

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

## การจำลองและการทดสอบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เพ็ญพิชา เนียมสกุล<sup>1</sup> สมร พรชื่นชูวงศ์<sup>2</sup> และ อาทิตย์ คุณศรีสุข<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>2</sup> สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 10 ธันวาคม 2563 แก้ไขบทความ 29 พฤศจิกายน 2564 ตอรับบทความ 27 ธันวาคม 2564

### บทคัดย่อ

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

**คำสำคัญ :** เครื่องเติมออกซิเจน; ระบบเติมอากาศ; การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ; ออกซิเจนละลายในน้ำ; พลังงานแสงอาทิตย์

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

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

# Simulation and Experiment of a Solar-Circulating Aeration System

Phenphicha Niamsakul<sup>1</sup> Samorn Ponchunchoovong<sup>2</sup> and Atit Koonsrisuk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

<sup>2</sup> School of Animal Production Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology

111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000

---

*Received 10 December 2020; Revised 29 November 2021; Accepted 27 December 2021*

## Abstract

The amount of dissolved oxygen (DO) in aquaculture ponds is considered to be one of the most important aspects for the survival of fishes. The water in aquaculture ponds is stratified into distinct layers with different DO caused by differences in temperature. This temperature difference occurs when the surface layer of water, heated by the sun, becomes hotter than the lower water layer. Since the top layer is in contact with the air, it contains the most DO. On the other hand, the deepest layer is isolated from the air, it contains the lowest amount of DO. This study proposed an aeration system called a Solar Circulating-Water Aeration System (SCWAS). The SCWAS uses solar thermal energy to create a natural water circulation. In other words, it provides an upward current of water from the bottom to the pond surface and a downward current from the surface to the bottom. This circulation creates the movement of surface water and then increases the DO content of the surface water. This water circulation moves highly oxygenated surface water to the bottom layer, forcing low oxygen water from the bottom up to the surface where it can absorb oxygen. To evaluate this design concept, the numerical simulations of the system were conducted using ANSYS Fluent software. According to the simulation results, the SCWAS can provide the natural water circulation. It was found that a flow rate of 2.24 L/s is obtained when the ratio between the draft tube inlet (r), the draft tube outlet (R), the base (L) is 1: 2: 3. In addition, an SCWAS prototype was built and installed in a tilapia aquaculture system. A calibrated measuring system was installed to investigate the prototype performance. The experimental results indicate that the average DO values at the water surface and at the bottom of the pond increased by 1.45 and 1.40 times, respectively, compared with those of a pond without SCWAS. Economic analysis shows that the payback period of SCWAS is 4.58 years and its investment cost is 17.49% less than that of the paddle-wheel aerator.

**Keywords :** Aerator; Aeration System; Aquaculture; Dissolved Oxygen; Solar Energy

---

*\* Corresponding Author. Tel.: +668 0168 5996, E-mail Address: atit@sut.ac.th*

## 1. บทนำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากสัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจและย่อยอาหาร และเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีของสัตว์น้ำระดับออกซิเจนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 4–20 มิลลิกรัมต่อลิตร [1]

ในการเติมออกซิเจนเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยงโดยส่วนใหญ่มักใช้เครื่องตีน้ำ (Paddle Wheel) หรือปั๊มลม (Pump) ซึ่งเป็นเครื่องเติมออกซิเจนที่มีขายในท้องตลาด และเครื่องเหล่านี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับไฟฟ้า นอกจากนี้ ยังพบว่าต้นทุนเครื่องค่อนข้างสูงเมื่อเทียบการต้นทุนการผลิตทั้งหมด โดยคิดเป็นเกือบร้อยละ 15 [2]

โดยทั่วไปบ่อเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่ของเกษตรกรมักอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนทำให้การเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าไม่ถึง และผลผลิตสัตว์น้ำส่วนใหญ่ก็มาจากเกษตรกรในชนบท ซึ่งกว่าร้อยละ 72 ของผู้ผลิตสัตว์น้ำเป็นเกษตรกรในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก และโดยทั่วไปเกษตรกรเหล่านี้ทำการเพาะเลี้ยงเป็นอาชีพเสริมเพื่อเป็นแหล่งอาหารและนำไปจำหน่ายเป็นรายได้สู่ครัวเรือน [3] ดังนั้น การที่เกษตรกรจะเข้าถึงเครื่องเติมออกซิเจนที่มีขายในท้องตลาดจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในครัวเรือนทั้งในด้านต้นทุนเครื่องเติมอากาศและการเชื่อมต่อไฟฟ้าไปยังบ่อนอกเหนือจากนี้ ยังมีค่าไฟฟ้าแฝงเข้ามาในต้นทุนการผลิตอีกด้วย

สำหรับบ่อเพาะเลี้ยงที่ไม่มีเครื่องเติมออกซิเจนเข้าสู่บ่อ ออกซิเจนส่วนใหญ่จะมาจากธรรมชาติ ในช่วงเวลากลางวันออกซิเจนจะเข้าสู่บ่อจากกระแสลมที่พัดผ่านผิวน้ำทำให้น้ำเกิดการกระเพื่อม และจากการสังเคราะห์แสงของพืช ส่วนเวลากลางคืนไม่มีการสังเคราะห์แสงของพืชออกซิเจนที่ได้จะมาจากกระแสลมโดยตรง ซึ่งการเติมออกซิเจนด้วยวิธีธรรมชาตินี้จะทำได้

ดีเฉพาะบริเวณด้านบนของบ่อ เนื่องจากได้รับออกซิเจนจากธรรมชาติโดยตรง แต่ในส่วนลึกของบ่อออกซิเจนมีการลดลง เนื่องมาจากสัตว์น้ำใช้ออกซิเจนในการหายใจและออกซิเจนบางส่วนยังถูกใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในน้ำ [4] นอกจากนี้ ในบ่อเพาะเลี้ยงระหว่างวันยังเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “การแบ่งชั้นความร้อน” ขึ้น เนื่องจากน้ำภายในบ่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งน้ำด้านล่างที่อยู่ในส่วนลึกของบ่อจะเย็นกว่าน้ำที่อยู่ด้านบนเป็นอย่างมาก เนื่องจากการลดทอนความเข้มแสงแดดเมื่อผ่านชั้นน้ำ [5] ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้น้ำในส่วนลึกของบ่อมีอุณหภูมิต่ำและขาดแคลนออกซิเจน

โดยทั่วไปแล้วมักพบว่าสัตว์น้ำจะอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากบริเวณด้านบนบ่อมีออกซิเจนที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตาม หากสัตว์น้ำอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานอาจเกิดโรคราหวัดได้ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อผลผลิตของเกษตรกร ดังนั้น เพื่อลดความเสียหายที่อาจตามมาและยังเป็นการกระจายความหนาแน่นต่อพื้นที่ในบ่อเพาะเลี้ยงของเกษตรกรในพื้นที่ชนบท จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเพิ่มค่าออกซิเจนให้กับน้ำในส่วนลึกของบ่อให้เพียงพอต่อการดำรงชีวิต

ดังนั้น บทความนี้จึงได้นำเสนอระบบเติมอากาศที่เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถทำงานได้โดยธรรมชาติที่เกิดจากการประยุกต์ใช้หลักการของแรงลอยตัว นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการบำรุงรักษา ซึ่งเกษตรกรสามารถซ่อมบำรุงได้ด้วยตนเอง อีกทั้งยังเป็นระบบที่สามารถสร้างขึ้นมาใช้งานได้เองอีกด้วย

