reviewer, Advances in Mechanical Engineering, 2015
15. Reviewer, Energy Policy, 2013
16. Reviewer, Sustainable Cities and Society, 2013
17. Reviewer, Thermal Science Journal, 2012
18. Reviewer, Heat Transfer Engineering, 2007

### รางวัลที่เคยได้รับ

- พนักงานดีเด่นสายวิชาการ ด้านการสอน ประจำปี 2557

**ภาระการสอน :** สอนรายวิชาที่ปรากฏในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
(หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2561) ดังต่อไปนี้

1. 525204 FLUID MECHANICS I
2. 525300 SEMINAR IN MECHANICAL ENGINEERING
3. 525308 HEAT TRANSFER
4. 525313 POWER PLANT ENGINEERING
5. 525340 MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY
6. 525402 THERMAL SYSTEM DESIGN
7. 525442 THERMO-FLUID LABORATORY
8. 525456 FLUID MACHINERY
9. 525631 ADVANCED CONVECTION HEAT AND MASS TRANSFER
10. 525633 ADVANCED THERMAL SYSTEM DESIGN
11. 525636 ENERGY CONVERSION
12. 525692 ADVANCED SPECIAL PROBLEMS IN MECHANICAL ENGINEERING I
13. 525693 ADVANCED SPECIAL PROBLEMS IN MECHANICAL ENGINEERING II
14. 525694 ADVANCED TECHNOLOGY IN MECHANICAL ENGINEERING I
15. 536340 AUTOMOTIVE ENGINEERING FUNDAMENTAL LABORATORY
16. 537340 AERONAUTICAL ENGINEERING LABORATORY