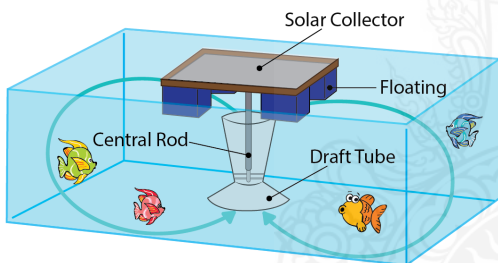
บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรมจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม และทำการทดสอบระบบกับบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อประเมินการทำงานของระบบ

นอกจากนี้ยังทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุนสำหรับผู้ประกอบการต่อไป

## 2. หลักการและวิธีดำเนินงาน

### 2.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ

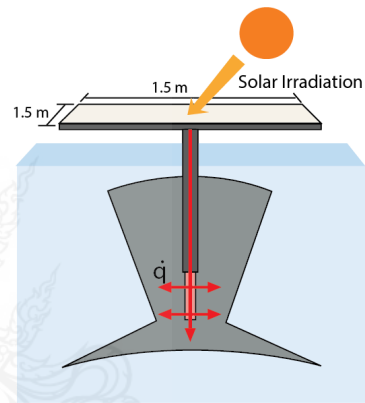
ระบบเติมอากาศที่นำเสนอนี้มีชื่อเรียกว่า ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Circulating-Water Aeration System, SCWAS) ดังแสดงในรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลักคือ แผงรับแดด (Solar Collector) ที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม แทนนำความร้อน (Central Rod) ปล่องบังคับทิศทางการไหล (Draft Tube) และทุ่นลอย (Floating) ซึ่งทำหน้าที่พยุงระบบให้ลอยอยู่ในน้ำได้และยังสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 1 ระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (SCWAS)

ระบบ SCWAS สามารถเติมออกซิเจนได้จากการทำให้น้ำเกิดการไหลเวียน โดยอาศัยหลักการของแรงลอยตัว (Buoyant Force) ที่เกิดจากการพาความร้อนโดยธรรมชาติ ซึ่งการทำงานของระบบเกิดขึ้นเมื่อ Solar Collector ดูดซับพลังงานแสงแดดและสะสมเป็นความร้อนเก็บไว้ในเนื้อวัสดุ จากนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับ Central Rod ที่ต่ออยู่กับแผ่นของ Solar Collector ซึ่งบน Central Rod บางส่วนถูกหุ้มฉนวนไว้ระยะหนึ่งเพื่อไม่ให้ความร้อนสูญเสียก่อนถึงตำแหน่งที่ต้องการถ่ายเทความร้อน โดยความร้อนจะถูกถ่ายเท

จาก Central Rod สู่น้ำที่ชั้นล่างของบ่อ เมื่อน้ำในบริเวณที่อยู่ใกล้กับ Central Rod ได้รับความร้อนจะมีความหนาแน่นลดลงและต่ำกว่าบริเวณอื่น ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้น้ำเกิดการไหลเวียนตามหลักการของแรงลอยตัว น้ำที่ไหลอยู่ภายในระบบจะไหลตามการบังคับทิศทางของ Draft Tube เพื่อไปปรับออกซิเจนที่มีอยู่มากที่ผิวน้ำด้านบนบ่อแล้วเคลื่อนที่ตามการไหลเวียนกลับมายังชั้นล่างของบ่อเพื่อปรับปรุงค่าออกซิเจน ซึ่งน้ำจะเกิดการไหลเวียนในลักษณะนี้เพื่อเติมออกซิเจนให้กับบ่อเพาะเลี้ยง สำหรับภาพประกอบการถ่ายเทความร้อนของระบบแสดงดังรูปที่ 2



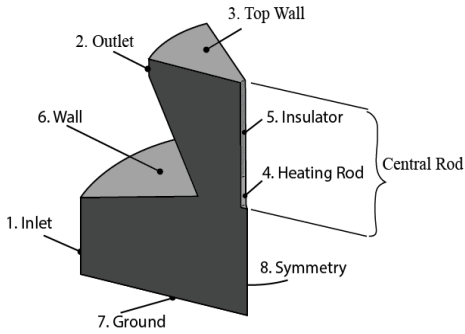
รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของระบบ SCWAS

### 2.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข

เพื่อประเมินแนวคิดการออกแบบระบบ SCWAS ได้ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ดำเนินการในโปรแกรม ANSYS Fluent เวอร์ชัน 18.0 โดยในการจำลองได้ทำการหาขนาดรูปทรงที่เหมาะสมของระบบ ซึ่งได้พิจารณาจากอัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้น

#### 2.2.1 โดเมนการคำนวณและเงื่อนไขขอบเขต

ในการศึกษาได้ใช้แบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งมีโดเมนการคำนวณเพียง 1/8 ของรูปทรงทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณลง สำหรับโดเมนการคำนวณและการตั้งชื่อขอบเขตที่ใช้ในการจำลองแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โดเมนและขอบเขตการจำลอง

ตารางที่ 1 เงื่อนไขขอบเขตในการจำลอง

No.	Boundary	Momentum	Thermal
1	Inlet	Pressure-inlet	30 °C
2	Outlet	Pressure-outlet	30 °C
3	Top Wall	No-slip	30 °C
4	Heating Rod	No-slip	Heat Flux
5	Insulator	No-slip	Adiabatic
6	Wall	No-slip	Adiabatic
7	Ground	No-slip	Adiabatic
8	Symmetry	N/A	N/A

โดเมนที่แสดงในรูปที่ 3 มีเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำที่อยู่ภายในระบบเท่านั้น ส่วนอื่นที่นอกเหนือจากนี้ไม่ได้ทำการพิจารณาเนื่องจากต้องการหาเพียงรูปทรงที่เหมาะสมโดยการจำลองนี้มีเงื่อนไขขอบเขตแสดงดังตารางที่ 1

ในการจำลองนี้ได้กำหนดให้ความดันรวม (Total Pressure) เท่ากับศูนย์ที่ขอบเขต 1 และความดันสถิต (Static Pressure) เท่ากับศูนย์ที่ขอบเขต 2 โดยมีอุณหภูมิของน้ำเป็น 30 องศาเซลเซียส ที่ขอบเขต 1-3 ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น ส่วนขอบเขตที่ 3-7 กำหนดให้ความเร็วในชั้นขีดผิวเท่ากับศูนย์ ในส่วนขอบเขตที่ 4 มีการใส่ฟลักซ์ความร้อนเข้าไปตามการคำนวณในสมการที่ (1) และขอบเขต 5-7 กำหนดให้ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทผ่านผนังไปได้ และในการจำลองนี้รูปทรงถูกกำหนดให้มีความสมมาตรตามแนวแกน

### 2.2.2 สมมติฐานการจำลองและสมการควบคุม

การจำลองนี้สมมติให้คุณสมบัติของน้ำ (ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก และสัมประสิทธิ์การขยายตัว) มีค่าคงที่ตามอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และเพื่อที่จะออกแบบระบบ SCWAS นี้ได้กำหนดให้ค่าความเข้มแสงแดดคงที่เท่ากับ 728 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่ Solar Collector สามารถดูดซับความเข้มแสงแดดได้เพียงร้อยละ 45 [6] และกำหนดให้ฉนวนกันความร้อนได้อย่างสมบูรณ์แบบฉนวนนั้น ฟลักซ์ความร้อนที่จะถูกถ่ายเทจึงมีค่าเท่ากับ 328 วัตต์ต่อตารางเมตร และในการออกแบบกำหนดให้ Solar Collector มีพื้นที่เท่ากับ 1.5 x 1.5 ตารางเมตร ดังนั้น ความร้อนที่จะถูกถ่ายเทให้กับน้ำจึงมีค่าเป็น 738 วัตต์ และสามารถคำนวณหาฟลักซ์ความร้อน (q) ที่จะถูกถ่ายเทให้กับน้ำได้ดังสมการที่ (1)

$$q = \frac{Q}{A_{hr}} \tag{1}$$

โดยที่

Q = ความร้อนที่ถ่ายเทจาก Solar Collector มายัง Central Rod (วัตต์)

A<sub>hr</sub> = พื้นที่ของ Central Rod ที่สัมผัสกับน้ำ ในที่นี้คือพื้นที่ของ Heating Rod (ตารางเมตร)

สำหรับสมการควบคุมที่ใช้ในการจำลองนี้ประกอบไปด้วย สมการอนุรักษ์มวล สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน ซึ่งทำงานร่วมกับ Boussinesq Approximation และ ถูกกำหนดโดย Rayleigh Number (Ra<sub>L</sub>) เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของน้ำที่ใกล้กับขอบเขตของ Heating Rod

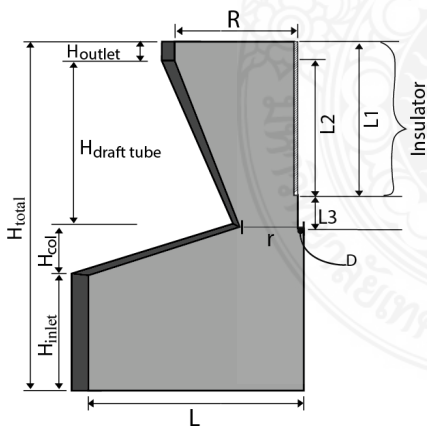
การไหลที่อยู่ใกล้กับขอบเขตของ Heating Rod ถูกสันนิษฐานให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Ra<sub>L</sub> > 10<sup>9</sup>) และในการตั้งค่าได้ใช้โมเดลของ SST k-omega เนื่องจากมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นความเหมาะสมของ

แบบจำลองกับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนแบบปั่นป่วนตามธรรมชาติ [7]

SIMPLE Algorithm ถูกใช้ในการแก้สมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง QUICK Scheme ถูกนำไปใช้ในสมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน และเลือกใช้ Second Order Upwind Method สำหรับการแก้ปัญหาลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลและอัตราการขยายตัวของของไหล และใช้ PRESTO Method สำหรับเทอมของความดัน และมีการกำหนดให้ Under Relaxation Factors สำหรับการคำนวณความดัน (Pressure) ความเร็ว (Velocity) และพลังงาน (Energy) เป็น 0.3, 0.7 และ 0.9 ตามลำดับ [7]

### 2.2.3 วิธีการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของรูปทรง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แสดงดังรูปที่ 4 โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการหุ้มฉนวนบน Central Rod และส่วนที่สองเป็นการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับรูปทรง โดยมีวิธีการศึกษาในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 รูปทรงและพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการหุ้มฉนวนบน Central Rod มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ L1 : ความยาวของส่วนที่หุ้มฉนวนทั้งหมดบน Central

Rod (เมตร), L2 : ความยาวฉนวนเฉพาะส่วนที่อยู่ใน Draft Tube (เมตร) และ L3 ซึ่งเป็นความยาวของ Heating Rod ที่ความร้อนมีการถ่ายเทให้กับน้ำ (เมตร) สำหรับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทำการตรวจสอบระยะเวลาการหุ้มฉนวนบน Central Rod ว่าส่งผลอย่างไรต่ออัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้นในระบบหรือไม่ โดยในการจำลองได้กำหนดความยาวของ Central Rod (L1+L3) ให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 0.7 เมตร และทำการเปลี่ยนแปลงระยะ L2 ตั้งแต่ 0 จนถึง 0.6 เมตร

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเพื่อตรวจสอบอัตราการไหลที่เกิดขึ้น มีพารามิเตอร์ 5 ตัวเกี่ยวข้องซึ่งประกอบไปด้วย D : เส้นผ่านศูนย์กลางของ Rod (นิ้ว), R : รัศมีทางออกปล่อง (เมตร), L : ความยาวฐาน (เมตร), H<sub>col</sub> : ความสูงฐาน (เมตร) และ H<sub>outlet</sub> : ความสูงทางออกปล่อง (เมตร) โดยในการศึกษาได้ทำการปรับขนาดของพารามิเตอร์ไปที่ละตัวตามช่วงที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 และทำการคงที่ขนาดของพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ไว้ที่ค่าเริ่มต้น เมื่อได้ขนาดที่ดีที่สุดซึ่งพิจารณาจากอัตราการไหลเวียนสูงสุดที่เกิดขึ้นจึงได้คงที่ขนาดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ตัวนั้น ๆ ไว้และทำการหาขนาดที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ตัวอื่นถัดไป

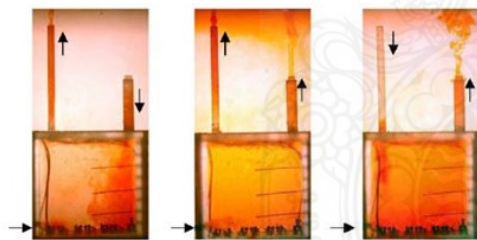
ตารางที่ 2 ขนาดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

Parameter	Initial Value	Varied Range
L1 (m)	-	0.05 - 0.65
L2 (m)	-	0 - 0.6
L3 (m)	-	0.65 - 0.05
D (inch)	1	1 - 4
r (m)	0.1	-
R (m)	0.2	0.1 - 0.2
L (m)	0.7	0.2 - 1
H <sub>col</sub> (m)	0.3	0.05 - 0.4
H <sub>outlet</sub> (m)	0.05	0.025 - 0.2
H <sub>inlet</sub> (m)	0.5	-
H <sub>total</sub> (m)	0.5	-

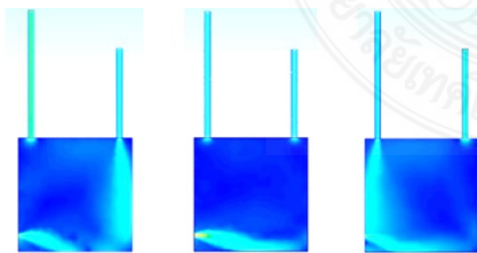
ในทุกการจำลองได้กำหนดให้  $r$ ,  $H_{inlet}$  และ  $H_{total}$  เป็นค่าคงที่ไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาด เนื่องจากได้กำหนดให้รัศมีทางเข้าปล่องคงที่ในตอนแรก และค่าของ  $H_{inlet}$  และ  $H_{total}$  คงที่ตามเงื่อนไขของบ่อที่ใช้ใช้ในการทดสอบระบบ

### 2.2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนทำการจำลองเพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมของระบบ SCWAS ได้ทำการตรวจสอบการใช้งานโปรแกรมของผู้วิจัยเองเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถจำลองระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลโดยธรรมชาติได้ โดยการเปรียบเทียบนี้ได้ดำเนินการตรวจสอบกับบทความของ Chenvidyakarn and Woods [8] ซึ่งเป็นบทความที่ศึกษาการระบายความร้อนภายในอาคาร โดยในการทดลองได้ใช้น้ำแทนอากาศเป็นของไหลและใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนให้กับชุดทดสอบ โดยผลจากการเปรียบเทียบชุดทดสอบกับแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 5



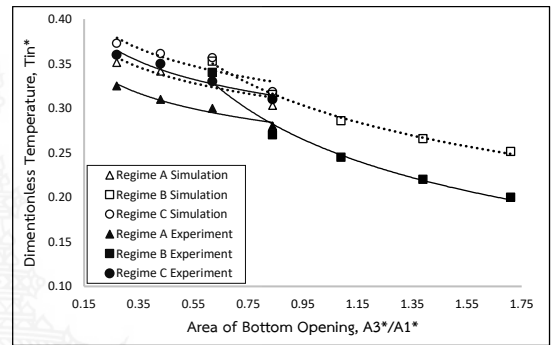
ก) ผลจากชุดทดสอบ [8]



ข) ผลจากแบบจำลอง

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพของชุดทดสอบ ก) กับแบบจำลอง ข) โดยรูปจากซ้ายไปขวาคือ Regime A, Regime B และ Regime C ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพของชุดทดสอบ (ก.) กับแบบจำลอง (ข.) ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นลักษณะการไหลที่คล้ายคลึงกันของทั้ง 3 Regimes ซึ่งสังเกตได้จากสีที่ปรากฏตรงทางเข้าและปล่องทางออกของชุดทดสอบกับแบบจำลอง นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบผลในเชิงปริมาณเพื่อเป็นการยืนยันเชิงตัวเลขร่วมด้วย



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณของชุดทดสอบกับแบบจำลองทั้ง 3 Regimes

จากการเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณของชุดทดสอบ (Experiment) กับแบบจำลอง (Simulation) ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า แนวโน้มของข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีทิศทางเดียวกัน และเป็นเช่นนี้ทั้ง 3 Regimes และผลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิไร้มิติ พบความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 2 - 25% โดยความคลาดเคลื่อนนี้มีส่วนสาเหตุมาจากการจำลองสมมติให้ความร้อนมีการกระจายอย่างทั่วถึงที่บริเวณพื้น แต่ในชุดทดสอบเป็นการติดตั้งฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางของพื้น ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองคลาดเคลื่อนไปจากการวัดจริงของชุดทดสอบ

### 3. การประเมินผล

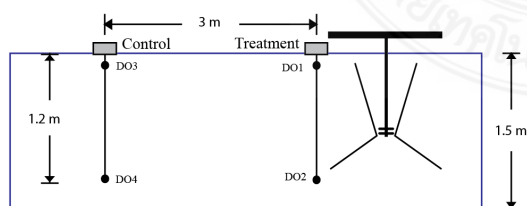
เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ SCWAS ได้นำชุดทดสอบ SCWAS ไปทดลองกับบ่อของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยชุดทดสอบที่ทำการติดตั้งภายในบ่อแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดทดสอบ SCWAS ที่ติดตั้งภายในบ่อ

เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของระบบ SCWAS ได้ทำวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบจากชุดทดสอบและจุดที่ควบคุมให้เป็นไปตามธรรมชาติ ซึ่งแต่ละตำแหน่งทำการวัด DO 2 ระดับ คือที่ผิวน้ำชั้นบน (DO1 และ DO3) และน้ำชั้นล่าง (DO2 และ DO4) โดยจุดวัด DO ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 8

ในการวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ได้ใช้ DO Analog Dissolved Oxygen Sensor Meter Kit โมเดล SKU:SEN0237 (ที่ทำการต่อสัญญาณเข้ากับบอร์ด Arduino เรียบร้อยแล้ว) จุ่มลงไปใบบ่อ โดยจุดวัด DO1 และ DO3 ห่างจากผิวน้ำเป็นระยะ 10 เซนติเมตร จุดวัด DO2 และ DO4 ห่างจากผิวน้ำเป็นระยะ 120 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละจุดทำการบันทึกค่า DO ทุก ๆ 15 นาที และบันทึกข้อมูลไว้ใน Data Logger ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control



รูปที่ 8 ตำแหน่งการติดตั้งจุดวัด DO ภายในบ่อทดสอบ

สำหรับการประเมินความสามารถของระบบ SCWAS ได้ทำการเปรียบเทียบค่า DO ของตำแหน่ง

Treatment กับ Control ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบทั้งผิวน้ำชั้นบนและผิวน้ำชั้นล่าง โดยค่าที่ได้จะสามารถบอกได้ว่าระบบมีความสามารถในการเติมออกซิเจนได้มากน้อยแค่ไหนเมื่อเทียบกับบ่อปกติที่ไม่ได้ติดตั้งระบบเติมอากาศใด ๆ โดยมีสมการที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นดังนี้

$$\text{Evaluation} = \frac{\text{DO}_{\text{Treatment}}}{\text{DO}_{\text{Control}}} \quad (2)$$

โดยที่

$\text{DO}_{\text{Treatment}}$  = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ตำแหน่ง Treatment (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$\text{DO}_{\text{Control}}$  = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ตำแหน่ง Control (มิลลิกรัมต่อลิตร)

สำหรับการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการเลือกใช้งานระบบ SCWAS ได้ใช้ตัวชี้วัด 3 วัดประกอบกัน ได้แก่ NPV, PBP และ IRR ซึ่งมีนิยามและสมการดังนี้

NPV (Net Present Value) คือ การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการใด ๆ โดย NPV คิดจากผลรวมของมูลค่าปัจจุบันในแต่ละปีตามอัตราส่วนลดที่กำหนด หากมีค่าเป็นบวกหมายความว่าโครงการนั้นมีการกำไรจากการประเมินมูลค่า ณ ปัจจุบัน ซึ่งมีสมการคำนวณดังนี้

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

โดยที่

$R_t$  = กระแสเงินสดสุทธิในแต่ละปี (บาท)

$I$  = อัตราส่วนลด (ร้อยละ)

$N$  = ระยะเวลาในการลงทุนสำหรับโครงการใด ๆ

$t$  = จำนวนงวดที่คิดมูลค่า (งวด)



PBP (Payback Period) คือ ระยะเวลาคืนทุน สำหรับการลงทุนกับโครงการใด ๆ โดยในการคำนวณได้ คิดอัตราส่วนลดรวมด้วย ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

$$PBP = y + \text{abs}(n) / p \tag{4}$$

โดยที่

- y = จำนวนปีก่อนที่มูลค่าสะสมเป็นบวก (ปี)
- abs(n) = มูลค่าสะสมของปีที่ y โดยใช้ค่าบวก (บาท)
- p = มูลค่าสะสมเริ่มต้นที่มีค่าเป็นบวก (บาท)

IRR (Internal Rate of Return) คือ อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยรายปี ซึ่งเป็นตัวชี้วัดผลตอบแทนความคาดหวังที่จะได้รับในแต่ละปีเมื่อทำการลงทุนกับโครงการใด ๆ โดยในการคำนวณคิดอยู่บนพื้นฐานของ NPV เท่ากับศูนย์และปราศจากการคิดอัตราส่วนลด และโดยทั่วไปการคำนวณหา IRR มักมีความซับซ้อนจึงนิยมใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปใน Excel เพื่อทำการคำนวณ โดยมีวิธีการดังนี้

$$= IRR(\text{first cell} : \text{last cell}) \times 100\% \tag{5}$$

โดยที่

- first cell = ระบุ Cell เริ่มต้นของกระแสเงินสด
- last cell = ระบุ Cell สุดท้ายของกระแสเงินสด

ในการประเมินความคุ้มค่าในการเลือกใช้งานระบบ SCWAS ได้ทำการเปรียบเทียบกับ Pump และ Paddle Wheel ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้าในการเติมอากาศ โดยในการประเมินได้กำหนดให้พารามิเตอร์บางตัวเท่ากันเช่น จำนวนปลาที่เลี้ยง (ตัว/รอบ) สำหรับบ่อที่ติดตั้งระบบ SCWAS และ Pump ส่วน Paddle Wheel ที่กำหนดให้จำนวนปลาที่เลี้ยง (ในตารางที่ 3) มีจำนวนมากกว่าอีก 2 ระบบ เนื่องจาก Paddle Wheel มีความสามารถในการเติมออกซิเจนเข้าสู่บ่อสูงจึง

ประเมินให้จำนวนปลาในบ่อมีความหนาแน่นมากกว่า สำหรับการคิดค่าไฟฟ้าของ Pump และ Paddle Wheel ได้คำนวณจากกำลังวัตต์ของอุปกรณ์ที่เปิดใช้งานในแต่ละเดือน โดยคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราการใช้งานที่ กฟน. กำหนด และสำหรับเงื่อนไขการคำนวณเพื่อนำไปหามูลค่าของอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิด แสดงไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิด

รายการ	อุปกรณ์เติมอากาศ		
	SCWAS	Pump	Paddle Wheel
กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์)	-	200	1491
จำนวนปลาที่เลี้ยง (ตัว/รอบ)	312	312	628
ค่าพันธุ์ปลา (บาท/ตัว)	10	10	10
ค่าอาหาร (บาท/กก.)	25	25	25
จำนวนอาหารที่ใช้ (กก./รอบ)	615	615	615
น้ำหนักปลาสุดท้าย (กก./ตัว)	1.23	1.23	1.23
ราคาขายปลา (บาท/กก.)	60	60	60
i (อัตราส่วนลด) (%/ปี)	3	3	3
อายุโครงการ (ปี)	10	10	10
ค่าซาก (%/ปี)	10	10	10

ในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ได้กำหนดให้ การเพาะเลี้ยงในแต่ละรอบใช้เวลา 5 เดือนเพื่อเก็บผลผลิตไปจำหน่าย ดังนั้น i (อัตราส่วนลด) ที่ใช้ในการคำนวณแต่ละรอบจึงมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.25

#### 4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ผลที่ได้จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของระบบ ผลที่ได้จากการทดสอบกับบ่อ และผลจากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุน ซึ่งผลที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

จากการจำลองระบบ SCWAS ในโปรแกรม Ansys Fluent เพื่อหาขนาดที่ดีที่สุดของระบบ โดยทำการพิจารณาจากอัตราการไหลที่เกิดขึ้น ได้ผลดังนี้

##### 4.1.1 การศึกษาอิทธิพลความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน

การจำลองนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อน (L2) เพื่อดูว่ามีผลอย่างไรต่ออัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้นในระบบหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อิทธิพลความยาวฉนวนบนแท่งนำความร้อนที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน

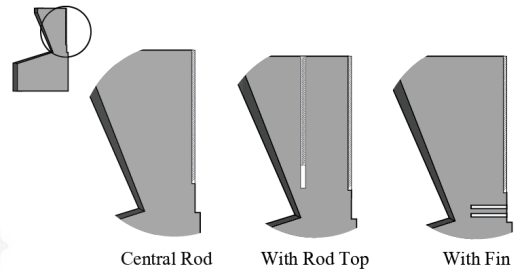
L2 (m)	Flow Rate (L/s)	Ratio
0.00	0.26	1.00
0.10	0.28	1.09
0.20	0.31	1.22
0.30	0.36	1.39
0.35	0.39	1.51
0.40	0.42	1.63
0.45	0.45	1.76
0.55	0.53	2.08
0.60	0.62	2.41

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อระยะ L2 เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากที่สุดเมื่อ L2 เท่ากับ 0.6 เมตร และจากผลจะเห็นว่าอัตราการไหลเพิ่มสูงถึง 2.41 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีไม่มีฉนวน (L2 = 0 เมตร) ดังนั้นจะเห็นว่าการศึกษาการติดตั้งเข้าไปหุ้มแท่งนำความร้อนด้วยระยะที่เหมาะสมจะทำให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นได้

##### 4.1.2 การศึกษารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อน 3 แบบ ได้แก่ Central Rod,

With Rod Top และ With Fin ซึ่งแบบแรกมีเฉพาะแท่งนำความร้อนที่อยู่ตรงกลาง แบบที่สองเป็นแบบที่เพิ่มแท่งนำความร้อนเข้ามาล้อมรอบแบบแรก และแบบสุดท้ายมีการใส่ครีบบนแท่งนำความร้อน โดยรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนทั้ง 3 แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การติดตั้งแท่งนำความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ

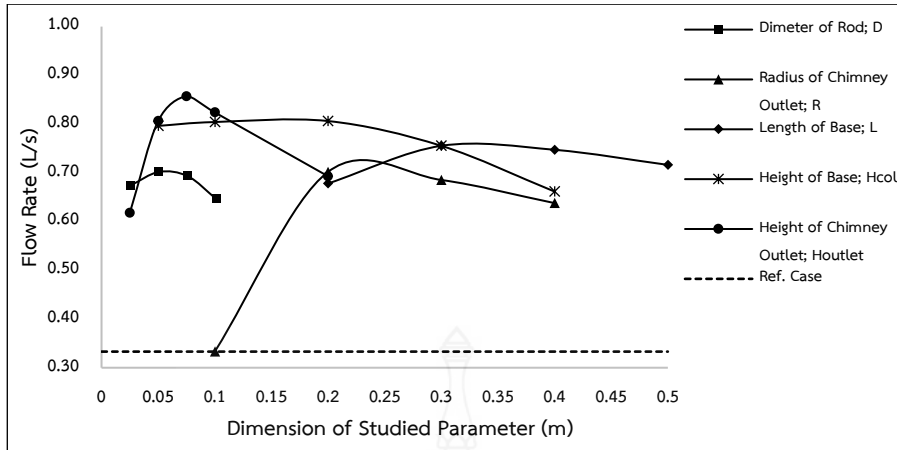
ตารางที่ 5 รูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน

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

จากตารางที่ 5 พบว่ารูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนที่มีครีบบน (With Fin) ให้อัตราการไหลเวียนสูงที่สุด และคิดเป็น 1.14 เท่าเมื่อเทียบกับแบบ Central Rod และการติดตั้งแท่งนำความร้อนแบบ With Rod Top ให้อัตราการไหลเวียนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งอัตราการไหลที่ลดลงเป็นผลเนื่องมาจากแท่งนำความร้อนที่เพิ่มเข้ามาในรูปแบบของ With Rod Top ขวางการไหลของน้ำที่ทางออก จึงส่งผลให้อัตราการไหลเวียนที่ผ่านระบบมีค่าลดลง

##### 4.1.3 การศึกษาอิทธิพลของรูปทรง

เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 4 ได้ทำการศึกษารามิเตอร์ 5 ตัว ดังต่อไปนี้



รูปที่ 10 อิทธิพลขนาดของรูปทรงที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน

D : เส้นผ่านศูนย์กลางของ Rod (นิ้ว)

R : รัศมีทางออกปล่อง (เมตร)

L : ความยาวฐาน (เมตร)

Hcol : ความสูงฐาน (เมตร)

Houtlet : ความสูงทางออกปล่อง (เมตร)

โดยผลที่ได้จากการจำลองแสดงดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 เป็นการแสดงอัตราการไหลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว จากรูปแสดงให้เห็นว่า ขนาดของพารามิเตอร์มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเวียนที่เกิดขึ้นในระบบ และพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง ๆ จะมีขนาดที่เหมาะสมของตัวเอง โดยสังเกตจากเส้นกราฟมีการเพิ่มขึ้นในตอนแรกและลดลงในช่วงหลัง สำหรับการลดลงของอัตราการไหลในช่วงหลังที่เกิดจากการเพิ่มขนาดของพารามิเตอร์ เป็นผลมาจากการเจอค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ตัวนั้นร่วมกับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ แล้ว จึงส่งผลให้อัตราการไหลมีค่าลดลงแม้จะมีการเพิ่มขนาดของพารามิเตอร์ไปอีกก็ตาม ดังนั้น ในวิธีการศึกษาจึงได้คงที่ค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ตัวที่เหมาะสมที่สุดไว้ แล้วทำการศึกษาพารามิเตอร์ตัวถัดไป ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าขนาดที่เหมาะสมสำหรับรูปทรงให้ D เท่ากับ 2 นิ้ว, R เท่ากับ 0.2 เมตร, L เท่ากับ 0.3 เมตร, H<sub>col</sub> เท่ากับ 0.2 เมตร

และ H<sub>outlet</sub> เท่ากับ 0.075 เมตร โดยมีอัตราการไหลเวียนเท่ากับ 0.86 ลิตรต่อวินาที

นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองขยายรูปทรงในแนวราบด้วยสัดส่วนของ r : R : L เป็น 1 : 2 : 3 เพื่อดูผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาดตามแนวราบ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อิทธิพลการขยายรูปทรงในแนวราบที่ส่งผลต่ออัตราการไหลเวียน

r (m)	R (m)	L (m)	Flow Rate (L/s)	
			Central Rod	With Fin
0.10	0.20	0.30	0.86	0.92
0.15	0.30	0.45	1.04	1.30
0.20	0.40	0.60	1.20	1.77
0.25	0.50	0.75	1.33	2.24

จากตารางที่ 6 พบว่า เมื่อรูปทรงขยายใหญ่ขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำไหลเวียนได้สะดวกยิ่งขึ้นเมื่อรูปทรงกว้างขึ้น และจากการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งแท่งนำความร้อนพบว่า แบบ With Fin ทำให้อัตราการไหลเวียนที่ดีกว่าแบบ Central Rod ดังนั้น ในการสร้างจริงจึงควรติด

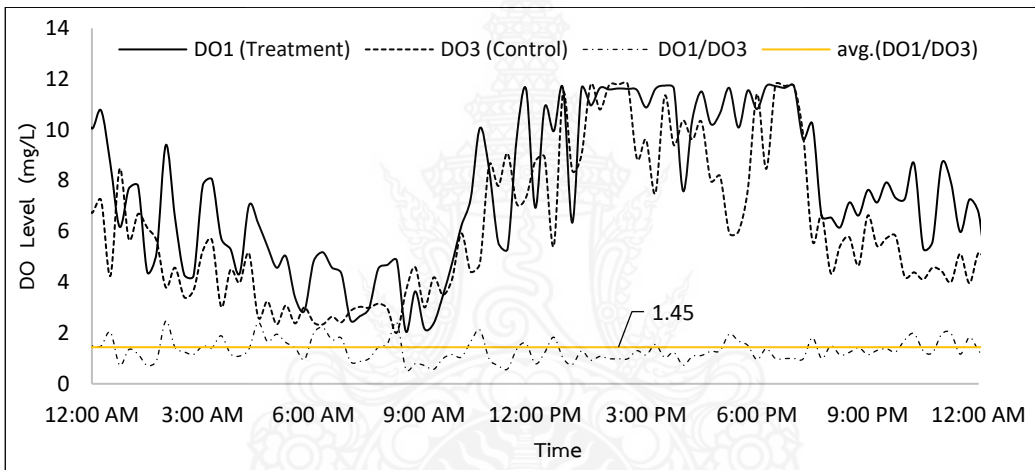
ครึ่งเช้าไปบน Central Rod ด้วยเพื่อทำให้อัตราการไหลเวียนของน้ำเพิ่มขึ้น

#### 4.2 ผลการทดลอง

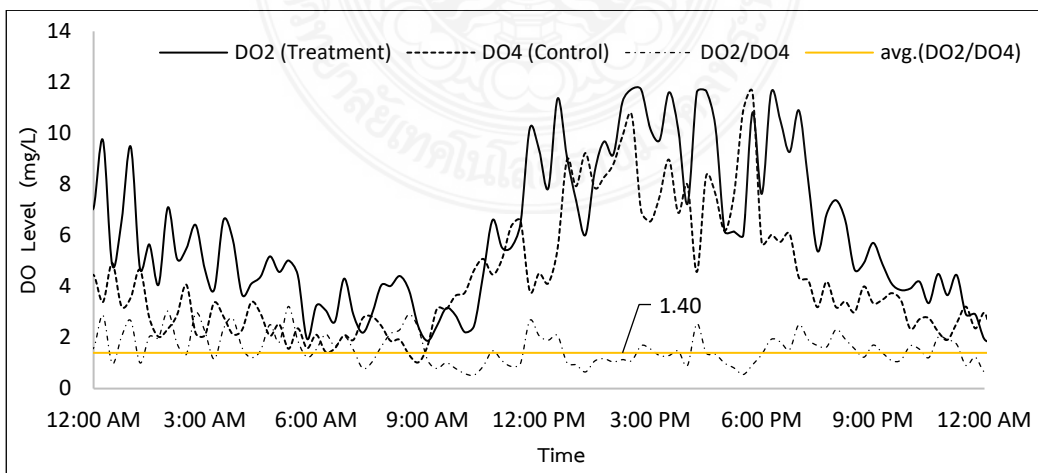
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอผลจากการทดสอบระบบ SCWAS ที่ติดตั้งภายในบ่อทดลอง โดยผลที่ได้เป็นดังนี้

รูปที่ 11 เป็นการแสดงค่า DO ที่ผิวน้ำชั้นบนที่เกิดขึ้นในรอบวัน จากการทดลองพบว่า ค่า DO ทั้ง 2 ตำแหน่ง (Treatment และ Control) เพิ่มขึ้นในตอน

กลางวันและลดลงหลัง 18.00 น. (6:00 PM) และในตอนเที่ยงคืนมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากนั้นจึงลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในช่วงกลางวันระบบ SCWAS สามารถทำงานได้ดีและเป็นปกติเนื่องจากมีแสงแดดตกกระทบและเมื่อแสงแดดเริ่มหมดลงในช่วงเย็นทำให้ค่า DO เริ่มลดลงตามไปด้วย และในช่วงกลางคืนจะสังเกตเห็นว่าค่า DO เพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากในช่วงกลางวัน Solar Collector ดูดซับความร้อนไว้ พลังงานความร้อนจึงถูกสะสมไว้ภายในเนื้อวัสดุ เมื่อตึกที่อากาศเย็นตัวลง ความร้อนที่สะสมไว้ได้คายออกมาให้กับน้ำที่อยู่ภายใต้



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลง DO ระหว่างวันที่ผิวน้ำชั้นบน

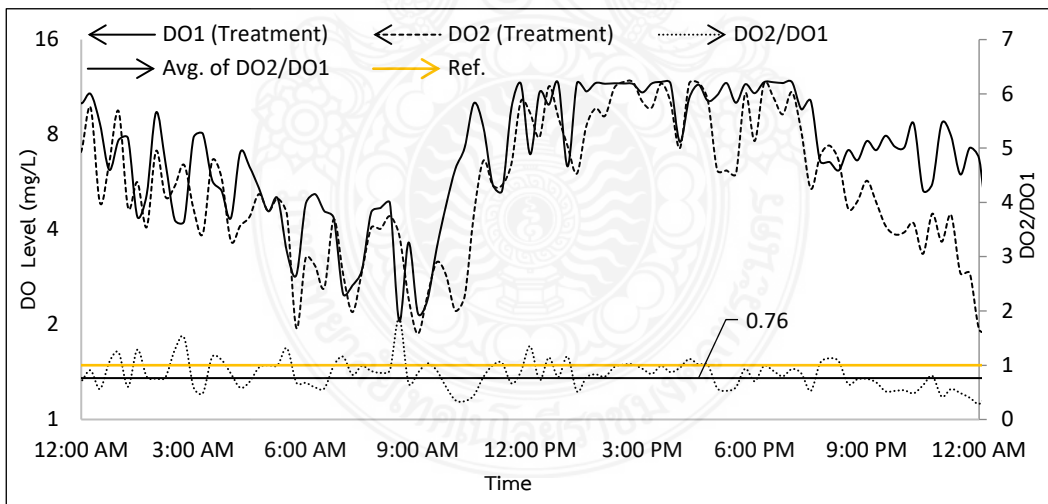


รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลง DO ระหว่างวันที่น้ำชั้นล่าง

ระบบ และเมื่อน้ำได้รับความร้อนจึงอุ่นขึ้นและเกิดการไหลแบบย้อนกลับจากตอนกลางวัน ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ค่า DO เพิ่มขึ้นได้ในช่วงกลางคืน แต่การคายความร้อนนี้จะหยุดลงเมื่ออุณหภูมิของแผ่น Solar Collector เท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงส่งผลให้ค่า DO ในช่วงหลังจากเที่ยงคืนเริ่มลดลงเรื่อย ๆ และค่า DO จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงที่มีแสงแดด จากการเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control ซึ่งแสดงเป็น DO1 และ DO3 ตามลำดับ พบว่าเกือบทุกช่วงเวลา DO1 สูงกว่า DO3 มีเพียงบางช่วงเวลาที่ DO3 เทียบเท่ากับ DO1 คือช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. – 15.00 น. (2:00 PM – 3:00 PM) นั้นหมายความว่ายิ่งความเข้มแสงแดดสูง ระบบยังสามารถสร้างการไหลเวียนน้ำได้ดียิ่งขึ้น จนทำให้จุด Control ได้รับ DO จากจุด Treatment จนมีค่าความเข้มข้นของ DO อยู่ในระดับที่สอดคล้องกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า DO โดยเฉลี่ยที่ตำแหน่ง Treatment มีค่าเป็น 1.45 เท่าของตำแหน่ง

Control ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบนี้สามารถเพิ่มค่า DO ให้กับบ่อได้ถึง 1.45 เท่าเมื่อเทียบกับบ่อทั่วไปที่ไม่ได้ติดตั้งระบบเติมอากาศ

รูปที่ 12 เป็นการแสดงค่า DO ที่ผิวน้ำชั้นล่างที่เกิดขึ้นในรอบวัน จากรูปจะเห็นว่าแนวโน้มทั้ง 2 จุด (Treatment และ Control) ที่ทำการวัด DO มีลักษณะเช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับ DO ที่ผิวน้ำชั้นบนด้วย ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของบ่อจึงทำให้ค่า DO ทั้ง 4 จุดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และจากการเปรียบเทียบค่า DO ที่ตำแหน่ง Treatment และ Control พบว่า DO2 มีค่ามากกว่า DO4 ตลอดทั้งวัน และมีค่าเป็น 1.40 เท่า นั้นหมายความว่า ระบบ SCWAS นี้สามารถเพิ่มค่า DO ให้กับน้ำชั้นล่างของบ่อได้ และในช่วงเวลากลางคืนระบบ SCWAS ยังสามารถเพิ่มค่า DO ได้ด้วยการช่วยให้ น้ำเกิดการแพร่ของ DO จากผิวน้ำชั้นบนลงมาน้ำชั้นล่าง



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่า DO ในรอบวันที่ตำแหน่ง Treatment

รูปที่ 13 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลง DO ในรอบวันที่ตำแหน่ง Treatment ทั้ง 2 ระดับ (DO1 และ DO2) จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่า DO1 สูงกว่าค่า

DO2 เกือบตลอดเวลาที่ทำการทดลอง อย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบค่า DO ทั้ง 2 ระดับพบว่า ระบบสามารถเติมออกซิเจนที่ด้านล่างบ่อได้ โดยดูจากสัดส่วน

ของ DO2 เมื่อเทียบกับ DO1 (DO2/DO1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.76 และหากค่านี้เข้าใกล้ 1 หมายความว่าระบบสามารถเติมออกซิเจนให้กับน้ำที่ชั้นล่างได้ร้อยละ 100 และในอีกทางหนึ่งหมายความว่า ระดับ DO ของน้ำชั้นล่างเข้าใกล้กับระดับ DO ของน้ำที่ผิวบ่อด้วย และสามารถกล่าวได้ว่า ระบบ SCWAS สามารถปรับปรุงค่า DO ภายในบ่อให้สูงขึ้นได้

**4.3 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์**

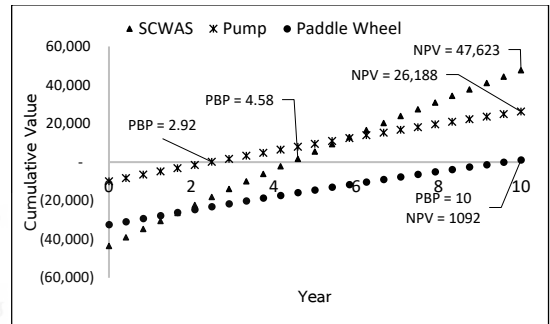
เพื่อการตัดสินใจเลือกใช้งานระบบ SCWAS ได้ทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทำการเปรียบเทียบกับบ่อเพาะเลี้ยงที่ใช้ปั๊มลม (Pump) และกังหันตีน้ำ (Paddle Wheel) ร่วมด้วย โดยในการประเมินได้ใช้ 3 ตัวแปรประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ NPV, PBP และ IRR ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

**ตารางที่ 7** การประเมินมูลค่าแบบแยกรายการของอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิด

รายการ	รายละเอียด	อุปกรณ์เติมอากาศ		
		SCWAS	Pump	Paddle Wheel
Capital Cost	เงินลงทุนค่าอุปกรณ์	-43,500	-10,000	-32,500
Flexibility Cost	ค่าพันธุ์ปลา	-3,120	-3,120	-6,280
	ค่าอาหารปลา	-15,375	-15,375	-15,375
	ค่าไฟฟ้า	0	-2,524	-22,810
Fix Cost	ค่าบำรุงรักษา	-200	-200	-200
Income	รายได้จากการขาย	22,932	22,932	46,158
	ค่าซาก	181	42	135
Annual Cost	มูลค่าสุทธิแต่ละรอบ	4,418	1,755	1,629

เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน ได้นำเงินลงทุนค่าอุปกรณ์ (Capital Cost) และมูลค่าสุทธิในแต่ละรอบของการเพาะเลี้ยง (Annual Cost) ในตารางที่ 7

ไปคำนวณหา NPV และ PBP ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 14



**รูปที่ 14** การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของอุปกรณ์เติมอากาศทั้ง 3 ชนิด

รูปที่ 14 เป็นการแสดงจุดคุ้มทุน (PBP) และกำไรสุทธิเมื่อสิ้นสุดโครงการ (NPV) ของทั้ง 3 อุปกรณ์ จากรูปแสดงให้เห็นว่า หากในการเพาะเลี้ยงมีการใช้ Pump เป็นอุปกรณ์เติมอากาศ จะคืนทุนเร็วที่สุดภายในเวลา 2.50 ปี รองลงมาคือระบบ SCWAS จะคืนทุนภายใน 4.58 ปี และสุดท้ายเป็น Paddle Wheel จะคืนทุนในปีที่ 10 และเมื่อพิจารณาที่ NPV จะพบว่า ระบบ SCWAS มีกำไรสุทธิเมื่อสิ้นสุดโครงการมากกว่า Pump และ Paddle Wheel และจากการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยรายปี (IRR) ยังพบว่า IRR ของ SCWAS, Pump และ Paddle Wheel เป็นร้อยละ 21.17, 41.17 และ 3.68 ตามลำดับ และจากการคำนวณ IRR ข้างต้น ถึงแม้ว่า SCWAS ให้อัตราผลตอบแทนต่ำกว่าการใช้ Pump แต่ IRR ของระบบ SCWAS ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้ หากเกษตรกรสร้างระบบขึ้นมาใช้เองเพื่อลดต้นทุนในการผลิต และใช้วัสดุที่มีในชุมชนเพื่อนำมาประกอบตามขนาดรูปทรงที่ได้จากงานวิจัย นอกจากการทำเช่นนี้จะช่วยเพิ่มค่า IRR ได้แล้ว ยังช่วยให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มกำไรเมื่อสิ้นสุดโครงการได้อีกทางหนึ่งด้วย และสุดท้ายพบว่า

หากในบ่อเพาะเลี้ยงเลือกใช้งานระบบ SCWAS จะสามารถลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 17.49 เมื่อเทียบกับบ่อที่ใช้ Paddle Wheel

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาระบบเติมอากาศแบบน้ำไหลเวียนพลังงานแสงอาทิตย์ (SCWAS) ที่ได้นำเสนอในบทความนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

- การหุ้มฉนวนบนแท่งนำความร้อนส่งผลต่ออัตราการไหลของน้ำในระบบ โดยฉนวนความร้อนที่มีความยาวมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามระยะในการหุ้มฉนวนที่ดีไม่ควรยาวมากเกินไปจนไปจนไม่มีระยะให้ความร้อนถ่ายเทออกมาได้

- อิทธิพลของการขยายรูปทรงในแนวราบส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งขนาดที่ดีที่สุดที่แนะนำสำหรับ r: R: L ควรเป็น 1: 2: 3

- ผลจากการทดสอบพบว่า ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ชั้นล่างของบ่อมีค่าใกล้เคียงกับค่าออกซิเจนที่ผิวน้ำชั้นบน และจากการเปรียบเทียบค่าออกซิเจนที่ตำแหน่ง Treatment กับ Control ของทั้ง 2 ระดับ พบว่าที่ผิวน้ำชั้นบนออกซิเจนเพิ่มขึ้น 1.45 เท่า และน้ำชั้นล่างออกซิเจนเพิ่มขึ้น 1.40 เท่า

- จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบ SCWAS สามารถคืนทุนได้ภายใน 4.58 ปี และมี NPV เท่ากับ 47,623 บาทตลอดระยะเวลาโครงการ และเมื่อเทียบกับ Paddle Wheel พบว่ามีงบลงทุนต่ำกว่าร้อยละ 17.49

- ระบบ SCWAS ที่ทำการศึกษานี้สามารถทำงานได้ในรัศมี 3 เมตร นั้นหมายความว่าระบบนี้เหมาะกับบ่อที่มีพื้นที่ 27 ตารางเมตร หรือหากบ่อของเกษตรกรมีขนาดใหญ่ควรตั้งทุก ๆ 27 ตารางเมตรเพื่อการทำงานที่ดีในการเติมออกซิเจนให้กับบ่อ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มอบทุนกิตติบัณฑิต และขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากโครงการ การพัฒนาระบบเติมอากาศและเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติสำหรับสมาร์ตฟาร์มเมอร์ ในการทำการวิจัยครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. D. Culberson and R. H. Piedrahita, "Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction-mechanism and application," *Ecological modelling*, vol. 89, no. 1-3, pp. 231-258, Aug. 1996.
- [2] A. Kumar, S. Moulick and B. C. Mal, "Selection of aerators for intensive aquacultural pond," *Aquacultural engineering*, vol. 56, pp. 71-78, Sep. 2013.
- [3] L. T. Phan, T. M. Bui, T.T.T. Nquyen, G. J. Gooley and B. A. Ingram, "Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* in the Mekong Delta, Vietnam," *Aquaculture*, vol. 296, no. 3-4, pp. 227-236, Nov. 2009.
- [4] J. Southard, (2006). Dissolved Oxygen and Water Column Stratification. [Online]. Available: <http://www.fondriest.com>
- [5] A. Ali, "Oxygen regime and productivity in fish ponds," M.S. thesis, Dept. Tech. (Aquaculture), African Regional Aquaculture Centre/Rivers State University of Science and Technology, Port Harcourt, 1986.

- [6] F. Struckmann, "Analysis of a flat-plate solar collector," Heat and Mass Transport, Project Report, 2008MVK160. (2008). *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, Seattle, WA, USA, IEEE, 2015, pp. 306-313.
- [7] A. Mahmoud, T. N. Quang and E Pavlov, "Development of a solar updraft aeration system for pond aquaculture in resource-constrained environments," in *Proceeding of*
- [8] T. Chenvidyakarn and A. Woods, "Multiple steady states in stack ventilation," *Building and Environment*, vol. 40, pp. 399-410, 2005.

